

제로에너지주택 실측 모니터링 결과 및 기술현안에 따른 ZEB 확산방향

OUTLINE

윤종호

01 서언

- ZEB 시장의 국내현황과 현안
- ZEB와 그린뉴딜, 저층 주거시장의 확대전략 제안 배경

02 ZEB 실측 모니터링 결과와 기술현안

- 4개의 ZEB 단독주택 결과 : 에너지자립도와 에너지비용, 성분별에너지소비량
- ZEB 단독주택 집합주거단지 결과 : 성분별 에너지소비량

03 결론

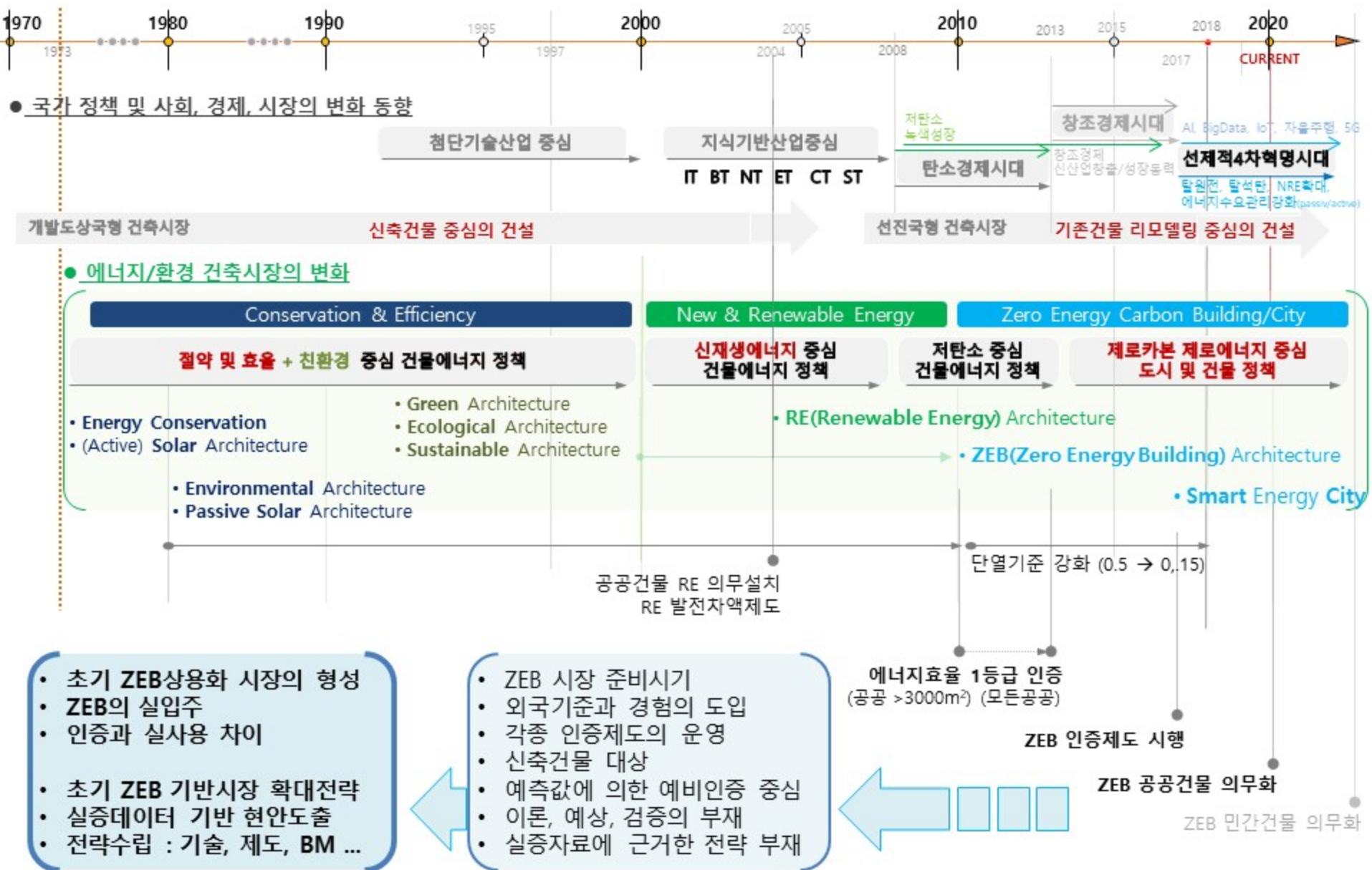
- 저층주택(단지) 그린뉴딜 시장을 위한 기술적/제도적 제안



국립한밭대학교
건축공학과교수
jhyoon@hanbat.ac.kr
<http://real.hanbat.ac.kr>

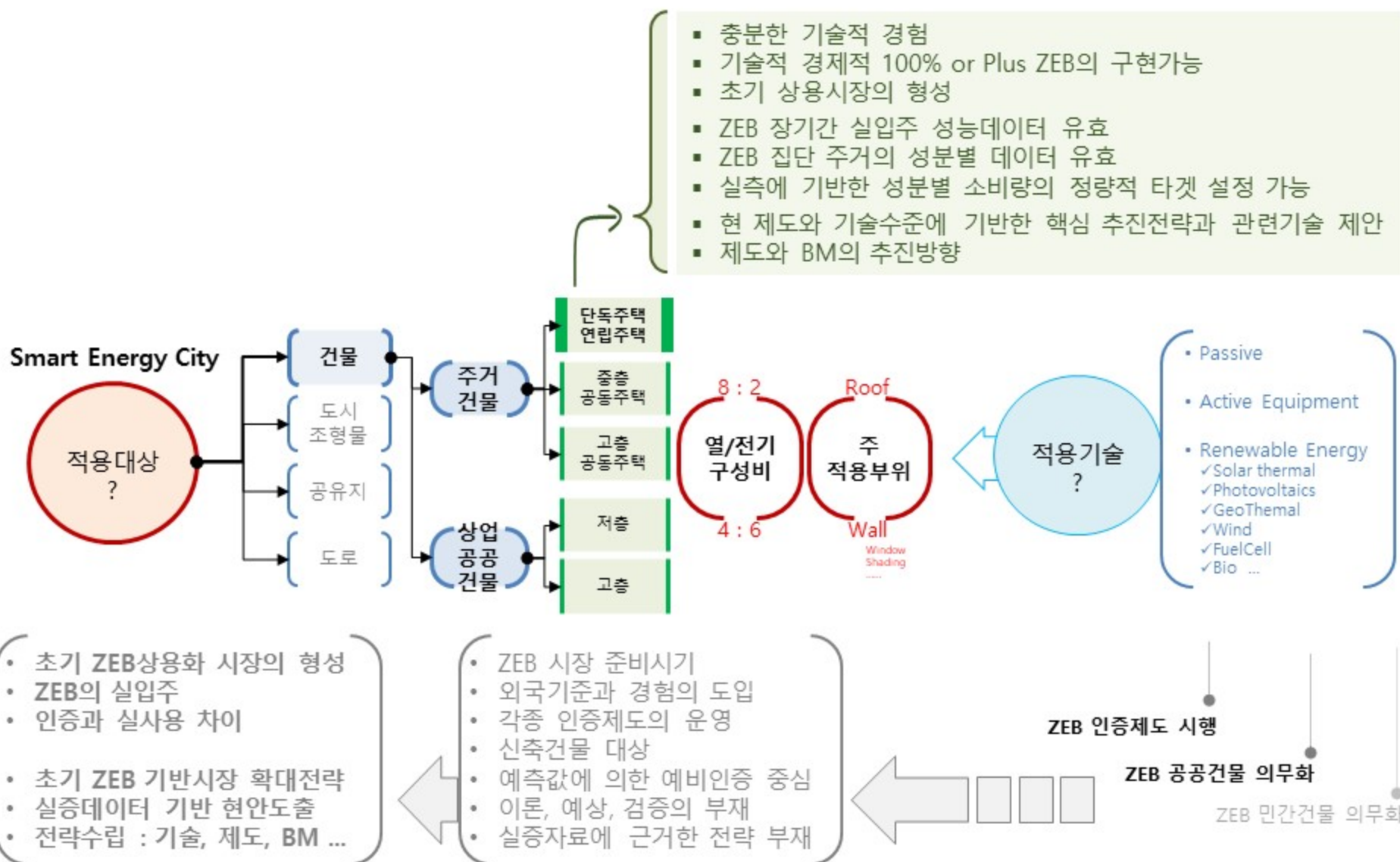


ZEB 시장의 국내현황과 현안 (에너지/환경/건설 시장의 패러다임 변화)



ZEB와 그린뉴딜

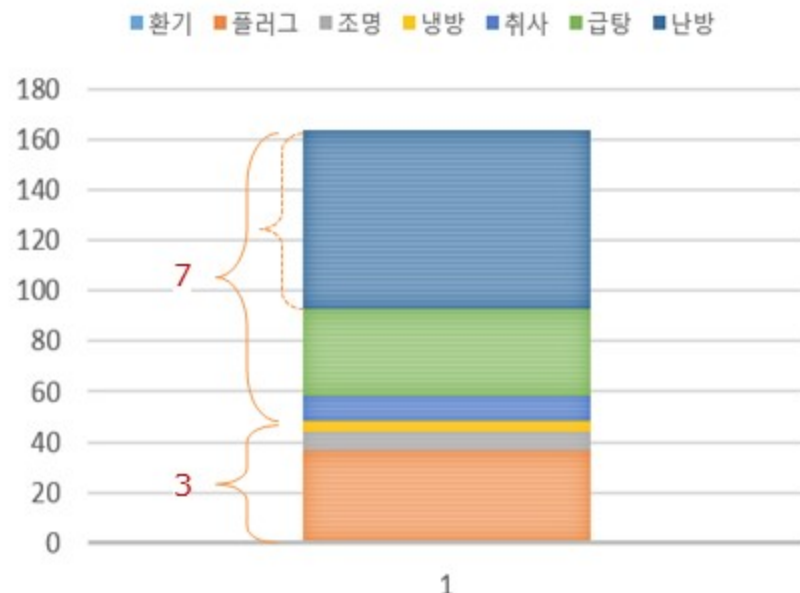
- ZEB와 그린뉴딜, 초기 시장기반 확대 위해 어떤 시장을 우선 대상으로 할 것인가 ?



