http://dx.doi.org/10.14577/kirua.2024.26.2.1

탄소중립을 위한 주거단지에서의 에너지 전환 동향

Energy Transition Trend in Residential Complexes for Carbon Neutrality

이 태 구* 한 영 해**
Lee, Taegoo Han, Younghae

Abstract

Carbon neutrality refers to a state in which there is no global increase in CO_2 emissions due to human activities. In Korea, for carbon neutrality, green remodeling of existing buildings and customized support tasks for zero energy in new buildings are presented. Germany is showing fundamental changes in energy supply, such as applying renewable energy and higher energy efficiency from nuclear and fossil fuels, which were the existing energy sources.

In this study, how Germany establishes policies for carbon neutrality at each state level and the cases applied to increase the energy efficiency of the actually applied residential complexes are analyzed based on this.

As a result of the case complex analysis, it was found that the construction direction was being promoted as a zero-energy complex or a carbon-neutral complex by gradually reducing the energy demand in buildings and supplying additional energy with new and renewable energy in the low-energy building distribution in the 1990s. In Germany's ecological complex, energy standards have been strengthened from low-energy architecture to plus-energy architecture over time, and annual heating energy consumption standards and heat transmittance rates for each structure have been achieved at a higher level.

The results of this analysis will serve as basic data and derivation of applicable items when planning residential complex development and remodeling of existing buildings for the domestic carbon-neutral goal in the future.

주 요 어 : 탄소중립, 에너지전환, 그린리모델링, 제로에너지, 지역난방, 히트펌프
Keywords : Carbon Neutality, Energy Transition, Green remodeling, Zero energy, District heating, Heat pump

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

2023년에 수립된 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획은 탄소중립 사회로의 이행을 위한 국가비전 및 분야별 중장기감축 목표를 달성하기 위한 마스터플랜의 역할을 하고 있다. 2050년까지 탄소중립을 목표로 우선 2030년까지 2018년 대비 탄소배출의 40%를 감축하기 위하여 건물부문에서도 구체적인 실행방안을 제시하고 있다. 이는 이제까지의 선언적 입장에서 벗어나 각 분야별 보다 구체적인 감축목표와 이행 대책을 수립하게 되는 계기가 되었다.

국가 탄소중립·녹색성장 기본계획에서 제시된 건물부분의 핵심과제 중 신규 건축물에 대한 에너지 성능 강화와 기존 건축물에 대한 그린리모델링 추진 로드맵은 보다 구체적이고 실질적인 기술적용이 요구되는 사항이다. 이와 같이 기존의 화석연료에 대한 에너지 전환과 소비행태의 변화는 안전하고 환경친화적이며 경제적으로 추구해야 하는 미래의 핵심가치라고 할 수 있다.

에너지 선진국인 독일의 경우, 기존의 에너지원이었던 핵 및 화석 연료에서 전환하여 재생에너지 및 에너지 효율이 더 높은 쪽을 적용하는 등 에너지 공급양상에 근본적인 변화양상을 보여주고 있다. 독일은 2020년 당시 이미 전기의 46%를 풍력, 태양력, 수력, 바이오 에너지로 공급하고 있으며(Thomas, Stefan et al. 2021), 이러한 재생에너지는 독일에 주요 전기공급원으로 활용되고 있다. 이와 같이 국내외적 흐름에서 우리나라에서도 2030년 탄소배출 저감 목표를 달성하기 위하여 신축건물의 제로에너지화 및 기존건물의 그린리모델링 등이 실제 구현되기 위해서는 구체적인 방향을 모색해야 할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 독일이 어떻게 탄소중립을 위한 정책들을 수립하는지와 이를 근거로 실제 적용된 주거단지의 에너지 효율을 높이기 위한 적용방안들을 분석하고자 한다. 이러한 결과를 토대로 앞으로 우리나라에서 주거단지를 계획하고 시공하는 과정에서 주요한 자료로 활용하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

연구의 주요내용은 2050 탄소중립 실현이 가장 높은 독일의 에너지 정책 및 이를 근간으로 하여 건설부문 중 주거단지에서의 에너지 전환 동향을 중심으로 분석하고자 한다. 1990년대 이후부터 최근까지 신축된 주거단지 분석과 함께 리모델링을 통한 에너지 효율성을 확보한 단지를 대상으로 에너지 절감을 위해 적용된 계획적 요소들을 분석하고자 한다. 리모델링의 경우, 해당건물의 상태는 준공년도와 개량상태에 따라 연간 난방에너

* 세명대학교 건축학과 교수, 공학박사
** 에코아르케 생태도시건축연구소 대표, 공학박사
(Corresponding author : Eco-Arche Institute, youngseahan@nate.com)
본 논문은 한국연구재단 과제-2021R1I1A3052082 지원에 의하여 연구되었음.
본 논문은 2021학년도 세명대학교 연구년 지원에 의하여 연구된 결과를 수록하였음.

지 소비기준이나 리모델링에서 나타난 계획적 특성 등이 다르게 나타남으로 이를 중심으로 검토하고자 한다.

이러한 분석결과는 향후 국내의 탄소중립 목표를 위한 주거단지 개발 및 기존건물의 리모델링 계획 시 적용 가능한 항목 도출 및 기초자료가 될 것이다.

2. 탄소중립을 위한 독일의 정책

2.1 기후변화 대응 전략

2010년 9월 독일 연방정부는 에너지 개념의 새로운 정립과 함께 2011년 6월 에너지 전환을 결정함으로서 재생에너지의 적극적 사용과 에너지 효율 확보를 위한 근거를 두었다. 건축물에서 전기와 난방 및 효율성 부문을 통합하여 에너지 절약과 재생가능한 에너지의 조합을 통해 2008년 대비 2050년까지 건물의 주요 에너지 수요를 약 80% 감소를 목표로 하고 있다.

