

LEED 인증 받은 학교건축사례에서 재생에너지 활용 연구 분석 - 태양광 및 태양열 에너지를 중심으로 -

A Study on the Applications of Renewable Energy in LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) Certified School Projects - Focused on Solar and Thermal Energy -

윤혜경*

Yoon, Hea-Kyung

우승현**

Woo, Seung-Hyun

최효식***

Choi, Hyo-Sik

Abstract

The purpose of this study is to analyze the state-of-the-art solar energy system design cases among LEED(Leadership in Energy and Environmental Design) certified school projects and to explore the feasibilities for their applications in domestic school design. Investigating the sold wattages in some kinds of buildings, the wattages per an educational facility is the second-largest after that per an industrial facility. That shows that our attention should be actively directed to the utilization of New and Renewable Energy in school facilities. Therefore photovoltaics systems, lighting systems and solarthermal facilities of solar energy systems were analyzed in the LEED cases. Findings demonstrate that applications of solar energy systems in K-12 educational facilities have been executed more than those in higher educational facilities. However, K-12 educational facilities and higher educational facilities by private funds are not categorized as Green Buildings by Support for Making Green Buildings Act. That fact is needed to be amended. Besides that, design developments are needed for building integrated photovoltaics systems and solarthermal facilities in domestic educational facilities.

키워드 : 교육 시설, 미국 친환경건축인증, 태양광 발전 시스템, 채광 시스템, 태양열 장치

Keywords : Educational Facilities, LEED(Leadership in Energy and Environmental Design), Photovoltaics System, Lighting System, Solarthermal Facility

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

근래에 세계 곳곳에서 나타나는 급격한 기후변화의 속도를 늦추는 것이 중요하다는 인식을 가지고 세계 여러 국가들이 여러 노력들을 하고 있고, 그 결실로 1997년에 선진국의 온실가스 감축을 위한 교토의정서를 채택하여

* 정회원, 홍익대 건축학과 조교수, 공학박사, 교신저자
(yoonh@hongik.ac.kr)

** 정회원, 홍익대 실내건축학과 조교수, 미국건축사

*** 정회원, 한양여대 인테리어디자인과 조교수, 건축학박사, 건축사
이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(20120003544)

2005년 2월부터 발효하고 있다. 이에 따라 국내에서도 다양한 노력들이 있어왔다. 그러한 최근의 내용들을 살펴보면, 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법이 2012년 1월부터, 저탄소 녹색성장 기본법이 4월부터 시행되고 있다. 또한 건축계에 적용되는 녹색건축물 조성 지원법이 2013년 2월부터 발효되었다. 여기에서 '녹색건축물'이란 에너지이용 효율 및 신·재생에너지의 사용비율이 높고 온실가스 배출을 최소화하는 건축물을 의미한다고 저탄소 녹색성장 기본법 제54조에서 명시하고 있다. 기본적으로 석탄, 석유와 같은 화석연료가 연소하면서 이산화탄소가 발생한다. 그러므로 온실가스 감축을 위해서는 화석연료의 사용량을 줄여야하고, 그러면서도 지속적인 경제발

전을 이루기 위해서는 현재 사용하는 에너지의 효율이 높은 기기를 사용하고 화석연료가 아닌 다른 에너지의 사용 비율을 높이는 의미가 있다고 해석된다.

이러한 시점에서 국내의 학교 건축에서 신재생에너지와 관련된 부분으로 어떠한 내용들이 적용가능한지를 해외 학교 사례들을 통해 살펴볼 필요가 있다. 많은 신·재생에너지 분야에서 지형적 조건에 비교적 자유롭고 초기 에너지 지원 자체에 비용을 지불할 필요가 없는 태양에너지와 관련된 부분인 태양광 및 태양열 에너지 활용 부분을 이 논문에서는 중점적으로 살펴보고자 한다.

1.2 연구 배경 및 목적

학교건축에서 녹색건축물로 인정받는 가장 일반적이고 객관적인 방법은 국내·외 친환경 건축물 인증을 받는 것일 것이다. 국내의 친환경 건축물 인증제도(GBCC, Green Building Certification Criteria)를 비롯하여 각 나라마다 자국의 친환경 건축물 인증 제도를 보유하고 있다. 미국의 친환경 건축물 인증 제도인 LEED(Leadership in Energy and Environmental Design), 영국의 경우는 BREEAM (Building Research Establishment(BRE) Environmental Assessment Method), 일본의 CASBEE(Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency), 중국의 GBAS(Green Building Assessment System) 등이 그것이다.

이 중에서 LEED는 국내에서도 2012년 말에 30여 건물들이 LEED 인증을 취득했을 정도로 가장 활발히 전 세계에서 이용하고 있다. 그러므로 우선 이 연구에서는 신·재생에너지 관점에서 학교건축과 관련된 LEED 사례들의 태양광 및 태양열 에너지 활용 부분을 특히 중점적으로 살펴보고, 앞으로 국내 학교건축에서의 적용 및 개선 가능성을 알아보고자 한다.

