

융합연구리뷰

Convergence Research Review

김종훈(한국에너지기술연구원 책임연구원)
기존 건축물 에너지효율 향상을 위한 에너지성능 현장 진단 기술

조동우(한국건설기술연구원 선임연구위원)
제로에너지 건축기술 및 건축물 관련기술 동향

CONTENTS

- 01 편집자 주
- 03 기존 건축물 에너지효율 향상을 위한 에너지성능 현장 진단 기술
- 33 제로에너지 건축기술 및 건축물 관련기술 동향



융합연구리뷰 | Convergence Research Review
2020 July vol.6 no.7

발행일 2020년 7월 6일

발행인 김주선

편집인 최수영·권영만

발행처 한국과학기술연구원 융합연구정책센터

02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5

Tel. 02-958-4980 | <http://crpc.kist.re.kr>

펴낸곳 주식회사 동진문화사 Tel. 02-2269-4783



기존 건축물 에너지효율 향상을 위한 에너지성능 현장 진단 기술

통계청의 생활시간조사에 따르면 한국인은 평균 하루의 70%가량을 실내에서 생활한다. 실내생활이 늘어나면서 건축물에서의 에너지사용량은 매년 지속해서 늘어나고 있다. 이와 동시에 건축부문에서의 온실가스 감축 노력도 새로이 신축되는 건축물은 관련 기준과 신기술의 적용으로 인해 에너지효율이 향상되고 있으나, 연한이 상당 기간 지난 건축물은 전체 또는 부분적인 리모델링을 통해 에너지효율을 향상할 수 있다. 기존 건축물에 대한 그린리모델링(green remodeling) 활성화를 통해 기존 건축물에 대한 적극적인 에너지 효율화 시도가 필요하다.

이에, 본 호 1부에서는 기존 건축물 에너지효율 향상과 에너지성능 현장 측정법에 대해 알아보았다. 향후 지속적인 증가가 예상되는 기존 건축물의 에너지효율 향상에 대한 수요에 효과적으로 대응하기 위해서는 리모델링 계획 수립 단계에서 각 건물의 특성에 최적화된 에너지 효율적 리모델링 방안 도출에 적용할 수 있는 기존 건축물의 에너지성능 진단·분석 솔루션이 필요하다. 건축물의 에너지성능은 건축물 내·외부의 물리적 조건 하에서 적정한 실내 환경 수준 유지에 필요한 에너지양으로 정량화될 수 있으며, 이를 기반으로 에너지소요량, 1차 에너지소요량으로의 정량화가 가능하다.

본 호 1부를 통해 기존 건축물의 그린리모델링을 통한 에너지효율 향상의 중요성에 대해 알아보았다. 기존 건축물 에너지성능 진단 절차와 기술이 온실가스 감축 목표 달성과 그린뉴딜 정책 추진을 위한 그린리모델링 활성화에 적극적으로 활용되고 디지털 뉴딜 관련 과제와의 융합을 통해 한층 더 진화될 것 기대해 본다.

제로에너지 건축기술 및 건축물 관련기술 동향

각종 환경(미세먼지, 폭염, 황사 등) 및 에너지와 관련된 문제(전기요금 누진제, 탈원전, 수급 불균형 등)가 주요 뉴스로 등장하고, 사회적 논의가 필요한 문제로 다루어진 바 있다. 우리나라에서 건축물 부문은 현재 국가 전체 에너지사용량의 약 20%를 차지하고 있으며, 선진화가 될수록 40%까지 증가할 것으로 예상된다. 건축물 부문에서의 에너지사용량을 획기적으로 감축시키면서 혹은, 제로(zero)에너지 건축물에서 일상을 보낼 수 있다면 환경과 에너지 문제를 해결하면서 거주 또는 일상생활에서의 쾌적함을 찾을 수 있을 것이다.

이에, 본 호 2부에서는 패시브하우스(passive house) 기술로 지어진 건물에 신재생에너지 시스템으로 에너지를 생산하여 에너지 소비를 제로에 가깝게 하는 제로에너지 건축물에 대해 알아보고, 관련된 건축기술을 알아보았다. 제로에너지 건축물을 달성하기 위해서는 ① 패시브 기술인 건물외피의 단열 및 기밀성능 강화를 통해 건축물 에너지부하 최소화, ② 액티브 기술인 열회수환기장치 및 열원 등의 설비시스템 효율 최대화, ③ 신재생에너지 기술인 태양광, 지열 등의 시스템 기반 에너지 생산을 통한 에너지 소비 제로화를 충족해야 한다.

본 호 2부를 통해 개선·개발되고있는 제로에너지 건축기술을 통해 보다 지속가능한 건축물이 일상속으로 들어올 수 있기를 바란다. 향후 제로에너지 건물이 건축물 소유주체, 건설주체 및 운영주체 모두에게 실질적인 이득을 주면서, 국가 경제와 지구환경을 향상시키는 방향으로 발전해 나가기를 기대해 본다.



융합연구리뷰

Convergence Research Review 2020 July vol.6 no.7



01

기존 건축물 에너지효율 향상을 위한 에너지성능 현장 진단 기술

김종훈(한국에너지기술연구원 책임연구원)

I 서론

정부는 파리협정(Paris Agreement) 체결에 앞서 2015년 국가 온실가스 감축목표를 수립하였으며, 이를 이행하기 위해 2016년 12월 『제1차 기후변화대응 기본계획』과 『2030 국가 온실가스 감축 기본로드맵』을 확정하였다. 하지만, 구체적인 감축이행 방안 제시가 미흡하다는 지적과 문재인 정부의 국정과제인 미세먼지 감축과 에너지전환 정책 반영의 필요성에 따라 2018년 6월 28일 『2030 국가 온실가스 감축 기본로드맵 수정(안)』을 환경부에서 공개하였다(〈표 1〉 참고). 수정(안)의 건물부문에서는 신축되는 건축물의 허가기준 강화, 기존 건축물에 대한 그린리모델링(green remodeling) 활성화 및 도시재생 연계사업 모델 발굴, 가전 및 사무기기와 조명의 효율 개선 및 정보인프라 구축을 통해서 배출전망치(BAU) 197.2백만 톤의 32.7%에 해당하는 64.5백만 톤 감축을 목표로 하고 있다.

표 1. 부문별 감축 목표 및 기존 로드맵과 비교

부문	배출 전망 (BAU)	기존 로드맵		수정안		
		감축후 배출량 (감축량)	BAU 대비 감축률	감축후 배출량 (감축량)	BAU 대비 감축률	
배출원 감축	산업	481.0	424.6	11.7%	382.4	20.5%
	건물	197.2	161.4	18.1%	132.7	32.7%
	수송	105.2	79.3	24.6%	74.4	29.3%
	농축산	20.7	19.7	4.8%	19.0	8.2%
	폐기물	15.5	11.9	23.0%	11.0	28.9%
	공공기타	21.0	17.4	17.3%	15.7	25.3%
	탈루 등	10.3	10.3	0.0%	7.2	30.5%
감축수단 활용	전환	(333.2) ¹⁾	-64.5		(확정 감축량) -23.7 (추가감축잠재량) -34.1 ²⁾	
	E신산업 /CCUS	-	-28.2	-	-10.3	-
	산림흡수원	-	-		-22.1	
	국외감축 등	-	-95.9	11.3%	-16.2	4.5%
기존 국내감축		631.9	25.7%	574.3	32.5%	
합계	850.8	536.0	37.0%	536.0	37.0%	

비고: 1) 전환부문 배출량(333.2백만 톤)은 전기 및 열 사용량에 따라 부문별 배출량에 포함되어 합계로 산정됨

2) 전환부문 감축량 23.7백만 톤 확정, 추가감축 잠재량은 2020년 NDC 제출 전까지 확정

출처: 2018년 6월 28일 환경부 보도자료

이에, 국토교통부에서는 2017년 6월 20일에 이어, 2018년 9월 1일부로 지역 구분의 세분화(중부지역 → 중부1지역, 중부2지역), 지역별 건축물 부위의 단열성능 강화 등의 내용을 개정한 『건축물의 에너지 절약 설계기준』의 시행을 통해, 신축에 대한 에너지 절약적 건축물의 보급 확대를 도모하고 있다(〈표 2〉 참고). 하지만, 2030년까지 건물부분 온실가스 감축량 달성을 위해서는 신규 건축물뿐만 아니라 그린리모델링 활성화 및 도시재생 연계사업 모델 발굴과 같은 기존 건축물에 대한 적극적인 에너지 효율화 시도가 필요한 시점이다.

표 2. 지역별 건축물 부위의 열관류율표 (단위 : W/(m²·K))

건축물의 부위		지역	중부1지역 ¹⁾	중부2지역 ²⁾	남부지역 ³⁾	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				
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			
공동주택 세대현관문 및 방화문	외기에 직접 면하는 경우 및 거실 내 방화문		1.400 이하				
	외기에 간접 면하는 경우		1.800 이하				

비고

- 1) 중부1지역 : 강원도(고성, 속초, 양양, 강릉, 동해, 삼척 제외), 경기도(연천, 포천, 가평, 남양주, 의정부, 양주, 동두천, 파주), 충청북도(제천), 경상북도(봉화, 청송)
- 2) 중부2지역 : 서울특별시, 대전광역시, 세종특별자치시, 인천광역시, 강원도(고성, 속초, 양양, 강릉, 동해, 삼척), 경기도(연천, 포천, 가평, 남양주, 의정부, 양주, 동두천, 파주 제외), 충청북도(제천 제외), 충청남도, 경상북도(봉화, 청송, 울진, 영덕, 포항, 경주, 청도, 경산 제외), 전라북도, 경상남도(거창, 함양)
- 3) 남부지역 : 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시, 전라남도, 경상북도(울진, 영덕, 포항, 경주, 청도, 경산), 경상남도(거창, 함양 제외)

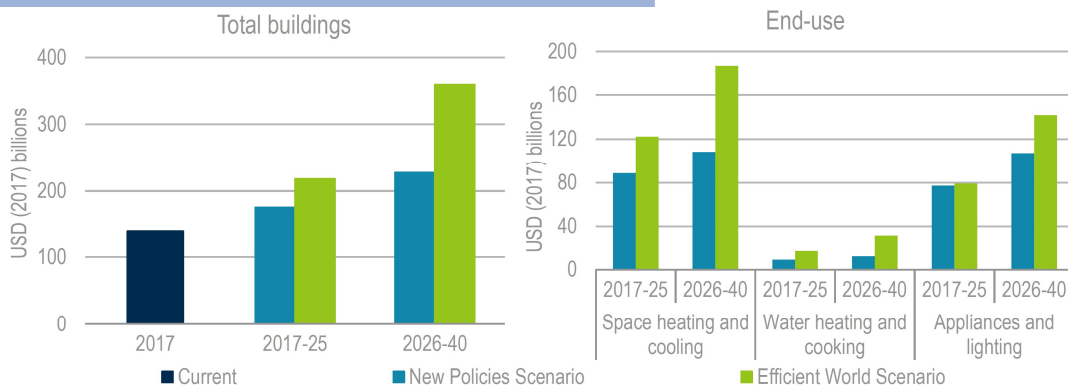
II 건물에너지효율 관련 동향

1. 국·내외 시장·산업 동향

1.1 국외

〈그림 1〉과 같이 건물에너지효율에 대한 투자는 2017년 1,400억 달러, 2025년 2,200억 달러, 2040년 3,600억 달러에 이를 것으로 IEA(International Energy Agency)는 전망하고 있다.

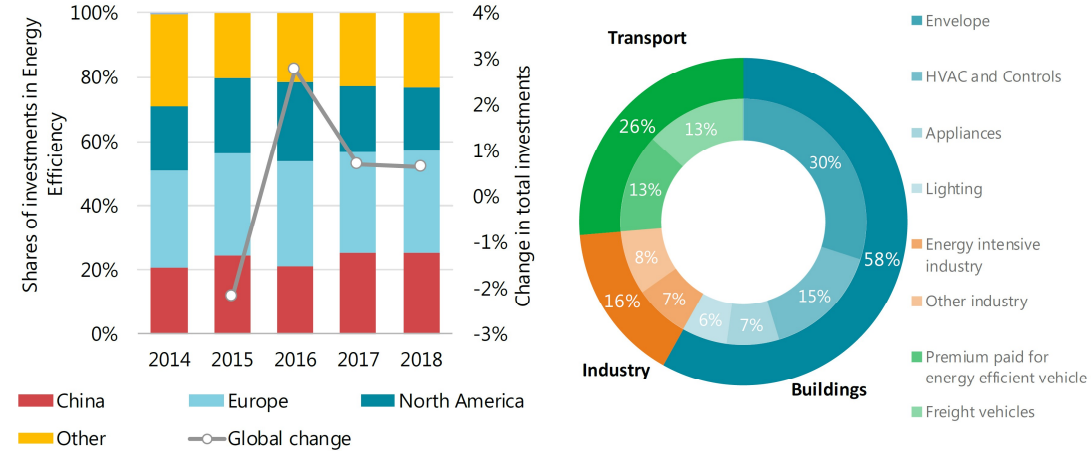
그림 1. 2017~2040년 건물에너지효율 평균 투자비



출처 : Energy Efficiency 2018 @IEA

〈그림 2〉와 같이 2018년 에너지효율 전체에 대한 투자 규모는 2017년 대비 1.6% 상승한 2,400억 달러를 기록하였으며, 중국 시장의 성장률이 약 12%로 가장 높았다. 특히 건물부문에 1,390억 달러가 투자되어 가장 높은 비중(58%)을 차지했다.

그림 2. 2014~2018년 지역별(왼쪽) & 2018년 부문별 에너지효율 투자



출처 : Energy Efficiency 2019 @IEA

향후 에너지효율 시장은 '지속적 성장'으로 예측되며, 특히 온실가스 감축 잠재량이 높은 건물 분야의 에너지효율 향상기술에 대한 투자가 집중될 것으로 전망된다.

현재 주목을 받는 주요 건물에너지효율 향상기술은 ① ZEB(Zero Energy Building), ② BEMS(Building Energy Management System), ③ HEMS(Home Energy Management System), ④ HVAC(Heating, Ventilation and Air Conditioning)으로 구분될 수 있다.

① ZEB의 경우, Research and Markets(2020) 보고서에 따르면 에너지 효율화와 온실가스 배출 감소를 위한 각국 정부의 적극적인 지원으로 인해서 세계시장의 규모는 2018년 약 9억 달러에서 2024년 21억 달러로 증가하여 연평균 15.6% 수준의 성장을 보일 것으로 예상된다. 2018년 ZEB시장에서 상업용과 가정용 분야가 98.4%의 비중을 차지하였으며, 북미지역은 79.1%를 차지했다. ZEB의 목표설정과 관련하여 미국은 2020년까지 모든 주거용 건물, 2030년까지 신축 상업용 건물, 2050년까지 모든 상업용 건물에 대한 제로에너지 의무화 목표를 설정하고 있으며, 유럽은 2018년까지 신축 공공건축물, 2020년까지 모든 신축 건축물의 제로에너지화를 추진하고 있기 때문에 ZEB시장의 규모는 지속적으로 확대되어 갈 것이다.

② BEMS의 경우, Navigant(2017) 보고서에 따르면 서유럽과 동유럽을 중심으로 한 BEMS 시장 성장 및 에너지관리시스템 사용에 대한 소비자의 긍정적 인식 확대로 세계시장의 규모는 2017년 40억 달러에서 2026년 131억 달러로 증가할 것으로 전망된다.

③ HEMS의 경우, Navigant(2019) 보고서에 따르면 세계시장 규모가 2019년 약 44억 달러에서 2028년 120억 달러로 연평균 12.3% 성장할 것으로 예상되며, 북미지역은 2019년 23억 달러에서 2028년 46억 달러로 연평균 8% 증가할 것으로 전망된다.

④ HVAC의 경우, Research and Markets(2020) 보고서에 따르면 사업시설에서의 HVAC시스템 사용 증가, 스마트폰 시장 확대의 영향으로 세계시장 규모는 2020년 2,202억 달러에서 2025년 2,770억 달러로 연평균 6.5% 성장할 것으로 전망된다.

