

제로카본 그린홈 개발

조 동 우

한국건설기술연구원 건축계획환경연구실(dwcho@kict.re.kr)

머리말

지구 온난화와 화석연료의 고갈 문제를 해결하기 위해 전 세계는 각고의 노력을 기울이고 있다. UN은 1992년 브라질 리우데자네이루에서 지구 온난화의 주범인 온실가스 감축을 위해 ‘기후변화에 관한 유엔 기본 협약(United Nations Framework Convention on Climate Change)’의 체결을 시작으로, 1997년에는 선진국의 온실가스 감축의무를 구체적으로 규정한 교토의정서를 채택하였다. 우리나라는 2009년 12월 코펜하겐에서 개최된 제15차 기후변화협약 당사국총회에서 2020년까지 온실가스배출을 배출전망치(BAU, Business as usual) 대비 30% 줄일 것을 선언하였다.

독일 등 유럽국가에서는 난방에너지의 90%이상 절감을 목표로 하는 패시브하우스의 보급이 이미 활성화 되어 있으며 유럽 일부국가에서는 2011년부터 신축주택에 패시브 설계를 의무화할 계획이다. 또한 영국은 2016년부터 신축주택에 대해 이산화탄소 배출이 전혀 없는 제로 카본주택을 의무화할

계획이며, 유럽연합 국가는 2020년까지 모든 신축 건축물에 대하여 에너지 제로화를 의무화할 계획이다.

현재 우리나라 건축물분야에서 소비되는 에너지는 총에너지 소비의 23%를 차지하고 있으며 이중 54%는 주거용 건물에서 소비된다. 에너지 효율이 낮은 현재의 건물시스템으로 인해 매년 5조원 이상의 에너지 비용이 부지불식간에 낭비되고 있으나, 건물분야의 에너지 소비는 오히려 급격히 증가하고 있다.

이에 본 연구에서는 국내 공동주택의 에너지소비 현황을 살펴보고, 한국건설기술연구원에서 수행하고 있는 제로카본 그린홈 개발 연구의 핵심 요소기술을 소개함으로써 향후 저에너지 공동주택의 방향 설정에 도움이 되고자 한다.

국내 공동주택의 에너지 소비현황

패시브하우스는 여름과 겨울에 전통적인 냉난방 시스템 없이도 쾌적한 실내기후를 보장하는 건물

<표 1> 공동주택의 연면적당 에너지소비량

(2009년 에너지 총조사 보고서)

총에너지	화석에너지	전력
139 Mcal/m ² year (167 Mcal/m ² year)	121 kWh/m ² year (146 kWh/m ² year)	40 kWh/m ² year (48 kWh/m ² year)

()는 난방면적당 에너지소비량



[그림 1] 공동주택의 난방에너지 비율 (최상층 측세대 기준)

로, 연간 단위면적당 난방에너지 요구량 15 kWh/m²(1.5리터/m²) 이하, 연간 가전/급탕/난방 에너지를 포함한 1차 에너지 소요량 120 kWh/m² 이하인 주거건물을 말한다.

우리나라 주거용 건물의 경우 난방에너지소비량이 연간 약 200 kWh/m², 공동주택이 약 120 kWh/m² 정도로 패시브하우스의 약 10배 수준이다. 그림 1은 일반 공동주택의 최상층 측세대를 대상으로 부위별 난방에너지의 소비비율을 나타낸 것이다. 난방에너지 소비비율은 창호에서 30%로 가장 크게 나타나고 있고, 건물의 외피(지붕, 벽체, 창)를 통한 열손실이 전체의 60% 정도로 큰 비중을 차지하고 있으며, 환기 부하가 전체의 20% 정도를 차지하고 있다. 따라서, 공동주택의 난방에너지 소비를 줄이기 위해서는 건물외피의 부하저감을 위한 요소기술 개발이 선행되어야 하며, 환기 부하 저감을 위한 폐열회수 환기시스템도 반드시 필요하다.

