

수소경제 관점의 전기에너지주택 보급기반 구축에 관한 연구

황성욱^{1†} · 이현주¹ · 김강식¹ · 나환선¹ · 김정훈²

¹한전 전력연구원, ²홍익대학교 전자전기공학부

A Study on the Infrastructure of All-electric Houses in the Viewpoint of Hydrogen Economy

SUNGWOOK HWANG^{1†}, HYEONJU LEE¹, KANGSIK KIM¹, HWANSEON NAH¹, JUNGHOOON KIM²

¹Smart Energy Laboratory, KEPCO Research Institute, 105 Munji-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 305-380, Korea

²School of Electrical Engineering, Hongik University, 94 Wausan-ro, Mapo-gu, Seoul, 121-791, Korea

Abstract >> In this paper, some ideas are proposed to establish the infrastructure of all-electric houses which are able to reduce primary energy consumption and CO₂ emission by adopting heat pump systems and induction heating cookers excluding the use of fossil fuel energy. This electrification concept is based on the consumption of only one type of energy which means electricity as secondary energy and the conventional fossil fuel energy is just consumed to generate electricity as primary energy. All-electric house is laid on the extension of the hydrogen economy in a long-term viewpoint so that the effectiveness of this new conceptual house is estimated analyzing the reduction of CO₂ emission. In this analysis, the balance of electricity supply and demand is considered including the construction of new power plants by renewable energy such as nuclear, IGCC and fuel cell because decarbonization is an essential element of hydrogen technology and economy and this action is accomplished in both supply and demand side of electricity. The results are able to contribute to develop various useful hydrogen policies and strategies and some detail researches are required previously to make the best application of this new conceptual house.

Key words : All-electric house(전기에너지주택), Diffusion model(보급모형), CO₂(이산화탄소), Hydrogen economy(수소경제), New & Renewable energy(신재생에너지)

1. 서 론

국제유가의 급등이나 환경 관련 이슈가 등장할 때마다 신재생에너지의 이용과 보급에 관한 관심이 높아지고 이상적으로는 수소경제로의 이전까지 언급되곤 한다. 이는 에너지의 합리적인 이용이라는 측면과

환경문제의 대응이라는 측면에서 다양한 연구 수행과 정책 발의로 나타나고 있으며, 특히 최근에 와서는 기술적인 이슈를 넘어서 사회적인 접근과 여론의 조성을 야기하고 있다. 이미 1970년대 미래의 에너지원으로서 수소의 잠재성을 알아본 제너럴 모터스(GM)의 엔지니어들에 의하여 처음 사용된 ‘수소경제’라는 표현¹⁾ 역시 이러한 맥락에서 등장한 것이며, 기존의 사회구조가 에너지와 환경이라는 주제와 맞물려 새로운 형태의 패러다임을 만들어가는 징표라

[†]Corresponding author : outward@kepco.co.kr

[접수일 : 2011.7.26 수정일 : 2012.1.30 게재확정일 : 2012.1.30]

Copyright © 2012 KHNES

할 수 있다.

이러한 수소경제는 그 잠재성에도 불구하고 기술적 한계와 낮은 경제성 때문에 아직까지 공상과학영화 수준의 개념으로 여겨지고 있기는 하지만, 석탄에서 석유로, 석유에서 천연가스로, 천연가스에서 다양한 신재생에너지로, 주요 에너지원이 옮겨가고 있는 것에서 볼 수 있듯이, 단위 질량당 탄소의 수가 줄어드는 것, 즉 탈탄소화는 이미 진행되고 있으며, 탈탄소화의 마지막 단계는 탄소 원자가 전혀 포함되어 있지 않은 수소의 전격적인 이용이다. 제러미 리프킨의 표현과 같이 탈탄소화 여정 끝에 수소가 있다²⁾.

실제 사용할 수 있는 형태의 수소 에너지는 전기와 같이 2차 에너지의 성격이 강한데, 자연에 존재하는 그대로의 수소(본 논문에서는 수소분자를 말함)를 에너지원으로 직접 이용하기는 어렵고, 천연가스로부터 수증기 개질 공정을 통한 추출, 물의 전기분해 등과 같은 과정을 필요로 한다. 그러나, 천연가스에서는 이산화탄소가 발생하게 되고, 물의 전기분해를 위해서는 매우 많은 전력의 소비가 필요하다. 즉, 환경친화성과 경제성이라는 두 가지 큰 장벽이 가로막고 있다. 그럼에도 불구하고, 태양전지의 빠른 기술발전과 시장가격 하락에서 볼 수 있듯이 표면적인 기술수준과 경제성보다는 기술과 시장을 움직일 수 있는 사회적 동의와 정책적 뒷받침이 더 중요한 요인이 될 수 있다.