2013년 기준 공동주택(대전)의 성분 별 에너지소비량 측정결과

대전지역 공동주택의 성분별 연간 2차에너지소비량 및 단위면적(전용면적)당 원단위의 산출결과

성분	연간총에너지사용량 (kWh/세대.년)	원단위 (kWh/m ² .년)	%
난방	6,850	71.1	43%
급탕	3,297	34.1	21%
취사	996	10.4	6%
냉방	393	4.1	3%
조명	753	7.8	5%
플러그	3,500	36.4	22%
환기	-	0.0	0%
합계	15,789	163.9	100%

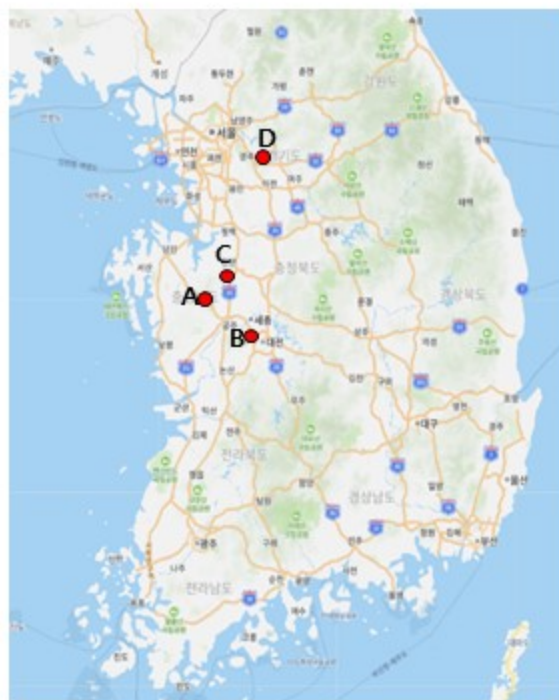


- 에너지소비량 조사 : 대전지역 소재의 총 31개 단지 **23,791**세대
- 분석대상기간 : 2010년 1월 ~ 2012년 12월까지 총 3년간의 열 및 전기에너지 소비량 실측데이터
- 단지당 평균 세대수는 767세대, 전체세대의 공급면적 평균은 120m², 전용면적 평균은 97m²
- 난방공급 유형별 5개부류 단지
- 대상 아파트단지의 준공년도는 1991~2008년에 걸쳐있으며 평균 준공년도는 1998년.

204 → 164 kWh/m².yr

4개 ZEB 실측 주택의 건축개요

4개 주택 건축개요



Gongju-A



Gongju-B



Cheonan-C



Gwangju-D



		Gongju-A	Gongju-B	Cheonan-C	Gwangju-D	법적단열기준	Passivhaus
단열 (W/m ² K)	지붕	0.22	0.23	0.23	-	0.15	0.15
	외벽	0.18	0.18	0.21	0.16	0.15	0.15
	바닥	0.19	0.22	0.22	0.14	0.81	N/A
	창	1.0	1.5	1.5	0.5	0.9	0.8
침기 (ACH @ 5Pa)		1.3	1.3	1.3	1.0		
PV 용량 (kW)		6	6	6	8.4		

		Gongju-A	Gongju-B	Cheonan-C	Gwangju-D
면적	면적	113.5 m ²	82.4 m ²	57.0 m ²	98.9 m ²
	구조	경량 목구조	경량 목구조	경량 목구조	SIP
층수	층수	2	2	1	1
	준공 시기	2013	2015	2016	2017

Gwangju Zero Energy Solar House

- 위치 : 경기도 광주시 퇴촌면 관음리
- 준공 년도 : 2017
- 용도 및 면적 : 단독주택 98.85 m2 (1층)