제로카본 그린홈 개발

정부에서는 2020년까지 건축분야에서 온실가스를 31% 감축하기로 목표를 설정하고, 2012년부터 신축주택의 단열기준을 2배 수준으로 강화하여 냉난방에너지의 50%를 절감하고 2017년에는 90%이상 절감할 수 있도록 패시브하우스 수준으로 강화하고 2025년에는 제로에너지하우스 수준

으로 의무화할 예정이다. 이에 한국건설기술연구원에서는 신축주택의 85% 이상을 차지하고 있는 공동주택을 대상으로 미래형 그린홈을 개발하고 이를 신성장 동력산업으로 발전시키기 위해 2009년부터 오는 2014년까지 “제로카본 그린홈 개발” 연구사업을 수행하고 있다.

본 연구사업에서는 1단계로 2012년까지 창호나 벽체, 지붕에서의 열손실을 최소화하여 냉난방에너지 사용량과 이산화탄소 배출을 현재의 80% 이상으로 줄이면서 국민들이 공감할 수 있는 비용경제적인 그린홈 모델, 즉, 냉난방에너지를 최소화할 수 있는 초에너지 절약형 주택을 제시하는 것이다. 2단계인 2014년까지는 태양에너지나 바이오매스와 같은 신재생에너지 이용을 최대화해서 집안에서 가족들이 생활하는데 필요한 에너지를 자급하고 이산화탄소 배출을 제로에 가깝게 하는 “제로카본 그린홈”을 완성하는 것이다.

이를 달성하기 위해 그린홈 핵심요소기술 개발과 통합설계기술 실용화, 제로카본 공동주택을 개발하여 기존 건축시장을 선진국형 고품질 주택산업으로 전환하는 것을 목표로 하고 있다. 표 2는 제로카본 그린홈이 달성하기 위한 핵심요소기술의 성능수준을 나타낸 것이다. 그린홈의 디자인 기본원리는 첫째, 슈퍼단열(super insulation)과 열교 최소화(design without thermal bridge). 둘째, 열회수와 실내 공기질(heat recovery, indoor air quality) 확보. 셋째, 자연형 태양에너지의 적극적 활용(passive solar gain). 넷째, 고효율기기 사용(electric efficiency). 다섯째, 신재생에너지(on-site renewables)를 고려하는 것이다.

제로카본 그린홈 개발을 비용효율적인 관점에서 접근하기 위해 패시브기술을 최대한 활용하게 되며 액티브기술은 다양한 요소기술을 적용하는 관점에서 기술개발이 이루어지고 현재 제로카본 그린홈을 위해 개발되고 있는 대표적인 기술을 소개하면 다음과 같다.

제로카본 그린홈 패시브 핵심요소기술

패시브 기술은 창호 및 외벽의 고단열화를 통해 에너지 손실을 최소화하고 자연환기, 자연채광 이



<표 2> 제로카본 그린홈 기준

항 목		제로카본 그린홈 성능수준
1. 수퍼단열	벽체단열	$U \leq 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$
	지붕단열	$U \leq 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$
	바닥단열	$U \leq 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$
	창틀, 출입문	$U \leq 0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$
	창호 유리	$U \leq 0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$
	열교	$U \leq 0.01 \text{ W/mK}$
	기밀성	$n50 \leq 0.6 \text{ h}^{-1}$
2. 폐열회수/ 공기환경	폐열회수 환기시스템 효율	$\text{hHR} \geq 75\%$
	지중열교환 환기	동결심도 이상에서 지중열교환
	환기덕트	환기덕트 단열
	난방공간의 최소화	저온난방/ 환기비용 난방
	효율적인 열원시스템	열방합발전
3. 태양열 취득	환기를 통한 실내공기환경	최소 0.5회/시 또는 $30\text{m}^3/\text{인}\cdot\text{시}$
	유리창호	태양에너지투과율 $g \geq 50\%$
	외피를 통한 축열	
	일사를 고려한 방위	남향
	야간단열서터	가동형
4. 고효율기기	동서향의 차양	
	에너지리벨링기기 사용	고효율기기 사용 LED 조명
	조명	
	정기적인 환기필터 관리	
팬동력 효율	$0.45 \leq W$	
5. 신재생에너지	풍력, 태양광, 태양열, 바이오매스	태양광, 태양열, 바이오매스

