

第 118 回 碩士學位論文

指導教授 李 彦 求

실험 계획법을 이용한 학교건물의
Passive Design 설계에 관한 연구

A Study of Passive Design Process on School
by Experimental Design

中央大學校 大學院

建築學科 建築環境計劃專攻

徐 成 模

2013年 2月

실험계획법을 이용한 학교건물의
Passive Design 설계에 관한 연구

A Study of Passive Design Process on School
By Experimental Design

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함.

2013年 2月

中央大學校 大學院

建築工學科 建築環境計劃專攻

徐 成 模

徐成模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

2013年 2月

목 차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 방법 및 범위	3
제 2 장 Passive Design 및 실험계획법의 이론적 고찰	5
2.1 Passive Design의 개념	5
2.1.1 Passive Design의 정의	5
2.1.2 Passive Design 학교의 사례분석	6
2.1.3 Passive Design 설계요소 분석	11
2.2 실험계획법의 개념	12
2.2.1 실험계획법의 정의	12
2.2.2 실험계획법의 구성	13
2.3 소결	15
제 3 장 학교건물의 특성분석 및 대상건물 선정	16
3.1 학교 건물의 특성	16
3.1.1 학교 건물의 공간적 특성	16
3.1.2 학교 건물의 운영 특성	22
3.1.3 학교 건물의 에너지 사용 특성	25
3.2 표준 모델의 설정	26
3.2.1 건축 개요	26
3.2.2 건물 운전 형태	26
3.2.3 표준 모델의 형태 및 범위 설정	27

3.3 표준 모델 Simulation 분석 및 타당성 검증	29
3.3.1 부하 해석 프로그램	29
3.3.2 대상건물 에너지 소요량 분석 및 검증	29
3.4 소결	31
제 4 장 Passive Design 요소의 성능분석 및 평가	32
4.1 Design 요소별 실험계획법 적용 및 데이터베이스 구축	32
4.1.1 직교배열표의 구성 및 데이터베이스 구축	32
4.1.2 시뮬레이션 결과	37
4.2 실험계획법에 따른 설계 요소의 에너지 성능 평가	38
4.2.1 분산분석	38
4.2.2 기여율 및 영향력 도출	42
4.3 학교 건물의 에너지 사용량 예측 방정식 개발	46
4.3.1 회귀분석	46
4.3.2 회귀분석을 통한 건물 에너지 예측 방정식 도출	47
4.4 소결	53
제 5 장 Passive Design 학교의 설계 요소 선정 및 성능기준 제안	54
5.1 Passive Design 학교의 설계 요소 선정	54
5.2 Passive Design 학교의 성능기준 제안	57
5.3 소결	59
제 6 장 결론	61

표 목 차

<표 2.1> 학교별 적용 설계기술	11
<표 2.2> 직교배열표(L81(340))	14
<표 3.1> 단위 교실 모듈 분석	17
<표 3.2> 학교 권장시설 기준의 변화	18
<표 3.3> 영국 초등학교 학교시설 분류	18
<표 3.4> 복도 공간의 기능에 따른 적정 복도폭	19
<표 3.5> 서울시 초등학교 건물 배치 현황분석	20
<표 3.6> 지역별 건축물부위의 열관류율표	21
<표 3.7> 냉난방 설정 온도 및 기간	23
<표 3.8> 초등학교 교실 당 재실 학생수	23
<표 3.9> 실내발열밀도	23
<표 3.10> 초등학교의 에너지 사용량	25
<표 3.11> 학교 건물의 에너지 사용량 분포도	25
<표 3.12> 냉난방 설정 온도 및 기간	26
<표 3.13> 실내 발열 스케줄	26
<표 3.14> 표준모델 설정조건	27
<표 3.15> 재료별 물성치	28
<표 3.16> 대상 초등학교 월별 1차 에너지 소요량(kWh/m ² ·yr)	29
<표 3.17> 사례 학교 건물의 에너지 사용량 분포도	30
<표 3.18> 대상 학교 건물의 에너지 소요량 분포도	30
<표 3.19> 대상 학교건물의 에너지 소요량 표준성 분석	31
<표 4.1> 에너지 시뮬레이션을 위한 설계 요소 및 적용수준	35
<표 4.2> 직교배열표를 적용한 81회 실험계획	36
<표 4.3> 시뮬레이션 결과(kWh/교실·yr)	37
<표 4.4> 난방에너지에 대한 분산분석표	39
<표 4.5> 냉방에너지에 대한 분산분석표	40

<표 4.6> 총에너지에 대한 분산분석표	41
<표 4.7> 난방에너지사용량에 대한 설계 요소 평가표	43
<표 4.8> 냉방에너지사용량에 대한 설계 요소 평가표	44
<표 4.9> 총에너지사용량에 대한 설계 요소 평가표	45
<표 4.10> 난방에너지 사용량에 대한 다중회귀분석 결과	47
<표 4.11> 냉방에너지 사용량에 대한 다중회귀분석 결과	49
<표 4.12> 총에너지 사용량에 대한 다중회귀분석 결과	51
<표 4.13> 학교건물 에너지 사용량에 영향을 미치는 설계요소	53
<표 5.1> 학교 건물의 Passive Design 요소의 적용 수준	54
<표 5.2> 대상 학교 건물의 에너지 사용량 분포도	57
<표 5.3> 제안 학교 건물의 에너지 사용량 분포도	57
<표 5.4> 회귀식을 통한 건물 에너지 사용량 도출	57
<표 5.5> 학교 건물의 주요 설계요소 적용수준	59
<표 5.6> Passive Design 요소의 변화에 따른 건물 에너지 분포	60

그림 목차

(그림 1.1) 연구의 흐름도	4
(그림 3.1) 주중 재실 스케줄	23
(그림 3.2) 주중 조명 스케줄	24
(그림 3.3) 주중 기기 스케줄	24
(그림 3.4) 대상초등학교의 에너지사용분포	25
(그림 3.5) 표준건물 Modeling	27
(그림 4.1) 난방에너지 사용량의 Simulation Data와 예측치 비교	43
(그림 4.2) 냉방에너지 사용량의 Simulation Data와 예측치 비교	44
(그림 4.3) 총에너지 사용량의 Simulation Data와 예측치 비교	45
(그림 4.4) 회귀분석을 통한 난방에너지의 Simulation data와 예측치의 비교	48
(그림 4.5) 회귀분석을 통한 냉방에너지의 Simulation data와 예측치의 비교	50
(그림 4.6) 회귀분석을 통한 총에너지의 Simulation data와 예측치의 비교	52
(그림 5.1) Passive Design 요소에 의한 에너지 사용량 변화	58

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 지구 온난화로 인한 문제가 인간의 삶에 점차 직접적으로 다가옴에 따라 1992년 UN 환경개발회의에서 기후변화협약(UNFCCC)의 채택을 기반으로 1997년 교토의정서(Kyoto Protocol)에서 국가적 온실가스 규제가 공론화되었고, 그 결과 2005년 선진국들의 온실가스 감축이 의무화되기 시작하였다. 이에 영국은 2050년까지 온실가스 배출량을 80% 감축할 것을 목표로 설정하였으며, 미국, 유럽연합(EU) 및 일본 등의 선진국들은 1990년 대비 평균 5.2%의 온실가스 감축 목표를 제시하였다. 이러한 세계적 노력에 발맞춰 우리나라도 2010년 1월 유엔기후변화협약 당시 2020년까지 BAU 대비 30%(2005년 대비 4%)의 온실가스 배출량을 감축한다는 계획보고서를 제출하였으며, 현재 저탄소 녹색성장을 국가의 주요 추진정책으로 삼아 온실가스의 저감에 대한 국가적인 관심과 노력을 기울이고 있다.

그 중 우리나라 전체 온실가스 배출량 중 25%를 차지하는 건물 운영과정에서의 온실가스 저감이 필수적 요소로 고려되고 있으며¹⁾, 이에 따른 노력으로 친환경건축물 설계기준의 강화 및 신재생에너지 보급화, 그린 홈 100만호 보급사업 등 건물의 에너지 사용량을 저감하고, 신재생에너지 사용의 활성화를 통해 건물의 에너지 사용량을 절감하려는 노력을 하고 있다.

이러한 노력에 발맞춰 기업체 및 연구, 교육기관 등 각 분야에서 건물의 에너지 및 온실가스 배출 저감을 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 재료, 디자인, 설비, 신재생시스템 등 각종 분야에 대한 연구가 함께 진행되고 있다. 그중 건축 디자인적인 요소, 즉 건물 창면적비, 단열, 기밀, 향과 같은 계획 단계에서 결정되어지는 Passive Design 요소에 대한 연구는 1900년대 중

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

반 Victor Olgyay의 “Design With Climate”(1963)를 시작으로 인체 친화적이고 친환경적인 건물의 설계가 연구되기 시작하였으며, 국내에서는 1970년대 두 차례에 걸친 에너지 파동이후 건물의 에너지 절약이 중요시 되었고, 그에 따라 단열에 관한 기준이 법규화 되면서부터 점차 연구되기 시작하였다. 그리고 최근 에너지사용 및 온실가스배출이 실내 환경조절과도 함께 고려가 되었고, 그에 따라 Solar Heating, Solar House와 같은 에너지를 저감할 수 있는 자연적 특성을 이용한 친환경적 설계가 다시 각광받기 시작하였다. 이러한 설계들을 건물의 Passive Design, 건물 에너지 절약 설계라고 지칭하며 적용 방법 및 설계가 적극적으로 고려되고 있다.

하지만 이러한 연구들은 건물의 운영기간이 길고, 건물 중 에너지 사용 비중이 큰 시설에, 특히 주거 및 업무시설에 치중되어 진행되었으며 이에 비해 에너지 사용비중이 적고 운영자의 재실기간이 한정적인 교육시설 즉 학교건물에 대한 연구는 미미했다고 볼 수 있다. 그럼에도 불구하고 학교 건물은 도시에서의 기능적, 사회적 상호활동을 영위할 수 있게 하는 근린주구 시설이기 때문에 도시 및 주거단지의 형성에 있어서 필수적으로 고려되어야 하는 건축물이다. 또한 학교 건물은 통상적으로 주간에 주로 운영되어 태양열 난방 및 자연채광을 효과적으로 사용할 수 있는 건물이고, 에너지가 과다하게 사용되는 휴한기, 휴서기에는 휴무기간(방학)을 가지기 때문에 건물의 에너지 절약효과를 극대화 할 수 있는 건물이라고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 학교 건물의 Passive Design 적용을 통해 학교 건물에서의 에너지사용량을 최소화 할 수 있는 건물의 성능기준을 제안하고, 기초 설계 단계에서부터 에너지 사용량을 평가할 수 있는 주요 설계 요인들을 도출하여 에너지절약 학교의 설계 방향을 제안해 보고자 하였다. 또한 이를 통해 보급형 Passive Design 학교의 설계기준의 자료로 활용하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구의 진행 방법 및 범위는 다음과 같다.

(1) Passive Design 및 실험계획법에 관한 이론적 고찰

Passive Design 건물의 이론고찰을 통해 논문의 목표 및 접근 방향을 선정하고, 관련 사례분석을 통해 학교 건물에서 사용되는 Passive Design 요소를 정리·분석하여 사용되는 Passive Design 요소를 도출하였다. 또한 실험계획법에 대한 원리 및 분석방법에 대한 이론고찰을 통해 연구의 성능평가 방식에 대한 프로세스 및 적용 방안에 대해 정리하였다.

(2) 대상건물의 선정 및 특성분석

Passive Design 요소를 평가하기 위한 대상건물을 선정하기에 앞서 학교 건물의 표준 특성을 분석하고, 그에 맞춰 교실단위로 이루어진 교실모듈을 선택하여 대상 건물을 구성하였다. 또한 각 요소의 성능평가 및 개선 결과가 당위성을 갖기 위해 표준 건물의 에너지 사용량을 분석하여 기존 학교건물의 에너지사용량과 비교하였다. 또한 학교건물의 특성을 분석하며 학교 건물의 Passive Design 적용범위를 정리하였다.

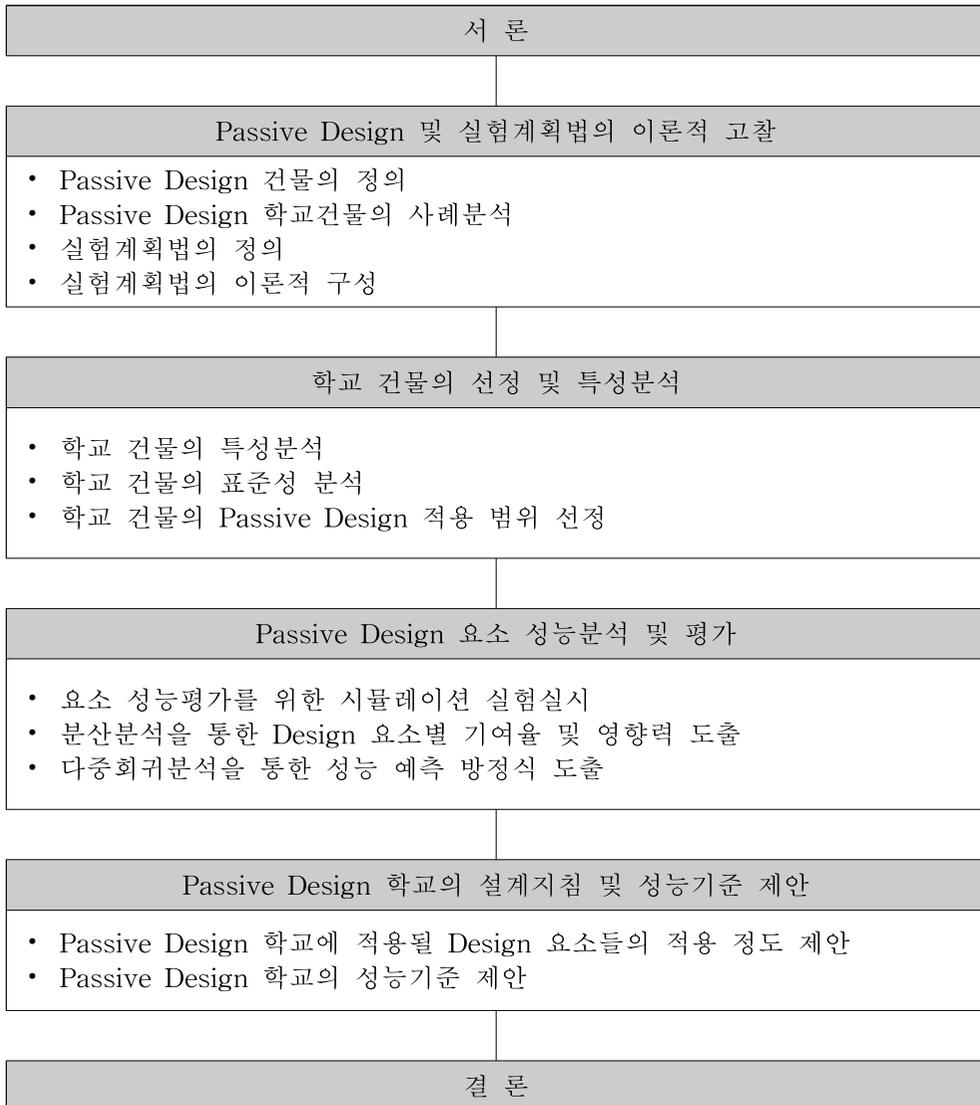
(3) Passive Design 요소 성능분석 및 평가

표준 건물에 Passive Design 요소들을 직교배열표에 적용하여 서로 복합적으로 변화시켜가며 변화추이 데이터를 산출하고, 데이터를 통해 각 요소의 성능분석을 실시, 분산분석 및 기여도분석, 다중회귀분석을 통해 각 요소들이 에너지성능에 미치는 영향도를 평가하였다.

(4) Passive Design 학교의 설계지침 및 성능기준 제안

평가된 데이터를 통해 Passive Design 학교에 적용될 Passive Design 요소의 종류 및 적용 정도를 선정하고, Passive Design 학교가 가져야할 성능기준을 제안하여 향후 설계될 건물과 비교분석 가능한 자료를 구축하였다.

본 연구의 흐름은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



(그림 2.1) 연구의 흐름도

제 2 장 Passive Design 및 실험계획법의 이론적 고찰

2.1 Passive Design의 개념

2.1.1 Passive Design의 정의

액티브(Active)건축이 신재생에너지 및 최신 친환경설비를 통해 기술 중심의 친환경 건축을 시도하는 반면, 패시브 건축은 채광, 환기, 단열 등 아주 기본적인 건축적 요소를 활용하여 친환경 건축을 시도하는 설계 중심의 건축 방법이라 할 수 있다. 태양열을 이용하여 실내 공간을 직접적으로 데우는 아주 기초적인 패시브 난방(Passive solar)의 사례는 오래전 로마 유적에서도 찾을 수 있다. 로마에 이르러 최초의 유리가 개발됨에 따라 귀족들은 자신의 저택에 선룸(Sun Room)을 붙여 일년 내내 야채와 과일을 먹을 수 있게 하였다고 한다. 이는 온실 효과를 고대에 이미 활용하는 사례로, 로마 건축가 비트루비우스는 자신의 '건축십서'에서 이런 다양한 방식의 패시브 난방 사례를 언급하고 있다.

현대 건축에서 패시브 건축 요소는 르 꼬르뷔제의 건축에서 쉽게 발견할 수 있으며, 각 입면별로 태양의 입사각에 효과적으로 대응하는 다양한 방식의 차양시스템을 활용하였다. 특히 르 꼬르뷔제의 샹디갈 국회의사당을 보면, 남쪽에는 거대한 수평의 캐노피를 설치한 반면 서쪽에는 격자형태의 입면을 구성하여 태양 입사각의 차이를 고려한 패시브 건축설계의 좋은 사례라고 할 수 있다. 또한 프랭크 로이드 라이트(Frank Lloyd Wright)의 제이콥스 하우스는 남향의 태양열을 최대한 확보할 수 있도록 설계되었으며, 축열체의 적용으로 겨울철 낮의 따뜻한 태양열을 저장하여 추운 밤 패시브 난방 기능을 수행하도록 설계하는 등 패시브 설계를 적용하였다.

2.1.2 Passive Design 학교의 사례분석

본 연구에서는 이러한 대상 건물의 Passive Design 학교 건물의 구현을 위해, 에너지 절약 학교 건물들의 사례들을 조사·분석하여 설계의 방향을 제시하였다.

(1) 영국

영국의 학교 건물에서 배출되는 온실가스는 연간 940만톤에 이르며, 영국 전체 온실가스 배출량의 2%가량을 차지하고 있다.

이에 영국 정부는 2013년부터 신축 학교건축물의 경우 2002년 대비 온실가스 배출량을 80%이상 감축할 것을 목표로 하고, 2016년까지 온실가스를 제로로 만드는 것을 목표로 하고 있다.²⁾

영국의 아동학교 가족부 DCSF(Department for Children, Schools, and Families)에서는 제로 탄소 배출 시범학교를 운영하여 탄소 배출 제로의 학교 구현을 강조하고 있다. 제로 탄소 테스크포스를 결성하여 새로 지어지는 학교 건축물의 탄소 배출 제로를 위한 적용 방안과 관리를 시행하고 있다.