이에 대한 구체적인 방법 및 절차는 다음과 같다.

첫째, 학교건축과 관련된 부분에서 소비되는 에너지양과 전력량에 관한 문헌과 이와 관련된 정책들에 관한 자료들을 발췌하여 분석하여 본다.

둘째, 건축에서 사용되는 일반적 태양광 및 태양열 에너지 시스템을 건물 디자인에서 고려되는 사항들과 연계하여 정리한다.

셋째, 국외 LEED 학교건축 사례들 중 신·재생에너지 사용에 관한 부분들에서 사용된 태양광 및 태양열 에너지 시스템들을 분류하고 새로운 경향을 분석한다.

마지막으로, 국내 학교건축에서 사용가능한 신·재생에

너지로서의 태양광 및 태양열 에너지 시스템들의 방향을 제안한다.

2. 에너지 소비량 및 관련 법규

2.1 학교에서의 에너지 및 전력 소비량

학교에서 사용되는 에너지원들의 종류와 크기를 2011년도 에너지총조사보고서¹⁾에서 살펴보면 <표 1>과 같이 전력이 55.54 퍼센트, 도시가스가 39.16 퍼센트를 차지하고 있다. 정제가 가능한 최종형태의 고급 에너지원인 전력을 학교에서는 전체 에너지원의 절반이상으로 사용하고 있는 것이다. 그 외에도 석유와 지역난방이 일부 사용되고 있다.

교육용으로 소비된 전력량과 월별 판매 전력량을 알아보기 위해 2011년 한국전력통계²⁾를 살펴보면 <표 2>와 <표 3>과 같다. <표 2>에서 보면, 교육용으로 판매된 전력량은 전체에서 가로등에 사용된 전력량 다음으로 가장 적은 1.66 퍼센트에 지나지 않는다. 미미한 것 같지만, 호당 사용된 전력량을 살펴보면 218.57 MWh³⁾이다. 이는 산업용 다음으로 많은 호당 사용 전력량이다. 즉 교육용으로 판매된 전력량이 전체에서 보면 적은 것 같지만, 한 학교

Table 1. Energy source consumption of schools in 2011
(표 1. 2011년도 학교의 에너지원별 소비량)

분야 단위	전력	도시가스	석유	지역난방	합계
toe*	134,132.0	94,573.4	6,509.8	6,304.8	241,520.1
%	55.54	39.16	2.70	2.61	100

* toe는 ton of oil이라는 의미이고, 단위가 다른 각각의 에너지원들을 비교가 용이하도록 석유로 환산하여 톤으로 표기하는 단위임.

Table 2. Sold wattages in some kinds of buildings in 2011
(표 2. 2011년도 용도별 판매 전력량)

단위 용도	MWh	%	호 수	호당사용 MWh
산업용	251,490,648	55.26	358,220	702.06
교육용	7,568,016	1.66	34,625	218.57
일반용	99,504,065	21.87	2,710,906	36.71
심야	18,606,840	4.09	922,082	20.18
농사용	11,231,538	2.47	1,335,748	8.41
주택용	63,523,655	13.96	13,181,372	4.82
가로등	3,145,498	0.69	1,271,913	2.47
합계	455,070,261	100	19,814,866	

- 1) 에너지경제연구원, 2011년도 에너지총조사보고서, pp.676, 2012
- 2) 한국전력공사, 제 81호(2011년) 한국전력통계, pp.118, pp.120~121, 2012
- 3) 메가와트시(時)라고 칭하며, megawatt-hour의 의미이다. 100만와트시 라고도 한다.

Table 3. Monthly sold wattages in educational buildings in 2011
(표 3. 2011년도 교육용 월별 판매 전력량)

단위	월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	평균
		7월	8월	9월	10월	11월	12월	
MWh		815,086	738,342	713,057	659,104	503,845	530,530	630,668
		601,700	573,314	612,317	502,417	563,706	754,598	

당 사용된 전력량은 매우 크다는 것을 보여준다.

교육용 월별 판매 전력량을 살펴보면 한 가지 주목되는 점이 있다. <표 3>에서 나타나듯이, 12월부터 4월까지의 전력 사용량이 1년 평균 전력량을 넘는다는 점이다. 보통 생각하기에 여름과 겨울에 전력사용량이 평균보다 많고, 봄과 가을에 전력량이 평균보다 적기를 기대할 수 있을 것이다. 이 부분은 2011년 여름이 예년보다 덥지 않았던 점이 원인일 수도 있고, 국내의 학교에 냉방장치가 일반적으로 보급되어 있지 않은 점이 원인일 수도 있다. 또한 통풍이 되는 교실배치로 인해 자연냉방효과가 높다는 의미일 수도 있고, 겨울보다 여름에 수업일수가 더 적을 수도 있다. 또한 겨울방학과 여름방학도 영향을 미칠 것이다. 그러나 일반적으로 겨울에 학교의 전력 사용량이 많다는 것은 국내 학교의 난방이 전력으로 운용되는 형태라는 의미일 수 있다. 이는 두 가지 의문점을 내포하고 있다고 우선 볼 수 있다. 전력난방형태가 국내 학교에 적합인가와 국내학교의 자체 전력생산은 이루어지고 있는가이다. 즉 신재생에너지 사용 등으로 국내학교의 전력생산 가능성을 살펴볼 필요가 있다는 것이다.