표 3. 건물에너지효율 관련 국외 주요기업 현황

국가	기업명	현황
일본	후지사	<ul style="list-style-type: none"> • 건물에너지 사용시스템의 고효율화를 위한 지역에너지관리시스템(CEMS)의 실증사업 추진 • 후지사와 SST(Sustainable Smart Town)는 1,000가구 규모 완공을 목표
미국	Honeywell	<ul style="list-style-type: none"> • 건물 자동제어 통합시스템(EBI, Enterprise Building Integration) 중 에너지 관리를 위해 특화된 Energy Manager Solution 개발 • 나이아가라(Niagara) 프레임워크라는 건물 에너지 관리 시스템 솔루션으로 건물 환경, 전력 분배 등 관리 기능을 통합적으로 제공
	Johnson Controls	<ul style="list-style-type: none"> • 빌딩관리시스템에 주력하며, 건물 자동화 및 건물 효율화를 위한 ESCO/ ESS/ EMS 분야 사업 추진 • 건물자동화 및 에너지관리시스템에서 Metasys라는 통합시스템기술을 확보하여 시장에 보급 • 빌딩(오피스, 공공기관, 상업 시설 등) HVAC 장비 공급 및 에너지 절감 컨설팅
	Con Edison	<ul style="list-style-type: none"> • 건물의 에너지사용 데이터 및 분석을 바탕으로 고객 건물 맞춤형 DER, 고효율 기기, 에너지 절약 서비스를 제공하는 업체와 고객의 요구를 일치시키는 서비스 제공
	NEST Lab.	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지 관리를 효율적으로 할 수 있는 HEMS 장치 및 시스템 개발
	VIVINT	<ul style="list-style-type: none"> • 사용자의 패턴 및 기호에 따라 효율적으로 에너지를 관리할 수 있는 클라우드 기반 스마트홈 및 에너지 관리 솔루션 개발
	Emerson	<ul style="list-style-type: none"> • 병원, 공항 등 모든 건물에서의 효율적 HVAC 운영을 위한 제어장치 제공
독일	슈파이어전력공사·주택공급공사	<ul style="list-style-type: none"> • 라인란트팔츠(Rheinland-Pflaz)주는 2030년까지 100% 재생에너지 도입을 목표로 NEDO를 통한 스마트커뮤니티 구축 계획
	Schneider	<ul style="list-style-type: none"> • 빌딩에너지관리시스템(BEMS)인 스마트 스트럭처(Smart Structure)를 통해 전력사용, HVAC 데이터 분석으로 건물에너지 사용을 최적화 • 제어장치 및 관리 솔루션 등 건물에너지 관리 토탈솔루션 확보 • EEM(Enterprise Energy Manager): 전사적인 차원의 EMS 솔루션 개발 중 • REM(Remote Energy Management): 중소형 건물, 공장 에너지관리솔루션
	Simense	<ul style="list-style-type: none"> • AOC(Advantage Operation Center) 기반 원격 모니터링, 원격 분석, 원격 운영 및 최적화를 지원 • HVAC용 PLC Climatix 2세대를 출시하였으며, Climatix를 사용하는 기기(냉동기, 공조기 등)가 스마트 빌딩 내 다른 솔루션과 통합이 용이하도록 네트워크통신 부분을 대폭 강화 • 체계적이고 다양한 빌딩 제어 프로토콜 수용을 위한 개방형 솔루션(APOGEE) 제공을 통해 세계 각국의 빌딩을 원격으로 모니터링 및 관리

국가	기업명	현황
스위스	ABB	• KNX기반 ABB I-bus® 프로토콜에 기초한 지능형 HVAC 솔루션 ClimaEco를 개발하였으며, 소규모 상업용 건물의 에너지효율을 최대 30%까지 개선 가능
덴마크	Danfoss	• 롯데월드타워에 VLT HVAC FC102 드라이브 솔루션을 제공하여 에너지 절감
호주	BuildingIQ· 매스웍스	• MatLab 데이터 분석 기능을 활용해 HVAC 에너지 예측 알고리즘 배포
일본· 독일	파나소닉· 슈나이더 일렉트릭	• 상용건물의 HVAC 제어 및 에너지 효율성을 높이는 통합 HVAC 장비 및 건물관리솔루션 발표
중국· 미국	화웨이· Honeywell	• 최신 IoT 기술을 활용해 빌딩의 지속 가능성, 에너지효율 향상 등을 위한 스마트빌딩솔루션 개발에 협력

1.2 국내

Navigant(2018) 보고서에 따르면 HVAC, 조명, 제어, Water Efficiency, Water Heating, 건물 외피·창호, 커미셔닝 등을 포함한 국내 건물에너지효율 시장은 2017년 3.3조 원에서 2026년 5.28조 원으로 연평균 5.2% 성장할 것으로 전망된다.

① ZEB의 경우, Korea Build Week(2020)에 따르면 2030년까지 연면적 500m² 이상의 모든 신축 건축물의 제로에너지 단계적 의무화 시행으로 국내 ZEB 시장은 2024년 20조 원에 이를 것으로 예상된다.

② BEMS의 경우, 제로에너지 의무화 확대와 연계하여 연면적 10,000m² 이상의 민간 신축건물 BEMS 설치 확대로 국내 BEMS 시장은 2017년 2,184억 원, 2020년 3,790억 원으로 증가가 예상된다.

③ HEMS의 경우, KPMG(2019) 보고서에 따르면 국내 HEMS 시장은 2014년 1,420억 원에서 2020년 2,490억 원으로 연평균 9.8% 성장이 예상되며, 특히 아파트와 같은 대규모 주거단지 중심으로 확대가 예상된다.

④ HVAC의 경우, 2017년 5,500억 원에서 2026년 1.2조 원으로 9.1%의 연평균성장률이 예상된다.

표 4. 건물에너지효율 관련 국내 주요기업 현황

기업명	현황
KT	• 통신기술, 정보기술, 에너지기술을 융합한 BEMS를 개발하여 이마트, BC카드 IDC 등 다양한 건물에 Olleh biz BEMS 공급
나라컨트롤	• 빌딩자동제어(BAS)를 주력으로 BEMS로 사업영역을 확대했으며, 2014년 국내 최초 능동형 에너지통합솔루션 'N-BEMS' 개발
우리젠	• BEMS기반 자동제어시스템인 BECS(Building Energy & Control System)를 통해 HVAC, 전력 등의 단위시스템을 하나의 시스템으로 통합 운영

기업명	현황
누리텔레콤	• 에너지 관련 플랫폼, 통신모듈, 네트워크 기술 기반으로 FEMS, BEMS, HEMS 개발
LS산전	• LS산전 R&D 캠퍼스건물에 자체 개발한 BEMS를 적용하였으며, 빌딩에서 사용되는 에너지를 통합제어·관리·분석하여 10~15%의 에너지 절감효과를 도출, 국내 최초 BEMS 설치 확인 인증 획득 • 스마트그리드 브랜드인 '그리드술'을 런칭해 공장, 대형 건물, 가정 등에 제공하는 에너지관리시스템(EMS)을 제공 • 유휴 에너지를 저장했다가 나중에 쓸 수 있는 ESS(에너지저장장치), 전력 계량기를 인터넷망에 연결하는 AMI 기술에 태양광 모듈·인버터까지 결합한 차세대 EMS 서비스 제공
SK텔레콤	• ICT 기술 기반의 Cloud BEMS를 개발하였으며, 자사 T타워에 설치하여 기존 에너지사용량 대비 약 24%를 절감 • 사물인터넷(IoT) 기술을 바탕으로 고객의 에너지 소비 데이터를 실시간으로 수집하여 클라우드 상에서 관리, 분석하는 등 상용화 건물 설비 운영의 개선점과 최적 운영방안을 도출하기 위한 건물에너지관리시스템인 Cloud BEMS와 Cloud FEMS를 상용화
현대오토에버·현대건설	• 지능형 공조복합제어, Continuous Commissioning, 시뮬레이션 기반 에너지 목표 관리, MEG 제어솔루션 등 4가지 모듈로 서비스되는 Smart BEMS 개발
LG전자	• 에너지사용량 및 쾌적도를 시뮬레이션하여 에너지 절감 정도를 상황에 따라 조절하고, 직접적인 에너지 절감을 실행하는 BECON 개발 • 종합공조솔루션은 주택, 아파트 등 주거시설부터, 업무용 시설 등 다양한 장소에서 최적의 냉·난방공조 솔루션을 제공
삼성SDS	• 독립적인 원격/제어 감시가 가능한 공조 스마트 kit 및 삼성 시스템 에어컨용 원격 에너지관리솔루션 S-NET Cloud 공조제어시스템 개발
삼성물산	• 에너지 서브미터링 및 BEMS용 환경센서 추가 설치와 건물 내 상황정보 및 스케줄 정보, 설비효율 정보 등을 종합적으로 고려하는 BEMS 시스템 구축
아이콘트롤스	• 홈네트워크 시스템과의 유기적 연동을 통해 동작하는 주차 관제 시스템, 원격 검침 시스템, CCTV 시스템, 정보통신 시스템, LED 조명 등의 사업 다각화로 사업규모 확대 • 아이파크 신축 아파트에 모바일 원격감시 및 제어시스템 구축을 통한 스마트홈 서비스를 구현 중
대우정보시스템	• 각 계측기로부터 수신되는 계측데이터와 실제 사용량 간 계측오차 보정을 통해 보다 정확한 계측데이터 도출이 가능한 기술 특허 취득

2. 국내·외 기술개발 동향

2.1 국외

미국, 독일, 일본을 중심으로 국가주도형 기술개발 프로그램 및 기업주도형 실증을 통해 단일 건물 및 커뮤니티 규모에서의 에너지효율 향상과 온실가스 절감을 위한 차세대 기술개발을 수행하고 있다. 특히 에너지 디지털화 기반의 건물에너지효율 향상을 통해 2017년부터 2040년까지 가정용·사업용 건물의 에너지사용이 약 10% 감축될 것으로 예상된다. 이에, Siemens와 Honeywell은 자사시스템에 의해 관리되는 전 세계 건물의



출처: 제4차 에너지기술개발계획 이노베이션로드맵(2020년~2030년)

표 6. 건물에너지효율 관련 5대 전략과제별 핵심기술

전략과제	과제 개요 및 핵심기술
플러스에너지 건물	<ul style="list-style-type: none"> 제로에너지를 넘어 건축물이 필요로 하는 에너지보다 더 많은 에너지를 생산하여 주위에 공급하는 기술개발 ① IoT 스마트 공조 기술 ② 자연광 융합 초절전 스마트 조명 기술 ③ 분산자원 기반 에너지 포지티브(energy positive) 기술 ④ 플러스에너지 건물 자율운용 기술
건물 중심 에너지 커뮤니티	<ul style="list-style-type: none"> 단일건물의 에너지 효율화 및 관리를 넘어 건물 간의 에너지거래·공유를 통한 지역 커뮤니티 단위에서의 에너지 효율화를 통해 보다 진화된 스마트 에너지 커뮤니티 실현을 위한 건물 중심 에너지 커뮤니티 실현 기술개발 ① 커넥티드(connected) 건물 커뮤니티 에너지 클라우드 기술 ② 커넥티드(connected) 건물 커뮤니티 에너지 모델링 및 시뮬레이션 기술 ③ 커넥티드(connected) 건물 커뮤니티 에너지 정보기반 新에너지 비즈니스 서비스 기술 ④ IoT 기반 열·전기 융합 및 에너지 커뮤니티 서비스 지원 에너지 커넥티비티(connectivity) 기술 ⑤ IoT 기반 분산전원용 다중 열병합 시스템 기술
열에너지 순환 기반 건물에너지 시스템	<ul style="list-style-type: none"> 미활용/신재생 열에너지 기반 고밀도 열그리드(grid)의 효율적 운용을 통하여 총 건물 냉·난방 에너지 소비량을 30% 저감하는 기술 개발 ① 고밀도 열에너지 순환 기술 개발 ② 열그리드(grid) 대응 건물 내 공기환경 제어 기술 ③ 저온 열원이용 하이브리드 건물 냉난방 기술 ④ 열그리드(grid) 기반 건물에너지 관리 기술

전략과제	과제 개요 및 핵심기술
기존 건물에너지 최적화 기술 개발 및 활성화	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 건물에너지 최적화(제로에너지 목표형) 기술개발 및 활성화를 위한 그린리모델링 평가방법 개발로 단계별(리트로핏, AR기준 에너지성능, OR 기준 에너지성능)적용을 통해 실제 온실가스 감축을 고려한 건물 에너지로그(energy log) 정보 패스포트 기반 구축 기술 ① 리트로핏 요소기술 플랫폼 구축 및 에너지 사용량 예측모델 개발 ② AR 기반 건물 규모별/ 용도별 표준 모델 개발 및 금융지원 방안 ③ 운영 단계 에너지성능 평가방법(OR) 및 Passport 활성화 방안
스마트빌딩 생애주기형 에너지효율 품질 CARE 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • ICBM, 각종센서, 건물외피(벽체·창호·차양), 설비시스템, 신재생에너지 등의 기술·제품들이 융합된 스마트형 빌딩의 에너지효율품질(성능)을 종합적으로 판단하기 위한 CPE(Cyber-mounted Physical Environment) 기반 에너지 진단·평가¹⁾ 기술 ① 에너지 정보시스템 연동형 CPE 기반 포터블(portable) 에너지 진단·분석 솔루션 ② 에너지 품질·비용 최적화 스마트빌딩 시스템·패키지 디자인 플랫폼 ③ 건물 용도·규모별 에너지 효율지표/ 성능표준/ 평가모델/ 시험·검인증기술/ 범용모델/ 인증제 ④ 건물에너지 종합 품질 시험·검인증 인프라 개발 ⑤ 스마트빌딩 에너지 검인증 제품 정보서비스 플랫폼 <p style="margin-left: 20px;">1) CPE(Cyber-mounted Physical Environment) 기반 에너지 진단·평가: 실제 환경을 반영한 실물 기반의 에너지진단·평가를 전제로 에너지 품질성능 평가를 위해 실물로 환경 구현을 최대화하고, 현실적 제약 등으로 물리적 구현·모사가 불가·난해한 환경조건을 가상적으로 최소화하여 모사한 실물 시험기반의 건물 종합 에너지 진단·평가 기법</p>

3. 국내·외 정책 동향

3.1. 국외

주요 선진국은 체계적이고 계획적인 스톡 매니지먼트(stock management) 추진의 관점에서 건물의 제로·플러스 에너지화 및 리모델링 사업을 추진 중에 있으며, 미국과 유럽에서는 건물에서의 에너지사용 수준 및 품질을 관리할 수 있는 표준 원단위 제도 및 에너지효율지표 제도를 운영하고 있다. <표 7>은 주요 국가별 건물에너지효율 관련 정책을 나타낸다.

국가	내용
미국	<ul style="list-style-type: none"> • 건물 유형별 표준원단위(벤치마크 지수) 개발 • 2003년부터 ESPM(Energy Star Portfolio Manager)을 통해 공공·민간 건물을 대상으로 에너지사용량 관리 및 공개를 의무화하고 실시간 에너지 사용패턴 확인 • DOE 주도로 2015년부터 LED 조명 에너지 절감 극대를 위한 스마트조명 육성 정책 추진 중 • PACE(Property Assessed Clean Energy)를 통해 주거·상업용 건물의 에너지효율 개선 프로젝트에 대한 보조금을 융자해주고 비용을 재산세로 전환

국가	내용
EU	<ul style="list-style-type: none"> • 2010년 5월 마련된 건물에너지 성능지침(Energy Performance of Buildings Directive, EPBD)으로 건물 효율향상을 위한 공공건물의 3% 개보수와 에너지성능 인증서 제시를 의무화함 • (독일) 도시단위의 에너지자립도 (2020년 35% → 2050년 80%) 제고 추진 중
독일	<ul style="list-style-type: none"> • 2026년까지 에너지효율 향상에 투자하는 건물주에게 세제 혜택을 제공하는 한편, 2026년부터 독일 내에서 준공되는 모든 건물에 석유난방장치 사용 금지 • 『에너지전환의 디지털화에 관한 법안(Act on the Digitization of the Energy Transition)』을 제정하여 스마트미터링 시스템 보급 및 확산 추진 중 • EU-ETS에서 다루이지 않는 건물 부분에 2021년까지 독일의 자체적 CO₂ 배출권거래제 도입(최초 2021년 10유로/톤, 2020년 20유로/톤, 2025년 35유로/톤, 2026년 35~65유로/톤)
프랑스	<ul style="list-style-type: none"> • 프랑스 정책금융기관(CDC)은 노후 건축물의 에너지 성능개선을 목적으로 금융지원을 제공하는 에너지효율화 사업 운영 중 • 의료 및 병원 시설 등을 제외하고 건물 내부온도가 26°C 초과 시, 냉각시스템의 사용 제한 및 한도 설정
영국	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지공급사에게 가정 및 중소기업의 전력 및 가스 사용량을 확인할 수 있는 스마트미터 및 디스플레이 설치지원 의무화 (2019년 6월 기준 약 1,500만 개의 스마트미터 설치 및 작동 중)
중국	<ul style="list-style-type: none"> • 건물 에너지효율개선 프로젝트 실시 • 친환경 건축물 기준 설계, 건물 등급 및 라벨 시스템 시행 • 건물부문 에너지수요 안정화를 위해 태양에너지, 공기 중의 열에너지, 산업부문의 폐열에너지 활용을 추진할 계획
일본	<ul style="list-style-type: none"> • ZEH(Zero Emission House), ZEB(Zero Emission Buildings)관련 기술개발·보급 촉진 계획 및 분산형 에너지 시스템 구축 • 최신 설비 도입 없이 기존 시설의 적절한 운용 및 개선을 통해 에너지를 감축하고, 감축분에 대한 이익을 사업자 및 건물주가 나누어 가지는 에코튜닝 사업 수행 중

3.2. 국내

국내에서는 고효율·에너지 자립형 건물에 대한 보급기반 마련을 위해 <표 8>과 같이 다양한 정책 수단을 운영하고 있다. 특히, 건축물 에너지효율등급 인증제도, 건축물 에너지 절약 계획서 검토, 제로에너지건축물 인증제도, 친환경 주택 성능평가제도 등은 신축 건축물의 에너지효율 향상에 큰 기여를 한 정책 수단으로 인정받고 있다.

