국토교통기술촉진연구사업

11기술표준화 02-03

건물에너지성능평가모델 및 성능개선프로세스 표준화개발 최종보고서

2014.12.29

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 단국대학교 산학협력단
공동연구기관 / 지앤에스 이노베이션
위탁연구기관 / (주)우원엠앤이

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "건물에너지성능 평가모델 및 성능개선 프로세스 표준화 개발에 관한 연구"과제의 보고서로 제출합니다.

2014. 12. 29.

주관연구기관명 : 단국대학교
주관연구책임자 : 김 회 서
연 구 원 : 오 민 석
연 구 원 : 김 정 석
연 구 원 : 서 영 석
연 구 원 : 김 기 철
연 구 원 : 이 승 호
연 구 원 : 전 상 수
연 구 원 : 박 태 연
연 구 원 : 서 동 찬
연 구 원 : 배 지 혜
연 구 원 : 오 주 홍
연 구 원 : 이 용 주
공동연구기관명 : 지앤에스이노베이션
공동연구책임자 : 김 재 민
연 구 원 : 이 득 환
연 구 원 : 정 설 민
연 구 원 : 유 호 경
협동연구기관명 : ㈜우원엠앤이
협동연구책임자 : 황 동 곤
연 구 원 : 홍 성 관
연 구 원 : 노 재 영

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>11기술표준화
02-03</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2011.9.30.
~2014.12.29.</td><td>단 계 구 분</td><td>3 / 3</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">국토교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="3">연 구 과 제 명</td><td colspan="2">최 상 위
과 제 명</td><td colspan="3">건물에너지성능 평가모델 및 성능개선 프로세스 표준화 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단위
과제
명</td><td>공동</td><td colspan="3">건물 에너지 성능 평가법의 표준화</td></tr>
<tr><td>위탁</td><td colspan="3">설비시스템 DB 구축 및 공정시험개발 제시</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td colspan="2">김 회 서</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 36 명
내부 : 12 명
외부 : 24 명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 864,000 천원
기업 : 0 천원
계 : 864,000 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="3">단국대학교 산학협력단</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">지앤에스 이노베이션,
㈜우원 엠앤이</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="4">상대국명 :</td><td colspan="2">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">본 연구개발은 건물에너지성능 평가모델 및 성능개선 프로세스 표준화를 위한 것으로서, 현재 활용되고 있는 건물에너지성능 평가 프로그램이나 성능개선 프로세스를 표준화하고 개량하기 위한 연구개발이다.
기존의 평가 프로그램이나 프로세스는 소비량에 대한 고려가 되지 않고 신축 건물과 같은 프로세스로 진행되고 있는 상황이다. 그러나 기존 건물의 경우 대상 건물의 위치나 설비노후도 등의 현장상황에 따라 같은 건물이어도 소비량이 달라질 수 있기 때문에 본 연구에서는 기존 건물의 성능평가시 건물의 현장상황을 고려한 프로세스를 제시하였다. 또한 기존 건물의 성능평가 이후 에너지 사용 비율에 따른 Retrofit 의사결정모델 프로세스를 제시하였다.
Retrofit 의사결정 모델은 매트릭스 평가법을 활용해 가치지수를 산출해 최적대안을 선정한다. 기존 건물의 성능평가를 위해 부하 및 소비량 검증을 통한 건물에너지성능평가 프로그램을 제작하였다. 설비기기 특성 및 현장 현황이 고려된 프로세스 적용을 위해 국내에 사용되고 있는 냉난방 및 환기, 신재생설비에 대한 DB를 구축하였다.</td><td>보고서면수</td><td>420</td></tr>
<tr><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한글</td><td colspan="4">설비 DB 성능평가 계절효율계수 기상데이터 리트로핏</td></tr>
<tr><td>영어</td><td colspan="4">Equipment DB Performance evaluation Seasonal efficiency Weather data Retrofit</td></tr>
</table>

요약문

Ⅰ. 제 목 : 건물에너지성능 평가모델 및 성능개선 프로세스 표준화 개발

Ⅱ. 연구개발과제 개요(목적, 필요성, 범위 등을 기술)

본 연구개발은 건물에너지성능 평가모델 및 성능개선 프로세스 표준화를 위한 것으로서, 현재 활용되고 있는 건물에너지성능 평가 프로그램이나 성능개선 프로세스를 표준화하고 개량하기 위한 연구개발이다. 현재 국내 에너지 소비량의 20% 이상이 건물 분야에서 차지하고 있으며, 현재에도 증가되는 추세이다. 선진국형 산업구조로 변할수록 그 비율이 증가되고 있어 우리나라 또한 건물에너지에 대한 관심이 증가되고 있다. 본 연구는 건축물의 에너지 성능평가에 대한 요소 기술의 가이드라인과 평가 프로그램을 개발하여 신축 및 기존 건물의 현장 상황에 대응할 수 있는 표준화된 건물 에너지성능 평가모델 및 성능개선 프로세스 표준화를 개발하는데 그 목적이 있다.

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과(연구수행과정, 연구수행결과 등을 기술)

기존 건물 에너지 성능평가 및 성능개선 평가 프로세스를 도출하기 위해 국내외 사례조사 및 대상 건축물 실측을 통해 Retrofit 표준 프로세스(안)를 제시하였고, 국내 설비 및 건물에너지 성능개선 요소를 도출하였다. 또한 6개 기존 건물을 대상 건물로 선정하여 Retrofit 우선순위 제시를 위한 프로세스를 검증하고 Retrofit 리스트를 작성하였다. 기존 건물의 성능평가 및 Retrofit 표준 프로세스를 제시하기 위하여 계절효율계수 및 기상데이터를 분석하였다. 그리고 대상 건물 6개소에 실증하여, 계절효율계수 및 의사결정모델을 통한 Retrofit 프로세스의 현장 적용성을 검토하였다. 현장 적용성 검토 후 기존 건물의 성능평가 및 Retrofit 프로세스의 표준을 제시하였다. 건물 에너지 소비량의 정략적 산출이 가능한 표준 평가모델 구축을 위해 건물 에너지 소비량 계산과 에너지성능계수 개념 정립 및 한국형 지표를 산출하였으며, 표준 계산기법 완성 후 이를 검증하였다. 건물구조체 특성 및 계절에너지에 따른 표준평가모델을 정의 하였고, 표준평가모델을 바탕으로한 건물 냉난방 부하계산 및 에너지 소비량계산을 위한 프로그램을 개발하였다. 프로그램 적용 검증을 위해 건물 유형에 따른 상세 모델과 실측 및 개발프로그램을 비교하였고 한국형 기기 성능곡선 데이터를 적용시켜 표준기기 모델을 구축하였다. 또한 프로그램 부하 검증을 위해 외피 형상 및 열교, 기밀성, 조명 등의 세부사항을 검증하였다. 한국형 설비 데이터를 프로그램에 적용하고, 의사결정모델 제시를 위해 연구기간에 걸쳐 급탕, 냉난방, 공조, 신재생 설비기기의 DB를 구축하였다. 구축된 설비기기 DB를 활용하여 기기별 데이터의 표준 모델 및 성능곡선을 도출하였다.

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

앞서 수행한 연구개발을 통해 기존 건물의 운영현황이 고려된 건물에너지 성능평가 프로세스를 도출하였다. 대상 건물들의 현장 적용성 검증 과정에서 Simulation 프로그램에 성능곡선, 전년도 기상데이터, 기타 설비기기 사용량을 적용시켜 실제 소비량과 Simulation 결과 값에 대한 오차가 줄어드는 것을 입증하였다. 기존 건물 6개소에 대한 현장 적용성 검증 결과를 토대로 Retrofit을 포함한 기존 건물의 성능평가 프로세스를 표준화하여 제시하였으며 해당 프로세스는 지능형 건물 인증협회에 제출되어 기존 건물 성능평가 표준으로 등록되었다.

건물 에너지 성능 평가 프로그램의 경우 프로그램 등록을 마친 상태이며 소비량 및 부하량에 대한 검증도 진행되었다. 그리고 관련 제도에서 프로그램 활용성 증대를 위한 국내외 유관 기관과의 협의 및 타당성 검증 전문가 워크샵이 진행되었다. 설비 기기 DB 확보를 통해 국내 적용 중인 기기별 데이터의 표준모델을 도출하였으며, 각 설비 제조사별 부분부하에 따른 성능곡선을 도출하였다. 설비기기 DB에 구축된 데이터는 성능, 단가, 유지보수비용 등으로 구성되어있어 추후 다방면으로 활용이 가능할 것으로 보인다.

Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

본 연구 개발을 통하여 기존 건물 Retrofit을 위한 건물 에너지 Retrofit 표준 프로세스와 관련 기술의 표준을 제안하였으며 이를 통해 기존 건축물의 에너지 소비량과 Simulation의 결과 값에 대한 오차율을 줄이는 프로세스를 확보하였다. 본 개발기술의 도입을 통해 기존 부하 또는 소요량으로 평가하던 기존 건물의 성능평가 프로세스가 경제성 분석이 가능한 건물 에너지 소비량 평가까지로 확장되었다. 이는 현장 현황이 고려되지 않은 기존 방법에 소비량을 바탕으로 한 높은 신뢰성을 가진 결과를 산출할 수 있을 것으로 기대된다.

한국형 설비 데이터가 적용된 시뮬레이션 프로그램은 정량화된 에너지 Simulation 결과로 신뢰성 향상에 기여한다. 또한 소비량 데이터의 결과를 바탕으로 건물 Retrofit까지 진행되어 건물 에너지 소비량이 감소하므로 에너지 절약으로 인한 CO_2 의 발생량 감소에도 기여할 것으로 기대된다.

Ⅵ. 연구성과 활용계획

본 연구를 통하여 소비량을 바탕으로 하는 Retrofit을 위한 건물 에너지 성능평가 프로세스를 도출하고, 소비량을 평가할 수 있는 Simulation 프로그램을 제작하였다. 국내 실정을 반영하기 위한 국내 설비기기 DB를 구축·분석하였다. 본 연구의 성과들은 다음과 같은 분야에 적용하여 활용이 가능할 것으로 판단된다.

- 국내 설비기기 특성 파악 및 DB 구축을 통한 국내 설비 기기의 수준향상
- 건물에너지효율등급인증제도 등의 국내 관련 정책에 연계되어 기존 건물의 성능평가 가능
- ESCO 및 에너지 진단시 에너지 소비 비율 비교를 통한 설비기기 교체 우선순위 제공 가능
- Simulation을 활용한 기존 건물의 에너지 소비 요소별 소비 비율 파악

SUMMARY

Ⅰ. Title : Development of Evaluation Model and Standardized process for improved performance of Building

Ⅱ. Outline of Study on the Development

This study considers a development of evaluation model for building energy performance and standard for improvement performance process. A purpose of this study is an Improvement and a standardization of currently being used evaluation simulator for building energy performance and Improvement Performance Process. Currently, building industry accounts for about 20% of domestic energy consumption and being on the increase. The ratio of consumption for building energy is rising as Korean industrial structure is changing advanced country, and it is being on the increase interest for building energy in Korea. The purpose of this study is a development of standard evaluation model for building energy performance and standard for improvement performance process of coping with new and existing building in the field as development of element technology related guide line for evaluation performance of building energy and evaluation simulator.

Ⅲ. Contents and Conclusion of study on the Development

This study suggests standard of retrofit process through domestic and foreign case study and actual survey of case building to get evaluation performance for existing building energy and improvement performance process and arrives elements of improvement performance for equipments in domestic and building energy. In addition, to verify process of suggesting retrofit priority and making a list of retrofit selects six cases of existing building. To suggest of evaluation performance for existing building energy and standard retrofit process analyses seasonal efficiency ratio and weather data. And as actual survey in six cases of existing building, applicability in the field of retrofit process examines through seasonal efficiency ratio and decision model. It suggests evaluation performance for existing building energy and standard of retrofit process after examination of applicability in the field. To development of standard evaluation model for quantitative assessment of building energy consumption makes an assessment of building energy consumption, conceptualization of energy performance coefficient and Korean

indicator. Then, these verify after completing standard assessment method. Whereafter defining standard evaluation model concerning character of building structures and seasonal energy, developing simulator for calculation of heating and cooling load and energy consumption based in standard evaluation model. To verify simulator compares detail model of building types, actual survey and simulator, then developing standard equipments model concerning performance curve of Korean equipments. Assessment load for simulator also verifies further details of envelopes, heat bridge, air permeability and lighting. For application simulator concerning Korean equipments data and suggestion of decision develop database of hot water, heating, cooling, air conditioning and renewable energy system in study period. Using the database develop standard data model and performance curve of each equipments.

Ⅳ. The Final Results and Applications of study.

Result of this study develops evaluation performance process concerning operation of existing building. In verification process of applicability in the field for case buildings, reducing errors between actual energy consumption and assessment of simulator concerning performance curve, prior year weather data and the use of equipments. On the basis of applicability in the field for six cases buildings, evaluation performance process for existing building energy, including retrofit, suggests and is registered in IBS KOREA. The simulator was done to resister and verifies assessment of energy consumption and load. Expert workshop is held to increase utilization of simulator and verifies validity with related organization. Standard model of each equipment data applied in Korea is developed by investing database of equipments. Performance curve develops according to partial load of each equipment manufacture. Database of each equipment manufacture is comprised of performance, costs, cost of maintenance seems to be applied in various fields.

Ⅴ. Achievement of Purpose and Effect on study.

This study suggests standard of retrofit process for existing building energy. Through this, simulator reduces errors with energy consumption of existing building. At result, the process of evaluation performance for building energy using only load and demand extends evaluation performance of building energy concerning economy analysis. this is looking forward to calculating reliable result concerning energy consumption than existing process of evaluation performance for building energy is not considered the field. Quantitative result of simulator is applied database of Korean equipment contributes to reliable improvement. Saving energy through retrofit is looking forward to reducing CO2 emissions.

Ⅵ. Applicable Planning of Study Results.

Result of this study develops retrofit process of evaluation performance for building energy on the basis of energy consumption and simulator to be possible evaluation performance for building energy and develops database of Korean equipment. The result applies as below :

- Improvement performance through investment and development database of Korean equipment.
- Evaluation performance of existing building energy for energy policy of Korean like Building Energy Efficiency Rating System.
- Providing retrofit priority of equipments through comparing rating of energy consumption on ESCO and Energy diagnosis.
- Calculating ratio of energy consumption component for existing building using simulator.

CONTENTS

Chapter 1. Outline of Study on the Development ····· 1
1. Purpose and Necessity of Study on the Development ····· 1
2. Definition, Range and Characteristics of Study on the Development ····· 8
3. Development Status of Technologies on Related Study Field in Domestic and Foreign ····· 10
4. Position on Related Study Field of Result of Study on the Development ····· 15

Chapter 2. Contents and Conclusion of Study on the Development ····· 17
1. Strategy and Methodology of Study ····· 17
2. Process and Contents of Study(Theoretical and Experimental) ····· 23
3. Result of Study and Verification Method of Result ····· 278

Chapter 3. The Final Results and Applications of Study ····· 371
1. Individual Study Products ····· 371
2. Products of Critical Technology Elements ····· 374
3. Main Products of Study(Products of Scientific and Technical) ····· 382
4. Implementation and Application of Technology ····· 384
5. Other study ····· 403
6. Market Prospect in Domestic and Foreign of Study Products ····· 403

Chapter 4. Achievement of Purpose and Effect on a Study on the Development ····· 404
1. Achievement of Study on the Development ····· 404
2. Technical Effect of Study on the Development ····· 407
3. Economic Effect of Study on the Development ····· 407
4. Technical Effect of Study on the Development ····· 408

Chapter 5. Application of Study Results and Necessity of Further Study ····· 409
1. Applicable Planning of Study Results ····· 409
2. Necessity of Further Study ····· 410

Chapter 6. Conclusion ····· 411

Reference ····· 414

목 차

제 1 장 연구개발과제 개요 ····· 1
제 1절 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 1
제 2절 연구개발의 정의, 범위, 특징 ····· 8
제 3절 관련연구분야 국내외 기술개발 현황 ····· 10
제 4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치 등 ····· 15

제 2 장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 17
제 1절 연구수행 전략 및 방법론 ····· 17
제 2절 연구수행과정 및 내용(이론적, 실험적) ····· 23
제 3절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등 ····· 278

제 3 장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 371
제 1절 개별 연구성과 ····· 371
제 2절 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물 ····· 374
제 3절 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과) ····· 382
제 4절 기술실시 및 적용사례 ····· 384
제 5절 기타 성과 ····· 403
제 6절 기술개발 성과의 국내외 시장 전망 ····· 403

제 4 장 연구개발목표 달성 및 효과 ····· 404
제 1절 연구개발 최종 목표 달성도 ····· 404
제 2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석 ····· 407
제 3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석 ····· 407
제 4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석 ····· 408

제 5 장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 409
제 1절 연구개발결과의 활용방안 ····· 409
제 2절 추가연구 필요성 등 ····· 410

제 6 장 결 론 ····· 411

[참고문헌] ····· 414

표 목 차

<표 1.1> SAP2005 건물 에너지성능 평가지표 ····· 13
<표 1.2> 해외 친환경 인증 인센티브 제도 ····· 15
<표 2.1> 에너지 진단 단계 및 세부 진단내용 (지식경제부고시 제2010-50호) ····· 24
<표 2.2> 실내온도 측정의 문제점 ····· 25
<표 2.3> 실내 온도 측정 대상 개요 ····· 25
<표 2.4> 실내온도 측정 포인트 및 장비 ····· 26
<표 2.5> 기존 건물 에너지 성능 진단 프로세스 ····· 28
<표 2.6> 온실가스·에너지 목표관리제 대상 ····· 29
<표 2.7> 건축물 용도별 현장조사 대상 ····· 29
<표 2.8> 대상 건축물별 현장 조사 요소 ····· 30
<표 2.9> 건축물의 에너지 절감 항목 ····· 31
<표 2.10> BEMS 종류 및 내용 ····· 34
<표 2.11> 건물구성 설비요소 및 용도별 에너지사용량 비율 ····· 38
<표 2.12> 연간 냉난방부하에 대한 각 설계변수의 기여도 ····· 38
<표 2.13> 시뮬레이션 모델 조건 개요 ····· 40
<표 2.14> 유리형태의 유리 종류별 열관류율과 일사취득계수 값 ····· 40
<표 2.15> 모형 추정결과 ····· 41
<표 2.16> 분산분석결과 ····· 42
<표 2.17> 난방부하에 대한 다중회귀분석 결과 영향도(Beta) ····· 42
<표 2.18> 난방부하요소에 따른 비표준화 계수 ····· 42
<표 2.19> 냉방부하에 대한 다중회귀분석 결과영향도(Beta) ····· 43
<표 2.20> 냉방부하요소에 따른 비표준화 계수 ····· 43
<표 2.21> 총 부하에 대한 다중회귀분석 결과영향도(Beta) ····· 44
<표 2.22> 총 부하요소에 따른 비표준화 계수 ····· 44
<표 2.23> 회귀식 위한 창호의 물성치 및 창면적비 ····· 44
<표 2.24> 난방부하 회귀식 오차율 ····· 45
<표 2.25> 냉방부하 회귀식 오차율 ····· 45
<표 2.26> 총 부하 회귀식 오차율 ····· 45
<표 2.27> Assigning pump power to HVAC systems ····· 48
<표 2.28> 배관길이 0.3m일 때 에너지 항목별 에너지 소비량(ECO2) ····· 56
<표 2.29> 배관길이 3m일 때 에너지 항목별 에너지 소비량(ECO2) ····· 57
<표 2.30> 배관길이 30m일 때 에너지 항목별 에너지 소비량(ECO2) ····· 58
<표 2.31> 침기 0 일 때의 냉난방부하 ····· 60
<표 2.32> 침기 0.1일 때의 냉난방부하 ····· 60
<표 2.33> 대상건물 개요 ····· 61
<표 2.34> BESS, EnergyPlus의 시뮬레이션 Input Data(인체발열량) ····· 62
<표 2.35> BESS, EnergyPlus의 시뮬레이션 Input Data(기기발열량_조명발열량 제외) ····· 63
<표 2.36> BESS, EnergyPlus의 시뮬레이션 Input Data(조명발열량) ····· 64
<표 2.37> BESS, EnergyPlus의 시뮬레이션 Input Data(기상데이터 및 창호) ····· 64
<표 2.38> BESS, EnergyPlus의 시뮬레이션 Input Data(일사취득량) ····· 65
<표 2.39> BESS, EnergyPlus 난방부하 비교 ····· 66

<표 2.40> BESS, EnergyPlus 난방부하 비교 ····· 66
<표 2.41> NCM에서의 온수탱크 방열량 ····· 72
<표 2.42> NCM에서의 급탕시스템의 최소열효율 ····· 73
<표 2.43> 배기구가 있는 조명장치에 대한 실내부하율 ····· 74
<표 2.44> NCM에서의 SFP 기준값 ····· 75
<표 2.45> 냉방요구에 대한 매달 환기손실 계산값에 대해서 공급공기의 온도에 사용된 값 ····· 76
<표 2.46> NCM에서의 열배관손실 허용량 ····· 77
<표 2.47> NCM에서의 냉.온열덕트손실 허용량 ····· 78
<표 2.48> 대상건물 개요 ····· 79
<표 2.49> 기존 ISO 13790 기반 툴, ISO 13790 기반툴(효율계수 적용), 동적 시뮬레이션 결과 ·83
<표 2.50> 구조에 따른 보일러의 종류 ····· 87
<표 2.51> 냉동기의 종류 및 용도 ····· 88
<표 2.52> 열원에 따른 히트펌프의 분류 ····· 89
<표 2.53> 건축물에 적용 가능한 신재생에너지 특성 ····· 90
<표 2.54> 증기보일러 종류 및 특성 ····· 91
<표 2.55> 온수보일러 종류 및 특성 ····· 92
<표 2.56> 압축식 냉동기 종류 및 특성 ····· 93
<표 2.57> 압축식 냉동기 조사결과(터보 냉동기) ····· 94
<표 2.58> 압축식 냉동기 조사결과(스크류 냉동기) ····· 95
<표 2.59> 흡수식 냉동기 종류 및 특성 ····· 96
<표 2.60> 건물에너지성능 평가를 위한 단계적 수행내용 ····· 97
<표 2.61> 에너지진단 조사항목 ····· 98
<표 2.62> 에너지진단을 위해 필요한 에너지소비량 ····· 99
<표 2.63> 냉동기의 2차진단 방법 ····· 100
<표 2.64> 온수 보일러의 2차진단 방법 ····· 100
<표 2.65> 공조기의 2차진단 방법 ····· 101
<표 2.66> 조명기구의 2차진단 방법 ····· 101
<표 2.67> 판매시설의 건축개요 ····· 107
<표 2.68> 상업용 건물의 건축개요 ····· 108
<표 2.69> 공동 주택의 건축 개요 ····· 109
<표 2.70> 월별 총에너지 사용량 ····· 110
<표 2.71> 월별 총에너지 사용량 ····· 111
<표 2.72> 월별 총에너지 사용량 ····· 112
<표 2.73> 전력사용량 (2012년도) ····· 113
<표 2.74> 가스사용량 (2012년도) ····· 113
<표 2.75> A동의 월별 난방 유량 사용량 ····· 115
<표 2.76> 세대 위치별(1층~14층) 월평균 난방 사용 유량 ····· 117
<표 2.77> 층별(1층, 7층, 14층) 난방 사용 유량 ····· 118
<표 2.78> 월별 난방유량 사용량이 적은 세대 ····· 119
<표 2.79> 부분별 에너지 진단 내용 ····· 124
<표 2.80> 온수 보일러의 현장 측정 방법 ····· 125
<표 2.81> 냉동기의 현장측정 방법 ····· 126
<표 2.82> 공조기의 현장측정 방법 ····· 127
<표 2.83> 냉동기 COP값 향상에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 129
<표 2.84> 보일러 출구수온 하강에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 129
<표 2.85> 보일러 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 130
<표 2.86> 냉동기 출구수온 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 130
<표 2.87> 온수 배관 온도 하강에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 131

<표 2.88> 냉동기 COP값 향상에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 131
<표 2.89> 보일러 출구수온 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 132
<표 2.90> 보일러 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 132
<표 2.91> 냉동기 출구수온 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 133
<표 2.92> 온수 배관 온도 하강에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 133
<표 2.93> 팬코일 유닛의 팬 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 134
<표 2.94> 냉동기의 펌프 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 134
<표 2.95> 냉각탑 펌프 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 135
<표 2.96> AHU 팬 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 135
<표 2.97> FCU 모터 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 136
<표 2.98> AHU 모터 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 136
<표 2.99> 팬코일 유닛의 팬 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 137
<표 2.100> 냉동기의 펌프 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 137
<표 2.101> 냉각탑 펌프 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 138
<표 2.102> AHU 팬 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 138
<표 2.103> FCU 모터 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 139
<표 2.104> AHU 모터 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 139
<표 2.105> VAV 공조 방식의 적용에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 140
<표 2.106> 폐열회수 시스템에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 140
<표 2.107> 예냉 설비의 적용에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 141
<표 2.108> 예열 설비의 적용에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 142
<표 2.109> VAV 공조 방식의 적용에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 142
<표 2.110> 폐열회수 시스템에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 143
<표 2.111> 예냉 설비의 적용에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 144
<표 2.112> 예열 설비의 적용에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 144
<표 2.113> 고효율 LED 사용에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 145
<표 2.114> 고효율 조명 설비의 적용에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 146
<표 2.115> 고효율 LED 사용에 따른 에너지 저감량 및 저감률 표 ····· 146
<표 2.116> 고효율 조명 설비의 적용에 따른 에너지 저감량 및 저감률 표 ····· 147
<표 2.117> AHU+FCU 개선에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 148
<표 2.118> 냉동기+보일러 개선에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 148
<표 2.119> 냉동기+냉각탑 개선에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 149
<표 2.120> AHU+FCU 개선에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 150
<표 2.121> 냉동기+보일러 개선에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 150
<표 2.122> 냉동기+냉각탑 개선에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 151
<표 2.123> 측벽 성능 개선 시뮬레이션 결과 값 절감율 ····· 152
<표 2.124> 외벽 성능 개선 시뮬레이션 결과 값 절감율 ····· 153
<표 2.125> 창호 성능 개선 시뮬레이션 결과 값 절감율 ····· 154
<표 2.126> 최하층 바닥 성능 개선 시뮬레이션 결과 값 절감율 ····· 155
<표 2.127> 지붕 성능 개선 시뮬레이션 결과 값 절감율 ····· 156
<표 2.128> 외단열 성능 개선 시뮬레이션 결과 값 절감율 ····· 158
<표 2.129> 비난방 세대에 접한 난방세대의 세대간 내벽 성능 개선 시뮬레이션결과 값 절감율 ····· 159
<표 2.130> 비난방 세대에 접한 난방세대의 세대간 바닥 성능 개선 시뮬레이션결과 값 절감율 ····· 161
<표 2.131> 판매 시설의 에너지 저감 요소 분석 결과 ····· 161
<표 2.132> 판매 시설의 에너지 저감 요소들의 분석 결과 ····· 162
<표 2.133> 업무 시설의 에너지 저감 요소들의 분석 결과 ····· 162
<표 2.134> 업무의 에너지 저감 요소들의 분석 결과 ····· 163
<표 2.135> 연간 남향에 대한 Clear 유리 Correction Factor ····· 172

<표 2.136> 표면의 흡수율 ····· 173
<표 2.137> 수직차양에 대한 일사차단 보정계수 ····· 175
<표 2.138> 길이에 따른 수직차양 일사차단 보정계수 ····· 176
<표 2.139> 유리의 G-value에 대한 Correction Factor ····· 176
<표 2.140> 영향요소 ····· 177
<표 2.141> 배기구가 있는 조명장치에 대한 실내부하율 ····· 182
<표 2.142> 모듈 타입별 효율 ····· 186
<표 2.143> 태양광발전 생산량 계산 수식 ····· 186
<표 2.144> 태양열 입출력 모델 ····· 187
<표 2.145> 집열판 타입에 따른 입력 Parameters ····· 188
<표 2.146> 태양열 생산량 계산수식 ····· 188
<표 2.147> 풍력발전 입출력 모델 ····· 189
<표 2.148> 풍력발전 입력요소 ····· 190
<표 2.149> 연료전지 입출력 모델 ····· 191
<표 2.150> 구조체의 온도보정 계수 ····· 195
<표 2.151> 1존 모델 기본 설정값 ····· 200
<표 2.152> 1 존 모델 벽체 정보 ····· 201
<표 2.153> 외벽체 자재별 밀도(kg/㎥) 및 비열(J/kg·K), 두께(M) ····· 202
<표 2.154> 중/경량 구조 열용량 ····· 202
<표 2.155> 기상데이터 및 기준일 ····· 203
<표 2.156> 한국태양에너지 학회 대한민국 표준 기상데이터(서울) ····· 203
<표 2.157> Case별 매개변수 적용값 ····· 204
<표 2.158> 월별 난방 부하 비교(kWh/㎡h, EP = EnergyPlus) ····· 204
<표 2.159> 월별 난방 부하 비교(kWh/㎡h, EP = EnergyPlus) ····· 205
<표 2.160> 연간 시나리오별 난방 부하 비교(간헐 운전) ····· 206
<표 2.161> 월별 냉방 부하 비교(kWh/㎡h, EP = EnergyPlus) ····· 206
<표 2.162> 월별 냉방 부하 비교(kWh/㎡h, EP = EnergyPlus) ····· 207
<표 2.163> 연간 시나리오별 난방 부하 비교(간헐 운전) ····· 207
<표 2.164> 시나리오별 연간 난방 부하 오차율(간헐 운전) ····· 208
<표 2.165> 시나리오별 연간 냉방 부하 오차율(간헐 운전) ····· 209
<표 2.166> Monthly heating load(kWh/㎡h, EP = EnergyPlus, case1= ISO 13790) ····· 211
<표 2.167> Monthly heating load(kWh/㎡h, EP = EnergyPlus, case1= ISO 13790) ····· 211
<표 2.168> Comparison of heating loads ····· 212
<표 2.169> Comparison of cooling loads ····· 213
<표 2.170> 시스템 구성 ····· 214
<표 2.171> EnergyPlus 각 모델에서 설정된 히트펌프 용량 ····· 215
<표 2.172> 히트펌프 용량 ····· 216
<표 2.173> 냉방 기간에너지 효율계수(CSPF*: 팬 전력 소비량을 포함시) ····· 219
<표 2.174> 난방 기간에너지 효율계수(HSPF*: 팬 전력 소비량 포함시) ····· 220
<표 2.175> 구조체별 HSPF ····· 222
<표 2.176> 구조체별 CSPF ····· 222
<표 2.177> 방위별 HSPF ····· 223
<표 2.178> 방위별 CSPF ····· 223
<표 2.179> 구조에 따른 보일러의 종류 ····· 224
<표 2.180> 설비기기별 초기비용 및 유지보수 비율 ····· 225
<표 2.181> 설비기기별 초기비용 및 유지보수 비율 ····· 227
<표 2.182> 설비기기별 내구연수(공조기기 관련 부분 일부 발췌) ····· 227
<표 2.183> 현장 조사 건물 이미지 ····· 228

<표 2.184> 건물의 개요 ····· 229
<표 2.185> 실구성과 센서 위치 및 이미지 ····· 230
<표 2.186> 시스템 운영 요소 ····· 231
<표 2.187> 냉난방 설비 장비 ····· 232
<표 2.188> 주 공조방식 ····· 232
<표 2.189> 건물의 일반현황 ····· 233
<표 2.190> 시뮬레이션 ····· 235
<표 2.191> 국내 설비기기 DB를 활용한 계절효율계수 산출방법 예시 ····· 237
<표 2.192> Design builder를 활용한 상업용 건물의 모델형상 ····· 242
<표 2.193> Design builder를 활용한 판매시설의 모델형상 ····· 242
<표 2.194> 대상 건물별 기상데이터 확보 위치 ····· 244
<표 2.195> 상업용 건물의 냉·난방 열원설비 운영 스케줄 ····· 245
<표 2.196> 상업용 건물의 2013년도 냉난방 스케줄 ····· 245
<표 2.197> 상업용 건물의 2013년도 조명 운영 스케줄 ····· 245
<표 2.198> 상업용 건물의 공조기 운영 스케줄 ····· 245
<표 2.199> 판매시설의 냉·난방 열원설비 운영 스케줄 ····· 246
<표 2.200> 판매시설의 2013년도 냉난방 스케줄 ····· 246
<표 2.201> 판매시설의 2013년도 조명 운영스케줄 ····· 246
<표 2.202> 판매시설의 공조기 운영스케줄 ····· 246
<표 2.203> 상업용 건물 A의 엘리베이터 개요 ····· 247
<표 2.204> 상업용 건물 B의 엘리베이터 개요 ····· 247
<표 2.205> 상업용 건물 C의 엘리베이터 개요 ····· 248
<표 2.206> 상업용 건물 기타 설비기기의 월간 평균 에너지 사용량 ····· 248
<표 2.207> 판매시설 A의 엘리베이터 개요 ····· 249
<표 2.208> 판매시설 A의 무빙워크 개요 ····· 249
<표 2.209> 판매시설 B의 엘리베이터 개요 ····· 249
<표 2.210> 판매시설 B의 무빙워크 개요 ····· 250
<표 2.211> 판매시설 C의 엘리베이터 개요 ····· 250
<표 2.212> 판매시설 C의 무빙워크 개요 ····· 250
<표 2.213> 판매시설 기타 설비기기의 월간 평균 에너지 사용량 ····· 251
<표 2.214> 가치지수 향상 방법 ····· 251
<표 2.215> 가치지수 적용 조건 ····· 252
<표 2.216> 비용평가(C) 산출 과정 예시 ····· 253
<표 2.217> 기능 평가(F) 산출 과정 예시 ····· 254
<표 2.218> 가치지수(V) 산출 과정 예시 ····· 254
<표 2.219> 1Zone 설정 값 ····· 264
<표 2.220> 초중량 모델 벽체 정보(남측기준) ····· 264
<표 2.221> 중량 모델 벽체 정보(남측기준) ····· 265
<표 2.222> 중간세대 경량 모델 벽체 정보(남측기준) ····· 265
<표 2.223> 중량별 열용량(kWh/K) ····· 266
<표 2.224> 한국태양에너지 학회 대한민국 표준 기상데이터(서울) ····· 266
<표 2.225> 기상데이터 ····· 267
<표 2.226> 유효계수의 Best case ····· 268
<표 2.227> 월별 난방 부하(kWh/㎡h, EP = EnergyPlus, case1= 본 연구 제안 계수, case2= Corrado & Fabrizio, case3= ISO) ····· 270
<표 2.228> 월별 냉방 부하(kWh/㎡h) ····· 270
<표 2.229> 월별 난방 부하(kWh/㎡h) ····· 271
<표 2.230> 월별 냉방 부하(kWh/㎡h) ····· 271

<표 2.231> 월별 난방 부하(kWh/㎡h) ····· 272
<표 2.322> 월별 냉방 부하(kWh/㎡h) ····· 272
<표 2.233> 연간 부하량 오차율 비교 ····· 273
<표 2.234> 상업용 건물 A에서 운전 중인 냉온수기 정보 ····· 283
<표 2.235> 상업용 건물 A에서 운전 중인 냉온수기의 부분부하별 효율 ····· 283
<표 2.236> 상업용 건물 A의 부분부하별 계절효율 가중치계수 ····· 284
<표 2.237> 상업용 건물 B에서 운전 중인 냉온수기 정보 ····· 285
<표 2.238> 상업용 건물 B에서 운전 중인 냉온수기 부분부하별 효율 ····· 285
<표 2.239> 상업용 건물 B의 부분부하별 계절효율 가중치계수 ····· 285
<표 2.240> 상업용 건물 C에서 운전 중인 냉온수기 정보 ····· 287
<표 2.241> 상업용 건물 C에서 운전 중인 냉온수기의 부분부하별 효율 ····· 287
<표 2.242> 상업용 건물 C의 부분부하별 계절효율 가중치계수 ····· 287
<표 2.243> 냉방 기간의 평균 온도별 시간빈도수 ····· 288
<표 2.244> 시간대별 온도차 분석을 통한 MODE 2 도출 ····· 289
<표 2.245> MODE 시간대별 유량 및 입출구 온도 측정 결과 ····· 290
<표 2.246> 현장 측정이 적용된 각 MODE별 산출 효율 값 ····· 291
<표 2.247> 판매시설 A의 냉방기간 운영 시간대별 평균 온도 ····· 291
<표 2.248> 판매시설 A의 계절효율계수 산출을 위한 Tn 도출 표 ····· 292
<표 2.249> 판매시설 B에서 운전 중인 냉동기 정보 ····· 293
<표 2.250> 판매시설 B에서 운전 중인 냉동기의 부분부하별 효율 ····· 294
<표 2.251> 판매시설 B의 부분부하별 계절효율 가중치계수 ····· 294
<표 2.252> 판매시설 C에서 운전 중인 터보냉동기 정보 ····· 295
<표 2.253> 판매시설 C에서 운전 중인 냉동기의 부분부하별 효율 ····· 296
<표 2.254> 판매시설 C의 부분부하별 계절효율 가중치계수 ····· 296
<표 2.255> 대상 설비기기의 오차율 ····· 297
<표 2.256> 상업용 건축물 A의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조표 ····· 298
<표 2.257> 상업용 건물 A의 ASHRAE Guideline에 따른 신뢰성 검증 결과 ····· 298
<표 2.258> 상업용 건축물 B의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조표 ····· 299
<표 2.259> 상업용 건물 B의 ASHRAE Guideline에 따른 신뢰성 검증 결과 ····· 299
<표 2.260> 상업용 건축물 C의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조표 ····· 300
<표 2.261> 상업용 건물 C의 ASHRAE Guideline에 따른 신뢰성 검증 결과 ····· 300
<표 2.262> 판매시설 A의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조표 ····· 301
<표 2.263> 판매시설 A의 ASHRAE Guideline에 따른 신뢰성 검증 결과 ····· 301
<표 2.264> 판매시설 B의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조표 ····· 302
<표 2.265> 판매시설 B의 ASHRAE Guideline에 따른 신뢰성 검증 결과 ····· 302
<표 2.266> 판매시설 C의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조표 ····· 303
<표 2.267> 판매시설 C의 ASHRAE Guideline에 따른 신뢰성 검증 결과 ····· 303
<표 2.268> ASHRAE Guideline에 따른 신뢰성 검증 결과 ····· 304
<표 2.269> 상업용 건물 A에서 운전 중인 냉온수기 정보 ····· 306
<표 2.270> 상업용 건물 A의 Retrofit 대상 설비기기 정보 ····· 306
<표 2.271> 상업용 건물 A의 가치지수 산출 결과 ····· 306
<표 2.272> 상업용 건물 B에서 운전 중인 냉온수기 정보 ····· 307
<표 2.273> 상업용 건물 B의 Retrofit 대상 설비기기 정보 ····· 307
<표 2.274> 상업용 건물 B의 가치지수 산출 결과 ····· 307
<표 2.275> 상업용 건물 C에서 운전 중인 냉온수기 정보 ····· 308
<표 2.276> 상업용 건물 C의 Retrofit 대상 설비기기 정보 ····· 308
<표 2.277> 상업용 건물 C의 가치지수 산출 결과 ····· 308
<표 2.278> 판매시설 A에서 운전 중인 냉온수기 정보 ····· 309

<표 2.279> 판매시설 A의 Retrofit 대상 설비기기 정보 ····· 309
<표 2.280> 판매시설 A의 가치지수 산출 결과 ····· 309
<표 2.281> 판매시설 B에서 운전 중인 냉동기 정보 ····· 310
<표 2.282> 판매시설 B의 Retrofit 대상 설비기기 정보 ····· 310
<표 2.283> 판매시설 B의 가치지수 산출 결과 ····· 310
<표 2.284> 판매시설 C에서 운전 중인 냉동기 정보 ····· 311
<표 2.285> 판매시설 C의 Retrofit 대상 설비기기 정보 ····· 311
<표 2.286> 판매시설 C의 가치지수 산출 결과 ····· 311
<표 2.287> 단일 기기와 건축물 통합시의 기기의 효율 산출 조건 ····· 313
<표 2.288> 에너지 효율 관련 용어 비교표 ····· 314
<표 2.289> 부하별 COP 가중치 (부분부하별 COP는 제조업체에서 제공) ····· 316
<표 2.290> 지역별, 용도별 설비유형별 SSEER ····· 316
<표 2.291> 신재생 생산량 적용 예 ····· 319
<표 2.292> PLANT테이블의 ATTRIBUTE컬럼의 상세입력(온열원, 냉열원) ····· 320
<표 2.293> PLANT테이블의 ATTRIBUTE컬럼의 상세입력(온열원, 냉열원) ····· 321
<표 2.294> PLANT테이블의 ATTRIBUTE컬럼의 상세입력(전력원) ····· 322
<표 2.295> PLANT입력 예시 (지열) ····· 322
<표 2.296> PARTLOAD_WEIGHTING_FACTOR테이블 ····· 323
<표 2.297> PARTLOAD_WEIGHTING_FACTOR의 입력 예시 ····· 323
<표 2.298> RESULT테이블 ····· 324
<표 2.299> RESULT테이블 저장 및 계산 사례 ····· 325
<표 2.300> RESULT_RENEW테이블 ····· 325
<표 2.301> RESULT_RENEW테이블 입력 사례 ····· 325
<표 2.302> 1Zone 설정값 ····· 327
<표 2.303> 중량 모델 벽체 정보(남측기준) ····· 328
<표 2.304> 중간세대 경량 모델 벽체 정보(남측기준) ····· 328
<표 2.305> 한국태양에너지 학회 대한민국 표준 기상데이터(서울) ····· 329
<표 2.306> 기상데이터 ····· 329
<표 2.307> 시스템 구성 ····· 330
<표 2.308> 각 모델에서 설정된 히트펌프 용량 ····· 331
<표 2.309> Total Cooling Capacity Function of Temperature Curve 입력값 ····· 332
<표 2.310> Total Cooling Capacity Function of Flow fraction Curve 입력값 ····· 333
<표 2.311> Energy Input Ratio Function of Temperature Curve 입력값 ····· 333
<표 2.312> Energy Input Ratio Function of Temperature Curve 난방 산출법 ····· 334
<표 2.313> Energy Input Ratio Function of Temperature Curve 냉방 입력값 ····· 336
<표 2.314> Energy Input Ratio Function of Temperature Curve 냉방 산출법 ····· 336
<표 2.315> Total Cooling Capacity Function of Flow fraction Curve 입력값 ····· 339
<표 2.316> Total Cooling Capacity Function of Flow fraction Curve 입력값 ····· 339
<표 2.317> 통합냉방효율 산출 ····· 340
<표 2.318> 난방효율 산출 ····· 340
<표 2.319> 서울_중량_남_20도_난방 ····· 341
<표 2.320> 서울_중량_동_20도_난방 ····· 341
<표 2.321> 서울_중량_북_20도_난방 ····· 341
<표 2.322> 서울_중량_서_20도_난방 ····· 341
<표 2.323> 서울_중량_남_26도_냉방 ····· 342
<표 2.324> 서울_중량_동_26도_냉방 ····· 342
<표 2.325> 서울_중량_북_26도_냉방 ····· 342
<표 2.326> 서울_중량_서_20도_난방 ····· 342

<표 2.327> 서울_중간세대 경량_남_20도_난방 ····· 343
<표 2.328> 서울_중간세대 경량_동_20도_난방 ····· 343
<표 2.329> 서울_중간세대 경량_북_20도_난방 ····· 343
<표 2.330> 서울_중간세대 경량_서_20도_난방 ····· 343
<표 2.331> 서울_중량_남_26도_냉방 ····· 344
<표 2.332> 서울_중량_동_26도_냉방 ····· 344
<표 2.333> 서울_중량_북_26도_냉방 ····· 344
<표 2.334> 서울_중량_서_26도_냉방 ····· 344
<표 2.335> 월별 난방소비량 ····· 345
<표 2.336> 월별 난방소비량 ····· 345
<표 2.337> 월별 난방소비량 ····· 346
<표 2.338> 월별 난방소비량 ····· 346
<표 2.339> 월별 냉방소비량 ····· 347
<표 2.340> 월별 냉방소비량 ····· 347
<표 2.341> 월별 냉방소비량 ····· 348
<표 2.342> 월별 냉방소비량 ····· 348
<표 2.343> 월별 난방소비량 ····· 349
<표 2.344> 월별 난방소비량 ····· 349
<표 2.345> 월별 난방소비량 ····· 350
<표 2.346> 월별 난방소비량 ····· 350
<표 2.347> 월별 냉방소비량 ····· 351
<표 2.348> 월별 냉방소비량 ····· 351
<표 2.349> 월별 냉방소비량 ····· 352
<표 2.350> 월별 냉방소비량 ····· 352
<표 2.351> 난방 향별 연간 소비량 오차율 ····· 353
<표 2.352> 냉방 향별 연간 소비량 오차율 ····· 353
<표 2.353> 난방 향별 연간 소비량 오차율 ····· 354
<표 2.354> 냉방 향별 연간 소비량 오차율 ····· 354
<표 2.355> 난방 향별 연간 효율 오차율 ····· 354
<표 2.356> 냉방 향별 연간 소비량 오차율 ····· 354
<표 2.357> 난방 향별 연간 효율 오차율 ····· 355
<표 2.358> 냉방 향별 연간 효율 오차율 ····· 355
<표 2.359> 증기보일러(경유) DB 구축 요약 ····· 356
<표 2.360> 증기보일러(LNG) DB 구축 요약 ····· 356
<표 2.361> 온수보일러(경유) DB 구축 요약 ····· 357
<표 2.362> 온수보일러(LNG) DB 구축 요약 ····· 357
<표 2.363> 터보냉동기 DB 구축 요약 ····· 362
<표 2.364> 터보냉동기(인버터) DB 구축 요약 ····· 363
<표 2.365> 스크류냉동기 DB 구축 요약 ····· 363
<표 2.366> 흡수식냉동기(저온수2단) DB 구축 요약 ····· 364
<표 2.367> 흡수식냉동기(증기열원) DB 구축 요약 ····· 364
<표 3.1> 건축물 용도별 현장조사 대상 ····· 374
<표 3.2> 대상 건축물별 현장 조사 요소 ····· 375
<표 3.3> 건축물의 에너지 절감 항목 ····· 375
<표 3.4> 판매 시설의 에너지 저감 요소 분석 결과 ····· 377
<표 3.5> 업무 시설의 에너지 저감 요소들의 분석 결과 ····· 377
<표 3.6> 설비 부문 에너지 저감 리스트 ····· 378
<표 3.7> 상업용 건물의 개요 ····· 384

<표 3.8> 건물의 일반현황 ····· 384
<표 3.9> Design builder를 활용한 상업용 및 판매시설 건물의 모델형상 ····· 386
<표 3.10> 대상 건물별 기상데이터 확보 위치 ····· 386
<표 3.11> 상업용 건물의 냉·난방 열원설비 운영 스케줄 ····· 387
<표 3.12> 상업용 건물의 2013년도 냉난방 스케줄 ····· 387
<표 3.13> 상업용 건물의 2013년도 조명 운영 스케줄 ····· 387
<표 3.14> 상업용 건물의 공조기 운영 스케줄 ····· 388
<표 3.15> 판매시설의 냉·난방 열원설비 운영 스케줄 ····· 388
<표 3.16> 판매시설의 2013년도 냉난방 스케줄 ····· 388
<표 3.17> 판매시설의 2013년도 조명 운영스케줄 ····· 388
<표 3.18> 판매시설의 공조기 운영스케줄 ····· 388
<표 3.19> 상업용 건물 A의 엘리베이터 개요 ····· 389
<표 3.20> 상업용 건물 B의 엘리베이터 개요 ····· 389
<표 3.21> 상업용 건물 C의 엘리베이터 개요 ····· 389
<표 3.22> 상업용 건물 기타 설비기기의 월간 평균 에너지 사용량 ····· 389
<표 3.23> 판매시설 A의 엘리베이터 개요 ····· 390
<표 3.24> 판매시설 A의 무빙워크 개요 ····· 390
<표 3.25> 판매시설 B의 엘리베이터 개요 ····· 390
<표 3.26> 판매시설 B의 무빙워크 개요 ····· 391
<표 3.27> 판매시설 C의 엘리베이터 개요 ····· 391
<표 3.28> 판매시설 C의 무빙워크 개요 ····· 391
<표 3.29> 판매시설 기타 설비기기의 월간 평균 에너지 사용량 ····· 391
<표 3.30> 냉방 기간의 평균 온도별 시간빈도수 ····· 394
<표 3.31> 시간대별 온도차 분석을 통한 MODE 2 도출 ····· 394
<표 3.32> MODE 시간대별 유량 및 입출구 온도 측정 결과 ····· 395
<표 3.33> 현장 측정이 적용된 각 MODE별 산출 효율 값 ····· 396
<표 3.34> 판매시설 A의 냉방기간 운영 시간대별 평균 온도 ····· 396
<표 3.35> 판매시설 A의 계절효율계수 산출을 위한 Tn 도출 표 ····· 397
<표 3.36> 대상 설비기기의 오차율 ····· 398
<표 3.37> ASHRAE Guideline에 따른 신뢰성 검증 결과 ····· 401

그 림 목 차

[그림 1.1] 지구평균 온도변화 ····· 1
[그림 1.2] 건물부문 에너지 소비 현황 및 전망 ····· 2
[그림 1.3] ISO 13790에 근거한 건물에너지 성능평가법 ····· 3
[그림 1.4] ISO 13790에 근거한 건물에너지 성능평가 방법 ····· 4
[그림 1.5] ISO 13789에 근거한 국내기후특성이 적용된 건물의 열관류적 특성 ····· 5
[그림 1.6] Building Automation, Controls (BAC) factor 평가법 (EN 15232) ····· 5
[그림 1.7] 정부 온실가스 감축 목표 ····· 7
[그림 1.8] 신축 업무용 건축물의 에너지효율등급 ····· 7
[그림 1.9] EPBD 설명 ····· 13
[그림 1.10] 비주거용 건물해석프로그램 iSBEM (Simplified Building Energy Model) ····· 14
[그림 1.11] 영국의 공공건물 에너지성능인증서 ····· 14
[그림 1.12] 영국의 비주거용건물 에너지성능인증서 ····· 14
[그림 1.13] 영국의 주거용건물 에너지성능인증서 ····· 14
[그림 1.14] 일본에너지마크 ····· 14
[그림 1.15] Energy Star Building 마크 ····· 15
[그림 1.16] 덴마크 에너지등급서 ····· 15
[그림 2.1] 연구자료 활용방안 ····· 17
[그림 2.2] 건물 에너지 진단의 개선 방향 ····· 25
[그림 2.3] 실제 실내 온도의 측정 ····· 26
[그림 2.4] 실내온도 측정 방법의 제안 ····· 27
[그림 2.5] 건물에너지 성능 진단 프로세스 ····· 27
[그림 2.6] 업무용 건축물의 에너지 소비원단위(MJ/㎡y) ····· 37
[그림 2.7] 시뮬레이션 모델링 이미지 ····· 40
[그림 2.8] 설정값 변경에 따른 냉난방부하 추이 ····· 41
[그림 2.9] HVAC 모델 발전과정 ····· 49
[그림 2.10] EN 15243 에너지 논리 흐름도 ····· 50
[그림 2.11] 시뮬레이션 모델링 ····· 51
[그림 2.12] 변수에 따른 각 계산 기법의 난방부하량 ····· 52
[그림 2.13] 난방부하량 비교에서 계산 기법 상 서로 다른 등급을 보인 경우(ID 1~13사이) ····· 52
[그림 2.14] 난방부하량 비교에서 계산 기법 상 서로 다른 등급을 보인 경우(ID 14~23사이) ····· 53
[그림 2.15] 변수에 따른 각 계산 기법의 냉방 부하량 ····· 53
[그림 2.16] 냉방부하량 비교에서 계산 기법 상 서로 다른 등급을 보인 경우 ····· 54
[그림 2.17] DIN V 18599에 따른 건물 에너지 평가 프로세스 ····· 55
[그림 2.18] 배관길이 0.3m일 때 에너지 소비량(ECO2) ····· 56
[그림 2.19] 배관길이 0.3m일 때 에너지 소비량(ECO2) ····· 57
[그림 2.20] 배관길이 3m일 때 에너지 소비량(ECO2) ····· 58
[그림 2.21] ISO 13790 기반 국내 툴 입력데이터 비교 ····· 59
[그림 2.22] 침기 0일 때의 난방부하그래프 ····· 60
[그림 2.23] 침기 0.1일 때의 냉난방부하 그래프 ····· 60
[그림 2.24] EnergyPlus 모델링 ····· 61
[그림 2.25] 온열원기기의 난방성능 ····· 68

