2011

빌딩리트로핏을 위한 에너지성능평가 및 활용방안

Energy Performance Evaluation and Application in Building Retrofits

김민경

서울시정개발연구원
Seoul Development Institute

빌딩리트로핏을 위한
에너지성능평가 및 활용방안

Energy Performance Evaluation and
Application in Building Retrofits

2011

서울시정개발연구원
SEOUL DEVELOPMENT INSTITUTE

▌연구진 ▐

연구책임	김 민 경	• 환경안전연구실 부연구위원
연 구 원	김 민 영	• 환경안전연구실 연구원
연 구 원	이 민 희	• 환경안전연구실 연구원

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

요약 및 정책건의

Ⅰ. 연구의 개요

1. 연구의 배경

○세계적인 이슈로 떠오른 온실가스 배출량 저감과 화석연료 사용 절감을 위해 세계 각국은 다양한 노력을 기울이고 있다. 그럼에도 불구하고 온실가스 배출량 감축과 에너지사용량 저감 효과는 계획만큼 크지 않다.

○효과적인 에너지 소비 저감을 위해, 건물에너지 소비량 저감은 매우 중요하다. “지역에너지 통계연보(Yearbook of regional energy statistics 2009)”에 따르면 서울시의 건물에너지 소비량은 2009년 기준 8,390천TOE로 전체 에너지소비량 중 약 56%를 차지하고 있다. 따라서 건축물 부문의 에너지소비량 감축이 전체 에너지소비량 절감을 위해 무엇보다 중요하다.

○서울시는 신축건물의 에너지소비량 절감을 위해 강력한 규제 정책을 시행하고 있다. 그러나 기존건물은 에너지절감 잠재성이 큰 부문임에도 불구하고, 준공 후의 에너지 사후관리 체계가 취약하다.

○또한 현재 기존건물의 리트로핏(Retrofit) 수행 시, 그 항목은 장기적인 에너지모니터링에 따른 소비특성 분석에 의해 결정되고 있지 않다. 또한 실제 건물운영 단계에서 운영스케줄이 불명확하기 때문에, 기존건물의 에너지성능 평가와 관리가 어렵다.

2. 연구의 목적

○이 연구는 “학교건물”을 대상으로 에너지성능기반의 리트로핏을 수행하는

에너지성능평가 방법을 제안한다.

○또한 이러한 성능평가 방법과 연계한 도시기반의 에너지성능 관리방안을 제시한다.

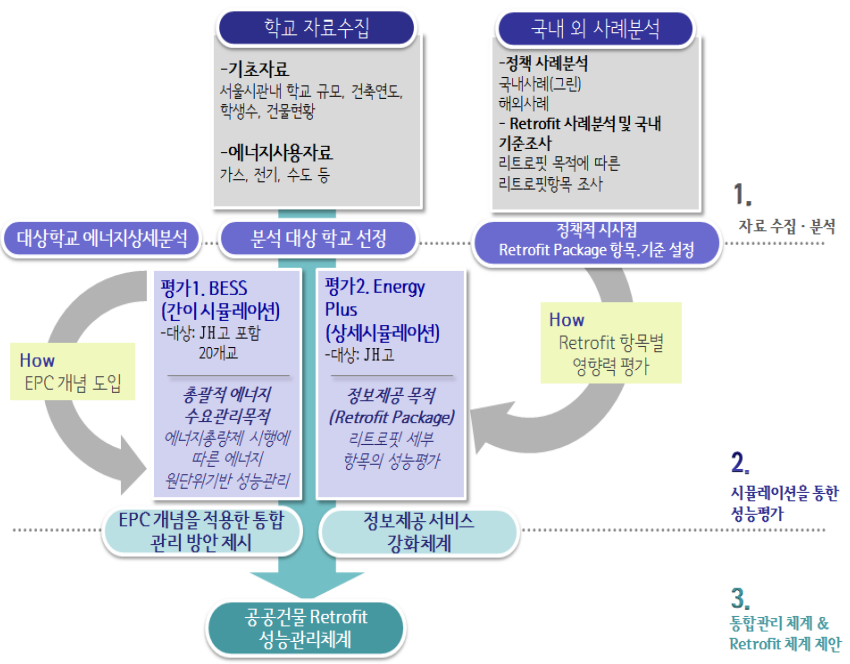
○이러한 방안이 지속적으로 운용될 수 있도록 에너지성능관리 및 활용을 위한 정책 추진체계를 모색한다.

3. 연구의 방법

○기존문헌 고찰 및 사례분석

○자료수집 및 에너지모니터링 분석

○시뮬레이션을 통한 성능평가



〈그림 1〉 연구 흐름도

Ⅱ. 국내외 정책 추진사례 분석

1. 국내외 정책 추진사례의 차이

○정책 추진체계를 제시하기 위한 기초자료로서, 국내외 정책 추진사례를 검토하였다. 검토 결과, 국내 정책은 시설물 설치 위주의 집행방법을 채용하고 있고, 예산상의 문제로 진행이 원활하지 않으며, 국외 정책과 비교하여 리트로핏 시행자 측면에서 정보 제공이 취약한 것으로 나타나 이에 대한 보완이 필요하다.

Ⅲ. 에너지성능평가 및 활용방안

1. 기존건물 에너지성능평가 방안

○에너지성능평가 방법은 서울시에서 개발한 에너지성능평가 툴인 BESS (Building Energy Simulation for Seoul)와 연계하였다. BESS의 정확성을 실제 에너지소비량 통계자료와 비교하여 제시하였다. BESS를 통해 산출된 학교 건물의 에너지성능평가 결과는 실측치와 적지 않은 오차를 보이고 있으므로, 이를 보정하는 단계가 필요하다. 이 연구에서는 20개 학교를 대상으로 에너지성능평가를 수행하였으나, 학교의 유형별 카테고리에 따라 다양한 케이스 스터디를 통해 보정식이 도출되어야 한다. 그리고 다양한 용도로 BESS의 적용을 확대하기 위해서는 현재의 용도프로파일 입력방식에 대한 대폭적인 개선이 필요하다. 즉 타 용도의 선택에 따라 용도프로파일을 보정하는 알고리즘의 개선 등의 평가용도 확대를 고려한 프로그램 업데이트가 필요하다.

○또한 EPC(Energy Performance Coefficient) 개념을 도입하여 리트로핏 대

상 건물을 선정하고 리트로핏 항목을 결정하는 방법으로, 건물 에너지성능과 수요를 관리하는 전반적인 방안을 제시하였다. EPC는 건축물 에너지성능 계수로, 평가 건물(군)의 에너지사용 원단위와 기준 에너지사용 원단위의 비율로 정의된다. EPC의 값이 적을수록 효율성이 높고, EPC가 1보다 큰 값을 가질 경우 에너지성능이 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있다. 따라서 EPC는 기준 에너지성능에 비해 평가 건물이 에너지를 얼마나 사용하는지를 파악할 수 있어 관리에 용이하다.

○ EPC 개념을 활용한 서울시 관내 학교의 리트로핏 대상 선정 시, 초등학교 37개교(전체의 약 6%) - 중학교 34개교(전체의 약 9%) - 고등학교 33개교(전체의 약 11%)가 리트로핏 우선 대상에 해당한다. 이러한 방법을 적용하여 향후 건물에너지 합리화 정책사업을 시행할 때 사업대상 선정 기준을 마련할 수 있을 것이다.

2. 빌딩리트로핏 패키지 제시

○ 개별 건물의 리트로핏 수행 시, 실행자에게 요소별 정보를 제공하기 위한 빌딩리트로핏 패키지를 제시하였다.

○ 이를 위해 학교용도의 리트로핏에 적합한 항목을 구성하고, 각 항목의 기준을 설정하여 상세 시뮬레이션을 시행하였다.

○ 시행 결과, 에너지절감효과는 신재생에너지 시스템 적용 - 기밀성능 강화 - LED 적용(일반교실+특별교실) - 냉난방기 효율향상의 순으로 나타났다.

○ 빌딩리트로핏 패키지를 적용할 경우 대상학교의 단위면적당 에너지소비량은 EPC기준 0.23의 성능개선으로 106.5kWh/㎡에서 85.5kWh/㎡가 절감된 것으로 보이며, 이는 기존 에너지 대비 약 20%에 해당한다.

Retrofit Package No.

목표: 냉난방·조명·기기 에너지사용량 저감

필수항목

건축계획 부문(냉·난방에너지)

항목	기준	효과	항목	기준	효과
외벽단열	0.36W/㎡K 미만	에너지절감: 0.1kWh/㎡ CO_2 저감: 0.09kgCO_2/㎡	창호 열성능	로이 복층유리	에너지절감: 0.3kWh/㎡ CO_2 저감: 0.14kgCO_2/㎡
	0.25W/㎡K 미만	에너지절감: 0.1kWh/㎡ CO_2 저감: 0.09kgCO_2/㎡		4중창 아르곤 주입 로이유리	에너지절감: 1.0kWh/㎡ CO_2 저감: 0.80kgCO_2/㎡
최하층 바닥단열	0.41W/㎡K 미만	에너지절감: 0.3kWh/㎡ CO_2 저감: 0.14kgCO_2/㎡	출입문 방풍구조	3.8W/㎡K 미만	에너지절감: -0.6kWh/㎡ CO_2 저감:-0.23kgCO_2/㎡
	0.21W/㎡K 미만	에너지절감: 0.3kWh/㎡ CO_2 저감: 0.13kgCO_2/㎡		2.8W/㎡K 미만	에너지절감: -0.6kWh/㎡ CO_2 저감:-0.23kgCO_2/㎡
기밀성능	환기횟수 0.8회	에너지절감: 2.3kWh/㎡ CO_2 저감: 0.13kgCO_2/㎡	의무 기준 에너지 절감효과: 2.1kWh/㎡ CO_2 저감효과: 1.02kgCO_2/㎡ 선택 기준 에너지 절감효과: 6.4kWh/㎡ CO_2 저감효과: 3.11kgCO_2/㎡		
	환기횟수 0.6회	에너지절감: 2.3kWh/㎡ CO_2 저감: 1.11kgCO_2/㎡			

열원설비·공조설비 부문

항목	기준	효과	항목	기준	효과
고효율 냉·난방	냉방 COP 4.2/ 난방 COP 4.4	에너지절감: 1.0kWh/㎡ CO_2저감: 0.48kgCO_2/㎡	고효율 냉·난방	냉방 COP 4.0/ 난방 COP 4.2	에너지절감: 1.9kWh/㎡ CO_2 저감: 0.94kgCO_2/㎡

조명 부문

항목	기준	효과	항목	기준	효과
LED 조명	교실 LED 조명 적용	에너지절감: 1.6kWh/㎡ CO_2 저감: 0.79kgCO_2/㎡	LED 조명	교실+특별교실 LED 조명 적용	에너지절감: 3.1kWh/㎡ CO_2 저감: 1.49kgCO_2/㎡

신재생에너지 부문

항목	기준	효과	항목	기준	효과
공급의무 비율(%)	에너지사용량 기준 10% ('11~'12)	에너지절감: 9.8kWh/㎡ CO_2 저감: 7.3kgCO_2/㎡(전력생산) CO_2 저감: 7.3kgCO_2/㎡(열생산) 최대절감한 기준 산정			

선택항목 (패키지별 선택)

건축계획 부문(냉난방에너지)

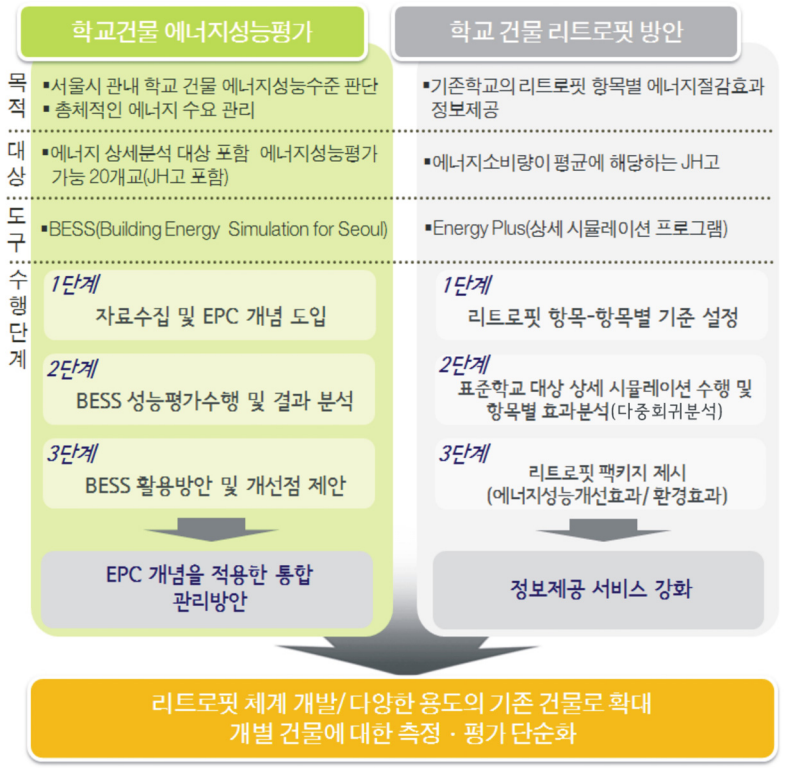
항목	기준	효과	선택	항목	기준	효과	선택
외부 차양장치 설치	남: 오버행 동서: 핀	에너지절감: -0.7kWh/㎡ CO_2 저감: -0.34kgCO_2/㎡	□	내부 차양장치 설치	-베네시안 블라인드 설치	에너지절감: -0.4kWh/㎡ CO_2 저감: -0.18kgCO_2/㎡	□

선택항목 합계: 에너지절감: kWh/㎡; CO_2 저감: CO_2/㎡ | **현재 EPC**

리트로핏 후 EPC

* 이 리트로핏 패키지는 연간 106kWh/㎡의 에너지를 소비하는 학교를 기준으로 하며, 열원설비는 EHP시스템을 기준으로 함

〈그림 2〉 빌딩리트로핏 패키지의 항목구성



〈그림 3〉 학교 건물에너지 성능평가 계획

Ⅳ. 결론 : 정책 추진체계 제시

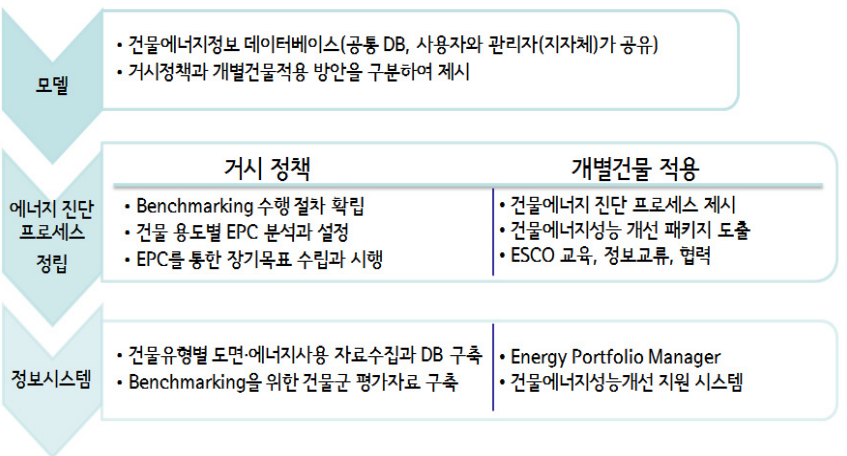
1. 정책 추진체계 제시

○앞서 제시한 기존건물의 에너지성능평가 및 관리방안의 지속적인 시행을 위한 정책 추진체계를 제시하였다.

○추진사항은 학교건물의 에너지성능강화 체계 구성, 실제 서울시 건물에너지 모니터링 데이터 구축・관리・건축물 에너지성능인증을 수행할 “서울

시 건물에너지센터"의 설립, 빌딩리트로핏의 지속적 확대를 위한 BRP (Building Retrofit Program)·ESCO 사업과의 연계, 리트로핏 시행자를 위한 정보제공 서비스의 강화이다.

○ 특히 학교 건물은 현재 이원화되어 있는 건축정보(도면)와 에너지정보에 대한 데이터베이스 수집과 관리 주체를 일원화하는 방식을 제안하였다. 또한 EPC 개념을 활용한 에너지성능 평가관리체계를 제시하는 구체적 방안을 모색하였다.



〈그림 4〉 기존건물 리트로핏 에너지성능관리체계

2. 성과품 및 추후 연구방향

○ 이 연구는 기존건물의 도시기반 빌딩리트로핏의 효과적인 수행을 위한 기초연구로서, 학교건물을 대상으로 에너지성능평가방안 및 관리방안을 제시하였다.

○ 또한 BESS에 적용할 수 있는 학교용도 프로파일, 건물기초자료와 에너지사용량 통계 등 데이터베이스, 빌딩리트로핏 패키지를 작성하였다.

○ 앞으로 타 용도의 건물로 연구범위가 확장된 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이며, 평가에 사용하는 BESS 또한 지속적으로 업데이트가 되어야 한다.

목 차

제1장 서 론 ····· 3
제1절 연구의 배경 및 목적 ····· 3
제2절 연구의 범위 및 방법 ····· 6
제3절 선행연구 ····· 8

제2장 빌딩리트로핏 정책 추진사례 ····· 13
제1절 국내 ····· 13
1. 정부의 그린스쿨(교육과학기술부) ····· 13
2. 서울시의 에코스쿨 ····· 15
3. 경기도의 에코그린스쿨 ····· 16
제2절 국외 ····· 19
1. 미국의 학교건물 에너지정책 ····· 19
2. 일본의 에코플로우 ····· 24
3. 국제에너지기구의 학교건물 리트로핏 프로그램 ····· 26
4. 유럽의 건물에너지 성능향상 프로그램 ····· 28
제3절 시사점 ····· 32

제3장 학교 건물에너지 소비분석 대상과 방법 ····· 39
제1절 건물현황에 대한 기초자료 ····· 39
1. 에너지사용량 자료 및 통계 데이터 ····· 39
2. 건물기초자료 ····· 41
제2절 학교 유형별 에너지 소비 ····· 44
1. 초등학교 ····· 44
2. 중학교 ····· 46

3. 고등학교 ····· 48
제3절 건물 에너지소비량 상세분석 ····· 50
1. 분석 대상학교 선정조건과 에너지소비량 ····· 50
2. 에너지소비패턴 분석결과 ····· 54

제4장 에너지성능평가와 빌딩리트로핏 ····· 61
제1절 학교 건물에너지의 성능평가 ····· 61
제2절 에너지성능평가 방법 ····· 63
1. EPC ····· 63
2. BESS ····· 65
3. 툴의 개선과 활용 ····· 71
제3절 학교 빌딩리트로핏 방안 ····· 73
1. 리트로핏 목표와 항목 ····· 73
2. 기준설정 ····· 76
3. 상세시뮬레이션을 통한 리트로핏 효과 ····· 80
4. 빌딩리트로핏 패키지 ····· 83

제5장 빌딩리트로핏을 위한 에너지성능평가의 활용 ····· 95
제1절 학교건물 정보관리 ····· 95
1. 데이터베이스 구축 ····· 96
2. 에너지성능의 관리 ····· 98
제2절 정보제공 ····· 101
1. 서비스 주체별 현황 ····· 101

2. 건물에너지 정보제공 서비스 ····· 103
제3절 도시기반 리트로핏을 위한 에너지성능 관리체계 ····· 106
1. 서울시 건물에너지센터(안)의 설립 ····· 106
2. 서울시 건물에너지센터의 역할 ····· 107
3. 추진체계 ····· 108
제4절 소 결 ····· 111

제6장 결 론 ····· 115
제1절 연구결과 ····· 115
제2절 활용방안 ····· 118

참 고 문 헌 ····· 123
부 록 ····· 129
영 문 요 약 ····· 147

표 목 차

〈표 1-1〉 선행 연구의 주요 내용 ····· 8
〈표 2-1〉 그린스쿨 세부사업 내용 ····· 14
〈표 2-2〉 그린스쿨 사업 시행 실적 및 계획 ····· 15
〈표 2-3〉 에코그린스쿨 사업 지정학교의 지원내용과 시행실적 ····· 18
〈표 2-4〉 환경행동계획의 부문별 목표 및 전략 ····· 23
〈표 2-5〉 ELENA 대표사업의 세부 내용 ····· 30
〈표 2-6〉 국내외 추진사례 정책유형 및 특징 ····· 33
〈표 2-7〉 주체별 건물에너지 관련 정보제공 서비스 현황 ····· 34
〈표 3-1〉 교육통계 DB 에너지사용량 통계 항목 ····· 40
〈표 3-2〉 초등학교의 운영일정 ····· 42
〈표 3-3〉 중학교의 운영일정 ····· 43
〈표 3-4〉 고등학교의 운영일정 ····· 43
〈표 3-5〉 서울시 초등학교 에너지소비 분석 ····· 44
〈표 3-6〉 서울시 중학교 에너지소비 분석 ····· 46
〈표 3-7〉 서울시 고등학교 에너지소비 분석 ····· 48
〈표 3-8〉 에너지 소비량 분석에 따른 학교의 유형화 ····· 52
〈표 3-9〉 대상학교 에너지소비량 상세분석 결과 ····· 56
〈표 3-10〉 대상학교 월별에너지소비패턴 분석 결과 ····· 57
〈표 4-1〉 데이터 입력을 위한 필요 설계자료 목록 ····· 67
〈표 4-2〉 에너지성능평가 입력정보 ····· 68
〈표 4-3〉 BESS의 에너지성능평가 결과 ····· 69
〈표 4-4〉 해외사례의 리트로핏 목표와 항목 ····· 74
〈표 4-5〉 건물에너지합리화사업의 부문별 내용 ····· 75
〈표 4-6〉 부문별 리트로핏 항목 구성 ····· 77

〈표 4-7〉 리트로핏 항목의 수준별 기준 ····· 77
〈표 4-8〉 열관류율 기준 ····· 78
〈표 4-9〉 기준학교 개요 ····· 81
〈표 4-10〉 부문별 에너지 사용 예측량 ····· 82
〈표 4-11〉 시뮬레이션 결과와 실측데이터 비교 ····· 82
〈표 4-12〉 직교배열표를 활용한 81회 실험조건 ····· 83
〈표 4-13〉 에너지성능평가 결과 ····· 87
〈표 4-14〉 총에너지사용량 다중회귀분석 결과 ····· 88
〈표 4-15〉 에너지원단위 다중회귀분석 결과 ····· 89
〈표 4-16〉 빌딩리트로핏 패키지 최대절감안과 최소증가안 조건 ····· 91
〈표 5-1〉 리트로핏 관련 정보제공 서비스 현황과 개선방안 ····· 103

그림목차

〈그림 1-1〉 연구 흐름도 ····· 6
〈그림 1-2〉 연구의 범위 ····· 6
〈그림 2-1〉 에코그린스쿨의 비전과 목표 ····· 17
〈그림 2-2〉 에코플로우 사업의 리트로핏 항목 ····· 26
〈그림 2-3〉 REDUCE 프로그램의 목표 ····· 26
〈그림 2-4〉 Energy Concept Advisor의 리트로핏 항목 설명 제공(상)과 사례 정보 제공(하) ····· 27
〈그림 2-5〉 ELENA의 사업구조 ····· 30
〈그림 2-6〉 EPA-NR의 건물에너지 진단절차 ····· 31
〈그림 3-1〉 에너지소비량 자료수집범위 ····· 40
〈그림 3-2〉 기초자료의 수집 항목 ····· 41
〈그림 3-3〉 초등학교 총 연면적에 따른 에너지원단위 ····· 45
〈그림 3-4〉 초등학교 공조면적에 따른 에너지원단위 ····· 45
〈그림 3-5〉 중학교 총 연면적에 따른 에너지원단위 ····· 47
〈그림 3-6〉 중학교 공조면적에 따른 에너지원단위 ····· 47
〈그림 3-7〉 고등학교 총 연면적에 따른 에너지원단위 ····· 49
〈그림 3-8〉 고등학교 공조면적에 따른 에너지원단위 ····· 49
〈그림 3-9〉 분석 대상학교 선정 조건 ····· 50
〈그림 3-10〉 학교 유형별 연간 에너지소비량 비교 결과 ····· 51
〈그림 3-11〉 시간별 전기에너지 소비량 ····· 54
〈그림 3-12〉 시간별 전기에너지 소비량 ····· 54
〈그림 3-13〉 전기에너지 소비량의 소비원 분류 ····· 54
〈그림 4-1〉 학교건물 에너지성능평가 계획 ····· 62
〈그림 4-2〉 EPC의 활용 개념도 ····· 64

〈그림 4-3〉 BESS의 성능평가 결과 이미지 ····· 65
〈그림 4-4〉 BESS의 에너지성능평가 과정 ····· 66
〈그림 4-5〉 BESS 시뮬레이션 수행 대상학교 ····· 66
〈그림 4-6〉 BESS 원단위와 실제원단위(2008년 기준)의 비교 ····· 69
〈그림 4-7〉 에너지원단위의 보정 ····· 70
〈그림 4-8〉 서울시 공공건축물 에너지절약 설계기준 ····· 75
〈그림 4-9〉 리트로핏 항목 설정 및 목표 ····· 76
〈그림 4-10〉 외부차양(남, 서 · 동) 적용(좌)과 내부차양 적용(우) ····· 79
〈그림 4-11〉 EnergyPlus성능분석 예시(스케치업 모델링-좌, 성능분석시행-우) ··· 80
〈그림 4-12〉 상세 에너지성능평가의 에너지 소비원별 비중 ····· 82
〈그림 4-13〉 연간 총에너지사용량 시뮬레이션 결과치와 예측치 비교 ····· 90
〈그림 4-14〉 에너지원단위 시뮬레이션 결과치와 예측치 비교 ····· 90
〈그림 4-15〉 빌딩리트로핏 패키지의 항목구성 ····· 92
〈그림 5-1〉 학교건물 정보관리 체계 ····· 95
〈그림 5-2〉 학교건물 데이터베이스 관리방식 ····· 97
〈그림 5-3〉 EPC 감소정책을 통한 수요 감소 시나리오(고등학교) ····· 98
〈그림 5-4〉 학교건물 에너지성능평가 관리체계 ····· 100
〈그림 5-5〉 에너지관리공단 건물에너지절약사업 웹사이트 ····· 102
〈그림 5-6〉 에너지 벤치마킹 정보제공 서비스 내용 ····· 104
〈그림 5-7〉 Energy Portfolio Manager를 활용한 자발적 건물에너지
성능개선 유도 ····· 105
〈그림 5-8〉 서울시 건물에너지센터(안)의 추진체계 ····· 109
〈그림 5-9〉 서울시 건물에너지센터 운영계획 ····· 110
〈그림 5-10〉 기존건물 리트로핏 에너지성능관리체계 ····· 110

제1장 서 론

제1절 연구의 배경 및 목적
제2절 연구의 범위와 방법
제3절 선행연구

제1장 서 론

제1절 연구의 배경 및 목적

세계적인 이슈로 떠오른 온실가스 배출 및 에너지 사용의 저감을 위해 각국은 다양한 노력을 기울이고 있다. 그럼에도 불구하고 온실가스 배출량 감축과 에너지사용량 저감이 계획만큼 잘 이루어지지 않고 있다. 2009년 코펜하겐 제15차 유엔기후변화협약(UNFCCC) 총회에서 채택된 보고서는 선진국과 개발도상국의 온실가스 감축 약속이 실현되더라도 향후 10년간 지구의 기온은 산업화 이전에 비해 3℃ 높아져 지속가능하지 않은 영역(unsustainable pathway)으로 들어설 것으로 관측한 바 있다. 현재 가속화되고 있는 온난화를 막기 위해서는 지구 기온을 2℃ 이내로 설정하였으며, 실제로 이러만 목표 달성을 위해 단·중기에 에너지 사용량의 약 52%를 절감하여야 한다.[1] 하지만 현재의 추세를 볼 때 이 목표를 달성할 수 있는지는 불투명하다.

에너지 소비 저감을 위해서는 건물에너지 소비량을 줄여야 한다. 국제에너지기구(International Energy Agency, IEA)의 추산에 따르면 건물에너지 소비량은 전체 에너지소비량의 40% 이상을 차지하고 있으며, 이는 전 소비부문 중 가장

1) IEA World Energy Outlook 2009. IEA Implementing Energy Efficiency Policies 2009

큰 비중이다.[2] 서울시의 건물에너지 소비량은 최근 7년간(2003~2009년) 평균 전체 에너지 소비량 중 약 56%를 차지하고 있어, 건축물 부문의 에너지소비량 감축이 무엇보다 중요하다.

그러나 기존건물은 에너지절감 잠재성이 큰 부문임에도 불구하고, 준공 후의 에너지 사후관리 체계가 매우 취약하다. 또한 기존건물의 리트로핏 시, 리트로핏 항목은 장기적인 에너지모니터링에 따른 소비특성 분석에 의해 설정되지 않고 있다. 현재 리트로핏 항목은 경제성·시공의 용이성을 우선순위로 하고 있으며, 리트로핏 수행 후에도 건물 운영기간의 총괄적인 시설개선 상황의 관리가 어렵다. 또한, 실제 건물 운영스케줄이 불명확하여 건물에너지의 성능평가 및 파악이 힘들다.

서울시는 건축물 에너지소비 절감을 위해 신축건물과 기존건물의 에너지성능 강화정책을 시행하고 있다. 신축건물의 경우, 건축인허가 시 에너지성능규제를 위해 "서울특별시 건축위원회 심의기준"과 "건축물 에너지소비총량제"를 시행하고 있다. 이에 따라 일정수준의 에너지성능을 만족하지 못하는 건축물은 신축 자체가 불가하다. 기존건물의 경우 에너지성능 향상을 위한 지원정책으로 "건물에너지합리화사업(Building Retrofit Program, 이하 BRP)"이 시행되고 있다. 그러나 BRP가 현재까지 초기 단계이기 때문에 사업성과[3]에 대한 정확한 평가가 어렵다. 또한 사업 시행기간이 짧아 장기간의 건물에너지소비특성에 대한 분석과정이 수행되기 어려운 구조이며, 제한된 예산으로 인해 리트로핏 시행 건물 수에 한계가 있을 수밖에 없다.

따라서 이 연구에서는 기존건물을 대상으로 한 빌딩리트로핏의 체계화와 활성화를 위해 다양한 건물 중 학교건물을 대상으로 하여 에너지성능평가 방법을 제안한다. 또한 이러한 성능평가 방법과 연계한 총괄적인 에너지관리방안을 제

2) Laustsen, 2008

3) 2009년 첫 시행 이후 2010년 4월까지 공공부문 총 76동, 민간부문 총 57동의 개보수가 진행되었으나 정확한 에너지 절감효과는 밝혀진 바 없음.

시하고, 이러한 방안이 지속적으로 운용될 수 있도록 에너지관리 및 활용을 위한 정책 추진체계를 모색한다.

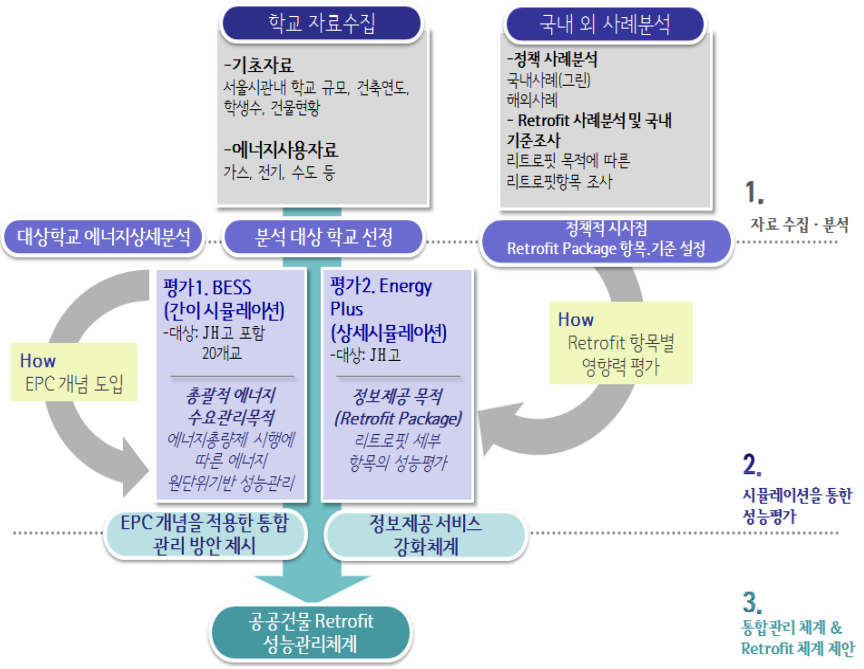
이 연구는 향후 기존건물의 리트로핏 사업 효과를 높이기 위한 기초연구로서, 학교건물을 대상으로 효과적인 리트로핏을 위한 에너지성능평가 방안 및 빌딩 리트로핏 패키지, 에너지관리가 지속적으로 수행될 수 있도록 정책 추진체계를 제안하는 것을 목적으로 한다. 이에 따른 세부 목표 및 연구내용은 다음과 같다.

○건물에너지 모니터링을 통한 자료수집 및 구축방안 제안
- 학교건물 대상 에너지수요 관련 자료수집 및 구축방안 제시
- 건물군 기반의 리트로핏 진행 시 사업대상 우선순위 및 부문(냉방/난방/급탕/전력) 선정을 위한 방안 제안

○기존건물(군) 에너지성능평가 방안 제시
- BESS(Building Energy Simulation for Seoul) 프로그램을 활용한 기존건물 에너지성능평가방안 제안
- 에너지성능계수(Energy Performance Coefficient, EPC) 개념을 도입한 건물군 에너지성능평가 및 관리방안 제시

○빌딩리트로핏 패키지 제안
- 학교건물에 적용 가능한 리트로핏 항목 조사
- 상세시뮬레이션 수행을 통한 리트로핏 항목의 효과 분석
- 학교건물의 리트로핏 요소기술별 에너지절감정보를 제공하는 빌딩리트로핏 패키지 구성

○정보제공기능 강화를 위한 정책 추진체계 구축
- 국내외 학교건물에너지 리트로핏 정책 추진체계 및 사례 조사
- 학교건물의 에너지성능 관리방안 제시(데이터베이스 구축, 에너지성능 관리체계 구축)
- 기존의 지원·규제에서 탈피한 정보제공 강화 정책 제안
- 지속적인 에너지성능평가 및 관리를 위한 정책 추진체계 모색



〈그림 1-1〉 연구 흐름도

제2절 연구의 범위 및 방법

이 연구에서는 다음 <그림 1-2>와 같이 연구대상 · 에너지 분석 범위를 설정하였다.

연구대상(용도)	에너지 분석 범위
학교 (초, 중, 고)	- 시간적 범위 : 2008년 - 공간적 범위 : 서울시 관내

〈그림 1-2〉 연구의 범위

학교 건물을 연구대상으로 선정한 이유는 유형화된 건축양식을 지니고 있어 건축 시기별로 표준화된 표본을 다수 확보할 수 있을 것으로 예상하였기 때문이다. 또한 한 학교 내에는 용도와 건축시기가 상이한 건물이 입지하고 있는 경우가 많다. 따라서 이 연구가 도시기반의 빌딩리트로핏 방법론 제시를 위한 것임을 감안하였을 때 이러한 용도의 다양성이 도시의 형태를 대변하기에 적합하고, 학교는 타 건물과 달리 비교적 일정한 학사일정에 따라 운영되므로 기초연구대상으로 적절하다고 판단하였다.

에너지 분석의 시간적 범위는 2008년으로 제한하였다. 그 이유는 2008~2010년 샘플 건물의 에너지사용패턴을 분석한 결과 2008년의 데이터가 3개년 중 가장 일반적인 에너지 소비패턴을 보이는 것으로 분석되었기 때문이다.

이 연구는 기존 문헌 고찰 및 사례분석, 에너지 자료수집 및 모니터링 분석, 시뮬레이션을 통한 성능평가(통계적 방법 사용) 등의 연구방법을 활용하였다.

○기존문헌 고찰 및 사례분석
- 기존 건물에너지 효율 향상과 관련된 국내·외 문헌조사 실시
- 국내・외 학교건물의 에너지성능향상 추진체계(정책) 조사
- 건물단위의 학교 리트로핏 사례 조사・분석
- 서울시 건축 기준의 리트로핏 항목 및 기준 조사・분석

○자료수집 및 에너지모니터링 분석
- 교육통계 데이터베이스(기초자료, 연간 에너지소비량), 전기 및 도시가스 사용 월간 데이터, 전력 실시간 사용데이터 수집
- 시뮬레이션을 통한 성능평가를 위한 학교 도면자료 수집
- 도시가스 월간 사용데이터 및 전력 실시간 사용데이터를 대상으로 에너지 모니터링 분석 수행 및 방법론 제시

○시뮬레이션을 통한 성능평가
- 대상건물을 중심으로 BESS, Energy Plus Tool을 사용하여 건물 에너지 성능평가 수행 및 에너지 성능 예측
- 리트로핏 항목별 에너지 절감효과 산출을 위해 직교배열표를 활용한 실험 계획 후 다중회귀분석(multiple regression analysis)을 이용하여 분석

제3절 선행연구

선행연구는 크게 세 가지 부류로 나뉜다. 첫째는 개별 학교건물의 에너지 성능 개선에 대한 연구이다. 이성(1999)은 학교 건물만의 특성을 바탕으로 학교건물의 에너지 절약 방안에 대해 논의하였으며, 최근에는 교육개발원에서 친환경 교육시설(2007)과 제로에너지 학교(2008~2009)에 대한 논의를 진행하였다. 그러나 이들 연구는 주로 개별 학교들의 에너지성능 개선에 대해 다루었기 때문에, 학교건물 전반의 에너지성능 평가와 관리를 목표로 하는 이 연구와 차이가 있다.

