

第 116 回 碩士學位論文

指導教授 李 彦 求

제로 에미션 초등학교 건물 설계 사례 연구

A Case Study on Zero Emission Elementary School
Building Design

中央大學校 大學院

建築學科 建築環境 및 設備專攻

李 惠 隣

2012年 2月

제로 에미션 초등학교 건물 설계 사례 연구
A Case Study on Zero Emission Elementary School
Building Design

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함.

2012年 2月

中央大學校 大學院
建築學科 建築環境 및 設備專攻
李 惠 隣

李惠隣의 碩士學位論文으로 認定함.

審査委員長 _____ ㉠

審査委員 _____ ㉠

審査委員 _____ ㉠

中央大學校 大學院

2012 年 2月

목 차

제1장. 서론	1
1.1. 연구의 배경 및 목적	1
1.2. 연구의 범위 및 방법	3
제2장. 제로 에미션 초등학교 건물 설계에 관한 이론 고찰 ..5	
2.1. 제로 에미션 건물 설계에 관한 이론 고찰	5
2.1.1. 제로 에미션 건물의 정의	5
2.1.2. 제로 에미션 건물의 설계 프로세스	6
2.1.3. 학교 건물의 교육환경 특성	8
2.1.4. 학교 건물의 제로 에미션 설계의 의의	9
2.2. 제로 에미션 학교 건물 사례조사를 통한 설계기법의 선정	11
2.2.1. 제로 에미션 학교 건물 사례 조사	11
2.2.2. 제로 에미션 학교 건물 적용 설계기법의 선정	19
2.3. 소 결	21
제3장. 대상 초등학교 건물 에너지 소비 및 CO ₂ 배출량 분석	23
3.1. 대상 초등학교의 선정	23
3.2. 대상 초등학교 건물 지역 기후 분석	25
3.2.1. 기온 및 습도	25
3.2.2. 풍향, 풍속	26
3.2.3. 일사량	26
3.2.4. 건물생체기후도 분석	27
3.3. 대상 초등학교 건물 에너지 성능 및 CO ₂ 배출량 분석	29
3.3.1. 시뮬레이션 분석 개요	29
3.3.2. 시뮬레이션 도구 선정	29

3.3.3. 시뮬레이션 입력 데이터	30
3.3.4. 대상 초등학교 에너지 소비 및 CO ₂ 배출량 분석	34
3.4. 소 결	41
제4장. 제로 에미션 학교 건물 설계안	43
4.1. 건축 계획기법	43
4.1.1. 배치 및 형태	43
4.1.2. 실의 조닝	45
4.1.3. 외피의 단열성능 향상 및 기밀성 향상	50
4.1.4. 자연형 태양열 획득	53
4.1.5. 자연채광 및 차양	54
4.1.6. 자연환기	59
4.1.7. 옥상 녹화	60
4.2. 설비 기법	61
4.2.1. 고효율 조명	61
4.2.2. 조명 제어 시스템	61
4.2.3. 고효율 설비 기기 사용	62
4.3. 신재생에너지 시스템	63
4.3.1. 태양광 발전 시스템	64
4.3.2. 태양열 급탕 시스템	67
4.3.3. 지열 시스템	69
4.4. 제로 에미션 학교 건물 설계안의 평가	71
4.4.1. 제로 에미션 학교 건물 설계안 평가 개요	71
4.4.2. 설계기법 적용에 따른 설계안의 에너지소비 절감 및 CO ₂ 배출 저감 량 분석	72
4.4.3. 신재생에너지 시스템 적용에 따른 에너지 소비 및 CO ₂ 배출 절감량	80
4.5. 소 결	82
제5장. 결 론	84

참 고 문 헌	86
국 문 초 록	89
ABSTRACT	92

〈표 차례〉

표 1 연구의 흐름도	4
표 2 Zero Emission Building의 디자인 프로세스	7
표 3 교육환경 특성에 따른 고려사항	9
표 4 영국의 CO ₂ 배출량 저감 목표	11
표 6 Ashmount Primary school	12
표 7 Montgomery Primary School	12
표 8 Kingsmead Primary School	13
표 9 Howe Dell Primary Schools	14
표 10 Westborough Primary School	14
표 11 Richardsvill Elementary School	15
표 12 Benjamin Franklin Elementary School	16
표 13 Sidewell Friends Middle School	17
표 14 Lady Bird Johnson Middle School	18
표 15 설계기법의 적용 방안	19
표 15 대상 초등학교 면적 및 실 개요	23
표 16 대상지역 평균 온도, 습도	25
표 17 대상지역 풍향(deg) 및 풍속(m/s)	26
표 18 대상지역 수평면 일사량(W/m ²)	26
표 19 겨울(9~12월)	27
표 20 여름(3~7월)	28

표 21	벽체, 창 구성 및 열관류율	30
표 22	교사동 창면적비	31
표 23	냉난방 설정 및 내부발열부하 설정	31
표 24	냉난방 설정 온도 및 기간	32
표 25	실내 발열 스케줄 및 냉난방 스케줄	33
표 26	대상 초등학교 월별 에너지 소비량 (kWh/yr)	34
표 27	에너지 열량환산기준(총발열량)	36
표 28	에너지 열량환산기준(순발열량)	37
표 29	IPCC의 탄소배출계수	37
표 30	대상 초등학교 CO ₂ 배출량(kgCO ₂ /yr)	38
표 31	적용 벽체의 열관류율	50
표 32	적용 창의 차폐계수 및 열관류율	51
표 33	향에 따른 창면적비 및 차양	55
표 34	차양의 크기	57
표 35	광선반의 크기 및 실내 반사율	58
표 36	옥상 녹화 구성	60
표 37	KS 조도 기준 범위	62
표 38	태양광 발전 시스템 설치 사양	65
표 39	태양광 발전 시스템 발전량	66
표 40	태양열 급탕시스템의 설치 사양 및 집열량	68
표 41	설계안 적용 설계기법	71
표 42	설계안의 에너지 소비 절감 및 CO ₂ 배출 저감량 분석	72
표 43	에너지 소비 절감을	77
표 44	CO ₂ 배출 저감을	79
표 45	신재생에너지 적용을 통한 에너지 소비 및 CO ₂ 배출 저감량	80

〈그림 차례〉

그림 1	제로 에미션 건물의 개념	6
그림 2	대상초등학교 배치도	23
그림 3	기준층(2층) 평면	24
그림 4	대상초등학교 횡단면도	24
그림 5	건물 생체기후도 분석 겨울(9월~12월)	27
그림 6	건물생체기후도 분석 여름(2~7월)	28
그림 7	EnergyPlus	29
그림 8	스케줄	33
그림 9	대상 초등학교 에너지 소비량 월별 분포	35
그림 10	대상 초등학교 에너지 소비량 비율(%)	35
그림 11	대상 초등학교 CO ₂ 배출량 월별 분포	39
그림 12	대상초등학교 CO ₂ 배출량 분포(%)	39
그림 13	대상 초등학교 기존 배치	44
그림 14	설계안 배치 및 형태	44
그림 15	실의 조닝	45
그림 16	배치도 및 1층 평면도	46
그림 17	2층 평면도	47
그림 18	3층 평면도	47
그림 19	4층 평면도	48
그림 20	5층 평면도	48
그림 21	설계안의 종단면도	49
그림 22	설계안 모델링	49
그림 23	건물 외피의 기밀 시공	52
그림 24	동측동 계단실의 부착 온실형 태양열 획득	53
그림 25	향에 따른 창면적비	55
그림 26	차양의 종류	56
그림 27	차양의 길이	56
그림 28	광선반 설치에 따른 채광 유입	57
그림 29	하지 및 동지의 광선반, 차양에 의한 변화	58

그림 30	아트리움을 통한 자연환기	59
그림 31	건물의 옥상 녹화 위치	60
그림 32	태양광 설치 이격거리	64
그림 33	태양광 발전 설치 위치 및 면적	66
그림 34	태양열 급탕시스템	67
그림 35	집열기 설치 위치 및 면적	69
그림 36	여름철 지열냉방기능	70
그림 37	겨울철 지열난방기능	70
그림 38	지열 흡의 설치	70
그림 39	설계안 에너지 소비량(kWh/yr)	74
그림 40	설계안 CO ₂ 배출량(kgCO ₂ /yr)	74
그림 41	신재생에너지 시스템 적용에 따른 저감율	80

제1장. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

18세기의 산업혁명 이후 산업의 발달이 급속화됨에 따라 에너지원의 소비가 급격하게 증가되었다. 이러한 에너지원의 소비는 현대에 들어와 에너지원의 고갈과 온실가스의 배출로 인한 이상기후 변화의 결과를 초래하였다. 이러한 변화에 대응하여 에너지 절약, 온실가스 배출 저감에 관한 여러 분야의 연구가 진행되고 있다.

온실가스 저감을 위한 전 세계적인 노력은 1992년 UN 환경개발 회의(United Nations Conference on Environment and Development, UNCED)에서 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)의 채택을 시작으로 1997년 제 3차 당사국 총회의 교토의정서(Kyoto Protocol)의 채택을 통한 선진국의 온실가스 감축을 의무화하였으며, 2005년 공식적으로 발효되었다. 미국의 캘리포니아주의 경우 2020년까지 1990년 대비 온실가스 배출량 25% 감축을 위한 법안을 제정(2006년)하였으며, 영국은 2050년까지 80%의 온실가스 배출량을 감축할 것을 목표로 설정(2007년)하였다. 이와 같이 미국, 유럽연합(EU), 일본 등의 선진국들은 1990년 대비 평균 5.2%의 온실가스 감축 목표를 제시하였다.

우리나라 국가 전체 에너지 및 온실가스 배출량의 25%이상이 건물부문이 차지하고 있으며¹⁾, ‘저탄소, 녹색성장’을 국가 비전으로 제시하고, 기본 방침으로 지속가능한 성장을 위한 녹색기술과 청정에너지의 이용을 통하여 온실가스와 환경오염을 줄이고자 하였다. 건축분야에서는 모든 건축물의 에너지 절약 및 친환경건축을 위한 설계기준을 강화하였으며, 신재생에너지 설치

1) 건설교통부, 건설부문 온실가스 배출 분석 연구, 한국건설기술연구원, 2006

보급률을 높이기 위해 공공기관 및 학교시설의 신재생에너지 설치를 의무화 하였다. 하지만 이러한 정부의 정책은 에너지 절약에 치중되어 왔으며, CO₂ 배출량의 저감을 위한 기준 또는 평가에 있어 매우 소극적이다. 각 건축물의 용도에 따른 적합한 CO₂ 배출량 저감 설계기법, 기준, 평가 방법에 관한 연구가 이루어져야 하며, 에너지 소비 저감뿐만 아니라 CO₂ 배출량에 관한 평가 기준 마련 등의 노력이 매우 필요한 시기이다.

주거, 업무, 상업시설의 경우 대규모, 복합적인 용도로 인하여 에너지 절약 및 CO₂ 배출 저감을 위하여 많은 노력과 투자가 필요하다. 하지만 학교시설의 경우 사용시간이 한정적이며, 단순한 형태, 실의 용도가 다양하지 않아 다른 건물 유형보다 적은 노력과 투자로 에너지 소비 및 CO₂ 배출 제로 목표를 실현하기에 적합한 건물 유형이다. 학교 시설의 경우 전국에 골고루 분포되어 있으며, 친환경 건물과 에너지 소비량 감소 및 CO₂ 배출량의 저감을 위한 설계기법의 적용과 신재생에너지 시스템의 적용은 학생들의 직접적인 학습의 여건을 제공할 수 있다.

본 연구에서는 에너지 절약적 설계기법의 적용과 신재생에너지 시스템의 적용을 통한 CO₂배출량 제로를 목표로 하는 제로 에미션 학교 건물의 설계안 사례를 제시하였다.

초등학교 건물을 대상으로 에너지 소비 및 CO₂ 배출량의 제로 '0' 를 목표로 한 설계안을 계획하고 그에 대한 정량적 평가를 실시하였다. 국외의 제로 에미션 학교 건축물의 사례를 조사하여 적용된 설계기법의 분석을 통하여 대상 초등학교 대지의 기후 및 에너지 소비, CO₂ 배출량 분석으로 냉난방, 조명에너지 소비의 저감을 위한 설계기법의 단계별 계획을 통하여 29.73%의 CO₂ 배출량을 감소하고 대지 내 적용 가능한 신재생에너지 시스템의 적용을 통하여 기존 초등학교 대비 70.45%의 CO₂ 배출량을 저감하였다.

이러한 제로 에미션 학교 건물의 설계안 계획과 평가를 통하여 제로 에미션 건물 설계의 가능성과 방향을 제시하고자 하였다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 제로 에미션 건물에 관한 이론고찰 및 국외의 제로 에미션 학교 건물의 사례조사, 분석을 통하여 대상 초등학교 건물에 적용 가능한 설계기법을 도출, 선정된 설계기법을 적용하고, 대상 초등학교 대지내 적용 가능한 신재생에너지 시스템의 적용으로 제로 에미션 학교 건물 설계안을 제시하고자 한다.

본 연구의 진행 방법을 요약하면 다음과 같다.

1) 제로 에미션 건물에 관한 이론고찰

에너지 절약적 건물의 개발과 온실가스 저감을 위한 건물의 개발을 위한 제로 에미션 건물 계획의 요구가 높아짐에 따라 제로 에미션 건물의 개념을 살펴보고 그에 따른 제로 에미션 건물 디자인 프로세스에 관하여 고찰한다.

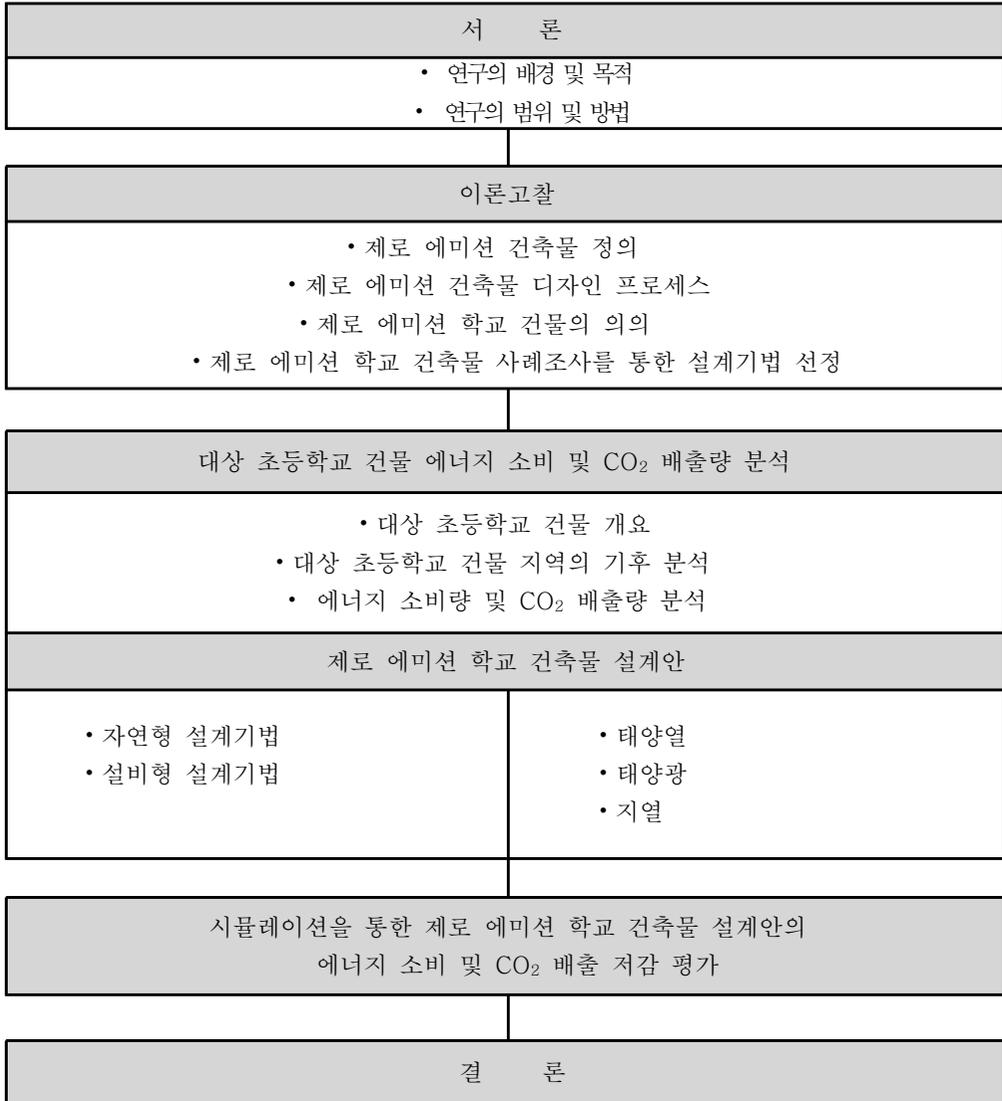
2) 제로 에미션 학교 건물 설계를 위한 설계기법들의 선정을 위하여 국외의 제로 에미션 학교 건물의 사례를 조사, 적용된 설계기법을 고찰한다.

3) 사례조사를 통한 제로 에미션 학교 건물의 설계기법의 적용현황을 살펴보고 대상 초등학교 건물지역의 기후 및 대지에 적합하며, 대상 초등학교의 에너지 및 CO₂ 배출량 평가를 통하여 적합한 설계기법을 선정한다.

4) 선정된 설계기법의 설계안 적용 계획 및 신재생에너지 시스템의 적용을 통한 대상초등학교의 제로 에미션 학교 건물을 설계한다.

5) 제로 에미션 학교 건물 설계안의 설계기법 적용과 신재생에너지 시스템의 적용에 따른 에너지 소비량 및 CO₂ 배출량의 평가를 한다.

표 1 연구의 흐름도



제2장. 제로 에미션 초등학교 건축물 설계에 관한 이론 고찰

2.1. 제로 에미션 건축물 설계에 관한 이론 고찰

2.1.1. 제로 에미션 건축물의 정의

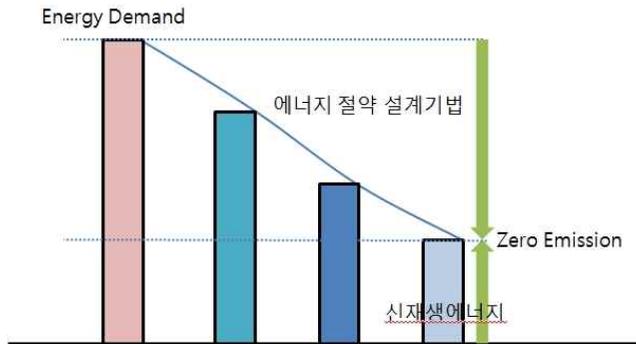
제로 에미션(Zero Emission)은 1994년 일본의 국제연합대학(United Nation University)의 Gunter Pauli에 의하여 구상된 친환경 산업발전의 개념으로 궁극적으로 생산 과정에서 발생하는 폐기물의 최소화, 또는 무(無)배출을 목표로 하는 순환형 산업시스템을 말한다²⁾.

이러한 제로 에미션의 개념은 여러 산업분야에 적용되어져 왔으며, 건축분야에서의 제로 에미션 건축물의 개념은 건축물의 운영단계에서 배출되는 온실 가스량을 제로(0)로 하는 것을 목표로 하는 건축물을 뜻한다. 외부로부터 화석에너지 공급을 받지 않고, 건물에서 사용되는 에너지를 최소화 하며, 연간 건물에서 사용되는 에너지를 신재생에너지의 생산량으로 충당하여 온실가스 배출량을 제로로 만드는 것을 목표로 한다. 이는 화석연료의 사용으로 배출되는 온실가스 배출량의 저감, 즉 제로를 만들기 위하여 자연에너지인 태양열, 풍력, 지열 등의 재생에너지 생산으로 건물의 운영에 필요한 에너지를 충당하는 방식을 말한다³⁾.

2) 한국생산기술연구원 국가청정생산지원센터, 제로에미션(Zero emission) 가이드라인과 매뉴얼, 2004

3) 강수연, Zero Emission Building의 디자인 프로세스에 관한 연구, 중앙대학교 대학원, 석사학위 논문, 2007, p12

그림 1 제로 에미션 건물의 개념



이러한 제로 에미션 건축물은 초기 설계단계부터 에너지 절약 설계기법의 적용뿐만 아니라 CO₂ 배출을 저감하는 설계기법을 조사, 선정하여 적용함으로써 건물의 부하를 최소화하고, 대지의 주변조건 및 건축물에 적용 가능한 신재생에너지 시스템의 효율적 적용에 따라 CO₂ 배출량이 적은 에너지를 제공하는 방안이 제로 에미션 건축물 설계의 기본 접근 방법이다.

2.1.2. 제로 에미션 건축물의 설계 프로세스

본 연구에서는 대상 초등학교 건물의 제로 에미션 학교 건물 설계를 위하여 제로 에미션 건물의 디자인 프로세스에 관한 선행연구를 고찰하였다.

제로 에미션 건축물 디자인 프로세스에 관한 연구로 2007년 강수연, “Zero Emission Building의 디자인 프로세스에 관한 연구”⁴⁾를 고찰하였으며, 선행 연구에서는 건물의 운영단계에서 발생하는 CO₂ 배출량 저감을 위한 제로 에미션 건축물 디자인 프로세스를 제시하였다.

제로 에미션 건축물의 계획방법에 관한 내용으로 설계 초기 단계에서부터 적합한 설계기법의 선정과 다양한 대안의 제시 및 평가를 통하여 최적안을 선정하는 방법을 제시하였다.

4) 강수연, Zero Emission Building의 디자인 프로세스에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 석사학위 논문, 2007

표 2 Zero Emission Building의 디자인 프로세스

단계	단계별 프로세스				
기획	CO ₂ 저감목표 설정				
	대상 부지 특성 분석		기초 자료 조사		
	개념적인 설계전략 수립				
기본 계획	미기후 분석		건물부하 및 에너지소비특성 분석		
	제로 에미션 요소기술 이용가능성 및 잠재성평가				
기본 설계	구체적 설계목표 설정	에너지 절감목표 설정	재생에너지 공급량 설정		
	대안 설계				
	에너지절약계획		건축계획	설비시스템 계획	
	재생에너지 시스템 계획	건물 부하분석	시스템 담당 부하 결정	시스템 규모 및 위치결정	
	대안평가				
실시 설계	최종 성능 평가				

가. 기획단계

기획단계에서는 대상 건물의 설계전략을 수립하는 단계로 건물의 용도에 따른 에너지 소비량을 바탕으로 CO₂ 저감 목표를 설정하며, 대지의 현황조사와 기초자료 조사를 통하여 대상 건물 설계에 적합한 설계기법 및 신재생에너지 시스템에 관한 기초자료를 수집, 개념적인 설계전략을 수립한다.

나. 기본계획

건축물 대지의 미기후 분석과 건물의 부하 및 에너지 소비특성을 분석하고, 설계기법의 적용가능성 평가에 관한 기준 자료의 조사와 신재생에너지에 관한 정부의 재정 지원 등에 관한 경제성을 검토한다.

다. 기본설계

에너지 절감 목표 설정 및 신재생에너지 공급량 설정을 통하여 목표의 달성을 위한 설계기법의 적용, 디자인을 제시한다. 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 설계기법들의 성능을 평가하고 대안의 평가를 실시한다.

라. 실시설계

대안에 관한 평가를 통하여 최종 설계안이 결정되면 실시설계를 시작하며,

최종 설계도서 및 시방서에 따른 시뮬레이션이 이루어진다. 예산 및 경제성에 대한 평가가 실시된다.

선행 연구에서 제시하는 제로 에미션 건축물 디자인 프로세스는 초기단계부터 적합한 설계기법과 재생에너지 활용기술의 선정에서 고려하여야 할 부분을 제시하였으며, 기존의 건축 설계 프로세스와 제로 에미션 구현 프로세스의 차이점에 대하여 연속된 프로세스가 아닌 평가와 피드백의 단계를 포함한 통합적 설계과정을 제시하였다.

2.1.3. 학교 건물의 교육환경 특성

학교 건물은 학생들의 생활공간으로 성장기의 학생들에게 물리적, 정신적인 영향을 미치기 때문에 학생들의 학습 능력 향상과 건강을 위한 쾌적한 교육환경을 제공하여야 한다.

학교 건물의 경우 학생들의 학습 능력의 향상을 위하여 실내의 열환경, 빛환경, 공기환경 및 음환경에 대한 쾌적도 유지가 중요하며, 학생수의 변화와 교육과정의 변화에 적절히 대응할 수 있는 공간 구성 및 실내의 기밀성, 환기량, 조명 시설 등의 요구조건들이 적합하여야 한다⁵⁾.

