

학교건축의 친환경적 계획수법에 대한 사례연구

- 미국, 일본, 한국의 학교건축을 중심으로 -

A Study on Examples of Eco-Friendly School Design

- Focusing on School Facilities in USA, Japan and Korea -

이 지 영* 이 경 선**

Lee, Ji-Young Lee, Kyung-Sun

Abstract

This study aims to identify differences and lessons in eco-school planning techniques and sustainable design methods by analyzing comparatively green building certification system and the cases of sustainable schools in US, Korea and Japan. As a result of the comparative analysis, green building certification system for school facilities, both domestic and international, is categorized into external environment, energy, materials and resources, and indoor environment. From the case study, it is common that roof garden and biotopes are installed for external environment, while energy saving, passive energy utilization methods for natural lighting and ventilation such as arrangement planning, courtyard, top-light, shading devices, solar panel and insulation by roof garden are most frequently used. Also, storm water uses, water saving equipment and sustainable materials are often introduced for resource savings. Concerns for indoor environment is frequently addressed by introducing natural light and ventilation in the buildings, which makes ultimately a comfortable space.

키워드 : 지속가능한 학교, 에코스쿨, 친환경건축물, 친환경건축물 인증제도

Keywords : Sustainable School, Eco-School, Green Building, Green Building Certification System

1. 서론

환경문제에 대한 인식으로 1972년 스톡홀름에서 개최되었던 유엔 환경개발회의(UNCED)에서 처음 지속가능한 환경의 문제가 국제적으로 거론되었다. 그 후, 1992년 브라질 리오데 자네이루에서 열린 리오 유엔 환경 개발회의(UNCED)에서 지속가능한 개발을 기본으로 하는 리우선언을 채택하면서 시대의 화두가 되었다.

지구규모의 환경문제가 사회적으로 커다란 이슈가 되고 있는 현재, 건축분야에서도 주변 환경에의 순응 및 생태환경의 보전, 자원절약 및 보존·재생, 자연에너지의 활용 등을 통하여 자연 친화적이고 에너지 절약적인 지속가능한 개발에 대한 요구가 증대되고 있는 실정이다.

이에 우리나라에서는 BTL사업 등 공공건축물의 발주 시 친환경설계에 대한 가산점을 부여하고 있으며, 친환경 건축물 인증제도를 시행하여 인증을 받은 건축물에는 인센티브를 부여하고 있다¹⁾. 또한 건축물의 에너지절약설계 기준을 수립하여 해당 용도별 일정규모 이상의 건축물은 에너지절약 설계에 관한 기준을 따라야 하며 에너지절약 성능 등에 따른 건축기준을 완화하고 있다.¹⁾

친환경 건축에 대한 요구는 모든 유형의 건축물이 해당 되지만 특히 학교건축에서의 친환경적 계획은 에너지 소비와 환경부하를 줄이려는 범세계적인 이슈를 공공건축물로서도 가장 수요가 많은 시설물에 적용한다는 점뿐만 아니라 학교건축 자체가 학생들의 지속가능한 환경의 학습의 장이 되어 환경문제나 에너지 소비에 대한 관심을 유도함으로써 차세대 지속가능한 사회의 주인으로서의 역량

* 정회원, 청주대 건축학과 조교수, 공학박사

** 정회원, 홍익대 건축학과 전임강사, 건축학박사, 교신저자
(ksunlee01@gmail.com)

1) 국토해양부고시 제2010-301호, 제2008-652호

표 1. LEED 2009 for Schools 인증심사 기준

부문	범주(배점)		합계
1.지속가능한 대지 계획	필수 전제조건	① 시공현장에서의 오염 방지, ② 환경 대지 평가	24
		부지선정(1), 개발 밀도와 커뮤니티 연결(4), 기 훼손(오염)지역에서의 재개발(1), 대체 교통(9), 부지 개발(2), 호우 관리(2), 열섬 방지 대책(2), 빛 오염 저감(1), 부지 마스터플랜(1), 시설의 공동이용(1)	
2.수자원의 효율성	필수 전제조건	① 물 사용 20% 절감	11
		물의 효율적 사용에 의한 조정(4), 혁신적인 폐수처리 기술(2), 물 사용 저감(4), 공정 용수 절감(1)	
3.에너지 및 대기	필수 전제조건	① 기본 빌딩 에너지 시스템 커미션링 시행, ② 최저 에너지성능기준 만족, ③ 기본 냉각제 관리	33
		에너지 성능의 최적화(19), 재생에너지(7), 추가적 빌딩 커미셔닝(2), 강화된 냉각제 관리(1), 측정 및 검증(2), 친환경 전력(2)	
4.재료 및 자원	필수 전제조건	① 재활용 가능 폐기물 저장 및 수거	13
		건물 재사용(3), 건설폐기물 관리(2), 자재 재사용(2), 재활용 자재 사용(2), 지역 생산 재료(2), 급속 재생가능 재료(1), 공인된 목재(1)	
5.실내환경의 질	필수 전제조건	① Indoor Air Quality (IAQ) 최저 기준 만족, ② 담배연기의 환경적 제어, ③ 최저 음향 성능	19
		실외 공기 순환 모니터링(1), 환기효과 증대(1), 시공중 IAQ 관리 계획(2), 저 VOC(휘발성유기화합물) 발산 재료 사용(4), 실내 화학재 및 오염원 제어(1), 시스템의 제어가능 여부(2), 열적 쾌적성(2), 자연광 이용과 조망(4), 향상된 음향 성능(1), 곰팡이 제어(1)	
6.혁신 및 설계과정	혁신적인 기술 (4), LEED 인증 설계자 참여 (1), 교육 도구로서의 학교(1)		6
7.지역우선 크레딧	지역우선 (4)		4
전체 합계			110

주) 2009년 4월 개정된 LEED Version 3를 요약 인증 레벨: Certified 40-49 points, Silver 50-59 points, Gold 60-79 points, Platinum 80-110 points

을 형성시키는 등 중요한 의미를 갖는다.

따라서 본 연구는 학교건축에 도입되는 친환경적 계획수법의 적용실태를 파악하여 친환경적 학교건축의 계획을 위한 기초적 자료를 제시하는 것을 목표로 한다. 연구의 방법은 먼저 학교시설 친환경건축물인증제도 및 에코스쿨의 이론적 고찰을 통하여 친환경 학교시설을 유도하기 위한 국내의 정책적 장치의 평가기준을 고찰하고, 친환경 학교시설의 평가기준에 의하여 친환경 학교시설의 사례를 분석, 그 적용실태를 관련제도의 평가항목별로 파악하여 친환경적 계획수법을 정리한다.

표 2. 우리나라의 학교시설 친환경건축물 인증심사 기준

부문	범주	배점	가중치
1.토지이용	1.1 생태적 가치	2	5
	1.2 인접대지 영향	2	
2.교통	2.1 교통부하저감	4	5
3.에너지	3.1 에너지절약	18	20
	3.2 지속가능한 에너지원 사용	3	
4.재료 및 자원	4.1 자원 절약	1	15
	4.2 지속가능한 자원 활용	9	
	리모델링시에만 평가	(9)	
5.수자원	5.1 수 순환체계 구축	3	10
	5.2 수자원 절약	10	
6.환경오염 방지	6.1 지구 온난화 방지	6	5
	6.2 공기환경	3	
7.유지관리	7.1 체계적인 현장관리	1	7
	7.2 효율적인 건물관리	4	
	7.3 향상된 실내환경 및 유지관리	2	
8.생태환경	8.1 대지 내 녹지공간 조성	4	15
	8.2 외부공간 및 건물외피의 생태적 기능확보	6	
	8.3 생물 서식공간 조성	6	
	8.4 자연자원의 활용	2	
9.실내환경	9.1 공기환경	10	18
	9.2 온열환경	2	
	9.3 음환경	2	
	9.4 직사일광 이용 및 향상된 시환경 확보	2	
	9.5 쾌적한 실내환경 조성	3	

주) 국토해양부고시 제2010-301호, 환경부고시 제2010-52호 「건축법」 제65조 제4항에 따른 「친환경건축물 인증기준」에서 발췌한 내용을 요약, 등급체계 : 최우수, 우수, 우량, 보통

2. 관련제도 및 친환경건축물 평가기준

2.1 국내의 친환경건축물 인증기준

미국의 LEED는 미국 그린건축협회 USGBC에서 지정한 그린건축물 등급판정시스템으로 신축 혹은 기존건축물을 평가하는 자체평가시스템이다. LEED 등급판정시스템은 지속가능한 부지, 수자원효율, 에너지 및 대기, 재료 및 자원, 실내 환경의 질, 디자인의 혁신성, 지역적인 우선사항의 7개 카테고리로 구성되어 있으며, 이를 기준으로 건물을 평가하여 획득된 점수에 따라 그린빌딩 등급을 부여한다. LEED for School은 일반 신축건축물을 기준으로 에너지 및 대기 부문에 가장 배점이 높다.