가) Ashmount Primary School³⁾

Ashmount Primary School은 런던 북쪽 이즐링턴 지역의 크라우치 힐 커뮤니티공원에 위치해 있으며, 영국의 건축 환경 영향 평가제도인 BREEAM에서 Outstanding 등급을 받았다. 420명의 학생들이 생활하고 있으며, 3층으로 이루어져 있다.

축열성능을 향상시키기 위하여 현장 타설 콘크리트 프레임(In-Site Concrete Frame)을 사용하였으며, 굴뚝효과를 통한 건물 전체의 자연환기 효과를 향상시켰다. 교실뿐만 아니라 건물 전체에 최대한을 자연채광 도입을 위한 큰 개구부 계획과 남측의 수평 차양, 동, 서측의 수직 차양을 적용하였다. 다년생 식물을 이용한 옥상 녹화 및 지붕면을 통한 우수의 집수 시스템을 적용하였다. 고효율 조명 기기를 사용하였다.

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

3) <http://www.newlondonarchitecture.org>

나) Montgomery Primary School⁴⁾

Montgomery Primary School은 잉글랜드 데번카운티 엑서터에 위치해 있으며, BREEAM에서 very good 등급을 받았다. 학생수는 420명이며, 층수는 1층으로 이루어져 있다.

European Passive House를 기준으로 하여 외피의 기밀성능을 0.6ACH로 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'으로 예측된다.

다) Kingsmead Primary School⁵⁾

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 천창에 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. 이외에도 저탄소 교통수단을 권장하고, 배출되는 폐기물의 양을 30%감축하는 계획을 제시하였다.

4) <http://centres.exeter.ac.uk/>

5) <http://www.kingsmead.cheshire.sch.uk>

라) Howe Dell Primary School

Howe Dell Primary School은 영국 잉글랜드 동남부의 해트필드셔어주에 위치해 있으며, 4~11학년의 학생 480명이 생활하고 있다. 대지 내에 유아 보육시설이 있으며, 인공조명 사용의 최소화를 위한 자연채광적용, 천창과 Light wall 적용, 열손실을 감소시키기 위한 고성능 유리의 사용, 높은 단열성능의 외피를 적용하였다. 중수의 재활용 시스템을 통한 수자원 절약, 고효율 설비를 적용하였다. 신재생에너지의 적용은 지붕면의 PV설치, 풍력, 지열이 적용되었다.

마) Westborough Primary School⁶⁾

Westborough Primary School은 잉글랜드 데번카운티 엑서터에 위치해 있으며, 기존의 건축물을 리모델링하여 Zero Carbon 계획기법을 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%로 감축시켰다.

(2) 미국

미국의 EPA(Environmental Protection Agency)는 환경 친화적인 녹색건축물의 개발을 강조하고 있으며, 에너지 제로(Energy Zero), 탄소중립(Carbon Neutral)의 건축물 개발을 추진하고 있다. 미국의 경우 각 주에 따라 에너지 제로, 탄소 중립 학교 건축물의 개발 및 적용에 관한 교육 정책을 시행하고 있다.⁷⁾

미국의 그린빌딩협회의(USGBC)의 친환경 건축인증제도 LEED for Schools에서 학교 건축물에 관한 인증을 실시하고 있으며, K-12를 기준으로 하여 학교 시설에 관련된 환경성능을 평가하고 있다.

6) <http://www.thewestboroughschool.co.uk>

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

가) Richlandsvill Elementary School⁸⁾

Richlandsvill Elementary School은 미국 캔터키주의 워렌 카운티에 위치해 있으며, 442명의 학생, 2층으로 이루어져 있고, 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 설치하였다. Air Monitoring을 통하여 자연 환기 방법으로 실내의 공기환경을 조절하였다.

우수를 저장하여 화장실에 재사용하며, 물 사용 모니터링을 시행하고 있다. 고효율 기기를 사용하였으며, CO₂배출량의 모니터링을 실시하였다.

Solar Panel은 40,000ft²의 지붕면에 설치하여 전력을 생산하며, 학교 건물에서 사용되는 전력보다 많은 생산량을 제공하도록 하여 Energy Plus 건축물을 조성하였다.

나) Benjamin Franklin Elementary School⁹⁾

Benjamin Franklin Elementary School은 미국 워싱턴의 커클랜드에 위치하고 있다. 학생수는 450명이며, 2층 건물이다.

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

외피의 단열성능은 ASHRAE기준에 따라 적용하였고, 이외에 우수 저장을 통하여 관개수와 소변기에 사용되는 물의 양을 감소 시켰으며, 폐기물의 재활용에 관한 계획을 제시하였다. 학교 전체의 건축물에서 배출되는 CO₂를 모니터링하는 시스템을 적용하였다.

8) <http://www.scbarchitects.com/going-green>

9) <http://buildingdata.energy.gov/content/ben-franklin-elementary-school-1>

다) Sidwell Friends Middle School¹⁰⁾

Sidwell Friends Middle School은 워싱턴에 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. 천장을 설치하여 인공 조명의 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 재활용이 가능하도록 하였고, 지붕면에 120개의 Solar Panel을 설치하여 온실가스 1백만톤을 저감시켰다.

라) Lady Bird Johnson Middle School¹¹⁾

Lady Bird Johnson Middle School은 미국 텍사스에 위치하고 있으며, 2층으로 이루어져 있다. 미국의 친환경 건축물 인증제도 LEED에서 Gold등급을 획득하였으며, 적용 계획기법은 단열 성능의 향상과 고성능 유리, 자연채광, 적절한 차양을 설치, 고효율 기기 사용, 우수 저장을 위한 투과성 포장, 에너지 사용량의 모니터링, 신재생에너지는 Solar Panel설치, 지열, 풍력이 적용되었다. 신재생에너지에 의해 생산되는 에너지의 양이 전체 학교 건축물에서 소비되는 양보다 초과 생산될 경우 외부에 제공하도록 하였다.

10) <http://www.educationdesignshowcase.com/>

11) <http://www.peterli.com/>

2.1.3 Passive Design 설계요소 분석

에너지 절약 건물의 구현 위해 영국 및 미국의 친환경 학교건물 사례 분석을 실시하였으며, 이에 따라 다음 <표 2.1>은 각 건물에 적용된 Passive Design 요소들을 나타내고 있다.

<표 2.1> 학교별 적용 설계기술

대상건물	적용기술									
	고효율 단열	자연 환기	자연 채광	차양	고성능 창호	방풍 공간	기밀성 향상	축열성 구조체	건물 녹화	신재생 시스템
Ashmount Primary School(UK)	○	○	○	○				○	○	
Montgomery Primary School(UK)	○		○	○			○			○
Kingsmead Primary School(UK)	○	○	○	○	○	○	○			○
Howe Dell Primary School(UK)	○		○		○					○
Westborough Primary School(UK)	○		○				○			○
Richardsvill Elementary School(USA)	○		○	○						○
Benjamin Franklin Elementary School(USA)	○	○	○	○						
Sidwell Friend Middle School(USA)	○	○	○						○	○
Lady Bird Johnson Middle School(USA)	○		○	○	○					○

학교 건물의 에너지 절감, 온실가스 저감을 위해 가장 적극적으로 사용되는 적용기술로는 고효율단열, 자연채광, 차양, 신재생시스템 등이 있었다.

또한 각 적용 기술별로 적용 방식과 적용 결과가 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 건물의 특성 및 기후의 특성에 따라 발생하는 것으로 보인다.

2.2 실험계획법의 개념

본 연구에서는 건물에 영향을 미치는 Design 요소별 성능 실험을 하기위해 보다 체계적이고 단순한 실험계획을 세우고자 하였다. 이를 위해서 실험계획법이 적용되었고, 실험계획법에 대한 정의 및 구성을 살펴봄으로써 연구의 결과에 대한 당위성을 검증하였다.

2.2.1 실험계획법의 정의¹²⁾

실험(Experiment)이란 실험대상에 어떤 처치를 하여 나온 자료를 분석하여 새로운 결과를 얻는 과정이라고 할 수 있으며, 실험 목적을 성공적으로 달성하기 위해서는 실험의 면밀한 계획과 실행, 그리고 실험 결과로 얻어진 자료의 정확한 분석이 필수적이다. 실험계획법(Experimental design)이란 실험자로 하여금 더 나은 실험을 수행하고, 얻어진 자료를 효율적으로 분석하여 정확한 결론을 도출할 수 있게 하는 통계적 방법 중의 하나이다.

예를 들어 에너지 절감성능이 높은 어떤 건축 자재를 개발하고자 할 때, 자재의 두께 및 위치를 변화시켜가면서 시제품을 만들어 그 성능을 측정하고, 측정한 자료를 통계적 방법에 따라 분석하여 최적의 실험조건을 찾는 일련의 과정이 실험계획법이다. 이때 건축 자재의 성능을 특성 값, 두께 및 위치를 요인(Factor) 또는 인자, 선택된 각 위치 및 두께의 상세 값을 수준(Level), 그 변화하는 횟수를 수준수라고 한다.

실험계획법의 기본원리로는 확률화의 원리, 반복의 원리, 블록화의 원리, 직교화의 원리 등이 있다. 이에 대한 개념은 다음과 같다

12) 박성현, 최병철, SPSS와 SAS분석을 통한 실험계획법의 이해, 민영사, 2005, p.53

2.2.2 실험계획법의 구성

(1) 확률화의 원리

하나의 요소에 대해 각 요소의 적용 단계에 따라 미치는 영향을 분석하기 위해서는 실험순서의 완전 확률화가 요구된다. 이러한 실험순서가 완전 확률화된 실험계획법을 요인실험법(Factorial Design)이라하고, 인자의 수에 따라 일원배치법, 이원배치법, 다원배치법으로 분류되며, 이중 일원배치법을 완전 확률화 계획법이라 한다.

(2) 반복의 원리

얻어진 자료 전체의 변동을 인자에 의한 변동과 오차에 의한 변동으로 분해하여, 인자에 의한 변동의 비율이 전체의 변동 중 얼마나 크냐를 규명하여 실험 처리 효과를 분석한다. 이를 분산분석이라고 한다.

(3) 블록화의 원리

한 실험에 들어갈 수 있는 실험의 횟수, 요인의 확장 정도에 따라 제한이 있는 경우에는 전체 실험을 완전 확률화 할 수 없게 된다. 이런 경우 실험을 부분적으로 확률화 해야 하는데, 이를 위해 실험환경을 동질적으로 바꾸어주기 위해 인자를 블록화 하고, 분할해주는 방법을 분할법 혹은 난괴법이라고 한다.

(4) 직교화의 원리

위의 세 가지가 실험계획법의 대표적 기본원리라고 할 수 있다. 그 외에 요 인간의 직교성을 갖도록 실험을 계획하는 직교화의 원리가 있다. 이는 요인의 검출력과 추정의 정도를 높일 수 있도록 하는 원리이며, 인자의 수가 많아져 실험횟수가 급속히 증가하게 될 때 이러한 어려움을 피하도록 고안된 실험계획법으로 직교화의 원리에 의한 일부 실시법이 있으며, 이를 위해 직교배열표가 고안되었으며, 그 한 예로 최대 40가지 설계 요소에 대해 3가지 수준으로 적용할 수 있는 $L_{81}(3^{40})$ 직교배열표는 <표 2.2>와 같다.

<표 2.2> 직교배열표(L₈₁(3⁴⁰))

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40						
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
4	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
6	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
7	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
8	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
9	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
10	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	0	0	1	1	1	2	2	2		
11	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	0	0	0	1	1	1	2	2	2	0	0	0	1	1	1	2	2	2	0	0	1	1	2	2	0	0	
12	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	0	0	0	1	1	1	2	2	2	0	0	0	0	1	1	1	2	2	0	0	
13	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1		
14	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	0	0	0	1	1	1	2	2	2	0	0	0	2	2	2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	2	2	2	
15	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	0	0	0	2	2	2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	0	0	0	0			
16	0	1	1	1	2	2	2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
17	0	1	1	1	2	2	2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
18	0	1	1	1	2	2	2	0	0	0	1	1	1	2	2	2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
19	0	2	2	2	0	0	0	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
20	0	2	2	2	0	0	0	2	2	2	1	1	1	1	0	0	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
21	0	2	2	2	0	0	0	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
22	0	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
23	0	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
24	0	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
25	0	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	2	2	2
26	0	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
27	0	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2	2	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
28	1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	
29	1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	
30	1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	
31	1	0	1	2	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1		
32	1	0	1	2	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0
33	1	0	1	2	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0
34	1	0	1	2	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1
35	1	0	1	2	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1
36	1	0	1	2	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1
37	1	1	2	0	0	1	2	1	2	0	2	0	1	0	1	2	1	2	0	2	0	1	0	1	2	1	2	0	2	0	1	0	1	2	1	2	0	2	0	1	0	1	2	0	2	
38	1	1	2	0	0	1	2	1	2	0	2	0	1	1	2	0	2	0	1	0	1	2	1	2	0	2	0	1	0	1	2	1	2	0	2	0	1	0	1	2	0	2	0	1		
39	1	1	2	0	0	1	2	1	2	0	2	0	1	1	2	0	2	0	1	0	1	2	1	2	0	2	0	1	0	1	2	1	2	0	2	0	1	0	1	2	0	2	0	1		
40	1	1	2	0	1	2	0	2	0	1	0	1	2	0	1	2	0	1	0	1	2	1	2	0	2	0	1	0	1	2	1	2	0	2	0	1	0	1	2	0	2	0	1	0	1	
41	1	1	2	0	1	2	0	2	0	1	0	1	2	0	1	2	0	1	0	1	2	1	2	0	2	0	1	0	1	2	1	2	0	2	0	1	0	1	2	0	2	0	1	0	1	
42	1	1	2	0	1	2	0	2	0	1	0	1	2	0	1	2	0	1	0	1	2	1	2	0	2	0	1	0	1	2	1	2	0	2	0	1	0	1	2	0	2	0	1	0	1	
43	1	1	2	0	2	0	1	0	1	2	0	1	2	0	0	1	2	0	2	0	1	0	1	2	0	1	0	1	2	1	0	1	2	0	2	0	1	0	1	2	0	2	0	1	0	1
44																																														

2.3 소결

Passive Design을 통한 학교건물의 구현을 위해 에너지 절약형 혹은 친환경 학교 건물의 사례분석을 통해 적용되고 있는 Passive Design 요소들을 정리하고, 적용 분포도를 확인하였다. 그 결과 학교 건물에서는 단열성능의 향상, 자연채광의 도입, 신재생시스템을 이용한 건물의 에너지 공급이 가장 일반적으로 사용되는 Design 요소였다. 그 외에 자연환기 및 차양, 기밀성 향상 및 축열 벽체의 적용 등이 사용되었으며, 이러한 설계 요소들은 학교의 특징 및 기후의 특성에 따라 적용되고 있었다.

이러한 설계 요소들의 객관적인 선정을 위해 본 연구에서는 실험계획법의 개념을 적용하여 연구를 진행하였고, 이를 위해 실험계획법에 대한 개념 및 이론에 대한 고찰을 실시하였다. 그 결과 실험계획법은 본 연구에서와 같이 요소별로 적용 방법이나 수준이 달라지는 경우, 실험을 통해 얻어진 데이터를 효율적으로 분석하여 정확한 결론을 도출할 수 있게 하는 통계적 방법 중의 하나이다. 본 연구와 같이 여러 설계 요소들의 적용 여부 및 적용 수준에 따라 서로 교호작용 및 데이터 변화를 일으키는 경우, 확률의 원리를 통해 요인을 확률화하고, 반복의 원리를 통해 같은 요인을 반복하여 실험하며, 블록화의 원리에 따라 실험의 횟수 및 요인의 확장정도를 제한하고, 직교화의 원리에 따라 요인간의 직교성을 갖게 함으로써 데이터의 검출력 및 추정의 정도를 높일 수 있는 방법이라고 할 수 있다.

따라서 다음 장에서는 학교 건물의 일반적 설계인자의 특성을 분석함으로써 설계 요인의 한계 및 정도를 규정하고, 표준 학교건물을 선정함으로써 실험계획법과의 연계를 통해 각 설계요인의 변화에 따른 성능분석이 가능한 데이터를 구축하였다.

제 3 장 학교건물의 특성분석 및 대상건물 선정

학교란 도시에서 기능적, 사회적 상호활동을 영위할 수 있게 하는 근린주구 시설로 분리된다. 근린주구란 1929년 페리가 주거단지의 커뮤니티 조성을 위해 근린주구를 계획단위로 채용한 이후 널리 사용되기 시작한 개념으로 주거 공간을 중심으로 기본적인 일상생활을 영위하는 도시의 가장 기본적인 영역이라고 할 수 있다. 이중 사회교육 차원에서 평생교육의 장으로 가장 유리한 조건을 갖추고 있는 초등학교 건물을 일반적으로 도시계획 시 고려하게 되며, 가장 작은 지역단위로 분포되어 있기 때문에 시설의 양적인 면이나 지역 사회에 공유할 수 있는 시간이 가장 많기 때문에 학교의 표준 건물로 선정하여 특성을 분석하였다.¹³⁾

3.1 학교 건물의 특성

건물의 에너지 소비에 영향을 미치는 설계요소의 영향력을 해석하기 위해, 실제 학교 건물의 특성 및 건물 기준치를 분석하였다. 이를 통해 설계요소의 기준 및 범위를 조사하였고, 이를 통해 시뮬레이션 기준치를 설정하였다.

3.1.1 학교 건물의 공간적 특성

(1) 교실 모듈의 크기¹⁴⁾

교실은 일반적으로 9.0m x 7.5m 가 가장 일반적이라고 할 수 있으며, 그 외에 7.5x8.1m, 7.5x8.4m, 8.1x8.1m, 8.4x8.4m, 9.0x9.0m 등이 사용되어 지고 있다. 교실 모듈을 설정하기 위해 다음과 같이 위의 모듈들을 분석하면 다음 <표 3.1>과 같이 사용되어 지고 있다.