〈표 1-1〉 선행연구의 주요내용

연구		주요내용
Golove & Eto (1996)	Market Barriers to Energy Efficiency : A Critical Reappraisal of the Rationale for Public Policies to Promote Energy Efficiency	▪ 에너지효율 문제의 시장진입장벽에 관한 문헌연구 ▪ 시장참여자가 에너지효율 문제에 큰 비중을 두지 않는 이유(시장실패)를 신고전주의 경제학적 관점에서 설명 ▪ 에너지효율 문제에서 정책 개입의 역할을 정보교환비용(transaction cost)의 감소 틀이라고 주장
이 성 (1999)	학교 건물의 에너지 절약 방안	▪ 학교 건물에너지 절약 방안에 대한 개괄적 소개 ▪ 학교 건물의 특수성에 대한 서술을 포함 ▪ 건물구조 · 기계환기와 폐열회수 · 자연에너지 이용을 방안을 포괄적으로 제시
Visier ed. (2006)	Commissioning Tools for Improved Energy Performance	▪ IEA의 건물에너지 절약 연구 프로젝트 ▪ 건물에너지 성능의 commissioning이란 개념 소개 ▪ Commissioning은 에너지를 포함한 건물 성능을 점검하고 확인하는 방법으로 설계 단계부터 건물의 운영에 이르기까지 포괄적으로 적용 가능 ▪ (뉴욕시의 경우 공공건물 주요 에너지 시책 중 하나가 commissioning이 되지 않은 기존 건물을 새로 commissioning하는 retro-commissioning) ▪ Commissioning의 방안과 각국의 사례 분석 ▪ 건축물의 계획 · 설계 · 시공 · 관리 등 각 단계에 대한 상세한 소개와 각 단계에서 commissioning의 역할 분석
Kats (2006)	Greening America' s Schools : Costs and Benefits	▪ 학교 건물을 친환경 건축물화하는 경우의 비용/효과 분석 ▪ 실제 비용 외에 학업능력 및 건강 증진에 따른 효과 분석

〈표 계속〉 선행연구의 주요내용

연구		주요내용
Kats (2006)	Greening America's Schools : Costs and Benefits	▪ 학교 건물을 친환경 건축물화하는 경우의 비용/효과 분석 ▪ 실제 비용 외에 학업능력 및 건강 증진에 따른 효과 분석
Uihlein& Eder (2008)	Towards Additional Policies to Improve the Environmental Performance of Buildings)	▪ 건물에너지 효율 관련 정책에 관한 전반적 개요를 유럽 국가를 중심으로 소개 ▪ 에너지 효율 증대를 위한 시장 · 기술 · 정보 장벽을 논의 ▪ 장벽을 해결하기 위한 정책적 방법 논의
한국교육개발원 (2008-2009)	제로에너지 · 생태학교 모형개발 Ⅰ · Ⅱ	▪ 제로에너지학교의 개념 정립 및 세부 설계 지침 제시 ▪ 표준 모델학교를 선정하여 에너지 해석모델을 수립 후 에너지 효율 개선 시뮬레이션 시행 ▪ 신설 및 기존 학교 에너지 사용실태 조사 · 분석 후 에너지 절감 방안과 절감률 제시
Kari Thunshelle et al(2005)	Bringing Retrofit Innovation to Application in Public Buildings (BRItA in Pubs) - D5 Socio-Economic Analysis on Barriers and Needs	▪ 효율적인 공공건물 Retrofit 정책 및 사례에 관한 연구 ▪ 다수의 유럽 국가가 참여하여 다각도의 분석과 연구결과 제시 ▪ 공공건물 에너지 효율 정책 입안과 실행의 사회 · 경제적 제약을 조사 ▪ 국가별로 관련 단체와 건물에너지 담당 공무원을 대상으로 인터뷰 ▪ 공공건물 에너지 효율 증대를 위한 재정지원 체계 제시
Richard Barton (2007)	Retrofitting in Educational Buildings - Energy Concept Adviser for Technical Retrofit Measures	▪ IEA의 학교건물 Retrofit 프로젝트 종합 보고서 ▪ 학교건물 에너지 효율 향상 4개년 국제 프로젝트(참가국 : 핀란드, 프랑스, 덴마크, 독일, 그리스, 이탈리아, 노르웨이, 폴란드, 영국, 미국)에 대한 요약 보고 ▪ 각국의 정책적 접근 방향, 사례 연구, 에너지 분석모델 및 정책 반영모델 제시 ▪ 본 프로젝트의 최종 목표는 Retrofit 사업에 대한 DB를 축적하고 공유하는 웹서비스(Energy Concept Advisor) 시범 구현(보고서 내용에는 포함되어 있지 않음)
Laustsen (2008)	Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings	▪ 건물에너지 규정 전반에 관한 연구 ▪ 건물에너지효율의 현실적 장벽 소개(의사결정권자들의 유지경비에 관한 무관심 · 에너지문제에 대한 이해부족 · 에너지효율에 관한 오해 · 동기 부족) ▪ 규정을 유형화한 후 세계 각국의 건물에너지 규정 검토 · 비교 ▪ 건물에너지 규정 외의 각종 정책 수단 소개
이 연구와의 차별성		▪ 현재 국내 연구 중 에너지효율 정책의 현황에 대한 소개 중심으로, 정책에 대한 기본적인 고찰이 필요 ▪ 현재 정책의 보완점과 향후 장기정책 방향 제시 ▪ 기존 에너지 사용 자료를 바탕으로 에너지 사용 개선 정도를 예측하는 경우에 보편적으로 적용할 수 있는 보정계수에 대한 연구 필요 ▪ 건물에너지 사용에 대한 상세 자료를 축적할 방법론 마련

둘째는 건물에너지 효율 및 리트로핏 정책 일반에 관한 연구이다. Golove & Eto(1996)는 사회·경제학적 입장에서 민간이 건물에너지 리트로핏에 적극적으로 동참하지 않은 원인을 연구하였고, Uihlein& Eder(2008)는 건물에너지 효율에 대한 무관심을 극복하고 기존 건물의 에너지 효율 향상 방안인 리트로핏을 활성화하는 정책 방향에 대해 논의하였다.

셋째는 유럽을 중심으로 진행된 공공건물 및 비주거 건물의 리트로핏 실증연구이다. Thunshelle(2005)과 Barton(2007)은 국제에너지기구(IEA)의 사업을 중심으로 유럽지역의 학교건물 및 공공건물을 리트로핏하고 개별 건물에 대한 사례를 연구·분석하여 정책 측면에서의 문제점과 지원책을 제시하였다. 특히 Barton(2007)은 IEA에서 진행한 학교건물 리트로핏 사업의 자료를 DB화하고 이러한 정보를 쉽게 참조할 수 있는 Energy Concept Advisor의 개념을 제안하였다. 이는 건물에너지와 관련한 정보제공 서비스의 모범사례라 할 수 있다.

이 연구는 기존의 국내 연구와 달리 많은 건물의 에너지성능을 평가하고 관리하며 개선하는 틀을 제시하려고 한다. 또한 외국의 연구에서 제시된 에너지 효율 인식 개선과 정보 제공 방안을 국내에 어떻게 도입할 수 있는지를 다루려고 한다.

제2장 빌딩리트로핏 정책 추진사례

제1절 국내
제2절 국외
제3절 시사점

제 2 장 빌딩리트로핏 정책 추진사례

제1절 국내

1. 정부의 그린스쿨(교육과학기술부)

그린스쿨 사업은 정부의 「녹색 New Deal」사업의 핵심 프로젝트의 일환으로, 현재 학교건물 에너지효율 향상 정책 사업 중 규모가 가장 크며 활발하게 진행되는 사업이다. 즉 친환경 기법이 적용되어 있지 않은 노후화된 기존학교를 선정하여 학교단위로 노후 시설을 지역과 학교 특성에 맞게 전면 개보수하고 있다.

그린스쿨 조성목적에 따른 학교유형은 총 5가지이며 이 중 에너지 절감형 학교유형에 포함되는 세부사업에는 신재생에너지 이용(태양광 옥외가로등, 지열 및 태양열 냉·난방 및 급탕설비), 고효율 기기(LED 조명설치, 고효율 조명기구 설치), 단열성능 강화(에너지 절약형 창호), 기타(빗물 이용시설, 심야전력 도입시설, 원격 자동제어 시스템 도입) 등이 해당한다.(<표 2-1> 참고)

그린스쿨의 대상학교 선정기준은 다음과 같다.

○주변 신설학교와 비교하여 시설격차가 심한 노후 학교(면지역 소규모 초·중학교 제외)

○건물외부 조경 상태, 시설물 안전등급, 준공연도, 구조, 외벽마감재 및 내부 마감재 재료상태 등을 고려하여 개축보다 친환경적인 개보수가 경제적이라고 판단된 학교

○최근 5년간 해당학교의 시설투자가 이 사업과 중복투자가 적은 학교

○수업대책에 문제가 없는 학교

〈표 2-1〉 그린스쿨 세부사업 내용

조성목적 1 : 지역과 학교특성에 맞도록 다양한 유형의 그린스쿨 조성	
생태학교, 자연친화형 학교	- 수목조성 - 학교옥상 정원화 - 생태연못 조성 - 친환경 포장재 개선 - 자전거 주차장 및 자전거 길 조성 등 자연 체험형 학교 조성
에너지 절감형 학교	- 태양광 옥외 가로등 설치 - 지열 및 태양열 에너지를 이용한 냉·난방 및 급탕설비 - 빗물이용시설 - LED 조명설치(고효율 조명기구 설치) - 에너지 절약형 창호 교체 - 심야전력 도입시설 설치 - 원격 자동제어 시스템 도입 등
친환경 소재형 학교	- 친환경 외장재, 천연형 벽지· 바닥재·내장재 - 친환경형 도색 - 석면함유 텍스 교체 등
조성목적 2 : 건강하고 안전한 학교 조성	
건강하고 안전한 학교	- 유해성분 배출을 위한 교실 내 환기 시스템 설치(공기정화설비), 화장실 개선 등
조성목적 3 : 편안하고 즐거운 학교 조성	
학생 및 교직원 편의시설 교과교실제 운영학교	- 락카룸, 탈의실, 샤워실, 상담실, 학생 및 교직원 휴게실, 교과교실제 운영(중·고)에 대비한 공간조정 등

출처 : 초·중등 그린스쿨(Green School) 사업 추진계획(안)

그린스쿨 사업 실적을 보면 2009년 전국 52개소 중 서울시 관내 8개소, 2010년 전국 56개소 중 서울시 관내 3개소가 시행되었으며, 2011년부터 2012년까지 전국 총 100개소가 추가 시행될 것으로 계획되어 있다.

〈표 2-2〉 그린스쿨 사업 시행 실적 및 계획

(단위 : 동, 억원)

구분		2009	2010	2011	2012
전국	학교수	52	56	50	50
	금액	1,966	1,371	2,000	2,000
서울시	학교수	8	3	-	-
	금액	346	120	-	-

출처 : 교육과학기술부

주 : 2009~2010년은 추진현황 자료를 반영한 사업 시행 실적, 2011~2012년은 추진계획(안)의 사업 시행 계획

서울시의 학교당 사업비용을 고려하였을 때 평균 42억원의 예산이 소요되고 있으나, 에너지 측면에서 보면 그린스쿨 사업은 막대한 예산에 비해 효과가 떨어지는 방식으로 진행되고 있다. 이 사업의 가장 큰 문제는 대상 학교 선정 방식이다. 학교 선정은 에너지 진단이나 시뮬레이션 없이 노후도를 기준으로 이루어지며, 단열 기준이 없거나 현재 기준과 달랐던 노후 교사를 개보수하기 때문에 단열성능은 당연히 향상되지만, 에너지효율향상 효과가 큰 학교를 선정하기 위한 기준이나 방법이 마련되어 있지 않다. 그린스쿨 사업에는 4년간의 시행기간동안 총 1조원이 투입되며 2010년 기준 학교별로 평균 20억원 이상, 서울의 경우 40억원 이상의 예산이 투입되기 때문에 더욱 세심하고 정밀한 선정 기준을 마련할 필요가 있다.

2. 서울시의 에코스쿨

서울시는 2009년 5월 서울시 교육청과 '에코스쿨 조성을 위한 협약서'를 체결하였다. 에코스쿨 사업은 건물에너지합리화 사업(BRP)의 일환으로 2010년 ~ 2015년 내 약 1,250개소의 학교를 대상으로 에너지합리화 사업을 실시하는 것을 목표로 한다.

이 사업이 일반 BRP사업과 다른 사항은 학교건물의 에너지성능을 강화하고

동시에 학생들을 대상으로 에너지 교육프로그램 개발과 보급, 정기적 교육을 통해 교육적인 효과를 도모한다는 것이다. 에코스쿨 조성을 위한 협약을 통해 서울시는 학교 건물에너지합리화 사업을 지원하고, 서울시교육청은 에코스쿨 지정 및 에너지교육 프로그램 개발, 보급, 정기적 교육의 역할을 담당하도록 되어 있다.

에코스쿨 조성의 세부 시설사업에는 에너지 절감을 위한 단열, 냉・난방 고효율 시설, 조명시설 개선, 옥상녹화, 학교녹화, 색채디자인, 운동장 잔디구장화, 태양광 발전 및 지열냉난방시설 도입이 포함되어 있다.[4)]

서울시는 2009년에 초등학교 19개교, 중・고교 12개교 등 31개 학교에 총 62억원의 에코스쿨 조성비용을 지원할 것으로 밝혔으나, 협약 체결 이후 사업의 성과와 지속적 추진여부 등이 공식적으로 밝혀진 바 없어 정확한 사업내용 및 추진현황을 알 수 없다.

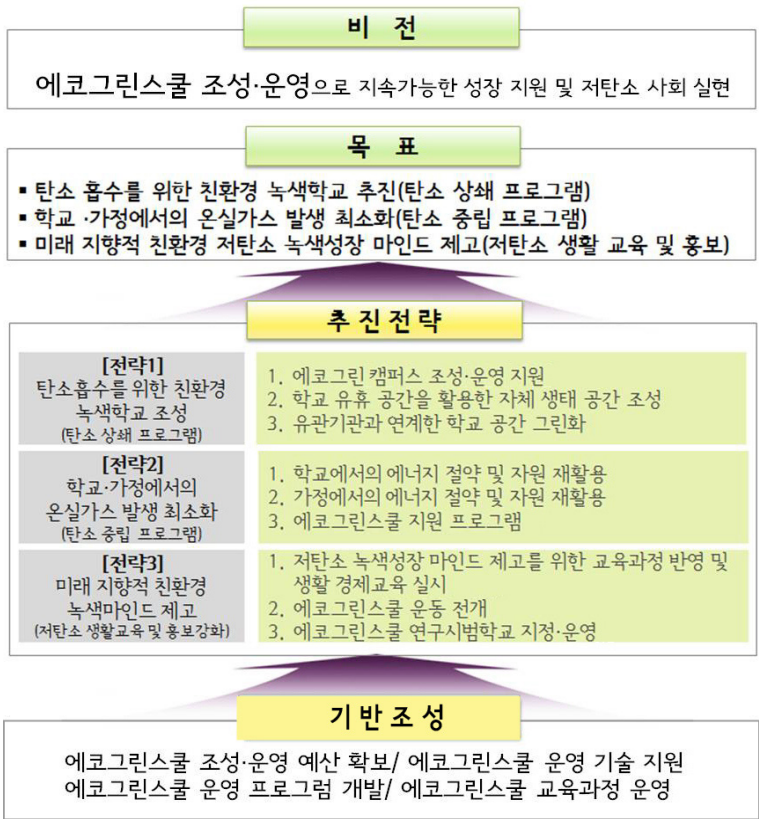
3. 경기도의 에코그린스쿨

에코그린스쿨은 탄소 등 온실가스의 배출 감소와 탄소 흡수를 위한 여건을 조성하고 실천적 교육프로그램을 운영하며, 학교 공간의 그린화를 통해 저탄소 녹색성장에 선도적으로 기여하고 있는 학교를 말한다. 에코그린스쿨 사업의 목적은 어려서부터 저탄소 녹색성장에 대한 이해 및 학교・가정에서의 탄소 배출 감소・상쇄 실천을 통한 지속가능한 국가발전을 지원하는 것이다. 따라서 에코그린스쿨의 프로그램은 직접적인 시설 리트로핏보다 교육과 홍보에 중점을 두고 진행된다.

에코그린스쿨은 다음의 세 가지 추진전략 프로그램으로 시행된다. 첫째는 탄소 흡수원을 조성하는 에코-그린 탄소 상쇄 프로그램이다. 이 프로그램은 학교

4) 김운수 외, 2009, 서울시 저탄소 녹색성장 마스터플랜, 서울특별시

내 유휴 공간을 온실가스 흡수원 및 자연 생태 체험 학습장 등으로 활용하기 위해 다양한 형태의 녹색 공간 조성을 지원한다.



〈그림 2-1〉 에코그린스쿨의 비전과 목표

둘째는 탄소배출 줄이기 실천을 통한 탄소 중립 프로그램이다. 이 프로그램은 학교 시설뿐만 아니라 가정에서 온실가스 발생을 최소화하기 위하여 탄소배출 절감을 위한 실천사항을 수행하며, 가정통신문 발송, 학부모 연수 등 홍보를 통해 가정에서도 준수하도록 유도한다.

셋째는 저탄소 생활 마인드 제고를 위해 경제 교육 및 홍보로 학생들의 미

래 지향적 친환경 저탄소 녹색성장에 대한 이해와 마인드를 높이는 저탄소 생활교육 및 홍보 프로그램이다. 이 프로그램은 학교 교육과정에 기후 변화 대응 관련 내용 반영, 교과서 보완 지도 자료의 활용, 학교별 실천 프로그램 운영, 학부모 대상 홍보 등 저탄소 사회 실현을 위한 체험적 교육 및 홍보를 추진한다.

에코그린스쿨 프로그램은 2008년까지 시행된 학교자연학습장 조성・운영 사업을 통합하여, 2009년 본격적으로 추진되었다. 지정된 학교는 참여 성격에 따라 선도교와 기술지원교, 연구시범학교의 형태로 분류되며, 그 역할 및 지원, 시행실적은 다음 <표 2-3>과 같다.

〈표 2-3〉 에코그린스쿨 사업 지정학교의 지원내용과 시행실적

구 분	역할 및 지원내용	시행실적 (개소)		
		2009	2010	합 계
선도교	역할 - 해당 · 인근 학교 학생 대상의 체험적 교육 · 프로그램 운영 · 홍보(체험학습장 활성화) - 자연생태체험학습장으로 활용 가능하도록 부지 내 녹지공간 조성(기술 · 프로그램 인근 학교 전파 · 확산) 지원 - 최소경비(학교당 10,000천원) 지원 - 에코그린캠퍼스 조성 · 운영에 필요한 기술 및 자료제공 - 선도고 담당교사에 대한 기술연수 실시	25	16	41
기술 지원교	역할 - 선도교, 교육 연구시범학교 대상 담당 분야에 대한식물재배, 학교내 실내 · 외 조경, 탄소 흡수원 조성기술 연수(지원교별 6~8시간) 지원 - 연수 최소경비(학교당 2,000천원) 지원 - 에코그린스쿨 체험학습장으로 조성 · 운영	3	4	7
연구시범학교	역할 - 저탄소 녹색성장 관련 시책내용에 대한 시범학교별 운영내용 차별화를 통한 다양한 일반화 방안 연구 - 녹색성장 관련연구 · 시범학교의 합동 발표 · 보고회 개최 지원 - 최소경비(학교당 10,000천원) 지원	15	24	39

출처 : 2009년도 에코그린스쿨(친환경 녹색학교) 선도교 담당자 협의회(경기도교육청), 녹색성장 교육 연구시범학교 담당자 워크숍 자료(경기도교육청)

제2절 국외

1. 미국의 학교건물 에너지정책

미국 EnergySmart Schools는 총 600억 달러를 투입하여 전국 학교 건물의 에너지 성능을 높이기 위한 사업이다. 주관 부처인 미국 에너지부(Department of Energy, DOE)는 에너지 효율을 신축학교에는 현재 기준보다 50% 이상, 기존학교 개보수 시에는 현재 기준보다 30% 이상 높이는 것으로 이 사업의 목표를 설정하였다. 이를 통해 연간 20억 달러 이상의 에너지 절약은 물론 더 나은 교육환경의 제공과 에너지효율에 대한 인식 개선 등의 효과가 예상된다.

EnergySmart Schools 사업은 중앙정부 부처에서 운영하고 있으나 우리나라의 그린스쿨 사업과 방식이 다르다. 사업의 주관 부처인 에너지부는 기존의 주정부, 지방정부, 민간의 사업을 통합하고, 필요한 경우에 해당 기관이나 단체를 직·간접적으로 지원해주는 역할을 한다. 전미교육위원회(National School Boards Association), 미국 건축사협회와 그린빌딩협회 등 설계·건축 관련 단체, 환경부 등 중앙부처, 각 주의 에너지효율 관련 기관 등 다양한 분야의 20여개 기관이 이 사업에 참여하고 있다.

따라서 사업 진행을 위한 예산에서도 차이가 있다. 그린스쿨 사업은 운영 세부 사항을 교육청 및 교육과학기술부 등 정부에서 결정하며, 별도의 예산이 편성되어 있다. 그러나 EnergySmart Schools를 위한 별도의 예산이 없으며, 개보수를 위한 예산은 중앙정부와 주정부, 지방정부의 지원 프로그램은 물론 민간이나 비영리조직(NPO) 등 다양한 재원을 활용하도록 되어 있다.

이처럼 국가 간 학교의 운영 방식에 차이가 있기 때문에 이를 그대로 적용할 수는 없으나, EnergySmart Schools와 같은 방식을 국내 그린스쿨 사업과 비교하면 그린스쿨 사업의 두 가지 단점이 나타난다. 첫째, 실제 운영 주체인 학교의 역할이 매우 적다. 둘째, 일부 공립학교만을 대상으로 하기 때문에 선정되지 못한 공립학교와 사립학교 등 대다수의 학교에서는 건물에너지 성능에 대한 인식 변화를 기대하기 어렵다.

1) 뉴욕시

뉴욕시 학교건물 에너지정책은 PlaNYC 2030의 뉴욕시 지속가능성 장기계획에 따라 교육부와 미국 에너지부(DOE), 그리고 에너지 관리과(Department of Citywide Administrative Services Division of Energy Management, DCAS DEM)가 협력해 기존 학교건물의 에너지 성능을 향상시키는 프로그램이다. 학교의 에너지 절약 프로그램에는 에너지 벤치마킹, 건물 보수, 유지관리 개선, 계량 및 모니터링 시행, 최고부하량 관리, 재생에너지 프로젝트 등이 포함된다. 뉴욕시 학교건물 에너지 정책의 특징은 통합적인 건물에너지 정보 관리와 수준 높은 정보제공 서비스로 요약할 수 있다.

뉴욕시 교육부는 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)의 ESPM(Energy Star Portfolio Manager)을 통해 파악한 건물에너지 소비량 자료를 이용하여 건물 에너지사용에 관한 인식개선에 힘쓰고 있다. ESPM은 비주거용 건물의 사용자가 건물에 관한 정보를 입력하여 해당 건물의 에너지 사용량과 표준치를 비교할 수 있게 하는 도구이다. 이는 거주자가 건물의 기본 정보만을 입력하게 되어 있어 정밀한 평가도구가 아니지만 손쉽게 건물에너지 사용수준을 판단하고 건물의 에너지 사용에 대한 이해를 도울 수 있다는 장점이 있다. 뉴욕시 교육부는 학생, 학부모, 교직원이 해당 학교의 에너지 사용 데이터베이스에 쉽게 접근할 수 있도록 돕고 있다.

에너지 사용 데이터베이스의 정보내용은 에너지 및 수도 계량기 정보, 건물에너지성능 추이분석, 기후를 고려한 건물에너지성능 분석, 에너지 및 수도 비용 모니터링, 타 건물과의 성능비교이다. 타 건물과의 에너지 벤치마킹을 통해 건물에너지 사용 정보에 대한 접근성이 높아지며, 에너지 모니터링과 관리를 동시에 수행할 수 있다.

뉴욕시 에너지 관리과는 연간 에너지사용기준에 따라 에너지 감사를 받을 학교 우선순위를 정하기 위하여 에너지 벤치마킹 데이터를 사용한다. 에너지 감사는 현재 건물 성능을 산정하여 건물의 에너지 효율성을 개선시키고, 뉴

욕시의 연간 총 에너지비용을 감소시킬 수 있는 비용 효과적인 에너지 절감량(Cost effective energy conservation measures, ECMs)을 측정하기 위한 것이다. 에너지성능 향상이 필요한 학교 및 건물을 파악・선정하는 작업을 통해 뉴욕시 전체적으로 에너지 절감을 최대화하면서 비용은 최소화할 방법을 모색한다.

이러한 사례는 이미 구축한 데이터베이스를 이용해 에너지 성능 개선 대상 건물을 선정하는 방법론을 보여주며, 정부 정책을 지자체 수준에서 효율적으로 활용하고 있는 사례로 파악할 수 있다.

뉴욕시 지속가능성 장기계획에 따르면 뉴욕시 공공건물의 유지관리 개선을 통해 연간 195천 tCO_2의 온실가스 배출량이 감소할 것으로 예측되었다. 뉴욕시 전체 공공건물의 40%를 차지하고 있는 학교건물의 중요성이 부각되므로, 교육부는 10개의 학교를 대상으로 장기 유지관리 시범사업을 시행하고 있다. 이 시범사업의 범위는 향후 전 지역으로 확대될 예정이며, 사업의 목표는 건물사용자들을 대상으로 여름철과 겨울철의 에너지 절약방안을 교육하는 것이다.

미국 에너지부(DOE)의 에너지 스마트스쿨 유지관리 온라인 트레이닝 프로그램(Online training Program in Operating and Maintaining Energy Smart Schools)은 학교관리 기술자와 건물 관리인들에게 추가적인 에너지 절감 방안을 교육한다.

뉴욕시 교육부는 뉴욕전력 최고부하량 관리프로그램(PLM)에 참여하여 전력시스템의 과부하를 차단함으로써 최고부하량시기(Peak Load Management Days)의 정전을 방지한다. 현재 23개의 학교건물이 이 프로그램에 참여하여, 불필요한 조명 및 엘리베이터 서비스를 줄여 절전하고 있으며, 하절기에는 실내온도를 가능한 높게 설정・유지하고 있다. 또한 뉴욕시 교육부는 뉴욕시 대학의 지속가능성 프로젝트와 미국 솔라 시티 프로젝트에 참여하여 뉴욕시태양에너지구역(New York City Empowerment Zones) 내 학교 중 사업에 참여할 수 있는 학교를 선정한다.

더불어 구역 내에서는 학교건물의 태양열 에너지 생산량을 확인할 수 있는

데이터 모니터링 시스템을 지원하며, 학생들에게 태양열 에너지에 관한 정보를 제공할 수 있는 교육용 소프트웨어를 제공한다.

뉴욕시의 태양에너지시설 프로그램은 운영 방식에 시사점이 있다. 바로 직접적인 비용 지원보다 정보의 제공과 설치 후 관리에 포커스가 맞추어져 있다는 것이다. 그러나 서울시 관내 학교는 정부의 보급보조사업을 통해 신재생에너지, 특히 태양에너지 시설을 설치하지만, 그에 따른 정보 제공 및 모니터링이 총체적으로 이루어지고 있지 않아 지속적인 효과를 기대하기가 어렵다.

2) 시카고

시카고의 환경행동계획(Environmental Action Plan)은 시카고 공립학교(CPS)가 2009년 발표한 친환경적인 학교 운영전략이다. 이 계획은 학교건물이 환경에 미치는 부정적 영향을 최소화하기 위하여 학생들을 교육시키는 것을 목표로 하며, 교통 및 공기질, 에너지, 폐기물, 토지, 물, 참여 부문으로 구성되어 있으며, 이 중 에너지 부문과 참여 부문의 내용은 다음 <표 2-4>와 같다.

시카고의 환경행동계획은 특정 학교를 전면적으로 리모델링하는 등의 전략보다 다수의 학교에 에너지성능향상을 위한 장치나 시설을 점진적으로 보급하는 전략을 취하고 있으며, 정보제공과 참여를 중요한 요소로 포함한다.

시카고는 앞에서 서술한 환경행동계획 외에도 학교의 에너지성능 향상을 유도하기 위한 다양한 재정지원 정책을 펴고 있다. 재정지원 정책은 일리노이 청정에너지 커뮤니티 재단, 일리노이주 통상경제기회국(Illinois Department of Commerce and Economic Opportunity, ILDCEO), 일리노이 금융위원회(Illinois Finance Authority, IFA)의 프로그램 등이다.

〈표 2-4〉 환경행동계획의 부문별 목표와 전략

항 목	환경 목표	전 략
에너지 (Energy)	에너지 절감	- 컴퓨터의 자동 종료를 위한 시스템 업데이트 - 모든 사이트에 에너지 전략 플랜 시행 및 자금 지원. 학교를 위한 재정 인센티브 수립 - EnergyStar 시설을 소유한 공립학교 벤치마킹. 2012년까지 80%의 시설을 EnergyStar화시킴 - 새 장비는 모두 EnergyStar 장비가 요구됨
	재생에너지 사용증가	- 20% 이상의 재생에너지 구매, 2009년부터 2012년까지 연간 재생에너지 사용률 5%씩 증가, 2012년부터 2016년까지 연간 2.5%씩 증가시킴 - 학교버스에 대체에너지 적용
참여 (Engagem-ent)	시카고공립학교 담당자 참여 증진	- 시카고 공립학교 그린팀 구성 및 관리
	학생 부모 커뮤니티 참여 증진	- 그린팀 및 클럽 구성 증진 - 도시 기후행동계획(Climate Action Plan)을 전파하기 위한 캠페인 지원 - 환경프로그램, 그린스쿨 순위 등의 데이터 열람이 가능한 웹사이트 개발 - 그린 위시리스트를 만들어 비지니스 단체 및 개인을 위한 스폰서십 기회 제공 - 환경교육 및 녹지, 수질, 에너지 등과 관련한 커리큘럼 계획

일리노이 청정에너지 커뮤니티 재단은 전기공급업체인 Commonwealth Edison에서 기부한 기금으로 설립한 단체로, 건물에너지 효율 향상과 신재생에너지 보급 사업을 지원한다. 특히 학교 건물에 집중적인 지원이 이루어지고 있으며, 지난 10년간 시카고를 포함한 일리노이주의 초중고교 건물 2,000여 동, 대학교 건물 약 400동의 조명시설 교체와 신재생에너지 시설 설치를 지원하였다. 또한 기존 건물과 신축건물에 그린빌딩 설계 도입을 지원하고 있으며, 특히 에너지 부문 설계 강화에 최대 십만 달러를 지원한다. 지난 2000년부턴 2009년까지 30여 건물이 지원사업의 도움으로 LEED 인증을 받았다.

일리노이주는 학교 에너지효율 지원금(Illinois State Board of Education Grants, ISBE)을 최대 이십오만 달러까지 지원한다. 지원 항목은 단열 강화, 창호・조명 시설 교체, 에너지 절감 등의 에너지효율화 부문이다. 일리노이주는 에너지 효율성, 재생에너지, 재생연료 분야의 재정보조 또한 일리노이 지속가능한 교육 프로젝트(Illinois Sustainable Education Project, ISTEP)를 통한 교육자원을 제

공한다.[5]

일리노이 금융위원회의 재정지원은 세금감면과 융자지원제도의 형태로 운영되며, 일리노이주 권한하에 지원된다. 주요 지원 대상은 프리스쿨부터 대학원 이후과정의 학교건물에 대한 저비용의 리노베이션 및 재정비 사업이며, 학교구역의 유지관리 비용 감축을 돕는다.[6]

2. 일본의 에코플로우

일본의 에코플로우(Eco-Flow) 사업은 일본 환경부가 진행하는 "학교 에코 리노베이션 및 환경 교육 프로그램"의 사업명으로, 학교시설을 더욱 환경친화적으로 개선하고자 하는 "에코스쿨 시범모델 프로그램(Eco-School Pilot Model Program)"의 일부이다. 이 사업은 2003년 환경부의 지원하에 시행된 "환경정책 추천(Environmental Policy Recommendation)"의 최고사업으로 선정되어 2005년부터 본격적으로 시행되었다.

이 사업의 목표는 지구온난화와 열섬현상의 감축을 위해 기존학교 시설의 리트로핏을 지원하는 것이다. 또한 학생뿐만 아니라 거주자 및 건설 담당자를 포함한 모든 커뮤니티 구성원들의 환경친화적인 사회화를 위해 리트로핏 과정과 리트로핏된 학교건물을 교육적 자료로 활용한다.

환경부는 환경교육 프로그램 진행을 위해 다음의 역할을 할 수 있는 지역 기관이나 단체가 에코플로우 사업에 참여할 것을 요구하고 환경문제 해결과 교육을 통합하기 위한 노력을 기울인다.

---

5) www.illinoisenergy.org

6) www.il-fa.com

에코플로우(Eco-Flow)사업의 세부 목표

- **환경개선 :** 학교시설 에코 리트로핏을 통해 건물의 효율성을 증가시키고, 학습환경의 에너지 부하 증가가 없도록 개선
- **LCCO$_2$ 및 폐기물 감축 :** 내진설계로 건물수명을 늘리고 현대 교육에 적합한 환경을 제공함으로써 탄소 배출량과 건설 폐기물량 감축
- **지역 건축가 교육 :** 에코 리트로핏 사업의 과정 중 계획단계에서부터 지역에서 녹색건물을 건설하는 건설관련 전문가들을 위한 교육적 자료를 제공
- **환경 교육 :** 에코 리트로핏 사업이 완료된 학교는 학생들을 위한 환경 교육적 경험을 제공할 뿐만 아니라, 지역 주민들이 적은 에너지를 사용하면서도 안락한 생활을 보장받을 수 있는 시범 장소로 사용
- **환경 측정의 대중화 :** 학생, 교사, 지역주민들에게 환경 교육을 제공하고, 지역 전문가들의 기술을 증진시킴으로써, 전체 커뮤니티의 에너지 보존을 증진
- **에코마켓 :** 에너지 소비를 제한하면서, 에코마켓을 활성화시키는 환경과 경제의 긍정적 순환 사회 생성

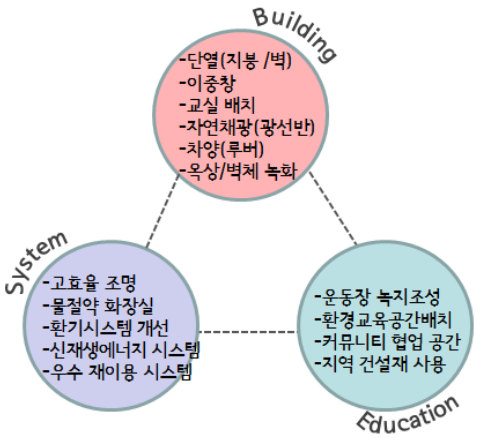
○건축환경 연구 단체 : 건축환경에 관련된 건설기술자들을 교육시키고, 에코 개보수에 의한 건물 성능을 연구

○환경교육 연구 단체 : 학생과 지역주민에게 환경 교육을 제공

교육전문가이면서 교육시설의 사용자가 될 교사는 두 기관을 연결해주는 접점이 되며, 환경 교육과 리트로핏 후 학교시설의 효율적인 운용을 돕는다.

에코플로우의 에너지성능 개선을 위한 에코 리트로핏 항목은 다음의 <그림 2-2>와 같이 크게 3가지로 유형화할 수 있다. 괄목할만한 점은 에너지 성능개선뿐만 아니라 커뮤니티 교육을 위한 항목들이 다수 포함된다는 것이다.

에코플로우 사업은 학교건물의 개보수를 전국적으로 시행하는 점이나 교육부분을 염두에 둔다는 점에서 현재 국내에서 시행 중인 그린스쿨 사업과 유사한 점이 많다. 그러나 국내 그린스쿨 사업이 리트로핏이 완료된 학교 건물이 해당 학교의 학생들을 위한 실습 자료가 되는 것에 초점을 둔 반면, 에코플로우 사업은 지역의 건설기술자 교육과 건물의 에너지성능 연구까지 고려하고 있다는 점에서 차이가 있다.

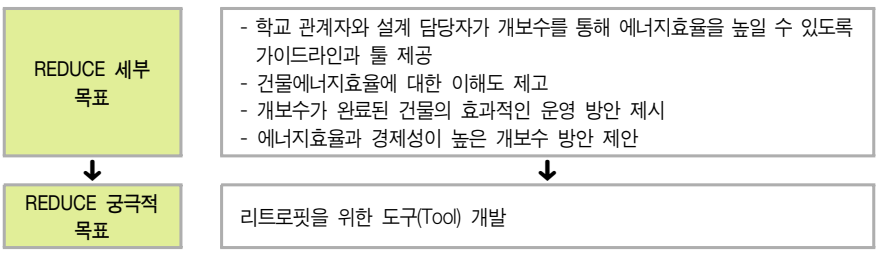


〈그림 2-2〉 에코플로우 사업의 리트로핏 항목

3. 국제에너지기구의 학교건물 리트로핏 프로그램

국제에너지기구의 학교건물 리트로핏 프로그램(Retrofitting of Educational Buildings, 이하 REDUCE)은 건물에너지효율 향상 프로젝트의 일환이다. 이 프로그램을 통해 학교 건물의 에너지 사용을 분석하고 에너지효율 향상을 중점사항으로 하는 사업을 진행하였다.

REDUCE에서 주목할 점은 리트로핏 자체가 아니라 리트로핏을 위한 도구(Tool)의 개발이며, 세부 목표는 다음과 같다.

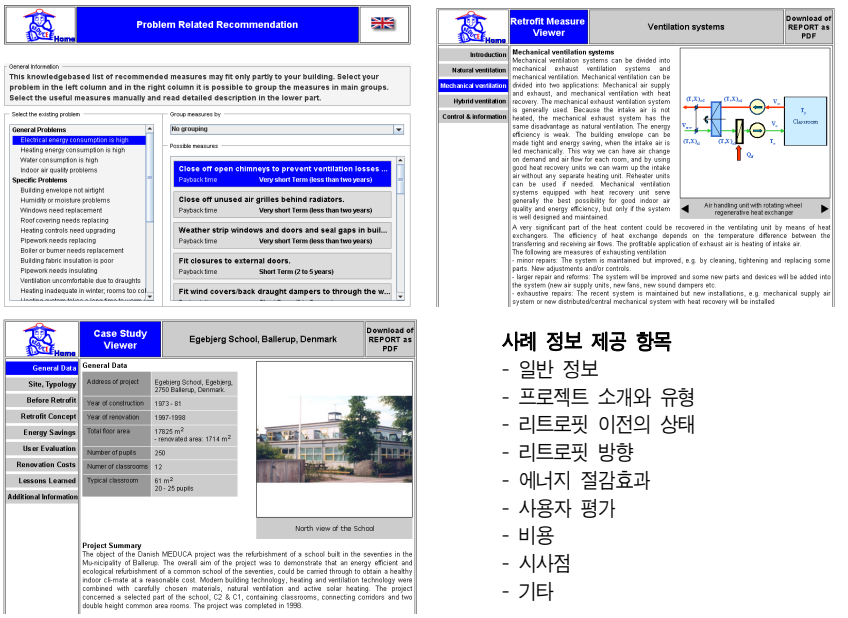


〈그림 2-3〉 REDUCE 프로그램의 목표

REDUCE에서 개발한 도구(전체적인 결과)는 Energy Concept Advisor라는 웹서비스에 집약되어 있다. Energy Concept Advisor는 건물에너지효율에 관한 일반적 사항과 함께, 건물 소유자가 자신의 건물이 가진 세부적인 문제를 선택하면 해당 문제에 적절한 해결책을 제시해준다.