[그림 2.26] 냉열원기기의 냉방성능 ····· 68
[그림 2.27] 건물에너지 장비 성능 계수 범위 ····· 69
[그림 2.28] SCOP의 계산 범위 ····· 70
[그림 2.29] SCOP의 계산 범위내 제외 요소 ····· 70
[그림 2.30] SSEER의 계산 범위 ····· 71
[그림 2.31] SSEER의 계산 범위내 제외 요소 ····· 71
[그림 2.32] HWSCOP의 계산 범위 ····· 72
[그림 2.33] 배기구가 설치된 조명장치의 두가지 예 ····· 74
[그림 2.34] SFP의 정의 ····· 75
[그림 2.35] SFP의 계산범위 ····· 75
[그림 2.36] 한국형 EPC 도출 방법 ····· 78
[그림 2.37] EnergyPlus 모델링 ····· 79
[그림 2.38] 6월 흡수식 냉동기_COP ····· 80
[그림 2.39] 8월 흡수식 냉동기_COP ····· 80
[그림 2.40] 5월 압축식 냉동기_COP ····· 80
[그림 2.41] 8월 압축식 냉동기_COP ····· 80
[그림 2.42] 6월 히트펌프 냉방_COP ····· 81
[그림 2.43] 9월 히트펌프 냉방_COP ····· 81
[그림 2.44] 2월 히트펌프 난방_COP ····· 81
[그림 2.45] 2월 히트펌프 난방_CO ····· 81
[그림 2.46] 6월 흡수식 냉동기_공급량 ····· 81
[그림 2.47] 8월 흡수식 냉동기_공급량 ····· 81
[그림 2.48] 5월 압축식 냉동기_공급량 ····· 82
[그림 2.49] 8월 압축식 냉동기_공급량 ····· 82
[그림 2.50] 6월 히트펌프 냉방_공급량 ····· 82
[그림 2.51] 9월 히트펌프 냉방_공급량 ····· 82
[그림 2.52] 히트펌프 난방_공급량 ····· 82
[그림 2.53] 히트펌프 난방_공급량 ····· 82
[그림 2.54] 기존 ISO 13790 기반 툴, ISO 13790 기반 툴(효율계수 적용), 동적 시뮬레이션 비교 ····· 83
[그림 2.55] 에너지소비량 측정기기 ····· 102
[그림 2.56] 기존 건축물의 성능평가 프로세스 제시 ····· 103
[그림 2.57] 운영현황이 고려된 기존 건축물 에너지 성능평가 프로세스 제시 ····· 104
[그림 2.58] 표준기상데이터(TMY) 와 실제 기상데이터(AMY)의 비교 ····· 105
[그림 2.59] Simulation 프로그램의 결과를 바탕으로 한 평가보고서 작성 예 ····· 106
[그림 2.60] 판매시설 A 총 에너지 사용량 ····· 110
[그림 2.61] 판매시설 B 총 에너지 사용량 ····· 111
[그림 2.62] 판매시설 C 총 에너지 사용량 ····· 112
[그림 2.63] 전력사용량(2012년도) ····· 113
[그림 2.64] 가스사용량(2012년도) ····· 114
[그림 2.65] A동 월별 총 난방 유량 사용량(㎥) ····· 114
[그림 2.66] 세대 구분 평면도 ····· 115
[그림 2.67] 세대별 구분 입면도 ····· 116
[그림 2.68] 세대 위치별(1층~14층) 월평균 난방 사용 유량(㎥) 비교 그래프 ····· 116
[그림 2.69] 층별(1층, 7층, 14층) 구분 입면도 ····· 117
[그림 2.70] 층별 난방 사용 유량(㎥) 비교 그래프 ····· 118
[그림 2.71] 건물의 에너지 소비요소에 대한 개념도 ····· 121
[그림 2.72] 건물 에너지 Retrofit을 위한 요소별 적용 순서 ····· 122
[그림 2.73] 설비기기 계통도와 측정위치 ····· 124

[그림 2.74] 보일러 계통도와 측정위치 ····· 125
[그림 2.75] 냉동기 계통도와 측정위치 ····· 126
[그림 2.76] 공조기 계통도와 측정위치 ····· 127
[그림 2.77] 냉동기 COP값 향상에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 129
[그림 2.78] 보일러 출구수온 하강에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 129
[그림 2.79] 보일러 효율 상승 ····· 130
[그림 2.80] 냉동기 출구수온 상승 ····· 130
[그림 2.81] 온수 배관 온도 하강 ····· 131
[그림 2.82] 냉동기 COP 향상 ····· 131
[그림 2.83] 보일러 출구수온 상승 ····· 132
[그림 2.84] 보일러 효율 상승 ····· 132
[그림 2.85] 냉동기 출구수온 상승 ····· 133
[그림 2.86] 온수 배관 온도 하강 ····· 133
[그림 2.87] 팬코일 유닛의 팬 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률 ····· 134
[그림 2.88] 냉동기 펌프 효율 상승 ····· 134
[그림 2.89] 냉각탑 펌프 효율 상승 ····· 135
[그림 2.90] 에어 핸들링 유닛(AHU) 팬 효율 상승 ····· 135
[그림 2.91] 팬코일 유닛(FCU) 모터 효율 상승 ····· 136
[그림 2.92] 에어 핸들링 유닛(AHU) 모터 효율 상승 ····· 136
[그림 2.93] 팬코일 유닛(FCU) 팬 효율 상승 ····· 137
[그림 2.94] 냉동기 펌프 효율 상승 ····· 137
[그림 2.95] 냉각탑 펌프 효율 상승 ····· 138
[그림 2.96] 에어 핸들링 유닛(AHU) 팬 효율 상승 ····· 138
[그림 2.97] 팬코일 유닛(FCU) 모터 효율 상승 ····· 139
[그림 2.98] 에어 핸들링 유닛(AHU) 모터 효율 상승 ····· 139
[그림 2.99] VAV 공조 방식의 적용 ····· 140
[그림 2.100] 폐열회수 시스템의 적용 ····· 141
[그림 2.101] 예냉 설비의 적용 ····· 141
[그림 2.102] 예열 설비의 적용 ····· 142
[그림 2.103] VAV 공조 방식의 적용 ····· 143
[그림 2.104] 폐열회수 시스템의 적용 ····· 143
[그림 2.105] 예냉 설비의 적용 ····· 144
[그림 2.106] 예열 설비의 적용 ····· 145
[그림 2.107] 고효율 LED 사용 ····· 145
[그림 2.108] 고효율 LED + 조명 발열 배기설비 활용 ····· 146
[그림 2.109] 고효율 LED 사용 ····· 147
[그림 2.110] 고효율 LED + 조명 발열 배기설비 활용 ····· 147
[그림 2.111] AHU+FCU 성능개선 ····· 148
[그림 2.112] 냉동기+보일러 성능개선 ····· 149
[그림 2.113] 냉동기+냉각탑 성능개선 ····· 149
[그림 2.114] AHU+FCU 성능개선 ····· 150
[그림 2.115] 냉동기+보일러 성능개선 ····· 151
[그림 2.116] 냉동기+냉각탑 성능개선 ····· 151
[그림 2.117] 측벽 성능 개선 시뮬레이션 결과 값 ····· 152
[그림 2.118] 외벽 성능 개선 시뮬레이션 결과 ····· 153
[그림 2.119] 창호 성능 개선 시뮬레이션 결과 값 ····· 154
[그림 2.120] 최하층 바닥 성능 개선 시뮬레이션 결과 값 ····· 155
[그림 2.121] 지붕 성능 개선 시뮬레이션 결과 값 ····· 156

[그림 2.122] 내단열, 외단열 난방부하 비교 그래프 ····· 157
[그림 2.123] 외단열 성능 개선 시뮬레이션 결과 값 ····· 157
[그림 2.124] 3-c 세대 난방/비난방 시 수평 인접세대 난방부하 ····· 158
[그림 2.125] 비난방 세대에 접한 난방세대의 세대간 내벽 성능 개선 시뮬레이션 그래프 ····· 159
[그림 2.126] 3-c 세대 난방/비난방 시 수직 인접세대 난방부하 ····· 160
[그림 2.127] 비난방 세대에 접한 난방세대의 세대간 바닥 성능 개선 시뮬레이션 그래프 ····· 160
[그림 2.128] 건물의 에너지 소비요소에 대한 개념도 ····· 163
[그림 2.129] 창문의 Heat-Balance 관계도 ····· 171
[그림 2.130] 유리의 일사 획득 과정(G-Value) ····· 171
[그림 2.131] 태양 고도별 일사 획득 보정 ····· 172
[그림 2.132] 차양 돌출각도 : a) 수직 차양 b) 수평 차양 ····· 175
[그림 2.133] 발코니로 인한 온실효과 및 차양효과 ····· 177
[그림 2.134] 환기 기본 개념도 ····· 178
[그림 2.135] 총 실내발열량 구조 ····· 180
[그림 2.136] 배기구가 설치된 조명장치의 두가지 예 ····· 182
[그림 2.137] 존 분배의 차이 ····· 184
[그림 2.138] 존별 경로 지정 개념 ····· 184
[그림 2.139] 예상 결과물 예시: 1-2인 소형 공동 주택 급탕량 계산 모델 ····· 185
[그림 2.140] 태양광발전 Data Model ····· 185
[그림 2.141] 태양열 Model data ····· 186
[그림 2.142] 풍력발전 Data Model ····· 189
[그림 2.143] 연료전지 Data Model ····· 191
[그림 2.144] 외벽 열획득 손실 프로세스 ····· 193
[그림 2.145] 내측 재료 ····· 196
[그림 2.146] 프로그램 요소의 관계도(UI와 엔진은 독립적으로 DB에 연결한다) ····· 197
[그림 2.147] 트리구조와 UserInterface와 DB 연계도 ····· 198
[그림 2.148] 열원 플란트 정보 및 관리 ····· 199
[그림 2.149] 죤노드에서 플란트(열원,냉열원)를 선택하는 화면 ····· 199
[그림 2.150] 모델의 외관 ····· 200
[그림 2.151] <표 2.158>에 대한 난방 부하 비교 그래프 ····· 205
[그림 2.152] <표 2.161>에 대한 냉방 부하 비교 그래프 ····· 206
[그림 2.153] Comparison of monthly heating load (contineous operation) ····· 210
[그림 2.154] Comparison of monthly cooling load (contineous operation) ····· 210
[그림 2.155] Error rates of heating loads (South side) ····· 212
[그림 2.156] Error rates of cooling loads (South side) ····· 213
[그림 2.157] 히트 펌프 시스템 모델 구성도 ····· 214
[그림 2.158] 외기온도에 따른 난방 COP 곡선 ····· 216
[그림 2.159] 외기 온도에 따른 냉방 COP 곡선 ····· 217
[그림 2.160] 난방 2차 에너지 ····· 221
[그림 2.161] 냉방 2차 에너지 ····· 221
[그림 2.162] 실내, 실외 온도 ····· 221
[그림 2.163] 계절효율계수의 개념 및 산출방법 ····· 235
[그림 2.164] 월 시간대별 외기온도 분포 및 경향 그래프를 통한 MODE ② 도출 ····· 238
[그림 2.165] 평균 온도에 대한 오전/오후별 시간빈도수 도출 ····· 238
[그림 2.166] 소비량 보정 프로세스의 개념 및 Retrofit 프로세스 적용 방안 ····· 239
[그림 2.167] Design builder에 적용 가능한 기상데이터를 제공하는 weather analytics ····· 243
[그림 2.168] Simulation에 적용 가능한 전년도 기상데이터(AMY) 파일 (.epw 형식) ····· 243
[그림 2.169] 상업용 건물의 건물관리 프로그램 (BEMS) ····· 244

[그림 2.170] 대안별 가치지수 산출 예시 ····· 252
[그림 2.171] 중량모델 ····· 263
[그림 2.172] 인접존모델 ····· 263
[그림 2.173] 난방 유효 계수에 대한 획득/손실 비율 ····· 268
[그림 2.174] 냉방 유효 계수에 대한 손실/획득 비율 ····· 268
[그림 2.175] 월별 난방 부하 비교(연속운전), 초중량 ····· 270
[그림 2.176] 월별 냉방 부하 비교(연속운전), 초중량 ····· 270
[그림 2.177] 월별 난방 부하 비교(연속운전), 중량 ····· 271
[그림 2.178] 월별 냉방 부하 비교(연속운전), 중량 ····· 271
[그림 2.179] 월별 난방 부하 비교(연속운전), 중간세대 경량 ····· 272
[그림 2.180] 월별 냉방 부하 비교(연속운전), 중간세대 경량 ····· 272
[그림 2.181] 상업용 건물 A 월별 전기 및 가스 에너지 소비량 ····· 278
[그림 2.182] 상업용 건물 B 월별 전기 및 가스 에너지 소비량 ····· 279
[그림 2.183] 상업용 건물 C 월별 전기 및 가스 에너지 소비량 ····· 279
[그림 2.184] 2013년도 상업용 건물 A, B, C 전력사용량 ····· 280
[그림 2.185] 2013년도 상업용 건물 A, B, C 가스사용량 ····· 280
[그림 2.186] 판매시설 A 월별 전기 및 가스 에너지 소비량 ····· 281
[그림 2.187] 판매시설 B 월별 전기 및 가스 에너지 소비량 ····· 281
[그림 2.188] 판매시설 C 월별 전기 및 가스 에너지 소비량 ····· 282
[그림 2.189] 2013년도 판매시설 A, B, C 전력사용량 ····· 282
[그림 2.190] 2013년도 판매시설 A, B, C 가스사용량 ····· 282
[그림 2.191] 상업용 건물 A의 냉온수기 부분부하효율 패턴 ····· 284
[그림 2.192] 상업용 건물 B의 냉온수기 부분부하효율 패턴 ····· 286
[그림 2.193] 상업용 건물 C의 냉온수기 부분부하효율 패턴 ····· 288
[그림 2.194] 냉온수기의 유량 측정(좌) 및 입출구 온도 측정(우) ····· 289
[그림 2.195] 판매시설 A의 냉온수기 부분부하효율 패턴 ····· 292
[그림 2.196] 판매시설 B의 냉동기 부분부하효율 패턴 ····· 294
[그림 2.197] 판매시설 C의 냉동기 부분부하효율 패턴 ····· 296
[그림 2.198] 상업용 건물 A의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프 ····· 297
[그림 2.199] 상업용 건물 B의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프 ····· 298
[그림 2.200] 상업용 건물 C의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프 ····· 299
[그림 2.201] 판매시설 A의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프 ····· 300
[그림 2.202] 판매시설 B의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프 ····· 301
[그림 2.203] 판매시설 C의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프 ····· 302
[그림 2.204] 대상 건물별 모델결과 추이 - MBE ····· 305
[그림 2.205] 대상 건물별 모델결과 추이 - Cv(RMSE) ····· 305
[그림 2.206] 기존 건물의 성능평가 및 Retrofit 표준 프로세스 순서도 ····· 312
[그림 2.207] 난방기기의 기기 운전 효율(SCOP)의 계산 범위 ····· 313
[그림 2.208] 냉열원기기의 효율용어 ····· 314
[그림 2.209] 냉방부하산포도 예 (냉방부하시간:2,500시간인 경우) ····· 315
[그림 2.210] 소요량 도출 프로세스 ····· 317
[그림 2.211] 공조기를 통한 PLANT연결 (존1 예) ····· 318
[그림 2.212] PLANT배관이 존에 직접 연결(존2 예) ····· 318
[그림 2.213] 1존에 PLANT가 2개 연결(존3 예) ····· 318
[그림 2.214] 존의 설비선택 ····· 318
[그림 2.215] 공조기의 열원선택 ····· 319
[그림 2.216] 중량 구조체(좌)와 중간세대 경량구조체(우) ····· 326
[그림 2.217] 단독건물 Building Surface Detailed ····· 327

[그림 2.218] 중간세대 경량 Building Surface Detailed ····· 327
[그림 2.219] 기기시스템 모델 구성도 ····· 330
[그림 2.220] 운전 스케쥴 ····· 331
[그림 2.221] 남향_초중량, 월별 난방 소비량 비교 ····· 345
[그림 2.222] 동향_초중량, 월별 난방 소비량 비교 ····· 346
[그림 2.223] 북향_초중량, 월별 난방 소비량 비교 ····· 346
[그림 2.224] 서향_초중량, 월별 난방 소비량 비교 ····· 347
[그림 2.225] 남향_초중량, 월별 냉방 소비량 비교 ····· 347
[그림 2.226] 동향_초중량, 월별 냉방 소비량 비교 ····· 348
[그림 2.227] 북향_초중량, 월별 냉방 소비량 비교 ····· 348
[그림 2.228] 서향_초중량, 월별 냉방 소비량 비교 ····· 349
[그림 2.229] 남향_중간세대 경량, 월별 난방 소비량 비교 ····· 349
[그림 2.230] 동향_중간세대 경량, 월별 난방 소비량 비교 ····· 350
[그림 2.231] 북향_중간세대 경량, 월별 난방 소비량 비교 ····· 350
[그림 2.232] 서향_중간세대 경량, 월별 난방 소비량 비교 ····· 351
[그림 2.233] 남향_중간세대 경량, 월별 냉방 소비량 비교 ····· 351
[그림 2.234] 동향_중간세대 경량, 월별 냉방 소비량 비교 ····· 352
[그림 2.235] 북향_중간세대 경량, 월별 냉방 소비량 비교 ····· 352
[그림 2.236] 서향_중간세대 경량, 월별 냉방 소비량 비교 ····· 353
[그림 2.237] 검증방향 ····· 355
[그림 2.238] D사 증기보일러(경유) 성능변화 ····· 358
[그림 2.239] D사 증기보일러(LNG) 성능변화 ····· 358
[그림 2.240] B사 증기보일러(경유) 성능변화 ····· 359
[그림 2.241] B사 증기보일러(LNG) 성능변화 ····· 359
[그림 2.242] D사 진공온수보일러(경유) 성능변화 ····· 360
[그림 2.243] D사 진공온수보일러(LNG) 성능변화 ····· 360
[그림 2.244] D사 중온수보일러(경유) 성능변화 ····· 361
[그림 2.245] B사 진공온수보일러(경유) 성능변화 ····· 361
[그림 2.246] B사 진공온수보일러LNG) 성능변화 ····· 361
[그림 2.247] T사 터보냉동기 성능변화 ····· 365
[그림 2.248] C사 터보냉동기 성능변화 ····· 365
[그림 2.249] Y사 터보냉동기 성능변화 ····· 365
[그림 2.250] L사 터보냉동기(1단) 성능변화 ····· 366
[그림 2.251] L사 터보냉동기(2단) 성능변화-1 ····· 366
[그림 2.252] L사 터보냉동기(2단) 성능변화-2 ····· 366
[그림 2.253] T사 터보냉동기 성능변화 ····· 367
[그림 2.254] C사 터보냉동기 성능변화 ····· 367
[그림 2.255] Y사 터보냉동기 성능변화 ····· 367
[그림 2.256] L사 터보냉동기(1단) 성능변화 ····· 368
[그림 2.257] L사 터보냉동기(2단) 성능변화 ····· 368
[그림 2.258] C사 터보냉동기(인버터) 성능변화 ····· 368
[그림 2.259] 터보냉동기(인버터) 성능변화 ····· 369
[그림 2.260] 스크류냉동기 성능변화 ····· 369
[그림 2.261] 스크류냉동기 성능변화 ····· 369
[그림 2.262] 부분부하별 COP ····· 370
[그림 2.263] 부분부하별 COP ····· 370
[그림 3.1] 건물에너지 성능 진단 프로세스 ····· 374
[그림 3.2] Simulation 결과 값의 정확성 확보를 위한 보정 프로세스 ····· 376

[그림 3.3] 건물 에너지 Retrofit을 위한 요소별 적용 순서 및 개념 ····· 376
[그림 3.4] 기존 건물의 성능평가 및 Retrofit 표준 프로세스 순서도 ····· 379
[그림 3.5] 소비량 보정 프로세스의 개념 및 Retrofit 프로세스 적용 방안 ····· 379
[그림 3.6] 건축물 에너지 성능 표준 평가 툴(BEST 유저인터페이스) ····· 381
[그림 3.7] 소비량 보정 프로세스의 개념 및 Retrofit 프로세스 적용 방안 ····· 385
[그림 3.8] Design builder에 적용 가능한 기상데이터를 제공하는 weather analytics ····· 387
[그림 3.9] Simulation에 적용 가능한 전년도 기상데이터(AMY) 파일 (.epw 형식) ····· 387
[그림 3.10] 판매시설 A 월별 전기 및 가스 에너지 소비량 ····· 392
[그림 3.11] 판매시설 B 월별 전기 및 가스 에너지 소비량 ····· 392
[그림 3.12] 상업용 건물 C 월별 전기 및 가스 에너지 소비량 ····· 393
[그림 3.13] 2013년도 판매시설 A, B, C 전력사용량 ····· 393
[그림 3.14] 2013년도 판매시설 A, B, C 가스사용량 ····· 393
[그림 3.15] 냉온수기의 유량 측정(좌) 및 입출구 온도 측정(우) ····· 395
[그림 3.16] 판매시설 A의 냉온수기 부분부하효율 패턴 ····· 398
[그림 3.17] 상업용 건물 A의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프 ····· 399
[그림 3.18] 상업용 건물 B의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프 ····· 399
[그림 3.19] 상업용 건물 C의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프 ····· 399
[그림 3.20] 판매시설 A의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프 ····· 400
[그림 3.21] 판매시설 B의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프 ····· 400
[그림 3.22] 판매시설 C의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프 ····· 400
[그림 3.23] 대상 건물별 모델결과 추이 - MBE ····· 402
[그림 3.24] 대상 건물별 모델결과 추이 - Cv(RMSE) ····· 402

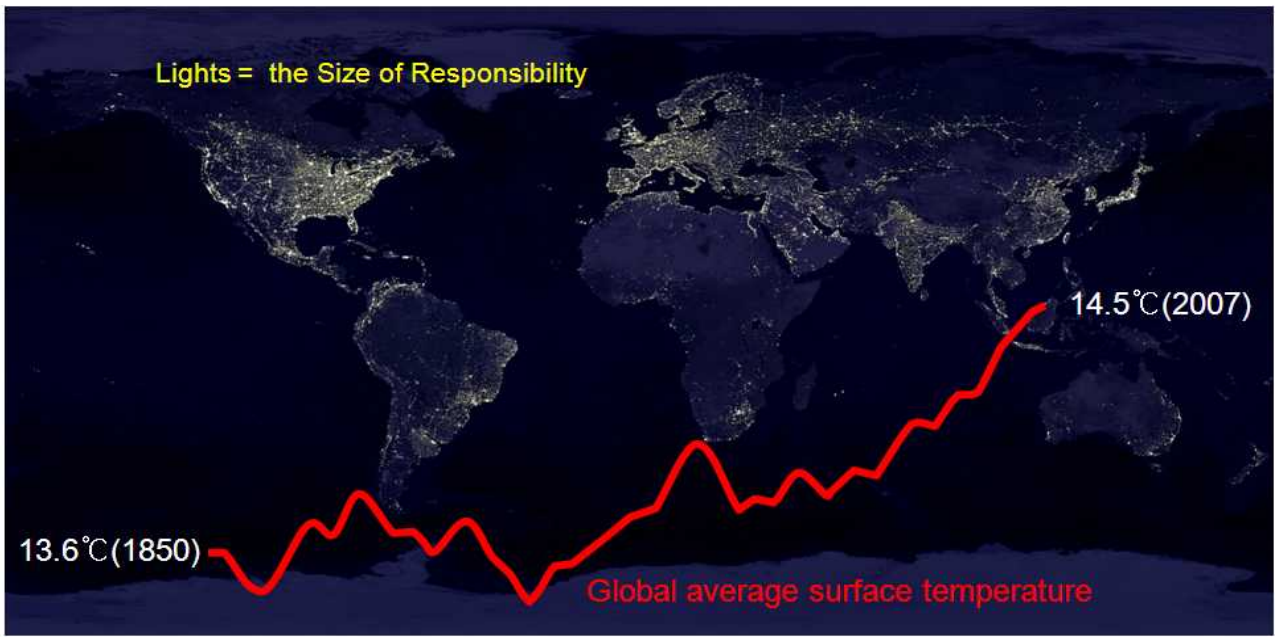
제 1 장 연구개발과제 개요

제 1절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발 목적

○ 우리나라의 2005년 국가 온실가스 총 배출량은 594백만C02톤으로 1990년 대비 99% 증가하였고, OECD 국가중(2005년) 10위 (증가율은 1위)에 이르렀다[1] 우리나라는 2013-2017년 온실가스를 줄이는 2차 의무감축 대상국에 포함될 가능성이 높아 이에 대한 적극적인 대응이 요구된다.

○ 지난 100년간 지구온난화현상으로 지구 연평균 기온 0.74℃ 상승하였으며, 우리나라의 기온은 100년간 약 1.5℃ 상승하여 세계 평균을 상회하였다. 특히 서울은 지난 100년간 약2℃ 증가로 전 지구 평균 증가치의 약 3배가 상승하였다.



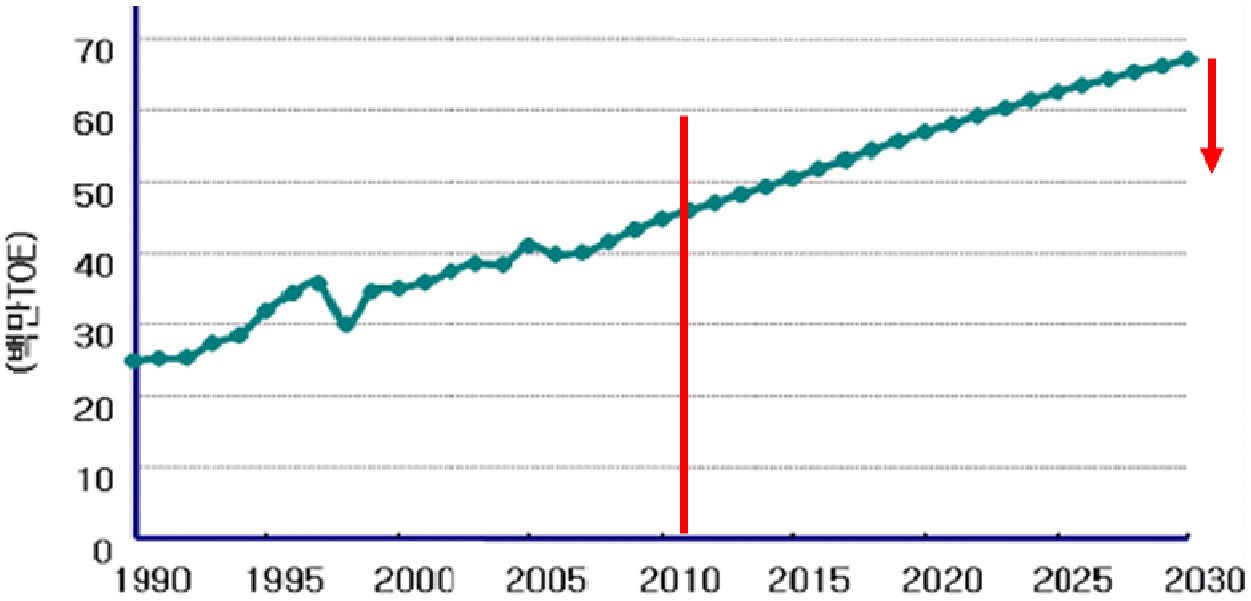
[그림 1.1] 지구평균 온도변화

○ 온실가스 및 지구온난화 문제 등으로 인해 전 세계 각국에서는 에너지절약형 건물의 보급, 확산을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 과거 건물에서의 에너지 절약은 단순히 경제적 측면에서의 당위성이 강조되었다고 한다면 지금은 경제적 측면과 더불어 지구온난화 방지라고 하는 환경적 측면에서의 당위성이 함께 강조되고 있는 상황이다.

○ 국내 에너지 소비량의 약 22.3%를 건물 분야에서 차지하고 있다. 건물부문의 에너지 소비 비중은 개발이 진행될수록 산업과 수송부문의 비중이 높아져 감소하지만 선진국으로 갈수

1) 녹색성장위원회, 국가온실가스중기 (2020 년 감축목표설정추진계획, 7쪽, 2009. 8)

록 에너지 집약적 산업에서 탈피하고 서비스 산업의 비중이 높아짐에 따라 다시 증가하는 경향을 보인다. 미국, 영국 등에서는 약 40%의 에너지가 건물부문에서 소비되고 있으며 전력에너지의 소비 비중은 76%에 이른다.[2] 선진국형 산업구조로 변할수록 그 비율의 증가가 예상되고 있으며 현재 약 4,500만TOE에서 2030년에 약 6,800만TOE로 지속적인 증가세를 보일 것으로 예상된다.



[그림 1.2] 건물부문 에너지 소비 현황 및 전망

○ 건물 성능시뮬레이션 프로그램은 건물의 에너지 사용, 열쾌적, 실내공기질, 조도 등과 같은 건물의 성능을 평가하기 위한 툴이 주로써, 다양한 학문분야의 총합으로 이뤄졌으며, 건물 성능에 대한 예측을 위해 수치적인 방법(numerical methods)을 사용하는 동적인 시뮬레이션 도구로써 건물의 물리적 거동을 설명하기 위해 수학적 모델을 통한 계산을 수행한다.

○ 건물성능 시뮬레이션 프로그램의 사용이 크게 증진되었지만, 현재의 컴퓨터 시뮬레이션은 때때로 1,000개 이상의 입력변수를 포함하기 때문에 입력변수들의 불확실성을 고려하는 접근과 결과의 품질에 대한 검증이 요구된다. 계산엔진의 정확성과 함께 입력 데이터를 올바로 준비하는 것이 필수적이고 이를 관리하여 효과적으로 공유하는 시스템이 필요하다.

○ WTO/FTA에 따른 건설시장개방에 대비하여 국제표준(ISO), 유럽연합표준(EN)과 부합하는 표준 평가모델로써 건물의 에너지성능 향상을 유도하기 위하여 간편하며, 공정한 건물 에너지 성능 평가를 위한 계산방법과 구체적인 적용변수의 정립이 요구된다.

○ 새로운 건물 에너지 규제에 대한 건물 에너지 요소 기술의 가이드라인과 평가 툴 부재로 이에 대응할 수 있는 표준화된 건물 에너지성능 평가모델 및 성능개선 프로세스 표준화 개발이 필요하다.

○ 본 과제에서 목표중 하나인 설계 건물의 평가 방법론 완성과 실제 활용도를 높이기 위한 방

2) Architects and Climate Change, 2008, AIA

안으로 국제기준에 입각한 표준화 구축 및 건물에너지 관련 제도의 시장 수용성이 높은 평가 툴 개발이 요구된다.

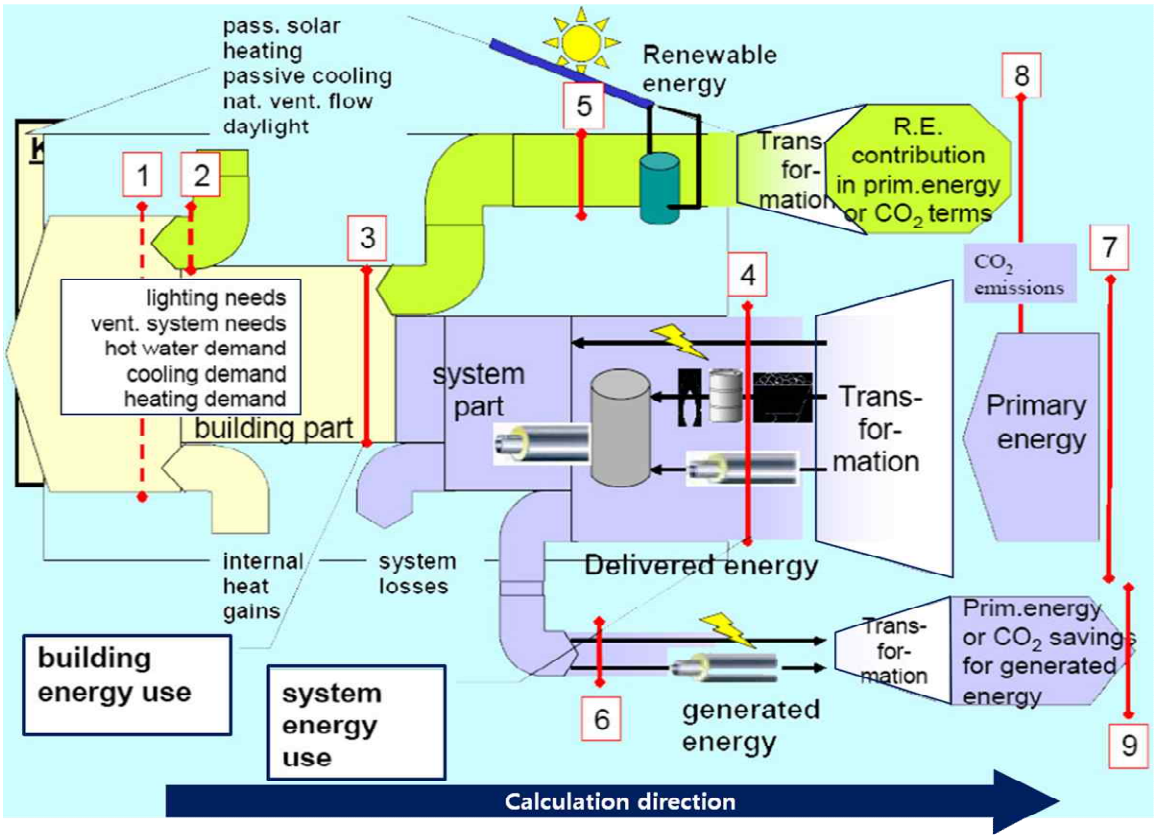
○ 우리나라 총 건물 수는 6,327,526동(4,699,812 천㎡ ; 2004.12.31 기준)으로 넓은 의미에서 모두 기존 건물로 분류할 수 있다. 매년 신축되는 건물이 120,231동(111,506 천㎡ ;2005년 기준 : 건설교통부 통계자료, 건축허가현황)으로서 기존 건물의 약1.9%를 나타내고 있다. 이들 신축건물 또한 준공 후 건물이 사용되기 시작하면 바로 기존 건물 범주에 포함되는 것이므로 기존 건물이 차지하는 비율이 절대적임을 알 수 있다.

○ 따라서 기존 건물의 자체 개보수 또는 운영방법의 개선 등을 고려하여 에너지 절약을 유도할 수 있다. 이는 정확한 데이터 구축과 이를 평가할 수 있는 제도 및 프로그램을 필요로 한다. 또한 에너지 효율 향상을 위한 건축주의 적극적인 참여를 유도하기 위한 정부차원의 정책 및 제도 구축, 세제 지원 등 많은 변화에 동승할 수 있는 평가 프로그램이 필요하다.

2. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면에서의 연구개발 필요성

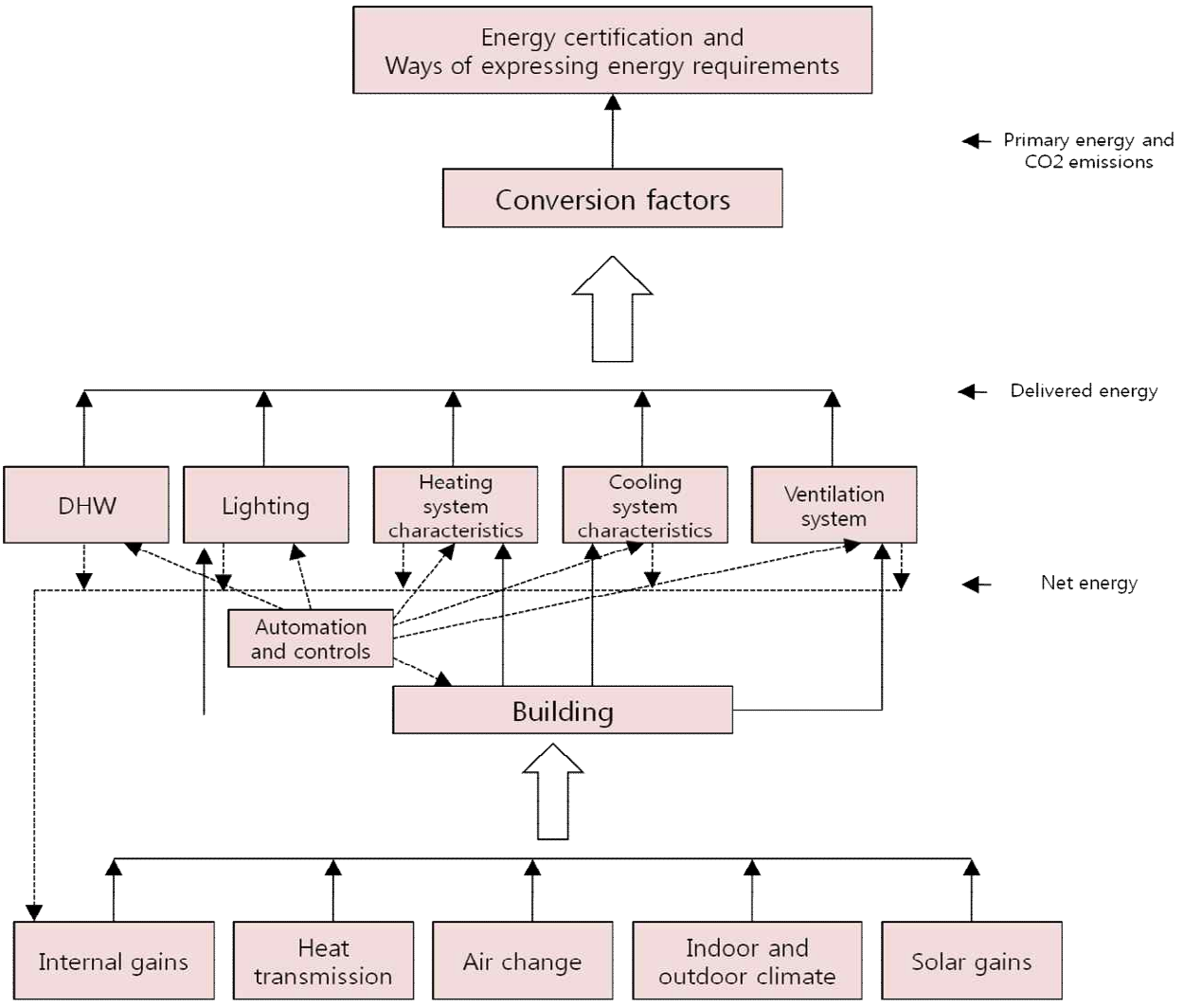
○ 기존건물의 경과시간에 따른 단순 에너지 성능개선 전략은 자원의 낭비와 비효율성을 초래한다. 따라서 건물의 전 생산 단계(설계, 준공후, 개보수)에서 실질적인 에너지 성능개선 프로세스를 정립한 에너지 성능지표의 표준 평가 툴 활용으로 건물 에너지 저감 유도가 필요하다.



[그림 1.3] ISO 13790에 근거한 건물에너지 성능평가법

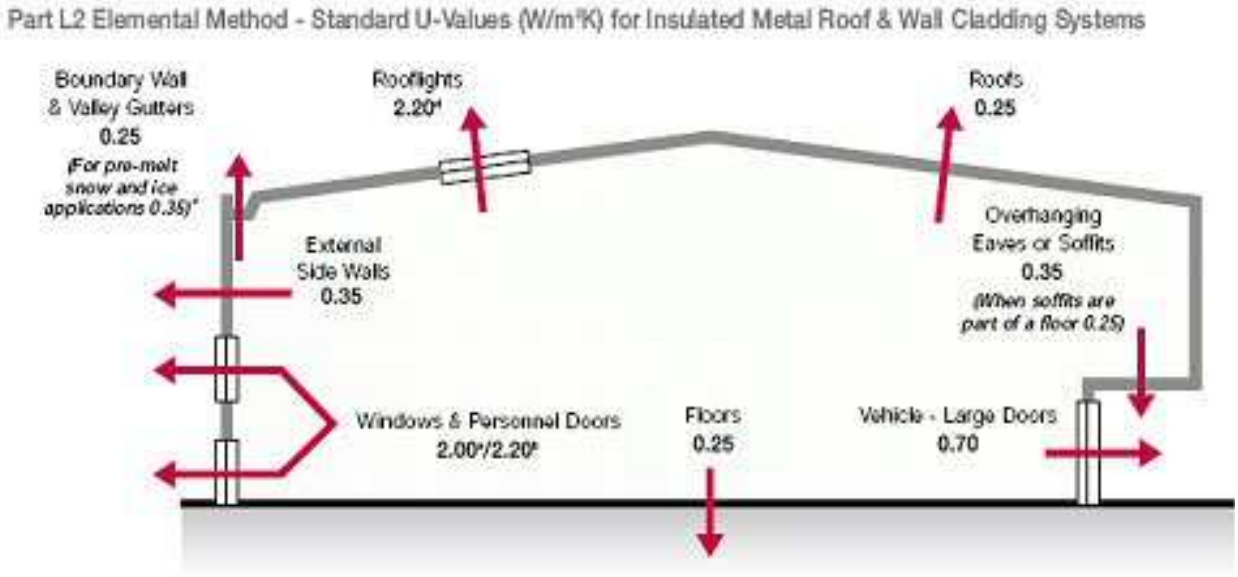
○ ISO 13790를 기반으로 국내 적용 가능한 건물 에너지성능 평가모델 및 성능개선 프로세스 표준화 개발이 필요하다. (월별 난방/냉방/환기/급탕/조명에너지 요구량 및 탄소배출량 산정, 월별 및 연간 에너지 소요량 산정, 연간 1차/2차 에너지 소요량 비교제시) ISO13790 의 부하량 계산 법 외 ISO13789의 열관류 특성 분석, EN15232 BEMS(Building Energy Management System)평가법 기준 등을 다각도로 검토하여 시스템 평가 표준모델 구축을 위한 국내특성을 반영한 기준 도출.

○ 동적 시뮬레이션과의 오차범위를 줄이기 위한 조정 요소의 분석 및 향후 도입이 늘어나는 건물 에너지 관리 시스템의 요소를 고려함으로서 미래 수요를 반영 하도록 함.



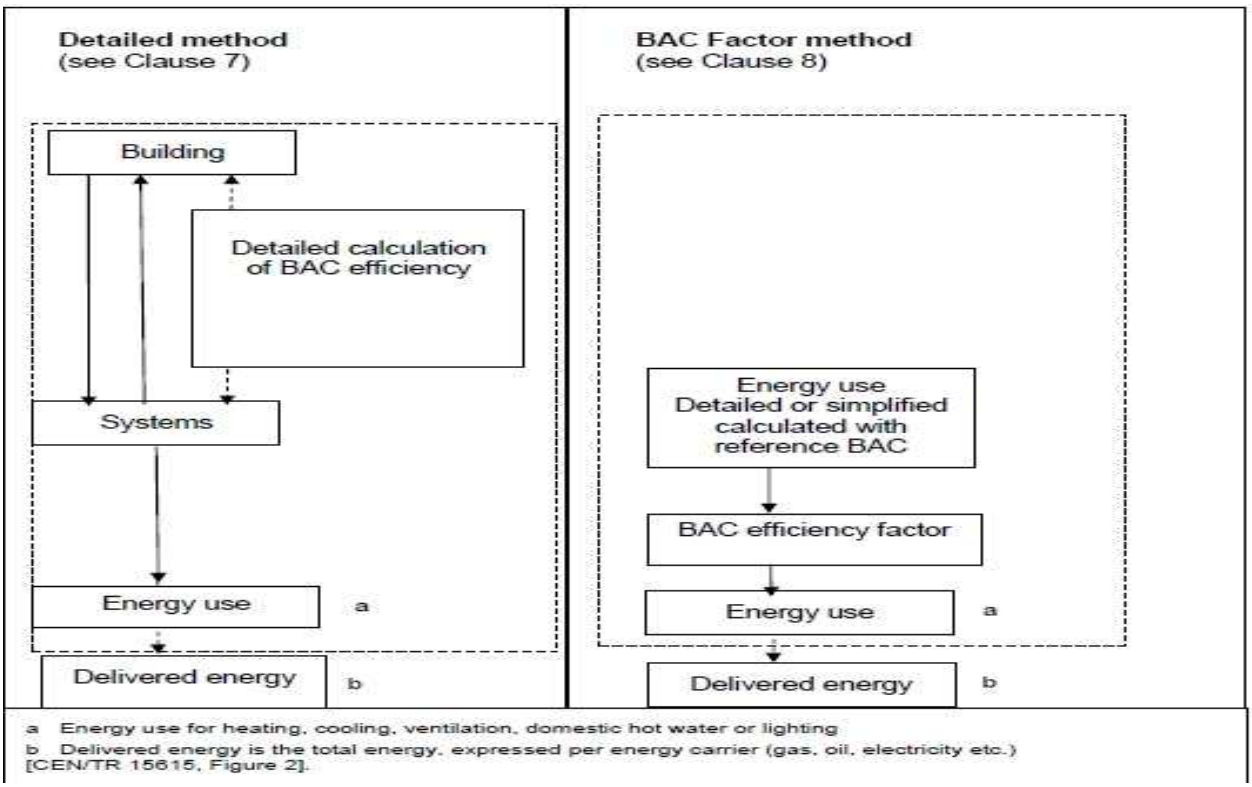
[그림 1.4] ISO 13790에 근거한 건물에너지 성능평가 방법

○ ISO 13789를 기반으로 국내 기후특성을 반영한 건물 외피 열성능 평가법을 고려하여 건물 에너지성능 평가모델 및 성능개선 프로세스 표준화 개발에 반영.



[그림 1.5] ISO 13789에 근거한 국내기후특성이 적용된 건물의 열관류적 특성

○ EN 15232(Energy performance of buildings – Impact of Building Automation, Controls and Building Management)를 기반으로 건물 운영시 BACS 효율성에 대한 계산 방법을 검토하여 BEMS 기반 건물의 평가법 기준을 검토 할 필요가 있다.



[그림 1.6] Building Automation, Controls (BAC) factor 평가법 (EN 15232)

○ 건축 환경/설비/에너지 관련기술의 통합과 각종 인증제도의 에너지 평가방법의 통일, 성능평가 중심의 기술 표준화 정립이 필요하다. 또한, 건물의 에너지성능 향상을 유도하기 위하

여 간편하며, 공정한 건물 에너지 성능 평가를 위한 계산방법과 구체적인 적용변수의 정립이 필요하다.

○ 건축 설계 시 건축 디자인과 패시브적인 에너지 요소 기술 뿐 아니라 액티브한 에너지 요소 기술 (건물일체형 태양전지 시스템 등)적용에 따른 에너지 효율 측정을 위한 기술적인 요소가 요구되고 있다.

○ 건물 에너지 성능 평가의 경우 계산엔진의 정확성과 함께 입력 데이터를 올바로 준비하는 것이 필수이고 이를 관리하여 효과적으로 공유해야 한다. 현재 이를 공유할 수 있는 시스템이 부재하며, 더욱이 건축물 데이터 통합 및 데이터베이스화 가 이뤄지지 않아 건물 성능 평가 프로세스에 관한 객관적인 비교 및 분석이 어려워 공정성 및 신뢰성을 판단하기 어려운 실정이다. 국내에서도 건물에너지 시뮬레이션에 있어 데이터베이스를 확립하고 건축물 설계 단계에서 건물에너지 시뮬레이션을 수행하여 각각의 에너지 절감요소에 대한 에너지 절감 효과와 에너지 생산량에 대한 정량적 분석이 필요하다.

나. 경제 산업적 측면에서의 연구개발 필요성

○ 국제적인 온실가스 감축 목표에 부합하고, 가스와 열 부분의 수요관리 제도를 활성화하기 위해서는 건물에서 사용되는 통합적 에너지 소요량과 이산화탄소 발생량을 건축 설계, 준공 후, 개보수 등 건물의 전 과정 단계를 예측하여 에너지 수요관리에 활용할 필요가 있다.

○ 2012년부터 시행 예정인 자발적 신재생에너지 공급협약(RPA)보다 한 단계 위의 제도인 신재생에너지 의무할당제(RPS) 도입에 따라 건물에너지에서 신재생에너지가 차지하는 비중이 커질 것으로 예상됨에 따라 건축물 적용 신재생에너지 통합 성능 평가시스템 요소 기술 개발이 필요하다.

○ 현재의 사업시행 주체는 분양의 극대화 및 초기 건설 투자비용에 관심을 가지고 있으나 에너지 성능향상 투자는 기피하는 현상을 보이고 있다. 하지만 장기적으로 에너지절약을 통한 이익과 환경적인 면에서의 타당성을 보여줄 수 있는 객관적이며 신뢰할 수 있는 결과를 통하여 이러한 양상을 변화 시킬 것이라 기대된다.

○ 기후변화 협약의 코펜하겐 협상에서 의무 부담국은 비켜 갔지만 기존의 의무 부담국들이 2012년 까지 1990년 대비 5.2%의 온실가스 감축을 기준으로 할 때, 앞으로 국내 의무부담은 증가될 것으로 예측된다.

○ 세계의 탄소 배출권 시장은 2008년 기준 1,263억 달러 (약160조원)의 거대한 규모로 성장하여 2005년 110억 달러에 비해 11배 증가 (매년 128%성장세) 하고 있다. 현재 배출권 거래제 운영이 가장 활발하게 전개되고 있는 곳은 유럽으로 지난 2005년 EU 15개국을 포함, 25개국 약 15,000개 사업장을 대상으로 배출권 거래 제도를 시행하고 있다. 탄소 관련 시장의 확대에 발맞추어 건축물 탄소 절감 시장의 국가 경쟁력 향상을 위한 건물에너지 통합성능 평가모델 및 성능개선 프로세스 표준화 기술 개발 시급하다.

다. 사회문화적 측면에서의 연구개발 필요성

○ 에너지의 수급을 안정시키고 에너지의 합리적이고 효율적인 이용을 증진하며 에너지소비로 인한 환경피해를 줄임으로써 국민경제의 건전한 발전 및 국민복지의 증진과 지구온난화의 최소화에 이바지함을 목적으로 만들어진 에너지이용합리화법에 부합하여, 에너지 수급에 미칠 영향과 에너지소비로 인한 온실가스의 배출에 미칠 영향을 분석하고, 소요에너지의 공급계획 및 에너지의 합리적 사용과 그 평가에 관한 계획(에너지사용계획서)을 수립하여 이바지 한다.

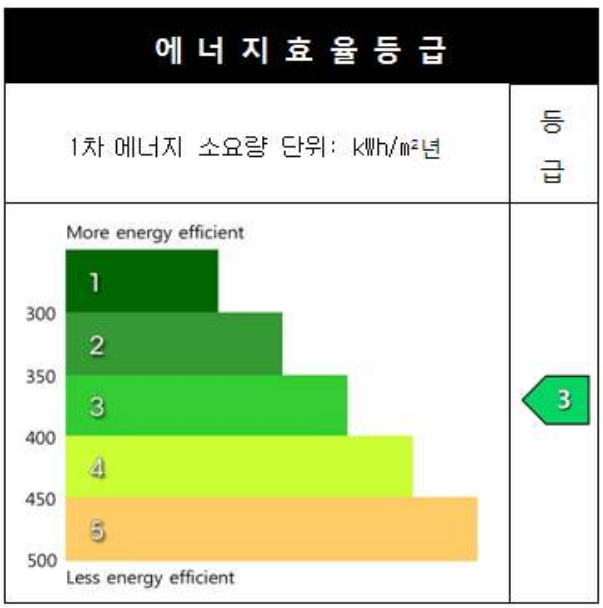
○ 사회적 의식수준 향상과 친환경 건축의 전반적인 수준 향상으로 국내 친환경 건축기술의 비약적 성장이 예상되며, 범지구적 차원의 친환경 움직임에 앞서 나아갈 수 있는 사회적 기반을 마련해야 한다.



[그림 1.7] 정부 온실가스 감축 목표

○ 주택에서는 그린 홈 제도 등장, 업무 건물에서는 에너지 효율 등급이 발효되어 에너지 총량 규제 실시되어 건물 에너지 절감 요소 기술 개발이 및 새로운 건물 에너지 규제에 대응하기 위한 건물 에너지 요소 기술의 가이드라인과 평가 툴이 미비하므로 시급한 대처가 필요하다.

○ 정부는 에너지 저소비형 건축물 보급 활성화를 위해 향후 모든 용도의 건축물에 대한 세부 인증기준을 마련하여 설계단계에서부터 에너지 절약을 유도할 계획이며, 공공청사 신축 시에는 내년부터 에너지효율 1등급 취득을 의무화 하고, 2011년부터는 기존 건축물까지 그 대상을 확대하여 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 제도적 기반을 조성해 나갈 계획이다.