이러한 목표를 달성하기 위해서는 에너지 효율적인 리모델링 및 재생에너지에 대한 추가적 투자가 요구되고 있다. 따라서 에너지 컨설팅, 에너지 절약법의 추가 개정, 건축물별 보수 계획기준, CO_2감소를 위한 건물 리노베이션 프로그램(에너지효율적인 건설 및 보수를 위한 KfW 지원), 난방 및 냉방관련 시장(MAP)분야에서 재생 에너지의 사용에 대한 시장 인센티브 프로그램 및 효율적인 건물(BEG)에 대한 연방 기금과 같은 중요한 지원을 제공하고 있다(Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2017).

독일 연방주의 하나인 노르트라인베스트팔렌 주(North Rhine-Westfalen)는 2045년까지 완전한 온실가스 중립을 목표로 에너지 부문, 특히 난방과 교통부분에서 신속하고 근본적으로 전환을 위하여 다음의 주요정책들을 구상하였다(BMWi. 2021)

즉, 기후보호정책 분야에서 2021년 7월, 주 의회는 지금까지 독일연방의 기후보호법 중 가장 혁신적인 법안을 통과시킴으로써 2045년에 온실가스 중립을 위한 다양한 정책을 수립하는 근거가 마련되었다. 미래의 에너지시스템을 구축하기 위하여 21세기 후반까지 탄소중립 달성을 위한 전력, 냉난방, 교통, 산업분야의 에너지 공급을 점진적으로 재생가능 에너지로 전환하도록 하고 있다.

특히, 교통분야에서 전기차 이용을 장려하는 정책을 수립하고 있다. 이는 노르트라인베스트팔렌 주가 독일에서 가장 인구가 많고 인구밀도가 높은 연방주로서, 교통부문은 화석원료를 기반으로 하는 자동차에서 주로 전기동력 차량으로 빠르게 변화시키기 위한 정책들을 구상하고 있다.

도시계획부분에서는 배출가스 없는 도심 만들기를 위하여 “KommunalerKlimaschutz.NRW”의 특별자금을 지원하는 프로젝트를 구상하고 있다. 이는 "오염물질 배출 없는 도심"을 만들기 위해 미래 지향적인 복합모빌리티를 위한 조치를 할 때 모범적인 지방자치단체를 지원하는 프로젝트이다. 이와 같은 정책은 온실가스 배출량을 줄이는 것이 1차 목표지만 공기질 개선을 위한 시너지 효과도 함께 도모하게 된다.

2.2 주거단지에서의 탄소중립

독일의 경우, 노르트라인 베스트팔렌 주정부는 1997년 초에 “태양건축 50개의 단지건설”이라는 주 전체의 공모사업을 추진하여 태양에너지를 집중적으로 사용하기 위한 혁신적인 프로젝트를 시작했다. 또한 후속 프로젝트로 노르트라인 베스트팔렌주와 Energy Agency NRW가 협력하여“기후보호를 위한 100개 주거단지 개발” 사업을 시작하여 주거용 건물의 에너지 소비와 CO_2 배출량을 줄이는 데 중점을 두었다.

이 프로젝트의 목표는 주택 신축 및 리모델링을 통하여 난방과 관련된 CO_2 배출량을 지속적으로 줄이고 에너지 비용을 줄이는 것이다. 이를 위해 CO_2 배출감소에 적합한 다양한 기술이 적용되었다.

건물의 건축년도에 따라 약간의 차이는 있으나 1950~70년사이에 건설된 주택은 200-270kWh/m²a 정도의 난방에너지를 사용한 것으로 예측된다(Fig. 1).

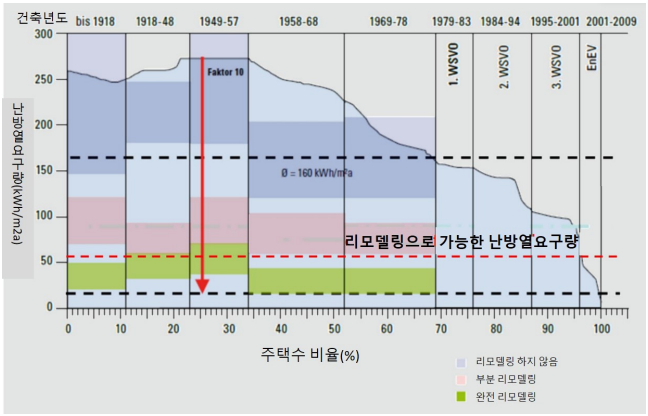

Fig. 1. Heating requirements by housing construction period in Germany(Koziol, 2013)

이러한 주택을 전면 리모델링할 경우, 난방열요구량은 50kWh/m²a 이하를 충족시켜야 하며, 패시브 기준일 경우 최대 15kWh/m²a, 3리터기준일 경우 최대 35kWh/m²a의 난방에너지를 사용하도록 함으로써 CO_2감축을 유도할 수 있게 되었다. 또한, 리모델링 프로젝트의 초점이 CO_2 배출감소에 있더라도 이러한 주거단지는 혁신적인 에너지 개념을 넘어 도시계획과 건축, 사회적 통합 등을 함께 고려함으로서 지속가능한 주거지 개발을 위한 통합적 적용이 모색되었다.

탄소중립을 위한 조치로서 2020년 11월 개정된 에너지절약조례의 법적 기준을 맞추며, 신축건물의 경우, 최대 난방관련 CO_2배출량 한도를 연간 평방미터당 9kg으로 정함으로써 일반적인 단독주택의 값보다 약 50%를 낮출 수 있게 되었다. 반면, 기존 건축물은 평방미터당 연간 12~15kg의 CO_2배출로 정하고 있다(EnergieAgentur.NRW.2020).

에너지 효율적인 주택 개발의 선구자로서 노르트라인 베스트팔렌주는 독일의 기후 보호 목표를 지원하고 있다. 이 목표는 1990년과 비교하여 2030년까지 온실 가스를 55% 절약하고 2050년까지 기후 중립성을 제공하고자 한 조치이다.