표 8. 건물에너지효율 관련 정책 수단별 개요 및 법적근거

정책	개요	법적근거
건축물 온실가스 에너지 목표관리제	<ul style="list-style-type: none"> • 정부는 관리업체와 상호 협의하여 온실가스 감축 및 에너지 절약 목표를 정하고, 관리체계 구축 등을 통해 목표 달성을 효율적으로 유도하는 제도 	저탄소 녹색성장 기본법 제42조
건물부문 배출권거래제 외부사업 운영	<ul style="list-style-type: none"> • 외부사업자는 외부사업을 통해서 발행된 인증실적을 배출권거래제 할당 대상업체 등에게 판매하고, 할당 대상업체는 구매한 외부사업 인증실적을 상쇄배출권으로 전환하여 배출권거래제에서 배출량을 상쇄하거나 또는 상쇄배출권으로 거래를 할 수 있는 제도 	온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법 제40조

정책	개요	법적근거
건축물 에너지 절약 계획서 검토	• 연면적 합계가 500m ² 이상인 신축건축물의 건축허가 신청 시, 건축·기계·전기·신재생 부문에 대한 에너지성능지표를 제출하는 제도	녹색건축물 조성지원법 제12조, 제14조
친환경주택 성능평가제도	• 공동주택 사업승인 신청 시, 친환경주택 증빙자료를 승인권자에게 제출하고, 에너지 관련 전문기관의 검토의견에 따라 사업승인 여부를 결정하는 제도	주택건설기준 등에 관한 규정 제64조
건축물 에너지효율등급 인증제도	• 건축물의 설계도서를 통하여 난방, 냉방, 급탕 등 건축물 운영을 위해 필요한 에너지 소요량을 평가하여 성능에 따라 10개 등급(1+++~7등급)을 부여하여 인증제도	녹색건축물 조성지원법 제17조
제로에너지건축물 인증제도	• 고단열·고기밀을 통해 건축물 에너지성능을 극대화하고, 신재생에너지를 활용한 건축물을 대상으로 에너지 자립 수준에 따라 등급 부여	녹색건축물 조성지원법 제17조
에너지데이터 분석센터(EDAC)운영	• 기후조건, 건축물 현황, 용도별 운영특성 등 영향인자 조사 및 에너지사용량과 영향인자 간 통계분석을 통한 효율 지표 개발	에너지이용합리화법 제28조의2
공공기관 에너지이용 합리화	• 공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정(산업부 고시)에 의거, 공공기관의 에너지이용합리화를 위한 의무 이행사항 규정 및 실적관리	에너지이용합리화법 제8조
건물에너지관리 시스템(BEMS) 보급	• BEMS 설치·운영 의무대상(공공기관) 및 관련 인센티브 취득 등을 위한 증빙서류로 서 BEMS 설치확인서 발급	녹색건축물 조성지원법 제6조의2
지역냉방보급 사업	• 지역냉방설비를 설치한 자 및 설비설계사무소에 보조금을 지급하여 지역냉방설비 설치에 따른 투자비 부담 완화 및 지역냉방 보급에 따른 전기냉방기 대체 효과로 하절기 전력수급 안정화에 기여	전기사업법 제47조, 제49조

III 기존 건축물 에너지효율 향상과 에너지성능 현장 측정법

1. 기존 건축물 에너지효율 향상의 필요성

서론에서 기술한 바와 같이 2030년까지 건물부문 온실가스 배출전망치 대비 32.7% 감축 목표 달성을 위해서는 기존 건축물에서의 온실가스 감축을 적극적으로 유도해야 하는 상황이다. 현재, 녹색건축물 조성 지원법 제25조, 제26조, 제27조에 따라 모든 형태의 민간 기존 건축물을 대상으로 『그린리모델링사업(에너지 성능개선 비율에 따른 이자 지원)』을 추진하고 있지만, 기존 건물부문에서의 온실가스 감축 목표 달성을 위해서는 정량적 에너지 평가모델 기반의 리모델링 기술개발 및 활성화 대책 마련이 반드시 필요하다.

한국건설산업연구원에 따르면 현재 GDP 대비 14% 수준인 건설투자 비중이 향후 지속적 하락을 통해 2020년 11.0~11.5%, 2030년 9.2~9.7% 수준이 될 것으로 예상하고 있으며, 신축 건설투자 비중 축소에 따라 준공 이후 30년이 경과된 건축물에 대한 유지 보수 시장이 확대될 것으로 예상된다. 유지 보수 수요는 재축(rebuild), 개축(renewal), 보수(repair), 보강(reinforcement) 등으로 세분화되며, 아파트의 경우 2015년 9·1대책 발표로 재건축 가능 연한이 30년으로 단축됨에 따라 주택 200만 호 건설 정책 등을 통해 급증했던 1990년 준공 아파트에 대해서는 2020년 이후, 재건축 및 리모델링 사업 추진이 가능하게 될 것으로 예상된다. 이와 같이, 향후 지속적인 증가가 예상되는 기존 건축물의 에너지효율 향상에 대한 수요에 효과적으로 대응하기 위해서는 리모델링 계획 수립 단계에서 각 건물의 특성에 최적화된 에너지 효율적 리모델링 방안 도출에 적용할 수 있는 기존 건축물의 에너지성능 진단·분석 솔루션이 필요하다.

2. 기존 건축물 에너지성능 현장 측정법

건축물의 에너지성능은 건축물 내·외부의 물리적 조건 하에서 적정한 실내 환경 수준 유지에 필요한 에너지양으로 (=에너지요구량) 정량화될 수 있으며, 이를 기반으로 에너지소요량, 1차 에너지소요량으로의 정량화도 가능하다. <그림 4>, <그림 5>와 같이 에너지요구량 산출을 위해서는 열 손실량과 열 획득량에 대한 계산이 필요하며 열 손실량은 외피에서의 관류와 침기에 의한 열량, 열 획득량은 일사와 내부발열에 의한 열량 산출을 통해 구할 수 있다.

그림 4. 건축물의 에너지성능 평가 범위

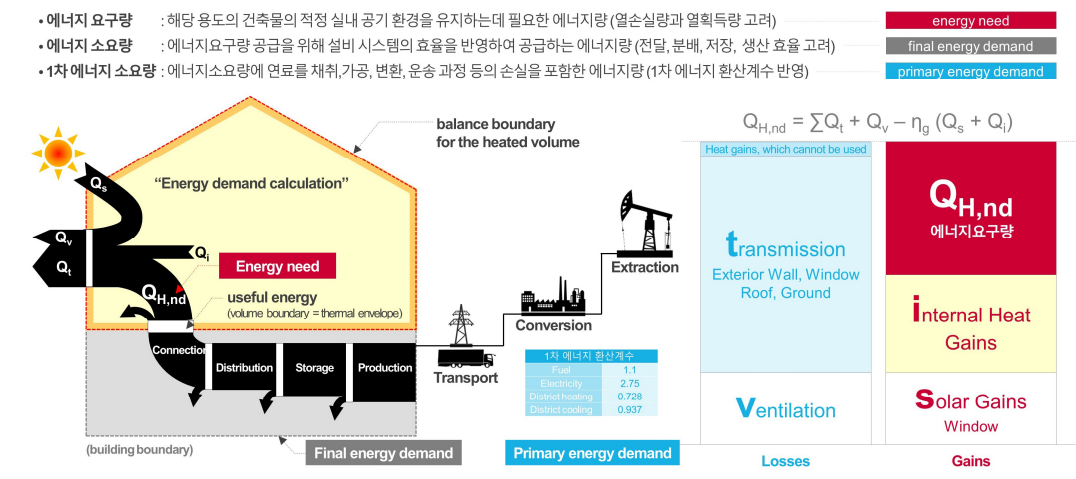
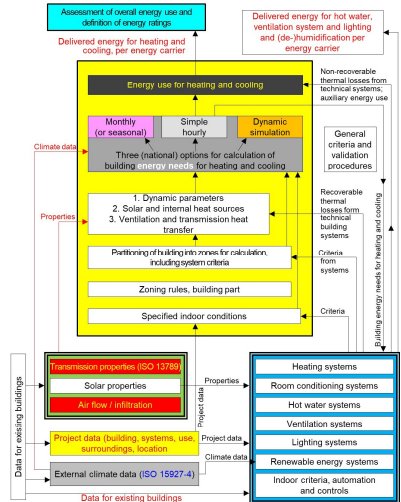
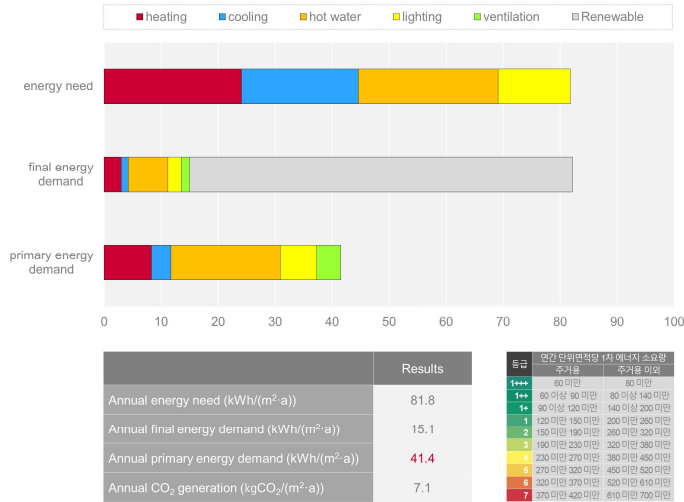


그림 5. 건축물의 에너지성능 평가 절차 및 정량화 방법



여기서, 일사와 내부발열에 의한 열량은 통계 데이터를 기반으로 계량화하여 사용할 수 있지만, 관류와 침기에 의한 열량은 건물의 구조와 재료, 노후도 등에 따라 건물별, 부위별로 상이하기 때문에 관류 열량 계산에 필요한 단열성능(U-value, 단위: W/(m²·K))과 침기 열량 계산에 필요한 구조체의 기밀성능(AHC₅₀, 단위: 1/h)은 직접 측정되어야 한다.

외피의 단열성능은 건물 외피를 통해 단위 시간 동안 실내측 또는 실외측으로 전달되는 총열량(대류, 전도, 복사에 의한 열전달량을 모두 합친 값)의 수준으로 표시되며, 열관류율(=U-value, thermal transmittance)이라고 부른다. <그림 6>과 같이 실외측 표면열전달저항(R_{se}, 단위: W/(m²·K)), 실내측 표면열전달저항(R_{si}, 단위: W/(m²·K)) 벽체를 구성하고 있는 재료별 두께(d, 단위: m) 및 열전도율(λ, 단위: W/(m·K))로부터 계산할 수도 있다.

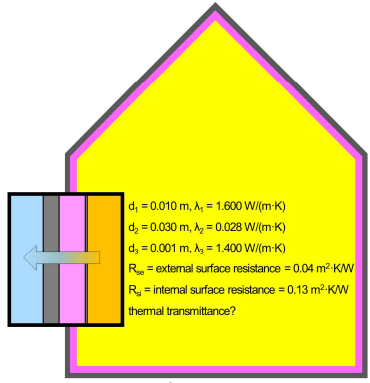
그림 6. 열관류율 계산법

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + R_{si}}$$

※ R_T = total thermal resistance (environment to environment)

Heat transfer resistance (m²·K/W) EN ISO 6946

	Direction of heat flow		
	upwards≤30°	horizontal	downward
R_{si}	0.10	0.13	0.17
R_{se}	0.04	0.04	0.04
PHPP: ground contact building elements	$R_{se}=0$		
PHPP: strongly ventilated air layers	$R_{se}=R_{si}$		



$$U = \frac{1}{0.04 + \frac{0.01}{1.6} + \frac{0.03}{0.028} + \frac{0.001}{1.4} + 0.13} = 0.80 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

단열성능을 나타내는 U-value 현장 측정에는 ISO9869-1(Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance, Part 1: Heat flow meter method(2014))의 HFM(Heat Flow Meter)을 이용한 측정 방법과 ISO9869-2(Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance, Part 2: Infrared method(2018))의 열화상카메라를 이용한 측정방법이 활용될 수 있다.

〈그림 7〉은 HFM의 열류밀도(density of heat flow rate, 단위: W/m²) 측정원리를 나타내며, 〈그림 8〉은 HFM을 이용한 U-value 현장 측정 방법을 나타낸다. 해당 방법은 HFM으로 직접 측정한 열류밀도와 Thermocouple(T-type)로 측정한 실내·외 환경 온도 정보를 이용하여 U-value를 산출하는 방식이다.

그림 7. HFM의 열류밀도 측정원리

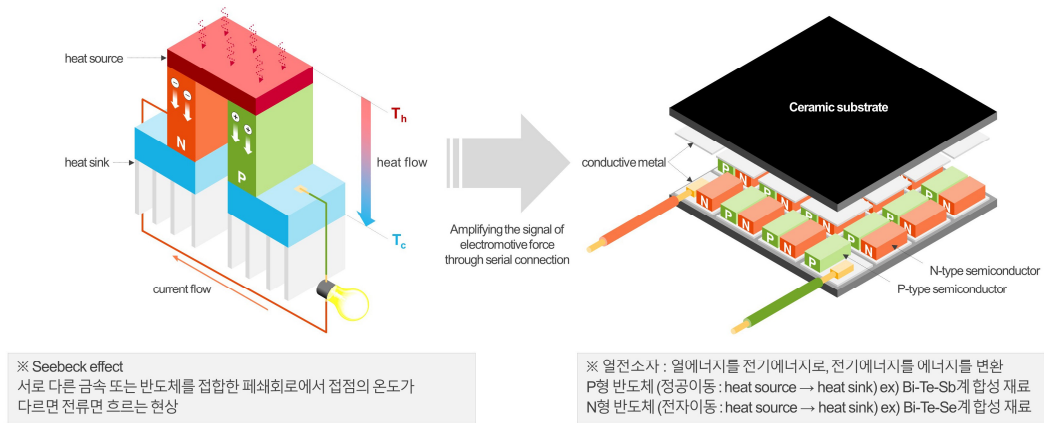
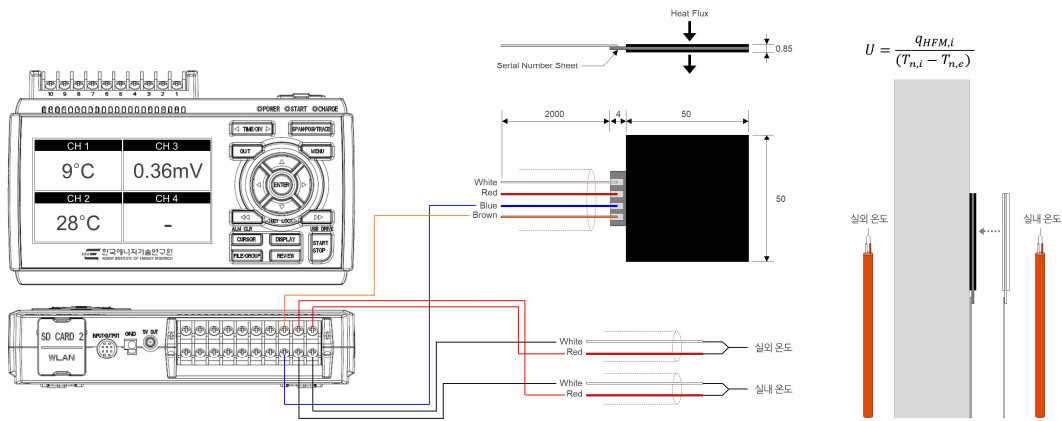


그림 8. HFM을 이용한 U-value 현장 측정 방법



〈그림 9〉는 열화상카메라의 표면온도 측정원리를 나타내며, 〈그림 10〉은 열화상법을 이용한 U-value 현장 측정 방법을 나타낸다. 해당 방법은 열화상 카메라로 측정된 실내측 표면온도와 열전달률센서로 측정된 표면열전달계수, 환경 온도 센서로 측정된 실내·외 환경 온도 정보를 이용하여 U-value를 산출하는 방식이다.

그림 9. 열화상카메라의 표면온도 측정원리

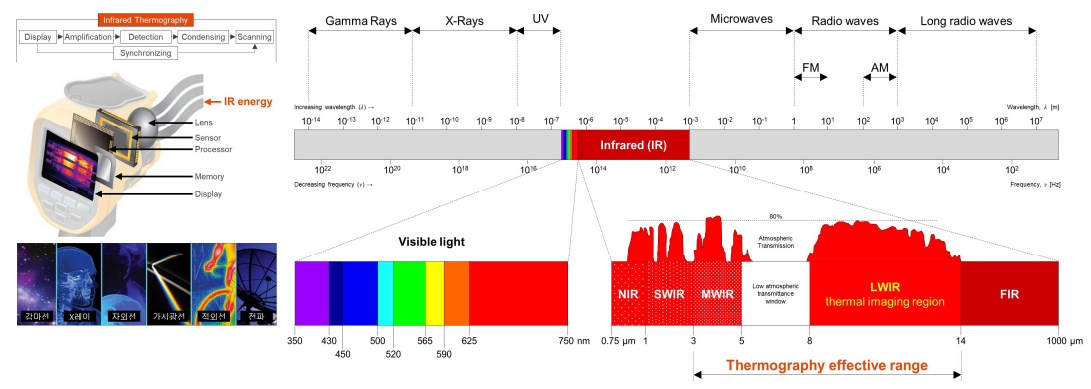
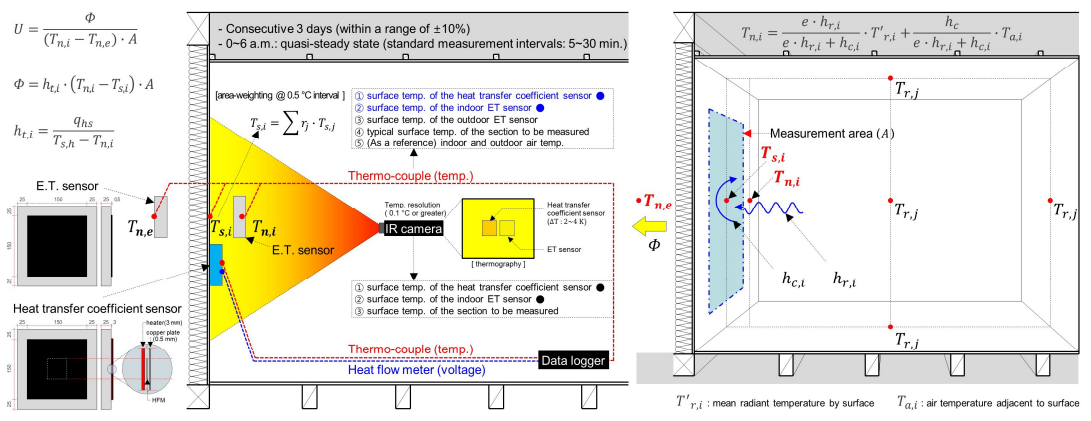


그림 10. 열화상법을 이용한 U-value 현장 측정 방법



최근에는 Heat Flow Meter Method와 Infrared Method를 결합한 형태의 현장 U-value 측정법 연구가 수행되고 있으며, 2016년 Jonghun Kim에 의해 제안된 Air-Surface Temperature Ratio Method와 2017년 Aleksandar Janković에 의해 제안된 Natural Convection and Radiation Method가 대표적 방법이다.