학교 교실은 실내공간에서 많은 학생들이 활동하며, 장시간 재실하기 때문에 적절한 에너지의 사용을 통하여 실외 기후로부터의 영향을 최소화하여 쾌적한 열환경이 유지되어야 한다. 실의 기능에 따른 사용패턴이 매우 다양하므로 각 실의 특성을 고려한 에너지 절약적 실내 열환경을 조성하여야 한다.

빛환경의 경우 자연채광을 적절히 활용하여 실의 기능, 사용패턴에 따라 적절한 조도를 유지하여야 하며, 자연채광의 활용에 있어 창 측의 눈부심이나 극심한 휘도차를 최소화 하고 실내조도는 균질하게 유지하여야 한다. 자연채광의 활용과 함께 날씨의 변동에 따른 변화에 적절하게 대응, 조명 에너지 소비를 감소시킬 수 있는 인공조명 계획이 필요하다.

5) 한국교육환경연구원, 학교건축계획, 2009

표 3 교육환경 특성에 따른 고려사항

환경	고려사항	
열환경	단열, 기밀화	쾌적한 실내 온도, 습도의 유지, 침기로 인한 불쾌적 제거
빛환경	자연채광 인공조명계획	눈부심, 극심한 휘도차 최소화 실의 균제도 유지, 에너지 절약적 조명 계획
공기환경	환기 및 통풍 계획	친환경 건축재료 사용 효율적인 자연환기 계획

교실 공기환경의 경우, 재실 밀도가 높고, 에너지 절약을 위하여 높아진 기밀화된 실내공간에서 학생들의 이동이 많으며, 자발적인 환기와 통풍이 어려우며, 실내의 건축자재 및 생활용품 등의 오염원에서 방출되는 공기오염 물질로 인한 공기질 저하는 학생들에게 직접적인 영향을 미친다. 이러한 실내 공기 오염은 설계 초기단계의 환경 친화적인 건축 재료의 사용과 적절한 자연환기계획을 적용하여야 한다.

음환경의 경우 외부의 소음에 의한 실내 수업시간의 능률 저하를 방지하기 위하여 수목이나 방음의 시설이 필요하며, 특수교실인 음악실 등은 음환경에 대한 고려가 필요하다.

2.1.4. 학교 건물의 제로 에미션 설계의 의의

기후 변화의 원인이 되는 온실가스의 배출은 건물에서 사용되는 화석연료에 의하여 배출된다. 이는 건물의 운영기간동안의 실내의 쾌적을 유지하기 위한 난방, 냉방, 조명 등의 에너지 소비에 의하여 배출되며, 이를 감소시키기 위하여 건물의 계획단계부터 에너지 절약적 설계기법의 고려와 적용이 이루어져야 한다.

CO₂ 배출 저감을 위한 에너지 절약적 설계기법의 적용은 건물의 종류와 사용, 위치, 규모에 따라 각 건물의 유형에 적합하게 선정, 적용하여야 하며, 건물의 유형에 따라 건물에서 사용되는 에너지 저감 목표를 설정하여야 한다.

CO₂ 배출 저감에 있어 국가의 저탄소 녹색성장의 패러다임을 위한 대응 방안으로 공공건물을 대상으로 에너지 절약과 CO₂ 배출 저감 방안을 모색하고

있으며, 공공건물 중 학교 건물의 경우 지역 단위의 커뮤니티 성격을 가지고 있어 에너지 절약과 CO₂ 배출 저감, 건물의 설계는 지역 주민의 의식전환과 소규모 클러스터 단위의 제로 에미션을 위한 기초 단계의 역할을 할 것이다.

학교 건물은 전국에 고르게 분포되어 있으며, CO₂ 배출 저감 방안의 적용은 기후변화 대응관련 교육의 활성화를 위한 학생들의 교육적 파급효과를 높일 수 있다. 또한 학교 건물의 대지는 일반건물과 달리 여유 공간이 많아 신재생에너지 시스템의 적용에 있어 적용 가능 대지 면적의 확보가 쉽고, 근접 건물에 의한 영향이 적은 장점을 가지고 있다.

현재 국내의 학교 건물은 60,70년대에 지어진 학교 건물을 증개축하는 학교가 상당부분이며, 최근 교육부의 교실환경개선사업으로 냉난방 시설의 설치로 교실 환경의 개선이 이루어지고 있으나, 기존 건물의 경우 외벽의 단열 성능이 현저히 낮아 냉난방 시행 시 에너지 소비가 높게 나타나며, 이러한 단열성능의 저하는 학교 건물에서 소비되는 에너지에 의하여 배출되는 CO₂에도 큰 영향을 미친다.

또한 교실의 비효율적인 자연채광 이용으로 실내의 냉난방 및 조명에너지 소비량이 불필요하게 높게 나타나 자연채광의 유입을 적절히 조절하여 냉난방 에너지의 감소와 조명에너지 감소의 적용 방안을 계획하여 배출되는 CO₂ 양을 저감하여 한다. 에너지 절약적 설계기법의 적용을 우선으로 하여 건물에서 소비되는 에너지를 최소화하고 자연에너지를 사용한 신재생에너지 시스템의 적용을 통한 설계는 학교 건물에서 배출되는 CO₂의 양을 감소시킬 수 있는 방안이다.

이러한 제로 에미션 학교 건물의 설계안 사례를 통하여 앞으로의 제로 에미션 건물 설계의 방향 제시는 매우 중요하다.

2.2. 제로 에미션 학교 건물 사례조사를 통한 설계기법의 선정

2.2.1. 제로 에미션 학교 건물 사례 조사

1) 영국

영국의 학교 건물에서 배출되는 이산화탄소는 연간 940만톤에 이르며, 영국 전체 이산화탄소 배출량의 약 2%를 차지하고 있다.

영국 정부는 2013년부터 새로 지어지는 학교 건축물의 경우 2002년 건축물 대비 이산화탄소 배출량을 80%이상 감축할 것을 목표로 하며, 2016년까지 새로 지어지는 학교 건축물의 경우 CO₂ 배출량 제로를 목표로 하고 있다.⁶⁾

표 4 영국의 CO₂ 배출량 저감 목표

년도	면적당 배출량 목표	저감율(2002년 건물기준)
2013	10 kgCO ₂ /m ² p.a(new schools)	80%
2016	0 kgCO ₂ /m ² p.a(new schools)	Zero Carbon

영국의 아동학교가족부 DCSF(Department for Children, Schools, and Families)에서는 제로 탄소(Zero Carbon) 배출 시범학교를 운영하여 탄소 배출 제로의 학교 구현을 강조하고 있다. 제로 탄소 태스크포스(Zero Carbon Task Force)를 결성하여 새로 지어지는 학교 건축물의 탄소 배출 제로를 위한 적용 방안과 관리를 시행하고 있다.

(가) Ashmount Primary School

Ashmount Primary School은 런던 북쪽 이즐링턴(Islington) 지역의 크라우치 힐 커뮤니티 공원(Crouch Hill Community Park)에 위치해 있으며, 영국의 건축 환경 영향 평가제도인 BREEAM에서 outstanding 등급을 받았다. 420명의 학생들이 생활하고 있으며, 3층으로 이루어져 있다.

축열 성능을 향상시키기 위하여 현장 타설 콘크리트 프레임(In-Situ

6) DCSF(Department for Children, Schools, and Families), Road to zero carbon final report of the Zero carbon task force, 2010

Concrete Frame)을 사용하였으며, 굴뚝효과를 통한 건물 전체의 자연환기 효과를 향상시켰다. 교실뿐만 아니라 건물 전체에 최대한의 자연채광 도입을 위한 큰 개구부 계획과 남측의 수평 차양, 동,서측의 수직차양을 적용하였다. 다년생 식물을 이용한 옥상 녹화 및 지붕면을 통한 우수의 집수 시스템을 적용하였다. 고효율 조명 기기를 사용하였다.

표 6 Ashmount Primary school

사례	적용기술
 <p data-bbox="194 768 568 795">Ashmount Primary School(UK)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 외피의 높은 단열성능 • 자연환기(굴뚝효과) • 자연채광 • 차양설치 • 옥상 녹화(Sedum Roof) • 중,우수의 저장 및 재사용 • 고효율 설비 • CHP(Combined Heat and Power)

(나) Montgomery Primary School

Montgomery Primary School은 잉글랜드 데번카운티 엑서터(Exeter, Devon County)에 위치해 있으며, BREEAM에서 very good 등급을 받았다. 학생수는 420명이며, 층수는 1층으로 이루어져 있다.

European Passive house를 기준으로 하여 외피의 기밀성능을 0.6ACH 향상시키고 축열을 위해 단열성능을 향상시켰다. 자연채광 이용과 자연환기 성능을 향상시키기 위하여 천창을 적용하였으며, 천창은 자동 개폐장치가 설치되어 있다. 중,우수의 저장을 통하여 정원의 관개수로 사용한다. BIPV를 통하여 연간 166,000kWh의 전력을 생산, 이를 통한 화석연료 사용은 '0'로 예측된다.

표 7 Montgomery Primary School

사례	적용기술
 <p data-bbox="262 1613 515 1667">Montgomery Primary School(UK)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 외피의 높은 단열성능 • 기밀성능 향상 • 자연채광(천창) • 자동 개폐장치 설치 • 중,우수의 저장 및 재사용 • 고효율 설비 • BIPV 설치

(다) Kingsmead Primary School

Kingsmead Primary School은 잉글랜드 북서부의 체셔에 위치하고 있으며, 학생수는 210명이다. 건물의 형태는 굽은 복도가 중앙에 있으며, 복도를 따라 북쪽에 교실이 위치한 1층 건축물이다. 북향에 위치한 교실은 여름의 일사에 의한 과열을 방지하기 위하여 설계되었으며, 태양전지가 장착된 블라인드가 천장에 설치되어 있어 겨울에는 일사량을 획득, 여름에는 차단하는 역할을 하도록 하였다.

축열을 위한 외피의 단열성능을 향상시키고, 기밀성능을 향상시켰다. Low-e, 이중, 삼중 유리를 사용하였으며, 상부창과 천창을 통한 자연환기 성능을 향상시켜 기기환기 적용보다 CO₂ 배출량을 40%정도 감소 시켰다. 실내,외 사이에 버퍼존을 형성하여 실내로 유입되는 태양열 획득을 하였다.

투명 재질의 Perspex Drainpipe를 이용한 우수 저장 시스템은 학생들이 직접적으로 경험할 수 있는 우수 저장 교육현장을 제공, 고효율 조명과 센서를 통한 제어, 고효율 기기 사용, 전력사용 모니터링을 실시하였다.

Solar Panel을 통하여 연간 4,800KWh의 전력을 생산하며, 지열과 소형풍력 발전기를 설치하였다. 또 바이오매스를 이용하여 난방열을 공급하였다. 이 외에도 저탄소 교통수단을 권장하고, 배출되는 폐기물의 양을 30%감소하는 계획을 제시하였다.

표 8 Kingsmead Primary School

사례	적용기술
 <p>Kingsmead Primary School(UK)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 외피의 높은 단열성능 • Low-e, 이중,삼중유리 사용 • 천장, 차양(블라인드) • 자연형 태양열 획득 • 상부창, 천창 이용 자연환기 • 기밀성능 향상 • 중,우수의 저장 및 재사용 • 친환경 목재 사용 • 방풍시설 설치 • 고효율 조명, 센서 설치 • 고효율 기기 사용 • 전력 사용 모니터링 • BIPV 설치, 지열, 풍력 • 바이오매스 사용

(라) Howe Dell Primary School

Howe Dell Primary School은 영국 잉글랜드 동남부의 해트필드셔주(Hatfieldshire)에 위치해 있으며, 4-11학년의 학생 480여명이 생활하고 있다. 대지 내에 유아 보육시설이 있으며, 인공조명 사용의 최소화를 위한 자연채광적용, 천창과 light wall적용, 열손실을 감소시키기 위한 고성능 유리의 사용, 높은 단열성능의 외피를 적용하였다. 중수의 재활용 시스템을 통한 수자원 절약, 고효율 설비를 적용하였다. 신재생에너지의 적용은 지붕면의 PV 설치, 풍력, 지열이 적용하였다.

표 9 Howe Dell Primary Schools

사례	적용기술
 <p>Howe Dell Primary School(UK)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 외피의 단열성능 향상 • 고성능 유리 사용 • 자연채광, 천창, Light Wall • 중수 재활용 • 고효율 설비 • PV 설치, 풍력, 지열 • 친환경 재료 사용

(마) Westborough Primary School

Westborough Primary School은 잉글랜드 데번카운티 엑서터(Exeter, Devon County)에 위치해 있으며, 기존의 건축물을 리모델링을 통하여 Zero Carbon 계획기법들을 적용하였다.

기존 건축물의 단열성능을 향상 시키고, 기밀성을 높여 냉난방에너지의 사용을 절감하였고, 실내로 자연채광을 최대한 받아들이도록 하였다. 신재생에너지는 PV의 설치와 바이오매스 열을 이용하였다. 풍력의 경우 초기 계획단계에서 고려하였으나, 설치되지 않았다.

건축물에서 사용되는 화석연료를 줄이고, 신재생에너지 시스템에 의한 에너지 생산으로 CO₂의 배출량은 기존 건축물의 70%를 감소시켰다.

표 10 Westborough Primary School

사례	적용기술
 <p data-bbox="255 542 513 600">Westborough Primary School(UK)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 외피의 단열성능 향상 • 기밀성 향상 • 자연채광 • 고효율 조명, • 고효율 기기 사용 • PV 설치, 바이오매스

2) 미국

미국의 EPA(Environmental Protection Agency)는 환경친화적인 녹색건물의 개발을 강조하고 있으며, 에너지 제로(Energy Zero), 탄소중립(Carbon Neutral)의 건축물 개발을 추진하고 있다. 미국의 경우 교육행정을 각 주에 따라 에너지 제로, 탄소 중립 학교 건축물의 개발 및 적용에 관한 정책을 시행하고 있다⁷⁾.

미국의 그린빌딩협의회(USGBC:U.S. Green Building Council)의 친환경 건축 인증제도 LEED(Leadership in Energy and Environmental Design) for Schools 에서 학교 건축물에 관한 인증을 실시하고 있으며, K-12(12학년)을 기준으로 하여 학교 시설에 관련된 환경성능을 평가하고 있다.

(가) Richardsvill Elementary School

Richardsvill Elementary School은 미국의 켄터키주의 워렌 카운티(Warren county, Kentucky)에 위치해 있으며, 442명의 학생, 2층으로 이루어져 있다. 2010년 8월에 완공되었다.

계획기법으로는 ICFs(Insulated Concrete forms, Smart Insulation)를 사용하여 건축물의 단열성능을 향상시켰으며, Sandwich Panel Glass, 투과율 75%의 유리를 사용 일사열의 획득을 적절하게 차단하였다. 상부창과 천창을 이용하여 자연채광을 최대로 이용하였으며, 교실의 남측면에 차양을 설치하

7) EPA(Environment Protection Agency), www.epa.gov

표 11 Richlandsvill Elementary School

사례	적용기술
 <p data-bbox="240 575 522 633">Richlandsvill Elementary School(USA)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ICFs 사용 • Sandwich panel glass • 천창 • 차양(교실) • 자연환기 • 중,우수의 저장 및 재활용 • 대나무 재료 사용 • 고효율 기기 사용 • CO₂ 모니터링 • BIPV 설치, 지열

였다. air monitoring을 통하여 자연 환기 방법으로 실내의 공기환경을 조절하였다.

우수를 저장하여 화장실에서 재사용하며, 물 사용 모니터링을 시행하고 있다. 고효율 기기를 사용하였으며, CO₂ 배출량의 모니터링을 실시하였다.

Solar Panel은 40,000ft²의 지붕면에 설치하여 전력을 생산하며, 학교 건물에서 사용되는 전력보다 많은 생산량은 외부에 제공하도록 하였다.

(나) Benjamin Franklin Elementary School

Benjamin Franklin Elementary School은 미국 워싱턴의 커클랜드(Kirkland, Washington)에 위치하고 있다. 학생수는 450명이며, 2층 건물이다.

계획기법으로는 자연채광을 위하여 동서로 긴 건물을 배치하였으며, 북,남측으로 자연채광을 받아들인다. 적절한 창의 크기와 차양을 통하여 글레어와 확산광을 적절히 조절하였다. 굴뚝 효과를 통하여 교실과 복도의 자연 환기를 유도하며, 강제 환기 시스템은 제한적인 공간만 적용하였다. 고효율 조명 기기를 사용하며, 센서를 통한 조명 조절 시스템을 적용하였다.

외피의 단열성능은 ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Con. Engineers) 기준을 따라 적용하였다. 이외에 우수 저장을 통하여 관개수와 소변기에 사용되는 물의 양을 감소 시켰으며, 폐기물의 재활용에 관한계획을 제시하였다. 학교 전체의 건축물에서 배출되는 CO₂를 모니터링하는 시스템을 적용하였다.

표 12 Benjamin Franklin Elementary School

사례	적용기술
 <p data-bbox="200 591 562 643">Benjamin Franklin Elementary School(USA)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 고단열 외피 적용 • 자연채광, 자연환기 • 실내 광선반, 차양 설치 • 저속, 무수소변기 설치 • 차양 자동 조절 • CO₂ 모니터링 • 무독성 친환경 재료

(다) Sidwell Friends Middle School

Sidwell Friends Middle School은 워싱턴(Washington, DC)에 위치해 있으며, 학생수는 405명이다. 3층 건물로 유치원부터 12학년까지의 학생들이 생활하고 있다.

지붕과 벽, 창문의 단열 성능 향상과 옥상의 녹화 공간의 적용으로 단열 효과를 향상시켰다. 자연채광을 최대한 받아들이기 위하여 남측면에 큰 창을 설치, 높은 층고를 계획하였다. 천창을 설치하여 인공조명의 사용을 감소시키고, 고효율의 조명기기를 사용하였다. 재실자의 이동을 감지하는 센서를 설치하고 실에 재실자가 없을 때 조명을 끄도록 설정하였다. 연돌 효과를 적용하여 원활한 자연환기를 유도하였다. 지붕 녹화와 습지대의 조성을 통하여 우수의 저장 및 재사용하였다. 지붕면에 120개의 Solar Panel을 설치하였으며, 온실가스 1백만톤을 저감시켰다.

표 13 Sidwell Friends Middle School

사례	적용기술
 <p data-bbox="248 1628 513 1680">Sidwell Friend Middle School(USA)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 고단열 외피 적용 • 자연채광, 수평,수직차양 설치 • 자연환기 • 옥상 녹화, 습지 조성 • Solar Panel 설치

(라) Lady Bird Johnson Middle School

Lady Bird Johnson Middle School은 미국 텍사스에 위치하고 있으며, 2층으로 이루어져 있다. 미국의 친환경 건축물 인증제도 LEED(Leadership in Energy and Environmental Design)에서 Gold 등급을 획득하였으며, 적용 계획기법은 단열 성능의 향상과 고성능 유리, 자연채광, 적절한 차양의 설치, 고효율 기기 사용, 우수 저장을 위한 투과성 포장, 에너지 사용량의 모니터링, 신재생에너지는 Solar Panel 설치, 지열, 풍력이 적용되었다. 신재생에너지에 의하여 생산되는 에너지의 양이 전체 학교 건축물에서 소비되는 양보다 초과 생산될 경우 외부에 제공하도록 하였다.

표 14 Lady Bird Johnson Middle School

사례	적용기술
 <p data-bbox="222 1078 540 1136">Lady Bird Johnson Middle School(USA)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 높은 단열성능 적용 • 자연채광, 차양 설치 • 고성능 유리 • 고효율 조명 기기 • 고효율 기기 사용 • 중,우수 저장 및 재사용 • Solar Panel, 지열, 풍력 • 에너지 모니터링

2.2.2. 제로 에미션 학교 건축물 적용 설계기법의 선정

제로 에미션 건축물의 개념과 학교 건축물의 교육환경 특성을 고찰하고 국외의 제로 에미션 학교 건축물의 사례 조사를 통하여 각 사례에 적용된 설계기법을 참고하여 국내 학교 건물에 적용 가능하며, 대상 초등학교의 설계안에 적합한 건축계획, 설비 기법, 신재생에너지 시스템을 선정하였다.

국외의 제로 에미션 학교 건물 사례에 적용된 설계기법은 건물의 동서로 긴 남향배치와 외기에 면하는 면적이 작은 건물의 형태, 외피의 단열성능의 향상 및 기밀성 향상, 자연채광을 고려한 창과 차양의 설치, 자연 환기, 건물의 외피 녹화 등이 계획기법에 있어 가장 중요하게 고려되었으며, 고효율 조명, 고효율 설비 적용, 조명제어 시스템을 적용하여 CO₂ 배출량을 저감하였다. 신재생에너지는 태양광, 태양열, 지열, 풍력, 바이오매스 등이 적용되었다.

본 연구에서는 위의 사례분석을 통한 적용 설계기법을 바탕으로 국내 학교 건물에 적용 가능하며, 대상 초등학교의 설계안에 적합한 건축계획, 설비 기법, 신재생에너지 시스템을 선정하였다.

표 15 설계기법의 적용 방안

항목	분류1	분류2	적용 방안
건 축 계 획 기 법	대지의 주변조건 및 미기후	건물의 배치 및 형태	건물의 향 남향, 남동향, 인접건물을 고려한 배치, 태양광 및 바람의 유입 고려
	부하에 따른 조닝	교실	남향(최소 한면이 자연채광에 유리하게 배치)
		특수교실	과학실, 실험실은 화장실과 가까운 곳에 위치(배관길이 단축)
		강당, 체육관	북쪽에 위치
		복도	중복도, 클러스터형식이 에너지 절약적, 편복도 형식의 경우 환기와 자연채광 효율 높음
	외피의 계획	벽,창호의 단열 성능 향상	축열체의 역할, 외단열, 옥상 녹화를 통한 지붕의 단열성능 향상
		기밀성능 향상	외피의 벽체, 창호, 콘센트박스, 전선관부위 등의 기밀시공으로 침기량으로 감소
		방풍공간 설치	버퍼공간 설치(출입구로 유입되는 바람 차단)
	자연채광 및 차양의 설치	측창, 천창, 아트리움	남,남동측은 최대한 창은 넓게 하고 북측창의 경우 자연채광과 환기를 만족할 수 있는 범위내 최소, 측창의 글레이 방지를 위하여 천창 설치
		고정,가동식 차양, 광선반	실내 유입 직사일광 차단, 확산, 반사광 유입 난방기간 일사 최대유입 유도, 냉방기간 일사 차단 역할
자연 환기	개구부의 형태 및 크기, 위치 계획	중앙홀 등의 개방된 공간의 연돌효과를 이용, 실내의 유해 분진 및 오염원을 배출	
건물 녹화	옥상 녹화	일반건축물 대비 식재가능면적 넓고, 교육적 생태공간 조성	
항목	분류1	적용 방안	
설 비 기 법	고효율 조명	교실 책상면 기준 300lux 이상 유지 , 최대조도와 최소조도 비는 3대 1이하, 고효율 에너지 기자재인증제도의 인증제품 사용(LED램프 등)	
	조명제어 시스템	센서 설치를 통한 재실 및 조도에 따른 조명기구 소비 에너지 절감	
	고효율 설비	HVAC 시스템의 효율 향상을 통한 냉난방에너지 절감	
항목	분류1	적용 방안	
신 재 생 에 너 지	태양광	학교 운영 시간 일조시간, 태양광 시스템 적용에 적합함, 국내 방향과 경사각 고정, 지붕면에 설치, 국외 개구부나 차양 시설의 디자인적 요소로 적용	
	태양열	학교의 급식시설, 화장실 등의 급탕 수요 증가, 자연에너지원의 온수 생산 효과	
	지열	여유대지 확보가능, 지중열 히트펌프	

2.3. 소 결

본 장에서는 제로 에미션 건물의 설계를 위한 선행 연구 고찰을 통하여 제로 에미션 건물의 정의와 설계 프로세스를 살펴보고, 국외의 제로 에미션 학교 건물의 사례조사를 통하여 적용 설계기법을 선정하였다.

제로 에미션 건물은 외부로부터 화석연료의 공급 없이 대지내에서 생산되는 자연에너지를 사용한 생산 에너지로 건물에서 사용되는 에너지를 충당하는 방식의 건물을 말하며, 궁극적으로 건물에서 배출되는 CO₂를 제로 '0' 로 하는 건물을 말한다.

제로 에미션 건물의 설계 프로세스에 있어 초기단계에서부터 대상부지의 특성과 에너지 절감 및 CO₂ 배출 저감을 위한 설계전략을 설정하여야 하며, 건물의 부하 및 에너지소비특성에 적합한 설계기법의 적용가능성을 평가하여야 한다. 이러한 기초 자료를 토대로 제로 에미션 건물을 위한 건축 계획, 설비 기법을 적용하며, 신재생에너지 시스템의 적용성을 평가하여 건물 및 시스템 부하를 충당할 수 있는 신재생에너지 시스템 적용 계획을 설정하여 설계안을 평가하여야 한다.