3. 탄소중립을 위한 신축 주거단지에서의 에너지전환

3.1 하이델베르그의 암도르프 주거단지

하이델베르그시는 1994년 국제기후보호회의를 계기로 시의회에서 2005년까지 이산화탄소 배출량을 20%이상 줄이겠다는 목표를 세우고 그에 따른 실행방안으로 저에너지주거단지를 계획하기 시작하였다. 이는 건축전문가에게 생태학적 건설기술을 통한 에너지 절약 및 기후보호에 대한 잠재력을 보여주는 모법사례를 만들기 위함이었다.

암도르프(Am Dorf)주거단지는 1996년에 이러한 기준 달성뿐 아니라 임대주택이라는 특성을 갖고 연간 난방에너지 소비량을 최대 50kWh/㎡a로 제한하여 계획하는 것이 최우선 목표였다. 이를 위해서는 난방에너지 소비량을 단열규정에서 요구하는 것보다 최소 30% 낮게하고 기타 다른 장치를 적용함에 있어서도 비용 효율적으로 구현하는 제한성을 갖고 접근하였다. 총 68세대로 다양한 유닛계획이 이루어졌으며 저에너지 주택으로 짓기 위하여 단열과 열교방지에 중점을 두었다.

주요한 특징으로는 건물 전체에 매우 높은 단열성과 기밀성을 갖추고 있으며, 조절 가능한 급배기 시스템, 열교차단, 환경친화적인 도시가스 보일러와 난방시설 등을 설치하였다. 또한 높은 단열성과 기밀성을 갖추고 있으며, 조절 가능한 급배기 시스템, 열교차단, 환경 친화적인 도시가스 보일러와 난방시설 등을 설하였다.

이러한 시설은 연간 180,000Kwh/a의 난방에너지(년간 41Ton의 CO_2)를 절약함으로써 일반건물에 비해 45%의 에너지를 절감하고 있다. 난방에너지 소모는 47Kwh/㎡a로 일반건물에 비해 75%를 절감한다. 태양열 온수시설을 통하여 50%의 양을 절약하며 연간 70,000KWh의 에너지를 절약(연간 16Ton의 CO_2)하는 양이다. 태양광 발전시스템 설치로 인해서는 20,000kWh 생산이 가능하여 이로서 약 350톤의 CO_2 감축효과가 발생된다. 화장실 및 조경용수 사용을 위한 우수이용탱크 70㎥(주거당 1㎥)를 설치함으로써 30%의 식수절감 효과를 달성하게 되었다(Johanna Brauch -Anne M. Junker. 2004).

3.2 비스마르크 태양에너지 주거단지(Bismarck Solar Siedlung)

비스마르크 주거단지는 노르트라인 베스트팔렌(Nordrhein-Westfalen) 주 정부가 1997년부터 추진하고 있는 '50개의 태양에너지주거단지 (50 Solarsiedlungen)라는 프로젝트의 지원을 받아 추진된 첫 번째 단지이다. 이 단지는 개별 건축물의 에너지 최적화 뿐 아니라 사회 및 생태적 관점에서 단지계획을 수립한 예가 된다. 면적은 약 4ha에 72세대 단독 및 연립주택으로 지어져 2001년에 준공되었다.

단지계획은 동-서축을 중심으로 하여 건축물을 남향으로 배치함으로써 태양에너지를 이용한 에너지절약형 주거단지의 전형적인 구조를 하고 있다. 단지의 북쪽지역에 박공지붕 주택 29채와 남쪽지역에 목조구택 22세대, 콘크리트 구조 21세대로 건설되었다.

단지전체의 에너지 전환을 위하여 모든 건축물은 법적으로 규정된 최소 에너지건축규정을 준수하도록 하여 난방은 40KWh/㎡a를 초과할 수 없도록 하고 있다. 에너지계획은 북쪽단지와 남쪽단지의 에너지 이용 효율상의 근본적인 차이점을 고려하여 설비시설을 적용하였다. 북쪽은 개인주택으로 각각 가스 및 온수시설과 함께 태양에너지로 연평균 60%를 담당하도록 하고 있다. 즉 각 건물마다 에너지 절감 및 재생에너지 이용을 위해 5㎡태양열 시스템과 1.5KWp의 PV를 적용, 옥상녹화, 환기시설, 바람통로 등을 함께 고려하였다. 남쪽단지에는 주거단위당 5.5㎡태양열 시스템과 1.0KWp의 PV를 적용하였으며, 여기에는 태양열 및 태양광시스템이 서로 연결되어 있어 생산량을 공유하고 전력망으로 공급하도록 하고 있다(EnergieAgentur. NRW, 2008).

한편, 수자원 및 녹지계획을 통해 단지전체의 에너지 절감을 꽤하기도 하였는데, 녹지로의 빗물침투와 빗물을 이용한 정원 및 주택에서 빗물을 화장실용수로 사용하도록 구상하였다. 단지서쪽에 우수저장시설 및 생태정화시설을 건설하였고, 옥상녹화를 통하여 도시 미기후와 에너지 절감을 고려하였다.

3.3 부퍼탈(Wuppertal) 플러스에너지 주거단지

부퍼탈에 위치한 플러스에너지 주거단지는 2013년도에 연방건설부(BBSR: Federal Institute for Building, Urban and Spatial Research)가 자금을 지원하여 혁신적으로 에너지 효율적인 주택을 개발한 모델 프로젝트이다. 부지면적 18,000㎡에 총 19개의 주택을 "Efficiency House Plus" 건물 기준에 따라 목구조로 건설하였으며, 이 주거단지는 태양광 시스템 적용으로 주민들이 소비하는 것보다 더 많은 에너지를 주택에서 생산하게 되었다.

전체 건물은 필요에 따라 에너지를 공급하거나 끌어 올 수 있는 공공 전력망에 연결되어 있는데, 태양광 시스템으로 인하여 생산된 전기는 서로 네트워크로 연결하여 중앙의 저장배터리에서 공동 저장 및 분배하도록 하였다. 주택에서는 센서가 에너지 흐름을 측정하며, Fraunhofer 건축 물리학 연구소에서 다양한 종류의 저장장치를 이용하여 저장량을 건축물별로 자급 가능성을 비교하는 과학적 모니터링을 수행하고 있다. 이 프로젝트는 연방 건설부(BBSR)가 자금을 지원하여 이루어졌다.