본 논문은 수소경제의 견인 역할로서 주택 분야의 과도기적 접근 방법인 전기에너지주택의 보급기반 구축을 다룬다. 탈탄소화의 대표적인 사례인 저에너지주택은 신재생에너지의 채택을 통해 주택의 연간 에너지 수급을 제로화하고, 나아가 에너지 공급을 주택 자체에서 해결하는 것을 목표로 한다. 이는 기존의 전력회사로부터 공급받던 전기를 점진적으로 줄여서 0으로 만들거나 오히려 판매하는 형태로 나타나는데, 태양광, 풍력, 지열 등을 이용함으로써 이산화탄소가 거의 발생하지 않는 등 친환경성이 매우 높으나, 현실적으로 높은 투자비로 인하여 보조금, 융자, 세제혜택 등의 각종 지원제도를 전제로 논할 수밖에 없다. 반면에 전기에너지주택은 주택에 소요

되는 에너지를 전기만으로 충당하되, 태양광, 풍력 등의 신재생에너지 비중이 낮고 대부분 전력회사로부터 전기를 공급받는 것이 특징이다. 또한, 냉난방, 급탕 및 취사를 위하여 가스가 아닌 전기만을 사용하기 때문에 2차 에너지 측면에서는 이산화탄소의 배출이 거의 없다고 할 수 있다. 현재 시범 운영 중인 대부분의 저에너지주택이 취사를 위해서는 가스를 사용하는 것과 큰 차이점이다.

한편, 수소 이용과 관련된 주요 기술 가운데 하나인 연료전지 역시 본 논문의 관점인 수소경제의 견인 역할을 한다는 점에서 같은 맥락에 있으며, 연료전지는 하나의 요소기술이라는 것과 전기에너지주택은 인프라의 측면이라는 차이점이 있다. 수소경제 관점에서 볼 때, 전기에너지주택은 기존의 전력산업 및 향후의 스마트그리드 인프라를 최대한 활용하여 다른 저에너지주택에 선행하여 보급될 수 있는 형태의 주택으로서, 전기에너지주택의 빠른 보급은 탈탄소화의 속도를 더 높여서 그 마지막 단계인 수소경제로 이끄는 견인차의 역할을 할 수 있다. 즉, 전기에너지주택의 보급과 함께 구축되는 인프라는 수소 이용과 관련된 인프라로 직간접적으로 활용될 수 있다는 점에서 수소 이용이 기술적 및 경제적 난점을 부분적으로 선결할 수 있다는 이점이 있다. 이에 따라 본 논문에서는 전기에너지주택의 보급이 전력의 공급과 수요 패턴 변화에 미치는 영향과 이산화탄소의 저감 수준을 평가함으로써 수소경제 관점에서 과도기적 역할을 하는 전기에너지주택의 가치를 가늠하고, 이를 구현하기 위한 보급기반의 구축 방안을 제안한다.

2. 연구 현황

2.1 관련 연구 동향

수소의 생산으로부터 이용까지 관련하여 매우 많은 연구가 진행되어 왔는데, 본 논문과 관련된 주요 동향을 살펴보면 다음과 같다. 우선 주택에서 이용 가능한 연료전지의 형태로서 5kW급을 중심으로³⁾ 가정용 고분자연료전지 시스템의 운전 방법에 따른 성능

비교⁴⁾, 연료전지 모드 해석을 위한 동특성의 개발⁵⁾, 경제적 운전전략⁶⁾ 등에 관한 연구가 진행되어 왔는데, 이러한 가정용 연료전지 시스템은 현재 활발히 연구되고 있는 마이크로 그리드 내지 스마트 그리드의 주요 분산형 전원으로 이용되어 소규모임에도 불구하고 안정적인 출력과 기동정지의 용이성, 피크이전의 기여도, 전력저장과 연계 등 장점으로 인하여 전력계통의 핵심 전력공급원이 될 가능성이 높다.

수소의 경제성과 관련해서는 주로 다양한 형태의 생산 방법에 따른 경제성 평가 연구가⁷⁻¹⁰⁾ 진행되어 왔으며, 특히 2003년 미 전화 도서의 자가발전방식에 따른 경제성 검토 연구¹¹⁾에서 디젤발전, 태양광발전, 풍력 발전 및 연료전지발전을 상호 비교한 바 있는데, 향후 도서지역의 마이크로 그리드 및 전기에너지주택 보급에 있어 충분히 활용할 만한 기초 자료로서 가치가 있다고 판단된다.

한편, 수소 기술-경제체제로의 이행을 위한 장단기 시나리오 분석에 관한 연구와¹²⁾ 관련 기술로드맵의 구축과 전략환경분석(SWOT analysis)을 통하여 수소경제사회 구현을 위한 에너지기술개발전략을 논한 연구가¹³⁾ 진행된 바 있으며, 이들 연구에서 향후 국내의 수소 관련 연구 방향을 체계적으로 제시하였다. 본 논문은 이러한 기술로드맵 상에서 과도기적으로 전기에너지주택이라는 매개체를 통하여 수소경제사회의 구현을 촉진하는데 초점을 맞추고 있다.

