

# 제로카본 그린홈 적용기술의 개발 동향

글 | 조동우 | 한국건설기술연구원 건축계획·환경연구실 선임연구위원 || 전화 : 031-910-0344 || E-mail : dwcho@kict.re.kr



## 1 | 머리말

지구 온난화에 따른 범국가적 에너지 문제에 주목해 온 해외 선진 각국은 1990년대부터 강도 높은 건물 에너지절약 정책을 추진해오고 있다. 독일을 비롯한 유럽 국가는 건물 구조체의 단열 성능 향상을 통해 난방에너지의 90% 절감을 가능케 하는 패시브하우스(Passive House) 같은 초에너지 절약 주택을 건립, 보급하고 있다. 또한 영국은 2016년부터 신축주택에 대해 이산화탄소 배출이 전혀 없는 제로카본 주택을 의무화할 계획이며, 유럽 연합의 모든 국가는 2020년까지 모든 신축건축물에 대하여 에너지 제로화를 의무화할 계획이다.

현재 우리나라 건축물 분야에서 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, 최근 국민소득이 높아지고 삶의 질이 향상됨에 따라 건물분야의 에너지 소비는 오히려 급격히 증가하고 있다. 이것을 바꿔 말하면, 우리의 건축행위 전에 철저하게 과학적인 방법을 고려하여 설계·시공을 하면 상당량의 에너지를 절감시킬 수 있다는 것을 의미한다.

본고에서는 주거용 건물에서 에너지 절감을 위한 그린홈 적용기술의 현황을 살펴보고, 한국건설기술연구원에서 수행하고 있는 제로카본 그린홈 개발 연구를 소개함으로써 제로카본 공동주택 건설을 위한 개발 방향을 제시해보고자 한다.

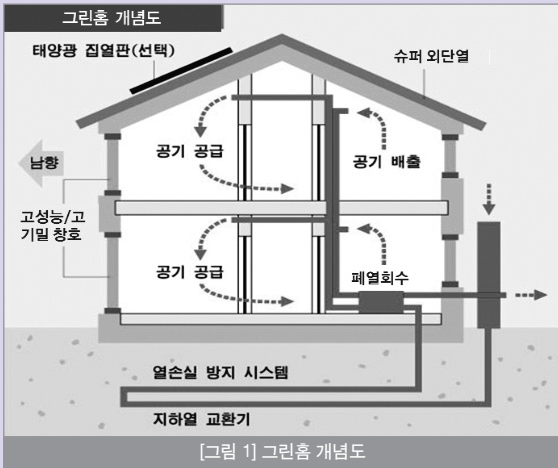
## 2 | 새로운 패러다임, 제로카본 그린홈

머지않아 건축행위는 에너지효율을 최우선으로 고려해야 하는 시대가 도래할 것이다. 지구온난화 및 기후변화협약, 에너지가격 상승 및 화석에너지의 고갈 등의 현실화로 현재 짓고 있는 주택형식에 직접적인 영향을 줄 것이다. 환경과 에너지를 우선시 하면서 일상생활의 불편함은 어느 정도 감수할 수 있는 주거공간으로 전환이 이루어질 것이다.

정부에서는 주택 보급 시 2012년에는 냉난방에너지의 50% 절감이 가능한 저에너지주택 수준, 2017년에는 냉난방에너지의 90% 이상 절감할 수 있는 패시브하우스 수준, 2025년에는 제로에너지하우스 수준으로 에너지 절감을 의무화할 계획이다.

이와 같은 목표를 달성하기 위해서는 창호와 벽체 등을 고단열·고기밀화하고, 외부로 손실되는 에너지를 최소화할 수 있는 패시브기술 및 고효율 설비기술을 도입하여 에너지 소비를 최소화해야 한다. 그리고 신·재생에너지를 최대한 이용하여 에너지를 자체적으로 공급함으로써 주택의 에너지 소비 및 이산화탄소 배출을 제로에 가깝게 하는 주택(Zero Energy Green Home)을 구현해야 한다.