주로 옥상에 다양한 태양광 모듈을 설치하였는데, 총 175.9kWp PV 시스템이 설치되었다. 특히, 지역의 전력을 저장하는 시스템인 셀큐브(CellCube)는 2017년 9월부터 130kWh 용량의 지구 중앙 전력저장시스템이 운영되어 주거단지에서 생산되는 전기에너지의 자체 사용도를 높였다. 전기저장장치는 마을 공동회관 외부에 설치되어 있으며, 전기충전 및 방출은 스토리지 시스템이 공용 전력망으로 공급되거나 공용 전력망에서 끌어 오지 않도록 조절하고 있다(Hans Erhorn et al 8, 2018).

모니터링 결과, 분산식 전원공급장치로 인해 2016년 2월 중순부터 2017년 5월 말까지 공공 그리드에서 모든 주택을 합쳐 약 30,000 kW/h 또는 15% 전력사용을 감소시켰다. 지역 전력망이 없는 경우 공공 전력사용이 감소되고 재생 에너지원에서 생산하는 에너지의 20%가 더 많이 사용되는 것으로 나타났다.

이와 같이 플러스에너지 하우스단지는 거주자들에게 에너지

에 대한 추가비용을 지불하지 않을 뿐 아니라 단지 자체에서 전력을 생산함으로써 수익성을 높여 투자자에게도 가치있는 단지가 되었다. 이러한 단지는 지속적으로 도시와 지역사회에 전기를 공급하고 기후에 대한 부담을 완화하며, 이후 환경친화적인 전기자동차를 확대할 수 있는 계기가 되었다.

3.4 소결

앞에서 분석한 3개의 신축주거단지는 독일의 에너지절약법의 개정내용과 그 맥을 같이 하고 있음을 알 수 있다.

1976년 에너지 절약법(EnEG)이 제정된 이후 단열(WSchVO)과 난방(Heizanlagenverordnung: HeizAnIV)에 대한 기준들이 제시되었고, 1995년 단열조례의 개정때에는 건축물의 A/V비율이나 단열기준등이 제시되고 있다(GEG Infoportal). 이러한 기준들로 인해 1995년 이후에 지어진 암도르프 주거단지의 경우, 고단열 고기밀, 열교차단 등 단열과 관련된 기술이 주로 적용됨을 알 수 있다.

한편, 2001년에 통합 제정된 건물에너지절약규칙: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden)으로 말미암아 그 이후에 신축된 건축물들은 외피의 단열성능 기준을 강화하게 되고 건축물 에너지소요량을 최소화하는데에 중점을 두게 되었다(정호수·정해조, 2018).

비스마르크 주거단지의 경우, 그 이전에 지어진 암도르프 주거단지 보다는 더 강화된 에너지소비기준(40KWh/㎡a)을 적용하고 있지만, 그 당시 규정된 최소 에너지건축규정을 적용한 것이며, 이 외 옥상녹화나 바람통로, 빗물이용 등의 친환경적인 설계기법 등이 적용된 특징을 보인다.

이후 2008년에 건물의 난방에너지원을 재생에너지로 이용할 것을 의무화하는 난방재생에너지법(Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich)을 제정함으로써 이후 에너지 효율성 요건이 강화되었다. 2013년에 건설된 부퍼탈 주거단지는 플러스에너지하우스 프로젝트로 이루어졌으며, 주요특징은 단지내 에너지 공급원을 태양광으로 하고 이를 중앙저장 배터리(CellCube)에서 에너지의 공동 생산, 저장, 공급을 통해 재생에너지원에서 생산하는 에너지의 비중을 높이고 전기설비의 네트워크화를 통해 효율을 극대화하는 특징이 나타난다.

4. 탄소중립을 위한 노후건축물의 에너지전환

신축 건축물에 탄소저감을 위해 다양한 에너지 절감기술이 적용되는 것과 함께 독일은 일찍이 노후주거단지의 리모델링에

Table 1. Example of energy conversion in a newly built residential complex for carbon neutrality

단지명		암도르프 주거단지	비스마르크 주거단지	부퍼탈주거단지
		 Johanna Brauch -Anne M. Junker(2004)	 EnergieAgentur. NRW.(2008)	 Hans Erhorn et al 8(2018)
건설년도		1996	2001	2013
가구수		68가구	72세대	19가구
유형		저에너지 주택	에너지절약형 주택	플러스에너지 주택
난방에너지 요구량		50 kWh/m²a	40 kWh/m²a	29.5 kWh/m²a
적용시설		• 환경친화형 도시가스 · 보일러 및 난방시설 • 고단열, 고기밀, 열교차단, 고효율 급배기 • 태양광200㎡ (주거당 2.9㎡/ 시간당 23Kw), 태양열 집열판 168㎡ • 생태 녹화 (주거당 2.5)㎡	• 최소 에너지건축규정준수 • 옥상녹화, 바람통로 • 빗물이용 및 침투 • 난방은 35-45%를 초과할 수 없음 • 태양광 • 단지내 차량진입 방지	• 목구조 주택 • 태양광 175.9kWp PV • 중앙저장 배터리(CellCube)에서 에너지의 공동 생산, 저장, 분배 • 전기설비의 네트워크
열관류율	지붕	0.13(W/m²K)	0.13 – 0.18(W/m²K)	0.14(W/m²K)
	바닥	0.39(W/m²K)	0.19 - 0.26(W/m²K)	0.19(W/m²K)
	벽체	0.19 -0.20 (W/m²K)	0.20 - 0.23(W/m²K)	0.13(W/m²K)
	창호	1.30(W/m²K)	1.1 - 1.4(W/m²K)	0.85(W/m²K)
효과		• 180,000Kwh/a의 난방에너지 절약(년간 41톤 CO2감축)함으로써 일반건물에 비해 45%의 에너지를 절감	• 북측단지 : 태양에너지로 연평균 60% 사용	• 태양광 시스템 적용으로 소비보다 생산되는 에너지가 더 많음. 30,000 Kwh 또는 15% 전력사용 감소