이러한 설계기법은 일반 주거나 업무 시설과 달리 학교 건축물에 적용 시 학교 건축물의 특성을 고려한 설계기법을 적용하여야 하며, 학교 건물의 CO₂ 배출 저감 설계기법의 적용에 있어 학생들의 학습능률 향상과 정신적 신체적 쾌적성을 고려하여야 한다.

학교 건물의 경우 많은 학생들이 제한된 공간에서 생활하고 있어 열환경의 쾌적성을 위한 단열과 기밀성 향상의 설계기법의 적용이 요구 된다. 또한 학생들의 시작업에 적합한 실내의 조도를 위한 자연채광의 도입과 차양, 광선 반의 적절한 계획이 필요하다. 학생들의 이동에 따른 분진, 실내 건축 재료에서 배출되는 오염물들의 제거를 위한 자연환기 등을 고려한 CO₂ 배출 저감 설계기법을 적용하여야 한다.

제로 에미션 학교 건물의 사례조사 분석 결과 건물에 적용된 설계기법은 대기 주변의 조건 및 기후에 따른 건물의 배치 및 형태, 부하에 따른 조닝, 외피의 단열 성능 향상 및 기밀성 향상, 자연채광의 최대 유입을 위한 개구부의 계획, 차양의 설치, 자연 환기, 옥상 및 벽면 녹화의 적용으로 나타났으며, 설비기법은 고효율 조명, 고효율 기기, 고효율 설비 적용, 조명제어 시스템, 모니터링 시스템 등이 적용되었으며, 신재생에너지 시스템의 경우 태양광, 태양열, 지열, 풍력시스템, 바이오매스 등이 적용되었다.

사례조사를 바탕으로 국내 초등학교 건물 설계에 적합한 설계기법으로 건물의 배치 및 형태, 부하에 따른 조닝, 외피의 단열 성능 향상 및 기밀성 향상, 자연채광 및 차양의 설치, 자연 환기, 옥상 녹화, 고효율 조명기기, 조명 제어 시스템, 고효율 설비, 태양광 발전 시스템, 태양열 급탕 시스템, 지열 히트펌프를 선정하였다.

제3장. 대상 초등학교 건물 에너지 소비 및 CO₂ 배출량 분석

3.1. 대상 초등학교의 선정

대상 초등학교 건물은 서울특별시에 위치해 있으며, 대지 면적은 7,750m², 교사 건축면적 2,006m², 교사 연면적 9,431m²로 2002년 완공, 5층 건물이다. 남동향의 'ㄱ'자형 건물과 남향의 '一' 자형 건물로 이루어져 있으며, 동서로 길게 배치되어 있다. 두건물의 사이 공간의 폭은 약 12m 정도이며, '一' 자형 건물은 5층, 'ㄱ' 자형 건물은 북측은 5층 동측은 4층으로 되어 있다.

표 15 대상 초등학교 면적 및 실 개요

대상건물의 개요			
대지면적	7,750m ²	층수	5층(동측4층)
교사 건축면적	2,006m ²	층고/천정고	3.7/2.7m
교사 연면적	9,431m ²		
실		시설현황	
일반교실		30실	
행정·업무		교장, 교무, 행정, 보건실	
특수교실		영어전용, 컴퓨터실 2개, 과학실 2개, 음악, 실과, 도덕실, 시청각실	
기타		도서관, 탈의실, 샤워실	

그림 2 대상초등학교 배치도

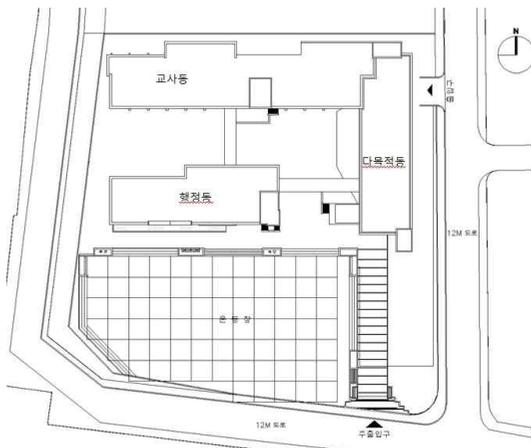


그림 3 기준층(2층) 평면

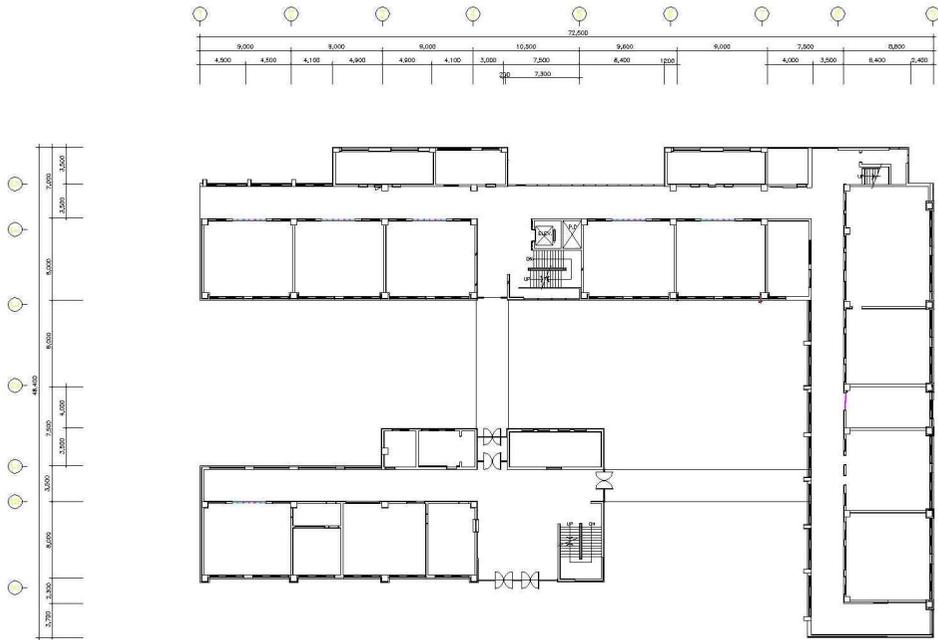
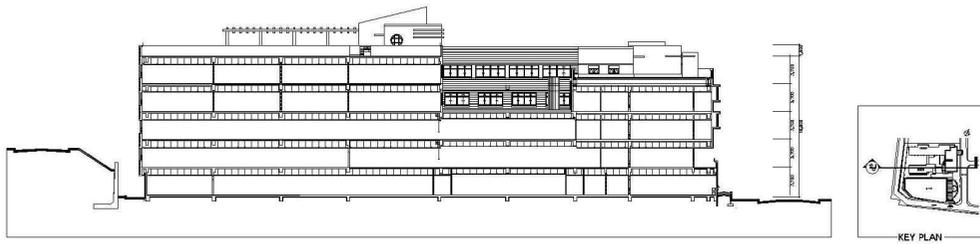


그림 4 대상초등학교 횡단면도

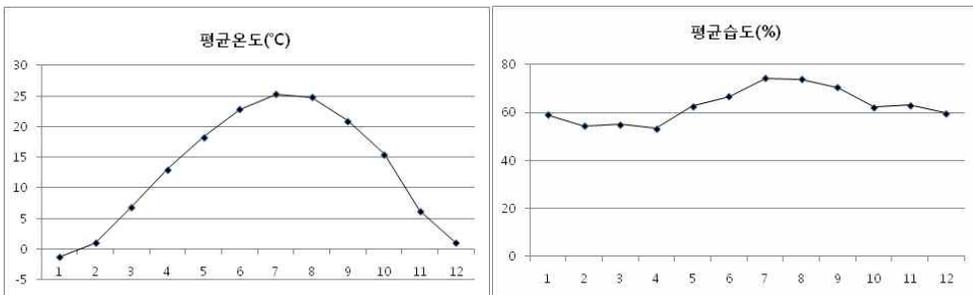


3.2. 대상 초등학교 건물 지역 기후 분석

건축설계에 있어 자연환경 요소는 설계기법의 선정과 적용에 따른 건물의 에너지 소비 및 CO₂ 배출에 지대한 영향을 미친다. 자연에너지를 최대한 이용할 수 있는 설계기법의 계획을 위하여 한국태양에너지학회⁸⁾에서 제공하는 서울지역의 기후데이터를 바탕으로 하여 대상 지역의 기온, 습도, 풍향, 풍속, 일사량을 분석하였다.

3.2.1. 기온 및 습도

대상 지역의 평균기온 12.8℃, 최고 기온은 8월 평균 24.8℃, 최저기온은 1월 영하 1.3℃로 나타났으며, 평균습도는 66.9%, 평균 강수량 1,344.3mm이다.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
평균온도(°C)	-1.3	1.0	6.9	13.0	18.3	22.8	25.3	24.8	20.9	15.5	6.2	1.0
평균습도(%)	59.0	54.5	55.1	53.4	62.6	66.7	74.3	74.0	70.6	62.2	63.1	59.6

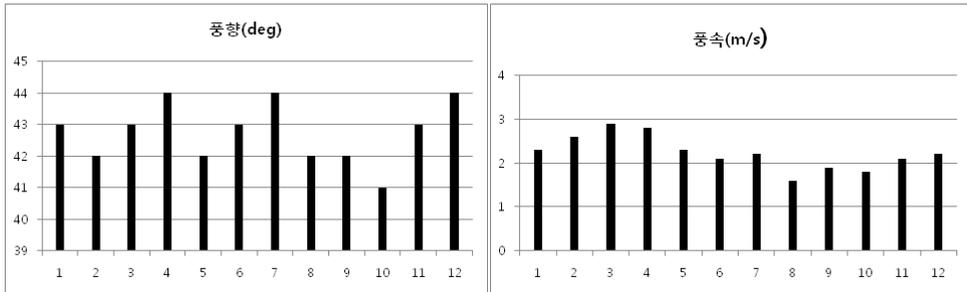
표 16 대상지역 평균 온, 습도

여름철 6월~7월까지 습도가 높은 것은 장마의 영향으로 연강수량의 60%가 집중되어 있어 고온다습한 기후를 보인다. 겨울철의 경우 습도가 낮고 기온이 낮아 한랭 건조한 기후를 보인다. 쾌적 범위 21~24℃사이 분포하는 달은 6월뿐으로 여름철 높은 기온에 대한 고려사항이 필요하다.

8) 한국 태양에너지 학회 <http://www.kses.re.kr>

3.2.2. 풍향, 풍속

평균 풍속은 약 2.3m/s이며, 8월에 1.6m/s로 가장 낮으며, 최고 풍속은 3월 2.9m/s로 나타났다. 봄과 겨울철에 풍속이 상대적으로 높게 나타나고 여름과 가을철의 풍속은 상대적으로 낮게 나타났다. 풍향의 경우 연중 월별 41~44° 사이로 주 풍향은 북동향인 것을 알 수 있다.

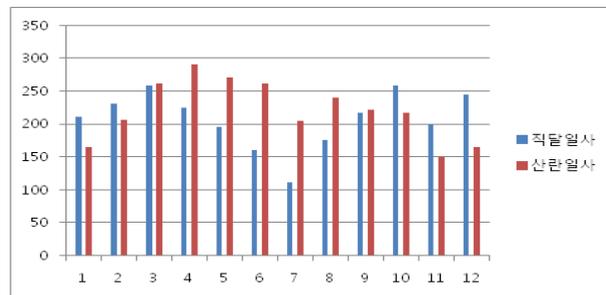


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
풍속(m/s)	2.3	2.6	2.9	2.8	2.3	2.1	2.2	1.6	1.9	1.8	2.1	2.2
풍향(deg)	43	42	43	44	42	43	44	42	42	41	43	44

표 17 대상지역 풍향(deg) 및 풍속(m/s)

3.2.3. 일사량

대상 지역의 직달일사량은 5,6,7,8월의 경우 상대적으로 낮은 편으로 여름철 6,7월의 장마철로 인한 운량이 높아 지표면에 도달하는 직달일사량이 낮은 것으로 분석된다.



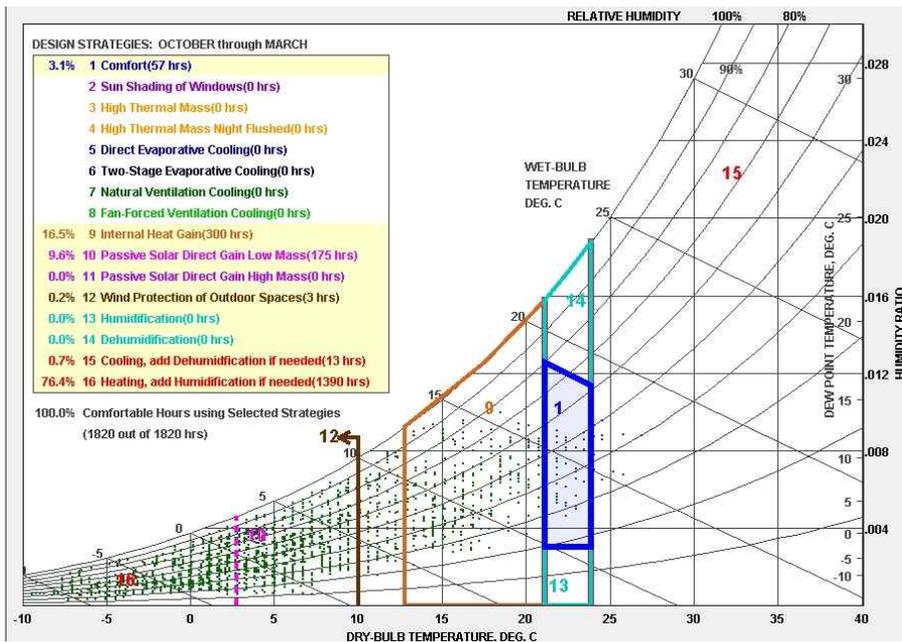
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
평균직달일사	211	231	258	224	196	160	111	175	217	258	199	245
평균산란일사	165	206	262	290	271	261	204	240	222	217	149	165

표 18 대상지역 수평면 일사량(W/m²)

3.2.4. 건물생체기후도 분석

대상 지역의 기후 특성을 바탕으로 에너지절약 및 CO₂ 배출 저감을 위한 설계기법의 계획을 위하여 Climate Consultant 5.0을 이용하여 건물생체기후도를 분석하였다. 학교의 경우 방학기간을 제외한 2~7월, 9~12월의 건물생체기후도를 분석하였다. 학교 건물의 쾌적온도는 겨울철 18~21℃, 여름철 22~26℃, 상대습도는 65%로 설정하였다.

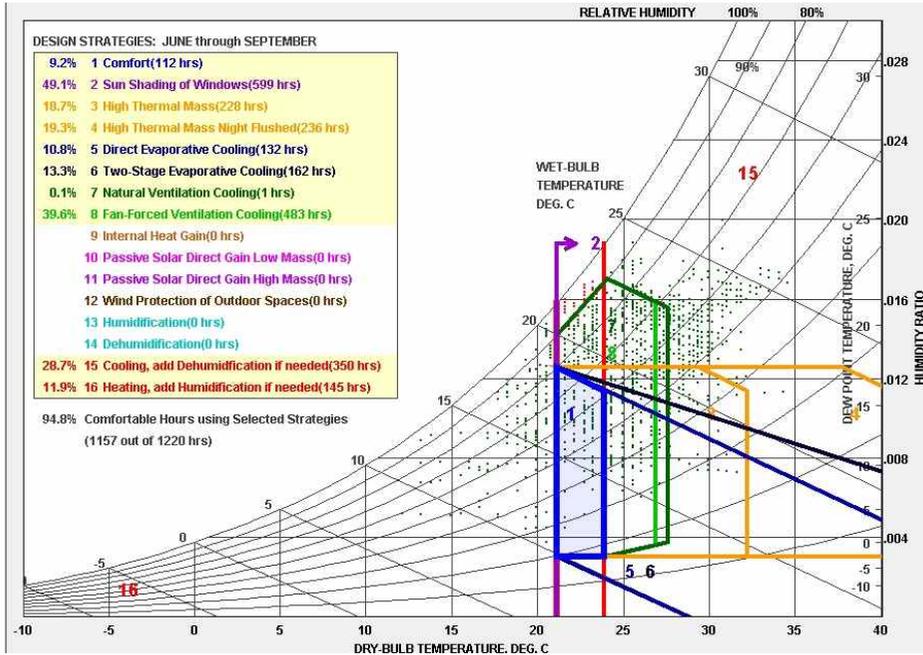
그림 5 건물 생체기후도 분석 겨울(9월~12월)



에너지 절약적 설계 기법	비율 (%)
Comfort (57hrs)	3.1
Heating, add Humidification if neede(1390hrs)	76.4
Internal Heat Gain(300hrs)	16.5
Passive solar Direct Gain(175hrs)	9.6

표 19 겨울(9~12월)

그림 6 건물생체기후도 분석 여름(2~7월)



에너지 절약 설계 기법	비율 (%)
Comfort(112hrs)	9.2
Sun Shading of Windows(599hrs)	49.1
Fan-forced Ventilation Cooling(483hrs)	39.6
High Thermal Mass Night Flushed(236hrs)	19.3
High Thermal Mass(228hrs)	18.7

표 20 여름(2~7월)

이를 통하여 겨울철의 경우 난방 에너지를 절약할 수 있는 설계기법으로 건물의 외피를 통한 태양열의 직접획득방법이 효과적인 것으로 나타났으며, 여름철의 경우 차양의 적용을 통하여 일사를 차단하여 실내의 냉방 요구를 감소시키는 설계기법이 효과적인 것으로 나타났다. 이 외에 설비형 환기 시스템의 적용이 요구되는 것으로 나타났으나, 창 위치, 크기 계획에서 맞통풍과 같은 자연형 설계기법의 적용으로 건물의 자연환기 효과를 향상시켜 건물에서 사용되는 에너지를 저감하는 것이 효과적인 것으로 분석된다.

3.3. 대상 초등학교 건물 에너지 성능 및 CO₂ 배출량 분석

3.3.1. 시뮬레이션 분석 개요

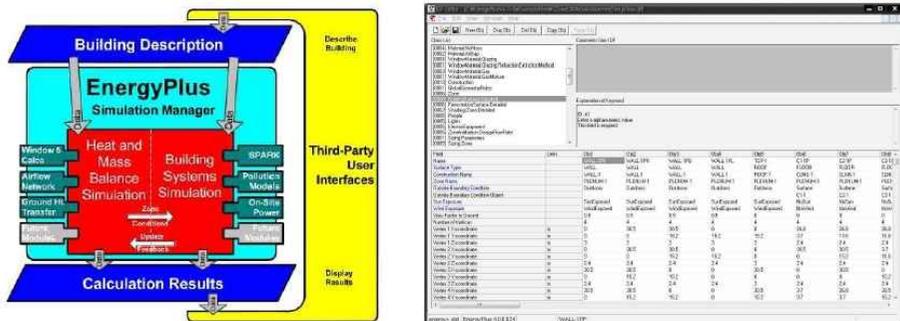
대상 초등학교 건물은 남측에 운동장, 북측에 교사가 배치되어 있으며, 대지 주변 건물의 경우 북측에 위치한 공동주택의 경우 약17m의 거리가 있어 음영의 영향이 미치지 않아 대상 초등학교 건물 시뮬레이션에서 주변건물에 의한 영향은 배제하였다.

3.3.2. 시뮬레이션 도구 선정

대상 초등학교의 에너지 소비 분석은 건물 에너지 분석 시뮬레이션 프로그램인 ‘DesignBuilder2.1’ 과 ‘EnergyPlus6.0’ 을 사용하였다.

건물의 3D 모델링이 용이한 DesignBuilder2.1을 사용하여 건물의 모델링을 하고, 에너지 해석은 EnergyPlus 6.0을 사용하였다.

그림 7 EnergyPlus



3.3.3. 시뮬레이션 입력 데이터

1) 기상데이터

기상데이터는 한국태양에너지학회⁹⁾에서 제공하는 대한민국 표준기상데이터로 서울지역의 1986년부터 2005년까지의 평균 기상데이터를 적용하였다.

2) 건물 외피 구성 및 모델링

건물의 모델링과 외피구성은 현재 학교의 설치 기준에 따라 설정하였으며, 벽체의 열관류율은 2001년 건설교통부령의 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙에서 제시된 지역별 건축물 부위의 열관류율의 중부지역 기준을 적용하였다.

표 21 벽체, 창 구성 및 열관류율

	구성	두께(m)	열관류율 (W/m ² K)
외벽	0.5B 적벽돌(Aerated Concrete Block)	0.1	0.47
	단열재(EPS Expanded Polystyrene (heavyweight))	0.047	
	콘크리트(Cast Concrete)	0.2	
	시멘트 몰탈(Mortor)	0.02	
지붕	시멘트 몰탈(Mortor)	0.03	0.29
	콘크리트(Cast Concrete)	0.15	
	단열재(EPS Expanded Polystyrene (heavyweight))	0.08	
최 하 층 바닥	디럭스 타일(Dirucs Tile)	0.01	0.41
	시멘트 몰탈(Mortor)	0.03	
	콘크리트 슬라브(Aerated Concrete Slab)	0.35	
창	Clear glass	0.003	3.84
	air	0.0027	
	Clear glass	0.003	

9) 한국태양에너지학회, <http://www.kses.re.kr/>

대상 초등학교의 창면적비는 5가지의 창면적비로 분류되며, 교실의 외부창과 교실과 복도사이의 복도 내부창, 외기에 면하는 복도의 외부창, 화장실의 외기에 면하는 창, 남,북측의 교사동 연결부 다리 및 남,동측의 교사동 연결부다리의 창으로 분류하여 적용하였다.

표 22 교사동 창면적비

교실창	화장실	복도내창	외부다리창	복도 외부창
43%	15%	20%	80%	30%

3) 냉난방 설정 및 내부발열부하 설정

난방설정온도는 22℃, 냉방 설정온도는 26℃이며, 재실 밀도의 경우 초등학교 교실의 일반 면적은 9m x 7.5m이며, 초등학교의 학급당 인원수는 35명 이하로 규정하고 있다.¹⁰⁾ 조명 밀도는 일반 초등학교 교실의 조명설비 현황은 32W x 2 등용을 4 x 3 배열로 모두 12등 설치를 기준으로 하여¹¹⁾ 교실은 10W/m², 복도와 화장실의 경우 5W/m²으로 설정하였다. 기기 밀도의 경우 일반적으로 사용되고 있는 컴퓨터, TV, 모니터, 프로젝터와 같은 교육용 전자기기를 기준으로 하여 5W/m²으로 산정하여 적용하였다.

표 23 냉난방 설정 및 내부발열부하 설정

	난방설정온도	냉방설정온도	재실밀도	조명밀도	기기밀도
공조	22℃	26℃	1.92m ² /인	10W/m ²	5W/m ²
비공조	-	-	-	5W/m ²	-

10) 서울시 교육청 홈페이지. <http://www.sen.go.kr/>

11) 이광수, 사무실 및 학교 교실의 조명용 소비전력량 절감방안 연구, 인천대학교 대학원, 석사논문, 2008

4) 냉난방 기간 및 스케줄

서울특별시 초등학교 교육과정 편성, 운영 지침에 따르면, 연간 34주를 기준, 수업 배당 일수는 2년간(1,2학년, 3,4학년, 5,6학년 단위로 구분) 442시간을 기준 수업시수로 하며, 1시간 수업은 40분을 기준, 각 학교에 따라 조절 가능하도록 하였다. 연간 수업일수는 220일 이상(10/1 범위 내에서 감축할 수 있음)으로 운영하는 것으로 제시하였다.

본 연구에서는 주5일 수업의 격주 시행으로 연간 수업일수는 200일, 여름방학기간은 7월 22일부터 8월 25일까지, 겨울방학기간은 12월 21일부터 1월 31일, 봄방학은 2월 16일부터 2월29일까지로 설정하였으며, 냉방기간은 6월1일부터 8월 30일(방학기간 제외), 난방기간은 11월1일부터 3월31일(방학기간 제외)로 설정하였다. 이외 기간은 비공조 기간으로 설정하였다.