우리나라에서는 2002년 친환경 인증제도가 시작되었으며 학교시설은 2005년부터 인증대상시설에 포함되었다. 2010년 7월부터는 모든 용도의 신축건축물을 대상으로 친환경건축물인증이 시행되었고 그 내용은 생태적 가치와 인접대지에의 영향을 고려하는 토지이용, 교통, 에너지, 재

료 및 자원, 수자원, 환경오염방지, 유지관리, 생태환경, 실내 환경의 9개 부문으로 구성되어 있으며 각 항목의 가중치를 건축물의 용도별로 다르게 적용하고 있다. 학교시설의 친환경건축물 인증기준은 표2와 같이 가중치가 다르게 적용되며 에너지부문이 가장 높은 비중을 차지한다.

2.2 에코스쿨(Eco-School)

에코스쿨(Eco-School)은 원래 1994년 덴마크에서 만들어진 학교에서의 환경학습프로그램이었으나 일본에서는 환경부하의 저하를 목표로 설계·건설, 운영되며, 환경교육에도 활용가능한 시설로서 환경을 고려하여 정비된 학교시설이라 정의하고 있다²⁾. 또한, 문부과학성은 “환경을 고려한 학교시설(에코스쿨)의 정비에 관한 파이로트모델사업”을 실시하여 학교시설의 친환경적 정비를 추진하고 있다³⁾. 사업의 유형은 표 3과 같이 신에너지활용형(태양전지 활용에 의한 태양광발전형, 태양열집열판을 이용하는 태양열 이용형, 풍력, 지중열, 연료전지를 이용하는 기타 신에너지 활용형), 중수이용이나 단열성능향상 등의 에너지절약 및 자원절약형, 녹화추진에 의한 자연 공생형, 목재 이용형, 자원 재생형 등이 있다. 에코스쿨의 정비에 관한 파이로트모델사업은 단일유형 혹은 복수의 유형으로 진행되며 태양광발전형의 정비가 가장 많다.

이상으로 친환경 학교건축물을 유도 정비하기 위한 관련제도 및 그 평가기준을 미국, 한국, 일본을 대상으로 정리하였다. 미국의 LEED for School, 한국의 학교시설 친환경건축물 인증제도, 일본의 에코스쿨 정비 사업에서 평가의 기준으로 삼고 있는 항목을 정리하면 표4와 같다. 각 평가기준을 비교하면, 공통적인 기준은 대지계획, 생태환경에 관련된 ‘외부환경’, 자연에너지를 이용하거나 에너지 부하를 저감하는 ‘에너지’, 친환경 재료와 폐기물 배출경로에 관련된 ‘재료 및 자원’, 채광, 환기 등 실내공기의 질 및 이용자의 쾌적함에 관련된 ‘실내 환경’이 공통적인 부문이다. 우리나라의 학교시설 친환경건축물 인증심사기준과 비교하여 차이점으로 LEED for School은 외부환경에 관한 인증기준으로 대지 내 녹지공간, 건물외피의 생태적 기능, 생물 서식공간 등 생태환경에 관한 기준이 없으며 대신 대체교통이나 개발밀도와 커뮤니티 연결에 중점을 두고 있다. 일본의 에코스쿨정비 파이로트모델사업은 외부

표 3. 일본 에코스쿨 정비 파이로트모델사업 사업유형

사업유형	사업내용	건수	
신에너지 활용형	태양광발전형	옥상, 지붕 등에 태양전지를 설치하여 발전된 전력활용	51
	태양열이용형	옥상 등에 태양열집열판을 설치, 난방, 급탕, 풀장가열 등에 이용	4
	기타 신에너지 활용형	풍력: 옥상, 교정 등에 풍차를 설치하여 발전된 전력활용 지중열: 환기용 튜브를 지중에 매설하여 실내공기를 순환시키고 열교환 연료전지: 수소와 산소의 화학반응과정에서 생기는 전기의 이용	10
에너지절약 및 자원절약형	에너지절약형설비: 조명, 공조 등 중수이용: 우수재이용, 배수재이용 등 단열성능의 향상: 단열재, 단열사시, 복층유리 등	39	
자연공생형	건물녹화: 옥상녹화, 벽면녹화 등 옥외녹화: 비오톱, 교정의 잔디 등	16	
목재이용형	지역에서 얻을 수 있는 재료의 활용: 내장재의 목재이용 등	33	
자원재생형	재생건축자재의 활용 음식물쓰레기의 비료화 장치의 설치	7	
기타	자연채광, 자연환기, 일사조절 등	0	

주) 건수는 2007년 정비건수 77개교의 해당사업 수(복수사업)

표 4. 친환경학교시설 및 에코스쿨 평가기준부문의 비교

인증기준	미국		한국		일본	
	LEED for School		학교시설 친환경건축물 인증제도		에코스쿨정비 파이로트모델 사업	
외부 환경	1. 지속가능한 대지계획	24	1. 토지이용	20	-	-
			2. 교통	20		
에너지	3. 에너지 및 대기	33	6. 환경오염방지	45	자연공생형	16
			8. 생태환경	270		
재료 및 자원	4. 재료 및 자원	13	3. 에너지	420	신에너지활용형	65
			5. 수자원	130		
실내 환경	5. 실내환경의 질	19	4. 재료 및 자원	150	에너지절약형	39
			2. 수자원의 효율성	11		
기타	6. 혁신 및 설계과정	6	9. 실내환경	342	자원절약형	7
			7. 유지관리	49		
	7. 지역우선	4	기타(자연채광, 자연환기, 일사조절등)	0	-	-

주) 표 중의 -는 유사항목의 부재, 수치는 배점(미국), 배점과 가중치의 곱(한국), 2007년 정비사례 수(일본)

환경에 관한 인증기준으로 토지이용, 교통, 환경오염방지의 사업유형이 없으며 실내 환경의 기준도 기타에 언급되는 정도이다. 대신 일본의 에코스쿨 모델사업은 한국과 미국의 기준에 비하여 태양광, 태양열, 풍력, 지중열 등 대체 에너지의 이용에 관한 비중이 상당히 높으며 이는 학교시설 특유의 환경교육에 활용가능한 시설로의 정비에 큰 비

2) 環境を考慮した學校施設(エコスクール)の整備について, 文部科學省, 1996

3) 環境を考慮した學校施設(エコスクール)の整備推進に關するパイロット・モデル事業實施要項, 文部科學省

중을 두고 있기 때문에 고찰된다.

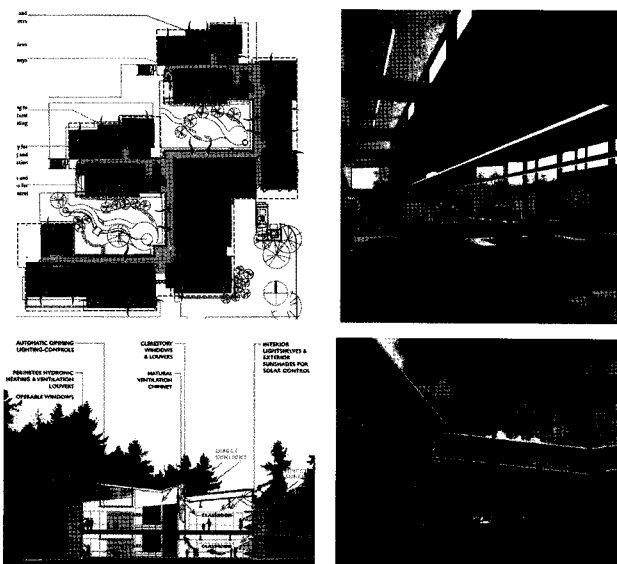
다음은 미국, 한국의 친환경건축물 인증을 받은 8사례와 일본의 에코스쿨정비 파이로트 모델사업 3사례, 총 11사례의 학교를 중심으로 친환경 학교 디자인 및 적용실태를 외부환경, 에너지, 재료 및 자원, 실내 환경의 기준별로 분석한다.

3. 친환경 학교시설의 사례 및 분석

3.1 Benjamin Franklin Elementary School, 미국 워싱턴주 커클랜드 (위도47도, 온대기후)

워싱턴 교외에 위치한 벤자민 프랭클린 초등학교는 2층 규모에 면적 5,280m²이며 2005년에 완공되어 유치원에서 6학년까지 450명의 학생들을 수용하고 있다. 건물의 배치는 4개의 클러스터로 이루어진 교실이 다목적 홀을 중심으로 둘러싸여 배치되어 있다. 학교 부지의 북쪽은 숲으로 둘러싸여 자연환경의 학습 자료로 활용하고 있으며 두개의 중정은 야외 학습 환경을 제공한다. 또한, 운동장과 입구의 캐노피에는 옥상 녹화가 되어 있고 오픈스페이스와 공원 진입로는 지역주민들에게 개방하였다.