13) 하소형, 주거단지 내 건축도시 중심의 초등학교계획에 관한 연구, 홍익대학교 석사학위논문, 2009

14) 교육인적자원부, 학교시설기준 개정에 관한 연구, 교육인적 자원부, 2003

<표 3.1> 단위 교실 모듈 분석

구분	평면	장단점
7.5× 8.1m		<ul style="list-style-type: none"> ■최소의 면적(60.75㎡)로 경제적인 교실 모듈 ■학습활동의 다양화를 수용하기가 어려움 ■향후 학급당 학생수가 30명 이하로 축소될 경우 적용 가능한 모듈
7.5× 8.4m		<ul style="list-style-type: none"> ■교실 면적이 63㎡로 학생 1인당 1.8㎡로 최소한의 학습활동을 할 수 있는 경제적 모듈 ■사물함 공간을 확보하고 나머지 정방형의 학습공간에 다양한 교구 배치가 가능 ■교사연구 공간이 부족하며 교사연구실이 별도로 확보될 경우 적절한 모듈임
7.5× 9.0m		<ul style="list-style-type: none"> ■가장 일반적인 모듈(67.5㎡) ■사물함 공간을 확보할 수 있고 다양한 학습 활동을 수용할 수 있음 ■학급당 35명이하 일 경우 교실 뒷부분의 불필요한 공간이 생길 수 있음
8.1 × 8.1m		<ul style="list-style-type: none"> ■면적 65.61㎡으로 다양한 수업이 가능한 정방형 교실 ■하지만 뒷부분 수납공간을 들 경우 유용율이 떨어짐 ■특히 폭이 넓어져 북측의 조도가 현저히 낮아져 불균형한 교실 환경
8.4 × 8.4m		<ul style="list-style-type: none"> ■70,56㎡ ■학급당 35명 학생이 토론과 학습, 수준별 분단 수업 등 학습활동을 할 수 있는 면적 ■북측에 교과를 위한 수납공간을 확보할 수 있음 ■교실 뒷면 수납공간을 들 경우 불균일한 교실 환경
9.0 × 9.0m		<ul style="list-style-type: none"> ■교실 면적 81㎡로 교사연구공간, 사물함, 교재보관 공간 등을 확보할 수 있는 면적 ■초등학교 종합교실형에 적합하나 중고등학교의 교실 규모로는 다소 비경제적임

(2) 건물 Program¹⁵⁾

국내 학교 건물의 권장 Program 및 규모는 1967년 “학교시설·설비 기준령을 근거로 하여 ‘학교 교구 및 설비에 관한 기준’을 정하여 운영하여 왔다. 그 후 교과과정의 변경 및 과학기술 교육진흥 시책 등의 반영으로 수차례에 걸쳐 보완되어 운영하였다. 하지만 1996년 교육규제완화위원회의 심의결과 이러한 법적 규정 및 Program의 규제는 보다 자율적으로 운영하고, 여건의 변화를 적극적으로 적용하기 위해 1997년부터 Program의 규제를 폐지하였다.

따라서 본 연구에서는 학교 시설의 Program 및 규모 산정을 위해 영국 초등학교 건물의 시설현황을 확인하였다.

<표 3.2> 학교 권장시설 기준의 변화

	제정(1969)	3차 개정(1973)	7차 개정(1979)	14차 개정(1989)	신기준(1997)
권장 시설 기준	필요에 따라 급식 시설과 기숙사를 둘 수 있다.	강당, 체육관, 수영장, 기숙사, 급식시설, 교원사택, 온실	3차 개정 + 어학연습실, 생활지도실, 학습 자료실, 온수공급	7차 개정+ 회의실, 교재연구실	폐지

<표 3.3> 영국 초등학교 학교시설 분류

대분류	시 설 구 분		면적 비율(%)
	중분류	소분류	
교수학습영역(teaching area)	기본교수학습영역(basic teaching area)	학급교실(class base)	57-60
		통합 학습 공간 (shared teaching area)	
		실습 공간 (practical activity)	
	시간표에 배정된 보조 영역 (time-tabled supplementary areas)	특별 실습 공간	
		소 그룹실	
		스튜디오	
	보조 교수학습영역(other supplementary areas)	홀	
도서실 정보자료실 (resource areas)			
교수 학습외 영역(non-teaching area)	직원 및 행정 공간	4.0-5.2	
	학생 수납/샤워실)	6.8-8.2	
	교사 수납공간	4.8-5.6	
	식당	2.8-4.3	
	보조 공간	3-6-4.3	
	통로	15.6-18.1	

15) 교육인적자원부, op.cit

(3) 층고 및 층수¹⁶⁾

학교의 층고는 3.6m 천장고는 2.6m 이상을 확보해야 하며, 교사동은 4층 이하(일부 5층)으로 계획하여야 한다.

(4) 창대 높이¹⁷⁾

창대의 법적 기준은 건축계획법에 있어 초등학교 80cm, 중학교 85cm가 적당하고 미국 NFPA에 의거 하단 높이가 바닥위로 112cm 이하여야 한다고 기술하고 있다. 또한 프랑스 안전관리 규정에서는 어린이들이 사용하는 것을 목적으로 하는 창문은 지면으로부터 0.4m에서 1.0m 사이에 있어야 한다고 기술하고 있다.

(5) 복도 넓이

학교 건물에서 복도는 공조공간인 교실을 보호하는 Buffer Zone의 역할을 대행함으로써 교실의 쾌적 환경 조성에 영향을 미친다. 또한 복도의 적절한 폭 설정은 공간의 특성인 이동 및 활용과 함께 고려되어야 한다. 국내 건축계획법에서는 편복도시 1.8m 이상, 중복도시 2.4m 이상을 적용하도록 권고하고 있다.¹⁸⁾ 또한 복도의 폭에 따른 활용 방안을 <표 3.4>와 같이 정리할 수 있다.¹⁹⁾

<표 3.4> 복도 공간의 기능에 따른 적정 복도폭

복도 기능	동작 공간	적정 폭	비고
통행		2.4-2.7m	
통행 + 통과		3.0-3.3m	전시공간 겸용 가능
통행 + 수납공간		3.3-3.9m	수납장, 미디어 공간에 의한 채광 문제를 고려
통행 + 휴게·놀이		3.6-4.2m	적절한 가구계획과 복도 주변의 창호와 벽면 계획
통행 + 학습보조영역		4.2-4.5m	교실과 복도간에 가변 칸막이 계획

16) 고상균외 6명, 건축설계론, 광문각, 2003, p.200

17) 이종석 외 2명, 건축계획, 한솔아카데미, 2009, p.211

18) ibid, p.214

19) 교육인적자원부, 학교시설기준 개정에 관한 연구, 2003

(6) Core의 개수²⁰⁾

건물에서 Core는 화장실, 기계실 및 계단 등이 밀집한 공간으로 건물의 운영 및 기초 활동에 연관된 부분이다. 이와 관련된 법규로는 최소 화장실 개소, 최소 계단 거리 등이 있으며 기존 문헌에서는 보행거리 30~50m이내, 2~3학년마다 설치하도록 공시하고 있다.

(7) 창호성능²¹⁾

창호의 성능은 크게 단열, SHGC, VLT 세 가지로 나눌 수 있다. 이중 SHGC(Solar Heat Gain Coefficient)는 태양의 복사열 출입 정도를 의미하고, VT(Visible Light Transmittance)는 가시광선 투과율을 의미한다. 창호 유리의 SHGC는 자연채광시 건물의 냉난방에, VLT는 조명에너지에 영향을 미친다. 일반적인 설정 값은 없으나 단열 성능이 증가할수록 (유리의 두께 및 겹침 수가 증가할수록) VLT와 SHGC의 값은 감소하는 것으로 나타났다.

(8) 기밀, 환기성능²²⁾

학교 건물의 기밀 성능은 한국교육개발원의 자료에서 실제 초등학교 건물에서 블로우 테스트를 한 결과 0.7로 규정하고 있으며, 환기 성능은 ‘학교 보건법 시행규칙’에 의거 학생 1인당 21.6m³/h로 규정하고 있다.

(9) 향²³⁾²⁴⁾

학교 건물은 교실의 채광창을 남측에 배치하는 남향을 지향한다. 서울시에 위치한 587개의 초등학교를 대상으로 건물의 향에 따라 유형 분류를 조사한 결과 다음 <표 3.5> 같이 분류할 수 있었다.

<표 3.5> 서울시 초등학교 건물 배치 현황분석

건물의 향					
구분	남향	남동향	남서향	동향	북동향
개수	109	402	47	25	4

20) 안영배외, 건축계획론, 기문당, 2002, p.395

21) 한글라스 홈페이지, <http://www.hanglas.co.kr>

22) 한국교육개발원, 제로에너지 생태학교 모형 개발 연구(2), 한국교육개발원, 2009

23) 심영주외, 최근 일본 초등학교의 건축개념에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 2006

24) 강만호, 초등학교 입지특성에 따른 교지 이용에 관한 조사 연구, 한국교육시설학회 학술저널, 2004

(10) 단열성능²⁵⁾

학교 건물 단열성능의 경우 2010년 개정된 건설교통부령 ‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙’에 근거를 찾을 수 있다.

<표 3.6> 지역별 건축물부위의 열관류율표

(단위 : W/m² · K)

건축물의 부위		지역	중부지역1)	남부지역2)	제주도
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우		0.36 이하	0.45 이하	0.58 이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.49 이하	0.63 이하	0.85 이하
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기에 직접 면하는 경우		0.20 이하	0.24 이하	0.29 이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.29 이하	0.34 이하	0.41 이하
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.30 이하	0.35 이하	0.35 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.41 이하	0.41 이하	0.41 이하
	외기에 간접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.43 이하	0.50 이하	0.50 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.58 이하	0.58 이하	0.58 이하
공동주택의 측벽			0.27 이하	0.36 이하	0.45 이하
공동주택의 층간바닥	바닥난방인 경우		0.81 이하	0.81 이하	0.81 이하
	그 밖의 경우		1.16 이하	1.16 이하	1.16 이하
창 및 문	외기에 직접 면하는 경우	공동주택	2.10 이하	2.40 이하	3.10 이하
		공동주택 외	2.40 이하	2.70 이하	3.40 이하
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택	2.80 이하	3.10 이하	3.70 이하
		공동주택 외	3.20 이하	3.70 이하	4.30 이하

비고

- 1) 중부지역:서울특별시, 인천광역시, 경기도, 강원도(강릉시, 동해시, 속초시, 삼척시, 고성군, 양양군 제외), 충청북도(영동군 제외), 충청남도(천안시), 경상북도(청송군)
- 2) 남부지역:부산광역시, 대구광역시, 광주광역시, 대전광역시, 울산광역시, 강원도(강릉시, 동해시, 속초시, 삼척시, 고성군, 양양군), 충청북도(영동군), 충청남도(천안시 제외), 전라북도, 전라남도, 경상북도(청송군 제외), 경상남도

(11) 복도의 위치

학교 건물에서 복도는 편복도와 중복도로 크게 나뉘 수 있으며, 북향의 경우 미술실, 음악실, 코어와 같은 공간을 배치하여 구성한다.

25) 국토해양부령, ‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙’

3.1.2 학교 건물의 운영 특성

(1) 냉난방 설정 및 내부발열부하 설정

난방설정온도는 22℃, 냉방 설정온도는 26℃이며, 재실 밀도의 경우 초등학교의 학급당 인원수는 26명 이하로 규정하고 있다.²⁶⁾ 인체 발열량은 개인별로 차이가 있으며 일반적으로 평균 성인 여성의 인체 발열량은 성인 남성의 85%,²⁷⁾ 초등학생의 경우는 성인 남성의 75%이다.²⁸⁾ 조명 밀도는 일반 초등학교 교실의 조명설비 현황을 기준으로 하여²⁹⁾ 교실은 4W/m², 복도와 화장실의 경우 2W/m²으로 설정하였다. 기기 밀도의 경우 일반적으로 사용되고 있는 컴퓨터, TV, 모니터, 프로젝터와 같은 교육용 전자기기를 기준으로 하여 일반교실 2W/m²으로 산정하여 적용하였다.

(2) 운영스케줄

서울특별시 초등학교 교육과정 편성, 운영 지침에 따르면, 연간 34주를 기준, 수업 배당 일수는 2년간(1,2학년, 3,4학년, 5,6학년 단위로 구분) 442시간을 기준수업시수로 하며, 1시간 수업은 40분을 원칙으로 하며, 각 학교에 따라 조절 가능하며, 연간 수업일수는 220일 이상(1/10 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 2월 4일, 봄방학은 2월 16일부터 3월 1일까지로 설정하였으며, 냉방기간은 6월1일부터 8월 31일(방학기간 제외), 난방기간은 11월1일부터 3월31일(방학기간 제외)로 운영된다.

재실자, 조명, 기기, 냉난방 스케줄은 초등학교의 2011년도 학사일정과 선행 연구의 자료³⁰⁾에 따라 적용된다.

26) 교육과학기술부 홈페이지_교육통계서비스_ <http://www.mest.go.kr>

27) 건축환경과학, 태림문화사, 2006

28) 박효순, 학교건물의 에너지절약형 냉난방시설 모형 개발에 관한 연구, 교육부, 2000

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

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

<표 3.7> 냉난방 설정 온도 및 기간

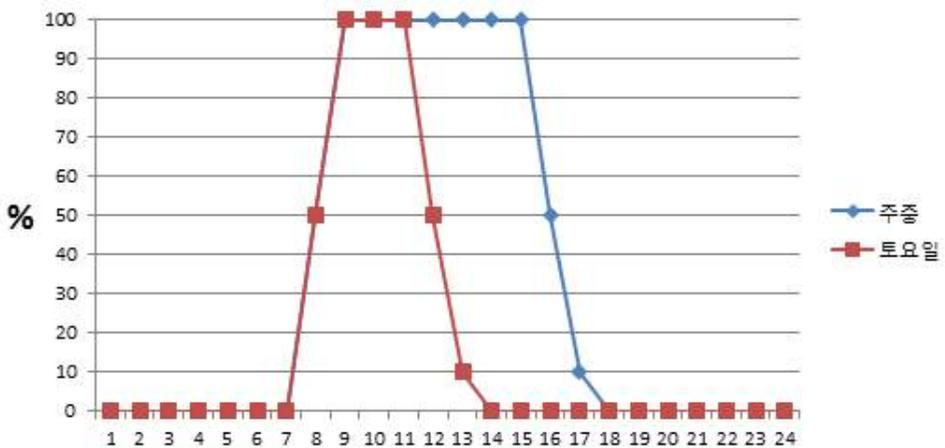
	기간	
방학기간	겨울 (22℃)	12월 21일 ~ 2월 4일 2월 16일 ~ 3월 1일
	여름 (26℃)	7월 22일 ~ 8월 25일
냉방기간	6월 1일 ~ 8월 31일(방학기간 제외)	
난방기간	11월 1일 ~ 3월 31일(방학기간 제외)	
비공조기간	4월1일 ~ 5월 31일, 10월 1일 ~ 10월 31일	

<표 3.8> 초등학교 교실 당 재실 학생수

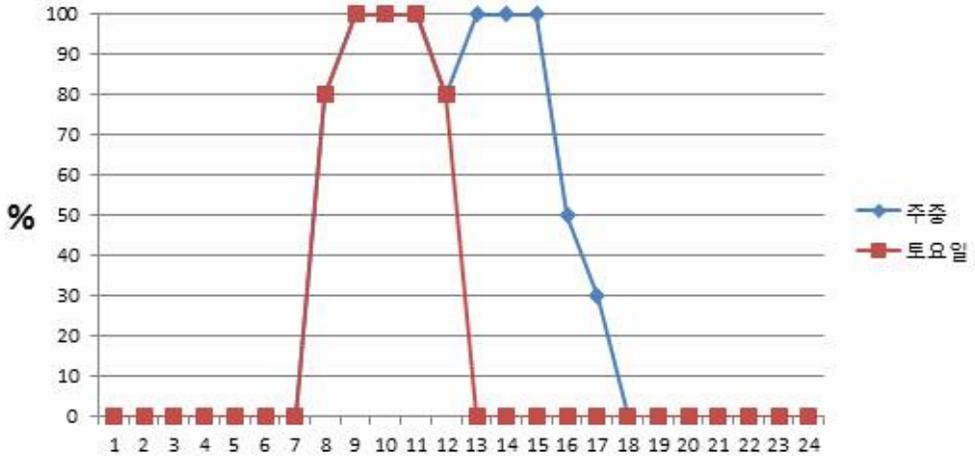
구분	학급당 학생수(명)						
	1학년	2학년	3학년	4학년	5학년	6학년	평균
서울	26	26.6	26.5	26.4	26.5	26.5	26.4
전국	24.8	25.2	25.3	25.1	25.6	26	25.3

<표 3.9> 실내발열밀도

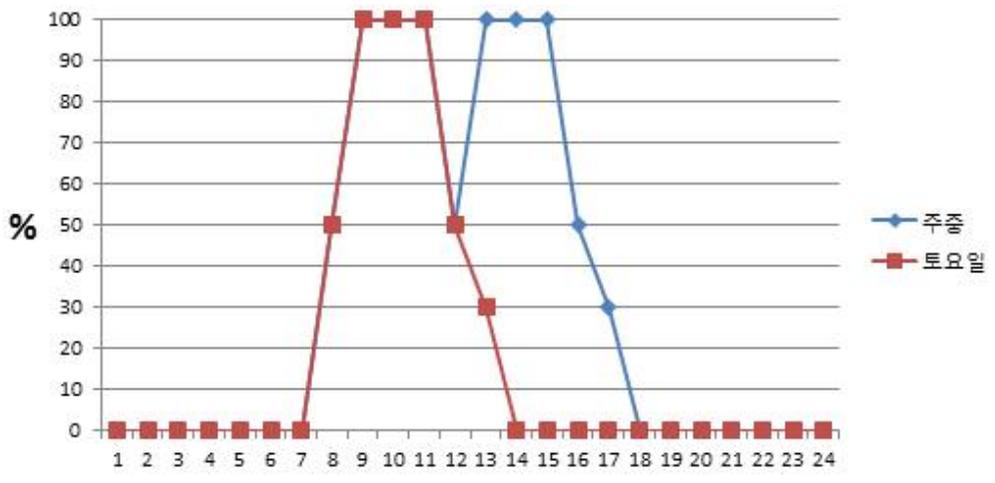
	일반교실	비공조
재실밀도	26인/실	-
조명밀도	4W/m ²	2W/m ²
기기밀도	2 W/m ²	-



(그림 3.1) 주중 재실 스케줄



(그림 4.2) 주중 조명 스케줄

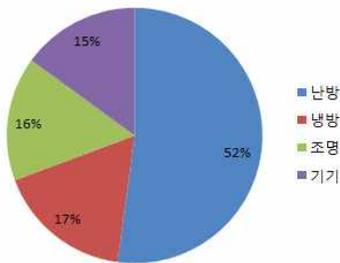


(그림 3.3) 주중 기기 스케줄

3.1.3 학교 건물의 에너지 사용 특성³¹⁾

2009년 한국교육개발원에서 연구된 제로에너지·생태학교 모형 개발 연구의 연구 결과를 참고하여 본 연구의 표준 학교 건물 에너지 사용량을 검증하였다. 한국교육개발원의 연구는 시뮬레이션 검증 및 실제 건물의 에너지 사용량 비교분석을 통해 건물의 에너지 절감 가능성을 분석하고, 타당성을 입증하였기 때문에 대상건물의 에너지 사용량 비교 분석에 있어서 신뢰성을 가질 수 있다고 판단된다.

해당 연구에서는 기준 초등학교의 총 에너지 사용량을 분석하고 시뮬레이션을 통해 기준 모델을 선정하였으며, 대상 건물은 연구의 일환으로 신설된 대전의 초등학교 건물을 설정하였고, 현행 7차 교육과정의 수업단위 시간 및 일과를 기준으로 선정하였다. 해당 건물의 연간 에너지 사용량은 다음 <표 3.10>와 같다.



(그림 3.4) 대상초등학교의 에너지사용분포

<표 3.10> 초등학교의 에너지 사용량

내역	kWh/m ² yr
조명	8.5
기기	8.1
냉방	9.3
난방	28.2
총량	54.1

위의 결과를 통해 학교 건물의 냉난방 에너지 분포는 다음 <표 3.11>과 같이 난방 52.1%, 냉방 17.2%, 조명 15.7%, 기기 15.0%의 에너지 분포를 가지고 있는 것을 확인할 수 있었다.