표 24 냉난방 설정 온도 및 기간

	기간	
방학기간	겨울	12월 21일 ~ 1월 31일
	여름	7월 22일 ~ 8월 25일
냉방기간	6월 1일 ~ 8월 30일(방학기간 제외)	
난방기간	11월 1일 ~ 3월 31일(방학기간 제외)	
비공조기간	4월1일 ~ 5월 31일, 9월 1일 ~ 10월 31일	

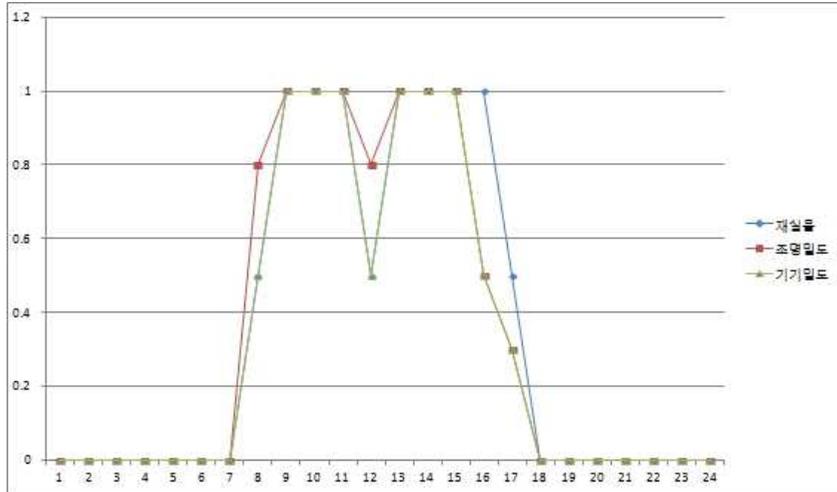
재실자, 조명, 기기, 냉난방 스케줄은 대상 초등학교의 2011년도 학사일정과 선행 연구의 자료¹²⁾를 참고하여 설정하였으며, 월요일부터 금요일 까지 오전 9시부터 12시까지, 1시부터 5시까지 수업을 실시하는 것으로 설정하였다.

12) 한국교육 개발원, 제로에너지 생태학교 모형 개발 연구(2), 2008

표 25 실내 발열 스케줄 및 냉난방 스케줄

구분	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
제실용																								
주중	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0
토요일	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	1	1	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
일요일	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
조명필도																								
주중	0	0	0	0	0	0	0	0.8	1	1	1	0.8	1	1	1	0.5	0.3	0	0	0	0	0	0	0
토요일	0	0	0	0	0	0	0	0.8	1	1	1	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
일요일	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
기기필도																								
주중	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	0.5	0.3	0	0	0	0	0	0	0
토요일	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	1	1	0.5	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
일요일	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
난방																								
주중	18	18	18	18	18	18	20	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	18	18	18	18	18	18	18
토요일	18	18	18	18	18	18	20	22	22	22	22	22	22	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
일요일	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
냉방																								
주중	off	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	off	off	off						
토요일	off	26	26	26	26	26	26	off																
일요일	off																							

그림 8 스케줄



3.3.4. 대상 초등학교 에너지 소비 및 CO₂ 배출량 분석

1) 에너지 소비량

대상 초등학교 건물의 에너지 소비량은 난방, 냉방, 조명, 기기, 급탕으로 분류하였으며, 급탕의 경우 학교에서 사용되는 온수의 90% 이상이 급식실에서 사용되기 때문에 급식시설에서 사용하는 가스사용량을 제외한 건물에서 사용되는 급탕량만을 대상으로 하였다. 대상초등학교 건물의 냉난방 시스템은 전력을 사용하는 EHP(Electric Heat Pump)시스템을 사용하며, 냉난방 에너지 사용은 모두 전력사용으로 산정하였다.

대상 초등학교의 에너지 소비량은 다음 <표26>와 같다.

표 26 대상 초등학교 월별 에너지 소비량 (kWh/yr)

	난방	냉방	조명	기기	급탕	총합
1월	-	-	-	-	-	-
2월	39,881	-	3,095	904	7,615	51,495
3월	12,607	-	8,385	2,446	5,659	29,097
4월	219	-	8,212	2,393	1,867	12,691
5월	-	-	9,112	2,659	567	12,338
6월	-	9,589	8,748	2,552	-	20,889
7월	-	15,622	6,017	1,755	-	23,394
8월	-	2,015	1,642	479	-	4,136
9월	-	-	8,575	2,499	795	11,869
10월	-	-	8,748	2,552	4,226	15,527
11월	18,615	-	8,748	2,552	6,488	36,404
12월	58,879	-	5,290	1,542	9,024	74,735
합계	130,201	27,226	76,572	22,334	36,241	292,574
단위면적당 (kWh/m ²)	32.12	6.72	18.89	5.51	8.94	72.17

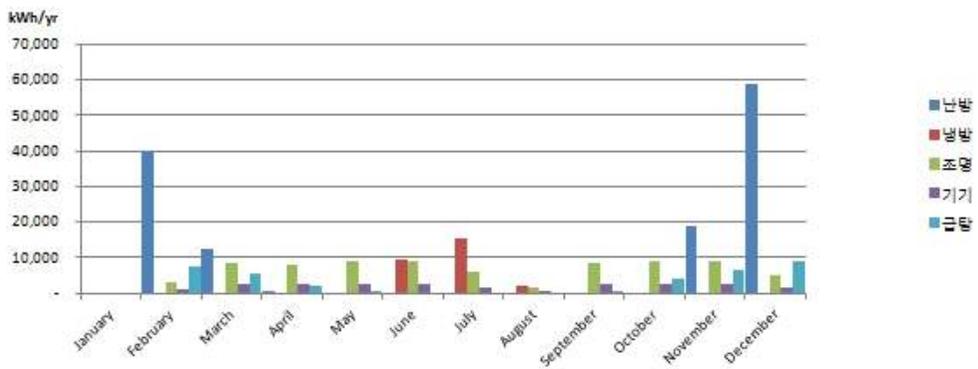
전체 연간 에너지 소비량은 난방 130,201kWh/yr, 냉방 27,226kWh/yr, 조명 76,572kWh/yr, 기기 22,334kWh/yr, 급탕 36,241kWh/yr이며, 단위 면적당 에너지 소비는 난방 32.21kWh/m², 냉방 6.72kWh/m², 조명

18.89kWh/m², 기기 5.51kWh/m², 급탕 8.94kWh/m²으로 나타났다.

난방 소비량은 12월이 가장 높고, 냉방 소비량은 7월이 가장 높으며, 8월의 경우 여름방학기간 사용량이 낮아 가장 낮게 나타났다.

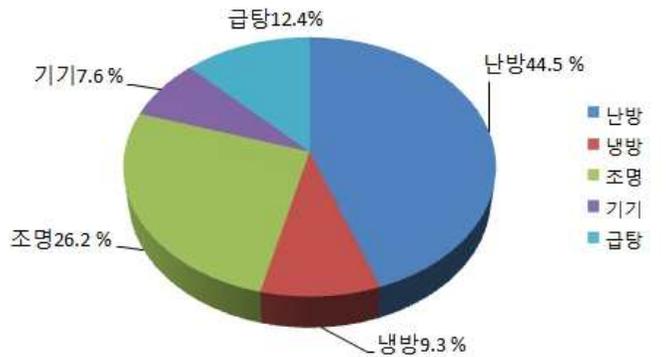
난방, 냉방, 조명, 기기의 전체 전력 에너지 소비량은 256,333kWh/yr으로 전체 에너지 소비량의 87.61%를 차지하는 것으로 나타났으며, 급탕 가스 에너지 소비량은 36,241kWh/yr으로 전체 에너지 소비량의 12.4%를 차지하는 것으로 나타났다.

그림 9 대상 초등학교 에너지 소비량 월별 분포



전체 에너지 소비량의 44.5%를 난방이 차지하고 있으며, 냉방은 9.3%, 조명은 26.2%, 기기 7.6%의 분포를 보이고 있다. 난방에너지 소비량의 경우 냉방에너지 소비량의 약 4.7배 높은 것으로 나타났으며, 이는 대상 초등학교 건물의 에너지 절약적 계획에 있어 겨울철 난방 에너지 소비를 감소시킬 수 있는 방안을 고려하여야 할 것으로 분석된다. 또한 조명전력 에너지의 소비량은 전체 소비량의 26.2%로 매우 높게 나타났으며, 실내에서 사용되는 조명 에너지 소비량을 감소시키기 위한 방안 또한 고려되어야 할 것이다.

그림 10 대상 초등학교 에너지 소비량 비율(%)



2) CO₂ 배출량 산정¹³⁾

건물에서 사용되는 에너지 소비량에 따른 CO₂ 배출량 산정을 위하여 에너지 사용량에 따른 석유환산톤을 산정하여야 하며, 연료 사용량에 원료의 총발열량¹⁴⁾을 곱하여 10⁷으로 나누어 석유환산톤을 산정할 수 있다. 석유환산톤은 아래의 식에 따라 환산하였다.

$$\text{석유환산톤 (TOE)} = \text{연료사용량(L 또는 Nm}^3 \text{ 또는 kWh)} \times \text{총발열량(kcal/L 또는 Nm}^3 \text{ 또는 kWh)} / 10^7 \text{kcal}$$

표 27 에너지 열량환산기준(총발열량)

에너지원	단위	총발열량		석유환산계수
		kcal	MJ환산	
도시가스(LNG)	Nm ³	10,550	44.2	1.055
전력	kWh	2,150	9.0	0.215

13) 이종식, 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가에 관한 연구, 중앙대학교 대학원, 석사학위논문, 2008

14) 산업자원부령, 에너지 기본법 제5조 제1항 관련, 에너지 열량환산기준

CO₂ 배출량을 산정하기 위한 석유환산톤(TOE) 산정시 순발열량을 적용하여야 하며, 산정된 석유환산톤(TOE)에 탄소배출계수를 곱하여 CO₂ 배출량을 산정한다.

이때 국내의 고유 배출계수가 없기 때문에 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 제시한 탄소 배출계수를 적용하여 산정하며, 산정된 값에 이산화탄소 분자량을 탄소원자량으로 나눈 값을 곱하여 이산화탄소 배출량을 산정한다. 전력의 경우 이산화탄소 배출계수를 0.4682 TCO₂/MWh를 사용하여 산정한다.

$$TC = \text{연료의 석유환산톤(TOE)} \times \text{탄소배출계수}$$

$$\text{이산화탄소배출량(TCO}_2\text{)} = TC \times 44/12$$

표 28 에너지 열량환산기준(순발열량)

에너지원	단위	순발열량		석유환산계수
		kcal	MJ 환산	
도시가스(LNG)	Nm ³	9,550	40.0	0.955
전력	kWh	2,150	9.0	0.215

표 29 IPCC의 탄소배출계수

연료	탄소배출계수	
	Kg C/GJ	Ton C/TOE
등유	19.60	0.812
도시가스(LNG)	15.30	0.637

대상 초등학교의 CO₂ 배출량은 다음 <표 30>와 같다.

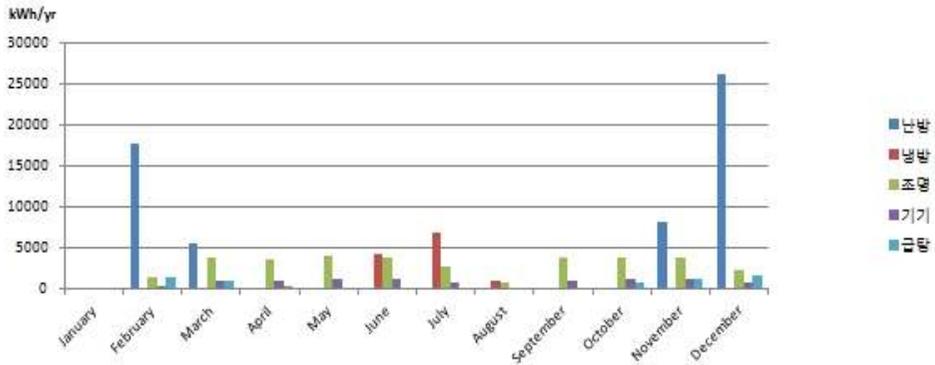
표 30 대상 초등학교 CO₂ 배출량(kgCO₂/yr)

	난방	냉방	조명	기기	급탕	총합
1월	-	-	-	-	-	-
2월	17,739	-	1,377	402	1,385	20,903
3월	5,608	-	3,730	1,088	1,028	11,454
4월	97	-	3,653	1,064	339	5,154
5월	-	-	4,053	1,183	103	5,338
6월	-	4,265	3,891	1,135	-	9,291
7월	-	6,949	2,676	781	-	10,406
8월	-	896	730	213	-	1,840
9월	-	-	3,814	1,112	145	5,071
10월	-	-	3,891	1,135	767	5,794
11월	8,280	-	3,891	1,135	1,180	14,486
12월	26,189	-	2353	686	1,639	30,868
합계	57,913	12,110	34,059	9,934	6,590	120,606
단위면적당 (kgCO ₂ /m ²)	14.29	2.99	8.40	2.45	1.63	29.75

전체 연간 CO₂ 배출량은 난방 57,919 kgCO₂/yr, 냉방 12,110 kgCO₂/yr, 조명 34,059 kgCO₂/yr, 기기 9,934 kgCO₂/yr, 급탕 6,590 kgCO₂/yr으로 연간 전체 CO₂ 배출량은 120,606 kgCO₂/yr 으로 나타났다.

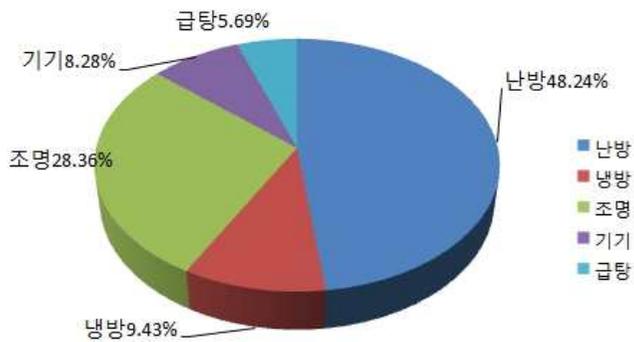
난방의 경우 12월에 가장 많은 CO₂를 배출하였으며, 냉방은 6월이 가장 많이 배출되었다. 8월의 경우 평균 기온이 가장 높게 나타나지만, 학교건물의 경우 방학기간 동안 사용하지 않기 때문에 CO₂ 배출량이 낮게 나온 것으로 분석된다. 급탕의 경우 12월과 2월에 CO₂ 배출량이 높은 것으로 나타났으며, 전체 CO₂ 배출량의 경우 난방 에너지 소비가 높은 12월의 CO₂ 배출량이 가장 높은 것으로 나타났다.

그림 11 대상 초등학교 CO₂ 배출량 월별 분포



CO₂ 배출량 비율은 난방이 48.24%, 냉방이 9.48%, 조명이 28.36%, 기기 8.28%, 급탕은 5.69%로 나타났으며, 난방, 냉방, 조명, 기기의 경우 에너지 소비량 비율 패턴과 유사하게 나타났으나, 급탕의 경우 차지하는 비율이 낮게 나타났다. 이는 전력 사용으로 인한 CO₂ 배출보다 가스 사용으로 인한 CO₂ 배출이 전체 CO₂ 배출량에 적은 영향을 미치는 것으로 분석된다.

그림 12 대상초등학교 CO₂ 배출량 분포(%)



대상 초등학교의 에너지 소비 및 CO₂ 배출량 분석을 통하여 대상 초등학교 건물은 난방부하를 감소시킬 수 있는 설계기법의 적용과 조명에너지 소비 절

감을 위한 설계기법의 적용을 고려하여야 대상 건물에서 에너지 소비에 따른 CO₂ 배출량을 저감할 수 있는 것으로 판단되었다.

냉방에너지 소비의 비율은 난방에너지 소비보다 미비하나, 난방 및 조명에너지의 절감을 위하여 자연채광의 유입을 위한 설계기법 적용에 따른 실내에 유입되는 일사량에 의한 여름철 냉방 부하 증가가 예상, 이로 인한 CO₂ 배출량 증가가 예상됨으로 자연채광의 유입을 위한 설계기법의 적용 시 일사를 차단하여 냉방에너지 소비를 감소시킬 수 있는 설계기법의 고려가 필요하다.

3.4. 소 결

대상 초등학교 지역 기후 및 건물생체기후도 분석을 통하여 대상 건물에 요구되는 에너지 절약적 설계기법의 전략을 분석하고, 대상 초등학교 건물의 기존안에 대한 에너지 성능 시뮬레이션을 통하여 대상 초등학교의 에너지 소비량에 따른 CO₂ 배출량을 산정하였다. 이를 통하여 대상 초등학교 건물에서 CO₂ 배출량의 저감을 위하여 중점적으로 고려되어야 할 설계전략을 살펴 보았다.

대상 초등학교의 서울지역 기후 분석과 건물생체기후도 분석 결과, 겨울철의 경우 난방 에너지를 절약할 수 있는 설계기법으로 건물의 외피를 통한 태양열의 직접획득방법, 여름철 일사 차단역할을 하는 차양의 적용이 난방 에너지 절감을 위한 설계기법으로 요구되는 것으로 분석되었다.

대상 초등학교의 연간 에너지 사용량 분석을 위한 입력데이터는 대상 초등학교의 사용시간과 연간 수업일수의 조사와 선행 연구 문헌을 참고하여 작성하였다.

시뮬레이션 결과 연간 에너지 소비량은 난방이 130,201 kWh/yr, 냉방이 27,226kWh/yr, 조명 76,572kWh/yr, 기기 22,334kWh/yr, 급탕 36,241kWh/yr이며, 총에너지 소비량은 292,574kWh/yr로 나타났다. 난방 에너지 소비량이 가장 많으며, 냉방에너지의 약 4.7배 정도 높게 나타났다.

CO₂배출량은 57,913kgCO₂/yr, 냉방은 12,110kgCO₂/yr, 조명 34,059kgCO₂/yr, 기기 9,934kgCO₂/yr, 급탕 6,591kgCO₂/yr으로 전체 CO₂배출량은 120,603kgCO₂/yr으로 나타났다. CO₂배출량 패턴은 에너지 소비량 패턴과 유사하게 나타났다.

대상 초등학교 건물의 에너지 소비량 및 CO₂ 배출량 분석을 통하여 대상 건물의 경우 난방에너지와 조명에너지 절감 방안을 위한 설계기법의 적용이 요구되며, 냉방에너지 소비량은 낮게 나타났으나, 에너지 절약적 설계기법의 적

용에 있어 각 설계기법의 상호간의 복합적인 영향을 미치므로 난방에너지 절감을 위한 설계기법 적용도 고려하여야 한다.

건물생체기후도 분석과 에너지 소비량 및 CO₂배출량의 분석결과 대상 초등학교의 경우 난방에너지를 감소시킬 수 있는 설계기법의 적용이 요구되며, 앞서 2장의 사례조사를 통한 적용 건축계획기법으로 선정된 설계기법, 건물 배치 및 형태, 부하에 따른 조닝, 벽, 창호의 단열성능 향상, 기밀성 향상, 자연채광 및 차양의 설치, 자연환기, 건물 녹화 이외에 난방에너지 절감에 효과적인 자연형 태양열 획득 방안의 적용이 적합한 것으로 판단된다.

제4장. 제로 에미션 학교 건물 설계안

4.1. 건축 계획기법

4.1.1. 배치 및 형태

제로 에미션 건물의 설계에 있어 건물의 배치와 형태는 건물 부하에 직접적인 영향을 미치기 때문에 일조시간을 확보할 수 있는 인동간격과 일영계획, 태양고도와 방위각, 주변 건물 등의 영향 요소를 고려하여야 한다.

건물의 배치는 동서로 긴 매스의 배치가 에너지 절약적 측면에서 효과적이며, 현 대지의 형태에서 서측의 고저차로 인한 음영이 건물에 미치는 영향을 최소화 하고 외기에 면하는 건물의 외피를 최소화하기 위하여 대지의 서측을 개방하고 동측으로 건물을 배치하여 'ㄷ'자형의 건물로 계획하였다.

인동간격의 경우 동지기준 4시간이상의 일조시간을 확보하기 위하여 남측 건물과의 인동간격을 10m로 배치하였으며, 북측동에 생성되는 남측동에 의한 음영을 최소화하기 위하여 남측동 건물의 층수를 낮게 계획하였다. 기존 건물의 경우 남, 북측동 사이에 위치한 이동공간에 의하여 북측동에 음영이 생성되어 교실의 빛환경을 저하시키기 때문에 설계안에서는 'ㄷ'자형 건물 배치를 통하여 남, 북측동의 동선을 연결하였다.

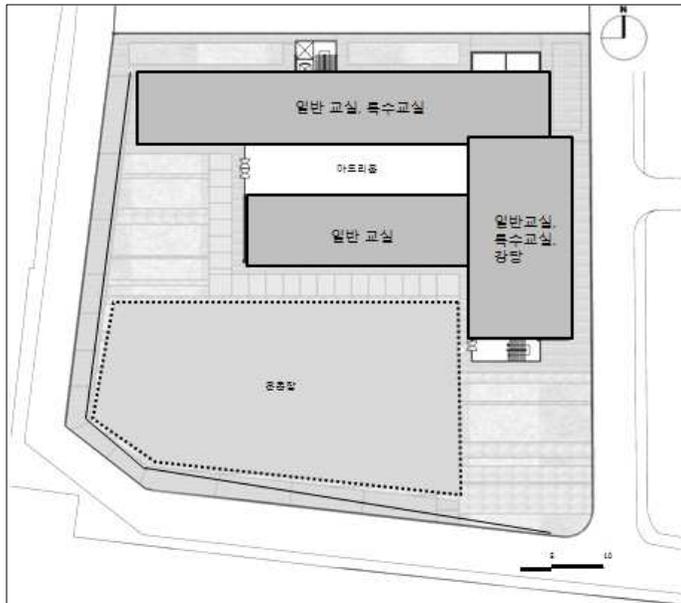
외기에 면하는 면적을 감소시키기 위하여 'ㄷ' 자형의 건물 중정부분은 아트리움을 계획하였다. 중정이 외기에 노출되어 있을 경우 외기에 면한 외피의 면적이 증가되어 건물에너지 소비에 영향을 미치기 때문에 외기에 면하는 면적을 감소시키면서 자연채광과 자연환기의 효과를 증가시키는 방안으로 아트리움을 계획하였다.

아트리움은 높이에 따라 온도의 성층화 현상이 나타나 저층부의 높아진 실내 공기를 수직 상승시켜 최상부로 이동, 굴뚝효과와 같은 공기의 흐름을 생성하여 자연환기의 성능을 향상, 실내의 오염된 공기를 외부의 깨끗한 공기로의 순환, 자연환기 효과를 향상시킨다.

그림 13 대상 초등학교 기존 배치



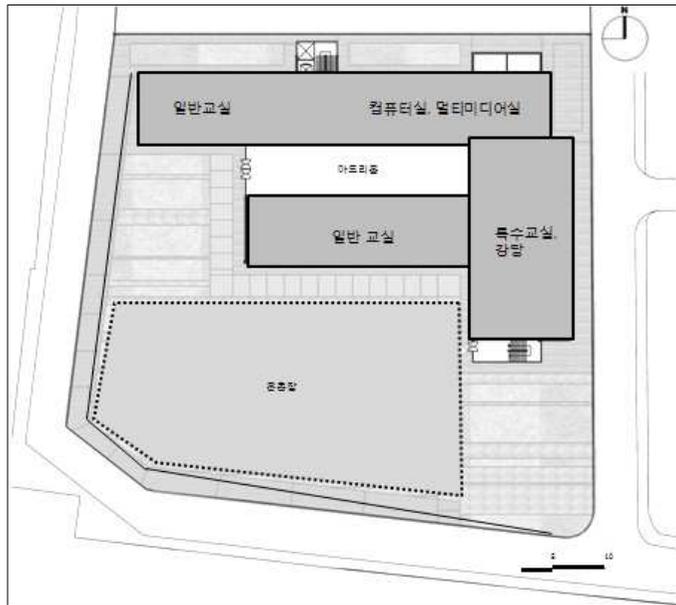
그림 14 설계안 배치 및 형태



4.1.2. 실의 조닝

일반적으로 학교 건물에서는 중복도, 편복도식의 배치를 사용하고 있으며, 중복도의 경우 에너지 절약적인 건물 매스를 형성할 수 있으나, 자연환기 및 자연채광의 면에서는 많은 문제점이 있다. 편복도의 경우 외기에 면하는 면적이 넓기 때문에 에너지 절약적인 측면에서는 비효율적이거나, 자연채광과 자연 환기 면에서는 효과적이다. 설계안에서는 아트리움을 중심으로 남, 북, 동 쪽으로 편복도식의 배치를 하였으며, 북측동은 1층의 경우 북측 복도를 계획하였고, 2,3층의 경우 계단식의 복도 배치를 계획하였다. 2~5층의 경우 아트리움으로 개방된 남측으로 복도를 배치하여 교실의 자연채광과 자연환기 효과를 향상시키고자 하였다.