최근 전 세계적으로 기후변화에 대한 인식에 힘입어 제로에너지 하우스 열풍이 불고 있다. 이러한 제로에너지 수준의 그린홈을 달성하기 위해서는 주택에 대한 고정관념과 전통적인 사고를 뛰어넘어 미래주택을 위한 새로운 기술들을 도입하기 위한 자제가 필요하다.



### 3 | 그린홈 기술의 동향

패시브하우스는 여름과 겨울에 전통적인 냉난방시스템 없이도 쾌적한 실내 기후를 보장하는 건물로, 연간 단위면적당 난방에너지 요구량  $15\text{kWh/m}^2$ (1.5리터/㎡) 이하, 연간 가전/급탕/난방 에너지를 포함한 1차 에너지 총 소모량  $120\text{kWh/m}^2$  이하인 주거건물을 말한다.

우리나라 기존 주거용 건물의 경우, 난방에너지소비량이 연간 약  $200\text{kWh/m}^2$ , 공동주택이 약  $120\sim 140\text{kWh/m}^2$  정도로 패시브하우스의 약 10배 수준이다.

〈표 1〉은 패시브하우스의 성능수준과 우리나라 친환경주택 건설 기준에서 정하고 있는 에너지성능 수준을 비교한 것이다. 그린홈을 달성하기 위한 기술은 크게 패시브기술과 액티브기술로 구분할 수 있으며, 다양한 요소기술의 통합으로 구현될 수 있다. 패시브기술은 그린홈 구현을 위해 가장 기본적이고 필수적인 기술로서 건물의 에너지 부하(소요량)를 줄이기 위해 외피의 고단열 및 고기밀화와 태양열 및 자연채광 이용 등 자연에너지를 적극적으로 이용하는 것이다. 액티브기술은 고효율 설비(냉난방) / 에너지 관리 / 신·재생에너지 등이 해당된다.

국내는 신축주택의 85% 이상이 공동주택으로 건설되고 있어 고층 아파트를 대상으로 국민들이 공감할 수 있는 비용경제적인 그린홈 모델, 즉, 냉난방에너지 소비를 최소화할 수 있는 주택기술이 개발되어야 한다.

그러나 건물이 고층화 될수록 단위 세대 당 태양광·태양열 시스템을 설치할 지붕면적도 작아지게 되며, 지열 시스템도 마찬가지로 세대 당 건물의 대지 면적이 작아 전체 세대의 부하를 감당하기 어렵다. 따라서 고층 공동주택의 전체 부하를 감당할 수 있는 신·재생에너지 시스템 적용뿐 아니라 대체 에너지원에 대한 적용 방안도 고려해야 한다.

〈표 1〉 패시브하우스와 국내 친환경주택 건설기준의 성능기준 비교

항목	패시브하우스 기준	국내 관련 규정	
슈퍼 단열	벽체단열	$U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$
	지붕단열	$U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$
	바닥단열	$U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
	창틀, 출입문	$U \leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$
	창호 유리	$U \leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$
	열교	$U \leq 0,01 \text{ W/mK}$	
	기밀성	$n50 \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$	
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	보일러효율 87%
태양열 취득	유리창호	태양에너지투과율 $g \geq 50\%$	
	외피를 통한 축열		
	일사를 고려한 방위		
	야간단열서티		
고효율 기기	에너지라벨링기기 사용	일반기기 대비 50% 에너지 절감	고효율기자재사용
	조명		
	정기적인 환기필터 관리		
	팬동력 효율	$0,45 \leq W$	
	신·재생 에너지	풍력, 태양광, 태양열, 바이오매스	