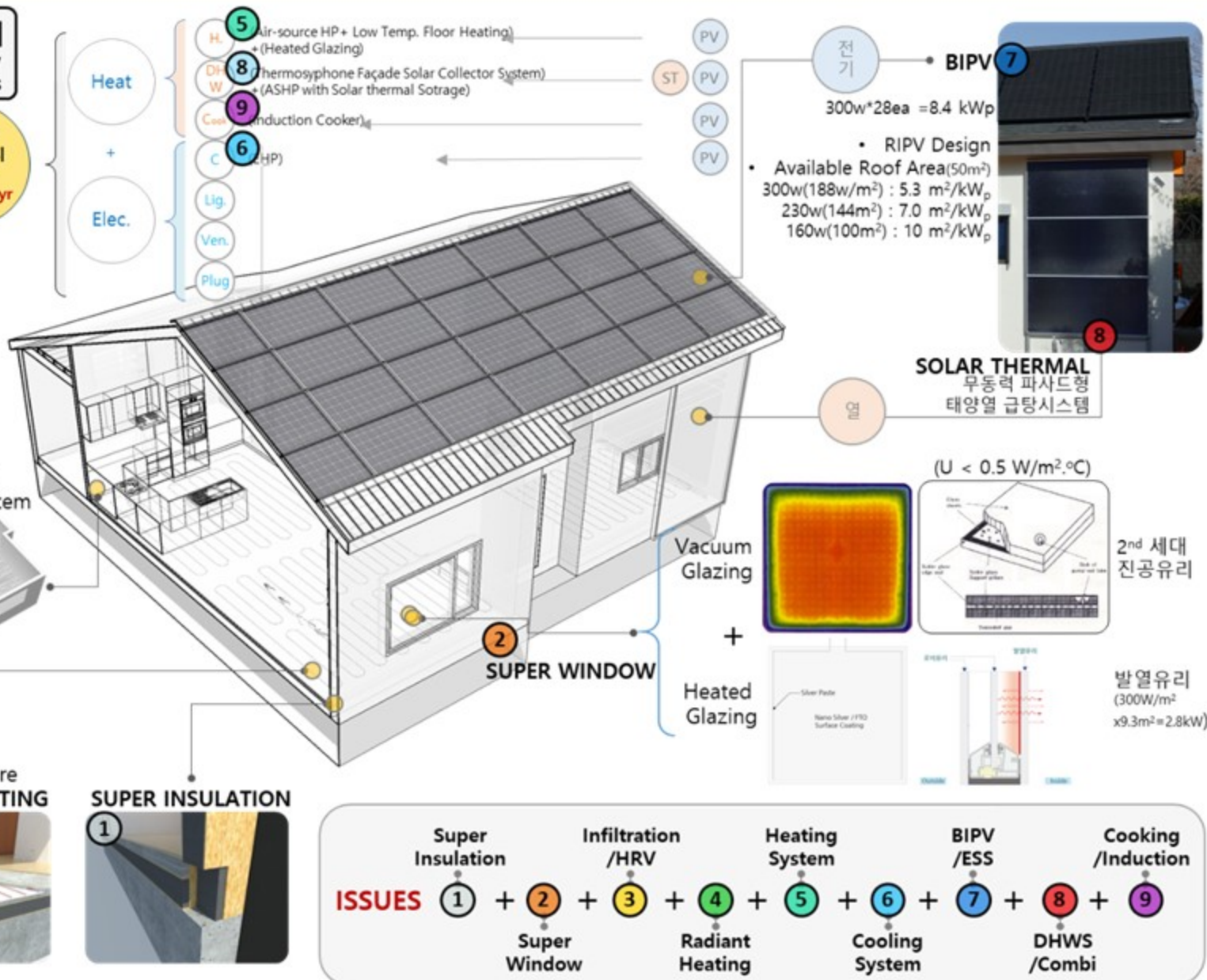
❖ 동지일(12월22일)의 가조시간 평가



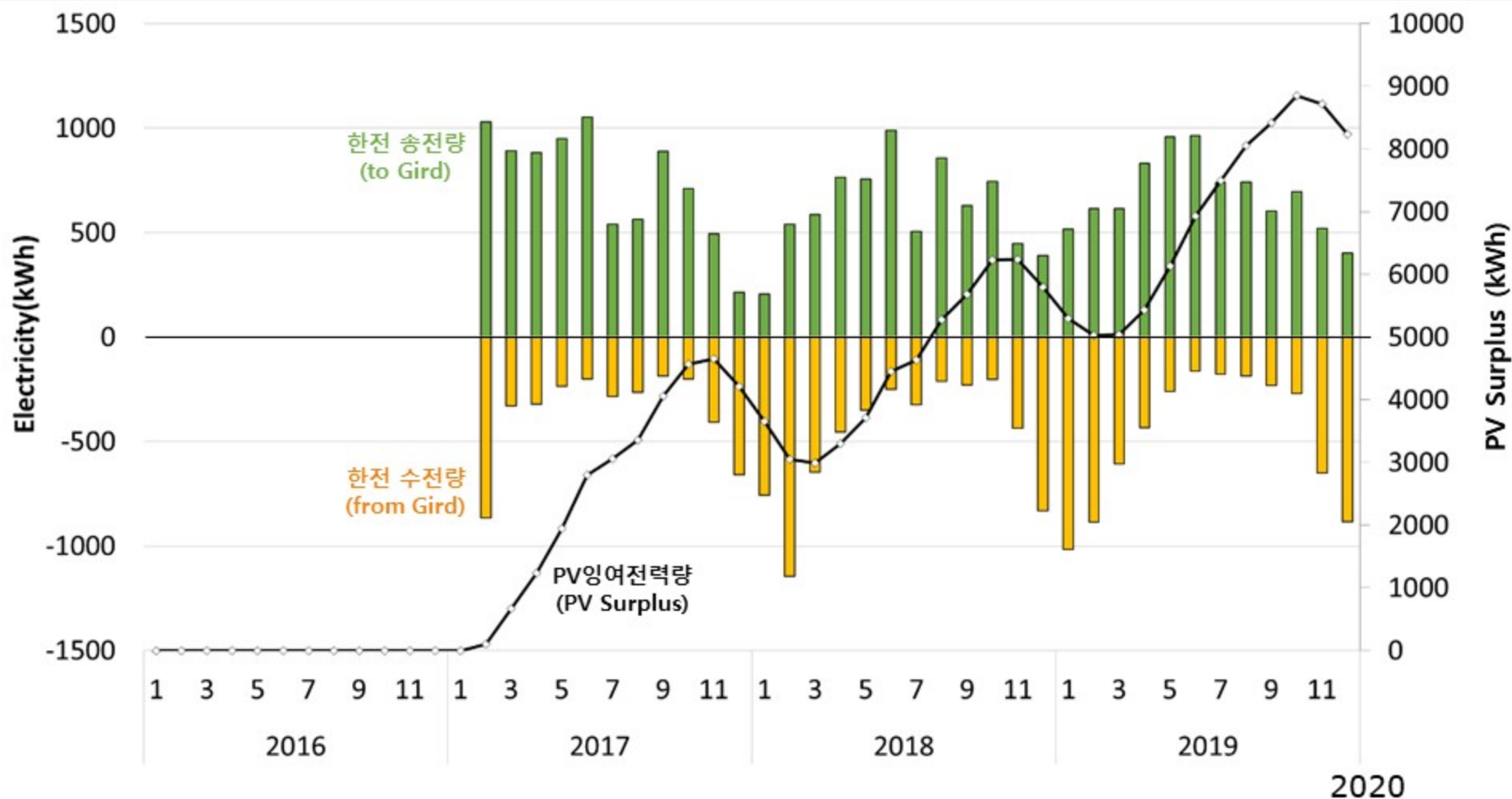
Gwangju Zero Energy Solar House

TC ZESH Key Technology & Current Issues

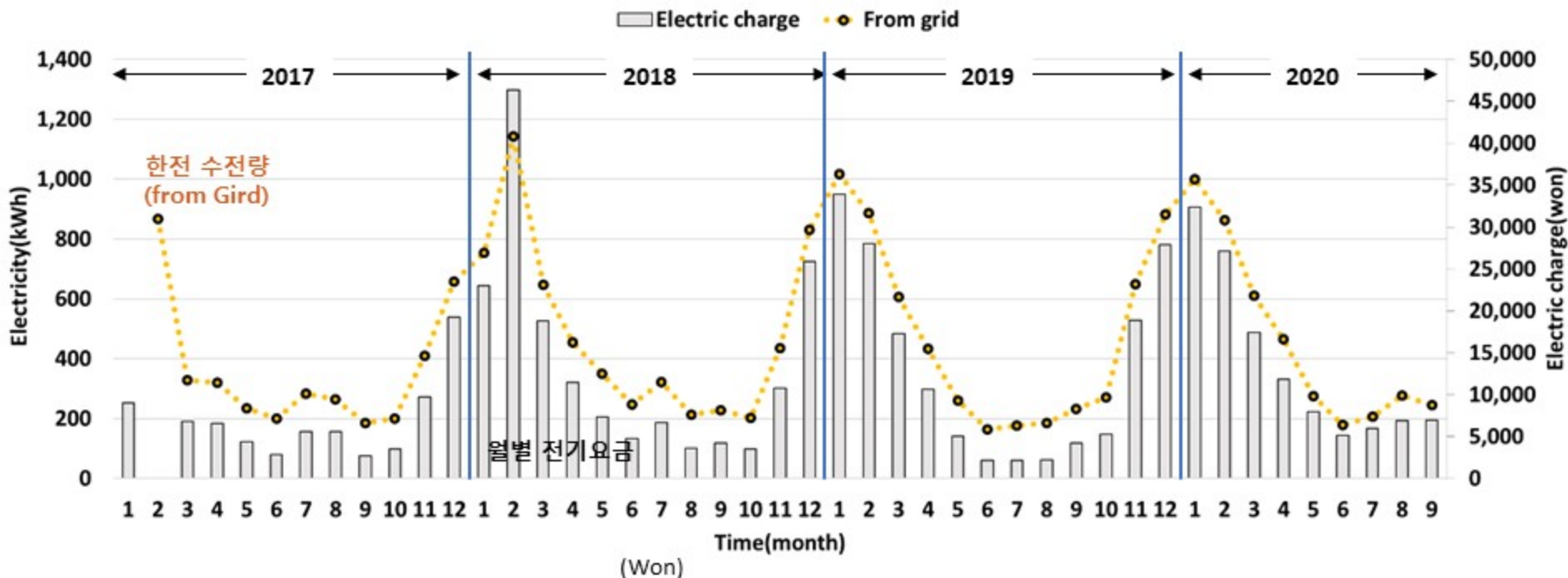
주택연간
화석에너지
사용량
0 kWh/m².yr



월별 수전량과 송전량 및 PV 잉여전력량 (한전고지서 기준)



ZEB_Gwangju 의 월별 에너지총비용 (한전고지서 기준)

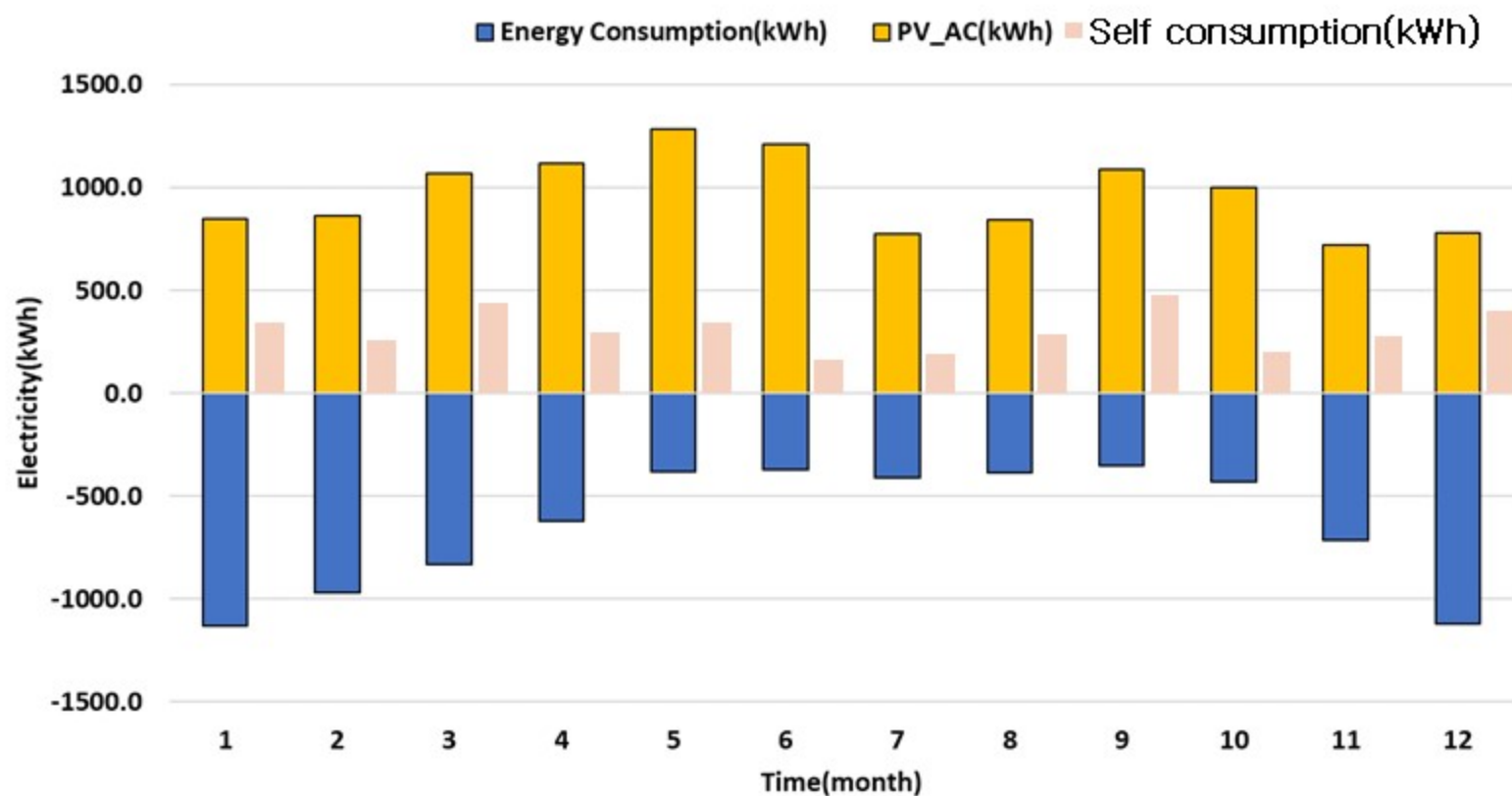


Year	Average	Max	Min	Sum
2016	-	-	-	-
2017	6,913	19,240	2,870	76,040
2018	13,864	46,390	3,550	166,370
2019	13,141	33,940	2,140	157,690
2020	13,523	32,390	5,110	121,710

대표 년도(2019) 요금비율

- 여름(6월~8월) : 6,530원 (4%) - 봄 (3월~5월) : 9,510원 (6%)
- 가을(9월~10월) : 32,900원(21%) - 겨울 (11월~익년2월) : 108,750원(69%)

- 2017,2018,2019 평균 자가소비량 : 28%, 33%, 33%



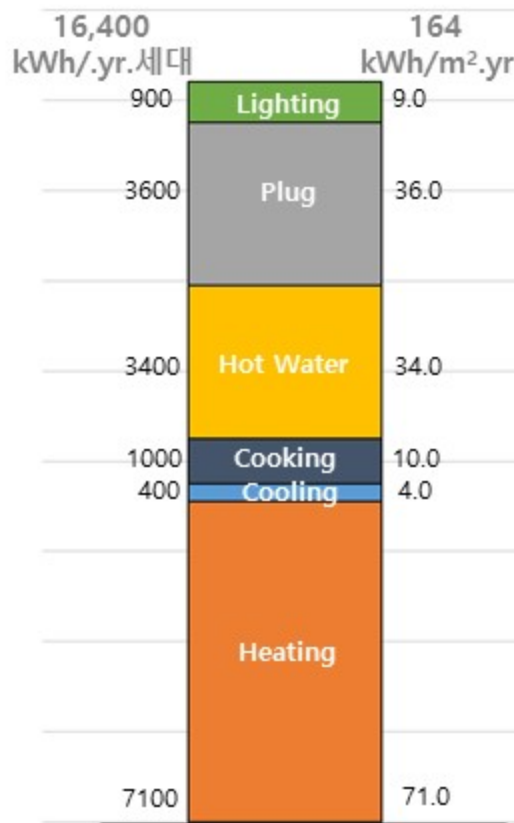
- 자가 소비량 평균 31%

● 기존 일반주택 대비 ZEB 에너지 소비량 비교

- 대전지역 공동주택 단지를 대상으로 연간 총에너지 소비량 실측 분석
- 연간 총 에너지 소비량은 15,789kWh/세대.yr
- 열에너지 소비량(난방, 급탕, 취사)은 11,143kWh/세대.yr
- 전기에너지 소비량(냉방, 조명, 플러그)은 4,646kWh/세대.yr
- 분석 제로에너지 주택 분석 결과 78.5kWh/m².yr
- 8.82kWp의 지붕일체형 태양광발전시스템을 통해 연간 115.7kWh.yr 전기 생산
- 분석대상은 연간 37.2kWh/m².yr의 전기를 생산하는 플러스 에너지 주택

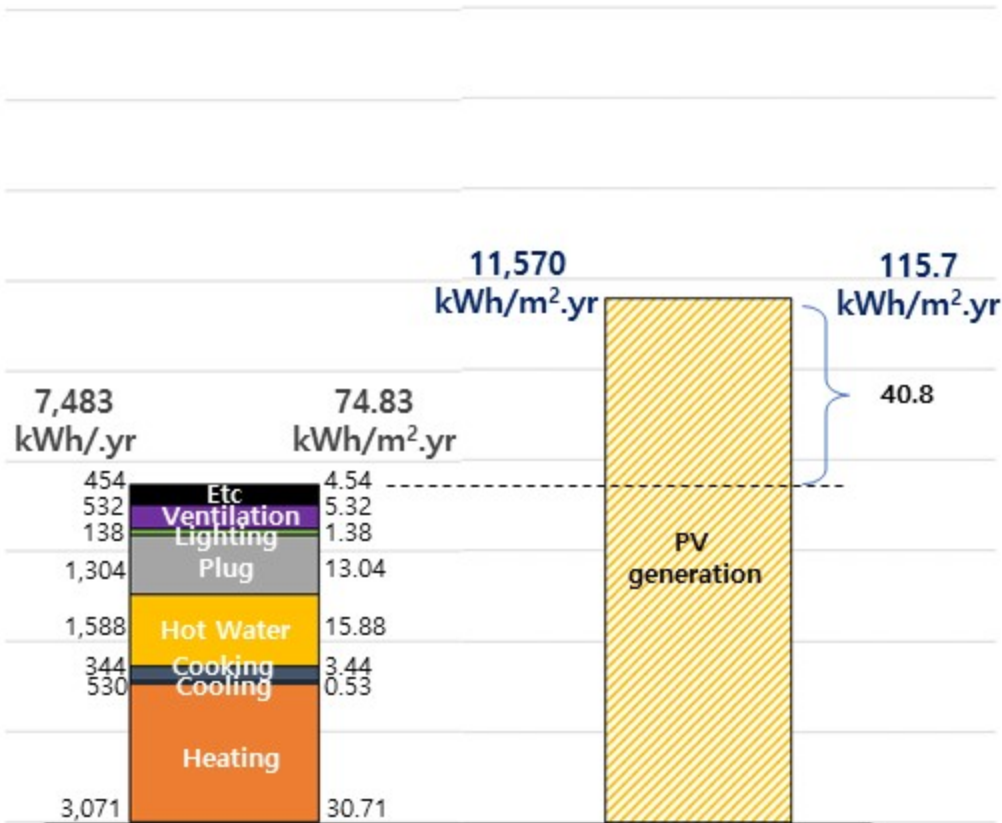
기존주택

(공동주택 2013년 실측치)

