

2025 제로에너지건축 전문인력 양성교육

보급형 입문교육



2025
제로에너지건축
전문인력 양성교육

보급형 입문교육 8기(아주대)

Contents

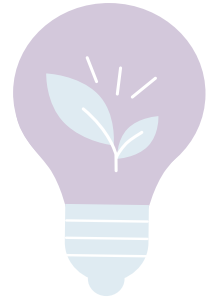
2025 제로에너지건축 전문인력 양성교육
보급형 입문교육 8기(아주대)



PART
B

ZEB 기술

B.1 ZEB 신재생 기술 개요	8
1. 신재생 기초 및 지열	8
2. 태양광 및 태양열	20
3. 기타 신재생 기술	30



PART
C

ZEB 신재생 기술

C.1 태양광, BIPV 설비 기술	42
1. 태양광발전 기초지식	43
2. ZEB와 태양광발전	54
3. 건물일체형 태양광발전(BIPV)	57
C.1 지열히트펌프 설비 기술	74
1. 지열히트펌프 원리	74
2. 지중열교환기 이해와 원리	79
3. 지열 히트펌프의 설계	84



2025
제로에너지건축
전문인력 양성교육

보급형 입문교육



ZERO ENERGY BUILDING
TRAINING TO BE PROFESSIONALS

PART B

ZEB 기술

[B.1]

ZEB 신재생 기술 개요

신재생 기초 및 지열

태양광 및 태양열

기타 신재생 기술

B.1

ZEB 신재생 기술 개요

교육 목표

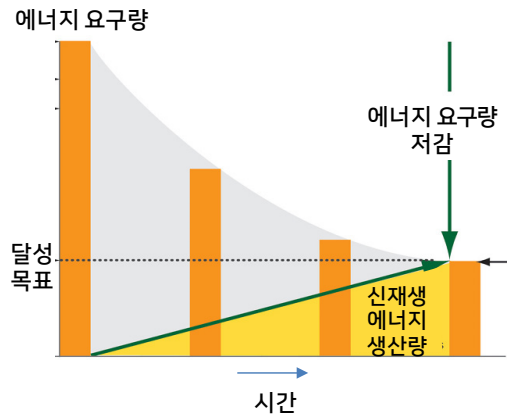
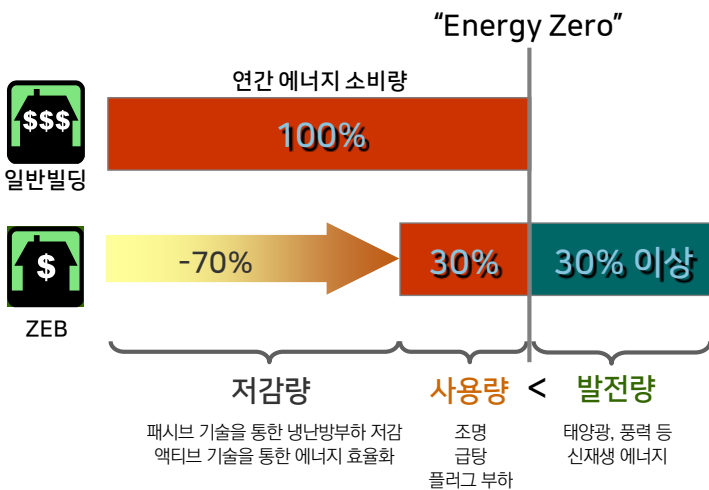
ZEB 신재생 기술 개요

- * 제로에너지 빌딩 구현을 위한 신재생 기술의 필요성 이해
- * 신재생 기술의 정의 및 특징 이해
- * 지열을 이용한 건물 냉난방 및 급탕 기술 이해

1 신재생 기초 및 지열

◎ ZEB 달성 개념

- 건물 효율화(패시브+액티브 기술)를 통해 에너지 요구량을 큰 폭으로 저감한 후,
- 신재생에너지 등을 통해 사용량을 초과하는 에너지를 생산하여
- 연간 에너지 수지(收支)를 “0” 또는 “+”로 유지



◎ 신재생 에너지 정의

- 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛·물·지열·강수·생물유기체 등을 포함하여 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지(신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법 제2조)
- 신에너지 : 수소에너지, 연료전지, 석탄액화·가스화에너지 및 중질잔사유(重質殘渣油) 가스화 에너지
- 재생에너지 : 태양에너지, 풍력, 수력, 해양에너지, 지열에너지, 바이오에너지, 폐기물에너지

◎ 신재생 에너지 특징

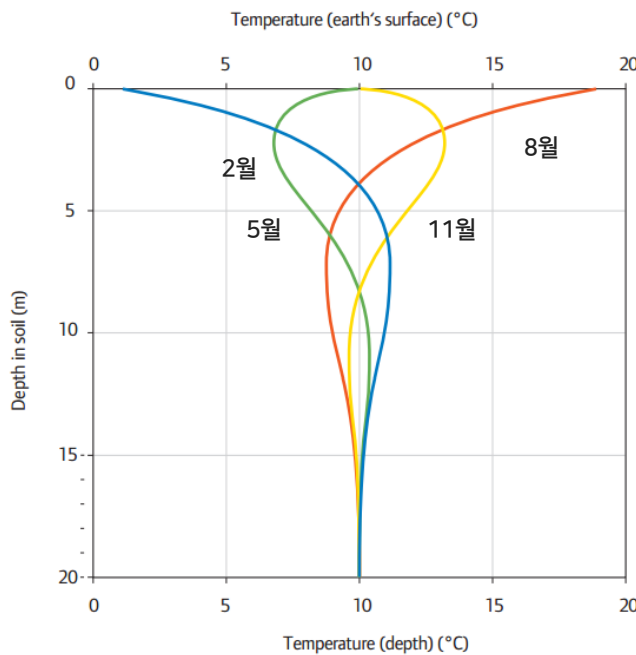
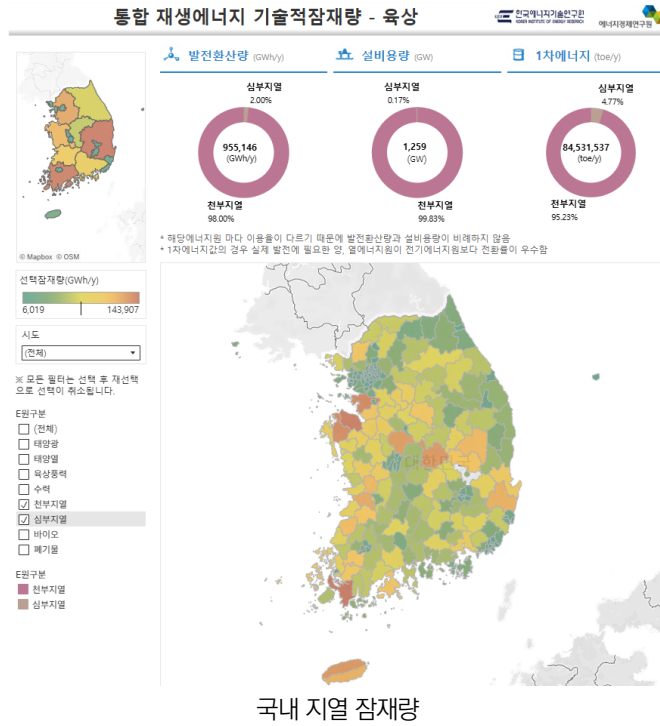
구분	체험세대
공공미래 에너지	시장창출 및 경제성 확보를 위한 장기적인 개발 보급 정책 필요
환경친화형 청정 에너지	화석연료 사용에 의한 CO ₂ 발생이 거의 없음
비고갈성 에너지	태양, 바람 등을 활용하여 무한 재생이 가능한 에너지
기술에너지	연구개발에 의해 에너지 자원 확보가 가능

◎ 신재생 에너지 중요성

- 화석연료의 고갈로 인한 자원확보 경쟁 및 고유가의 지속 등으로 에너지 공급방식의 다양화 필요
- 기후변화협약 등 환경규제에 대응하기 위한 청정에너지 비중 확대 필요
- 신재생에너지 산업은 IT, BT, NT 산업과 더불어 차세대 산업으로 시장규모가 급격히 팽창 중인 미래 산업

◎ 지열 에너지 개요

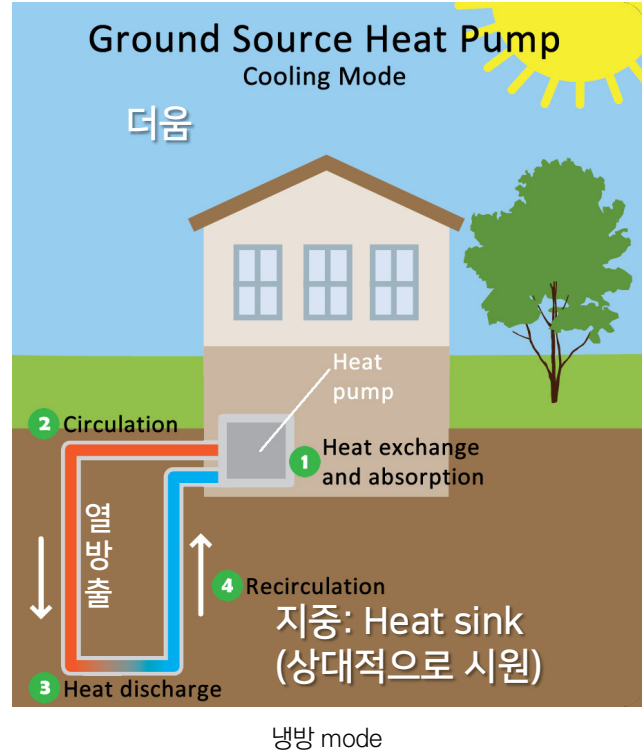
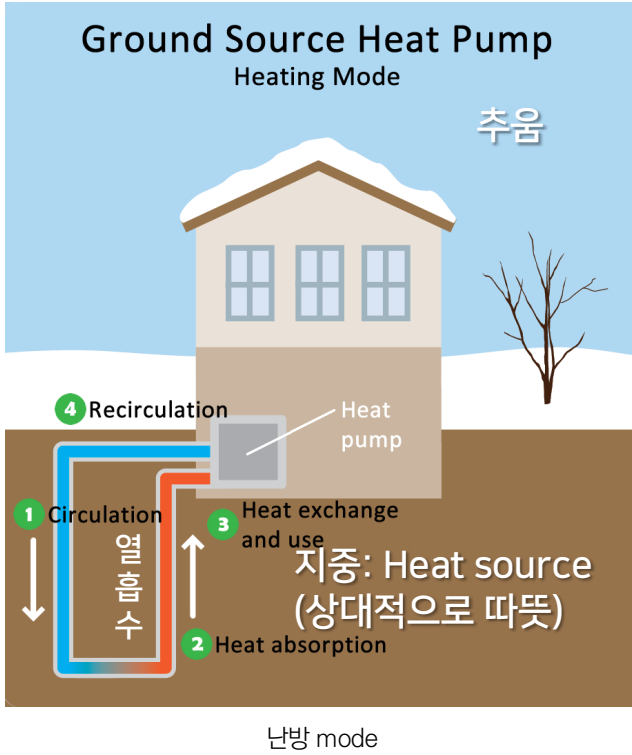
- 지하의 열을 냉·난방 시스템에 이용하거나 발전에 활용하는 기술
- 지중 온도는 하절기에 기온보다 낮고, 동절기에 기온보다 높아 냉난방에 활용 가능
- 지중온도의 안정성으로 혹서기나 혹한기에도 냉·난방의 성능 저하가 낮음
- 지속가능(sustainable), 재생가능한(renewable) 열원이며, 연중 온도의 변화가 거의 없는 장점



깊이별 지중온도 변화

◎ 지열 냉난방 시스템

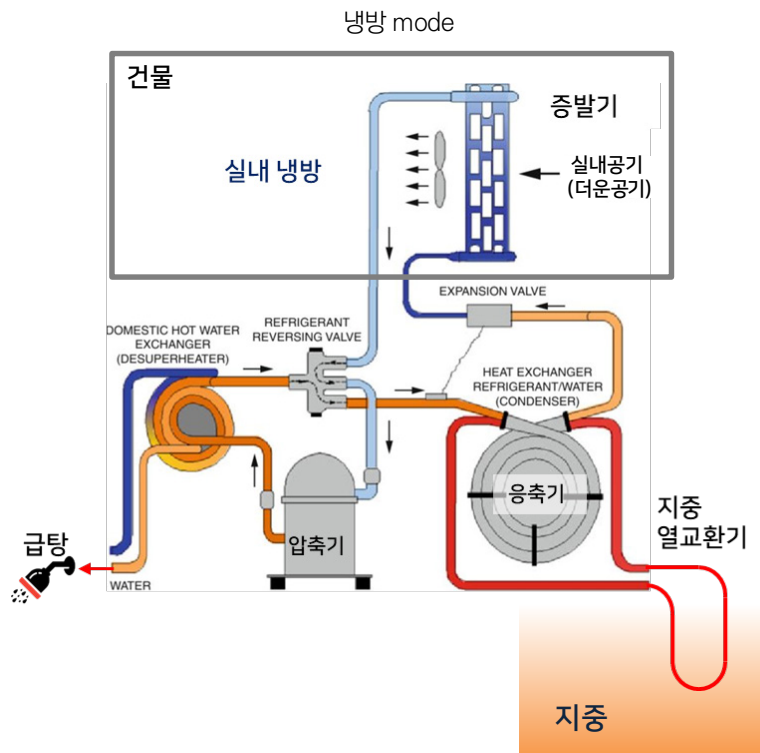
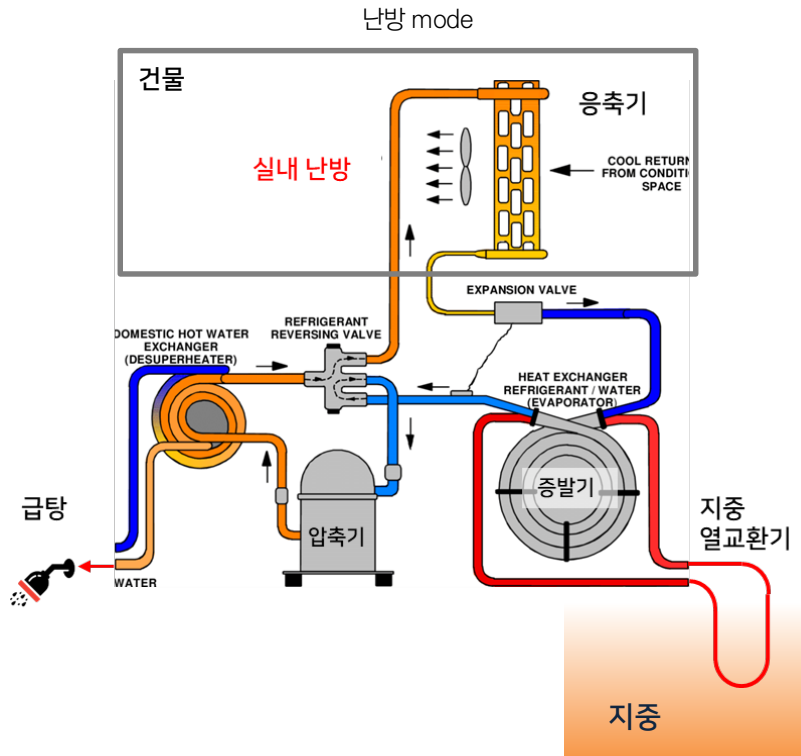
- 연중 일정한 온도를 유지하는 지하열원을 이용하여 냉난방 및 급탕을 동시에 해결
- 겨울에는 따뜻한 지중열을 흡수하여 난방하며, 여름에는 차가운 지중으로 더운 열을 버려 냉방
- 냉난방에 화석연료를 사용하지 않으며, 단지 원하는 온도와 효율을 높이기 위해 지열히트펌프를 사용



- 겨울철에는 지중이 heat source, 여름철에는 지중이 heat sink가 됨

◎ 지열 히트펌프

- 난방: 지중이 heat source (열흡수), 실내측이 응축기 (열방출)
- 냉방: 지중이 heat sink (열방출), 실내측이 증발기 (열흡수)
- 급탕: 압축기를 지나 고온상태가 된 냉매와 열교환하여 온수를 생산



◎ 지중 열교환기

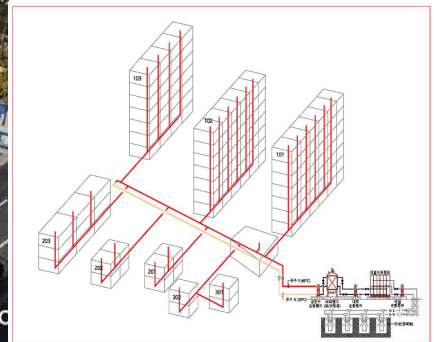
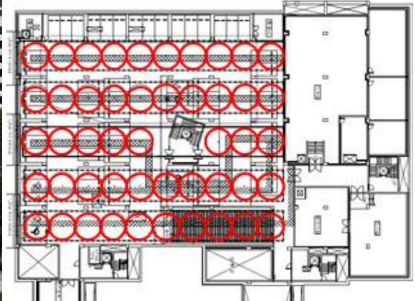
- 지열 냉난방 시스템에서 지중의 열을 흡수하거나, 지중으로 열을 방출하는 중요한 역할을 수행
- 지열을 회수하는 열교환기의 회로 구성에 따라 폐쇄형과 개방형으로 구분



- 폐쇄형 : 지중 열교환기의 배관내에 열교환을 위한 열매가 순환하는 형태 (수직형, 수평형, 말뚝형)
- 개방형 : 지하수를 열매로 직접 활용하는 형태. 우물관정형 (SCW: Standing column well)

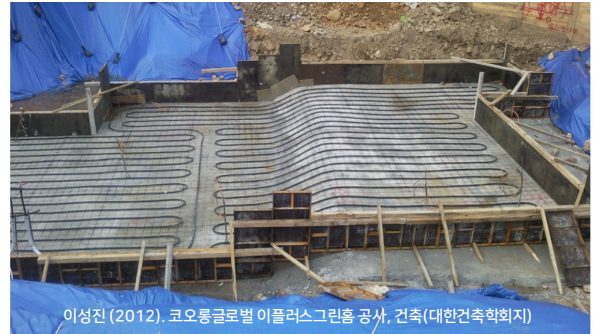
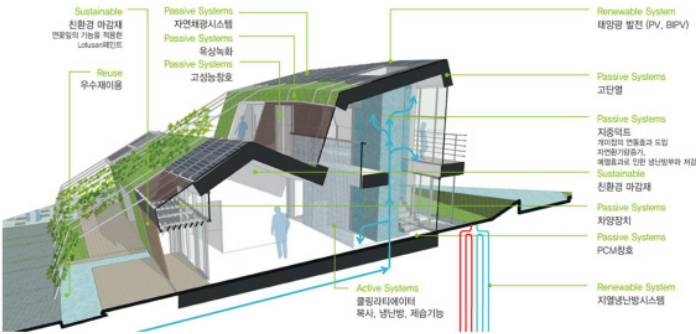
◎ 지열 에너지 활용 사례

- 노원구 제로에너지주택 실증단지



- '09년도 기준주택 대비 에너지사용량 61% 절감, 고효율설비로 13% 저감, 재생에너지로 33%의 에너지 생산 목표
- 지중열교환기 48공(난방용 20공, 급탕용 28공) 깊이 160m 천공, 총 130RT 용량 확보
- 히트펌프를 통해 55°C까지 가열 후 난방 및 급탕용으로 활용

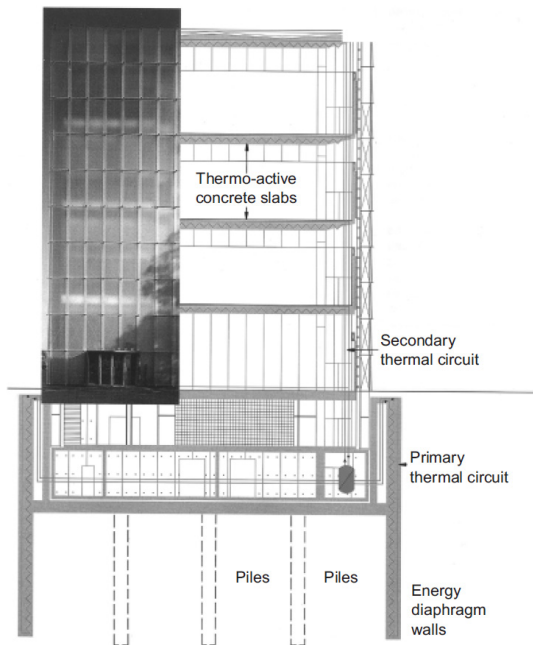
● E+ 그린홈



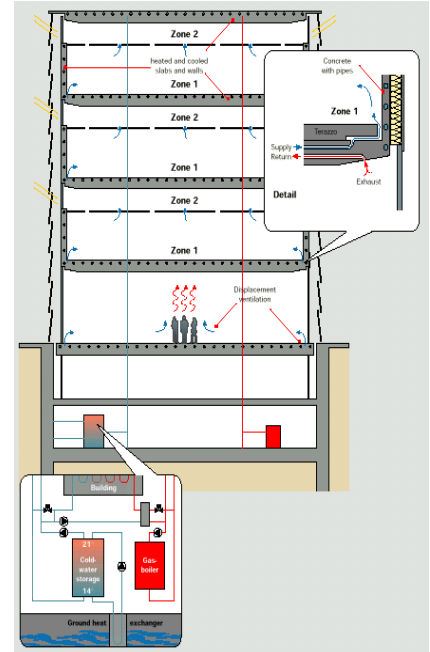
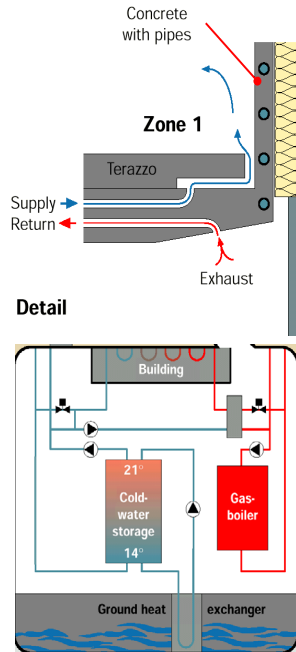
- 수직형 지중열교환기 2개소, 수평형 지중열교환기 1개소 설치하여 FCU 및 바닥복사냉난방에 활용
- 수직형 지중열교환기 중에서 하나는 히트펌프 연계없이 바로 바닥복사냉방에 활용

• Bregenz Art Museum

- 말뚝 및 지하옹벽에 지중 열교환기를 설치하여 지중으로부터 냉열을 흡수
- 14°C의 냉수를 바닥과 벽체에 매립된 냉수배관에 공급하는 구체축열시스템으로 냉방

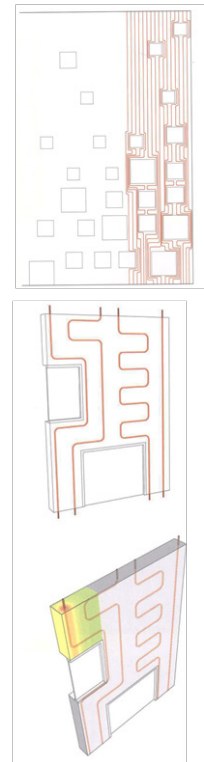
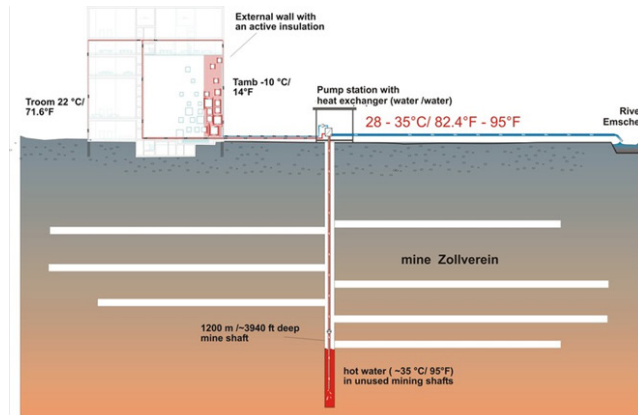
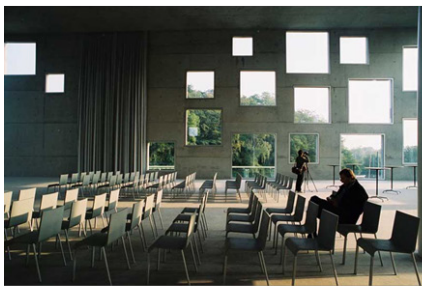


Brandl, H. (2006). Energy foundations and other thermo-active ground structures. *Géotechnique*, 56(2), 81-122.