2.2 전기에너지주택 보급 현황

우리나라 전체 에너지 소비량의 대부분은 산업 분야가 차지하고 있으며, 약 22% 정도가 건물에서 소비되고 있다¹⁴⁾. 따라서, 현재까지 대부분의 에너지 이용 합리화 정책은 산업분야를 주요 대상으로 하여 진행되어 왔으며, 선진국에 비하여 건물 에너지 분야는 상대적으로 약한 편이었다. 그러나, 연간 약 4%의 성장을 보이고 있는 건물의 에너지 소비량은 2020년 경에는 전체의 약 40%가 될 것으로 전망하고 있다¹⁵⁾. 이러한 배경에서 국가적으로 각종 건물에서 소비하는 에너지를 줄이고자 하는 노력이 진행되고 있으며,

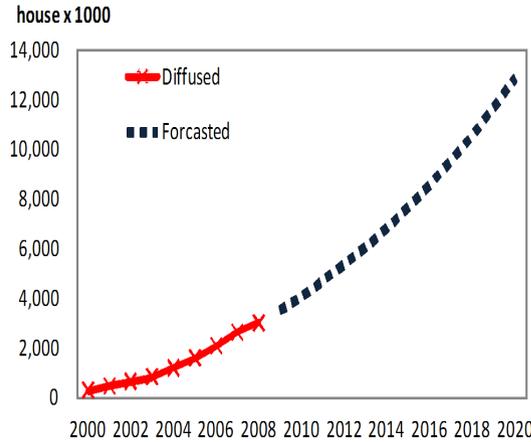


Fig. 1 Evaluated diffusion trend of Japanese all-electric houses (Sungwook Hwang, et. al., "An Analysis on the Diffusion Environments of All-electrified Houses in Korea and Japan", Proceedings of KIEE Smart Grid Society Conference, 2010. 5, pp. 274-282.)

이에 따라 다양한 개념의 저에너지주택이 등장하고 있다. 전기에너지주택의 경우에도 이러한 맥락에서 도입을 추진하고 있는데, 기존의 전력계통에 연계하여 전기에너지를 공급받는다든 측면에서 자체적으로 에너지 공급을 해결하려는 저에너지주택의 전 단계라고 할 수 있다. 즉, 에너지 공급을 위한 설비 측면에서는 별도의 많은 투자가 필요하지 않기 때문에

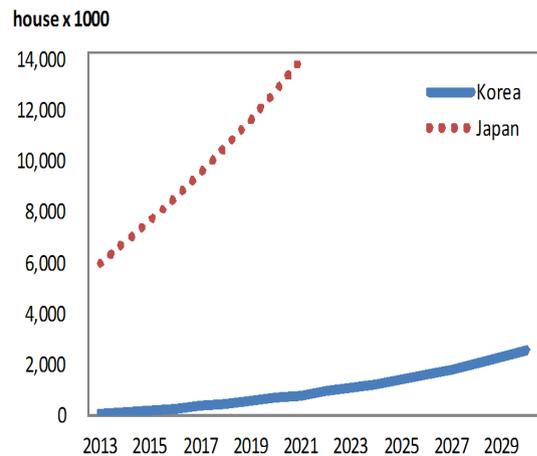


Fig. 2 Diffusion status comparison between Korea and Japan (Sungwook Hwang, et. al., "An Analysis on the Diffusion Environments of All-electrified Houses in Korea and Japan", Proceedings of KIEE Smart Grid Society Conference, 2010. 5, pp. 274-282.)

상대적으로 높은 투자비로 인해 경제성이 떨어지는 여타 저에너지주택에 비하여 시장에 먼저 보급시킬 수 있는 장점이 있다. 일본은 이미 10년 이상 이러한 개념의 전기에너지주택이 보급되어 왔으며, 본 연구진은 국내의 환경에 적합한 전기에너지주택 표준화 모델을 개발하고 있다.

2000년대 초반부터 본격적으로 보급이 시작된 일본의 전기에너지주택은 2008년 현재 누적 보급호수가 약 300만호이다. 앞선 연구¹⁶⁾에서는 이러한 통계 자료를 바탕으로 Bass의 확산모형^{17,18)}을 이용하여 그 보급추이를 Fig. 1과 같이 평가하였다. 확산모형의 주요 계수인 혁신계수와 모방계수는 각각 0.003과 0.0989로 추정하였으며, 후발주자인 우리나라의 전기에너지주택 보급을 빠르게 하기 위해서는 최소한 일본의 확산모형 계수 이상으로 설정해야 한다는 측면에서 일차적으로 동일한 계수를 이용하여 보급 추이를 추정하였다. 우리나라의 경우 일본과 같은 경향으로 전기에너지주택이 보급된다고 가정하고 Bass의 확산모형을 적용하면, Fig. 2와 같이 향후 보급 추이를 예측해볼 수 있다. 우리나라의 경우 보급 직전 단계로서 일본의 사례를 참고하여 어떠한 정책을 어떠한 형태로 추진하느냐에 따라 보급 속도를 변화시킬 수 있다.

3. 전기에너지주택에 의한 탈탄소화

3.1 주택의 에너지 소비패턴 변화

주택의 에너지 소비는 냉난방 및 취사에서 이루어지며, 특히 난방과 취사의 경우에는 대부분 가스 또는 석유를 이용하였으나, 최근에는 전기에너지의 이용이 증가하고 있는 추세이다. 가스와 석유에 비하여 전기는 취급하기 편리하고 유해가스 발생이 없기 때문에, 과거에 비하여 이러한 편의성과 쾌적성을 중시해가는 소비자의 성향으로 전기에너지 소비가 증가하고 있다. 더욱이 이러한 경향을 견인하는 중요한 요인은 전기에너지의 가격이 타 연료에 비하여 저렴하다는 것이다. 우리나라의 경우 누진요금제를 배제