이러한 자료 구축이 가능한 이유는 체계적으로 사례에 대한 세부사항을 수집했기 때문이다. 덴마크, 핀란드, 노르웨이, 독일, 영국, 프랑스, 이탈리아, 미국의 공공기관과 연구기관이 이 프로젝트에 참여하여 다양한 리트로핏 사례 자료를 제공함으로써 총 23개의 사례가 체계적으로 정리되어 있다.

빌딩리트로핏 자료를 체계적으로 정리·제공하기 위한 도구인 Energy Concept Advisor의 실제 효용성은 미지수이나, 구축 시도는 매우 중요한 의미를 가진다.



〈그림 2-4〉 Energy Concept Advisor의 리트로핏 항목 설명 제공(상)과 사례 정보 제공(하)

이 도구의 효과에 의문을 갖는 이유는 크게 2가지이다. 첫째, 정리된 사례가 에너지 벤치마킹의 기준자료로 활용되기에는 통계적으로 유의하지 않고 국가와 도시마다 기후의 건축환경이 다른 상황에서 경제성 및 리트로핏 항목 효과에 대한 정보의 유용함을 동등하게 판단할 수 없다는 점이다. 반영하고 있는 사례가 통계적으로 유의미한 수준으로 구축된다면 실제로 효과가 가장 큰 리트로핏 방안을 선택하는 데 도움을 줄 것이다.

둘째, 정보제공 방식의 직관성이 부족하며, 사례와 정보의 유기성이 떨어진다는 점이다. 사례와 방안을 연관 지었다면 리트로핏 방안의 효과에 대해 이해하기가 쉬울 것이며, 빌딩리트로핏을 고려하는 관계자는 해당 건물과 사례에 제시된 건물의 여러 차이를 감안하여 리트로핏 후의 변화를 예측할 수 있을 것이다. 그러나 Energy Concept Advisor는 사례와 방안이 별도로 제시되어 있어 제시하는 정보의 양에 비하여 활용도가 낮다.

REDUCE의 Energy Concept Advisor와 같은 서비스는 향후 건물 개보수 정책에서 매우 중요한 역할을 할 수 있다. 또한 해당 서비스의 약점이었던 자료 구축 및 제공방식의 연계를 보완한다면 파급효과나 이용 범위가 훨씬 커질 것이다. 또한 Energy Concept Advisor는 웹기반으로 서비스를 제공하고 있어 유지와 관리가 쉬우며 정보 접근성이 우수하다.

4. 유럽의 건물에너지 성능향상 프로그램

미래학교(School of the Future) 프로젝트는 'EU 7차 프레임워크 프로그램'(Framework Programme)[7]의 일환으로, 2011년 2월에 착수되었다. 이 프로젝

7) 'EU 7차 프레임워크 프로그램'(Framework Programme)은 EU의 공동 연구개발 프로젝트로 EU 출범과 동시에 발의한 리스본 전략의 후속조치인 '신 리스본 전략'(Renewed Lisbon Strategy, 2005)을 실행하기 위한 방편임. 프레임워크 프로그램의 중요성은 점차 증대되어 전체 예산이 175억 유로에서 505억 유로로 6차에 비해 대폭 증가함(고동수, 2009).

트는 5년동안 진행되며, 유럽 4개 지역 학교(독일 슈투트가르트, 이탈리아 체세나, 덴마크 발레룹, 노르웨이 드람멘)의 리트로핏을 통해 난방에너지의 최소 75% 이상, 기타 에너지 사용의 상당 부분을 절감하는 목표를 가진다.

소규모 프로젝트의 리트로핏 사업이 5년이 소요된다는 점은 사업의 단점이라고 지적할 수도 있으나, 관련 분야의 전문가, 학교 관계자, 시 관계자가 모두 참여해 최적화된 리트로핏 방법을 찾고, 혁신적인 방안을 모색하기 위해 사업기간을 충분히 설정한 것이다. 이 프로젝트는 대상 학교의 리트로핏을 통해 에너지 사용을 줄인다는 목적 외에 향후 탄소 배출이 최소화된 학교를 만들기 위한 모델을 정립하겠다는 의도를 포함하고 있다.

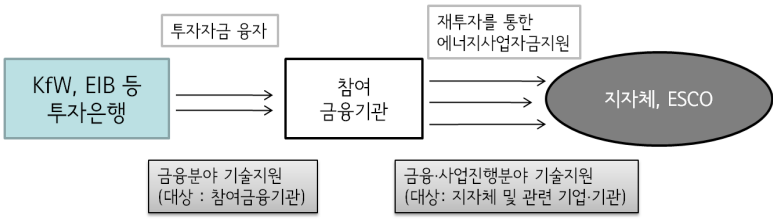
ELENA(European Local Energy Assistance) 사업은 유럽의 'Intelligent Energy'[8] 사업의 일환으로, 특히 지자체의 에너지효율 향상과 신재생에너지 보급 사업을 지원하고 동시에 각 지자체에 필요한 과학기술과 금융기법을 지원한다.

ELENA 사업은 건물에너지효율, 신재생에너지, 인프라 등 다양한 분야의 사업을 고루 지원하고 소규모 지자체를 지원하는 것에 중점을 둔다. 또한 이전에 성공했던 사례를 벤치마킹하여 대규모로 적용하는 사업을 적극 지원한다.

현재 6개 사업이 진행 중이고, 6개 사업의 허가가 완료되어 총 16억 유로의 투자가 이루어질 것이다. 이러한 사업에 의한 효과는 지원기간에 913GWh의 에너지 절약, 417GWh의 신재생에너지 생산, 496,000tCO_2e의 배출량감소, 연간 25,400명의 고용창출 등을 들 수 있다.

---

8) 'Intelligent Energy'는 EU 2020년 에너지효율향상과 온실가스 감축 목표를 달성·촉진하기 위한 장치로 에너지효율 향상과 신재생에너지 보급이 시의성에 비해 시장원리에 따라서는 원활이 이루어지기 어렵다는 판단하에 발족했으며, 투자·지원사업과 각종 기술 및 노하우 보급·전파 사업을 통해 시장 확산이 가능하도록 원조 역할을 수행함.



〈그림 2-5〉 ELENA의 사업구조

사업의 규모와 성격에 따라 유럽투자은행(European Investment Bank), KfW, CEB 등 투자은행 중 하나가 지자체와 ELENA 사업을 진행한다. 현재 스페인 바르셀로나, 네덜란드 푸르메렌드, 이탈리아 밀라노, 스페인 마드리드, 프랑스 파리, 가이아 등의 지자체 사업을 지원하고 있으며, 해당 지자체들은 ESCO 사업이나 지역난방사업을 통해 민간건물 에너지효율 향상을 꾀하는 동시에 학교를 포함한 공공건물 리트로핏 사업에 필요한 금전적, 기술적 지원을 받는다. 특히 파리와 밀라노는 학교건물 리트로핏에 초점을 맞추고 있다.

〈표 2-5〉 ELENA 대표사업의 세부 내용

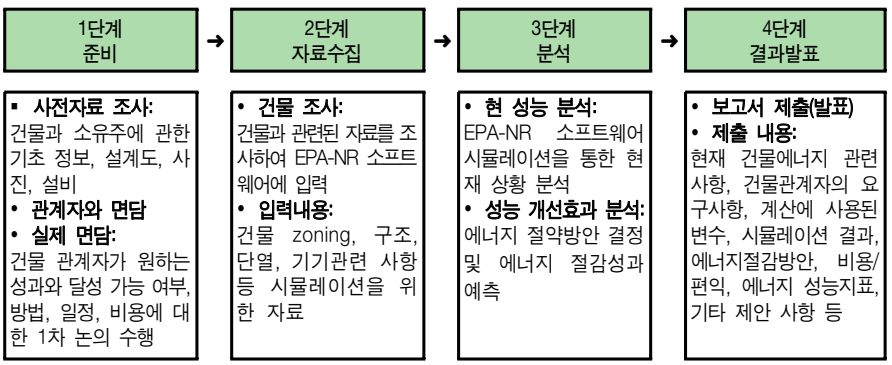
위치	밀라노	파리
ELENA가 자금 지원하는 사업	ESCO를 통한 해당 지역 내 공공건물 에너지효율 향상 사업을 통해 산하 지자체 사업비 지원	투자사업 준비 · 실행 학교 선정, 에너지성능계약 준비와 사전조사, 학교별 에너지사용기준 마련, 시행방안 마련(Tender), 에너지성능계약 심사, 정보제공
ELENA를 통한 지원내용	주차원에 사업추진단 설립. 각 지자체의 사업제안 심사 후 기술지원과 유럽투자 은행(EIB)을 통한 자금지원	인력지원(3명) 업무내용 : 투자사업과 시행절차 확정, 관련부서와 협조, 에너지성능계약 준비와 체결, 정보제공 프로그램을 위한 외부전문가 관리
사업 기간	2010년~2013년	2010년~2013년
사업 근거	인구 30,000명 이하의 산하지자체 101개에 위치한 건물 1,000개 점검결과	파리 기후변화 행동계획
사업 상세 내용	선정된 지자체의 학교건물을 에너지성능계약을 통해 리트로핏	외피성능개선, 에너지 모니터링이 가능한 에너지관리시스템, 고효율 조명, 태양광 지붕
사업비	9,000만 유로	1억 8천만 유로
예상 효과	천연가스 연간 22,400MWh(1,925TOE) 절감 전기 연간 4,950MWh(850TOE) 절감	에너지 연간 32.5GWh 절약

〈표 계속〉 ELENA 대표사업의 세부 내용

위치	밀라노	파리
예상 효과	전기에너지 1,100MWh손실(1차에너지 기준 연간 200TOE) 예방	탄소배출 연간 6,480톤 감소
파급 효과	ESCO를 통한 에너지성능계약 방식은 독일과 오스트리아에서 이미 성공을 거둔 바 있으며, 이를 대규모 사업에 적용하게 되면 이탈리아 전국적으로 이러한 방식이 확산될 가능성이 높음	에너지성능계약의 대규모 적용으로, 성공 시 다른 지자체도 유사한 사업을 진행할 것으로 기대

EPA-NR(Energy Performance Assessment for existing non-residential buildings)은 EU에서 2003년부터 시행한 EPBD(Energy Performance Buildings Directive)에 따라 기존 비주거 건물의 에너지성능을 평가하고 에너지성능 인증을 시행하기 위해 개발된 도구와 방식이다. EPA-NR은 기존 비주거 건물의 에너지성능 인증을 위한 건물에너지 측정 절차를 확립하였으며, 주로 학교와 공공건물을 대상으로 시범사업을 실시한 점에서 공공건물 에너지효율 향상에 큰 기여를 했다. 또한 EPA-NR은 건물에너지 성능을 진단·개선하는 틀을 만들고 통일적인 방법을 제시한다는 점에서 건물에너지 성능개선과 정책을 연계하는 데 있어 중요한 선례이다.

건물에너지 성능 평가 대상 건물은 에너지성능 인증만을 받는 건물과 에너지 분석, 평가와 에너지성능개선 시나리오를 도출하는 건물로 나눌 수 있다. EPA-NR의 과정은 아래 <그림 2-6>과 같다.



〈그림 2-6〉 EPA-NR의 건물에너지 진단절차

EPA-NR은 유럽 전역에 걸친 정보구축 체계를 확립하기 위한 노력이기도 하다. 기본 UI와 시뮬레이션 엔진은 유럽 전역에서 공통으로 사용되지만 국가나 지역에 따른 결과를 구하기 위해 해당 지역에 맞는 몇 가지 라이브러리가 가변적으로 쓰인다. 따라서 서로 다른 기후조건과 환경을 지닌 지역의 자료를 통합적으로 관리할 수 있다. 정보구축 체계는 아래와 같다.

- ○구성요소 라이브러리(선택사항) : 기본 사용자 UI에 대한 변형이 가능하며, 기본정보 입력 방식 조정
- ○연료 라이브러리 : 시뮬레이션 엔진과 연결하여 해당 지역에 맞는 연료와 특성(1차에너지 변환 계수) 조절
- ○기후 라이브러리 : 시뮬레이션 엔진과 연결해 해당 지역에 맞는 기후 입력
- ○기타 고정값 : 고정값을 사용하는 라이브러리의 예로는 사용률이나 heat gains 등이 있음

위의 내용으로 미루어볼 때 EPA-NR tool과 서울시에서 건물에너지 총량제 시행을 위해 개발한 건물에너지 시뮬레이션 시스템(BESS)은 상당히 유사하다. 첫째, 시뮬레이션 툴이 간소화되고 둘째, 건물에너지 성능 진단과 개선에 모두 활용할 수 있기 때문이다. 한편 EPA-NR이 에너지 진단과 예측, 건물 관계자와의 커뮤니케이션에 집중하는 반면, BESS는 에너지성능 인증을 위한 도구로 출발한 점에서 차이가 있다. 그러나 BESS 프로그램을 이용하여 에너지 진단과 컨설팅이 가능하므로, BESS의 정책적 활용도를 높이는 것이 장기적으로 중요하다.

제3절 시사점

위의 국내외 학교건물 에너지성능향상 추진사례를 정리하면 다음 <표 2-6>과 같으며, 이들 추진사례 분석을 통해 정책의 경향 차이를 알 수 있다.

국내는 그린스쿨, 에코스쿨, 에코그린스쿨 등의 사업이 대표적이며, 그린스쿨이나 에코스쿨 사업은 공립학교 중심으로 전폭적인 지원이 이루어진다. 특히 학교는 사업을 직접 진행할 예산이나 집행권이 없으며 교육지원청 주도로 사업이 진행되어 건물의 운영 주체인 학교에서는 에너지성능에 대한 관심이 상대적으로 낮다. 예산문제와 정부 시책 등의 이유로 에너지 절약을 실천해야 한다는 의무와 쾌적한 학습환경 조성이라는 가치 사이에서의 고민은 크지만 실질적인 해결책이나 대응방안인 에너지성능 향상은 이끌어내지 못하는 구조이다.

〈표 2-6〉 국내외 추진사례 정책유형 및 특징

○ : 해당함, △ : 관련있음, - : 관련없음

구분		정책유형				특징
		지원	규제	정보	계획	
국내	그린스쿨	○	-	-	○	저탄소 녹색성장 기조, 풍부한 예산지원(전액지원)
	에코스쿨	○	-	-	-	서울시 BRP 사업 분야의 다양화 일환
	에코그린스쿨	-	-	△	-	건물에너지 관련 정보제공보다는 환경교육에 초점
EU	REDUCE	-	-	○	-	정보제공 자체의 중요성을 인식하여 해당 분야에 전폭적인 노력
	Build-UP	-	-	○	○	실증을 통한 정보제공
	ELENA	○	-	-	-	대규모 장기 저리 융자 프로그램으로 다양한 유형의 건물 지원
	EPA-NR	-	-	○	○	리트로핏 전 과정의 정보와 평가 방법론 제시
미국	EnergySmart	-	-	○	-	다양한 지원정책을 기반으로 가능
	뉴욕시 Bench-marking	-	-	○	-	장기적인 자료구축 및 모니터링시스템 구축 필요
	일리노이 학교지원 프로그램	○	-	-	-	직접시공은 물론 설계 부문에 대한 지원까지 포함
일본	Eco-Flow	-	-	○	○	실증을 통한 정보제공

또한 에코스쿨 사업은 시설물 설치위주의 사업으로 현재 예산이 원활히 확보되지 못하여 구체적인 진척사항에 대한 보도가 없는 상황이다.

학교뿐만 아니라 정책 실행 주체도 에너지성능에 대한 인식 부족을 드러낸다. 거액의 예산을 들이는 그린스쿨 사업에서 에너지에 대한 투명한 기준 없이 노후도와 관련자 협의에 의해 대상 학교를 선정하며, 리트로핏을 진행하는 과정에서도 에너지성능효과에 대한 분석이 수반되지 않는 점을 큰 문제로 꼽을 수 있다.

이처럼 건물에너지성능에 대한 인식의 부족은 정책 차원의 정보제공 서비스에서도 드러난다. 현재 정부와 서울시의 환경 및 에너지 관련 정보제공 서비스는 매우 미미하다. 누구나 쉽게 접근이 가능하기 때문에 가장 홍보에 중점을 두어야 하는 영역인 각 기관 웹사이트는 건물에너지에 대한 정보가 적으며 접근성이 떨어진다. <표 2-7>은 현재 3개 기관이 제공하고 있는 건물에너지 정보제공 서비스의 내용을 비교한 것이다.

이는 앞에서 살펴본 외국의 사례들이 각종 정책사업을 상세히 홍보하고 관련자들의 참여를 이끌어내며 건물에너지에 대한 다양한 정보를 제공하는 것과는 대조적이다.

〈표 2-7〉 주체별 건물에너지 관련 정보제공 서비스 현황

구분	에너지관리공단	서울시 맑은환경본부	서울시 주택국
정보제공형태	건물에너지 절약사업 소개	시민참여	에너지사용 총량제 시행 공지
개보수 관련 항목	단열정보	에너지절약	에너지성능 설계
내용	주택단열시공방법, 단열관련 법규 · 정책	건물에너지 저감에 관한 일반적 방안	관련 정책 문서 및 시뮬레이션 프로그램에 대한 설명서 파일
접근성 (해당 링크나 항목의 노출정도)	높음(전면 배치)	낮음	낮음
사용자 특성 고려 정보제공 여부	안함	안함	안함

건물에너지 성능향상을 위한 규제와 지원책은 세계적으로 앞서 있지만, 장기적으로 더욱 큰 파급력을 지니는 정보제공 측면에서는 매우 뒤처져 있다. 정보

제공이 빈약한 이유는 건물에너지 성능향상을 유도하기 위한 정보 구축이 잘 되어 있지 않은데다 정보제공에 대한 관심이 전반적으로 부족하기 때문이다. 정보제공은 이 두 가지 조건이 모두 충족되어야 하기 때문에 단기적으로 해결 가능한 문제는 아니다. 또한 현 시점에서는 정보 구축이 우선되어야 할 것으로 보인다.

제3장 학교 건물에너지 소비분석 대상과 방법

제1절 건물현황에 대한 기초자료
제2절 학교유형별 에너지 소비
제3절 건물에너지 소비량 상세분석

제3장 학교 건물에너지 소비분석 대상과 방법

제1절 건물현황에 대한 기초자료

1. 에너지사용량 자료 및 통계 데이터

학교 에너지 리트로핏 사업을 종합적으로 관리하고 지원하기 위해서는 학교 에너지사용량 자료가 구축되어야 한다. 관련 기관이 전체적인 자료를 보유하고 관리하며, 필요에 따라 에너지사용량을 상세히 분석할 수 있는 체계가 구축되어야 사업 대상을 선정하고 사업 성과를 파악할 수 있을 것이다. 이 장에서는 학교 에너지사용량 자료 사용 및 분석의 예를 제시한다.

서울시 관내 학교 에너지사용량은 교육과학기술부의 교육통계 DB에서 총괄적으로 관리되고 있다. 관리항목은 학교별 연간 에너지사용량정보이며, 상세항목은 다음 표와 같다. 연간 에너지사용량 정보는 서울시 전체 에너지소비 분석에 활용하기에는 적합하나, 세부 분석을 위한 자료 활용에 한계가 있다. 현재 에너지소비량데이터는 사용원별 분류만 되어 있을 뿐, 난방, 급탕 등의 에너지 사용용도로 구분되어 있지 않아 에너지소비의 상세분석을 위한 자료로 사용할 수 없다. 또한 통계자료의 수집방법도 에너지소비량을 학교에서 직접 입력하는 방식으로 에너지관리자의 업무 부담이 크다. 그리고 이러한 방식은 오류가 많

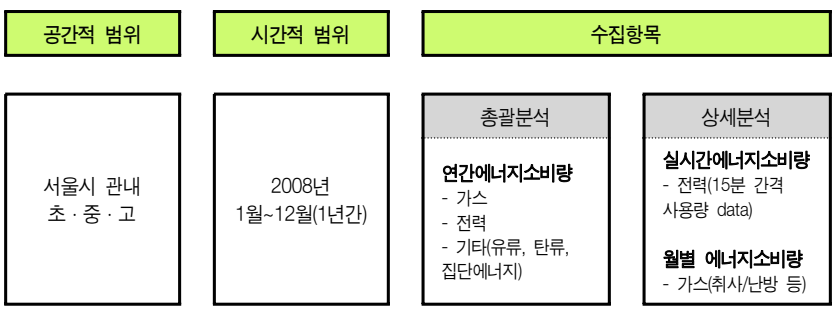
고 오류 시 정보의 수정이 어렵다.

따라서 이 장에서는 현재 서울시 관내 학교의 총괄적인 에너지 소비실태 파악을 위해 교육통계 DB데이터를 활용하여 전체학교의 에너지소비량을 분석하였다. 또한 상세 에너지소비량 파악을 위해 학교 유형을 분류하여 대표 학교를 선정하였고, 에너지소비량 모니터링 자료(PCCS, 가스계량검침자료)를 활용하여 유형별 에너지 소비특성을 분석하였다.

에너지소비량의 자료 수집범위는 다음과 같다. 에너지 소비량은 2008년의 데이터를 활용하여 분석하였다. 자료 수집시점에서 실제 사용한 데이터 중 최근의 것이 2009년 자료였는데, 이는 표본자료 분석 결과 2009년에 이상기후로 인하여 에너지 소비 패턴이 평년과 큰 차이를 보였기 때문이다.

〈표 3-1〉 교육통계 DB 에너지사용량 통계 항목

구 분		세부항목	제공형태
에너지 사용량 통계	전기	일반전기	연간사용량(kWh)
		심야전기	연간사용량(kWh)
	기타	가스	연간사용량(㎥)
		유류	연간사용량(㎥)
		탄류	연간사용량(톤)
		집단에너지	연간사용량(Gcal)
	물	상수도	연간사용량(톤)
		지하수	연간사용량(톤)

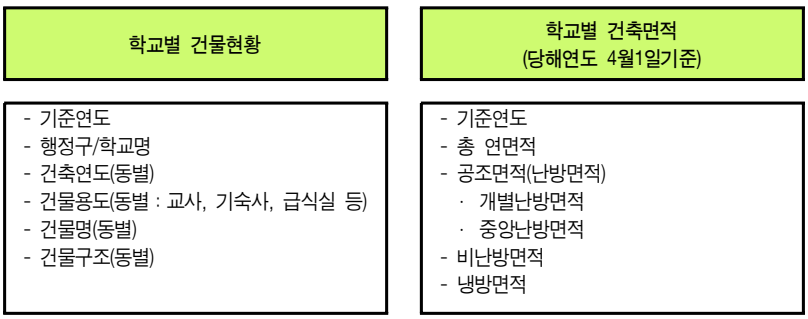


〈그림 3-1〉 에너지소비량 자료 수집범위

2. 건물기초자료

1) 자료의 수집과 범위

건물 기초자료 수집은 연간 에너지사용량 자료 수집과 마찬가지로 교육통계 데이터베이스를 활용하였다. 교육통계데이터베이스를 통해 학교 건물기초자료를 입수하였다. 수집된 건물기초자료는 학교별 건물현황, 건축면적 등이다. 세부 기초자료의 항목은 다음과 같다.



〈그림 3-2〉 기초자료의 수집 항목

수집된 건물기초자료는 상세에너지사용량 분석 대상학교 선정 및 서울시 학교건물의 에너지소비분석을 위한 변수로 사용된다. 특히 공조면적과 총 연면적은 에너지소비원단위 산출을 위한 기초자료로 활용된다.

2) 학교 운영 일정

기존 문헌 및 실제 현장조사를 통해 학교 종류별 연간 운영일정을 조사하였다. 이러한 운영일정은 에너지소비량의 상세 분석 및 건물성능평가를 위한 기조자료로서 중요한 의미를 가진다.

(1) 초등학교

초등학생은 일반적으로 8시 30분에 등교하지만, 저학년 학생은 14시 40분경에 하교, 고학년 학생은 15시 30분경에 하교하는 것으로 조사되었다. 또한 방학기간인 1~2월, 7~8월의 운영일이 적은 것이 특징이다.

〈표 3-2〉 초등학교의 운영일정

연간 학년별 수업일수(일)												
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1학년	0	11	22	21	25	21	19	0	20	20	28	19
2학년	0	11	22	21	25	21	19	0	20	20	28	19
3학년	0	11	22	21	25	21	19	0	20	20	28	19
4학년	0	11	22	21	25	21	19	0	20	20	28	19
5학년	0	11	22	21	25	21	19	0	20	20	28	19
6학년	0	11	22	21	25	21	19	0	20	20	28	19

학년별 등하교시간						
구분	평일등하교시간		토요일등하교시간		일요일 등하교시간	
	등교	하교	등교	하교	등교	하교
1학년	8시30분	14시40분	8시30분	12시30분	-	-
2학년	8시30분	14시40분	8시30분	12시30분	-	-
3학년	8시30분	14시40분	8시30분	12시30분	-	-
4학년	8시30분	15시30분	8시30분	12시30분	-	-
5학년	8시30분	15시30분	8시30분	12시30분	-	-
6학년	8시30분	15시30분	8시30분	12시30분	-	-
평일 6교시 수업, 8시~15시 100%재실						

냉난방기간	
난방	11월 중순 ~ 4월 초
냉방	6월 중순 ~ 8 월 말

(2) 중학교

중학교의 일반적인 일간 운영 스케줄을 보면 다음 <표 3-3>과 같이 등교시간은 초등학생보다 조금 빠른 8시 10분경이나, 하교시간은 초등학교 고학년과 비슷한 15시 30분경으로 조사되었다. 중학생의 경우 보충수업을 거의 실시하지 않기 때문에 방학기간의 냉·난방기 사용이 적게 나타난다. 또한 학교운영방침 및 냉·난방기기의 제어방식에 따라 냉방과 난방기간이 다소 다르다는 특징을 보인다.

(3) 고등학교

고등학교의 운영일정은 보충수업 및 야간자율학습의 유무 등에 따라 달라진다. 이 연구에서는 운영시간이 가장 긴 학교를 대상으로 하여 운영일정을 조사하였다.

〈표 3-3〉 중학교의 운영일정

연간 학년별 수업일수(일)												
구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1학년	0	5	22	23	21	22	14	6	21	24	23	23
2학년	0	5	23	23	21	22	14	6	21	24	23	23
3학년	0	4	23	23	21	22	14	6	21	24	23	23

학년별 등하교시간						
구 분	평일 등하교시간		토요일 등하교시간		일요일 등하교시간	
	등교	하교	등교	하교	등교	하교
1학년	8시10분	15시30분	8시10분	12시40분	-	-
2학년	8시10분	15시30분	8시10분	12시40분	-	-
3학년	8시10분	15시30분	8시10분	12시40분	-	-

단, 월~금 수업 시 8시~15시30분 100% 재실

냉난방기간	
난방	10월 말 ~ 3월 말
냉방	7월 초 ~ 9월 말

〈표 3-4〉 고등학교의 운영일정

연간 학년별 수업일수(일)												
구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1학년	0	5	22	23	23	22	14	9	21	24	22	23
2학년	0	5	22	23	23	22	14	9	21	24	22	23
3학년	0	6	22	23	23	22	14	9	21	24	22	23

학년별 등하교시간						
구 분	평일 등하교시간		토요일 등하교시간		일요일 등하교시간	
	등교	하교	등교	하교	등교	하교
1학년	7시50분	22시	7시50분	12시	-	-
2학년	7시50분	22시	7시50분	12시	-	-
3학년	7시50분	23시	7시30분	17시	9시	17시

단, 월~금 수업시 8시~15시 100%재실, 15시~22시 50% 재실

보충수업 기간		
구 분	동계 보충수업 기간	하계 보충수업기간
1학년	1월 7일 ~ 1월 31일	7월 21일 ~ 8월 08일
2학년	1월 7일 ~ 2월 15일	7월 21일 ~ 8월 08일
3학년	-	7월 21일 ~ 8월 14일

냉난방기간	
난방	10월 말 ~ 3월 말
냉방	7월 초 ~ 9월 말

제2절 학교 유형별 에너지 소비

1. 초등학교

수집 가능한 2008년 기준 초등학교의 총 건물 수는 571개소이며, 이 중 에너지정보가 누락된 학교를 제외한 564개교를 대상으로 에너지소비를 분석하였다.

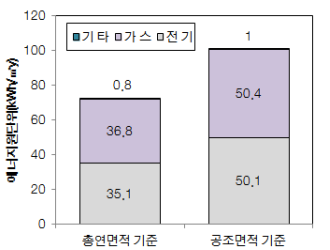
2008년 기준 서울시 관내 초등학교의 총에너지 사용량은 약 347GWh로 2008년 서울시 전체 건축물 에너지소비량(가정・상업부문)의 약 0.35%에 해당한다. 학교별 에너지사용량을 분석한 결과 한 학교가 평균 615MWh의 에너지를 연간 사용하는 것으로 파악되었으며, 에너지원의 소비비중은 전기 48.3%, 가스 50.6%, 기타 1.1%로 기타(집단에너지, 유류, 탄류 등)의 비중이 매우 적다.

초등학교의 평균 에너지원단위의 경우 공조면적 기준 101.5 kWh/㎡y, 연면적 기준 72.7kWh/㎡y로 산출되었다. 학교의 에너지원단위에 대한 기준은 아직 정립되지 않았으나, 이러한 수치는 에너지소비총량제 공공건물 에너지사용목표 기준[9]인 2030년 170kWh/㎡y보다 낮은 수준으로 타 용도의 건물에 비해 에너지소비량이 적은 것으로 나타난다.

〈표 3-5〉 서울시 초등학교 에너지소비 분석

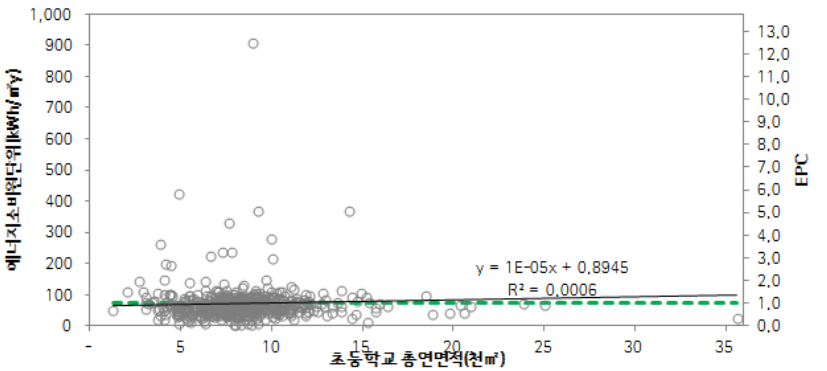
(단위 : kWh/y, kWh/㎡y)

구분		초등학교	분석대상		564개소
총 에너지 사용량		347,138,312	에너지원별 비중		전기 48.3% 가스 50.6% 기타 1.1%
학교별 에너지 사용량	최대	19,500,459	평균 에너지 원단위	공조 면적 기준	101.5
	평균	615,493			
	최소	3,177		연면적 기준	72.7

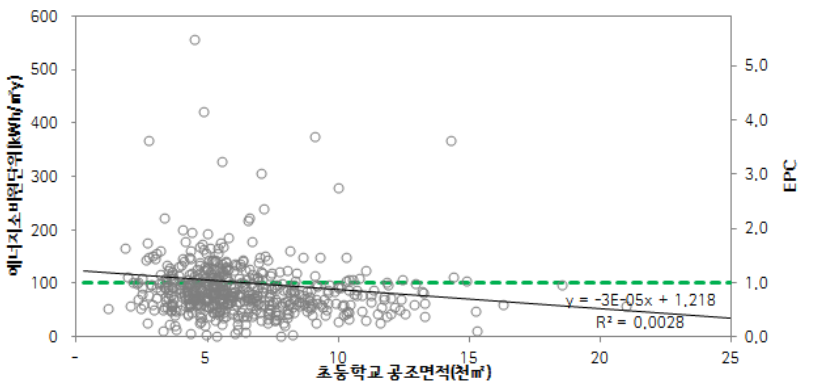


9) 서울시 보도자료로 공공건물의 에너지소비총량제 이행 목표는 2011년 300kWh/㎡y, 2015년 260kWh/㎡y, 2020년 225kWh/㎡y, 2025년 195kWh/㎡y, 2030년 170kWh/㎡y로 점차적으로 기준을 강화할 예정

건물의 면적은 건물에너지소비량에 영향을 끼치는 중요 인자이다. 따라서 총 연면적과 공조면적에 따른 에너지원단위의 추세를 분석하였다(<그림 3-3>, <그림 3-4> 참고). 총 연면적에 따른 에너지원단위는 대부분의 학교가 평균 에너지원단위에 밀집하여 분포하고 있으며(±50% 이내 457개교-약 81%), 총연면적이 증가함에 따라 에너지원단위가 미세하게 증가하는 추이를 보인다. 공조면적에 따른 에너지원단위 또한 공조면적이 커질수록 감소하는 경향을 보이며, 이러한 경향은 총 연면적에 따른 감소보다 뚜렷하다.



〈그림 3-3〉 초등학교 총 연면적에 따른 에너지원단위



〈그림 3-4〉 초등학교 공조면적에 따른 에너지원단위

2. 중학교

중학교의 2008년 기준 총 건물 수는 368개소이며, 이 중 면적정보・에너지정보가 누락된 학교를 제외한 356개교를 대상으로 에너지소비를 분석하였다.

2008년 기준 서울시 관내 중학교의 총에너지 사용량은 약 181GWh로 집계되었다. 학교별 에너지사용량을 분석한 결과 한 학교가 평균 508MWh의 에너지를 연간 사용하는 것으로 파악되었으며, 에너지원의 소비비중은 전기 54.8% 가스 41.9%, 기타(집단에너지, 유류, 탄류 등) 3.3%로 전기의 비중이 가장 큰 것으로 나타났다.

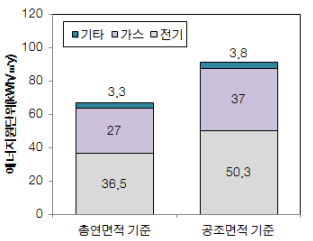
중학교의 평균 에너지원단위는 공조면적 기준 91.1kWh/㎡y, 연면적 기준 66.8kWh/㎡y로 초등학교보다 공조면적 기준 약 10kWh/㎡y가 적은 것으로 산출되었다. 따라서 중학교 역시 평균적으로 에너지총량제 규제기준에 못미치는 에너지소비량을 나타내는 것으로 판명된다.

중학교의 총 연면적과 공조면적에 따른 에너지원단위의 추세를 분석한 결과는 다음 그림과 같다. 총 연면적에 따른 에너지원단위는 공조면적과 비교하여 평균 에너지원단위에 밀집하여 분포하고 있는 것으로 분석되었다. 또한 총 연면적이 증가함에 따라 에너지원단위가 감소하는 경향을 나타내었다.

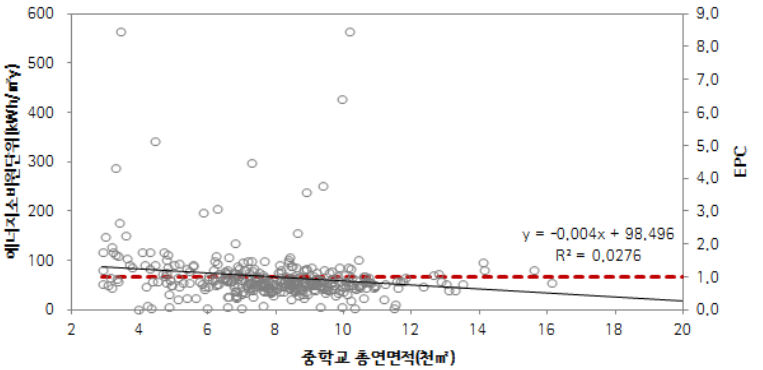
〈표 3-6〉 서울시 중학교 에너지소비 분석

(단위 : kWh/y, kWh/㎡y)

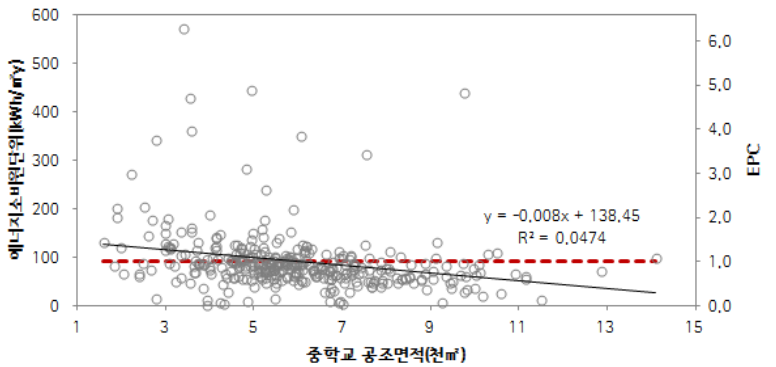
<table>
<tr><td colspan="2">구분</td><td>중학교</td><td colspan="2">분석대상</td><td>356개소</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 에너지 사용량</td><td>180,939,480</td><td colspan="2">에너지원별 비중</td><td>전기 54.8%
가스 41.9%
기타 3.3%</td></tr>
<tr><td rowspan="3">학교별 에너지 사용량</td><td>최대</td><td>5,747,990</td><td rowspan="3">평균 에너지 원단위</td><td>공조 면적 기준</td><td rowspan="2">91.1</td></tr>
<tr><td>평균</td><td>508,257</td></tr>
<tr><td>최소</td><td>1,074</td><td>연면적 기준</td><td>66.8</td></tr>
</table>



공조면적에 따른 에너지원단위 또한 공조면적이 커질수록 감소하는 경향을 보이며, 이러한 경향은 초등학교와 마찬가지로 총 연면적에 따른 감소보다 뚜렷하다.