등 급	연간 단위면적당 1차에너지 소요량*(kWh/㎡.년)
1	300미만
2	300 이상 350 미만
3	350 이상 400 미만
4	400 이상 450 미만
5	450 이상 500 미만

[그림 1.8] 신축 업무용 건축물의 에너지효율등급

제 2절 연구개발의 정의, 범위, 특징

1. 연구개발의 정의 및 범위

가. 최종 연구목표

○ 건물 에너지소비량의 정량적 산출이 가능한 표준 평가모델 구축
- 건물 에너지 성능, 설계변수의 분석, 표준계산방법 정립
- 용도별 에너지성능계수(EPC)지표의 산출과 평가모델 표준화, 정밀 시뮬레이션(EnergyPlus 등) 대비 5% 이내 정확도 확보

○ 기존 건물 에너지 성능평가 및 성능개선(Energy Retrofit) 평가 프로세스의 표준화 구축
- 건물 에너지 성능평가, 에너지 성능 설계변수의 정량화, 에너지성능개선 의사결정 수단의 표준모델 구축

나. 연구개발의 범위

구분	연구개발목표	연구개발내용 및 방법
1차 년도	▪기존건물 개보수 우선순위 제시를 위한 건물 에너지 Retrofit 표준 Process 관련 기술의 기초 조사 및 이론 정립	▪국내·외 사례조사 및 ESRU 연수 ▪기 확보된 건물 에너지 데이터 분석 및 4개용도 건축물의 실측진행 ▪기존 건물 에너지 성능 진단 프로세스안 제시 ▪기존 건물 Retrofit 표준 프로세스안 제시 ▪국내 설비 및 건물 에너지 성능개선 요소 도출
	▪건물 에너지 소비량의 정량적 산출이 가능한 표준 평가 모델 구축을 위한 기초 조사 및 이론 정립	▪건물에너지 성능, 설계변수 분석, 표준계산방법 정립을 위한 기초조사 수행, 건물 에너지 정량화 기법 기준 조사 ▪건물 에너지 성능평가를 위한 표준모델 기준 구축 ▪건물 에너지 소비량계산과 에너지성능계수(Energy Performance Coefficients) 개념 정립 및 한국형 지표 산출, 표준 계산기법 완성 및 검증
	▪설비 및 신재생 에너지 기기의 DB구축	▪설비 및 신재생에너지 기기의 DB구축 ▪건물 에너지성능 측정평가를 위한 공정시험 방법 및 대상건물 군별 측정 결과 보고서 작성
2차 년도	▪기존건물 에너지 Retrofit 표준 Process 관련 기술의 개발	▪ 기존 건물의 에너지 성능진단 프로세스의 검증 ▪ 기존 건물 Retrofit 우선순위 제시를 위한 표준 프로세스의 검증
	▪건물 에너지 성능 평가를 위한 표준 모델 구축 ▪건물 에너지 성능 정량화 기법 완성, Tool-Kit 개발	▪건물구조체 특성에 따른 열용량 유효계수, 일사취득 수정계수를 통한 표준평가모델 정의 ▪한국형 계절별 에너지 시스템 효율계수 산출을 위한 건물 구조체에 따른 부분부하 적용 표준모델 정의 ▪건물 냉난방 부하계산 및 에너지 소비량계산을 위한 프로그램 개발 ▪신재생에너지 표준평가 모델 정의 ▪User interface구현 및 Data base구축
	▪프로그램 검증	▪ 계산방법론 및 산출식의 컴퓨터 프로그램 구현상의 에러 제거(debugging)를 위한 analytical validation test. ▪ 사무소 및 주택 기본모델 대상 Tool kit 프로그램 계산결과 에너지플러스 비교 검증
	▪설비시스템 DB 확장	▪ 급탕 및 공조기기의 (대, 중, 소용량 설비기기 기준 각 메이커별) DB 조사 ▪ 정격효율, 부분부하효율, 설치비(단가, 시공비), 유지관리비 조사
3차 년도	▪기존건물 개보수 우선순위 제시를 위한 건물 에너지 Retrofit 표준 Process 와 관련 기술의 표준 제안	▪ 기존건물의 성능평가 및 Retrofit 표준 Process 의 현장 적용성 검토 ▪ 기존건물의 성능평가 및 Retrofit 프로세스의 표준 제시
	▪건물에너지 성능평가 모델 적용 검증	▪건물 유형에 따른 상세 모델과 실측 및 개발 프로그램과 비교 - 주거(아파트), 비주거(사무실), 판매시설에 대한 실제 테스트 건물 대상 시뮬레이션 모델 작성 및 결과 비교 ▪신재생 에너지 통합 및 평가 적용 검증 ▪한국형 기기별 성능곡선 데이터 기반 표준 기기 모델 구축 ▪건물유형에 따른 부분부하 특성을 고려한 기기 시스템별 효율계수 정의 ▪건물에너지 부하 계산 요소 검증 - 외피 형상 및 열교, 기밀성, 조명 등 세부 사항 검증 및 적용
	▪종합결과물의 활용성 증대를 위한 국내외 유관 기관과의 협력	▪관련 제도에서 활용성 증대를 위한 국내 유관 기관과의 협의 및 타당성 검증 전문가 워크샵. ▪수요 기관 협의 및 사용자 베타 테스트
	▪설비 및 신재생에너지 기기 DB 보완	▪ 기기 추가 보완(기기 성능 특성 데이타 및 단가, 유지 보수 비용 사례) ▪ 기기별 데이타의 표준 모델 도출

다. 연구개발의 특징

○ 국제 표준규격에 부합하는 건물 에너지 성능평가를 위한 표준모델 구축과 에너지 성능 정량과 기법을 개발 그리고 이를 수행 할 수 있는 평가 도구 일체 개발. 에너지 성능 평가법의 결과와 정밀 시뮬레이션 툴(Energy plus) 대비 5 %이내 오차율.

○ 국내 기존 프로그램들의 데이터 부재의 한계를 극복하고 나아가 신뢰성 개선을 위한 기초 데이터를 제공

○ 표준화된 에너지 성능진단의 프로세스를 통해 국내 현실에 맞는 에너지 성능개선의사 결정 표준 프로세스를 구축.

○ 국내 설비기기 및 신재생에너지기기의 DB를 이용하여 건물에너지성능 Retrofit Process의 설비기기별 기여도, 우선순위 산출에 적용, 사양 및 정격효율, 부분부하효율, 에너지소비량 등을 이용해 건물에너지성능 평가 시뮬레이션으로 활용.

제 3절 관련연구분야 국내외 기술개발 현황

1. 국내 기술 및 산업동향

○ 최근 건물 에너지 효율에 대한 관심이 높아지면서 건설 회사 및 설계 사무소, 설비회사 등에서 정밀 에너지 시뮬레이션 툴(예, Energy Plus, Trnsys, ESP-r 등)을 사용하여 연간 시간대별 냉난방 부하 및 열 환경 성능 평가를 설계나 계획단계에서 수행하기 시작하였다.

○ 현재 Energy Plus 와 ESP-r은 오픈 소스로서 누구든 개발이 가능하고 기술료를 지불하지 않는 프로그램으로 오랜 시험과 개발 기간으로 신뢰성을 인정받고 있어 연구소와 대학을 중심으로 사용되고 있다.

○ 건물의 에너지성능 평가는 에너지진단과 T.A.B를 통해 이루어지고 있으며, 에너지진단은 전력 및 열에너지 관련 기술장비와 인력을 구비한 진단기관으로부터 전력 및 열에너지의 발생, 변환, 전송, 수송 등 다양한 공정에서 사용되는 에너지를 시설 전반에 걸쳐 제공받게 된다. 이를 통해 에너지의 이용흐름을 파악하고, 손실요인의 발굴 및 에너지절감을 위한 대안과 경제성분석 등 최적의 개선안을 도출하는 과정을 제공하는, 기술컨설팅제도이다.

○ T.A.B는 공기조화설비의 에너지 반송매체인 공기와 물에 대하여 시공된 설비에 출입하는 양이나 질이 설계값에 합당한지를 시험하고, 오차가 있을 경우 조정하여 최종적으로는 설비계통을 평가하는 분야로 공기조화설비의 성능과 품질확보, 기기의 수명연장, 에너지절약, 소음방지 및 실내환경의 쾌적성 등을 추구하는 분야의 기술이다.

2. 국내 기술개발 수준

○ 현재 건물의 정밀 에너지 성능을 평가하기 위해 주로 3세대 모델인 수치적 방법이 사용되고 통합 건축 환경 내에서의 한 분야로서 설계자의 의사결정을 위한 접근 방식으로 시뮬레이션이 활용되고 있고 ISO 13790 방식을 이용한 다양한 건물 에너지 소비량 간이평가 프로그램이 있음

○ 사용자를 위한 인터페이스 제공, 다양하고 지능적인 데이터베이스 구축, 그래픽 지원, 데이터 자원의 관계형 연결 및 공유, 각종 복잡한 문제를 하나의 환경에서 처리할 수 있는 통합성 및 범용성, 이종 시스템 간 손쉬운 인식을 위한 유연성을 확보가 필요

○ 100% 국내 실정에 맞는 건물용도별 표준 입력 데이터베이스, 에너지 시스템 효율 계수, 계산 모델, 평가 지표 필요

○ 건물의 에너지성능을 평가하기 위해 사용되는 에너지진단의 경우, 건물의 특성 및 운영상태에 따른 에너지소비량 및 소비패턴을 파악하고 개선하는 것이 아닌, 단순하게 건물에 적용된 설비기기 등에서 사용되는 에너지의 양을 파악하고 이를 절감하기 위한 방안으로만 사용되고 있다. 또 다른 제도인 T.A.B의 경우, 설계단계에서 선정된 공기조화설비의 타당성을 검토하는 용도로 건물의 에너지성능을 측정하기에는 부족한 부분이 있다.

3. 국내 시장 현황

가. CE3 (Construction Energy Efficiency Evaluation)

○ 유럽의 건물에너지 성능지침 EPBD (Energy Performance of Building Directives)에 따른 국제 표준 ISO 13790 및 독일의 건물에너지성능 평가규격 DIN V 18599를 바탕으로 국내 실정에 맞추어 개발된 Web 기반 건물 에너지 성능 평가 솔루션
○ 주거 및 비주거용 건물 전반에 걸쳐 건축물리적 또는 건축설비적 특성에 의한 에너지흐름의 상호작용을 종합적으로 고려하여 난방, 냉방, 조명, 급탕 및 환기에 요구되는 에너지를 정량적으로 분석할 수 있는 솔루션임
○ 그러나 현재 BESS나 ECO2처럼 무료 프로그램이 아니며 에너지 소비총량제나 에너지 효율등급 등 정책에 맞추어서 개발 된 프로그램이 아니라 신뢰성 및 활용성에서 검증이 요구되고 있음

나. ECO2

○ 건축물에너지절약 설계기준의 의무사항 및 EPI항목 정량화
○ ISO13790 규격에 따른 총량적 에너지 소요량 산출 관련 평가 방법론 적용
○ 입력 항목 수가 많고 및 입력 방법면에서 전문가 수준의 지식이 요구되며 많은 시간이 소요되어 되어 건물 에너지 인증제 상에 수용성면에서 아직 애로가 많음.
○ 건물에너지 소비총량제 대응 예비분석 툴로 건설기술연구원에서 개발 관리.

다. 건물 에너지 성능평가프로그램 : 에너지 관리공단

○ 공동 주택 건물 에너지 성능 평가를 위한 Web 기반 프로그램으로써 에너지관리공단 홈페이지에서 쉽게 사용
○ 공동 주택 에너지 소비량 계산을 간단히 수행할 수 있도록 하였으나 국제표준 계산 알고리즘을 채용한 것은 아니며 난방 부하 계산에 한정됨.
○ 쉽게 접속하고 입력이 간단하지만 저장 기능 및 리포트 출력기능이 없기 때문에 한번 결과를 수정 하고자 할 때 항상 처음부터 입력을 해야 하는 불편함이 있음.

라. 친환경 주택 성능 평가 : LH공사

○ 20세대 이상의 공동주택을 건설하는 경우에는 주택건설기준 등에 관한 규정 제64조(에너지절약형 친환경 주택의 건설기준 등)에 있는 하나 이상의 기술을 이용하여 주택의 총 에너지 사용량 또는 총 이산화탄소배출량을 절감할 수 있는 에너지절약형 친환경 주택 평가 및 설계지원 프로그램.
○ 별다른 설치가 필요 없는 엑셀 형식으로 프로그램이 설계 되었으며 계산 결과의 경우 단지 단위와 세대 단위로 나누어서 출력이 가능.
○ 프로그램이 별다른 설치가 필요 없고 누구나 사용 할 수 있지만 계산 결과는 세대별 위치 및 평형에 상관없이 일정한 부하 결과값을 산출하여 공동주택의 전체 디자인상의 에너지 성능 변별력이 약함. 정밀 시뮬레이션 결과와의 오차가 상당히 큼.

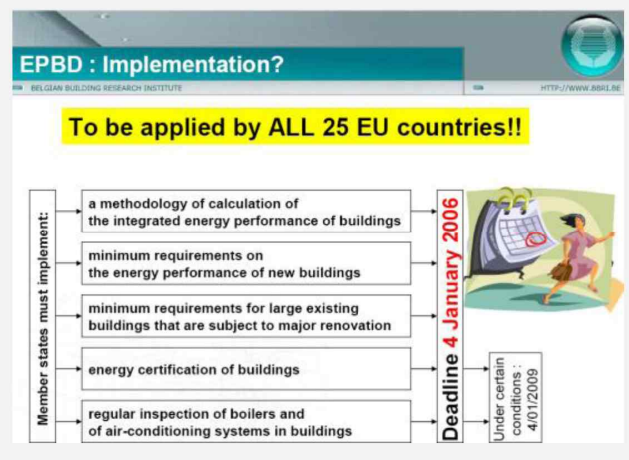
4. 국외 기술 및 산업동향

가. EPBD

○ 2009년 4월 유럽 의회는 개정된 건물에너지절약지침(Energy Performance of Building Directives, EPBD)을 발표하고 2019년부터 EU 내에서 지어지는 모든 신축 건물에 대해 소비되는 에너지보다 더 많은 에너지가 생산되도록 규정했다.
○ 영국은 이러한 EU의회의 발표가 있기 전인 2008년 12월 이미 '제로 탄소 주택 정책'을 발표, 2016년부터 영국에서 짓는 모든 주택에서 이산화탄소 배출을 완전히 제로화하겠다고 약속했다. 또한 2019년부터는 이를 상업용 건물까지 확대하고 2050년까지는 기존 건물도'제로 카본'에 근접할 수 있도록 난방 시스템 개조 등 다양한 조치를 취하도록 제안하고 있다.
○ EPBD에서의 주요 내용은 향후 신축, 리모델링 및 기존 건물 등 모든 건축물에 대하여 에너지 소요량, 이산화탄소 배출량과 같이 총량개념의 에너지 성능 기준으로 설정하도록 규정하고 있다. 이것은 구조체의 부위별 단열성능기준은 삭제가 되며, 건물전체에서 소요되는 에너지량으로 건축규제가 이루어진다는 것을 의미하는 것이다.

○ EPBD(2006년1월부터 시행)의 주요 규정은 다음과 같다.
  - 건물 에너지성능의 통합에너지 계산을 위한 방법론 골격 개발
  - 신축건물 및 리모델링 건물의 최소에너지 성능기준 설정

- 기존건물의 최소에너지요구량 설정
- 건물의 에너지성능 인증제도 시행
- 일정규모이상의 건물에 대하여 에너지효율등급 표시 의무화
- 신축, 매매, 임대 시 첨부서류로 활용
- 1000㎡ 이상의 공공건물은 눈에 잘 띄는 장소에 표시 의무화
- 일정규모이상의 난방 및 공조시스템은 정기검사 실시 의무화
- 공공건물에 대하여 권장온도 및 현재의 온도 표시



[그림 1.9] EPBD 설명

나. SAP

○ SAP은 주거용 건물을 위한 국가 공인 에너지성능 평가방법으로 영국의 건축법 Building Regulations 2000의 기술서인 Approved Document Part L1A(Conservation of Fuel and Power in New Dwellings)와 Approved Document Part L1B(Conversation of Fuel and Power in Existing Dwellings에 명시하고 있다. 1993년 DOE(현재의 DECC, Department of Energy and Climate Change)와 BRE(British Research Establishment)에 의해 처음 발표되었다.

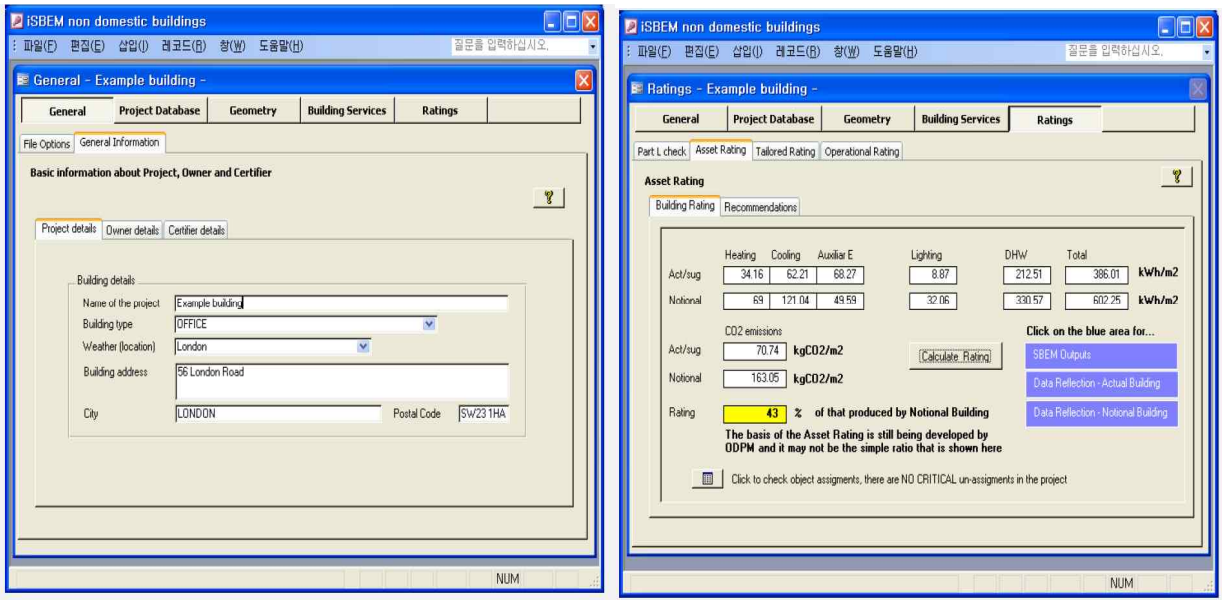
○ SAP 2005에서는 신청주택의 에너지소요량과 CO2 배출량을 산출하며, 이를 토대로 에너지비용 평점(SAP rating based on CO2 emissions, 1~100)을 각각 산출 후, 에너지비용 평점 혹은 CO2 배출량 평점 값에 따라 건물에너지효율등급을 A~G까지의 7개 등급으로 부여한다. 그리고 단위면적당 CO2 배출량(DER, Dwelling CO2 Emission Rate)을 구해 법규상의 기준치 만족 여부를 평가한다.

<표 1.1> SAP2005 건물 에너지성능 평가지표

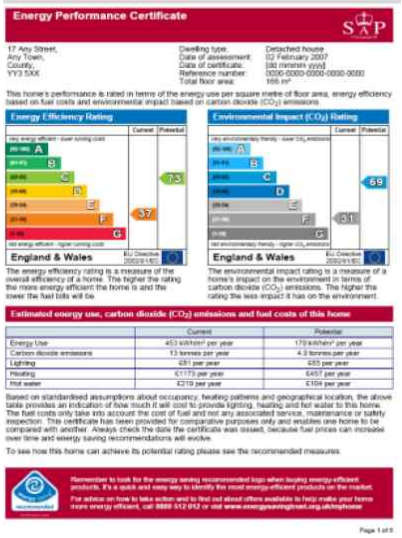
구분	평 가 지 표	평 가 내 용
1	SAP rating	신청주택의 에너지비용평가지표
2	EI rating (Environmental Impact)	건물 환경 성능지표
3	DER (Dwelling CO_2 Emission Rate)	신청주택의 CO_2 배출율
4	TER (Target CO_2 Emission Rate)	표준주택의 CO_2 배출율

다. SPA

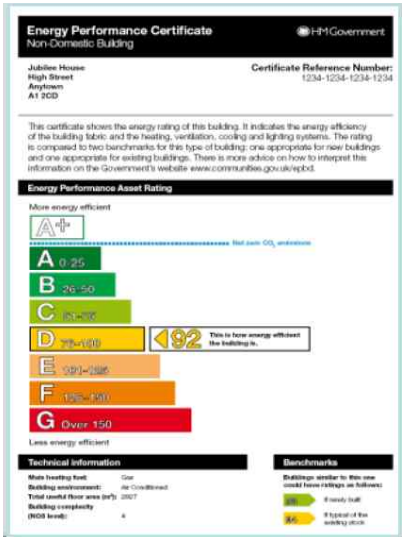
○ 영국에서는 건물 에너지성능 평가를 위한 표준 계산법으로 주거용은 SPA(Standard Assessment Procedure)을 이용하며, 비주거용으로는 NCM(National Calculation Method)를 이용하여 계산하고 있다.



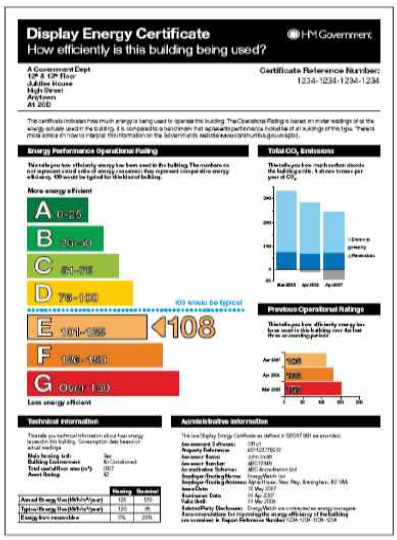
[그림 1.10] 비주거용 건물해석프로그램 iSBEM (Simplified Building Energy Model)



[그림 1.11] 영국의 공공건물 에너지성능인증서



[그림 1.12] 영국의 비주거용건물 에너지성능인증서



[그림 1.13] 영국의 주거용 건물 에너지성능 인증서

라. 환경에너지 우량 건축물 인증제도

- ○ 일본의 건축물 에너지 절약기준
- ○ 환경에너지 우량 건축물 인증제도 시행
- ○ 일정규모 이상 기존 건물에 에너지 소비량 제출 의무화
- ○ 2,000㎡ 이상의 건축물(비주택) 신축, 증개축시 에너지절약 조치 사항을 관청에 신고
- ○ 2008년 7월 대비 2020년 CO2 배출량 14%, 2050년까지 60~80% 감축목표



[그림 1.14] 일본에너지마크

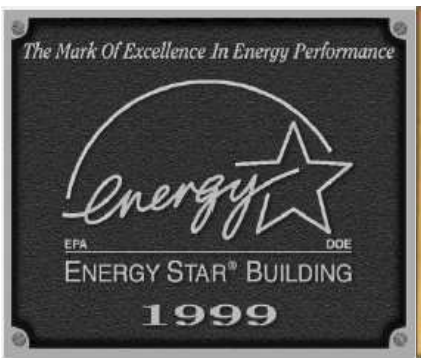
마. 기타

○ 미국은 EPA와 DOE 공동으로 Energy Star Building program을 시행하여 비주거용 건물에 대한 에너지 소비 절감을 자발적으로 유도

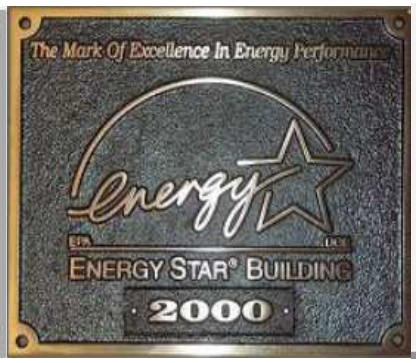
○ 캐나다는 비주거용 건물의 에너지 소요량을 25% 이상 절감하는 경우에 대하여 금융적 인센티브 부여하는 CBIP 제도를 운영

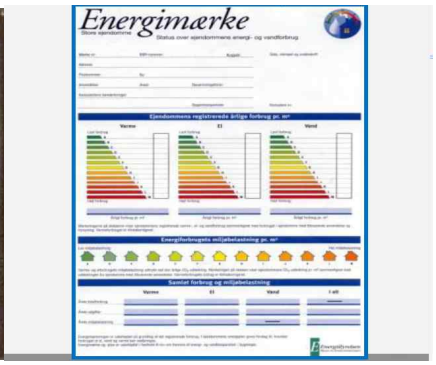
○ 덴마크는 1997년 1월, 건물에너지 등급 제도를 실행하고 있으며, 건물의 매매 시 건물등급인증서를 요구·제출하도록 하고 있다. 매년 40,000개에서 45,000개의 건물에 등급을 표시하고 있다.

○ <표 1.2>는 국외 및 국내의 친환경인증 등급 획득을 통한 인센티브 항목을 나타낸 것으로, 인증획득에 따른 자금 지급, 감세, 금리인하 융자, 분양가 상한폭, 용적률, 용도변경 인센티브 등 다양한 방안으로 친환경인증을 유도하고 있다.



[그림 1.15] Energy Star Building 마크





[그림 1.16] 덴마크 에너지등급서

<표 1.2> 해외 친환경 인증 인센티브 제도

구분	인증획득시 자금 지급	감세	요소기술 활용 시 자금지급	금리인하 융자	분양가 상한폭 상향조정	용적률 인센티브	지구단위 용도변경 인센티브
미국	○	○	○	○	×	×	×
캐나다	×	△	○	△	×	×	×
유럽	△	○	△	○	×	×	×
영국	△	○	○	○	×	×	×
일본	△	○	○	○	×	×	×
한국	△	○	△	○	○	○	○

제4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치 등

1. 관련분야에서의 기여도

○ 관련 제도에서 활용성 증대를 위한 국내 유관 기관과의 협의 및 타당성 검증 전문가 워크샵

○ 국내 건물에너지 관련 성능등급 인증 프로그램의 국내 표준화에 필요한 기초 데이터 제공

○ 국제표준 건물에너지 성능평가 방법의 국내 표준화의 기초 연구 자료로 활용

○ 신재생에너지 설치 의무화 사업(건물에너지 소요량의 10%이상 신재생에너지 생산량으로 의무화)에서 신재생 에너지 소요량의 정량적 판단 근거 자료 도출에 활용

○ 설계 초기 단계의 건축물 에너지 절약을 위한 의사 결정 수단으로 활용 상세히 기술하고 이에 따른 기업화, 추가연구, 기술이전 계획 등을 서술

○ 건축, 기계, 전기, 신재생에너지의 다양한 에너지 절약적 기법 제시를 통해 건물에너지 저감 효과 평가를 함으로서 ESCO 사업 지원 툴로 활용

○ 국내실정에 부합하는 표준 에너지 소비량 산출 기준이 도입된 에너지 성능 평가 도구로 인한 국내 에너지 절감 건축물 계획을 위한 기준 프로세스 방향 제시

제 2 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1절 연구수행 전략 및 방법론

1. 연구방향

○ 국내 실정을 반영한 건물 에너지 시스템 데이터 적용한 기존 건물의 성능평가 프로세스가 필요하다. 기존에 있던 건물 에너지 효율등급 및 건물 에너지 소비총량 관련된 프로그램의 경우 내부 알고리즘에서 설비 효율, 용량, 용도 프로파일 등 대부분의 데이터 들이 외국 기준의 데이터로 적용되고 있다.

○ 따라서 다양한 국내 자료 조사 및 현장 측정 실증 데이터를 토대로 국내 실정에 맞는 구체적인 데이터를 기반으로 국제 표준에 부합하는 평가 모델에 적용하여 신뢰성과 적용성을 확보하기 위한 연구를 수행하였음.

○ 현재 ISO 13790을 활용한 간이법은 국토해양부 및 서울시에서 사용하기 시작했으나 계수 값이 국내 실정에서 나온 값이 아님. 그러므로 이와 같은 프로그램들은 공통적으로 결과 값의 신뢰성에 한계를 가지고 있음. 따라서 본 연구에서는 국내 기존 프로그램들의 데이터 부재의 한계를 극복하고 나아가 신뢰성 개선을 위한 기초 데이터를 제공하는 연구를 수행하였음.

○ 본 연구는 열원설비, 공조설비, 급탕설비, 신재생에너지설비 등 설비기기의 DB 구축 및 건축물 에너지성능 평가를 위한 공정시험방법을 제시하는 것으로, 건물에너지성능 진단을 위한 시뮬레이션 등에 국제표준방법론을 기반으로 한국형 건물에너지성능 측정평가의 기초자료로 활용하고자 함이다.

○ 또한, 일반적으로 시뮬레이션을 통한 건물의 에너지성능 진단을 신축건물에 해당하는 것으로, 기존 건물을 포함하는 건물 에너지성능 측정 평가를 위한 공정시험방법 제시의 기초자료로 활용하고자 한다. [그림 2.1]은 연구자료의 활용방안을 나타낸 것이다.



[그림 2.1] 연구자료 활용방안

2. 기존연구와의 차별성

가. 과제영역의 차별화

○ 현재 본 과제는 2가지 부문으로 구분할 수 있으며, 하나는 건물 에너지 시스템의 설계 사양에 의한 자체성능(Asset aspect)평가 모델 수립이며, 다른 하나는 건물을 실제 운영하였을 때의 운전성능(Operational aspect) 평가이다.

○ 설계 사양 상에서의 성능 평가의 경우 국제 표준이 존재하고 있으며 이를 적용한 평가 툴이 국내에 이미 다양한 소프트웨어 툴이 개발되어 있는 상태이다.

○ 설계 사양 상의 자체 성능 평가 모델에서는 해외 주요 선진국의 방법론을 검토하여 국내에 적용성이 높은 것과 낮은 것을 검토하여 정리하고 국내 실정에 새롭게 정립해야할 것은 추가로 정리한다. 즉, 국제 표준 가이드라인을 따르면서 해외 사례를 적극 활용함과 동시에 국내 기초데이터를 수집 정리하여, 한국적 표준 모델의 신뢰성과 공정성을 확보하는 것이 주가 되어야 할 것이다.

○ 기존 건물의 에너지 운영상의 체크 및 성능 개선 안을 효과적으로 도출하기 위한 Retrofit용 프로세스 로직의 개발과 실제 현장에서 쉽게 적용할 수 있는 가이드라인의 표준을 개발하는데 가능한 많은 현장 실증 데이터를 활용하도록 한다.

○ 국내 건축 시장의 특성 및 친환경 건축 관련 법제도를 반영하여 평가 시스템 구현시 건설 프로세스상의 비용 부담을 최소화 하고 공정성과 활용성을 최대화할 수 있는 방법론과 표준화 개발에 주안점을 둔다.

나. 타 산업 및 국내외 연계·협력 가능성

○ 본 과제의 성과물은 건물 에너지 성능 평가를 위한 도구들에 핵심적으로 사용될 기초 자료들과 표준 프로세스로서 향후 건물 관리 시스템의 고도화에 기여할 것으로 기대됨. 또한, 건물 분야뿐만 아닌 소프트웨어 산업에서 응용 프로그램을 개발 보급할 수 있는 신규시장을 창출 할 수 있음.

○ 국제 표준을 따르되 해외 선진 사례의 한계점을 극복하고 국내의 실정에 맞는 모델을 개발하게 됨으로서 국내와 실정이 유사한 국가(인구 밀도가 높고 사계절 기후 특성이 큰 지역)들에 활용할 수 있는 표준을 제시 할 수 있음으로 국제 표준을 선도하는 위치를 갖게 될 것임. 국제 협력 네트웍은 해외자문 기관과의 협력을 통해 구현할 예정.

○ 지속 가능한 건축 및 환경(Sustainable Building & Environment)을 실질적으로 구현할 수 있는 국제 경쟁력을 갖춘 새로운 건축산업 육성 및 지원과 친환경 에너지 분야의 건축술(建築術)의 최적화 및 선진화 조기달성 등을 위한 혁신적인 국가 정책 대안으로 활용되어 녹색국가로의 위상을 정립하는데 기여할 수 있을 것이다.

3. 연구수행 전략 및 방법론

단국대학교

가. 기존 건물 운영에서의 성능 평가 및 개선 방안 도출 프로세스 개발

○ 용도별로 건물의 에너지 성능에 영향을 미치는 요소들을 도출하고 기술적으로 에너지 성능 개선 효과가 큰 것과 경제적으로 적용성이 높은 기술들을 정량적으로 평가 한다.

○ 국내에서 활용 가능한 기술들의 long list(국내 건물 에너지 시장에서 도입가능한 모든 후보 기술)를 데이터베이스화 하고 이중 각 용도별로 가장 효과가 높은 기술들의 short list(에너지 개선 효과가 크고 경제성이 있는 것을 정량 계수화 하였을때 우선순위가 높은 후보기술)를 제시 가능하도록 함.

○ 실제 건물의 에너지 성능을 체크하는데 있어 운영상에 복잡한 인자(예, 시간별 재실자율의 변동, 침기율의 변화, 에너지 가동시간의 변동 등의 간섭)로 인하여, 기기별 에너지 소비량 분석에 어려움이 발생하게 된다. 이를 극복하기 위해 체크 과정에서 데이터의 보정을 위한 방법론을 제시하여 공정한 에너지 운영 진단을 할 수 있도록 한다.

나. 기존 건물 에너지 성능평가 및 성능개선(Energy Retrofit) 평가 프로세스의 표준화 구축

○ 기존 건축물의 에너지 성능개선을 위해 현장에서 효과적으로 활용가능 한 기존 건물 에너지 성능 진단 및 성능 개선 표준 프로세스를 개발 한다.

○ 국내 문헌 및 주관, 공동, 위탁 기관이 기 확보한 건물 에너지 운영 데이터를 분석 하고, 4개의 용도별 건축물에 실측을 통해 얻어진 데이터를 바탕으로 벤치마크용 표준 데이터를 정의 한다.

○ 기존 건물 에너지의 사용상, 운영상 등의 인자들(예, 시간별 재실자율의 변동, 침기율의 변화, 에너지 가동시간의 변동 등의 간섭) 을 고려하여 보다 공정하게 문제점을 찾을 수 있는 성능 진단 프로세스 개발.

○ 성능 개선을 기대할 수 있는 기술의 long list를 정리하고 가장 효과적이며 경제적으로 적용할 수 있는 최적 기술의 short list를 도출할 수 있는 프로세스 개발

○ 해외 전문기관에서 제시하는 방법론을 검토하며 한국적 실정에서 반영되어야할 사항들을 가감한다.

○ 실제 건물에서의 적용을 위해 실측 건물을 대상으로 장기 측정하여 개발된 프로세스를 실무에서 검증토록 한다.

가. 설계단계에서의 성능 평가 방법론 개발

○ 기본적인 기법은 ISO13790 등 국제 표준을 따르되 그 안에 필요한 계수 값 및 국내에 많이 사용하는 에너지 시스템 도입 시의 성능 평가법을 개발. 건물 일체형 신재생에너지 시스템(태양전지, 풍력, 열병합, 히트 펌프) 혹은 지역의 신재생에너지 플란트에서 에너지를 도입시의 에너지 시스템 성능 평가 모델을 국내 실정(기후 및 제도)에 적용하기 위한 모델을 추가하여 정립.

○ 정밀 시뮬레이션 기법을 병행하여 적합한 계수 값을 개발 후 검증 대상 건물에 적용하여 정밀 시뮬레이션 모델과 계수 값 기반 평가방법을 비교 검증하여 ISO 13790의 간이해석법 기반 계산 결과가 정밀 시뮬레이션 기법의 계산 결과대비 5%이내의 오차가 나오도록 관련 계수 값을 찾아내도록 한다.

○ 정밀법과 간이법의 오차의 원인이 되는 냉난방 부하 계산상의 열용량에 따른 시간 지연 효과를 보정하는 Utilisation factor 및 에너지 시스템의 연간계절 효율 계수 등 국내 기상 데이터 및 건물용도 프로파일에 맞추어 정밀 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 도출.

○ 국내 각종 인증 및 평가 제도에 공통적으로 사용가능하도록 활용성을 높이기 위해 에너지 시스템 평가 표준모델 구현시 입력 변수가 최소한이 될 수 있도록 성능 평가 영향인자 중 효과가 큰 요소들을 선택적으로 우선 고려함. 즉, 평가를 위한 표준 모델 정의 시 상세한 컴포넌트 각각의 효율 계수 보다는 통합 시스템의 효율 계수를 위주로 신뢰성과 편의성을 높이고자 함.

○ ISO13790 의 부하량 계산 법 외 ISO13789의 열관류 특성 분석, EN15232 BEMS 평가법 기준 등을 다각도로 검토하여 시스템 평가 표준모델 구축을 위한 한국형 미래형 방법론을 개발 하고자 함.

나. 신뢰성과 현장 활용성이 높은 건물 에너지 성능 평가 모델 구축

○ 국내외 관련 연구 및 관련 기준 조사 수행을 바탕으로 국제표준규격에 부합하는 계산방법을 정립함에 있어 국내 실정에 맞는 적용 변수를 표준화하고 건물 에너지 성능평가를 가시적으로 수행 할 수 있도록 평가 도구 일체를 개발함.

○ 국제 표준을 따르면서 국내의 실정에 적합하게 활용될 수 있도록 계산 방법상의 복잡성과 정밀성을 고려하여 표준 모델을 정립한다.이를 위해 계산법상 주요한 요소와 부차적 요소들을 파악하고 국내에서 적용성이 높고 평가 요소로서 영향도가 높은 인자들을 분석 파악한다.

○ 성능평가 표준모델의 적용성 및 실무적인 활용성을 평가하기 위해 건물 에너지 성능 평가 유관기관 및 산업계의 자문을 받으며 연구를 진행한다.

○ 정밀 시뮬레이션법과의 오차를 줄이기 위해 개발된 표준 모델 및 한국형 효율 계수 데이터를 비교 검증 작업을 반복한다.

다. 해외 및 국내 자문 기관 협력

○ 건물 에너지 분야 권위 있는 해외 자문 기관과의 협력은 해외 사례에 대한 워크샵 및 온라인 컨퍼런스 미팅 등을 통해 현지의 최신 정보를 제공 받도록 함.

○ 본 과제는 국내 실증 데이터를 수집하는 것과 함께 효율 계수 개발, 프로그램 검증 및 성능 개선안 제시를 위한 도입 기술 효과 분석에 정밀 시뮬레이션이 많이 사용 된다. 연구에 사용될 정밀 시뮬레이션은 오랜 경험과 노하우가 필요한 전문적 작업으로 시뮬레이션 모델의 퀄리티 보장이 연구 진행 및 성과물의 수준을 크게 좌우한다. 해외자문 기관은 이러한 정밀 시뮬레이션 기술을 보유하고 있고 연구기간 전체에 걸쳐 기술 전수를 본 연구의 주관 협력기관에 제공함.

○ 긴밀한 연구 정보의 공유와 기술 전수 프로그램을 통해 해외사례를 따라가는 입장이 아닌 해외의 선행 시행착오를 회피하고 개선안을 함께 모색함으로서 과제 완료 후 국제적 수준을 달성 혹은 선도하는 입지를 구축함.

라. 최종목표의 성격 및 설정근거

○ 국제 표준규격에 부합하는 건물 에너지 성능평가를 위한 표준모델 구축과 에너지 성능 정량과 기법을 개발 그리고 이를 수행 할 수 있는 평가 도구 일체 개발. 에너지 성능 평가법의 결과와 정밀 시뮬레이션 툴(Energy plus) 대비 5 %이내 오차율.

○ 기존 건물 에너지 성능평가 및 성능개선(Energy Retrofit) 평가 프로세스의 표준화 구축을 위해서는 [적합성] [신뢰성] [보편성]의 세 가지 조건을 현실화
할 수 있어야 함.

- 기본적인 국제 표준규격 계산방법을 국내현실에 부합하도록 정립하는 것임. 필요한 계수 값 (계절효율 값, 기기효율 값)을 도출하여 국제기준에 부합하는 국내 기준을 정립.

- 기존 건물의 에너지 데이터를 수집하여 인자를 분석 하고 정밀 시뮬레이션 기법을 병행하여 적합한 계수 값을 도출함. 도출한 계수 값을 검증 대상 건물에 적용하여 정밀법과 비교 검증하는 방법으로 신뢰성을 확보 할 수 있음. 해외 공인된 검증기관(ESRU)의 외부 자문 및 국내 자문을 통하여 검증 과정상의 기술적 우위 확보 할 수 있음.

- 개발된 기술이 사회적으로 활용되고 실현 될 때 가치를 지속적으로 유지되며 발전됨. 본 연구의 최종 연구 개발 성과물의 하나인 건물 에너지 성능평가 도구 일체는 개발된 평가 표준 모델을 도구로서 실현함으로서 친환경 인증, 친환경 설계, 친환경 기법 개발 등 다방면의 활용 가치를 확보 할 수 있어야 함.

가. 국내·외 관련연구 및 기준조사

○ 1차년도의 연구목표로, 국내 설비기기의 시험방법, 측정방법 등의 가이드라인 조사, 국내·외 관련연구 및 기준 조사 등 기본적 고찰을 실시하고, 건물에너지성능 평가를 위한 시뮬레이션 프로그램 등의 기술수준을 조사한다. 1차년도 DB 구축 대상인 보일러, 냉동기, 히트펌프 등의 열원기기와 지열, 태양열, 태양광, 풍력, 연료전지 등의 신재생에너지기기, 2차년도 DB 구축 대상인 공조기기, 급탕기기의 조사를 위해 관련 연구의 조사와 수행방법을 조사한다.

나. 건물 에너지성능 측정평가를 위한 공정시험방법

○ 1차년도의 연구목표로, 국내에서 일반적으로 사용되는 에너지진단방법 및 ESCO 사업, T.A.B 평가방법 등을 대상으로 비교분석을 통해 한계점을 도출한다. 이를 위해 국내·외 관련연구 및 기준을 조사하고, 조사대상 방법에 대해 비교분석 등 검토를 수행한다. 또한 도출된 한계점을 극복하고, 정확하고 신뢰성 높은 건물에너지성능의 측정과 평가를 위해 측정방법, 측정위치에 대한 조사를 실시한다.

다. 설비기기 DB 조사 및 특성 분석

○ 1차년도~2차년도에는 설비기기의 DB 조사를 수행하고, 3차년도에는 조사된 설비기기의 DB를 통해 성능곡선(용량별, 업체별 부분부하 효율)의 특성을 분석한다. 기계설비 계획 수립에서 주요장비로 분류되는 열원설비, 공조설비, 급탕설비, 신재생에너지설비를 대상으로 하였으며, 본 연구의 목적인 한국형 설비기기의 DB 구축을 위해 국내에서 대상 제품을 납품하는 주요업체를 조사다생으로 하였다. 조사항목으로는 각 장비의 용량, 정격효율 및 부분부하 효율의 장비사양, 제품단가, 유지관리비 등의 가격정보를 대상으로 하였다.

○ 1차년도는 열원설비와 신재생에너지설비를 대상으로 DB 조사를 수행하며, 세부 조사대상으로는 보일러, 냉동기, 히트펌프, 지열 히트펌프, 태양열 집열기, 태양광 모듈, 풍력 발전기, 연료전지 등으로 결정하였다. 2차년도는 1차년도에 조사된 DB의 보완 및 조사대상을 확장하는 것으로, 열원설비 및 신재생에너지설비 외에 급탕설비와 공조설비를 대상으로 하였다. 이중 급탕설비 중 보일러는 기존에 조사된 내용과 동일한 부분으로, 이를 보완하며 전기온수기에 대한 DB를 조사하는 것으로 계획하였다. 또한 공조설비의 경우 공조기에서 소비되는 에너지의 대부분을 차지하는 송풍기의 DB 조사와 코일 등에 필요한 열량을 공급하기 위한 펌프의 DB 조사를 계획하였다.3차년도는 1차년도와 2차년도에 조사된 DB의 보완과 부분부하 효율에 따른 특성곡선을 도출한다. 설비기기 DB의 보완은 신재생에너지기기의 보완을 우선으로 하며, 부분부하 효율에 대한 기준이 정립되지 않은 항목에 대해서는 장비의 특성을 파악할 수 있도록 조사계획을 수립하였다. 특성곡선 도출을 위해 조사된 DB를 용량별, 타입별로 분석하고 각 장비의 특성분석으로 실제 기계설비 계획에서의 검토사항을 정립하도록 계획하였다.

제 2절 연구수행과정 및 내용(이론적, 실험적)

1. 1차년도 연구수행과정 및 내용

가. 기존건물 개보수 우선순위 제시를 위한 건물 에너지 Retrofit 표준 Process 관련 기술의 기초 조사 및 이론 정립 (단국대학교)

(1) 국내·외 사례조사

(가) IPMVP

① IPMVP[3] 개요

○ IPMVP는 성능 측정 및 검증에 관한 국제 프로토콜이다. 초기에는 DOE가 재정적으로 지원하여 다양한 국가들의 협력을 반영한 M&V 방법이다. 현재는 EVO(Efficiency Valuation Organization)라는 독립된 기구로 존재하고 2012년 1월에 EVO 10000 - 1 : 2012로 개정되었다.

② 에너지절약설치의 평가 및 방법

○ 에너지절약설치의 평가, 측정방법 및 기간에 따라 사용되는 방안은 달라진다. 방안 A는 단기간의 측정치를 통하여 에너지절약설치의 성능요소만을 검증하는 것으로써 장기간의 에너지절감량은 다양한 운전요소의 추정/합의치로 결정된다. 방안 B와 C는 계약기간 중 지속적이거나 정기적인 측정을 실시하는데, 방안 B가 개별적인 에너지절약설치의 측정치를 다루는 반면 방안 C는 전체 빌딩 또는 전체시설 수준에서 이루어진 측정치를 사용한다. 방안 D는 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 이용하는 것으로써 방안 A, 방안 B, 그리고 방안 C 모두를 포함할 수 있다. 각각의 방안은 현장의 특징과 에너지사용자와 ESCO의 필요 및 예측상황에 따라 서로간에 장단점을 갖고 있다.

(나) 에너지진단 제도

① 에너지진단의 범위와 방법

○ 에너지 진단은 에너지관련 전문 기술장비 및 인력을 보유한 진단기관으로부터 에너지의 공급부문, 수송부문, 사용부문 등 에너지사용시설 전반에 걸쳐 사업장의 에너지이용 흐름을 파악하여 손실요인 발굴 및 에너지 절감을 위한 최적의 개선안을 제시하는 기술컨설팅을 의미한다.

○ 에너지 진단 단계 및 세부 진단에 관한 내용은 <표 2.1>과 같다. 사전조사, 현장 진단, 분석 및 보고서 작성으로 크게 3단계로 구성되어 있으며, 내용 추가 필요

3) International Performance Measurement and Verification Protocol

<표 2.1> 에너지 진단 단계 및 세부 진단내용 (지식경제부고시 제2010-50 호)

단 계	세부 진단내용
사전조사	· 에너지 이용시설 및 설비 관련 현황파악 · 에너지 사용형태, 제품생산 및 설비의 운용현황 파악 · 현장진단 일정, 각종 자료 및 진단 지원사항, 진단보고서 제출일자 등에 대한 상호 협의 및 정보교환
현장진단	· 설비별 에너지 사용 현황 상세 파악 · 에너지진단 세부계획 수립 · 측정장비에 의한 현장중심 진단 실시 · 에너지 운영시스템 점검 · 설비별 운전성능 및 운전상태 파악 · 에너지 손실요인 및 개선방안 도출 · 도출된 개선방안에 대한 투자경제성 분석 · 진단결과 도출된 개선방안에 대한 설명 · 에너지관리기준의 이행실태 확인
분석 및 보고서 작성	· 현장진단시 도출된 개선방안 상세 분석 · 적용가능 신기술 및 참고자료 수집 · 시설투자에 따른 기술적용사례 등 시장조사 · 진단보고서 작성 및 개선내용 평가 또는 감수 · 협의된 기간내 진단보고서 제출

○ 건물에서의 에너지진단의 범위는 건축물, 난방 및 급탕설비, 냉방 및 공조설비, 수배전설비, 동력설비, 조명설비 및 기타 설비로 구분되어 있으며 이에 대한 에너지진단의 범위를 나타낸다.

○ 진단보고서의 작성기준은 명시된 기준에 따라 에너지진단 기관으로부터 에너지 진단 보고서가 작성된다.

② 에너지진단의 개선 방향

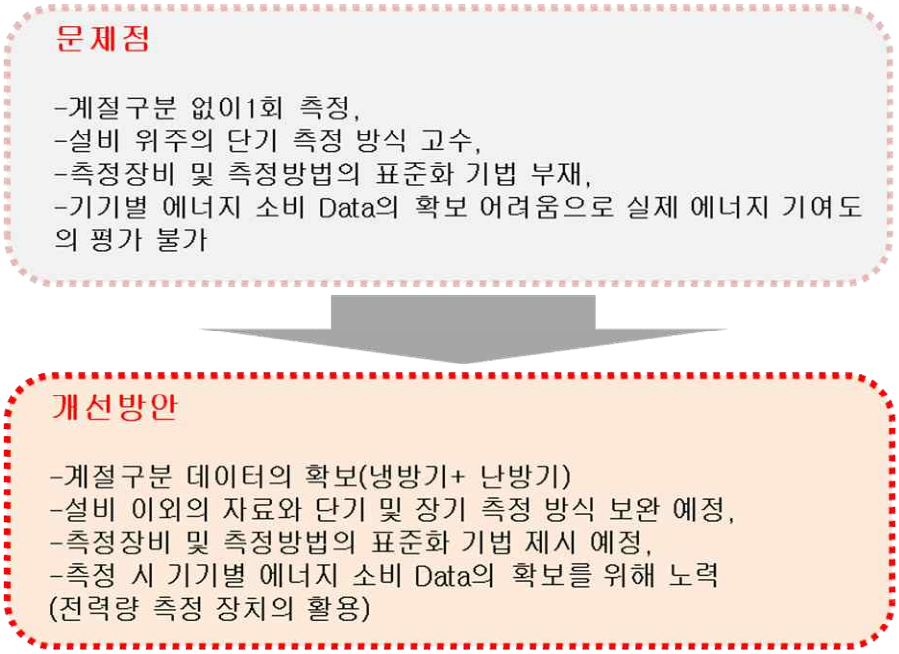
○ 문헌 및 실제 현장 조사와 설문 조사를 통하여 국내에서 현재 진행되고 있는 에너지 진단업무에 대해 조사하였다. 그 결과, 평균 실내 온도 산출 방법과 설비 기기 성능의 측정 부분에서의 미흡점이 나타났다.

○ 평균 실내 온도 산출

- 에너지진단 관련 국내외 기준 검토 결과, 정량적인 실내 평균온도 산출 방법에 관한 고려가 필요.
- 실제 용도별 건축물(판매시설, 상업시설, 공동주택, 도서관)의 실내온도 측정결과, 측정 위치별 온도 편차의 발생함

○ 기기설비 성능 측정

- 에너지진단 제도나 ESCO 사업 관련하여 에너지 진단 단계와 범위는 명시되어 있으나, 상세한 기계 설비의 측정 방법에 대해서는 미흡
- 진단 시기 및 진단 기간에 대한 고려 부족



[그림 2.2] 건물 에너지 진단의 개선 방향

③ 실내온도의 판단 기준

○ 정확한 실내온도의 산출은 과 냉난방에 의한 에너지 낭비를 방지할 수 있고, 정확한 냉난방 부하를 판단할 수 있으며, 지속적인 실내온도 측정시 실내 온도 데이터를 활용하여 공조시스템의 운영적인 면에서의 에너지 절감도 가능하다. 현재 에너지 진단 업체의 현장조사와 문헌 조사를 통해 실내온도의 평균값 산출은 5포인트에서 순간 측정으로 시행되고 있다. 이는 실내온도의 계절이나 시간을 고려하지 않은 형태로 신뢰성 있는 실내 온도 데이터의 측정 방안이 필요하다.

<표 2.2> 실내온도 측정의 문제점

	실내 온도 측정 방법	
	측정 시간	층별 평균온도 산정
공공기관 에너지이용합리화 추진에 관한 규정 [개정 2012. 02. 08 지식경제부고시]	순간 측정 (1분 간격 3회)	5포인트의 산술평균 값 (방위별외주부4 포인트 +내부주1 포인트)
에너지 사용의 제한에 관한 공고 [지식경제부 공고 제2011-599호]	순간 측정 (1분 간격 3회)	5포인트의 산술평균 값 (창측1 포인트+벽측1 포인트 + 내주부3 포인트)
ESCO 사업의 활성화를 위한 에너지 성능측정, 평가규약 개발 및 실증화 연구, 2002 [산업자원부(구 지식경제부)]	측정 기준은 없음	
IPMVP, 2012 [EVO(Energy Valuation Organization]	측정 기준은 없음	

㉮ 대상 건물의 개요

○ 대구에 위치하고 있는 업무용 건축물이다. 지하 8층 ~ 지상 20층 규모로 주요 냉난방 시스템은 CAV + FCU를 적용하였다.

