제로에너지 건물 구현을 위한 기술현안 및 신재생에너지의 역할

Technical Approach Method for Zero Energy Building and the Integration of RE Systems

윤 종 호 Yoon, Jong-Ho
신재생에너지분과위원장, 한밭대 건축공학과 교수
Professor, Hanbat National University
jhyoon@hanbat.ac.kr

제로에너지 건물의 정의와 개념

이미 국내 대부분의 건설사들은 최근 경쟁적으로 최첨단 친환경기술을 총 집약시킨 환경친화적 제로에너지주택을 미래형 주택 모델로 제시하고 각 사의 새로운 브랜드 개발 및 홍보에 열을 올리고 있다. 탄소제로주택(Zero Carbon House 또는 Zero emission House), 탄소중립주택(Carbon Neatral House), 에너지자립주택(Self sufficient House), 제로에너지주택(Zero energy House), 독립자생형주택(Stand alone 또는 Autonomous) 등 다양하게 불리고 있는 이 기술은 기름, 가스, 석탄, 전기 등 기존의 화석연료를 전혀 사용하지 않고, 순수히 건물 주변의 자연에너지만을 이용해 냉난방 조명 및 기타 건물에 필요한 모든 에너지원을 충당하는 기술이다. 물론 자립하는 대상이 에너지인지 이산화탄소인지에 따라 카본과 에너지의 명칭이 틀려지게 되며 탄소제로주택이 좀더 광의의 범위로 볼 수 있다. 이들 주택은 모두 주택 부하 구성비에 맞는 절약 및 신재생 에너지 핵심 요소기술을 선별, 체계적인 단계별 기술적용을 통해, 화석연료나 외부 전원공급 없이 주택 자체에서 모든 에너지를 자급하는 미래 지향적 기술이라 할 수 있다. 탄소제로 주택이 표방하는 궁극적 목표는 주택 내에 거주하는 재실자의 쾌적 성능은 극대화하고, 이를 유지하기 위해 필요한 각종 에너지 및 환경적 영향요소는 극소화하겠다는 것이다. 여기서 환경적 영향요소라 함은 화석연료에 기반한 에너지 사용과 지구환경에 영향을 미치는 이산화탄소 방출요소를 의미하는 것으로 이들의 사용을 궁극적으로 제로화하겠다는 것이다.

사실 현재 고민하고 있는 제로에너지주택 또는 탄소제로주택 등은 모두 새로이 제시된 개념이나 기술은 아니며, 이미 오래전부터 우리나라를 포함해 세계 각국에서 꾸준히 연구 개발된 기술 분야이다. 다만 최근의 세계 정치, 사회, 경제적 관심과 함께 새로운 기술 이슈로 부각된 것뿐이다. 따라서 탄소제로주택의 구현을 위해 필요한 각종 핵심 요소기술 및 산업은 이미 상당부분 잘 정의되어 있다고 볼 수 있으며, 가까운 미래에 시급히 요구되는 필요 기술 및 산업분야도 초기단계이기는 하지만 활발한 연구와 시장 개척이 진행되고 있는 상황이다.

친환경 설계과정에 근거한 제로에너지 건물의 접근방법

그림 1은 친환경 설계과정에 근거해 제로에너지 건물의 구현개념과 접근방법을 도식화한 것이다. 쾌적한 실내환경의 제공을 위해서는 외기변동으로부터 일정범위의 쾌적영역이 형성되도록 환경조절을 해주어야 한다. 과거에는 외기변화를 나타내는 그림의 ❶의 상태에서 쾌적영역인❷의 상태로 만들기 위해 전적으로 보일러, 에어컨과 같은 기계설비에 의존해 ❶⇒❷의 상태로 제공함에 따라 막대한 화석연료가 소비되었다. 하지만 건축설계 단계에서 다양한 기법을 이용해 효과적인 디자인을 할 경우 상당부분의 에너지를 순순히 설계기법만을 통해 대폭 절감할 수 있다는 것이 패시브(Passive) 건축 기술의 핵심내용이다. 즉 건축설계 진행과정 단계별로 적합한 기술을 선별하여, 체계적인 우선순위에 입각해 적용함으로서 화석연료의 사용을 최소화 또는 제로화시키자는 개념이다. 슈퍼단열, 슈퍼윈도우, 기밀화시공, 자연형태양열 등을