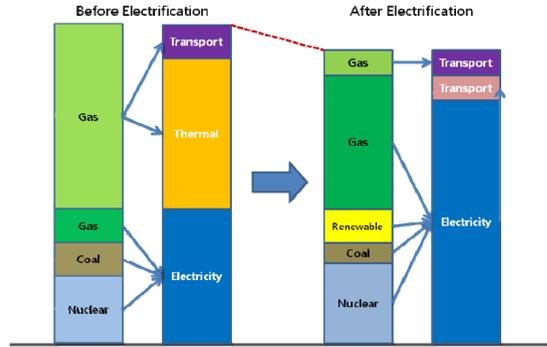


Fig. 3 Energy consumption change by electrification (S. Hwang, "Development of Modified Diffusion Models for Heat Pump Subsidy Programs Integrated with Existing DSM Programs", 10th IEA Heat Pump Conference, 2011)

한다면 전기만큼 저렴한 에너지는 없다고 볼 수 있다. 실제, 누진제가 없는 일반요금제를 적용하는 상업용 시설의 경우 냉난방기를 대부분 전기히트펌프로 교체하고 있다. 또한, 주택용의 경우에도 누진요금에도 불구하고 전기를 사용하는 난방기의 수요가 점점 증가하고 있다. 이러한 전기에너지 소비량의 증가는 단기적으로는 전력공급설비의 예비율 문제로 인하여 국가적 문제가 되기 때문에, 다양한 형태의 전력수요관리 프로그램이 시행되고 있다. 또한, 장기적으로는 에너지믹스를 고려한 총체적인 에너지수요 관리 정책에 관한 구상이 진행되고 있다.

한편, 본 논문에서 초점을 맞추고 있는 저에너지주택은 전략적으로 가스 및 석유 등 화석연료의 직접 연소를 배제하고 전기만으로 주택에 소요되는 모든 에너지를 충당하는 개념의 주택으로서, 앞에서 언급한 바와 같이 전기에너지 수요를 증가시켜 예비율에 악영향을 줄 수 있는 것으로도 볼 수 있으나, 기존의 냉난방 및 취사를 위한 가스에너지는 발전원으로 전환한다는 것을 전제로 하고 있고, 향후 전력수급계획에 맞추어 보급하는 것을 전제로 하기 때문에 문제가 되지 않는다. 즉, LNG를 포함하여 원자력 및 신재생에너지에 의한 발전소 건설을 고려함으로써 전기에너지주택과 같이 전력수요를 창출하는 부하의 증가에 대응할 수 있도록 하는 것이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 전화(electrification)에 의하여 전기에너

Table 1 Efficiency comparison of gas boilers and heat pumps

Item	Gas Boiler	Heat Pump
Resource	Gas	Electricity
Efficiency	0.9	COP 3.0
Demand Energy to Supply 1,000kcal for Heating	1,111kcal (1,000 ÷ 0.9)	333kcal (1,000 ÷ 3.0)
Primary Energy	1,111kcal	833kcal (333 ÷ 0.4)

지 소비는 증가 하지만, 오히려 1차 에너지 측면에서는 전체적으로 소비량이 감소하는 효과가 있다¹⁹⁾.

이는 난방의 경우만 보더라도 가스보일러의 효율이 약 90% 정도인데 비하여, 가스보일러를 대체하는 히트펌프의 효율은 최소 COP 2.5 이상으로서 발전효율 40%를 감안하더라도 2차 에너지 기준 100%의 효율이 달성되기 때문이다. 여기서, 가스보일러와 히트펌프의 에너지 사용량을 등가적으로 비교하기 위해서는, 히트펌프에서 소비되는 전기의 발전을 위해 필요한 LNG, 석탄, 원자력 등의 1차 에너지의 소비량을 파악해야 하는데, 발전효율을 40%로 가정했을 경우 히트펌프의 COP가 2.5 이상이면 전력공급 과정에서 손실되는 양 60%를 보상할 수 있다는 의미가 된다. 즉, Table 1에서 보는 바와 같이 1,000kcal의 난방열을 공급하기 위해서 가스보일러(효율 0.9)는 1,111kcal의 에너지를 필요로 하는 반면에 히트펌프(COP 3.0)는 333kcal만을 필요로 한다. 1차 에너지 측면에서 비교해보면, 히트펌프는 333kcal를 공급하기 위해 833kcal를 발전해야 하는데, 이는 가스보일러의 공급 손실을 0으로 가정하여 1,111kcal가 100% 공급된다고 하더라도 히트펌프가 더 효율적인 것을 알 수 있다. 만일 발전효율이 30% 수준까지 떨어진다면 히트펌프도 1,110kcal의 1차 에너지를 소비하는 셈이 되지만, 2010년 현재 발전단 효율 40.83%, 송전단 효율 39.14%, 송배전 손실률 3.99%로서 최종적으로 약 37.58%의 전력공급 효율을 보이고 있다²⁰⁾.