■ 필수적용    □ 선택적용

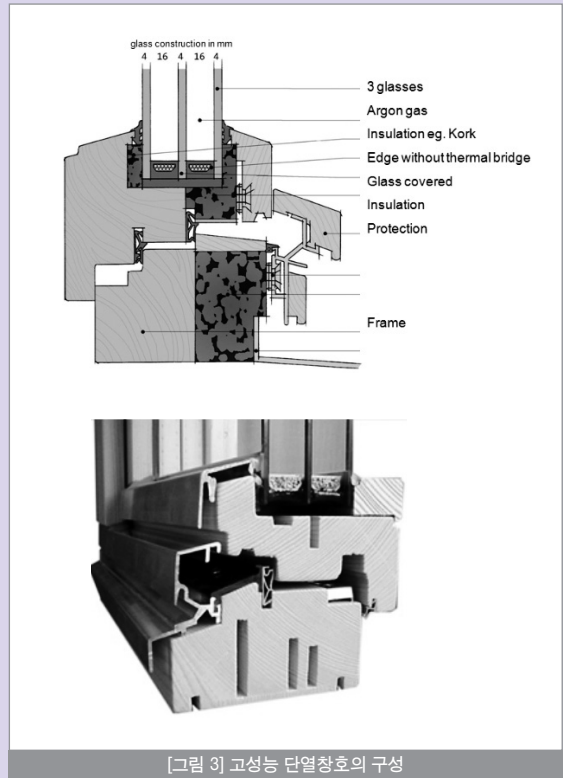
### 3-1. 창호기술

창호는 건축물을 구성하고 있는 구성요소로서 열적으로 가장 취약한 부위로 난방비용 증가의 가장 큰 요인으로 작용한다. 일반적으로 창호의 열관류율은 벽체에 비해 7배 이상 크다. 일반적으로 창호가 큰 주택은 일반 주택에 비해 20%까지 난방에너지 비용이 늘어난다. 즉, 창호는 난방에너지 비용에 가장 큰 영향을 미치는 요소로서 에너지절약을 도모하기 위해서는 채광과 환기의 측면을 고려하면서 가능한 창호의 크기를 작게 설계하는 것이 중요하다. 고단열 창호는 겨울철에 열손실을 줄이면서 온열감을 향상시킬 수 있고, 창가에서 발생하는 냉기(Cold Draft)를 줄일 수 있다. 또한 추운 겨울에도 창 표면에 발생하는 결로현상을 감소시킬 수 있다. 이러한 방법은 실온이 낮더라도 냉복사 차단에 의해 쾌적한 실내 환경을 유지할 수 있는 등의 부가적인 효과가 있고 에너지 절약 효과도 매우 크다.

창호는 창유리와 창틀로 구분해서 검토가 요구된다. 복층유리, 삼중유리에는 공간층이 존재하며, 이 공간층은 창유리의 단열성 향상에 큰 영향을 미치는 주요 요소이다. 복층창을 구성하고 있는 유리사이의 공기층은 6mm의 공간 보다는 12mm의 공간을 이루고 있는 창유리가 단열효과에서 더 우수하다. 따라서 24mm(6mm+12mm+6mm)의 복층유리, 42mm(6mm+12mm+6mm+12mm+6mm)의 삼중유리를 선택하는 것이 유리하다. 특히, 전면 창으로 설계된 거실공간과 같이 열손실이 많이 발생하는 공간에 대해서는 복사열 차단이 우수한 로이유리와 유리사이에 대류열 차단 기능이 있는 아르곤가스나 크립톤가스를 충전한 유리를 사용토록 해야 한다. 창유리의 단열 성능을 위한 기술개발 노력으로 최근 국내에서 공기층을 0.25mm 두께로 진공화하여 열관류율이 0.8 W/m<sup>2</sup>K 이하 수준의 슬림형 진공유리도 개발되고 있다.

창호프레임에 의한 열전달을 줄일 수 있도록 단열감봉 및 스페이서 등이 개발되고 있으며, 창틀은 공간구획이 많은 구조이거나 단열재로 충전된 창틀도 개발되고 있다. <표 2>에서 보는 바와 같이 과거에는 창틀보다는 유리에서 열손실이 상대적으로 높았으나, 단열유리 제조기술이 향상되면서 1.0W/m<sup>2</sup>K 이하의 창호에서는 유리보다는 창틀에서의 열손실이 높아지는 경우가 발생하고 있다.