주광과 실내공기는 학생들의 학습에 많은 영향을 주기 때문에 자연채광, 자연환기가 잘 이루어지도록 하기 위하여 건물은 체적대비 표면적을 넓힌 형태로 남향 배치하고 남쪽과 북쪽에 주요 창문들이 위치하도록 하는 동시에 직사광선의 조절이 어려운 동서쪽의 입면에는 창문을 최소화하고 교실과 도서관 및 체육관에는 고층창을 설치하여



출처) Ford, Alan, Designing the Sustainable School
그림 1. Benjamin Franklin Elementary School 평면도, 도서관 내부, 단면도, 외관

자연채광과 환기가 효과적으로 되도록 설계되었다. 또한 실내에는 광선반이, 실외와 지붕에는 차양이 설치되어 일조조정 및 빛의 현회 현상을 감소시킬 수 있도록 계획되었고 연돌효과를 이용한 환기탑을 설치하여 기계설비의 도움 없이 자연환기가 가능하게 하였다. 건물 시스템은 에너지 의존도를 줄이기 위하여 외벽 및 지붕에 고단열의 고성능 외피를 적용하였다.

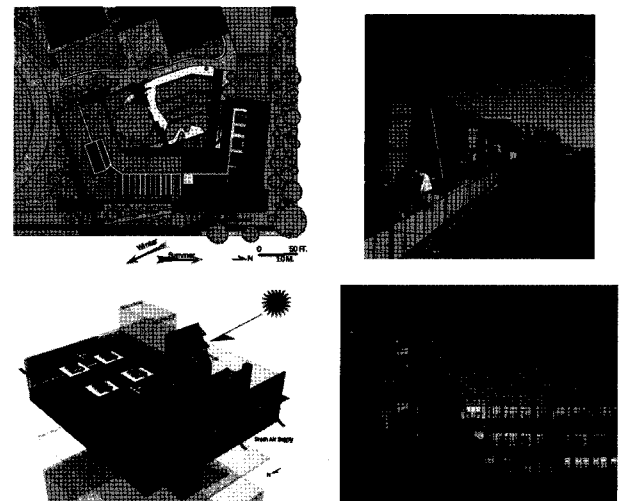
건축 재료로는 내구성이 뛰어나고 무독성의 친환경적 재료가 쓰였고 물 절약을 위해 저속, 저수배관, 무수소변기 등이 설치되었고 빗물은 지붕에서 수집된 후 우수저수 시스템에서 보관되도록 하였다.

쾌적한 실내 환경을 위하여 CO₂와 재실감지 센서가 창문 아래와 상층에 위치한 루버를 자동으로 조정하여 환기를 제어한다.

3.2 Sidwell Friend Middle School, 미국 버지니아주 워싱턴 D.C. (위도39도, 온대기후)

시드웰 프렌드 중학교는 1950년도에 지어진 건물 6,710m²의 리노베이션과 더불어 3,623m²의 면적을 새로이 증축한 학교로 2006년도에 완공되었다. 유치원에서 6학년까지 342명의 학생을 수용하고 있는 이 학교는 지하철, 버스 정류장에서 도보가 가능한 거리에 위치하며 자전거 보관소와 샤워장을 설치하여 자가용 사용을 줄이도록 하였다. 주차장은 지하로 하여 지상은 조경과 보행자 공간의 오픈스페이스로 사용하게 하였으며 옥상녹화와 습지를 조성하여 친환경적 외부환경을 조성하였다.

건물배치는 태양에너지 이용을 고려하였고 건물 외관의



출처) GreenSource
그림 2. Sidwell Friend Middle School 평면도, 태양열 굴뚝, 단면 다이어그램, 외관

스크린과 차양 장치를 통하여 직사광선에 의한 열 부하를 조절하여 열성능이 균형을 이루도록 계획되었다. 건물의 북쪽에는 스크린 대신 고층창이 설치되어 확산광을 유입하고 동쪽과 서쪽에는 51° 북서쪽으로 경사진 수직차양이 이른 오후의 직사광 차단과 동시에 자연채광이 가능하도록 디자인되었으며 남쪽에는 수평차양이 설치되었다. 특히 건물 파사드에 설치된 광선반은 북도로 직사광선이 들어오는 것을 막는 동시에 자연광을 내부 깊숙이 유입하는 역할을 한다. 특히 자연환기를 최대한 가능하게 하기 위하여 환기탑, 환기팬을 사용하여 기계식 냉방에 대한 의존도를 줄였다. 태양광 집열판은 건물 전체 전기 수요의 약 5%를 제공하며 태양열 패널을 이용하여 급탕을 한다. 환기를 위해 창문이 열려 있을 때에는 건물자동화 시스템으로 불필요한 기계식 냉난방을 제어하며 열회수 환기시스템도 사용하였다. 건물의 옥상녹화는 단열성능을 향상시켰다.

건축자재의 재사용 및 교체는 LCA방법(life-cycle assessment)을 이용하여 결정하였는데 건물의 외피는 100년 된 와인 배럴에 쓰인 나무, 바닥 및 테크는 발티모어 항구의 말뚝을 재활용하였으며, 조경에 사용되는 식재도 재생된 재료를 사용하였고 내장재는 폐목재를 이용하는 등 재활용, 재생이 쉬운 재료, 화학 물질의 배출이 적은 재료를 사용하였다. 옥상녹화와 습지는 우수유출을 줄이고 침투된 빗물의 품질을 향상시키는 동시에 습지는 폐수처리를 원활히 하고 화장실 및 냉각 타워의 물로 재사용되며 물 절약을 위해 자동수도전이 설치되었다.

쾌적한 실내 환경을 위하여 건물의 공공장소에는 CO₂센서를 설치해 공간의 사용자수가 증가하였을 때 기계 환기를 작동시켜 신선한 공기가 유입되도록 한다. 또한 실내공기 오염을 감소시키기 위하여 유기화합물 함유율이 낮거나 없는 도료를 사용하였다.

3.3 Clearview Elementary School, 미국 펜실베이니아주 하노버 (위도40도, 온대기후)

클리어뷰 초등학교는 미국 펜실베이니아주 하노버 교외에 위치한 학생 수 216명, 면적 4,050m²의 2002년에 완공된 2층 규모의 신축 건물이다. 학교 부지내에는 자전거 보관소를 설치하여 대중교통을 이용하도록 도모하고 옥상녹화를 통해 열섬현상을 줄였다.

건물의 태양열 이용계획은 겨울철 난방부하와 여름철 냉방부하를 저감하도록 계획되었는데 길고 좁은 형태의 교사동은 동서 방향으로 길게 배치되어 남과 북측 창으로 부터의 빛의 유입을 최대화하여 건물 중앙부까지 자연채

광이 가능하도록 하였다. 특히 남측 2층 복도 상부의 고층 창은 자연채광을 최대화하였고 반사율이 높은 흰색지붕을 채택하여 열복사율을 줄였다. 또한 각 교실은 약 100m 깊이로 30개의 지중열과 연결된 지열원 열펌프를 통해 연중 일정한 지중 온도와 열교환을 통해 냉난방을 하며 열회수 환기시스템을 사용하여 에너지 부하를 저감하였다.

건축자재는 생산 공정이 에너지 소비에 미치는 영향, 환경, 재활용 및 재생가능성을 고려하여 생활주기분석(LCA)의 비교를 기반으로 선택되었다. 약 70%의 건축자재는 인근 지역에서 생산되었고 약 75%의 건축폐기물은 재활용이 가능하도록 분리되었다. 건물의 외피는 방음, 화재 및 강풍에 강하고 유연한 디자인이 가능하며 단열성이 좋아 냉난방 에너지비용을 감소시킬 수 있는 ICF(Insulated Concrete Form) 공법이 이용되었다. 이 학교는 일반 학교보다 30% 이상의 상수 사용량 절감을 하는데 이는 무수소변기, 저수압 수도 및 샤워꼭지, 자동 수도전 설비에 의한 것이다.

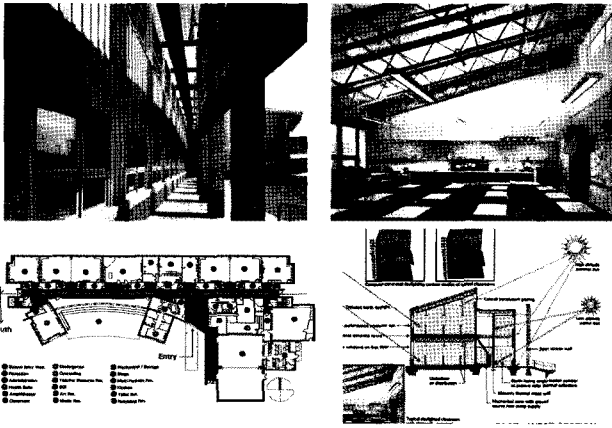
쾌적한 실내 공기를 위해 CO₂ 감지센서를 이용한 환기 제어 및 신선한 공기를 바닥에서 공급하는 바닥 급기 시스템을 통해 각 교실에 신선한 공기를 제공하여 환기 효율을 90%이상 증진시키고 습도 및 CO₂레벨을 조절하였다. 실내공기오염을 줄이기 위해 친환경인증 받은 카펫과 비 솔벤트(non-solvent-based) 접착제, 유기화합물 함유율이 낮거나 없는 도료를 사용했다.