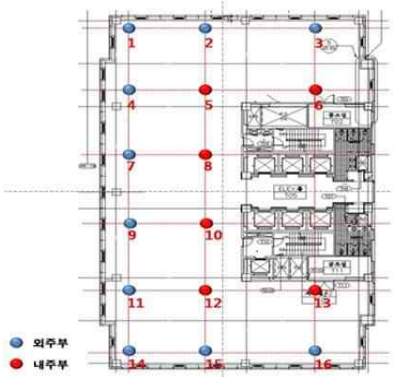
<표 2.3> 실내 온도 측정 대상 개요

건물위치	준공일	주요용 도	규 모	냉난방시스템	실내온도측정
대구광역시 수성구	2002.4	업무시설 (근린생활시설)	지하8층/ 지상20층	CAV + FCU	환기온도 센서

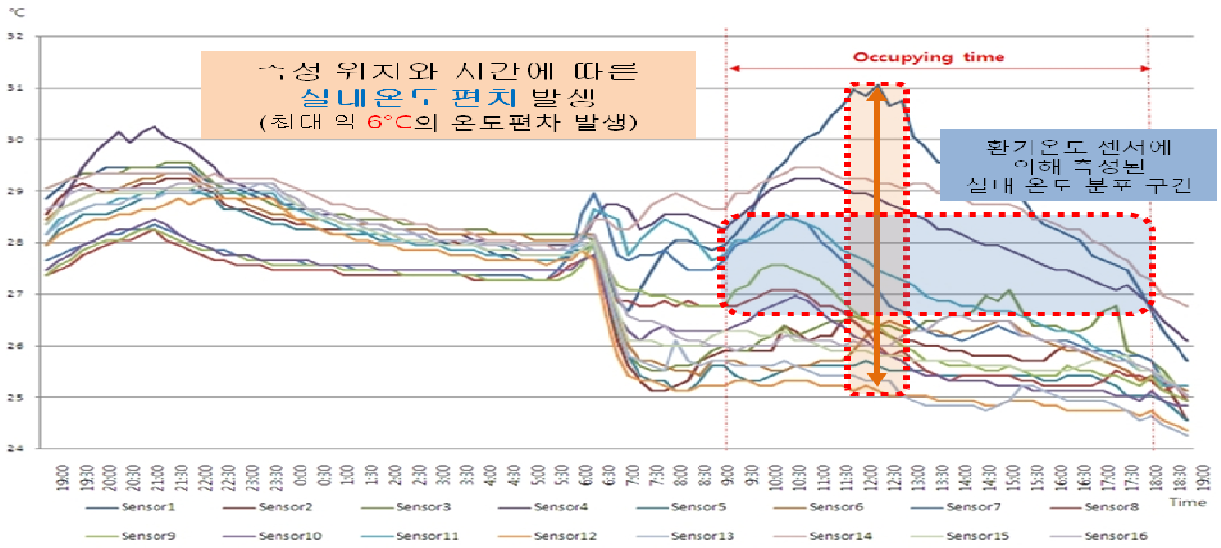
㉯ 측정 방법

○ 내외주부를 구분하여 16포인트에서 각각의 실내 온도를 측정하였다. 측정 기간은 2009년 7월 24일 19시 ~ 25일 19시 이다. 표??은 대상 건물의 개요와 실내온도 측정 포인트 및 측정 장비를 나타낸다.

<표 2.4> 실내온도 측정 포인트 및 장비

	실내 온도 측정 포인트	측정 장비
이미지		
설명	기준층을 내외주부로 구분하여 16개의 포인트에서 실내온도를 24시간 동안 측정하였다.	Hobo Light Intensity Logger

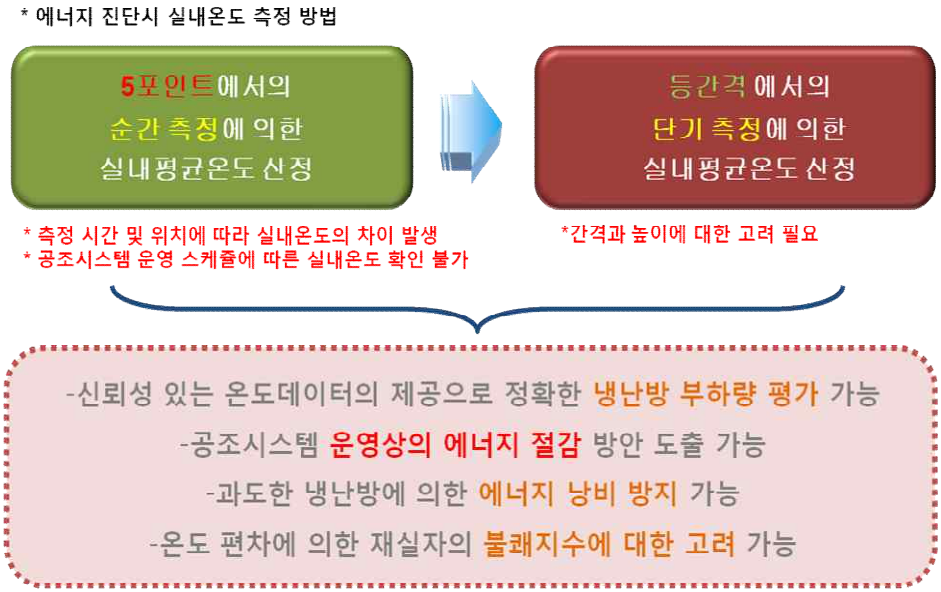
㉰ 측정 결과



[그림 2.3] 실제 실내 온도의 측정

○ [그림 2.3]은 실내 온도의 측정 결과를 나타낸다. 측정 위치와 시간에 따라 실내온도가 최대 6℃의 온도편차가 발생하였다. 시간의 흐름과 위치마다 실내온도 편차가 크게 발생하는 상황에서 5포인트에서의 순간적인 실내온도의 측정은 신뢰성 있는 실내 온도 데이터라고 말하기에는 다소 어려움이 있다. 또한, 대상건물은 BEMS가 적용된 건물로 건물 운영자가 실내온도라고 판단하는 공조기 환기센서에 의한 실내온도데이터와 실제 측정한 실내 온도데이터와의 차이도 나타났다.

○ 이 외에도 도서관, 판매시설, 공동주택을 대상으로 같은 방법으로 실내온도 측정을 하였다(자세한 내용은 3장 5절 참고). 건물 마다 약간의 차이는 있었으나 대체로 실내온도 편차가 발생하였다.

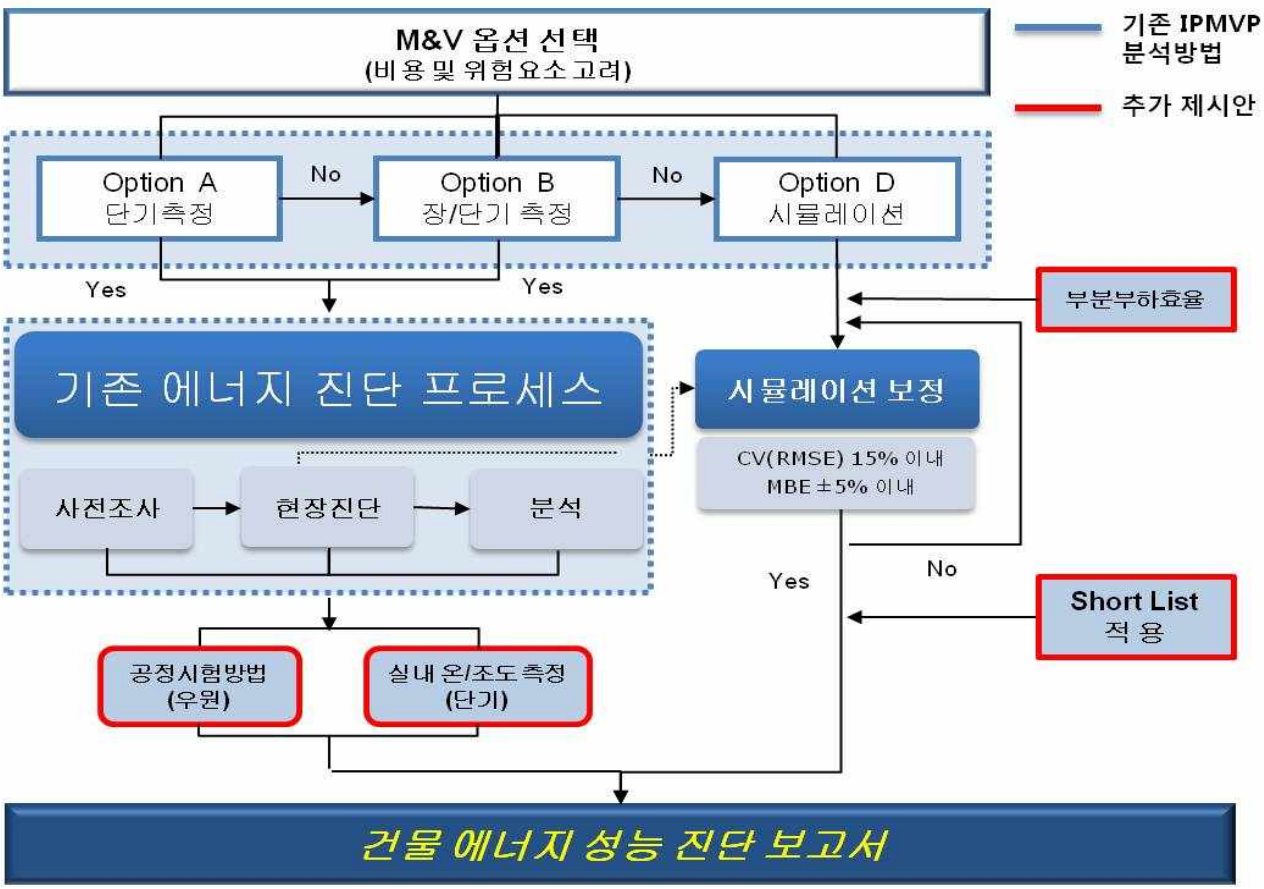


[그림 2.4] 실내온도 측정 방법의 제안

(다) 건물 에너지 성능진단 프로세스

① 건물 에너지 성능 진단 프로세스(안)

○ [그림 2.5] 은 기존 건물 에너지 성능 진단 프로세스(안)을 나타낸다. 에너지 성능진단제도와 ESCO 사업 그리고 IPMVP의 건물 에너지 성능 진단 프로세스를 바탕으로, 전술하였던, 장/단기적인 실내온도 측정 방법과 공정시험 방법을 적용함으로써 기존 프로세스와의 차별성을 가진다.



[그림 2.5] 건물에너지 성능 진단 프로세스

○ 에너지절약설치의 평가, 측정방법 및 기간에 따라 사용되는 방안은 달라진다.

○ 방안 A는 단기간의 측정치를 통하여 에너지절약설치의 성능요소만을 검증하는 것으로써 장기간의 에너지절감량은 다양한 운전요소의 추정/합의치로 결정된다. 방안 B는 개별적인 에너지절약설치의 측정치를 다룬다. 방안 D는 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 이용하는 것으로써 방안 A, 방안 B를 포함할 수 있다.
○ 각각의 방안은 현장의 특징과 에너지사용자와 ESCO의 필요 및 예측상황에 따라 서로간에 장단점을 갖고 있다.

② 기존 에너지 진단 프로세스

<표 2.5> 기존 건물 에너지 성능 진단 프로세스

건물현황	- 건축물 개요 - 설계도서 및 도면 조사
⇩	
설비현황	- 열원시스템 구성 조사 - 에너지 사용 현황 조사 - 주요 에너지 설비현황 파악 - 전기사용 설비현황
⇩	
설문조사 및 현장조사	- 설문조사 및 Check list 조사 - 성능진단 기준에 따른 평가항목 조사
⇩	
성능진단 기준	- 열원설비 - 기타설비 - 실내 온도 측정(장/단기) - 공정시험 방법 적용
⇩	
자료수집 및 부하분석	- 일사 및 외기, 실내발열량 등 대상 건물의 부하를 파악 - 건물 에너지 절감 방안 도출 및 적용
⇩	
평 가	- 에너지 절감량 검토 - 경제성 검토

㉮ 건물현황
- 건물현황은 건물의 현장조사를 위한 기본 자료로 건물의 위치, 업종, 준공년도, 연면적, 냉난방면적, 동수, 부대시설 등을 나타낸다.

㉯ 설비현황
- 설비현황의 조사로 도면에 나타난 열원시스템 구성, 열원시스템 장비와 기타 설비, 에너지(전기, 가스), 유지관리비, 생애비용 등에 대한 현황조사가 이루어진다.

㉰ 설문조사 및 현장조사
- 설문조사 및 현장확인 항목은 설문조사와 사전에 작성된 사전조사서를 바탕으로 건물 운

영 관리자와 함께 현장의 설비를 확인하고 실질적인 조사를 통해 성능진단 기준에 따른 평가항목들을 준비한다.

㉮ 성능 진단 기준

- 성능진단 기준은 공조설비 성능진단에 대한 각 항목별로 세부기준으로 구성된다. 공조설비 성능진단 기준의 세부항목은 열원설비인 보일러, 냉동기, 냉각탑, 흡수식 냉온수기, P.A.C 등과 반송설비인 펌프, FAN, 덕트시스템 등으로 구분되며, 기타 공기조화기, 가열·냉각코일, VAV·CAV BOX, 팬코일 유닛, 열교환기 등도 포함된다.
- 공조설비 성능 진단은 건물 에너지 성능 진단을 위한 공정시험 방법에 의해 시행되고, 온도센서를 활용하여 5포인트에서 순간 측정에 의해 산출된 실내 평균 온도가 아닌 등간격으로 단/장기 측정에 의한 실내 평균 온도 산출방법을 적용한다.
- 공조설비 성능진단 기준은 16가지로 구분하며 각각의 측정항목을 나타낸다.

(2) 건물 에너지 데이터 분석 및 4개용도 건축물의 실측진행

(가) 개요

① 건축물 용도별 현장조사 대상 선정 배경

○ 우리나라에서는 온실가스를 2020년까지 예상배출량(BAU)대비 30%를 줄이겠다는 목표를 세우고, 12년부터 온실가스배출과 에너지 사용이 제일 많은 35개 의무 관리업체를 대상으로 온실가스·에너지 목표관리제가 본격적으로 시행되고 있다.

<표 2.6> 온실가스·에너지 목표관리제 대상

구 분	판매시설	업무시설	리조트	종합병원	대학교	호텔	공항
개소	8	2	6	5	9	3	2
대표 업체	롯데쇼핑, 이마트	농수산물 공사	에버랜드, 강원랜드	삼성의료원연세의료원	서울대, 고려대	호텔롯데, 워커힐	인천공항, 김포공항

② 건축물 용도별 현장조사 대상

<표 2.7> 건축물 용도별 현장조사 대상

	추가	4개 용도			
	용도측정 시범 대상	공동주택	업무시설	판매시설	숙박시설
이미지					
주소	경기도 용인시		서울시 서초구	서울시 강동구	경기도 용인시

○ 조사대상의 접근성 및 측정의 용이성을 고려하여 시범성 건물 선정하였으며, 시범 대상 건물에 대한 실측 진행 후 4개 용도 건축물 현장조사를 진행 하였다.

③ 대상 건축물별 현장 조사 요소

<표 2.8> 대상 건축물별 현장 조사 요소

		시범 대상 건물	공동주택	업무시설	판매시설	숙박시설
설계도서	건축	○	○	○	○	○
	기계	○	○	○	○	○
에너지 사용량	전기	X	○	○	○	○
	가스	X	○	○	○	○
실측데이터	실내 온도(순간)	○	○	○	○	X
	스케줄	○	-	○	○	-
	기계 설비 성능 (유량, 풍량등)	O	X	X	○	X

(3) 기존 건물 Retrofit 표준 프로세스의 개발

(가) 에너지 Retrofit의 개요

① 에너지 Retrofit의 필요성

○ 온실가스 및 지구온난화 문제 등으로 인해 전 세계 각국에서는 에너지절약형 건물의 보급, 확산을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 과거 건물에서의 에너지 절약은 단순히 경제적 측면에서의 당위성이 강조되었다고 한다면 지금은 경제적 측면과 더불어 지구온난화 방지라고 하는 환경적 측면에서의 당위성이 함께 강조되고 있는 상황이다. 국내 에너지 소비량의 약 22.3%를 건물 분야에서 차지하고 있다.
○ 건물부문의 에너지 소비 비중은 개발이 진행될수록 산업과 수송부문의 비중이 높아져 감소하지만 선진국으로 갈수록 에너지 집약적 산업에서 탈피하고 서비스 산업의 비중이 높아짐에 따라 다시 증가하는 경향을 보인다. 미국, 영국 등에서는 약 40%의 에너지가 건물부문에서 소비되고 있으며 전력에너지의 소비 비중은 76%에 이른다.[4] 선진국형 산업구조로 변할수록 그 비율의 증가가 예상되고 있으며 현재 약 4,500만TOE에서 2030년에 약 6,800만TOE로 지속적인 증가세를 보일 것으로 예상된다. 이로 인해 건축물 부분에서의 에너지 소비저감을 향한 근본적이면서도 실질적인 방안이 필요로 하다
○ 그러나 기존 건물은 에너지절감 잠재성이 큰 부분임에도 불구하고, 준공 후의 에너지 사후관리 체계가 매우 취약하다. 또한 기존건물의 리트로핏 시, 리트로핏 항목은 장기적인 에너지 모니터링에 따른 소비특성 분석에 의해 설정되지 않고 있다. 현재 리트로핏 항목은 경제

4) Architects and Climate Change, 2008, AIA

성. 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.

○ 현재 기존 건축물의 경우는 ESCO사업과 건축물 에너지 효율등급등의 에너지 사용량에 대한 개선 사업이 진행이다. 하지만 기존 건축물의 에너지 성능 평가의 툴과 프로세스가 부족한 실정이며 진단 방법의 표준화 부족과 인식이 부족하다. 본 연구 에서는 기존 건축물의 에너지 성능 개선을 위한 프로세스를 제시하고자 한다.
항과 실측을 통해 얻어진 내용을 토대로 성능개선 우선 순위 인자 도출

(나) 건축물의 에너지 절감요소

<표 2.9> 건축물의 에너지 절감 항목

건축물의 에너지 절감 항목	
건축 에너지 부하 저감 기술	-Green Roofs(옥상 및 벽면 녹화) -주 풍향 분석을 통한 자연환기 성능 효율화 -지능형 외피시스템, 이중 외피시스템, 외부차양시스템 -방위 및 배치 최적화 -친환경/고효율 건축기자재
기계설비 에너지 부하 저감 기술	-외기냉방 시스템 -냉각 효율화 계통 설계 -Chiller Replacement (냉동기 교체) -Ventilation Fans (배기 팬) -High Efficiency Motors (고효율 모터) -Heat Pumps (히트 펌프) -Heat Recovery and wheels (열 회수 휠) -Tri-generation (삼중열병합 - 발전/냉방/난방) -Heat Recovery (배/폐열 회수) 기계설비 EMS 프로그램 -최적 기동/정지제어, 절전운전 제어, 외기냉방제어, CO2농도제어
신 재생/대체 에너지 기술	-Combined Heat & Power (열병합) -Solar (Heating & Photovoltaic) -Small Scale Wind Turbine -Rainwater Harvesting, Biomass -Ground source heat pumps -River Water Cooling -Landfill Gas Utilization -Chilled Water / Ice Storage -Anaerobic Digester(Biogas) -Waste Handling / Waste Reduction

○ 건축물은 관리 대상, 관리 요소가 많으며, 에너지 관리 요소와 기술적 복잡도가 높으므로 에너지 관리 정책, 에너지 관리 시스템 구축이 필요하다.

① 건축적 요소

- 건축물의 기본 에너지 절감 방안은 빌딩의 기본 부하를 최소화 하는 것이다.

ㄱ. 외벽/창호 설계

- 외피의 열 성능을 좋게 하며 외피에서 열 손실을 최소화 하여 빌딩의 기본 부하의 최소화를 추구 한다. 이중외피의 사용, 일사조절, 고기밀 창호등의 방법이 사용된다.

ㄴ. 자연채광

- 인공적인 조명을 사용하지 않고 채광하는 것으로 태양을 광원으로 해 주광조명이라고도 한다. 거실내를 자연채광으로 충분한 밝기를 확보하고 쾌적한 환경을 갖추기 위한 조건으로서는 다음과 같다.

· 창의 방향. 크기. 높이를 능률적으로 한다.
· 벽과 천정의 빛깔을 반사율이 큰 색으로 한다.
· 창의 통과광량이 크고 지나치게 밝을 때에 눈부신 것을 막기위해 커튼등으로 차광한다.
· 실내의 조도를 고르게 하기 위해 벽이나 가구의 빛깔 등의 반사광을 이용해서 고르게 한다.

ㄷ. 일사차폐

- 일사 차폐물에 의해 창이나 외벽, 지붕 등에 닿는 일사를 차단하는 것, 직달 일사가 주 대상으로 되지만 천공 일사는 반사도 고려하는 경우가 있다.

② 설비 시스템

- 설비/ 시스템의 구축을 통해 에너지의 효율을 최대화 하여야 한다.

ㄱ. 냉난방 및 급탕

- 적정 용량 설비 시스템/ 고효율 시스템/외기 냉방시스템

ㄴ. 조명 설비

- 고효율 조명/ 적정 조도 확보/ 인버터 시스템

ㄷ. 열 회수 시스템

- 배열, 폐열 활용

③ 운영적 요소

- 에너지 운영 관리/ 유지보수를 통해 에너지의 손실을 최소화 하여야 한다.

ㄱ. 절전 운영

- 운영 스케줄

ㄴ. 최적 기동 제어

- 운영 스케줄

ㄷ. 유지 관리

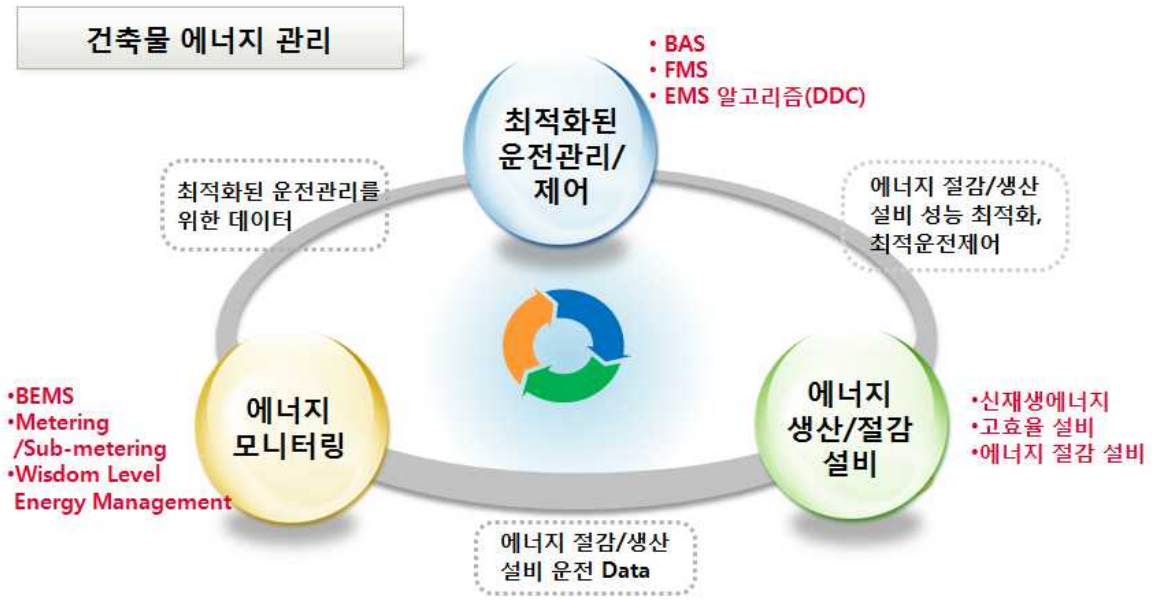
- 에너지 분석에 따른 유지 관리 지침

④ 신재생 에너지

- 신재생 에너지 사용을 통해 에너지 생산 및 CO2 발생을 최소화 하여야 한다.

(다) 건축물의 에너지 관리 방안

○ 건축물의 에너지 관리는 “최적화된 운전관리/제어”, “에너지 절감/생산설비”, “에너지 모니터링” 등의 3요소를 최적화 하여 관리하는 것이다.



① 에너지 관리의 3요소

㉮ 최적화된 운전관리, 제어

○ BAS : 대형 빌딩의 냉난방. 조명. 방범 등 관리기능을 관제실에 설치된 관리 전용 컴퓨터로 조절하는 시스템

- 주요기능 : 자동제어 시스템의 운영 경험과 수치를 근거로 BA 시스템 내에 라이브러리화, 이를 바탕으로 운영 관리하는 기능

○ FMS : 제조 공장에서 사용되는 각종 공작기계, 로봇, 반송기계 등을 계산기에 의해 제어, 운용하여 생산에서의 조작성, 융통성, 기동성 등을 높히고 특히 다품종 소량 생산의 생산성 향상을 노린 것이지만 최근에는 대량 생산 분야에서도 채용되고 있다. CAD/CAM을 그 기반으로 하고 있지만 전 공장을 공장 LAN으로 결합하여 강력한 통신망을 구축하여 기동적인 시스템을 실현하고 있다.

- 주요기능 : 시설 자산관리의 일관성 유지 및 해당 설비에 대한 정보의 일원화

㉯ 에너지 절감, 에너지 생산을 하기 위한 설비 , 기기

○ 신재생/대체 에너지 기술

- 대체에너지 개발 및 이용. 보급 촉진법, 1998.06.18 시행

* “대체에너지”라 함은 석유. 석탄. 원자력. 천연가스가 아닌 에너지로서 다음 각호의 1에 해당하는 것을 말한다.

(a)태양에너지 (b)바이오에너지 (c)풍력 (d)소수력 (e)연료전지 (f)석탄을 액화.가스화한 에너지 (g)해양에너지 (h)폐기물에너지 (i)기타 대통령령이 정하는 에너지

- 신에너지 및 재생에너지 개발. 이용.보급 촉진법, 2004년 시행~2011.06.11. 개정

- 신에너지 및 재생에너지“(이하 ”신.재생에너지“라한다)란 기존의 화석연료를 변화시켜 이용하거나 햇빛. 물. 지열. 강수. 생물 유기체 등을 포함하는 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 것을 말한다.

(a)태양에너지 (b)풍력 (c)수력 (d)연료전지 (e)해양에너지 (f)지열에너지 (g)수소 에너지

(h)생물자원을 변환시켜 이용하는 바이오 에너지로서 대통령령으로 정하는 기준 및 범위에 해당하는 에너지

(i)석탄을 액화. 가스화한 에너지 및 중질잔사유를 가스화한 에너지로서 대통령령으로 정하는 기준 및 범위에 해당하는 에너지

(j)대통령령으로 정하는 기준 및 범위에 해당하는 폐기물 에너지

(k)그 밖에 석유. 석탄. 원자력 또는 천연가스가 아닌 에너지로서 대통령령으로 정하는 에너지

㈐ 운전관리를 위해 최적화된 에너지 모니터링

○ BEMS

BAS(Building Automation System)+FMS(Facility Management System)=BEMS

<표 2.10> BEMS 종류 및 내용

BAS (Building Automation System)	설비기기의 상태감시, 운전관리 등을 수행
EMS (Energy Management System)	에너지관리, 실내 환경관리, 설비운용관리 등을 수행
BMS (Building Management System)	설비기기대장관리, 수선이력관리, 보수스케줄 등을 수행
FMS (Facility Management System)	시스템자산관리, 도면관리, 라이프 사이클 매니지멘트를 수행

: 빌딩거주자의 쾌적도를 저하시키지 않으면서 기존건물을 대상으로 에너지 및 비용을 극소화하기 위한 에너지절약 조치 및 전략을 강구함으로 건물의 생애기간동안 최상의 조건에 경제성을 고려한 건물에너지관리시스템(Building Energy Management System)

ㄱ. BEMS의 기능

- 빌딩거주자 쾌적도를 저하시키지 않으면서 기존 건물을 대상으로 에너지 사용량을 최소화
- 에너지 소비량의 파악
  · 비효율적으로 운영되는 장비의 발견
  · 자동제어의 최적화 제어 확인
  · BEMS 운영을 통한 분석 및 적용으로 에너지 소비량 절감
  · 설비의 효율적인 운전으로 장비 수명 연장 및 비용절감
  · 실내환경 및 공조성능 관리로 입주자 만족도 개선

ㄴ. BEMS의 특징

- 국가의 경제규모가 커짐에 따라 건물이 대형화되고 3차 산업의 부상에 따라 대형 복합건물이 다수 출현하고 있으며, 이와 같은 방대한 건물과 시설의 운영에는 많은 에너지

가 사용되고 있음

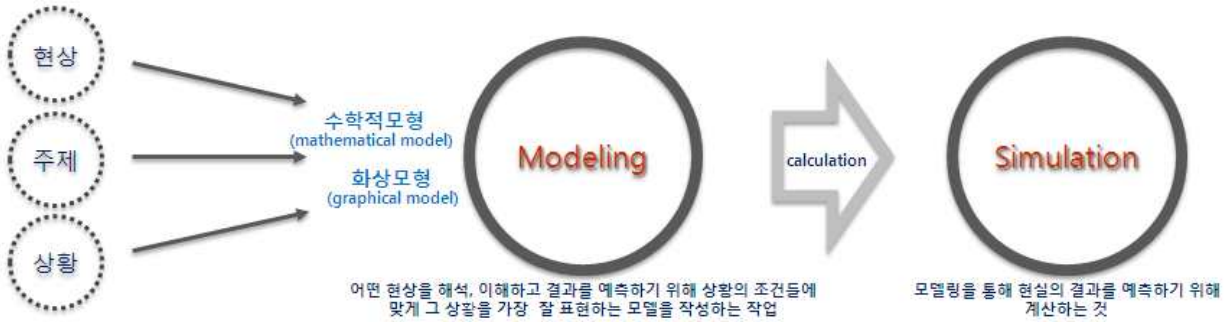
- 복합건물은 대부분 시설이 복합하고 운영시간과 부하량이 매우 상이함으로 설비별, 종류별, 용도별로 에너지사용 분포를 파악하고 분석함으로 에너지 절약 및 경제성을 고려한 계획을 수립으로 에너지를 비용을 최소화할 수 있음

- 일예로 하절기 건물의 전력수요는 냉방부하의 영향이 가장 크기 때문에 냉방 부하를 예측하고 또, 이 냉방부하에 맞추어 적정 냉동기를 운전할 수 있는 프로그램

- 냉열원 생산 설비별 열원생산 단가를 에너지 수급 단가의 변화에 따라 산출하고, 생산설비의 생산용량을 파악하여 외기온도의 변화 및 시설의 사용현황을 적용한 일일 냉방 부하량을 예측하여 운영경비가 적게 되는 설비를 선택 운영하여 에너지 절감을 할 수 있음

(4) 시뮬레이션을 활용한 용도별 건축물의 성능개선 Check List의 우선순위 도출

(가) 에너지 성능평가 시뮬레이션의 개요



① 모델(Model)

- 일련의 변수(variables) 및 이들 변수간의 논리적, 정량적 관계를 표현하는 이론적, 개념적 구축

② 모델링(Modeling)

- 어떠한 현상을 개념적으로 표현하기 위해 모델을 구축해가는 과정

○ 건축물 시뮬레이션은 단순히 그 형태만을 나타내는 것 뿐만 아니라 여러 복합 인자(태양, 빛, 열, 공기, 음, 전기, 기계, 비용. 피난 등)들의 수많은 상호 작용을 담고 있다.



(나) 시뮬레이션 결과 값의 보정 및 정확도 확보

① Weather File

○ 현재 시뮬레이션 상의 기후데이터는 부정확한 데이터 값을 사용하고 있으며 이를 해결하기 위한 방안이 필요하다. 그 지역에 맞는 정확한 기후 데이터를 사용하여야만 시뮬레이션의 결과값의 정확성을 확보 할 수 있다.

② 용도별 profile

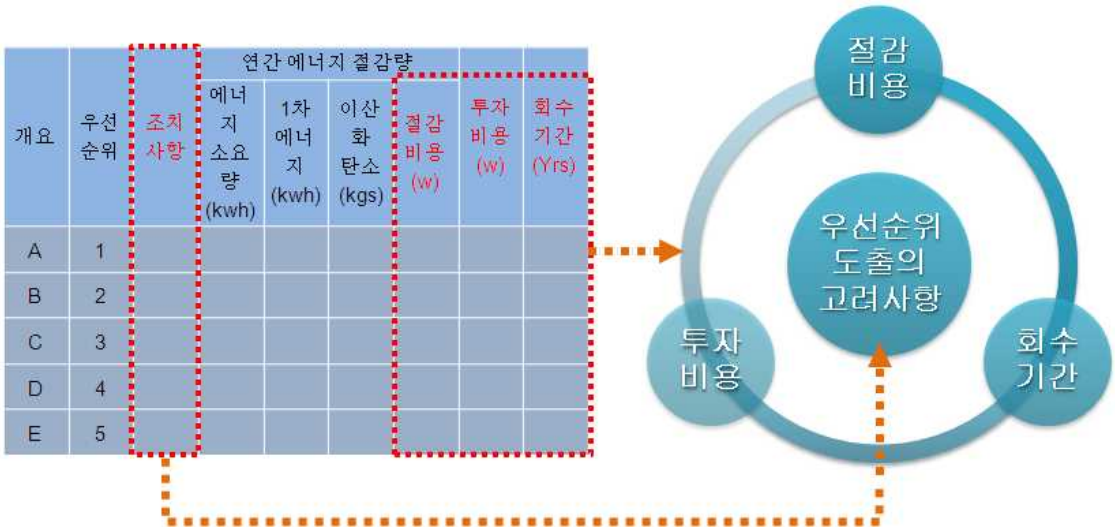


○ 각 용도별로 스케줄 , 냉난방 기준온도 등의 현장 조사를 통한 실제 공조운영현황을 적용하여 시뮬레이션 상의 결과값의 정확성을 확보 하고자 한다.

③ 설비 시스템

○ 현재 우리나라에서 사용하는 에너지 시뮬레이션의 설비 기기 입력 값은 외국 기준이거나 부정확한 설비 기기성능이 대부분 입력 되어 있다. 이러한 점을 수정하기 위해 국내 설비기기의 DB구축을 통해 얻어진 값을 시뮬레이션 상의 적용함으로써 정확한 시뮬레이션의 결과값을 확보하고자 한다.

(다) 기대효과



○ 기존 건물의 성능 개선 프로세스를 구축하며 에너지 절감량 뿐만 아니라 절감비용, 투자비용, 회수 기간 등의 사양이 고려된 우선순위 도출을 통하여 건축물의 성능개선을 위한 프로세스을 제공할 수 있을 것이다.

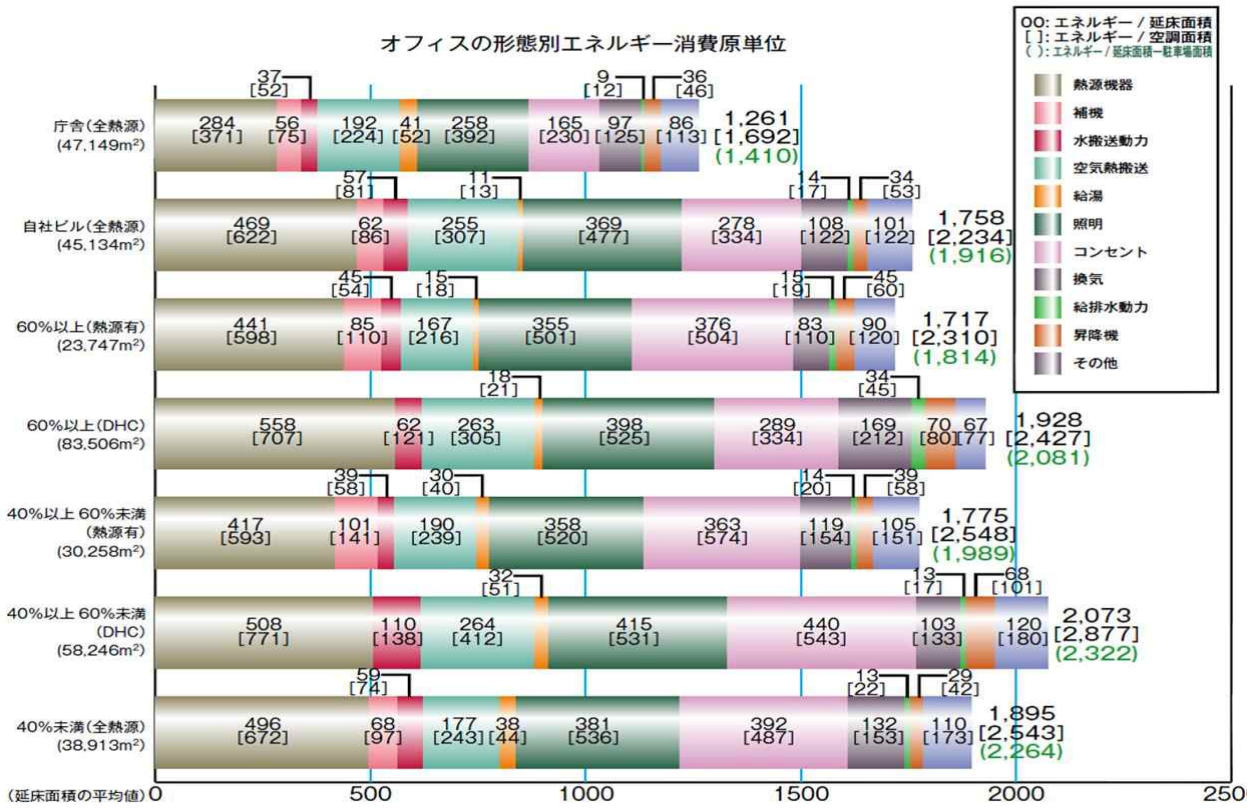
나. 건물 에너지 소비량의 정량적 산출이 가능한 표준 평가 모델 구축을 위한 기초 조사 및 이론 정립 (G & S !NNOVATION)

(1) 업무용 건물 에너지 소비총량에 영향을 주는 설계 인자별 기여도 분석

(가) 업무용 건축물의 형태별 에너지 소비 원단위

○ 업무용 건축물 빌딩의 형태별 에너지 소비 원단위는 아래의 는 오피스 빌딩 조사 데이터보다 에너지 소비 구조의 분석이 가능한 120 개의 유효 데이터를 추출하고 청사 자사 빌딩, 세입자 빌딩으로 분류하고, 세입자 빌딩은 면적 대비 [대실 면적]에서 층별, 기 용도별 에너지 소비 원단위 (각 데이터 군의 중앙값)를 표시한 것이다.

① 청사는 일반 오피스 빌딩에 비해 공조 운전 기간 · 실내 온도와 조명의 소등 등의 관리가 철저하고있는 곳이 많은 그들의 에너지 절약 노력이 원 단위로 나타나고 있음. 또한 회의장과 같이 상시 사용되지 않은 부분을 면적에 포함한다.
② DHC (지역 열공급) 빌딩은 도시의 규모가 큰 초고층 · 고층 빌딩이 많은 창문이 열리지 않는 등의 구조로 냉각시 사이가 길어, 업무의 특성상 근무 시간이 긴 고객이 많이 입주해있는 등의 이유로 원단위가 크게 되어있는 것으로 보인다.
③ 면적 비율이 작을수록 원단위가 큰 경향이 있다. 이것은 에너지 소비 원단위의 큰 사무실이 아닌 점포의 면적 비율이 높기 때문인 것이기 때문이다.



[그림 2.6] 업무용 건축물의 에너지 소비원단위(MJ/㎡y)

(출처 : http://www.eccj.or.jp)

(나) 건물 구성요소 및 용도별 에너지사용량 비율 제시

○ 건물을 구성하는 설비요소 및 용도별 에너지사용량 비율을 <표 2.11>과 같이 고려하였다. 이 비율은 일본의 실제 오피스 건물을 대상으로 제시한 값으로 추후 조사대상 건물에 대한 용도별 에너지사용량 비율을 고려하여 제시할 필요가 있다.

<표 2.11> 건물구성 설비요소 및 용도별 에너지사용량 비율

<table>
<tr><td colspan="8">공조설비</td><td>위생 급탕 설비</td><td>조명 설비</td><td>승강기</td><td>콘센트</td><td>변전 설비</td><td>기타</td></tr>
<tr><td colspan="8">50 %</td><td>0.5%</td><td>28%</td><td>5%</td><td>7%</td><td>3%</td><td>6.5 %</td></tr>
<tr><td colspan="3">열원설비</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">2차측설비</td><td>환기 설비</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3">28.5 %</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">14 %</td><td>7.5 %</td></tr>
<tr><td>냉동기</td><td>보일러</td><td>냉온수 1차펌프</td><td>냉각수펌프</td><td>냉각탑</td><td>냉온수 2차펌프</td><td>공조기</td><td>환기/배기팬</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>14 %</td><td>9%</td><td>4%</td><td>2%</td><td>0.5 %</td><td>4%</td><td>10%</td><td>7.5%</td><td>0.5%</td><td>28%</td><td>5%</td><td>7%</td><td>3%</td><td>5.5 %</td></tr>
</table>

(다) 설계 요소별 냉난방부하 기여도

○ 건물의 냉난방부하 및 총부하에 대한 설계변수 평가는 유의한 수준의 변화를 갖는 설계변수에 대한 기여도를 바탕으로 작성되었다. 이러한 방법은 각 주요 설계변수의 상대적인 중요도 및 설계변수들이 연간 냉난방부하량에 미치는 영향력을 파악하는 것이 가능하다.

○ 건물에너지 관련 주요 설계변수 중 유의도가 유의수준 0.05이하로써 유의한 수준의 변화를 갖는 주요 설계변수에 대하여 건물의 연간 냉난방부하에 미치는 기여도를 산정한 결과는 아래의 <표 2.12>와 같다.

○ 주요 설계변수의 냉난방부하에 대한 기여도는 창면적비가 약 40.9%를 차지하여 가장 큰 영향을 미치며, 내부발열밀도(34.9%), 차폐계수(14.4%), 창호의 열관류율(8.8%)의 순으로 분석되었다. 이는 냉방부하여 경우, 창을 통한 일사의 효과가 가장 크며, 창호의 전도 열획득 및 손실이 연간 냉난방부하량에 주요한 영향을 미치기 때문이다

<표 2.12> 연간 냉난방부하에 대한 각 설계변수의 기여도

설계변수		기여도(%)		
		냉방부하	난방부하	총부하
a1	창의 차폐계수	14.4	49.2	21.7
a2	창면적비	40.9	33.9	54.6
a3	창호의 열관류율	8.8	4.6	3.7
a4	내부발열밀도	34.9	11.4	19.5
a5	외벽의 열관류율	0.6	0.8	0.1
a6	구조체의 열용량	0.4	-	0.4

○ 난방부하에 대한 기여도는 차폐계수(49.2%), 창면적비(33.9%) 내부발열밀도(11.4%), 창의 열관류율(4.6%)순으로 영향력을 미치는 것으로 나타났다.
○ 총 부하에 대한 기여도는 난방부하 및 냉방부하 대한 각 설계변수의 기여도를 총부하에 대한 냉난방부하의 비율로 가중 평균하여 산정하였다. 각 설계변수별로 냉방부하에 대한 영향력과 난방부하에 대한 영향력이 복합적으로 반영되어 창면적비가 약 54.6%를 차지하여 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 차폐계수(21.7%), 내부발열밀도(19.5%), 창호열관류율(3.7%)의 순으로 분석되었다.

(2) 공동주택 건물 에너지 소비총량에 영향을 주는 설계 인자별 민감도 분석

(가) 설계요소별 건물 에너지 소비량 기여도

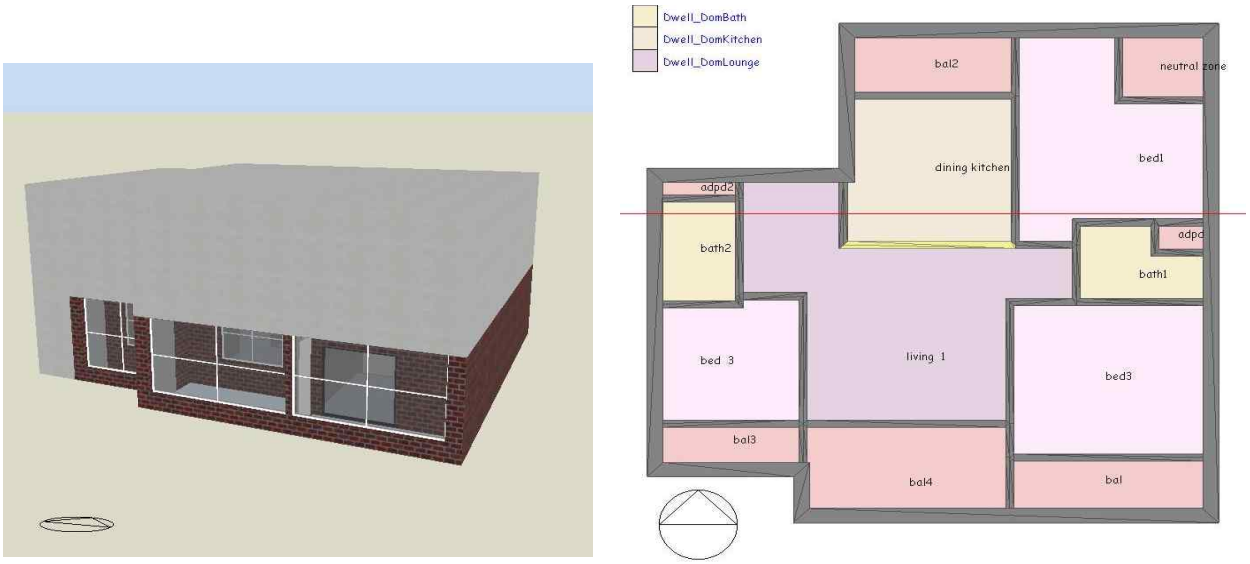
○ 공동주택 발코니의 경우 냉난방부하 인자에 대한 평가가 고려되어야할 필요성이 있다. 따라서, 본 장에서는 공동주택의 발코니 비 확장의 경우 차양효과 및 비공조 존으로서의 열적 광학적 특성을 고려하여 발코니 외기면 창호의 창면적비, 일사취득 계수, 창호의 열관류율을 설계 영향 인자로 분석 대상을 정의하였으며 이 세 가지 인자 조합에 의한 주거건물에서 난방부하와 더불어 냉방부하 연간 냉난방부하 총량에 미치는 영향도를 분석하기로 한다.

(나) 공동주택의 발코니 창호의 설계 사양에 따른 에너지 부하 영향 모델

① 시뮬레이션 모델의 조건 설정
○ 본 장에서는 외기면 발코니 창면적비, 일사취득계수 및 열관류율을 변수로 냉난방 부하 계산을 위해 대표적 공동주택 모델을 정의하였으며 이를 정밀 시뮬레이션 툴인 EnergyPlus 6.0을 사용 하여 냉난방부하를 계산하였다. 평균적인 아파트 세대 모델을 정의하기 위해 LH 공사의 표준 주거세대 중소형 주택 표준 평형인 59㎡ 세대를 채택하였다. 기상데이터는 한국태양에너지학회에서 제공하는 대한민국 표준 기상데이터에서 서울지역을 적용 하였으며, 아파트 외벽체 열관류율 값은 건축물 단열 기준의 중부지역 값인 0.36W/㎡K 로 설정하였다. 발코니 외벽 창호 면적비는 면적율에 따른 냉난방 부하 패턴 변화를 확인하기 위해 20%, 50%, 80%로 3가지 케이스를 선정 하였다. 열관류율 및 일사 취득계수의 변수를 식을 도출하기위해 단일유리와 2중유리 그리고 단일과 2중에 따른 투명, 컬러코팅, Low-E 코팅 유리를 적용하였으며 그 계수값은 표 2에 나타낸 바와 같다.

○ 본 아파트 모델은 남향 최하층 측벽세대로 위치 한 것으로 정의하였다. 본 연구의 목적은 발코니 설계 요소에 대한 냉난방 부하 영향 인자 평가 모델의 타당성을 연구 하는 것이므로 세대의 위치는 상관이 없으나 냉난방부하의 특성이 비교적 균형되게 나타나는 위치의 세대를 선택하였다.

○ 위와 같이 시뮬레이션 모델은 [그림 2.7]에 나타난 바와 같으며, 시뮬레이션 계산 조건은 <표 2.13>에 나타낸 바와 같다.



[그림 2.7] 시뮬레이션 모델링 이미지

<표 2.13> 시뮬레이션 모델 조건 개요

구분		내용
규모	면적	59 ㎡
	층고	2.7 m
외피	외벽	0.36W/㎡ K
	창면적비 %	20%, 50%, 80%
내부발열	인체	0.2 kW/㎡
	조명	1.1 kW/㎡
	기기	5 W/㎡
운영조건	온도설정	냉방 25℃ / 난방 18℃

<표 2.14> 유리형태의 유리 종류별 열관류율과 일사취득계수 값

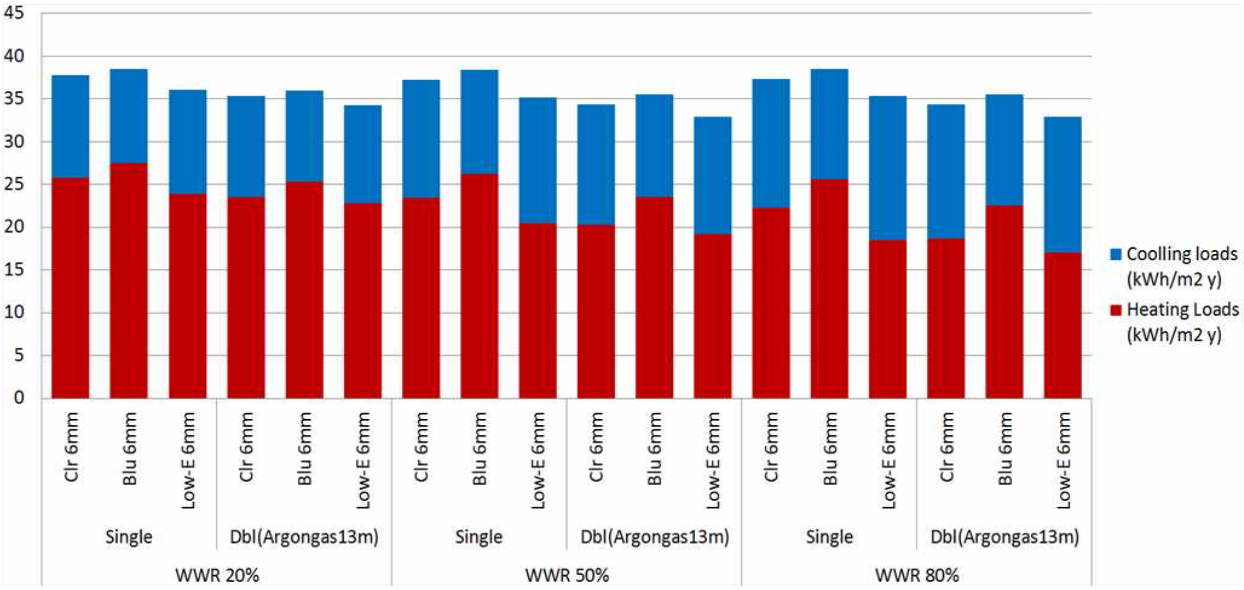
유리형태	단일유리			이중유리 (아르곤 가스 13mm)		
	Clr 6mm	Blu 6mm	Low-E 6mm	Clr 6mm	Blu 6mm	Low-E 6mm
일사취득계수	0.81	0.587	0.71	0.698	0.48	0.568
열관류율	6.121	6.121	4.233	2.549	2.549	1.499

② 시뮬레이션 결과

○ [그림 2.8]은 분석대상 전 사례에 대한 결과를 나타냈다. 일반적인 선행 결과와 유사하게 난방부하 및 연간 총 부하는 창면적 80% 투명Low-E 유리에서 가장 낮았으며 냉방부하는 창면적 20% 이중컬러유리에서 가장 낮게 도출되었다.

○ 즉, 일사취득량의 비율에 따라 냉난방부하비가 비례하여 증가(냉방) 및 감소(난방) 함 을 알 수 있다. 다만, 이러한 일사취득량에 대한 영향은 창호의 열관류율 변화에 따라 다르게 나타냄을 결과표를 통해 알 수 있다. 창면적비,

○ 열관류율, 일사취득계수의 종합적 변화에 따른 부하량은 다중 회귀분석법을 사용하여 모델을 구하였다. 다음절은 그 분석 결과이다.



[그림 2.8] 설정값 변경에 따른 냉난방부하 추이

③ 다중선형회귀분석을 통한 부하 민감도 도출

㉮ 회귀분석 유의수준에 따른 가설 설정

○ 창면적비, 일사취득, 열관류율 등의 발코니 외벽 창호 요소들이 냉난방부하에 어떠한 영향을 미치는지 분석하기 위해 시뮬레이션 결과 값을 토대로 통계 소프트웨어인 SPSS 12.0를 활용하여 다중선형회귀분석을 수행하였다.

○ 발코니 외벽 창호 요소와 부하간의 산출된 회귀식에 대한 유의성에 대해 (가)난방부하, (나)냉방부하, (다)총부하를 각각 살펴보면 <표 2.15>와 같이 결정계수(R2) 값이 0.885, 0.876, 0.937이고, 수정된 결정계수(Adjusted R2) 값이 0.861, 0.850, 0.924이므로 본 모델은 종속변수의 변화에 대한 설명력을 86%, 85%, 92%이상 가지고 있는 것으로 나타났다. 또한, 유의확률이 0.000으로 유의수준인 0.05보다 작게 나타나 회귀분석은 유의미하다.