도 이러한 개념을 적극 적용하고 있다. 주거용 건물에서의 열 공급은 지속 가능한 에너지원으로 충당하는 것이 중요하다. 어떤 방식의 열 공급이 기후보호에 가장 유익한지를 결정할 때, 신뢰가능하며 간단한 기술을 선택하는 것이 중요하게 나타났다. 지역난방의 경우 지역적으로 적용 가능한 경우 이용되며, 부분적으로 재생 가능 에너지원을 사용하게 되는데, 이것은 대부분 대도시에서 가능한 시스템이다. 열병합 발전소 및 히트펌프와 같은 자체 공급 시스템의 지역난방 방식과, 경우에 따라 목재 펠릿 시스템을 사용하기도 한다. 또한 지붕면을 이용하여 태양복사에너지를 이용한 건물의 온수 및 태양광 발전도 이용하게 된다.

히트펌프는 이미 독일의 신축 건물에 가장 일반적으로 사용되고 있으며, 기후 전략의 일환으로 현재 CO_2 감소 목적에서 최적의 열 생산을 보이고 있다. 전기를 기반으로 하는 난방 시스템은 재생가능 에너지의 비중이 증가함에 따라 독일의 전력 혼합이 점차적으로 CO_2발생을 줄이는 이점이 있다. 예를 들어 지붕의 태양전지를 통해 히트펌프를 지속 가능한 전기 생산과 결합하면 건물에 CO_2 중립이 이루어지게 할 수 있다.

4.1 Bonn - Bad 주거단지 (Godesberg)

Bonn-Bad 주거단지는 1974년부터 1990년까지 동독지역의 거주지로 사용되었으며 기후보호 주거단지 프로젝트의 일환으로 리모델링 되었다. 기존에 14가구로 구성되어 있는 건물은 리모델링을 하면서 개조 및 확장하였으며, 여기에 추가로 13가구를 신축하였다. 총 27개의 가구 모두 무장애 디자인을 적용하고, 두개의 건물 모두 지하주차장을 두고 주차장 상부에 거주자를 위한 정원을 배치하였다. 본 건축물은 1974년에 건축되었으며, 그 당시 지어진 건축물의 1차 난방에너지 요구량은 150~220kWh/m²a 정도였다(Fig. 1 참조).

에너지 절감을 위한 리모델링 시 에너지기준을 패시브하우스 기준(최대 15kWh/m²a)에 맞추어 적용하였으며, 이를 실현하기 위하여 신축과 리모델링 시 각각 42m²의 진공관 집열기가 있는 두 개의 태양열 시스템을 지붕에 설치하고, 온수의 65%를 공급하며 일부 난방에너지로도 사용하였다. 각 건물에는 열회수 기능이 있는 중앙 환기시스템이 설치되어 있으며, 필요한 온수는 아파트의 담수스테이션을 통해 분산 공급하고 있다. 잔류열 요구량(Der Restwärmebedarf)은 중앙식 가스흡수 열펌프로 충당되며, 총 10kWp의 태양광 전지를 정면에 설치하였다.

리모델링 전 난방에너지요구량이 150~220kWh/m²a인 것을 감안하면, 리모델링 후 최소 10배 이상의 에너지절감 효과를 가져온 것으로 분석된다.

4.2 D□sseldorf - Lichtenbroich 주거단지 리모델링

뒤셀도르프-리히텐브로히(Düsseldorf-Lichtenbroich) 주거단지는 1960년에 준공된 총 240세대 단지이다. 이 단지는 이전에는 아파트 건물에 심야축열조와 전기순간온수기가 설치되어 있었다. 2020년에 단지 전체를 부분적으로 개조하였으며 일부 지역은 증축, 또는 재건축을 하여 기후변화에 대응한 주거지로 탈바꿈하였다.

건물의 가장자리 일부를 철거하고 새로 신축하거나 건물의 일부를 대대적으로 개조하는 방식으로 1단계가 진행되었으며, 이후 단지 북측동을 추가로 개조하여 확장하였다. 입주자의 조건에 따라 일부 아파트는 최대 4개의 방이 있는 큰 유닛으로 결합하기도 하여 유연하게 설계에 적용하였다.

적용된 에너지 기준은 모든 건물에 최소 3리터하우스 기준을 적용하였으며 난방 요구량은 최대 35kWh/m²a으로 하였다. 다만 신축건물의 난방 요구량은 23Wh/m²a으로 하고, 각 집마다 열회수 환기시스템을 적용하였다. 난방 열원은 중앙의 펠렛난방시스템을 갖춘 지역난방을 통해 공급하도록 하였다.

최초 준공년도인 1960년대 1차난방에너지요구량이 250~270kWh/m²a인 것을 감안하면(Fig. 1참조), 에너지 요구량이 90% 감축된 것을 볼 수 있다.

4.3 Hattingen - S□dstadt 주거단지 리모델링

1955년도에 75가구로 지어진 이 주거단지는 총 연면적 4,000㎡로 주변에 녹지공간이 풍부하고 다양한 인프라시설이 근접한 단지였다. 이 주거단지는 노르트라인 베스트팔렌주의 기후변화 대응 주거단지로 계획된 제5차 건설계획에서 리모델링이 계획되어 2014년 리모델링이 완료되었다.

현대적 개량화사업을 통해 기존의 평면들을 변경하여 옥탑층을 확장하는 방식으로 7세대를 신축하여 개조후에는 총 82가구가 되었다. 기존의 건물들은 회반죽 벽돌로 지어져 있었고 단열 또한 부분적으로 되어있었으며 옥탑층도 없는 형태였다. 난방은 가스바닥 난방 또는 심야축열히터 방식으로 이루어졌다.