3.2 주택의 CO₂ 배출량 변화

앞에서 언급한 바와 같이 주택의 에너지 소비패턴

Table 2 Comparison of secondary energy consumption

House	Conventional House	All-electric House
Heating/Water (kWh/month)	780	234
Cooking (kWh/month)	97	59
Plug (kWh/month)	353	332
Total (kWh/month)	1,231	626

이 화석연료의 사용을 배제하는 방향으로 변화하게 되면 자연스레 CO₂ 배출량의 저감을 가져오게 된다. 본 논문에서는 하나의 주택을 대상으로 하여 기존의 가스를 사용하던 주택(이하 가스병용주택)과 전기에너지주택의 1차 에너지를 기준으로 한 CO₂ 배출량 변화를 비교하였다. 월 1,231kWh의 에너지를 소비하는 82.5m² 규모의 공동주택을 가정하였으며, 기존 연구의 데이터에 근거하여 난방 및 급탕을 위한 가스보일러의 효율은 90%, 취사를 위한 가스레인지의 효율은 55%로, 히트펌프의 효율은 COP 3.0, IH조리기의 효율은 90%로 가정하였을 때¹⁵⁾, 우선적으로 소비된 2차 에너지를 비교하면 위의 Table 2와 같다. 여기서, 플러그 부하가 감소한 것은 가스병용주택에서 플러그 부하로 분류된 에어컨 부하(21kWh/월)가 전기에너지주택에서는 히트펌프가 공급하는 냉난방 및 급탕 부하로 분류되기 때문이다.

Table 2의 2차 에너지 소비량에 통상적인 발전효율을 40%로 고려하여 환산한 1차 에너지 소비량 및 CO₂ 배출량은 다음 Table 3과 같다. CO₂ 배출량은

Table 3 Primary energy consumption and CO₂ emission

House	Conventional House	All-electric House
Secondary Energy Consumption (kWh/month)	1,231	626
Primary Energy Consumption (kWh/month)	1,858	1,564
CO ₂ Emission (kg/month)	1,481	1,251

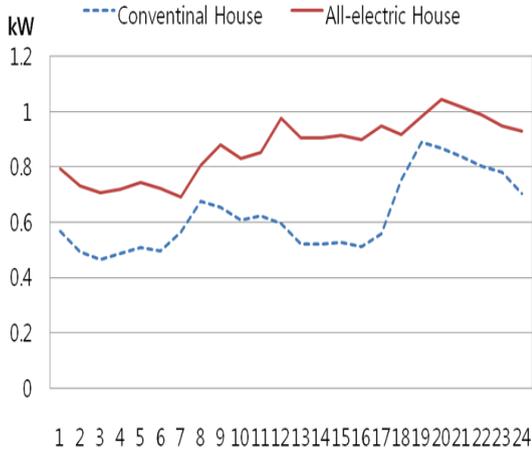


Fig. 4 Daily load curves of conventional gas-using and all-electric houses at winter season

0.8kg/kWh²¹⁾를 적용하였다. 가스병용주택에 비하여 전기에너지주택의 CO₂ 배출량은 월평균 230kg이 감소하여 약 16% 저감되는 것으로 평가되었다.

3.3 전력수요의 변화

전기에너지주택의 도입은 가스에너지 대신 전기 에너지를 사용함으로써 기존의 주거용 부하패턴을 변화시키게 되며, 이에 상응하는 전력공급원의 운전 패턴 또한 변화하게 된다. 장기적으로는 전력수급계획으로부터 단기적으로는 경제급전 및 발전기 기동 정지계획까지 변화하기 때문에 이를 분석하기 위해서는 매우 복잡한 과정이 필요한데, 본 논문에서는 먼저 Fig. 4와 같이 겨울철을 기준으로 하여 기존의 부하곡선에서 전기에너지주택 도입으로 인하여 달라지는 부하곡선을 가정하였다.

기존 부하곡선은 부하구성비 관련 연구²²⁾에 근거하여 겨울철 근무일을 기준으로 하였고, 전기에너지주택 부하곡선은 기존의 난방용 전열기구를 배제하고 이를 히트펌프가 대체하는 것으로 가정하였다. 또한, 히트펌프는 부분축열을 적용함으로써 난방부하의 이전을 통해 부하율을 높일 수 있는 것으로 하였으며, 기존 주택은 전력계통의 부하율 수준인 70%(보수

Table 4 Daily electricity demand creation (MW)

Hour	Replace	New	Total	Hour	Replace	New	Total
1h	159	794	953	13h	270	906	953
2h	169	733	902	14h	269	906	902
3h	168	705	873	15h	273	916	873
4h	164	720	884	16h	272	899	884
5h	165	743	908	17h	274	950	908
6h	159	722	881	18h	115	919	881
7h	90	691	781	19h	66	984	781
8h	92	806	898	20h	125	1046	898
9h	158	879	1,037	21h	126	1018	1,037
10h	157	831	988	22h	129	989	988
11h	160	853	1,013	23h	118	950	1,013
12h	267	978	1,245	24h	159	929	1,245

적으로 잡은 수치로서 실제 주택의 부하율은 이보다 낮음), 전기에너지주택은 현재 테스트베드에서 시험하고 있는 수준인 83%로 부하율을 가정하였다.