<표 2.15> 모형 추정결과

R		R2	Adjusted R2
(1)	0.941	0.885	0.861
(2)	0.936	0.876	0.850
(3)	0.968	0.937	0.924

<표 2.16> 분산분석결과

모형		제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
(1)	회귀분석	135.966	3	45.322	36.001	0.000
	잔차	17.625	14	1.259		
(2)	회귀분석	48.646	3	16.215	33.049	0.000
	잔차	6.869	14	0.491		
(3)	회귀분석	50.734	3	16.911	69.909	0.000
	잔차	3.387	14	0.242		

㉯ 난방부하에 대한 회귀분석 결과

○ 각 발코니 외벽 창호 요소가 난방부하에 미치는 영향은 표준화 계수(β)의 값을 바탕으로 변수별 영향력을 살펴보면, 발코니 외벽 창호의 열관류율, 창면적비, 일사취득계수 순으로 영향력이 높은 것으로 나타났다. 열관류율이 증가함에 따라 난방부하에 정(+)영향으로 작용하며 창면적비와 일사취득계수가 증가함에 따라 발코니 내부의 일사취득 량이 증가함으로 난방부하에 부(-) 영향으로 작용한다. 난방부하에 대한 발코니 외벽 창호 요소의 영향력은 <표 2.17>와 같다.

<표 2.17> 난방부하에 대한 다중회귀분석 결과 영향도(Beta)

구 분	Beta	t	Sig.	공선성 통계량
				VIF
상수(C)		17.655	0.000	
창면적비	-0.565	-6.235	0.000	1.000
열관류율	0.865	8.234	0.000	1.348
일사취득계수	-0.544	-5.173	0.000	1.348

<표 2.18> 난방부하요소에 따른 비표준화 계수

	비표준화 계수	
	B	표준오차
상수(C)	29.954	1.697
창면적비(x1)	-0.067	0.011
열관류율(x2)	1.407	0.171
일사취득계수(x3)	-14.628	2.828

○ 난방부하에서 3가지 변수에 의한 회귀식은 다음 식과 같다.

Y=29.954-0.067x1+1.407x2-14.628x3

㉰ 냉방부하에 대한 회귀분석 결과

○ 각 발코니 외벽 창호 요소가 냉방부하에 미치는 영향은 표준화 계수(β)의 값을 바탕으로 변수별 영향력을 살펴보면, 발코니 외벽 창호의 창면적비, 일사취득계수, 열관류율 순으로 영향력이 높은 것으로 나타났다.

○ 발코니 내부의 일사 취득에 따른 온도 상승요인으로 창면적비, 일사취득계수는 냉방부하에 정(+) 영향으로 작용한다.

○ 냉방부하에서 3가지 변수에 의한 회귀식은 아래 식과 같다

<표 2.19> 냉방부하에 대한 다중회귀분석 결과영향도(Beta)

구 분	Beta	t	Sig.	공선성 통계량
				VIF
상수(C)		5.469	0.000	
창면적비	0.786	8.363	0.000	1.000
열관류율	-0.374	-3.426	0.004	1.348
일사취득계수	0.583	5.340	0.000	1.348

<표 2.20> 냉방부하요소에 따른 비표준화 계수

	비표준화 계수	
	B	표준오차
상수(C)	5.792	1.059
WWR(x1)	0.056	0.007
열관류율(x2)	-0.365	0.107
일사취득계수(x3)	9.427	1.765

Y= 5.792+0.056x1-0.365x2+9.427x3

㉱ 총부하에 대한 회귀분석 결과

○ 각 발코니 외벽 창호 요소가 총부하에 미치는 영향은 표준화 계수(β)의 값을 바탕으로 변수별 영향력을 살펴보면, 발코니 외벽창호의 열관류율이 가장 큰 정(+)의 영향력 즉 부하 증가 영향 인자임을 알 수 있다.

○ 총 냉난방부하에서 3가지 변수에 의한 회귀식은 아래 식과 같다.

<표 2.21> 총 부하에 대한 다중회귀분석 결과영향도(Beta)

구 분	Beta	t	Sig.	공선성 통계량
				VIF
상수(C)		48.066	0.000	
창면적비	-0.155	-2.315	0.036	1.000
열관류율	1.079	13.903	0.000	1.348
일사취득계수	-0.326	-4.196	0.001	1.348

<표 2.22> 총 부하요소에 따른 비표준화 계수

	비표준화 계수	
	B	표준오차
상수(C)	35.747	0.744
창면적비(x1)	-0.011	0.005
열관류율(x2)	1.041	0.075
일사취득계수(x3)	-5.201	1.240

Y= 35.747-0.011x1+1.041x2-5.201x3

㈐ 회귀방정식 검증

○ 설계 영향인자 다중요소의 복합적인 작용에 의한 냉난방 부하를 산출 할 수 있는 회귀분석 기반 모델식 검증을 위해 초기 시뮬레이션 모델의 입력 데이터 값을 변화시켜 임의의 창면적비, 열관류율, 일사투과계수를 적용하여 시뮬레이션 결과값과 모델식 결과값을 비교 하였다. 검증을 위한 설계요소 값 변화는 <표 2.23>과 같이 하였다.

<표 2.23> 회귀식 위한 창호의 물성치 및 창면적비

유리종류		창면적비 (x1)	유리 열관류율 (x2)	일사투과계수 (x3)
1	더블 브론즈코팅6㎜	30	3.157	0.487
2	트리플 Low-E	60	1.778	0.678
3	싱글 3㎜	90	6.275	0.858

○ <표 2.23>의 설계요소 변화값에 따른 시뮬레이션 결과와 동일한 물성치를 회귀식에 대입하였을 때의 난방부하, 냉방부하, 총 부하의 결과 비교는 다음의 <표 2.24>~<표 2.26>에 나타난 바와 같다.

<표 2.24> 난방부하 회귀식 오차율

	시뮬레이션 난방부하 (kWh/㎡y)	회귀식난 방부하 (kWh/㎡y)	오차율(%)
1	25.42247	25.262063	0.63
2	17.99646	18.517862	2.897
3	21.40577	20.202101	5.623

<표 2.25> 냉방부하 회귀식 오차율

	시뮬레이션 냉방부하 (kWh/㎡y)	회귀식 냉방부하 (kWh/㎡y)	오차율(%)
1	11.099	10.910	1.7
2	15.007	14.894	0.75
3	15.894	16.629	4.62

<표 2.26> 총 부하 회귀식 오차율

	시뮬레이션 총 부하 (kWh/㎡y)	회귀식 총 부하 (kWh/㎡y)	오차율(%)
1	36.521	36.170	0.961
2	33.004	33.411	1.235
3	37.3	36.826	1.269

○ 창면적비, 열관류율, 일사투과계수 3가지 요소가 동시에 변수로 작용 하였을 시 냉난방 부하를 가늠할 수 있는 회귀 방정식을 검증한 결과 동적 시뮬레이션과 간이식의 오차는 최대 5.6% 최소 0.63% 로 나타났다. 회기분석결과 종속변수의 변화에 대한 설명력은 난방부하 86%, 냉방부하 85%, 총부하 92%이상 이다. 총부하의 회귀식 설명력이 높은 것과 유사한 결과로서 총 부하 회귀식 검증결과 3가지 케이스에서 모두 최대오차율은 1.3%를 넘지 않는 결과로 나타났다.

(3) 해외 관련 표준 및 국내외 계산 모델 조사

(가) 유럽 HVAC 모델

① EPBD와 건물 에너지 평가 모델의 개발목표

○ 유럽의 건물 에너지 절약 지침(Energy Performance Building Directive)은 신축 건물을 위한 최소한의 표준과 기존 건물을 위한 에너지 성능 인증절차를 위한 건물 전체의 에너지 성능 평가를 위한 계산법(툴)을 요구하고 있다. 이 계산법은 건물의 설계, 설치된 공조기계, 조명시스템의 효과를 포함한 것이다. 특히 공조 시스템은 그 기기가 다양하고 시스템의 범위가 넓어 기기 각각의 효율 보다는 시스템 효율을 계산해 내는 것이 중요하다.

○ 본 장에서는 영국 SBEM의 알고리즘 발전 과정에서 이 공조 시스템의 평가 방법론의 발전 과정상에 이슈 사항 등을 조사한 것을 요약 하고 국내 건물 에너지 성능 평가 법에 시사점을 제시하고자 한다.

○ 신축건물을 위한 에너지관련 건물 규정은 많은 나라에서 전통적으로 건물외장이나 단지 열에너지 사용 등에 집중되어 왔었다. 하지만 최근 몇 년 동안, 특히 상업용 건물의 조명과 공기조화 시스템의 전력의 수요가 증가하고 이러한 에너지 수요가 야기하는 탄소 배출 문제가 유럽 각국의 에너지 환경 정책의 주요 이슈가 되어왔다.

○ 전통적으로 주안점이었던 난방과 단열만으로 건물 에너지 성능을 평가하는 것을 보완하여 EPBD 준수를 위한 건물 전체의 에너지 성능 개선을 위해 통합형 에너지 계산법을 개발하여 왔다. 이 통합형 계산 방법은 전 유럽에 걸쳐서 신축건물의 기본규정으로 사용되기 시작하였다.

○ 공기조화 시스템은 시스템별로 효과가 다양하여 대안도 많이 있고 효율을 판단하는데도 쉽지가 않다. 한편, 전통적으로 외피의 열 성능 강화 및 열원기기의 최소 기준 효율을 도입하는 방식은 난방수요를 감소시키는데 기여를 하여 왔다. 그러나 이제는 단열재의 두께 증가 등은 추가 개선의 경제적 이익이 상대적으로 적어지게 되었고 공기조화 시스템을 포함한 에너지 공급 시스템의 다양한 대안에 대한 평가가 중요하게 되었다. 복잡한 시스템에 대한 평가 이므로 기술적으로 견고함이 뒷받침되어야 하는 요구가 있는 한편 적용성을 높이기 위해 평가 프로세스의 간편성과 일관성 등이 또한 요구된다. 영국 SBEM을 개발한 BRE에서 제시한 건물에너지 시스템 성능 평가모델 개발에 고려해야 할 평가모델 개발 목표들은 다음과 같다.

ㄱ. 기술적 신뢰성: 기술적으로 견고한 계산과정 및 현실적인 결과의 도출.
ㄴ. 차별성: 더 효율이 좋은 시스템은 더 좋은 수치를 산출하여야 한다.
ㄷ. 반복성: 다른 사용자도 같은 결과를 얻을 수 있어야 한다.
ㄹ. 투명성: 데이터와 계산과정은 검증을 위해 보고 될 수 있어야 한다.
ㅁ. 사용의 편이성과 관리가 가능한 데이터 요구사항

○ 위 요구사항들은 상호 상충되는 면이 있고 경우에 따라서는 어느 한 면이 강조될 수도 있을 것이다. 예를 들면 설계를 위한 평가모델로서는 좀 더 상세하고 기술적으로 견고한 방법이 선택이 될 것이고 인증에 사용될 평가 툴의 경우 투명성과 편이성 등이 강조되게 될 것이다.

② HVAC 시스템의 평가 모델

○ HVAC 시스템의 성능 평가는 요소별, 단계별로 다양한 스케일로 정의 될 수 있다. 가장 간단한 방법은 시스템 요소들의 세부적 요건들을 간소화 하여 하나의 블랙박스모델로 만드는 것이다. 세부화된 시스템 모델링 같은 복잡한 방법은 입력 데이터의 량이 많으며 적용시에

시간도 많이 소모된다. 입력 데이터의 확보 문제도 하나의 장애가 될 수 있으며 따라서 모델 자체의 문제보다는 입력 데이터의 부족으로 인한 불확실성이 더 평가 모델의 질을 떨어뜨리게 할 수 있다.

○ 특히, 기존 운영중인 건물에서는 계산모델에서 요구되는 데이터를 확보하는 것이 쉽지 않으며 수집을 위해 투여되는 시간과 자원이 상당히 요구되기도 한다.

○ 유럽에서는 월별 계산법으로 EN 13790 방식이 가장 널리 사용되고 있는데 시간별 시뮬레이션 방법은 건물 설계 단계에서 널리 사용되어 왔고 에너지 규제를 위한 평가 툴로서는 잘 쓰지 않는다. 대부분의 HVAC 시스템에서는 시간대별(혹은 그보다 더 짧은 간격으로)로 계산을 하는 것이 시스템의 제어운영 반응 시간에 적합하다. 이러한 시간별 계산법은 동적인 시스템 시뮬레이션 기법이 될 수도 있고 온도 빈도수기반 BIN법이 될 수도 있다. 시간별 계산결과는 월별로 평균을 낼 수 있어 월별 평가를 할 수 있으나 그 역으로는 상당히 어렵다.

③ 시스템 에너지 효율계수의 정의

○ HVAC 의 통합된 시스템으로서 시스템 효율의 정의는 팬, 펌프 등을 보조 에너지라고 하여 별도로 취급하고 에너지 생산기기, 운반 계통을 포함한 것으로 범위를 정의한다.

○ 예를 들면, 난방기 시스템 효율계수(System Coefficient of Performance) 은 HVAC 시스템이 담당하는 공간의 총 난방 요구량을 열원 기기(주로 보일러)에 투입되는 에너지로 나눈 비율로 계산한다. 여기에는 난방 열원 기기 자체의 효율 및 배관과 덕트의 손실 및 누기에서 생기는 열손실을 고려하며 팬과 펌프에서 사용되는 에너지는 포함시키지 않는다. 냉방시스템의 경우 시스템 에너지효율 비(System Energy Efficiency Ratio)는 시스템이 담당하는 공간의 의해 제공 되는 냉방 요구량을 냉방열원기에 투입되는 에너지로 나누어 산출된 비율이다. 여기에는 냉열원기기의 효율 및 배관과 덕트 열손실 및 덕트 누기에서 생기는 열취득을 고려한 것이며 팬과 펌프에서 사용되는 에너지는 포함하지 않는다. 냉방 요구량 계산에서는 현열 냉각만을 산출하기 때문에 잠열냉방부하를 포함하는 것은 나중에 고려될 만한 사항이다.

④ EN 15243

○ EN 15243은 HVAC 시스템의 효율 계산을 다룬 표준이다. 이 표준에는 관련된 부속 표준들이 포함되어 있으며 구체적인 계산 과정은 정의되어 있지 않다. 이 표준은 HVAC 시스템 성능이 월간 혹은 시간별로 계산되는 것을 다룬다. 표준안은 건물의 냉방 부하와 그 부하를 담당하는 HVAC 시스템에서 사용된 에너지간의 관계에 영향을 줄 수 있는 40여 가지의 메커니즘을 파악하였다. 여기에는 20개 내외의 HVAC 시스템 종류에 대하여 어떤 메커니즘이 어떤 시스템에 적용될 수 있는지 <표 2.27>에 정리되어 있다.

○ 이 표준은 어떤 시스템이 다루어져야 하는지 어떻게 메커니즘을 적용할 것인지를 정하기 위해 계산과정(법)을 요구한다. 그러나 각 메커니즘이 어떻게 다루어져야 하는지 구체적으로 규정하고 있지는 않다. 예를 들어, 차가운 닥트에서의 열 취득 효과는 자세하게 계산 될 수도 있고 혹은 일정한 비율을 지정해 줄 수도 있다 (혹은 무시될 수도 있다).

○ 상황에 따라 계산과정(법) 이 수준이 다른 게 적용하도록 하는 것이 적합할 것이다. 이 표준은 단지 사용자가 알아야 할 것 사용자의 필요에 따라 어떤 계산과정이 적합한지를 판단할 수 있도록 도와주는 역할을 할 뿐이다.

<표 2.27> Assigning pump power to HVAC systems

Code	System name	Does not always include heating provision and may be used with separate heating system (including room heaters which may be within terminals)	Does not include integral provision of ventilation and may be used with separate (cooled) ventilation system
A	All-air systems		
A1	Single duct system (including multi-zone)		
A2	Dual duct system		
A3	Single duct, Terminal reheat		
A4	Constant Volume (with separate heating)	∨	
A5	Variable Air Volume (with separate heating)	∨	
B	Water-based systems		
B1	Fan coil system, 2-pipe	∨	∨
B2	Fan coil system, 3-pipe		∨
B3	Fan coil system, 4-pipe		∨
B4	Induction system, 2-pipe non change over	∨	
B5	Induction system, 2-pipe change over		
B6	Induction system, 3-pipe		
B7	Induction system, 4-pipe		
B8	Two-pipe radiant cooling panels (including chilled ceilings and passive chilled beams)	∨	∨
B9	Four-pipe radiant cooling panels (including chilled ceilings and passive chilled beams)		∨
B10	Embedded cooling system (floors, walls or ceilings)		∨
B11	Active beam ceiling system	∨	∨
B12	Heat pump loop system		∨
	Packaged Air Conditioning Units		
C1	Room units (including single duct units)	∨	∨
C2	Direct expansion single split system	∨	∨
C3	Direct expansion multi split system (including variable refrigerant flow systems)	∨	∨

⑤ 영국의 접근방법

○ 유럽의 계산 방법은 독일, 네덜란드 등에서 유사한데, 영국은 네덜란드 방식을 따라갔다 할 수 있다. 네덜란드는 HVAC 시스템 계산법에서 독일 것에 비해 좀 더 단순한 방식을 취하였다. 예를 들면, 덕트의 누기는 포함하지 않다. 독일의 표준안은 좀 더 상세한 계산 과정을 포함하고 있는데 예를 들면, 펌프의 에너지 사용량(열 방출 장치를 포함한) 계산법도 다루고 있다. 영국은 비주거 건물의 경우 시간별 계산이 가능한 정밀 시뮬레이션 툴의 공인제도를

함께 운영하면서 간이법 계산 툴인 SBEM(Simplified Building Energy Model)을 개발하여 사용 하고 있다.

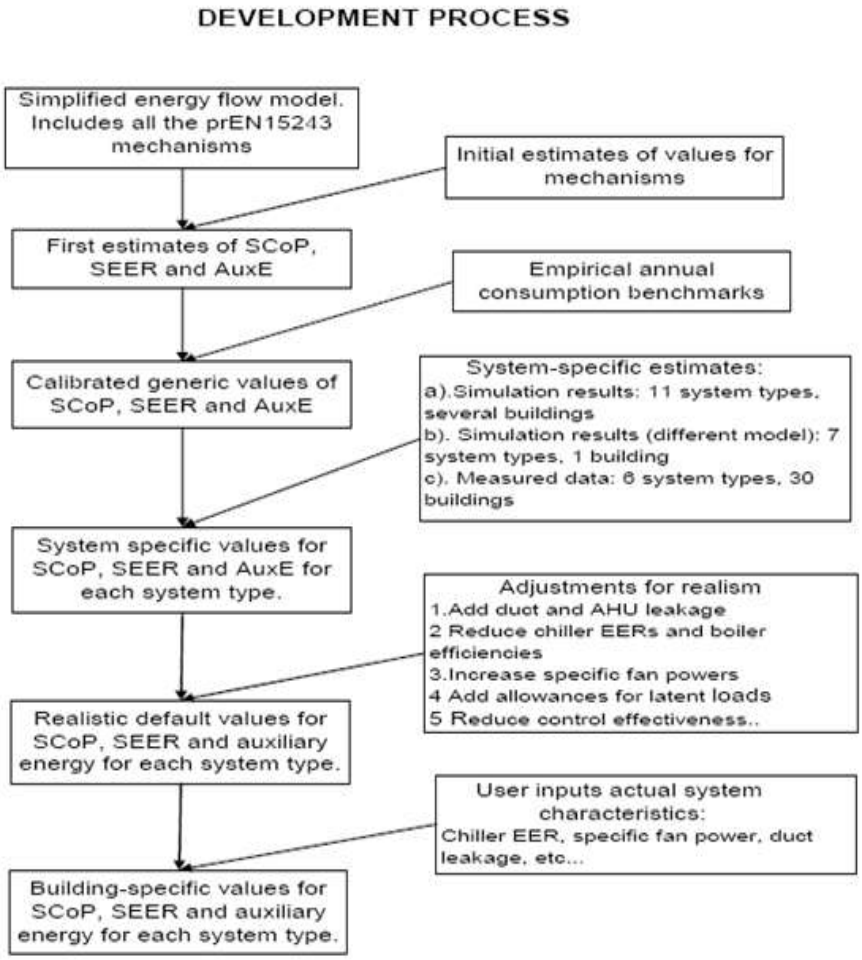
○ SBEM에서의 냉난방 부하 계산 모델은 ISO 13790의 월별 간이법이며 HVAC 시스템의 계산도 이와 연계하여 월별 시스템 성능 계수를 사용한다.

○ 영국의 계산모델의 기본은 신축/기존 건물과 표준 건물과의 탄소배출량을 비교 하는 것이다. 표준 건물은 평가 대상 건물과 동일한 건물 모양, 운전 패턴, 기후조건을 가지고 있는 한편 건물 구조체 열 성능과 시스템 효율계수는 표준 값이 고정되어 있다. 그러므로 표준 건물은 HVAC 시스템의 정하지 않고 미리 고정된 효율계수(SCOP, SEER)을 사용하게 된다.

○ 건물의 각 공간(존)에는 HVAC 시스템이 지정되며 매월 냉난방 부하 및 보조 에너지 부하가 계산되고 SCOP 와 SEER 에 의해 소비량이 산출 된다.

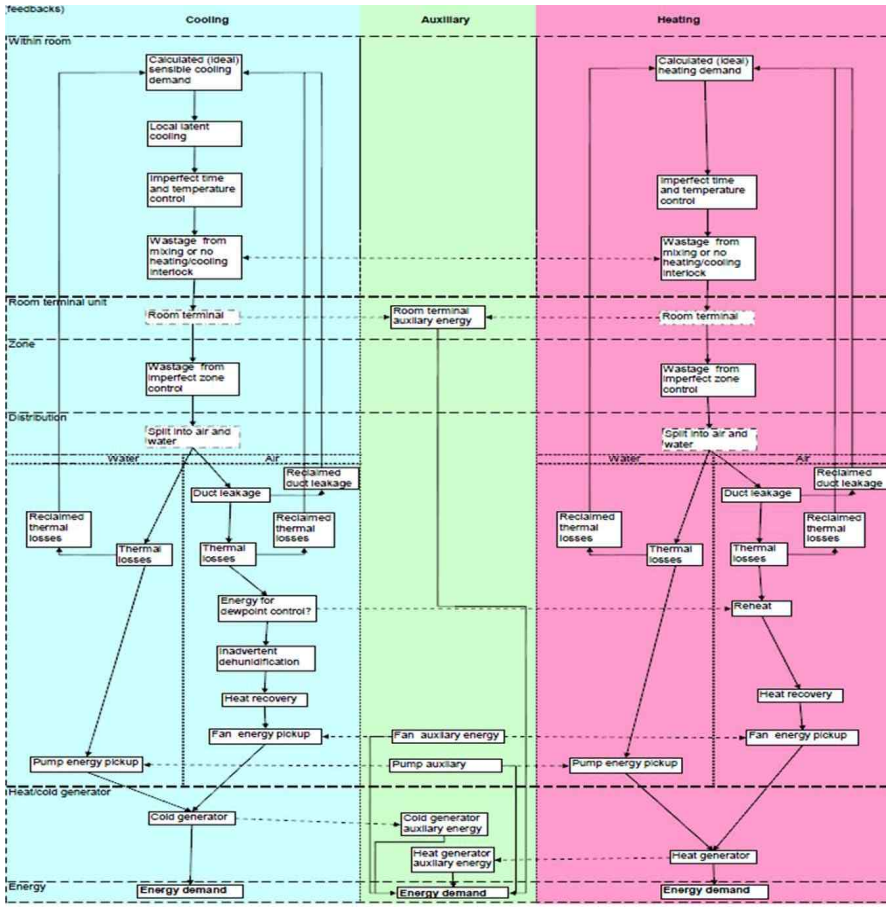
○ 각 시스템 타입에 따라 공간내 높이별 온도 변화와 연관 지어 수직 온도 분포와 성층화 방지 팬의 운전 유무에 따라 냉난방 부하 값이 조정된다.

○ 또한, 복사열전달비율이 거주공간에 어느 정도 인가에 따라 냉난방 부하 값을 조정한다. 이러한 조정 값은 대부분의 공간 및 시스템에서는 미세한 수준이나 층고가 높고 환기가 잘되는 공간에서는 그 조정 값이 크게 반영될 수 있다. [그림 2.9]는 HVAC 시스템 모델 개발의 과정을 나타낸 것이다.



[그림 2.9] HVAC 모델 발전과정

○ 계산 모델상의 에너지 흐름은 EN15243의 메커니즘을 포함하여 만들어 졌는데 그 논리 흐름도는 [그림 2.10]에 나타낸바와 같다.



[그림 2.10] EN 15243 에너지 논리 흐름도

○ 기본 원칙은 EN 15243의 모든 메커니즘들을 다룰 수 있도록 매개변수들의 일관성을 제공하는 것이다. 에너지 흐름 도는 몇 가지 파라미터들이 통합되는 방식으로 간략화 하였다. 예를 들어, 냉각수 배관의 열은 조절된 냉방 에너지 흐름의 비율로 표현된다. 값을 명확히 결정할 수 없는 많은 매개변수들이 있고 그러한 변수들 중에는 최종 결과 값에 큰 영향을 주지 않는 것들이 다수 있다. 이러한 매개변수들의 값들은 시스템유형에 따라 기본 값을 주어지도록 한다. 사용자들은 두가지 방법으로 시스템 성능에 영향을 준수 있는 데 첫 번째는 시스템 타입을 선택하는 것(이때 기본 값들이 정해져 있다.) 과 두 번째는 선택된 시스템의 매개변수 값을 조정하는 것.

○ SBEM에서 사용된 SCOP, SEER 및 보조에너지 기기들의 계수 값은 초기에 정해진 가정에 따라 산출된 초기 소비량 값을 경험치(측정치)와 비교하여 조정을 하여 수정을 하였다. 이러한 과정은 시스템의 매개변수 값들의 이론적 결과를 보정하는 것이었다. 한편으로 사무소 건물들에서 종류가 다른 시스템들의 에너지 소비량 간에 비교를 수행한 기존 연구들을 참고하였다. 이러한 비교분석에는 동일한 건물들에 다른 에너지 시스템을 비교하기위해 수행한 두개의 상이한 모델을 사용한 시뮬레이션 결과들이 포함되어 있다. 그중 하나의 연구는 여러 건물들에 11가지 상이한 시스템이 운영되었을 때 소비량 산출이며 또 다른 연구는 동일한 건물에서 7가지 다른 시스템을 평가한 것이기에 쓴 모델은 첫번째 연구의 모델보다 더 상세한 시스템 구성 기기를 정의하여 시뮬레이션 한 것이다.

○ 다음 단계로 두가지 시뮬레이션 결과들과 30개 건물(6개 시스템종류가 운영되는)로부터 측정된 에너지 소비량과 합쳐서 시스템별 SCOP, SEER, 보조 에너지의 효율계수를 개발하는데 사용하였다.

○ 시뮬레이션 결과들과 측정 결과들을 토대로 각 시스템별로 동일한 결과 값이 나올 수 있도록 효율계수 매개변수들을 조정하면서 표준 값을 구하였다. 이 조정과정은 스프레드시트를 사용하여 수행하였다. 시뮬레이션은 너무 이상적인 제어와 운전 조건을 가정하고 있기 때문에 몇몇 매개변수들은 그 값을 좀 더 현실적으로 표준 값을 낮추곤 하였다. 예를 들면, 덕트 및 공기조화기의 누기율을 높게 조정했으며 냉동기 및 보일러의 효율은 낮추고, 팬의 정격 소비량은 높이고 잠열부하의 비율을 높이고, 제어 효과는 낮게 맞추었다. 이런 식으로 각 변수의 기본값(Default)은 일반적인 건물에너지시스템에서의 소비 기준치를 포괄할 수 있도록 하였다. 한편, 이상적인 변수값은 모범 사례 건물로서 기준치를 대표하도록 하였다.

○ 본 장은 유럽에서 특히 영국의 에너지 모델링 소프트웨어에서 HVAC 을 대표하는 실질적인 접근법의 개발을 요약 하였다. 시뮬레이션의 정밀성과 현실에서 사용상의 적용성을 높이는 문제는 서로 모순된 것이며 타협점이 모색되어야 할 것이다. 또한 평가대상에 시스템에 대한 모델을 정의하기 위해 필요한 데이터가 현실적으로 쉽게 구해질 수 있느냐하는 문제도 함께 고려 되어야할 것이다. 유럽의 경우 독일에서는 상세한 구성기기의 특성을 다루는 방식을 채용하였고 영국과 네덜란드는 좀 더 실용적인 접근을 한 것을 알 수 있다. 두가지 유형의 계산 결과는 그 계산법의 차이가 있음에도 결과는 유사하게 나온다.

○ 그러나 보다 더 중요한 것은 어떠한 모델을 사용하든 그 모델이 현실적인 여러 조건이 반영된 지나치게 이상적이지 않는 에너지 소비량 예측이 가능하도록 이론치와 측정 데이터를 조합하여 한국형 표준 모델 및 표준 계수를 개발하는 것이라 사료된다. 본 연구는 그러한 관점에서 유럽의 사례에서 중요한 시사점을 참고하여야 할 것이다.

(나) 시뮬레이션 변수에 대한 결과 분석

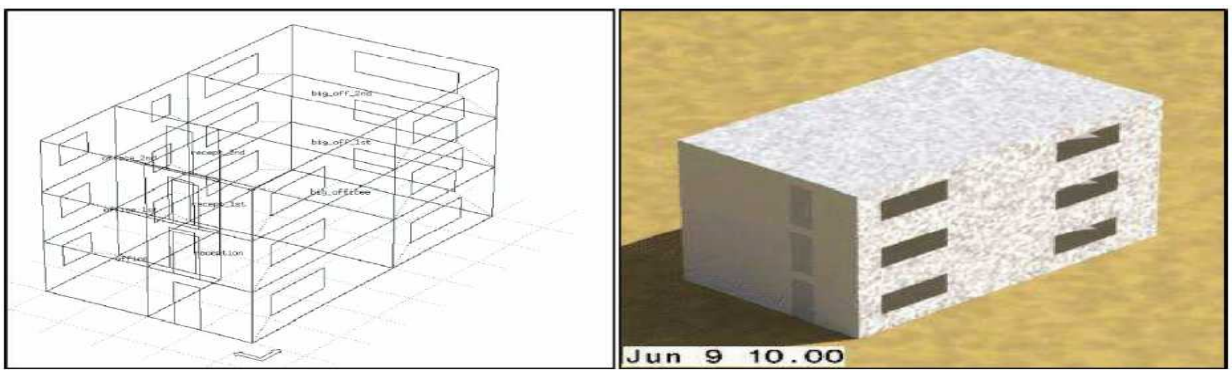
① 시뮬레이션 개요

○ 본 사례에서 수행한 시뮬레이션은 정밀한 결과값을 얻기보다 건축 설계요소 중 어느 요소가 ISO 13790 계산기법과 Dynamic Simulation Tool 냉난방부하 기여도가 어떠한지를 평가하는데 목적이 있다.

㉮ 시뮬레이션 모델 개요

ㄱ. 지역 : 암스테르담(북중유럽 : 암스테르담, 남부유럽 : 아테네)

ㄴ. 바닥면적 : 336㎡



[그림 2.11] 시뮬레이션 모델링

(출처 : Georgios Kokogiannakis 외, Comparison of the simplified methods of the ISO 13790 standard and detailed modelling programs in a regulatory context, Journal of Building Performance Simulation, Vol. 1, No. 4, 2008, pp.209 - 219)

㉯ 시뮬레이션 계산 기법

○ ISO 13790 Monthly법, ISO 13790 Hourly법, EnergyPlus, ESP_r을 이용하여 설계변수에 따른 냉난방부하를 비교한다.

㉰ 분석방법

○ 상위 4가지 시뮬레이션 계산 툴에서 나온 에너지사용량(kWh/㎡.annum)의 등급(A+, A, B+, B, C+, C, D+, D, E+, E)을 판정하고, 4가지 계산 기법이 모두 유사등급을 나타나면 분석에서 제외하고, 서로 편차를 보이는 경우 변수별 결과 분석하는 방식으로 진행한다. 냉난방부하량 결과값은 편이상 case별 ID를 부여하여 비교한다.

② 매개변수분석

㉮ 난방부하 결과

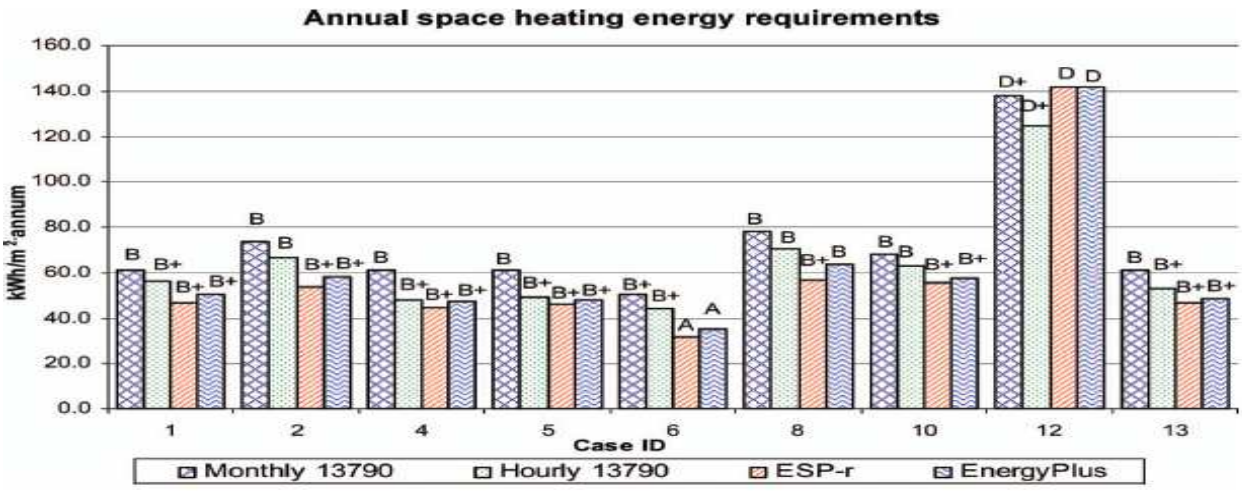
Annual heating energy requirements (kWh/m² per annum).

Case ID	Description	Monthly 13790	Hourly 13790	EnergyPIus	ESP-r
1	Base case (Amsterdam – 19°C set-point)	61.1	56.1	50.3	46.3
2	Climate Aberdeen	73.7	66.5	58.2	53.8
3	Climate Athens	14.0	12.0	5.2	4.6
4	Internal gains averaged hourly (7 days/week)	61.1	48.0	47.0	44.9
5	Int. gains averaged hourly (weekdays/weekends)	61.1	49.2	47.9	45.8
6	High internal gains	50.7	44.0	35.1	31.5
7	Low internal gains	76.6	74.7	71.7	67.0
8	Glazing area: double	77.9	70.8	63.9	56.5
9	Glazing area: half	53.2	49.8	44.9	42.8
10	Construction: ultra-lightweight (C_m = 56.9 kJ/m²K)	68.3	63.3	57.1	55.4
11	Construction: heavyweight (C_m = 231.6 kJ/m²K)	47.2	46.7	47.4	45.4
12	Construction: heavyweight, no insulation	138.0	125.0	141.8	142.0
13	Ventilation daily schedule	61.1	52.9	48.5	46.8
14	Ventilation weekday/weekends schedule	61.1	53.2	48.7	47.0
15	High ventilation rates (1.5 ac/h)	113.4	111.5	106.5	99.7
16	Low ventilation rates (0.3 ac/h)	35.3	29.8	23.8	23.9
17	Rotate 90° anti-clockwise	63.9	58.7	55.1	53.0
18	Rotate 180° anti-clockwise	60.8	56.1	50.6	48.8
19	Set-point @ 21°C	79.5	73.0	67.1	64.6
20	Set-point @ 17°C	45.3	42.5	35.8	34.5
21	Intermittent heating 7–7.00 h	18.2	9.2	28.1	24.3
22	Intermittent heating 0–10.00 h	18.2	29.9	38.0	35.6
23	Intermittent heating (different periods @ 19°C)	9.1	7.3	27.5	22.6

[그림 2.12] 변수에 따른 각 계산 기법의 난방부하량

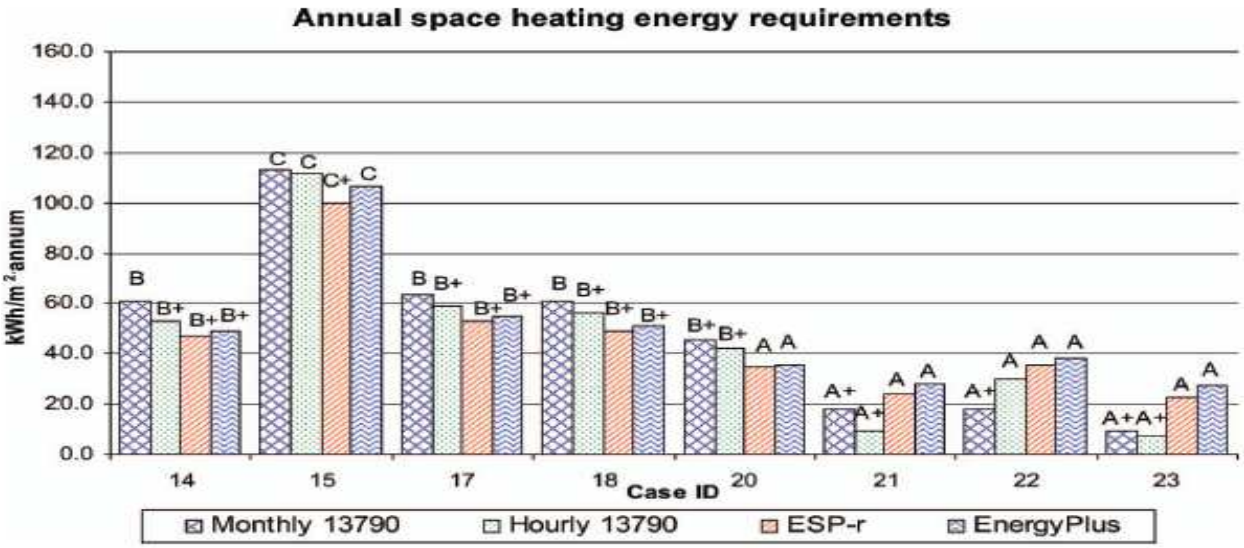
(출처 : Georgios Kokogiannakis 외, Comparison of the simplified methods of the ISO 13790 standard and detailed modelling programs in a regulatory context, Journal of Building Performance Simulation, Vol. 1, No. 4, 2008, pp.209 - 219)

○ 상위표의 23개 case중, 6개 case(case ID : 3, 7, 9, 11, 16, 19)는 모두가 유사등급을 가지므로 분석에서 제외하고, 나머지 17개 case로 분석이 진행된다.



[그림 2.13] 난방부하량 비교에서 계산 기법 상 서로 다른 등급을 보인 경우(ID 1~13사이)

(출처 : Georgios Kokogiannakis 외, Comparison of the simplified methods of the ISO 13790 standard and detailed modelling programs in a regulatory context, Journal of Building Performance Simulation, Vol. 1, No. 4, 2008, pp.209 - 219)



[그림 2.14] 난방부하량 비교에서 계산 기법 상 서로 다른 등급을 보인 경우(ID 14~23사이)

(출처 : Georgios Kokogiannakis 외, Comparison of the simplified methods of the ISO 13790 standard and detailed modelling programs in a regulatory context, Journal of Building Performance Simulation, Vol. 1, No. 4, 2008 pp.209 - 219)

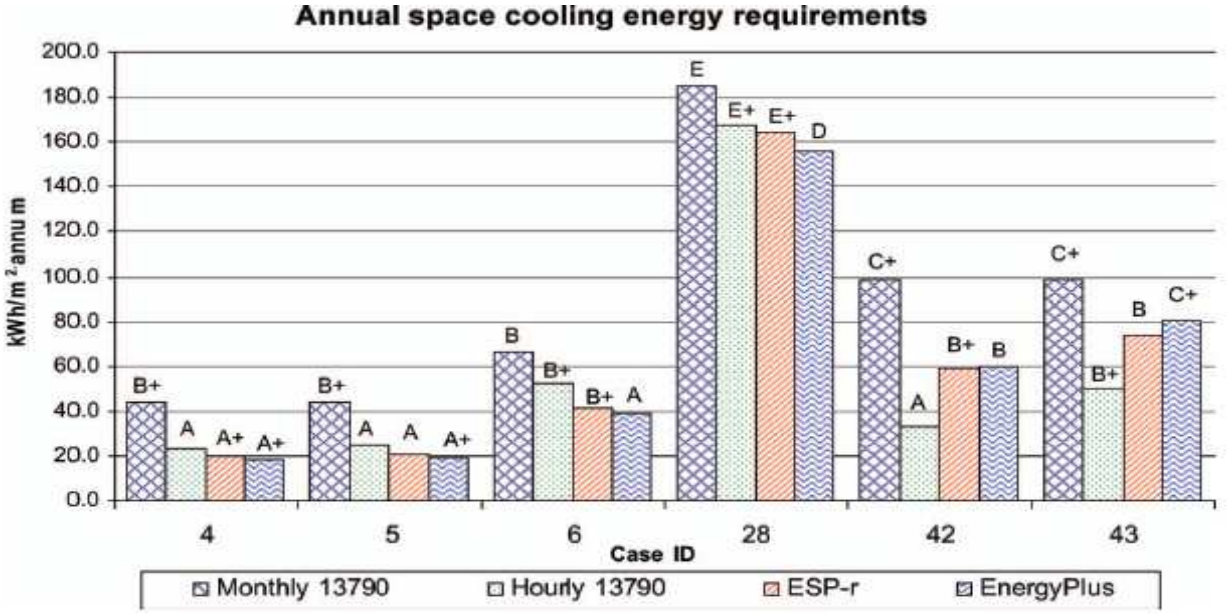
Annual cooling energy requirements (kWh/m^2 per annum).

Case ID	Description	Monthly 13790	Hourly 13790	EnergyPlus	ESP-r
1	Base case (Amsterdam −24°C set-point)	43.8	32.0	22.3	24.1
2	Climate Aberdeen	34.3	18.6	9.3	10.6
3	Climate Athens	116.3	106.1	98.2	100.2
4	Internal gains averaged hourly (7 days/week)	43.8	23.5	18.6	20.0
5	Internal gains averaged hourly (weekdays/weekends)	43.8	24.6	19.2	20.6
6	High internal gains	66.4	52.1	39.0	41.4
7	Low internal gains	23.5	16.4	9.7	10.9
8	Glazing area: double	75.3	58.8	42.0	40.7
9	Glazing area: half	29.0	19.9	13.0	14.0
10	Construction: ultra-lightweight (C_m = 56.9 kJ/m^{2}K)	43.9	31.8	22.1	24.0
11	Construction: heavyweight (C_m = 231.56 kJ/m^{2}K)	27.0	20.9	20.5	22.1
12	Construction: heavyweight, no insulation	27.3	15.8	12.9	13.9
13	Ventilation daily schedule	43.8	30.0	22.4	24.1
14	Ventilation weekday/weekends schedule	43.8	29.9	26.2	23.8
15	High ventilation rates (1.5 ac/h)	35.5	22.5	13.3	14.8
16	Low ventilation rates (0.3 ac/h)	51.2	41.6	32.0	33.7
17	Rotate 90° anti-clockwise	42.5	29.9	22.0	23.6
18	Rotate 180° anti-clockwise	45.4	32.0	22.5	24.3
19	Set-point @ 26°C	37.8	24.2	14.3	15.9
20	Set-point @ 22°C	51.4	41.4	32.2	34.2
21	Intermittent cooling 7–17.00 h	31.3	28.3	20.7	21.7
22	Intermittent cooling 0–10.00 h	31.3	6.1	9.1	9.4
23	Intermittent cooling (different periods @ 24°C)	31.3	17.1	19.7	18.4
	Base case (Athens −24°C set-point)	116.3	106.1	98.2	100.2
24	Internal gains averaged hourly (7 days/week)	116.3	97.4	94.6	96.1
25	Internal gains averaged hourly (weekdays/weekends)	116.3	98.2	94.9	96.4
26	High internal gains	148.1	137.6	129.5	132.3
27	Low internal gains	82.3	76.3	70.3	71.7
28	Glazing area: double	184.7	167.5	155.9	164.1
29	Glazing area: half	82.8	75.2	69.6	70.5
30	Construction: ultra-lightweight (C_m = 56.9 kJ/m^{2}K)	117.1	107.5	100.4	102.6
31	Construction: heavyweight (C_m = 231.56 kJ/m^{2}K)	103.1	93.6	97.9	99.5
32	Construction: heavyweight, no insulation	128.5	107.3	120.9	123.2
33	Ventilation daily schedule	116.3	105.5	99.8	101.6
34	Ventilation weekday/weekends schedule	116.3	104.9	101.6	100.8
35	High ventilation rates (1.5 ac/h)	112.6	101.3	94.0	95.4
36	Low ventilation rates (0.3 ac/h)	120.7	112.3	106.1	108.1
37	Rotate 90° anti-clockwise	117.6	104.4	101.2	102.5
38	Rotate 180° anti-clockwise	118.8	104.0	96.4	98.4
39	Set-point @ 26°C	99.9	89.2	79.6	81.5
40	Set-point @ 22°C	133.7	125.6	119.1	121.2
41	Intermittent cooling 7–17.00 h	99.0	80.4	84.0	84.3
42	Intermittent cooling 0–10.00 h	99.0	33.1	60.1	59.3
43	Intermittent cooling (different periods @ 24°C)	99.0	50.2	80.4	73.5

[그림 2.15] 변수에 따른 각 계산 기법의 냉방 부하량

(출처 : Georgios Kokogiannakis 외, Comparison of the simplified methods of the ISO 13790 standard and detailed modelling programs in a regulatory context, Journal of Building Performance Simulation, Vol. 1, No. 4, 2008, pp.209 - 219)

○ 상위표의 43개 case중, 6개 case(case ID : 11, 21, 30, 34, 37, 41)는 모두가 유사등급을 가지므로 분석에서 제외하고, 나머지 37개 case로 분석이 진행된다. ID 21, 22, 23, 41, 42, 43은 간헐운전에 따른 냉방부하량을 나타낸다.



[그림 2.16] 냉방부하량 비교에서 계산 기법 상 서로 다른 등급을 보인 경우

(출처 : Georgios Kokogiannakis 외, Comparison of the simplified methods of the ISO 13790 standard and detailed modelling programs in a regulatory context, Journal of Building Performance Simulation, Vol. 1, No. 4, 2008, pp.209 - 219)

○ 위의 경우는 4가지 계산법의 냉방부하량이 한 등급이상 차이가 나는 경우이다

③ 결론

○ 각 계산 기법 상 부하량 차이를 줄이기 위해서 열획득과 열손실을 비교하고 있다. 이는 ISO 13790의 기준을 따라 일사취득량과 내부발열량을 열획득으로,환기와 전도에 의한 손실을 열손실로 분류하였다.

$$\Upsilon_H = \frac{Q_{H,gains}}{Q_{H,loses}}, \quad \Upsilon_C = \frac{Q_{C,gains}}{Q_{C,loses}}$$

$Q_{H,gains}, Q_{C,gains}$: 열획득

$Q_{H,loses}, Q_{C,loses}$: 열손실

○ 위의 수식으로 얻어진 값은 Dynamic Simulation 기법에서는 실측데이터로 보완되어지며, 성능 계수화 하여 ISO 13790 Monthly 기법에서는 정확도를 높이게 된다.

(다) 국내 ISO 13790 기반 계산 툴 구현 현황 및 적용성 평가

○ 국내 ISO 137790 기반 계산 툴은 건물에너지효율등급인증제도의 건물에너지 성능평가 툴인 ECO2와 서울시 건물에너지 소비총량제 성능평가 툴인 BESS(Building Energy Simulation

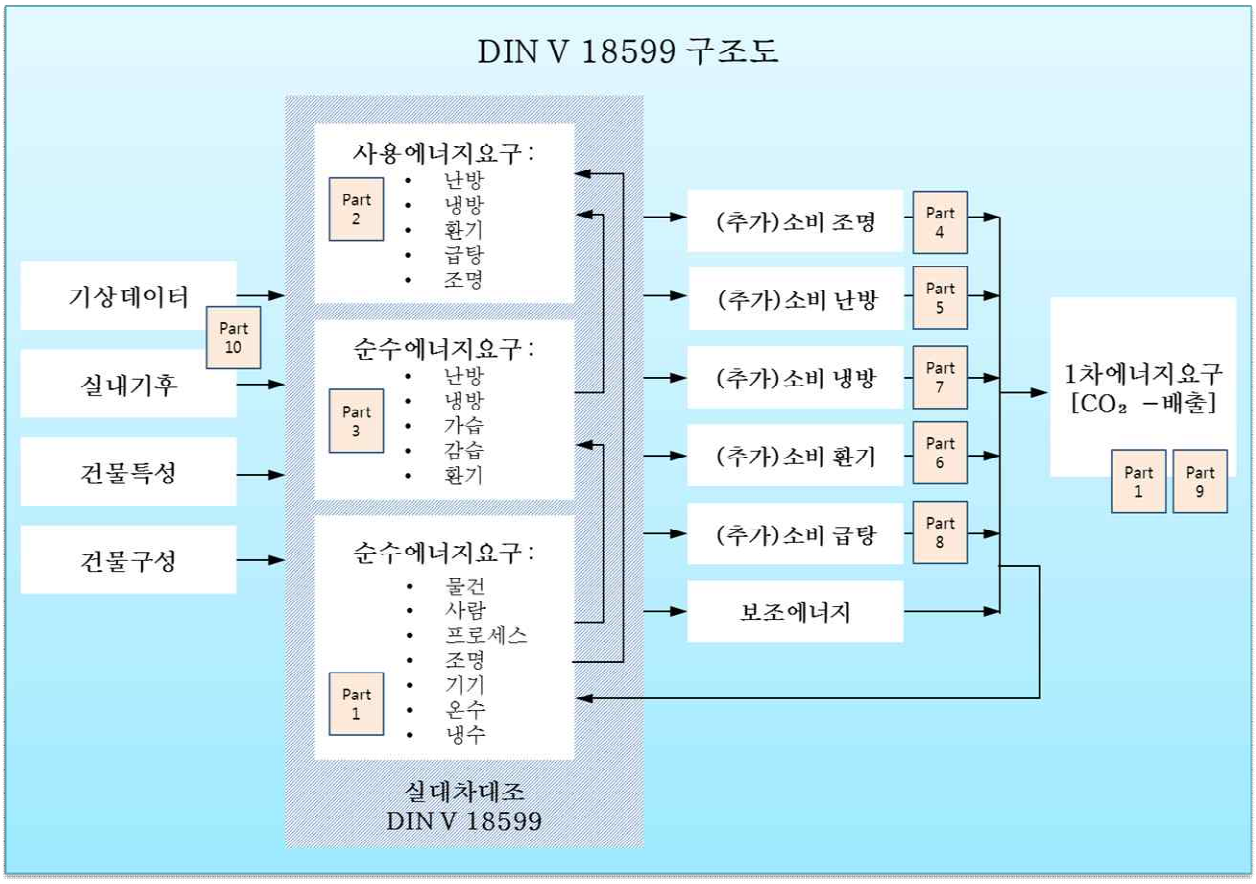
for Seoul)가 인증 툴로써 사용되고 있다.

① 입력 데이터모델 비교 및 결과 민감도 분석

㉮ 국내 ISO 13790 기반 툴 결과 민감도 분석(ECO2)

○ 국내 ISO 13790 기반 계산 툴인 ECO2는 설비비기 입력은 DIN V 18599에서 제시한 에너지 DIN V 18599는 2005년 7월 제정되어 유럽공동체 회원국들에 요구되어지는 총체적 건물에 너지효율 평가에 대한 유럽의회의 건물에너지성능에 대한 규정인 EPBD를 충족시키는 건물 에너지 요구량 소요량 및 1차 에너지 평가에 대한 독일공업규격이다.