3.4 Chartwell School, 미국 캘리포니아 샌프란시스코(위도38도, 온대기후)

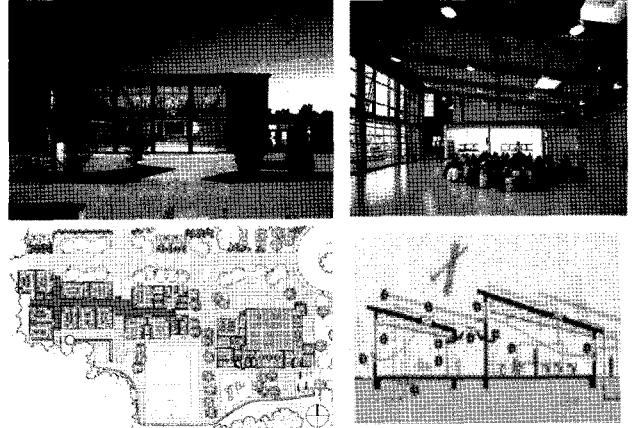
2006년에 완공된 차트웰 초등학교는 1학년에서 8학년 학생들을 수용하는 1,970m² 면적의 K-12학교로 몬트레이 베이를 바라보는 언덕위에 위치한다. 캠퍼스 주변에는 자연산채로를 설치하여 주변생태계의 서식지를 보존하였다.

남측 창에는 처마 및 차양을 두고 교실창의 절반은 코너창으로 계획하여 코너에 접하는 양쪽 벽에 빛을 분산시킴으로 현휘 현상을 줄였다. 천창과 고층창의 설치, 동서 방향으로 연속 배치된 중정과 교실은 자연채광과 자연환기를 원활하게 한다. 또한 32kw의 태양광 발전 대체에너지 이용은 이산화탄소의 방출을 줄였고 열회수 환기시스템을 이용하여 에너지 부하를 저감하였다.

재료는 슬래그 혼합율이 높은 콘크리트를 사용하여 일반 콘크리트 보다 이산화탄소 발생량을 줄였다. 또한 건물 내외부에 재생 목재가 광범위하게 사용되었고 철거 및 건설 폐기물의 90% 이상이 재활용되었다. 재생이 빠른 대나무 바닥, 코르크벽, 유기화합물 함유율이 낮은 카펫 및 도



출처) <http://www.designshare.com>
 그림 3. Clearview Elementary School 외부 차양 벽, 도서관 내부, 평면도, 단면 다이어그램



출처) <http://leedcasestudies.usgbc.org>
 그림 4. Chartwell School 외관, 다목적실 내부, 평면도, 단면 다이어그램

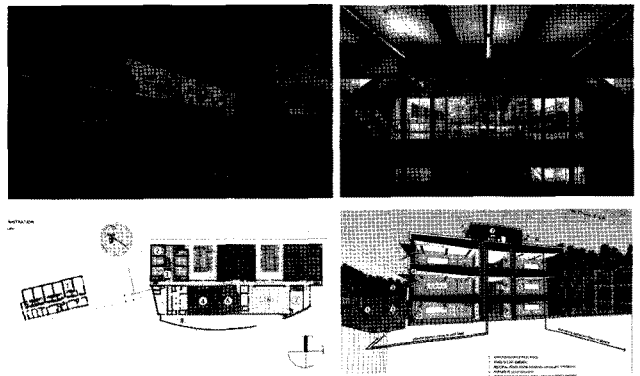
료와 재활용률이 높은 건축자재를 사용하였다. 빗물은 재사용을 위해 물탱크에 저장되고 화장실에는 이중 물내림 변기, 무수소변기를 이용하였다.

실내 환경조절은 한쪽에는 창문을 낮게 반대편에는 창문을 높게 위치시키거나 천장을 두어 연돌효과와 공기의 대류에 의한 자연 통풍이 가능하게 하였고 각 교실에는 CO₂감지기를 통하여 제어되는 환기팬을 설치하여 쾌적한 실내 환경을 조성하였다. 또한 쾌적함과 소음 및 실내 공기의 질을 고려한 복사 난방법을 이용하여 기계 환기에 필요한 덕트 스페이스를 줄였고 실내 소음을 줄이기 위하여 저소음 기계 설비를 하였다.

3.5 Manassas Park Elementary School+Pre-Kindergarten, 미국 버지니아주(위도39도, 온대기후)

워싱턴 D.C.의 교외에 위치한 Manassas Park 초등학교와 유아원은 13,000m²의 면적에 840명의 학생을 수용하는 학교로 2009년에 완공되었다. 학교 부지는 주거지역내의 교통 및 사회 기반 시설이 잘 갖추어져 있는 곳에 위치하고 모든 집회 장소는 지역주민들을 위한 공간의 기능을 고려하였다. 또한 클러스터 된 건물들은 생물 서식지를 보호하도록 개발 영역을 최소화하였으며 기존의 조경을 유지하거나 보완하도록 설계되었다. 강우 유출수 처리를 위한 생태유지(Bio-retention)영역은 평상시 야외교실과 무대로 쓰인다.

건물의 형태와 높이는 좁은 대지 형태를 따라 남서쪽에서 북동쪽으로 뻗어 있고 자연채광을 위해 교실들은 E자 형태의 세 블록으로 나뉘어 안뜰을 중심으로 남측이나 북측을 향하고 있다. 입방체에 가까운 3층 규모의 교육동은 외기에 면하는 면적을 최소로 하여 냉난방부하를 저감하



출처) <http://www.aiatopten.org>
 그림 5. Manassas Park Elementary School+ Pre-Kindergarten 외관, 카페테리아, 평면도, 단면 다이어그램

였다. 교실의 천장은 경사진 형태로 디자인되어 루버를 통해 들어오는 빛의 유입을 최대화하는 동시에 자연광을 확산시켜 현휘 현상을 막도록 하였다. 또한 북측의 지붕위에 연속으로 돌출된 톱니 모양의 모니터 지붕은 유아원 교실에 자연 채광을 유도하고 100개의 관형 채광창(tubular skylight)도 그 외의 공간에 자연채광을 도모한다. 또한 냉난방 부하를 줄이기 위해 루버 및 광선반, 태양선택유리(solar-selective glazing), 반사율이 높은 하얀색 지붕 등의 친환경 디자인 요소가 적용되었다. 연돌효과를 이용한 수직 환기덕트는 수동식창문 개폐로 신선한 공기를 끌어들이고 팬트하우스를 통해 공기를 배출시킨다. 또한 효율적인 기계 시스템으로 지열히트펌프, 외부 기후조건에 따른 냉방 시스템의 조절 등의 빌딩 자동화 시스템, 대용량 저속 환기팬 및 열회수 환기시스템도 사용되었다.

건축 재료는 비유해성 실내마감재료, 약20%의 재활용재, 유지 관리가 용이한 인근 지역에서 생산된 재료를 사

용하였고 건설폐기물의 약 75%는 재활용이 가능하게 하였다. 또한 각 교실간의 소음전달을 줄이는 데 유효한 재료의 밀도와 디테일을 사용하였고 소음레벨을 줄이기 위한 흡음재료를 사용하였다. 우수는 건물의 지붕에서 여과되고 수집되어 물탱크에 보존되며 화장실 배수나 조경의 관개용수로 사용되고 저수압 및 자동 수도전은 식수를 절약한다. 설치된 벽화는 시스템 레이아웃과 자연의 물 순환을 보여줌으로 교육적인 역할을 한다.

3.6 오송 초등학교, 한국 전주(위도36도, 온대기후)

전주에 위치한 건축면적 11,991m²의 지하1층, 지상4층 규모의 오송 초등학교는 728명의 학생과 39명의 교직원을 수용하는 학교로써 2008년 완공되었다. 학생전용공간인 교실, 식당과 주민 개방시설인 다목적 강당은 분리 배치되고 진입광장, 고학년 놀이 공간, 저학년 놀이 공간 및 주민휴게공간이 분산 배치되어 있지만 각 공간들은 유기적인 외부 공간 계획을 통해 연결되어 있으며 생태학습장을 제공하여 외부환경의 학습효과를 도모하였다. 운동장 먼지에 의한 대기 오염을 방지하기 위해서 더스콘 시공이 적용되었고 대중교통에의 근접성이 떨어지나, 학교 대지 내에 1,120대의 자전거 보관소를 설치하여 교통부하를 저감하였다.

동서측으로 길게 배치된 건물은 E자 형태로 연결되며 각 동은 중정을 통하여 자연채광과 자연환기를 유도한다. 일반 교실은 자연채광을 확보함과 동시에 현회를 감소시키는 차양계획도 이루어졌으며 태양광발전설비시스템과 태양광 가로등 설치로 대체 에너지를 이용하였다.

건축 재료로는 재활용재물 70%이상(폐목재 30%) 사용하였고 유효자원 재활용을 위한 친환경 인증제품을 사용하였다. 우수부하를 저감하기 위하여 투수율이 높은 친환경

경 포장을 35%이상 적용하였고 절수형 수도전, 우수 집수 시설을 설치하여 수자원을 절약하였다.