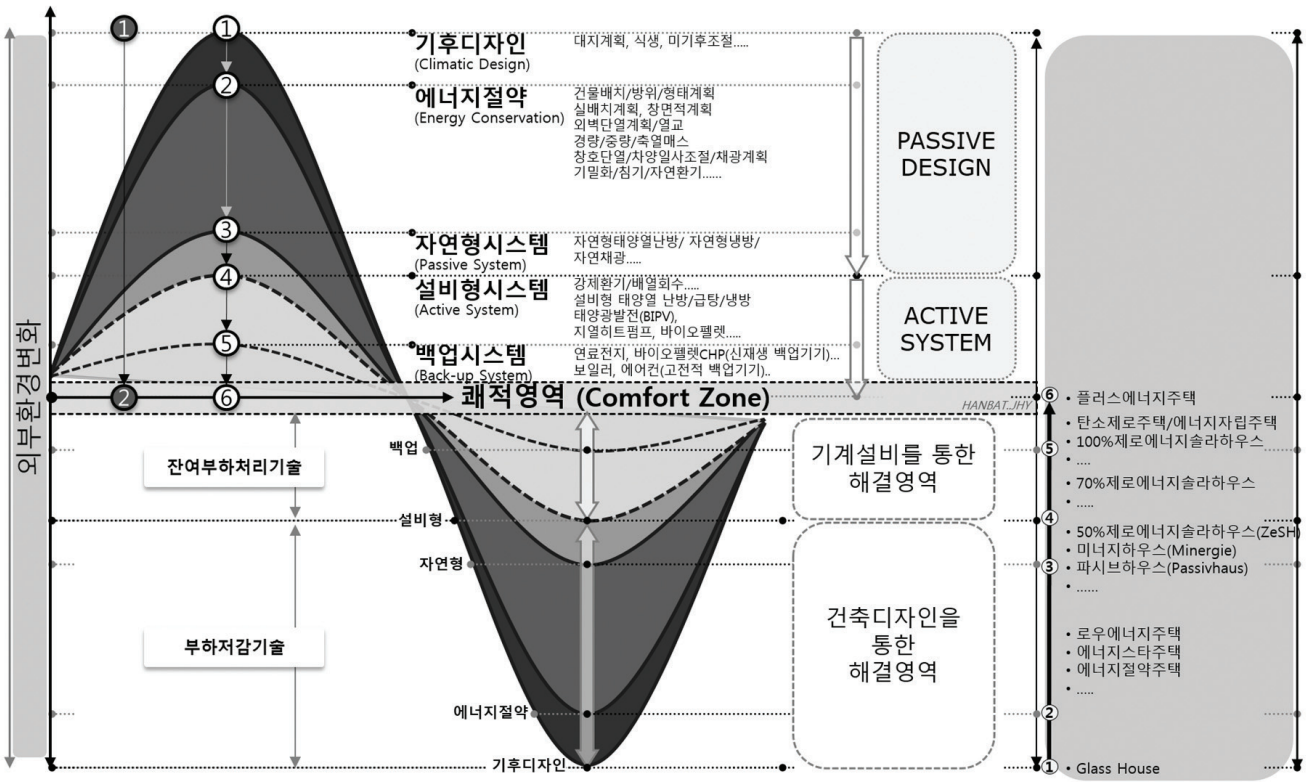

그림 1. 제로에너지 건물의 구현을 위한 설계 및 기술적용 접근방법

통해(그림의 ① ⇒ ② ⇒ ③ ⇒ 단계에 해당) 건물부하를 우선적으로 대폭 축소시킨 후에, 잔여부하에 대해 친환경적 설비적(Active) 방식으로(④ ⇒ ⑤ ⇒ 단계에 해당) 해결하자는 개념이다. 여기서 친환경적 설비적 방식이란 기존의 고전적 설비시스템 대신 자연에너지를 활용하는 신재생에너지 관련 설비시스템을 우선적으로 적용함을 원칙으로 하는 것이다. 태양 또는 바람 자원 등이 자연에너지 만으로 건물부하에 대응하지 못하는 시기에 대응하기 위해서는 백업시스템이 설치되어야 하며, 이 경우 백업시스템조차도 신재생에너지 시스템으로 대체될 경우 화석연료를 전혀 사용하지 않는 제로에너지 건물의 구현이 가능하게 되는 것이다. 그림의 우측에는 적용되는 기술의 수준 및 단계에 따라 현재 통용되고 있는 다양한 에너지주택 관련 용어들을 예시하였다.