평면구성은 기존의 방3개 구조를 방2개로 변경하거나 일부 건물에는 지붕창을 2층으로 확장하여 메조네트 방식으로 평면을 구성하였다. 이렇게 해서 개조 후에는 각 세대마다 발코니 또는 테라스를 두고 총 82세대, 연면적 5,800㎡로 확대하여 거주공간을 고급화하였다.

주요하게 적용된 컨셉은 모든 건물의 외벽에 종합적인 단열대책을 수립하여 에너지 소비를 줄인 점이다. 미네랄울 단열재를 비롯하여 삼중유리창 적용, 태양열시스템, 태양광시스템, 지하층의 단열 보강을 통해 난방요구량이 약 20Wh/m²a로 감소되었다. 또한 열회수 기능이 있는 중앙환기 시스템을 적용하였으며, 가스응축보일러를 통해 난방과 온수를 공급하는 시스템을 적용하였다. 리모델링 전 난방에너지요구량이 270kWh/m²a인 것을 감안하면, 리모델링 후 최소 10배 이상의 에너지절감 효과를 가져온 것으로 분석된다.

이로서 이 단지는 독일 최초의 탄소배출 제로 주택 단지중의 하나가 되었다. 이 임대주택의 소유주인 HWG주택협회는 KfW 자금지원으로 개축 및 리모델링 사업을 추진하고 있는데, 이러한 사업으로 인해 임대료를 현실적인 범위에서 유지하고 젊은 가족층에게 저렴한 가격으로 임대할 수 있었다. 평면과 층수에 따라 ㎡당 임대료가 6.50~7.50유로이며, 탄소중립 주택의 임대료는 8.0유로이나 에너지 비용이 매년 상승하고 있는 사실을 고려하면 이러한 사업은 매우 효과적인 것으로 나타난다.

4.4 Köln, Stegerwaldsiedlung 주거단지 리모델링

이 주거단지는 쾰른 시내 중심까지의 거리가 약 3.5㎞로 버스와 트램노선, 학교, 지역상가 등이 도보로 가까운 거리에 위치하고 있어 입지가 좋아 리모델링이 추진된 단지이다. 1950년대 지어진 이 단지는 총 16개동으로 구성, 대부분 4층건물로 연면적 33,500㎡의 생활공간을 갖춘 594세대로 구성되어 있다. 2019년에 개축된 이후 11개 건물에 옥탑방을 신축하여 95세대가 새로 신축되었으며, 엘리베이터와 발코니, 외부공간의 재설계를 통해 총 5,000㎡의 생활공간이 증가하여 주거환경의 질을 더욱 향상시키게 되었다.

이 단지에 적용된 에너지절감 컨셉은 전면부와 지하천장 및 최상층 천장의 단열보강을 통한 에너지 절약적 리모델링이며 공통적으로 삼중창 적용, 기존의 가스중앙난방과 바닥난방의 열공급방식은 지역난방과 히트펌프로 전환되었다. 이 단지의 특이점은 지붕에 총 출력 968kWp의 태양광 시스템을 설치하고 스마트미터기를 적용한 점이다. 즉, 배터리 저장장치를 두어 태양광 발전을 통해 생산된 전기를 히트펌프나 전기자동차 충전에 사용함으로써 저렴하게 임차인들이 사용할 수 있도록 하였다. 이러한 스마트미터를 사용함으로써 개인의 에너지소비량과 현재 전기가격을 확인할 수 있도록 하였다.

4.5 Siegen, Charlottenstrasse주거단지 리모델링

샤로텐 거리에 위치한 이 주거단지는 원래 1910년에 지어졌고 또 다른 구역은 1937년에 지어진 건물로 구성되었다. 그러나 제2차 세계대전 중에 일부가 파괴된 이후 4층으로 재건되었으며 다른곳은 3층으로 구성되어 있었다. 개량화 이전에는 약 4,300㎡의 생활공간을 갖춘 총 80세대의 아파트였으나 2015년 리모델링이 완성된 이후에는 8세대가 증가하여 총 88세대가 되었다.

이 과정에서 Siegen 주택협동조합(Geschäftsführer der Wohnstättengenossenschaft Siegen : WGS)은 자체 자원을 활용하여 2011년 말에 “기후변화 대응주택”에 대한 구체화된 계획을 수행하게 되었다. 이 프로젝트는 또한 EnergieAgentur.NRW 및 재생 에너지 컨설팅 기관인 Ecofys GmbH와의 긴밀한 협력을 통해 구현되었다.

이 단지는 3리터 하우스를 목표로 외벽은 16㎝의 단열공사를, 지붕은 총 24㎝의 단열공사를 하였다. 공간계획상으로는 중간 4층 부분을 개조과정에서 증축하고 계단을 변경하거나 엘리베이터를 도입하고 부분적으로 아케이드를 통해 연결함으로써 모든 아파트에 노인들이 접근할 수 있도록 개조하였다. 또한 옥탑층을 재건축하여 8세대를 추가로 증측하였다.

건물에는 히트펌프와 온수 공급을 위한 열병합발전기를 설치하였으며, 총 출력 62kWp인 태양광 발전시스템을 설치하였

Table 2. Example of energy conversion through residential complex remodeling

	Bonn-Bad 주거단지	Düsseldorf-Lichtenbroich 주거단지	Hattingen-Südstadt 주거단지	쾰른 뮐하임 “Stegerwaldsiedlung” 주거단지	Siegen 주거단지
					
