

# 2025 제로에너지건축 전문인력 양성교육

기본교육





2025

**제로에너지건축  
전문인력 양성교육**

---

기본교육

# Contents

2025 제로에너지건축 전문인력 양성교육  
기본교육



PART  
A

## ZEB 패시브기술

---

<b>A.1 단열기술(기초 및 바닥)</b>	<b>12</b>
1. 기초 단열	12
2. 바닥/외벽 기술	18
<b>A.2 열교방지기술</b>	<b>32</b>
1. 열교의 이해	32
2. 열교 평가 방법	40
3. 열교 방지 설계	52
<b>A.3 창호, 커튼월 기술</b>	<b>64</b>
1. 창호(Window&Door)	64
2. 커튼월(Curtain Wall)	82
3. 열성능 향상방법	95
<b>A.4 일사조절장치 기술</b>	<b>106</b>
1. 일사조절장치의 개념 및 목적	106
2. 일사조절장치의 분류 및 적용 효과	112
3. 일사조절장치 제어 방법 소개 및 적용 사례	118
<b>A.5 기밀 확보 설계 및 시공 기술</b>	<b>124</b>
1. 기밀 시공의 이론 및 이해	124
2. 건축물의 기밀시공 방법	140



---

<b>A.6 건물에서의 기밀성능 및 측정 방법 1</b>	<b>168</b>
1. 건물 기밀(airtightness)	168
2. 기밀성능의 중요성	170
3. 기밀성능 측정방법	174
4. 가감압법	176
5. 측정 표준	178
6. 누기 함수	180
7. 기밀성능 표현(단위)	184
<b>A.7 건물에서의 기밀성능 및 측정 방법 2</b>	<b>186</b>
1. 기밀성능 표현(단위)	186
2. 기밀성능 예시	189
3. 침기 VS 환기	192
4. 환기 보장	195
5. 기밀성능 및 환기성능	201
6. Build Tight, Ventilate Right	207
<b>A.8 열회수환기 기술</b>	<b>208</b>
1. HRV 특성 및 구성요소	208
2. 결빙 방지 및 덕트 기술	220
3. 설계 방법 및 사례 검토	232



# Contents

2025 제로에너지건축 전문인력 양성교육  
기본교육



PART  
B

## ZEB 액티브기술

---

<b>B.1 에너지효율향상 설비 기술</b>	<b>238</b>
1. 시스템 효율향상 전략	238
2. 시스템 효율향상 요소기술	242
3. 자동제어를 활용한 효율 향상	251
<b>B.2 공조설비 기술</b>	<b>256</b>
1. 공기조화 개념	256
2. 공기조화 방식	259
3. 복사냉난방 시스템	265
<b>B.3 고효율 보일러 설비 기술</b>	<b>272</b>
1. 보일러 관련 기초 지식	272
2. 보일러 열효율, 가정용 보일러 기술	276
3. 국내외 가정용 보일러 기술, 미래 보일러 기술	281
<b>B.4 히트펌프 기술</b>	<b>286</b>
1. 히트펌프의 개념 및 종류	286
2. 히트펌프의 구성과 성능	291
3. 히트펌프의 응용과 실무	297



---

<b>B.5 통합유닛 설비 기술</b>	<b>308</b>
1. 통합유닛 설비 기술 배경 및 이해	308
2. 통합유닛 국내외 기술	313
3. 통합유닛 성능 평가 방법	319
<b>B.6 고효율 펌프/팬 기술</b>	<b>326</b>
1. 유체역학 일반	326
2. 펌프의 성능평가 방법 및 인증제도	329
3. 송풍기의 성능평가 방법 및 인증제도	334
<b>B.7 조명에너지 절감 기술</b>	<b>341</b>
1. 조명에너지의 기본 개념	341
2. 조명제어의 적용	349
3. 스마트 조명제어	354
<b>B.8 흡수식 냉동기 및 배열 시스템</b>	<b>360</b>
1. 흡수식 냉동기	360
2. 배열시스템	368



# Contents

2025 제로에너지건축 전문인력 양성교육  
기본교육



PART  
C

## ZEB 신재생기술

---

<b>C.1 태양광, BIPV 설비 기술</b>	<b>374</b>
1. 태양광발전 기초지식	375
2. ZEB와 태양광발전	386
3. 건물일체형 태양광발전(BIPV)	389
<b>C.2 집광채광 기술</b>	<b>406</b>
1. 집광채광기술 개요 및 관련 친환경 인증 제도	406
2. 자연형 집광채광기술	416
3. 설비형 집광채광기술	426
<b>C.3 연료전지 설비 기술</b>	<b>434</b>
1. 연료전지의 이해	434
2. 연료전지의 열역학	444
3. 연료전지의 현재와 미래	450
<b>C.4 지열히트펌프 설비 기술</b>	<b>460</b>
1. 지열히트펌프 원리	460
2. 지중열교환기 이해와 원리	465
3. 지열 히트펌프의 설계	470



PART  
D

## ZEB 요소기술적용

---

<b>D.1 ZEB 목표 요소 및 밸런스 기술</b>	<b>480</b>
1. 건물에너지흐름	480
2. 패시브 요소 기술	486
3. 액티브 요소 기술	491
4. 요소 기술 종합 검토	499
<b>D.2 열쾌적성 기술</b>	<b>505</b>
1. 인체의 열평형	505
2. 온열환경 요소	508
3. 열쾌적 지표	516
4. 국소 열쾌적	522



**2025  
제로에너지건축  
전문인력 양성교육**

---

기본교육



**ZERO ENERGY BUILDING  
TRAINING TO BE PROFESSIONALS**

## PART A

# ZEB 패시브기술

### [A.4]

#### 일사조절장치 기술

### [A.1]

#### 단열기술(기초 및 바닥)

기초 단열  
바닥/외벽 기술

개념 및 목적

분류 및 적용 효과  
제어 방법 및 적용 사례

### [A.7]

#### 건물에서의 기밀성능 및 측정 방법2

기밀성능 표현(단위)

기밀성능 예시

침기 VS 환기

환기 보장

기밀성능 및 환기성능

Build Tight, Ventilate Right

### [A.2]

#### 열교방지기술

열교의 이해  
열교 평가 방법  
열교 방지 설계

### [A.5]

#### 기밀 확보 설계 및 시공 기술

기밀 시공의 이론 및 이해  
건축물의 기밀시공 방법

### [A.6]

#### 건물에서의 기밀성능 및 측정 방법1

건물 기밀(airtightness)

기밀성능의 중요성

기밀성능 측정방법

가감압법

측정 표준

누기 함수

기밀성능 표현 (단위)

### [A.3]

#### 창호, 커튼월 기술

창호(Window&Door)  
커튼월(Curtain Wall)  
열성능 향상방법

### [A.8]

#### 열회수환기 기술

HRV 특성 및 구성요소

결빙 방지 및 덕트 기술

설계 방법 및 사례 검토

# A.1

## 단열기술(기초 및 바닥)

### 교육 목표

- \* 법적단열기준을 확인하고 사각지대인 기초 측면 단열의 중요성 확인
- \* 기초 단열재의 위치 선정 및 위치에 따른 단열재 종류 선정
- \* 기초 하부 동결 방지와 지중열을 활용하는 수평단열보강 방법 (insulation skirt)

- 단열기술(기초 및 바닥)**
- \* 법적 단열기준 확인 및 바닥난방시 온수배관 하부와 슬래브 사이 법적 열저항의 60%이상 확보
  - \* 방통물탈 타설시 열교 저감 방식
  - \* 내단열 적용시 단열재와 방습성능 규정
  - \* 외단열 시공시 주의사항

## 1 기초 단열

### ◎ 기초 바닥 단열 기준

- 지면과 접한 기초 바닥 단열 기준
- 제로에너지건축물 인증에서 열교는 고려하지 않음

[별표1] 지역별 건축물 부위의 열관류율표

(단위 : W/m<sup>2</sup> · K)

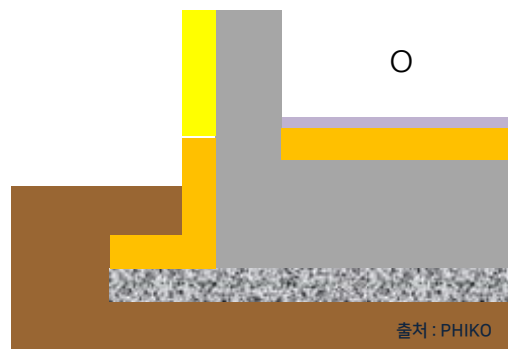
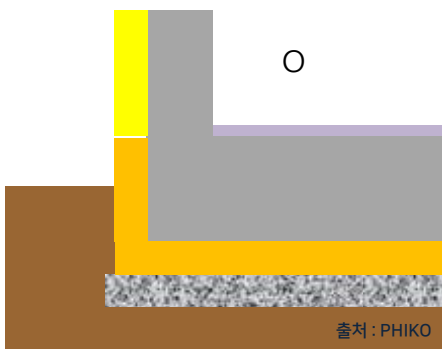
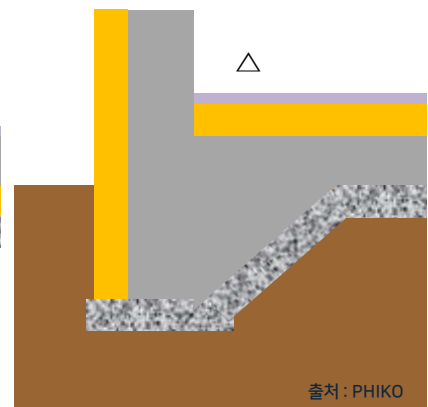
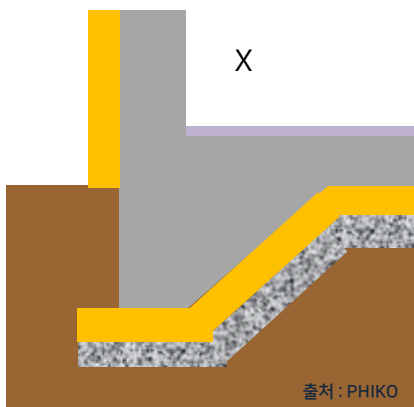
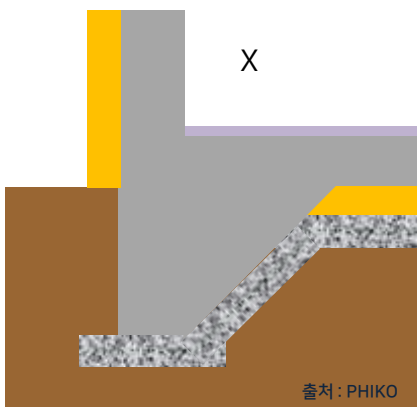
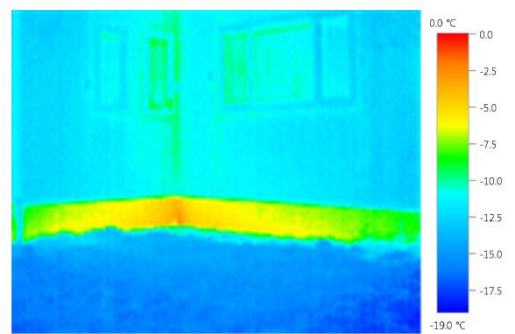
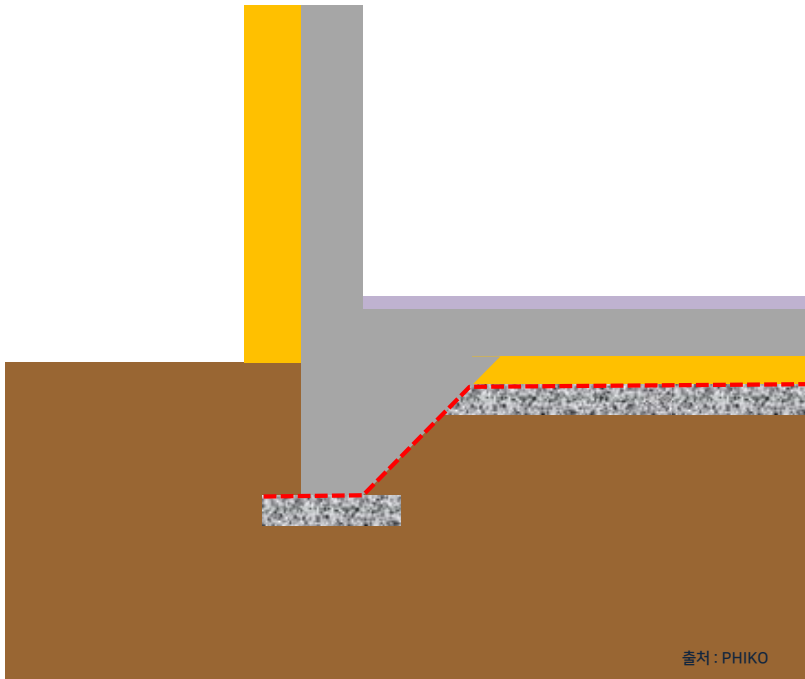
건축물의 부위		지역	중부1지역 <sup>1)</sup>	중부2지역 <sup>2)</sup>	남부지역 <sup>3)</sup>	제주도
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우	공동주택	0.150 이하	0.170 이하	0.220 이하	0.290 이하
		공동주택 외	0.170 이하	0.240 이하	0.320 이하	0.410 이하
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택	0.210 이하	0.240 이하	0.310 이하	0.410 이하
		공동주택 외	0.240 이하	0.340 이하	0.450 이하	0.560 이하
최 상 층 에 있는 거실 의 반자 또는 지붕	외기에 직접 면하는 경우		0.150 이하		0.180 이하	0.250 이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.210 이하		0.260 이하	0.350 이하
최 하 층 에 있는 거실 의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.150 이하	0.170 이하	0.220 이하	0.290 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.170 이하	0.200 이하	0.250 이하	0.330 이하
	외기에 간접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.210 이하	0.240 이하	0.310 이하	0.410 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.240 이하	0.290 이하	0.350 이하	0.470 이하
바닥난방인	중간바닥		0.810 이하			

중부2지역 바닥난방인 경우 비드법1종2호 160mm 정도 필요

## ◎ 기초 바닥 단열 열교

- 지면표면 속의 기초 측면이나 내단열 건축물의 경우 기초 측면에 열교 발생
- 주로 바닥 난방을 하는 주거 시설의 경우 난방 에너지 손실이 큼



### ◎ 단열재 압축강도 확인

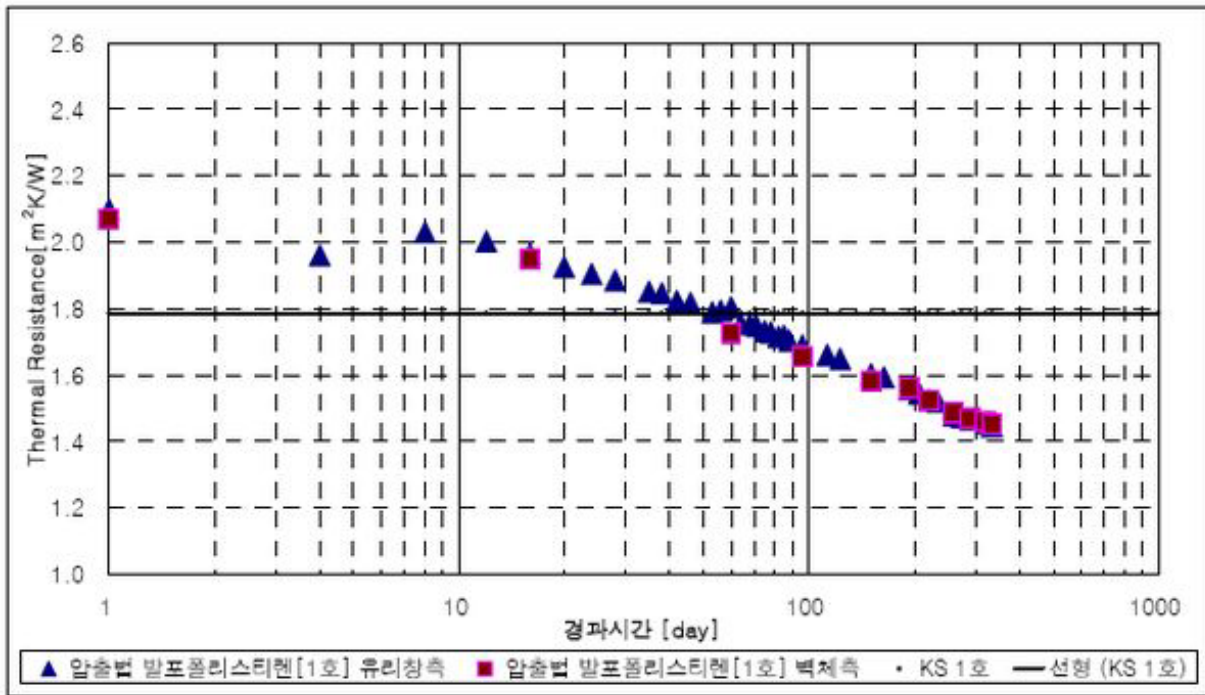
- 구조계산서에서 기초의 단위면적당 하중을 압출법 단열재가 버틸 수 있는지 확인 필요
- 일반적으로 철근콘크리트 2층 이하 건물의 경우 매트기초시 압출법단열재 배치 가능 (구조 확인 필수)
- 독립기초와 같이 집중하중을 받는 구조는 하부 단열 피함

종류	초기열전도율 (평균온도 23±2°C)(W/m·k)		굴곡강도 (N/cm <sup>2</sup> )	압축강도 (N/cm <sup>2</sup> )	연소성	(참고) 투습계수 (두께 25mm당) (ng/m <sup>2</sup> ,s,PA)	
	초기 열전도율	장기 열전도율					
단열판	특호	0.027이하	0.029이하	45이상	25이상	연소시간 120초 이내이며 또한 연소길이 60mm 이하일 것	146이하
	1호	0.028이하	0.030이하	35이상	18이상		
	2호	0.029이하	0.031이하	35이상	14이상		
	3호	0.031이하	0.033이하	35이상	10이상		

압출법 단열재의 등급별 기준 / KS M iso 4898 개정으로 내용 재확인 필요

### ◎ 압출법 단열재의 경시변화

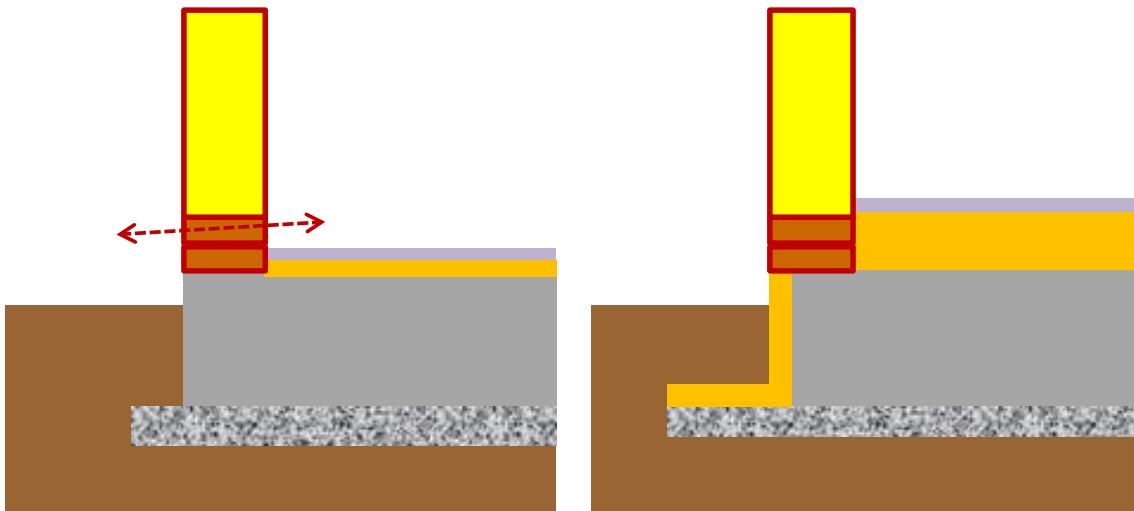
- 아래 실험에 사용된 압출법보온판은 실험 초기의 열전도율이 약 0.0238W/mk 에서 약120일 경과한 후의 열전도율은 0.0357W/mk로 기록되어 33%정도 단열성능이 낮아진 것으로 분석됨
- 수분 흡수가 되지 않는 부위는 경시변화를 고려하여 변화가 적은 단열재 선정하는 것이 유리



<출처: 이승언, 강재식, 정영선, 최현중, 환경 및 시간경과에 따른 건축용 단열재의 열전도율 변화에 관한 실험적연구, 대한건축학회논문집 19권 12호, 2003년 12월>

## ◎ 목조 건축에서 기초단열재 위치

- 토대목 부분으로 열교 발생
- 스택드사이애 단열재를 넣는 중단열 개념의 구조이므로 단열선이 끊기지 않도록 기초 상부에 주 단열선을 위치시키는 것이 유리함 (구조에 따른 적절한 검토 필요 : 스틸하우스의 경우 외벽 외단열+기초 외단열 유리)
- 지중열을 활용하고 기초 저면의 온도를 안정적으로 유지하기 위해 기초 측면 단열재 및 수평 단열 보강 추천



출처: PHIKO

### ◎ 수분 흡수율 고려한 단열재 선정

- 단열재에 수분 함수율이 많아질 경우 수분이 열을 전달하며 단열성능 하락
- 흡수된 수분이 겨울철 얼면서 부피가 팽창으로 단열재 손상
- 물이 흡수 될 수 있는 부위는 가급적 흡수율이 낮은 XPS 단열재와 같은 종류를 사용하는 것이 좋음



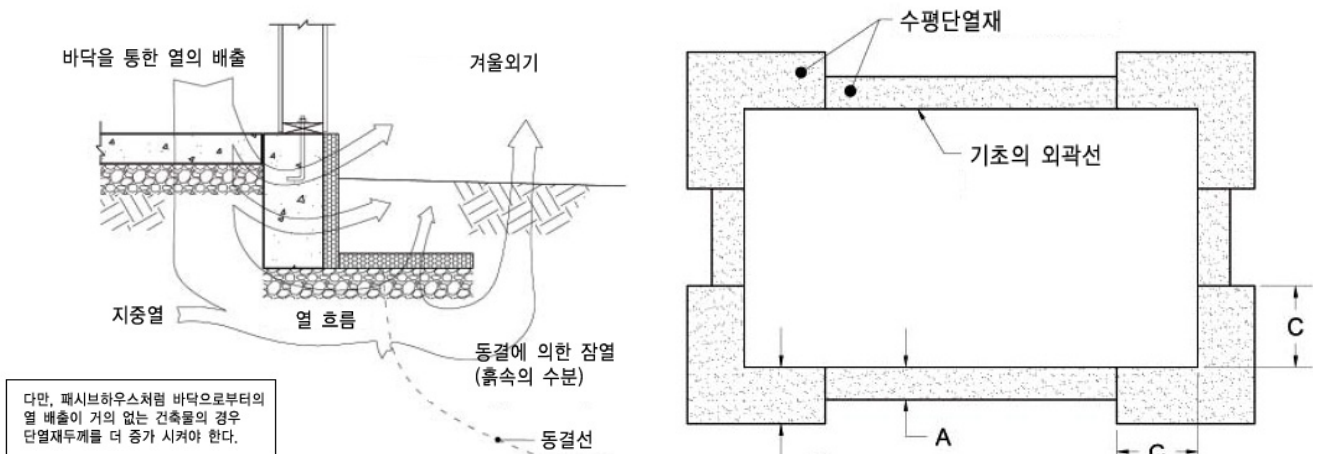
- EPS, PF보드, 유리섬유, 암면 등은 흡수율이 다소 지면과 접하는 곳에 사용하기는 부적합

단열재 종류	재질	흡수율(일반 범위, %)	비고
비드법 EPS (비드법 보온판)	발포 폴리스티렌 (Expanded PS)	2~6%	다공성 구조로 흡수율이 다소 있음 (동해 가능성)
압출법 XPS (압출법 보온판)	압출 발포 폴리스티렌 (Extruded PS)	0.3~1.5%	구조가 치밀하여 흡수율 낮음
PF 보드	페놀폼	1~5%	난연성 우수, 고단열
우레탄폼 (PU, PIR)	폴리우레탄, 폴리이소시아누레이트	0.1~1%	구조가 조밀하여 흡수율 낮음
유리섬유 (글라스울)	유리섬유	0.5~5% (방수처리 유무에 따라 차이 큼)	습기 취약 시 성능 저하 (처짐 발생 가능성 있음)
암면 (록울)	암석 섬유	1~5%	방습 성능은 낮은 편
진공단열재 (VIP)	진공 상태의 패널	거의 0%	물흡수 없음 (외피 손상 시 성능 급감)
에어로젤	실리카 기반 나노소재	0.1~0.3%	매우 낮은 흡수율, 고가

특정 제품에 따라 흡수율이 다를 수 있으며, 장시간 노출 되었을때의 비율임

## ◎ 수평단열보강

- 2008년 ‘구조물 기초설계기준’ 부터 동결지수에 따른 계산식 등의 내용이 삭제되고, ‘기초의 깊이는 지반의 동결 깊이보다 깊어야 한다.’라고 변경됨. 또한 ‘건축구조기준-KBC 2009’에도 기초의 저면은 온도변화에 의하여 지반이 체적변화를 일으키지 않아야 한다라고 되어 있음
- 미국에서 만들어 국제적인 주거시설의 건축 코드로 사용되고 있는 매뉴얼인 IRC기준으로 우리나라 거의 대부분 지역에서 측면단열 및 수평단열 보강시 기초깊이 300mm 정도로 하부 동결 방지 가능  
(자세한 내용은 한국패시브건축협회 기술자료 4-05. 기초의 단열-다.기초의 외단열과 동결심도 참고)



출처: PHIKO

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. [https://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo\\_table=z3\\_01&wr\\_id=74](https://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo_table=z3_01&wr_id=74)
2. [https://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo\\_table=z3\\_01&wr\\_id=106](https://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo_table=z3_01&wr_id=106)
3. [https://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo\\_table=z3\\_01&wr\\_id=112](https://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo_table=z3_01&wr_id=112)
4. 이승언, 강재식, 정영선, 최현중, 환경 및 시간경과에 따른 건축용 단열재의 열전도율 변화에 관한 실험적연구, 대한건축학회논문집 19권 12호, 2003년 12월

## 2 바닥/외벽 기술

### ◎ 바닥 단열 기준

- 최하층에 있는 거실의 바닥 열관류율 기준
- 외기에 직접 면하는 경우 (필로티)
- 외기에 간접 면하는 경우(지면접촉)
- 바닥 난방 여부 / 바닥 난방 층간 단열

[별표1] 지역별 건축물 부위의 열관류율표

(단위 : W/m<sup>2</sup> · K)

건축물의 부위		지역	중부1지역 <sup>1)</sup>	중부2지역 <sup>2)</sup>	남부지역 <sup>3)</sup>	제주도
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우	공동주택	0.150 이하	0.170 이하	0.220 이하	0.290 이하
		공동주택 외	0.170 이하	0.240 이하	0.320 이하	0.410 이하
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택	0.210 이하	0.240 이하	0.310 이하	0.410 이하
		공동주택 외	0.240 이하	0.340 이하	0.450 이하	0.560 이하
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기에 직접 면하는 경우		0.150 이하		0.180 이하	0.250 이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.210 이하		0.260 이하	0.350 이하
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.150 이하	0.170 이하	0.220 이하	0.290 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.170 이하	0.200 이하	0.250 이하	0.330 이하
	외기에 간접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.210 이하	0.240 이하	0.310 이하	0.410 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.240 이하	0.290 이하	0.350 이하	0.470 이하
바닥난방인 층간바닥			0.810 이하			

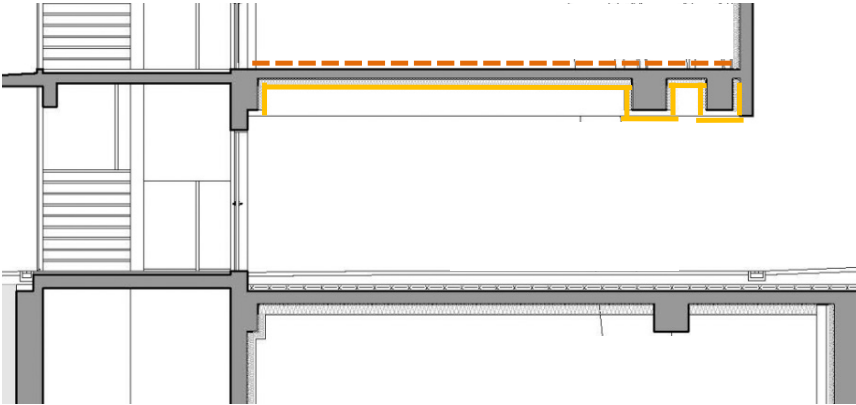
## ◎ 바닥 난방부위 단열

- 건축물의 에너지절약설계기준[시행 2025. 1. 1.] [국토교통부고시제2024-1026호, 2024. 12. 31]
- 제6조(건축부문의 의무사항) 제2조에 따른 열손실방지 조치 대상 건축물의 건축주와 설계자 등은 다음 각 호에서 정하는 건축부문의 설계기준을 따라야 함
- 3. 바닥난방에서 단열재의 설치
  - 가. 바닥난방 부위에 설치되는 단열재는 바닥난방의 열이 슬래브하부로 손실되는 것을 막을 수 있도록 온수배관(전기난방인 경우는 발열선) 하부와 슬래브사이에 설치하고, **온수배관(전기난방인 경우는 발열선) 하부와 슬래브 사이에 설치되는 구성 재료의 열저항의 합계는 해당 바닥에 요구되는 총열관류저항(별표1에서 제시되는 열관류율의 역수)의 60% 이상이 되어야 한다.** 다만, 바닥난방을 하는 욕실 및 현관부위와 슬래브의 축열을 직접 이용하는 심야전기이용 온돌 등(한국전력의 심야전력이용기기 승인을 받은 것에 한한다)의 경우에는 단열재의 위치가 그러하지 않을 수 있다.

● 필로티 하부 외단열 적용할 경우 실수 하는 경우 많음

1. 필로티 상부 외단열 적용할 경우 슬라브 상부에 층간 바닥 정도의 단열만 적용한 경우 많음

중부2지역 외기에 직접 면하는 바닥난방인 경우 0.170W/m2K의 60%인 열저항 3.529 m2K/W는비드법 단열재 1종 2호 기준으로 0.283W/m2K이하 132mm 이상 적용 필요 (슬라브 다운 등의 조치 필요)



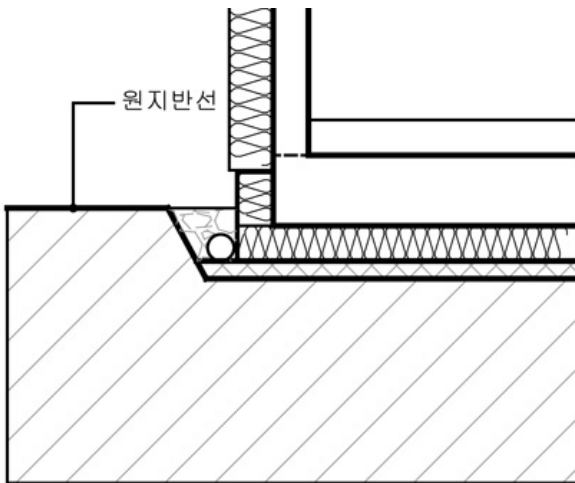
[별표] 지역별 건축물 부위의 열관류율표

건축물의 부위		지역	(단위 : W/m <sup>2</sup> · K)			
			중부1지역 <sup>1)</sup>	중부2지역 <sup>2)</sup>	남부지역 <sup>3)</sup>	제 주 도
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우	공동주택 외	0.150 이하	0.170 이하	0.220 이하	0.290 이하
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택 외	0.170 이하	0.240 이하	0.320 이하	0.410 이하
	외기에 직접 면하는 경우	공동주택 외	0.210 이하	0.240 이하	0.310 이하	0.410 이하
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택 외	0.240 이하	0.340 이하	0.450 이하	0.560 이하
최 상 층 에 있 는 거실 외 벽 또 는 지붕	외기에 직접 면하는 경우		0.150 이하		0.180 이하	0.250 이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.210 이하		0.260 이하	0.350 이하
최 하 층 에 있 는 거실 의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥 난방 인 경우	0.150 이하	0.170 이하	0.220 이하	0.290 이하
	외기에 간접 면하는 경우	바닥 난방 이 아닌 경우	0.170 이하	0.200 이하	0.250 이하	0.330 이하
	외기에 직접 면하는 경우	바닥 난방 인 경우	0.210 이하	0.240 이하	0.310 이하	0.410 이하
	외기에 간접 면하는 경우	바닥 난방 이 아닌 경우	0.240 이하	0.290 이하	0.350 이하	0.470 이하
바닥난방인 층간바닥			0.810 이하			

● 매트기초 하부로 단열재를 배치할 경우 실수 하는 경우 많음

1. 바닥난방의 경우 매트 기초 하부로 주 단열라인을 구성할 경우 슬라브 상부 단열재 법적 기준의 60% 이상 배치

중부2지역 외기에 간접 면하는 바닥난방인 경우 0.240W/m2K의 60%인 열저항 2.50 m2K/W는비드법 단열재 1종 2호 기준으로 0.400W/m2K이하 93mm 이상 적용 필요



[별표] 지역별 건축물 부위의 열관류율표

건축물의 부위		지역	(단위 : W/m <sup>2</sup> · K)			
			중부1지역 <sup>1)</sup>	중부2지역 <sup>2)</sup>	남부지역 <sup>3)</sup>	제 주 도
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우	공동주택 외	0.150 이하	0.170 이하	0.220 이하	0.290 이하
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택 외	0.170 이하	0.240 이하	0.320 이하	0.410 이하
	외기에 직접 면하는 경우	공동주택 외	0.210 이하	0.240 이하	0.310 이하	0.410 이하
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택 외	0.240 이하	0.340 이하	0.450 이하	0.560 이하
최 상 층 에 있 는 거실 외 벽 또 는 지붕	외기에 직접 면하는 경우		0.150 이하		0.180 이하	0.250 이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.210 이하		0.260 이하	0.350 이하
최 하 층 에 있 는 거실 의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥 난방 인 경우	0.150 이하	0.170 이하	0.220 이하	0.290 이하
	외기에 간접 면하는 경우	바닥 난방 이 아닌 경우	0.170 이하	0.200 이하	0.250 이하	0.330 이하
	외기에 직접 면하는 경우	바닥 난방 인 경우	0.210 이하	0.240 이하	0.310 이하	0.410 이하
	외기에 간접 면하는 경우	바닥 난방 이 아닌 경우	0.240 이하	0.290 이하	0.350 이하	0.470 이하
바닥난방인 층간바닥			0.810 이하			

## ◎ 방통몰탈 하부 열교저감 방안

- 결손 없는 단열 시공
- 방통몰탈 타설전 PE필름 설치하여 단열재 조인트 부분으로 몰탈이 들어가지 않도록 하여 열교 저감



출처: PHIKO



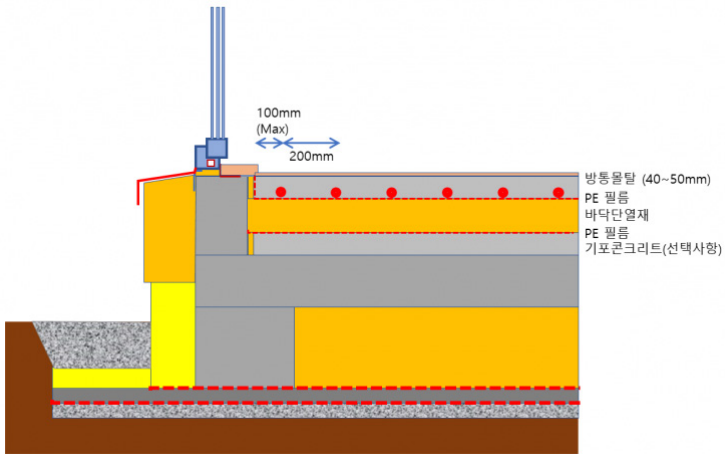
출처: PHIKO



출처: PHIKO

## ◎ 방통몰탈 하부 단열 사례

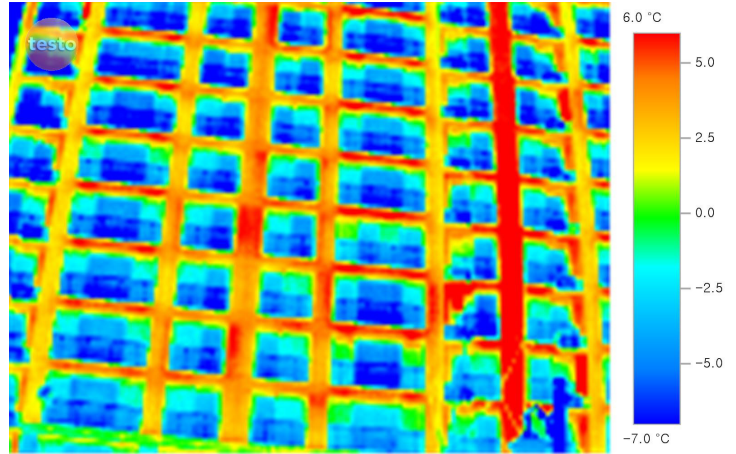
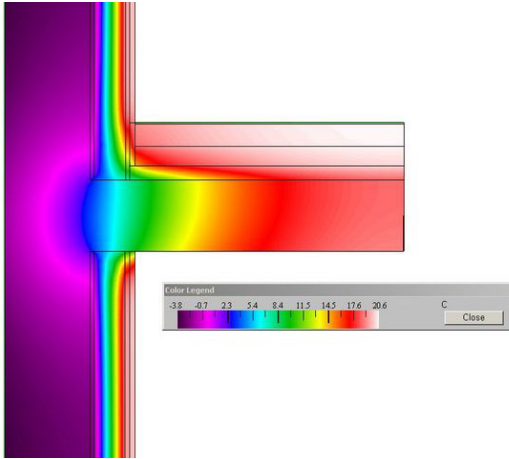
- 바닥단열재+바닥단열재 : 150mm 의 경우 50mm를 먼저 깔고 불가피하게 배관이나 배선이 바닥에 설치되어야 하는 부분 단열재 부분에 배치 / 상부에 100mm 단열재 통 줄눈이 생기지 않도록 배치
- PE 필름 설치 : 몰탈이 단열재 사이에 스며들어 열교가 발생하는것을 방지하고 몰탈이 함침 되는것을 예방
- 방통몰탈 타설전 측면에 완충재를 설치하여 방통몰탈의 열팽창 변이를 흡수할 수 있도록 하고 바닥 진동이 벽체로 전달되는것을 저감



출처: PHIKO

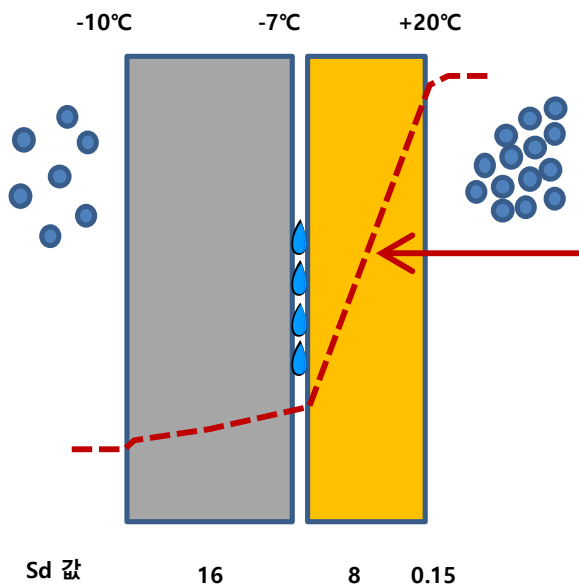
## ◎ 내단열 건물 하자 원인

- 내단열 건축물의 결로 및 곰팡이 발생원인 중 건전한 방습층이 형성되지 못해 발생하는 사례가 많음
- 외벽과 바닥 슬라브가 만나는 부분 열교



출처: PHIKO

- 내단열 건축물의 경우 겨울철에 내부의 습기가 수증기분압이 상대적으로 낮은 외부로 이동 중 sd값이 높은 콘크리트 벽에서 막히고 낮은 온도 조건에서 결로 및 곰팡이 발생



출처: PHIKO

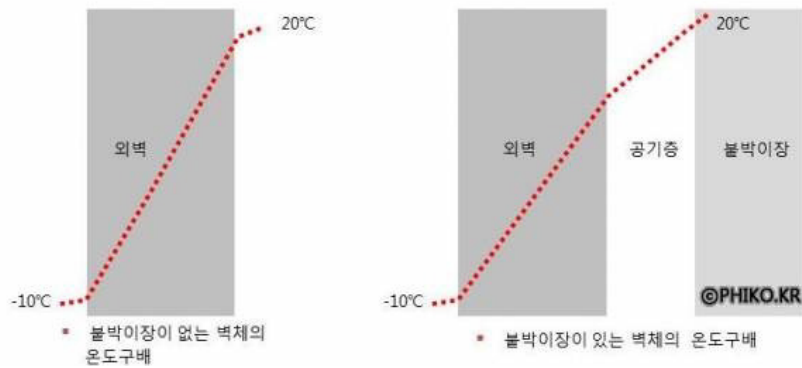
## ◎ 내단열 건물 하자 사례

- 노출콘크리트 건축물의 사례
  - 내부에 열반사 단열재만 적용
  - 내부의 습기가 콘크리트 표면에 결로 발생
  - 바닥으로 흘러내려 마루가 썩음
  - 노출콘크리트의 외벽 콜드조인트 부분으로 누수



출처: PHIKO

- 불박이장이 있는 경우 내부의 옷이나 이불, 공기층이 단열재 역할을 하여 외벽의 표면온도를 저하시킴 : 결로 및 곰팡이 발생 확률 증가
- 내벽부에 배치하거나 불박이장의 짧은 면을 외기와 만나도록 계획

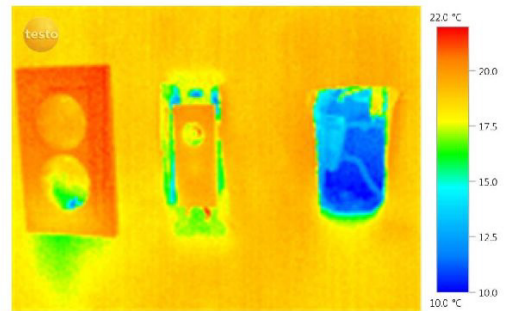
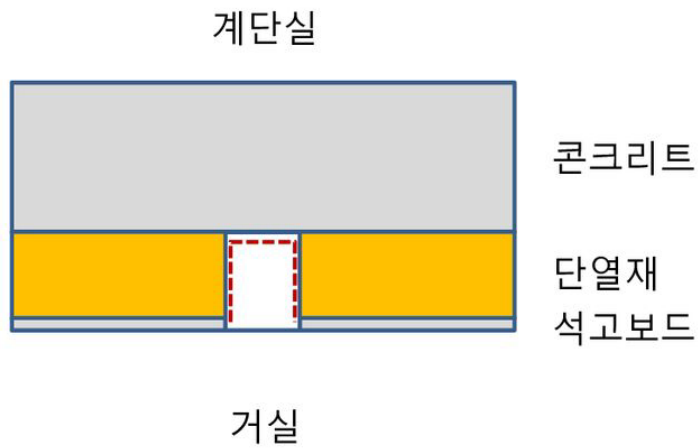


출처: PHIKO



45D1

- 콘센트 박스나 설비관련 요소 설치하기 위해 단열 결손이 발생한 부위는 온도가 낮아져 결로발생 확률 증가
  - 콘센트의 경우 누전 위험 증가
  - 유기질 단열재가 인접하여 화재 위험 증가



출처: PHIKO

## ◎ 단열재 특성으로 인한 하자 사례

- 목구조에서 OSB 외측에 열반사단열재 적용시 내부 습기가 정체되어 목재가 썩는 현상 발생
  - 내부의 방습층 없음
  - 외부에 배치되는 건축자재는 상대적으로 습기 투과성이 높은 자재를 배치하는 것이 바람직



출처: PHIKO

## ◎ 방습층 설치 의무

- 건축물의 에너지절약설계기준
- [시행 2025. 1. 1.] [국토교통부고시 제2024-1026호, 2024. 12. 31., 일부개정] 국토교통부(녹색건축과), 044-201-3771

제5조(용어의 정의) 이 기준에서 사용하는 용어의 뜻은 다음 각 호와 같다.

### 10. 건축부문

가. "방습층"이라 함은 습한 공기가 구조체에 침투하여 결로발생의 위험이 높아지는 것을 방지하기 위해 설치하는 투습도가 24시간당 30g/m<sup>2</sup> 이하 또는 투습계수 0.28g/m<sup>2</sup>·h·mmHg 이하의 투습저항을 가진 층을 말한다.(시험방법은 한국산업규격 KS T 1305 방습포장재료의 투습도 시험방법 또는 KS F 2607 건축 재료의 투습성 측정 방법에서 정하는 바에 따른다) 다만, 단열재 또는 단열재의 내측에 사용되는 마감재가 방습층으로서 요구되는 성능을 가지는 경우에는 그 재료를 방습층으로 볼 수 있다.

제6조(건축부문의 의무사항) 제2조에 따른 열손실방지 조치 대상 건축물의 건축주와 설계자 등은 다음 각 호에서 정하는 건축부문의 설계기준을 따라야 한다.

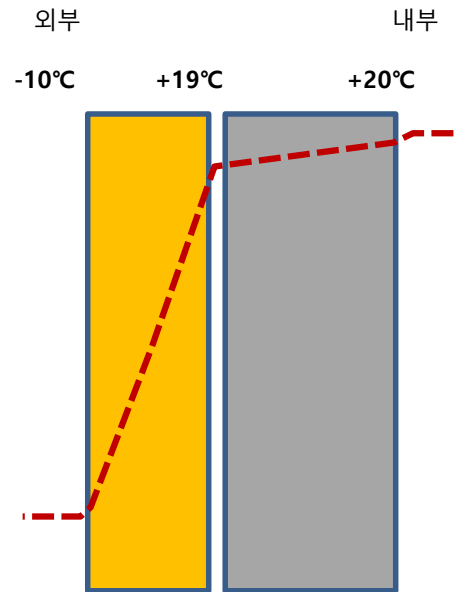
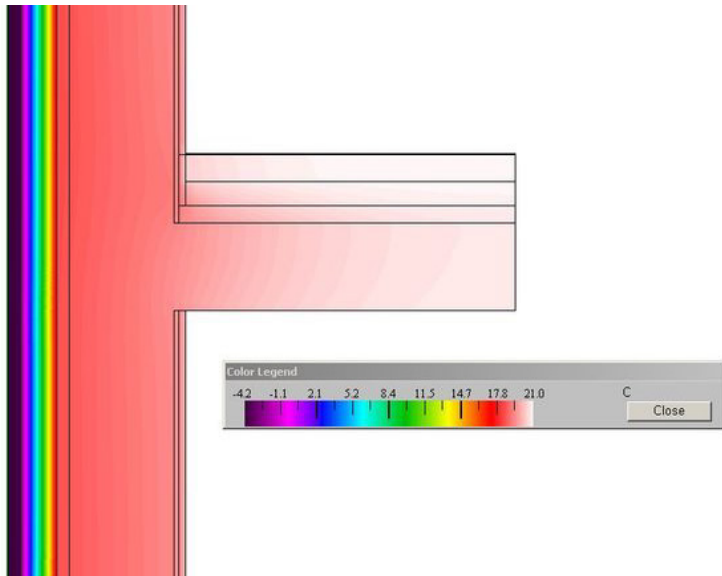
### 4. 기밀 및 결로방지 등을 위한 조치

나. 방습층 및 단열재가 이어지는 부위 및 단부는 이음 및 단부를 통한 투습을 방지할 수 있도록 다음과 같이 조치하여야 한다.

- 1) 단열재의 이음부는 최대한 밀착하여 시공하거나, 2장을 엇갈리게 시공하여 이음부를 통한 단열성능 저하가 최소화될 수 있도록 조치할 것
- 2) 방습층으로 알루미늄박 또는 플라스틱계 필름 등을 사용할 경우의 이음부는 100mm 이상 중첩하고 내습성 테이프, 접착제 등으로 기밀하게 마감할 것
- 3) 단열부위가 만나는 모서리 부위는 방습층 및 단열재가 이어짐이 없이 시공하거나 이어질 경우 이음부를 통한 단열성능 저하가 최소화되도록 하며, 알루미늄박 또는 플라스틱계 필름 등을 사용할 경우의 모서리 이음부는 150mm 이상 중첩되게 시공하고 내습성 테이프, 접착제 등으로 기밀하게 마감할 것
- 4) 방습층의 단부는 단부를 통한 투습이 발생하지 않도록 내습성 테이프, 접착제 등으로 기밀하게 마감할 것

## ◎ 외단열의 장점

- 구조체로 인한 단열재 단절 부위 없음
- 철근콘크리트 구조가 방습층 역할을 하므로 벽체 내부로 습기 침투 저감
- 온도구배 안정화로 내부 콘크리트 표면에 결로 및 곰팡이 발생 가능성 저감
- 구조체의 온도 변화가 적어 수축팽창 균열 저감
- 산성비의 영향을 막아 콘크리트 중성화 저감



출처: PHIKO

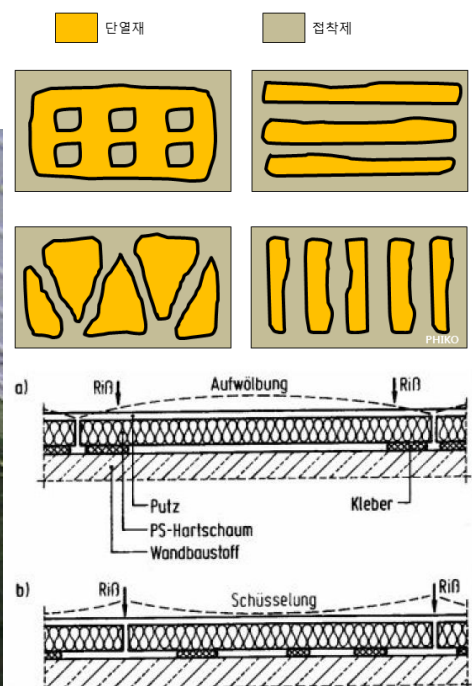
## ◎ 외단열 시공시 주의사항 | 단열재 부착

- 콘크리트에 단열재 부착시 공기 순환이 발생하지 않도록 접착



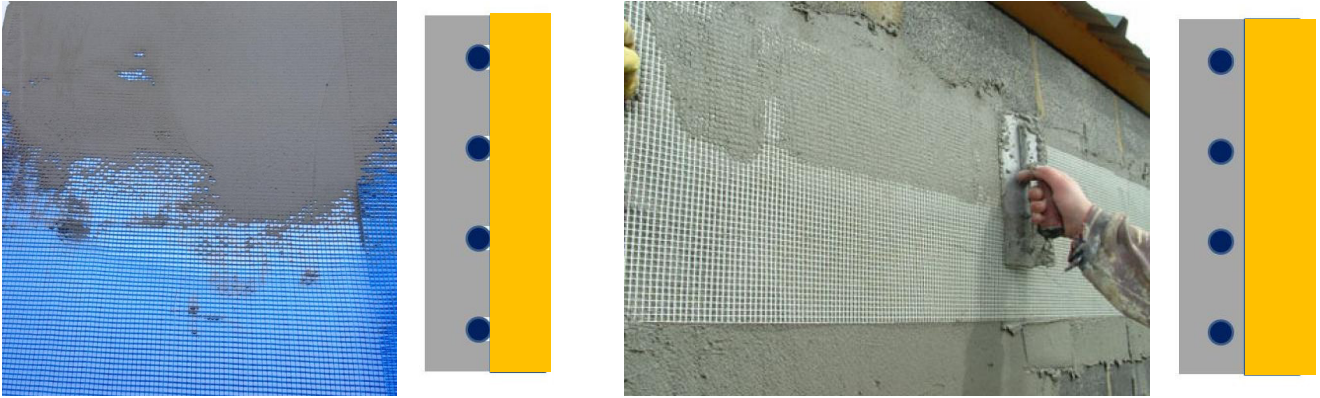
- 테두리에 접착 몰탈을 배치하여 공기가 순환되지 않도록 부착
- 단열재 면의 40% 이상 도포
- 단열재의 밴딩 및 크랙 저감

출처: PHIKO



## ◎ 외단열 시공시 주의사항 | 매쉬 미장 작업

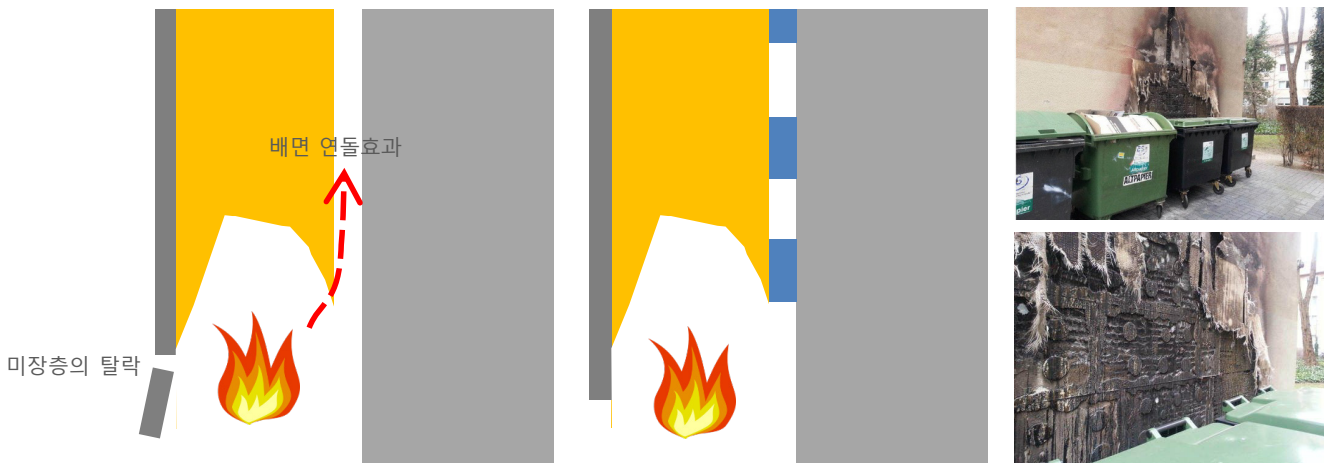
- 단열재 + 초벌미장 + 내알칼리성 매쉬 + 재벌미장 + 마감재
  - 초벌미장으로 시멘트 페이스트가 비드법단열재의 비드 틈으로 함침되어 접착력 증대
  - 매쉬가 미장면의 중앙에 위치하여 충분한 인장강도를 구현할 수 있도록 시공
  - 화재시 미장면이 탈락되지 않고 일정시간 유지되어 산소 공급을 막아 자연소화 될 수 있도록 유도



출처: PHIKO

## ◎ 외단열 시공시 주의사항 | 자기 소화성

- 단열재 + 초벌미장 + 내알칼리성 매쉬 + 재벌미장 + 마감재
  - 초벌미장으로 시멘트 페이스트가 비드법단열재의 비드 틈으로 함침되어 접착력 증대
  - 매쉬가 미장면의 중앙에 위치하여 충분한 인장강도를 구현할 수 있도록 시공
  - 화재시 미장면이 탈락되지 않고 일정시간 유지되어 산소 공급을 막아 자연소화 될 수 있도록 유도



출처: PHIKO

## ◎ 외단열 시공시 주의사항 | 외장재 고정 철물 열교

- 외단열 적용 + 중량 마감재 (벽돌 또는 석재 등) 구성의 경우 마감재를 고정하기 위한 철물로 열교 발생
  - 법적 단열재의 두께가 증가로 인한 하지 철물 두께 및 수량 증가
  - 단열작업자 외장재 작업자 협업이 어려움
  - 외단열 미장마감 또는 벽돌타일 마감이 경제적



출처: PHIKO

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. [https://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo\\_table=z3\\_01&wr\\_id=335](https://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo_table=z3_01&wr_id=335)
2. [https://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo\\_table=z3\\_01&wr\\_id=351](https://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo_table=z3_01&wr_id=351)
3. [https://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo\\_table=z3\\_01&wr\\_id=15](https://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo_table=z3_01&wr_id=15)

## A.2

## 열교방지 기술

## 교육 목표

## 열교방지 기술

- \* 건축물에서 열교의 정의와 발생 원인, 발생 부위를 이해한다
- \* 선형 열교와 점형 열교의 정의를 이해한다
- \* 열교 발생으로 인한 문제점과 열교 방지 설계의 필요성을 이해한다
- \* 열교의 평가 지표 및 산출 방법, 국내 제도상 열교 평가 방법을 이해한다
- \* 건물 에너지 평가 시 열교 부위 열손실의 반영 방법을 이해한다
- \* 열교 방지 설계의 기본 원칙을 이해한다
- \* 외단열 및 내단열 설계 시 열교 부위 및 열교 저감 방안에 대해 이해한다

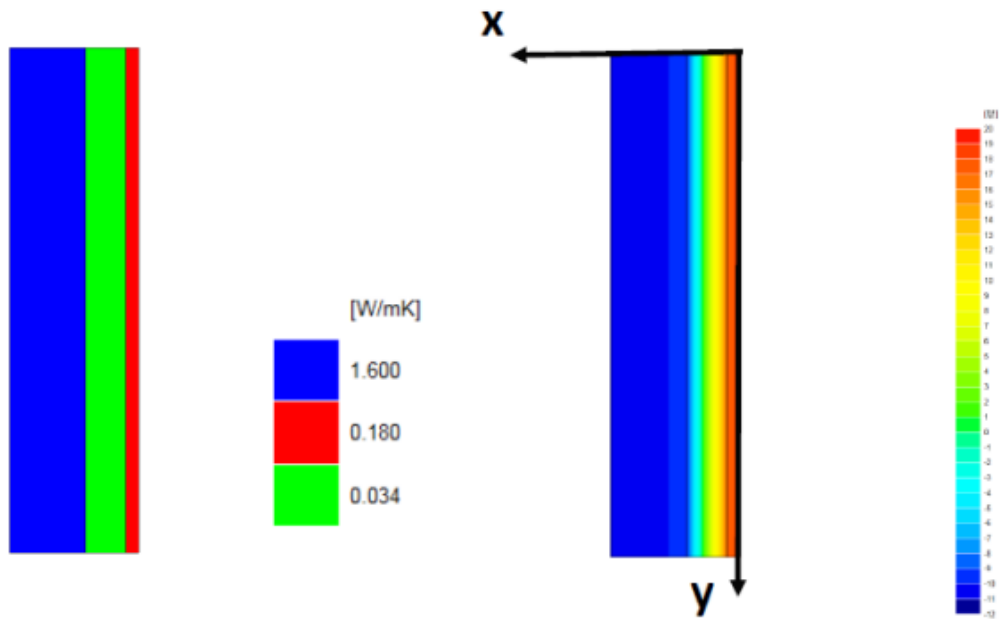
## 1 열교의 이해

## ◎ 열교의 정의 (ISO 10211)

- 건물 외피에서 국부적으로 열류(heat flow)가 변화되는 부위를 의미
- Thermal bridge, cold/warm bridge로도 지칭됨 → "열이 이동하는 다리"
- ISO 10211\*의 정의에 따르면 다음과 같음:

- "...part of the building envelope where the otherwise uniform thermal resistance is significantly changed by
  - ① full or partial penetration of the building envelope by materials with a different thermal conductivity and/or
  - ② a change in thickness of the fabric and/or ③ a difference between internal and external areas, such as occur at wall/floor/ceiling junctions. ..."
 "...열저항이 급격하게 변화하는 건물 외피의 일부... ① 다른 열전도율을 가진 재료가 외피 전체 혹은 부분을 관통하거나, ② 재료의 두께가 변화하거나, ③ 내부와 외부의 면적이 달라질 때 ..."

- 1차원 열류 (1-dimensional heat flow) : x축 방향으로만 열이 이동
- 설계 시 사용하는 열관류율(W/m<sup>2</sup>K, U-value)은 1차원 열류를 가정

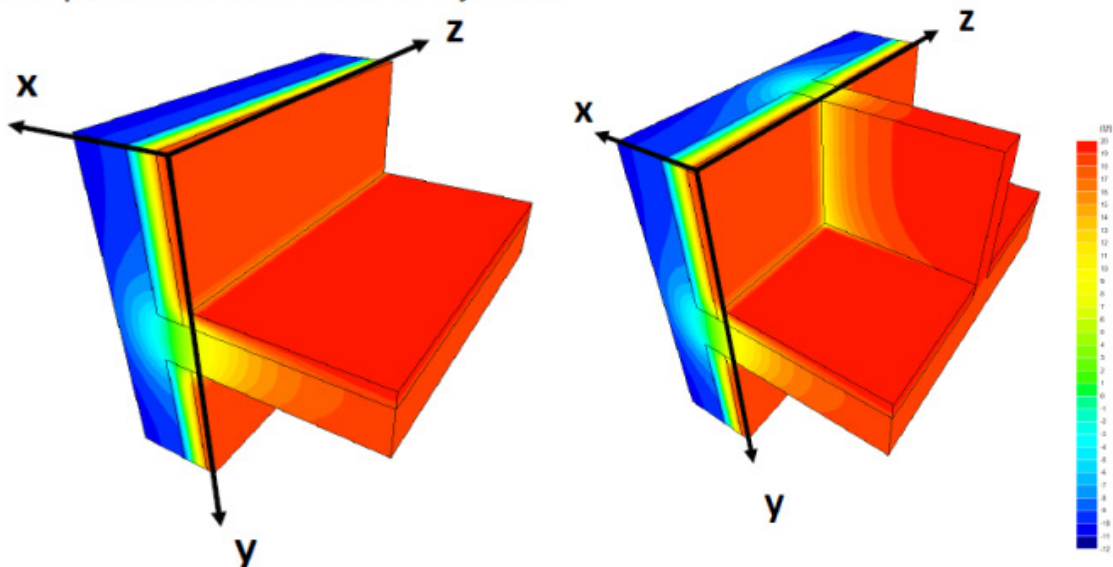


1차원 열전달 예시

\*출처: Jin-Hee Song, et al., Thermal Insulation Performance of Various Opaque Building Envelopes Considering Thermal Bridges, 2016 ASHRAE Winter Conperence Proceeding

- 2차원, 3차원 열류 (2-, 3-dimensional heat flow)
- 실제 건물에서는 건물의 형태와 다양한 열교로 인해 y축, z축으로의 열류도 동시에 발생

Example of wall-floor and wall-wall junction



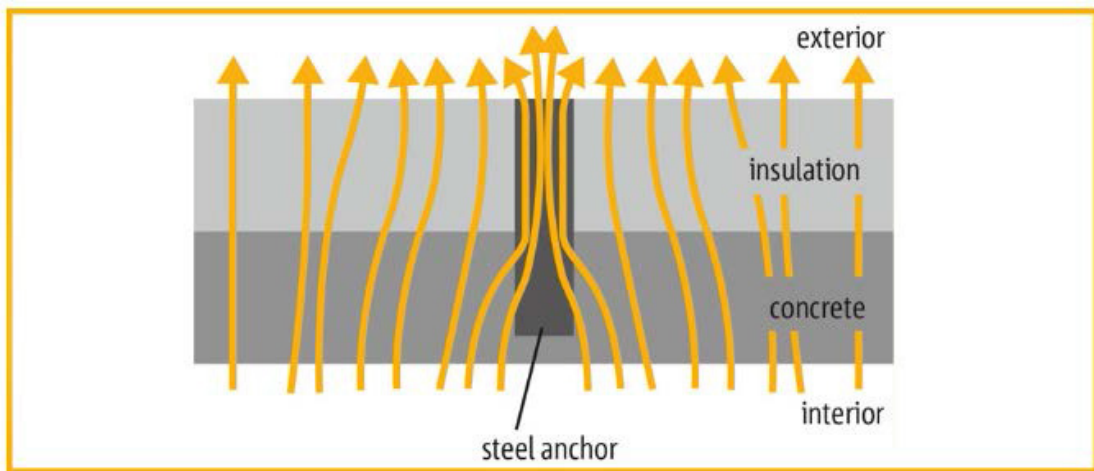
2차원 열전달 예시

3차원 열전달 예시

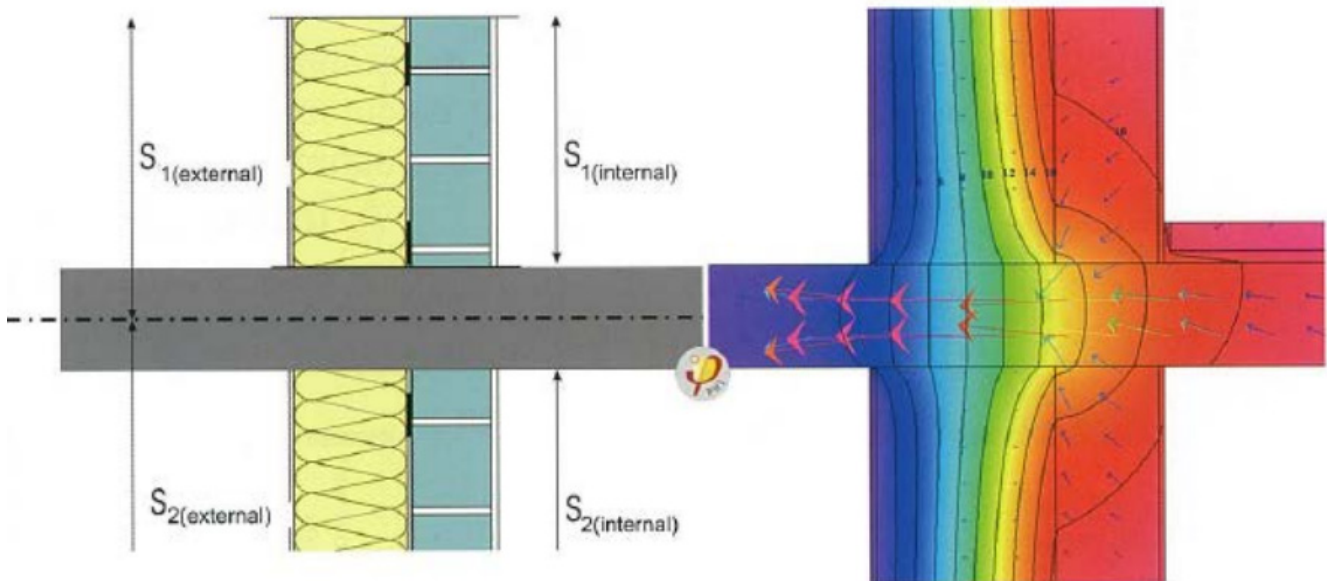
\*출처: Jin-Hee Song, et al., Thermal Insulation Performance of Various Opaque Building Envelopes Considering Thermal Bridges, 2016 ASHRAE Winter Conperence Proceeding

### ◎ Construction(material) thermal bridge (구조적/재료적 열교)

- 단열재 등 열전도율(W/mK)이 낮은 부위를 열전도율이 상대적으로 높은 금속, 콘크리트 등의 요소가 관통하는 경우, 열전도율이 높은 부위를 통한 열류가 인접한 부위에 비해 증가
- 건축물에서 일반적으로 단열재가 불연속되는 부위이며, 이러한 부위를 최소화하여 설계, 시공하는 것이 요구됨

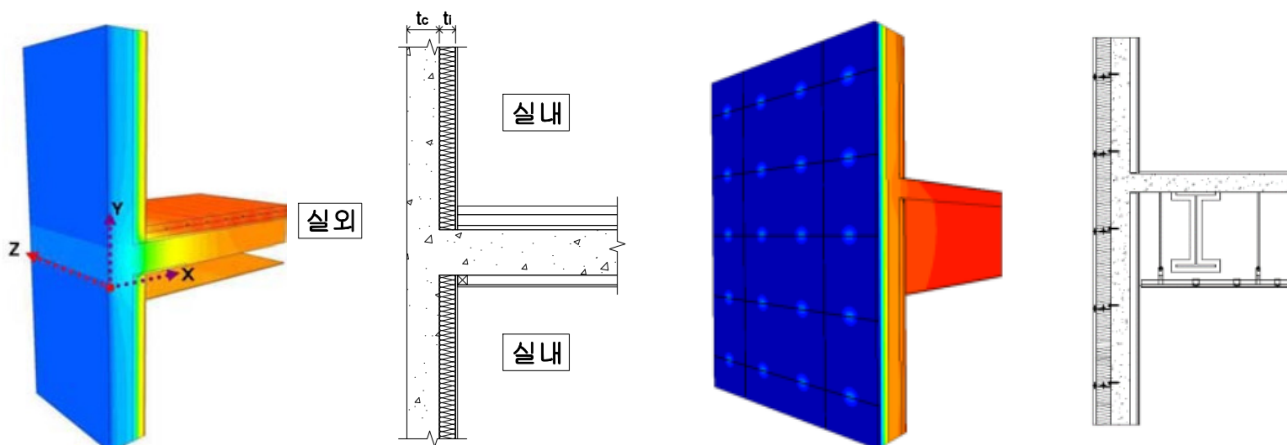


\*출처 : Schöck Ltd, Thermal Bridging Guide, 2018



\*출처 : Passive House Institute 교육 자료

● 사례1 : 내단열 공동주택의 벽-슬라브 접합부 열교 / 석재 마감 외단열 시스템의 앵커 고정 부위



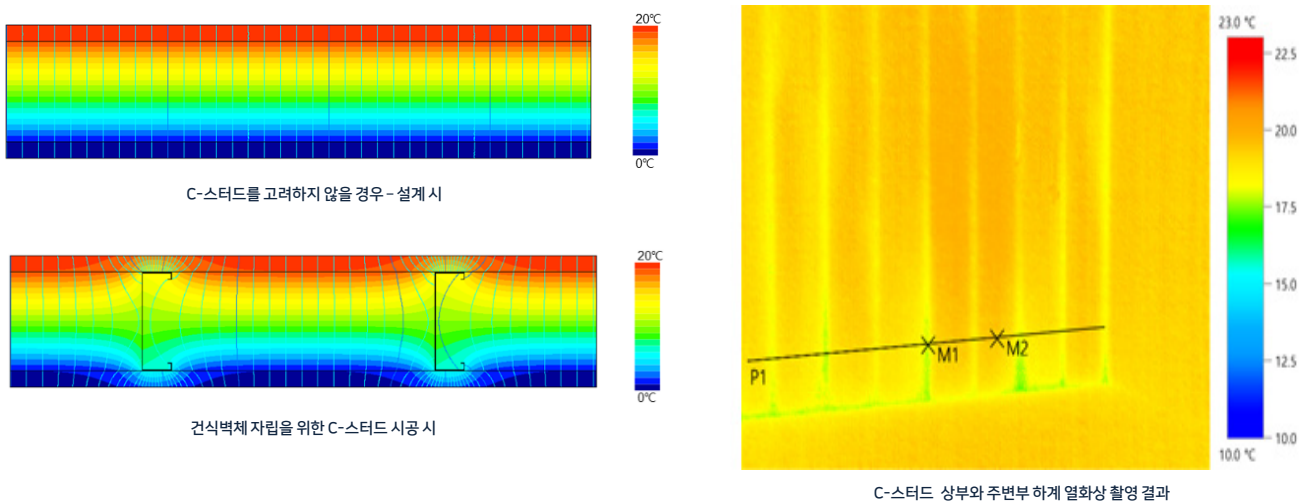
벽-슬라브 접합부 선형 열교 사례

(출처: 송승영 외, 2009, 정적 열부하 계산법에 의한 열교제거형 외단열 공동주택의 동단위 연간 난방 부하 절감 효과 분석, 대한건축학회)

석재 마감 외단열 시스템의 앵커 고정 부위 점형 열교 사례

(출처: Jin-Hee Song, et al., Thermal Insulation Performance of Various Opaque Building Envelopes Considering Thermal Bridges, 2016 ASHRAE Winter Conference Proceeding)

● 사례2 : 건식벽체 금속 스테드로 인한 열교 - 선형+점형 열교  
- 스테드 부위를 통한 열교 발생되어, 스테드 부위 표면 온도 낮아짐



C-스테드를 고려하지 않을 경우 - 설계 시

건식벽체 자립을 위한 C-스테드 시공 시

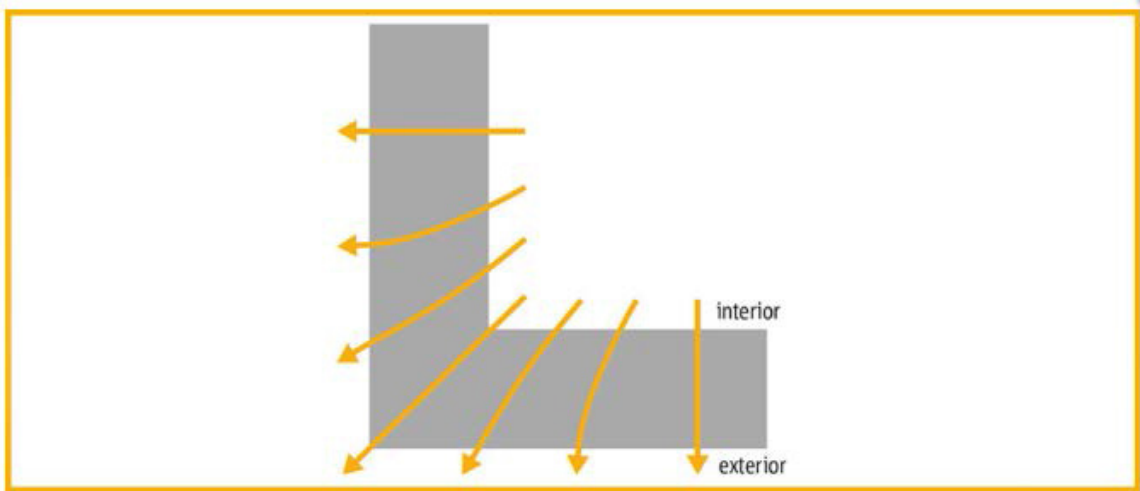
C-스테드 상부와 주변부 하계 열화상 촬영 결과

\*출처: 송진희 외, C-스테드 이격용 클립을 적용한 석고보드 건식벽체 시스템의 단열 및 구조성능 평가, KIEAE Journal, 2022

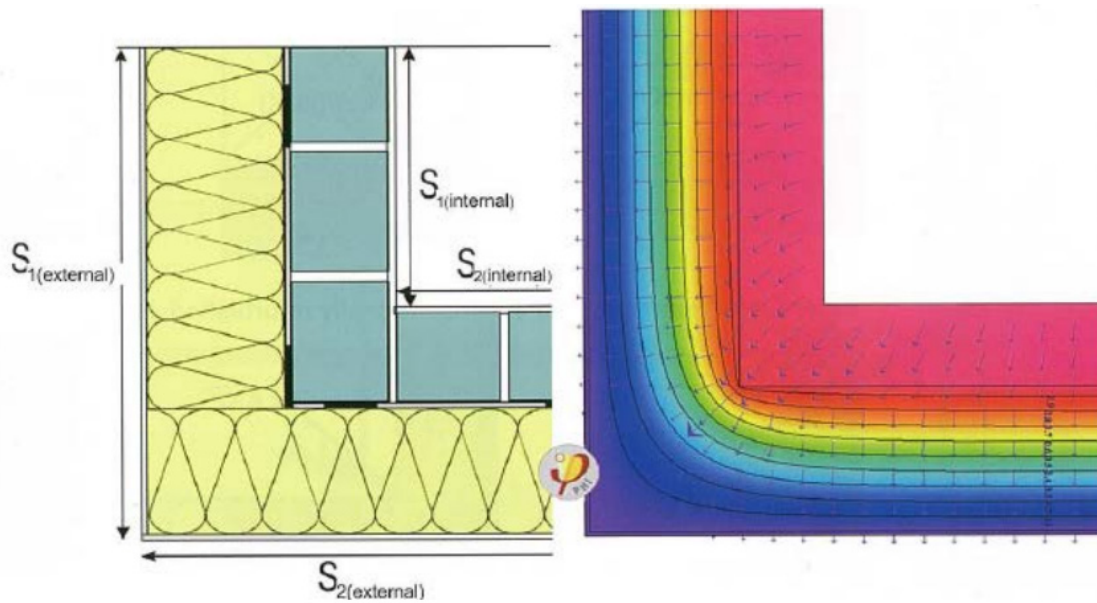
- C-스테드를 사용하는 석고보드 건식벽체에서, C-스테드를 고려하지 않았을 때와 고려하였을 때의 열이동(좌)
- 지중벽에 시공된 마감벽을 열화상 촬영한 것으로, C-스테드로 인해 선형으로 온도가 낮아지는 것 확인 가능(우)

## ⊙ Geometric thermal bridge (기하학적 열교)

- 구조체 형태에 따른 구조체 형태에 따른 열교로 열이 흡수되는 면적과 방출되는 면적의 차이로 인함
- 내,외단열에 상관없이 단열재가 불연속되지는 않으나 건물의 특성 상 반드시 발생하는 열교 형태



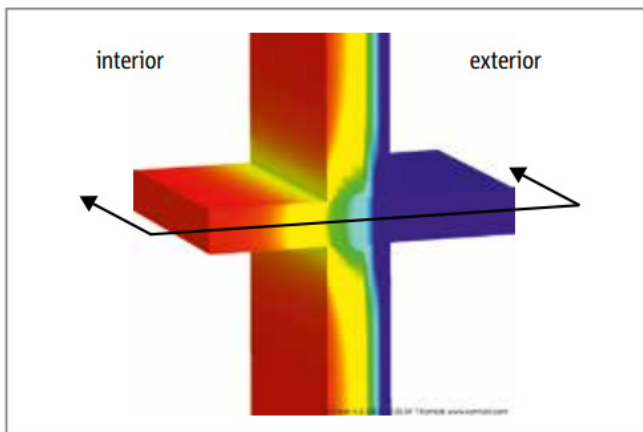
\*출처 : Schöck Ltd, Thermal Bridging Guide, 2018



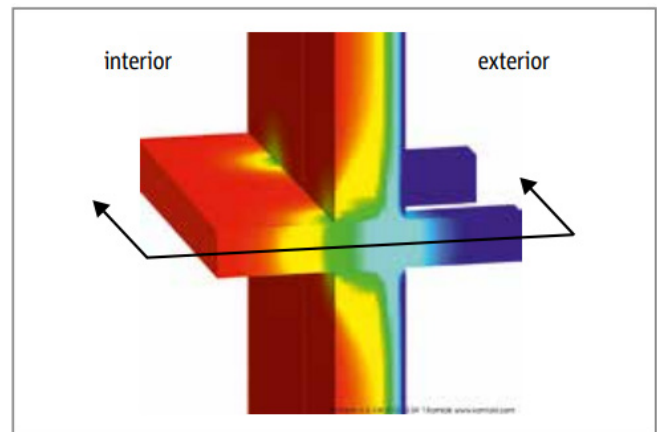
\*출처 : Passive House Institute 교육 자료

## ◎ 선형 열교와 점형 열교

- 선형 열교 (Linear thermal bridge) : 공간상의 3개 축 중 하나의 축을 따라 동일한 단면이 연속되는 열교
  - linear thermal transmittance로 나타냄 (W/mK)
- 점형 열교 (Point thermal bridge) : 단일 부재 또는 개별 포인트로 인해 열적인 흐름이 달라지는 부위
  - point thermal transmittance로 나타냄 (W/K)



선형열교

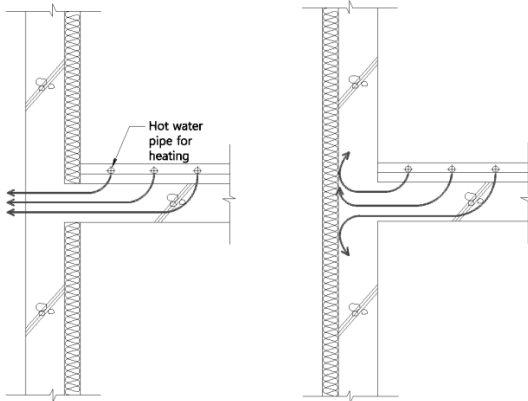


점형열교

\*출처 : Schöck Ltd, Thermal Bridging Guide, 2018

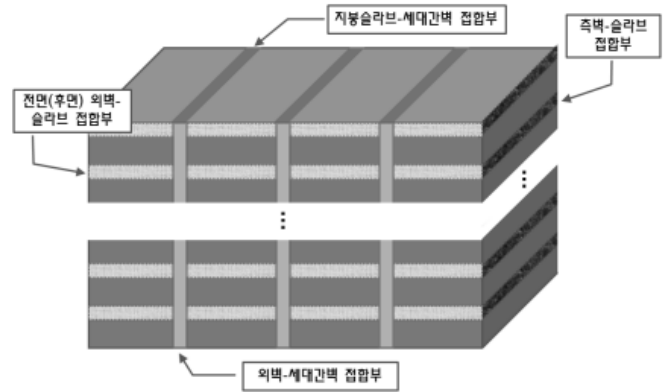
### ◎ 열교로 인해 발생하는 문제점

- 1. 외피 열손실 증가로 인한 난방부하 증가 및 난방 효율 감소
  - 내,외단열 단면도 열 흐름 비교 : 열교 유무에 따라 상이함
  - 외단열 공동주택의 연간 난방 에너지요구량은 내단열 공동주택 대비 8.5% 작음



(a) 내단열 시스템 (b) 외단열 시스템

내단열 vs. 외단열 열손실 비교



공동주택 열교 발생 부위

\*출처: 송승영 외, 2009, 정적 열부하 계산법에 의한 열교제거형 외단열 공동주택의 동단위 연간 난방부하 절감 효과 분석, 대한건축학회

- 설계 시 의도하는 단열성능 대비 열교 부위로 인해 시공 후 실제 단열성능은 저하됨
- 동일한 설계 열관류율을 가지더라도, 건물 구조 형태 및 단열재의 시공 방식에 따라 유효 열관류율은 상이함

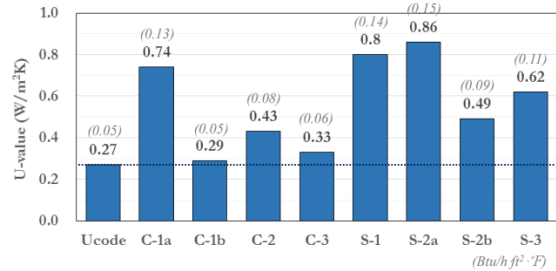
유형별 유효 열관류율 및 전열해석 결과

	Concrete wall			
	Paint-finished (C-1) Internal insulation system (C-1a)	External insulation system (C-1b)	Stone (C-2) (External insulation system)	Metal-sheet (C-3) (External insulation system)
Thermal Image				
$U_{code}$	0.27 W/m <sup>2</sup> ·K (0.05) <sup>(1)</sup>	0.27 W/m <sup>2</sup> ·K (0.05)	0.27 W/m <sup>2</sup> ·K (0.05)	0.27 W/m <sup>2</sup> ·K (0.05)
$Q_{air}$	141.54 W (482.93) <sup>(2)</sup>	54.88 W (187.25)	82.53 W (281.59)	63.93 W (218.13)
$U_{air}$	0.74 W/m <sup>2</sup> ·K (0.13)	0.29 W/m <sup>2</sup> ·K (0.05)	0.43 W/m <sup>2</sup> ·K (0.08)	0.33 W/m <sup>2</sup> ·K (0.06)

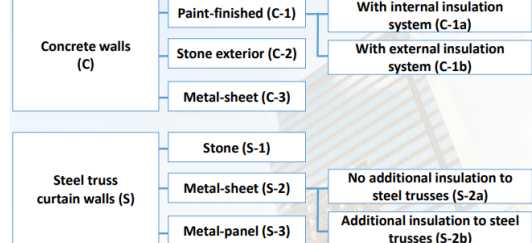
  

	Steel truss curtain wall			
	Stone (S-1)	Without additional insulation of steel trusses (S-2a)	With additional insulation of steel trusses (S-2b)	Metal-panel (S-3)
Thermal Image				
$U_{code}$	0.27 W/m <sup>2</sup> ·K (0.05)	0.27 W/m <sup>2</sup> ·K (0.05)	0.27 W/m <sup>2</sup> ·K (0.05)	0.27 W/m <sup>2</sup> ·K (0.05)
$Q_{air}$	154.34 W (526.61)	165.94 W (566.19)	94.88 W (323.73)	119.71 W (408.45)
$U_{air}$	0.80 W/m <sup>2</sup> ·K (0.14)	0.86 W/m <sup>2</sup> ·K (0.15)	0.49 W/m <sup>2</sup> ·K (0.09)	0.62 W/m <sup>2</sup> ·K (0.11)

유형별 유효 열관류율 비교



분석 시스템 유형



\*출처: Jin-Hee Song, et al., Thermal Insulation Performance of Various Opaque Building Envelopes Considering Thermal Bridges, 2016 ASHRAE Winter Conference Proceeding

- 2. 열교부위 실내측 표면온도 저하로 인한 결로 및 곰팡이 발생
  - 표면 결로로 인한 마감재 훼손과 해당 부위 곰팡이 발생은 직접적으로 거주자에게 심리적, 육체적 악영향을 주게 됨
  - \* 결로란, 건물 구조체 온도가 이에 면하는 습공기의 노점온도보다 낮을 때 구조체 내부 혹은 표면에 수증기가 응축되어 발생하는 현상
  - 열교 부위 표면온도 및 주위의 공기온도가 낮아져 상대습도가 높아지고 곰팡이는 상대습도 70-80% 이상인 환경에서 증식



벽체 우각부 및 모서리 곰팡이 발생 사례



석고보드 표면 C-스터드 부위 마감 이색 사례

\*출처: 송진희

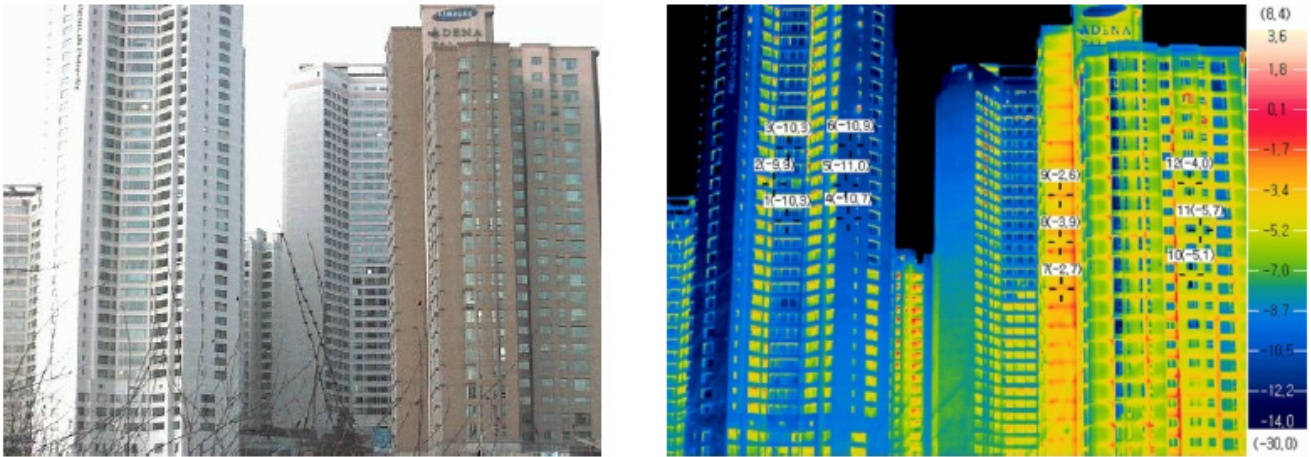
## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. Schöck Ltd, Thermal Bridging Guide, 2018 (www.schoeck.com)
2. Passive House Institute 교육 자료 (Passivhaus Institut (passivehouse.com))
3. Jin-Hee Song, et al., Thermal Insulation Performance of Various Opaque Building Envelopes Considering Thermal Bridges, 2016 ASHRAE Winter Conperence Proceeding
4. 송승영 외, 2009, 정적 열부하 계산법에 의한 열교제거형 외단열 공동주택의 동단위 연간 난방부하 절감 효과 분석, 대한건축학회

## 2 열교 평가 방법

### ◎ 열화상 촬영을 통한 시각적 진단

- 건물 외피 열교에 대해 직관적이고 시각적인 진단이 가능한 방법으로 실무에서 활용도가 높음
- KS F 2829 적외선 촬영법에 의한 건축물 단열성능 평가 방법
- 촬영 조건 : 일몰 후 최소 8시간 이후, 외기 풍속 3m/s 이하, 실내외 온도차 과거 3일간 평균 10K 이상  
(정량적 활용은 표면 온도의 정밀도가 실제 표면 온도와 0.3℃ 이내일 경우만 가능)

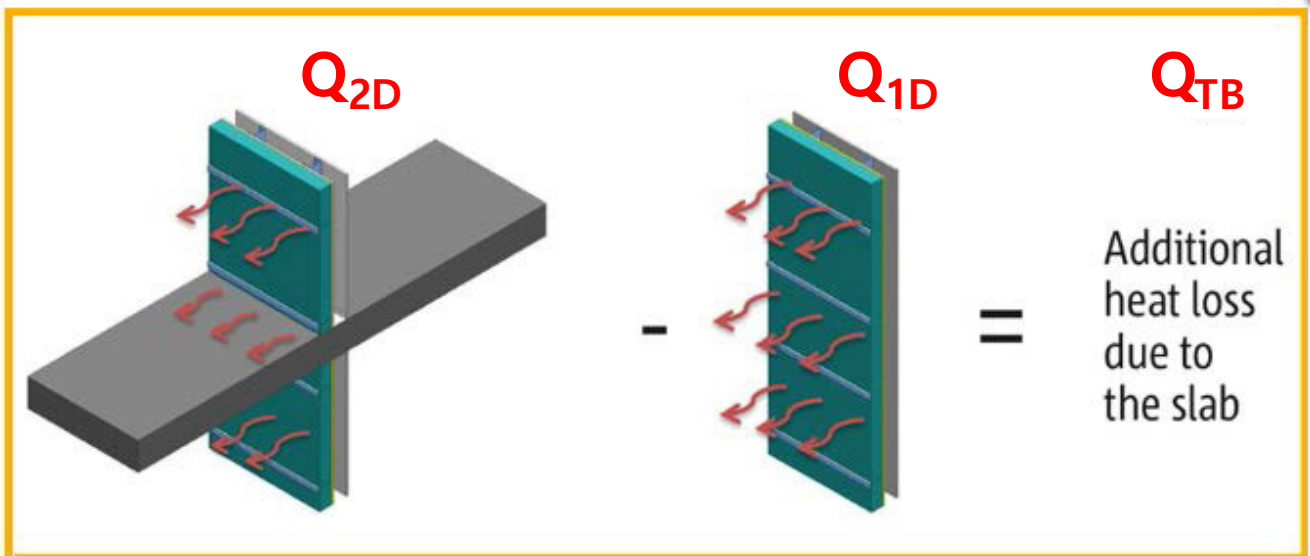


외단열 vs. 내단열 건물 열화상 촬영 사진

(출처: KPHI 기술강연회 발표 자료, 패시브형 공동주택의 단열과 열교방지, 이화여대건축공학과 교수 송승영)

## ◎ 선형 열교 평가 지표

- 선형 열관류율 ( $\psi$ , Linear thermal transmittance) : 열교에 대한 대표적인 정량적 평가 지표, W/mK
  - 열교 발생 부위를 포함한 외피의 총 전열량( $Q_{2D}$ )과 열교가 없을 경우의 외피의 총 전열량( $Q_{1D}$ )의 차이( $Q_{TB}$ )를 선형 열교의 길이로 나눈 단위 길이당 전열량, 클수록 열교로 인한 열손실이 크다는 의미



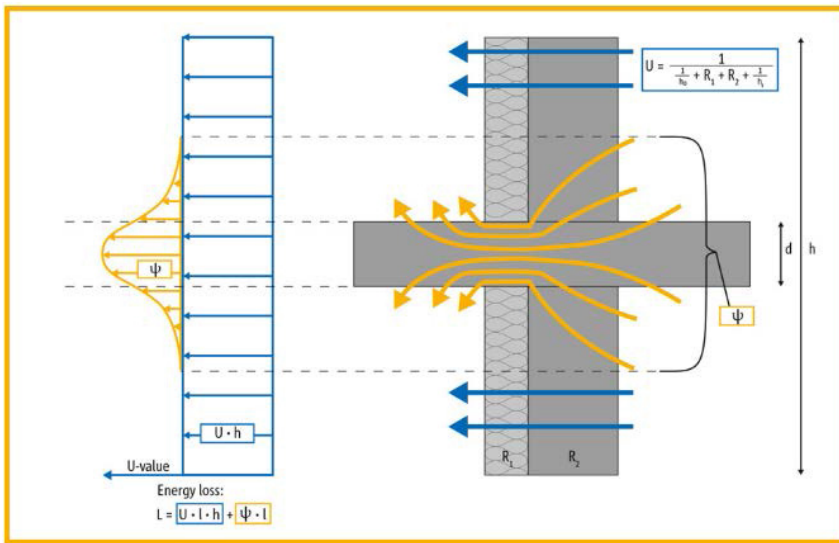
\*출처 : Schöck Ltd, Thermal Bridging Guide, 2018

### ◎ 선형 열교 산출

- 선형 열관류율 산출 수식

$$\psi = (Q_{2D} - Q_{1D}) / (\text{length} \times \Delta T)$$

- 치수체계 (external dimension or internal dimension) 선택
- 2차원 열류량 산출을 위한 전열해석 프로그램의 활용 (LBNL THERM, Physibel BISCO 등)



Energy loss:  
 $L = U \cdot l \cdot h + \psi \cdot l$

$Q_{2D}$     $Q_{1D}$

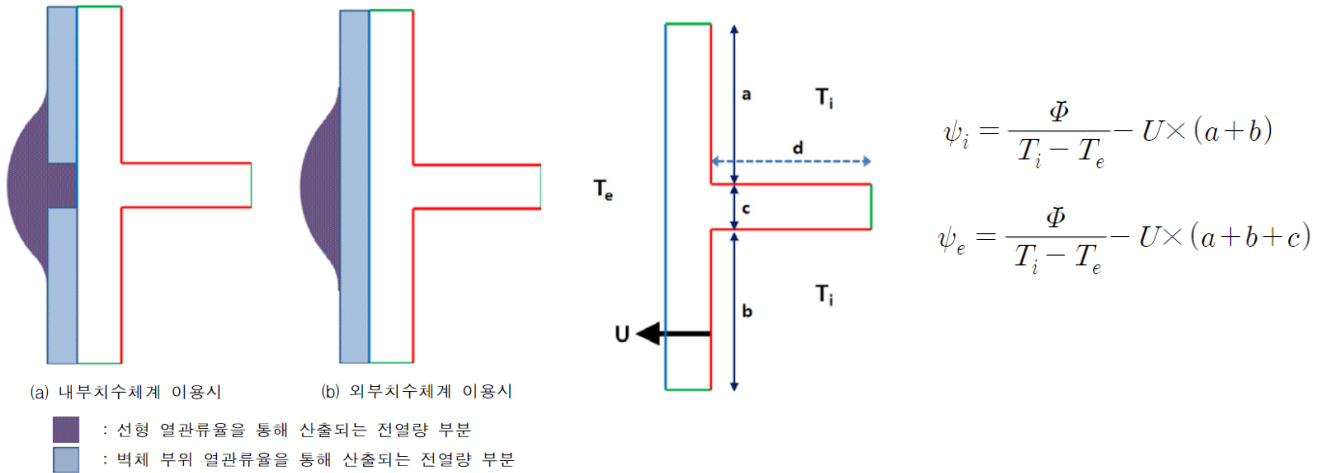
$Q_{1D} = U \cdot >$

$Q_{TB} = \psi \cdot >$

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + R_{se}}$$

\*출처 : Schöck Ltd, Thermal Bridging Guide, 2018

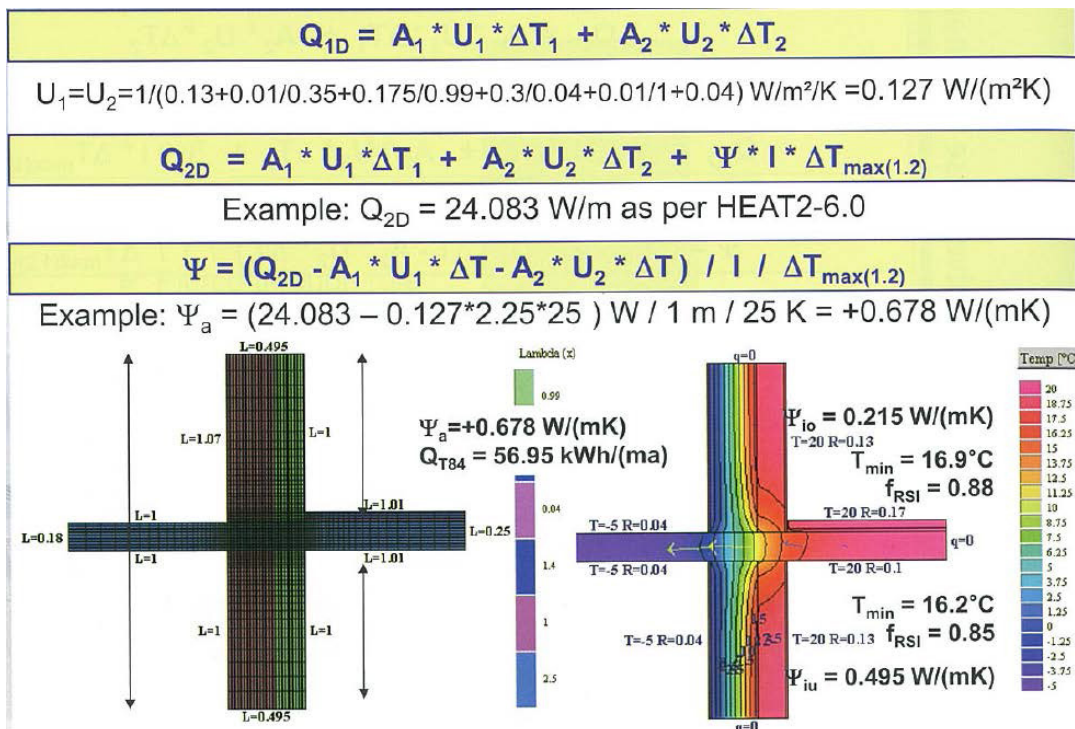
- 치수체계 (external dimension or internal dimension)
  - 외부 치수체계 혹은 내부 치수체계 중 어느 것을 선택해도 되나, 건물 전체적으로 하나의 치수체계를 사용
  - 치수체계에 따라 선형 열관류율 값은 다소 차이 있으나 건물 전체 외피 손실량은 동일하게 계산됨



\*출처: 구보경 외, 내, 외단열 구조체의 열관류율 수준별 열교에 의한 단열성능 저하 정도 분석, 한국건축친환경설비학회 학술발표대회 논문집, 2012.10, pp. 87-90

- 2차원 열류량 산출을 위한 전열해석 프로그램
  - 무료 프로그램 : LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory)의 THERM
  - 유료 프로그램 : Physibel BISCO, HEAT 등
- 선형 열교 산출 예시

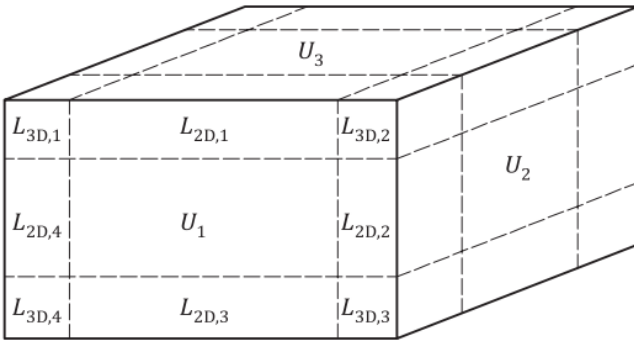
\*출처 : Passive House Institute 교육 자료



## ◎ 점형 열교 평가 지표 및 산출

- 점형 열관류율 (X, Point thermal transmittance) : 점형 열교에 대한 대표적인 정량적 평가 지표, W/K
  - 열교 발생 부위를 포함한 외피의 총 전열량(Q3D)과 열교가 없을 경우의 외피의 총 전열량(Q1D)의 차이(QTB)를 점형 열교 발생 개수로 나눈 전열량, 클수록 열교로 인한 열손실이 크다는 의미
- 점형 열관류율 산출 수식

$$X = (Q_{3D} - Q_{1D}) / (n \times \Delta T)$$



$$\chi = L_{3D} - \sum_{i=1}^{N_i} U_i \cdot A_i - \sum_{j=1}^{N_j} \Psi_j \cdot l_j$$

\*출처 : ISO 10211 Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Detailed calculation

## ◎ 국내 제도 - 건축물의 에너지 절약 설계 기준

● 국토교통부고시 제2024-1026호, 「건축물의 에너지절약 설계기준」, 2025.1.1 시행

□ 제7조(건축부문의 권장사항) 에너지절약계획서 제출대상 건축물의 건축주와 설계자 등은 다음 각 호에서 정하는 사항을 제15조의 규정에 적합하도록 선택적으로 채택할 수 있다.

3. 단열계획

가. 건축물 용도 및 규모를 고려하여 건축물 외벽, 천장 및 바닥으로의 열손실이 최소화되도록 설계한다.

나. 외벽 부위는 외단열로 시공한다.

다. 외피의 모서리 부분은 열교가 발생하지 않도록 단열재를 연속적으로 설치하고, 기타 열교부위는 별표11의 외피 열교부위별 선형 열관류율 기준에 따라 충분히 단열되도록 한다.

라. 건물의 창 및 문은 가능한 작게 설계하고, 특히 열손실이 많은 복층 거실의 창 및 문의 면적은 최소화한다.

마. 발코니 확장을 하는 공동주택이나 창 및 문의 면적이 큰 건물에는 단열성이 우수한 로이(Low-E) 복층창이나 삼중창 이상의 단열성능을 갖는 창을 설치한다.

바. 태양열 유입에 의한 냉·난방부하를 저감 할 수 있도록 일사조절장치, 태양열취득률(SHGC), 창 및 문의 면적비 등을 고려한 설계를 한다. 건축물 외부에 일사조절장치를 설치하는 경우에는 비,

바람, 눈, 고드름 등의 낙하 및 화재 등의 사고에 대비하여 안전성을 검토하고 주변 건축물에 빛반사에 의한 피해 영향을 고려하여야 한다.

사. 건물 옥상에는 조경을 하여 최상층 지붕의 열저항을 높이고, 옥상면에 직접 도달하는 일사를 차단하여 냉방부하를 감소시킨다.

(12쪽 중 제1쪽)

에너지절약계획 설계 검토서												
2. 에너지성능지표 <sup>주1)</sup>												
항 목	기본배점 (a)				배점 (b)					평균 (a+b)	등급	
	비주거 (3,000㎡ 이상)	소형 (500- 3,000㎡ 미만)	주거		1점	0.9점	0.8점	0.7점	0.6점			
			주택 1	주택 2								
건 축 부 문					적부 0.200미만	0.200~0.225미만	0.225~0.250미만	0.250~0.280미만	0.280~0.340미만			
4.외피 열교부위의 단열 성능 (U/WK) (단, 창 및 문 면적비가 50%미만일 경우에 한함)	4	6	6	6	0.400미만	0.400- 0.440미만	0.440- 0.475미만	0.475- 0.515미만	0.515- 0.550미만			
5.기밀성 창 및 문의 설치(KS)					1등급	2등급	3등급	4등급	5등급			

- 외피 열교부위 단열성능을 산출하기 위해, 에너지절약설계기준 [별표11]에서 형상에 따른 선형 열관류율을 제시함
- 파란색은 단열보강을 의미하며, 보강 유무에 따라 선형 열관류율이 달라짐을 알 수 있음

[별표 11] 외피 열교부위별 선형 열관류율 기준 (※ 구성 재료 : □ 콘크리트 ▨ 단열재 ■ 단열보강)

구분	구조체 열교부위 형상	단열 보강 유무	선형 열관류율 (W/mK)	구분	구조체 열교부위 형상	단열 보강 유무	선형 열관류율 (W/mK)
T-1		없음	0.520(0.800)	L-1		없음	0.530(0.820)
		①	0.485(0.760)			①	0.485(0.765)
		①+②	0.430(0.695)			①+②	0.435(0.710)
		③	0.440(0.730)			③	0.375(0.675)
		①+③	0.415(0.695)			①+③	0.345(0.640)
		①+②+③	0.370(0.640)			①+②+③	0.315(0.600)
T-2		없음	0.465(0.600)	L-2		없음	0.545(0.665)
		①	0.390(0.520)			①	0.450(0.565)
		②	0.445(0.585)				
		①+②	0.375(0.510)				
T-3		없음	0.545(0.705)	L-3		없음	0.520(0.605)
		①	0.450(0.605)			①	0.410(0.520)
		②	0.540(0.700)				
		①+②	0.450(0.605)				

- 열교 형상을 4가지 타입, 26가지 조건으로 구분하고 일반적인 조건에서 가능한 보강 부위에 따른 선형열관류율을 미리 계산함

T-7		없음	0.700	X-3		없음	0.730(1.000)
		① 또는 ②	0.650			① 또는 ②	0.720(1.000)
		①+②	0.600			①+②	0.710(0.975)
						①+②+③+④	0.645(0.895)
T-8		없음	0.605(0.740)	X-4		없음	0.700
		①	0.605(0.740)			① 또는 ②	0.650
		②	0.570(0.705)			①+②	0.600
		①+②	0.565(0.700)				
T-9		없음	0.580	X-5		없음	0.465(0.885)
		①	0.555			①	0.455(0.870)
		②	0.550			②	0.435(0.850)
		①+②	0.515			①+②	0.425(0.835)
		①+②+③	0.395(0.800)				

● 단열보강의 일정한 열저항을 가지는 자재로 300mm 이상 적용하여야 인정함

※ 외측은 단열시공이 되는 부위의 구조체를 기준으로 건축물의 바깥쪽을 말하며, 내측은 단열시공이 되는 부위의 구조체를 기준으로 건축물의 안쪽을 말한다.

※ 외피 열교부위란 외기에 직접 면하는 부위로서 단열시공이 되는 외피의 열교발생 가능부위(외기에 직접 면하는 부위로서 단열시공이 되는 부위와 외기에 간접 면하는 부위로서 단열시공이 되는 부위가 접하는 부위는 평가대상에 포함)를 말한다.

주1) 'I'형 및 'L'형에서 단열시공이 연속적으로 된 부위, 커튼월 부위, 샌드위치 패널 부위는 평가대상에서 예외(커튼월 부위 또는 샌드위치 패널 부위가 벽식 구조체 부위와 복합적으로 적용된 건축물의 경우는 벽식 구조체 부위만 평가)

※ 외피 열교부위의 단열 성능은 외피의 열교발생 가능부위들의 선형 열관류율을 길이가중 평균하여 산출한 값을 말한다. (단, 외기에 직접 면하는 부위로서 단열시공이 되는 외벽면적(창 및 문 포함)에 대한 창 및 문의 면적비가 50% 미만일 경우에 한하여 외피 열교부위의 단열 성능점수 부여)

- 외피 열교부위의 단열 성능 계산식 = 
$$\frac{[\sum(\text{외피의 열교발생 가능부위별 선형 열관류율} \times \text{외피의 열교발생 가능부위별 길이})]}{(\sum \text{외피의 열교발생 가능부위별 길이})}$$

※ 외단열 적용 시 건식 마감재 부착을 위해 단열재를 관통하는 절단을 삽입하는 경우에는 발호안의 값을 적용한다.

※ 별표 11의 구조체 열교부위 형상 이외의 경우에는 제시된 형상의 회전 또는 변형('T'형 → 'Y'형, 'L'형 → 'I'형 등)을 통하여 가장 유사한 형상을 적용을 원칙으로 한다. (단, 별표 11의 구조체 열교부위 형상의 회전 또는 변형에도 불구하고 적용이 어려운 경우에는 ISO 10211에 따른 평가결과 인정 가능)

※ 외단열과 내단열이 복합적으로 적용된 건축물의 경우는 전체 단열두께의 50%를 초과한 부위의 선형열관류율을 적용하며, 외단열 두께와 내단열 두께가 동일한 경우에는 내단열 부위의 선형열관류율을 적용한다.

※ 단열보강은 열저항 0.27m<sup>2</sup>K/W, 길이 300mm 이상 적용

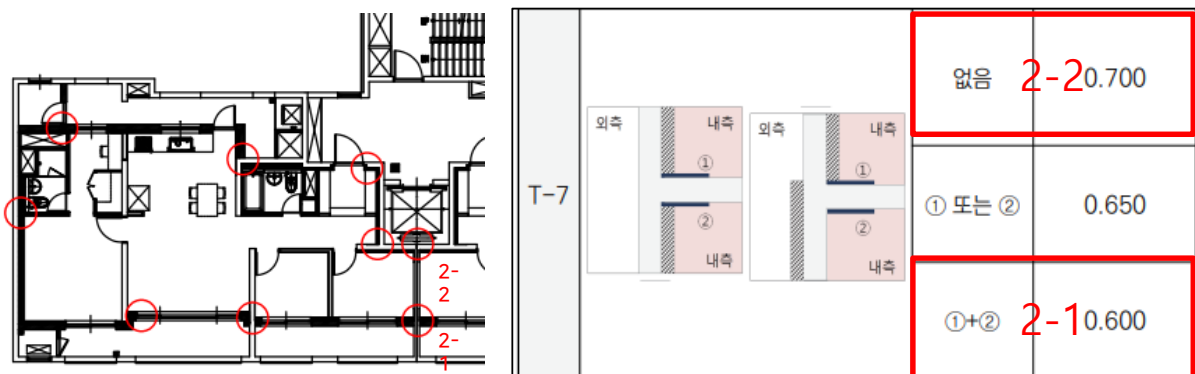
- 단열보강 부위가 2면 이상일 경우에는 각각의 면이 열저항 기준 및 길이 기준을 모두 충족하여야함.

- 단열보강을 하고자 하는 면의 단열보강 가능 길이가 300mm 미만일 경우는 해당 면 전체를 보강하는 경우에 한하여 인정

● 열교 부위 단열성능 산출 예시 : 공동주택 내단열 세대

(‘2-1’은 보강이 있고, ‘2-2’는 보강이 없다고 가정, 외기 직접 가정)

- ‘2-1’ 및 ‘2-2’는 [별표 11]의 T-7 타입을 좌측 혹은 우측으로 90도 회전한 경우
- ‘2-1’ 선형 열관류율은 1번, 2번 모두 보강을 하였으므로 0.600 W/mK
- ‘2-2’ 선형 열관류율은 보강이 없으므로, 0.700 W/mK
- 한 세대 기준으로 해당 열교가 지속되는 길이는 층고와 같음 (약 2.8m 가정)
- 열교 단열성능 =  $\{(0.600 \text{ W/mK} \times 2.8\text{m}) + (0.700\text{W/mK}) \times 2.8\text{m}\} / \{2.8\text{m} + 2.8\text{m}\} = 0.650 \text{ W/mK}$



## ◎ 국내 제도 - 공동주택의 결로 방지를 위한 설계 기준

- 목적: 공동주택의 결로 저감을 유도하고 쾌적한 주거환경을 확보하는데 기여하기 위함
- 대상: 500세대 이상의 공동주택 / 출입문, 외기에 직접 면한 창호, 벽체 접합부
- 평가 지표: 온도차이비율 (TDR: Temperature Difference Ratio)
  - 정의: 실내와 외기의 온도차이에 대한 실내와 적용 대상부위의 실내표면의 온도차이
  - 법규에서 정한 실내외 온습도 기준 하에서 평가 부위의 “결로 방지 성능”을 평가하기 위한 지표
  - 아래의 계산식에 따라 그 범위는 0에서 1사이의 값으로 단위가 없는 상대적인 비율

$$\text{온도차이비율(TDR)} = \frac{\text{실내온도} - \text{적용 대상부위의 실내표면온도}}{\text{실내온도} - \text{외기온도}}$$

- 표준적인 실내외 환경조건: 실내 온도 25℃, 상대습도 50%  
외기온도 (지역Ⅰ -20℃, 지역Ⅱ -15℃, 지역Ⅲ -10℃)
- 평가 방법: ① 물리적 시험 : KS F 2295 등의 시험방법으로 국가공인기관(KOLAS)에서 측정  
② ISO 15099에 적합한 컴퓨터 프로그램을 활용한 시뮬레이션을 통해 산정

● 국토교통부, 공동주택 결로 방지를 위한 상세도 가이드라인, 2014.

- 목적: 공동주택의 결로 발생 취약부위에 대한 결로 방지 상세도를 제시
- 주요 내용: 결로방지재 설계 지침, 주요 접합부 상세의 온도차이비율 제시
  - ① 단위세대에서 외기에 직/간접으로 면하는 모든 천장슬래브와 경계벽에 결로방지재(열전도율 0.036W/mK 이하)를 폭 300mm, 두께 10mm 이상으로 연속하여 시공 (지역 I, II 폭 450mm 이상 권장)
  - ② ①항을 만족하여도 만족여부 판단이 어려운 특이한 형상과 구조의 접합부는 전열해석 시뮬레이션을 수행하여 기준 만족여부를 평가
  - ③ ① 및 ②항의 경우, 거실의 외벽·최상층 반자 또는 지붕·최하층 바닥의 열관류율은 건축물의 에너지절약설계기준 [별표 1] 지역별 건축물 부위의 열관류율 기준 만족해야 함

결로 방지 성능을 확보하기 위한 TDR 기준

대상부위			TDR값 <sup>주1), 주2)</sup>			
			지역 I	지역 II	지역 III	
출입문	현관문	문짝	0.30	0.33	0.38	
	대피공간 방화문	문틀	0.22	0.24	0.27	
벽체접합부			0.25	0.26	0.28	
외기에 직접 접하는 창			유리 중앙부위	0.16 (0.16)	0.18 (0.18)	0.20 (0.24)
			유리 모서리부위	0.22 (0.26)	0.24 (0.29)	0.27 (0.32)
			창틀 및 창짝	0.25 (0.30)	0.28 (0.33)	0.32 (0.38)

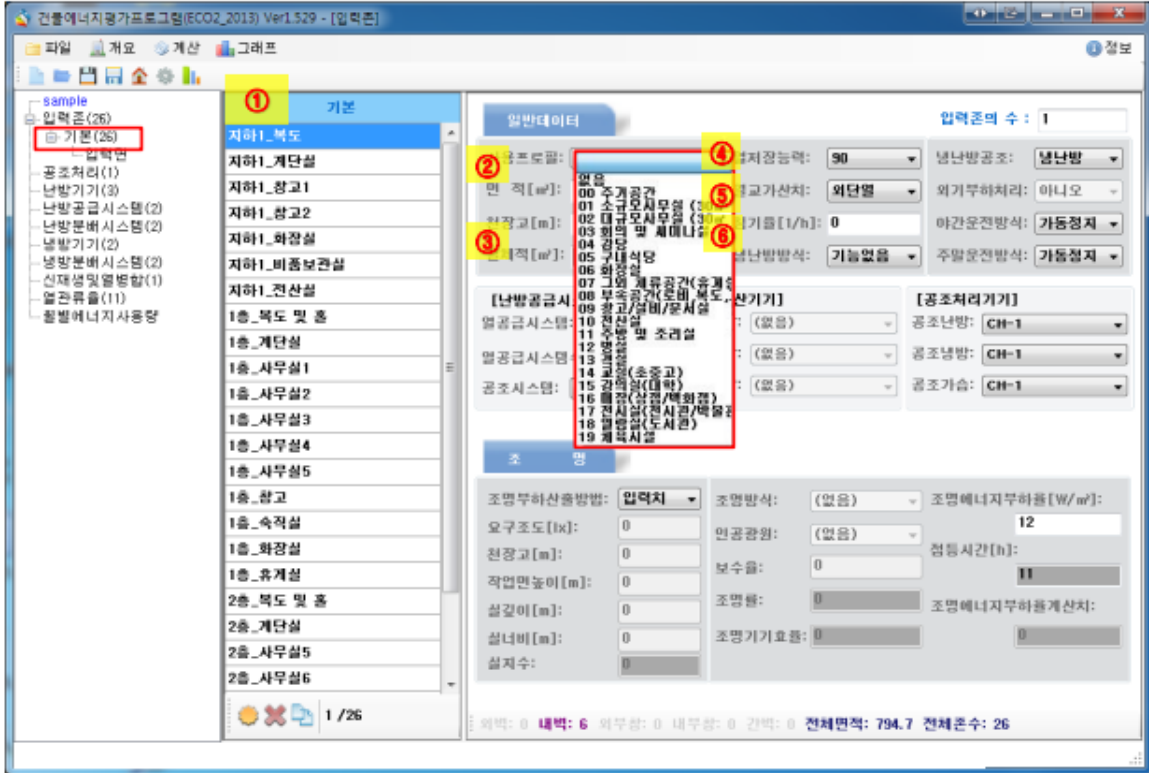
주1) 각 대상부위 모두 만족하여야 함

주2) 괄호안은 알루미늄(AL)창의 적용기준임

### ◎ ECO2 (건축물의 에너지 효율 등급) 상 열교 반영

- 열교가산치(W/m<sup>2</sup>K)로 반영 (내단열 혹은 외단열 中 선택):

골조에 대한 단열 부위에 따라 결정하며, 커튼월 구조의 경우 스펠드럴 등의 단열재 부착 위치가 골조의 외부인 경우 외단열로 설정



ECO2 화면

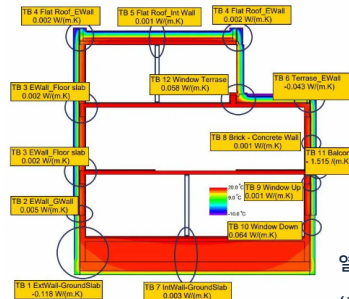
## ◎ PHPP(Passive house planning package) 상 열교 반영

- 패시브하우스는 연간 부하 산출 시, 주요 열교 부위별 선형 열관류율 및 해당 길이를 상세 입력하여 반영함

$$Q_T = U \times A \times G_t \times f_t + \psi \times l \times G_t \times f_t$$

Heat transfer through building envelopes; walls, roofs, floors, windows

Heat transfer through thermal bridges, as called linear thermal transmittance



열교 계산 예시

(출처: passivehouseschool.com)

Nr.	Thermal bridge description	Group Nr.	Assigned to group	Quantity	Length l [m]	Input of thermal bridge heat loss coefficient W/(mK)	Ψ W/(mK)
1	Ext. wall-basement	15	Thermal bridges Ambient	1	24.85	Ext. wall-basement	-0.039
2	Int. wall-basement	17	Thermal bridges FS/BC	1	11.35	Int. wall-basement	0.061
3	Partition walls	15	Thermal bridges Ambient	1	17.36	Partition walls	0.000
4	Interior ceilings	15	Thermal bridges Ambient	1	20.25	Interior ceilings	0.002
5	Partition wall-roof	15	Thermal bridges Ambient	1	11.77	Partition wall-roof	0.005
6	Ext. wall-roof	15	Thermal bridges Ambient	1	25.27	Ext. wall-roof	-0.061
7	Ext. wall edge	15	Thermal bridges Ambient	1	17.36	Ext. wall edge	-0.062

PHPP 엑셀 계산 시트 입력 화면

## ◎ 참고 서적 및 사이트

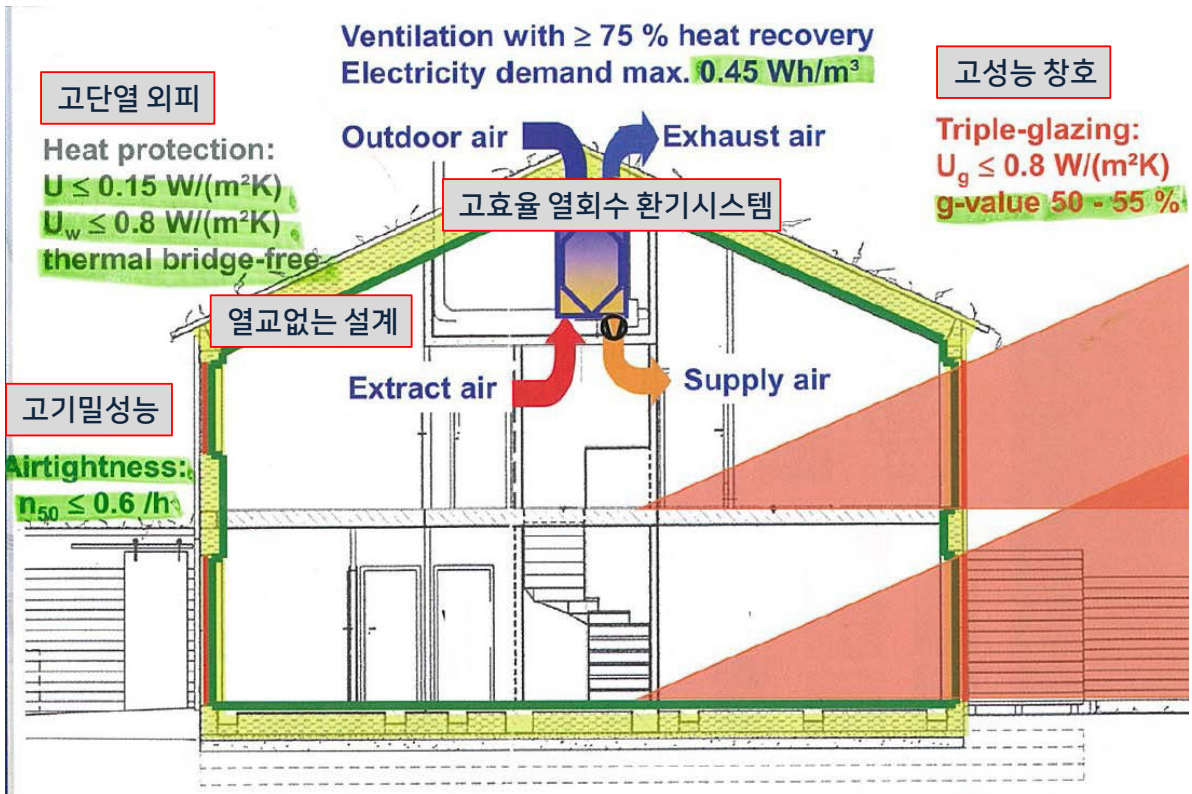
- 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준
- 국토교통부, 한국에너지공단, 건축물의 에너지절약 설계기준 해설서
- 국토교통부, 공동주택의 결로방지를 위한 설계기준
- 국토교통부, 공동주택 결로방지 설계 가이드라인
- 한국에너지공단, 건물에너지평가프로그램 (ECO2) + 평가자 매뉴얼
- 구보경 외, 내, 외단열 구조체의 열관류율 수준별 열교에 의한 단열성능 저하 정도 분석, 한국건축친환경설비학회 학술발표대회 논문집, 2012.10, pp. 87-90
- Schöck Ltd, Thermal Bridging Guide, 2018 (www.schoeck.com)
- Passive House Institute 교육 자료 (Passivhaus Institut (passivehouse.com))

### 3 열교 방지 설계

#### ◎ 패시브하우스 Thermal-bridge-free Design

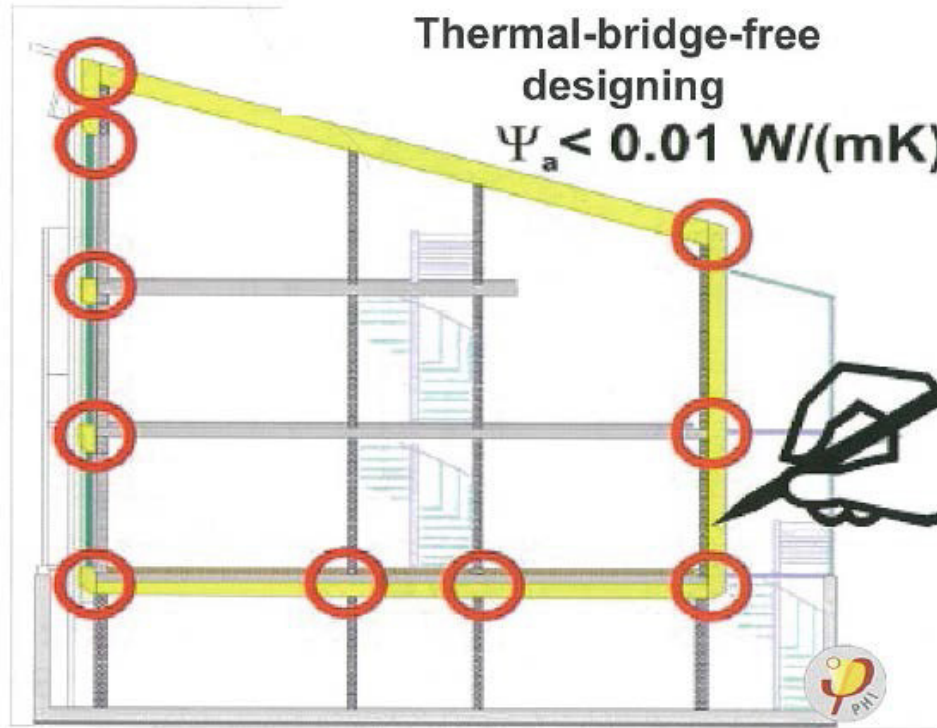
- 독일 패시브하우스 설계 기준:

고단열 외피, 고성능 창호, 고효율 열회수 환기시스템, 고기밀성능, "Thermal-bridge-free"



\*출처 : Passive House Institute 교육 자료

- 패시브하우스에서의 "열교없는 설계 (Thermal-bridge-free design)"
  - 열교 부위의 평균 선형 열관류율  $< 0.01 \text{ W/mK}$  로 설계, 시공할 것을 권장함
  - 건물의 단열 라인을 따라가며 주요 접합부 혹은 단열재가 불연속 되는 부위에 대해 열교 방지 설계 필요



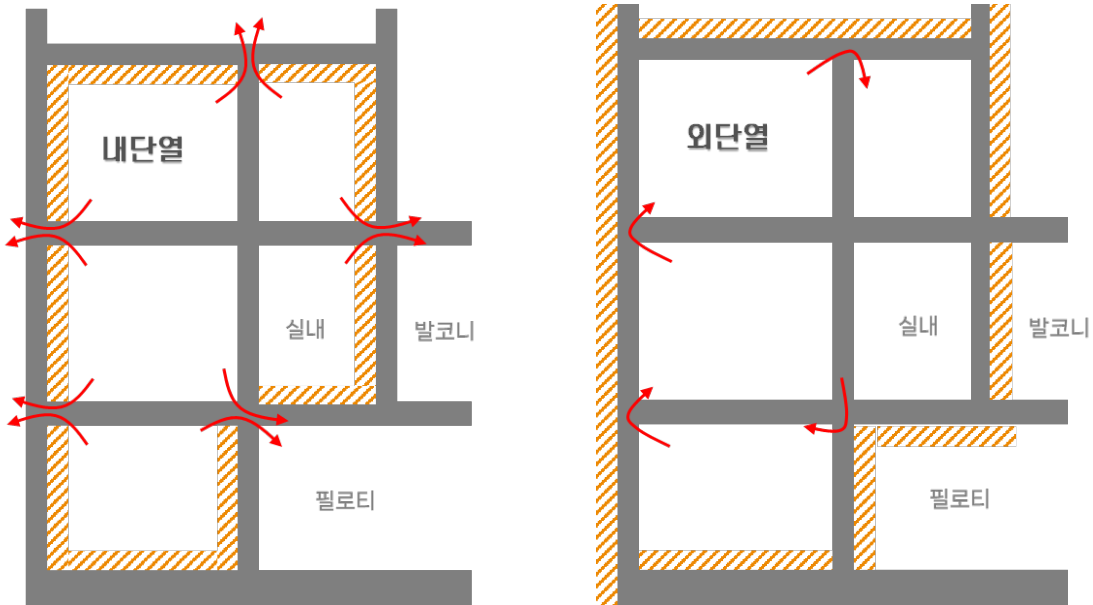
\*출처 : Passive House Institute 교육 자료

### ◎ 외단열 설계 - 열교 저감 방안

- 외단열 (『건축물의 에너지절약 설계기준』 상 정의):

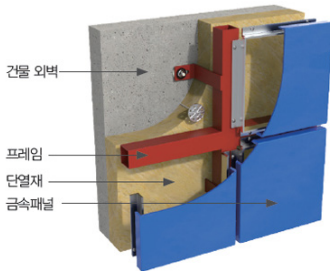
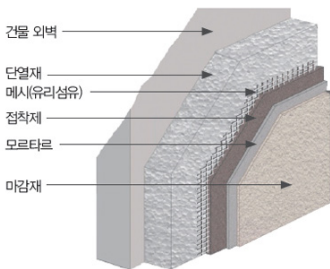
건축물 각 부위의 단열에서 단열재를 구조체의 외기층에 설치하는 단열방법으로서 모서리 부위를 포함하여 시공하는 등 열교를 차단한 경우

- 외단열 시공 시 건축물에서 발생하는 구조적 열교를 대부분 차단할 수 있음



- 습식 외단열의 경우, 탈락 하자 방지가 필요함
- 단열재 후면 접착제 도포 방식, 기계식 파스너 고정 개수 등 건물 높이, 지역에 따른 시방을 준수하여 시공 필요

#### 외단열 시스템 종류 (습식/건식)



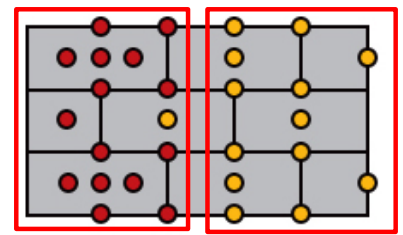
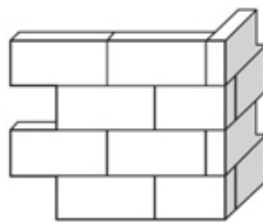
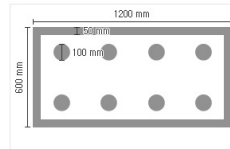
\*출처: 한국건설기술연구원 홈페이지, 주요연구성과, 화재안전 및 단열성능 확보 건물 외벽시스템 개발

#### 외단열 주요 하자 및 시공 주의사항



\*출처: 한국패시브건축협회, 사진:이명래

- 단열재 후면 접착제 리본-덱 방식 고정
- 기계식 고정 화스너 시방 개수에 맞게 시공
- 코너부 엇갈림 시공 및 창호 주변 L자형 단열재 시공



\*출처: 테라코코리아(주), 준불연 외단열 시스템 시방

\*출처: LX하우스 홈페이지, www.lxzin.com

### 외벽 마감 시스템 난연 성능 강화

- 외벽 마감 시스템(단열재 포함) 화재안전성 확보를 위해 화재 발생 시 화재 확산을 막기 위한 규정
- 『건축법 시행령』 제61조
  - 3층 이상 혹은 9m 이상 건축물 등
  - 자재의 준불연 성능 확보 + 둘 이상의 재료로 제작된 마감재로는 실물모형시험 통과 필요 (『건축자재 등 품질인정 및 관리기준』 등 참고)

건축물의 화재 안전을 위한 건축법규가 "2019년 11월 7일" 부터 확대 시행

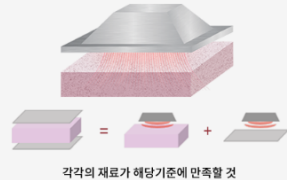
[건축법 시행령 제61조 (건축물의 마감재료) 준불연등급 이상의 재료로 건축물 외벽마감 건축물의 피난, 방화 구조 등의 기준에 관한 규칙 제 24조에 따라



\*출처: 한솔홈데코 홈페이지, www.hansolhomedeco.com

#### 콘칼로리미터법 (KS F ISO 5660-1)

50kW/m<sup>2</sup>(약 500°C)의 복사열 10분간 가열  
기준 8MJ/m<sup>2</sup>이하(총 열 방출량)



각각의 재료가 해당기준에 만족할 것

#### 가스 유해성 시험 (KS F 2271)

단열재를 태운 가스를 쥐 8마리에게 주입  
기준 9분 이상 활동(평균행동 정지시간)



#### 실물모형시험 (KS F 8414)

건축물 외부 마감 시스템의 화재 안전 성능 시험방법 (KS F 8414)

시험 종료	60분
열원 소화	30분
평가 종료	시작시간+15분
Level 2 온도 판정	시작시간
Level 1 200°C ↑ 시험	시작시간
적화	0분

실물모형시험 진행 중인 LX Z:IN PF보드

15분 동안 600°C 이하 유지

판정기준: Level 2 열전대의 어느 한 지점이라도 30초 동안 600°C를 초과하지 않을 것

시작시간: Level 1 열전대의 온도가 200°C를 초과하여 30초간 유지된 경우 처음 200°C가 측정된 시간

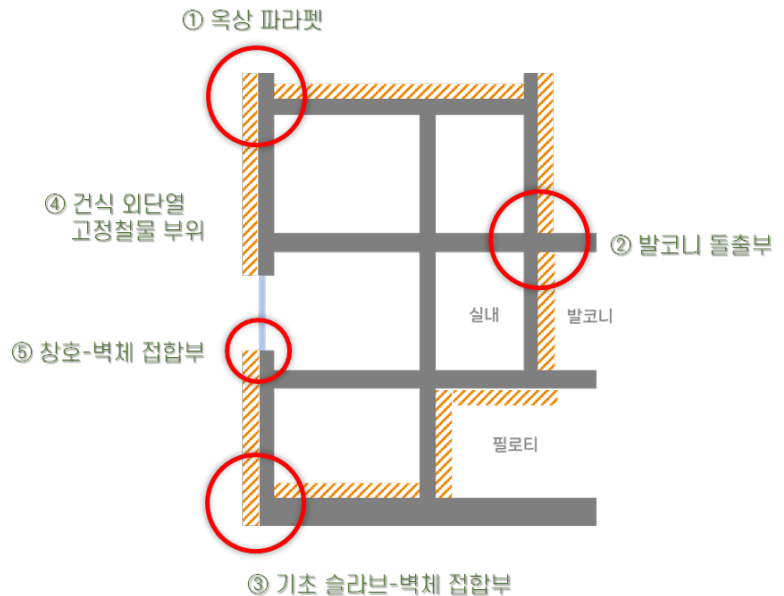
화원: 벽체를 1.5°C×1m×1m로 쌓아 사용 최대 3±0.5%의 열방출

※ 건축물의 피난방화구조 등의 기준에 관한 규칙 제24조 6항 건축물의 규모에 따라 외벽에는 난연재·표준불연재료 이상 성능의 마감재(단열재 및 모든 재료를 포함한다)를 사용해야 하며, 이 경우 둘 이상의 재료로 제작된 마감재로는 실물모형시험(KS F 8414) 결과가 기준준(건축자재 등 품질인정 및 관리기준 제27조) 충족해야 한다.

#### • 외단열 건물에서의 주요 열교 발생 부위

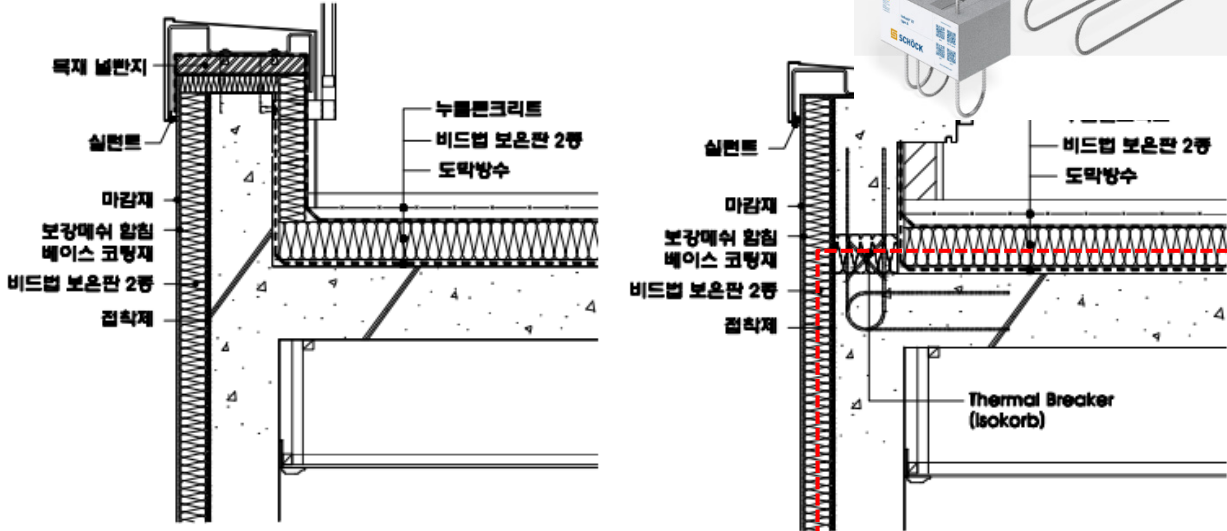
- ① 옥상 파라펫
- ② 발코니 돌출부
- ③ 기초 슬라브-벽체 접합부
- ④ 건식 외단열 고정철물 부위
- ⑤ 창호-벽체 접합부

#### • 각 부위별 권장 설계 및 시공 디테일 반영 혹은 부위별 열교차단재 사용 필요



### ◎ 외단열 | 옥상 파라펫 시공 디테일

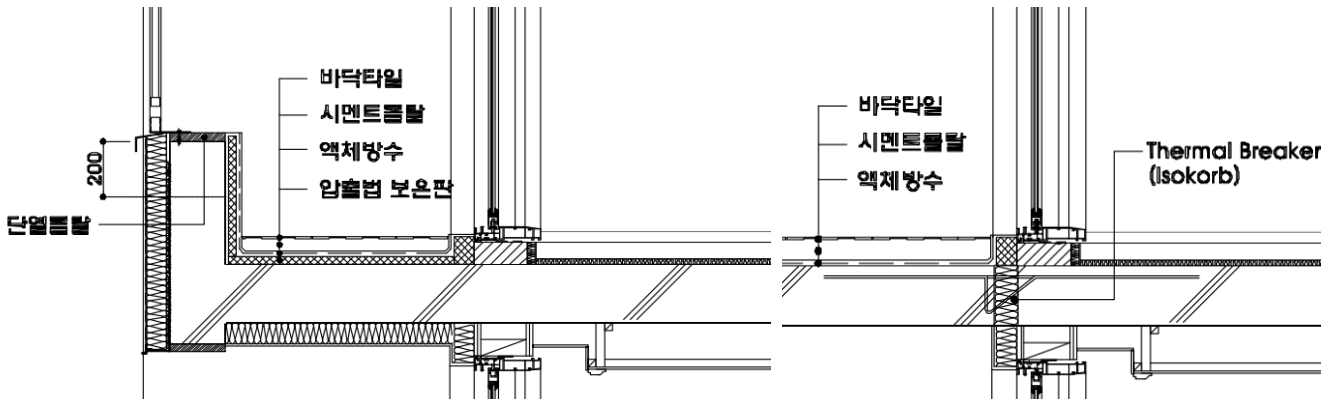
- 단열재가 파라펫을 감싸 불연속되는 면이 없어야 함  
- 대안으로 파라펫 부위의 열교차단재를 사용할 수 있음



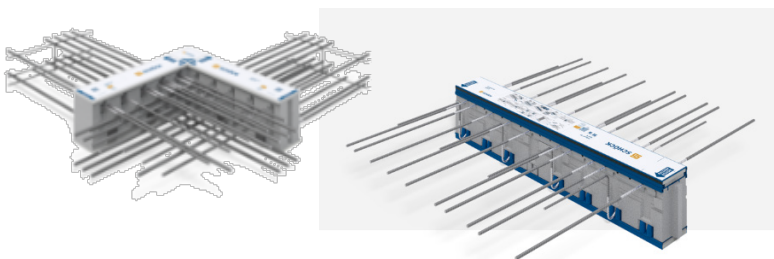
\*출처: 송승영, 에너지 절약형 외단열 공동주택의 표준 설계, 시공기술 개발 및 경제성 분석, 한국연구재단, 2012

### ◎ 외단열 - 발코니 돌출부 열교차단재

- 단열재가 발코니 돌출부를 감싸 불연속되는 면이 없어야 함 (시공성 검토) - 대안으로 발코니 열교차단재 사용 가능



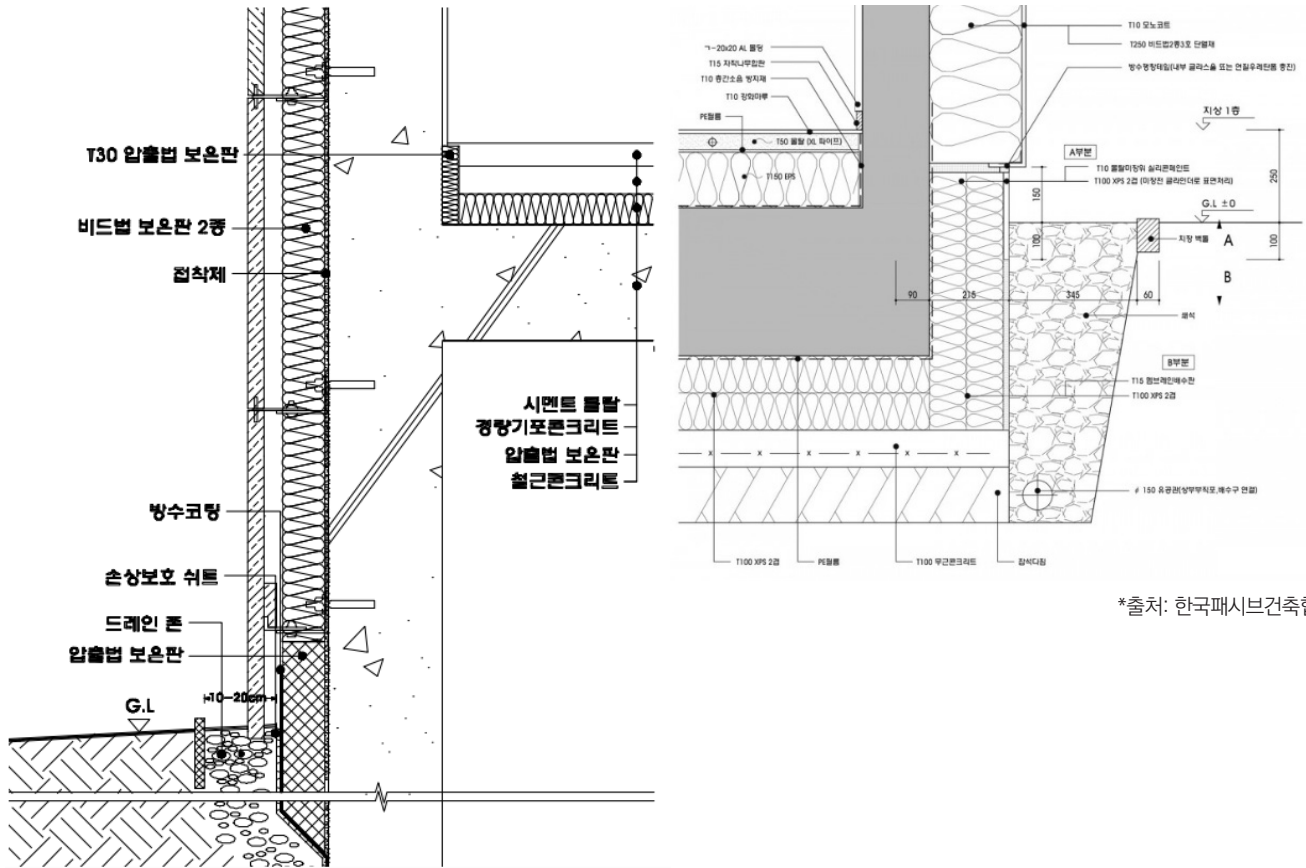
\*출처: 송승영, 에너지 절약형 외단열 공동주택의 표준 설계, 시공기술 개발 및 경제성 분석, 한국연구재단, 2012



출처: www.schoeck.com

### ◎ 외단열 | 기초-벽체 접합부 열교차단재

- 단열재가 지면에 맞닿는 부분은 30cm 이상 XPS 단열재 시공 + 배수를 위한 자갈 시공



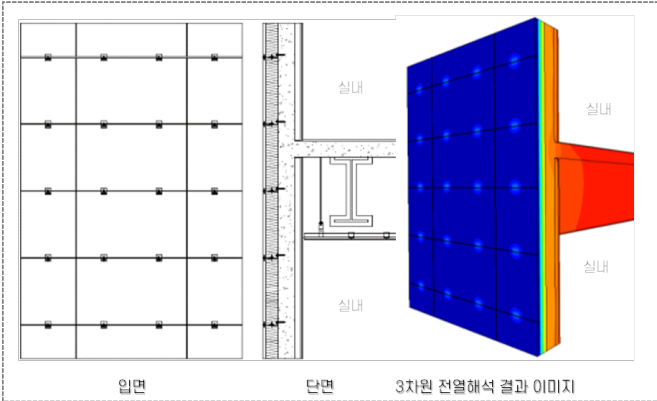
\*출처: 한국패시브건축협회

\*출처: 송승영, 에너지 절약형 외단열 공동주택의 표준 설계, 시공기술 개발 및 경제성 분석, 한국연구재단, 2012

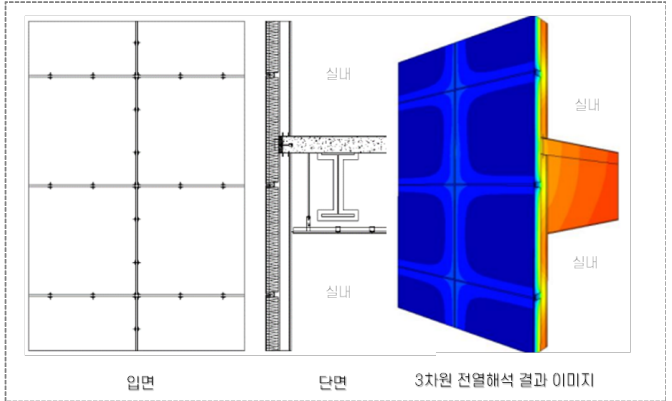
### ◎ 외단열 | 건식 외단열 고정철물 부위

- 건식 외단열 시 마감재 고정을 위한 화스너 및 철제 각파이프 등이 주요 열교가 됨
  - 특히 RC 외벽이 없는 커튼월 스펠드럴 부위(불투명 단열재 설치 부위)의 단열성능은 설계 대비 상당히 저하됨

RC 외벽 - 석재마감 - 외단열 시스템



커튼월 외벽 - 메탈시트 마감 - 외단열 시스템



\*출처: Jin-Hee Song, et al., Thermal Insulation Performance of Various Opaque Building Envelopes Considering Thermal Bridges, 2016 ASHRAE Winter Conperence Proceeding

#### 열교 차단 Fastener 및 앵커

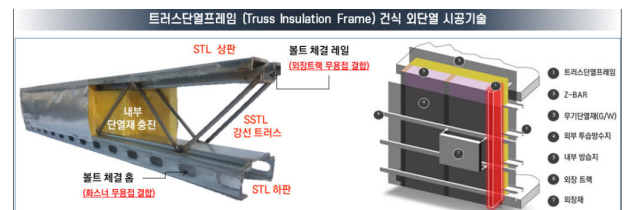
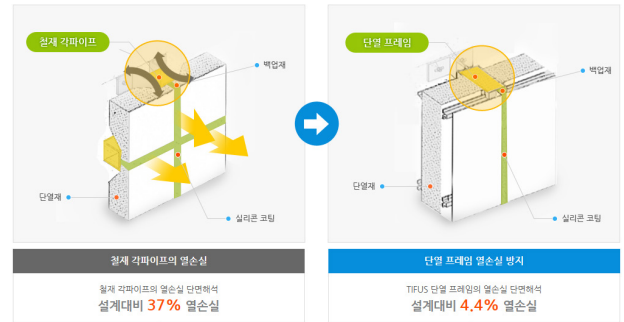
- 단열재 관통하는 금속 화스너를 통한 열교를 차단함
  - 열교차단 파스너 적용 시 연간 에너지소비량 약 17.9% 절감 가능



\*출처: 이비엠리더 홈페이지 및 신기술 홍보자료

#### 열교 차단 프레임

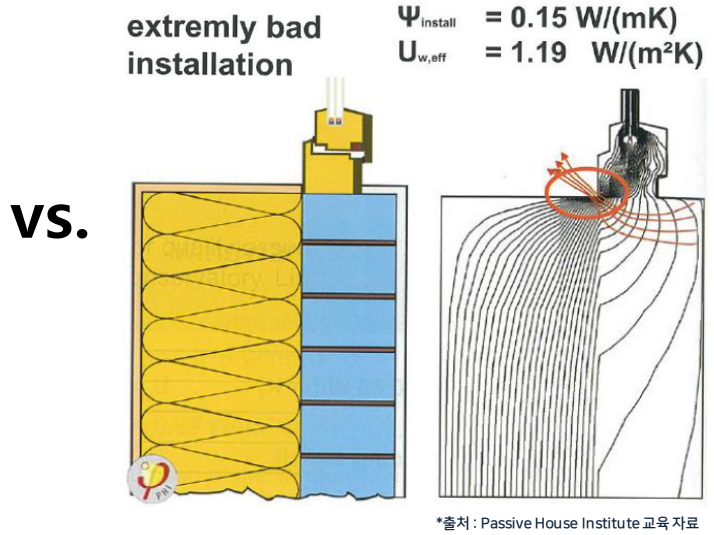
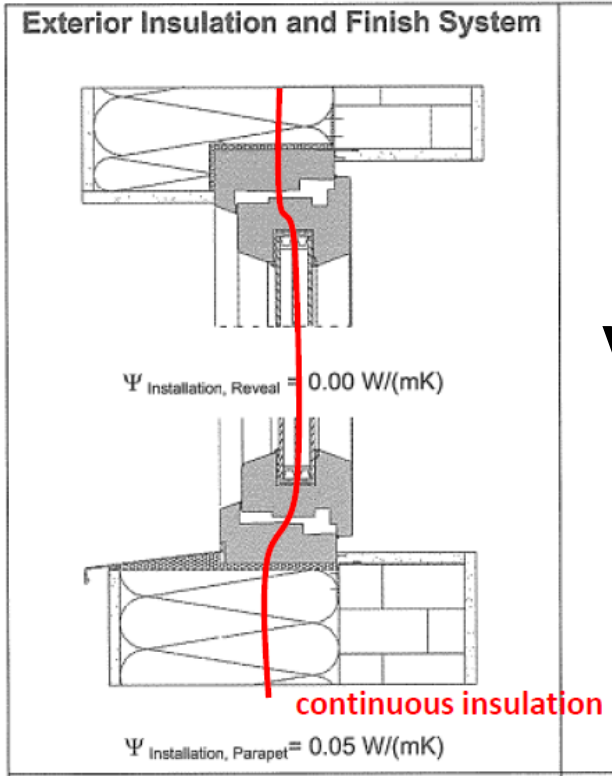
- 단열 및 마감재 설치를 위한 구조 프레임의 열교를 차단함
  - 동일 조건에서 열손실 약 30% 절감 가능



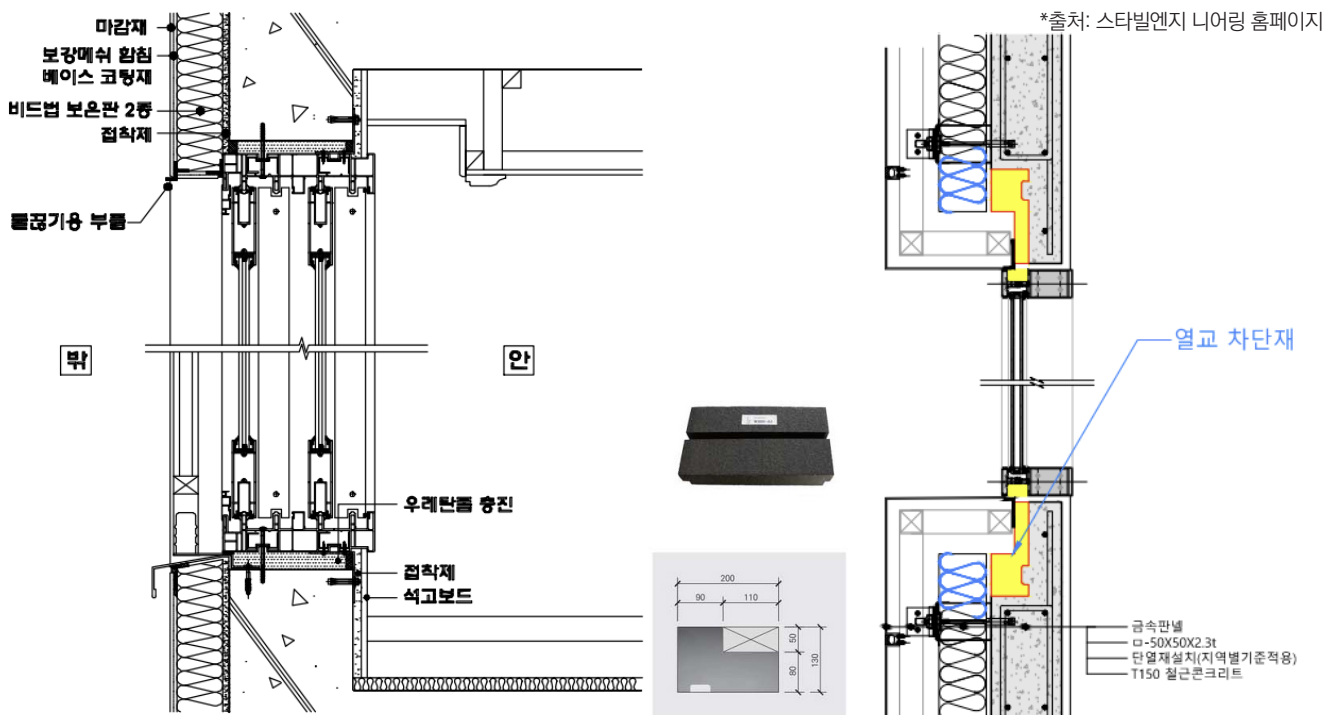
\* 출처: 티푸스코리아 홈페이지 및 신기술 홍보자료

## ◎ 외단열 | 창호-벽체 접합부

- 외벽 단열재와 창호(창틀)이 연결되도록 시공 - 창틀이 단열재 상부 혹은 단열재와 겹치도록 시공되어야 함

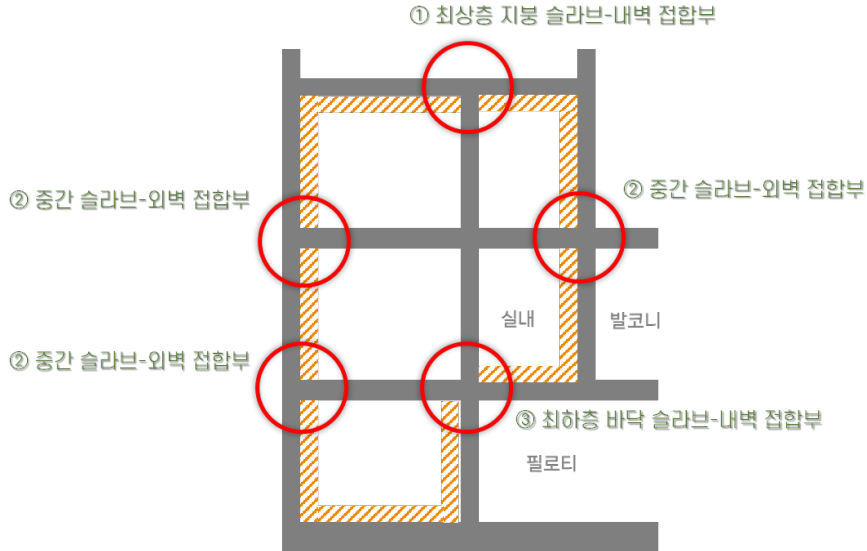


- 창틀과 벽체 사이 우레탄폼 충전 혹은 창호 열교차단재 사용 등 적용  
- 창틀 시공 위치에 따라 표면온도, 일사획득 등 영향을 줌



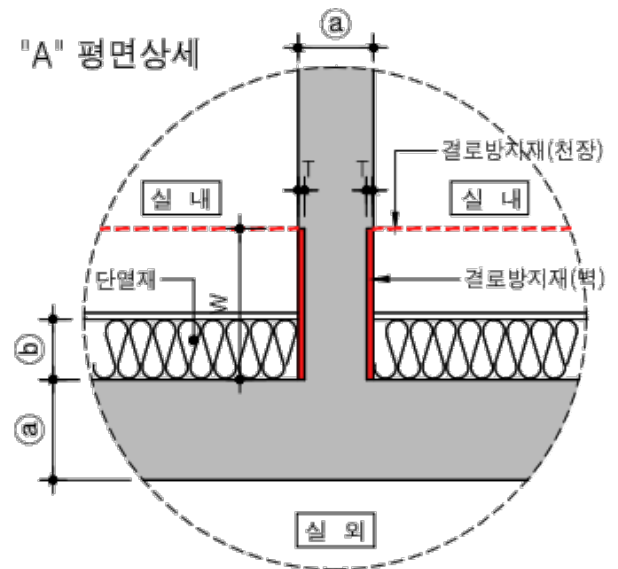
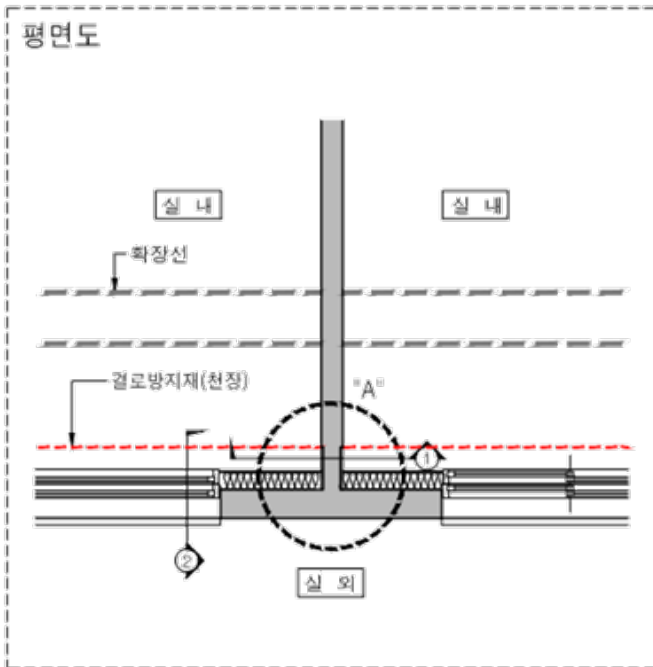
## ◎ 내단열 설계 - 열교 저감 방안

- 고층 건물 외벽 시공 시, 시공 리스크, 경제성, 화재안전성 등의 이유로 외단열 시공은 쉽지 않음  
- 대부분의 공동주택 내단열 + 결로방지재 설계로 열교 부위 단열 보강을 하게 됨



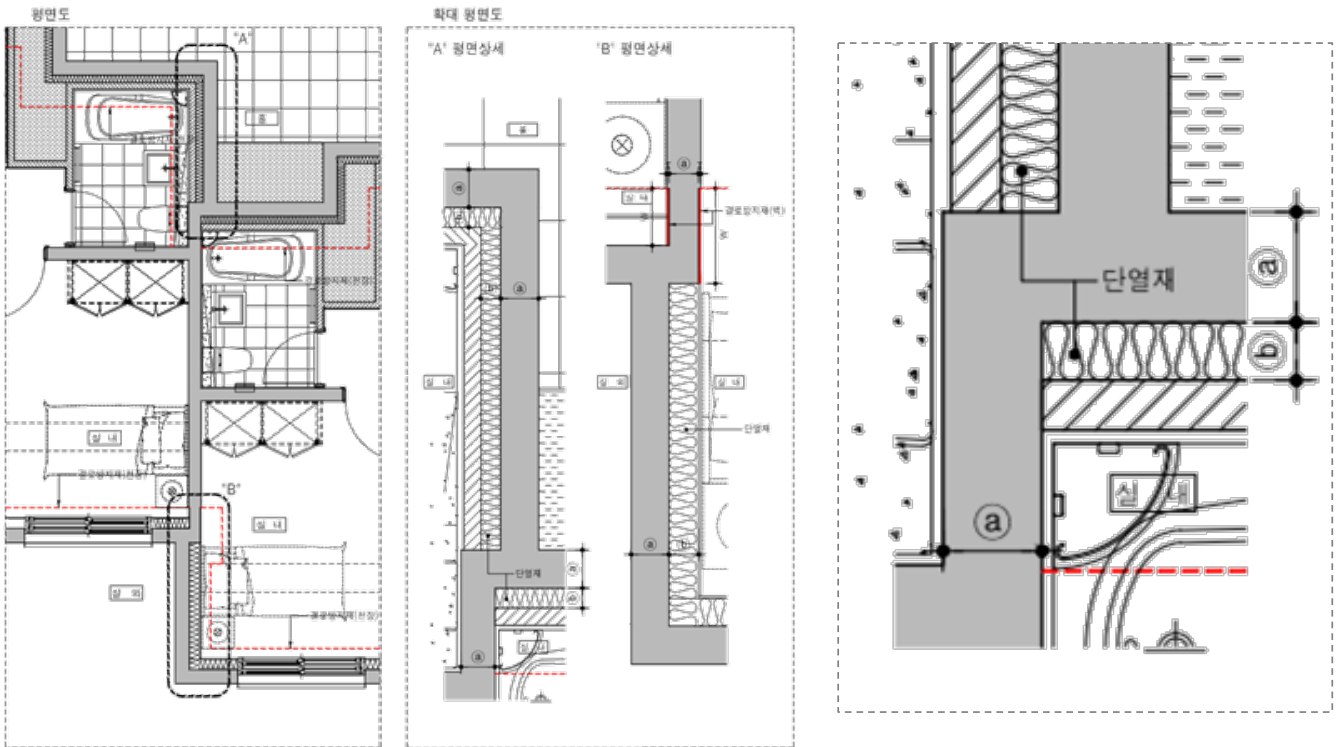
- 평면 상 외벽-내벽 접합부 결로방지재 설계 방안

\*결로방지재 품질 기준 : KS M 3808 발포 폴리스티렌(PS) 단열재, 부속서C - 방습판으로 사용하는 발포 폴리스티렌(PS) 단열재



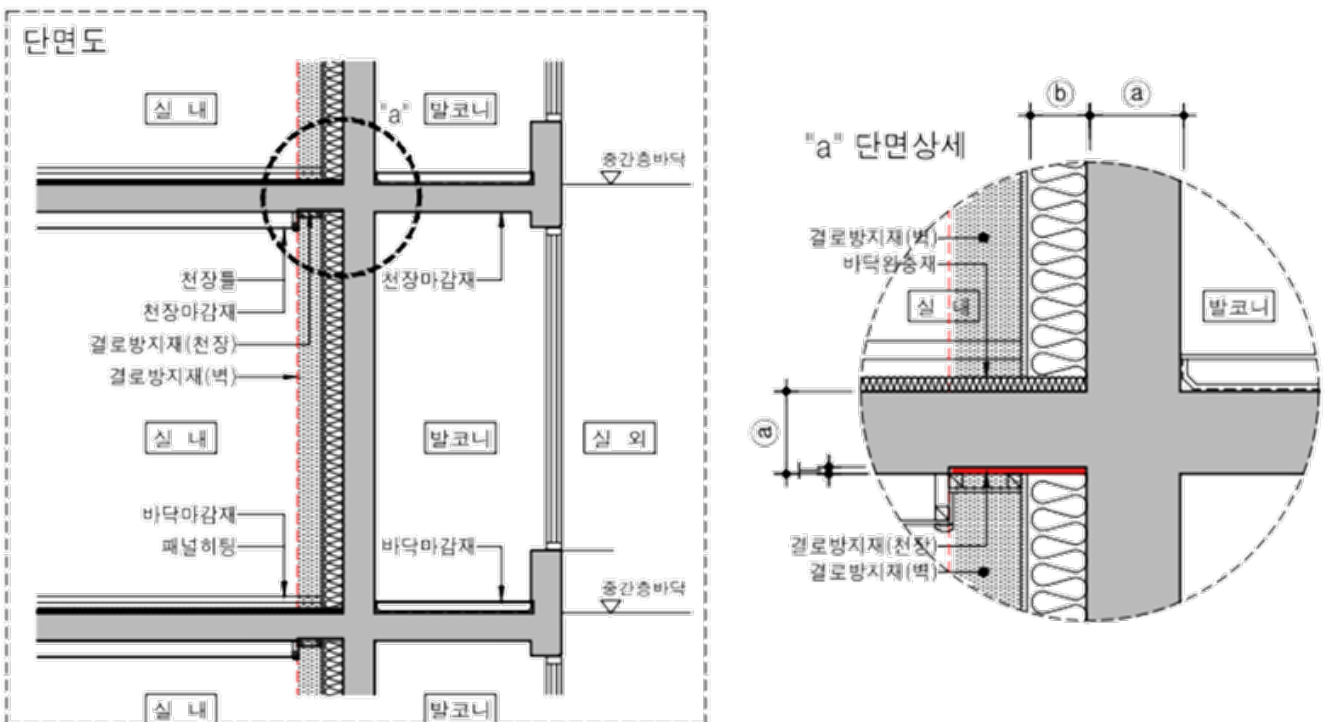
\*출처: LHi, 공동주택 결로 방지를 위한 상세도 가이드라인(안), 2021.2