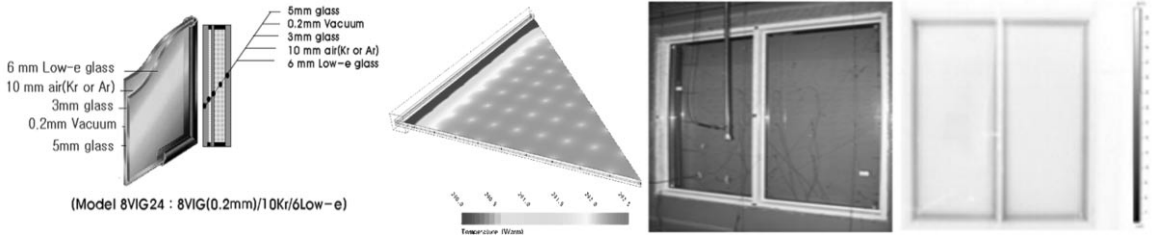
필수적용 선택적용

용을 극대화하는 것이다. 공동주택의 경우 외피를 통해 양 60% 이상의 에너지 손실이 발생한다. 따라서 그린홈 구현을 위한 핵심기술은 건물외벽, 창호의 단열 및 기밀성능을 향상시키는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 진공단열유리를 이용한 초단열 복층창호 개발, 폼드실리카를 이용한 고성능친환경 단열소재 개발, 고층아파트 적용을 위한 외단열시스템 등을 개발하였다.

• 초단열 진공유리 실용화 기술

창호는 건축물을 구성하고 있는 구성요소로서 열적으로 가장 취약한 부위로 난방비용 증가의 가장 큰 요인으로 작용한다. 일반적으로 창호의 열관류율은 벽체에 비해 7배 이상 크다. 창호는 냉난방에너지 비용에 가장 큰 영향을 미치는 요소로서

에너지절약을 도모하기 위해서는 채광과 환기의 측면을 고려하면서 가능한 고성능의 창호를 설치하는 것이 중요하다. 이를 위해 본 연구에서는 진공단열유리와 로이유리를 융합한 초단열 복층유리를 개발하였다. 용점 480℃이하의 저융점 무연 실링 소재 개발, 금속재질의 두께 0.25 mm, 직경 0.5 mm의 마이크로 스페이서를 개발하고, 마이크로 스페이서를 일정 간격으로 정렬, 유리기관에 로딩하는 기술, 직경 2 mm 이하의 진공 배기부의 최적화 설계 및 가공기술 등 진공유리 생산기술을 확보하였다. 이와 같은 기술 개발과정을 통해 현재 2m² 크기에 열관류율은 0.88 W/m²K 수준의 시작품이 개발되어 있으며 최종 개발목표는 4m² 크기의 대면적에 열관류율 0.6 W/m²K 이하의 창호를 개발하는 것이다.



[그림 2] 초단열 진공유리창호

• 고성능 다기능 창호시스템 기술

창호는 일사취득기능을 통해 겨울철에 난방부하를 저감하고 자연채광에 의해 조명에너지를 절감할 수 있지만, 여름철에 취득되는 일사에 의해 냉방에너지의 증가요인이 된다. 주거용 건물에서의 차양장치는 조금 낮설게 느껴지지만 외부차양은 일사유입을 근본적으로 차단하여 내부차양 보다 열차단 능력이 뛰어나다. 실제 외부차양은 탁월한 열차단효과가 있어 75% 정도까지 열흡수량을 줄일 수 있다. 본 연구에서는 복층창호 사이에 블라인드를 삽입하여 하계 일사차단, 동계 일사유입의 가변형 G-Value를 갖는 슬림형 창호 시스템을 개발하였다. 이와 같은 창호시스템은 겨울철 G-value 0.6, 여름철 G-value 0.15 수준을 확보하여 일사조절에 의한 냉난방에너지를 절감하면서 자연채광을 최대한 이용할 수 있다.