이와 같은 접근방법이 성공하기 위해서는 적용되는 기술의 종류와 우선순위 및 합리적 적용 전략이 매우 중요하다. 특히 최근에 추구하고 있는 대폭적 건물에너지절감 또는 완전 제로에너지화를 위해서는 더욱 이 원칙이 지켜져야 한다. 예를 들어 현재의 에너지소비 수준을 100라 할 때 이를 50 수준으로 절감하기 위해서는 다양한 길을 선택할 수 있다. 수많은 옵션 중에 보다 경제적이고 손쉬운 기술의 적용을 통해 비교적 쉽게 달성 가능할 것이다. 지금까지 대부분의 에너지절감 노력이 여기에 해당할 것이다. 하지만 50수준에서 0수준으로 가는 다음단계의 50% 절감량은 앞서의 50% 절감과는 전혀 다른 차원의 문제가 된다. 100을 구성하는 모든 에너지소비 요인을 완전히 제거해야 한다는 차원에서 본다면 처음 시발점부터 작은 소비요인 하나까지 상호간의 연관관계를 고려해 제로화 시키기 위한 종합적 전략과 통합설계 개념이 수립되지 않고서는 불가능 한 것이다. 이 과정에서 적합한 기술종류의 선정와 적용기술의 우선순위 및 정량적 수치에 근거한 합리적 적용전략 수립의 중요성이 결정적 역할을 하게 되는 것이다.

국내 제로에너지 건물의 현 단계 기술수준 및 구현현황

이미 2000년 이후부터 국내에서도 제로에너지 주택에 대

한 많은 연구 개발이 진행되고 있으며, 연구소 대학 및 관련기업에서 다양한 모델주택도 건립하고 있다. 최근에는 비용과 성능을 모두 충족시킬 수 있는 보급형 제로에너지 주택의 개발이 한창 진행되고 있다. 완전 100% 제로에너지 주택의 구현을 위해서는 연료전지와 같은 백업 시스템의 가격이 아직 현실화되어야 하는 문제점이 남아 있지만, 기존 주택대비 70-90%까지 에너지를 자립할 수 있는 주택은 이미 민간 수준으로 상용화단계에 접어들었다고 봐도 무방할 것이다. 실제로 민간수준에서 주도된 6가구로 구성된 대전 죽동의 제로에너지마을에 2011년 6월 입주 후 1년간의 정밀 모니터링을 통해 기존주택 대비 80%의 연간 에너지소비 절감을 달성한 것이 실험적으로 입증되었으며, 지자체에서도 30가구 규모의 제로에너지 주택단지를 분양하여 2012년 말 입주가 완료되었으며 현재 성능검증을 진행하고 있는 상황이다.

한편 주거용 건물 구현사례의 대부분은 저층의 단독주택이며, 실제로 국내 시장의 큰 비중을 차지하고 있는 고층 공동주택의 경우는 상대적으로 높은 절감율의 제로에너지화 구현에 어려움을 겪고 있다. 이는 고층 공동주택의 특성상 여러 세대가 지붕을 공유하고 있으며, 인동간격에 따라 벽체에 음영의 영향을 받기 때문에 태양열, 태양광 등의 설치면적에 큰 제약을 받게 된다. 또한 단독주택과 달리 창면적의 비율이 매우 높아 슈퍼단열을 통한 큰 폭의 부하절감 효과를 기대하기 어려운 한계를 가지고 있기 때문이다.

열부하 중심의 주거건물과 달리 오피스 등의 비주거 건물은 전기부하의 비중이 60-70%를 차지하기 때문에 제로에너지화의 구현은 더욱 어려운 상황이다. 자연채광 및 고효율 조명기기 등을 통한 조명부하의 일부는 절감이 가능하지만 여전히 큰 비중을 차지하는 플러그부하 등은 확실한 절감대책이 없는 상황이라, 현 기술수준에서는 일반적으로 30%-50% 절감율이 최대 달성 가능수준인 것으로 국내외적으로 인정하고 있다.