전기에너지주택 도입으로 증가된 전력수요를 공급하기 위해 투입되는 발전원의 종류를 제5차 전력수급기본계획 상의 발전설비 건설계획을²³⁾ 참고하여 시나리오를 구성하였다. 그린홈 100만호 보급사업과 흐름을 맞춰²⁴⁾ 2024년까지 기존의 계약전력 3kW 가스병용주택이 13kW의 전기에너지주택으로 70만호 교체되고, 추가로 100만호가 신규 보급된다고 가정하면, Fig. 4의 부하곡선을 바탕으로 하여 Table 4와 같이 추가로 전력수요가 발생한다고 볼 수 있다.

3.4 전력공급원의 CO₂ 배출량 변화

전기에너지주택에 의하여 증가된 전력수요를 원자력, IGCC, 연료전지 등의 청정발전으로 공급한다고 가정하면, 발전원의 종류에 따라 CO₂ 배출량에 차이가 있기 때문에 본 논문에서는 원자력 중심, IGCC 중심, 연료전지 중심으로 크게 세 가지의 전력공급원 시나리오를 구성하여 CO₂ 배출량을 비교하였다. 원자력의 경우 통상적인 발전설비 용량인 1,000MW, IGCC의 경우 300MW를 1기의 기준으로 하였으며,

Table 5 Generation scenario for all-electric houses (MW)

Hour	Scenario #1			Scenario #2			Scenario #3		
	Nuclear	IGCC	Fuel Cell	Nuclear	IGCC	Fuel Cell	Nuclear	IGCC	Fuel Cell
1h	1000	-	-	-	900	53	-	300	653
2h	1000	-	-	-	900	2	-	300	602
3h	1000	-	-	-	900	-	-	300	573
4h	1000	-	-	-	900	-	-	300	584
5h	1000	-	-	-	900	8	-	300	608
6h	1000	-	-	-	900	-	-	300	581
7h	1000	-	-	-	900	-	-	300	481
8h	1000	-	-	-	900	-	-	300	598
9h	1000	-	37	-	900	137	-	300	737
10h	1000	-	-	-	900	89	-	300	689
11h	1000	-	14	-	900	114	-	300	714
12h	1000	300	-	-	1200	-	-	300	945
13h	1000	300	-	-	1200	-	-	300	877
14h	1000	300	-	-	1200	-	-	300	876
15h	1000	300	-	-	1200	-	-	300	889
16h	1000	300	-	-	1200	-	-	300	871
17h	1000	300	-	-	1200	23	-	300	923
18h	1000	-	34	-	900	134	-	300	734
19h	1000	-	49	-	900	149	-	300	749
20h	1000	-	170	-	1200	-	-	300	870
21h	1000	-	145	-	1200	-	-	300	845
22h	1000	-	118	-	1200	-	-	300	818
23h	1000	-	69	-	1200	-	-	300	769
24h	1000	-	88	-	1200	-	-	300	788

연료전지의 경우 본 논문에서는 종류 및 사용연료 등의 상세 특성과 관계없이 기동정지시간이 긴 원자력발전과 달리 부하의 변화에 빠르게 대응할 수 있는 특성을 고려하여 소규모의 1MW 단위의 발전이 가능한 발전원으로 가정하였다. 시나리오를 Table 5

Table 6 CO₂ emission by scenarios (ton/day)

Plant	Nuclear	IGCC	Fuel Cell	Total
Scenario #1	216	1,391	184	1,791
Scenario #2	0	19,248	180	19,428
Scenario #3	0	5,566	4,514	10,080

Table 7 Monthly CO₂ emission comparison (ton/month)

Item	CO ₂ Emission(ton/month)
Conventional House (①)	2,517,700
All-electric House (②)	2,126,700
CO ₂ Reduction (①-②)	391,000
Scenario #1	53,739
Scenario #2	582,834
Scenario #3	302,401

에 보였으며, 발전원별 CO₂ 배출량 환산계수²¹⁾를 적용하여 그 차이를 Table 6에 비교하였다.

겨울철 전기에너지주택에 전력을 공급하기 위해 배출되는 CO₂의 양은 원자력 중심의 시나리오에 비하여 IGCC 중심의 시나리오는 약 11배가 많고, 연료전지 중심의 시나리오는 약 6배 정도가 많게 나타났다. IGCC의 경우 기존의 석탄화력발전과 비교하여 실제적인 CO₂ 배출량의 저감 효과가 없다는 견해²⁵⁾와 같이 향후 청정의 전력공급원으로서 해결해야 할 과제가 많음을 시사하고 있다.

4. 전기에너지주택의 수소경제 견인

4.1 전기에너지주택에 의한 탈탄소화

전기에너지주택의 보급은 주택 자체에 의한 CO₂ 배출량 저감과 증가된 전력수요를 공급하기 위한 발전소의 CO₂ 배출량 증가를 동시에 야기하는데, Table 7에서 보는 바와 같이 2024년 기준 170만호에 의한 월간 배출량을 종합적으로 평가하면 시나리오 #1과 #3을 적용할 경우에는 CO₂ 배출량은 감소하게 되어 있다. 이상에서 확인할 수 있듯이 전기에너지주택의 보급 전략은 발전소 건설계획과 동시에 고려되어야 효과가 있다. 즉, 단순한 보급모형으로는 시기 적절한 보급이 이루어질 수 없고, 실적 위주의 주택 보급으로는 전력공급능력 부족으로 인한 정전사고와 같이 전력계통에 물리적, 경제적 악영향을 가져올 수 있다. 따라서 본 논문에서는 탄소 배출량을 주요 판단기준으로 하여 전기에너지주택의 보급을 논하였