• 고성능 단열소재 및 외단열시스템 기술

그린홈, 제로에너지, 패시브건물을 구현하기 위해서는 불필요한 열손실을 최소화하는 건물 외피 단열이 필수적으로 선행되어야 한다. 그린홈에서 외부로 열손실이 없도록 하면 실내 발열만으로도

따뜻하거나 시원한 실내온도를 유지할 수 있는데, 이를 위해서는 단열의 역할이 매우 중요하다.

고성능 단열 소재기술 개발의 일환으로 폼드실리카를 재활용하여 고성능의 FS 진공단열재(Fumed Silica Insulation)를 개발하였다. 기존 단열재보다 열전도율이 10배나 우수한 고성능 진공단열재(열전도율 0.004 W/mK)는 출입문 구조에 사용하여 얇은 두께로도 충분한 단열성능을 확보하는 것이 가능하다.

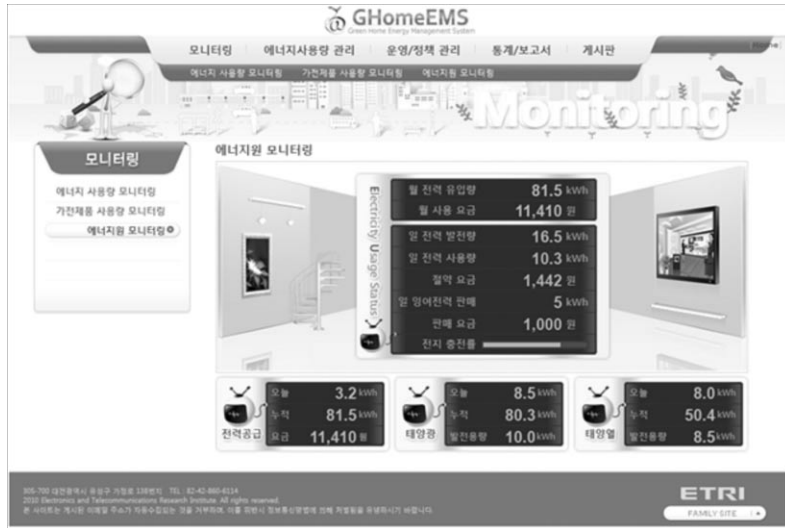
한편, 외벽, 지붕, 바닥의 단열은 국내 중부지방 벽체 열관류율 대비 약 30%수준인 외피의 단열성능을 0.15 W/m²K 이하로 유지할 필요가 있다. 또한, 외부로 노출되는 모든 구조체는 외단열시스템으로 차단하여 외피를 통한 열손실이 발생하지 않도록 하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 기존 습식 외단열공법과 차별화될 수 있고 고층 공동주택에 사용 가능하도록 250 mm 단열재 설치가 가능한 모듈화 건식 외단열시스템을 개발하였다.

제로카본 그린홈 액티브 핵심요소기술

액티브 기술은 공동주택의 에너지 관리기술과



[그림 3] 건식 외단열 시스템



[그림 4] 그린홈 에너지관리 시스템

신재생에너지 적용기술로 크게 두가지로 구분될 수 있다. 그린홈 에너지관리 기술은 주거환경의 에너지 및 환경관리를 효율적이고 능동적으로 운용하기 위한 솔루션을 제공하는 것이다. 그린홈의 에너지와 환경정보를 모니터링하고 이를 기반으로 전력에너지와 세대내 장치들을 사용자의 생활 행태 의향대로 능동적으로 관리하고 제어하는 제로카본 그린홈을 실현하는 ICT 융합기술이다. 현재 저전력 실시간 모니터링 및 제어관리를 위한 복합모듈기술, 그린홈 에너지통합관리 알고리즘 개발, 그리고 주거환경 및 에너지를 통합 관리하는 프로액티브 에너지관리 프레임워크 소프트웨어 개발 등이 이루어져 있다. 이와 같은 기술들은 주택의 에너지소비를 최적화하여 운영하게 하는 기술로 가전기기 등의 에너지원별 소비에너지 모니터링 및 제어, 군단위 통합제어에 관한 운용 알고리즘, 관리시스템 등이 포함된다.