Olesen, B. W., & Liedelt, D. F. (2001). Cooling and heating of buildings by activating their thermal mass with embedded hydronic pipe systems. *Proceedings of the ASHRAE-CIBSE*, Dublin, Ireland, 3-4.

- Zollverein School of Management and Design
- 인근의 폐광으로부터 35°C의 지하수를 끌어올려 벽에 매립된 배관에서 순환되도록 설계
- 온수가 순환되는 벽면이 일종의 동적 단열(active insulation) 기능을 하여 별도의 난방 없이도 쾌적한 실온 유지
- 신재생에너지와 결합된 액티브 기술이 실내환경의 효과적인 제어에 활용되는 사례



Moe, K. (2010). Thermally active surfaces in architecture. Princeton Architectural Press.

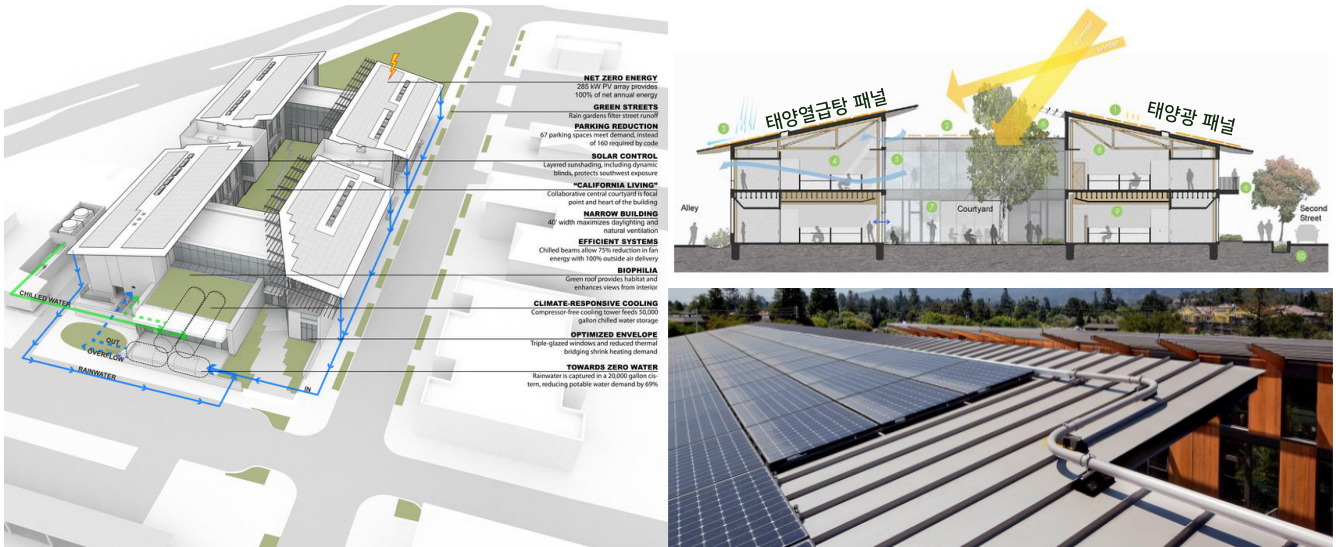
◎ 참고서적 및 사이트

1. 명지대학교 산학협력단 외 (2018). 제로에너지 주택 최적화모델 개발 및 실증단지 구축연구 최종보고서
2. 이성진 (2012). 코오롱글로벌 이플러스그린홈 공사, 건축(대한건축학회지)
3. Fridleifsson et al. (2008). Data from Lund, J.W., Freeston, D.H., and Boyd, T.L., 2005. Direct application of geothermal energy: 2005 Worldwide review. *Geothermics* 34, 691-727.
4. Hurter, S., & Schellschmidt, R. (2003). Atlas of geothermal resources in Europe. *Geothermics*, 32(4-6), 779-787.
5. Brandl, H. (2006). Energy foundations and other thermo-active ground structures. *Géotechnique*, 56(2), 81-122.
6. Olesen, B. W., & Liedelt, D. F. (2001). Cooling and heating of buildings by activating their thermal mass with embedded hydronic pipe systems. Proceedings of the ASHRAE-CIBSE, Dublin, Ireland, 3-4.
7. Moe, K. (2010). *Thermally active surfaces in architecture*. Princeton Architectural Press.
8. <https://home.kepco.co.kr/kepco/SM/C/htmlView/SMCCHP001.do?menuCd=FN29030304>
9. <https://kier-solar.org/user/potential/energy>
10. <https://web.uponor.hk/radiant-cooling-blog/thermally-active-building-systems-with-geothermal-energy-design-basics>
11. <https://www.epa.gov/rhc/geothermal-heating-and-cooling-technologies>
12. https://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?lcmspage=1&id=95080047

2 태양광 및 태양열

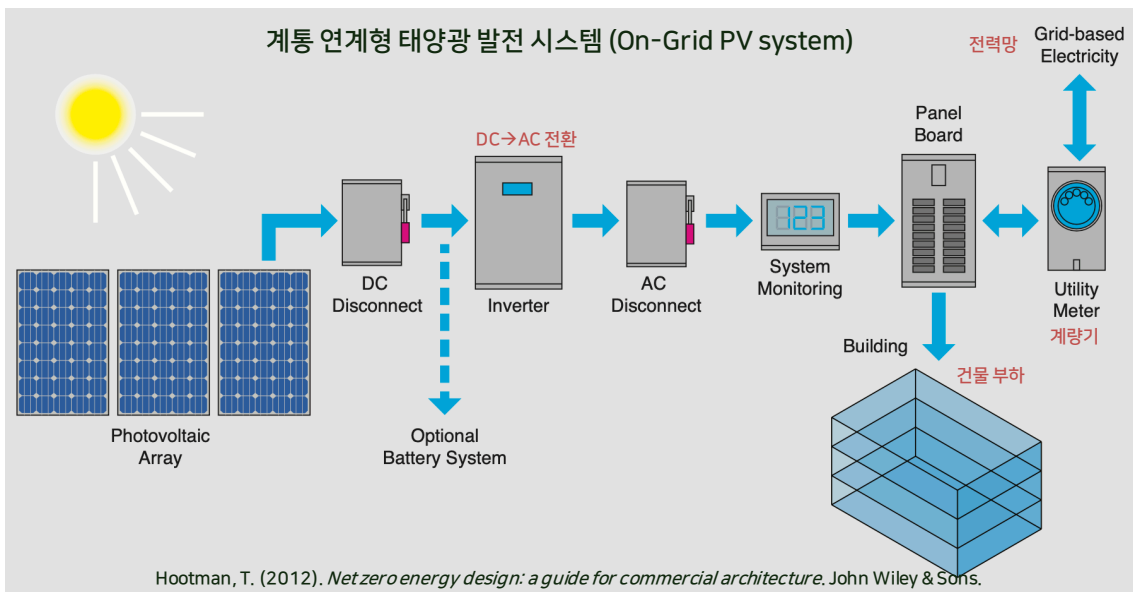
☉ 태양광 발전 기본 개념

- 태양전지(PV: Photovoltaic)를 활용하여 발전하는 태양광발전은 분산형 재생에너지 부문의 핵심
- 비교적 경제적이며 여러 규모로 프로젝트에 통합될 수 있어 ZEB에 가장 흔히 사용됨
- 생산된 전력을 다양한 용도에 이용할 수 있다는 것이 가장 큰 장점



Packard Foundation Headquarters Building

- PV에서 생산된 전기는 인버터로 교류로 변환한 후 건물내 전력 에너지원으로 활용
- 독립형 태양광발전: PV로 생산한 전력을 건물내에서 모두 소비
- 계통 연계형 태양광 발전: 생산한 일부 전기는 배터리로 충전하거나, 전력 계통(Grid)과 연계하여, 생산된 전력 중 잉여분은 전력망으로 내보냄



◎ 태양광 발전의 형태

- 태양광 발전 초기에는 태양에너지 수집이 용이하도록 옥상, 개활지에 독립적으로 PV를 설치
- 건물내에서의 전력 생산 필요성, 건축 디자인과의 조화, PV 효율 발전으로 인해 건물과 통합된 BIPV (Building-Integrated PV) 적용이 확대



주차장 설치 PV



옥상 거치 PV



지붕 싱글 형태 PV (Solar Shingle)



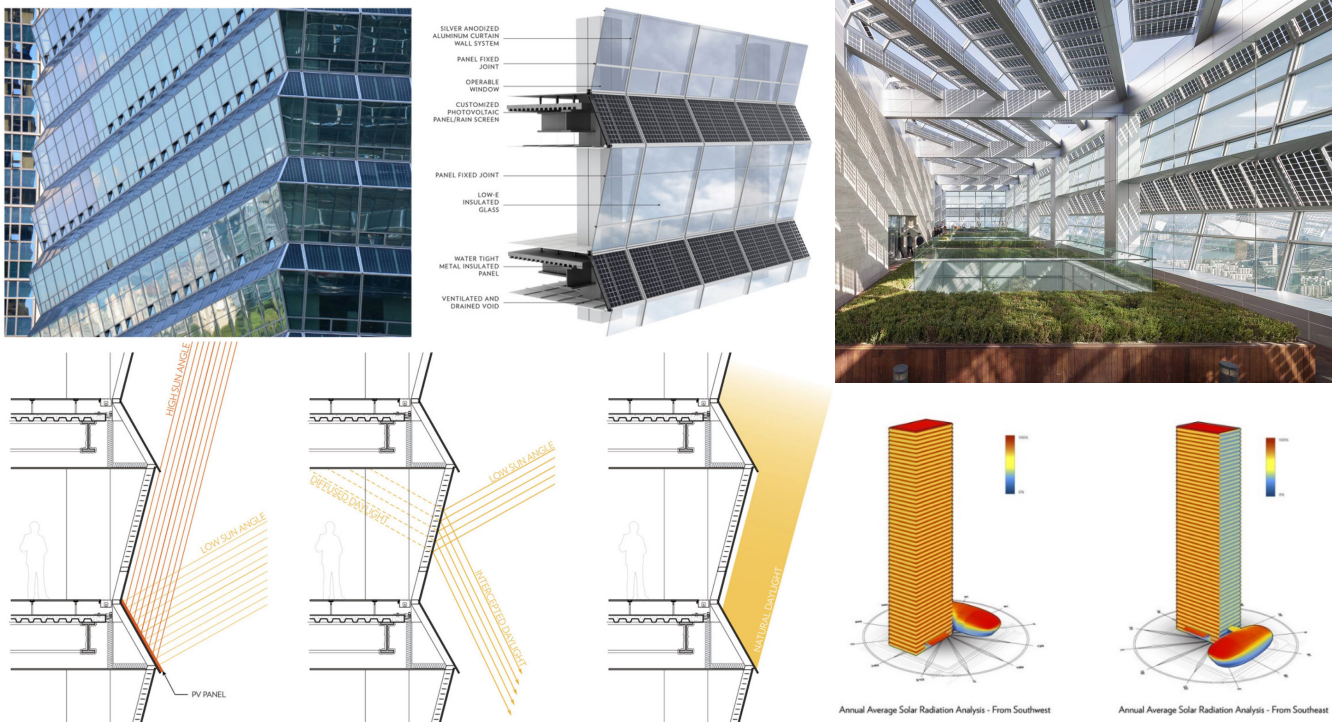
아파트 수직 외벽 설치 PV



아파트 옥상 설치 PV

◎ 건물 통합형 태양광발전(BIPV) 사례

- 전경련 회관
- 커튼월 단면을 지그재그로 계획하고 역경사 부분에는 차양을, 순경사 부분에는 PV 설치
- 역경사 부분은 직달일사가 실내로 유입되는 것을 최소화
- 순경사 부분의 PV는 수직면에 설치했을 때보다 일사 흡수면적을 증가시켜 발전량을 늘리도록 계획



- 애플 신사옥(Apple Park)
- 지붕면 전체에 걸쳐 생산량 14MW의 PV를 설치
- 자연환기를 최대한 활용하여 1년 중 9개월 동안 공조설비 가동 없이 냉난방 가능
- 태양광 발전으로 낮시간 동안 필요한 전력의 75% 공급 (나머지는 바이오연료, 연료전지)

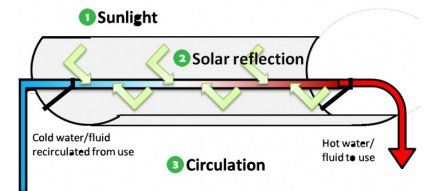
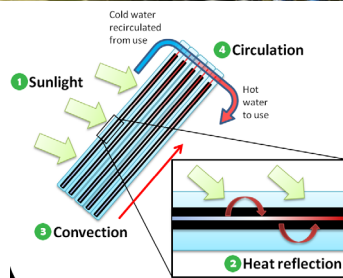
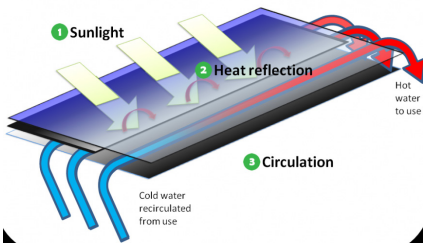


- California Academy of Science
- 자연채광을 위한 천창, 자연환기를 위한 개구부, 우수재활용 및 단열 역할을 겸하는 옥상 정원 'Living Roof' 계획
- 옥상녹화가 된 'Living Roof'의 둘레로 6만개의 태양전지(photo cell)를 배치
- 태양전지가 설치된 지붕은 차양의 역할도 수행하며, PV는 건물에 필요한 에너지의 5%를 공급



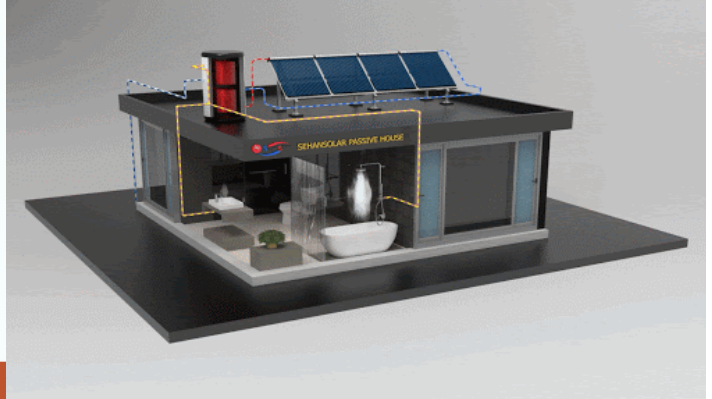
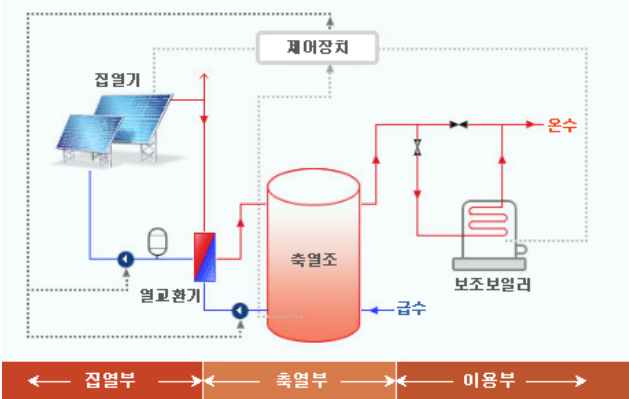
☉ 태양열 급탕 | 집열기

- 평판형: 가장 일반적인 평평한 형태의 집열기로, 투과체, 흡수판, 열매체관, 단열재로 구성
- 진공관형: 튜브 내부를 진공으로 만들어 열손실을 최소화함으로써 높은 온도의 온수를 생산
- 파라볼릭형: 포물선형의 반사판 가운데 집열관을 설치하여 고온의 온수를 생산

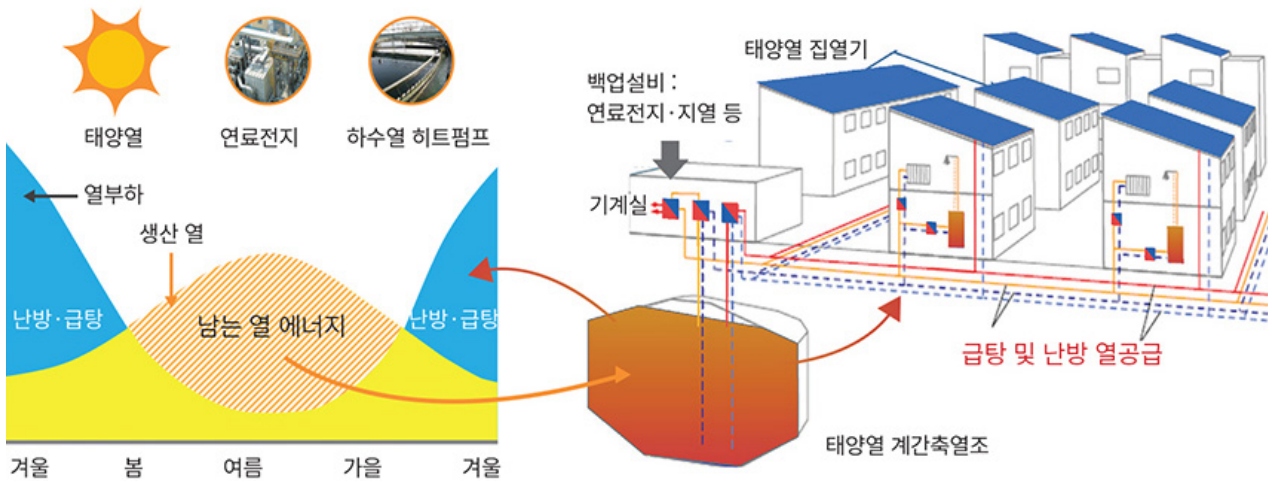


☉ 태양열 급탕 시스템

- 집열부, 축열부, 이용부로 구성되며, 안정적인 급탕 공급을 위해 축열조, 보조보일러 필요
- 하절기 잉여 생산량을 동절기에 활용하기 위한 방법으로, 대규모의 계간(季間)축열조를 적용하는 경우도 있음



• 계간 축열 개념

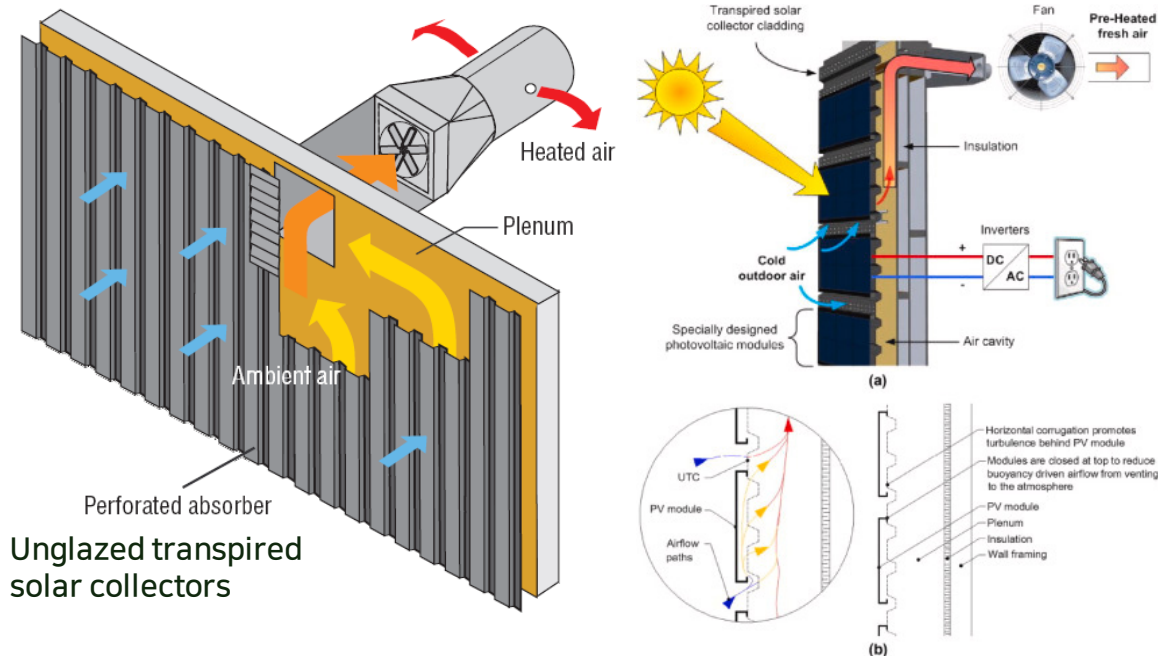


- 충북 진천 혁신도시 내 친환경에너지 타운에는 지열과 태양열로 생산된 온수를 저장하는 계간축열조가 설치되어 있음

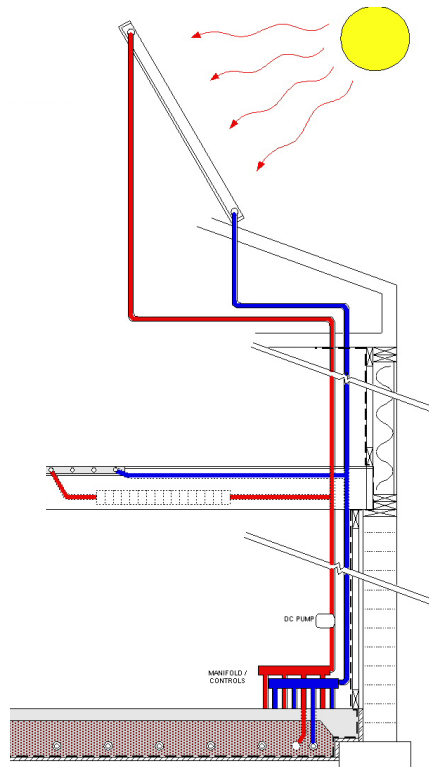


☉ 태양열 난방

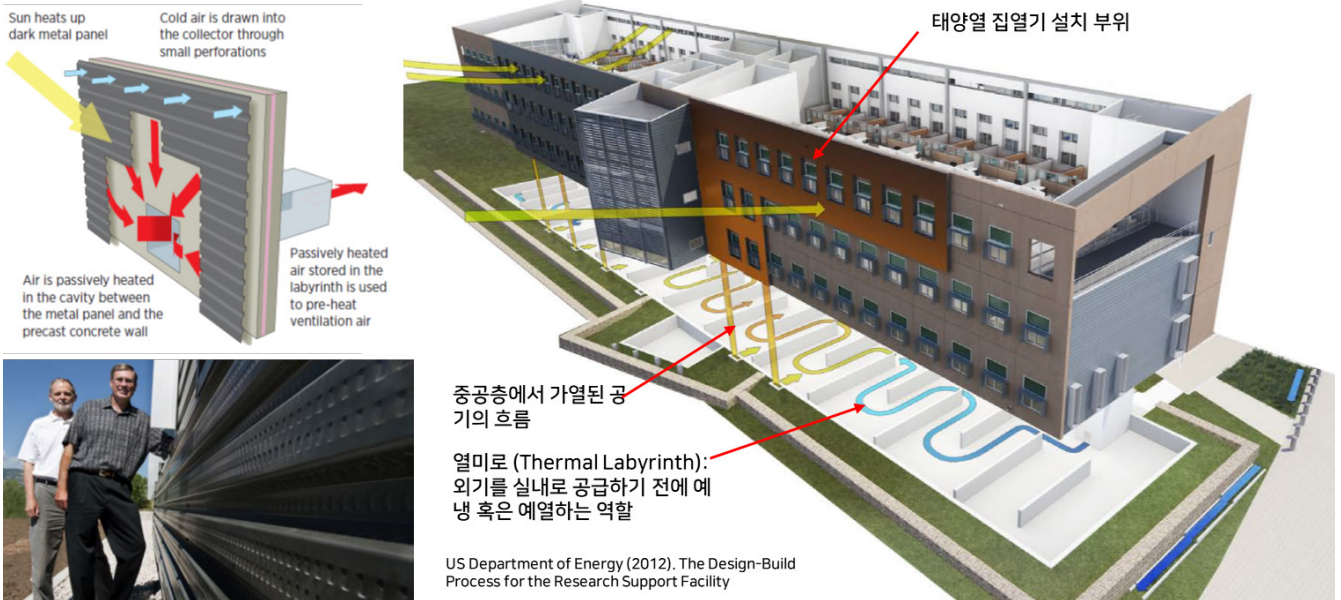
- 태양열 공기난방 (Solar air heating)
- 집열기(흡수율이 높은 금속재) 후면의 공기층을 가열, 가열된 공기를 실내 난방에 활용하거나 환기부하 절감에 활용