한국건축친환경설비학회 기준 KIAEBS C-1에 따르면, 건축물의 기밀성능(airtightness)은 '건물의 외피 전체 또는 외피를 구성하는 재료나 자재의 공기유출입에 저항하는 정도로 기밀하게 시공된 수준'으로 정의되어 있다. 일반적으로 기밀성능의 수준은 ACH₅₀으로 표기하며, 실내·외 압력차 50Pa(기후조건을 최소화하기 위한 압력차로 약 9m/s의 바람이 불어올 때 발생하는 압력에 상응함)을 유지하기 위해 실내로 불어 넣거나 빼주어야 하는 공기량을 실내 공간의 체적으로 나눈 값을 나타낸다.

ACH₅₀ 측정에는 ISO9972(Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method(2015))의 팬을 이용한 팬 가압법이 주로 사용된다. <그림 11>과 같이 건축물의 출입구에 설치한 팬을 가동시켜 인위적으로 실내·외 압력차 50Pa을 형성시킨 상태에서 팬을 통해 통과하는 유량을 측정하여 CMH₅₀(m³/h)를 구한 뒤, 실내 체적으로 나누어 ACH₅₀을 계산한다.

그림 11. 팬 가압법을 이용한 측정 방법



3. 에너지성능 현장 측정법의 활용 및 응용 사례

3.1. Weatherization Assistance Program에서의 현장 진단

미국 에너지부(Department of Energy, DOE)에서 주관하는 『노후주택 단열공사 지원 프로그램(Weatherization Assistance Program, WAP)』은 노후주택의 에너지효율 향상을 통해 에너지비용을 저감시키고 건강과 안전을 지키는 것을 목적인다. 1976년에 도입되어 가구당 평균 약 700만 원(1,100달러 기준)을 지원하였으며, 미국의 모든 50개 주와 콜롬비아특별구, 아메리카 원주민 부족에게 신청 자격이 부여된다.

DOE에서는 주택 에너지성능 진단이 Weatherization 서비스 제공에 있어서 가장 중요한 과정으로 에너지성능 진단을 통해서 비용효용성 높은 시공방안 마련이 가능하다고 보고 있다. 그래서 국가연구기관인 National Renewable Energy Laboratory(NREL)과 협업하여 Quality Work Plan을 추진하였고, 이를 통해 표준시공시방서(Standard Work Specification, SWS)와 전문기술자 양성을 위한 교육프로그램(Accredited Training Program)을 개발하였다. 해당 교육프로그램을 통해 Energy Auditor, Retrofit Installer, Crew

Leader, Quality Control Inspector를 양성하고 있으며, 교육이수 후에는 교육자를 대상으로 Home Energy Professional Certification(HEP) 자격을 부여하고 있다. 해당 자격증에 대한 관리는 BPI(Building Performance Institute)가 수행하고 있다.

〈그림 12〉는 미국 버지니아 크리찬버그에서 촬영한 현장 진단 전경으로, Energy Auditor는 대상 가구 방문을 통해 도면을 작성하고, 측정된 기밀성능과 보일러 효율 값 등을 이용하여 주택의 에너지성능을 평가하게 된다.



① 기존 건축물 에너지효율향상을 위한 에너지성능 진단 기술

② 제로에너지 건축기술 및 건축물 관련 기술 동향

3.2. 저소득층 에너지효율 개선사업에서의 현장진단

저소득층 주거시설은 단열 및 기밀성능이 취약한 노후주택으로 일반주택에 비해 난방비용 지출 수준이 높으며, 도시가스 공급 제약과 저효율 냉·난방기기 사용으로 국민 모두가 평등하게 누려야 할 최소한의 에너지자원에 대한 접근이 어려운 상황이다. 이에, 한국에너지재단에서는 에너지기본권 보장 및 에너지빈곤층 보호를 목적으로 저소득 가구에 대한 에너지사용 환경 개선을 통한 에너지 빈곤층 해소에 일조하고자 『저소득층 에너지효율 개선사업』을 2007년부터 수행해오고 있다.

저소득층 에너지효율 개선사업을 통해 국민기초생활수급자 및 차상위계층 약 3만 가구를 대상으로 매년 시공지원과 물품 지원을 실시해왔다. 2009년부터는 물품지원과 같은 소극적 지원보다 에너지효율 개선에 따른 직접적 효과가 발생하는 시공지원을 중심으로 사업을 수행하고 있다. 시공지원 시에는 미국의 WAP사업과 동일하게 사업비의 합리적 집행과 사업효과 제고를 위해 『주택에너지진단사』를 활용한 노후주택 에너지성능 현장 진단을 실시하고 있다. <표 9>의 교육 과목 이수 후, 자격검정시험에 합격한 주택에너지 진단사는 대상 주택에 대한 현장방문을 통해 취득한 <표 10>의 정보를 바탕으로 난방에너지 요구량 및 소요량을 계산함으로써 (한국에너지기술연구원에서 개발한 Eco-House Plus 프로그램 활용) 시공지원 전·후의 에너지 절감효과를 평가하게 된다.

표 9. 교육 과목 및 내용

교육 과목	교육 내용
건축환경 개론	① 건축환경 개요(clo, met, PMV, PPD etc.), 건축 온열 환경 이론 ② 건물 에너지 평가 이론
주택 외피성능	① 열전달 이론(대류, 전도, 복사) ② 열전달 이론을 이용한 열전달량 계산 방법 및 응용
주택 공기환경	① 실내 공기환경 개론 ② 실내 화학물질에 의한 오염(TVOC, HCHO), 측정법 ③ 실내 미생물 및 먼지입자에 의한 오염(곰팡이, PM10, PM2.5), 측정법
주택 기밀·단열 진단	① 주택 기밀 및 단열 진단 관련 용어 ② 단열/기밀 진단 기준 및 측정법
주택 기계설비	① 환경 및 에너지관련 단위, 단위환산법, 주택 기계설비 개요 ② 소요 에너지량 및 비용 계산법
실무 실습	① 진단플랫폼 개요(Energy-Scope, Eco-House Plus) ② 현장 진단 데이터 및 체크리스트 작성법 (Eco-House Plus 입력 요소)

표 10. 현장 진단 항목 및 수집 내용

	항목	수집 내용
일반사항	세대주	-
	주소	-
	지역	-
	준공일	-
	건축면적	-
	건축구조	경량구조/중량구조
	주향	동/서/남/북/남동/남서/북동/북서
에너지성능	외피정보 (벽, 창문, 지붕, 바닥)	열관류율
		외피 면적
	ACH ₅₀	침기율
	냉·난방기기	냉·난방기기 효율

3.3. 기존 건축물 에너지성능 현장진단 플랫폼

한국에너지기술연구원에서는 ISO13790(Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling(2008)), ISO52016-1(Energy performance of buildings - Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads - Part 1: Calculation procedures(2017)), ISO9869-1, ISO9869-2, ISO9972 기반의 『기존 건축물 에너지성능 현장진단 플랫폼』을 개발하여, 현장진단에 활용하고 있다. 플랫폼은 <그림 13>, <그림 14>와 같이 5종류의 측정용 모듈과 2종류의 스마트폰 앱 기반 어플리케이션으로 구성된다.

측정용 모듈은 ① 에너지·환경 미터링 모듈, ② 에너지·환경 모니터링 모듈, ③ 유리두께 및 로이필름 측정 모듈, ④ 기밀성능 측정 모듈, ⑤ 보일러 사용량 측정 모듈로 구성되며, 특히, 에너지·환경 미터링 모듈은 외피 U-value, 온·습도, 이산화탄소농도(단위: ppm), TVOC농도(단위: ppb)를 정량화하는 기능을 가진다.

스마트폰 앱 기반 어플리케이션은 ⑥ Energy-Scope, ⑦ Eco-House Plus로 구성된다. Energy-Scope는 현장에서 측정된 데이터를 수집하는 기능을 가지며, Eco-House Plus는 Energy-Scope에 의해 수집된 데이터에 기반하여 해당 건물의 에너지요구량, 에너지소요량, 1차에너지소요량, 시공 전·후의 에너지 절감량 및 절감률 등의 에너지성능을 계산하는 기능을 가진다.

그림 13. 기존 건축물 에너지성능 현장 진단 플랫폼 구성

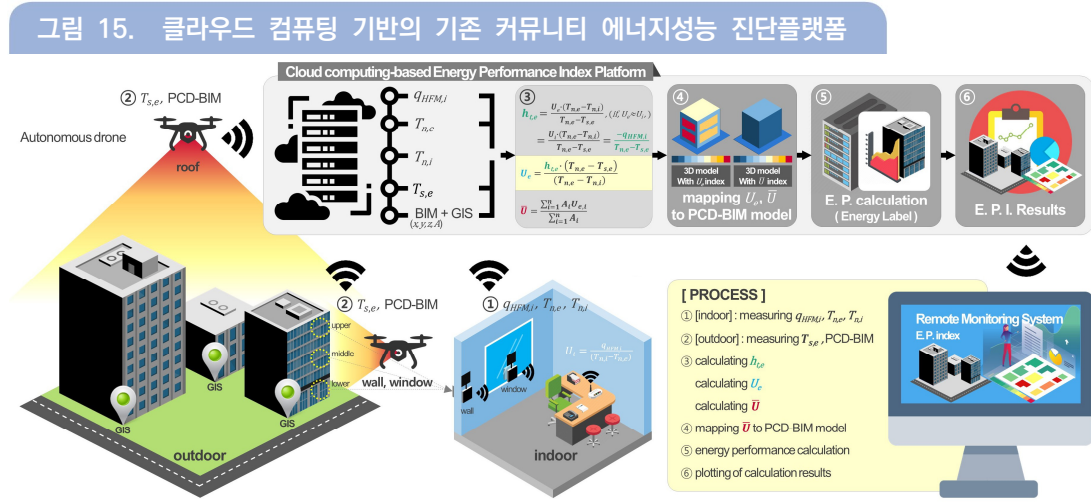


그림 14. 기존 건축물 에너지성능 현장 진단 플랫폼의 개요



미국 DOE 산하 EERE(Energy Efficiency & Renewable Energy)의 Buildings Energy Efficiency Frontiers & Innovation Technologies(BENEFIT)에서는 건축물의 Cyber-Physical System(CPS) 구현을 위해서 Building Energy Modeling(BEM)과 Sensors and Controls(S&C)의 연동을 핵심기술 중의 하나로 보고 있다. 이에, 향후에는 기능이 확장된 에너지 및 환경 복합 센서 모듈 개발과 함께, CPS 구축용 에너지 및 환경 성능 현장 진단플랫폼과 기존 건축물 BEM의 연동을 추진할 계획이다. 또한, 개별 미터링 장치에 대해서는 별도의 외부 전력공급 없이 건축물 내·외부에서 발생하는 진동, 빛, 마찰, 열 등에 대한 에너지

하베스팅(Energy Harvesting)을 통해 생산된 전력으로 작동될 수 있도록 하고, <그림 15>와 같이 자율주행드론을 이용한 에너지성능 진단 프로세스 적용을 통해 플랫폼을 고도화할 계획이다.



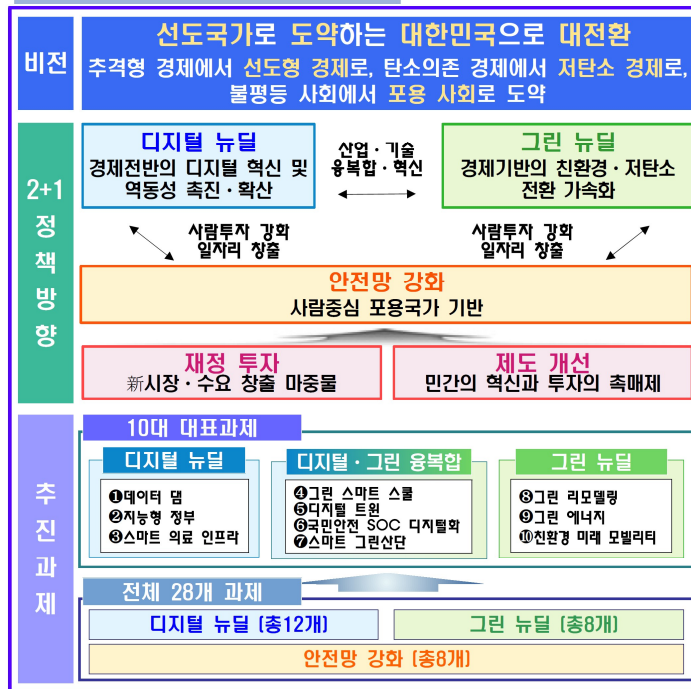
① 기존 건축물 에너지 효율 향상을 위한 에너지성능 진단 기술

② 제로에너지 건축기술 및 건축물관련기술 동향

IV 결론

서론에서 언급한 바와 같이 2030년 건물부문 온실가스 감축 목표량 64.5백만 톤 달성을 위해서는 신축되는 건축물의 에너지성능 허가기준 강화뿐만 아니라 기존 건축물의 그린리모델링 활성화를 통한 에너지효율 향상이 무엇보다 중요하다.

그림 16. 한국판 뉴딜의 구조



출처: 『한국판 뉴딜』 종합계획(2020.07.14.)

2020년 7월 14일, 저성장·양극화 심화, 코로나19에 따른 디지털 경제로의 전환 가속화와 저탄소·친환경 경제에 대한 요구 증대를 계기로 『한국판 뉴딜』종합계획이 발표되었다. <그림 16>과 같이 한국판 뉴딜 추진을 위해 선정된 10대 대표과제 중 『⑧ 그린리모델링』은 건축물의 에너지효율 향상과 직접적 관계가 있는 과제로 민간건축물에 대한 에너지효율 향상 유도를 위해 2025년까지 공공건축물(준공 이후 15년 이상 된 공공임대주택 약 22.5만 호, 어린이집 440개소, 문화시설 1,148개소)을 대상으로 친환경 단열재교체, 태양광 설치 등으로 에너지효율 향상을 추진하게 된다.

본 기고문에서 소개한 기존 건축물 에너지성능 진단 절차와 기술이 온실가스 감축 목표 달성과 그린뉴딜 정책 추진을 위한 그린리모델링 활성화에 적극적으로 활용되고 디지털 뉴딜 관련 과제와의 융합을 통해 한층 더 진화되길 바란다.