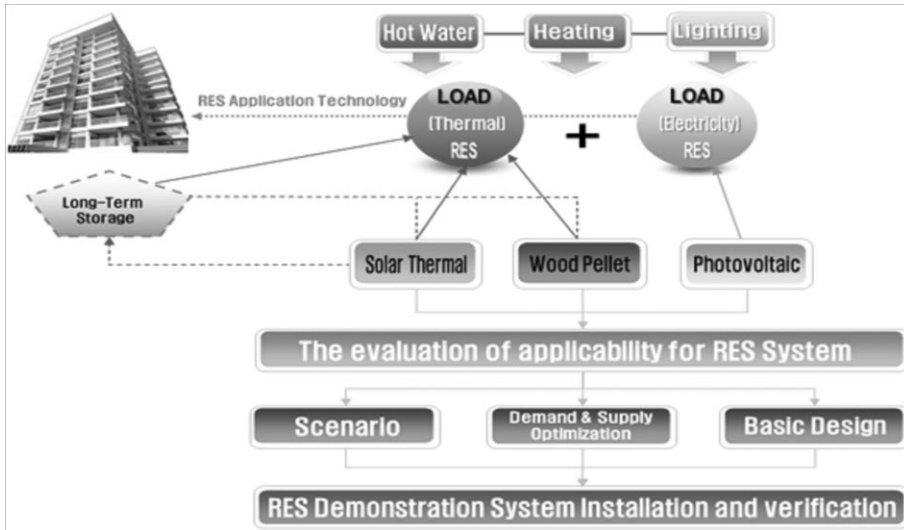
공동주택의 신재생에너지 적용 기술은 태양광, 태양열 시스템을 최적화하여 공동주택에 적용하기 위한 것으로 고층 공동주택의 특성을 반영하여 건물의 지붕과 남측 외벽에 설치가 가능하도록 하는 응용기술이다. 국내 공동주택은 단독주택이나 저층 공동주택인 유럽과 달리 대부분 고층으로 최

근에는 30층 이상의 초고층 공동주택도 등장하고 있다. 건물이 고층화 될수록 단위세대 당 태양광·태양열 시스템을 설치할 지붕면적도 작아지게 되며, 지열 시스템도 마찬가지로 세대상 건물의 대지면적이 작아 전체 세대의 부하를 감당하기 어렵다. 따라서, 고층 공동주택의 전체부하를 감당하기 위해서는 신재생에너지 시스템 적용 뿐 아니라 바이오매스와 같은 에너지원을 이용한 열병합발전시스템 도입이 요구된다.

통합설계기술

그린홈의 성능목표를 만족시키기 위해서는 디자인(superior design)과 기술요소(components)간의 상호작용(interaction)의 통합설계(integral plan)가 중요하며, 건설되는 지역의 기후, 대지, 건물유형, 규모 등에 적합한 디자인과 기술 등의 통합화가 중요한 관건이다. 그린홈은 건물에서 사용하는 건축적인 기법을 최대한 이용하여 에너지 수요를 최소화하고 재생에너지 등 자연에너지를 적극 활용하여 필요한 에너지를 최대한 공급하는 것이다.

통합설계기술은 패시브 및 액티브 핵심요소기술과 설계, 구조, 설비, 시공 기술을 모두 통합하여



[그림 5] 신재생에너지 시스템의 구성

요구 목표성능인 제로 에너지, 제로 카본 그린홈을 구현하기 위한 프로세스로 진행된다. 그림 6과 같이 제로카본 그린홈에 적용되는 모든 기술이 통합설계 및 에너지 성능 분석을 통해 선정되고 조율된다.