● 평면 상 외벽 이형부위 결로방지재 설계 방안



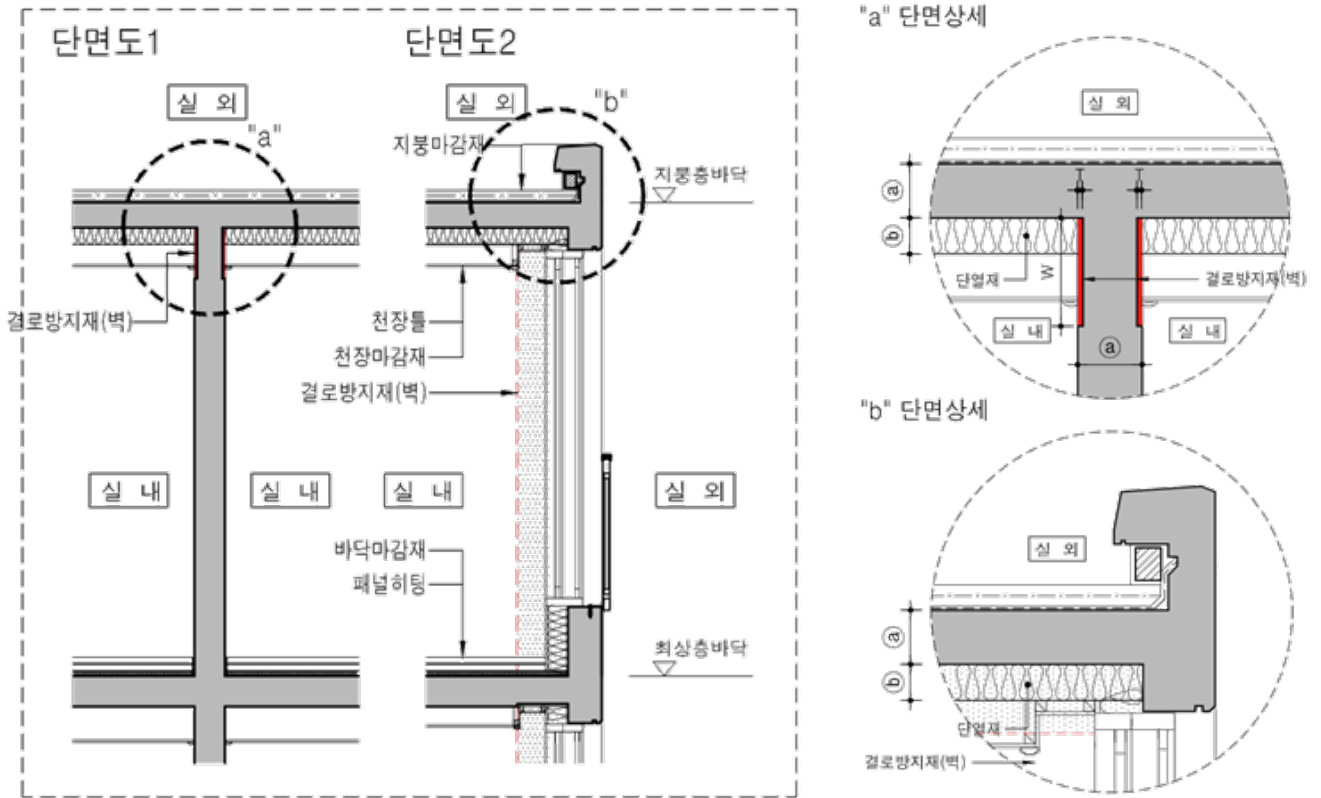
\*출처: LHi, 공동주택 결로 방지를 위한 상세도 가이드라인(안), 2021.2

● 단면 상 외벽-중간 슬라브 접합부 결로방지재 설계 방안



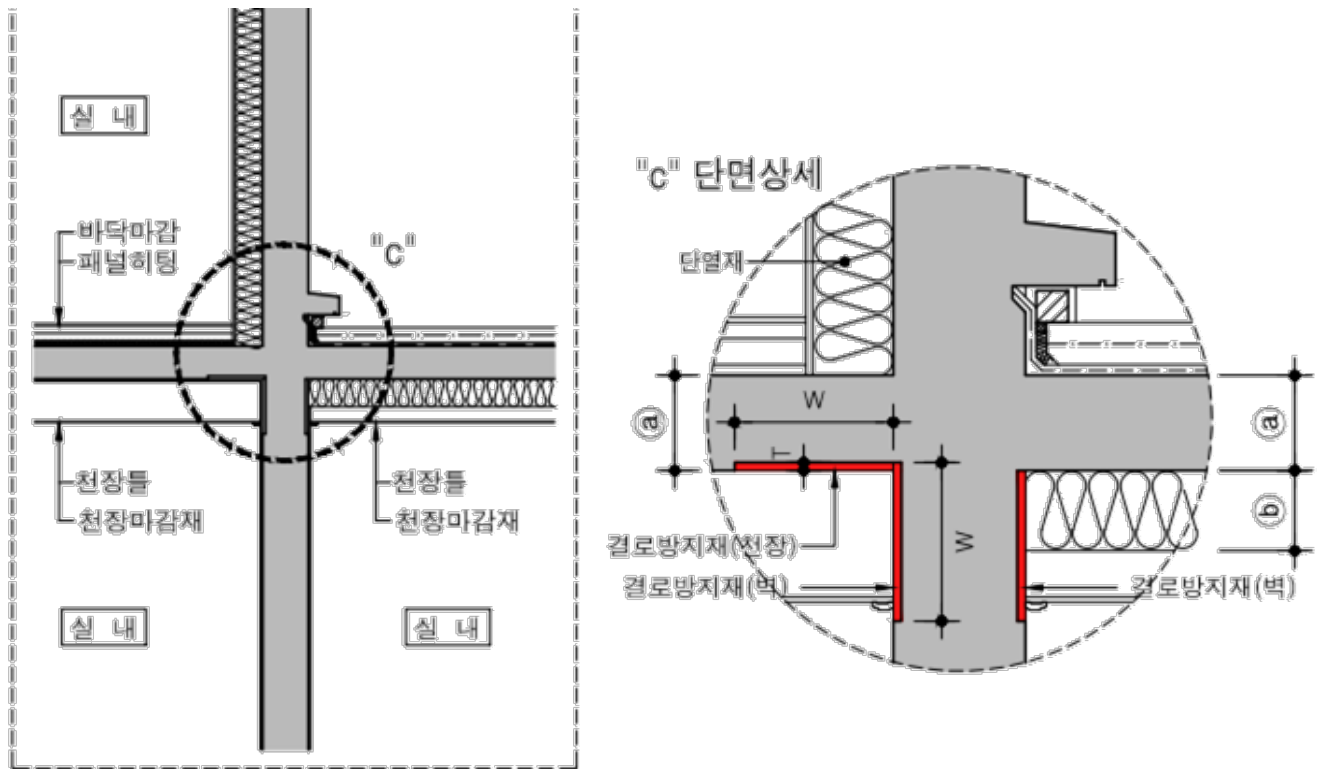
\*출처: LHi, 공동주택 결로 방지를 위한 상세도 가이드라인(안), 2021.2

- 단면 상 최상층 슬라브-내벽 접합부 결로방지재 설계 방안



\*출처: LHi, 공동주택 결로 방지를 위한 상세도 가이드라인(안), 2021.2

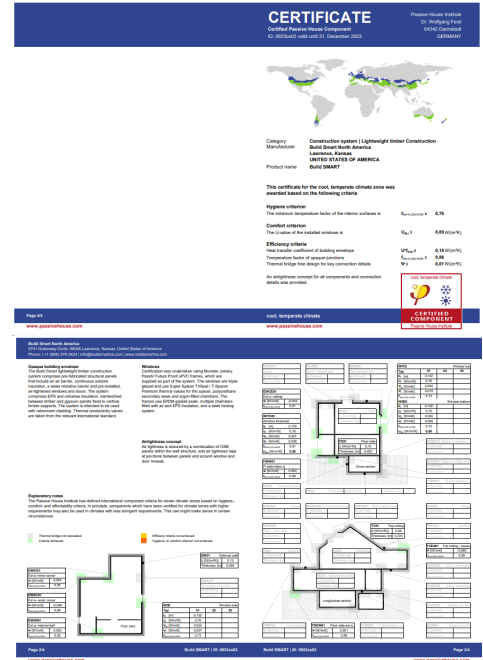
- 단면 상 층변화 세대 결로방지재 설계 방안



\*출처: LHi, 공동주택 결로 방지를 위한 상세도 가이드라인(안), 2021.2

## ◎ Passive House Certification

- 패시브하우스에서는 자재에 대한 인증을 하고 있으며, 건물 단열 시스템에 대해서도 디테일에 대한 인증을 주고 있음
- <https://database.passivehouse.com/> > Component 인증



## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. 송승영, 에너지 절약형 외단열 공동주택의 표준 설계, 시공기술 개발 및 경제성 분석, 한국연구재단, 2012
2. 한국토지주택공사 연구소, 공동주택 결로 방지를 위한 상세도 가이드라인(안), 2021.2
3. Schöck Ltd, Thermal Bridging Guide, 2018 ([www.schoeck.com](http://www.schoeck.com))
4. Passive House Institute 교육 자료 (Passivhaus Institut ([passivehouse.com](http://passivehouse.com)))
5. 한국패시브건축협회, [www.phiko.kr](http://www.phiko.kr)
6. 스타빌엔지니어링 홈페이지, [www.starvilleng.co.kr](http://www.starvilleng.co.kr)
7. 티푸스코리아(주) 홈페이지, [www.tifus.co.kr/](http://www.tifus.co.kr/)
8. 이비엠리더 홈페이지, [www.ebmlider.com](http://www.ebmlider.com)
9. 테라코코리아 홈페이지, [www.terraco.co.kr](http://www.terraco.co.kr)
10. LX하우시스 홈페이지, [www.lxzin.com](http://www.lxzin.com)

## A.3

## 창호 및 커튼월 기술

## 교육 목표

## 창호 및 커튼월 기술

- \* 창호의 소재 및 구성에 대한 이해
- \* 창호의 개폐방식에 대한 구분과 설치 방식에 대한 이해
- \* 커튼월의 구성에 대한 이해
- \* 커튼월의 주요 성능과 설치 방식에 대한 이해
- \* Frame과 열교차단재에서의 열성능 향상 방법
- \* 유리와 스페이서에서의 열성능 향상 방법

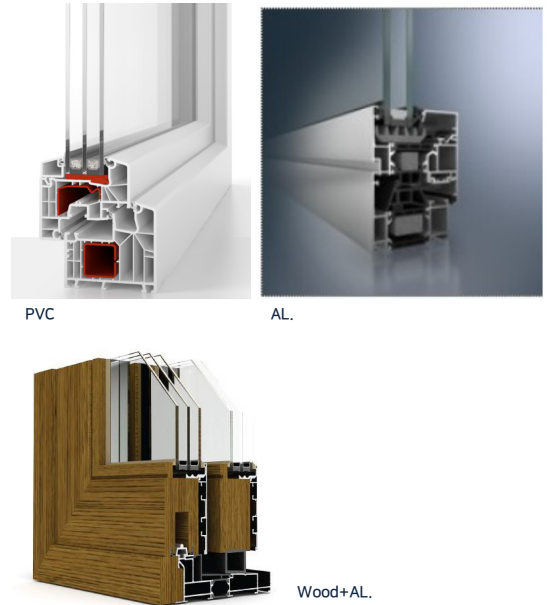
## 1 창호(Window&amp;Door)

## ◎ 창호(Window &amp; Door)

- 창(窓, Window): 외부조망이 가능하며, 채광과 환기가 가능하도록 벽이나 지붕에 낸 작은문
- 호(戶, Door): 어떤 집 또는 실에 출입할 수 있는 출입구
- 문(門)은 주로 외부와 내부를 연결하는 출입구를 의미, 호(戶)는 내부 공간간의 출입구

## ◎ Windowor

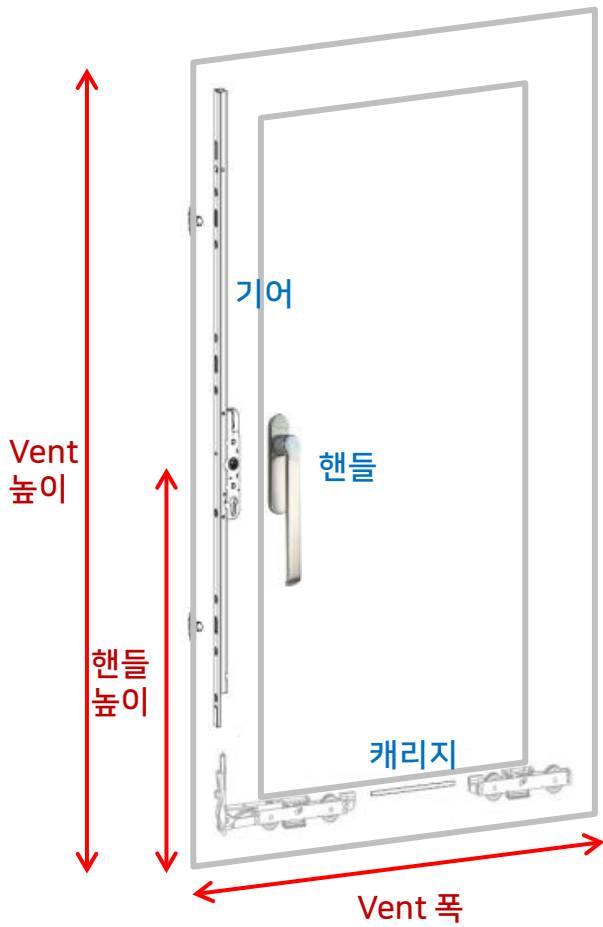
- 창틀(Frame) 소재에 따라 PVC / AL / Wood+AL 으로 구분됨
- 창을 구성하는 소재는 단열성능 뿐만 아니라 구조성능, 고온에 대한 내구성 고려도 필요함



## ◎ 주요재료

구분	AL. Frame	PVC	목재 및 AL.
설명	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 두 개의 AL Profile을 단열재로 결합시켜 하나의 Profile로 만드는 독특한 소재 결합 방식</li> <li>- 알루미늄의 견고한 재질, 내구성은 그대로 살리면서도 단열성능이 우수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 금속재보다 열전도율이 낮은 고강도 PVC 소재를 사용하여 단열성능이 우수함</li> <li>- EPDM 가스켓 마감으로 밀폐성이 우수하고, 유리 교체 등 사후 관리가 용이함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고급 목재로 된 내부는 품격있는 실내를, 알루미늄으로 된 외부는 견고하면서도 깔끔한 외관을 만들어 주는 복합소재 시스템창</li> </ul>
이미지			

## ◎ 하드웨어



① LS 캐리지 규격 (권장) : Vent 무게

- 150kg (120) : front 300mm - rear 210mm :  $\phi 32$
- 300kg (250) : front 320mm - rear 240mm :  $\phi 44$

② LS 기어 규격 : 핸들높이, Vent 높이

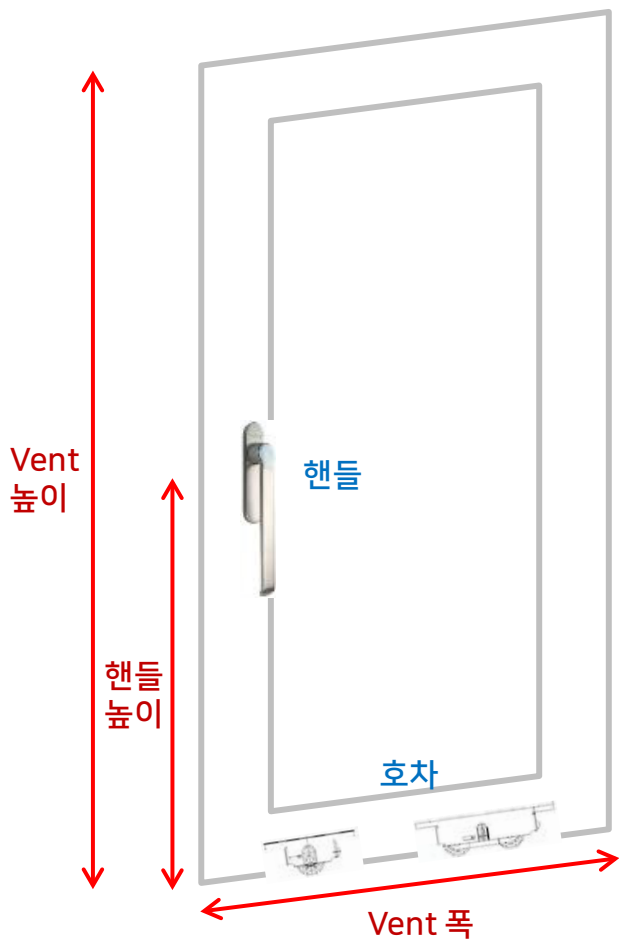
- 405 : 850 ~ 1,850
- 705 : 1,050 ~ 2,150
- 1005 : 1,350 ~ 2,750
- \* back-set : 28mm / 38mm

③ 최대, 최소 규격 (M.C x H)

- 최소 : 650 x 900 (150kg) / 700 x 900 (300kg)
- 최대 : Vent 무게에 따름 2,000 x 2,700 (권장)
- \* Frame 최대 : 생산 가능 치수, 유리 규격
- \* M.C > H / 2.5 ( H < 2.5 x M.C )

※ Vent 무게(kg)

$$= \text{유리두께(mm)} \times \text{유리폭(m)} \times \text{유리높이(m)} \times 2.54 + \text{샤시 무게(kg)}$$



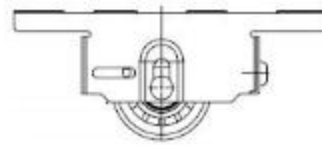
① 호차 규격 (권장)

- Single (40) : Vent 무게 60kg 이하
- Twin (80) : Vent 무게 60kg 초과, 120kg 이하

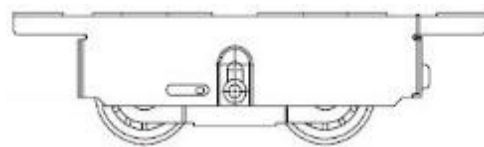
② 최대, 최소 규격 (M.C x H)

- 최소 : 600 x 700
- 최대 : Vent 무게에 따름  
1,500 x 2,400 (권장)

※ Single roller



Twin roller



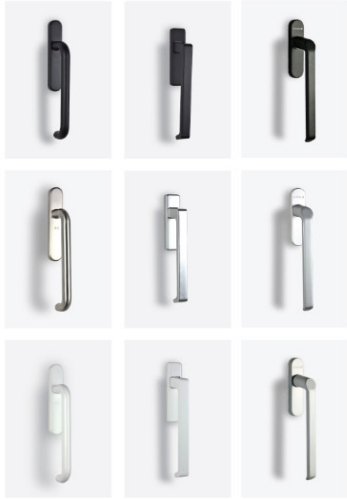
◎ 핸들

● 창호에 사용되는 핸들은 단순히 색상과 디자인으로만 구분되는 것이 아니라, 개폐방법과 기능에 따라 구분됨

Handle Type 01

CSS Lift Sliding  
CSS Lift Sliding & Tilt  
PSS Lift Sliding  
PSS Parallel Sliding & Tilt  
ESS Lift Sliding

Color : Black, Silver, White



Handle Type 02

AWS Turn & Tilt  
AWS Side Hung  
AWS Bottom Hung

Color : Black, Silver, White



Handle Type 04

Entrance Door  
ADS

Color : Black, Silver, White

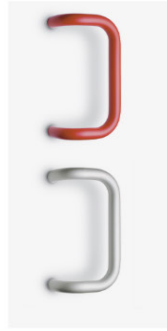


※ 기어박스가 내장되는 핸들

Handle Type 05

Entrance Door  
ADS

Color : White, Red, Green, Silver



Handle Type 06

ESS Sliding

Color : Silver, White



※ 자동리움



※ 수동리움



Handle Type 07

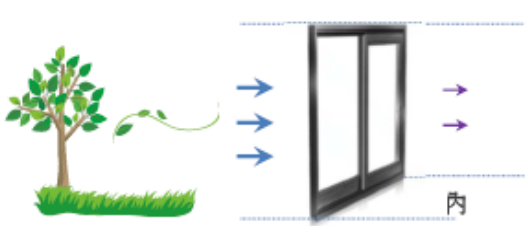
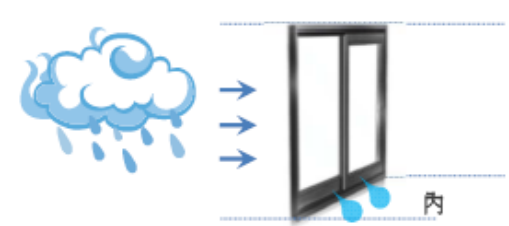
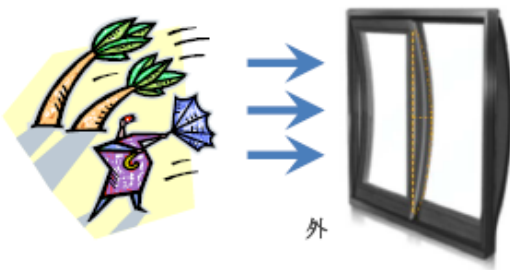
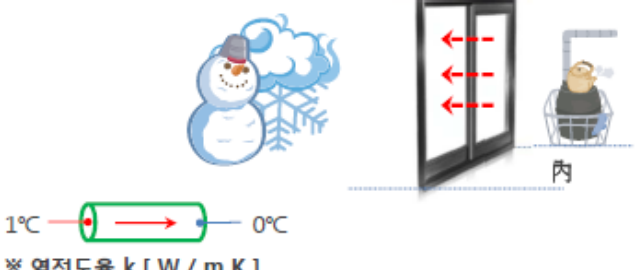
Folding Door

Color : Black, Silver, White

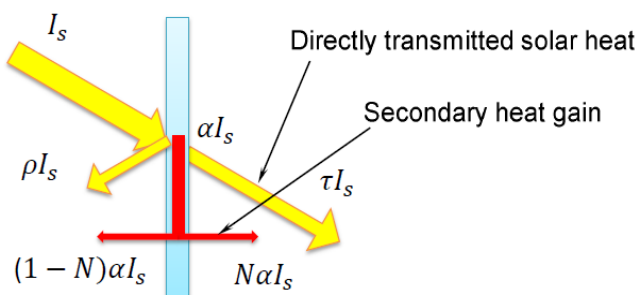


## ◎ 주요 성능

- 창호에 요구되는 주요 성능으로, 단열, 기밀, 수밀, 구조 성능이 확보되어야 함

기밀성능	수밀성능
<p><b>통기량 [ m<sup>3</sup> / hour m<sup>2</sup> ]</b> : 한시간동안 창을 통과한 공기의 양(부피)</p> 	<p><b>풍압 [ Pa ]</b> : 빗물이 실내로 들어오지 않는 한계 풍압</p> 
구조성능 (내풍압성능)	단열성능
<p><b>풍압 [ Pa ]</b> : 강한 바람에 창이 버틸 수 있는 최대 풍압</p> 	<p><b>열관류율 U [ W / m<sup>2</sup> K ]</b> : 창을 통해 전달되는 열에너지 (복합 재료)</p>  <p>1°C ——— 0°C</p> <p>※ 열전도율 k [ W / m K ] : 단위길이당 전달되는 열에너지 (단일 재료)</p>

- 가시광선투과율  
: 가시광선 파장별 투과율에 태양에너지를 곱한 값을 가시광선 파장에서의 태양에너지로 나눠 산정한 값으로, 이 값이 높을수록 맑은 느낌을 주며 자연채광 설계와 연동해 조명에너지 절감에 활용됨
- 일사획득계수  
: 태양열취득계수로 명명되는 SHGC는 창호를 통해 실내로 유입되는 태양열의 비율을 나타내며, 이 값이 작을수록 일사 차단효과가 높음을 의미함. 최근 Low-e 코팅 유리의 종류가 많아지면서 다양한 범위의 SHGC를 갖는 Glazing 조합이 가능하며, 업무용 건물과 같이 냉방부하가 큰 건물의 에너지 절감을 효과적으로 유도할 수 있게 됨



$$SHGC = \frac{\tau I_s A + N \alpha I_s A}{I_s A} = \tau + N \alpha$$

- α : 유리의 일사 흡수율
- τ : 유리의 일사 투과율
- ρ : 유리의 일사 반사율, α + τ + ρ = 1
- N : 흡수된 일사의 내측 유입 비율

◎ Window Basic : 각 부재별 용어

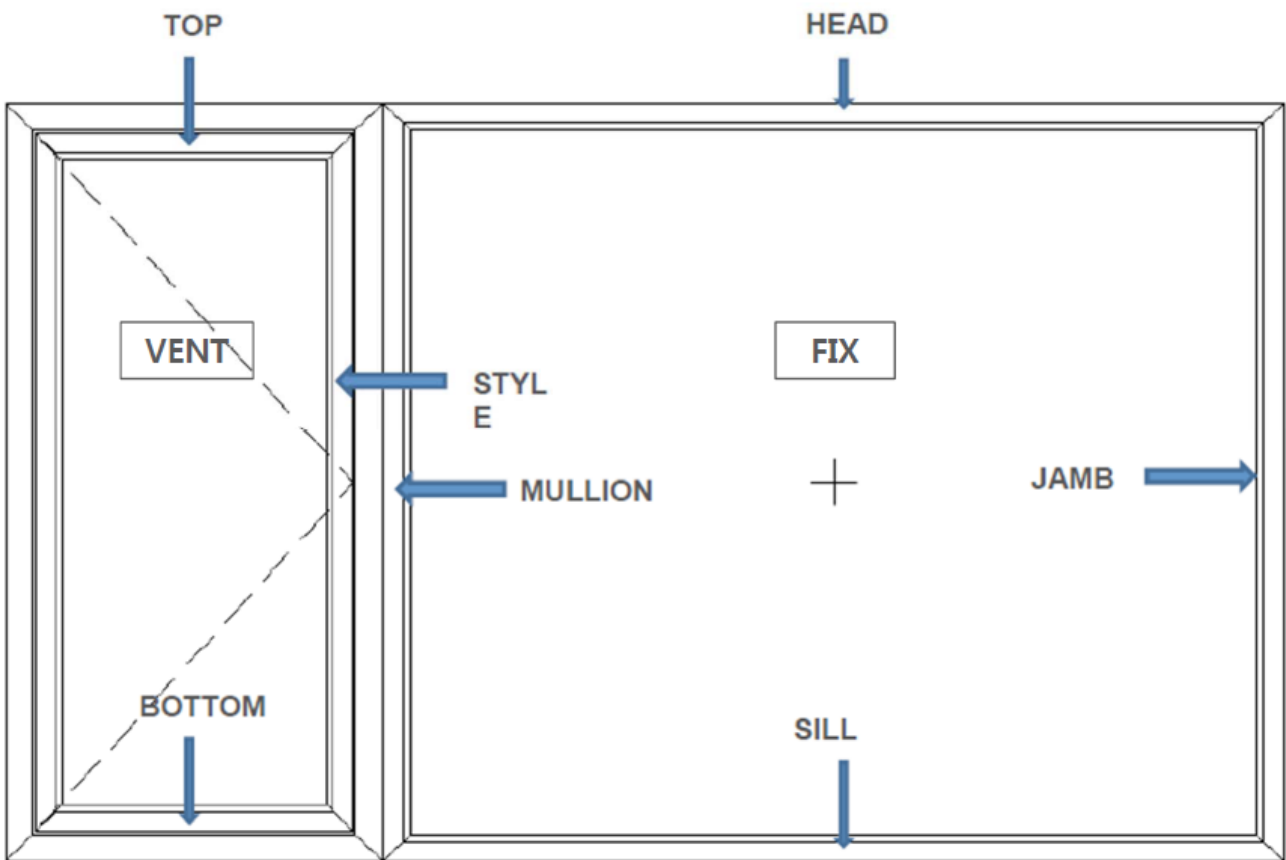


그림 출처 : 이건축호 내부교육자료

◎ Window Basic : 도면

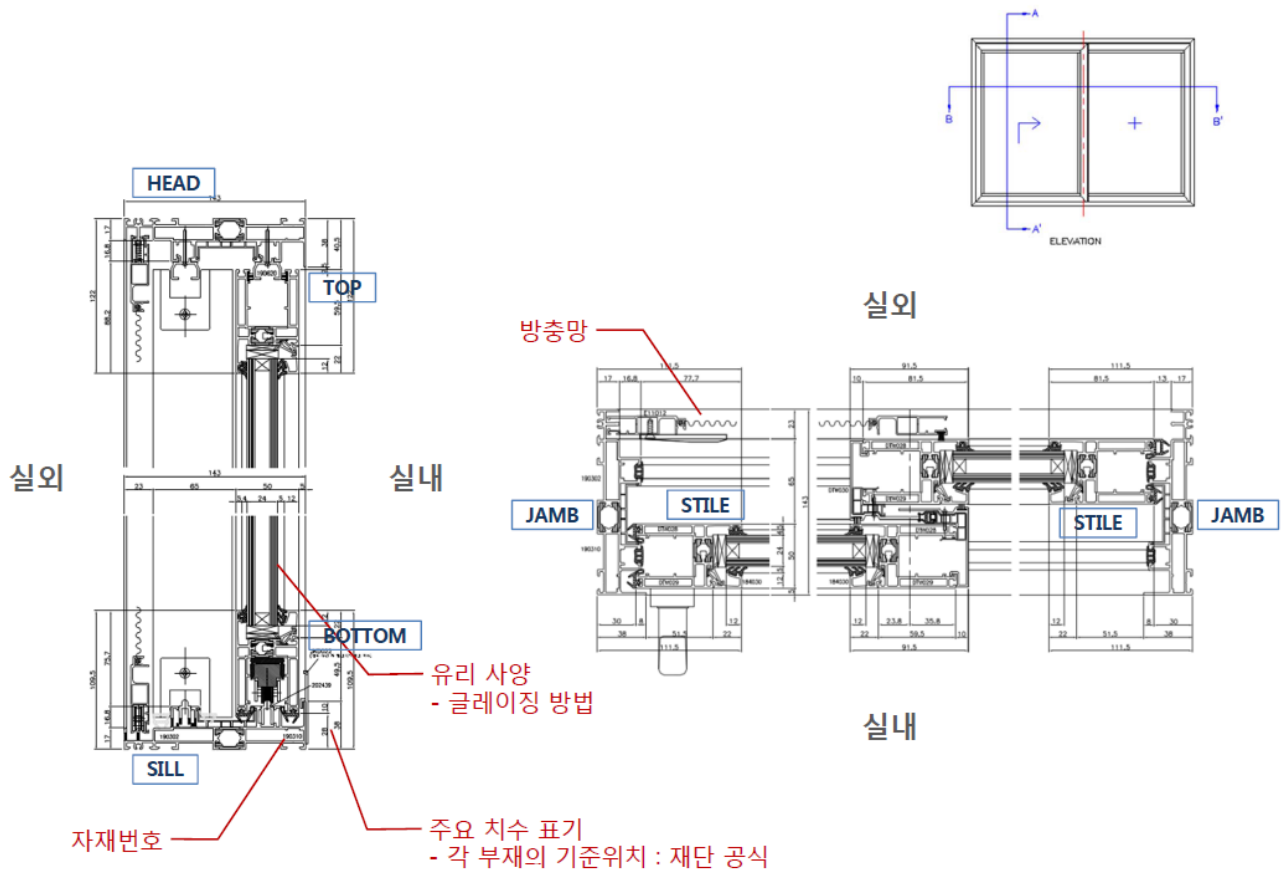
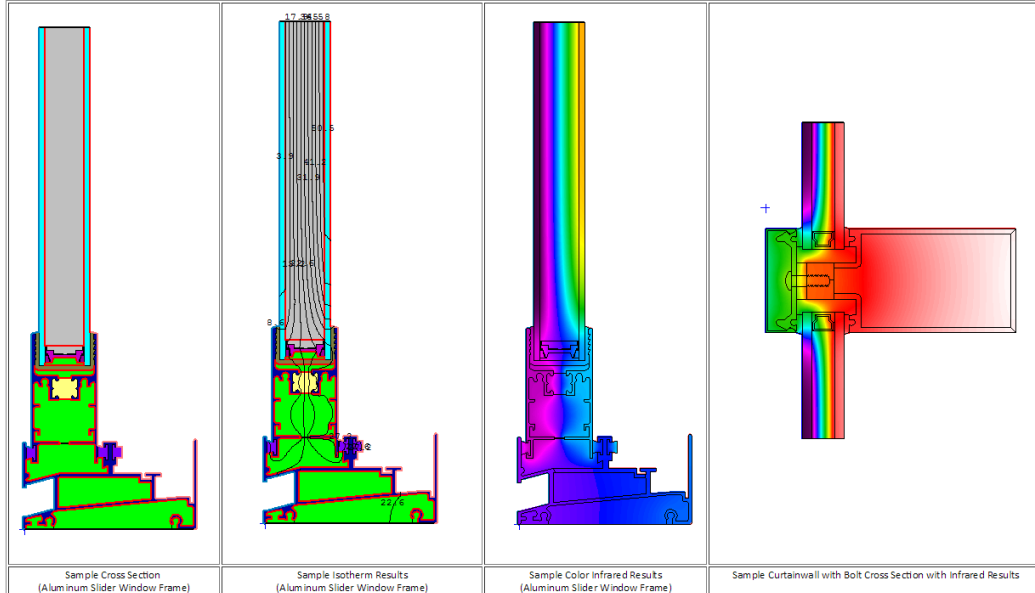
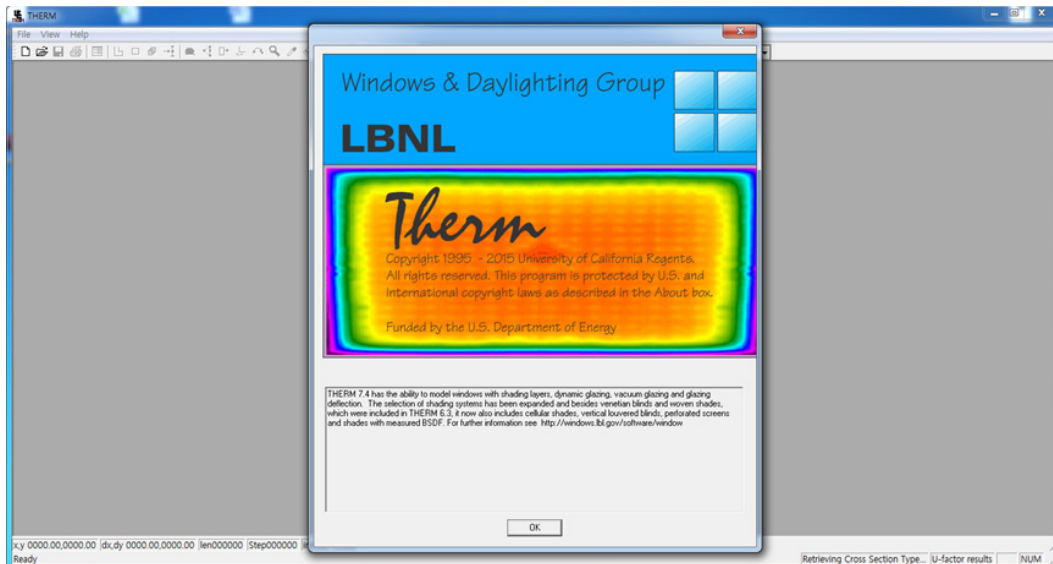


그림 출처 : 이건축호 내부교육자료

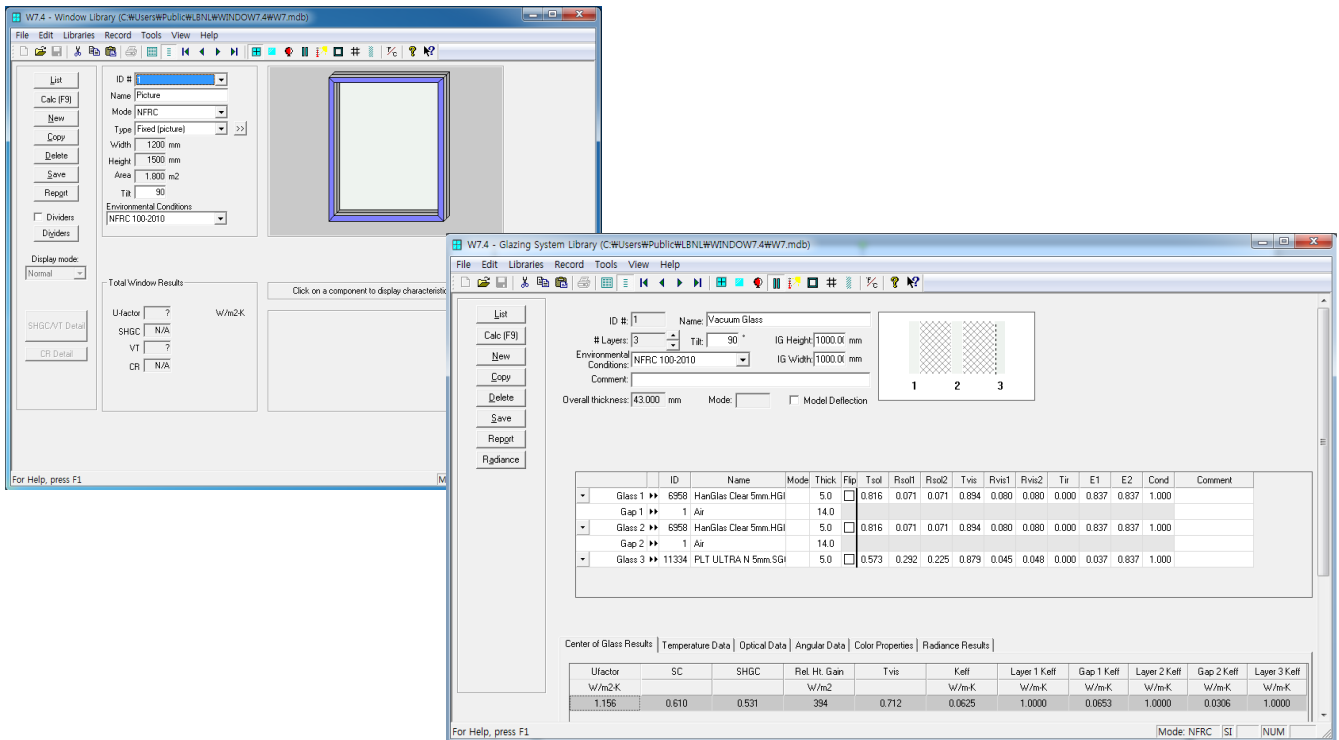
<p><b>수직 단면도(Vertical section)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-입면 기준 수직 분할면의 좌측면도</li> <li>-원자재 중심 표현</li> <li>-자재번호, 중요 치수표기</li> <li>-유리 규격 및 글레이징</li> <li>-기타 하드웨어, 부자재</li> </ul>	<p><b>수평 단면도(Horizontal section)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-입면 기준 수평 분할면의 평면도</li> <li>-자재번호, 중요 치수표기</li> <li>-유리 규격 및 글레이징</li> <li>-기타 하드웨어, 부자재</li> </ul>
<p><b>입면도(Elevation)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-정면도</li> <li>-내관도기준(Inside View)</li> <li>-개폐방식, 열림방향</li> <li>-제품형식(type)</li> </ul>	

## ◎ Window Basic : Simulation

- 시뮬레이션 프로그램을 활용하여, 개발하는 창호의 성능을 예측하고 취약부분에 대한 수정 보완이 가능함

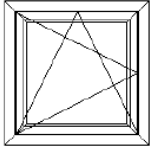


- 시뮬레이션 프로그램을 활용하여, 유리 구성에 따른 단열성과 광학성능도 예측이 가능함

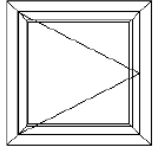


## ◎ Window Basic : 창의 개폐방식

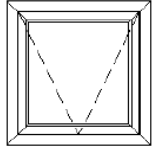
- 개폐방식에 따라 창(Window)이 구분될 수 있으며, 설치 위치와 용도, 환기 성능 등에 따라 달리 적용함



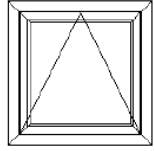
TURN & TILT  
LEFT HUNG & TILT



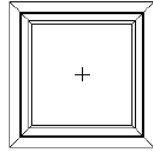
TURN  
LEFT HUNG  
여닫이



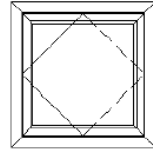
PROJECT  
TOP HUNG



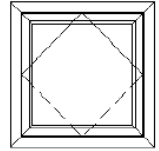
PULL DOWN  
BOTTOM HUNG



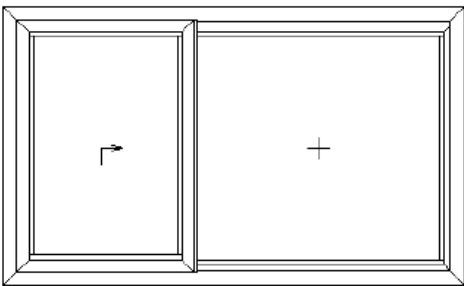
FIX  
고정창



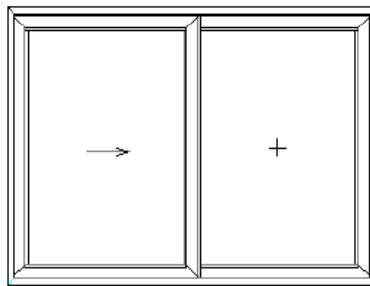
VERTICAL PIVOT



HORIZONTAL PIVOT



LIFT SLIDING



SLIDING

그림 출처 : 이건축호 내부교육자료

## ◎ Window Basic : 유리의 지지방식

- 유리(Glazing)를 창틀(Window Frame)에 고정 및 지지하는 방법은 개폐방법에 따라 달리 적용됨
- 주요 하중을 지지하는 것 뿐만 아니라 개폐 특징에 따라 안정적으로 고정되어야 함

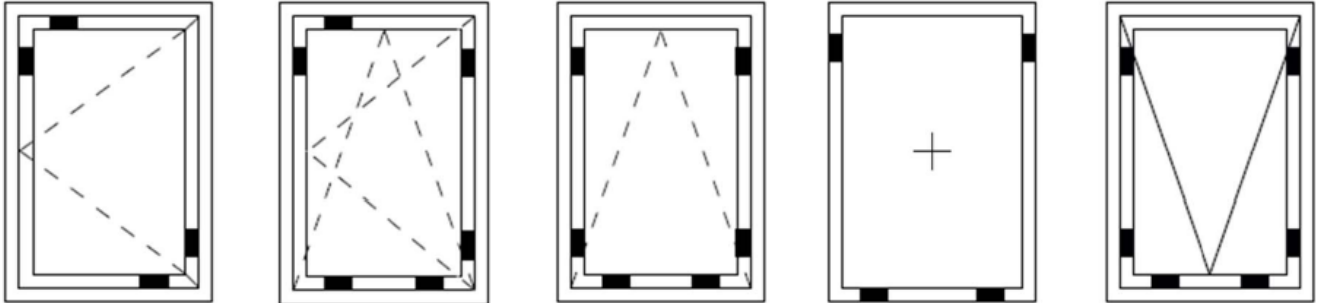


그림 출처 : 이건축호 내부교육자료

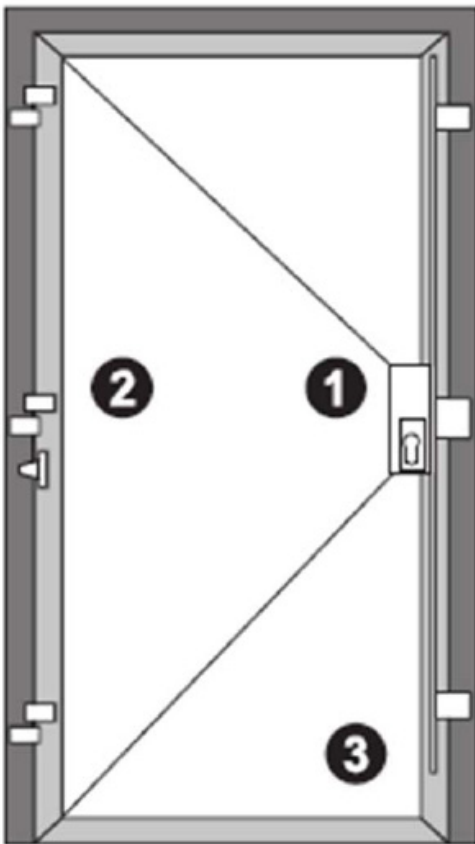
### ◎ Window Basic : 입면 형식

- 개폐창과 고정창의 조합에 따라 동일 제품에서 타입을 구분함
- 제품별 타입을 구분하여 제품의 구성과 설치 방향 등에 대하여 명확히 함

'A' TYPE 	'B' TYPE 
'C' TYPE 	'D' TYPE 
'E' TYPE 	'F' TYPE 
'G' TYPE 	'H' TYPE 
'I' TYPE 	'J' TYPE 
'K' TYPE 	'L' TYPE 
'M' TYPE 	'N' TYPE 
'O' TYPE 	※ M.C : 왼쪽부터, T.C : 위부터
'P' TYPE 	'S' TYPE 
'Q' TYPE 	
'R' TYPE 	
'T' TYPE 	
'U' TYPE 	
'V' TYPE 	'W' TYPE 
'X' TYPE 	'Y' TYPE 
'Z' TYPE 	'O' TYPE 
	'\$' TYPE 

그림 출처 : 이건축호 내부교육자료

◎ Door Basic : 주요 구성



① Lock Technology

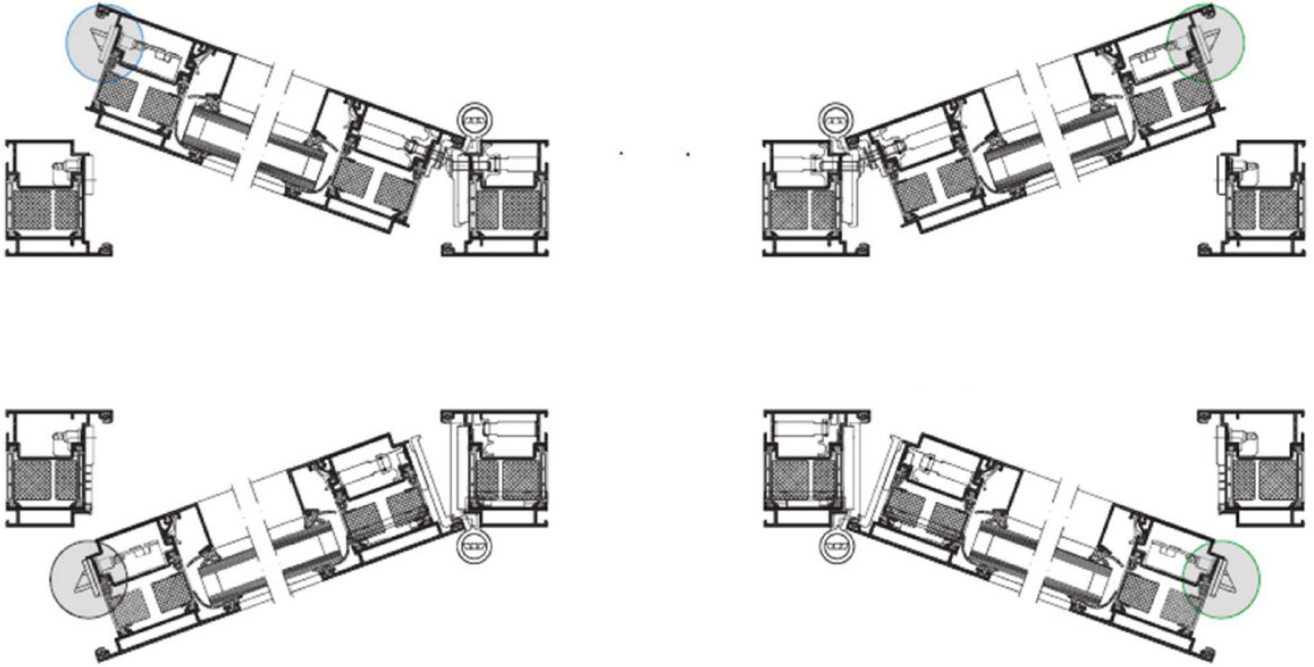
② Door hinges

③ Glazing, 기타

그림 출처 : 이건축호 내부교육자료

### ◎ Door Basic : 개폐 및 하드웨어 방향

- 힌지가 보이는 방향에서 힌지의 방향에 따라 좌/우 구분하며, 나머지 부자재들의 방향도 구분됨

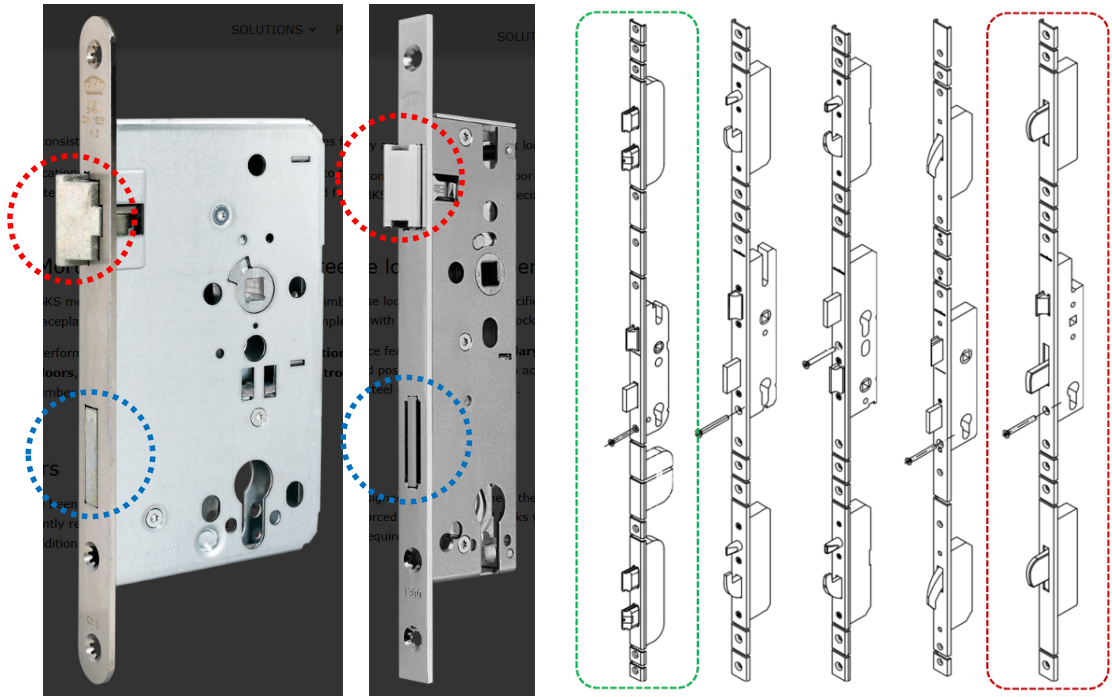


## ◎ Door Basic : Lock Technology

- 일반적으로 래치(Latch)와 볼트(Bolt)로 구성되며, 래치는 개폐, 볼트는 잠금 용도로 사용
- 제품 및 목적(방범 등)에 따라 복수의 래치와 볼트로 구성 가능

래치  
(Latch)

볼트  
(Bolt)



- 실린더: 실내/실외에서 도어를 잠그는 역할을 함



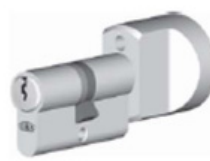
Double cylinder



Half cylinder



Cylinder with turn



Cylinder with round turn



Cylinder with knurled turn

## ◎ Door Basic : 힌지

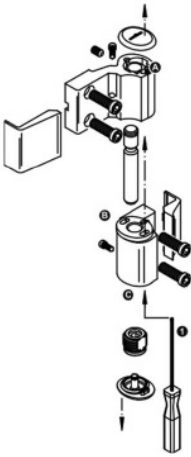
- 도어의 주요 구성 하드웨어로 노출여부 / 고정위치에 따라 구분되며, 지지하중에 따라 적용 개수를 달리 적용함



Rollentürband aus Aluminium  
Aluminium barrel hinges



VL-Band 100° eingebaut  
Concealed 100° hinge installed



Mounted Type



Rollentürband aus Edelstahl  
Stainless steel barrel hinge

Barrel Type

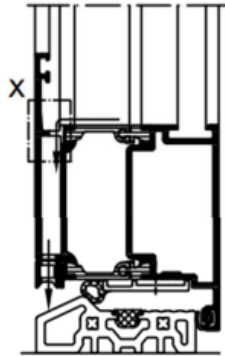
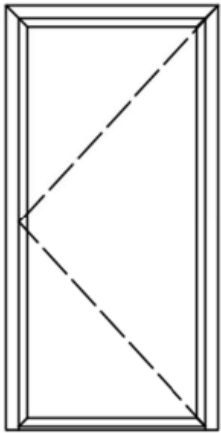


VL-Band 180° eingebaut  
Concealed 180° hinge installed

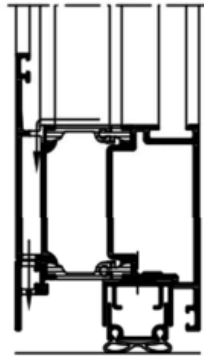
Consealed Type

## ◎ Door Basic : 하부 구성

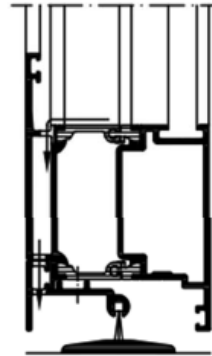
- 도어 하부 구성에 따라 다양하게 구분되며, 개폐 방향에 따라 적용이 달라짐



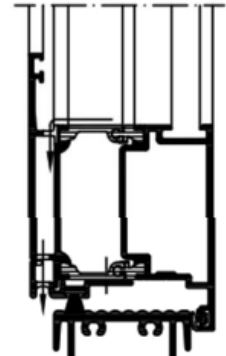
① Threshold



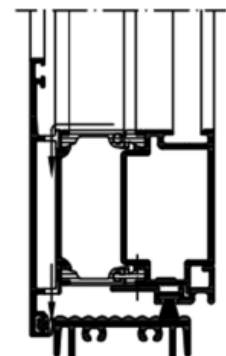
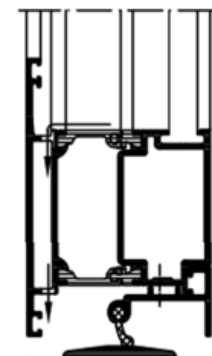
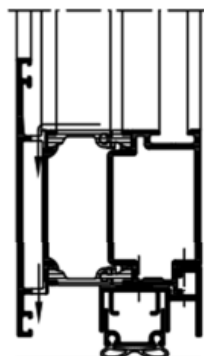
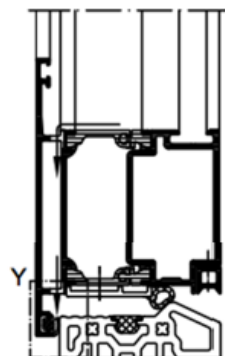
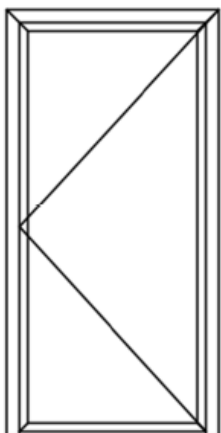
② Automatic door seal



③ Brush / gasket seal



④ Threshold alt.



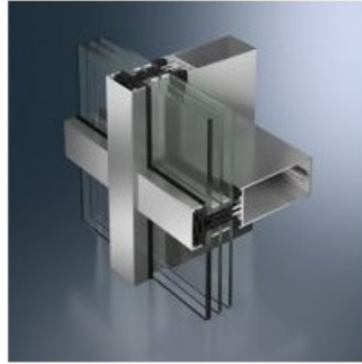
## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. Aluplast 홈페이지, [www.aluplast.net](http://www.aluplast.net)
2. (주)이건창호 이견아카이브 홈페이지, [eagon - main \(eagonwindows.com\)](http://eagon-main.eagonwindows.com)
3. <https://blog.lotte.co.kr/20848>
4. (주)이건창호, 2019년 사내 교육자료

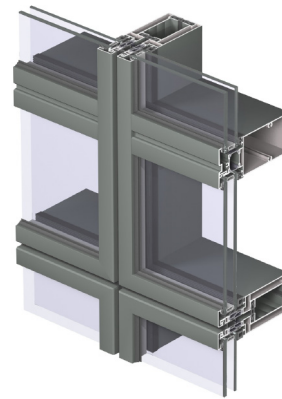
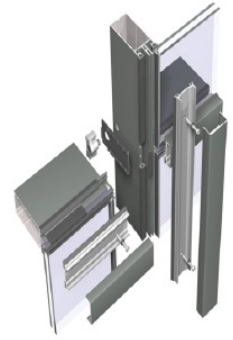
## 2 커튼월(Curtain Wall)

### ◎ Curtain Wall

- 커튼월은 건물 외벽에 달아 매는 방식으로 설치되는 비 내력벽이며, Stick type과 Unit type으로 구분함



Stick Type



Unit Type



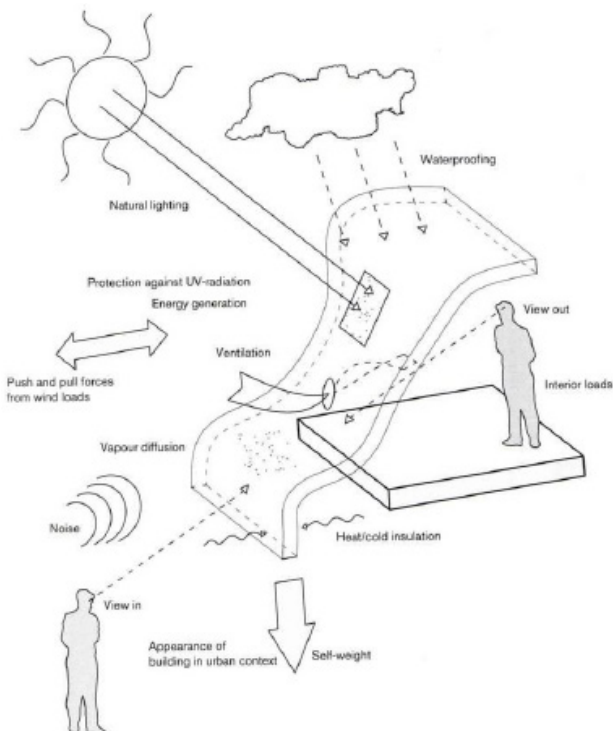
그림 출처 : 이강호 내부교육자료

## ◎ Curtain Wall Basic : 기본개념

- 커튼월(Curtain Wall): 건물의 하중을 부담하지 않은 벽(No-Load Bearing Wall)
  - 비내력 벽, 막벽, 달아매는 벽
- 주요재료: 알루미늄/스틸, 유리, Panel, 가스켓, etc.
- 특징
  - 경량화: 건물의 자체 무게를 경감하며, 건물의 기초와 구조에 소용되는 비용을 절감
  - 공기단축: 제품의 일부 또는 전부를 공장에서 제작하여 현장에 반입
    - \* 골조공사와 병행하여 생산 및 시공가능
  - 가설공사의 간소화: 건물 내부에서 작업이 가능하며, 비계 및 발판과 같은 가설공사비 절감
  - 고성능: 단열/기밀/수밀/구조/차음 등 실내 환경에 영향을 주는 외부환경의 영향을 조절
  - 미관의 향상: 각종자재(유리 및 금속재 판넬)를 사용하여 원하는 색상 및 입면 표현이 용이함

## ◎ Curtain Wall Basic : 주요 기능

- 창호와 마찬가지로 단열/기밀/수밀/구조 등의 성능이 요구되며, 특히 풍하중과 자중에 대한 안정성이 중요함
- 최근 건물 일체형 태양광 발전 설비와 연계되는 부분에서도 중요한 역할을 함



단열 / 기밀 / 수밀  
태양열취득률(SHGC)  
차음 / 내화 / 방범  
태양광(BIPV)

구조  
- 풍하중에 대한 안정성  
- 자중에 대한 안정성

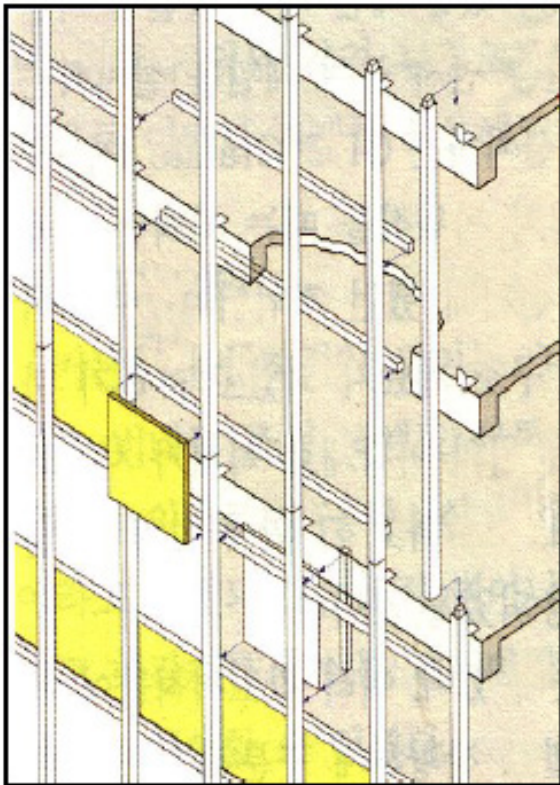


SK Chemical 사옥

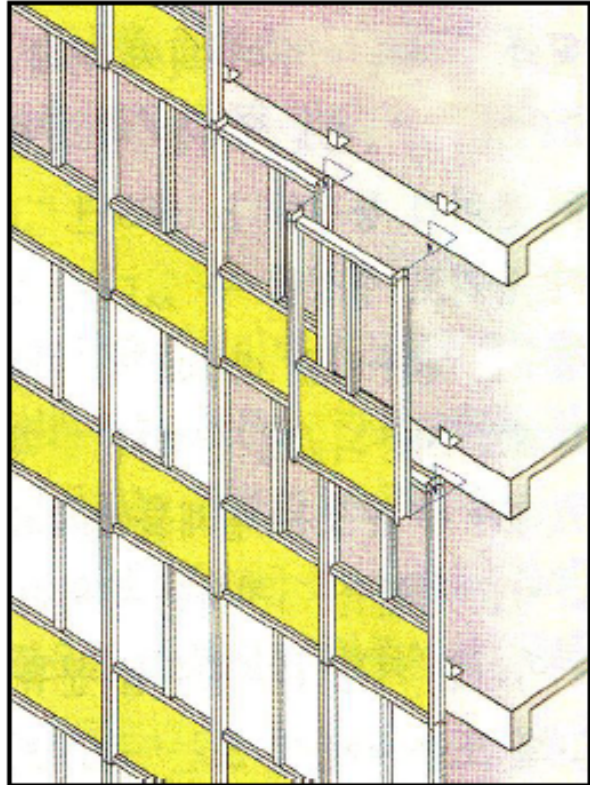
## ◎ Curtain Wall Basic : 주요 설치 타입 비교

- Stick type은 현장에서 프레임을 설치 후 글레이징 작업을 하여 완성함
- Unit type은 공장에서 제작된 프레임과 유리가 결합된 유니트를 현장에서 운반하여 시공함

그림 출처 : 이건축호 내부교육자료



Stick Type



Unit Type

구분	STICK SYSTEM	UNIT SYSTEM
설계	설계가 비교적 용이한 편이고 일반적인 공사에 적용된다.	설계가 어려우며 국내에 아직 전문가가 많지 않고 대형공사에 주로 채택된다.
품질	가공을 제외한 조립, 설치가 현장에서 이루어지며 QUALITY CONTROL이 비교적 어렵고 품질이 떨어지기 쉽다.	가공 조립이 공장에서 이루어지며 현장에서는 설치만 한다. 따라서 공장의 깨끗한 곳에서 숙련된 작업자에 의해 조립되므로 품질이 우수해지고 QUALITY CONTROL이 쉽다.
성능 (수밀, 기밀, 단열 등)	조립 설치가 현장 기능공의 현장 작업에 의존하므로 설계 의도대로 조립, 시공되기 어려우며 이에 따라 제 성능을 발휘하기 어렵다.	공장에서 조립되는 관계로 품질이 우수하므로 수밀, 기밀, 단열 성능 등이 우수하다.
운반	공장에서 가공하여 BAR의 상태로 운반하므로 운반이 용이하고 저렴하다.	공장에서 완전히 조립되어 운반되므로 운반 VOLUME이 커지고 주의가 요구되며 운반비용이 비교적 많이 든다.
시공성 및 공기	모든 구성 부재가 현장에서 조립되므로 시공이 번거로우며 공사 기간은 MAN POWER에 의해 조절될 수 있으나 동일 MAN POWER일 경우 공기가 길어진다.	모든 구성 부재가 공장에서 조립되므로 현장의 구체 공정과 관계 없이 공장에서 사전 작업이 될 수 있어 공기의 단축에 유리하며 시공성은 유리의 현장 취부에 따라 달라질 수 있다.
경제성	구성 부재의 형태, SIZE에 따라 좌우된다.	주요 구조재인 MULLION이 암, 수 2개로 분리되어 있어 구조적으로 비경제적인 면이 있다.

출처 : 이건축호 내부교육자료

## ◎ Curtain Wall Basic : 부재 용어

- 구성자재는 크게 앵커(Anchor)와 본체(Mullion, Transom, Glass 등)으로 구분됨
- 앵커: 커튼월과 건물을 연결하는 장치를 총칭
  - 매립철물 : 앵커 클립을 슬래브에 고정하기 위해 슬래브에 매설하는 자재
  - 앵커클립 : 수직부재와 슬래브를 연결하는 앵글, 채널, 플레이트 등의 구조재
  - 화스너 : 커튼월 앵커에서 각 부재들을 연결하는 볼트/너트, 스크류 등

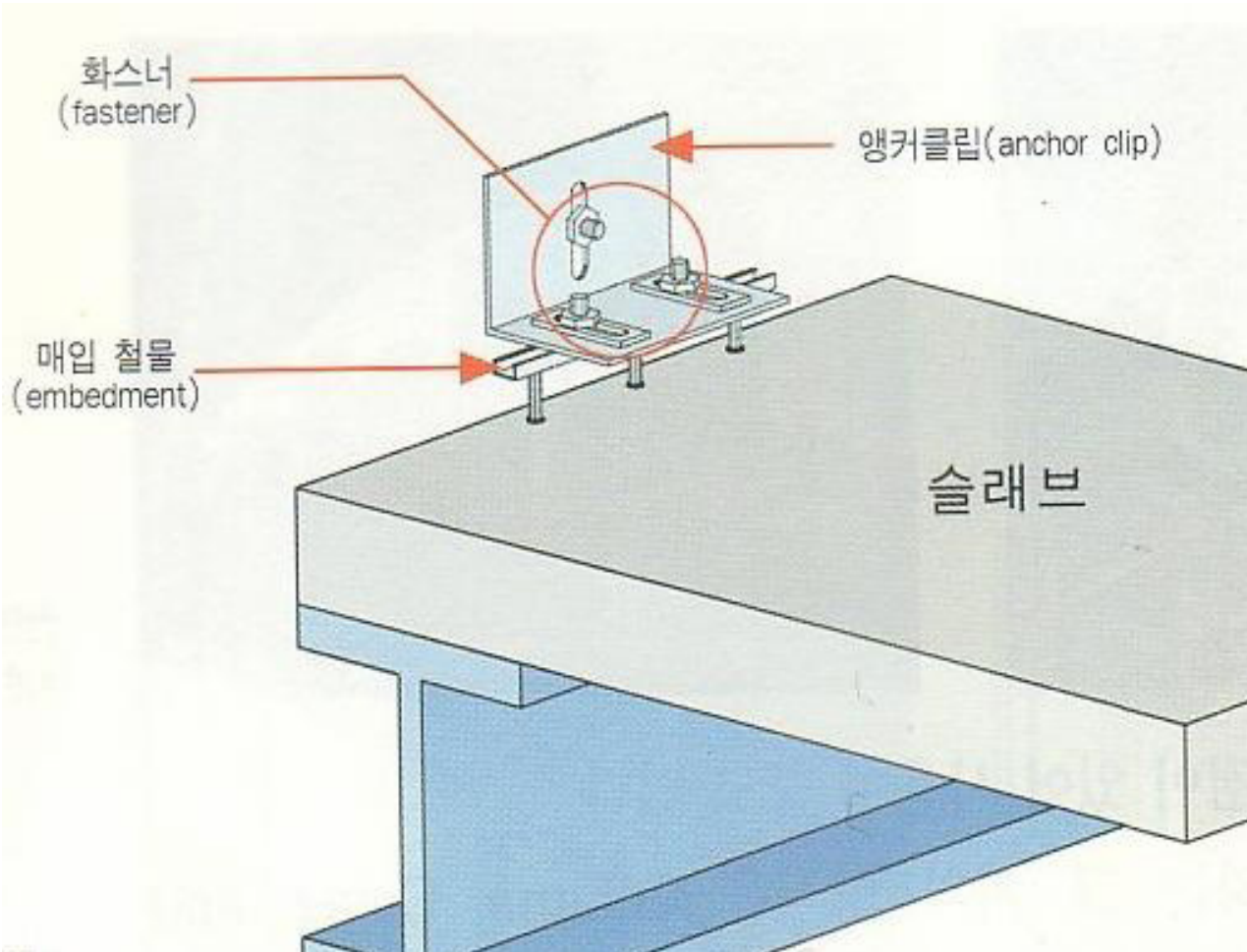


그림 출처 : 이건축호 내부교육자료

- 본체: 입면을 구성하는 주요 부재
  - 수직부재(Mullion) : 주(main) 구조 부재로서 구조적 안정성이 중요함
  - 수평부재(Transom) : 부(sub) 구조 부재로서 풍하중과 유리 자중을 부담함  
(유리 하중에 의한 처짐 검토 필요)
  - 투영(Vision)구간 : 채광 및 외부 조망 구간으로 유리가 설치되는 구간
  - 스펀드럴 구간 : 천장이 시작되는 부분에서 상부층 창 하부까지의 구간  
(유리, 판넬, 석재 등의 마감재 설치)

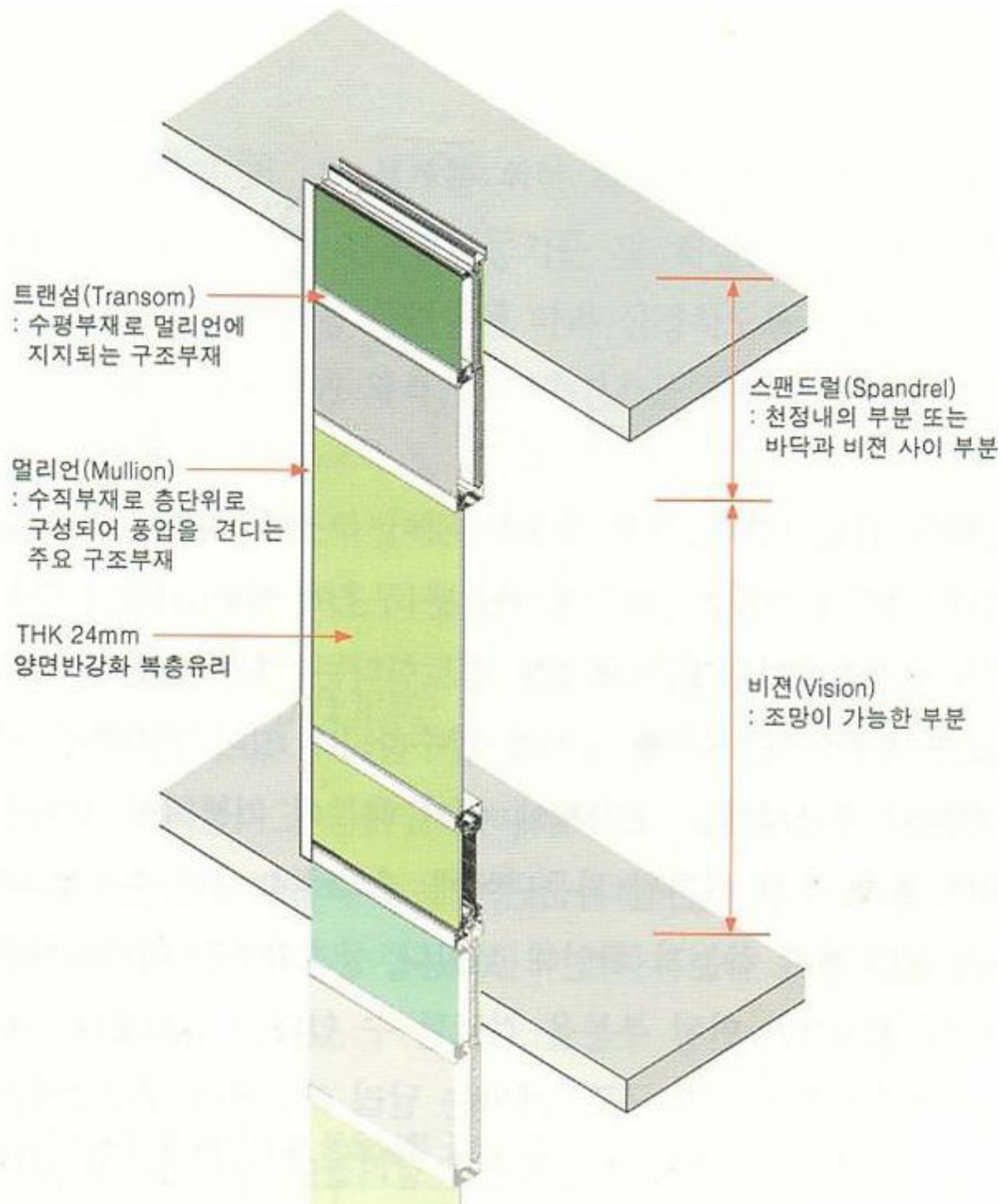
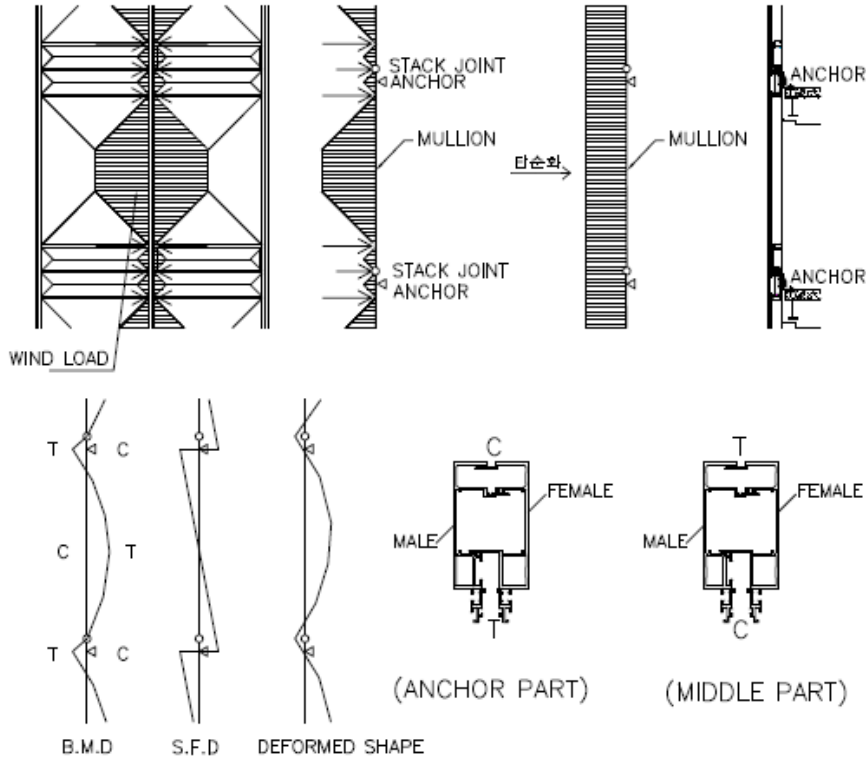


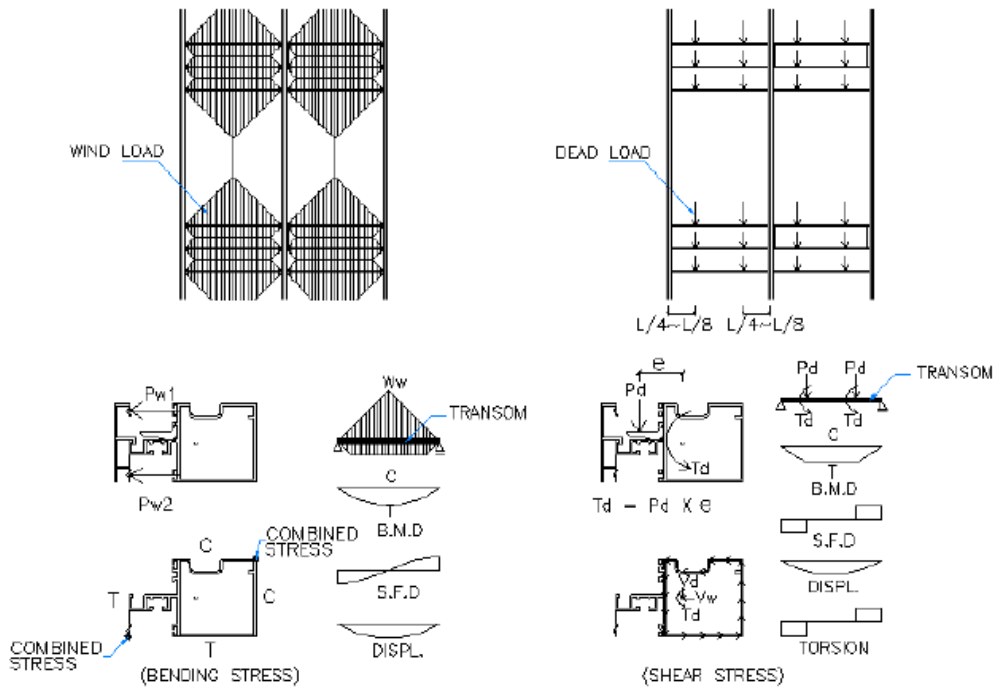
그림 출처 : 이건축호 내부교육자료

◎ Curtain Wall Basic : 풍하중

- 커튼월의 수직부재와 수평부재에 대한 구조검토가 중요하며, 고정하중과 활하중(풍하중)에 대한 면밀한 검토가 요구됨



수직부재 \_ 허용응력, 허용처짐  
그림 출처 : 이건축호 내부교육자료



수평부재 \_ 모멘트, 전단력, 비틀림, 허용처짐  
그림 출처 : 이건축호 내부교육자료

### ◎ Curtain Wall Basic : 각 부재별 용어

- 커튼월은 주요 자재로 수직부재-Mullion, 수평부재-Transom으로 구분함
- 입면에서는 외부 조망이 가능한 Vision 구간과 해당층 상부부터 상부층 하부구간을 Spandrel 구간으로 구분함

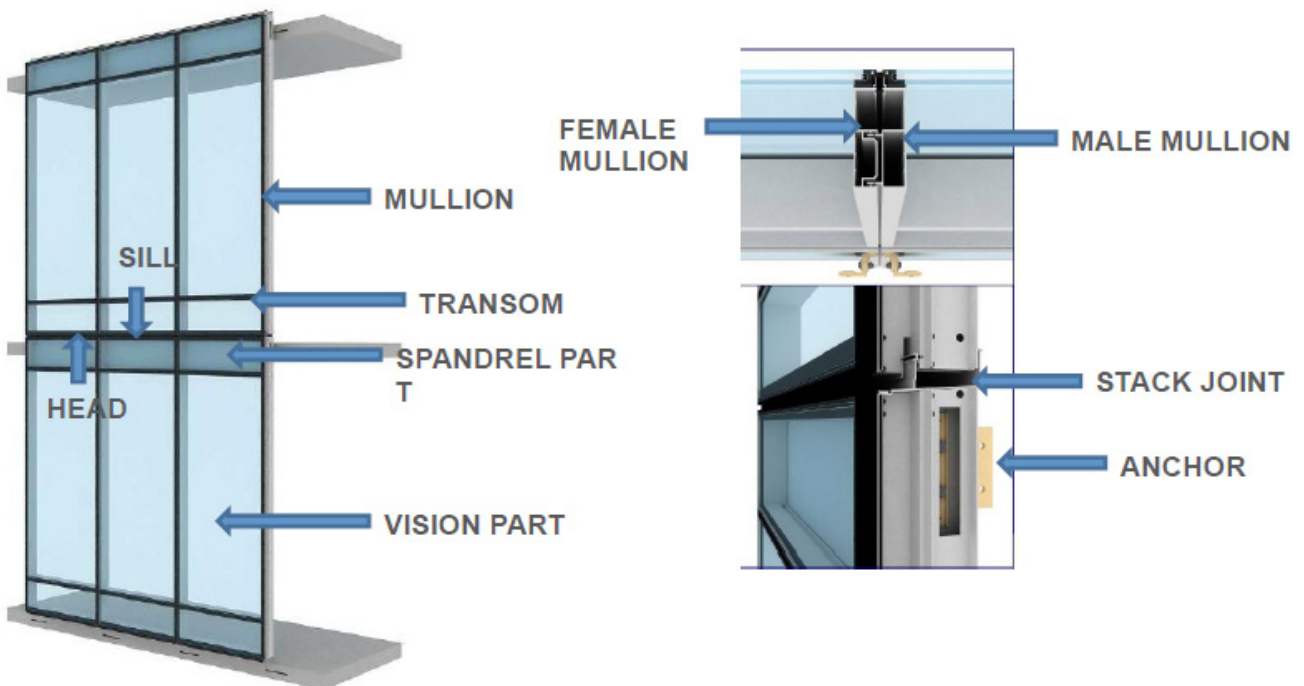
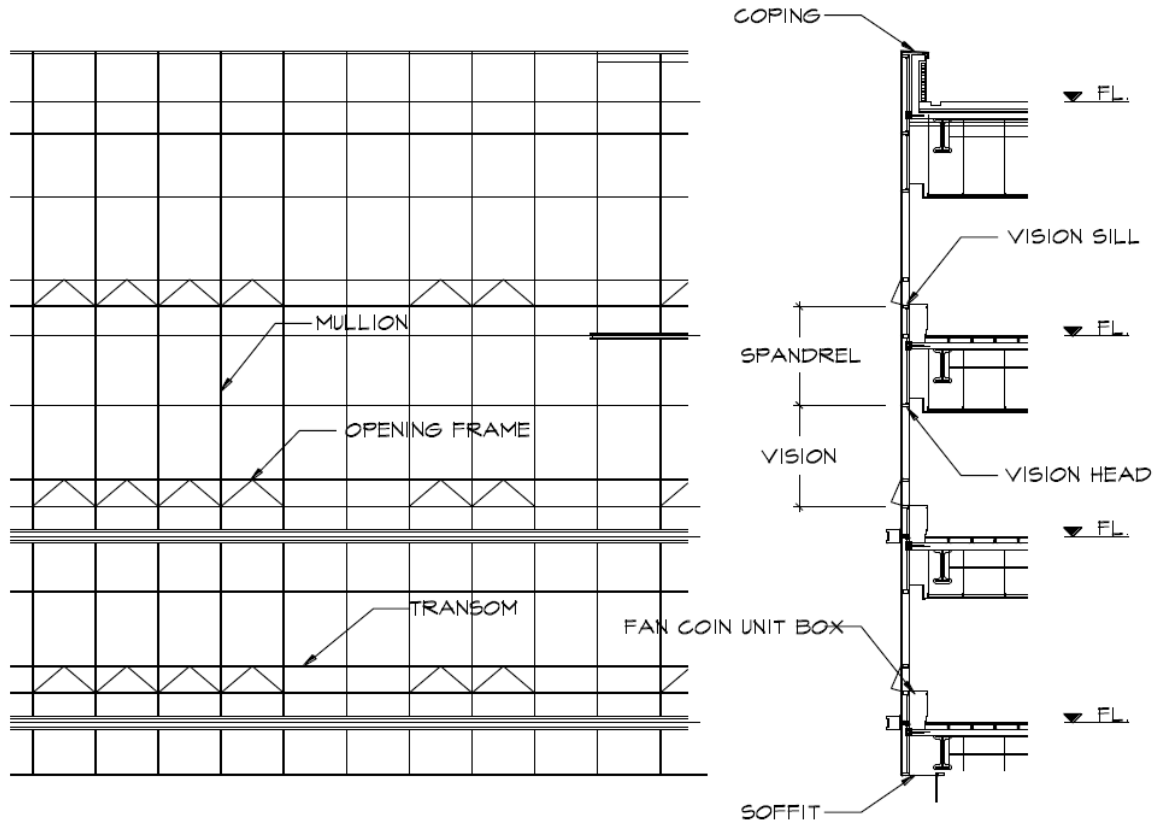


그림 출처 : 이건축호 내부교육자료

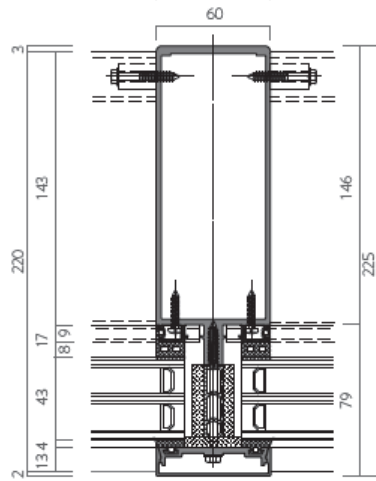
## ◎ Curtain Wall Basic : 외부마감 타입

- 외부 마감 조건에 따라 CAP type과 SG type으로 구분됨

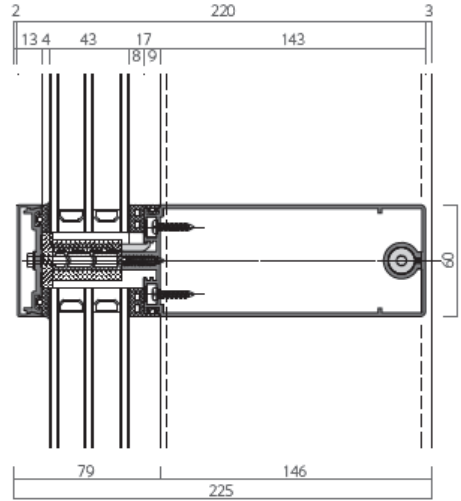
CAP TYPE



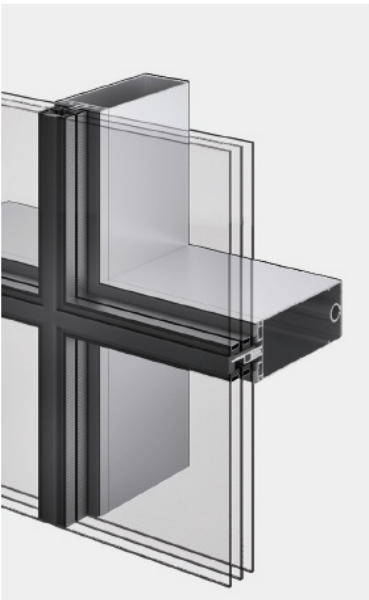
MULLION



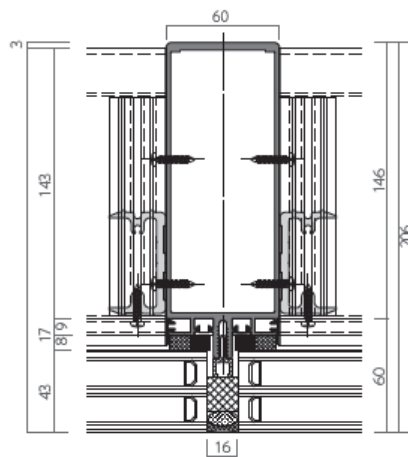
TRANSOM



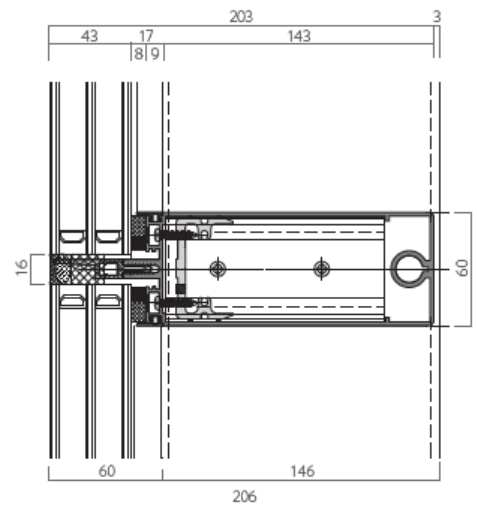
SG TYPE



MULLION



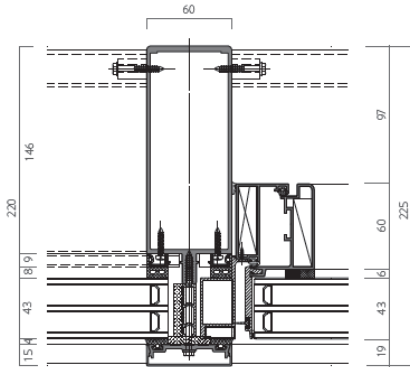
TRANSOM



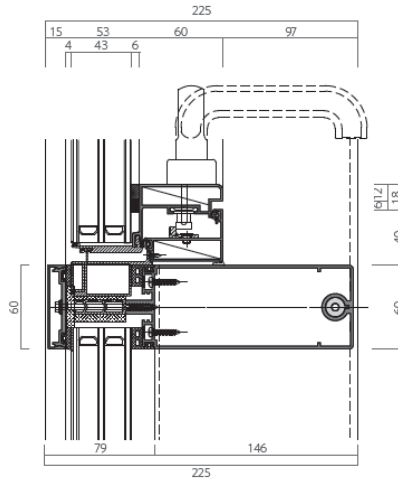
## ◎ Curtain Wall Basic : 고정창 및 개폐창

- 고정창 뿐만 아니라 환기를 위한 개폐창이 함께 구성됨
- 주로 Out ward Top hung type으로 결합됨

MULLION



TRANSOM

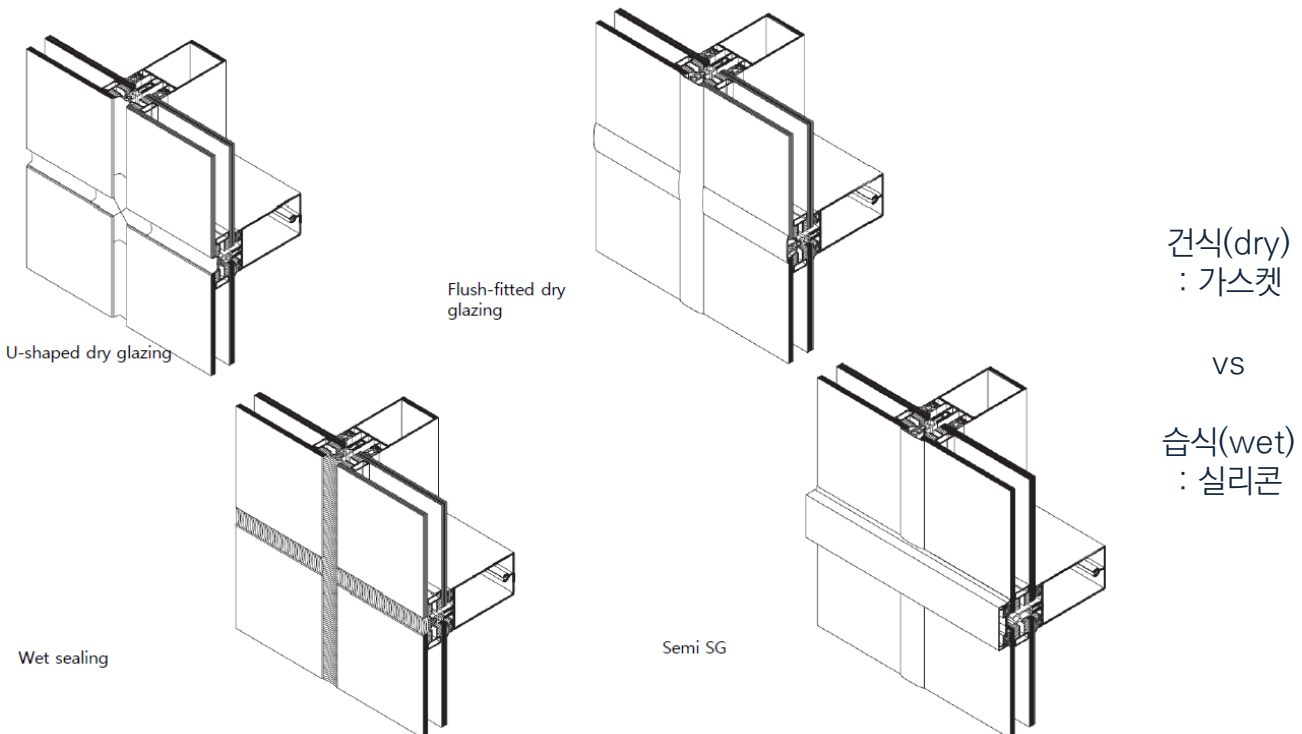


EFS 60 + EWS 60 SG



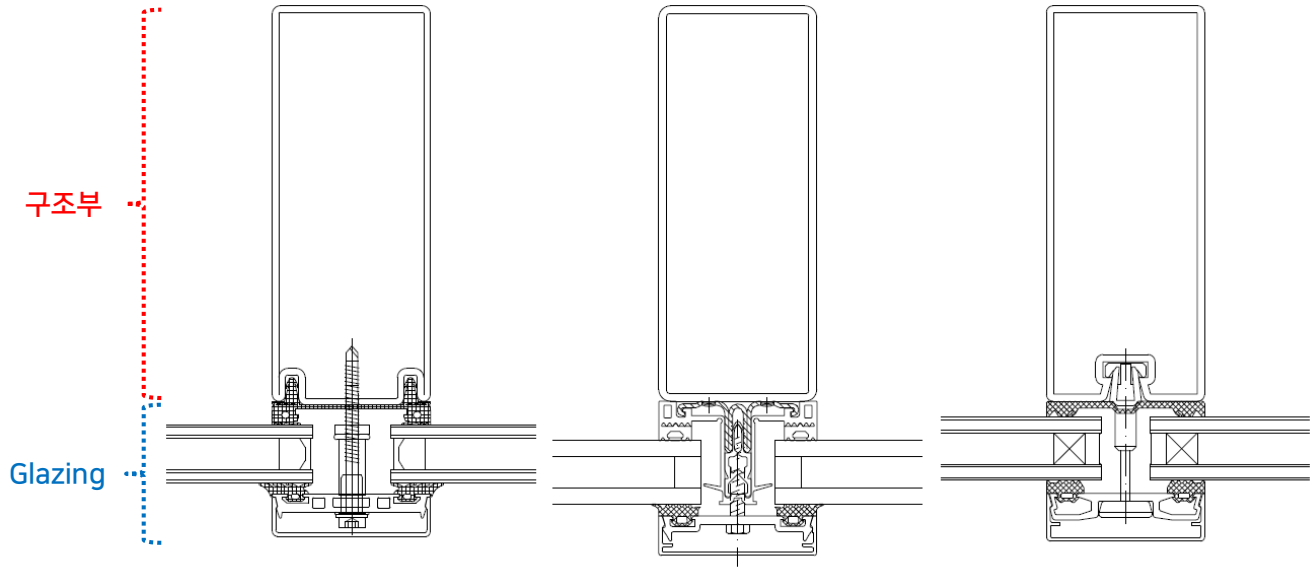
## ◎ Curtain Wall Basic : Glazing Option

- 외부 마감은 Cap type과 SG type으로 크게 구분
- SG type 또한 가스켓 등을 이용한 건식 마감과 실리콘을 이용하는 습식 마감으로 구분



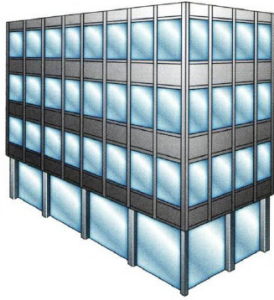
### ◎ Curtain Wall Basic : 복합구성

- 주요 구조부는 Steel로 Glazing 부분은 AL 로 구성되는 커튼월

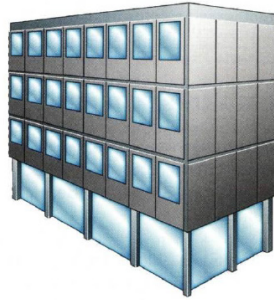


## ◎ Curtain Wall Basic : 설치 타입 비교

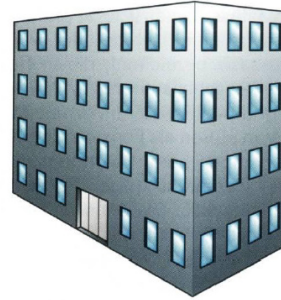
- 커튼월 프레임 구성에 따라 Cap 노출 타입과 비노출 타입(Structural Glazing)으로 구분될 수 있으며, 이중외피 구성에도 사용함



Mullion-Transom Construction



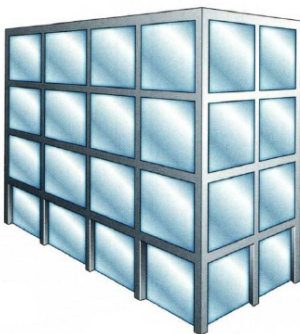
Unitized Façade



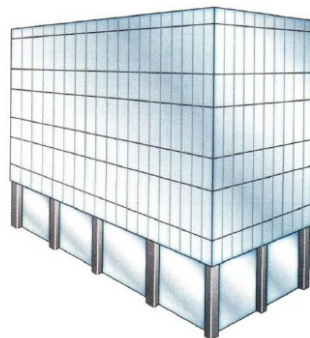
Window Façade



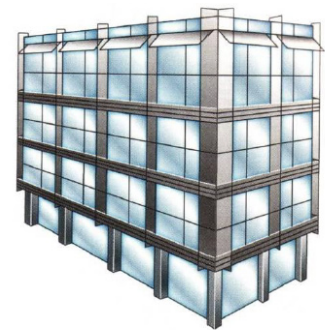
Ribbon Façade



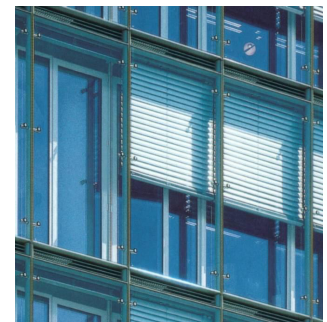
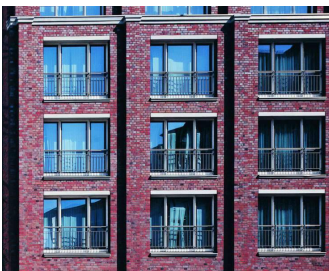
Infill Façade



Structural Glazing



Twin Wall Construction



## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. (주)이건창호 이견아카이브 홈페이지, eagon - main (eagonwindows.com)
2. <https://blog.lotte.co.kr/20848>
3. (주)이건창호, 2019년 사내 교육자료

### 3 열성능 향상방법

#### ◎ 열관류율 계산식을 통한 개념 분석

$$U_W = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$

- 창호의 열성능을 향상 시키기 위해서는  $U_w$  = 창 전체의 열관류율,  $W/m^2K$  을 낮추어야 함

$U_f$  = 프레임 열관류율,  $W/m^2K$

$A_f$  = 프레임 면적,  $m^2$

$U_g$  = 유리 열관류율,  $W/m^2K$

$A_g$  = 유리 면적,  $m^2$

$l_g$  = 유리 엣지 둘레 길이, m

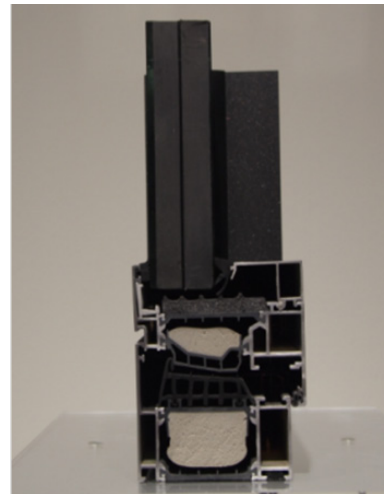
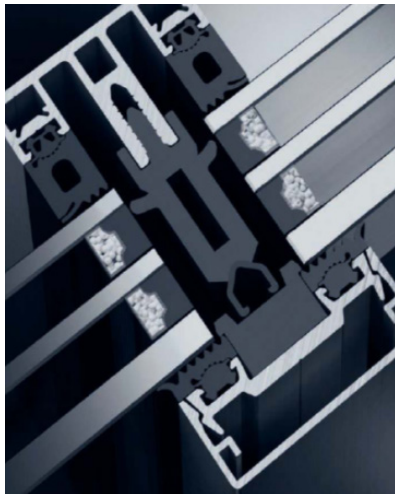
$\Psi_g$  = 유리 엣지 선형 열관류율,  $W/mK$

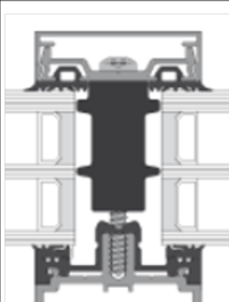
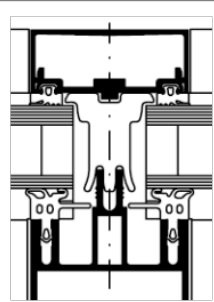
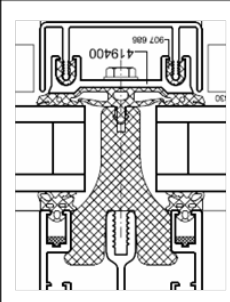
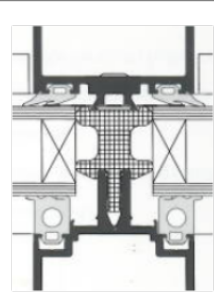
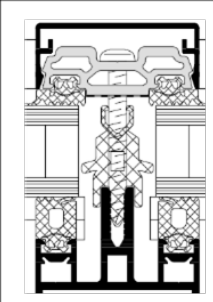
창호의 면적이 동일한 상태에서,

- 1) 프레임 열관류율 최소화 → **Multi chamber / Thermal breaker**
- 2) 유리의 열관류율 최소화 → **Low-e glass / multi layer / AR gas**
- 3) 유리 엣지 선형 열관류율 최소화 → **단열간봉**
- 4) 프레임 면적의 최소화 및 유리 면적의 최대화 → **Slim Frame**

## ◎ Frame 단열성능(Uf) 향상

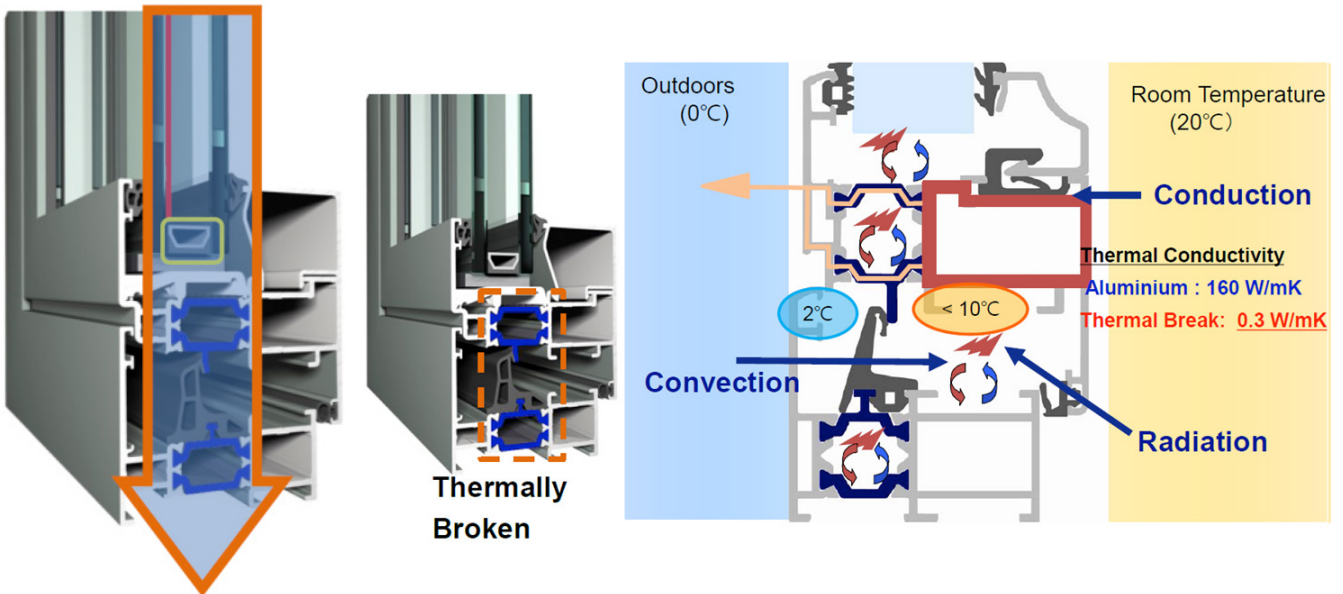
- 고단열 프레임 설계 및 적용
- 현재의 프레임 최고의 단열기술은 0.8 W/m<sup>2</sup>K의 성능
  - 챔버내 자연대류 최소화
  - 다중 챔버 단열바
  - 이중, 이형 압출 가스켓
  - Frame Depth 조절
  - 외부 추가 단열(폼 충전 등)
  - 창유리와 단열라인 일체화 등



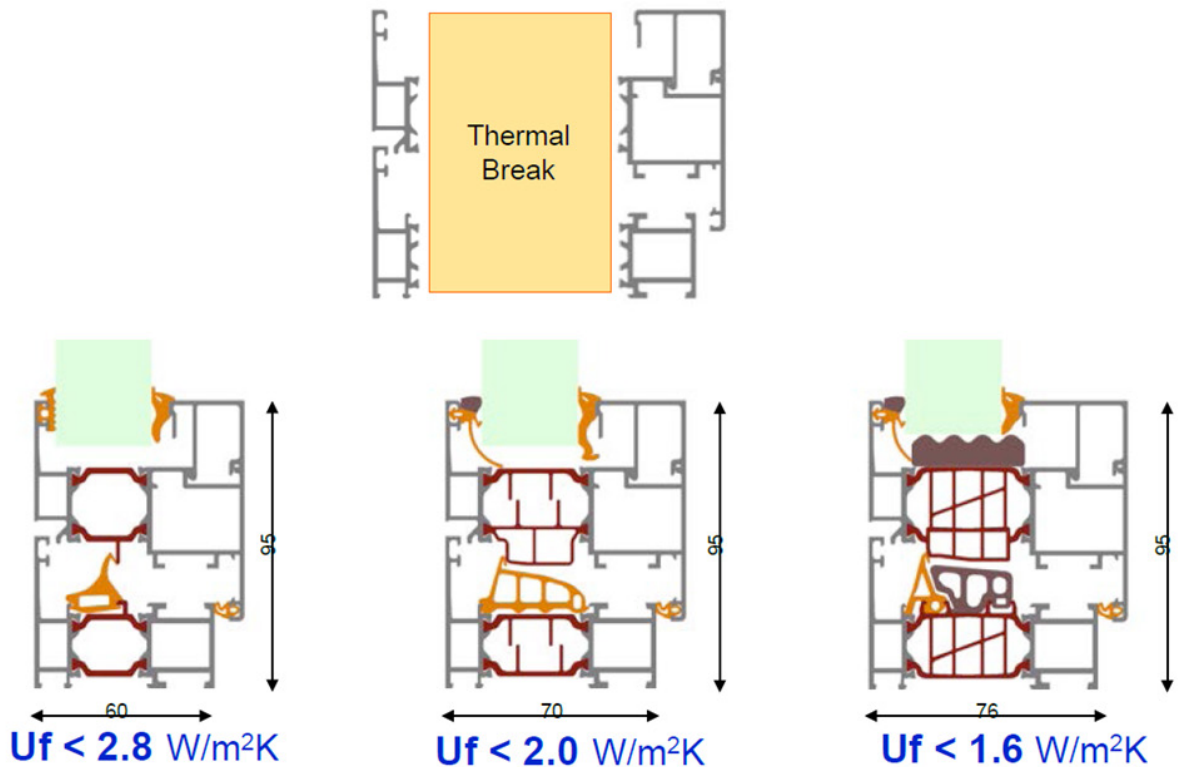
Raico	Wicona	Hueck	Kawneer	Schüco
				
Therm+ A-I	Wictec 50 HI	1.0 VF 50	AA 100 HI	FW 50+.SI
0.80 W/m <sup>2</sup> K	1.20 W/m <sup>2</sup> K	1.00 W/m <sup>2</sup> K	1.30 W/m <sup>2</sup> K	0.80 W/m <sup>2</sup> K

[Super Insulation Frame Sample]

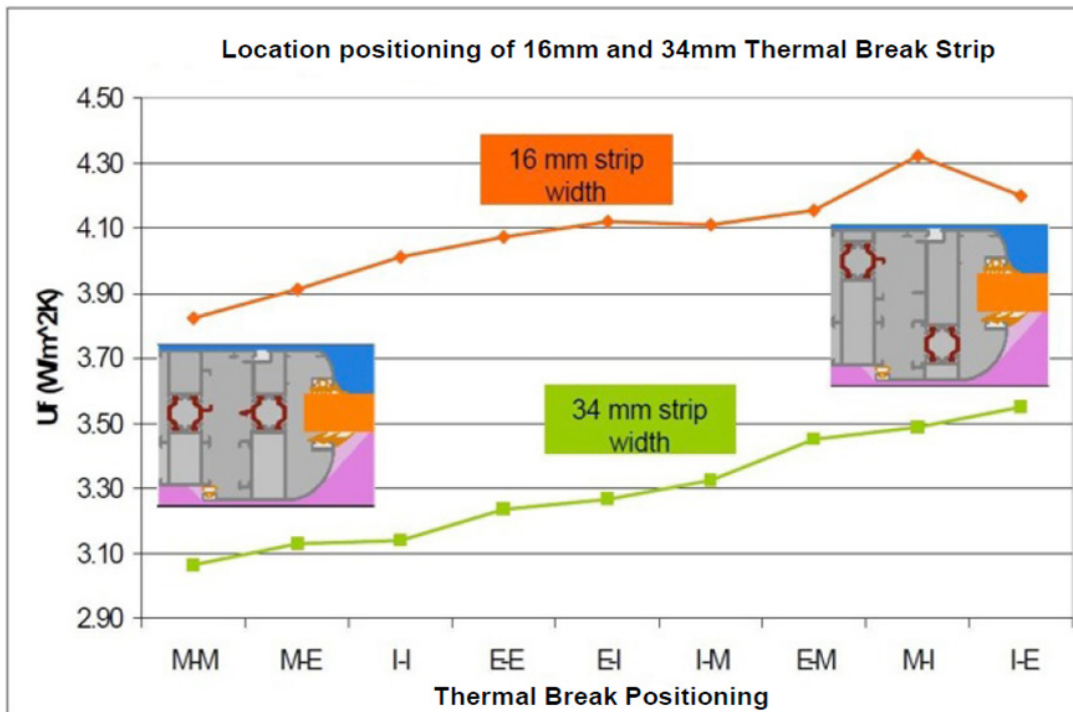
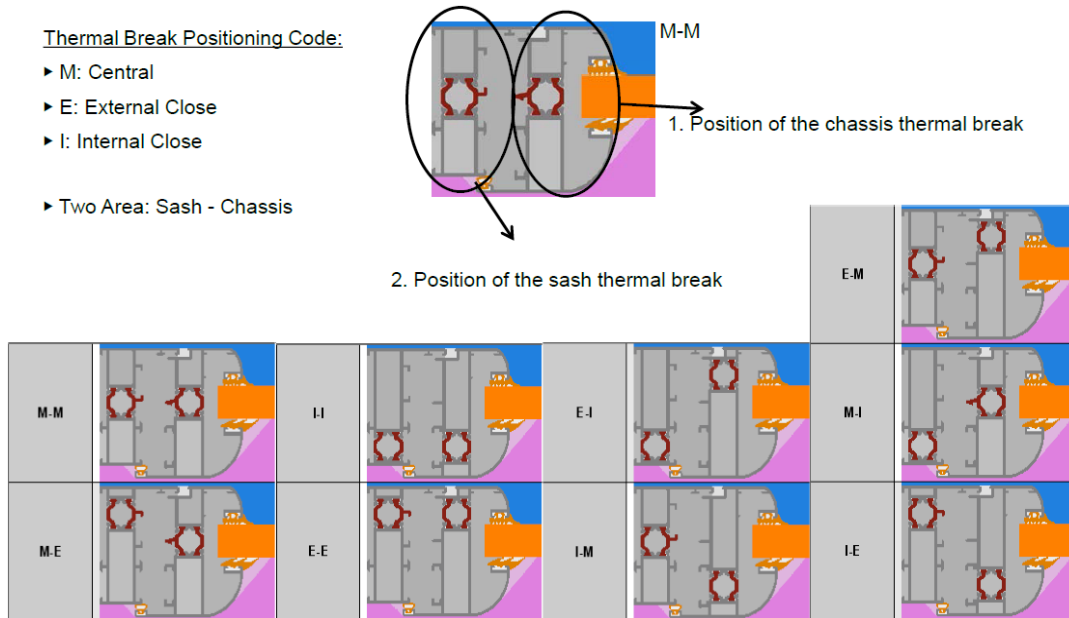
● 프레임 단열 라인 및 열전달 경로



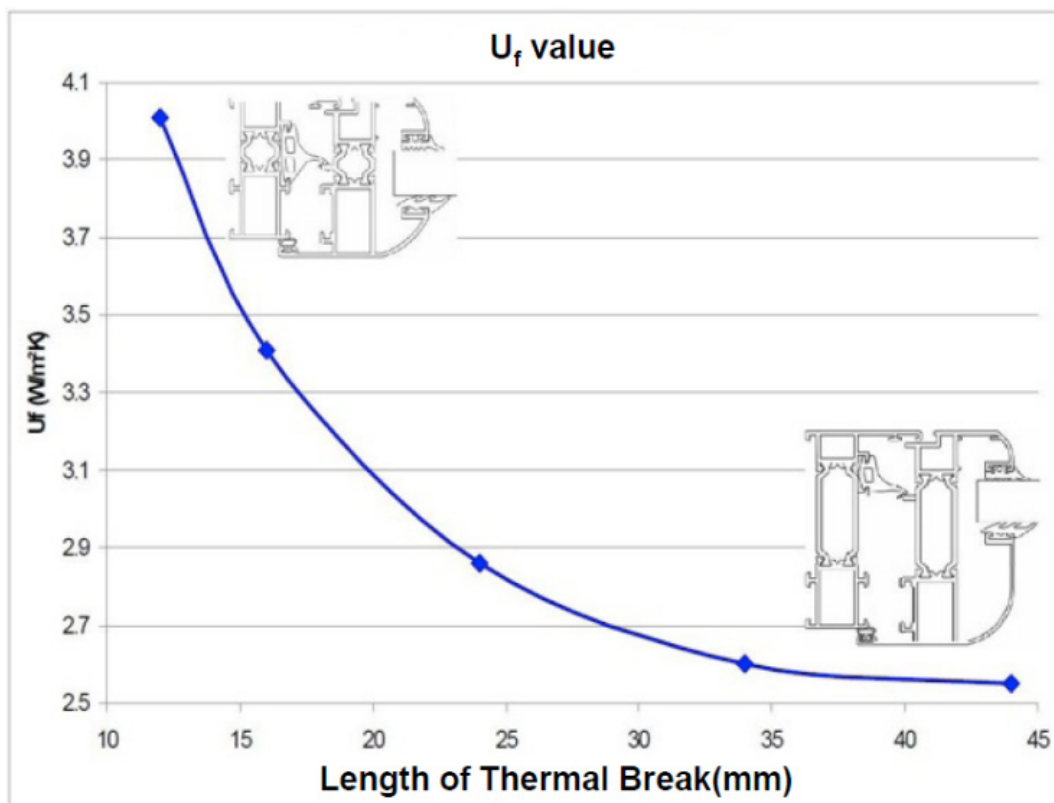
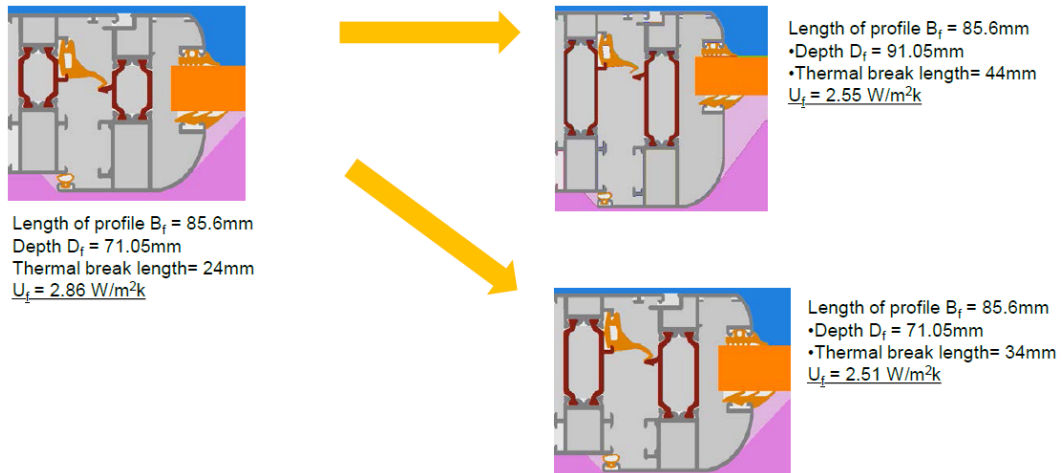
- 열교차단재 형상에 따른 성능 변화
- 단열 구간의 넓이가 넓어질 수록, 단열 공간의 형상을 복잡하게 구성할 수도록 Frame의 단열성능은 개선됨
- Frame의 폭(width)에 대한 한계 고려가 필요함



- 열교차단재 설치 위치에 따른 성능 변화
- 동일한 프레임 구조에서 열교차단재(폴리아미드)의 위치에 따른 단열성능의 변화를 검토한 자료로, 프레임의 좌우측부와 중앙부에 대한 위치 조합을 검토하였을때, 유리 위치와 일치되는 중앙부분에 열교차단재가 위치할 때 가장 높은 단열성능(Uf)를 확인할 수 있음



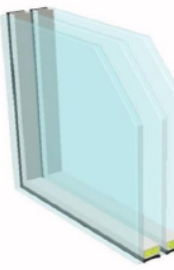



- 열교차단재 길이에 따른 성능 변화
- 동일한 프레임 구조를 이용하여 열교차단재(폴리아미드)의 길이만을 조정할 때 프레임의 열관류율 변화를 나타낸 것

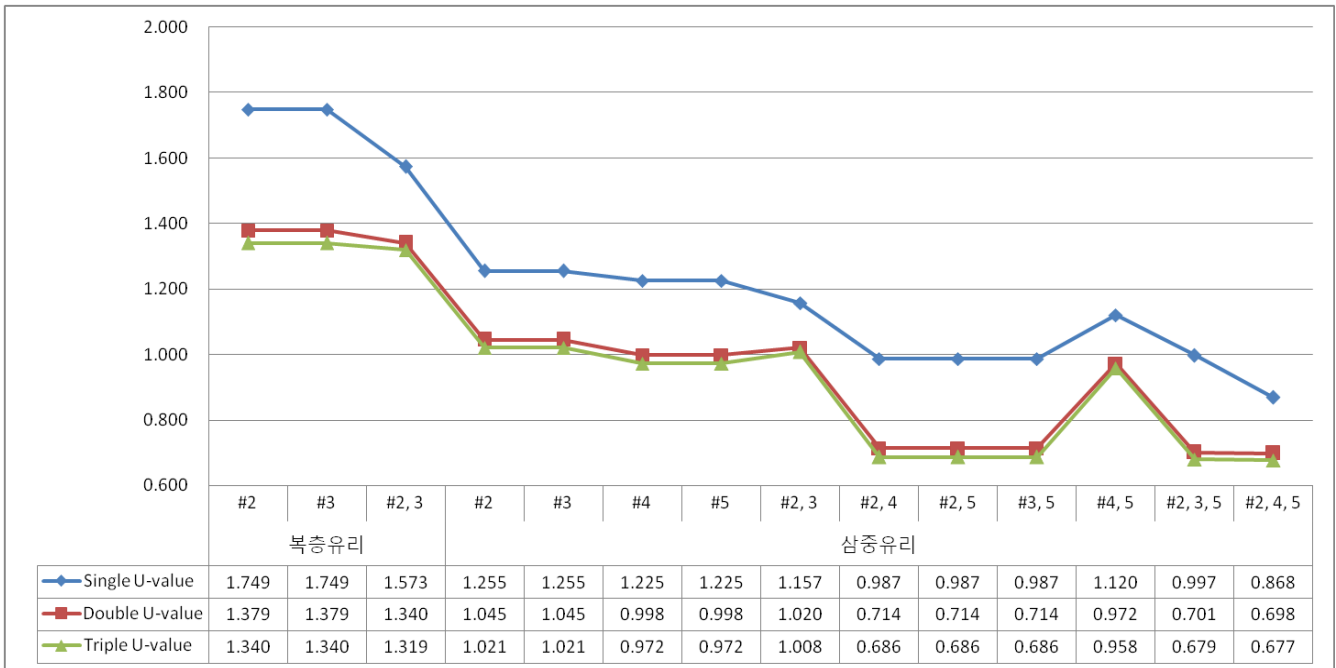


## ◎ Glazing 단열성능( $U_g$ ) 향상

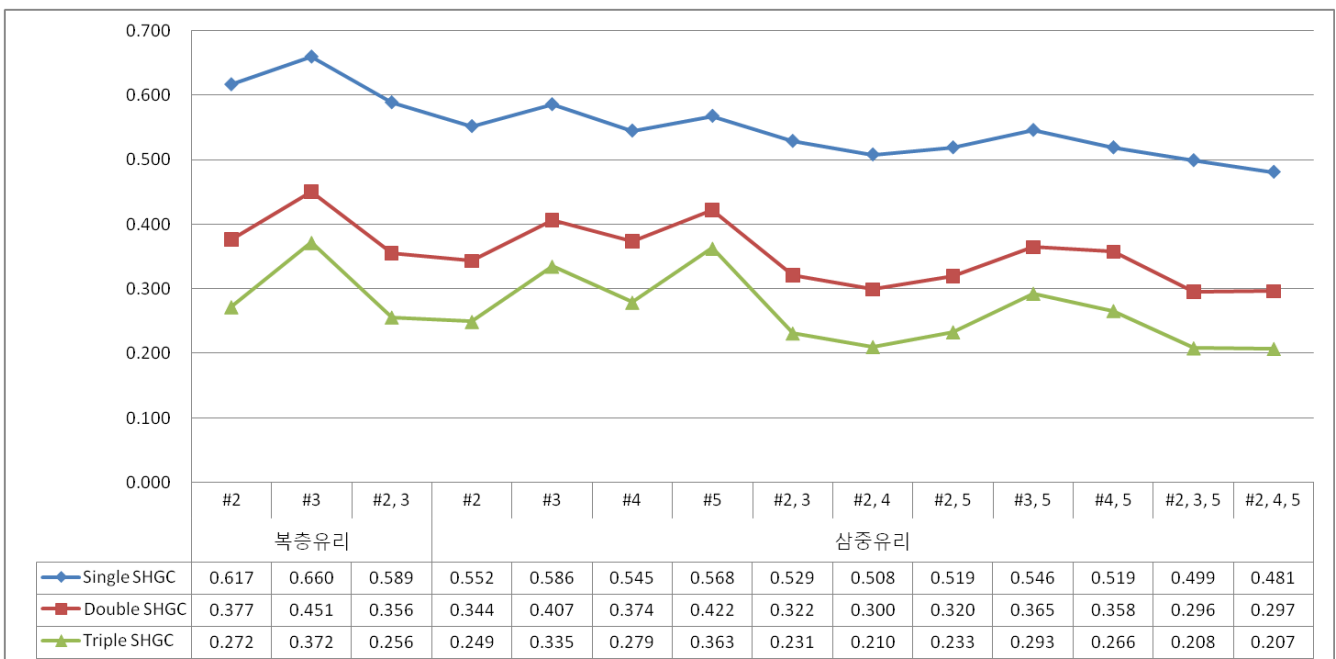
- 창유리 성능 향상
- 복층/삼중/사중 유리로 제작해 나가고, Low-e glass 의 적용, 불활성 가스(Ar, Kr, etc)의 적용 등을 통하여 단열성능을 개선시키고 있음
- 최근 진공유리를 통하여 최상의 단열성능과 SHGC의 조합을 가지는 유리로의 접근이 확대되고 있음

	2000	2007	2010	2015
Glazing System				
Glass depth	Double pain IG 22mm	Double pain IG with Argon 23mm	Triple pane IG with Argon 42mm	Vacuum Glazing 27.25mm
$U_g$ value	$U_g=1.7$ W/m <sup>2</sup> K	$U_g=1.4$ W/m <sup>2</sup> K	$U_g=0.7$ W/m <sup>2</sup> K	$U_g=0.3\sim0.6$ W/m <sup>2</sup> K

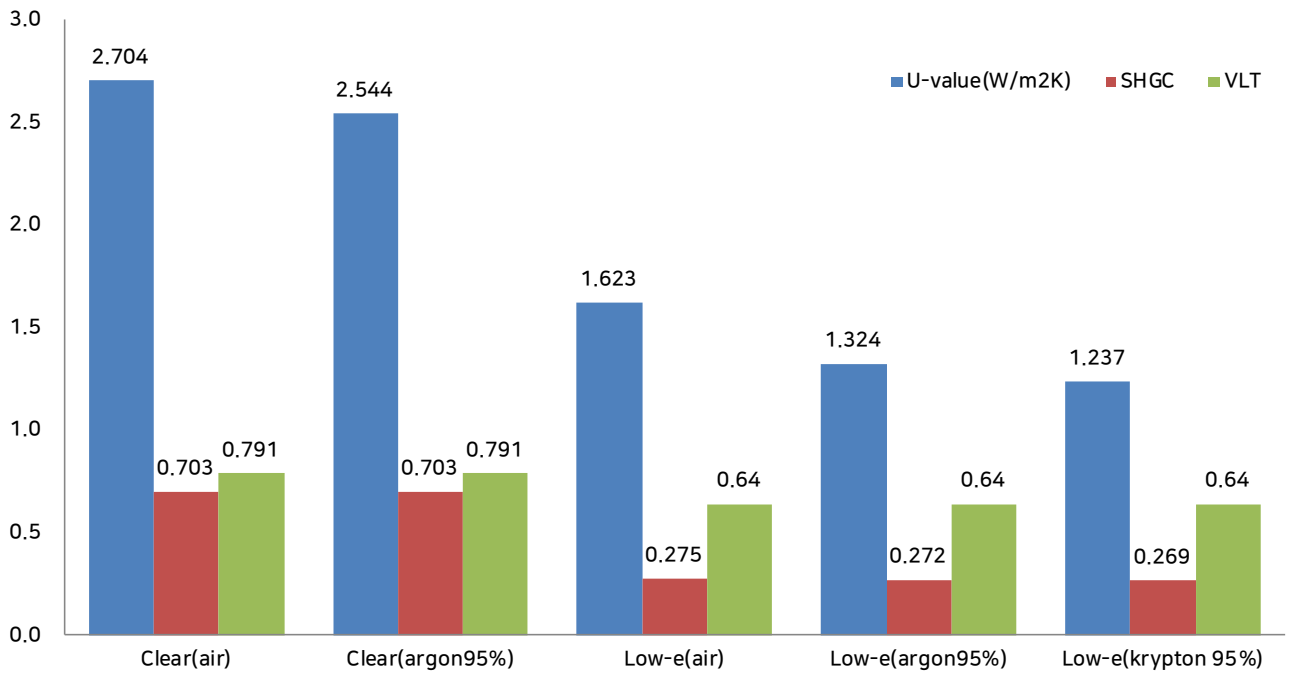
• Low-e 유리 성능과 위치에 따른 Glazing 단열성능 비교



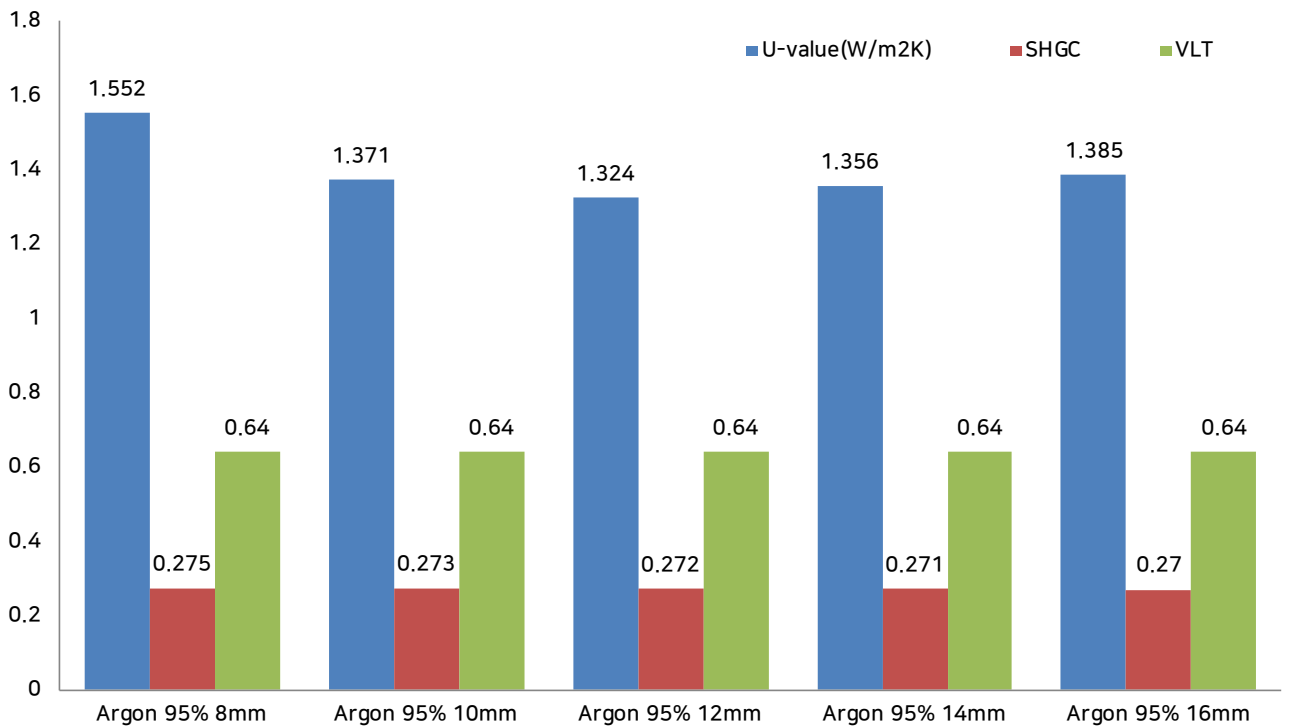
• Low-e 유리 성능과 위치에 따른 Glazing SHGC 비교



● 충전가스에 따른 단열성능 비교



● 복층유리의 간봉(스페이서) 간격에 따른 성능 분포(NFRC 기준)



### ◎ Glazing Edge 선형열관류율 ( $\psi_g$ ) 최소화

- 단열간봉 종류 및 성능

Spacer	CHROMATECH plus	CHROMATECH	CHROMATECH ultra	Swisspacer	TGI	Themix TXN	SS Triseal	TPS
Shape								
Supplier	Rolltech	Rolltech	Rolltech	Saint Gobain	Technoform	Ensinger	Edgetech	Various Sealant Supplier
Spacer bar system	Homogeneous Stainless steel	Homogeneous Stainless steel	Stainless steel with PC bridge	Composit - plastic	Composit - plastic	Composit - plastic	Silicone foam	Thermoplastic
Insulating Material	SST 0,15 mm	SST 0,18 mm	Polycarbonate	Polycarbonate / fibreglass	Polypropylene	Polypropylene / fibreglass armed	Silicone with desiccant implemented	Isobutylene / desiccant
Damp barrier	SST 0,15 mm	SST 0,18 mm	SST 0,10 mm	SST 0.01mm / Alum Foil	SST 0,10 mm	SST 0,10 mm	Multilayer plastic spray	Isobutylene
Production technology	Roll forming	Roll forming	roll forming & connect with polycarbonat bridge	Extruded & separate foil application	SST/PP Co-extrusion	SST/PP- fibreglass co-extrusion	Extruded; separate Foil & Acrylic glue application	Lenhardt Robot application from drums
PSI value W/mK PVC frame	0,051	0,051	0,041	0,034 - 0,045	0,044	0,041	0,035	0,039
Remarks	Corrugated austenitic SST profile	Traditional austenitic SST standard profile	Austenitic SST shell & PC Top	Variations with different damp barrier foils & diff. Psi values	Ferritic steel & PP	PP Fibreglas & Glued Moisture barrier	Triseal with Butyl barrier - diff. Moisture barrier	Thermoplastic spacer

- 창유리 성능 향상을 위한 단열간봉 사용
- 단열간봉을 사용하는 것이 유리의 단열성능에 도움이 되며, 일정 수준 범위에서 유의미한 영향을 주는지 고려 필요

#### Example: Frame with $U_f$ 1.2 – Insulating Glass Unit with $U_g$ 1.1 (940 x 1048 mm)

Spacer type	PSI [W/m K]	Exact Uw Value [W/m <sup>2</sup> K]	Rounded value acc. to EN 10077
Aluminum	0.085	1.368	1.4
Stainless Steel 0.15	0.050	1.270	1.3
Extruded PP with Ferritic Steel foil	0.044	1.254	1.3
Extruded PC hybrid spacer with austenitic Steel foil	0.041	1.245	1.2
Flexible silicone	0.035	1.229	1.2

[간봉재료에 따른 단열성능 기여도]

## ◎ 프레임 면적 최소화 및 유리면적 최대화

- AL. Frame 창호에서는 일반적으로 유리의 단열성능( $U_g$ )이 프레임의 단열성능( $U_f$ )보다 좋기 때문에 프레임 면적 최소화, 유리 면적 최대화로 전체 열관류율( $U_w$ )를 향상시킬 수 있음
- 디자인 및 구조적 이슈가 함께 고려되어야 하며, 유리와 프레임이 동일할 경우 유리의 면적이 넓을수록 단열에 유리



VS



### ◎ 참고 서적 및 사이트

1. ASHRAE Handbook of Fundamentals(2001)
2. 조용철, TECHNOFORM BAUTEC 기술자료집, 2015
3. Fenzi, SUMMARY ANALYSIS OF THE DIFFERENT FAMILIES OF WARM EDGE SPACERS AVAILABLE ON THE MARKET : Guide to making informed choice, 2011 No. 3 Newsletter

## A.4

## 일사조절장치 기술

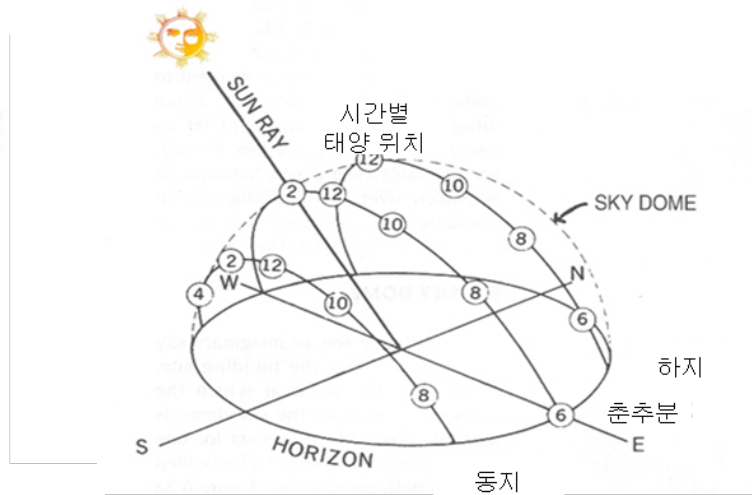
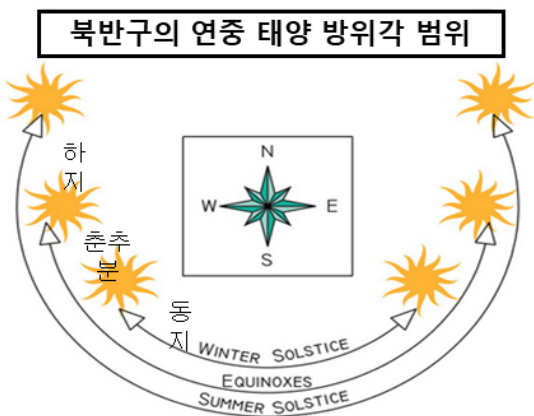
## 교육 목표

- \* 일사조절장치의 개념 및 필요성 이해
  - \* 일사조절장치의 적용 목적 이해
  - \* 일사조절장치 분류의 이해
- 일사조절장치 기술**
- \* 열환경 및 빛환경 측면에서 일사조절장치 효과 이해
  - \* 일사조절장치 제어방법의 의미와 제어방법에 따른 분류 이해
  - \* 블라인드 자동제어 방법에 대한 이해
  - \* 일사조절장치 적용 사례 이해

## 1 일사조절장치의 개념 및 목적

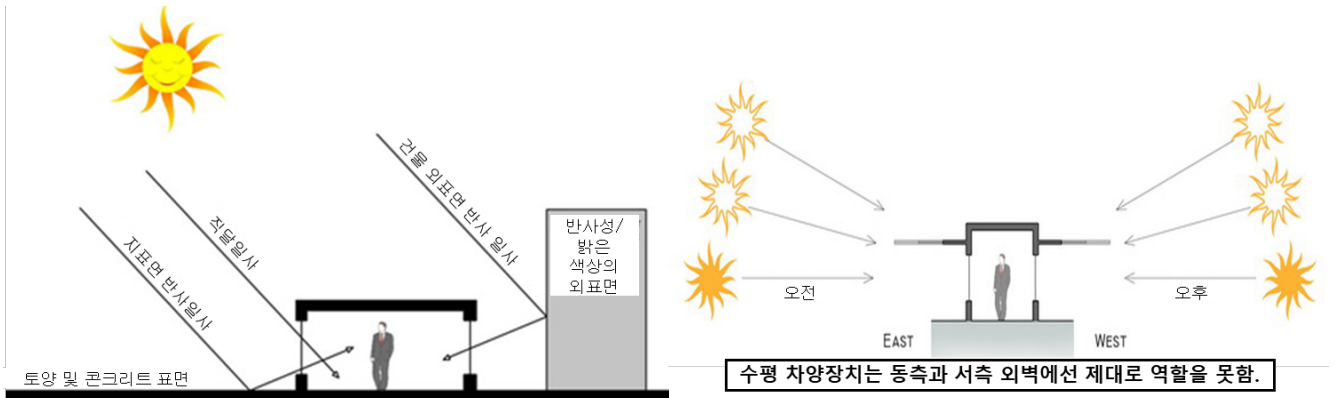
## ◎ 개요

- 태양에너지는 인간의 생존을 유지시키는 기본적 에너지원으로 빛과 복사열을 함께 제공함으로 건물의 자연형 기후조절에 중요한 요소
- 태양에너지가 제공하는 주광 성분은 지역기후에 관계없이 실내로 항상 일정 수준 이상의 양을 유입하는 것이 바람직한 반면, 태양 복사열은 지역기후의 조건에 따라 실내 유입 또는 차단을 결정해야 함
- 채광과 냉방이라는 상반된 조절개념을 동시에 고려해야 하기 때문에 창호를 통한 유입일사의 효과적 조절방안 필요



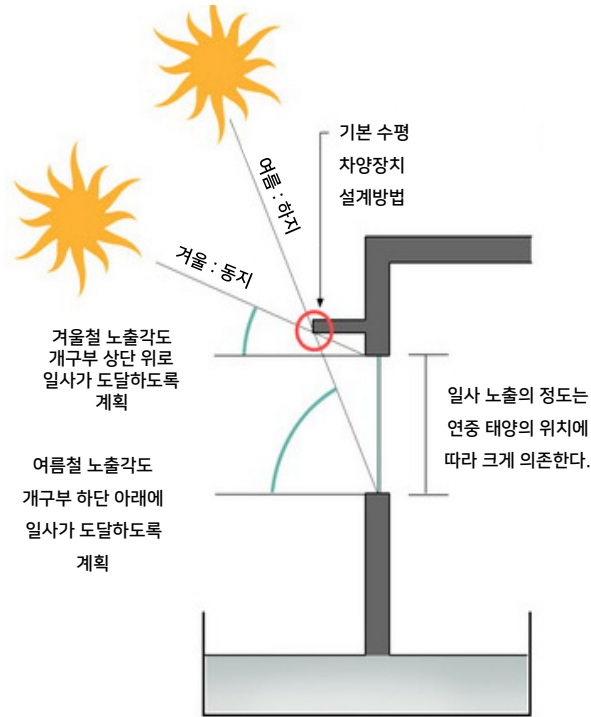
## ◎ 차양의 정의와 필요성

- 차양이란 건물 실내로 유입되는 태양광을 차단 혹은 조절하는 장치로서 여름철에 일사를 차단하고, 과도한 직사일광을 차단하여 현휘를 방지하는 동시에 확산을 통해 실내에 균일한 조도분포를 제공함을 목적으로 함
- 창호 및 조명, 공조 시스템과 결합을 통해 조명 및 냉난방 에너지를 절감시켜 건물의 전체 에너지를 절감시키는데 기여하며, 사생활 보호 측면에서도 건물에 필수적인 요소

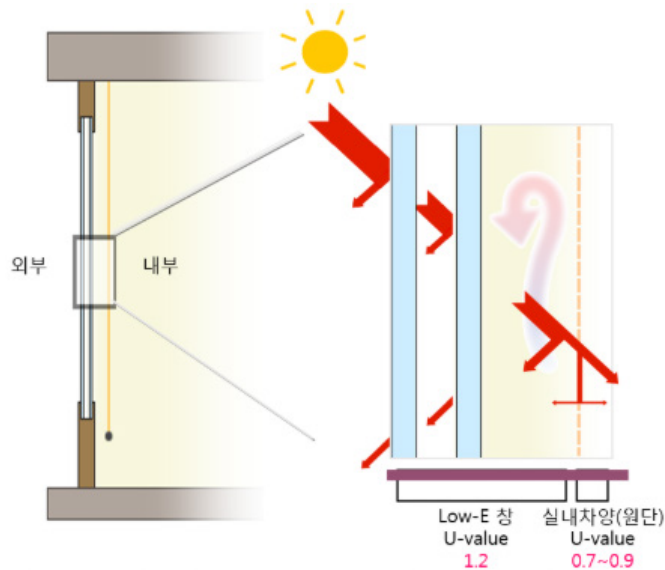


### ◎ 일사조절장치의 목적

- 국내 오피스 건물에서 전면 커튼월 사용이 늘어남에 따라 외피를 통한 냉방부하가 크게 증가하고 있음
- 일사에 의한 냉방부하의 비중과 막대한 조명부하는 비주거용 건물의 주요 에너지소비원으로 대두되고 있음



- 창호를 통해 과도하게 유입되는 태양광은 업무공간에서의 휘도 차이로 인한 현휘 문제를 발생시키게 되어 이에 대한 고려 또한 필요함
- 건물의 냉방부하 절감과 현휘 및 과도한 직달 일사 직접 도달 등에 의한 불쾌적 차단 등을 통해 건물의 환경성능을 향상하기 위해서는 건물 유리면에 차양을 도입하는 것이 필수적임



[https://www.somfypro.co.kr/about\\_solar\\_shading](https://www.somfypro.co.kr/about_solar_shading)

- 고정식 차양으로는 외부환경의 동적인 특성에 대응하는데 한계가 있어 제어가 가능한 가동식 차양을 적용하여야 함
- 사무소 건물에서 제어가 가능한 대표적인 가동식 차양은 블라인드
- 슬랫 각도 조절을 통해 건물의 환경성능 향상 효과를 더 크게 기대할 수 있는 베네시안 블라인드가 널리 사용되고 있음



- 수동 및 전동 블라인드의 경우 환경조건 변화에 따른 적절한 대응이 이루어지지 못하여 환경성능 향상에 한계가 있음
- 센서 및 컴퓨터 프로그램에 의해 자동으로 제어가 가능한 자동 블라인드를 적용하는 것이 필요
- 실시간 대응이 가능한 제어 알고리즘을 적용하여 냉방시기 직달일사 차단 및 적절한 외부 자연채광 도입, 난방시기 일사 유입 최대화



[https://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo\\_table=z3\\_01&wr\\_id=13](https://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo_table=z3_01&wr_id=13)

◎ 차양 관련 법규

제도권에서의 차양 – 건축물의 에너지절약 설계 기준, 에너지성능지표(E.P.I)

항목	기본배점(a)				배점(b)				
	비주거		주거		1점	0.9점	0.8점	0.7 점	0.6 점
	대형 (3,000 ㎡ 이상)	소형 (500~ 3,000㎡ 미만)	주택 1	주택 2					
7. 유리창에 야간 단열장치 설치	-	-	1	1	전체 창 면적의 20% 이상 적용 여부				
8. 냉방부하저감을 위한 차양 장치 설치 (남향 및 서향 거실의 두광부 면적에 대한 차양장치 설치 비율)	4	2	2	2	80% 이상	60~80% 미만	40~60% 미만	20~40% 미만	10~20%
					태양열 취득률 0.6이하의 차양장치 설치 비율				
9. 냉방부하 저감을 위한 거실 외피 면적당 평균 태양열 취득	3	3	-	-	14W/㎡ 미만	14~19W/㎡	19~24W/㎡	24~29W/㎡	29~34W/㎡

녹색건축물 조성 지원법

제14조의2(건축물의 에너지 소비 절감을 위한 차양 등의 설치)

- ① 대통령령으로 정하는 건축물을 건축 또는 리모델링하는 경우로서 외벽에 창을 설치하거나 외벽을 유리 등 국토교통부령으로 정하는 재료로 하는 경우 건축주는 에너지 효율을 높이기 위하여 국토교통부장관이 고시하는 기준에 따라 일사(日射)의 차단을 위한 차양 등 일사조절 장치를 설치하여야 한다.
- ② 대통령령으로 정하는 건축물을 건축 또는 리모델링하려는 건축주는 에너지 소비 절감 및 효율적인 관리를 위하여 열의 손실을 방지하는 단열재 및 방습층(防濕層), 지능형 계량기, 고효율의 냉방·난방장치 및 조명기구 등 건축설비를 설치하여야 한다. 이 경우 건축설비의 종류, 설치 기준 등은 국토교통부장관이 고시한다.

[본조신설2014.5.28.]