2.2 신·재생 에너지 개발·이용·보급 촉진법

신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법⁴⁾에서 정의하고 있는 신·재생에너지는 태양에너지, 바이오에너지, 풍력, 수력, 연료전지, 석탄을 액화·가스화한 에너지 및 중질잔사유(重質殘渣油)를 가스화한 에너지, 해양에너지, 폐기물에너지, 지열에너지, 수소에너지, 그 밖에 석유·석탄·원자력 또는 천연가스가 아닌 에너지이다.

재생에너지에 속하는 것들은 동식물, 유기물, 햇빛, 바람, 물, 지열 등을 이용하여 변환하는 에너지가 되는 것을 의미하며, 태양광에너지, 태양열에너지, 바이오에너지, 풍력에너지, 수력에너지, 해양에너지, 폐기물에너지, 지열에너지 8개 분야로 구분된다. 신에너지는 연료전지, 석탄을 액화·가스화한 에너지 및 중질잔사유를 가스화한 에너지, 수소에너지 3개 분야를 지칭한다. 그 중에서 태양에너지는 사람이 지구에 살기 시작하면서 건축에서 지속적으로 사

4) 법제처, 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법, 2012

Table 4. Solar energy equipment(표 4. 태양 에너지 설비)

분 류		설 명
태양 에너지 설비	태양열 설비	태양의 열에너지를 변환시켜 전기를 생산하거나 에너지원으로 이용하는 설비
	태양광 설비	태양의 빛에너지를 변환시켜 전기를 생산하거나 채광에 이용

용되어 왔다고 할 수 있지만, 앞으로도 그 잠재력이 크다. 가장 큰 장점은 에너지원 자체에 따로 비용을 들이지 않고 얻을 수 있으며, 무공해이고, 지구표면의 단위 면적 1제곱미터당 1시간에 800kcal정도로 그 에너지원이 무한하다는 점이다. 단점은 사람이 사용할 수 있는 전기나 열로 변환시키기 위해 태양에너지를 수거할 때 다른 에너지원들과 비교하여 그 밀도가 아주 낮아 상대적으로 효율이 높지 않다는 점이다.⁵⁾ <표 4>에서 태양에너지 설비의 종류와 정의에 관해 정리하였다.⁶⁾

2.3 저탄소녹색성장기본법과 녹색건축물조성지원법

2012년 4월에 시행된 저탄소 녹색성장 기본법에 따른 일환으로 녹색건축물 조성 지원법이 2013년 2월부터 발효되었다.

저탄소 녹색성장 기본법은 그 목적을 ‘경제와 환경의 조화로운 발전을 위하여 저탄소 녹색성장에 필요한 기반을 조성하고 녹색기술과 녹색산업을 새로운 성장 동력으로 활용함으로써 국민경제의 발전을 도모하며 저탄소 사회 구현을 통하여 국민의 삶의 질을 높이고 국제사회에서 책임을 다하는 성숙한 선진 일류국가로 도약하는 데 이바지하는 것’이라고 밝히고 있고, 저탄소 녹색성장에 관하여는 다른 법률에 우선하여 이 법을 적용한다고 되어 있다. 이에 따라 녹색건축물 조성 지원법을 살펴보면, ‘저탄소 녹색성장 기본법에 따른 녹색건축물의 조성에 필요한 사항을 정하고, 건축물 온실가스 배출량 감축과 녹색건축물의 확대를 통하여 저탄소 녹색성장 실현 및 국민의 복리향상에 기여함을 목적으로 한다’고 명시하고 있다.

건축과 직접적으로 관련되는 부분들만 보면, 저탄소 녹색성장 기본법 제 54조 5항에서 ‘신축 또는 개축되는 건축물에 전력소비량 등 에너지의 소비량을 조절·절약할 수 있는 지능형 계량기를 부착·관리하도록 할 수 있다.’라고 밝히고, 녹색건축물 조성 지원법에서 지역별 건축물의 에너지 총량 관리 및 개별 건축물의 에너지 소비 총량 제

5) 조용덕·이상화, 신재생에너지, pp.64~66, pp.112~113, 파주: 한국학술정보, 2011

6) 법제처, 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행규칙, 2012

Table 5. Buildings categorized as Green Buildings
(표 5. 녹색건축물 적용 건축물)

건축물 종류	건축물 종류를 정의하는 관련 법률
공공기관	공공기관의 운영에 관한 법률 제4조
지방공사, 지방공단	지방공기업법 제49조와 제76조
연구기관, 연구회	정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률 제8조와 제18조, 과학기술분야 정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률 제8조와 제18조
지방자치단체출연 연구원	지방자치단체출연 연구원의 설립·운영 및 육성에 관한 법률 제4조
병원	국립대학병원 설치법, 국립대학치과병원 설치법, 서울대학교병원 설치법, 서울대학교치과병원 설치법
국립대학, 공립대학	고등교육법 제3조