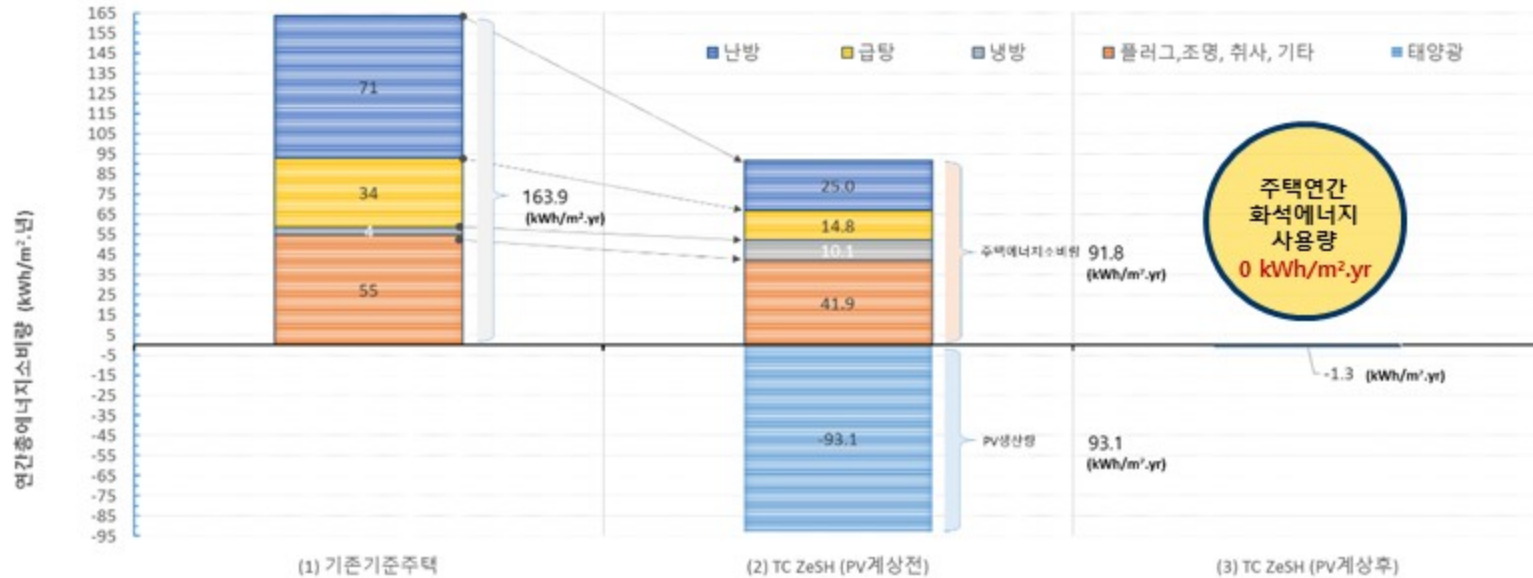


ZEB_Gwangju

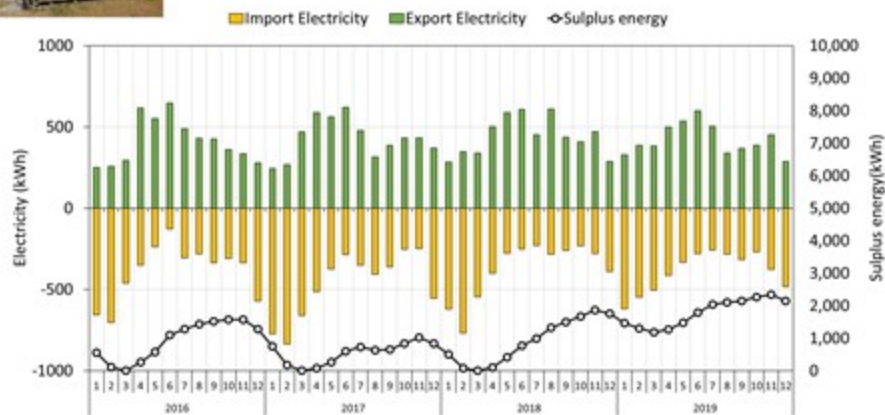
(실측치)



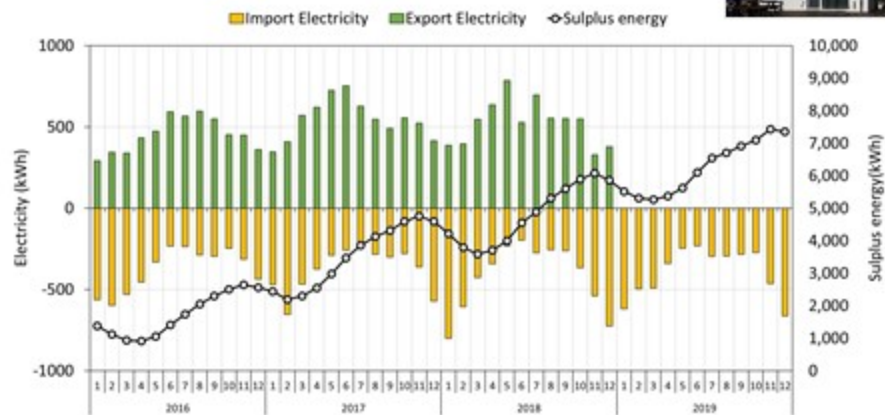
제로에너지화 부하구성 (예측 및 실측) 및 설비 시스템 구성전략



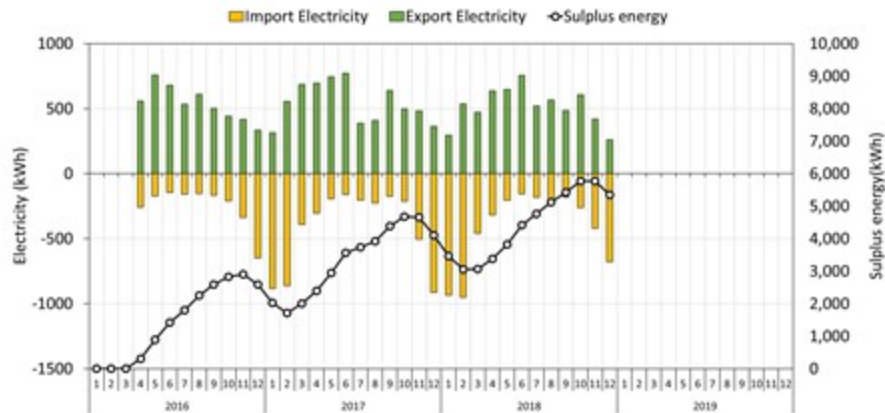
4개 ZEB 주택의 수전, 송전량 및 PV 잉여전력량 (한전고지서 기준)



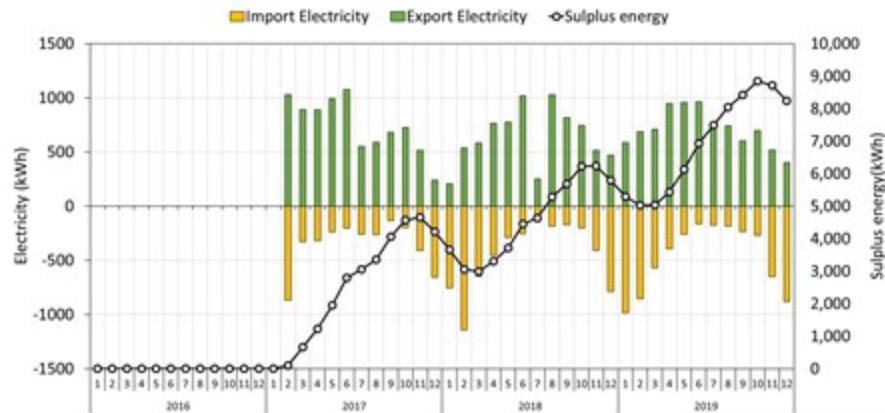
Gongju-A



Gongju-B



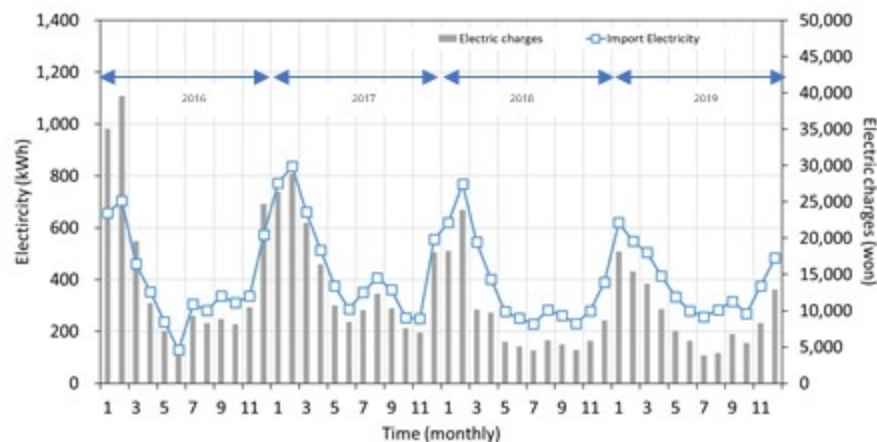
Cheonan-C



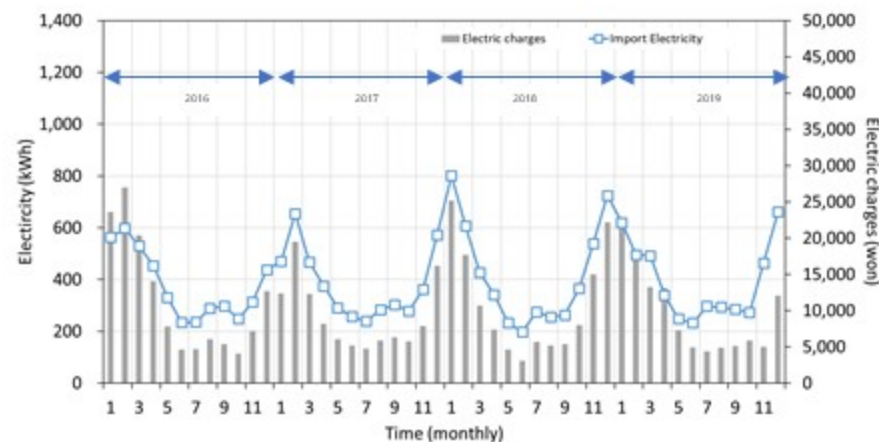
Gwangju-D



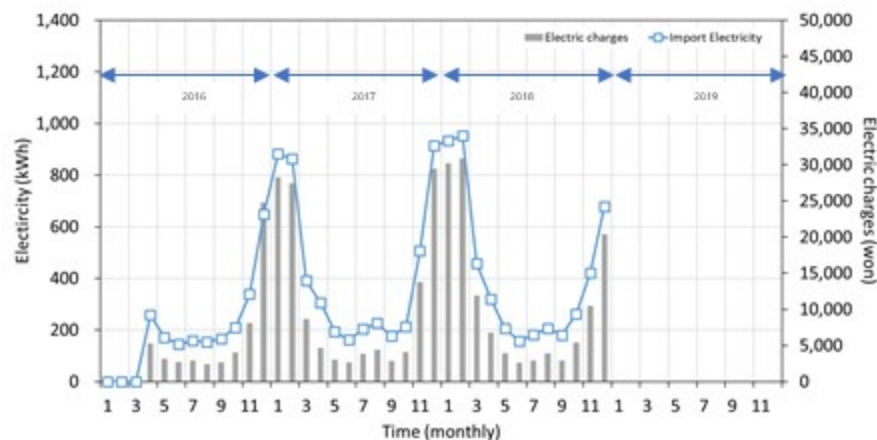
4개 ZEB 주택의 월별 에너지총비용 (한전고지서 기준)