## ◎ 참고 서적 및 사이트

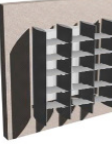
1. 김지현, 사무소 건물의 환경성능 향상을 위한 베네시안 블라인드 자동제어 방법, 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 2007.08
2. 윤종호, 차양 및 일사조절장치의 특성과 궁극적 조절목표, (사)한국그린빌딩협회의지, Vol.16, No.3, 2015.09
3. 최원기, Façade Design Guideline - For a Sustainable Architecture, 2014.10
4. <https://cafe.naver.com/uborawonju/2630>
5. [https://www.somfypro.co.kr/about\\_solar\\_shading](https://www.somfypro.co.kr/about_solar_shading)
6. [https://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo\\_table=z3\\_01&wr\\_id=13](https://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo_table=z3_01&wr_id=13)


## 2 일사조절장치의 분류 및 적용 효과

### ◎ 차양의 분류 기준

구분	세부 요소	특성
설치 위치	내부	- 현회 차단이 주목적이며, 재실자의 조작이 용이하고 초기투자비가 저렴함 - 일사열을 차단하는 성능은 외부에 비하여 떨어짐
	중간	- 중공층 내부 또는 복층 유리 사이에 위치하며, 내외부의 장점을 두루 갖출 수 있으나, 설치에 제약이 따름
	외부	- 일사에 의한 내부 열획득을 막는 것이 주목적이며, 냉방시 냉방부하 절감효과가 탁월함 - 외부조건에 노출되어 있으므로, 제작 및 운영시의 제약이 따르며, 초기투자비가 높음
형태	수평	- 차양 중 가장 일반적인 형태로, 오버행, 어닝, 베네시안 등이 모두 수평 차양에 속함
	수직	- 동쪽과 서쪽 향에서 가장 효과적임
	수평+수직	- 동쪽과 서쪽 향에서 효과적임 - 외부 조망이 제한적이며, 일사열이 trap될 가능성이 큼
	평면	- 롤 스크린, 커튼에 해당되는 평면형으로 균제도 측면에서 우수함
가동성	고정식	- 건물 입면의 디자인 요소로 설계 시 채택되는 경우가 많음
	가동식	- 고정식에 비해 외부환경에 대응이 가능하며, 추가적으로 전동과 수동으로 분류됨
조절 인자	상하 조절	- 상하조절을 통해 충분한 주광의 유입 및 조망 확보 가능
	각도 조절	- 각도조절을 통해 주광 및 조망을 제공함과 동시에 일사차단 가능
	전후 조절	- 어닝에 해당되며 돌출 정도를 조절

◎ 차양의 분류 및 특성표

종류	설치위치	형태	가동성 여부	조절	개념도	특성
Overhang	외부	수평	X	X		<ul style="list-style-type: none"> <li>여름에는 차양성능이 우수하나, 태양고도가 낮은 겨울에는 차양성능이 감소</li> <li>판형, 슬랫 및 루버형이 있음</li> <li>건물 디자인으로 활용 가능함</li> <li>건물 사용자가 조절할 수 없음</li> <li>재료 : 벽돌, 불투명, 반투과성 혹은 다공성 소재</li> </ul>
Fin	외부 내부	수직	X	X		<ul style="list-style-type: none"> <li>동쪽과 서쪽방향에 효과적 (남쪽에 설치할 경우는 수평과 조합하지 않으면, 차양성능이 적음)</li> <li>가동식(회전식)의 경우 거의 모든 방향에 대한 차폐가 가능</li> <li>외부 조망이 제한됨</li> <li>재료 : 콘크리트, 불투명, 반투과성 혹은 다공성 소재</li> </ul>
			O	슬랫 각도		
Louver	외부	수평	X	X		<ul style="list-style-type: none"> <li>슬랫 각도 조절을 통해 햇빛의 투과정도 조절 가능</li> <li>슬랫에 단열재를 보강하면 겨울철에 야간 단열재로 사용 가능</li> <li>외부 조망이 제한됨</li> <li>창문의 개폐와 자연환기의 장애요인이 됨</li> <li>재료 : 알루미늄, 고강도 반투과성 유리</li> </ul>
			O	슬랫 각도		
Eggcrate	외부 중간 내부	수평 + 수직	X	X		<ul style="list-style-type: none"> <li>동쪽과 서쪽방향에 효과적</li> <li>조립된 자재를 사용하여 건축물 구조가 간단함</li> <li>외부조망의 제한</li> <li>사용자 의지에 따른 조절 불가능</li> <li>재료 : 콘크리트</li> </ul>
			O	슬랫 각도		

종류	설치위치	형태	가동성여부	조절	개념도	특성
Venetian blind	외부 중간 내부	수평	O	상하 슬랫 각도		<ul style="list-style-type: none"> <li>상하 조절 및 슬랫 각도 조절이 모두 가능해 외부환경 대응력이 우수함</li> <li>다양한 색상적용이 가능함</li> <li>재료 : PVC, 알루미늄, 나무</li> </ul>
Roll blind	외부 중간 내부	평면	O	상하		<ul style="list-style-type: none"> <li>완벽한 개방과 폐쇄 가능하여 융통성 있게 조작할 수 있음</li> <li>다양한 원단과 디자인으로 공간의 미적 연출 가능</li> <li>내부용의 경우 태양복사열의 트랩으로 공간온도가 상승하여 온실화 현상 발생</li> <li>재료 : 다양한 색상의 원단, PVC</li> </ul>
Awning	외부	수평	X	X		<ul style="list-style-type: none"> <li>형태와 크기에 관계없이 설치가 용이하며 다양한 형태가 가능함</li> <li>원단을 이용하여 외부 시각적 효과를 줄 수 있음</li> <li>어닝의 원단을 주기적으로 교환하여야 하며, 바람이 강한 곳에서는 수명이 짧아짐</li> <li>바람이 강한곳에서 원단이 떨리므로 소음발생</li> <li>재료 : 다양한 색상의 캔버스 천</li> </ul>
			O	전후		
Natural shading	외부	-	-	-		<ul style="list-style-type: none"> <li>식재 및 인접한 주변 건물로 인해 자연스런 차폐효과 발생</li> </ul>

## ◎ 열환경 측면의 효과

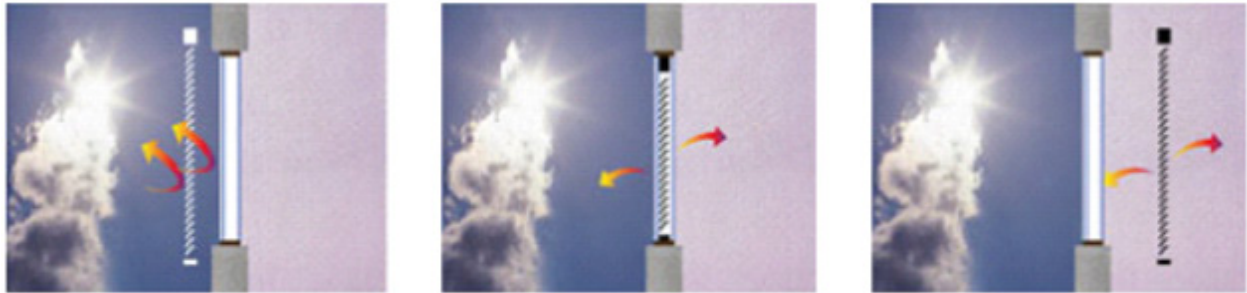
- 최적의 차양을 설치하고 관리함으로써 커튼월 등 유리면이 넓은 현대식 건물에서 과도한 일사유입을 방지하고 하절기 냉방비를 절감할 수 있으며, 동절기 및 야간에 외부로의 열유출을 일정부분 차단하는 것이 가능함

수평차양의 돌출길이(P)/ 수평차양에서 투광부하단까지의 길이(H)	남	남서	서	북서	북	북동	동	동남
0.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.2	0.57	0.74	0.79	0.79	0.89	0.78	0.79	0.73
0.4	0.48	0.55	0.63	0.64	0.83	0.64	0.63	0.54
0.6	0.45	0.42	0.51	0.54	0.79	0.54	0.50	0.42
0.8	0.43	0.35	0.42	0.48	0.76	0.48	0.42	0.36
1.0	0.41	0.33	0.36	0.43	0.73	0.43	0.37	0.33

수직차양의 돌출길이(P)/ 수직차양에서 투광부하단까지의 길이(W)	남	남서	서	북서	북	북동	동	동남
0.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.2	0.73	0.84	0.88	0.76	0.68	0.79	0.89	0.82
9.165 mm0.4	0.61	0.72	0.79	0.61	0.56	0.64	0.80	0.67
0.6	0.54	0.60	0.74	0.46	0.47	0.50	0.75	0.54
0.8	0.50	0.51	0.70	0.38	0.42	0.42	0.71	0.46
1.0	0.45	0.43	0.65	0.28	0.34	0.31	0.66	0.39

안민호, 국내 차양 및 일사조절장치 보급 사례 및 현황, (사)한국그린빌딩협회지, Vol.16, No.3, 2015.09

- 차양의 열적 성능을 나타내는 두가지 단위
  - SHGC(Solar Heat Gain Coefficient) : 태양으로 인해 건물 외부에서 발생된 열량이 투과체를 통하여 실내에 유입된 열량의 비율. 0~1 범위에 위치하며 숫자가 높을 수록 더 많은 열량이 실내로 유입되는 것을 의미함
  - SC(Shading Coefficient) : 차폐계수. 유리에 직접 투과된 태양열과 유리 내부로 흡수한 태양열이 실내로 방사되어 전달되는 정도를 나타냄. 0~1 범위에 위치하며 숫자가 높을 수록 더 많은 열량이 실내로 유입되는 것을 의미함



(a) 외부 차양  
(차폐계수 : 0.09)

(b) 중간 차양  
(차폐계수 : 0.21)

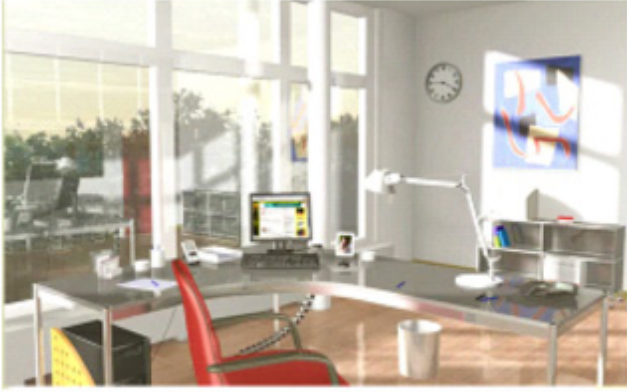
(c) 내부 차양  
(차폐계수 : 0.6)

차양의 설치 위치에 따른 차폐계수 비교 예  
[http://www.i-blind.co.kr/i-blind/02\\_sol/solar\\_03.asp](http://www.i-blind.co.kr/i-blind/02_sol/solar_03.asp)

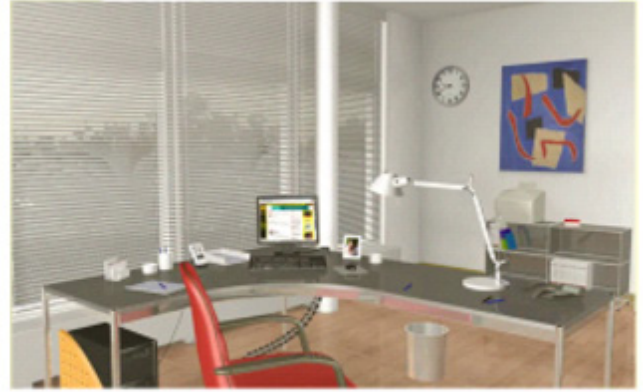
- 쾌적의 측면에서 태양의 직달 일사 성분을 차폐하여, 평균복사온도의 상승을 막아 복사불균등에 의한 불쾌적 방지
- 내부 차양의 경우 태양열이 이미 유리창에 도달하여 실로 유입되며, 방사에 의하여 지속적으로 열을 발산하게 되므로 차폐능력이 떨어지는 반면 외부 차양의 경우 태양열이 유리창에 도달하기 전에 열과 빛을 차단할 수 있고, 차양에 흡수된 열 또한 외부에서 흩어지기 때문에 열성능 면에서 매우 효과적
- 내부에 차양을 설치하는 것보다 외부에 설치하는 것이 40~50% 정도 효과적임

## ◎ 빛환경 측면의 효과

- 차양은 직사광선을 차단 또는 조절하여 현휘를 방지함과 동시에 실내에 균일한 조도를 제공하는 효과가 있음
- 최적의 차양을 선택함으로써 직사광선과 인접건물의 반사광에 의한 현휘를 방지하고 재실자에게 시각적 편안함 제공



(a) 차양을 설치하지 않았을 경우



(b) 차양을 설치하였을 경우

- 현대 오피스의 사무환경을 고려할 때, 과도한 빛의 유입보다는 차양을 통해 전체조도를 일정수준으로 감소시키고 균제도를 높이는 것이 작업 시 눈의 피로를 줄이는 데에 바람직
- 각도조절 및 상하조절이 가능한 차양을 사용하게 되면 필요시 주광을 유입시키는 것 또한 가능하게 되므로 시래적 측면에서 매우 효과적

## ◎ 기타 효과

- 자외선으로 인한 실내외 가구 및 기기의 변색 및 탈색방지, 최적의 실내 환경 연출과 인테리어 효과, 사생활 보호와 외부조망의 동시만족 등
- 작업능률 향상 및 생산성 향상에 기여

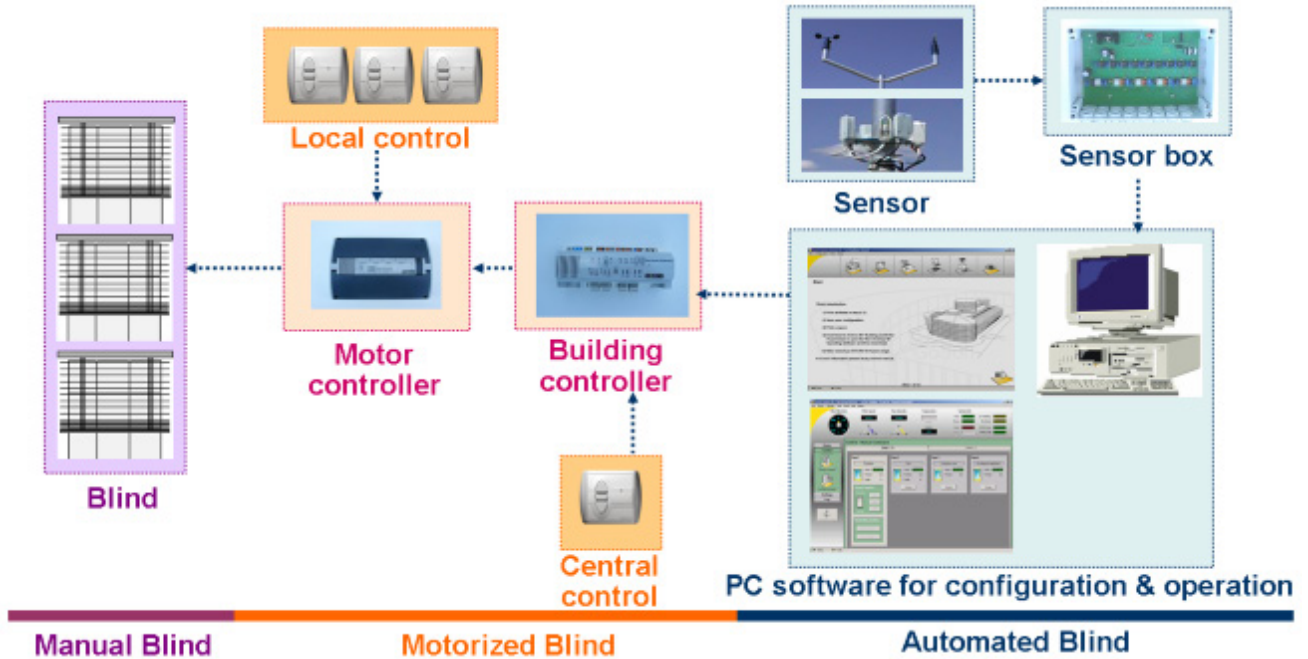
## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. 김지현, 사무소 건물의 환경성능 향상을 위한 베네시안 블라인드 자동제어 방법, 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 2007.08
2. 안민호, 국내 차양 및 일사조절장치 보급 사례 및 현황, (사)한국그린빌딩협회지, Vol.16, No.3, 2015.09
3. [http://www.i-blind.co.kr/i-blind/02\\_sol/solar\\_03.asp](http://www.i-blind.co.kr/i-blind/02_sol/solar_03.asp)

### 3 일사조절장치 제어 방법 소개 및 적용 사례

#### ◎ 개요

- 제어방법에 따라 수동 블라인드, 전동 블라인드, 자동 블라인드로 구분할 수 있음



제어방법에 따른 차양 분류

## ◎ 수동 블라인드

- 재실자가 직접 시스템을 운영하는 가장 단순한 형태의 블라인드로, 초기 투자비가 적게 들고 설치 용이
- 주거, 사무소를 비롯한 모든 형태의 건물에서 가장 일반적으로 사용하고 있으며, 그 종류 및 재료, 형태도 다양
- 환경적 변화가 발생하였을 때 블라인드가 그에 맞도록 효과적으로 대응하기 어려움
- 한번 블라인드를 제어하고 나면 외부 조건이 변화하여도 내부 조명을 이용하려는 경향을 보임
- 개별적인 제어가 필요하므로 대형화된 건물에서는 유지 관리가 어렵다는 단점

## ◎ 자동 블라인드

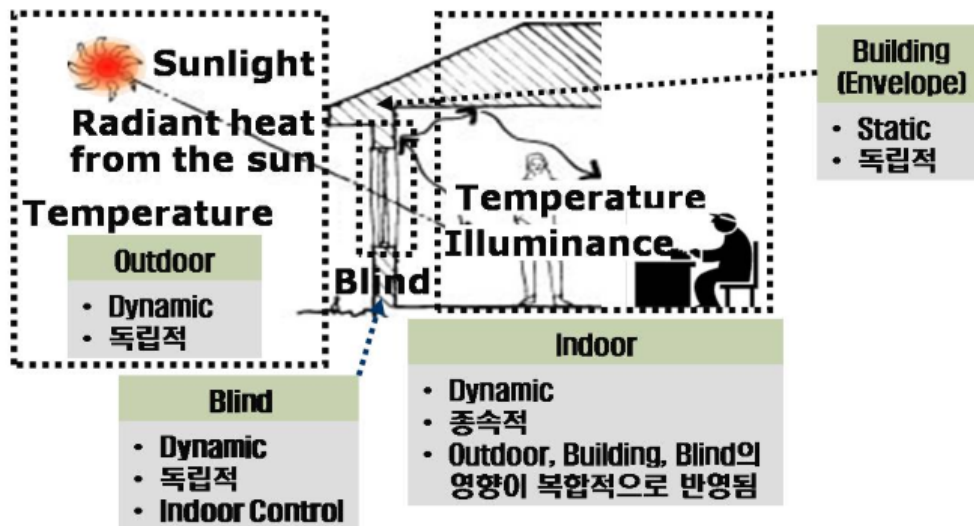
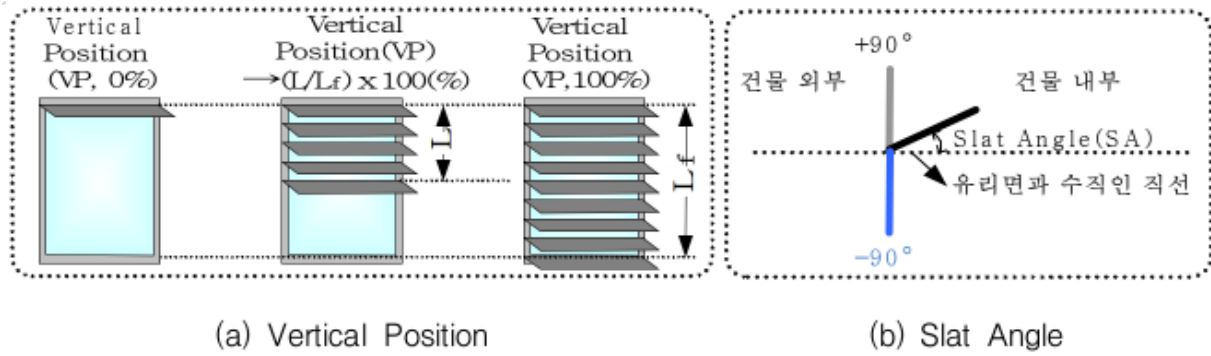
- 재실자, 온도, 조도 등을 감지하는 센서에 의해 원하는 실내 환경을 유지할 수 있도록 자체적으로 제어
- 계절 및 시간에 따라 시시각각 변화하는 외부 환경에 곧바로 반응하여 항상 최적의 실내 환경을 유지할 수 있다는 장점

## ◎ 블라인드 자동제어 인자

- 블라인드 자동제어 인자는 입력변수, 제어변수, 조절변수로 분류
- 입력변수  
: 측정기기를 이용한 센싱을 통해 값을 얻어내고 알고리즘에 의해 결정된 조건에 따라 블라인드 제어를 결정하는 데 영향을 미치게 되며 자동제어의 입력변수에는 태양 위치, 조도, 외기온, 일사량 등이 있음
- 제어변수  
: 실내 조도와 실온과 같이 블라인드 자동제어를 통해 이루고자 하는 환경성능 향상 목표가 구체적으로 나타나며 목표가 충족되고 있는지를 판단할 수 있게 하는 근간
- 조절변수  
: 제어의 목표를 이루기 위해 실제로 제어가 이루어지는 행위부에 해당하는 것으로 소프트웨어와 기기에 의해 신호를 수신하여 조건에 따라 자동적으로 동작하게 됨

구분	현재 이용 변수		제어 장치
	실외	실내	
입력변수(input variable)	태양 위치, 조도, 외기온, 일사량	조도, 실온	측정 센서
제어변수(controlled variable)	조도, 실온		-
조절변수(manipulated variable)	Vertical Position, Slat Angle		소프트웨어, 모터

- Vertical Position(창문이 가려지는 비율), Slat Angle(슬랫 각도로 유리면과 수직인 직선과의 각도)이 있음
- 건물 외피는 고정되어 있는 독립변수이며 외부 조건과 블라인드는 변화 혹은 작동이 이루어지는 독립변수
- 실내 환경은 변화가 이루어지나 외부 조건, 건물, 블라인드의 영향이 복합적으로 반영되는 종속 변수



◎ 외부 블라인드 적용 사례



[https://www.evb.co.kr/bbs/board.php?bo\\_table=evb\\_reference&page=2](https://www.evb.co.kr/bbs/board.php?bo_table=evb_reference&page=2)



[https://www.evb.co.kr/bbs/board.php?bo\\_table=evb\\_reference&page=2](https://www.evb.co.kr/bbs/board.php?bo_table=evb_reference&page=2)

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. 김지현, 사무소 건물의 환경성능 향상을 위한 베네시안 블라인드 자동제어 방법, 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 2007.08
2. [https://www.evb.co.kr/bbs/board.php?bo\\_table=evb\\_reference&page=2](https://www.evb.co.kr/bbs/board.php?bo_table=evb_reference&page=2)

# A.5

## 기밀 확보 설계 및 시공 기술

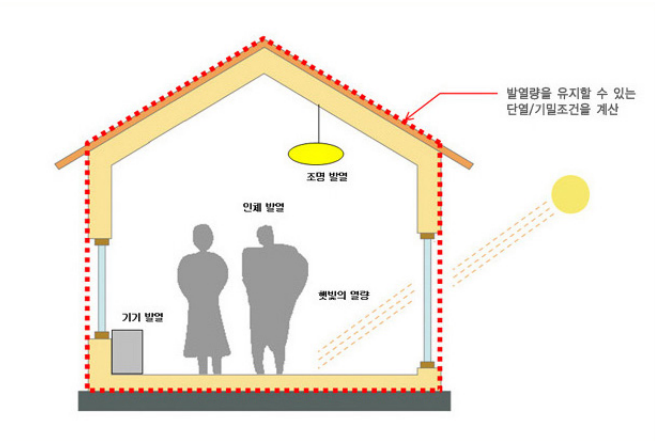
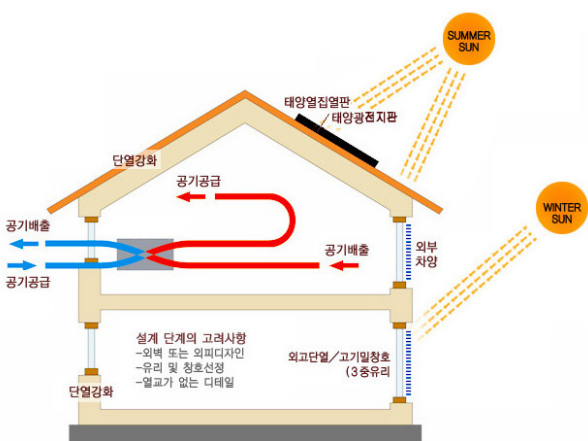
### 교육 목표

#### 기밀 확보 설계 및 시공 기술

\* 기밀층의 필요성 이해

### 1 기밀 시공의 이론 및 이해

#### ◎ 패시브하우스의 구성요소



#### 독일기준

##### 설계 및 시공 시 우선사항

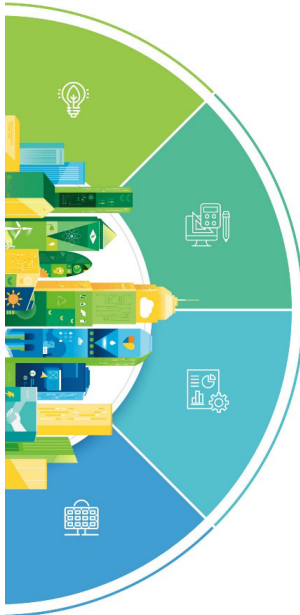
1. 기밀
2. 단열
3. 창호
4. 환기

#### 한국기준

##### 설계 및 시공 시 우선사항

1. 단열
2. 창호
3. 환기
4. 기밀

◎ 에너지절약 설계기준



# 건축물의 에너지절약 설계기준 해설서

시행 2022. 7. 29.  
국토교통부고시 제2022-52호,  
2022. 1. 28., 일부개정.



국토교통부 고시 제2022-52호 개정내용

▶ 기밀성능 강화 조치 관련 에너지성능지표(권장사항) 신설

- 신축 건축물의 기밀성능 향상을 유도하기 위해 침기가 발생하기 쉬운 창 및 문과 구조체의 접합부위(개구부 둘레)에 기밀테이프 사용 등 기밀성능 강화 조치 시 평점을 부여하는 에너지성능지표(건축부문 6번 항목) 신설

해설

▶ 창 및 문의 접합부 기밀성능 강화 조치

- 기밀성능 강화 조치의 적용

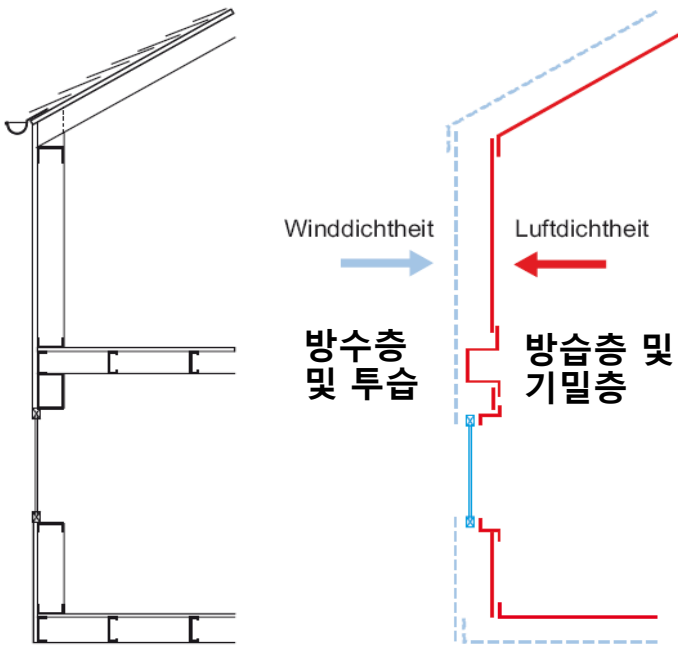
- 창 및 문 등 개구부와 구조체의 접합부위(개구부 둘레)에 기밀테이프, 팽창테이프 또는 탄성도막(가변형합성) 제품을 채택한 경우 기밀성능 강화 조치를 적용한 것으로 인정하며, 기밀성능 강화 제품은 개구부 및 구조체의 변화에 탄성적으로 대응이 가능해야 함
- 기밀성능 강화 조치를 위해 외기에 직접 면하는 개구부(거실의 창 및 문)의 둘레에 적용하는 제품은 공기투과성 및 투습성이 낮은 제품을 채택하여야 하며, KS F 2607(건축재료의 투습성 측정방법)에 따른 등가공기투습계(Sd)가 2m를 초과하는 제품이어야 함
- 기밀테이프는 투습방수 기능을 하는 실외측 기밀테이프와 방습 기능을 하는 실내측 기밀테이프를 제품 특성(시방서)에 맞게 적용하여야 하며, 건축물 구조에 따라 친환경 접착제 등 적절한 부자재를 활용하여야 함
- 건축물의 구조의 종류 및 단열재 설치 위치에 따라 기밀성능이 강화될 수 있도록 제품 제조업체는 건축물 상황에 맞는 시방서를 제공하여야 하며, 건축주·설계자·시공자는 시방서를 충분히 검토하여 적용여부를 판단하고, 하자가 발생하지 않도록 시공하여야 함

- 기밀성능 강화 조치 적용비율 계산

$$\text{기밀성능 강화 조치 적용비율} = \frac{\text{외기에 직접 면한 거실의 창 및 문 중 기밀성능 강화 조치가 적용된 창 및 문의 면적의 합계}}{\text{외기에 직접 면한 거실의 창 및 문의 면적의 합계}} \times 100(\%)$$

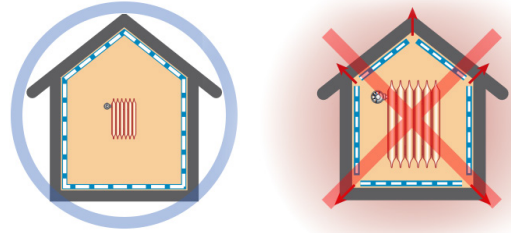
- 단일 창 및 문이 구조체와 접합하는 전체 둘레에 기밀성능 강화 조치를 한 경우 조치가 적용된 창 및 문의 면적으로 산정
- 평면도, 입면도, 외피전개도 등의 도서를 통해 외기에 직접 면한 거실의 창 및 문에 대한 기밀성능 강화조치 적용 여부를 표기

◎ 펜슬의 법칙



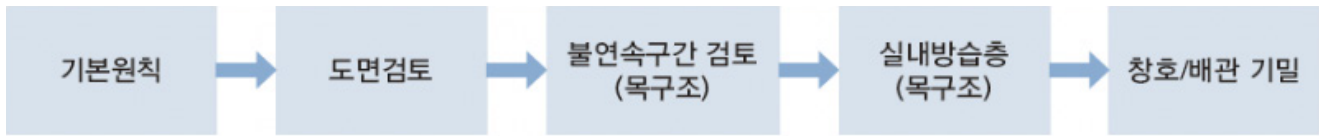
“  
펜슬의 법칙

도면의 기밀층을 따라 연필을 대고 그렸을 때,  
끊이지 않고 연속적으로 이어져야 한다.



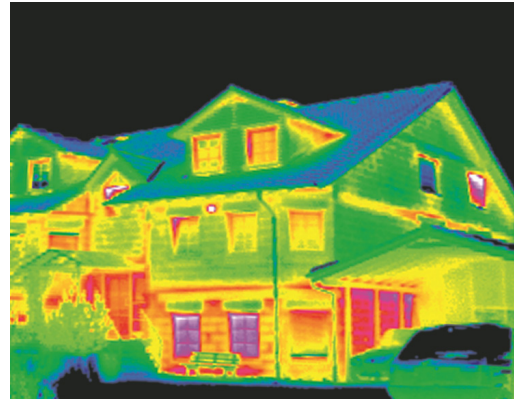
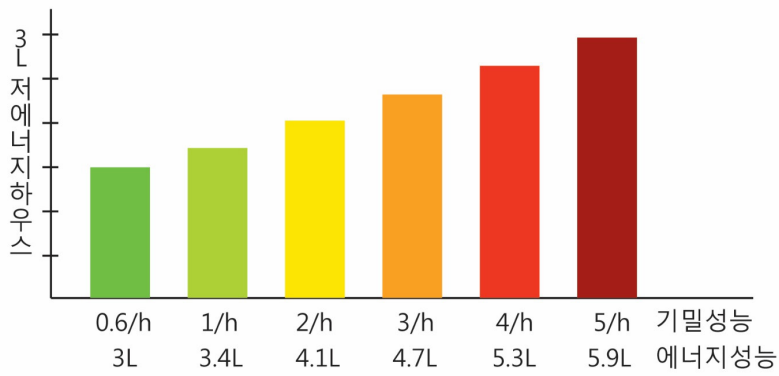
기밀층은 끊어지지 않은 하나의 선으로 이어져야 합니다!!!

”



▲ 전체 기밀공사 과정

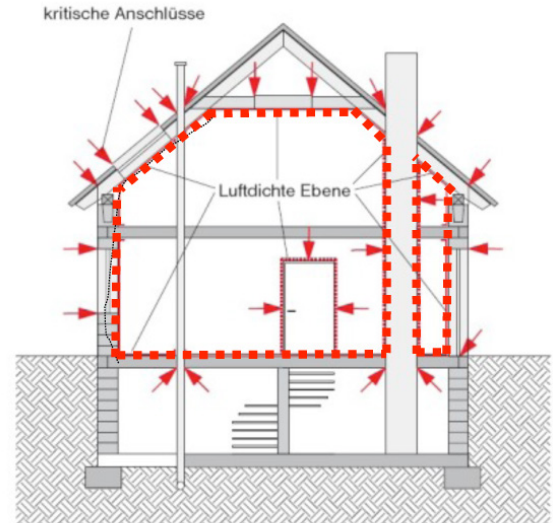
### ◎ 기밀성능으로 인한 에너지성능 저하 비교



## ◎ 기밀층의 필요성

## 그렇지만...

- 내 건물이 과연 100% 기밀해야 하는가?
- 100% ?
- 그렇지는 않다! 그렇지만:
  - 대류를 통한 수증기의 이동은 막아야 하며...
  - 독일의 경우는 법적인 요구사항
    - 공기조화기가 없는 경우  $n_{50} \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$
    - 공기조화기가 설치되는 경우  $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$
- ▶ 법적제약을 떠나 에너지 절감 효과를 높이기 위해서는  $n_{50} = 1.0 \text{ (h}^{-1}\text{)}$
- ▶ 패시브하우스의 경우에는 적어도  $n_{50} = 0,6 \text{ (h}^{-1}\text{)}$
- ▶ 권장사항  $n_{50} = 0,3 \text{ (h}^{-1}\text{)}$



기밀층 형성시 주의를 기울여야 하는 부위,  
출처: RWE-Bauhandbuch 13.Ausgabe, germany

● 의도된 환기 시스템 구축: 자연환기 및 기계환기



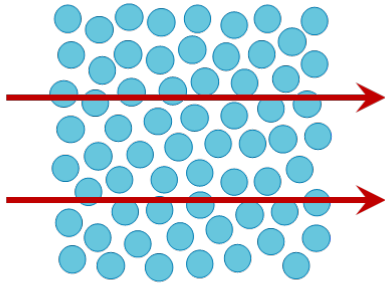
주택이 기밀해지면 에너지 절감과 벽체 내 상대습도가 감소하는 순기능이 있지만 사람에게 필요한 환기량이 부족해짐

● 의도하지 않은 누기

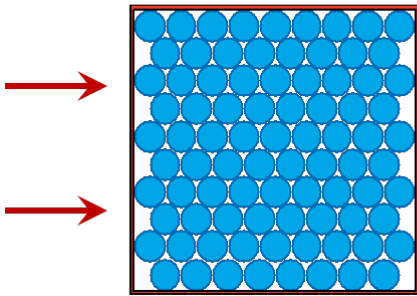


의도되지 않은 틈새로 습기가 침투하면서 단열성능을 떨어트려 결로와 곰팡이가 생기는 원인이 됨

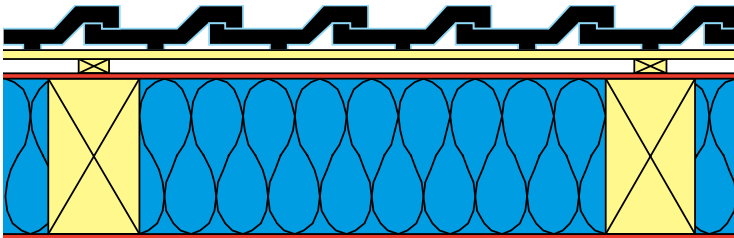
◎ 제대로 단열이 유지되려면?



단열 = 공기가 미세공간에 갇혀 있는 경우  
공기의 이동 = 열의 이동  
공기의 이동이나 흐름에 보호되는 미세공간이 있는 경우에만 단열성능이 있음

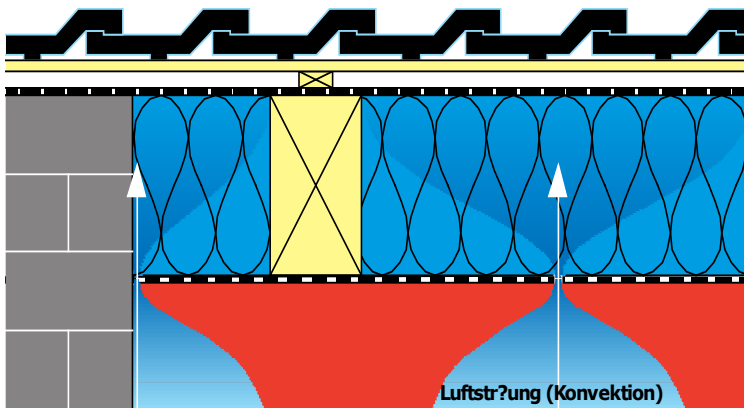


가장 이상적인 단열구조



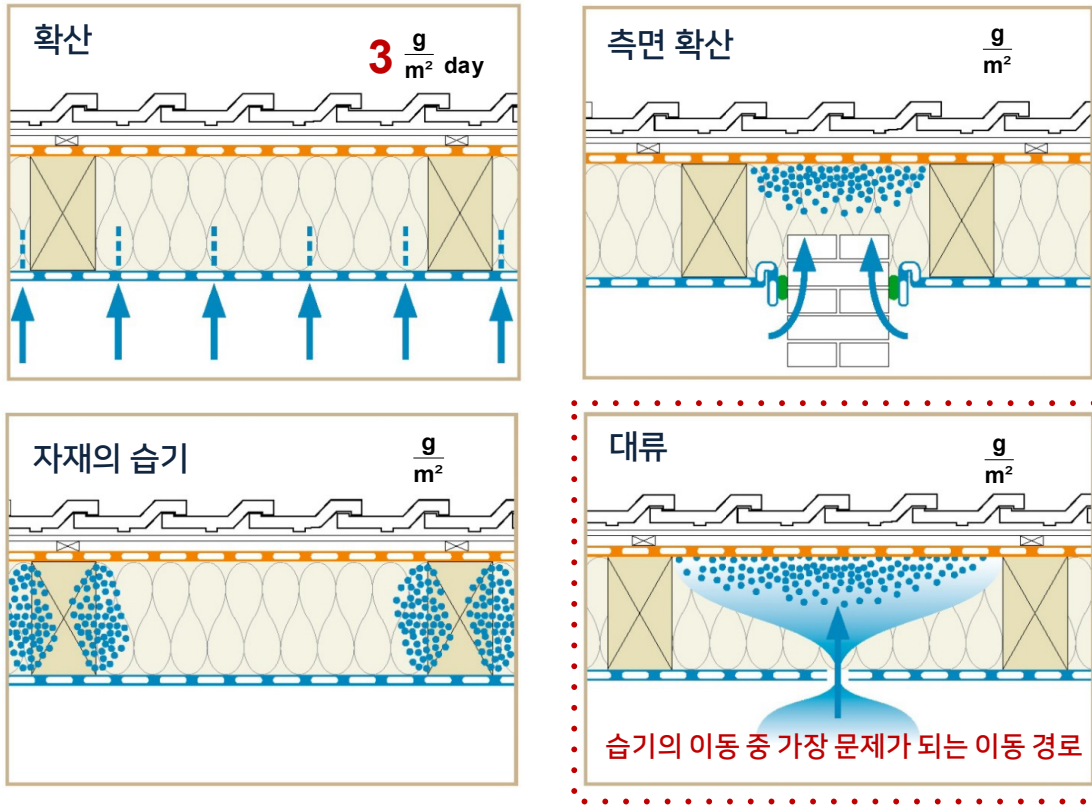
투습 방수층  
단열재  
방습층 및 기밀층

기밀층이 훼손되면 ?



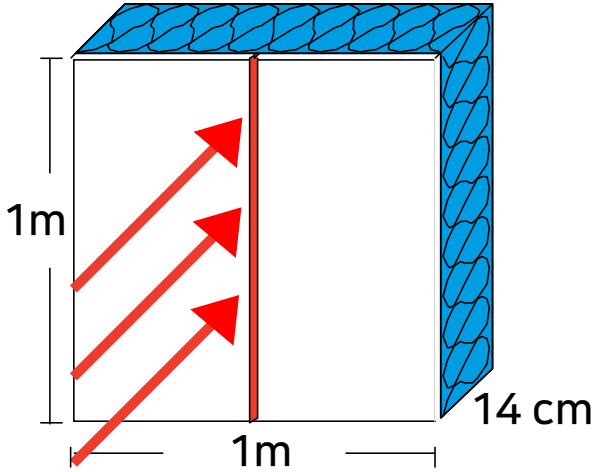
1. 열 손실
  - 1) 열손실로 인한 난방비 증가
  - 2) CO<sub>2</sub> 발생 증가
2. 쾌적하지 못한 실내환경
  - 1) 건조한 겨울
  - 2) 더운 여름
3. 습기의 유입으로 인한 하자의 발생

◎ 수증기의 이동



결과: 습기의 영향을 완벽하게 제어하는 것은 불가능

◎ 대류를 통한 습기의 유입 (공기의 흐름)



틈이 없는 경우:  $0,5 \text{ g}$  함수/ $\text{m}^2 \times 24\text{h}$  (확산)

1 mm의 틈:  $800 \text{ g}$  함수/ $\text{m}^2 \times 24\text{h}$  (대류)

습기의 증가      1600 배

내부의 방습층

$s_d$ -값 = 30 m

방습층의 틈(기밀층)

$S_d$ 값 - 공기층의 두께

습기가 통과하는 저항의 정도

주변조건:

내부온도  $+20^\circ \text{C}$

외부온도  $-10^\circ \text{C}$

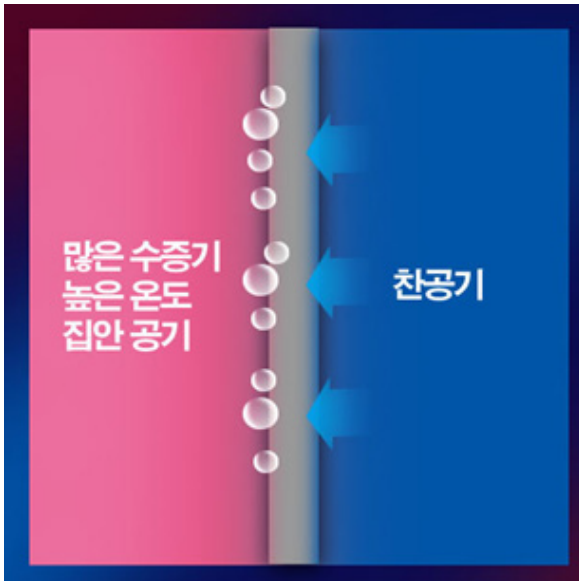
측정:  
Institut für Bauphysik, Stuttgart  
출처: DBZ 12/89, 페이지 1639ff

틈이 없는 경우: U-Wert =  $0,3 \text{ W}/\text{m}^2\text{k}$

1 mm 의 틈: U-Wert =  $1,44 \text{ W}/\text{m}^2\text{k}$

단열성능의 감소    4,8 배

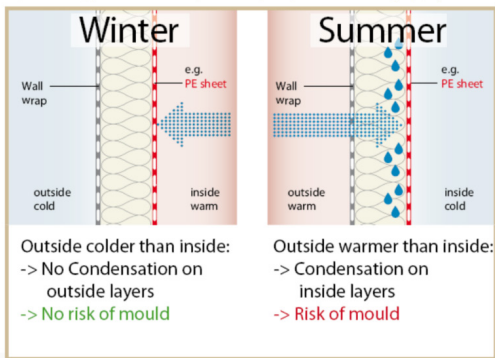
### ◎ 결로와 곰팡이의 하자사례



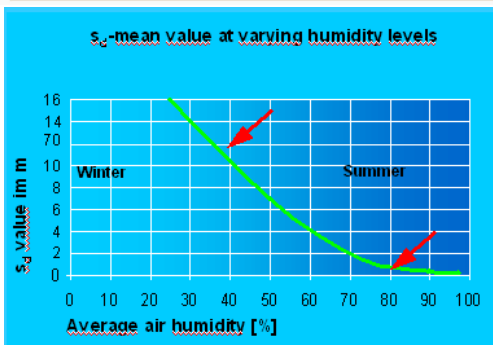
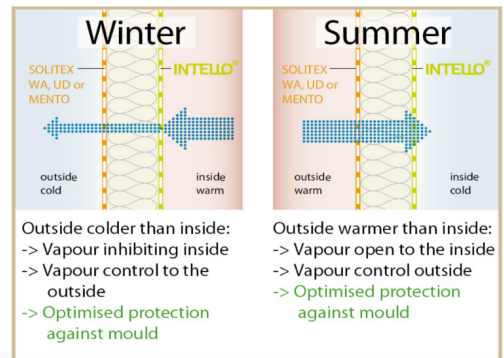
단열만 보강하면 하자가 없어질까?

### ◎ 결로와 해결방안

내부에 PE필름을 방습층으로 설치한 경우 역결로 현상 (여름)



내부에 가변형 방습(거울), 투습(여름)층을 설치하는 경우



### DIN EN ISO 12572 시험성적서 검토

예] 상대습도	Sd-wert (공기층 두께)
15%	15m
25%	10m
50%	6.5m
62%	4.4m
70%	2.3m
90%	0.21m
92.5%	0.03m

◎ 기밀 자재의 종류

Produkte

방습지	Neu- und Ausbau INTELLO	Neu- und Ausbau INTELLO PLUS	Neu- und Ausbau DB+	Neu- und Ausbau INTESANA	Neu- und Ausbau DA/DA	Sanierung DASAPLANO 0,50
투습방수지	SOLITEX MENTO	SOLITEX UD	SOLITEX PLUS	SOLITEX UM	SOLITEX FRONTA HUMIDA	SOLITEX FRONTA WA
기밀자재	Luftdichtungskleber ORCON CLASSIC	Luftdichtungskleber ORCON F	Luftdichtungskleber ECO COLL	Luftdichtungskleber ORCON LINE	Klebebänder TESCON No.1	
Sanierung DASAPLANO 0,50	Sanierung DASATOP	Sanierung SANTA UT/DT	Neu- und Ausbau DA-S	Riesenschutz, nicht luftdicht RB		
Klebebänder TESCON VAN	Klebebänder RAPID CELL	Klebebänder UNI TAPE X	Klebebänder DUPLEX	Klebebänder TESCON INVIS	Klebebänder BUDAX TOP	Klebebänder TESCON NAIDE
Absperriklebebänder EXTOSEAL ENCORS	Absperriklebebänder EXTOSEAL FINOC	Absperriklebebänder EXTOSEAL MAGOV	Reparatur TESCON VANA patch	Anschlussklebebänder TESCON PROFIL	Anschlussklebebänder CONTEGA PV	Anschlussklebebänder CONTEGA FC
Anschlussklebebänder CONTEGA IQ	Anschlussklebebänder CONTEGA SL	Anschlussklebebänder CONTEGA EXO	Primer TESCON PRIMER	Detaillösungen KAFLEX mont KAFLEX duo	Detaillösungen KAFLEX multi	Detaillösungen KAFLEX post
Detaillösungen INSTAABOX	Detaillösungen ROFLEX 20	Detaillösungen ROFLEX 20 mul	Detaillösungen ROFLEX 30-300	Detaillösungen ROFLEX exto	Detaillösungen TESCON INCAV	Detaillösungen TESCON INVEV
Detaillösungen STOPPA	Detaillösungen WYFLEXA	Detaillösungen Elektro-Luftdichtbox				
부자재	Detaillösungen Clox	Strahlenschutz SHELLY Handytasche		기밀테스트		WINCON-Prüfpaket

◎ 기밀자재 제조회사 소개

1. 방습지  
-가변형방습지



2. 투습방수지



3. 창호기밀테이프  
팬창테이프



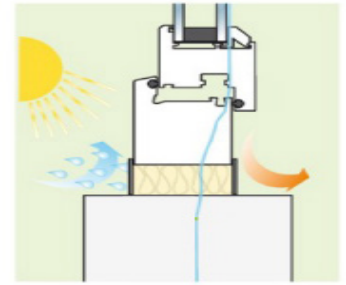
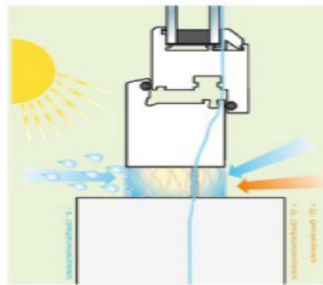
4. 설비배관 기밀자재

5. 콘센트 기밀자재



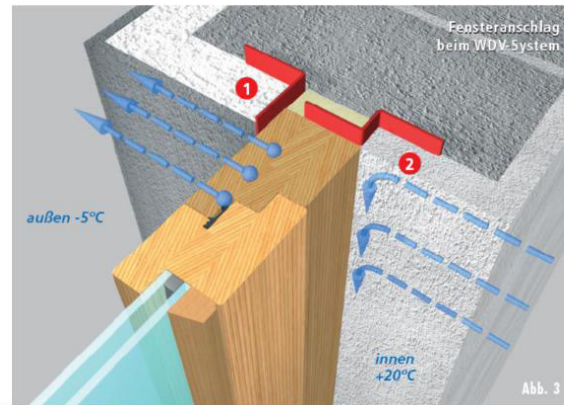
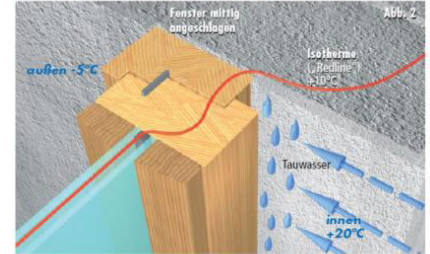
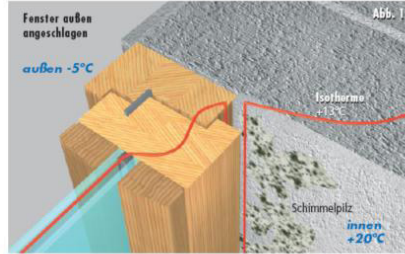
## ◎ 창호기밀의 건축 물리적 개념

- 창호주변 창호기밀테이프가 없을 시 창호주변의 단열성능을 떨어트려 결로와 곰팡이를 발생시킴

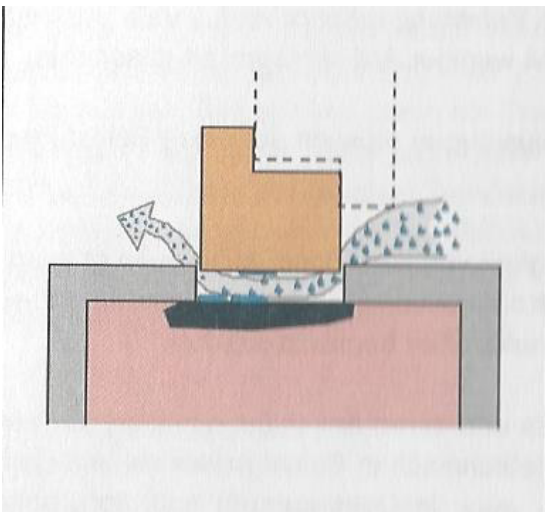


## ◎ 창호기밀의 건축 물리적 개념

- 1) 외부: 투습과 방수층 (우수와 바람) 2) 내부: 기밀층 및 방습층



출처: teroson Bautechnik, germany



## ◎ 습기의 증발량 계산 방법



"이 제품은 투습율이 좋습니다. 이 제품은 다른 제품에 비해 증발량이 높습니다." = ?

DIN EN 1062-1

Sd 값 = 21 : V (증발량)

V (증발량) = 21 : Sd

Sd = 0,43 m 온도 23°C

21 : 0,43 = 48,84 g/m<sup>2</sup> d

10°C = 약 50%, 3°C = 25% 약 12,21 g/m<sup>2</sup> d 증발

Sd값 = 공기층의 두께  
습기가 통과하는 저항의 정도

문제 예시: Sd값을 0.2m의 성능을 가진 방습지가 있다.  
벽체의 단열재가 가진 결로수가 100g이 있을 경우 증발되는 예상 날짜?

V (증발량) = 21 : Sd (0.2m)

23°C의 경우:

21 : 0,2 = 105 g, 하루 증발량, 약 5일 후면 유입된 모든 수분 증발이 가능

3°C의 경우: 105 g x ¼ = 26 g이 증발, 완전증발 까지 약 19일이 소요



## WUFI 습환경 시뮬레이션 프로그램

Software for calculating the coupled heat and moisture transfer in building components

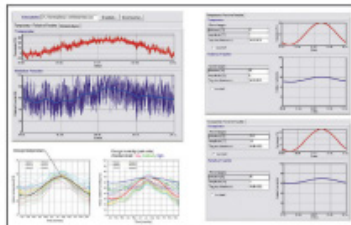


### WUFI(Waerme und Feuchte instationaer, Transient Heat and Moisture)

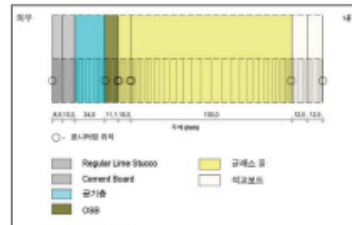
외기에 노출된 다층구조의 건물요소들에서 1차원 또는 2차원적인 동적 열 및 습기 이동을 실제적으로 계산해주는 소프트웨어.

아외와 실험실 데이터를 비교보완하여 PC에서 사용하는 온습도 시뮬레이션 프로그램으로 자연적 기후를 바탕으로 계산하기 때문에 실제에 가까운 데이터를 제공한다. 프라운호퍼 IBP의 실험실 및 실외 실험시설에서 얻은 측정 값들과 상세히 비교하였으며 검증되었다.

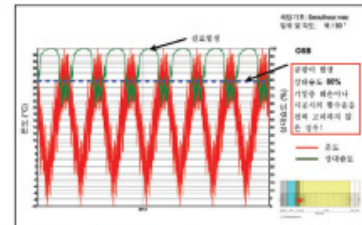
- 온습도 시뮬레이션 결과 분석 (Hygrothermal analysis)
- 습환경 분석 (Critical moisture conditions)
- 결빙 (Frost)
- 부식 (Corrosion)
- 곰팡이 발생 여부 (Microbial growth)



▲ 각 지역 기후데이터 입력



▲ 선택구조 입력



▲ 각 구조 부위별 결과물

Case: V01 EIFS EPS 50mm OSB11 Wallpaper (Sdi=1,2m)

Assembly/Monitor Positions | Orientation/Inclination/Height | Surface Transfer Coeff. | Initial Conditions

Layer Name	Thickn. [m]
Oriented Strand Board (density 553 kg/m³)	0.011

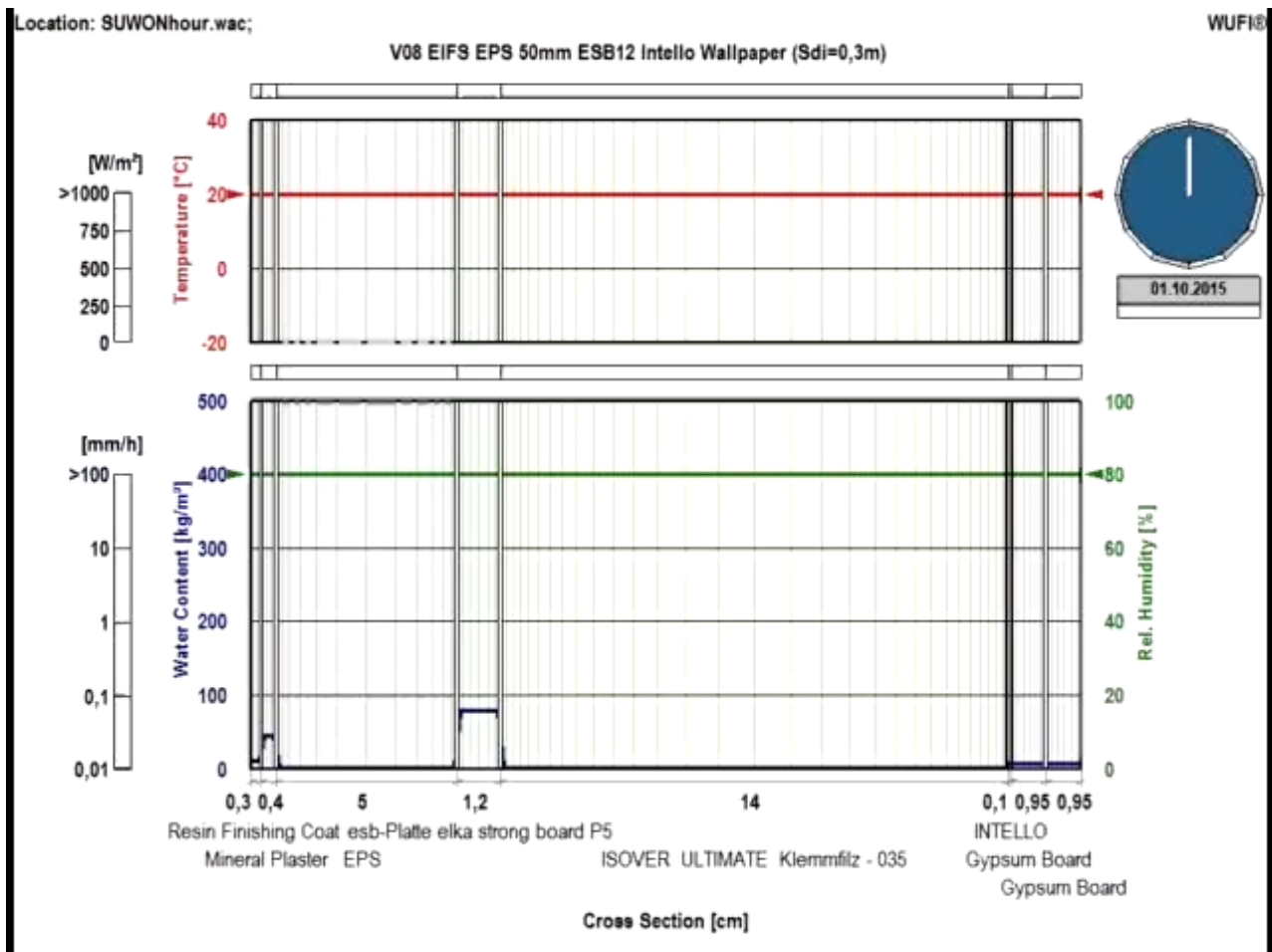
Exterior (Left Side): 0.004, 0.05, 0.011, 0.14, Interior (Right Side): 0.010, 0.0095

1 2 3 4 5 6 7

2 x 6

Material Data  
Sources, Sinks  
New Layer  
Duplicate  
Delete

Edit Assembly by:  
 Graph  
 Table



## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. <https://www.proclima.com/>
2. <https://wissenwiki.de/Hauptseite>
3. Leitfaden zur Montage: 2014-03

## 2 건축물의 기밀시공 방법

### ◎ 창호 기밀시공 방법



# 창호 전용 기밀 테이프

## 선택 기준 & 시공 순서



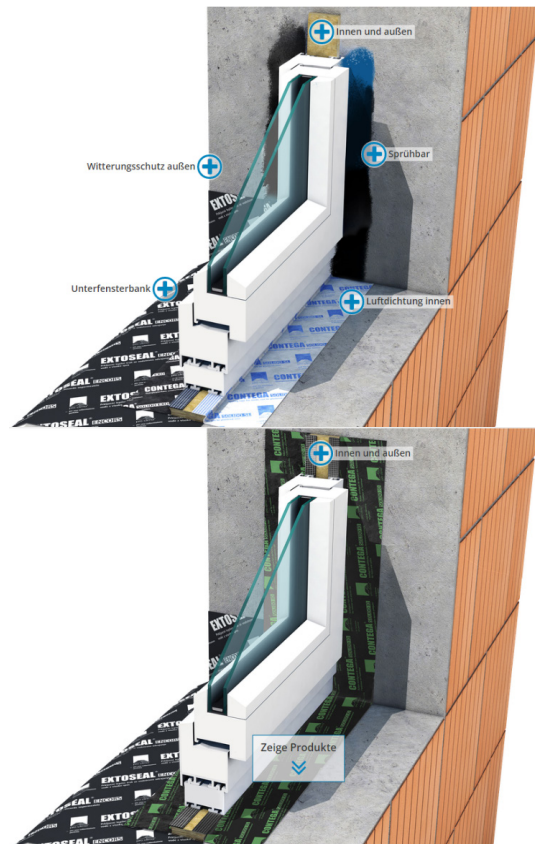
◎ 창호 기밀테이프 종류 및 부자재

**테이프 기밀 자재 제품군 방수, 기밀(투습, 방습)**

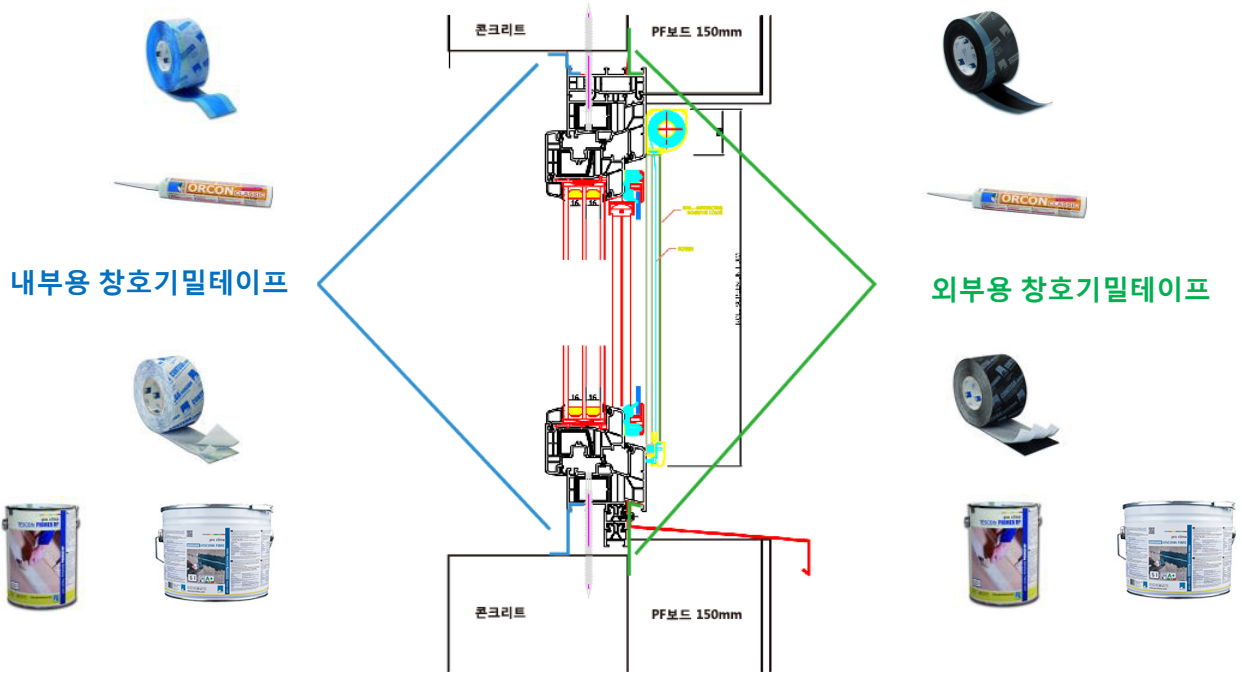
 <p><b>CONTEGA EXO</b> 창호 외부 전용 기밀 테이프</p> <p>단면 양면</p>	 <p><b>CONTEGA SL</b> 창호 내부 전용 기밀 테이프</p> <p>단면 양면</p>	 <p><b>CONTEGA IQ</b> 창호 내 · 외부 전용 기밀 테이프</p>
 <p><b>CONTEGA SOLIDO EXO</b> 창호 외부 전용 기밀 테이프</p>	 <p><b>CONTEGA SOLIDO SL</b> 창호 내부 전용 기밀 테이프</p>	 <p><b>CONTEGA SOLIDO IQ-D</b> 창호 내 · 외부 전용 기밀 테이프</p>

**액상 기밀 자재 제품군 방수, 기밀(투습, 방습), 접착제**

 <p><b>AEROSANA VISCONN FIBRE</b> 비스콘 붓칠용 (탄성도막 가변형 방습제)</p>	 <p><b>AEROSANA VISCONN FIBRE</b> 비스콘 에어리스 분사용 (탄성도막 가변형 방습제)</p>
<p><b>기밀 자재 연결, 고정 제품군</b></p>	
 <p><b>TESCON VANA</b> 다용도 기밀테이프</p>	 <p><b>TESCON INVIS</b> 다용도 기밀테이프</p>
 <p><b>ORCON CLASSIC</b> 오르콘, 접착제</p>	 <p><b>TESCON PRIMER RP</b> 프라이어, 접착제</p>



예시) 고덕강일제로에너지공동주택 시공상세도



## 창호 기밀 자재 무엇을, 어떻게 선택해야 하나??

**테이프 선택 최우선 기준**은  
골조 재료(물성)가 아닌 **표면 상태**로 합니다.

✓ 창호 전용 기밀 테이프 선택 전 시공 환경 체크

01

골조 표면 상태

02

기능 구역(단열구역) 간격

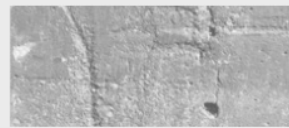
03

창틀 고정전(前) 시공 또는 고정후(後) 시공 여부

※ 절대적인 기준이 아니며, 시공경험과 현장상황에 따라 다양한 조합으로 기밀 시공이 가능합니다.



**골조 표면이 매끄럽다**  
(주로 목조에 해당)



**골조 표면이 거칠다**  
(주로 RC조에 해당, 별도 접착제 사용 권장)

## 01. 창호 기밀 테이프가 접착될 골조 표면 상태 확인

콘테가 엑소/에스엘 제품은 대부분 표면이 양호한 목조구조에 많이 적용됩니다. 제품 특징으로는 양쪽 끝 20mm 구간에만 접착제가 도포되어 있고 3방향의 접착면이 있어 기밀층 형성에 유리합니다.  
 (\*조적, RC 구조에 시공 시에는 오르콘 접착제 필요)



## 02. 창틀과 골조면 사이의 기능 구역(단열 구역) 간격 확인

골조 표면 확인 후에는 **창틀과 골조면 사이의 간격을 확인**합니다. 해당 간격과 기밀 테이프 선, 후 시공 여부를 기준으로 제품을 선택해 부착해 주시면 됩니다.



간격이 50mm 이상인 경우는 솔리도 제품을 적용하는데요.  
 표면이 거칠다면, 기밀층 내구성을 보장하기 위해 별도의 접착제(오르콘,비스콘)와 함께 사용하는 것을 권장하고 있습니다.

### 03. 골조 표면 처리 및 접착제 선택

표면이 거친 경우 기밀 테이프를 시공하기 전에 비스콘, 오르콘 접착제 중 한 가지를 선택하여 골조면에 발라줍니다.



(좌) 비스콘 하도, (우) 오르콘

#### 04-1. 기밀 마감

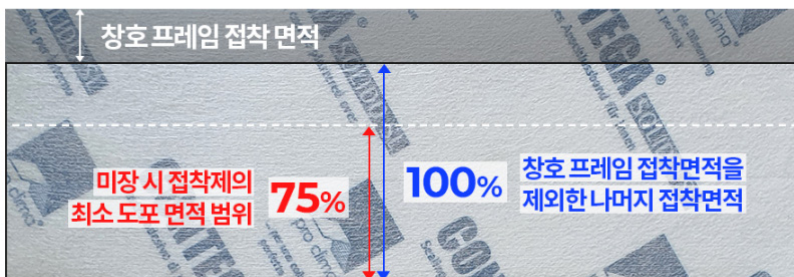
창호 기밀 테이프 시공을 완료했다면, 육안으로 전체적인 접착 상태와 모서리와 같이 구조가 복잡한 곳을 중점적으로 확인합니다. 미흡하거나 보강이 필요한 부분(복잡한 플레이트)은 **다용도 기밀 테이프인 바나, 인비스 또는 비스콘**을 사용해 시공을 마무리합니다.



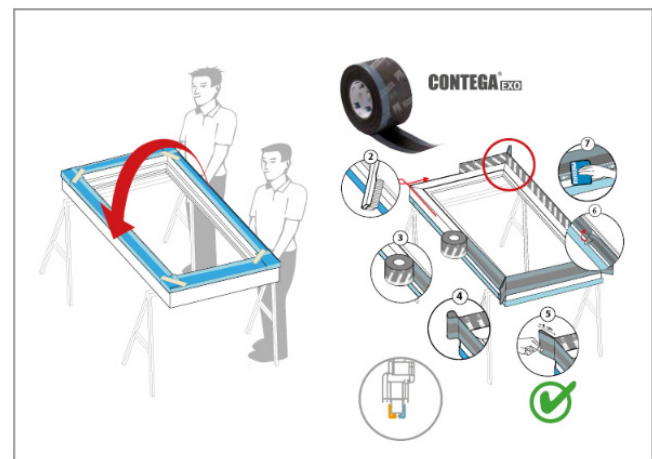
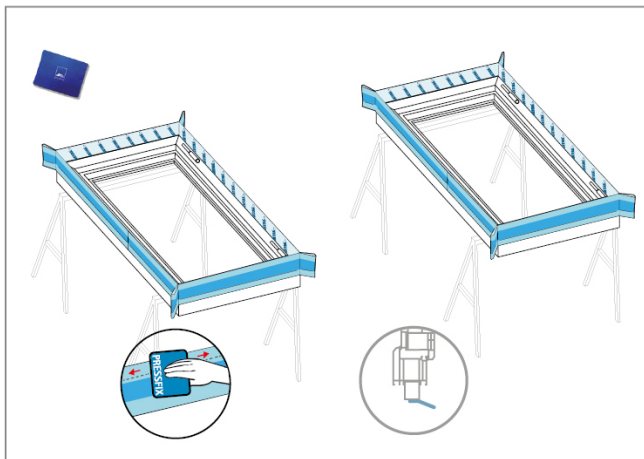
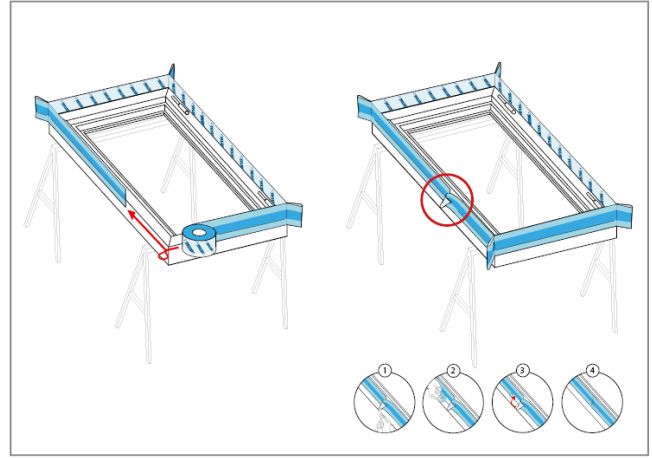
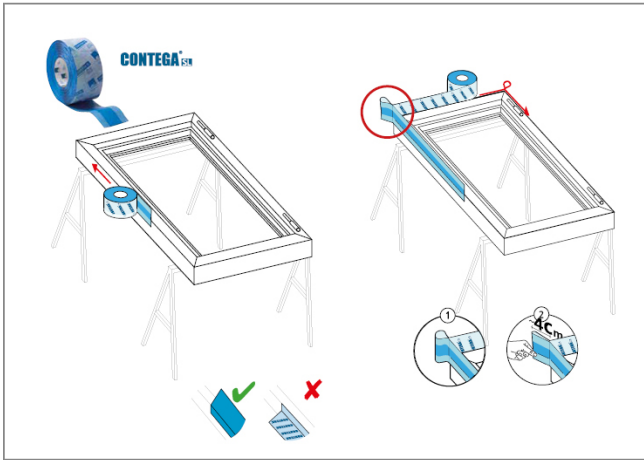
(좌) 바나, (우) 비스콘

#### 04-2. 미장 마감

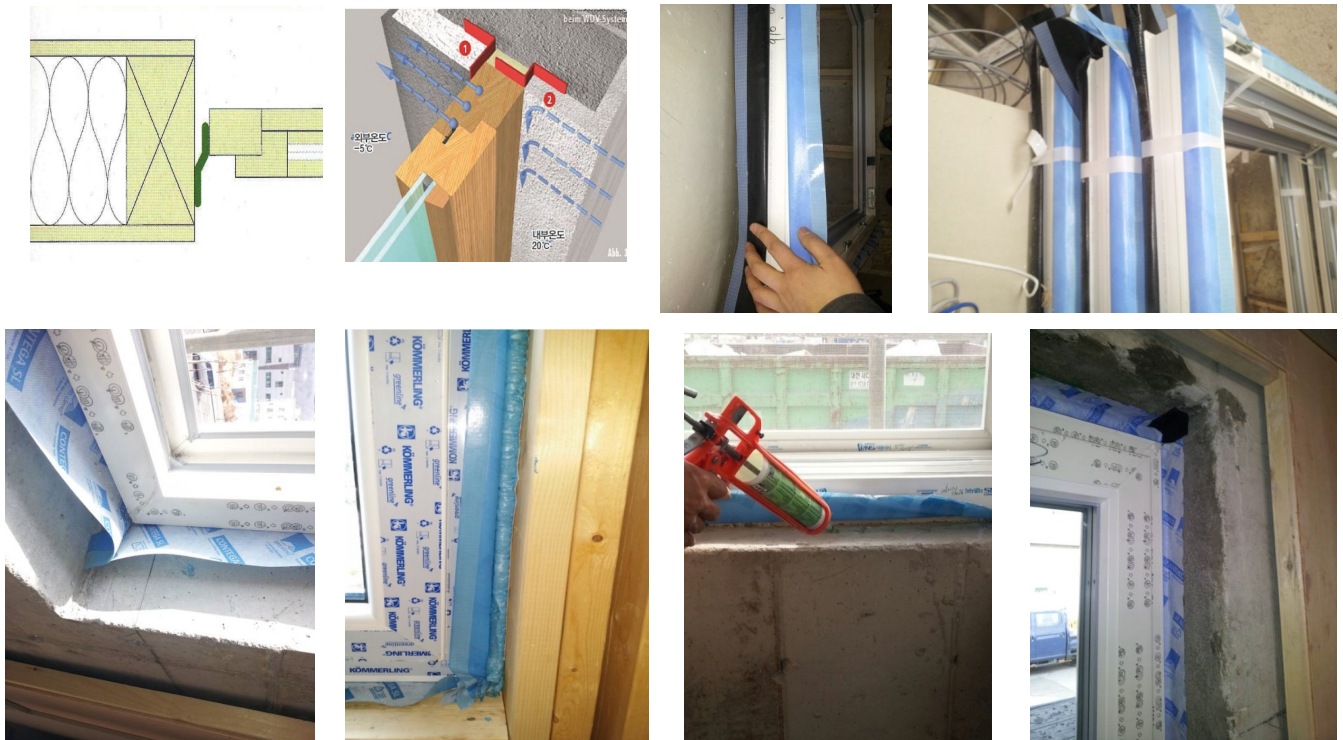
※ 기밀 테이프 위에 미장이 되는 경우에는 접착제가 콘크리트 골조에 붙는 테이프 면적의 **최소 75%** 이상이 되어야 합니다. (조적조나 콘크리트 시공에 해당되며 경량 철골 및 목조처럼 미장이 없는 경우에는 해당되지 않습니다.)



◎ 창호 기밀테이프 부착방법



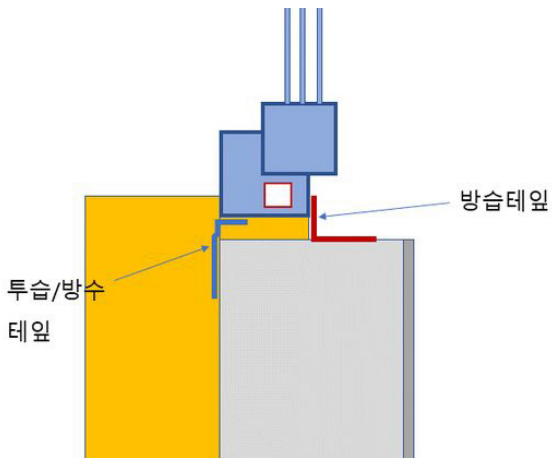
### ◎ 창호 기밀테이프 시공 순서



### ◎ 창호 기밀테이프 시 주의 사항

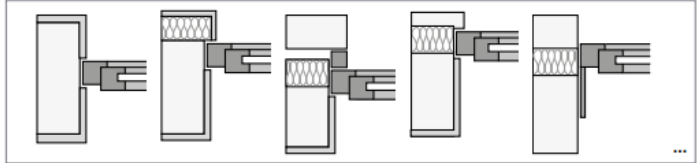
A - 방법	B - 방법	A와 B 선(先) 시공 방법의 가장 큰 차이점은 기능 구역 단열재의 두께입니다.	
<p>※ A - 방법으로 시공할 경우 기능 구역의 단열재 두께가 기밀 테이프의 접착 면적만큼 얇아 지므로 사진에 충분한 힘의 후 시공해야 함을 알려드립니다. 자세한 그림은 아래 페이지를 확인 바랍니다.</p>		<p>A - 방법</p> <p>기능 구역 단열재 두께</p>	<p>B - 방법</p> <p>단열재 두께의 감소</p> <p>기능 구역 단열재 두께</p>

◎ 창호 종류 및 위치에 따라 다른 시공 방법

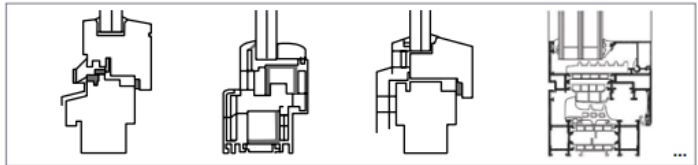


Planung

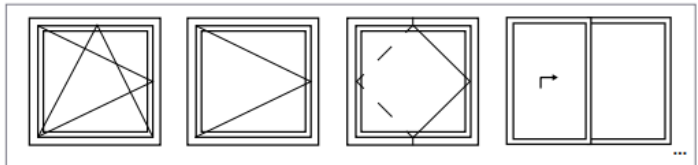
1. Bauart, Wandaufbau, Statik und Fensterlage erarbeiten, ggf. Aufnahme der Einbausituation vor Ort



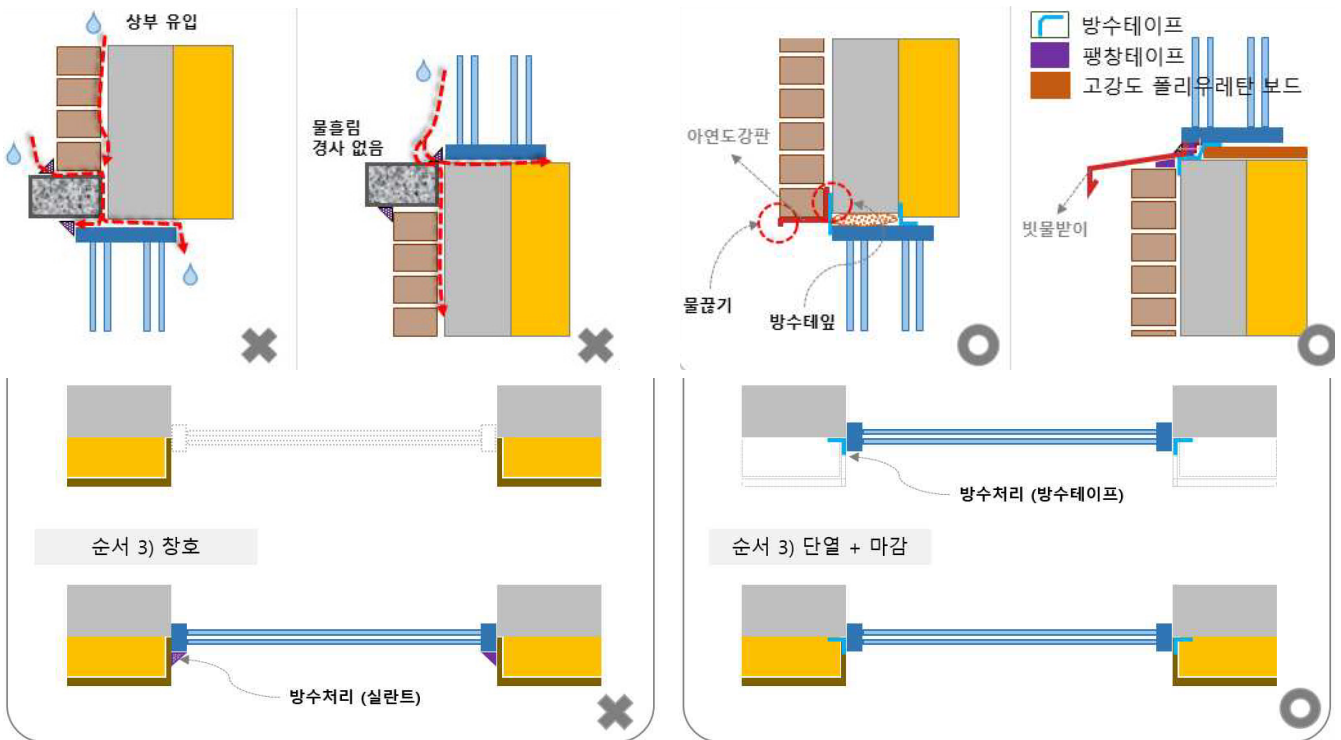
2. Fenstermaterial festlegen



3. Fensterart festlegen

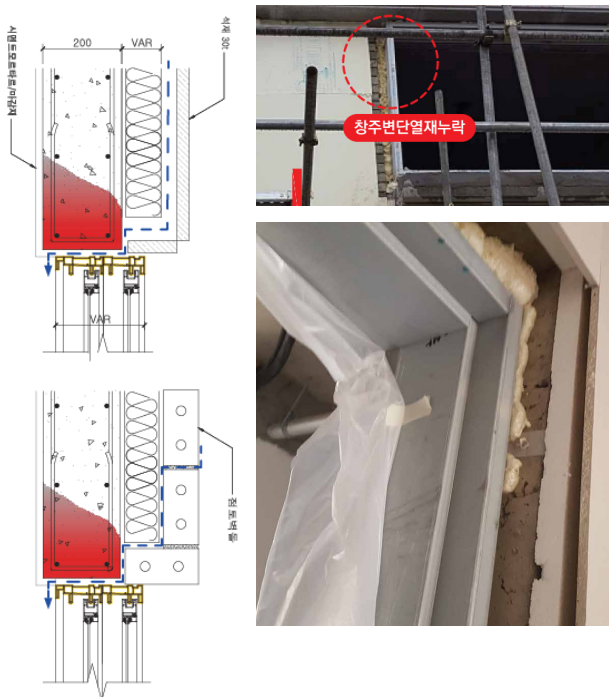


◎ 창호 종류 및 위치에 따라 다른 시공 방법- 내단열 시공 시

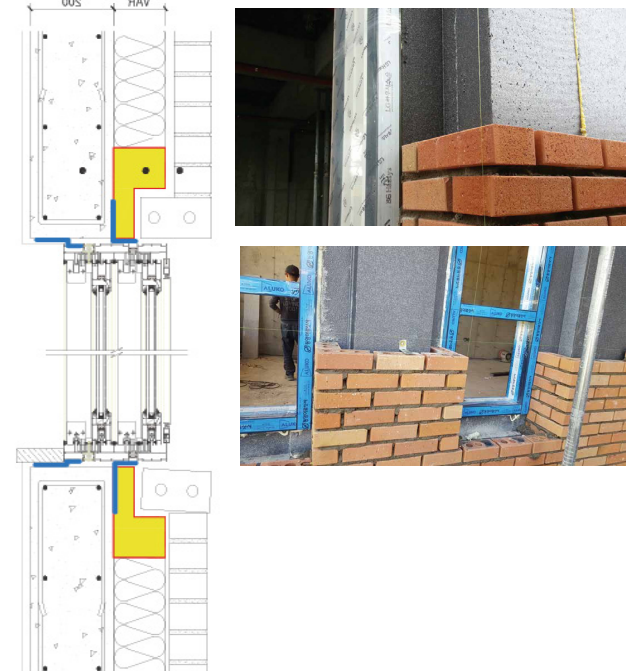


◎ 창호 종류 및 위치에 따라 다른 시공 방법- 외단열 시공 시

열교가 있는 사례



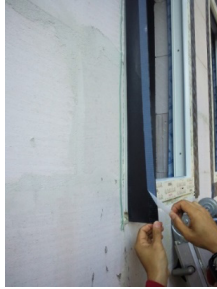
열교가 없는 사례



◎ 창호 기밀테이프 시공 사례 및 주의 사항



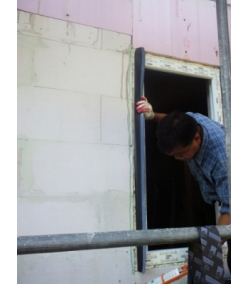
2.1 단열재에 단열재충진



2.2 테이프 접착면의 한 면을 제거 후 프레임에 부착함



2.3 테이프가 붙을 콘크리트 면에 접착제를 바른다



2.4 다른 한쪽의 테이프 접착면을 제거 후 눌러서 접착한다  
순서는 가능한 아래면<옆면<윗면 순으로 시공



2.5 테이프가 겹쳐진 끝부분에는 접착제 및 기밀테이프로 마감한다





1.1 창호 시공이 완료되었는지 확인한다



1.2 창호프레임과 벽체 사이에 폼이 충진되었는지 확인



1.4 테이프가 벽체에 볼을 위치에 접착제를 사용하여 붙인다.



1.5 외부 창호 기밀시공 완료된 모습



한국건설기술연구원 - 8F 패시브하우스

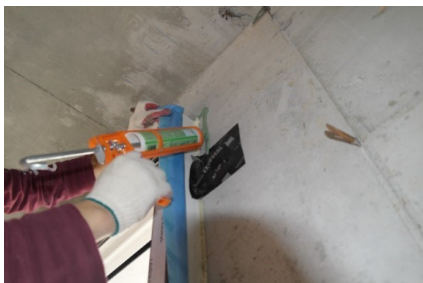
- 외단열일 경우의 창호 브라켓 철물 기밀시공
- 단점: 창호 프레임 굴곡 면과 브라켓이 만나는 부위에 기밀테이프 시공이 어려움



- 내단열일 경우의 창호 브라켓 철물 기밀시공
- 단점: 창호 브라켓의 모든 부위를 창호기밀테이프로 하기엔 손이 많이 감



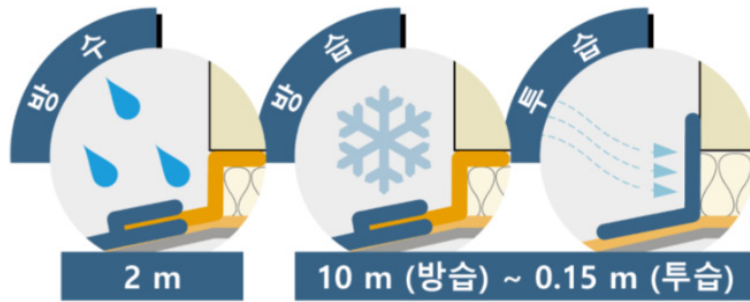
신축성이 있는 콘크리트 전용 부틸테이프로 해결가능





좀 더 쉬운 방법은?

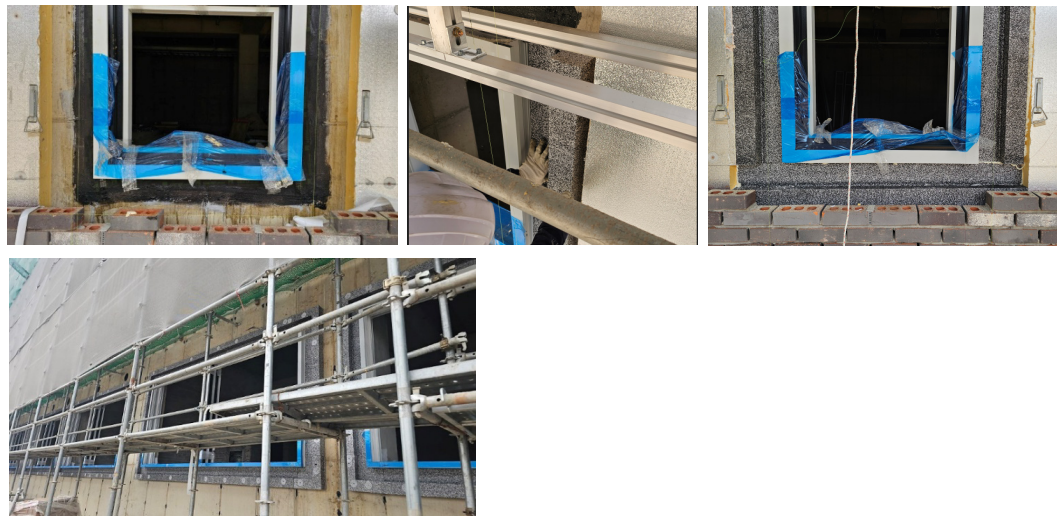
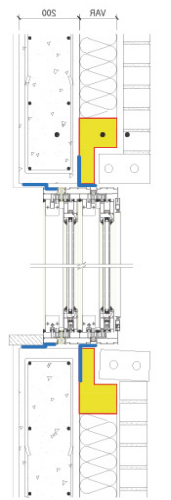
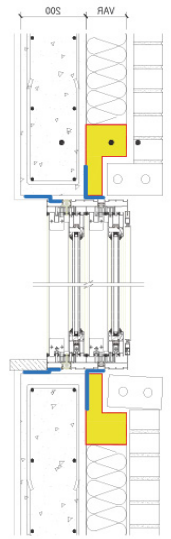
- 탄성 도막 가변형 방습제
- 적용가능한 부위: 창호주변, 조적벽, 노출콘크리트의 내부 방습층, 화장실바닥등 방습 및 방수가 필요한 부위
- 장점: 기존 창호기밀테이프에 비해 약40%이상 자재비용 절감 및 시공비 절감

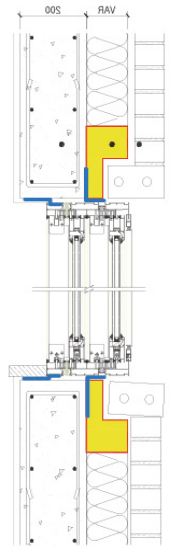


- 탄성도막가변형방습제를 이용하여 하도를 한 후에 창호기밀테이프를 접착 후 테이프와 골조의 연결부위에 상도를 작업

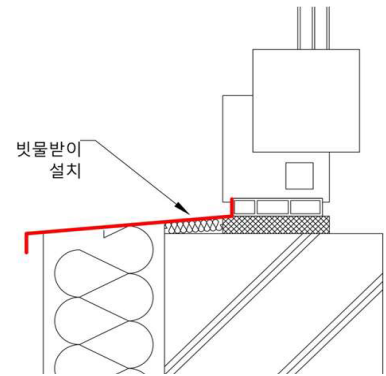
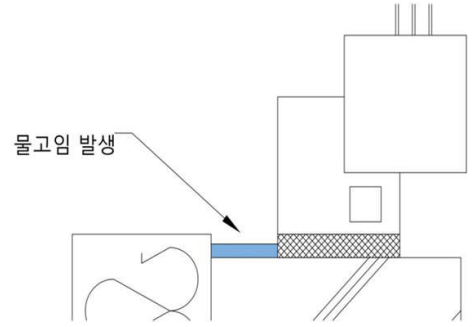








### ◎ 일체타설 또는 외단열 미장마감 시 주의사항



◎ 창호 기밀테이프 시공 사례 및 주의 사항



- 창호 프레임 바 넓이가 넓은 경우 아래의 상황일때는 창호기밀테이프 없이 탄성도막가변형방습제로 작업이 가능



- 외부로 튀어 나온 우레탄 폼을 제거한 후에 그 위쪽으로 탄성도막가변형방습제를 사용

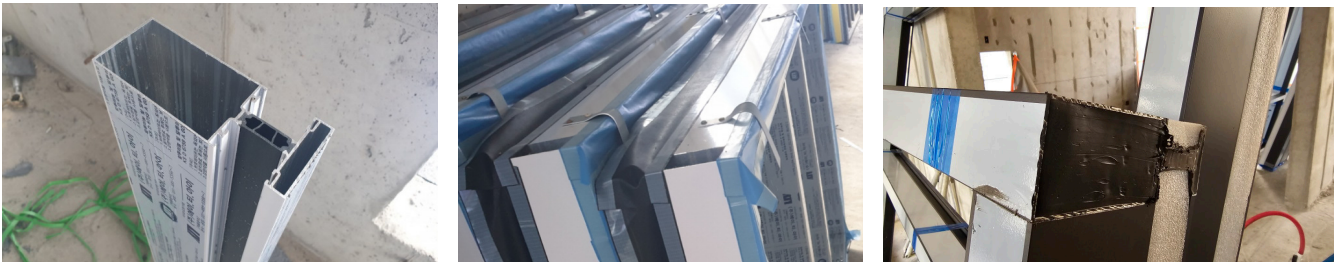


- 주의사항: 콘크리트에 접착 시 전용접착제 대신 프라이머 또는 테이프의 접착력으로만 부착할 경우 시간이 지나면 창호기밀테이프는 골조에서 떨어짐



독일 하이델베르크 패시브하우스 단지 현장

- 주의사항: 커튼 월 바가 비어 있을 경우 그 틈을 메꾼 후에 작업해야 함



- 주의사항: 탄성도막가변형을 하도 칠 작업만 하고 테이프를 붙일 경우 틈새가 생길 수 있으므로 상도칠 작업 필수

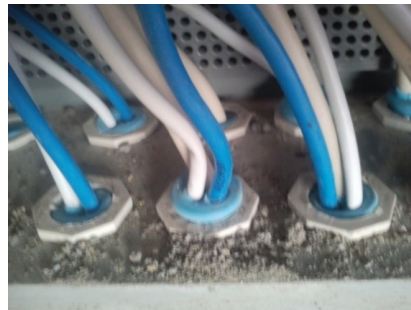
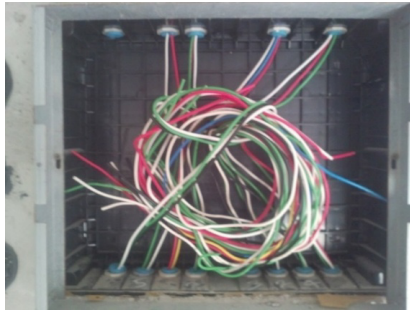


## ◎ 콘센트 기밀자재 시공 사례 및 주의 사항

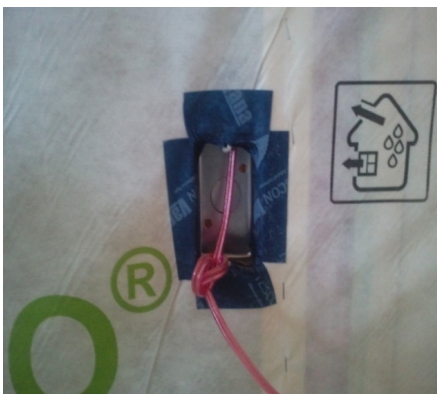


### 콘센트 기밀캡 STOPPA의 특징

- ① 취약했던 콘센트CD관 및 분전반의 기밀층을 유지한다.
- ② 습기의 차단으로 결로나 곰팡이를 방지할 수 있다.
- ③ 기밀성 유지로 인해 에너지 효율 성능이 향상된다.



## ◎ 콘센트 기밀자재 시공 사례



◎ 배관 및 전기배선 기밀자재 시공 사례



# ROFLEX

## 배관 기밀자재

배관용 기밀자재 Roflex는 **신축성과 유연성이 우수**하며, 취약했던 환기통 또는 파이프관 주변의 기밀층 유지에 도움이 됩니다.

신축성이 있어 조금 큰 사이즈도 작업이 가능하며, 습기를 차단해 결로나 곰팡이를 방지합니다.

※ 제품의 크기는 50~250파이로  
파이프크기 50~270mm까지 작업이 가능합니다.



1 시공 전 적용부위를 깨끗하게 한 후 배관 사이즈에 맞는 Roflex를 끼워줍니다.



2 Roflex 테두리 부분에 VANA테이프를 사용하여 접착해줍니다.



3 외부도 같은 방법으로 시공해줍니다.



4 Roflex20 제품은 Kaflex mono와 같이 자착테이프로 이루어져 있습니다.  
※ Kaflex mono와 동일한 방법으로 시공하면 됩니다.

- 주의사항: 배관과 연결되기 전 선시공이 필요하며 혹은 탄성도막가변형 방습제로 작업이 가능



## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. <https://www.proclima.com/>
2. <https://wissenwiki.de/Hauptseite>
3. Leitfaden zur Montage: 2014-03

## A.6

## 건물에서의 기밀성능 및 측정 방법 1

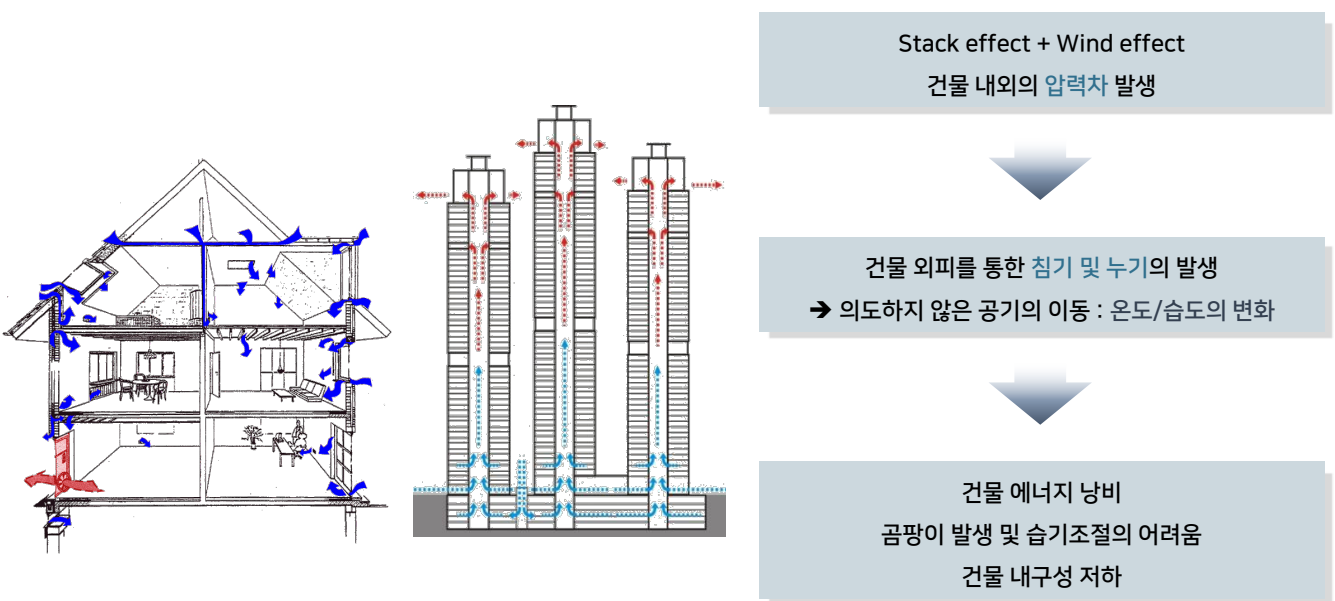
## 교육 목표

- \* 건물 외피의 기밀성능의 영향 및 중요성 이해
  - \* 건물 기밀성능의 정의 및 표현, 측정 원리 학습
  - \* 국내외 기준과 측정 표준 이해를 통한 실무 적용 역량 함양
- 건물에서의 기밀성능 및 측정 방법 1**
- \* 기밀성능 측정방법의 이해
  - \* 가감압법 (Blower door method) 원리
  - \* 기밀성능 측정표준의 구분
  - \* 기밀성능 측정방법의 이해
  - \* 기밀성능 단위의 이해

## 1 건물 기밀(airtightness)

## ◎ Airtightness?

- 건물의 외피전체 또는 외피를 구성하는 재료나 자재의 공기 유출입에 저항하는 정도



### ◎ 건물에서의 압력차: 공기 이동을 일으키는 구동력 (driving forces)

= Stack pressure + Wind pressure + (mechanical) Fan pressure

$$\Delta P = P_{st} + P_w + P_{fan}$$

$P_{st}$  = Stack pressure  $\propto (H \& T)$

$P_w$  = Wind pressure  $\propto V^2$

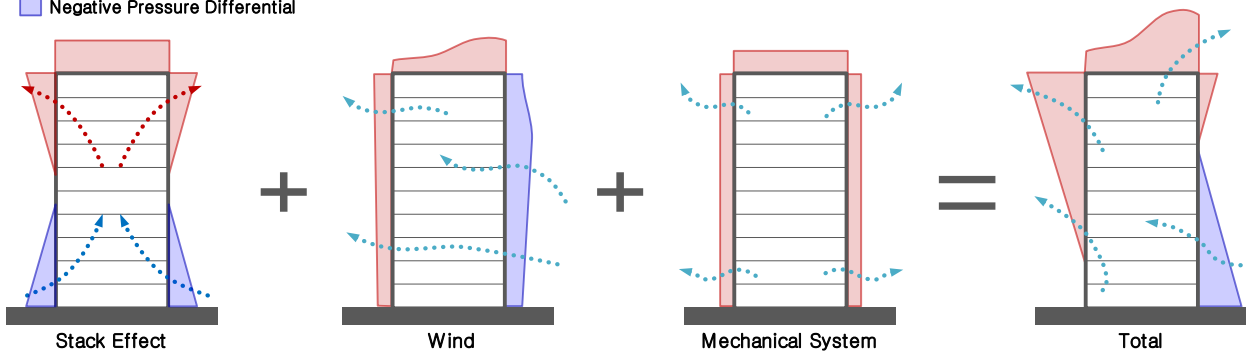
$P_{fan}$  = Fan pressure (HVAC System)

•  $H = 200 \text{ m}$ ,  $\Delta T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$   $\rightarrow P_{st} = 200 \text{ Pa}$

•  $V = 6 \text{ m/s}$   $\rightarrow P_w = 20 \text{ Pa}$

•  $P_{fan}$   $\rightarrow P_{fan} < 25 \text{ Pa}$

■ Positive Pressure Differential  
 ■ Negative Pressure Differential



## 2 기밀성능의 중요성

The average person spends 87% of their life indoors and will take over 20,000 breaths per day. Adding AeroBarrier to your next build will:



### Improve Indoor Air Quality

Seal out allergens and pollutants to create a healthier indoor environment for occupants



### Cut Down on Outside Noise

Reduce up to 40% in outside noise from neighbors and traffic



### Protect Against Pests and Insects

Seal holes and gaps to defend against pests and critters



### Prevent Moisture Intrusion

Reduce the conditions that can lead to moisture problems, especially mold and mildew



### Experience Dramatic Savings

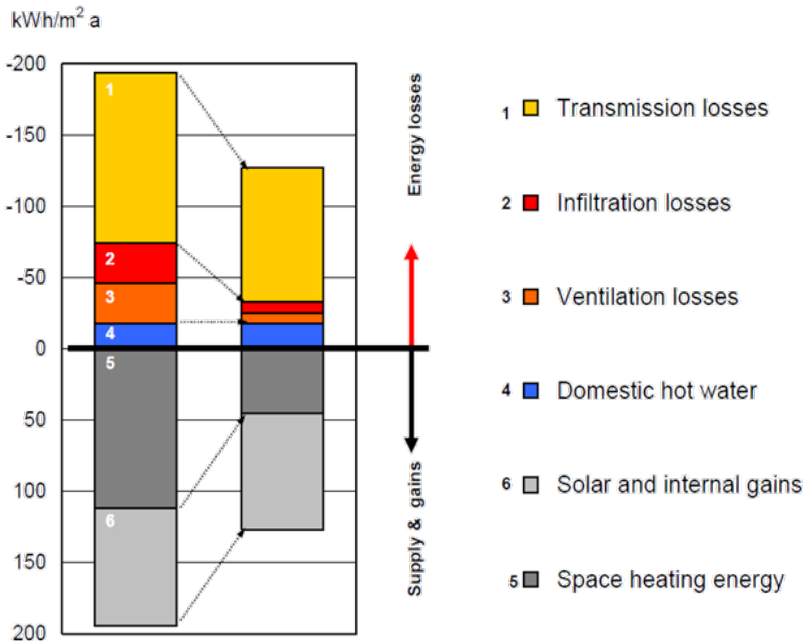
Occupants can see savings of up to 1/3 on heating and cooling costs



### Enjoy a More Comfortable Home

Fewer drafts and more consistent room to room comfort

## ◎ 건물에너지 효율 향상을 위한 핵심기술: 건물 기밀



Left: Single family house, with assumed airtightness level  $n_{50} = 4.5 h^{-1}$ . (definition of  $n_{50}$  see chapter 3)

Right: House with increased insulation and airtightness level ( $n_{50} \approx 1.5 h^{-1}$ ) and mechanical ventilation with heat recovery.

출처: AIVC, VIP8 Airtightness of buildings

◎ 침기량에 따른 냉난방 부하 | 국외 연구(CMHC)

## Air Leakage Control Savings

- CMHC-Ontario Hydro Study:

Building 1: 30 years, 21 storeys, 240 apts

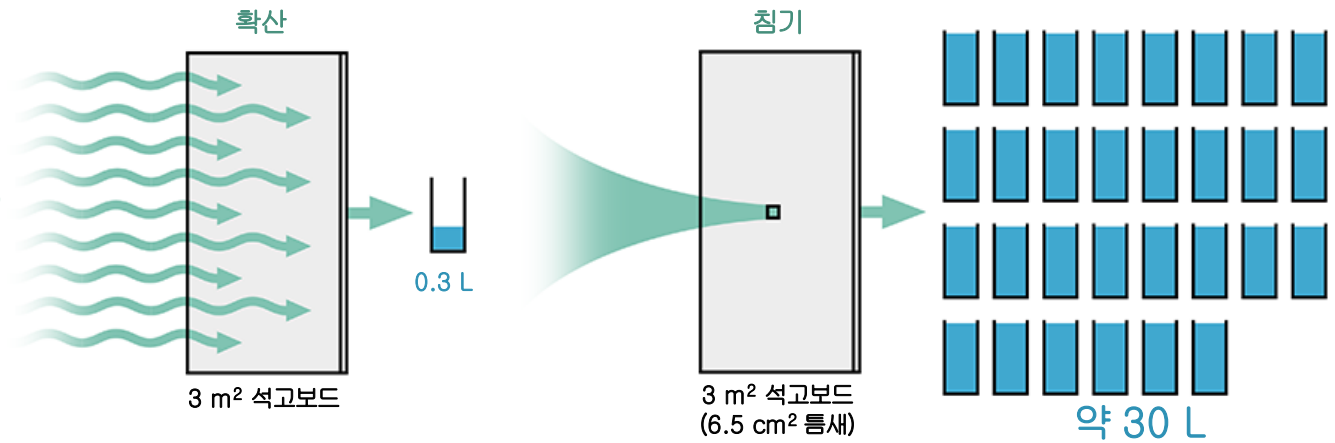
Building 2: 29 years, 10 storeys, 95 apts

Building	Annual energy Savings	Peak Load Reduction (kW)	Annual Cost Savings	Retrofit Cost	Payback (years)
1	164,870	85	\$9,656	\$54,816	5.7
2	63,340	42	\$6,107	\$38,000	6.2

◎ 누기부위를 통한 습기의 이동

The Moisture Threat of Infiltration to the Building Envelope

Throughout the heating season in most cold climates  
(indoor 21°C and 40% RH)

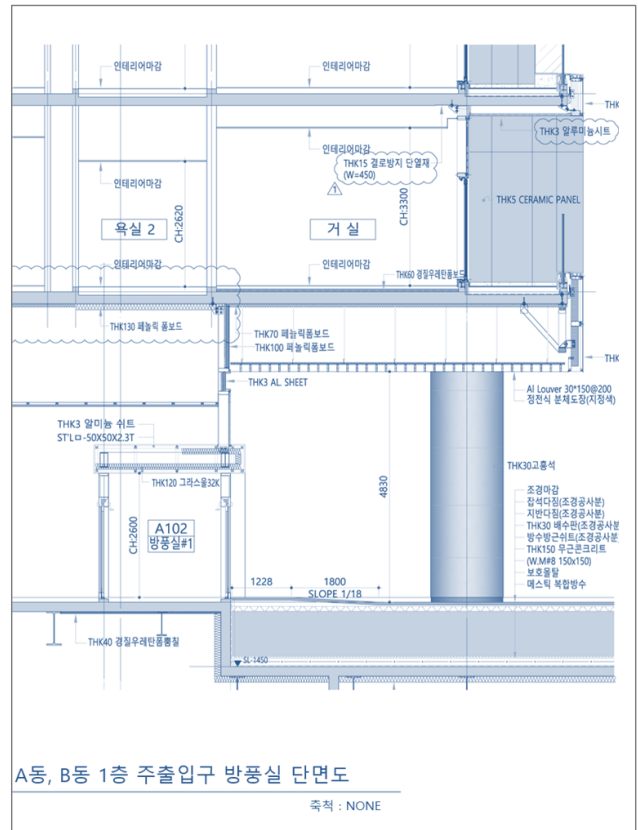


출처: The BE Blog » The Moisture Threat of Infiltration to the Building Envelope

◎ 건물 공사 품질?



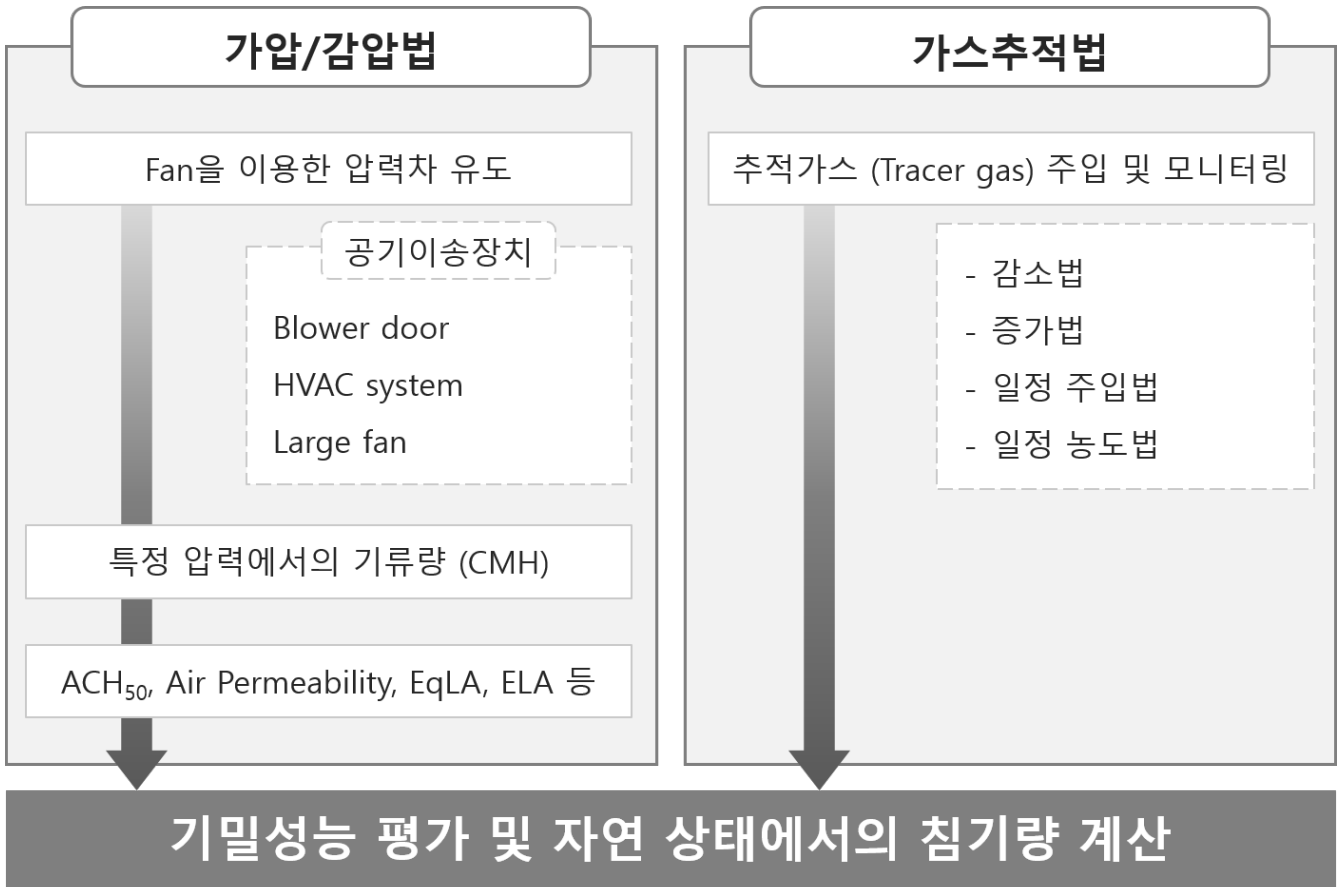
출처: <https://www.ownerbuilder.org/quality-control.shtml>



## ☉ 참고 서적 및 사이트

1. 한국건축친환경설비학회 (<https://www.kiaebs.org/>)
2. AIVC (<https://www.aivc.org/>)
3. ABAA (<https://www.airbarrier.org/>)
4. ASHRAE handbook fundamentals: Chapter 16. Ventilation and Infiltration, ASHRAE, 2017

### 3 기밀성능 측정방법

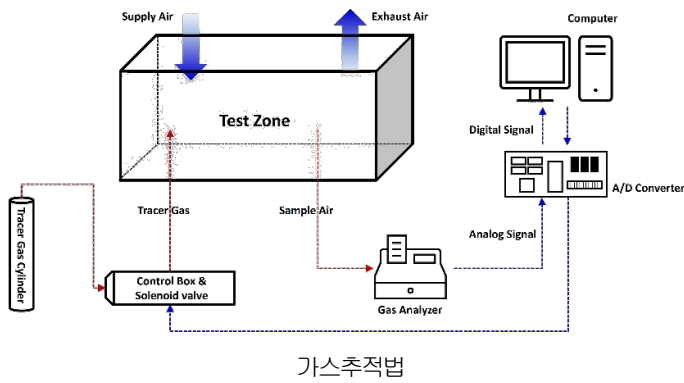


### ◎ 가스추적법 (Tracer Gas Method)

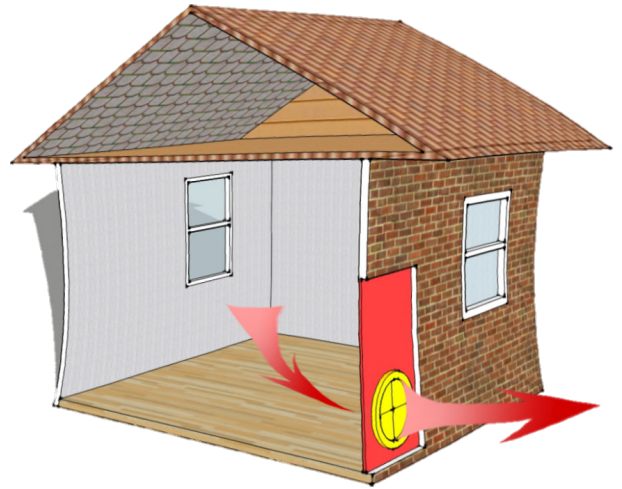
- 실내에 주입된 추적가스(tracer gas)의 농도 변화를 통해 침기율을 측정하는 방법
- 자연 상태에서의 침기율을 직접 측정할 수 있는 장점
- 바람이나 온도 등에 민감하게 반응하기 때문에 정확한 값을 찾아내는 데에는 어려움
- 가스추적법은 대규모의 건물에서는 측정하는데 한계가 있음

### ◎ 가압/감압법 (Pressurization/ Depressurization Method)

- 공조설비나 팬을 사용하여 가압 또는 감압을 한 후, 내/외부 정압 차이에서 흐르는 기류량을 측정하는 방법
- Blower 또는 AHU 시스템 활용 (대표적인 장치: blower door method)



4 가감압법



## ◎ Fan Pressurization Method (가감압법)

- Blower door를 이용한 압력차 측정방법

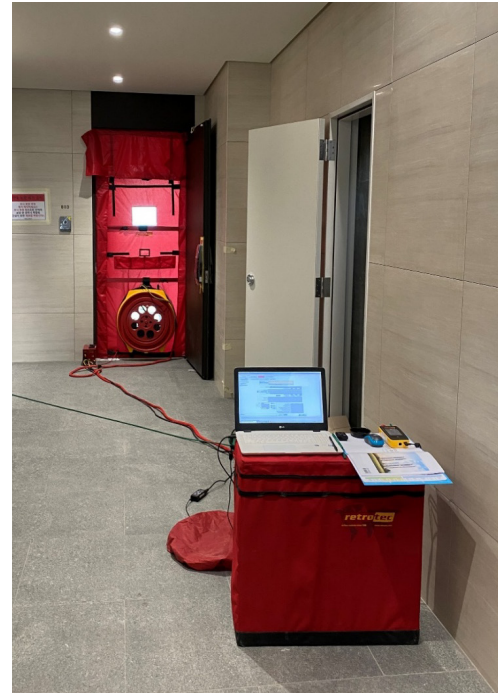
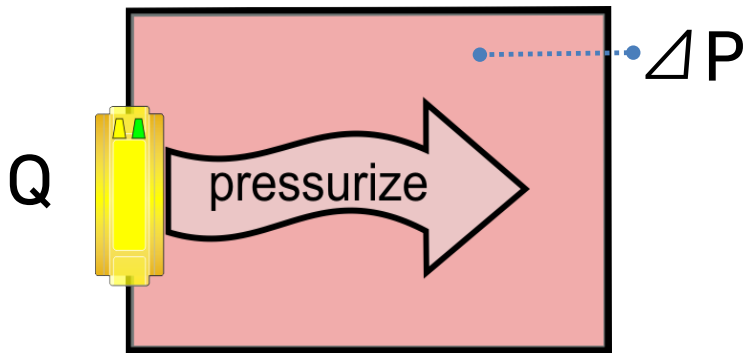
- $Q = C(\Delta P)^n$

$Q$  = the air flow rates applied to the building, m<sup>3</sup>/s

$\Delta P$  = the pressure differential across the building, Pascal

$C$  = the air leakage coefficient, m<sup>3</sup>/s(Pan)

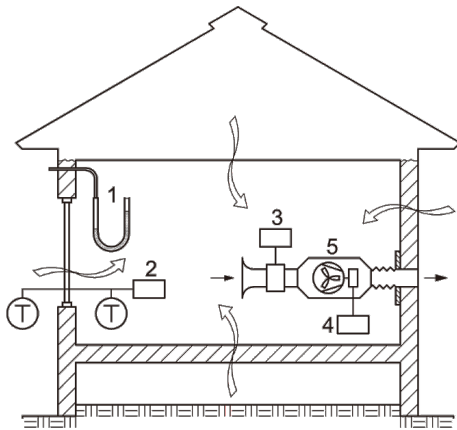
$n$  = an exponent normally between 0.5 and 1.0



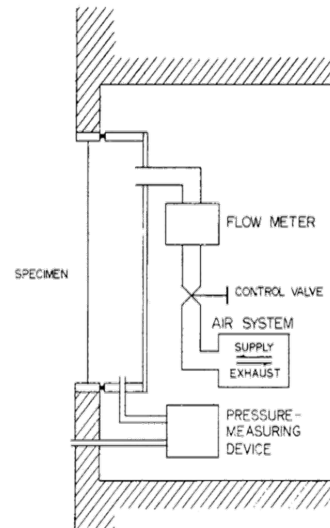
## 5 측정 표준

## ◎ 기밀성능 측정: 가/감압법 (Fan pressurization method)

- ISO 9972 Thermal performance of buildings–Determination of air permeability of buildings–Fan pressurization method
- EN 13829 Thermal performance of buildings–Determination of air permeability of buildings –Fan pressurization method
- ASTM E779 Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization
- ATTMA TS1 MEASURING AIR PERMEABILITY OF BUILDING ENVELOPES
- KS L ISO 9972 단열 - 건물 기밀성 측정-팬 가압법



출처: ISO 9972 : 2015



출처: ASTM E783

- (Curtain wall, window, door) Lab 에서의 샘플 기밀성능 측정법
  - ASTM E283 Standard Test Method for Determining Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors Under Specified Pressure Differences Across the Specimen
    - # AAMA 501-05 Methods of Tests for Exterior Walls
    - # NFRC-400 Procedure for Determining Fenestration Product Air Leakage
- (Curtain wall, window, door) Field 에서의 기밀성능 측정법
  - ASTM E783 Standard Test Method for Field Measurement of Air Leakage Through Installed Exterior Windows and Doors
    - # AAMA 503-03 Voluntary Specification for Field Testing of Storefronts, Curtain Walls and Sloped Glazing Systems
- 건물에서의 누기부위, 열교 진단법
  - ASTM E1186 Standard Practices for Air Leakage Site Detection in Building Envelopes and Air Barrier Systems
  - ANSI-ASHRAE Standard 101 Application of Infrared Sensing Devices to the Assessment of Building Heat Loss Characteristics
  - ISO Standard 6781 Thermal Insulation—Qualitative Detection of Thermal Irregularities in Building Envelopes—Infrared Method

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. Building Airtightness Information Platform (BAIP), <https://baip.co.kr/>
2. J.H. Jo, S.Y. Park, BAIP-TN03:2023 – Measuring Airtightness, Building Airtightness Information Platform (BAIP), 2023.

## 6 누기 함수

## ① Leakage Function (누기 함수)

- 실험에서 얻어진 data를 통해 그래프를 추정하여 유량 Q와 압력차  $\Delta P$  사이의 관계를 찾음  
이 관계식을 누기함수(Leakage function)라고 함

$$Q = C(\Delta P)^n$$

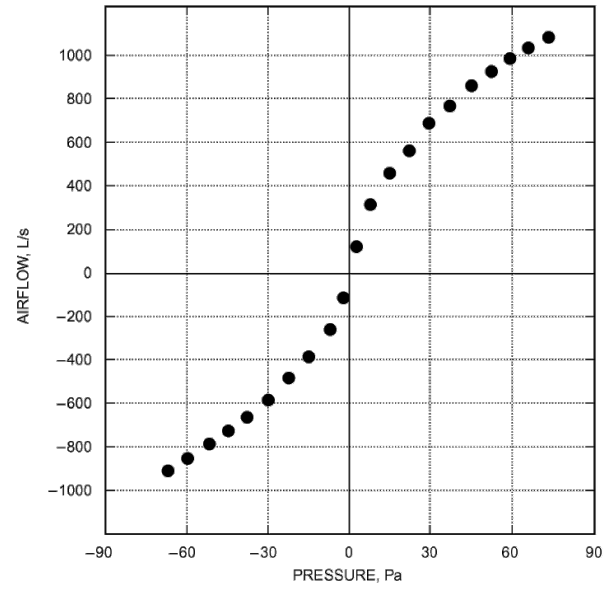
$Q$  = 공기 풍량,  $m^3/s$

$C$  = 유체 계수,  $m^3/s(Pa^n)$

$n$  = 유체 지수, 무차원수

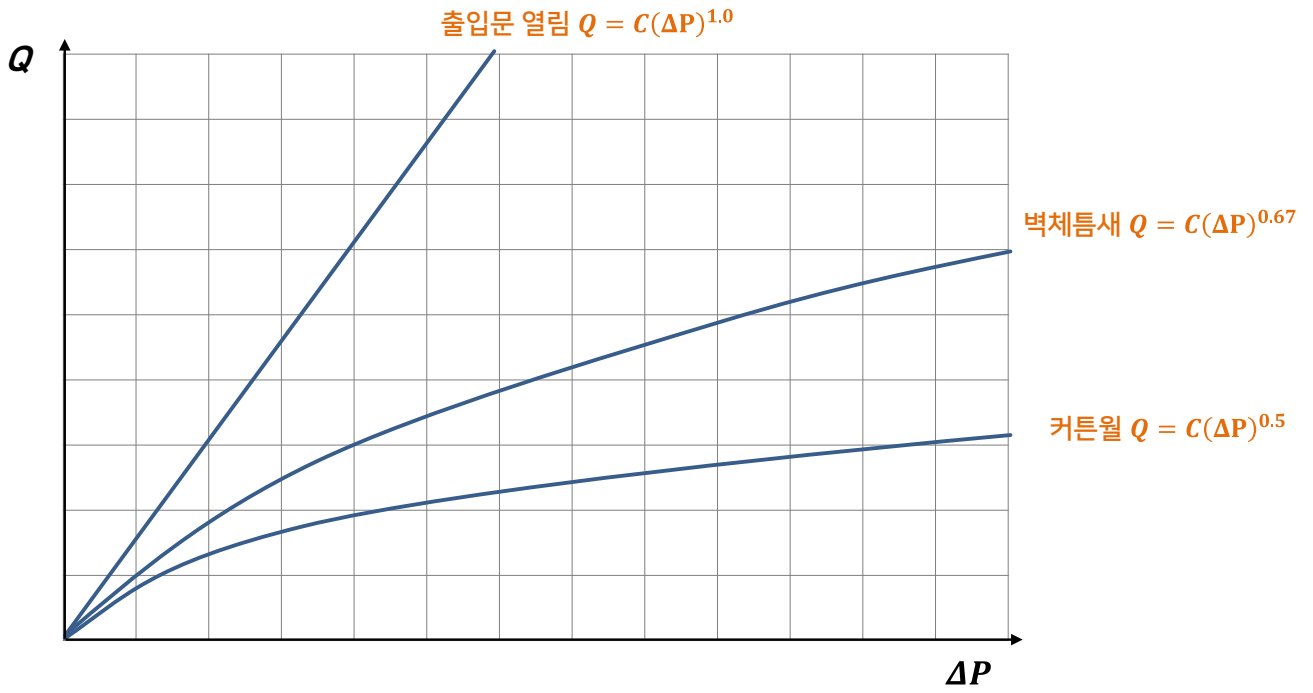
#  $C, n$ : 건물 기밀성과 관련된 data

#  $Q$  계산을 위해서는  $C, n$  값이 필요



출처: 2017 ASHRAE Handbook-Fundamentals

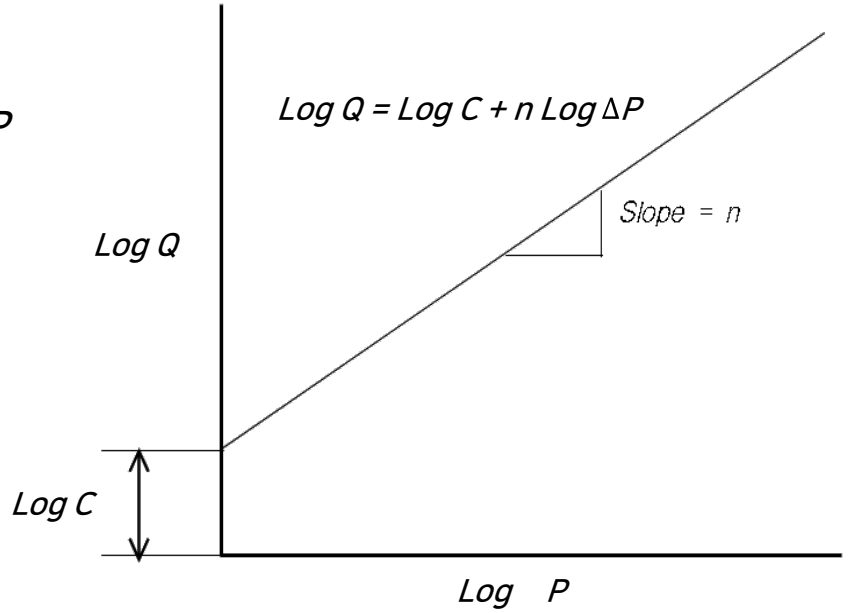
⊙ n 유체 지수 (pressure exponent, dimensionless) |  $0.5 \leq n \leq 1$



## ◎ 기밀성능 그래프

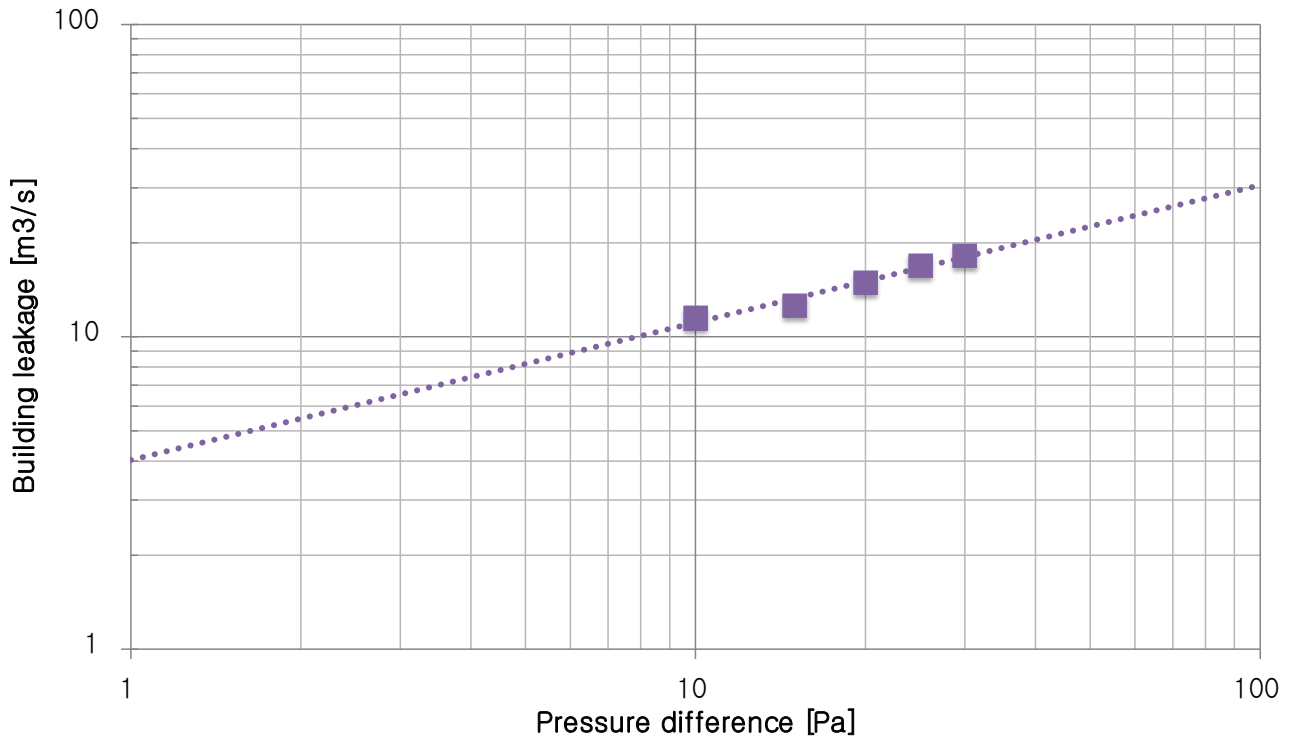
- 누기함수에 Log를 취하면 아래 그림과 같이 선형의 형태를 가짐
- 다수의 압력차에서 측정된 기류량을 Log 값으로 환산하여 “선형 회귀분석”을 통해 추정식을 구함

$$\text{Log } Q = \text{Log } C + n \text{Log } \Delta P$$



출처: 2017 ASHRAE Handbook-Fundamentals

### ◎ 기밀성능 그래프 사례



## 7 기밀성능 표현(단위)

### ◎ 기밀성능 표현방법

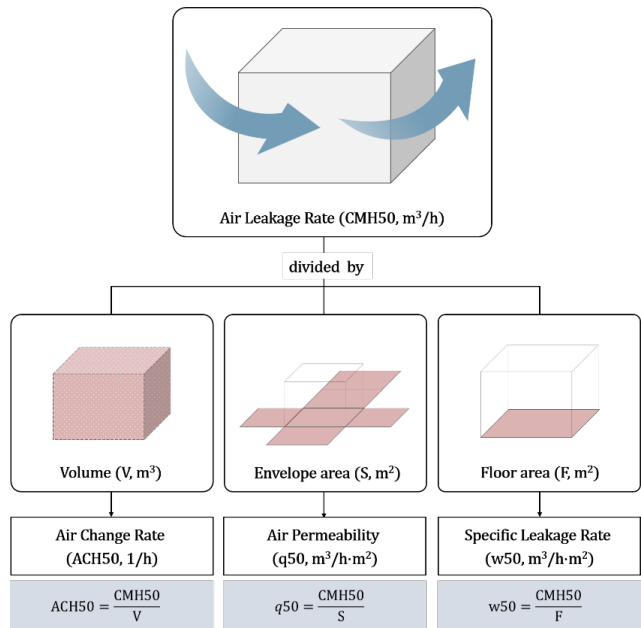
- CMH50(m<sup>3</sup>/h) 또는 cfm50(ft<sup>3</sup>/min)  
CFM50은 실내외 압력차를 50 Pa로 유지하기 위해 실내에 불어 넣어야 할 기류량(즉, 침기량)을 표현  
50 Pa은 약 9 m/s의 바람이 불어올 때 생기는 압력 수준으로, 측정시 기상조건의 영향을 최소화하기 위함
- ACH50(h-1) : Air Change rate, n50 <- CMH50/(building volume)  
건물에 50 Pa의 압력이 작용하고 있을 때, 실내 공기가 한 시간 동안 몇 번 교환되는가를 표현하는 척도  
서로 다른 크기의 건물에서 측정된 침기량을 비교할 때 유용한 척도
- Air Permeability(m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup>, cfm/ft<sup>2</sup>) : q50 <- CMH50/(building envelope area)  
침기량을 전체 외피면적으로 나눈 단위면적당 침기량(누기량)을 나타내는 척도

- CMH50(m<sup>3</sup>/h) 또는 cfm50(ft<sup>3</sup>/min)

- ACH50(h<sup>-1</sup>) : Air Change rate, n50



- Air Permeability(m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup>, cfm/ft<sup>2</sup>) : q50



## ☉ 참고 서적 및 사이트

1. Building Airtightness Information Platform (BAIP), <https://baip.co.kr/>
2. J.H. Jo, S.Y. Park, BAIP-TN03:2023 – Measuring Airtightness, Building Airtightness Information Platform (BAIP), 2023.

# A.7

## 건물에서의 기밀성능 및 측정 방법 2

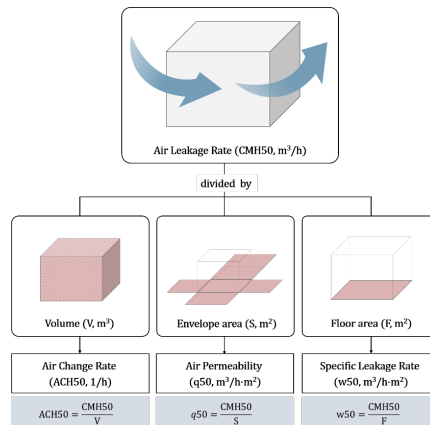
### 교육 목표

- \* 기밀성능 단위의 이해
- \* 외피, 창호에서의 기밀성능 기준의 이해
- 건물에서의 기밀성능 및 측정 방법 2**
  - \* 침기와 환기의 구분
  - \* 환기성능 보장의 중요성
  - \* 기밀성능 및 환기성능의 비교 (ACH50 VS ACH)
  - \* Build Tight, Ventilate Right

### 1 기밀성능 표현(단위)

#### ◎ 기밀성능 표현방법

- CMH50(m<sup>3</sup>/h) 또는 cfm50(ft<sup>3</sup>/min)  
CFM50은 실내외 압력차를 50 Pa로 유지하기 위해 실내에 불어 넣어야 할 기류량(즉, 침기량)을 표현  
50 Pa은 약 9 m/s의 바람이 불어올 때 생기는 압력 수준으로, 측정시 기상조건의 영향을 최소화하기 위함
- ACH50(h-1) : Air Change rate, n50 <- CMH50/(building volume)  
건물에 50 Pa의 압력이 작용하고 있을 때, 실내 공기가 한 시간 동안 몇 번 교환되는가를 표현하는 척도  
서로 다른 크기의 건물에서 측정된 침기량을 비교할 때 유용한 척도
- Air Permeability(m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup>, cfm/ft<sup>2</sup>) : q50 <- CMH50/(building envelope area)  
침기량을 전체 외피면적으로 나눈 단위면적당 침기량(누기량)을 나타내는 척도



◎ 상당누기면적 또는 유효누기면적 계산

$$A_L = 10000Q_r \frac{\sqrt{\rho/2\Delta P r}}{C_D}$$

$A_L$  상당누기면적(또는 유효누기면적),  $\text{cm}^2$

$Q_r$  기준압력차( $\Delta P_r$ )에서의 유량,  $\text{m}^3/\text{s}$

$\rho$  공기밀도,  $\text{kg}/\text{m}^3$

$\Delta P_r$  기준압력차, Pa

$C_D$  감소계수, -

- EqLA( $\text{cm}^2$ )

Canadian National Research Council(NRC)에서 정립한 누기면적 척도

EqLA(Equivalent Leakage Area, 상당누기면적)는 주로 10 Pa에서 발생하는 누기량에 상응하는 구멍의 크기

- ELA 또는 EfLA( $\text{cm}^2$ )

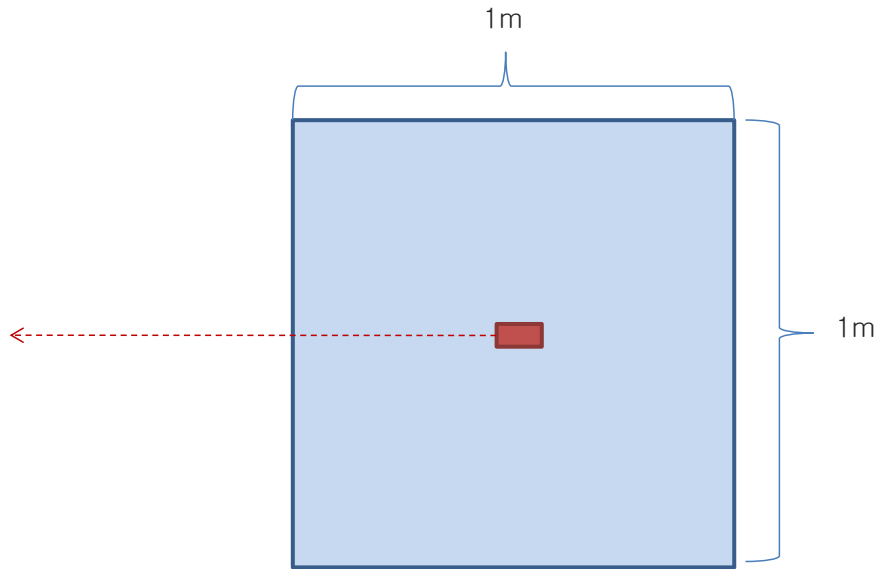
Lawrence Berkeley National Laboratory(LBNL)에서 정립한 누기면적 척도

ELA(Effective Leakage Area, 유효누기면적)는 4 Pa에서 발생하는 누기량에 상응하는 구멍의 크기

### ◎ ASHRAE, 고층건물의 외피의 기밀성능 Average 값

2.1 ?

= 1.5 (L/s·m<sup>2</sup> @75Pa)



## 2 기밀성능 예시

### ◎ Curtain Wall > AAMA 503-03

요약	연도	국가	적용대상	기밀성능 기준(원문)		기밀성능 기준(환산)	
				누기율	압력차	누기율	압력차
	2003	미국	Punched Opening 등의 연속되지 않는 커튼월	0.5 L/s·m <sup>2</sup> 0.09 cfm/ft <sup>2</sup>	1.57 psf 75 Pa	1.80 m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup>	75 Pa

### ◎ Curtain Wall > 건축공사표준시방서

출처		건축공사표준시방서, 국토교통부, 한국					
설명		- 커튼월이 최소로 만족해야 하는 기밀성능을 정의하고 있음 - 고정창일 경우, 압력차 1.57 psf에서 누기율 0.06 cfm/ft <sup>2</sup> 이하, 개폐창일 경우, 압력차 1.57 psf에서 누기율 0.5 cfm/ft로 규정 - 기밀성능 시험방법은 공사시방서에 따른다고 규정					
요약	연도	국가	적용대상	기밀성능 기준(원문)		기밀성능 기준(환산)	
				누기율	압력차	누기율	압력차
	2004	한국	커튼월 고정창	0.06 cfm/ft <sup>2</sup> 0.0183 m <sup>3</sup> /min·m <sup>2</sup>	1.57 psf	1.10 m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup> 0.30 L/s·m <sup>2</sup>	75 Pa
			커튼월 개폐창	0.5 cfm/ft 0.0481 m <sup>3</sup> /min·m		2.79 m <sup>3</sup> /h·m 0.77 L/s·m	

### ◎ EN 12152 Curtain walling – Air permeability performance requirements and classification, 유럽

요약	연도	국가	적용대상	기밀성능 등급	기밀성능 기준(원문)		기밀성능 기준(환산)	
					누기율	최대 압력차	누기율	최대 압력차
	2002	유럽, 독일	커튼월 고정부 면적당 누기율	Class A1	1.5 m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup>	150 Pa	0.42 L/s·m <sup>2</sup> 0.08 cfm/ft <sup>2</sup>	150 Pa
				Class A2		300 Pa		300 Pa
				Class A3		450 Pa		450 Pa
				Class A4		600 Pa		600 Pa
				Class AE		600 Pa 초과		600 Pa 초과
			커튼월 고정 조인트 길이당 누기율	Class A1	0.5 m <sup>3</sup> /h·m	150 Pa	0.14 L/s·m 0.09 cfm/ft	150 Pa
				Class A2		300 Pa		300 Pa
				Class A3		450 Pa		450 Pa
				Class A4		600 Pa		600 Pa
				Class AE		600 Pa 초과		600 Pa 초과

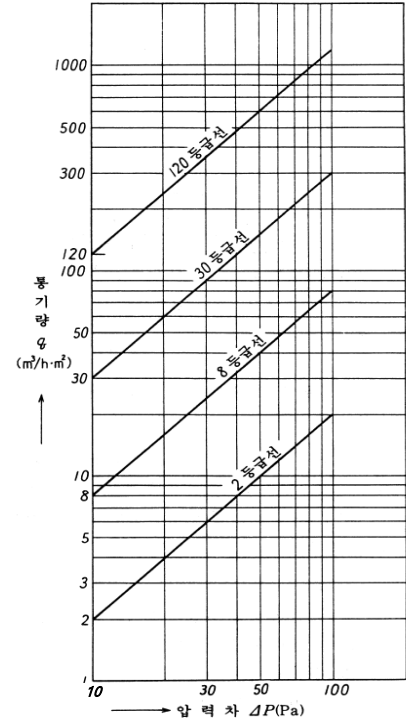
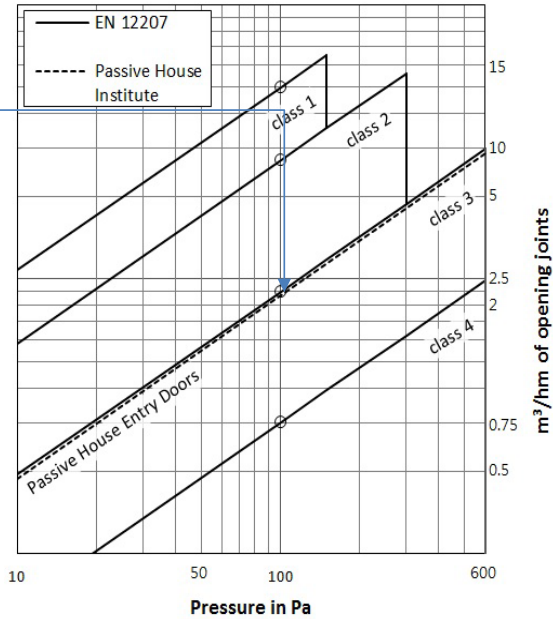
◎ 창호/출입문 > KS F 2292

출처	건축물의 에너지절약 설계기준, 국토교통부 고시 제2023-104호, 한국							
설명	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 건축물의 거실의 창호가 외기에 직접 면하는 부위인 경우에는 기밀성 창호 설치해야 함</li> <li>- "기밀성 창", "기밀성 문"이라 함은 창 및 문으로서 한국산업규격(KS) F 2292 규정에 의하여 기밀성 등급에 따른 기밀성이 1~5등급(통기량 5㎡/h·㎡ 미만)인 것을 말한다.</li> <li>- 기밀성능 시험방법은 KS F 2292를 따름</li> </ul>							
요약	연도	국가	적용 대상	등급 (KS F 2292)	기밀성능 기준(원문)		기밀성능 기준(환산)	
					누기율	최대 압력차	누기율	최대 압력차
				∴	∴	∴	∴	∴
				10	100 ㎡/h.㎡	100 Pa	27.78 L/s.㎡ 5.47 cfm/ft <sup>2</sup>	100 Pa
				∴	∴	∴	∴	∴
	2010	한국	창호 문	5	50 ㎡/h.㎡	100 Pa	13.89 L/s.㎡ 2.74 cfm/ft <sup>2</sup>	100 Pa
				∴	∴	∴	∴	∴
			1	10 ㎡/h.㎡	100 Pa	2.78 L/s.㎡ 0.55 cfm/ft <sup>2</sup>	100 Pa	

- ◎ EN 12207: 1999, “Windows and doors – Air permeability – Classification”, European Standard, 1999
- ◎ Passive House Institute “Certification criteria for an entry door as a certified Passive House Component”

$$Q_{100} \leq 2.25 \text{ m}^3/(\text{hm})$$

$Q_{100}$  : reference permeability at a test pressure of 100Pa

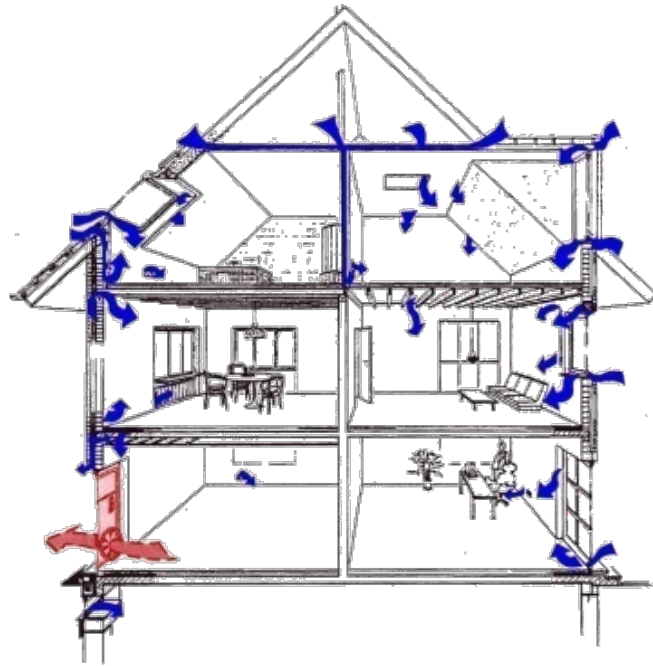


### ◎ 참고 서적 및 사이트

1. EN 12207:1999, “Windows and doors – Air permeability – Classification”, European Standard, 1999.
2. "Certification criteria for an entry door as a certified Passive House Component", Passive House Institute, 2012.
3. KS F 2292, “창호의 기밀성 시험방법”, 기술표준원, 2008.

### 3 침기 VS 환기

침기(Infiltration)와 누기(Exfiltration)란  
“의도하지 않은 공기가 실내로 유입 또는 실외로 유출되는 것”  
(Air Leakage)



## 환기(Ventilation)란

“오염된 공기(실내)를 신선한 공기(외기)로 교환하는 것”

자연환기(Natural Ventilation)



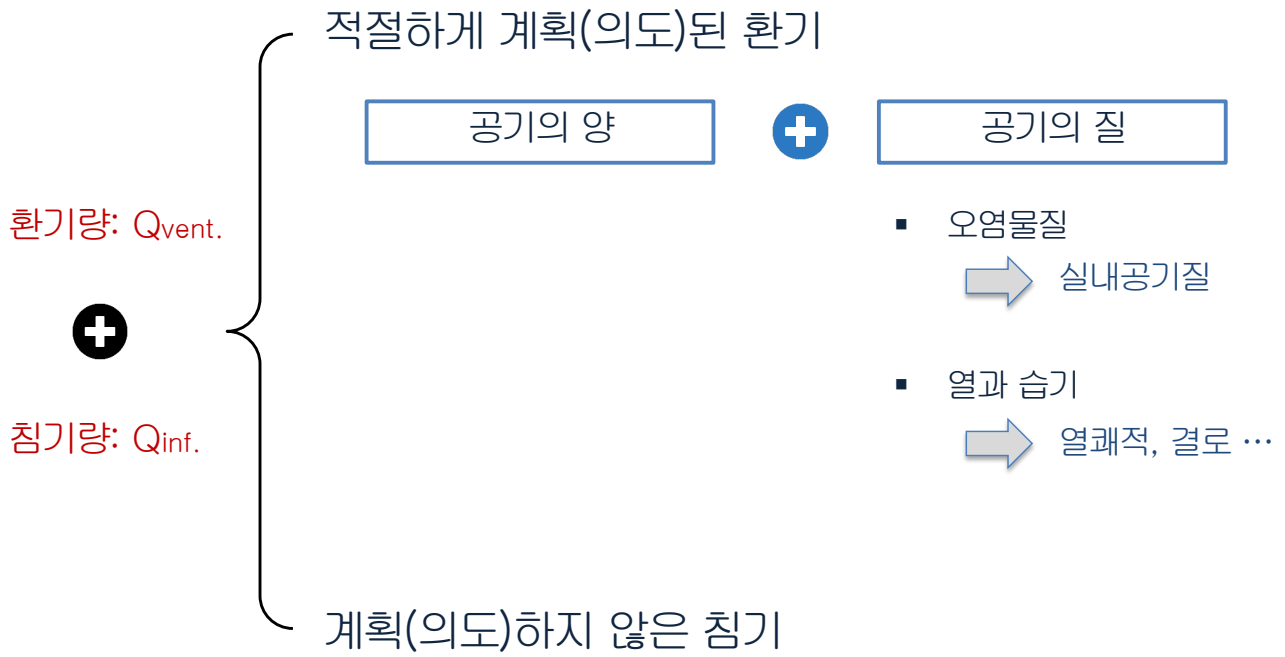
출처: <http://syokuninkatagi.com/blog/?p=1664>

기계환기(Mechanical Ventilation)



출처: <http://rbgrant.co.uk/ventilation.aspx>

오염된 공기의 정화 + 실내의 열과 습기배출



## 4 환기 보장

### ⊙ 공기오염물질의 제거

#### 이산화탄소

##### 발생원

##### - 재실자의 호흡

\* 외기: 약 0.03~0.04%

\* 날숨의 농도: 약 4%

\* 날숨의 양: 약 0.4~0.6 m<sup>3</sup>/h

##### - 연소

- 실내 이산화탄소 농도 기준: 1000 PPM
- 이산화탄소 농도에 의한 필요환기량 계산

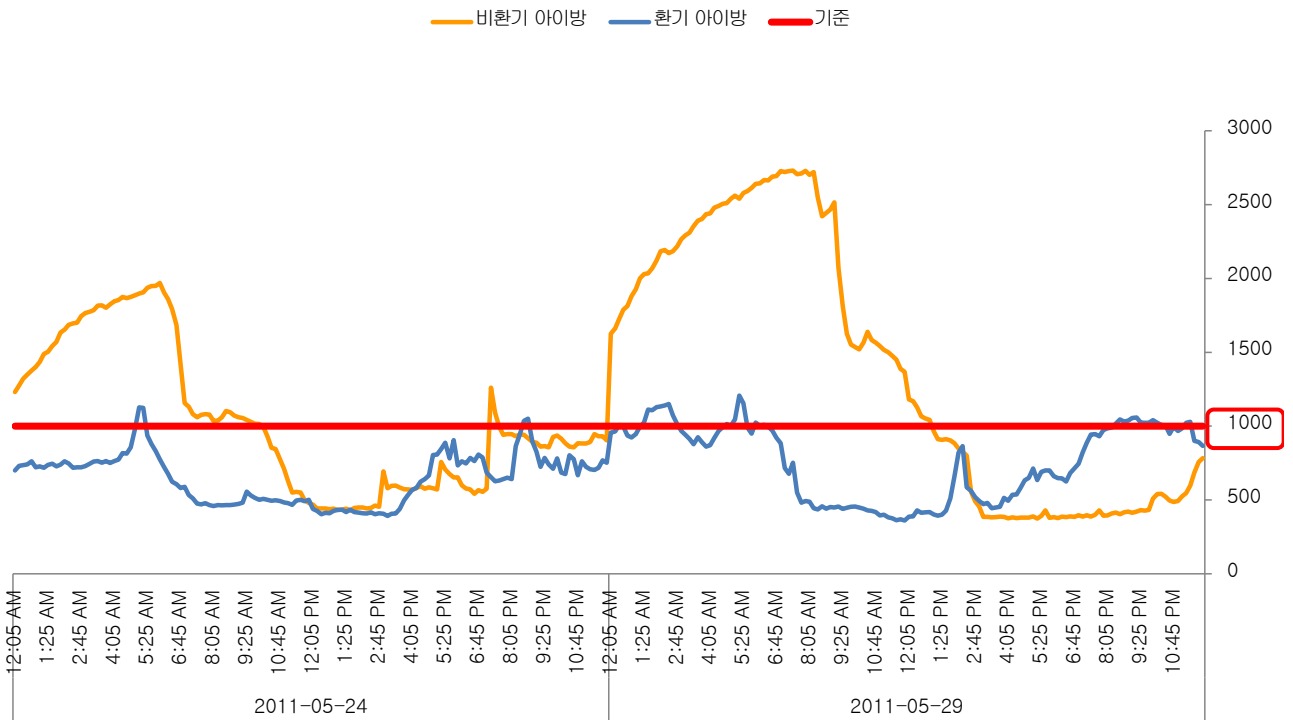


doctoral thesis of Zhu S., University of Tokyo

#### CO2 농도에 따른 인체에 끼치는 영향

😊	350~450ppm	일반 일상 속에서의 실외 공기
😐	450~1000ppm	공기가 맑고 호흡에 큰 지장은 없는 정도
😓	1000~2000ppm	공기가 탁하게 느껴지고 잠이 많아짐
😞	2000~5000ppm	머리가 아프고 잠이 많아지고 집중력이 떨어지며 심장 박동수가 빨라져 경미한 구토 유발 반응
😱	5000ppm 이상	영구적인 뇌손상 혹 심각한 경우 사망까지 이룸

◎ 시간 경과에 따른 CO<sub>2</sub> 농도 변화



출처: 국내실측연구: 유형규 (대림산업)

**화학물질(연소가스, VOCs), 라돈**

- ▶ 조리, 난방에 의한 연소물질
  - NO<sub>x</sub>, CO >> 중독, 기관지 질환 등
- ▶ 건축자재로부터의 VOCs (휘발성유기화합물)
  - 폼알데하이드, 톨루엔 등
  - >> 알레르기, 화학물질 과민증, 발암
- ▶ 건축자재, 지하유입 가스
  - 라돈 >> 발암

➡ 공동주택의 환기기준: 0.5회/h 이상

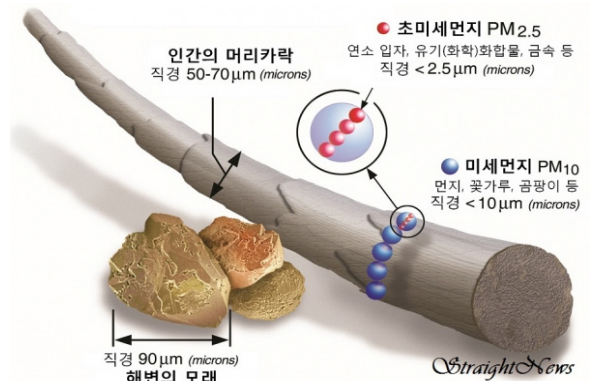


출처: <http://cornbreadandmilk.com/Kitchen.htm>



**입자상 물질**

- ▶ 먼지, 곰팡이포자, 석면 등

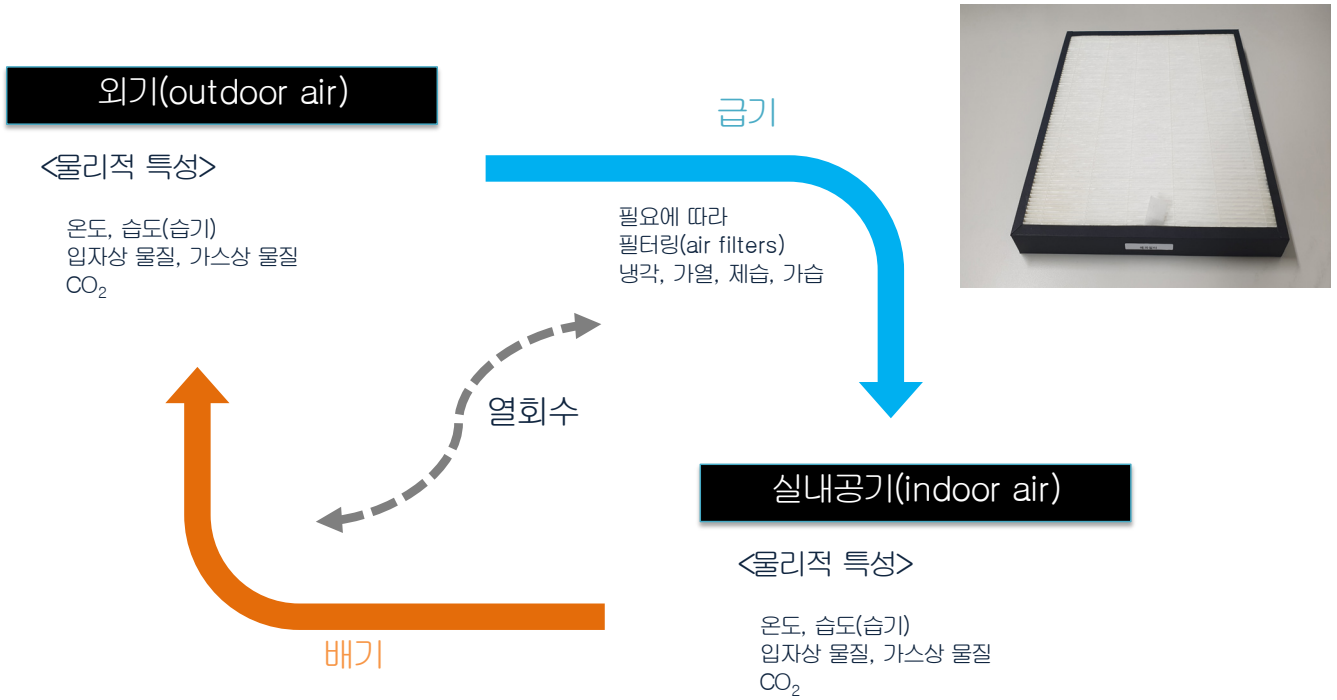


**냄새**

- ▶ 조리냄새
- ▶ 화장실냄새
- ▶ 기타

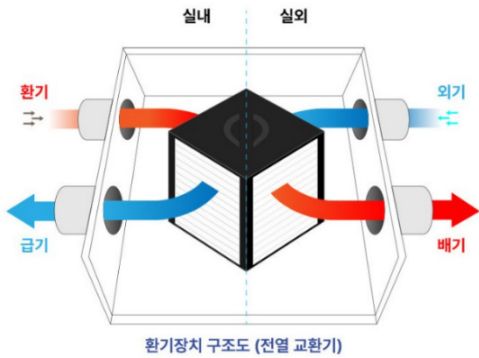


### ◎ 계획 환기의 개념



사용자의 인식 부족으로 환기시스템 가동률 < 10%

## ◎ 환기용 열교환기

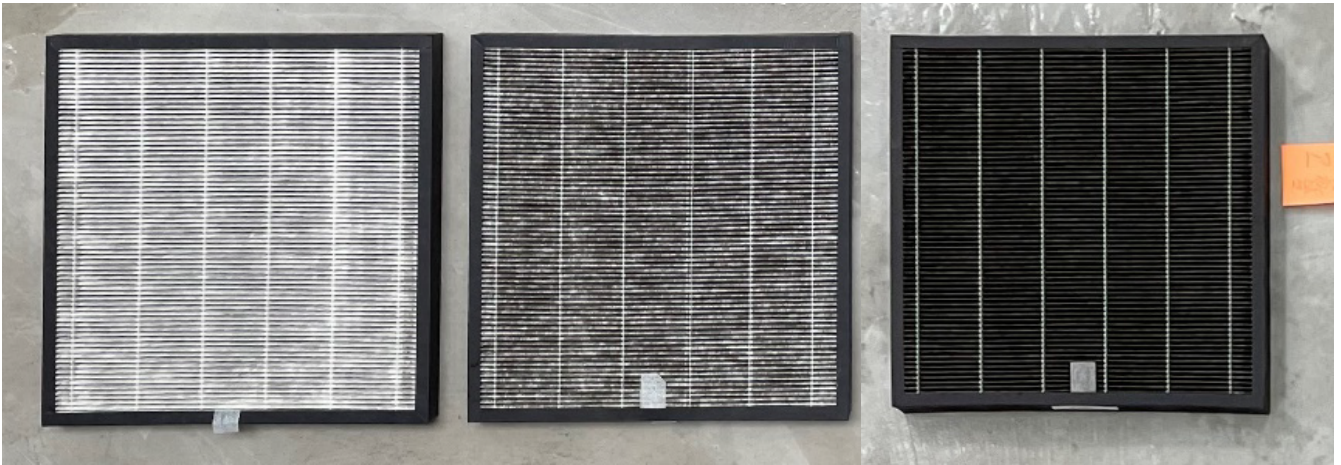
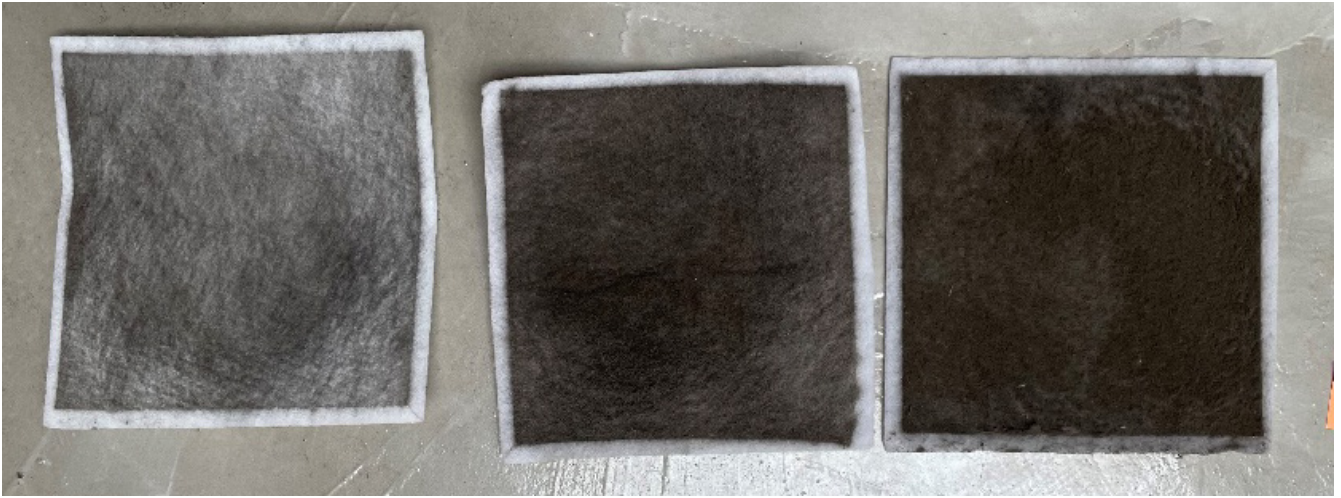


출처: 세종클리어어텍



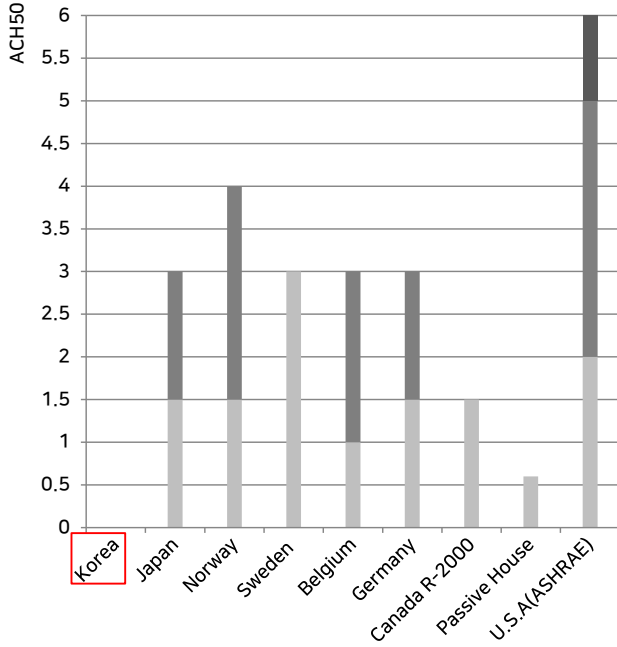
출처: 힘펠

- 전열교환기
  - 현열(온도)과 잠열(습기)을 모두 회수할 수 있는 열교환기
  - 열교환소자가 투습성 재질로 되어 있어 열의 전도, 공기 및 습기의 직접적 이동
  - 잠열부하를 줄여줄 수 있으나 공기오염물질의 (재)순환 문제
- 현열교환기
  - 현열(온도)만 회수할 수 있는 열교환기
  - 열교환소자가 열전도성이 높고 기밀한 재질(금속성)로 되어 있음
  - 공기오염물질의 (재)순환이 없음

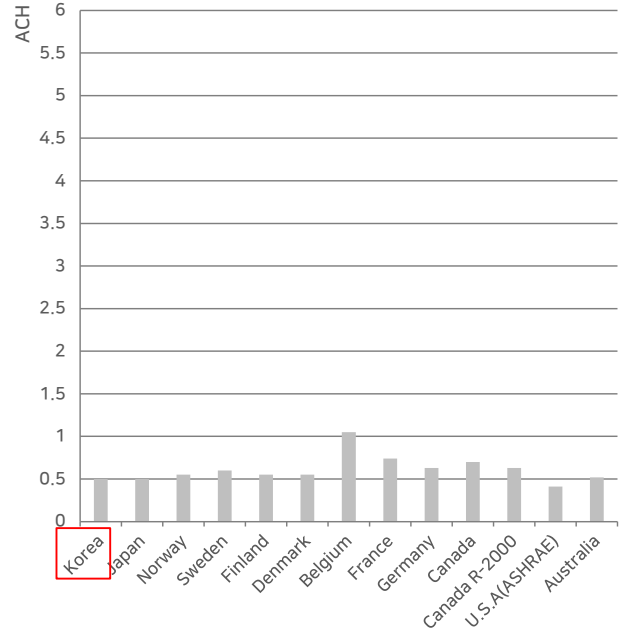


## 5 기밀성능 및 환기성능

### ⊙ 국내외 기밀 및 환기성능



국제 기밀성능 기준



국제 환기성능 기준

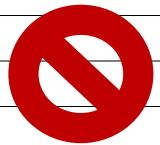
## ◎ 건물 기밀성능 기준

- 국내 각종 친환경 저에너지건물 관련 국내 법규 및 제도 현황
  - : 국내에서는 제도적 준공건물 기밀성능 기준은 정립되어 있지 않음
  - : KIAEBS 단체 기준 및 건축물에너지효율등급인증 가이드라인 기준
- 한국건축친환경설비학회(KIAEBS)
  - 2013년 한국건축친환경설비학회에서 건물에서의 에너지 낭비를 줄이고 쾌적한 실내환경을 조성하기 위한 방안으로 건축물의 기밀성능을 규정함
  - 이는 건물 전체에 대한 건축물의 기밀성능 기준을 규정하였으며 의무 사항은 아니며, 한국건축친환경설비학회에서 규정한 기밀성능 기준은 다음과 같음

구분	기밀성능 기준	비고	
모든 건물	5.0 ACH50 이하	기본 기준	-
에너지절약건물	3.0 ACH50 이하	권장 사항	-
제로에너지건물	1.5 ACH50 이하	권장 사항	환기시스템 권장

- 건축물 에너지 효율등급 인증
  - 건물의 에너지소요량 및 이산화탄소 발생량을 포함한 건물의 에너지 성능을 평가하여 건축물에너지효율등급 인증을 실시함
  - ISO 13790 및 DIN V 18599를 바탕으로 마련된 건물에너지평가프로그램 ECO2를 이용하여 건물에너지 평가를 실시함

구분			기밀성능 기준
비주거 부문	예비 인증	외기에 면하는 창호가 있는 경우	1.5 ACH50
		외기에 면하는 창호가 없는 경우	0.0 ACH50
	본 인증	-	1.5 ACH50
주거 부문	예비 인증	-	6.0 ACH50
	본 인증	-	현장측정 결과 적용



한국건축친환경설비학회 기준

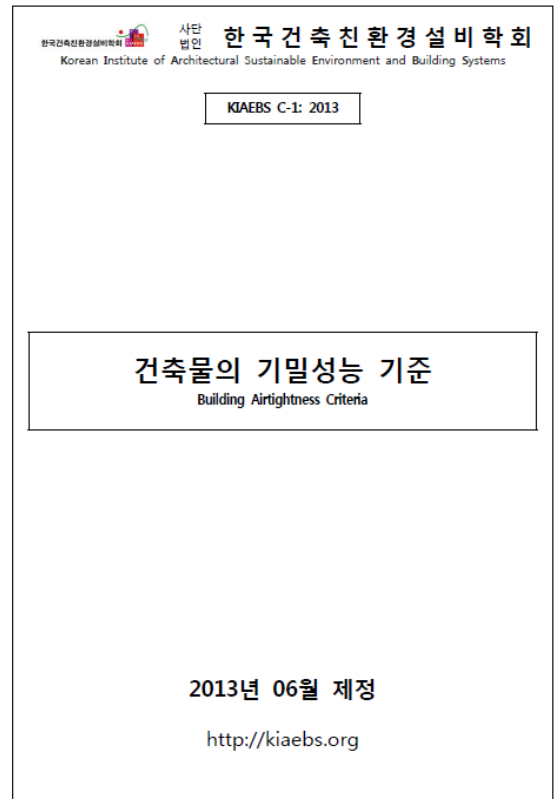
KIAEBS C-1: 2013

건축물의 기밀성능 기준  
Building Airtightness Criteria

건물 기밀성능 측정방법

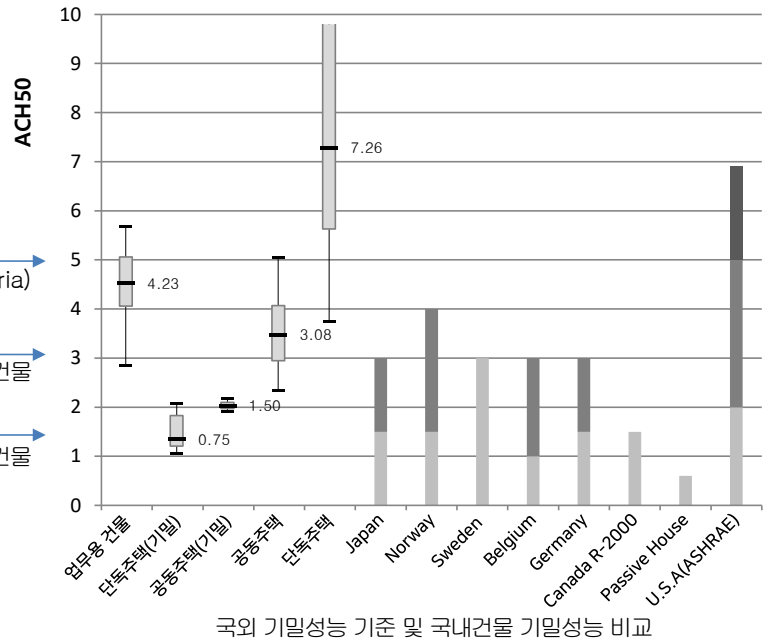
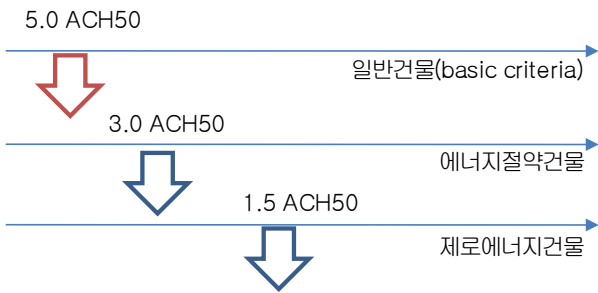
&

건물 기밀성능 기준



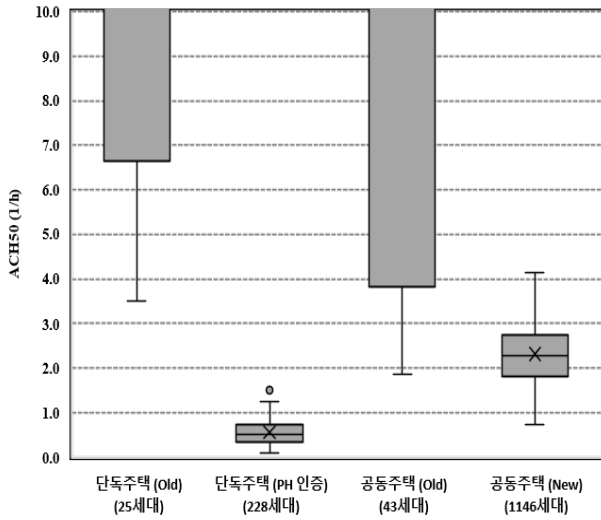
- 5.1 냉난방을 실시하고 재실자(또는 목적물)가 이용하는 공간(건물 외피 또는 경계벽으로 둘러 싸여진 공간)은 5.0 ACH50 이하의 기밀성능을 가져야 한다.
- 5.2 대상 건축물이 에너지절약건물(또는 친환경건물)로 평가(인증)받기 위해서는 3.0 ACH50 이하의 기밀성능, 제로에너지건물(또는 패시브건물)로 평가(인증)받기 위해서는 1.5 ACH50 이하의 기밀성능 수준을 만족해야 함을 권장한다.
- 5.3 단, 1.5 ACH50 이하의 기밀성을 가지는 건물은 건축법에서 요구하는 적정 환기를 보장하기 위한 환기계획을 하거나 환기장치를 설치하는 것이 필요하다.