〈그림 3-5〉 중학교 총 연면적에 따른 에너지원단위



〈그림 3-6〉 중학교 공조면적에 따른 에너지원단위

3. 고등학교

고등학교의 2008년 총 건물 수는 299개소이며, 일반계고 225개소, 전문계고 74개소로 집계되어 있다. 이 중 면적정보・에너지정보가 누락된 학교를 제외하여, 296개교를 대상으로 에너지소비를 분석하였다.

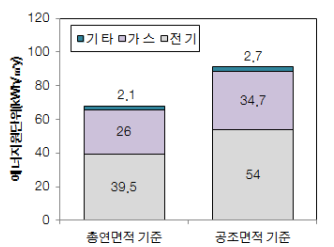
2008년 기준 서울시 관내 고등학교의 총에너지 사용량은 약 260GWh로 집계되었다. 학교별 에너지사용량을 분석한 결과 한 학교가 평균 878MWh의 에너지를 연간 사용하는 것으로 파악되었으며, 에너지원의 소비비중은 전기 56.7% 가스 40.6%, 기타(집단에너지, 유류, 탄류 등) 2.7%로 전기의 비중이 가장 크고, 중학교와 유사한 소비비율을 나타냈다.

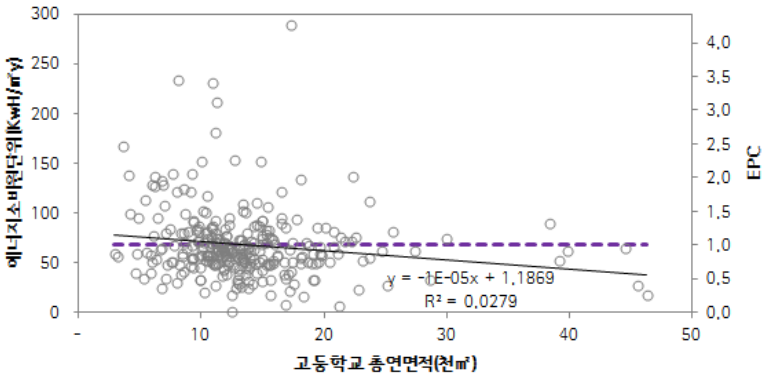
고등학교의 평균 에너지원단위는 공조면적 기준 91.4kWh/㎡y, 연면적 기준 67.6kWh/㎡y로 중학교와 유사한 것으로 산출되었다. 고등학교의 총 연면적과 공조면적에 따른 에너지원단위의 추세를 분석한 결과는 각각 <그림 3-7>, <그림 3-8>과 같다. 총 연면적에 따른 에너지원단위의 추이는 면적증가에 따라 감소하는 추세를 보였으며, 공조면적 증가에 따른 에너지원단위 또한 감소하는 경향을 나타냈다. 따라서 대부분의 에너지 리트로핏 대상 학교의 분포가 총 연면적 기준 5천㎡~15천㎡의 범위내에 포함되는 것으로 분석되었다.

〈표 3-7〉 서울시 고등학교 에너지소비 분석

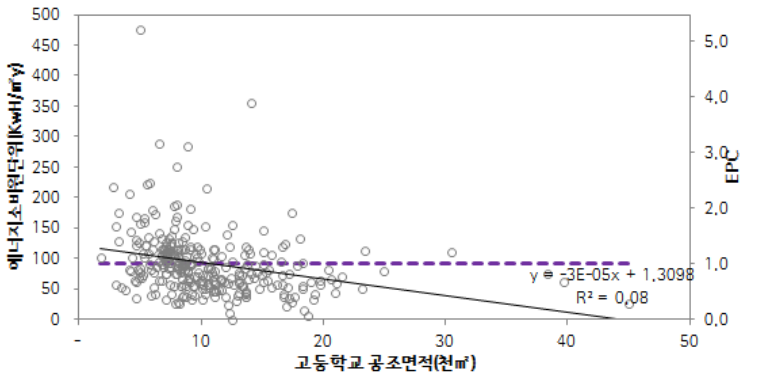
(단위 : kWh/y, kWh/㎡y)

구분		고등학교	분석대상		296개소
총 에너지 사용량		260,009,639	에너지원별 비중		전기 56.7% 가스 40.6% 기타 2.7%
학교별 에너지 사용량	최대	4,979,174	평균 에너지 원단위	공조 면적 기준	91.4
	평균	878,411			
	최소	3,582		연면적 기준	67.6





〈그림 3-7〉 고등학교 총 연면적에 따른 에너지원단위



〈그림 3-8〉 고등학교 공조면적에 따른 에너지원단위

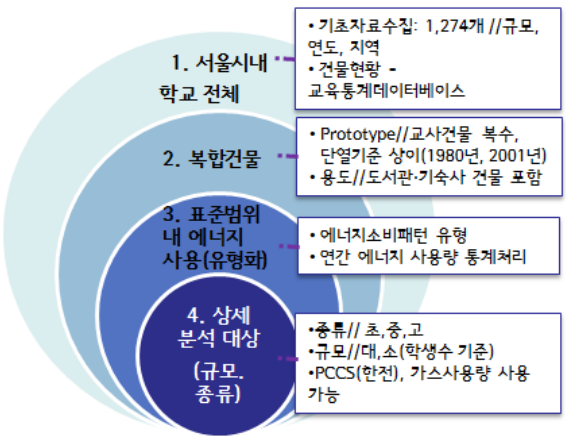
제3절 건물에너지 소비량 상세분석

1. 분석 대상학교 선정조건과 에너지소비량

1) 대상학교 선정

(1) 개요

서울시 소재 초중고교는 1,274개소(2010년 4월 기준)로, 이 연구에서는 학교 유형을 분류하여 유형별 에너지소비를 상세하게 분석하였다. 대상학교의 선정 조건은 다음 <그림 3-9>와 같다.



〈그림 3-9〉 분석 대상학교 선정조건

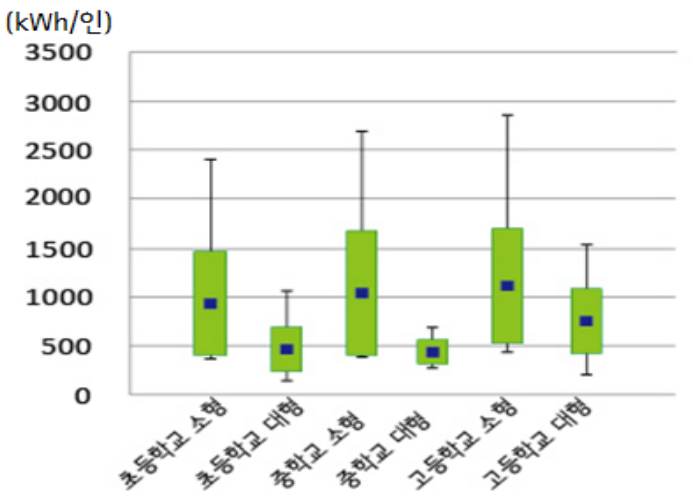
선정의 첫 번째 조건은 서울시내 학교 전체를 대상으로 하는 것이며, 선정의 두 번째 조건은 대상학교가 복합건물로 구성되어 있어야 하는 것이다. 일반적으로 학교는 단순히 교사 한 동으로 되어 있다고 생각하기 쉽지만 대부분의 학교가 교사동과 급식실, 도서관 등의 다양한 용도로 기존 건물을 지속적으로 증개축하고 있었다. 세 번째 조건은 에너지사용량이 표준범위 내에서 사용하고 있는 학교로 범위를 축소하는 것이다. 네 번째 조건은 규모(학생수 기준 소형,

대형), 에너지소비량(다소비, 평균, 저소비)에 따라 유형화하여 대상학교를 선정하였다. 선정 결과는 다음 <표 3-8>과 같다.

유형화를 시행한 학교 중 이 연구에서 에너지소비량 세부자료를 확보할 수 있었던 학교를 대상으로 다소비, 평균, 저소비 학교를 고루 선정하여 에너지 소비 상세분석을 수행하였다.

학교 규모는 전체 학교의 학생 수를 비교하여 평균 이상 대형, 평균 이하 소형으로 분류하였다. 구분 기준은 초등학교 1,036명, 중학교 919명, 고등학교 1,202명으로 설정하였다.

학교 에너지 소비는 각 학교의 연간 에너지사용량을 바탕으로 평균과 표준편차를 계산하여, 평균 수준의 학교, 표준편차 범위 내에서 사용량이 최대에 가까운 학교를 다소비 학교, 표준편차 범위 내에서 사용량이 최소에 가까운 학교를 저소비 학교로 분류하였다. 학교 유형별 에너지사용량 분석 결과는 다음 <그림 3-10>과 같다.



〈그림 3-10〉 학교 유형별 연간 에너지소비량 비교 결과

〈표 3-8〉 에너지 소비량 분석에 따른 학교의 유형화

(단위:kWh/㎡y, kWh/인y)

구분		초등학교			중학교			고등학교		
		학교명	에너지원 단위 (2010)	1인당 에너지사 용량	학교명	에너지원 단위 (2010)	1인당 에너지사 용량	학교명	에너지원 단위 (2010)	1인당 에너지사 용량
소형	다소비	SBG초	1,398	77	HG중	1,400	99	IH외고	1,393	83
	평균	SS초	1,105	68	BSO중	735	69	YDP고	1,094	75
	저소비	SK초	549		YP 여중	516	70	SS고	599	58
대형	다소비	NB초	670	126	YM중	692	73	SJ고	1,434	90
	평균	KS초	437	64	BP중	451	62	JH고	875	90
	저소비	BW초	270	55	SH중	347	48	KG고	581	

최종 대상학교로 초등학교 3개소(소형-다소비, 대형-평균, 대형-저소비), 중학교 3개소(소형-저소비, 대형-평균, 대형-저소비), 고등학교 3개소(소형-다소비, 대형-평균, 대형-저소비)가 선정되었다.

2) 기초자료 수집

(1) 전력소비량 자료

교육통계자료의 에너지사용량 자료를 확보했으나 구체적인 에너지사용량 자료를 통해 교육통계자료의 오류를 보완하고자 하였다. 특히 한국전력의 아이스마트(i-SMART) 서비스는 15분마다의 전기 사용량 자료뿐만 아니라 다양한 분석자료를 제공하고 있으므로 서비스에 가입한 학교의 경우 상세 정보를 활용하였다. 상세한 전기 사용 자료가 유용한 또 다른 이유는 학교의 냉난방 방식 때문이다. 2000년대 중반 이후 다수의 학교가 전기에너지를 통해 냉난방을 하는 EHP 방식으로 전환하였기 때문에 아이스마트 서비스에서 제공하는 자료를 통해 냉난방 패턴의 추정이 가능하다. 따라서 개별 학교의 한전 고객번호와 계량기 번호를 요청하여 자료를 획득하였다.

(2) 가스소비량 자료

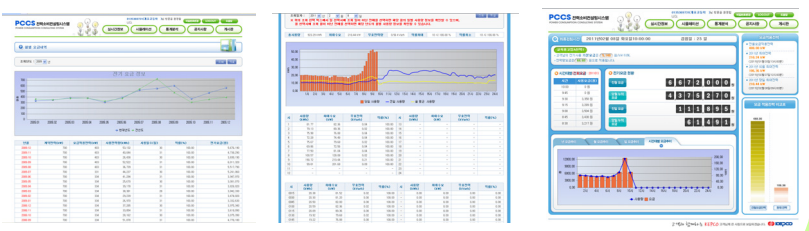
서울시 소재 학교 중 도시가스를 난방·냉방·급탕·취사 등의 용도로 사용하는 학교가 많다. 도시가스 사용량 정보는 개별 학교에 자료 협조를 요청하여 수집하였으며, 수집 형태는 도시가스 고객번호와 계량기 번호를 통한 개별학교의 용도별 월별 가스소비량, 연간 가스소비량이다.

(3) 기타 기초자료

전력소비량 자료와 가스소비량 자료 외에, 에너지소비분석에 필요한 자료를 수집하였다. 수집자료는 상수도 사용량을 분석하기 위한 수도 고객번호, 에너지원별 소비원을 분석하기 위한 냉·난방 방식, 냉·난방 시스템 종류와 용도·용량, 학교별 학사 일정, 도면 자료 등이다.

아이스마트(i-SMART) 서비스

- I-SMART 서비스는 전 고압전력 사용처(현 16.8만 가구), 원격검침이 가능한 저압전력 사용처(현 55만 가구, AMI설치자)를 대상으로 매 15분간의 전력소비량 및 일간, 월간, 연간 전력소비량의 정보를 제공해주는 전력소비컨설팅 서비스
- 본 서비스의 목적은 사용자에게 실시간 전기 사용량, 전기요금 및 예상 전기요금 정보를 제공하고 효율적인 전력사용을 지원하며 자발적인 수요반응과 에너지 소비절약을 유도하는 것임
- 1999년부터 한전이 개발-운영해 온 AMR(자동원격검침), AMI(Advanced Metering Infrastructure, 첨단계량) 등 원격검침 기술을 기반으로 개발
- 고압전력 사용처에는 사용량 분석 서비스, 부하이동 시 요금절감액, 부하지속곡선 등 통계자료 제공
- 추후 주택용으로 확대할 계획(현재 저압전력 사용처 55만 가구 가능, 2020년에 전 가구를 대상으로 할 것을 계획 중임)



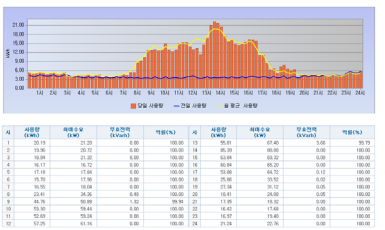
출처 : http://pccs.kepco.co.kr/

2. 에너지소비패턴 분석결과

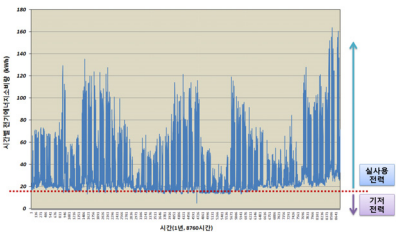
1) 상세분석 방법

대상건물의 상세 에너지소비특성은 냉방과 난방, 조명, 기기 등 건물 전체에서 소비되는 에너지원이 모두 전기와 가스 에너지이므로, 전기와 가스 고지서 월별에너지사용패턴 분석을 통해 예측할 수 있다.

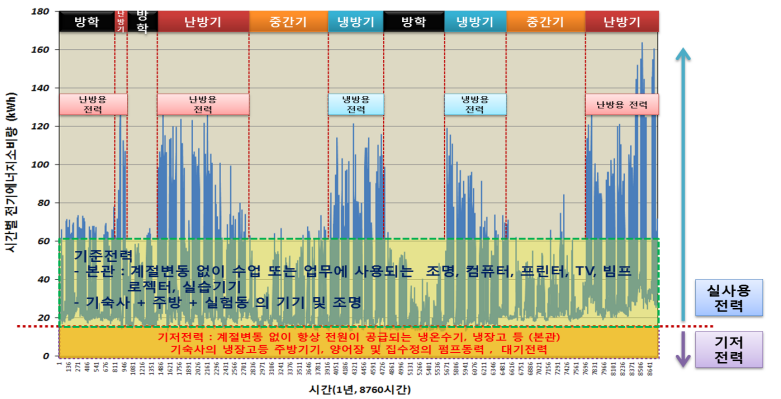
이를 위해 앞서 언급한 아이스마트의 실시간 전력소비량 모니터링 자료(15분 간격, <그림 3-10>)를 활용하여 총 전력에너지소비량을 산정하였다. 또한 개별 학교의 학사일정을 반영하여 시간별 전기에너지 소비패턴을 분석하고 소비원별 전력소비량을 분류하였다.



〈그림 3-11〉 시간별 전기에너지 소비량



〈그림 3-12〉 시간별 전기에너지 소비량



〈그림 3-13〉 전기에너지 소비량의 소비원 분류

<그림 3-12>는 공개 자료를 근거로 1년간의 시간별(8,760시간) 전기에너지 소비량을 나타낸 것이다. 그래프에 나타난 바와 같이 학교의 경우 매시간 주야간 구별 없이 시간별로 전기에너지를 소비하고 있는 양을 추산하였으며, 이 연구에서는 이를 기저전력과 실제 소비되는 실사용전력이라 정의하였다. 또한 냉방기, 난방기, 중간기의 학교 학사일정을 반영하여 에너지소비원을 분류하였다.

기저전력은 본관의 계절 변동 없이 항상 전원이 공급되는 냉온수기, 냉장고 등의 전력과, 기숙사의 냉장고, 주방기기, 펌프동력, 그리고 전기기기의 대기전력이라 볼 수 있다. 실사용 전력은 냉난방을 위한 전력과 본관의 계절변동 없이 수업 또는 업무에 사용되는 조명, 컴퓨터, 프린터, TV, 빔프로젝터, 실습기기와 기숙사, 주방, 실험동의 기기 및 조명에 소비되는 에너지라 할 수 있다.

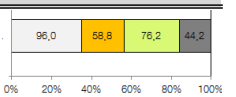
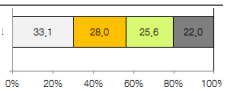
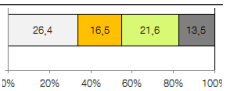
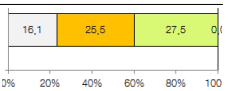
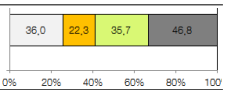
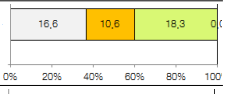
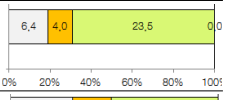
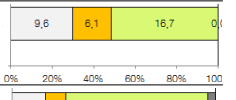
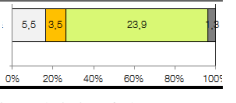
가스에너지 소비량은 월별 가스에너지소비량을 활용하였다. 또한 가스에너지 소비량은 취사용/난방・급탕용의 용도 구분이 계량 시에 적용되어 있어 이의 구분을 활용하여 가스사용량을 상세하게 분석하였다.

2) 대상학교별 에너지소비량 상세분석

대상학교의 에너지소비량을 위의 산출방법을 통해 사용부문으로 분류한 결과는 다음 <표 3-9>와 같다. 상세분석결과, 고등학교의 에너지소비량이 중학교와 초등학교보다 많은 것으로 산출되었다.

초등학교의 에너지원단위는 33.9kWh/㎡y, 32.4kWh/㎡y, 69.1kWh/㎡y로 분석되었으며, 이는 고등학교와 중학교에 비해 현저히 낮은 수치다. 그 이유는 초등학교의 경우 다른 학교에 비해 사용시간이 적고 특히 냉난방 비중이 큰 하절기와 동절기의 방학이 길기 때문인 것으로 분석되었다. 특히 초등학교의 경우 냉난방시스템을 대부분 EHP를 사용하여 2차에너지 기준 열원비가 적은 것도 에너지사용비율이 적은 원인으로 판단된다.

〈표 3-9〉 대상학교 에너지소비량 상세분석 결과

구분		총에너지 사용량 (kWh/y)	에너지소비 원단위(kWh/㎡y)					부문별 비중 (■ : 실사용전력 ■ : 상시전력 ■ : 난방/급탕 ■ : 취사)
			전력		가스		소계	
			실사용 전력	상시 전력	난방/ 급탕	취사		
고등학교 (고↕저)	IH 여고	1,784,382	96.0 (57.5)	58.8 (35.3)	76.2 (45.7)	44.2 (26.5)	275.2 (164.9)	
	JH고	908,407	33.1 (22.6)	28.0 (19.1)	25.6 (17.5)	22.0 (15.0)	108.7 (74.1)	
	KG고	1,388,613	26.4 (21.1)	16.5 (13.2)	21.6 (17.3)	13.5 (10.8)	78.0 (62.4)	
중학교	YP 여중	325,277	16.1 (10.5)	25.5 (16.7)	27.5 (17.9)	0.0 (0.0)	69.1 (45.1)	
	BP중	677,169	36.0 (23.5)	22.3 (14.6)	35.7 (23.3)	46.8 (30.5)	140.8 (91.8)	
	SH중	234,478	16.6 (9.4)	10.6 (6.0)	18.3 (10.4)	0.0 (0.0)	45.5 (25.9)	
초등학교 (고↕저)	SBG 초	208,830	6.4 (6.4)	4.0 (3.9)	23.5 (23.2)	0.0 (0.0)	33.9 (33.5)	
	KS초	182,893	9.6 (6.9)	6.1 (4.3)	16.7 (12.0)	0.0 (0.0)	32.4 (23.2)	
	BW초	171,715	5.5 (3.6)	3.5 (2.3)	23.9 (15.7)	1.3 (0.8)	34.2 (22.4)	

주 : 에너지원단위 상단 수치는 공조면적 기준 에너지원단위, ( )안은 총연면적 기준 에너지원단위

한편, 중학교의 에너지원단위는 69.1kWh/㎡r, 140.8kWh/㎡y, 45.5kWh/㎡y로 나타났다. 이는 평가대상 중학교 건물이 대부분 70년대에 지어져 시설의 낙후가 많이 진행되었고, 특히 열원시스템은 보일러와 가스 온풍기 등의 가스기기를 많이 사용하는 데에서 그 원인을 찾을 수 있다.

고등학교의 에너지원단위는 275.2kWh/㎡y, 108.7kWh/㎡y, 78.0Wh/㎡y로 나타났다. 고등학교 건물은 난방에너지 비중이 상대적으로 높은데 이는 난방부하

가 많은 동절기에 보충수업 및 자율학습을 실시하기 때문으로 추후 고등학교 건물의 에너지 절감을 위해서는 난방에 대한 분석이 선행적으로 이루어져야 할 것이다. 또한 초등학교의 경우 에너지소비량이 큰 학교와 적은 학교의 에너지 원단위 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

일부 학교에만 포함되는 취사용 가스사용량을 제외하고 에너지소비원별 비중을 살펴보면, 대부분의 학교에서 전력 위주의 소비가 일어남을 확인할 수 있다. 조사 대상 초등학교의 경우 상세분석 결과 가스의 소비비중이 큰 것으로 나타났는데, 이는 냉난방 시스템의 차이에 기인하는 것으로 추측된다. 또한 대상 학교의 월별에너지소비패턴 분석결과를 보면 학교의 특성상 타 용도의 건축물에 비해 중간기의 에너지소비량이 크고, 하절기·동절기의 에너지소비량이 적은 패턴이 나타남을 알 수 있다.

〈표 3-10〉 대상학교 월별에너지소비패턴 분석 결과

고등학교 (고↔저)	IH여고	JH고	KG고
중학교 (고↔저)	YP여중	BP중	SH중
초등학교 (고↔저)	SBG초	KS초	BW초

제4장 에너지성능평가와 빌딩리트로핏

제1절 학교 건물에너지의 성능평가
제2절 에너지성능평가 방법
제3절 학교 빌딩리트로핏 방안

제 4 장 에너지성능평가와 빌딩리트로핏

제1절 학교 건물에너지의 성능평가

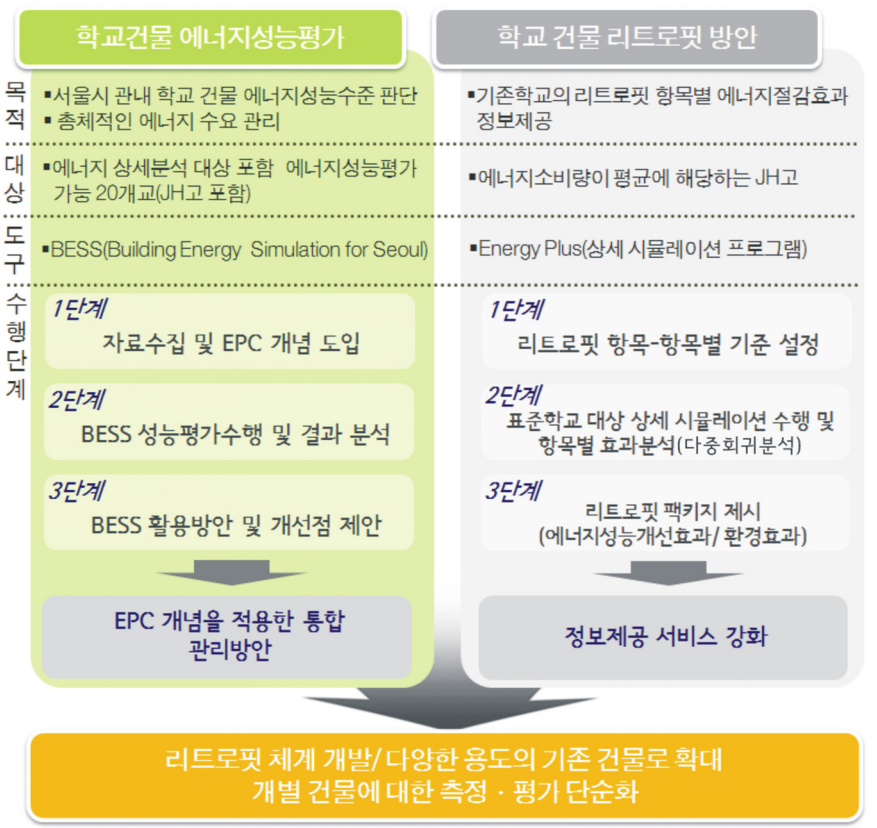
기존 학교건물의 에너지성능평가계획은 목적에 따라 두 가지 방법으로 시행되었다. 에너지성능평가의 목적은 서울시 관내 전체 학교건물의 에너지성능 수준을 판단하여 총체적인 에너지 수요를 관리하고, 기존 학교의 리트로핏 요소별 에너지 절감효과 정보를 제공하는 것이다.

첫 번째 목적인 서울시의 총괄적인 에너지수요 관리를 위해, 서울시의 에너지성능평가 간이프로그램인 BESS를 사용하여 EPC개념을 활용한 에너지성능평가를 수행하고, BESS의 활용방안을 모색하였다. 이때 EPC를 활용한 에너지수요 관리방안은 에너지절감 정책의 총체적인 효과평가, 목표설정에 두루 활용할 수 있다.

또한 기존 학교의 리트로핏 항목별 에너지 절감효과를 산출하고 이에 따른 정보제공을 위해, 기존 학교 중 표준 학교를 선정하고 다양한 리트로핏 항목을 적용한 상세 시뮬레이션(EnergyPlus)를 수행하였다. 이때, 각 요소의 단편적 효과가 아닌 요소 조합별 효과를 산출하기 위해 직교배열을 활용한 실험 설계를 계획하였다. 상세 시뮬레이션 결과는 다중회귀분석법을 통해 유의성을 검증하

였고 요소에 따른 에너지소비량 예측식을 제시하였다. 제시한 예측식을 기초로 하여 에너지성능개선효과, 환경효과를 고려하여 리트로핏 수행자에게 정보를 제공하는 “빌딩리트로핏 패키지”를 제안하였다.

이에 대한 각 에너지성능평가의 목적, 방법 및 수행단계는 다음 <그림 4-1>과 같다. 이 장에서 제시한 에너지성능평가와 활용방안은 추후 타 용도의 기존건물까지 확대하도록 후속 연구가 이루어져야 할 것이며, 다양한 케이스의 자료 축적 및 활용을 통해 개별 건물에 대한 측정과 평가가 단순화되어야 할 것이다.



〈그림 4-1〉 학교건물 에너지성능평가 계획

제2절 에너지성능평가 방법

1. EPC

1) EPC(Energy Performance Coefficient) 의 개념

EPC(Energy Performance Coefficient)는 네덜란드에서 사용되는 건축물 에너지 성능 계수로, 평가 건물(군)의 에너지 사용 원단위와 기준 에너지사용 원단위의 비율로 정의된다. EPC의 값이 적을수록 효율성이 높고, EPC가 1보다 큰 값을 가질 경우 에너지성능이 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있다. 따라서 EPC는 기준 에너지성능과 비교할 때 평가 건물이 에너지를 얼마나 사용하는지를 파악할 수 있어 관리에 용이한 장점이 있다.

2) EPC(Energy Performance Coefficient)의 활용

EPC의 개념은 정책체계(규제-계획-지원-정보제공)의 역량에 따라 사업의 규모와 빌딩리트로핏 패키지의 단계별 적용이 가능하다는 의미이며, 성능계수에 따라 EPC의 값을 규정한다. 특정 건물에너지 절감정책을 통해 건물의 EPC가 전체적으로 낮아지면 이후 단계적으로 EPC를 계속 줄여가는 정책을 추진할 수 있다. 또한 특정 건물이나 학교의 에너지사용량을 사후 평가하는 기능과 광범위한 정책 추진 참고자료 기능을 동시에 수행할 수 있다. 이러한 개념을 통하여 이 연구에서 행하였던 학교 이외에 다른 용도로 확장할 수 있는 방법론을 제공한다.

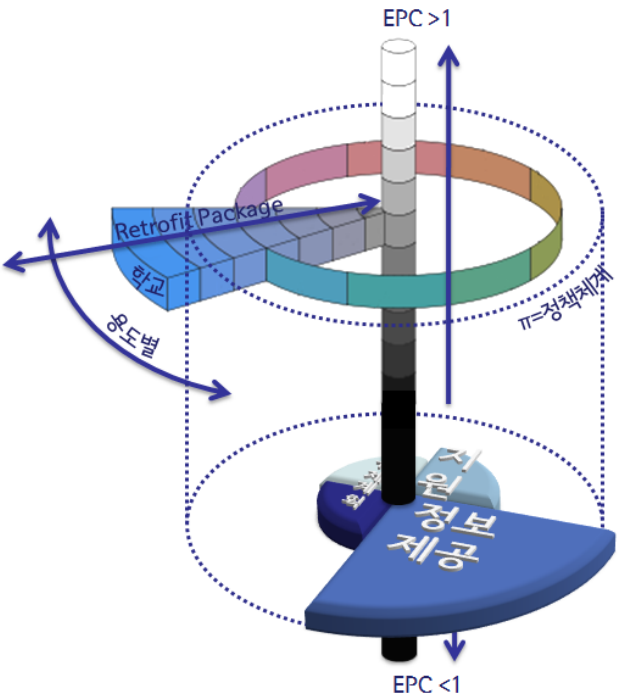
BESS 등의 시뮬레이션을 통해 건물에너지 성능향상 효과와 사용량 예측이 가능하기 때문에 BESS로 EPC를 규정하고 요소별, 요소 조합별로 EPC를 산출하는 것도 가능하다.

EPC 활용 사례로서, 네덜란드 정부는 EPC로 건물에너지 성능을 규제한 후 EPC와 실제 에너지 사용원단위를 모니터링하여 상관관계를 통계적으로 규명하

였다. 네덜란드는 특정 건물에너지효율화정책을 통해 신축건물의 EPC가 전체적으로 낮아지면 이후 단계적으로 EPC를 계속 줄여가는 정책을 추진하고 있다.

이 연구는 현재 다양한 유형별 에너지원단위 기준사용량(Reference Value)을 규명하기에는 한계가 있어, 3장에서 분석한 학교 종류별 평균에너지원단위를 기준사용량으로 두어 성능평가 대상건물의 EPC를 산출, 활용하는 방안을 제시하고자 한다.

앞으로 타 건물 유형, 건물구조, 규모, 연도에 따라 세분화된 기준에너지원단위 개발이 필요하며, 이를 위해 에너지모니터링을 수행하고 관리를 전담하는 기관을 설립해야 한다.



〈그림 4-2〉 EPC의 활용 개념도

2. BESS

1) 개요

BESS(Building Energy Simulation for Seoul)는 서울시에서 건물에너지 총량제 시행과 함께 개발한 ISO 13790[10] 기반의 건물에너지 간이시뮬레이션 프로그램이다.

BESS는 기존의 정밀 시뮬레이션 프로그램에 비해 입력값이 적어 조작이 쉽고 수행시간이 적게 소요되어 전반적인 건물에너지관리에 이점이 있다. BESS의 에너지성능평가 산출과정은 다음 <그림 4-4>와 같다.

서울시가 에너지 총량제를 전면 시행하려면 3,000㎡ 이상의 공공건물이나 100,000㎡(혹은 21층) 이상의 민간건물 신규 인허가를 위해 BESS를 수행하여 예상 에너지사용량과 등급을 측정하고 제출하여야 한다.

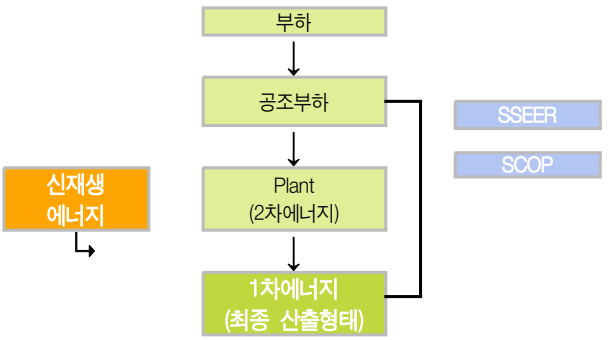
〈그림 4-3〉 BESS의 성능평가 결과 이미지

BESS 현재의 활용범위를 확대하여 기존건물의 에너지성능 평가와 관리에 활용할 잠재력이 있으나, 프로그램 자체의 신뢰성과 정책적인 근거를 확보할 경우에만 가능할 것이다.

---

10) ISO 13790:2008 Energy performance of buildings-Calculation of energy use for space heating and cooling

하지만 현재 평가 가능한 건축물의 용도가 공동주택과 사무실로 한정되어 있어, 에너지 총량제 전면 시행 이전에 프로그램의 신뢰성 확보 및 다양한 건축물의 용도 프로파일 확대가 필수적이다.



〈그림 4-4〉 BESS의 에너지성능평가 과정

2) 대상학교 에너지성능평가

(1) 대상학교 선정 및 정보 입력

에너지성능평가 대상학교는 다음과 같은 조건을 만족하는 20개교가 선정되었다.(<그림 4-5> 참고).

초등학교

학교명	원단위	EPC
GY초등	76.3	0.75
NB초등	105.5	1.04
MH초등	56.9	0.56
SBG초등	14.6	0.14
EJ초등	88.4	0.87
OK초등	92.7	0.91
JW초등	28.9	0.28
JY초등	-	-
JP초등	95.1	0.94
HG초등	150.0	1.48

중학교

학교명	원단위	EPC
NG중	232.4	0.67
NI중	257.0	0.35
BW중	268.4	0.60
BA중	211.3	0.68
SJ중	263.0	1.22
YP여중	212.0	0.62
YM중	237.4	9.07

고등학교

학교명	원단위	EPC
GA고	120.8	1.32
EH외고	141.0	1.54
JH고	128.2	1.40

총 20개교 수행

〈그림 4-5〉 BESS 시뮬레이션 수행 대상학교

○가능한 경우 에너지소비 상세분석학교를 선정
○BESS 수행 가능여부 판단 후 선정(필요 데이터 확인)
○시뮬레이션 분석 요건을 만족하는 학교 선정

〈표 4-1〉 데이터 입력을 위한 필요 설계자료 목록

건축자료	기계자료	전기자료
· 배치도 · 평면도 · 입면도 · 단면도 · 단열상세도 · 창호상세도	· 장비일람표 · 열원흐름도 · 공조덕트 평면도 · 신재생 관련도면 · 기계계산서 · 부하계산서	· 신재생 관련도면 · 조명밀도 계산서

BESS 수행을 위해 필요한 입력 정보는 프로젝트 일반사항(지역정보, 건물용도, 건물연면적), 존의 특성 정보(기본 정보, 건물외피구조, 창호・문 구조, 조명시스템, 공조시스템, 급탕시스템, 냉・열원시스템), 신재생에너지 설치 정보(태양열, 태양광, 지열, 연료전지, 풍력발전기), 열병합발전 정보 등이다.

이러한 정보를 입력하려면 건축, 기계, 전기 도면이 필요하며, 구체적인 항목은 <표 4-1>과 같다.

이 연구에서 BESS 수행을 위해 입력한 개별 학교의 입력정보는 다음 <표 4-2>와 같으며, 학교 용도별 운영프로파일을 작성하였으나 시스템 알고리즘과 운영프로파일 입력방식의 한계로 실제 평가 시에는 사무용 용도 프로파일로 대체하였다. 냉・열원 시스템 정보는 학교별 조사를 통하여 입력하였으며 기타 정보들은 상세도면 등으로 파악하여 입력하였다. 또한 누락된 정보는 표준도면을 사용하여 대체하였다.

(2) 에너지성능평가 결과

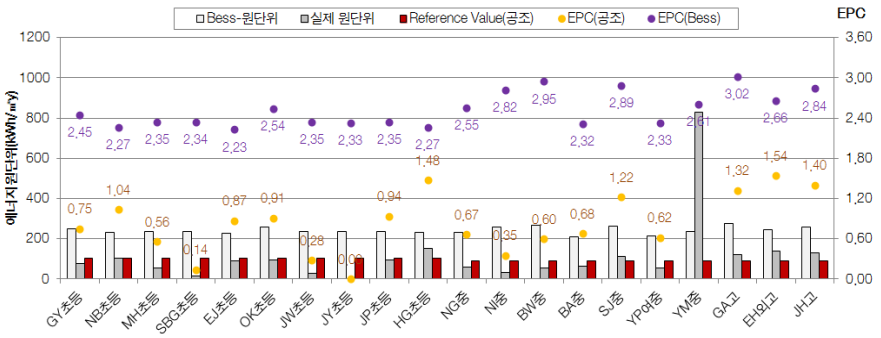
개별 학교의 에너지성능평가 결과는 다음 <표 4-2>와 같이 대부분 학교에서 200~300kWh/㎡y의 에너지원단위를 산출할 수 있었다. 이는 통계자료의 에너

지원단위보다 1.5~4배 정도 큰 수치로 건물 이용 패턴을 세세하게 입력할 수 없는 보간법으로서의 한계점을 드러낸다. 하지만 이는 역으로 건물의 성능만을 판단하는 객관적 도구로 사용 가능함을 의미한다.