한 등에 대한 내용과 에너지 절약 계획서 제출에 관한 사항을 표명하고 있다. 즉, 지능형 계량기로 측정해서 개별 건축물의 에너지 사용량을 밝히고 지역별로 건축물의 에너지 총량을 관리하라는 취지라고 보인다. 에너지 절약 계획서 내용이 사실이 아니거나 수행에 거짓이 있을 때 그에 따른 과태료 이천만원 이하 부과 내용도 담고 있다. <표 5>에서는 녹색건축물이 시범적으로 적용되는 건축물들을 정리하여 보여주고 있는데, 국립 및 공립대학이 속하여 있음을 알 수 있다.⁷⁾

3. 재생에너지로서의 태양 에너지와 건축 디자인

태양광 설비와 태양열 설비가 무엇을 의미하는지에 대해 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행규칙에서 정의하는 내용을 <표 4>에서 살펴보면, 태양광 설비는 태양의 빛에너지를 변환시켜 전기를 생산하거나 채광에 이용하는 것이라고 되어있다. 또한 태양열 설비는 태양의 열에너지를 변환시켜 전기를 생산하거나 에너지원으로 이용하는 설비라고 규정짓고 있다.

그러므로 여기에서 태양광 설비로는 태양의 빛에너지를 변환시켜 전기를 생산하는 태양광 발전 시스템, 태양의 빛에너지를 변환시켜 채광에 이용하는 채광 시스템으로 나누어 살펴보고자 한다. 태양열 설비로는 태양의 열에너지를 변환시켜 난방이나 온수에 이용하기 위한 에너지원으로 이용하는 설비인 태양열 장치를 중심으로 보았다. 태양의 열에너지를 변환시켜 전기를 생산하는 태양열 발전 시스템은 섭씨 천도에 가까운 열을 얻은 다음 이 열을 이용하여 전기를 생산하는 방식이라 건축디자인에 직접적인 사용은 어렵

7) 법제처, 저탄소 녹색성장 기본법 시행령 제 43조(녹색건축물의 확대 등), 2012

고 도시계획 또는 국토계획 정도의 차원에서 응용된다고 여겨져 이 논문에서는 구체적으로 다루지 않았다.

3.1 태양광 발전 시스템의 국내외 현황⁸⁾⁹⁾

국외의 경우 북미, 아시아, 유럽 등지에서 태양광 발전 시스템의 중요도를 인식하고 그와 관련한 기술 연구가 활발히 진행되고 있다. 전 세계적으로 2010년도에는 태양광 발전 시스템의 핵심 부품인 태양전지 시장이 2009년도보다 두 배가 되었고, 2011년도에는 30퍼센트 정도 더 증가하였다.

유럽의 경우 독일이 특히 태양전지 공급과 수요 측면에서 압도적인 선두를 차지하고 있는데, 2011년도에 이미 독일 전체 전기 생산의 16퍼센트를 태양전지에서 얻고 있다. 이는 2000년도에 제정된 독일의 재생 에너지원 법률(Renewable Energy Source Act in 2000)의 영향이 지대했다. 이 법률은 태양광 발전 시스템에서 생산된 전기에 대해 20년 동안 기준가격제도를 보장하겠다는 것이다. 이외에도 이탈리아, 스페인, 네덜란드와 같은 유럽의 여러 국가들이 태양광 발전 시스템 관련 정책들을 제정하고, 산업 육성을 위해 노력하며 유럽연합 연구 및 과제를 활발히 진행하고 있다.

아시아의 경우 일본과 중국이 특히 태양광 발전 시스템의 생산과 활용에서 적극적이다.

일본의 경우 특히 주택용 옥상 태양광 발전 시스템이 매우 활성화되어 일본 태양전지 시장의 95퍼센트를 차지하고 있다. 이는 거주가능 면적이 적고 땅값이 비싼 일본의 특성상 건물의 지붕에 태양광을 적용하는 것이 경제적이기 때문이다. 2011년 3월 일본의 후쿠시마 원전 사고로 일본의 경제산업성(Ministry for Economy, Trade and industry)은 2012년 6월에 재생 에너지원을 위한 새로운 기준가격제도를 제시하여 주택부분야외에도 일본의 다른 상업건축분야에서도 태양광 발전 시스템 활성화를 도모하고 있다.