- 5.1 냉난방을 실시하고 재실자(또는 목적물)가 이용하는 공간(건물 외피 또는 경계벽으로 둘러 싸여진 공간)은 5.0 ACH50 이하의 기밀성을 가져야 한다.
- 5.2 대상 건축물이 에너지절약건물(또는 친환경건물)로 평가(인증)받기 위해서는 3.0 ACH50 이하의 기밀성, 제로에너지건물(또는 패시브건물)로 평가(인증)받기 위해서는 1.5 ACH50 이하의 기밀성 수준을 만족해야 함을 권장한다.
- 5.3 단, 1.5 ACH50 이하의 기밀성을 가지는 건물은 건축법에서 요구하는 적정 환기를 보장하기 위한 환기계획을 하거나 환기장치를 설치하는 것이 필요하다.

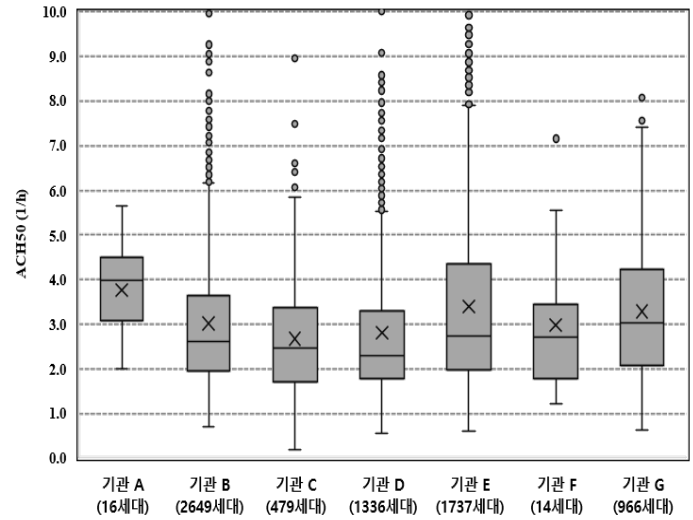


## ◎ 건물 기밀성능 기준 변경

- 건축물 에너지효율등급 주거부문 기밀성능 기준 마련 : 6.0 ACH50 → 3.5 ACH50



BAIP Database



건축물 에너지효율등급 인증기관

◎ 건축물에너지효율등급 인증

**++ 건물에너지평가프로그램 (ECO2)**

**[입력용, 일반데이터]**  
: 각 실에 대한 정보 및 사용조건 입력

① 입력용 생성  
: 난방, 냉방, 공조기 동일한 경우, 하나의 존(ZONE)으로 분류

② 사용프로필  
: 설정프로필 메뉴에서 적절한 실 용도 프로파일 선택(주거용 1개, 비주거용 10개)

**⑥ 침기율[1/h]** ?

**:비주거 부문**

- 외기에 면하는 창호가 있는 경우 1.5
- 외기에 면하는 창호가 없는 경우 0

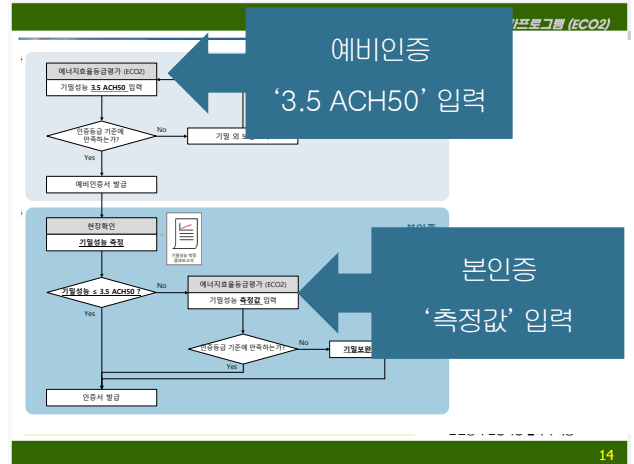
**: 주거 부문**

- 예비인증시 6
- 본인인증시 현장측정 결과치 적용

**※ 참고**

- ▷ 단위면적당 열회전능력(W/m<sup>2</sup>): 즉열효과율
- K=간질 구조체 + 가구의 중량(kg)(건물체적[m<sup>3</sup>])
- K ≤ 700 (kg/m<sup>2</sup>): 50 (경형, 조합식 건물)
- 700 < K ≤ 1200 (kg/m<sup>2</sup>): 90 (대중, RC조 건물)
- 1200 < K (kg/m<sup>2</sup>): 130 (중형, 석조건물)

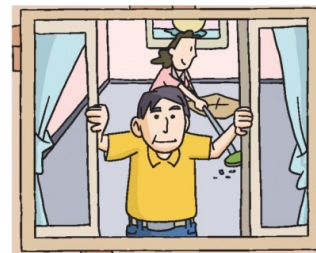
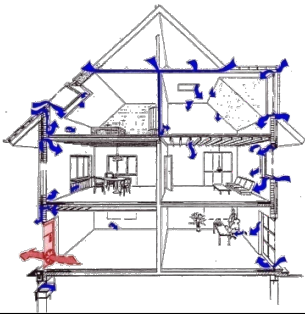
▷ 열교가산치(W/m<sup>2</sup>): 골조에 대한 단열 부위에 따라 부속 위치가 골조의 외부인 경우 외단열로 설정



구분	구분	외기에 면하는 창호가 있는 경우	외기에 면하는 창호가 없는 경우	기밀성능 기준
비주거 부문	예비 인증	외기에 면하는 창호가 있는 경우	외기에 면하는 창호가 없는 경우	1.5 ACH50
	본 인증	-	-	0.0 ACH50
주거 부문	예비 인증	-	-	6.0 ACH50
	본 인증	-	-	현장측정 결과 적용(미실시)

구분	구분	외기에 면하는 창호가 있는 경우	외기에 면하는 창호가 없는 경우	기밀성능 기준
비주거 부문	예비 인증	외기에 면하는 창호가 있는 경우	외기에 면하는 창호가 없는 경우	Air permeability data 규정 필요
	본 인증	-	-	기밀성능 측정 또는 기밀시공이행 평가 필요
주거 부문	예비 인증	-	-	3.5 ACH50
	본 인증	-	-	현장측정 결과 적용 (의무화)

ACH50(Air leakage rate, 침기율) VS. ACH(Air change rate, 환기율)



ACH50	기호	ACH
침기율 (Air leakage rate)	의미	환기율 (Air change rate)
Air change per hour at 50 Pa pressure difference	영문	Air change per hour
회(1/h)	단위	회(1/h)
50 Pa	ΔP	-
기밀시공 정도(품질)를 평가	활용	환기수준을 보장
최대값 (3.5 ACH50 이하)	표시	최소값 (0.5 ACH 이상)

## 6 Build Tight, Ventilate Right

- 계획(의도)하지 않은 침기는 에너지 손실 등의 다양한 문제점 유발

>> Build Tight

- 쾌적하고 건강한 실내환경을 위해 적절하게 계획(의도)된 환기가 필수

>> Ventilate Right

### ◎ 참고 서적 및 사이트

1. 한국건축친환경설비학회(KIAEBS)
2. 건축물 에너지 효율등급 인증
3. BAIP Database

## A.8

## 열회수환기(HRV) 기술

## 교육 목표

열회수환기(HRV)  
기술

- \* 열회수환기장치의 기본 원리 이해
- \* 열회수기 유닛과 필터 이해
- \* 예열시스템 이해
- \* 덕트 및 부품, 소음방지 구성 요소의 이해
- \* 결빙 원인 및 방지 기술의 이해
- \* 덕트와 관련된 요소기술(단열, 소음, 역류 방지 등)의 이해
- \* 풍량 계산 방법 및 에너지 효율적 설계방법에 대한 이해
- \* 실무 사례를 통해 열회수환기 장치의 설계 방법 및 대응 방안 마련

## 1 HRV 특성 및 구성요소

## ◎ 실내 공기질 &amp; CO2 농도

- 외부공기에 대한 규정 및 관리가 법적으로 구현되어있지만, 대부분의 삶은 실내에서 90%가 이루어짐
- 실내환경과 공조 건물에너지해석 기준인 EN16798 기준에서는 실내공기질을 4단계로 규정
- 실내에서 발생하는 오염, 휘발성유기화합물, 라돈 등 부정적 실내 환경 요소를 희석시키는 가장 좋은 방법은 환기

Category	Level of expectation
IEQI	High
IEQII	Medium
IEQIII	Moderate
IEQIV	Low

NOTE In the tables only the category numbers are used without the IEQx symbol

표1 출처 EN16798-1 표4 실내환경질 등급

Category	Corresponding CO2 concentration above outdoors in PPM
I	550
II	800
III	1,000
IV	1,350

표2 출처 EN16798-1 표B.9 Default design CO2 concentrations above outdoor concentration assuming a standard CO2 emission of 20 L/(h per person)

## ◎ CO2 농도 PPM

• ppm (part per million) = 1 / 1,000,000

ex) ppm 표기시

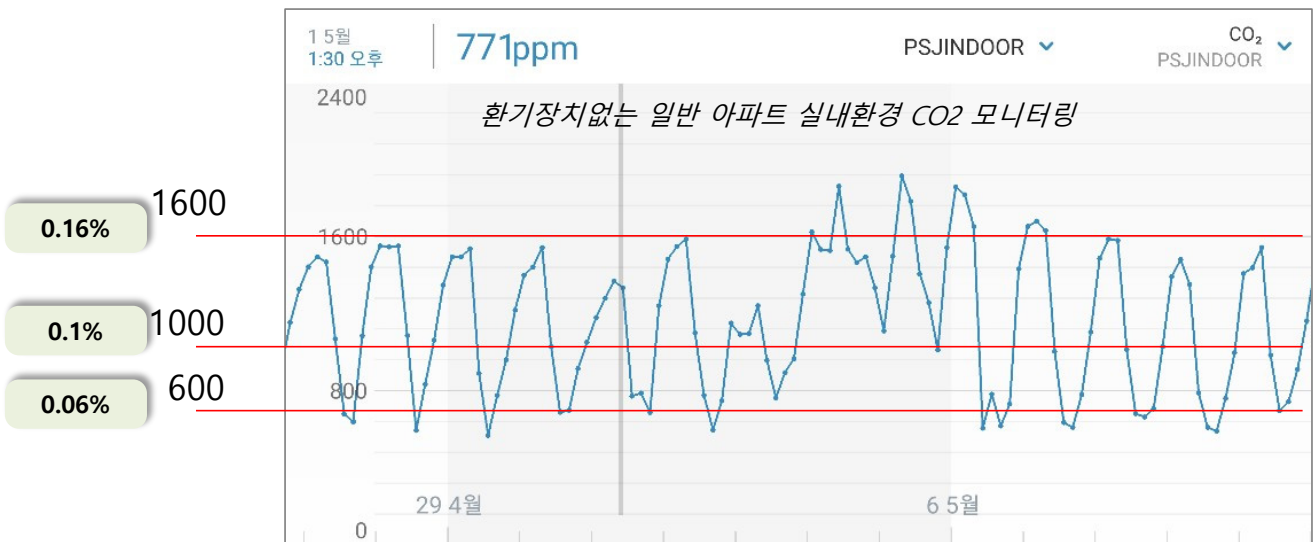
1,000ppm

백분율로 표기시

1,000/1,000,000

1=100% --> 1,000 x 100 / 1,000,000 %

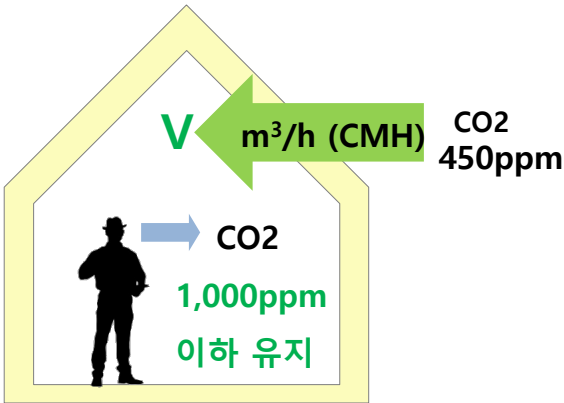
0.1%



### ◎ CO2 적정유지 실내 환기량

- 실내 환기량(외기도입량)은 실외 CO2 농도와 실내 기준 CO2 농도 차이에 대한 외기 도입량과 실내 CO2 배출량과의 평형 공식을 기반으로 계산함

$$\text{실내 환기량[CMH]} = \frac{\text{실내CO2 배출량[CMH]}}{\text{실내기준 CO2 농도[ppm]} - \text{실외 CO2농도[ppm]}}$$

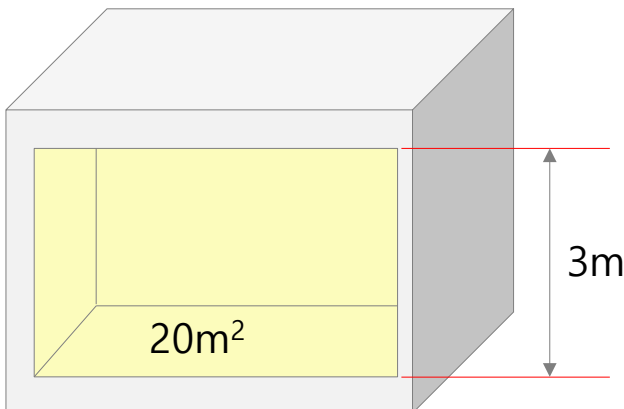


Category	Total design ventilation air flow rate for the room	
	l/(s per person)	m3/(h per person)
I	20	72
II	14	50.4
III	8	28.8
IV	5.5	19.8

표3 출처 EN16798-1

표B.9 Default predefined design ventilation air flow rates for an office

- 순체적 (안목치수기준 바닥면적 x 천장고) 60m<sup>3</sup>인 실의 실내환기량 산정방법
- 환기량(air volume) : m<sup>3</sup>/h 또는 CMH로 표기함
- 인원수 기준 환기량 산정 : 1인당 30m<sup>3</sup>/h
- 환기 회수 기준 산정 : 0.5h<sup>-1</sup>



순체적:  $3\text{m} \times 20\text{m}^2 = 60\text{m}^3$

환기량:  $30\text{m}^3/\text{h}$

환기회수:  $0.5\text{h}^{-1} = \frac{30\text{m}^3/\text{h}}{60\text{m}^3}$

### ◎ 환기열손실량 계산

서울	대지 해발고도	40	m	지역 : 03. 서울				용도 : 그외시설				위도 37.90		
방위	kWh/m <sup>2</sup> ·a	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	연간합
일수	days	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
수평	kWh/m <sup>2</sup> ·a	63	77	109	130	140	129	99	122	114	92	65	58	1,197
남	kWh/m <sup>2</sup> ·a	59	63	79	74	67	57	47	66	73	73	61	56	774
동	kWh/m <sup>2</sup> ·a	34	42	56	68	67	59	48	58	58	48	37	30	604
서	kWh/m <sup>2</sup> ·a	35	40	56	62	67	59	50	62	61	49	36	31	606
북	kWh/m <sup>2</sup> ·a	27	31	41	47	50	44	40	46	45	37	27	24	460
Temp	°C	-1.41	1.14	7.59	13.20	18.43	22.94	25.18	25.67	21.41	15.33	7.17	1.04	13
DewP	°C	-11.91	-8.20	-1.88	2.88	10.41	16.37	19.85	19.38	14.25	7.72	0.01	-7.02	5

$$Q_{h,v,mth} = V[\text{환기량 m}^3/\text{h}] \times C_p \cdot \rho \times (\text{실내온도} - \text{실외온도}) \times \text{시간}(\text{days} \times \text{hour}/\text{day} \times \text{k}/1000)$$

$Q_{h,v,mth}$  : 난방에너지요구량 산정 시 월별 환기에너지손실량 [kWh/mth]

$C_p$  : 공기 비열 (공기 1kg을 1°C 올리는데 필요한 열량) [0.279 Wh/ (kg · K)] ---EN 16798-5-1 표 27

$\rho$  : 밀도 [1.204 kg / m<sup>3</sup>] ---EN 16798-5-1 표 27

$C_p \cdot \rho$  : 공기열용량 0.34 [Wh/ (m<sup>3</sup> · K)] ---- ISO 52016-1 기준

### ◎ 환기열손실량 계산 및 비용

ex) 환기량이 30CMH인 실의 1월달 환기 열손실량:

$$\begin{aligned}
 Q_{h,v,mth} &= 30\text{m}^3/\text{h} \times 0.34\text{Wh}/\text{m}^3\cdot\text{K} \times (20^\circ\text{C} - (-1.41^\circ\text{C})) \times 31\text{day}/\text{mth} \times 24\text{h}/\text{day} \\
 &= 162,476.208 \text{ Wh}/\text{mth} \times \text{k}/1,000 \\
 &= 163 \text{ kWh}/\text{mth}
 \end{aligned}$$

ex) 환기량이 30CMH인 실의 1월달 환기 이용료:

$$\begin{aligned}
 206\text{원}/\text{kWh} \times 163\text{kWh} &= 33,578\text{원}/\text{mth} \quad 1,568\text{원}/\text{liter} \times 163\text{kWh} / 10 = 25,558\text{원}/\text{mth} \\
 &\quad (10\text{kWh} := 1\text{liter} \text{ 난방유})
 \end{aligned}$$

#### ■ 기타계절 (1.1 ~ 6.30, 9.1 ~ 12.31)

적용일자 : 2023년 1월 1일

구간		기본요금(원/호)	전력량 요금(원/kWh)
1	200kWh 이하 사용	910	112.0
2	201~400kWh	1,600	206.6
3	400kWh 초과	7,300	299.3

2023년 08월 02일 (원/리터) ■ 최고값 ■ 최저값

구분	고급휘발유	보통휘발유	자동차용경유	실내등유
서울	2,003.55	1,735.84	1,579.36	1,568.08

◎ HRV 적용 환기열손실량 계산

$$Q_{h,v,mth} = V[\text{환기량 m}^3/\text{h}] \times (1 - \eta_{\text{eff}}) \times C_p \cdot \rho \times (\text{실내온도} - \text{실외온도}) \times \text{시간}(\text{days} \times \text{hour/day} \times \text{k}/1000)$$

- HRV의 온도교환효율( $\eta_{\text{eff}}$ )을 적용하여 계산함
- 온도교환효율 70%는 실외 공기량이 실내에 유입 시 70%는 실내온도만큼 상승해서 유입되며, 30%는 실외 온도로 유입되는 수준을 의미함
- 난방기간에도 실내 공기질을 지속적으로 유지하기 위해서는 HRV 적용이 필수임
- 제로에너지건축물 및 패시브하우스등 에너지 절감에 매우 중요하며, 특히 건강하고 쾌적한 실내환경 구현을 위해서는 필수적인 기술임

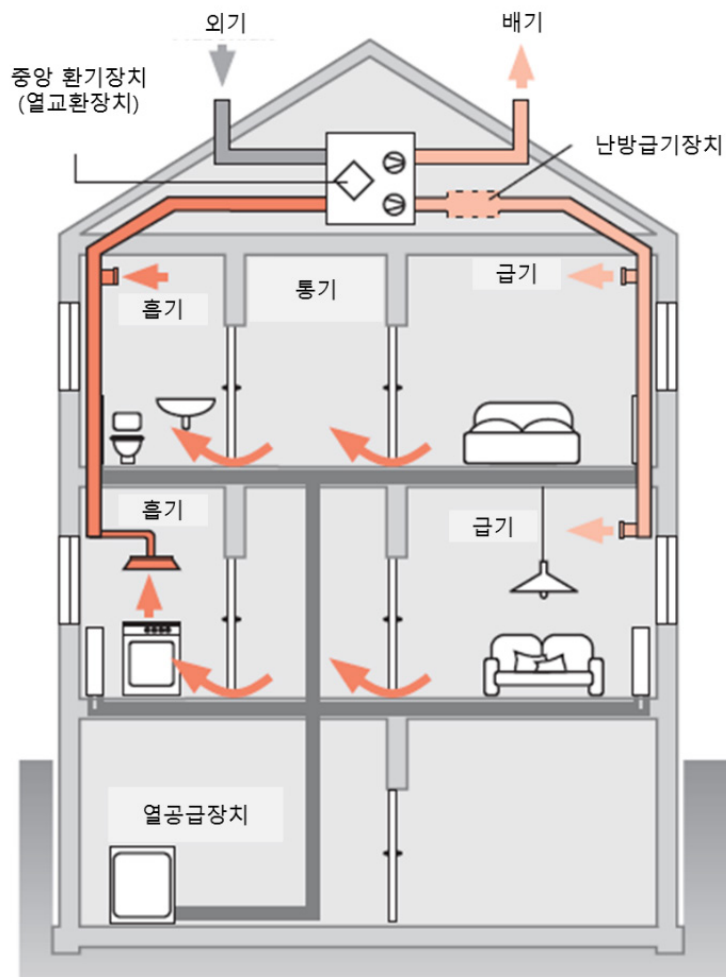


그림 출처: RWE Bau-Handbuch, 14

## ◎ 열교환 소자 종류

- 회전형 열교환소자
- 온도교환효율은 상대적으로 낮음
- 습기 교환 효율이 좋음
- 누기율이 많음
- EA측 결빙 문제가 적음

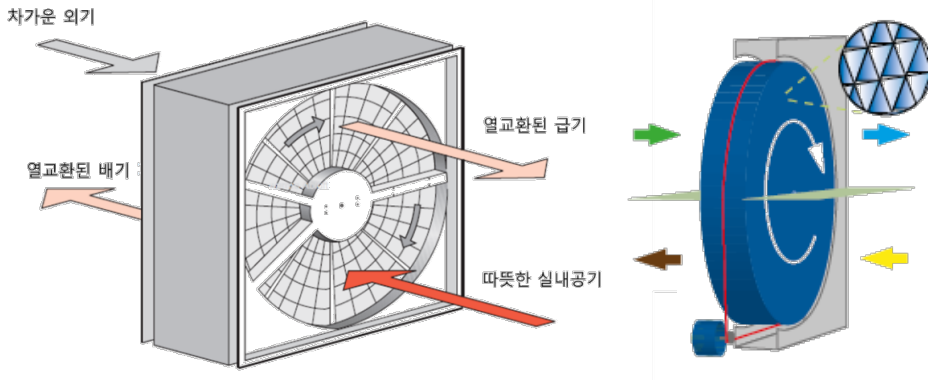


그림 출처: RWE Bau-Handbuch, 14

- 판형 열교환소자
- 온도교환효율은 상대적으로 높음
- 습기 교환 효율이 낮음
- 누기율이 적음
- EA측 결빙 문제가 높음

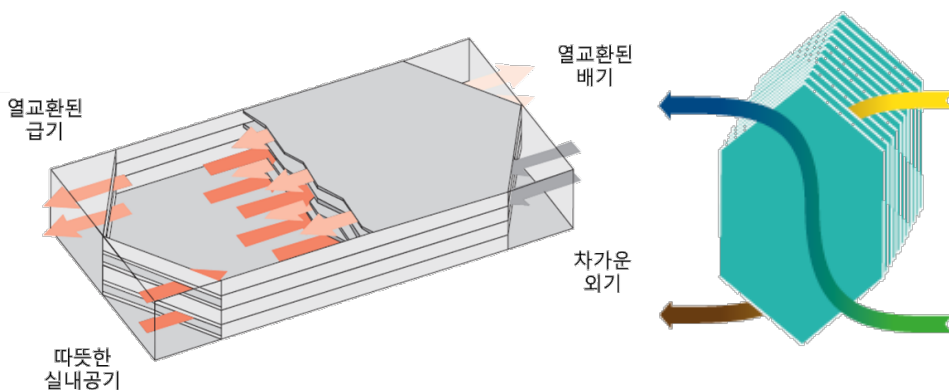


그림 출처: RWE Bau-Handbuch, 14

◎ 온도 교환 효율

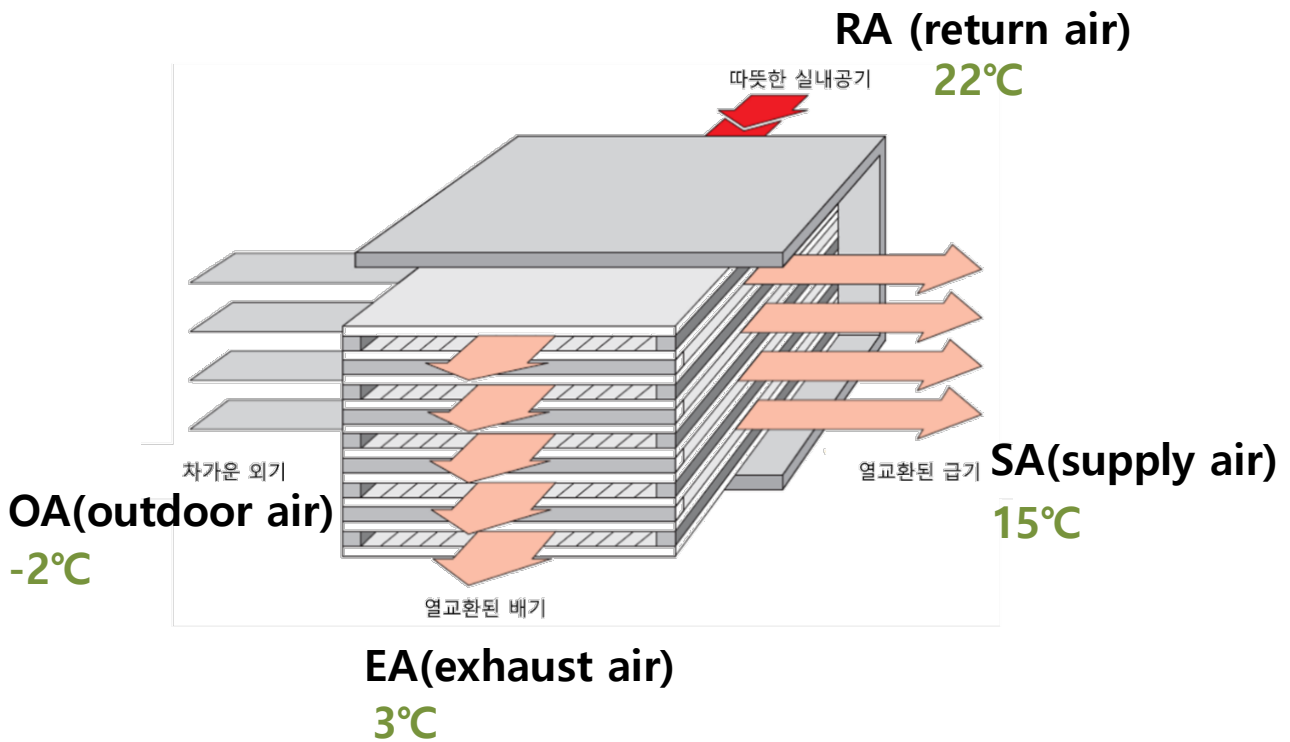


그림 출처: RWE Bau-Handbuch, 14

$$\eta_{\text{eff}} = \frac{T_{SA} - T_{OA}}{T_{RA} - T_{OA}}$$

$$= \frac{15 - (-2)}{22 - (-2)} \cdot 100$$

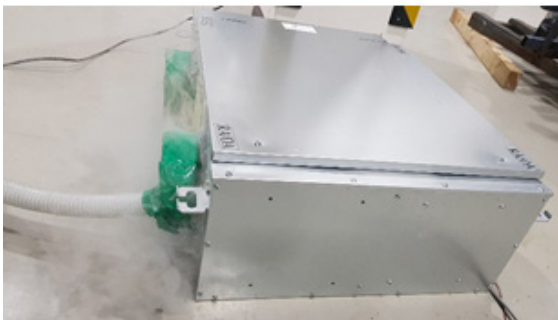
$$= 71\%$$

$T_{SA}$  : 급기온도  
 $T_{OA}$  : 외기온도  
 $T_{RA}$  : 실내로부터 배기온도(흡기온도)

◎ 유닛 제작 기술



- 케이스 단열 성능 강화 필요
- 기밀 성능 확보 요구



## ◎ 필터

- 외기 관련 많은 지침은 PM10(직경이 최대 10 $\mu$ m인 미립자 물질)을 참조하지만 건강 보호를 위해 더 작은 입자에 더 중점을 두어야 하고, 기준 입자 농도로 최대 10 $\mu$ m까지의 기준으로 사용해야 한다는 수용 증가
- 한계 값으로 2.5 $\mu$ m(PM2.5) 제시
- 계보건기구 WHO는 PM10 및 PM2.5에 대한 지침 값을 제공함
- ODA 데이터를 사용할 수 있는 경우 둘(PM10, PM2.5) 다 고려되어야 함
- 외기(Outdoor Air) 수준은 다음 3가지로 구분함
  - ODA 1: 오염물질 농도가 WHO(2005) 지침과 실외 공기에 대한 국가 대기질 표준 또는 규정이 충족되는 경우
  - ODA 2: 오염물질 농도가 WHO(2005) 지침과 실외 공기에 대한 국가 대기 품질 표준 또는 규정을 최대 1.5배 초과하는 경우
  - ODA 3: 오염 물질 농도가 WHO 지침 또는 실외 공기에 대한 국가 대기 품질 기준 또는 규정을 1.5배 이상 초과하는 경우
- 급기(Supply Air) 수준은 다음 3가지로 구분함
  - SUP1: SA(급기)가 WHO(2005) 지침 준수 및 국가 기준 공기 품질 규정을 충족 하거나 규정의 0.25배 수준인 경우
  - SUP2 : SA(급기)가 WHO(2005) 지침 준수 및 국가 기준 공기 품질 규정을 충족 하거나 규정의 0.5배 수준인 경우
  - SUP3 : SA(급기)가 WHO(2005) 지침 준수 및 국가 기준 공기 품질 규정을 충족 하거나 규정의 0.75배 수준인 경우
  - SUP4 : SA(급기)가 WHO(2005) 지침 준수 및 국가 기준 공기 품질 규정을 충족 하거나 규정 수준인 경우
  - SUP5 : SA(급기)가 WHO(2005) 지침 준수 및 국가 기준 공기 품질 규정을 충족 하거나 규정의 1.5 배 수준인 경우

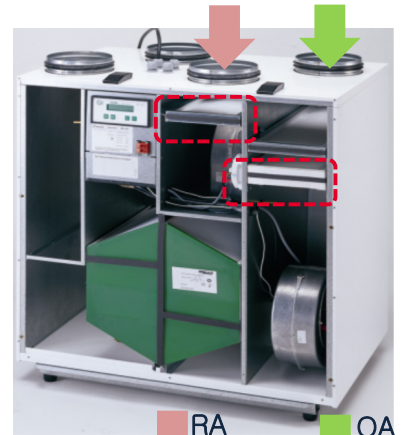
IAQ	SUP1	SUP2	SUP3	SUP4	SUP5
ODA1	M5+F7	F7	F7	F7	
ODA2	F7+F7	M5+F7	F7	F7	M5
ODA3	F7+F9	F7+F7	M6+F7	F7	F7

표4 출처 EN16798-3 표B.3 Recommended minimum filter classes per filter section (definition of filter classes according to EN 779)

필터구분	Arrestance or Dust Spot Efficiency	ASHRAE 52.2	European Union EN779:2012	
Pre Filter (G Class)	AFI < 65%	MERV 1	G1	Am < 65%
	65% ≤ AFI ≤ 70%	MERV 2	G2	65% ≤ Am < 80%
	70% < AFI ≤ 75%	MERV 3		
	75% < AFI ≤ 80%	MERV 4		
	80% < AFI ≤ 85%	MERV 5	G3	80% ≤ Am < 90%
	85% < AFI ≤ 90%	MERV 6		
	25% < NBS ≤ 30%	MERV 7	G4	90% ≤ Am
30% < NBS ≤ 40%	MERV 8			
Medium Filter (M Class)	40% < NBS ≤ 50%	MERV 9	M5	40% ≤ Em < 60%
	50% < NBS ≤ 60%	MERV 10		
	60% < NBS ≤ 70%	MERV 11	M6	60% ≤ Em < 80%
	70% < NBS ≤ 80%	MERV 12		
Fine Filter (F Class)	80% < NBS ≤ 90%	MERV 13	F7	80% ≤ Em < 90% 최소 35%
	90% < NBS ≤ 95%	MERV 14		
	95% < NBS	MERV 15	F9	95% ≤ Em 최소 70%
		MERV 15		

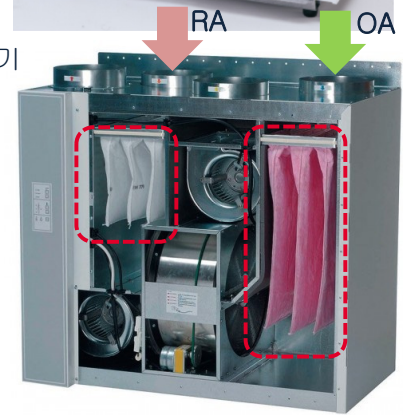
AFI: 중량법      MERV: 0.3~10um 크기 미세먼지  
 NBS: 비색법      Am: 10um 크기 미세먼지 (PM10)  
 Em: 0.3~1.0um 크기 미세먼지 (PM0.3)

관형 열회수환기



RA

회전형 열회수환기



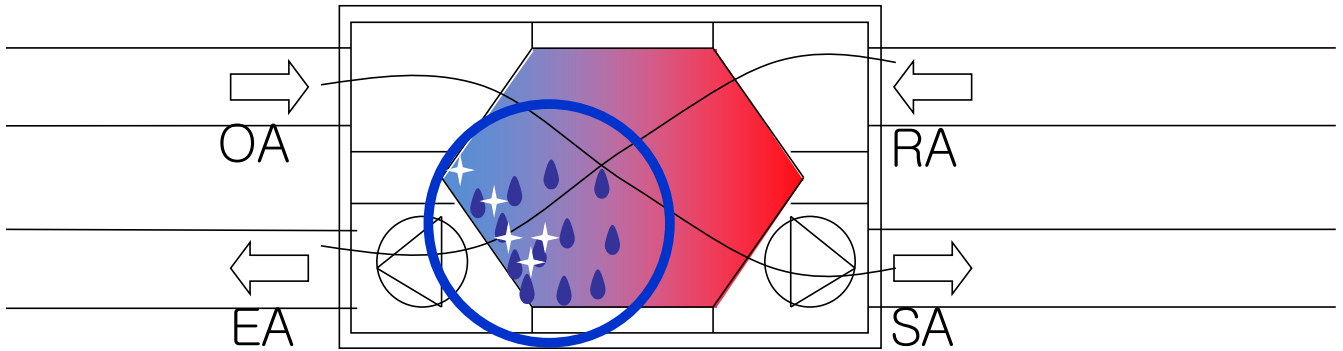
OA

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. EN 16798-1: Energy performance of buildings – Ventilation for buildings Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics – Module M1- 6
2. EN 16798-3: Energy performance of buildings – Ventilation for buildings Part 3: For non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems (Modules M5-1, M5-4)
3. Das RWE Bau-Handbuch, 14출간

## 2 결빙 방지 및 덕트 기술

### ◎ 결빙 발생 및 원인



#### ● 결빙 원인

- 실내공기(RA)가 열교환을 하고 난 후(EA) 노점온도 이하까지 낮아지게 됨
- 배기(EA) 부위 결로수 발생, 온도가 영하일 경우 결빙이 일어남
- 팬고장 및 열교환소자 오염으로 실내공기 오염등 문제점 발생
- 온도 교환효율이 클수록 결빙 위험이 커짐
- 잠열교환효율이 작을수록 결빙 위험이 커짐

◎ 결빙 방지 방법 및 에너지

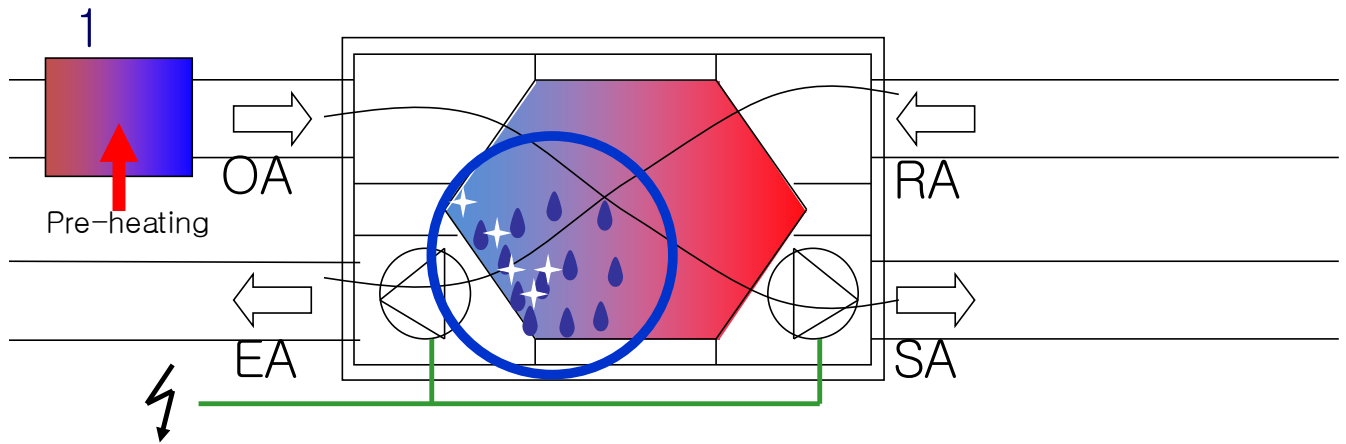


표2 출처 EN16798-1

표B.9 Default design CO2 concentrations above outdoor concentration assuming a standard CO2 emission of 20 L/(h per person)

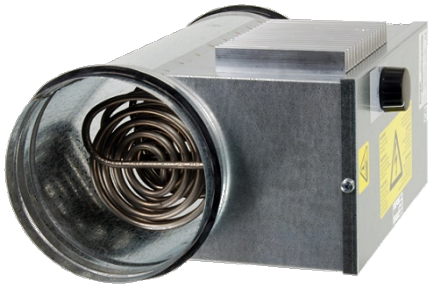
● 결빙 방지

- EA측 결빙을 막기 위해서는 OA측에 예열기를 설치함
- 프리히터, 온수탱크 연결, 난방설비 연결, 지중 열교환장치 연결 등 다양한 액티브 방법이 가능함
- 패시브 방법으로는 SA팬 감소 운전 또는 운전 정지가 있음
- 결빙 방지를 위한 OA 최소 온도 설정 필요
- 프리히터는 전기 이용방식으로 에너지 소요량이 발생됨

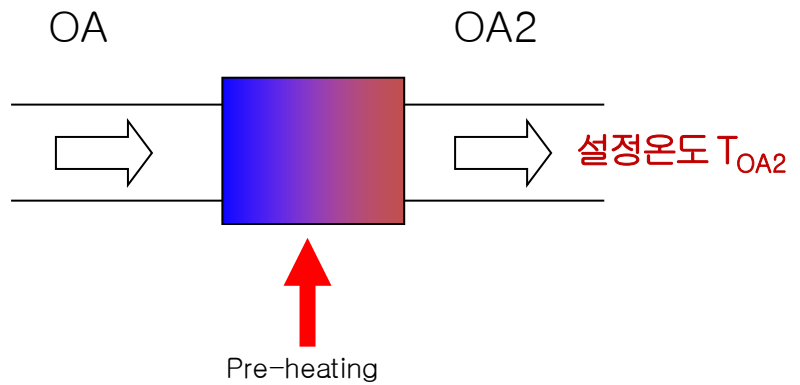
◎ 전기 예열기



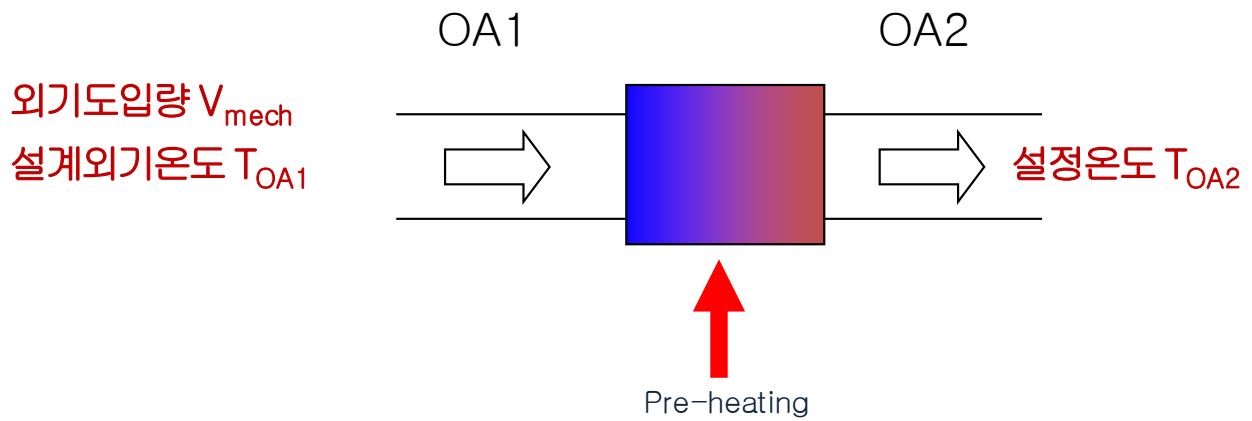
내장형  
(전기에열기)



외부부착형  
(덕트형전기에열기)



종류		설정온도 $T_{OA2}$
주거건물	판형	-5
	회전형	0
비주거건물	판형	0
	회전형	-5



예열기 용량 산정

$$Q_{h,V,precooling,power} = V_{mech} \times Cp \cdot \rho \times (T_{OA2} - T_{OA1}) \text{ [W]}$$

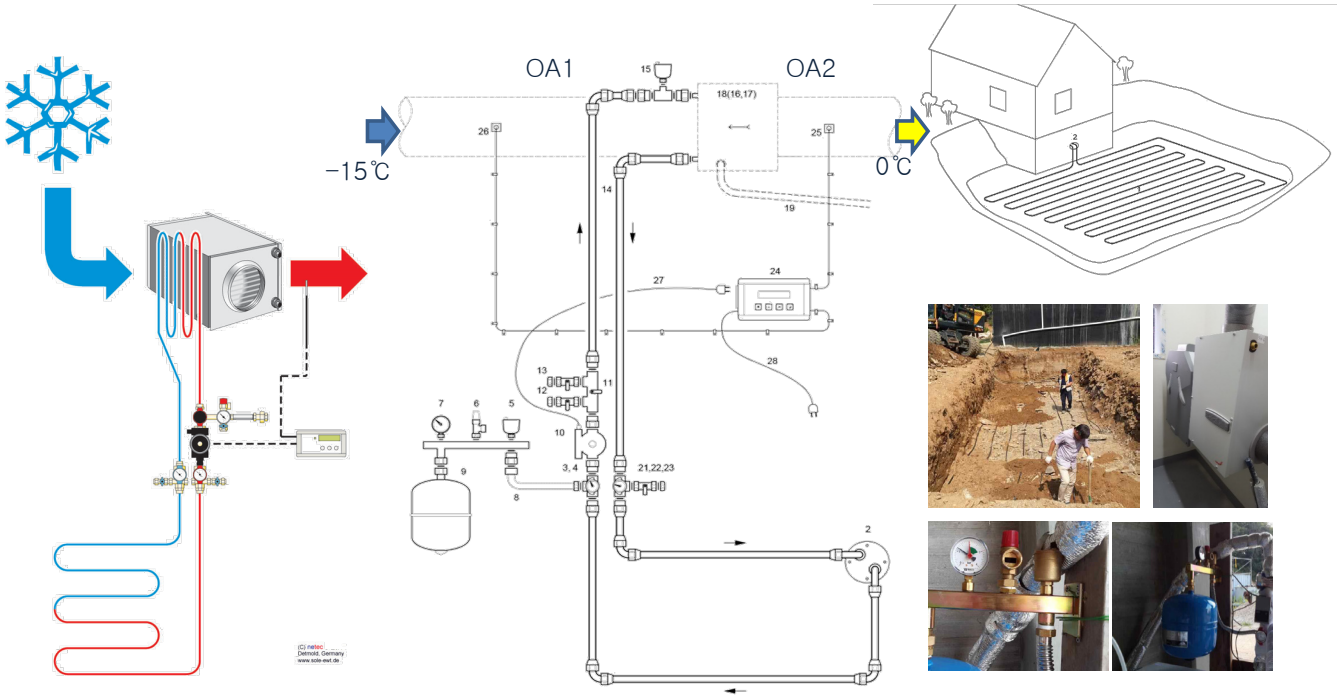
풍량 300CMH, 서울 지역 설치시

$$\begin{aligned} Q_{h,V,precooling,power} &= 300\text{CMH} \times 0.34\text{Wh/m}^3\text{K} \times (5 - (-11.3))\text{K} \\ &= 1,662\text{W} \end{aligned}$$

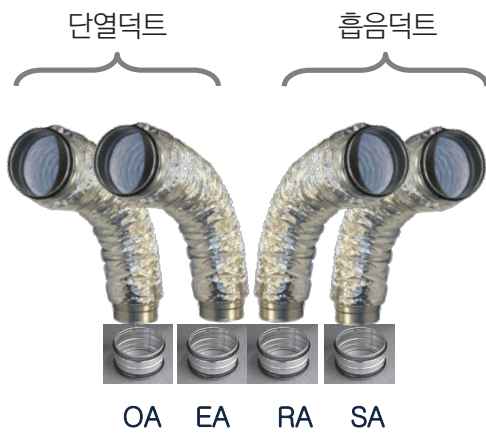
예열기 에너지 소요량

$$Q_{h,V,precooling,aux} = V_{mech} \times Cp \cdot \rho \times (T_{OA2} - T_{OA1}) \times \text{h/day} \times \text{day/mth} \times \text{k/1000} \text{ [kWh]}$$

◎ 지중열 이용 예열기

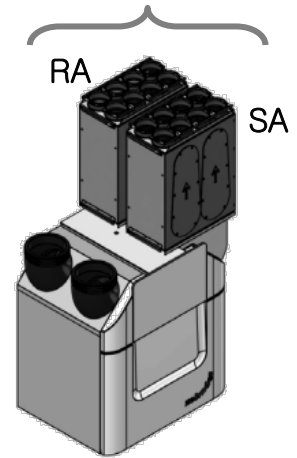


### ◎ 덕트 주요 기술 항목



#### 소음방지

- 실내 SA 디퓨저 25dB 이하
- 실내 RA 디퓨저 30dB 이하
- 두께 50mm / 두께 25mm 흡음 덕트(챔버)



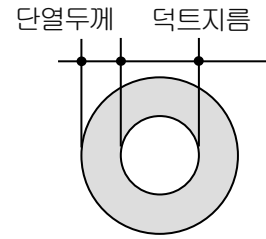
Frequency [Hz]	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
[dB]	4.8	11.7	16.7	23.3	17.3	32.4	21.8	18.3

#### Schalldämpfung (dB)

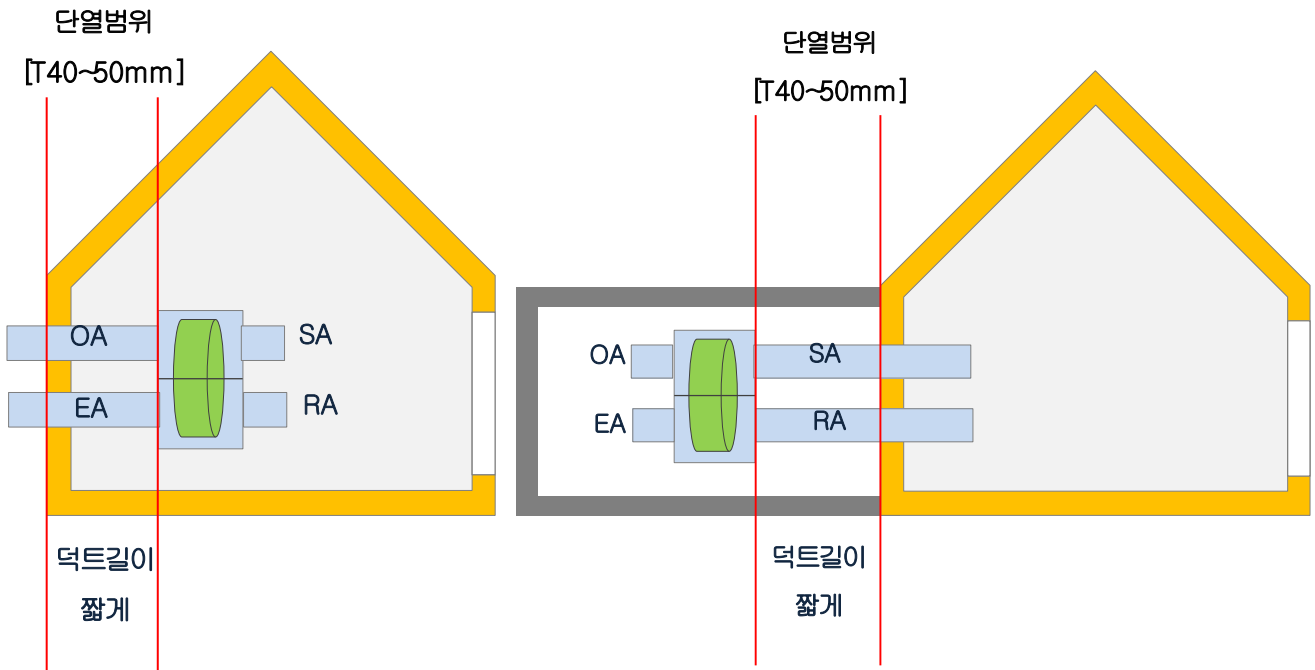
SCD	Artikel-Nr.	Isolierung	D (mm)	L (m)	Mittelfrequenzbereich, Hz								
					63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Tot (dB)
100	2555	25 mm	100	1	15,9	22,9	31,1	38,6	36,4	40,6	50,1	35,9	39
125	2556	25 mm	125	1	11,7	18,9	32,4	29,9	28,8	34,5	40,9	24,5	32
160	2558	25 mm	160	1	19,3	25,4	30,5	27,1	23,8	32,2	27,8	17,3	28
200	2560	25 mm	200	1	10,7	12,1	28,7	22,8	22,8	30,6	19,4	11,9	26
250	2561	25 mm	250	1	12,9	18,7	24,3	19,5	19,9	27,7	12,9	10,2	22
100	84330	50 mm	100	1	4,3	8,5	15,5	28,2	50,8	51	57,8	38,5	30
125	84331	50 mm	125	1	17,7	26,3	35,4	29,2	33,3	45,4	40,5	26,5	35
160	84332	50 mm	160	1	16,5	24,1	30,6	27,5	29,6	41,7	28,7	18,1	32
200	84333	50 mm	200	1	6,5	6,3	21,1	27,1	30,5	35,8	19,4	12,3	29
250	87545	50 mm	250	1	12,9	18,7	24,3	19,5	19,9	27,7	12,9	10,2	22

## ◎ 덕트 단열 기술

- 단열 설치: 모든 덕트, 배관 및 유닛에서 주변환경과 큰 온도 차이가 발생하는 경우
- 단열재 유형 및 구조
  - 해당 구성요소 내부 및 표면에 결로 현상이 없을 것
  - 손상으로부터 단열재 보호
  - 덕트 청소 용이하도록 단열재 설치
  - 생산 및 폐기 시 환경에 미치는 영향 최소화



- 단열을 하는 덕트 길이는 짧게 설치
  - 단열두께는 50mm이상 권장
- 급기난방의 경우 SA덕트 20mm 이상 단열
- 급기냉방의 경우 SA덕트 10mm 이상 단열



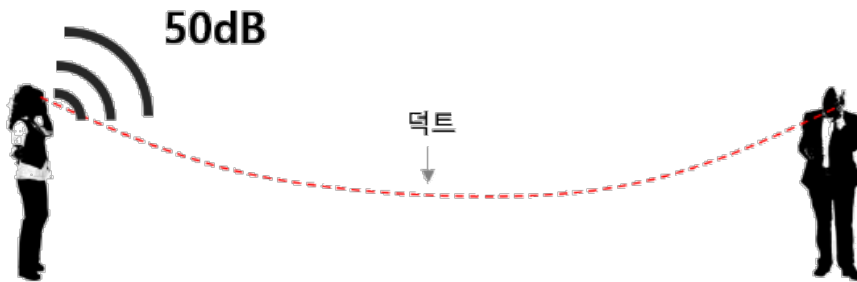
## ◎ 덕트 흡음 기술

● 소음기준(거주공간내)

- 재실자가 설비 작동에 영향을 주는경우: 상향 가능(예: 에어컨 최대 풍량 작동 등), 이 경우 최대 허용치는 +10dB

실	허용 소음기준 (dB)
개인사무실	30-40
오픈사무실	35-45
회의실(컨퍼런스)	30-40
공연장	20-35
카페/레스토랑	35-50
교실	35-45
유치원	35-45
상점	40-50

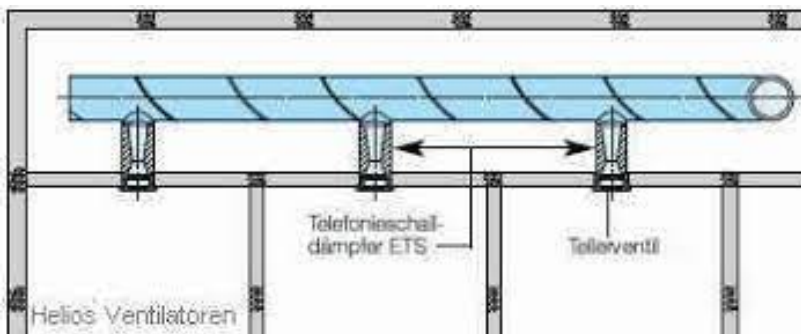
출처: EN 13779 A.12 표, 소음 기준



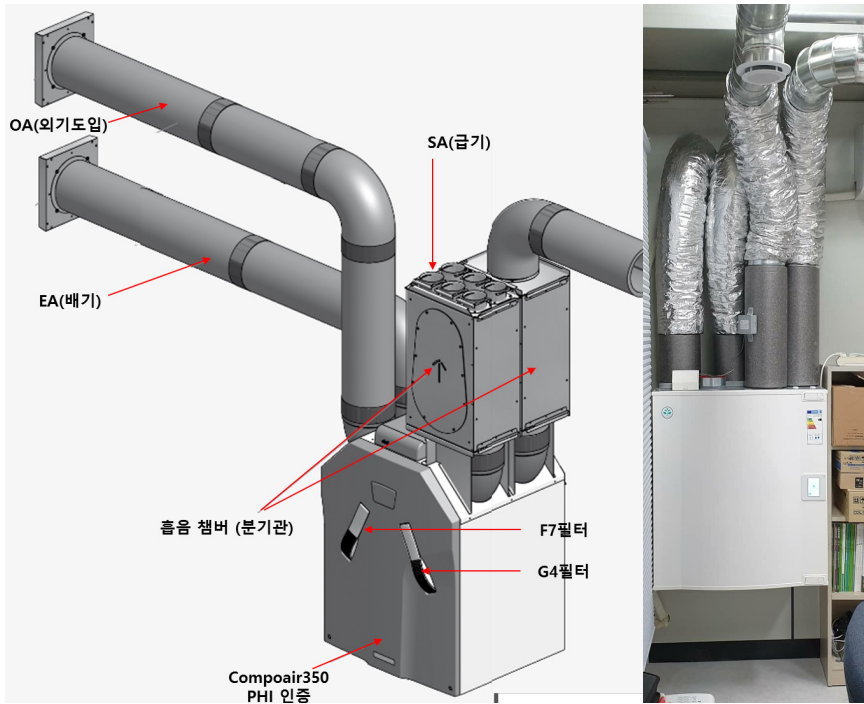
종이컵에 실을 연결하여 소리가 전달되는 것처럼 덕트를 통해 소리가 전달됩니다.

● 팬, 덕트, 디퓨저에서 소음 발생됨: 저주파 영역으로 재실자에게 민감하게 반응됨, 해당 부분 소음 방지 계획이 필요

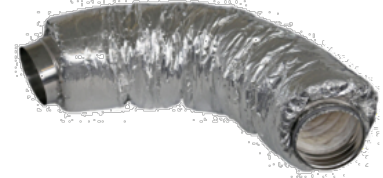
- 팬: 유닛과 덕트 사이에 흡음덕트, 흡음 챔버 적용
- 덕트: 3m/s 이상의 덕트가 거주공간에 통과되지 않도록
- 실내 소음 전파: 차단 필요



### ◎ 덕트 흡음 기술



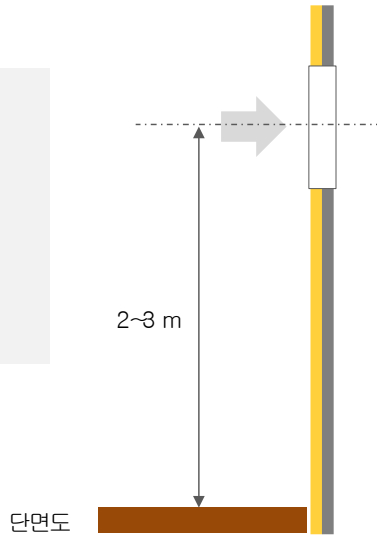
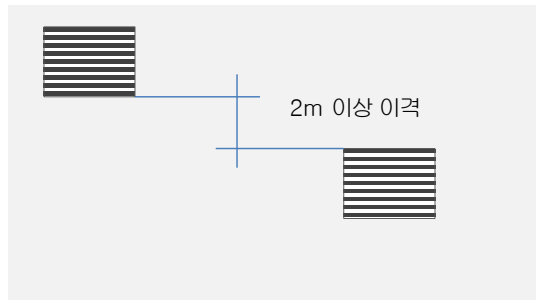
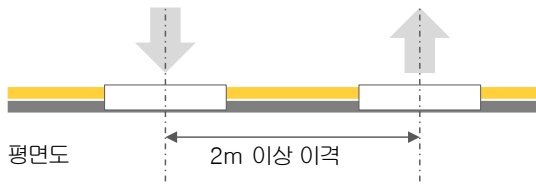
DN 160, 50mm 흡음재, 길이 1m



디퓨저 소음 저감



### ◎ 덕트 외기/배기구 기술



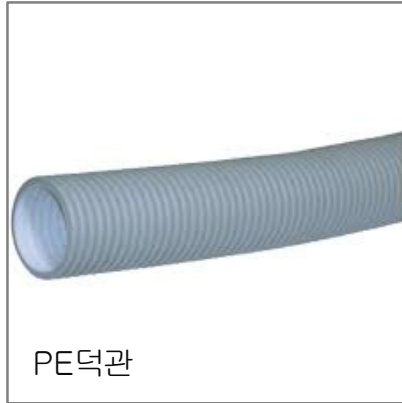
외기도입디퓨저

## ◎ 덕트 유지관리 기술

- 분배기와 디퓨저들 사이에 있는 덕트 청소 및 관리
- 분배기 측에 별도 배기팬 연결
- 회전형 청소기를 이용한 방식으로 관 끝까지 밀어 넣어 진행됨
- 덕트는 플렉시블관 보다는 강도가 있는 PE, PP, PVC관이 적합함



크린호스



PE덕관



ALU 플렉시블덕트



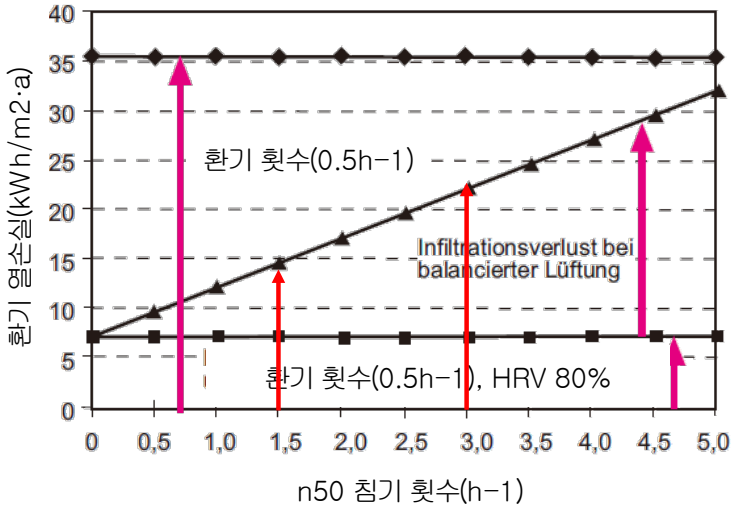
덕트는 7년마다 청소 필요함

## ◎ 참고 서적 및 사이트

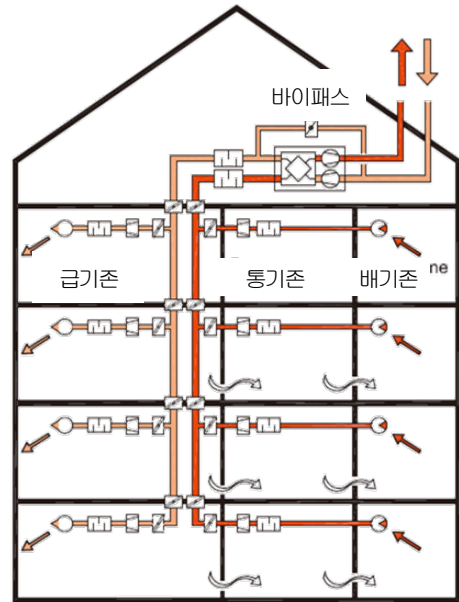
1. DIN V 18599, 2018: Energy efficiency of buildings – Calculation of the energy needs, delivered energy and primary energy for heating, cooling, ventilation, domestic hot water and lighting – Part 6: Delivered energy for ventilation systems and air heating systems for residential buildings
2. RWE BAU-Handbuch, 14 개정, 2010, Dr.-Ing. Bernd Dietrich and Dr. Rolf Sweekhorst
3. DIN 1946-6 : 2009-05 Raumluftechnik – Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen
4. Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen, Raumluftechnische Anlagen. DIN 18379 : 2006-10. Beuth Verlag Berlin
5. DIN EN 12599 : 2000-08 Lüftung von Gebäuden Werner, J., Kirtschig, T.: Zuluftnachheizung als Heizwärmeverteilsystem; in Tagungsband zur 2. Passivhaustagung, Passivhausinstitut Darmstadt, 1998

### 3 설계 방법 및 사례 검토

#### ◎ 사전 기밀 확보 필요



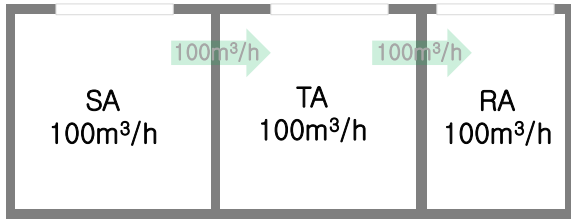
건물 기밀( $n_{50} = 3.0\text{h}^{-1}$ ): 침기에 의한 열손실 50% 넘음  
 건물 기밀( $n_{50} = 1.5\text{h}^{-1}$ ): 침기에 의한 열손실 40% 수준  
 환기열손실을 줄이기위해 먼저 건물 기밀성능 확보 필수  
 ( $n_{50} \leq 1.0\text{h}^{-1}$ )



- 급기디퓨저
- 배기디퓨저
- 풍량제어기
- ▣ 방화댐터
- ▣ 제어댐터
- ▣ 흡음덕트
- ▣ 중앙형 HRV

### ◎ 풍량별 조닝

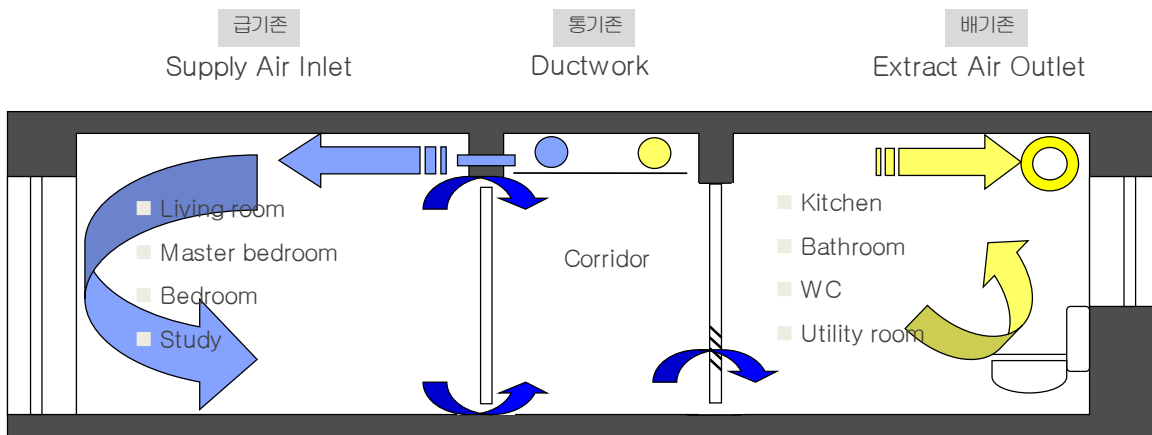
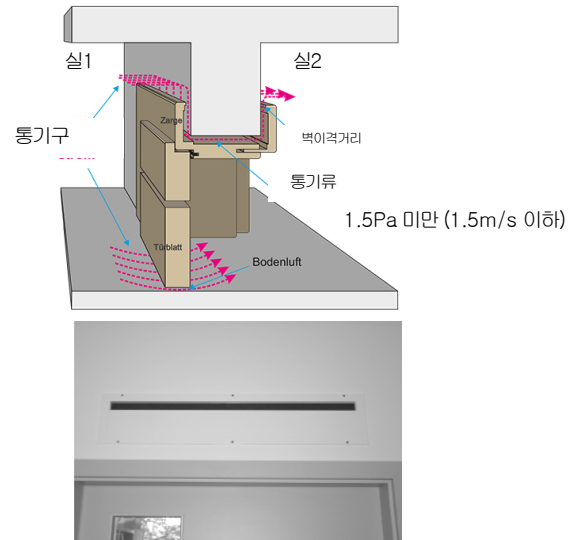
- 급기량 최소화 설계 필요: 유지관리비 및 에너지 절감
- 실내오염원(예: 열, 오염 및 습기)은 발생원에서 별도 조치를 취함(배기 시스템 적용)
- 쾌적한 실내 공기질 확보를 위해 각실에 급·배기 풍량 배정 --> 유지관리비 상승
- 최적화 방안: 급기존, 통기존, 배기존으로 조닝



설계A



설계B

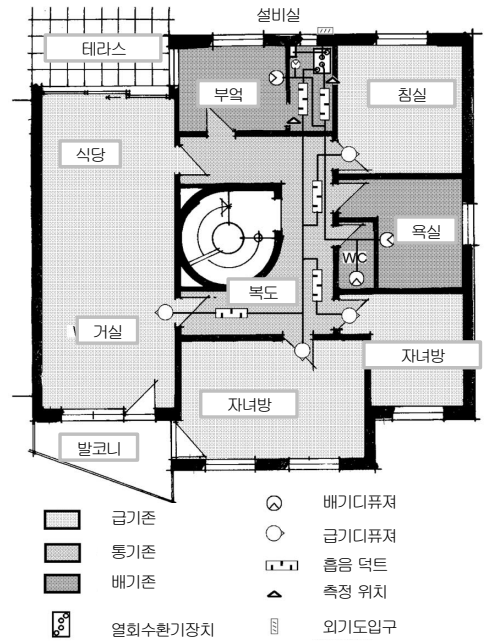


Openings for the transferred air

구분	사무실[3인]	복도	화장실	총환기량
개별	90CMH	30CMH	90CMH	210CMH
순환	90CMH	90CMH	90CMH	90CMH

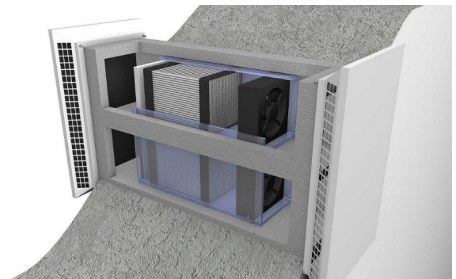
● 중앙 환기 시스템: 급기존, 통기존, 배기존으로 구획함

- 급기존: 거실과 침실
- 배기존: 습기, 냄새 또는 오염 물질 방출 (예, 부엌, 욕실, 화장실, 설비실)
- 통기존: 급기존과 배기존 사이에 있는 영역 (예, 복도, 홀 등)



● 개별형 환기 시스템: 개별환기설비 시스템

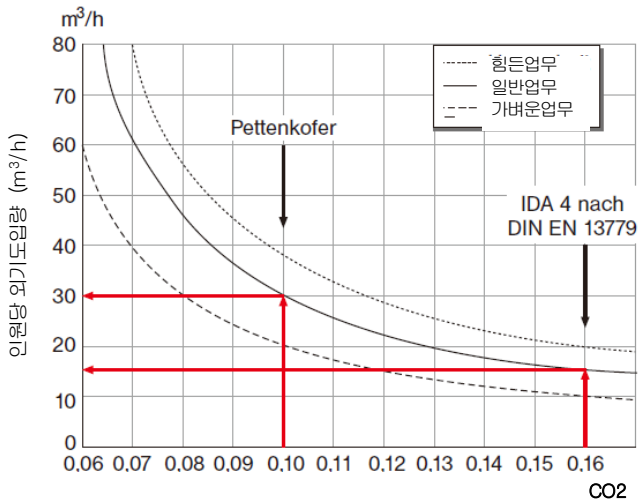
- 실: 급기+통기+환기 일체
- 기기 소음 방지 필요
- 거주내 오염물질 확산



◎ 풍량 계획

등급	CO <sub>2</sub>	인원당 외기도입량 (m <sup>3</sup> /h)	바닥면적당 외기도입량 (m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup> )
IDA1	≤ 400 ppm	72	var,
IDA2	400~600 ppm	45	3
IDA3	600~1000 ppm	28.8	2
IDA4	1000~1600 ppm	18	1

출처: EN 13779 A.9 표, A.10 표 외기 도입량 기준



이용	배기량 (m <sup>3</sup> /h)	바닥면적당 배기량 (m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup> )
부엌	72	-
화장실	24	5

출처: EN 13779 A.9 표, A.10 표 외기 도입량 기준

**2025**  
**제로에너지건축**  
**전문인력 양성교육**

---

기본교육



**ZERO ENERGY BUILDING**  
**TRAINING TO BE PROFESSIONALS**

## PART B

# ZEB 액티브기술

### [B.1] 에너지효율향상 설비 기술

시스템 효율향상 전략  
시스템 효율향상 요소기술  
자동제어를 활용한 효율 향상

### [B.2] 공조설비 기술

공기조화 개념  
공기조화 방식  
복사냉난방 시스템

### [B.3] 고효율 보일러 설비 기술

보일러 관련 기초 지식  
보일러 열효율, 가정용 보일러 기술  
국내외 가정용 보일러 기술, 미래 보일러 기술

### [B.4] 히트펌프 기술

히트펌프의 개념과 원리  
히트펌프의 구성과 성능  
히트펌프의 응용과 실무

### [B.5] 통합유닛 설비 기술

통합유닛 설비 기술 배경 및 이해  
통합유닛 국내외 기술  
통합유닛 성능 평가 방법

### [B.6] 고효율 펌프/팬 기술

유체역학 일반  
펌프의 성능평가 방법 및 인증제도  
송풍기의 성능평가 방법 및 인증제도

### [B.7] 조명에너지 절감 기술

조명에너지의 기본 개념  
조명제어의 적용  
스마트 조명제어

### [B.8] 흡수식냉동기 및 배열시스템

흡수식냉동기  
배열시스템

## B.1

## 에너지효율향상 설비 기술

## 교육 목표

에너지효율향상  
설비 기술

- \* 건축설비의 환경조절 역할 이해
- \* 설비시스템의 에너지효율 향상 전략 이해
- \* 자연에너지 활용 기술들의 이해
- \* 시스템 고효율화 기술들의 이해
- \* 열회수 시스템 기술들의 이해
- \* 자동제어 용어 및 필요성 이해
- \* 부분부하 운전 전략, 통합 운전 전략의 필요성 이해
- \* 사용자 참여, 운전 데이터 분석의 필요성 이해

## 1 시스템 효율향상 전략

## ◎ 건축설비의 환경조절 기능

- 실내 재실자가 건강을 유지하고 불쾌하지 않도록 열, 빛, 음, 공기질 환경을 조절
- 건축설비시스템은 실내 환경조절을 위해 에너지를 소비
- 재실자 쾌적(온열환경, 빛환경, 음환경, 공기질)을 유지하기 위해 운영되나 이로 인해 에너지를 소비함
- 따라서 설비를 가동하지 않고 건축적으로 쾌적을 유지하는 것이 가장 바람직함(자연채광, 자연환기 등)



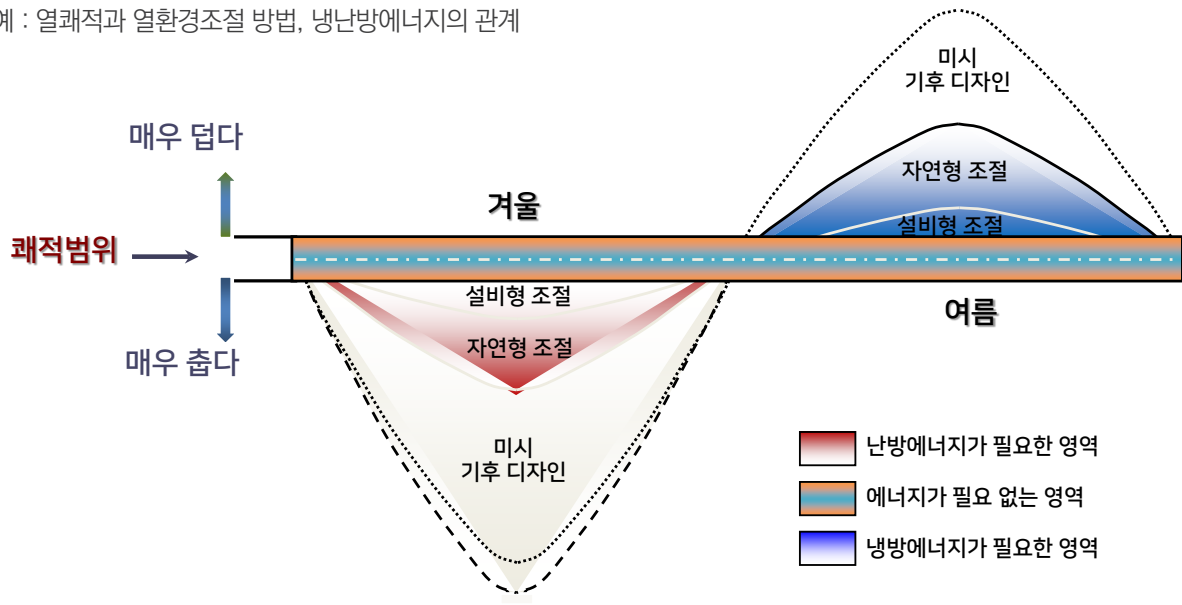
건축 설비

건물 환경을 쾌적하고 위생적이며 안전하게 유지하기  
위한 제반설비

## ◎ 건물의 환경조절과 에너지 소비

- 건물의 환경 조절에 소요되는 에너지량은 기후와 환경조절시스템 수준과 관계가 있음

예 : 열쾌적과 열환경조절 방법, 냉난방에너지의 관계



에너지 소비량을 저감하기 위해서는 미기후에 순응하는 계획 필수!

## ◎ 건물 에너지 효율 향상의 전제

- 저에너지 건물의 기본은 PASSIVE !
- 건물의 에너지 효율을 높이려면 설비시스템 활용 계획에 앞서 건축적 환경조절, 즉 PASSIVE 계획이 우선되어야 함



출처: Norbert Lechner, Heating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects, 2005

## ◎ 부하 최적화 및 설비용량 최적화

- 부하계산시 부하 최적화
  - 자연환기, 채광 등 자연에너지에 의한 부하 처리 반영
  - 겨울철 내부발열 및 일사획득에 의한 가열 반영
  - 거주역 위주의 부하 계산
  - 과도한 안전율(Safety factor) 반영 지양
- 장비 선정시 용량 최적화
  - 용량 산정시 과도한 안전율의 중복 반영 지양
  - 동시사용율, 부분부하시 운전을 고려한 대수분할, 용량분할
  - 축열 용량을 고려한 운전 시퀀스 계획
  - 환기 effectiveness 향상, 고효율 기기 선정

냉난방부하 대비 용량이 과도한 장비를 운전하는 것 자체가 에너지 낭비

- 부하 최적화 예시: 아파트 패시브 계획에 의한 냉난방 부하 저감
  - 공동주택 단열 기준 : 국내 법규(에너지절약 설계기준) 자체가 세계 최고 수준으로 향상
  - 적절한 차양 설치 : 일사부하 70% 이상 저감 가능
  - 공동주택 실내 발열부하 적용 기준 (예시안)

평형	전등 (W/m <sup>2</sup> )	장비 (W/m <sup>2</sup> )	인체		
			현열(W)	잠열(W)	인원(명)
29m <sup>2</sup>	5	5	57	37	1
39m <sup>2</sup>	5	5	57	37	2
49m <sup>2</sup>	5	5	57	37	3
59m <sup>2</sup>	5	5	57	37	3

- LED 조명의 실내 발열량을 소비전력의 80%로 계산
- > 각 단위세대별 LED조명 설계 후, 발열부하 계산
- >> 29형, 39형, 49형 평형별 면적당 조명 발열부하 평균 값 4.18 W/m<sup>2</sup>
- >>> LED 조명 내부발열부하 약 5W/m<sup>2</sup>

주거건물 냉방부하의 저감(국내 기후에서, 배열회수 적용 전)

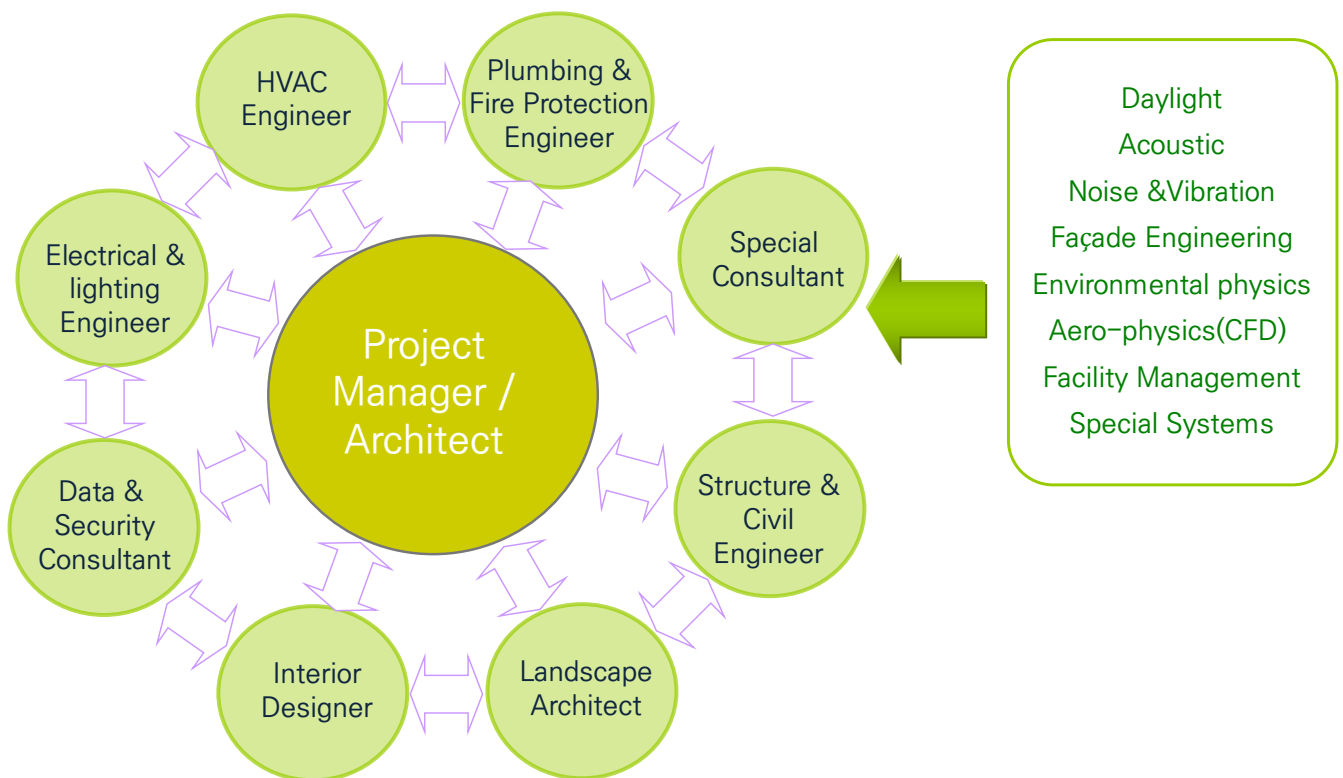
기존 공동주택 냉방부하 60~90W/m<sup>2</sup> -->

패시브 아파트 냉방부하 30W/m<sup>2</sup> 이하  
[ 에어컨 용량 1/2~1/3로 축소 필요 ]

## ◎ 에너지효율 향상을 위한 시스템 계획 방향

- 자연에너지 활용
  - 자연환기, 자연채광 -> Active System과 연동, 연계
  - 온도차 에너지 (외기 냉방 등)
  - 태양열 냉방
  - 수자원 활용
- 시스템 고효율화
  - 입력에너지의 최소화
  - 반송동력 저감
- 열회수 시스템의 적용
- 자동제어 및 에너지 운영관리시스템의 활용

## ◎ 통합 설계의 중요성



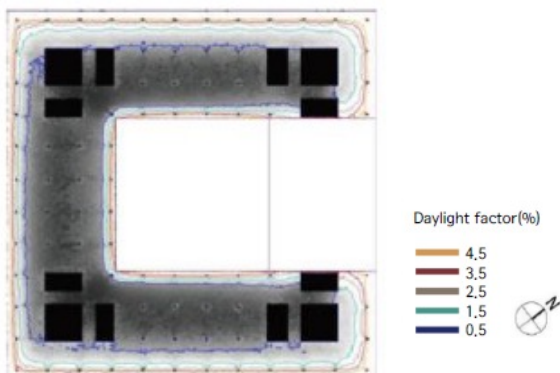
## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. Norbert Lechner, Heating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects, 2005
2. ASHRAE, Standard 90.1 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, 2019

## 2 시스템 효율향상 요소기술

## ◎ 자연에너지 활용 기술들

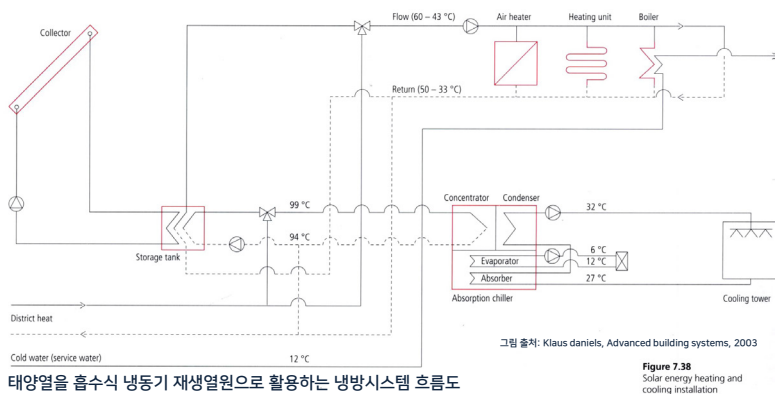
- 자연채광, 자연환기 시스템화
- 자연채광      조명 에너지 생산 (주간)
  - 매스 계획을 통해 자연채광 향상
  - 확산채광, 개구부 방향 고려한 인공조명 조닝
- 자연환기      냉방 에너지 생산, 송풍기 동력 대체 (봄/가을)
  - 자연환기를 고려한 개구부 크기/위치, 자동제어 계획
  - 기계환기, 거주역 공조시스템과 연동



- 적절한 향, 차양, 마감으로 인공조명 없이 채광 가능



- 태양열 냉방시스템(흡수식/흡착식 냉동기 활용)
  - 100도 이상의 물을 생산할 수 있는 집열시스템을 사용하여 흡수식 냉동기의 재생열 공급을 담당
  - 태양열이 강할 때 냉방부하도 최대가 되므로 부하와 에너지생산량의 밸런싱이 좋은 것이 장점



태양열을 흡수식 냉동기 재생열원으로 활용하는 냉방시스템 흐름도

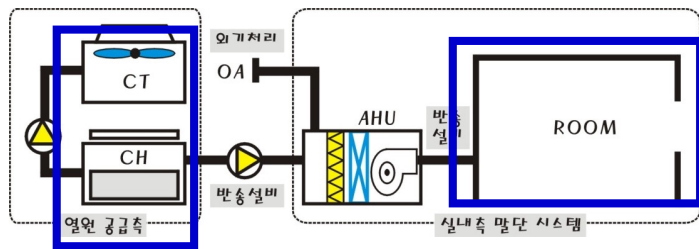
Figure 7.38  
Solar energy heating and cooling installation

- 대지 내 수열원의 활용 : 대지 내에서 생산, 사용되는 모든 물을 고려



◎ 시스템 고효율화 기술들

평형	전등(W/m <sup>2</sup> )	장비(W/m <sup>2</sup> )
실내부하저감	- 차양, 고차폐유리(일사부하 감소) - 외피의 단열성능 강화(전열부하 감소) 등	Passive 건축 계획
실내부하제거 효율증대	- 거주역공조 (바닥공조, Task+ambient 공조) - Task-ambient Lighting	공조방식 조명방식
열원장비 입력에너지 절감	- 고온 냉방, 저온 난방 - 복사냉난방 - 취출온도 상향공급(바닥공조) - 공급(냉수)온도 상향공급 - 냉각탑의 용량 증대 및 고효율 장비 선정 등	장비의 COP 증대



- 입력 에너지의 최소화
  - 거주역 공조: 바닥 급기 시스템
    - 사무소 등에서 액세스플로어 하부 플레넘을 사용하여 급기하고 천장 또는 벽으로 리턴
    - 공연장 객석 하부 취출 시스템
    - 작업 면 근처에서 급기되므로 천장 급기에 비해 공조효율이 좋음(급기 온도를 냉방시 2~4 °C 높게, 난방시 2~3 °C 낮게 공급 가능, 외기냉방 기간 증가)
    - 덕트소요공간을 줄여 천장고 절감 가능
  - 거주역 공조: Task & ambient air-conditioning systems
    - 전반적으로는 약하게 공조를 제공하고 각 재실자 근처에서 독립적으로 재실자 선호도에 따라 급기

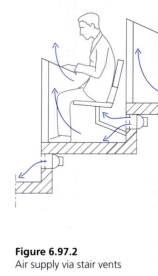
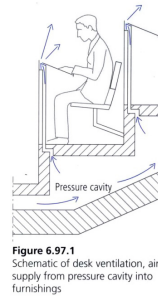
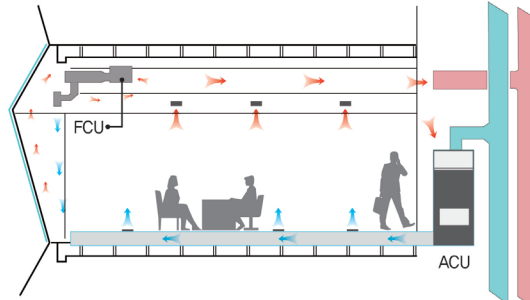


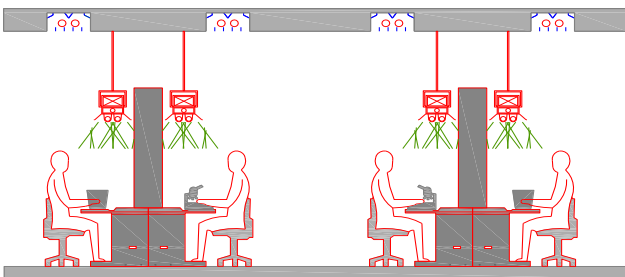
그림 출처: Klaus daniels, Advanced building systems, 2003



업무시설의 바닥공조시스템 적용 예시

● 국부 + 전반 조명 (Task & Ambient Lighting)

- 작업구역(Task)에는 전용의 국부조명으로 조명하고 기타주변(Ambient) 환경에 대하여는 직접 조명방식을 적용
  - 은은한 전반조명 + 작업대 조명
    - 작업의 효율성 증대 (작업대 조도, 균제도 만족)
  - 고효율 형광등(또는 LED) 적용



T&A 조명 개념도

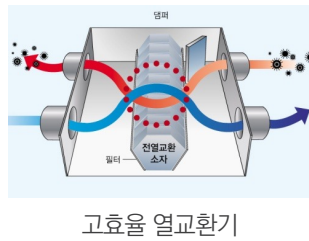
● 고효율 장비 및 기기 선정 (열원/반송/수변전/조명)

- 열원장비
  - 냉동기 COP: 터보 6.0 이상 / 흡수식 1.3 이상
  - 보일러 효율: 90% 이상
  - 열회수용 전열교환기 효율: 70% 이상 (현열+잠열)
- 반송기기
  - 송풍기, 펌프 효율 70% 이상

구분	기준안	변경안
조명방식	전반조명	국부조명 + 전반조명
실 평균조도(lx)	330	330
작업면 평균조도(lx)	330	500 ~ 550
소비전력(W)	639	543
소비전력 절감비율(%)	100%	85%
등기구 비용	100%	150 ~ 200%

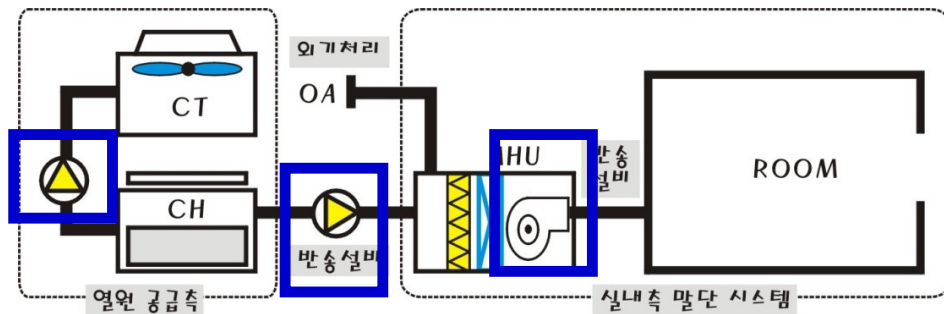
조명방식 비교 (예시)

- 수변전장비
  - 고효율(저손실형) 변압기
- 조명
  - LED 조명, 고반사율 반사갯, 절전형 유도등

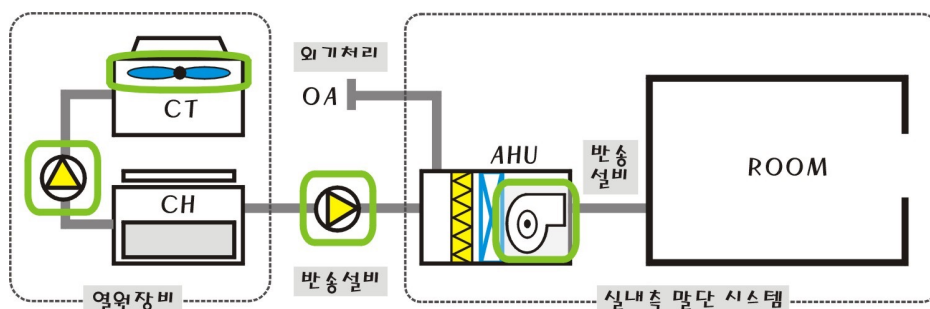


● 반송동력의 저감

평형	전등(W/m <sup>2</sup> )	장비(W/m <sup>2</sup> )
펌프동력 절감	- 냉온수 대온도차( $\Delta T$ ) 적용 - 저온공조시스템 - 중앙공조방식(송풍기의 동력은 증대)	- 냉온수 유량감소 - 배관물량 감소 - 냉동기 입력에너지 다소 증대
송풍기 동력 절감	- 급기/환기 온도차( $\Delta T$ ) 증대 - 저온공조시스템 - 층별/분산 공조방식(펌프의 동력은 증대)	- 급기 풍량감소 - 덕트물량 감소
이송거리 최소화	- 적절한 공조조닝으로 배관 및 덕트길이 최소 - 관로 내의 정압저감을 통한 동력감소	- 관로(배관, 덕트)의 열이동(손실/획득) 최소화
공조방식 선정	펌프, 송풍기 동력을 고려하여 건물의 특성에 적합하도록 공조방식을 선정해야 일반적으로 수방식이 공기방식에 비해 반송동력이 작음	

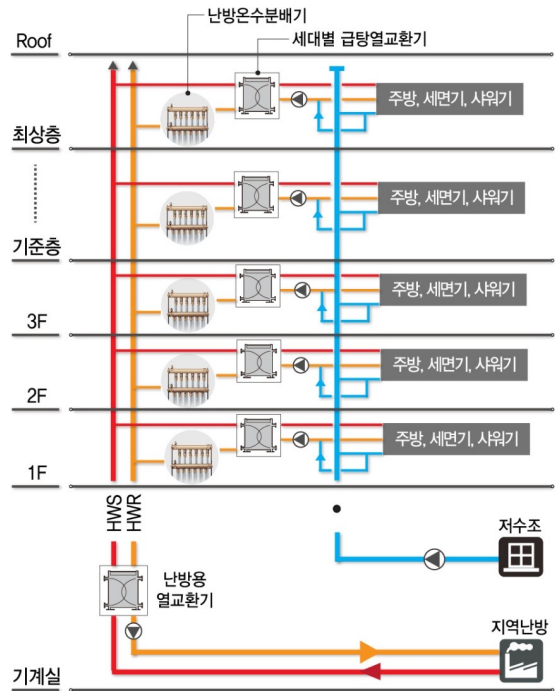


- 반송장비 변속 운전(인버터 제어)  
변속 드라이브 (VSD) 적용장비
  - 공조기의 급/배기팬, 회기팬(Return Fan)
  - 순환펌프 : 냉/온수순환펌프, 냉각수순환펌프 등
  - 냉각탑 내부 팬



● 설계 최적화에 의한 반송동력 절감

- 조닝 최적화로 이송거리 최소화 도모
- 냉각탑은 기계실과 근접설치 → 냉각수 순환펌프의 동력절감
- 열매체의 수질관리 및 스케일 제거 → 배관성능의 열화 방지
- 배관 및 덕트 단열 처리 → 열손실 방지
- 밀폐회로 구성 및 배관경로 최소화 → 펌프양정 최소화 도모
- 지역열원 공동주택 난방, 급탕 배관 통합 검토  
→ 운수 수송동력 감소



● 고온 냉방/저온 난방

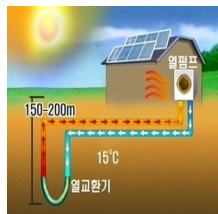
- 냉방시 말단 온도가 실내온도에 가까울 수록 열원에서의 에너지 소비 부담이 적어짐
- 단, 실내와 열매의 온도차가 적으므로 같은 방열량을 얻기 위해서는 더 넓은 코일면적 또는 방열면적을 확보해야 함
- 고온 냉방, 저온 난방열매를 사용할 수록 지열, 태양열 등 신재생에너지 효율성이 커짐 (직접 활용)
- 대표적인 고온냉방 / 저온난방 시스템 : 복사냉난방

공급열원온도

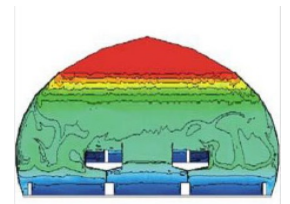
- 냉수온도  
복사냉방 15℃~17℃  
기 존 7℃ 이하
- 온수온도  
복사난방 35℃~40℃  
기 존 60℃ 이상



장비효율  
EER(COP)  
20 ~ 30 %  
증 가

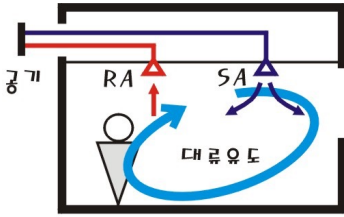


태양열/지열/수열 등  
직접이용 가능

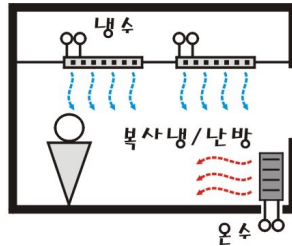


거주역 중심의 냉난방

● 복사냉난방의 에너지 절약 효과

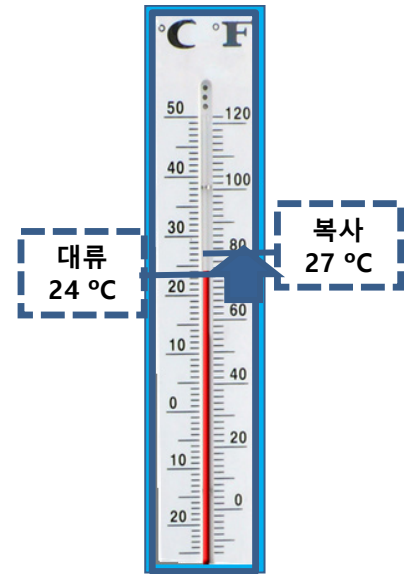


(a) 대류방식 (전공기)



(b) 복사방식 (수공기방식)

- 열원장비의 효율 향상 : 고온냉수, 저온수 공급으로 장비 효율, COP 향상
- 재생에너지 효율성 높임 : 지역열원, 지중열 등 활용 (1차에너지 소비량 저감)
- 반송동력 절감 : 물을 열매로 하여 동력이 절감
- 실내 설정온도 완화 : 복사열교환으로 실내 설정온도 1~2도 완화 가능
- 축열효과로 피크 조절 : 구조체 축열을 이용, peak 시간대를 옮길 수 있음



실내 설정온도 완화

● 증발 냉각/제습 냉각

- 실리카겔과 같은 흡습성 물질을 사용하여 유입공기를 상대습도가 매우 낮은 상태까지 건조시켜 물의 증발이 잘 되는 조건으로 만든 후에 가습을 함으로써 증발냉각의 효과를 높이도록 한 시스템
- 80도 미만의 저온수를 사용해서 흡습재의 재생열 공급이 가능하고 소용량 말단기기 단위로도 제습냉방이 가능한 것이 흡수식 냉동기 대비 장점임

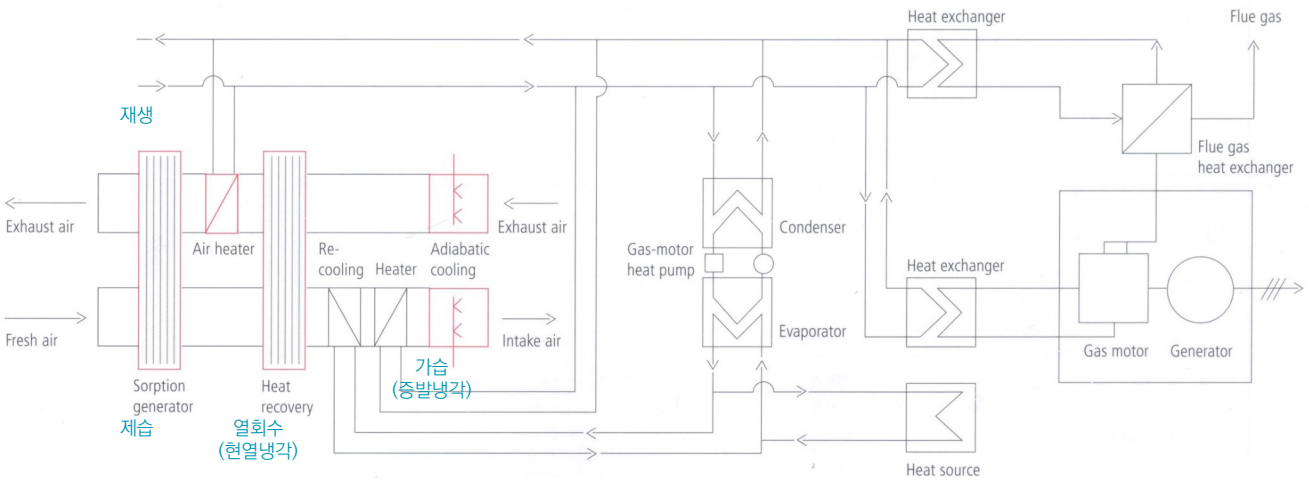


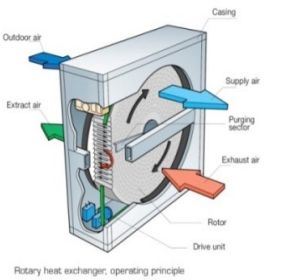
그림 출처: Advanced building systems

제습냉방시스템의 계통도 : 제습(가열) - 열회수(현열냉각) - 가습(증발냉각)

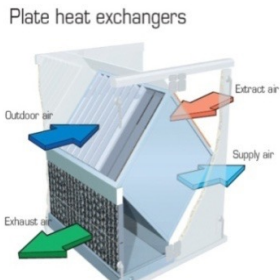
● 배기열 회수

● 공조기 배기열회수

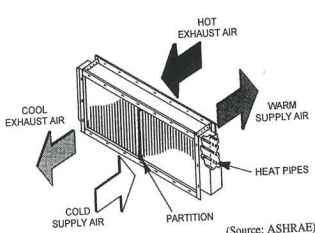
● 배기유닛 배기열 회수



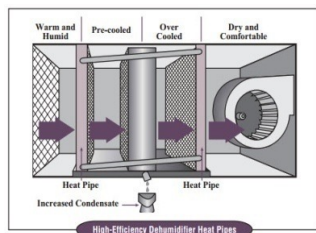
전열교환기



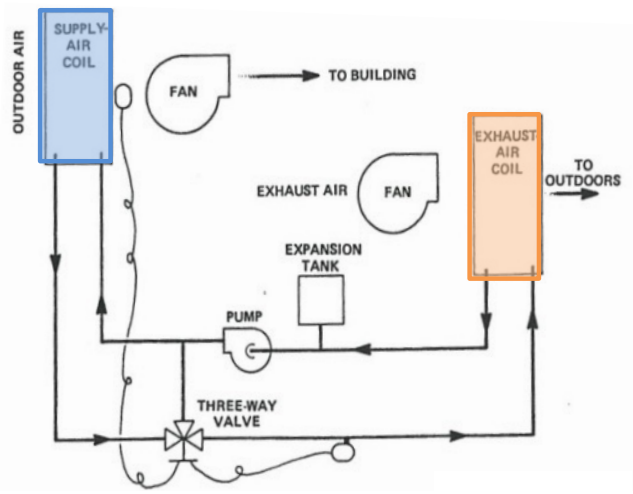
현열교환기



히트파이프



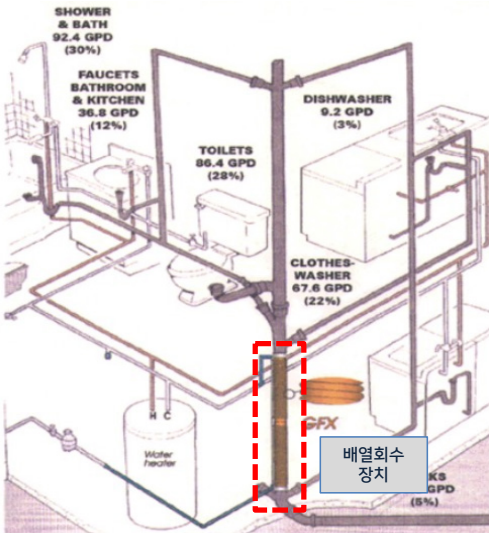
Wrap-around Coil



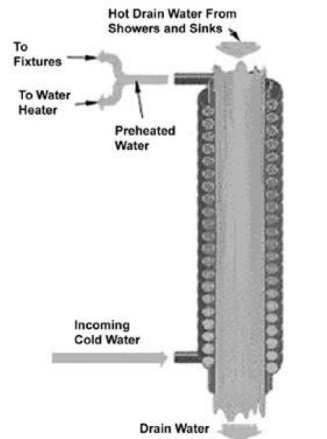
Run-around Coil

- 배수열 회수
- 온수급탕 이용 시 배열회수기를 적용하여 배수되는 폐열을 회수함으로써 급탕부하를 낮춤
  - 1) 국내 적용현황 : 사우나 등 상업건물 등에서 일부 적용하고 있으나 미비함
  - 2) 해외 사례현황 : 캐나다, 미국 등 적용사례가 증가하고 있음. 폐열회수율은 40~50% 정도이며, 투자회수율은 약 2~5년으로 분석

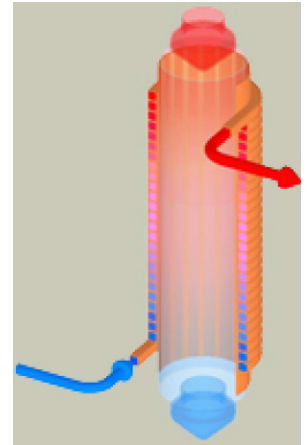
인용: 한국산업기술진흥협회 보고자료



샤워부스 내 배열회수장치

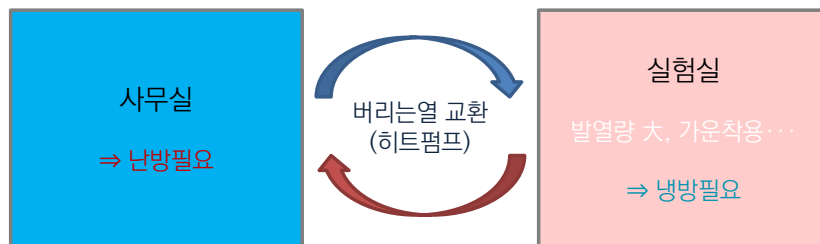


미국 WaterFilm Energy (Gravity-Film Heat Exchanger)

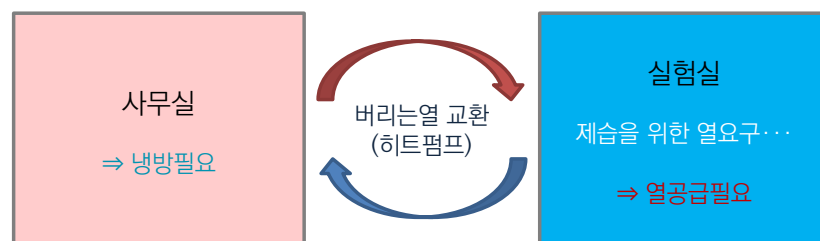


캐나다 House Hacker (Power Pipe)

- 공간(zone) 간의 열교환 / 건물 간의 열교환 (열 그리드 네트워크)
- 난방기 (겨울철)



- 냉방기 (여름철)



## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. ASHRAE (<https://www.ashrae.org/>)
2. Klaus daniels, the technology of ecological building, 1997
3. Klaus daniels, Advanced building systems, 2003
4. <http://webzine.koita.or.kr/201404-technology/Tech-Brief-사워용-폐열회수-시스템>

### 3 자동제어를 활용한 효율 향상

#### ⊙ 자동제어 시스템의 정의

- 시스템을 원하는 균형상태로 복원하기 위해, 다른 변수들을 조정하여, 제어하는 변수의 변화 또는 불균형에 반응하는 시스템



- DDC(Direct Digital Control)  
 마이크로프로세서(컴퓨터) 기반의 컨트롤러들이 직접 장비 및 기기들을 제어하는 제어회로
  - 소프트웨어로 프로그램된 제어로직을 활용해서 제어가 가능
  - 네트워크로 컨트롤러, 서버 등을 연결하여 중앙에서의 총괄적인 통제가 가능함
- 자동제어 회로 예시

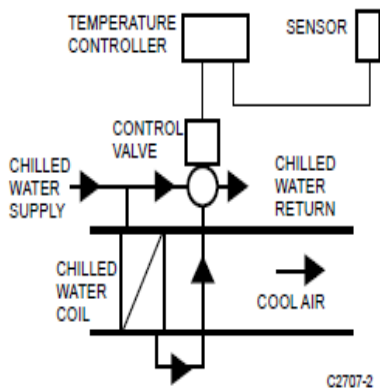


Fig. 10. System Using Cooling Coil.

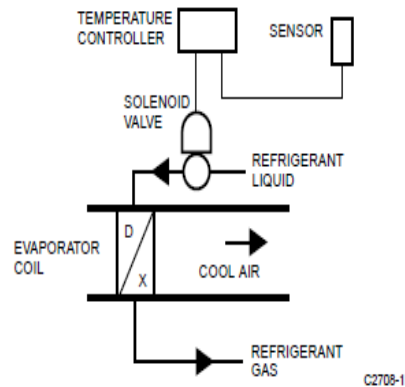
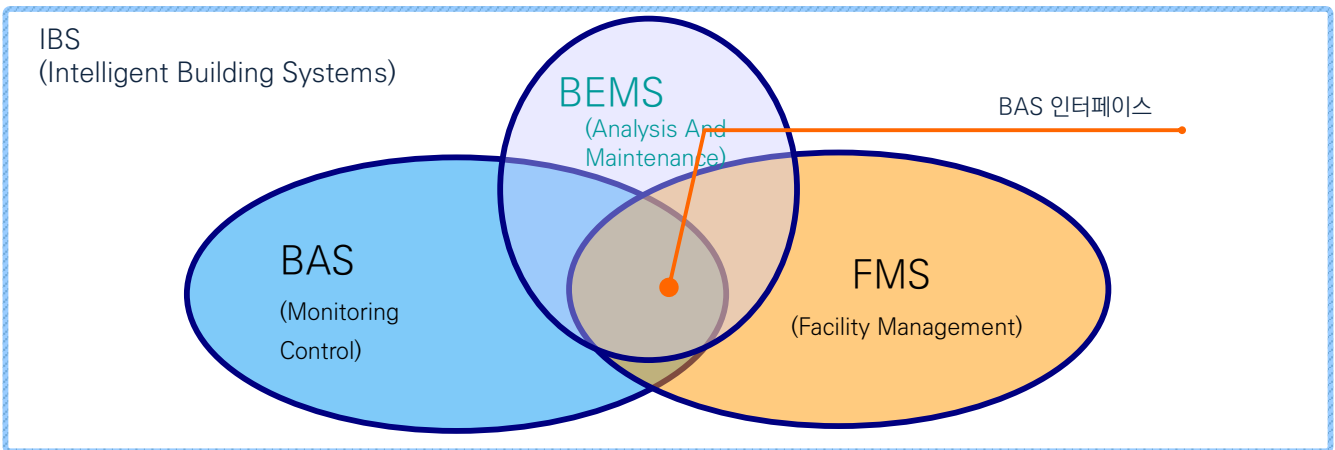


Fig. 11. System Using Evaporator (Direct Expansion) Coil.

그림 출처: Honeywell, Engineering Manual of Automatic control for commercial buildings

- BAS의 정의 (Building Automation System)
  - 건물의 냉난방, 환기, 조명, 방재, 방범 등 관리기능을 관제실에 설치된 관리 전용 컴퓨터로 조절하는 시스템  
-> 건물 자동화 시스템
- BEMS의 정의 (Building Energy Management System)
  - 건물에 IT 기술을 활용하여 전기, 공조, 방범, 방재 같은 여러 건축 설비를 관리하는 시스템.
  - 건물에서 쓰는 여러 가지 설비를 관리하여 쾌적한 환경을 조성하고 에너지 절감과 인건비 절감은 물론 건물 수명 연장을 목표로 하고 있다.
- BAS, BEMS, FMS의 연관 관계

출처 : IT용어사전, 한국정보통신기술협회



시스템	기능
IBS (Intelligent Building Systems)	BA(빌딩자동화), OA(사무자동화), TC(정보통신) 인프라
BAS (Building Automation Systems)	기계설비, 전력설비, 조명설비 자동제어
BEMS(Building Energy Management System)	BAS 시스템 정보를 이용하여 에너지관리 및 장비 성능평가
FMS (Facility Management System)	체계적인 유지보수를 위한 시스템

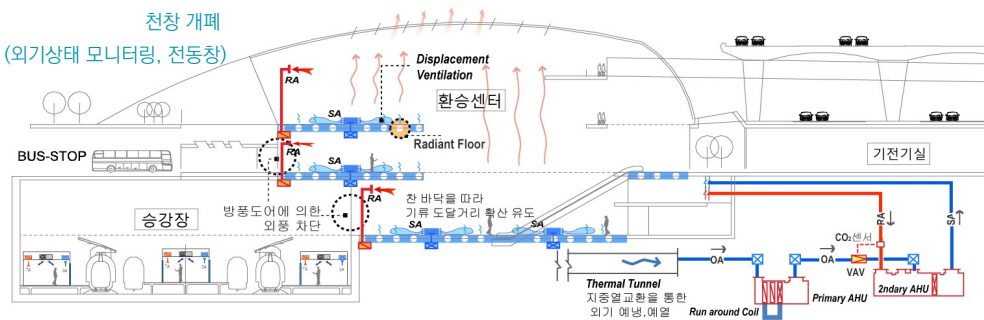
### ◎ 부분부하시 자동제어 운전 전략

- 부분부하시 자동제어 성능 확보를 위한 설비 설계시 요구사항
  1. 해당 공간에 대한 적절한 공기분배 시스템 설계
  2. 타 공간들과 냉방/난방부하가 현저히 다른 공간은 공조시스템을 분리
  3. 적정 용량의 코일 선정
  4. 적절한 센서 위치, 이를 위한 시스템 요소들의 물리적 배치 제공
  5. 제어밸브의 적절한 사이징 및 선정
  6. 에너지 절약을 위한 공조기와 제어시스템 설계
  7. 최신 실내공기질 법규 및 기준에 맞는 HVAC 환기 시퀀스 제공
  8. 건물 전체에 대한 디지털 컨트롤 네트워크 구축 (에너지-비용 최소화)
  9. 제어시스템 설계자는 건물 전체 HVAC시스템에 대해 충분히 이해할 것

- 수요 추종 제어
  - Setback
    - 재실자가 없는 시간 동안 다음 날 장비 예열/예냉부하를 줄이기 위한 최소한의 냉난방 출력으로 실내 온도 유지 (주로 밤시간 night setback)
  - Reset
    - 외기상태, 실내 부하량 등이 피크시 보다 줄었을 때 설정 실내온도, 설정 취출온도 등의 목표점(set value)을 완화시켜(보정하여) 장비부하를 줄임
  - Demand Controlled Ventilation
    - CO2 센서에 의해 실시간으로 실내 필요환기량을 계산하여 필요한 만큼만 외기량을 도입하도록 함
  - PSALI : Permanent Supplementary Artificial Lighting of Interiors
    - 주관에 의해 실내 조명부하가 줄어들 때 대응하는 로직.
    - 창측 주광 조도에 따라 실내 조명의 필요 광도를 구역별로 계산.
    - 실내 조도 센서 활용
- 가변 용량 제어
  - 변풍량
    - 저부하시 송풍기의 회전수를 줄여(풍량 감소) 반송동력을 절감함
  - 변유량
    - 저부하시 펌프의 회전수를 줄여(냉수 또는 온수의 유량 감소) 반송동력을 절감함
  - 조명 디밍 제어
    - 주위 조도에 따라 조명의 광도를 조절함
- 장비 및 기기들이 제어범위에 맞게 적절한 용량으로 설계되는 것이 중요함
- 인버터의 주파수 변조시 역률 개선 노력으로 손실을 최소화하는 것도 중요

### ◎ 운전 자료 분석을 통한 운용 개선안 도출

- 통합제어의 필요성
  - 에너지 절약적 시스템 → 설비시스템과 건축시스템이 통합적으로 운전이 되어야 실효
    - 재실자 의지와 패턴이 반영되어야 실효



예시1. 자연환기를 위한 전동창 + 거주역 공조(복사냉난방) 연동



예시2. 연동효과를 방지하기 위한 출입문 자동제어 (두 개의 출입문이 동시에 열리지 않도록 interlock)

● 사용자의 에너지절약 운전 참여 유도

사용자 의견 feed-back 예

- 의복 착의량 조절
- daylight saving time
- 적절한 개구부의 조절
- 적절한 조명 on/off



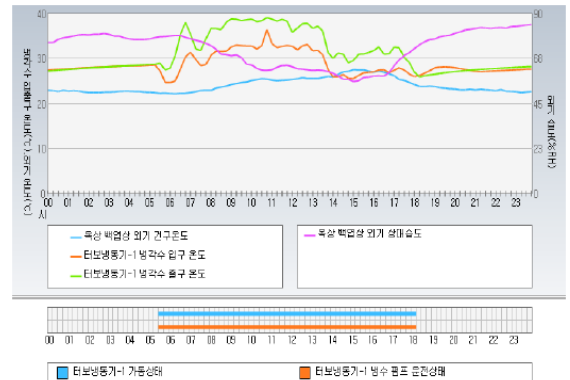
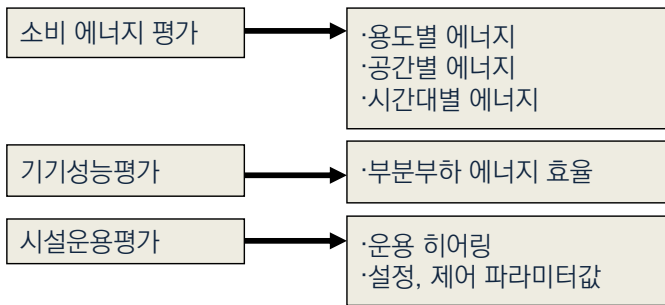
Philip Merrill Center



National Renewable Energy Laboratory

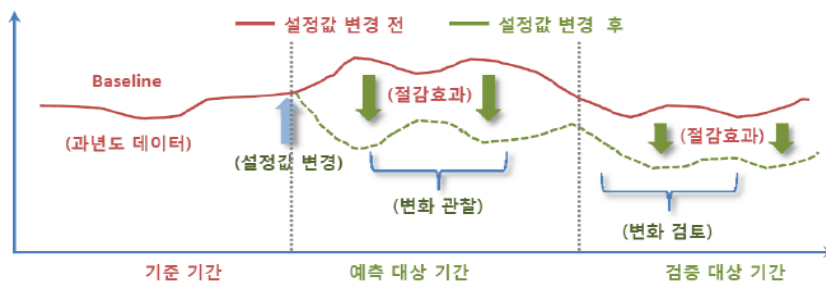
◎ 운전 자료 분석을 통한 운용 개선안 도출

● 건물의 에너지 소비 경향을, 데이터와 운용 실태로부터 평가



● 부분부하 운전시 보정값 재설정(튜닝)

- 계산 또는 경험에 의해 초기 설정한 예측 값들의 검증
- 실제 데이터로부터 필요시, 각종 설정값들의 재보정 실시



## ◎ 건물 에너지효율 향상을 위한 건축설비 계획 및 운영 방향

- 지역환경 및 미시기후에 순응하는 건축계획 우선
- 건축적 요소들의 시스템화 (패시브 설계 + 제어)
- 비용 대비 적정 수준의 대지 내 자연에너지 활용
- 건물 내 에너지 회수 최대화
- 시스템의 고효율화
- 자동제어를 통한 부분부하 효율 향상
- 환경/에너지 정보 공유를 통한 사용자 참여 유도
- 모니터링, 정량적 분석을 통한 운전 개선안 도출

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. Honeywell, Engineering Manual of Automatic control for commercial buildings.
2. IT용어사전, 한국정보통신기술협회
3. ASHRAE Standard 90.1, "Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings", ASHRAE, 2019.

## B.2

## 공조설비 기술

## 교육 목표

## 공조설비 기술

- \* 공기조화 의미 및 목적 이해
- \* 공조 프로세스 이해와 이를 통한 공기조화 설비의 역할 이해
- \* 공기조화시스템의 구성과 열원 및 공기조화 방식을 구분하는 원리 이해
- \* 열원 방식의 종류 및 특성 이해
- \* 공기조화 방식의 종류 및 특성 이해
- \* 공기조화기 구성과 프로세스 이해
- \* 냉난방 방식의 종류와 복사냉난방 시스템의 개념 이해
- \* 복사냉난방 시스템의 쾌적, 에너지 측면의 특성 이해
- \* 복사냉난방 시스템의 종류 및 특성 이해

## 1 공기조화 개념

## ◎ 공기조화 의미와 목적

- 의미
  - 주어진 실내공간에서 온도, 습도, 기류, 공기 분포, 부유분진, 취기(臭氣), 세균, 유해 가스 농도를 그 실의 사용 목적에 적합한 상태로 유지시키는 것 (서승직)
  - HVAC(Heating, Ventilating and Air Conditioning)의 모든 것 (김병선 외)
  - 온도, 습도, 청정도, 공기의 질, 거주자나 사물에 의해 요구되는 공기의 환기 등의 제어를 총괄적으로 의미 (김병선 외)
- 목적: 거주자가 일하고, 놀고, 살기에 쾌적한 환경 유지 (김병선 외)

## ◎ 공기조화 프로세스

- 난방(가열)
  1. 공기의 온도를 올리거나 유지할 목적으로 공조공간 공기에 열에너지를 추가하는 과정
  2. 연료를 태우거나 전기 혹은 화학적 방법에 의해 열을 공급하는 등 다양한 열원 사용
- 냉방(냉각)
  1. 공기의 온도를 내리거나 유지할 목적으로 공조공간 공기의 열에너지를 제거하는 과정
  2. 공기에서 에너지를 제거하는 수단이 필요하며, 보통 냉동사이클이나 증발냉각 기술이 사용
- 가습
  1. 공기의 습도를 올리거나 유지하기 위해 공조공간 공기에 수증기를 추가하는 과정
  2. 물이나 젖은 옷감 위로 공기가 지나가거나 기류에 물방울을 뿌리는 방법 등을 통해 가능
- 감습(제습)
  1. 공기의 습도를 내리거나 유지하기 위해 공조공간 공기의 수증기를 제거하는 과정
  2. 보통 냉각에 의해 수증기 제거 (cf. 냉각식 제습 & 화학식 제습)
- 청정
  1. 공기의 질을 향상시키기 위해 공조공간 공기로부터 먼지 및 생물화학적 물질을 제거하는 과정
    - 공기 중에는 여러 불순물이 있으며, 꽃가루, 먼지, 연기 등과 같은 오염물질은 일반적인 공조공간에서 제거되어야 하는 물질
    - 박테리아, 곰팡이, 바이러스와 같은 미생물들은 건강 상의 이유로 더욱 중요
  2. (입자상) 오염물질의 제거는 주로 필터나 기류에 의해 수행
  3. 대부분 미생물들의 번식은 난방과 감습에 의해 억제 가능
  4. 습도는 미생물 번식에 중요한 역할을 하므로, 실의 기능과 재실자의 건강을 고려하여 조절하는 것이 중요
- 환기
  1. 공기 속 기체 성분의 함유물 희석 또는 공기질을 향상시키고 구성 성분과 신선도 유지를 위해 공조공간 공기와 외기 간의 공기 교환 과정
  2. 외기는 종종 오염물질을 희석시키고 실내에 산소를 재공급하기 때문에 중요한 역할을 함
  3. 외기와의 공기 교환은 환기나 침기에 의해 이루어짐
    - 환기(ventilation)
      - a. 강제(기계) 환기: 건물 내에 신선한 공기를 공급하기 위한 이상적인 제어방법  
최소 외기가 요구되는 큰 건물 등에서 필수적인 요소
      - b. 자연환기: 공기의 압력 차이나 실내/외의 온도 차이, 열려진 창에 의해 발생, 정확히 제어되지 않음
    - 침기(infiltration): 틈새나 불완전한 기밀, 허름한 개구부에서 발생

## ● 기류

1. 건물의 공조공간에서 공기를 순환시키고 혼합하는 과정
2. 기류는 강제 혹은 자연적으로 발생
  - 팬 등에 의한 강제 대류: 재실자의 쾌적성을 고려하여 제어되어야 함  
일반적인 쾌적 기류속도는 0.25~0.5m/s
  - 자연 기류(대류)는 공조공간에서 주로 온도 차이에 의해 발생
3. 혼합
  - 공조시스템에 의해 새롭게 공조된 공기가 이미 실내 공간에 있는 공기와 섞이는 현상
  - 열 쾌적 및 공기질 측면에서 중요

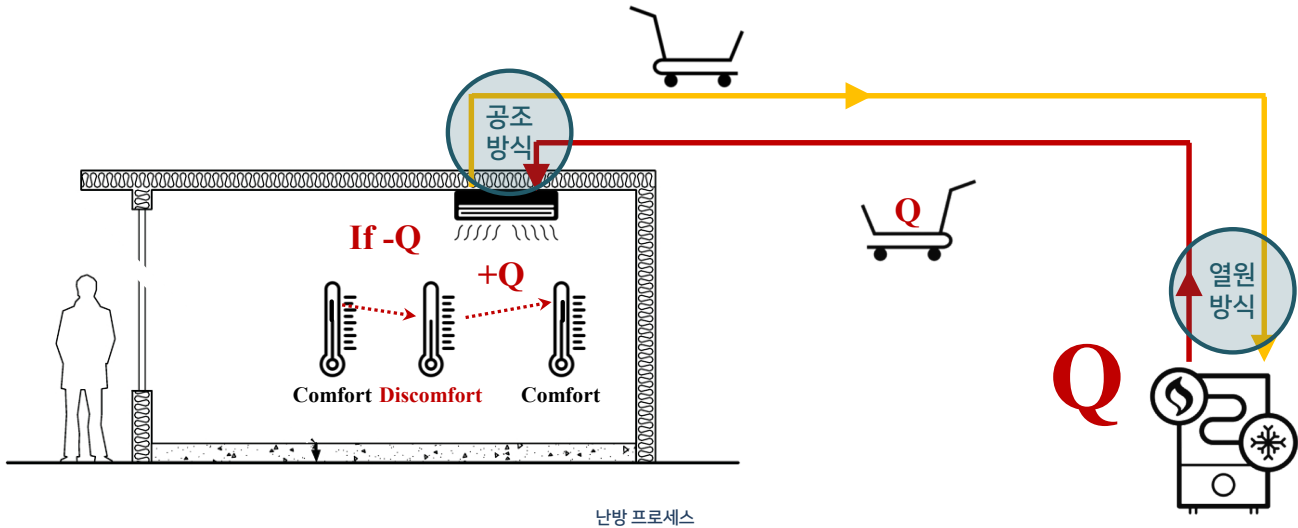
## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. 김병선, 김정태, 김곤, 변운섭, 이수연, 정종림, 조춘식, 2015, 건축설비시스템, 기문당.
2. 서승직, 2021, 친환경을 고려한 건축설비계획, 일진사.

## 2 공기조화 방식

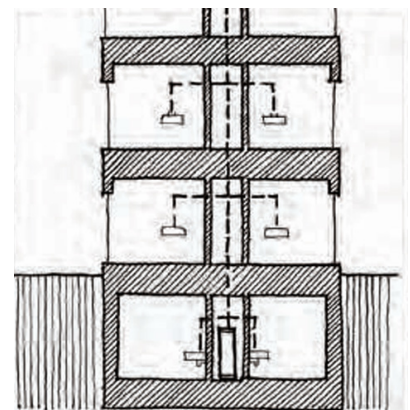
### ◎ 공기조화시스템의 구성

- 난방 프로세스에서의 예



### ◎ 열원 방식의 분류

- Central Systems
  1. 몇 개의 기계실(지하/옥상), 상당한 Distribution Trees, 복잡한 제어시스템 필요
  2. 장점
    - 기계는 몇몇 장소에서 집중 배치 -> 장비로부터 발생하는 소음, 열 제어 및 유지보수 용이
    - 공기질 확보: 도로로부터 높은 곳에 흡기구 배치, 중앙식 필터링 장치를 이용하여 청정 유지
    - 긴 장비 수명: 정기적인 유지보수 수행
  3. 단점
    - Local Receiver 에 분배하기 위해 크고 긴 Distribution Trees 필요
    - Zone 마다 Schedule이 달라 에너지 낭비 가능성 존재 : 한 Zone 에만 운전이 요구되어도 중앙장치가 모두 작동



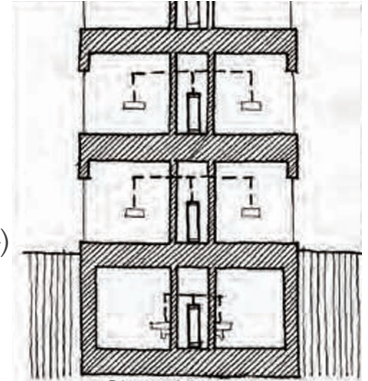
Local Systems

1. 장점

- Schedule 이 다른 다양한 공간에서 유리
- 기능적인 우수성으로 Comfort 에 대한 기대 큰 편
- Production Equipment (열원장비) 가 건물의 전체에 퍼져 있음
  - > 기계실(large, centralized)이 불필요, Distribution Trees 축소, Control System 단순화
- 시스템 고장 시에도 건물의 작은 부분에만 영향

2. 단점

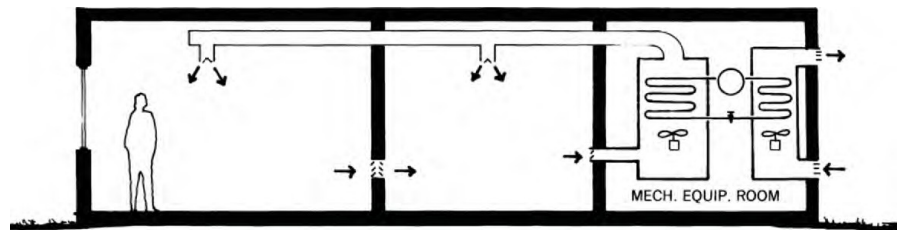
- 많은 기계에서 나오는 소음 및 다른 by-products
  - > 재실 공간에 대해 많은 잠재적 위협을 가함
- 기계가 퍼져 있음 -> 각 위치마다의 접근 제약 : 유지보수 요구가 큰 편
- 공기질: 건물 내에 퍼져 있는 많은 필터들을 정기적 청소에 의존 (공기질 확보 어려움)



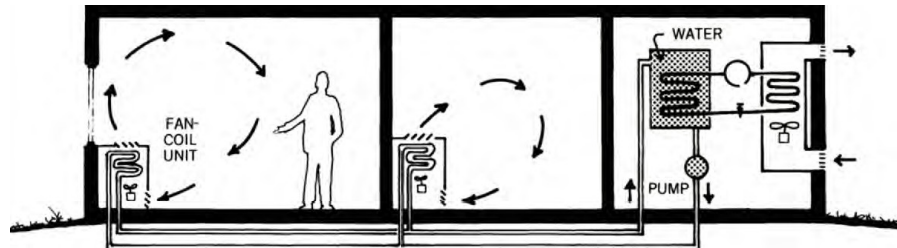
◎ 공기조화 방식의 분류

- 열 분배 매체 (열매, Heat Medium)의 종류에 따라

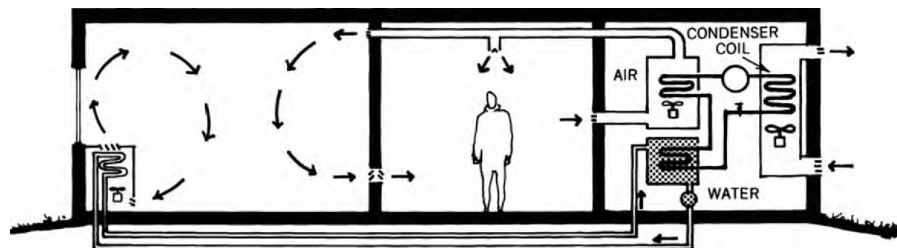
1. 전공기방식  
(All Air Systems)



2. 전수 방식  
(All Water Systems)



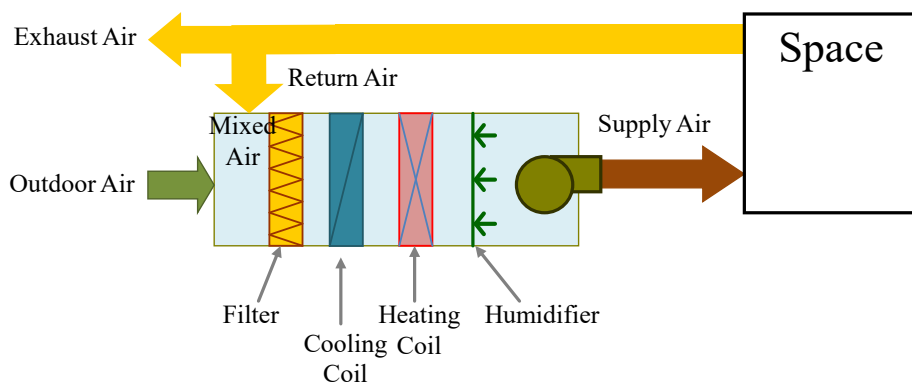
3. 수-공기 방식  
(Water-Air Systems)



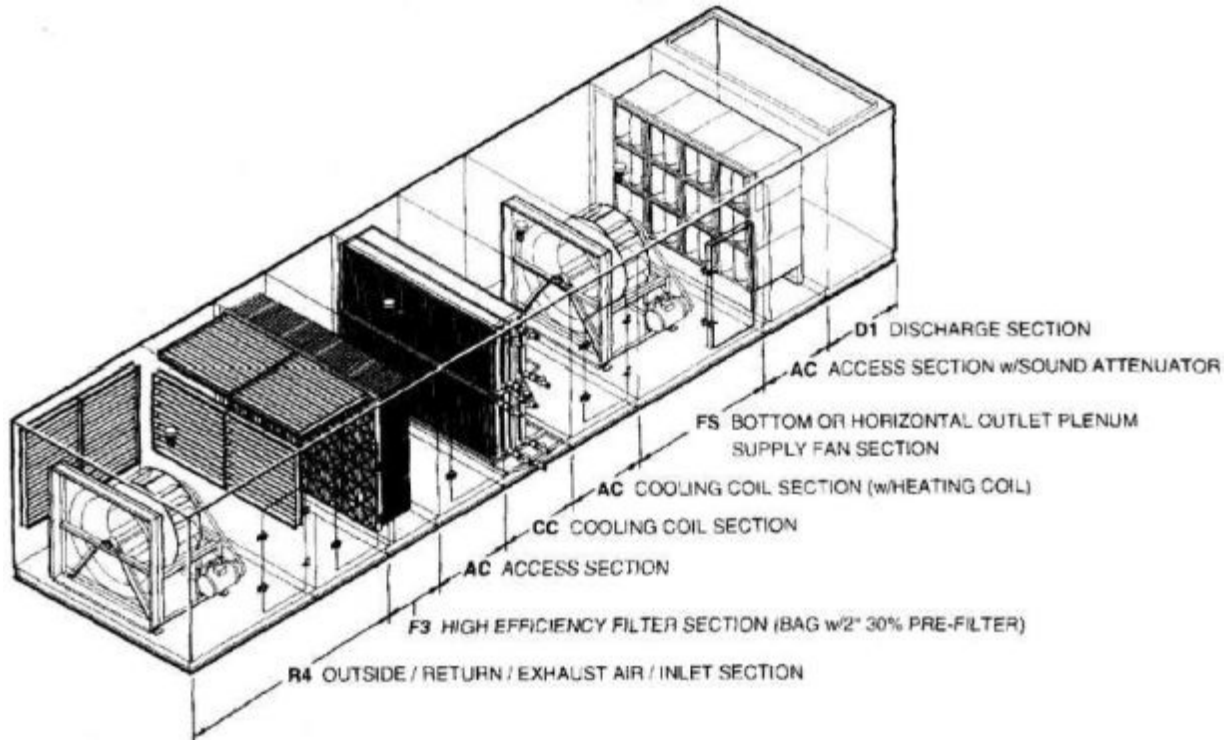
구분	열 매 체	시 스템 명 칭		세 분 류
중양 방식	전공기 방식	정풍량 방식 (CAV, Constant Air Volume System)	단일덕트(SD, Single Duct)	Zone Re-heat Terminal Re-heat
			이중덕트(DD, Dual Duct)	
		변풍량 방식 (VAV, Variable Air Volume System)	단일덕트(SD, Single Duct)	
			이중덕트(DD, Dual Duct)	
	수-공기 방식	유인 유닛 방식 (Induction Unit)		2/3/4 관식
		팬코일 유닛 방식	팬코일 유닛 + Duct 병용	
복사냉난방 방식 + Duct 병용				
전수 방식	팬코일 유닛 방식 (FCU, Fan Coil Unit System)		2/3/4 관식	
	복사냉난방 방식 (Radiant Heating and Cooling System)			
개별 방식	냉매 방식	룸에어컨 패키지 유닛 방식 (PAC) 히트펌프		압축기 내장형

### ◎ 전공기 방식 (All Air Systems)

- 공조공간에 공조공기를 공급함으로써 냉, 난방과 감습, 가습을 동시에 수행
- 각 zone으로부터 일부 공기는 외부에 배출(EA)되고, 나머지(RA)는 신선한 외기(OA)와 혼합(MA)되며, 혼합공기는 공기조화기(AHU, Air Handling Unit)의 냉, 난방 코일을 통과하여 공조된 공기로 다시 각 zone에 공급(SA)



- 공기조화기(AHU, Air Handling Unit)



- 장점

1. 온,습도, 공기청정, 취기 제어 용이
2. 실내 기류분포가 좋음
3. 소음과 오염물질 등을 기계실로 중앙집중 시켜, 통합 운영 및 유지관리 편리
4. 실내에 배수, 전력설비, 전선, 필터 등 설치하지 않아도 됨
5. 공조 바닥면적을 적게 차지(유효 space 증대)
6. 냉방을 하지 않고도 외기를 받아들여 실내를 통풍 냉각시킬 수 있음(외기냉방)
7. zoning, 습도 제어 및 중간기 냉,난방에 유연성이 있음
8. 공조 실내에 수배관이 필요 없으므로, OA 기기에 물 피해 염려 없음
9. 가습과 감습 제어 용이 (겨울철 가습 용이)

- 단점

1. 덕트 space 가 크고, 덕트 공간으로 인해 층고 증가
2. 공기의 균형을 맞추기 어려움
3. 반송 동력이 큼
4. 공조 기계실을 위한 큰 면적 요구
5. 재열형태 시스템은 에너지 측면에서 비효율적

- Economizer Cycle

1. 외기온도가 충분히 낮아서 외기를 이용하여 실내를 냉방할 수 있다면, 상대적으로 높은 온도인 재순환 공기(RA)와 낮은 온도의 외기(OA)를 적절한 비율로 혼합하여 냉방코일(Cooling Coil)을 이용하지 않고도 실에서 요구하는 온도의 공기(SA)를 생성할 수 있음
2. 이러한 방법으로 공조과정에서 에너지를 절약하는 과정 :Economizer Cycle

## ◎ 전수 방식 (All Water Systems)

- 물에 의한 순환만으로 냉, 난방하는 방식
- 중앙에 위치한 Chiller, Heater, Pump, Pipe를 이용하여 물을 통해 열 분배
- 장점
  1. 개별 제어, 개별 운전 가능
  2. 시스템의 부피가 작고, Duct System이 필요 없음
  3. Duct Space, 공조 기계실이 필요하지 않음
  4. 반송동력이 적음
- 단점
  1. 습도, 청정도, 기류분포 제어 곤란
  2. 실내에 수배관 필요
  3. 외기냉방 불가
  4. 환기율을 높일 수 없음
  5. 결로문제에 대한 고려 필요

## ◎ 수-공기 방식 (Water-Air Systems)

- 실내의 온도와 습도를 조절하기 위해, 물과 공기를 병용하여 열 분배
- 공기: 중앙 공조실에서 냉, 난방되어, 여러 zone에 순환
- 물: 중앙 공조실에서 냉, 난방되며, 실에 공급하기 위해 Pump를 이용하여 Pipe로 전달
- 장점
  1. 유닛 제어에 의한 개별제어 가능
  2. 물의 밀도와 열용량이 상대적으로 크므로 분배시스템의 공간을 줄일 수 있음  
(Duct Space, 공조 기계실의 Space)
  3. 같은 양의 에너지를 순환시키는 데 적은 전력이 요구됨 (전공기 방식에 비해 반송동력이 적음)
  4. 시스템의 내구성이 좋음
- 단점
  1. 전공기 방식보다 복잡
  2. 전공기 방식에 비해 제어 어려움
  3. 유지비가 비교적 큼
  4. 실내 송풍량이 적고, 유닛에 고성능 필터를 사용할 수 없어 청정도 낮음
  5. 실내에 수배관이 필요하며, 물에 의한 사고 가능성 존재
  6. 유닛의 보수 및 점검에 손이 많이 감

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. 김병선, 김정태, 김곤, 변운섭, 이수연, 정종림, 조춘식, 2015, 건축설비시스템, 기문당.
2. 서승직, 2021, 친환경을 고려한 건축설비계획, 일진사.
3. Nobert Lechner, 2015, Heating, Cooling, Lighting-Sustainable Design Method for Architects(4th), Wiley.
4. Richard R. Jains, William K.Y. Tao, 2019, Mechanical and electrical systems in buildings, Pearson.
5. Walter T. Grondzik, Alison G. Kwok, 2015, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings(12th), Wiley.

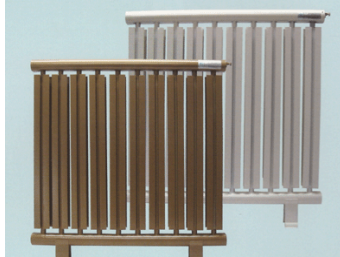
### 3 복사냉난방 시스템

#### ◎ 냉난방 방식의 종류

- 인체, 사물 및 공간과의 열 교환 방식에 따른 냉난방 방식의 구분



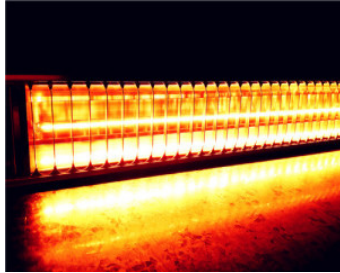
[대류냉난방 방식]



[복사냉난방 방식]



[전도 방식]



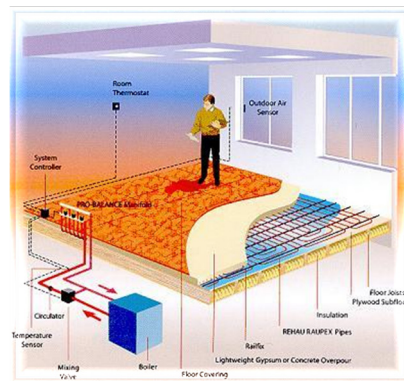
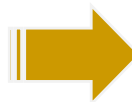
[유탄포]

#### ◎ 복사냉난방의 개념

- 공간과의 열 교환 중 복사 열 전달의 비율이 50% 이상인 냉난방 방식  
[ASHRAE, ASHRAE Handbook 2020, HVAC Systems and Equipment, 2020]
- 복사 패널을 이용한 복사열과 이로 인한 대류효과를 냉난방에 이용하는 방식
  - 냉각 또는 가열된 복사 표면으로부터 냉난방이 필요한 공간으로 열 전달
  - 일반적인 복사냉난방 시스템의 경우, 복사 및 대류 열 전달 비율은 70% : 30% 정도



[전통 온돌(구들)]



[현대식 온돌(바닥 복사난방 시스템)]

## ◎ 전통적 복사난방 사례

- 한반도 지역의 전통온돌 (구들)



- 중국 동북부와 몽골 일부 지역에서 사용되었던 Chinese Kang

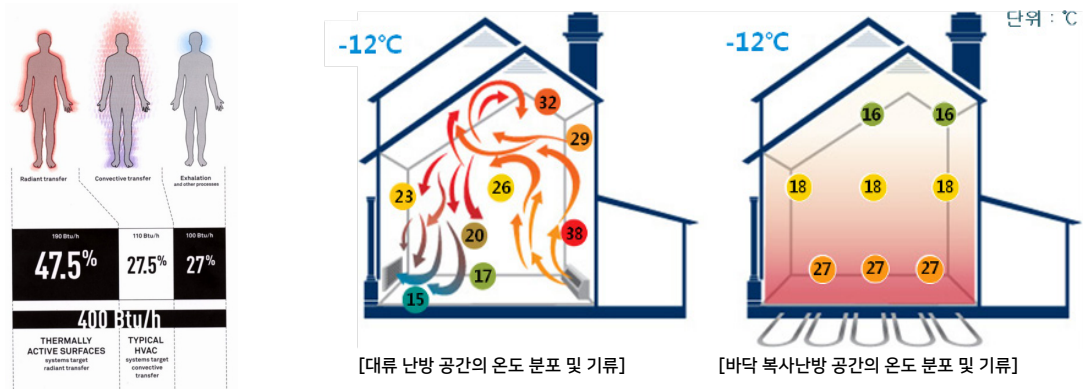


- 고대 그리스/로마의 공중 목욕탕에 주로 사용되었던 Hypocaust (BC 100년 경)

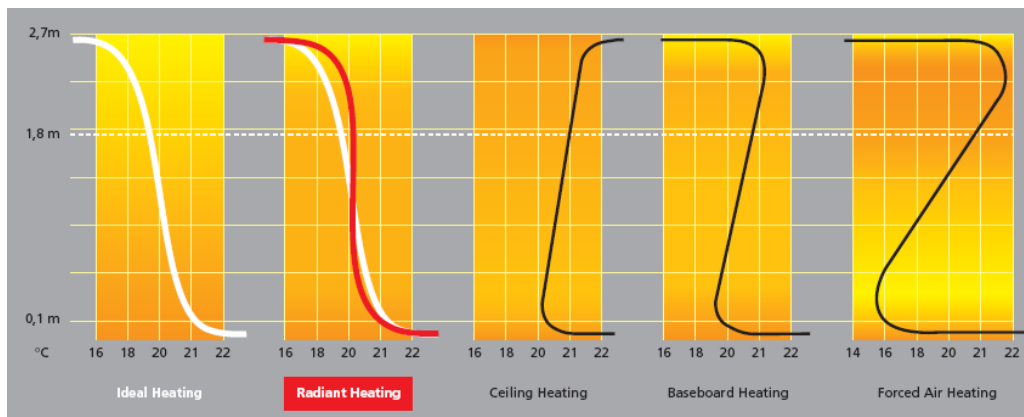


## ◎ 복사냉난방의 특성

- 재실자 쾌적 향상
  - 공기온도뿐 아니라 평균복사온도(MRT)에도 영향 → Total Human Comfort를 쉽게 만족시킴
  - 대류냉난방에 비해 균일한 실내 수직/수평 온도 분포
  - 필요 환기량 이외의 공기의 흐름(기류)이 발생하지 않음
  - 실내 공기질 개선 효과 (먼지 등의 비산이 없으며, 부유 물질 등을 유발하지 않아 위생적)
  - 낮은 소음 레벨

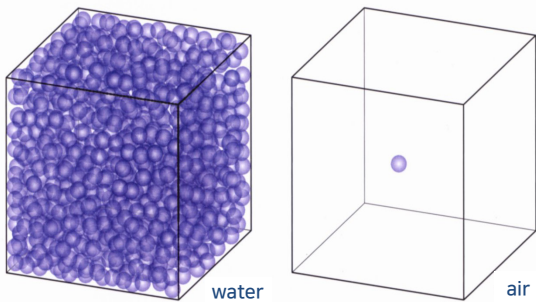


- 바닥 복사난방 적용 시 쾌적 향상 예

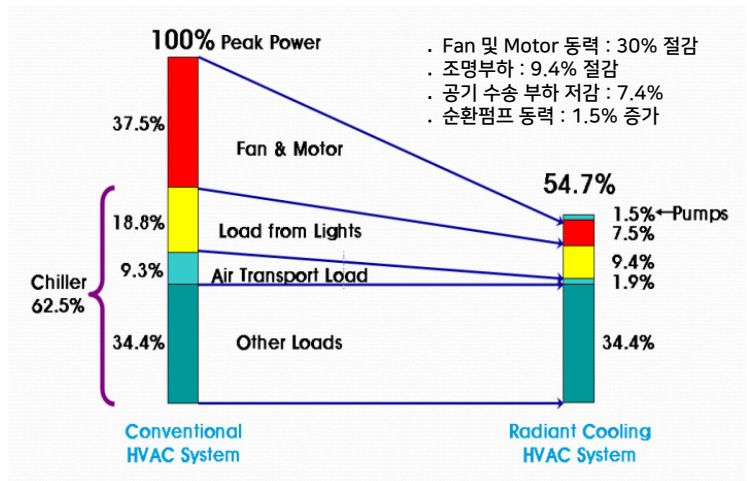


● 에너지 절약 특성

- 대류냉난방에 비해 건구온도를 더 높거나(냉방) 낮게(난방) 유지해도 동일한 냉난방 효과 달성  
→ 부하저감 효과로 인한 에너지 절감 가능성
- 공기보다 열 용량이 큰 물을 열매로 사용하므로, 운송 에너지 소비 절감
- 대류냉난방에 비해 상대적으로 저온온수 난방, 고온냉수 냉방 가능
  - 열원의 COP 상승으로 인한 에너지 절감 효과
  - 신재생 에너지의 활용 가능성 높음 (냉방 시, 지열 heat pump 없이도 복사냉방 적용 가능)



물은 공기의 밀도에 비해 832배 (동일 부피의 열 용량은 3,467배)



[복사냉방 시스템의 에너지 절약 성능(사무소)]

- 건물 냉난방시스템 중 복사냉방 시스템이 건물 에너지 저감 가능성이 가장 큰 것으로 보고(미국 DOE, 2002)

Table 4-1: Energy Savings Potential Summary for 15 Options

Technology Option	Technology Status	Technical Energy Savings Potential (quads)
Adaptive/Fuzzy Logic Controls	New	0.23
Dedicated Outdoor Air Systems	Current	0.45
Displacement Ventilation	Current	0.20
Electronically Commutated Permanent Magnet Motors	Current	0.15
Enthalpy/Energy Recovery Heat Exchangers for Ventilation	Current	0.55
Heat Pumps for Cold Climates (Zero-Degree Heat Pump)	Advanced	0.1
Improved Duct Sealing	Current/New	0.23
Liquid Desiccant Air Conditioners	Advanced	0.2 / 0.06 <sup>12</sup>
Microenvironments / Occupancy-Based Control	Current	0.07
Microchannel Heat Exchanger	New	0.11
Novel Cool Storage	Current	0.2 / 0.03 <sup>13</sup>
Radiant Ceiling Cooling / Chilled Beam	Current	0.6
Smaller Centrifugal Compressors	Advanced	0.15
System/Component Diagnostics	New	0.45
Variable Refrigerant Volume/Flow	Current	0.3

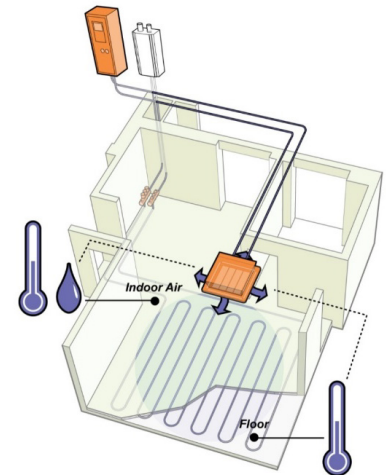
※ DOE, Energy Consumption Characteristics of Commercial Building HVAC Systems : Volume III, Energy Savings Potential, 2002

\* 기타

- 층고 절감 및 이로 인한 투자비 절감 효과  
: 최소 외기만 도입하면 되므로, 대류냉난방에 비해 송풍기, 덕트 및 플레넘 사이즈 저감
- 실내에 설치되는 기기가 필요 없으므로, 거주공간에서 시스템이 차지하는 면적 저감
- 별도의 기기를 외부로 노출시킬 필요 없으므로, 건물 외관을 손상시키지 않음
- 국내 공동주택의 경우, 기존 난방 배관을 활용하면 설비 활용도를 높일 수 있음(중복 투자 방지)

\* 적용 시 고려사항

- 반응시간이 느려질 가능성 존재
- 현열 부하만 처리 가능하며, 잠열 부하 처리 시 별도의 조치 필요(제습)
- 열매 tube와 tube spacing이 부적절할 경우, 표면온도 불균형 발생 가능성

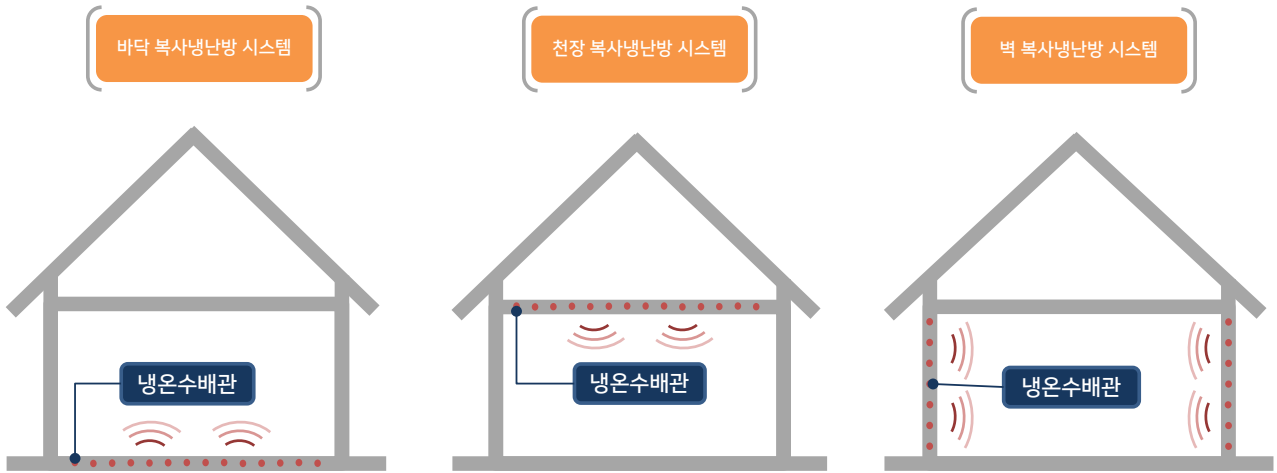


◎ 복사냉난방의 종류

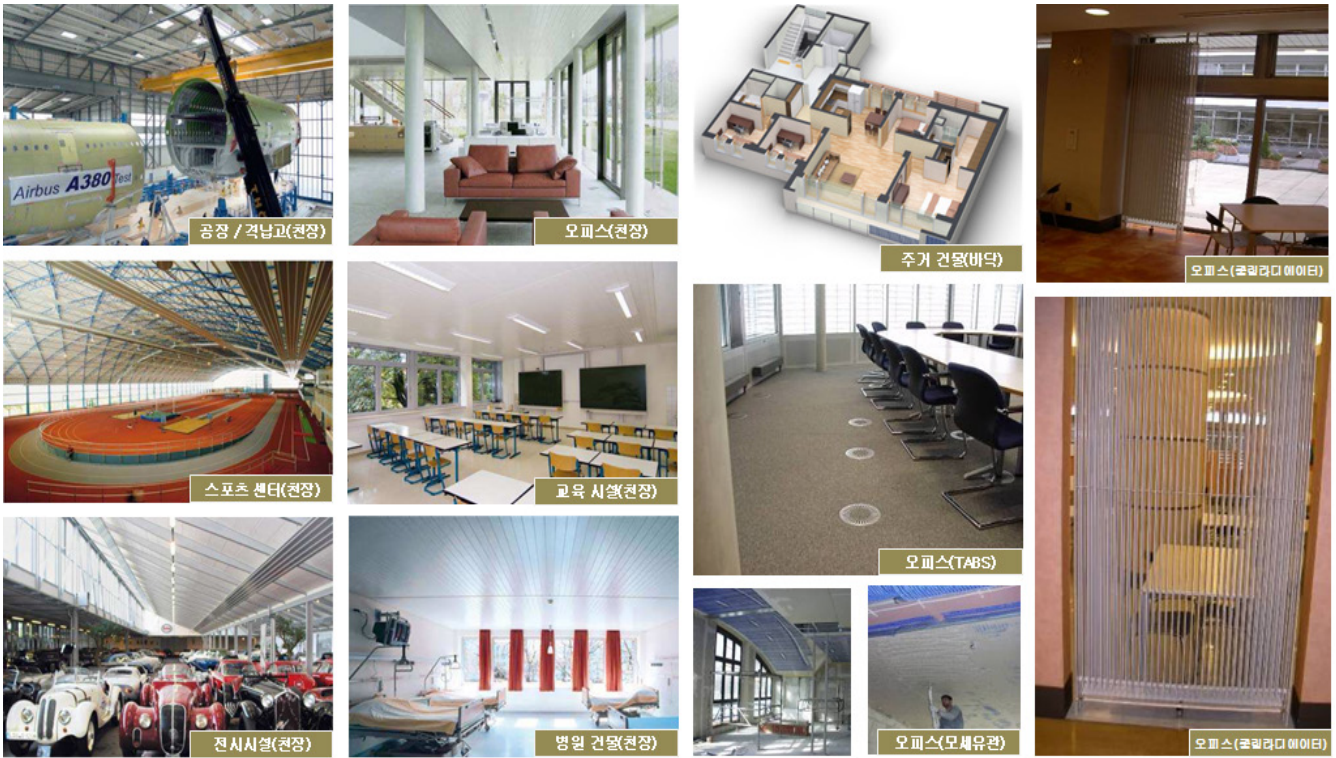
\* 건물 구조체와의 물리적/열적 관계에 따른 구분

	Radiant heating & cooling panels	Embedded surface heating & cooling systems	Thermally active building systems (TABS)
형태			
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 건물의 구조체(slab)와 물리적으로 분리되어 있어 별도 시공</li> <li>· 건물의 구조체와 열적으로 분리(단열)</li> <li>· 일반적인 천장 복사냉난방 패널로 제품의 형상과 치수가 다양</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 건물의 구조체(slab) 위 또는 아래와 물리적으로 통합</li> <li>· 건물의 구조체와 열적으로 분리(단열재 활용)</li> <li>· 기존의 바닥 복사냉난방 시스템과 같은 유형으로 배관 매설형</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 건물 구조체(slab) 내부에 물리적으로 통합</li> <li>· 건물의 구조체와 열적으로 통합</li> <li>· 건물 구조체(slab)에 배관을 매설</li> </ul>

- 복사 표면의 위치에 따른 구분



### ◎ 복사냉난방 적용 사례



[복사냉방 시스템이 적용되는 건물의 유형]

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. 김병선, 김정태, 김근, 변운섭, 이수연, 정종림, 조춘식, 2015, 건축설비시스템, 기문당.
2. 서승직, 2021, 친환경을 고려한 건축설비계획, 일진사.
3. ASHRAE, 2020, ASHRAE Handbook 2020 – HVAC Systems and Equipment, ASHRAE.
4. DOE, 2002, Energy Consumption Characteristics of Commercial Building HAVC Systems : Volume III, Energy Savings Potential, DOE.
5. Jan Babiak, Bjarne W. Olesen, Dusan Petras, 2007, Low temperature heating and high temperature cooling, REHVA.
6. Kiel Moe, 2010, Thermally active surfaces in architecture, Princeton Architectural Press.