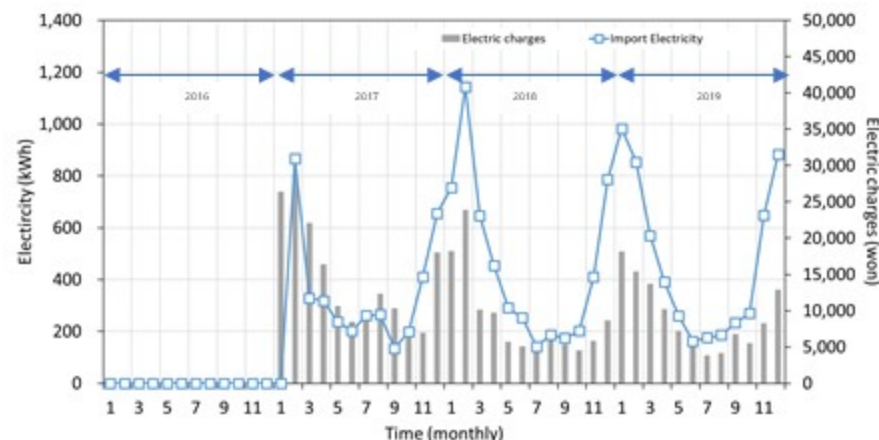
Gongju-A



Gongju-B



Cheonan-C



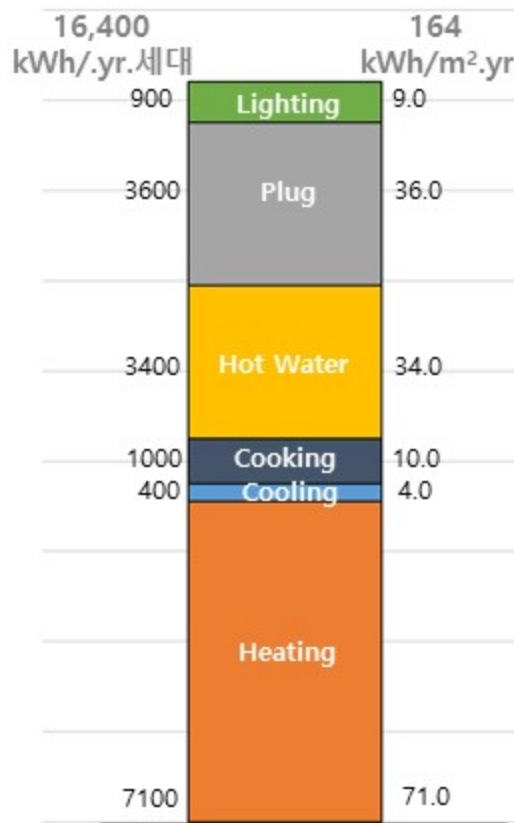
Gwangju-D

● 기존 일반주택 대비 ZEB 에너지 소비량 비교

- 대전지역 공동주택 단지를 대상으로 연간 총에너지 소비량 실측 분석
- 연간 총 에너지 소비량은 15,789kWh/세대.yr
- 열에너지 소비량(난방, 급탕, 취사)은 11,143kWh/세대.yr
- 전기에너지 소비량(냉방, 조명, 플러그)은 4,646kWh/세대.yr
- 분석 제로에너지 주택 분석 결과 78.5kWh/m².yr
- 8.82kWp의 지붕일체형 태양광발전시스템을 통해 연간 115.7kWh.yr 전기 생산
- 분석대상은 연간 37.2kWh/m².yr의 전기를 생산하는 플러스 에너지 주택

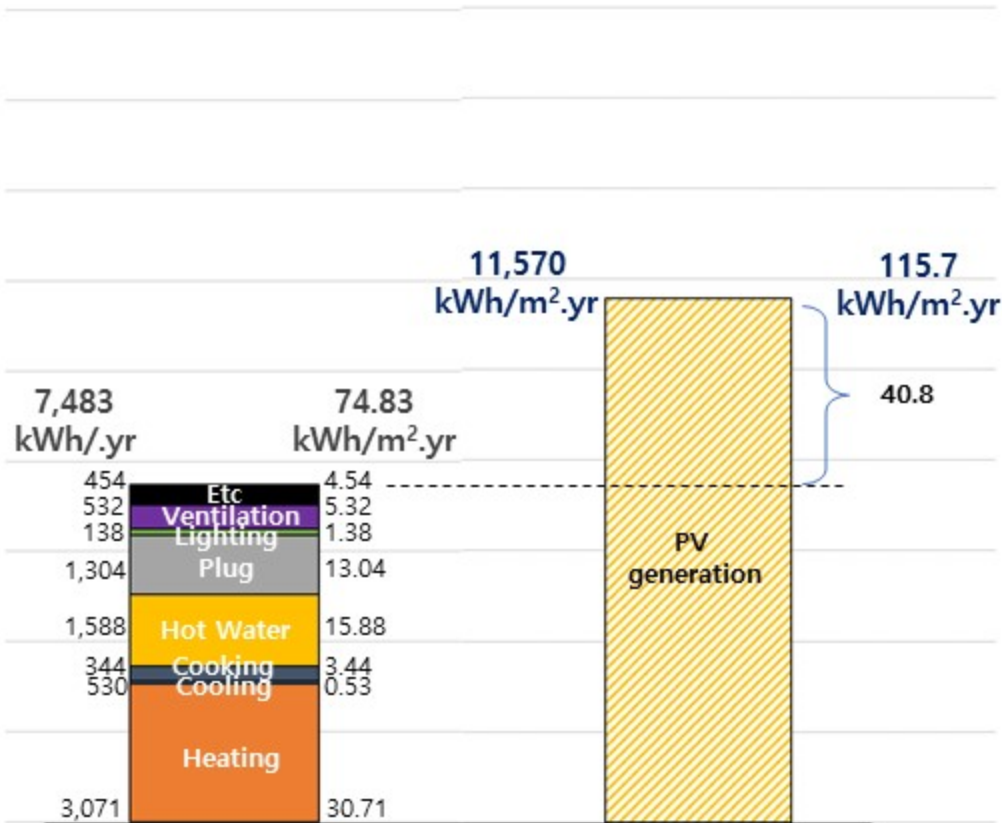
기존주택

(공동주택 2013년 실측치)



ZEB_Gwangju

(실측치)



ZEB 집합주거단지 개요 (SR House Complex)



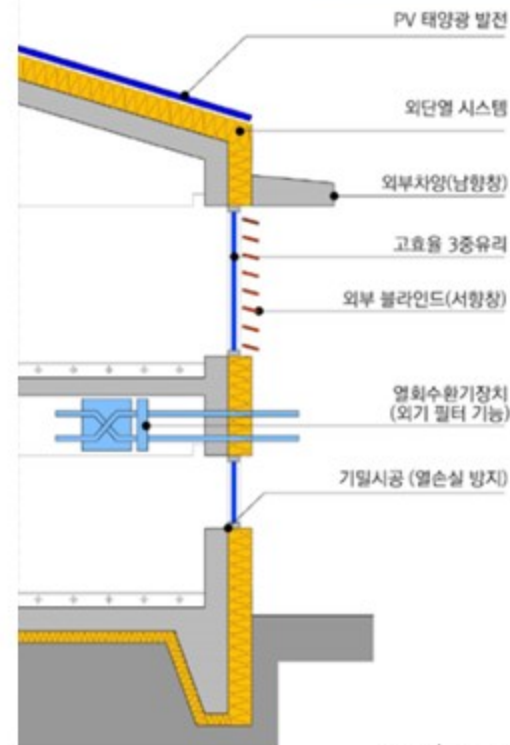
위치	세종시
용도	제1종 전용주거지역, 제1종 지구단위계획 구역
대지면적	18,217.00㎡
연면적	5305.53㎡
규모	지상2층, 57개동(주민공동시설포함)
세대수	60세대
주차대수	72세대(세대주차60대, 방문주차12대)

- 단위세대면적 : 85 m²
- 3층구조
- 고기밀 고단열 (삼중창호)
- 일사조절 외부루버
- 난방/급탕/취사 : 도시가스
- 냉방 : 룸에어컨
- 조명 : LED
- 태양광 시스템 : 4.25 kWp
- 건립 입주 : 2019. 2



총 60가구

- 85m²A (Green)
- 85m²B (Orange)
- 85m²C (Blue)
- 쓰레기분리수거장 (Yellow)
- 쓰레기이송설비투입구 (Red Triangle)
- 자전거보관소 (Purple Circle)
- 자전거세탁장 (Green Circle)
- 에어컨 실외기 (Blue Circle)
- 전기차 충전기 (Pink Circle)



(자료출처 : 로텐하우스단지 홈페이지)

● ZEB 인증기반의 보급형 ZEB BEMS 표준모델구축

- 세종 1-1지구
- 제로에너지빌딩 본인증
- 국내최초 단독주거용 패시브하우스



설계반영 민수용 AMI(전기,수도,가스)



EMS 구축_세대부



EMS 구축_공용부



● ZEB BEMS 활용 시민 DR(수용반응) 서비스

- 월 1~2회 미션발령
- 사용량이 폭증하는 20시 전후로 시행
- 미션타임을 60분 내외로 적용하여 참가자의 불편을 줄임
- 가정에서 전기에너지를 사용을 최소화 할 수 있는 활동 유도