<표 3.11> 학교 건물의 에너지 사용량 분포도

	난방	냉방	조명	기기
초등학교	52.1%	17.2%	15.7%	15.0%

31) ibid.

3.2 표준 모델의 설정

3.2.1 건축 개요

학교 건물은 교실의 조합으로 이루어져 있는 특징을 가지고 있기 때문에, 그 형태의 결정 및 총 건물의 장단변비 설정의 객관성을 가지기가 어렵다. 그렇기 때문에 표준 건물을 교실로 구성된 학교 동으로 규정함으로써 향후 단위 교실모듈의 조합에 따른 총 건물 에너지 사용량을 추정할 수 있도록 설정하려고 하였다.

3.2.2 건물 운전 형태

표준 모델의 운전 형태는 앞서 조사된 2011년도 학사운영 일정과 교육청의 통계치를 바탕으로 작성하였다.

<표 3.12> 냉난방 설정 온도 및 기간

기간	
방학기간	겨울 (22℃)
	여름 (26℃)
냉방기간	6월 1일 ~ 8월 31일(방학기간 제외)
난방기간	11월 1일 ~ 3월 31일(방학기간 제외)
비공조기간	4월1일 ~ 5월 31일, 10월 1일 ~ 10월 31일

<표 3.13> 실내 발열 스케줄

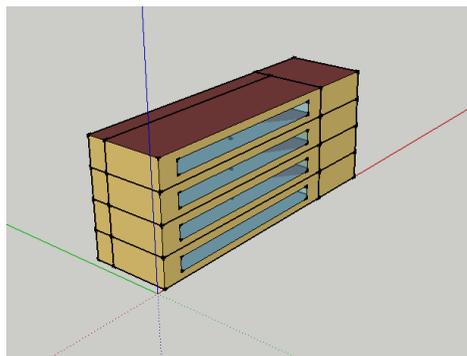
재실 스케줄										
시간	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
주중	0.5	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.1
토요일	0.5	1	1	1	0.5	0.1	0	0	0	0
조명 스케줄										
시간	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
주중	0.8	1	1	1	0.8	1	1	1	0.5	0.3
토요일	0.8	1	1	1	0.8	0	0	0	0	0
기기 스케줄										
시간	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
주중	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	0.5	0.3
토요일	0.5	1	1	1	0.5	0.3	0	0	0	0

3.2.3 표준 모델의 형태 및 범위 설정

본 연구에서는 학교 건물의 에너지 사용량 분석을 위해 교실 위주의 단위 건물을 대상으로 연구를 진행하였다. 따라서 3.1장에서 조사한 현황조사를 바탕으로 교실, 복도, Core로 이루어진 단위 건물을 조성하였으며, 일반적인 실의 크기 및 층고, 창 면적 등을 기존 연구에 조사된 내용을 토대로 작성하였다. 따라서 단위 건물의 형태 및 개요는 <표 3.14>과 같다.

<표 3.14> 표준모델 설정조건

항 목		내 용	
규모계획	교실크기	9.0m x 7.5m	
	층수	4층	
	교실조합	층당 3개교실	
	복도 폭	2.5m	
배치계획	향	남향	
평면계획	코어 위치	측면	
	코어 크기	층 면적의 20%	
	복도	후면 편복도형	
입·단면계획	층고(천장고)	3.6m (2.7m)	
	창면적비	전면	40%
		후면	30%
	지붕의 형태	Flat Roof	
부위별 계획	단열성능	외피	2010년 단열성능기준
		간벽	2010년 단열성능기준
		창호	2010년 단열성능기준
	창의 투과율	0.6	
	기밀성능	공조공간	0.7ACH
		비공조공간	1.5ACH
환기량	21.6m ³ /인·hr		



(그림 3.5) 표준건물 Modeling

건물의 모델링과 외피 구성은 현재 학교의 설치기준에 따라 설정하였으며, 벽체의 열관류율은 2010년 건설교통부령의 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙에서 제시된 지역별 건축물 부위의 열관류율의 중부지역 기준을 적용하였다.

<표 3.15> 재료별 물성치

위치	구성	두께(mm)	열관류율 (W/m ² K)
외벽	적벽돌	100	0.36
	단열재	70	
	콘크리트	150	
	시멘트몰탈	18	
지붕	무근콘크리트	150	0.20
	단열재	220	
	콘크리트	150	
최하층바닥	시멘트몰탈	40	0.41
	콘크리트	150	
	단열재	75	
간벽	시멘트몰탈 + 시멘트벽돌	108	0.49
	단열재	38	
	시멘트몰탈 + 시멘트벽돌	108	
창	Clear Glass	12	2.4
	Air	12	
	Clear Glass	12	

3.3 표준 모델 Simulation 분석 및 타당성 검증

3.3.1 부하 해석 프로그램

학교 건물의 에너지 사용량 예측식 개발을 위해서는 여러 가지 설계 요소에 따른 에너지 성능변화 파악이 필요하다. 이러한 건물의 에너지 성능에 대한 다양한 데이터 베이스 구축을 위해 동적 에너지 해석프로그램인 EnergyPlus를 활용하였다.

EnergyPlus는 90년 중반 미국 에너지성에 의해 개발된 에너지 해석 프로그램으로써 BLAST와 DOE-2의 장점만을 조합하여 개발되었다. 전도전달함수(Conduction Transfer Function : CTF) 계산기법을 사용하고 있으며, 공간의 에너지 평형식과 함께 결합되어 건축 구조물에서 동적 열전달해석 평가도구로 사용되고 있다.

3.3.2 대상건물 에너지 소요량 분석 및 검증

(1) 에너지 소요량

대상 초등학교 건물의 에너지 소요량은 난방, 냉방, 조명, 기기, 동력으로 분류하였으며, 건물의 냉난방 시스템은 전력을 사용하는 EHP(Electric Heat Pump)시스템을 사용하였으며, 냉난방 에너지 사용은 모두 전력 사용으로 산정하였다. 대상 초등학교의 에너지 소요량은 다음 <표 3.16>와 같다.

<표 3.16> 대상 초등학교 월별 1차 에너지 소요량(kWh/m²·yr)

	난방	냉방	조명	기기	동력	총합
Jan	0	0	0	0	0	0
Feb	5.95	0	0.37	0.74	0.57	7.63
Mar	6.73	0	1.05	1.12	0.63	9.53
Apr	0	0	1.00	0.55	0	1.55
May	0	0	1.10	0.49	0	1.59
Jun	0	4.80	1.07	1.30	0.82	7.99
Jul	0	3.47	0.79	0.87	0.56	5.69
Aug	0	1.56	0.19	0.33	0.24	2.32
Sep	0	0	1.02	0.60	0	1.62
Oct	0	0	0.97	0.48	0	1.45
Nov	6.87	0	0.93	1.12	0.66	9.58
Dec	9.22	0	0.58	1.31	0.99	12.1
총합	28.77	9.83	9.07	8.91	4.47	61.05
비율(%)	47.1	16.1	14.9	14.6	7.3	-

대상 건물의 단위면적당 에너지 소요량은 난방 28.77kWh/yr, 냉방 9.83kWh/yr, 조명 9.07kWh/yr, 기기 8.91kWh/yr, 동력 4.47kWh/yr이다.

난방 소요량은 12월이 가장 높고, 냉방 소요량은 6월이 가장 높게 나타났다. 전체의 에너지 소요량 중 47.1%를 난방이 차지했으며, 그다음 냉방, 조명, 기기 순으로 나타났다.

(2) 대상건물 에너지 소요량 표준성 검증

기존 연구 분석을 토대로 대상 모델의 에너지 사용량을 성분별로 분석하였다. 그 결과 난방용으로 사용되는 비율이 47%, 냉방 16%, 조명 15%, 기기 14%, 기타 7%의 분포도를 보였으며, 이는 기존 연구 결과와 유사한 분포도를 가지며, 에너지 사용량의 값 또한 유사한 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 다음 <표 3.17>과 <표 3.18>은 이에 대한 상세한 값을 나타내고 있다.

<표 3.17> 사례 학교 건물의 에너지 사용량 분포도

	난방	냉방	조명	기기	총량
kWh/m ² yr	28.2	9.3	8.5	8.1	54.1
%	52.1	17.2	15.7	15.0	-

<표 3.18> 대상 학교 건물의 에너지 소요량 분포도

	난방	냉방	조명	기기	동력	총량
kWh/m ² yr	28.8	9.8	9.1	8.9	4.5	61.1
%	47.1	16.1	14.9	14.6	7.3	-

3.4 소결

본 장에서는 학교 건물에서 적용 가능한 Passive Design 요소를 규정하기에 앞서, 학교 건물의 일반적 공간특성을 분석함으로써 학교의 표준 건물을 설정하고, 학교건물의 운영특성을 분석하여 표준 학교 건물데이터를 작성하기 위한 기초 자료를 수립하였다.

이때 학교 건물의 공간은 학교의 대표적 역할이자 수행공간인 교과교실을 중심으로 하는 교실동을 중심으로 분석하였으며, 추가적인 공간에 대한 고려는 배제하였다.

학교건물의 공간적 특성으로는 교실의 크기, 복도 및 계단실의 위치 및 크기, 층고, 창면적비, 벽체 단열성능 및 창호 성능, 복도의 위치, 건물 기밀성능 등을 분석하였으며, 이에 따라 학교의 표준건물을 설정할 수 있었다.

이러한 데이터를 토대로 학교 건물의 설계 변수 적용을 위한 표준 에너지 사용량을 분석하였고, 분석 데이터의 타당성을 검증하기 위해 기존 문헌 및 연구 자료의 학교 건물 에너지 사용량과 비교 분석한 결과 <표 3.19>와 같이 대상건물의 에너지 사용량에 대한 검증을 할 수 있었다.

<표 3.19> 대상 학교건물의 에너지 소요량 표준성 분석

kWh/m ² yr	난방	냉방	조명	기기	총량
기존 연구 건물	28.2	8.3	8.5	8.1	54.1
대상 학교 건물	28.8	9.8	9.1	8.9	56.6
오차	0.6	1.5	0.6	0.8	1.5
오차율(%)	2.1	15.3	6.6	9	4.4

이를 통해 대상 건물의 에너지 사용량이 기존의 학교 건물과 유사한 것을 확인할 수 있었고, 그에 따라 설계 변수의 적용을 통한 에너지 절감량 분석이 타당성을 떨 수 있을 것이라고 판단하여 연구를 진행하였다.

제 4 장 Passive Design 요소의 성능분석 및 평가

4.1 Design 요소별 실험계획법 적용 및 데이터베이스 구축

학교의 Passive Design 요소별 건물에 미치는 에너지 성능평가를 위해 실험계획법을 이용하여 성능요소별 분산분석 및 회귀분석을 실시하였다. 이를 위해 실험계획법에서 적용되는 Design 요소를 실험계획원리에 적용하여 적용한계를 설정하고, 변화 수준을 구분하여 실험을 계획하였다.

4.1.1 직교배열표의 구성 및 데이터베이스 구축

실험계획법을 통한 설계 요소의 성능평가를 실시하기에 앞서 학교 건물의 설계요소에 대해 앞선 3장에서 검토하였고, 이를 통해 각 설계 요소의 범위 및 수준을 선정하였다. 그에 대한 상세 내용은 다음과 같다.

(1) 교실의 크기

교실의 크기는 교실의 이용 특성 및 활용에 따라 달라지며, 이에 따라 교실의 가로, 세로 길이를 다르게 적용한다. 교실의 크기는 단순히 X축과 Y축으로 구분할 수 있으며, X축은 8.1m/8.4m/9.0m, Y축은 7.5m/8.1m/8.4m가 일반적으로 적용되고 있었다. 따라서 X축과 Y축의 길이변화는 8.1m/8.4m/9.0m, 7.5m/8.1m/8.4m로 수준을 정하여 적용하였다.

(2) 교실의 조합

건물은 각 학교의 특성에 따라 층수가 달라지며, 건물의 형상에 따라 연결되어 있는 교실의 개수가 다르게 된다. 본 연구에서는 이러한 건물의 개수를 변화시켜 건물의 에너지 성능을 분석해보고자 하였다. 교실의 조합 개수는 2개(6층), 3개(4층), 4개(3층)로 변화시켰으며, 건물 연면적을 변화시키지 않기 위해 층수를 함께 변화시켰다.

(3) 층고

건물의 층고는 3.6m 이상을 확보해야 하는 것이 일반론이며, 층고의 변화에 따른 창의 높이 변화에 따라 실내 자연 채광율이 높아질 수 있다. 하지만 층고의 증가는 건물의 용적을 늘리기 때문에 냉난방 증가의 요인이 된다. 따라서 본 연구에서는 층고의 변화에 따른 냉난방 및 조명에너지의 변화를 함께 분석하기 위해 3.6m/3.8m/4.0m로 수준을 적용하였다.

(4) 복도 폭

학교 건물의 복도는 공간의 현상학적 변화에 따라 그 종류의 다양화와 함께 통로공간이 지닌 성격이 매우 다양해지고 있다. 복도는 통행, 사이 공간, 수납 공간, 학습 공간, 휴게 공간 등으로 활용되고 있으며, 에너지 절감적 요인으로 냉난방공간인 교실을 외기에 분리시키는 Buffer Zone의 역할을 대행하는 공간이라고 할 수 있다. 따라서 향후 복도 공간의 기능적, 성능적 영향을 함께 고려하기 위해 복도의 폭을 변화시켜보았다. 이를 위해 복도의 폭을 1.8m/2.5m/3.3m로 변경시켜 적용하였다.

(5) 외피 단열성능

건물의 단열성능은 2010년 개정된 건설교통부령 ‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙’에 의거하여 그 성능을 규제하고 있다. 하지만 단열성능의 경우 건물의 에너지 성능에 지대한 영향을 미치며, 그에 따라 국내외 친환경 건물의 경우 그 기준을 국내보다 현격히 향상시켜 적용시키고 있다. 따라서 본 연구에서는 건물 외피의 단열성능을 2010년 기준/30%향상/60%향상시켜 적용하여 에너지 저감 성능을 분석하였다.

(6) 유리의 투과율

창호의 성능은 크게 단열성능, SHGC, VLT가 있으며, 이중 유리의 SHGC와 VLT는 태양열난방 및 자연채광에 지대한 영향을 미치는 요소이다. 본 연구에서는 SHGC와 VLT를 반영할 수 있도록 창의 투과율을 35%/60%/85%로 변화시켜 건물의 에너지 성능을 분석하였다.

(7) 창면적비

학교 건물에서 창호는 자연채광을 통한 학생들의 학습 능률 향상과 창호의 개폐를 통한 실내 환경 조절에 그 목적을 두고 있다. 하지만 창호 면적이 커질 경우 단열제에 비해 단열성능이 떨어지는 창호의 특성에 따라 외피의 단열성능이 저하되어 냉난방에너지 사용량이 증대되는 경향을 보일 수 있다. 이에 학교 창면적비의 결정에 있어서 지면으로부터 80cm에 위치해야 하는 특성과, 천장 Ceiling 높이를 고려하여 건물의 창면적비를 30%/40%/50%로 변화시켜가며 적용하였다.

(8) 차양 및 광선반의 설치유무

학교 건물에서 차양은 교실내의 여름철 과열을 방지하고, 겨울철 태양열을 교실내로 끌어들이므로써 교실에서 태양에너지를 효과적으로 사용하는 방법이라고 할 수 있다. 또한 광선반은 차양의 효과와 더불어 실내 깊숙이 태양열을 끌어들이므로써 실내의 균제도를 향상시키는 대표적 Passive System이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 차양 및 광선반의 적용 유무에 따른 건물 에너지 사용량을 평가해보고자 하였고, 설치 길이 및 위치는 기존 문헌³²⁾³³⁾을 참고하여 차양 1m, 외부광선반 1m 내부 광선반 0.6m, 광선반 상부 창호높이는 0.6m로 적용하였다.

(9) 기밀성능

기밀 성능은 건물의 냉난방에너지 사용량에 지대한 영향을 미치는 설계요소로 학교에서의 기밀성능은 한국교육개발원의 자료³⁴⁾에서 실제 초등학교 건물에서 블로우 테스트를 한 결과 0.7로 규정하고 있다. 하지만 학교 건물은 운영 시간의 단절이 많고, 그에 따라 유동인구가 많이 발생하기 때문에 일반적인 Passive 기준을 적용하기에는 무리가 따른다. 따라서 교실내의 기밀성능을 0.7/0.5/0.3ACH으로 변화시켜 에너지 성능을 분석해 보았으며, 비공조 공간의 기밀성능 또한 1.5/1.2/0.9ACH로 변경시켜 적용하였다.

32) 이해린, 제로 에미션 초등학교 건물 설계 사례 연구, 중앙대학교 석사 학위 논문, 2011

33) 한동윤, 학교건물의 친환경성 향상을 위한 건축계획에 관한 연구, 한양대학교 석사학위 논문, 2009

34) 한국교육개발원, 제로에너지 생태학교 모형 개발 연구(2), 한국교육개발원, 2009

(10) 향

건물에서의 향은 태양에너지를 효과적으로 이용하는 가장 중요한 요소 중 하나로 학교 건물에서 또한 매우 중요한 변수 중 하나로 뽑힌다. 기존 문헌 조사를 통해 서울시에 위치한 587개 초등학교 건물을 대상으로 건물의 향에 대한 조사를 한 결과 일반적으로 학교 건물은 일반적으로 남향 및 남동향으로 설정이 되어 있었으며, 소음 등을 고려하여 다르게 적용되는 경우도 존재하였다. 따라서 본 연구에서는 남향/남동향/동향으로 건물의 향을 변화시켜 적용하였다.

위와 같이 건물의 Passive Design 요소에 따라 적용 특성 및 수준을 선정하여 건물 시뮬레이션에 적용하였다. 이에 대한 적용 내용은 다음 <표 4.1>과 같으며, 직교배열표에 적용한 실험계획은 <표 4.2>와 같다.

<표 4.1> 에너지 시뮬레이션을 위한 설계 요소 및 적용수준

변수 구분		변수 Level			
		Level 1	Level 2	Level 3	
교실 크기 (x축 x y축)	x 축(m)	8.1	8.4	9.0	
	y 축(m)	7.5	8.1	8.4	
교실 조합 개수 (개)		2	3	4	
층고(m)		3.6	3.8	4.0	
복도 폭(m)		1.8	2.5	3.3	
교실과 Core의 위치		측면	후면	중심	
단열성능	외벽	2010 단열기준	30%향상	60%향상	
	간벽	2010 단열기준	30%향상	60%향상	
	창호	전면	2010 단열기준	30%향상	60%향상
		후면	2010 단열기준	30%향상	60%향상
	간벽	2010 단열기준	30%향상	60%향상	
창의 투과율	전면	0.35	0.6	0.85	
	후면	0.35	0.6	0.85	
창면적비(%)	전면	30	40	50	
	후면	30	40	50	
	간벽	5	10	15	
차양 및 광선반		미설치	광선반	차양	
기밀성능 (ACH)	공조	0.7	0.5	0.3	
	비공조	1.5	1.2	0.9	
향		남	남동	동	

4.1.2 시뮬레이션 결과

설계 변수의 조건에 따라 81회 시뮬레이션을 건물 에너지 해석 프로그램인 EnergyPlus를 이용하여 실시하고, 그 결과를 <표 4.3>에 정리하였다. 이때 에너지 해석 단위는 교실별로 산출하여 교실의 크기 변화에 따른 건물 에너지 사용량의 시각적 착오를 방지하고자 하였으며, 1차 에너지로 변환하여 비교하였다. 이때 도시가스는 1.1, 전력사용은 2.75의 변환계수를 적용하였다.³⁵⁾

시뮬레이션 결과, 연간 난방에너지사용량의 평균은 817.0kWh/실, 연간 냉방에너지사용량의 평균은 303.6kWh/실, 건물의 조명, 기기, 동력에너지를 포함한 총에너지사용량의 평균은 1,593.7kWh/실 로 나타났다.