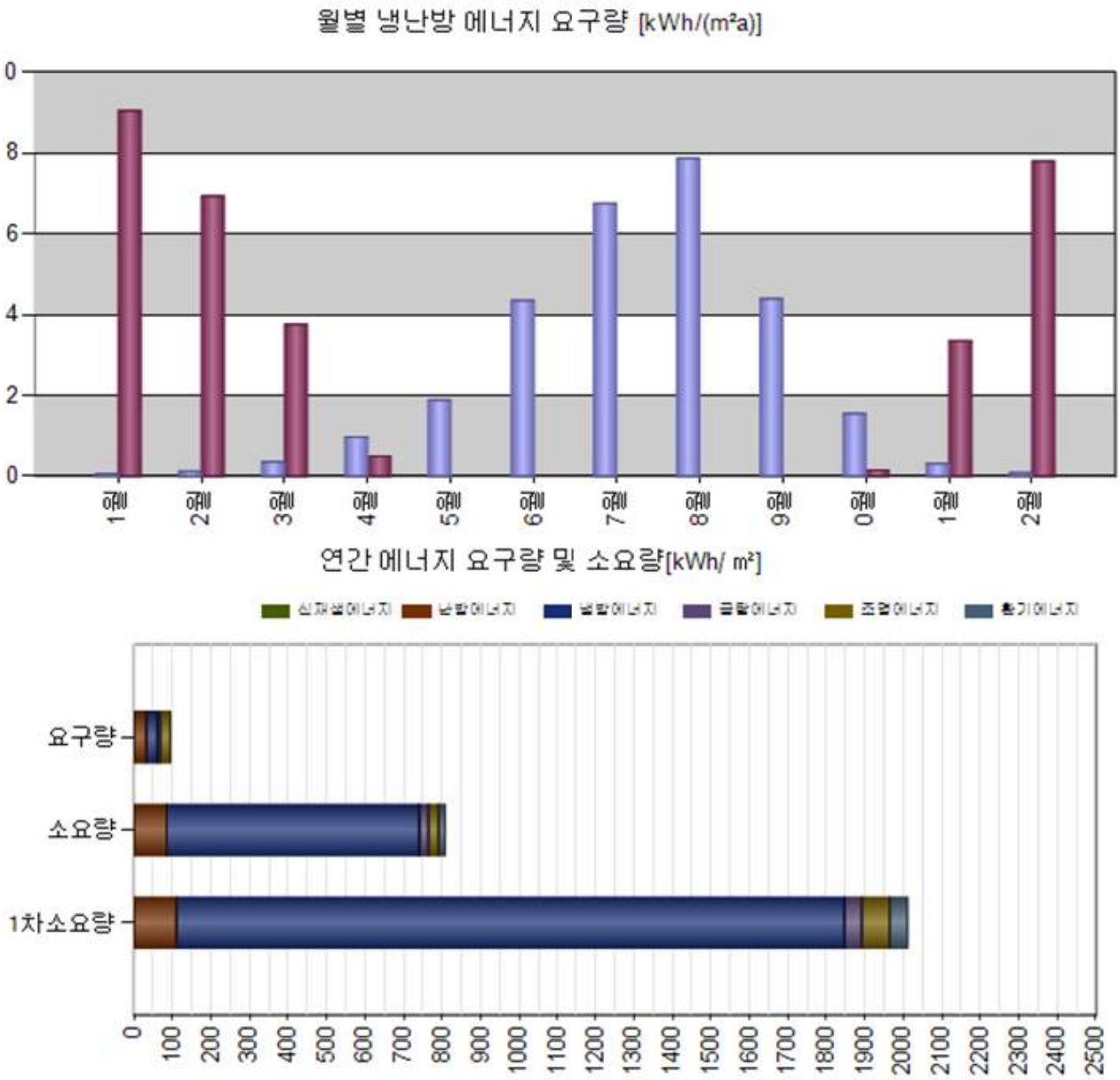
○ [그림 2.17]은 DIN V 18599 에 따른 건물 에너지 평가 프로세스로 건물에 있어서 난방, 냉방, 급탕, 환기 그라고 조명을 위한 연간 에너지요구량을 에너지흐름의 상호작용을 고려하여 양적으로 평가가 가능하다.



[그림 2.17] DIN V 18599에 따른 건물 에너지 평가 프로세스

(출처 : 건설기술연구원, 기후변화 대응을 위한 건물에너지효율등급 표시제도 개발 1차년도 보고서, 2009)

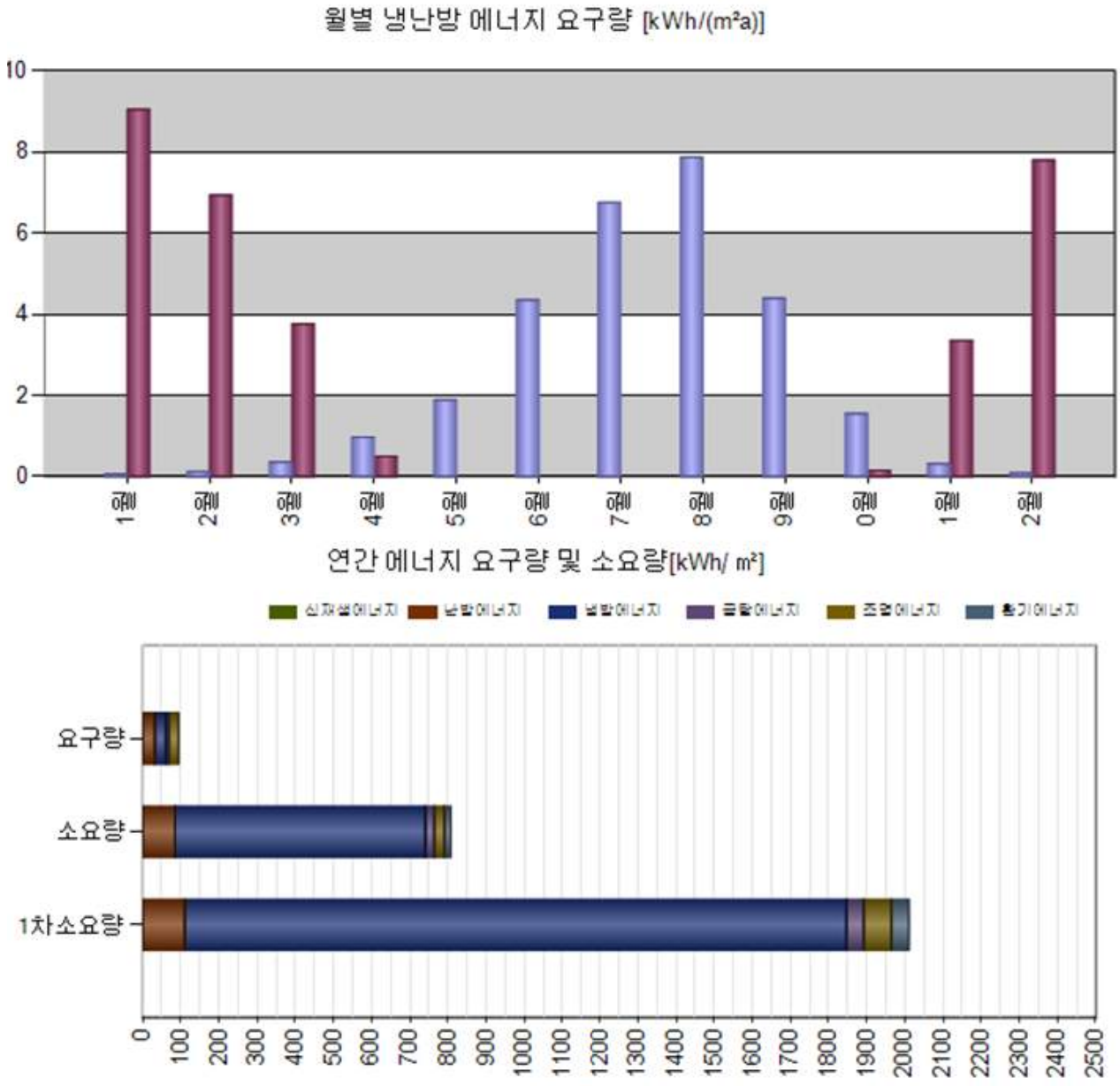
○ 다음은 국내 ISO 13790 기반 계산 툴인 ECO2의 배관길이 입력에 따른 1차에너지 소요량 변화값을 분석한 내용이다.



[그림 2.18] 배관길이 0.3m일 때 에너지 소비량(ECO2)

<표 2.28> 배관길이 0.3m일 때 에너지 항목별 에너지 소비량(ECO2)

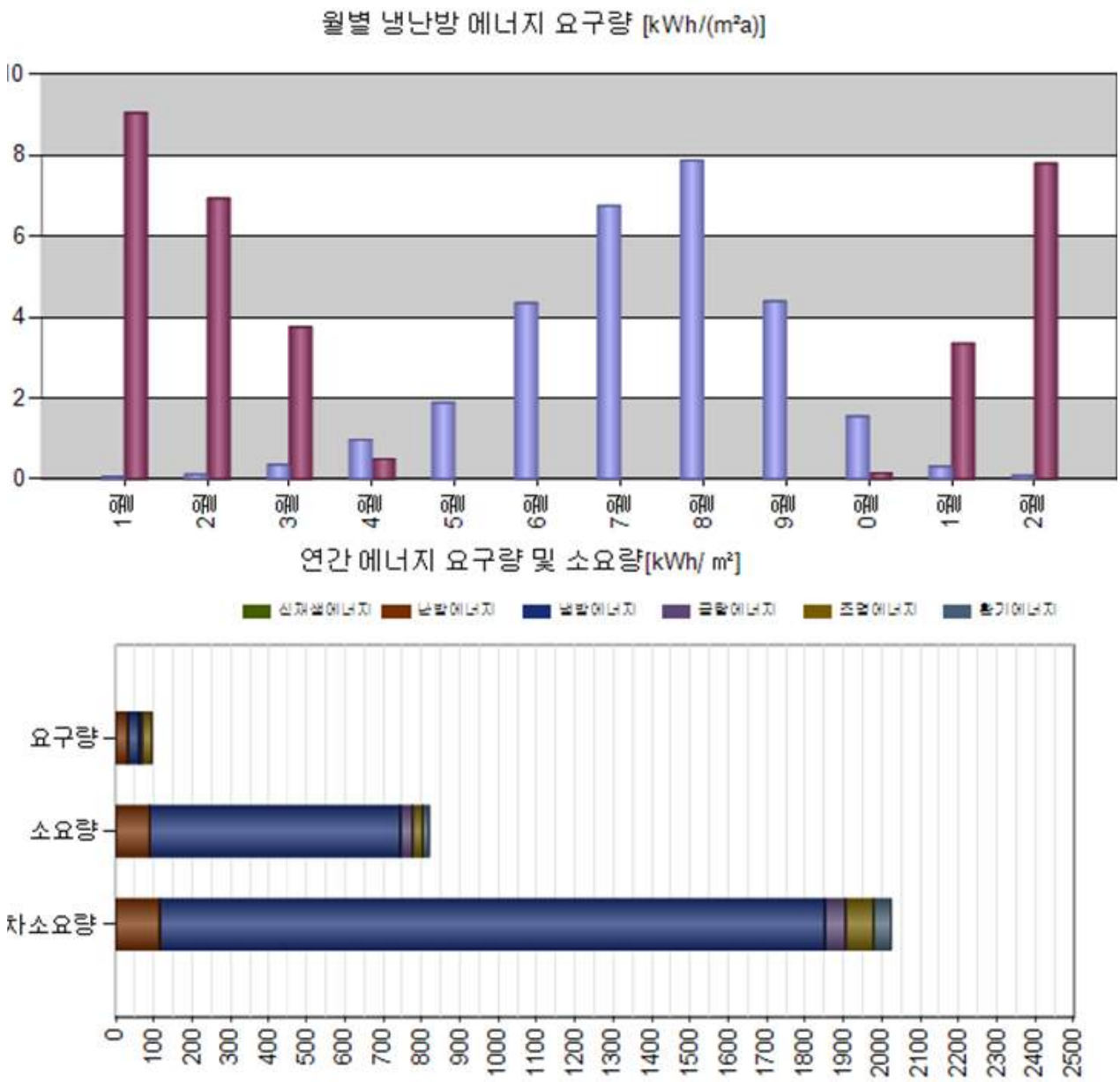
	난방 에너지	냉방 에너지	급탕 에너지	조명 에너지	환기 에너지	합계
에너지 요구량	31.6	28.8	7.8	26.4	0.0	94.6
2차에너지 소요량	84.1	655.9	22.8	26.4	16.8	806.1
1차에너지 소요량	109.9	1,736.1	44.2	72.7	46.2	2,009.1



[그림 2.19] 배관길이 0.3m일 때 에너지 소비량(ECO2)

<표 2.29> 배관길이 3m일 때 에너지 항목별 에너지 소비량(ECO2)

	난방 에너지	냉방 에너지	급탕 에너지	조명 에너지	환기 에너지	합계
에너지 요구량	31.6	28.8	7.8	26.4	0.0	94.6
2차에너지 소요량	84.6	655.9	23.6	26.4	16.8	807.3
1차에너지 소요량	110.3	1,736.1	45.1	72.7	46.2	2,010.4



[그림 2.20] 배관길이 3m일 때 에너지 소비량(ECO2)

<표 2.30> 배관길이 30m일 때 에너지 항목별 에너지 소비량(ECO2)

	난방 에너지	냉방 에너지	급탕 에너지	조명 에너지	환기 에너지	합계
에너지 요구량	31.6	28.8	7.8	26.4	0.0	94.6
2차에너지 소요량	88.6	655.9	31.7	26.4	16.8	819.4
1차에너지 소요량	114.8	1,736.1	54.0	72.7	46.2	2,023.8

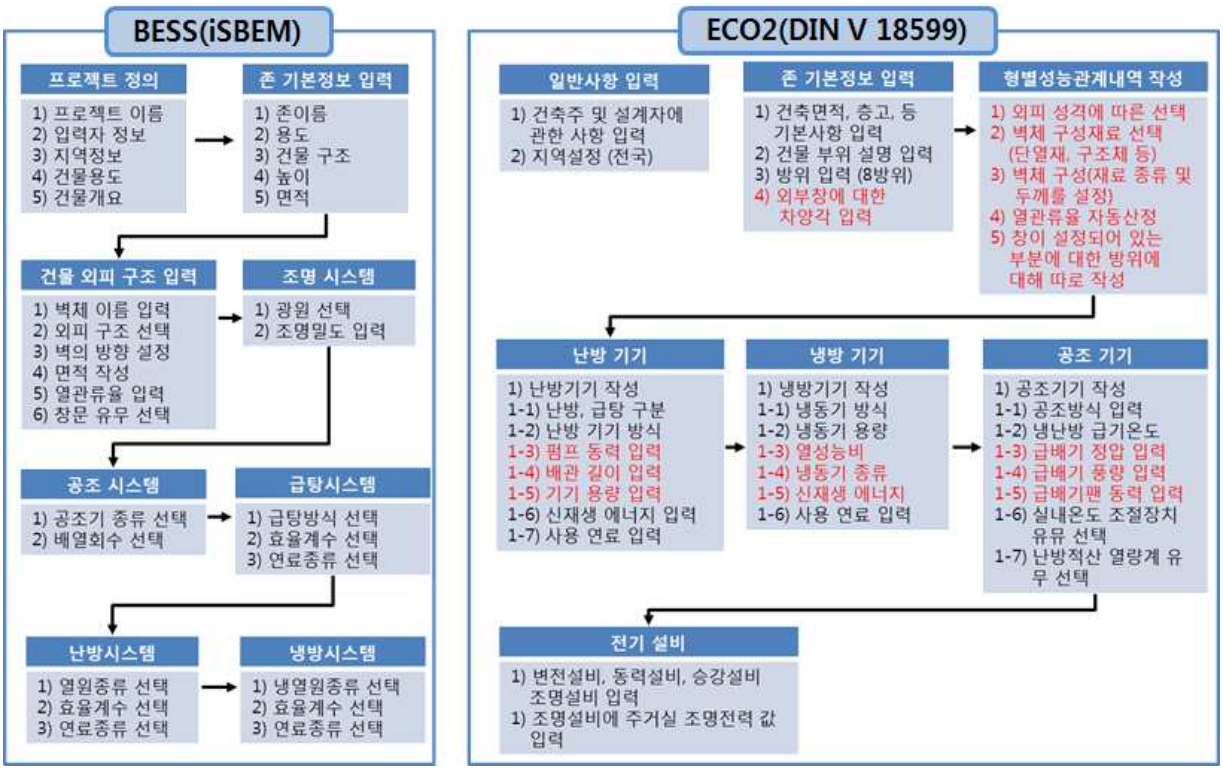
○ 국내 ISO 13790 기반 계산 툴인 ECO2에 배관길이를 0.3m, 3m, 30m로 하여 1차에너지 소비량을 분석하였을 때, 배관길이 0.3m와 3m의(배관길이 10배)의 1차에너지 소요량의 차이는 0.06%였으며, 배관길이 0.3m와 30m의(배관길이 100배)의 1차에너지 소요량의 차이는 0.73%로 나타났다. 이는 DIN V 18599에서 제시한 설비기기 에너지 소비량에 배관길이의 차이는 에너지 소비량에 미치는 영향이 미비하다는 것을 알 수 있다.

② 간이법 툴과 에너지 플러스 모델 입출력 비교

㉮ ISO 13790 기반 계산 툴 입력데이터 방식 비교

○ 현재 국내에서 사용되고 있는 ISO 13790 기반의 국내 툴의 입력방식에는 차이가 있음. ECO2의 경우 전문가를 고려한 입력 데이터로 인하여 정확한 기기 성능 입력으로 인한 에너지 소비총량의 정확성이 확보되지만, 기기별 입력 데이터의 복잡성으로 다수 사용자의 최종 산출결과가 불일치 할 수 있음.

○ BESS의 경우 설계사무실, 일반 사용자를 고려한 입력 데이터 간편화, 에너지 절감효과가 적은 값은 기본 값으로 입력이 되어 있으므로 시뮬레이션 간편화가 이루어져있다. 그러나 정확한 값을 입력 하지 않으므로 건물 특성에 따른 정확한 데이터 산출하지 못한다는 단점이 있음.



[그림 2.21] ISO 13790 기반 국내 툴 입력데이터 비교

㉯ ISO 13790 기반 국내 툴 냉난방 부하 패턴 비교

○ ISO 13790 기반 국내 툴인 ECO2와 BESS의 냉난방 부하를 비교 하였다.

<표 2.31> 침기 0 일 때의 냉난방부하

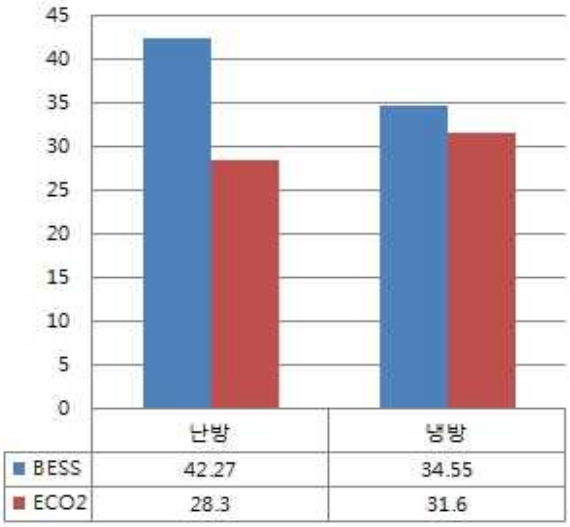
(단위 : kWh/m²y)

부하량	난방	냉방
BESS	42.27	34.55
ECO2	28.3	31.6
차이	13.97	2.95
오차율	49%	9%

<표 2.32> 침기 0.1일 때의 냉난방부하

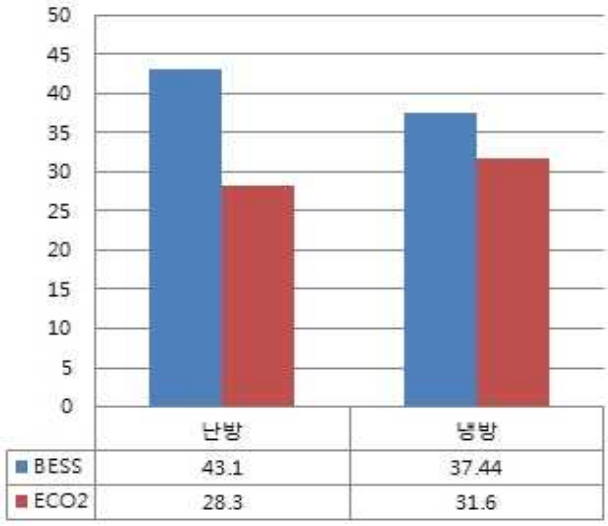
(단위 : kWh/m²y)

부하량	난방	냉방
BESS	43.1	37.44
ECO2	28.3	31.6
차이	14.8	5.84
오차율	52%	18%



[그림 2.22] 침기 0일 때의 난방부하그래프

(단위 : kWh/m²y)



[그림 2.23] 침기 0.1일 때의 냉난방부하 그래프

(단위 : kWh/m²y)

○ 침기량을 조정하여 ECO2와 BESS를 냉난방부하 비교 시, 난방부하가 냉방부하보다 결과값에서 차이가 많이 나는 것을 알 수 있다. 이는 같은 ISO 13790 계산기법을 사용하지만, 용도별 이용시간, 용도 프로파일, 기상데이터에서 차이가 나 결과값이 상이한 것으로 사료된다.

㉰ 현재 ISO 13790 기반의 국내 적용 툴 비교 시 오차 발생 요인

ㄱ. 용도별 이용시간

- BESS의 경우 default 값으로 용도별 시간 설정이 되어 있으나 ECO2의 경우 이용시간 설정 및 default 값을 모르기 때문에 오차 발생

ㄴ. 용도프로파일

- BESS의 경우 주거, 비주거 등 각 용도별 값이 다름. ECO2의 경우 용도 입력하는 곳이 없기 때문에 용도별 선택에서 큰 차이 발생

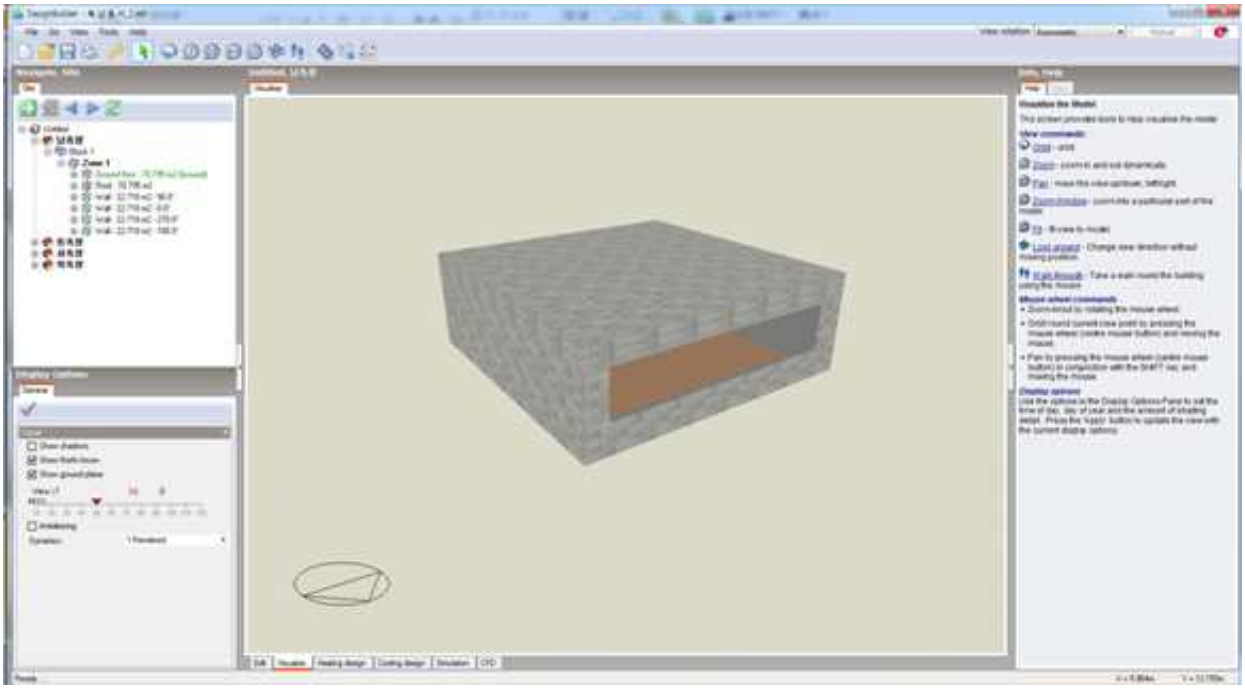
ㄷ. 기상데이터

- BESS의 경우 태양에너지 학회의 평균 기상 데이터 기준으로 사용, 일사량 데이터는 ESP-r의 시뮬레이션 결과 사용. ECO2의 경우 기상데이터의 사용 자료를 알 수 없음.

○ 국내 ISO 13790 기반 시뮬레이션 툴의 냉난방 부하 차이로 인하여 비교 불가한 사항이며 국내에서 주로 사용하고 있는 동적 시뮬레이션 EnergyPlus를 이용하여 부하를 비교 검증하여 정확도 및 문제점 파악 해야한다.

③ 형상모델, 프로파일 동일화 작업

○ 현재 국내에서 사용되고 있는 ISO 13790 기반의 국내 툴과 정밀시뮬레이션 EnergyPlus의 정확한 비교를 하기 위하여 건물형태, 벽체, 창 설정, 실내 냉난방 설정 온도는 건기원 보고서 자료를 토대로 작성하였다.



[그림 2.24] EnergyPlus 모델링

<표 2.33> 대상건물 개요

EnergyPlus, ISO13790기반 계산툴설정값	
건물 개요	지역 : 서울
	기상데이터 : 한국태양에너지학회 서울 (86년-05년기준DOE-2포멧).txt 자료를 이용하여 EnergyPlus Weather Statistics and Conversions을 이용하여 생성 후 EnergyPlus 서울 기상데이터 적용
	건물형태 : 폭 9m, 높이 : 2.7m
	채 광 창 : 남측 50% (11.359 ㎡)
	벽체 면적 : 22.718 ㎡
	지중 온도 : 월별 각 온도 설정
벽체 정보	벽체 열관류율 : 0.217 W/㎡K
	창 열관류율 : 3.157 W/㎡K
	지붕 열관류율 : 0.147 W/㎡K
	바닥 열관류율 : 0.18 W/㎡K
창 입력 DATA	창문 종류 : 복층창
	창문틀 종류 : 미적용
	G - value : 0.468
	EnergyPlus 창면적 : 11.395 ㎡, BESS 창면적 : 16.228 ㎡
실내 냉난방 설정	난방 급기온도 : 20℃, 냉방 급기온도 : 26℃
	난방 운행시간 : 11시간, 냉방 운행시간 : 13시간

④ ISO 13790 기반 툴, EnergyPlus 부하 패턴 비교

㉮ BESS, EnergyPlus 오차범위 감소_실내 열 취득

<표 2.34> BESS, EnergyPlus의 시뮬레이션 Input Data(인체발열량)

	BESS		EnergyPlus		비고
인체 (Standard _1)	30 Wh/m² · d (30 kWh/m² · d)	월 평균 인체 발열량 54.47 kWh/m²	Occupancy_Density (people/m²) = 0.03 설정 Metabolic_Activity_ Metabolic rate per person(W/person) = 120 설정 Metabolic_Factor = 0.9 설정 Metabolic_clothing_winter = 1.0 설정 Metabolic_clothing_summer = 0.5 설정	결과값 = 0.02 kWh/m² · d 월 평균 인체 발열량 34 kWh/m² · d	BESS의 인체 발열량 Wh/m² · d 변환시 0.03 kWh/m² · d EnergyPlus의 경우 0.02 kWh/m² · d 이므로 결과값 상이함.
인체 (Case_1)			Occupancy_Density (people/m²)=0.05 변경 Metabolic_Activity_ Metabolic rate per person(W/person) = 120 설정 Metabolic_Factor = 1.0 설정 Metabolic_clothing_winter = 1.0 설정 Metabolic_clothing_summer = 1.0 설정	결과값 = 0.03 kWh/m² · d 월 평균 인체 발열량 57.57 kWh/m² · d	EnergyPlus의 경우 0.03 kWh/m² · d 이므로 결과값 일치. Metabolic_Factor ,clothing 을 1로 일치시켰을 때, 인체 발열량의 변동이 없음으로 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단. 사람의 밀도 변경으로 인하여 BESS 인체 발열량과 일치.
인체 (Case_2)			Occupancy_Density (people/m²)= 0.03 설정 Metabolic_Activity_ Metabolic rate per person(W/person) = 200 설정 Metabolic_Factor = 0.9 설정 Metabolic_clothing_winter = 1.0 설정 Metabolic_clothing_summer = 0.5 설정	결과값 = 0.03 kWh/m² · d 월 평균 인체 발열량 40.27 kWh/m² · d	EnergyPlus의 경우 0.02 Wh/m² · d 이므로 결과값 상이. metabolic rate per perosn (W/person)의 값을 200으로 상향 조정했을 경우 결과값은 0.02 kWh /m² · d 로 standard1의 값과 차이가 없음.

ㄱ. 인체 발열에 영향을 주는 요인은 사람 밀도에 의해 결과 값 차이가 남.
ㄴ. 월 평균 발열량 계산시 세부 설정에 의한 결과 값 변동됨.

㉯ BESS, EnergyPlus 오차범위 감소_실내 열 취득(기기_조명제외)

<표 2.35> BESS, EnergyPlus의 시뮬레이션 Input Data(기기발열량_조명발열량 제외)

	BESS		EnergyPlus		비고
기기 (조명제외) (Standard_1)	42 Wh/m² · d	월 평균 기기 발열량 76.26 kWh/m²	Office Equipment Gain = 4 W/m² Radiant fraction = 0.2 설정	결과값 = 0.04 kWh/m² · d 월 평균 기기 발열량 66.26 kWh/m² · d	BESS의 인체 발열량 Wh/m² · d 변환시 0.042 kWh/m² · d EnergyPlus의 경우 0.04 kWh/m² · d 이므로 결과값 매칭. 월평균 기기발열량에서 10 kWh/m² · d 차이발생.
기기 (조명제외) (Case_1)			Office Equipment Gain = 4 W/m² Radiant fraction = 1.0 변경	결과값 = 0.04 kWh/m² · d 월 평균 기기 발열량 66.26 kWh/m² · d	Radiant fraction 1.0으로 변경시 기기 발열량, 월평균 기기 발열량의 차이는 없음. 발열량 계산시 Radiant fraction 의 변화는 기기발열량에 큰 영향을 미치지 않음.
기기 (조명제외) (Case_2)			Office Equipment Gain = 5 W/m² 변경 Radiant fraction = 0.2 설정	결과값 = 0.05 kWh/m² · d 월 평균 기기 발열량 82.83 kWh/m² · d	월 평균 기기 발열량에서 6.57 kWh/m² · d 차이발생.

ㄱ. EnergyPlus의 경우 11시~12시까지, 18시~19시까지 기기발열은 0으로 결과값 도출 또한 점심시간, 퇴근시간 기기발열 하지 않음.
ㄴ. BESS와 월평균 기기 발열량 비교 시 한달 25일 기준으로 시간상 50시간 차이나기 때문에 월 평균 기기 발열량 차이 발생

㉰ BESS, EnergyPlus 오차범위 감소_실내 열 취득(기기_조명)

<표 2.36> BESS, EnergyPlus의 시뮬레이션 Input Data(조명발열량)

	BESS		EnergyPlus		비고
조명 (Standard _1)	광원 : 형광등 요구조도 : 500 lX 조명밀도 : 9 W/m² 작업면높이 : 0.8 m	월 평균 조명발열량 98.50 kWh/m²	Targerilluminance = 500 lux 설정 Default display lighting density = 9 W/m² 설정 Lighting _ Lighting energy = 9 W/m² 설정 Luminaire type = Surface mount. Radiant fraction = 0.72 visible fraction = 0.18	월 평균 조명 발열량 149.08 kWh/m²	사무실 사용시간 9시~18시 (9시간) BESS와 조도, 밀도, 작업면 높이를 일치 월 평균 기기 발열량은 EnergyPlus, BESS 는 2배 이상 차이남.
조명 (Case_1)			Targerilluminance = 500 lux 설정 Default display lighting density = 6 W/m² 변경 Lighting _ Lighting energy = 9 W/m² 설정 Luminaire type = Surface mount. Radiant fraction = 0.72 visible fraction = 0.18	월 평균 조명 발열량 149.08 kWh/m²	Default display lighting density = 6 W/m² 변경 후 월 평균 기기 발열량은 변하지 않음. Lighting _ General Lighting 체크했을시 Default display lighting density값은 영향을 미치지 않는것으로 판단.
조명 (Case_2)			Targerilluminance = 500 lux 설정 Default display lighting density = 6 W/m² 변경 Lighting _ Lighting energy = 6 W/m² 변경 Luminaire type = Surface mount. Radiant fraction = 0.72 visible fraction = 0.18	월 평균 조명 발열량 99.39 kWh/m²	Lighting _ Lighting energy = 6 W/m² 변경 후 월 평균 기기 발열량은 BESS와 비슷한 값 도출.

ㄱ. Energy Plus 광원_Surface mount(형광등이나 외부로 노출된 형광등)이며 이에 따른 Radiant fraction, visible fraction 값이 default 로 입력이 되어 있기 때문에 부하는 달라짐.

ㄴ. Energy Plus는 조명 스케쥴을 변경할 수 없으며 사무실 운영시간에 따라 조명운전을 하기 때문에 BESS와 같은 조명밀도를 입력 하였을 시 조명 발열량은 높게 나오는 것이 맞다고 판단됨.

㉱ BESS, EnergyPlus 오차범위 감소_일사취득 개요

<표 2.37> BESS, EnergyPlus의 시뮬레이션 Input Data(기상데이터 및 창호)

	BESS	EnergyPlus
기상 데이터	서울시 30 년 표준기상 데이터 weather table에서 입력값 사용	한국태양에너지학회 서울(86년-05년기준DOE-2포멧).txt 자료를 이용 하여 Energy Plus Weather Statistics and Conversions을 이용하여 생성후 Energy Plus 서울 기상데이터 적용
일 사 취 득	열관류율= 3.15 W/m²K G - value = 0.7 창면적= 16.22 m²	열관류율= 3.15 W/m²K G - value = 0.7 창면적= 11.359 m²

ㄱ. BESS에서 창면적 입력시 Frame 면적을 고려하여 실재 창면적은 전체면적의 70%만 고려하기 때문에 EnergyPlus의 값과 일치시키기 위해 창 면적 확장

㉮ BESS, EnergyPlus 오차범위 감소_일사취득

<표 2.38> BESS, EnergyPlus의 시뮬레이션 Input Data(일사취득량)

	BESS		EnergyPlus		비고
유리창을 통한 일사취득 (Standard_1)		월평균 창을 통한 일사취득 543.20 kWh	창면적= 11.359 m², Frame = 적용 안함 Template = Double glazing, absorptive, no shading Glazing type = Double Grey 6mm/6mm Air Glazing type_outmost pane = Generic GREY 6mm Glazing type_window gas = Air 6mm Glazing type_Innermost pane = Generic CLEAR 6mm Calculated Values Calculated Values_Total solar transmisson (SHGC) = 0.468 Calculated Values_Direct solar transmisson = 0.354 Calculated Values_Light transmission = 0.381 Calculated Values_U-value = 3.157	월평균 창을 통한 일사 취득 244.33 kWh	BESS의 월평균 일사획득은 543.20 kWh 이며 EnergyPlus의 경우 244.33 kWh 로 결과값 상이함. 차이나는 이유로는 창 외부 Grey 색의 유리를 적용함으로써 일사 획득의 차이가 있다고 판단.
유리창을 통한 일사 취득 (Case_1)	열관류율= 3.15 W/m²K G - value = 0.7 창면적 = 16.22 m²	월평균 창을 통한 일사취득 543.20 kWh	창면적= 11.359 m², Frame = 적용 안함 Template = Double glazing, absorptive, no shading Glazing type = Double Clear 6mm/6mm Air 변경 Glazing type_outmost pane = Generic CLEAR 6mm 변경 Glazing type_window gas = Air 6mm Glazing type_Innermost pane = Generic CLEAR 6mm 변경 Calculated Values Calculated Values_Total solar transmisson (SHGC) = 0.693 변경 Calculated Values_Direct solar transmisson = 0.604 변경 Calculated Values_Light transmission = 0.781 변경 Calculated Values_U-value = 3.157	월평균 창을 통한 일사 취득 449.12 kWh	BESS의 월평균 일사획득은 543.20 kWh 이며 EnergyPlus의 경우 449.12 kWh 로 차이(94.08 kWh) 는 줄어듬. Clear 유리로 적용하였을 경우 SHGC의 값은 BESS와 비슷한 값으로 변경됨. 이중유리를 사용함으로써 일사 취득의 차이가 있다고 판단.
유리창을 통한 일사 취득 (Case_2)		월평균 창을 통한 일사 취득 543.20 kWh	창면적= 11.359 m², Frame = 적용 안함 Template = single glazing, clear, no shading Glazing type = Single Clear 6mm 변경 Glazing type_outmost pane = Generic CLEAR 6mm 변경 Calculated Values Calculated Values_Total solar transmisson (SHGC) = 0.810 변경 Calculated Values_Direct solar transmisson = 0.775 변경 Calculated Values_Light transmission = 0.881 변경 Calculated Values_U-value = 6.121 변경	월평균 창을 통한 일사 취득 620.72 kWh	BESS의 월평균 일사획득은 543.20 kWh이며 EnergyPlus의 경우 620.72 kWh 로 차이(77.52 kWh) 는 줄어듬. 단창 Clear 유리로 적용하였을 경우 SHGC의 값은 0.81로 변경 단창을 사용함으로써 EnergyPlus의 일사취득값은 올라감. BESS의 G-value, 열관류율을 최종적으로 일치시켜야 한다고 판단.
유리창을 통한 일사 취득 (Case_3)	열관류율 = 6.12 W/m²K 변경 G - value = 0.81 변경 창면적 = 16.22 m²	월평균 창을 통한 일사 취득 628.56 kWh	창면적= 11.359 m², Frame = 적용 안함 Template = single glazing, clear, no shading Glazing type = Single Clear 6mm 변경 Glazing type_outmost pane = Generic CLEAR 6mm Calculated Values Calculated Values_Total solar transmisson (SHGC) = 0.810 Calculated Values_Direct solar transmisson = 0.775 Calculated Values_Light transmission = 0.881 Calculated Values_U-value = 6.121	월평균 창을 통한 일사 취득 620.72 kWh	BESS의 월평균 일사획득은 628.56 kWh이며 EnergyPlus의 경우 620.72 kWh 로 차이(7.84 kWh) 로 BESS 와 EnergyPlus거의 일치함.

ㄱ. EnergyPlus의 경우 Grey색 유리를 사용함으로 일사획득 차이 발생.

ㄴ. Clear 유리로 적용하였을 경우 SHGC 값은 0.468 에서 0.693으로 변경. 이중유리를 사용함으로써 일사취득 차이발생.

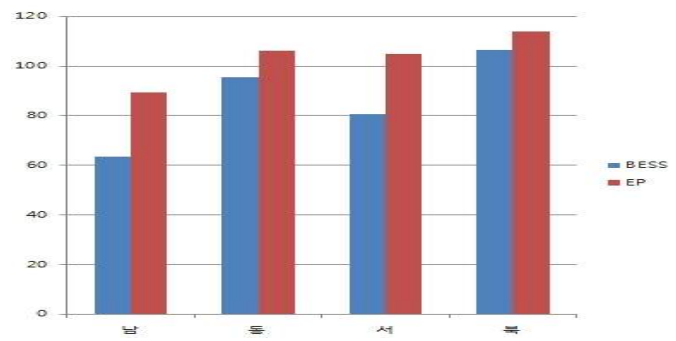
ㄷ. 단창 Clear유리를 적용하였을 경우 SHGC 값은 0.81로 변경. 단창을 사용함으로써 열관류율 6.121로 변경 BESS와 열관류율 일치시켜야 한다고 판단.

ㄹ. BESS, EnergyPlus 입력데이터 일치. 결과값은 8정도 차이 발생. SHGC, 열관류율, 창면적은 에너지 저감요소에 가장큰 요소로 판단.

㉮ BESS, EnergyPlus 부하 패턴 비교

ㄱ. ISO 13790 기반 국내 툴(BESS)과 EnergyPlus 난방 부하 값 비교

<표 2.39> BESS, EnergyPlus 난방부하 비교



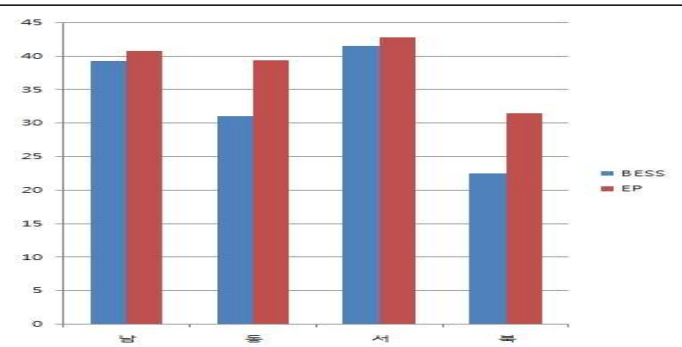
<BESS, EnergyPlus 난방부하값>

	남	동	서	북
BESS	63.62	95.45	80.60	106.44
EP	89.37	106.09	104.94	114.02
BESS-EP	-25.74	-10.63	-24.33	-7.57
(BESS-EP) /BESSx100	-40%	-11%	-30%	-7%

○ 난방부하 편차는 EnergyPlus에서 남향이 타 향에 비해 크게 발생, 향별로 편차가 EnergyPlus보다 큰 BESS 에서는 더욱 더 크게 편차가 크게 발생함으로 남향에서 EnergyPlus와 BESS 의 오차가 커짐 (40%). 반대로 북향에서는 남동서 향에 비해 지면반사,확산일사의 영향이 낮음으로 BESS 와 EnergyPlus의 오차가 7% 로 낮은것으로 사료됨. (일사유입 영향이 적은 북향(7%) 동향(11%)에서 BESS와 EnergyPlus 난방부하 오차가 적은 것으로 나타남)

ㄴ. ISO 13790 기반 국내 툴과 EnergyPlus 냉방 부하 값 비교

<표 2.40> BESS, EnergyPlus 난방부하 비교



<BESS, EnergyPlus 난방부하값>

	남	동	서	북
BESS	39.24	30.97	41.53	22.47
EP	40.71	39.41	42.79	31.51
BESS-EP	-1.46	-8.43	-1.25	-9.03
(BESS-EP)/ BESSx100	-4%	-27%	-3%	-40%

- 향에 따른 일사유입량 계산방식
- BESS-총일사량 평균적 정량수치와 정량수치로 입력한 G-value 만으로 일사 유입량 계산됨
- EnergyPlus-일사량은 운량, 수증기포화도, 지면 반사등 을 종합적으로 고려함. 또한 이러한 일사량 값을 고려하여 시간별로 G-value 값이 달라짐
- BESS 는 직달일사와 확산일사량의 정량 수치 합산으로 향별 일사량 값이 수치로 계산됨.
- EnergyPlus 는 운량에 따른 확산일사, 포화습도에 의해 공기 중에서 일사량 반사와 확산, 지면반사에 의한 일사유입 등을 종합적으로 계산함

㉳ 결론

ㄱ. BESS 와 ECO2 의 비교에서 동일한 시뮬레이션 환경을 구축하기 위해 용도별 프로파일, 적용된 기상데이터, 운영시간, 운영시간에 따른 기본 환기율 등 프로그램 상에 기본 적용된 사항 비교 필요성이 있음

ㄴ. 단순 결과비교만 가능한 환경을 보강하기 위해 동적 시뮬레이션 툴인 EnergyPlus를 기준으로 툴 비교

ㄷ. 표준계산 기법에서 G-value외 국내 실정에 부합하는 기기 설비 시스템의 보정 계수 필요함

(라) 냉난방 열원 기기시스템 에너지 소비량

① SCOP의 SSEER 개념 및 산출 방법

○ 건물에 사용되는 에너지기기의 성능은 아래와 같은 건물의 속성에 영향을 받는다.
- 배경이 되는 기후
- 특정한 사용용도
- 에너지공급 계통상태(난방, 냉방, 급탕, 환기, 조명 등)

○ SCOP와 SSEER는 특정지역, 특정용도를 전제하여 도출되는 성능계수이며, 자연스럽게 단일기기의 성능계수와 차이에서 그 개념을 확득한다. 그 차이를 발생시키는 요인을 크게 둘로 나누면 계절에 따라 변하는 기후와 건축의 구성요소로 볼 수 있다.

○ 본 연구에서는 계절 (Seasonal,기간)과 System(건물)을 기준으로 개념정립을 하였다. 이런 계층적 분류는 유럽기준에서 일반화된 것이며, 이는 현장에서 넘어온 데이터가 어느 단계의 개념까지 충족하는지 판정하는 척도가 될 것이다.

○ 계절적(Seasonal) 요인을 반영하는 방식은 메이커에서 제공된 부분부하효율을 근거로하여, 특정지역의 기후의 가중치를 반영하여 BSE(Boiler Seasonal Efficiency), SEER(Seasonal Energy Efficiency Ratio for cooling)로 확정된다.

○ 아래는 가동율 30%로 작동하는 비율이 81%이고, 가동율 100%로 작동하는 비율이 19%인 경우에 기간효율을 계산하는 방식이다.

$$BSE = 0.81 \times \eta 30\% + 0.19 \times \eta 100\%$$

$\eta 30\%$, $\eta 100\%$: 가동율 30%, 100%의 BE(Boiler Efficiency)

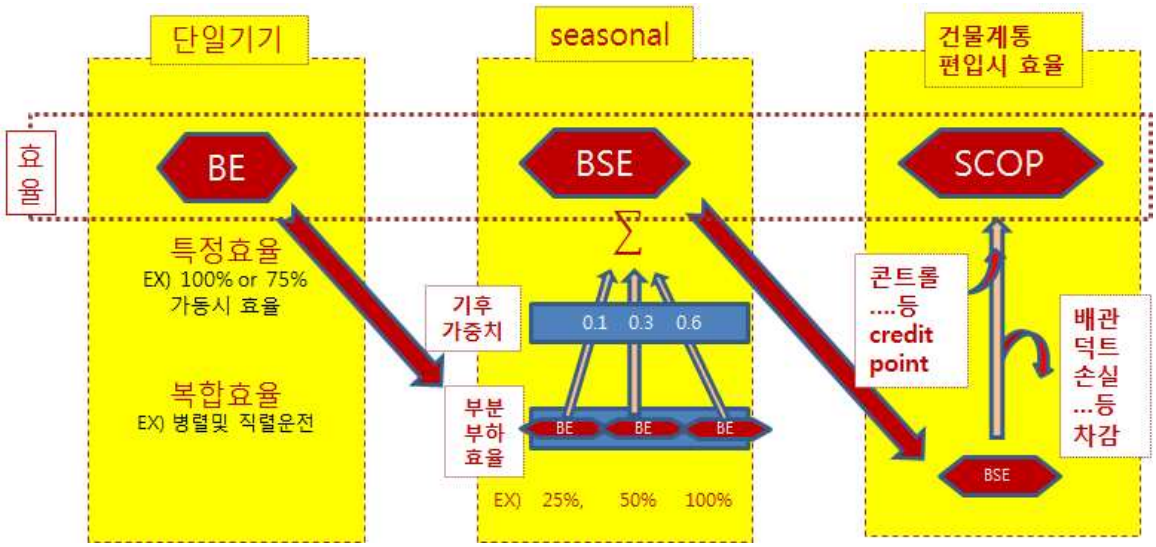
$$SEER = 0.81 \times \eta 30\% + 0.19 \times \eta 100\%$$

$\eta 30\%$, $\eta 100\%$: 가동율 30%, 100%의 EER(Energy Efficiency Ratio)

○ 건물적(System)요인은 계절적요인의 보정(BSE, SEER)을 받은 에너지량이 목표 공존공간까지 이동하는 동안에 건물내의 손실을 반영하여 SCOP(heating Seasonal Coefficient of Performance)와 SSEER(Seasonal System Energy Efficiency Ratio for cooling)을 도출한다.

㉮ 난방성능 계층도

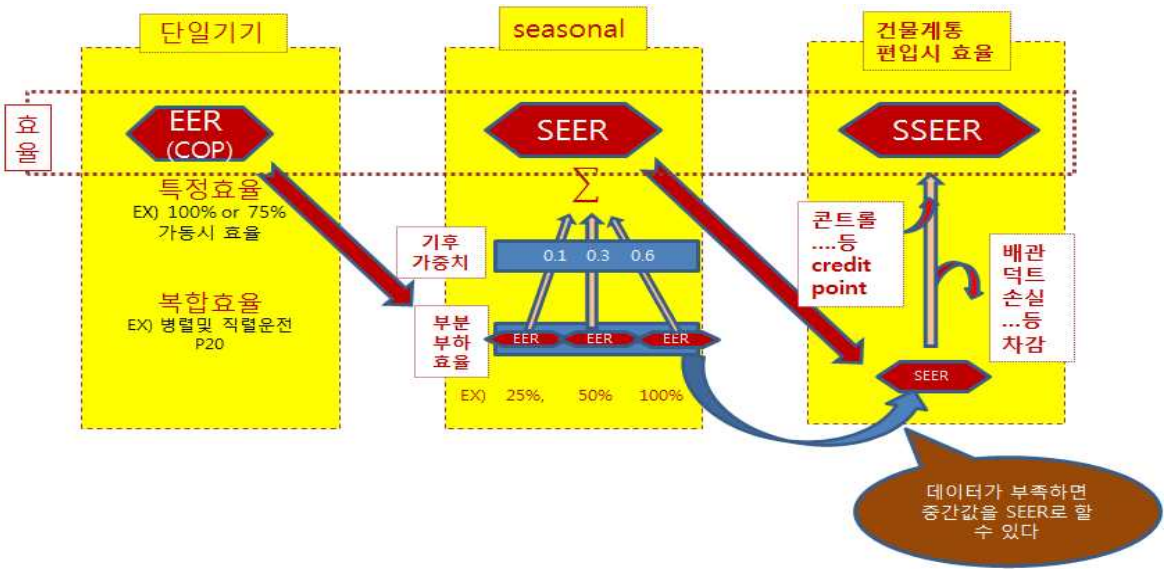
○ 다음은 열원기기의 성능계수 계층도이다. BE는 Boiler Efficiency 약자이고, 단일보일러의 효율이다. BSE는 Boiler Seasonal Efficiency이며 특정지역의 기후 가중치를 반영한 성능계수이다. SCOP는 heating Seasonal Coefficient of Performance의 약자이고, 특정 건물 내 손실을 반영한 효율계수이다.



[그림 2.25] 온열원기기의 난방성능

㉯ 냉방성능 계층도

○ 다음은 히트펌프의 성능계수 계층도이다. EER은 Energy Efficiency Ratio의 약자이고 단일기기의 성능을 말한다. SEER는 Seasonal Energy Efficiency Ratio for cooling의 약자이며, 특정지역의 기후 가중치를 반영한 성능계수이다. SSEER는 Seasonal System Energy Efficiency Ratio for cooling의 약자이며, 특정 건물 내 손실을 반영한 손실계수이다.



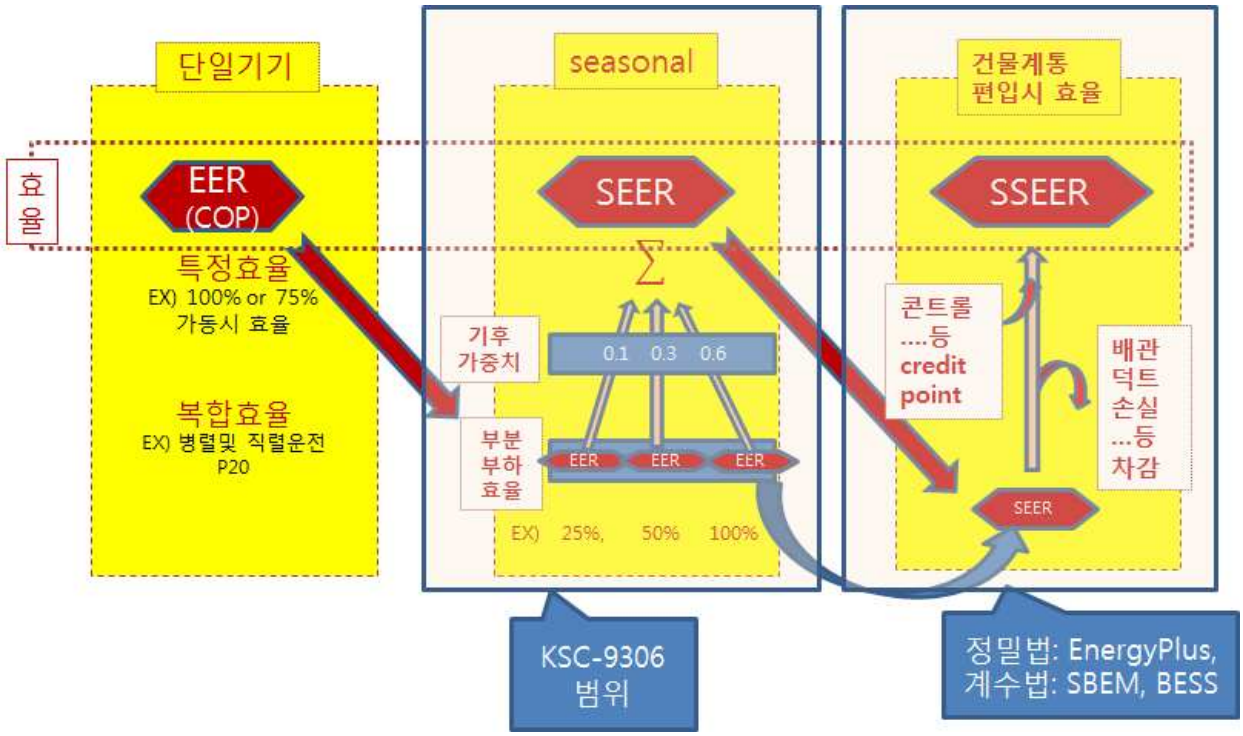
[그림 2.26] 냉열원기기의 냉방성능

㉰ 성능계층과 적용범위

○ 건물을 평가하는 시뮬레이션이라면 정밀법이든, 간이법이든 건물에서의 부하 및 손실을 반영하여야 한다. 정밀시뮬레이션은 대상건물의 데이터를 충실히 입력하여 해당지역의 SEER, BSE, SSEER, SCOP를 도출하고 반영한다. 그러나 정밀법은 고비용 및 고도의 전문성을 필요로 하므로 현장 활용성이 많이 떨어진다고 볼 수 있다. 본 연구는 성능계층상 같은 범위를 가지나 정밀성 및 정확성에서 차이가 정밀법과 간이법의 갭을 SSEER과 SCOP의 합리적 해석 및 활용으로 줄여 나갈 것이다.