위치	Bonn-Bad Godesberg, 튜토넨슈트라세	뒤셀도르프-리히텐브로이히, Sermer Weg, Volkardeyer Weg	Hattingen-Südstadt, Schillerstrasse	Stegerwaldsiedlung은 쾰른의 뮐하임 지구	지겐, 샤를로텐슈트라세
건설년도	1974년	1959년(157세대)	1953년(75세대)	1950년대(549세대)	1937년(80세대)
리모델링 년도	2012년 (신축 13세대 개조 및 확장 14세대 총 27세대)	2020년 (신축 88세대 개조 및 확장 157세대 총 245세대)	2014년 (신축 7세대 개조 및 확장 75세대 총 82세대)	2019년 (신축 140세대 개조 및 확장 549세대 총 689세대 - 16개동)	2015년 (신축 8세대 개조 및 확장 80세대 총 88세대)
리모델링전 난방에너지 사용량	150～220 kWh/m²a	250～270 kWh/m²a	270 kWh/m²a	270 kWh/m²a	250～270 kWh/m²a
리모델링 시 적용 에너지기준 (KWh/m²a)	패시브 하우스 기준 (최대 15kWh/m²a)	3리터하우스 기준 (23 - 35kWh/m²a)	난방에너지요구량 약 20kWh/m²a		3리터하우스 기준 (최대 35kWh/m²a)
적용기술	열회수중앙 환기시스템 태양열시스템, 중앙식 가스흡수열펌프(2 x 42m² 진공관 집열기) 담수스테이션이 있는 분산형 온수공급시설, 태양광 시스템(출력 약 10kWp)	열회수 환기 시스템 건설 단계별 목재펠릿을 이용한 중앙난방	외단열(140+160mm) 삼중 유리창, 태양열, 태양광시스템 하부바닥에 단열보강 중앙식 열교환 환기시스템 설치 난방 및 급탕: 중앙식 가스응축 보일러	외벽 단열재 지하 천장, 최상층 천장, 삼중유리창 지역난방 및 공기-물 히트펌프를 통한 난방 및 온수 태양광 시스템 저장(968kWp)	열회수 환기 시스템 염수 히트 펌프 및 CHP를 통한 난방 및 온수 총 출력이 62kWp인 태양광 시스템

사진출처 : EnergieAgentur.NRW GmbH. 2020

다. 각 세대에는 열회수 환기장치를 설치하였으며, 이로서 단지 전체의 CO_2 발생량을 80% 감소시킬 수 있게 되었다.

4.6 소결

위에서 살펴본 5개의 주거단지는 1937년부터 1974년 사이에 지어진 건축물로서 독일의 건물에너지절약법(Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebaeuden : EnEG)이 제정 이전에 건설되었다. 1973년 건물에너지절약법의 제정과 단열령(WSchVO) 및 난방령(Heizanlagenverordnung: HeizAnIV)의 제정 이후 실제적으로 건물의 에너지 기준이 제시되고 이에 따라 각 건물의 난방열요구량은 200～250kWh/m²a이던 값이 150kWh/m²a이하로 급격히 감소하게 되었다(Fig. 1참조). 관련법의 개정과 함께 에너지기준이 강화되는 것과 연관지어 앞에서 분석한 5개의 리모델링 주거단지에서 나타나는 특징은 다음과 같다.

첫째, 2009년도에 개정된 건물에너지절약규칙에 따라 리모델링을 통해 건축구조적으로 최고층 바닥 및 지붕 등에 대한 단열조치와 단열성능을 강화함으로써 에너지기준을 충족하고 있음을 알 수 있다.

둘째, 기존주택들은 2차 세계대전 전후에 지어진 건축물로서 250～270kWh/m²a 정도의 난방에너지를 사용한 것으로 예측할 수 있다(Fig. 1 참조). 이러한 주택을 전면 리모델링할 때 패시브 기준이나 3리터하우스 기준등을 에너지기준으로 정하여 이를 달성할 수 있도록 다양한 에너지 저감기술을 적용한 것으로 분석되었다. 즉, 패시브하우스 기준을 적용한 Bonn-Bad 주거단지는 최대 15kWh/m²a의 기준을, Düsseldorf-Lichtenbroich 주거단지와 Siegen주거단지는 3리터하우스 기준을 적용하여 최대 35kWh/m²a의 에너지기준을 적용하여 리모델링을 함으로써 에너지소비를 감축하게 한 것으로 보여진다.

셋째, 적용기술면에서는 열회수시스템 등 다양한 재생에너지 기술등이 적용된 것을 볼 수 있다. 이는 2008년에 제정된 난방재생에너지법에서 재생에너지의 이용의무를 규정하고 있으며 폐열 이용설비 적용등을 정한 이유이다.(정호수외1. 2018), 이렇듯 2010년 이후에 리모델링된 주거단지는 앞서 분석한 신축주거단지에 적용된 기술보다 더 액티브한 시스템을 적용한 점에 차별성을 갖게 된다.

5. 결 론

독일은 2050년까지 탄소중립 건축물을 구현하기 위하여 보다 에너지 효율적인 건물과 에너지 사용에 있어 재생 에너지의 점유율을 높이고자 하고 있다. 건물의 에너지 효율을 향상시키는 것은 비단 에너지 비용 절감 측면 뿐 아니라, 생활에 있어서의 더 큰 안락함, 리모델링으로 인한 부동산 가치의 증가 및 기후보호를 위한 기여 등으로 더욱 중요한 핵심가치가 되고 있다.

본 연구에서는 독일이 주 차원에서 어떻게 탄소중립을 위한 정책들을 수립하는지와 이를 근거로 실제 적용된 주거단지의 에너지 효율을 높이기 위해 적용된 사례 기법를 분석하였다.

사례 단지 분석결과, 90년대 저에너지 건축 보급에서 점차 건축물에서의 에너지 수요를 줄이고 추가 에너지는 신재생에너지로 공급하여 제로 에너지 단지나 탄소중립 단지로 건축 방향이 추진되고 있음을 알 수 있었다. 1990년대 이후부터 최근까지 신축 또는 리모델링된 독일의 생태단지는 관련법의 규정에 따라 저에너지 건축에서 플러스에너지 건축으로 에너지 기준이 강화되었으며, 연간 난방에너지 소비기준, 구조체별 열관류율 등이 더 높은 수준으로 수행되었다. 건축물의 준공년도에 따라 건축물이 어느 정도 에너지 소비가 이루어지는지에 대한 세밀한 분석결과를 통해 리모델링 시 에너지절감 목표를 구체적으로 설정하여 리모델링 대상을 선정하고 있다.