<표 4.3> 시뮬레이션 결과(kWh/교실·yr)

번호	난방	냉방	전체	번호	난방	냉방	전체	번호	난방	냉방	전체
1	924.6	157.6	1519.3	28	880.4	260.8	1617.9	55	827.8	296.5	1647.3
2	820.8	235.3	1477.9	29	589.6	305.5	1339.0	56	882.4	278.2	1667.7
3	270.1	550.8	1214.7	30	727.5	346.4	1531.0	57	1229.7	432.4	2220.2
4	768.8	413.1	1628.5	31	721.9	507.1	1698.8	58	556.9	335.4	1365.2
5	787.5	255.5	1678.0	32	804.6	230.5	1504.1	59	695.3	276.5	1485.9
6	649.3	218.0	1262.6	33	776.9	273.6	1509.8	60	1031.8	348.3	1899.5
7	682.8	240.6	1329.9	34	324.9	261.2	1005.4	61	1197.4	553.3	2316.3
8	288.3	315.2	972.0	35	1436.0	654.6	2661.0	62	815.2	303.5	1621.4
9	961.0	235.7	1630.9	36	881.3	231.9	1578.7	63	803.7	236.6	1553.7
10	767.7	627.4	1874.7	37	889.0	293.1	1672.6	64	340.4	423.9	1179.2
11	965.4	175.9	1631.5	38	744.9	269.3	1490.2	65	701.3	274.8	1430.9
12	735.2	272.5	1448.5	39	966.6	349.8	1815.4	66	1073.0	240.3	1805.5
13	740.5	398.6	1588.0	40	541.3	226.6	1218.9	67	991.7	317.9	1798.7
14	384.4	275.8	1060.3	41	1268.9	435.6	2246.0	68	761.7	662.0	1914.8
15	1041.3	185.6	1704.1	42	868.1	276.4	1621.0	69	698.3	208.0	1349.5
16	983.1	161.5	1625.0	43	881.8	271.6	1641.2	70	747.8	201.6	1404.1
17	809.5	339.8	1598.3	44	653.2	272.1	1378.6	71	754.6	306.4	1516.0
18	362.0	416.4	1181.4	45	490.0	359.7	1290.3	72	999.1	571.5	2071.6
19	666.2	286.6	1411.4	46	211.8	374.6	962.5	73	1000.5	297.8	1806.4
20	245.4	463.4	1119.3	47	977.8	242.0	1671.8	74	680.0	392.8	1553.6
21	1129.1	156.2	1815.0	48	938.2	211.1	1611.7	75	681.8	284.0	1446.7
22	1071.4	156.0	1724.0	49	909.8	243.7	1614.1	76	876.9	264.4	1639.0
23	970.8	358.8	1820.7	50	437.6	306.8	1138.6	77	966.1	253.6	1723.0
24	335.6	529.3	1289.5	51	660.7	290.2	1362.0	78	1179.8	586.0	2323.8
25	652.0	649.7	1779.1	52	759.5	297.4	1482.7	79	552.3	280.9	1300.3
26	1010.2	207.2	1698.8	53	717.4	193.4	1356.4	80	640.1	360.7	1478.0
27	728.3	209.4	1395.8	54	876.9	430.3	1759.3	81	1045.9	293.0	1842.5
								평균	817.0	303.6	1593.7

35) 지식경제부, 기후변화대응을 위한 건물 에너지 효율등급 표시제도 개발연구, 2009, p301

4.2 실험계획법에 따른 설계 요소의 에너지 성능 평가

건물의 에너지 성능은 앞서 선정된 설계 요소에 의해 다양하고, 복합적으로 영향을 받게 된다. 이때 다수의 설계 요소들 중에서 건물의 에너지 성능에 직접적인 영향을 미치는 요소를 선정하여 건물의 에너지 절약 설계 시에 보다 심도 있게 고려하여 설계 사항을 결정해야 하는 과정이 요구 된다. 이때 유의한 요소를 선별하는데 분산분석³⁶⁾을 통해 중요 설계 요소를 선정할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 분산분석을 실시하여 분산분석 결과값을 바탕으로 설계 요소들이 건물의 연간에너지사용량에 미치는 기여도 및 영향력을 분석하여 설계 요소 평가표를 작성하였으며, 이를 통해 설계 요소의 상대적인 중요성 파악과 건물의 에너지사용량을 쉽고 정확하게 예측할 수 있는 예측식을 제안하였다.³⁷⁾

4.2.1 분산분석

분산분석이란 하나의 종속변수(건물 에너지사용량 시뮬레이션 결과)와 하나 이상의 독립변수(설계요소) 사이의 관계가 있는지를 검정하는 기법으로 다수의 변수들 중에서 유의한 변수를 선별하는데 유용한 통계기법이다. 본 연구에서는 각 설계 요소의 효과를 계산하기 위하여 $L_{81}(3^{40})$ 직교배열표에 의한 81회의 시뮬레이션을 수행하여 산출된 에너지사용량 결과치를 바탕으로 SPSS프로그램을 이용한 냉난방 부하에 대한 분산분석을 실시하고, 그 결과인 분산분석표(ANOVA table)를 다음 <표 4.4>, <표 4.5>, <표 4.6>에 제시하였다.

36) 박성현, 다구찌 방법을 중심으로 한 응용실험계획법, 1994, p22

37) 석호태, 사무소 건물의 에너지 절약을 위한 부하 예측 방정식 및 설계지침 개발에 관한 연구, 서울대학교 박사학위 논문, 1995

난방에너지 사용량에 대한 각 설계요소의 분산분석표를 다음 <표 4.4>에 나타내고 있다. 난방에너지 사용량의 경우, 교실의 크기와 외벽 및 교실측 창호의 단열성능, 창문 유리의 투과율, 교실의 기밀성능, 건물의 향이 유의수준 0.05에서 유의미한 것으로 나타났다.

이는 실제적으로 난방을 하는 공간에 연관된 설계 요소들으로써 복도나 Core 와 같은 Buffer Zone의 역할을 하는 공간의 특징 및 연결 특성은 난방에너지 사용량에 직접적인 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

<표 4.4> 난방에너지에 대한 분산분석표

소스	제Ⅲ유형 제공합	자유도	평균제공	F	유의 확률
수정 모형	4,408,955.8 ^a	40	110,223.9	9.001	0.000
절편	49,654,571.6	1	49,654,571.6	4,054.695	0.000
교실 X축 길이	166,767.8	2	83,383.9	6.809	0.003
교실 Y축 길이	120,055.7	2	60,027.9	4.902	0.012
교실 조합 개수	7,772.5	2	3,886.2	0.317	0.730
층고	57,849.4	2	28,924.7	2.362	0.107
복도 폭	12,334.3	2	6,167.2	0.504	0.608
Core 위치	46,717.2	2	23,358.6	1.907	0.162
외벽단열성능	377,377.2	2	188,688.6	15.408	0.000
간벽 단열성능	65,281.2	2	32,640.6	2.665	0.082
교실창호 단열성능	189,031.8	2	94,515.9	7.718	0.001
복도창호 단열성능	4,553.2	2	2,276.6	0.186	0.831
간벽창호 단열성능	4,352.0	2	2,176.0	0.178	0.838
교실측 유리 투과율	304,121.3	2	152,060.7	12.417	0.000
복도측 유리 투과율	13,675.4	2	6,837.7	0.558	0.577
교실면 창면적비	3,202.4	2	1,601.2	0.131	0.878
복도 창면적비	3,308.2	2	1,654.1	0.135	0.874
간벽 창면적비	27,119.9	2	13,559.9	1.107	0.340
차양 및 광선반	29,187.3	2	14,593.7	1.192	0.314
교실 기밀성능	1,723,690.6	2	861,845.3	70.377	0.000
교실 외 기밀성능	20,230.4	2	10,115.2	0.826	0.445
향	1,232,327.6	2	616,163.8	50.315	0.000
오차	489,847.7	40	12,246.2		
합계	54,553,375.0	81			
수정합계	4,898,803.5	80			

a. R 제공 = 0.900 (수정된 R 제공 = 0.800)

냉방에너지 사용량에 대한 각 설계요소의 분산분석표를 다음 <표 4.5>에 나타내고 있다. 냉방에너지 사용량의 경우 교실측 유리의 투과율, 교실의 창면적비, 차양 및 광선반의 설치 유무, 교실 기밀성능, 건물의 향이 유의수준 0.05에서 유의미한 것으로 나타났다.

냉방에너지 사용량과 관련된 설계 요소로는 난방에너지와 마찬가지로 공조가 이루어지는 공간에 연관된 요소들이 주요 설계 요소로 확인되었으며, 실의 크기보다는 냉방 기간 동안 실내로 들어오는 일사의 양을 최소화 시킬 수 있는 유리의 투과율 및 창면적비, 차양과 같은 방법들이 주요 설계 요소로 작용하였다.

<표 4.5> 냉방에너지에 대한 분산분석표

소스	제Ⅲ유형 제곱합	자유도	평균제곱	F	유의 확률
수정 모형	1,088,645.2 ^a	40	27,216.1	8.679	0.000
절편	8,466,483.4	1	8,466,483.4	2699.792	0.000
교실 X축 길이	16,983.5	2	8,491.8	2.708	0.079
교실 Y축 길이	5,600.8	2	2,800.3	0.893	0.417
교실 조합 개수	2,952.0	2	1,476.0	0.471	0.628
층고	448.7	2	224.4	0.072	0.931
복도 폭	3,416.9	2	1,708.5	0.545	0.584
Core 위치	6,663.7	2	3,331.9	1.062	0.355
외벽단열성능	13,530.2	2	6,765.1	2.157	0.129
간벽 단열성능	1,023.2	2	511.6	0.163	0.850
교실창호 단열성능	17,333.8	2	8,666.9	2.764	0.075
복도창호 단열성능	2,009.4	2	1,004.7	0.320	0.728
간벽창호 단열성능	954.9	2	477.4	0.152	0.859
교실측 유리 투과율	547,348.1	2	273,674.1	87.269	0.000
복도측 유리 투과율	19,456.1	2	9,728.1	3.102	0.056
교실면 창면적비	98,174.9	2	49,087.4	15.653	0.000
복도 창면적비	1,004.1	2	502.0	0.160	0.853
간벽 창면적비	2,763.2	2	1,381.6	0.441	0.647
차양 및 광선반	178,802.1	2	89,401.1	28.508	0.000
교실 기밀성능	38,328.5	2	19,164.3	6.111	0.005
교실 외 기밀성능	2,107.1	2	1,053.6	0.336	0.717
향	129,743.7	2	64,871.9	20.686	0.000
오차	125,439.0	40	3,135.8		
합계	9,680,567.6	81			
수정합계	1,214,084.2	80			

a. R 제곱 = 0.897 (수정된 R 제곱 = 0.793)

총에너지 사용량에 대한 각 설계요소의 분산분석표를 다음 <표 4.6>에 나타내고 있다. 총에너지사용량의 경우 교실의 크기 및 외벽 단열성능, 교실 기밀성능 및 건물의 향만이 유의수준 0.05에서 유의미한 것으로 나타났다. 총에너지사용량의 경우 난방 및 냉방에너지에 비해 유의 변수가 적은 이유는 각 변수들이 난방 및 냉방에너지에 미치는 영향력이 상이한 경우가 많기 때문이며, 조명 및 기기부하의 에너지 사용량이 포함되었기 때문인 것으로 보인다. 건물의 에너지 사용량을 저감하기 위해 가장 중점적으로 고려되어야 할 요소들이 선정되는 것으로 분석되었다.

<표 4.6> 총에너지에 대한 분산분석표

소스	제Ⅲ유형 제곱합	자유도	평균제곱	F	유의 확률
수정 모형	6,427,948.0 ^a	40	160,698.7	5.819	0.000
절편	201,069,248.9	1	201,069,248.9	7281.338	0.000
교실 X축 길이	473,441.9	2	236,720.9	8.572	0.001
교실 Y축 길이	335,220.1	2	167,610.1	6.070	0.005
교실 조합 개수	26,349.8	2	13,174.9	0.477	0.624
층고	57,725.8	2	28,862.9	1.045	0.361
복도 폭	39,805.4	2	19,902.7	0.721	0.493
Core 위치	65,263.5	2	32,631.7	1.182	0.317
외벽단열성능	616,296.6	2	308,148.3	11.159	0.000
간벽 단열성능	94,200.1	2	47,100.1	1.706	0.195
교실창호 단열성능	118,435.2	2	59,217.6	2.144	0.130
복도창호 단열성능	1,264.1	2	632.0	0.023	0.977
간벽창호 단열성능	4,169.6	2	2,084.8	0.075	0.927
교실측 유리 투과율	39,014.8	2	19,507.4	0.706	0.499
복도측 유리 투과율	1,898.7	2	949.3	0.034	0.966
교실면 창면적비	126,466.4	2	63,233.2	2.290	0.114
복도 창면적비	1,578.0	2	789.0	0.029	0.972
간벽 창면적비	75,777.0	2	37,888.5	1.372	0.265
차양 및 광선반	84,590.1	2	42,295.0	1.532	0.229
교실 기밀성능	1,622,167.4	2	811,083.7	29.372	0.000
교실 외 기밀성능	19,760.1	2	9,880.0	0.358	0.701
향	2,624,523.3	2	1,312,261.6	47.521	0.000
오차	1,104,573.1	40	27,614.3		
합계	208,601,770.0	81			
수정합계	7,532,521.1	80			

a. R 제곱 = 0.853 (수정된 R 제곱 = 0.707)

4.2.2 기여율 및 영향력 도출

학교 건물의 에너지 성능 관련 설계 요소 중 분산분석표에서 보는 바와 같이 유의도가 유의수준 0.05이하로서 수준의 변화가 유의한 설계 요소에 대하여 기여율 및 영향력을 계산하고, 이를 바탕으로 에너지사용량에 대한 설계 요소 평가표를 작성하였으며, 기여율을 구하는 식은 다음 <식 4.1>, <식 4.2>, <식 4.3> 과 같고, 영향력을 구하는 식은 <식 4.4>, <식 4.5>, <식 4.6>, <식 4.7> 과 같다.

$$\rho_T(\%) = \frac{SS_T'}{SST} \times 100 \quad \text{<식 4.1>}$$

$$SS_T' = SS_T - DF_T \times MSE \quad \text{<식 4.2>}$$

$$MSE = \frac{SS_E}{DF_E} \quad \text{<식 4.3>}$$

여기서, ρ_T : 처리항의 기여율
 SS_T' : 처리항의 총 변동
 SST : 총 제곱합 (총변동)
 SS_T : 처리항의 제곱합
 DF_T : 처리항의 자유도
 MSE : 오차의 평균제곱
 SS_E : 오차의 제곱합
 DF_E : 오차의 자유도

$$P_{A0} = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_{27}}{27} - T_m \quad \text{<식 4.4>}$$

$$P_{A1} = \frac{Y_{28} + Y_{29} + Y_{30} + \dots + Y_{54}}{27} - T_m \quad \text{<식 4.4>}$$

$$P_{A2} = \frac{Y_{55} + Y_{56} + Y_{57} + \dots + Y_{81}}{27} - T_m \quad \text{<식 4.4>}$$

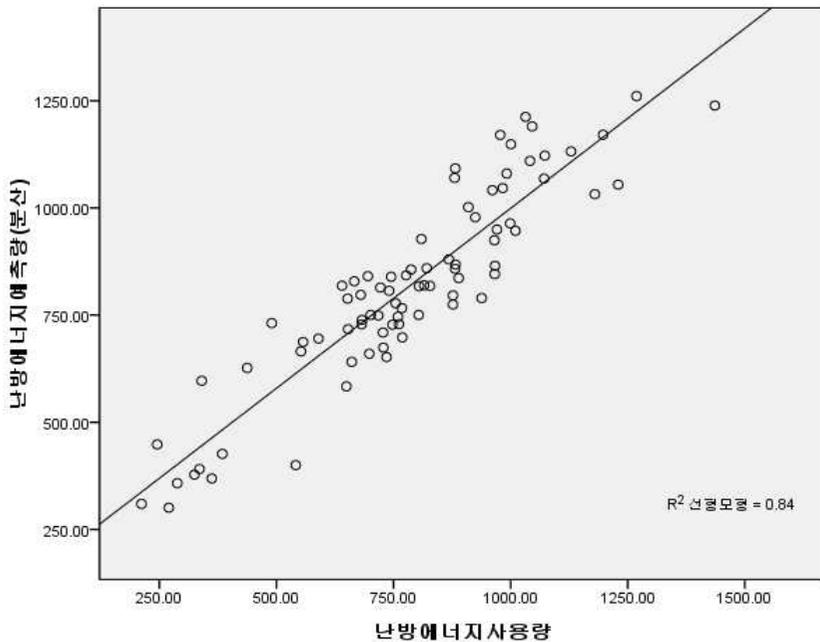
여기서, $P_{A_i, B_i} \dots$: 각 설계 요소의 i 수준에 대한 영향력
 Y_i : 시뮬레이션에 의한 각 실험의 부하 계산치
 T_m : 81회 시뮬레이션에 의한 부하 계산치의 총 평균

(1) 난방에너지사용량에 대한 에너지 성능 평가

설계 요소의 수준 변화에 따라 난방부하의 변화에 미치는 영향을 나타내는 기여율은 교실의 기밀성능이 34.7%를 차지하여 가장 큰 영향을 미치며, 건물의 향(24.7%), 외벽 단열성능(7.2%)이 비교적 크게 나타났다. 그 다음으로 교실의 크기 및 창호의 단열성능과 투과율이 학교건물의 난방에너지 사용량에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 나머지 설계 요소는 성능변동 범위 내에서 난방에너지사용량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 표에서 나타나는 영향력은 평균 난방에너지 사용량과 비교하였을 때의 차이를 나타내며, +는 평균값보다 많이 사용함을, -는 평균값보다 적게 사용함을 의미한다.