저자_ 김종훈(Jonghun Kim)

• 학력

동경대학교 건축공학 공학박사

• 경력

現) 한국에너지기술연구원 책임연구원

참고문헌

〈국내문헌〉

- 1) 김종훈, IoT·AI를 이용한 스마트 빌딩관리 시스템, 설비저널, 2020
- 2) 김종훈, 열화상 이미지를 이용한 검사 기술(건축 설비 · 건축 외피), 설비저널, 2020
- 3) 김종훈, Energy 4.0 대응 ICT기반 기존 건축물 에너지성능 진단플랫폼 개발, 2018
- 4) 김서훈, 김종훈, 류승환, 정학근, 송규동, 기존 공동 주택의 벽체 열성능 현장 측정법에 관한 연구, 한국생태환경건축학회논문집, 2016
- 5) 한국에너지기술연구원, 에너지효율향상 국내·외 동향 분석, 2020
- 6) 한국에너지기술연구원, 건물에너지효율 관련 국내·외 시장, 산업 및 기술동향, 한국에너지기술연구원, 2020
- 7) 한국에너지기술평가원, 제4차 에너지기술개발계획 이노베이션로드맵, 2020.
- 8) 한국에너지공단, 2020 KEA 에너지 편람, 2020.
- 9) 관계부처합동, 한국판 뉴딜 종합 계획, 2020
- 10) 한국건축친환경설비학회, KIAEBS C-1: 2013(건축물의 기밀성능 기준), 2013
- 11) KS F 2829 : 적외선 촬영법에 의한 건축물 단열 성능 평가 방법, 2005
- 12) KS L ISO 9869 : 단열 - 건물요소 - 열 저항과 열투과율의 현장 측정, 2006
- 13) KS L ISO 9972 : 단열 - 건물 기밀성 측정 - 팬 가압법, 2011

〈국외문헌〉

- 14) Seo-Hoon Kim, Jung-Hun Lee, Jong-Hun Kim, Seung-Hwan Yoo, Hak-Geun Jeong, The Feasibility of Improving the Accuracy of In Situ Measurements in the Air-Surface Temperature Ratio Method, Energies, 2018
- 15) Seohoon Kim, Jonghun Kim, Hakgeun Jeong, Kyoo-Dong Song, Reliability Field Test of the Air-Surface Temperature Ratio Method for In Situ Measurement of U-Values, Energies, 2018
- 16) Aleksandar Janković, Biljana Antunović, Ljubiša Preradović, Alternative method for on site evaluation of thermal transmittance, Facta Universitatis, 2017
- 17) International Energy Agency, Energy Efficiency 2019, 2019
- 18) International Energy Agency, Energy Efficiency 2018, 2018
- 19) ISO 13790 : Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling, 2008
- 20) ISO 52016-1 : Energy performance of buildings - Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads - Part 1: Calculation procedures, 2017

- 21) ASHRAE Standard 100-2015 : Energy Efficiency in Existing Buildings, 2015
- 22) ISO 9869-1 : Thermal insulation – Building elements – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance Part 1 : Heat flow meter method, 2014
- 23) ISO 9869-2 : Thermal insulation – Building elements – In-situ measurement of thermal resistance Part 2 : Infrared method, 2018
- 24) ISO 9972 : Thermal performance of buildings – Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method, 2015



융합연구리뷰

Convergence Research Review 2020 July vol.6 no.7



02

제로에너지 건축기술 및 건축물 관련기술 동향

조동우(한국건설기술연구원 선임연구위원)

I 제로에너지 건축물이란?

1. 제로에너지 건축물의 정의

최근 폭염, 황사 등으로 우리 국민이 일상생활에 어려움을 겪으면서 전기요금 누진제 인화와 탈원전, 화력발전소 건설 축소 및 미세먼지 대책 등이 주요 뉴스로 등장하고 예비 전력 부족과 에너지 수급 불균형이 한동안 심각한 사회문제로 다루어진 바 있다. 우리나라는 건축물 부문에서 국가 전체 에너지사용량의 약 20%를 차지하고 있으며, 선진화가 될수록 40%까지 증가할 것으로 예상된다. 에너지를 사용하지 않는 제로에너지 건축물에서 쾌적하게 살 수 있다면 얼마나 매력적일까?

제로에너지 건축물은 패시브하우스(passive house) 기술로 지어진 건물에 신재생에너지 시스템으로 에너지를 생산하여 에너지 소비를 제로에 가깝게 하는 건축물을 말한다. 따라서 제로에너지 건축물을 이해하기 위해서는 먼저 패시브하우스의 개념을 이해할 필요가 있다. 패시브하우스는 여름과 겨울에 냉난방 시스템 없이도 일정수준의 실내기후를 보장하는 건물을 의미한다. 패시브하우스를 달성하기 위해서는 창, 벽체 및 지붕이 고단열화되어야 하며, 창 및 문 등을 통해 틈새바람이 발생하지 않도록 고기밀하게 시공되어야 한다. 또한, 환기를 위해 필요한 외부공기가 실내로 유입될 때 열회수환기장치에서 배기공기와 열교환이 이루어져 열에너지를 회수할 수 있어야 한다.

우리나라 기존 단독주택 건물의 경우 연간 난방에너지소비량이 약 150kWh/m², 공동주택이 약 70~100kWh/m² 정도이다. 패시브하우스는 연간 단위면적당 난방에너지 요구량 15kWh/m²(등유 1.5리터/m²·year) 이하, 연간 가전/급탕/난방에너지를 포함한 1차 에너지 소요량이 120kWh/m² 이하인 건물을 말한다. 따라서 패시브하우스는 우리나라 주거용 건물 난방에너지 소요량의 약 1/5~1/10수준이다. 한편 에너지를 생산하는 신재생에너지 시스템에는 태양광, 태양열, 지열, 풍력발전, 연료전지 등이 있다.

다만 외부로부터 에너지를 공급받지 않는 완전한 제로에너지 건축물은 기술적으로 달성할 수는 있으나, 40% 이상 건축공사비가 상승하게 되며 투자비를 회수하기 위해서는 30년 이상이 소요되어 비경제적이다.

또한, 태양광 패널로 외관 전체를 덮은 건물은 디자인 측면에서 거부감을 줄 수도 있다. 따라서 제로에너지 건물은 에너지 소비가 순제로(net-zero)인 건물만을 의미하는 것이 아니며 비용효율적인 개념에서 에너지 소비를 최소화하는 건물까지를 포함하고 있다. 현재 제로에너지 건물에 대하여 아래와 같이 몇 가지 개념으로 구분하여 표현되고 있으며, 아직 국제적으로 통일된 지침이나 규격이 마련되어 있지는 않다.

- Nearly Zero Energy Building, Zero Energy Ready Building: 비용경제적인 측면을 고려하면서 건물의 고효율화 및 신재생에너지 공급을 통해 용도별 에너지사용량(난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기 동력 등)을 제로에 가깝게 하는 건축물
- Net Zero Energy Building: 건물의 고효율화 및 신재생에너지 공급을 통해 연간 총 소비·생산에너지가 제로가 되는 건축물
- Plus Energy Building: 건물의 고효율화 및 신재생에너지 공급을 통해 필요로 하는 에너지보다 더 많은 신재생에너지를 생산하고 남은 에너지를 판매하거나 기타 용도로 활용하는 건축물

2. 국외 및 국내 제로에너지 건축 정책 동향

미국에서는 지방정부 중 캘리포니아가 가장 선도적으로 제로에너지 건축 정책을 추진하고 있으며, 2020년부터 모든 신축주택은 제로에너지화로 건설하도록 규정하고 있다. 또한, 2030년까지 모든 신축 상업용 건물과 기존 건물의 50%가 제로에너지 건물이 되도록 목표를 설정하고 있다. 미국에서의 제로에너지 건축물(net zero-energy building)은 건물 내에서 사용하는 모든 에너지 소비의 제로를 의미하고 있다.

유럽에서는 유럽의회의 의결에 따라 2020년부터 모든 건축물은 제로에너지 건물로 건설토록 유도하고 있다. 유럽에서의 제로에너지 건물(nearly zero-energy building)은 냉방, 난방, 급탕, 조명, 환기 동력에 대하여 패시브 및 설비적으로 매우 높은 에너지성능을 갖는 건물로 정의하고 있다. 이것은 가전기기와 같이 건물 내에서 플러그를 이용하는 에너지는 포함하고 있지 않다는 것을 의미하는 것이다.

우리나라에서 제로에너지 건축물은 「녹색건축물조성지원법」 제2조 제4호에서 '건축물에 필요한 에너지부하를 최소화하고 신에너지 및 재생에너지를 활용하여 에너지소요량을 최소화하는 녹색건축물'로 정의하고 있으며, 제17조(건축물의 에너지효율등급 인증 및 제로에너지 건축물 인증)에 근거하여 제로에너지 건축물 인증제도가 운영되고 있다.

2020년 1월부터 1천㎡ 이상 공공건축물을 시작으로 2025년에는 1천㎡ 이상 민간건축물과 500㎡ 이상 공공건축물 및 30세대 이상 공동주택까지 확대되고 2030년부터는 500㎡ 이상 모든 건축물을 대상으로 본격 의무시행 될 예정이다.



출처: 국토부 보도자료, 2019.6

제로에너지인증 취득하기 위해서는 건축물 에너지효율등급 1++등급 이상, 에너지자립률 20% 이상, BEMS(Building Energy Management System) 또는 원격검침 계량기가 설치되어 있어야 한다.

건축물 에너지효율등급 인증제도에서는 유럽과 동일하게 플러그에너지를 제외한 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기 동력에 대하여 1차 에너지로 평가하는데, 주거용 건물은 90kWh/㎡·year 미만, 비주거용 건물은 140kWh/㎡·year 미만이어야 한다. 에너지자립률은 대상 건축물의 단위면적당 1차 에너지소비량 대비 단위면적당 1차 에너지생산량의 비율로 산정한다.

제로에너지인증은 아래와 같이 에너지자립률 20% 이상인 5등급부터 에너지자립률 100%인 1등급까지 5개 등급으로 구분하고 있다.

표 1. 에너지효율등급별 연간 단위면적당 1차 에너지소요량

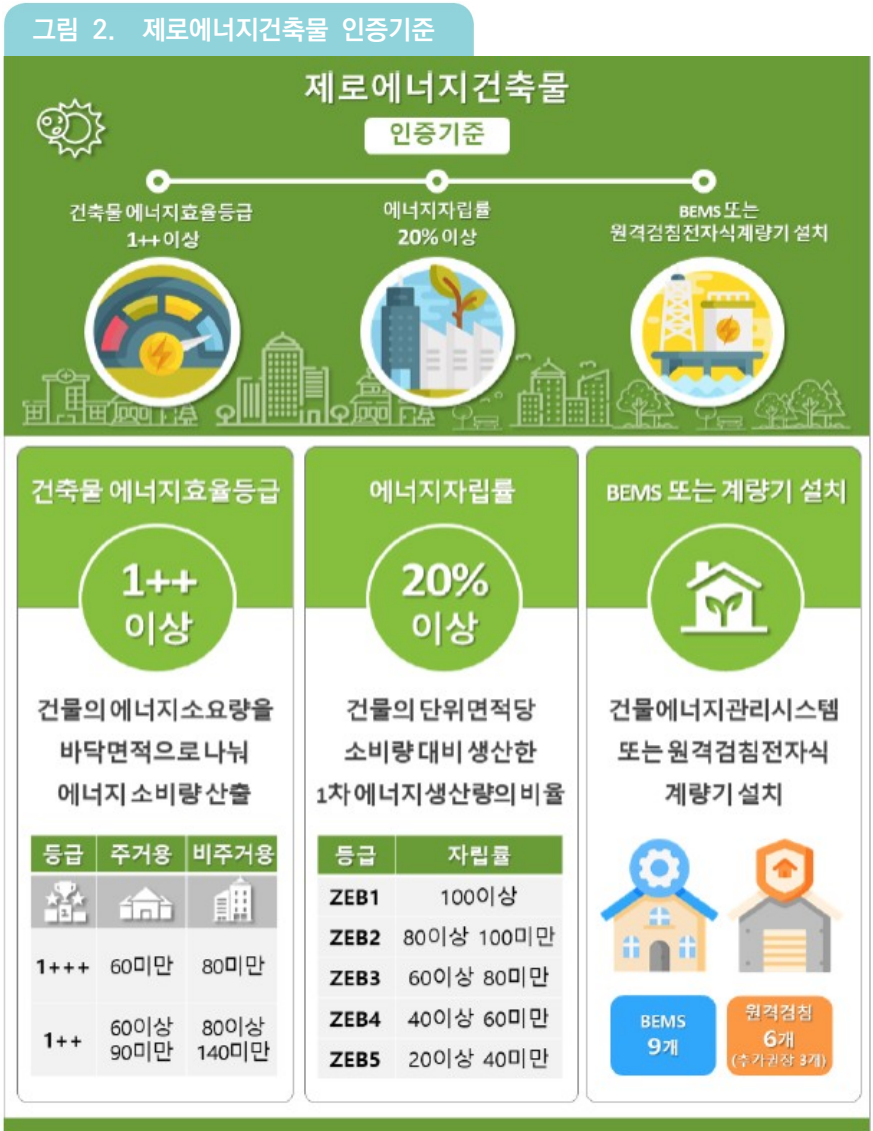
등급	연간 단위면적당 1차에너지소요량(kWh/㎡·년)	
	주거용 건축물	주거용 이외 건축물
1+++	60 미만	80 미만
1++	60 이상 90 미만	80 이상 140 미만

표 2. 제로에너지인증 등급과 에너지자립률

에너지효율등급	에너지자립률*	제로에너지등급
1++등급* 이상 (최고 1+++ ~ 최저 7등급) *최저 7등급 대비 80% 절감	100% 이상인 건축물	1등급
	80 이상 ~ 100% 미만인 건축물	2등급
	60 이상 ~ 80% 미만인 건축물	3등급
	40 이상 ~ 60% 미만인 건축물	4등급
	20 이상 ~ 40% 미만인 건축물	5등급

* 에너지자립률 : 1차에너지 생산량 / 1차에너지 소비량(소요량+생산량)

현재 제로에너지 건축물 인증제도에서는 인증취득 시의 인센티브로서 건축기준 완화, 세제 혜택, 금융지원, 신재생에너지 설치보조금 등이 지원되고 있다. 건축기준 완화는 용적률, 높이제한 등에 대해 인증등급에 따라 11~15%를 적용하며 세제 혜택은 건축물 또는 주택취득세의 15%를 감면해주고 있다. 금융지원은 공공임대, 분양주택, 국민임대주택, 행복주택, 민간임대주택 등을 대상으로 주택도시기금 대출한도를 20% 상향하며 해당 사업대지 면적의 8%에 대해 기반시설 기부채납 부담수준을 최대 15% 경감하고 있다.



출처: 국토부, 산업부, 에너지공단, Zero Energy Building 2020 인증안내서 ver.1

II 제로에너지 건축기술

1. 제로에너지 건축기술

제로에너지 건축물을 달성하기 위해서는 첫째, 패시브 기술인 건물외피의 단열 및 기밀성능을 강화하여 건축물 에너지부하를 최소화하고, 둘째, 액티브 기술인 열회수환기장치 및 열원 등의 설비시스템 효율을 최대화하고, 최종적으로 신재생에너지 기술인 태양광, 지열 등의 시스템에 의한 에너지 생산을 통해 에너지 소비를 제로화해야 한다.

그림 3. 제로에너지 건축물 적용기술



출처: 국토부, 산업부, 에너지공단, ZeroO Energy Building 2020 인증안내서 ver.1

2. 제로에너지 건축을 위한 통합설계기술

제로에너지 건축물은 다양한 계획기법과 공법, 그리고 기술들이 접목되어야 달성될 수 있다. 이를 실현하기 위해 패시브 설계기법, 패시브/액티브 요소기술, 고효율 설비시스템, 신·재생 에너지 시스템 등의 최신 기술들이 융합되어 성능목표에 대한 정량적 분석과 검증이 진행된다. 제로에너지 건축물은 디자인 초기 단계에서 프로젝트의 전 생애주기(Life Cycle)에 대하여 기획부터 설계, 시공단계까지 고려하는 통합설계(Integrated Design)로부터 시작된다. 통합설계는 각 분야 전문가들이 초기디자인 단계부터 협력하여 대안을 마련하고, 이를 설정된 목표와 비교 검증하여 다시 발전시키는 체계화된 설계과정으로 구성된다.

예를 들어 주택에서 난방에너지사용량을 최소화하기 위해서는 주 방위(方位)를 남향으로 하여 난방 기간 중 일사를 활용하여 난방에너지를 절감시킬 수 있다. 그러나 여름철의 일사취득은 오히려 냉방에너지 소비를 증가시킬 수 있으므로 태양의 방위각과 고도에 따라 대응가능한 차양이나 일사조절장치와 같은 대안 마련이 필요하다. 반면에 실내발열이 높은 업무용 건물의 경우 건축물의 주 방위를 남향으로 배치할 경우 난방에너지 저감분보다 냉방에너지 증가분이 커져 오히려 불리할 수 있다. 따라서 통합설계를 통해 이러한 상호작용을 사전에 검토하여 최적안을 도출해야 한다.

건축물의 방위 등 배치계획에서부터 형태, 창호의 배치, 자연채광 확보를 위한 디자인, 맞통풍을 고려한 개구부의 배치, 여름철 일사 차단을 위한 차양 등의 패시브적인 계획만으로도 약 20% 이상의 냉난방 에너지를 절감할 수 있다.

우리나라 신축 주거용 건물의 60% 이상이 고밀도의 용적률이 높은 공동주택 단지로 건설되고 있다. 제로에너지 공동주택 단지 건립을 위해 모든 세대에 균일하게 태양광 모듈을 설치해야 하지만 한정된 대지에 많은 세대가 계획되면서 인동간격 등으로 인해 일조가 적거나 없어 발전이 불가능한 영역이 발생하게 된다.

최근 정해진 용적률과 평면타입으로 다양한 단지 배치와 더불어 세대별 일조량을 최적화할 수 있는 인공지능 기반 공동주택 자동배치 프로그램이 개발되었다. 이 프로그램은 실제 단지의 건폐율, 용적률 등의 법적 제한사항과 인동간격, 대지안의 공지 등을 자동 검토하여 건축법에서 규정한 범위에서 가능한 최대의 세대수를 계획하는 인공지능 툴이다.

〈그림 4〉는 900세대 규모의 실제 공동주택단지를 대상으로 법적 설계요소를 반영하고 인공지능 툴을 이용하여 30가지의 배치안을 도출하고 일조 적산량의 합계가 가장 최적인 배치계획을 시뮬레이션한 결과를 나타낸 것이다.