## B.3

## 고효율 보일러 설비 기술

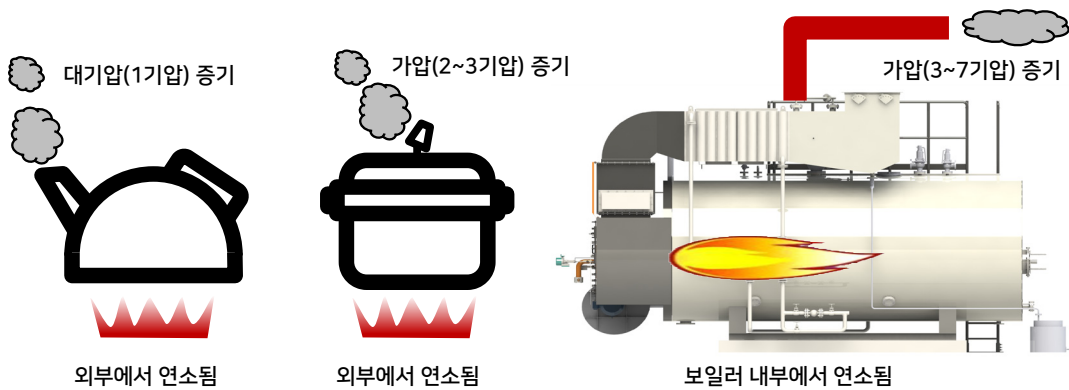
## 교육 목표

고효율 보일러 설비  
기술

- \* 단위, 에너지, 동력 등 열과 관련된 기초 항목 이해
- \* 가정용, 산업용, 발전용 보일러 비교
- \* 보일러를 구동하기 위한 연소에 대한 기초 지식 이해
- \* 연료 발열량에 대한 기초 지식을 습득
- \* 보일러 효율 계산 방법에 대한 이해
- \* 가정용, 산업용 보일러 구조에 대한 기초적인 지식을 습득
- \* 국내외 가정용보일러 운전 기술 소개
- \* 난방기 통합 제어 기술(구글 Nest) 기술 소개
- \* 미래 무탄소보일러 기술 소개

## 1 보일러 관련 기초 지식

## ◎ 증기보일러 - 산업용 보일러에서 사용



### ◎ 열에너지 - 에너지 정의와 단위

- 에너지: 일을 할 수 있는 능력: J (N/m), 1N의 힘으로 1m 이동
- 1J ~ 공기 1 kg을 1°C 올리는데 필요한 에너지
- 1kcal ~ 14.5°C 물 1kg을 1°C 올리는데 필요한 에너지 = 4.187 J
- 사용 예

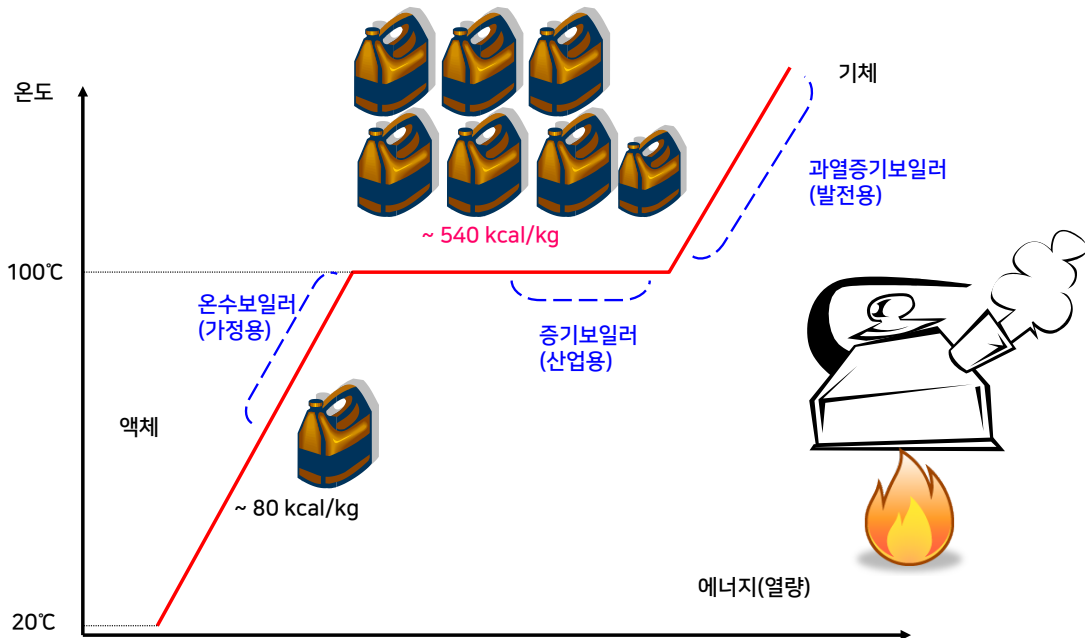
- LNG 발열량 ~ 10,300 kcal/Nm<sup>3</sup>

- LNG 1Nm<sup>3</sup>

물 1000L에 대해 10°C 온도를 올릴 수 있음

물 200L에 대해 50°C 온도를 올릴 수 있음

물 19L 100°C에 대해 모두 수증기로 만들 수 있음



### ◎ 열에너지 - 동력 정의와 단위

- 일률 (동력, power, 전력)
- W(watt) = J/s : 1초당 1J의 일을 할 때.
- 860 W = 1 kcal/h
- 아파트 태양광 ~ 0.3kW

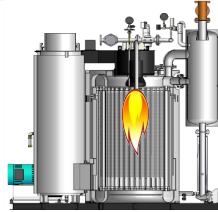
종류	용량 범위	종류	용량 범위
가정용보일러	15, 20, 30 kW	당진화력발전소 (석탄화력)	500MW 8기, 1,020MW 2기 총 6,040MW
산업용보일러	200, 600, 1,000kW 2, 5, 10, 20 MW	판교 열병합발전소 지역난방, 복합발전	78MW(GT) + 68MW(ST) 총 146MW
		한빛 원자력발전소	1,000MW 6기 총 5,900MW



귀뚜라미보일러



대림로얄ENP



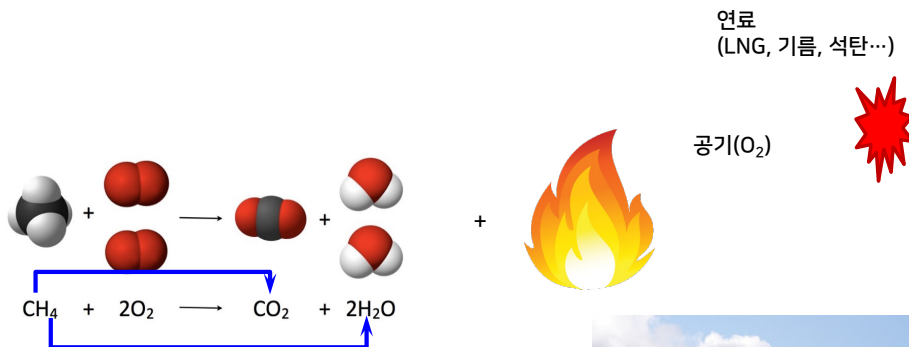
부스타보일러



지역난방공사

### ◎ 연소 - 연소와 필요요소

- 연소 (燃燒)
- 물질이 산소와 화합할 때에, 많은 빛과 열을 내는 현상.
- 연료(가연물), 산소(공기), 열(발화원) 등 3가지 요소가 동시에 있어야만 연소가 이루어질 수 있어 이를 '연소의 3요소'라고 함



<https://www.proprofs.com/discuss/q/392978/nitrogen-combines-oxygen-atmosphere-during-lightning-flashes>

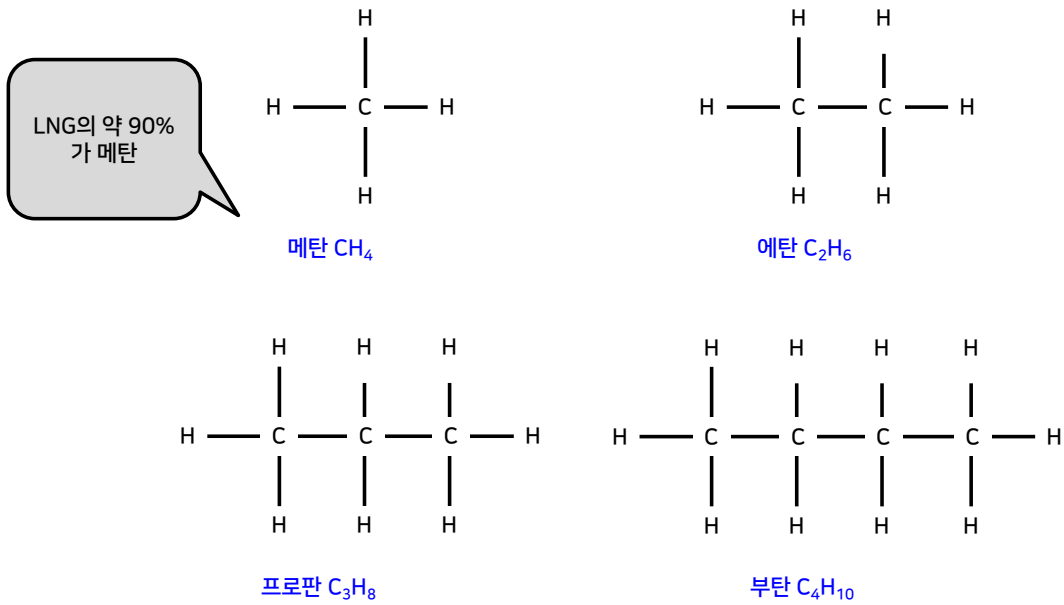
아주 잘 연소되면 **CO2**와 **물**만 나옴.

- 겨울철 자동차 배기구에 물
- 지역난방 플랜트 습증기

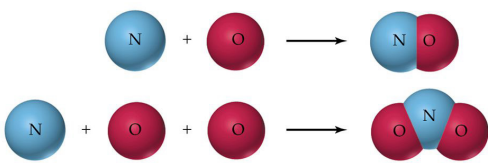


newstomato

## ◎ 연소 - LNG 구성 성분



## ◎ 연소 - NO<sub>x</sub> 생성 반응



- \* Thermal NO<sub>x</sub>
  - 대기중 질소 (78%)
  - 고온 연소중 반응
  - LNG NO<sub>x</sub> 발생의 대부분
  - 기타 연소에서도 발생

- \* Fuel NO<sub>x</sub>
  - 연료중 질소 함량
  - 석탄, 중유, 목재 펠릿

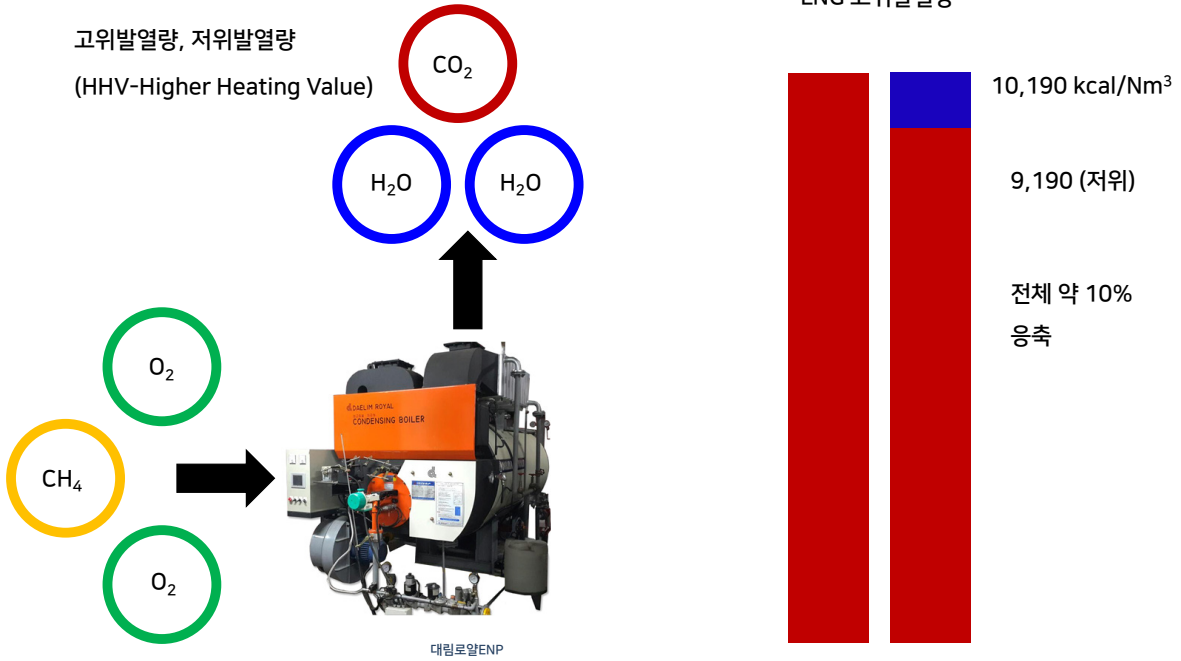
<http://slideplayer.com/slide/1660176/>

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. 귀뚜라비 보일러 <https://krb.co.kr/>
2. 대림로얄이앰피 <http://www.dlroyal.co.kr>
3. 부-스타 <https://booster.co.kr/>
4. 한국지역난방공사 <https://kdhc.co.kr>
5. <https://www.proprofs.com/discuss/q/392978/nitrogen-combines-oxygen-atmosphere-during-lightning-flashes>
6. <http://slideplayer.com/slide/1660176/>

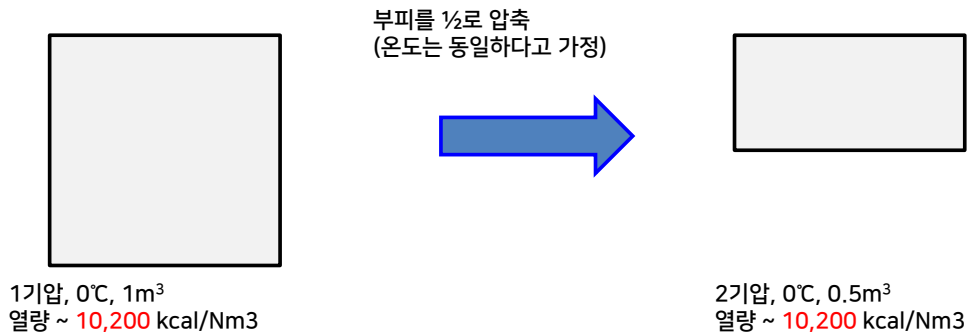
## 2 보일러 열효율, 가정용 보일러 기술

### ◎ 연료 발열량 - 발열량 정의와 단위



### ◎ 연료량(표준유량) - 표준유량 정의

- 동일한 량(무게)의 기체에 압력을 높이면 부피가 줄어듦 (LNG는 기체상태로 공급이 됨)
- 보일러에 공급되는 정확한(표준적인) LNG 공급량을 정하기 위해 표준상태를 정의함
- 표준 부피 : 1기압, 0 °C



◎ 연료량(표준유량) - 보일러 사용 연료량 계산



잘못된 계산

LNG 32 m<sup>3</sup> (30°C, 1.03기압)

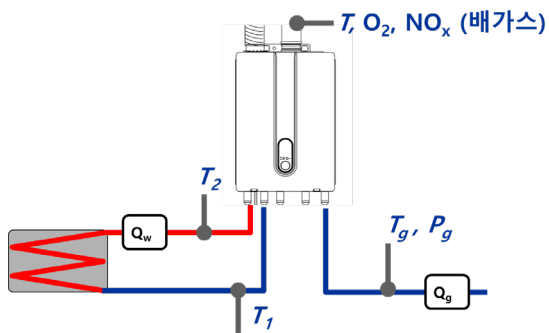
사용 열량 ≠ 32 m<sup>3</sup> x 10,170 kcal/Nm<sup>3</sup> = 325,440 kcal

LNG 32 m<sup>3</sup> (30°C, 1.03기압) = 30 Nm<sup>3</sup> (0°C, 1.0기압)

사용 열량 = 30 Nm<sup>3</sup> x 10,170 kcal/Nm<sup>3</sup> = 305,110 kcal

$$\frac{PV}{T_o} = \frac{PV}{T} \quad V_o = \frac{T}{P_o} \frac{PV}{T}$$

◎ 보일러 효율 - 보일러 효율 계산



간접법

$$\begin{aligned} \text{효율} &= \frac{\text{유효 에너지}}{\text{투입 에너지}} \\ &= 1 - \frac{\text{손실 에너지}}{\text{투입 에너지}} \end{aligned}$$

직접법

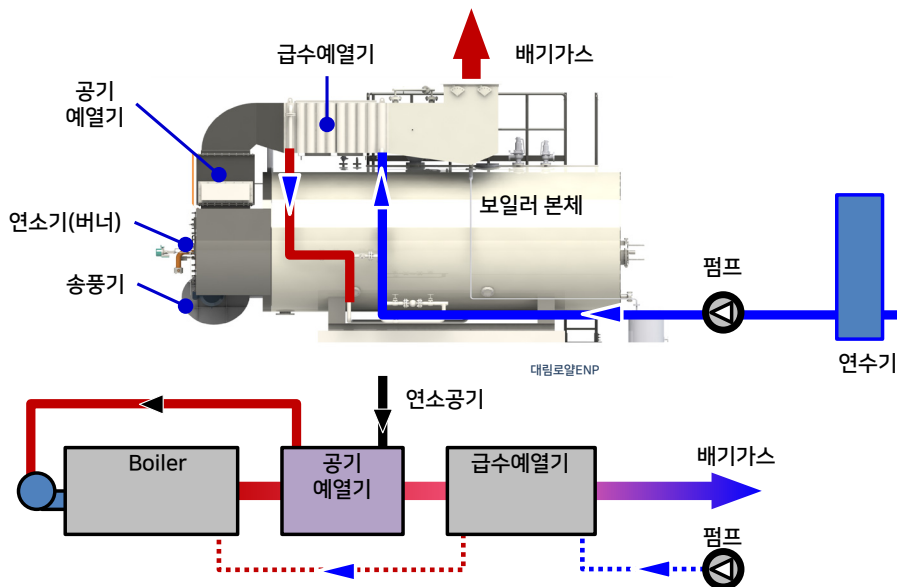
$$\text{효율} = \frac{m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)}{Q_g \cdot \text{HHV}} = \frac{m \cdot (h_2 - h_1)}{Q_g \cdot \text{HHV}}$$

모델명	2S/27K	2S+/32K
구분	콘덴싱	콘덴싱
에너지 소비 효율 등급	1등급	1등급
난방효율(전부하) *단위: %	FF: 87.6 / 97.2	FF: 88.2 / 97.9
난방효율(부분부하) *단위: %	FF: 97.4 / 108.1	FF: 97.3 / 108.0
사용연료	도시가스(LNG 13A) / LPG	도시가스(LNG 13A) / LPG

모델명	13K	16K
구분	일반형	일반형
에너지 소비 효율 등급	4	4
난방효율(전부하) *단위: %	FF: 81.6 / 90.6	FF: 81.5 / 90.5
난방효율(부분부하) *단위: %	FF: 82.2 / 91.2	FF: 82.2 / 91.2
사용연료	도시가스(LNG, 13A), LPG	도시가스(LNG, 13A), LPG

경동나비엔

### ◎ 산업용 보일러 - 산업용 보일러 기본 구조



## ◎ 국내 가정용 보일러 기술 - 대기관리권역법

- 개별 주택·아파트 등에 온수 및 난방을 위해 40~80℃ 정도의 온수를 만드는 설비
- 대부분 LNG를 사용하고, LPG(액화석유가스, Liquefied Petroleum Gas), 난방유(액체) 또는 목재연료 등을 연료로 사용함
- 70~110m<sup>2</sup>(20~30평형) 아파트 약 15~30kW (13,000~25,000kcal/h)급 LNG 보일러가 많이 사용됨
- 25kW(20,000kcal/h)급 LNG 보일러는 1시간에 약 2Nm<sup>3</sup>의 LNG를 사용함

### < 대기관리권역법에 따른 가정용 보일러 심사 기준 >

항 목		1종 기준	2종 기준	
			기체연료	액체연료
배출 가스	NOx	20(0) ppm 이하	40(0) ppm 이하	80(0) ppm 이하
	CO	100(0) ppm 이하	200(0) ppm 이하	150(0) ppm 이하
열효율(난방)		92% 이상	81% 이상	84% 이상

환경부



#### 보일러

- 콘덴싱 가스보일러
- 일반 가스보일러
- 콘덴싱 기름보일러
- 일반 기름보일러
- 전기보일러

### 나비엔 콘덴싱으로 시작하는 절약

경동나비엔

1년 365일 내내 사용하는 온수, 그리고 한 번 구매하면 10년 이상 사용하는 보일러니까, 에너지 소비효율 1등급의 친환경 콘덴싱 보일러가 가스비 부담도 줄여줍니다.

가스 사용량 최대 **약 19%**<sup>1)</sup>

가스비 연간 최대 **약 44만원**<sup>2)</sup> 절감

1) 일반 노후 보일러와 친환경 보일러 1대당 도시가스 사용량 비교  
 - 보일러 리력의 연간 난방 연료 사용량과 연간 온수 사용량 산정 후 보일러 유형별 평균 연료 사용량 도출  
 - 각 가정별 연료 사용량, 난방 방식, 난방 용도 등에 따라 차이가 있음  
 2) 일반 노후 보일러와 친환경 보일러 1대당 도시가스 요금 비교  
 - 가정용 LNG 소비자 요금 1064.89원/㎥ 적용(23년 1월 기준)  
 - 각 가정별 연료 사용량, 난방 방식, 난방 용도 등에 따라 차이가 있음  
 (출처: 친환경 보일러의 온실가스 저감 효과 및 경제적 편익 분석, 환경부, 한국환경산업기술원 '21년 11월 / 환경부 보도자료 '23년 2월)



경동나비엔



귀뚜라미보일러



롯데보일러



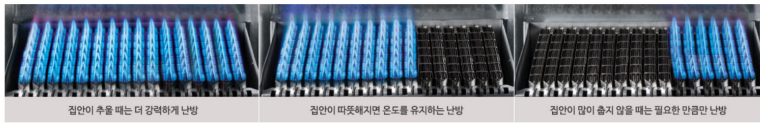
대성셀텍보일러



린나이보일러

## ◎ 국내 가정용 보일러 기술 - 보일러 기본 구조

- KS B 8109 가스 온수 보일러
- 70kW이하 일반 가정용 가스 온수 보일러 대상
- (~ 60,000 kcal/h)



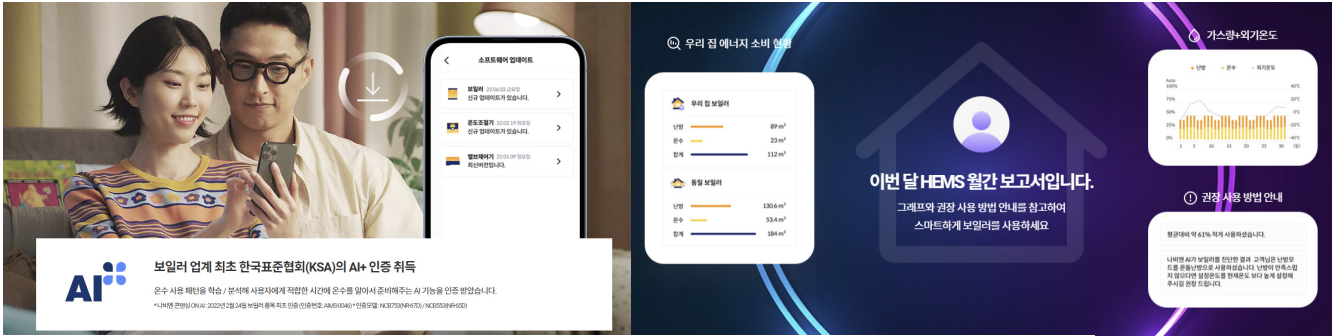
린나이보일러

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. 경동 나비엔 <https://www.kdnvien.co.kr/>
2. 귀뚜라비 보일러 <https://krb.co.kr/>
3. 린나이 보일러 <https://www.rinnai.co.kr/>
4. 롯데 기공 <https://www.lottelem.co.kr/>
5. 대성셀틱에너지스 <https://www.celtic.co.kr/>
6. 대림로얄이앤티피 <http://www.dlroyal.co.kr>
7. 대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법 시행규칙, 별표 5

### 3 국내외 가정용 보일러 기술, 미래 보일러 기술

#### ◎ 국내 가정용 보일러 기술



**AI+** 보일러 업계 최초 한국표준협회(KSA)의 AI+ 인증 취득  
 온수 사용 패턴을 학습 / 분석해 사용자에게 적합한 시간에 온수를 알아서 준비해주는 AI 기능을 인증받았습니다.  
\*내년 1월 1일부터 2022년 12월 31일까지 일부 제조 인종(인종번호: AM65048 / 인종모델: NC8750N470 / NC8503N470)

**우리 집 에너지 소비 현황**

구분	1년	전월
우리 집 보일러	89 m³	22 m³
합계	112 m³	112 m³

**이번 달 HEMS 활간 보고서입니다.**  
 그래프와 권장 사용 방법을 참고하여 스마트하게 보일러를 사용하세요

**가스량+기온도**

① 권장 사용 방법 안내  
 평균에 약 63% 적게 사용하였습니다.  
 내비경 사용 보일러를 이용한 물과 고온의 난방을 드물게 운영함으로써 사용되었습니다. 난방용 온수를 적당히만 사용하면 온도를 낮게 유지하여 온수를 절약할 수 있습니다.

미세먼지의 주 원인인 질소산화물(NOx) 배출량

**NO<sub>x</sub>**  
**79%**

친환경 인증 기준 적합 / 열효율 92% 이상 / 환경부 NOx 35mg/kWh / CO 100ppm 이하  
 (국립환경과학원, 2013 국가 대기오염 물질 배출량 / 서울연구원, 2013 건물 난방용 연소기기의 대기오염물질 관리연구)

일반 보

**온수 대기 시간**  
 최대 **100초** 단축(약 93%)

● 온수레디 시스템 가동 시: 약 7초  
 미 가동 시: 최대 110초

**버려지는 물의 양**  
 연간 최대 **20톤** 절약(약 94%)

● 온수레디 시스템 가동 시: 약 0.8L / 연간 1.1톤  
 ● 미 가동 시: 약 14.55L / 연간 21톤

경동나비엔

**자연을 생각하는 예혼합 방식의 eco 매탈하이버 저녹스 버너**  
 특수 매탈하이버 버너의 안정적인 표면 연소를 통해 낮은 질소산화물(NOx)을 배출하는 저녹스 국내 기준 1등급의 친환경 보일러입니다. 외부 환경의 영향을 받지 않는 최적의 가스 공급으로 가스비 절감 뿐 아니라, 안정적인 표면 연소를 통해 NOx 발생을 줄인 친환경 기술입니다.

**조용하고 쾌적한 운전이 가능한 BLDC 송풍기**  
 고정압, 저전압으로 운전되어 소음을 감소시키며 공급 전원이 낮아도 문제없이 작동합니다.

**온수 판형 블러터형 모듈 타입으로 일정한 온도의 온수 공급**  
 순간 열교환 능력 향상을 통한 온수 온도 편차를 줄여 소량의 온수에도 온도 변화가 거의 없는 안정적인 온수 사용이 가능한 보일러입니다.

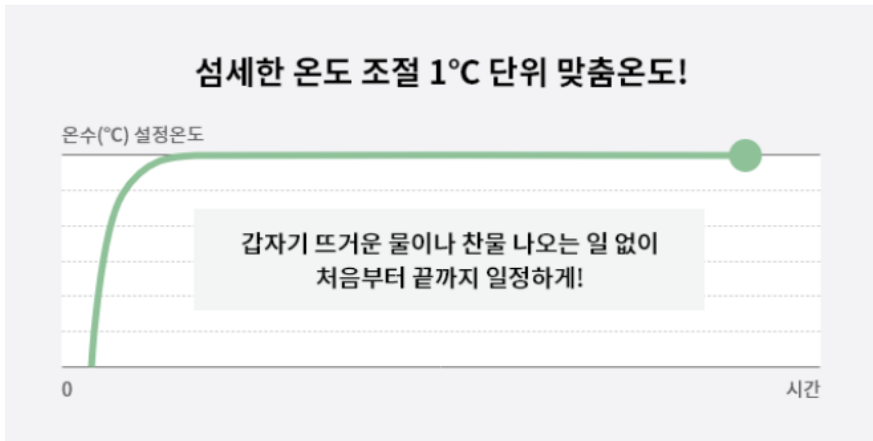
**열효율이 높아 가스비가 절약되는 하향연소방식의 일체형 하이핀 열교환기**  
 기존 한열·잠열 분리형에서 압력 손실을 줄인 알루미늄 하이핀 연관 일체형(현열+잠열) 열교환기를 에너지 소비효율 1등급을 실현하였습니다.

넓은 연소 범위로 소량의 온수에도 일정한 온도의 온수를 안정적으로 공급

**1C단위의 맞춤 온도 제어!**  
 정밀한 제어로 빠르고 풍부한 맞춤 온수 공급

섬세한 불꽃조절기술로 소량의 온수에도 온도 변화가 거의 없는 안정적인 온수 사용과 1°C 단위의 맞춤온도가 가능합니다.

귀뚜라미 보일러

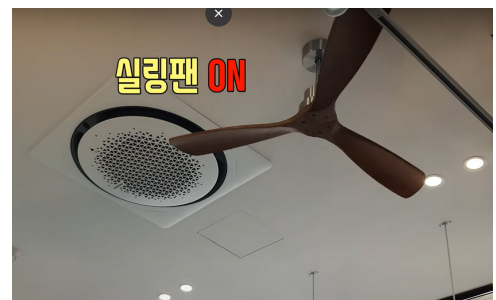


## 나에게 맞춤 온수 온도로 편안하게

1°C 온수온도 조절로 내가 좋아하는 온도로  
온수를 사용할 수 있습니다.

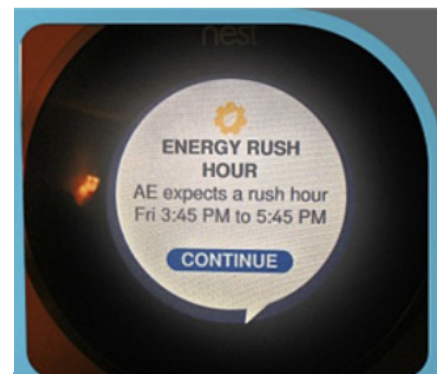
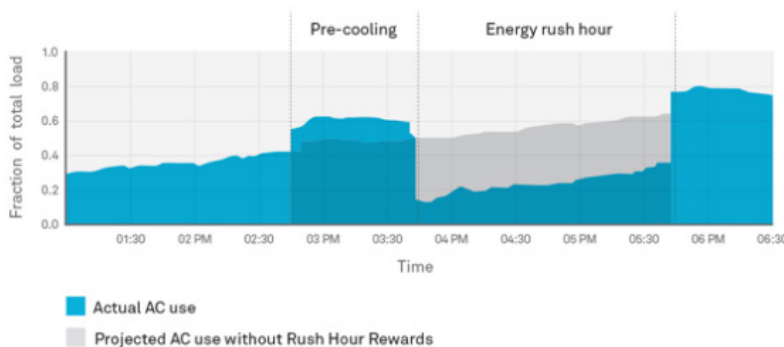
린나이 보일러

### ☉ 난방기기 제어(구글 Nest) - 난방기기 통합 제어



Youtube.com (Blindmaster오부리)

- Auto Schedule
  - 사용자가 어떤 온도를 편안하게 여기는지 파악, 자동스케줄 생성
  - 계절이 변하면 냉난방 스케줄도 자동 조정
- Auto Away
  - 사람의 움직임을 감지 → 자동 에너지 절약 모드
  - 이 기능은 90%의 집에서 동작
  - 기기가 잘 사용하지 않는 방에 있어도 동작
  - 원거리 근거리 동작 감지 센서를 조합
- Air Wave
  - 에어컨을 지능적으로 활용해서 사용 요금을 절약
  - 에어컨의 냉방 장치 작동을 중지시 송풍 → 찬바람
  - 이 찬 바람으로 냉방비를 절약
  - 실내 습도가 낮을 때 대략 5~10 분 정도 추가 냉방 실시
- System Match
  - 연결된 냉난방 장치를 감지 → 적절한 에너지 절약 기능
  - 일반적으로 미국에서 난방은 온풍기 사용.
  - 히트 펌프 상황에 맞게 여러 장치를 조합
  - 더 낮은 비용으로 난방
- The Nest Leaf
  - 녹색 나뭇잎은 사람들이 에너지를 절약
- Energy History
  - 에너지를 어떻게 사용했는지 사용 내역
  - 네스트 에너지 리포트를 이용해서 한 달의 에너지 사용 내역을 확인
- Rush Hour Rewards
  - 한여름, 한겨울 등 전기를 일시적으로 많이 사용하는 시점
  - 전력 사용량 줄여 혜택을 주는 서비스
  - 전력 수급에 문제가 예상되는 시점
    - 경보 발령시간 전에 미리 가동
    - 비상시 전력 사용량



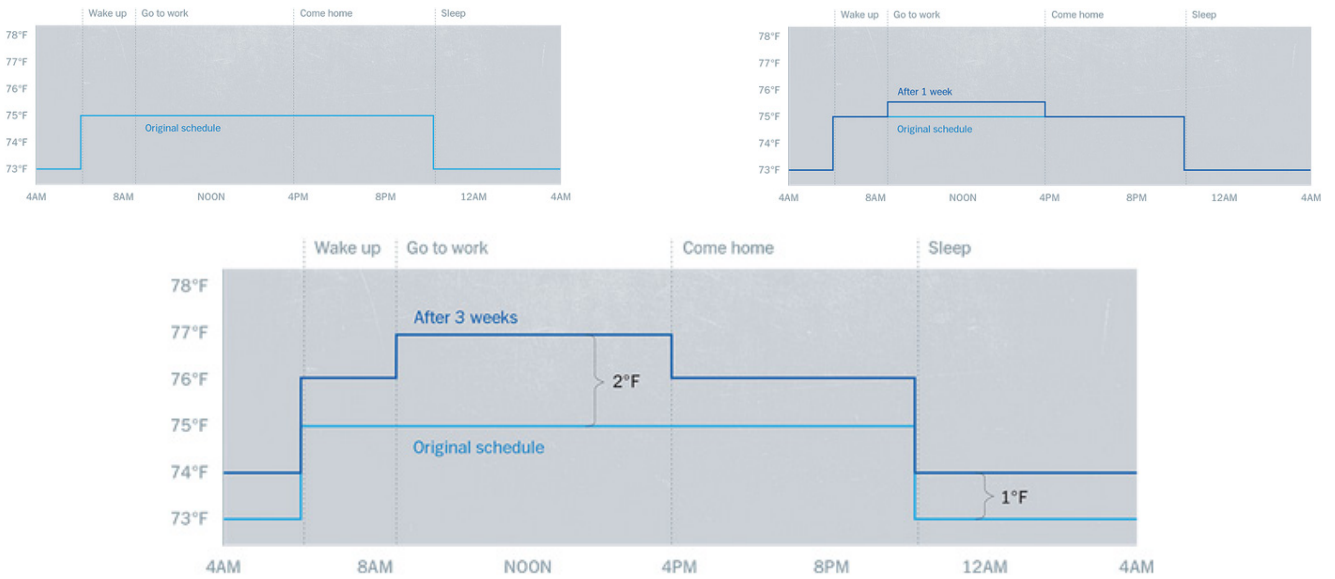
● Seasonal Savings

- 계절 절약 프로그램

- 이 프로그램은 현재 학습된 온도 조절 패턴을 불편을 느끼지 않을 정도로 자동 조절해서 연료비를 절약하게 해주는 서비스

- 아래 그림에는 3주에 걸쳐서 조금씩 온도를 높임

- 사람이 거의 느끼지 못하는 사이 냉난방을 최적화



◎ 향후 보일러 기술 - 무탄소 보일러

● 전기 보일러 - 재생에너지 간헐성, 변동성 특성으로 초과되는 전력을 전기보일러를 사용하여 열에너지로 저장 및 사용

● 무탄소 연료 - 연소시 이산화탄소가 발생하지 않는 수소(H<sub>2</sub>), 암모니아(NH<sub>3</sub>) 등을 연료로 하는 보일러

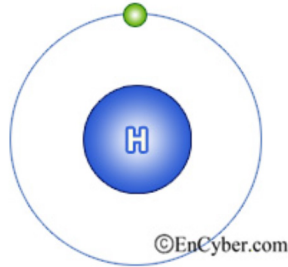
● H<sub>2</sub> + 1/2 O<sub>2</sub> = H<sub>2</sub>O 수소 보일러는 연소시 물만 생성됨

(다만 높은 연소열로 인한 NO<sub>x</sub>(질소산화물)이 발생할 수 있음)

	kcal/kg		kcal/Nm <sup>3</sup>	
	고위발열량	저위발열량	고위발열량	저위발열량
LNG (대부분 CH <sub>4</sub> )	13,300	12,000	10,300	9,300
Hydrogen (H <sub>2</sub> )	33,890	28,670	3,050	2,580

## ◎ 수소 연소 - 수소 보일러

수소(Hydrogen)  
원자번호:1  
1



Hydrogen(1766 케번디시)

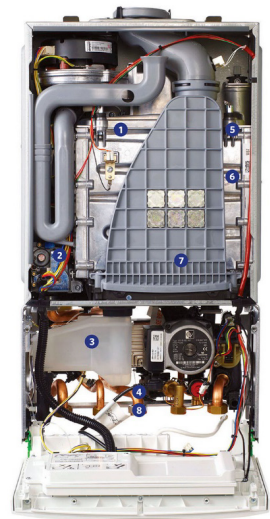
- 양성자1, 전자1



'We can reuse 135,000 miles of gas pipework'  
(UK, upgrade to polythene pipes)

- LNG + H<sub>2</sub> (20%) : 기존 시스템
- LNG + H<sub>2</sub> (20%이상)  
: Ignition, 연소시스템
- : 고효율화, 응축(H<sub>2</sub>O) 시스템

상온에서 무색, 무취, 무독성가스  
가볍고, 금속 부식 및 운반이 어려움(200 ~700bar) (넥쏘 수소차 ~ 5kg)  
누출시 폭발사고



Bosch

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. 경동 나비엔 <https://www.kdnvien.co.kr/>
2. 귀뚜라비 보일러 <https://krb.co.kr/>
3. 린나이 보일러 <https://www.rinnai.co.kr/>
4. 구글 NEST <https://www.google.com>
5. 구글 NEST <https://friendbahn.tistory.com/5673513>
6. 유튜브 Blindmaster오부리 <https://www.youtube.com/@blindmaster4641>
7. Worcester-Bosch <https://www.worcester-bosch.co.uk/hydrogen>

# B.4

## 히트펌프 기술

### 교육 목표

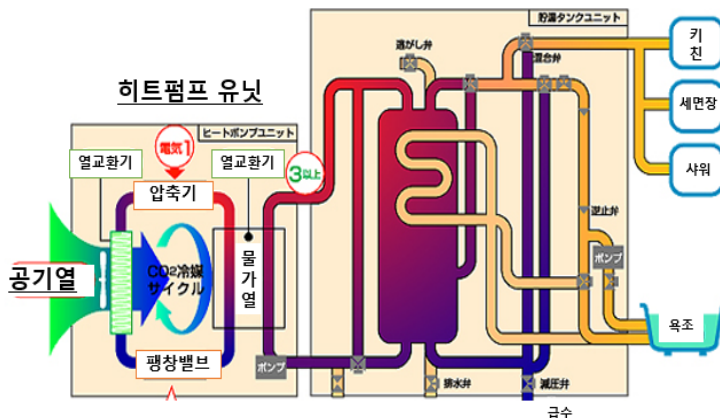
#### 히트펌프 기술

- \* 히트펌프의 개념 및 원리를 이해한다.
- \* 냉동사이클의 원리 및 ph 선도를 이해한다.
- \* ph 선도를 이용하여 냉방 및 난방 능력, COP를 구할 수 있다.
- \* 히트펌프의 구성과 각 기기의 역할을 이해한다.
- \* 히트펌프의 성능인자를 이해한다.
- \* 히트펌프의 응용분야를 이해한다.
- \* 히트펌프의 시장 및 기술 동향을 이해한다.

## 1 히트펌프의 개념 및 종류

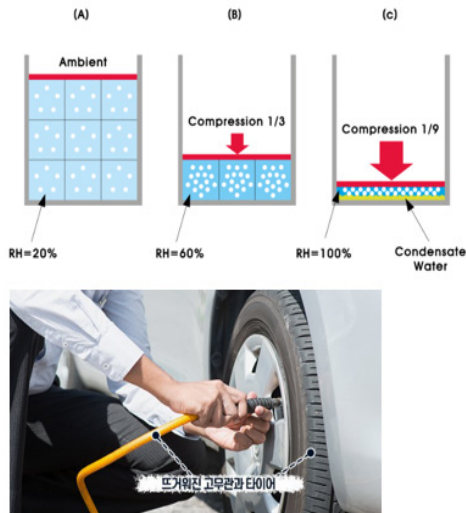
### ◎ 히트펌프의 개념 및 종류

- 히트펌프(Heat Pump) : 냉매의 발열 또는 응축열을 이용해 저온의 열원을 고온으로 전달하거나 고온의 열원을 저온으로 전달하는 냉난방장치



1의 전기에너지 + 2의 공기열 = 3의 냉방/난방/급탕열

● 압축 - 응축

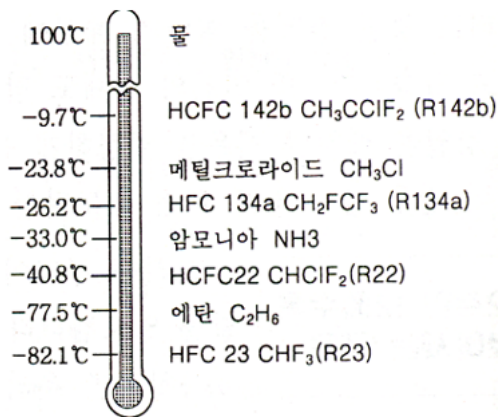


\* 팽창 - 증발



출처: <http://hscomptech.com/>, 생활속과학이야기, 휴비스

● 냉매: 낮은 온도에서 증발하여 증발잠열을 빼앗아 열을 운반하는 역할을 하는 액체



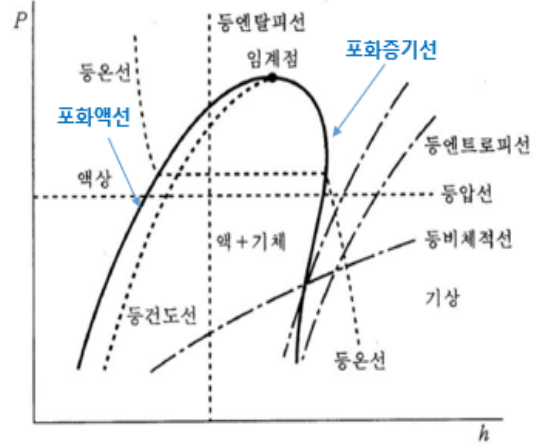
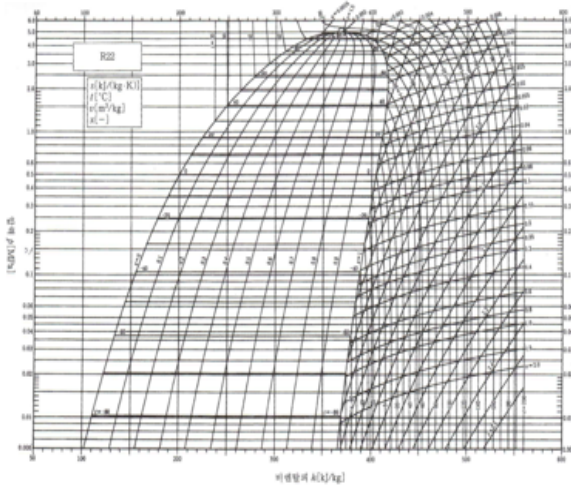
- 낮은 비등점을 가질 것
- 기화에 따른 높은 잠열
- 압축에 의해 쉽게 액화될 것
- 상태가 안정되고 독성이 없으며 부식성이 없을 것
- 냉매의 종류: 프레온, 암모니아( $\text{NH}_3$ ), 탄산가스( $\text{CO}_2$ ), CFCs(chlorofluorocarbons), HCFCs(Hydro-chlorofluorocarbons)
- 히트펌프 냉매 : R410A(GWP 1,924, AR5 기준)나 R134a(GWP 1,300), R32

**표준대기압(게이지압0kg/cm<sup>2</sup>)에서 액체의 비등점**

- 히트펌프 분류
- 열원(Heat Source) 에 따른 분류
  - 물-물 히트펌프, 공기-물/물-공기 히트펌프, 지열히트펌프, 수열히트펌프, 폐열 활용 등
- 작동 원리에 따른 분류
  - 압축식 히트펌프, 흡수식 히트펌프, 열전소자 방식, 자기방식, 음-음향 방식 등
- 공급 에너지원에 따른 분류
  - 전기식 히트펌프 (EHP), 가스엔진 히트펌프 (GHP)
- 냉매에 따른 분류
  - R22, R410A, R134a, R32,  $\text{CO}_2$ , 암모니아 등

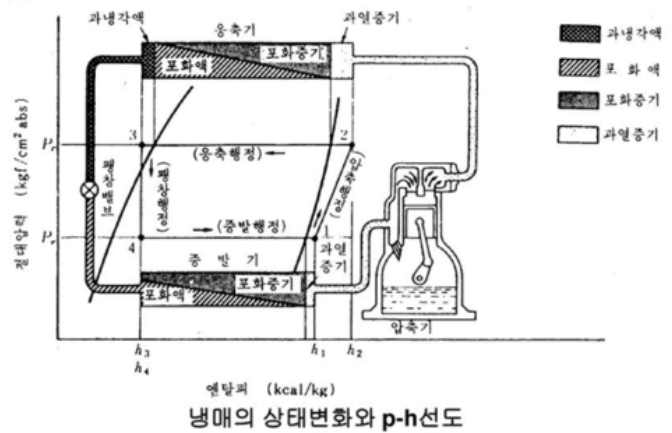
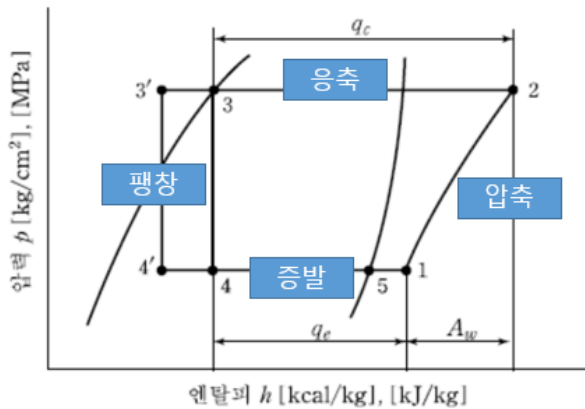
## ◎ 히트펌프(Heat Pump)의 원리와 냉동사이클

- p-h 선도: 냉동사이클에서 냉매의 열역학적 상태를 파악할 수 있는 선도 (몰리엘(Mollier) 선도)



- 1) 엔탈피: 어떤 상태에서 가지고 있는 그 물질의 총열량 (kcal/kg)
- 2) 등압선: 압력의 단위는  $\text{kg/cm}^2\text{abs}$
- 3) 포화액선: 완전포화상태의 상태점들을 연결한 선, 왼쪽부분 과포화상태, 오른쪽 부분 증기가 포함된 상태
- 4) 포화증기선: 냉매 액이 엔탈피를 얻어 충분히 활성화되어 그 압력에서 액으로의 냉매를 하나도 가지고 있지 않은 상태점들을 연결한 선. 왼쪽 부분 습증기 상태, 오른쪽 부분 과열증기 (포화증기선에 가까울수록 냉매의 건조도가 증가, 포화액선을 0, 포화증기선을 1로 잡아 사이에서의 건조한 정도를 냉매 건조도라 함)
- 5) 등비체적선: 냉매의 비체적, 즉, 냉매 1kg 당의 체적이 같은 점을 연결한 곡선
- 6) 등엔트로피선: 물체가 가진 열량을 물체의 절대온도로 나눈 값으로 물체가 열량을 잃어 버리거나 얻을 때 엔트로피의 감소 또는 증가로 나타냄. (압축기에서 냉매 가스 압축 과정을 단열 압축이라 가정하면, 엔트로피는 변화하지 않음)

- 냉동사이클은 크게 압축-응축-팽창-증발 4개의 과정으로 구분



- 1-2 압축과정: 압축기로 냉매 압축, 압축과정은 단열압축과정으로 등엔트로피 선을 따라 냉매상태 변화
- 2-3 응축과정: 고온고압 과열증기 냉각이 되면서 포화증기곡선과 만나 액으로 변화
- 3-4 팽창과정: 냉매액이 팽창밸브를 통과하면서 압력과 온도가 낮아지는 과정(교축과정)
- 4-1 증발과정: 습증기(증기25%, 액75%)가 증발을 통해 열교환을 하고 과열증기로 변화

### ⊙ 히트펌프 성능지표

#### 냉방COP

$$COP_c = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{T_L \cdot \Delta S}{T_H \cdot \Delta S - T_L \cdot \Delta S} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

#### 난방COP

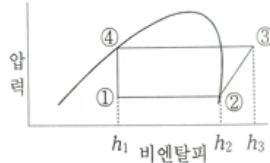
$$COP_h = \frac{Q_H}{W} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{T_H \cdot \Delta S}{T_H \cdot \Delta S - T_L \cdot \Delta S} = \frac{T_H}{T_H - T_L}$$



- 계절난방성능지표 (SCOP, Seasonal Coefficient Of Performance)
- 계절에너지효율등급 (SEER, Seasonal Energy Efficiency Ratio)
- 기간에너지소비효율 (SPF, Seasonal Performance Factor)
- 생애주기환경평가 (LCCP, Life Cycle Climate Performance)

◎ 문제 예시

다음 그림은 냉동기(응축기)의 냉각(방열)을 이용하는 히트펌프의 사이클을 나타내는 선도이다. 히트펌프의 성적계수에 대한 정의로 옳은 것은?



- ㉠  $\frac{h_3 - h_1}{h_3 - h_2}$       ㉡  $\frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_2}$   
 ㉢  $\frac{h_3 - h_1}{h_2 - h_1}$       ㉣  $\frac{h_3 - h_2}{h_2 - h_1}$

**해설**

그림에서 ②→③이 전기를 사용하는 압축과정이고, ①→②가 증발과정, ③→④가 응축과정이다. 히트펌프는 응축과정에서 발생하는 열을 이용하는 것이므로 성적계수는  $\frac{h_3 - h_1}{h_2 - h_1}$  이 된다. 한편 냉동기는 냉매가 증발하는 증발과정이 냉동능력에 대한 것이므로 성적계수는  $\frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_2}$  이 된다.

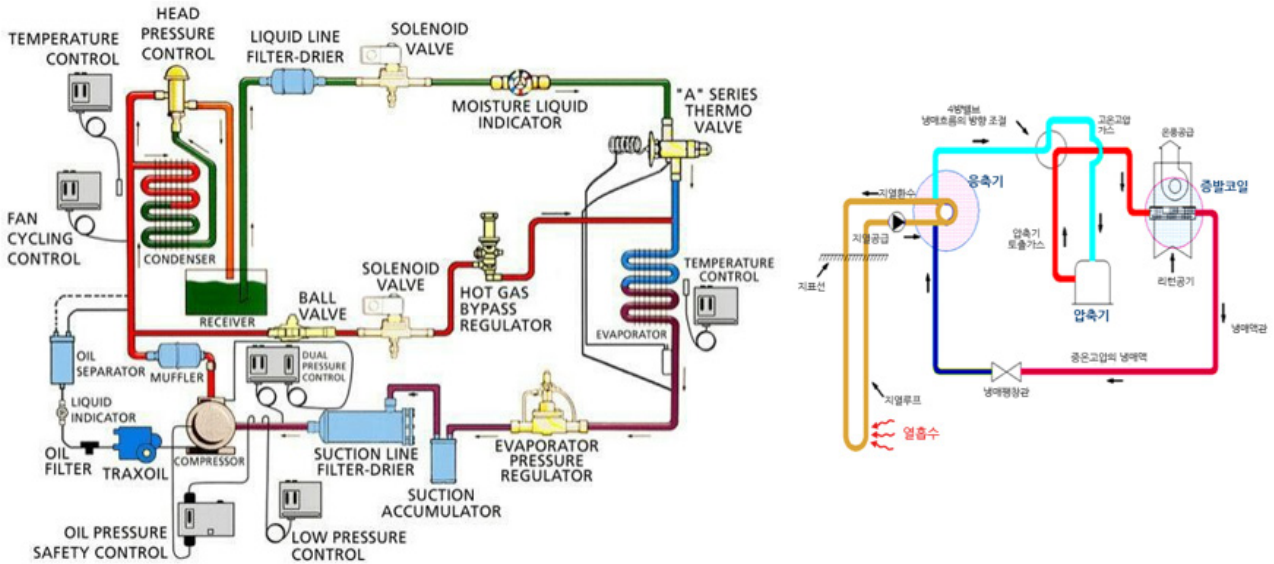
출처: 건축설비기사 필기시험문제, 크라운출판사

◎ 참고 서적 및 사이트

1. <http://hscomptech.com/>
2. 생활속과학이야기, 휴비스
3. 건축설비기사 필기시험문제, 크라운출판사

## 2 히트펌프의 구성과 성능

### ◎ 히트펌프(Heat Pump)의 구성



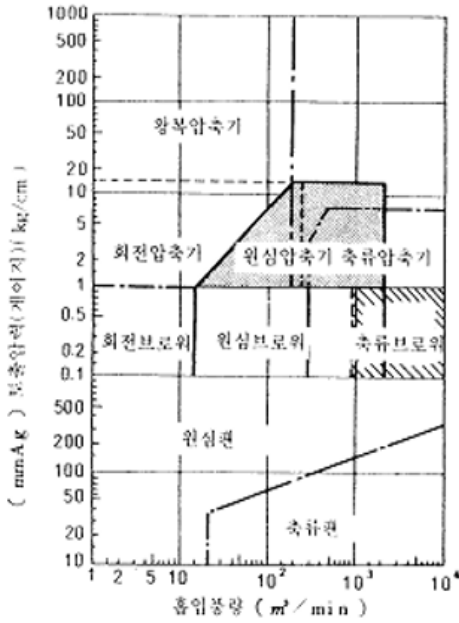
[Refrigerated Type Compressed Air Dryer Process Animation - YouTube](#)

[Scroll compressor / spiral compressor / scroll pump - How it works! \(Animation\) - YouTube](#)

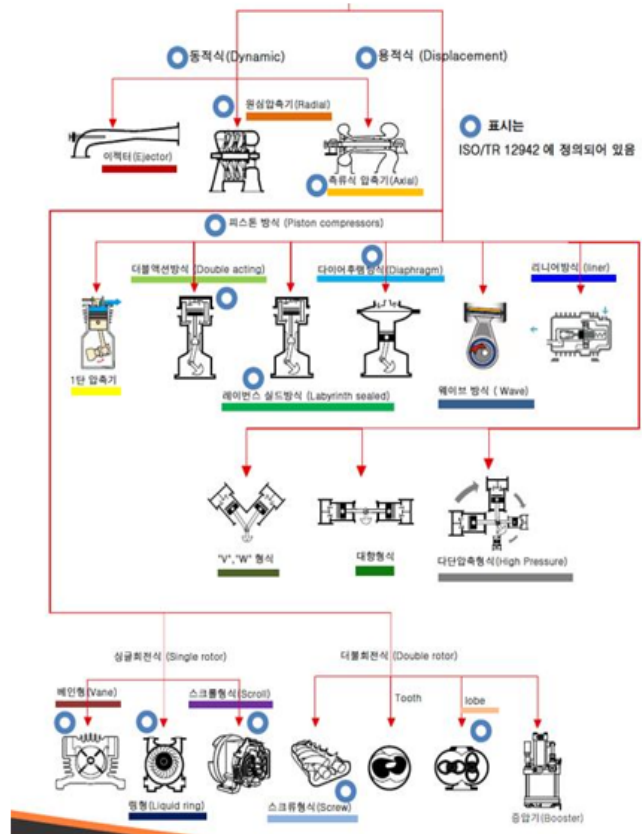
### ◎ 압축기(Compressor)



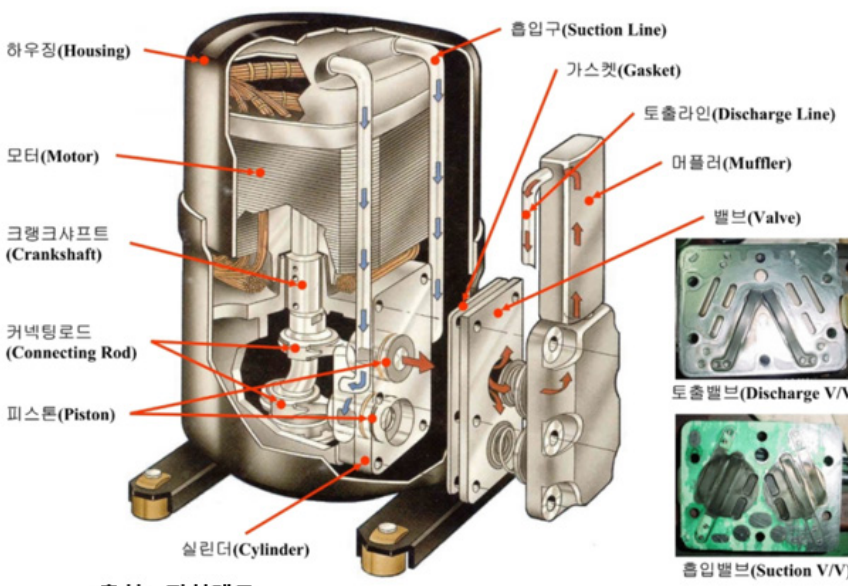
- 압축방법에 따라 체적식, 원심식으로 나뉨
  - 체적식: 왕복동식, 스크롤식, 스크류식
  - 원심식: 원심식압축기(터보, Centrifugal)
- 왕복동식: 크랭크축에 연결되어 있는 피스톤의 왕복운동에 의해 압축되는 형식
- 스크롤식: 실린더 내 회전자의 회전에 의해 압축하는 형식
- 스크류식: 2개의 스크류가 서로 맞물려 회전하면서 압축하는 형식
- 원심식: 터보압축기라고도 하며 임펠러의 고속회전에 의해 압축하는 형식 (임펠러수에 따라 1단, 2단 등으로 구분)



출처 : INCOSYS, 명성에어플러스



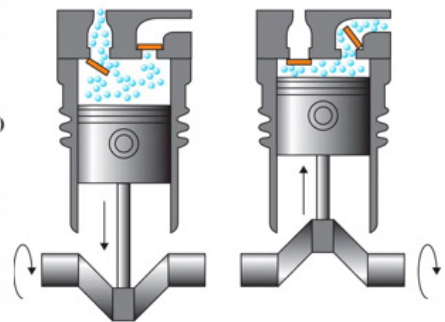
⊙ 왕복동식 압축기



출처 : 지신테크

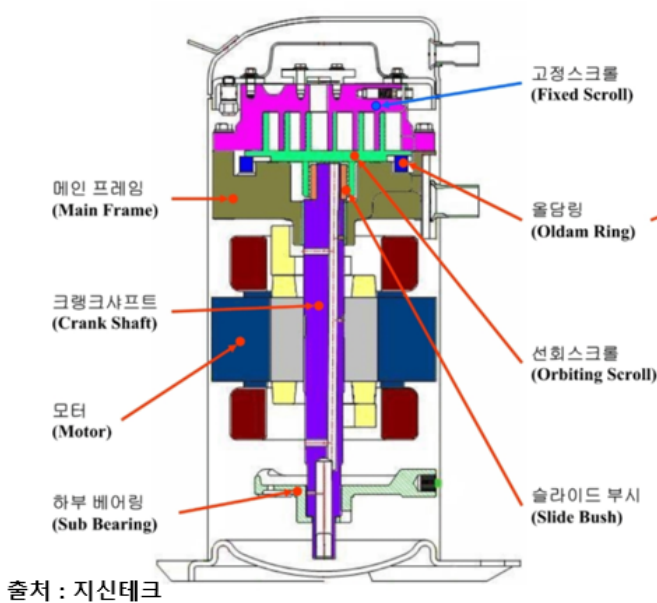
피스톤의 왕복운동으로 가스를 압축하는 방식

- ㄱ. 동적밸런스를 잡기 위해 4, 6, 8, 12기통의 짝수로 설치되어 있다.
- ㄴ. 고속회전이므로 소음이고 경량이며 설치면적이 작다.
- ㄷ. 부품의 호환성이 양호하여 수리가 용이하다.
- ㄹ. 용량제어(자동 운전)가 용이하다.
- ㅁ. 배기용량이 크다.
- ㅂ. 압축이 단속적이며 윤활유 소비량이 많다.
- ㅅ. 체적효율이 나쁘다.



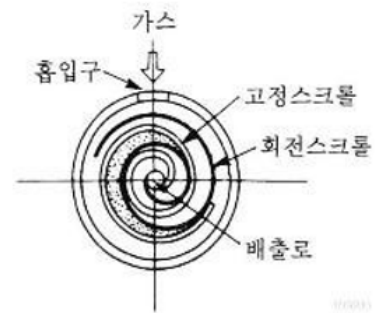
## ◎ 스크롤식 압축기

- 비교적 소형이지만, 큰 냉동 능력을 발휘하기 때문에 대형 냉동 공장에 적합.

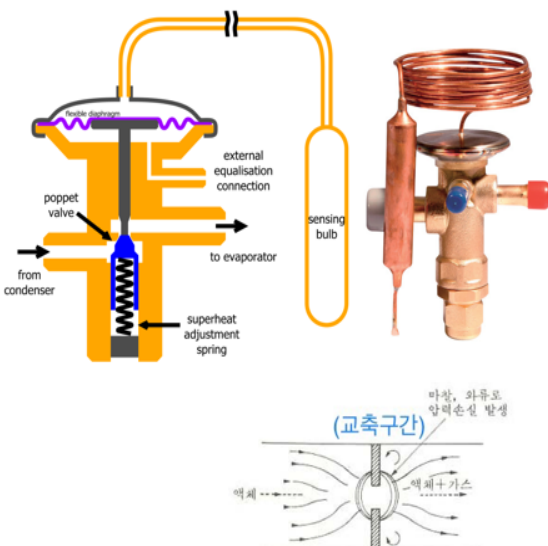


### 숫/암로터의 회전력에 의해 가스 압축

- 설치면적이 작고 중, 대용량에 적합하다.
- 고속 회전으로 소음은 크고 진동은 적다.
- 구조가 간단하여 고장률이 적다.
- 흡입밸브와 토출밸브가 없으며 역류를 방지하기 위해 체크밸브를 설치한다.
- 액압축의 우려가 적다.
- 냉매의 압력손실이 없어 체적효율이 높다.
- 운전 유지비가 많고 고장 시 고도의 기술을 요구한다.



## ◎ 팽창밸브



출처 : 위키백과, 삼화팽창밸브, Wikipedia

- 교축 과정(Throttling)
  - 흐르는 유체가 어떤 저항(밸브 or 모세관)을 만났을 때 압력이 떨어지는 과정
  - 기체가 단열 상태에서 노즐을 통과하며 팽창할 때 온도가 변하는 현상
- 줄-톰슨 계수(Joule-Thomson coefficient)
  - 교축과정 중에 일어나는 온도변화를 정량화 한 계수

$$\mu = (\partial T / \partial P)_H$$

$\mu$  : 줄-톰슨 계수

T : 온도

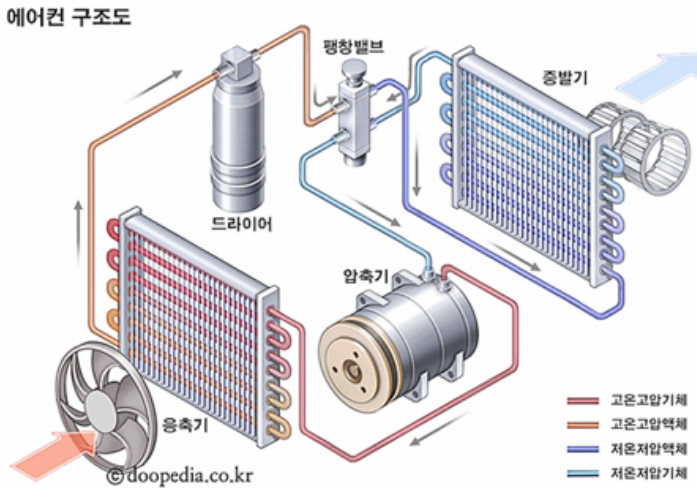
P : 압력

H : 엔탈피

줄-톰슨 계수가 양수이면 온도 감소, 음수이면 온도 상승

### ◎ 증발기/응축기

- 증발기: 액체가 증발하여 기체가 될 때 주변에서 열을 흡수하고 주변의 온도를 급격히 낮추는 장치
- 응축기: 압축기에서 보내온 고온 고압의 냉매를 응축 액화하는 장치

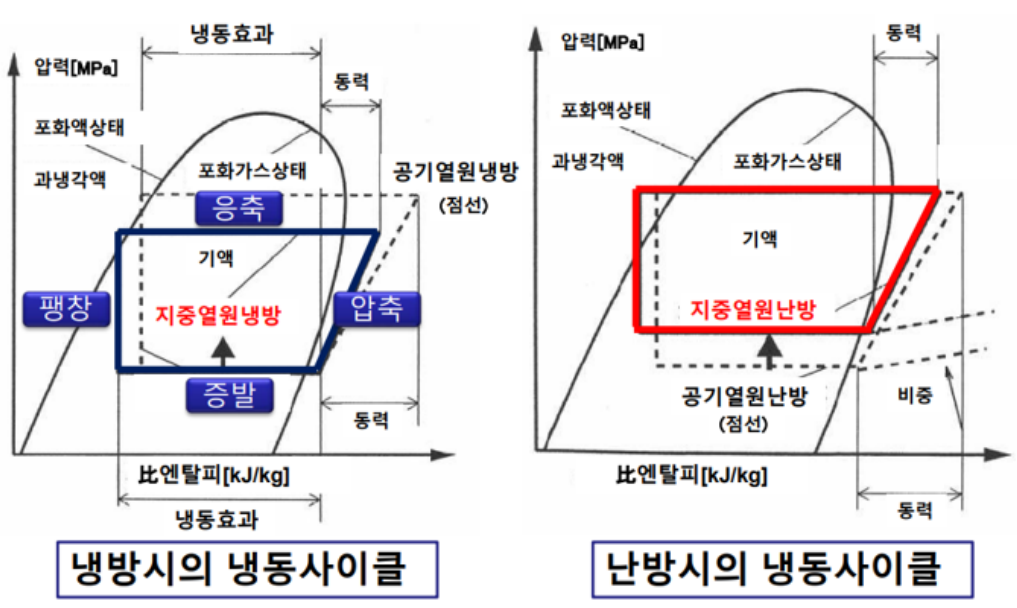


출처 : Doopedia, Carrier, www.bundyrefrigeration.com

- $Q = U (\text{총합열전달계수}) \times A (\text{면적}) \times \text{LMTD} (\text{대수평균온도차})$

### ◎ 열원 온도에 따른 히트펌프 성능 특성

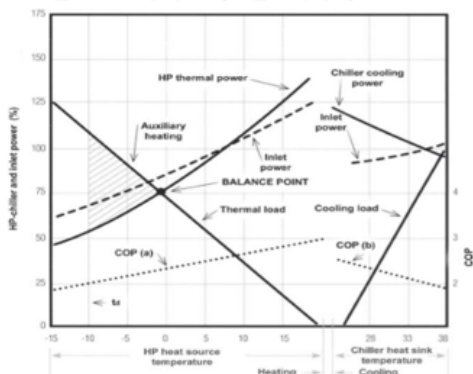
#### Mollier Diagram으로 본 지열이용의 Merit



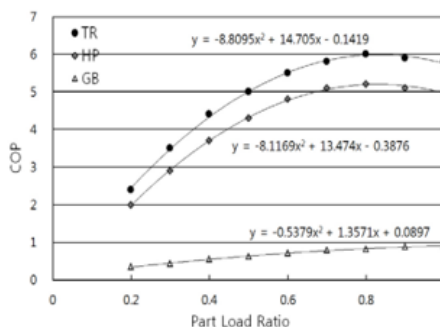
### ◎ 히트펌프 성능 특성

- 모터 구동식 히트펌프(압축식 히트펌프)
  - Heatpump의 성능계수(COP)는 열원측, 부하측 입수온도 영향을 받음
  - 냉방시 열원측 입수온도는 감소할수록, 난방시 열원측 입수온도가 증가할수록 COP가 상승됨
  - Heatpump의 COP는 부하율에 따라 영향을 받으며, 부하율 0.8에서 COP가 가장 높게 나타남

◆ 열원 온도에 따른 히트펌프 성능곡선

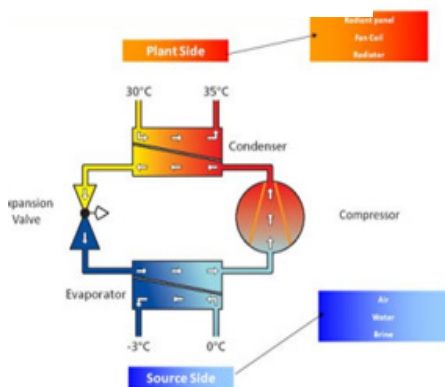


◆ 부하율에 따른 히트펌프 성능곡선

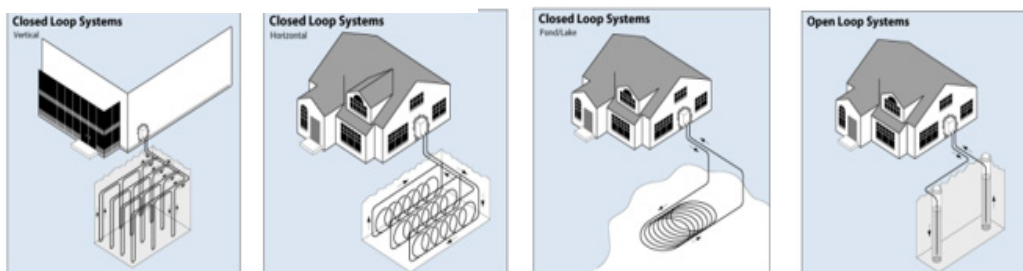


출처 : Heat pumps in refurbishment of existing buildings, Lazzarin, R., Busato, F., Noro, M., 2012, REHVA, 6  
 다단계 최적화 수법을 이용한 열원 설비 설계법에 관한 연구, 유민경, 남유진, 2016, 설비공학논문집 28(7)

### ◎ 지열이용 히트펌프(Ground Source Heat Pump)



출처 : icsheatpumps.co.uk



### ◎ 히트펌프 성능 특성

- 성능계수 - COP(Coefficient of Performance)

❖ KS B ISO 15042

➤ COP : 난방 표준 능력을 난방 유효 소비 전력으로 나눈 값.

$$PLF = \frac{Q_{nor}}{Q_{des}}$$

*PLF* Part-load factor  
*P<sub>des</sub>* nominal power consumption

$$P_{nor} = P_{des} \times \eta(PLF)$$

*P<sub>nor</sub>* power consumption

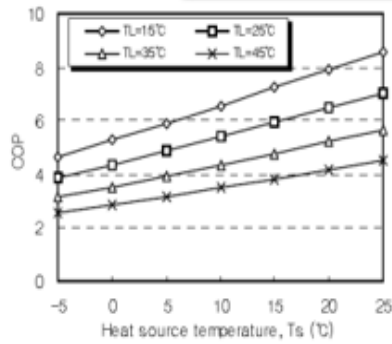
*Q<sub>des</sub>* nominal capacity

*Q<sub>norm</sub>* normal capacity

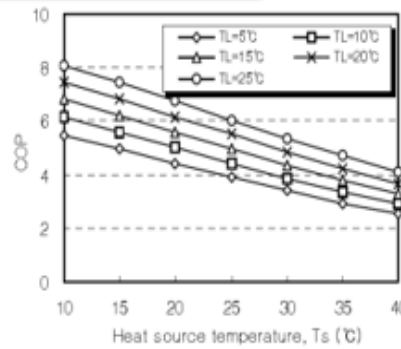
$\eta$  part-load efficiency

$$COP = \frac{Q_{nor}}{P_{nor}}$$

#### GSHP의 EWT 변화에 따른 COP



GSHP의 난방 COP



GSHP의 냉방 COP

TL : 부하측 출구 온도  
Ts : EWT

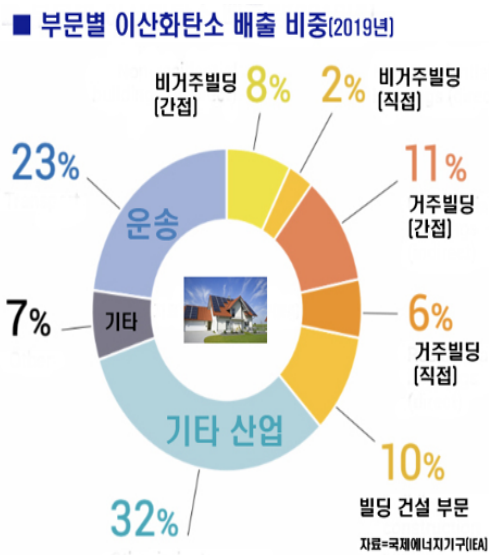
출처 : 지열이용 히트펌프 시스템의 열성능 해석 - 신우철, 백남준, 김옥중, 고득용, 한국태양에너지학회 논문집, 2006

### ◎ 참고 서적 및 사이트

1. INCOSYS
2. 명성에어플러스
3. 지신테크
4. 삼화평창밸브
5. www.bundyrefrigeration.com

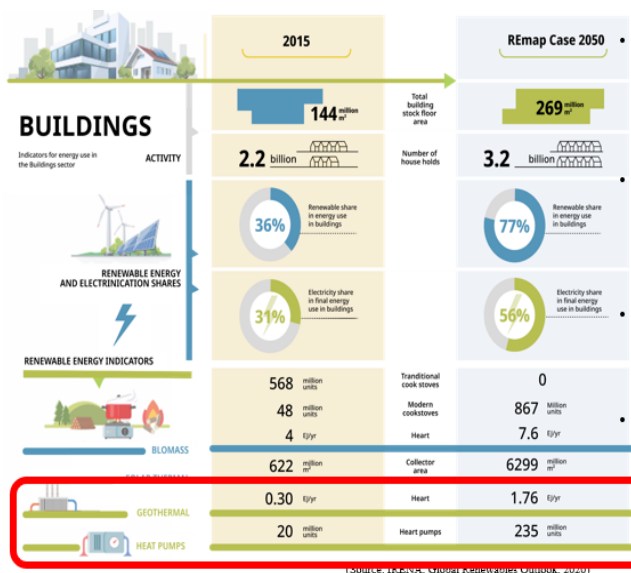
### 3 히트펌프의 응용과 실무

#### ◎ 건물 및 건설 부문의 에너지 사용량



- 세계건축건설연맹 (GlobalABC)의 '2020년 현황 보고서' 에 따르면, 건물부문 탄소배출량은 건물 운용 28% + 건설 10% → 전체 탄소배출량의 38%
- 국제에너지기구(IEA) 보고서
  - 2050년까지 건물 부문에서 탄소중립을 실현하려면 2030년까지의 빌딩의 직접 배출량 50% 저감, 간접 부문 60% 저감 필요 (2030년까지 건물 부문에서 이산화탄소 배출량 해마다 6%씩 저감)
  - 참고: 코로나19로 인한 세계 에너지부문의 이산화탄소 배출량 감소율 7%
  - > 건물 운용 부문의 고효율 히트펌프의 역할 급부상

#### ◎ 건물 부문에서의 에너지 이용 전망(IRENA, 2020)



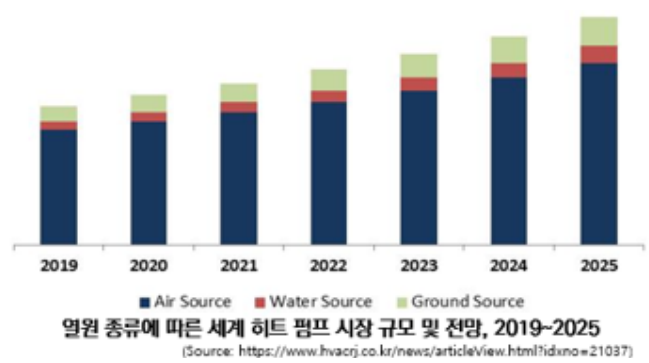
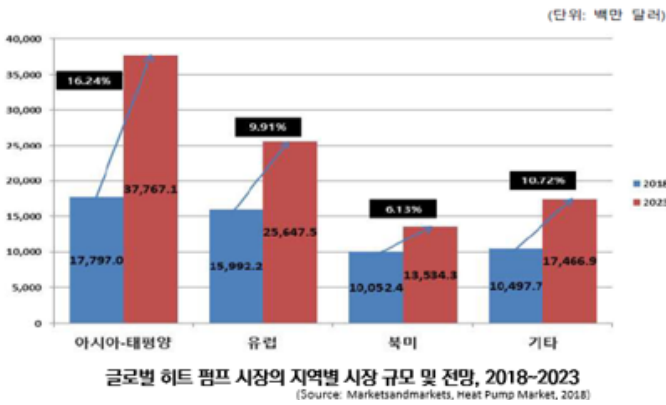
- 건물 부문의 전력 수요는 강력한 성장과 난방의 전기화 증가로 인해 기기 효율의 개선에도 불구하고 2050년까지 70% 증가할 것으로 예상됨
- 건물 부문에 적용되는 에너지는 바이오매스, 태양광, 지열, 히트펌프 등으로 구성되며 2050년까지 신재생에너지 사용량 증가시나리오가 계획됨
- 2015년에 전 세계적으로 건물에 사용된 에너지의 약 36%(전통적인 바이오매스 포함)가 재생 가능함
- 히트펌프 장치는 히트펌프 시장이 증가함에 따라 건축 부문의 열 수요의 27%를 공급할 것으로 예상됨(히트펌프 설치 용량은 11배 이상 증가 전망)

### ◎ 세계 히트펌프 시장 동향

- 전 세계적으로 기후변화에 따른 환경보호와 에너지절약을 위해 에너지와 온실가스 저감의 핵심이 되는 히트펌프시장이 빠른 속도로 성장하고 있음
- 지역별 히트펌프 시장은 아시아-태평양 지역이 연평균 성장률 16.24%로 증가하여 가장 높은 성장률을 보였으며 유럽 지역은 연평균 성장률 9.91%로 증가하여 히트펌프 시장의 두번째로 높은 점유율을 보임
- 글로벌 히트펌프 시장 규모는 예측기간 동안 8.6% CAGR의 시장 성장률로 2025년까지 1,025억 달러에 이를 것으로 예상되어, 히트펌프 시장의 꾸준한 성장이 전망됨

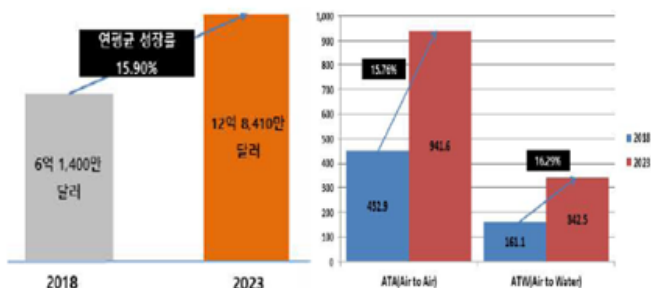


히트펌프 시장의 글로벌 성장 기회, 지역별 연평균성장률(CAGR) 2020-2025

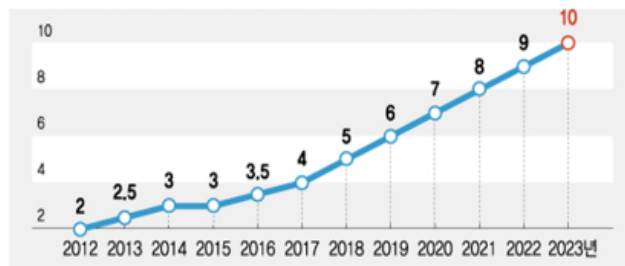


### ◎ 국내 히트펌프 시장 동향

- 탄소 규제가 전 세계적으로 강화되는 흐름과 더불어, 정부의 친환경 정책에 따라 신재생에너지를 활용한 고효율 친환경 설비인 히트펌프에 대한 수요의 증가가 전망됨
- 우리나라의 히트펌프 시장은 2018년 6억 1,400만 달러에서 연평균 성장률 15.90%로 증가하여 꾸준한 성장률을 보임
- 2020년 공공건물 제로에너지빌딩 의무설치 비율과 2024년 민간건물 제로에너지의무화에 따라 시범적으로 공동주택에 지열에너지를 이용한 냉난방 및 급탕의 활용이 실증되고 있음. 또한 다양한 활용 방안이 검토돼 운영되고 있는 만큼 효과적인 적용방안이 나올 것이며 히트펌프시장도 확대될 것으로 전망
- 히트펌프는 건물부하와의 적합성 여부가 매우 중요하기 때문에 설계단계에서부터 각 장비의 특성을 파악하고 부속기기간 연계성을 통한 시스템관리가 이뤄지는 것이 에너지를 절감하고 온실가스를 저감하는 핵심이 될 것으로 예측됨



우리나라 히트 펌프 시장의 용도별 시장 규모 및 전망, 2018-2023



신재생에너지 공급 의무화 비율, 2012-2023

(Source: Marketsandmarkets, Heat Pump Market, 2018)

## ◎ 히트펌프 활용 최신 기술 동향 - 열원 이용 기술

- 지열 히트펌프 시스템 국외 적용 사례 (Google Bay view : 에너지 파일)
- 덴마크 유명 건축가 비야르케 잉겔스와 '영국의 다빈치'로 불리는 토머스 헤더윅 + 구글 자체 엔지니어링 팀이 협력
- 용의 비늘을 연상시키는 9만장의 유선형 태양광 패널 : 최대 7MW 생산하여 건물에너지의 최대 40% 담당 가능
- 북미 최대규모의 지열 시스템 + 풍력 발전

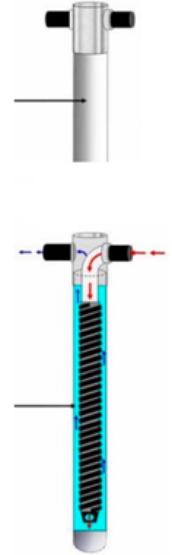


- 샌프란시스코 Bay View 의 Google 건물에 지열 에너지 파일 적용 (건물 구조체를 지중열교환기로 활용한 사례)
- 안정된 지중온도 18°C의 온도를 이용하여 건물 냉난방 실시
- 전체 건물 냉난방 부하의 95%를 지열 히트펌프로 담당
- 총 4000개의 파일 중 2500개의 파일에 에너지 파일 시스템 적용 (깊이 24m)
- "If there's an element in the building that is only serving one function, that's missing out on potential opportunities."



<https://www.fastcompany.com/40484709/googles-new-office-will-be-heated-and-cooled-by-the-ground-underneath>

- 지열 히트펌프 시스템 국외 적용 사례 (Boston University : 지열 히트펌프 시스템)
- 보스턴대학의 데이터 과학 센터 건물에 지열 히트펌프 시스템 적용
- 깊이 450m의 31개의 시추공이 설치되었으며, 화씨 10-15도의 온도를 사용하여 건물의 냉난방을 실시함
- 총 300RT의 냉난방 용량으로 건물의 냉난방 요구량의 90%를 공급 가능함
- 기존 전기이용 냉난방 기기에 비해 72% 에너지 저감 가능함



<https://www.knowesg.com/tech/new-building-at-boston-university-uses-geothermal-heat-pump-08082022>  
<https://www.architects.org/uploads>

- 수열 히트펌프 시스템 국외 적용 사례 (Hinksey Lake: Slinky Coil Type Closed Loop)
- 영국 Hinksey Lake 에 실링키 코일형 수열 히트펌프 시스템이 적용됨
- 레저센터, 수영장 등에 냉난방 및 급탕에 필요한 열원으로 사용함
- 기존 가스 보일러의 에너지 사용량의 80%를 줄이는 효과, 히트펌프를 활용한 Zero Carbon 사례로 인정받음



<https://www.willmottdixon.co.uk/the-willmott-dixon-foundation/case-studies/using-water-source-heat-pump-technology-to-decarbonise->

- 공기열원 히트펌프 시스템 국외 적용 사례 (New York : 창문형 히트펌프)
- 뉴욕시에서는 아파트 냉난방을 위해 창문형 히트펌프 제품을 배치함
- 뉴욕의 탈탄소화 정책에 따른 개발을 실시함



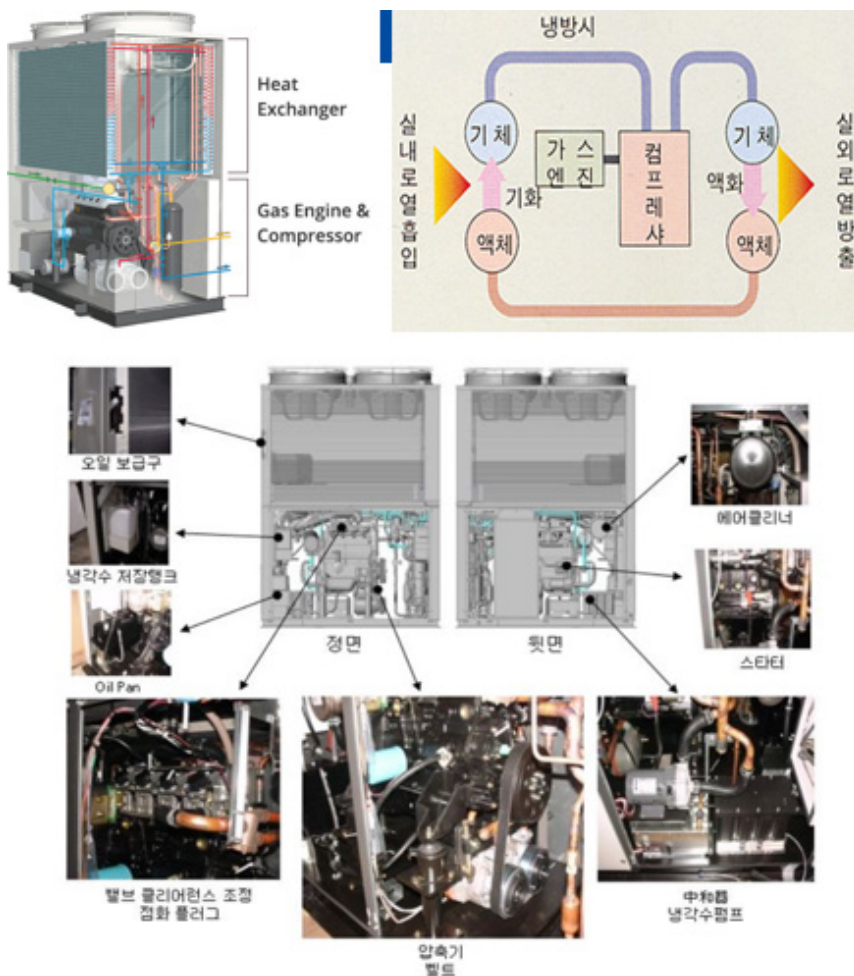
<https://www.canarymedia.com/articles/heat-pumps/window-heat-pumps-will-help-electrify-new-york-citys-public-housing>

## ◎ EHP? GHP?



## ◎ GHP 개요 및 장점

- 가스히트펌프(Gas Engine Heat Pump)
- 가스히트펌프(GHP)는 가스엔진 구동형 히트펌프라고도 하며, 전기 구동식 히트펌프(EHP)와 그 작동 원리는 비슷하나 가스엔진으로 Compressor를 구동하고, 히트펌프 사이클에 의한 냉난방을 실행하는 시스템으로 동력원인 가스를 사용함에 따라 효율적인 냉난방을 지원하는 시스템
- GHP의 장점
  - 1) 빠르고 강력한 가열
    - 가스엔진의 폐열을 이용하기 때문에 난방 개시가 매우 빠름
    - 성에 제거 주기가 거의 없기 때문에 EHP 시스템에 비해 뜨거운 공기를 지속적으로 공급 가능
  - 2) 저전력 소비
    - GHP 시스템은 팬이나 기타 보조 장치 구동용 전력 이외의 전력을 사용하지 않으므로 EHP 시스템에 비해 전력 소모가 매우 적음
  - 3) 환경 친화적 시스템
    - GHP 시스템은 질소산화물 배출량이 낮음



◎ GHP 구동원리

냉방 사이클	난방 사이클
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가스엔진에서 발생된 동력을 이용하여 압축기를 구동하며, 압축기에서 토출된 고온고압의 가스를 응축기에 의해 고온, 고압(90~110°C, 18kg/cm<sup>2</sup>)의 액체 상태로 만듦.</li> <li>• 고온, 고압의 액체는 수액기로 보내어 팽창밸브를 통해 저온, 저압의 액체(액체80%+기체20%) 상태가 되며, 증발기에 의해 저온(5~10°C) 저압(5kg/cm<sup>2</sup>)의 가스가 되어 냉방사이클을 수행함.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가스엔진에서 발생된 동력으로 냉방사이클의 역사이클을 이용하여 압축기에서 발생된 고온고압의 가스를 실내에 설치된 실내기(증발기)로 보내어 난방사이클을 수행함.</li> </ul>

◎ GHP와 EHP의 차이점

구분		GHP	EHP
시스템 구성	배관방식 (장비 외형도)	냉매배관, 가스배관  Gas 공급 (LNG, LPG)	냉매배관  전기공급
	구동방식	엔진 + 압축기	압축기
구동 방식	구동 에너지	전기 + 도시가스 (LNG, LPG) (가스배관 필요)	전기 (수전설비 필요)
	냉난방 능력	난방 능력 우수	냉방 능력 우수 (혹한 시 능력저하)
	초기투자비	중간 (중앙공조 보다 저렴하지만, EHP 보다 비쌘)	작음
	용량 제어방식	엔진 RPM 제어	인버터 컴프레서 (Motor Hz 제어)
공통 특징		개별제어, 그룹, 통합제어 용이 기계실 불필요, 동파, 누수 없음, 시공 간단 효율 우수	

### ◎ GHP와 EHP 에너지 효율 및 이산화탄소 배출 비교

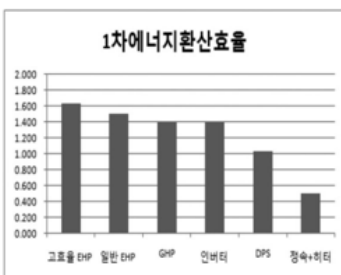
- 비교 대상 및 조건
- 660m<sup>2</sup>(200평) 상업용 건물을 기준하여 멀티 히트펌프와 GHP를 포함한 냉난방 기기의 에너지 효율과 이산화탄소 배출 특성을 비교 분석함
- EHP와 GHP처럼 서로 다른 에너지원을 사용하는 기기의 효율을 비교하기 위해 1차 에너지원으로 환산하여 비교하였음
- 이산화탄소 배출의 경우 전기에 대해서는 424g·CO<sub>2</sub>/kWh, 도시가스의 경우에 대해서는 2,240g·CO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>의 값을 적용하였음
- 냉방/난방 에너지 분석을 위한 대상 기기의 성능

	냉방 / 난방	고효율 EHP	일반 EHP	GHP	인버터	DPS	정속형냉방기
제품		국내 S사 용량 10HP급	국내 S사 용량 10HP급	국내 S사 용량 20HP급	국내 S사 용량 5HP급	국내 S사 용량 10HP급	국내 S사 용량 10HP급
1대 용량	kW	29 / 32.6	29 / 32.6	56 / 63	14.5 / 16.7	30 / 36	30 / 40
대수		4	4	2	8	4	4
냉방용량	kW	116 / 130.4	116 / 130.4	112 / 126	116 / 133.6	120 / 144	120 / 160
COP		4.05 / 4.34	3.41 / 4.28	1.372 / 1.533	3.61 / 3.61	2.4 / 2.88	2.5 / 1
전기입력	kW	<b>28 / 30</b>	<b>34 / 30</b>	<b>2 / 2</b>	<b>32 / 37</b>	<b>50 / 50</b>	<b>48 / 160</b>
가스입력	kW			<b>79 / 79</b>			

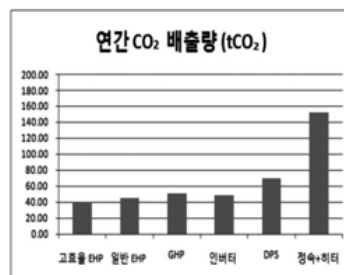
(Source: 정시영, 박윤철, "냉난방기기의 에너지 효율 및 이산화탄소 배출 비교 분석", 대한설비공학회 멀티히트펌프 집중기회, 2010)

#### ● 분석 결과

		고효율 EHP	일반 EHP	GHP	인버터	DPS	정속형냉방기
연간 냉난방에너지	MWh	406.1	406.1	392.3	411.9	436.6	465.6
냉난방용 연간전기 소요량	MWh	96.4	105.0	8.3	114.1	163.8	360.2
냉난방용 연간가스 소요량	MWh	0.0	0.0	260.2	0.0	0.0	0.0
냉난방용 1차에너지환산 소요량	MWh	248.5	270.7	281.5	294.2	422.3	928.6
냉난방 1차에너지환산 효율		1.635	1.500	1.393	1.400	1.034	0.501
냉난방 연간CO <sub>2</sub> 배출량	tCO <sub>2</sub>	40.86	44.52	51.01	48.38	69.45	152.72



연간 냉난방 운전에 대한 1차에너지 환산효율



연간 냉난방 운전에 대한 이산화탄소 배출량

(Source: 정시영, 박윤철, "냉난방기기의 에너지 효율 및 이산화탄소 배출 비교 분석", 대한설비공학회 멀티히트펌프 집중기회, 2010)

- 결론
- 비교된 기기 중에서 고효율 EHP가 냉방과 난방 모두 가장 우수한 1차 에너지환산 효율을 나타내고, 가장 낮은 이산화탄소 배출을 나타냄
- GHP는 1차에너지 환산효율은 EHP에 비하여 다소 낮게 나타났으나, 전기 사용량이 매우 적으므로 하절기와 동절기의 전력피크 완화에 크게 기여할 수 있음

## ◎ GHP 관련 설치 장려 제도

### 가스냉방설비 설치장려금

#### 지원 대상

도시가스를 사용하는 가스냉방 설비를 신설(증설 포함)한 설비의 소유주 (신장자 당 3억 원 한도)

#### 지원 금액

GHP(가스엔진구동식 냉방설비)

구분	1구간			2구간			3구간		
	냉방	난방	한랭지	냉방	난방	한랭지	냉방	난방	한랭지
성적 계수 (COP)	1.20~1.32미만	1.40~1.54미만	0.90~0.96미만	1.32~1.45미만	1.54~1.70미만	0.96~1.06미만	1.45 이상	1.70 이상	1.06 이상
지원 금액	20만원/RT (냉방능력, 실외기)			24만원/RT (냉방능력, 실외기)			39만원/RT (냉방능력, 실외기)		

\* 고효율에너지기자재 인증제품에 한하여 지원금 지급

※ 구간 적용

\* 구간별로 3가지 (냉방/난방/한랭지) 조건 모두 충족하여야 하며, 미충족 시 구간별 최하위 성적계수 해당 구간으로 격하 (EX. 냉방 1.4, 난방 1.5), 한랭지 0.97의 성적계수를 지닌 기기는 1구간 지원금액 적용)

#### 가스 흡수식 냉방설비

구분	1구간			2구간			기타
통합 성적 계수 (IPLV)	1.41~1.71미만			1.71 이상			배열 사용 흡수식 냉동기+는 직화흡수식 냉방설비 대비 최저 통합성적계수 (0.74)를 감안하여 구간 구분 없이 2만 2천원/auRT 단일단가 적용
냉방 용량	200RT 이하	200RT 초과 500RT 이하	500RT 초과 800RT 이하	200RT 이하	200RT 초과 500RT 이하	500RT 초과 800RT 이하	
지원 금액	5만4천원/RT 4만4천원/RT 3만4천원/RT 9만9천원/RT 7만9천원/RT 6만9천원/RT						

\* 고효율 에너지 기자재 인증제품에 한하여 지급하며, 800uRT 초과 제품은 해당 성능이 지원 기준(IPLV 1.41) 이상인 경우 최대 800uRT까지만 인정하여 지원

<https://www.samchully.co.kr/business/gas/ghp.do?p=2>

### 가스냉방설비 설계장려금

#### 지원 대상

설치보조금 지급 대상이 되는 가스냉방설비를 건축물에 반영하여 설계한 설계설계사무소

#### 지원 금액

1만원/RT (3,000만원 한도)

#### 장려금 진행 기준 및 절차

- 1 알려드립니다. 한국가스공사 "2020년 가스냉방설비 설치지원 사업 집행계획" 운용

#### 에너지 이용 합리화 자금 융자

##### 융자대상

GHP(가스엔진구동식 냉방설비), 가스 흡수식 냉방설비

##### 융자조건

자금융자 - 분기별 변동금리(3년 고정 5년 분할)

- 1 알려드립니다. 「에너지 및 자원사업 특별회계 운용요령」 운용

##### 공제대상

GHP(가스엔진구동식 냉방설비), 가스 흡수식 냉방설비

##### 세액공제

##### 공제조건

세액공제 : 상여 투자금액의 최대 7%를 과세연도의 소득세 또는 법인세에서 공제

- 1 알려드립니다. 「조세특례제한법 제25조의 2」 운용

## ◎ 비전기식 냉방설비 이슈

- 공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정 제10조 (연면적 1천제곱미터 이상 신축 시 냉방설비 용량의 60%이상을 비전기식으로 설치)
- 건축물의 냉방설비에 대한 설치 및 설계기준 제4조 (중앙집중 냉방설비 설치 시 주간 최대 냉방부하의 60%이상을 비전기식으로 설치)

제10조(에너지 수급 안정 및 효율 향상을 위한 전력수요관리시설 설치)

① 각 공공기관에서 연면적 1,000㎡ 이상의 건축물을 신축하거나 연면적 1,000㎡ 이상을 증축하는 경우 또는 냉방설비를 전면 교체할 경우에는 냉방설비용량의 60% 이상을 심야전기를 이용한 축냉식, 가스를 이용한 냉방방식, 집단에너지사업허가를 받은 자로부터 공급되는 집단에너지를 이용한 지역냉방방식, 소형 열병합발전을 이용한 냉방방식, 신·재생에너지를 이용한 냉방방식 등 전기를 사용하지 아니한 냉방방식으로 냉방설비를 설치하여야 하며, 냉방설비를 증설 또는 부분 교체할 경우에는 전기를 사용하지 아니한 냉방방식의 냉방설비용량이 전체의 60% 이상이 되도록 유지하여야 한다.

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. IRENA, Global Renewables Outlook, 2020
2. <https://www.fastcompany.com/40484709/googles-new-office-will-be-heated-and-cooled-by-the-ground-underneath>
3. <https://www.knowesg.com/tech/new-building-at-boston-university-uses-geothermal-heat-pump-08082022>
4. <https://www.architects.org/uploads>
5. <https://www.canarymedia.com/articles/heat-pumps/window-heat-pumps-will-help-electrify-new-york-citys-public-housing>
6. <https://www.willmott-dixon.co.uk/the-willmott-dixon-foundation/case-studies/using-water-source-heat-pump-technology-to-decarbonise->
7. 삼천리 홈페이지, <https://www.samchully.co.kr/business/gas/ghp.do?p=2>
8. 정시영, 박윤철, “냉난방기기의 에너지 효율 및 이산화탄소 배출 비교 분석”, 대한설비공학회 멀티히트펌프 집중기획, 2010

# B.5

## 통합유닛 설비 기술

### 교육 목표

#### 통합유닛 설비 기술

- \* 패시브하우스 난방부하 10W/m<sup>2</sup>의 의미 이해
- \* 최적화 설비에 대한 기술 이해
- \* 통합유닛에서 적용되는 다양한 기술 내용 이해
- \* 통합유닛 성능 평가 방법 및 에너지 해석 이해

## 1 통합유닛 설비 기술 배경 및 이해

### ◎ 난방부하 10W/m<sup>2</sup> – PHPP 9.0

- A building standard that is truly energy efficient, comfortable, affordable and ecological at the same time.

해당바닥면적 기준 건물 에너지 특성		70.8		기준	대체기준	만족여부 <sup>2</sup>
난방	해당바닥면적 m <sup>2</sup>	70.8				
	연간 난방에너지 요구량 kWh/(m <sup>2</sup> a)	30	≤	15	-	no
	난방부하 W/m <sup>2</sup>	18	≤	-	10	
냉방	냉방&제습 부하 kWh/(m <sup>2</sup> a)	28	≤	23	23	no
	냉방부하 W/m <sup>2</sup>	8	≤	-	11	
	오버히팅빈도 (> 25 °C) %	-	≤	-	-	-
	습도초과빈도 (> 12 g/kg) %	0	≤	10	-	yes
기밀성능	n <sub>50</sub> 블로어도어 테스트 결과 1/h	0.6	≤	0.6	-	yes
1차에너지 (PE)	1차에너지소요량 kWh/(m <sup>2</sup> a)		≤	120	-	
신재생1차에너지 (PER)	신재생1차에너지(PER) 소요량 kWh/(m <sup>2</sup> a)	22	≤	-	-	-
	신재생에너지 생산량 (지붕투영면적 기준) kWh/(m <sup>2</sup> a)		≥	-	-	

<sup>2</sup> 빈칸: 데이터 누락; '-': 불필요

- PHPP 결과보고서 내용: 난방부하 10W/m<sup>2</sup>이하 냉방부하 11W/m<sup>2</sup>이하
- 기밀성능 0.6h<sup>-1</sup> 이하

- 독일패시브하우스연구소에서는 난방에너지 요구량 15kWh/m<sup>2</sup>년 이하 또는 난방부하 10W/m<sup>2</sup> 이하의 건물외피성능을 요구한다. 이러한 배경은 패시브하우스 정의에서 보여지듯 경제성과 매우 관계가 있다.
- 건축설비 최적화를 위해서는 실내 쾌적성을위해 필요환기량[ISO 16798-1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics – Module M1-6]을 확보하고, 이 환기량으로 최대 냉·난방부하가 가능하도록 건물의 성능을 향상 시킴
- 이러한 최적화를 통해 건물의 패시브 성능을 강화하고 에너지 최소 성능(건물에너지요구량)이 마련됨
- 덕트 크기가 줄어 초기 공사비가 절감되며, 에너지 소비량이 감소등 경제성이 확보됨

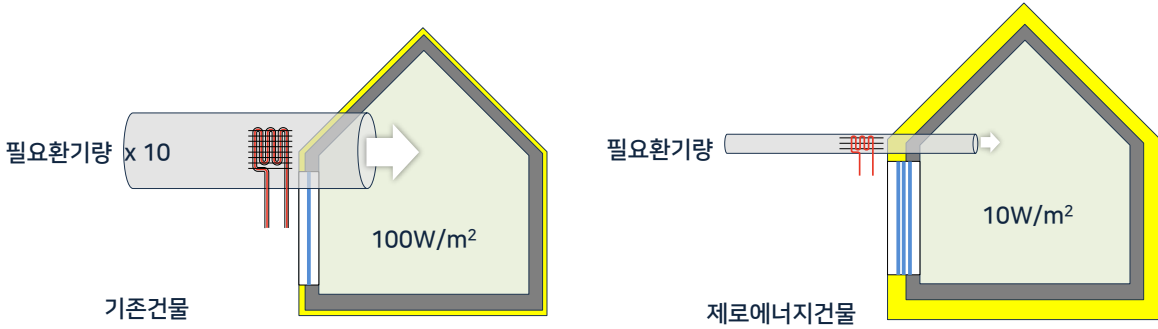
**Affordable:**

Taking energy savings over time into account, Passive House is the most economical way to build, with **reduced energy costs** more than covering the borrowing costs (**repayment plus interest**) for the upfront cost premium.

Even at today's low heating fuel prices, a Passive House owner can enjoy lower total monthly house ownership costs from the beginning. The main reason that passive homes can **"tunnel through the cost barrier"** is that they are much simpler buildings, trading **active, expensive, energy-sucking heating/cooling systems** for cheaper, passive approaches like **better envelope and windows and thermal bridge-free details**. Simpler heating and cooling systems dramatically reduces maintenance and replacement costs.

- 저렴한: 가능한 시간이 지남에 따라 에너지 절약을 고려하는 패시브 하우스는 초기 비용 프리미엄에 대한 차입 비용(상환 + 이자)을 충당하는 것보다 에너지 비용을 절감하는 가장 경제적인 건축 방법임
- 요즘 낮은 난방 연료 가격에도 불구하고 패시브 하우스 소유자는 처음부터 더 낮은 월 유지 관리 비용을 누릴 수 있음
- 패시브 주택이 "비용 장벽을 돌파"할 수 있는 주된 이유는 훨씬 단순한 건물이기 때문임
- 값비싼 에너지를 빨아들이는 액티브 난방/냉방 시스템을 더 나은 외피와 창문, 열교 없는 세부 사항과 같은 더 저렴하고 수동적인 접근 방식으로 교환하기 때문임
- 냉난방 시스템이 단순해지면, 유지 관리 및 교체 비용이 크게 절감됨

◎ 난방부하 10W/m<sup>2</sup> - 기존설비 대응 전략



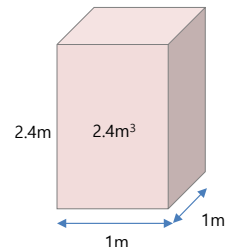
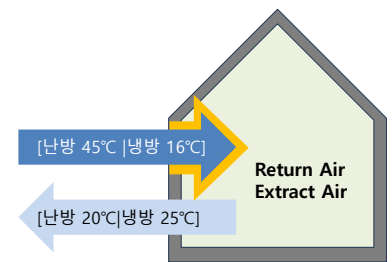
- 단열, 창호 및 열교 등 건물외피 성능 저하
- 난방부하 100W/m<sup>2</sup>
- 실내 쾌적성을 만족하기위한 공조기 설치시 :
  - 냉·난방 대응 필요환기량 보다 커진 풍량
  - 덕트 크기에 맞는 DS, AD 및 천장고 공간 필요
  - 용량이 큰 열원 설비 필요 [투자비 상승]
  - 에너지 비용 및 설비 교체 등 유지관리비용 상승

- 단열, 창호 및 열교 등 건물외피 성능 고도화
- 난방부하 10W/m<sup>2</sup>
- 실내 쾌적성을 만족하기위한 공조기 설치시 :
  - 필요환기량으로 냉·난방 대응
  - DS, AD 및 천장고 등 쾌적성 확보를 고려한 열회수 환기장치 수준의 공간 필요
  - 간소한 소규모 열원 설비 필요 [투자비 감소]
  - 에너지 비용 및 설비 교체 등 유지관리비용 감소

◎ 난방부하 10W/m<sup>2</sup>

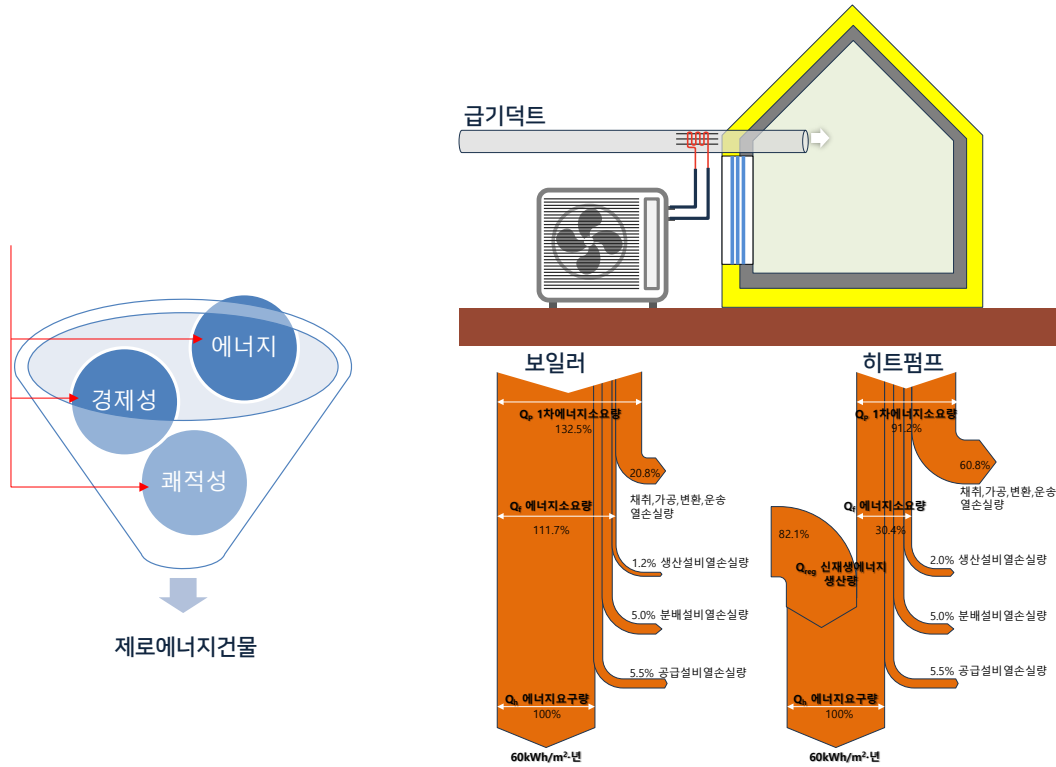
• 설비공급용량  $q_{\text{heating}} = V[\text{필요환기량}] \times 0.34\text{Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K}) \times \Delta T$

- 필요환기횟수: 0.5h<sup>-1</sup>
- 필요환기량: 1.2m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup>
- $q_{\text{heating}} = 1.2\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2 \times 0.34\text{Wh}/\text{m}^3 \cdot \text{K} \times 25\text{K}$   
= 10.2W/m<sup>2</sup>
- $q_{\text{cooling}} = 1.2\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2 \times 0.34\text{Wh}/\text{m}^3 \cdot \text{K} \times 9\text{K}$   
= 3.7W/m<sup>2</sup>
- $q_{\text{cooling,dehumi}} = ([1.2\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2 \times 1.2 \text{kg}/\text{m}^3 \times (18\text{g}/\text{kg} - 12.6\text{g}/\text{kg})] + 16\text{g}/\text{h} \cdot \text{m}^2) \times 0.708\text{Wh}/\text{g}$   
= Ca. 11W/m<sup>2</sup>

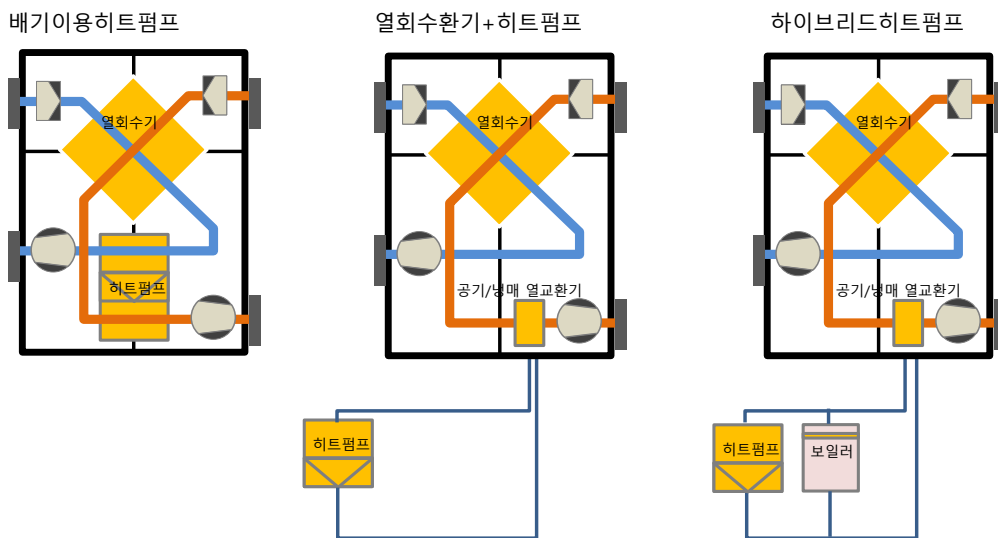


- 제습관련 계산은 침기, 급기 그리고 내부 발생 습기로 산정함
- 내부발생습기량: 1인당 100g/h의 수증기 발생량과 1인당 35m<sup>2</sup> 바닥면적사용을 바탕으로 산정함 → 16 g/h·m<sup>2</sup>
- 실내온도 26°C, 상대습도 60%에서의 절대습도는 12.6g/kg이며, 외기 조건은 외기온도 32°C, 상대습도 60%에서의 절대습도인 18g/kg을 바탕으로 산정함

◎ 최적화 설비 기술



- 최적화 3요소는 에너지 최적화, 경제성 최적화 그리고 쾌적성 최적화로 구분할 수 있음
  - 에너지 최적화는 앞서 논의된 필요환기량 기준 부하를 목표로 건물외피를 디자인함
  - 경제성 최적화는 투자비와 유지관리비를 고려하여 열원설비를 결정하는 방법으로 보일러는 히트펌프 대비 초기 투자비는 낮지만 유지관리비에서 매우 불리한 특성을 가짐
  - 쾌적성 최적화는 보일러의 경우 안정적인 열원을 제공하지만 히트펌프는 공기열 이용시 지속적인 열원공급에 어려움을 가지게 됨



- 제로에너지 건물의 설비 최적화를 완성하기 위해서 오른쪽 그림과 같이 불안정한 열원공급을 커버해 주는 보조설비용 보일러를 하이브리드로 운전하는 방식이 통합유닛의 기본적인 구성이 됨

## ◎ 참고 서적 및 사이트

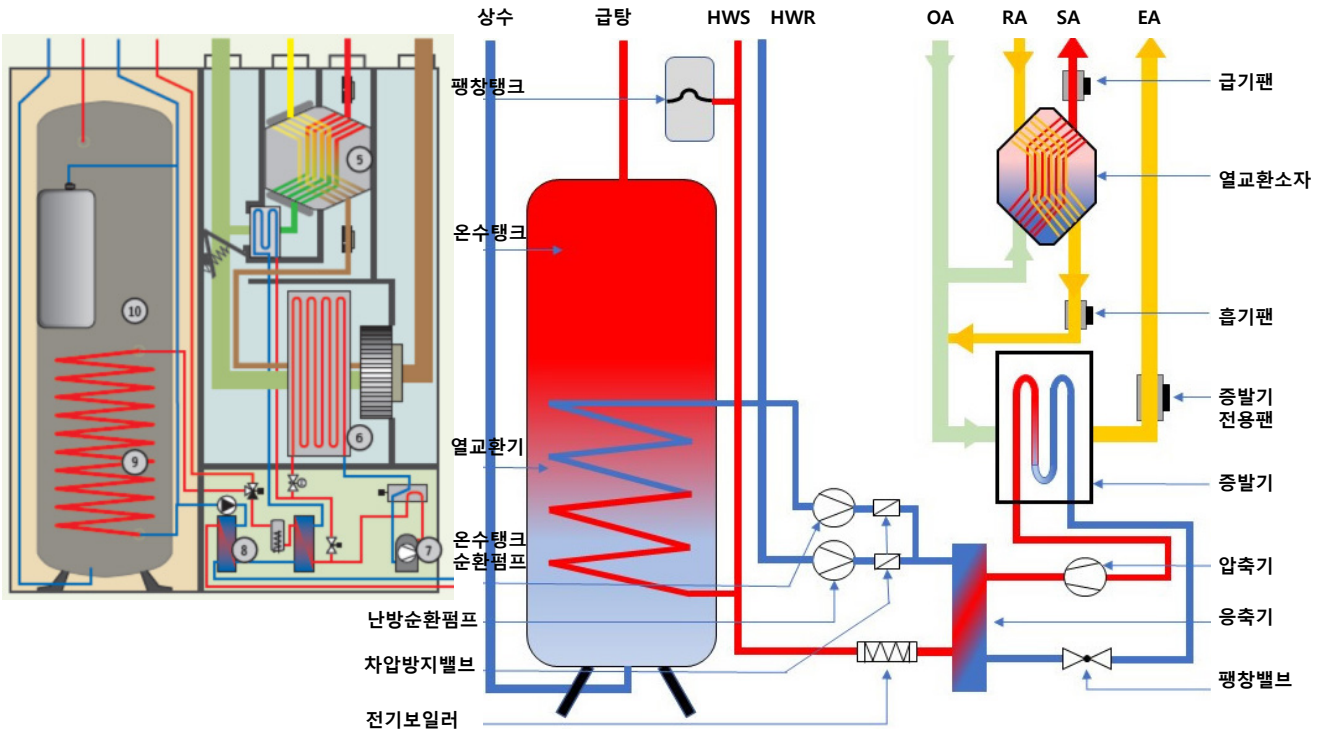
1. Bau-Handbuch 14, Bernd Dietrich and Rolf Sweekhorst, EW Medien und Kongresse GmbH

## 2 통합유닛 국내외 기술

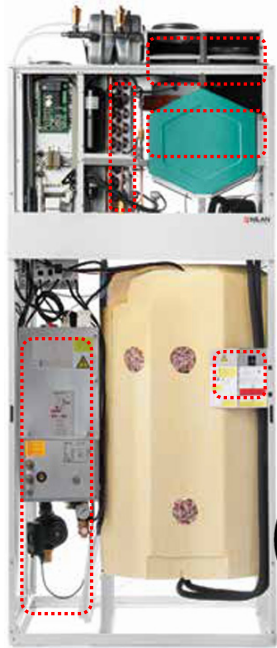
### ◎ 통합유닛 국외 기술 - LWZ 5 CS Premium 4



항목	성능	단위
난방출력	5.5	kW
냉방출력	2.4	kW
표준풍량(기외정압)	300(100)	CMH(Pa)
탱크용량	235	Liter
크기(WxHxD)	1430x1885x812	mm
전기보일러(급탕)	3	kW



◎ 통합유닛 국외 기술 - Compact P



필터  
CO2 센서

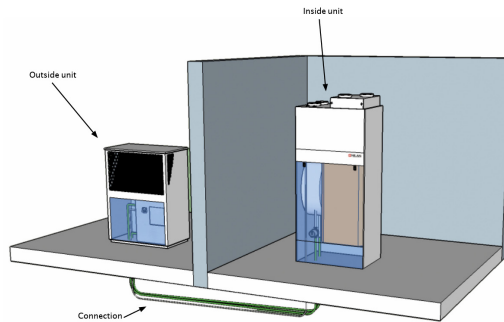
열회수환  
기장치

난방: 34 °C  
냉방: 10°C

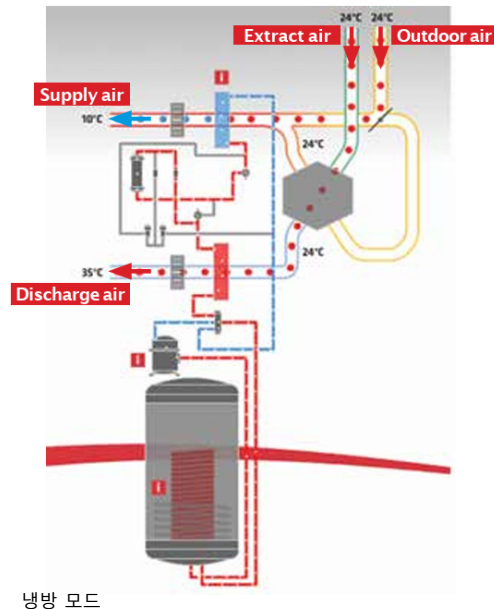
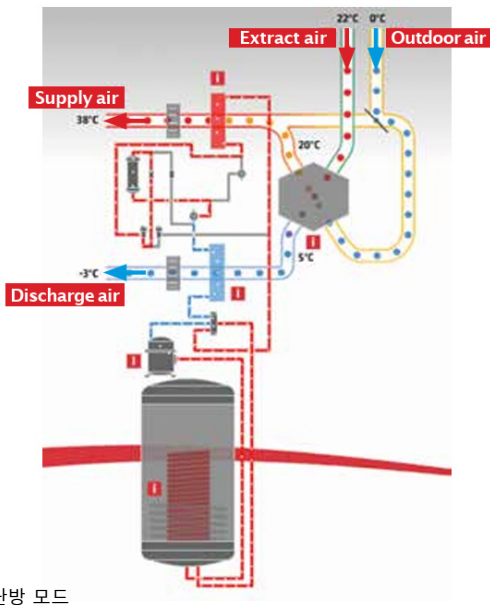
1.5kW

버퍼탱크  
+HP연결  
[공기열,지열]

항목	성능	단위
난방출력	3	kW
냉방출력	3	kW
표준풍량(기외정압)	250(100)	CMH(Pa)
탱크용량	180	Liter
크기(WxHxD)	900x2065x610	mm
전기보일러(급탕)	1.5	kW



- CompactP는 고효율 열회수환기장치(온도교환효율:95%) 뿐만아니라 잔열 에너지를 열원으로 이용한 히트펌프가 적용됨
- 공기열 히트펌프, 지열 히트펌프와 통합하여 사용이 가능함, 난방출력이 12kW까지 상승됨
- 컴팩트한 디자인과 다양한 기능이 하나로 결합된 제품 장치는 최소 설치 공간과 빠르고 쉬운 설치로 특화함



- 난방모드: SA측에 응축기를 두어 난방을 공급하며, 열원은 EA를 사용함, 즉 버려지는 배기의 잔여 에너지를 이용하여 히트펌프 가동급탕탱크는 야외에 공기열 히트펌프 또는 지열히트펌프와 연결하여 급탕 및 난방온수 공급이 가능함
- 냉방모드: 사방밸브를 이용하여 SA측에 증발기가 작동됨, 기본적으로 열회수환기장치를 통한 열교환없이 직접 외기를 냉각시켜 실내에 공급함, 냉방가동시 온수탱크를 열원으로 이용함

◎ 통합유닛 국외 기술 - Genius



열회수  
환기장치

히트펌프

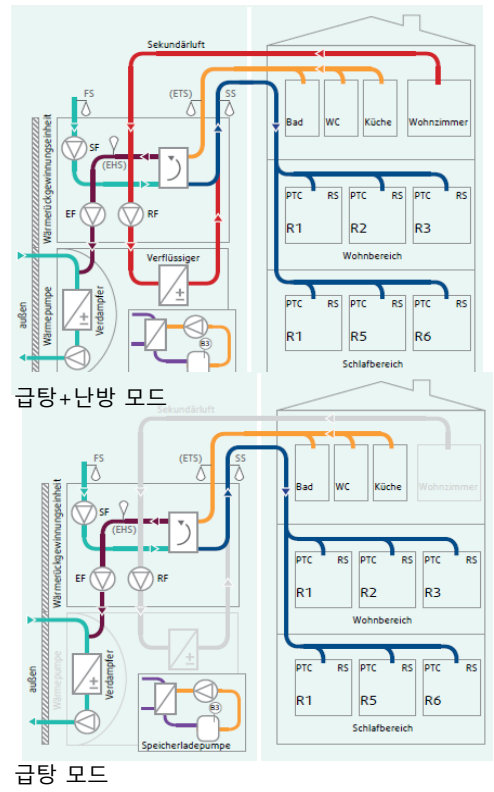
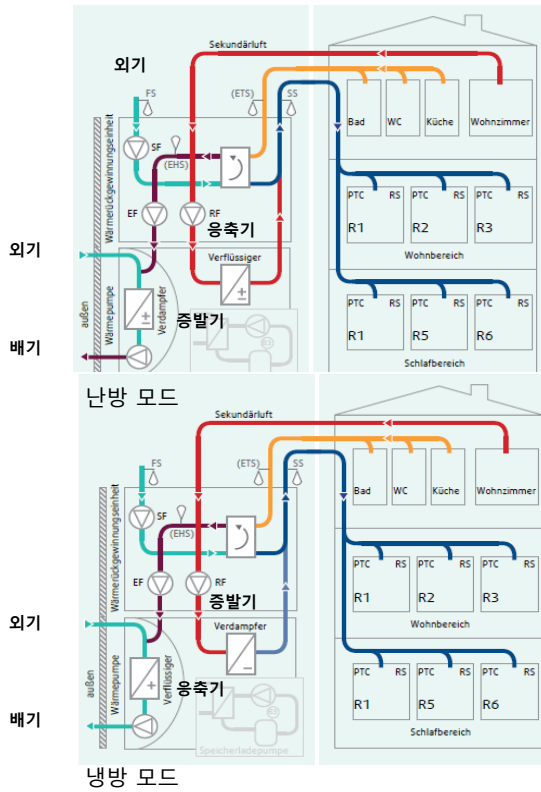
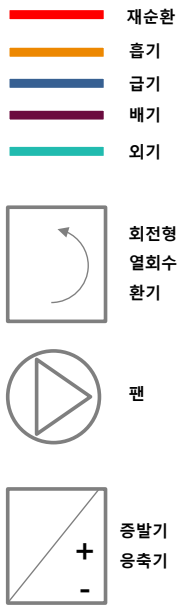
급탕탱크

항목	성능	단위
난방출력	5	kW
냉방출력	4	kW
표준풍량(기외정압)	250(100)	CMH(Pa)
탱크용량	150	Liter
크기(WxHxD)	865x2070x750	mm
전기보일러(급탕)	3	kW



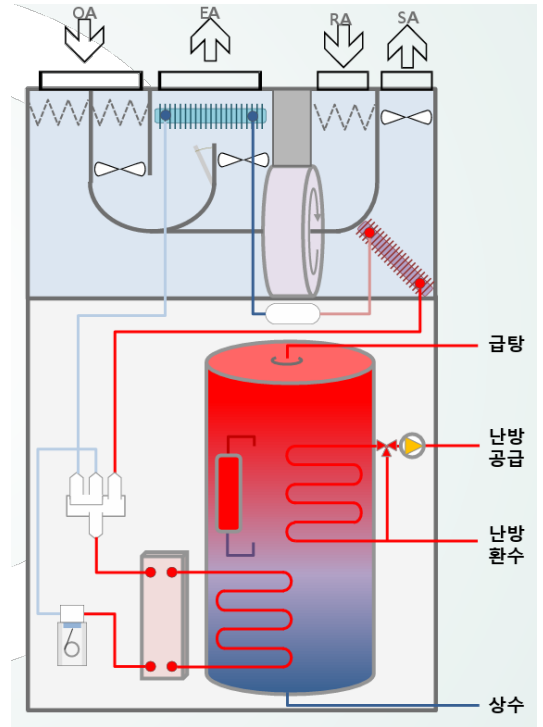
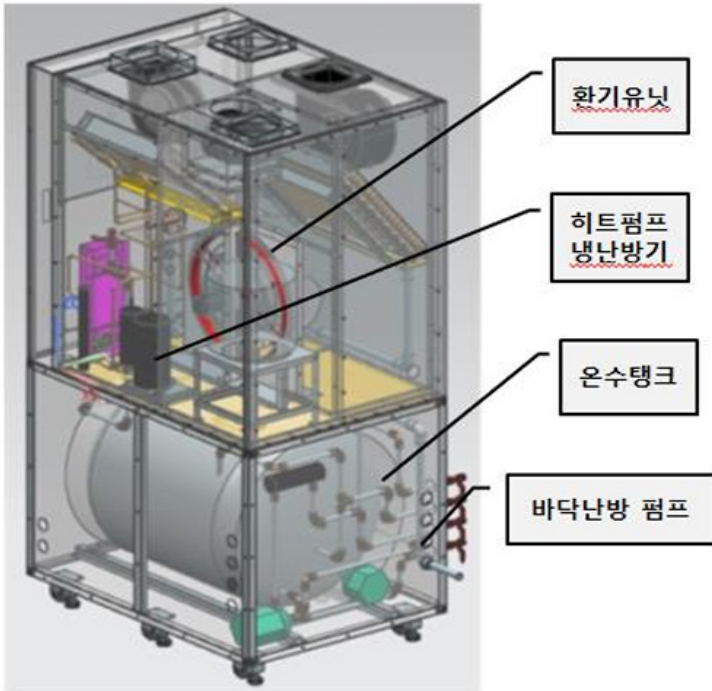
전기재열기  
1kW

- 독일 systemair사에서 개발한 통합유닛 제품이다. 낮은 외기온도와 제상운전으로 히트펌프 비가동시 전기재열기를 통해 난방이 가능함
- 난방출력은 제로에너지건물(10W/m<sup>2</sup>)의 경우 냉·난방 바닥면적 500m<sup>2</sup>까지 대응이 가능함



- 배기와 외기를 열원으로 작동하는 히트펌프로 버려지는 배기를 최대한 활용하는 방식
- 난방모드: 재순환 공기 덕트를 추가적으로 설치하여 응축기에 연결한 후 급기 덕트와 함께 급기 난방으로 공급하는 방식
- 급탕+난방모드: 응축기에 급탕탱크용 판형열교환기를 통해 1차 열원 공급 후 응축기로 남은 열을 공급하는 방식
- 냉방모드: 재순환 공기 덕트를 추가적으로 설치하여 증발기에 연결한 후 급기 덕트와 함께 급기 냉방으로 공급하는 방식, 상대적으로 외기 풍량이 커져 덕트의 결로 위험성이 줄어들음
- 급탕모드: 급탕탱크용 판형열교환기를 응축기로 하여 히트펌프를 가동하는 방식

◎ 통합유닛 국내 기술 - SSK 통합유닛



- 난방모드: 배기와 외기를 이용한 대형 증발기를 열원으로 히트펌프를 가동하여, 예열/난방온수를 공급하는 방식
- 냉방모드: 배기와 외기를 이용한 대형 응축기를 열원으로 히트펌프를 가동하는 방식

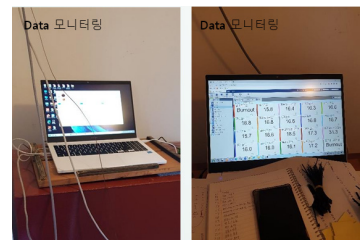
항목	성능	단위
난방출력	4	kW
냉방출력	4	kW
표준풍량( 기외정압)	450(100)	CMH(Pa)
탱크용량	220	Liter
크기(WxHxD)	1100x1900x800	mm
전기보일러(급탕)	3	kW

설치 일시 : 2023. 02. 10

설치 장소 : 서귀포 하효동 준패시브건물

규모 : 지상 2층 52평

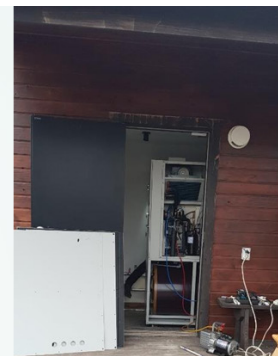
설치 : Rotor-HRV 컴팩트형 통합 설비



남측 전경

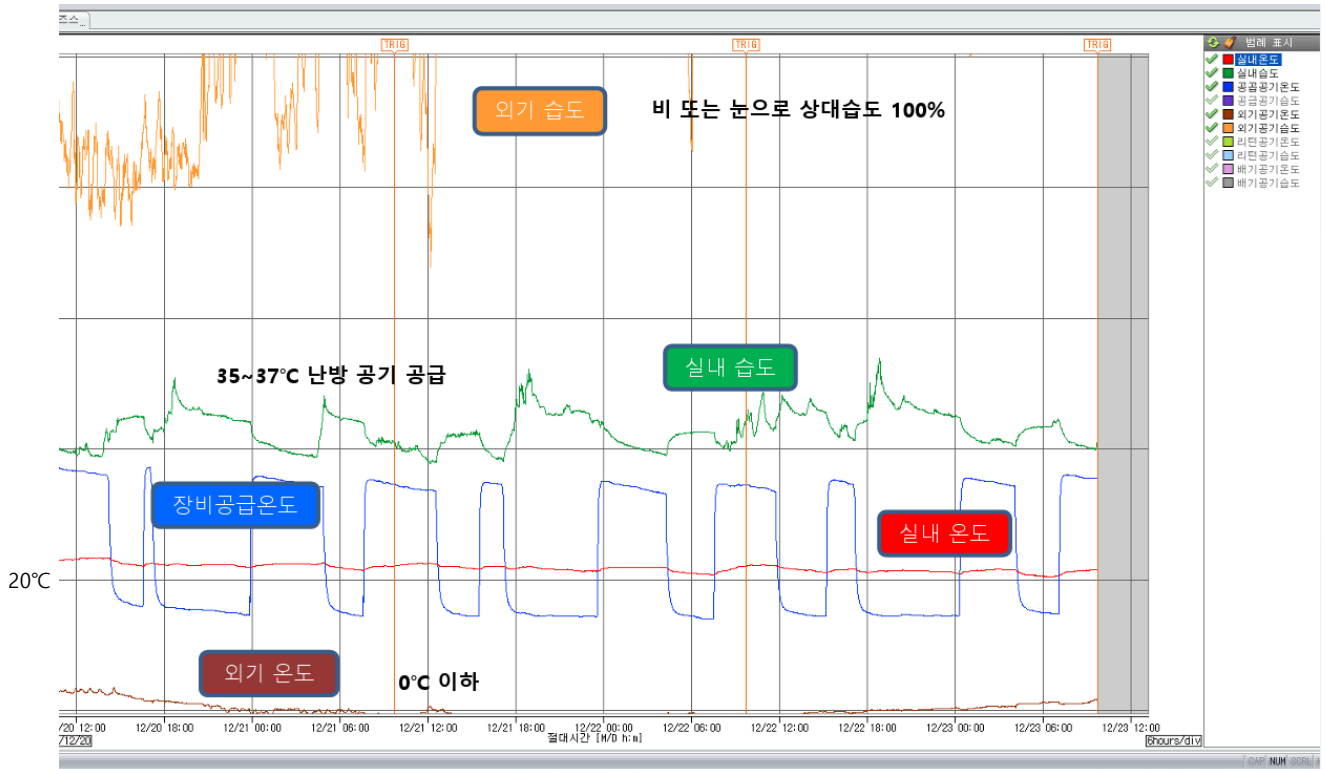


HP 및 센서 설치



가동상태 확인

12월 20~23일 ( 평균외기온도 0°C, 평균외기상대습도 95% )

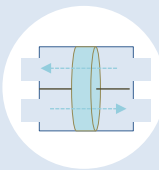
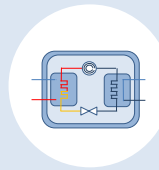
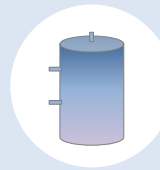


## ☉ 참고 서적 및 사이트

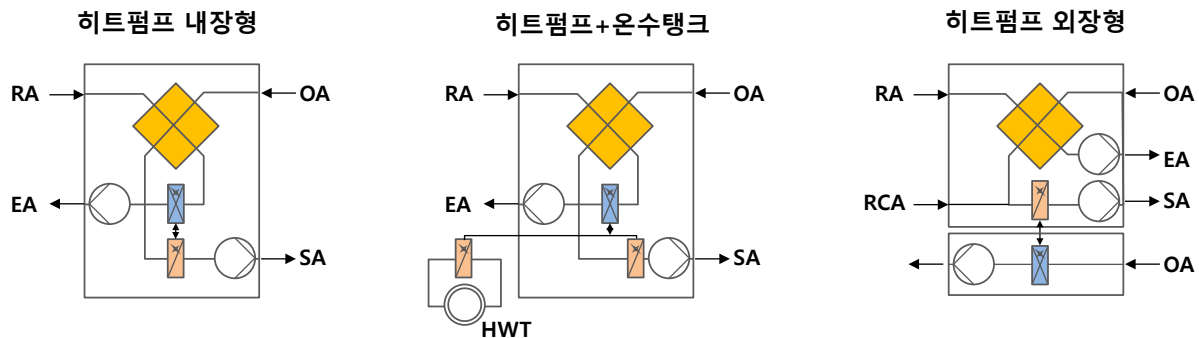
1. Bau-Handbuch 14, Bernd Dietrich and Rolf Sweekhorst, EW Medien und Kongresse GmbH

### 3 통합유닛 성능 평가 방법

#### ◎ 관련기준 및 검토 - 국내 관련 기준

열회수환기유닛[ERV]	냉·난방 히트펌프[HP]	급탕 히트펌프[HP]
		
<b>DIN V 18599-6:2018 기준 ERV 에너지 알고리즘</b>		
<b>Part 6: Final energy demand of ventilation systems and air heating systems for residential buildings</b>		
<b>KS B 6879 열회수환기장치 참조</b> 중형[300m³/h ~ 1000m³/h] 케이스 단열, 누기율 대기 전력 결빙	<b>KS B ISO 15042 멀티에어컨디셔너 및 히트펌프의 성능시험 참조</b> 온도등급별 최대/최소 출력 추가 외기 도입량 대기 전력 통합냉방효율 IEER on/off 작동 시간	<b>KS B ISO 15042 멀티에어컨디셔너 및 히트펌프의 성능시험 참조</b> 온도등급별 출력 작동 시간 대기 전력

#### ◎ 관련기준 및 검토 - 국외 관련 기준



단열	$R^c_{\lambda}$	케이스 단열 성능	온도등급별 최대/최소 출력시 성적계수	$EER_{s,i}   COP_{s,i}$	난방, 냉방, 급탕
누기율	$f_{v,exch,tight}$	내부 누기율, 외부 누기율	온도등급별 최대/최소 출력	$P_{el,V-AC}   P_{el,V-AH}$	난방, 냉방
결빙방지	$f_{v,exch,frost}$	결빙 방지 방식 및 결빙 방지 설정온도	온도등급별 최대/최소 출력시 소비전력	$P_{el,v}$	환기, 난방, 냉방, 급탕
소비전력	$W_{pre-h}, W_{el,v}$	프리히터, 팬/제어기 소비전력			
효율	$\eta_{sh}, \eta_{lh}$	온도교환효율, 잠열교환 효율			
출력	$P_{HR,i}, P_{lh}$	온도교환효율, 잠열교환 효율			

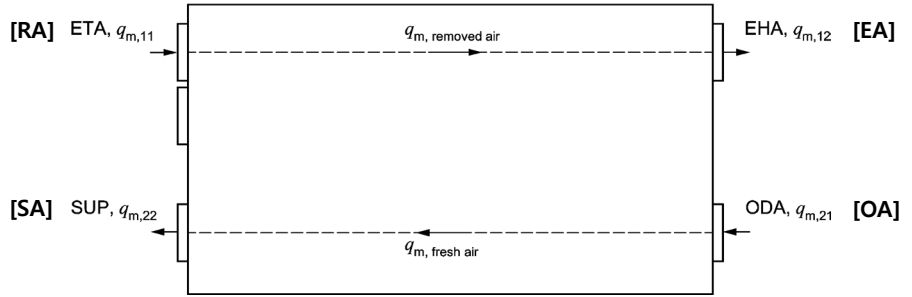
### EN 16573:2017 Ventilation for Buildings

Performance testing of components for residential buildings – Multifunctional balanced ventilation units for single family dwellings, including heat pumps

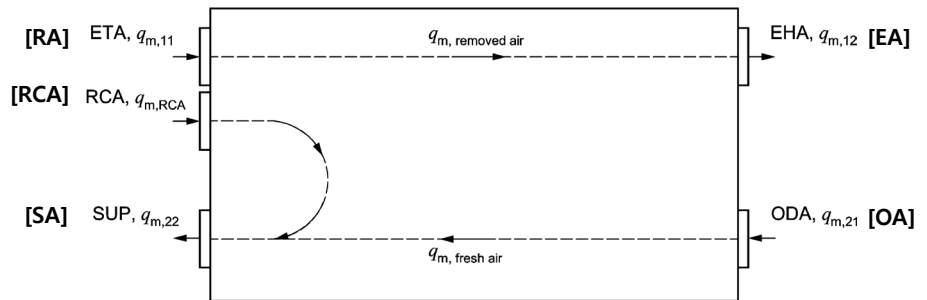
◎ KIAEBS S-14:2021 – 환기유닛 성능 평가

\* 풍량 용어 및 기호

급기[SA]:  $q_{m,22}$   
 외기[OA]:  $q_{m,21}$   
 배기(실내로부터)[RA]:  $q_{m,11}$   
 배기(외부로)[EA]:  $q_{m,12}$



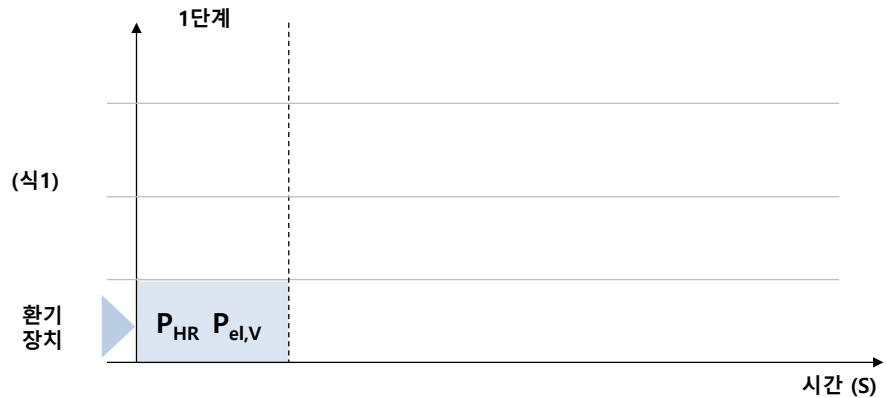
급기[SA]:  $q_{m,22}$   
 외기[OA]:  $q_{m,21}$   
 배기(실내로부터)[RA]:  $q_{m,11}$   
 배기(외부로)[EA]:  $q_{m,12}$   
 재순환공기[RCA]:  $q_{m,RCA}$



◎ KIAEBS S-14:2021 – 실내·외 환경조건

시험 환경 조건		배기 및 재순환 공기		외기		온수
		건구온도( $\theta_{11}$ )	습구온도( $\theta_{w11}$ )	건구온도( $\theta_{21}$ )	습구온도( $\theta_{w21}$ )	온도( $\theta$ )
난방	온도등급[A-7]	20	12	-7	-8	
	온도등급[A2]	20	15	2	1	
	온도등급[A7]	20	12	7	6	
냉방	온도등급[A35]	27	19	35	24	
급탕	온도등급[A-7]	20	12	-7	-8	45
	온도등급[A2]	20	15	2	1	45
	온도등급[A7]	20	12	7	6	45
	온도등급[A20]	20	12	7	6	45

◎ KIAEBS S-14:2021 - 환기유닛 성능 평가



(식1)

$$P_{HR} = q_{m,22} \times (h_{22} - h_{21}) \text{ [kW]}$$

$P_{el,V}$

$P_{HR}$ : 열회수환기열성능(kW)

$h_{22}$ : 급기 엔탈피 (kJ/kg)

$h_{21}$ : 외기 엔탈피 (kJ/kg)

$q_{m,22}$ : 급기 풍량 (kg/s)

$P_{el,V}$ : 열회수환기 소비전력(kW)

◎ KIAEBS S-14:2021 - 난방 성능 평가

(식2) : 난방 출력

$$P_{AH} = q_{m,21} \times (h_{22} - h_{21}) + q_{m,RE} \times (h_{22} - h_{RE})$$

(식3) : 난방/환기 에너지소요량

$$Q_{AH} = P_{AH} \times t_{AH} / 3600 \text{ [kWh]}$$

$$Q_{HR-AH} = P_{HR} \times t_{AH} / 3600 \text{ [kWh]}$$

(식4) : 전기에너지소비량

$$W_{el,V-AH}$$

$$W_{el,V} = P_{el,V} \times t_{AH} / 3600 \text{ [kWh]}$$

(식5) : 난방성능

$$COP_{AH} = [Q_{AH} - Q_{HR-AH}] / [W_{el,V-AH} - W_{el,V}]$$

(식6) : 난방작동시 대기전력

$$P_{es} = W_{es} / t_{es} \times 3600 - P_{el,V}$$

$P_{AH}$ : 난방출력(kW)

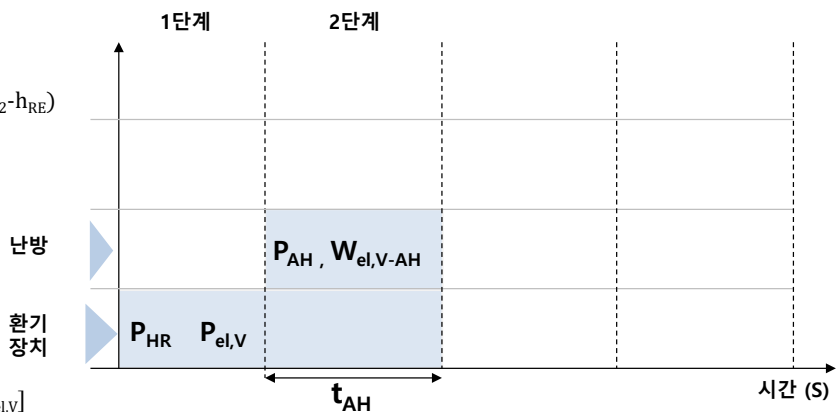
$q_{m,21}$ : 외기 풍량(kg/s)

$h_{22}$ : 급기 엔탈피 (kJ/kg)

$h_{21}$ : 외기 엔탈피 (kJ/kg)

$q_{m,RE}$ : 재순환 풍량 (kg/s)

$h_{RE}$ : 재순환공기 엔탈피 (kJ/kg)



$COP_{AH}$ : 난방성능계수(W/W)

$Q_{AH}$ : 총난방에너지공급량(kWh)

$Q_{HR-AH}$ : 열회수환기난방에너지공급량(kWh)

$P_{AH}$ : 난방 출력(kW)

$t_{AH}$ : 난방 작동 시간(s)

$W_{el,V}$ : 열회수환기 소비전력량(kWh)

$W_{el,V-AH}$ : 총 난방 소비전력량(kWh)

$P_{es}$ : 대기모드에서의 소비전력 (kW)

$W_{es}$ : on/off 주기 동안의 소비전력량(kWh)

$t_{es}$ : 히트펌프 on/off 주기 시간(s)

◎ KIAEBS S-14:2021 - 냉방 성능 평가

(식2) : 냉방 출력

$$P_{AC} = q_{m,21} \times (h_{22} - h_{21}) + q_{m,RE} \times (h_{22} - h_{RE})$$

(식3) : 냉방/환기 에너지소요량

$$Q_{AC} = P_{AC} \times t_{AC} / 3600 [kWh]$$

$$Q_{HR-AC} = P_{HR} \times t_{AC} / 3600 [kWh]$$

(식4) : 전기에너지소비량

$$W_{el,V-AC}$$

$$W_{el,V} = P_{el,V} \times t_{AC} / 3600 [kWh]$$

(식5) : 냉방성능

$$EER_{AC} = [Q_{AC} - Q_{HR-AC}] / [W_{el,V-AC} - W_{el,V}]$$

(식6) : 냉방작동시 대기전력

$$P_{es} = W_{es} / t_{es} \times 3600 - P_{el,V}$$

$P_{AC}$ : 냉방출력(kW)

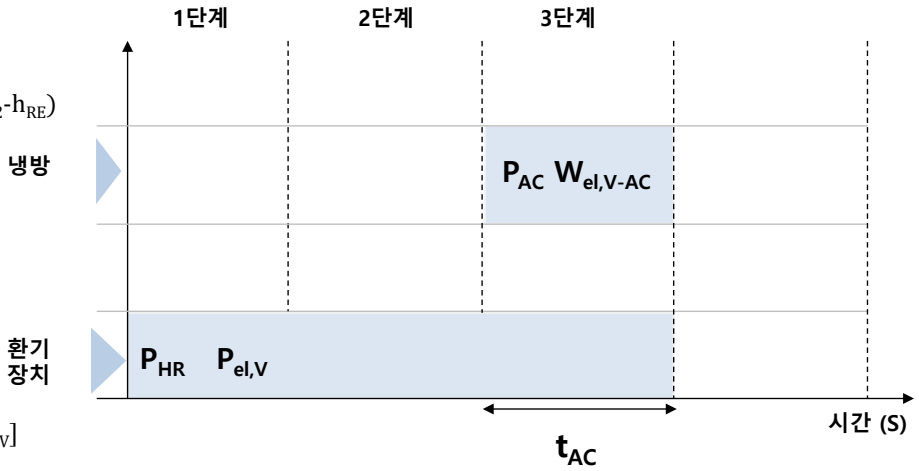
$q_{m,21}$ : 외기 풍량(kg/s)

$h_{22}$ : 급기 엔탈피 (kJ/kg)

$h_{21}$ : 외기 엔탈피 (kJ/kg)

$q_{m,RE}$ : 재순환 풍량 (kg/s)

$h_{RE}$ : 재순환공기 엔탈피 (kJ/kg)



$EER_{AC}$ : 냉방성능계수(W/W)

$Q_{AC}$ : 총냉방에너지공급량(kWh)

$Q_{HR-AC}$ : 열회수환기냉방에너지공급량(kWh)

$P_{AC}$ : 냉방 출력(kW)

$t_{AC}$ : 냉방 작동 시간(s)

$W_{el,V}$ : 열회수환기 소비전력량(kWh)

$W_{el,V-AC}$ : 총 냉방 소비전력량(kWh)

$P_{es}$ : 대기모드에서의 소비전력

(kW)

$W_{es}$ : on/off 주기 동안의 소비전

력량(kWh)

$t_{es}$ : 히트펌프 on/off 주기 시간(s)

◎ KIAEBS S-14:2021 - 급탕 성능 평가

(식4) : 전기에너지소비량

$$W_{el,V-WH}$$

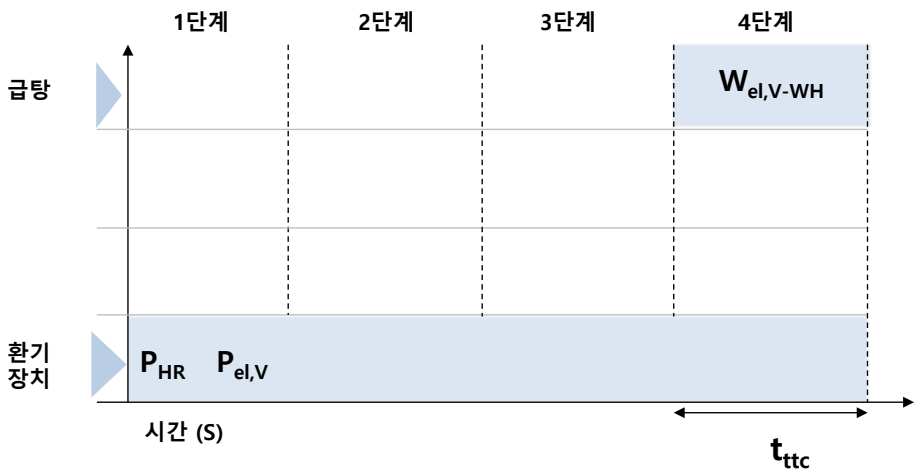
$$W_{el,V} = P_{el,V} \times t_{ttc} / 3600 [kWh]$$

(식5) : 급탕 성능

$$COP_{WH} = Q_{TC} / [W_{el,V-AC} - W_{el,V}]$$

(식6) : 냉방작동시 대기전력

$$P_{es} = W_{es} / t_{es} \times 3600 - P_{el,V}$$



$COP_{WH}$ : 급탕성능계수(W/W)

$Q_{TC}$ : 총급탕에너지공급량(kWh)

$t_{ttc}$ : 급탕 작동 시간(s)

$W_{el,V}$ : 열회수환기 소비전력량(kWh)

$W_{el,V-WH}$ : 통합유닛 총 소비전력량(kWh)

$P_{es}$ : 대기모드에서의 소비전력

(kW)

$W_{es}$ : on/off 주기 동안의 소비전

력량(kWh)

$t_{es}$ : 히트펌프 on/off 주기 시간(s)

◎ KIAEBS S-14:2021 - 환기유닛 성능 평가



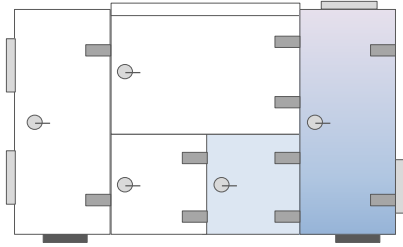
환기성능평가		환기성능				SA		OA		소비전력	
		$P_{HR}$	$q_{m,22}$	$h_{22}$	$h_{21}$	밀도	풍량	SA엔탈피	OA엔탈피	$t_{AH}$	$P_{el,V}$
구분		kW	kg/s	kJ/kg	kJ/kg	kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /h	kcal/kg	kcal/kg	s	kW
난방	A7	0.96	0.083998	32.034	20.569	1.1957	252.9	7.6511	4.9128	2100	0.1142
	A2	2.15	0.08412	36.660	11.095	1.1946	253.5	8.7561	2.6501	2100	0.1142
	A-7	2.50	0.085916	27.320	-1.833	1.2049	256.7	6.5252	-0.4377	2100	0.114
냉방	A35	-1.09	0.079232	58.150	71.893	1.1414	249.9	13.8889	17.1713	2100	0.1128
	A27	0.03	0.079769	54.373	53.957	1.1496	249.8	12.9868	12.8874	2100	0.1129

◎ KIAEBS S-14:2021 - 냉난방 및 급탕 성능 평가

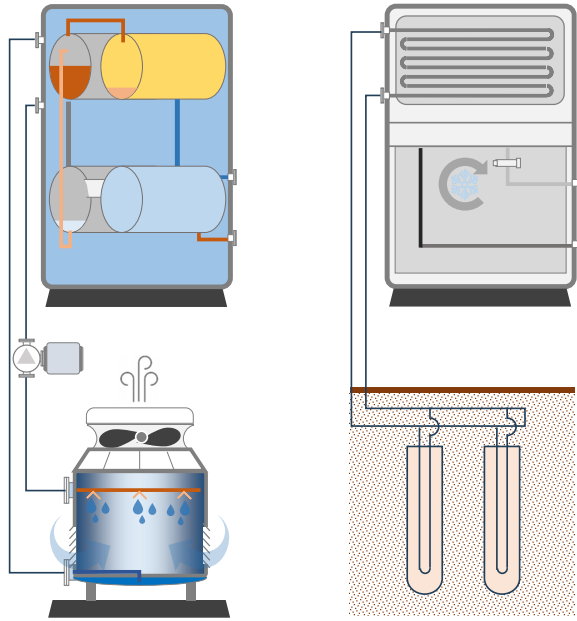


A7	$t_{AH}$	S	5min	10min	15min	20min	25min	30min	35min	
	$q_{m,21}$	kg/s		0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>		1.11	1.11	1.11	1.12	1.12	1.13	1.13	
V	m <sup>3</sup> /h		257.50	257.50	257.40	257.30	257.00	256.80	256.60	
$h_{22}$	kJ/kg		52.00	52.64	52.53	51.61	50.21	48.58	47.22	
$h_{21}$	kJ/kg		20.56	20.65	20.69	20.65	20.66	20.65	20.63	
W	kW		1.01	1.00	0.98	0.94	0.90	0.86	0.84	
5분 간격으로 측정함 (2.5K미만 조건임)										
$t_{AH}$	$P_{el,V}$	$P_{AH1}$	$P_{AH2}$	$P_{AH3}$	$P_{AH4}$	$P_{AH5}$	$P_{AH6}$	$P_{AH7}$		
s	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW		
2100	0.1142	2.51	2.55	2.53	2.47	2.36	2.24	2.14		
총난방성능					냉방성능					
$P_{AH,average}$	$Q_{RH}$	$W_{e,V,all}$	$COP_{V,AH}$	$W_{e,V}$	$Q_{RH,AH}$	$COP_{RH}$				
kW	kWh	kWh	W/W	kWh	kWh	W/W				
2.40	1.40	0.54	2.573	0.067	0.562	1.76				
A27	$t_{AH}$	S	5min	10min	15min	20min	25min	30min	35min	
	$q_{m,21}$	kg/s	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>		1.1652	1.1659	1.1659	1.1661	1.1663	1.1663	1.1662	
V	m <sup>3</sup> /h		252.7	252.5	252.3	252.3	251.1	252.1	251.8	
$h_{22}$	kJ/kg		44.91	44.74	44.73	44.68	44.57	44.50	44.50	
$h_{21}$	kJ/kg		71.80	71.69	71.68	71.71	71.69	71.71	71.68	
W	kW		1.13	1.14	1.14	1.14	1.16	1.14	1.14	
5분 간격으로 측정함 (2.5K미만 조건임)										
$t_{AH}$	$P_{el,V}$	$P_{AH1}$	$P_{AH2}$	$P_{AH3}$	$P_{AH4}$	$P_{AH5}$	$P_{AH6}$	$P_{AH7}$		
s	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW		
2100	0.1129	2.20	2.20	2.20	2.21	2.21	2.22	2.22		
총냉방성능					냉방성능					
$P_{AH,average}$	$Q_{RH}$	$W_{e,V,all}$	$COP_{V,AH}$	$W_{e,V}$	$Q_{RH,AH}$	$COP_{RH}$				
kW	kWh	kWh	W/W	kWh	kWh	W/W				
2.21	1.29	0.67	1.935	0.066	0.019	2.12				
급탕										
용량	비열	$PHR_1$	$PHR_2$	$PHR_3$	$PHR_4$	$PHR_5$	$PHR_6$	$P_{HR,average}$	$Q_{RH}$	성능
m	C	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	COP <sub>HR</sub>
liter(=kg)	W/kgK	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
70	1.16	0.09	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.73	0.37	2.611
70	1.16	0.11	0.10	0.08	0.08	0.07	0.07	0.99	0.50	3.809

### ◎ 냉·난방 및 급탕 에너지해석



공조(열회수환기장치) 설비  
공조에너지요구량(냉방, 난방): 예열 및 예냉 포함



냉방 및 난방설비에 해당하는 에너지 소요량 산정

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. Bau-Handbuch 14, Bernd Dietrich and Rolf Sweekhorst, EW Medien und Kongresse GmbH

## B.6

## 고효율 펌프/팬 기술

## 교육 목표

## 고효율 펌프/팬 기술

- \* 유체역학의 기초 이해
- \* 유체(공기 및 물)의 특성 및 표준상태의 특성값 이해
- \* 펌프의 성능평가 방법 및 평가항목 이해
- \* 펌프 고효율에너지기자재 및 효율관리기자재의 제도의 이해
- \* 팬(송풍기)의 성능평가 방법 및 평가항목 이해
- \* 송풍기 고효율에너지기자재 제도의 이해

## 1 유체역학 일반

## ◎ 유체란 무엇인가

- 유체의 정의
  - 전단력(shear force)이 작용했을 때 그것이 극히 작다고 할지라도 연속적으로 변형하는 물질의 종류
- 유체의 종류
  - 비압축성 유체 : 유체에 압력이 가해졌을 때 밀도의 변화가 없다.  
(물, 기름, 석유화학물질 등)
  - 압축성 유체 : 유체에 압력이 가해졌을 때 밀도의 변화가 있다.  
(공기, 가스 등)
- 유량의 측정
  - 유동하는 유체의 양을 측정
- 유량 측정에 영향을 미치는 물성 및 유동 특성
  - 밀도, 점도, 레이놀즈 수, 속도 분포, 열팽창 계수, 압축계수, 공기 용해도, 케비테이션, 습도 등
- 유체의 상대되는 단어로는 고체가 있음. 고체는 전단력이 작용하면 연속적으로 변하지 않고 파손되거나 변형됨
- 유량을 측정하기 위해서는 유체의 유동 특성을 이해하여야 함
- 밀도  $\rho = m/V$  ( $m$  : 질량 kg,  $V$  : 체적  $m^3$ ), 밀도는 온도에 따라 변함
- 표준공기의 밀도는  $1.2 \text{ kg/m}^3$  (KS B 6311), 표준 물의 밀도는 약  $998 \text{ kg/m}^3$  이나  $1000 \text{ kg/m}^3$  가정함(KS B 6301)

## ◎ 유체역학 기본 이론

- 유체역학의 정의
  - 유체역학은 유체 자체의 움직임이나 유체로 인해 나타나는 힘을 연구하는 학문 (유체 동역학과 유체 정역학으로 나눌 수 있다.)
  - 응용분야 : 혈관내 혈액의 흐름, 수영, 펌프, 송풍기, 선박, 비행기, 자동차 등
  - 유체는 연속체(continuum)으로 가정
- 기본 물리량과 차원(dimension)
  - 기본 물리량 : 질량(M), 길이(L), 시간(T), 온도(T)  
SI 단위 : kg(킬로그램), m(미터), sec(초), K(켈빈)
  - 차원 : 기본 물리량의 조합
  - KS A ISO 80000 series 참고 ([www.standard.go.kr](http://www.standard.go.kr))
- 유체(fluid) 와 유동(flow)
  - 유체 : 물, 공기, 기름등과 같이 성질을 가진 물질
  - 유동 : 유체가 흐르는 현상 (층류, 난류 등)
- 유체 동역학(Fluid dynamics) : 유체의 움직임을 연구.
- 유체 정역학(Fluid statics) : 유체가 정지한 상태에서 힘의 작용을 연구
- 연속체(continuum) : 물과 같은 대상이 빈 공간이 없이 연속적으로 존재한다는 의미
- 우리나라는 SI(국제단위계)을 표준으로 채택하고 있음. 영미BG단위(IP단위계) 무게(lb), 길이(inch), 시간(sec)
- 켈빈온도(K) : 섭씨온도 + 273.15
- 단위와 차원은 다름 (m/s와 km/h는 단위는 다르나, 차원은 같음.)
- KS A ISO 80000-1 양 및 단위 - 제1부 : 일반사항
- KS A ISO 80000-2 양 및 단위 - 제2부 : 수학
- KS A ISO 80000-3 양 및 단위 - 제3부 : 공간과 시간
- KS A ISO 80000-4 양 및 단위 - 제4부 : 역학
- KS A ISO 80000-5 양 및 단위 - 제5부 : 열역학
- 압축성 흐름 : 유체의 밀도가 시, 공간에 따라 변화하므로 밀도를 상수로 취급할 수 없는 유동
- 비압축성 흐름 : 유체의 밀도가 시, 공간에 상관없이 일정하여 밀도를 상수로 취급할 수 있는 유동

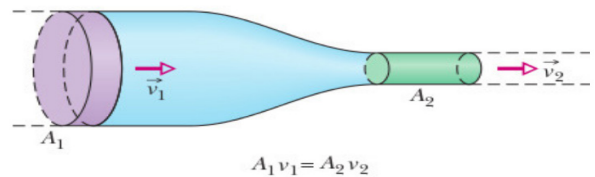
## ◎ 유체역학 기본 법칙 및 기본 방정식

- 유체역학 기본 법칙
  - 질량 보존의 법칙 (mass conservation)
  - 운동량 보존의 법칙 (momentum conservation)
  - 에너지 보존의 법칙 (energy conservation)
- 유체역학 기본 방정식
  - 베르누이 방정식 (Bernoulli's equation)

$$P_{s_1} + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \rho g h_1 = P_{s_2} + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \rho g h_2$$

- 연속 방정식 (Continuity equation)

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2$$



- 에너지 보존의 법칙을 통해 베르누이의 방정식이 유도됨. 위치가 똑같으면 운동에너지와 압력에너지만 고려함 즉, 운동속도가 빨라지면 압력은 낮아짐. 날개의 양력이론 배경임
- 압축성 효과와 마찰 효과를 무시할 수 있는 정상 유동에서 유선을 따라 유체 입자의 운동 에너지, 위치 에너지, 유동 에너지의 합은 일정함
- 운동방정식과 함께 연속방정식은 유체의 운동에 대해 나타내는 방정식을 구성하고 있다. 임의의 한 공간에서 유체가 단위시간당 유입되는 양과 유출되는 양이 같아야 한다는 조건을 만족시키는 방정식인 질량보존방정식을 비압축성 유체에 적용했을 경우 유도되는 방정식

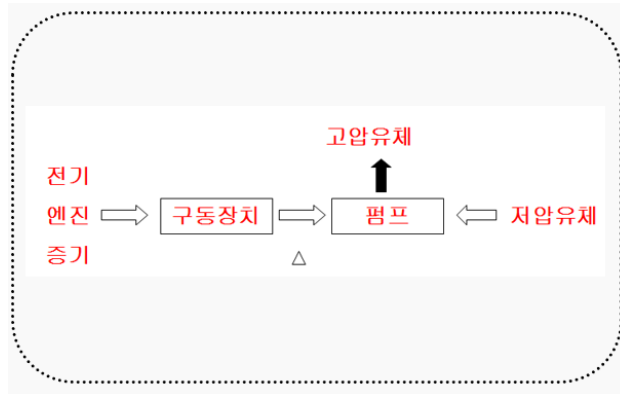
## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. 유량 측정의 이해 (2018.03.26), 한국표준과학연구원 임기원
2. White, "Fluid Mechannix", 3rd edition, McGraw Hill

## 2 펌프의 성능평가 및 인증

### ◎ 펌프 일반

- 펌프의 정의
  - 외부(모터, 엔진)로부터 에너지를 공급 받아 유체를 뽑아내고(흡상능력), 또한 밀어내는 기계 (가압능력)
  - 에너지 사용량이 매우 많고, 효율 향상 시 에너지 절감 효과가 큼



- 주로 낮은 곳에 있는 유체를 임펠러 또는 피스톤 등을 이용하여 유체에 압력과 속도를 가하여 배관 속으로 이동시켜 높은 곳으로 양수하는데 사용

#### 터보형 펌프

 1. 한쪽 흡입 벌루트-수평형	 2. 한쪽 흡입 벌루트-고형물형	 3. 한쪽 흡입 벌루트-논물포기형	 4. 한쪽 흡입 벌루트-수직형	 5. 양쪽 흡입 벌루트	 6. 다단(2단) 벌루트	 7. 다단 축 수직 분할형
 8. 다단 축 평행 분할형	 9. 다단 배럴 케이싱형	 10. 단단 우물용	 11. 다단 우물용	 12. 벌루트	 13. 보울	 14. 우물

#### 용적형 펌프

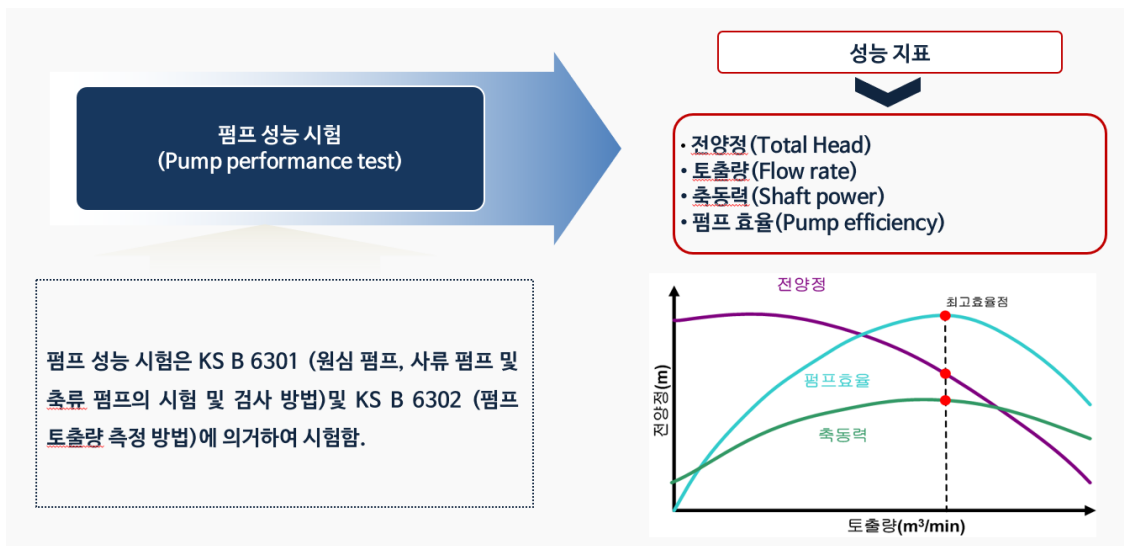
 1. 이크워일 베인 펌프 (로터 내 베인)	 2. 이크워일 베인 펌프 (스테이터 내 베인)	 3. 축방향 피스톤 펌프	 4. 롤러서클 베인 펌프	 5. 연동 펌프	 6. 로브 펌프(단입)	 7. 로브 펌프(3입)
 8. 외접 치차 펌프	 9. 내접 치차 펌프 (초순달 모양 파티션 있음)	 10. 내접 치차 펌프 (초순달 모양 파티션 없음)	 11. 원주방향 피스톤 펌프	 12. 단일축 나사 펌프	 13. 다중축 나사 펌프 (2나사)	 14. 한쪽 또는 이중 끝 다중축 나사 펌프(3나사)

- 터보형 펌프는 원심력을 이용하고 용적형 펌프는 체적을 교환하는 방식임

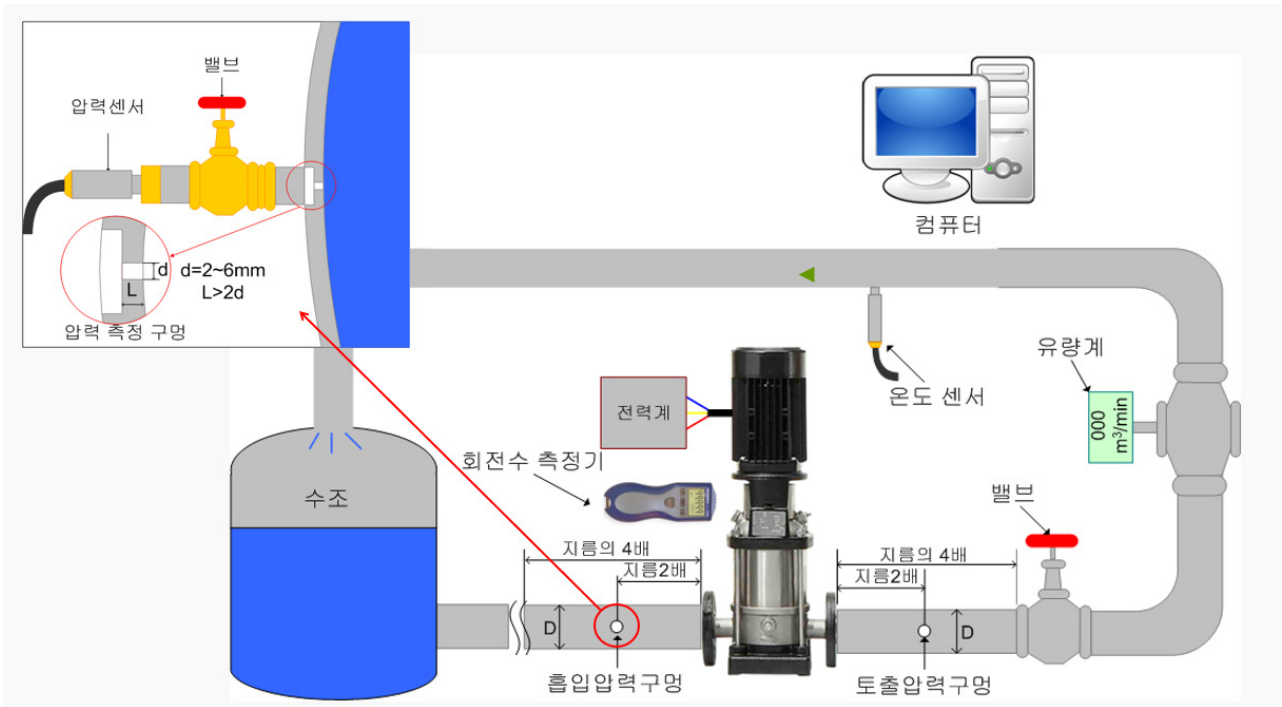


- 전동기에 인버터를 장착한 가변형 펌프가 도입되는 추세임
- 입형다단펌프는 부스터펌프시스템으로 아파트 및 대형 상업용 빌딩에 급수용으로 보급되고 있음
- 고효율에너지기자재의 90%가 입형다단펌프임

### ◎ 펌프 성능평가



- 펌프는 압력을 양정이라고 표현함
- 압력과 양정은 단위만 틀린것이 아니고 차원도 틀림



- 측정에 사용되는 모든 계측기(유량계, 압력계, 전력계, 회전수 측정기)는 교정이 수행되거나 국가 표준에 소급성이 확보되어야 함

**전양정 = 압력수두 + 속도 수두 + 위치수두**

$$H = h_d - h_s + \frac{v_d^2}{2g} - \frac{v_s^2}{2g}$$

If  $D_s$  is the same as  $D_d$ ,  $H = h_s - h_d$

$$h_d = \frac{10^6 G}{\rho g} + z_d \quad \text{and} \quad h_s = \frac{10^6 G}{\rho g} + z_s$$

여기서, H는 전양정 (m)  
 h는 압력 수두 (m)  
 v는 속도 수두 (m)  
 z는 위치 수두 (m)  
 $\rho$ 는 물의 밀도 (kg/m<sup>3</sup>)  
 g는 중력가속도 (9.8 m/s<sup>2</sup>)  
 G는 게이지 압력 (MPa)

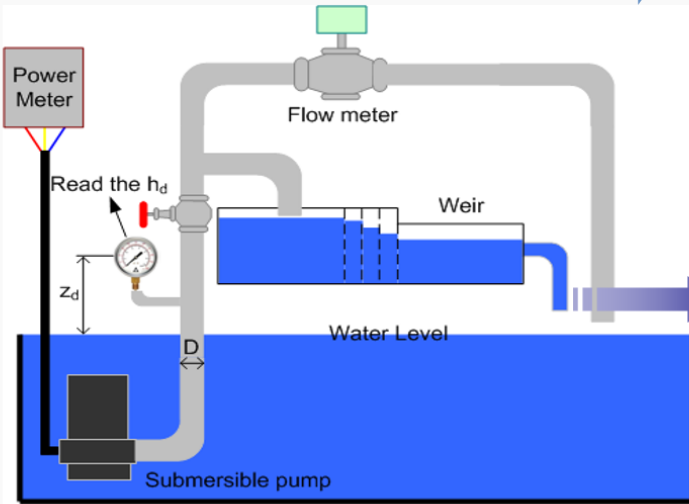
C : Center line of pump  
 A : Suction port  
 B : Discharge port

이 경우, 흡입과 토출 압력 측정 위치의 높이 차이가 없으므로 위치 수두는 (z)는 0이다.