1.0W/m<sup>2</sup>K 이하의 고성능 창호는 3.0 W/m<sup>2</sup>K 수준의 기존 창호 대비 3~4배의 열성능이 향상된다. 남측면에 위치한 창호가 0.65W/m<sup>2</sup>K 이하인 경우 단열성능과 더불어 일사열 획득에 의해 겨울철의 난방부하가 줄어드는 경우도 발생하게 된다. 미래의 그린홈에 적용되는 창호는 열손실 부위가 아닌 열취득 부위로 이용될 것이다.



[그림 3] 고성능 단열창호의 구성

<표 2> 유리구성 및 창틀 구성에 따른 열관류율

유리 구성	열관류율	창틀 구성	열관류율
단층유리	5.8W/m <sup>2</sup> K	목재창틀(6cm)	2.1W/m <sup>2</sup> K
이중유리 (공기층)	2.8W/m <sup>2</sup> K	목재창틀(7cm)	1.8W/m <sup>2</sup> K
이중유리 (아르곤)	2.6W/m <sup>2</sup> K	플라스틱창틀(표준)	2.4W/m <sup>2</sup> K
이중유리 (로이코팅)	1.8W/m <sup>2</sup> K	플라스틱창틀(5챔버)	1.4W/m <sup>2</sup> K
이중유리 (로이코팅, 아르곤)	1.2W/m <sup>2</sup> K	플라스틱창틀(6챔버)	1.1W/m <sup>2</sup> K
삼중유리 (로이코팅, 아르곤)	0.8W/m <sup>2</sup> K	플라스틱창틀(8챔버)	1.0W/m <sup>2</sup> K
삼중유리 (로이코팅, 크립톤)	0.6W/m <sup>2</sup> K	단열창틀	0.8W/m <sup>2</sup> K



[그림 4] 초단열 진공유리창호

### 3-2. 출입문의 단열

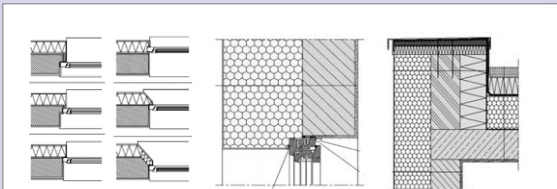
주택의 현관문 및 출입문은 겨울철에 열손실을 줄이기 위해 창호와 동일하게 0.8W/m<sup>2</sup>K 이하의 단열 및 고기밀처리를 하고 방풍실을 설치하여 단열보강을 해줄 필요가 있다. 공동주택에서 주동의 출입문에 방풍실을 설치하는 경우에는 계단실의 온도가 높아져서 실내에서 계단실로 손실되는 에너지가 줄어든다.

출입문의 재질로는 단열구조로 처리된 금속재, 수지재 및 목재의 것이 있으며 프레임부분이 기밀구조로 처리된 것들이 있다. 출입문의 내부구조에 단열처리가 어려운 경우에는 중공층내에 방사형 단열막(예, 알루미늄 박판)을 붙이면 복사열 차단에 유리하다. 최근 국내에서 기존 단열재보다 열전도율이 10배나 우수한 고성능 진공 단열재(열전도율 0.004 W/m<sup>2</sup>K)가 개발되어 출입문구조에 사용할 경우 얇은 두께로도 충분한 단열성능을 확보하는 것이 가능하다.

### 3-3. 외단열 시스템 기술

그린홈, 제로에너지, 패시브건물을 구현하기 위해서는 불필요한 열손실을 최소화하는 건물 외피단열이 필수적으로 선행되어야 한다. 그린홈에서 외부로 열손실이 없도록 하면 실내 발열만으로도 따뜻하거나 시원한 실내온도를 유지할 수 있는데, 이를 위해서는 단열의 역할이 매우 중요하다. 외벽, 지붕, 바닥의 단열은 국내 중부지방 벽체 열관류율 대비 약 30%수준인 외피의 단열성능을 0.15 W/m<sup>2</sup>K 이하로 유지할 필요가 있다. 이것은 외벽에서 단열재두께만 300mm 이상 확보토록 해야 하는 것이다.