중국은 재생에너지 분야에서 아주 적극적인 자세를 보이며, 태양광 발전 시스템의 적극적인 성장세를 보이고 있다. 2011년에는 3.3GW((기가와트, 10억와트)의 전기를 태양광 발전 시스템에서 생산할 수 있도록 했는데, 이는 2010년도와 비교하여 400퍼센트 성장한 것이다. 2011년 우리나라는 0.8GW, 독일은 7.5GW, 일본은 1.3GW 전기를 태양광 발전 시스템에서 생산할 수 있다. 2012년 8월에 중국 에너지국

8) European Commission, PV Status Report 2012, pp.13~23, 2012

9) EPIA, Connecting the Sun: Solar Photovoltaics on the Road to Large-Scale Grid Integration, pp.30, 2012

(National Energy Administration)은 2011-2015년의 신·재생에너지 5개년 계획을 발표하였는데, 2015년까지 전체 에너지의 11.4퍼센트를 재생에너지로 공급한다는 것이다. 이 중에서 21GW를 태양에너지 발전으로 얻고, 태양광 발전으로 20GW, 태양열 발전으로 1GW를 얻는다는 내용이다.

미국의 경우, 독립형 시스템과 국외 설치 등에 중점을 두고 태양광발전산업을 육성시켜왔으며 최근 자국 내 시장 확보와 건물통합형 태양광 발전 시스템(BIPV) 분야의 필요성을 인식하고 지원 정책과 예산 등을 마련하여 추진하고 있다. 2011년에 미국은 4.4GW 전기를 태양광 발전 시스템에서 생산할 수 있다. 특히 미국은 태양광발전 관련 기초 연구 및 실용 기술, 산업에 있어서 선두적인 지위를 확보하고 있으며, 2016년까지 태양광 발전 시스템에서 생산된 9GW 전기를 구입하는 전력구입협정(Power Purchase Agreement)을 추진하고 있다.

태양광 발전 시스템은 독립적으로 건물과 분리되어 옥상이나 외부 빛을 받을 수 있는 장소에 주차장 등의 장소에 설치되거나 직접적으로 자연광을 받는 건물의 외피부분에 지붕이나 벽체 또는 창 의 일부분으로서 설치될 수 있다.

3.2 채광 시스템과 건축디자인

건물에서의 채광은 일반적으로 자연광이 실내에 들어오게 하거나, 전기조명장치를 사용하여 빛을 만들어 내는 것을 의미한다. 건물디자인에서 자연광이 실내에 들어와 조절되는 것으로 자연광 유입시스템과 자연광 조절 시스템으로 나뉜다. 자연광 유입 시스템은 외부의 자연광을 건물 내부

Table 6. Cases with lighting systems
(표 6. 채광 시스템 적용 사례)






건물명	특징	
광덕트 시스템		지붕 위
청라중학교 다목적강당		실내천장
집광판 + 광섬유		지붕 위
Ark Mori 빌딩, 일본		실내벽면

Table 7. Categorization of collector types in solarthermal facilities
(표 7. 태양열 장치의 집열기 형태 분류)

분류		설명	온도 범위 (섭씨)	이용 분야
독립형	반구형 집광형 집열기	 고정형 복합반사면 사용	60~120도	주거·상업용 건물
	선형 집광형 집열기	 유리관 안에 최고 집광 유도하는 반사면 설치	60~120도	
	수조 일체식 평판형 집열기	 집열판과 온수탱크 결합 형태	60~120도	
건물 일체형	평판형 태양열 집열기	 가장 간단 구조 가장 많이 보급 형태	100도 이하	태양열 냉·난방 시스템
	Tubular 형 집열기	 진공 유리관에 열유체 파이프 삽입 형태 강제순환방식	150도 이하	
	진공관형 태양열 집열기	 진공기술과 히트파이프 사용	80~150도	냉·난방 열원

에 들어오게 하는 것으로, 천창(skylights), 창(windows), 광선반(lightshelves), 솟을지붕 채광창(monitors), 고층창(clerestories)이 있고, 자연광 조절 시스템은 자연광 유입시스템에서 들어오는 자연광의 양을 조절 하는 기능을 하여 오버행(overhangs), 핀(fins), 루버(louvers), 창호 재료(fenestration materials), 특별 창호(specialty fenestration), 실내 조절(interior controls)이 그 기능을 한다.

그러나 태양의 빛에너지를 변환시켜 채광에 이용하는 채광 시스템은, 자연광 유입시스템과 자연광 조절 시스템처럼 자연광을 건물에 1차적으로 들어오게 할 수 없는 곳에 기계적 설비를 통해 2차적으로 들어오게 한다는 의미 일 것이다. 그 대표적인 것으로 태양의 빛에너지를 채집하는 집광판을 사용하여 광섬유로 자연광을 실내 원하는 위치까지 보내는 시스템과 광덕트(light duct)시스템이 있다. 이러한 채광 시스템은 태양의 빛에너지를 채집하여야 하기 때문에, 그들이 지지 않고 직사광을 받을 수 있는 지붕 위 등에 설치된다.

3.3 태양열 장치와 건축디자인

개별 건축물에서 난방이나 온수에 이용하기 위해 태양의 열에너지를 변환시키기는 태양열 장치는 우리나라를

비롯하여 세계적으로 사용되고 있다.