- 밀도에 중력가속도를 곱하면 비중량(specific weight, 단위체적당 중량)이 되며, 과거에는 비중량  $\gamma$  로 표현을 함.
- 질량에 중력가속도를 곱하면 중량이 됨. SI 단위계에는 중량을 사용하지 않고 힘 즉 N으로 표현함
- $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} * 1 \text{ m/s}^2$
- $9.8 \text{ N} = 1 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ kgf}$

$$H = h_d + \frac{v_d^2}{2g} \rightarrow v_d = \frac{Q(m^3/min)}{A(m^2)}$$

$$h_d = \frac{10^6 G}{\rho g} + z_d$$



여기서, H는 전양정 (m)

$h_d$ 는 압력수두 (m)

$v_d$ 는 속도수두 (m)

$z_d$ 는 위치수두 (m)

$\rho$ 는 물의 밀도 (kg/m<sup>3</sup>)

$g$ 는 중력가속도 (9.8 m/s<sup>2</sup>)

$G$ 는 게이지압력 (MPa)

대유량일 경우 (토출 직경 1000 mm) 유량은 KS B 6302에 의거 위어(weir)로 측정 가능함.

- 수중모터펌프의 사용은 흡상의 한계를 극복함
- 토출지름이 900mm 이상은 국내에서 교정이 불가능하여 위어(weir)를 사용함

수동력  
(Hydraulic power)

$$P_h = \frac{\rho g Q H}{60 \times 10^3}$$

여기서, H는 전양정 (m)  
Q는 체적유량 (m<sup>3</sup>/min)  
 $\rho$ 는 물의 밀도 (kg/m<sup>3</sup>)

축동력  
(Shaft power)

$$P_s = P_c \times \eta_m$$

$P_c$ 는 입력전력 (kW)  
 $\eta_m$ 는 전동기 효율 (%)  
 $g$ 는 중력가속도 (9.8 m/s<sup>2</sup>)

펌프 효율  
(Pump efficiency)

$$\eta_p = \frac{P_h}{P_s}$$

종합 효율  
(Total efficiency)

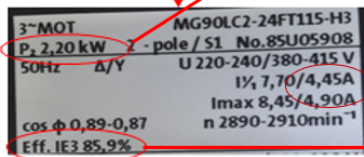
$$\eta_p = \frac{P_h}{P_c}$$



$P_c$ : 전력측정기로 측정된 전력은 입력전력임.

Spec. tag

명판상의 동력은 축동력 임.



→ 항상 시험은 정격전류 이내에서 수행함.

$\eta_m$ : 전동기 효율 (%)

- 유량(m<sup>3</sup>/s) 압력(Pa)을 곱하면 차원이 일률(Watt)이 나옴.  $\rho g H$ 의 단위는 Pa
- 축동력을 다이내모미터를 이용하여 직접 측정하는 방식도 있음. 회전수 \* 토크 = 일률

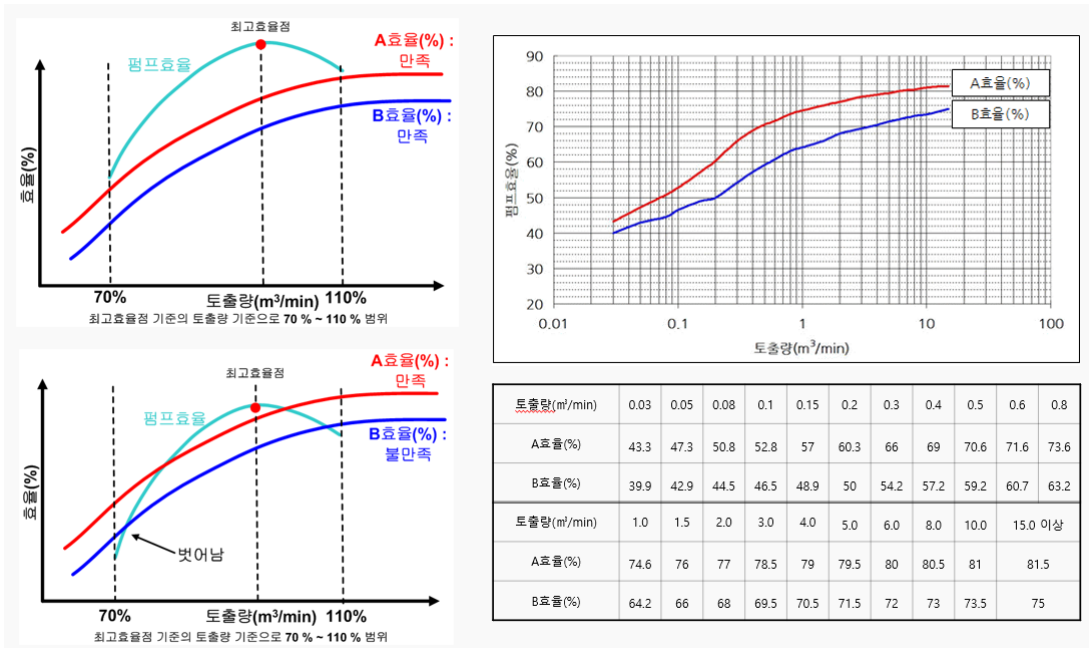
## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. [www.standard.go.kr](http://www.standard.go.kr)
2. 펌프핸드북 2판, 동명사, 박한영 김경엽
3. KS B 6301 원심펌프, 사류 펌프 및 축류 펌프의 시험 및 검사 방법
4. KS B 6302 펌프의 토출량 측정 방법
5. [www.iso.org](http://www.iso.org)
6. 고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정(산업통상자원부 고시 제2021-166호, 2021.10.25)

### 3 송풍기의 성능평가 및 인증

#### ◎ 펌프 인증제도

- 고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정(산업통상자원부 고시 제2021-166호, 2021.10.25)
- 펌프
  - 토출구경의 호칭지름이 2,200 이하인 터보형 펌프



- 2025.01.01일부터 양흡입 벌루트 펌프는 효율관리기자재(강제인증)으로 이관됨

## ◎ 송풍기 일반

- 송풍기의 정의
- 임펠러 또는 로터의 회전 운동으로 기체를 압송하며, 공기 압력비 1.3 이하에 적용 (KS B 0062 송풍기·압축기 용어 1001 )
  - 터보 송풍기(turbo fan, blower) <-> 용적형 송풍기  
 임펠러의 회전 운동으로 기체에 에너지를 주는 기계로서, 원심 송풍기, 사류송풍기, 축류 송풍기 등의 총칭
  - 원심 송풍기(centrifugal fan) <-> 축류 송풍기  
 기체가 임펠러를 반지름 방향으로 흘러 나가는 송풍기  
 (후향익 송풍기 backward inclined fan, 익형 송풍기 airfoil fan, 다익 송풍기 multiblade fan / 전향익 송풍기/forward curved fan)
  - 축류 송풍기 (axial-flow fan)  
 기체가 날개차에 대해 축방향부터 유입하고 축방향으로 유출하는 송풍기
  - 사류 송풍기 (mixed flow fan)  
 기체가 임펠러의 축방향과 어떤 경사를 갖고 흘러나가는 송풍기
- 공기 압력비(절대압력비) 1.3이하는 ISO 표준 및 KS 표준에 따른 분류임, 과거(일부 교재)에는 1.1이하 송풍기, 1.1~2.0 블로워, 2.0 초과 압축기로 분류하였으나 이는 틀린 분류임
- 블로워는 송풍기의 한 종류임.
- 인라인 송풍기(in-line fan)는 임펠러의 형상은 원심 송풍기지만, 유동 방향은 축류 송풍기의 형태를 가짐.
- 플레넘 송풍기(plenum fan) 원심 송풍기의 한 종류이며, 하우징이 없는 것이 특징임, 저비용 저효율임, 단독으로는 효율이 낮으나 설치 형태에 따라 효율이 높아질 수 있음

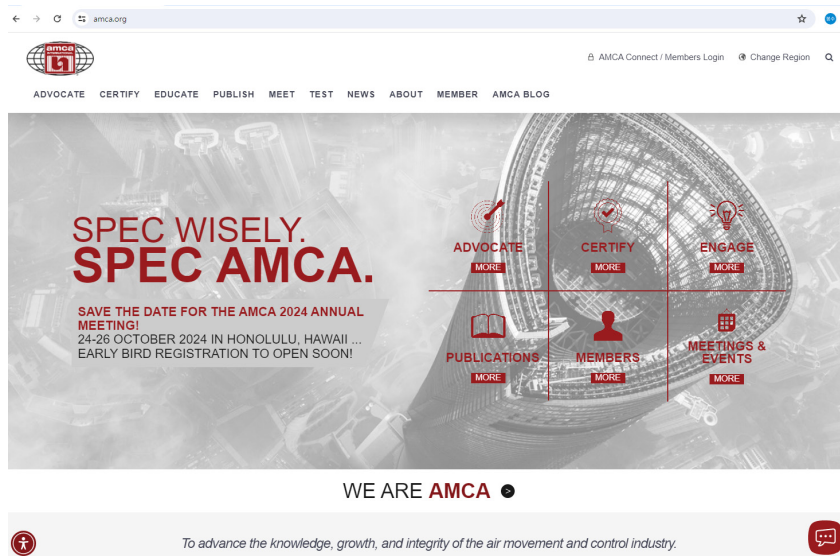


그림 : [www.gsfan.co.kr](http://www.gsfan.co.kr)

- 좌로부터 전향익 송풍기, 후향익 송풍기, 플레넘 송풍기, 인라인 송풍기, 축류 송풍기 임

## ◎ 송풍기 성능평가

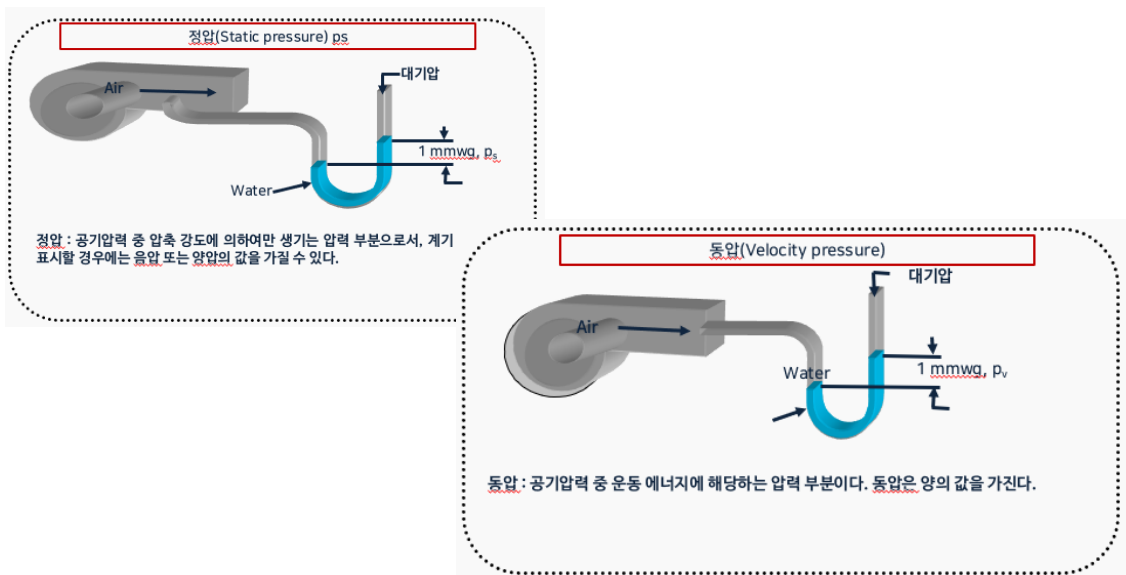
- 송풍기의 공기 성능 시험방법
- 1.1 송풍기 관련 표준
  - KS 표준 : 11종 ( 독자 : 3종, ISO (IDT) : 8종)
  - ISO/TC 117 Fans (www.iso.org)
  - AMCA International (www.amca.org), DIN, BSI, KARSE (한국설비기술협회)



- 미국의 AMCA International (Air Movement and Control Association international, INC.)가 송풍기 분야의 사실상 표준임
- 한국의 표준은 KS B 6311은 AMCA standard 210과 90% 이상 부합화 되어있음

- 송풍기 성능평가 시험 관련 규격
  - KS B 6311 송풍기의 시험 방법
  - KS B ISO 13350 산업용송풍기-제트송풍기의 성능실험
  - KS B ISO 5802 산업용송풍기-운전조건에 따른 성능시험
  - ISO 5801:2017 Fans - Performance testing using standardized airways
  - ISO 5802:2001 Industrial fans - Performance testing in situ
  - ISO 13350:2015 Fans - Performance testing of jet fans
  - ANSI/AMCA Standard 210-16 / ASHRAE 51-16 | Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating
  - ANSI/AMCA Standard 250-22 | Laboratory Methods of Testing Jet Fans for Performance
  - AMCA Standard 803-02 (R2008) | Industrial Process/Power Generation Fans: Site Performance Test Standard
- KS B 6311, ISO 5801, ANSI/AMCA Standard 201-16은 내용적으로 같은 표준임
- KS B ISO 13350, ISO 13350, ANSI/AMCA Standard 250-22은 터널용 제트팬 시험 표준임
- KS B ISO 5802, ISO 5802, AMCA Standard 803-02(R2008)은 현장 설치 후 시험 표준임

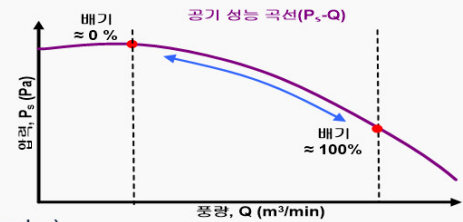
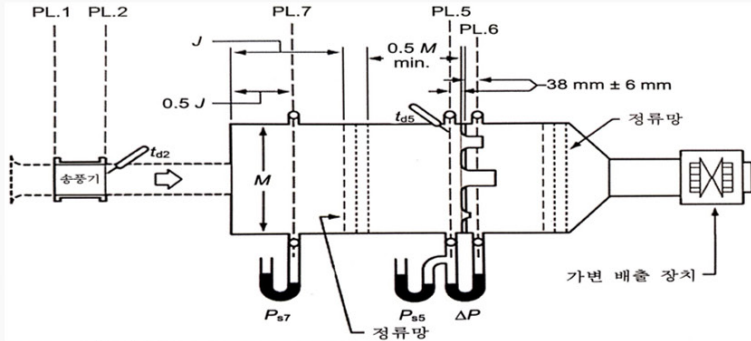
● 공기의 특성



- 전압(Total Pressure) = 정압(Static Pressure) + 동압(Velocity Pressure)
- 전압 : - 압축강도와 운동속도로 인하여 야기되는 공기 압력. 한 점에서의 전압은 그 점에서의 동압과 정압의 대수적 합, 그러므로 정지 상태에 있는 공기의 전압은 정압과 같게 됨

- 송풍기 공기성능 시험

송풍기 공기성능 시험 방법(KS B 6301 - 그림 6)



토출 챔버 구성 - 챔버 내 복합 노즐 (Outlet chamber setup-Multiple nozzle in chamber)

- 송풍기의 토출측에 챔버를 연결하고 P-Q 커브를 측정함
- 송풍기 축동력 시험

다이내모(Dynamo) 이용 시

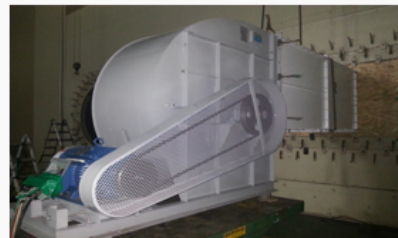
$$H = \frac{2\pi TN}{60}$$

여기서, H는 축동력( W)  
T는 토크(Nm)  
N은 회전수(r/min)

교정 전동기(Calibrated motor) 이용 시

$$H = W \times \eta$$

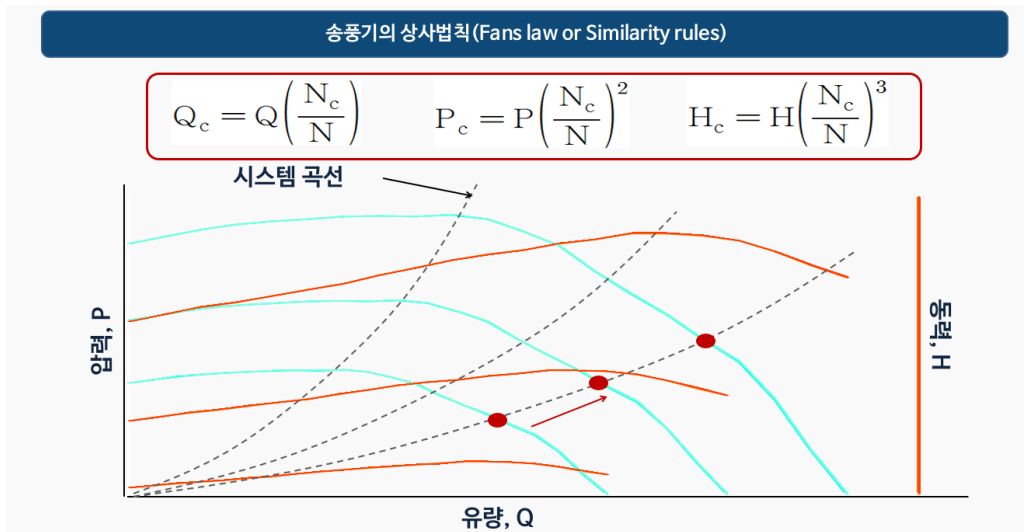
여기서, W는 입력전력( W)  
 $\eta$ 는 구동 전동기 효율(%)



$$\eta_t = \frac{QP_t K_P}{H}$$

여기서, Q는 유량(m³/s)  
P<sub>t</sub>는 전압(Pa)  
K<sub>p</sub>는 압축 계수  
(전압 3000 Pa 미만인 경우, K<sub>p</sub>는 보통 1로 취급함.)

● 송풍기의 환산



- 회전속도가 변하면 유량(Q), 전압(P), 축동력(H)은 회전속도로 계산이 가능함. 전압효율은 변동이 없음

◎ 송풍기 인증제도

- 고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정(산업통상자원부 고시 제2021-166호, 2021.10.25)
- 원심식 송풍기
  - 압력비가 1.3 이하 또는 송출압력이 30 kPa 이하인 직동, 직결 및 벨트 구동의 원심식 송풍기 (160~1800 mm)

**고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정 - 송풍기 전압 효율 값**

호칭번호 (인펠러 지름, mm)	전동기 직결식			벨트 구동식		
	후향익	날개형	전향익	후향익	날개형	전향익
280 이하	53.0	-	45.5	51.0	-	43.5
320	57.0	58.0	47.5	55.0	55.5	45.5
360	59.5	61.0	50.0	57.0	58.5	48.0
400	62.5	62.5	53.0	60.0	60.0	50.5
450	65.5	67.0	55.5	64.0	64.5	53.5
500	68.0	70.0	58.5	65.5	67.0	56.0
560	70.0	72.0	59.5	67.0	69.0	57.0
630	72.5	75.5	61.5	69.5	72.5	59.0
710	74.0	76.5	62.5	71.0	73.0	60.0
800	74.5	78.0	63.0	71.5	75.0	60.5
900	76.5	79.5	64.0	73.0	76.5	61.5
1000	77.0	80.5	64.5	73.5	77.5	62.0
1120	77.0	80.5	65.0	73.5	77.5	62.5
1250	77.0	80.5	66.0	73.5	77.5	63.5
1400	77.5	81.0	67.0	74.0	77.5	64.5
1600	77.5	81.0	68.5	74.0	77.5	65.5
1800	77.5	81.0	70.0	74.0	77.5	67.0

- 축류 송풍기 및 사류 송풍기는 고효율에너지기자재인증기자재에 포함되지 않음
- 플레넘 송풍기와 인라인 송풍기는 고효율에너지인증대상기자재에 포함됨

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. [www.standard.go.kr](http://www.standard.go.kr)
2. KS B 0062 송풍기·압축기 용어
3. KS B 6311 송풍기 시험방법
4. [www.gsfan.co.kr](http://www.gsfan.co.kr)
5. [www.amca.org](http://www.amca.org)
6. [www.iso.org](http://www.iso.org)
7. 고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정(산업통상자원부 고시 제2021-166호, 2021.10.25)

제로에너지건축 전문인력 양성교육 | 기본교육 | ZEB 액티브기술

# B.7

## 조명에너지 절감 기술

### 교육 목표

#### 조명에너지 절감 기술

- \* 조명에너지와 관련된 전반적인 사항에 대한 이해
- \* 조명에너지의 사용량, 조명에너지 절감을 위한 기본 원칙에 대한 이해
- \* 조명에너지 사용 진단, 조명에너지 절약 기준에 대한 이해
- \* 조명에너지의 계산(시뮬레이션)에 대한 이해
- \* 조명제어와 관련된 전반적인 사항에 대한 이해
- \* 조명제어의 개념, 조명제어의 목적과 효과에 대한 이해
- \* 조명제어 방식에 대한 이해
- \* 조명제어 프로토콜에 대한 이해스마트 조명제어와 관련된 전반적인 사항에 대한 이해
- \* 스마트 조명제어의 개념에 대한 이해
- \* 스마트 조명의 적용에 대한 이해

## 1 조명에너지의 기본 개념

### ◎ 조명에너지 사용량

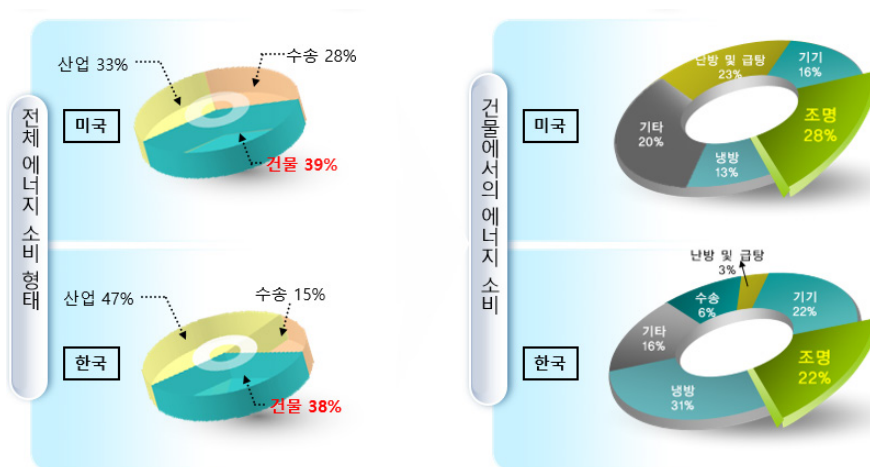


그림 출처: 에너지경제연구소, 초고층건물의 조명에너지절약을 위한 BIPV적용과 관한 연구

건물의 총 에너지 사용 중에서 조명 에너지가 차지하는 비율은 건물의 유형, 사용 패턴, 조명 기술, 지역 기후, 에너지 효율성 등 여러 요인에 따라 달라집니다. 일반적으로 다음과 같은 추정치가 있습니다:

1. 상업용 건물:

- 일반적으로 조명이 총 에너지 사용량의 약 10%에서 30%를 차지합니다. 최신 에너지 효율 조명 시스템을 사용하는 경우 이 비율이 더 낮아질 수 있습니다.

2. 사무실 건물:

- 사무실 건물에서는 조명이 에너지 사용량의 약 20%에서 40%를 차지할 수 있습니다. 이는 사무실 조명 사용 시간이 길고, 조명이 주요 에너지 소비 항목이기 때문입니다.

3. 주거용 건물:

- 주거용 건물에서는 조명이 총 에너지 사용량의 약 5%에서 15%를 차지합니다. 이는 주거용 건물에서 난방과 냉방이 더 큰 에너지 소비 항목이기 때문입니다.

4. 산업용 건물:

- 산업용 건물에서는 조명이 총 에너지 사용량의 약 5%에서 20%를 차지할 수 있습니다. 산업용 건물에서는 생산 설비나 기계가 더 많은 에너지를 소비합니다.

위의 비율은 대략적인 추정치이며, 특정 건물의 에너지 사용 패턴과 기술적 특성에 따라 달라질 수 있습니다. 최신 에너지 절약 기술 및 정책이 적용된 건물에서는 이 비율이 더 낮아질 수 있습니다. 에너지 사용 분석을 통해 보다 정확한 비율을 얻을 수 있습니다.

그림. 출처: OpenAI ChatGPT

## ◎ 조명에너지 절감의 기본 원칙

- 에너지 효율적인 인공광원과 조명기구의 사용
- 조명제어를 이용한 효율적인 운영 및 유지관리
- 주광이용의 극대화를 통한 신재생에너지 사용의 확대-인공조명과 연계



형광램프 32 W 2등용



LED 평판형 40 W



??

< 원별 단위에너지생산량 및 원별 보정계수(지침 별표10) >

신·재생에너지원		단위 에너지생산량	원별 보정계수
태양광	고정식	1,358	1.56
	추적식	1,765	1.68
	BIPV	923	5.48
태양열	평판형	596	1.42
	단일진공관형	745	1.14
	이중진공관형	745	1.14
	공기식무창형	487	1.37
	공기식유창형	557	2.57
지열에너지	수직밀폐형	864	1.09
	개방형	864	1.00
집광채광	프리즘	132	7.74
	광덕트	73	7.74
	실내루버형	184	2.77
연료전지	PEMFC	7,415	2.84
수열에너지		864	1.12
목재펠릿		322	0.52

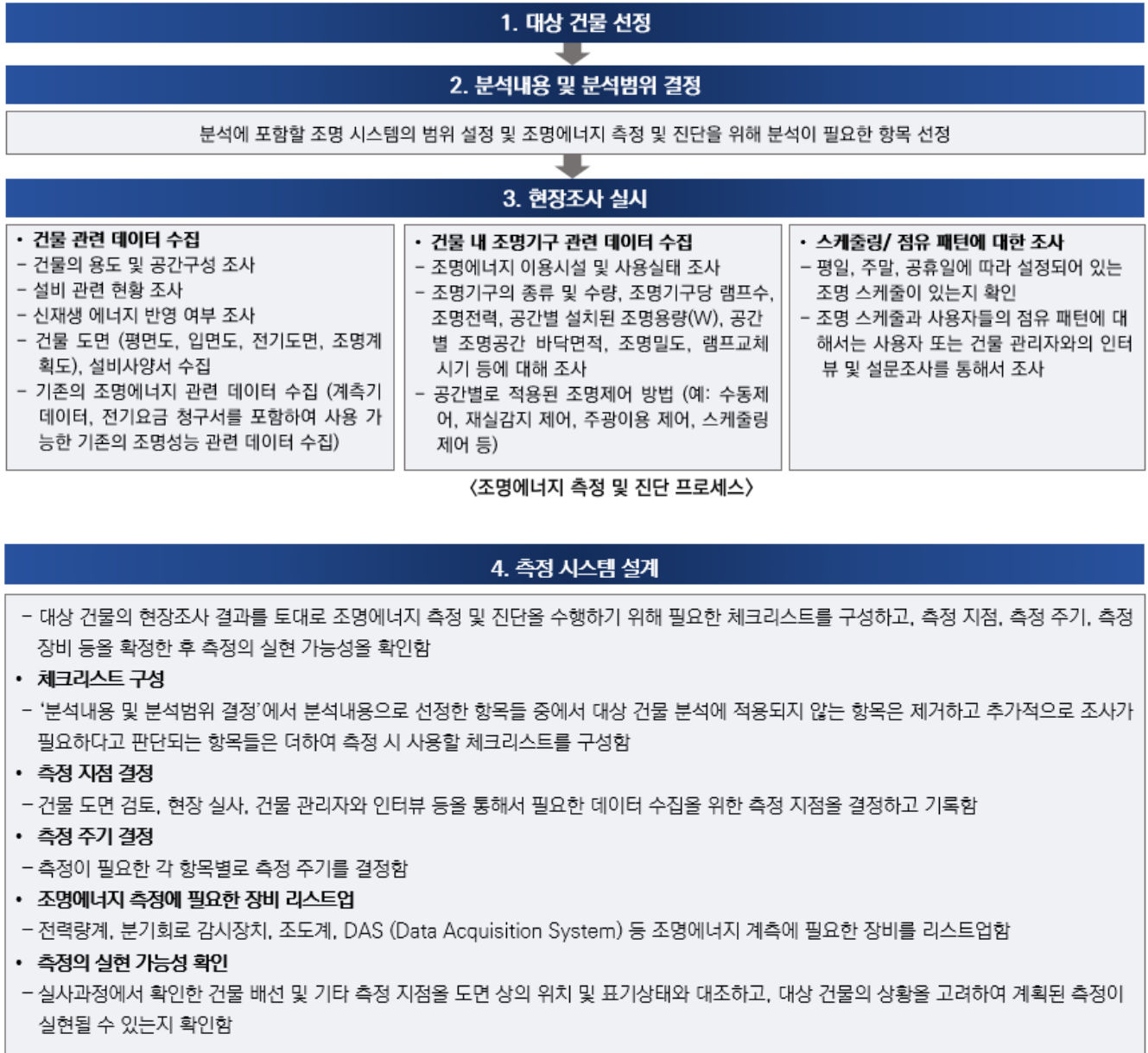
그림. 출처: 산업통상자원부 '신재생에너지 설치의무화제도'

≡ 실내 루버형 집광채광 시스템



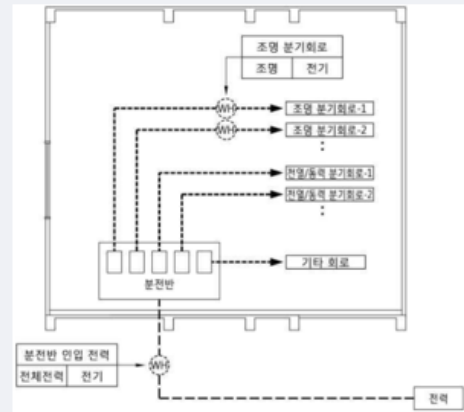
그림. 실내루버형 집광채광(출처: 선포탈)

## ◎ 조명에너지 사용 진단



### 5. 조명에너지 측정

- 조명에너지 측정을 위해 전기 도면 중 수변전설비 단선도를 확인하여 조명설비의 전력 공급 feeder를 확인함
- 조명설비의 feeder로 공급되는 개별 전력부하의 총합계가 조명설비 용도로 이용되는 총 전력부하 (또는 사용량)가 되며, 조명의 개별 (층별/ 구역별/ 실별) 전력 공급 feeder가 조명설비 용도의 전기에너지 사용량 계측을 위한 관제점이 됨
- 조명설비의 feeder에 데이터 계측을 위한 전력량계가 설치되어 있는지 여부를 확인한 후 전력량계가 설치되어 있으면 실시간 전력 부하 (Kw)와 누적 사용 전력량 (kWh)을 측정함
- 전력량계를 이용하여 조명에너지 사용량을 측정할 경우, 조명에너지 사용량은 주 조명기구의 전력사용량 계측값과 같으며, 별도 분기회로로 구성된 주 조명기구의 전력사용량을 계측함 (유도등의 경우 별도 분기회로로 구성되어도 전력사용량을 계측하지 않음)
- 옥외조명의 전력사용량은 계측하지 않으며, 일반적으로 비상조명등의 전력사용량도 계측하지 않지만 평상시에는 일반조명등으로 사용되고 화재 시에는 비상조명등으로 자동 전환되는 분기회로의 경우에는 계측함



〈조명 전력사용량 계측 방법〉

(출처: 업무시설에서의 용도별 에너지사용량 분류, 계측 및 원단위화 방법, 한국건축친환경설비학회, 2016)

### 6. 데이터 분석 및 결과 도출

- 측정된 조명에너지 사용량을 분석하여 표나 그래프로 나타내어 사용량의 변화 및 사용패턴을 파악할 수 있도록 함
- 월별 또는 계절별 일일 평균 조명 부하 프로파일, 조명 유형별 월평균 에너지 사용량, 공간별 월평균 에너지 사용량, 조명 제어방법별 월평균 에너지 사용량 등에 대하여 분석함

## ◎ 조명에너지 절약 기준

- 국토교통부가 제정한 ‘녹색건축물 조성 지원법’에 근거하고, 동법의 시행령 및 시행규칙에 따라 제정된 ‘건축물의 에너지절약설계기준’을 보면 조명에너지와 관련된 항목들이 있음

가. 조명기기 중 안정기내장형램프, 형광램프를 채택할 때에는 산업통상자원부 고시 「효율관리기자재 운용규정」에 따른 최저소비효율기준을 만족하는 제품을 사용하고, 유도등 및 주차장 조명기기는 고효율제품에 해당하는 LED 조명을 설치하여야 한다.

나. 공동주택 각 세대내의 현관 및 숙박시설의 객실 내부입구, 계단실의 조명기구는 인체감지 점멸형 또는 일정시간 후에 자동 소등되는 조도자동조절조명기구를 채택하여야 한다.

다. 조명기구는 필요에 따라 부분조명이 가능하도록 점멸회로를 구분하여 설치하여야 하며, 일사광이 들어오는 창측의 전등군은 부분점멸이 가능하도록 설치한다. 다만, 공동주택은 그러하지 않을 수 있다.

라. 공동주택의 효율적인 조명에너지 관리를 위하여 세대별로 일괄적 소등이 가능한 일괄소등 스위치를 설치하여야 한다. 다만, 전용면적 60제곱미터 이하인 주택의 경우에는 그러하지 않을 수 있다.

그림. 출처: 국토교통부 ‘건축물의 에너지절약설계기준’

- 강제규정은 아니지만, 권장사항을 제시함으로써 건물의 폭넓은 조명에너지 절감을 유도하고 있음

가. 옥외등은 고효율제품인 LED 조명을 사용하고, 옥외등의 조명회로는 격등 점등(또는 조도 조절 기능) 및 자동점멸기에 의한 점멸이 가능하도록 한다.

나. 공동주택의 지하주차장에 자연채광용 개구부가 설치되는 경우에는 주위 밝기를 감지하여 전등군별로 자동 점멸되거나 스케줄제어가 가능하도록 하여 조명전력이 효과적으로 절감될 수 있도록 한다.

다. LED 조명기구는 고효율제품을 설치한다.

라. KS A 3011에 의한 작업면 표준조도를 확보하고 효율적인 조명설계에 의한 전력에너지를 절약한다.

마. 효율적인 조명에너지 관리를 위하여 층별 또는 구역별로 일괄 소등이 가능한 일괄소등스위치를 설치한다.

그림 출처: 국토교통부 '건축물의 에너지절약설계기준'

- 국토교통부에서 제정한 '건축전기설비 설계기준'에도 조명제어와 관련된 사항들이 제정되어 있음

## 5. 조명제어

### 5.1 점멸장치

- 5.1.1 가정용 조명기구는 등기구마다 점멸기를 설치한다.
- 5.1.2 사무실, 학교, 병원, 상가, 공장 및 이와 비슷한 장소의 옥내에 시설하는 전반 조명기구는 부분조명이 가능토록 전등군을 구분하여 점멸이 가능해야 한다.
- 5.1.3 다음의 시설이 된 경우 5.1.2와 같이 시설하지 않아도 된다.
  - (1) 조명 자동제어설비를 설치한 경우
  - (2) 동시에 많은 인원을 수용하는 장소(극장, 영화관, 강당, 대합실, 주차장 등)
  - (3) 조명기구가 1열이고 그 열이 창과 평행한 경우 창측 조명기구
  - (4) 광 천장조명이나 간접조명 설치시 조명제어를 격등으로 설치한 경우
  - (5) 건축물의 구조가 창문이 없는 경우
  - (6) 공장의 경우 생산공정이 연속되는 곳에 일렬로 설치되어 조명기구를 동시에 점멸 할 필요가 있을 때
- 5.1.4 객실수가 30실 이상인 호텔이나 여관의 각 객실의 조명용 전원은 출입문개폐용 기구(키태그) 또는 집중제어방식(객실관리시스템)을 이용한 자동 또는 반자동의 점멸이 가능한 장치를 설치한다.
- 5.1.5 공동주택 각 세대내의 현관 및 숙박시설의 객실 내부 입구 조명기구는 인체감지점멸형 또는 점등후 일정시간 후 자동 소등되는 조명기구를 설치한다.
- 5.1.6 주택 현관에 설치하는 조명기구는 인체감지점멸형 또는 점등후 일정시간 후 자동 소등되는 조명기구를 설치한다.
- 5.1.7 가로등, 보안등의 조명은 주광센서를 설치하여 주광 조도레벨에 의하거나 타이머를 설치하여 자동점멸하거나 또는 집중제어 방식을 이용하여 제어한다.

### 5.2 조광 설비

- 5.2.1 업무용 빌딩의 회의실, 전시실, 극장의 무대, 호텔 등의 연회장, 컨벤션센터 등의 기능상 설치된 조명기구와 분위기조명을 시행하는 장소는 조광장치를 설치하여 조도를 연속제어 하는 것이 바람직하며, 조명연출이 필요한 조명기구는 조광장치를 설치한다.
- 5.2.2 조광장치의 설치가 필요한 장소에서도 각 용도에 맞도록 단계별 조정이 가능토록 한다.
- 5.2.3 조광장치는 일반적으로 사이리스터 또는 전력용 반도체 소자로 구성된 위상제어 조광방식을 사용한다.

### 5.3 조명 자동제어

- 5.3.1 조명 자동제어 설계시 기본개념은 용도와 주위 조건에 따라 최적의 조도레벨 유지와 이에 따른 에너지절약을 목적으로 한다.
- 5.3.2 조명 자동제어는 마이크로프로세서와 센서를 사용하는 방식으로 하고, 수동제어와 자동제어가 되도록 한다.

#### 5.3.3 자동제어

- (1) 넓은 구역으로 구획된 창가의 주광에 의한 조도레벨 유지가능범위까지의 조명기구는 주광센서에 의한 제어로 한다.
- (2) 업무스케줄에 따라 자동제어 될 수 있도록 한다. 다만, 일반적인 제어 형태는 전체점등, 전체소등, 휴일소등, 중식시간 소등 등이 있으며, 휴일소등은 조명레벨 조정(예 : 50%, 25% ...)이 가능한 패턴제어로 한다.
- (3) 자동제어 시스템 설치시 중앙집중방식으로 중앙감시실 등 항상 관리인원이 상주하는 장소로 한다.

#### 5.3.4 수동제어

- (1) 조명 자동제어가 되는 상태에서도 현장여건에 따라 임의로 제어상태를 바꿀 수 있도록 수동제어장치를 현장부근에 설치한다.
- (2) 수동제어장치는 조작이 쉬워야 하며 제어대상 구역의 확인이 용이한 표시가 되어야 한다.

그림 출처: 국토교통부 '건축전기설비 설계기준' 중의 조명제어 부분

- 미국의 경우에는 좀더 구체적이고 자세한 규정을 제정하여 준수하도록 하고 있음
- 예를 들어, 강제적인 자동 소등을 특정한 공간에서는 적용하도록 하고 있으며, 여러 기관의 규정을 명시하고 있음

<b>Buildings</b>	<b>Commercial buildings &gt; 5,000 sq.ft.</b>		
<b>Standards</b>	<b>IECC 2006/2009 and ASHRAE/IESNA 90.1-2001/2004/2007</b>		
<b>Requirement</b>	<b>Interior lighting must be automatically shut OFF when not in use</b>		
<b>Lighting</b>	<b>General lighting; task lighting shutoff encouraged</b>		
<b>Methods</b>	<b>Scheduling</b>	<b>Occupancy sensor</b>	<b>Other system signal</b>
<b>Notes</b>	<b>Schedule controls lights in max. 25,000 sq.ft. space, not more than 1 floor</b>	<b>Lights OFF within 30 minutes</b>	<b>Examples: BAS, security system</b>

그림. 출처: IES seminar-Lighting controls for nonresidential buildings, SEM-4-IM-09

- 각 공간의 특수한 상황에 대한 조명제어 규정도 제정하여 준수하도록 하고 있음.
- 아래의 예시는 오픈스페이스 사무실 공간에서 파티션이 천장까지 설치된 경우에 준수되어야 하는 규정을 보여 주고 있음
- 각 규정들은 규정이 적용되어야 하는 공간들의 면적과 시간을 정하고 있음.
- 조명제어에 필요한 요구사항을 나타내고 있으며, 조명제어의 구체적인 방법론도 제시하여 조명제어가 명확히 실행될 수 있도록 함

<b>Spaces</b>	<b>Interior spaces enclosed by ceiling-height partitions</b>	
<b>Standards</b>	<b>IECC</b>	<b>ASHRAE/IESNA 90.1</b>
<b>Requirement</b>	<b>Lighting must have at least one manual control</b>	<b>General lighting must be independently controlled</b>
<b>Methods</b>	<b>Manual control located where user can see controlled lights, or remote control with controlled lights annunciated</b>	<b>Manual control if 24-hour operation, otherwise manually or via occupancy sensor; 90.1-2004/2007 requires occupancy sensors in some spaces</b>
<b>Notes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Control cannot override time schedule for more than 2 hours</li> <li>• Area controlled ≤5,000 sq.ft.</li> <li>• If building/space mall, arcade, auditorium, single-tenant retail space or arena where captive-key override used, override can exceed 2 hours and controlled area must be ≤20,000 sq.ft.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Control cannot override time schedule for more than 4 hours</li> <li>• If enclosed space &lt;10,000 sq.ft., then control coverage area cannot be &gt;2,500 sq.ft.</li> <li>• If &gt;10,000 sq.ft., control coverage area is 10,000 sq.ft.</li> <li>• Control must be readily accessible with lights visible, or remote for safety or security</li> </ul>

그림. 출처: IES seminar-Lighting controls for nonresidential buildings, SEM-4-IM-09

## ◎ 조명에너지 계산 (시뮬레이션)

- 기본적으로 조명전력(정격용량)과 사용시간의 곱으로 계산됨. 또는 조명밀도와 면적을 곱해서 조명전력을 구함
- 보조장치(안정기, SMPS)의 사용전력도 포함되어야 함
- 독일 DIN 규격에서는 재실감지와 디밍제어를 포함한 계산식을 제안함

$$Q_{i,f,j} = P_j \times A_j \times t_{\text{annual}}$$

$Q_{i,f,j}$  : 조명에너지 요구량(wh)

$P_j$  : 공간 j의 조명밀도(w/m<sup>2</sup>)

$A_j$  : 공간 j의 면적(m<sup>2</sup>)

$t_{\text{annual}}$  : 연간 총 사용시간(h)

$$Q_{i,f,j} = (P_j \times A_j \times t_{\text{annual}}) \times (F_{KL,j} \times F_{PRA,j})$$

$Q_{i,f,j}$  : 조명에너지 요구량(wh)

$P_j$  : 공간 j의 조명밀도(w/m<sup>2</sup>)

$A_j$  : 공간 j의 면적(m<sup>2</sup>)

$t_{\text{annual}}$  : 연간 총 사용시간(h)

$F_{KL,j}$  : 공간 j의 조명운영제어계수(재실감지 반영)

$F_{PRA,j}$  : 공간 j의 조명제어계수(조광제어 반영)

그림 출처: DIN 18599-4, 2016

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. 빛과 조명, 문운당, 2020년, 최안섭 저
2. 최신 스마트 조명 핸드북: 조명기초, 조명제어 & 인증과 법규, 2023년, 한국조명전기설비학회 저
3. DIN V 18599-4, 2016

## 2 조명제어의 적용

### ◎ 조명제어의 개념

- 제어란 목표가 달성되도록 하는 전기적, 기계적 행위를 일컫음
- 조명제어란 조명기구의 점소등을 통해 생활하는데 불편함이 없도록 하는 일련의 행위를 지칭하며, 적절한 조명의 양과 질을 필요한 공간에 필요한 시간만큼 공급할 수 있는 수단이라 할 수 있음
- 이러한 조명제어를 통해 공간의 미적창출, 에너지 절감, 공간의 사용 편리성 등 다양한 목적을 달성할 수 있으며, 조광제어(dimming) 등의 진보된 제어를 통해 더욱 정확한 조명제어가 가능하게 됨
- 광원의 색온도 조절을 통한 조명색의 변화도 넓은 의미의 조명제어에 해당된다고 할 수 있음

### ◎ 조명제어의 목적 및 효과

- 공간의 특성에 맞는 적절한 조명의 양과 질의 공급
- 생활의 편의성, 안정성, 쾌적성 도모
- 작업자들의 생산성 및 작업환경의 질 개선
- 조명용 에너지의 절감
- 건축공간의 미적감각 강조 및 증대
- 조명시스템의 유지관리 비용의 절감
- 건강과 웰빙 촉진

### ◎ 조명제어의 방식 - 튜닝(Tuning)

- 조명 디자인시 광손실율을 고려해서 목표조도보다 약 20~30% 높은값으로 광원 및 조명기구의 개수가 선정되는데, 초기의 조도값은 광원 및 조명기구와 공간에서 발생하는 빛의 손실을 미리 감안해서 초기값을 높게 설정하게 됨
- 그래서 초기에는 목표 조도값보다 높은 조도값으로 인해 불필요한 에너지가 낭비되는 것으로, 전체 조명기구를 목표 조도값이 될 수 있도록 광속을 일괄적으로 줄여주면 에너지 절감을 도모할 수 있음
- 시간이 지남에 따라 점차적으로 다시 광속을 높여주고, 광원의 교체시기에 즈음에서는 100%의 광속을 유지하게 함

## ◎ 조명제어의 방식 - 재실감지

- 재실감지는 재실감지 센서(또는 거주감지 센서로 불림, occupancy sensor)를 통해 재실자의 움직임을 감지하여 인공조명을 점소등하는 것임. 최근에는 재실감지 방법으로 CCTV나 피플 카운팅 등의 방법도 이용되고 있음
- 실내공간 중의 복도, 화장실, 회의실, 복사실 등과 같이 간헐적으로 사용되면서 오랜 시간 사용되지 않는 공간과 사용시간의 예측이 힘든 공간 등에서 주로 사용되고 있으며, 약 25~50%의 조명용 전기에너지를 절감할 수 있음
- 재실감지 센서의 감지방법은 초음파를 이용하는 방법과 적외선을 이용하는 방법이 사용되며, 초음파의 이용은 인간의 움직임으로 인해 생기는 공간 음장에서서의 간섭이 높은 주파수의 소리 파장에 변화를 주는 것을 감지하는 것이고, 적외선의 이용은 인간의 움직임 등에 의한 공간의 적외선 변화를 감지하는 것임
- 재실감지 센서는 시간 지연(delay)장치, 센서의 민감정도 조절장치 등을 포함하기도 하는데, 센서 시간 지연은 마지막 움직임이 감지된 후 조명이 소등되기 전까지의 시간을 의미함. 이 시간이 짧을수록 에너지 절감량은 많아지나, 잦은 점소등으로 인해 광원의 수명과 시스템 안정성에 영향을 줄 수 있고, 일반적으로 15분 이상이 제안되고 있으며, 최대 30분을 넘지 않도록 하고 있음
- 센서의 민감정도란 조명기구를 점소등하기 위한 움직임의 정도를 의미하는 것으로 민감정도가 높을수록 넓은 면적을 커버할 수 있으나 잘못된 소등을 야기할 수 있고, 반대로 민감정도가 낮을수록 적은 면적밖에 커버 못하며, 너무 낮은 경우에는 소등을 제대로 수행하지 못할 수도 있음

## ◎ 조명제어의 방식 - 주광이용 광센서 조광제어

- 주광이용 광센서 조광제어는 실내로 유입되는 주광량을 광센서로 측정하여 그 만큼의 인공조명의 광속을 줄여주는 시스템으로, 이용 가능한 주광량은 창문의 종류, 크기, 투과율, 건물의 디자인, 건물의 방향, 실내의 디자인, 가구, 차광기구 등에 영향을 받음
- 주광만으로는 항상 계획(설정)조도를 유지할 수 없기 때문에 인공조명이 반드시 필요하며, 인공조명의 절감을 위해서는 주광과 인공조명의 통합(integration) 즉 인공조명의 제어가 꼭 필요함, 조광제어는 실내로 입사된 주광과 조광된 인공조명의 합 조도가 실내의 주광량 변화와 관계없이 항상 설정조도에 유지될 수 있도록 하는 것이고, 유리창의 면적과 투과율, 공간의 방위 등에 따라 조명용 전기에너지가 약 30~60% 까지 절감될 수 있음

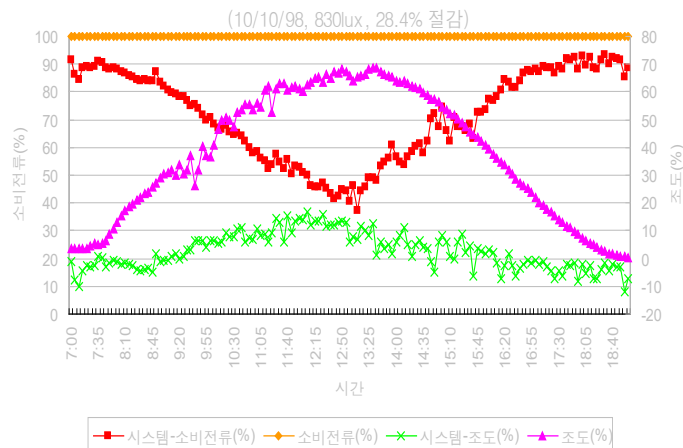


그림. 에너지 절감 예시(출처: 빛과 조명)

### ◎ 조명제어의 방식 - 스케줄링

- 조명시스템의 원격조정이 가능함에 따라 조명시스템의 점소등 통제가 가능하여, 많은 조명용 전기에너지를 절감할 수 있게 되었음, 이른 아침 출근 전의 조명시스템을 통제할 수 있고, 점심시간에는 전체의 조명기구를 부분적으로 소등하여 불필요한 전력낭비를 방지할 수 있는 스케줄 제어를 가능하게 함
- 스케줄 제어는 소프트웨어를 통해 일간, 주간, 휴일, 국경일 등으로 분리 설정할 수 있도록 되어 있고, 저녁 퇴근 후에는 잔업자들의 공간만 조명시스템을 점등할 수 있는 그룹제어가 가능함
- 예전의 스케줄 제어는 점소등만 으로 제어되었으나, LED 조명기구의 적용으로 인해 조광제어도 일반화 되고 있음

구분	제어방법
재실 감지 (O)	• 재실자가 있을 경우에는 자동으로 점등하고, 재실자가 없을 경우에는 자동으로 소등하거나 미리 설정된 최저 조도로 변경함
최대 밝기 줄임 (H)	• 공간의 유형에 따라서 업무시간의 경우 최대 조도레벨의 70-80%를 적용함
주광 이용 (D)	• 실내로 유입되는 주광의 양에 따라서 소등을 하거나 불필요한 조명의 밝기를 줄여주는 디밍제어를 함 • 유입되는 주광이 많을 경우에는 창측 조명들의 조도를 낮게 하거나 소등되게 하고, 유입되는 주광이 적을 경우에는 자동으로 조도가 높아지게 함
개별 디밍 (P)	• 작업의 종류나 사용자의 요구에 따라서 디밍스위치나 모바일 기기를 이용한 조도 변경이 가능하도록 함
스케줄링 (S)	• 계절별/시간대에 따라서 조명이 제어되게 하거나 평일과 주말/공휴일, 업무시간과 업무 외 시간로 구분하여 스케줄을 설정한 후 설정된 스케줄에 따라서 자동으로 점소등 되거나 디밍제어되도록 함

구분	제어방법
O + H / S + H	• 재실이 감지되거나 on으로 스케줄링된 시간에 최대 조도레벨의 70-80% 정도로 점등되게 함
O + D / S + D	• 재실자의 유무 (또는 사용자의 스케줄)와 실내 조도값을 동시에 고려하여 조명을 제어함 • 재실이 감지되거나 on으로 스케줄링된 시간에 주광의 유입으로 실내 조도가 권장조도값 이상일 경우에는 조명을 디밍제어하거나 소등함
O + D + P / S + D + P	• 재실이 감지되거나 on으로 스케줄링된 시간에 유입되는 주광의 양에 따라서 자동으로 조명을 제어하며, 필요시 사용자의 요구에 맞게 수동으로 조도를 조절할 수 있도록 함
O + S + P	• 재실자의 유무 (또는 사용자의 스케줄)에 따라서 자동으로 조명을 제어하고, 필요시 사용자의 요구에 맞게 수동으로 조도를 조절할 수 있도록 함 • 가령, 야근 시 전반조명의 조도는 낮추고 작업공간과 주변공간만 작업자가 원하는 적정 조도로 조절함. 회의 시에는 회의의 성격에 따라서 (빔 프로젝터 이용하는 회의 또는 이용하지 않는 회의) 조도를 제어할 수 있도록 함

\* 재실 감지 (O), 최대 밝기 줄임 (H), 주광 이용 (D), 개별 디밍 (P), 스케줄링 (S)

공간 유형	공간명	적용 가능한 조명제어 방법				
		스케줄링	재실감지	최대밝기 줄임	주광이용	개별 디밍
사무영역	사무실	●	●	●	●	●
	회의실	●	●	●	●	●
휴게·편의시설영역	휴게실	●	●	●	●	
	매점	●		●	●	
공용시설영역	식당	●		●	●	
	로비	●	●	●	●	
	복도	●	●	●	●	
	계단실	●	●			
관리영역	화장실	●	●	●	●	
	기계실	●				
	전기실	●				
	관리실	●	●	●	●	

## ◎ 조명제어 프로토콜

- 조명제어시스템을 효율적으로 운영하기 위해서 각 기기(component) 간의 신호 교환의 정확성과 합리성을 고려해야 함
- 각 컴포넌트 간의 신호의 규약을 조명제어 프로토콜이라고 하며, 이것은 전체 시스템 중 다른 브랜드의 컴포넌트가 사용될 시에도 조명제어가 원활히 될 수 있도록 프로토콜(protocol)이 오픈되고 사용되어야 함
- 통신 프로토콜은 한 명의 제조업자(개발자) 소유하고, 설비를 위해 독점적으로 사용되는 것을 독점 프로토콜이라 함 그리고 개인적으로 개발되었어도 다른 사람의 사용이 가능하고, 프로토콜에 맞는 설비생산을 결정한 다른 제조업자들로부터 설비들 사이에 통신을 허용해 주는 것을 개방 프로토콜이라 함
- 대표적인 조명제어 방식으로 아날로그 컨트롤인 0~10 V 제어 방법은 조명광원을 조광제어하는데 많이 사용되어 왔으며, 주로 형광램프의 조광제어에 많이 사용되었고 이러한 전압 신호값을 조광용 안정기로 보내고 그에 의해 형광램프의 광속을 조절할 수 있음
- 이러한 방법은 IEC60929(International Electrotechnical Commission)의 안정기 제어방법으로 채택되었으며, IEC60929는 전자식 안정기의 표준을 다루는 내용임
- IEC60929는 PWM(Pulse Width Modulation) 제어방법도 채택하였는데, 이 방법은 최소 0 ~ 1.5 V 및 최대 10~25 V를 갖음
- DMX512(Digital Multiplex)는 대표적인 디지털 프로토콜인데, 주로 무대조명의 제어에 많이 사용됨.
- 디지털 커뮤니케이션 네트워크에 있어 데이터를 교환하는 방식으로 실제 데이터 교환에는 EIA-RS485(Electronic Industries Alliance-Recommended Standard) 방식을 채택하였으나, 현재는 USB(Universal Serial Bus)로 대체되었음.
- 512의 의미는 최대 512개의 채널의 조광이 가능하다는 것임



그림. DMX 관련 그림(출처: JB Lighting 회사제품)

- DALI(Digital Addressable Lighting Interface)는 기존의 IEC60929 0~10 V 아날로그 제어를 대체하는 방법이며, 건물자동화를 다루는 IEC62386에도 관련이 있음
- 조명제어의 대표적인 프로토콜로서 안정기와 연결되어 원하는 조명연출이 가능하도록 하였고, 각각의 안정기에는 고유의 주소가 부여되어 그룹 또는 개별 제어가 가능하기 때문에 모든 조명기구를 각각 별도로 제어할 수 있게 된 것임
- DALI 안정기의 효시는 1999년 유럽의 오스람, 필립스, 헬바에서 그 개념을 소개하였고, 그 후 많은 제조사에서 그 방식을 채택하였음
- DALI는 양방향 통신이 가능하여 조명기구의 오작동을 중앙제어시스템에서 확인할 수 있다는 장점을 가지고 있음

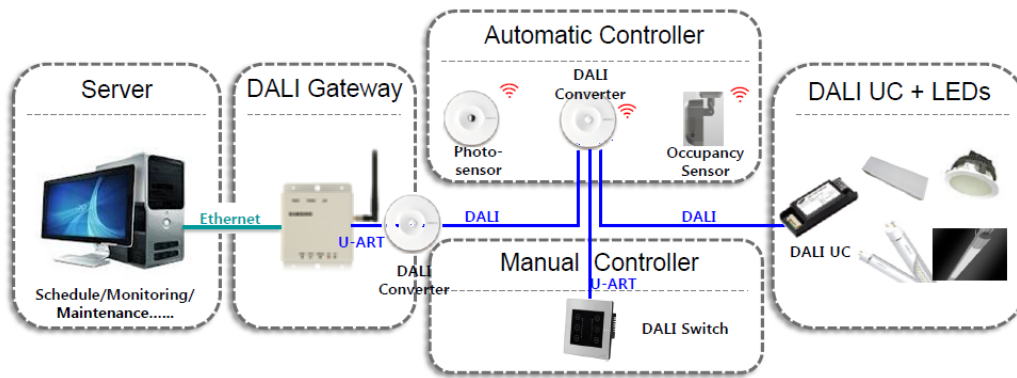


그림. DALI 시스템 예시(출처: 삼성 LED 발표자료)

구분	개념	특징
0-10V	디지털 프로토콜 방식이 등장하기 전까지 건축시스템에서 가장 일반적으로 사용된 아날로그 유선 조광방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주로 형광램프의 조광제어에 많이 사용되었으며, 0-10V의 직류전압 신호값을 조광용 안정기로 보내고 그에 의해 형광램프의 광속 (0V: 꺼짐, 10V: 100% 밝기)을 조절함</li> </ul>
DMX 512	디지털 조명제어 통신 프로토콜의 표준으로, 한 쌍의 RS485 통신선을 이용하여 디지털 제어신호를 전달하는 통신방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유선통신을 기반으로 하기 때문에 데이터 전송이 안정적이지만, 시스템의 설치 및 유지, 보수에 많은 비용이 필요하고, 제어 가능한 채널수와 물리적 제어 범위의 한계가 존재하여 넓은 지역을 한 번에 제어하기 위해서는 추가적인 장비나 비용이 요구됨</li> <li>• 통신 방법이 단방향 구조이므로 현재 조명의 상태를 모니터링 할 수 없음</li> </ul>
DALI	IEC 62386에 의한 개방형 표준의 조명제어용 통신 프로토콜	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 조명기구마다 address를 부여하여 독립적인 기능을 갖게 함으로써 작업공간의 변화 시 별도의 배선작업 없이 프로그램으로 간단하게 조명의 변경이 가능함</li> <li>• 양방향의 정보통신으로 안정기와 광원의 상태를 파악할 수 있어 유지보수에도 효과적임</li> <li>• 재실감지 조명, 스케줄링 조명, 수요관리 측면에서의 피크 컷팅용 조명제어 등에 적용 가능하며, 적절히 적용될 경우 30-60%의 에너지 절약이 가능함</li> </ul>

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. 빛과 조명, 문운당, 2020년, 최안섭 저
2. 최신 스마트 조명 핸드북: 조명기초, 조명제어 & 인증과 법규, 2023년, 한국조명전기설비학회 저
3. DIN V 18599-4, 2016

### 3 스마트 조명제어

#### ◎ 스마트 조명제어의 개념

Light is not just for vision anymore.....

RPI Lighting Research Center, U.S.

‘망막에 도달한 빛은 인간의 행동에 다음과 같은 2가지 영향을 미친다.’

- Visual effect : Visual task를 할 수 있는 능력
- ↓
- Emotion
- ↑
- Non-visual effect : 인간 생체리듬을 24시간 주기에 맞춤

Characteristic	Visual	Circadian
Quantity	✓	✓
Spectrum	✓	✓
Timing	✓	✓
Duration	✓	✓

- 생체리듬(일주기리듬, Circadian rhythm)은 체온, 수면패턴, 호르몬 분비, 혈압과 관련이 있음
- 빛은 생체리듬을 변화시키는 가장 중요한 자극제로서, 특히 멜라토닌 호르몬과 밀접한 관련성이 있음.
- 낮에는 충분한 양의 빛에 노출되어야 하고, 야간에는 최소한의 빛과 낮은 색온도의 빛을 통해 멜라토닌 분비를 촉진시켜야 함
- 스마트 조명제어라 함은 조명이 필요한 곳에 적절한 밝기의 빛을 자동적으로 조절하는 것을 의미함
- 유선 또는 무선 네트워크로 연결되어 센서, 제어기기 등의 정보의 입출력과 제어를 통해 조명의 품질을 만족하면서 주변환경(주변의 빛, 움직임 등)이나 사전 설정(시간, 밝기 등) 등에 따라 변경이 가능한 조명시스템을 의미함

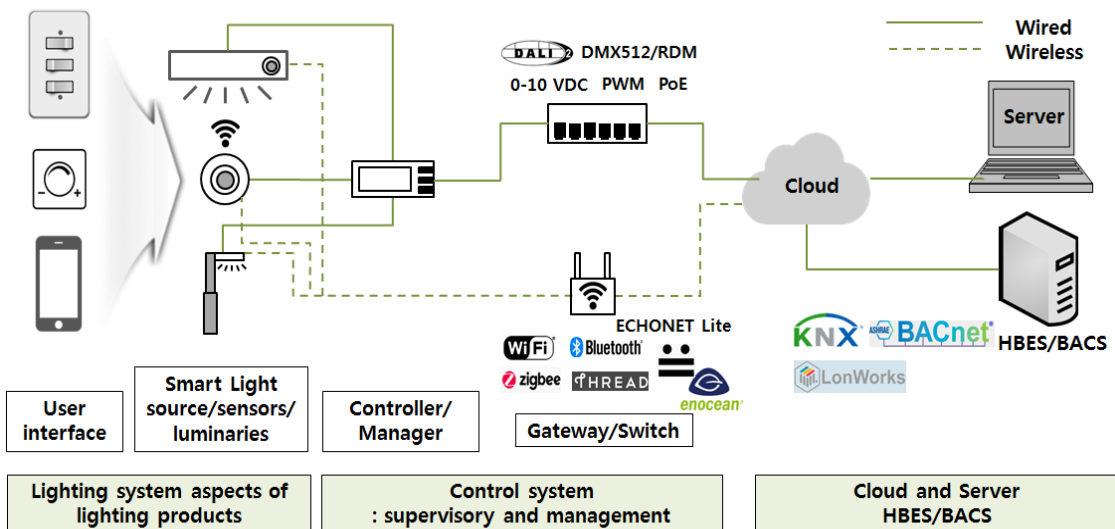


그림. 스마트 조명의 개념(출처: 최신 스마트 조명 핸드북: 조명기초, 조명제어 & 인증과 법규)

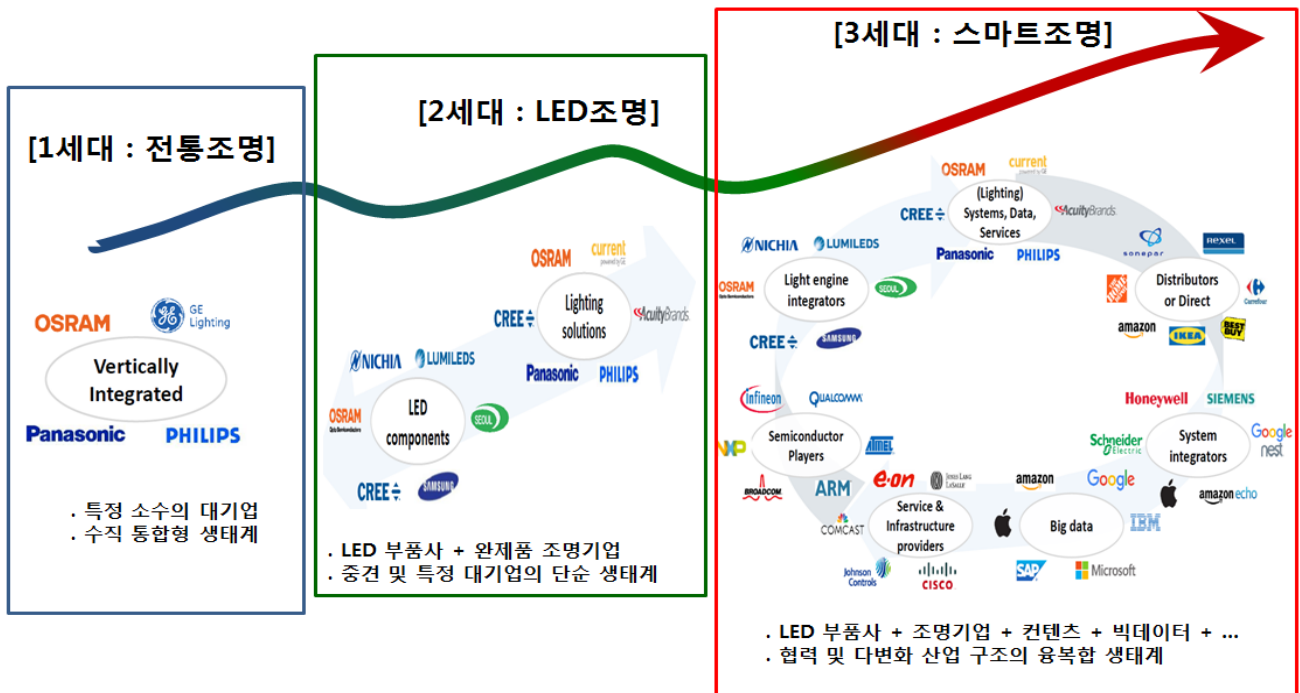


그림. 스마트 조명 산업 변화(출처: 최신 스마트 조명 핸드북: 조명기초, 조명제어 & 인증과 법규)

- 더 나아가, 인간의 생체리듬에 적합한 빛의 세기와 색온도를 조성하고, 특별 상황에 맞도록 배광조절 등을 통해 공간의 빛환경 변화를 제공하며, 이러한 조절이 행위자의 생활 시나리오와 공간위치에 따라 자동적으로 조절되는 조명시스템을 지칭함
- 스마트 조명은 서케디언 리듬(circadian rhythm), 감성(emotion), 지능(intelligence)의 세 가지의 개념으로 나누어 볼 수 있으며, 이 세 가지 개념이 종합될 때 진정한 의미의 스마트 조명제어시스템이 되는 것임

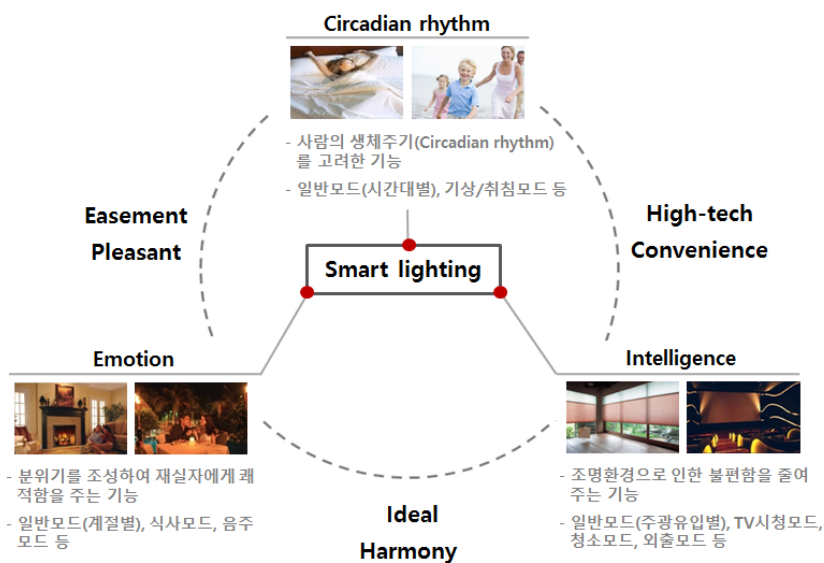


그림. 스마트 조명의 개념(출처: 빛과 조명)

## ◎ 스마트 조명제어의 적용

### ■ 주거공간의 스마트 LED 조명시스템 콘텐츠

- + 계절에 따른 색온도 제어
- 계절에 따라 색온도를 제어하여 쾌적하고 감성적인 조명환경 제공
- 색온도 제어 범위 제한 : 봄/가을 - 4000K~4500K, 여름 - 5000K~5500K, 겨울 - 3000K~3500K



Time scheduling /Touch pad /Mobile

### ■ 주거공간의 스마트 LED 조명시스템 콘텐츠

- + 시간에 따른 색온도 제어
- PM 10:00와 AM 12:00를 기준으로 점진적으로 조도 레벨을 낮춤.
- 에너지 절약 및 눈에 피로도 감소의 효과를 주고, 빛의 생체리듬에 대한 영향의 최소화
- 기존 조도의 80% 수준으로 조광 제어함.
- ※ 사람이 조도의 변화를 인식하는 시점은 기존조도에서 20% 이상으로 변할 때이므로 그 범위 이내에서 조도 조절함.



Time scheduling /Touch pad /Mobile

그림. 주거공간의 스마트 조명제어 예시(출처: 빛과 조명)



봄/가을: 코브, 거실등, 복도등 : 4500K, 전반조도 400lx



여름: 코브, 거실등, 복도등 : 5500K, 전반조도 400lx



겨울: 코브, 거실등, 복도등 : 3500K, 전반조도 400lx



코브, 거실등 : 5500K, 전반조도 300lx  
스포츠 시청 모드



코브, 거실등 : 4500K, 전반조도 200lx  
일반 TV 시청 모드



코브, 거실등 : 3500K, 전반조도 100lx  
영화 관람 모드

그림. 주거공간의 스마트 조명제어 예시(출처: 빛과 조명)



독서등, 거실등, 코브: 5500K, 작업면조도 400lx  
플로어스탠드 off, 독서조명 on



플로어스탠드, 거실등, 코브: 5500K, 작업면조도 400lx  
플로어스탠드 on, 독서조명 off



거실등, 코브(TV시청모드): 4500K, 전반조도 200lx  
조리대, 간이조리대, 주방보조등: 5500K, 식탁면조도 400lx  
거실에 채실자가 TV시청을 하고 있을 때 거실 모드 유지



코브, 거실등: 3500K, 150lx  
조리대, 간이조리대, 보조등: 3500K, 600lx  
거실에서 본 주방이미지



코브, 거실등: 3500K, 전반조도 150lx  
조리대, 간이조리대, 보조등: 4500K, 식탁면조도 400lx  
거실에서 본 주방이미지

그림. 주거공간의 스마트 조명제어 예시(출처: 빛과 조명)

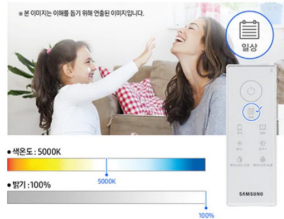


그림. 주거공간의 색온도 변화(출처: 직접 촬영)



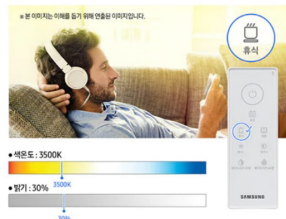
▶ 일상 모드

Human Centric Solution 없이 일상적인 생활이 필요할 때 일상모드를 선택하세요.  
(외조광으로 일상 모드를 선택시 일일변환을 지원하지 않습니다.)



▶ 휴식 모드

가벼운 독서를 하거나 음악청취 등, 편안한 분위기에서 휴식을 취하시길 권장하여 선택하세요.  
(외조광으로 휴식 모드를 선택시 휴식변환을 지원하지 않습니다.)



▶ 집중 모드

낮시간 태너리닝 중요으로 할라로, 낮의 약한사기과 두뇌를 각성, 산제 활동성을 높일 수 있습니다.  
명예를 향하시길 권장하여 집중모드를 선택하세요.  
(외조광으로 집중 모드를 선택시 집중변환을 지원하지 않습니다.)

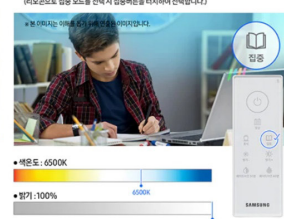


그림. 생체리듬 조명(출처: 삼성전자 생체리듬 조명)



## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. 빛과 조명, 문운당, 2020년, 최안섭 저
2. 최신 스마트 조명 핸드북: 조명기초, 조명제어 & 인증과 법규, 2023년, 한국조명전기설비학회 저
3. DIN V 18599-4, 2016

## B.8

## 흡수식냉동기 및 배열시스템

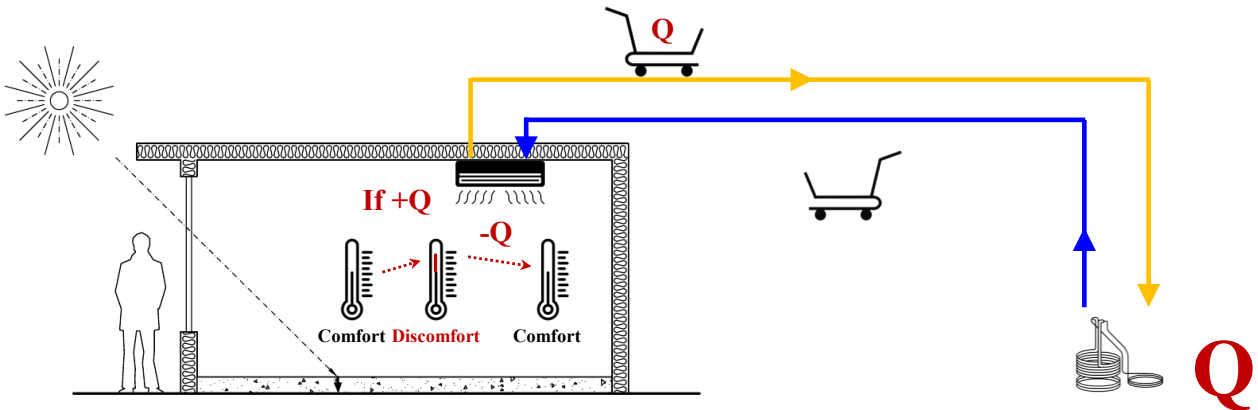
## 교육 목표

흡수식냉동기 및  
배열시스템

- \* 냉방 프로세스와 냉각장치 역할 이해
- \* 냉동 사이클 원리 이해 (압축식 냉동 사이클, 흡수식 냉동 사이클)
- \* 흡수식냉동기의 구성 및 특성 이해
- \* 배열시스템의 이해
- \* 냉각탑의 구성과 특성 운전의 이해

## 1 흡수식냉동기

## ◎ 냉방 프로세스 및 냉각방식

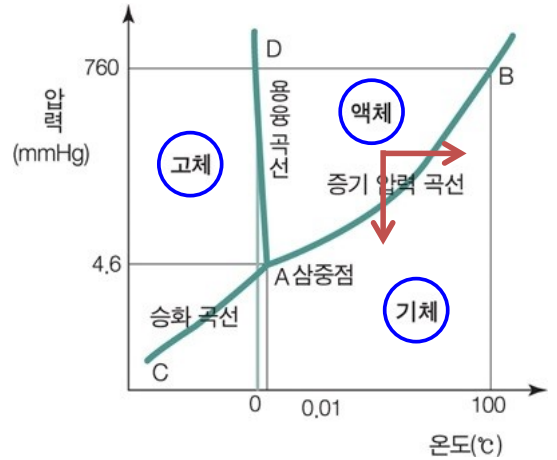


## 1. 기본적인 냉각방식

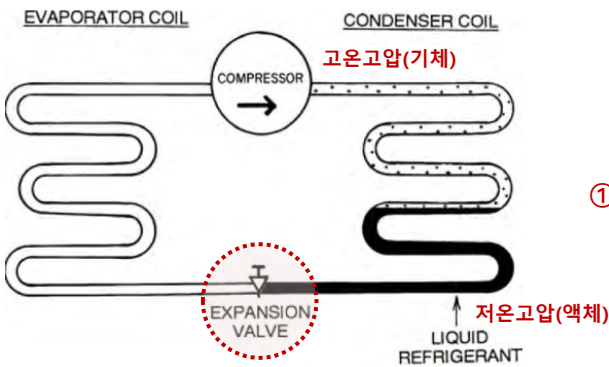
- ① (Vapor) Compression Cycle : 가장 일반적인 방식
- ② Absorption Cycle : 저비용 열원이 가용할 때 적절
- ③ Thermo-electric Cycle : 전기를 직접 냉난방 효과로 전환 (건물에 잘 사용되지 않음)

### ◎ 압축식 냉동 cycle

- 핵심 원리 (물질의 2가지 물리적 특성)
  - ① 액체를 기체상태로 변화시키기 위해서는 많은 양의 기화열이 필요
    - 기체가 응축되어 액체상태로 변화될 때, 이 열은 다시 방출
    - 결론적으로, 물질이 상태변화 시 많은 양의 열을 흡수 또는 방출
  - ② 모든 물질의 비등/응축 온도는 압력의 함수
    - 101kPa의 압력에서 물의 비등점은 100°C
    - 압력이 감소하면 비등점도 감소



#### ● 압축식 냉동 cycle의 진행



① 밸브가 닫혀 있고, 압축기는 대부분의 냉매를 응축기에 전달

⑥ 프로세스를 지속하기 위해 압축기는 지속적으로 냉매를 압축하여 응축기로 전달

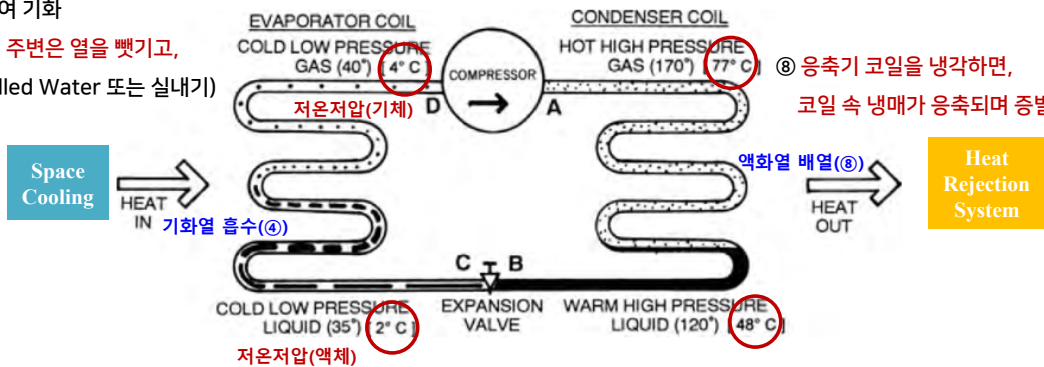
⑦ 압축된 기체(냉매)는 온도가 상승하므로, 응축기 코일의 온도 상승

④ 액체상태의 냉매가 증발기 코일 주변으로부터

열을 흡수하여 기화

⑤ 증발기 코일 주변은 열을 뺏기고, 냉각됨 (Chilled Water 또는 실내기)

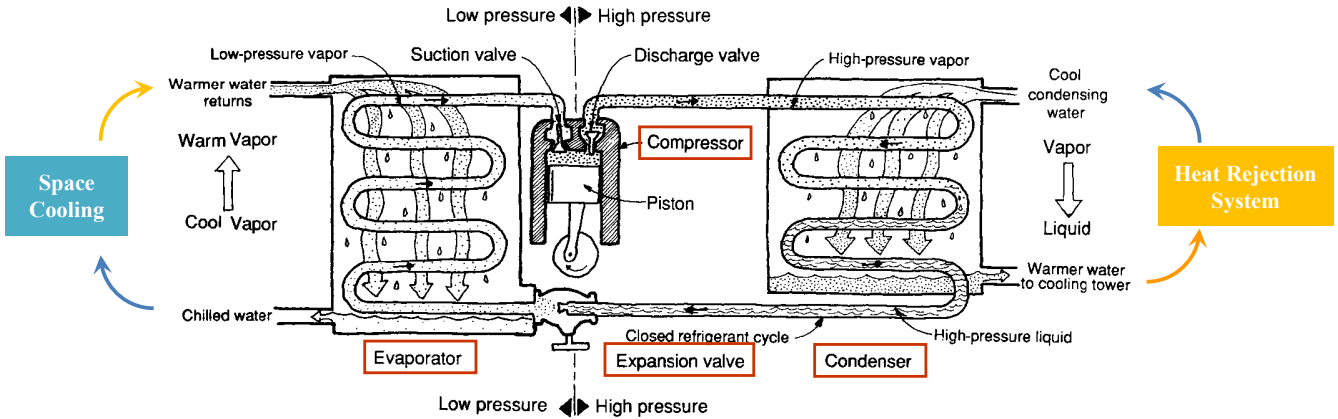
⑧ 응축기 코일을 냉각하면, 코일 속 냉매가 응축되며 증발열 포기(액화)



② 밸브가 약간 개방되고, 액체상태의 냉매 일부가 증발기로 유입

③ 이 때, 냉매는 매우 낮은 압력으로 인해 증발(기화)하며, 상태변화를 위해 액체상태의 냉매는 많은 양의 기화열을 필요로 함

● 압축식 냉동 cycle 적용 예(압축식 냉동기)



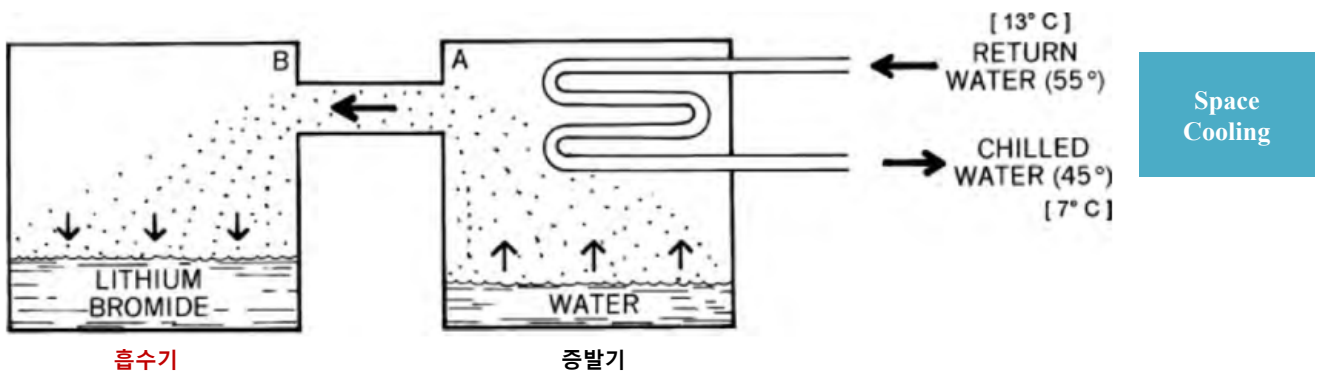
Schematic arrangement of the compressive refrigeration cycle (piston type compressor)

● 압축식 냉동 cycle의 특성

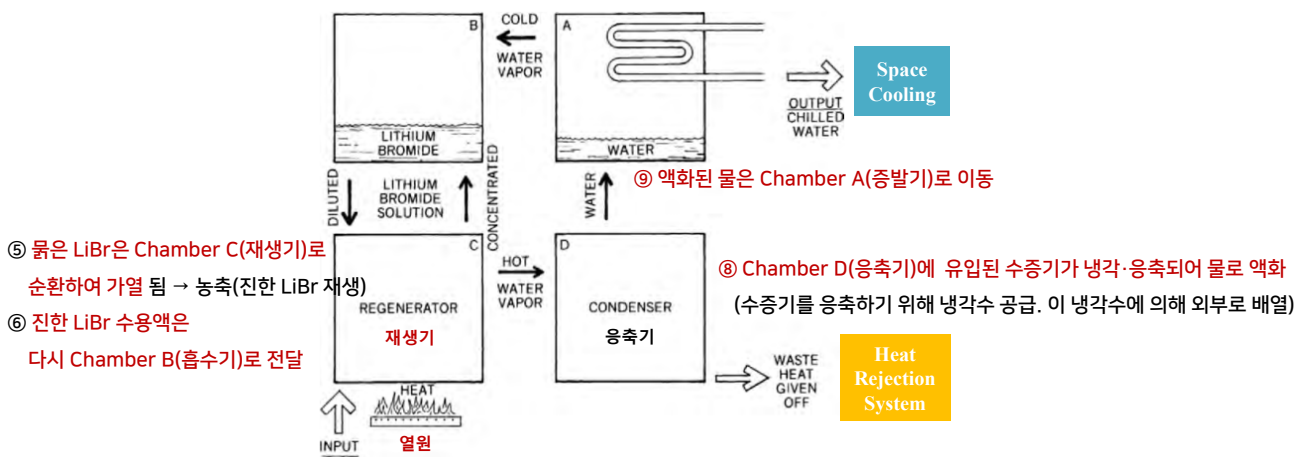
- ① Chilled Water(냉수)에서 Condenser Water(냉각수, Cooling Water)로 열 전달
- ② 냉매의 액화(응축)와 기화(증발)의 반복에 의해 cycle 진행
  - 냉매는 보통의 온도와 압력에서 기체 상태
  - 냉매가 열을 흡수하는 매체로 작용하기 위해 압축되고 액화되어야 함
- ③ 대부분의 매체(medium)를 열 전달 용도로 사용 가능
- ④ 압축기를 가동하기 위해 전력 공급 필요

## ◎ 흡수식 냉동 cycle

- 핵심 원리 (물질의 3가지 물리적 특성)
  - ① 액체를 기체상태로 변화시키기 위해서는 많은 양의 기화열이 필요
    - 기체가 응축되어 액체상태로 변화될 때, 이 열은 다시 방출
    - 결론적으로, 물질이 상태변화 시 많은 양의 열을 흡수 또는 방출
  - ② 모든 물질의 비등/응축 온도는 압력의 함수
    - 101kPa의 압력에서 물의 비등점은 100°C
    - 압력이 감소하면 비등점도 감소
  - ③ 어떤 액체들은 특정한 증기를 흡수하는 강한 성향
    - 수증기는 LiBr 수용액이나 Ammonia에 의해 흡수
    - Desiccant라고 불림
- 흡수식 냉동 cycle의 진행

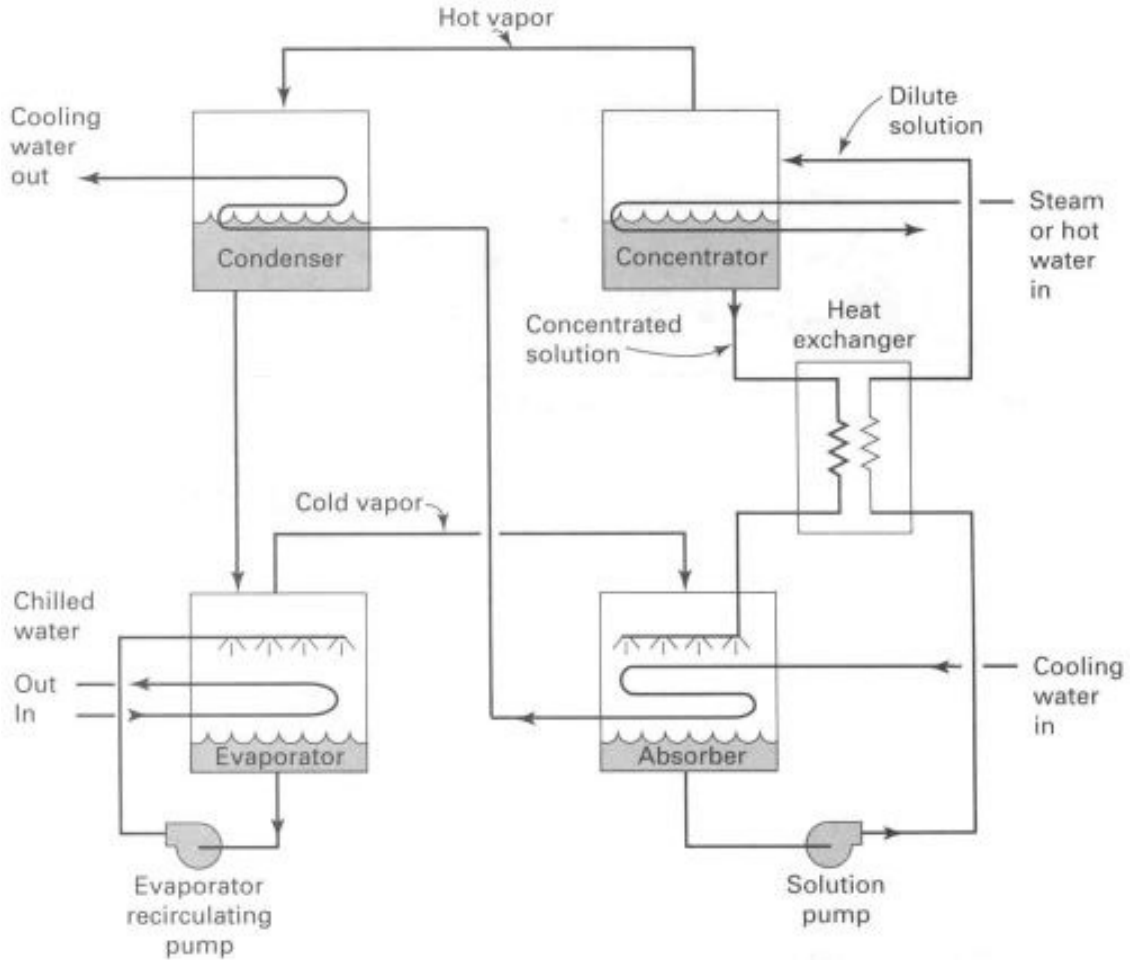


- ① Chamber A(증발기)에서 물이 증발하고, 이 과정에서 Chilled Water Coil에서 열 흡수
- ② 수증기는 LiBr에 의해 흡수되는 Chamber B(흡수기)로 이동
- ③ 결과적으로, 증기압이 감소하고, 더 많은 물이 증발(A)하여 냉각과정 지속
- ④ 묽어진 LiBr 수용액은 더 이상 물을 흡수하지 못할 정도로 희석 (냉동사이클이 더 이상 지속되지 못함)



- ⑦ Chamber C(재생기) 가열 과정에서 수증기는 분리되어 Chamber D(응축기)로 이동

● 흡수식 냉동 cycle 적용 예 (흡수식냉동기)



● 흡수식 냉동 cycle의 특성

- ① Chilled Water(냉수)에서 Condenser Water(냉각수, Cooling Water)로 열 전달
- ② 증류수(냉매)와 Lithium Bromide(흡수제) 사용
  - CFCs나 HCFCs는 사용되지 않음
  - Chilled Water로부터 열을 빼앗기 위해, 염용액 재생을 위한 열 필요(재생열)
  - pump나 기타 moving parts를 필요로 하지 않으나, 열원 필요 (Direct fired, Indirect fired)
  - 압축기 가동을 위한 high-grade energy(electricity)대신, 재생기 가동을 위한 lower-grade heat 사용 (비록 덜 효율적이지만 압축식 cycle 이상으로 energy advantage가 있음)
  - Solar Energy나, 다른 source로부터의 상대적으로 높은 온도의 폐열 등으로 재생열 공급 가능
- ③ 압축식 cycle보다 덜 효율적
  - 본질적으로 비효율적이기 때문에, 저렴한 열원이 가용할 경우에만 경제적

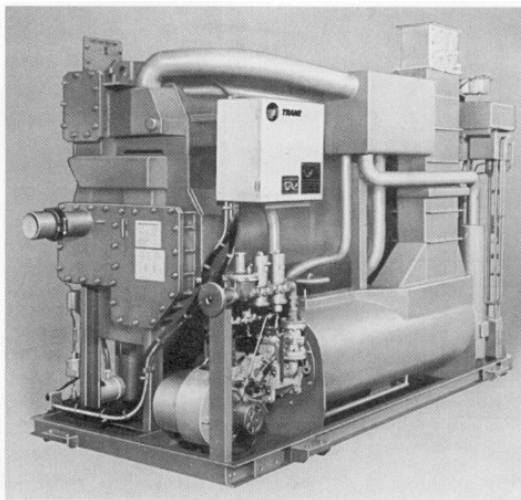
## ◎ 흡수식냉동기

- 장점

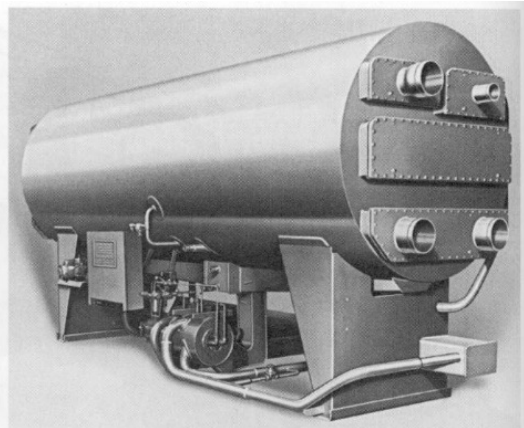
- ① 도시가스를 주 연료로 사용하므로 전력소비가 적음 → 여름철 냉방전력부하 감소 가능 (최근 터보냉동기보다 전력소모가 적다는 측면에서 적극 검토)
- ② 용량 제어 범위가 넓음 (20%~100%)
- ③ (압축식냉동기에 비해) 소음 및 진동이 적음
- ④ 고압가스 안전관리법의 적용을 받지 않음
- ⑤ 보조 기기류 단순

- 단점

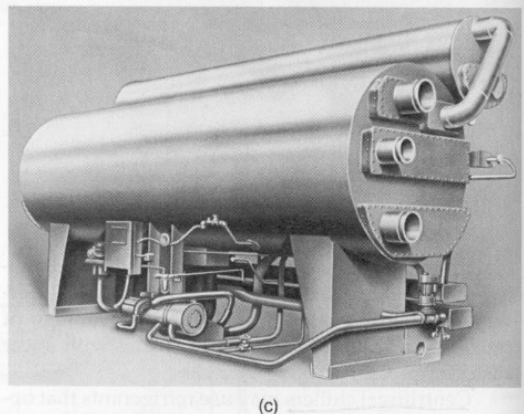
- ① 동일 용량의 다른 압축식냉동기에 비해 장비 사이즈가 큼
- ② 냉각능력이 큰 냉각탑 필요 (응축기, 흡수기)
  - ③ 터보냉동기에 비해 효율이 낮음
  - ④ 여름철에 가열원(Heat Source)이 필요※



(a)



(b)



(c)

- 흡수식냉온수기 (or 직화식냉온수기)
  - ① 흡수식 냉동 cycle을 이용하여 냉수와 온수를 모두를 생산함으로써 냉난방 겸용 열원으로 이용되는 기기
    - 재생기에서 열 교환하여 온수 생산
    - 또는 증발기나 응축기에서 열 교환하여 온수 생산
  - ② 최근 중/소형 건물에 많이 적용
  - ③ 장점
    - 관리자의 자격제한 없음
    - 냉열원과 온열원을 별도로 설치하는 경우에 비해 기기 설치 면적이 작음
    - 도시가스 공급 가능 지역의 경우, 연료 공급 간단
    - 유지관리 간편
  - ④ 단점 : 흡수식냉동기와 동일



## ◎ 참고 서적 및 사이트

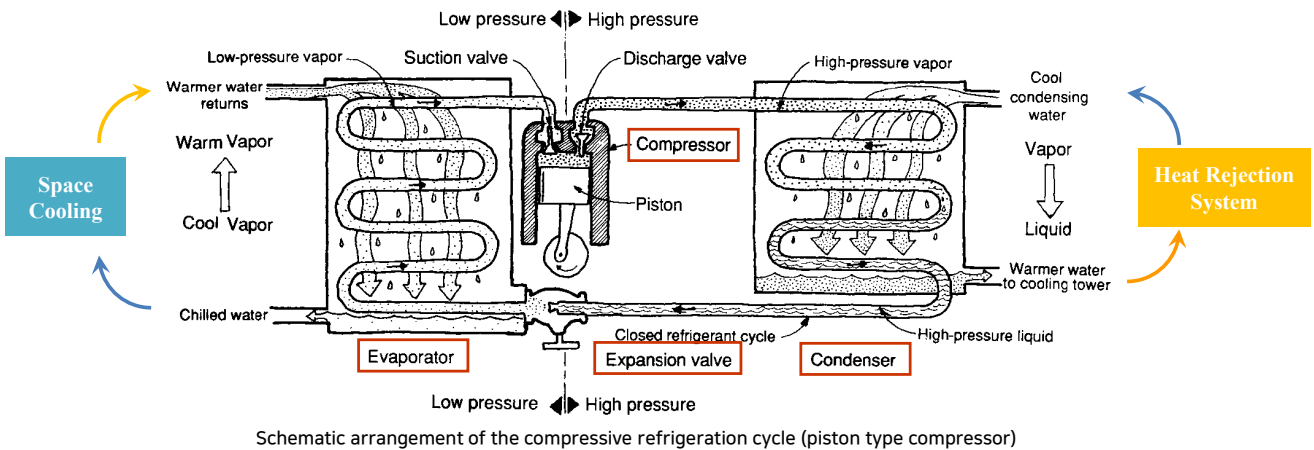
1. Nobert Lechner, 2015, Heating, Cooling, Lighting-Sustainable Design Method for Architects(4th), Wiley.
2. Richard R. Jains, William K.Y. Tao, 2019, Mechanical and electrical systems in buildings, Pearson.
3. Walter T. Grondzik, Alison G. Kwok, 2015, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings(12th), Wiley.
4. 김병선, 김정태, 김근, 변운섭, 이수연, 정종림, 조춘식, 2015, 건축설비시스템, 기문당.

## 2 배열시스템

### ⊙ 냉동기에서의 배열

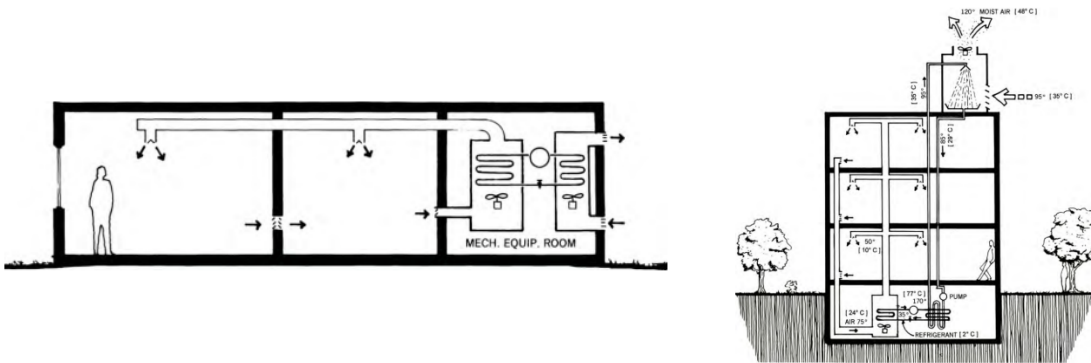
#### 1. 냉동기에서 배열 원리 : 압축식 냉동기 Remind

- ① 증발기(Evaporator) coil로부터 응축기(Condenser) coil로 열을 전달 (→pumping)
- ② 응축기에서 냉각매체(Cooling Medium)를 통해 열을 배출



#### ③ 배열을 위한 냉각매체(Cooling Medium)에 따른 냉동기 구분

- 공냉식 냉동기 : 공기를 이용해 응축기 냉각
- 수냉식 냉동기 : 물(냉각수, Cooling Water)을 이용해 응축기 냉각 → 냉각수를 식히는 장비 필요(냉각탑)



#### ④ 배열 효율을 높이기 위해, 냉각수와 외부공기가 접촉하는 면적을 최대화하는 형태로 제작

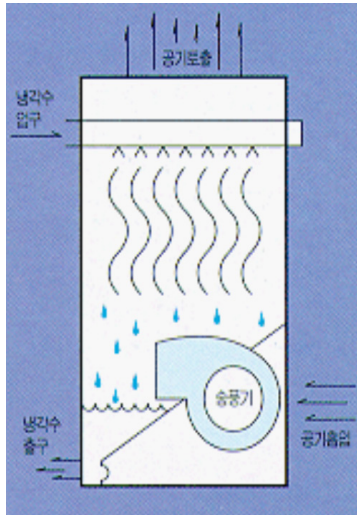
##### ● 냉각탑의 분류

- ① 냉각수의 대기 노출 여부에 따른 구분
  - 개방형(Open Circuit)
  - 밀폐형(Closed Circuit)
- ② 냉각탑 내에서 냉각수와 공기의 흐름 방향에 따른 구분
  - 대향류형(Counter Flow)
  - 직교류형(Cross Flow)

## ◎ 냉각탑

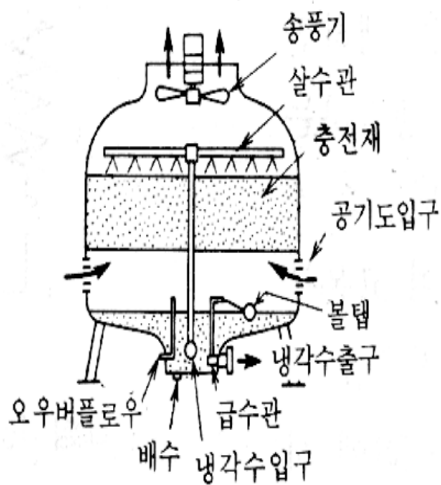
### ● 개방형 냉각탑 (Open Circuit Type)

- ① 냉각수가 대기에 개방되어, 냉각과정에서 외부 공기와 직접 접촉하는 방식
  - 동절기 동파의 우려가 없는 일반 공조의 냉동기에 채택
  - 대향류형, 직교류형



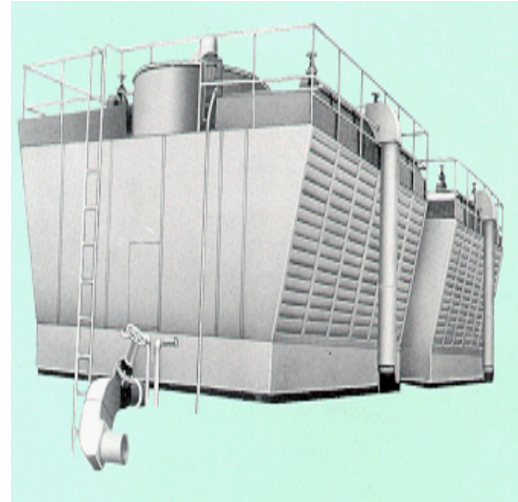
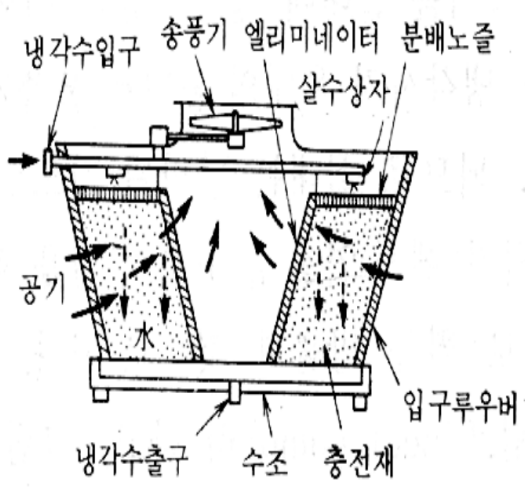
### ② 대향류형(Counter Flow Type)

- 공기가 하부 수조 상단부에 있는 루버로 흡입되어 충전재의 엘리미네이트를 통과하여 상부 Fan에 의해 밖으로 토출
- 이 때, 냉각수가 분배관을 흘러 노즐로 분사되어 하부 수조로 떨어뜨려 공기에 의해 냉각
- 공기는 수직 상부로 이동, 물은 수직 하부로 이동 → 충전재 내에서 반대방향으로 흐르며 열 교환



③ 직교류형(Cross Flow Type)

- 공기는 양측에 있는 루버로 들어가서 충전재의 엘리미네이트를 수평 이동하고, Fan을 향하여 수직 이동하여 밖으로 토출
- 물은 냉각탑 상단부 양편 수조에 분배되어 충전재를 거쳐 하부 수조로 떨어뜨려 공기에 의해 냉각
- 충전재 내에서 냉각수와 공기가 직교류하며 열 교환

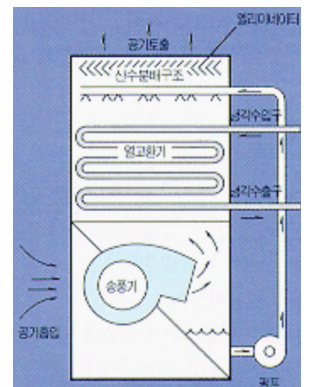
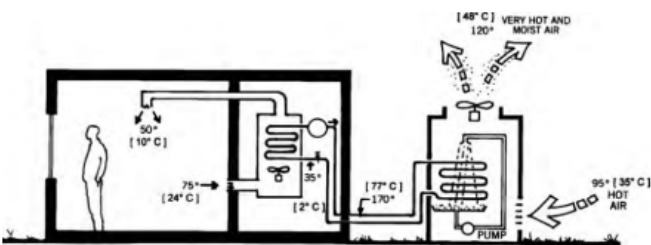


● 밀폐형 냉각탑 (Closed Circuit Type)

① 냉각수가 밀폐된 코일에서 순환되며, 외부에는 물을 분사하여 사용하는 방식

- 여름철에는 코일에 물을 분사하여 사용
- 겨울철에는 코일 내에 부동액을 넣고, 외기를 이용하여 냉각

② 증발형 냉각탑



- 운전 중 발생하는 현상과 유지관리
  - ① 냉각수가 냉각되는 과정에서 주변으로 높은 온도의 습한 공기를 지속적으로 배출
    - 추운 날씨일 경우 안개를 생성하기도 함
    - 소음 발생 : 소음 저감을 위해 방음벽 설치 시, 공기의 흐름을 방해하지 않도록 설치하는 것이 중요
  - ② 지속적으로 증발하는 냉각수는 자동으로 보충
  - ③ 냉각수의 지속적인 외기 노출에 의한 문제 : 스케일링, 부식, 박테리아
  - ④ 냉각탑으로부터의 수증기는 외기 도입구 근처, 인근 건물, 주차된 차량과 가급적 멀리 배출

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. Nobert Lechner, 2015, Heating, Cooling, Lighting-Sustainable Design Method for Architects(4th), Wiley.
2. Richard R. Jains, William K.Y. Tao, 2019, Mechanical and electrical systems in buildings, Pearson.
3. Walter T. Grondzik, Alison G. Kwok, 2015, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings(12th), Wiley.
4. 김병선, 김정태, 김근, 변운섭, 이수연, 정종림, 조춘식, 2015, 건축설비시스템, 기문당.

**2025**  
**제로에너지건축**  
**전문인력 양성교육**

---

기본교육



**ZERO ENERGY BUILDING**  
**TRAINING TO BE PROFESSIONALS**

PART C

# ZEB 신재생기술

## [C.1]

### 태양광, BIPV 설비 기술

태양광발전 기초지식  
ZEB와 태양광발전  
건물일체형 태양광발전(BIPV)

## [C.3]

### 연료전지 설비 기술

연료전지의 역사 및 구성  
연료전지의 열역학적 이해  
연료전지의 건물분야 적용

## [C.2]

### 집광채광기술

집광채광기술 개요 및 관련 친환경 인증 제도  
자연형 집광채광기술  
설비형 집광채광기술

## [C.4]

### 지열히트펌프 설비 기술

지열히트펌프 원리  
지중열교환기 이해와 원리  
지열 히트펌프의 설계

## C.1

## 태양광, BIPV 설비 기술

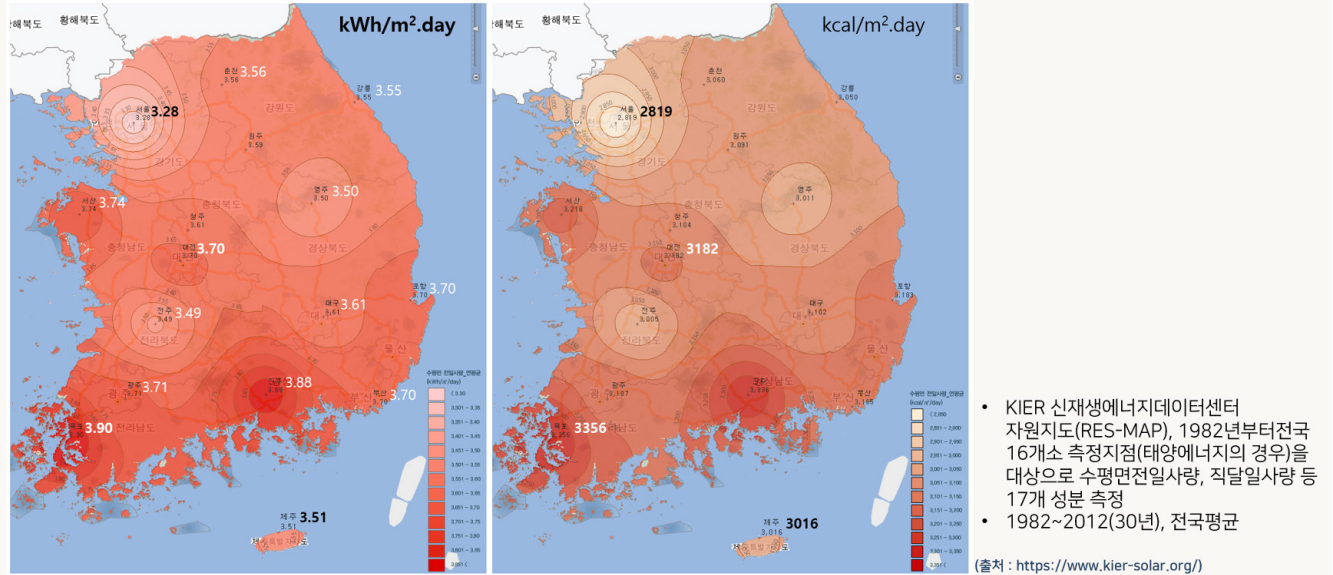
## 교육 목표

태양광, BIPV 설비  
기술

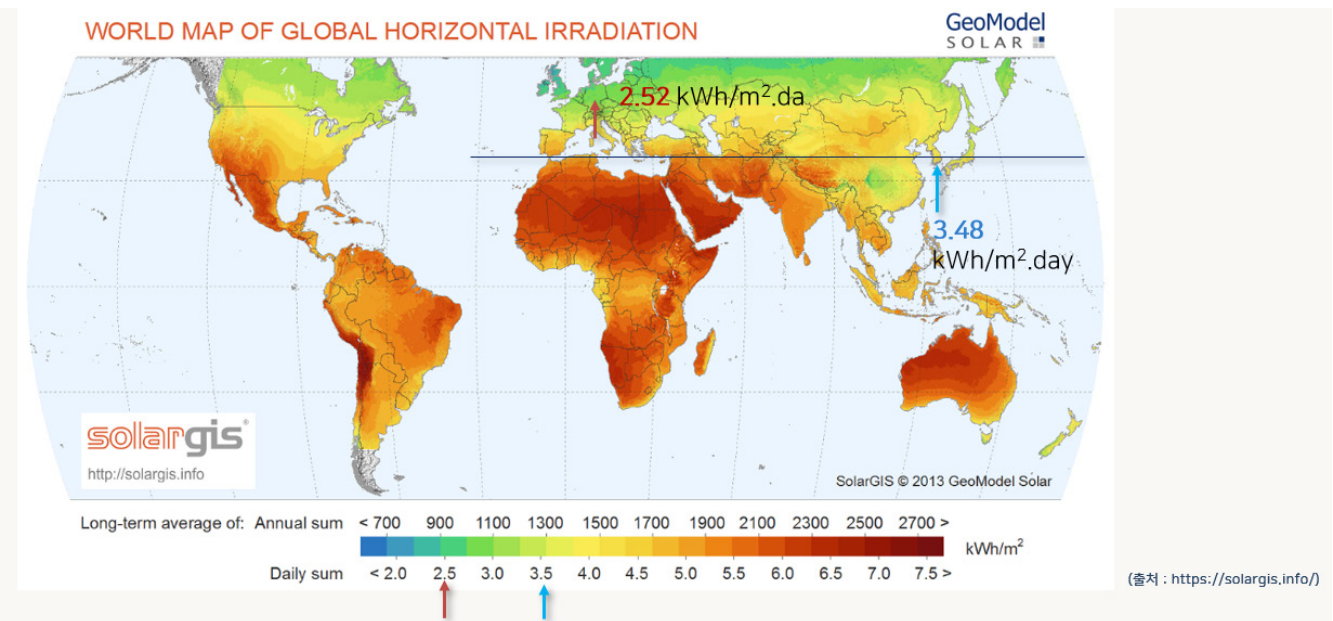
- \* 태양광발전 시스템의 주요 구성요소와 발전 원리를 이해한다.
- \* 태양광발전 시스템의 발전 성능 영향 요소 및 현 기술수준을 파악한다.
- \* 태양광발전 시스템의 개략적 용량 설계 및 발전량 평가방법을 학습한다.
- \* 국내 건물에너지 정책 변화 고찰을 통해 관련 기술 및 시장의 현황과 미래를 파악한다.
- \* 제로에너지건축물 의무화 제도를 이해하고, 등급 달성을 위한 기본 전략을 학습한다.
- \* 건물의 에너지소비 및 생산의 정량적 밸런스를 이해하고, 핵심 지표를 숙지한다.
- \* 건물의 용도별 제로에너지 자립 전략을 숙지한다.
- \* 주거 및 상업/공공건물의 현재 기술수준과 제로에너지 달성 가능성을 학습한다.
- \* ZEB의 구현에 요구되는 태양광발전의 역할 및 정량적 잠재시장을 숙지한다.
- \* 건물일체형 태양광발전(BIPV)의 개념과 장단점, 요구성능 등을 학습하고,
- \* 현재의 기술수준 및 최신의 동향을 파악함으로써 BIPV 시장대응 능력을 배양한다.
- \* 최신의 설계사례를 통해 이 시장의 핵심 가치와 미래 발전방향을 숙지한다.
- \* BIPV 성능에 영향을 미치는 핵심 고려요소를 학습하고, 최적 설계 능력을 배양한다.

# 1 태양광발전 기초지식

## ☉ 태양에너지 자원

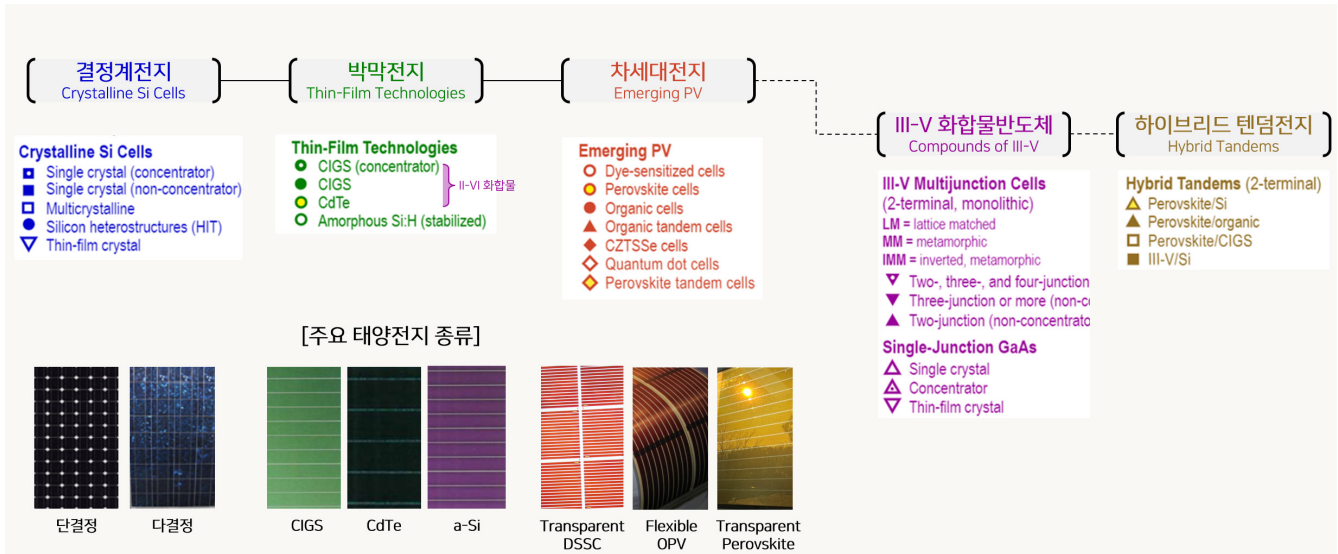


- 국내 연평균 일일적산일사량: 3.48 kWh/m<sup>2</sup>.day = 2,993 kcal/m<sup>2</sup>.day
- 국내 연적산일사량: 1,270 kWh/m<sup>2</sup>.yr = 1,092 Mcal/m<sup>2</sup>.yr



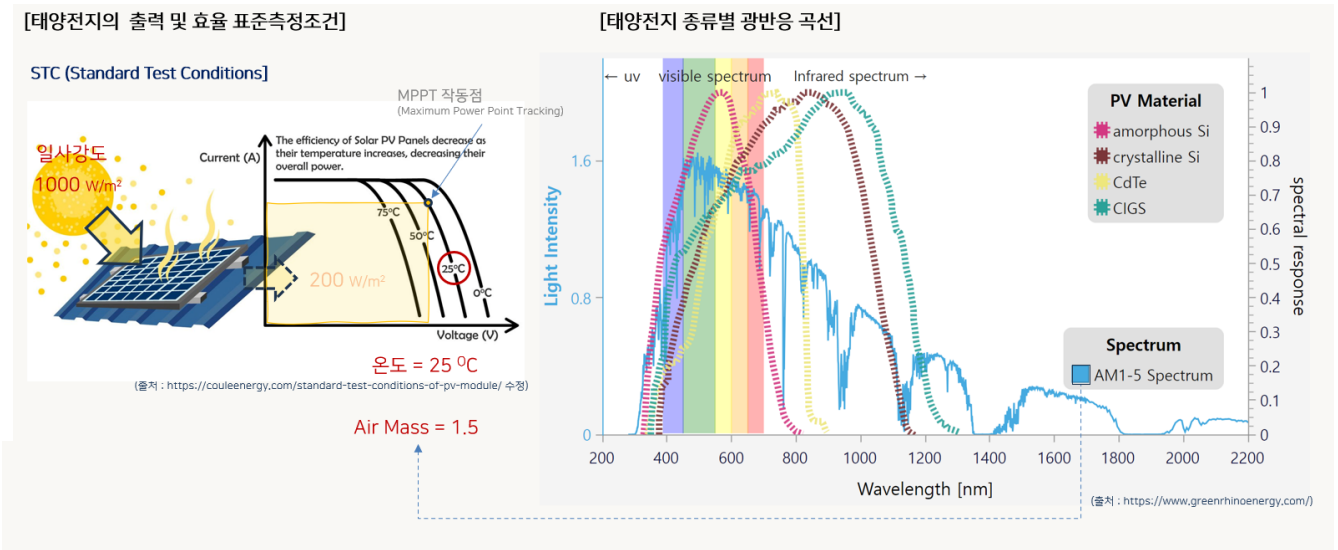
- 국내 연평균 일일적산일사량: 3.48 kWh/m<sup>2</sup>.day
- 국내 연적산일사량: 1,270 kWh/m<sup>2</sup>.yr

☉ 태양전지 종류



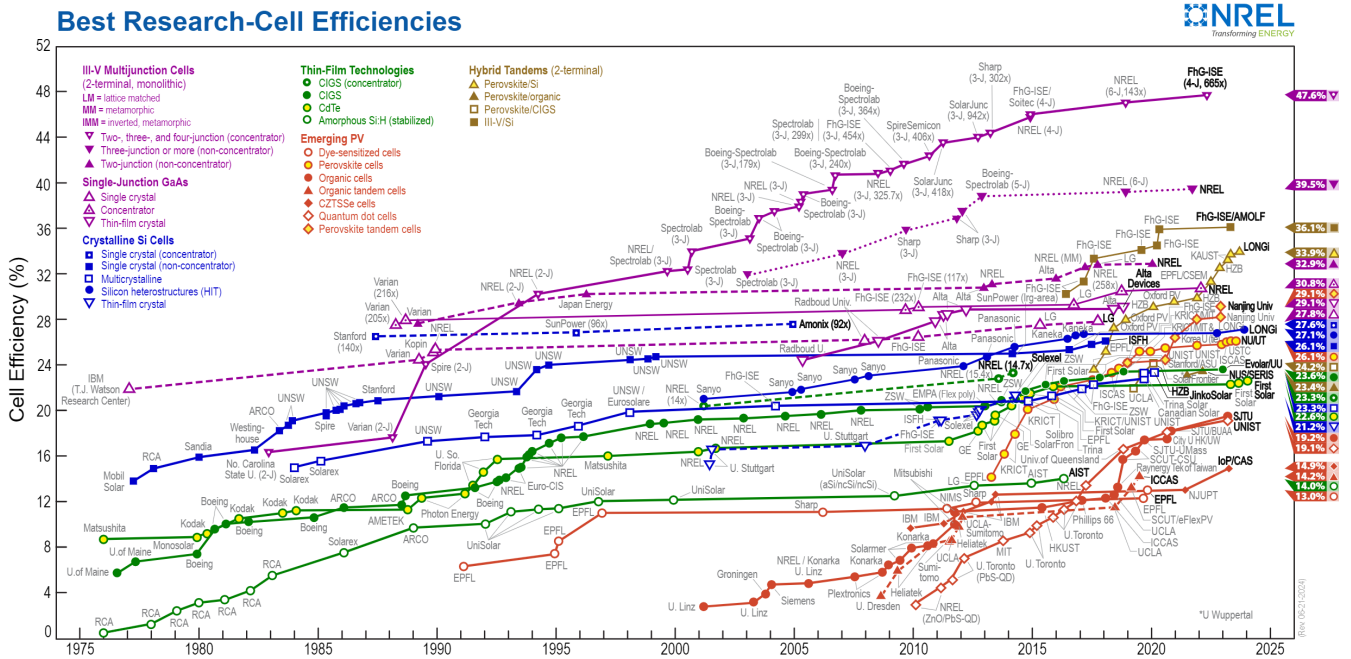
- 태양전지는 광전효과를 이용해 태양복사 에너지를 전기에너지로 변환하는 반도체 소자로 정의됨
- 생산되는 전기는 직류임
- 기술개발의 수준에 따라 1세대 결정계 실리콘 태양전지, 2세대 박막 태양전지, 차세대 태양전지로 분류
- 소재의 종류에 따라 실리콘계 태양전지와 화합물반도체계 태양전지 및 유기계 태양전지로 구분
- 결정계 전지의 경우 단결정 및 다결정 태양전지, 박막전지의 경우는 a-Si과 CIGS 태양전지 건축분야에 응용 가능
- 차세대 태양전지 중에서는 염료감응형 태양전지와 유기태양전지 및 최근에는 페로브스카이트 태양전지에 큰 관심
- 특히 Perovskite 태양전지는 높은 광전 변환효율과 낮은 생산단가로 인해 결정계 태양전지를 대체할 차세대 전지의 대표주자이며 특히 BIPV 분야의 높은 활용성에 큰 기대

## ◎ 태양전지 효율과 표준측정조건



- 태양전지의 효율 및 출력에 가장 큰 영향을 미치는 것은 태양복사의 강도, 태양전지 온도 및 대기질량
- 좌측 그림의 그래프는 태양전지의 출력을 나타내는 IV곡선으로 x축은 전압(V), y축은 전류(I)를 나타냄
- 태양전지의 출력은 주어진 온도 또는 일사강도 조건에서 곡선상의 특정점에서 작동하며, 이때의 출력값은 특정점과 이루는 사각형의 면적, 즉 전류\*전압에 의해 결정
- 곡선상에서 사각형의 면적이 최대가 되는 특정점을 찾아 태양전지가 작동되게 할 경우 가장 큰 출력을 기대할 수 있으며, 이는 인버터 내에 있는 MPPT (최대출력점추적) 제어회로에 의해 조절됨
- 온도에 따라 출력특성이 변하며 일반적으로 온도가 상승하면 전압강하가 발생하여 전체적인 발전 출력도 감소
- 태양복사의 강도가 높아질 경우는 비례적으로 전류량도 증가하여 최종 출력값도 증가
- 우측 그래프는 태양복사 스펙트럼과 주요 태양전지의 광반응 곡선을 나타냄
- 적색으로 표시된 a-Si의 경우 주로 단파장의 가시광선 영역에서 반응하여 발전
- 결정계 태양전지는 근적외선 영역까지 훨씬 더 넓은 광반응 특성 가지고 있음
- 태양복사 스펙트럼의 강도와 태양전지의 광반응 곡선이 잘 매칭될 경우 높은 발전효율을 기대할 수 있음
- 태양복사가 대기권을 통과하는 경로(에어매스)에 따라 태양복사 스펙트럼도 변화, 이에 대한 표준조건도 설정 필요
- 태양전지 또는 태양광 모듈의 효율 측정을 위해선 변수에 대한 동일한 환경의 표준값이 적용되어야 하며, STC 표준조건은 일사강도 1000 W/m<sup>2</sup>, 온도 25°C 및 Air Mass = 1.5 로 정하고 있음

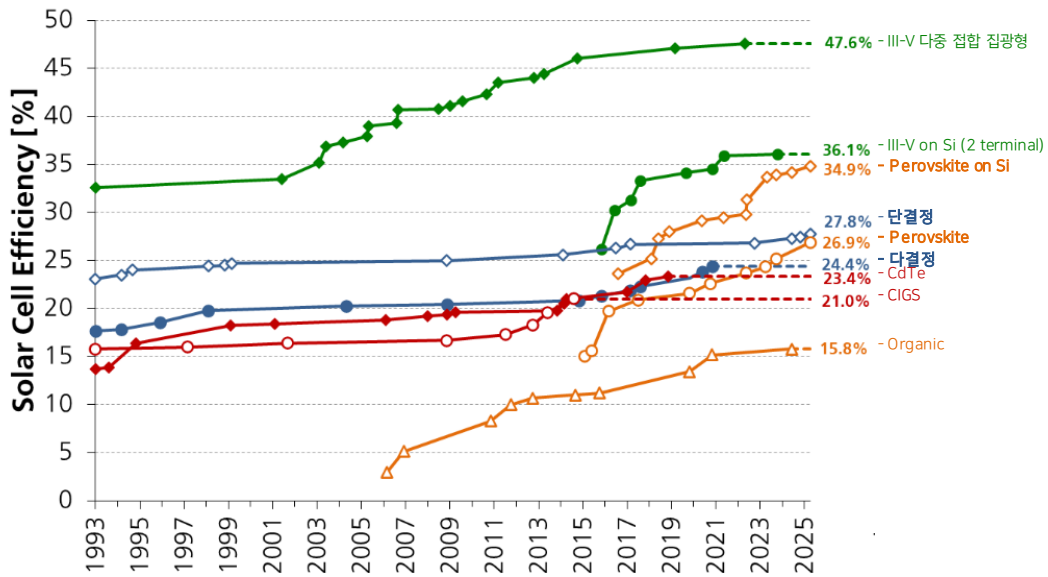
☉ 태양전지 종류 및 성능



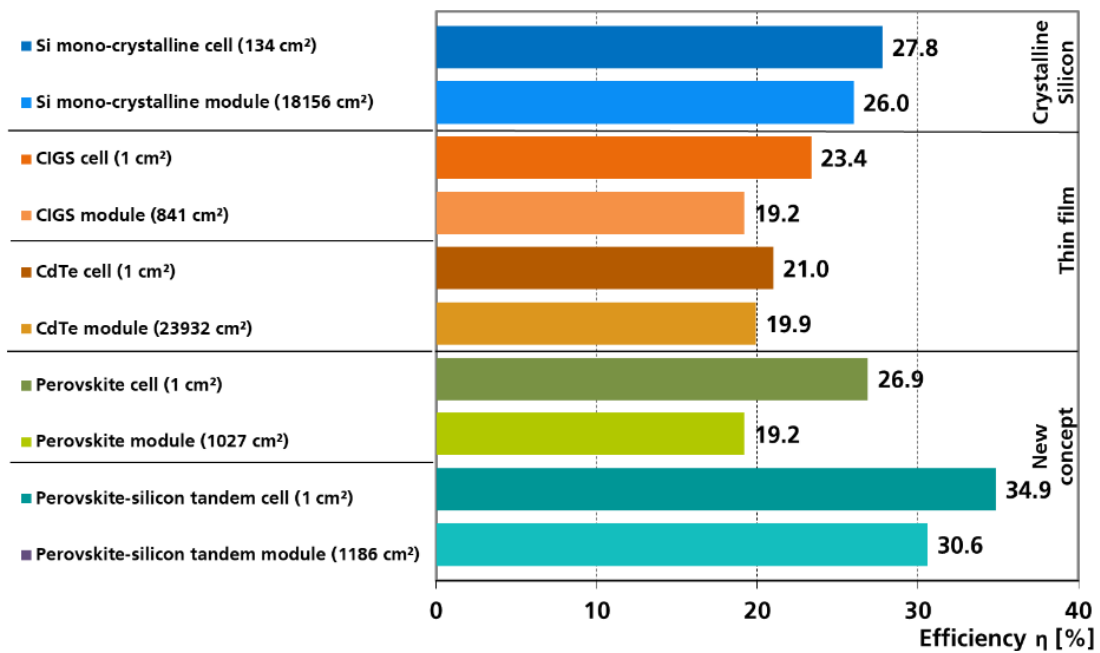
[태양전지 종류별 세계 최고효율 변화동향]

출처 : <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>

- NREL에서는 매년 태양전지(1976~) 및 태양광모듈(1988~)의 세계 최고효율 달성기록 모니터링 및 발표
- NREL의 자료는 모든 태양전지 종류를 포함하고 있어 다소 복잡



[태양전지 종류별 세계 최고효율 변화동향]  
출처 : <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>

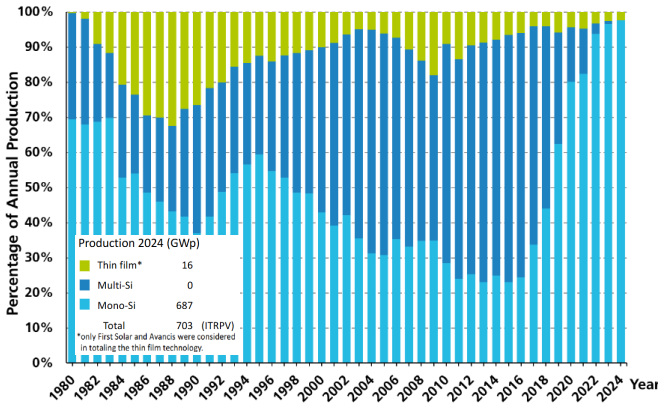


[태양전지 종류별 전지 및 모듈의 세계 최고효율 비교 | Best Lab Cells vs. Best Lab Modules]  
출처: Photovoltaics Report - Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 29 May 2025  
<https://www.ise.fraunhofer.de/>

- 2025년 5월 독일 프라운호퍼 ISE에서 제시한 그래프(위): 실험실 수준의 주요 태양전지 최고효율의 연간 변화동향
- 아래 그래프는 CTM(Cell to Module ratio)을 고려하여 동일전지를 모듈화 했을 때의 효율 비교
- 현재 태양광발전 시장의 주류를 이루고 있는 단결정 태양전지는 27.8%, 모듈은 26%로 세계 최고 효율 수준으로 평가
- BIPV 시장에서 기대하고 있는 CIGS 태양전지의 경우 23.4%, 모듈 19.2% 수준
- Perovskite 태양전지는 26.9%와 모듈 19.2%로 평가
- 현재 및 미래 ZEB 건물의 에너지자립율 예측 평가를 위해서는 모듈 효율 기준 활용

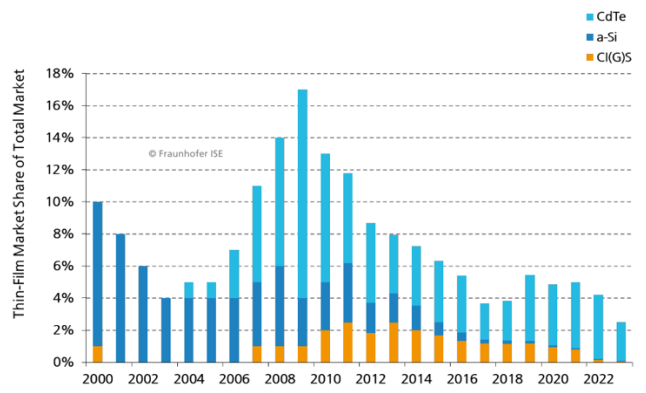
## ☉ 태양전지 종류 및 시장주도 기술

[태양전지 종류별 시장점유율]



(출처 : Photovoltaics Report - Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 29 May 2025  
https://www.ise.fraunhofer.de/)

[태양전지 종류별 시장점유율]



(출처 : Photovoltaics Report - Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 17 May 2024  
https://www.ise.fraunhofer.de/)

- 2024년 기준 전세계 태양광 시장의 97.7% 이상이 단결정(mono c-Si) 태양전지가 차지함.
- 박막 태양전지는 2.3%의 점유율을 보이며, 발전소 분야에 응용되고 있는 CdTe가 대부분임.
- BIPV 분야에서 크게 기대하고 있던 a-Si 및 CIGS는 효율한계 및 제작공정의 복잡성, 가격경쟁력 등에서 최근 들어 시장점유율이 매우 저조한 상황.

- 지난 40여년간의 전세계 태양전지 종류별 시장점유율(좌)과 2000년 이후 박막전지 종류별 시장 점유율(우)
- 2024년 기준으로 전세계 태양광 시장의 97.7% 이상이 단결정(mono c-Si) 태양전지가 공급
- 다결정(poly c-Si)은 한때 가격경쟁력으로 유행했으나, 최근 비용효과 측면에서 2024년 기준 생산 중단
- 박막전지의 시장점유율은 약 2.3%
- a-Si은 실리콘 소모량이 결정계 실리콘 태양전지 대비 약 1/100 수준이라 낮은 효율에도 불구하고 초기시장 주도
- 투광성 a-Si은 건축물의 유리창을 대체할 수 있어 BIPV 분야에서 많은 인기
- 효율개선을 위해 적층형 구조의 개발 등 시도, 근본적 효율한계가 14% 수준이라 결국 시장에서 퇴출되는 분위기
- CIGS 전지의 경우 박막임에도 불구하고 광전 변환효율이 결정계 수준과 경쟁할 수 있을 정도로 매우 높음
- 다만 생산단가가 높고 대면적화, 대량생산 등에서 큰 진보가 이루어 지지 않음

## ◎ PV 모듈의 구조 및 종류, 용어 정의

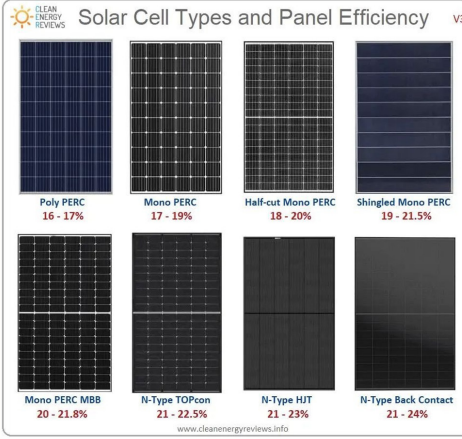
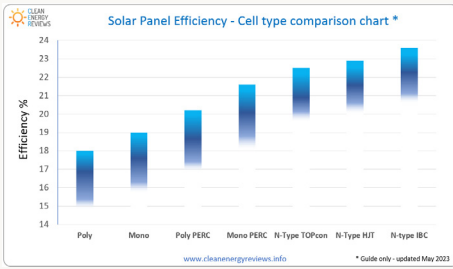


- 모듈(module) 또는 태양광 패널(solar panel): 다수의 태양전지(solar cell)를 직렬 또는 병렬로 구성하여 제작한 하나의 판재
- 스트링(string): 다수의 모듈을 직렬 연결한 것, 모듈 연결할 수록 전압 증가
- 어레이(array): 다수의 스트링을 병렬 연결한 것, 전류 증가
- 어레이의 구성을 통해 최종 직-병렬 회로 구성 완성, 태양광 시스템의 용량 및 사양이 결정됨
- PV모듈은 제일 상부층부터 전면재, 봉지재, 태양전지, 봉지재, 후면재, 단자함 및 외곽프레임으로 구성
- 전면재는 일반적으로 투과율을 최대화하기 위해 저철분유리를 사용하며 최근 컬러 유리 또는 필름 등 적용
- 봉지재는 태양전지를 보호하기 위한 접착, 기밀, 수밀 등의 역할을 하는 층으로 투명 필름인 EVA, PVB 등 사용
- 후면재는 충격, 부식, 방습 등으로부터 보호, 구조강성 강화, 내화, 방열 등 담당하며 PET, PVF 등의 백시트 필름, 투명한 유리, 강판 등 적용
- PV모듈의 제작에서 가장 중요한 과정은 각 부재를 결합하여 하나의 판재로 봉합하는 라미네이팅 과정임
- 진공 가열 및 냉각과정을 통해 기포 없이 판재화 하는 과정으로 모듈의 내구성 및 신뢰성에 큰 영향

◎ 상용화 PV 모듈의 종류 및 성능

- 고효율 모듈: Mono, N-type, PERC, TOPCon, Half-cut, Singled, HJT, : MBB(Multiple micro-wire, Smart-wire), IBC, MWT/EWT, IBC
- 최고효율 모듈: 485 W, 24.3%

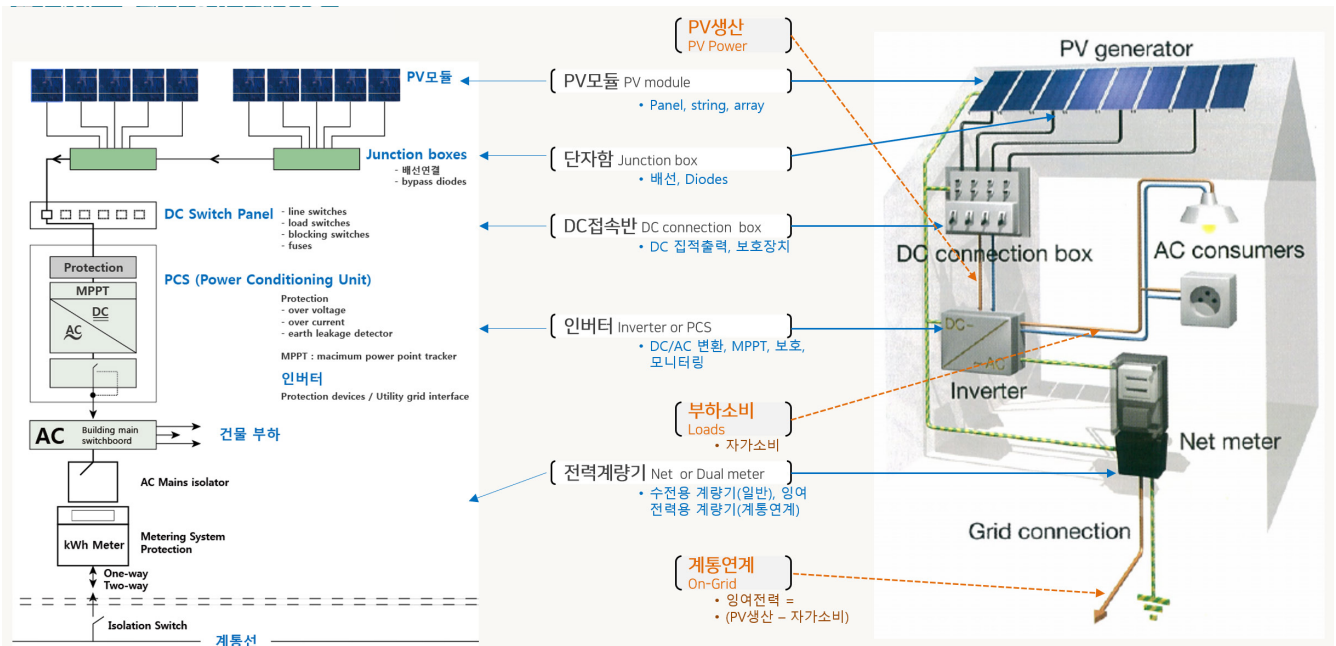
- 핵심 적용기술에 따른 고효율 태양전지 효율개선효과
  - Polycrystalline - 15 to 18%
  - Monocrystalline - 16.5 to 19%
  - Polycrystalline PERC - 17 to 19.5%
  - Monocrystalline PERC - 17.5 to 20%
  - Monocrystalline N-type - 19 to 20.5%
  - Monocrystalline N-type TOPcon - 20 to 22.4%
  - Monocrystalline N-type HJT - 20.5 to 22.6%
  - Monocrystalline N-type IBC - 20.8 to 22.8%



Manufacturer	Model	Power Rating	Cell Technology	Efficiency
<b>AIKO</b>	Necstar 2P	485W	N-Type ABC (Back Contact)	24.3 %
<b>maxeon</b>	Maxeon 7	445W	N-Type IBC (Back contact)	24.1 %
<b>Jinko Solar</b>	Tiger NEO 60HL4-V	515W	N-Type TOPcon	23.8 %
<b>REC</b>	Black Tiger Series	460W	N-Type TOPcon (Back Contact)	23.6 %
<b>SPIC</b>	Andromeda 3.0	460W	N-Type ABC (Back Contact)	23.6 %
<b>LONGI Solar</b>	Hi-MO 6 Scientist	455W	N-Type IBC Hybrid Back Contact	23.3 %
<b>HJASUN</b>	Himalaya G12R	450W	N-Type HJT	23.0 %
<b>CanadianSolar</b>	TOPHiKu6	470W	N-Type TOPcon	23.0 %
<b>WINNICO</b>	WST-NGK-D3	450W	N-Type TOPcon	23.0 %
<b>TrinaSolar</b>	Vertex S+	455W	N-Type TOPcon	22.8 %
<b>TW SOLAR</b>	Respower N G12R-40	455W	N-Type TOPcon	22.8 %
<b>JASOLAR</b>	Deep Blue 4.0	455W	N-Type TOPcon	22.8 %
<b>risen</b>	n-Type Topcon	455W	N-Type TOPcon	22.8 %
<b>DASOLAR</b>	DAS-DH96NE	455W	N-Type TOPcon	22.8 %
<b>ASTHORENER</b>	Astro N5S	445W	N-Type TOPcon	22.8 %
<b>REC</b>	Alpha Pure RX	470W	N-Type HJT	22.6 %
<b>PHOENIX</b>	Helios	440W	N-Type HJT	22.5 %
<b>Q CELLS</b>	Q.TRON M-G2+	440W	N-Type TOPcon	22.5 %
<b>YONGJIN SOLAR</b>	Panda 3.0 Mini	440W	N-Type TOPcon	22.5 %
<b>SHARP</b>	NU-JC40	440W	N-Type TOPcon	22.5 %

- PV모듈 수준에서 효율 개선 위한 기술은 단결정, PERC, N-type, TOPcon, HJT 및 백컨택 IBC 기술 등
- 2025년 5월 기준 상용화 수준의 세계 최고 성능 모듈은 AIKO사의 n-type ABC 모듈(출력 485W, 효율 24.3%)

## ◎ PV 시스템의 구성요소와 기능



- 태양광시스템의 핵심 구성요소는 PV모듈, 인버터이며 DC접속반과 전력계량기 등이 필요함
- PV모듈을 통해 생산된 직류전기는 스트링 및 어레이 결선을 통해 DC접속반으로 모임
- 접속반에서는 모듈간의 연결과 보호기능을 제공, DC전류를 모아 인버터로 제공함
- 인버터(또는 PCS)에서는 PV모듈에서 생산된 직류전력을 교류전력으로 변환하여 자가소비 하거나 계통에 송전함
- 인버터 내부에는 DC/AC 변환 외에도 발전량 극대화 위한 MPPT 제어회로와 다양한 보호회로 내장
- 대부분의 인버터 내부에는 발전 관련 필수 정보 모니터링 회로 내장, RTU 별도 설치할 경우 데이터 수집도 가능
- 인버터로 변화된 직류전력은 건물 내 부하가 존재할 경우 우선 자가소비, 잉여전력 발생시 계통으로 역송전
- 수전과 송전의 가격이 동일할 경우 하나의 전력량계로 net metering 가능, 혹은 dual metering 필요
- 계통연계가 되지 않는 건물의 경우 ESS 등 설치되어야 잉여전력 활용 가능

◎ PV 시스템의 개략적 용량산출 방법

**[PV모듈 효율 10%]**

Air Mass = 1.5  
Temp. = 25 °C  
일사강도 = 1000 W/m<sup>2</sup>

1 m<sup>2</sup>

Current(A)  
Voltage(V)

If,  
P = 100 W/m<sup>2</sup>

- 효율(η) = 10%
- PV설치 필요면적 : 10 m<sup>2</sup>/1kW<sub>p</sub>
- 연간 PV발전량(Yield) : 1,200 kWh/kW<sub>p</sub>
- PV설치비용 : 150만원/1kW<sub>p</sub>

**[PV모듈 효율 20%]**

1 m<sup>2</sup>

Current(A)  
Voltage(V)

If,  
P = 200 W/m<sup>2</sup>

- 효율(η) = 20%
- PV설치 필요면적 : 5 m<sup>2</sup>/1kW<sub>p</sub>
- 연간 PV발전량(Yield) : 1,200 kWh/kW<sub>p</sub>
- PV설치비용 : 150만원/1kW<sub>p</sub>

**[PV설치계획 예시문제]**

- 우리 사옥 남측외벽 면적 1,000m<sup>2</sup> 중 50%의 면에 PV의 설치가 가능할 것 같습니다. 어느정도 규모의 PV 시스템일 설치될 수 있으며, 이때 필요한 소요예산 규모와 기대할 수 있는 에너지생산량에 대해 개략적으로 계산해 보세요.
- 이때 모듈의 효율은 20%로 가정하고, 남향수직면 설치시 연간 기대발전량은 최적설치각도의 발전량 대비 약 70% 수준으로 평가한다.
- 산출결과 :

**[일일 발전시간의 의미]**

3.29 h/d (Yield, Korea)  
1,200 kWh/kWp.yr  
(~ 3.83 h/d)  
(~ 1,400 kWh/kWp.yr)

PV • Efficiency  
• Capacity  
• Area  
• Yield  
• Cost

PV generation Load

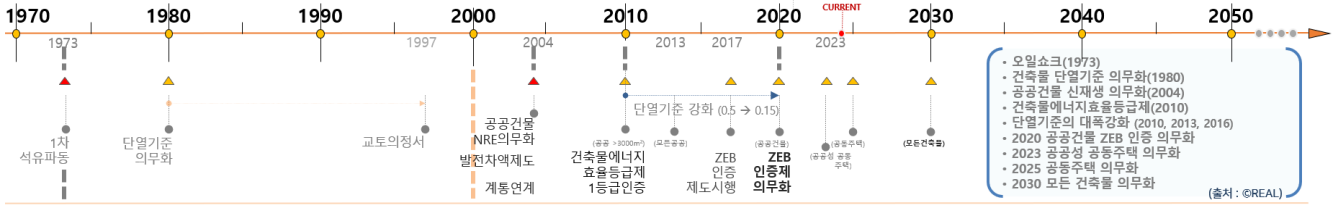
- PV모듈의 효율이 10%, 표준조건 단위면적당 1,000W/m<sup>2</sup>의 태양복사 투사될 경우 발전량 P는 100W/m<sup>2</sup>
- 역으로 1000 W/m<sup>2</sup> 출력을 얻고자 할 경우, PV모듈 10장 즉, 총 10m<sup>2</sup>의 PV 필요
- 우리나라 기상조건에서 남향 30° 경사면 지붕에 PV 1kW<sub>p</sub> 설치할 경우, 365일간 평균 발전량 1,200 kWh/kW<sub>p</sub>.yr
- 해당 값을 365로 나누면 하루 평균 1kW<sub>p</sub>당 약 3.29 kWh/kW<sub>p</sub>.day의 전기 생산 가능
- 이를 우리나라 평균 일일발전시간 3.29 시간(hours/day)로 정의한 것임
- 최근에는 1kW<sub>p</sub>로 연간 1,400 kWh/kW<sub>p</sub>까지 생산하며, 일일 발전량이 3.83 시간/day까지 증가함
- 설치 비용 또한 급속히 하락하여 제반 구성요소, 설치비 등 포함 주택 지붕용 약 150만원/1kW<sub>p</sub> 이하
- 단위용량당 필요면적, 설치비용, 연간 기대발전량의 3개 지표로 태양광시스템의 설치계획 개략적 평가 가능

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. <https://www.kier-solar.org/>
2. <https://solargis.info/>
3. <https://www.greenrhinoenergy.com/>
4. <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>
5. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>
6. <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>

## 2 ZEB와 태양광발전

### ◎ 국내 제로에너지건축물 의무화 배경 및 인증제도 현황



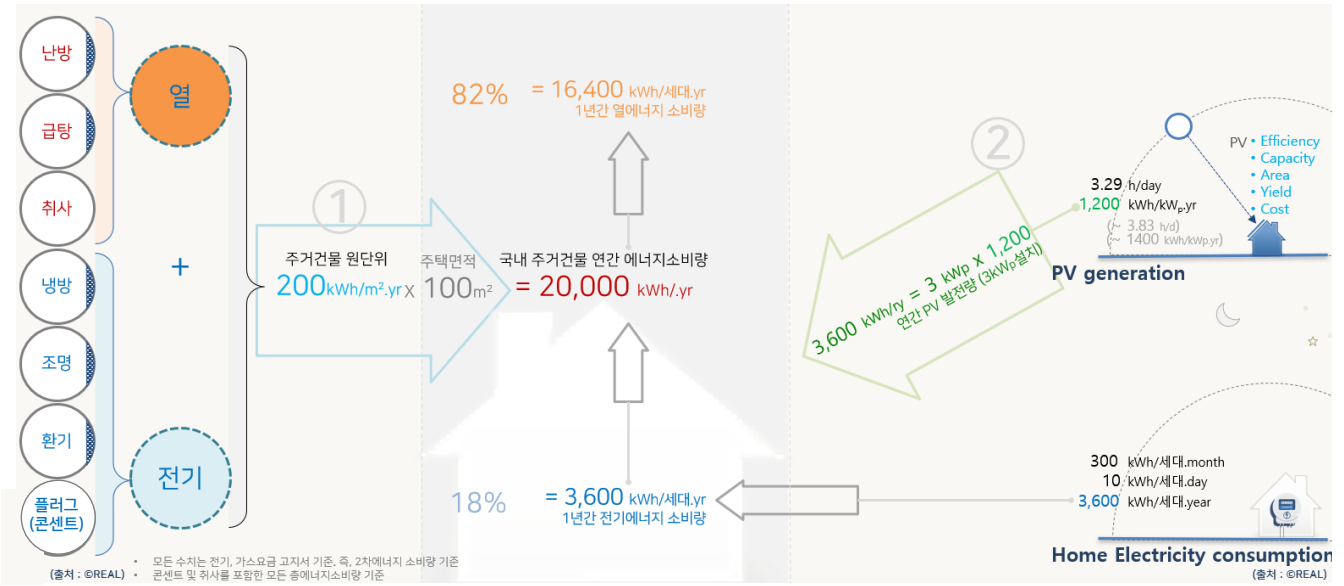
- 지난 50년간 국내 건물에너지 분야의 주요 정책변화
- 1980년 단열재 설치 의무화, 2000년까지는 건물에너지 절약 및 효율 기술에 집중하였음
- 2000년 이후부터 신재생에너지에 대한 집중 투자가 이루어졌으며, 2004년 발효된 공공건물 신재생에너지의무화 제도, 발전차액제도, 계통연계 제도 등이 매우 큰 전환점이 됨
- 2010년 이후 건축물에너지효율등급제 시행, 단열기준의 강화
- 2017년 ZEB 인증제도 시행 및 2020년 공공건물 대상 의무화 시작, 2025년 민간 공동주택까지 확대



[제로에너지건축물 의무화 제도 인증기준 및 현황]

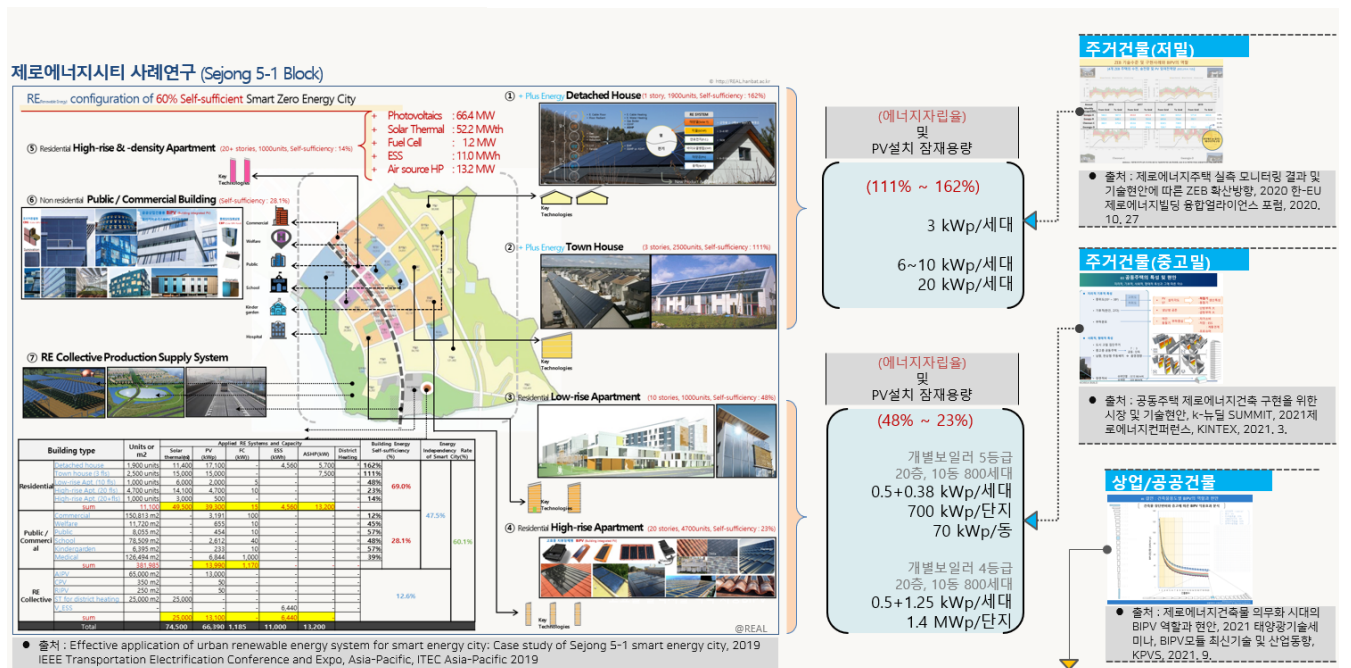
- 현행 ZEB 인증제도의 인증기준 및 현황
- 2025년부터 기존 건축물에너지효율등급제가 제로에너지건축물 인증제로 통합됨
- 인증기준의 핵심 요구사항은 에너지자립률과, 단위면적당 1차에너지소요량 기준 충족 및 모니터링시스템의 설치
- 단열 기준 포함 대부분의 패시브 및 효율 기술은 이미 충분히 포화상태로 볼 수 있음
- 신재생에너지를 통해서만 대폭적인 에너지자립률, 즉 등급의 변화가 가능할 것으로 보임

### ◎ 주거건물 에너지 소비 현황 및 PV 생산 에너지 밸런스



- 주거건물의 에너지 소비는 크게 열(가스)과 전기로 구분되며, 열은 난방/급탕/취사에 사용 됨
- 전기의 경우 냉방/ 조명/ 환기/ 플러그에 사용되어 총 7개의 항목에 에너지 소비
- 제로에너지인증제도 등 국가 관리 1차에너지소비량에는 취사와 플러그가 빠진 5개 항목만을 포함

### ◎ 건물용도별 ZEB 기술현황 및 PV 잠재시장



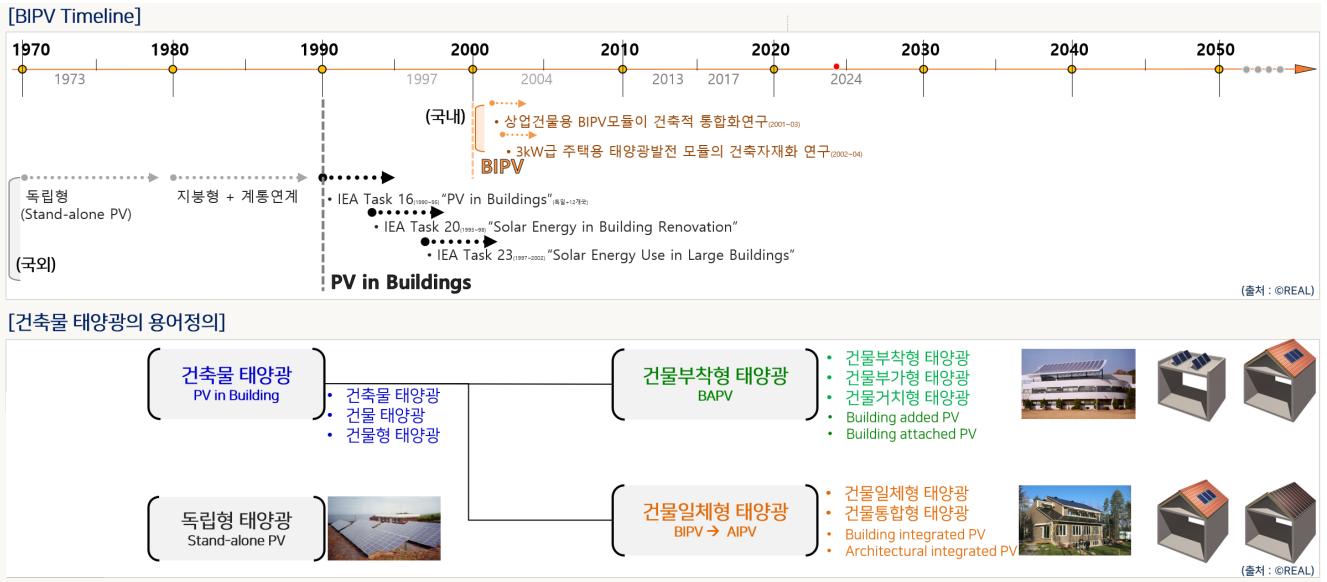
- 2019년 세종시 5-1 블록 대상 “스마트제로에너지시티” 계획 결과
- 계획연도 기준 3~5년 뒤 실지 입주 가정, 현재 기술 및 경제성 고려하여 건물용도별 최대 구현가능한 설계 적용 사례
- 저층 주거건물 경우 약 111% ~ 162%까지 플러스에너지주택 구현 가능, 세대당 6~20kWp PV시스템 용량 요구
- 중고층 아파트 경우 약 48 ~ 23%의 에너지자립률 확보, 세대당 약 0.88~1.75 kWp PV시스템 용량 요구
- 상업 공공건물 경우 전기에너지 비중이 훨씬 크고 충분한 태양광의 설치면적 확보 불가로 에너지자립률 낮음

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. 제로에너지주택 실측 모니터링 결과 및 기술현안에 따른 ZEB 확산방향, 2020 한-EU 제로에너지빌딩 융합얼라이언스 포럼, 2020.10.27.
2. 공동주택 제로에너지건축 구현을 위한 시장 및 기술현안, k-뉴딜 SUMMIT, 2021 제로에너지컨퍼런스, KINTEX, 2021. 3.
3. 제로에너지건축물 의무화 시대의 BIPV 역할과 현안, 2021 태양광기술세미나, BIPV모듈 최신기술 및 산업동향, KPVS, 2021. 9.
4. Effective application of urban renewable energy system for smart energy city: Case study of Sejong 5-1 smart energy city, 2019 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific, ITEC Asia-Pacific 2019

### 3 건물일체형 태양광발전(BIPV)

#### ◎ 국내외 건축물태양광 개발 역사 및 분류와 용어정의



- 세계적으로 태양광 시스템을 건축에 도입한 시기는 1990년초, 국내에서는 2000년초부터 본격적 연구 사업이 시작 됨
- 태양광 모듈을 건축물이나 도시에 응용하기 위한 개념으로 시작
- 최초의 독립형 태양광(Stand Alone PV) 시스템과 구분하기 위해 "PV in Building"이라는 용어로 처음 시작됨
- 이후 설치 방식에 따라 BAPV(Building Added or Attached PV), BIPV(Building Integrated PV), AIPV(Architectural Integrated PV) 등으로 사용
- 국내에서도 BAPV의 경우 건물부착형, 건물부가형, 건물거치형 태양광 등의 용어로 사용되고 있음
- BIPV의 경우 건물일체형 또는 건물통합형 태양광 등의 용어로 사용됨
- 최근 BIPV와 BAPV의 명확한 구분이 어려워 포괄적 의미에서 건물 태양광, 건물형 태양광, 건축물 태양광 등 혼용

## ◎ BIPV 시스템의 개념 및 정의와 장점

**[BIPV의 개념 및 정의]**

- PV 모듈이 건축물 외피의 일부로 적용되어 건축물외장재의 기능과 전력을 생산하는 PV모듈의 기능을 동시에 수행할 경우 건물일체형 태양광발전(BIPV, Building Integrated Photovoltaics)으로 정의하며, 이러한 기능을 수행하는 자재를 BIPV 모듈로 정의한다.
- 이때 BIPV모듈의 건축물외장재 기능 충족 여부는, BIPV 모듈이 건축물외피에서 제거될 경우 건축물 외피의 핵심요구기능이 상실 또는 훼손될 수 있어 적절한 다른 건축자재로 대체되어야 하는 경우로 규정한다.