그림 15 실의 조닝



학교 건물 실의 종류는 일반교실, 특별교실, 실험실습, 강당 등으로 분류되며, 특별교실의 경우 과학실, 컴퓨터실, 멀티미디어실, 음악실, 미술실 등이 포함된다. 실의 조닝은 사용 빈도에 따라 분류할 수 있으며, 일반교실의 경우 장시간 사용하며, 특수교실의 경우 일반교실에 비하여 낮은 사용빈도를 나타낸다.

일반교실의 경우 남측과 북측동에 배치하였으며, 특수교실의 경우 북측동의 1,2층에 배치, 컴퓨터실, 멀티미디어실과 같이 VDT(Visual Display Terminal) 기기를 사용하는 실의 경우 실내 발열요소로 인한 실내 온도 상승을 제어 하는 개별 공기조화 설비가 필요하기 때문에, 일사의 유입이 높은 향에 배치할 경우 냉방 부하를 가중시킬 수 있어 전면이 북향으로 배치된 북측동에 배치하였다. 도서실의 열람 공간은 학생들이 독서를 하기에 적합한 실내 조도 유지를 위하여 동측동의 5층에 배치하였으며, 5층 실의 천정을 높게 하여 자연채광의 유입 효과를 향상시켰다.

그림 16 배치도 및 1층 평면도

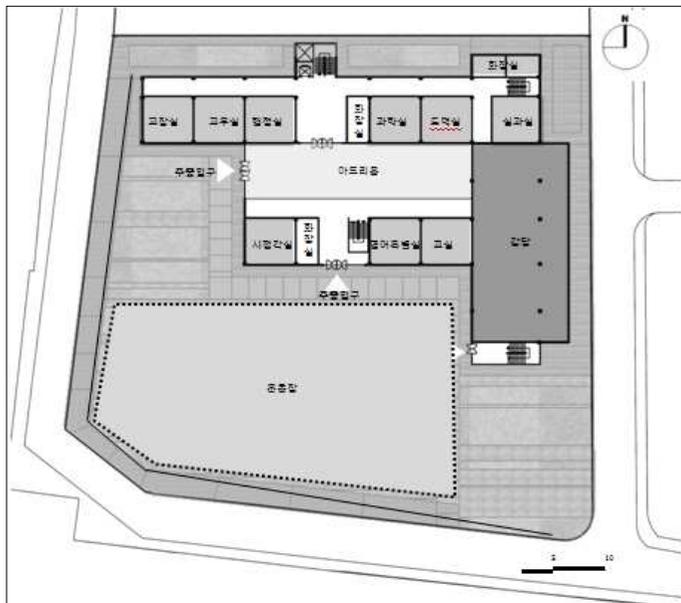


그림 17 2층 평면도

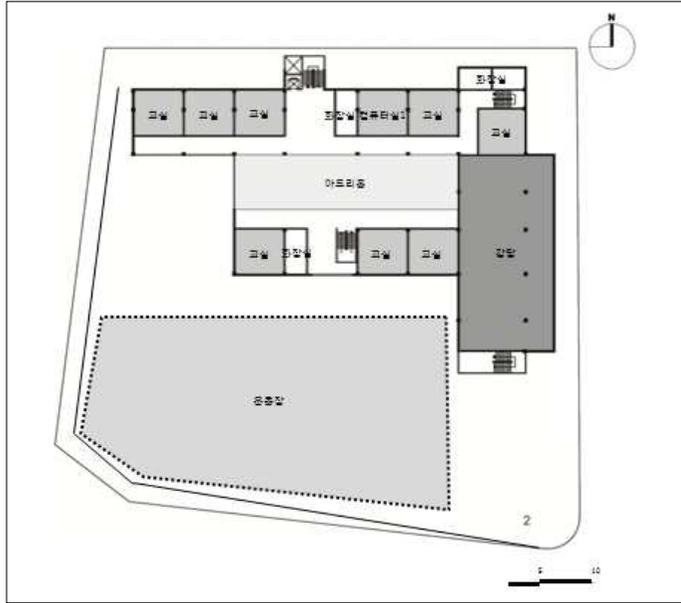


그림 18 3층 평면도

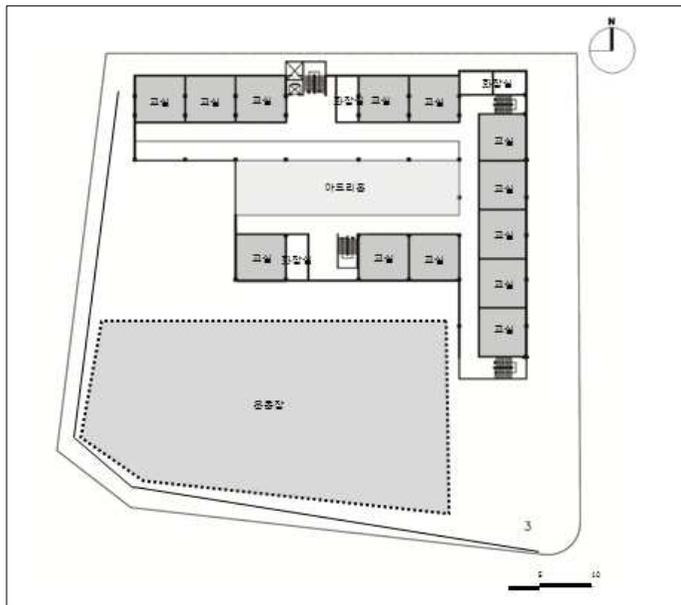


그림 19 4층 평면도

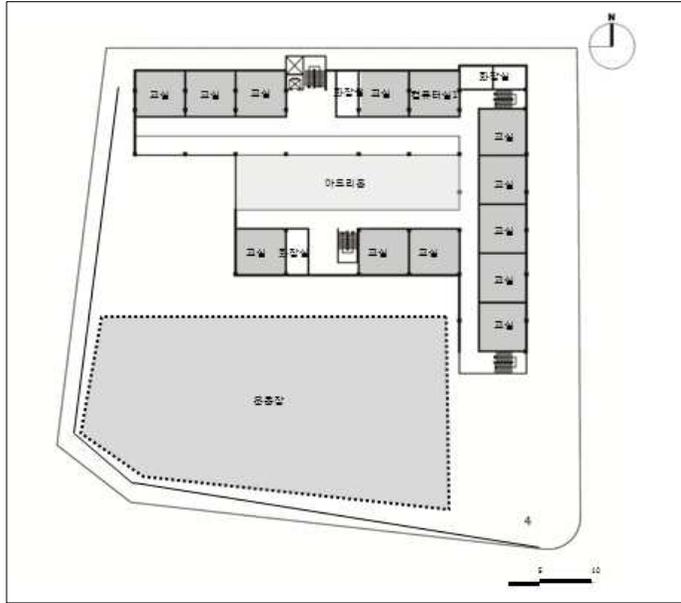


그림 20 5층 평면도

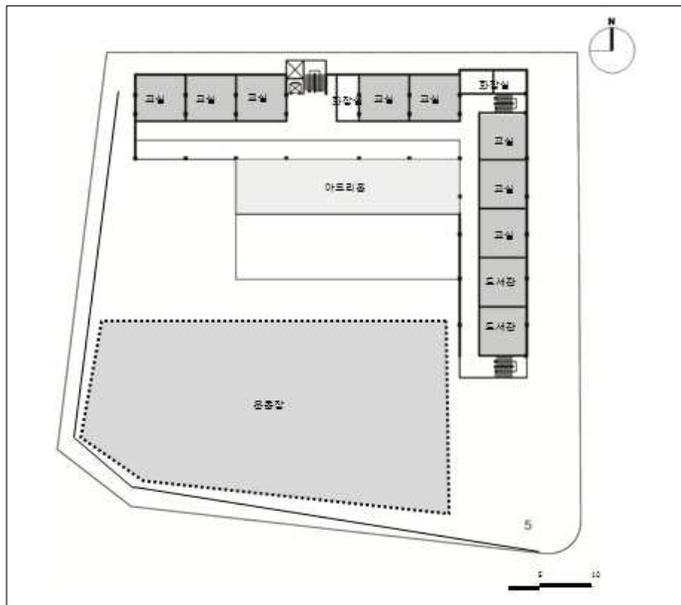


그림 21 설계안의 종단면도

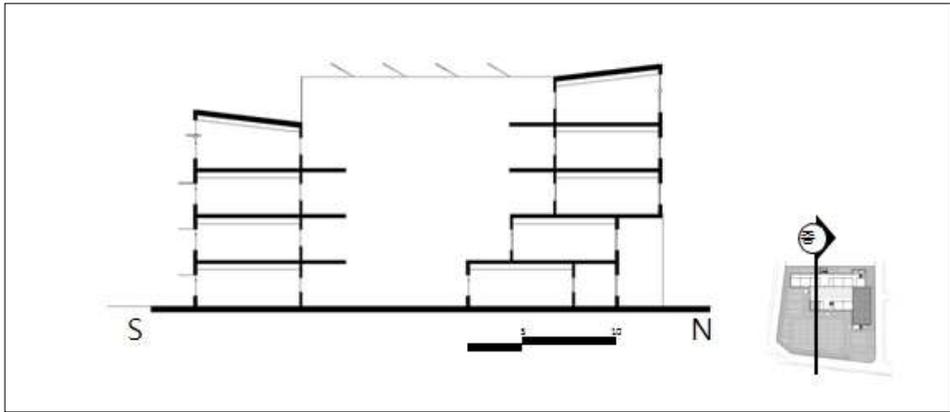


그림 22 설계안 모델링



4.1.3. 외피의 단열성능 향상 및 기밀성 향상

1) 외피의 단열성능 향상

외피의 단열은 겨울철 실내, 외의 온도 차이로 인한 실내의 열손실의 차단에 매우 효과적이며, 여름철의 경우 일사에 의한 실내의 열획득을 차단하여 실내 온도 유지에 효과적이다. 벽체와 창문의 단열성능 향상은 실내, 외의 온도 차에 의한 열획득과 열손실에 따른 냉난방 에너지 소비 및 CO₂ 배출 저감에 효과적이다.

학교 건물의 경우 교실의 한면이 자연채광을 위하여 외기에 직접적으로 접하여 있어 냉난방 에너지의 절약적 설계기법에 있어 단열성능 향상은 매우 큰 영향을 미친다.

가) 벽체의 단열

70,80년대에 지어진 학교의 경우 매우 낮은 외벽의 단열성능으로 인하여 외주부와 내주부의 온도차가 크기 때문에 실외에 직접 면해 있는 벽의 경우 단열성능을 향상시켜야 한다. 설계안에서는 외벽, 내벽, 지붕, 지반 슬라브의 벽체 열관류율을 변경하였으며, 유럽의 패시브 하우스 기준에서 제시하고 있는 외피의 열관류율 0.15W/m²K¹⁵⁾을 적용하였다. 현재 대상 초등학교의 외피 구성에서 단열재의 두께를 200mm이상 사용하였을 때 전체 벽체 열관류율 0.15W/m²K으로 적용가능하다.

표 31 적용 벽체의 열관류율

벽체	열관류율(W/m ² K)
외벽	0.15
지붕	0.15
최하층바닥	0.15

15) 김주환, 이태구, 조경민, 김주수, 독일 패시브하우스 단열 기준을 통한 국내 패시브하우스 사례 비교 분석, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 통권 18호 2010 05

나) 창호의 단열

창호는 건물의 외피 중 열의 손실과 획득이 가장 많은 부분으로 냉난방에너지 소비에 가장 큰 영향을 미친다. 난방에너지 소비 저감을 위하여서는 열관류율이 낮은 고단열성 창호를 적용하여야 하며, 냉방에너지 소비 저감을 위하여서는 낮은 일사획득계수(SHGC)의 창호를 적용하는 것이 효과적이다.¹⁶⁾

교실의 난방에너지를 감소시키기 위하여 삼중 로이유리에 높은 일사획득 유리를 사용하고, 아트리움의 경우 하지의 일사 유입으로 인한 냉방에너지 소비를 감소시키기 위하여 이중로이 유리의 낮은 일사획득 유리를 사용하였다.

교실의 외창의 경우 단열성능을 향상시키고 일사획득을 높이기 위하여 삼중 로이유리(35mm)에 SHGC 0.740, 열관류율 $1.5\text{W/m}^2\text{K}$ 을 적용하였으며, 아트리움의 유리는 이중 로이유리(24mm)에 SHGC 0.540, 열관류율 $1.8\text{W/m}^2\text{K}$ 을 사용하였다.

표 32 적용 창호의 차폐계수 및 열관류율

	유리 종류	SHGC	열관류율($\text{W/m}^2\text{k}$)
교실 외부창	삼중로이유리(35mm)	0.740	1.5
아트리움 창	이중로이유리(24mm)	0.540	1.8

2) 기밀성 향상

건물의 기밀성이란 건물과 외기 사이에서 유,출입되는 공기를 차단하는 정도를 말하며,¹⁷⁾ 기밀성의 변화는 난방 및 냉방에너지 소비에 큰 영향을 미친다. 이는 건물의 벽체와 창문의 틈새에 의한 침기의 침투를 방지, 침기의 제어 등을 통하여 기밀성능을 향상시킴으로 건물 외피를 통한 열손실을 감소시킨다. 또한 외피의 기밀이 취약할 경우 외부의 수증기를 전달하여 내부 결로를 유발하기도 하며, 침기를 통한 자연환기량의 감소로 인하여 실내 공기환경 질의 저하 원인이 되기도 한다. 벽체, 창호, 콘센트박스, 전선관부위의 기밀시

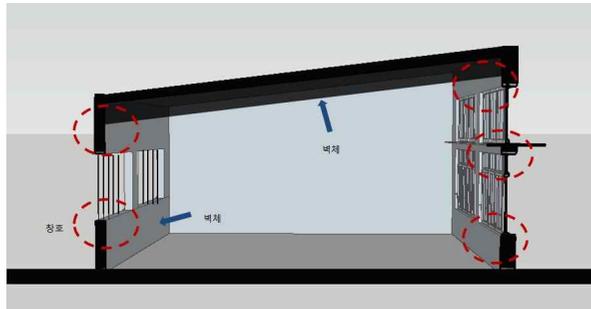
16) 박대선, 로이창호의 일사획득계수에 따른 건물에너지 성능평가 연구, 한밭대학교 산업대학원, 2008

17) 이봉, 제로카본 제로에너지 건축기술의 이해, 대한건축학회, p58

공을 통하여 침기량을 감소시킬 수 있다.

이러한 기밀 시공을 통하여 유럽의 패시브하우스의 경우 시간당 환기횟수 0.2~0.6회¹⁸⁾의 기밀성능을 향상시킨 것으로 보고된다. 독일의 패시브하우스의 기준 환기횟수는 시간당 0.6회 이하를 기준으로 하고 있어 설계안에서는 시간당 환기횟수 0.5회를 적용하였다.

그림 23 건물 외피의 기밀 시공



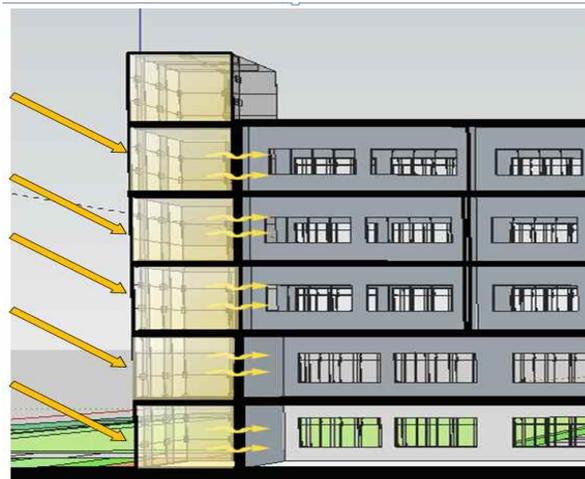
18) 이봉, 제로카본 제로에너지 건축기술의 이해, 대한건축학회, p58

4.1.4. 자연형 태양열 획득

자연형 태양열 획득은 태양열에서 얻어지는 열을 직접 이용하는 시스템을 말하며, 자연형 태양열 획득의 경우 건물의 구조체를 통한 태양열 축열 효과를 이용한 직접 획득방식과 간접획득방식¹⁹⁾이 있다.

외피를 통한 축열은 낮 시간의 태양열을 구조체에 축열하여 저녁시간 축열된 열을 실내로 방출하는 방법이다. 학교 건물의 경우 사용 시간이 낮시간으로 태양열 축열은 가능하나, 저녁시간 이후에 방출되는 열의 사용이 불가능하여, 구조체를 이용한 축열 기법의 적용보다 유리 온실(Atrium, Sun Space)의 공간을 계획하여 태양열을 간접 획득하는 방안을 적용하였다. 직접적으로 실의 벽이 외기에 접하지 않고 버퍼(Buffer)공간을 통하여 외기의 온도가 실내로 직접적으로 전달되는 것을 막아주며, 태양열에 의하여 내부 실에 전달되도록 하였다. 동측동의 계단실을 유리 구조로 하여 외기와 교실이 직접 면하지 않고, 태양열을 실내로 전달하는 역할을 하도록 하였다.

그림 24 동측동 계단실의 부착 온실형 태양열 획득



19) 박중용, 친환경학교 건축계획에 관한 연구 : 지역 기후적 특성을 중심으로, 성균관대학교 대학원, 박사학위논문, 2007, p68

4.1.5. 자연채광 및 차양

학교 건물의 교실은 채광과 환기를 위하여 최소한 한 면이 외부에 면하게 계획되고 있기 때문에 자연채광과 차양 계획은 건물의 에너지 소비에 큰 영향을 미친다.

개구부 계획에 있어 창의 면적은 일사에 의한 열부하를 억제하거나 차단하기 위하여 최소화하는 것이 가장 효과적이나, 재실자의 조망과 자연채광 면을 고려한 창의 계획을 통하여 실내로 유입되는 일사를 조절하는 것이 효과적이다. 차양의 적용은 여름철 과도한 일사의 유입으로 인한 냉방 에너지 증가를 감소시키는데 효과적이다.

1) 향에 따른 창면적

대상 초등학교 건물의 경우 교실은 남측, 복도는 북측으로 배치되어 있으나, 설계안에서는 남측동의 경우 남향 배치, 북측동의 경우 북향 배치를 적용하였다. 북측동의 경우 실의 배치를 북측으로 하여 복도를 아트리움으로 개방하였으며, 이를 통하여 자연채광과 자연환기 효과를 향상시키고자 하였다.

창면적비는 건물의 외피 벽면적에 대한 창면적의 비를 말하는 것으로 최대 60%를 초과하지 않는 것이 건물 에너지 소비량 측면에 효과적이며²⁰⁾, 건물의 에너지 절약적 설계기법의 적용에 있어 창의 크기와 형태, 위치의 선택은 건물 외피의 향에 따라 적용을 하여야 한다.

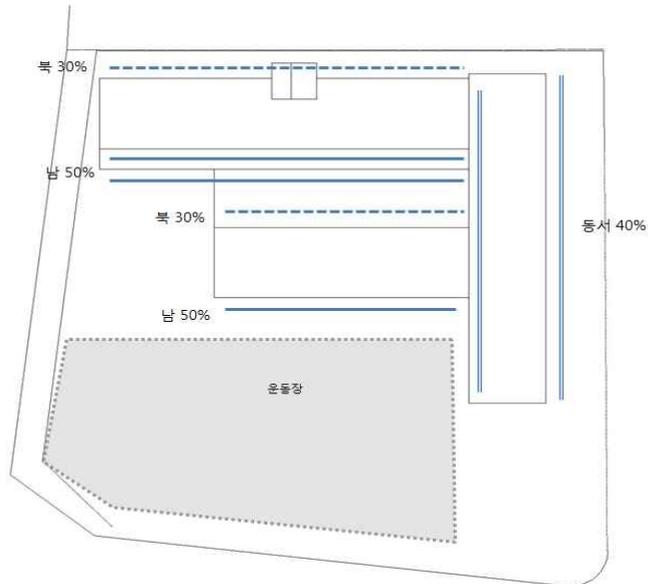
남향의 경우 겨울철 실내로 유입되는 일사를 최대로 하고 여름철의 직사일광 차단을 위하여 50%의 창면적과 광선반 및 수평 차양을 설치하였으며, 북향의 경우 자연채광과 환기를 만족할 수 있는 범위내의 최소 창을 설치하는 것이 효과적이기 때문에 북측의 경우 기존 대상 초등학교의 창면적과 동일한 면적을 적용하였다. 건물의 최상층 실의 경우 천정의 경사도를 높여 측창의 면적을 넓게 하여 자연채광의 유입을 효과적으로 하였다.

20) 한동윤, 학교 건물의 친환경설 향상을 위한 건축계획에 관한 연구

표 33 향에 따른 창면적비 및 차양

향	남측동		북측동		동측동
	남	북	남	북	동,서
면적	50%	30%	50%	30%	40%
적용 기법	차양, 광선반 적용	-	(상부층복도 슬라브 차양 역할)	-	수직차양 적용

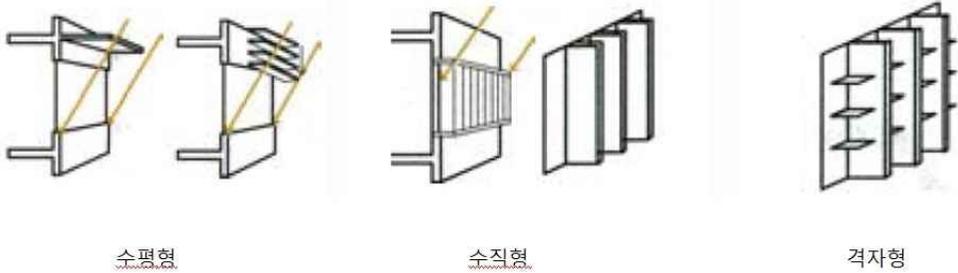
그림 25 향에 따른 창면적비



2) 차양

차양 장치의 경우 태양의 일사열이 건물의 실내에 유입되는 것을 적절히 차단하는 역할을 하며, 여름철 냉방부하를 줄이는 효과적인 방법이다. 차양의 설계는 건물의 각 향에 따라 달라지며, 수평형 차양은 남향, 수직형 차양은 동, 서측입면에 냉방부하 감소를 위하여 적용하였다.

그림 26 차양의 종류

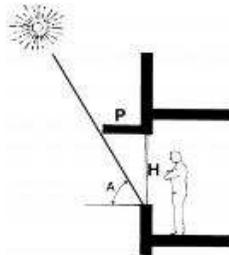


차양의 길이 계산식

$$P = H \tan(90 - A)$$

(A:측정 지역의 위도, P:외부 차양 길이, H:창호의 높이)²¹⁾

그림 27 차양의 길이



남측 창에 설치되는 수평형 차양은 여름철 일사를 차단하고 겨울철 일사는 유입시켜야 하기 때문에 하지와 동지의 태양 고도에 따른 차양의 길이를 적용하여야 한다. 하지의 태양고도는 75.9도, 동지의 태양고도는 29도임으로 태양고도가 가장 높은 하지의 75.9도를 기준으로 하여 차양의 외부 길이를 선정하였다.

북측동의 남측면 1층 교실은 하지의 태양고도 75.9도의 일사를 차단하기 위하여 0.43m 길이의 차양을 적용하였으며, 2~5층의 경우 실을 북측으로 배치하고 상부층의 복도 슬라브에 의한 일사차단 차양의 효과를 도입하였다.

남측동의 경우 직달일사는 차단하고 교실내부의 조도를 향상시키기 위하여

21) 한동윤, 학교 건물의 친환경설 향상을 위한 건축계획에 관한 연구, 한양대학교 대학원, 석사학위논문, 2009

상부층 일반교실의 경우 광선반을 적용하였다.

동측의 경우 낮은 고도의 직사광이 실내로 직접적으로 유입되는 것을 방지하기 위하여 수직형 차양을 적용하였으며, 수직형 차양의 크기는 0.43m로 설치하였다.