〈표 4-2〉 에너지성능평가 입력정보

대상 학교	일반사항		존의 특성 정보											
			냉열원 시스템		급탕 시스템	조명 시스템		건물 외피구조				창호/문	
	연 면적	공조 면적	냉방	난방	급탕	광원	조명밀도	지붕 단열	바닥 단열	외벽단열	내벽 단열	유리 창호	유리 G-V
GY 초등	9,160	5,532	EHP	EHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
NB 초등	8,255	5,366	EHP	EHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
MH 초등	8,549	5,556	EHP	EHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
SBG 초등	5,750	3,748	EHP	EHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
EJ 초등	11,485	7,465	EHP/GHP	EHP/GHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
OK 초등	6,432	4,181	EHP	EHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
JW 초등	9,388	6,102	EHP	EHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
JY 초등	10,162	6,809	EHP	EHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
JP 초등	8,327	4,996	EHP	EHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
HG 초등	12,464	8,350	EHP/GHP	EHP/GHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
NG중	8,066	5,243	EHP/GHP	EHP/GHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
NI중	8,784	5,710	EHP	EHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
BW 중	6,650	4,358	EHP	EHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
BA중	7,112	4,978	EHP	EHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
SJ중	11,549	6,467	EHP	EHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
YP 여중	4,062	2,841	EHP	EHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
YM중	8,507	5,700	EHP/패키지 에어컨	EHP/팬코일 유닛	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
GA고	13,516	8,785	EHP	EHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
EH 외고	11,125	7,231	EHP	EHP	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85
JH고	11,385	7,643	패키지 에어컨	가스 온풍기	가스온수 보일러	형광등	0.70	0.28	0.28	0.34	0.47	2.74	0.85

주 : 용도 프로파일은 사무소로 설정



〈그림 4-6〉 BESS 원단위와 실제원단위(2008년 기준)의 비교

〈표 4-3〉 BESS의 에너지성능평가 결과

(단위 : ㎡, kWh/㎡y)

대상학교	건축 연면적	공조 면적	BESS 에너지원단위						실제 원단위	실제 EPC	BESS EPC
			냉방	난방	조명	환기	급탕	소계			
GY초등	9,160	5,532	71.1	78.5	40.6	36.9	21.4	248.5	76.3	0.75	2.45
NB초등	8,255	5,366	66.4	63.2	35.7	44.5	20.3	230.1	105.5	1.04	2.27
MH초등	8,549	5,556	60.4	66.4	40.1	45.3	25.8	238.1	56.9	0.56	2.35
SBG초등	5,750	3,748	65.2	66.1	40.5	42.4	23.5	237.7	14.6	0.14	2.34
EJ초등	11,485	7,465	59.9	59.7	45.9	42.7	17.9	226.1	88.4	0.87	2.23
OK초등	6,432	4,181	77.9	73.8	40.8	45.9	19.1	257.6	92.7	0.91	2.54
JW초등	9,388	6,102	68.2	72.8	39.5	36.8	20.9	238.2	28.9	0.28	2.35
JY초등	10,162	6,809	57.1	65.4	43.5	48.6	21.9	236.5	-	-	2.33
JP초등	8,327	4,996	64.9	70.6	42.1	39.8	20.7	238.1	95.1	0.94	2.35
HG초등	12,464	8,350	49.4	63.0	48.9	47.8	20.9	230.0	150.0	1.48	2.27
NG중	8,066	5,243	56.2	64.3	42.5	47.6	21.8	232.4	60.7	0.67	2.55
NI중	8,784	5,710	69.5	72.9	43.6	48.5	22.5	257.0	32.2	0.35	2.82
BW중	6,650	4,358	77.7	87.0	42.1	38.9	22.7	268.4	54.3	0.60	2.95
BA중	7,112	4,978	57.6	57.9	34.9	41.5	19.4	211.3	62.2	0.68	2.32
SJ중	11,549	6,467	64.6	90.8	40.5	47.1	20.1	263.0	111.1	1.22	2.89
YP여중	4,062	2,841	58.7	60.6	34.9	38.7	19.1	212.0	56.4	0.62	2.33
YM중	8,507	5,700	65.7	64.6	40.8	45.7	20.6	237.4	826.7	9.07	2.61
GA고	13,516	8,785	67.9	85.0	42.6	52.6	27.8	275.9	120.8	1.32	3.02
EH외고	11,125	7,231	63.5	61.4	41.7	50.7	25.6	242.9	141.0	1.54	2.66
JH고	11,385	7,643	53.0	154.8	45.8	0.0	6.1	259.6	128.2	1.40	2.84

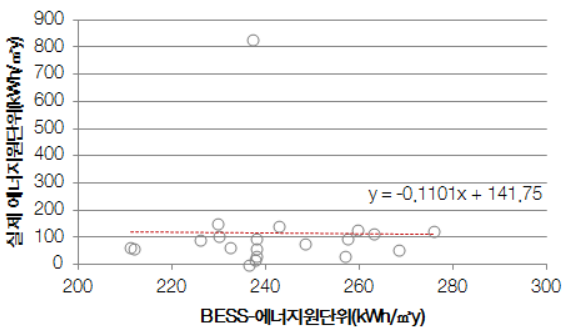
주 : 실제 원단위는 2008년 기준 통계자료의 학교별 총 사용량을 기준으로 하였으며, 학교 용도별 평균에너지사용량을 기준원단위(Reference Value)로 하여 EPC 산출

BESS의 세부적인 소비량 차이는 용도파일 및 실별 냉난방 시스템에 대한 조사미비 때문인 것으로 판단된다. 한 가지 예로, 학사일정상의 등하교시간이 초

등학교 저학년의 경우 8시30분 ~ 12시30분이며, 고학년의 경우 8시30분 ~ 14시30분이다. 반면 고등학교의 경우 재실시간은 7시50분 ~ 15시 (100% 재실밀도), 15시 ~ 22시(50% 재실밀도 / 자율학습)로 조사되었다. 하지만 사무실 용도는 재실시간이 8시30분 ~ 18시로 설정되어 있어 초등학교의 경우 재실시간상의 차가 가장 크게 발생한다.

실제 에너지사용량과 BESS 결과의 오차율이 초등학교, 중학교, 고등학교 순으로 나타나는 것은 이러한 재실시간상의 용도 프로파일 문제에 기인하는 것으로 추측된다. 또한 학교의 경우 수업의 종류에 따라 용도마다 사용시간이 다른 특성을 갖는다. 예를 들면, 일반교실에서 수업을 받던 학생들이 특별교실로 이동 시 일반교실의 모든 시스템은 종료(OFF) 상태가 되지만, 현재 BESS의 입력 프로파일 구조상 이러한 세부 사항은 적용이 불가능하다. 이로 인해 실제보다 에너지소비량의 결과가 크게 나타난 것으로 판단된다.

다음 그림은 실제 에너지원단위와 BESS에서 산출된 에너지원단위의 차이를 보정하기 위해 추세분석을 수행한 것이며, 현재 20개 학교로는 정확한 보정식을 제시하는 것은 불가능하다. 따라서 정확한 보정을 위해 학교 종류, 규모, 연도, 에너지소비특성 등의 유형에 따라 다수의 케이스를 분석하여 유형별 보정식을 도출하는 것이 바람직할 것이다.



〈그림 4-7〉 에너지원단위의 보정

3. 툴의 개선과 활용

1) BESS의 검증

BESS는 ISO13790의 국제규격에 따라 에너지원단위를 평가하는 프로그램으로, 에너지 소비량을 산출하는 데 있어 국제규격을 따르고 있기 때문에 계산방법 자체의 정확성을 평가하기는 어렵다. 하지만 현재 BESS를 통해 산출된 학교건물의 성능평가결과는 실측치와 적지 않은 오차를 보이고 있으므로, 이를 보정하는 단계가 필요하다. 이 연구에서는 20개 학교를 대상으로 성능평가를 수행하였으나, 학교의 유형에 따른 카테고리에 따라 다양한 사례연구를 통해 보정식이 도출되어야 한다.

또한 오차를 줄이고 BESS의 정확성을 확보하기 위해서는 실제 학교건물 평가항목에 냉난방을 위한 제어방식의 선택을 추가하여야 할 것이다. 하절기에는 재실자가 창문을 열어 자연환기를 하는 행태가 일반적이다. 그러나 시뮬레이션 프로그램에서는 창문을 열어 자연환기를 하는 행태적인 요소를 적용하는 것은 불가능하다. 따라서 냉방에너지가 과도하게 산정되는 현상이 일반적이며, 냉방에너지사용량에 관한 오차가 크게 발생하게 된다. 건물의 용도에 따라 에너지 소비부문의 중요도가 다르지만, 부득이하게 냉방의 중요도가 큰 건물유형을 평가할 경우 연간 사용 총량 개념이 아닌 월별 에너지소비량의 정확성을 검증한 후, 이의 보정이 이루어져야 할 것이다.

2) 용도프로파일 작성 방식의 개선

BESS는 기획 단계부터 사무실과 공동주택에 초점을 맞춰 개발한 프로그램이다. 따라서 학교용도 프로파일은 프로그램에서 제공하고 있지 않다. 이 연구에서는 학교용도 프로파일을 작성하였으나 위에서 서술한 몇 가지 적용성의 문제에 의해 사무실용도로 조건을 가정하여 성능평가를 수행하였다.

BESS에서 학교의 용도프로파일을 적용하였을 때 가장 큰 문제점은 용도프

로파일에 적용된 연간 사용일수와 연간 사용시간의 계절적인 조건부여가 불가능하다는 것이다. 학교의 경우, 하절기와 동절기에 방학이 있어 실제로 이 두 시기에는 건물의 운용방식이 달라진다. 하지만 현재의 입력형태는 1년을 모두 동일한 스케쥴로 적용하여 평가가 시행되어 학교의 연간 거주특성을 반영할 수 없다. 또 다른 문제점은 학교의 경우 수업 특성에 따라 실을 이동하는 특성이 있는데, 현재 BESS의 입력조건에서는 이러한 사항을 반영할 수 없다. 따라서 실측치보다 에너지소비량이 크게 산출될 수밖에 없는 구조이다.

이러한 문제점을 해결하고 다양한 용도로 BESS의 적용을 확대하기 위해서는 현재의 용도프로파일 입력방식의 대폭적인 개선이 필요하다. 타 용도의 선택에 따라 용도프로파일을 보정하는 알고리즘의 개선 등 평가용도 확대에 따른 프로그램 업데이트가 필요하다.

3) 웹기반의 BESS개발을 통한 정보제공

현재 BESS는 평가자가 직접 컴퓨터에 설치하여 성능평가를 수행한 후 인허가를 위해 프로젝트 파일 및 관련 서류를 제출하는 형태로 사용되고 있다. 이 연구에서 제시하는 EPC개념을 적용한 에너지수요관리 방안을 원활하게 진행하고, 평가자 외에 실제 거주자에게 정보를 제공하는 목적으로 BESS를 웹기반으로 작성하는 것은 유의미하다. 또한 BESS 자체가 에너지소비량을 상세히 평가하는 것이 아닌 간이 평가프로그램이므로 웹기반의 구축이 크게 어렵지 않을 것이다.

웹기반의 BESS는 인허가 과정에서 효율적인 BESS데이터 관리 및 평가에 도움이 될 것이며, 이에 더하여 리트로핏 항목을 직접 적용하여 시뮬레이션을 수행해봄으로써 평가자 및 에너지관리자, 실거주자에게 다양한 건물 에너지성능 정보를 제공할 수 있을 것이다.

제3절 학교 빌딩리트로핏 방안

1. 리트로핏 목표와 항목

1) 해외 사례

학교건물의 리트로핏 항목을 구성하기 위해 해외 리트로핏 사례인 IEA ECBCS Annex 36과 일본의 EcoFlow의 세부 사례를 조사하였다. Annex 36 프로그램은 학교의 에너지 리트로핏에 집중하여 사례를 제시하고 있으며, 총 33개의 다양한 학교건물의 리트로핏 정보를 제공하고 있다. EcoFlow 사업은 2005년부터 본격적으로 시행되기 시작하여, 현재까지 9개의 리트로핏 사례가 공개되어 있다.

Annex 36과 EcoFlow 사례의 리트로핏 항목을 정리한 결과는 다음 <표 4-4>와 같다. 두 프로젝트 모두 대상학교의 기본 조건을 분석하고 구체적인 리트로핏 목표를 설정하여 각 항목을 최종적으로 결정한다.

2) 국내 기준

서울시 소재 학교건물의 에너지 리트로핏에 활용할 수 있는 항목을 "건물에너지합리화(BRP)" 사업의 에너지절약시설과 「서울시 공공건축물 에너지절약 설계기준」을 대상으로 조사하였다. 특히, 「서울시 공공건축물 에너지절약 설계기준」은 강화된 「서울특별시 건축위원회 심의기준」을 반영하여 2011년에 새로이 제시된 기준으로 신축・증축・개축하는 부분의 연면적이 1천 제곱미터 이상인 건축물을 적용대상으로 한다. 따라서 기존학교의 리트로핏 시행 시 이 기준의 의무시행대상이 될 가능성이 높아 중점적으로 조사하였다.

건물에너지합리화사업의 에너지 절약시설은 다음 <표 4-5>와 같이 분류되며, 건축부문인 건물단열과 설비부문인 조명, 건물자동화제어장치, 냉난방 효율향상 등의 항목이 포함된다.

〈표 4-4〉 해외사례의 리트로핏 목표와 항목

대상학교 분석		리트로핏 목표	리트로핏 항목
기후조건	온도	-	-
	습도		
	바람		
	강수		
	일사		
건물특성	형태/배치	건축물 공간 개선	- 증개축 시 이음부 기밀성능 향상 - 공간재배치 - 아트리움, 부착온실 등 자연형 태양열시스템
	평면/입면		
	건축재료		
	과거 개보수 이력	건축물 가치 보존	- 단열방안의 차등(내단열법 선택) - 시스템 부문만 리트로핏 시행
	역사적 보존가치		
에너지소비특성	난방부하	난방에너지 절감	- 단열(벽/지붕) 강화, 창호교체, 기밀성, 지붕형태 변경 - 고효율 난방시스템 적용 - 공간재배치, 창면적비 조정, 옥상녹화
	냉방부하	냉방에너지 절감	- 단열(벽/지붕) 강화, 창호교체, 기밀성, 지붕형태 변경 - 고효율 냉방시스템 적용, 자연환기(천공방사) - 공간재배치, 창면적비 조정, 고효율기기 사용
	조명부하	조명에너지 절감	- 고효율 조명시스템(광원교체, 자동제어센서) - 자연채광(차양, 천창, 아트리움, 창 위치 및 형태) - 실내마감재(종류, 반사율), 외부장애물 조절(식재)
	기타 기기부하	기타기기 부하 절감	- 고효율 환기시스템 - 자연환기 적용 - 고효율기기 사용
실내환경	실내공기질	실내공기질 확보	- 고효율 환기시스템(하이브리드시스템) - 자연환기(Solar Chimney), 증발냉각장치
	빛환경	시각적 쾌적성 확보	- 자연채광(차양, 광선반) - 창의 위치, 크기(균제도, 불쾌글레어 제어)
	음환경	우수한 음환경 유지	- 흡음/차음 설계 - 공간 재배치

주 : Annex 36 중 9개 사례, EcoFlow 9개 사례 대상 리트로핏 목적 및 항목 조사

『서울시 공공건축물 에너지절약 설계기준』에 따르면 에너지 절약부문은 건축부문, 기계설비부문, 전기설비부문, 신재생에너지설비부문으로 분류된다. 또한 필수 이행 여부에 따라 "의무사항"과 "권장사항"으로 나뉜다. 이의 해당사항을 요약한 것이 다음 <그림 4-8>이며, 건물에너지합리화사업의 에너지절약시설과 중복여부를 검토한 결과 에너지절약시설은 이 기준의 세부사항에 모두 포함된다.

〈표 4-5〉 건물에너지합리화사업의 부문별 내용

구분		세부내용
건축 부문	건물단열	단열재 강화와 외벽창호(복층유리, 이중창, 고기밀성 단열창호) 개선
설비 부문	조명	고효율 또는 LED 조명(건물 전체 조명의 50% 이상)
	건물자동화제어장치	건물에너지절약관련 자동운전제어장치(BEMS)
	폐열회수설비	열교환장치, 히트펌프 등
	에너지 절약형 공조시스템	고효율 인버터, 고효율 송풍기 및 전동기 등
	냉·난방 효율향상 공사	고효율 보일러, 냉온수기, 냉동기 등 냉방기기
	수변전	고효율 변압기
	대기전력 저감 우수제품 (에너지관리공단 인증) 설치	대기전력 자동차단용 제품
	고효율에너지기자재 설치공사	에너지이용합리화법에 의한 고효율기자재 사용**
	신재생에너지 시스템	태양광, 태양열, 지열(건물의 에너지사용량 절약 및 자립)
	기타시설	단열필름, 스마트계량기, 절수장치(기구)로 건물의 80% 이상 설치

* 신재생에너지는 기타 절약사업과 병행하여 추진 시 지원대상에 반영함.

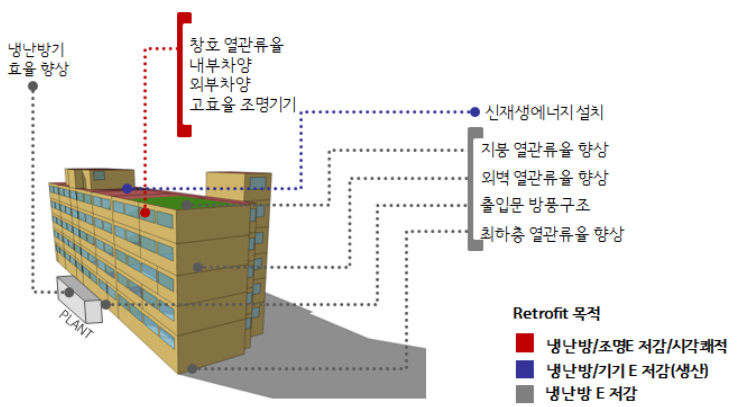
** 지원대상 시설은 에너지이용합리화법에 의한 고효율기자재이어야 하며, 고효율기자재가 아닌 경우 공인기관의 제품검사서(또는 성능인정서)와 함께 품질보증서를 제출하여야 함.

〈그림 4-8〉 서울시 공공건축물 에너지절약 설계기준

3) 리트로핏 항목 구성

위에서 조사한 리트로핏 항목을 중심으로 포함 항목에 따라 건축계획 부문, 열원설비・공조설비 부문, 조명 부문, 신재생에너지 부문으로 분류하였고, 리트로핏 시행에 따른 의무화 여부에 따라 필수항목과 선택항목으로 구분하였다.

또한 최종적인 리트로핏 항목을 구성하는 데 있어 수계산이 가능한 신재생에너지시스템 설치 항목을 포함하여, 상세 시뮬레이션 수행이 가능한 총 11개의 항목으로 재구성하였다. 최종 리트로핏 항목은 다음 <그림 4-9>와 같으며, 각각의 리트로핏 목표를 설정하였다.



〈그림 4-9〉 리트로핏 항목 설정 및 목표

2. 기준설정

선정한 리트로핏 항목의 성능평가기준을 제시하기 위해 현재 리트로핏 시 필수적으로 만족해야 하는 기준을 필수항목기준, 필수항목기준보다 강화된 기준을 선택항목 기준으로 정의하여 항목별 기준을 결정하였다. 리트로핏 항목의 기준은 가능한 한 「서울시 공공건축물 에너지절약 설계기준」에 만족하도록 설

정되었다. 그리고 선택항목 기준의 경우 정책적인 기준은 현재까지의 추세를 반영하여 결정되었으며, 냉난방기 효율은 현재 적용 가능한 최상의 상용화기준을 활용하였다. 리트로핏 항목별 기준을 정리하면 다음 <표 4-7>과 같다.

〈표 4-6〉 부문별 리트로핏 항목구성

구 분	리트로핏 항목
건축계획 부문	필수항목 : 외벽단열, 지붕단열, 최하층단열, 기밀성능, 창호단열, 출입문방풍구조 선택항목 : 외부차양, 내부차양
열원설비 · 공조설비 부문	필수항목 : 냉난방기 효율향상
조명 부문	필수항목 : 고효율 조명기기 사용
신재생에너지 부문	필수항목 : 신재생에너지 설치(에너지 사용량의 10%)

〈표 4-7〉 리트로핏 항목의 수준별 기준

리트로핏 항목 분류		Base Model	필수요소기준	선택항목 기준
		0수준	1수준	2수준
필수항목	외벽열관류율(단열)	현재안	0.36W/㎡K	0.25W/㎡K
	지붕열관류율(단열)	현재안	0.2W/㎡K	0.16W/㎡K
	최하층열관류율(단열)	현재안	0.41W/㎡K	0.21W/㎡K
	출입문 방풍구조(단열)	현재안	방풍구조문 3.8W/㎡K	방풍구조문 2.8W/㎡K
	창호 열관류율(단열)	현재안	2.4W/㎡K	1.2W/㎡K
	기밀성능	1.0ACH	0.8ACH	0.6ACH
	냉방기효율 난방기효율	3.8COP 4.0COP	4.0COP 4.2COP	4.2COP 4.4COP
	고효율 조명기기	현재안	일반교실 LED	일반교실+특별교실 LED
선택항목	외부차양	현재안	현재안	남-오버행0.6m 동,서-핀-0.6m
	내부차양	현재안	현재안	블라인드 설치

1) 건축물 열관류율(외벽, 지붕, 최하층바닥, 창호)

「서울시 공공건축물 에너지절약 설계기준」의 외피 평균 열관류율은 국토해양부 고시 에너지절약설계기준의 에너지성능지표 최상 배점을 획득하는 것을 기준으로 한다. 따라서 2011년 2월에 새로이 개선된 단열기준을 필수항목 기준으로 설정하였으며, 에너지성능검토서의 최상 배점에 해당하는 열관류율을 선택항목 기준으로 설정하였다. 외벽의 경우 에너지성능검토서의 단열기준보다

개정된 단열기준의 열성능이 높으므로, 단열기준의 변화추이를 반영하여 선택항목 기준을 제시하였다. 창호의 경우 로이 복층유리나 삼중창 이상의 단열성능을 갖는 창호를 설치하는 것을 의무기준으로 제시하고 있으므로 이에 해당하는 열관류율(2.4W/㎡k)을 필수항목 기준으로 선정하였고 선택항목은 현재까지 가장 열성능이 우수한 창호의 열관류율(1.2W/㎡k)을 적용하였다.

〈표 4-8〉 열관류율 기준

(단위 : W/㎡K)

구분	단열기준		선택항목 기준	선택항목 기준 설정근거
	2001.5 개정	2011.2 개정 필수항목 기준		
외벽	0.47	0.36	0.25	단열기준 변화추이 반영
지붕	0.29	0.2	0.16	에너지성능검토서 단열기준 1등급 (중부지방)
최하층 바닥	0.41	0.41	0.2	에너지성능검토서 단열기준 1등급 (중부지방)
창호	3.4	2.4	1.2	현재까지 열성능이 가장 우수한 안인 4중창 아르곤주입 Low-E 유리창 열관류율 적용
출입문	-	3.8	2.8	에너지 설계 해설서 복층유리 유리면적 50% 이상 적용

2) 기밀성능

창호를 제외한 기밀성능에 대한 별도 기준이 없어, 현재의 시간당 환기횟수를 조절하는 방식으로 기밀성능의 기준을 제시하였다. 현재안의 벽체 기밀성능은 1.0ACH이다. 현재는 삭제되었으나 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」에서 유사용도인 도서관(0.5ACH)과 국공립 보육시설(0.7ACH)의 환기횟수를 고려하여 유사수준인 0.6ACH를 실내공기질의 유지를 위한 선택항목 기준으로 설정하였다. 또한 현재안과 선택항목 기준의 중간치인 0.8ACH를 필수항목 기준으로 설정하였다.

3) 냉난방기 효율

「서울시 공공건축물 에너지절약 설계기준」은 의무사항으로서 냉난방기기 및

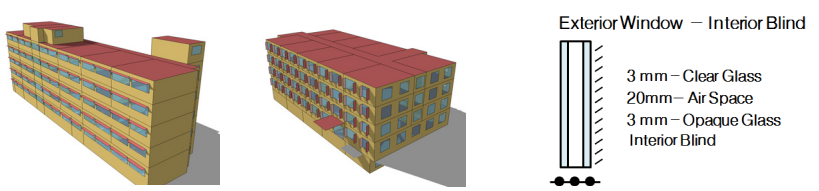
주요장비는 고효율인증제품 또는 이와 동등 이상의 것을 설치하여야 한다고 명시하고 있다. 따라서 냉난방기의 종류를 학교건물의 리트로핏 시 일반적으로 설치하는 EHP(Electric Heat Pump)시스템으로 가정하여, 고효율인증을 받은 멀티에어컨디셔너(일반형)의 평균 효율과 최고효율을 조사하였다. 조사결과, 평균효율은 냉방 4.0COP, 난방 4.2COP로 이를 필수항목 기준으로 설정하였다. 또한 최대효율인 냉방 4.2COP, 난방 4.4COP를 선택항목 기준으로 제시하였다.

4) 고효율 조명기기

고효율 조명기기에 대한 의무기준은 고효율 조명기기를 사용하여야 한다는 항목 외에는 별도의 조건이 마련되어 있지 않다. 따라서 이 연구에서는 학교의 주 생활공간인 일반교실과 특별교실에 LED조명을 설치하는 것을 리트로핏 기준으로 설정하였다.

5) 외부차양 · 내부차양

외부차양과 내부차양은 의무사항이 아닌 권장항목이며 필수항목 기준은 현재안과 같고, 선택항목 기준은 각각 설치여부로 설정하였다. 이때 외부차양은 설치방위에 따라 남측의 창호에는 오버행(0.6m), 동측과 서측의 창호에는 핀(0.6m)의 형태로 설치하는 것을 기준으로 하였다. 또한 내부차양은 베네시안 블라인드를 하절기와 동절기에 최적으로 제어하는 상태를 기준으로 가정하였다.



〈그림 4-10〉 외부차양(남, 서 · 동) 적용(좌)과 내부차양 적용(우)

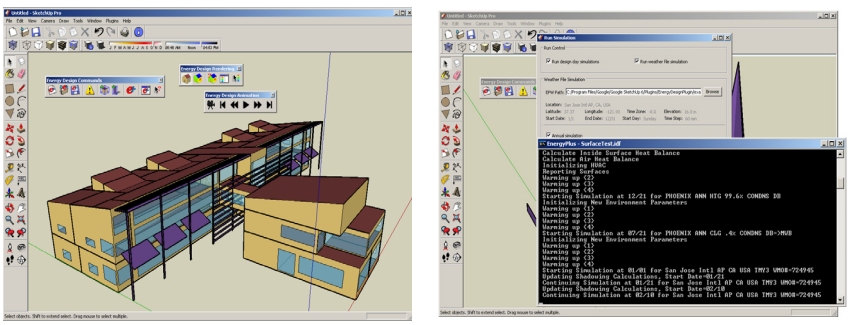
3. 상세 시뮬레이션을 통한 리트로핏 효과

1) EnergyPlus

EnergyPlus는 1990년대 중반 미국 에너지성(Department of Energy, DOE)이 개발한 동적에너지 해석 프로그램이다.

EnergyPlus는 에너지성능평가 시 전도전달함수(CTF, Conduction Transfer Function) 계산기법을 사용하며 공간 에너지평형식과 함께 결합되어 건축 구조물에서 동적 열전달해석 평가도구로 활용된다. 특히 건축적 요소 및 시스템 부분까지 상세한 모델링이 가능하여 상세 시뮬레이션에 널리 사용되는 프로그램이다.

EnergyPlus는 다양한 에너지절약요소를 적용할 수 있어 리트로핏 항목의 성능평가실험에 적합하다고 판단되는바, 이 연구에서는 상세 시뮬레이션 수행을 위한 도구로 EnergyPlus를 선정하여 연구를 진행하였다.



출처 : EnergyPlus-DOE's Next Generation Simulation Program(2010)

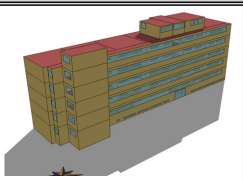
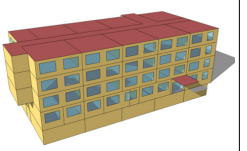
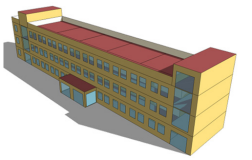
〈그림 4-11〉 EnergyPlus 성능분석 예시(스케치업 모델링-좌, 성능분석시행-우)

2) 기준학교의 에너지성능분석

성능분석 대상학교 중 고등학교의 평균에너지소비 유형인 JH고를 기준학교

로 설정하고 상세 에너지성능을 평가하였다. 기준안 분석을 위한 건물개요는 다음 <표 4-9>와 같다. JH고의 냉·난방시스템은 앞에서 제시한 리트로핏 항목의 적용을 위해 EHP로 가정하였다. 그 외의 구조체 열성능 및 타 입력값은 대상학교의 상세도면 분석을 통해 시뮬레이션에 적용하였다.

〈표 4-9〉 기준학교 개요

구 분		1동	2동	3동
모델링				
총연면적 (공조면적)		5,027.4㎡ (3,570.7㎡)	1,869.8㎡ (1,012.5㎡)	3,450.5㎡ (2,332.8㎡)
향		북동(-47°)	남동(133°)	남동(145°)
공조방식		EHP(난방 COP 4.0/ 냉방 COP 3.8)	EHP(난방 COP 4.0/ 냉방 COP 3.8)	EHP(난방 COP 4.0/ 냉방 COP 3.8)
구조체 열성능 (평균)	외벽	0.375 W/㎡K	0.383 W/㎡K	0.362~0.375 W/㎡K
	창호	2.720 W/㎡K	2.753 W/㎡K	2.720 W/㎡K
	최하층	0.308 W/㎡K	0.287 W/㎡K	0.308 W/㎡K
	지붕	0.212 W/㎡K	0.204 W/㎡K	0.212 W/㎡K
냉난방온도 설정		냉방 28℃ / 난방 18℃	냉방 28℃ / 난방 18℃	냉방 28℃ / 난방 18℃

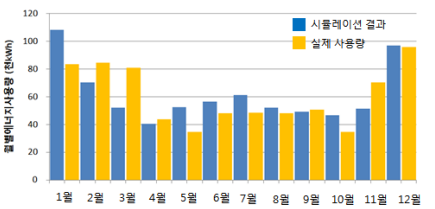
EnergyPlus을 활용하여 JH고의 에너지소비량을 상세 분석하였다. 성능평가를 통해 에너지소비량을 예측한 결과 JH고는 연간 총 738MWh를 소비할 것으로 예측되었다. 이를 공조면적기준 에너지원단위로 환산하면 106.8kW/㎡y에 해당한다. 이는 3장에서 분석한 2008년의 실측에너지원단위 및 에너지사용량과 비교하였을 때 1.9%의 오차를 나타낸다. 또한 월별 에너지소비 패턴은 실측치에 배해 3월, 5월, 10월을 제외하고 모두 ±30% 이내의 오차율을 유지하였다.

〈표 4-10〉 부문별 에너지 사용 예측량

구분	1동		2동		3동		합계		
	전력	가스	전력	가스	전력	가스	전력	가스	합계
조명	88,077.3	0.0	22,934.0	0.0	55,186.2	0.0	166,197.5	0.0	166,197.5
냉난방/환기	120,740.6	0.0	49,357.5	0.0	86,710.4	0.0	256,808.5	0.0	256,808.5
기타	136,395.7	23,439.7	18,819.5	23,253.5	90,274.8	23,253.5	245,490.1	69,946.7	315,436.8
합계	345,213.6	23,439.7	91,111.1	23,253.5	232,171.4	23,253.5	668,496.0	69,946.7	738,442.8

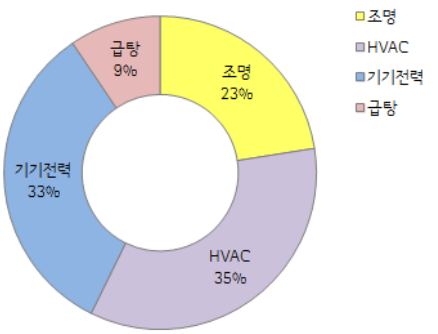
〈표 4-11〉 시뮬레이션 결과와 실측데이터 비교

구분	성능평가 결과 기준 원단위		
	Energy Plus	실측* (2008)	오차범위 (%)
에너지 사용량	106.8	104.8	1.9



* 실측 원단위는 교사 3동만 시뮬레이션을 수행하였으므로 3장에서 조사한 상세 에너지분석치와 시뮬레이션상의 공조면적을 적용하여 재산출하였음.

상세 에너지성능평가를 통해 예측한 에너지소비부문별 비중은 냉·난방 35%, 조명 23%, 급탕 9%, 기기전력 33%로 냉·난방과 기기전력부문의 에너지 소비 비중이 매우 높은 것으로 예측되었다.



〈그림 4-12〉 상세 에너지성능평가의 에너지 소비원별 비중

4. 빌딩리트로핏 패키지

1) 다중회귀분석을 통한 에너지소비량 예측식

이 연구에서는 에너지성능측면에서 리트로핏 항목의 조합에 따른 에너지성능을 평가하고자 하며, 정량적 계산이 가능한 신재생에너지시스템을 제외하고 3수준의 10개 리트로핏 항목을 설정하였다. 따라서 이 항목에 대한 조합의 에너지성능을 평가하기 위해서는 3^{10}(59,049)회의 시뮬레이션을 수행하여야 한다. 이러한 시뮬레이션의 수행 및 분석을 가능하도록 하기 위해 통계적인 방법인 실험계획법을 활용하였다. 3수준의 81회 실험조건을 구성하게 하는 L_{81}(340) 직교배열표를 활용해 다음 표와 같이 실험조건을 구성하였다.