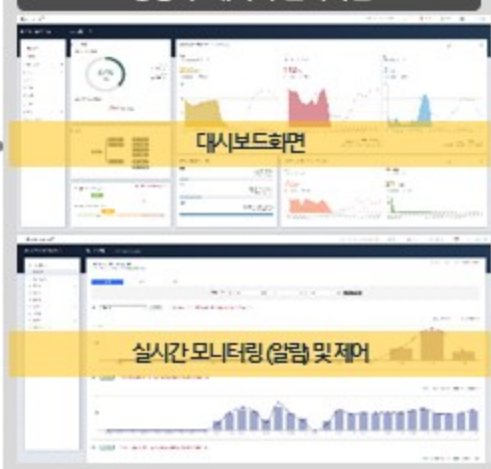


클라우드서버

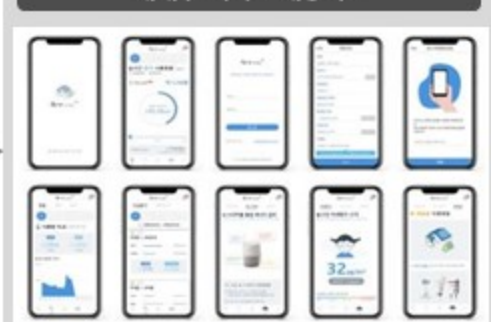


IoT LPWAN
게이트웨이

공용 부 데이터 관리화면

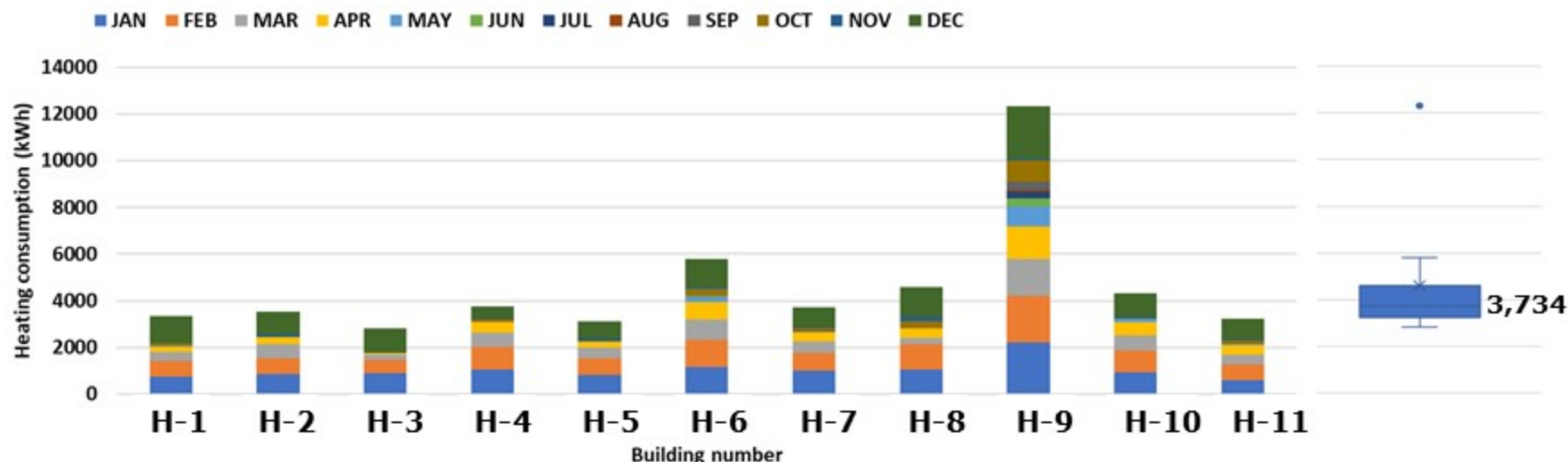


세대부 서비스 제공화면

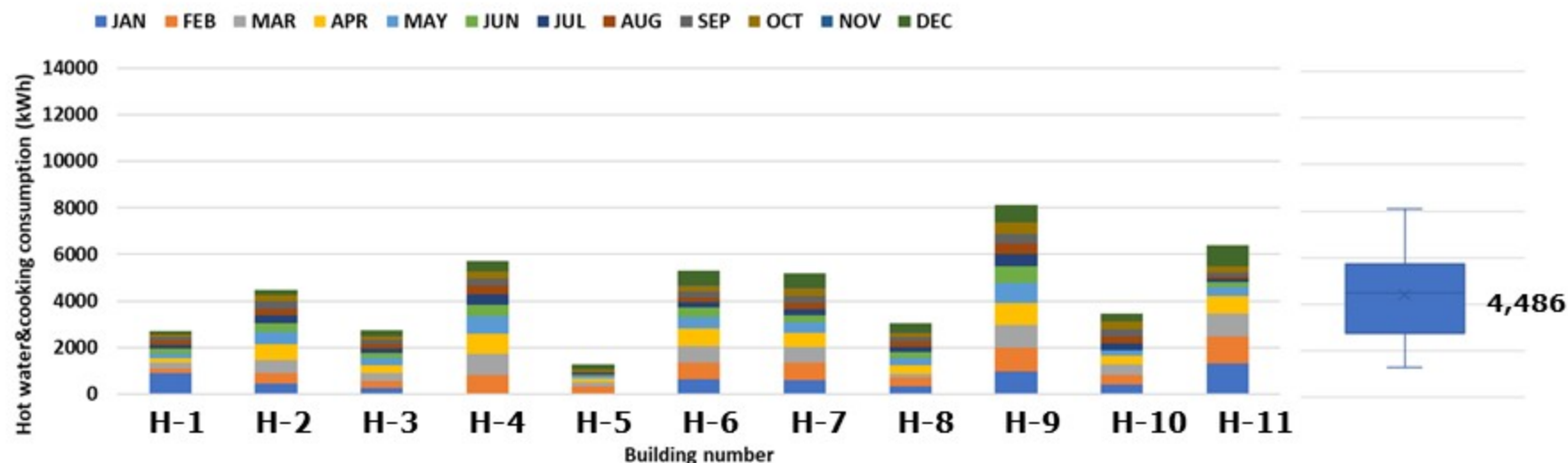


성분별 에너지소비량 실측치 : 난방, 급탕 및 취사 (2019.10 ~ 2020.10, 11세대)

● 11세대의 월별 연간 난방에너지 소비량 실측결과

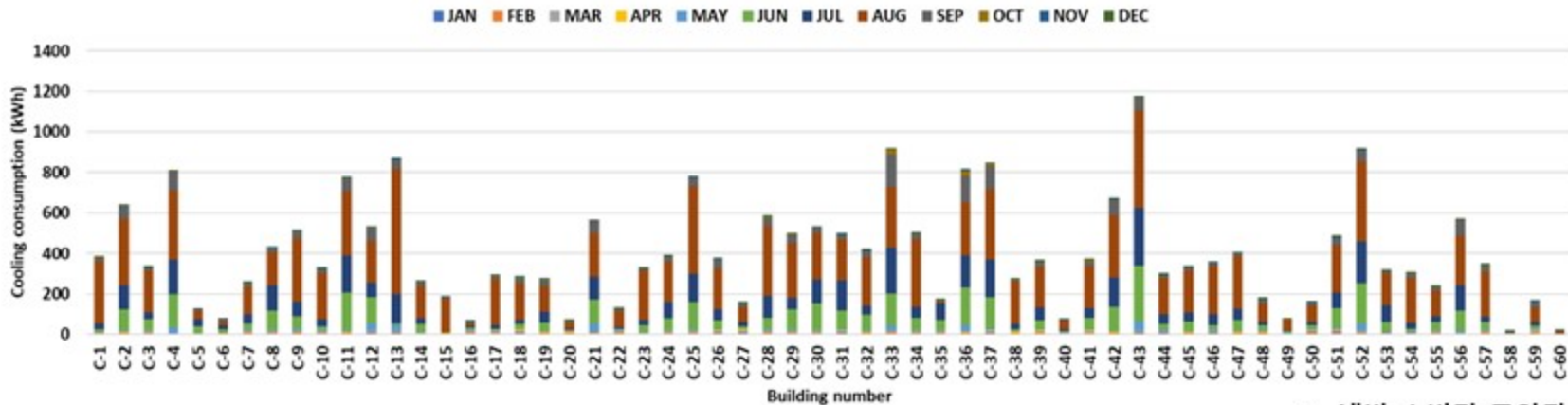


● 11세대의 월별 연간 급탕/취사 에너지 소비량 실측결과

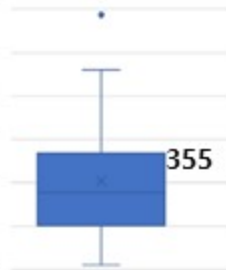


성분별 에너지소비량 실측치 : 냉방, 보일러동력 (2019.10 ~ 2020.10, 60세대)