- 태양열 이용 저온복사난방
- 복사난방시스템이 저온수로도 난방이 가능함에 착안하여, 태양열로 생산된 온수를 구조체에 순환시켜 난방

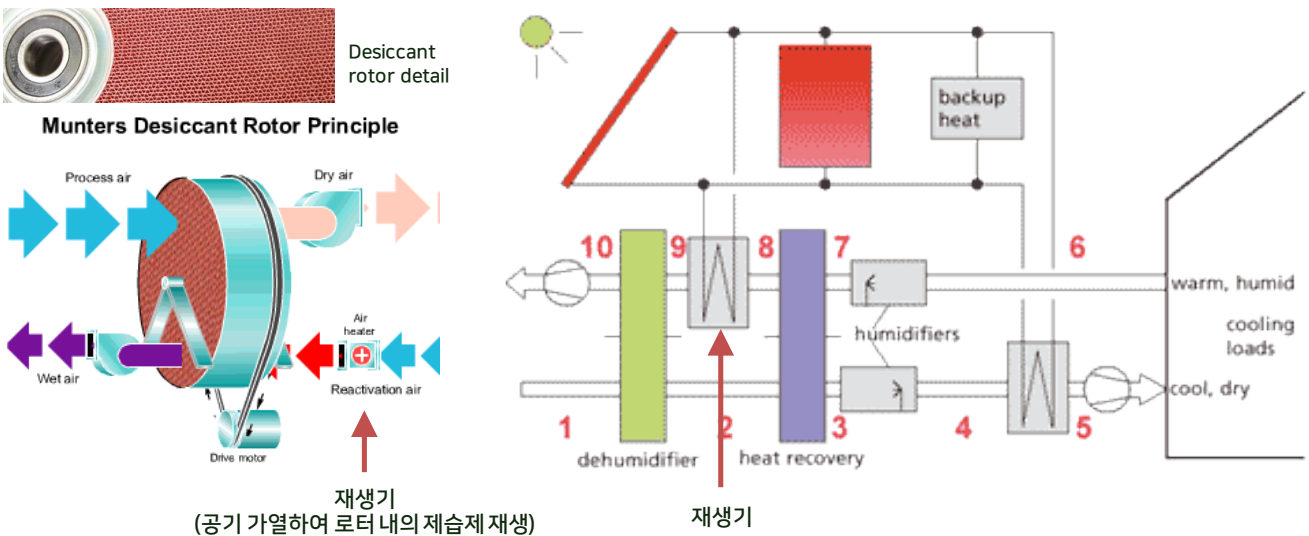


- NREL 연구소 연구지원시설의 남쪽 외벽 일부에 태양열 집열기(Transpired solar collector) 설치
- 동절기 맑은 날에 차가운 공기가 집열기를 통과하여 후면 중공층에서 가열된 후 건물 하부의 열미로(Thermal labyrinth)로 이동 → 공조기가 처리해야 하는 환기부하를 저감시킴



☉ 태양열 냉방

- 공기 중의 습도를 낮춰서 냉방 목적을 달성하는 것을 제습 냉방이라 함
- 제습 냉방은 주로 제습제를 활용하는데, 습기를 흡수한 제습제를 재생하여 다시 쓸 수 있도록 가열하는 것이 중요
- 기존 화학제습에서는 가스나 전기를 재생열원으로 활용하나, 태양열을 재생열원으로 활용할 수 있으며, 이는 하계 잉여 태양열을 활용하는 대안이 될 수 있음



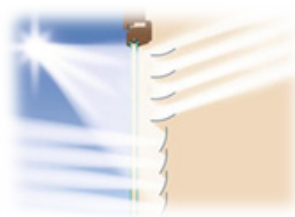
◎ 참고서적 및 사이트

1. US Department of Energy (2012). The Design-Build Process for the Research Support Facility
2. Ochs, F. et al. (2008). Solar assisted district heating system with seasonal thermal energy storage in Eggenstein-Leopoldshafen. Lisboa: In EuroSun.
3. US ACE (2011). Central Solar Hot Water System Design Guide
4. Hootman, T. (2012). Net zero energy design: a guide for commercial architecture. John Wiley & Sons.
5. <https://www.aiatopten.org/node/403>
6. <http://www.dasstech.com/en/pv-inverter/>
7. <https://urbannext.net/fki-tower/>
8. https://en.wikipedia.org/wiki/Apple_Park
9. <https://www.calacademy.org/efficient-building-design>
10. <https://greenhome.kemco.or.kr/ext/itr/intr/solarHeatIntro.do>
11. <http://www.sehansolar.co.kr/page/product1.php>
12. https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Solar_thermal_systems
13. http://www.eurotubeuropa.it/english/NL/2015/07/nl_07_4.html
14. <https://www.munters.com/ko/campaigns/airt-campaigns/munters-dessicant-rotor>

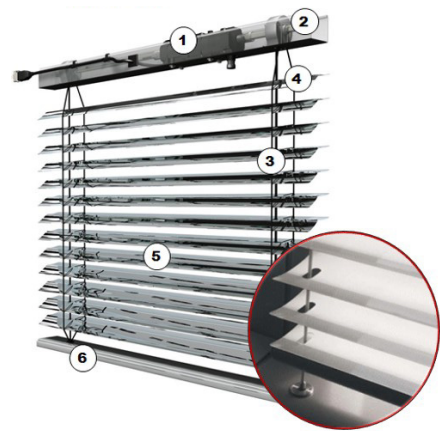
3 기타 신재생 기술

◎ 집광형 채광 시스템 개요

- 반사율이 높은 베네시안 블라인드(Venetian blind)의 형태로, 자연광의 입사각에 따라 슬랫(Slat) 각도를 변화시켜 실내로 자연광을 유입 → 조명에너지 절감, 눈부심(현휘) 차단, 냉방에너지 절감 효과
- 상부는 개방하여 실내로 자연광을 최대한 유입하고, 하부는 폐쇄하여 직사일광을 차단
- 2018년 신재생에너지로 지정 고시 (한국에너지공단 신재생에너지센터 공고 제2018-5호)



[집광채광 루버 구성 요소]

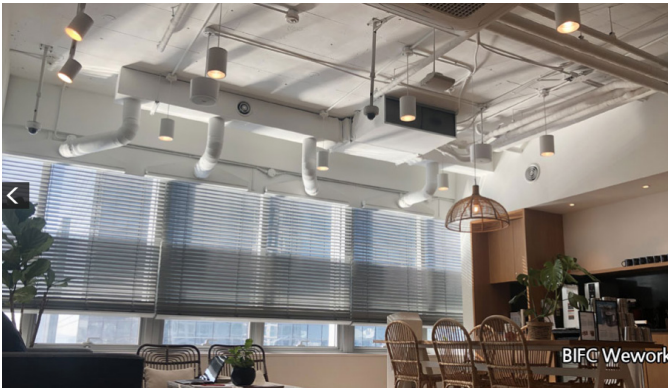


- | | |
|------------|-----------|
| ① 구동모터 | ② 보호커버 |
| ③ 상하부 조절장치 | ④ 각도 조절장치 |
| ⑤ 루버(슬랫) | ⑥ 하부 지지대 |



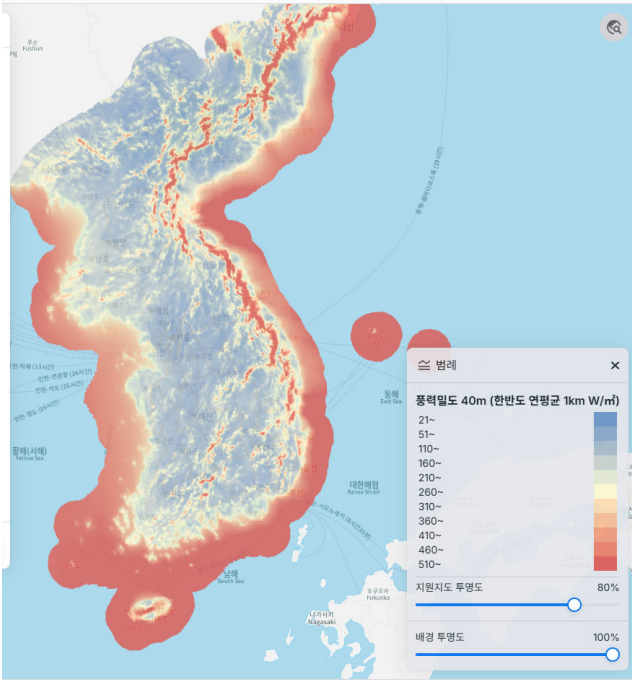
◎ 집광형 채광 시스템 사례

- 사무소 건물, 학교, 도서관, 주택 등 다양한 용도의 건물에 적용
- 상부로 유입되는 자연채광은 천장면을 밝히면서 실내 조도 및 균제도 향상
- 하부는 직사일광을 차단하여 편안한 시환경 제공



◎ 풍력 발전

- 2021년 기준 국내 풍력발전량의 비중은 신재생 에너지 중 7.5%, 전체 발전량 중 0.55%
- 풍력 자원의 분포상 해안/도서 지역, 산악 지역에 국한되어 적용
- 도서 지역의 경우 에너지 자립을 위한 주요 에너지원으로 활용(예: 제주도 CFI-탄소자립섬)



국내 풍력자원분석도(고도 40m 풍력 밀도)



풍력 발전 설비 현황(2019.06 기준)

◎ 건물통합형 풍력 발전

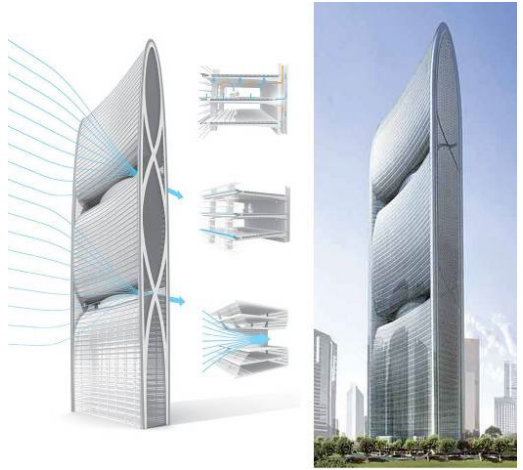
- 건물과 통합된 대형의 풍력 발전(BIWT)은 일부 기념비적인 건물에만 적용, 그 외는 주로 소형 Wind turbine 적용
- 건물의 특정 부위에서 풍속이 증가하도록 건물 매스와 형태를 계획하고, Wind turbine을 건물 디자인의 요소로 활용
- Wind turbine 운전에 따른 소음, 진동이 건물 내부에 전달되지 않도록 하는 설계가 관건



바레인 세계무역센터



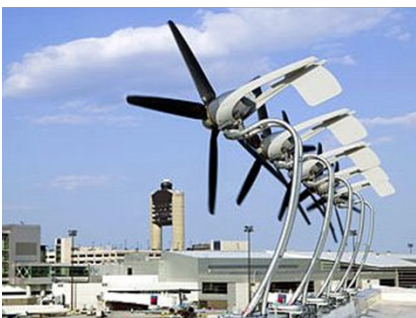
영국 Strata Tower



Pearl River Tower

◎ 소형 풍력 발전

- Micro wind turbine을 건물 모서리, 옥상 등 풍속이 국소적으로 높아지는 곳에 설치하여 발전하기도 함
- 수직적 wind turbine(VAWT), 수평축 wind turbine(HAWT) 설치
- 풍력 발전 기능 수행뿐만 아니라 건물 외관을 특징짓는 역할 수행



Logan Airport (Boston)



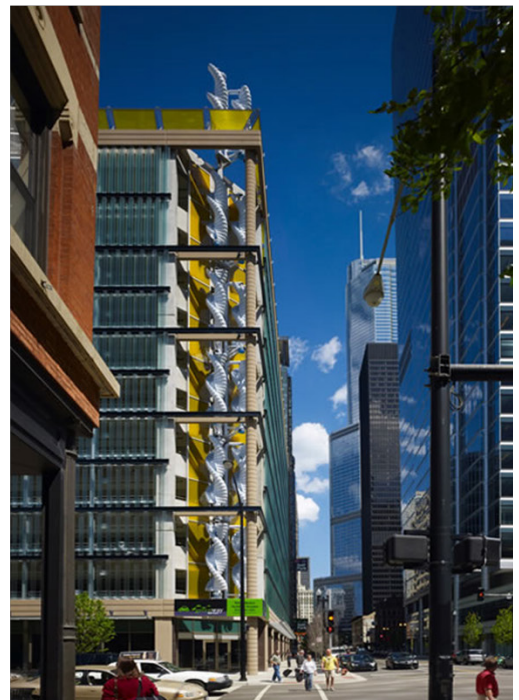
Daito Bunka University (Tokyo)



Light Rail Company (Hague)



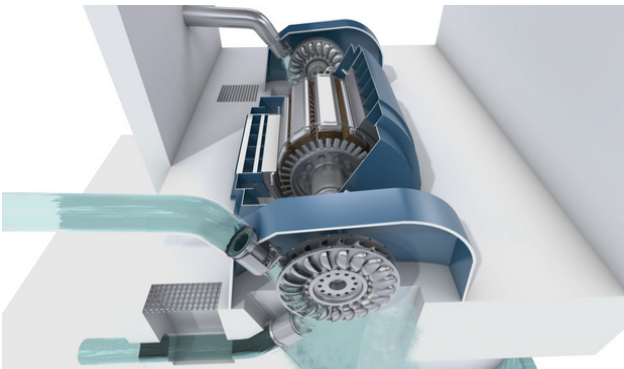
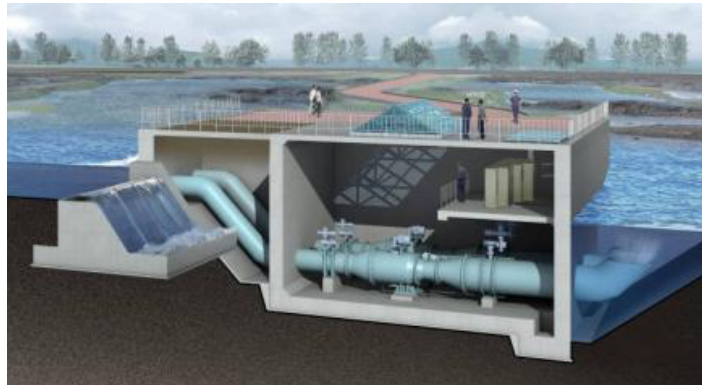
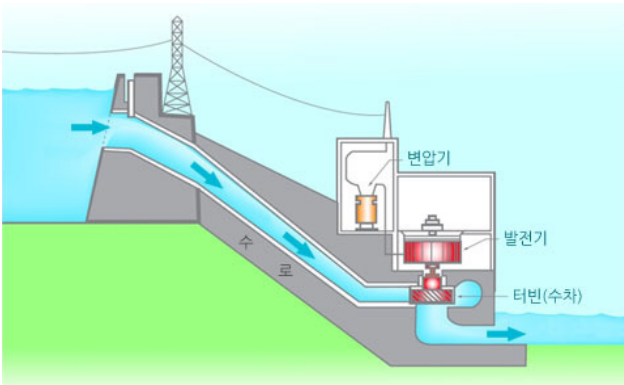
Fairview Homes development (London)



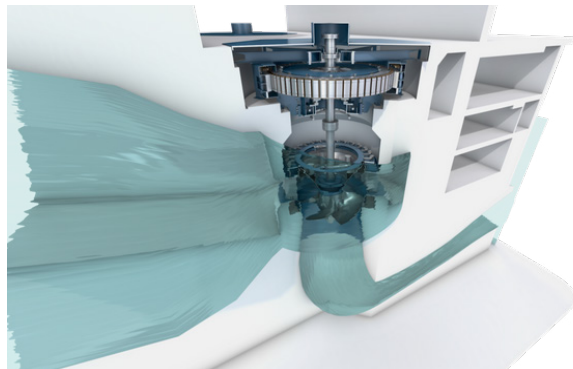
Greenway Self Park (Chicago)

◎ 수력(소수력)

- 수력발전은 물의 유동 및 위치에너지를 이용하여 발전
- '05년 이전에는 시설용량 10MW이하를 소수력으로 규정하였으나, 신규 법(신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법)에서는 소수력을 포함한 수력 전체를 신·재생에너지로 정의
- 상수도 수도관 낙차를 이용하거나 하수 처리장 방류수를 이용하는 소수력 발전도 도입
- 물의 운동에너지를 효과적으로 터빈 회전력으로 변환하는 기술이 필요
- 펄튼 터빈(물레방아 형태), 카플란 터빈(프로펠러 형태) 등이 쓰임



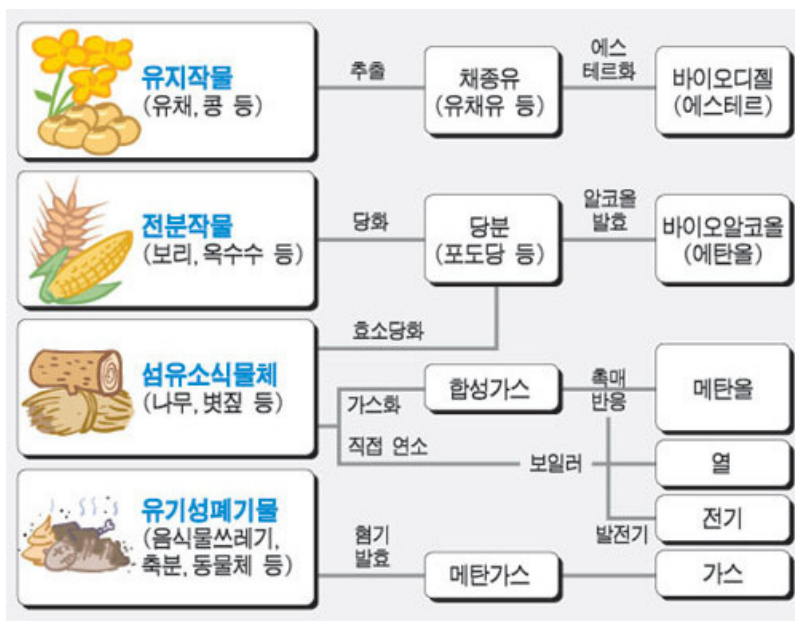
펠튼 터빈(Pelton Turbine)



카플란 터빈(Kaplan Turbine)

◎ 바이오매스

- 태양에너지를 받은 식물과 미생물의 광합성에 의해 생성되는 식물체·균체와 이를 먹고 살아가는 동물체를 포함하는 생물 유기체
- 바이오매스를 직접 또는 변환하여 액체, 가스, 고체연료나 전기·열에너지 형태로 이용
- 목재를 잘게 부순 칩(우드칩)이나 목재를 갈아서 담배꽂초 모양으로 성형한 펠릿도 재생에너지로 분류되며 이들을 연료로 하는 가정용 보일러도 보급 중
- 연소 시 온실가스가 배출되나 화석연료와 달리 대기 중의 CO₂를 순증시키지 않는 탄소중립적 에너지원으로 간주
- 최근 해조류도 바이오매스 제조에 활용