고, 전기에너지주택의 보급 최종 단계는 우리나라 모든 주택을 전기에너지주택으로 바꾸는 것으로서, 이 단계를 비로소 수소경제 패러다임의 시작으로 보고자 한다. 아울러 전기에너지주택의 보급 성숙기에는 가정용 연료전지의 경제성 및 기술적 안정성을 바탕으로 한 단계 더 나아가는 수소경제사회의 태동기라 할 수 있을 것이다. 즉, 전기에너지주택의 보급에 따른 전기 공급 및 사용 인프라는 연료전지의 전력계통 연계를 기술적으로 용이하게 하기 때문에 보다 빠르고 경제적인 연료전지 보급을 유도할 수 있다.

4.2 보급지원정책에 의한 수소경제 견인

최근 수소에너지 니치와 관련 연구²⁶⁾에서 연료전지자동차의 등장에 따른 자동차산업의 변화를 언급한 바 있는데, 전기에너지주택은 연료전지와 같이 물리적으로 직접 수소와 관련이 있지는 않으나, 건축 및 관련 설비 산업의 변화를 가져올 수 있다는 점과 의식주의 한 요소가 변화한다는 점에서 수소경제 실현을 위한 또 하나의 니치라고 할 수 있겠다.

전기에너지주택은 기존의 주택과 달리 고기밀, 고단열 건축재료를 사용하고 히트펌프와 같이 아직까지 고가인 장치를 설치하기 때문에 건축비가 상승할 수밖에 없으며, 이에 따라 보급 초기에는 지원정책의 도입이 필수불가결하다. 고효율기기, 신재생에너지 등도 지속적으로 다양한 지원 프로그램이 시행되고 있으며, 이를 위한 각종 평가 틀이 사용되고 있다. 전기에너지주택은 수소경제라는 새로운 패러다임으로 옮겨가기 위한 과도기에 탈탄소화를 촉진하여 수소경제를 보다 앞당길 수 있는 아이템으로서, 다양한 보급지원정책의 평가와 도입이 필요하다. 우선적으로 기존 주택과 달리 많은 전력의 사용을 필요로 하고 사용량 또한 증가하기 때문에, 고객이 가장 민감하게 생각하는 요금제도의 개선이 선행되어야 한다. 현재 주택용 전기요금제도는 6단계의 누진제가 적용되고 있기 때문에 전기에너지주택에는 적용이 불가능하며, 3단계 누진제, 전기에너지주택 전용 요금제, 일부 일반요금제의 적용 등 다양한 시도가 있어야 하

며, 가장 적합한 요금제도의 수립 및 평가를 위하여 정부의 의지가 필요하다고 할 수 있다. 아울러, 향후 점진적인 전기요금 정상화에 따라 현재보다 증가하게 되는 전기요금 수준까지 고려하여 보다 정밀한 경제성 평가가 필요로 되며, 이와 관련하여 국가, 고객, 에너지공급자 등의 입장을 고려한 종합적인 포트폴리오에 관한 기존 연구²⁷⁾를 활용할 수 있을 것이다.

현재 지열 히트펌프를 설치한 고객에게는 히트펌프를 가동하기 위한 전기에 한해서는 일반요금제도를 적용하는 외에도 지열 설비를 설치할 경우 신재생에너지 관련 지원금이 지급되고 있는데, 향후 공기열 히트펌프에 대해서는 신재생에너지로서 지원이 필요하다. 유럽의 경우에는 이미 공기열 히트펌프를 신재생에너지의 하나로 취급하고 있으며, 전기화된 주택의 한 구성요소로 자리잡고 있는 실정이다.

또한, 현재 신재생에너지, 고효율기기, 저에너지 건물 등 개별로 지원되고 있는 각종 정책을 하나의 패키지 형태로 통합하고 탄소배출량 저감 수준을 기준으로 하여 운영할 필요가 있다. 이는 각 프로그램이 관련 기관 개별적으로 운영되는 데서 따른 비효율성과 중복 지원을 예방하고 최적의 에너지 절감 및 탄소배출량 저감이 가능하도록 하는 취지에서 진행되어야 하며, 결국 최종 목적지는 수소경제를 견인하는 것으로 잡을 때 산, 학, 연, 관 등 관련 주체들이 일관된 목소리를 내고 가장 최적의 결과를 도출할 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 논문에서는 최근 이슈가 되고 있는 저에너지주택 중 전기만을 에너지로 사용하는 전기에너지주택의 보급기반 구축을 위하여 수소경제 관점에서 탈탄소화 기여도를 평가하였다. 전기에너지주택 도입시 주택 자체에 의한 CO₂ 배출량 저감과 증가된 전력수요를 공급하기 위한 발전소의 CO₂ 배출량 증가를 비교하고 전력수급의 전략에 따라 전기에너지주택이 CO₂ 배출량 저감에 기여할 수 있음을 확인하였으며, 발전원에 따라서는 악영향을 줄 수도 있으므로 적정