현재 제로카본 그린홈 기본설계(안)에 대하여 이와 같은 통합설계과정을 통해 에너지성능 시뮬레이션에 의한 에너지 소요량을 산출한 결과 기존 공동주택 대비 난방 85% 냉방 45% 정도 절감이 가능한 것으로 분석되었다. 본 제로카본 그린홈 설계(안)은 2011년 초에 확정되어 2011년 말에 8층 규모의 제로카본 그린홈 실증주택 건립하여 적용기술에 대한 검증은 비롯하여 에너지사용량에 따른 경제성 분석 등이 이루어질 예정이다.

맺음말

우리나라에서도 국제기후변화협약에 대응하기 위해 2008년 저탄소 녹색성장을 새로운 비전의 축으로 제시하고 그린홈 200만호 보급(신축 100만호 + 기존 100만호) 등의 세부적인 국정과제를 발표한 바 있다. 이는 2005년 기준 우리나라 주택 1200만 가구의 약 20% 수준으로 신축 및 기존주

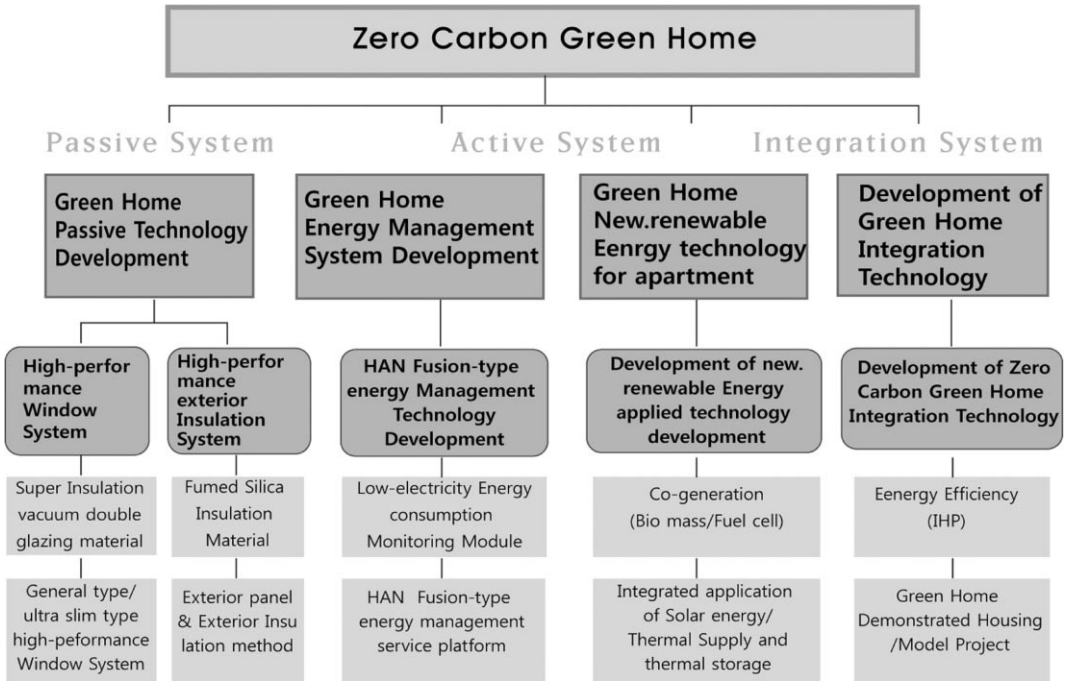
택을 모두 포함해 연간 20만호 정도를 보급해야 하는 대규모 사업이므로 그린홈에 대한 점검과 함께 체계적인 추진 전략이 요구된다.

그린홈 구현을 통해 신축 공동주택의 냉난방에너지가 50%가 절감되는 경우 100만호 기준으로 매년 250만톤의 온실가스 배출 절감효과를 기대할 수 있다. 또한 매년 1조원의 에너지 비용 절감이 가능하고, 이를 약 40년의 건물수명기간으로 환산시 30조원의 에너지비용 절감 효과가 나타날 것으로 전망된다.