〈표 4-12〉 직교배열표를 활용한 81회 실험조건

(단위 : 열관류율 W/㎡K, 기밀성능 ACH, 냉난방기 효율 COP)

실험 번호	출입문 구조	열관류율				기밀 성능	기기효율		선택항목	
		외벽	지붕	최하층 바닥	창호		냉난방기	고효율 조명기기	외부차양	내부 차양
1	현재안	현재안	현재안	현재안	현재안	현재안	냉방3.8 난방4.0	현재안	현재안	현재안
2	현재안	현재안	현재안	현재안	현재안	현재안	냉방4.0 난방4.2	LED(일반)	현재안	현재안
3	현재안	현재안	현재안	현재안	현재안	현재안	냉방4.2 난방4.4	LED (일반+특수)	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	블라인드
4	현재안	현재안	현재안	현재안	2.4	0.8	냉방3.8 난방4.0	현재안	현재안	현재안
5	현재안	현재안	현재안	현재안	2.4	0.8	냉방4.0 난방4.2	LED(일반)	현재안	현재안
6	현재안	현재안	현재안	현재안	2.4	0.8	냉방4.2 난방4.4	LED(일반+특수)	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	블라인드
7	현재안	현재안	현재안	현재안	1.2	0.6	냉방3.8 난방4.0	현재안	현재안	현재안
8	현재안	현재안	현재안	현재안	1.2	0.6	냉방4.0 난방4.2	LED(일반)	현재안	현재안
9	현재안	현재안	현재안	현재안	1.2	0.6	냉방4.2 난방4.4	LED(일반+특수)	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	블라인드
10	현재안	0.36	0.2	0.41	현재안	현재안	냉방3.8 난방4.0	현재안	현재안	현재안
11	현재안	0.36	0.2	0.41	현재안	현재안	냉방4.0 난방4.2	LED(일반)	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	블라인드
12	현재안	0.36	0.2	0.41	현재안	현재안	냉방4.2 난방4.4	LED(일반+특수)	현재안	현재안

(단위 : 열관류율 W/㎡k, 기밀성능 ACH, 냉난방기 효율 COP)

실험 번호	출입문 구조	열관류율				기밀 성능	기기효율		선택항목	
		외벽	지붕	최하층 바닥	창호		냉난방기	고효율 조명기기	외부차양	내부 차양
13	현재안	0.36	0.2	0.41	2.4	0.8	냉방3.8 난방4.0	현재안	현재안	현재안
14	현재안	0.36	0.2	0.41	2.4	0.8	냉방4.0 난방4.2	LED(일반)	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	블라인드
15	현재안	0.36	0.2	0.41	2.4	0.8	냉방4.2 난방4.4	LED(일반+특수)	현재안	현재안
16	현재안	0.36	0.2	0.41	1.2	0.6	냉방3.8 난방4.0	현재안	현재안	현재안
17	현재안	0.36	0.2	0.41	1.2	0.6	냉방4.0 난방4.2	LED(일반)	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	블라인드
18	현재안	0.36	0.2	0.41	1.2	0.6	냉방4.2 난방4.4	LED(일반+특수)	현재안	현재안
19	현재안	0.25	0.16	0.21	현재안	현재안	냉방3.8 난방4.0	현재안	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	블라인드
20	현재안	0.25	0.16	0.21	현재안	현재안	냉방4.0 난방4.2	LED(일반)	현재안	현재안
21	현재안	0.25	0.16	0.21	현재안	현재안	냉방4.2 난방4.4	LED(일반+특수)	현재안	현재안
22	현재안	0.25	0.16	0.21	2.4	0.8	냉방3.8 난방4.0	현재안	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	블라인드
23	현재안	0.25	0.16	0.21	2.4	0.8	냉방4.0 난방4.2	LED(일반)	현재안	현재안
24	현재안	0.25	0.16	0.21	2.4	0.8	냉방4.2 난방4.4	LED(일반+특수)	현재안	현재안
25	현재안	0.25	0.16	0.21	1.2	0.6	냉방3.8 난방4.0	현재안	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	블라인드
26	현재안	0.25	0.16	0.21	1.2	0.6	냉방4.0 난방4.2	LED(일반)	현재안	현재안
27	현재안	0.25	0.16	0.21	1.2	0.6	냉방4.2 난방4.4	LED(일반+특수)	현재안	현재안
28	3.8	현재안	0.2	0.21	현재안	0.8	냉방3.8 난방4.0	LED(일반)	현재안	현재안
29	3.8	현재안	0.2	0.21	현재안	0.8	냉방4.0 난방4.2	LED(일반+특수)	현재안	블라인드
30	3.8	현재안	0.2	0.21	현재안	0.8	냉방4.2 난방4.4	현재안	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안
31	3.8	현재안	0.2	0.21	2.4	0.6	냉방3.8 난방4.0	LED(일반)	현재안	현재안
32	3.8	현재안	0.2	0.21	2.4	0.6	냉방4.0 난방4.2	LED(일반+특수)	현재안	블라인드
33	3.8	현재안	0.2	0.21	2.4	0.6	냉방4.2 난방4.4	현재안	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안
34	3.8	현재안	0.2	0.21	1.2	현재안	냉방3.8 난방4.0	LED(일반)	현재안	현재안
35	3.8	현재안	0.2	0.21	1.2	현재안	냉방4.0 난방4.2	LED(일반+특수)	현재안	블라인드
36	3.8	현재안	0.2	0.21	1.2	현재안	냉방4.2 난방4.4	현재안	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안

(단위 : 열관류율 W/㎡k, 기밀성능 ACH, 냉난방기 효율 COP)

실험 번호	출입문 구조	열관류율				기밀 성능	기기효율		선택항목	
		외벽	지붕	최하층 바닥	창호		냉난방기	고효율 조명기기	외부차양	내부 차양
37	3.8	0.36	0.16	현재안	현재안	0.8	냉방3.8 난방4.0	LED(일반)	현재안	블라인드
38	3.8	0.36	0.16	현재안	현재안	0.8	냉방4.0 난방4.2	LED(일반+특수)	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안
39	3.8	0.36	0.16	현재안	현재안	0.8	냉방4.2 난방4.4	현재안	현재안	현재안
40	3.8	0.36	0.16	현재안	2.4	0.6	냉방3.8 난방4.0	LED(일반)	현재안	블라인드
41	3.8	0.36	0.16	현재안	2.4	0.6	냉방4.0 난방4.2	LED(일반+특수)	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안
42	3.8	0.36	0.16	현재안	2.4	0.6	냉방4.2 난방4.4	현재안	현재안	현재안
43	3.8	0.36	0.16	현재안	1.2	현재안	냉방3.8 난방4.0	LED(일반)	현재안	블라인드
44	3.8	0.36	0.16	현재안	1.2	현재안	냉방4.0 난방4.2	LED(일반+특수)	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안
45	3.8	0.36	0.16	현재안	1.2	현재안	냉방4.2 난방4.4	현재안	현재안	현재안
46	3.8	0.25	현재안	0.41	현재안	0.8	냉방3.8 난방4.0	LED(일반)	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안
47	3.8	0.25	현재안	0.41	현재안	0.8	냉방4.0 난방4.2	LED(일반+특수)	현재안	현재안
48	3.8	0.25	현재안	0.41	현재안	0.8	냉방4.2 난방4.4	현재안	현재안	블라인드
49	3.8	0.25	현재안	0.41	2.4	0.6	냉방3.8 난방4.0	LED(일반)	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안
50	3.8	0.25	현재안	0.41	2.4	0.6	냉방4.0 난방4.2	LED(일반+특수)	현재안	현재안
51	3.8	0.25	현재안	0.41	2.4	0.6	냉방4.2 난방4.4	현재안	현재안	블라인드
52	3.8	0.25	현재안	0.41	1.2	현재안	냉방3.8 난방4.0	LED(일반)	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안
53	3.8	0.25	현재안	0.41	1.2	현재안	냉방4.0 난방4.2	LED(일반+특수)	현재안	현재안
54	3.8	0.25	현재안	0.41	1.2	현재안	냉방4.2 난방4.4	현재안	현재안	블라인드
55	2.8	현재안	0.16	0.41	현재안	0.6	냉방3.8 난방4.0	LED(일반+특수)	현재안	블라인드
56	2.8	현재안	0.16	0.41	현재안	0.6	냉방4.0 난방4.2	현재안	현재안	현재안
57	2.8	현재안	0.16	0.41	현재안	0.6	냉방4.2 난방4.4	LED 8W/㎡로 일반교실 적용	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안
58	2.8	현재안	0.16	0.41	2.4	현재안	냉방3.8 난방4.0	LED(일반+특수)	현재안	블라인드
59	2.8	현재안	0.16	0.41	2.4	현재안	냉방4.0 난방4.2	현재안	현재안	현재안
60	2.8	현재안	0.16	0.41	2.4	현재안	냉방4.2 난방4.4	LED(일반)	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안

(단위 : 열관류율 W/㎡k, 기밀성능 ACH, 냉난방기 효율 COP)

실험 번호	출입문 구조	열관류율				기밀 성능	기기효율		선택항목	
		외벽	지붕	최하층 바닥	창호		냉난방기	고효율 조명기기	외부차양	내부 차양
61	2.8	현재안	0.16	0.41	1.2	0.8	냉방3.8 난방4.0	LED(일반+특수)	현재안	블라인드
62	2.8	현재안	0.16	0.41	1.2	0.8	냉방4.0 난방4.2	현재안	현재안	현재안
63	2.8	현재안	0.16	0.41	1.2	0.8	냉방4.2 난방4.4	LED(일반)	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안
64	2.8	0.36	현재안	0.21	현재안	0.6	냉방3.8 난방4.0	LED(일반+특수)	현재안	현재안
65	2.8	0.36	현재안	0.21	현재안	0.6	냉방4.0 난방4.2	현재안	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안
66	2.8	0.36	현재안	0.21	현재안	0.6	냉방4.2 난방4.4	LED(일반)	현재안	블라인드
67	2.8	0.36	현재안	0.21	2.4	현재안	냉방3.8 난방4.0	LED(일반+특수)	현재안	현재안
68	2.8	0.36	현재안	0.21	2.4	현재안	냉방4.0 난방4.2	현재안	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안
69	2.8	0.36	현재안	0.21	2.4	현재안	냉방4.2 난방4.4	LED(일반)	현재안	블라인드
70	2.8	0.36	현재안	0.21	1.2	0.8	냉방3.8 난방4.0	LED(일반+특수)	현재안	현재안
71	2.8	0.36	현재안	0.21	1.2	0.8	냉방4.0 난방4.2	현재안	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안
72	2.8	0.36	현재안	0.21	1.2	0.8	냉방4.2 난방4.4	LED(일반)	현재안	블라인드
73	2.8	0.25	0.2	현재안	현재안	0.6	냉방3.8 난방4.0	LED(일반+특수)	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안
74	2.8	0.25	0.2	현재안	현재안	0.6	냉방4.0 난방4.2	현재안	현재안	블라인드
75	2.8	0.25	0.2	현재안	현재안	0.6	냉방4.2 난방4.4	LED(일반)	현재안	현재안
76	2.8	0.25	0.2	현재안	2.4	현재안	냉방3.8 난방4.0	LED(일반+특수)	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안
77	2.8	0.25	0.2	현재안	2.4	현재안	냉방4.0 난방4.2	현재안	현재안	블라인드
78	2.8	0.25	0.2	현재안	2.4	현재안	냉방4.2 난방4.4	LED(일반)	현재안	현재안
79	2.8	0.25	0.2	현재안	1.2	0.8	냉방3.8 난방4.0	LED(일반+특수)	남:수평(0.6m) 동서:수직(0.6m)	현재안
80	2.8	0.25	0.2	현재안	1.2	0.8	냉방4.0 난방4.2	현재안	현재안	블라인드
81	2.8	0.25	0.2	현재안	1.2	0.8	냉방4.2 난방4.4	LED(일반)	현재안	현재안

81회의 실험 조건에 따라 EnergyPlus를 사용하여 성능평가를 시행하였다. 성능평가의 결과는 다음 <표 4-13>과 같다. 10가지의 리트로핏 항목들이 건물의

에너지사용량에 끼치는 영향을 알아보기 위해 다중회귀분석을 수행하여 예측식을 도출하였다. 이때 종속변수는 총에너지소비량과 에너지원단위로 설정하였다. 에너지원단위를 추가한 이유는 빌딩리트로핏 패키지 적용을 위한 것이다. 독립변수는 10가지의 리트로핏 항목으로 설정하였다.

또한 본 분석에서는 다양한 독립변수 중 설명력이 높은 변수들로 회귀모델을 구성하기 위해 단계선택(Stepwise)법을 채택하였다. 단계선택법의 진입조건으로 설정한 F 확률 조건은 진입 유의도 0.05, 제거 유의도 0.10으로 가정하였다. 분석결과 총에너지사용량과 에너지원단위에서 지붕 열관류율이 제거되었으며, 두 모형 모두 R^2값이 0.926, 0.927로 분석되어 예측식이 유의적인 수준인 것으로 평가되었다. 예측식은 다음 <수식 4-1>, <수식 4-2>와 같다.

〈표 4-13〉 에너지성능평가 결과

(단위 : MWh/y, kWh/㎡y)

실험번호	에너지소비량					실험번호	에너지소비량					실험번호	에너지소비량				
	1동	2동	3동	총 소비량	에너지 원단위		1동	2동	3동	총 소비량	에너지 원단위		1동	2동	3동	총 소비량	에너지 원단위
1	368.7	114.4	255.4	738.4	106.8	28	354.9	107.4	244.7	707.0	102.2	55	352.5	109.3	244.9	706.7	102.2
2	360.8	111.3	250.3	722.4	104.4	29	344.0	106.1	238.6	688.7	99.6	56	351.4	105.6	242.2	699.3	101.1
3	352.7	112.1	248.9	713.8	103.2	30	354.8	109.7	244.7	709.3	102.6	57	345.2	105.6	240.3	691.1	99.9
4	358.9	109.6	246.5	715.0	103.4	31	350.3	104.6	237.8	692.7	100.2	58	356.3	115.9	250.1	722.2	104.4
5	351.1	106.6	241.3	699.0	101.1	32	339.6	103.8	231.3	674.7	97.6	59	364.3	112.6	258.1	735.1	106.3
6	343.6	107.4	238.2	689.1	99.6	33	350.2	107.2	237.8	695.3	100.5	60	359.2	112.2	248.0	719.4	104.0
7	351.5	106.8	241.3	699.5	101.1	34	359.8	111.7	249.1	720.7	104.2	61	347.1	109.0	242.2	698.2	101.0
8	343.2	103.7	236.0	682.9	98.7	35	349.0	110.2	242.4	701.6	101.4	62	351.8	107.4	242.3	701.5	101.4
9	335.2	107.2	233.1	675.4	97.7	36	359.7	113.4	249.1	722.2	104.4	63	346.9	106.5	240.1	693.5	100.3
10	368.4	113.4	255.3	737.1	106.6	37	355.5	107.5	244.5	707.5	102.3	64	343.6	104.2	236.5	684.3	98.9
11	362.5	113.0	254.8	730.3	105.6	38	345.8	107.0	241.4	694.2	100.4	65	353.4	108.2	245.0	706.6	102.2
12	350.4	108.4	243.9	702.7	101.6	39	352.2	106.4	243.1	701.8	101.5	66	343.7	105.3	237.2	686.2	99.2
13	359.6	108.8	246.3	714.8	103.4	40	350.9	104.9	226.5	682.3	98.7	67	357.0	111.3	245.1	713.4	103.1
14	353.2	108.4	244.0	705.6	102.0	41	341.1	104.6	235.8	681.5	98.5	68	367.3	114.9	253.1	735.3	106.3
15	341.9	103.9	235.0	680.9	98.5	42	348.2	118.9	236.5	703.5	101.7	69	356.6	114.0	244.8	715.4	103.4
16	351.8	106.0	240.8	698.6	101.0	43	363.5	114.7	254.2	732.4	105.9	70	344.2	106.1	237.6	687.9	99.5
17	344.5	105.1	238.9	688.5	99.5	44	351.0	111.4	245.9	708.3	102.4	71	353.9	109.8	245.3	708.9	102.5
18	333.8	101.0	229.8	664.6	96.1	45	361.2	113.5	254.9	729.6	105.5	72	344.4	105.6	237.6	687.6	99.4
19	365.4	114.4	256.3	736.1	106.4	46	353.6	108.4	245.6	707.6	102.3	73	341.9	105.0	237.5	684.4	99.0
20	356.2	109.1	246.9	712.3	103.0	47	345.2	104.2	236.1	685.4	99.1	74	351.4	109.0	243.4	703.8	101.8
21	346.2	107.2	240.7	694.2	100.4	48	349.7	106.7	238.2	694.5	100.4	75	341.2	101.5	234.5	677.3	97.9
22	356.7	109.9	245.7	712.3	103.0	49	353.8	107.8	241.1	702.7	101.6	76	355.7	112.2	245.5	713.3	103.1
23	347.4	104.4	238.1	690.0	99.8	50	344.4	101.8	233.5	679.6	98.3	77	364.6	116.1	252.2	732.9	106.0
24	337.5	102.5	232.0	672.1	97.2	51	345.7	104.2	237.9	687.8	99.4	78	353.9	108.4	242.3	704.6	101.9
25	348.2	106.5	240.5	695.2	100.5	52	358.5	112.1	249.8	720.3	104.2	79	342.2	107.4	241.3	690.9	99.9
26	337.6	101.1	233.0	671.6	97.1	53	346.4	108.2	242.5	697.1	100.8	80	352.7	109.5	244.7	706.9	102.2
27	327.9	99.2	226.9	654.1	94.6	54	357.4	110.7	245.2	713.3	103.1	81	341.5	103.3	235.0	679.9	98.3

〈표 4-14〉 총에너지사용량 다중회귀분석 결과

모형요약

R	R 제곱	수정된 R 제곱	추정값의 표준오차
0.963	0.926	0.915	5,313.091

분산분석

	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
선형회귀분석	24,544,128,434.75	11	2,231,284,403.159	79.042	0.000
잔차	1,947,796,276.11	69	28,228,931.538		
합계	26,491,924,710.86	80			

계수

구 분	비표준화 계수		표준화 계수 베타	t	유의확률(p)
	B	표준오차			
(상수)	624,161.30	5,937.24		105.13	0.000
기밀성능	79,070.18	3,615.10	0.71	21.87	0.000
고효율조명 선택	-21,312.09	1,446.04	-0.56	-14.74	0.000
냉난방효율 선택	-13,432.09	1,446.04	-0.35	-9.29	0.000
고효율조명 필수	-11,262.00	1,446.04	-0.29	-7.79	0.000
외벽U-Value	57,348.73	10,593.39	0.18	5.41	0.000
창호U-Value	4,274.88	843.21	0.17	5.07	0.000
냉난방효율 필수	-6,582.06	1,446.04	-0.17	-4.55	0.000
외부차양	4,981.78	1,252.31	0.13	3.98	0.000
최하층바닥 U-Value	18,938.82	7,229.72	0.09	2.62	0.011
출입문U-Value	-1,179.69	517.43	-0.07	-2.28	0.026
내부차양	2,637.12	1,252.31	0.07	2.11	0.039

$$Y = 624{,}161.30 + 79{,}070.18x_1 + 57{,}348.73x_2 + 4{,}274.88x_3 - 21{,}312.09x_4 - 11{,}262.00x_5 - 13{,}432.09x_6 - 6{,}582.06x_7 + 4{,}981.78x_8 + 18{,}938.82x_9 - 1{,}179.69x_{10} + 2{,}637.12x_{11}$$

〈수식 4-1〉 연간 총 에너지사용량 예측식

여기에서, Y: 연간 총 에너지사용량(kWh/y)
x_1: 기밀성능(ACH)
x_2: 외벽의 열관류율(W/㎡K)
x_3: 창호의 열관류율(W/㎡K)
x_4: 고효율조명(일반+특수교실 LED 적용 시 1, 미적용 시 0)
x_5: 고효율조명(일반교실 LED 적용 시 1, 미적용 시 0)
x_6: 냉난방기 효율(난방기 효율 4.0 냉방기 효율 3.8일 때 1, 그 외 0)
x_7: 냉난방기 효율(난방기 효율 4.2 냉방기 효율 4.0일 때 1, 그 외 0)
x_8: 외부차양(적용 시 1, 미적용 시 0)
x_9: 최하층 바닥의 열관류율(W/㎡K)
x_{10}: 출입문의 열관류율(W/㎡K)
x_{11}: 내부차양(적용 시 1, 미적용 시 0)

〈표 4-15〉 에너지원단위 다중회귀분석 결과

모형요약

R	R 제곱	수정된 R 제곱	추정값의 표준오차
0.963	0.927	0.915	0.76616

분산분석

	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
선형회귀분석	512.303	11	46.573	79.341	0.000
잔차	40.503	69	0.587		
합계	552.806	80			

계수

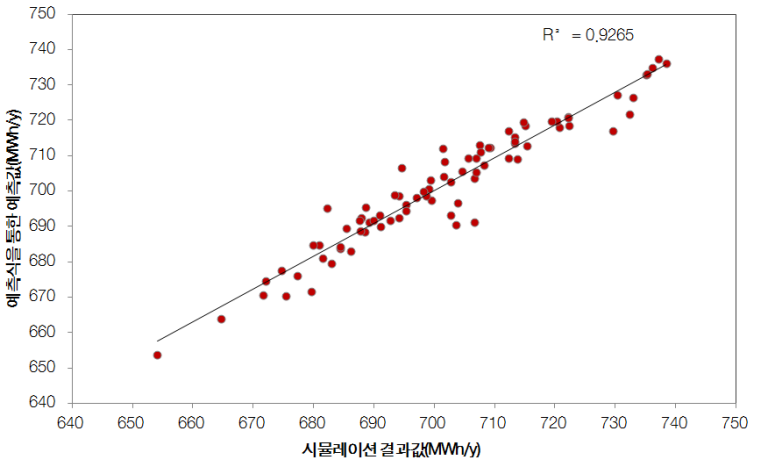
구 분	비표준화 계수		표준화 계수 베타	t	유의확률(p)
	B	표준오차			
(상수)	90.25	0.856		105.411	0.000
기밀성능	11.43	0.521	0.714	21.918	0.000
고효율조명선택	-3.07	0.209	-0.555	-14.742	0.000
냉난방효율선택	-1.95	0.209	-0.352	-9.343	0.000
고효율조명필수	-1.63	0.209	-0.294	-7.815	0.000
외벽U-Value	8.27	1.528	0.176	5.411	0.000
창호U-Value	0.62	0.122	0.167	5.124	0.000
냉난방효율필수	-0.96	0.209	-0.172	-4.583	0.000
외부차양	0.71	0.181	0.129	3.948	0.000
최하층바닥 U-Value	2.74	1.043	0.086	2.631	0.010
출입문U-Value	-0.17	0.075	-0.074	-2.264	0.027
내부차양	0.37	0.181	0.068	2.071	0.042

$$Y = 90.25 + 11.43x_1 + 8.27x_2 + 0.62x_3 - 3.07x_4 - 1.63x_5 - 1.95x_6 - 0.96x_7 + 0.71x_8 + 2.74x_9 - 0.17x_{10} + 0.37x_{11}$$

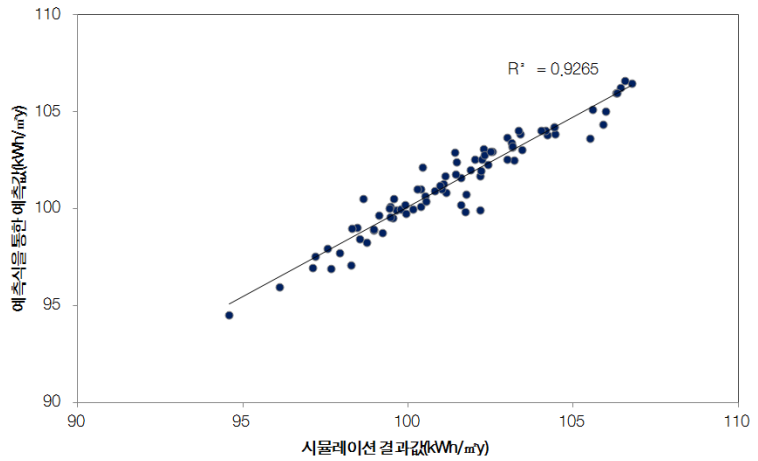
〈수식 4-2〉
에너지원단위 예측식

여기에서, Y: 에너지원단위(kWh/㎡y)
x_1: 기밀성능(ACH)
x_2: 외벽의 열관류율(W/㎡K)
x_3: 창호의 열관류율(W/㎡K)
x_4: 고효율조명(일반+특수교실 LED 적용 시 1, 미적용 시 0)
x_5: 고효율조명(일반교실 LED 적용 시 1, 미적용 시 0)
x_6: 냉난방기 효율(난방기 효율 4.0 냉방기 효율 3.8일 때 1, 그 외 0)
x_7: 냉난방기 효율(난방기 효율 4.2 냉방기 효율 4.0일 때 1, 그 외 0)
x_8: 외부차양(적용 시 1, 미적용 시 0)
x_9: 최하층 바닥의 열관류율(W/㎡K)
x_{10}: 출입문의 열관류율(W/㎡K)
x_{11}: 내부차양(적용 시 1, 미적용 시 0)

위의 예측식을 검증하기 위해 에너지성능평가 결과치와 예측식을 통한 예측치를 비교하였다. 비교 결과, R^2값이 연간 총에너지사용량과 에너지원단위 모두 0.927로 비교적 높게 나타나 본 분석에서 도출된 예측식으로 리트로핏 요소의 효과 예측이 가능한 것으로 파악되었다.



〈그림 4-13〉 연간 총에너지사용량 시뮬레이션 결과치와 예측치 비교



〈그림 4-14〉 에너지원단위 시뮬레이션 결과치와 예측치 비교

2) 빌딩리트로핏 패키지

앞에서 제시한 에너지원단위 예측식을 근거로 에너지소비량이 가장 적게 나타날 것으로 기대되는 조합을 도출하였다. 해당조합의 상세 내용은 아래와 같으며, 최대절감안의 경우 에너지원단위가 95kWh/㎡y로 산출되었다. 이는 기준안인 106.5kWh/㎡y에 비해 약 11%의 에너지소비량이 절감될 수 있는 수치이다. 이에 따라 신재생에너지에 의해 생산되는 에너지생산량을 고려할 경우 에너지원단위는 85.5kWh/㎡y로 약 20%의 에너지소비량을 절감할 수 있다. 이는 고등학교의 평균치과 비교하였을 때 약 0.23의 EPC를 감소시킬 수 있는 수치이다.

또한 각 요소의 적용안에 따른 CO_2 저감효과를 산출하였다. 현재 기준 모델은 급탕을 제외한 모든 에너지사용원을 전력으로 설정하였기 때문에, 본 리트로핏 항목 적용에 의해 절감된 에너지는 모두 전력으로 판단된다. 따라서 CO_2 절감효과는 에너지절감효과와 같은 패턴으로 최대저감안과 최대증가안을 산출할 수 있다. 하지만 신재생에너지시스템은 전력과 열의 두 가지를 모두 생산할 수 있으므로 최종 생산에너지형태에 따라 CO_2 저감효과가 다르게 산출된다.

〈표 4-16〉 빌딩리트로핏 패키지 최대절감안과 최대증가안 조건

리트로핏 요소	기준안 (Base Model)	최대절감안 (최소사용량)	최대증가안 (최대사용량)
외벽 열관류율(W/㎡K)	0.38	0.25	0.38
최하층 열관류율(W/㎡K)	0.31	0.21	0.31
출입문 방풍구조(W/㎡K)	5.56	2.80	5.56
창호 열관류율(W/㎡K)	2.86	1.20	2.86
기밀성능	1ACH	0.6ACH	1ACH
냉난방기 효율	냉방3.8COP 난방4.0COP	냉방4.2COP 난방4.4COP	냉방3.8COP 난방4.0COP
고효율 조명기기	미적용	일반교실+특수교실 LED 적용	미적용
외부차양	미적용	미적용	적용
내부차양	미적용	미적용	적용
신재생에너지시스템	미적용	적용(에너지사용량 10% 생산)	미적용
에너지원단위(kWh/㎡y)	106.50	85.5	107.80
단위면적당 CO_2 배출 절감량($kgCO_2$)	0.0	신재생 전력생산 시 7.25 신재생 열생산 시 8.16	-0.63
기준안대비 절감률	0.0%	19.7%	-1.2%

주 : 전력의 탄소배출계수는 0.4836$kgCO_2$/kWh를 적용하고 신재생에너지시스템의 CO_2 배출 저감량은 신재생에너지센터의 환산기준인 전력 1TOE=2.069tCO_2, 열 1TOE=3.183tCO_2를 적용하여 환경효과 예측

위의 예측결과를 토대로 다음과 같은 빌딩리트로핏 패키지 시트가 제공될 수 있다. 시트는 각 리트로핏 항목별 기준을 제공하고 그에 따른 효과를 제공하며 리트로핏을 희망하는 항목에 체크를 할 경우, 예상 에너지절감량과 CO_2 배출저감량, 리트로핏에 의한 EPC 개선효과 등의 정보를 제공한다.

Retrofit Package No.

목표: 냉난방·조명·기기 에너지사용량 저감

필수항목

건축계획 부문(냉·난방에너지)

항목	기준	효과	항목	기준	효과
외벽단열	0.36W/㎡K 미만	에너지절감: 0.1kWh/㎡ CO_2 저감: 0.09kgCO_2/㎡	창호 열성능	로이 복층유리	에너지절감: 0.3kWh/㎡ CO_2 저감: 0.14kgCO_2/㎡
	0.25W/㎡K 미만	에너지절감: 0.1kWh/㎡ CO_2 저감: 0.09kgCO_2/㎡		4중창 아르곤 주입 로이유리	에너지절감: 1.0kWh/㎡ CO_2 저감: 0.80kgCO_2/㎡
최하층 바닥단열	0.41W/㎡K 미만	에너지절감: 0.3kWh/㎡ CO_2 저감: 0.14kgCO_2/㎡	출입문 방풍구조	3.8W/㎡K 미만	에너지절감: -0.6kWh/㎡ CO_2 저감:-0.23kgCO_2/㎡
	0.21W/㎡K 미만	에너지절감: 0.3kWh/㎡ CO_2 저감: 0.13kgCO_2/㎡		2.8W/㎡K 미만	에너지절감: -0.6kWh/㎡ CO_2 저감:-0.23kgCO_2/㎡
기밀성능	환기횟수 0.8회	에너지절감: 2.3kWh/㎡ CO_2 저감: 0.13kgCO_2/㎡	의무 기준 에너지 절감효과: 2.1kWh/㎡ CO_2 저감효과: 1.02kgCO_2/㎡ 선택 기준 에너지 절감효과: 6.4kWh/㎡ CO_2 저감효과: 3.11kgCO_2/㎡		
	환기횟수 0.6회	에너지절감: 2.3kWh/㎡ CO_2 저감: 1.11kgCO_2/㎡			

열원설비 · 공조설비 부문

항목	기준	효과	항목	기준	효과
고효율 냉·난방	냉방 COP 4.2/ 난방 COP 4.4	에너지절감: 1.0kWh/㎡ CO_2저감: 0.48kgCO_2/㎡	고효율 냉·난방	냉방 COP 4.0/ 난방 COP 4.2	에너지절감: 1.9kWh/㎡ CO_2 저감: 0.94kgCO_2/㎡

조명 부문

항목	기준	효과	항목	기준	효과
LED 조명	교실 LED 조명 적용	에너지절감: 1.6kWh/㎡ CO_2 저감: 0.79kgCO_2/㎡	LED 조명	교실+특별교실 LED 조명 적용	에너지절감: 3.1kWh/㎡ CO_2 저감: 1.49kgCO_2/㎡

신재생에너지 부문

항목	기준	효과	항목	기준	효과
공급의무 비율(%)	에너지사용량 기준 10% ('11~'12)	에너지절감: 9.8kWh/㎡ CO_2 저감: 7.3kgCO_2/㎡(전력생산) CO_2 저감: 7.3kgCO_2/㎡(열생산) 최대절감한 기준 산정			

선택항목 (패키지별 선택)

건축계획 부문(냉난방에너지)

항목	기준	효과	선택	항목	기준	효과	선택
외부 차양장치 설치	남: 오버행 동서: 핀	에너지절감: -0.7kWh/㎡ CO_2 저감: -0.34kgCO_2/㎡	□	내부 차양장치 설치	-베네시안 블라인드 설치	에너지절감: -0.4kWh/㎡ CO_2 저감: -0.18kgCO_2/㎡	□

선택항목 합계: 에너지절감: kWh/㎡; CO_2 저감: CO_2/㎡; **현재 EPC**

리트로핏 후 EPC

* 이 리트로핏 패키지는 연간 106kWh/㎡의 에너지를 소비하는 학교를 기준으로 하며, 열원설비는 EHP시스템을 기준으로 함

〈그림 4-15〉 빌딩리트로핏 패키지의 항목구성

제5장 빌딩리트로핏을 위한 에너지성능평가의 활용

제1절 학교건물 정보관리

제2절 정보제공

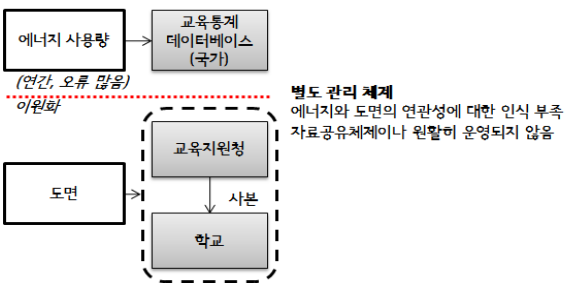
제3절 도시기반 리트로핏을 위한 에너지 성능 관리체계

제4절 소결

제5장 빌딩리트로핏을 위한 에너지성능 평가의 활용

제1절 학교건물 정보관리

학교를 비롯한 건물의 에너지성능 관리를 위해서는 에너지사용량과 에너지 사용 시뮬레이션을 할 수 있는 자료가 필요하다. 에너지 성능계수를 통해 전체 건물의 에너지성능을 관리할 수 있으며, 개별 학교에서는 에너지 벤치마킹을 통해 해당 학교가 비슷한 조건의 다른 학교에 비해 에너지를 얼마나 쓰고 있는지를 파악하여 에너지 성능 개선이나 에너지 절약 계획을 세울 수 있다. 그러나 현재 학교의 에너지 사용자료와 도면 자료는 관리상태가 미흡하고 체계도 이원화되어 에너지 진단이나 성능평가를 위한 자료로 활용하기 어렵다.



〈그림 5-1〉 학교건물 정보관리 체계

1. 데이터베이스 구축

1) 도면 데이터베이스

학교는 교육 통계를 위해 다양한 자료가 매우 상세하게 조사되는 건물 유형이기 때문에 에너지 사용량이나 건물 정보에 대한 전수 조사가 가능하고 실제로 지방 교육청과 교육과학기술부는 학교 에너지 사용량 및 건물 기초자료에 대한 통계를 관리한다. 그러나 도면 자료는 체계적으로 관리되고 있지 않다. 학교 도면은 공립학교의 경우 각 학교와 교육청에서 모두 보유하고 있다.

교육지원청에서는 시설담당자가 도면 자료를 관리하고 있으나 관리가 어렵다. 그 이유는 크게 네 가지이다. 첫째, 자료의 양과 형태이다. 수십년간 다양한 공사를 통해 설계가 변경되면서 자료 양이 많고 과거의 자료는 형식(도면 크기, 보관방법)이 제각각이다. 따라서 별도의 공간에 방치하거나 일정 기간 이후에는 자료를 폐기하는 경우가 많다. 둘째, 자료 보관의 문제에 더해 담당자가 정기적으로 바뀌기 때문에 도면 이력의 변화 추적이 어렵다. 셋째, 책임소재가 분명하지 않다. 고등학교의 경우 2011년 초에 관련 업무가 시 교육청에서 개별 교육지원청으로 이관되었으며, 업무 이관 과정에서 자료가 분류되지 않은 상태로 남아 있거나 유실된 경우가 적지 않다. 마지막으로, 공립학교와 교육청이 자료 관리를 중복해서 하고 있고 서로 어떻게 관리하는지 파악하지 않는 것도 책임소재가 불명한 원인 중 하나이다. 사립학교는 학교에서 전적으로 도면자료를 관리 중이므로, 도면 제공에 협조한 사립학교들은 대부분 교육청보다 더 상세한 자료를 제공할 수 있었다.

교육청도 도면자료 관리의 문제를 인식하고 자료 관리 T/F를 구성하였으나, 담당자와의 유선 면담에 따르면 자료 수집과 관리에 난항을 겪고 있다. 따라서 도면 자료 구축과 관리의 일원화가 필요하다. 교육통계에서 전수 조사를 하듯 현재 학교의 상태를 반영하는 도면을 수집하여 일괄적으로 저장·관리하고, 학교와 교육청의 담당자가 이 자료를 열람하고 편집할 수 있는 도면 데이터베이스가 구축되어야 한다.

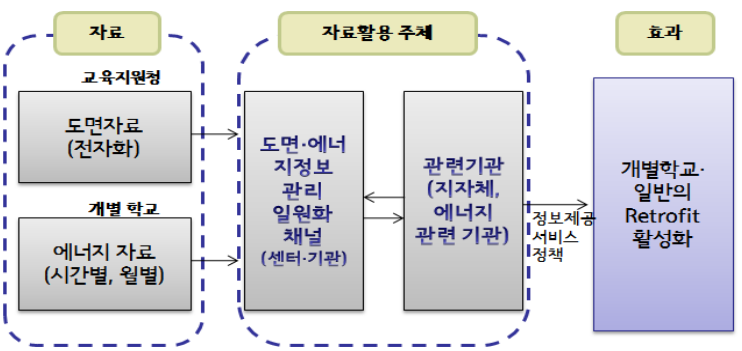
2) 에너지 데이터베이스

에너지 사용자료 관리방법도 개선의 여지가 있다. 에너지는 교육통계 DB에서 연간 사용량을 조사하기 때문에 전체적으로 관리되고 있으나, 연간 사용량 정보는 학교의 에너지 진단에 큰 도움이 되지 않는다. 또한 연간 사용량을 개별 학교에서 직접 입력하기 때문에 오류가 많고 오류를 확인하거나 수정하기도 매우 어렵다. 따라서 이 연구에서 조사한 방식으로 에너지 사용원(전기, 가스, 수도)별 고객번호와 계량기 번호를 수집하여, 연간 에너지 사용량 자료 외의 상세 자료를 모니터링할 수 있도록 하여야 한다.

3) 자료 수집과 관리방식

에너지 사용과 도면 자료는 현재 교육통계 데이터베이스와 연동하여 학교에 관한 기타 자료와 함께 활용할 수 있어야 한다. 건물 도면 자료는 특성상 통계 데이터베이스에 통합하기 힘들기 때문에 별도의 관리체계가 필요할 것이나, 한편으로는 기존의 교육통계 데이터베이스와 연계되어야 한다. 또한 이러한 자료를 지자체와 연구기관이 활용할 수 있는 방안이 마련되어야 한다.

도면과 에너지사용량 자료를 집합적으로 관리하고 적절히 활용할 때 건물의 에너지성능을 제대로 평가하고, 건물에너지 정책의 방향을 설정할 수 있다.



〈그림 5-2〉 학교건물 데이터베이스 관리방식

2. 에너지성능의 관리

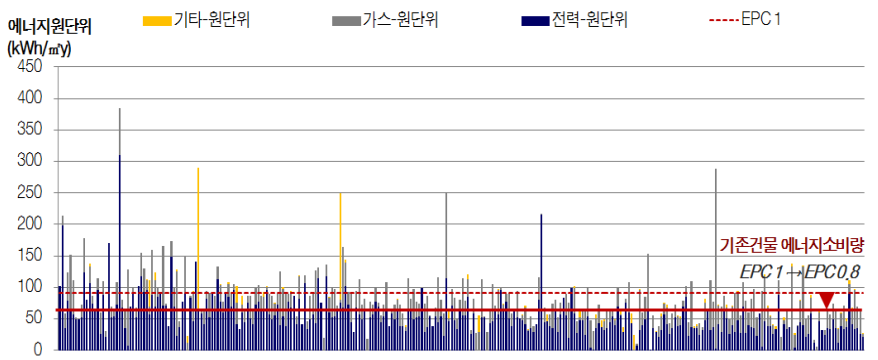
1) EPC의 활용

1절에서 살펴본 것처럼, 다수 건물의 에너지사용량과 시뮬레이션 자료를 보유한 경우에는 4장에서 언급한 EPC를 산출할 수 있기 때문에 종합적인 건물에너지 성능관리가 가능하다.

건물 시뮬레이션 자료의 축적을 통해 기본적인 건물에너지 성능을 평가 및 개선하는 작업을 진행하고 동시에, EPC가 기준치보다 높은 건물, 즉 건물의 기대 에너지사용량에 비해 실제 에너지사용량이 높은 건물을 규명할 수 있다.

이를 통해 건물에너지 성능개선과 건물에너지 소비패턴 개선을 동시에 진행할 수 있고, BESS와 같은 시뮬레이션 툴도 개량할 수 있을 것이다.

EPC가 높은 건물은 에너지성능을 개선하고 에너지 사용패턴을 관리하여 EPC를 낮추게 된다. 또한 이렇게 건물에너지 성능 개선을 통해 전체 EPC가 낮아진다면 EPC 기준치를 변경하여 추가로 개선작업을 진행한다. 이 과정을 장기적으로 반복한다면 대상 건물군 전체의 에너지성능을 상당히 개선할 수 있을 것이다.



〈그림 5-3〉 EPC 감소정책을 통한 수요 감소 시나리오(고등학교)

2) 관리체계

(1) 대상건물과 성능개선 목표(EPC) 설정

표본조사나 전수조사를 통해 각 학교의 EPC를 구한다면 학교 에너지 소비 패턴은 물론 EPC가 높은 건물을 찾아낼 수 있다. 이러한 학교는 EPC를 낮추기 위하여 향후 시설개선 사업이나 그린스쿨 사업 시행 시 우선선정 대상으로 고려한다.

(2) 성능개선 후 에너지 사용량 예측

대상 학교의 리트로핏을 수행하기 이전에 BESS 등을 통하여 에너지성능 개선 후의 에너지사용량을 예측하고 이전의 에너지사용량과 비교하여 효과를 예측한다. 이러한 예측 과정은 다수의 학교를 대상으로 수행하기 때문에 서울시 전체적으로 에너지 절감효과를 산정할 수 있을 것이다.

(3) 정책 제시 및 리트로핏 수행

이러한 진단과 예측 과정을 거친 후, 지자체나 정부는 에너지 절감과 리트로핏에 관한 정책 목표를 세우고 이에 맞는 예산과 실행계획을 제시할 수 있으며, 개별 학교는 리트로핏이 이루어진다.