바이오매스 연료 제조과정



바이오 에탄올



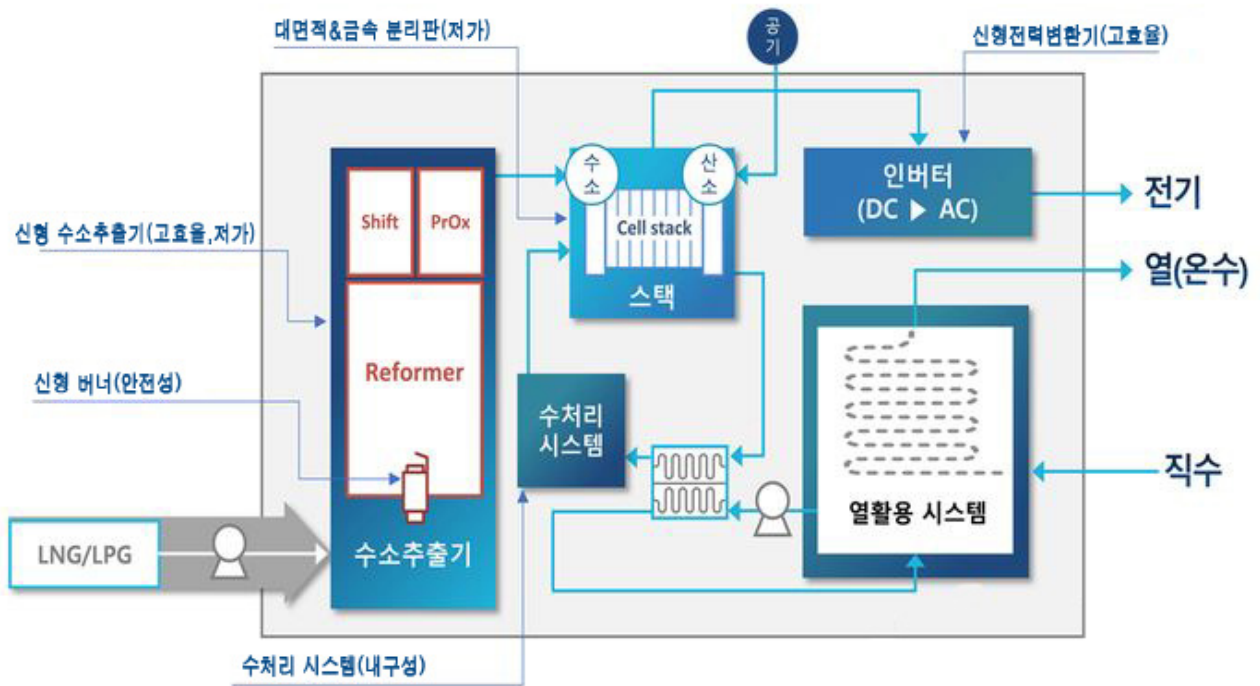
우드 칩



우드 펠릿

◎ 수소 및 연료전지

- 수소(도시가스 추출)와 산소의 전기화학적 반응을 통해 전기와 열을 생산하는 신재생에너지 설비
- 비연소방식으로 발전으로 유해물질 (SOx, NOx, 먼지 등)을 배출하지 않는 청정 에너지원
- 연료가 공급되는 한 재충전 없이 계속해서 전기를 생산, 반응 중 발생된 열은 급탕 및 난방에 이용
- 개질기(화석연료→수소연료 변환), 스택(발전부), 전력변환기(DC→AC 변환), 폐열회수장치
- 호텔, 병원, 다중이용시설 등 많은 양의 급탕부하가 연속적으로 발생하는 건물에 적합



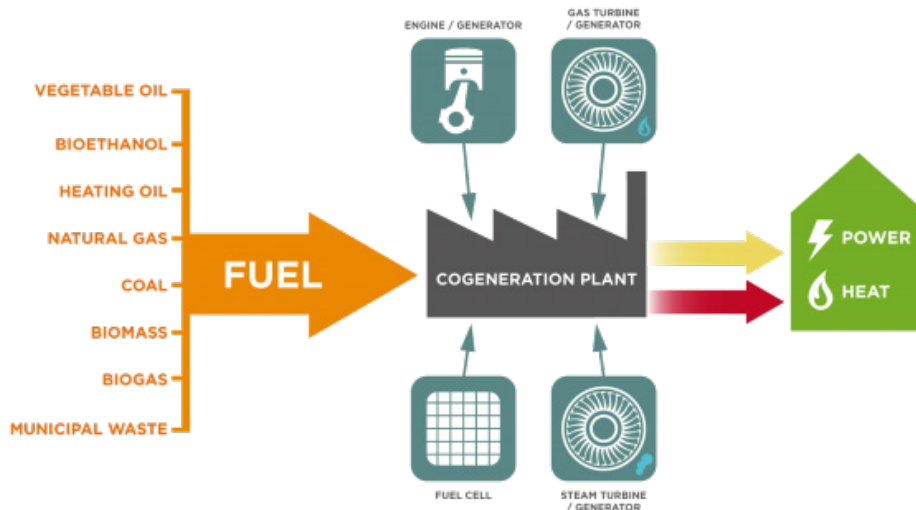
연료전지의 일반적인 구조



연료전지 설치 사례(엘지트윈타워, 용량 48kW)

◎ 폐기물 에너지

- 가연성 폐기물 중 에너지 함량이 높은 폐기물을 고체 연료, 액체 연료, 가스 연료, 폐열 등으로 가공·처리하여 산업 생산활동에 필요한 에너지로 이용하는 것
- 폐기물 신재생 에너지 종류: 성형 고체 연료, 폐유 정제유, 플라스틱 열분해 연료유, 폐기물 소각열
- 성형 고체 연료: 종이, 나무, 플라스틱 등의 가연성 폐기물을 파쇄, 분리, 건조, 성형하여 제조
- 폐유 정제유: 자동차 폐윤활유 등의 폐유를 정제하여 활용
- 폐기물 소각열: 연성 폐기물 소각열 회수에 의한 스팀 생산 및 발전으로의 이용, 열병합 발전의 원료로도 활용



열병합발전(Cogeneration)

전기 생산을 위한 발전기 터빈을 돌리는 과정에서 나오는 폐열을 물 가열에 활용



생활폐기물 연료화(SRF, Solid Refuse Fuel) 발전소



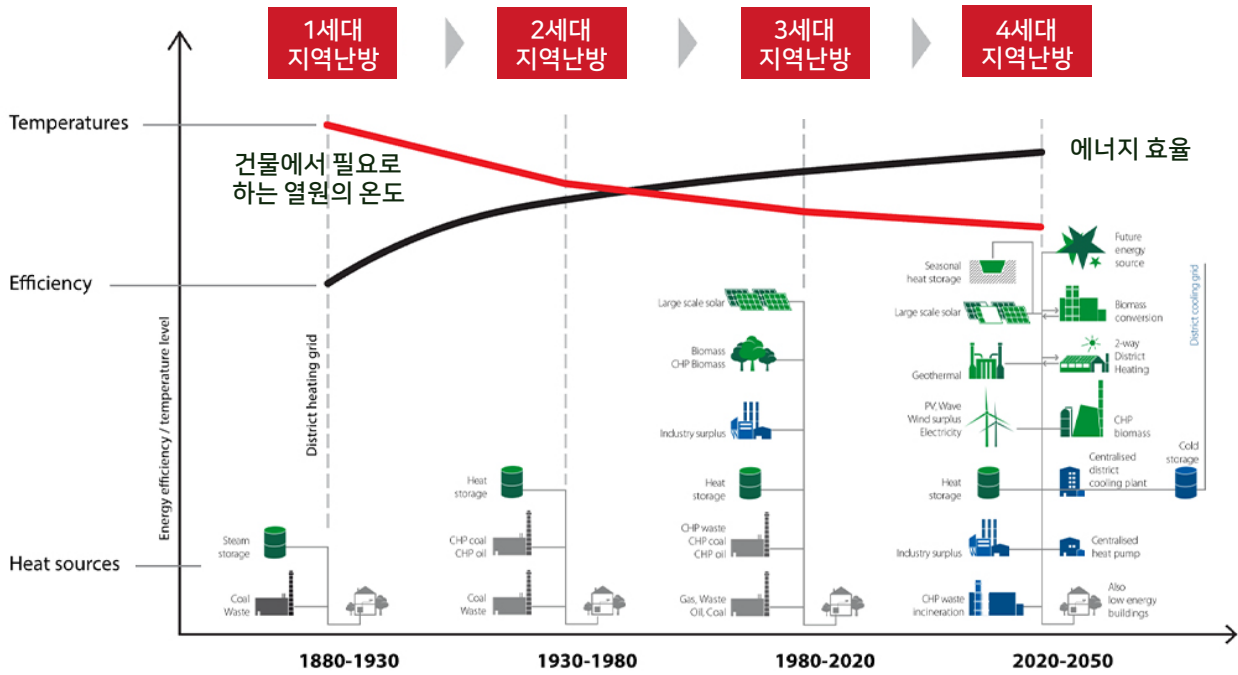
Pellet SRF
(선별 후 건조 성형)



Fluff형 SRF
(선별 후 절단 처리)

◎ 건물 에너지효율과 신재생에너지와의 관계

- 패시브 기술로 냉난방부하가 크게 절감된 최근의 건물 수준에 맞추어, 신재생에너지의 활용 가능성이 높아짐
- 분산 에너지 공급원으로서의 신재생에너지 기술 연구개발, 실용화 필수적



◎ 참고서적 및 사이트

1. US Department of Energy (2012). The Design-Build Process for the Research Support Facility
2. Kim, H. G., et al. (2016). Wind resource assessment for high-rise BIWT using RS-NWP-CFD. Remote Sensing, 8(12), 1019.
3. Thorsen, J. et al. (2020). Distribution of district heating: 4th Generation, Danfoss A/S technical report
4. <https://kier-solar.org/user/gis/map/wd>
5. <http://www.ryanenschede.com/project/sunlight-harvesting/>
6. <http://resourcelab.co.kr/>
7. <http://thesunportal.com/kor>
8. <https://www.aiatopten.org/node/103>
9. <http://www.jeju.go.kr/cfi/index.htm>
10. <https://www.ge.com/renewableenergy/>
11. <http://mplussys.com/>
12. <http://www.s-fuelcell.com/>
13. <http://www.busanene.co.kr/main/sub/business.php>
14. <https://www.theade.co.uk/resources/what-is-combined-heat-and-power>

2025
제로에너지건축
전문인력 양성교육

보급형 입문교육



ZERO ENERGY BUILDING
TRAINING TO BE PROFESSIONALS

PART C

ZEB 신재생 기술

[C.1]

태양광, BIPV 설비 기술

태양광발전 기초지식
ZEB와 태양광발전
건물일체형 태양광발전(BIPV)

[C.2]

지열히트펌프 설비 기술

지열히트펌프 원리
지중열교환기 이해와 원리
지열 히트펌프의 설계

C.1

태양광, BIPV 설비 기술

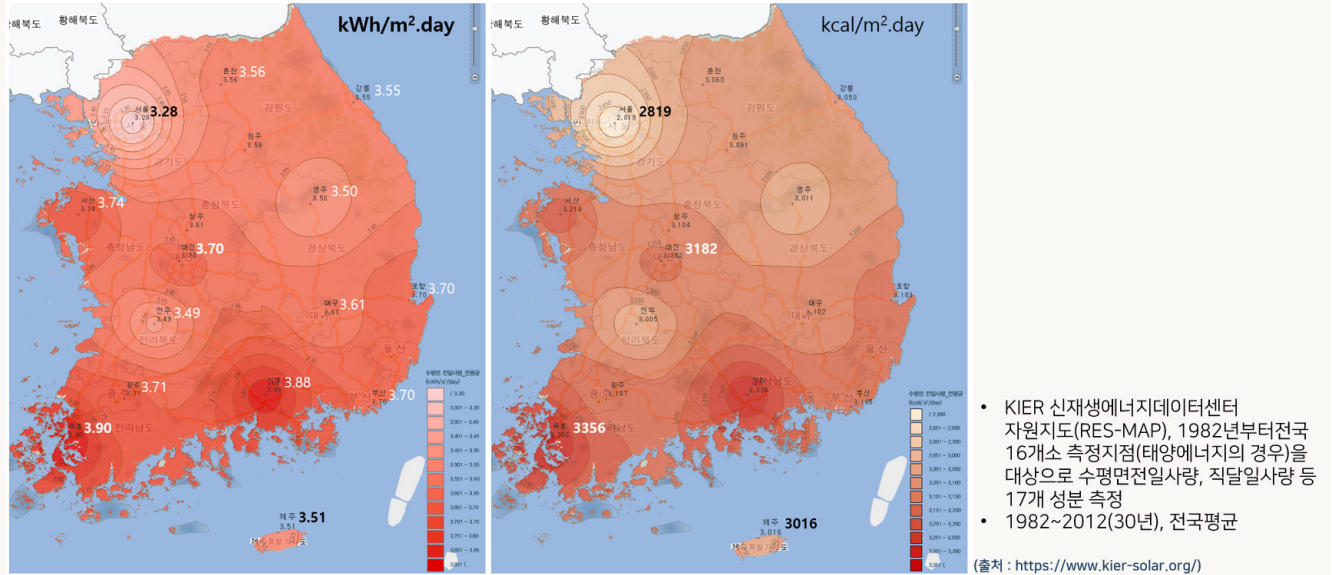
교육 목표

태양광, BIPV 설비
기술

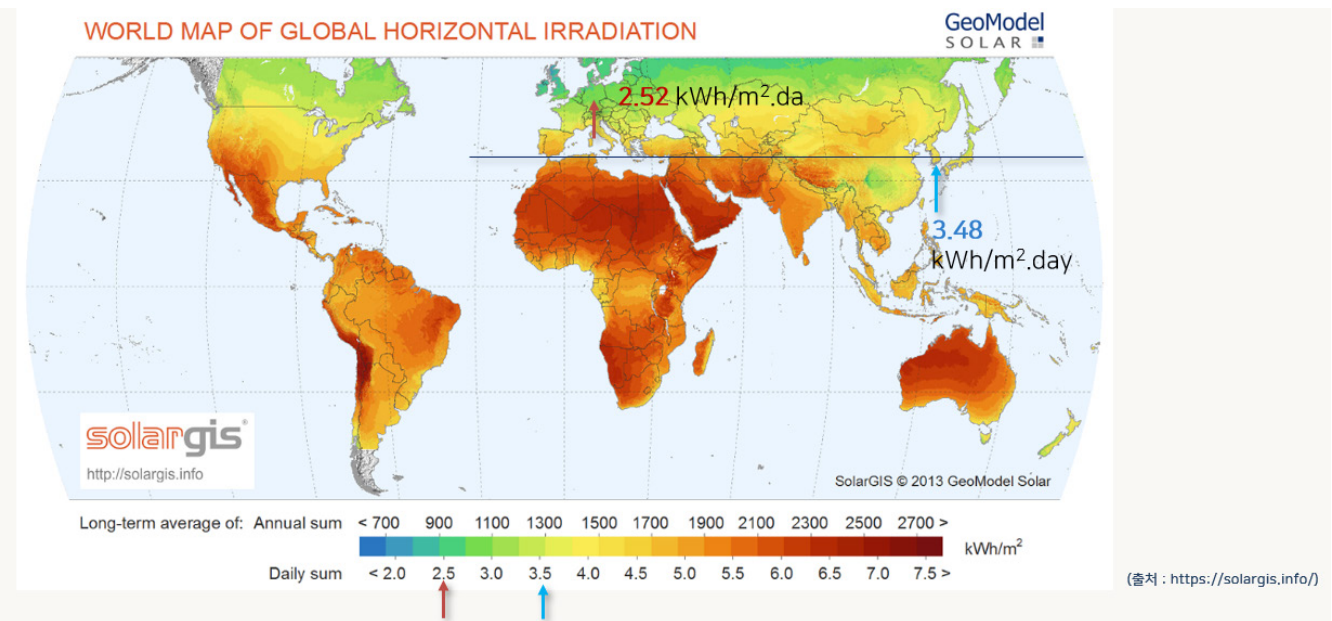
- * 태양광발전 시스템의 주요 구성요소와 발전 원리를 이해한다.
- * 태양광발전 시스템의 발전 성능 영향 요소 및 현 기술수준을 파악한다.
- * 태양광발전 시스템의 개략적 용량 설계 및 발전량 평가방법을 학습한다.
- * 국내 건물에너지 정책 변화 고찰을 통해 관련 기술 및 시장의 현황과 미래를 파악한다.
- * 제로에너지건축물 의무화 제도를 이해하고, 등급 달성을 위한 기본 전략을 학습한다.
- * 건물의 에너지소비 및 생산의 정량적 밸런스를 이해하고, 핵심 지표를 숙지한다.
- * 건물의 용도별 제로에너지 자립 전략을 숙지한다.
- * 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

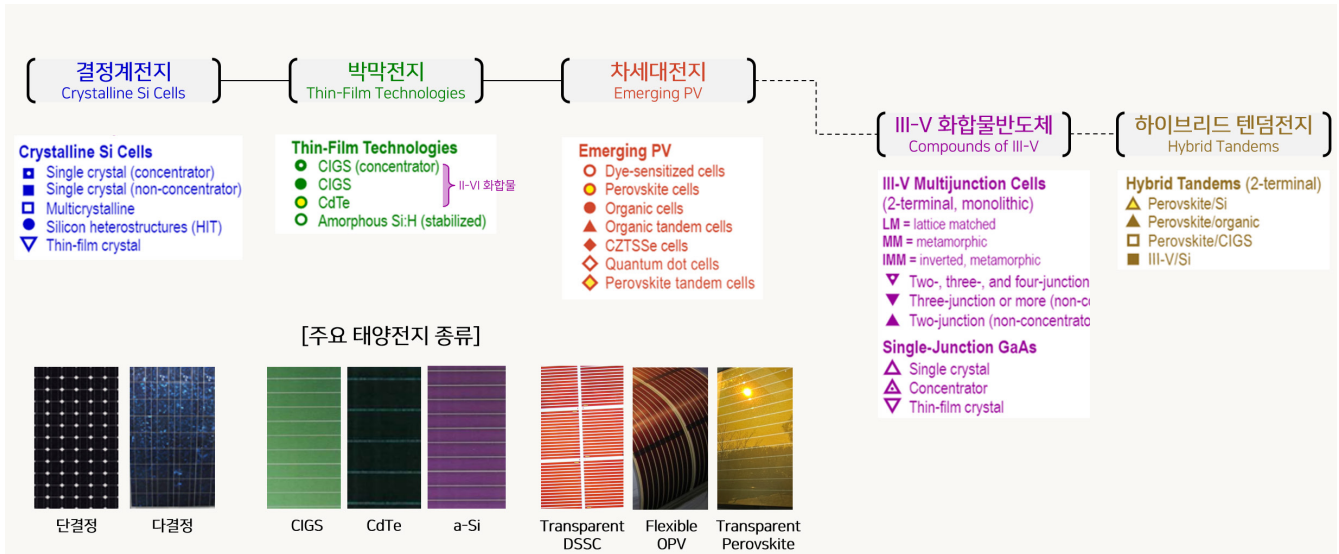


- 국내 연평균 일일적산일사량: 3.48 kWh/m².day = 2,993 kcal/m².day
- 국내 연적산일사량: 1,270 kWh/m².yr = 1,092 Mcal/m².yr



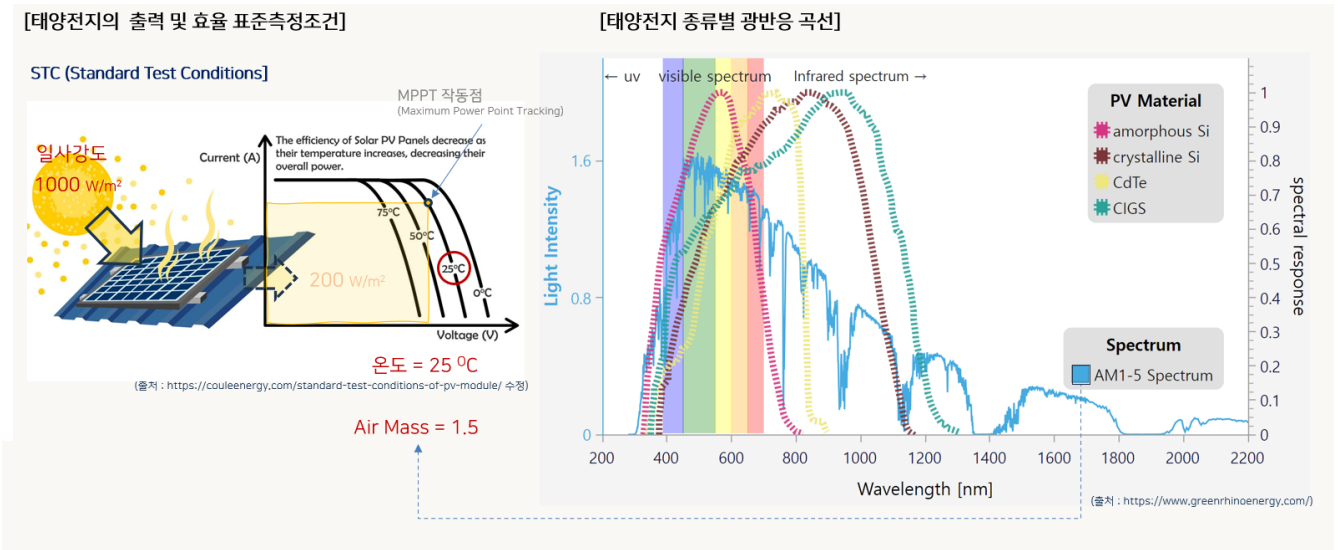
- 국내 연평균 일일적산일사량: 3.48 kWh/m².day
- 국내 연적산일사량: 1,270 kWh/m².yr
- 일본: 3.25 kWh/m².day
- 독일: 2.52 kWh/m².day
- 네덜란드: 2.85 kWh/m².day

☉ 태양전지 종류

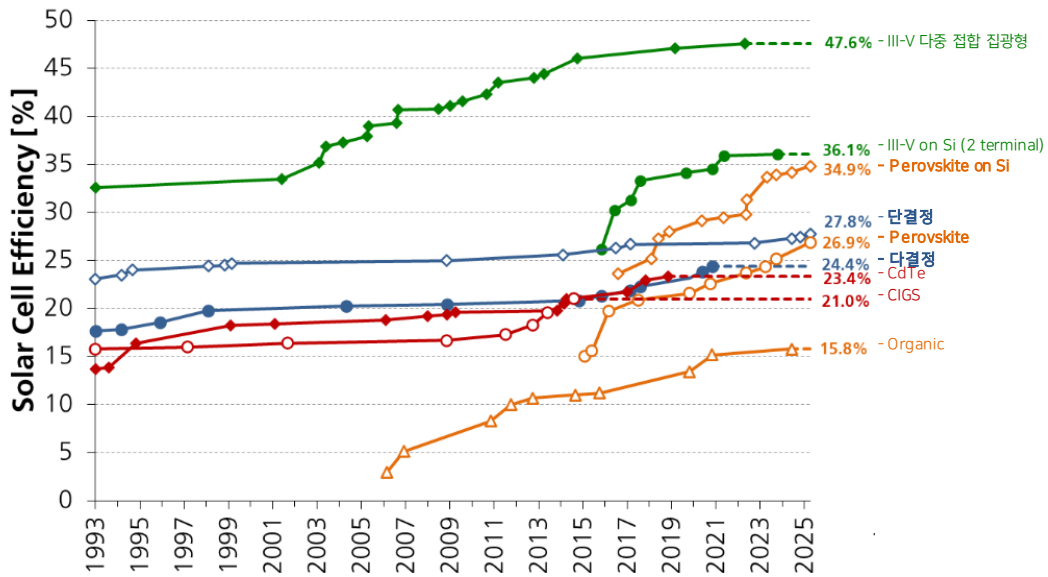


- 태양전지는 광전효과를 이용해 태양복사 에너지를 전기에너지로 변환하는 반도체 소자로 정의됨
- 생산되는 전기는 직류임
- 기술개발의 수준에 따라 1세대 결정계 실리콘 태양전지, 2세대 박막 태양전지, 차세대 태양전지로 분류
- 소재의 종류에 따라 실리콘계 태양전지와 화합물반도체계 태양전지 및 유기계 태양전지로 구분
- 결정계 전지의 경우 단결정 및 다결정 태양전지, 박막전지의 경우는 a-Si과 CIGS 태양전지 건축분야에 응용 가능
- 차세대 태양전지 중에서는 염료감응형 태양전지와 유기태양전지 및 최근에는 페로브스카이트 태양전지에 큰 관심
- 특히 Perovskite 태양전지는 높은 광전 변환효율과 낮은 생산단가로 인해 결정계 태양전지를 대체할 차세대 전지의 대표주자이며 특히 BIPV 분야의 높은 활용성에 큰 기대