3. 패시브 건축기술

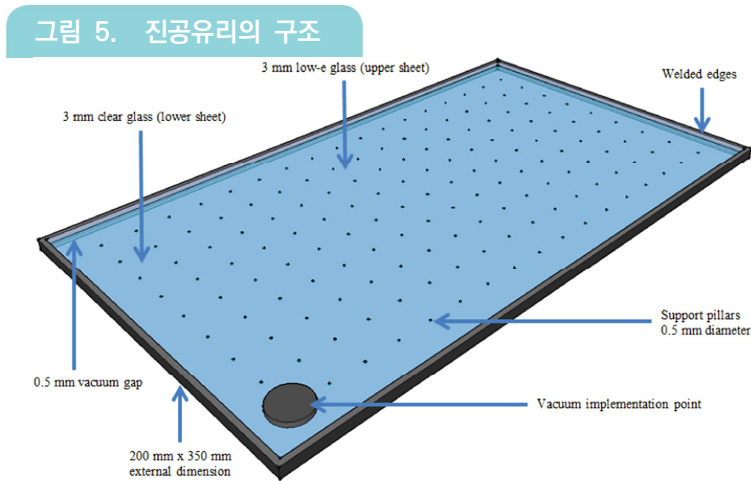
3.1 고성능 창호 및 융합기술 동향

건축물 구성요소 중 열적으로 가장 취약한 부위인 창호는 난방 및 냉방비용 증가의 가장 큰 요인으로 작용한다. 일반적으로 창호의 열관류율은 벽체에 비해 7배 이상 크다. 창호가 큰 주택은 일반 주택과 비교하면 20%까지 난방에너지 비용이 늘어난다.

따라서 최근 제로에너지 빌딩에 적용가능토록 다양한 융합기술을 활용한 고성능·고기능의 창호들이 개발되고 있다. 삼중 또는 사중 유리, 비활성가스 충전, 저방사코팅 기술, 단열간봉 등의 기술이 개발되어 이를 복합적으로 적용함으로써 단열성능이 $0.8W/m^2K$ 이하로 크게 향상되고 있다. 삼중 또는 사중 유리 구조에 복사열 차단이 우수한 로이유리와 유리 사이에 대류열 차단기능이 있는 아르곤가스나 크립톤가스를 충전한 고성능 유리가 사용되고 있다. 이러한 고성능 유리는 공간 층의 열적 수축팽창 현상에 의해 시간이 경과할수록 밀봉된 가스가 빠져나가기 때문에 성능 유지를 위해 충분한 유리 두께를 확보해야 하며 단열감봉과의 기밀화를 위해 접착력도 높여야 한다.

한편, 창유리의 단열성능을 위한 지속적인 기술개발로 최근 국내에서 공간 층을 0.25mm 두께로 진공화한 진공유리도 개발되어 보급되고 있다. 진공유리란 2장의 유리 사이에 진공도 5.5×10^{-5} torr(토르) 이하의 진공층을 형성하여 전도 및 대류에 의한 열전달을 차단시킨 유리를 말한다. 진공유리는 2장의 판유리와 금속이나

세라믹 재질의 필러(pillar), 기밀재(frit seal) 및 유리사이 배기홀 캡 등으로 구성된다. 현재 필러의 간격이 30mm가 일반적이며, 45mm와 같이 간격이 넓어질수록 전도열이 줄어들어 단열성능이 향상된다. 최근의 진공유리는 공간층과 로이유리로 구성하여 단열성능을 0.36W/m²K까지 달성하고 있다.



출처: Erdem Cuce, Vacuum glazing for highly insulating windows, 2016.2

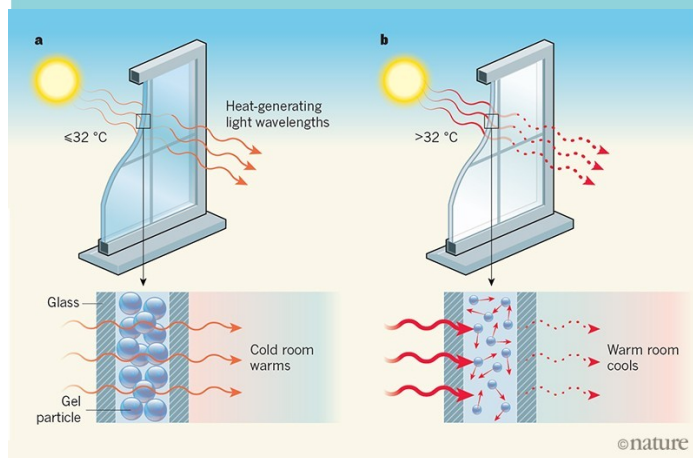


출처: TU_Wien, 2018

유럽에서는 56mm 유리 두께에서 열관류율이 0.2W/m²K, SHGC(Solar Heat Gain Coefficient) 0.32로 충분한 채광기능을 하면서 단열성이 확보된 고성능 단열유리(단열벽체 수준)도 개발되었다. 이 단열유리는 로이유리와 필름을 이용하여 구성된 4개의 챔버(chamber)에 크립톤가스를 주입하여 두께와 무게를 줄이면서 겨울철에도 관류열손실량 보다 일사열 취득이 많아 난방부하를 줄일 수 있다.

스마트 윈도우는 자연채광, 일사유입, 조망 등 실내의 환경조건에 반응하여 자동조절이 가능한 변색유리 창호이다. 외부 온도가 높아지면 자동적으로 유리의 색이 어두워져 외부의 열이 건물 내부로 투과되는 것을 막아주고, 외부온도가 낮아지면 투명하게 바뀌면서 외부의 열이 건물 내부로 흘러들어가게 해 온도 조절이 가능하다. 즉 외부 기온에 따라 태양열 흡수율을 스스로 조절함으로써 계절에 대응하여 에너지를 절약하게 된다. 스마트 윈도우는 에너지효율을 향상시키는 기능성과 동시에 사용자에게 프라이버시 보호측면의 감성을 만족시킬 수 있게 한다. 전압, 비열 등 다양한 기전에 의해 유리의 빛 투과 특성이 변하는 변색유리 중 구동 전압이 가장 낮고 광차단성능이 우수한 Electro-chromic window의 시장 점유율이 가장 높으며 매년 사용 용도가 증가할 것으로 예측된다.

그림 7. 고분자겔 미립자에 의해 반응하는 스마트 윈도우



출처: Nature, Fine-tuned gel particles enable smart windows for energy efficiency, 2019.1

한편, 과거에는 창틀보다는 유리에서 열 손실이 상대적으로 높았으나, 단열유리 제조기술이 향상되면서 1.0W/m²K 이하의 창호에서는 유리보다는 창틀에서의 열 손실이 높아지는 경우가 발생하고 있다. 창호 프레임부에 의한 열전달을 줄일 수 있도록 단열감봉 및 스페이서 등이 개발되고 있으며, 챔버의 공간구획이 많은 구조이거나

단열재로 충전된 창틀도 개발되고 있다. 남측면에 위치한 창호가 $0.65\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 이하, SHGC가 0.5 이상인 경우 단열성능에 의해 열 손실이 줄고 일사열 취득이 증가되어 겨울철의 총 난방부하가 줄어들게 된다. 최근에는 창호에서 발생하는 냉난방 부하를 동시에 줄이기 위해 유리에 내장된 차양장치를 설치하거나, 슬립형의 블라인드 내장형 이중창호, 태양광 모듈이 내장된 이중창호 시스템들도 제로에너지 건축물에 활용도가 높아지고 있다. 미래의 제로에너지 건축물에 적용되는 창호는 열 손실 부위가 아닌 열 취득 부위로 이용될 것이다.



3.2 고성능 외피단열기술 및 융합기술 동향

단열재와 구조체로 이루어진 단열구조는 실내 온열감 증대, 결로 발생의 경감 등 거주환경 수준의 향상과 더불어 에너지 절감으로 이어지는 중요한 설계요소이다. 외부 환경을 차단하는 역할을 하는 단열구조는 실내 냉난방 공간과 외부공간을 구분한다. 따라서 창고, 복도, 계단실에 단열을 하지 않는 경우에는 열적 완충공간을 갖는 외부공간으로 간주해야 하며, 단열을 하는 경우에는 내부공간으로 보아야 한다.

최근에는 200mm 이상인 열관류율 $0.15\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 수준의 단열재가 현장에서 시공되고 있다. 단열재는 불연속면이 발생하지 않도록 벽체, 지붕 바닥 등 구조체의 외측으로 단열재를 배치하는 외단열공법으로 구성해야 한다. 단열재가 불연속하게 되면 열적으로 취약한 부위가 발생하기 때문에 열손실량이 증대되어 구조체의 표면이나 내부 온도가 낮아져 결로가 발생하기 쉽다. 특히 벽체와 창이 접하는 부위에서 불연속하게 되는 경우가 있는데, 이는 결로 발생의 위험성을 높이게 된다.

건물의 현관문 및 출입문은 겨울철에 열손실을 줄이기 위해 $0.6\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 이하의 단열 및 고기밀처리를 하고

방풍실을 설치하여 단열보강을 해 줄 필요가 있다. 출입문의 내부구조에 단열처리가 어려운 부분에는 중공층 내에 방사형 단열막(ex. 알루미늄 박판)을 붙이면 복사열 차단에 유리하다. 최근 국내에서 기존 단열재보다 열전도율이 10배나 우수한 고성능 진공단열재(열전도율 0.004W/mK)가 개발되어 출입문 구조에 사용할 경우 얇은 두께로도 충분한 단열성능을 확보할 수 있다.

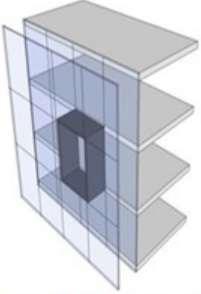
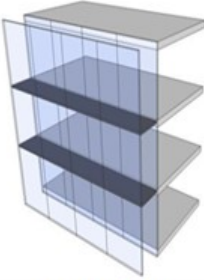
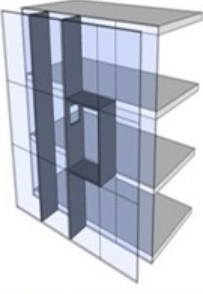
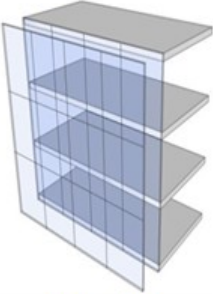


3.3 이중외피 융합기술

이중외피는 2개의 외피사이에 중공층과 일사차단장치를 갖는 시스템이다. 1990년대 초반부터 최근까지 커튼월(curtain wall) 건물의 에너지 절약 대안으로 중공층을 사이에 두고 유리로 된 이중의 외피로 이루어진 이중외피(Double Skin Facade) 시스템이 설치되어 왔다. 이중외피 시스템은 외부에 대한 환경부하를 최소화하면서 자연환경 조건을 최대한 이용할 수 있는 시스템으로 겨울철 열적 원층공간 형성으로 난방부하 절감, 여름철 블라인드로 일사차단 및 중공층 내의 데워진 공기를 외부로 배출하여 냉방부하 절감을 통한 에너지 절약이 가능한 대안으로 제시되고 있다.

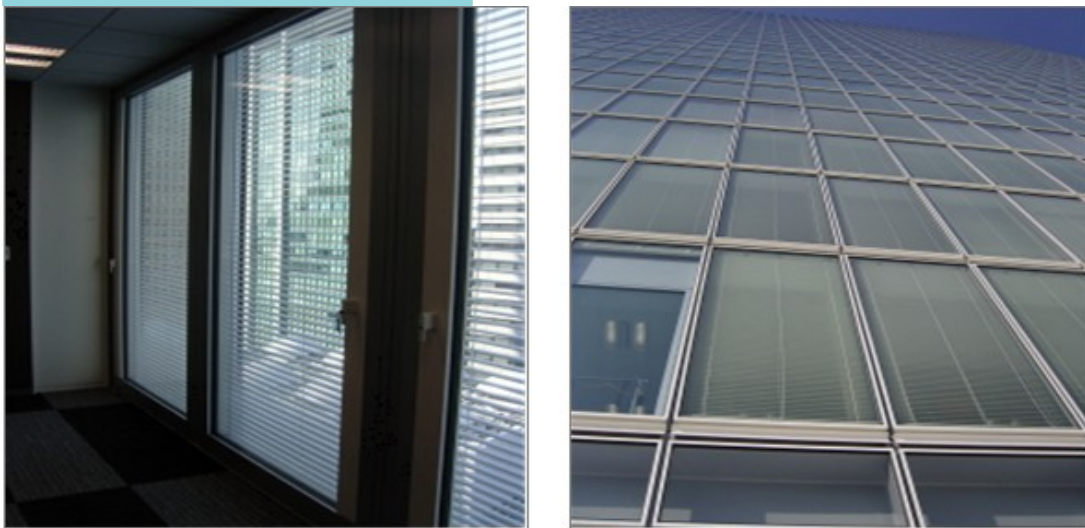
최근 창호의 단열성능 기준이 1.5 W/m²K 이하로 강화되고 공공건축물의 제로에너지건축물 인증 의무화에 따라 이중외피에 대한 관심이 높아지고 있다. 이중외피는 아래 그림과 같이 창호형(box window facade), 샤프트형(shaft-box facade), 복도형(corridor facade), 다층형(multi story facade)으로 구분될 수 있다.

그림 10. 이중외피의 유형

창호형 이중외피	층별 복도형 이중외피	커튼월 이중외피	
		shaft-box facade	multistory facade
			
박스모양의 창 환기	복도 환기	샤프트 굴뚝환기	전층 환기

이중외피구조 내부에는 반드시 블라인드를 설치하여 일사를 조절해야 하고 외측의 개구부는 여름철에 개방될 수 있어야 중공층의 과열을 방지할 수 있다. 태양의 위치에 따라 블라인드가 수동 제어되거나 자동 조절되도록 설치할 수 있다.

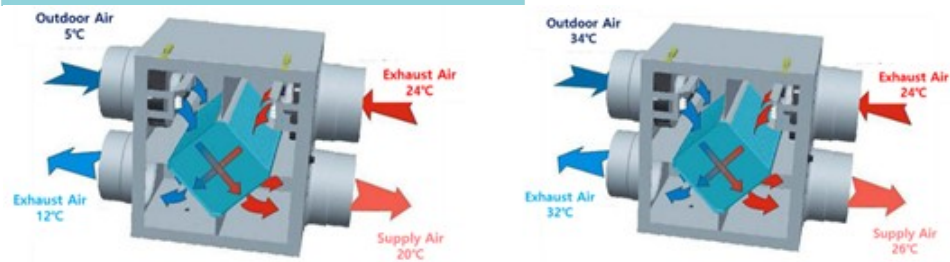
그림 11. 이중외피의 내부 및 외관



4. 액티브 건축기술

단열성과 기밀성이 확보되어 밀폐된 실내공간에는 신선한 외부공기를 유입하기 위한 환기시스템이 필요하다. 환기로 인한 에너지 손실을 최소화하기 위해서는 열회수환기장치가 필수로 요구된다. 열회수환기장치는 열교환기 내의 열교환소자가 나가는 실내공기의 열을 회수하여 들어오는 외부공기의 온도를 실내와 비슷하게 조절 공급하는 장치이다.

그림 12. 열회수환기장치의 열교환 개념



한국건설기술연구원에서는 열회수 환기 뿐 아니라 실별로 미세먼지(PM2.5), 포름알데히드, 이산화탄소(CO2)를 측정하고 봄, 여름, 가을, 겨울 조건에 맞춰 계절별로 공기청정·환기·제습을 동시에 제어할 수 있는 IoT 기반 스마트환기시스템을 개발하였다.

그림 13. IoT 기반 스마트환기시스템



이 시스템은 83% 수준의 열교환효율로 외기가 0℃일 때 열교환기를 거쳐 실내로 들어오는 공기는 약 18℃를 유지하기 때문에 냉감을 느끼지 않는 쾌적한 수준의 환기가 가능하다. 또한, 스마트환기시스템에는 팬동력을 절감할 수 있는 양방향 바이패스(bypass) 기능도 갖춰 봄이나 가을과 같이 온화한 계절에는 열교환기를 거치지 않고 직접 외기를 실내로 도입하여 통풍 및 외기냉방효과를 볼 수 있다. 이와 같은 스마트 환기 기능을 통해 팬동력에 소비되는 전기요금은 연간 약 46,000원 정도로 기존 환기시스템 대비 30% 이상 절감이 가능하다. 금년부터 거주자의 실내 거주패턴을 인식해서 활동량에 따라 환기량을 달리하고 거주자의 행동을 분석하여 에너지 절감을 도모할 수 있는 인공지능 기반 스마트환기시스템의 개발도 착수하였다.

한편, 제로에너지 건축물은 건물외피의 고단열화 및 고기밀화로 부하가 줄어든 만큼 열원설비용량도 줄어들게 된다. 일반적으로 건물부하가 약 20% 수준으로 줄어들기 때문에 열원설비 용량을 기존 대비 약 1/5 수준으로 최소화할 수 있다.

5. 건물 일체형 신재생에너지 기술

지속가능한 자연에너지를 활용하는 방안으로 적용되는 신·재생에너지 기술로는 태양열, 태양광, 지열, 바이오매스, 연료전지, 풍력 시스템 등이 있다. 그러나 건축물에 적용할 수 있는 신재생에너지 기술은 태양광, 지열, 연료전지 정도로 한정될 수밖에 없다. 하지만 지열은 건물 하부에 설치시 구조적인 문제로 적용이 어려우며 온열화 현상 등으로 효율이 저하되는 문제점이 있고, 연료전지의 경우 에너지 저장과 수송, 가격의 문제로 인해 당분간 확산이 어려울 것으로 보인다. 이에 현재 실질적으로 가장 많이 적용되고 있고 그 응용이 용이한 기술은 태양광으로 볼 수 있다.