물론 일부 특수한 상황에서는 이미 제로에너지 오피스를 구현한 사례도 있다. 인천에 위치한 환경과학원내 기후변화연구동의 경우 2011년 완공 후 2년간의 정밀 모니터링을 통해 건물 내 공급된 화석연료가 전혀 없이 100% 에너지제로화가 구현된 것이 실험적으로 입증되었습니다. 하지만 이 사례의 경우 층수가 낮고, 부하조건이 일반건물과는 상이한 특수상황이 있었기에 제로에너지화의 구현이 가능했던 것이며, 일반적인 비주거용 건물의 제로에너지화는 아직 완전구현에 많이 시간이 필요할 것으로 예상하고 있다.

제로에너지 건물을 위한 신재생에너지의 효율적 적용방법

그림 2는 제로에너지 건물의 구현을 위해 패시브적 설계기술이 우선 적용되고 난 후 잔여부하의 처리를 위해 적용되는 설비적 기술 중 신재생에너지의 관점에서 효율적 적용방법을 도식화한 것이다. 우선 대상건물의 에너지소비패턴에 따라 접근전략을 구분하는 것이 최우선되어야 할 것이다. 통상은 열과 전기의 소비 구성비 및 신재생에너지의 설치여건을 나타내는 건물높이에 따른 구분이 일반적이다.

다음은 제로에너지화를 위해 패시브적(passive) 기술과 액티브적(active) 기술의 담당비율을 어떻게 분배할 것인가의 문제이다. 초기투자비가 저렴한 패시브적 기술을 통해 최대한 우선적으로 부하를 줄이는 것이 가장 합리적이지만, 현 기술의 수준 및 대상건물의 상황에 따라 명확한 한계가 존재하며, 이 구성비에 따라 완전 제로에너지화의 가능성이 결정된다고 할 수 있다.

패시브적 기술이 해결하지 못하는 잔여부하는 대부분 신재생에너지(RE, new and renewable energy)가 기여를 해야 하며, 이때 열 생산기술, 전기 생산기술 또는 열/전기 동시 생산 기술로 구분하여 잔여부하에 대응하여야 할 것이다.

이때 신재생에너지의 최적 구성은 신뢰성, 안정성 및 지역기후에 따른 부하 대응성, 시스템의 설치여건과 초기투자비 및 성능에 따른 경제성 등이 종합적으로 고려되어야 한다. 보다 정밀한 최적의 결과를 도출하기 위해서는 지역기후의 시간별 자료에 기준하여 각 열원별 수요/공급 부하매칭의 정밀해석이 요구되며 이 과정에서 경제성에 기준한 다양한 시스템구성 시나리오에 따라 방대한 양의 최적화 평가과정이 요구된다.