주요국의 신·재생에너지 생산량 현황에 대한 에너지관리공단 보고서에 의하면, 태양열 에너지로 2010년도에 한국은 30toe, 일본 410toe, 독일 447toe, 미국 1,567toe를 생산하고 있다고 한다. 국내에서는 그 생산량을 2020년도에는 342toe, 2030년도에는 1,882toe를 목표로 하고 있다.¹⁰⁾

태양열 장치는 <표 7>에서 그 집열기의 형태를 분류하였듯이, 직사광을 받는 건물의 옥상 등에 독립적으로 설치되거나 건물의 지붕이나 입면에 건물 일체형으로 설치될 수 있다. 건물 일체형의 경우 집열기가 공동주택의 창문 하부의 난간의 기능을 겸하며 입면의 일부로 사용되거나 지붕의 일부로 매립형으로 계획되는 경우도 있다.

4. LEED 학교 건축 사례

1998년 LEED 버전 1.0이 나온 이래로 평가항목을 수정하여 2000년에는 버전 2.0, 2002년에는 버전 2.1, 2005년에는 버전 2.2가 나왔다. 2009년에는 건물 디자인과 시공 분야에 따라 다른 점들을 수용하고자 8개 분야로 나누었고, 학교 건축을 위한 LEED도 따로 마련되었다. 학교 건축을 위한 LEED에서는 신축을 위한 LEED와 비교하여 평가항목으로 음향부분 등이 고려되었다. 총 110점이 할당된 LEED의 항목들에서 재생에너지와 관련된 항목은 ‘에너지와 대기(Energy and Atmosphere)’ 영역의 ‘현장의 재생 에너지(On-site Renewable Energy, 배점 1-7)’와 다른 곳에서 생산된 재생에너지를 사용하는 ‘그린 전력(Green Power, 배점 2)’이다. 이 논문에서는 LEED 인증이 신청된 5만여 건의 사례들 중에서 인증을 받았고 평가 자료가 있으며 ‘현장의 재생 에너지’로서의 태양에너지를 사용한, 15개의 초·중·고등학교 사례들과 12개의 대학교 또는 고등교육기관 사례들을 중심으로 살펴보았다.

4.1 LEED 초·중·고등학교 사례

자료들을 구할 수 있었던 LEED인증 받은 15개의 초·중·고등학교 사례들을 분석하여 사용되고 있는 태양광 발전 시스템과 채광 시스템, 태양열 장치를 <표 8>에서와 같이 정리하여 살펴보았다. 태양광 발전 시스템을 독립형으로 지붕에 설치한 경우가 제일 많았고, 건물일체형으로 지붕이나 창문의 차양장치에 설치한 경우도 있었다. 또한 현재는 예산이 없어 설치를 못했지만, 미래에 태양광

Table 8. Cases of LEED K-12 education facilities
(표 8. LEED 초·중·고등학교 사례)

건물명	분류	면적 (제곱미터) / 건립 연도	인증 연도 / 취득 인증	태양광 발전 시스템	태양열 장치 (독립형) -온수 / 채광 시스템
Baca/Dlo'ay azhi Community School		7,300 2003	2004 certified	x	x
Chartwell		2,000 2006	2007 platinum	[전력생산] BIPV:지붕	x
Clackamas 고등학교		25,000 2002	2003 silver	[미래설치] 독립형:지붕, 자전거주차공간	x
Clearview 초등학교		4,100 2002	2004 gold	x	x
Detroit School of Arts		27,000 2005	2005 certified	x	x
EpiCenter, Artists For Humanity		2,200 2004	2005 platinum	[45KW 전력생산] 독립형:지붕	x
Felician Sisters Convent and School		15,000 2003	2006 gold	[2KW 전력생산] 독립형:대지	[640갤런 온수생산] 수조 일체식 평판형
Fossil Ridge 고등학교		28,000 2004	2005 silver	[5.2KW 전력생산] BIPV:창문차양	광덕트 사용 <채광시 스템>
Island Wood		6,600 2002	2002 gold	[23KW 전력생산] 독립형:지붕	[50%건물 온수생산] 수조 일체식 평판형
Jewish Reconstructioni st Congregation		2,900 2008	2008 platinum	x	x
Langston 고등학교		4,700 2003	2003 silver	x	x
Nueva School		2,500 2007	2008 gold	[30KW 전력생산] 독립형:지붕	선형 집광형 집열기
Sidwell Friends 중학교		6,700 2006	2007 platinum	[5% 건물전력 생산] 독립형:지붕	수조 일체식 평판형
Staley 고등학교		29,000 2008	2008 silver	x	x
Third Creek 초등학교		8,500 2002	2002 gold	[미래 설치 공간] 독립형:지붕	x

발전 시스템을 설치할 수 있도록 공간을 미리 계획해 놓은 경우도 있었다.

채광시스템은 Fossil Ridge 고등학교의 경우에만 광덕트를 사용한 사례를 볼 수 있었다.