기술적으로 용이하다고 하더라도 고층건물이 주류를 이루는 상황에서 제로에너지 건물 수준으로 구현하는 데는 태양광 설치면적의 절대적인 부족으로 인한 어려움이 있다. 일반적으로 벽체에 BIPV(Building integrated Photovoltaic)를 설치하는 경우 벽체의 내측으로 열손실을 차단하기 위한 단열재가 설치되어 과열에 의한 효율 저하가 발생하고, BIPV를 설치하기 위한 지지 프레임과 별도로 결속을 해야 하는 등 설치가 용이하지 않은 문제가 있다.

따라서 태양광 패널의 설치면적을 최대한 확보하고 그 효율을 극대화하는 것이 매우 중요하다. 한국건설기술 연구원에서는 양면형 태양광 이중외피 창호 시스템, 루버 일체형 양면형 태양광 시스템, 건물 일체형 다기능 태양광 시스템, 건물 일체형 소형풍력 등 다양한 건물 일체형 에너지자립기술을 개발하였다. 첫 번째 양면형 태양광 이중외피 창호 시스템은 양면형 태양광 패널을 창호에 결합하여 태양광 패널의 전면뿐 아니라 후면에서의

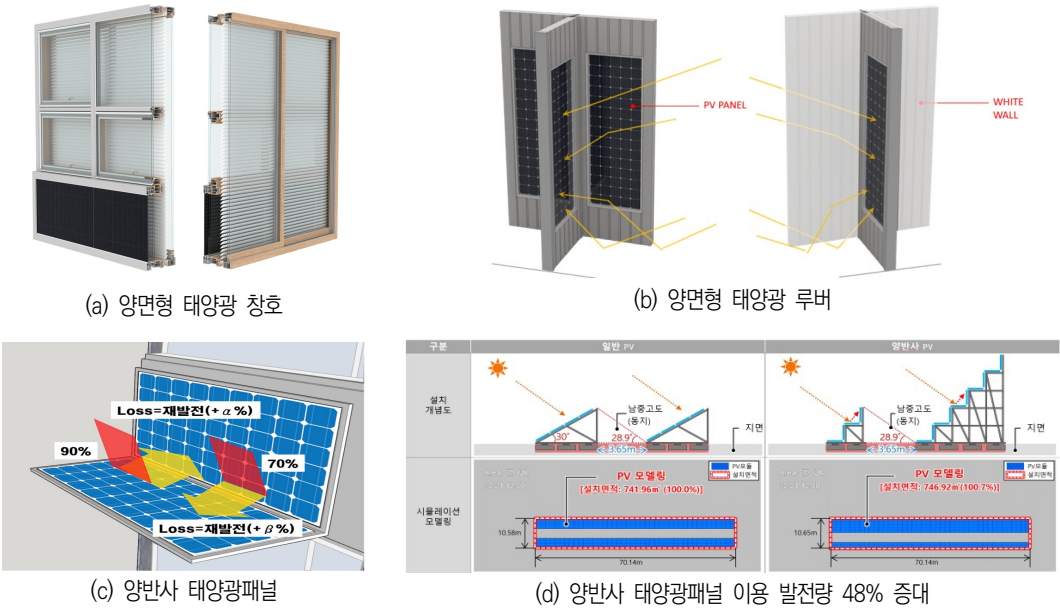
발전을 고려한 시스템이다. 본 시스템은 이중창호 시스템으로 외부 창호의 상단이나 하단에 양면형 PV 또는 열료감응형 PV를 고정되게 설치하거나 개폐가능하도록 설치하고 중간에 반사율이 높은 블라인드를 설치한다. 양면형 PV는 전면부에서 태양광 발전을 하게 되며, 외부창호를 투과한 태양광이 내부창호나 블라인드에서 일부가 반사 및 확산되어 PV 모듈 후면부에서 추가로 발전하게 되며 이는 발전효율을 10% 이상 높일 수 있는 것으로 분석된다.

두 번째 루버 일체형 양면형 태양광 시스템은 일반 PV가 남향의 일조에 의해 전면부 발전을 하는 구성인 반면 본 시스템은 오전에 동측에서 전면부 발전, 오후에 서측에서 후면부 발전을 할 수 있도록 구성된 시스템이다. 직접 수광뿐 아니라 벽체, 바닥에서의 반사광을 이용하게 됨으로써 약 20% 정도의 효율을 증가시킬 수 있다.

세 번째 건물 일체형 다기능 태양광 시스템은 태양광 패널을 수직/수평으로 구성하여 각 패널이 일반 태양광 패널과 같이 유입되는 일사 에너지를 통하여 발전하고 패널 표면에서 반사되는 에너지를 서로 재사용할 수 있다. 또한, 창호의 상부에 수평으로 장착된 패널은 건물에서 차양 역할을 하게 되어 냉방부하 절감효과도 가져온다. 또한, 옥상에 계단형으로 다기능 태양광 시스템을 설치할 경우 일반 태양광 발전시스템 대비 발전효율의 10~20% 향상, 옥상부 동일 바닥면적 대비 연간 발전량의 48% 증대가 가능하다.

이와 같은 시스템들은 고층건물의 한계인 태양광 적용면적의 한계를 극복하여 제로에너지 건물 구현이 가능하도록 하는데에 기여한다.

그림 14. 건물 일체형 에너지자립기술



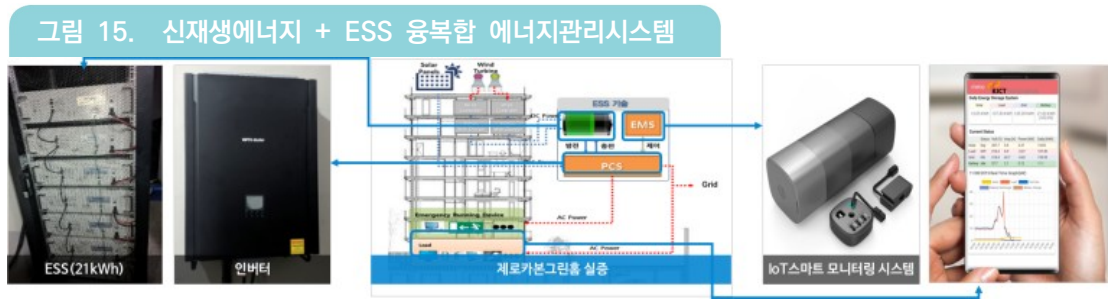
6. 신재생+ESS 통합관리시스템

제로에너지 건물은 패시브 및 액티브 기술을 이용한 에너지 절감과 더불어 신재생에너지를 통한 전력생산이 필수적이다. 신재생에너지 중 가장 널리 사용되는 태양광 발전은 전력생산이 낮시간으로 한정되기 때문에 ESS와 같이 전력을 저장하여 야간 또는 전력사용량이 높은 시간에 방전하는 방식이 효율적이다. 그러나 사용자나 관리자가 건물 내 전력사용량을 분석하고 ESS의 충·방전 제어를 효율적으로 관리하기에는 어려움이 따른다.

최근 제로에너지 건물 분야에서 두각을 나타내는 기술 중 하나는 인공지능과 융합한 에너지 관리시스템이다. 이는 건물 특성에 맞는 최적화된 에너지 제어 방법을 찾아주어 한층 능동적으로 에너지효율을 높일 수 있도록 하는 것이다. 사물인터넷(IoT)과 클라우드 기술을 기반으로 한 빅데이터 분석을 통해 건물의 에너지 이용 패턴과 에너지 절감 대책을 찾는 것이 가능하다.

한국건설기술연구원에서는 IoT 기반 스마트 모니터링 시스템(전력분석기)를 활용하여 건물의 전력사용량을 실시간으로 수집·분석하고 인공지능에 의한 전력사용량 패턴 학습을 통하여 ESS의 충·방전의 자율 조정이 가능한 통합관리시스템을 구축하였다. 이것은 인공지능 기술을 활용하여 건물 전력에너지 사용량 및 패턴

분석, 낮시간에 태양광 발전에 의해 생산되는 신재생 발전량을 분석·예측하여 ESS 용량에 따른 충·방전 시점 최적화를 통한 효율적인 에너지 관리가 가능하다.



① 기존 건축물 에너지효율향상을 위한 에너지성능현장진단 기술

② 제로에너지 건축기술 및 건축물 관련 기술 동향

III 제로에너지 융합기술을 적용한 건축물 동향

1. 국내 제로에너지 건축물 대표사례 및 동향

제로에너지 건축물은 계획, 설계, 시공 단계에서 각종 자재, 모듈, 시스템 기술들이 융합되어 완성됨과 동시에 건물이 완공된 후에도 최적화된 운영관리를 통해 진정한 제로에너지를 달성해야 한다. 본 장에서는 제로에너지 융합기술을 적용한 국내의 대표적인 제로에너지 건축물에 대하여 살펴보고자 한다.

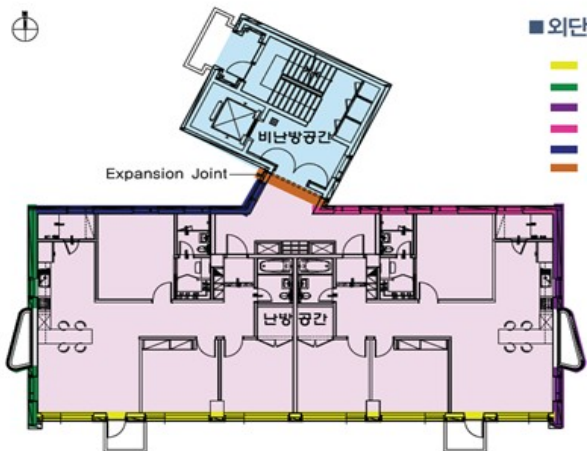
2013년에 국내 최초로 건설기술연구원 내에 8층의 연면적 2,235㎡ 규모의 제로에너지 공동 주택 제로카본그린홈 (Zero Carbon Green Home)이 건립되었으며, 적용된 기술들은 아래와 같다.

첫째, 슈퍼 외단열과 열교차단 기술이다. 외피열손실의 약 60%를 차지하는 창호에 대해 고성능 초단열 창호시스템이 적용되었으며, 벽체는 외단열 공법 적용을 통해 외피 구조체로의 열손실을 최소화하였다. 진공단열재가 내장된 고기밀·고단열 현관문 뿐 아니라 파라펫 및 발코니와 같이 외부로 돌출되는 부위에 대해서는 열교차단시스템을 설치하여 열손실을 최대한 차단하였다. 엘리베이터와 계단실은 단위세대의 주거공간과 분리하여 배치함으로써 비난방공간으로의 열손실을 근원적으로 차단하였다.

그림 16. 제로카본그린홈



그림 17. 난방공간과 비난방공간을 분리한 외단열 시스템



둘째, 외피의 고기밀화 기술이다. 창호자체의 고기밀화는 물론 창호와 벽체가 만나는 모든 부위에 기밀테이프 시공을 통해 틈새에 의한 누기를 차단하였다. 한편, 전선 배관을 통해서도 외기가 들어올 수 있으므로 실내와 연결된 모든 설비배관 및 통신배관에 대해서도 기밀 테이프 등을 이용해서 외기유입을 차단하였다.

셋째, 자연에너지의 적극적인 활용 기술이다. 패시브디자인 개념에 근거하여 남향으로 주택을 배치하고 남측 창호 크기를 최대화하고 북측의 창호는 최소화하여 겨울철에 일사를 최대로 받아들여 난방에너지를 절감하는 동시에 밝고 쾌적한 환경의 실내공간이 유지될 수 있도록 하였다. 한편, 여름철에는 실내에 바람길 형성이 가능하도록 맞통풍이 이루어지는 창호 배치를 하였으며 남측 창호 외부에 블라인드를 설치하여 여름철 일사가 실내로 유입되어 실내온도가 상승하는 것을 사전에 차단되도록 하였다.

넷째, 환기로 인한 에너지 손실을 최소화하고 필요한 만큼의 환기가 이루어지도록 실별 제어가 가능한 열회수환기장치를 설치하였다. 열회수환기장치를 북도측에 설치하여 외기에 바로 노출되지 않도록 하였으며, 외기유입덕트는 보일러의 이중배기덕트와 연결시켜 예열이 이루어지도록 구성하였다. 이와 같은 기술 적용으로 환기로 인한 손실의 85% 이상 회수가 가능하였다.

다섯째, 에너지의 효율적 운영을 위한 그린홈 서버를 구축하였다. 운영관리의 최적화를 위해 가전기기의 에너지원별 소비에너지 모니터링 및 제어가 가능한 인터페이스와 홈 에너지 관리시스템(Home Energy Management System)을 적용하였다. 이는 개별 가전기기에 대한 에너지절약 뿐 아니라 거주자의 에너지 절약적인 생활을 유도하는 역할을 하게 된다.

여섯째, 난방 및 급탕 열원설비는 기존 건물의 1/5수준인 50kW 펠릿보일러 2대로 용량을 최소화하였다. 여기에 열원설비에 축열조를 두어 난방과 급탕부하를 동시에 담당할 수 있도록 하였다. 마지막으로 건물 옥상에 태양광 시스템을 적용하여 300W PV패널 120매에서 연간 45,000kWh의 전력이 생산되도록 하였다.

일반 공동주택 단위세대에서의 난방비용은 연간 9,088kWh/year(약 63만 원), 전력요금은 연간 약 3,600kWh/year(53만 원)인 것으로 조사되었다.(조동우 외, 2013) 제로카본그린홈을 운영하면서 2014년 단위세대당 에너지소비량에 대해 모니터링한 결과를 살펴보면 연간 난방에너지는 1,884kWh/year, 태양광 시스템에 의한 전력생산량은 3,060kWh/year로 나타났다. 이는 난방에너지 약 80% 절감과 연간 전기에너지는 85% 절감된 것으로 난방비용과 전기요금을 합쳐 기존 공동주택 대비 98만 원 정도 절감 가능한 것으로 분석되었다.

한편, 2017년 12월 노원구에 국가 R&D 지원을 받아 건설된 제로에너지 주택 이지(EZ)하우스가 입주를 시작하면서 제로에너지 주택에 대한 국민들의 관심이 높아졌다. 연면적 17,710㎡, 지상 7층 지하 2층 규모의 단지에 총 120세대가 거주하고 있다. 2018년 3월부터 2020년 2월까지 신재생에너지 생산량 중 태양광발전량은 연간 407,503kWh, 지열생산량은 347,624kWh이었다. 동기간에 각 세대가 월평균 지불한 에너지비용은 41,737원으로 연간 약 50만 원 정도인 것으로 발표되었다.(Kharn, 2020. 7. 5)

국내 첫 고효능 제로에너지 공동주택으로 기록된 힐스테이트레이크 송도 아파트단지는 지상 36층 886세대 (연면적 155,833.02㎡)로 건축물 에너지효율 1++등급 인증, 공동 주택 제로에너지 건축물 5등급 인증(에너지 자립률 23.37%)을 취득하였다.

패시브 기술로 법적 기준보다 14% 이상 향상된 내단열 벽체와 고기밀(ACH 1.3~1.7h-1)화 기술이 적용되었다. 액티브 기술로 5.27W/㎡ 수준의 LED 조명과 고효율 냉난방기기가 설치되고, 신재생에너지 기술로 세대당 약 5㎡ 수준인 태양광 발전+건물 일체형 태양광 발전 773.52kW가 적용되었다. 또한, 1kW급의 연료전지가 공용부에 설치되었으며, 공동주택용 건축물에너지관리시스템이 적용되었다. 내년부터 에너지사용량과 관리비용의 발표를 통해 제로에너지 공동주택의 에너지 절감효과를 파악할 수 있을 것이다.

그림 18. 힐스테이트레이크 송도 공동주택 단지



출처: HMG Journal

그림 19. 서울에너지드림센터



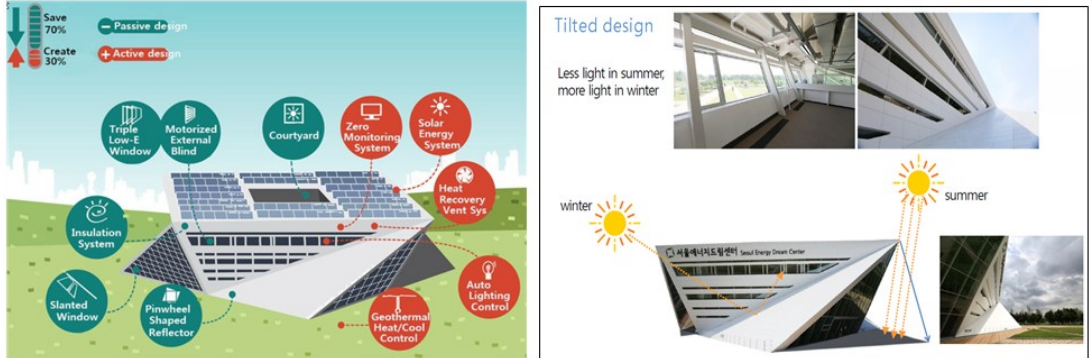
2012년 연면적 3,762㎡, 3층 규모로 건립된 서울에너지드림센터는 건물 운영에 필요한 에너지를 쓴 만큼 자체 생산하는 국내 최초의 제로에너지 공공건축물이다. 에너지자립률 60.37%로 제로에너지건축물 3등급 인증을 취득한 서울에너지드림센터는 외부 전동 블라인드와 바람개비 형태의 반사 벽이 직사광선을 줄이고, 독특한 외관의 경사진 창문은 계절별 일사량을 조절해 에너지사용량의 70%를 감소시킬 수 있도록 계획되었다. 또한, 태양광 발전과 지열 냉난방 등으로 30% 에너지를 자체 생산할 수 있도록 계획되었다.