<표 4.7> 난방에너지사용량에 대한 설계 요소 평가표

설계 요소	기여율 %	에너지사용량에 대한 영향력(kWh/실·yr)		
		0 수준	1 수준	2 수준
교실X축길이	2.9%	-51.4	-7.5	59.0
교실Y축길이	2.0%	-52.9	15.4	37.5
외벽단열성능	7.2%	92.2	-21.5	-70.8
교실창호단열	3.4%	63.2	-9.0	-54.1
교실측 유리투과율	5.7%	75.3	-0.5	-74.8
교실기밀성능	34.7%	170.7	15.0	-185.7
향	24.7%	-135.9	-26.7	162.6



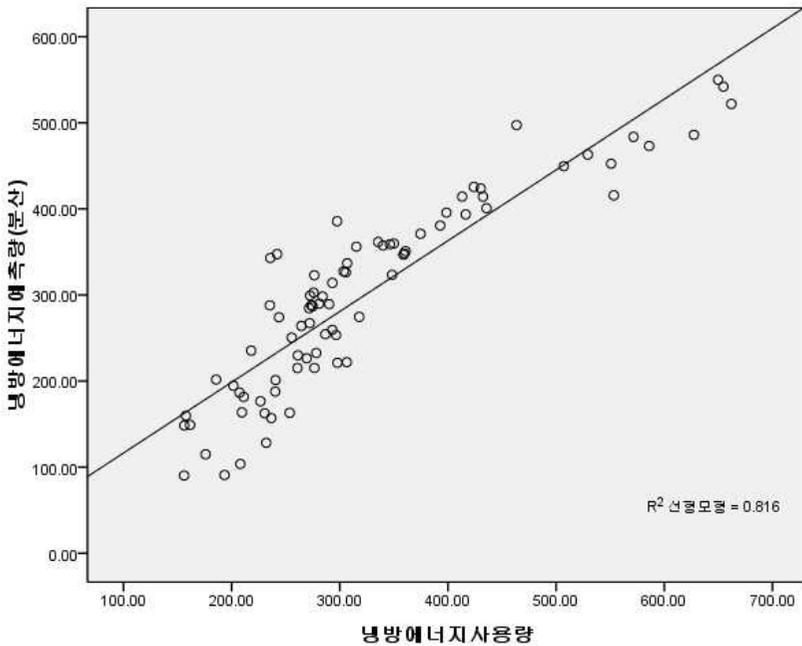
(그림 4.1) 난방에너지 사용량의 Simulation Data와 예측치 비교

(2) 냉방에너지 사용량에 대한 에너지 성능 평가

설계 요소의 수준 변화에 따른 냉방에너지사용량의 변화에 미치는 영향을 나타내는 기여율은 교실측 유리의 일사 투과율이 44.6%를 차지하여 다른 설계 요소들에 비해 월등한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 건물의 향(10.2%), 차양 및 광선반의 설치유무(14.2%)가 냉방에너지 사용량에 비교적 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그 외에 외벽단열성능, 교실 창호 단열성능, 교실 창면 적비 등이 학교 건물의 냉방에너지 사용량에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

<표 4.8> 냉방에너지사용량에 대한 설계 요소 평가표

설계 요소	기여율 %	에너지사용량에 대한 영향력(kWh/실·yr)		
		0 수준	1 수준	2 수준
교실측 유리투과	44.6%	-90.6	-17.8	108.4
교실창면적비	7.6%	-41.7	-1.9	43.5
차양 및 광선반	14.2%	65.0	-30.8	-44.3
교실기밀성능	2.6%	-26.8	0.1	26.5
향	10.2%	-49.7	1.3	48.3



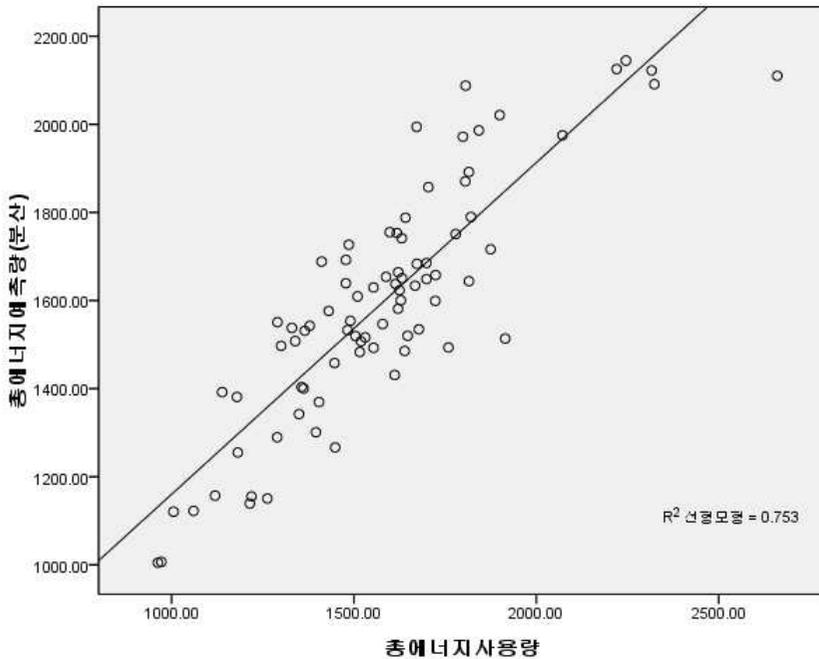
(그림 4.2) 냉방에너지 사용량의 Simulation Data와 예측치 비교

(3) 총에너지 사용량에 대한 에너지 성능 평가

총에너지 사용량의 경우 건물의 향(34.1%)이 가장 큰 설계 요소로 작용하였고, 교실 기밀성능(20.6%) 및 외벽 단열성능(7.4%)이 비교적 영향력이 큰 설계 요소로 나타났다. 학교 건물의 경우 난방에너지사용량의 비중이 크기 때문에 유사한 설계 요소들이 도출된 것으로 보인다.

<표 4.9> 총에너지사용량에 대한 설계 요소 평가표

설계 요소	기여율 %	에너지사용량에 대한 영향력(kWh/실·yr)		
		0 수준	1 수준	2 수준
교실X축길이	5.6%	-76.2	-28.2	104.5
교실Y축길이	3.7%	-88.8	27.1	61.7
외벽단열성능	7.4%	120.0	-35.1	-84.9
교실기밀성능	20.8%	165.9	14.0	-179.9
향	34.1%	-207.1	-24.7	231.8



(그림 4.3) 총에너지 사용량의 Simulation Data와 예측치 비교

4.3 학교 건물의 에너지 사용량 예측 방정식 개발

앞선 설계요소의 에너지 성능분석은 각각 3수준의 성능으로 나누고 각각의 성능범위에 대한 영향력 및 기여도를 도출하였다. 여기서 분석된 각 에너지 영향 인자는 수준별 성능 변화에 따른 에너지 사용량의 변화가 직선의 형태는 아니지만, 비례 혹은 반비례하는 형태를 나타내는 것을 확인할 수 있었고, 이에 따라 분산분석을 통해 선택된 주요 설계요소를 독립변수로 하고, 에너지 사용량을 종속변수로 하여 다중회귀분석을 실시하였다.

4.3.1 회귀분석

회귀분석이란 1개 또는 그 이상의 독립변수와 종속변수 사이의 관계를 수학적 함수식을 이용하여 규명하고자 하는 분석방법이며, 독립변수의 변화에 따른 종속변수의 변화를 예측하는데 사용된다. 이때 하나의 종속변수와 하나의 독립변수사이의 모형을 단순회귀모형이라고 하며, 하나의 종속변수와 둘 이상의 독립변수 사이의 선형모형을 다중회귀모형이라고 한다. 예를 들어 어떤 집단의 키와 몸무게를 측정하여 데이터를 얻었다고 할 때, 키와 몸무게의 관계를 분석하여 키 또는 몸무게 중 하나를 이용하여 다른 하나를 예측하거나 설명할 수 있도록 하는 것이라고 할 수 있다.

즉, 회귀분석은 여러 개의 변수들 간의 관계식을 만드는 것이라고 생각하면 되며, 변수간의 관계식이 있다면 이를 이용하여 다양하게 예측하거나 설명하는데 이용할 수 있도록 만드는 해석 방법이라고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 다중회귀분석을 통해 학교 건물의 에너지 사용량을 예측하였고, 앞서 선정된 주요 설계요소들이 분산분석 결과를 통해 건물 에너지 사용량에 선형으로 영향을 미친다고 판단하고, 선형회귀분석을 실시하였다.

4.3.2 회귀분석을 통한 건물 에너지 예측 방정식 도출

(1) 난방에너지 사용량 회귀분석 결과

20가지 영향 요소들을 독립변수로, 난방에너지 사용량을 종속변수로 놓고 회귀분석을 실시하였으며, 결과는 다음 <표 4.10> 과 같다.

<표 4.10> 난방에너지 사용량에 대한 다중회귀분석 결과

모형 요약

R	R 제곱	수정된 R 제곱	추정값의 표준오차
0.908	0.825	0.808	108.370

분산분석

	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
회귀모형	4,041,492.57	7	577356.08	49.162	0.000
잔차	857,310.90	73	11743.99		
합계	4,898,803.46				

계수(a)

구분	비표준화		표준화 계수 베타	t	유의확률
	B	표준오차오류			
상수	926.64	40.833		22.693	0.000
교실기밀성	-178.19	14.747	-0.592	-12.083	0.000
향	149.29	14.747	0.496	10.123	0.000
외벽단열	-81.50	14.747	-0.271	-5.527	0.000
교실유리투과	-75.04	14.747	-0.249	-5.089	0.000
교실창호단열	-58.65	14.747	-0.195	-3.977	0.000
교실X축길이	55.19	14.747	0.183	3.742	0.000
교실Y축길이	45.23	14.747	0.150	3.067	0.003

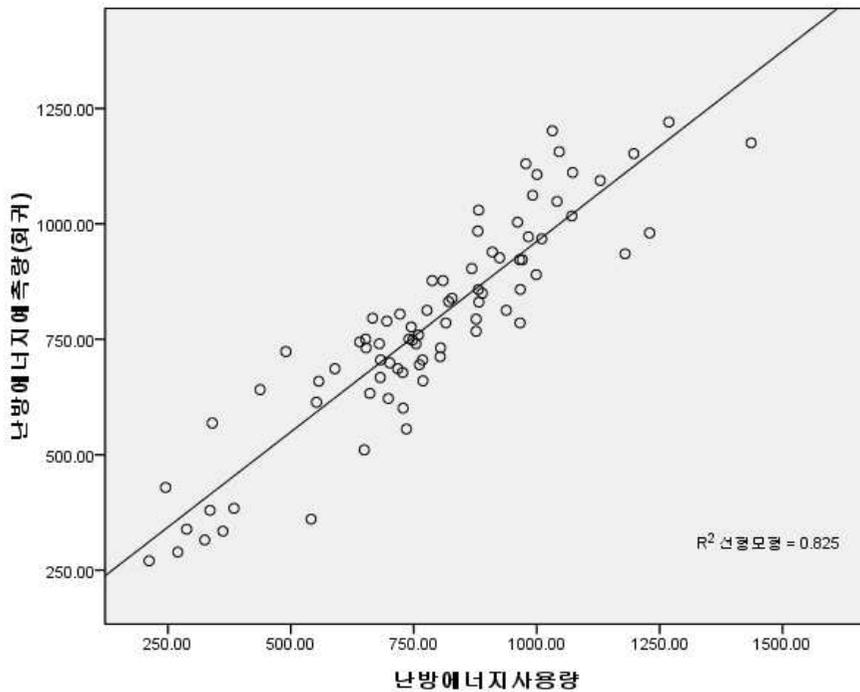
a. 종속변수 : 난방에너지사용량

다중회귀분석 결과 종속변수의 전체 설명력 R^2 (결정계수)이 0.825로 설계요인들의 종속변수에 대한 설명력이 82.5%의 타당성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 위의 회귀분석 내용을 다중회귀방정식으로 구성하면 다음 <식 4.5>와 같다.

$$Y = 926.64 - 178.19X_1 + 149.29X_2 - 81.50X_3 - 75.04X_4 - 58.65X_5 + 55.19X_6 + 45.23X_7 \quad \langle \text{식 4.5} \rangle$$

- 여기서,
- Y : 난방 에너지 예측량
 - X_1 : 교실 기밀성능
 - X_2 : 건물의 향
 - X_3 : 외벽 단열성능
 - X_4 : 교실측 유리 투과율
 - X_5 : 교실 창호 단열성능
 - X_6 : 교실의 X축 길이
 - X_7 : 교실의 Y축 길이

이 회귀식을 이용하여 학교 건물의 난방 에너지 사용량을 주요 설계 요소의 적용 정도를 통해 예측할 수 있으며, 이러한 예측치와 실제 시뮬레이션 결과의 비교식은 다음 (그림 4.4)와 같다.



(그림 4.4) 회귀분석을 통한 난방에너지의 Simulation data와 예측치의 비교

(2) 냉방에너지 사용량 회귀분석 결과

20가지 영향 요소들을 독립변수로, 냉방에너지 사용량을 종속변수로 놓고 회귀분석을 실시하였으며, 결과는 다음 <표 4.11> 과 같다.

<표 4.11> 냉방에너지 사용량에 대한 다중회귀분석 결과

모형 요약

R	R 제곱	수정된 R 제곱	추정값의 표준오차
0.890	0.792	0.778	57.992

분산분석

	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
회귀모형	961,852.54	5	192,370.51	57.201	0.000
잔차	252,231.68	75	3,363.09		
합계	1,214,084.22	80			

계수(a)

구분	비표준화		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차오류	베타		
상수	160.21	18.786		8.528	0.000
교실유리투과	99.49	7.892	0.664	12.607	0.000
차양및광선반	-54.65	7.892	-0.364	-6.925	0.000
향	49.00	7.892	0.327	6.209	0.000
교실창면적비	42.61	7.892	0.284	5.399	0.000
교실기밀성능	26.64	7.892	0.178	3.376	0.001

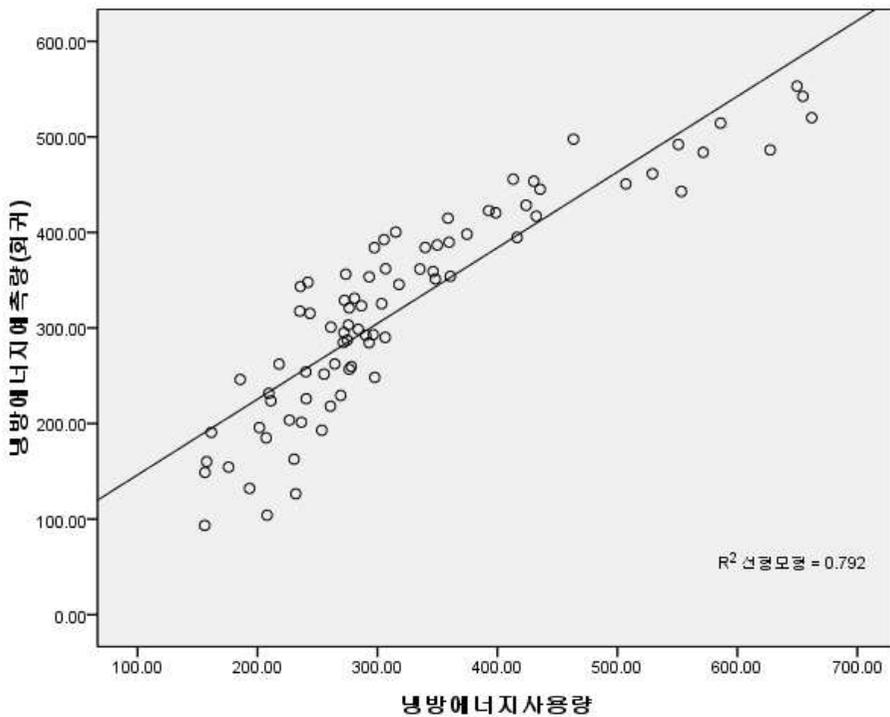
a. 종속변수 : 냉방에너지사용량

다중회귀분석 결과 종속변수의 전체 설명력 R^2 (결정계수)이 0.792로 설계요인들의 종속변수에 대한 설명력이 79.2%의 타당성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 위의 회귀분석 내용을 다중회귀방정식으로 구성하면 다음 <식 4.6> 과 같다.

$$Y = 160.21 + 99.49X_1 - 54.65X_2 + 49.00X_3 + 42.61X_4 + 26.64X_5 \quad \text{<식 4.6>}$$

여기서, Y : 냉방 에너지 예측량
 X_1 : 교실층 유리 투과율
 X_2 : 차양 및 광선반
 X_3 : 건물의 향
 X_4 : 교실 창면적비
 X_5 : 교실 기밀성능

이 회귀식을 이용하여 학교 건물의 냉방 에너지 사용량을 주요 설계 요소의 적용 정도를 통해 예측할 수 있으며, 이러한 예측치와 실제 시뮬레이션 결과의 비교식은 다음 (그림 4.5)와 같다.



(그림 4.5) 회귀분석을 통한 냉방에너지의 Simulation data와 예측치의 비교

(3) 총 에너지 사용량에 대한 다중회귀분석 결과

20가지 영향 요소들을 독립변수로, 난방에너지 사용량을 종속변수로 놓고 회귀분석을 실시하였으며, 결과는 다음 <표 4.12> 과 같다.

<표 4.12> 총에너지 사용량에 대한 다중회귀분석 결과

모형 요약

R	R 제곱	수정된 R 제곱	추정값의 표준오차
0.857	0.734	0.716	163.513

분산분석

	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
회귀모형	5,527,272.22	5	1,105,454.44	41.346	0.000
잔차	2,005,248.92	75	26,736.65		
합계	7,532,521.14	80			

계수(a)

구분	비표준화		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차오류	베타		
상수	1465.82	52.969		27.673	0.000
향	219.42	22.251	0.587	9.861	0.000
교실기밀성	-172.89	22.251	-0.463	-7.770	0.000
외벽단열	-102.42	22.251	-0.274	-4.603	0.000
교실X축길이	90.40	22.251	0.242	4.063	0.000
교실Y축길이	75.22	22.251	0.201	3.380	0.001

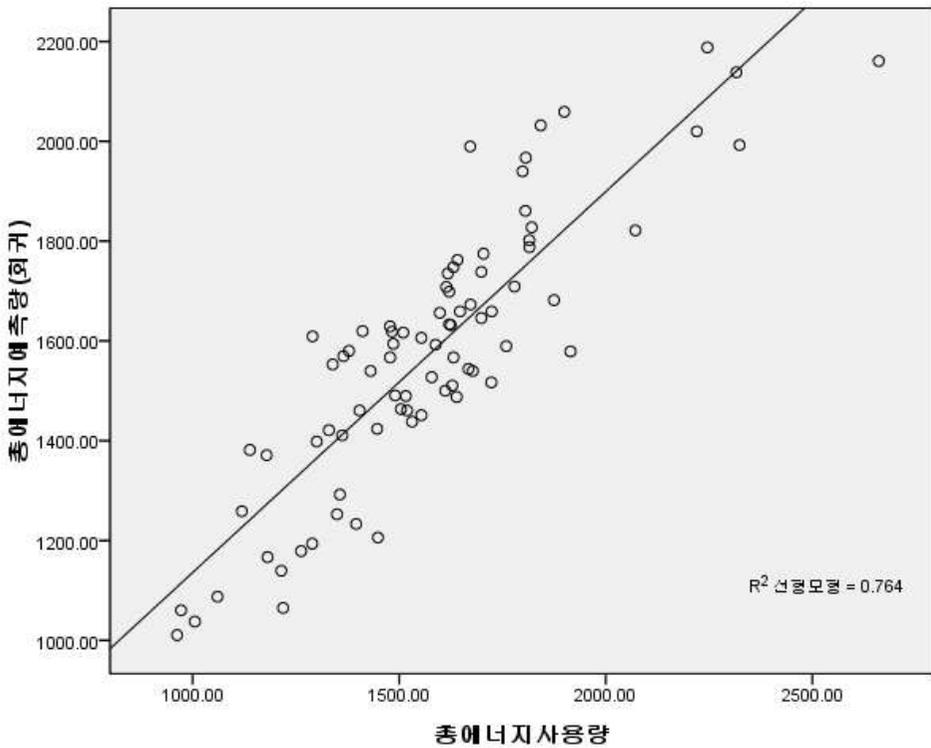
a. 종속변수 : 총에너지사용량

다중회귀분석 결과 종속변수의 전체 설명력 R^2 (결정계수)이 0.734로 설계요인들의 종속변수에 대한 설명력이 73.4%의 타당성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 위의 회귀분석 내용을 다중회귀방정식으로 구성하면 다음 <식 4.7> 과 같다.

$$Y = 1465.82 + 219.42X_1 - 172.89X_2 - 102.42X_3 + 90.40X_4 + 75.22X_5 \quad \langle \text{식 4.7} \rangle$$

여기서, Y : 총 에너지 예측량
 X_1 : 건물의 향
 X_2 : 교실 기밀성능
 X_3 : 외벽 단열성능
 X_4 : 교실의 X축 길이
 X_5 : 교실의 Y축 길이

이 회귀식을 이용하여 학교 건물의 총 에너지 사용량을 주요 설계 요소의 적용 정도를 통해 예측할 수 있으며, 이러한 예측치와 실제 시뮬레이션 결과의 비교식은 다음 (그림 4.6)와 같다.