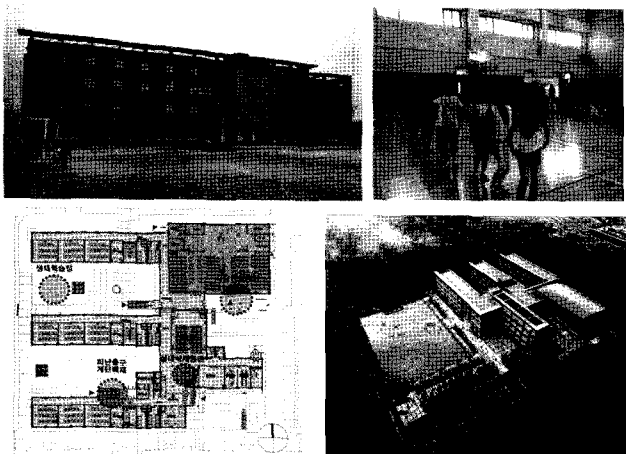
쾌적한 실내 환경을 제공하기 위해 유해물질 저합유 재인 환경마크 표시자재를 사용하였고 연소가스와 소음이 발생하지 않는 전기식(EHP) 개별 냉난방 방식을 적용하였다. 내부의 포켓코너에는 휴게 공간 및 식재 공간을 적용하여 어메니티 공간을 확보하였다.

3.7 목은 초등학교, 한국 서울(위도37도, 온대기후)

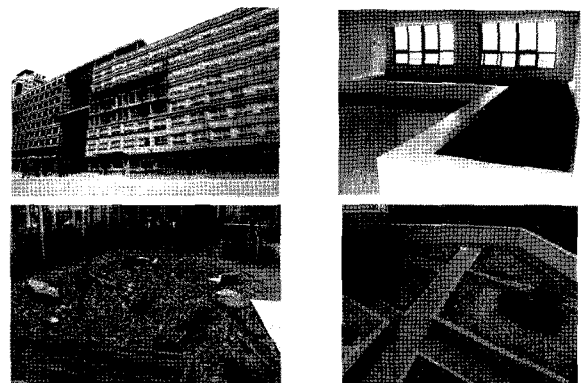
서울 양천구 목동에 위치한 8층 규모의 목은 초등학교는 1,000여명의 학생과 40여명의 교직원을 수용하는 학교로 2009년에 개교하였다. 학교 주출입구에서 버스정류장 및 지하철역 같은 대중교통시설이 도보거리 안에 있고 약 250대를 수용할 수 있는 자전거 보관소를 설치하여 교통부하를 줄였다. 운동장 먼지발생 억제 대책으로는 마사토 위에 먼지 억제제를 살포하여 학교주변에서 쾌적한 공기를 확보할 수 있도록 하였다. 협소한 대지에 일정 인원 이상을 수용하기 위해 건물의 높이가 학교 건물로는 다소 높은 지상 8층 규모로 계획되었고 각 층마다 하늘정원이나 쉼터를 제공하고 옥상녹화를 하였다. 학교 운동장에는 생물서식이 가능한 수생 비오톱 및 생태학습원을 조성하여 학생들이 생태계에 자연스럽게 접근할 수 있도록 하였다.

건물은 동서로 길게 배치되어 자연채광, 자연환기를 도모하였고 화장실에는 태양열 집광판을 사용한 태양광 자동소변세척기를 사용하여 자연스러운 친환경 교육도 이루어 내고 있다.

건축 재료의 재활용목표율은 75%이상(폐목재 50%)이며 유효자원 재활용을 위한 친환경 인증제품을 사용하였다. 외부공간은 투수성포장면적 비율을 35%이상으로 하여 우수부하를 절감하였고 우수는 우수 저류조를 통하여 조경용수로 방출된다. 또한 절수형 수도꼭지 및 샤워헤드, 양변기 전자



출처) 정연, <http://www.osong.es.kr/>
그림 6. 오송초등학교 외관, 체육관 내부, 평면도, 조감도



출처) 정연, 한국교육환경연구원
그림 7. 목은 초등학교 외관, 실내식재공간, 수생비오톱, 옥상정원

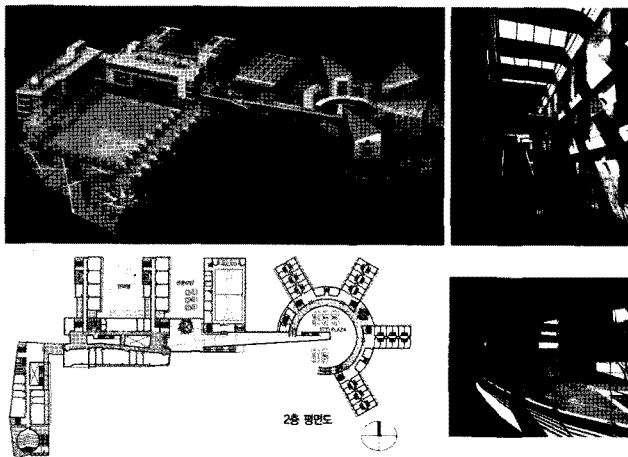
감응식 소변기를 100% 적용하여 물 사용량을 저감하였다.

쾌적한 실내 공기환경을 제공하기 위하여 과학실험실 내에는 급기와 배기를 위한 환기장치를 설치하였다. 쾌적한 실내온열환경을 조성하는 동시에 에너지 절감을 위해 연소가스와 소음이 발생하지 않고 각 실에서 자동온도 제어가 가능한 교실별 EHP를 적용하였다. 교실의 적절한 음환경 확보를 위하여는 일반 교실 내 소음도를 40dB이하로 하였으며 내장재는 유해물질 저 함유재를 사용하여 실내의 공기환경을 개선하였고, 식재 공간을 조성하였다.

3.8 세종 과학고등학교, 한국 서울(위도37도, 온대기후)

서울특별시 구로구 궁동에 위치한 세종과학 고등학교는 2008년 개교한 360명의 학생과 103명의 교직원을 수용하는 연면적 24,659m², 지하 1층, 지상 5층 규모의 학교이다. 이 학교에는 대지와 주변녹지를 연결하는 그린존, 그린 아트리움, 그린 데크, 에코플라자로 구성된 그린네트워크시스템이 형성되어 자연지반 녹지율을 높였다. 운동장 진입과 공원으로 통하는 산책로는 마을 주민이 공유할 수 있도록 개방하였으며 지하주차장을 두어 지상에 오픈 스페이스를 확보하였다. 또한 운동장에는 먼지 발생을 억제하기 위해 스프링클러를 설치하여 환경오염을 줄였다.

건물배치는 교과동, 과학동, 체육관동, 기숙사가 그린네트워크에 의해 유기적으로 연결되며 각 중정 및 톱니형 천창의 아트리움 등을 통하여 내부공간에 자연채광과 자연환기를 유도하고 있다. 직사일광의 조절과 현휘 감소를 위해 약 31%의 일반 교실에 수직 루버와 약 62%의 교실에는 차양을 설치하였다. 에너지 절감을 위해 대체에너지인 지열을 이용한 냉난방 시스템, 태양열 급탕 시스템 및 태양광 전자 감응식 자동 소변기 등이 사용되었다. 또한



출처) D&B 건축사사무소
그림 8. 세종과학고등학교 조감도, 아트리움, 평면도, 에코플라자

열관류율이 낮은 외벽과 외단열 공법, 기밀 창호 설치를 통해 에너지를 절약하였다.

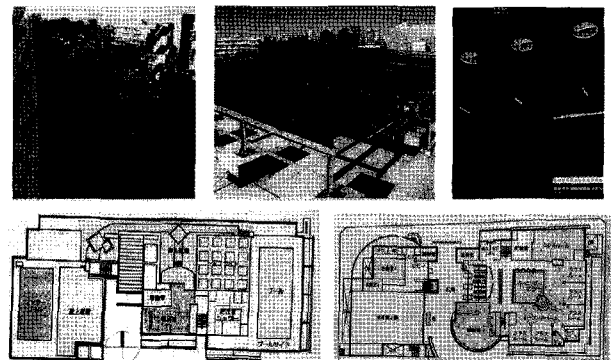
현장에서 발생한 폐목재의 50% 이상을 재활용, 친환경 인증제품 등의 사용을 통한 자원절약을 하였다. 불투수성 또는 점도 블럭, 고압 블럭의 틈새투수성 포장을 통한 우수부하 절감, 절수 수도꼭지, 샤워헤드, 전자 감응식 소변기와 같은 상수절감 수전, 건축물 내에 옥내 소화전, 스프링클러 설비용 수조 등의 우수이용시설을 설치하여 수자원을 절약하였다.

쾌적한 실내 환경을 제공하기 위하여 유해물질 저 함유 자재를 사용하고 과학실험실내 급배기 환기장치를 설치하였으며 실내허용소음을 35dB이하로 하였다. 이밖에 과학센터 내부의 2개층, 교과동 중앙에 전시 공간과 연계된 3개층 오픈의 실내녹지 등이 학생들의 휴게 및 커뮤니티 장소로 쓰인다.