표 34 차양의 크기

		남		동,서	
차양 크기	수평형	0.43 m		수직형	0.43 m
				간격	1.0 m

3) 광선반

광선반의 설계는 태양의 고도 각에 따라 외, 내부의 돌출길이를 계획하여야 하며, 광선반의 위치는 최대한 낮은 위치에 설치하는 것이 효과적이나 재실자의 조망을 고려하여 눈높이 이상의 위치에 설치²²⁾하여야 한다. 외측광선반의 길이는 창의 광선반 설치 높이에 따라 변화되며, 내측광선반의 길이는 창의 광선반 설치 상부창의 높이에 따라 변화된다.²³⁾

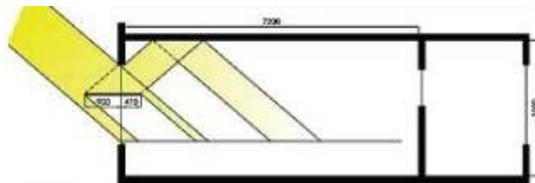
광선반의 길이 계산식²⁴⁾

$$1.2H \geq HQ \geq 0.7HL$$

$$1.2Hh \geq Hi \geq 0.7Hh$$

외측광선반의 크기(HQ), 내측광선반의 크기(Hi), 측창의 높이(HL), 상부창의 높이(Hh)

그림 28 광선반 설치에 따른 채광 유입



22) 김정태, 김근, 김원우, 자연채광 디자인, 기문당, 2009

23) 임재한, 학교 건물에서 회부 차양 장치 유형에 따른 일반교실 내 빛환경 특성에 관한 연구, 한국교육시설학회지, 제15권, 2008

24) 한동윤, 학교 건물의 친환경성 향상을 위한 건축계획에 관한 연구, 한양대학교 대학원, 석사학위논문, 2009

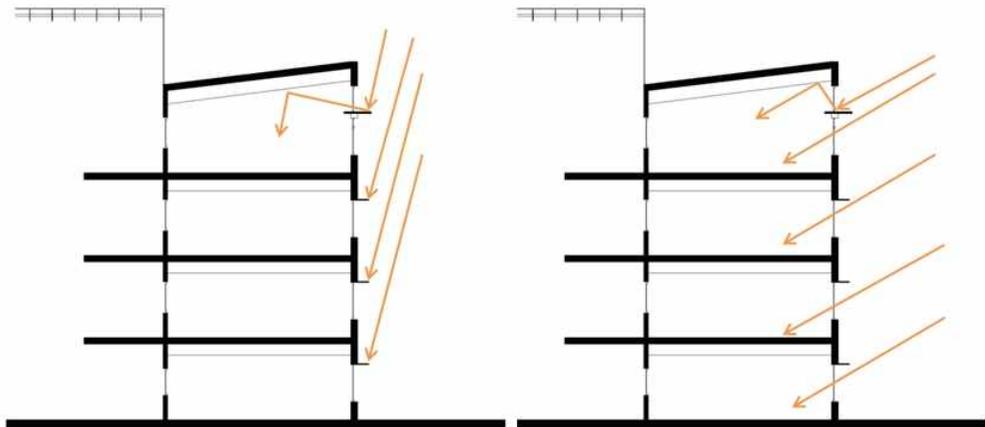
광선반은 남, 북측동의 최상부층 교실 개구부에 적용하였으며, 하부창의 높이는 1.1m, 상부창의 높이는 0.6m로 적용하여 2.1m높이에 광선반을 설치하였다.

위의 식을 사용하여 광선반의 길이를 산정하였으며, 외측광선반의 크기는 1.32~0.77m, 내측광선반의 크기는 0.72~0.42로 외측 광선반은 1.0m, 내측 광선반은 0.57m 로 적용하였다.

표 35 광선반의 크기 및 실내 반사율

	광선반의 크기		실내 반사율
외측	1.0 m	천정	0.8
내측	0.57 m	벽체	0.5
설치 위치	2.1 m	바닥	0.2
		광선반	0.9

그림 29 하지 및 동지의 광선반, 차양에 의한 변화



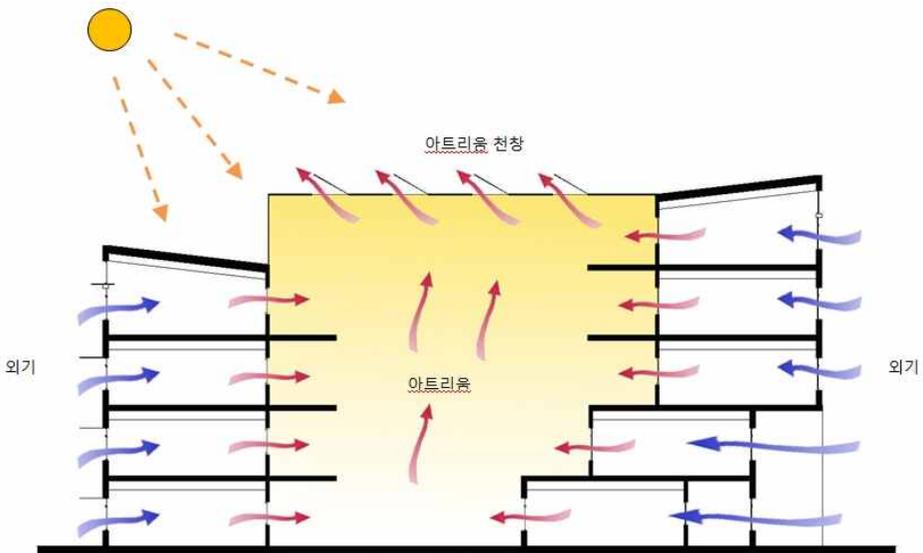
4.1.6. 자연환기

자연환기는 실내의 오염된 공기를 외부로 배출하고 외기의 신선한 공기를 실내로 도입시키는 방법으로 여름철 자연환기를 통하여 여름철 냉방에너지를 절감 할 수 있다.

계절의 변화에 따라 건물의 상하부 개구부를 적절하게 계획하여 자연적인 냉방효과와 실내의 오염된 공기의 자연 제거에 효과적이다.²⁵⁾

설계안에서 교실의 개구부 계획에 있어 외부창과 복도창의 맞통풍이 이루어 지도록 계획하였으며, atrium 공간은 공기의 온도차에 의한 공기 흐름으로 실내 공기의 atrium을 통한 공기 순환을 유도하였다. 실에서 데워진 공기가 atrium 공간에서 상층부로 상승하여 atrium의 상부 천장을 통하여 외부로 빠져나가도록 설계하였다.

그림 30 atrium을 통한 자연환기



25) 임만택, 건축환경계획, 보문당, 2005

4.1.7. 옥상 녹화

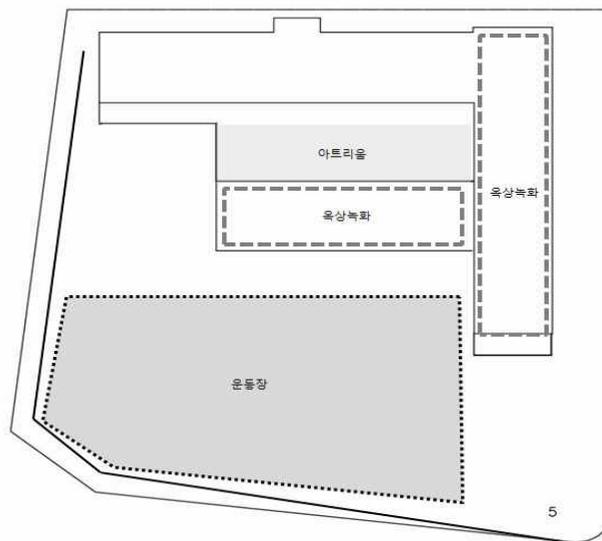
옥상녹화의 경우 도심의 열섬현상을 감소시키며, 건물의 외피 단열의 효과를 통한 냉난방 에너지를 절약할 수 있다. 또한 학교 건물의 옥상녹화는 학생들의 생태교육환경을 조성하여 교육적 효과가 있다. 옥상녹화는 겨울철 낮은 온도의 외기를 차단하고 실내의 열손실을 감소시키며, 여름철 일사에 의한 옥상면 온도 상승을 감소시키는 역할을 한다.²⁶⁾

설계안에서는 남측동의 4층 지붕과 동측동의 5층 지붕면에 녹화를 적용하였으며, 설치면적은 남측동 480m², 동측동 623m²으로 전체 1,103m²을 적용하였다.

표 36 옥상 녹화 구성

구성	두께 (mm)	열전도율 (W/mK)	열관류율 (W/m ² k)
잔디	100	0.09	0.377
토양	300	0.22	
부직포	3	0.07	
배수층	50	0.36	

그림 31 건물의 옥상 녹화 위치



26) 김주환, 학교건물에서의 환경녹화기법 적용에 따른 에너지성능 평가에 관한 연구, 영남대학교 산업대학원, 석사학위논문, 2009

4.2. 설비 기법

4.2.1. 고효율 조명

대상 초등학교의 조명 에너지 사용에 따른 CO₂ 배출량은 28.36%로 나타났다. 대상 초등학교 교실의 조명설비 현황은 일반교실 크기 9m x 7.5m, 면적 67.5m² 로 32W, 2등용을 4 x 3 배열로 모두 24개의 등이 설치되어져 있다.

고효율 조명 기기의 적용에 있어 지식경제부 고효율관리 기자재의 운영에 관한 규정 기준을 참고하여 일반적으로 사용되고 있는 고효율 조명 기기인 LED(Light Emitting Diode)조명 23W를 선정하였으며, 4 x 3배열 12개의 등을 설치하는 것으로 하였다.

4.2.2. 조명 제어 시스템

조명 제어 시스템은 실내 환경 쾌적성 유지 또는 조명 사용전력의 절약을 위하여 인공조명의 사용시간을 감소시키는 시스템이다. 이러한 조명 제어 시스템은 센서에 의하여 조명의 점멸을 조절하며, 시간제어, 광센서, 재실, 동작감지 센서를 이용한 제어 시스템이 있다. 설계안에서 교실을 대상으로 광센서를 이용한 조명 제어 시스템을 적용하였으며, 광센서의 설치를 통하여 실내 요구 조도 이상의 조도 수준일 경우 램프의 점멸이나, 필요 조도에 적합한 연속적 조광을 제공하도록 하였다. 일반적으로 교실 남측면의 창측은 실내 조도가 높고, 내부측일수록 낮은 조도 분포를 보인다.

학교 건물의 조도 기준은 KS 조도 기준 범위 일반회도 대비 혹은 작은 물체 대상의 시작업 수행을 위하여 300-400-600으로 제시하고 있다.²⁷⁾

교실에서 시작업에 요구되는 최고 조도 600lux를 기준으로 설정하였으며, 최대 허용 글레어 지수는 22로 설정하였다.

광센서를 이용한 조명제어 시스템의 적용에 있어 1개의 조도 센서 지점을 적용하였으며, 창측으로부터 1.0m 지점에서 600lux의 조도를 만족할 경우

27) KS A 3011 조도 기준

실 전체 조명의 20%를 점멸하는 것으로 설정하였다.

표 37 KS 조도 기준 범위

활동유형	조도 분류	조도범위 (lx)	작업면 조명방법
어두운 분위기 중의 시식별 작업장	A	3-4-46	공간의 전반 조명
어두운 분위기의 이용이 빈번하지 않은 장소	B	6-10-15	
어두운 분위기의 공공장소	C	15-20-30	
잠시 동안의 단순 작업장	D	34-40-60	
시작업이 빈번하지 않은 작업장	E	60-100-150	
고휘도 대비 혹은 큰 물체 대상의 시작업 수행	F	150-200-300	작업면 조명
일반휘도 대비 혹은 작은 물체 대상의 시작업 수행	G	300-400-600	
저휘도 대비 혹은 매우 작은 물체 대상의 시작업 수행	H	600-1000-1500	
비교적 장시간 동안 저휘도 대비 혹은 매우 작은 물체 대상의 시작업 수행	I	1500-2000-3000	전반조명과 국부조명을 병행한 작업면 조명
장시간 동안 힘든 시작업 수행	J	3000-4000-6000	
휘도대비가 거의 안되며, 작은 물체의 매우 특별한 시작업 수행	K	6000-10000-15000	

4.2.3. 고효율 설비 기기 사용

일반적으로 학교 건물의 HVAC시스템은 일반적인 설계지침에 따라 최소한의 용량으로 설계²⁸⁾하며, 지나치게 큰 용량의 시스템을 적용할 경우 과도하게 에너지를 사용하게 된다. 성적 계수(COP:Coefficient Of Performance)는 냉동기의 열효율을 나타내는 것으로 성적 계수를 최대한 높은 시스템을 도입할 경우 HVAC시스템에 의한 에너지 소비 절감에 매우 효과적이다.

대상 초등학교에서는 EHP 방식을 사용하고 있으며, 현재 설정된 성적 계수(COP)는 난방 2.75, 냉방 3이다. 난방 3, 냉방 4 기기 효율을 향상시켜 적용하였다.

28) 한국교육개발원, 제로에너지, 생태학교 모형개발 연구(1), 2008

4.3. 신재생에너지 적용안

신재생에너지는 무공해, 무한정의 환경 친화적 청정 자연에너지를 이용한 기술로 화석연료를 기반으로 하는 에너지의 생산보다 CO₂의 배출량이 매우 적다. 제로 에미션 건물에서 설계기법의 적용을 통하여 건물에서 소비되는 에너지를 최대한 절감하고 신재생에너지 시스템에 의하여 생산된 에너지를 사용함으로써 건물에서 소비되는 에너지의 자립도를 높일 수 있다.

건축물의 용도, 대상 건물의 난방, 냉방, 전력 등의 에너지 소비량에 따라 적합한 신재생에너지 시스템을 선택하여야 하며, 대지의 기후와 주변지역의 건물에 의한 영향 등을 고려하여 적용하여야한다²⁹⁾.

제로 에미션 학교 건물의 사례조사와 학교 특성을 고려한 신재생에너지 시스템 적용에 있어 태양광, 태양열, 지열, 풍력, 바이오매스 등의 시스템이 적용되었으나, 국내 여건과 대상 초등학교의 미기후에 적합한 시스템을 선정하여 적용하였다.

본 연구에서는 제로 에미션 학교 건물에 적용 가능한 신재생에너지 시스템으로 태양광 발전 시스템, 태양열 급탕 시스템, 지열 시스템을 선정하였다.

태양광 발전 시스템의 경우 설계안에서의 계획은 옥상면과 아트리움의 남측 천창부분으로 한정하였으며, 지열 시스템의 경우 학교의 여유대지인 운동장 면적만을 대상으로 한정하였다.

본 연구에서는 신재생에너지 적용과 생산량의 산정에 있어 CEDRL(CANMET Energy Diversification Research Laboratory)에서 개발한 RETScreen 4를 사용하였다. RETScreen은 에너지 생산, 주기비용, Emission 량, 경제성, 에너지 효율 등의 평가가 가능한 프로그램으로 기후 데이터를 기반으로 태양광 발전, 태양열 급탕, 지열 시스템 등의 신재생에너지 분석이 가능한 프로그램³⁰⁾이다.

29) 김지연, 학교시설의 신재생에너지 복합시스템 적용을 위한 최적설계기법에 관한 연구, 인하대학교 대학원, 박사학위논문, 2010

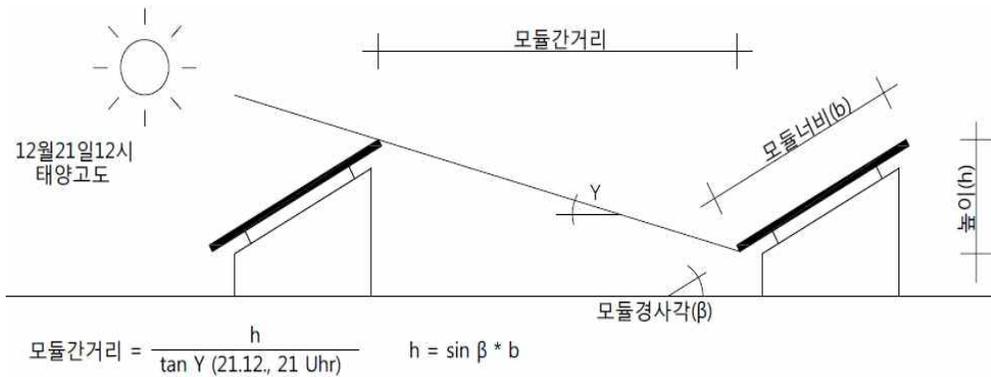
30) www.etscreen.net,

4.3.1. 태양광 발전 시스템

태양광 발전 시스템은 무한한 태양에너지를 직접 전기 에너지로 변환하여 사용하는 기술로 기존의 에너지원의 환경 문제를 해결할 수 있으며, 신재생 에너지 시스템 중 시스템의 구조가 단순하여 유지 보수가 간편하고 높은 시스템 효율로 현재 많은 분야에서 개발 및 적용되고 있다. 현재 국가에서 태양광 발전 시스템의 적용 시 보조금 지원 등의 재생에너지 시스템의 보급 확대를 위한 정책이 시행 중이며, 태양광 시스템은 음영의 영향을 받지 않는 설치 면적만 확보되면 적용 가능한 장점을 가지고 있어 다양한 건물에 적용되고 있다.

학교 건물의 태양광 발전 시스템의 적용은 옥상면과 외벽면에 가능하며, PV(Photovoltaic) 모듈의 설치는 남향으로 배치할 때 가장 효율이 높다. PV 모듈의 경사각은 태양의 고도에 따라 여름철의 경우 경사각이 작은 경우, 겨울철의 경우 경사각이 큰 경우가 유리하다³¹⁾. 서울지역의 경우 수평면에 대한 30° 각도, 남향 배치하였을 경우 가장 높은 생산량을 얻을 수 있으며³²⁾, 태양광발전시스템의 최소 이격거리는 다음의 식에 따라 산정하였다.

그림 32 태양광 설치 이격거리



31) 정아름, 도시특성에 따른 신재생에너지 시스템 복합 적용 방안에 관한 연구, 중앙대학교 대학원, 석사학위논문, 2010

32) 최문학, 태양광발전시스템의 최적설계에 의한 효율개선에 관한 연구, 조선대학교 대학원 박사학위논문, 2007

설계안에서는 주변 지역 환경에 의하여 건물에 생성되는 음영의 영향이 없고, 남측동으로 인한 북측동에 생성되는 음영은 옥상면에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 남측동과 동측동 옥상면의 경우 북, 서향으로 약 10°의 경사를 가지고 있어 PV 설치 시 남향 배치가 어려운 것으로 판단된다. 북측동의 경우 남향으로 경사도를 가지고 있어 북측동에 PV를 설치하기 적합하며, 아트리움의 최상부면의 경우 북측동의 교실 채광에 영향을 미치지 않기 위하여 광투과성 PV를 적용하여 아트리움의 일사 투과를 조절하고 태양광을 이용한 발전 시스템을 적용하였다.

PV는 남향으로 배치하고 수평면에 대한 경사각을 30°로 북측동 옥상면에 설치하였으며, 옥상의 면적은 폭 12m, 길이 58m로 모듈의 이격거리 1.47m를 적용하여 면적은 396m²을 설치하였다. 아트리움의 천창면 설치는 경사각 없이 수평형으로 부착하여 면적 70m²을 설치하였다. 인버터의 효율 95.5%, PV 모듈은 단결정(Poly-Si)형으로 효율 14.9%의 경사형 고정식 PV를 적용하였다³³⁾.

60kWp의 발전용량을 적용하여 연간 65,652kWh/yr의 발전량을 생산하였으며, 발전량이 가장 높은 달은 4월과 5월로 6,994kWh/yr, 7,259kWh/yr의 발전이 가능한 것으로 나타났다.

표 38 태양광 발전 시스템 설치 사양

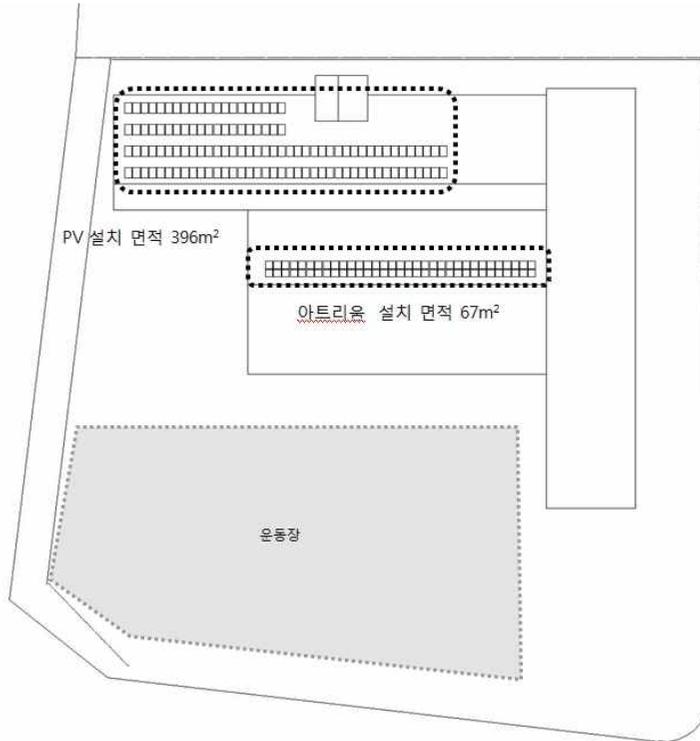
구분		설치 사양
PV 모듈	종류	POLY-SI
	규격	982 x 1,636 x 53.7mm
	발전용량	50kWp
	적용각도	0°/30°
	효율	14.9%
	기타손실	3.0%
인버터	효율	95.5%
	기타손실	5.0%

33) 이민희, 도시특성에 따른 태양에너지시스템 적용에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 석사학위논문, 2010

표 39 태양광 발전 시스템 발전량

월	수평면 태양 복사량 (kWh/m ² /일)	경사면 (30°) 태양 복사량 (kWh/m ² /일)	연간발전량(kWh)
1월	1.92	2.77	4,506
2월	2.72	3.52	5,169
3월	3.33	3.75	6,070
4월	4.42	4.55	6,994
5월	4.81	4.62	7,259
6월	4.47	4.18	6,319
7월	3.11	2.95	4,592
8월	3.78	3.75	5,703
9월	3.64	3.94	5,813
10월	3.08	3.81	5,834
11월	1.94	2.61	3,997
12월	1.50	2.09	3,395
평균 복사량	3.23	3.54	65,652

그림 33 태양광 발전 설치 위치 및 면적

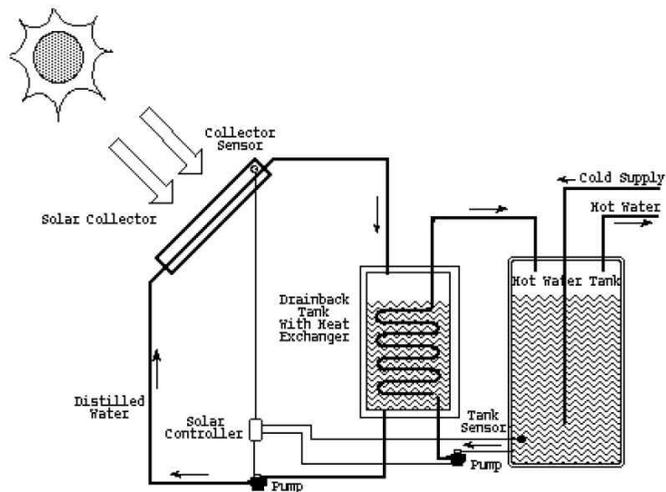


4.3.2. 태양열 급탕 시스템

태양열 시스템은 태양광 시스템과 같이 지표면에 도달하는 태양에너지의 광열학적 성질을 이용하여 태양열의 흡수, 저장, 열변환을 통한 건물의 냉난방 및 급탕 등에 활용하는 기술이다. 태양열시스템은 태양열 급탕시스템, 태양열 난방시스템, 태양열 냉방시스템으로 분류되며, 학교 건물에 있어 태양열 시스템의 적용은 일반적으로 난방 및 급탕시스템을 적용하나, 동절기 방학기간동안의 태양열 난방시스템의 가용 효율성이 떨어지기 때문에 일반적으로 급탕 에너지의 절감 목적을 위하여 적용되고 있다.

태양열 급탕 시스템은 태양열 집열판과 축열조로 구성되며, 집열판에서 가열된 집열매체가 자연순환에 의한 축열조의 물을 가열시켜 건물에서 필요한 온수를 제공한다.

그림 34 태양열 급탕시스템



태양열 시스템은 산란일사에 의한 집열은 어려우며, 직달일사에 의하여 집열하기 때문에 낮 시간에만 에너지 생산이 가능하며, 학교 건물에 적용 시, 건물의 사용시간과 태양열 집열 및 에너지 생산 패턴을 동일하게 이용할 수 있다.

태양열 급탕 시스템 집열기의 설치는 건물의 입면과 옥상면에 설치할 수 있으나, 집열기 내의 부동액, 또는 물 등의 액체 사용으로 인하여 건물의 입면 설치 시 사용 면적이 한정적이며, 건축적 일체화가 어려워 설계안에서는 건물의 옥상면 설치가 가장 용이한 것으로 판단하였다.

하절기 급탕부하가 감소됨으로 인한 시스템의 과열 방지 및 시스템 효율 향상을 위하여 미국 공기조화냉동공학회(ASHRAE)에서는 적정용량 산정에 있어 태양열 의존율 60~80%³⁴⁾를 권장하고 있다.