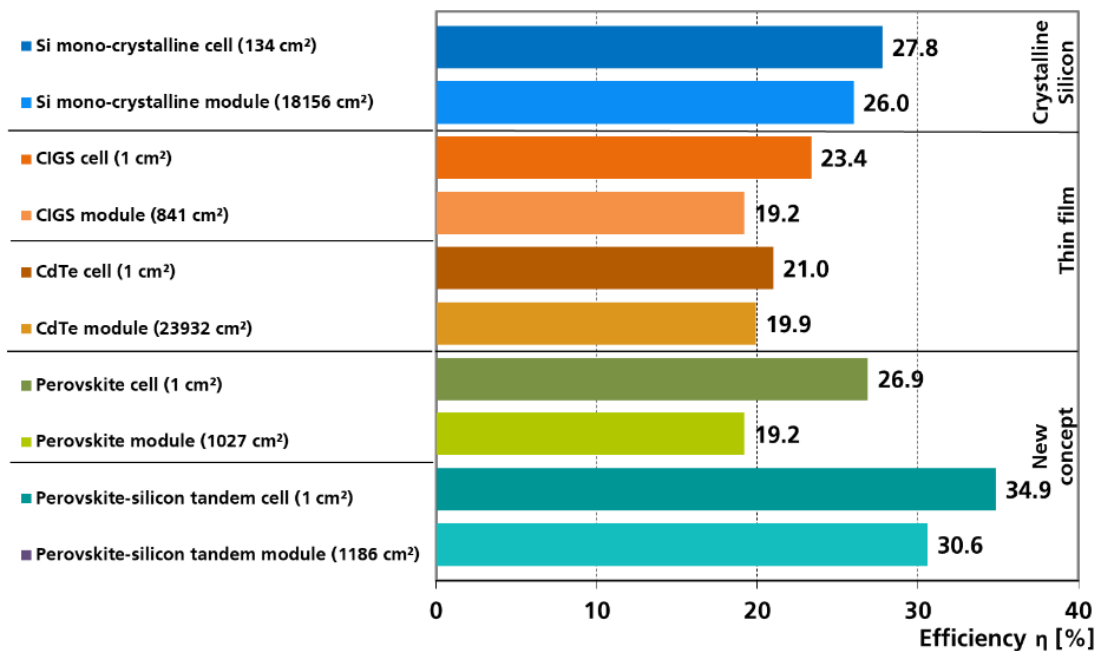
◎ 태양전지 효율과 표준측정조건



- 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/m², 온도 25°C 및 Air Mass = 1.5 로 정하고 있음



[태양전지 종류별 세계 최고효율 변화동향]
출처 : <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>

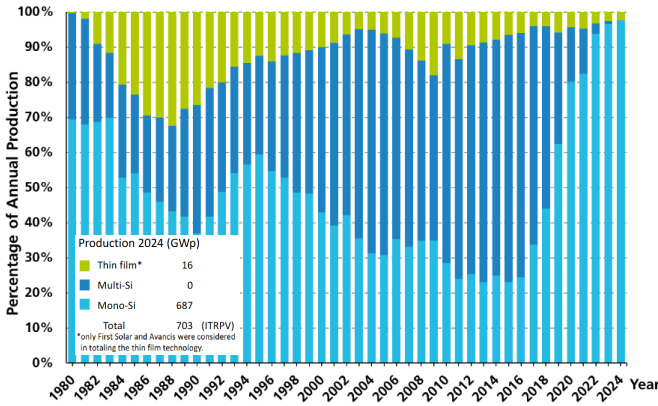


[태양전지 종류별 전지 및 모듈의 세계 최고효율 비교 | Best Lab Cells vs. Best Lab Modules]
출처: Photovoltaics Report - Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 29 May 2025
<https://www.ise.fraunhofer.de/>

- 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

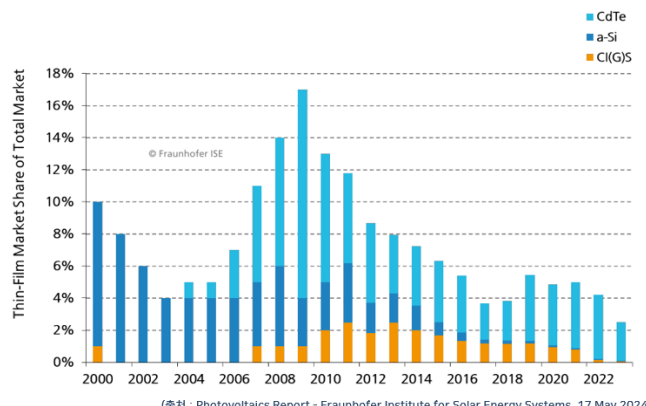
☉ 태양전지 종류 및 시장주도 기술

[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

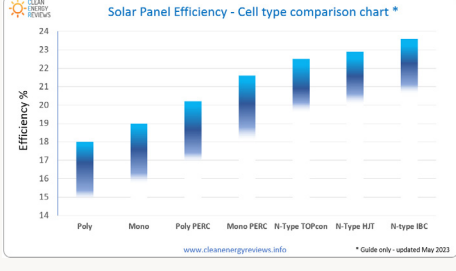


- 모듈(module) 또는 태양광 패널(solar panel): 다수의 태양전지(solar cell)를 직렬 또는 병렬로 구성하여 제작한 하나의 판재
- 스트링(string): 다수의 모듈을 직렬 연결한 것, 모듈 연결할 수록 전압 증가
- 어레이(array): 다수의 스트링을 병렬 연결한 것, 전류 증가
- 어레이의 구성을 통해 최종 직-병렬 회로 구성 완성, 태양광 시스템의 용량 및 사양이 결정됨
- PV모듈은 제일 상부층부터 전면재, 봉지재, 태양전지, 봉지재, 후면재, 단자함 및 외곽프레임으로 구성
- 전면재는 일반적으로 투과율을 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 백쉬트 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%

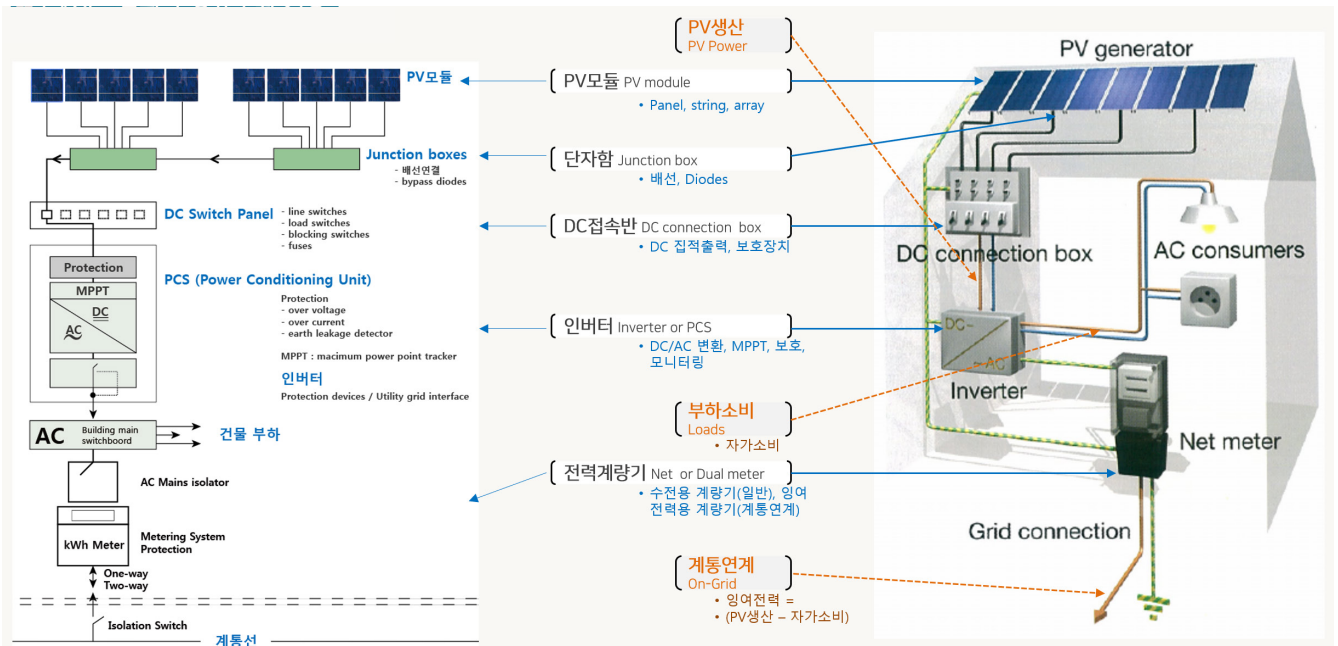


Cell Type	Efficiency Range (%)
Poly PERC	16 - 17%
Mono PERC	17 - 19%
Half-cut Mono PERC	18 - 20%
Shingled Mono PERC	19 - 21.5%
Mono PERC MBB	20 - 21.8%
N-Type TOPcon	21 - 22.5%
N-Type HJT	21 - 23%
N-Type Back Contact	21 - 24%

Manufacturer	Model	Power Rating	Cell Technology	Efficiency
AIKO	Necstar 2P	485W	N-Type ABC (Back Contact)	24.3 %
maxeon	Maxeon 7	445W	N-Type IBC (Back contact)	24.1 %
Jinko Solar	Tiger NEO 60HL4-V	515W	N-Type TOPcon	23.8 %
REC	Black Tiger Series	460W	N-Type TOPcon (Back Contact)	23.6 %
SPIC	Andromeda 3.0	460W	N-Type ABC (Back Contact)	23.6 %
LONGI Solar	Hi-MO 6 Scientist	455W	N-Type IBC Hybrid Back Contact	23.3 %
HJASUN	Himalaya G12R	450W	N-Type HJT	23.0 %
CanadianSolar	TOPHiKu6	470W	N-Type TOPcon	23.0 %
WINNICO	WST-NGK-D3	450W	N-Type TOPcon	23.0 %
TrinaSolar	Vertex S+	455W	N-Type TOPcon	22.8 %
TW SOLAR	Repower N G12R-40	455W	N-Type TOPcon	22.8 %
JASOLAR	Deep Blue 4.0	455W	N-Type TOPcon	22.8 %
risen	n-Type Topcon	455W	N-Type TOPcon	22.8 %
DASOLAR	DAS-DH96NE	455W	N-Type TOPcon	22.8 %
ASTHORENER	Astro N5S	445W	N-Type TOPcon	22.8 %
REC	Alpha Pure RX	470W	N-Type HJT	22.6 %
PHOENIX	Helios	440W	N-Type HJT	22.5 %
Q CELLS	Q.TRON M-G2+	440W	N-Type TOPcon	22.5 %
YONGJIN SOLAR	Panda 3.0 Mini	440W	N-Type TOPcon	22.5 %
SHARP	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/m²

1 m²

Current(A)
Voltage(V)

If,
P = 100 W/m²

- 효율(η) = 10%
- PV설치 필요면적 : 10 m²/1kW_p
- 연간 PV발전량(Yield) : 1,200 kWh/kW_p
- PV설치비용 : 150만원/1kW_p

[PV모듈 효율 20%]

1 m²

Current(A)
Voltage(V)

If,
P = 200 W/m²

- 효율(η) = 20%
- PV설치 필요면적 : 5 m²/1kW_p
- 연간 PV발전량(Yield) : 1,200 kWh/kW_p
- PV설치비용 : 150만원/1kW_p

[PV설치계획 예시문제]

- 우리 사옥 남측외벽 면적 1,000m² 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]

PV • Efficiency
• Capacity
• Area
• Yield
• Cost

3.29 kWh/d (Yield, Korea)
1,200 kWh/kWp.yr
(~ 3.83 h/d)
(~ 1,400 kWh/kWp.yr)

PV generation Load

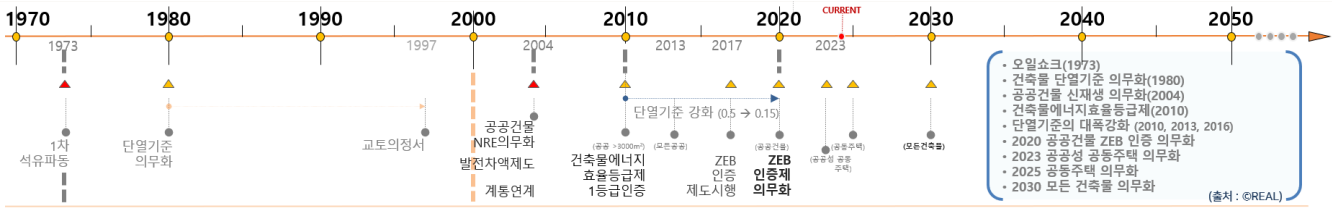
- PV모듈의 효율이 10%, 표준조건 단위면적당 1,000W/m²의 태양복사 투사될 경우 발전량 P는 100W/m²
- 역으로 1000 W/m² 출력을 얻고자 할 경우, PV모듈 10장 즉, 총 10m²의 PV 필요
- 우리나라 기상조건에서 남향 30° 경사면 지붕에 PV 1kW_p 설치할 경우, 365일간 평균 발전량 1,200 kWh/kW_p.yr
- 해당 값을 365로 나누면 하루 평균 1kW_p당 약 3.29 kWh/kW_p.day의 전기 생산 가능
- 이를 우리나라 평균 일일발전시간 3.29 시간(hours/day)로 정의한 것임
- 최근에는 1kW_p로 연간 1,400 kWh/kW_p까지 생산하며, 일일 발전량이 3.83 시간/day까지 증가함
- 설치 비용 또한 급속히 하락하여 제반 구성요소, 설치비 등 포함 주택 지붕용 약 150만원/1kW_p 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



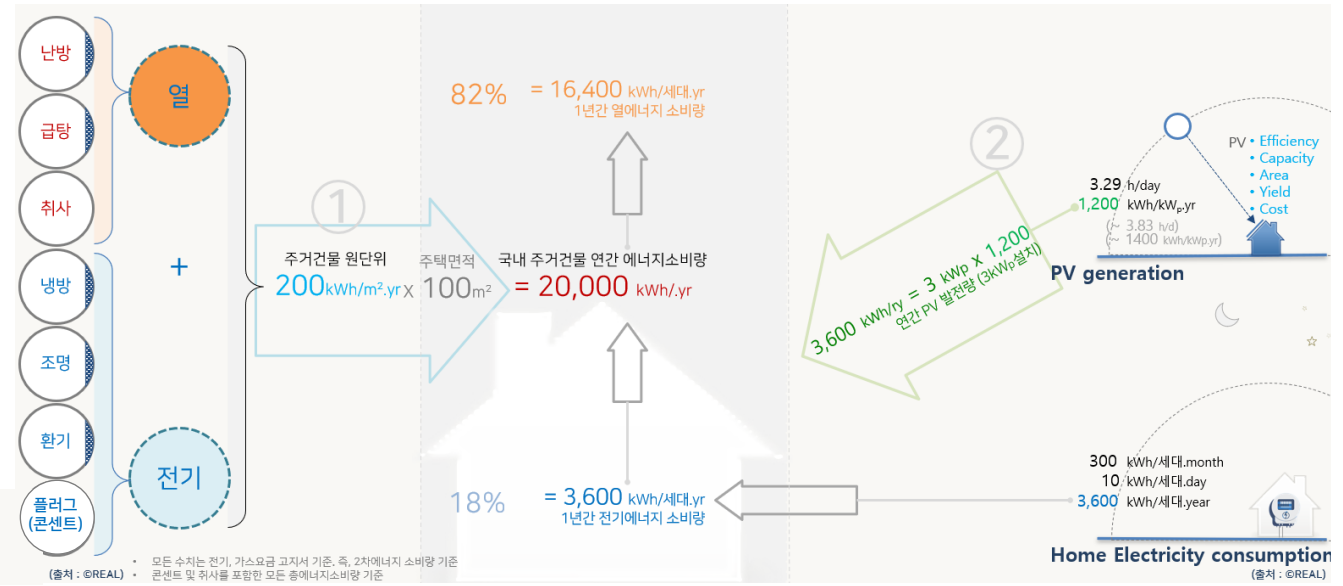
- 지난 50년간 국내 건물에너지 분야의 주요 정책변화
- 1980년 단열재 설치 의무화, 2000년까지는 건물에너지 절약 및 효율 기술에 집중하였음
- 2000년 이후부터 신재생에너지에 대한 집중 투자가 이루어졌으며, 2004년 발효된 공공건물 신재생에너지의무화 제도, 발전차액제도, 계통연계 제도 등이 매우 큰 전환점이 됨
- 2010년 이후 건축물에너지효율등급제 시행, 단열기준의 강화
- 2017년 ZEB 인증제도 시행 및 2020년 공공건물 대상 의무화 시작, 2025년 민간 공동주택까지 확대



[제로에너지건축물 의무화 제도 인증기준 및 현황]

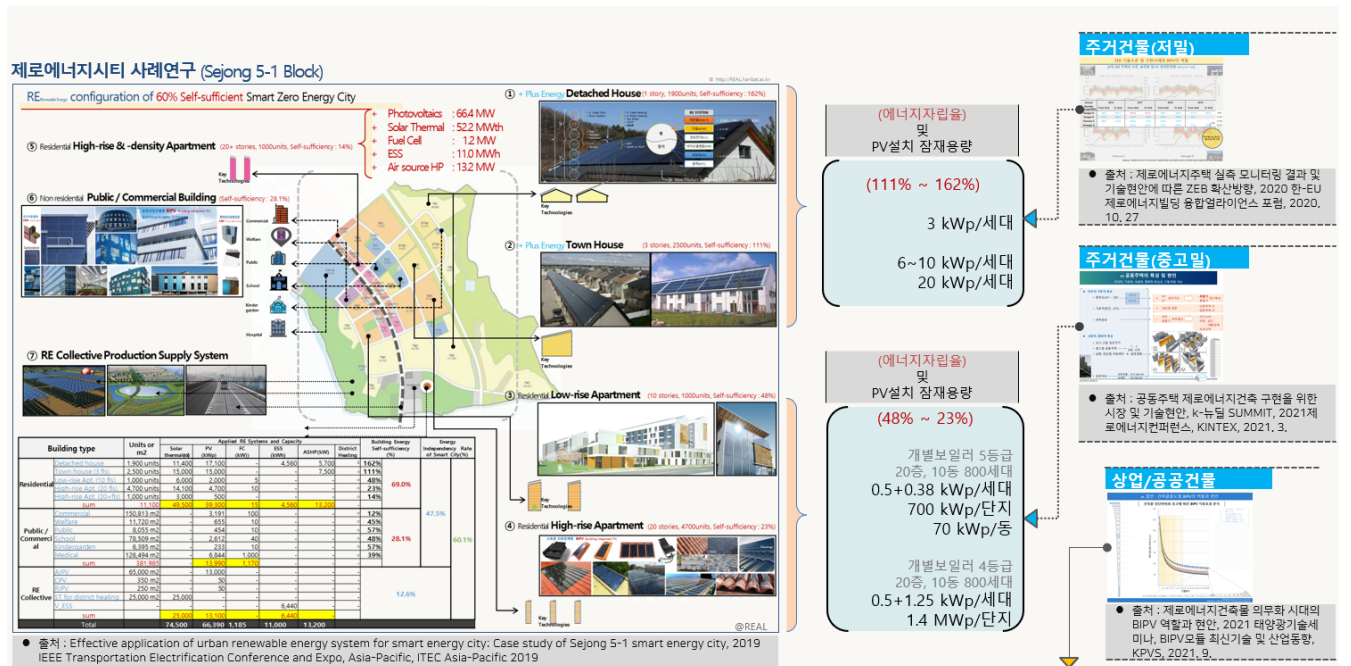
- 현행 ZEB 인증제도의 인증기준 및 현황
- 2025년부터 기존 건축물에너지효율등급제가 제로에너지건축물 인증제로 통합됨
- 인증기준의 핵심 요구사항은 에너지자립률과, 단위면적당 1차에너지소요량 기준 충족 및 모니터링시스템의 설치
- 단열 기준 포함 대부분의 패시브 및 효율 기술은 이미 충분히 포화상태로 볼 수 있음
- 신재생에너지를 통해서만 대폭적인 에너지자립률, 즉 등급의 변화가 가능할 것으로 보임

◎ 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



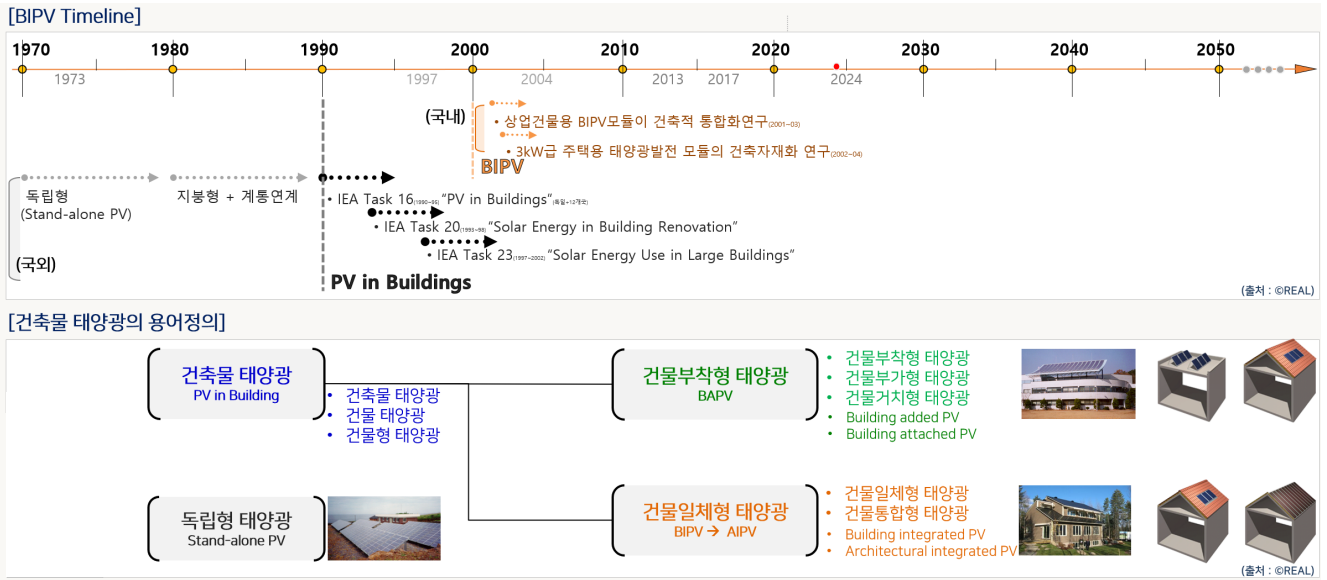
- 2019년 세종시 5-1 블록 대상 “스마트제로에너지시티” 계획 결과
- 계획연도 기준 3~5년 뒤 실지 입주 가정, 현재 기술 및 경제성 고려하여 건물용도별 최대 구현가능한 설계 적용 사례
- 저층 주거건물 경우 약 111% ~ 162%까지 플러스에너지주택 구현 가능, 세대당 6~20kWp PV시스템 용량 요구
- 중고층 아파트 경우 약 48 ~ 23%의 에너지자립률 확보, 세대당 약 0.88~1.75 kWp PV시스템 용량 요구
- 상업 공공건물 경우 전기에너지 비중이 훨씬 크고 충분한 태양광의 설치면적 확보 불가로 에너지자립률 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]