3.9 무사시노 시립 센가와 초등학교, 일본 동경(위도 35도, 온대 기후)

일본의 대표적인 환경 친화 학교 중 하나인 무사시노 시립 센가와 초등학교는 면적 6,653m², 교사 18명, 학생 320명 규모의 학교로 2001년 이타바시구가 지원하는 친환경 학교로 선정되었다. 동측으로는 대지 내에 기존의 수목을 유지하는 도로변 보도를 정비하고 서측의 센가와 하천과 연속적 경관을 조성하였다. 인접대지에는 지역에 개방되는 비오톱형의 학교정원을 정비하여 외부자연환경의 학습효과를 기대할 수 있으며 옥상녹화를 하여 옥상의 단열효과를 높이고 있다. 체육관이나 특별교실, 강당은 지역에 개방하며 관리가 용이한 평면으로 계획되어 지역주민과 활발한 교류를 하고 있다.

건축의 신에너지 활용, 에너지 절약의 측면에서 보면,



주) 環境を考慮した學校施設(エコスクール)の整備について, 文部科學省
그림 9. 센가와 초등학교 옥상정원, 태양광패널, 아트리움, 평면도(좌 4층, 우 1층)

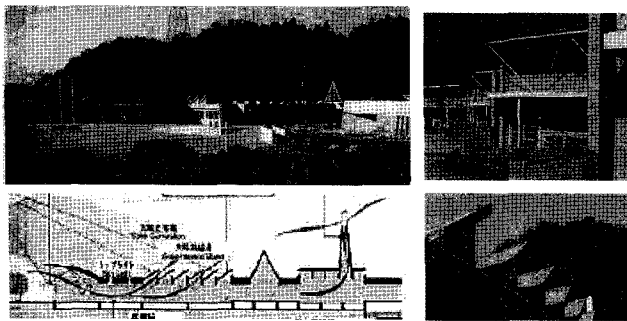
교실은 아트리움을 중앙에 두고 집약배치 되어 외벽면의 벽량을 최소화함으로써 에너지부하를 줄였다. 아트리움의 상부는 톱라이트를 설치하고 유리블럭설치 및 계단실의 커튼월처리 등 태양광을 적극 이용하고 있다. 또한 환경을 고려한 환경 교육의 일환으로서 교사 옥상에 풍력발전기와 병설하여 태양광 패널을 설치하였다. 이 태양열은 화장실과 급탕, 바닥 난방, 수영장, 샤워실에 이용되며 교내급탕의 약 60%를 담당하고 있다.

교사와 체육관 지붕에서 우수를 지하에 모으는 설비시설로 화장실 세정수 및 교정옥상녹화 살수용으로 이용하고 있다. 내장에는 목재를 많이 사용하여 친환경재료의 이용을 통한 정서함양을 꾀하고 있다.

3.10 세토시립 시나노다이 초등학교, 일본 아이치현 (위도35도, 온대기후)

1997년 에코스쿨 파이로트 모델사업인정을 받은 시나노다이 초등학교는 면적 4,824m², 교사 12명, 학생 195명 규모의 학교로 낮은 산으로 둘러싸인 입지조건을 살려서 주변 환경과 조화를 이루는 단층 건물로 지어졌다. 단층건물이기에 무장애 공간으로 계획되었고, 교실은 천정고가 높다. 산기슭에 있던 기존의 습지를 살린 비오톱을 조성하고 대지를 횡단하던 물줄기를 돌려서 진입부에 시냇물을 만들어 대지 내에 자연환경을 조성하였다.

교실의 남향 창에는 광선반이 설치되어 있어 직사광의 차단과 함께 교실의 깊은 곳까지 반사광을 끌어들여 자연광의 이용에 의한 조명부하를 경감한다. 단층건물이기에 모든 공간에 톱라이트, 고측창 등을 설치하여 공간의 깊은 곳까지 자연광이 들어오도록 하여 주광을 적극 이용하고 있으며 다목적광장의 톱니형 지붕, 만남의 갤러리 환기탑 등 다양한 지붕을 통해 채광과 환기를 하고 있다. 특히 만남의 갤러리 환기탑은 연돌효과를 이용하여 환기를 유도



주) 環境を考慮した學校施設(エコスクール)の整備について,文部科學省

그림 10. 시나노다이 초등학교 전경, 광선반, 단면 다이어그램, 톱니형지붕

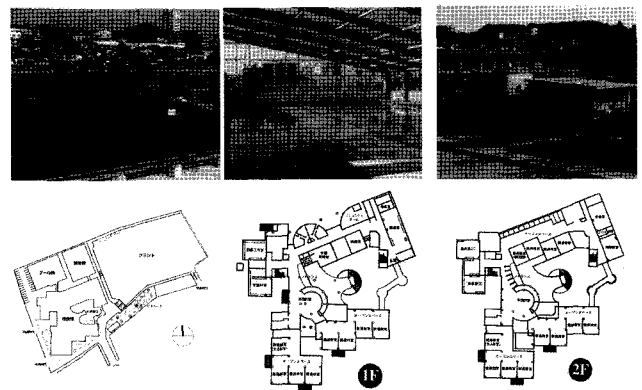
하는 장치이며 톱니형지붕은 태양광패널의 발전효율이 좋은 각도에 지붕의 톱니 구배를 맞추어 태양광패널을 설치하였다. 교실의 천정이 높기에 효과적인 난방을 하기 위하여 바닥 난방 시스템을 채용하였으며, 이는 심야전력을 이용한 축열 시스템으로 아침까지도 따뜻하다. 난방수는 급식실의 지붕에 설치된 태양열급탕장치를 통하여 난방용 급탕이 제공된다.

우수를 재이용하는 시스템으로는 교사지붕 1,900m²에 내린 우수를 집수하여 지하의 저장소(230t)에 모은 후 화장실 세정수와 교정의 산수용수로 이용한다. 만남의 갤러리, 도서 미디어코너 등 내장재에는 목재를 적극적으로 이용하였다.

3.11 이리마가와 초등학교, 일본 사이타마현(위도35도, 온대 기후)

1997년 에코스쿨 파이로트 모델사업인정을 받은 이리마가와 초등학교는 면적 7,901m², 교사 36명, 학생 709명 규모의 학교로 다양한 학습공간의 정비, 지역과의 개방과 함께 자연환경을 고려하여 자연에너지를 이용하는 친환경학교시설로 정비되었다. 대지는 이리마가와 하천변에 인접하여 담장을 설치하지 않았으며 대지내의 남측에는 비오톱을 설치하여 교사대지와 하천과의 연속성에 배려를 하였다.

평면은 중정을 중심으로 한 구성을 취하고 있어 자연채광, 자연환기에 유리하다. 교사의 지붕에는 태양광발전설비를 설치하여 비상시의 전등회로와 교내 조명기기의 점등에 활용하며, 풍차에서의 발전전력은 축전과 비오톱의 물 순환펌프 운용, 정문의 점등에 활용하며, 발전량전광게시패널에 이를 표시하여 학생들의 학습에 도움이 되도록 하였다. 실내풀장은 투명 지붕재를 사용하여 태양복사열을



주) 環境を考慮した學校施設(エコスクール)の整備について,文部科學省

그림 11. 이리마가와 초등학교 태양광패널, 수영장, 비오톱, 배치도, 평면도

이용한 온실효과에 의해 봄, 여름, 가을에는 난방을 하지 않고도 사용가능하게 하였다. 옥상의 우수는 지하의 저장소에 모아서 여과처리 후 교정의 산수용수로 사용하며 내장재는 목재를 적극 활용하였다.

이상, 친환경학교시설 및 에코스쿨 기준부문별로 친환경적 계획사례 11사례의 적용수법을 파악하였으며 이를 정리하면 표5와 같다. 11사례 중 5건 이상 해당하는 항목으로 주목할 만한 것은 외부환경에 관한 항목의 옥상녹화(5사례)와 비오름 등의 설치(9사례) 및 이에 따른 학생들의 외부자연환경 및 생태 학습효과를 기대할 수 있는 점이다. 이는 학교시설에서 친환경계획의 중요성을 시사하는 항목으로 타 유형의 시설과는 차별적인 학교시설특유의 친환경적 계획수법이라 할 수 있다.