2013년~2016년까지 272.16kW급의 태양광 패널에서 연평균 359,048kWh의 전력을 생산하였으며, 건물에서 연평균 173,313kWh를 소비하고 185,736kWh의 잉여전력을 한전에 송전하여 연간 2,100만원 정도의 수익을 발생시켰다.(Seoul Energy Dream Center, 2017)

2018년에는 약 445kWh급 용량으로 남산전기버스에 사용되었던 배터리(10팩)를 활용한 재사용배터리(100kWh)와 새배터리(344.88kWh)로 구성된 ESS가 하이브리드 형태로 조성되었다.(서울시, 서울에너지드림센터, 하이브리드 ESS로 에너지자립 건물 도약 보도자료, 2018.11.28)

이에 따라 태양광 발전량이 소비량보다 부족한 시간대에도 센터 건물 자체적으로 에너지자립이 가능한 플러스에너지건물을 구현할 수 있게 되었다.

그림 20. 서울에너지드림센터에 적용된 제로에너지 기술



출처: Seoul Energy Dream Center, 2017

2017년 제로에너지 건축물 인증제도가 도입된 이후 2020년 3월까지 제로에너지 예비인증은 104개 건축물, 본 인증 건축물은 13개에 달하고 있으며, 2020년부터 1,000㎡ 이상의 공공건축물의 제로에너지 인증이 의무화됨에 따라 국내 제로에너지 건물은 기하급수적으로 증가할 것으로 예상된다.

2. 국외 제로에너지건축물 대표사례 및 동향

해외의 대표적인 제로에너지 건물로서는 일본 타이세이건설 기술센터, 미국 NREL 제로에너지건물 및 기존 건물을 리모델링하여 플러스 에너지화를 달성한 오스트리아 비엔나 공과대학 빌딩을 들 수 있다.

그림 21. 타이세이건설 기술센터 전경



출처: https://www.taisei.co.jp/ss/tech_center/topics/zeb/

그림 22. 태스크 & 엠비언트(ambient) 공조시스템, 태스크 & 엠비언트 조명이 적용된 사무공간

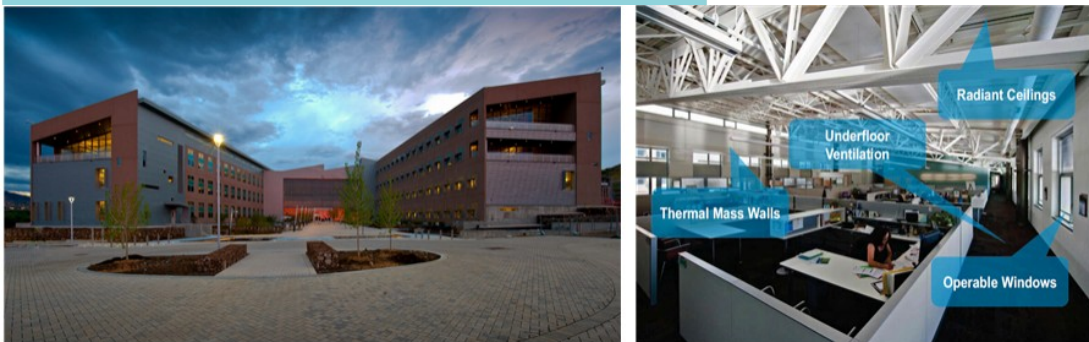


출처: https://www.taisei.co.jp/ss/tech_center/topics/zeb/

1,277.32㎡, 3층 규모의 일본 타이세이건설 기술센터는 고성능 창호, 자연채광 및 자연환기, 구조체 축열 등을 이용한 패시브 기술, 태스크 & 엠비언트(ambient) 공조시스템, 태스크 & 엠비언트 조명 등의 액티브 기술을 이용하여 연간 에너지소비량을 일반 오피스 빌딩보다 75% 감소시킬 수 있도록 계획하였다. 또한, 소비에너지의 나머지 약 25%는 박막형 태양전지 등 신재생에너지에 의한 에너지 창출을 통해 소비와 생산에너지가 제로가 되는 것을 목표로 하였다.

2014년 6월부터 측정된 연간 에너지소비량은 일반 건물의 1/4 정도인 129kWh/㎡이었으며, 태양광 발전에 의한 에너지생산량은 137kWh/㎡로 나타나 일본 내 최초로 에너지 자립화를 달성한 오피스 빌딩이 되었다. (https://www.taisei.co.jp/ss/tech_center/topics/zeb/)

그림 23. 2010년 6월에 완공된 NREL 제로에너지 건물



출처: NREL, Cost Control Strategies for Zero Energy Buildings, 2014

그림 24. NREL에 적용된 패시브 기술



출처: NREL, Cost Control Strategies for Zero Energy Buildings, 2014

연면적 33,400㎡의 NREL 본관동 건물은 미국에서 가장 큰 제로에너지 오피스 빌딩이다. 주요 패시브 및 액티브 기술로 광선반(light shelf) 및 개방창호, 구조체 복사냉난방, 주광센서에 의한 태스크 & 엠비언트 조명, 바닥공조 시스템 등이 적용되었다.

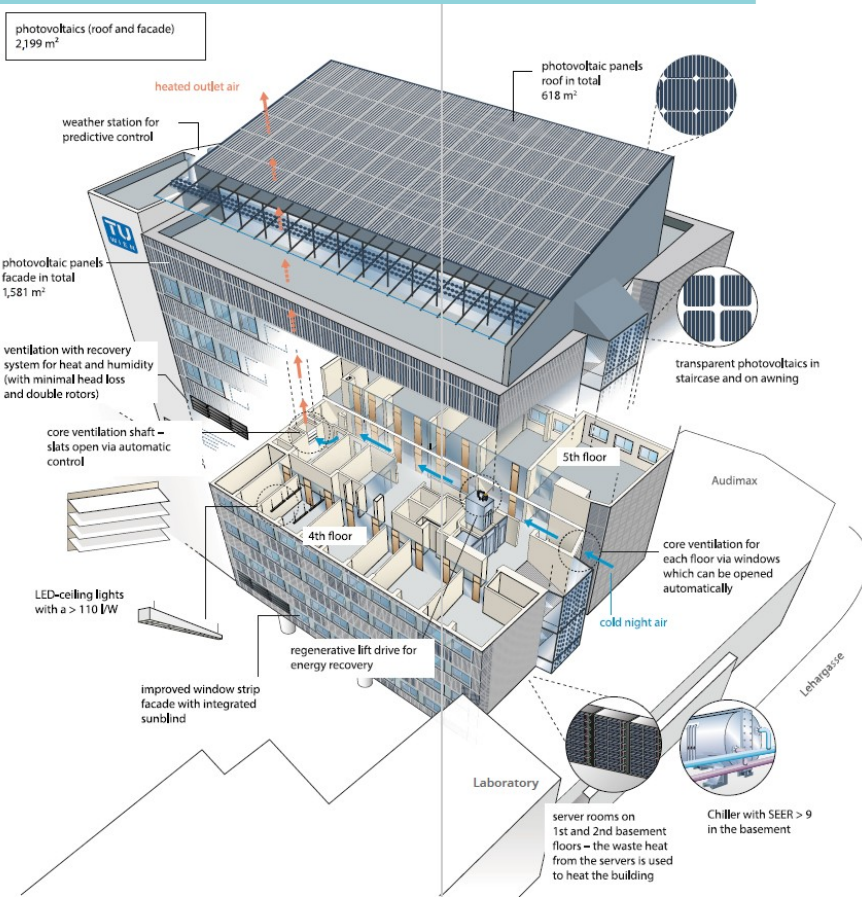
이 건물은 설계 초기 단계부터 명확한 목표설정, 비용을 고려한 성능기반의 토크 발주, 단순하면서도 효율적인 패시브 기술 적용, 모듈화된 디자인과 부품 사용, 에너지효율적인 설비규격, 가치공학을 활용한 통합설계 등 15개의 전략을 수립하여 건설비용을 최소화하면서 제로에너지 빌딩을 달성한 건물이다. PV는 20년에 걸쳐 생산되는 에너지비용으로 상쇄될 수 있도록 \$312/㎡ 설치비용을 민간회사에서 부담케 함으로써, 초기에 계획한 일반 건축물의 공사비 수준인 \$2,788/㎡으로 건설이 가능하였다. 이 건물의 연간 에너지소비량은 76kWh/㎡·year 수준인 것으로 나타났다.

그림 25. 비엔나 공과대학 제로에너지빌딩의 리모델링 전과 후의 모습



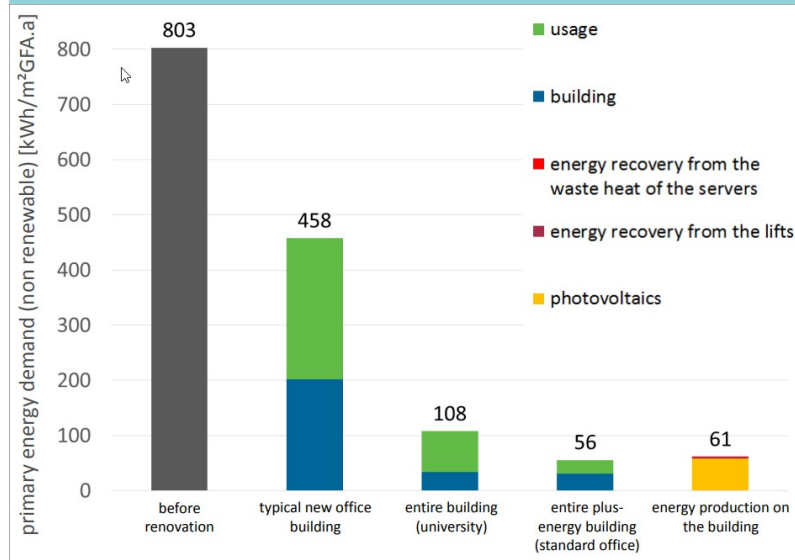
출처: Schoberl & Poll GmbH, World's first Plus-Energy Office High-Rise Building, 2017.4

그림 26. 비엔나 공과대학 제로에너지빌딩에 적용된 융합기술



출처: Schoberl & Poll GmbH, World's first Plus-Energy Office High-Rise Building, 2017.4

그림 27. 비엔나 공과대학 제로에너지빌딩의 에너지사용량 비교



출처: Schoberl & Poll GmbH, World's first Plus-Energy Office High-Rise Building, 2017.4

11층, 13,500㎡ 규모의 오스트리아 비엔나 공과대학 빌딩은 기존 건물의 리모델링을 통해 제로에너지 빌딩을 달성한 혁신적인 건물의 대표적인 사례이다. 또한, 세계 최초의 플러스에너지 고층형 오피스 빌딩이기도 하다. 패시브 기술을 포함하여 여름철 실내 공간에서 가열된 공기를 계단실이나 수직덕트와 창문형 자동 환기장치를 이용하여 외부로 배출하는 외기냉방 기술을 도입하였다. 액티브 기술로는 에너지가 최소화되는 수준으로 실내온도를 자동 설정하고 사용자가 필요에 의해 온도를 조절할 수 있는 스마트제어기술이 적용되었다. 또한, 일사에 따라 자동조절되는 외부 블라인드와 모션센서 및 조도 센서에 의한 LED 자동조명제어시스템이 적용되었다. 한편, 건물 내에 사용되는 컴퓨터를 포함하여 9,300여 개의 모든 가전기기는 고효율 기기로 대체되었다. 서버실로부터 발생하는 폐열은 겨울철에 사무실에서 필요로 하는 난방에 활용되었으며, 엘리베이터가 정지할 때에 제동기에서 발생하는 운동에너지를 발전기를 이용하여 전기에너지로 전환하는 기술도 적용되었다. 연간 248,803kWh를 생산할 수 있는 규모인 328.4kW급 용량의 태양광모듈 2,199㎡가 지붕과 벽면에 설치되었다.

리모델링 전의 건물에서는 연간 803kWh/㎡ 에너지가 소비되었는데, 리모델링 이후 제로에너지 건물에서는 에너지 소비가 56kWh/㎡로 88% 절감되었으며, 여기에 PV 모듈에서 생산된 전력 61kWh/㎡가 공급됨으로써 플러스에너지빌딩을 달성하게 되었다.

IV 새로운 패러다임, 제로에너지건축

최근 폭염, 황사 등 이상기후 현상이 증가함에 따라 국가 온실가스 감축 목표를 이행하고, 신재생에너지 활용을 촉진하며, 미세먼지 문제에 적극적으로 대응하는 수단으로 제로에너지 건축의 필요성이 높아지고 있다.

유럽이나 미국 등 선진국에서 추진하고 있는 제로에너지 건물에 대한 정책에서 알 수 있듯이 대부분 국가에서는 2020년~2030년에 건설되는 모든 신축건물에 대하여 제로에너지 건물 달성을 목표로 하고 있다.

국토교통부에서는 2030년까지 제로에너지 건축을 통해 온실가스 550만 tCO₂을 감축하고, 건축물의 기밀성능 강화 및 열회수 환기설비 등을 통해 실내로 유입되는 미세먼지 562톤을 저감할 뿐 아니라 연간 양질의 일자리 9만 명을 창출할 수 있을 것으로 보고 있다.

제로에너지 건물은 에너지비용을 절감할 수 있을 뿐 아니라 겨울에는 따뜻하게 여름에는 시원하게 지낼 수 있어 쾌적하고 건강한 공간이 되며, 내구성도 좋아 건물의 수명도 길어진다. 초기의 건설비용은 증가되지만 입주 후에 주거만족도는 초기투자비에 대한 부담을 상쇄시킬 정도로 높다. 최근 제로에너지 관련 기술개발이 활발히 이루어지면서 관련 기술의 단가도 크게 낮아지고 있다. 전문가들은 2025년 이내에 태양광 발전에 대한 그리드패리티(grid parity, 화석연료 발전단가와 신재생에너지 발전단가가 같아지는 시기)가 도래할 것으로 내다보고 있어 제로에너지 건물이 보다 현실적으로 다가오고 있다.

최근 전 세계적으로 기후변화와 에너지 문제에 대한 인식에 힘입어 제로에너지 건축물은 미래 주거의 새로운 패러다임으로 자리를 잡을 것이다. 이러한 제로에너지 수준의 건축물을 달성하기 위해서는 기존 고정관념과 전통적인 사고를 뛰어넘을 수 있는 신개념의 융합기술 개발도 활발히 이루어질 필요가 있다. 향후 제로에너지 건물이 건축물 소유주체, 건설주체 및 운영주체 모두에게 실질적인 편익을 주면서, 국가 경제와 지구환경을 향상시키는 방향으로 발전해 나가기를 기대한다.

저자 _ 조동우(Dong Woo Chol)

• 학력

동국대학교 건축환경설비 공학박사
동국대학교 건축환경 공학석사
동국대학교 건축공학 학사

• 경력

現) 한국건설기술연구원 선임연구위원
現) 한국그린빌딩협회 부회장
前) 국토부 중앙건축위원회 심의위원
前) 카네기멜론대학 Research Scholar

참고문헌

- 1) 국가법령정보센터, 녹색건축물조성지원법, 2020. 6
- 2) 국토부, 국가건축정책위원회, 제로에너지건축, 건축을 넘어 도시로! 보도자료, 2019. 6. 21
- 3) 국토부, 산업부, 에너지공단, ZERO ENERGY BUILDING 2020 인증안내서 ver. 1
- 4) 국토부, 산업부, 에너지공단, 2019 제로에너지융합얼라이언스 성과사례집, 2019.
- 5) 서울시, 서울에너지드림센터, 하이브리드ESS로 에너지자립건물 도약 보도자료, 2018. 11. 28
- 6) 조동우 외, IoT 기반 스마트 제로에너지건물 액티브 융합기술 개발, 한국건설기술연구원 연구보고서, 2019. 12
- 7) 조동우 외, 제로카본그린홈 기반 구축 및 기술실용화, 한국건설기술연구원 연구보고서, 2014. 12
- 8) 조동우 외, 에너지소비증명제 운영방안 연구, 2013. 1
- 9) Bodran Atanasiu, Challenges and Principles for nearly Zero-Energy Buildings, NPIE, 2012
- 10) Seoul Energy Dream Center, Presentation of Seoul Energy Dream Center, 2017
- 11) Erdem Cuce, Vacuum glazing for highly insulating windows: Recent developments and future prospects, 2016. 2
- 12) DOE, The Design-Build Process for the Research Support Facility, 2012
- 13) NREL, COST CONTROL STRATEGIES FOR ZERO ENERGY BUILDINGS, 2014
- 14) Schoberl & Poll GmbH, World's first Plus-Energy Office High-Rise Building, 2017. 4
- 15) Energy innovation austria, University Plus-Energy Office High-Rise Building, 2016. 5
- 16) Kharn, <http://www.kharn.kr/news/article.html?no=13085>, 2020. 7.
- 17) https://www.taisei.co.jp/ss/tech_center/topics/zeb/
- 18) <http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/nrels-research-support-facilities-strive-for-net-zero-energy>
- 19) <http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/nrels-research-support-facilities-strive-for-net-zero-energy>



융합연구리뷰

Convergence Research Review 2020 July vol.6 no.7