10) 에너지관리공단, 2012 에너지·기후변화 편람, pp.316~317, 2012

태양열 장치는 온수 사용을 목적으로 독립형인 수조 일체식 평판형을 설치한 경우가 가장 많았다. Nueva 학교는 물저장 탱크가 없는 선형 집광형 집열기를 사용하여 온수를 일부 얻고 있었다.

4.2 LEED 대학교 또는 고등교육기관 사례

LEED 인증을 받은 12개의 대학교 또는 고등교육기관 사례들에서 태양광 발전 시스템과 채광 시스템, 태양열 장치를 분석해 보았다. 채광 시스템과 태양열 장치의 사용은 조사된 사례들 중에서 발견되지 않았다. 그래서 태양광 발전 시스템을 중심으로 표 9에서 그 내용을 보면, 독립형

Table 9. Cases of LEED higher education facilities
(표 9. LEED 대학교 또는 고등교육기관 사례)

건물명	분류	면적 (제곱미터) / 건립 연도	인증 연도 / 취득 인증	태양광 발전 시스템	태양열 장치/ 채광 시스템
Blackstone Station Office Renovation		4,100 2006	2007 platinum	x	x
Dana Building, 미시간대		10,000 2003	2005 gold	[33KW 전력생산] 독립형:지붕	x
École Polytechnique de Montréal		33,000 2005	2005 gold	x	x
Edison Regional Center of Excellence		2,800 2007	2008 certified	x	x
Heimbold Visual Arts Center		5,600 2004	2005 certified	x	x
Lillis Business Complex		13,000 2003	2005 silver	[44KW 전력생산] 독립형:지붕 BIPV:남측커튼월 +아트리움	x
Management Building 조지아테크대학		23,000 2003	2003 silver	x	x
Personnel Support Facility		3,500 2004	2005 silver	x	x
Rinker Hall 플로리다대학		4,400 2003	2004 gold	[미래 설치 공간] 독립형:지붕 BIPV:동·서측입 면 유리	x
Seminar II, Evergreen 주립학교		16,000 2004	2007 gold	x	x
University of Denver College of Law		20,000 2004	2005 gold	x	x
Yale Sculpture Building & Gallery		5,800 2007	2007 platinum	x	x

태양광 발전 시스템을 설치한 경우가 일반적이었고, 건물 일체형 태양광 발전 시스템을 유리부문에 사용한 Lillis Business Complex 사례가 나타났다.

조사한 사례들을 보면, LEED 인증을 받은 초·중·고등학교 사례들에서 재생에너지 시스템으로서의 태양에너지 활용이 대학교 또는 고등교육기관 사례들에서 보다 더 적극적으로 이루어지고 있음을 볼 수 있다. 태양광 발전 시스템의 경우는 비교적 두 그룹에서 나타났지만, 태양열 장치와 채광시스템의 사용은 초·중·고등학교 사례들에서만 나타났다. 이는 어린 학생들에게 재생에너지의 실생활에서 접하는 학습효과에 대한 의도가 있었던 것이 아닌가 여겨진다.

그러나 전체적으로 보아 재생에너지 시스템을 채택하여 새로운 에너지원의 창출보다는 기본적으로 건물 외피의 단열을 강화하고, 태양의 방위에 따른 건물의 오리엔테이션을 기본적으로 고려한 것을 볼 수 있었다. 즉 재생에너지 시스템으로서의 태양에너지 활용보다는 자연광을 최대한 활용할 수 있도록 외피와 창의 자연 채광 디자인에 우선순위를 둔 것을 볼 수 있다. 그럼에도 불구하고, 미래에 태양광 발전 시스템이 설치될 수 있도록 처음부터 공간을 마련해 둔 점이 주목된다. 이는 신·재생에너지에 대한 요구가 도래할 것에 대한 인식을 하고, 예산이 마련되면 이를 적극적으로 수용하겠다는 의지를 읽을 수 있다.

5. 결론

세계적으로 이산화탄소 배출의 주범인 기존의 화석연료 사용에서 벗어나고자 점진적으로 신·재생에너지 사용에 대한 제도적 안배를 하고 있다. 국내에서도 2012년에 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법과 저탄소 녹색성장 기본법, 2013년에 녹색건축물 조성 지원법을 마련해 놓고 있다. 호당 사용한 용도별 판매 전력량을 살펴보면, 교육용으로 사용되는 전력량은 산업용 다음으로 많다. 이는 학교 건물에서 전력을 전체 에너지원의 절반이상으로 사용하고 있는 국내 현황으로 볼 때, 신·재생에너지 사용에 대해 학교 건축에서 적극적으로 관심을 기울여야 함을 보여준다.

그러므로 본 연구는 국내 학교건축에 적용 가능한 최신 태양에너지 시스템들을 미국 친환경건축인증제도 LEED의 학교 사례들을 통해서 분석하여 정리한 것으로, 다음과 같은 내용들이 제안되었다.