○ 단일기기(EER) 및 기간성능에서도 부하치를 상정하고 성능을 평가하는데, 이는 표준부하를 전제로 하므로, 시스템부하 및 손실을 정상적으로 반영했다고 볼 수없다.

○ KSC-9306 에서도 한국의 7개 지역, 3년 평균기온을 반영한 SEER을 도출하고 있다.



[그림 2.27] 건물에너지 장비 성능 계수 범위

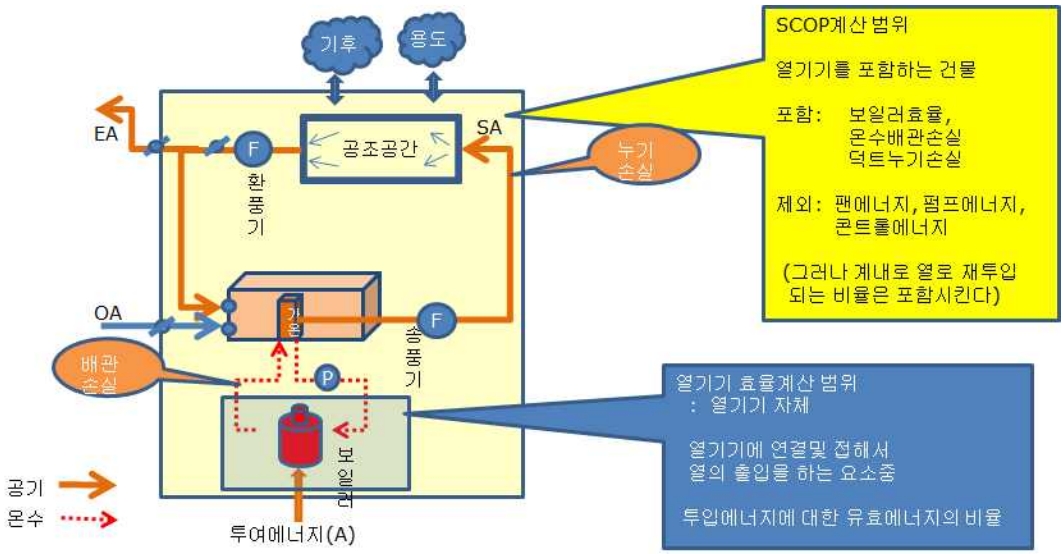
㉱ 건물에너지 장비 성능 계수- 난방시스템 효율계수(SCOP)

ㄱ. 범위

SCOP(heating Seasonal Coefficient of Performance)

= 난방 공조공간에 유효하게 쓰인 에너지/난방을 위해 투여한 에너지

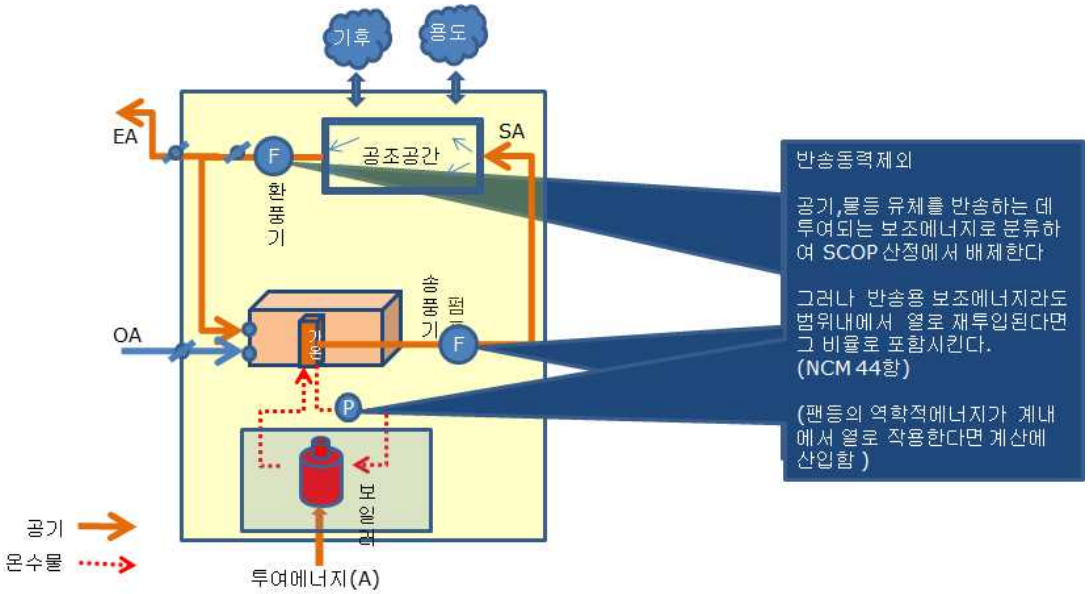
○ 단일기기 효율(BE=온수에 유효하게 쓰인 에너지/기기에 투여한 에너지)은 단일기기의 입력과 유효출력으로 판단하나, SCOP는 최종유효에너지를 공조공간으로 상정하므로 공조공간에 더운 바람으로 들어가기까지의 손실을 모두 계산에 포함해야하다. 다만 온수펌프, 급기팬 및 배기팬의 전력은 반송동력으로 별도 계산하므로 산입하지 않는다.



[그림 2.28] SCOP의 계산 범위

ㄴ. 범위내 제외요소(반송동력)

다음은 SCOP에서 반송동력을 제외함을 표시한 것이다



[그림 2.29] SCOP의 계산 범위내 제외 요소

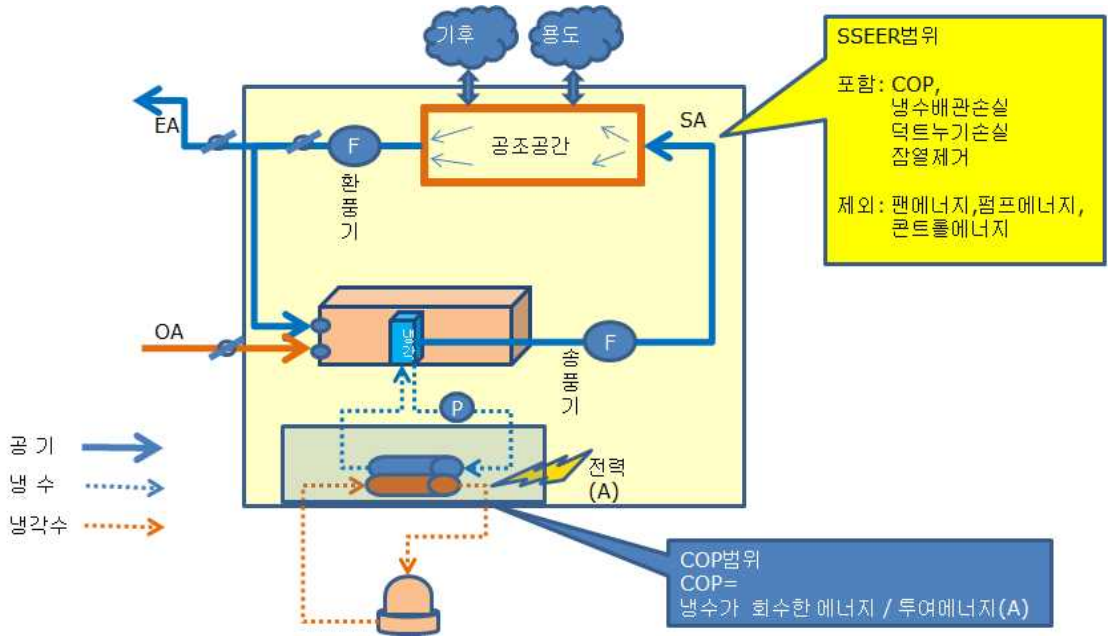
㉮ 건물에너지 장비 성능 계수- 냉방시스템 효율계수(SSEER)

ㄱ. 범위

SSEER(Seasonal System Energy Efficiency Ratio for cooling)

=냉방 공조공간에 유효하게 쓰인 에너지/냉방을 위해 투여한 에너지

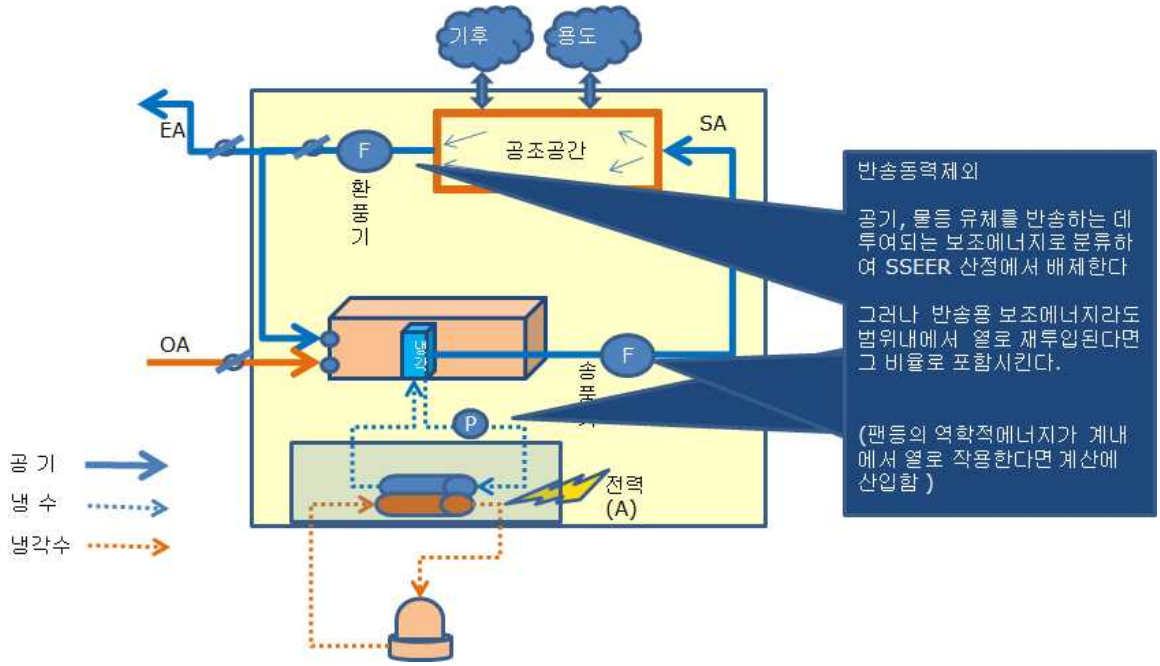
○ 단일기기효율(EER=냉수에 유효하게 쓰인 에너지/기기에 투여한 에너지)은 단일기기의 입력과 유효출력으로 판단하나, SSEER는 최종유효에너지를 공조공간으로 상정하므로 공조공간에 찬 바람으로 들어가기까지의 손실을 모두 계산에 포함해야하다. 다만 온수펌프, 급기팬 및 배기팬의 전력은 반송동력으로 별도 계산하므로 산입하지 않는다.



[그림 2.30] SSEER의 계산 범위

ㄴ. 범위내 제외

다음은 SSEER에서 반송동력을 제외함을 표시한 것이다



[그림 2.31] SSEER의 계산 범위내 제외 요소

② 계절간 부분부하 가중 계수 적용 방법

○ 기후조건이 가동율 30%로 작동하는 비율이 10%이고, 가동율 50%로 작동하는 비율이 60%이고, 가동율100%로 작동하는 비율이 30%인 경우에 기간효율을 계산하는 방식이다.

$$SEER = 0.1 \times \eta 30\% + 0.6 \times \eta 50\% + 0.3 \times \eta 100\%$$

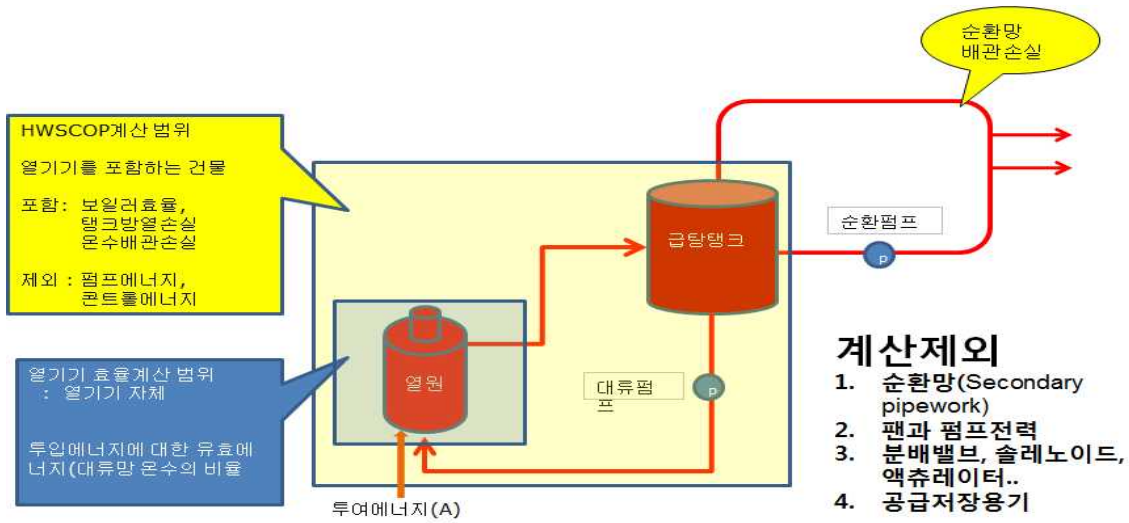
$\eta 30\%$, $\eta 50\%$, $\eta 100\%$: 가동율 30%, 50%, 100%의 EER

(마) 급탕

① HWSCOP의 개념

보일러효율 = 온수에 공급에너지/투여에너지

○ 건물 급탕계통에서 총체적 열효율은 HWSCOP(Hot Water Seasonal Coefficient of Performance)로 나타낸다. HWSCOP에는 저장탱크까지의 배관손실을 산입하고, 사용처를 순환하는 배관손실은 산입하지 않는다.



[그림 2.32] HWSCOP의 계산 범위

② HWSCOP 계산 방법

HWSCOP(Hot Water Seasonal Coefficient Of Performance)

= (온수에 공급된 에너지-배관손실-탱크방열손실)/투여에너지

<표 2.41> NCM에서의 온수탱크 방열량

규격(ℓ)	열손실(kWh/day)
200	2.1
300	2.6
400	3.1
500	3.5
600	3.8
700	4.1
800	4.3
900	4.5
1000	4.7
1100	4.8
1200	4.9
1300	5.0
1500	5.1
2000	5.2

(출처 : HMG Table 28)

<표 2.42> NCM에서의 급탕시스템의 최소열효율

급탕방식		최소열효율	HWSCOP
직화방식	LNG	73%	
	LPG	74%	
	OIL	75%	
간접방식	LNG		80%
	LPG		81%
	OIL		82%
전기방식		100%	

(바) 조명

① 조명의 냉방부하 변환계수

○ 조명 에너지는 CEN EN 15193-1의 계산법에 따란 계산 되어진다. 이 계산에 투입하는 입력값은 조명전력량, 점유기간의 영향을 포함하는 가동기간 그리고 자연광에 대처하는 시간을 포함한다.

조명전력량 공식

$$W_{light} = \frac{\sum_{j=1}^{12}[N_j \times \sum_{i=1}^{24} P_j \langle F_{Dji} \times F_{Oji} \rangle) + \sum_{i=1}^{24}(P_{dj} \times F_{Od}) + (24 \times P_P)]}{1000} kWh/m^2$$

여기에서,

N_j = *[31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31]. 각 월에서의 일수*

P_j = *월j의 각 시간에 대한 조명전력량 (단위=W/㎡)*

P_p = *와류전력량 (단위=W/㎡ hour)*

P_{dj} = *설치 조명전력량 (단위=월j의 각 시간에 대한 W/㎡)*

F_{Dji} = *자연광 교정계수 (월j의 시간i에 대한 이용계수)*

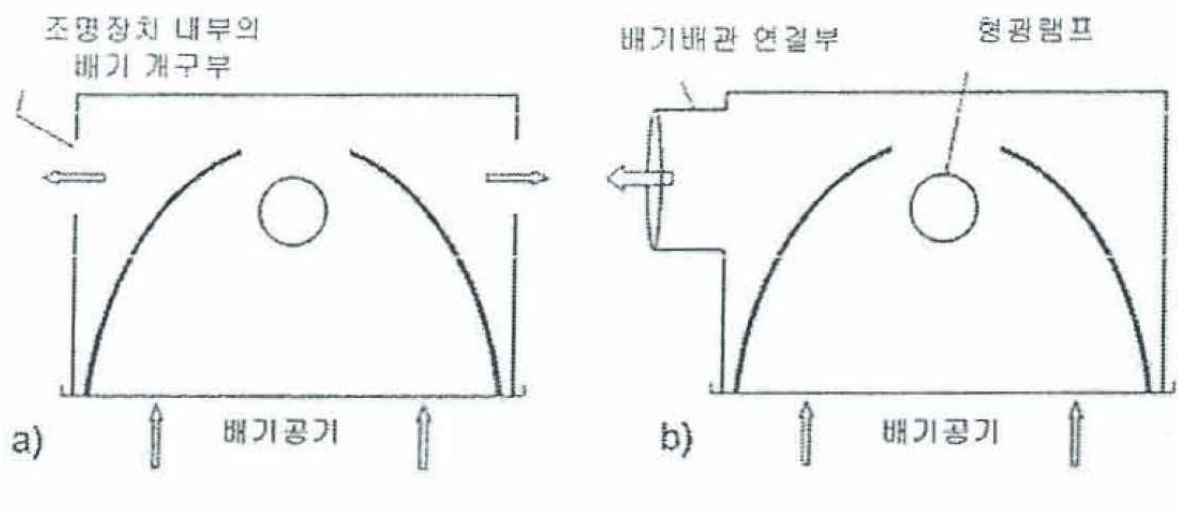
F_{Oji} =*는 월j의 시간i에 대한 점유 보정계수*

F_{Od} = *1년이상 설치조명 점유교정계수*

② 인공조명에 의한 열획득원

○ 조명전력량 W_{light}과 배기구가 설치된 조명시설의 경우 실내부하율 μ_L는 다음의 <표 2.43>에 의해 구해진다.

$$Q_{i,L} = \mu_L W_{light}$$



[그림 2.33] 배기구가 설치된 조명장치의 두가지 예

a) 천정공간을 통한 흡입 b) 연결배관을 통한 흡입

(출처 : 건설기술연구원, 기후변화 대응을 위한 건물에너지효율등급 표시제도 개발 연구 1차년도 보고서, 2009)

<표 2.43> 배기구가 있는 조명장치에 대한 실내부하율 μ_L

천정시스템에서의 형광램프				
조명장치 연결성능 대비 배기량 $m^3/h \cdot W$	0.2	0.3	0.4	0.5
μ_L 천정공간을 통한 흡입	0.80	0.70	0.55	0.45
μ_L 비 단열배관을 통한 흡입	0.45	0.35	0.30	0.25
μ_L 단열배관을 통한 흡입	0.40	0.35	0.30	0.25

(출처 : 건설기술연구원, 기후변화 대응을 위한 건물에너지효율등급 표시제도 개발 연구 1차년도 보고서, 2009)

여기에서,

$Q_{i,L}$*는 인공조명 발열량*

μ_L*는 배기구가 있는 조명장치에 대한 실내부하율*

W_{light}*는 조명 전력량*

(사) 환기

① SFP의 개념

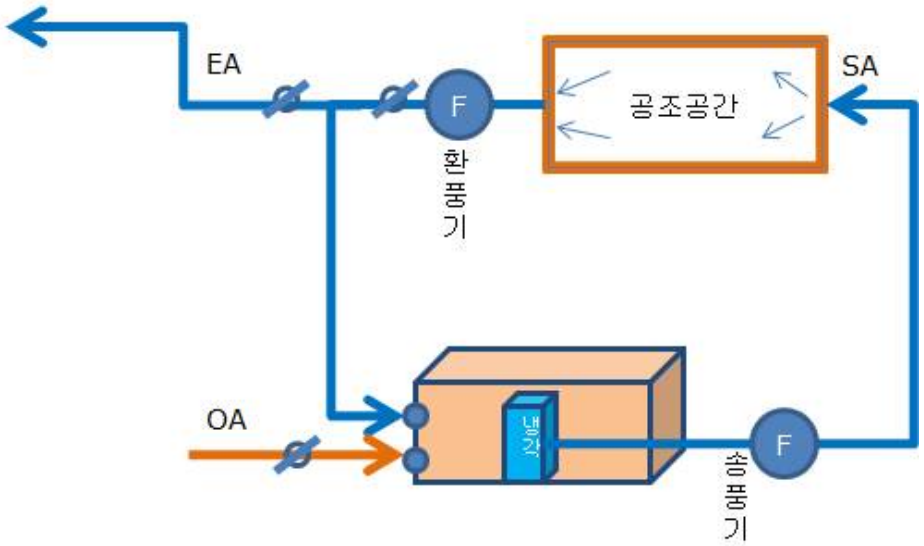
SFP(Specific Fan Power){W/(l/s)} : 유량에 대한 전력비 = $(P_{SF}+P_{EF})/Q$

여기에서,

P_{SF} *: 송풍팬 설계유량에서 전체 전력(콘트롤포함)*

P_{EF} *: 배기팬 설계유량에서 전체 전력(콘트롤포함)*

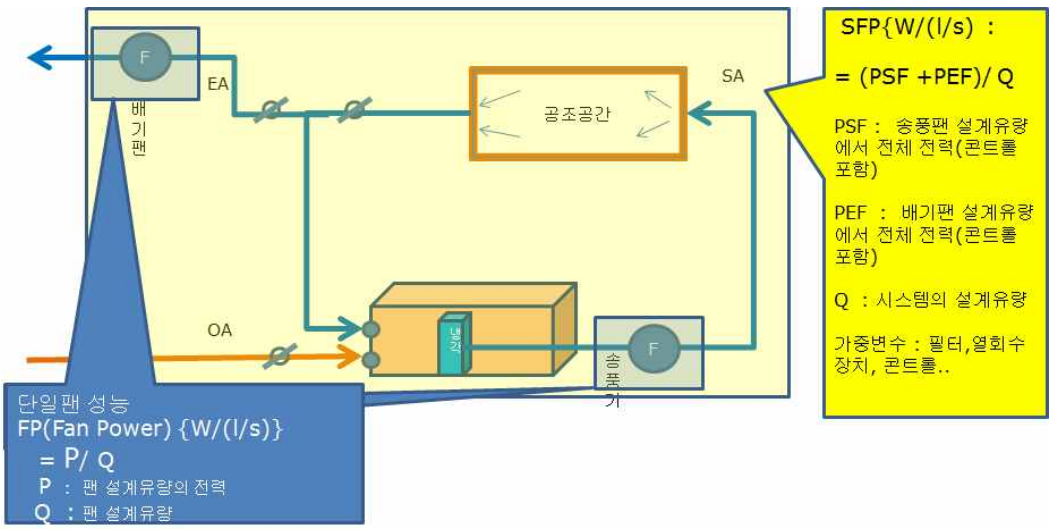
Q *: 시스템의 설계유량*



[그림 2.34] SFP의 정의

㉮ SFP의 범위

○ 다음은 단일기기와 SFP의 차이를 그림으로 나타낸 것이다.



[그림 2.35] SFP의 계산범위

㉯ SFP 기준값

<표 2.44> NCM에서의 SFP 기준값

시스템구성	SFP{W/(l/s)}
냉난방겸용 중앙공조시스템	1.8
난방전용 중앙공조시스템	1.6
그 외 중앙공조시스템	1.4
개별 공급시스템(바닥이나 천정공급)	1.2
개별 배기시스템	0.6
개별 급배기시스템(난방)	2
개별 급배기시스템(난방과 열회수장치)	1.8

(출처 : NCM(National Calulation Method), UK)

② 난방시 환기에 의한 열전달

○ 매월, 난방시 환기에 의한 열전달 Q_{V-heat}는 아래 식에 의해 구해진다.

$$Q_{V-heat} = H_{V-heat} \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot n \cdot 0.0864$$

여기에서,

Q_{V-heat} *: 난방시 환기에 의한 열전달량 (단위=MJ)*

H_{V-heat} *: 난방시 환기로 인한 열손실계수 (단위=W/K)*

θ_i *: 난방 설정온도*

θ_e *: 외부온도 (기후데이터에서 시간당 얻어지는 매월 평균온도)*

n *: 월별 일 수*

0.0864 *: 단위 변환계수*

③ 냉방시 환기에 의한 열전달

○ 매월, 냉방시 환기에 의한 열전달 Q_{V-cool}는 아래 식을 통해 계산되어진다.

$$Q_{V-cool} = H_{V-cool} \cdot (\theta_i - \theta_e') \cdot n \cdot 0.0864$$

여기에서,

Q_{V-cool} *: 냉방시 환기에 의한 열전달량 (단위=MJ)*

H_{V-cool} *: 냉방시 환기에 의한 열획득계수 (단위=W/K)*

θ_i *: 내부온도 (외피가 점유하는 활동영역에 대한 NCM 활동데이타베이스 냉방 목표치)*

θ_e' *: 수정된 외기온도*

n *: 한 개월의 일 수*

0.0864 *: 단위 변환계수*

<표 2.45> 냉방요구에 대한 매달 환기손실 계산값에 대해서 공급공기의 온도에 사용된 값

Month	θ_e'(℃)
january	16.0
february	16.0
march	16.0
april	16.0
may	16.0
june	17.0
july	18.5
august	18.3
september	16.0
october	16.0
november	16.0
december	16.0

(출처 : Technical Manual for SBEM, 2011)

④ 난방시 환기에 의한 열손실계수

$$H_{V-heat} = \rho_a \cdot c_a \cdot u_{V-heat} \cdot A$$

여기에서,

H_{V-heat} *: 난방시 환기 열손실계수(단위=W/K)*

$\rho_a \cdot c_a$ *: 부피에 따른 공기 열수용량 ~ 1.2 kJ/m³K (공기밀도결과, kg/m³ 그리고 특정공기 열수용량, kJ/m³K)*

u_{V-heat} *: 승인된 공간을 통한 공기유입비율(단위=l/sm² floor area)*

A *: 영역 바닥면적 (단위=m²)*

⑤ 냉방시 환기에 의한 열손실계수

$$H_{V-cool} = \rho_a \cdot c_a \cdot u_{V-cool} \cdot A$$

여기에서,

H_{V-cool} *: 냉방시 환기 열손실계수(단위=W/K)*

$\rho_a \cdot c_a$ *: 부피에 따른 공기 열수용량 ~ 1.2 kJ/m³K (공기밀도결과, kg/m³ 그리고 특정공기 열수용량, kJ/m³K)*

u_{V-heat} *: 승인된 공간을 통한 공기유입비율(단위=l/sm² floor area)*

A *: 영역 바닥면적 (단위=m²)*

(아) 덕트 배관 손실

○ 건물 내 손실을 물 배관 및 공기 덕트로 대변할 수 있다. 태양열 취득과 같이 시스템 손실의 주요인이다.

<표 2.46> NCM에서의 열배관손실 허용량

외경(MM)	온수	저온	중온	고온
		<95℃	96℃~120℃	121℃~150℃
17.2	6.6	8.9	13.34	17.92
21.3	7.13	9.28	13.56	18.32
26.9	7.18	10.06	13.83	18.70
33.7	8.62	11.07	14.39	19.02
42.4	9.72	12.03	15.66	19.25
48.3	10.21	12.94	16.67	20.17
60.3	11.57	14.45	18.25	21.96
76.1	13.09	16.35	20.42	24.21
88.9	14.58	17.91	22.09	25.99
114.3	17.2	20.77	25.31	29.32
139.7	19.65	23.71	28.23	32.47
168.3	22.31	26.89	31.61	36.04
219.1	27.52	32.54	37.66	42.16
273이상	32.4	38.83	43.72	48.84

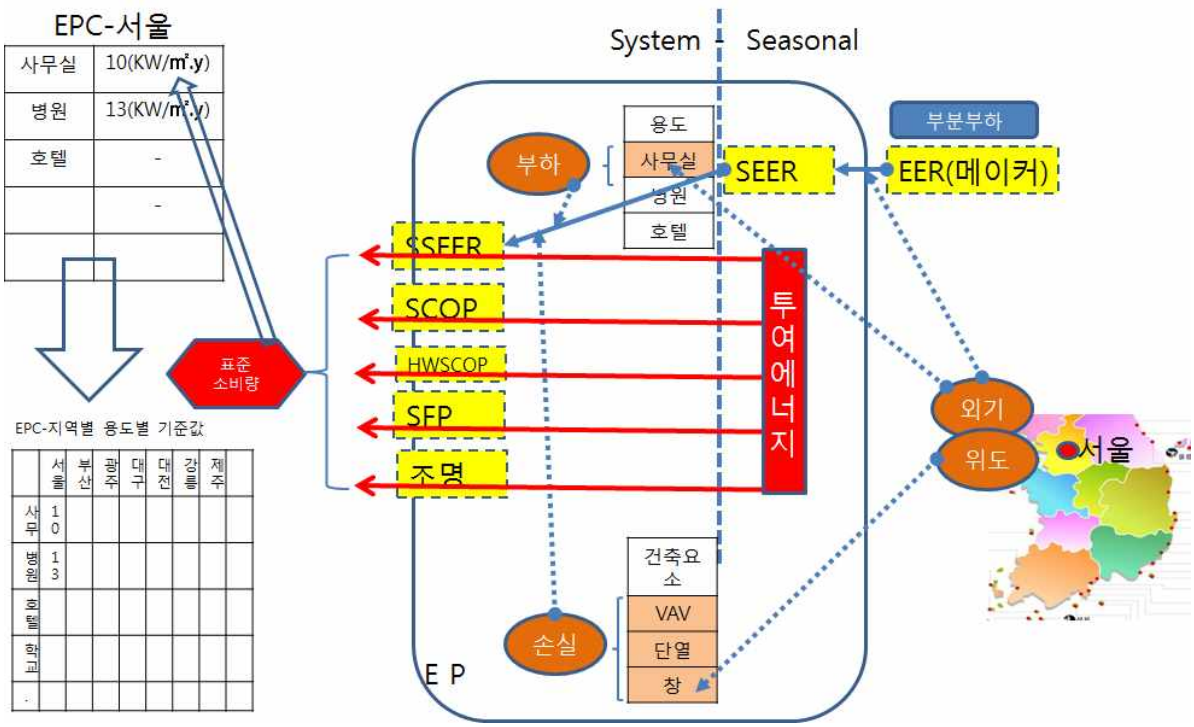
<표 2.47> NCM에서의 냉.온열덕트손실 허용량

	열덕트	냉.온덕트	냉덕트
열손실(W/㎡)	16.34	-6.45	-6.45

(자) 한국형 EPC의 정의 방법

에너지성능평가,EPC(Energy Performance Coefficient)
= 평가건물의 에너지사용 원단위/기준 에너지사용 원단위

○ EPC값이 적을수록 효율이 높다.
(기준이 되는 건물을 설정대비 대상건물의 원단위로 대상건물을 평가하는 방법)

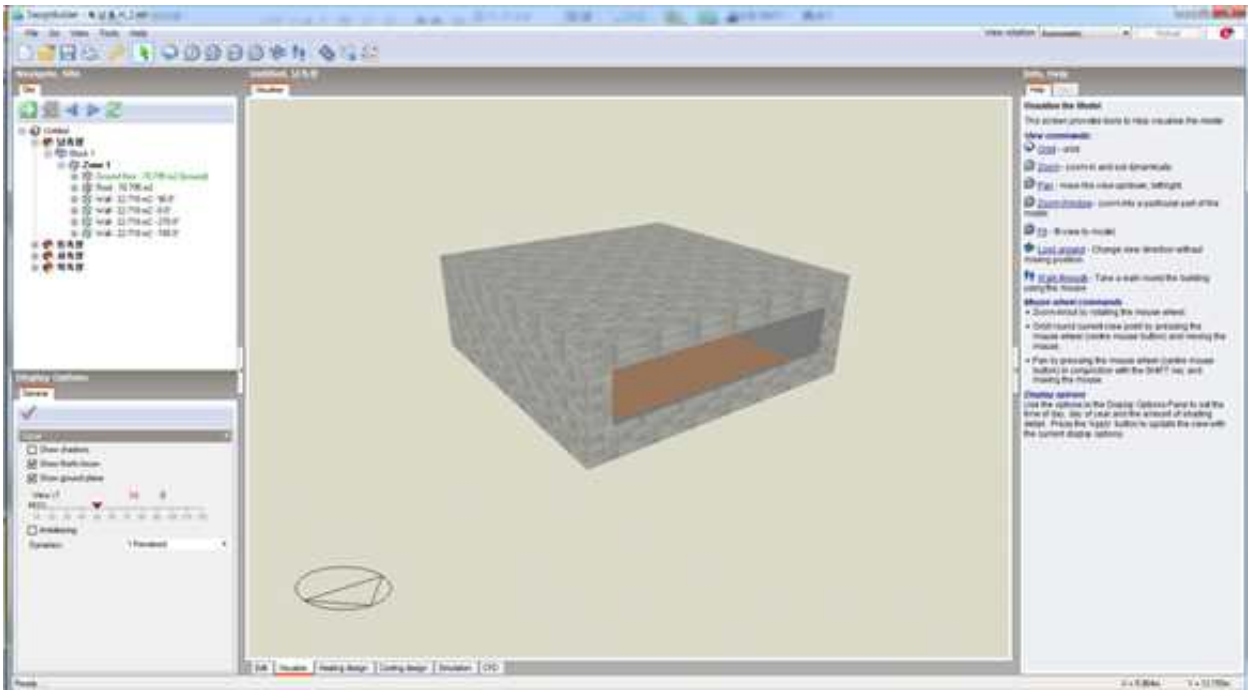


[그림 2.36] 한국형 EPC 도출 방법

(4) 건물 에너지 성능 결정 인자 도출

(가) EnergyPlus 시뮬레이션 모델링

○ 건물의 에너지성능은 기후조건에 많은 영향을 받는다. 같은 건물일지라도 기후조건, 건물형태, 등 건물에 대한 정보가 다를시 상이한 성능을 나타내게 되며 건물별 비교가 어렵게 된다. ISO 13790 기반 툴과 동적시뮬레이션의 결과값을 비교하기 위해 대상공간의 면적, 벽체 열관류율, 창면적비, 건물 향 등을 설정하였으며, 정확한 분석을 위해 서울 표준기상데이터를 사용했으며 실내 냉,난방 설정 온도는 건기원 보고서 자료를 토대로 작성하였다. 구체적인 설정값은 <표 2.48>에 나타내있다.



[그림 2.37] EnergyPlus 모델링

<표 2.48> 대상건물 개요

EnergyPlus, ISO13790기반 계산툴 설정값	
건물 개요	지역 : 서울
	기상데이터 : 한국태양에너지학회 서울 (86년-05년기준DOE-2포멧).txt 자료를 이용하여 EnergyPlus Weather Statistics and Conversions을 이용하여 생성 후 EnergyPlus 서울 기상데이터 적용
	건물형태 : 폭 9m, 높이 : 2.7m
	채 광 창 : 남측 50% (11.359 ㎡)
	벽체 면적 : 22.718 ㎡
	지중 온도 : 월별 각 온도 설정
벽체 정보	벽체 열관류율 : 0.217 W/㎡K
	창 열관류율 : 3.157 W/㎡K
	지붕 열관류율 : 0.147 W/㎡K
	바닥 열관류율 : 0.18 W/㎡K
창 입력 DATA	창문 종류 : 복층창
	창문틀 종류 : 미적용
	G - value : 0.468
	EnergyPlus 창면적 : 11.395 ㎡, BESS 창면적 : 16.228 ㎡
실내 냉,난방 설정	난방 급기온도 : 20℃, 냉방 급기온도 : 26℃
	난방 운행시간 : 11시간, 냉방 운행시간 : 13시간

(나) 건물 유형별 시스템별 시뮬레이션 결과

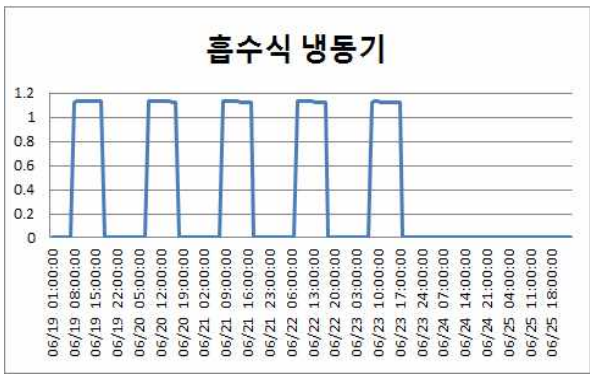
○ 서울 지역 사무실 건물에서 에너지 저감요소를 분석하기 위해 ISO 13790 기반 툴에서 계산된 연간 2차 소비량과 동적시뮬레이션에서 계산된 연간 2차 소비량을 비교하였으며, 동적시

뮬레이션에서 계산된 월별 효율계수를 ISO 13790 기반 툴에 적용하여 비교하였다. 또한 흡수식 냉동기, 압축식 냉동기, 히트펌프에 대한 설정은 동적시뮬레이션에서 기본적으로 제공되는 기기를 사용하였으며 이에 대한 효율계수, 2차 소비량, 부분부하, 부하에 대한 사용량을 동적시뮬레이션을 통해 분석해보았다.

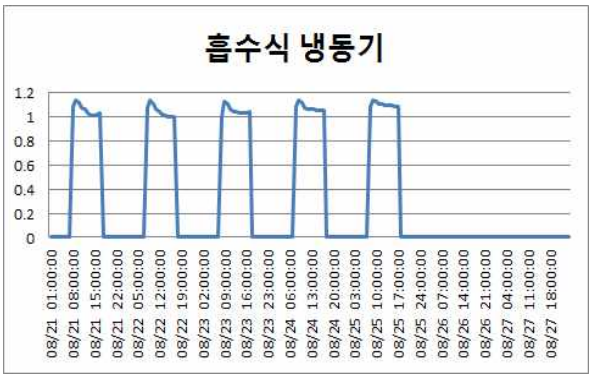
○ 사무실 건물의 운영 스케쥴은 일주일중 5일 출근하는 것으로 스케쥴을 설정하였으며, 대표적인 월에 일주일 사용량을 도출 하였다.

① 대표주간에서의 기기별 COP

○ Absorption Chiller의 COP경우 여름철에 외기온도가 높아지면서 냉각탑까지 가는 배관에서 열을 발열하지 못하고 열을 흡수하기 때문에 여름철 COP가 낮아진다는 것을 알 수 있다. 그림에서 보듯이 8월 COP는 5월 보다 작은 것을 알 수 있다.

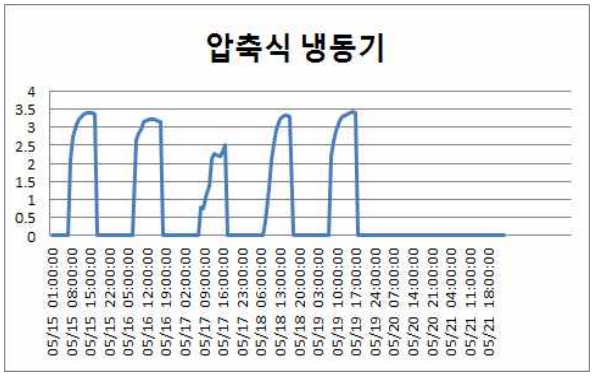


[그림 2.38] 6월 흡수식 냉동기_COP

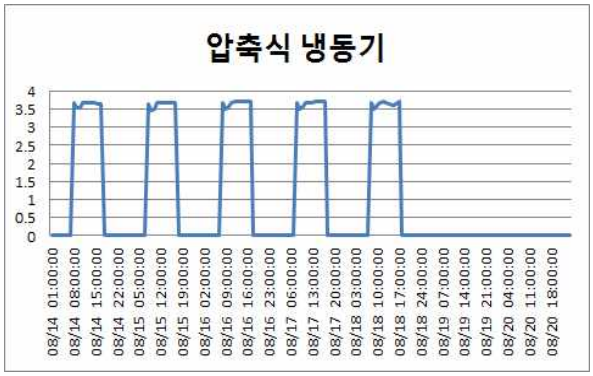


[그림 2.39] 8월 흡수식 냉동기_COP

○ 압축식 냉동기의 COP의 경우 부분부하를 적용하였을 때 5월 부분부하는 8월 부분부하보다 2배정도 낮기 때문에 5월 COP는 8월 COP에 비해 낮다는 것을 알 수 있다.

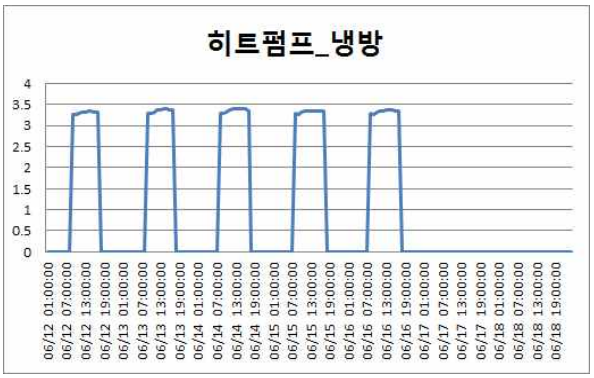


[그림 2.40] 5월 압축식 냉동기_COP

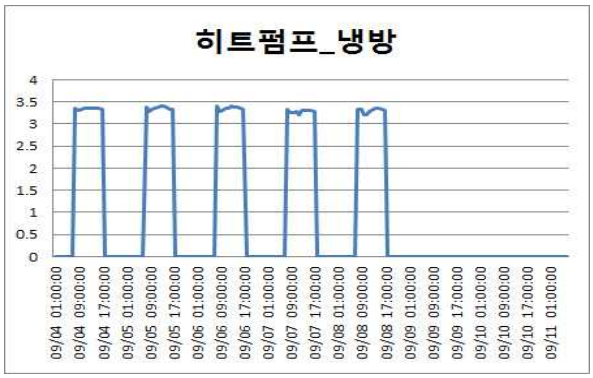


[그림 2.41] 8월 압축식 냉동기_COP

○ 응축된 냉매가 외기와 열 교환됨으로써 실의 온도를 낮춰야 하는데 히트펌프의 냉방 COP의 경우 9월 외기온도가 높기 때문에 응축기에서 열을 방출하지 못하고 열을 획득하기 때문에 COP는 5월 보다 낮아지게 된다는 것을 알 수 있다.

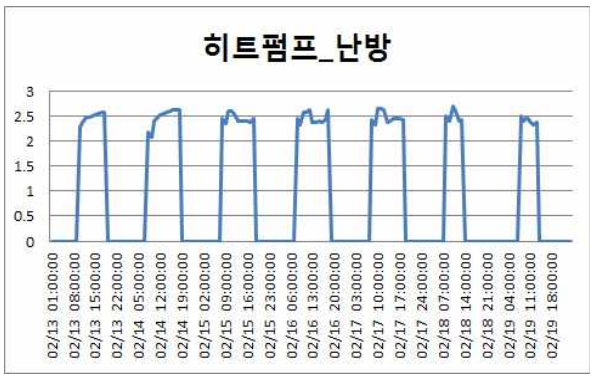


[그림 2.42] 6월 히트펌프 냉방_COP

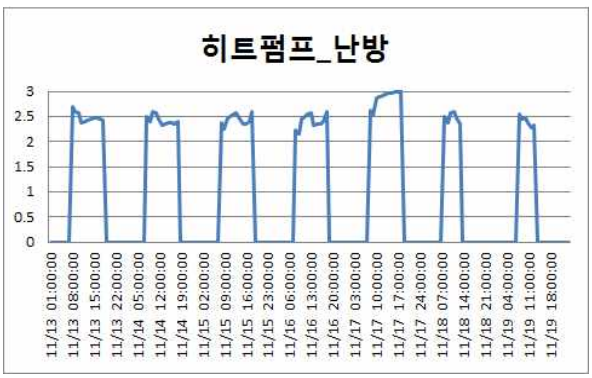


[그림 2.43] 9월 히트펌프 냉방_COP

○ 히트펌프 난방의 경우 증발기에서 열을 흡수하여 COP가 높아지게 된다. 동적시뮬레이션의 11월 외기 온도는 평균 16도이며, 2월 외기온도는 평균 13도를 나타내고 있다. 열의 흡수를 통해 히트펌프의 난방 COP가 좋아지게 되므로 2월 보다 11월의 COP가 좋다는 것을 알 수 있다.



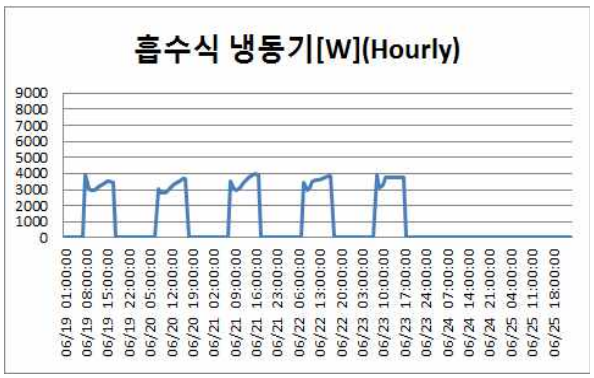
[그림 2.44] 2월 히트펌프 난방_COP



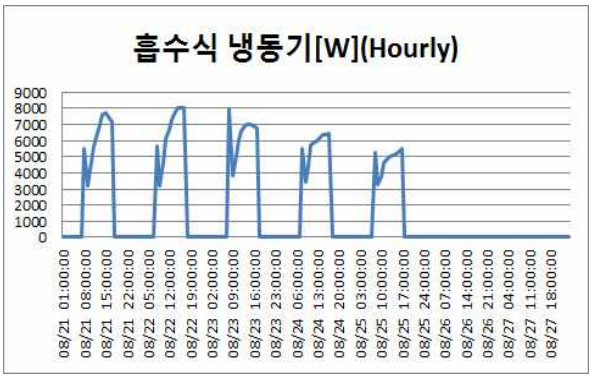
[그림 2.45] 2월 히트펌프 난방_COP

② 대표주간에서의 시스템 에너지 사용량

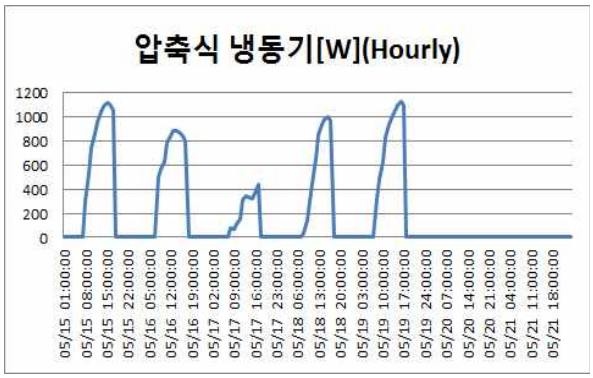
○ 냉방기간에는 실내로 들어가는 공급량이 많기 때문에 [그림 2.46]~[그림 2.49]에서 보듯 여름철 최고 공급량은 봄에 비해 최고 공급량은 2배정도의 차이가 발생하는 것을 볼 수 있다.



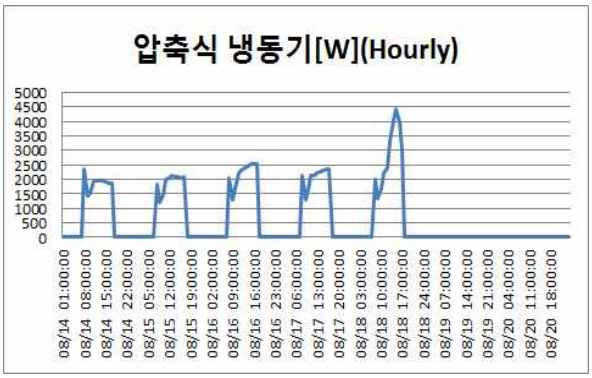
[그림 2.46] 6월 흡수식 냉동기_공급량



[그림 2.47] 8월 흡수식 냉동기_공급량

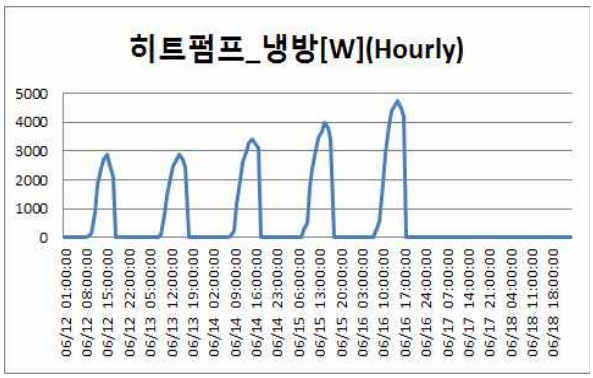


[그림 2.48] 5월 압축식 냉동기_공급량

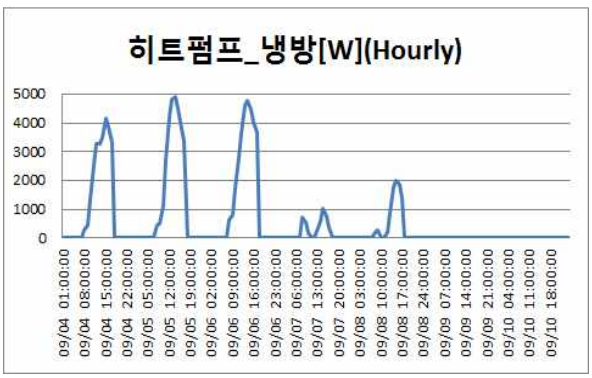


[그림 2.49] 8월 압축식 냉동기_공급량

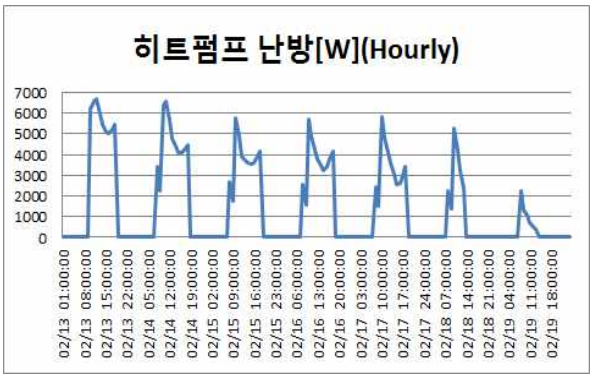
○ 히트펌프 냉방 공급량은 [그림 2.50],[그림 2.51] 6월부터 냉방 공급량의 증가, 9월이 시작되면서 공급량이 감소하는 것을 볼 수 있으며, 반대로 난방기간 [그림 2.52], [그림 2.53]에는 11월 난방사용량이 증가되고, 2월에는 난방사용량의 감소를 보이고 있다.