(4) 사후 에너지 사용량 모니터링

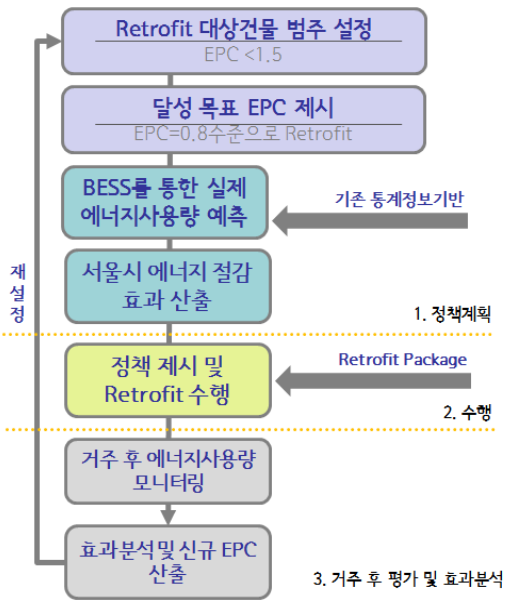
리트로핏 이후에는 지속적으로 에너지 사용량을 측정한다. 한전의 pccs 정보를 시간별, 일별로 분석하고 도시가스 사용 정보를 월별로 파악한다.

(5) 효과 분석 및 신규 EPC 산출

에너지사용량 모니터링을 통해 리트로핏의 실제 효과를 분석한다. 이 과정에서 실제로 어떤 분야의 리트로핏이 효과적인지를 판단할 수 있기 때문에 정책적으로 어떤 분야에 집중해야 하는지를 파악할 수 있다.

또한 실제 에너지 사용량이 감소하고 이러한 결과가 누적되어 다수 건물의 평균 에너지사용량이 감소한 경우, 기준 EPC를 재설정하여 과정을 반복한다.

학교건물의 에너지성능 관리체계는 다음 <그림 5-4>와 같이 정리할 수 있다.



〈그림 5-4〉 학교건물 에너지성능평가 관리체계

3) 평가가능 용도의 확장

EPC를 이용한 에너지성능 개선은 서울시의 건물에너지합리화 정책과 연계할 때 큰 효과를 볼 것이다. 현재의 건물에너지합리화 사업은 공공건물이나 에너지 다소비 건물에 시범적으로 진행하는데, 공공건물의 경우 에너지사용량과 도면자료를 모두 수집하여 BRP 사업을 우선적으로 시행해야 할 건물이 무엇인지를 파악한다면 불필요한 예산 낭비를 방지하고 빠른 시간 내에 에너지성능을 개선할 수 있다.

실제 건물의 대다수를 차지하는 소형 민간건물이나 주택 등에 BRP 사업을 시행할 때 EPC가 사업 시행의 기준역할을 할 수 있다. 또한 민간건물의 경우 BRP 사업을 진행하면서 에너지 진단 자료(에너지 사용량, 도면, 시뮬레이션)를 축적하고 DB화한다면 시간이 지날수록 효과적이고 합리적인 사업 수행이 가능한 것은 물론 정책 수립을 위한 참고 자료가 될 수 있다.

제2절 정보제공

1. 서비스 주체별 현황

1) 에너지 관리공단

정보 구축·활용·제공 서비스는 에너지성능 개선을 위한 민간 참여에서 중요한 역할을 한다. 따라서 각국의 에너지 관련 부처나 기관은 다양한 방식으로 정보 접근성을 높이기 위해 노력하고 있으며, 웹사이트를 통한 정보제공과 홍보에 주력한다.

이에 반해 우리나라의 대표적 에너지 기관이나 부처는 건물 에너지에 관해 적절한 정보를 제공하는 서비스가 취약하다. 특히 개별 건물의 운영주체나 일반 국민이 건물에너지 및 리트로핏에 관한 적절한 정보를 공개적으로 제공받기 힘들다.

건물에너지 관련 정보를 가장 많이 제공하는 기관은 에너지관리공단이다. 에너지관리공단은 건물에너지 절약사업 웹사이트에 건물에너지에 관한 정보를 제공하는 메뉴를 별도로 마련하고 있으나, 실질적인 정보보다는 정책 소개의 성격이 강하다.

〈그림 5-5〉 에너지관리공단 건물에너지절약사업 웹사이트

또한 에너지 절약 설계 방안에 대한 내용을 포함하고 있으나 아파트 설계 위주이기 때문에 실제 리트로핏에 관심이 있을만한 사람들에게 해당하는 내용은 아니다. 에너지관리공단은 에너지 다소비 건물에 대한 관리를 직접 하고 있지만 다소비 건물 외의 일반 건물의 에너지성능 개선 노력도 필요하며, 장기적으로는 일반 건물에 대한 에너지성능 개선정책이 에너지 사용량 절감에 효과적이다.

2) 서울시

서울시 관련 부서도 건물에너지 및 리트로핏에 관한 정보를 웹사이트에 게시한다. 그러나 에너지관리공단과 마찬가지로 그 내용이 너무 일반적이며, 방문자가 정작 궁금해할만한 정보는 제공하지 못한다.

또한 맑은환경본부와 주택본부가 관련 정보를 별도로 제공하고 있다는 문제도 있다. 따라서 정보를 찾기가 어려우며 체계적으로 정보를 수집하기도 힘들다.

서울시 역시 에너지관리공단과 같이 별도의 정보제공 웹사이트를 통해 건물에너지 리트로핏 관련 일반정보와 서울시 관련 정보를 제시해야 할 것이다. 그 이전에 단기적으로는 현재의 내용을 보강하여 제공해야 할 것이다.

〈표 5-1〉 리트로핏 관련 정보제공 서비스 현황과 개선방안

구 분	맑은환경본부	주택본부	개선방안
정보제공 형태	시민참여	- 에너지사용 총량제 공지사항(BESS) - 그린빌딩 가이드라인	웹 기반의 건물에너지성능 · 빌딩리트로핏 정보 제공
리트로핏 관련항목	에너지절약	에너지 성능 설계 (일반적인 내용)	신축과 리트로핏 정보 단열정보
내용	건물에너지 저감에 관한 일반적인 방안	관련 정책 시뮬레이션 프로그램 설명서 파일	주택단열시공방법 단열 관련 법규 · 정책 건물에너지 정책(지원) 건물에너지 요소 사업진행 방안 디자인가이드 유지보수 교육 사례

2. 건물에너지 정보제공 서비스

1) 서비스 내용

건물에너지 리트로핏에 관한 실질적이고 상세한 정보를 제공하는 서비스를 개발할 필요가 있다. 실제 사례 정보를 통해 에너지 진단과 리트로핏 과정, 효과를 설명하는 서비스가 필요하며, 이외에도 건물에너지 개별 리트로핏 항목에 대한 교육, 간이 에너지성능 진단 등이 가능한 서비스도 고려할 수 있다. 정보제공의 세부 내용은 다음과 같다.

○ 에너지모니터링기능과 간이 진단기능

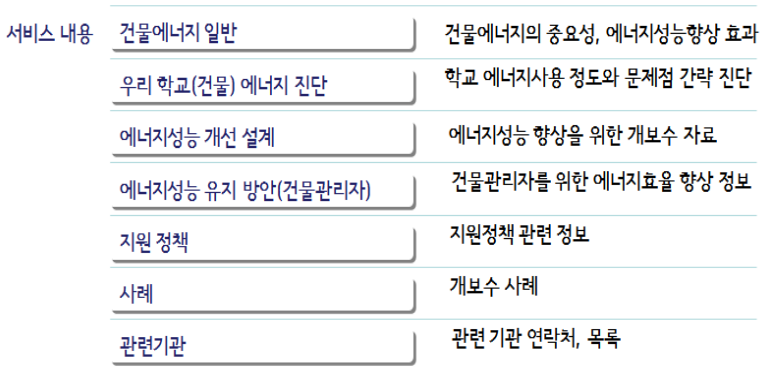
○ 에너지성능 관련 항목별 리트로핏 방안에 대한 설명

○ 건물에너지 사용과 리트로핏 데이터베이스 (오랜 기간의 자료구축과 실증연계 필요)

○ 용도별 벤치마킹이 가능한 표준모델을 제시하여 대략적으로라도 자신의 건물과 비교할 수 있는 에너지 벤치마킹 서비스(에너지 포트폴리오 관리)

○개별건물 에너지에 관한 정보 혹은 유형별·크기별 대표 건물에너지 리트로핏 사례

이 중 다소 생소할 수 있는 에너지 벤치마킹에 대한 내용과 리트로핏 교육 서비스에 대해서 구체적으로 살펴보자.



〈그림 5-6〉 에너지 벤치마킹 정보제공 서비스 내용

2) 에너지 벤치마킹 서비스

에너지 벤치마킹은 특정 건물의 에너지사용량이 유사한 조건의 다른 건물에 비해 어느 정도 수준인지를 파악하도록 도와준다. 단순히 모니터링만으로는 에너지 사용량이 적정 수준인지를 알 수 없기 때문에 벤치마킹 정보제공 체계를 구축하고 활용하는 것이 중요하다.

뉴욕시는 미국 환경국(EPA)의 에너지스타 포트폴리오 매니저(Energy Star Portfolio Manager, ESPM)를 활용하여 학생과 학부모, 교직원들에게 해당 학교의 에너지 벤치마킹을 제공한다. ESPM은 비주거용 건물의 사용자가 건물에 관한 정보를 입력하여 해당 건물의 에너지사용량과 표준치를 비교할 수 있게 하는 도구이다.

ESPM은 건물의 면적과 사용 시간 등의 기본적인 정보만을 입력하게 되어

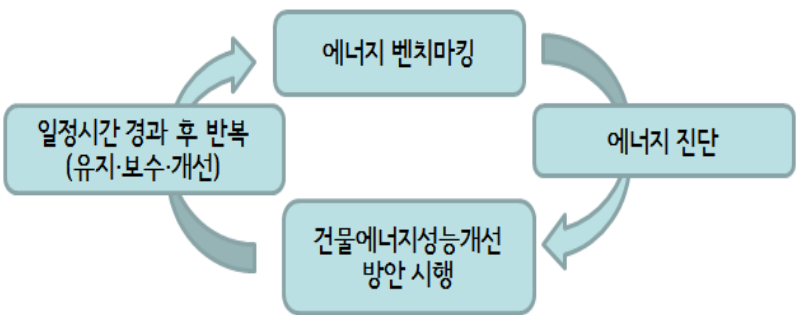
있어 정밀한 도구가 아니지만 손쉽게 건물에너지 사용 수준을 판단하고 건물의 에너지 사용에 대한 이해를 도울 수 있다는 장점이 있다.

뉴욕시 교육부는 학생, 학부모, 교직원이 해당 학교의 에너지 사용 데이터베이스에 접근할 수 있도록 돕고 있다. 에너지 벤치마킹 서비스의 특징을 요약하면 아래와 같다.

- ○사용자가 건물에 관한 정보를 입력하여 해당 건물의 에너지사용량과 표준치를 비교
- ○건물의 면적과 사용 시간 등의 기본적인 정보만 입력하여 쉽게 건물에너지 사용 수준을 판단하고 문제점을 간략히 진단
- ○학생, 학부모, 교직원이 해당 학교의 에너지 사용 데이터베이스에 접근 가능

이러한 서비스를 위해서는 대규모 표본 수집이 선행되어야 한다. 즉 다양한 종류의 건물 상세 데이터를 확보하고 분석해야 한다. 건물 데이터에는 에너지 사용량 자료도 포함된다. 이러한 에너지사용량 자료는 지속적으로 축적되어야 기후의 영향 등을 함께 파악할 수 있다.

국내에서 이러한 서비스를 실시한다면 다음과 같은 단순 벤치마킹에 더해, 관리자 등이 상세 에너지사용량을 분석할 수 있는 계량기 정보, 비교대상 건물들의 에너지성능에 대한 분석 등을 추가하면 유용할 것이다.



〈그림 5-7〉 Energy Portfolio Manager를 활용한 자발적 건물에너지 성능개선 유도

제3절 도시기반 리트로핏을 위한 에너지성능 관리체계

1. 서울시 건물에너지센터(안)의 설립

1) 리트로핏 추진의 장애요소

위에서 제시한 건물에너지 성능 관리와 개선 작업은 학교뿐 아니라 다른 종류의 건물에너지 성능 개선에도 적용될 수 있다. 그러나 현실적으로는 아래와 같은 문제가 존재한다.

첫째, 에너지수요 데이터베이스의 총체적 관리가 어렵다. 학교의 경우 정보수집이 가장 체계적으로 이루어지는 조직임에도 불구하고 에너지와 관련한 정보가 잘 관리되고 있지 않다. 따라서 학교 외의 다른 부문, 특히 민간 부문의 에너지 관련 정보 데이터베이스 구축과 관리는 더욱 어려울 것이다.

둘째, 정부나 지자체 차원에서 에너지 성능관리에 대한 정보제공과 홍보가 충분히 이루어지지 않고 있다. 에너지 절약 캠페인 등은 활발하지만 건물에 관련된 당사자가 에너지성능을 개선하려는 의지를 갖고 있어도 기초적인 정보나 사전 정보를 손쉽게 얻을 수 없다. 정보 접근성이 떨어지면 리트로핏의 에너지 절감 수준과 비용절감 효과에 대해 충분히 인지하지 못하기 때문에 초기투자비를 부담하지 않으려는 심리가 생긴다.

셋째, 리트로핏 수행자는 초기투자비에 대한 부담을 느끼고 있다. 건물의 에너지성능 개선에는 긍정적이지만 초기투자비에 대한 부담이 존재하는 것이다. 이를 위해 BRP 사업에서 장기 저리 융자를 제공하고 있는데, 이러한 지원사업은 확대되어야 한다.

넷째, 성능평가 전문 인력이 부족하고, 전문 인력・업체 간의 정보 공유가 원활하지 않다(타 컨설팅업체와 협력 필요).

위에서 제시한 문제 중 금전적 지원의 확대는 현재도 상황과 여건에 따라 점진적으로 추진할 수 있는 부분일 것이다. 그러나 건물에너지에 관한 정보 수집과 관리, 정보제공, 전문가 네트워크 형성을 위해서는 일종의 구심점이 필요하다.

2) 건물에너지 인증 절차의 장애

현재 국내에는 건물에너지 성능평가 인력이 부족하다. 게다가 늘어나는 건물에너지 인증 수요를 건설기술연구원, 에너지기술연구원의 두 국가 인증기관만이 수행하고 있어 인증일이 지연되는 경우가 많아 결과적으로 허가신청이 지연되는 현상이 빈번하다. 이러한 비효율적인 구조는 추가적인 인증대행회사의 고용에 의한 설계비 증가, 행정상의 지연 등의 부작용을 초래한다. 이러한 상황에서 서울시의 건물에너지 인증 수요는 점차 늘어갈 것으로 예상된다. 2012년부터 기존건물에 대한 에너지등급인증제도가 도입되고 2013년에는 이것이 의무화된다. 민간건물의 에저지인증 기준도 점차 강화하여 인증 대상의 수를 늘리는 방향으로 정책이 시행 중이다.

또한 서울시는 에너지총량제 시행에 따라 BESS를 통한 성능평가를 규정하고 있다. 그 결과를 토대로 국가 인증기관인 건설기술연구원과 에너지기술연구원의 인증을 받는 절차를 진행하고 있다. 이런 진행 프로세스는 많게는 6개월의 기간이 소모되기도 하고 짧게 하더라도 3개월의 시간이 필요하며 인력의 손실을 가져 온다. 따라서 컨설팅, 인허가, 사후 관리까지 원스톱 서비스가 필요하다.

이처럼 늘어나는 인증 수요에 대응하기 위해서는 전문 인력과 에너지 데이터의 축적 등이 준비된 서울시 건물에너지센터의 설립이 시급하다. 수요 문제 외에 건물에너지 성능관리 체계 개선의 필요성도 제기된다. 현행 인증 시스템하에서는 관리대상인 일부 대형 건물을 제외하고는 건물에너지 성능을 체계적으로 관리할 수 없으며, 정부 부처나 지자체 차원에서 다수 건물의 자료 축적을 하기가 힘든 상황이다. 자료를 축적하지 않은 상태에서는 건물에너지 성능 진단과 인증의 신뢰도가 낮고, 사후관리도 어렵다.

2. 서울시 건물에너지센터의 역할

서울시 건물에너지센터(안)의 역할은 다음과 같다.

○건물에너지 정보를 관리하고 건물에너지 성능을 진단하며 이를 통해 건물 에너지 소비저감 목표 달성에 기여

○정보와 컨설팅 제공 서비스를 통한 공공과 민간의 연결고리

이러한 역할을 기능별로 분류하면 아래와 같다.

○건물에너지 관련 정보 관리와 제공

－최초 인증 이후 모니터링과 에너지정보 통합 관리의 필요성

－공공건물, 특히 학교건물의 경우 개별 학교나 관리자, 교육청 시설 담당자, 설계자에게 정보 제공

－민간으로 확장 시 개발자, 건물 관리자, 설계자를 위한 정보 제공

○인증

－건물에너지소비 총량제 도입으로 에너지성능의 중요성 증대와 인증수요 확대에 대응하여 인증작업 수행 및 인증기관 관리

－현재까지는 신축건물 인증에 관심과 정책이 집중되어 있으나, 향후 기존 건물 인증에 관한 대비

○정책

－건물에너지와 관련하여 각기 다른 부서(주택본부의 BESS와 맑은환경본부의 BRP)에서 시행하는 정책을 연계하는 역할

－에너지 진단·설계·개보수 가이드

－에너지진단과 개선에 대한 표준 절차를 제공하여 성능개선 효과 예측 가능

3. 추진체계

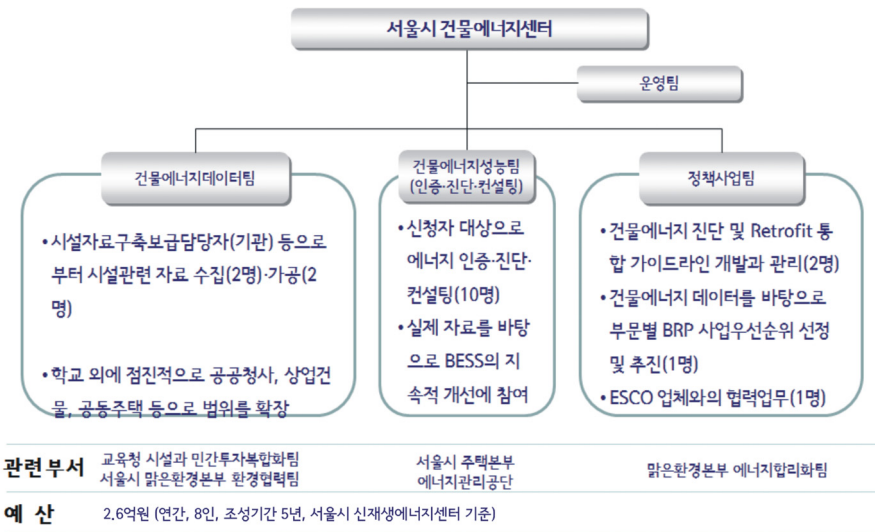
1) 조직

서울시 건물에너지센터는 건물에너지 정보 관리, 인증·컨설팅, 정책사업 수행을 중심으로 부서를 구성하고 운영팀이 전반적인 운영을 담당하도록 한다.

건물에너지 데이터팀은 건물에너지와 관련한 정보를 공공기관이나 민간의 시설자료 담당자로부터 수집하고 가공하는 역할을 담당한다. 또한 에너지 사용 정보나 도면자료를 얻어 기초적인 시뮬레이션을 수행하고 이를 바탕으로 통계 자료를 작성·분석한다.

건물에너지성능팀은 인증·진단·컨설팅을 담당한다. 이 팀은 또한 BESS와 같은 건물에너지 시뮬레이션 소프트웨어 개선에 대한 자료를 제공하거나 개선에 직접 참여한다.

이외에 정책사업팀은 서울시나 정부의 정책사업을 뒷받침한다. 이 팀은 리트로핏을 위한 통합가이드라인을 개발하여 정보제공 정책에 기여하고, 부문별로 우선대상을 선정하고 검토하여 BRP 사업의 수행을 돕는다. 또한 민간 ESCO 업체와의 업무를 담당하여 에너지 진단과 컨설팅 사업의 원활한 수행을 지원한다. 서울시 건물에너지센터의 규모와 예산은 서울시 신재생에너지 중장기 계획에서 제안한 신재생에너지센터를 참고로 하였다.



〈그림 5-8〉 서울시 건물에너지센터(안)의 추진체계

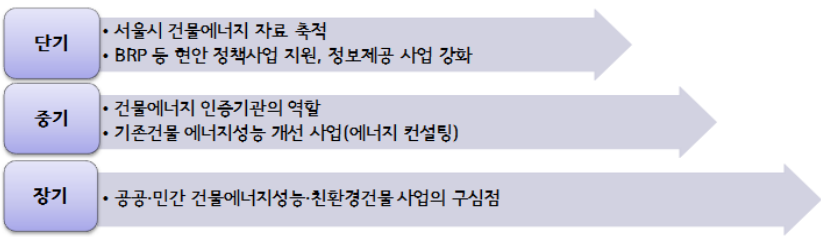
2) 서울시 건물에너지센터의 운영계획

서울시 건물에너지센터의 운영계획을 현재 시의성 여부와 현실 가능성을 기준으로 단기, 중기, 장기로 분류하여 제시하였다.

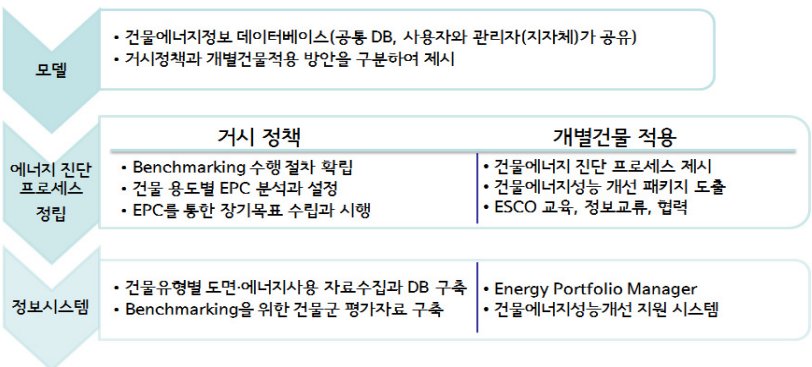
단기계획은 효과적인 에너지절감을 위해 우선적으로 시행되어야 하는 사항으로, 건물에너지 모니터링 데이터베이스 구축 및 현안 사업 지원, 정보제공사업 강화로 요약할 수 있다.

중기계획은 인증 건물의 급속한 증가에 대비할 수 있는 인증기관으로서의 역할 및 체계 구축, 기존 건물에너지성능 개선 사업 등으로 정리할 수 있다.

마지막으로 장기계획은 서울시 건물에너지센터가 공공·민간 건물에너지성능·친환경건물 사업의 구심점 역할을 수행하도록 하는 것이다.



〈그림 5-9〉 서울시 건물에너지센터 운영계획



〈그림 5-10〉 기존건물 리트로핏 에너지성능관리체계

제4절 소 결

기존건물의 리트로핏은 단기간의 단일 사업으로 이루어지기 힘들다. 기존 건물에 대한 상세한 자료 수집이 선행되어야 하고, 리트로핏의 중요성에 대한 공감대가 형성되어야 하며, 사업을 시행할 수 있는 정부 조직체계가 잘 갖추어져 있어야 하기 때문이다.

이 장에서는 이를 위해 정책적으로 정보 수집과 성능평가를 수행하는 과정을 제시하였다. 정책적·거시적으로 에너지 관련 데이터를 수집하고 활용하기 위해서는 에너지 시뮬레이션과 실제 에너지 사용량을 함께 고려한 EPC의 개념이 필요하다. EPC를 통해 에너지성능 개선이 필요한 건물을 찾아내고, 지속적으로 에너지성능을 관리하는 프로세스를 정립해야 한다.

건물의 에너지성능 개선 사업을 반복하고 모니터링과 시뮬레이션을 바탕으로 이 사업을 체계적으로 관리하려는 노력을 지속하면, 개별 건물에 적용할 수 있는 빌딩리트로핏 패키지를 유형화하여 제시할 수 있을 것이다.

공공 차원의 직접적인 노력에 더하여, 에너지 리트로핏에 대한 민간의 공감대 형성을 위한 정보제공 확대노력도 시급하다. 리트로핏에 대한 구체적인 정보는 물론 에너지 벤치마킹 서비스 등을 통하면 학교의 교직원이나 학생의 건물 에너지에 대한 이해를 높일 수 있다. 이 연구에서는 학교를 중심으로 정보수집과 건물 평가, 정보제공 체계를 제시하였지만, 다른 용도의 건물에 대한 연구도 이루어져야 향후 가장 효과적인 방법을 도출할 수 있을 것이다.

또한 건물에너지 성능 평가와 관리 업무를 위해서는 서울시 건물에너지센터와 같이 건물에너지에 관한 전담 기관이 필요하며, 이 기관이 관계 부서와의 협력을 통해 정책사업을 진행하는 것이 바람직하다.

제6장 결 론

제1절 연구결과
제2절 활용방안

제6장 결 론

제1절 연구결과

서울시는 2009년부터 건물에너지합리화(BRP) 사업을 통해 기존건물의 에너지 리트로핏을 수행하고 있으며, 점차 소형 건물로 적용대상을 확대하고 있다. 서울시의 건물에너지 소비량은 전체 에너지소비량의 약 56%를 차지한다. 따라서 효과적인 에너지 소비 저감을 위해, 건물에너지 소비량 저감은 매우 중요하다.

기존건물은 준공 후의 에너지부문의 사후관리 체계가 취약하며, 현재 기존건물의 리트로핏 수행에서 리트로핏 항목은 장기적인 에너지모니터링에 따른 소비특성 분석에 의해 결정되고 있지 않다. 또한 실제 건물운영 단계에서 운영스케줄이 불명확하기 때문에, 기존건물의 에너지성능 평가와 관리가 어렵다.

따라서 이 연구는 기존건물 중 학교용도를 대상으로 에너지성능기반의 리트로핏을 수행하는 에너지성능평가 방법을 제안하는 것을 목적으로 한다. 또한 이러한 성능평가 방법과 연계한 도시기반의 에너지성능관리방안을 모색하였다. 그리고 현재 시행 중인 정책의 문제점을 모색하여 추후 효과적인 기존 빌딩 리트로핏 시행을 위해 정보제공 정책의 중요성을 피력하고 이에 따른 추진체계를 제시하였다.

이 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

○정보제공 정책의 강화

국내외 학교 빌딩리트로핏 정책 추진사례를 조사한 결과, 국내의 정책들은 시설물 설치위주의 사업시행으로 예산상의 문제 등 구체적인 사업성과를 이끌어내지 못하는 상황이다. 또한 정보제공 서비스의 경우 관련 정보가 적으며 접근성이 좋지 않다. 국외의 다양한 추진정책을 조사한 결과 각종 정책사업을 홍보하고 관련자들의 참여를 이끌어내는 정보 제공위주의 방향으로 추진되고 있는 것으로 나타났다. 실제로 건물의 운영 주체인 학교에서는 에너지성능에 대한 관심이 상대적으로 낮아, 실제 리트로핏의 진행과정에서 에너지성능효과에 대한 분석이 수반되지 않는 경우가 있다. 이는 장기적으로 해결해야 할 문제이나 현시점에서는 정보제공의 구축이 우선되어야 할 것으로 보인다.

○서울시 학교 에너지소비 분석 및 상세 분석 방법론 제시

이 연구에서는 서울시 소재 학교의 에너지소비를 분석하였다. 분석을 위해 건물에너지자료 관리현황을 파악한 결과, 에너지성능평가를 위해 필요한 도면 등의 기초자료와 에너지소비정보 자료가 분산되어 관리되고 있다는 것을 확인하였다. 도면자료 또한 전자도면으로 관리되고 있는 경우가 드물었다. 이의 효과적인 관리를 위해서는 데이터베이스의 일원화된 관리체계가 필요하다. 또한 이 연구에서는 기존 학교건물의 상세 에너지소비 분석 방법론을 제시하였다. 현재 교육통계상의 에너지소비량 정보는 연간 원별 사용총량의 형태로 제공되어 있지만, 효과적인 리트로핏을 위해서는 이를 난방, 냉방 등의 소비원으로 구분할 필요가 있다. 이러한 소비원별 월별 사용량을 분석하기 위해 기존의 교육통계자료와 i-SMART 서비스(전력량 실시간 모니터링시스템), 가스요금통지서 등을 활용한 분석방법론을 제시하였다. 대표 유형학교의 분석결과, 공조면적 기준의 에너지원단위는 초등학교 32.4~34.2kW/㎡y, 중학교 45.5~140.8kW.㎡y, 고등학교 78.0~275.2kW/㎡y로 일반적인 건물의 에너지소비량보다 적은 수준이며, 방학기간의 에너지소비량이 적은 특징을 확인하였다.

○서울시 관내 학교 건물에너지 성능수준을 판단→ 리트로핏 우선순위결정 · 시행체계 제시

서울시의 총괄적인 에너지수요 관리를 위해, 서울시의 에너지성능평가 간이 프로그램인 BESS를 사용하여 EPC개념을 활용한 에너지성능을 평가하고 BESS의 활용방안을 모색하였다.

대표 유형의 학교를 대상으로 에너지성능을 평가한 결과, 대부분 학교에서 200~300kWh/㎡y의 에너지원단위를 산출할 수 있었다. 이는 통계자료의 에너지원단위보다 1.5~4배정도 큰 수치로 건물 이용 패턴을 세세하게 입력할 수 없는 보간법의 한계점을 드러낸다. 따라서 이 연구에서 제시한 방법론을 적용하기 위해 BESS의 정확성을 확보하고, 건물의 에너지소비량에 큰 영향을 끼치는 제어방식의 선택을 프로그램에 추가할 필요성이 있다. 또한 현재는 공동주택과 사무실에 제한된 용도프로파일을 다양한 용도로 확대하여야 하며, 이를 위해서는 현재의 용도프로파일 입력방식의 대폭적인 개선이 필요하다.

이 연구에서 제시한 EPC를 활용한 에너지수요 관리방안은 에너지절감 정책의 총체적인 효과평가와 목표설정에 두루 활용될 수 있을 것이다.

○리트로핏 요소별 효과평가 시행

대표 학교 중 에너지소비량이 평균을 보이는 학교를 대상으로 리트로핏 항목을 선정하여 상세에너지성능평가 도구인 EnergyPlus로 항목별 에너지 절감효과를 예측하였다. 또한 각 항목의 개별 효과가 아닌 조합에 따른 효과를 예측하기 위해 직교배열법에 의한 실험을 계획하였고, 그 결과를 다중회귀분석의 통계적 기법을 활용하여 에너지소비량과 리트로핏 항목의 상관관계를 분석하였다. 분석 결과, 대상학교는 연간 106.5kWh/㎡y의 에너지를 소비하나 리트로핏 항목을 최적으로 적용할 경우, 에너지원단위를 85.5kWh/㎡y까기 약 20% 절감할 수 있는 것으로 산출되었다. 이는 단위면적당 연간 7.25~8.16kgCO2에 해당하는 환경효과를 나타낸다. 또한 리트로핏 항목 중 외부차양과 내부차양의 경우 설치 시 에너지소비량이 증가하는 양상이 나타났다. 대상학교의 학사일정상

동절기에도 지속적으로 거주행위가 일어나게 된다. 따라서 차양설치에 의한 일사유입의 감소로 에너지소비량이 증가한 것으로 판단된다.

○정보 제공 강화 정책과 도시기반 리트로핏을 위한 에너지성능 관리체계

이 연구는 빌딩리트로핏의 원활한 수행을 위해, 정보 제공 강화 정책과 도시기반 리트로핏을 위한 에너지성능 관리체계를 제안하였다.

서울시는 빌딩리트로핏에 관한 실질적이고 상세한 정보를 제공하는 서비스를 개발할 필요가 있다. 실제 사례 정보를 통해 에너지진단과 리트로핏 과정, 효과를 설명하는 서비스가 필요하며, 이외에도 건물에너지 개별 리트로핏 항목에 대한 교육, 간이 에너지성능 진단 등이 가능한 서비스를 제공할 수 있다. 특히 에너지 벤치마킹 정보제공서비스는 리트로핏 당사자에게 건물에너지 일반, 해당건물의 에너지 진단, 에너지성능 개선 설계, 에너지성능 유지방안, 지원정책, 사례 및 관련기관의 상세내용등 맞춤형 정보를 제공할 수 있을 것이다.

현재 빌딩리트로핏은 수요 데이터베이스의 총체적 관리 주체 부재, 정부나 지자체의 정보제공 및 홍보 체계의 미흡함, 성능평가 전문 인력 부족 등의 장애요소에 의해 그 시행이 원활하지 못하다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 서울시 건물에너지센터(안)의 설치를 제안하였다. 제시한 건물에너지센터의 역할은 건물에너지 관련 정보 관리와 제공, 건축물의 인증, 정책 연계 및 수행 등이다. 이 센터는 장기적으로 서울시의 공공・민간 건물에너지성능・친환경건물 사업의 구심점 역할을 수행하도록 해야 할 것이다.

제2절 활용방안

○에너지성능 종합관리시스템

이 연구의 결과는 사전평가(시뮬레이션 도구)와 유지관리(벤치마킹 시스템)

로 구성된 에너지성능 종합관리시스템으로 활용될 수 있다.

시뮬레이션 도구는 서울시의 건물에너지성능평가 프로그램인 BESS를 업데이트하여 성능중심의 에너지평가 도구로 활용 가능하다. 이때 건물 용도별 운용스케쥴을 적용하여야 한다. 이 연구에서는 학교 건물의 공간 용도별 BESS 운용스케쥴을 작성하였으나, 성능평가 알고리즘상의 재실특성이 반영되지 않아 직접 적용은 불가능하였다. BESS를 에너지성능 종합관리시스템으로 활용하기 위해서는 평가 가능한 용도의 확장이 필수적이며, 지속적인 업데이트 과정이 필요하다. 또한 시뮬레이션 도구는 리트로핏 여부와 적용한 리트로핏 항목에 따른 에너지소비특성의 차이에 따른 해결방안을 제시할 수 있다. 따라서 성능유지와 향상을 위한 리트로핏 시 효율적인 기술적 접근 및 해결능력을 향상할 수 있을 것이며, 개별건물에서 확장하여 도시기반의 리트로핏 사업을 효과적으로 진행할 수 있는 기반으로 활용할 수 있을 것이다.

리트로핏 이후의 에너지수요를 관리하기 위한 벤치마킹 시스템은 에너지 모니터링, 데이터베이스 축적, 에너지 진단 , 인증을 동시에 수행하는 One-stop 서비스로 활용할 수 있다.

○ 에너지성능 종합관리시스템과 BRP 사업의 연계

에너지성능 종합관리시스템은 에너지수요관리를 종합적으로 수행하므로, 규제정책 목표 설정 후 리트로핏이 필요한 건물을 선정하여 우선순위를 제안할 수 있다. 또한 리트로핏이 필요한 건물을 대상으로 BRP 사업과의 연계를 중계할 수 있다. 이러한 시스템은 건물에너지 성능이 낮은 건물과 건물에너지 성능이 전반적으로 취약한 지역의 규명, 장기적인 리트로핏 사업목표 설정에 도움이 될 것이다.