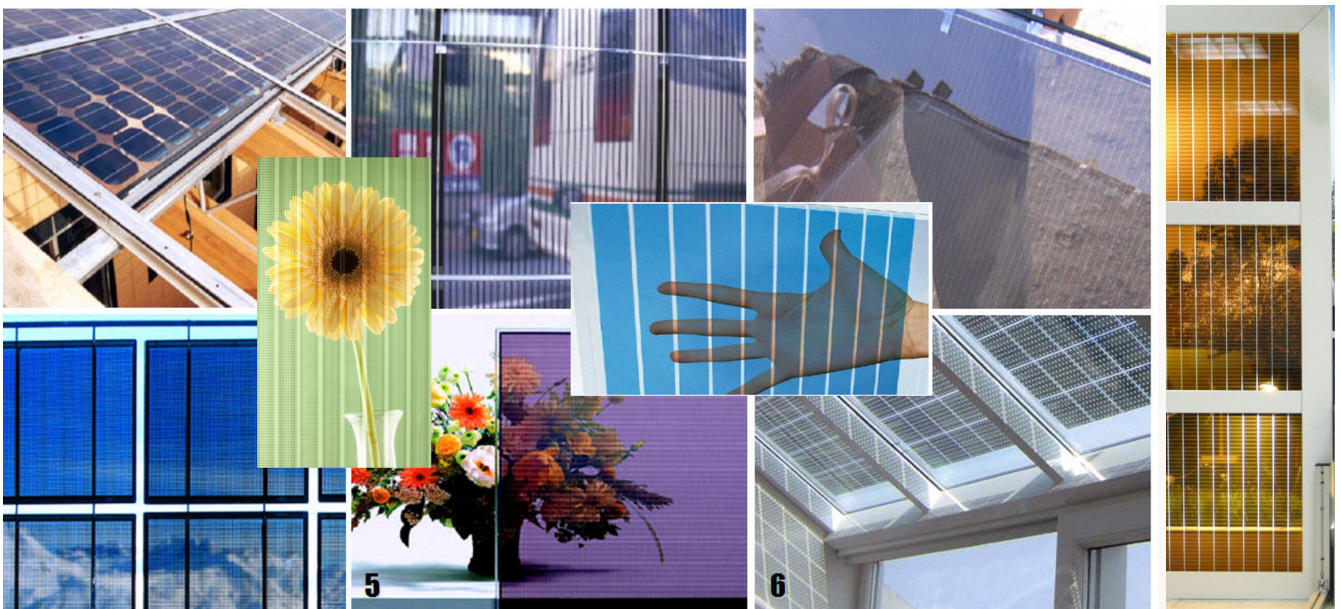
- 건물일체형 태양광발전(BIPV): 건축물 외피의 일부로 외장재의 기능과 전력 생산 기능을 동시에 수행하는 PV 모듈
- 이때 건축물 외장재 기능 충족 여부는 BIPV 모듈이 외피에서 제거될 경우 건축물 외피의 핵심 요구 기능이 상실 또는 훼손될 수 있어 적절한 다른 건축자재로 대체되어야 하는 경우로 규정
- 현재 태양광 설비 시공 기준이나 KS 8577 등 여러 규정에서 조금씩 상이하게 정의하고 있어 BIPV, BAPV에 대한 명확한 결론이 내려지지 않은 상황임
- 기존 외장재를 대체하여 경제적 이득, 지지 구조물이나 배선작업 절감, 부지확보 비용 절감, 적은 송전 손실, 건물 부가가치 증가 등의 장점을 가짐

◎ 유형별 BIPV 모듈의 종류 | 불투명 외장재형



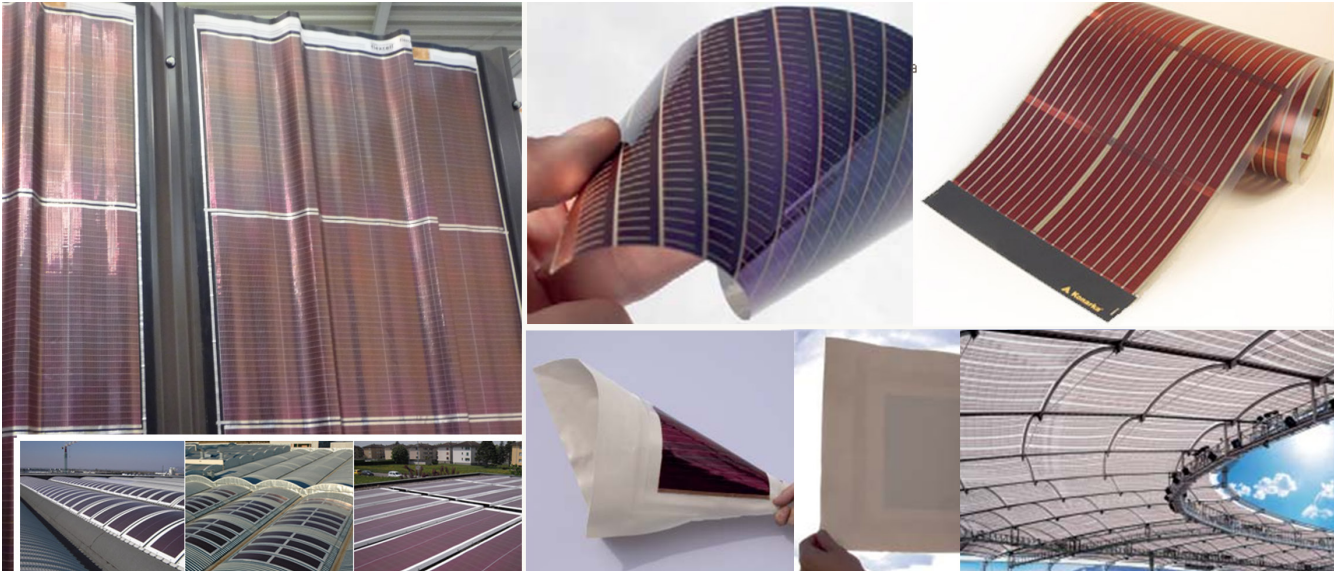
- 지붕재, 외벽재를 중심으로 손쉽게 설치 및 해체가 가능한 다양한 형태

◎ 유형별 BIPV 모듈의 종류 | 투명 창호형

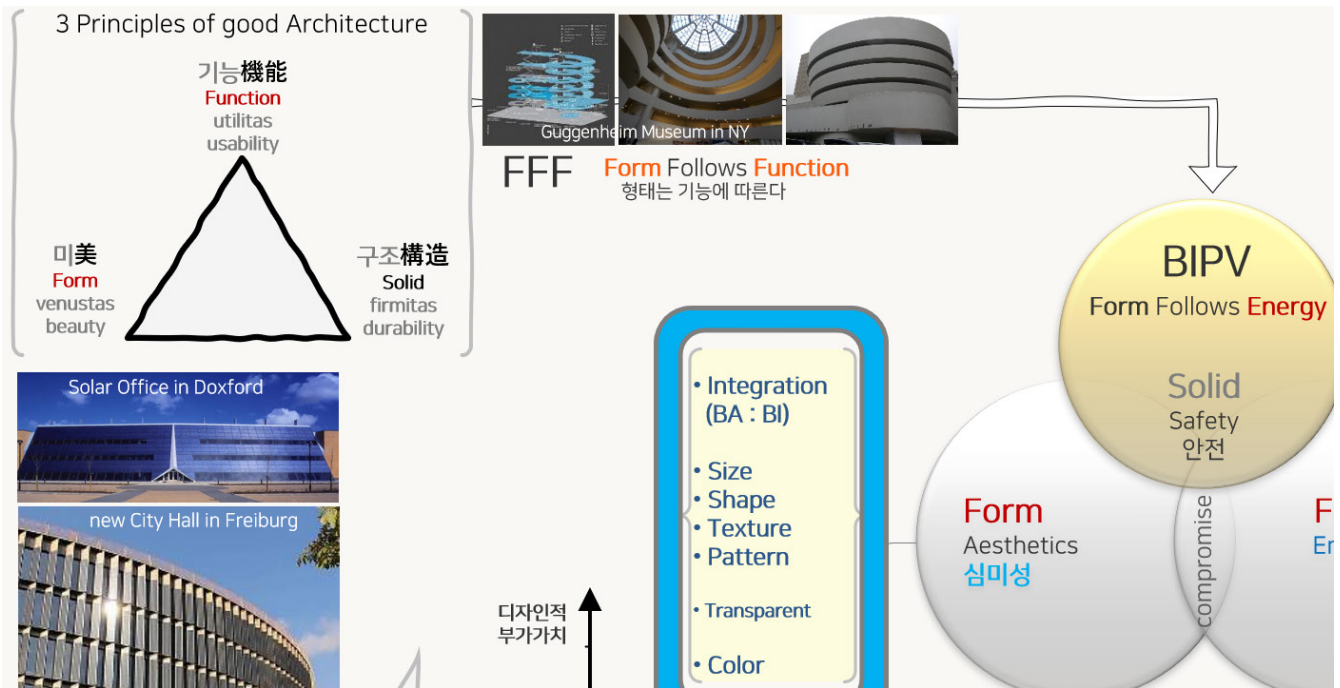


- 창호를 대체할 수 있는 투명 창호형 BIPV 모듈
- 결정계 태양전지의 경우 태양전지 사이 공간 확보 후, 후면재까지 투명소재를 적용해, 부분 투광성 확보
- 전후면재 모두 유리가 적용되기 때문에 Glass to Glass (G2G) 모듈로 불림
- 박막계 태양전지는 A-Si과 같이 코팅면 일부를 일정 간격으로 깎아 투광성을 확보하는 방식과 염료 감응형, 유기 태양전지 같이 투광성이 있는 재료를 모듈 적용 소재에 전부 적용하는 방식으로 구분

◎ 유형별 BIPV 모듈의 종류 | 기타 유연소재형

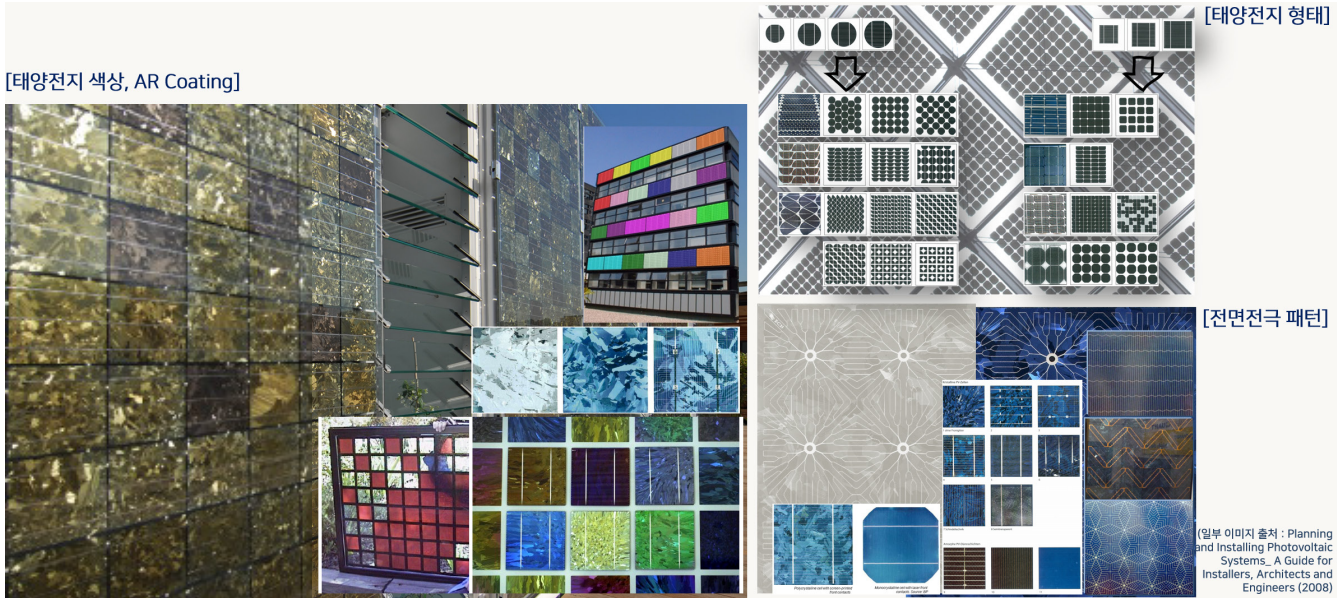


- 대부분 얇은 폴리머나 얇은 기판 위에 박막전지를 직접 코팅하거나, 필름 형태를 기판에 접합하는 방식
- 곡면형 외벽이나 막구조 공법 등에 적용 가능함



- 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

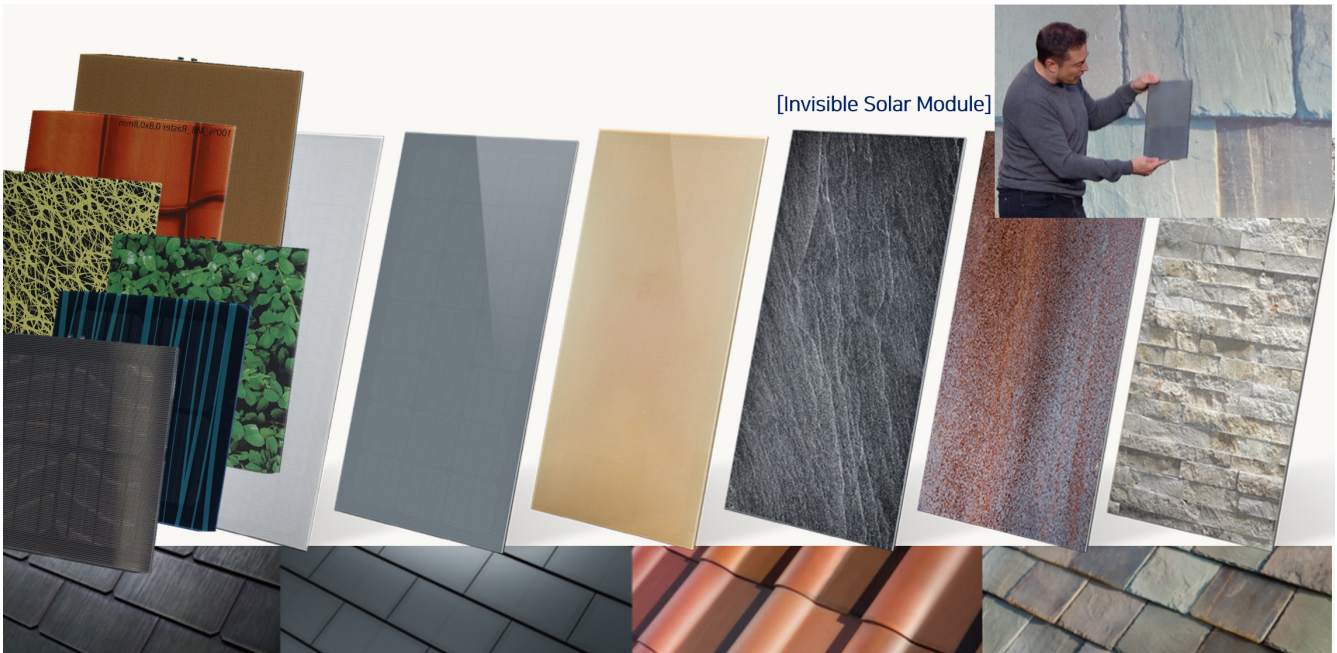


- 태양전지의 형상과 형태를 통한 변형, 표면 전면 전극의 디자인을 활용한 변화 및 다양한 색상의 태양전지 개발 등



- 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

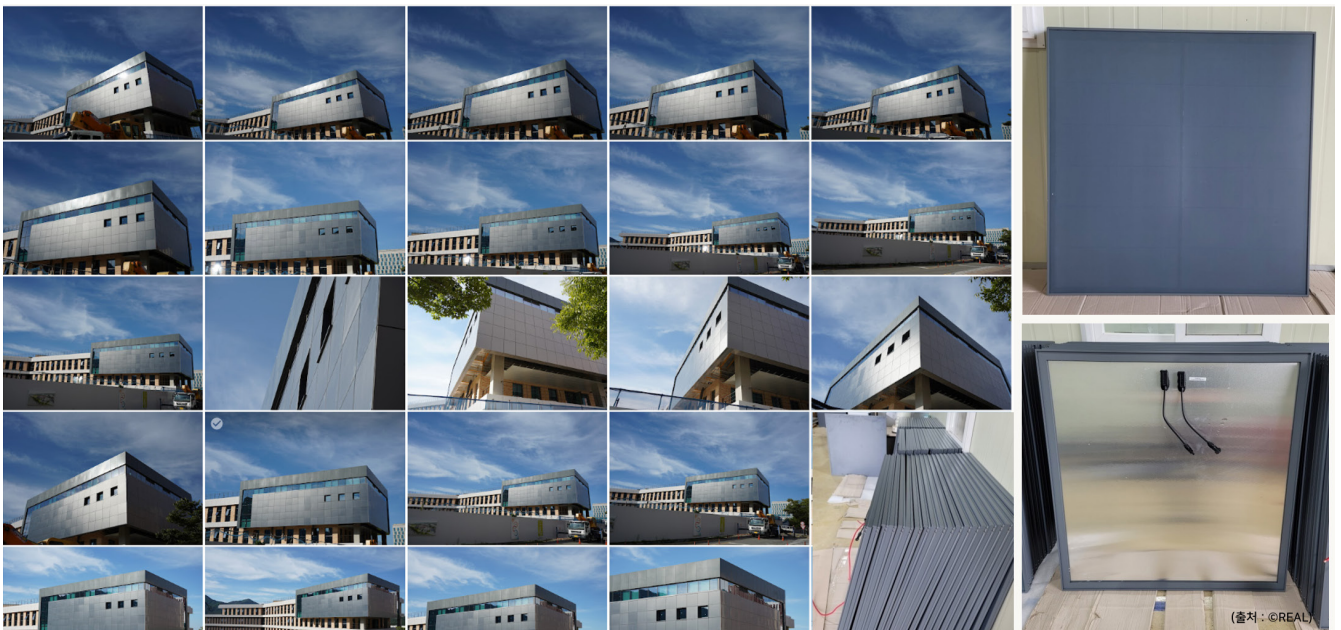
◎ BIPV 전면재의 기술현황과 시사점 | 심미성의 패러다임 변화

(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)



- 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

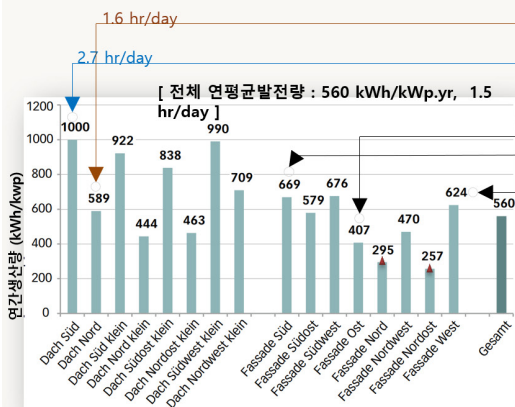


- 10세대 신축 연립주택
- 연면적 814 m², 거주자 22명
- Red/brown digital ceramic printed, monocrystalline G2G type frameless BIPV module
- 남동서측의 주택 전체 외벽과 지붕에 타일형태의 후면환기형 설치방식
- 74kWp, 800m²

(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

(Raw data source ; 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

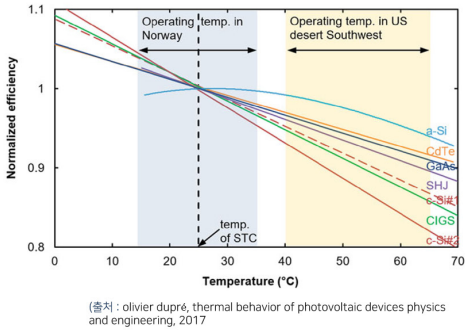
◎ BIPV 시스템 성능관련 설계 고려요소: 설치각도, 온도, 음영 | 음영 Shading



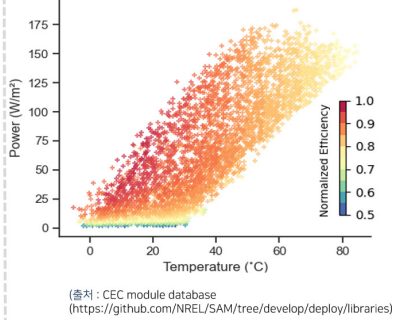
- 직렬로 연결되는 태양전지의 특성상 다양한 형태의 부분음영은 시스템의 전체성능 저하에 큰 영향을 미침
- 상부 돌출 및 측면 돌출의 깊이가 크지 않아도 계절 및 시간에 따라 매우 큰 음영 영향을 받음(우측 그림)
- 건물의 자체차양 및 다양한 돌출물, 주변 식생이나 인접건물에 의한 영향은 설계 초기 단계부터 신중한 고려 필요