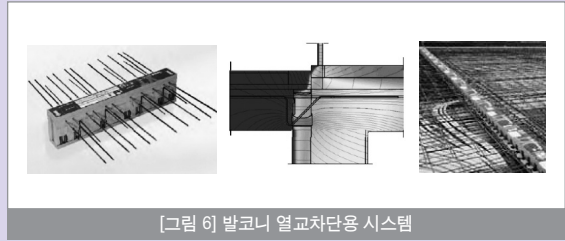
또한, 외부로 노출되는 모든 구조체는 외단열시스템으로 차단하여 외피를 통한 열손실이 발생하지 않도록 하는 것이 중요하다. 외단열시스템의 경우 습식시스템은 장기간의 외부환경에 노출되어 들뜨는 현상이나 탈락의 위험성이 있으며, 건식시스템은 부재간 조인트에서 결함이 발생될 수 있으므로 개방형조인트 기술개발이 요구된다.



[그림 5] 열교차단을 위한 부위별 외단열 디테일

발코니와 같이 구조체가 외부로 돌출된 부위에서는 약 8~12% 정도의 열손실이 발생한다. 국내에서는 발코니를 구조체와 일체화하여 시공이 이루어지고 있는데 [그림 6]과 같이 발코니에 선형열

관류율이 0.01W/m<sup>2</sup>K 이하가 되도록 열교차단시스템을 구조체 중간에 설치하여 열손실을 차단해야 한다.



[그림 6] 발코니 열교차단용 시스템

### 3-4. 폐열회수 환기기술

기밀성과 단열성이 확보된 공간 내에서 실내공기질 확보를 위해 환기가 필요하다. 우리나라의 기후조건은 유럽과 달리 겨울철이 매우 추우며, 여름철은 고온 다습하기 때문에 그린홈을 위한 환기 접근방법이 일부 달라질 수 있다.

환기로 인한 에너지 손실을 최소화하기 위해서는 폐열회수 환기장치 설치에 요구된다. 폐열회수환기시스템은 실내공기의 열을 회수하여 들어오는 외부공기의 온도를 실내와 비슷하게 조절 공급하여 환기로 인한 열손실을 75% 이상 회수할 수 있다. 다만, 열회수를 위해 소모되는 팬동력을 위한 전력에너지가 증가하게 된다. 폐열회수환기장치 설치시에는 송풍기소음이 실내공간으로 전달되므로 덕트연결 구간에는 반드시 소음기를 설치해주어야 한다.

### 3-5. 고효율 설비기술 및 에너지관리기술

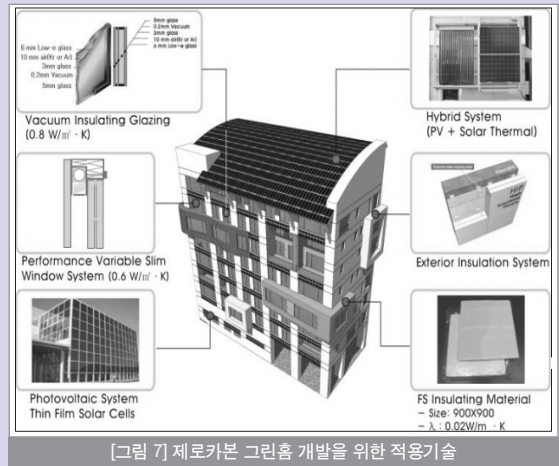
일반적인 건축 설비 시스템으로 개개 장비의 성능이 고효율로 우수하며, 열원장비에서부터 실내공간까지의 반송경로에서 열손실이 최소화될 수 있는 설비를 말한다. 건물에너지 절약을 위한 최적화 운영관리를 가능하게 하는 기술로 센서링, 모니터링, 액츄에이터에 의한 제어방법과 가전기기 등의 에너지원별 소비에너지 모니터링 및 제어, 군단위 통합제어에 관한 운용 알고리즘, 관리 시스템 등이 포함된다. 그린홈의 에너지관리를 최적화하기 위해서는 블라인드제어에 의한 일사조절, 재실감지에 의한 조명 및 에너지관리, 스케줄관리, 일괄소등제어 관리기법 등을 포함한 종합적인 에너지관리기술 개발이 요구된다.