첫째, 태양광 발전 시스템은 대학교 또는 고등교육기관에

서 뿐만 아니라 초·중·고등학교에서도 국내에서 적극적으로 활용되도록 제도적으로 권장되어야 한다는 점이다. 그러나 녹색건축물에 적용을 받는 건축물에 초·중·고등학교와 사립대학교 등은 들어가 있지 않아, 이에 대한 시정이 필요하다.

둘째, 학교건축에서 사용가능한 건물일체형 태양광 발전 시스템과 태양열 장치에 대한 디자인 개발이 필요하다. 독립형의 경우 일반적으로 건물 옥상이나 지붕에 설치 가능하지만, 국내처럼 땅이 좁고 인구밀도가 높은 도시에 학교들이 몰려있는 경우 설치 가능한 면적에 사용할 수 있는 건물일체형 태양광 발전 시스템과 태양열 장치에 대한 디자인 개발의 연구와 활용이 필요하다. 지붕이나 벽체의 일부를 대신하는 건물일체형 및 창외 일부에 반투명 태양광 발전시스템을 적용시키는 등의 내용을 국내 학교건축디자인에 맞게 심화시키는 것이 요구된다.

셋째, LEED 학교 사례들에서는 대지가 넓어 상대적으로 채광시스템의 활용이 적었지만, 국내 학교의 경우에는 좁은 대지에 밀집된 형태의 학교건축이 일반적이므로 채광시스템의 활용이 바람직하다.

LEED 학교 사례들에서 국내 학교건축에 적용 가능한 태양에너지 시스템들을 분석한 이 연구를 초석으로, 국내의 환경에 맞는 신·재생에너지 건축디자인에 대한 연구와 실무적용이 필요하다. 객관적 미관 향상과 에너지가 생산되는 신·재생에너지 건축 디자인으로, 국내 학교에서 많은 시간을 보내게 되는 이용자가 더 건강하고 경제적으로도 더 나은 삶이 영위되도록 지속적인 후속 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. Kim, Mi-Rahn, Lee, Ki-Jeong and Park, Hyeon-Soo, A study on the cases of new renewable energy applied buildings in Korea and Germany -Focused on solar and geothermal energy cases, Journal of the Architectural Institute of Korea, 28(3), pp.29-37, 2012
2. Park, Kyung-Eun, Kim, Jin-Hee and Kim, Jun-Tae, Performance evaluation of BIPV systems applied in school buildings, Journal of Korean Institute of Educational Facilities, 11(5), pp.14-23, 2004
3. Park, Jin-Chul, Jeon, Bong-Ku and Rhee, Dong-Ju, A study on comparing and analyzing for green building certification criteria, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 3(3), pp.104-115, 2009
4. Korea Ministry of Government Legislation, Green Building Construction Assistant Act, 2012, <http://www.moleg.go.kr>. Site accessed January 10, 2013
5. Korea Ministry of Government Legislation, New Energy and Renewable Energy Development · Usage · Supply Promotion Act, 2012, <http://www.moleg.go.kr>. Site accessed January 10, 2013
6. Korea Ministry of Government Legislation, New Energy and Renewable Energy Development · Usage · Supply Promotion Act Enforcement Regulations, 2012, <http://www.moleg.go.kr>. Site accessed January 10, 2013
7. Korea Ministry of Government Legislation, Low Carbon Green Development Growth Fundamental Law, 2012, <http://www.moleg.go.kr>. Site accessed January 10, 2013
8. Korea Ministry of Government Legislation, Low Carbon Green Development Growth Fundamental Law Enforcement Ordinance, 2012, <http://www.moleg.go.kr>. Site accessed January 10, 2013
9. Cho, Yong-Duk and Lee, Sang-Hwa, New and Renewable Energy, Paju: Korean Academic Information, 2011
10. Korea Energy Economics Institute, 2011년도 Energy Consumption Survey, 2012, <http://www.keei.re.kr>. Site accessed January 10, 2013
11. Korea Energy Management Corporation, Energy and CLimate Change Handbook 2012, 2012, <http://www.kemco.or.kr>. Site accessed January 10, 2013
12. Korea Electric Power Corporation, 2011 Statistics of Electric Power in Korea, 2012, <http://www.kepco.or.kr>. Site accessed January 10, 2013
13. DiLaura, D. D., Houser, K. W., Mistrick, R. G., and Steffy, G. R., The Lighting Handbook, 10th ed., New York: Illuminating Enginerring Society of North America, 2011
14. European Commission, PV Status Report 2012, 2012, <http://www.emis.vito.be/sites/default/files/articles/1125/2012/PVReport-2012.pdf>. Site accessed January 10, 2013
15. European Photovoltaic Industry Association(EPIA), Connecting the Sun: Solar Photovoltaics on the Road to Large-Scale Grid Integration, 2012, http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/Connecting_the_Sun_Full_Report_converted.pdf. Site accessed January 10, 2013
16. U.S. Green Building Council, Public LEED Project Directory, 2012, <http://new.usgbc.org/projects>. Site accessed January 10, 2013

접수 2013. 1. 30
1차 심사완료 2013. 3. 6
게재확정 2013. 3. 8