◎ BIPV 시스템 성능관련 설계 고려요소: 설치각도, 온도, 음영 | 온도 Temperature

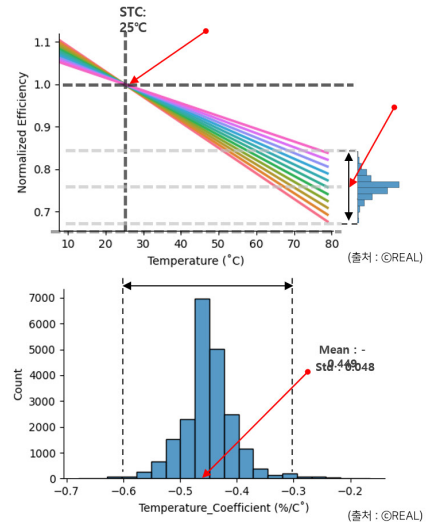
태양전지 종류별 온도계수 특성



시판 중인 PV모듈들의 온도계수 통계분석 결과

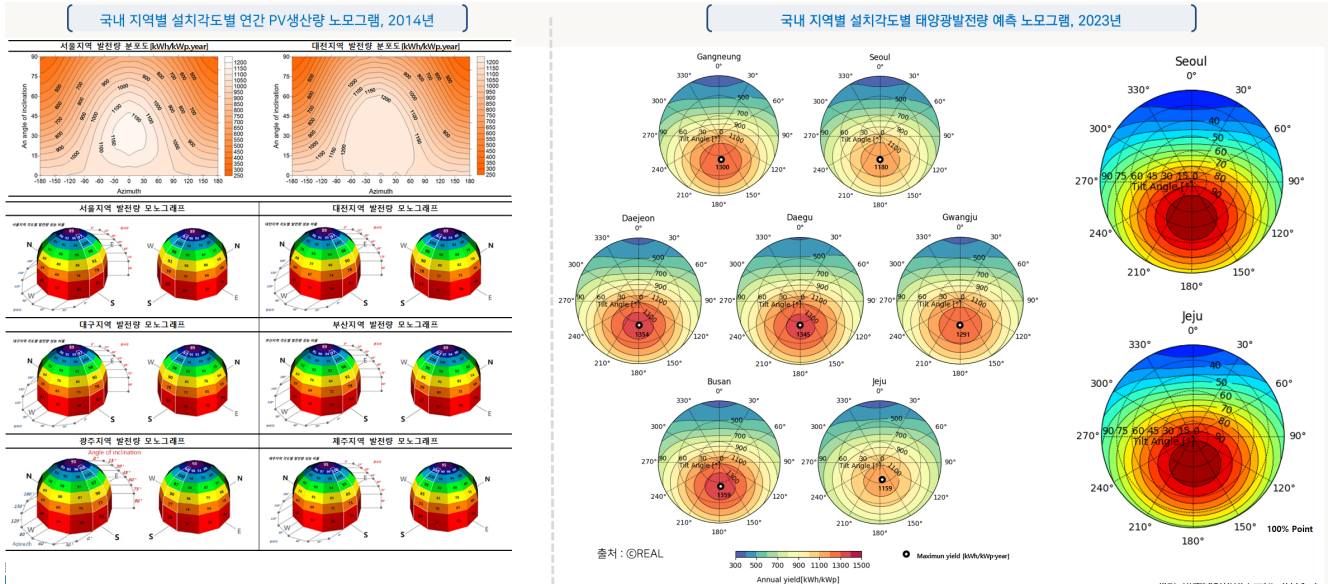


시판 중인 PV모듈들의 온도계수 통계분석 결과



- 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°

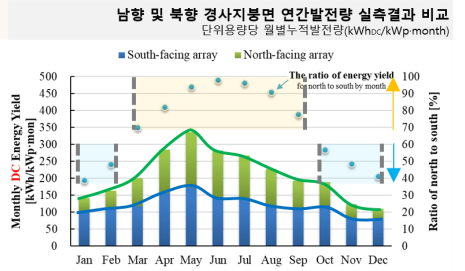


(출처 : The Assessments of Operational Performance for North-facing PV System based on Measured Data, Journal of KSES, Vol.42, No.5, 2022)

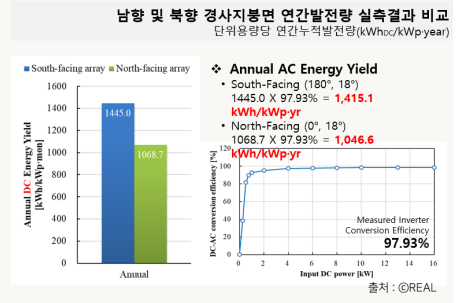
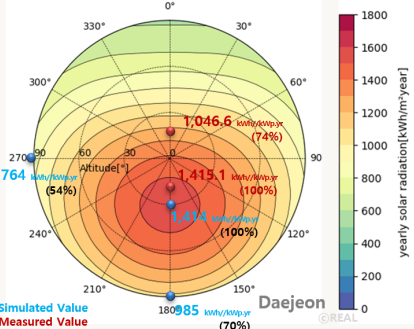
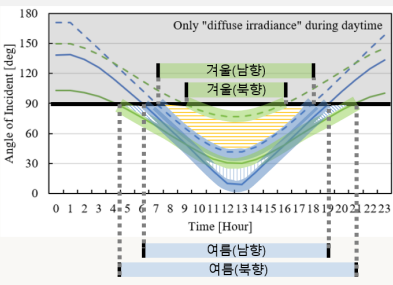
- 전북 완주에 위치, 남향 및 북향에 약 17kWp의 태양광모듈 설치(경사각 남향 및 북향 18°)

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



- 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

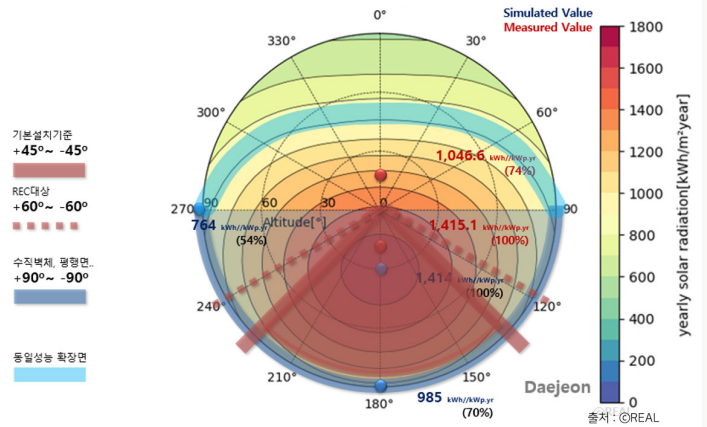
신-재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침 개정 2022. 8. 17 (29차)
[별표 1] 신재생에너지 설비 원별 시공기준 (제7조제1항 관련) <개정 2021.5.12., 2022.8.17.>
신-재생에너지 설비 원별 시공기준 (제7조제1항 관련)

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.



(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

지열히트펌프 설비 기술

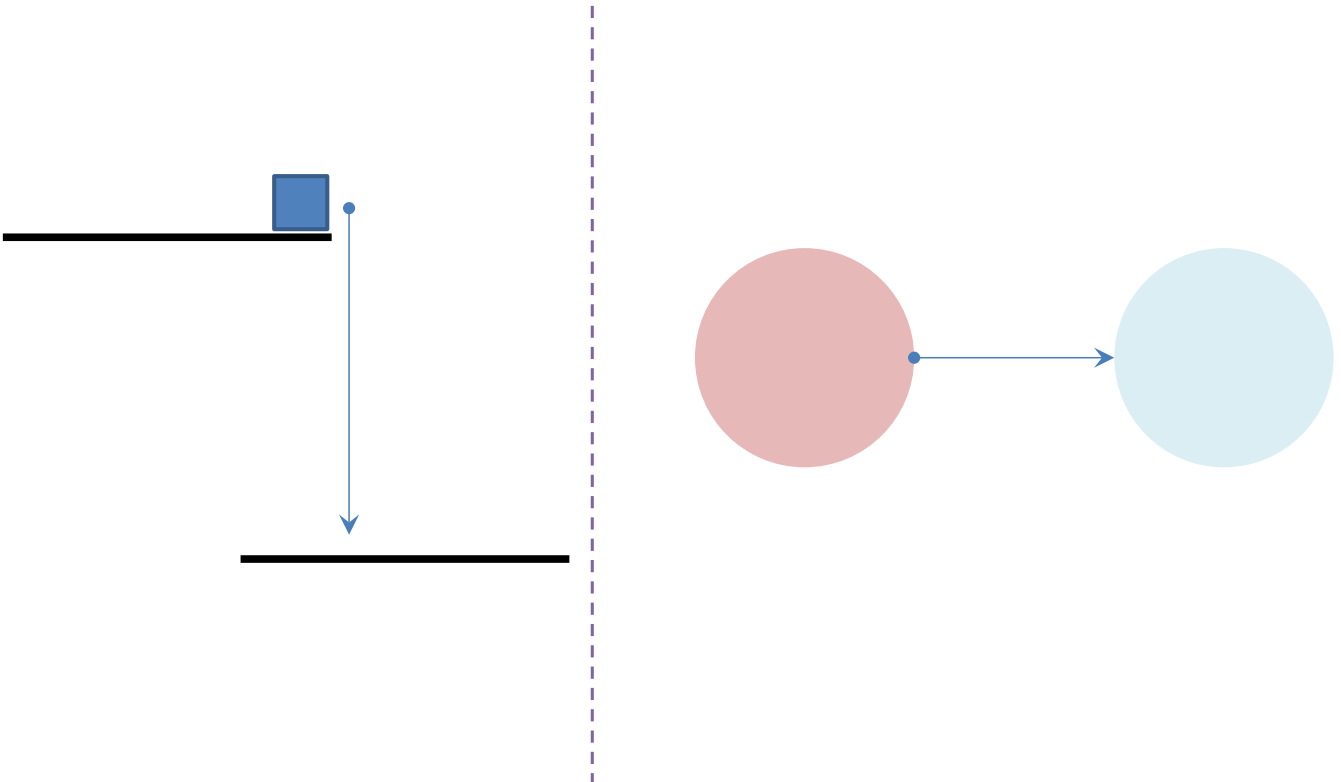
교육 목표

지열히트펌프 설비
기술

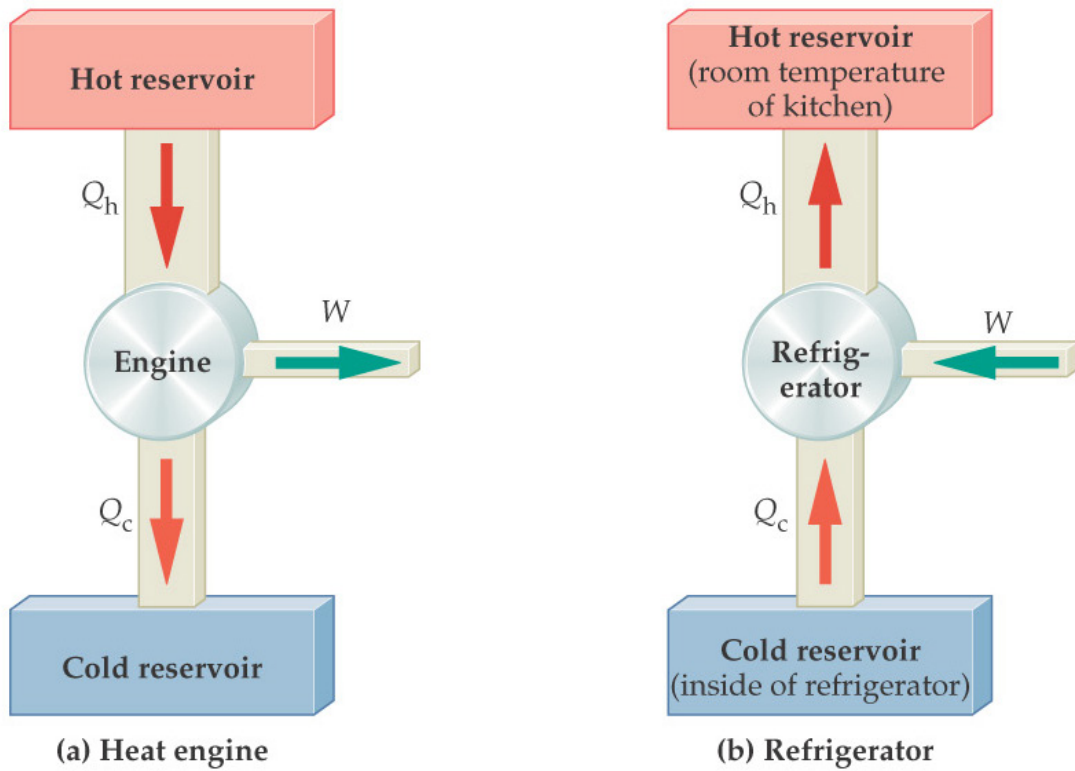
- * 히트펌프의 개략적인 원리를 이해
- * 지열 히트펌프의 구성 이해
- * 지중열 교환기의 종류를 이해
- * 지중열 교환기 주변 물리 현상을 이해
- * 지열 히트펌프에서 지중열교환기에 따른 영향
- * 지중열 교환기 설계 방법

1 지열 히트펌프 원리

◎ Water pump & Heat pump



⊙ An example of EHP | EHP 예시

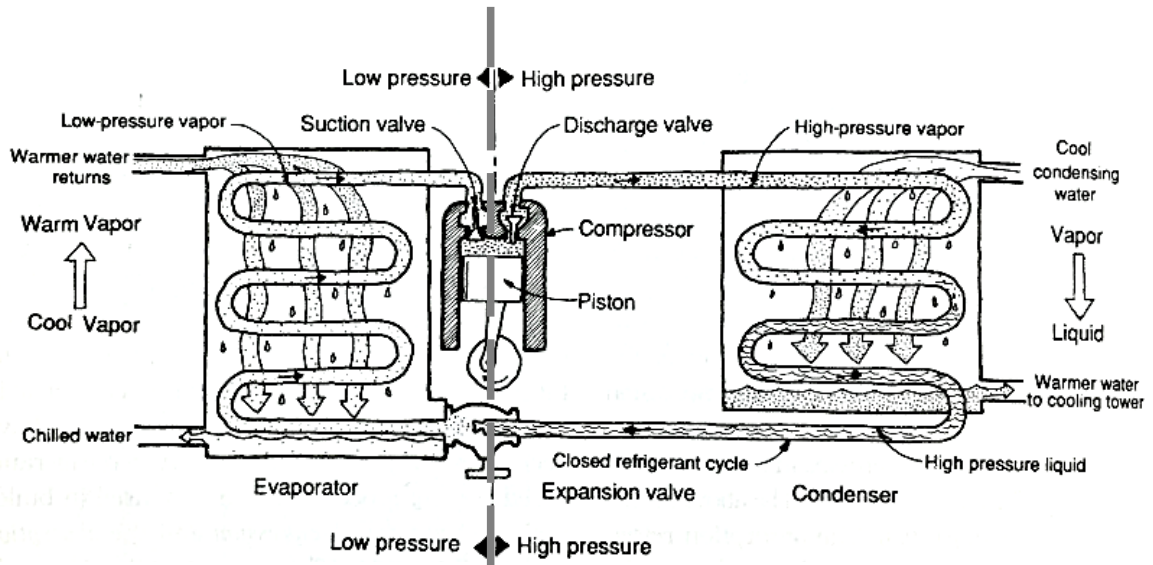


$$Q_h = Q_c + W$$

- More heat is exhausted to the kitchen than is removed from the refrigerator

What is the COP?

◎ Electric Heat Pump (summer case)

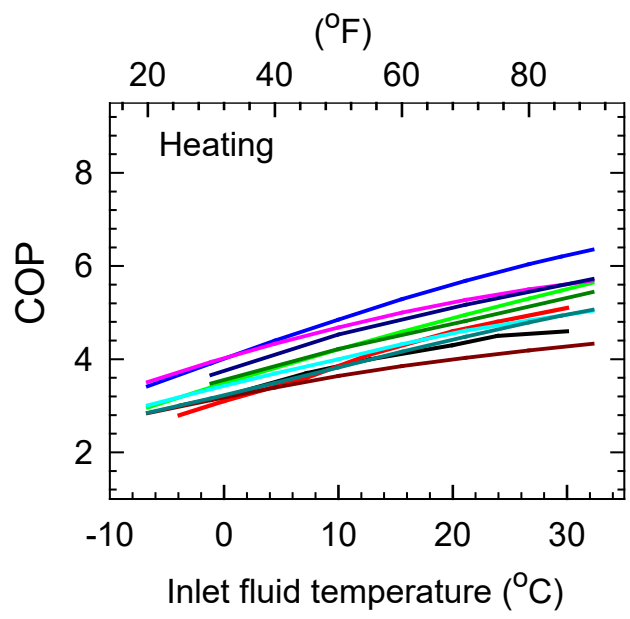
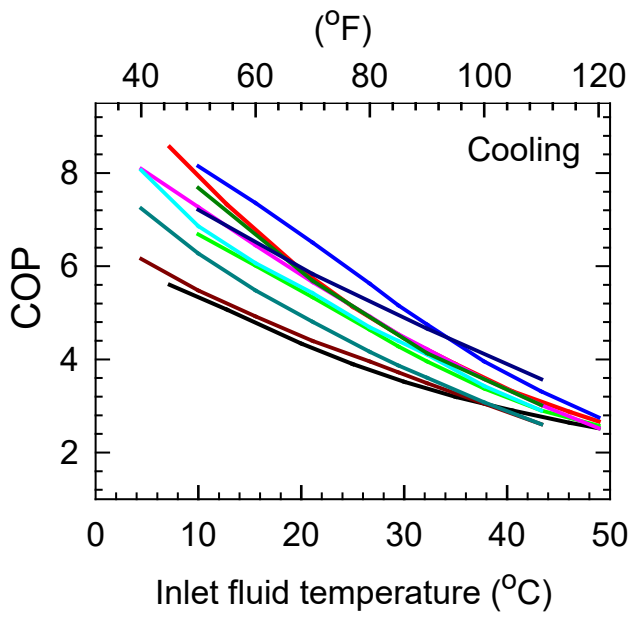


Q. 냉매 양측의 온도는?

실내 (ex. 25°C)

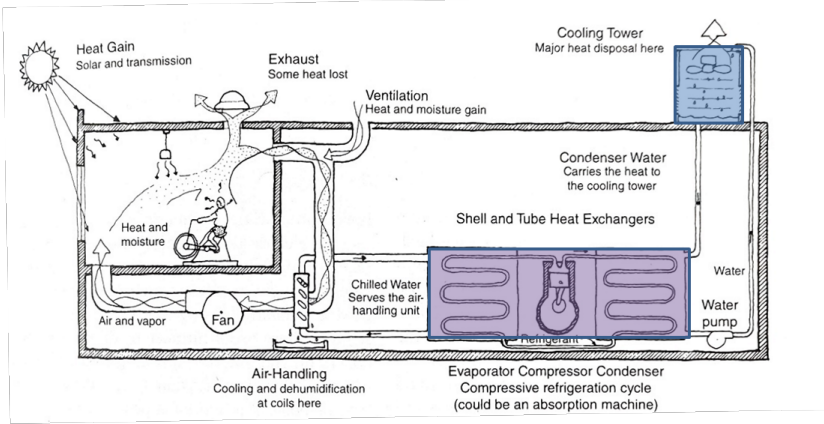
실외 (ex. 35°C)

◎ COP in GCHP vs. EHP

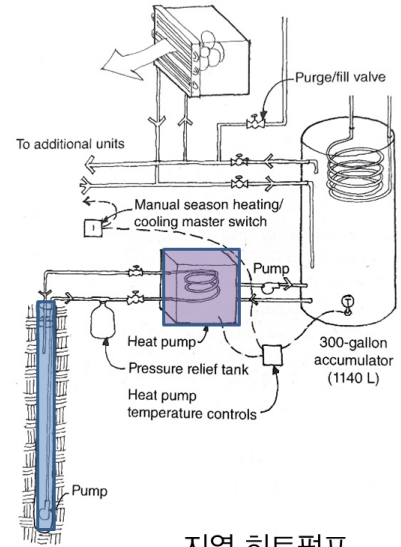


◎ 냉각탑 대신 지열히트펌프

Q. Source 측 온도는?



냉각탑과 결합된 일반적인 히트펌프



지열 히트펌프

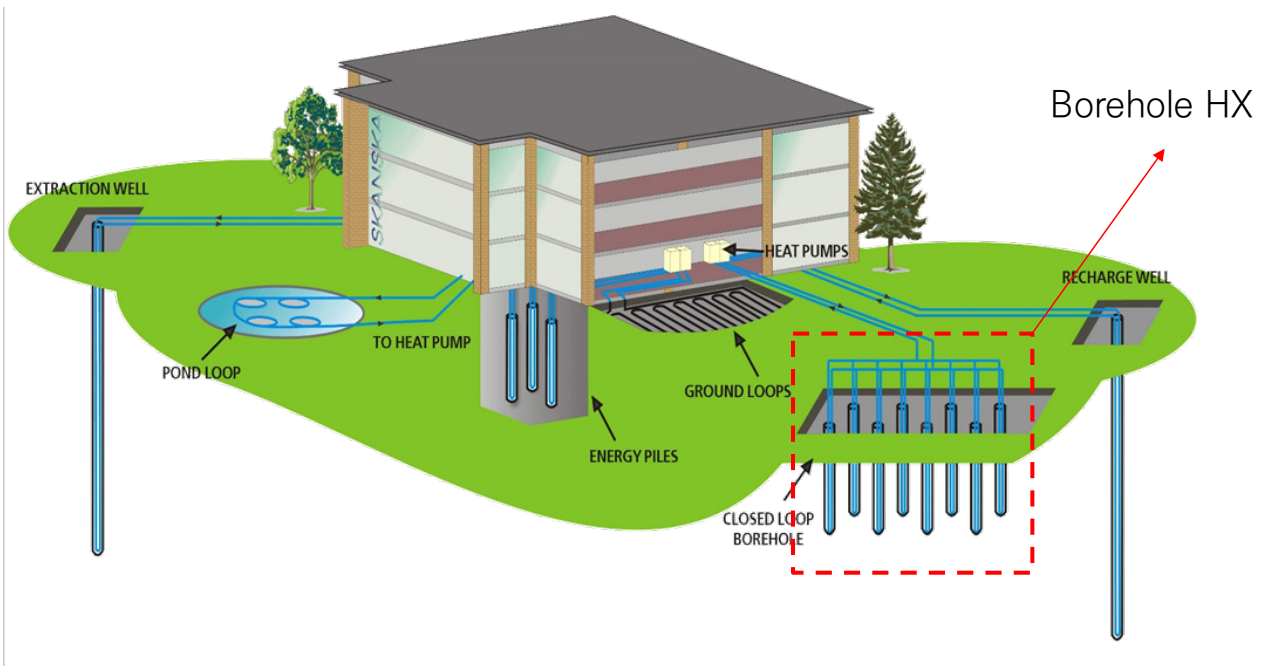
◎ 참고 서적 및 사이트

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

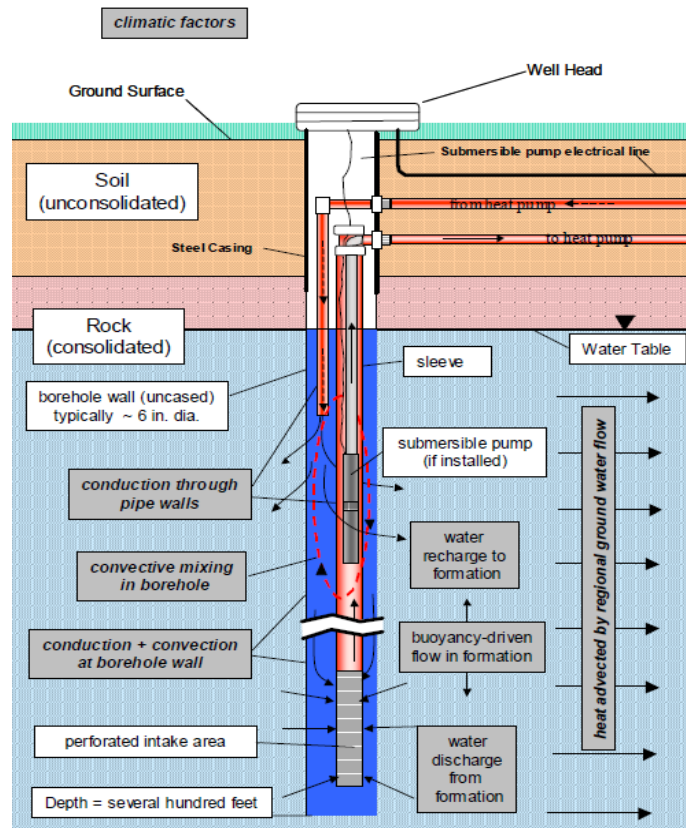
◎ 지중열 교환기 종류

- Systems can be combined to give optimal solution
- Adopted system will depend on the local geology, geography and geometry