### 3-6. 신·재생에너지 시스템

건축적인 기법과 고효율 설비시스템의 도입으로 난방 및 냉방에너지의 80%까지 절감이 가능하나, 제로카본 그린홈을 달성하기 위해서는 신·재생에너지의 도입이 반드시 필요하다.

건축물에 통합 적용되는 신·재생에너지 기술로는 주로 태양열,

태양광, 지열, 바이오 매스, 연료전지, 소형풍력 시스템 등이 있다. 기후조건에 영향을 받기 때문에 축열 및 축전을 통하여 공급 효율을 극대화시킬 수 있는데 공동주택에서 가장 손쉽게 설치할 수 있는 것은 태양광시스템이 될 수 있다. 그러나 고층 아파트의 경우에는 신·재생에너지시스템을 설치할 공간이 절대적으로 모자란다. 태양광을 설치할 수 있는 지붕의 동일라인에 대해 최대 3개층 세대가 연간 소비하는 수준의 전력에너지 밖에 확보되지 않으므로 남측 수직벽면을 이용한 BIPV 시스템의 추가설치가 필요하다. 또한 공간이 요구되는 신·재생에너지기술 뿐만 아니라 바이오매스에 의한 열병합 에너지 공급시스템에 대한 기술 도입이 시급히 요구되고 있다.



[그림 7] 제로카본 그린홈 개발을 위한 적용기술

#### 4 | 제로카본 그린홈 개발

한국건설기술연구원에서는 IT분야와 결합된 미래형 그린홈&그린아파트를 개발하고 이를 신성장 동력산업으로 발전시키기 위해 2009년 7월부터 오는 2014년까지 “제로카본 그린홈 개발” 연구 사업을 수행하고 있다. 본 연구 사업에서는 1단계로 2012년까지 창호나 벽체, 지붕에서의 열손실을 최소화하여 냉난방 에너지 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 신·재생에너지 이용을 최대화해 집안에서 가족들이 생활하는데 필요한 에너지를 자급하고 이산화탄소 배출을 제로에 가깝게 하는 “제로카본 그린홈”을 완성하는 것이다.

이를 달성하기 위해 [그림 7]과 같이 그린홈 핵심요소 기술 개발과 통합기술 실용화, 이산화탄소 제로 공동주택을 개발하여 기존 건축시장을 선진국형 고품질 주택산업으로 선도하는 것을 목표로 하고 있다.

에너지 자립과 제로 카본 그린홈 구현을 통해 신축 공동주택 그린홈 100만호 보급 시 매년 250만 톤의 온실가스 배출 절감효과가 기대되며 과제 수행을 통해 축적된 핵심 요소기술 관련 기초 데이터와 실증 데이터에 대해 향후 다양한 관련 기술개발 분야의 활용이 가능하다.

경제적으로는 부하저감과 효율향상을 통해 공동주택의 에너지 비용의 50%이상 절감하는 것이 가능하다고 예측된다. 100만호 기준으로 매년 1조원의 에너지 비용절감이 가능하고, 건물수명을 약 40년으로 환산 시 30조원의 에너지비용 절감 효과가 나타날 것으로 전망된다.

#### 5 | 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 1,200만 가구의 약 20% 수준으로 신축 및 기존주택을 모두 포함해 연간 20만호 정도를 보급해야 하는 대규모 사업이므로 그린홈에 대한 점검과 함께 체계적인 추진 전략이 요구된다.

정부가 추진 중인 그린홈은 국민생활의 삶의 질과 직결돼 있으며, 미래세대와 환경을 공유하는 공공기술로서 그 파급 효과가 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 에너지 소비가 제로에 가깝게 유지된다면, 국민의 공감과 신뢰를 바탕으로 모두에게 이익이 될 수 있는 사업으로 실현될 것이기에 때문에 그 효과는 지대할 것이다. 저탄소 녹색성장시대에 그린홈이 건축물 소유주체, 건설주체 및 운영주체 모두에게 실질적인 이득을 주면서, 국가경제와 지구환경을 향상시키는 방향으로 발전해 나가기를 기대한다. **S**