(그림 4.6) 회귀분석을 통한 총에너지의 Simulation data와 예측치의 비교

4.4 소결

본 장에서는 3장에서 도출된 학교 건물의 Passive Design 요소를 토대로 실험계획법에 적용하여 81회 시뮬레이션을 실시하였고, 분산 분석을 통해 건물 에너지 성능에 미치는 각 설계요소의 기여율 및 적용 수준별 영향력을 평가하였다. 또한 다중회귀분석을 통해 건물의 설계 요소와 에너지 사용량과의 관계를 분석하여 설계 요소의 변화에 따른 에너지 성능 예측식, 즉 회귀식을 산출하였다.

분산분석 결과 난방에너지 사용량에 교실의 기밀성능(34.7%), 건물의 향(24.7%)이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났고, 냉방에너지 사용량은 교실측 유리의 투과성능(44.6%), 차양 및 광선반의 설치여부(14.2%) 순으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 건물 전체의 에너지 사용량에 대한 기여율을 분석해 보았을 때, 건물의 향(34.1%) 및 교실의 기밀성능(20.8%) 순으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 건물의 에너지 사용량에 영향을 미치는 설계요소는 다음 <표 4.13>과 같이 정리할 수 있다.

<표 4.13> 학교건물 에너지 사용량에 영향을 미치는 설계요소

에너지 분류	설계 요소
난방에너지사용량	교실기밀성능(34.7%), 건물의 향(24.7%), 외벽단열성능(7.2%), 교실측 유리 투과율(5.7%), 교실창호단열(3.4%), 교실X축길이(2.9%), 교실Y축길이(2.0%)
냉방에너지사용량	교실측 유리 투과율(44.6%), 차양 및 광선반 설치 유무(14.2%), 건물의 향(10.2%), 교실창면적비(7.6%), 교실기밀성능(2.6%)
총에너지사용량	건물의 향(34.1%), 교실기밀성능(20.8%), 외벽단열성능(7.4%), 교실X축길이(5.6%), 교실Y축길이(3.7%),

이러한 설계 요소들은 적용 수준에 따라 건물의 에너지 사용량에 비례 혹은 반비례의 방향으로 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 선형회귀분석을 통해 에너지 사용량 예측 방정식을 도출하였다. 그 결과 시뮬레이션 대비 난방 에너지는 82.5%, 냉방에너지는 79.2%, 총에너지는 73.4%의 신뢰도를 갖는 회귀식을 도출할 수 있었다.

제 5 장 Passive Design 학교의 설계 요소 선정 및 성능기준 제안

5.1 Passive Design 학교의 설계 요소 선정

학교 건물의 에너지절감을 위한 Passive Design 설계지침의 제안을 위해서는 건물의 에너지 사용량에 대한 평가가 우선시 되어야 하며, 그러한 평가 기준으로 건물의 에너지 절약 설계 요소 분석 및 에너지 사용량 해석을 위한 회귀식을 도출하였다. 그 결과 교실의 X축 및 Y축 길이, 외벽 단열성능, 교실 창호 단열성능, 교실측 유리 투과율, 교실 기밀성능, 차양 및 광선반 설치 유무, 건물의 향이 학교 건물의 주요 설계 변수로 선정되었다.

이러한 설계 변수 중 총에너지사용량에 영향을 미치는 교실 X축 및 Y축 길이, 외벽 단열성능, 교실 기밀성능, 건물의 향은 총에너지에 영향을 가장 적게 미치는 수준을 선정하고, 그 외의 변수들은 난방 및 냉방에너지의 기여율 및 영향력을 평가하여 적용해야 한다.

이중 교실측 유리의 투과율 및 기밀성능은 냉난방에너지사용량에 상이한 영향을 미치는 요소로써 상호 영향력의 비교를 통해 선정하여야 한다.

이러한 기준에 따라 학교 건물의 Passive Design 요소 적용 수준을 설정하여 다음 <표 5.1> 과 같이 정리하였다.

<표 5.1> 학교 건물의 Passive Design 요소의 적용 수준

설계 요소	적용 수준	설계 요소	적용 수준
건물의 향	0수준(남향)	교실 X축 길이	0수준(8.1m)
교실 기밀성능	2수준(0.3ACH)	교실 Y축 길이	0수준(7.5m)
외벽 단열성능	2수준(60%향상)	차양 및 광선반	2수준(차양설치)
교실 창호 단열	2수준(60%향상)	교실 창면적비	0수준(30%)
교실측 유리 투과율	0수준(0.35)		

이러한 설계 요인의 수준 선정에 대한 상세한 설명은 다음과 같다.

(1) 건물의 향

국내에서 건물의 향은 일반적으로 남향을 선정하는 것이 일반적이거나, 아침부터 정오 전후까지 주로 사용하는 초등학교의 경우 남동향을 선호하는 경향도 있다. 또한 건물 부지의 영향에 따라 운동장 및 건물의 배치를 어떤 식으로 선정하느냐가 중요한 요소로 작용하게 될 수도 있다. 하지만 본 연구의 경우 고학년까지를 대상으로 모델을 설정하여 건물의 에너지 사용량에 대한 영향력이 남향이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 그 기여율 또한 34.1%로 되도록 남향을 우선시 하는 것이 좋은 것으로 판단되었다. 따라서 최종 모델은 남향으로 선정하였다.

(2) 교실 기밀성능 향상

본 연구에서는 건물의 기밀성능에 대해 공조공간과 비공조 공간으로 구분하여 설계 요소의 수준을 변경하여 비교하였다. 이에 공조공간의 기밀성능 변화가 건물의 에너지 사용량에 상당히 유의미한 변화를 주는 것으로 나타났으며, 비공조 공간은 그에 비해 직접적인 영향은 미치지 않는 것으로 나타났다. 그에 따라 가능하다면 학교 교실을 최대한 기밀하게 설계하는 것이 건물 에너지 절감에 매우 중요한 요소로 작용하는 것을 알 수 있었다. 이러한 방법으로는 기밀테이프의 시공, 기밀성 창호의 사용 등이 있으며, 건물의 시공 후 구조체의 처짐 등으로 인한 이격현상을 최소화 할 수 있는 설계가 요구된다.

(3) 외벽 단열성능향상

건물 난방에너지 절감을 위해 가장 우선시되어야 하는 것 중 하나로 건물의 단열 성능을 손꼽을 수 있다. 이는 일반적으로 외기에 가장 많이 접하는 벽체와 지붕의 단열성능에 밀접한 관계를 가지며, 2009년 Passive House의 기준으로 벽체 및 지붕의 열관류율을 0.15이하로 시공해야 한다는 기준이 있었다. 현재 그 기준 및 시공 가능 성능이 보다 향상되고 있는 실정이며, 이에 따른 고성능 외벽 단열재를 적용하도록 선정하였다.

(4) 교실 창호 단열성능

학교 건물은 다른 용도의 건물에 비해 창호의 역할, 즉 자연채광으로 인한 쾌적한 학습환경의 조성이 매우 중요한 요소이기 때문에, 외벽의 단열성능과 마찬가지로 창호의 단열성능이 함께 고려되어야 한다. 창호는 벽체에 비해

단열성능이 떨어지는 것이 일반적이지만 현재에 이르러서는 3중, 4중 복합창호의 개발로 인해 기준에 적합한 단열 성능을 제공할 수 있고, 그렇기에 Passive Design 중 중요한 요소로 제안하였다.

(5) 유리 투과율

유리의 투과율은 자연채광 및 태양열 난방에 영향을 주는 요소이지만, 그에 비해 여름철 냉방에너지의 향상을 일으킬 수 있는 요소로 작용할 수 있다. 따라서 조명 및 난방에너지 소요량과 냉방에너지 소요량을 비교분석한 결과 냉방에너지의 절감을 보다 기대할 수 있을 것으로 판단하여 유리의 투과율을 최소 수준으로 적용하였다.

(6) 교실의 크기

교실의 크기는 학교 건물에서 주로 사용되는 공조공간으로써 학생들의 학습 활동 및 교과과정의 적용에 따라 다양하게 변화할 수 있다. 과거에는 9.0m x 7.5m의 크기로 일반화하여 사용하였지만, 현대에 들어 학생의 수가 감소하고 교과과정의 활용이 다양해짐에 따라 학교의 특성에 따라 다르게 적용되고 있다. 본 연구에서는 건물의 에너지 사용량을 중점으로 보고, 현재 학생수에 적합한 모델로써 가로 8.1m, 세로 7.5m의 교실공간이 가장 에너지 절약적인 교실공간이라고 제안하였다.

(7) 차양 및 광선반의 설치 유무

학교 건물에서는 냉방에너지 및 조명에너지의 절감을 위해 차양 및 광선반의 설치를 고려할 수 있다. 하지만 본 연구의 결과에 따라 광선반은 차양장치에 비해 냉방에너지 절감효과가 적고, 조명에너지의 절감에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났기 때문에, 차양장치를 적용하도록 선정하였다.

(8) 교실 창면적비

일반적으로 창호란 벽체에 비해 열성능이 낮은 특성을 가지고 있다. 하지만 자연채광의 도입을 통해 난방에너지 및 조명에너지를 절감할 수 있는 특성을 가진다. 하지만 본 연구의 결과에 따라 자연채광의 효과에 비해 단열성능의 증대를 위한 창면적비의 감소가 보다 필요한 것으로 나타났으며, 그에 따라 학교 건물에서 적용할 수 있는 최소수준을 제안모델로써 선정하였다.

5.2 Passive Design 학교의 성능기준 제안

학교건물의 에너지절감을 위해 Passive Design 요소들을 분석하여 적용 수준을 도출한 결과 9가지 설계 요소가 건축물의 에너지 사용량에 영향을 미칠 것으로 분석이 되었고, 도출된 Passive Design 요소들을 3장의 대상건물에 시뮬레이션을 통해 적용하여 표준 대상 학교 건물의 에너지 사용량과 비교하여 예상 에너지 절약 효과를 분석하였고, 에너지 절약 제안 학교의 결과와 도출한 회귀식과 비교분석하여 다음 <표 5.2>, <표 5.3>, <표 5.4>에 걸쳐 기재하였다.

<표 5.2> 대상 학교 건물의 에너지 사용량 분포도

	난방	냉방	조명	기기	동력	총량
kWh/m ² yr	28.8	9.8	9.1	8.9	4.5	61.1
%	47.1	16.1	14.9	14.6	7.3	-

<표 5.3> 제안 학교 건물의 에너지 사용량 분포도

	난방	냉방	조명	기기	동력	총량
kWh/m ² yr	13.5	8.0	9.0	8.8	3.2	40.71
%	33.1	19.6	22.1	21.6	78.6	-

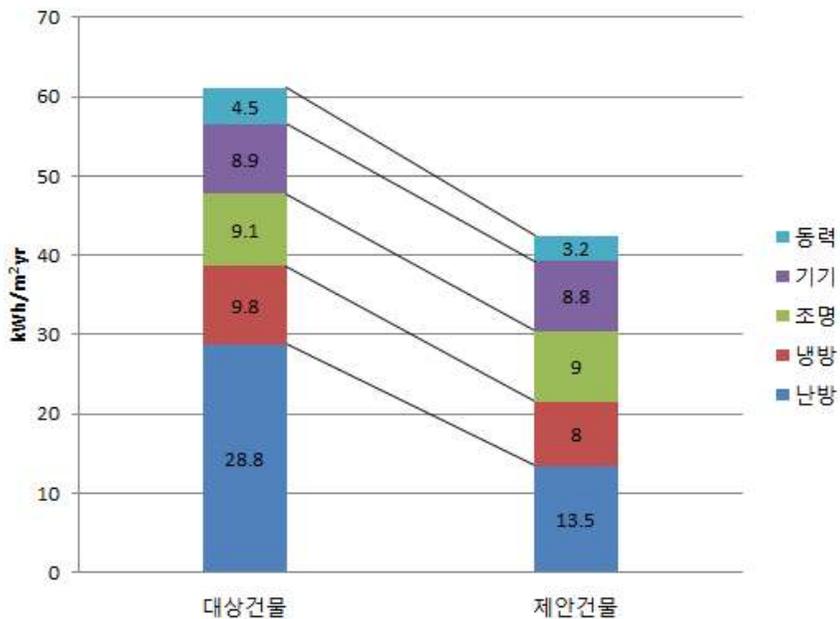
<표 5.4> 회귀식을 통한 건물 에너지 사용량 도출

	난방	냉방	조명	기기	동력	총량
kWh/m ² yr	13.1	6.3	-	-	-	41.43

<표 5.2>와 <표 5.3>을 비교한 결과 최적 Passive Design 요소를 적용한 에너지 절감 학교 건물의 경우 기존 대상건물에 비해 33.4% 가량의 에너지사용량을 저감할 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 이중 난방에너지의 경우 53.2%, 냉방의 경우 18.4%, 조명 및 기기에너지의 경우 교실 면적이 적어짐에 따라 총 단위면적 대비 극소량 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

또한 <표 5.3>과 <표 5.4>를 비교분석 한 결과, 회귀식에 적용하여 분석한 결과 난방 및 총 에너지사용량의 경우 시뮬레이션 결과 값과 오차율 5% 이내로 유사한 결과를 보이는 것을 확인할 수 있었다.

도출한 회귀식의 경우 결과값의 신뢰도를 위하여 각 설계요소의 변화에 따른 에너지 사용량의 예상 정확도 즉 R²값이 0.7이상인 종속변수만을 선정하여 도출하였기 때문에, 전체 에너지 사용량에 가지는 비중이 큰 난방, 냉방, 총 에너지 사용량을 바탕으로 회귀식을 도출하였다.



(그림 5.1) Passive Design 요소에 의한 에너지 사용량 변화

5.3 소결

학교 건물의 에너지 저감을 위해 Passive Design 요소 중, 에너지 저감에 유효한 영향을 미친다고 판단되는 주요 설계 요소를 도출하여 건물에서의 적용 정도를 선정하였다. 또한 Passive Design 요소만으로써 에너지 사용량 저감에 영향을 미치는 정도를 파악하여 주요 에너지 저감 요소의 영향력을 평가하였다.

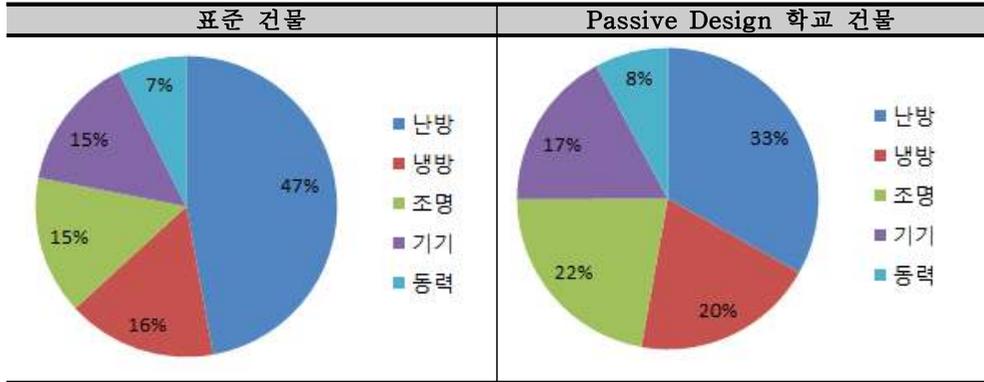
그 결과 건물의 에너지 저감을 위한 주요 설계요소로써 <표 5.5>와 같은 요소들을 도출할 수 있었고, 학교 건물의 표준 모델 구축을 위해 선정했던 대상건물에 적용한 결과 (그림 5.1)과 같은 에너지 사용량 저감 결과를 얻을 수 있었다.

<표 5.5> 학교 건물의 주요 설계요소 적용수준

설계 요소	적용 수준	설계 요소	적용 수준
건물의 향	남향	교실 X축 길이	8.1m
교실 기밀성능	0.3ACH	교실 Y축 길이	7.5m
외벽 단열성능	0.15W/m ² K	차양 및 광선반	차양설치
교실 창호 단열	1.0W/m ² K	교실 창면적비	30%
교실측 유리 투과율 (SHGC, VLT)	0.35		

건물의 에너지 분포는 다음 <표 5.6>과 같이 변화하였으며, 난방에너지의 경우 전체 건물 에너지사용량의 47%에서 33%로 감소하였고, 냉방에너지 및 조명에너지의 비중이 16%에서 20%, 15%에서 22%로 향상하였다. 따라서 향후 Passive Design 외의 에너지 절감을 위해서는 난방시스템 외에 냉방 및 조명 시스템의 효율 및 에너지원의 공급에 대한 고려를 보다 비중 있게 다뤄야 할 것으로 보인다.

<표 5.6> Passive Design 요소의 변화에 따른 건물 에너지 분포



또한 이러한 결과를 회귀분석에서 도출된 건물 에너지 성능 예측식의 산출값과 비교한 결과 난방에너지사용량은 97.0%, 총에너지사용량은 98.3%의 정확도를 보여 5% 이내의 오차로 식의 신뢰도가 있는 것으로 분석되었으며, 냉방에너지사용량을 위한 예측식의 경우 78.8%의 정확도를 보여 다소 신뢰도가 떨어지는 것으로 분석되었다.