에너지 부문의 자연에너지활용에 관한 항목은 가장 비중 있게 평가되는 부문이다. 태양열, 태양광, 바람, 지열 등의 자연에너지를 활용하는 수법으로 체적대비 표면적을 크게 하거나 건물을 동서 방향으로 길게 배치하여 자연채광 및 환기가 유리하게 하는 수법(5사례), 평면이 깊은 경우 중정이나 아트리움 등을 두어 자연광을 유도하고 자연환기를 하는 방법(5사례), 톱라이트, 고측창 등을 설치하여 실내 깊은 곳까지 자연광을 유인하는 방법(9사례), 차양 장치의 설치로 직사광을 차단하여 현회 현상을 감소시킴과 동시에 자연광을 효과적으로 도입하는 방법(7사례)이 많이 적용된다. 이는 자연채광, 자연환기를 통한 조명부하, 냉난방부하를 절감하는 수법이라 할 수 있다. 광선반을 활용하는 예는 4사레이지만, 주간에 집중적으로 이용되며 균등한 실내조도가 요구되고 조명부하가 큰 학교시설에서는 교실내부의 실내 깊은 곳까지 자연광을 확산광으로 유인하기 위한 유효한 수법으로서 학교시설의 특수한 요건에 부합하는 친환경적 계획수법이라 할 수 있다. 특히 태양열 패널 등의 태양광발전설비(8사례)의 설치는 그 자체로서도 학생들에게 대체에너지의 활용에 대한 학습의 자료가 되기에 학교시설에서 적극적으로 도입되고 있다. 그 외, 에너지 부하를 절감하는 수법은 옥상녹화의 단열효과(5사례) 등 주로 단열성능에 관한 일반적인 것이다.

재료 및 자원부문에서는 일반적인 수법으로 친환경자재나 재활용자재의 사용이 많이 확인되며(8사례), 우수이용(10사례)과 수도전 등 상수절약설비(9사례)가 많이 도입되고 있다.

실내 환경은 학생들의 학습효과와 직결되어 친환경 학교시설에서 중요시되는 부문으로 채광, 환기, 소음, 마감재, 식재 등의 조절에 의한 쾌적공간을 조성하기 위한 수

표 5. 친환경학교시설 및 에코스쿨 기준부문별 적용수법

기준	친환경수법	미국		한국		일본		사례수					
		1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	11
외부환경	옥상녹화	○	○	○	-	-	○	○	-	-	-	-	5
	비오름(습지, 원시림, 시냇물 등) 자연학습장	○	○	-	○	○	○	○	-	○	○	-	9
	대기오염방지설비(운동장먼지방지)	-	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	3
	자전거보관소	-	○	○	-	-	○	○	-	-	-	-	4
	지하주차장	-	○	-	-	-	-	○	-	-	-	-	2
자연에너지 활용	체적대비표면적 크거나 동서방향으로 길게 배치(자연채광, 자연환기에 유리)	○	-	○	○	-	○	○	-	-	-	-	5
	중정을 중심으로 한 자연채광, 자연환기	○	-	-	-	-	○	○	-	○	-	-	5
	유리로 덮인공간 및 아트리움을 통한 자연채광, 자연환기, 태양복사	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	3
	톱라이트, 고측창, 모니터창을 통하여 실내 깊은 곳까지 자연채광	○	○	○	○	○	-	-	○	○	○	-	9
	광선반으로 실내 깊은 곳까지 반사광 유입	○	○	-	○	-	-	-	-	-	○	-	4
	차양장치를 통한 일사 조정, 현회 현상감소	○	○	○	○	○	○	-	○	-	-	-	7
	환기탑, 환기덕트의 설치로 연돌효과에 의한 자연환기	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	4
	태양광발전설비	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	-	8
	태양열급탕설비	-	○	-	-	-	-	-	-	○	-	-	3
	풍력발전기	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	2
지열냉난방 시스템	-	-	○	○	-	-	-	○	-	-	-	3	
에너지 부하 저감	외벽면의 벽량을 최소화하여 냉난방부하를 저감	-	-	-	-	○	-	-	-	○	-	-	2
	고단열외장(단열콘크리트, 고단열삼중창)	○	-	○	○	-	-	○	-	-	-	-	4
	바다난방 시스템(천정고가 높을 때 유리)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	1
	열회수 환기시스템	-	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	4
	옥상녹화의 단열효과	○	○	○	-	-	-	○	-	○	-	-	5
태양선택유리, Low-E 유리, 고성능 유리	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	3	
재료 및 자원	LCA 방법에 의한 건축자재의 선택, 재사용 및 교체결정	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	2
	친환경건축자재사용(유지관리용이, 인근지역생산, 재활용재료 등)	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	8
	무거푸집 공법 (Insulating Concrete Form)	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	모듈화 공법으로 재료사용 절감	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	1
	높은 슬래그 혼합콘크리트사용으로 CO ₂ 배출량 저감	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	1
	우수이용	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	-	10
	수도전 등 상수절약 설비	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	9
실내환경	실내 깊은 곳까지 자연채광(톱라이트, 고측창, 모니터창, 광선반)	○	○	○	○	○	-	-	○	○	○	-	9
	연돌효과 및 공기대류에 의한 자연환기(환기탑, 환기덕트, 양측벽의 창문높이차)	○	○	-	○	○	-	-	-	-	○	-	5
	환기설비(환기팬, CO ₂ 와 재질 감지 센서, 자동 개폐식창문)	○	○	○	○	○	-	○	○	-	-	-	7
	환기효율증진(바닥급기시스템)	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	음향 및 실내 공기 질(복사 난방설비)	-	-	-	○	-	-	-	-	-	○	-	2
	연소가스, 소음방지(EHP전기식냉난방설비)	-	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	3
	실내음향 및 소음조절	-	-	-	○	○	-	○	○	-	-	-	4
	비유해성 실내마감재료 사용(목재 등)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	11
	에메리터공간(실내휴게공간 및 식재공간 설치)	-	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	3
	지역개방	○	-	-	-	○	○	-	○	○	-	-	5
기타	태양광패널, 풍력발전기 등 자연에너지이용의 학습효과	-	○	-	○	-	○	○	○	○	-	-	8
	비오름 등 외부자연환경의 학습효과	○	○	-	○	○	○	○	-	○	○	-	9

주) 참고문헌의 기술, 도면, 사진을 통하여 적용이 확인된 수법은 ○, 미적용이나 확인되지 않은 사항은 -로 표기

법으로 구성된다. 특히 자연채광과 자연환기는 자연에너지를 이용하여 에너지부하를 절감함과 동시에 건강하고 쾌적한 실내 환경을 구현하는 방법이다. 톱라이트, 고층창 등을 이용하여 실내 깊은 곳까지 자연채광을 유도하는 수법(9사례)은 조명부하의 절감과 함께 자연광을 이용함으로써 쾌적한 실내공간으로 계획되며 바람이 잘 불지 않을 때에도 공기의 밀도 차에 의해 환기를 유도하는 방법으로 환기탑 등의 연돌효과를 이용하여 자연환기를 극대화 시키는 수법(5사례)은 데워진 실내공기의 배출에 의한 냉방부하의 절감과 동시에 인공적 설비를 이용하지 않고도 건강하고 쾌적한 실내 공기환경을 구현하는 수법이다. 그 외에 공기오염이 심한 곳에는 환기팬을 설치하거나 CO₂감지 센서를 통한 자동 환기설비를 적용하며(7사례) 모든 사례에서 목재나 비유해성 실내마감재를 사용하고 있다(11사례).

국가별 계획수법의 차이는 국가별 사례의 공통적 적용수법을 정리하면 표6과 같다. 한국과 미국의 공통적 적용수법은 친환경 건축자재의 사용과 상수절약설비이다. 한국과 일본의 공통적 적용수법은 우수이용과 태양광패널 등의 자연에너지 이용의 학습효과이다. 미국과 일본의 공통적 적용수법은 톱라이트 등을 이용한 자연채광이다. 이는 사례수는 적지만 국가별 인증기준의 차이에 따른 적용수법의 경향이 인정된다. 단, 톱라이트, 모니터 지붕 등을 이용한 자연채광은 단층 혹은 복층정도의 규모가 많은 미국과 일본의 사례에서 주로 적용되며, 한국의 사례는 모두 4층 이상의 건물 형태로서 적용가능공간이 한정되기 때문으로 분석된다.

또한 한국의 3사례에서만 적용된 운동장 먼지방지 설비, 실내 어메니티 공간의 설치하는 한국의 친환경건축물 인증심사기준에만 '6.환경오염방지의 공기환경'과 '9.실내환경의 쾌적한 실내환경조성'이라는 구체적인 항목이 설치되었기 때문으로 분석된다.

일본의 사례는 톱니형 지붕의 구매를 태양광패널의 최적 효율 각도에 맞춘 설계, 교내급탕의 약 60%를 태양광패널로 전력생산, 태양광 및 풍력발전설비에 의한 발전량 전광게시패널의 설치 등 자연에너지의 활용에 의한 학습효과와 비오톱 등의 외부자연환경 조성에 의한 학습효과에 비중을 두고 있다. 이는 환경부하의 저하와 함께 환경교육에도 활용가능한 시설로서의 정비를 목표로 하는 에코스쿨이 타 용도의 건축물과 동일한 기준에 항목별 배점이나 가중치를 차별적으로 적용하는 미국과 한국의 친환경건축물 인증평가제도에 비해 환경교육에 더 큰 비중을 두고 있기 때문으로 분석된다.