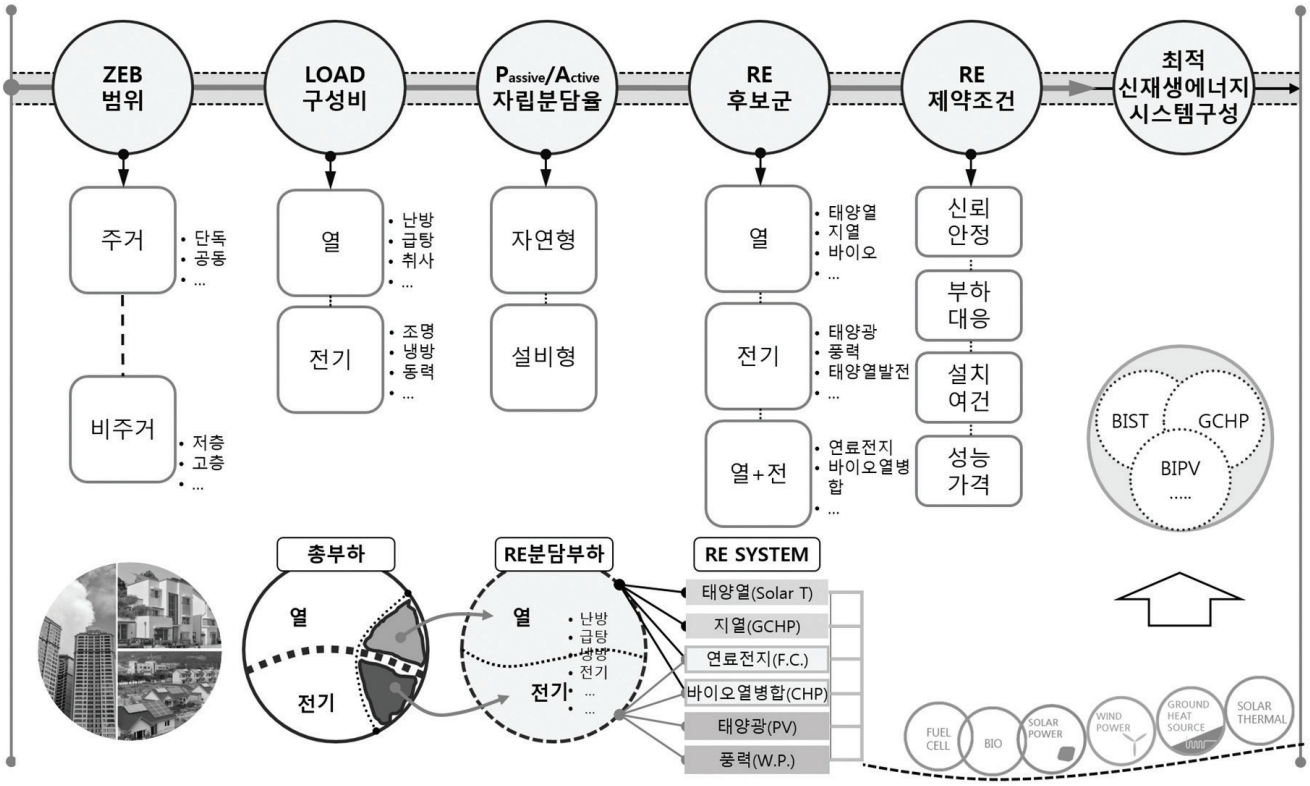

그림 2. 제로에너지 건물을 위한 신재생에너지의 효율적 적용방법

제로에너지 건물을 위한 신재생에너지의 역할과 기술현안

일반적으로 주거용 건물의 연간에너지 소비량 성분별 구성비를 보면 70-80% 이상이 난방, 급탕, 취사 등의 열부하로 구성되며 전기부하는 20% 전후에 불과하다. 이는 우리나라는 물론 유럽과 북미 대부분의 국가도 동일한 상황이다. 에너지 부하의 대부분이 열부하이기 때문에 고단열, 고기밀 등 패시브적 기술의 적용이 상대적으로 용이하게 대폭적 에너지절감을 구현할 수 있으며, 이러한 이유로 비주거용 건물보다 빠르게 제로에너지 주택의 상용화가 구현되고 있는 것이다. 패시브적 기술로 기존부하가 대폭 절감가능하기 때문에 신재생에너지를 통한 잔여부하의 처리량도 상대적으로 적으며, 담당해야할 부하의 성분도 비교적 명확한 상황이다.

주거건물을 위한 대표적 신재생에너지 기술은 전기부하 충당을 위한 태양광발전(PV) 기술이 대표적이다. 전국 평균 세대별 1년간 전기에너지 소비량을 고려할 때 대략 세대당 3kWp 용량의 PV시스템이 적용되면 기존의 전기부하가 충당가능하다. 향후 단열 법규강화에 따라 건물의 열부하 또한 대폭 감소될 경우를 고려해 보면 설비시스템의 단순화를 위해 모든 에너지원이 전기로 충당되는 전기에너지주택의 활성화도 예측해 볼 수 있으며, 이 경우 PV시스템의 의존도가 더욱 높아질 것으로 예상된다.

한편 주거건물의 급탕부하도 총에너지 소비량 중 비교적 큰 비중을 차지한다. 급탕부하는 순순히 설비적 방법으로 해결되어야 하는 부하성격이기 때문에 태양열(Solar Thermal) 급탕설비가 가장 확실한 대응기술임은 명확하며, 향후 고기밀 고단열 주택에서 보다 큰 중요성을 가지게 될 기술 중 하나이다. 향후의 미래 제로에너지급 주택에서는 대폭 감소된 난방부하를 급탕과 같이 처리할 수 있기 때문에 난방+급탕용 태양열 콤비시스템 기술도 활성화 될 수 있을 것으로 기대하고 있다.