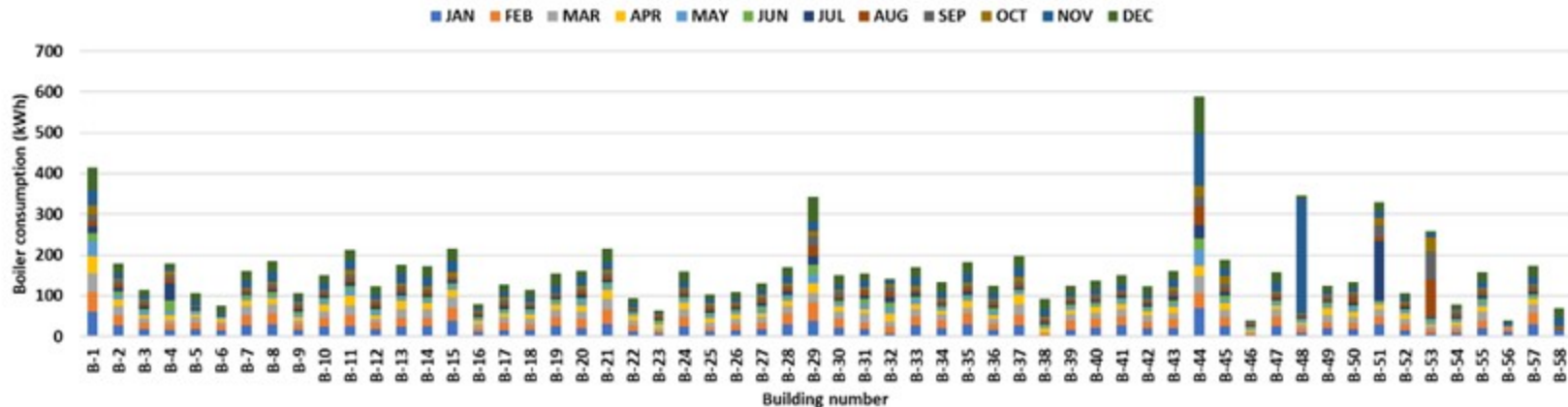
● 60세대의 월별 연간 냉방에너지 소비량 실측결과



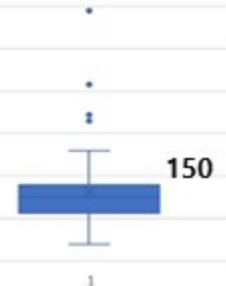
■ 냉방 소비량 증양값 : 4.2 kWh/m².yr



● 60세대의 월별 연간 보일러동력 에너지 소비량 실측결과

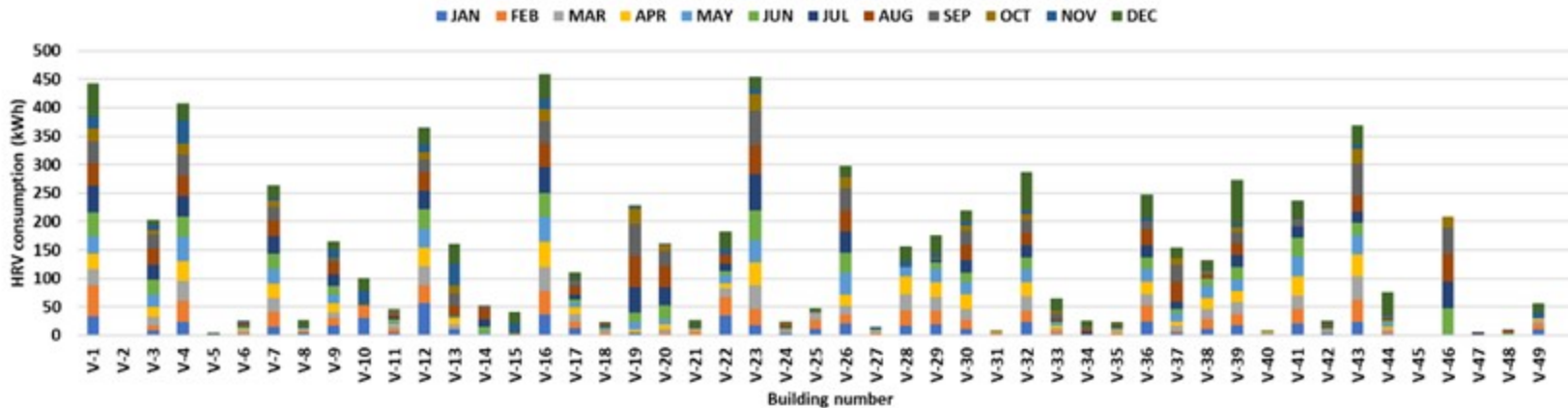


■ 보일러 소비량 증양값 : 1.8 kWh/m².yr



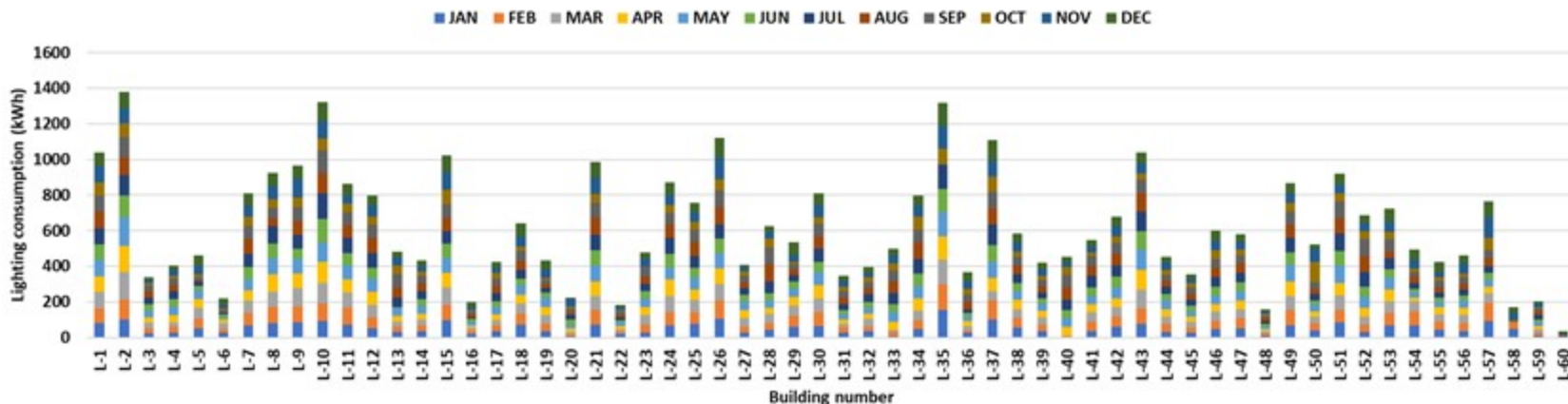
성분별 에너지소비량 실측치 : 환기, 조명 (2019.10 ~ 2020.10, 60세대)

60세대의 월별 연간 환기에너지 소비량 실측결과



▪ 열회수환기 소비량 중앙값 : 1.3kWh/m².yr

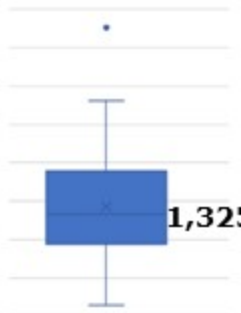
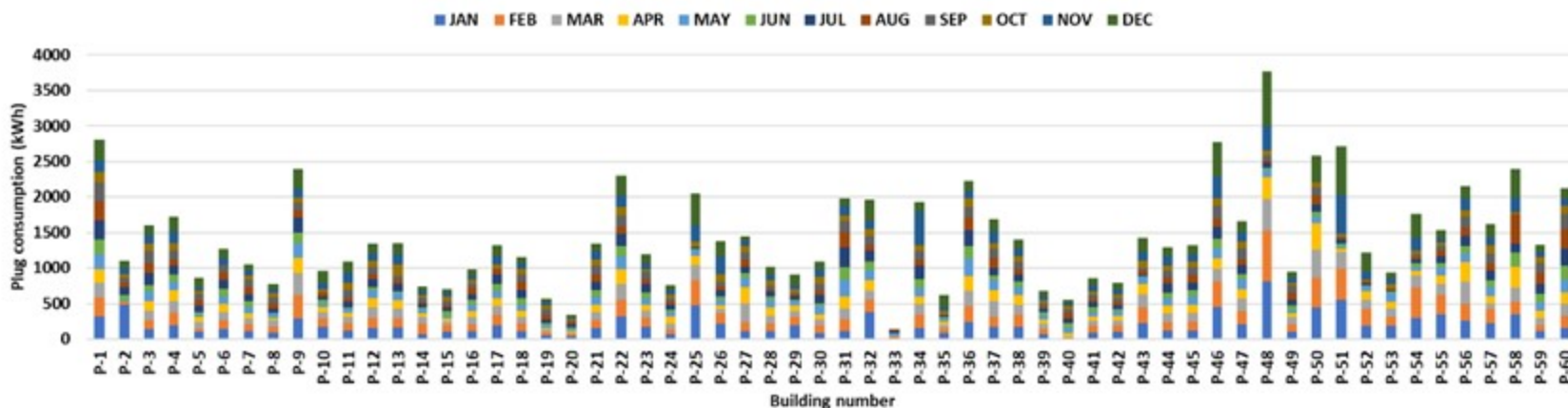
60세대의 월별 연간 조명에너지 소비량 실측결과



▪ 조명 소비량 중앙값 : 6.4kWh/m².yr

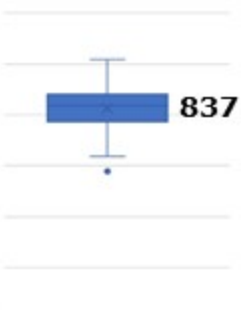
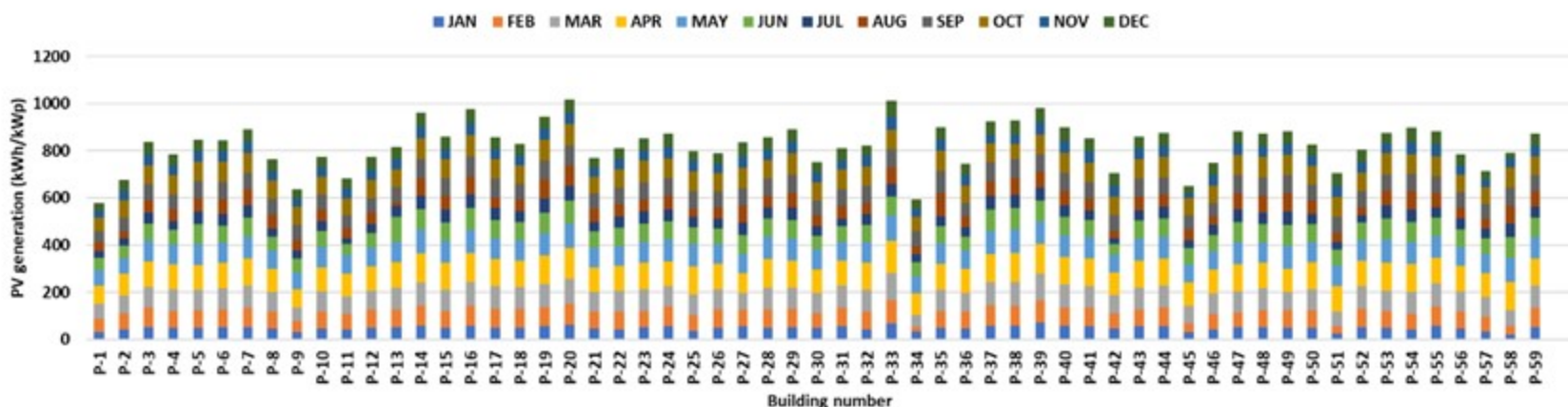
성분별 에너지소비량 실측치 : 플러그, PV발전량 (2019.10 ~ 2020.10, 60세대)

60세대의 월별 연간 플러그에너지 소비량 실측결과



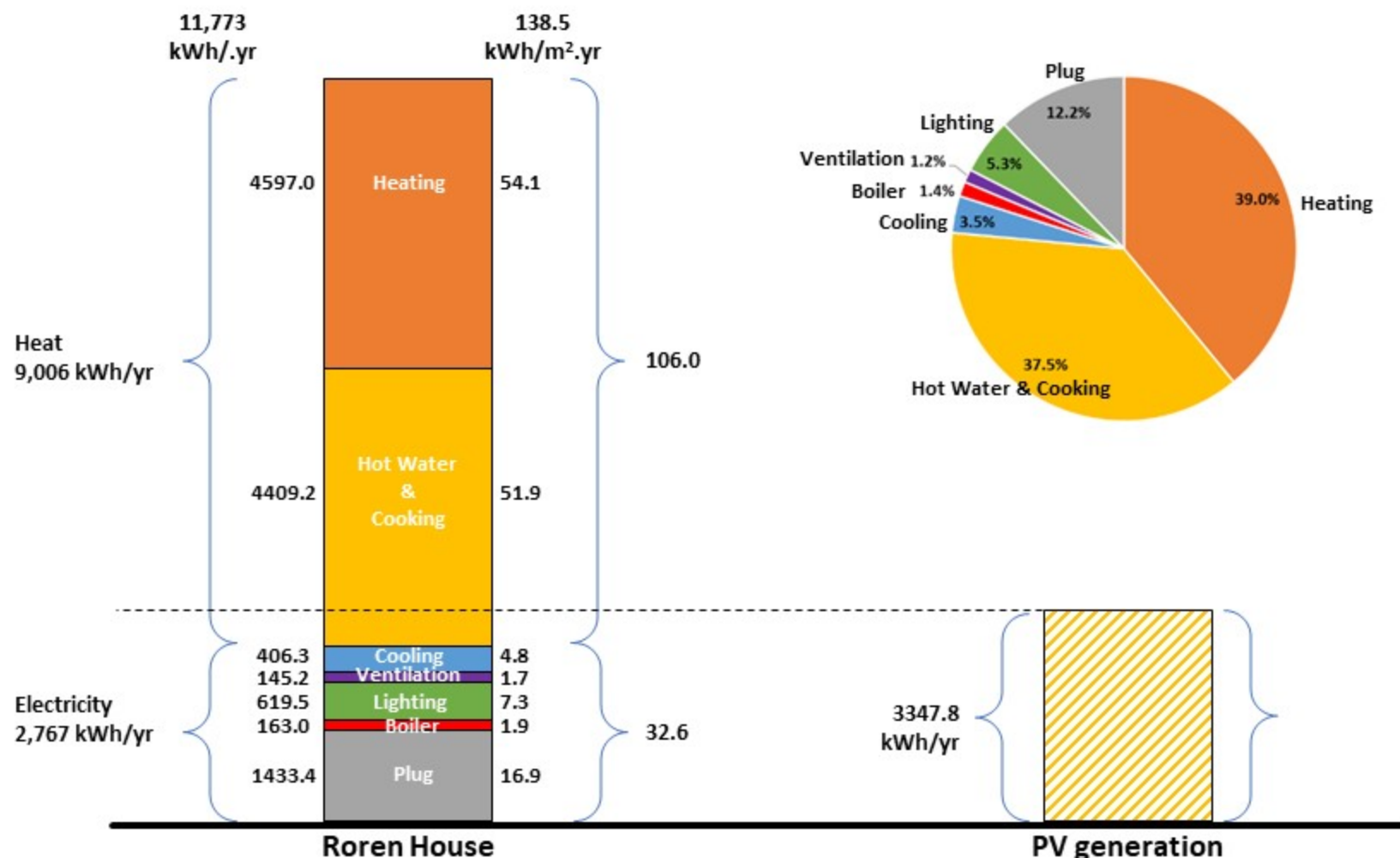
▪ 플러그 부하 소비량 증양값 : 15.6kWh/m².yr

60세대의 월별 연간 PV생산량 실측결과



▪ PV 연간 일평균 발전량 : 2.3kWh/kWp.day

● ZEB_{RH Houses} 단위세대 평균 연간 에너지소비량 실측결과



저층주택(단지) 그린뉴딜 시장을 위한 기술적/제도적 제안

거주자 사용패턴의 중요성
국민DR → 모니터링시스템

최적 시스템구성 제안
(경제성,안정성...)