태양광 발전 시스템의 설치와 동일하게 북측동의 옥상면에 평판형 집열기를 설치하였으며, 전면 집열기에 의한 음영이 집열기의 효율저하 현상을 방지하기 위하여 대상 집열기의 최상단부와 후면 배열 집열기의 최하단부와의 각도가 30° 이하로 설치하였다.

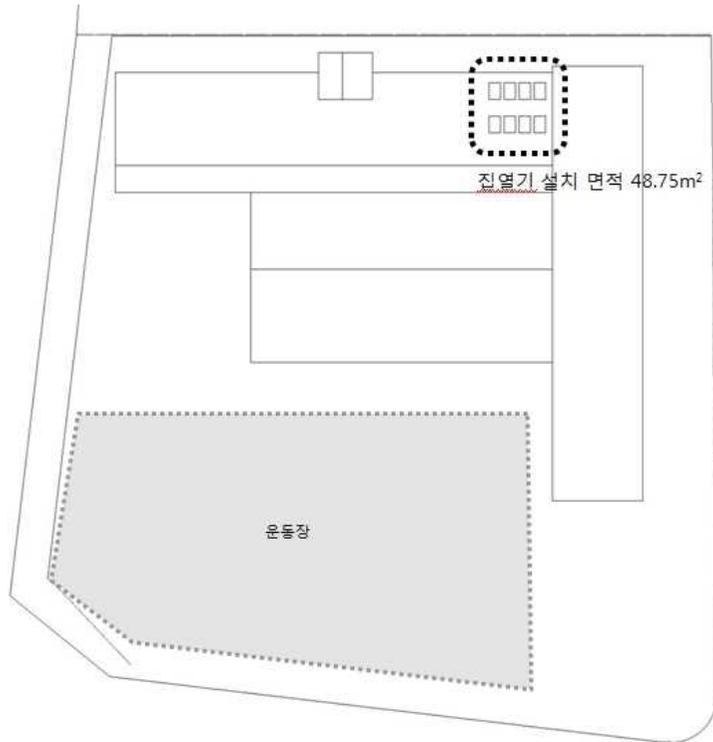
적용 태양열 시스템의 집열기는 유창형, 평면형이며, 경사각은 30° 이고, 집열기의 면적은 3.75m²으로 북측동의 옥상면에 설치하였다. 태양광 집열기를 8개 설치하여 전체 설치 면적은 48.75m²이며, 태양열 생산량은 22,800kWh/yr이다.

표 40 태양열 급탕시스템의 설치 사양 및 집열량

태양열 시스템		열교환기	
종류	유창형	열교환기 효율	70%
집열기 면적	3.75m ²	손실율	2.0%
에너지 손실율	3.0%	집열기 개수	8개
집열기 면적, 집열량			
집열기 면적		48.75m ²	
집열량		22,800kWh	

34) 한국 교육개발원, 제로에너지 생태학교 모형개발 연구(1), 2008

그림 35 집열기 설치 위치 및 면적



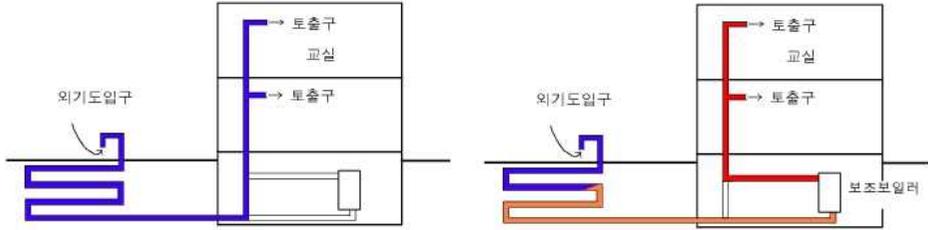
4.3.3. 지열

지열은 태양 복사열과 지구내부의 지중에 저장된 열을 말하며, 지열의 경우 계절 변화에 따른 온도 변화가 없이 10~20℃로 일정하게 유지된다. 이러한 일정한 온도의 지열을 이용하여 지반에 매설된 파이프를 통하여 순환하는 부동액에 의하여 겨울철 지반의 열을 건물로 전달하고 여름철 건물 내의 열을 흡수하여 배출한다. 열교환기 형태에 따라 수직형과 수평형 열교환기 시스템이 있다. 학교 건물의 경우 대지면적 중 지열 시스템 적용가능 면적이 넓어 많은 학교 건물에서 지열 시스템을 적용하고 있으며, 대지의 형태 및 설치가능 면적, 지하 매설물의 여부에 따라 적용을 고려하여야 하며, 지열 시스템 설치에 있어 보어홀의 설치간격의 설정에 따라 설치 가능 면적 및 시스템 용량을 설정한다. 열교환기 간의 열간섭을 방지하기 위하여 4~6m 간격³⁵⁾으로

설치하는 것이 일반적이므로 5m간격으로 학교 운동장 면적내에 적용하였다.

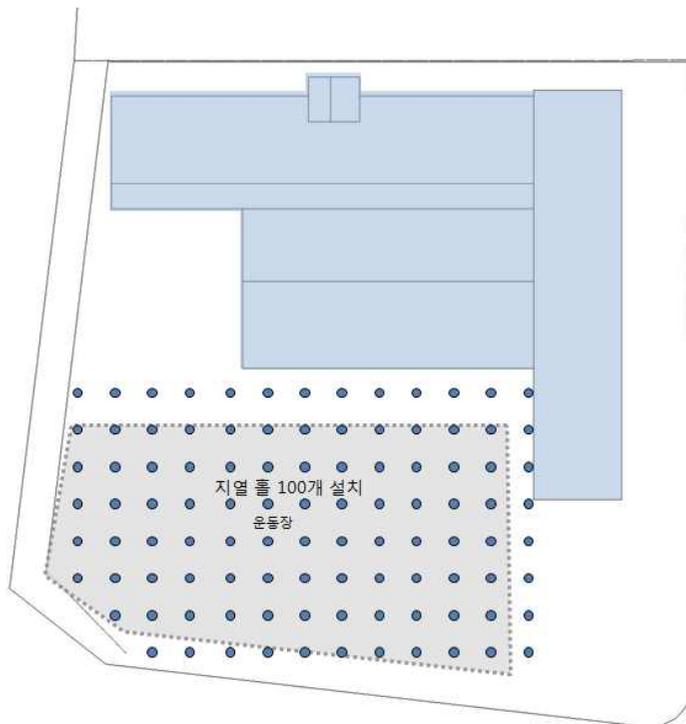
그림 36 여름철 지열냉방기능

그림 37 겨울철 지열난방기능



설계안은 지열 시스템을 적용 난방과 냉방을 분담하는 것으로 설정하였으며, 천공 깊이 100m, 2800m² 면적, 설비용량 200RT, 100개의 보어홀 (Bore hole)을 설치하여 연간 31,917kWh/yr을 제공하는 것으로 나타났다.

그림 38 지열 홀의 설치



35) 산업자원부, 지열냉난방 시스템 성능평가 및 엔지니어링 기술 확보, 2005. p.81

4.4. 제로 에미션 학교 건물 설계사례 평가

4.4.1. 제로 에미션 학교 건물 설계안 평가 개요

제로 에미션 학교 건물의 설계를 위한 설계기법의 이론적 고찰과 사례조사를 통하여 적용 설계기법을 선정하고, 대상 초등학교 건물의 에너지 소비 및 CO₂ 배출량 분석을 통하여 난방, 조명, 냉방에너지 저감을 목표로 설정하였다. 이를 바탕으로 설계단계별 건물의 배치 및 형태, 벽체의 단열성능 향상, 창호단열 및 차폐계수, 기밀성 향상, 창면적비의 변화, 차양의 설치, 옥상녹화, 고효율 조명기기, 조명제어 시스템, 고효율 설비시스템계기법의 적용을 통하여 제로 에미션 학교 건물을 설계하였으며, 설계안의 평가는 각 설계기법의 적용에 따른 난방, 냉방, 조명, 기기, 급탕 에너지의 변화 및 신재생에너지 적용에 따른 에너지 절감율과 CO₂ 저감율을 분석하였다.

다음은 설계안에서 적용한 설계기법의 내용을 나타낸 것이다.

표 41 설계안 적용 설계기법

설계기법	설계안 적용 내용		
배치 및 형태	남향배치, 외피면적 감소, 아트리움 계획, 부하별 zoning		
벽체 단열	외벽, 지붕, 지반 슬라브 열관류율 0.15W/m ² k		
창호단열 및 차폐계수	교실 외부창 : 삼중로이유리, 0.74		
	아트리움 : 삼중로이유리, 0.54		
기밀성 향상	침기율 시간당 0.5회		
창면적비	남측		50%
	북측		30%
	동서측		40%
차양	남측	수평 차양	길이 : 0.43m
	동,서	수직 차양	길이 : 0.43m, 간격 : 1m
옥상녹화	남, 동측동의 옥상면 녹화, 적용면적 1,103m ²		
고효율조명기기	LED 조명 (4W/m ²)		
조명제어 시스템	교실의 외부창 1m 지점 300lux, 전체 조명 20% 소등		
고효율 설비시스템	난방 COP3, 냉방 COP 4		
신재생에너지	적용 내용		
태양열	북측동 옥상면, 아트리움의 천창면 적용		
태양광	북측동 옥상면 8개 집열기 설치		
지열 히트펌프	운동장 부지내 100개 보어홀 설치		

4.4.2. 설계기법 적용에 따른 설계안의 에너지소비 절감 및 CO₂ 배출 저감량 분석

제로 에미션 초등학교 설계안의 평가는 각 설계기법의 적용에 따른 건물의 에너지 소비에 복합적인 영향을 미치기 때문에 순차적 통합 적용을 통한 에너지 소비 및 CO₂ 배출량의 전체 정량적 평가를 실시하였다.

표 42 설계안의 에너지 소비 절감 및 CO₂ 배출 저감량 분석

	기존 초등학교	배치 및 형태, 조닝	벽체단열	창호단열 및 차폐계수	기밀성 향상	창면적비	차양	옥상녹화	고효율 조명기기	조명제어 시스템	고효율 설비 시스템
단위면적당 에너지 소비량(kWh/m ² ,yr)	72.17	70.45	67.94	66.88	61.20	60.74	59.44	58.91	57.03	54.99	52.46
전력(kWh/yr)	256,333	243,124	230,359	226,181	203,922	202,092	196,982	194,932	187,532	179,522	169,620
가스(kWh/yr)	36,241	36,241	36,241	36,241	36,241	36,241	36,241	36,241	36,241	36,241	36,241
난방(kWh/yr)	130,201	97,346	82,644	83,852	54,725	49,361	52,309	54,927	74,380	79,050	78,459
냉방(kWh/yr)	27,226	46,924	48,808	43,424	50,291	53,825	45,768	41,099	39,378	37,243	27,932
조명(kWh/yr)	76,572	76,572	76,572	76,572	76,572	76,572	76,572	76,572	51,441	40,895	40,895
기기(kWh/yr)	22,334	22,334	22,334	22,334	22,334	22,334	22,334	22,334	22,334	22,334	22,334
급탕(kWh/yr)	36,241	36,241	36,241	36,241	36,241	36,241	36,241	36,241	36,241	36,241	36,241
절감량 절대치(kWh/m ² ,yr)	-	1.72	2.51	1.06	5.67	0.47	1.30	0.52	1.89	2.04	2.52
에너지 절감율(%)	-	2.38	3.56	1.57	8.48	0.76	2.14	0.88	3.20	3.58	4.59
누적 절감율(%)	-	2.38	5.86	7.33	15.19	15.84	17.64	18.37	20.98	23.81	27.31

	기존 초등학교	배치 및 형태, 조닝	벽체단열	창호단열 및 차폐계수	기밀성 향상	창면적비	차양	옥상녹화	고효율 조명기기	조명제어 시스템	고효율 설비 시스템
단위면적당CO ₂ 배출량(kgco ₂ /m ² yr)	29.75	29.24	27.79	27.32	24.79	24.59	24.01	23.78	22.94	22.03	20.91
전력(kgco ₂)	114,017	108,164	102,463	100,605	90,704	89,890	87,618	86,705	83,414	79,851	75,446
가스(kgco ₂)	6,590	6,590	6,590	6,590	6,590	6,590	6,590	6,590	6,590	6,590	6,590
난방(kgco ₂)	57,913	43,300	36,760	37,297	24,341	21,956	23,267	24,432	33,084	35,161	34,899
냉방(kgco ₂)	12,110	20,872	21,710	19,315	22,369	23,941	20,358	18,281	17,515	16,566	12,424
조명(kgco ₂)	34,059	34,059	34,059	34,059	34,059	34,059	34,059	34,059	22,881	18,190	18,190
기기(kgco ₂)	9,934	9,934	9,934	9,934	9,934	9,934	9,934	9,934	9,934	9,934	9,934
급탕(kgco ₂)	6,590	6,590	6,590	6,590	6,590	6,590	6,590	6,590	6,590	6,590	6,590
절감량 절대치(kgco ₂ /m ²)	-	0.51	1.45	0.47	2.53	0.20	0.58	0.23	0.84	0.91	1.12
CO ₂ 배출절감율(%)	-	1.70	4.97	1.70	9.24	0.84	2.36	0.97	3.53	3.96	5.10
누적 절감율(%)	-	1.70	6.58	8.18	16.66	17.35	19.30	20.08	22.90	25.95	29.73

그림 39 설계안 에너지 소비량(kWh/yr)

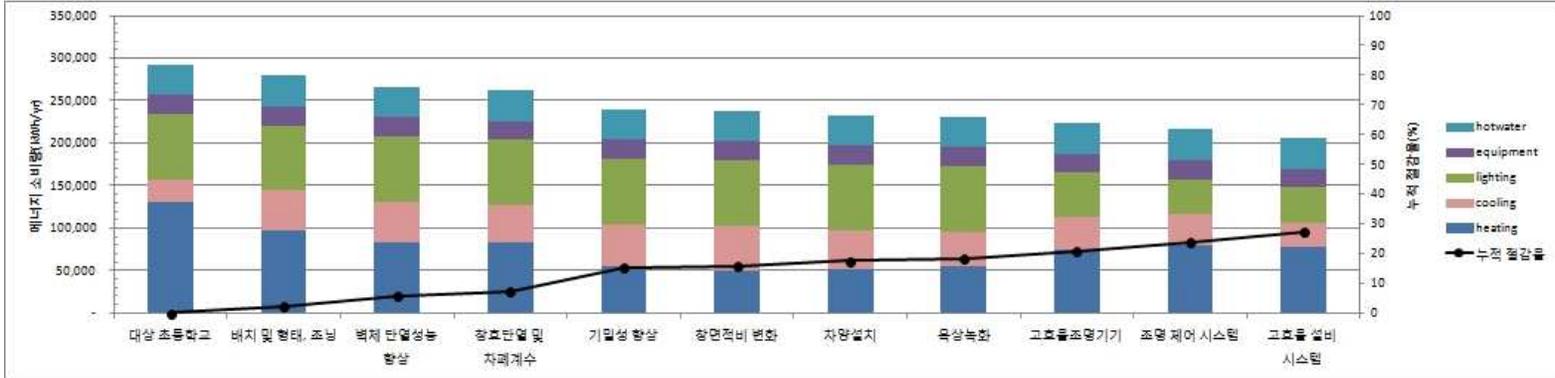
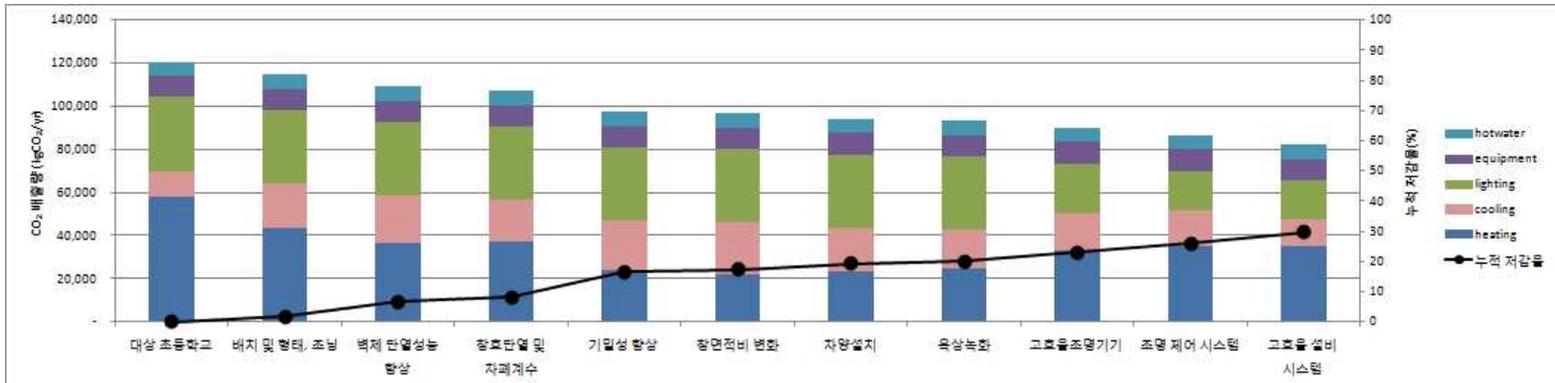


그림 40 설계안 CO₂ 배출량(kgCO₂/yr)



1) 설계안의 에너지 소비 분석

기존 대상 초등학교의 단위면적당 에너지 소비량은 72.17kWh/m^2 이며, 배치 및 형태, 조닝의 변경 후, 전체 단위면적당 에너지 소비량은 약 2.38% 감소하여 70.45kWh/m^2 으로 나타났으며, 외기에 면하는 면적 감소의 영향은 난방에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

벽체의 단열성능 향상은 단위면적당 에너지 소비량은 3.56%의 절감과 67.94kWh/m^2 의 에너지 소비량을 나타내었다. 벽체의 단열성능 향상은 난방 에너지의 절감 효과는 높았으나, 여름철 냉방에너지의 경우 증가되는 현상을 보였다.

창호의 단열성능 향상과 차폐계수의 변화는 전체 단위면적당 에너지 소비량은 66.88kWh/m^2 으로 약 1.57% 감소되었으나, 난방은 증가하고 냉방은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 교실의 창호 차폐성능을 향상시켜 일사의 유입을 차단한 것이 난방에너지 소비위주인 학교 건물에서 겨울철 난방에너지는 증가 시키고, 여름철 냉방에너지는 감소시킨 것으로 분석된다.

기밀성의 향상은 약 8.48%의 높은 절감 효과를 나타냈으며, 단위면적당 소비량은 61.20kWh/m^2 으로 나타났으며, 난방에너지의 감소가 매우 높게 나타났다. 이는 건물의 기밀성능 향상은 외기의 침기율을 감소시켜 난방에너지 소비를 큰 폭으로 절감 시켰으며, 냉방의 경우 침기에 의한 자연 환기 성능이 저하됨에 따라 여름철 냉방에너지 소비가 높아진 것으로 분석된다.

창면적비의 경우 단위면적당 소비량은 60.74kWh/m^2 으로 나타났으나, 전체 절감율은 0.76%로 매우 미비하게 나타났다. 이는 창면적의 변화는 자연채광의 유입을 향상시키기 위하여 남향과 동서향의 창면적비가 기존 건물 대비 약 7~10% 정도 향상 조정됨에 따라 냉난방에너지 소비량 절감율이 미비하게 나타난 것으로 분석된다. 하지만 이러한 결과는 창면적비의 단순 감소를 통하여 건물 전체의 에너지 소비량을 감소시키는 것이 아니며, 건물의 각 향에 따른 창면적비의 적합한 적용이 필요한 것으로 분석된다.

차양 적용에 따른 냉난방 에너지 소비 변화는 2.14%를 절감한 것으로 나타났으며, 차양의 설치에 따른 냉방에너지 감소량이 난방에너지 감소량에 비하여 높은 것으로 나타났다. 단위면적당 에너지 소비량은 59.44kWh/m^2 으로

나타났다. 차양의 설치는 냉방에너지 소비 감소에는 효과적이거나, 난방의 경우 겨울철 일사의 유입을 차단하여 난방에너지 소비량이 증가 된 것으로 분석된다.

건물의 옥상면의 녹화를 통한 건물 단열 효과는 단위면적당 에너지 소비의 절감율은 0.88%로 매우 미비한 것으로 나타났으며, 이는 설계안의 지붕면 단열성능의 향상 적용으로 인하여 녹화로 인한 단열성능 향상의 효과가 미비하게 나타난 것으로 분석된다. 옥상 녹화는 옥상면에 도달하는 일사로 인한 옥상면 온도 상승을 적절히 조절하여 실내로 전달되는 열을 차단하여 냉방 에너지 소비량을 감소시키는 것으로 분석된다.

설비형 기법의 적용은 고효율 조명사용과 조명제어 시스템, 고효율 설비 시스템의 적용에 따른 에너지 소비량을 시뮬레이션을 통하여 평가하였으며, 고효율 조명기기의 경우 절감율은 3.20%로 단위면적당 에너지 소비량은 57.03kWh/m²으로 나타났다. 고효율 조명의 사용은 조명에너지 절감량이 가장 높았으며, 전체 조명에너지 소비량의 32.82%가 저감된 것으로 나타났다. 또한 고효율 조명기기의 사용으로 냉방에너지 소비량의 감소 현상이 있었으며, 이는 실내 조명기기 밀도가 낮아짐으로 인한 실내 발열부하 감소로 냉방 에너지 소비량이 감소된 것으로 분석된다.

고효율 조명 사용에 따른 에너지 감소와 함께 높은 절감율을 나타낸 조명제어 시스템의 경우 창면적비의 증가로 인한 실내의 직사일광의 유입이 증가되어 실내의 조도가 높아짐에 따라 설정된 점멸률이 효과가 높은 것으로 나타났다. 단위면적당 에너지 소비량은 54.99kWh/m²로 3.58%가 감소되었다. 고효율 조명 사용에 따른 절감량 대비 20.50%가 절감된 것으로 나타났다.

고효율 설비 시스템의 적용에 따른 에너지 소비량 분석은 절감량은 4.59%로 단위면적당 에너지 소비량 52.46kWh/m²으로 나타났다. 냉난방에너지 소비량 모두 감소되었다. 고효율 설비 시스템의 적용은 기밀성 향상으로 인한 감소량 다음으로 절감율이 높은 것으로 나타났다.

제로 에미션 학교 건물 설계안의 에너지 소비량 분석을 통하여 각 설계기법의 순차적 적용을 통하여 분석을 하였으며, 전체 절감율은 기존 초등학교 단위면적당 에너지 소비량 72.17kWh/m²의 27.31%를 절감한 52.46kWh/m²

으로 나타났다. 건축 계획 기법의 적용에 따른 절감율은 기존 초등학교 72.17kWh/m²대비 약 18.37%를 절감한 58.91kWh/m²으로 나타났으며, 설비형 기법의 적용을 통하여 건축 계획기법 적용 대비 약 10.94%를 절감한 것으로 나타났다.

표 43 에너지 소비 절감율

	기존 초등학교	건축계획기법	설비형 기법
단위면적당 에너지 소비량(kWh/m ²)	72.17	58.91	52.46
절감율(%)	-	18.37	10.94
전체 절감율(%)	-	-	27.31

2) 설계안의 CO₂ 배출 분석

대상 초등학교의 단위 면적당 CO₂ 배출량은 29.75kgCO₂/m²이며, 에너지 소비량과 CO₂ 배출량의 패턴은 유사하게 나타났다. 이는 학교 건물의 경우 EHP(Electric Heat Pump)의 사용으로 급탕 이외의 냉난방, 조명, 기기 에너지 사용을 전력으로 하기 때문에 설계기법의 적용으로 급탕 소비량 변화가 없는 영향으로 분석된다.

CO₂ 배출 절감량 절대치는 기밀성 향상, 벽체 단열성능 향상, 고효율 설비 시스템, 조명제어 시스템, 고효율 조명 기기 사용, 차양의 적용, 배치 및 형태, 부하별 조닝, 창호단열 및 차폐계수의 변경 순으로 나타났다.

배치 및 형태, 조닝에 따른 절감량 절대치는 0.51kgCO₂/m²이며, 벽체 단열은 1.45kgCO₂/m², 창호단열 및 차폐계수는 0.47kgCO₂/m², 기밀성 향상은 2.52kgCO₂/m², 창면적비는 0.21kgCO₂/m², 옥상녹화는 0.23kgCO₂/m²으로 나타났다. 절감량 절대치의 분포는 기밀성 향상과 벽체의 단열이 가장 효과가 높은 것으로 나타났으며, 이는 난방에너지 소비량의 절감으로 인한 CO₂ 배출량 감소의 영향으로 분석된다.

난방에너지 소비에 따른 CO₂ 배출량 저감에 가장 큰 영향을 미치는 설계기법은 건물의 배치 변경과 형태, 부하에 따른 조닝이 가장 효과적인 것으로 나타났으며, 기밀성능의 향상 또한 효과적인 것으로 나타났다.