제 6 장 결론

본 연구는 Passive Design을 적용한 학교 건물의 에너지 성능평가를 위하여 건물의 주요 Passive Design 선정 및 적용 정도를 제안하고, Passive Design 학교 건물의 성능 기준을 제시함으로써 향후 학교 건물의 설계 자료로 활용함에 목적을 두고 있다. 이를 위해 학교 건물의 에너지절약 설계 사례를 분석하여 일반적으로 적용되는 Passive Design 요소를 도출하였고, 학교건물의 일반 설계안을 분석하여 변화 가능한 Design 한계 및 고려 요소를 도출하였다. 또한 설계 요소의 성능 변화에 따른 학교건물의 에너지 소요량을 동적 에너지 해석 프로그램인 EnergyPlus를 이용하여 파악하였고, 시뮬레이션 결과 값을 바탕으로 통계적 해석방법인 분산분석을 이용하여 건물 에너지 절약에 유의한 영향을 미치는 설계 요소들의 기여율 및 영향력을 분석하였다.

이때 도출된 유의 인자들을 바탕으로 회귀분석을 실시하여 학교 건물의 에너지 사용량을 예측할 수 있는 회귀방정식을 산출하였으며, 이를 바탕으로 최종적인 Passive Design 설계의 기본 설계안 및 적용방안을 제안하였다.

본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 사례분석 및 학교 건물 공간특성을 분석하여 에너지 영향인자를 파악하였다. 본 연구는 학교 건물의 대표적 공간인 교실 공간을 중심으로 대상 건물을 단순화하여 교실동의 에너지 사용량 저감에 목적을 두고 진행하였으며, 교실의 규모 변화에 따른 건물의 총 에너지 사용량을 바탕으로 분석을 실시하여 단위 공간인 교실당 에너지 사용량을 바탕으로 분석하였다. Design 요소 중 에너지 사용량에 유의미한 영향을 주는 인자를 도출하였고, 여기서 도출된 주요 인자는 교실 기밀성능, 건물의 향, 외벽 단열성능, 교실측 유리 투과율, 교실 창호 단열성능, 교실의 크기, 창면적비, 차양 및 광선반의 설치 유무 등이 있었다. 도출된 Design 요소들은 건물의 냉난방 공간에 직접적인 영향을 미치는 요인들을 중심으로 도출되었고, 학교의 에너지 절감을 위해서는 교실공간의 설계가 밀접한 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

(2) 건물의 에너지 사용량은 난방, 냉방 총에너지 사용량을 중심으로 분석하였으며, 난방 에너지사용량에 대한 분산분석결과, 설계요소의 수준 변화에 따라 난방 에너지사용량에 미치는 영향을 나타내는 기여율은 교실 기밀성능이 34.7%로 가장 크게 나타났으며, 건물의 향(24.7%), 외벽단열성능(7.2%)이 비교적 크게 나타났다. 또한 창호의 투과율 및 창면적비, 교실의 크기가 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 난방 에너지사용량의 저감을 위해서는 건물의 기밀성능을 강화하는 것이 무엇보다 중요하며, 건물의 향을 남향으로 설계함으로써 태양열을 교실 내에 효과적으로 끌어들이는 것이 무엇보다 중요하다는 것을 보여주고 있다.

또한 학교의 난방 에너지 사용량은 다음 에너지 사용량 예측식에 의해 도출할 수 있다.

$$Y = 926.64 - 178.19X_1 + 149.29X_2 - 81.50X_3 - 75.04X_4 - 58.65X_5 + 55.19X_6 + 45.23X_7$$

여기서, Y : 난방 에너지 예측량
 X_1 : 교실 기밀성능
 X_2 : 건물의 향
 X_3 : 외벽 단열성능
 X_4 : 교실측 유리 투과율
 X_5 : 교실 창호 단열성능
 X_6 : 교실의 X축 길이
 X_7 : 교실의 Y축 길이

(3) 냉방 에너지사용량에 대한 분산분석 결과, 설계요소의 수준 변화에 따라 냉방 에너지사용량에 미치는 영향을 나타내는 기여율은 교실측 유리 투과율이 44.6%로 가장 크게 나타났으며, 차양 및 광선반의 설치유무(14.2%), 건물의 향(10.2%)로 비교적 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 학교 건물

에서의 냉방에너지 사용량은 건물의 외피성능에 비해 태양 일사의 유입 정도에 큰 영향을 받는 것을 의미하며, 냉방기간 태양일사의 효과적인 차단을 통해 건물 냉방에너지 저감 전략을 수립해야 한다는 것을 의미한다.

또한 학교의 냉방 에너지 사용량은 다음 예측식을 통해 도출할 수 있다.

$$Y = 160.21 + 99.49X_1 - 54.65X_2 + 49.00X_3 + 42.61X_4 + 26.64X_5$$

여기서, Y : 냉방 에너지 예측량
 X_1 : 교실층 유리 투과율
 X_2 : 차양 및 광선반
 X_3 : 건물의 향
 X_4 : 교실 창면적비
 X_5 : 교실 기밀성능

위의 난방 및 냉방에너지 저감 요소의 분석을 통해 학교 건물의 에너지 절감을 위해서는 태양에너지의 효과적 적용이 중요한 요소로 공통적으로 꼽히는 것을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 학교 건물의 적절한 차양설계 및 향의 선정이 공통적 설계요소로 뽑히는 것을 확인할 수 있었다. 또한 난방 에너지 사용량의 중요인자로 차양 및 광선반의 설치 유무가 선정되지 않은 것으로 보아 차양 및 광선반의 길이가 적절하게 적용되었음을 확인할 수 있었다.

(4) 건물 총 에너지 사용량의 분산분석 결과, 건물의 향이 34.1%로 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났고, 교실 기밀성능(20.8%)이 그 다음 중요요소로 선정되었다. 총 에너지 사용량의 경우 난방 에너지 사용량의 분산분석 결과와 유사한 설계 요소를 중요 설계요소로 분석되었고, 이는 난방에너지의 비중이 가장 크기 때문인 것으로 보인다.

또한 학교의 총 에너지 사용량은 다음 예측식을 통해 도출할 수 있다.

$$Y = 1465.82 + 219.42X_1 - 172.89X_2 - 102.42X_3 + 90.40X_4 + 75.22X_5$$

여기서, Y : 총 에너지 예측량
 X_1 : 건물의 향
 X_2 : 교실 기밀성능
 X_3 : 외벽 단열성능
 X_4 : 교실의 X축 길이
 X_5 : 교실의 Y축 길이

에너지 사용량의 예측식의 정확성을 검증하기 위해 시뮬레이션 결과치와 예측식의 유사성을 비교 분석한 결과, 종속변수의 전체 설명력 R^2 (결정계수) 이 난방의 경우 0.825, 냉방의 경우 0.792, 총에너지사용량의 경우 0.764로 75%이상의 설명력을 가져 도출된 예측방정식을 통해 건물의 에너지 사용량 검증이 타당함을 확인할 수 있었다.

(5) 분산분석 및 회귀분석의 결과를 바탕으로 주요 설계 요소를 도출하고 적용 수준을 선정하여 시뮬레이션 분석 및 회귀식 적용을 통해 도출된 설계 요소의 타당성 및 회귀식의 설명력을 확인하였다. 도출된 설계 요소들을 바탕으로 실제 건물의 설계에 도입해 보았을 때, 건물의 에너지 사용량은 33.4% 절감되는 것을 확인할 수 있었고, 이 중 난방에너지의 사용량이 53.2%로 가장 크게 작용하였다. 냉방에너지 사용량의 경우 18.4%의 에너지 저감 효과를 보였으며, 냉방 및 난방의 에너지 저감 효과의 차이로 인해 향후 학교 건물에서의 냉방에너지 및 조명에너지의 저감이 보다 비중 있게 다뤄져야 할 것으로 보인다.

본 연구에서는 학교 건물의 특성 분석 및 표준 모듈의 구현을 통해 학교 건물의 표준 에너지 사용량을 분석하고, Passive Design 기법들을 적용하여 에너지 절약적인 학교 건물을 제안하고자 하였다.

이 과정에서 분산분석 및 회귀분석이 도입되었고, 각 분석기법들을 통한 Passive Design 설계 요소들의 적정 수준을 설정하였으며, 설계요소별 에너지 절감 기여율을 분석함으로써 설계에 있어 보다 비중 있게 고려해야 하는 설계요소들을 분류하고, 수치적으로 계산해보았다.

이를 통해 향후 학교 건물의 설계에 있어서, 혹은 다른 용도 건물의 설계에 있어서 주요 설계 요소의 고려 및 Passive Design Process의 방안을 제안해봄으로써 보다 현실적이고 수치적인 에너지 절약 건물의 실현이 이뤄질 수 있을 것이라고 보인다.

하지만 본 연구는 학교 건물 중 교과교실 위주의 건물을 대상으로 진행하였고, 학교 건물의 운영 스케줄을 학년별이 아닌 평균적인 스케줄을 작성하여 진행하였다. 또한 에너지 절약 요소 중 Passive Design 요소에 한정하였고, 직교 배열표라는 실험 계획법에 적용함에 따라 본 연구에서 포함하지 않은 요소가 선정될 경우 에너지 사용량의 해석이 오차를 보일 수 있다는 문제점이 있다.

이에 따라 본 연구를 바탕으로 실시되어야 보장되어야 하는 추후 연구는 다음과 같다.

(1) 교과 교실 대상이 아닌 학교 건물 전체를 대상으로, 학년별 스케줄을 적용하여 보다 상세한 에너지 사용량 분석을 실시하고, Passive Design외에 에너지 절감적인 설비시스템 및 신재생시스템을 적용하여 보다 적극적인 에너지절약 설계안의 제안이 요구된다.

(2) 본 연구에 의해 도출된 예측방정식은 서울지역 기상데이터를 이용하여 도출되었기 때문에 서울 지역의 학교 건물에서만 활용가능하다. 따라서 추후에는 지역별 분석을 통해, 혹은 기후별 분석을 통해 다양한 환경에서 분석 가능한 예측식의 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

<국내문헌>

1. 강만호, 초등학교 입지특성에 따른 교지 이용에 관한 조사 연구, 한국교육시설학회 학술저널, 2004
2. 건설교통부, 건설부문 온실가스 배출 분석 연구, 한국건설기술연구원, 2006
3. 건축환경과학, 태림문화사, 2006
4. 고상균외 6명, 건축설계론, 광문각, 2003
5. 교육인적자원부, 학교시설기준 개정에 관한 연구, 2003
6. 국토해양부령, '건축물의 설비기준 등에 관한 규칙', 2012
7. 박성현, 다구찌 방법을 중심으로 한 응용실험계획법, 1994
8. 박성현, 최병철, SPSS와 SAS분석을 통한 실험계획법의 이해, 민영사, 2005
9. 박효순, 학교건물의 에너지절약형 냉난방시설 모형 개발에 관한 연구, 교육부, 2000
10. 석호태, 사무소 건물의 에너지 절약을 위한 부하 예측 방정식 및 설계 지침 개발에 관한 연구, 서울대학교 박사학위 논문, 1995
11. 손우진, 공동주택 설계초기단계에서의 에너지 성능평가를 위한 부하 예측식 개발에 관한 연구
12. 심영주외, 최근 일본 초등학교의 건축개념에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 2006
13. 안영배외, 건축계획론, 기문당, 2002
14. 이광수, 사무실 및 학교 교실의 조명용 소비전력량 절감방안 연구, 인천대학교 대학원, 석사논문, 2008
15. 이종석 외 2명, 건축계획, 한솔아카데미, 2009
16. 이혜린, 제로 에미션 초등학교 건물 설계 사례 연구, 중앙대학교 석사학위 논문, 2011

17. 지식경제부, 기후변화대응을 위한 건물 에너지 효율등급 표시제도 개발 연구, 2009
18. 하소형, 주거단지 내 건축도시 중심의 초등학교계획에 관한 연구, 홍익대학교 석사학위논문, 2009
19. 한국교육개발원, 제로에너지 생태학교 모형 개발 연구, 한국교육개발원, 2009
20. 한동윤, 학교건물의 친환경성 향상을 위한 건축계획에 관한 연구, 한양대학교 석사학위 논문, 2009

<국외문헌>

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

<Web Site>

1. <http://www.newlondonarchitecture.org>
2. EPA(Environment Protection Agency), www.epa.gov
3. <http://buildingdata.energy.gov/content/ben-franklin-elementary-school-1>
4. <http://centres.exeter.ac.uk>
5. <http://www.educationdesignshowcase.com>
6. <http://www.kingsmead.cheshire.sch.uk>
7. <http://www.peterli.com/>
8. <http://www.scbarchitects.com/going-green>
9. <http://www.thewestboroughschool.co.uk>
10. 교육과학기술부 홈페이지, 교육통계서비스, <http://www.mest.go.kr>
11. 한글라스 홈페이지, <http://www.hanglas.co.kr>

국 문 초 록

실험계획법을 이용한 학교건물의 Passive Design 설계에 관한 연구

서 성 모

건축학과 건축환경계획 전공

중앙대학교 대학원

지구 온난화로 인한 문제가 인간에게 보다 심각하게 다가옴에 따라 지구 온난화에 직접적 영향을 미치는 온실가스의 저감이 무엇보다 중요한 지상 과제로 떠오르고 있다. 이에 각 산업분야에서의 온실가스 저감이 대표적 산업 목표로 자리잡고 있으며, 그중 건물의 운영과정에서 발생하는 온실가스 저감, 즉 에너지 사용량을 절감하는 것이 중요한 화두로 떠오르고 있다.

이러한 추세의 일환으로 건물의 재료 및 디자인, 설비, 신재생시스템 등을 적용하여 에너지 절약적인 건물을 만드는 연구가 활발히 진행되고 있고, 그중 하나로 Passive Design, 즉 기본적인 설계요소들을 적절하게 조합한 설계 기법을 대표적인 에너지 절약 방법으로 뽑을 수 있다.

이에 본 연구에서는 도시 형성 및 주거 단지 형성에 기본적으로 고려되는 건물인 초등학교 건물을 중심으로 Passive Design 요소들을 고려한 에너지 절약 설계안을 제안하였다. 제안 과정의 일환으로 실험계획법을 이용한 설계안의 조합을 간소화하였고, 분산분석 및 회귀분석을 통해 각 설계요소들의 에너지 절감량을 분석하였으며, 그 영향력을 평가하여 설계 요소를 중요도 별로 분류하고, 최종 설계안을 제안하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 초등학교 건물의 공간적, 운영적, 에너지적 특성을 파악하기 위해 기존 문헌들의 분석을 통해 초등학교 건물에 대한 일반적인 사항들을 분류하고 정리하였으며, 그에 따라 교실동을 중심으로 하는 일반적인 학교 건물의 표준 모델을 선정할 수 있었다.

(2) 기존 문헌조사를 통한 건물의 공간적 특성, 즉 Passive Design의 기초 자료를 수립하였고, 각 설계요소별 설계 가능 범위를 선정하였다. 이렇게 선정된 설계 요소들을 실험계획법에 적용하여 설계 요소들의 적용 단계 별 조합 횟수를 실험이 가능한 정도로 제한하여 연구를 진행하였고, 조합된 설계 요소들을 적용하여 에너지 사용량을 분석하였다.

(3) 도출된 에너지 사용량을 바탕으로 분산분석 및 회귀분석을 통해 최적 설계안을 도출하였으며, 도출된 설계 요소로는 건물의 향, 교실 기밀성능, 외벽 단열성능, 교실 창호 단열성능, 교실 유리 투과율, 교실의 면적, 차양의 설치, 교실 창면적비이다. 이러한 설계요소들은 요소에 따라 건물에 영향을 미치는 정도가 다르고, 영향을 미치는 에너지 분야가 다르기 때문에 이에 대한 세부적인 고려가 요구된다.

(4) 따라서 각 영향력을 평가하여 최종적인 설계안을 제안하였으며, 제안된 설계안과 회귀분석을 통해 도출된 회귀식의 결과를 비교한 결과, 적절한 Passive Design을 통해 기존 표준건물 대비 33.4%의 에너지절감을 기대할 수 있을 것으로 보인다.

본 연구에서는 학교건물의 에너지 절약 설계를 위해 기본적인 설계단계에서의 적정 설계를 통해 에너지 절약 설계안을 도출하고자 하였다. 하지만 학교 전체건물이 아닌 교실동 위주로 연구가 진행되었고, 함께 고려되지 못한 여타 설계요소들이 존재하기 때문에 이에 대한 추후 연구가 지속적으로 요구된다.

핵심어 : 학교, 실험계획법, 분산분석, 회귀분석, 에너지 절약 설계

ABSTRACT

A Study of Passive Design Process on School by Experimental Design

Seo, Sung-mo

Major in Architectural Environmental Design

Dept. of Architecture

The graduate school of Chung-Ang University

As problems caused by global warming become more serious to humans, the reduction of greenhouse gas emissions, which has a direct influence on global warming is emerging as one of the principal challenges. Accordingly, the reduction of greenhouse gas emissions in each industry sector becomes a representative business goal; above all, the reduction of greenhouse gas produced in the process of operating a building, or the reduction of energy consumption is emerging as a main issue. As part of such a trend, a lot of researches are being conducted to create energy-saving buildings by applying materials, design and equipment of a building and renewable systems, etc. Among them, we can select passive design which is a design method combining basic design elements properly, as a representative energy-saving method.

Therefore, based on elementary school buildings which are basically considered in forming a city and housing complex, this study suggested an energy-saving design plan considering passive design elements. As part of the proposal processes, we streamlined the combination of design

plans using the experimental design; analyzed energy reduction of each design element through the analysis of variance and regression; by evaluating the influence, classified the design elements based on their importance and suggested a final design plan.

The outcome of this study can be summarized as below.

(1) To grasp characteristics of elementary school buildings in terms of space, management and energy, this research classified and arranged general data about elementary school buildings by analyzing existing literature. According to the results, we could set a standard model of a general school building based on classrooms.

(2) Through the analysis of existing literature, we found out the spatial characteristics of buildings, or the basic data of passive design and set the scope of design by design elements. After applying the selected design elements to the experimental design, we carried out the research by limiting the number of combination of design elements by application phase to the level in which experiments can be conducted; and analyzed energy consumption by applying the combined design elements.

(3) Through the analysis of variance and regression based on the energy consumption found, we came up with an optimal design plan; the design elements found include building orientation, performance of classroom airtightness, thermal insulation performance of external wall, thermal insulation performance of classroom windows, transmittance of classroom glasses, classroom area, awning installation and window-to-wall ratio of classroom. Since each of these design elements has different influences on a building and the energy sectors which it affects are different, it is needed to consider the fact in detail.

(4) Accordingly, we evaluated each influence and proposed a final design plan. As a result of analyzing the regression equation results found out through the proposed design plan and the regression analysis, it is expected to save energy by 33.4% compared to existing standard buildings, through proper passive design.

For the purpose of energy-saving design of school buildings, this research intended to come up with an energy-saving design plan through appropriate design at a basic design phase. However, since the research was performed based on classrooms, not the entire school buildings and there were other design elements not considered, it is necessary to conduct additional studies on the fact afterward.

Keywords: School, Experimental Design, Analysis of Variance, Regression analysis, Energy Reduction Design