일반적으로 제로에너지주택의 고기밀 고단열화에 따라 냉난방부하가 대폭 감소되기 때문에 난방 및 냉방을 위한 별도의 보일러 및 에어컨과 같은 기존 설비기기를 설치하는 것은 바람직하지 못하다. 따라서 현재 건립되고 있는 대부분의 제로에너지형 주택들은 냉난방이 동시에 공급되는 히트펌프 시스템이 적용되고 있으며 시스템 효

율을 높이기 위해 자연스럽게 지열원과 연계시킨 시스템의 형태로 보급되고 있다. 향후에도 지열원 히트펌프 시스템의 중요성은 매우 높을 것으로 기대되며, 특히 우리나라의 기후조건 및 바닥난방 시스템 선호도를 고려할 때 급탕이 포함된 냉난방환기 통합형 히트펌프시스템 기술이 매우 중요할 것으로 기대된다.

주거건물이 열부하 중심으로 구성된 반면 비주거용 건물의 연간 에너지소비량 구성비를 보면 조명과 플러그부하 등 전기에너지 소비량의 비중이 70% 이상을 차지하여 주거건물과 반대되는 유형을 보이고 있다. 따라서 비주거용 고층건물의 제로에너지화를 위해서는 열부하 보다는 전기부하의 비중에 크기 때문에 설비형 기술의 역할이 매우 중요한 기여를 할 수 밖에 없다. 주거건물과 같이 패시브적 기술을 통해 절감할 수 있는 요소가 매우 제한적이기 때문에 비주거용 건물의 제로에너지화는 보다 많은 시간이 요구되는 게 현실이다.

전기부하를 구성하는 큰 요소 중 플러그부하의 절감은 현재 기술로는 크게 절감하기가 어려운 상황이다. 이에 반해 조명에너지는 고효율 조명기기, 반사갓의 성능개선 및 자연채광과 각종 조명제어 기술을 통해 상당부분의 조명관련 전기부하를 최소화시킬 수 있다. 따라서 조명에너지 관련 기술은 비주거 건물의 제로에너지화를 위해 제일 우선적으로 고려 및 추진되어야 하는 요소기술 분야이다.

현재 수준으로는 건물 내 전기에너지를 절감할 수 있는 방법이 매우 제한적이며 절감 범위도 크지 않기 때문에 비주거용 건물의 제로에너지화를 위해서는 필연적으로 전기에너지를 생산할 수 있는 기술이 도입되어야 한다. 현재 상용화 되어 있는 신재생에너지 기술 분야 중 건물에 적용 가능한 발전 기술 분야는 태양광, 태양열발전, 바이오펠렛 열병합발전, 연료전지, 풍력발전 등을 고려할 수 있다. 이들 기술 분야 중 시스템의 신뢰성과 안정성, 부하의 대응수준, 설치여건, 성능 대비 가격의 경제성 등을 고려할 때 실제로 현 수준에서 비주거용 건물에 직접 적용 가능한 시스템은 매우 제한적이다. 현 기술 및 시장여건을 고려할 때 당분간 비주거용 고층건물에서 큰 비중을 차지하는 전기에너지를 생산할 수 있는 가장 유력한 신재생에너지 기술은 효율이 다소 낮다 할지라도 역시 태양광발전 기술이 될 수밖에 없다. 태양광발전 기술 중에서도 특히 건축 외장재와 태양광모듈의 기능을 복합시켜 건물 외피에 일체화 시키는 건물일체형태양광발전 즉 BIPV(Building Integrated PV)가 가장 주목받고 있는 기술 분야다. 최근 몇 년간 다소 조정기를 겪고 있기는 하지만 여전히 연평균 성장률이 30%를 넘고 있으며, 국외는 물론 국내의 수많은 기업들이 이 분야에 관심을 가지고 집중 투자 또는 기술개발 준비를 하고 있는 이유 중의 하나가 여기에 있다고 볼 수 있다. 특히 시장조사 전문기관의 최근 발표에 따르면 BIPV는 현재 전체 태양광 시장의 4% 수준을 점유하고 있지만 2017년에 25% 이상 수준으로 급성장할 것으로 예측하고 있다. 각 국가별로 제로에너지화 건물의 의무화를 선언하고 이를 위한 구체적 실천사항들을 활발히 펼쳐나가고 있는 현 상황을 고려할 때 건물의 전기부하를 담당해야할 핵심기술인 BIPV 기술 시장의 성장은 필연적이라고 할 수 있을 것이다. 한편 건물의 경우 태양광의 적용가능 면적이 매우 제한적이기 때문에 BIPV기술이 효율적으로 제로에너지 건물의 구현에 기여하기 위해서는 태양전지 및 PV모듈의 고효율화, 저가화, 표준화, 다양화 등이 시급히 개선되어야 할 것이며 이와 함께 부속시스템의 고효율화 및 컴팩트화 기술, 건축외장재용으로의 건물일체화 기술 및 지원제도의 정립 등도 병행되어야 할 것이다.