독일의 사례에서 본 바와 같이, 신축 시 탄소중립을 위한 주거단지에서의 에너지전환 및 노후건축물의 리모델링 사례는 국내 건축분야에서의 탄소저감 정책에 시사하는 바가 크다.

첫째, 신축 주거단지의 경우 해당 건설년도의 건축에너지절약 관련법의 적용에 따라 이루어짐으로써 초기 저에너지주택의 형태에서 플러스에너지주택으로 발전함을 볼수 있다. 이는 곧 탄소중립의 목표아래 관련법들이 개정되고 이를 적극적으로 적용한 결과로 볼 수 있다.

둘째, 에너지 절감측면에서의 리모델링과 함께 증축 또는 단지 내 새로운 동을 끼워넣기 식 신축을 함으로써 세대수를 증가하여 경제적 효과를 거둔다는 점이다. 이렇게 유연한 계획방법은 향후 노후주거단지의 일괄 재개발 또는 재건축으로 인한 탄소증가를 방지하는 효과까지 함께 할 수 있다는데 시사하는 바가 크다.

셋째, 에너지 절감기술의 적용 또한 초기 단열기준이나 난방기준을 맞추기 위한 시설에서 이후 재생에너지의 적용을 법적으로 지정함으로써 히트펌프와 태양열, 태양광, 중앙환기시스템 등이 적용되기에 이르렀으며, 이는 결국 법의 개정을 통해 탄소배출저감 기술을 적극적으로 개발할 수 있을 것으로 본다.

넷째, 단지차원의 리모델링이나 신축, 증축은 자금이 많이 소요되기 때문에 정부나 지자체의 지원이 요구되는 사업이다. 따라서 이에 대한 제도적, 정책적 지원개발이 필요하며 더불어 건축가나 시공자 및 지역주민들이 적극적으로 참여할 수 있는 장치 또는 프로그램 개발이 요구된다.

국내에서는 탄소중립을 위해 기존건축물과 신규건축물 등 건축물의 특성을 반영한 그린리모델링 및 제로에너지건축물에 대한 맞춤형 지원사업을 수행하고 있다. 제로에너지건축물 확대 및 성능 강화를 위해 신규 공공건축물 제로에너지건축물 인증 의무화 대상을 확대하고, 인증등급도 단계적 상향하고 있다. 국토교통 탄소중립 로드맵에 따라 현재 ZEB인증 5등급 기준을 2030년까지 3등급 수준으로 향상시키고 신규 민간건축물의 설계기준도 제로에너지건축물 4등급수준으로 상향 조정하는 내용이다. 또한, 에너지 다소비 시설에 대해 공공부터 그린리모델링을 확산하고 이를 의무화하는 것을 단계적으로 적용할 계획이다. 다만, 우리나라의 건물에너지 관련 법규는 각각의 법령에 산재해 있고, 그 내용 또한 의무규정으로 되어 있지 않기 때문에 이에 대한 개정 및 통합이 요구된다.

따라서, 앞서 분석된 독일의 사례는 향후 국내의 탄소중립 목표를 위한 주거단지 개발 및 기존건물의 리모델링 계획 시 적용 가능한 항목 도출 및 기초자료가 될 것이다.

참고문헌

1. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), CO2-neutral in Stadt und Quartier ‑die europäische und internationale Perspektive, 2017.
2. Bundesministerium füur Wirtschaft und Energie (BMWi), Energieeffizienz strategie Gebäaude: Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäaudebestand, 2021.
3. Bundesministerium fuer Wirtschaft und Energie, Forschungsprojekt aus EnEff:Stadt Umfassende Modernisierung mit Aufstockung und Ergaenzungsneubau CO2 neutrale Energieversorgung, 2014.
4. EnergieAgentur. NRW GmbH. 100 Klimaschutzsiedlungen in Nordrhein-Westfalen: Energieeffiziente Wohnungen für 25.000 Menschen, 2020.
5. EnergieAgentur. NRW. Solarsiedlung Gelsenkirchen-Bismark, 50 Solarsiedlungen in Nordrhein-Westfalen, 2008.
6. Hans Erhorn et al 8, Praxis-Vergleich verschiedener Speic -herstrategien für Plusenergiehäuser in exemplarischen Wohnsiedlungen, Fraunhofer IRB Verlag, 2018.
7. Johanna Brauch -Anne M. Junker. Oekologische Siedlungen: Wohnanlage “Am Dorf”. Lehrstuhl fuer Stadtquartiersplanung und Entwerfen, Universitaet Karlsruhe, 2004.
8. Johann Reiß, EnEff:Stadt: CO2‑neutrale Energie -versorgung der Wohnanlage Lilienstraße Nord in München, Fraunhofer IRB Verlag, 2016.
9. Solarsiedlung Gelsenkirchen-Bismarck, EnergieAgentur NRW, 2012.
10. Thomas, Stefan et al, CO2-neutrale Gebäaude bis späatestens 2045: Ein Diskussionsbeitrag füur eine ambitionierte und sozialverträagliche Politikstrategie, Zukunftsimpuls, No. 21, Wuppertal Institut füur Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal, 2021.
11. 대한민국 관계부처 합동, 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안), 2023.3.
12. 문기덕, 독일 건물에너지법 시행과 의의, 건축공간연구원, 2021.
13. 정호수, 정해조, 독일의 건물 에너지 법제에 관한 연구: 건물에너지절약법과 난방재생에너지법을 중심으로, 세계지역연구논총, 36(2), 2018.
14. https://www.bbsr-geg.bund.de/GEGPortal/DE/Archiv/EnEG/eneg_node.html

접 수 일 자 : 2024. 02. 02
초 심 완 료 일 자 : 2024. 02. 19
재심(1차)완료일자 : 2024. 03. 12
게 재 확 정 일 자 : 2024. 03. 12