표 6. 국가별 친환경요소의 적용수법

친환경수법	미국(5)	한국(3)	일본(3)
비유해성 실내마감재료 사용(목재 등)	(5) 4. 재료 및 자원-공인된 목재	(3) -	(3) 목재이용형
친환경건축자재사용(유지관리용이, 인근지역생산, 재활용재료)	(5) 4. 재료 및 자원-건설폐기물관리, 자재제사용	(3) 4. 재료 및 자원-지속가능한 자원 활용	(0) 자원재생형-재생건축자재의 활용
수도전 등 상수절약 설비	(5) 2.수자원의 효율성-물 사용, 공정 용수 절감	(3) 5.수자원-수자원 절약	(1) -
우수이용	(4) -	(3) 5.수자원-수순환체계 구축	(3) 에너지절약 및 자원절약형-우수재이용
태양광패널, 풍력발전기 등 자연에너지이용의 학습효과	(2) 3.에너지 및 대기-재생에너지 사용	(3) 3.에너지-지속가능한 에너지원 사용	(3) 태양광발전형, 태양열이용형, 기타 신에너지활용형
톱라이트, 고층창, 모니터지붕을 통한 실내 깊은 곳까지 자연채광	(5) 5.실내환경의 질-자연광 이용과 조망	(1) 9.실내환경-직사일광 이용 및 향상된 시환경 확보	(3) 자연채광, 자연환기, 일사조절 등
차양장치를 통한 일사 조정, 환기현상감소	(5) 3.에너지 및 대기	(2) 3.에너지	(0) 자연채광, 자연환기, 일사조절 등
환기설비(환기팬, CO ₂ 와 재질 감지 센서, 자동 개폐식 창문)	(5) 5.실내환경의 질-환기효과 증대	(2) 9.실내환경-공기환경	(0) 자연채광, 자연환기, 일사조절 등
대기오염방지설비(운동장먼지방지)	(0) -	(3) 6.환경오염방지-공기환경	(0) -
연소가스, 소음방지(EHP전기식냉난방설비)	(0) 5.실내환경의 질	(3) 9.실내환경	(0) -
어메니티공간(실내휴게공간 및 식)	(0) -	(3) 9.실내환경-쾌적한 실내환경	(0) -
비오톱(습지, 원시림, 시냇물)등 외부자연환경의 학습효과	(4) -	(2) 8.생태환경-외부공간 및 건물외피의 생태적 기능확보	(3) 자연공생형

주) 미국의 LEED for School, 한국의 학교시설 친환경건축물인증기준, 일본의 에코스쿨정비사업의 평가항목. 괄호속의 수치는 해당 사례수.

4. 결론

본 연구에서는 학교시설에 관련한 국내외 친환경건축물 인증제도 등 관련제도와 친환경 학교시설의 사례를 분석하여 학교건축에서 나타나는 친환경적 계획수법을 파악하였다. 미국의 LEED for School은 지속가능한 부지, 수자원효율, 에너지 및 대기, 재료 및 자원, 실내 환경의 질, 디자인의 혁신성, 지역적인 우선사항의 7개 카테고리에 의해, 한국의 학교시설 친환경건축물인증제도는 토지이용, 교통, 에너지, 재료 및 자원, 수자원, 환경오염, 유지관리, 생태환경, 실내 환경의 9개 부문에 의해 친환경요소를 평가 인증하는 시스템이고 일본의 에코스쿨정비 파이로트 모델사업은 신에너지활용형, 에너지절약 및 자원절약형, 자연 공생형, 목재 이용형, 자원 재생형 등이 있다. 미국,

한국, 일본의 친환경 학교시설 인증평가 기준을 비교분석한 결과, 공통적인 부문은 외부환경, 에너지, 재료 및 자원, 실내 환경의 카테고리로서 종합되었다. 또한 한국의 학교시설 친환경건축물인증제도와 비교해 LEED for School은 외부환경에 관한 인증기준으로 생태환경에 관한 기준이 없으며 일본의 에코스쿨정비 파이로트모델사업은 토지이용, 교통, 환경오염방지의 사업유형이 없으나 대체에너지의 이용에 관한 비중이 상당히 높은 것으로 정리되었다.

각 나라의 친환경 학교시설 11사례를 분석한 결과, 외부환경에 관한 항목의 옥상녹화와 비오톱 설치 및 이에 따른 학습효과를 기대하는 사례가 많다. 에너지에 관한 항목은 학교시설에서 비중 있게 평가되는 부문으로서 동서로 길게 배치하거나 평면이 깊을 경우 중정, 아트리움, 톱라이트, 고층창 등을 설치하여 실내 깊은 곳까지 자연광을 유인하고, 환기를 원활하게 하는 사례가 많다. 또한 차양장치도 많이 도입되는 항목이며, 학생들의 환경학습효과를 노린 태양열패널 등의 대체에너지 이용설비는 학교시설에서 적극 도입되고 있다. 에너지부하의 절감은 옥상녹화 등에 의한 단열성능의 강화가 많다. 재료 및 자원부문에서는 친환경건축자재의 사용과 우수이용 및 수도전 등 상수절약설비가 많이 도입되고 있으며, 실내 환경부문에서는 자연광 이용과 환기효과 증대에 의한 쾌적공간의 실현과 비유해성마감재의 사용이 많다.

한국의 친환경건축물 인증심사기준에만 구체적인 항목이 설치되어 한국의 사례에서만 운동장 먼지방지 설비, 실내 어메니티 공간이 설치되는 등 국가별 친환경수법의 적용경향은 친환경인증기준의 차이에 따른 경향을 보였다. 일본의 사례는 대체에너지 이용이나 외부생태환경을 조성하여 환경학습의 효과에 비중을 두고 있으며 이는 환경부하의 저하와 함께 환경교육에도 활용가능한 시설로서의 정비를 목표로 하는 에코스쿨의 정비방향과 미국, 한국의 친환경건축물 인증평가제도의 유도방향에 차이점이 있음에 기인한다.

참고문헌

1. 이지영, 이경선, “아트리움 공간의 친환경적 활용 사례연구”, 대한건축학회 논문집, 대한건축학회, 24권, 10호, p.p. 123~132, 2010.09
2. 이경선, 지속가능한 캠퍼스 디자인의 계획 및 개선 방향 비교 연구, 한국청소년시설환경학회지, 7권, 1호, p.p.61~72, 2009.02
3. 강은주, 오덕성, 미국 에코스쿨의 계획 기법에 관한 연구,

- 대한건축학회논문집, 22권, 11호, p.p.57~68, 2006.11
4. 김병선, 생태학적 측면에서 본 학교 건축계획, 교육시설학회지, 6권, 3호, p.p.76~84, 1999.05
5. 김창성, 강승구, 에코스쿨 계획을 위한 초등학교 실내 환경 계획 요소 조사, 한국교육시설학회, 15권, 6호, p.p.4~12, 2008.11
6. 류수훈, 학교시설부문 친환경건축물 인증기준의 가이드라인, 교육시설학회지, 16권, 5호, p.p.39~66, 2009.09
7. 양금석, 학교시설의 친환경건축 조성기법과 실태에 관한 사례 연구, 한국농촌건축학회논문집, 11권, 4호, p.p.9~16, 2009.11
8. 윤용상, 김현수, 이건호, 친환경 교육시설 모형개발 연구-에너지 절약학교 시설모형(1), 한국교육개발원, 2008.01
9. 곽종용, 친환경 학교건축계획에 관한 연구, 박사학위논문, 성균관대학교, 2007
10. 環境を考慮した學校施設(エコスクール)の整備について(平成8年3月), 環境を考慮した學校施設に関する調査研究協力者會議, 文部科學省, 平成8年
11. 環境を考慮した學校施設(エコスクール)の現状と今後の整備推進に向けて, 環境を考慮した學校施設に関する調査研究協力者會議, 文部科學省, 平成14年
12. Ford, Alan, Design the Sustainable School, 1st ed. images Publishing, Victoria, 2007
13. http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shisetu/006/toushin/020302.htm
14. <http://www.reallifeleed.com/2008/10/leed-nc-vs-leed-for-schools-whats.html>
15. <http://casestudies.cascadiagbc.org/process.cfm?ProjectID=656>
16. <http://leedcasestudies.usgbc.org> (U.S Green Building Council homepage)
17. http://www.greenschoolbuildings.org/resources/vid_chart_well_school.aspx
18. <https://www.usgbc.org>
19. <http://www.aiatopten.org/hpb> (The American Institute of Architecture Homepage)
20. http://www.sidwell.edu/green_tour/index.aspx
21. http://greensource.construction.com/projects/0707_sidwell.asp
22. [http://www.greendesignetc.net/Buildings_08_\(pdf\)/Walker_Juliana-Clearview_School_\(paper\).pdf](http://www.greendesignetc.net/Buildings_08_(pdf)/Walker_Juliana-Clearview_School_(paper).pdf)
23. <http://www.designshare.com/index.php/projects/clearview-elementary/images@2335>
24. <http://www.nrel.gov/docs/fy02osti/32680.pdf>(National Renewable Energy Laboratory Homepage)

접수 2011. 2. 14
 1차 심사완료 2011. 3. 15
 게재확정 2011. 3. 24