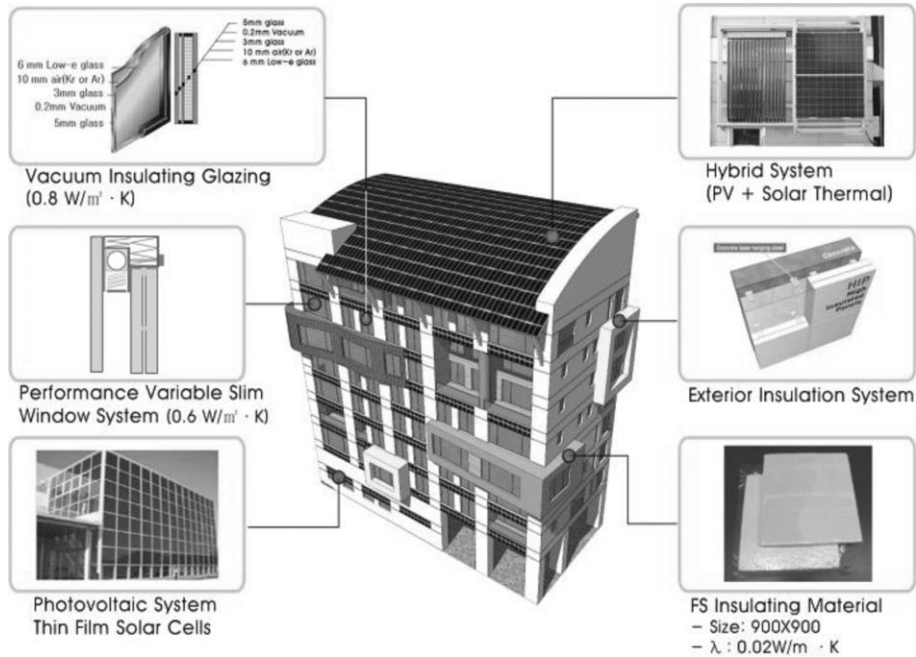
정부가 추진 중인 그린홈은 국민생활의 삶의 질과 직결돼 있으며, 미래세대와 환경을 공유하는 공공기술로서 그 파급효과가 매우 높다. 단독주택에서부터 고층 공동주택에 이르기까지 주거용 건물을 대상으로 국민들이 공감할 수 있는 비용경제적인 그린홈 모델이 제시되어야 한다.

이를 위해 정부에서는 제도적으로 장애요인이 될 수 있는 장벽을 미리 해소하여야 하며, 초기비용 증가에 따른 세제지원, 금융지원과 같은 인센티브 정책을 확대할 필요가 있다.

최근 세계적으로 기후변화에 대한 소비자들의 인식에 힘입어 제로에너지하우스 열풍이 불고 있다. 그린홈 건설에 의해 에너지소비가 제로에 가



[그림 6] 그린홈 통합설계를 위한 기술구성



[그림 7] 그린홈 실증주택 적용을 위한 요소기술

깝게 유지된다면, 국민의 공감과 신뢰를 바탕으로 모두에게 이익이 될 수 있는 사업으로 실현될 것이기 때문에 그 효과는 지대할 것이다. 저탄소 녹색성장시대에 그린홈이 건축물 소유주체, 건설주체 및 운영주체 모두에게 실질적인 이득을 주면서, 국가경제와 지구환경을 향상시키는 방향으로 발전해 나가기를 기대한다.

참고문헌

1. 조동우 외, 제로카본 그린홈 개발 연구(1차년도), 한국건설기술연구원 보고서, 2010.6
2. 조동우 외, 기후변화 대응을 위한 건물에너지 효율등급 표시제도 개발(1차년도), 한국건설기술연구원 보고서, 2009. 9
3. 국토해양부, 녹색도시·건축물 활성화 방안, 2009. 11
4. Jurgen Schnieders, CEPHEUS-measurement results from more than 100 dwelling units in passive houses, Passive House Institute, 2003
5. AECB CarbonLite Programme, Delivering buildings with excellent energy and CO₂ performance, 2009
6. Passive-on project/Passive Home Training Module for Architects and Planners. 2007. 