냉방에너지 소비에 따른 CO₂ 배출량 저감은 창호단열 및 차폐계수와 차양의 설치, 옥상녹화의 적용이 유사하게 나타났으며, 이는 각 설계기법의 적용에 따른 일사의 차단 효과로 분석된다.

설비형 기법의 적용에 따른 절감량 절대치는 고효율 조명 기기 0.84kgCO₂/m², 조명제어 시스템 0.91kgCO₂/m², 고효율 설비 시스템 1.12kgCO₂/m²로 나타났으며, 고효율 조명 적용은 조명 사용에 따른 CO₂ 배출 저감량은 32.82%이며, 조명 제어 시스템의 적용은 고효율 조명 사용 대비 20.49% 감소한 것으로 나타났다. 조명에너지 소비에 따른 CO₂ 배출량 저감에 영향을 미치는 설계기법은 고효율 조명기기의 사용이 가장 효과적인 것으로 나타났다. 고효율 조명 기기 사용과 조명 제어 시스템의 경우 학교 건물에서 일반적으로 요구되는 조도에 적합한 실내조도임에도 불구하고 점멸

하지 않는 시간 분포가 높기 때문에 조명에 의한 에너지 소비를 감소시키는데 효과적인 것으로 분석된다.

난방으로 배출되는 CO₂의 저감은 배치 및 형태, 조닝, 벽체 단열성능 향상, 기밀성 향상, 창면적비 변화, 고효율 설비 시스템의 적용이 효과적인 것으로 나타났고, 냉방의 경우 창호단열 및 차폐성능을 향상시키고, 차양과 옥상 녹화를 적용하였을 때 가장 효과적인 것으로 나타났다. 난방과 냉방에 의한 CO₂ 배출은 설계기법의 적용에 따라 역전되는 현상이 나타났으며, 이는 각 설계기법에 따라 건물 에너지 소비에 미치는 영향이 다르기 때문이다.

고효율 조명과 조명제어 시스템은 조명기기의 소비 전력의 감소로 인하여 CO₂ 배출량이 저감되었으며, 이러한 조명기기에 의한 실내 발열 부하의 저감을 통하여 냉방에 의한 CO₂ 배출량이 저감된 것으로 분석된다.

표 44 CO₂ 배출 저감율

	기존 초등학교	건축계획기법	설비형 기법
단위면적당 CO ₂ 배출량(kgCO ₂ /m ²)	29.75	23.78	20.91
저감율(%)	-	20.08	12.06
전체 저감율(%)	-	-	29.73

4.4.3. 신재생에너지 시스템 적용에 따른 에너지 소비 및 CO₂ 배출 절감량

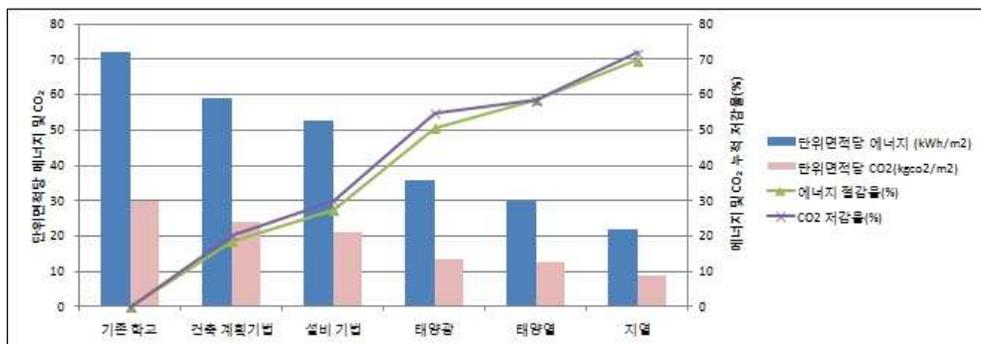
태양광 발전 시스템의 발전량은 65,652kWh/yr로 기존 학교 대비 전력 소비량의 약 25.61%를 생산, 이를 통하여 연간 29,201kgCO₂/yr 배출을 저감하였으며, 태양열 급탕 시스템의 생산량은 22,800kWh/yr이며, 기존 학교의 급탕량의 62.9%를 충당하며, 4,144kgCO₂/yr 배출을 저감하는 것으로 나타났다.

지열 시스템의 경우 소비량의 30%를 충당하며, 지열 시스템을 통한 생산량은 31,917kWh/yr로 이를 통한 연간 14,196kgCO₂/yr 배출을 저감하였다.

표 45 신재생에너지 적용을 통한 에너지 소비 및 CO₂ 배출 저감량

	기존 학교	건축 계획기법	설비 기법	태양광	태양열	지열
단위면적당 에너지 소비량(kWh/m ²)	72.17	58.91	52.46	35.73	29.92	21.79
단위면적당 CO ₂ 배출량(kgCO ₂ /m ²)	29.75	23.78	20.91	13.46	12.41	8.79
에너지 누적절감율(%)	-	18.37	27.31	50.49	58.54	69.80
CO ₂ 누적절감율(%)	-	20.08	29.73	54.86	58.38	70.45

그림 41 신재생에너지 시스템 적용에 따른 저감율



설계안의 설계기법의 적용을 통하여 29.73%의 CO₂ 배출량을 저감시켰으며, 신재생에너지 적용에 따른 CO₂ 배출량은 설계기법 적용 설계안 대비 42.04%를 저감한 것으로 나타났다. 기존 초등학교 대비 70.45%를 저감한 것으로 나타났다.

신재생에너지 시스템의 적용은 설계기법의 적용에 따른 에너지 소비 및 CO₂ 배출 보다 효과적인 것으로 분석되나, 신재생에너지 시스템의 경우 건물의 적용에 있어 각 시스템 적용에 따른 경제성 평가가 병행되어야 할 것으로 판단된다.

4.5. 소결

본 장에서는 앞서 사례조사와 대상 초등학교 건물의 에너지 소비 및 CO₂ 배출 분석을 통하여 선정된 설계기법의 적용을 통한 설계안을 계획하였으며, 설계안에 적용된 설계기법의 순차적 적용과 신재생에너지 시스템의 적용에 따른 에너지 소비 및 CO₂ 배출 평가를 하였다.

1) 건축계획기법은 건물의 남향 배치와 외기에 면하는 외피 면적 감소, 각실의 종류에 따른 조닝, 벽체의 단열 성능 향상, 창호의 단열 성능향상 및 일사 차폐 유리의 적용, 건물의 기밀시공을 통한 침기를 제어하였으며, 각 건물동의 향에 따른 창면적 계획, 남향과 동, 서향의 차양의 설치와 남, 동측동의 옥상면 녹화를 계획하였다.

2) 설비 기법의 적용은 조명에너지 절약을 위한 고효율 조명 기기의 사용과 실내의 균질한 조도의 유지를 위하여 외주부에 광센서를 설치하여 요구조도 이상이 될 경우 실의 조명을 조절하는 것으로 설정하였다. 고효율 설비 시스템의 경우 냉난방 성능 계수(COP)를 향상시키는 것으로 설정하였다.

3) 신재생에너지 시스템의 적용은 설계안의 건물의 형태와 여유 대지의 분포를 고려하여 태양광 발전 시스템은 북측동의 옥상면과 아트리움의 상부 천창면을 이용하여 설치하였으며, 태양열 급탕 시스템은 북측동의 옥상면에 8개의 집열기를 설치하였다. 지열 히트펌프는 운동장에 100개의 보어홀을 천공하여 설치하였다.

설계안에 적용된 설계기법의 순차적 적용에 따른 평가 결과 건축계획기법은 20.08%, 설비 기법은 12.06%의 CO₂ 배출량을 감소 시켰으며, 건축계획기법과 설비기법의 CO₂ 총 저감율은 29.73%이다. 연간 38,571kgCO₂의 CO₂ 배출을 저감한 것으로 나타났다.

신재생에너지 적용에 따라 태양광 발전 시스템, 태양열 급탕 시스템, 지열

42.02%를 절감하였으며, 연간 CO₂ 배출량을 47,546kgCO₂/yr저감한 것으로 나타났다. 최종 CO₂배출 저감량은 기존 초등학교 대비 70.45%, 연간 86,117kgCO₂/yr을 저감한 것으로 나타났다.

제5장. 결 론

현재 전 세계적으로 문제가 되고 있는 급격한 기후변화의 가장 큰 원인은 화석에너지의 사용으로 배출되는 온실가스이다. 건물 분야에서 배출되는 CO₂를 감소시키고자 많은 연구가 진행 중이며, 본 연구에서는 초등학교 건물을 대상으로 CO₂ 배출량 감소를 목적으로 하는 제로 에미션 학교 건물의 설계안 사례를 계획하였다.

제로 에미션 건물의 개념은 에너지 절약적 설계기법을 적용하여 건물 운영 단계에서 사용되는 에너지를 최소화 하고 청정에너지인 신재생에너지 시스템의 적용을 통하여 생산된 에너지를 사용하여 궁극적으로 건물에서 배출되는 CO₂의 양을 제로로 만드는 것을 목표로 하는 것으로 지역 단위 커뮤니티의 역할을 하는 학교 건물의 제로 에미션 설계는 에너지 절약과 CO₂ 배출 저감에 대한 지역 주민의 의식전환과 학생들에게 직접적인 친환경 학습 여건의 제공에 있어 가장 효과적인 방안이다.

에너지 절약적 설계기법의 선정은 국외의 제로 에미션 학교 건물의 사례조사를 통하여 적용된 설계기법을 고찰하고 국내에 적합한 설계기법과 대상 초등학교의 지역, 기후, 주변 상황, 에너지 소비 및 CO₂ 배출량의 분석을 통하여 적용 설계기법을 선정하였으며, 대상 초등학교 건물의 에너지 소비 및 CO₂배출량 분석 결과 난방, 냉방, 조명에너지 소비에 따른 CO₂ 배출량을 저감하기위한 설계기법의 적용을 고려하였다.

건축계획기법의 건물의 배치 및 형태, 부하별 조닝, 벽체단열 성능향상, 창호단열 성능향상 및 차폐계수, 기밀성 향상, 자연형 태양열 획득, 향에 따른 창면적비 변화, 자연환기, 향에 따른 차양의 적용, 옥상녹화를 적용하였으며, CO₂ 배출량 저감에 가장 효과적인 설계기법은 기밀성의 향상으로 겨울철 외피에 의한 열손실을 차단하여 난방에너지 절감에 매우 효과적인 것으로 분석된다. 벽체 단열 성능의 향상과 창호 단열의 경우 또한 난방에너지 절감에

매우 효과적인 것으로 분석된다.

설비 기법의 적용은 LED 고효율 조명 기기의 사용과 광센서를 사용한 조명 제어 시스템의 적용으로 조명에너지를 감소시키고 실내 조명발열 부하를 감소시킴으로 냉방에너지도 절감되었다. 또한 고효율 설비 시스템을 적용하여 냉난방에 사용되는 에너지를 절감하였다. 건축계획 기법과 설비기법의 적용을 통하여 기존 초등학교 대비 CO₂ 배출량의 29.73%를 저감 하였다.

태양광 발전 시스템, 태양열 급탕 시스템, 지열 시스템의 적용으로 설계기법 적용 설계안 대비 42.02%를 저감한 것으로 나타났으며, 설계기법 적용과 신재생에너지 시스템의 적용을 통하여 연간 CO₂ 배출량 86,117kgCO₂ 저감하고 기존 초등학교 대비 CO₂ 배출량 70.45%를 저감하였다.

제로 에미션 학교 건물의 설계에 있어 난방에너지 절감에는 남향 배치 및 형태, 부하별 조닝, 벽체단열, 기밀성 향상, 향별 창면적비 변화가 효과적이고, 냉방에너지 절감에는 창호의 단열 및 차폐계수, 차양설치, 옥상녹화, 고효율 설비 시스템의 적용이 효과적인 것으로 판단되며, 조명에너지 절감을 위한 설계기법은 고효율조명기기, 조명제어 시스템 적용이 효과적인 것으로 판단된다.

본 연구의 설계안은 대상 초등학교의 기존 건물과 지역의 주변 환경을 고려하여 도출된 설계기법의 적용에 따른 제로 에미션 학교 건물 설계안으로 에너지 절약적 설계기법의 선정과 적용 방안은 대상으로 하는 건물의 유형이나 지역, 환경에 따라 다르게 적용되어야 할 것이다.

본 연구에서 제시하는 설계안은 제로 에미션 학교 건물의 사례로 이후 제로 에미션 건물의 설계에 있어 CO₂ 배출 저감 효과를 향상시키기 위한 제로 에미션 건물 설계의 가능성과 방향을 제시하고자 하였다

참 고 문 헌

[국내문헌]

1. 곽중용, 친환경학교 건축계획에 관한 연구 : 지역 기후적 특성을 중심으로, 성균관대학교 대학원, 박사학위논문, 2007
2. 윤중호, 제로카본 제로에너지 건축기술의 이해, 대한건축학회, 2010
3. 강수연, Zero Emission Building의 디자인 프로세스에 관한 연구, 중앙대학교 대학원, 석사학위논문, 2007
4. 건설교통부, 건설부문 온실가스 배출 분석 연구, 한국건설기술연구원, 2006
5. 김정태, 김곤, 김원우, 자연채광 디자인, 기문당, 2009
6. 김주환, 이태구, 조경민, 김종수, 독일 패시브하우스 단열 기준을 통한 국내 패시브하우스 사례 비교 분석, 한국생태환경건축학회, 학술발표대회 논문집, 2010
7. 김주환, 학교건물에서의 환경녹화기법 적용에 따른 에너지성능 평가에 관한 연구, 영남대학교 산업대학원, 석사학위논문, 2009
8. 김지연, 학교시설의 신재생에너지복합시스템 적용을 위한 최적설계기법에 관한 연구, 인하대학교 대학원, 박사학위논문, 2010
9. 박대선, 로이창호의 일사획득계수에 따른 건물에너지 성능평가 연구, 한밭대학교 산업대학원, 2008
10. 산업자원부, 에너지 기본법
11. 산업자원부, 지열냉난방 시스템 성능평가 및 엔지니어링 기술 확보, 2005
12. 이광수, 사무실 및 학교 교실의 조명용 소비전력량 절감방안 연구, 인천대학교 대학원, 석사논문, 2008
13. 이민희, 도시특성에 따른 태양에너지시스템 적용에 관한 연구, 중앙대학교 대학원, 석사학위논문, 2010
14. 이봉, 지속가능한건축의 패시브디자인, 발언, 2011

15. 이종식, 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가에 관한 연구, 중앙대학교 대학원, 석사학위논문, 2008
16. 임만택, 건축환경계획, 보문당, 2005
17. 임재한, 정진주, 이지영, 학교 건물에서 외부 차양 장치 유형에 따른 일반교실 내 빛환경 특성에 관한 연구, 한국교육시설학회지 제15권, 2008
18. 정아름, 도시특성에 따른 신재생에너지 시스템 복합 적용 방안에 관한 연구, 중앙대학교 대학원, 석사학위논문, 2010
19. 차진영, 공동주택의 환건친화적 리모델링 시 태양에너지 시스템의 적용에 관한 연구, 중앙대하 대학원 2005
20. 최문학, 태양광발전시스템의 최적설계에 의한 효율개선에 관한 연구, 조선대학교 대학원 박사학위논문, 2007
21. 한국 교육개발원, 제로에너지 생태학교 모형개발 연구(1)(2), 2008
22. 한국 교육개발원, 친환경 교육시설 모형개발 연구 -에너지 절약학교 시설모형(1)(2)-, 2007
23. 한국 교육개발원, 학교 건축 계획, 2009
24. 한국생산기술연구원, 국가청정생산지원센터, 제로에미션(Zero Emission) 가이드라인 메뉴얼, 2004
25. 한동윤, 학교 건물의 친환경성 향상을 위한 건축계획에 관한 연구, 한양대학교 대학원, 석사학위논문, 2009

[국외문헌]

1. DCSF(Department for Children, Schools, and Families), Road to zero carbon final report of the Zero carbon task force, 2010
2. BSRIA(Building Services Research and Information Association), Primary school carbon footprinting, 2008

[Web Site]

1. 에너지 관리공단 www.kemco.or.kr
2. 서울시 교육청 홈페이지 <http://www.sen.go.kr>
3. 한국 태양에너지 학회 홈페이지 <http://www.kses.re.kr/>
4. 미국 환경 보호청 홈페이지 www.epa.gov
5. 미국 친환경 건축 협회 홈페이지 www.usgbc.org
5. 영국 아동학교가족부 홈페이지 www.dcsf.gov.uk

국문 초록

제로 에미션 초등학교 건물 설계 사례 연구

이 혜 린

중앙대학교 대학원

건축학과 건축환경 및 설비전공

지도교수 이 연구

최근 전세계적으로 급속한 산업의 발달과 에너지의 무분별한 사용으로 인한 이상기후변화 현상이 문제가 되고 있다. 이러한 변화에 대응하여 에너지 절약, 온실가스 배출 저감 방안에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 건물분야의 경우 에너지 절약을 위한 여러 기술들이 개발되고 있다. 하지만 국가의 정책과 건물 분야의 연구가 에너지 절약에 치중되어 있어 CO₂ 배출량의 저감을 위한 기준 또는 평가 있어 매우 소극적이다. CO₂ 배출량 저감을 위하여 각 건물의 유형에 따른 적합한 설계기법의 적용에 관한 기준 마련 등의 노력이 매우 필요한 시기이다.

건물의 유형에 따른 CO₂ 배출 저감을 위한 설계기법의 적용 방안은 다르며, 주거, 업무, 상업시설과 같은 대규모, 복합적인 용도를 가지는 건물 유형의 경우 CO₂ 배출량 저감을 위하여서는 많은 노력과 투자가 필요하다.

학교 시설의 경우 사용시간이 한정적이며, 단순한 형태, 실의 용도가 다양하지 않아 다른 건물 유형보다 적은 노력과 투자로 CO₂ 배출량을 저감시킬 수 있으므로 대상 건물 유형을 학교 건물로 선정하였다. 국외 제로 에미션 학교 건물의 사례조사를 통하여 적용 가능한 에너지 절약적 설계기법의 선정 및 적용과 신재생에너지 시스템의 적용을 통한 CO₂배출량 제로를 목표로 하는 제로 에미션 학교 건물의 설계안 사례를 제시하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 국외 제로 에미션 학교 건물의 사례조사를 통하여 건물의 배치 및 형태,

부하별 조닝, 벽체의 단열 성능 향상, 창호의 단열 성능 향상 및 차폐계수의 변화, 기밀성의 향상, 창면적비 변화, 차양의 설치, 자연환기, 옥상녹화의 건축계획기법을 선정하였으며, 고효율 조명, 조명 제어 시스템, 고효율 설비 기기의 설비 기법을 선정하였다. 신재생에너지 시스템은 태양광, 태양열, 지열 시스템을 선정하였다.

2) 대상 초등학교 지역의 기후 특성과 에너지 소비 및 CO₂ 배출량의 분석 결과, 난방 및 조명 에너지의 절약을 위한 설계기법의 적용을 고려하여야 하며, 냉방 에너지 절약을 위한 설계기법의 적용 또한 고려되어야 할 것으로 판단되었다.

3) 설계기법의 순차적 적용을 통한 설계안의 평가를 실시하였으며, 건축계획기법의 건물의 배치 및 형태, 부하별 조닝, 벽체, 창호의 단열성능 향상과 차폐계수의 변화, 기밀성 향상, 창면적비 변화, 차양의 설치, 자연환기, 옥상녹화의 적용을 통하여 CO₂ 배출량 20.08%를 감소시켰다. 설비 기법의 고효율 조명, 조명제어 시스템, 고효율 설비 기기의 적용을 통하여 12.06%의 CO₂ 배출량을 감소시켰으며, 태양광, 태양열, 지열 시스템의 적용을 통하여 기존 초등학교 대비 42.02%의 CO₂ 배출량을 저감, 기존 초등학교 대비 전체 CO₂ 배출량 70.45%를 저감하였다.

4) 제로 에미션 학교 건물의 설계에 있어 난방에너지 절감에는 남향 배치 및 형태, 부하별 조닝, 벽체단열, 기밀성 향상, 향별 창면적비 변화가 효과적이고, 냉방에너지 절감에는 창호의 단열 및 차폐계수, 차양설치, 옥상녹화, 고효율 설비 시스템의 적용이 효과적인 것으로 판단되며, 조명에너지 절감을 위한 설계기법은 고효율조명기기, 조명제어 시스템 적용이 효과적인 것으로 판단되었다.

본 연구의 설계안은 대상 초등학교의 기존 건물과 지역의 주변 환경을 고려하여 도출된 설계기법의 적용에 따른 제로 에미션 학교 건물 설계안으로 에

너지 절약적 설계기법의 선정과 적용 방안은 대상으로 하는 건물의 유형이나 지역, 환경에 따라 다르게 적용되어야 할 것이다.

본 연구에서 제시하는 설계안은 제로 에미션 학교 건물의 사례로, 이후 제로 에미션 건물의 설계에 있어 CO₂ 배출 저감 효과를 향상시키기 위한 제로 에미션 건물 설계의 가능성과 방향을 제시하고자 하였다.

ABSTRACT

A Case study on Zero Emission Elementary School Building Design

LEE, Hye Lin

Department of Architecture

The Graduate School of Chung–Ang University

Advised by Prof. Eon Ku Rhee, Ph.D.

Around the world, abnormal climate change has recently emerged as an issue, due to the rapid development of industries and the indiscriminate use of energy. In response to such a change, a great deal of research is being carried out to come up with measures to save energy and reduce greenhouse gas emissions, while in the field of architecture, many skills are being developed to save energy. However, the nation's policies and studies in the architectural field are biased towards energy saving, while passive in setting criteria for and evaluating the reduction of CO₂ emission. In order to decrease CO₂ emission, now it is very essential to make an effort to come up with criteria for application of appropriate design technique according to the type of each building.

According to the type of buildings, the applications of building design technique to diminish CO₂ emission vary; in the case of building type with the massive and complex use like residence, business and commercial facilities, considerable efforts and investments are required to reduce CO₂ emission.

In the case of school facilities, their available time is limited, their

structure is simple and their space use does not vary. Due to the fact, less effort and investment is needed to decrease CO₂ emission, compared to other building types. As a result, I selected the school facilities as a subject building type. Through a case study on zero emission school buildings abroad, I suggested an example of zero emission school building design, aimed at reducing CO₂ emission to zero through selection and application of applicable energy-saving design methods and application of renewable energy system.

The results of this research can be summarized like below.

1) Through a case study on zero emission school buildings abroad, I chose passive strategies including: arrangement and shape of buildings; zoning according to load; increase of wall thermal performance; increase of window thermal performance and change of Solar Heat Gain Coefficient; improvement of air tightness; change of window area ratio; overhang installation; natural ventilation; green roof, and Active strategies including: high efficiency lighting fixtures; lighting control system; high efficiency HVAC(Heating, Ventilating and Air Conditioning) system. Additionally, I chose renewable energy systems including: photovoltaic system; solar heating system; geothermal system.

2) According to an analysis of climatic properties, the amount of energy consumption and CO₂ emission in the region of the subject elementary school, I concluded that the application of design methods to save heating and lighting energy, as well as cooling energy should be considered.

3) I evaluated the design through consecutive application of design methods. Furthermore, I diminished CO₂ emission by 20.08% through the application of passive strategies including: arrangement and shape of buildings; zoning according to load; increase of wall thermal performance; increase of window thermal performance and change of Solar Heat Gain Coefficient; improvement of air tightness; change of window area ratio; overhang installation; natural ventilation; green roof. I could also decrease CO₂ emission by 12.06% through the application of Active strategies including: high efficiency lighting fixtures; lighting control system; high efficiency HVAC (heating, ventilating and air conditioning) system. In addition, I could also decrease CO₂ emission by 42.02% compared to the existing elementary schools and all amount of CO₂ emission by 70.45% through the application of photovoltaic system; solar heating system; geothermal system.

4) In case of zero emission school building design, heating energy could be effectively saved by southward arrangement and shape of buildings; zoning according to load; wall insulation; improvement of air tightness; change of window area ratio with various configurations and cooling energy could be effectively saved by the application of window insulation and shading coefficient; awning installation; green roof; high efficiency HVAC system. Lighting energy could be effectively saved by the application of design methods like high efficiency lighting fixtures; lighting control system.

The design of this study is a zero emission school building design according to the application of design methods, based on the existing buildings and the regional circumstances of the subject elementary

school. Therefore, the selection and application of energy-saving design methods must be differently applied according to the type of the subject building, the region and the circumstances.

The design proposed in this study is a case of a zero emission school building, by which I suggested its possibility and direction to improve the effect of CO₂ emission reduction when designing zero emission school buildings afterwards.