한 전원 건설계획이 병행되어야 함을 지적하였다. 전기에너지주택은 화석연료의 직접연소를 배제함으로써 CO₂ 배출량을 최소화하여 여타 저에너지주택에 앞서 먼저 보급될 수 있는 형태의 주택으로서, 전기에너지주택의 보급은 향후 스마트 그리드의 확산과 함께 전기의 공급 및 이용 관련 인프라를 고급화함으로써 연료전지와 같은 수소 관련 기술이 진입하기 용이하도록 할 수 있으며, 최종적으로 수소경제 패러다임으로 전환시킬 수 있는 단초가 될 수 있다. 즉, 본 논문에서 초점을 맞춘 전기에너지주택의 보급기반 구축은 결국 수소경제사회로 가는 기반의 초석이라 할 수 있다. 향후에는 전기에너지주택의 보급촉진을 위한 적정 지원금 산정에 관한 연구가 진행될 필요가 있으며, 아울러 전기에너지주택의 수소경제 진입 정도를 수리모형화하고 관련 경제주체별 경제성을 평가하는 연구가 요청된다.

참 고 문 헌

1. John M. Ogden, "Prospects for Building a Hydrogen Energy Infrastructure", Annual Review of Energy and the Environment, Vol. 24, 1999, pp. 227-279.
2. Jeremy Rifkin, "The Hydrogen Economy", 2002.
3. T.H. Yang, et. al., "Development of the 5kW Class Polymer Electrolyte Fuel Cell System for Residential Power Generation", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 14, No. 1, 2003, pp. 35-45.
4. W.Y. Lee, et. al., "Operation Performance of a Polymer Electrolyte Fuel Cell Cogeneration System for Residential Application", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 16, No. 4, 2005, pp. 364-371.
5. Sangseok Yu, et. al., "A Dynamic Simulation Model for the Operating Strategy Study of 1kW PEMFC", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 19, No. 4, 2008, pp. 313-321.
6. Suyoung Hwang, et. al., "A Simulation based Study on the Economical Operating Strategies for a Residential Fuel Cell System", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 20, No. 2, 2009, pp. 104-115.
7. M.S. Lim, et. al., "Analysis of Hydrogen Production Cost by Production Method for Comparing with Economics of Nuclear Hydrogen", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 17, No. 2, 2006, pp. 218-226.
8. Bongjin Gim, et. al., "Economic Evaluation of Hydrogen Production by Fermentation", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 19, No. 2, 2008, pp. 145-155.
9. Bongjin Gim, et. al., "Economic Evaluation of Domestic Photobiological Hydrogen Production", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 19, No. 4, 2008, pp. 322-330.
10. Bongjin Gim and Jongwook Kim, "Economic Evaluation of Domestic Photoelectrochemical Hydrogen Production", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 21, No. 1, 2010, pp. 64-71.
11. Kyo-Sang Ahn, et. al., "Economic Evaluation on a Private Electric Generation Application in Unelectrified Remote Islands in Korea", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 14, No. 4, 2003, pp. 348-358.
12. Seongkon Lee, et. al., "Strategy of Energy Technology Development for Establishing the Hydrogen Economy", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 18, No. 2, 2007, pp. 207-215.
13. H.D. Choi, M.K. Lee and S. Park, "Long-term and Short-term Scenarios Analysis for Hydrogen Techno-economic Regime", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 16, No. 3, 2005, pp. 296-305.
14. KEMCO, Energy and Climate Change Handbook, 2011, pp. 5-7.
15. KEPCO Management Research Institute, A

- Feasibility Study for the Introduction of Next Generation All-electric Houses, 2008.
16. Sungwook Hwang, et. al., "An Analysis on the Diffusion Environments of All-electrified Houses in Korea and Japan", Proceedings of KIEE Smart Grid Society Conference, 2010. 5, pp. 274-282.
 17. F.M. Bass, "A New Product Growth Model for Consumer Durables", Management Science, Vol. 15, 1969, pp. 215-227.
 18. F. M. Bass, "New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research", Journal of Marketing, Vol. 54, 1990, pp. 1-26.
 19. Sungwook Hwang, et. al., "Development of Modified Diffusion Models for Heat Pump Subsidy Programs Integrated with Existing DSM Programs", Proceedings of 10th IEA Heat Pump Conference, 2011.
 20. KEPCO, Statistics of Electric Power in Korea, 2011.
 21. <http://www.kpx.or.kr> (Web Site of Korea Power Exchange)
 22. KEPCO, Development of Accurate Load Model for Detailed Power System Stability Analysis (Appendix), 2001, p. 40.
 23. Ministry of Knowledge Economy of Korea, "The 5th Basic Plan for Long-term Electricity Supply and Demand", 2010. 12, pp. 69-70.
 24. <http://greenhome.kemco.or.kr> (Green Home Web Site of KEMCO)
 25. S.C. Moon, "IGCC, Promising Clean Coal Technology?", LG Business Insight, Vol. 1002, 2008, pp. 42-48.
 26. Sangook Park, "Strategic Niche Management for Enhancing Feasibility of the Hydrogen Economy", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 22, No. 2, 2011, pp. 274-282.
 27. Ministry of Knowledge Economy of Korea, A Study on Optimal Portfolio Apportionment Method and Building Priority of DSM Programs for Maximizing Benefit-Cost Effectiveness: Final Report, 2010.