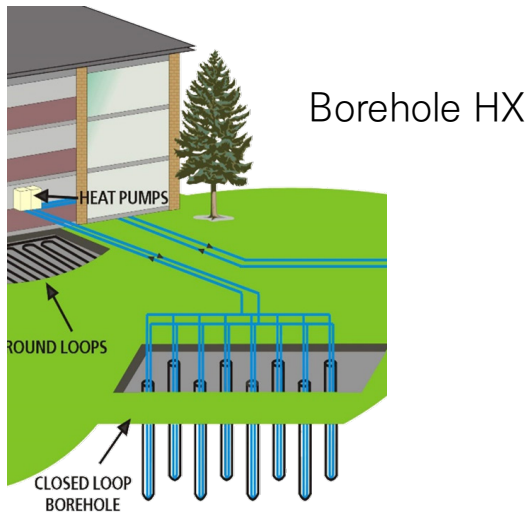


◎ SCW

- 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



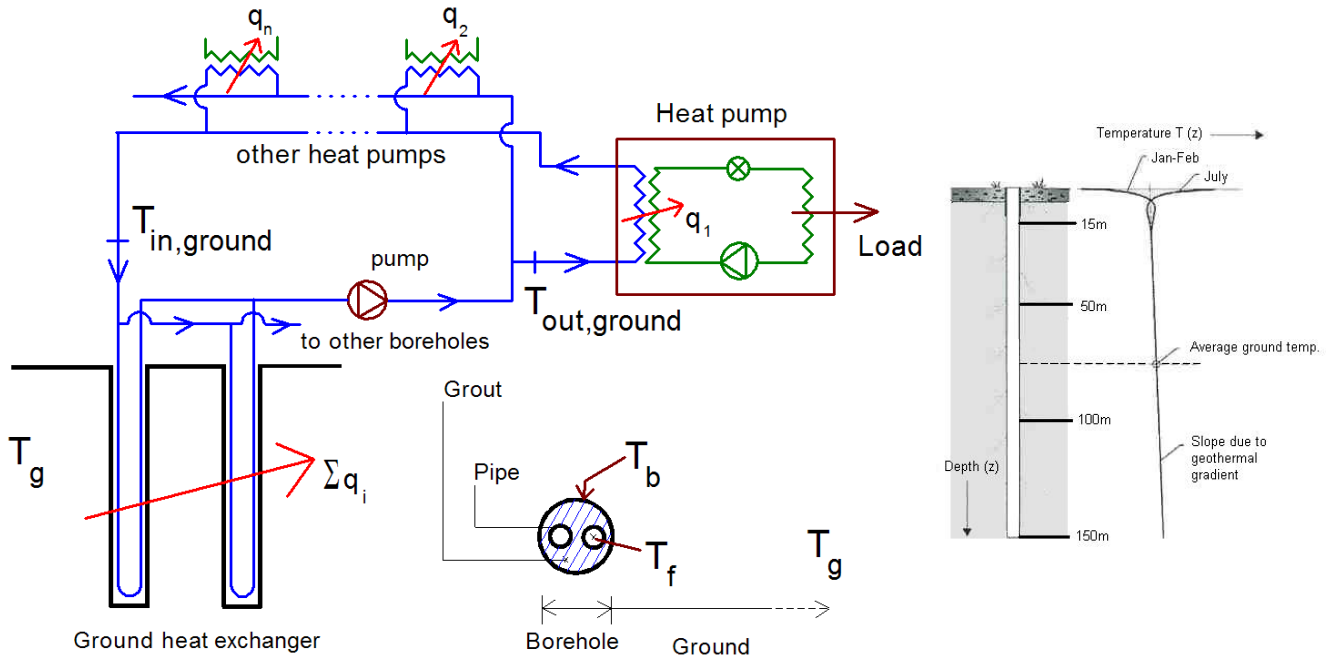
U-pipe



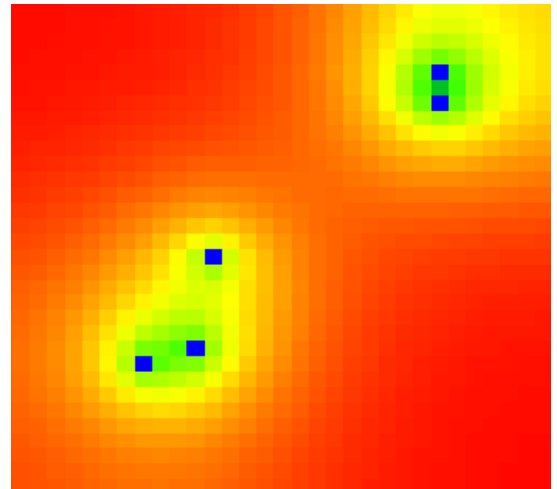
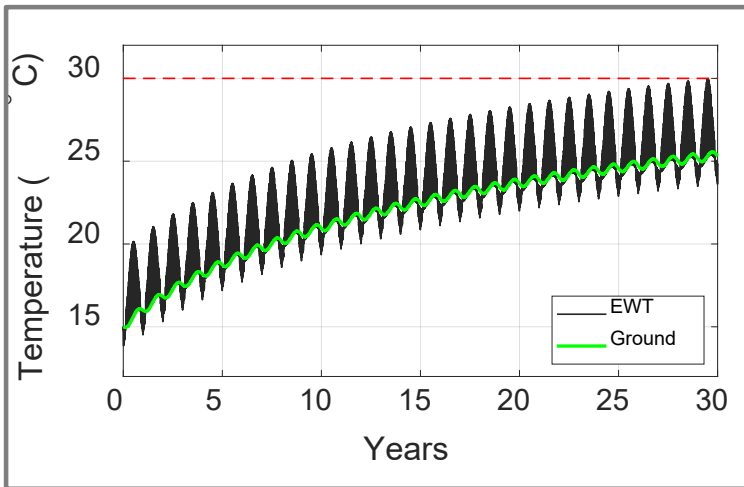
Grouting



◎ 보어홀 지열히트펌프 시스템



◎ 지중 온도변화 with BHEs



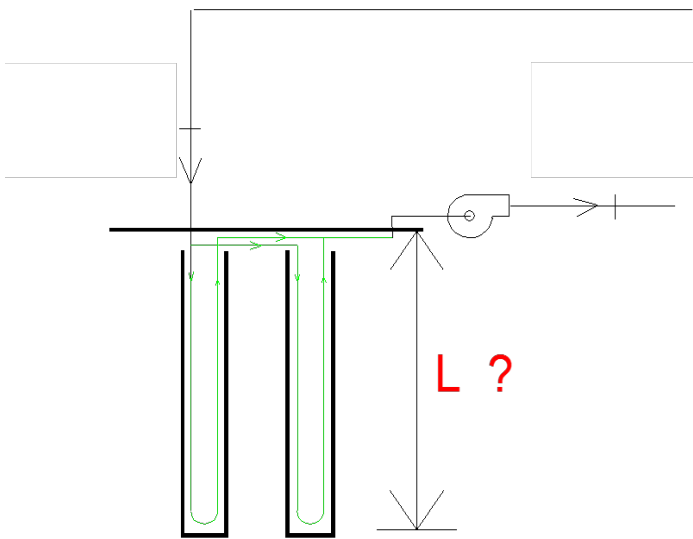
◎ 참고 서적 및 사이트

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

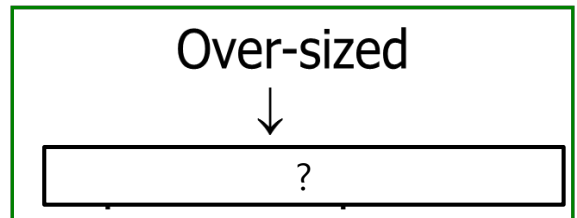
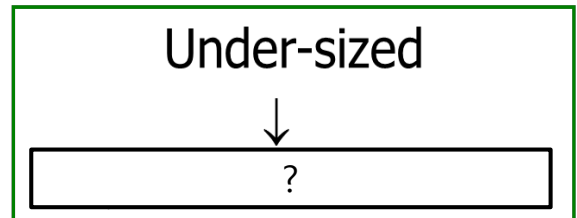
3 지열 히트펌프의 설계

◎ 적절한 설계란?

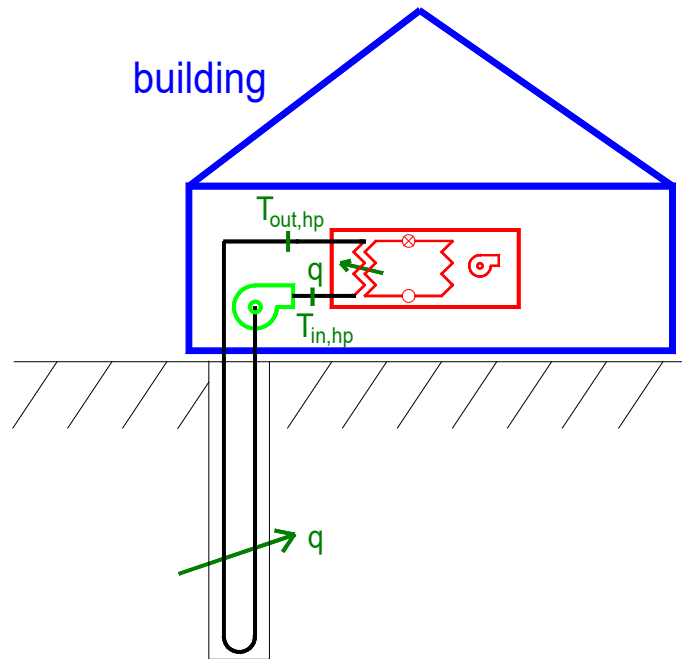
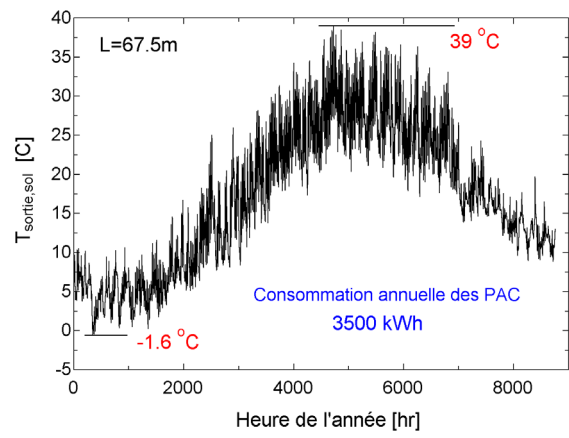
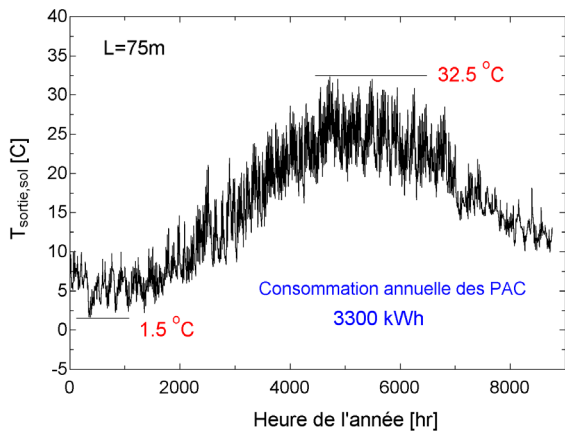
- To size (determine the length) properly:



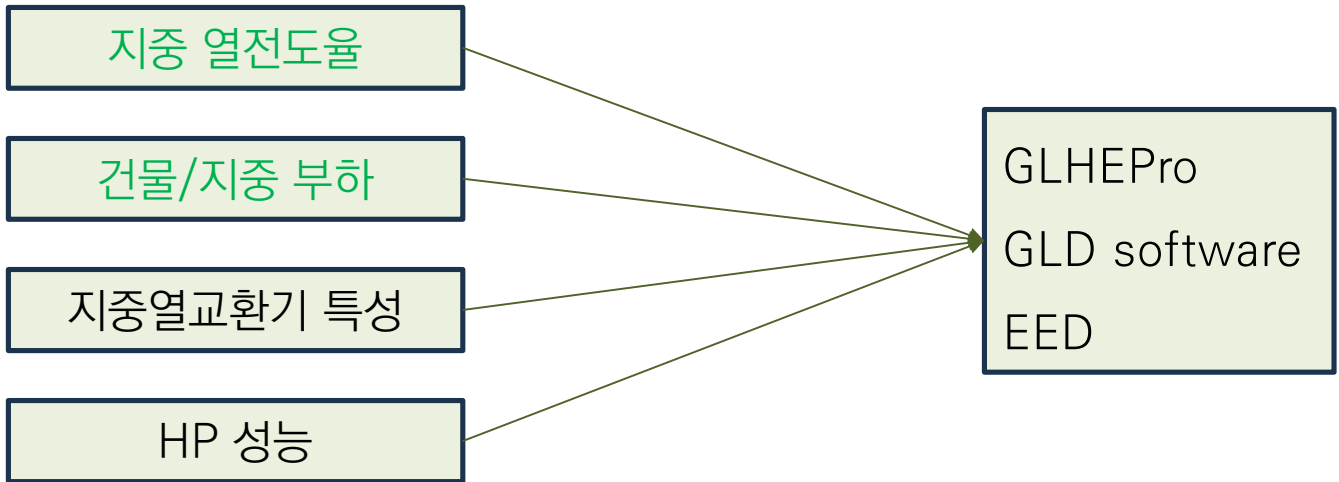
히트펌프의 Source측 부하 - 지중부하
Acceptable Temp. to HP



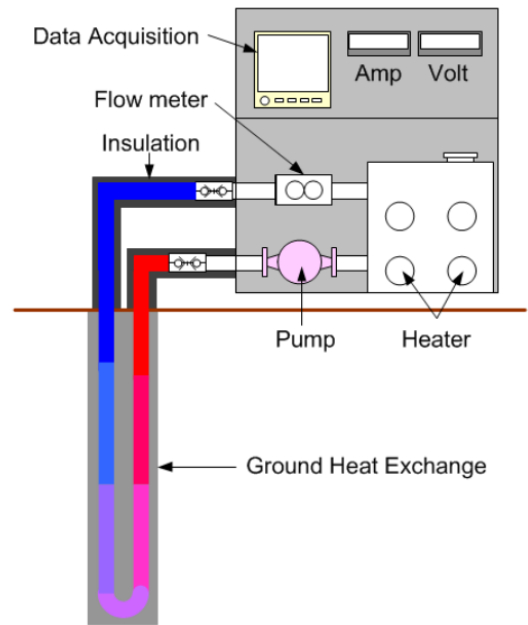
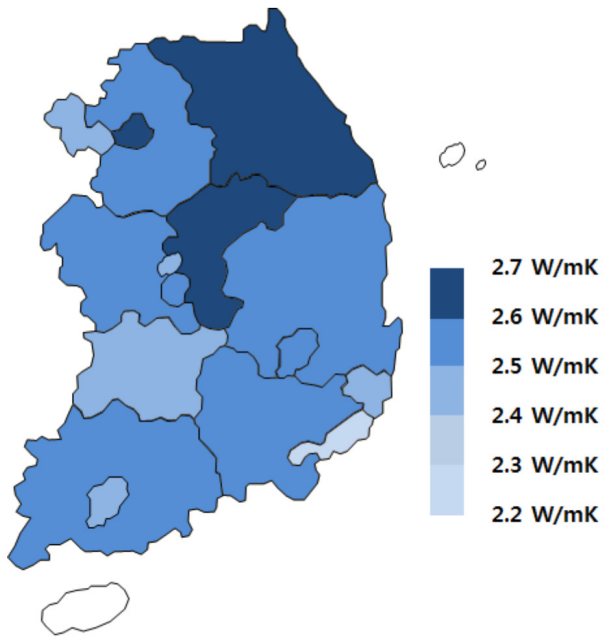
◎ Impact of the length of GHX



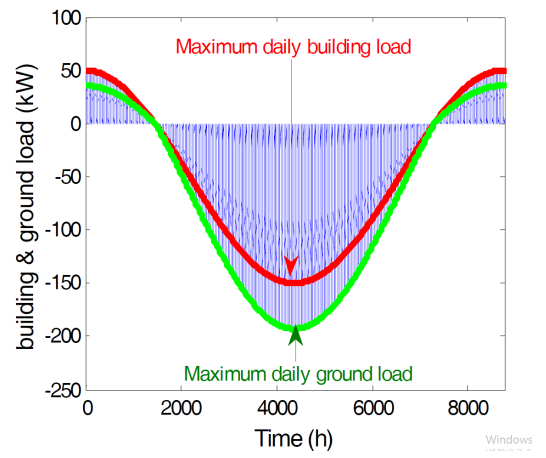
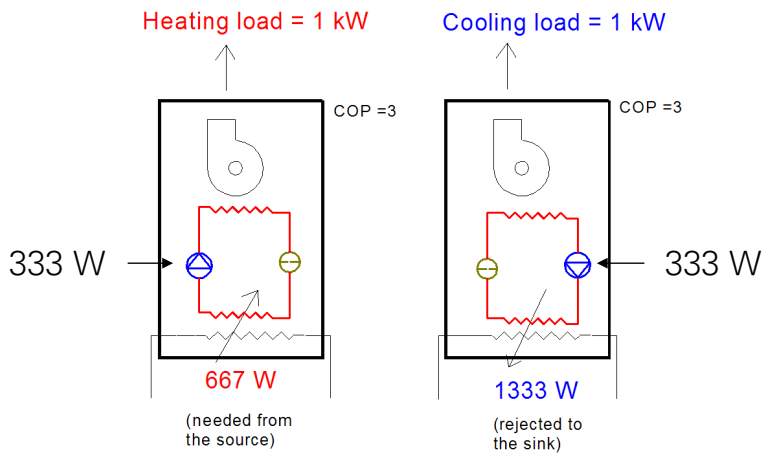
◎ 설계 입력값



◎ 지중 열전도율



◎ 지중부하



◎ 설계 프로세스

3. 지열 교환기 길이 산정

본 연구에서는 ASHRAE에서 제안한⁸⁾ 길이 산정 방법을 택하였고 이에 따라 필요한 총 지열 교환기 길이 L 은 다음 식으로 표현 된다:

$$L = \frac{q_h R_h + q_g R_{hg} + q_m R_{lm} + q_c R_{ch}}{(T_g + T_p) - T_m} \quad (4)$$

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.⁹⁾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_c)를 계산한다.
- (2) 지중 및 지열 교환기의 파라미터로부터 필요한 열 저항($R_h, R_{hg}, R_{lm}, R_{ch}$)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

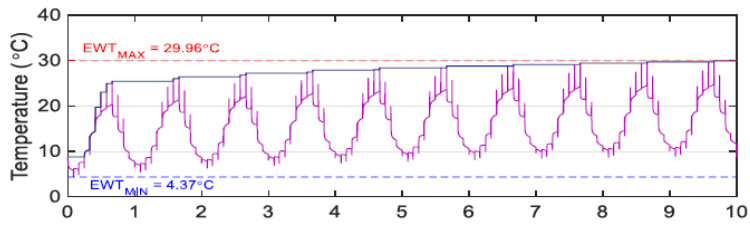
5. 주어진 배열 하에서의 패널티 온도를 결정

6. 이로부터 다시 새로운 길이 (배열 길이를 결정)

7. 수렴할 때까지 4~6을 반복

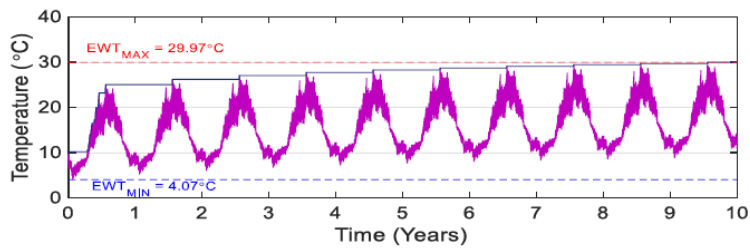
경계조건에 따른 지열 응답 함수의 차이가 수직형 지열 교환기 길이 산정에 미치는 영향, 2014, 설비공학논문집

◎ Sizing 방법 I



(A)

GLHEPRO, GLD

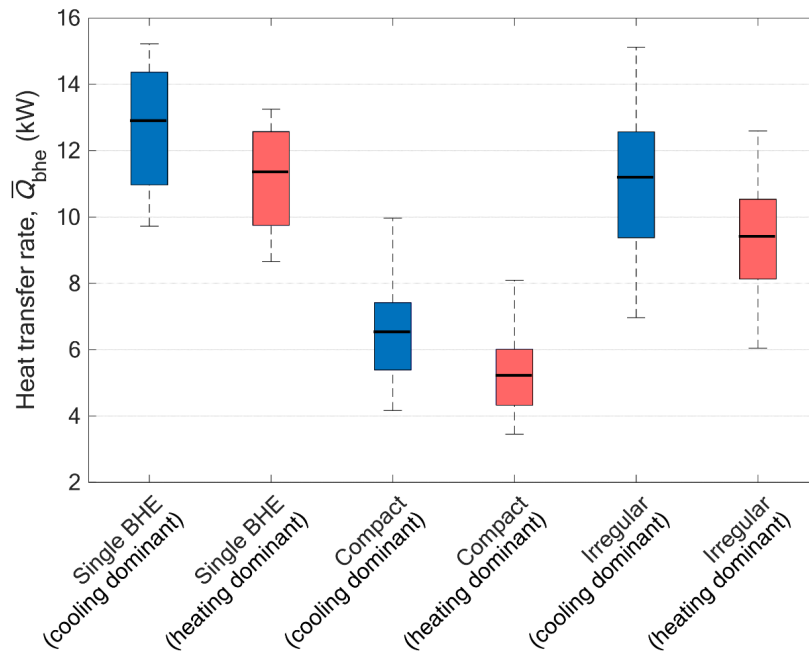


(B)

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