범세계적인 에너지 및 지구환경 문제로 야기된 건설분야의 제로에너지 건축물 활성화 행보는 이미 일부 국가에서는 몇 년내 의무화를 앞두고 있는 수준까지 급속히 진행되고 있다. 급변하는 건설 환경변화에 효율적으로 대처하기 위해서는 에너지와 탄소가 지배하는 미래 건설시장의 변화를 정확히 예측하고 발 빠르게 대응하는 자세가 필요할 것이다. 끄

Abstract

ZEB(Zero Energy Building) has become a rapidly evolving trend in the building industry across the world. ZEB is typically a grid connected building with extremely high energy performance. ZEB balances its primary energy use so that the primary energy feed-in to the grid or other energy network

equals to the primary energy delivered to ZEB from energy networks.

Extensive research and institutional support towards the potential application of ZEB in the domestic market show that the country is riding on the wave of this new trend along with many others. In fact, dozens of demo ZEBs are presently built and being operated as part of pilot projects and "Zero Energy" based detached houses are now already moving towards commercialization in the private capital markets.

This article suggests the possible technical methodologies to save energy regarding the different type of buildings within the current stage of development, based on the case of domestic ZEB construction. Moreover, the article intends to go further by proposing the design approach method, especially elaborating on the role of RE energy and its effective application to the ZEB construction; the essential approach that's required in completing the active method to control the residual load.

Generally 70-80% of the annual energy consumption in residential buildings is the thermal energy including heating, domestic hot water(DHW), cooking etc, and the only around 20% accounts for the electric energy. Accordingly, using the passive method that's already familiar in the market such as super-insulation, super-window, air-tightness enables us to cut down on energy use in large scale. This provides reasons for residential ZEB taking the faster and easier way to commercialization, compared to non-residential ZEB. Thanks to the passive method, the highly reduced energy leaves relatively less amount of residual load for the RE(New & Renewable Energy) to cover, and the left load components are quite obvious. In the case of PV(Photovoltaics), one of the representative RE systems for detached houses, solar PV modules of 3kWp capacity are installed on the roof and have come into use, supplying most of the annual electric energy consumption in typical housing unit. Solar thermal system is mainly applied to meet the DHW load. For the ZEB housing with the highly cut heating load, it is rather inefficient to set up a separate system for heating and cooling. Recently, GCHP(ground coupled heat pump) system that provides both heating and cooling through one device is largely used. About residential buildings, the 3 RE systems above are creating the current mainstream market.

Whereas residential building is more focused on the consumption of thermal energy, it is electrical energy that takes up more than 70% of the total energy consumption in non-residential buildings, lighting and the plug load in many offices for instance. With current technology, ways to reduce electrical energy consumption in buildings are very limited and its reduction effect is yet insignificant. Therefore, the introduction of high-level technology to produce electrical energy on building itself or on site becomes the prerequisite to actualize ZEB in non-residential areas.

The currently commercialized electricity generating systems that follow RE technology are photovoltaics, solar thermal power plants, bio pellet cogeneration system, fuel cells, and wind power. Regarding their reliability, safety, competence to match the demand and supply, installation conditions, and cost benefit etc, these systems are hardly applicable in the present stage. Nonetheless the integration of PV solar module to finishing materials of the building envelope, BIPV(Building Integrated PV), is receiving the most of the growing attention in this field of technology. In this respect, numerous enterprises from all around the world are now having their eye on PV and largely investing on them.