참 고 문 헌

참고문헌

경기도교육청, 2009,「녹색성장 교육 연구시범학교 담당자 워크숍 자료」, 경기도교육청

경기도교육청, 2009, 에코-그린스쿨(친환경녹색학교) 선도교 담당자 협의회, 경기도교육청

경기도교육청, 2010, 2010년도 1학기 친환경 녹색학교 관련 연구시범학교 담당자 협의회, 경기도교육청

고동수, 2009,「녹색성장 구현을 위한 지능형 전력망(Smart Grid) 도입」, 산업연구원

교육과학기술부, 2009,「초·중등 그린스쿨(Green School) 사업 추진계획(안)」, 교육과학기술부

김민경 외, 2010,「서울시 건물에너지 소비저감사업의 평가방안」, 서울시정개발연구원

김민경 외, 2011,「신재생 에너지 보급 중장기 기본계획(2011~2015)」, 서울특별시

김운수 외, 2009,「서울시 저탄소 녹색성장 마스터플랜」, 서울특별시

서울특별시 주택본부, 2011,「BESS Manual」, 서울특별시 주택본부

서울특별시, 2011,「공공건축물 에너지절약 설계기준」, 서울특별시

손우진, 2011, "공동주택 설계초기단계에서의 에너지성능평가를 위한 부하 예측식 개발에 관한 연구", 중앙대 석사논문

에너지경제연구원, 2004~2010,「지역에너지통계연보 각 연호」, 지식경제부(산업자원부)

이성, 1999, "학교 건물의 에너지 절약 방안",「한국교육시설학회지」19('99.9)

이학식 외, 2005,「SPSS 12.0 매뉴얼」, 법문사

조진일 외, 2008~2009,「제로에너지·생태 학교 모형개발 Ⅰ·Ⅱ」, 한국교육개발원

Barton, R., 2007, Retrofitting in Educational Buildings - Energy Concept Adviser for Technical Retrofit Measures, IEA

Golove, W. & Eto, J., 1996, Market Barriers to Energy Efficiency : A Critical Reappraisal of the Rationale for Public Policies to Promote Energy Efficiency, Lawrence Berkeley National Laboratory

IEA, 2009, International Energy Outlook 2009, IEA

Kari, T. et al., 2005, Bringing Retrofit Innovation to Application in Public Buildings (BRItA in Pubs) - D5 Socio-Economic Analysis on Barriers and Needs, European Comissions

Kats, G., 2006, Greening America's Schools : Costs and Benefits, Capital E

Laustsen, J., 2008, Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings, IEA

NYC Department of Education & NYC School Construction Authority, 2009, NYC Green Schools Guide, NYC

Uihlein, A. & Eder, P., 2008, Towards Additional Policies to Improve the Environmental Performance of Buildings, European Comissions Joint Research Centre

van den Ham, E., 2004, Energy Performance Coefficient of office buildings related to the measured energy consumption, Climate Design Consult Adviesbureau Voor Bouwfysica

Visier, J. (ed), 2006, Commissioning Tools for Improved Energy Performance, IEA

http://env.seoul.go.kr(서울시 맑은환경본부)
http://housing.seoul.go.kr(서울시 주택본부)
http://pccs.kepco.co.kr(아이스마트 서비스 홈페이지)
http://schools.nyc.gov(뉴욕시 학교 에너지정책)
http://www.annex36.com(Annex 36 프로젝트 홈페이지)
http://www.annex36.com(IEA Annex 36 학교 리트로핏 사업)
http://www.cps.edu(시카고 학교 에너지정책)
http://www.ecoflow.go.jp(일본 에코플로우 사업)
http://www.energystar.gov(미국 및 뉴욕시 학교 에너지정책)
http://www.greeningschools.org(그리닝 일리노이 스쿨)
http://www.il-fa.com(일리노이주 재정 지원 정보)
http://www.kemco.or.kr/building/v2(에너지관리공단 건물에너지절약사업)
http://www.proudcities.gr/sust_con_chapter2_2.htm(프라우드시티, EPC관련)

부 록

부록 1. 학교 용도 프로필(BESS용)
부록 2. 해외 학교 빌딩리트로핏 사례

1) 일반교실 운영프로필

내용	소스코드	value	단위
〈 사용시간과 운전 시간 〉			
사용 시작	startingHour	8	Uhr
사용 종료	endingHour	17	Uhr
일일 사용시간	openingHours	9	h/d
연간 사용일수	d_nutza	201	d/a
연간 사용시간(주간)	t_Tag	1809	h/a
연간 사용시간(야간)	t_Nacht	0	h/a
공조장치, 냉방 일일 운전시간	t_vopd	0	h/d
공조장치, 냉방, 난방 연간 운전일수	d_op	130	d/a
난방 일일 운전시간	t_hopd	7	h/d
〈조명〉			
요구조도	Em	500	lx
작업면 높이	h_Ne	0.8	m
시작업 범위 감소 계수	k_A	0.93	-
상대적 부재율	c_A	0.5	-
실지수	k	1.25	-
조명에 대한 건물 운전시간의 부분 운전계수	F_t	1	-
〈 실내 기후 〉			
최소 외기 도입량	V_minA	11.1	m3/h*m2
축소 운전 시 최소 외기 도입량	V_minA_small	0	m3/h*m3
〈 열 발열원 〉			
사람	q_lp	96	Wh/(m2*d)
작업보조기기	q_lfac	8	Wh/(m2*d)
〈 실내 공기 온도 〉			
난방 설정온도	indoorTemp_heating	20	℃
냉방 설정온도	indoorTemp_cooling	26	℃
야간 최저허용온도	temp_min_night	10	K
주말 최저허용온도	temp_min_weekend	10	K
최소 난방 설정온도	min_indoorTemp_heating	20	℃
최소 냉방 설정온도	min_indoorTemp_cooling	26	℃
〈 기타 경계 조건 〉			
설정일의 일 평균 외기온도 난방	OAtemp_avg_heating	-12	℃
7월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	OAtemp_avg_july	24.6	℃
9월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	Oatemp_avg_sep	18.9	℃
오염에 대한 차감 계수	FV	0.9	-
오염 계수	k2	0.9	-
단위면적당 급탕 에너지 요구량	HWS	30	Wh/(m2*d)

2) 특수교실 운영프로필

내용	소스코드	value	단위
〈 사용시간과 운전 시간 〉			
사용 시작	startingHour	8	Uhr
사용 종료	endingHour	17	Uhr
일일 사용시간	openingHours	5	h/d
연간 사용일수	d_nutza	136	d/a
연간 사용시간(주간)	t_Tag	417	h/a
연간 사용시간(야간)	t_Nacht	0	h/a
공조장치, 냉방 일일 운전시간	t_vopd	0	h/d
공조장치, 냉방, 난방 연간 운전일수	d_op	48	d/a
난방 일일 운전시간	t_hopd	7	h/d
〈조명〉			
요구조도	Em	500	lx
작업면 높이	h_Ne	0.8	m
시작업 범위 감소 계수	k_A	0.93	-
상대적 부재율	c_A	0.5	-
실지수	k	1.25	-
조명에 대한 건물 운전시간의 부분 운전계수	F_t	1	-
〈 실내 기후 〉			
최소 외기 도입량	V_minA	11.1	m3/h*m2
축소 운전 시 최소 외기 도입량	V_minA_small	0	m3/h*m3
〈 열 발열원 〉			
사람	q_lp	96	Wh/(m2*d)
작업보조기기	q_lfac	8	Wh/(m2*d)
〈 실내 공기 온도 〉			
난방 설정온도	indoorTemp_heating	20	℃
냉방 설정온도	indoorTemp_cooling	26	℃
야간 최저허용온도	temp_min_night	10	K
주말 최저허용온도	temp_min_weekend	10	K
최소 난방 설정온도	min_indoorTemp_heating	20	℃
최소 냉방 설정온도	min_indoorTemp_cooling	26	℃
〈 기타 경계 조건 〉			
설정일의 일 평균 외기온도 난방	OAtemp_avg_heating	-12	℃
7월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	OAtemp_avg_july	24.6	℃
9월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	Oatemp_avg_sep	18.9	℃
오염에 대한 차감 계수	FV	0.9	-
오염 계수	k2	0.9	-
단위면적당 급탕 에너지 요구량	HWS	30	Wh/(m2*d)

3) 교사 · 교무실 운영프로필

내용	소스코드	value	단위
〈 사용시간과 운전 시간 〉			
사용 시작	startingHour	8	Uhr
사용 종료	endingHour	17	Uhr
일일 사용시간	openingHours	9	h/d
연간 사용일수	d_nutza	252	d/a
연간 사용시간(주간)	t_Tag	2268	h/a
연간 사용시간(야간)	t_Nacht	0	h/a
공조장치, 냉방 일일 운전시간	t_vopd	0	h/d
공조장치, 냉방, 난방 연간 운전일수	d_op	123	d/a
난방 일일 운전시간	t_hopd	7	h/d
〈조명〉			
요구조도	Em	500	lx
작업면 높이	h_Ne	0,8	m
시작업 범위 감소 계수	k_A	0,93	-
상대적 부재율	c_A	0,5	-
실지수	k	1,25	-
조명에 대한 건물 운전시간의 부분 운전계수	F_t	1	-
〈 실내 기후 〉			
최소 외기 도입량	V_minA	15	m3/h*m2
축소 운전 시 최소 외기 도입량	V_minA_small	0	m3/h*m3
〈 열 발열원 〉			
사람	q_lp	96	Wh/(m2*d)
작업보조기기	q_lfac	8	Wh/(m2*d)
〈 실내 공기 온도 〉			
난방 설정온도	indoorTemp_heating	20	℃
냉방 설정온도	indoorTemp_cooling	26	℃
야간 최저허용온도	temp_min_night	10	K
주말 최저허용온도	temp_min_weekend	10	K
최소 난방 설정온도	min_indoorTemp_heating	20	℃
최소 냉방 설정온도	min_indoorTemp_cooling	26	℃
〈 기타 경계 조건 〉			
설정일의 일 평균 외기온도 난방	OAtemp_avg_heating	-12	℃
7월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	OAtemp_avg_july	24,6	℃
9월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	Oatemp_avg_sep	18,9	℃
오염에 대한 차감 계수	FV	0,9	-
오염 계수	k2	0,9	-
단위면적당 급탕 에너지 요구량	HWS	30	Wh/(m2*d)

4) 도서실 운영프로필

내용	소스코드	value	단위
〈 사용시간과 운전 시간 〉			
사용 시작	startingHour	9	Uhr
사용 종료	endingHour	16	Uhr
일일 사용시간	openingHours	7	h/d
연간 사용일수	d_nutza	201	d/a
연간 사용시간(주간)	t_Tag	318	h/a
연간 사용시간(야간)	t_Nacht	1206	h/a
공조장치, 냉방 일일 운전시간	t_vopd	0	h/d
공조장치, 냉방, 난방 연간 운전일수	d_op	130	d/a
난방 일일 운전시간	t_hopd	7	h/d
〈조명〉			
요구조도	Em	500	lx
작업면 높이	h_Ne	0,8	m
시작업 범위 감소 계수	k_A	0,93	-
상대적 부재율	c_A	0,5	-
실지수	k	1,25	-
조명에 대한 건물 운전시간의 부분 운전계수	F_t	1	-
〈 실내 기후 〉			
최소 외기 도입량	V_minA	15	m3/h*m2
축소 운전 시 최소 외기 도입량	V_minA_small	0	m3/h*m3
〈 열 발열원 〉			
사람	q_lp	96	Wh/(m2*d)
작업보조기기	q_lfac	8	Wh/(m2*d)
〈 실내 공기 온도 〉			
난방 설정온도	indoorTemp_heating	20	℃
냉방 설정온도	indoorTemp_cooling	26	℃
야간 최저허용온도	temp_min_night	10	K
주말 최저허용온도	temp_min_weekend	10	K
최소 난방 설정온도	min_indoorTemp_heating	20	℃
최소 냉방 설정온도	min_indoorTemp_cooling	26	℃
〈 기타 경계 조건 〉			
설정일의 일 평균 외기온도 난방	OAtemp_avg_heating	-12	℃
7월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	OAtemp_avg_july	24,6	℃
9월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	Oatemp_avg_sep	18,9	℃
오염에 대한 차감 계수	FV	0,9	-
오염 계수	k2	0,9	-
단위면적당 급탕 에너지 요구량	HWS	30	Wh/(m2*d)

5) 체육관 운영프로필

내용	소스코드	value	단위
〈 사용시간과 운전 시간 〉			
사용 시작	startingHour	8	Uhr
사용 종료	endingHour	17	Uhr
일일 사용시간	openingHours	6	h/d
연간 사용일수	d_nutza	136	d/a
연간 사용시간(주간)	t_Tag	489	h/a
연간 사용시간(야간)	t_Nacht	0	h/a
공조장치, 냉방 일일 운전시간	t_vopd	0	h/d
공조장치, 냉방, 난방 연간 운전일수	d_op	48	d/a
난방 일일 운전시간	t_hopd	3	h/d
〈조명〉			
요구조도	Em	500	lx
작업면 높이	h_Ne	0,8	m
시작업 범위 감소 계수	k_A	0,93	-
상대적 부재율	c_A	0,5	-
실지수	k	1,25	-
조명에 대한 건물 운전시간의 부분 운전계수	F_t	1	-
〈 실내 기후 〉			
최소 외기 도입량	V_minA	15	m3/h*m2
축소 운전 시 최소 외기 도입량	V_minA_small	0	m3/h*m3
〈 열 발열원 〉			
사람	q_lp	96	Wh/(m2*d)
작업보조기기	q_lfac	8	Wh/(m2*d)
〈 실내 공기 온도 〉			
난방 설정온도	indoorTemp_heating	20	℃
냉방 설정온도	indoorTemp_cooling	26	℃
야간 최저허용온도	temp_min_night	10	K
주말 최저허용온도	temp_min_weekend	10	K
최소 난방 설정온도	min_indoorTemp_heating	20	℃
최소 냉방 설정온도	min_indoorTemp_cooling	26	℃
〈 기타 경계 조건 〉			
설정일의 일 평균 외기온도 난방	OAtemp_avg_heating	-12	℃
7월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	OAtemp_avg_july	24,6	℃
9월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	Oatemp_avg_sep	18,9	℃
오염에 대한 차감 계수	FV	0,9	-
오염 계수	k2	0,9	-
단위면적당 급탕 에너지 요구량	HWS	30	Wh/(m2*d)

6) 숙직실 운영프로필

내용	소스코드	value	단위
〈 사용시간과 운전 시간 〉			
사용 시작	startingHour	19	Uhr
사용 종료	endingHour	7	Uhr
일일 사용시간	openingHours	12	h/d
연간 사용일수	d_nutza	365	d/a
연간 사용시간(주간)	t_Tag	4380	h/a
연간 사용시간(야간)	t_Nacht	0	h/a
공조장치, 냉방 일일 운전시간	t_vopd	0	h/d
공조장치, 냉방, 난방 연간 운전일수	d_op	189	d/a
난방 일일 운전시간	t_hopd	10	h/d
〈조명〉			
요구조도	Em	500	lx
작업면 높이	h_Ne	0.8	m
시작업 범위 감소 계수	k_A	0.93	-
상대적 부재율	c_A	0.5	-
실지수	k	1.25	-
조명에 대한 건물 운전시간의 부분 운전계수	F_t	1	-
〈 실내 기후 〉			
최소 외기 도입량	V_minA	15	m3/h*m2
축소 운전 시 최소 외기 도입량	V_minA_small	0	m3/h*m3
〈 열 발열원 〉			
사람	q_lp	96	Wh/(m2*d)
작업보조기기	q_lfac	8	Wh/(m2*d)
〈 실내 공기 온도 〉			
난방 설정온도	indoorTemp_heating	20	℃
냉방 설정온도	indoorTemp_cooling	26	℃
야간 최저허용온도	temp_min_night	10	K
주말 최저허용온도	temp_min_weekend	10	K
최소 난방 설정온도	min_indoorTemp_heating	20	℃
최소 냉방 설정온도	min_indoorTemp_cooling	26	℃
〈 기타 경계 조건 〉			
설정일의 일 평균 외기온도 난방	OAtemp_avg_heating	-12	℃
7월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	OAtemp_avg_july	24.6	℃
9월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	Oatemp_avg_sep	18.9	℃
오염에 대한 차감 계수	FV	0.9	-
오염 계수	k2	0.9	-
단위면적당 급탕 에너지 요구량	HWS	30	Wh/(m2*d)

7) 방송실 운영프로필

내용	소스코드	value	단위
〈 사용시간과 운전 시간 〉			
사용 시작	startingHour	8	Uhr
사용 종료	endingHour	17	Uhr
일일 사용시간	openingHours	2	h/d
연간 사용일수	d_nutza	136	d/a
연간 사용시간(주간)	t_Tag	272	h/a
연간 사용시간(야간)	t_Nacht	0	h/a
공조장치, 냉방 일일 운전시간	t_vopd	0	h/d
공조장치, 냉방, 난방 연간운전 일수	d_op	48	d/a
난방 일일 운전시간	t_hopd	7	h/d
〈조명〉			
요구조도	Em	500	lx
작업면 높이	h_Ne	0,8	m
시작업 범위 감소 계수	k_A	0,93	-
상대적 부재율	c_A	0,5	-
실지수	k	1,25	-
조명에 대한 건물 운전시간의 부분 운전계수	F_t	1	-
〈 실내 기후 〉			
최소 외기 도입량	V_minA	15	m3/h*m2
축소 운전 시 최소 외기 도입량	V_minA_small	0	m3/h*m3
〈 열 발열원 〉			
사람	q_lp	96	Wh/(m2*d)
작업보조기기	q_lfac	8	Wh/(m2*d)
〈 실내 공기 온도 〉			
난방 설정온도	indoorTemp_heating	20	℃
냉방 설정온도	indoorTemp_cooling	26	℃
야간 최저허용온도	temp_min_night	10	K
주말 최저허용온도	temp_min_weekend	10	K
최소 난방 설정온도	min_indoorTemp_heating	20	℃
최소 냉방 설정온도	min_indoorTemp_cooling	26	℃
〈 기타 경계 조건 〉			
설정일의 일 평균 외기온도 난방	OAtemp_avg_heating	-12	℃
7월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	OAtemp_avg_july	24,6	℃
9월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	Oatemp_avg_sep	18,9	℃
오염에 대한 차감 계수	FV	0,9	-
오염 계수	k2	0,9	-
단위면적당 급탕 에너지 요구량	HWS	30	Wh/(m2*d)

8) 보건실 운영프로필

내용	소스코드	value	단위
〈 사용시간과 운전 시간 〉			
사용 시작	startingHour	8	Uhr
사용 종료	endingHour	17	Uhr
일일 사용시간	openingHours	9	h/d
연간 사용일수	d_nutza	252	d/a
연간 사용시간(주간)	t_Tag	2268	h/a
연간 사용시간(야간)	t_Nacht	0	h/a
공조장치, 냉방 일일 운전시간	t_vopd	0	h/d
공조장치, 냉방, 난방 연간 운전일수	d_op	123	d/a
난방 일일 운전시간	t_hopd	7	h/d
〈조명〉			
요구조도	Em	500	lx
작업면 높이	h_Ne	0,8	m
시작업 범위 감소 계수	k_A	0,93	-
상대적 부재율	c_A	0,5	-
실지수	k	1,25	-
조명에 대한 건물 운전시간의 부분 운전계수	F_t	1	-
〈 실내 기후 〉			
최소 외기 도입량	V_minA	15	m3/h*m2
축소 운전 시 최소 외기 도입량	V_minA_small	0	m3/h*m3
〈 열 발열원 〉			
사람	q_lp	96	Wh/(m2*d)
작업보조기기	q_lfac	8	Wh/(m2*d)
〈 실내 공기 온도 〉			
난방 설정온도	indoorTemp_heating	20	℃
냉방 설정온도	indoorTemp_cooling	26	℃
야간 최저허용온도	temp_min_night	10	K
주말 최저허용온도	temp_min_weekend	10	K
최소 난방 설정온도	min_indoorTemp_heating	20	℃
최소 냉방 설정온도	min_indoorTemp_cooling	26	℃
〈 기타 경계 조건 〉			
설정일의 일 평균 외기온도 난방	OAtemp_avg_heating	-12	℃
7월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	OAtemp_avg_july	24,6	℃
9월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	Oatemp_avg_sep	18,9	℃
오염에 대한 차감 계수	FV	0,9	-
오염 계수	k2	0,9	-
단위면적당 급탕 에너지 요구량	HWS	30	Wh/(m2*d)

9) 화장실 운영프로필

내용	소스코드	value	단위
〈 사용시간과 운전 시간 〉			
사용 시작	startingHour	0	Uhr
사용 종료	endingHour	24	Uhr
일일 사용시간	openingHours	24	h/d
연간 사용일수	d_nutza	150	d/a
연간 사용시간(주간)	t_Tag	1800	h/a
연간 사용시간(야간)	t_Nacht	1800	h/a
공조장치, 냉방 일일 운전시간	t_vopd	0	h/d
공조장치, 냉방, 난방 연간 운전일수	d_op	150	d/a
난방 일일 운전시간	t_hopd	24	h/d
〈조명〉			
요구조도	Em	500	lx
작업면 높이	h_Ne	0,8	m
시작업 범위 감소 계수	k_A	0,93	-
상대적 부재율	c_A	0,5	-
실지수	k	1,25	-
조명에 대한 건물 운전시간의 부분 운전계수	F_t	1	-
〈 실내 기후 〉			
최소 외기 도입량	V_minA	15	m3/h*m2
축소 운전 시 최소 외기 도입량	V_minA_small	0	m3/h*m3
〈 열 발열원 〉			
사람	q_lp	96	Wh/(m2*d)
작업보조기기	q_lfac	8	Wh/(m2*d)
〈 실내 공기 온도 〉			
난방 설정온도	indoorTemp_heating	20	℃
냉방 설정온도	indoorTemp_cooling	26	℃
야간 최저허용온도	temp_min_night	10	K
주말 최저허용온도	temp_min_weekend	10	K
최소 난방 설정온도	min_indoorTemp_heating	20	℃
최소 냉방 설정온도	min_indoorTemp_cooling	26	℃
〈 기타 경계 조건 〉			
설정일의 일 평균 외기온도 난방	OAtemp_avg_heating	-12	℃
7월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	OAtemp_avg_july	24,6	℃
9월 설정일의 일평균 외기온도 냉방	Oatemp_avg_sep	18,9	℃
오염에 대한 차감 계수	FV	0,9	-
오염 계수	k2	0,9	-
단위면적당 급탕 에너지 요구량	HWS	30	Wh/(m2*d)

부록 2 해외 학교 빌딩리트로핏 사례

1) Annex 36

사업명	건물개요		리트로핏 항목					에너지 절감효과(절감률)	
			건축계획부문	시스템부문	환기 부문	조명 부문	기타		
Chemical Engineering building, NTUA (Greece)	기후	지중해성기후 연간평균온도 18℃ 겨울철평균온도 10℃	- 외벽단열향상 - 출입구 열관류율 강화 - 창호기밀성 강화 - 차양 - 자연형 태양열 시스템 - 자연채광 (광덕트,광선반, 산란반) - 폐쇄형 아트리움	- 냉난방제어 - 팬 · 펌프 효율 향상 - 파이프 · 덕트 단열 - 냉난방 시스템 개선 - 공기조화 유닛 · 필터 교체 - 급탕온도 조정 - 연료교체	- 자연환기 - 천공방사 - 천정팬 - 기타환기장치 - 증발냉각장치 - Solar Chimney - 중량구조체 (Thermal mass)	- 내부조도기준 하향 - 국부조명 사용 - 실내 조명장치 제어 - 고효율조명기기 사용 - 외부조명제어	- 태양열시스템 - 태양광 발전 시스템 - 미기후개선	난방	85.5kWh/㎡ → 54.4kWh/㎡(34.5%)
	건물연도/ 리트로핏연도	1985/2002						냉방	49kWh/㎡ → 13.3kWh/㎡(68.6%)
	건물 연면적	30,000㎡						조명	17W/㎡ → 14W/㎡ (55%)
	학생 수	12,000명						기기	-
	특징	다층 / Double Corridor						급탕	-
								종합	-
University of Ioannina New School of Philosophy Buliding (Greece)	기후	연간평균온도 14.7℃ 겨울철평균온도 9.4℃	- 차양 - 자연형 태양열 시스템 - 자연채광 요소 사용	-	- 자연환기 - 천공방사 - Solar Chimney - 지열냉방 - 중량구조체 (Thermal mass)	- 아트리움 공간을 통한 조도 수준 증가	- 미기후 개선	난방	-
	건물연도/ 리트로핏연도	1987/1993						냉방	-
	건물 연면적	4,100㎡(리트로핏 면적)						조명	-
	학생 수	1,600 명						기기	-
	특징	아트리움						급탕	-
								종합	약 33kWh/㎡의 에너지 저감(31%)

사업명	건물개요		리트로핏 항목					에너지 절감효과(절감률)	
			건축계획부문	시스템부문	환기 부문	조명 부문	기타		
Kampen School (Norway)	기후	연간평균온도 6℃ 겨울철평균온도 -20℃	- 1978년 개보수 이미 시행 - 1998~1999년 창호교체 - 추가 리트로핏 시행 안함	- 급탕 복사 난방기 교체 (자동온도조절밸브) - 보일러 교체 (기름보일러 2대/전기보일러) - 지열 냉난방 시스템	- 하이브리드 환기 시스템 (기계환기+자연환기) - 콘크리트덕트를 활용한 환기 및 냉난방 - BEMS적용	- 자연채광 - 광선반 - 스위치/센서 제어 -고효율 조명기기	- 저방사 / 환경친화적 건축재료 및 마감재 활용	난방	144kWh/㎡→ 135kWh/㎡ (6%)
	건물연도/리트로핏연도	1888/2001~2002						냉방	0kWh/㎡→ 0kWh/㎡ (0%)
	건물 연면적	4,500㎡						조명	21kWh/㎡→ 13kWh/㎡ (38%)
	학생 수	약 400명						기기	34kWh/㎡→ 16kWh/㎡ (53%)
	특징	두개의 동으로 분리						급탕	6kWh/㎡→ 5kWh/㎡ (17%)
								종합	205kWh/㎡→ 169kWh/㎡(18%)
Egebjerg School (Denmark)	기후	해양성 기후	- 경사형 지붕으로 교체 - 외벽 단열보강 - 창호열성능 개선	- 난방부하에 최적화한 복사형 난방기 설치	- 지중덕트 사용 (라디에이터 전도열로 예열) - Solar Chimney - Canadian Solar Wall	- 천창 사용 - 센서 제어 (적외선 동작 감지제어, 자연채광센서)	- EMS 시스템 (자연환기/난방/조명 제어)	난방	181kWh/㎡→ 87.3kWh/㎡(52%)
	건물연도/리트로핏연도	1973-81/1997-98						냉방	-
	건물 연면적	17,825㎡						조명	36kWh/㎡→ 22kWh/㎡(39%)
	학생 수	1000명						기기	
	특징	스킵플로어, 2동 구성						급탕	-
Engh ø jskolen school (Denmark)	기후	해양성기후 연간평균온도 8℃ 겨울철평균온도 4℃	- 입면 열성능개선 - 창호열성능 개선 (교체) - 교실 천정고 높이 개선 - 경사지붕으로 교체	- 복사형 난방기 설치 - 자동온도조절 장치 제어	- 흰지 창호를 통한 자연환기	- 소형형광등타입 (CFLs)조명 교체 (센서제어)	- 내구성 큰 구조재 선택 - 환경적인 영향 최소화	난방	284kWh/㎡→ 73kWh/㎡(74%)
	건물연도/리트로핏연도	1974/1997~99						냉방	-
	건물 연면적	10,000㎡						조명	72kWh/㎡→ 39kWh/㎡(46%)
	학생 수	500명						기기	
	특징	지역난방, 복사난방 시스템 사용						급탕	-

사업명	건물개요		리트로핏 항목					에너지 절감효과(절감률)	
			건축계획부문	시스템부문	환기 부문	조명 부문	기타		
Vridsl ø selille School (Denmark)	기후	해양성기후 연간평균온도 8℃ 겨울철평균온도 4℃	- 지붕 단열 개선 - 복도 천창, 자연 채광개선 - 교실평면 재배치	- 열손실 방지 라디에이터설치 (유입공기예열) - BEMS적용 (라디에이터자동 제어)	- 자연환기(창호-인렛, 다락 덕트-아웃렛) - 온도조절센서, CO_2 센서 사용	-	-	난방	33.9kWh/㎡ 난방저감
	건물연도/ 리트로핏연도	1968/ 2000						냉방	-
	건물 연면적	1,740㎡						조명	-
	학생수	200명						기기	6kWh/㎡ 전력저감 (환기시스템 교체)
	특징	중복도형, 한국 학교 건물과 형태 유사						급탕	-
								종합	총 40kWh/㎡ 저감
Examplary Retrofitting of a School -EROS (Germany)	기후	겨울철평균온도 1.3℃ 여름철평균온도 18.3℃	- 3동 모두 설립연도 달라 벽체 구성 상이→ 역사적 건물은 내단열강화, 타 동은 외단열강화 - 지붕단열강화 - 북측면 창호교체 (Low-E)	- 저압 스팀시스템 교체 - 보일러 · 배관 교체(보조 저온보일러 설치) - 난방기효율 최적화	- 창호 통한 자연환기	- 자연채광 중심의 인공조명제어 시스템 - 반사율 높은 페인트 사용(조명효율 향상)	-	난방	200kWh/㎡ → 49kWh/㎡(76%)
	건물연도/ 리트로핏연도	1936, 1957, 1970(2회 증축)/1996~1997						냉방	-
	건물 연면적	5,260㎡						조명	12.6kWh/㎡ → 14.8kWh/㎡(-17%)
	학생 수	625명						기기	
	특징	3번 증축된 건물로 구성, 독일 학교건물의 전형적 형태						급탕	-

사업명	건물개요		리트로핏 항목					에너지 절감효과(절감률)	
			건축계획부문	시스템부문	환기 부문	조명 부문	기타		
Gambetta professional high school (France)	기후	연간평균온도 11.5℃ 겨울철평균온도 5.6℃ DD=2528	- 외벽 열성능 개선 - 창호 교체(이중창, 증축부-Wood, 기존부-PVC) - 증측부와 기존부 이음부에 수직계단/수평복도연결	- 난방열원 변경 - 고성능 보일러 교체 - 라디에이터 · 배관교체 - 자동온도조절 밸브 설치 - 조리부 급탕은 축열조 열교환기 활용	- 조리실, 활동실, 교실 기계환기 적용 - 예열, 제습, 냉방 없음 - 거주부 기계환기 적용 - BEMS적용(난방 · 환기)	- 실별 조명제어 - 외부 차양	-	난방	108kWh/㎡y→ 79kWh/㎡y(26.8%)
	건물연도/ 리트로핏연도	1930/1993~1995						냉방	-
	건물 연면적	9,213㎡						조명	79kWh/㎡y→ 25kWh/㎡y(68.3%)
	학생 수	520-530명						기기	
	특징	콘크리트 파사드 U자형 건물 증축과 함께 리트로핏						급탕	-
Elementary school of Oulujoki (Finland)	기후	연간평균온도 1℃ 겨울철평균온도 -10℃	-	-	- 기계환기시스템 - 열교환기를 통한 유입공기 예열 - 냉방 및 습도제어 미시행 - 내부온도 타이머, 센서제어	-	-	난방	50~64kWh/㎡y→ 52kWh/㎡y(%)
	건물연도/ 리트로핏연도	1947/1997						냉방	-
	건물 연면적	2,522㎡						조명	5.9~8kWh/㎡y→ 8.8kWh/㎡y(%)
	학생 수	220명						기기	
	특징	3층의 전형적인 중앙 복도식 건물, 조적조						급탕	-

2) EcoFlow

사업명	건물개요		리트로핏 항목					환경개선효과 (절감률)
			건축계획부문	시스템부문	환기 부문	조명 부문	기타	
쿠로마츠스나이 고등학교 (Japan)	건물연도/ 리트로핏연도	1978/ 2006~2007	- 단열성능 개선 (지붕 · 외벽) - 이중창 설치 - 자연채광 - 교실 재배치	- 물절약 화장실	- 온도기반 환기시스템 - 천공방사	- 고효율 조명	- 운동장녹지 조성 - 환경교육공간 조성	약 190tCO_2/y→ 약 130tCO_2/y (31%)
	건물 연면적	39,912㎡						
	학생	88명						
	특징	체육관 1979년에 증축, 내진설계 미구축						
미즈사와 초등학교 (Japan)	건물연도/ 리트로핏연도	1965, 1966/ 2007	- 단열성능 개선 (내단열) - 이중창 설치 - 교실 재배치	- 고효율 냉난방 시스템 - 물절약 화장실 - 풍력발전 이용	-	- 고효율 조명	- 환경학습실 배치 - 내진설계	약 175tCO_2/y→ 약 155tCO_2/y (13%)
	건물 연면적	건축면적 8,029㎡						
	학생수	850명						
	특징	내진설계 미구축						
다이나나하케타 초등학교 (Japan)	건물연도/ 리트로핏연도	1966~1972(4회)/ 2005, 2007	- 단열성능 개선 (외단열) - 이중창 설치 - 옥상 및 벽체녹화 - 이중지붕 사용 - 차양(루버)	- 태양광발전 - 태양열 난방 및 온수	-	- 고효율 조명	- 환경교육 및 커뮤니티 협업공간 제공 - 운동장 녹지 형성 및 친환경 서식지 형성	-
	건물 연면적	5,037㎡						
	학생 수	315명						
	특징	단계별(4회) 설립, 내진설계 2000년 시행						

사업명	건물개요		리트로핏 항목					환경개선효과 (절감률)
			건축계획부문	시스템부문	환기 부문	조명 부문	기타	
타카모리 미나미 초등학교 (Japan)	건물연도/ 리트로핏연도	1981/2007	- 단열성능개선 (외단열) - 이중창 설치 - 이중지붕 사용	- 고효율 온수 공급 시스템 - 우수 재이용 시스템 - 물절약 화장실 - 태양열난방	-	- 고효율 조명	- 지역목재사용 - 환경학습 공간 조성 - 내진설계	약 120tCO_2/y→ 약 95tCO_2/y (21%)
	건물 연면적	6,116㎡						
	학생 수	690명						
	특징	내진설계 필요						
니시하루 고등학교 (Japan)	건물연도/ 리트로핏연도	1958, 1963, 1974 /2007~2008	- 단열성능 개선 (내단열) - 옥상 및 벽체녹화 - 이중지붕 사용 - 차양(광선반, 루버) - 발코니 설치	- 고효율 냉난방 시스템 - 우수 재이용 시스템 - 물절약 화장실 - 태양광발전 - 태양열난방	- 고창 활용 자연환기 - 야간 환기냉방	- 고효율 조명	- 반사페인트 사용 - 지역목재 사용 - 환경교육 및 커뮤니티활동 지원 - 환경보존과 연계된 내진대책	약 95tCO_2/y→ 약 88tCO_2/y (7%)
	건물 연면적	4,163㎡						
	학생 수	285명						
	특징	북측 · 남측건물로 구성, 내진설계 필요						
키타 초등학교 (Japan)	건물연도/ 리트로핏연도	동측교실 1971/1995 서측교실 1975/ 2007~2008	- 단열성능 개선 (내단열) -이중창 설치 -이중지붕 사용 -광선반 설치	- 펠릿스토브 사용 - 물절약 화장실	-	- 고효율 조명	- 반사페인트 사용 - 에코 개보수와 연계한 내진설계	약 120tCO_2/y→ 약 90tCO_2/y (23%)
	건물 연면적	6,455㎡						
	학생 수	724명						
	특징	내진설계 필요						
타몬 히가시 고등학교 (Japan)	건물연도/ 리트로핏연도	1974, 1980/2007	- 단열성능 개선 (외단열) - 이중창 설치 - 옥상 및 벽체녹화 -차양(광선반,루버)	- 물절약 화장실 - 우수 재이용 시스템	- 고창 활용 자연환기	- 고효율 조명	- 고반사페인트 - 지역제품 사용 - 운동장녹지 조성 - 에코 개보수와 연계한 내진설계	약 93tCO_2/y→ 약 81tCO_2/y (14%)
	건물 연면적	5,945㎡						
	학생 수	633명						
	특징	내진설계 필요						

사업명	건물개요		리트로핏 항목					환경개선효과 (절감률)
			건축계획부문	시스템부문	환기 부문	조명 부문	기타	
노이치 초등학교 (Japan)	건물연도/ 리트로핏연도	남측건물 1977/2005 북서측건물 1977,1980/2005 북동측건물 2003/ 2006~2007	- 이중창 설치 - 이중지붕 사용 - 옥상 및 벽체녹화	- 태양광 패널을 이용한 지붕처마 설치 - 우수 재이용 시스템	-	-	- 건물주변 나무식재 - 운동장녹지 조성 - 비오톱 형성	약 41tCO2/y→ 약 7tCO2/y (40tCO2/y배출, 태양광발전기 33tCO2/y절감, 85%)
	건물 연면적	8,849㎡						
	학생 수	596명						
	특징	내진설계 이미 시행						
소네 히가시 초등학교 (Japan)	건물연도/ 리트로핏연도	A동 1977, B동 1976, C동 1976, 연결복도 · 체육관 1977 /2007-2008	- 단열성능 개선 (외단열) - 이중창 설치 - 벽체녹화 - 차양 (광선반,루버, 처마)	- 물절약 화장실 - 우수 재이용 시스템 - 태양광 발전 시스템 - 풍력 발전시스템 - 고효율 온수 공급 시스템	- 고창 활용 자연환기 - 야간 환기냉방	- 고효율 조명	- 반사페인트 사용 - 환경학습공간 제 공 - 비오톱 형성 - 내진설계	약 68tCO2/y→ 약 55tCO2/y(15%)
	건물 연면적	5,993㎡						
	학생 수	415명						
	특징	내진설계 필요						

영 문 요 약
(Abstract)

Energy Performance Evaluation and Application in Building Retrofits

Min Kyeong Kim · Min Young Kim · Min Hee Lee

While all the countries exert efforts to reduce greenhouse gas emission and fossil fuel consumption, they have difficulties in achieving the reduction goals. In this context, building energy consumption, as a major part of fossil fuel consumption, becomes more important. According to Yearbook of Regional Energy Statics, Seoul's building energy consumption in recorded 8,390,000TOE, which takes up 56% of total energy consumption. To reduce overall energy consumption, it is crucial to reduce building energy consumption.

In this regard, the Metropolitan Government of Seoul as well has applied strong regulations to improve energy efficiency of new buildings. However, little effort is found in improving energy performance and monitoring the energy consumption of existing buildings. Currently the city and central government runs public building retrofit programs and also subsidize building retrofit from the private sector. While the decision to retrofit a building should be based on the long-term comparative analysis of energy consumption and energy performance, it is difficult to evaluate and manage the energy performance of existing buildings due to varying operation schedules.

This report provides method for building energy performance evaluation of existing school buildings and effective ways to improve their energy performance. The report then discusses policies and measures to expand it to city-level energy performance evaluation and management. The policy case study shows domestic policy's focus on installation of facilities. Compared to other countries, less effort is seen to provide information to the public.

The study uses Building Energy Simulation for Seoul(BESS), devised by

Seoul Metropolitan Government, to evaluate energy performance of school buildings and compared it with actual energy consumption. The report uses the concept of Energy Performance Coefficient(EPC) as a method to determine buildings that require retrofit. Then it provides ways to identify proper retrofit measure for each building and to manage energy performance of buildings as a whole. When using EPC, 37 elementary schools(6% of total), 34 middle schools(9% of total), and 33 high schools(11%) are to be selected for retrofit.

The report then suggests ways to determine retrofit elements for an individual school building, and several possible retrofit package options for the school. The result shows that renewable energy is the most effective. Other important elements are improvement of airtightness, better lighting such as LED, and efficient heating /air-conditioning devices. With this measures, the selected school can save 20% of energy, equivalent to reduction of 0.23 in EPC value.

To successfully evaluate and manage the energy performance of many buildings and improve them, the city needs an organization, Seoul Building Energy Center, to manage building energy data and to certificate energy performance of existing and new buildings. In addition, current Building Retrofit Program(BRP) and ESCO support programs should be expanded. It is also required to strengthen the information service on building energy and retrofit.

The report reviewed energy performance evaluation and management methods for school buildings, utilizing BESS. Study of residential and commercial buildings should be conducted to improve the reliability of BESS.

Table of Contents

Chapter 1 Introduction

1. Theoretical Background
2. Analysis Framework

Chapter 2 Case Study of School Building Retrofit Policies

1. Policies in Korea
2. Policies of Other Countries
3. Implications

Chapter 3 Analysis of School Building's Energy Consumption Pattern

1. Data Collection
2. Energy Consumption Pattern of School Building
3. In-depth Analysis by School Type

Chapter 4 Evaluation of School Building's Energy Performance and Retrofit Measure

1. Energy Performance Evaluation Strategy
2. Energy Performance Evaluation
3. Building Retrofit Measures

Chapter 5 Policy Suggestions for Retrofit of Existing Buildings

1. Policy for Building Energy Performance Monitoring and Management
2. Information Policy
3. Energy Performance Management Policy for Retrofit in Urban-scale
4. Implications

Chapter 6 Conclusion

References

Appendices

시정연 2011-BR-01

빌딩리트로핏을 위한 에너지성능평가 및 활용방안

발 행 인 김 상 범

발 행 일 2011년 9월 30일

발 행 처 서울시정개발연구원
137-071 서울특별시 서초구 남부순환로 340길 57
(서초동 391)
전화 (02)2149-1234 팩스 (02)2149-1025

값 6,000원 ISBN 978-89-8052-834-9 93530

본 출판물의 판권은 서울시정개발연구원에 속합니다.