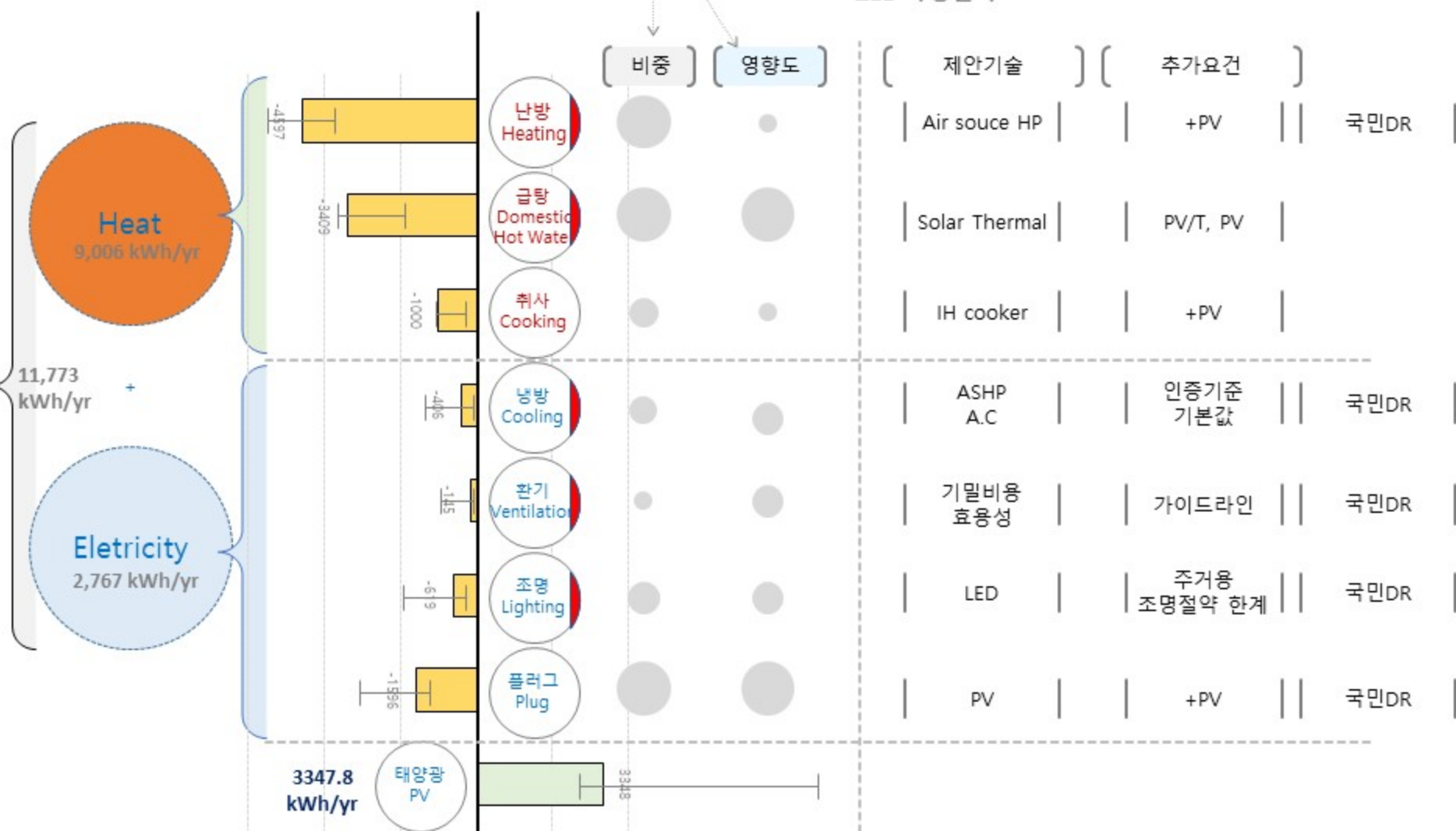
소비량 2배~?배 차이

성분별 구성비 변화



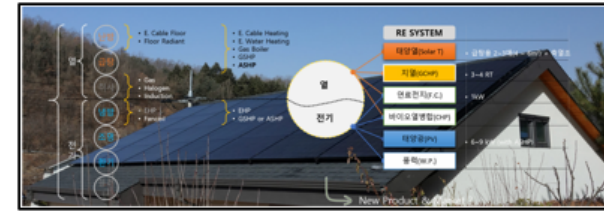
동일/유사
물리적
건물조건

- SR단지 60가구
- 죽동 12가구
- 고창 29가구
-



RE (Renewable Energy) configuration of 60% Self-sufficient Smart Zero Energy City

① +Plus Energy Detached House (1 story, 1900units, Self-sufficiency : 162%)



- 9 kW High Efficiency RIPV (Roof integrated PV) : 17.1 MW
- 6 m² Wall mount, SDHW (Solar Domestic Hot Water) : 11,400 m²
- 3 kW ASHP (Air source Heat Pump) : 5.7 MW
- 8 kWh ESS (30% of 1900 units) : 4.56 MWh
- IH Cooker
- 100% self-sufficiency and main provider of surplus energy in the city

② +Plus Energy Town House (3 stories, 2500units, Self-sufficiency : 111%)



- 6 kW High Efficiency RIPV : 15 MW
- 6 m² Wall mount, mega type, thermosiphon SDHW : 15,000 m²
- 3 kW ASHP : 7.5 MW
- IH Cooker
- 100% self-sufficiency and main provider of surplus energy in the city
- Some complexes can be applied to the geothermal source heat pump, next generation district heating, and seasonal storage system.

③ Residential Low-rise Apartment (10 stories, 1000units, Self-sufficiency : 48%)



- 2 kW High Efficiency RIPV : 2 MW
- 6 m² Wall mount, mega type, thermosiphon SDHW : 6,000 m²
- Connected with district heating, 5 kW fuel cell for base load of DHW
- Some complexes can be applied to the geothermal source heat pump, next generation district heating, and seasonal storage system.

④ Residential High-rise Apartment (20 stories, 4700units, Self-sufficiency : 23%)



- 1 kW High efficiency RIPV : 4.7 MW
- BIPV for Balcony in the future (not included at this level)
- 3 m² Wall mount, mega type, thermosiphon SDHW : 14,100 m²
- Connected with district heating, 10 kW fuel cell for base load of DHW

- + Photovoltaics : 66.4 MW
- + Solar Thermal : 52.2 MWth
- + Fuel Cell : 1.2 MW
- + ESS : 11.0 MWh
- + Air source HP : 13.2 MW



- Commercial
- Welfare
- Public
- School
- Kinder garden
- Hospital



⑤ Residential High-rise & -density Apartment (20+ stories, 1000units, Self-sufficiency : 14%)

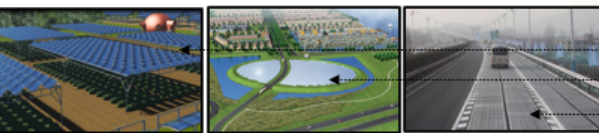
- 0.5 kW High efficiency RIPV : 0.5 MW
- 3 m² Wall mount, mega type, thermosiphon SDHW : 3,000 m²
- Connected with district heating

⑥ Non residential Public / Commercial Building (Self-sufficiency : 28.1%)



- Aggressive application of BIPV for roof and walls for electricity production
- Pilot installation of Advanced colored or Double skin, multi-functional BIPV
- 1MW fuel cell for hot water demand of medical facility
- Pilot installation of Application of next generation heating / cooling / geothermal heat pumps
- Lighting control with daylighting system, mandatory external shading device

⑦ RE Collective Production Supply System



- Agricultural integrated PV + Concentrated PV : 13.1 MW
- Solar Thermal System for District Heating System : 25,000 m²
- V-ESS Smart Power Management System for Distributed Power : 6.44 MWh

Building type	Units or m2	Applied RE Systems and Capacity						Building Energy Self-sufficiency (%)	Energy Independency Rate of Smart City (%)
		Solar thermal(m2)	PV (kWp)	FC (kW)	ESS (kWh)	ASHP(kW)	District Heating		
Residential	Detached house	1,900 units	11,400	17,100	-	4,560	5,700	162%	69.0%
	Town house (3 fls)	2,500 units	15,000	15,000	-	-	7,500	111%	
	Low-rise Apt. (10 fls)	1,000 units	6,000	2,000	5	-	-	48%	
	High-rise Apt. (20 fls)	4,700 units	14,100	4,700	10	-	-	23%	
	High-rise Apt. (20+fls)	1,000 units	3,000	500	-	-	-	14%	
sum		11,100	49,500	39,300	15	4,560	13,200	-	47.5%
Public / Commercial	Commercial	150,813 m2	-	3,191	100	-	-	12%	
	Welfare	11,720 m2	-	655	10	-	-	45%	
	Public	8,055 m2	-	454	10	-	-	57%	
	School	78,509 m2	-	2,612	40	-	-	48%	
	Kindergarten	6,395 m2	-	233	10	-	-	57%	
RE Collective	Medical	126,494 m2	-	6,844	1,000	-	-	39%	60.1%
	sum	381,985	-	13,990	1,170	-	-	-	
	AIPV	65,000 m2	-	13,000	-	-	-	-	
	CPV	350 m2	-	50	-	-	-	-	
	RIPV	250 m2	-	50	-	-	-	-	
RE Collective	ST for district heating	25,000 m2	25,000	-	-	-	-	-	12.6%
	V-ESS	-	-	-	6,440	-	-	-	
	sum	-	25,000	13,100	-	6,440	-	-	
Total		74,500	66,390	1,185	11,000	13,200	-	-	-

결언

- 초기시장 형성 및 실입주 사용 시작에 따른 예비인증과 실사용 차이에 따른 혼돈 우려
- 경제성과 실리성에 기반한 시장이 형성되어야 그린뉴딜도 성공가능
- 100% 자립 또는 Plus 가 가능한 저층 주거용 ZEB를 통해 선도적 기반시장 확대 필요
- 저층 주거용 ZEB의 성공은 적용기술 및 경제성에 따른 최적구성이 매우 중요
- 장기성능 및 성분별 소비량과 소비패턴에 대한 실측분석 자료 매우 중요
- 다수의 ZEB 단지와 주택들에 대한 모니터링 결과 부하변동의 정량적 결과 규명
- 에너지소비 성분별 현 제도 및 기술상황의 최적 구성방안 제시
- 동일한 물리적 건물에서도 매우 큰 소비량 차이를 규명함으로써 거주자 사용행태의 중요성과 국민DR 잠재시장의 가능성 → 국민DR을 포함한 BM의 발굴이 매우 중요
- 모니터링 시스템의 중요성 부각 → L-BEMS의 실효성 입증 → TOC 활성화 연계
- 본인증 의무화(민간건물)의 필요성 제고
- 관련시장 확대에 따른 대기업과 중소기업의 상생 공존을 위한 제도적 지원 절실