**[BIPV의 장점]**

- offset building material
- supporting structure, cable
- site
- maintenance
- distribution loss
- added value

**[BIPV ← BAPV ← Stand-alone]**

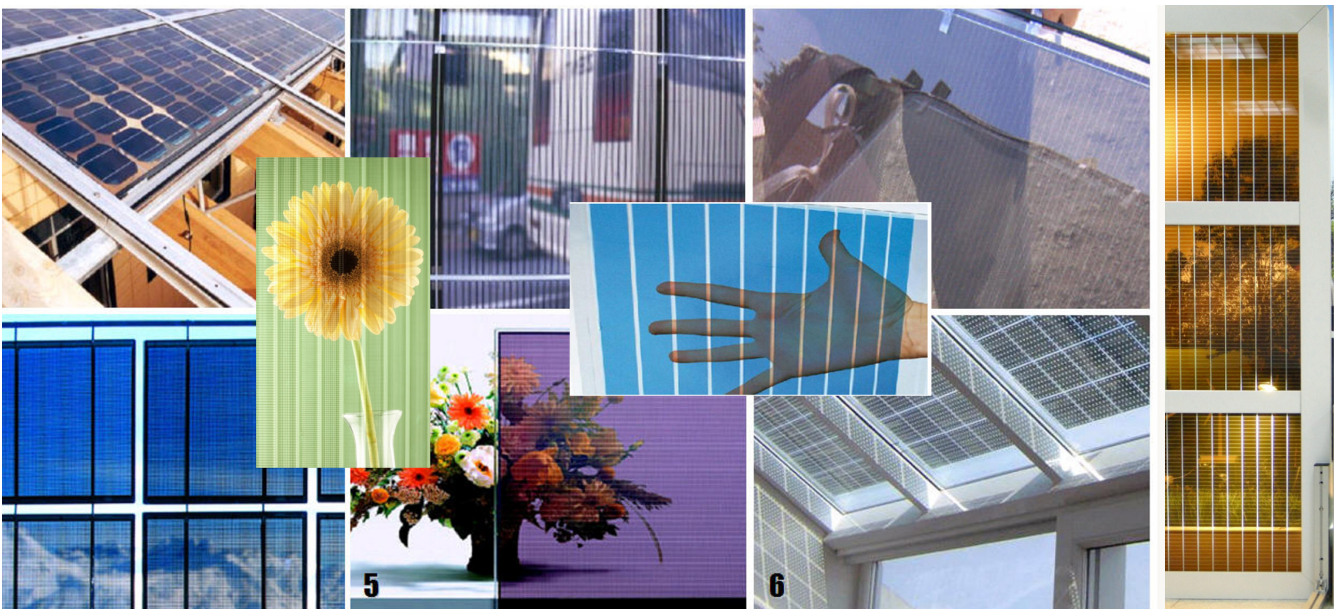
- 건물일체형 태양광발전(BIPV): 건축물 외피의 일부로 외장재의 기능과 전력 생산 기능을 동시에 수행하는 PV 모듈
- 이때 건축물 외장재 기능 충족 여부는 BIPV 모듈이 외피에서 제거될 경우 건축물 외피의 핵심 요구 기능이 상실 또는 훼손될 수 있어 적절한 다른 건축자재로 대체되어야 하는 경우로 규정
- 현재 태양광 설비 시공 기준이나 KS 8577 등 여러 규정에서 조금씩 상이하게 정의하고 있어 BIPV, BAPV에 대한 명확한 결론이 내려지지 않은 상황임
- 기존 외장재를 대체하여 경제적 이득, 지지 구조물이나 배선작업 절감, 부지확보 비용 절감, 적은 송전 손실, 건물 부가가치 증가 등의 장점을 가짐

### ◎ 유형별 BIPV 모듈의 종류 | 불투명 외장재형



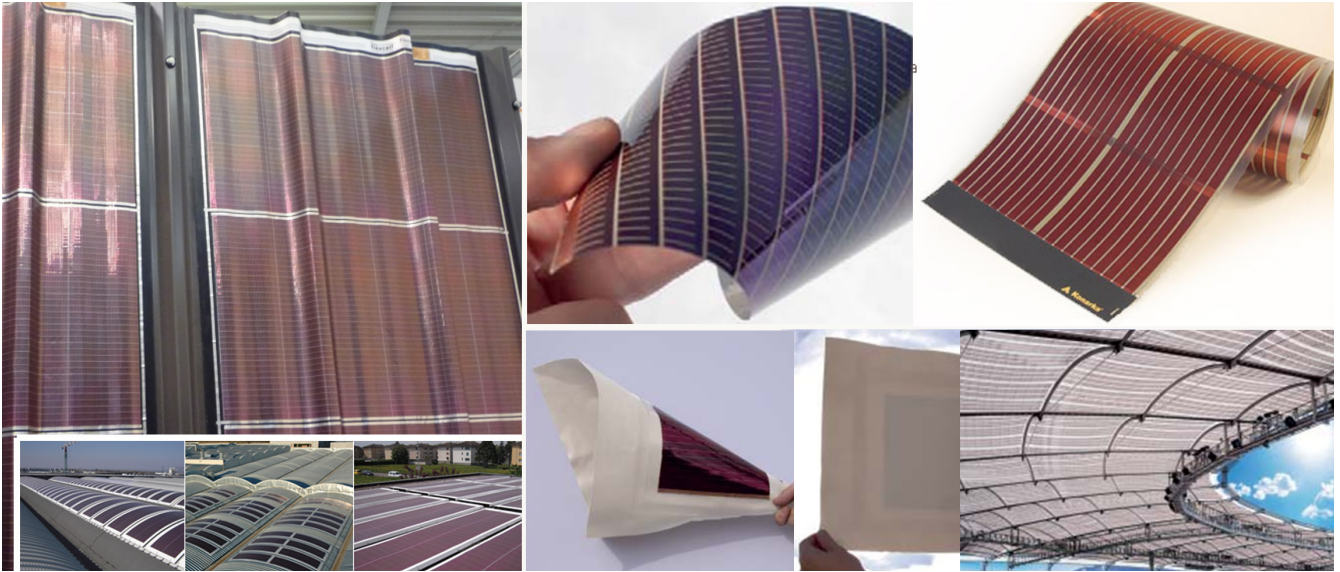
- 지붕재, 외벽재를 중심으로 손쉽게 설치 및 해체가 가능한 다양한 형태

### ◎ 유형별 BIPV 모듈의 종류 | 투명 창호형



- 창호를 대체할 수 있는 투명 창호형 BIPV 모듈
- 결정계 태양전지의 경우 태양전지 사이 공간 확보 후, 후면재까지 투명소재를 적용해, 부분 투광성 확보
- 전후면재 모두 유리가 적용되기 때문에 Glass to Glass (G2G) 모듈로 불림
- 박막계 태양전지는 A-Si과 같이 코팅면 일부를 일정 간격으로 깎아 투광성을 확보하는 방식과 염료 감응형, 유기 태양전지 같이 투광성이 있는 재료를 모듈 적용 소재에 전부 적용하는 방식으로 구분

## ◎ 유형별 BIPV 모듈의 종류 | 기타 유연소재형

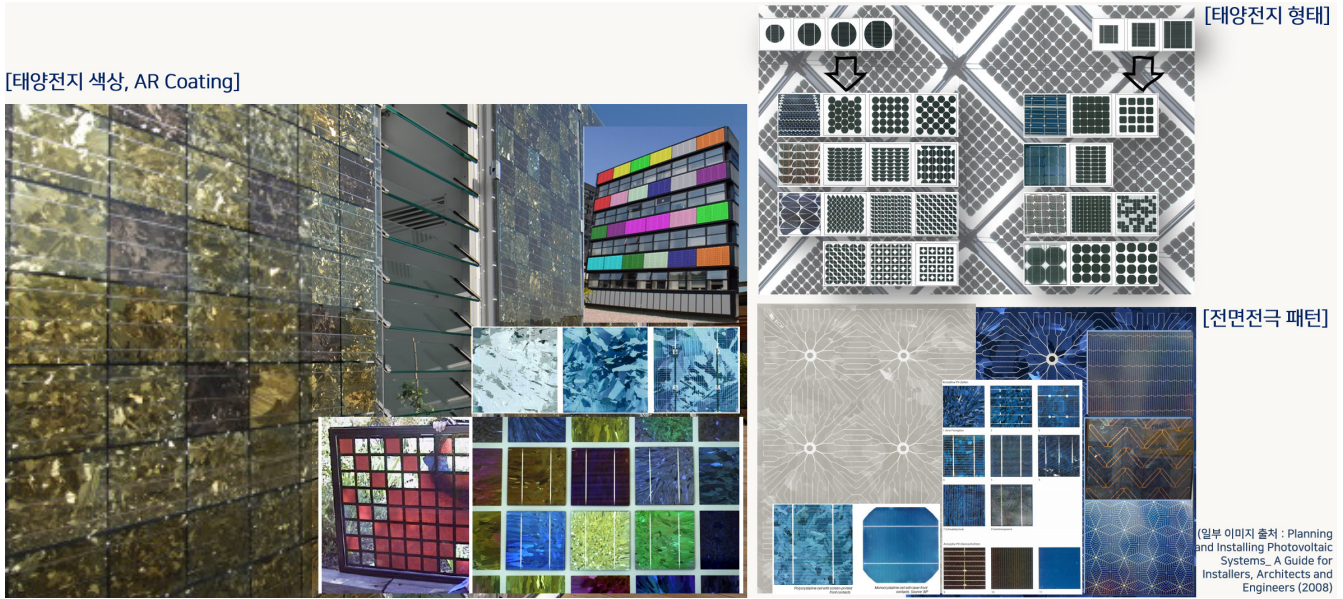


- 대부분 얇은 폴리머나 얇은 기판 위에 박막전지를 직접 코팅하거나, 필름 형태를 기판에 접합하는 방식
- 곡면형 외벽이나 막구조 공법 등에 적용 가능함



- 각 요구 성능들 간의 상관관계 및 각종 고려요소들을 정리한 개념도입니다.
- 건축 분야에서 통용되는 3원칙(구조/기능/미)에 따라 필요한 핵심 고려 요소
- 안전과 관련된 사항은 가장 기본의 필요 충족 요건
- 기능적 측면에서는 건자재와 전기제품의 다양한 기본 특성을 확보해야 하며 다양한 기술개발, 인증 및 지원 추진
- 도시수용성과 직결 되는 미적인 문제, 즉 심미성이 여전히 큰 숙제로 남아있음

◎ BIPV 시스템 도시수용성 현안: 심미성 | 심미성 개선노력

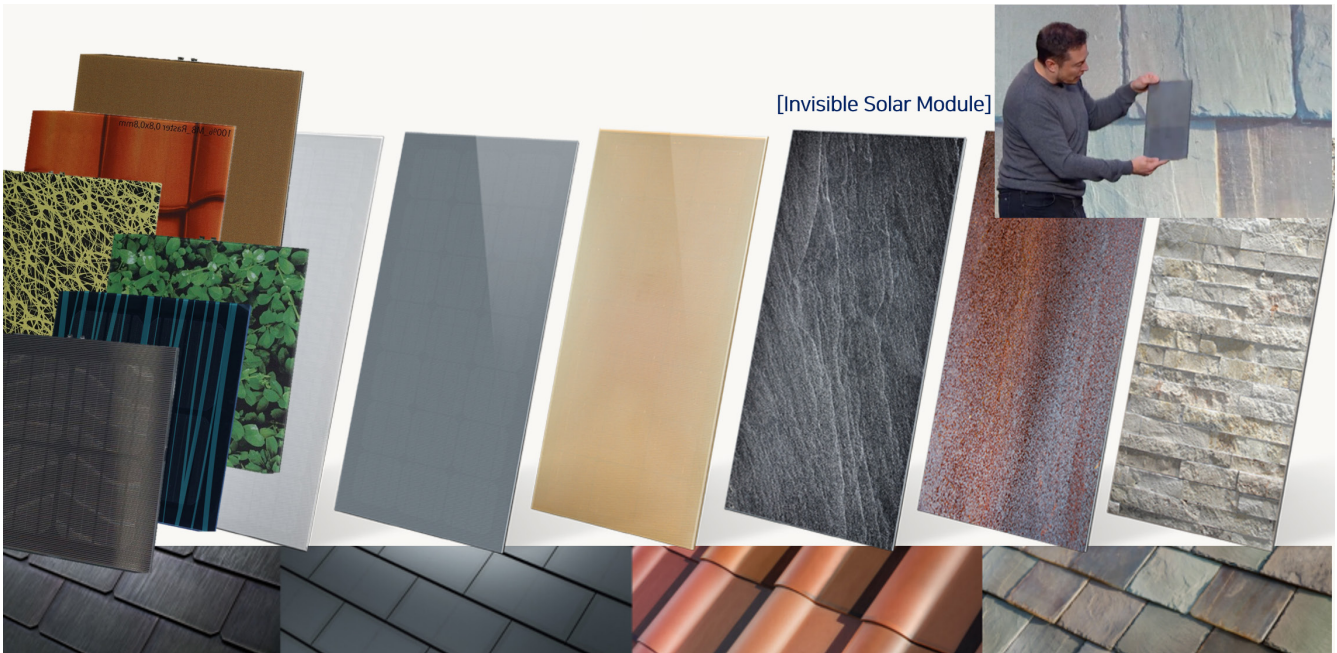


- 태양전지의 형상과 형태를 통한 변형, 표면 전면 전극의 디자인을 활용한 변화 및 다양한 색상의 태양전지 개발 등



- 많은 노력에도 불구하고 외관상 멀리서 보아도 PV 모듈임을 인지할 수 있는 근본적 한계는 극복하지 못함

## ◎ BIPV 시스템 도시수용성 현안: 심미성 | 심미성의 패러다임 변화



- 최근 새로운 개념의 컬러코팅 전면재 기술이 도입되며 새로운 전환기를 맞이하고 있음



- 필름형태로 제공되는 컬러코팅 전면재 관련 제품 예시
- 태양전지 앞단의 유리나 같은 전면재나 봉지재에 등에 직접 코팅 또는 부착되는 형태로 후면의 태양전지를 가리는 기술
- 색상과 관련되는 가시광선대 일부 영역만 반사시켜 발전과 색상을 동시에 해결하는 개념(우측 그래프)
- 색상구현을 위한 코팅적용으로 인해 발생하는 투과손실은 대략 10~20%로 심미성을 위해 수용 가능한 수준

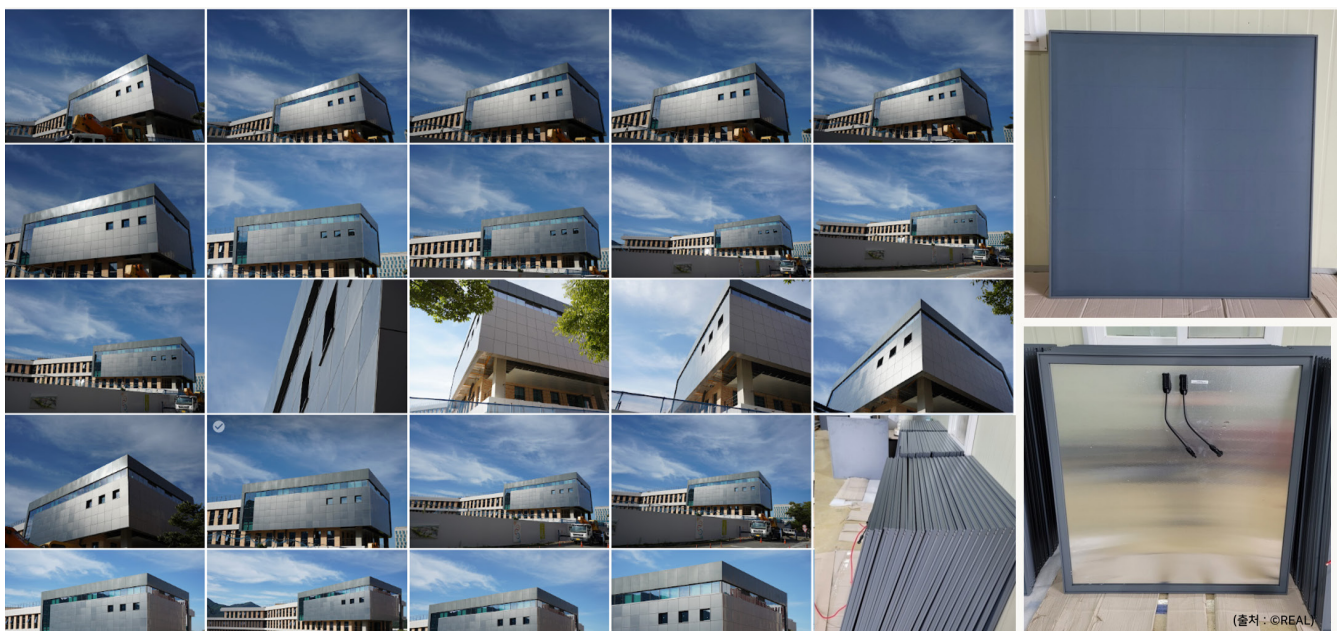
◎ BIPV 전면재의 기술현황과 시사점 | 심미성의 패러다임 변화

(BIPV Field Test Facility @REAL, 한밭대학교)





- 2023년 초 건립된 한밭대학교내 창의혁신관 신축 건물 남측면 일부 부위에 BIPV를 적용한 사례



- 컬러코팅 유리가 전면재로 적용되었으며 후면재를 강판으로 적용하여 개발한 제품 사례

## ◎ BIPV 전면재의 기술현황과 시사점 | 한밭대학교 창의혁신관 신축, BIPV 시공방법 및 순서

설치 시공시간 TimeLapse : 7:00AM ~ 11:00AM (4hrs)

	구조물의 위치 실측			단열재 및 투습방수지 시공작업
	하지철물 먹출작업			알루미늄 프레임(프로파일) 설치작업
	전기 배관 배선 작업			옵티마이저 및 간선작업 접지작업
	열교차단 트러스 프레임(하지철물) 설치작업			모듈 1개 설치시간 : 3.2분 모듈 설치완료 : 총 5시간
				(출처 : ©REAL)

- 래치를 이용한 착탈식 방식으로 탈부착 용이
- 약 13kWp의 모듈을 5시간 이내에 설치 가능, 탈거할 경우도 모듈의 손상 없이 빠르게 제거 가능
- 실리콘 등을 사용하지 않은 오픈조인트 방식

## ◎ BIPV 전면재의 기술현황과 시사점 | 심미성의 패러다임 변화

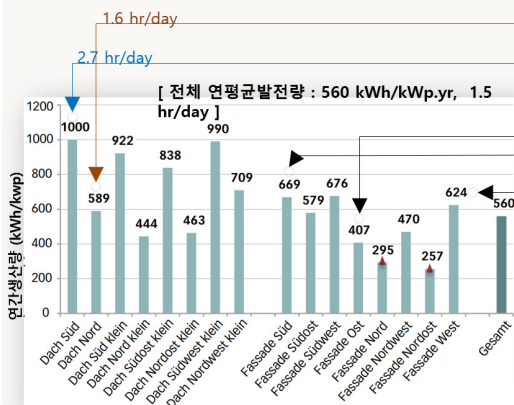


- 10세대 신축 연립주택
- 연면적 814 m<sup>2</sup>, 거주자 22명
- Red/brown digital ceramic printed, monocrystalline G2G type frameless BIPV module
- 남동서측의 주택 전체 외벽과 지붕에 타일형태의 후면환기형 설치방식
- 74kWp, 800m<sup>2</sup>

(출처 : <http://www.scherrer.biz/>)

해외 주거건물 BIPV 신축 사례, Wohnhuas Solaris, Zurich, 2017

(해외 주거건물 BIPV 신축 사례, Wohnhuas Solaris, Zurich, 2017)



(출처 : <http://www.pvaustria.at>)

BIPV 외피 위치별 발전량 (측정기반 예측치)

(출처 : <http://www.scherrer.biz/>)



Source ; [www.pvaustria.at](http://www.pvaustria.at)

(Raw data source ; [www.pvaustria.at](http://www.pvaustria.at))

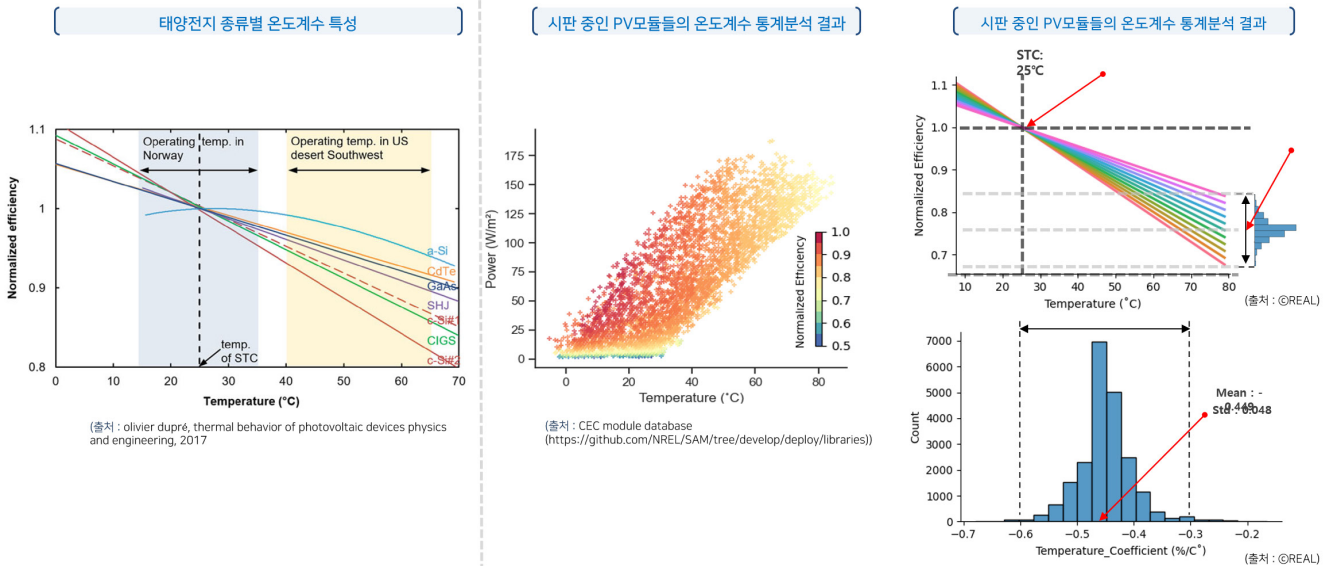
- 다양한 위치에 설치된 각 모듈들에서 생산된 연간 발전량 예시한 결과(좌측 그래프)
- 가장 양호한 설치조건인 남측 경사면 대비, 북측 수직면에 설치된 BIPV 모듈의 경우 약 1/4 수준의 발전성능을 보임
- 발전량이 적어도 심미성과 도시 수용성 증시하고 모든 면에 동일 소재의 BIPV 모듈을 적용하는 사례 확대 기대

## ◎ BIPV 시스템 성능관련 설계 고려요소: 설치각도, 온도, 음영 | 음영 Shading



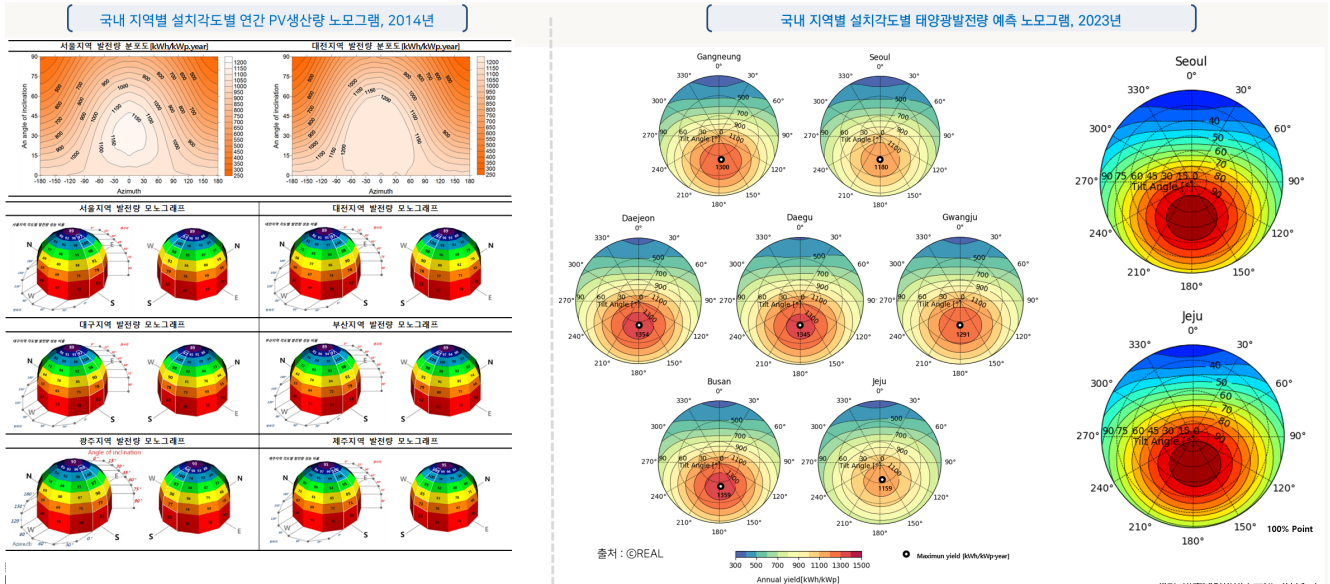
- 직렬로 연결되는 태양전지의 특성상 다양한 형태의 부분음영은 시스템의 전체성능 저하에 큰 영향을 미침
- 상부 돌출 및 측면 돌출의 깊이가 크지 않아도 계절 및 시간에 따라 매우 큰 음영 영향을 받음(우측 그림)
- 건물의 자체차양 및 다양한 돌출물, 주변 식생이나 인접건물에 의한 영향은 설계 초기 단계부터 신중한 고려 필요

## ◎ BIPV 시스템 성능관련 설계 고려요소: 설치각도, 온도, 음영 | 온도 Temperature



- 태양전지는 온도가 상승하면 효율저하가 발생하며 단위 온도 상승당 떨어지는 비율인 온도계수(%/°C)로 표현
- 결정계 태양전지들이 온도의 영향을 가장 크게 받으며, 박막전지인 a-Si은 비교적 가장 영향이 적음(좌측 그래프)
- 현재 시판 중인 PV모듈들의 데이터베이스 이용해 통계분석한 결과(우측 자료)
- 온도계수는 -0.45 (%/°C)가 가장 많으며, 정규화된 효율로 보면 0.75, 즉 75% 부근에서 피크 발생
- 시판 중인 모듈의 대부분이 결정계기 때문에 태양전지의 일반적 온도 계수 특성으로 보아도 무방

◎ BIPV 시스템 성능관련 설계 고려요소: 설치각도, 온도, 음영 | 설치각도(방위각, 경사각)



출처: 건물적용 태양광발전시스템의 국내 지역에 따른 설치각도별 연간 전력생산량 예측에 관한 연구, 한국생태환경건축학회논문집, 2014.2.

출처: 표준기상자료를 활용한 태양광발전 시스템의 설치 조건별 발전량 예측 노모그램 개발, 한국태양학회논문집, 2023.7.

- 건축물에서는 항상 최적각도로 설치하는 것이 불가, 건물의 조건에 따라 다양한 방위 및 각도 적용
- 설계 초기단계에 주어진 조건에서 최적의 위치 및 설치각도를 결정하는 것이 매우 중요
- 지역별로 모든 방위각 및 경사각을 대상으로 설치조건에 따른 연간 발전량을 예측할 수 있는 노모그램(좌)
- 전세계 일사강도가 높아짐에 따라 새로운 기상자료 기반으로 업데이트된 노모그램(우)

## ◎ BIPV 시스템 성능 현안: 설치각도 활용사례

남향 및 북향 박공지붕의 연간발전 사례  
(완주주택, 2020 ~ 2022)

북향 경사지붕면 설치사례  
단독주택 RIPV, 발전사업, 2020

- 설치위치 : 전북 완주군 구이면
- 설치 용량 : 17.16 kWp
- 모듈 용량 : 325 Wp, 390 Wp
- 모듈 개수 : 48 장
- 방위각 : 남향(6.435kWp), 북향(6.890kWp)
- 경사각 : 18°

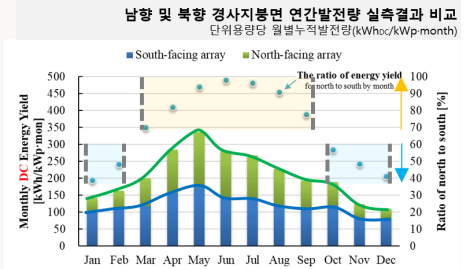


(출처 : The Assessments of Operational Performance for North-facing PV System based on Measured Data, Journal of KSES, Vol.42, No.5, 2022)

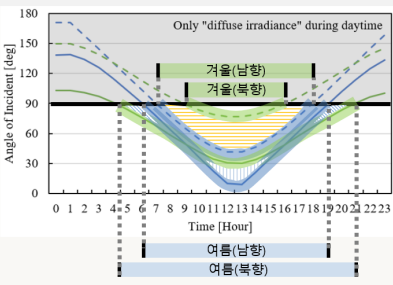
- 전북 완주에 위치, 남향 및 북향에 약 17kWp의 태양광모듈 설치(경사각 남향 및 북향 18°)

남향 및 북향 박공지붕의 연간발전 사례  
(완주주택, 2020 ~ 2022)  
북향 경사지붕면 설치사례  
단독주택 RIPv, 발전사업, 2020

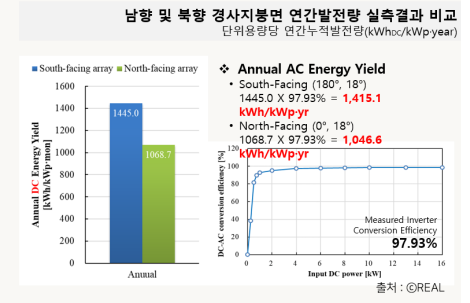
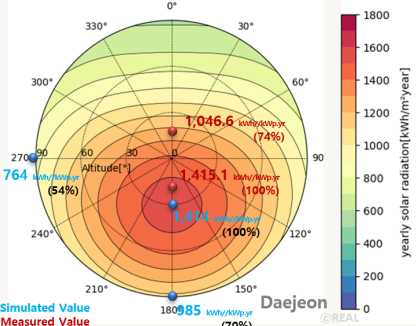
- 설치위치 : 전북 완주군 구이면
- 설치 용량 : 17.16 kWp
- 모듈 용량 : 325 Wp, 390 Wp
- 모듈 개수 : 48 장
- 방위각 : 남향(6.435kWp), 북향(6.890kWp)
- 경사각 : 18°



하지 및 동지의 남향/북향 경사지붕면 시간별 입사각 변화



(출처 : The Assessments of Operational Performance for North-facing PV System based on Measured Data, Journal of KSES, Vol.42, No.5, 2022)



- 중앙의 노모그램 적색은 측정값, 청색은 이론적 예측값
- 노모그램의 등발전곡선 활용 시 최적의 설치조건 결정 용이

## ◎ BIPV 시스템 성능 현안: 설치각도, 온도, 음영 | 설치조건의 현행기준 및 개선방향

### 신-재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침 개정 2022. 8. 17 (29차)

[별표 1] 신재생에너지 설비 원별 시공기준 (제7조제1항 관련) <개정 2021.5.12., 2022.8.17.>  
신-재생에너지 설비 원별 시공기준 (제7조제1항 관련)

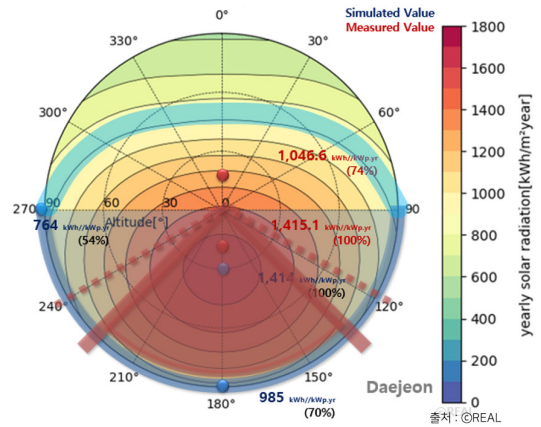
#### 2. 태양광설비 시공기준

- 표 4 -

##### 다) 설치상태

- ① 모듈의 일조면은 원칙적으로 정남향 방향으로 설치하여야 한다. 정남향으로 설치가 불가능할 경우 한하여 정남향을 기준으로 동쪽 또는 서쪽 방향으로 45도 이내 (공급 인증서 발급대상 설비의 경우 60도 이내)로 설치하여야 한다. 다만, 기존 건축물의 지붕, 벽체 등과 평행하게 태양광 설비(BAPV형 또는 BIPV형)를 설치하는 경우에는 정남향을 기준으로 동쪽 또는 서쪽으로 90도 이내에 설치할 수 있다.
- ② 지붕 등 경사가 있는 건축물(공작물 포함)에 건물설치형 태양광 설비를 설치할 경우에는 모듈의 경사 및 방향이 건축물의 경사 및 방향과 최대한 일치되도록 설치하는 것을 권장한다.
- ③ 모듈의 일조시간은 장애물로 인한 음영에도 불구하고 1일 5시간 [준계(3~5월) - 추계(9~11월)]기준1 이상이어야 하며, 전선, 피뢰침, 안테나 등 경미한 음영은 장애물로 보지 않는다.
- ④ 모듈 설치 열이 2열 이상일 경우 앞 열은 뒷 열에 음영이되지 않도록 설치하여야 한다.

- 기본설치기준  
+45° ~ -45°
- REC대상  
+60° ~ -60°
- 수직벽체, 평형면  
+90° ~ -90°
- 동일성능 확장면



(출처 : The Assessments of Operational Performance for North-facing PV System based on Measured Data, Journal of KSES, Vol.42, No.5, 2022)

- 현행 신재생에너지 설비지원 등에 관한 지침의 내용(좌)
- 현재 기준에서 요구하고 있는 설치조건의 경계선을 도식 노모그램(우)
- 현행의 기준에서는 북향설치가 원천적으로 불가하지만 일정 경사각 수준의 북향면 설치는 많은 장점 가짐
- 동향 또는 서향 수직보다 우수한 발전성능을 기대 영역이 북향조건에 매우 넓게 존재(오른쪽 노모그램 하늘색 등고선)

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. Planning and Installing Photovoltaic Systems\_ A Guide for Installers, Architects and Engineers (2008)
2. <https://www.solaxess.ch/en/home/>
3. <http://www.scherrer.biz/>
4. <http://www.pvaustria.at>
5. olivier dupré, thermal behavior of photovoltaic devices physics and engineering, 2017
6. CEC module database (<https://github.com/NREL/SAM/tree/develop/deploy/libraries>)
7. 건물적용 태양광발전시스템의 국내 지역에 따른 설치각도별 연간 전력생산량 예측에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, Feb. 2014.
8. 표준기상자료를 활용한 태양광발전 시스템의 설치 조건별 발전량 예측 노모그램 개발, 한국태양학회논문집, 2023. 7.
9. The Assessments of Operational Performance for North-facing PV System based on Measured Data, Journal of KSES, Vol.42, No.5, 2022

# C.2

## 집광채광기술

### 교육 목표

#### 집광채광기술

- \* 집광채광기술의 정의와 종류, 타기술과의 차별점에 대해 이해
- \* 여러 친환경 인증제도에서 집광채광기술이 인정되는 개념과 범위에 대해 이해
- \* 광선반의 개념과 구조, 특징을 이해하고 집광채광 성능을 고찰
- \* 집광채광루버의 개념과 구조, 특징을 이해하고 집광채광 성능을 고찰
- \* 설비형 집광채광시스템의 개념과 구성을 이해
- \* 입사부, 전송부, 산란부의 특징에 따른 분류와 실제 사례를 통한 이해

## 1 집광채광기술 개요 및 관련 친환경 인증 제도

### ◎ 태양에너지 이용에 따른 기술 분류

열에너지 (태양열) 이용	자연형 (Passive System)	집열, 저장, 이용	직접획득형(Direct Gain)
			간접획득형(Indirect Gain)
	설비형 (Active System)		분리획득형(Isolated Gain)
			태양열 급탕 시스템 태양열 난방 시스템
빛에너지 (태양광) 이용	자연형 (Passive System)	광전송 방식	창 디자인
			광선반
			집광채광루버
	설비형 (Active System)	입사부특성	태양추적시스템 구동축 수에 따라 분류
			태양추적시스템 구동축 배열방식에 따라 분류
		전송부 특성	태양추적신호 생성방식에 따라 분류
			전송부 구조에 따라 분류
			태양광 발전 시스템

한국건설기술연구원(2012), 집광채광분야에 대한 단위에너지생산량 산출, 지식경제부

## ◎ 집광채광기술의 정의

- 실내 공간 특성에 적합한 빛환경 조성 및 쾌적한 실내 조명환경 유지를 목적으로 주간의 자연광을 유입하는 시스템

## ◎ 집광채광시스템의 차별점

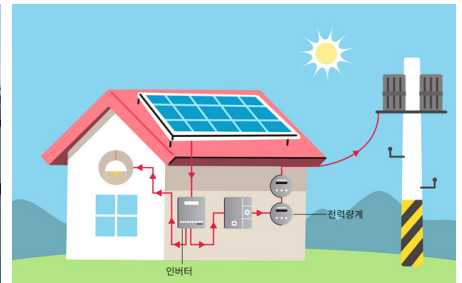
- 에너지이용을 위한 별도의 변환 과정 없음
- 태양에너지의 전 파장영역을 모두 이용가능
- 빛 에너지의 특성 상 에너지 저장이 불가능
- 운량, 일사량 등의 자연현상에 대한 예측이 어려워 부하 대응에 한계가 있음



실내루버형 집광채광 (<http://thesunportal.com/>)



프리즘 집광채광시스템 (<https://blog.daum.net/kbc111>)



태양광 발전 시스템 (한국에너지공단 홈페이지)

## ◎ 신재생에너지로서의 집광채광기술

	산업으로 접근	에너지로 접근
관점	신재생에너지 산업의 활성화가 필요하다는 관점	기술을 활용하여 실질적인 에너지 절감을 유도해야 한다는 관점
관련 정부 부처	산업통상자원부	국토건설교통부, 환경부, 산업통상자원부
관련 법령	신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법, 시행령, 시행규칙 등	녹색건축물 조성 지원법, 시행령, 시행규칙 등

## ◎ 법령에서 정의하고 있는 신재생에너지로서의 집광채광기술

- 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 제2조(정의)
  2. “재생에너지”란 햇빛·물·지열(地熱)·강수(降水)·생물유기체 등을 포함하는 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 것을 말한다.
    - 가. 태양에너지
- 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행규칙 제2조(신·재생에너지 설비)
  4. 태양에너지 설비
    - 나. 태양광 설비: 태양의 빛에너지를 변환시켜 전기를 생산하거나 채광(採光)에 이용하는 설비

## ◎ 공공기관 설치의무화 제도

- 공공기관이 신축·증축 또는 개축하는 연면적 1,000㎡ 이상의 건축물에 대하여 예상에너지사용량의 공급의무비율 이상을 신재생에너지로 공급토록 의무화한 사업
- 관련 법령 : 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 제12조의 5(신·재생에너지 공급의무화 등) 신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 규정
- 관련 고시 : 한국에너지공단 고시, 신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침

신·재생에너지원		단위 에너지생산량		원별 보정계수
태양광 (발전)	고정식	1,358	kWh/kW·yr	0.95
	추적식	1,765		1.47
	BIPV	923		6.12
태양열	...	...	...	...
지열에너지	...	...	...	...
집광채광	프리즘	132	kWh/㎡·yr	7.76
	광덕트	73		7.77
	실내루버형	184		2.77
...				

[별표 10] 단위 에너지생산량 및 원별 보정계수 <개정 2022.8.17.>

- 공급의무비율 산정기준 및 방법(신재생에너지 설비의 지원 등에 관한 규정 [별표 2])

가. 신·재생에너지 공급의무 비율(%)

$$\text{신·재생에너지 공급의무 비율} = \frac{\text{신·재생에너지 생산량}}{\text{예상 에너지사용량}} \times 100$$

- 신·재생에너지 생산량 : 신·재생에너지를 이용하여 공급되는 에너지, [별표10] 단위에너지 생산량과 보정계수를 사용하여 신·재생에너지 설비가 연간 생산하는 에너지의 양을 보정한 값

$$\text{신·재생에너지 생산량} = \text{원별 설치규모} \times \text{단위 에너지생산량} \times \text{원별 보정계수}$$

- 예상 에너지사용량 : 건축물에서 연간 사용이 예측되는 총에너지의 양

$$\text{예상 에너지사용량} = \text{건축 연면적} \times \text{단위 에너지사용량} \times \text{지역계수}$$

- 단위 에너지사용량 : 용도별 건축물의 단위면적당 연간 사용이 예측되는 에너지의 양 ([별표 2]에 제시)
- 지역계수: 지역별 기상조건을 고려한 계수 ([별표 2]에 제시)

- 민간건물의 신재생에너지 의무설치를 규정하고 있는 지자체의 녹색건축설계기준의 경우, 상기의 산출 방법을 준용함

## ◎ 신재생에너지로서의 집광채광기술

	산업으로 접근	에너지로 접근
관점	신재생에너지 산업의 활성화가 필요하다는 관점	기술을 활용하여 실질적인 에너지 절감을 유도해야 한다는 관점
관련 정부 부처	산업통상자원부	국토건설교통부, 환경부, 산업통상자원부
관련 법령	신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법, 시행령, 시행규칙 등	녹색건축물 조성 지원법, 시행령, 시행규칙 등

## ◎ 법령에서 정의하고 있는 신재생에너지로서의 집광채광기술

- 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 제2조(정의)
  2. “재생에너지”란 햇빛·물·지열(地熱)·강수(降水)·생물유기체 등을 포함하는 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 것을 말한다.
    - 가. 태양에너지
- 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행규칙 제2조(신·재생에너지 설비)
  4. 태양에너지 설비
    - 나. 태양광 설비: 태양의 빛에너지를 변환시켜 전기를 생산하거나 채광(採光)에 이용하는 설비

## ◎ 공공기관 설치의무화 제도

- 공공기관이 신축·증축 또는 개축하는 연면적 1,000㎡ 이상의 건축물에 대하여 예상에너지사용량의 공급의무비율 이상을 신재생에너지로 공급토록 의무화한 사업
- 관련 법령 : 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 제12조의 5(신·재생에너지 공급의무화 등) 신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 규정
- 관련 고시 : 한국에너지공단 고시, 신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침

신·재생에너지원		단위 에너지생산량		원별 보정계수
태양광 (발전)	고정식	1,358	kWh/kW·yr	0.95
	추적식	1,765		1.47
	BIPV	923		6.12
태양열	...	...	...	...
지열에너지	...	...	...	...
집광채광	프리즘	132	kWh/㎡·yr	7.76
	광덕트	73		7.77
	실내루버형	184		2.77
...				

[별표 10] 단위 에너지생산량 및 원별 보정계수 <개정 2022.8.17.>

- 공급의무비율 산정기준 및 방법(신재생에너지 설비의 지원 등에 관한 규정 [별표 2])

가. 신·재생에너지 공급의무 비율(%)

$$\text{신·재생에너지 공급의무 비율} = \frac{\text{신·재생에너지 생산량}}{\text{예상 에너지사용량}} \times 100$$

- 신·재생에너지 생산량 : 신·재생에너지를 이용하여 공급되는 에너지, [별표10] 단위에너지 생산량과 보정계수를 사용하여 신·재생에너지 설비가 연간 생산하는 에너지의 양을 보정한 값

$$\text{신·재생에너지 생산량} = \text{원별 설치규모} \times \text{단위 에너지생산량} \times \text{원별 보정계수}$$

- 예상 에너지사용량 : 건축물에서 연간 사용이 예측되는 총에너지의 양

$$\text{예상 에너지사용량} = \text{건축 연면적} \times \text{단위 에너지사용량} \times \text{지역계수}$$

- 단위 에너지사용량 : 용도별 건축물의 단위면적당 연간 사용이 예측되는 에너지의 양 ([별표 2]에 제시)
- 지역계수: 지역별 기상조건을 고려한 계수 ([별표 2]에 제시)

- 민간건물의 신재생에너지 의무설치를 규정하고 있는 지자체의 녹색건축설계기준의 경우, 상기의 산출 방법을 준용함

## ◎ 건축물의 에너지절약설계기준

- 에너지성능지표 중 건축부문 7. 냉방부하저감을 위한 거실 외피 면적당 평균 태양열 취득
  - 신재생에너지로서의 의미는 아니지만, 건축허가를 득하는데 일사조절장치로서 집광채광 기술(실내 루버형 집광 채광)을 활용할 수 있음

항 목	기본배점 (a)				배점 (b)				
	비주거		주거		1점	0.9점	0.8점	0.7점	0.6점
	대형 (3,000㎡ 이상)	소형 (600~ 3,000㎡미만)	주택1	주택2					
7. 냉방부하저감을 위한 거실 외피면적당 평균 태양열취득 <sup>주6)</sup>	7	5	3	3	19W/㎡ 미만	19~24W/㎡ 미만	24~29W/㎡ 미만	29~34W/㎡ 미만	34~39W/㎡ 미만

거실 외피면적당 평균 태양열 취득

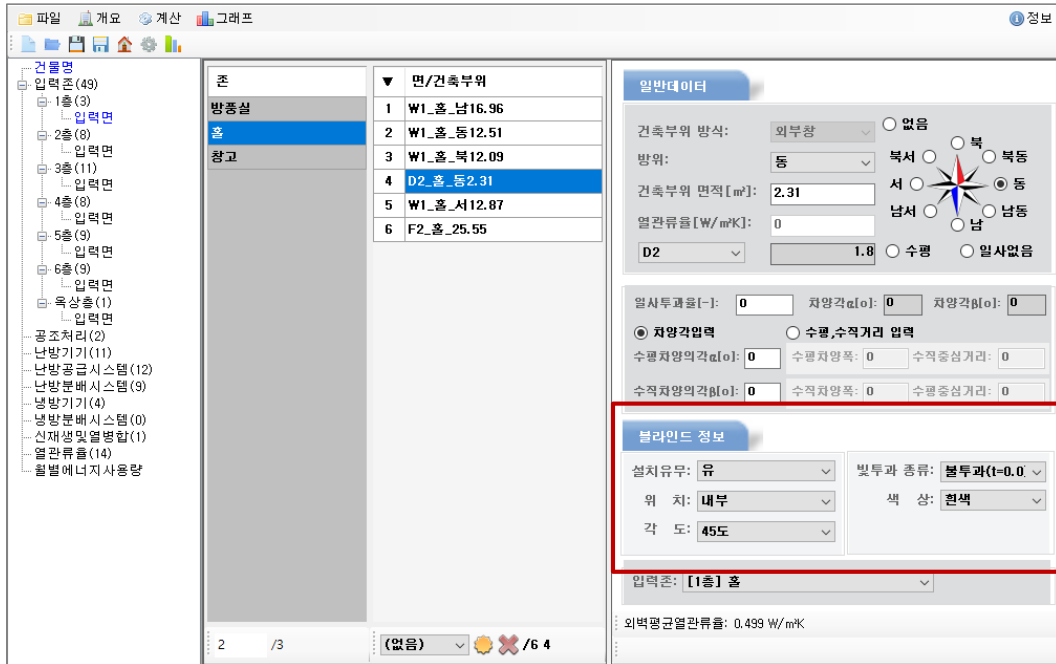
$$= \frac{\sum (\text{해당방위의 수직면 일사량} \times \text{해당방위의 일사조절장치의 태양열취득률} \times \text{해당방위의 거실 투광부 면적})}{\text{거실 외피면적의 합}}$$

일사조절장치의 태양열취득률 =

$$\begin{aligned} & \text{수평 고정형 외부차양의 태양열취득률} \times \text{수직 고정형 외부차양의 태양열취득률} \\ & \times \text{가동형 차양의 설치위치에 따른 태양열취득률} \times \text{투광부의 태양열취득률} \end{aligned}$$

## ◎ 제로에너지건축물인증

- 평가 프로그램인 ECO2 건축부문 창의 블라인드 정보 입력 가능
  - 신재생에너지로서의 의미는 아니지만, 블라인드(일사조절장치)로서 집광채광기술(실내루버형집광채광)을 활용



## ◎ 녹색건축인증

- 2. 에너지 및 환경오염 중 신재생에너지 이용 항목
  - 신재생에너지설비 인증을 받은 채광설비는 전기(조명)설비 용량으로 인정 즉, 조명에너지 절감 용량을 신재생 인증서(성적서)를 통해 신·재생에너지 전기용량(kW)으로 산정
  - 신·재생설비 중에서 집광채광루버는 보조적인 기기인 경우에 전체설비 용량에서 제외
  - 그러나 조명에너지 절감 용량을 평가할 수 있는 KS기준의 부재로 신재생인증서(성적서)를 받은 집광채광설비는 없음
  - 사실상 유명무실한 항목
- 2. 에너지 및 환경오염 중 냉방에너지 절감을 위한 일사조절 계획 수립 항목
  - 건축물의 에너지절약설계기준의 냉방부하저감을 위한 거실 외피 면적당 평균 태양열 취득 항목과 거의 동일
  - 신재생에너지로서의 의미는 아니지만, 일사조절장치로서 집광채광기술(실내루버형집광채광)을 활용

◎ 요약

		광선반		
자연형 (Passive System)	광전송 방식	집광채광루버		<ul style="list-style-type: none"> <li>에너지절약설계기준</li> <li>제로에너지건축물인증</li> <li>녹색건축인증</li> </ul> 일사조절장치로서 반영
설비형 (Active System)	입사부특성	태양추적시스템 구동축 수에 따라 분류		
		태양추적시스템 구동축 배열방식에 따라 분류		
	전송부 특성	태양추적신호 생성방식에 따라 분류		<ul style="list-style-type: none"> <li>공공기관 설치의무화 제도</li> </ul> 실내루버형, 프리즘, 광덕트 집광채광은 신재생에너지로서 반영
	전송부 특성	전송부 구조에 따라 분류		

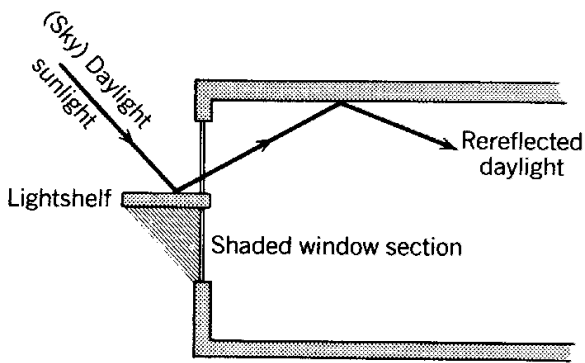
## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. <https://blog.daum.net/kbc111>
2. <http://thesunportal.com/>
3. 국토교통부 법률 제20517호, 녹색건축물 조성 지원법, 시행령, 시행규칙
4. 국토교통부령 제1425호(산업통상자원부령 제589호) 제로에너지건축물 인증에 관한 규칙
5. 국토교통부고시 제2024-1026호, 건축물의 에너지절약설계기준
6. 국토교통부고시 제2023-329호(환경부고시 제2023-172호), 녹색건축 인증 기준
7. 산업통상자원부, 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법, 시행령, 시행규칙
8. 산업통상자원부고시 제2025-25호, 신재생에너지 설비의 지원 등에 관한 규정
9. 한국건설기술연구원(2012), 집광채광분야에 대한 단위에너지생산량 산출, 지식경제부
10. 한국건설기술연구원(2015), 집광채광루버의 단위에너지생산량 산출에 대한 연구
11. 한국건설기술연구원(2024), 녹색건축 인증기준 해설서, G-SEED 2016-7 v3
12. 한국에너지공단 고시, 신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침

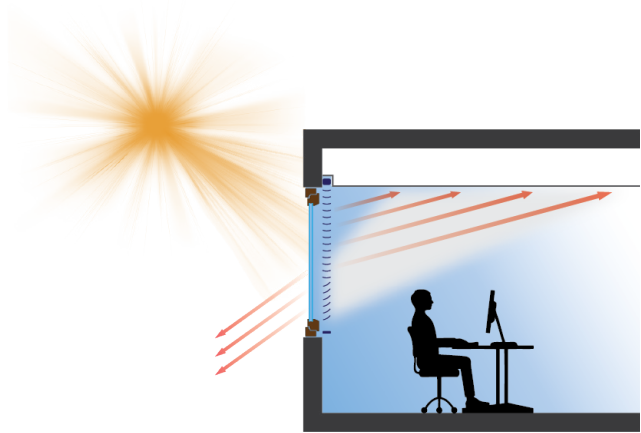
## 2 자연형 집광채광기술

### ◎ 개요 | 광선반

- 자연광의 유입이 어려운 실내에 비교적 단순한 시스템을 외피 가까이 설치하여 자연광을 유입하는 기술
- 광선반 (Light Shelf)
- 집광채광루버 (Lighting Louver)



광선반



집광채광루버

- 측창의 외부나 내부에 상부 표면 반사율이 높은 선반을 설치
- 외부의 주광(확산광 및 직사일광)을 실내 깊숙히 도입
- 직달일사를 차단, 현휘 방지
- 외주부 부하 저감
- 설치 위치에 따라 내부, 외부, 내외부 광선반으로 분류



광선반, Kawneer, InLighten®



광선반이 없을 때

직달일사 도달  
현휘유발, 외주부 부하증가

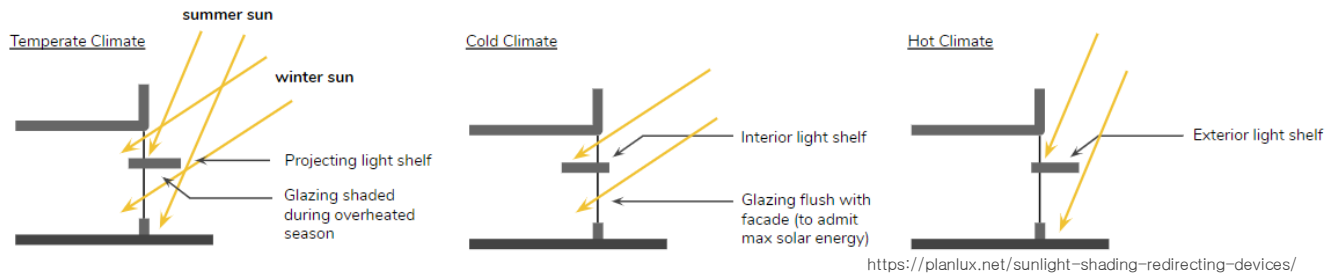


광선반이 있을 때

직달일사 차단  
현휘방지, 외주부 부하저감

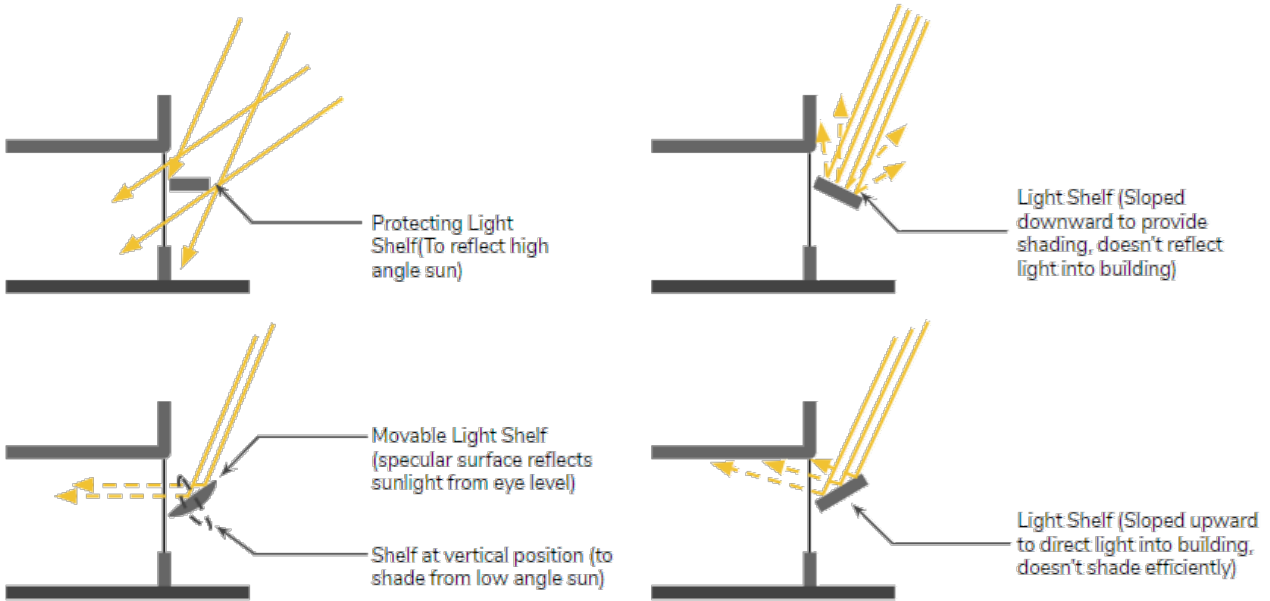
## ◎ 적용 | 광선반

- 일반적으로 측창에 추가로 설치하는 형태로 시공되나 건물 외피와 일체형으로 계획할 수도 있음
- 건물의 디자인과 구조 설계에 영향을 미치기 때문에 설계 초기 단계부터 고려 필요
- 모든 기후에 적용 가능하나, (자연채광성능에 관하여서는) 직사일광이 뚜렷한 기후에 유리



- 남향 창에 적용시 가장 효과적이며, 동-서향 창의 경우는 다소 성능 저하
- 광선반 상부 면의 현휘 방지를 위해 재실자가 서 있을 때의 눈높이 보다 높게 설치
- 천장고가 높은 공간에서 효과적 (천장높이에서 아래로 60 cm 이상 이격하여 설치하는 것이 좋음)
- 하얀 실내 천장면이 유리
- 국내 친환경제도 하에서 신재생에너지로 인정되고 있지 않음

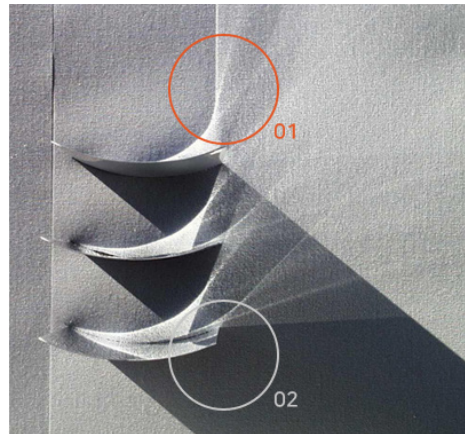
◎ 다양한 응용 | 광선반



<https://planlux.net/sunlight-shading-redirecting-devices/>

## ◎ 개요 | 집광채광루버

- 특수 알루미늄 슬랫(경면반사율 90% 이상)으로 구성된 루버
- 슬랫은 빛을 효과적으로 반사 또는 차단할 수 있는 곡면형태
- 자연광의 입사각에 따라 슬랫 각도를 변화시켜 자연광을 유입
- 상단부와 하단부의 슬랫이 각 상황에 맞게 따로 조절됨
- 상단부 슬랫은 창호로부터 유입되는 직사광선을 실내 천장으로 효과적으로 반사해 인공조명을 대체하는 간접조명원으로 활용
- 하단부 슬랫은 직사광선 차단, 현휘 방지에 활용
- 필요시 전체 혹은 하단부 슬랫을 닫아 태양열의 실내 유입을 차단하여 하절기 냉방에너지 절감
- 2018년 신재생에너지로 지정 고시

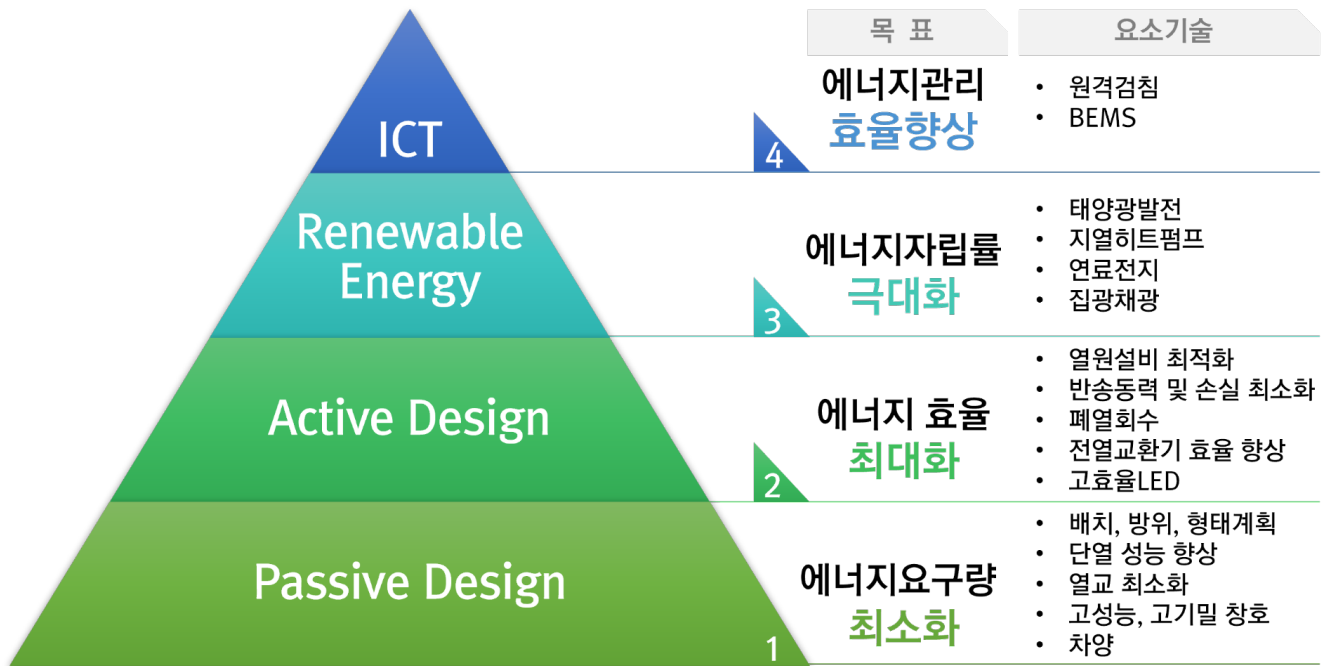


## ◎ 적용 | 집광채광루버

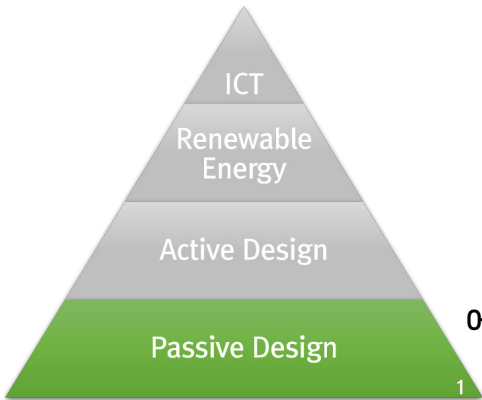
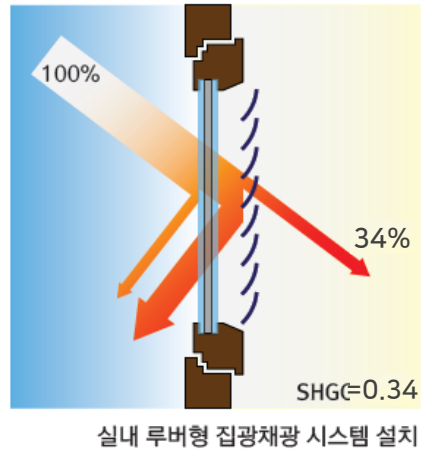
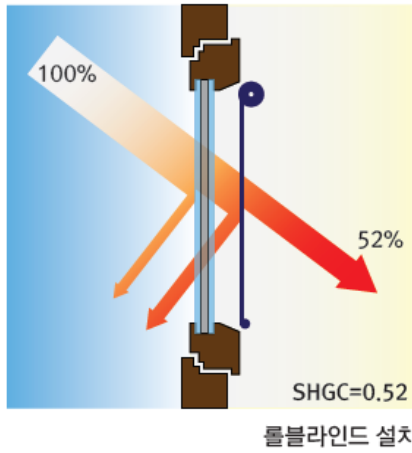
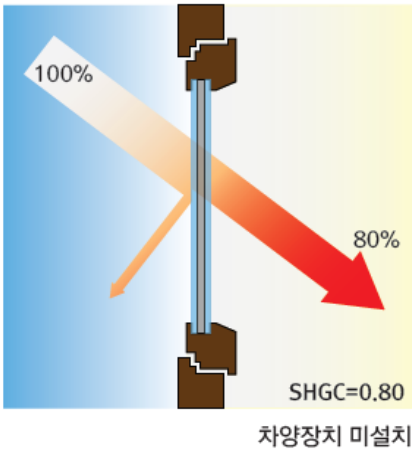
- 측창에 설치하는 형태로 시공, 실내외 모두 설치 가능하나, 실내에 설치하는 경우만 신재생에너지로 인정
- 광선반이 주로 사무공간, 교육공간 위주로 설치 된다면 집광채광루버는 주거용 건물까지 광범위한 용도의 건물에 활용 가능
- 외부에 설치하는 경우 건물의 외관에 영향을 많이 미칠 수 있으며, 바람 등 외부 기상 상태에 대비하여 구조적으로 안전하게 시공되어야 함
- 모든 기후에 적용 가능하나, (자연채광성능에 관하여서는) 직사일광이 뚜렷한 기후에 유리
- 일반적인 커튼박스에 간단히 설치할 수 있어 공사기간에 영향을 주지 않으며 기존의 준공된 건축물에도 적용이 가능
- 남향 창에 적용시 가장 효과적이며, 동-서향 창의 경우는 다소 성능 저하
- 하얀 실내 천장면이 유리



◎ ZEB을 위한 건물 설계 단계별 목표와 요소 기술



◎ 냉방에너지 절감 (일사차단)



에너지요구량  
최소화

**SHGC = 0.34**  
KOLAS 시험성적서 보유

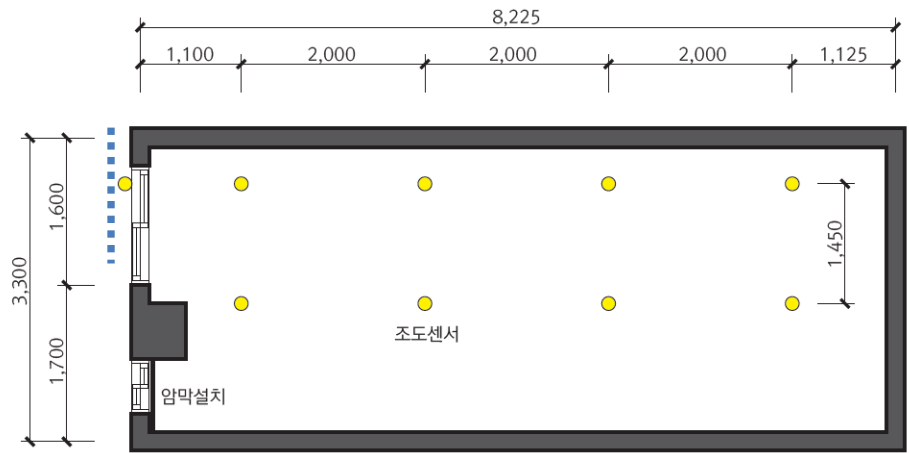
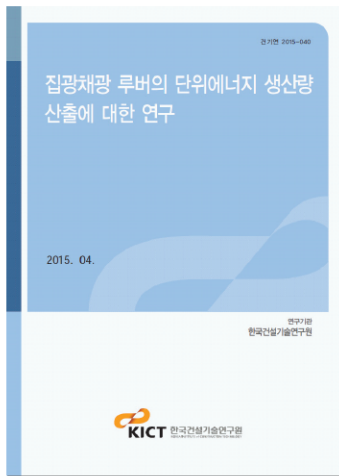
---

**SHGC (Solar Heat Gain Coefficient)**  
태양열취득률으로 값이 적을 수록 태양열 차단성능이  
높아 하절기 냉방부하 저감에 효과적임

일사에 의한 냉방부하, 롤블라인드 설치 대비 40% 절감

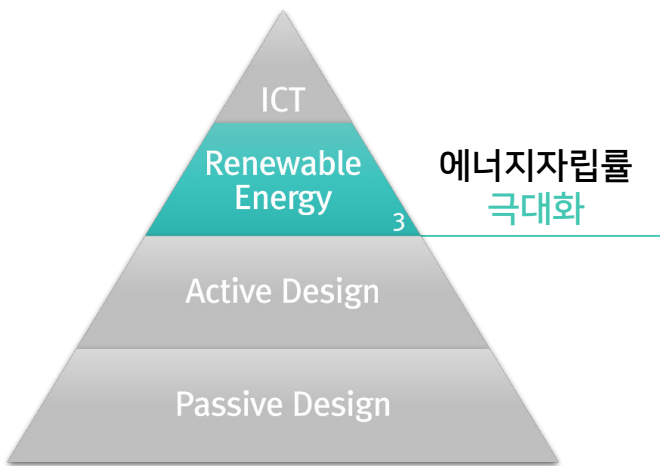
적용 유리 및 블라인드 사양에 따라 결과가 상이할 수 있음

◎ 조명에너지 절감 (신재생에너지 생산량)



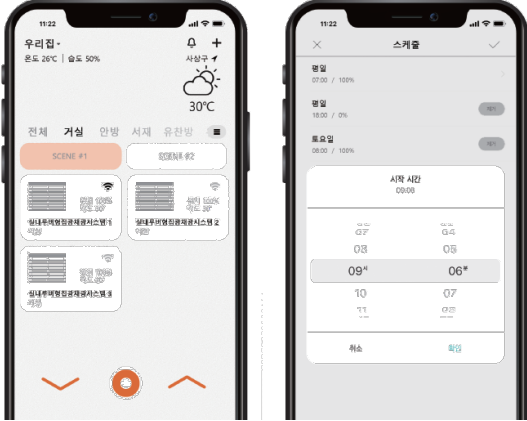
단위에너지 생산(절감)량: 184kWh/m<sup>2</sup>·yr

시스템 설치 후, 실내 평균조도 300lx 이상 확보 가능한 연간시간에 대한 조명전력 절감량으로 산출



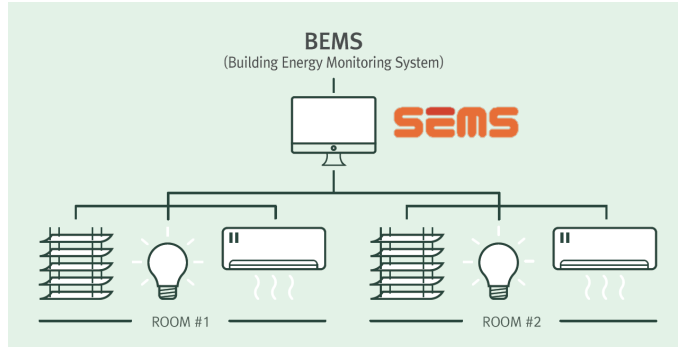
◎ 스마트 제어 시스템

모바일 어플리케이션



**SEMS**

SUNSLAT ENERGY MONITORING SYSTEM



홈네트워크 구성 및 연동 가능

모니터링 및 스케줄러 기능 제공

일반 베네시안 블라인드(자동제어 X, 슬릿 오픈) 대비

조명전력 약35%, 냉방전력 약40% 절감

## ◎ 참고 서적 및 사이트

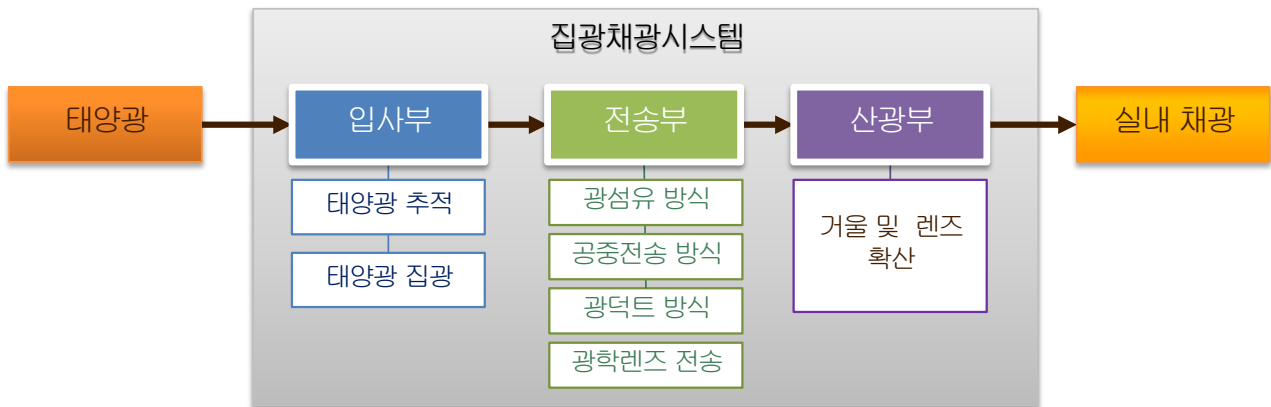
1. <http://www.2030palette.org/intermediate-light-shelves/>
2. <http://www.whilkor.com/>
3. <https://www.aiatopten.org/node/103>
4. <https://planlux.net/sunlight-shading-redirecting-devices/>
5. <http://resourcelab.co.kr/>
6. <http://thesunportal.com/>
7. 한국건설기술연구원(2012), 집광채광분야에 대한 단위에너지생산량 산출, 지식경제부
8. 한국건설기술연구원(2015), 집광채광루버의 단위에너지생산량 산출에 대한 연구
9. 한국에너지공단, 신·재생에너지설비의 지원 등에 관한 지침

### 3 설비형 집광채광기술

#### ◎ 개요 | 설비형 집광채광시스템

- 효율적인 주광 유입을 위해 집광면적을 증가시키거나 집광된 주광을 원하는 위치에 적극적으로 사용할 수 있도록 별도의 이송설비를 이용하는 적극적인 채광방식

#### ◎ 시스템 구성 | 설비형 집광채광시스템



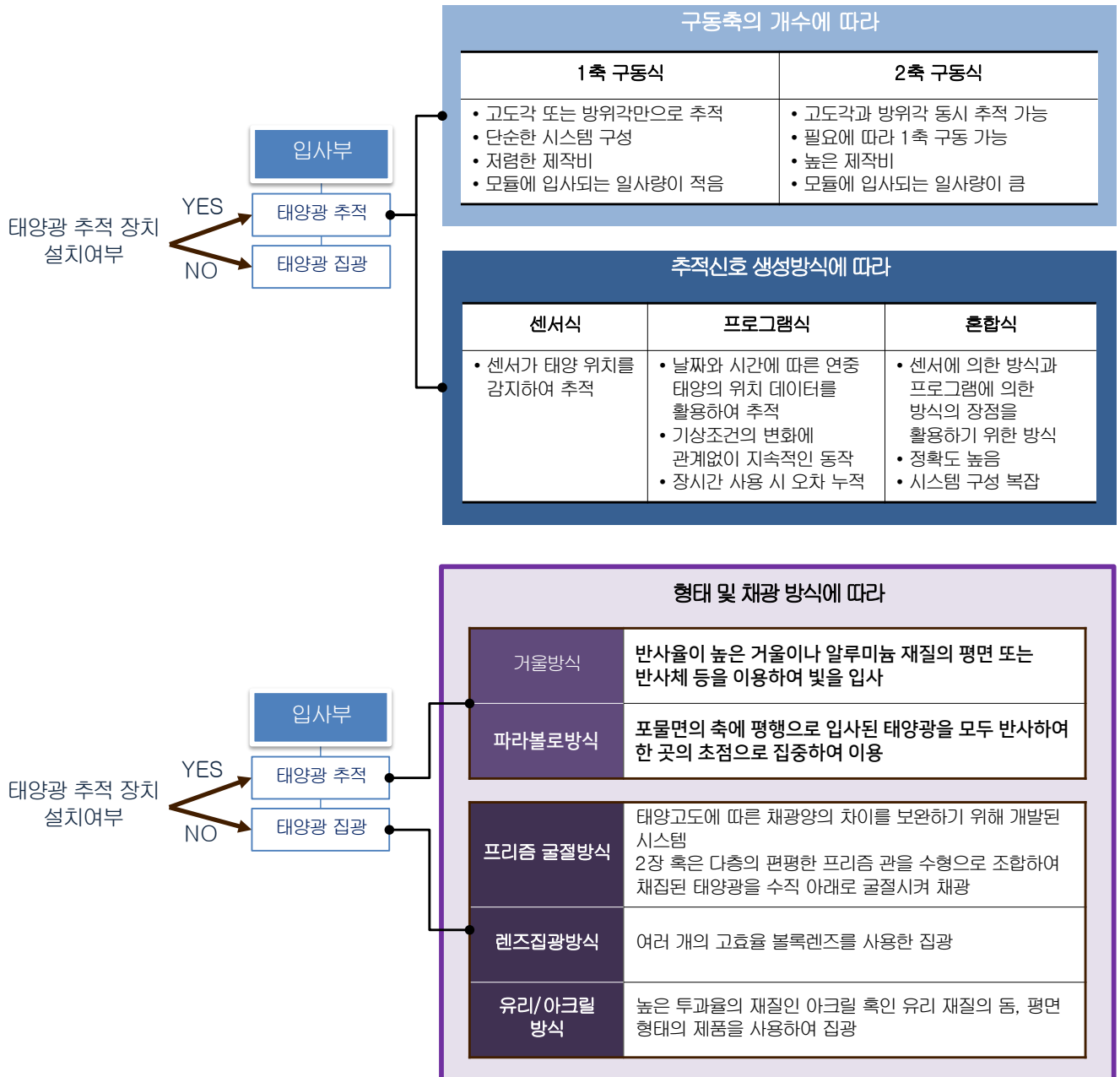
한국건설기술연구원(2012), 집광채광분야에 대한 단위에너지생산량 산출, 지식경제부

- 입사부 : 주광을 추적 혹은 집광하여 유입하는 부분
- 전송부 : 입사된 빛을 원하는 목적지까지 전달하는 부분
- 산광부 : 전송된 빛을 공간의 요구 조도에 적합하도록 산란시키는 부분

## ◎ 입사부

- 주광을 추적 혹은 집광하여 유입하는 부분
- 1차적으로 태양광 추적 장치의 설치 여부에 따라 추적식과 고정식으로 구분

## ◎ 입사부 특성에 따른 분류

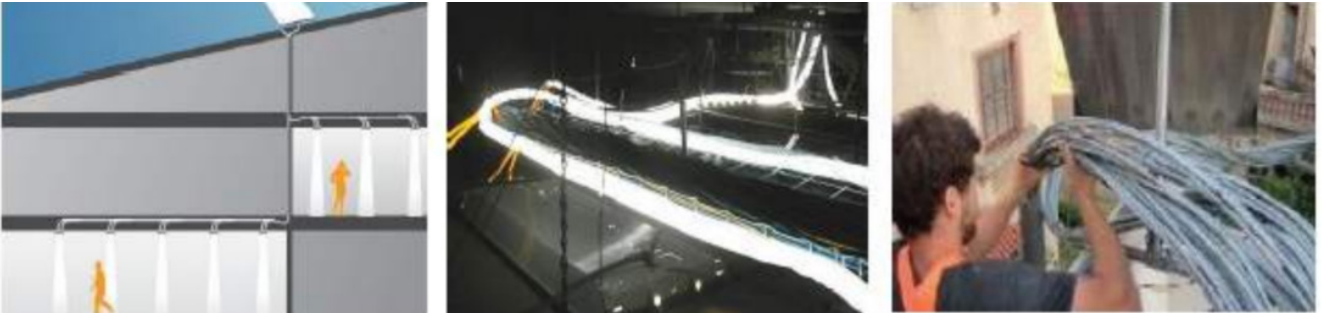


## ◎ 전송부

- 입사된 빛을 원하는 목적지까지 전달하는 부분
- 광전송방식에 따라 광섬유 전송방식, 공중전송방식, 광덕트방식, 광학렌즈전송방식으로 구분

## ◎ 전송부 특성에 따른 분류

- 광섬유 전송 방식
  - 광학렌즈로 채광된 태양광을 광섬유 케이블(석면, 플라스틱, 유리소재 등)로 실내 공간으로 전송하는 방식
  - 원하는 성분의 광선을 선택적으로 전송할 수 있음, 수중 전송도 가능
  - 다른 방식 대비 작은 설치 면적, 설치 장소도 제한 없음
  - 가격이 비쌈

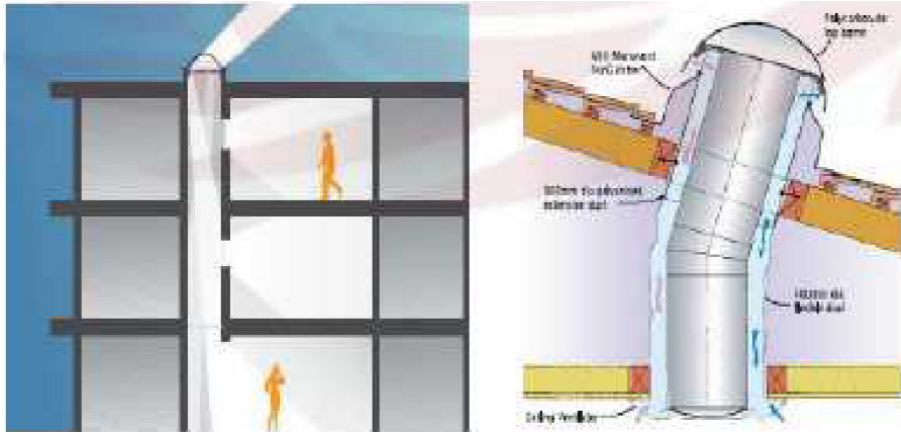


- 공중 전송 방식
  - 일반적인 거울형 태양광 채광 시스템의 전송방식
  - 높은 반사율의 거울 반사체를 사용하여 일정한 각도의 빛 조절을 통해 전송
  - 시공이 간단하고 가격이 저렴한 장점
  - 반사거울면의 현휘 발생 가능성, 사용범위에 제한



● 광덕트 전송 방식

- 반사율이 높은 덕트 (혹은 튜브) 등을 통한 전송방식
- 태양광 전송이 비교적 근거리인 경우 주로 이용(최상층 실내, 지상에서 접근 가능한 지하공간 등)
- 설치 후 변경이 쉽지 않기 때문에 설계 단계에서 충분히 고려 필요
- 가격이 저렴



● 광학렌즈 전송 방식

- 고투과율의 광학렌즈(Relay lens)를 일정 간격으로 설치하여 평행광 형태로 연속하여 전송
- 원거리 전송이 가능하며, 광손실을 최소화
- 풀스펙트럼의 태양광을 전송



## ◎ 입사부 채광 방식에 따라 가능한 전송방식

		전송부의 전송방식			
		광섬유 전송 방식	공중 전송 방식	광덕트 전송 방식	광학렌즈 전송 방식
입사부의 채광 방식	거울방식		○	○	○
	파라볼로방식		○	○	○
	프리즘 굴절방식		○	○	
	렌즈집광방식	○			
	유리/아크릴 방식			○	

## ◎ 산광부

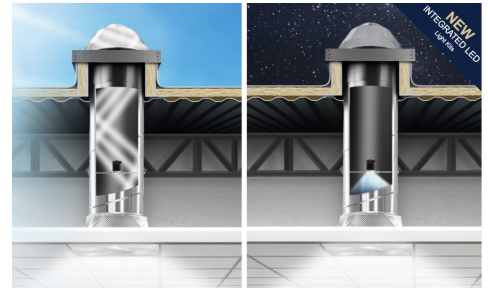
- 전송된 빛을 공간의 요구 조도에 적합하도록 산란시키는 부분
- 거울이나 렌즈를 활용
- SPOT조명과 같이 빛을 모으는 연출 가능
- 색상 필터를 이용하여 다양한 색상을 구현
- 조도센서를 설치하여 밝기에 따라 인공조명이 자동으로 점등 되도록 하는 복합적인 기능을 제공하는 시스템도 있음



종각역 태양의 정원, 서울



스트랜드 프로젝트, 런던, 영국



하이브리드 시스템  
(<https://www.solatube.com/residential/tubular-skylights>)

◎ 적용 1 : 광섬유 집광채광

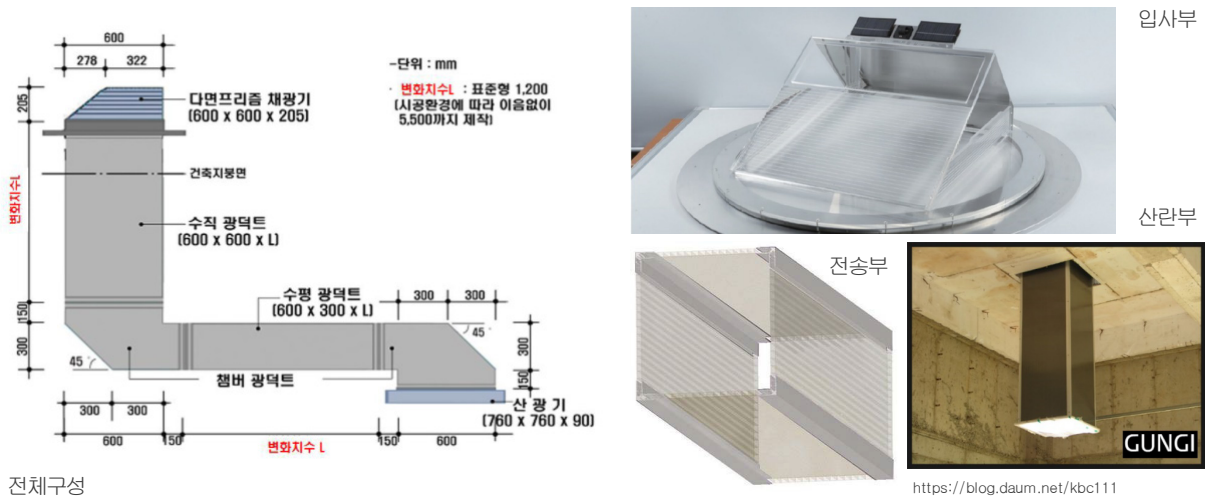
입사부			전송부
태양광 집광	태양광 추적		전송 방식
-	2축구동	센서식	광섬유 방식



[http://www.whilkor.com/sub/sub4\\_5.php](http://www.whilkor.com/sub/sub4_5.php)

◎ 적용 2 : 다면프리즘 광덕트형

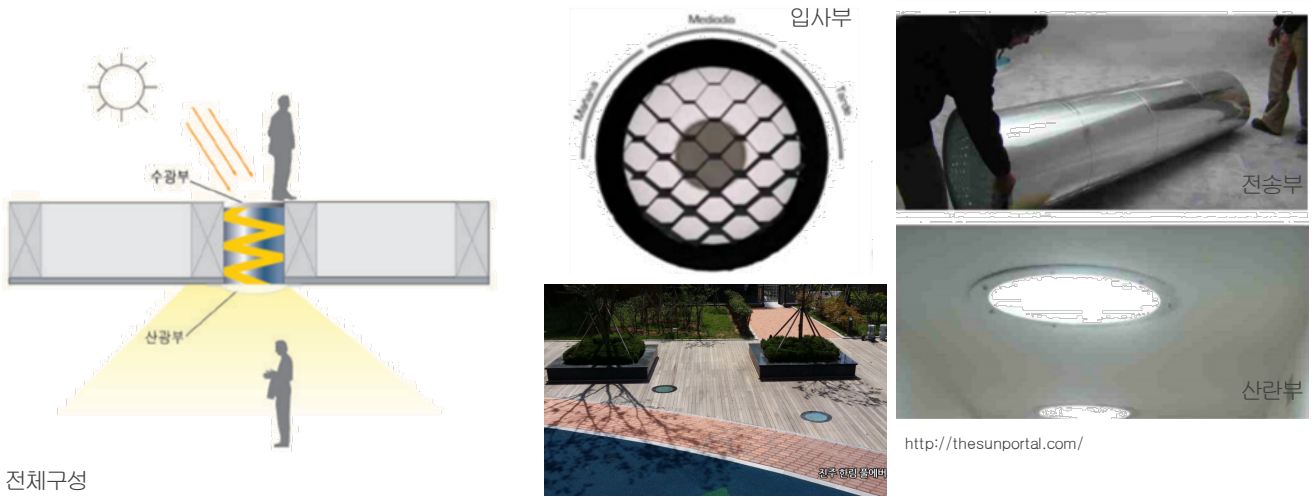
입사부			전송부
태양광 집광	태양광 추적		전송 방식
고정식	-	-	프리즘방식



<https://blog.daum.net/kbc111>

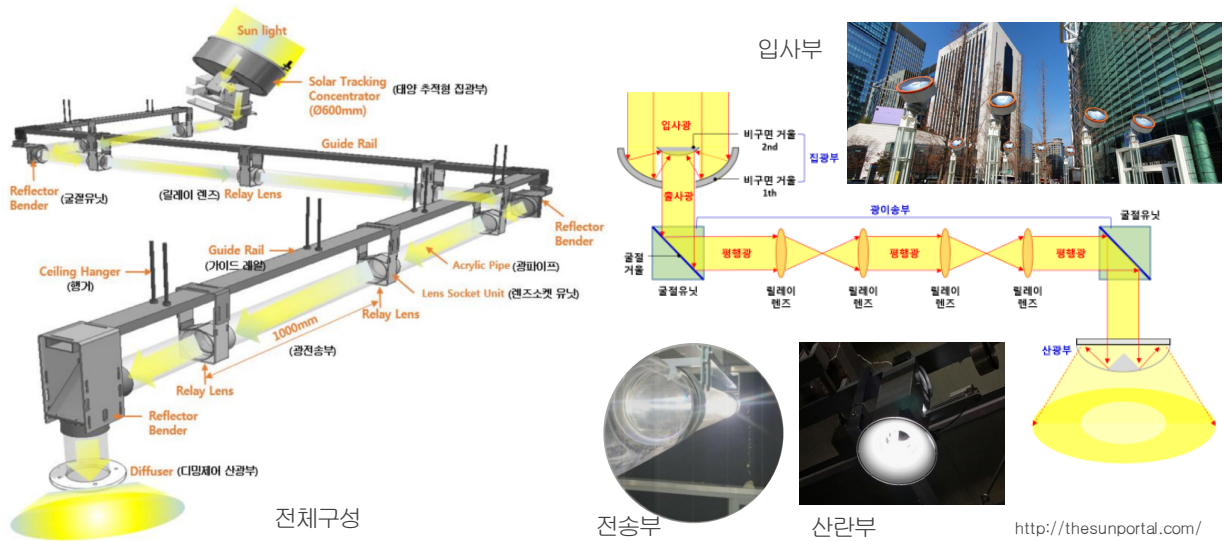
◎ 적용 3 : 매립형 광덕트

입사부			전송부
태양광 집광	태양광 추적		전송 방식
고정식	-	-	광덕트 방식



◎ 적용 4 : 선포탈시스템

입사부			전송부
태양광 집광	태양광 추적		전송 방식
-	2축 구동식	프로그램식	광학렌즈 방식



## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. <http://thesunportal.com/>
2. <https://www.solatube.com/residential/tubular-skylights>
3. [http://www.whilkor.com/sub/sub4\\_5.php](http://www.whilkor.com/sub/sub4_5.php)
4. <https://blog.daum.net/kbc111>
5. 한국건설기술연구원(2015), 집광채광루버의 단위에너지생산량 산출에 대한 연구
6. 한봉수(2002), 태양광 채광시스템의 건축적 적용기법에 관한 연구, 경희대학교 박사학위논문
7. 황민구(2003), 반사거울형 태양광채광시스템의 개발 및 채광성능평가에 관한 연구, 경희대학교 박사학위논문

## C.3

## 연료전지 설비 기술

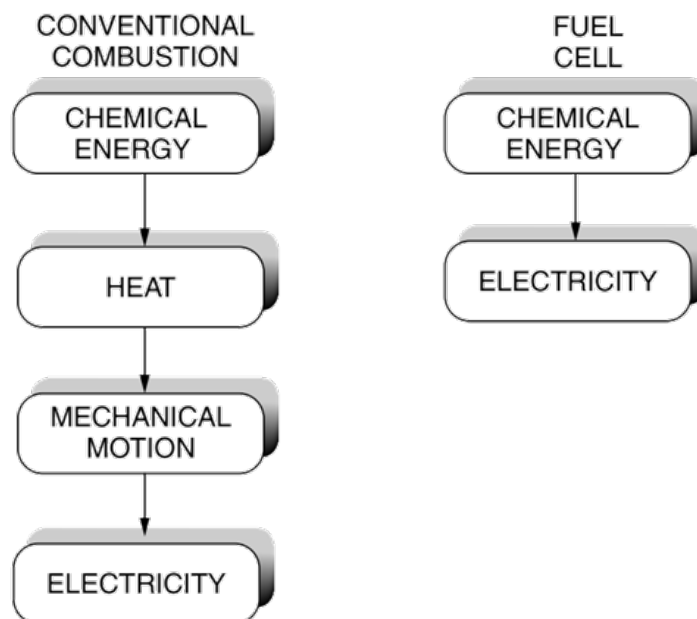
## 교육 목표

- \* 연료전지의 개요
  - \* 연료전지의 구조와 종류
  - \* 연료전지의 구동원리
  - \* 연료전지의 이론적 효율
  - \* 수소 생산의 문제
  - \* 실제 운영의 문제
  - \* 연료전지의 미래
- 연료전지 설비 기술**

## 1 연료전지(Fuel Cell)의 이해

## ◎ 연료전지란?

- 연료전지에서 화학에너지에서의 전기에너지로의 변환은 열 엔진 카르노 효율에 제한되지 않음



## ◎ 최초의 연료전지(Fuel Cell)

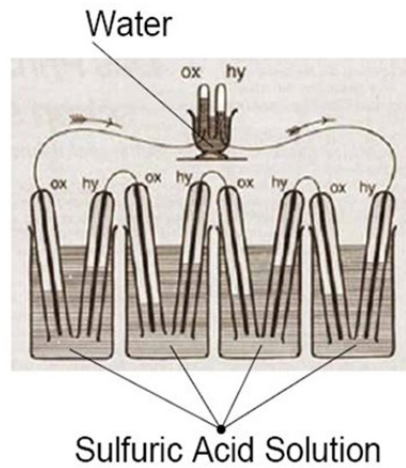
- 1839년 영국의 윌리엄 그로브(William Robert Grove)에 의해 수소를 연료로 하는 최초의 연료전지 실험 및 제작

# First Fuel Cell

**Sir William Robert Grove**, (11 July 1811 – 1 August 1896) was a Welsh judge and physical scientist. He invented the first fuel cell in 1839.



Grove's 1839 gas voltaic battery diagram



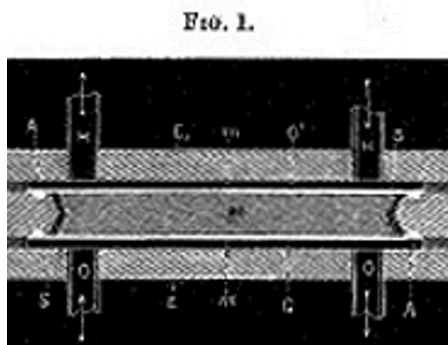
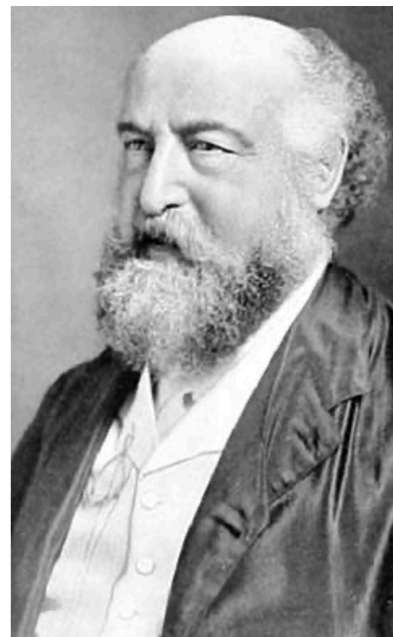
Copyright 2014 by Noriko Hikosaka Behling

2

## ◎ 연료전지의 기술 발전

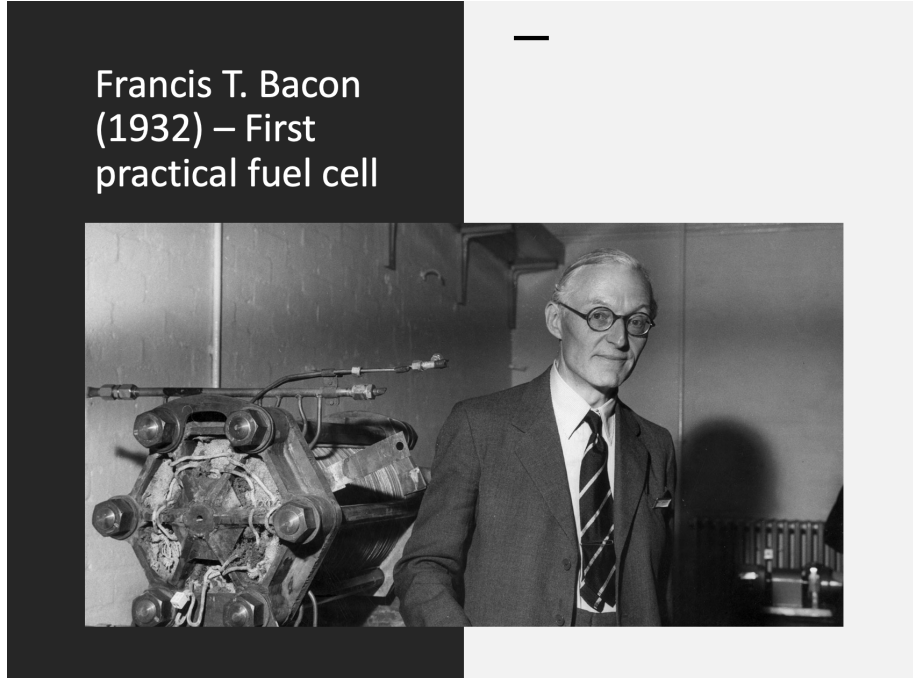
- 1889년 Ludwig Mond와 Charles Langer, 다공성 백금 전극에 가스를 공급하여 단위면적당  $6.5 \text{ mA/m}^2$ ,  $0.73\text{V}$ 를 얻을 수 있는 배터리 제안

Ludwig Mond and Charles Langer (1889)



## ◎ 연료전지의 상업화

- 1932년 프랜시스 토마스 베이컨(Francis T. Bacon)이 수소-산소 연료전지를 상업적으로 시작하며 본격적인 연료전지 연구 시작



## ◎ 연료전지의 적극적 활용

- GE社의 화학자인 Thomas Grubb의 연료전지의 기본 디자인 수정
- PEM(고분자 전해질막) 연료전지 고안

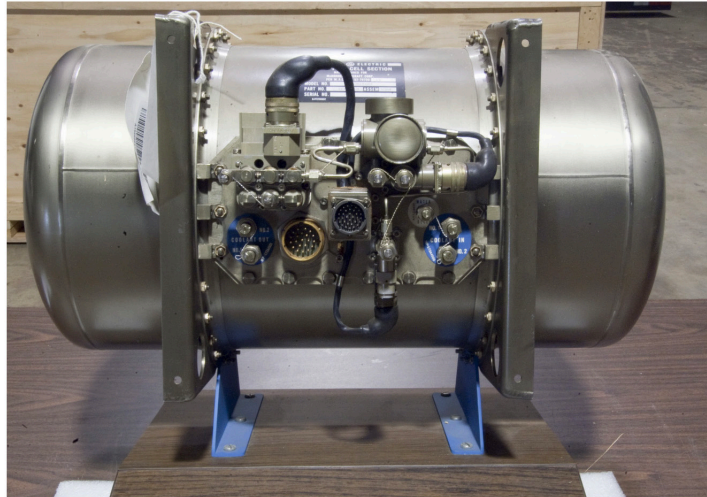
General  
Electric (1950)  
– Proton  
Exchange  
Membrane  
(PEM) Fuel cell



### ◎ 특수분야의 연료전지 적용

- 1960년대 미국 NASA의 우주 프로그램에서 연료전지가 전력원으로 사용
- 이를 통해 연료전지의 상업적 응용 가능성이 더욱 주목됨

### Fuel cell for NASA's Gemini series (1960s)



### ◎ 국내의 연료전지(Fuel Cell)



**DOOSAN** 두산퓨얼셀

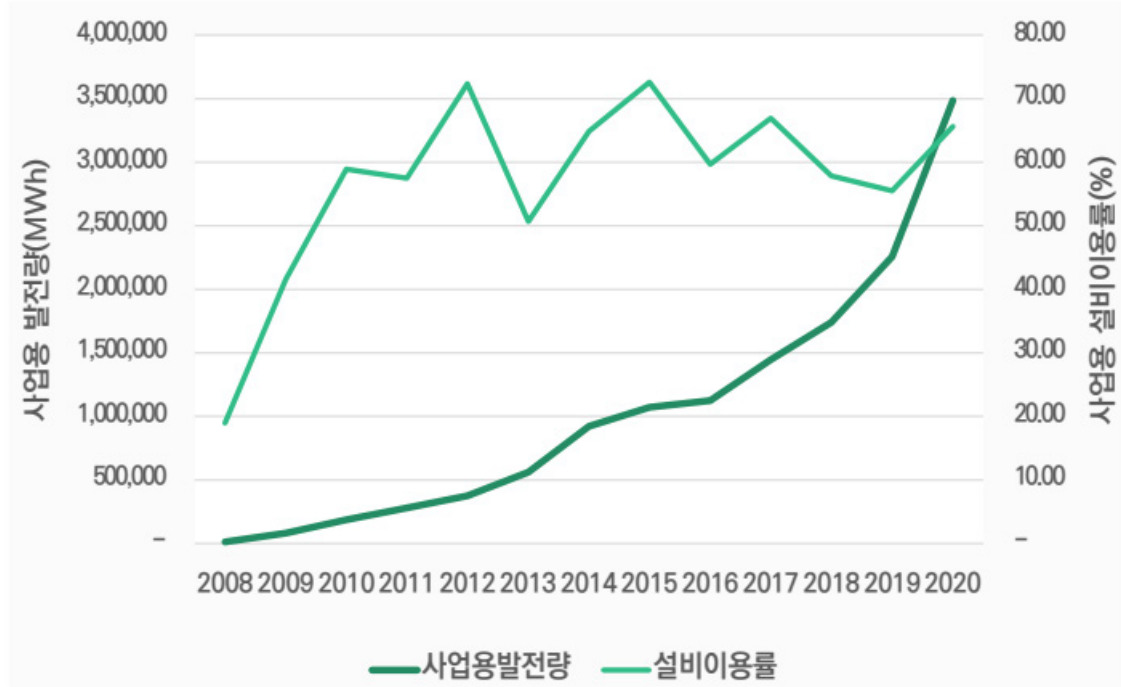


**Bumhan** 범한퓨얼셀

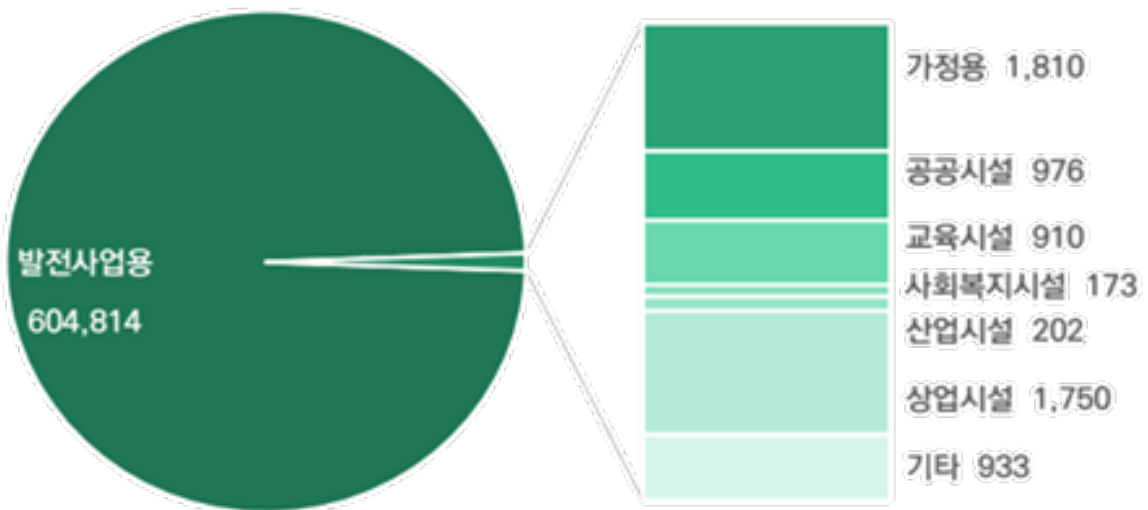


### ◎ 국내 연료전지 보급

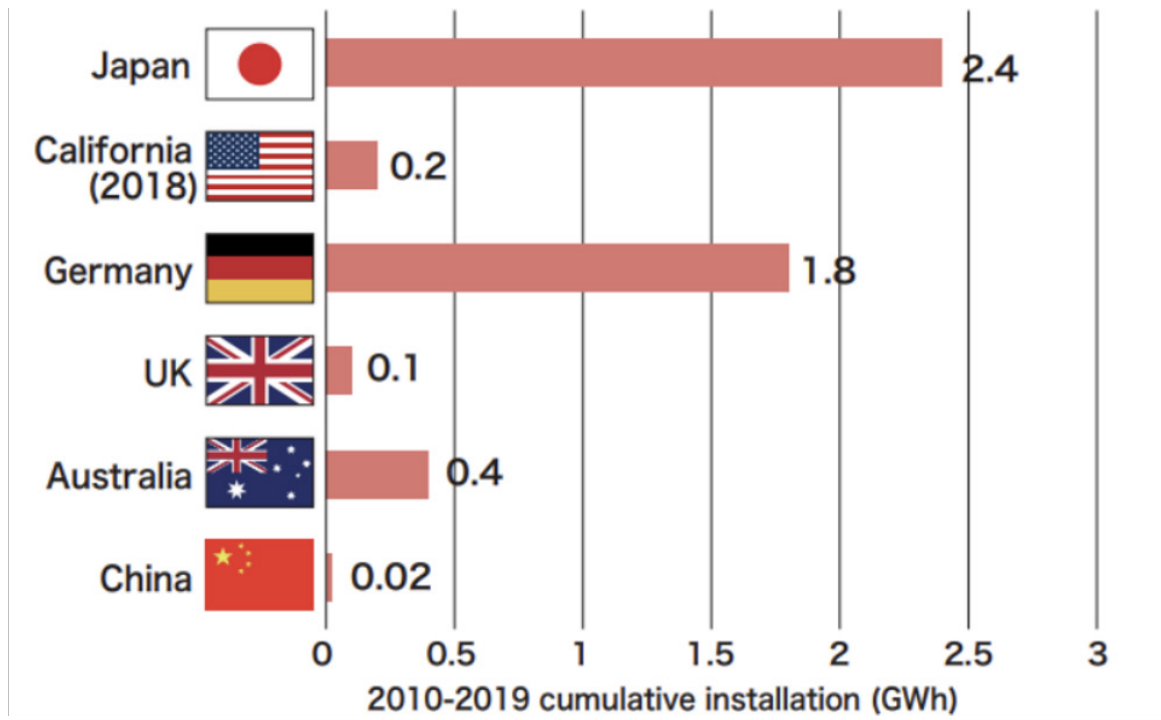
- 발전량은 꾸준히 증가하는 추세임



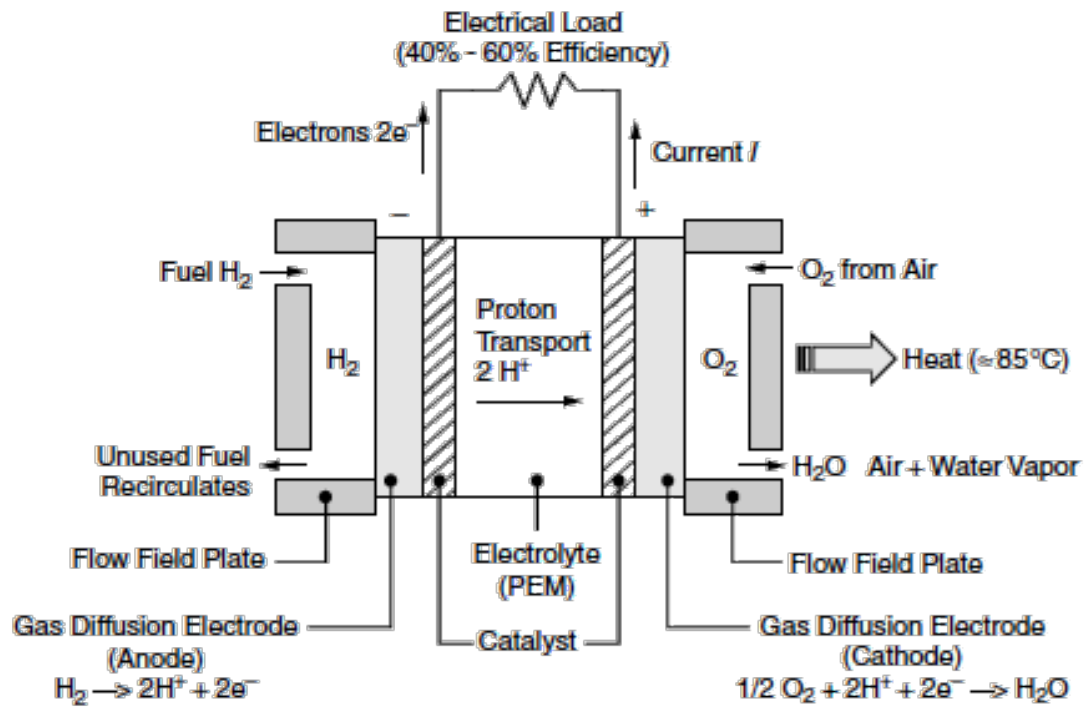
- 주로 발전사업용 연료전지가 보급되고 있음
- 건물용 연료전지는 비율이 점차 확대되고 있음



## ◎ 국가별 주거용 연료전지 현황

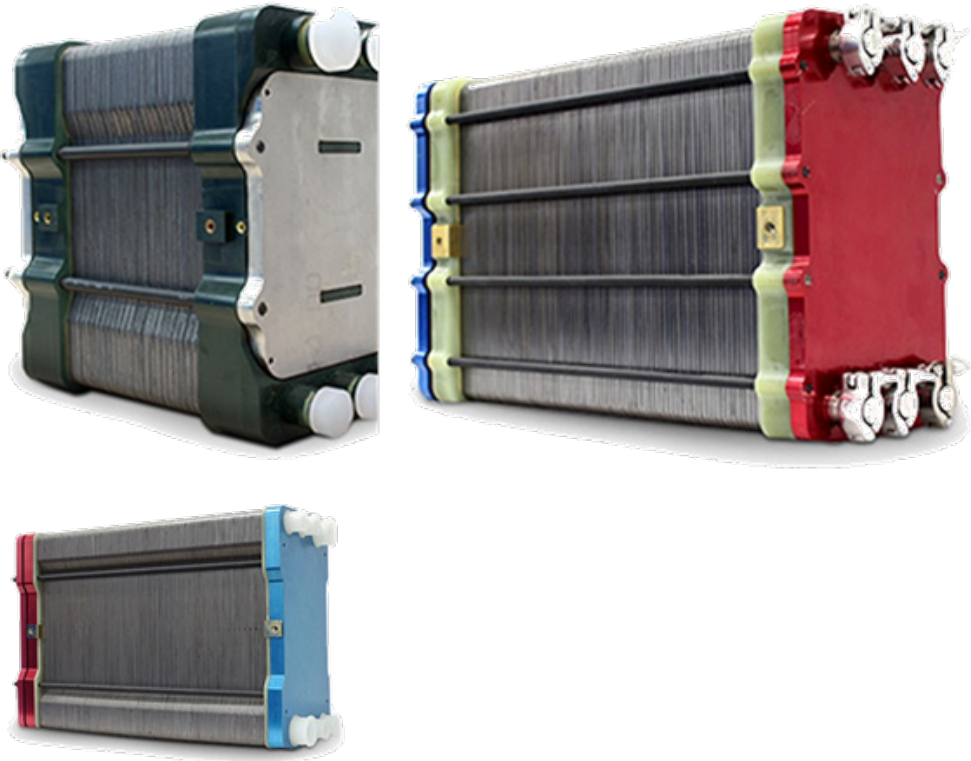


## ◎ PEM 연료전지의 구조

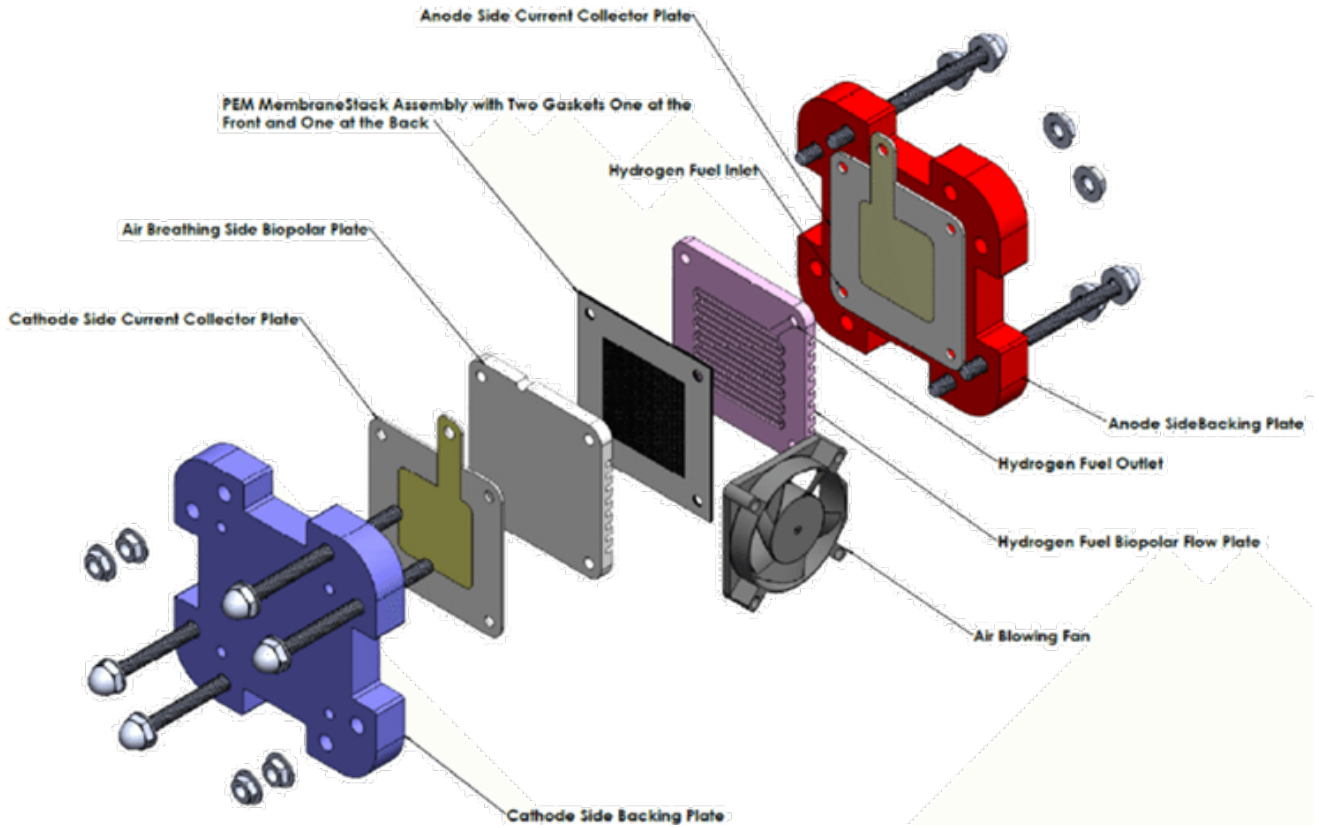


**Figure 4.26** Basic configuration of a proton-exchange membrane (PEM) fuel cell.

◎ Multicell Stack



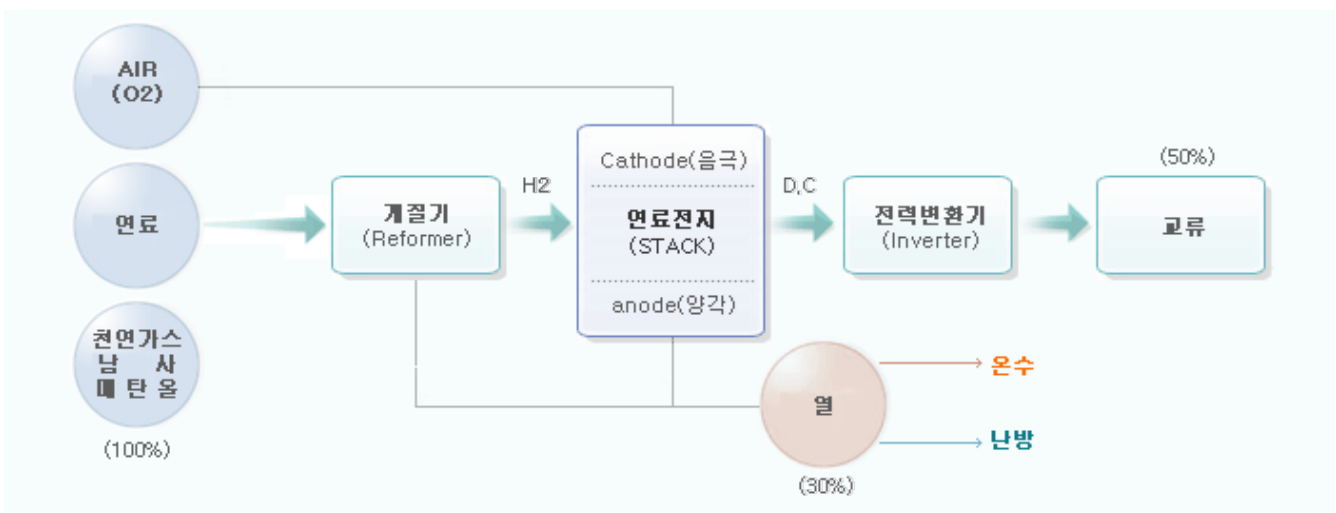
### ◎ PEM 연료전지의 구조



### ◎ 연료전지의 종류

구분	알카리 (AFC)	인산형 (PAFC)	융융탄산염형 (MCFC)	고체산화물형 (SOFC)	고분자 전해질형 (PEMFC)	직접매탄을 (DMFC)
전해질	알카리	인산염	탄산염	세라믹	이온교환막	이온교환막
동작온도(°C)	100 이하	220 이하	650 이하	1,200 이하	80 이하	80 이하
효율(%)	85	70	80	85	75	40
용도	특수용	중형건물 (200kW)	중/대형건물 (100kW~MW)	소/중/대용량발전 (1kW~MW)	가정, 상업용 (1~10kW)	소형이동 (1kW 이하)

### ◎ 연료전지 발전시스템 구성

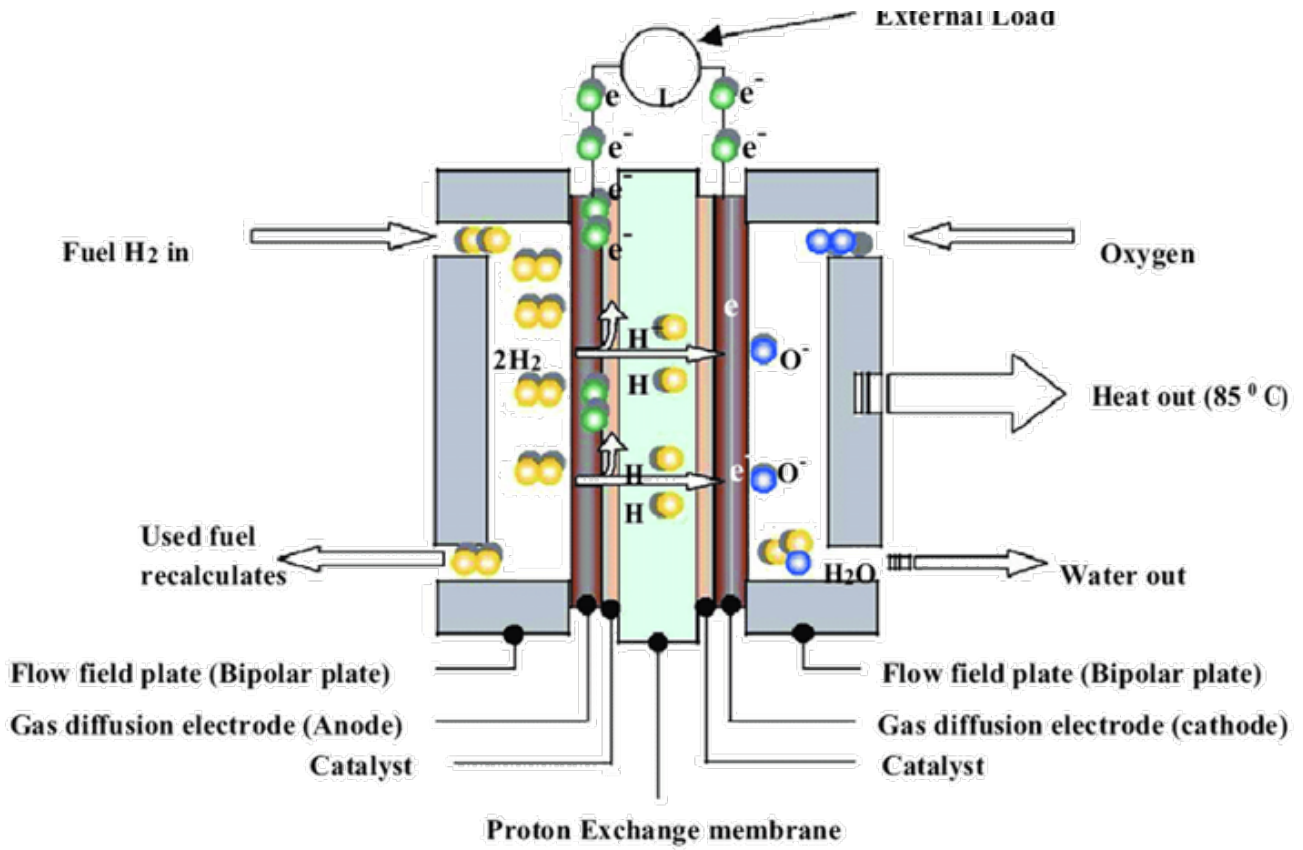


### ◎ 참고 서적 및 사이트

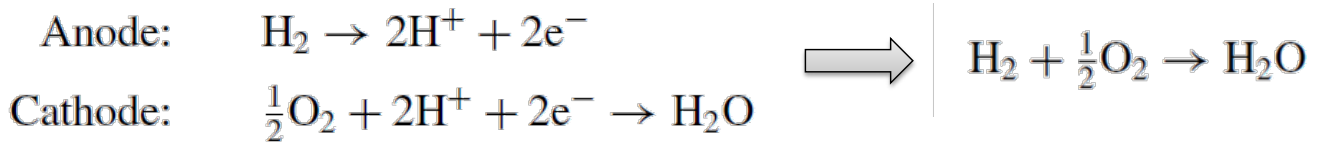
1. [https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell)
2. 한국수소연료전지산업협회 웹사이트 <https://www.khfcia.com/>
3. Gilbert M. Masters, Renewable and Efficient Electric Power Systems, Wiley Interscience, 2004
4. METI, 2021 - Understanding the Current Energy Situation in Japan
5. 국가녹색기술연구소, 연료전지 시장 및 산업 동향과 시사점, 2022

## 2 연료전지의 열역학

### ◎ 전자의 이동



### ◎ 양극, 음극의 반응



표준 생성 엔탈피( $H^\circ$ ), 절대 엔트로피( $S^\circ$ ) (1 atm, 25°C)

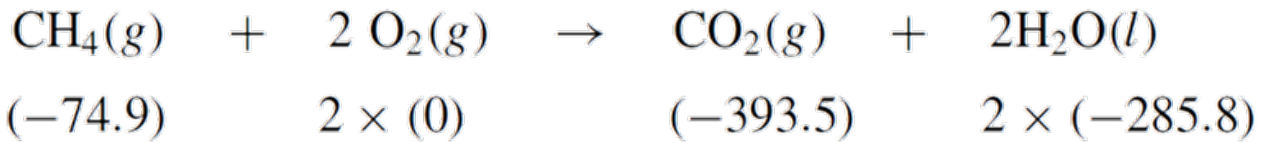
Substance	State	$H^\circ$ (kJ/mol)	$S^\circ$ (kJ/mol-K)
H	Gas	217.9	0.114
H <sub>2</sub>	Gas	0	0.130
O	Gas	247.5	0.161
O <sub>2</sub>	Gas	0	0.205
H <sub>2</sub> O	Liquid	-285.8	0.0699
H <sub>2</sub> O	Gas	-241.8	0.1888
C	Solid	0	0.006
CH <sub>4</sub>	Gas	-74.9	0.186
CO	Gas	-110.5	0.197
CO <sub>2</sub>	Gas	-393.5	0.213
CH <sub>3</sub> OH	Liquid	-238.7	0.1268

## ◎ 발열량의 개념

- 고위발열량(High Heating Value, HHV)  
: 연소 후 나오는 연소 가스에 물이 액체로 나올 때의 발열량
- 저위발열량(Low Heating Value, LHV)  
: 연소 후 나오는 연소 가스에 물이 기체로 나올 때의 발열량

Substance	State	$H^\circ$ (kJ/mol)	$S^\circ$ (kJ/mol-K)
H	Gas	217.9	0.114
H <sub>2</sub>	Gas	0	0.130
O	Gas	247.5	0.161
O <sub>2</sub>	Gas	0	0.205
H <sub>2</sub> O	Liquid	-285.8	0.0699
H <sub>2</sub> O	Gas	-241.8	0.1888
C	Solid	0	0.006
CH <sub>4</sub>	Gas	-74.9	0.186
CO	Gas	-110.5	0.197
CO <sub>2</sub>	Gas	-393.5	0.213
CH <sub>3</sub> OH	Liquid	-238.7	0.1268

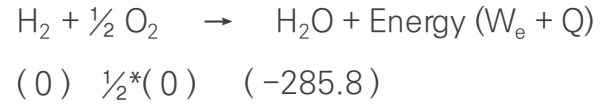
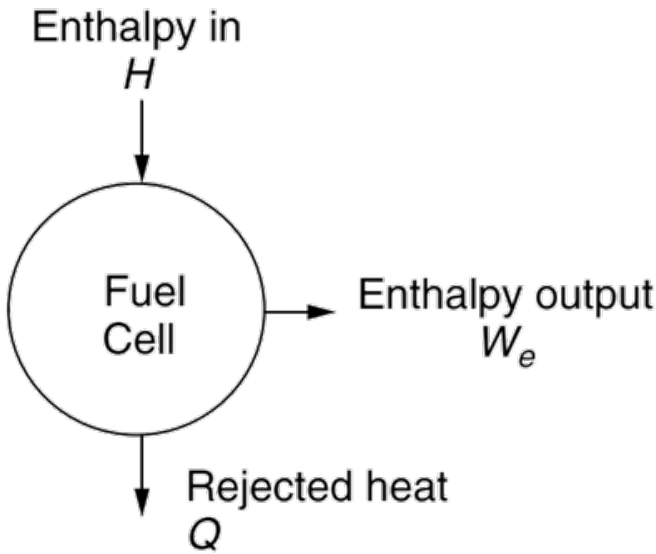
- 예) 메탄(CH<sub>4</sub>)이 CO<sub>2</sub>와 액체 H<sub>2</sub>O로 산화될 때 HHV(kJ/mol)를 구하시오



$$\therefore \Delta H_{\text{product}} - \Delta H_{\text{react}} = 890.2 \text{ kJ/mol}$$

◎ 연료전지의 열역학

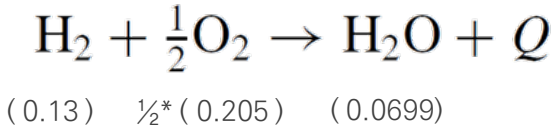
- 연료전지에서 입출입 엔탈피에 따른 에너지 차이(에너지밸런스 기반)



$$\Delta H_{\text{product}} - \Delta H_{\text{react}} = 285.8 \text{ kJ/mol}$$

$$\therefore \text{Energy } (W_e + Q) = 285.8 \text{ kJ/mol}$$

Substance	State	$H^{\circ}$ (kJ/mol)	$S^{\circ}$ (kJ/mol-K)
H	Gas	217.9	0.114
H <sub>2</sub>	Gas	0	0.130
O	Gas	247.5	0.161
O <sub>2</sub>	Gas	0	0.205
H <sub>2</sub> O	Liquid	-285.8	0.0699
H <sub>2</sub> O	Gas	-241.8	0.1888



$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

Entropy gain  $\geq$  Entropy loss

$$\frac{Q}{T} + \sum S_{\text{products}} \geq \sum S_{\text{reactants}}$$

$$Q \geq T \left( \sum S_{\text{reactants}} - \sum S_{\text{products}} \right)$$

즉, 이론적 Minimum Q를 구할 수 있음.

따라서, 이론적 Maximum W<sub>e</sub>를 도출 가능

Substance	State	$S^{\circ}$ (kJ/mol-K)
H	Gas	0.114
H <sub>2</sub>	Gas	0.130
O	Gas	0.161
O <sub>2</sub>	Gas	0.205
H <sub>2</sub> O	Liquid	0.0699
H <sub>2</sub> O	Gas	0.1888

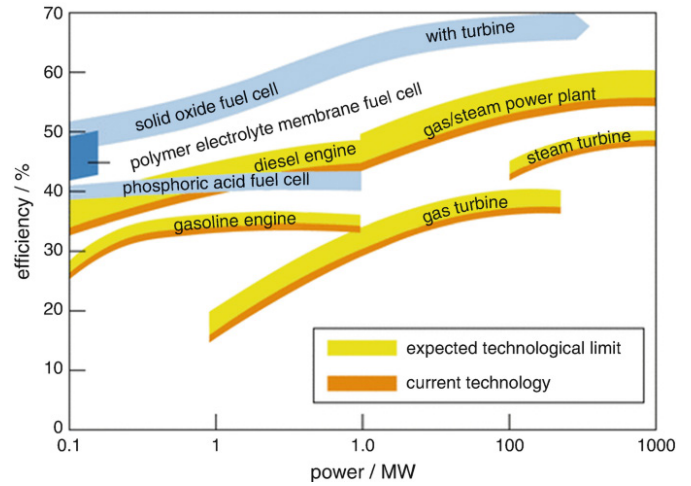
$$Q \geq (25+273.15)((0.205/2+0.13)-0.0699)$$

$$\text{Minimum } Q = 48.45 \text{ kJ/mol}$$

$$Efficiency (\eta) = \frac{W_e}{\Delta H} = \frac{\Delta H - Q}{\Delta H} = 1 - \frac{Q}{\Delta H} = 1 - \frac{48.45}{285.8} \approx 83\%$$



연료전지(PEMFC)의 이론적 최대 발전효율은 83%



## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. Gilbert M. Masters, Renewable and Efficient Electric Power Systems, Wiley Interscience, 2004
2. [https://link.springer.com/rwe/10.1007/978-1-4939-7789-5\\_1051](https://link.springer.com/rwe/10.1007/978-1-4939-7789-5_1051)

### 3 연료전지의 현재와 미래

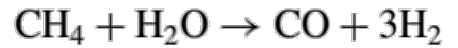
#### ◎ 수소의 생산과 종류



#### ◎ 그레이 수소



Steam Methane Reforming (SMR)

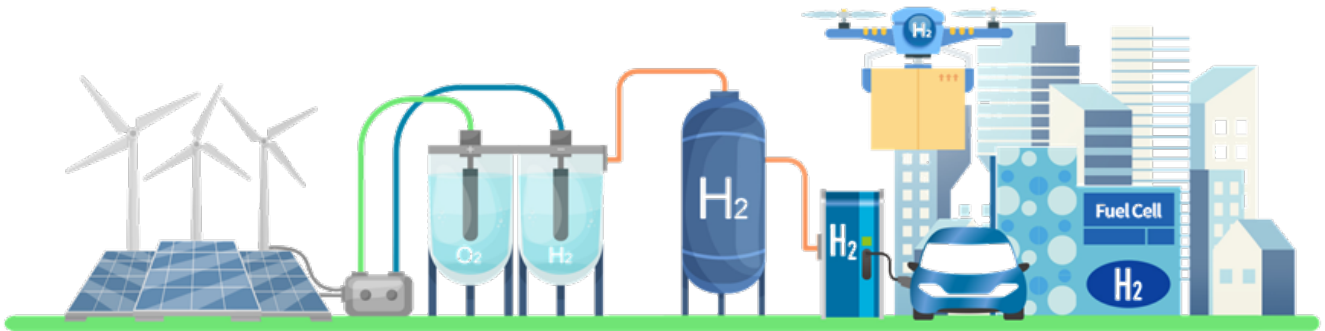


#### ◎ 블루 수소



Carbon Capture & Utilization & Storage (CCUS)

◎ 그린 수소



◎ 기타 수소

색상코드	에너지원	원료
Brown	석탄(또는 원자력 열)	석탄+수증기+O <sub>2</sub>
Gray	천연가스(또는 원자력 열)	천연가스+수증기
Blue	천연가스(또는 원자력 열)	천연가스+수증기
Turquoise	천연가스(또는 원자력 열)	천연가스
Red	원자력 열	H <sub>2</sub> O
Purple	원자력 열 + 전기	H <sub>2</sub> O
Pink	원자력 전기 + 열	H <sub>2</sub> O
Yellow	전력망 전기	H <sub>2</sub> O
Green	재생에너지 전기	H <sub>2</sub> O

후공정으로 탄소포집(CCUS)  
(기체/고체 형태 탄소)

## ◎ 수소 생산의 문제 | 탄소배출량

발전원	CO <sub>2</sub> 배출량(g/kWh)
석탄	991
석유	782
천연가스	549
바이오매스	70
태양광	57
풍력	14
원자력	10
수력	8

그레이 수소의 탄소배출량 추정치

: 275 g/kWh ~ 324 g/kWh\*

- 단위질량 수소 발전량: 17~20 kWh/kg

- 4H<sub>2</sub> 생산 시, 1 CO<sub>2</sub> 발생

(H<sub>2</sub> 1g 생산 시, 5.5 g CO<sub>2</sub> 발생)

\*이론적 수치이며, 공정에 따라 증가 가능

## ◎ 수소 생산의 문제 | 수소생산방식별 생산비용

구분	정의	특징	생산비용 [원/kg]
부생수소	석유화학·제철 공정에서 부수적 생산	생산량 확대 한계	2000
개질수소(회색수소)	화석연료와 촉매 반응으로 생산	이산화탄소 발생	2700~5100
개질수소+CCS(청색수소)	개질 수소의 이산화탄소 포집·저장	이산화탄소 활용방안 필요	-
수전해(녹색수소)	물의 전기분해로 생산	신재생에너지 필요	9000~1만

출처: 한국과학기술평가원

## ◎ 실제 운영의 문제 | 가스비 VS 전기세

- 국내의 가스 요금 대비 낮은 전기 요금으로 인해 연료전지 운영 경제성이 없는 상황임

### ■ 실제 가동되는지 애물단지인지 모니터링 없어

이번 토론회를 연 배경도 정부 청사진과 달리 건물·

요공급의 불균형과 기술적, 정책적 지원이 부족 탓에  
한국연료전지협의회 자료에 따르면, 국내 건물용 연

료전지 지원정책과 관련, 이한우 한국에너지공단 수  
문제는 설치후 사후관리 부실로 사실상 방치되고 있  
는데, 발전용 연료, 태양광 신재생에너지처럼 연  
회의적인 입장을 냈다.

최신뉴스

## 3년내 설치된 수소연료전지 발전설비 10곳 중 7곳은 '가동중단'

송고 2023-02-06 06:21



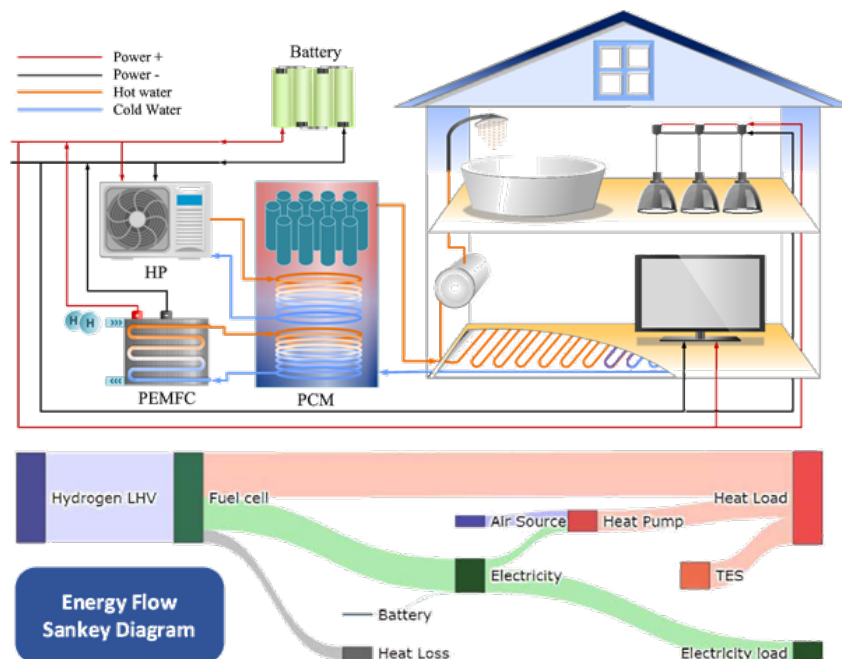
권희원 기자  
+ 구독

384곳 중 32%만 정상 가동...부품문제 등 고장·가스요금 비싸 사업성 부족  
코로나로 운영중단된 시설도 많아



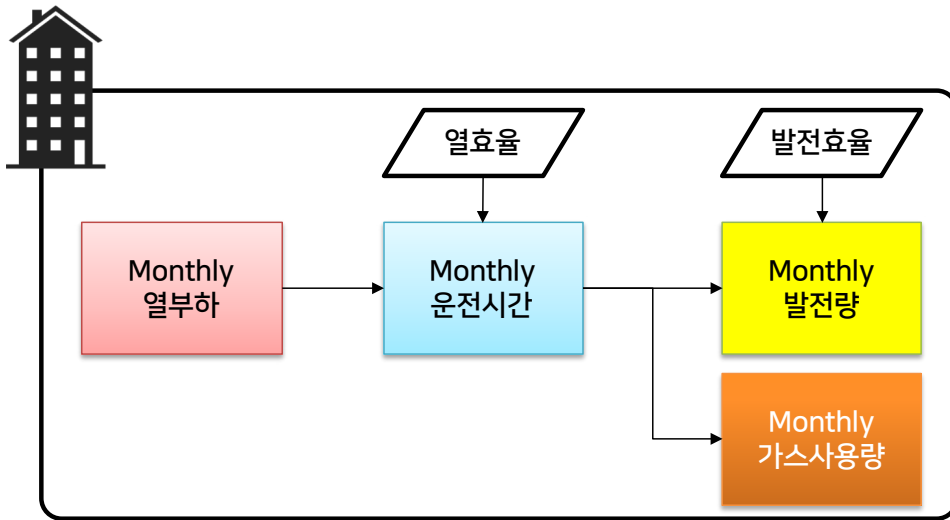
## ◎ 실제 운영의 문제 | 전기-열 수요 불균형

- 열 생산이 더 비율이 높음
- 열 활용을 위한 계통 복잡성 증가
- 비난방기 폐열 발생

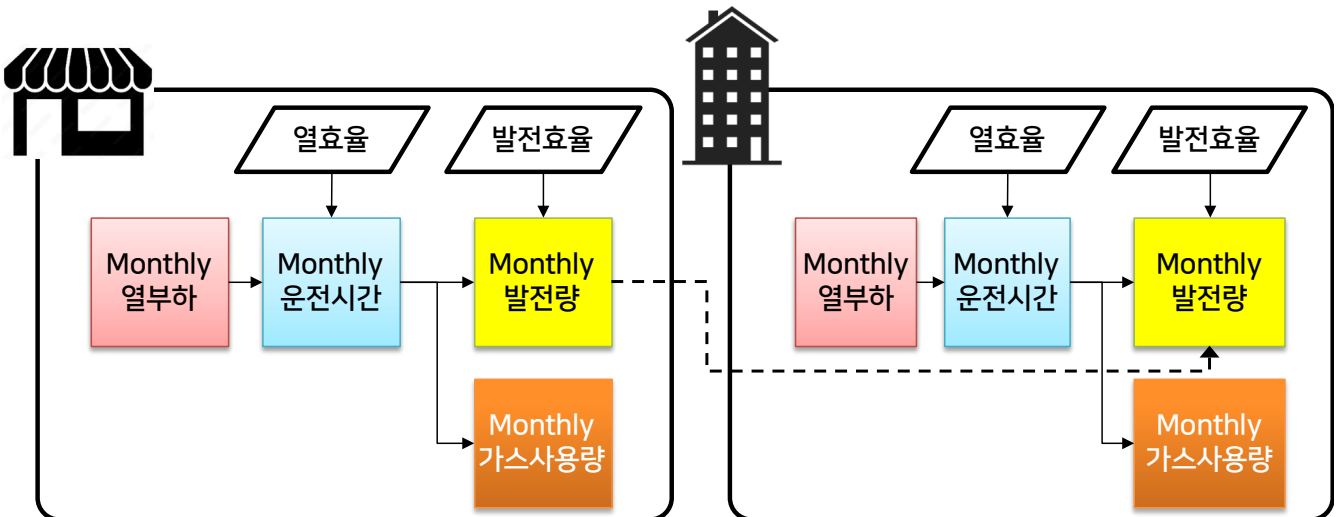


### ◎ 실제 운영의 문제 | 인증 평가상 문제

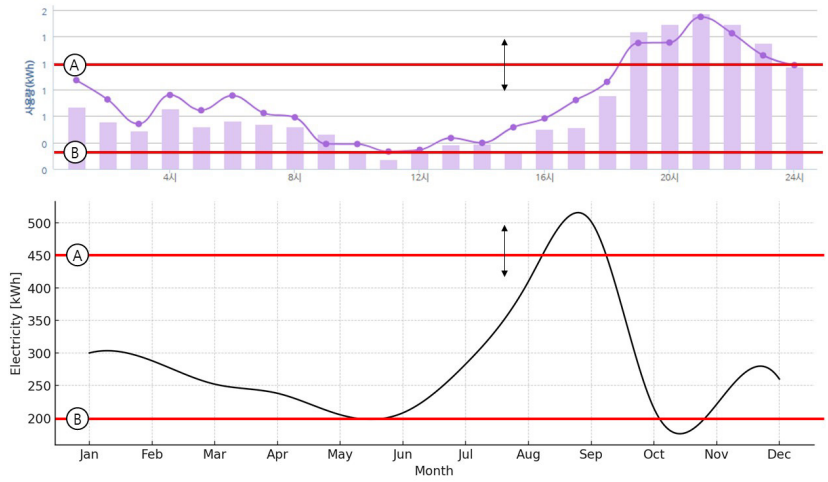
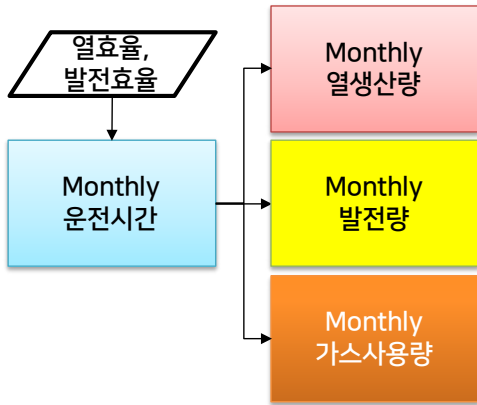
- 제로에너지건축물(Zero Energy Building, ZEB) 인증상 열병합 발전 설비로 기능
- 열부하 기반 연료전지 설비 작동 시간이 결정되는 평가 구조를 가지고 있음
- 이에 따라 열 부하가 없는 건물에서는 연료전지의 전기 생산량이 적게 평가되는 문제 발생



- 이를 보완하고자 최근 공동주택 부대복리시설의 발전량을 공동주택으로 편입시킬 수 있는 방안이 마련되었으나, 근본적인 해결책이 될 수 없음
- ZEB 의무 등급이 상향되며 에너지자립률을 증대시켜야 하므로 발전 전용 연료전지의 도입에 대한 사항이 이슈임



- 표준운전시간 기반으로 발전 전용 연료전지 평가 체계가 구축이 되어야 할 과제가 남아 있음
- 운영상의 현실적 문제를 고려했을 때 정책적 해결책이 필요



◎ 분산에너지? 연료전지!



✓ 분산에너지란?

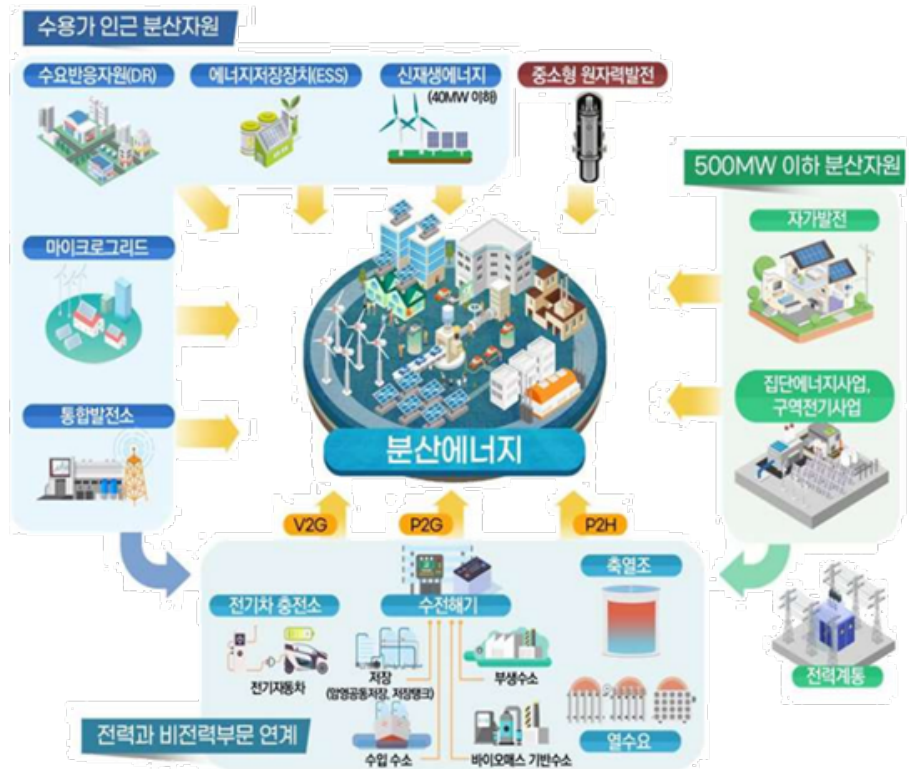
- (정의) 에너지의 사용지역 인근에서 생산·소비되는 에너지
- (범위) 수요지 인근에서 에너지의 생산·저장, 잉여 전력의 해소 등에 기여할 수 있는 자원

분산에너지는 수요지 인근에서 필요한 전기만 생산

▶▶▶ 대규모 발전설비, 송전설비 등이 회피가능

분산전원은 지역에서 쓸 전기를 그 지역에서 생산

▶▶▶ 소규모 발전 방식만으로 충분한 양의 전기를 안정적으로 공급 가능



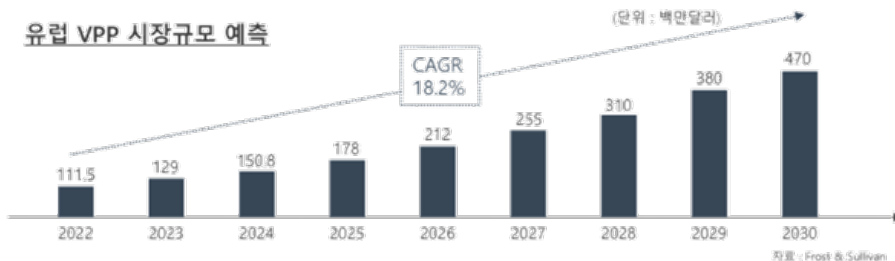
## ◎ 가상발전소로서의 연료전지



### VPP란?

VPP(Virtual Power Plant, 가상발전소)는 소규모 분산 자원의 전력시장 참여 및 전력계통 운영 기여를 목적으로 하며, 국내에서는 소규모 전력 자원에서 생산 또는 저장한 전력을 모아서 전력시장을 통해 거래하는 제도를 의미

### 유럽 VPP 시장규모 예측



### 신재생 에너지

가상 발전소는 신재생에너지로 발전한 전기를 여러 가정과 기업 내 에너지 저장 시스템에 저장하고 필요시 발전에 활용함



### VPP 플랫폼

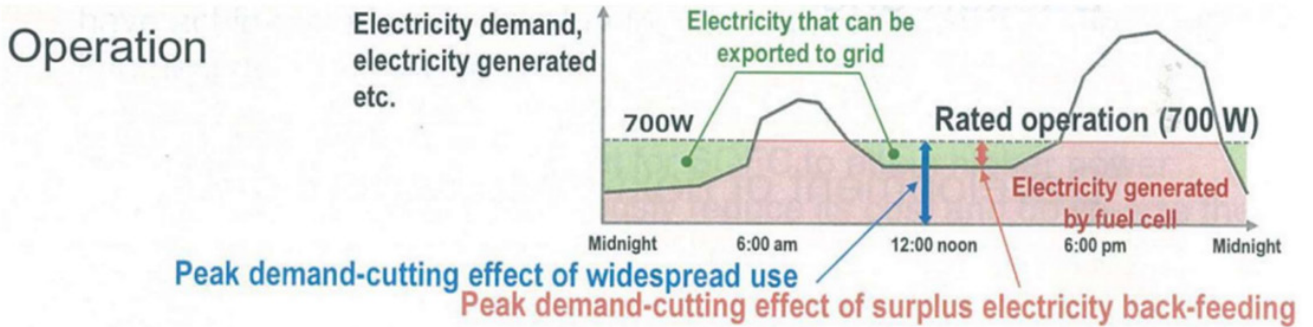
#### 시장기회요인

- 미가동 연료전지 자원 다수
- 재생에너지 증가로 예측 가능한 전력 수요 급증
- 분산법 등 소규모 전력거래 등에 우호적인 정책현황

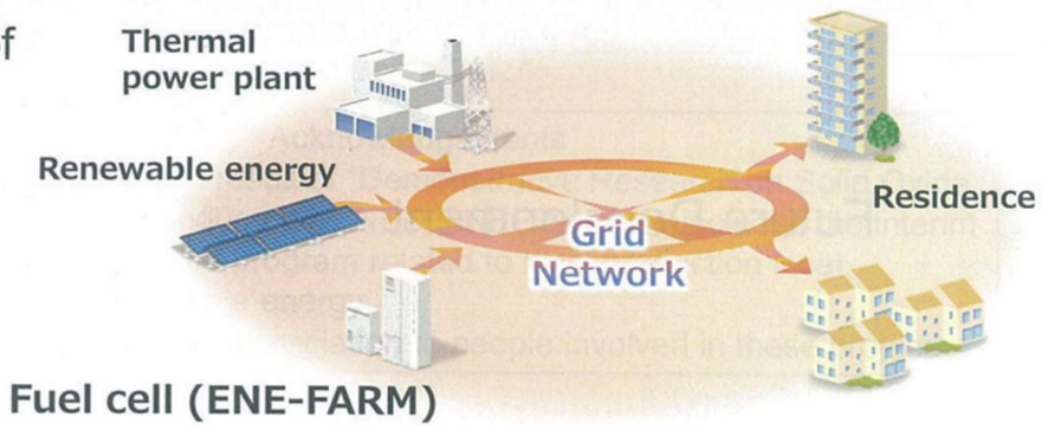
#### 주요연할

- 건물용 연료전지 중심 플랫폼 수용
- 대규모 운영 및 관제로 연료전지 가동률 증대
- 프로슈머\* 모집 및 육성

◎ 전기/열 계통 완충재로서의 연료전지



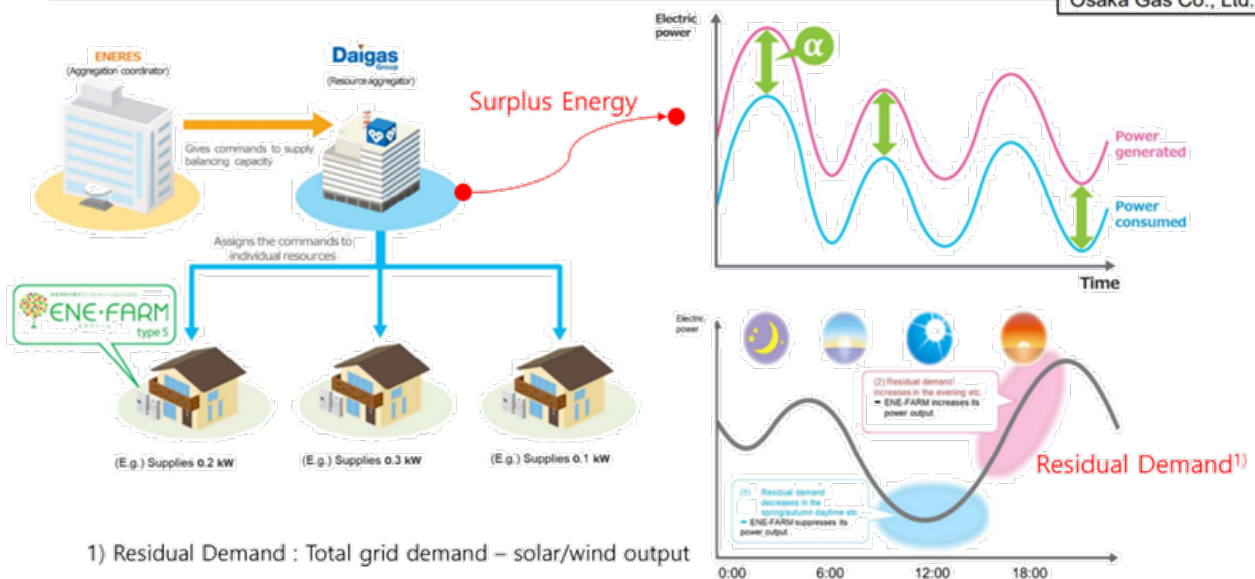
Business of Electricity



◎ 신재생 연계 계통 완충재로서의 연료전지

Osaka Gas to Start a Virtual Power Plant Demonstration Project Using Household Use Fuel Cells, ENE-FARM Type S, Aiming to Further Improve Accuracy  
—Joining a Demonstration Project For Further Utilization of Distributed Energy Resources—

June 26, 2023  
Osaka Gas Co., Ltd.



## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. Gilbert M. Masters, Renewable and Efficient Electric Power Systems, Wiley Interscience, 2004
2. <https://www.hyundai.co.kr/story/CONT0000000000001839>
3. <https://news.skecoplant.com/plant-tomorrow/3994/>
4. <https://www.skens.com/sk/content/view.do?cate=energy&m1=h2>
5. <https://h2bulletin.com/knowledge/hydrogen-colours-codes/>
6. [https://nr.energy.or.kr/A0/GN\\_01/GN\\_01\\_00\\_070.do](https://nr.energy.or.kr/A0/GN_01/GN_01_00_070.do)
7. <https://www.yna.co.kr/view/AKR20230205044300003>
8. <https://www.ecoday.kr/article/1065577062767828>
9. Osaka Gas Co., Ltd, “Sold a total of 200,000 units of the Ene-Farm fuel cell system for residential use,  
April 10, 2024
10. <https://cm.asiae.co.kr/article/2023031707593026245>

## C.4

## 지열히트펌프 설비 기술

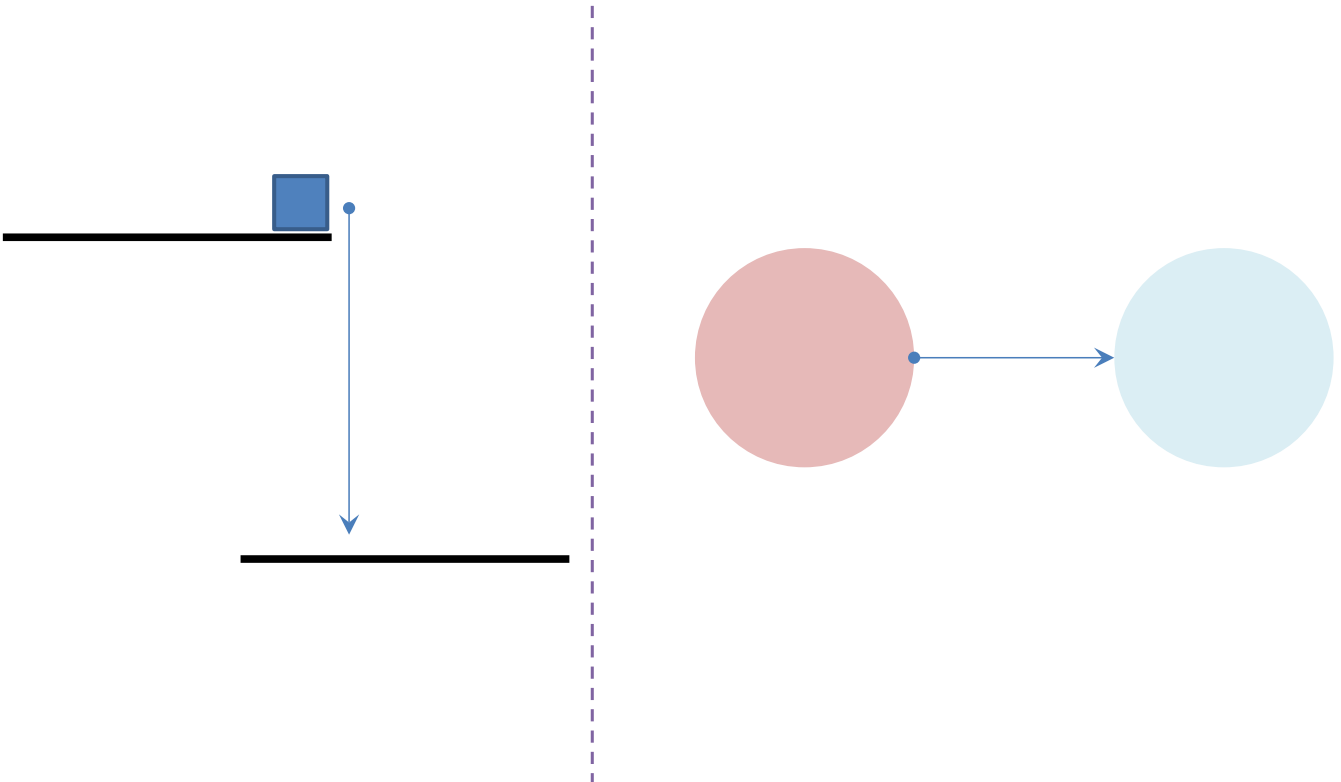
## 교육 목표

지열히트펌프 설비  
기술

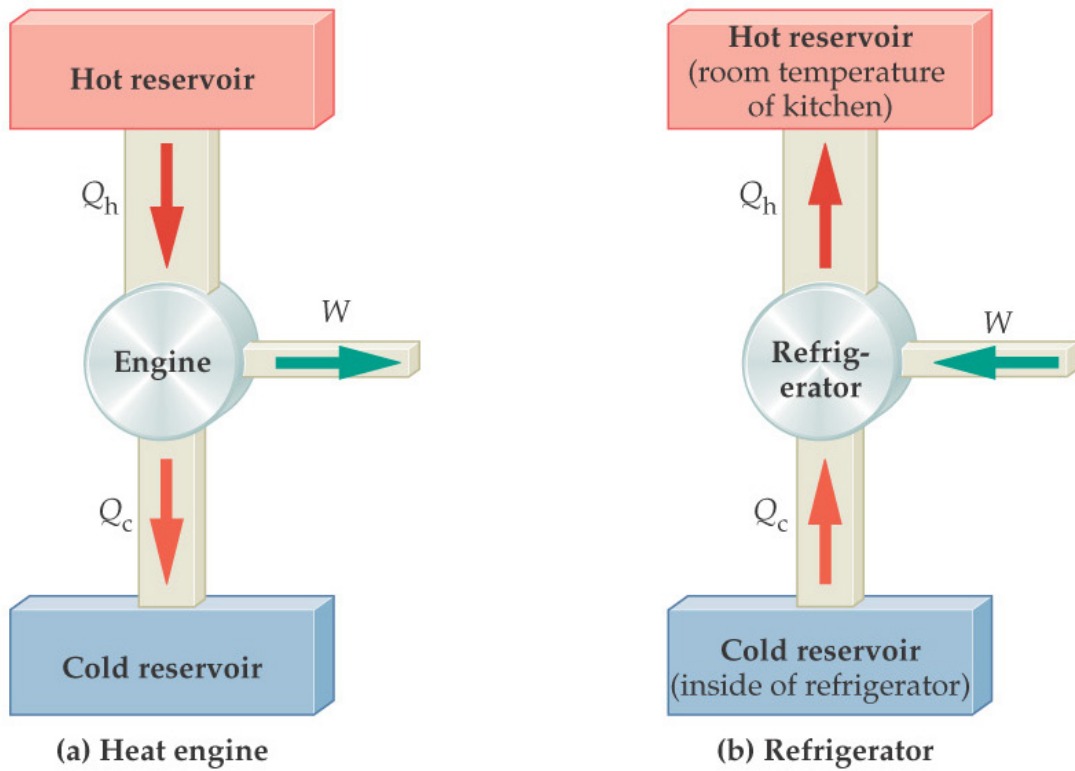
- \* 히트펌프의 개략적인 원리를 이해
- \* 지열 히트펌프의 구성 이해
- \* 지중열 교환기의 종류를 이해
- \* 지중열 교환기 주변 물리 현상을 이해
- \* 지열 히트펌프에서 지중열교환기에 따른 영향
- \* 지중열 교환기 설계 방법

## 1 지열 히트펌프 원리

## ◎ Water pump &amp; Heat pump



◎ An example of EHP | EHP 예시

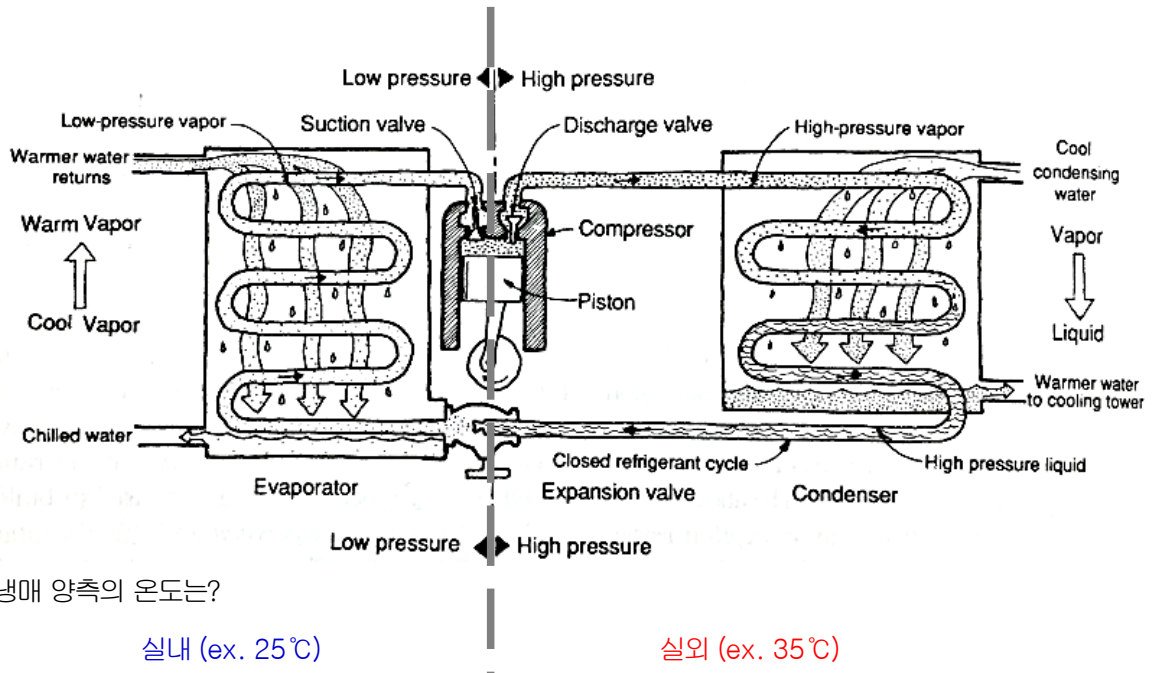


$$Q_h = Q_c + W$$

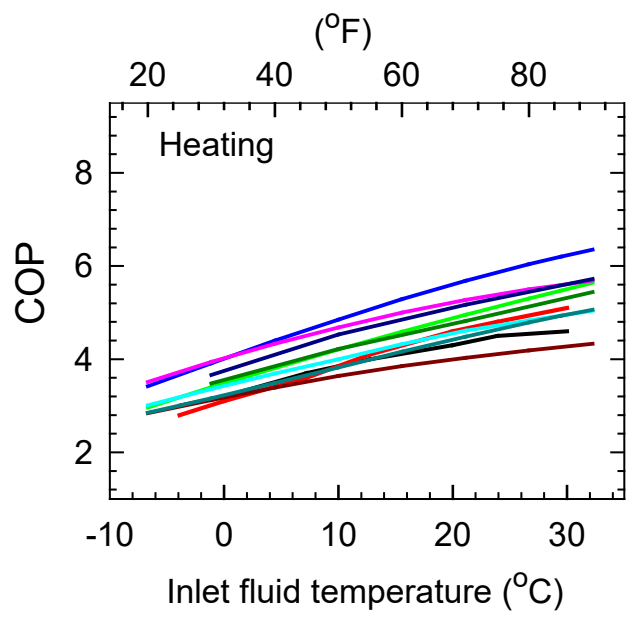
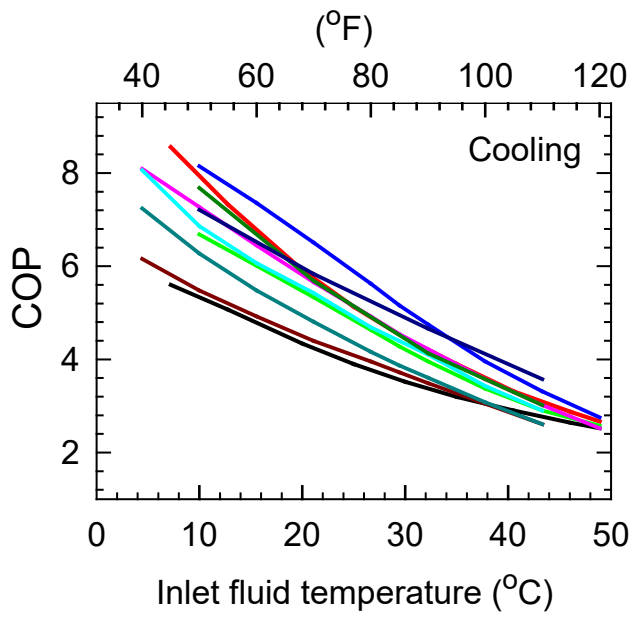
- More heat is exhausted to the kitchen than is removed from the refrigerator

What is the COP?

◎ Electric Heat Pump (summer case)

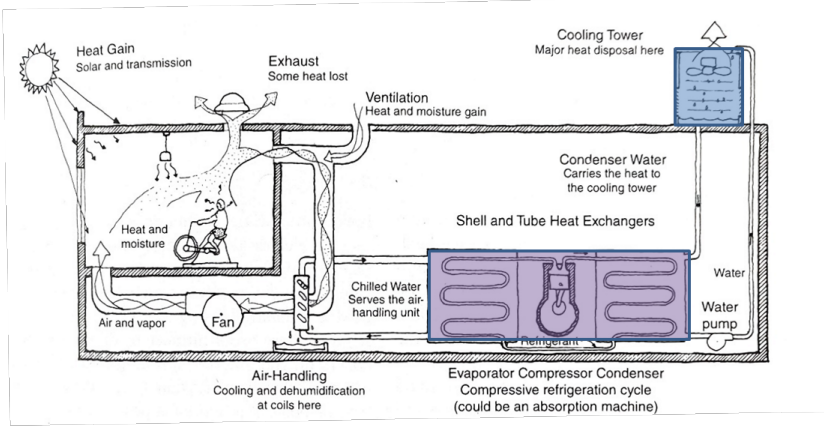


◎ COP in GCHP vs. EHP

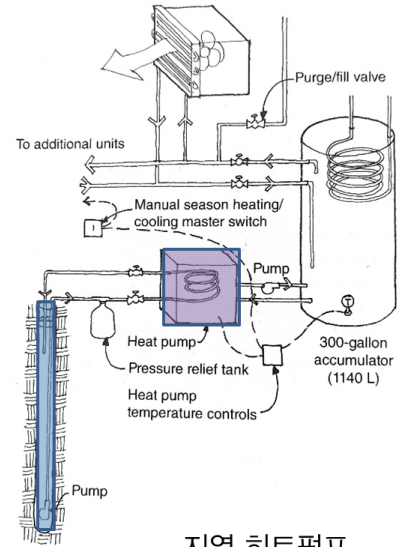


◎ 냉각탑 대신 지열히트펌프

Q. Source 측 온도는?



냉각탑과 결합된 일반적인 히트펌프



지열 히트펌프

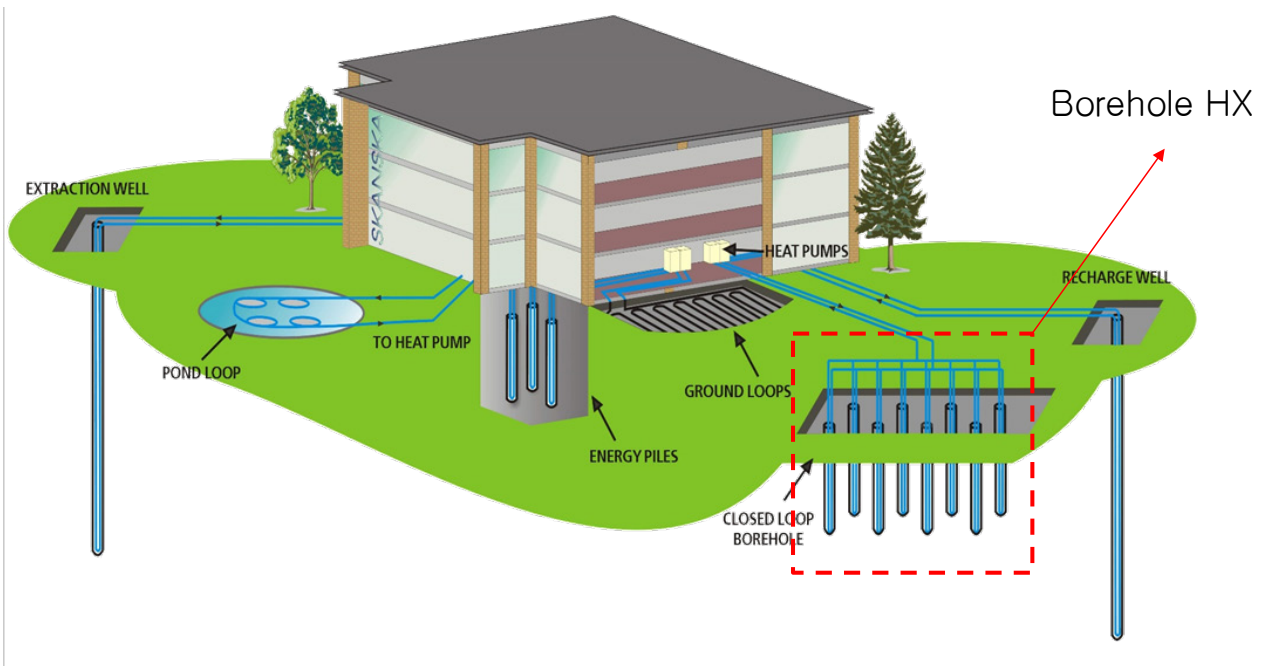
◎ 참고 서적 및 사이트

1. Mechanical and electrical equipment for buildings, W.T. Grondzik and A.G.Kwok, 12ed
2. Presentation of ECW, Geothermal Heat Pump Systems: From Basics to Hybrids

## 2 지중열교환기 이해와 종류

### ◎ 지중열 교환기 종류

- Systems can be combined to give optimal solution
- Adopted system will depend on the local geology, geography and geometry



## Configuration

500m deep

12–15m away from others

Typically X6 (vs. BHE)

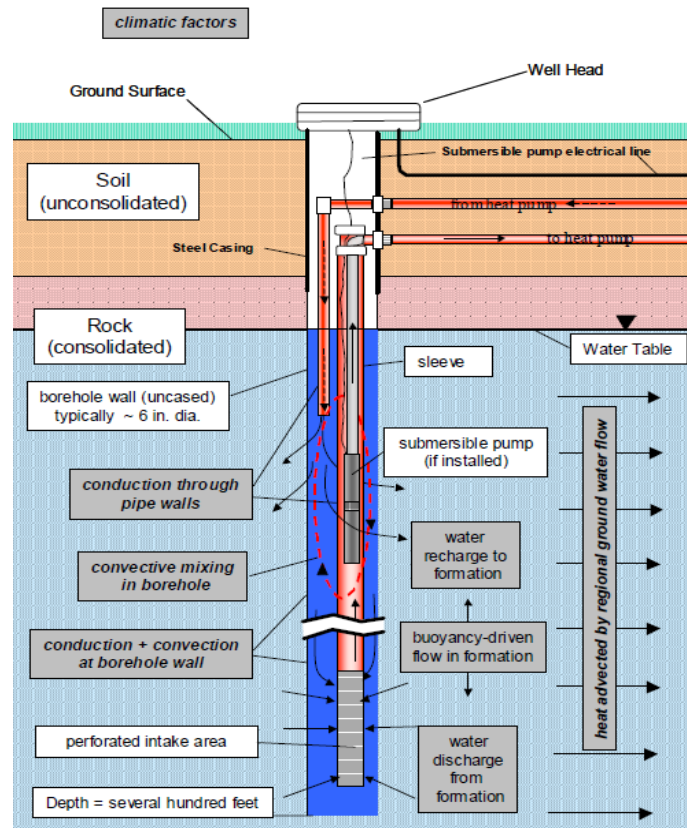
## Direct contact

Higher heat transfer rate

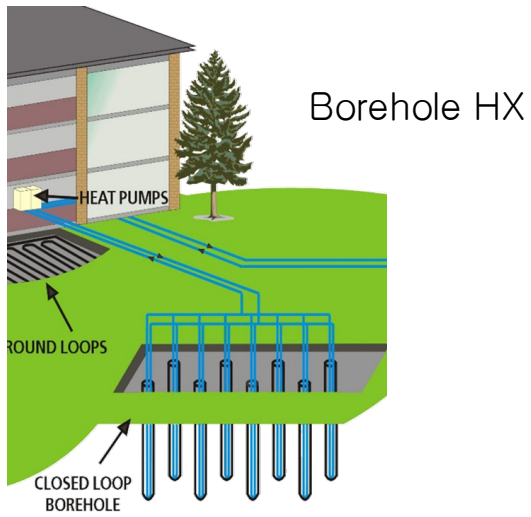
## Well field size is smaller

Fewer wells required

## Difficult in sizing



### ◎ 보어홀 지중열교환기 시공



Drilling



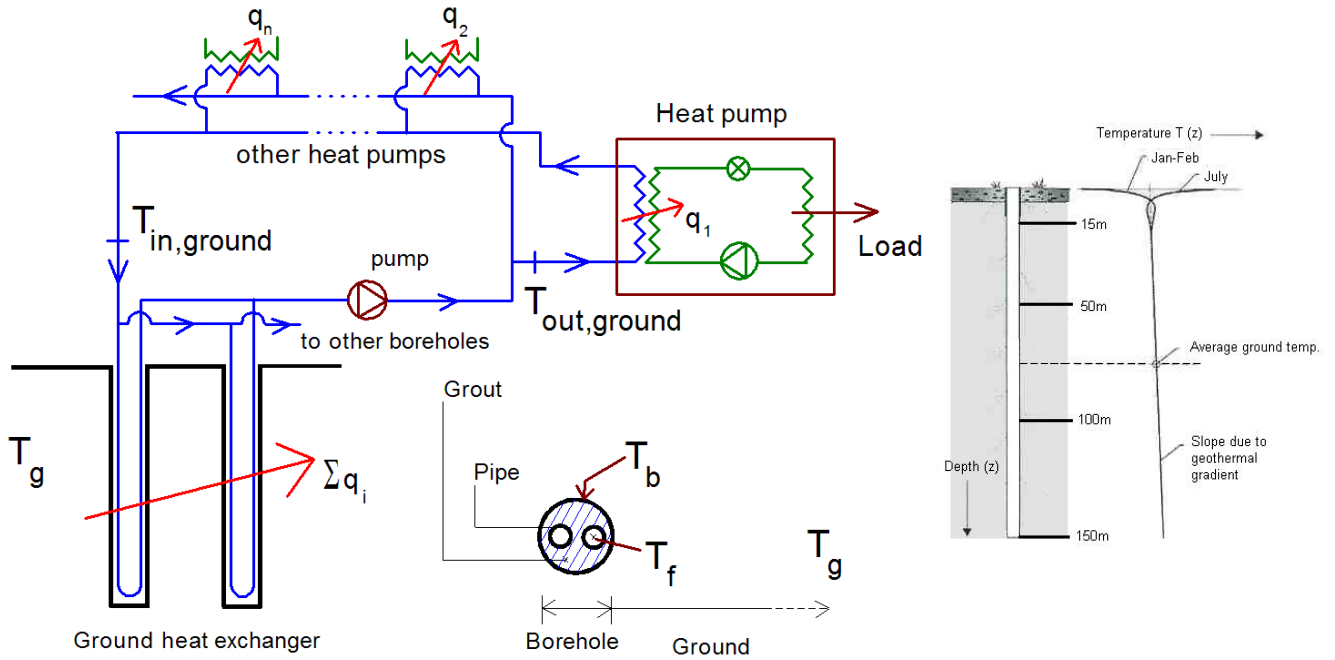
U-pipe



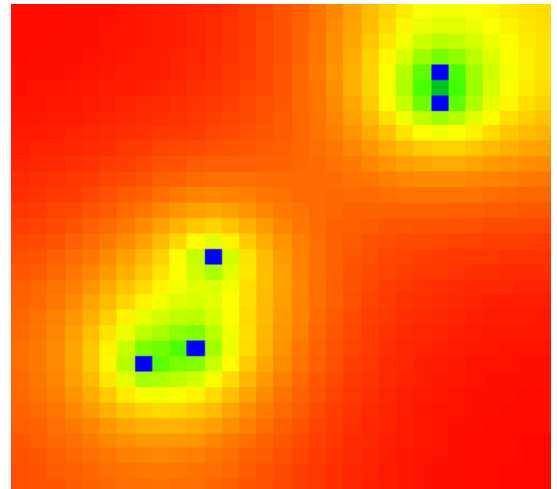
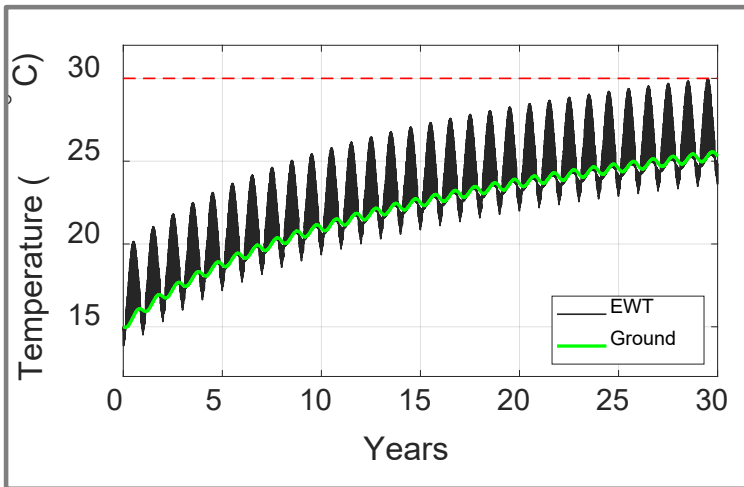
Grouting



◎ 보어홀 지열히트펌프 시스템



### ◎ 지중 온도변화 with BHEs



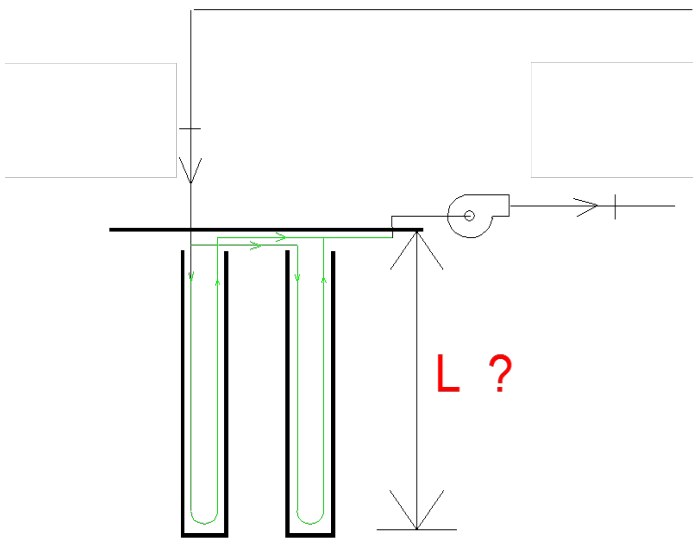
### ◎ 참고 서적 및 사이트

1. <https://www.tccmaterials.com/product/tenon-thermaseal-geothermal-grout/>
2. <https://www.changeenvironmental.com/project/geothermal-design/>
3. [https://www.profs.polymtl.ca/michel.bernier/Open\\_geo.htm](https://www.profs.polymtl.ca/michel.bernier/Open_geo.htm)

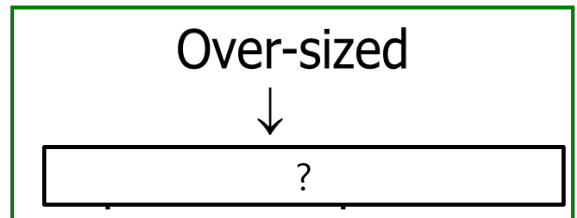
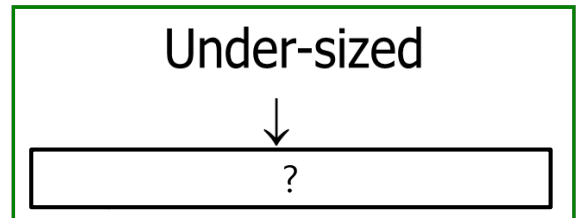
### 3 지열 히트펌프의 설계

#### ◎ 적절한 설계란?

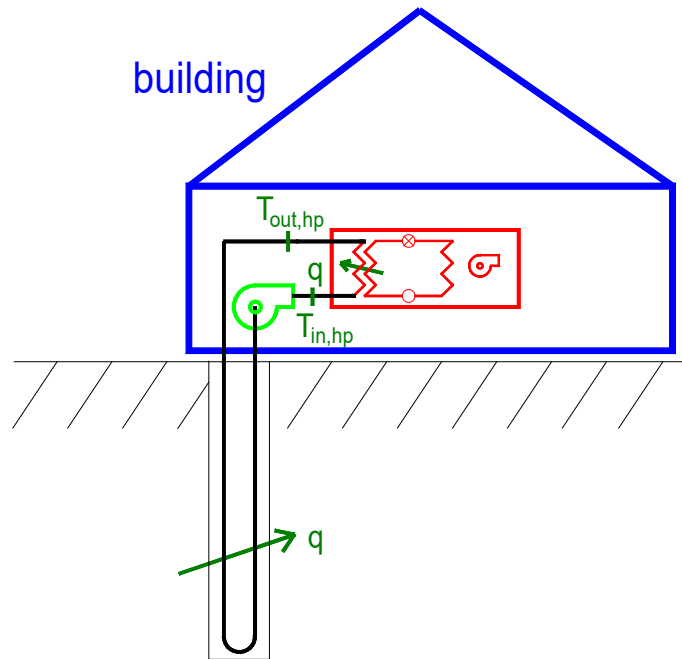
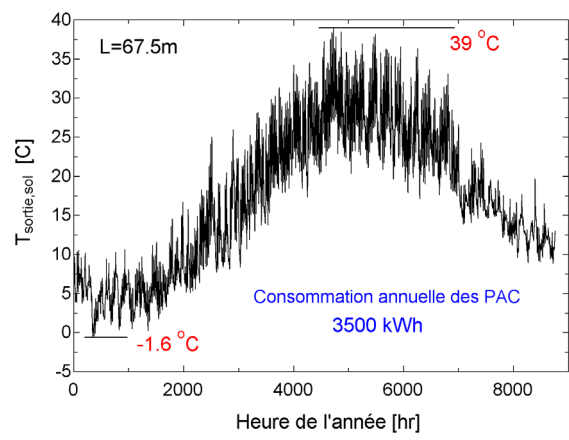
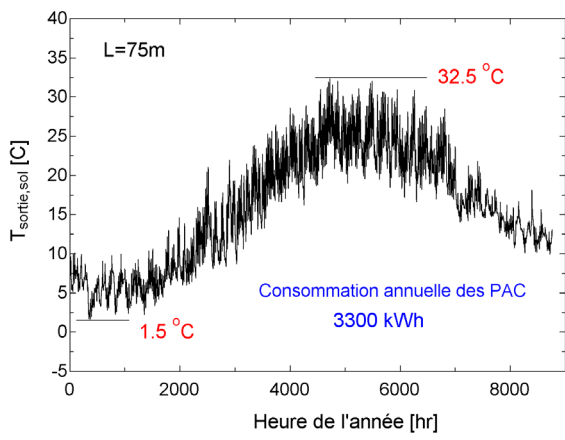
- To size (determine the length) properly:



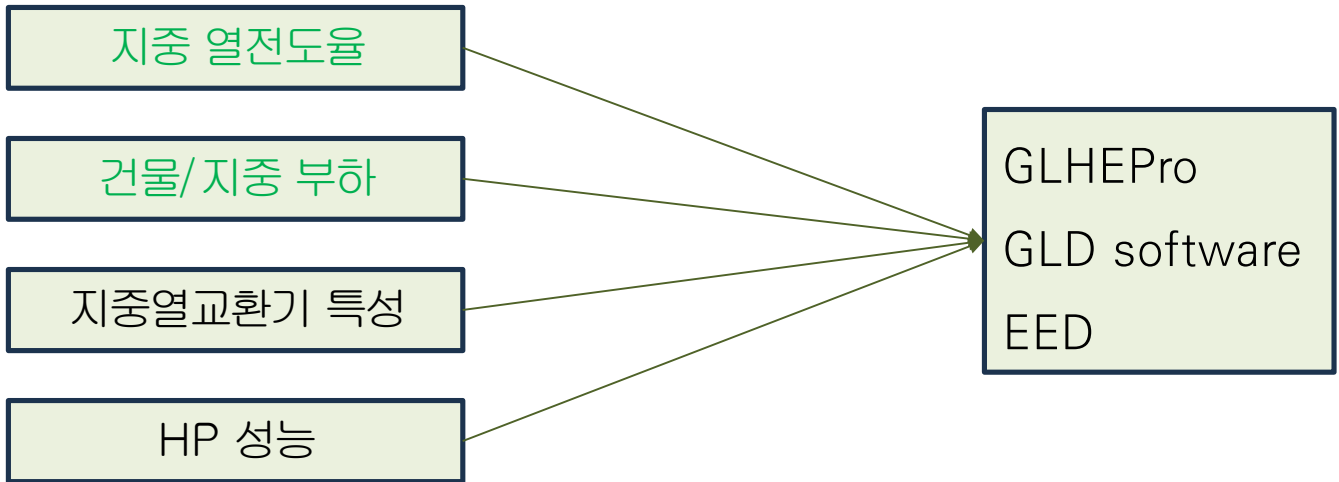
히트펌프의 Source측 부하 – 지중부하  
Acceptable Temp. to HP



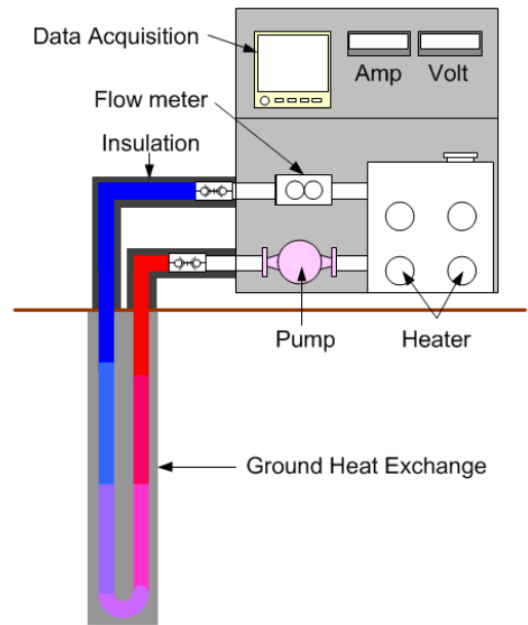
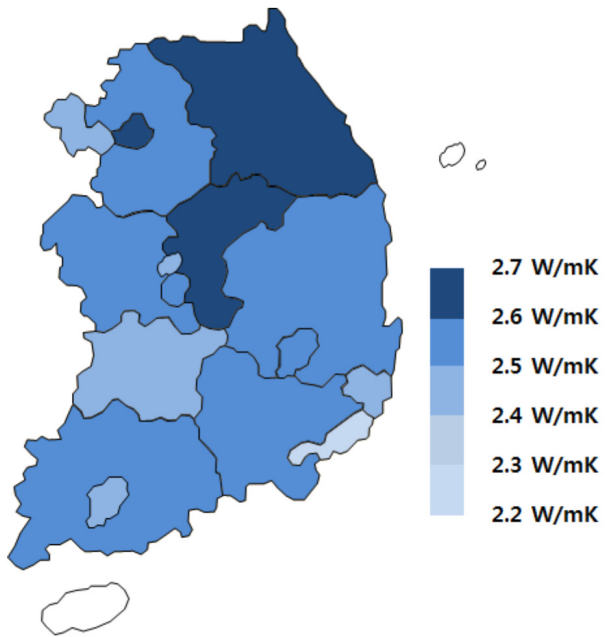
◎ Impact of the length of GHX



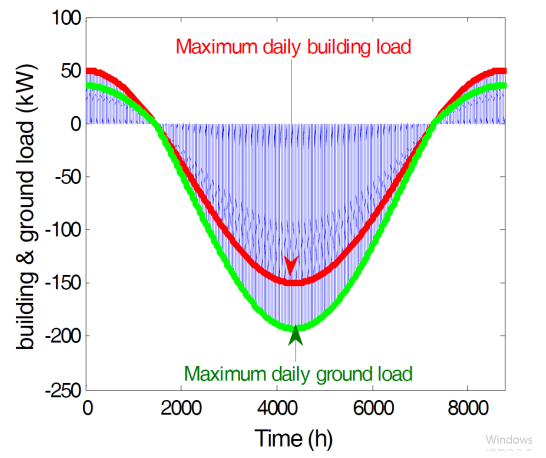
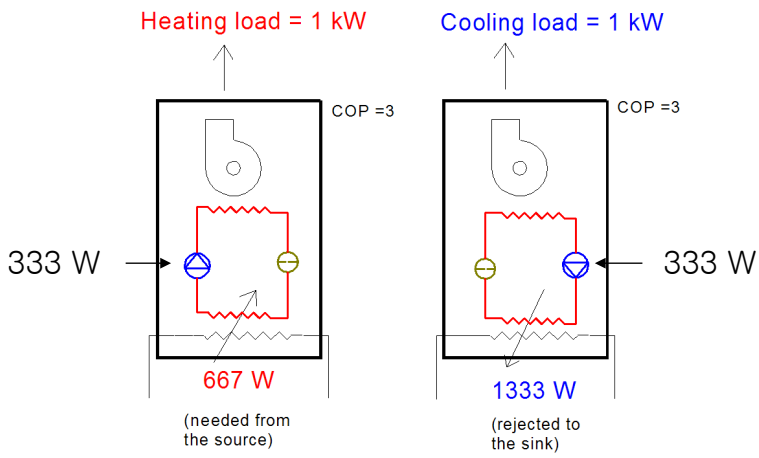
◎ 설계 입력값



### ◎ 지중 열전도율



◎ 지중부하



## ◎ 설계 프로세스

### 3. 지열 교환기 길이 산정

본 연구에서는 ASHRAE에서 제안한<sup>8)</sup> 길이 산정 방법을 택하였고 이에 따라 필요한 총 지열 교환기 길이  $L$ 은 다음 식으로 표현 된다:

$$L = \frac{q_h R_g + q_g R_{10g} + q_m R_{1m} + q_h R_{6h}}{(T_g + T_p) - T_m} \quad (4)$$

$T_p$ 는 다수의 지열 교환기에 의한 열 증첩을 고려한 가중치를 나타낸다. ASHRAE에서 제안하는  $T_p$ 는 케이스 스터디로 얻어진 근사 값을 제공하므로 본 연구에서는 Bemier et al.<sup>9)</sup>에 의해 제안된  $g$ -function을 이용한 상세 계산 방식을 택하였다:

$$T_p = \frac{q}{2\pi k_s} \times g_{n,1}(t/t_s, B/H, \Omega) \quad (5)$$

$$g_{n,1} = g_n(t/t_s, B/H, \Omega) - g_1(t/t_s)$$

식(4)~식(5)로부터 지열 교환기의 길이를 산정하는 방법은 다음과 같다:

- (1) 건물 부하와 히트 펌프 성적 계수(COP)로부터 지중부하( $q_h, q_m, q_g$ )를 계산한다.
- (2) 지중 및 지열 교환기의 파라미터로부터 필요한 열 저항( $R_h, R_{10g}, R_{1m}, R_{6h}$ )을 계산한다.
- (3) 우선 식(4)에서  $T_p = 0$ (단일 지열 교환기)로 가정 후 초기 전체 길이  $L$ 을 계산한다.
- (4) 대상 지역의 상황을 고려하여 초기  $L$ 로부터 초기  $H_{inital}$ , 필요한 지열 교환기 수  $n$ , 지열 교환기 배열 간격 등을 선택한다.
- (5) 식(5)로부터 연평균 지중 부하  $q$ 와 지열 교환기 배치( $n, B$ )를 고려한 10년 후의  $g$ -function 값을 이

용하여  $T_p$ 를 계산하고 이로부터 다시  $L$ 을 계산한다.

- (6)  $H$ 의 함수인  $T_p$ 로부터 계산된  $L$ 과  $H \times n$  값이 동일해질 때까지  $H$ 를 값을 변경하면서 과정(5)을 반복하고 필요시 과정(4)에서 지열 교환기의 수와 배열을 변경한다.

#### 1. 건물부하 계산

#### 2. 지중부하계산 (COP, 시간별/월별/연별)

#### 3. 단일 지중열교환기에 대한 열저항을 계산

#### 4. 초기 배열 및 길이를 결정

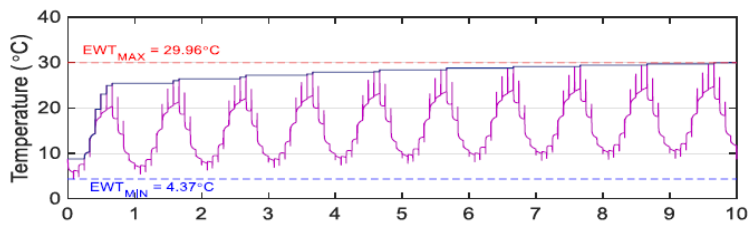
#### 5. 주어진 배열 하에서의 패널티 온도를 결정

#### 6. 이로부터 다시 새로운 길이 (배열 길이를 결정)

#### 7. 수렴할 때까지 4~6을 반복

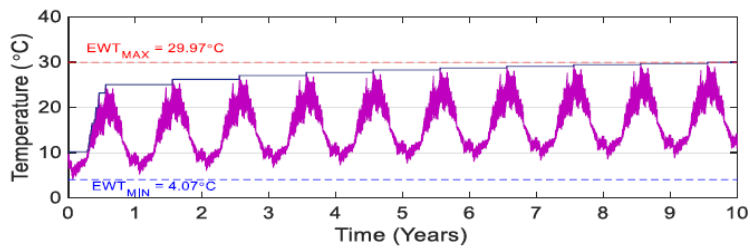
# 경계조건에 따른 지열 응답 함수의 차이가 수직형 지열 교환기 길이 산정에 미치는 영향, 2014, 설비공학논문집

## ◎ Sizing 방법 I



(A)

GLHEPRO, GLD

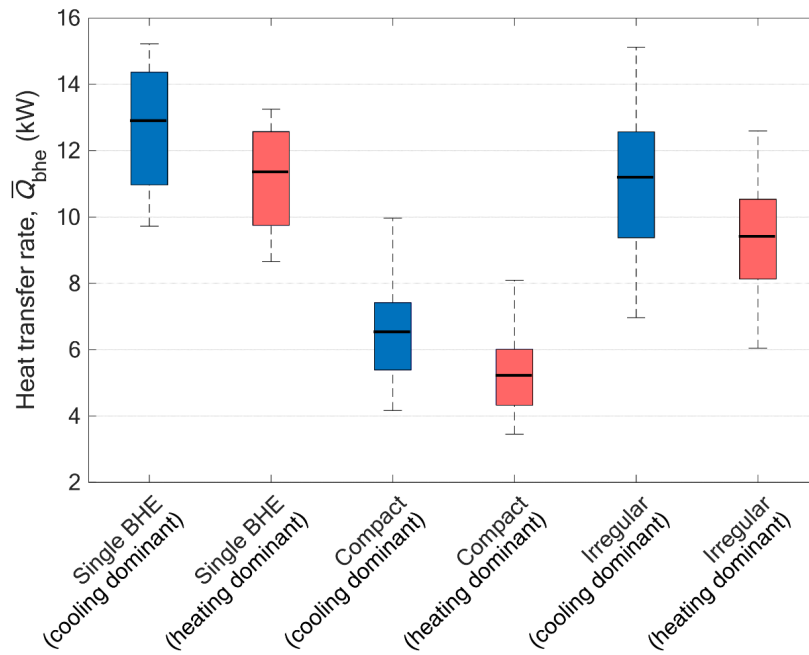


(B)

트랜시스+opt

**Figure 5.** Simulation results for the EWTs (A: GLHE; B: DST and TRNOPT).

## ◎ Sizing 방법 II



## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. 경계조건에 따른 지열 응답 함수의 차이가 수직형 지열 교환기 길이 산정에 미치는 영향, 2014, 설비공학논문집
2. Optimal Sizing of Irregularly Arranged Boreholes Using Duct-Storage Model, 2019, Sustainability
3. Proposition of Design Capacity of Borehole Heat Exchangers for Use in the Schematic-Design Stage, 2021, Energies
4. 지중 유효 열전도도의 지역별 분포, 2016, 대한기계학회

**2025**  
**제로에너지건축**  
**전문인력 양성교육**

---

기본교육



**ZERO ENERGY BUILDING**  
**TRAINING TO BE PROFESSIONALS**

PART D

# ZEB 요소기술 적용

## [D.1]

### ZEB 목표 요소 및 밸런스 기술

건물에너지흐름  
패시브 요소기술  
액티브 요소기술  
요소기술 종합검토

## [D.2]

### 열쾌적성 기술

인체의 열평형  
온열환경 요소  
열쾌적 지표  
국소 열쾌적

# D.1

## ZEB 목표 요소 및 밸런스 기술

### 교육 목표

#### ZEB 목표 요소 및 밸런스 기술

- \* 건물 에너지평가 알고리즘 기반의 요소기술 종합 적용 이해
- \* 에너지/법규/쾌적성 측면에서 요소기술별 최소 요구성능 이해
- \* 에너지/법규/쾌적성 측면에서 패시브 및 액티브 요소기술별 최소 요구성능 이해
- \* 에너지평가 Tool을 활용한 패시브 및 액티브 요소기술 검토

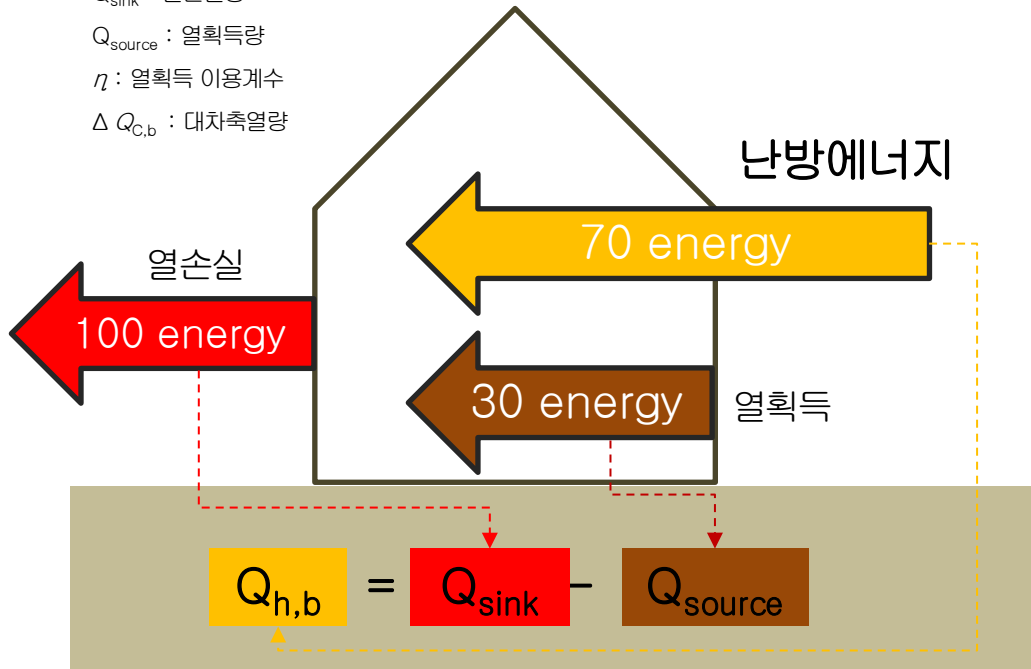
### 1 건물에너지흐름



◎ 난방 에너지요구량

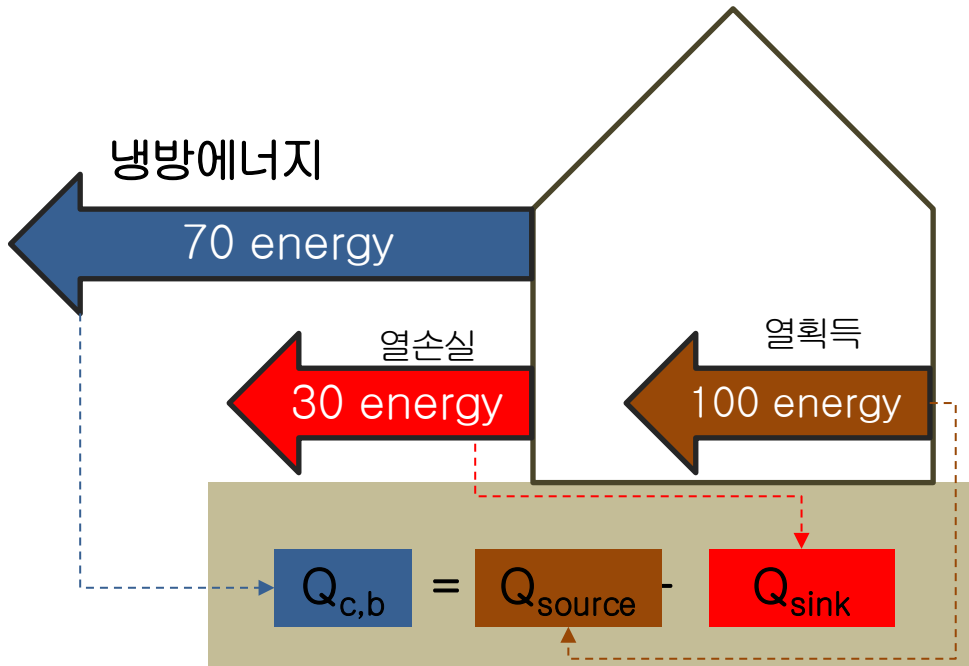
$$Q_{h,b} = Q_{\text{sink}} - \eta \cdot Q_{\text{source}} - \Delta Q_{C,b}$$

$Q_{\text{sink}}$  : 열손실량  
 $Q_{\text{source}}$  : 열획득량  
 $\eta$  : 열획득 이용계수  
 $\Delta Q_{C,b}$  : 대차축열량



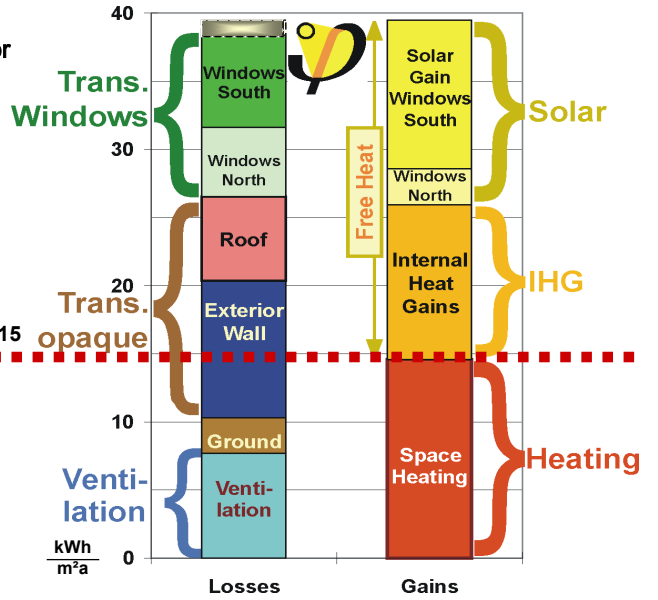
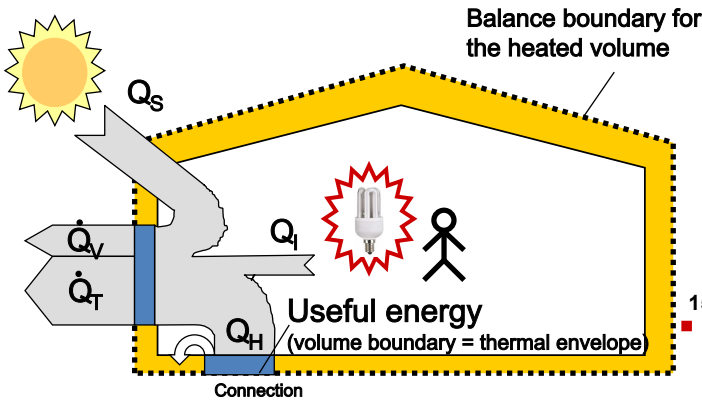
## ◎ 냉방 에너지요구량

$$Q_{c,b} = (1 - \eta) \cdot Q_{\text{source}} = Q_{\text{sink}} - \eta_c \cdot Q_{\text{source}}$$

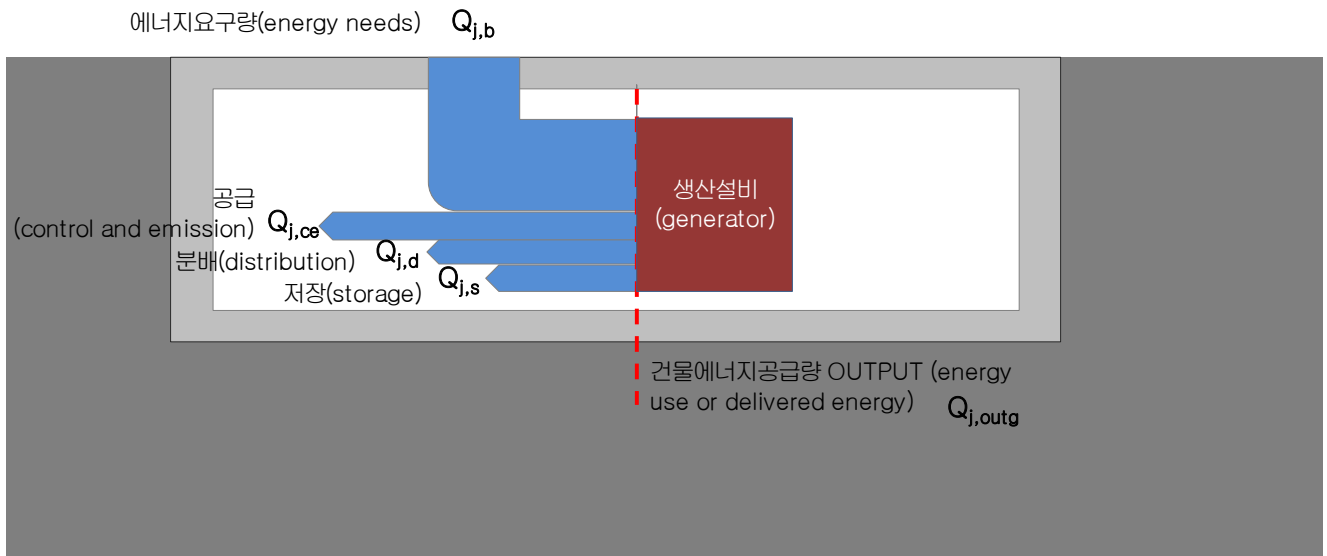


### ◎ 에너지밸런스(에너지요구량)

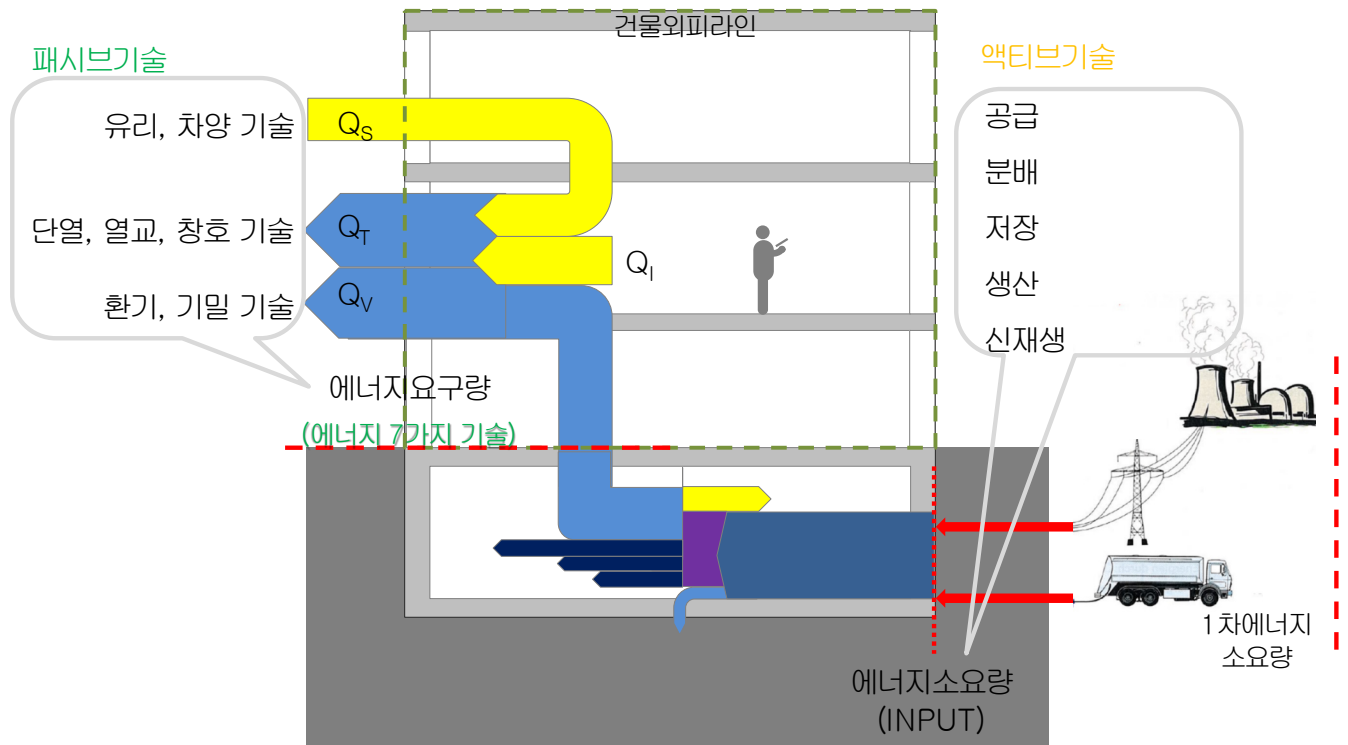
- 관류열전달, 환기열전달, 일사열전달, 내부 발열로 구성



◎ 생산 설비단 중심 에너지공급량



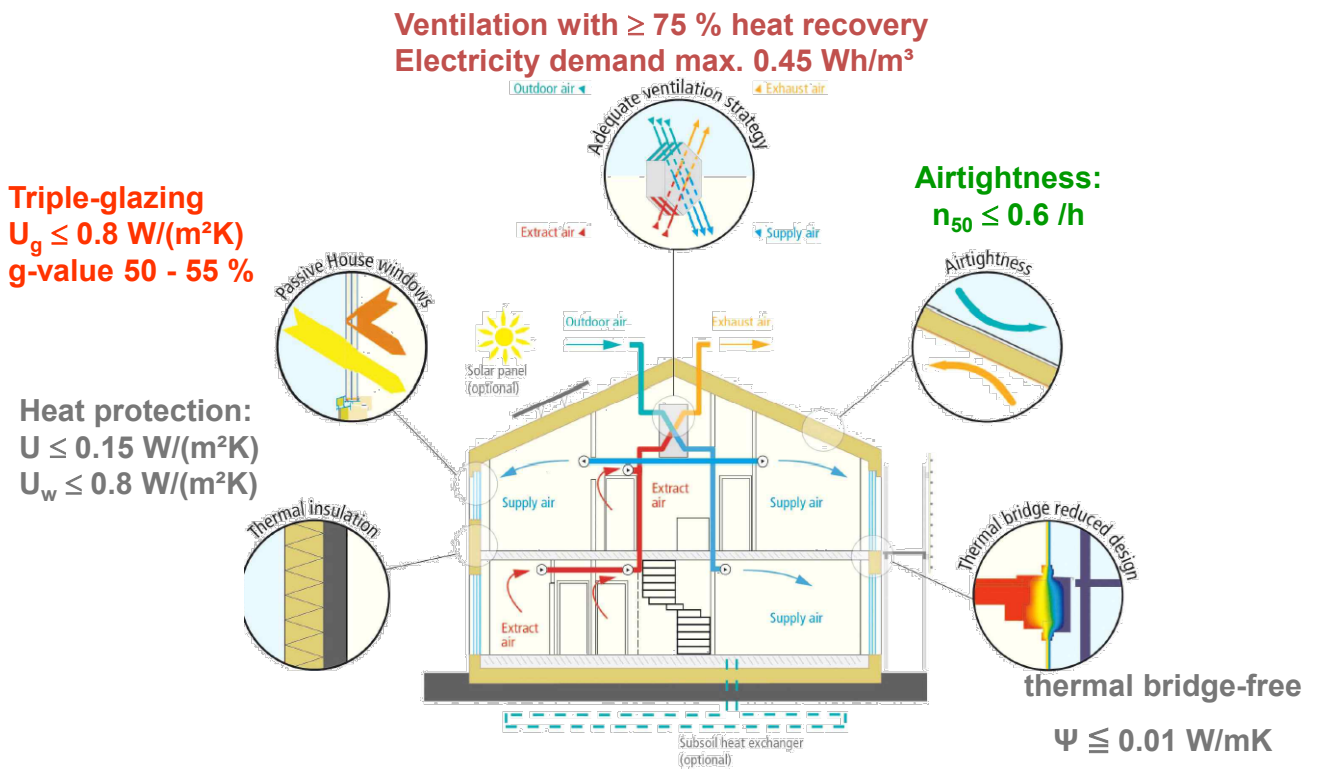
### ◎ 에너지소요량



## 2 패시브 요소기술

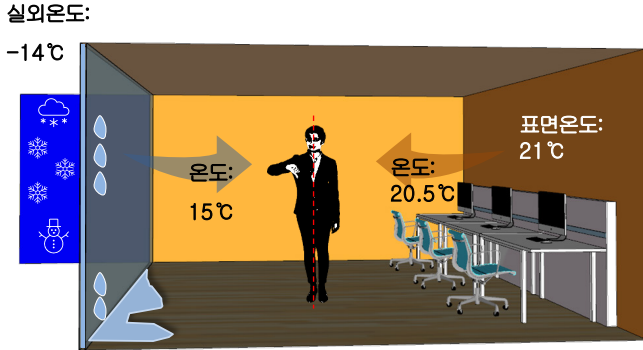
### ◎ 패시브하우스 5대원칙

- 독일의 패시브하우스에서 제시하는 5대원칙
- 패시브하우스에서는 단열 수준을 불투명 구조체의 경우, 0.15 수준, 투명 0.8수준을 만족하도록 제시
- 창호의 경우에는 삼중유리를 적용해, 유리 열관류율은 0.8 수준, 태양열취득률은 50~55%를 충족하도록
- 환기에서는 온도교환 효율이 75% 수준 이상인 것을 설치하도록 하고 있음
- 기밀의 경우, 0.6회를 충족하도록 함

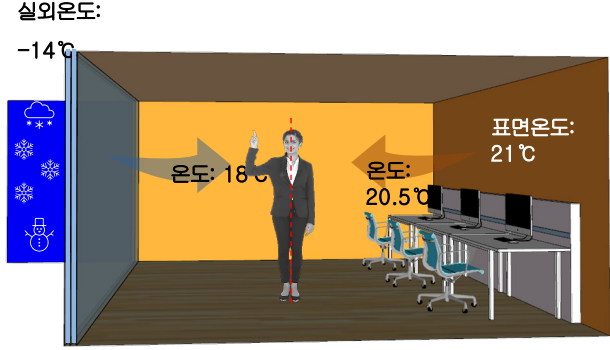


## ◎ 창호

- 사람이 느끼는 열쾌적성은 신체온도와 구조체 표면온도차에 따라 결정됨



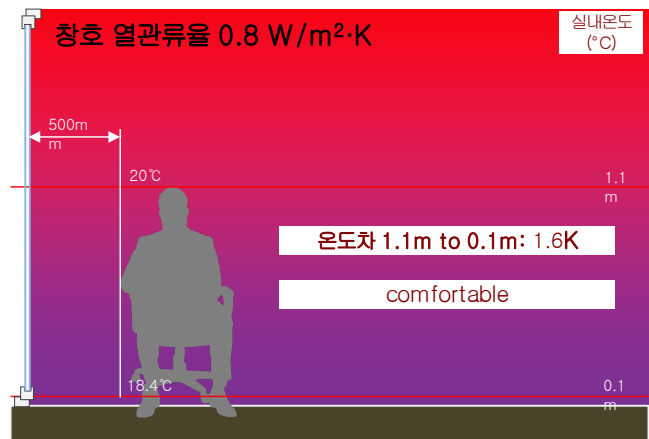
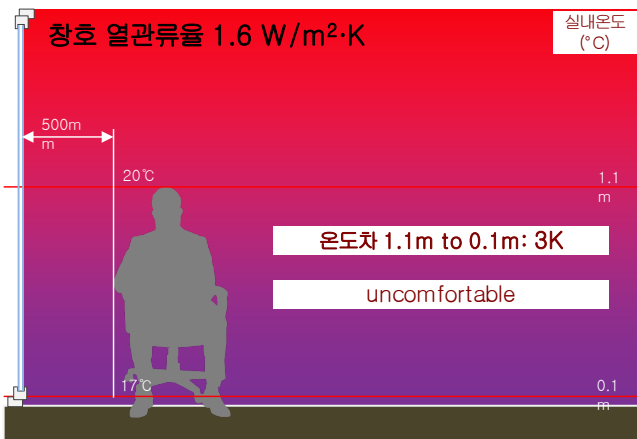
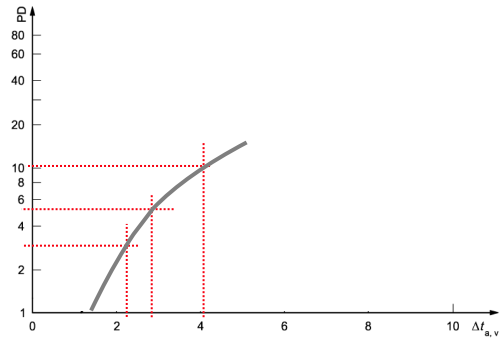
창호 열관류율 1.6W/m<sup>2</sup>·K  
- 복사 온도차가 5.5K이 발생



창호 열관류율 0.8 W/m<sup>2</sup>·K  
- 복사 온도차 <3K이 발생됨

- ISO 7730 기준 실내 수직온도차 성능 : 2.6K 이하 필요

Categorie	PD	온도차(K)
쾌적함	3	2.6
일반성능	5	3.2
최소기준	10	4.1



[별표1] 지역별 건축물 부위의 열관류율표

(단위 : W/m<sup>2</sup> · K)

건축물의 부위		지역		중부1지역 <sup>1)</sup>	중부2지역 <sup>2)</sup>	남부지역 <sup>3)</sup>	제주도
		공동주택	공동주택 외	창	문	창	문
창 및 문	외기에 직접 면하는 경우	공동주택		0.900 이하	1.000 이하	1.200 이하	1.600 이하
		공동주택 외	창	1.300 이하	1.500 이하	1.800 이하	2.200 이하
			문	1.500 이하			
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택		1.300 이하	1.500 이하	1.700 이하	2.000 이하
		공동주택 외	창	1.600 이하	1.900 이하	2.200 이하	2.800 이하
			문	1.900 이하			

[별표4] 창 및 문의 단열성능

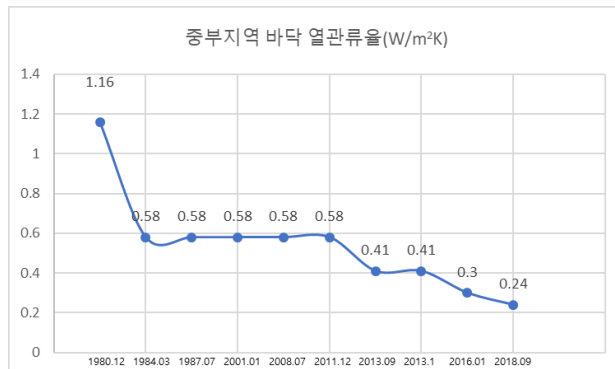
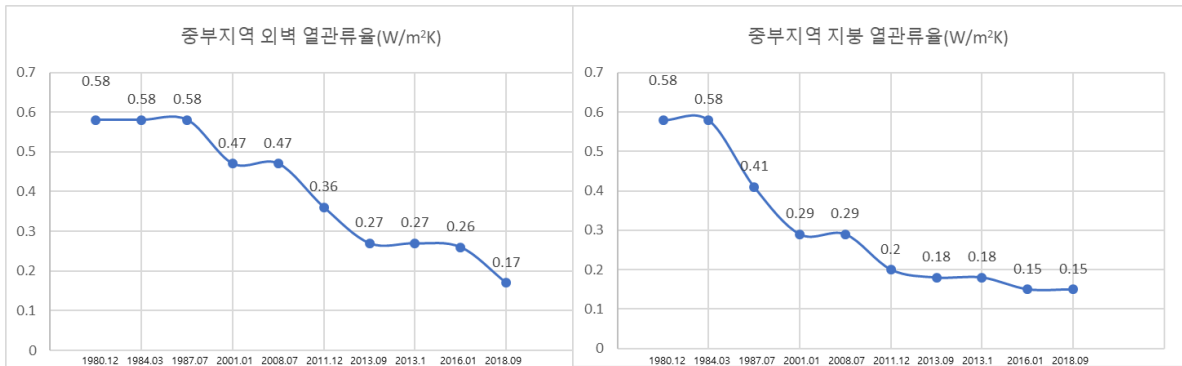
[단위 : W/m<sup>2</sup> · K]

창 및 문의 종류		창틀 및 문틀의 종류별 열관류율									
		금속재						플라스틱 또는 목재			
		열교차단재 <sup>1)</sup> 미적용			열교차단재 적용						
유리의 공기층 두께 [mm]		6	12	16 이상	6	12	16 이상	6	12	16 이상	
창	복층창	일반복층창 <sup>2)</sup>	4.0	3.7	3.6	3.7	3.4	3.3	3.1	2.8	2.7
		로이유리(하드코팅)	3.6	3.1	2.9	3.3	2.8	2.6	2.7	2.3	2.1
		로이유리(소프트코팅)	3.5	2.9	2.7	3.2	2.6	2.4	2.6	2.1	1.9
		아르곤 주입	3.8	3.6	3.5	3.5	3.3	3.2	2.9	2.7	2.6
		아르곤 주입+ 로이유리(하드코팅)	3.3	2.9	2.8	3.0	2.6	2.5	2.5	2.1	2.0
		아르곤 주입+ 로이유리(소프트코팅)	3.2	2.7	2.6	2.9	2.4	2.3	2.3	1.9	1.8
	삼중창	일반삼중창 <sup>2)</sup>	3.2	2.9	2.8	2.9	2.6	2.5	2.4	2.1	2.0
		로이유리(하드코팅)	2.9	2.4	2.3	2.6	2.1	2.0	2.1	1.7	1.6
		로이유리(소프트코팅)	2.8	2.3	2.2	2.5	2.0	1.9	2.0	1.6	1.5
		아르곤 주입	3.1	2.8	2.7	2.8	2.5	2.4	2.2	2.0	1.9
		아르곤 주입+ 로이유리(하드코팅)	2.6	2.3	2.2	2.3	2.0	1.9	1.9	1.6	1.5
		아르곤 주입+ 로이유리(소프트코팅)	2.5	2.2	2.1	2.2	1.9	1.8	1.8	1.5	1.4
	사중창	일반사중창 <sup>2)</sup>	2.8	2.5	2.4	2.5	2.2	2.1	2.1	1.8	1.7
		로이유리(하드코팅)	2.5	2.1	2.0	2.2	1.8	1.7	1.8	1.5	1.4
		로이유리(소프트코팅)	2.4	2.0	1.9	2.1	1.7	1.6	1.7	1.4	1.3
		아르곤 주입	2.7	2.5	2.4	2.4	2.2	2.1	1.9	1.7	1.6
		아르곤 주입+ 로이유리(하드코팅)	2.3	2.0	1.9	2.0	1.7	1.6	1.6	1.4	1.3
		아르곤 주입+ 로이유리(소프트코팅)	2.2	1.9	1.8	1.9	1.6	1.5	1.5	1.3	1.2

### ◎ 구조체(외벽,지붕, 바닥)

- 열관류율 관련 기준 법규 시행연월별 열관류율
- 1979.09~1987.07의 값은 kcal/h·m<sup>2</sup>·°C로 제시된 값을 W/m<sup>2</sup> K로 단위 환산한 값임
- “중부1” 지역의 “공동주택 외” 기준 열관류율임

시행연월	외벽	지붕	최하층바닥
	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K
1980.12	0.58	0.58	1.16
1984.03	0.58	0.58	0.58
1987.07	0.58	0.41	0.58
2001.01	0.47	0.29	0.58
2008.07	0.47	0.29	0.58
2011.12	0.36	0.2	0.58
2013.09	0.27	0.18	0.41
2013.1	0.27	0.18	0.41
2016.01	0.26	0.15	0.3
2018.09	0.17	0.15	0.24

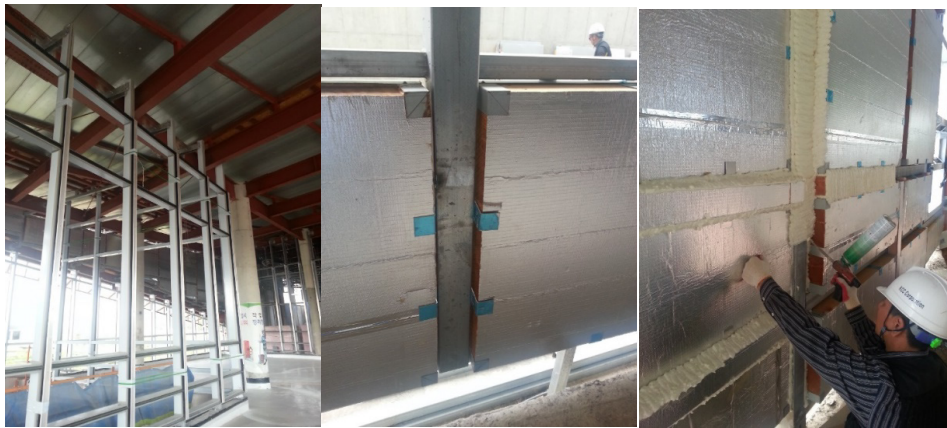


## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. Passive house solutions, The PEP(Promotion of European Passive Houses)-project report,2006.5
2. 한국에너지공단 신·재생에너지센터,  
[https://www.knrec.or.kr/biz/introduce/new\\_policy/intro\\_govinstall.do?gubun=B](https://www.knrec.or.kr/biz/introduce/new_policy/intro_govinstall.do?gubun=B)
3. 한국에너지공단 효율관리제도, <https://eep.energy.or.kr/main/main.aspx>
4. CPHD 교육자료, PHI(Passive House Institute)
5. ISO 7730 : 2005
6. DIN V 18599-2 : 2018

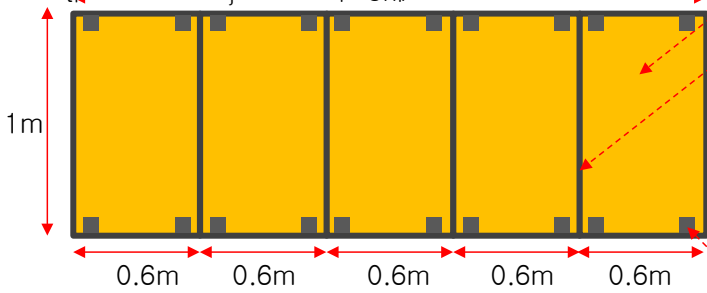
열교

구조체		No.	소재명	두께 [mm]	열전도율 [W/m.K]	열저항 [m².K/W]
Wall01	외벽					
		1	실내표면열전달저항(Rsi)		-	0.110
		2	알루미늄시트	3.00	200.000	0.000
		3	페놀폼	130.00	0.019	6.842
		4	석고보드2겹	19.00	0.180	0.106
		5	자재 4			
		6	자재 5			
		7	자재 6			
		8	자재 7			
		9	자재 8			
		10	자재 9			
				11	실외표면열전달저항(Rse)	
		총 열저항값				7.101
		열관류율 [W/m².K]				0.141



$$H_{tr} [W/K] = b_j * (\sum A_i * U_i + \sum l_i * \psi_i + \sum \chi_i)$$

$$H_{tr} [W/K] = b_j * (\sum A_i * (U_i + \Delta U))$$



$U_1 = 0.141 W/m^2K$   
 $\psi = 0.128 W/mK$   
 $A = 1m * 3m = 3m^2$   
 $l_{ver.} = 5EA * 1m = 5m$   
 $l_{hor.} = 1EA * 3m = 3m$   
 $\Delta U = \psi * l / A = 0.128 * 8m / 3m^2$   
 $U_2 = U_1 + \Delta U = 0.141 + 0.341 = 0.482 W/m^2K$   
 $\chi = 0.007 W/K$

상세도(Detail): D-01	설명	벽체열교부	III. 계산 검토서
I. ISO 10211 기준 / IPAZEB 기준에 따른 선형 열관류율 계산			
구조체 1: 외벽(단면)	구조체 2: 외벽(단면)	III. 계산 검토서	
$U_{F1}$ 값: 0.108 W/(m²·K) 길이 L <sub>F1</sub> : 2.060 m $F_{T1}$ : 1 $U_{F1} \cdot L_{F1} \cdot F_{T1}$ : 0.222 W/(m·K)	$U_{F2}$ 값: 0.108 W/(m²·K) 길이 L <sub>F2</sub> : 2.500 m $F_{T2}$ : 1 $U_{F2} \cdot L_{F2} \cdot F_{T2}$ : 0.270 W/(m·K)	PSI error: 1.71%   Tsi error: [ ]	
Therm 1	Therm 2		
$U_{Therm1}$ : 0.137 W/(m²·K) 길이 L <sub>Therm1</sub> : 2.060 m $F_{Therm1}$ : 1 $U_{Therm1} \cdot L_{Therm1} \cdot F_{Therm1}$ : 0.282 W/(m·K)	$U_{Therm2}$ : 0.135 W/(m²·K) 길이 L <sub>Therm2</sub> : 2.5 m $F_{Therm2}$ : 1 $U_{Therm2} \cdot L_{Therm2} \cdot F_{Therm2}$ : 0.338 W/(m·K)	$A = 1m * 3m = 3m^2$ $m = 10EA$ $\Delta U = \chi * m / A = 0.007 * 10EA / 3m^2$	
$\psi_{wall} = (U_{F1} \cdot L_{F1} + U_{F2} \cdot L_{F2} + U_{Therm1} \cdot L_{Therm1} + U_{Therm2} \cdot L_{Therm2}) / (U_1 \cdot L_1 + F_1 + U_2 \cdot L_2 + F_2 + U_3 \cdot L_3 + F_3)$ $\psi_{wall} = 0.128 W/(m·K)$			

$U_3 = U_2 + \Delta U = 0.482 + 0.023 = 0.505 W/m^2K$   
 약 358% 성능 저하

Climate zone	공방이 기준	열쾌적 기준	열성능 기준		
	Hygiene criterion	Comfort criterion	Efficiency criteria		
	$f_{Rsi=0.25} \text{ m}^2\text{K/W} \geq^3$	U-value of the installed window <sup>1</sup> ≤ 창호열관류율(설치열교포함)	U-value of the exterior building component $U_{opaque} * f_{PHI}^2 \leq$	Purely opaque details $f_{Rsi=0.25} \text{ m}^2\text{K/W} \geq^3$ 열교부위 실내 표면온도 기준	Absence of thermal bridges $\Psi_a \leq^4$
	[-]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[-]	[W/(mK)]
1 Arctic	0.80	0.45 (0.35)	0.09	0.90	0.01
2 Cold	0.75	0.65 (0.52)	0.12	0.88	
3 Cool, temperate	0.70	0.85 (0.70)	0.15	0.86	
4 Warm, temperate	0.65	1.05 (0.90)	0.25	0.82	
5 Warm	0.55	1.25 (1.10)	0.50	0.74	
6 Hot	None	1.25 (1.10)	0.50	0.74	
7 Very hot	None	1.05 (0.90)	0.25	0.82	

$$f_{Rsi=0.25} = 1 - TDR$$

$$\text{온도차이비율(TDR)} = \frac{\text{실내온도} - \text{적용 대상부위의 실내표면온도}}{\text{실내온도} - \text{외기온도}}$$

## ◎ 환기 및 기밀

- 공동주택 및 다중이용시설의 환기설비기준 (건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 [시행 2021. 8. 27.] )
- 신축공동주택 등은 시간당 0.5회 이상의 환기가 이루어질 수 있도록 자연환기설비 또는 기계환기설비를 설치
- 다중이용시설을 신축하는 경우에 기계환기설비를 설치해야 하는 다중이용시설 및 각 시설의 필요 환기량

구분		필요 환기량( $\text{m}^3/\text{인} \cdot \text{h}$ )	비고
가. 지하시설	1) 지하역사	25 이상	
	2) 지하도상가	36 이상	매장(상점) 기준
나. 문화 및 집회시설		29 이상	
다. 판매시설		29 이상	
라. 운수시설		29 이상	
마. 의료시설		36 이상	
바. 교육연구시설		36 이상	
사. 노유자시설		36 이상	
아. 업무시설		29 이상	
자. 자동차 관련 시설		27 이상	
차. 장례식장		36 이상	
카. 그 밖의 시설		25 이상	

$Q_{V,k} = Q_{V,mech} + Q_{V,z} + Q_{V,inf} + Q_{V,win}$

**환기 열손실  $Q_V$**

-10℃

**환기 열획득  $Q_V$**

25℃

$Q_{V,mech} = H_{V,mech} \cdot (\theta_i - \theta_{V,mech}) \cdot t, \text{ if } \theta_i > \theta_{V,mech}$

$Q_{V,mech} = H_{V,mech} \cdot (\theta_{V,mech} - \theta_i) \cdot t, \text{ if } \theta_{V,mech} > \theta_i$

$Q_{V,z} = \sum H_{V,z} \cdot (\theta_i - \theta_z) \cdot t, \text{ if } \theta_i > \theta_z + 4$

$Q_{V,z} = \sum H_{V,z} \cdot (\theta_z - \theta_i) \cdot t, \text{ if } \theta_z > \theta_i + 4$

$Q_{V,inf} = H_{V,inf} \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t, \text{ if } \theta_i > \theta_e$

$Q_{V,inf} = H_{V,inf} \cdot (\theta_e - \theta_i) \cdot t, \text{ if } \theta_e > \theta_i$

$Q_{V,win} = H_{V,win} \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t, \text{ if } \theta_i > \theta_e$

$Q_{V,win} = H_{V,win} \cdot (\theta_e - \theta_i) \cdot t, \text{ if } \theta_e > \theta_i$

$Q_{V,mech}$ : 기계환기 열전달량	$H_{V,k}$ : 환기 열전달계수
$Q_{V,z}$ : 인접 존 환기 열전달량	$n_{V,k}$ : 환기 횟수
$Q_{V,inf}$ : 침기 열전달량	$V$ : 존 순체적
$Q_{V,win}$ : 자연환기 열전달량	$c_{p,a} \cdot \rho_a$ : 공기 밀도 · 비열 (=0.34)

$H_{V,k} = n_{V,k} \cdot V \cdot c_{p,a} \cdot \rho_a$

$n_{V,k}$ : 환기 횟수

$V$ : 존 순체적

$c_{p,a} \cdot \rho_a = 0.34$

### 3 액티브 요소기술

#### ㉠ 누기율 반영 풍량검토

덕트 누기율

덕트누기율 등급	$f_{lea,du}$ (Duct leakage factor)
기존건물	1.06
신축건물	1.02
TAB실시	1.00

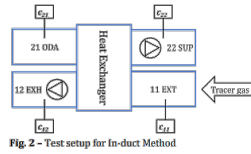
<EN 16798-5-2 표B.2>

$$q_{V,SUP;dis;k} = q_{V,SUP;dis;req;k} \cdot f_{lea,du} \cdot f_{lea,ahu} \quad \text{<EN 16798-5-2 식4>}$$

열회수기 누기율

열회수기누기율 등급	$f_{lea,ahu}$ (AHU leakage factor)
A3/B3/C3	1.02
A2/B2/C2	1.01
A1/B1/C1	1

<EN 16798-5-2 표B.5>



<EN 13142-7 표 3,4,5>

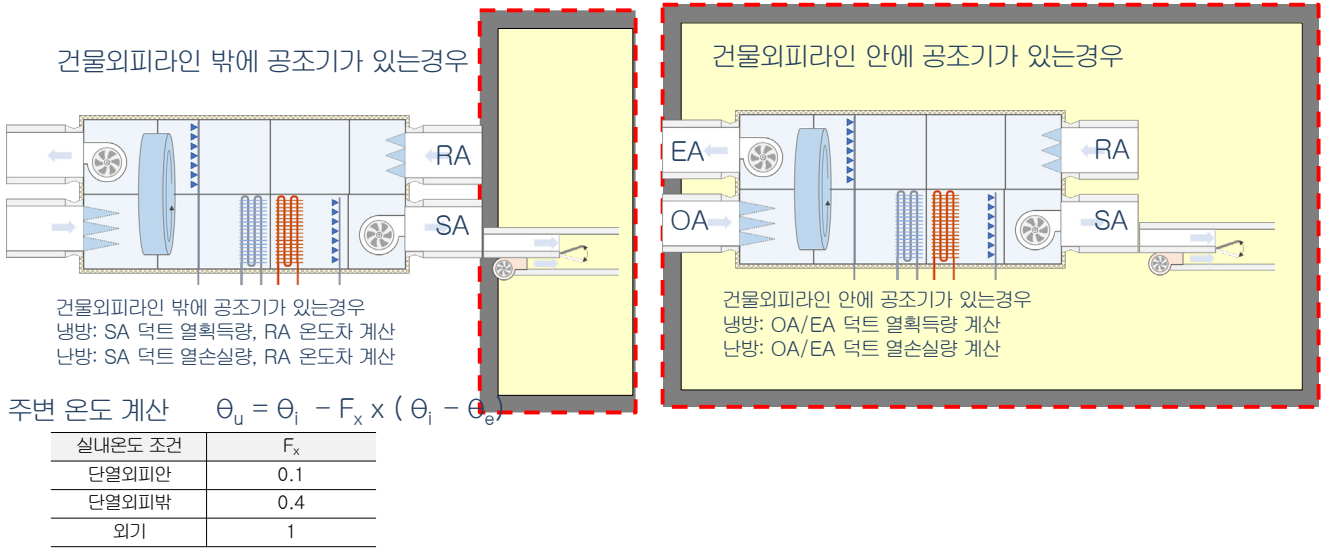
압력차 누기시험		
등급	내부누기율[100Pa]	외부누기율[250Pa]
A1	≤ 2%	≤ 2%
A2	≤ 5%	≤ 5%
A3	≤ 10%	≤ 10%

챔버내 가스추적시험	
등급	SA공기내 가스 비율
B1	≤ 1%
B2	≤ 2%
B3	≤ 6%

덕트 내 가스추적시험		
등급	SA공기내 가스비율	외부누기율[250Pa]
C1	≤ 0.5%	≤ 2%
C2	≤ 2%	≤ 2%
C3	≤ 4%	≤ 2%

기준이 마련되지 않거나 측정값이 없는 경우 A3/B3/C3로 적용함

◎ 덕트/배관 열손실



◎ 열회수기 온도교환효율

$$\Delta \vartheta_{hr;k} = \left( \eta_{hr;k} - (f_{lea,ahu} - 1) - f_{ins,ahu} \right) \cdot (\vartheta_{ETA;dis;out;k} - \vartheta_{ODA;preh;k})$$

$\eta_r$  : 열회수기 온도교환 효율

$f_{lea,ahu}$  : 공조기 누기율

$f_{ins,ahu}$  : 공조기 단열 성능

$\theta_{ETA,dis,out}$  : RA측 공조기 인입온도 [°C]

$\theta_{ODA,preh}$  : 예열/예냉 후 OA 덕트 열전달 후 인입온도 [°C]

공조기단열두께 [mm]	$f_{ins:ahu}$
40	0
30	0.01
20	0.02
10	0.03

### ◎ 고효율 설비

- 건축물 에너지절약설계기준
- 14조의2의 용도에 해당하는 공공건축물로서 에너지성능지표의 기계부문 1번 및 2번 항목 배점을 0.9점 이상 획득

항 목		기본배점 (a)				배점 (b)					평균점 (a+b)	근거	
		비주거		주거		1점	0.9점	0.8점	0.7점	0.6점			
		대형 (3,000㎡ 이상)	소형 (500-3,000㎡ 미만)	주택 1	주택 2								
1. 난방 설비 (효율%)	기름 보일러	7	6	9	6	93이상	90-93미만	87-90미만	84-87미만	84미만			
	가스 보일러					중앙난방방식	90이상	86-90미만	84-86미만	82-84미만	82미만		
						개별난방방식	1등급 제품	-	-	-	그 외 또는 미설치		
	기타 난방설비					고효율 제품, (신재생 인증제품)	-	-	-	그 외 또는 미설치			
2. 냉방 설비	원상식(성적계수, COP)	6	2	-	2	5.18이상	4.51-5.18미만	3.96-4.51미만	3.52-3.96미만	3.52미만			
	흡수식 (성적계수, COP)					①1중효용	0.75이상	0.73-0.75미만	0.7-0.73미만	0.65-0.70미만	0.65미만		
						②2중효용	1.20이상	1.1-1.20미만	1.0-1.1미만	0.9-1.00미만	0.90미만		
						③3중효용 ④냉온수기	고효율 제품, (신재생 인증제품)	-	-	-	그 외 또는 미설치		
기타 냉방설비													



## ◎ 설비 열원 선정

- 건축물의 설비기준등에 관한 규칙 제23조-2 [시행 2021.8.27.]
- 일정 규모 이상의 건축물에 냉방설비를 설치하는 경우에는 축냉식 또는 가스를 이용한 중앙집중 냉방방식으로 하여야 함
- 건축물의 냉방설비에 대한 설치 및 설계기준(산업통상자원부 고시 제2021- 151호)
- 전기를 사용하지 아니한 냉방방식의 냉방설비(가스 냉방설비, 심야전기 축냉식, 지역냉방, 소형 열병합발전, 신재생에너지 등)용량이 전체 용량의 60% 이상이어야 함
- 집단에너지사업법 시행령[시행 2021. 12. 30.]
- 지역난방 고시지역인 경우 일정 규모 이상 건물은 지역난방을 의무적으로 사용하여야 함

## ◎ 신재생에너지설치 의무

- 신재생에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 [시행 2022. 11. 15.]
- 공공기관이 신축, 증축 또는 개축하는 건축면적 1천㎡이상의 건축물에 대하여 일정비율('25년, 34%) 이상을 신재생에너지를 통해 공급되는 에너지로 사용토록 신재생설비 설치 의무화

### ● 의무대상

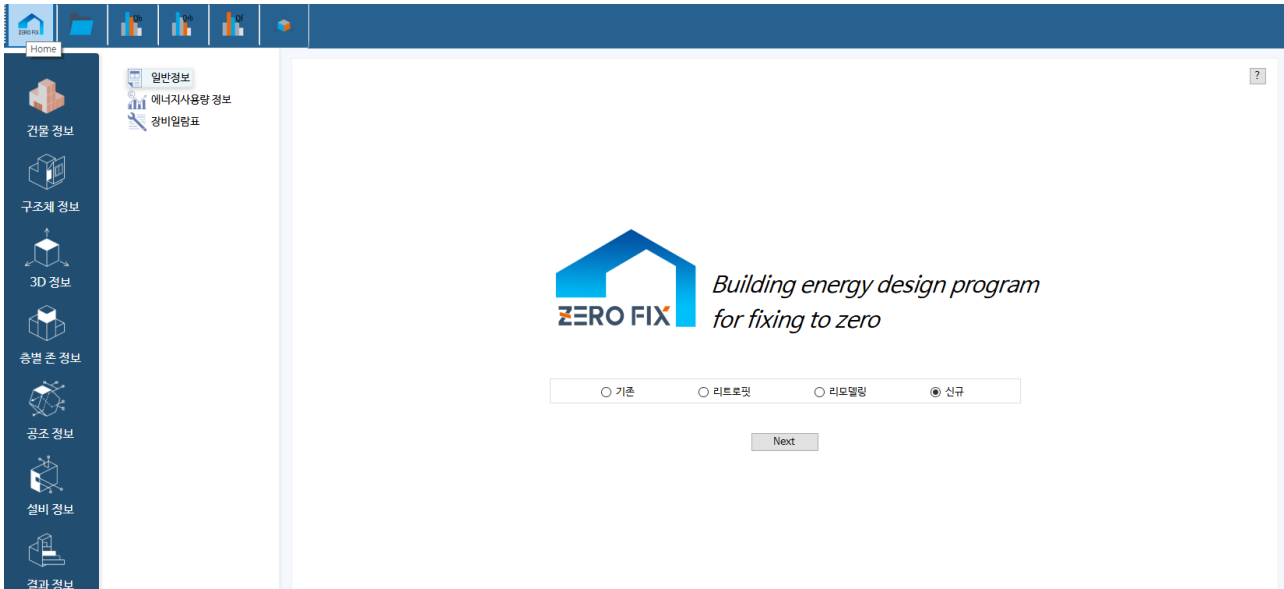
대상기관 (건축주)	- 국가 및 지방자치단체 - 「공공기관의 운영에 관한 법률」 제4조에 따른 공공기관 - 정부가 연간 50억원 이상 출연한 정부출연기관 - 「국유재산법」 제2조 제6호에 따른 정부출자기업체 - 지방자치단체, 공공기관, 정부출연기관 또는 정부출자기업체가 대통령령으로 정하는 비율(납입자본금의 50%) 또는 금액(납입자본금으로 50억원) 이상을 출자한 법인 - 특별법에 따라 설립된 법인
대상건축물 용도	문화 및 집회시설, 종교시설, 판매시설, 운수시설, 의료시설, 교육연구시설, 노유자시설, 수련시설, 운동시설, 업무시설, 숙박시설, 위락시설, 교정 및 군사시설(군방·군사시설 제외), 방송통신시설, 모지관련시설, 관광 휴게시설 및 장례시설
대상건축물 연면적	신축·증축·개축하는 각 건축물의 연면적 1,000㎡ 이상

### 신재생에너지 공급의무비율

해당연도	'20~'21	'22~'23	'24~'25	'26~'27	'28~'29	'30~
공급의무비율(%)	30	32	34	36	38	40

## 4 요소기술 종합검토

● ZERO FIX



외장재 색	흰색	[α] 흡수율	0.3	-
단열 수준	계산	[U] 열관류율 ①	0.121	
구조 유형	콘크리트조	[ΔU1D] 1D_열교가산치 ②	0.017	
1D열교검토	+ 개발 파스너 A	[Ueff] 유효열관류율 ①+②	0.138	



실내외표면열전달저항 [Rsi]		0.130				
선택	번호	구분	재료명	열전도율 [W/m·K]	두께 [mm]	열저항 [m <sup>2</sup> ·K/W]
<input type="checkbox"/>	1	콘크리트	철근콘크리트St.2%	2.5	250	0.10
<input type="checkbox"/>	2	단열재	페놀보드	0.025	200	8.00

**열관류율 계산**    열교 세부정보

실내외표면열전달저항 ISO 6946    직접외기    ▲ ▼ + -

실내표면열전달저항 [Rsi] 0.130

선택	번호	구분	재료명	열전도율 [W/m·K]	두께 [mm]	열저항 [m <sup>2</sup> ·K/W]
<input type="checkbox"/>	1	콘크리트	철근콘크리트St.2%	2.5	250	0.10
<input type="checkbox"/>	2	단열재	페놀보드	0.025	200	8.00

실내 (°C) 25, 20, 15, 10

실외


0 100 200 300 400 500 600 두께(mm)

**열관류율 계산**    열교 세부정보

트러스(경향)

개발 파스너 A

적용개수	1.852	EA/m <sup>2</sup>
경향열교 열관류율	0.009	W/K
1D 열교가산치	0.017	W/m <sup>2</sup> ·K


 명칭     기존  기존창호     신규     철거 후 신규  
 TYPE     닳담  외부(커튼월)닳담     내부닳담

Uw 적용방법    

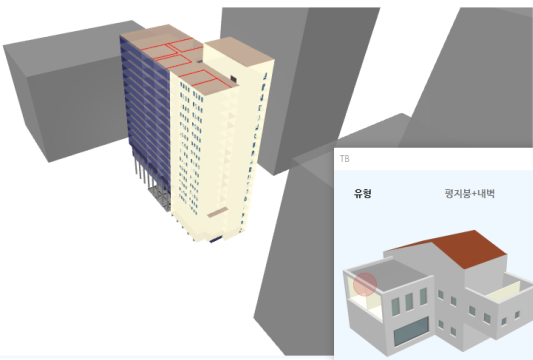
창호 유형     [Uw] 창호열관류율    0.870    W/m<sup>2</sup> · K  
 유리 LE/14R/CL/14R/LE    [g] 태양열취득률    0.507    -  
 프레임 88 MD  
 간봉 단열간봉

설치     외부측    [Uw,inst.] 유효열관류율    0.898    W/m<sup>2</sup> · K

유리 및 간봉	프레임	설치열교	사이즈
	재료	플라스틱	
	프레임A	프레임B	프레임C
	열관류율 W/m <sup>2</sup> · K	0.99	0.88    1.07
	두께 m	0.12	0.08    0.14



- ▶ 3D 모델
- ▶ 존 정보
- ▶ 열교정보
- ▶ 평지붕+외벽 [90]
- ▶ 평지붕+외벽 [270]
- ▶ 평지붕+내벽
- ▶ 층간슬라브+외벽
- ▶ 외벽+내벽
- ▶ 외벽+외벽 [90]
- ▶ 외벽+외벽 [270]
- ▶ 바닥+외벽 [90]
- ▶ 바닥+외벽 [270]
- ▶ 지면바닥+외벽 [90]



열교정보

열교개수: 1    외벽: 0.02 W/m<sup>2</sup> · K

선택	번호	유형	적용 열교	열교 명칭	선택	번호	DB타입	유형	명칭	지붕	내벽	선형 열관류율 [W/mK]
<input checked="" type="checkbox"/>	RTB3...	평지붕+내벽	RTB3_2	외단열	<input type="checkbox"/>	RTB...	기본DB	평지붕+내벽	내단열	내단열	-	0.817
<input checked="" type="checkbox"/>	RTB3...	평지붕+내벽	RTB3_2	외단열	<input checked="" type="checkbox"/>	RTB...	기본DB	평지붕+내벽	외단열	외단열	-	0.000
<input checked="" type="checkbox"/>	RTB3...	평지붕+내벽	RTB3_2	외단열	<input type="checkbox"/>	RTB...	기본DB	평지붕+내벽	육구조	육구조	육구조	0.036
<input checked="" type="checkbox"/>	RTB3...	평지붕+내벽	RTB3_2	외단열	<input type="checkbox"/>	RTB...	기본DB	평지붕+내벽	경량철골조	경량철골조	경량철골조	0.169

500 제로에너지건축 전문인력 양성교육

AHU03 명칭 3F 연간 에너지요구량 [kWh/a] 냉방 난방 최대부하 [kW] 냉방 난방 기존  신규  철거 후 신규

유형 공조기 등급 존

공조기 덕트 예열/예냉

설치위치 단열외피 내부 풍량제어 실내공기질 개별제 누기 시험방법 시험 미실시

단열두께 10 mm TAB실시유무 TAB미실시

번호	명칭	공조방식	유형	열회수						출력 [kW]	냉	
				온도교환효율		유효전열교환효율		습도교환효율			[°C_DB]	[°C]
				냉방 [%]	난방 [%]	냉방 [%]	난방 [%]	냉방 [%]	난방 [%]			
AHU03	3F	정풍량	관형	76	95	57	87	39.3	67.6	60	28.6	

HS01 명칭 1F\_보일러 연간 에너지요구량 [kWh/a] 111,609 최대부하 [kW] 82.7 면적 [m²] 1,681.72 기존  신규  보수

공급 존 1F\_Zone1 공급 AHU AHU01

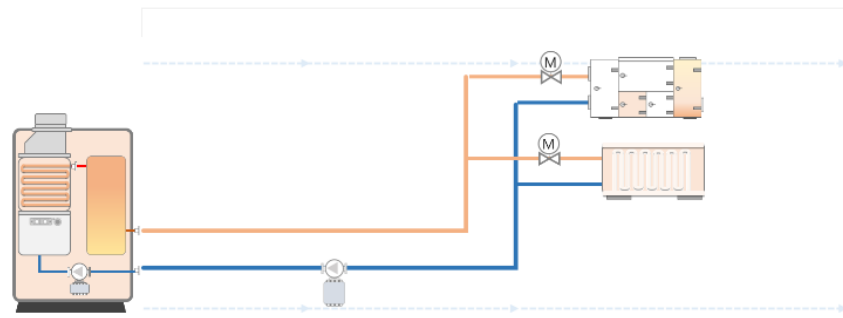
생산 저장 분배 공급

배관 관경 15.0A 노출 배관 길이 1.5 m

보온두께 10 mm 배관보온재 보온단열재 열전도율 0.035 W/mK

펌프 유무 펌프 있음 온수 펌프 1차펌프 1차펌프 + 보일러

구분	펌프번호	명칭	종류	B효율 [%]	동력 [W]	유량 [CMH]	양정 [m]	경유량 밸브	펌프 제어	대수 [EA]
1	PUP02	보일러	온수순환펌프	60	10,000	14.2	14.6 +	있음	인버터제어	1



요소기술 종합정보

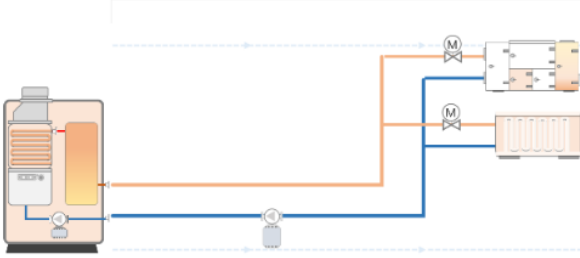
패시브기술	법규					계획					법규성능대비 성능수준
	개수	규모	성능		개수	규모	성능				
외벽	1	33429.8	m <sup>2</sup>	0.24	W/m <sup>2</sup> ·K	1	33429.8	m <sup>2</sup>	0.14	W/m <sup>2</sup> ·K	100 점
지붕	1	5443.1	m <sup>2</sup>	0.15	W/m <sup>2</sup> ·K	1	5443.1	m <sup>2</sup>	0.14	W/m <sup>2</sup> ·K	100 점
바닥	1	7071.7	m <sup>2</sup>	0.29	W/m <sup>2</sup> ·K	1	7071.7	m <sup>2</sup>	0.14	W/m <sup>2</sup> ·K	100 점
창호	131	25824.9	m <sup>2</sup>	1.50	W/m <sup>2</sup> ·K	131	25824.9	m <sup>2</sup>	0.90	W/m <sup>2</sup> ·K	100 점
커튼월창	9	14603.4	m <sup>2</sup>	1.14	W/m <sup>2</sup> ·K	9	14603.4	m <sup>2</sup>	0.79	W/m <sup>2</sup> ·K	
출입문	2	8.0	m <sup>2</sup>	1.50	W/m <sup>2</sup> ·K	2	8.0	m <sup>2</sup>	0.99	W/m <sup>2</sup> ·K	100 점
기밀	-	107864	CMH	0.60	h <sup>-1</sup>	-	359548	CMH	2.00	h <sup>-1</sup>	30 점
열교	-	-		0.10	W/m <sup>2</sup> ·K	-	-		0.05	W/m <sup>2</sup> ·K	100 점
액티브기술	권장					계획					권장성능대비 성능수준
	개수	규모	성능		개수	규모	성능				
난방설비	18	1400.0	kW	90.0	%	18	1400.0	kW	91.0	%	100 점
냉방설비	18	2360.0	kW	3.4	W/W	18	2360.0	kW	3.7	W/W	100 점
급탕설비	19	1500.0	kW	90.0	%	19	1500.0	kW	91.0	%	100 점
조명설비	-	975.0	W	70	lm/W	-	975.0	W	98	lm/W	100 점
공조설비			CMH		%			CMH		%	
태양광	1040	416.0	kW	-	%	1040	416.0	kW	20.0	%	100 점
풍력			kW		%			kW		%	
연료전지			kW		%			kW		%	

월별 결과 정보													
	단위	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
단위면적당 난방요구량	kWh/m <sup>2</sup> ·mth	2.3	1.4	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.8	1.9
단위면적당 냉방요구량	kWh/m <sup>2</sup> ·mth	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	1.7	3.3	4.8	1.4	0.0	0.0	0.0
난방요구량	kWh/mth	444	268	99	36	2	0	0	0	0	13	143	364
냉방요구량	kWh/mth	0	0	0	0	140	321	623	909	259	0	0	0
급탕요구량	kWh/mth	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
조명요구량	kWh/mth	51	48	53	54	51	51	53	53	49	51	54	53
난방요구량	단위	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
난방요구량	kWh/mth	444	268	99	36	2	0	0	0	0	13	143	364
이용계수	-	0.93	0.87	0.70	0.58	0.29	0.05	0.07	0.06	0.07	0.46	0.78	0.91
대차축열량	kWh/mth	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
열손실량	kWh/mth	825	674	495	312	120	23	35	35	28	222	520	757
관류	kWh/mth	221	181	133	84	31	0	0	0	3	59	139	203
환기	kWh/mth	600	491	361	228	89	23	32	34	24	161	377	550
일사	kWh/mth	4	2	1	0	0	0	3	0	0	2	4	5
열회득량	kWh/mth	423	478	565	474	400	432	481	576	401	453	486	443
관류	kWh/mth	0	0	0	0	0	11	33	38	0	0	0	0
환기	kWh/mth	44	52	54	15	0	31	91	103	0	6	56	57
일사	kWh/mth	242	296	367	313	262	250	213	290	269	310	284	241
내부발열	kWh/mth	137	130	144	146	137	139	144	144	132	137	146	144
냉방요구량	단위	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
냉방요구량	kWh/mth	0	0	0	0	140	321	623	909	259	0	0	0
제습요구량	kWh/mth	0	0	0	0	0	0	209	387	0	0	0	0
이용계수	-	1	1	1	1	0.67	0.24	0.05	0.02	0.40	1	1	1
열손실량	kWh/mth	1,527	1,306	1,080	676	349	103	20	11	179	521	1,123	1,462
관류	kWh/mth	316	271	224	134	67	15	0	0	32	102	232	302
환기	kWh/mth	1,206	1,033	856	541	282	87	17	11	147	416	887	1,154
일사	kWh/mth	4	2	1	0	0	0	3	0	0	2	4	5
열회득량	kWh/mth	389	437	530	485	428	423	434	533	432	473	449	398
관류	kWh/mth	0	0	0	0	0	0	11	17	0	0	0	0
환기	kWh/mth	0	0	0	0	0	0	30	45	0	0	0	0
일사	kWh/mth	242	296	367	313	262	250	213	290	269	310	284	241
내부발열	kWh/mth	147	141	163	172	166	173	181	181	163	164	165	157

## HS01. 난방 에너지소요량 검토 보고서

DIN V 18599:2018 기준 알고리즘 적용  
보일러, 외기히트펌프, 지역난방  
지열히트펌프, 흡수식온수기  
태양열시스템, 연료전지

설비 정보		존		공조기		연간 결과정보		
시스템 번호	HS01	개수	1	1EA	에너지 요구량	66.4	kWh/m <sup>2</sup> -년	
시스템 이름	1F_보일러	순바닥면적	1,681.7	1,681.7	공급	5	kWh/m <sup>2</sup> -년	
주요설비	보일러	난방에너지요구량	6,363	105,239	분배	4.6	kWh/m <sup>2</sup> -년	
보조설비1	- kW	난방최대부하	82.7	82.7	저장	0.0	kWh/m <sup>2</sup> -년	
보조설비2	- W/W	공급설비종류1	방열기	CAV유닛	생산	2	kWh/m <sup>2</sup> -년	
난방출력	100	공급설비종류2	-	-	에너지 소요량	73.2	kWh/m <sup>2</sup> -년	
공급환수온도	중온수(55/45)	<b>주요설비 정보</b>						
제어방식		설비번호	UBS01	설치대수	1EA	1차에너지소요량	80.5	kWh/m <sup>2</sup> -년
노출배관길이	1.5 m	정격출력	100kW	효율	91%	CO2 배출량	34.7	kgCO2/m <sup>2</sup> -년

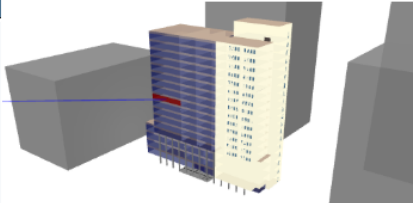

설치 정보	보조설비 정보	
	축열탱크	-
	저장 유형	-
	부하측	-
	펌프1동력	10,000.00W
	펌프2동력	- W
	제어 유형	인버터제어
열원측	-	
펌프1동력	-W	
펌프2동력	-W	
제어 유형	-	

## test 검토보고서

DIN V 18599:2018 및 ISO 52000 시리즈 기준  
건물에너지해석 평가방법 적용

None ZEB5등급 ZEB4등급 ZEB3등급 ZEB2등급 ZEB1등급

프로젝트 개요				
프로젝트명	test	유형	신규	층 층 (인)
준공연월	2025.05	건물용도	기타유형하위	
기후데이터	서울	지역	중부2	
주소		서울		
연면적	1.00	m <sup>2</sup> 지상	19	
건축면적	1.00	m <sup>2</sup> 지하	0	
순바닥 면적	47609.82	m <sup>2</sup> 검토일	2025.05	
검토자 소속	IPA ZEB	이름	IPA ZEB	

**ZEB 5등급**

온실가스		1차에너지	
tCO2	641.9 tCO2/년	난방에너지소요량	15.2 kWh/m <sup>2</sup> -년
kgCO2/m <sup>2</sup>	13.48 kgCO2/m <sup>2</sup> -a	냉방에너지소요량	26.4 kWh/m <sup>2</sup> -년
TOE	310.1 TOE/년	급탕에너지소요량	7.3 kWh/m <sup>2</sup> -년
		조명에너지소요량	14.0 kWh/m <sup>2</sup> -년
		공조에너지소요량	14.3 kWh/m <sup>2</sup> -년
		<b>총 에너지소요량</b>	<b>77</b> kWh/m <sup>2</sup> -년
난방에너지	10.3 kWh/m <sup>2</sup> -년	요구량	12.72 kWh/m <sup>2</sup> -년
냉방에너지	24.4 kWh/m <sup>2</sup> -년	소요량	9.62 kWh/m <sup>2</sup> -년
급탕에너지	4.0 kWh/m <sup>2</sup> -년		5.86 kWh/m <sup>2</sup> -년
조명에너지	6.8 kWh/m <sup>2</sup> -년		5.08 kWh/m <sup>2</sup> -년
공조에너지	37.2 kWh/m <sup>2</sup> -년		5.21 kWh/m <sup>2</sup> -년
합 계	<b>83</b> kWh/m <sup>2</sup> -년		<b>38</b> kWh/m <sup>2</sup> -년
		[전기]에너지생산량	21 kWh/m <sup>2</sup> -년
		[열]에너지생산량	0 kWh/m <sup>2</sup> -년
		에너지자립률	27.1%

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. ZERO FIX
2. DIN V 18599-2 : 2018
3. 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 [시행 2021. 8. 27.]
4. 건축물의 냉방설비에 대한 설치 및 설계기준(산업통상자원부 고시 제2021- 151호)
5. 신재생에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 [시행 2022. 11. 15.]
6. 건축물의 에너지절약설계기준[시행 2023. 2. 28.]
7. 집단에너지사업법 시행령[시행 2021. 12. 30.]
8. EN 16798-5-2

제로에너지건축 전문인력 양성교육 | 기본교육 | ZEB 요소기술적용

# D.2

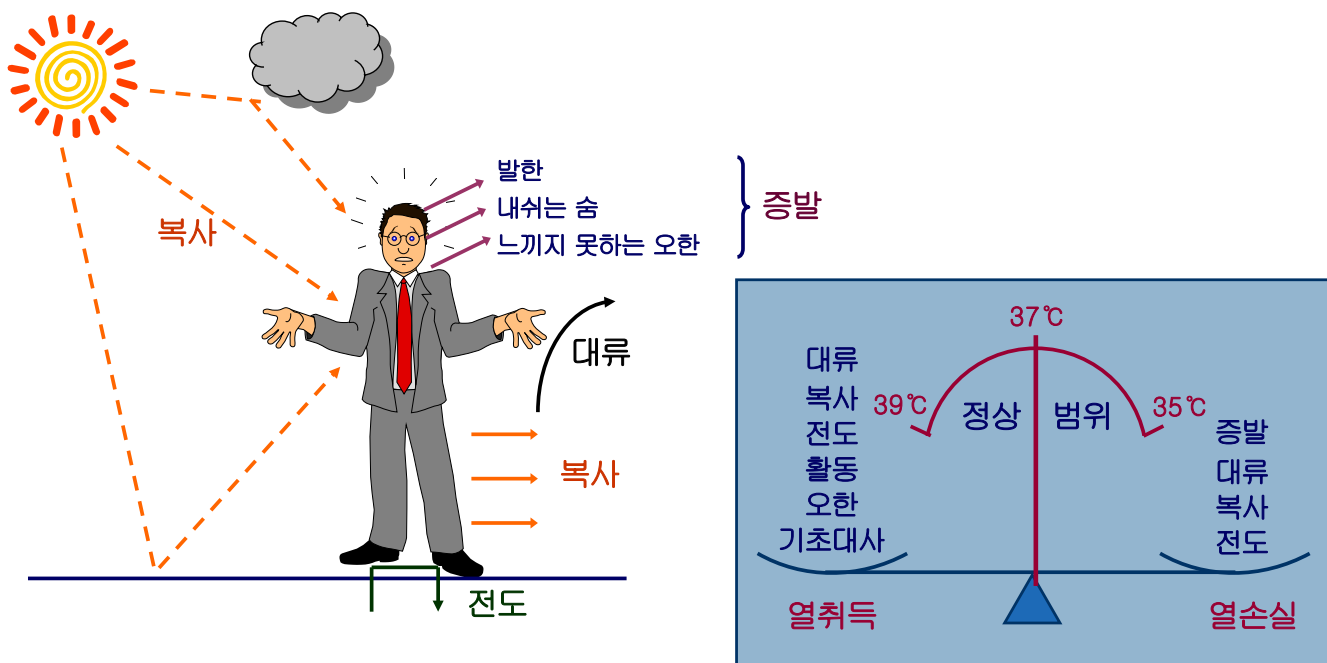
## 열쾌적성 기술

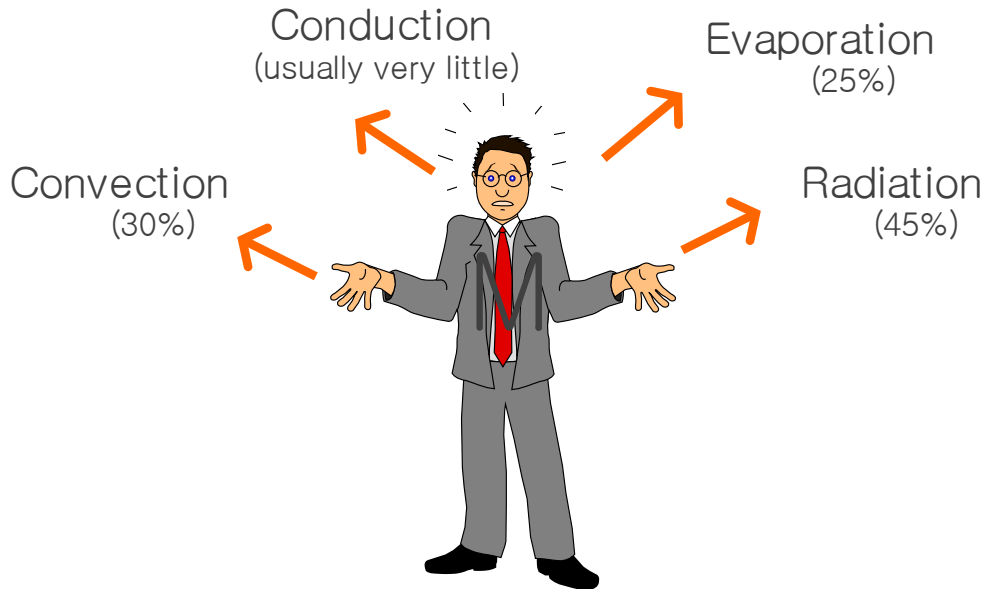
### 교육 목표

- \* 인체의 열평형에 영향을 미치는 요인과 원리의 이해
- 열쾌적성 기술** \* 열쾌적에 영향을 미치는 주관적 요소와 물리적 요소에 대한 이해

### 1 인체의 열평형

#### ◎ 인체와 주위와의 열교환



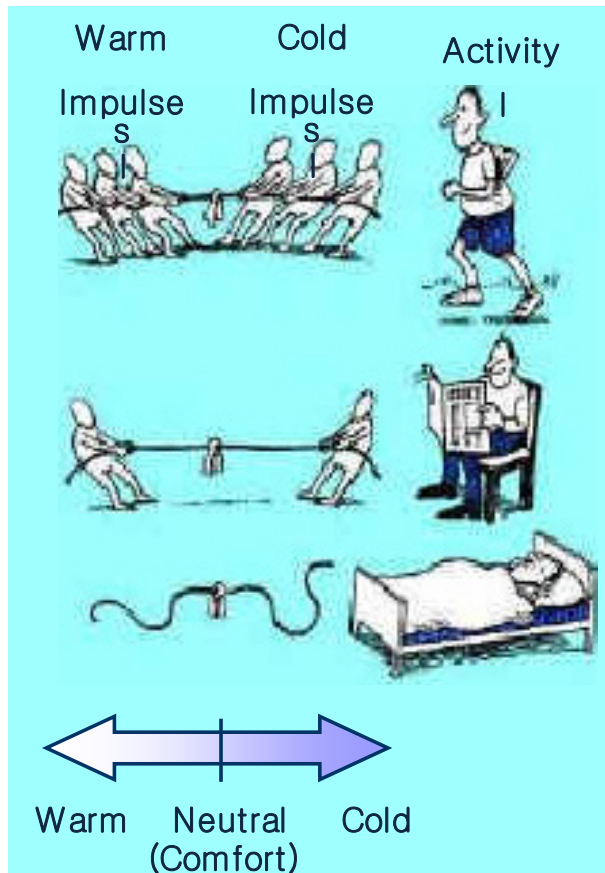
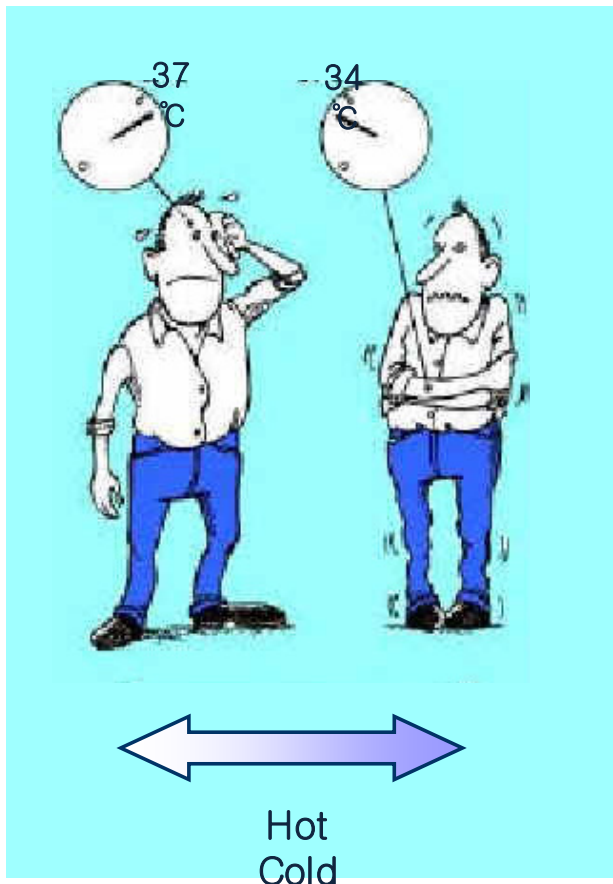


$$\begin{aligned}
 M - W &= q_{sk} + q_{res} + S \\
 &= (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) + (S_{sk} + S_{cr})
 \end{aligned}$$

where

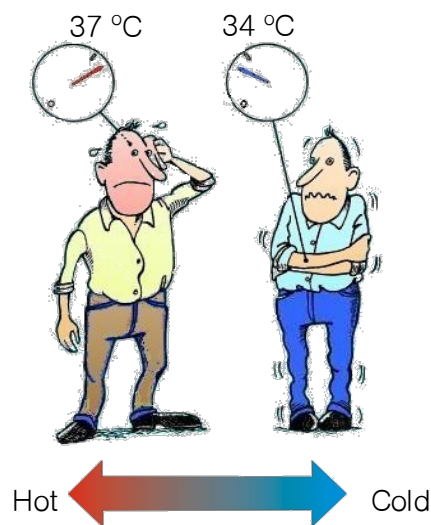
- $M$  = rate of metabolic heat production,  $W/m^2$
- $W$  = rate of mechanical work accomplished,  $W/m^2$
- $q_{sk}$  = total rate of heat loss from skin,  $W/m^2$
- $q_{res}$  = total rate of heat loss through respiration,  $W/m^2$
- $C + R$  = sensible heat loss from skin,  $W/m^2$
- $E_{sk}$  = total rate of evaporative heat loss from skin,  $W/m^2$
- $C_{res}$  = rate of convective heat loss from respiration,  $W/m^2$
- $E_{res}$  = rate of evaporative heat loss from respiration,  $W/m^2$
- $S_{sk}$  = rate of heat storage in skin compartment,  $W/m^2$
- $S_{cr}$  = rate of heat storage in core compartment,  $W/m^2$

◎ 인체의 열평형 메커니즘



INNOVA, 2002

- 인체의 심부(core)온도는 보통 37 °C.
- 인체에는 온감(heat)과 냉감(cold)을 감지하는 별도의 센서를 가지고 있음
- 온감 센서는 뇌의 시상하부에 위치하고 있으며 37 °C보다 높아지면 덥다는 신호를 보냄
- 냉감 센서는 피부에 위치하고 있으며 피부온도가 34 °C보다 낮아지면 춥다는 신호를 보냄
- 온감 센서보다 피부 곳곳에 위치한 냉감 센서가 많음
- 체온을 높이는 인체의 메커니즘:
  - 혈유량을 줄임
  - 몸을 떨어서 열을 발생시킴
- 체온을 낮추는 인체의 메커니즘:
  - 혈유량을 늘림
  - 땀을 내서 열을 방출시킴(증발)



INNOVA, 2002

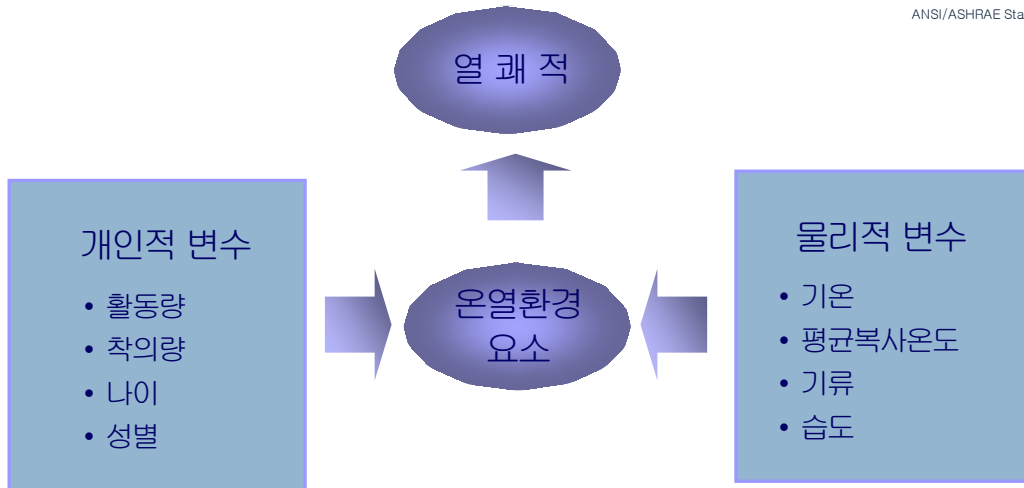
## 2 온열환경 요소

### ◎ 열쾌적의 영향요소

#### THERMAL COMFORT (열쾌적)

“The condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment and is assessed by **subjective evaluation**.”

ANSI/ASHRAE Standard 55



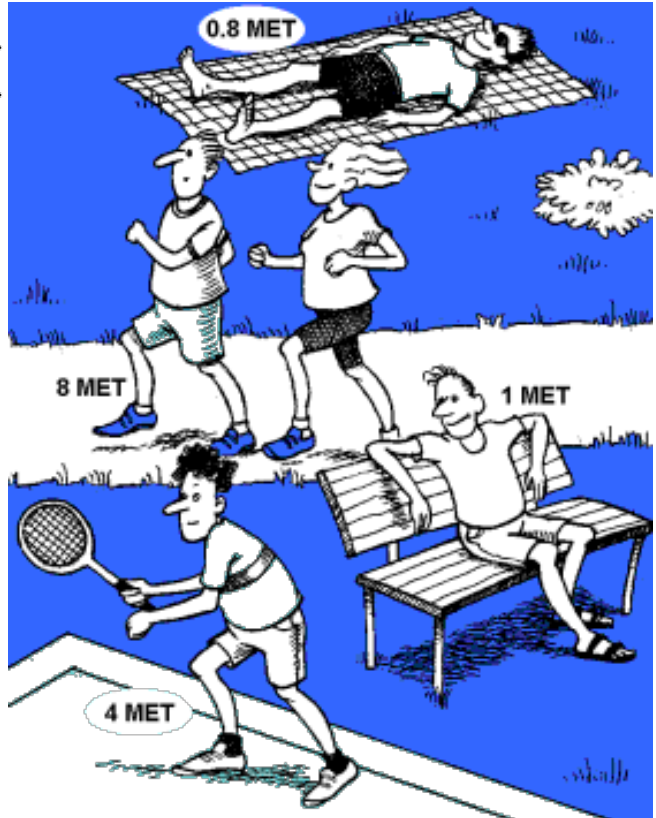
## ◎ 개인적 변수 (subjective variable)

- 활동량(activity) : 인체의 활동량은 met(metabolic rate)라는 단위로 표현. 1met는 열적으로 쾌적한 상태에서 의자에 앉아 안정을 취하고 있을 때의 활동량으로서  $1 \text{ met} = 58.2 \text{ W/ m}^2$  임. 통상의 사무실 작업시에는 1.1~1.4 met의 활동량에 해당하며, 농구와 같은 격한 운동시에는 5.0~7.6 met의 활동량에 해당
- 착의량(clothing) : 인체의 착의량은 입고 있는 의복의 단열성으로 나타내며 clo라는 단위로 표현. 착의상태의 단위인 clo는 기온 21℃, 상대습도 50%, 기류속도 0.5m/s 이하의 실내에서 인체 표면으로부터의 방열량이 1met의 활동량과 평형하는 착의상태에서, 피부 표면으로부터 의복 표면까지의 열저항값을 의미. 1 clo를 보통의 열저항치로 환산하면  $1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2\text{C/W}$ 가 됨. 겨울철의 두꺼운 신사복은 약 1 clo, 여름철의 얇은 신사복은 약 0.6 clo. clo 값은 정확하게는 열적 마네킹(thermal mannequin)에 의해 측정할 수 있고, 도표를 통해 산출할 수도 있음
- 나이(age) : 일반적으로 나이 많을수록 활동량 감소하고, 냉온감에 영향 받기 쉬우며, 주위 환경의 변화에 크게 영향을 받게 됨
- 성별(sex) : 여성은 일반적으로, 피부온도가 남성보다 낮고, 피부 표면에서의 증발에 의한 열손실이 남성보다 작으며, 옷을 얇게 입기 때문에 냉온감의 지각과 쾌적 열환경 범위에 있어 남성과 약간 차이가 있음

- 활동량 (Metabolic rate)
- 인체의 활동량은 met 단위로 표현
- 1 met = 58.2 W/m<sup>2</sup>

1 met = 58.2 W/m<sup>2</sup>

	W/m <sup>2</sup>	met <sup>a</sup>
<b>Resting</b>		
Sleeping	40	0.7
Reclining	45	0.8
Seated, quiet	60	1.0
Standing, relaxed	70	1.2
<b>Walking (on level surface)</b>		
3.2 km/h (0.9 m/s)	115	2.0
4.3 km/h (1.2 m/s)	150	2.6
6.4 km/h (1.8 m/s)	220	3.8
<b>Office Activities</b>		
Reading, seated	55	1.0
Writing	60	1.0
Typing	65	1.1
Filing, seated	70	1.2
Filing, standing	80	1.4
Walking about	100	1.7
Lifting/packing	120	2.1

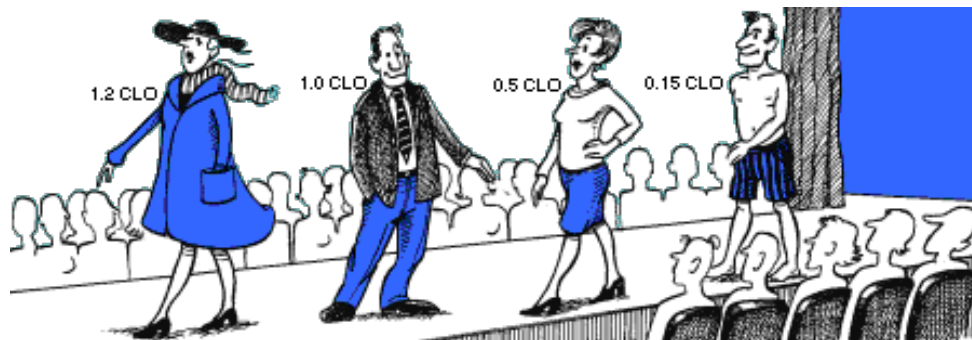
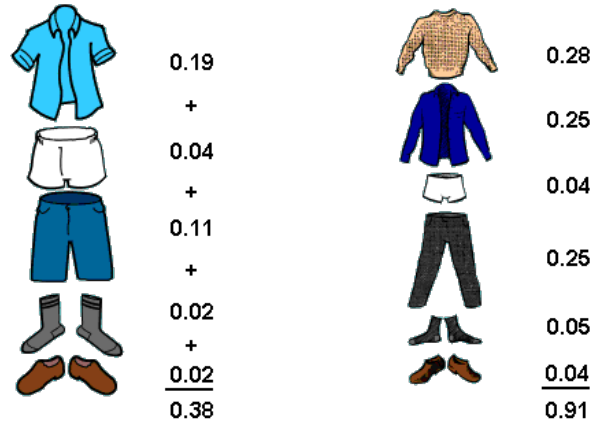


INNOVA, 2002

인체의 표면적? 어른 1.5~1.8 m<sup>2</sup>

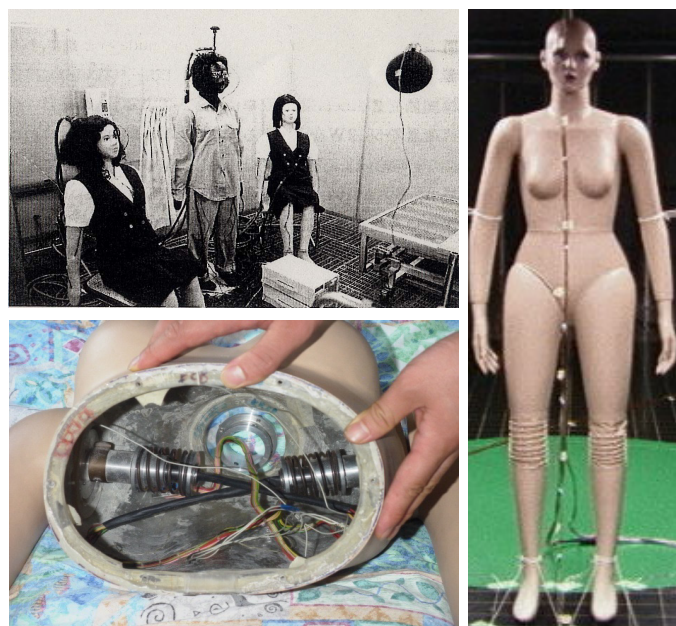
- 착의량 (Clothing value)
- 인체의 착의량은 clo 단위로 표현
- 입고 있는 의복의 단열성
- 1clo = 0.155m<sup>2</sup> °C/W의 열저항

Insulation for the entire clothing:  $I_{cl} = \sum I_{clu}$



INNOVA, 2002

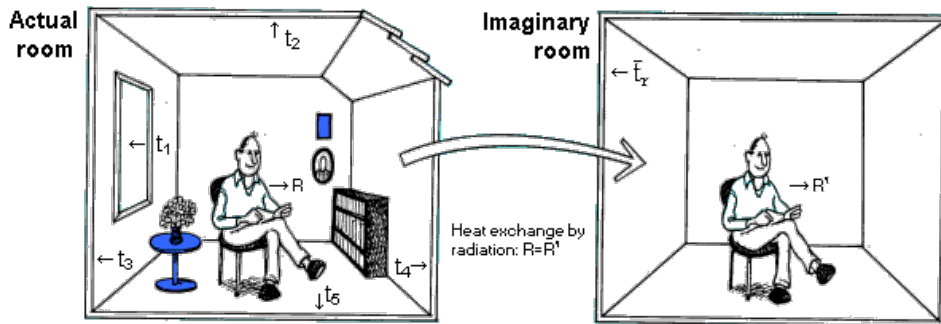
- 의복의 열저항 측정
- Thermal manikin : 인체의 열적 상태를 조절할 수 있는 마네킹



## ◎ 물리적 변수 (physical variable)

- 기온(air temperature)
  - 일반적으로 사용하는 공기의 건구온도
  - 가장 중요한 온열환경 요소
- 평균복사온도(mean radiant temperature)
  - 인체와 복사에 의해 열을 교환하는 주변공간 표면온도의 평균값
  - 경우에 따라 기온보다 더 큰 영향을 미치기도 함
- 기류(air movement)
  - 실내 공기의 흐름
  - 대류에 의한 인체의 열손실 증가로 인체 열평형에 영향 미침
- 습도(humidity)
  - 일반적으로 인체의 냉온감에 영향 미침
  - 고온이나 저온에서는 인체 열평형에 크게 작용하나, 중간온도 범위에서는 영향력 감소

- 평균복사온도(mean radiant temperature)



INNOVA, 2002



$$T_{mrt}^4 = T_g^4 + C\bar{V}^{1/2}(T_g - T_a)$$

$T_{mrt}$  = mean radiant temperature, R or K

$T_g$  = globe temperature, R or K

$T_a$  = ambient air temperature, R or K

$\bar{V}$  = air velocity, fpm or m/s

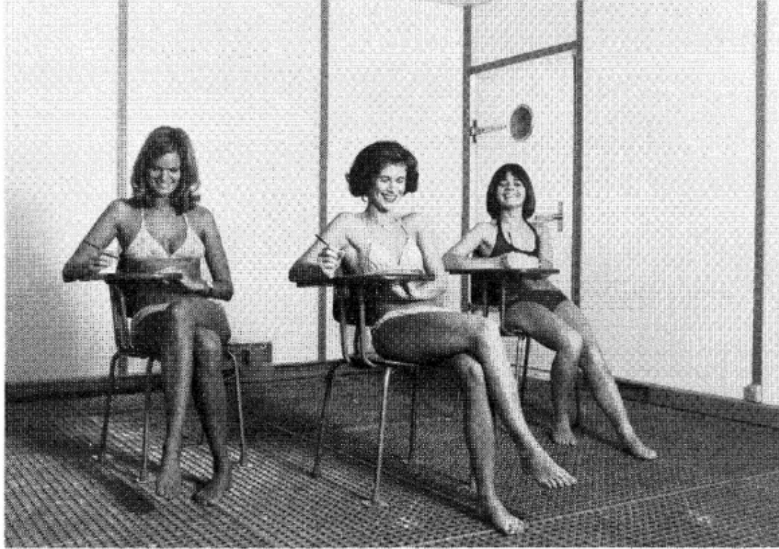
$C = 0.103 \times 10^9$  (English units) =  $0.247 \times 10^9$  (SI units)

## ◎ Comfort-Physiological Considerations (쾌적과 생리적인 고려)

### 인체 요소들

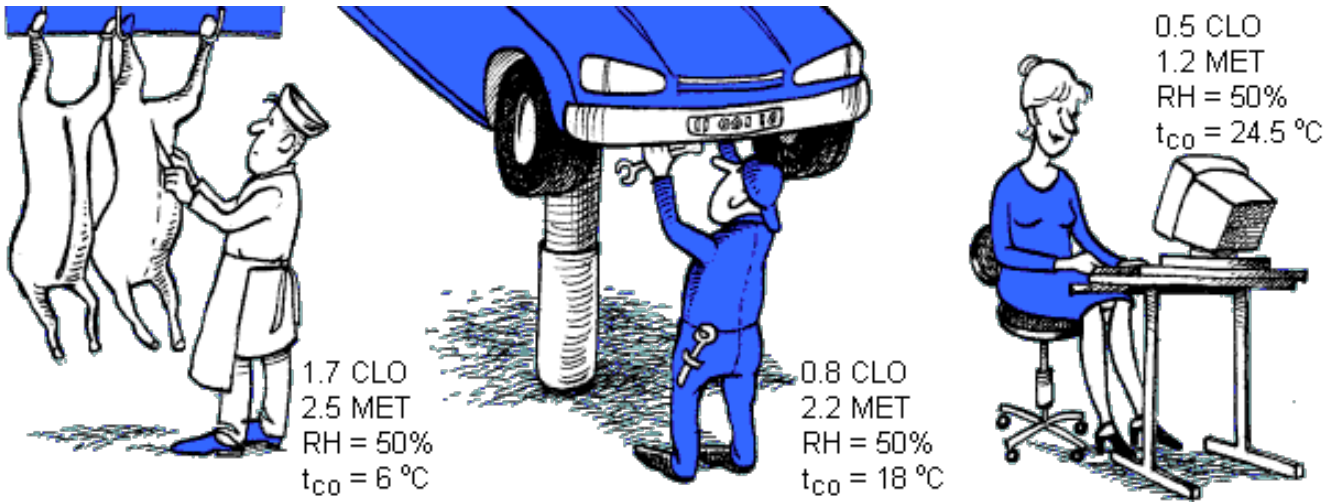
이론에 의한 지표 (Rational Indices)

실험에 의한 지표 (Empirical Indices)



"Experiments with subjects in a climatic chamber" from [B.W Olesen, Thermal comfort, 1982.](#)

- Comfortable temperature 쾌적한 온도란?



INNOVA, 2002

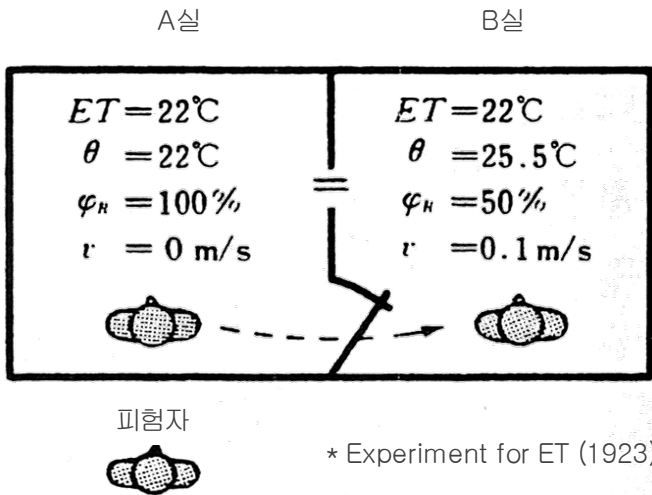
## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. ANSI/ASHRAE Standard 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (2020)
2. INNOVA AirTech Instruments, Thermal Confort (2002)
3. ASHRAE Handbook Fundamental (2019)
4. 田中俊六, 最新環境工學, 井上書院 (2005)

### 3 열쾌적 지표

#### ◎ Effective Temperature (ET\*) 유효온도

- 실제 환경에서 재실자의 피부에서 같은 열손실을 가져오는 상대습도 100%일 때의 온도



最新環境工學, 2005

Factor	Change	Temperature
RH	±35%	±1.1 ° C
MRT	±0.8	±1.1 ° C
V	+ 0.1 m/s	+ 1.1 ° C
clo	±0.15 clo	±1.1 ° C
Met	+ 0.5 Met	-3.0° C

## ◎ Operative Temperature (OT) 작용온도

- MRT와 기온의 평균

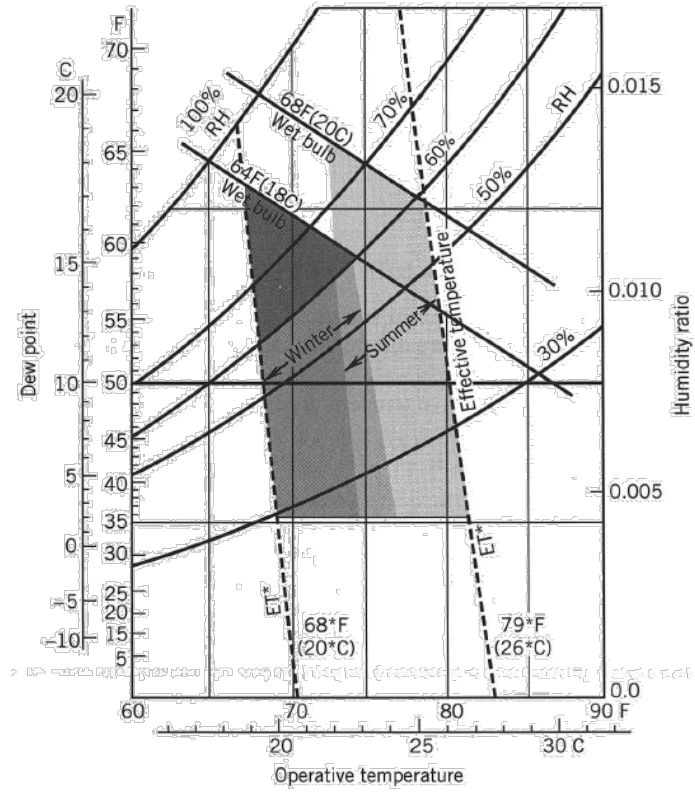
<예제> 어느 실내의 창 옆에 있는 작업대의 작용온도(OT)를 구하시오. 작업대에서의 건구온도와 흑구온도가 각각 23 °C와 27 °C이고, 풍속은 0.5 m/s로 가정한다.

$$T_{mrt}^4 = T_g^4 + C\bar{V}^{1/2}(T_g - T_a)$$

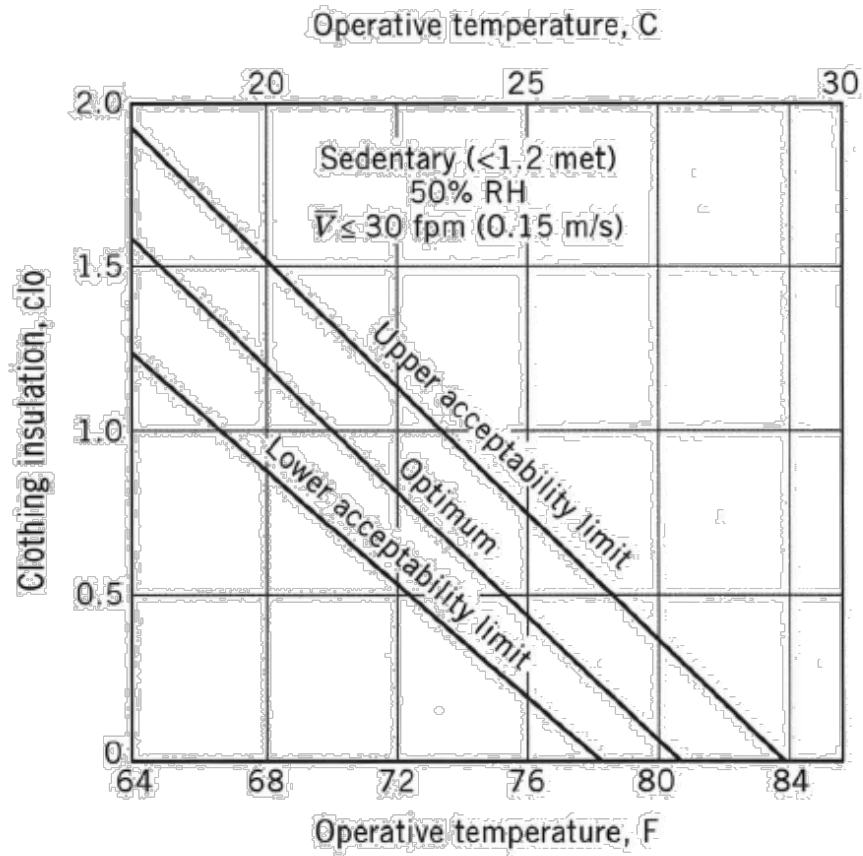
$$\begin{aligned} T_{mrt} &= \left( (27 + 273)^4 + 0.247 \times 10^9 \times 0.5^{1/2} \times (27 - 23) \right)^{\frac{1}{4}} \\ &= 306.3 \text{ K} = 33.3 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$OT = \frac{33.3 + 23}{2} = 28.2 \text{ }^\circ\text{C}$$

- 열쾌적 범위
- 가벼운 작업을 하거나 안정된 상태에 있는 사람(≤1.2 met)이 여름이나 겨울철에 쾌적하다고 느끼는 작용온도(OT)와 상대습도의 범위

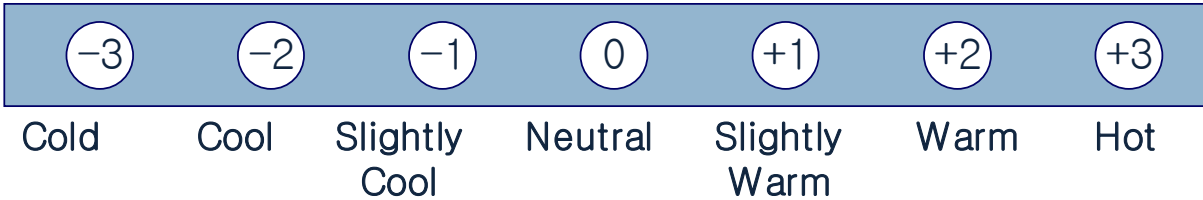


- 착의량과의 관계
- 가벼운 작업을 하거나 안정된 상태에 있는 사람( $\leq 1.2$  met)에 대하여 주어진 작용온도(OT)에서 착의량과 열쾌적성의 관계



### ◎ Predicted Mean Vote (PMV) 예상평균온열감

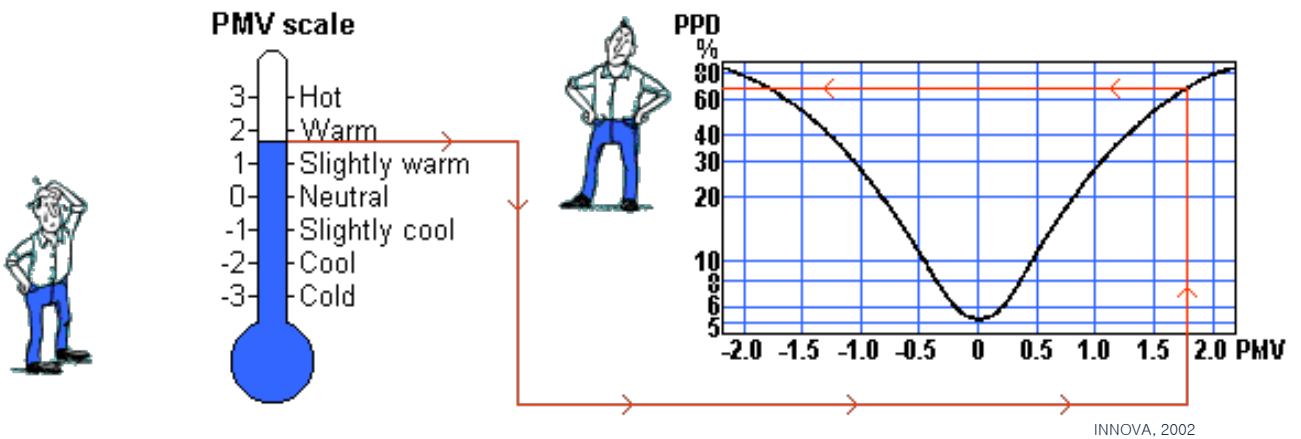
- PMV (Predicted Mean Vote)
- 온열환경의 6개 인자에 의한 영향을 종합하여 열쾌적성을 평가하는 지표
- 덴마크 Fanger가 제안한 열쾌적 방정식으로 구함



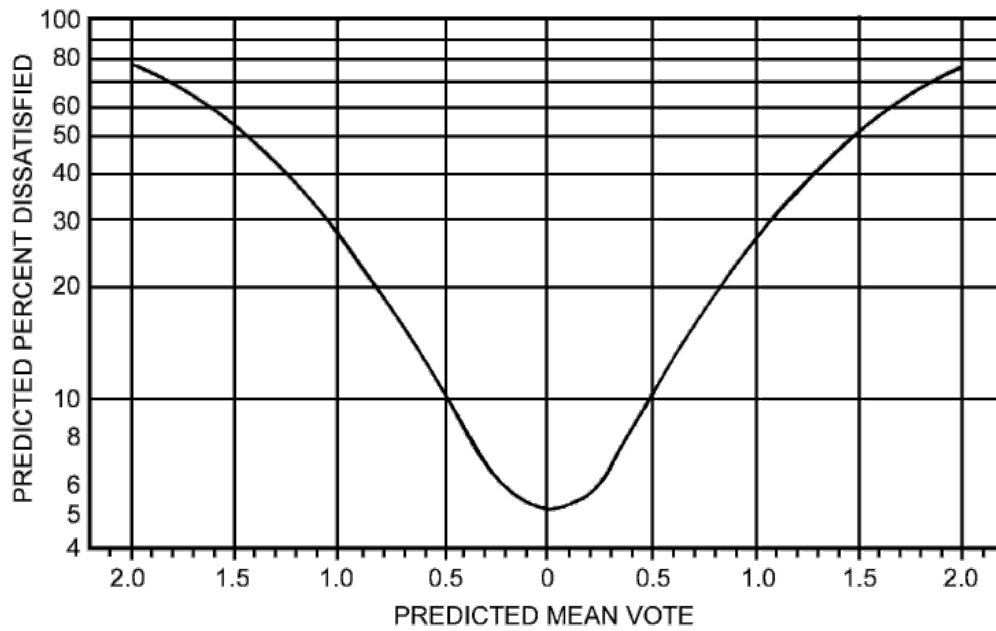
- 1984년 ISO에 의해 ISO-7730으로 국제 규격화
- ISO 쾌적기준 :  $-0.5 < PMV < +0.5$

- Predicted Mean Vote (PMV) 예상평균온열감

$$PMV = (0.303 * e^{-0.036 * M} + 0.028) * [(M - W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}]$$



- Predicted percent dissatisfied (PPD) 예상불만족도



$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-\left(0.03353 \cdot PMV^4 + 0.2179 \cdot PMV^2\right)}$$

ASHRAE Handbook

- PMV의 측정
- 기온
- 상대습도
- 풍속
- 복사온도(MRT)
- 활동량(met)
- 착의량(clo)

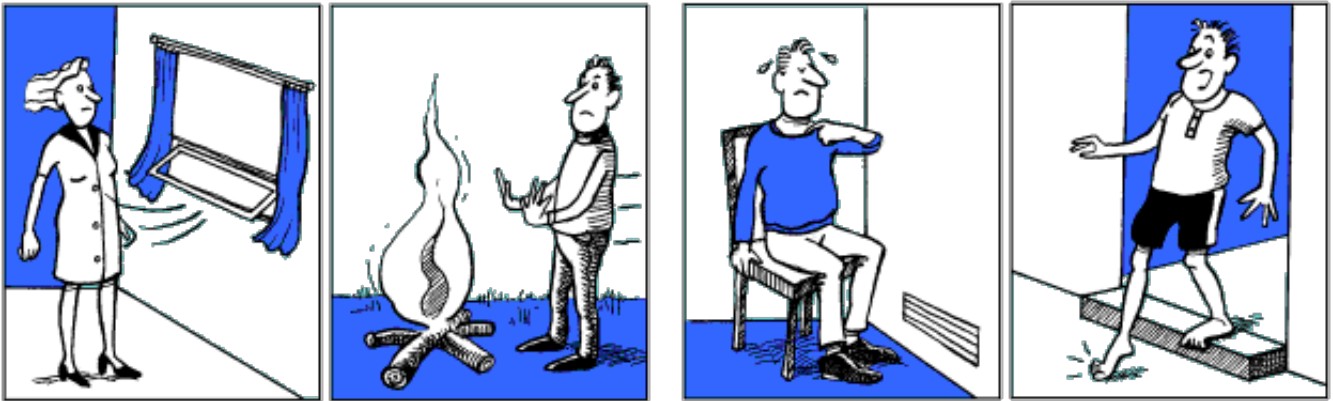


TESTO

## 4 국소 열쾌적

### ◎ Local Thermal Discomfort (국소 열쾌적)

- 찬바람에 의한 인체의 국부적인 대류 냉각
- 복사에 의한 인체 일부의 가열 또는 냉각
- 수직 온도차에 의한 인체의 차가운 하체와 더운 상체
- 쾌적하지 않은 바닥온도로 인한 뜨겁거나 차가워진 발



INNOVA, 2002

- Draft (Draught) 찬바람
- 찬바람은 냉난방이 이루어지고 있는 건물, 차량, 비행기 등에서 열쾌적과 관련하여 가장 일반적인 불만사항
- 바람에 의해 발생하는 피부의 열손실량은 바람의 난류강도, 기온, 그리고 평균 풍속에 의해 결정됨
- 바람의 변화에 따라 피부에서 갑작스런 온도 저하가 계속 발생하면 피부의 냉감 센서가 과도한 불쾌 신호를 발생시킴

$$DR = (34 - t_a) (v_a - 0.05)^{0.62} (37 \cdot SD + 3.14)$$

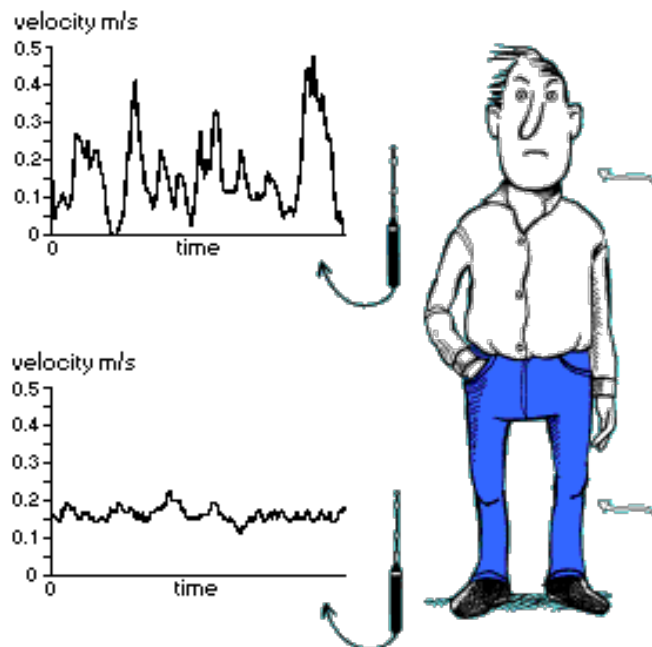
DR Draught Rating [%]

$t_a$  Air Temperature [°C]

$v_a$  Local Mean Air Velocity [m/s]

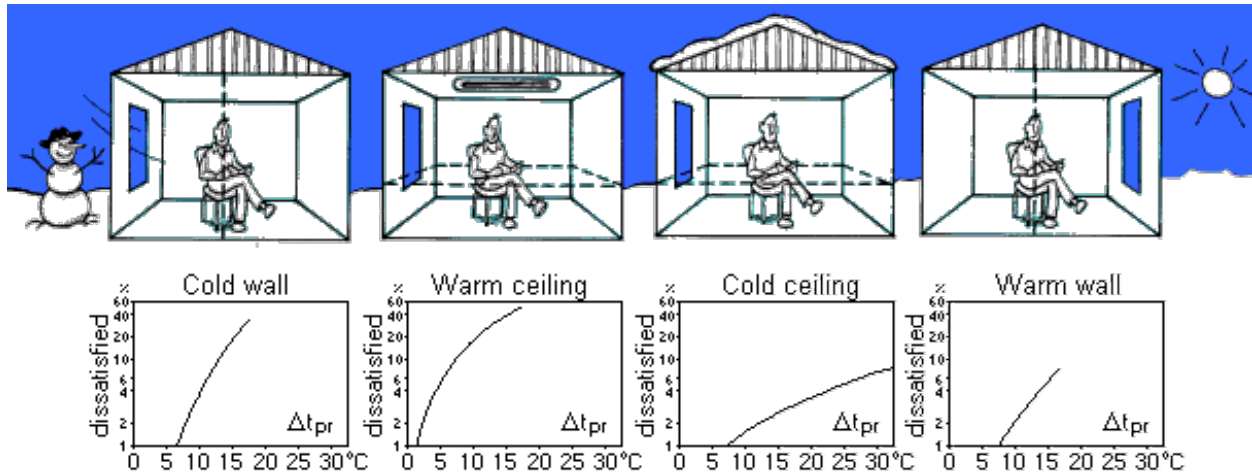
SD Standard Deviation of air velocity [m/s]

$$Tu = 100 \cdot \frac{SD}{v_a} \quad [%]$$



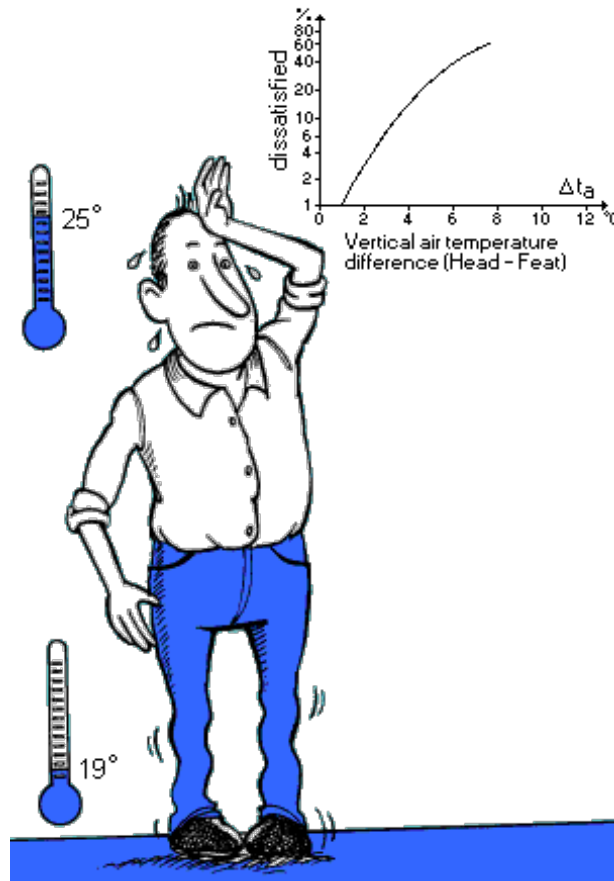
INNOVA, 2002

- Asymmetry of Thermal Radiation (열복사의 불균형)
- 실험에 따르면 따뜻한 천장과 차가운 창에 노출된 사람들이 가장 큰 불쾌감을 느끼고 차가운 천장과 따뜻한 벽에 노출된 사람들이 가장 적은 불쾌감을 느끼는 것으로 나타남
- 이 실험에서 모든 다른 표면과 기온은 동일하게 유지함



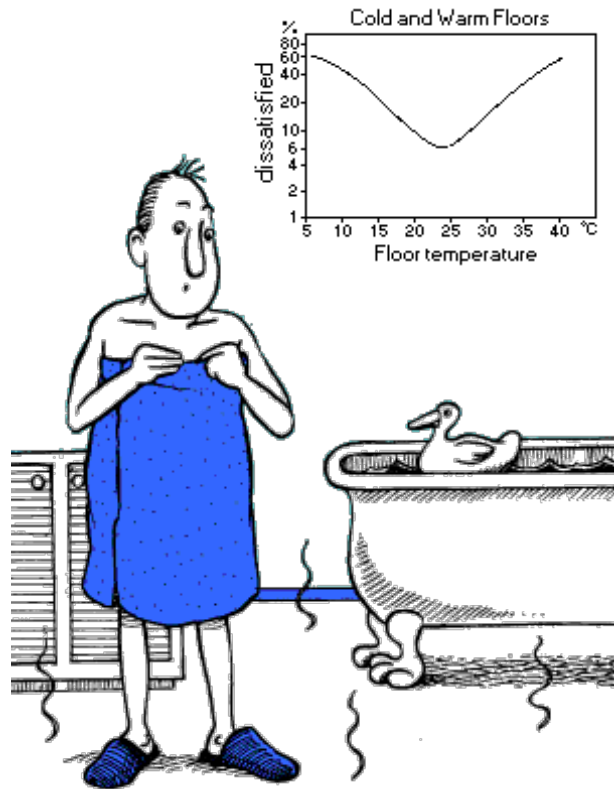
INNOVA, 2002

- Vertical Air Temperature Difference (수직 온도차)
- 열적으로 안정된 사람을 대상으로 한 실험에 따르면, 머리와 다리 높이의 온도가 3 °C 차이가 나면 5%의 사람이 불만족하는 것으로 나타남
- ISO 7730에서도 가만히 앉아 있는 사람의 수직 온도차이 기준을 3 °C로 하고 있음



INNOVA, 2002

- Floor Temperature (바닥 온도)
- ISO 7730은 앉아 있는 사람의 쾌적 수준을 10% 불만족한 상태로 규정
- 바닥온도 19 °C~29 °C 사이에서 10% 불만족을 나타냄
- 하지만 맨발인 사람을 대상으로는 다른 기준이 유효할 수 있음. 예를 들어, 대리석으로 되어 있는 화장실 바닥의 최적 온도는 29 °C이지만 나무에 리놀륨으로 마감된 바닥은 26 °C가 최적 온도임



INNOVA, 2002

## ◎ 참고 서적 및 사이트

1. ANSI/ASHRAE Standard 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (2020)
2. ISO 7730 Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria (2005)
3. INNOVA AirTech Instruments, Thermal Confort (2002)
4. ASHRAE Handbook Fundamental (2019)
5. 田中俊六, 最新環境工學, 井上書院 (2005)