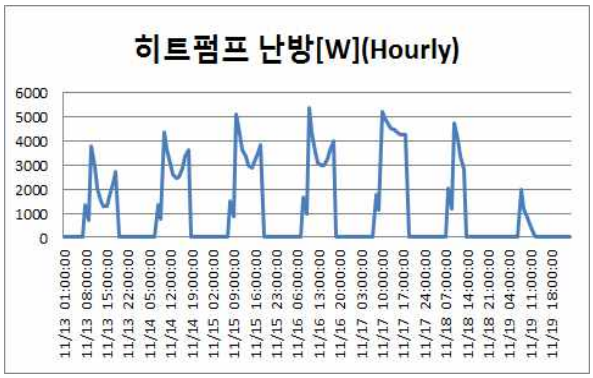
[그림 2.50] 6월 히트펌프 냉방_공급량



[그림 2.51] 9월 히트펌프 냉방_공급량



[그림 2.52] 히트펌프 난방_공급량



[그림 2.53] 히트펌프 난방_공급량

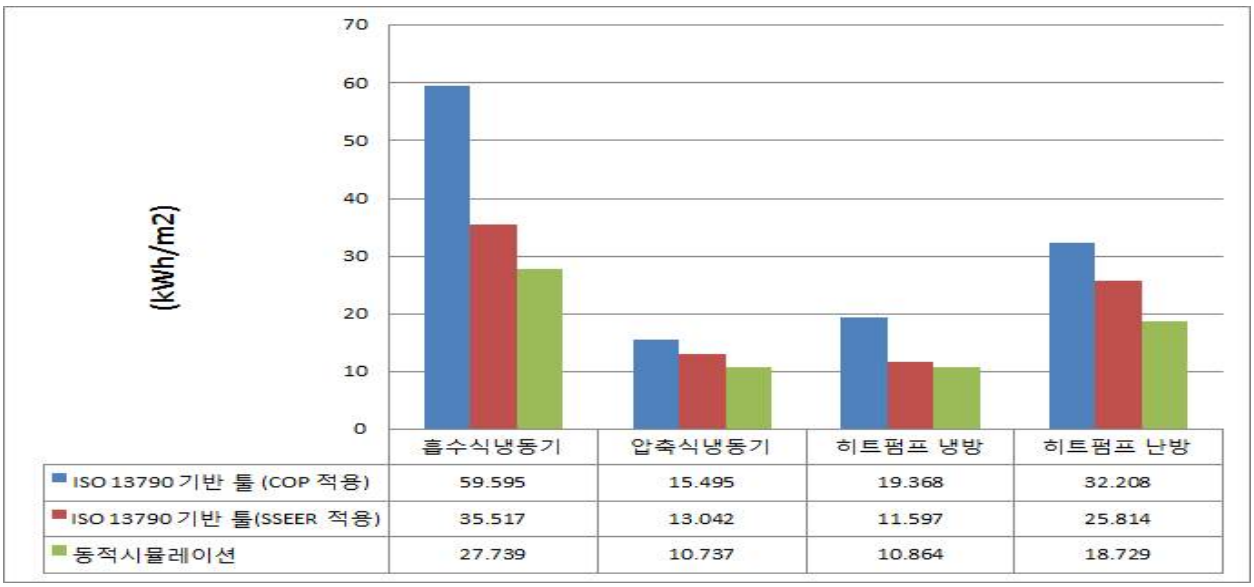
③ ISO 13790 기반 툴(COP적용), ISO 13790 기반 툴(효율계수), 동적 시뮬레이션 비교

○ ISO 13790 기반 툴(COP) 적용 값은 국내 실정에 맞지 않는 기후, 용도, 건물특성을 반영한 효율계수 이며, ISO 13790 기반 툴(효율계수 적용) 값은 동적시뮬레이션에서 국내 기후, 용도, 특성, 운영시간을 적용하여 산출된 SSEER, SFP을 적용한 결과이다. 동적 시뮬레이션에서 산출된 효율계수를 적용하였을 때 흡수식 냉동기는 적용전과 비교해 36%감소, 압축식 냉동기 13% 감소, 히트펌프 냉방 37%감소, 히트펌프 난방 14% 감소하였다. 국내에서 사용

되고 있는 ISO 13790 기반 툴에 기기별 효율계수를 적용하였을 시 동적시뮬레이션과 최소오차는 6%, 최대오차 27%이다. 국내 실정에 맞는 기기별 성능데이터를 이용하여 각 기기에 대한 보정계수를 산출해 동적 시뮬레이션 대비 5%이내 정확도를 확보해야 한다.

<표 2.49> 기존 ISO 13790 기반 툴, ISO 13790 기반툴(효율계수 적용), 동적 시뮬레이션 결과

	ISO 13790 기반 툴 (COP 적용)	ISO 13790 기반 툴 (효율계수 적용)	동적시뮬레이션
흡수식냉동기	59.595	35.517	27.739
압축식냉동기	15.495	13.042	10.737
히트펌프 냉방	19.368	11.597	10.864
히트펌프 난방	32.208	25.814	18.729



[그림 2.54] 기존 ISO 13790 기반 툴, ISO 13790 기반 툴(효율계수 적용), 동적 시뮬레이션 비교

㉮ ISO 13790 기반 툴의 경우 기기에 대한 Default 값은 국내특성에 부합하지 않게 설정이 되어있음

㉯ 실질적으로 동적시뮬레이션과 ISO 13790 기반의 시뮬레이션의 부하 차이는 벽체에 의한 전도, 지면반사에 의한 일사유입 등을 종합적으로 계산함으로 절대수치로 계산되는 SO 13790 기반 툴의 부하민감도가 큼

㉰ 공조기의 종류 및 작동방식에 따라 각 시간대별 실내 온도가 다르며, 그로인해 침기, 환기로 인해 결과값이 다르며 야간에는 외벽체를 통한 전열, 주간에는 일사량의 차이로 인하여 결과값의 차이가 보임

㉱ 동적시뮬레이션과 ISO 13790기반 툴에서의 2차 소비량 비교시 오차의 원인으로 ISO 13790 기반 툴에서는 냉방을 줄이기 위해 온도만을 고려하고, 습도는 고려가 되지 않기 때문에 동적 시뮬레이션과 오차가 발생

㉲ 현재 시뮬레이션 모델링은 기기별 시스템의 건물 설치후 운영상의 실제 효율과는 차이가 난다. 이를 개선하기 위해 실측을 통한 건물의 실제 운영현황을 적용하고, 국내에서 사용되고 있는 기기별 성능 데이터를 기반으로 동적 시뮬레이션에 적용하여 각 기기에 대한 SCOP, SSEER, SFP, HWSCOP를 도출해 국내 실정에 맞는 보정 계수 적용하여 동적시뮬레이션 대비 5%이내 정확도 확보 및 한국형 표준 계수 데이터 구축

다. 설비 및 신재생 에너지 기기의 DB구축 (WOOWON M&E)

(1) 국내외 관련 연구 및 기준 조사

○ 국내·외 관련연구 및 기준조사를 통해 설비기기 및 신재생에너지 기기의 DB 구축을 위한 기초자료를 수집하였다. 본 연구의 목적은 한국형 건물에너지성능 측정평가의 기초자료로 활용하는 것이며, 이를 위해 국외 설비기기의 DB 구축방법, DB 구축현황 등을 조사하였고, 이와 비교가 가능한 국내 설비기기의 DB 구축방법, DB 구축현황 등을 조사하였다. 또한 건물의 에너지성능 측정평가를 위한 공정시험 방법의 조사를 위해 일반적으로 적용되는 에너지진단 방법, ESCO 사업을 통한 성능평가 방법, T.A.B를 통한 평가방법 등에 대한 관련연구 및 기준을 조사하고, 관련 보고서 등의 조사와 검토를 통해 기본적 고찰을 수행하였다.

(가) 설비기기 및 신재생에너지 기기 DB 구축 관련 연구 조사

○ 먼저, 설비기기 및 신재생에너지기기의 DB 구축과 관련된 연구를 조사하였다. 국내에서 설비기기 및 신재생에너지기기의 DB 구축과 관련된 연구로는, 강동화 외 2명(2006)이 친환경 건축자재 분류체계 및 DB 구축방안에 대한 연구를 수행하였고, 이를 통해 에너지절감을 위한 친환경 건축자재의 분류방안, 분류기반 마련을 위한 방안을 제시하였다. 이명훈(2011)은 BIM기반 설계 단계에서 견적 DB 구축을 위한 정규화 과정 도입에 관해 연구하였고, 이를 통해 BIM 기반 설계단계에서 견적의 원활한 도출을 위해 건축마감공사를 기준으로 DB 구축의 도입에 대한 내용을 분석하였다. 또한, 정병관 외 3인(2000)은 송전계통 보호설비의 DB 구축에 대해 연구하였다.

○ 국내 설비기기 및 신재생에너지기기의 DB 구축과 관련된 연구를 살펴보면, LCC 분석 또는 리모델링이나 신축건물에서 에너지효율이 높은 시스템을 선정하기 위한 DB 조사로 전체가 아닌 일부에 불과하며, 한국형 설비기기의 상세한 DB 구축에 대한 연구는 미미한 실정이라 판단되었다.

○ 일부 기기에 대한 DB 조사 및 구축은 수행되었지만, 대부분이 전기설비나 공조설비 등에 대한 조사에 불과하였으며, 특히 에너지소비가 큰 열원기기에 대한 조사는 매우 부족한 실정으로 나타났다. 기기의 종류, 단일 성능, 적용 비율 등 일반적인 요소 외에도 성능변수, 상세성능 등 DB를 구축하여 건물에너지성능 평가를 위한 기초자료로 활용하는 것이 필요하다 판단된다.

(나) 설비기기 및 신재생에너지 기기 DB 구축 관련 기준 조사

○ 현재 국내의 설비기기 및 신재생에너지기기의 DB 구축과 관련된 기준은 매우 부족한 실정으로 나타났다. 설비기기 및 신재생에너지기기를 생산하는 업체에서도 DB 구축에 관한 상세한 자료를 가지고 있지 않았으며, 이를 평가할 수 있는 평가방법 또한 일부 기기에 대해서만 마련된 실정이다. 가장 큰 문제로 생각되는 것은, 이러한 설비기기 및 신재생에너지기기

의 DB 구축을 위한 상세한 사양의 조사, 측정 등이 법으로 규제화되어 있지 않은 점이며, 이로 인해 국내의 관련 업체에서는 상세한 성능평가를 수행하지 않고 있었다. 이와 반대로 국외의 경우는, 기기의 성능 및 다양한 요소에 대해 DB를 구축하고 있으며, 이를 통해 건물의 에너지성능 및 기기의 성능평가를 위한 시뮬레이션의 기초자료로 활용할 수 있도록 제공하고 있었다. 여러 변수에서의 성능변화를 정량적으로 측정하여 제공하고, 이를 시뮬레이션 등의 프로그램에 활용하여 장비의 성능향상, 정량적인 평가로 활용할 수 있는 점을 하루빨리 도입하여 국내에서 납품하는 장비의 경쟁력을 높이는 길이라 판단되었다.

○ 국내의 경우 고효율에너지기자재 인증을 받기 위해 일부 제품에 대해 성능평가를 수행하지만, 평가방법이 복잡하고 사실상 인증을 취득하는 것이 법으로 강제화되지 않아 모든 제품에 대해 성능평가를 수행하지 않고 있었다. 신재생에너지기기의 경우에는 신재생에너지센터의 인증제품 평가기준 등으로 인해 타 설비기기에 비해 상세한 측정을 수행하고, 성능을 평가하여 공인된 제품이라 제공하고 있지만, 이러한 평가자료를 쉽게 취득할 수 없으며 시뮬레이션 등의 사용을 위해 인증을 취득한 업체에 요청하여 별도의 가공을 거쳐야 하는 불편함을 갖고 있다. 또한, 다양한 변수에 대한 성능변화, 부하율에 따라 변화하는 부분부하 효율의 측정 등 시뮬레이션에 활용할 수 있으며, 이를 통해 성능을 예측할 수 있는 다양한 요소를 평가하는 것이 중요함에도 특정 조건에서의 성능측정만을 수행하고 있는 실정이다.

○ 현재 국내 설비기기 및 신재생에너지기기의 측정요소가 명확하게 규정되지 않고, 이러한 평가가 법으로 규제화되지 않아 발생하는 문제점으로 시뮬레이션 수행을 위한 자료가 국외의 자료를 기반으로 한다는 점에 있다. 시뮬레이션의 입력되는 값이 국내의 기후데이터를 사용한다 하여도, 국외 장비의 DB를 이용하거나 프로그램 실행시 입력된 초기값을 적용하기 때문에 정확한 시뮬레이션이 되지 않고, 이에 대한 평가가 제대로 수행되지 않는 문제점이 발생하고 있다.

(다) 건물의 에너지성능 측정평가를 위한 관련 연구 조사

○ 다음으로는 건물의 에너지성능 측정평가를 위한 관련 연구 및 기준을 조사하였다. 이에 대한 결과로 조성환(2003)은 연간 건물난방 에너지사용량의 예측에 미치는 측정기간의 영향에 대해 연구하였으며, 양시선(2001)은 건물에너지 소비측정 시스템 구축 및 소비량 분석에 대해 연구하였다. 또한, 김성실(2001)은 클린룸과 실험실이 있는 사무용 건물의 에너지소비 실태측정 및 분석을 통해 사무용 건물의 에너지소비에 대해 정량적인 분석을 수행하였다. 김영섭(2000)은 사무소 건물의 에너지소비량 예측 및 평가에 관한 연구를 위해 DOE-2 시뮬레이션 프로그램 모델의 예측값과 실제 건물의 에너지소비량 측정값의 비교평가를 수행하였고, 조영흠 외 2인(2010)은 실측을 통한 건물에너지 진단방법에 관한 연구를 수행하였다.

○ 이 외에 다양한 연구를 살펴보면, 현재 에너지진단은 기록된 데이터의 육안관찰 등으로 세부요소에 대한 상세한 측정이 이루어지지 않고 있음을 파악할 수 있으며, 건물의 에너지진단 및 에너지성능의 평가를 위한 기간이 너무 짧아 제대로된 평가를 내리기 어려운 문제점이 있는 것으로 나타났다. 건물은 용도별, 기간별로 사용형태가 다르며, 같은 형태의 건물이라도 운영계획에 따라 건물의 에너지소비량은 차이가 발생할 수 있다. 이에 대해 고려되지

않은 단순한 에너지소비량 평가는 운영시간이 많은 건물에서 불리하게 나타날 수 밖에 없으며, 정량적으로 이를 평가하여 개선할 수 있는 방안을 마련하기에 어려움을 갖고 있다.

○ 에너지진단 사업의 경우 사무소 건물 또는 복합건물에 대한 진단이 이루어지고 있으며, 현장 실측을 위한 방안이 업체마다 상이한 문제점과 정량적인 결과의 비교가 어려운 단점을 가지고 있다. T.A.B의 경우, 사업의 성격으로 인해 공조시스템에 한정된 측정 및 분석이 수행되고 있으며, 기기 자체의 성능보다는 설계가 합당하게 이루어졌는지, 설계한 자료와의 매칭이 올바르게 되었는지에 대한 평가에 불과하여 건물의 에너지성능 평가를 위한 방법으로는 부적절하다 평가할 수 있다.

○ 이러한 문제점을 해결하기 위해 관련 종사자들은 건물에너지성능 평가에 대해 많은 연구를 수행하고, 이러한 연구를 통해 다양한 알고리즘을 도출, 도출된 알고리즘에 대한 분석, 측정방법의 표준화를 통한 정량적인 측정이 필요하다고 언급하고 있으며, 무엇보다 건물의 에너지성능을 평가하기 위한 열원설비, 공조설비 등의 성능을 평가할 수 있는 평가지표의 제시가 필요하다고 말하고 있다.

(라) 건물의 에너지성능 측정평가를 위한 관련 기준 조사

○ 건물의 에너지진단 및 평가에 관한 기준은 「에너지이용합리화법」 및 「에너지이용합리화법 시행령」 등에 근거토록 되어있다. 연간에너지사용량에 따라 에너지진단주기가 다르고, 관련 기준을 통해 진단업체의 지정, 지정취소, 에너지다소비업자의 신고, 개선명령, 보고 및 검사 등을 파악할 수 있다.

○ 또한, 건물의 에너지진단 및 에너지성능 측정평가를 위한 별도의 기준이 마련되어 있지 않아, 진단업체마다 대상설비의 종류 및 측정위치를 임의로 하여 평가하고 있다. 열원기기나 전기설비 등 에너지를 사용하는 기기의 경우, 「고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정」 및 업체의 사양서 등을 통해 측정을 행하고 있지만, 관련 기준에 모든 기기가 수록되어 있는 것이 아니기에, 배관이나 덕트 등의 부분에서는 업체마다 상이한 측정기준을 통해 평가하고 있는 실정이다.

(2) 설비 및 신재생에너지기기의 DB 구축

(가) 열원

○ 열원(Heat Source)이란 열을 발생 또는 흡수하여 필요로 하는 곳에 공급하는 근원을 말한다. 열원의 표시 방법은 사용하는 대상물에 따라 다를 수 있으며, 예로 실의 냉·난방에는 보일러나 냉동기가 열원이 되고, 보일러나 냉동기에 대해서는 가스 및 유류 등의 연료나 물, 공기 등이 열원이 된다. 대표적으로 난방 또는 급탕용 온수를 생성하는 보일러는 온열원기기이고, 냉방용 냉수를 생성하는 냉동기는 냉열원으로써, 이러한 열원기기 및 관련되는 부속장비를 통틀어 열원설비라 한다.

(나) 열원기기의 분류

① 온열원기기

○ 온열원기기는 건축물의 공조 등을 위해 증기 또는 온수를 생성하는 기기를 말하며, 대표적인 온열원기기인 보일러는 구조, 용도, 사용연료 등에 따라 다양하게 분류할 수 있다.

○ <표 2.50>은 구조에 따라 보일러를 크게 분류한 것이며, 용도에 따라서는 육용정치(陸用定置) 보일러 박용(舶用) 보일러, 발전용(發電用) 보일러 등과 같이, 연료에 따라서는 석탄 보일러, 석탄 유동층 보일러, 기름 보일러, 가스 보일러, 가스-기름 혼소보일러 등으로 불리기도 한다. 또한 구조나 크기와 함께 용도나 사용연료를 덧붙여 표시(입형 박용 기름 보일러 등)하기도 하고, 구조와 목적을 합하여 분류하기도 한다.

<표 2.50> 구조에 따른 보일러의 종류

구분	형식	종류
원통보일러	입형 보일러	
	노통 보일러	코니시, 랭카셔 보일러
	연관 보일러	내화식, 외화식
	노통연관 보일러	일반형, 증기드럼 별도형
수관보일러	자연순환식 보일러	
	강제순환식 보일러	
	복사 보일러	
관류보일러	관류 보일러	벤손, 슐저 보일러 등
	소형 관류 보일러	단관식, 다관식
기타 보일러	간접가열 보일러	진공식, 무압식 등
	응축잠열회수식 보일러	콘덴싱 보일러
	특수연료 보일러	유동층 보일러, 목재 보일러
	특수 열매체 보일러	다우섬 보일러
	폐열 보일러	소각 폐열 보일러 등
	기타	전기 보일러 등

② 냉열원기기

○ 냉열원기기는 건축물의 공조 등을 위해 냉수 또는 냉각공기를 생성하는 기기를 말하며, 역카르노 사이클(Converse Carnot's cycle)에 의하여 이루어지는 냉동기술을 이용해 냉수 등을 생성한다. 건축물의 공조용 냉열원기기로 사용되는 냉동기의 분류는 <표 2.51>과 같다.

<표 2.51> 냉동기의 종류 및 용도

구분	분류	주요 용도
압축식 냉동기	용적식 냉동기	중·소규모 건물 또는 각실 유닛 및 대규모의 히트펌프, 브라인 쿨러
	원심식 냉동기	중·대규모 건물의 중앙식
흡수식 냉동기	일중효용 흡수식 냉동기	중·대규모 건물의 중앙식
	이중효용 흡수식 냉동기	
	직화식 냉온수기	소·중규모 건물 또는 각실 유닛

○ 냉동(Refrigeration)이란 일정한 공간이나 어떠한 물체(고체, 액체, 기체 등)로부터 인위적으로 열을 제거하여 그 공간이나 물체의 온도를 주위의 온도보다 낮추어 주는 조작을 말한다. 예를 들면, 상온의 물을 냉각시켜 더 낮은 온도의 냉수를 만들거나 얼음을 만드는 것 등의 조작을 냉동이라 한다. 이러한 냉동에는 물품의 동결점 이상의 온도에서 얼리지 않는 상태로 낮추는 냉각(Cooling)과 물품의 동결점 이하에서 얼린 상태로 낮추는 동결(Freezing)을 포함한다. 이러한 냉동의 효과를 얻기 위해서는 어떤 물질의 상태가 변화할 때 주위의 물질로부터 열(흡수열)을 흡수하는 성질을 이용하는 경우가 많다.

○ 냉동장치에 사용되는 암모니아, R134a, R22, R410A 등은 대기압 하의 상온에서 쉽게 증발할 뿐만 아니라 상당히 저온에서도 증발하는 물질이다.

○ 냉동 방법은 여러 가지가 있으나 일회성과 연속성을 기준으로 얼음, 액체질소, 드라이아이스 등을 사용하는 자연냉동법(Natural Refrigeration)과 기계냉동법(Mechanical Refrigeration)으로 구분할 수 있다.

○ 자연냉동법은 증발(액체가 기체로 되는 것), 융해(고체가 액체로 되는 것) 또는 승화(고체가 기체로 되는 것) 등의 물리적인 현상이 일어날 때의 흡열작용을 이용하는 것이다.

○ 기계냉동법은 어떤 물질의 상태 변화를 이용하되 기계적인 일이나 열에너지를 소비해서 연속적으로 저온 영역의 열을 흡수하여 고온 영역으로 방출시키는 것이다. 기계냉동법을 이용한 증기압축식 시스템은 냉동방식이나 냉동사이클에 따라 그 구성이 다르게 되나, 일반적으로 압축기, 팽창기구(팽창밸브), 열교환기(증발기, 응축기 등) 등으로 구성된다. 이러한 기계냉동법을 이용한 시스템은 증기압축식과 흡수식 냉동기가 있다.

③ 히트펌프

○ 열은 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하는 성질을 갖고 있다. 히트펌프는 반대로 낮은 온도에서 높은 온도로 열을 끌어 올리는 장치로, 냉매의 발열 또는 응축열을 이용해 저온의 열원을

고온으로 전달하는 냉방장치, 고온의 열원을 저온으로 전달하는 난방장치, 냉·난방 겸용장치를 포괄하는 의미로 사용된다. 히트펌프는 구동 방식에 따라 전기식과 엔진식으로 구분되고, 현재 대부분의 히트펌프는 냉방과 난방을 겸용하는 구조로 되어 있다.

○ 히트펌프의 구동원리는 기본적으로 냉동기의 원리는 바탕으로 한다. 냉동기가 단지 저열원의 열을 흡수하여 고열원 쪽으로 방출하는 원리로만 사용되는 것에 비해, 히트펌프는 저열원의 열을 흡수하여 고열원의 열 방출(냉방)뿐만 아니라, 그 반대인 고열원의 열을 흡수하여 저열원의 열 방출(난방)으로도 전환이 가능하여, 열을 원하는 방향으로 이동시킬 수 있는 시스템이다. 히트펌프는 열원에 따라 공기열원과 수열원 등으로 구분된다.

○ 열원에 따른 히트펌프의 분류는 <표 2.52>와 같이 분류할 수 있다.

<표 2.52> 열원에 따른 히트펌프의 분류

구분	수열원 히트펌프	공기열원 히트펌프
에너지원	에너지원을 물 등에서 흡수	에너지원을 공기의 형태로 흡수
이용형식	물 대 물 물 대 공기	공기 대 공기 공기 대 물
종류	수열원 히트펌프 지하수 이용 히트펌프 하천수, 저수지, 댐 바닷물 이용 폐열(목욕탕, 사우나 등)	에어컨 타입의 EHP, GHP 환기열 이용 대기열 이용

㉮ 수열원 히트펌프(Water Source Heat Pump)

○ 폐수열, 지하수, 하천수 등의 열원을 이용하여 히트펌프를 가동하여 냉·난방에 사용하는 기기이다. 공기열원 히트펌프가 5℃ 미만에서 효율이 감소하는 것에 비해 효율의 하락이 적고, 고효율로 운전이 가능하다는 이점을 갖는다.

㉯ 공기열원 히트펌프(Air Source Heat Pump)

○ 공기열원 히트펌프에는 대표적으로 압축기 구동을 위한 연료에 따라 GHP와 EHP 등으로 구분할 수 있다. GHP와 EHP의 작동원리는 비슷하지만, 압축기의 구동력에 따라 구분된다. GHP(Gas Engine Heat Pump)는 LNG 또는 LPG를 열원으로 가스엔진의 동력으로 구동되는 압축기에 의해 냉매의 액화와 기화를 반복시켜 냉·난방에 사용하고, EHP(Electric Heat Pump)는 전기를 통해 압축기를 구동하여 냉·난방에 사용하는 기기이다.

④ 신재생에너지기기

○ 우리나라의 신재생에너지는 「신에너지 및 재생에너지 개발, 이용, 보급 촉진법」 제2조에 의해 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛·물·지열·강수·생물유기체 등을 포함하는 재생 가능한 에너지를 말한다. 신재생에너지는 태양열, 태양광, 바이오매스, 풍력, 소수력, 지

열, 해양에너지, 폐기물에너지의 8개 분야의 재생에너지와 연료전지, 석탄액화가스화, 수소에너지의 3개 분야인 신에너지로 총 11개 분야를 지정하고 있다.

○ 신재생에너지는 도입 시 자연적 조건, 수요지와의 거리 등의 제약요인을 갖고, 낮은 에너지 밀도와 불안정한 특징, 높은 초기투자비 등의 장애요인을 갖고 있다. 하지만, 이러한 단점에도 에너지문제 및 환경문제의 대안 중 하나라는 점에서 국내뿐만 아니라 세계 각국에서 다양한 연구개발이 진행되고 있다.

○ 11종의 다양한 신재생에너지 중 건축물의 열원으로 적용 가능한 에너지는 지역적 특성과 시스템 규모, 기술수준 등에 따라 다르게 분류할 수 있고, <표 2.53>와 같다.

<표 2.53> 건축물에 적용 가능한 신재생에너지 특성

구분	에너지원	산출에너지	고려사항
태양열	태양열	열에너지	일사량
태양광	태양광	전기에너지	일사량
지열	지중열	열에너지	지중천공

○ 태양열을 이용한 시스템은 태양으로부터 오는 복사에너지를 열에너지로 변환하여 급탕 또는 난방에 이용하는 시스템이다. 태양열 시스템은 태양열 집열기(평판형 또는 진공관형 등)를 통해 취득한 열에너지를 열교환기를 통해 직접 사용하거나, 축열조에 저장하고, 부하측에서 필요로 하는 적정온도에 미치지 못할 시, 보조가열기를 통해 유체의 온도를 승온시켜 사용한다.

○ 태양광을 이용한 시스템은 태양의 빛에너지를 전력에너지로 변환하여 공급하는 시스템이다. 태양이 가지고 있는 광전자에너지를 전기에너지로 변환하는 기술을 태양광 발전기술이라 말한다. p형과 n형 반도체의 접합(p-n 접합)으로 생성된 태양전지는, 태양으로부터 빛에너지를 받으면 재료 전체에서 과잉된 전자-정공쌍이 생성되고, 전자와 정공은 p-n 접합부에 존재하는 전기장의 영향을 받는다. 전자는 p형 반도체에서 n형 반도체로 흐르고, 정공은 n형 반도체에서 p형 반도체로 흐르게 된다. 이로 인해 도선으로 연결된 외부 회로에 전기가 발생하게 된다.

○ 지열을 이용한 지열 시스템은 외기온도의 영향을 받아 온도가 변하는 지표면과 달리, 연중 일정한 온도를 유지하는 지중의 열을 이용하는 시스템이다. 일반적으로 건물의 난방 및 급탕을 위해 사용되며, 냉방운전 시에는 지중을 열침(Heat Sink)으로 이용하여 지중으로 열을 방출하고, 난방운전 시에는 지중을 열원(Heat Source)으로 사용하여 지중으로부터 열을 취득하며, 생성된 온수 또는 냉수를 냉·난방 및 급탕에 이용한다.

(다) 열원기기 조사

① 증기보일러

<표 2.54> 증기보일러 종류 및 특성

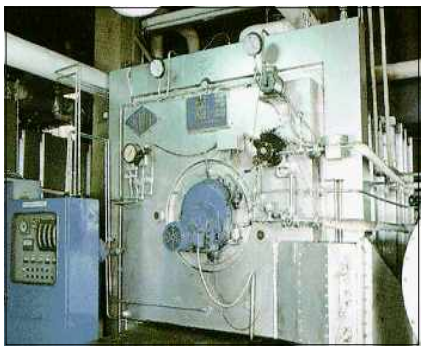
구 분		증기압력(MPa)	장비용량(㎥/h)	장비효율(%)
주철제 보일러		0.1 이하	300～4,000	약 80～86
원통 보일러	입형	0.7 이하	100～500	약 70～75
	노통연관	1.6 이하	500～20,000	약 85～90
수관 보일러	입형	1.0 이하	500～2,000	약 85
	이통	0.7 이하	5,000 이상	약 85～90
관류 보일러	단관식	3.0 이하	100～15,000	약 80～90
	다관식	1.0 이하	100～2,000	약 75～90
	대형	1.0 이하	100,000 이상	약 90



a. 주철제 보일러



b. 원통 보일러(노통연관식 보일러)



c. 수관 보일러



d. 관류 보일러

개 요	보일러 내 증기 발생으로 압력이 증가하고, 방열기에서는 증기의 응축으로 압력이 감소함. 따라서 증기 보일러와 방열기의 압력차에 의해 증기가 순환됨.
장 점	증발잠열을 이용하기 때문에 열 운반능력이 큼. 예열시간이 온수식에 비해 짧고 증기의 순환이 빠름. 설비비 및 유지관리비가 비교적 저렴함. 흡수식 냉동기, 가습기, 급탕과 연동되어 사용됨.
단 점	보일러 내에 스케일 및 부식이 발생하며 수명이 짧음. 면허소지자 및 정기적인 사용검사 필요.

② 온수보일러

<표 2.55> 온수보일러 종류 및 특성

구 분		온수온도(℃)	장비용량(MW)	장비효율(%)
주철제 보일러		120 이하	29~2,300	약 80~86
전기보일러		120 이하	120~930	약 98
진공온수 보일러	주철형	85 이하	120~3,000	약 85~90
	노통연관	85 이하	46~1,860	약 85~88
무압온수 보일러		100 이하	10~300	약 85~90
중탕식 보일러		100 이하	100~500	약 85
일반 온수보일러		100 이하	10~400	약 90



a. 진공온수 보일러



b. 무압온수 보일러



c. 중탕식 보일러



d. 일반 온수보일러

개 요	온수의 현열을 이용한 난방에 사용됨. 보일러에서 가열된 온수를 복관식 또는 단관식의 배관을 통하여 방열기에 공급하여 난방을 행함. 방산한 온수는 보일러로 환수시켜 재사용. 온수는 증기에 비해 열량이 적음. 소규모 건물의 난방에 적합하며 보통 100℃ 이하의 온수를 열매로 사용
장 점	난방부하 변동에 따라 온수온도 및 순환수량을 쉽게 조절가능 보일러 취급이 용이하고 안전
단 점	긴 예열시간. 증기난방에 비해 방열 면적과 배관경이 커짐. 열용량이 크기 때문에 온수 순환시간이 김 배관 동파의 위험 존재.

③ 압축식 냉동기

<표 2.56> 압축식 냉동기 종류 및 특성

구 분	장비용량(RT)	소비동력(kW/RT)	COP
왕복동식	0.2～180	1.1	2.5～3.5
원심식(터보식)	100～10,000	0.98	3.0～4.0
스크류식	30～400	1.07	4.0～6.5



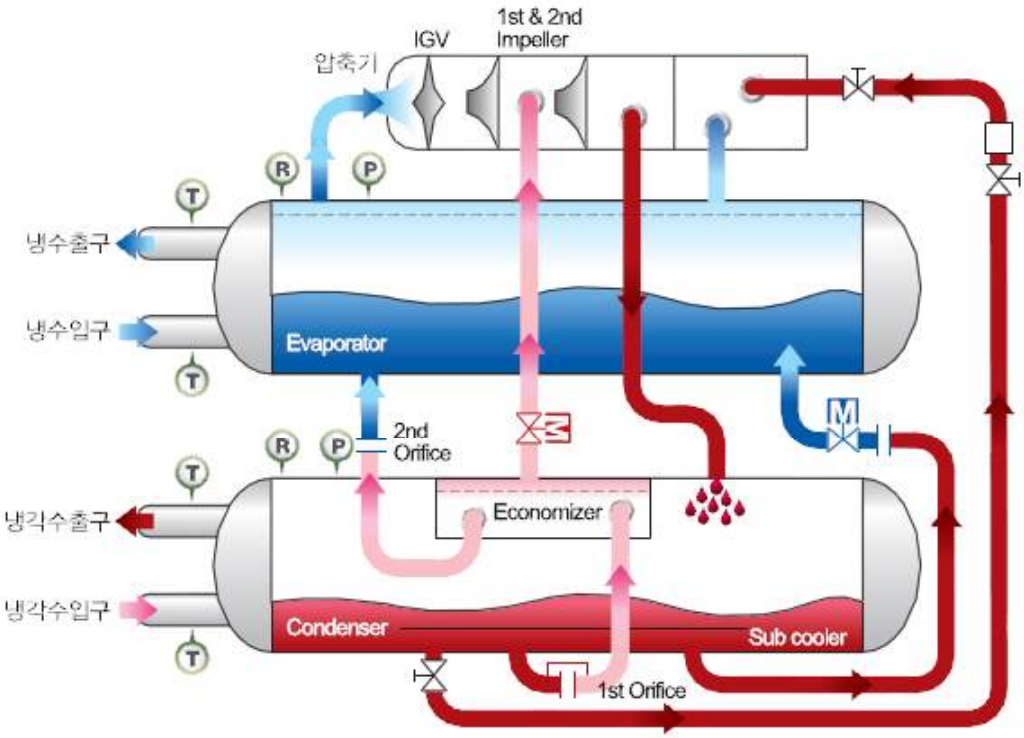
a. 왕복동식 냉동기



b. 원심식 냉동기



c. 스크류식 냉동기



d. 압축식 냉동기 흐름도

개 요	증발기에서 증발된 냉매가스가 압축기에 흡입되어 압축. 응축기에 들어온 냉매가스가 냉각수에 의해 열을 빼앗겨 응축. 액화된 냉매는 증발기에 들어가 팽창하여 냉수 생성.
장 점	장비의 높은 신뢰성 및 긴 수명. 장치설치면적이 작음. 고압의 이상상승이 없으므로 토출측에 안전밸브가 필요 없음. 대용량 빙축열에 적용성이 우수함. 터보식의 경우 타 냉열원 기기에 비해 COP가 매우 우수함.
단 점	냉매보유량이 많음. 수변전설비가 큼. 저부하시 서징의 우려가 큼.

<표 2.57> 압축식 냉동기 조사결과(터보 냉동기)

구분	용량 (kW)	부분부하 COP				비용(천원)		
		@100%	@75%	@50%	@25%	단가	설치비용	유지관리
터보 냉동기	1,055	6.10	6.98	6.94	5.51	330,000	-	-
	1,407	6.08	7.06	7.36	5.58	340,000	-	-
	1,758	6.08	7.22	7.80	6.07	355,000	-	-
	2,110	6.25	7.56	8.25	6.44	400,000	-	-
	2,461	6.12	7.31	8.06	6.43	421,000	-	-
	2,813	6.09	7.39	8.16	6.54	428,000	-	-
(T사)	부분부하조건 : 냉수 입·출구 온도 12℃ / 7℃, 냉각수 입·출구 온도 32℃ / 37℃					단가 VAT 미포함		
터보 냉동기	1,055	5.76	6.55	6.89	4.95	265,000	15,000	10,000
	1,407	6.01	7.29	7.64	5.58	285,000	15,000	10,000
	2,110	6.13	7.28	7.59	5.93	315,000	20,000	10,000
	2,813	6.21	7.48	11.03	6.34	330,000	20,000	10,000
	3,516	6.22	7.69	8.41	6.61	355,000	25,000	10,000
(Y사)	부분부하조건 : 냉수 입·출구 온도 12℃ / 7℃, 냉각수 입·출구 온도 32℃ / 37℃					단가 VAT 미포함		
터보 냉동기 (정속)	703	5.09	5.74	5.41	3.59	262,000	-	-
	1,055	5.30	5.99	5.80	3.94	304,600	-	-
	1,407	5.53	6.24	6.50	4.57	330,200	-	-
	1,758	5.84	6.72	6.97	5.05	462,700	-	-
	2,110	5.59	6.97	6.85	4.59	492,600	-	-
	2,462	6.10	7.12	7.41	5.44	527,200	-	-
	2,813	6.11	6.96	7.07	5.16	618,300	-	-
	3,165	5.82	6.88	7.13	5.20	658,200	-	-
	3,517	5.97	7.03	7.48	5.42	691,900	-	-
	3,869	5.86	7.00	7.52	5.49	721,100	-	-
	4,220	5.93	7.09	7.61	5.64	731.900	-	-
	4,572	5.96	7.12	8.16	5.77	751,300	-	-
	5,627	5.96	7.03	8.01	6.01	809,500	-	-
(C사)	부분부하조건 : 냉수 입·출구 온도 12℃ / 7℃, 냉각수 입·출구 온도 32℃ / 37℃					단가 VAT 미포함		

<표 2.58> 압축식 냉동기 조사결과(스크류 냉동기)

구분	용량 (kW)	부분부하 COP				비용(천원)		
		@100%	@75%	@50%	@25%	단가	설치비용	유지관리
스크류 냉동기	278	4.9	6.094	5.853	5.775	-	-	-
	348	5.3	6.019	5.782	5.705	-	-	-
	380	4.9	6.121	5.880	5.801	-	-	-
	411	4.8	6.053	5.814	5.737	-	-	-
	485	5.0	6.280	6.033	5.952	-	-	-
	633	5.0	6.284	6.036	5.956	-	-	-
	672	5.0	6.252	6.005	5.925	-	-	-
	700	5.3	6.019	5.782	5.705	-	-	-
	760	4.9	6.121	5.880	5.801	-	-	-
	826	4.9	6.053	5.814	5.737	-	-	-
	970	5.0	6.280	6.033	5.952	-	-	-
	1,051	5.0	6.317	6.068	5.987	-	-	-
	1,266	5.0	6.284	6.036	5.956	-	-	-
	1,347	5.0	6.252	6.005	5.925	-	-	-
(L사)	부분부하조건 : 냉수 입·출구 온도 12℃ / 7℃, 냉각수 입·출구 온도 32℃ / 37℃					단가 VAT 미포함		
스크류 냉동기 (수냉식)	126	4.02	-	-	-	21,900	1,890	2,000
	154	4.02	-	-	-	24,300	1,890	2,000
	190	4.07	-	-	-	27,100	1,890	2,000
	234	4.03	-	-	-	29,000	2,010	2,500
	308	4.02	-	-	-	44,300	2,010	3,500
	381	4.07	-	-	-	50,500	2,200	3,500
	467	4.02	-	-	-	53,500	2,680	3,500
	571	4.07	-	-	-	72,800	2,680	4,000
	701	4.03	-	-	-	79,100	2,810	4,000
	761	4.07	-	-	-	98,400	2,980	5,000
(S사)	부분부하조건 : 냉수 입·출구 온도 12℃ / 7℃, 냉각수 입·출구 온도 32℃ / 37℃					단가 VAT 미포함		

④ 흡수식 냉동기

<표 2.59> 흡수식 냉동기 종류 및 특성

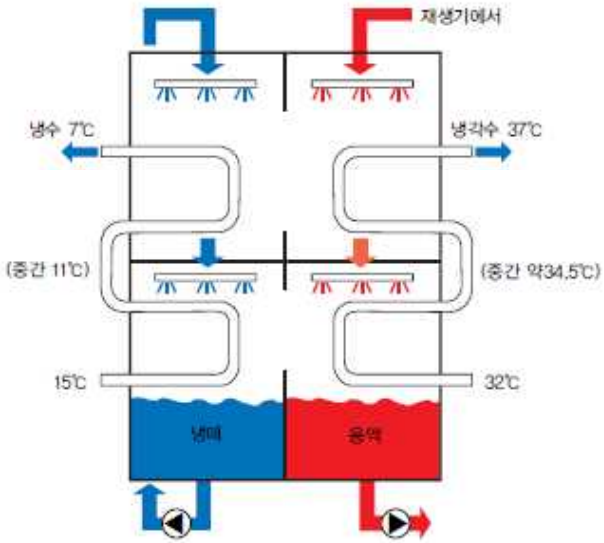
구 분	장비용량(RT)	소비동력(kg/RTh)	COP
직화식 냉동기	50～1,300	4.8～8.2	1.20～1.35
증기식 냉동기	50～1,500	3.5～3.8	1.0～1.3
중온수 냉동기	70～1,500	-	0.7～0.75



a. 직화식 흡수식냉온수기



b. 중온수 흡수식냉동기



c. 흡수식 냉동기 흐름도

개 요	외부로부터 전기의 압력에 의한 기계적 에너지를 필요로 함. 기계적 에너지가 아닌 열에너지에 의해 냉동효과를 거둠. 증발기, 흡수기, 재생기 또는 발생기, 응축기 등으로 구성됨. 흡수제의 역할로 Li-Br(브롬화리튬) 등의 혼합용액을 사용.
장 점	흡수식냉온수기의 경우 1대의 기기로 냉수와 온수 모두 생산. 압축기가 없으므로 전기사용량이 많지 않아 여름철 전력수급에 도움이 되고 소음 및 진동이 작음. 재생기 구동원의 온도가 일정하므로 장시간 운전시 유리함. 정격 COP보다 부분부하 운전 COP가 우수하여, 부분부하 운전이 많은 우리나라 기후조건에 적합.
단 점	부하 변동, 간헐운전 측면에서 불리. 예열, 예냉 시간이 비교적 길어, 열손실 및 신속한 대응에 불리. 냉각탑, 가스인입, 연도, 자동제어 설비가 필요함. 크기 및 중량이 큼.

(3) 건물 에너지성능 측정평가를 위한 공정시험 방법 및 대상건물 군별 측정 결과 보고서

(가) 건물에너지 진단 및 평가

○ 건물부문에서 전력 및 열에너지 관련 기술장비 및 인력을 구비한 진단기관으로부터 전력 및 열에너지의 발생, 변환, 전송, 사용부문 등 공정의 에너지사용시설 전반에 걸쳐 사업장의 에너지이용 흐름을 파악하고, 손실요인의 발굴 및 에너지절감을 위한 대책과 경제성분석 등 최적의 개선안을 도출하는 과정을 제공하는 기술컨설팅 제도를 에너지진단이라 한다.

○ 에너지진단은 건물부문에서 어떠한 목적으로 어느 정도의 에너지가 소비되고 있는지를 명확하게 판단하고, 건물의 에너지성능 평가 및 에너지절감을 위한 최적의 개선안을 제시하기 위해 사용된다. 이를 위해서는 건물에서 에너지를 소비하는 열원기기, 공조기기, 각종펌프 및 팬, 가전기기 및 사무기기, 조명 등 매우 다양한 요소를 고려하여 에너지진단을 실시해야 한다. 최근 지속되고 있는 고유가, 세계 에너지자원 고갈에 따른 문제점, 에너지 사용으로 인한 환경문제, 세계기후변화 협약 등 급변하는 세계 에너지 환경에서 건물의 에너지소비 요인을 발굴하고, 개선하여 국가 에너지 수입부담의 경감과 기업 등의 에너지비용을 줄여 경쟁력을 기업 등의 경쟁력을 높이기 위해 사용되고 있다.

○ 건물의 에너지진단은 <표 2.60>과 같은 단계에 따라 분류하고, 이에 따라 순서대로 수행하는 것이 바람직하지만, 건물의 용도 및 조건, 특성을 고려하여 가감되어 에너지진단이 수행되고 있다.

<표 2.60> 건물에너지성능 평가를 위한 단계적 수행내용

구분		목적	진단자	자료	기간	비고
1차진단	예비진단	에너지소비량 인식	건물 관리자	에너지소비량 사무장부류 준공도	약 1주	
	부문별 진단	에너지소비량에 문제가 있을 경우, 어떤 부분에서 문제가 발생하였는지 인식	건축설비 기술자	준공도 운전일지 육안관찰 문진	약 3주	
2차진단		문제의 내용을 상세하게 인식	진단전문 기술자	실측조사	장기간	

(나) 건물에너지 1차 진단 : 간이 진단

○ 건물에너지 1차 진단은 기존의 운전관리기록 등을 기초로 에너지소비량을 분석함과 동시에 필요에 따라 실내환경 조사, 에너지이용효율화가 필요한 부분이나 2차진단의 필요성 등을 판단하는 것을 목적으로 한다. 원칙적으로 기존에 측정 및 기록된 자료를 통해 진단을 행하고, 새로운 계측은 실시하지 않는다.

① 에너지진단 조사항목

○ 조사는 시공기록, 운전관리기록, 건물관리데이터 등을 대상으로 실시하고, 필요에 따라 건물

관리자에게 문의한다. 조사항목은 건물개요, 건축외피, 설비, 운용관리, 기간별 에너지소비량 등으로 <표 2.61>과 같이 구분할 수 있다.

<표 2.61> 에너지진단 조사항목

구 분	조사항목	비고
건물개요	건축면적 및 연면적 방위 및 실별 배치 실별 용도 및 주변조건 등	
건축외피	외피면적(지붕, 외벽, 바닥, 창면적비 등) 외피구조와 창구조(외벽, 지붕, 창문 등의 단면) 일사조정장치(블라인드, 루버, 커튼, 차양 등의 유무와 범위) 출입구(방풍실, 출입문 형식, 외기침입상황 등) 칸막이(칸막이 변경의 정도, 공조존과의 적합성 등)	
설 비	공조 및 급탕의 열원기기(방식, 용량, 대수, 축열조 등) 공조 및 급탕의 반송기기(송풍방식, 급수방식, 유량 등) 공조 조닝(방위별, 용도별, 시간대별) 보온 및 보냉 재료의 종류와 두께 등 환기설비(대상, 계통, 방식, 풍량 등) 위생기기(세정방식, 절수방법 등) 급탕설비(대상, 방식, 열원 등) 조명설비(방식, 조명기기 형식 등)	
운용관리	실내 설정 온도 및 습도 실내 적정조도 및 조명기구 배치 실내 재실인원 및 외기도입량 등 건물의 사용상황(운영시간, 공조시간, 공휴일 등) 관리체제와 관리기준	
에너지소비량	전기, 가스, 유류, 물 등의 사용량(년, 월, 시간별)	
실내환경	건구온도, 습구온도, 상대습도 등 분진 및 CO2 등의 농도	

② 에너지진단 방법

○ 에너지진단은 건물전체, 목적별(공조, 조명, 위생, 반송, 기타 등으로 구별), 시스템별, 기기별 등으로 행하지만 상세한 진단을 위해 말단부하의 에너지소비량까지 파악할 필요가 있다. 1차 진단으로 일반적으로 알 수 있는 항목은 기록여부에 따라 다르지만 대부분 건물전체와 구역별 에너지소비량에 대해 알 수 있다. <표 2.62>는 에너지진단을 위해 필요한 에너지소비량을 단계별로 나타낸 것이다.

<표 2.62> 에너지진단을 위해 필요한 에너지소비량

건물 전체 진단 : 건물 전체 에너지소비량
↓
목적별 진단 : 공조, 조명, 위생 등 목적별 에너지소비량
↓
구획별, 실별, 기기별 진단 : 실별, 기기별 에너지소비량

㉮ 에너지원별 원단위에 따른 진단

○ 에너지원(전기, 가스, 유류)별 건물전체의 연간 에너지소비량을 기초로 단위 연면적 당 1차 에너지소비량을 산정한다. 이것을 비교기준과 동일용도의 건물의 에너지소비량 원단위와 비교하는 것에 의하여 에너지가 효율적으로 이용되고 있는지를 개략 판단한다.

㉯ 목적(용도)별 에너지소비량에 따른 진단

○ 목적(용도)별 에너지소비량에 따른 진단은 공조, 조명, 위생, 반송, 기타 에너지 사용목적으로 분류하여 에너지소비량을 분석하여 진단(평가)하는 것이다.

○ 목적별 진단을 위해서는 목적마다의 에너지소비량을 정확하게 계량할 수 있도록 많은 계측기기를 설치하고 기록해야 한다. 그러나, 일반적으로 비용 등의 관점에서 목적마다 에너지소비량을 정확하게 계측할 수 있는 계측기기를 다수 설치하는 경우는 드물다. 이 때문에 입수한 에너지사용량의 실측데이터를 근거로 목적별 에너지소비량을 추정하거나 현재 건물의 운용모델을 설정, 계산하여 목적별 연간 에너지소비량을 추정하여 평가한다.

㉰ 기간별 에너지소비량의 변화 분석

○ 과거 연간 에너지소비량을 분석하여 경년변화를 분석하고, 이것에 의해 연간 에너지소비량의 변화를 파악하여 건물사용의 변화나 건축·설비의 변화 등과 조합하는 것에 의한 변화의 원인을 찾아 에너지소비량을 분석한다. 또한, 경년변화와 마찬가지로 월별 에너지소비량의 변화를 분석하여 계절에 따른 에너지소비량의 증감을 파악하는 것이 가능하다. 경년변화를 통해 영향요인을 순위대로 평가하여 에너지소비에 영향이 큰 구성요인을 판단하여 개선안의 도출이 가능하게 된다.

③ 건물에너지 2차 진단 : 상세 진단

○ 건물에너지 2차 진단은 1차 진단 결과를 통해 에너지 이용효율화 측면에서 개선이 필요한 것으로 진단된 부분·항목에 대하여 정밀한 평가를 수행하는 단계이다. 2차 진단을 통해 보다 정밀한 평가를 수행하고, 이를 통해 에너지 이용효율화를 위한 개선방안의 도출 및 효율하락 등의 원인을 분석하기 위해 시스템별·기기별 등으로 나누어 상세하게 수행한다.

㉮ 2차 진단 방법

○ 2차진단을 행하는 계측이나 시험은 상당한 시간과 비용이 소요되며, 이 때문에 사전에 진단계획을 검토하고 실시체제에 대한 충분한 사전협의가 필요하다. 또한, 가능한 과거의 데이터

나 1차 진단에서 얻은 데이터를 활용하여 기존의 에너지소비량과 측정값의 비교를 통해 객관적이고, 다양한 영향변수에 대해 고려하는 것이 필요하다. <표 2.63~표 2.66>은 온수보일러, 냉동기, 공조기 등 건물의 에너지진단을 위한 측정 및 평가방법의 예를 나타낸 것이다.

<표 2.63> 냉동기의 2차진단 방법

No.	항목	측정 및 평가방법
1	온도	-열전대 등을 사용하여 냉수·냉각수의 공급·회수온도를 측정
2	유량	-기존 유량계 또는 초음파 유량계 등으로 냉수·냉각수 유량 측정 -열량계가 설치된 경우, 온도의 유량의 측정 불필요
3	출력 에너지	-온도와 유량의 측정값을 이용해 냉동기의 출력 에너지를 산출 -열량계를 사용하는 경우, 열량계 결과를 이용
4	입력 에너지	① 전동식 -냉동기에 적산전력량계가 삽입되어 있는 경우는 이 값 사용 미설치, 저압인 경우 적상기능의 큼램프온(Clamp-on)형 전력계 등에 의하여 일정시간 냉동기의 소비전력 등을 측정 ② 흡수식 -가스메터, 오일메터 등을 검침하여 가스, 유류 소비량 측정 가스 소비량은 가스온도, 압력을 알고 있는 경우, 소비량 보정 -측정은 계절별로 1~2일 정도 수행, 저부하~고부하 넓은 범위를 측정
5	성적계수	-출력 에너지와 입력 에너지를 통해 성적계수를 산출
6	기타 측정	-기기본체 온도, 진동 등을 측정
7	평가	-성능사양서 등에서 제공하는 냉동기 효율, 성능곡선과의 비교 -극단적으로 효율 저하되는 경우, 원인 규명 및 유지보수 수행 -기기본체 온도, 진동 이상여부 평가

<표 2.64> 온수 보일러의 2차진단 방법

No.	항목	측정 및 평가방법
1	온도	-열전대 등을 사용하여 공급·회수되는 온수 온도를 측정
2	유량	-기존 유량계 또는 초음파 유량계 등에 의해 온수 유량을 측정 -열량계가 설치된 경우, 온도의 유량의 측정 불필요
3	출력 에너지	-온도와 유량의 측정값을 이용해 보일러의 출력 에너지를 산출 -열량계를 사용하는 경우, 열량계 결과를 이용
4	입력 에너지	-가스메터, 오일메터 등을 검침하여 가스, 유류 소비량 측정 -가스, 유류 소비량과 발열량을 통해 입력 에너지 산출 -가스 소비량은 가스온도 및 압력을 알고 있는 경우, 소비량 보정
5	효율	출력 에너지와 입력 에너지의 측정값을 이용해 효율 산출
6	평가	-성능사양서 등에서 제공하는 보일러 효율, 성능곡선과의 비교 -극단적으로 효율 저하되는 경우, 원인 규명 및 유지보수 수행

<표 2.65> 공조기의 2차진단 방법

No.	항목	측정 및 평가방법
1	진단	-코일의 냉수 전열계수에 의한 진단 실시
2	온도	-열전대 등을 사용하여 공조기 코일의 입·출구 온도 측정
3	순환수량	-기존 유량계 또는 초음파 유량계 등에 의해 코일 순환수량을 측정
4	엔탈피	-열전대 등을 사용하여 공조기 코일 출구측 공기 엔탈피 측정
5	풍량	-열선풍속계 등에 의해 메인덕트 직관부 풍속 측정 -평균 풍속을 산출하고, 덕트면적을 통해 풍량을 산출
6	코일 열수	-기기완성도 등에서 코일의 열수·정면면적·코일형식 등 조사 -코일형식은 1열당 튜브 본수 및 단면적 등
7	전열계수	-코일의 냉수 전열계수 산출 $K = \frac{q_t}{R_{OW} \times \Delta T_{im} \times A_f \times WSF}$ [kcal/mh℃] $q_t = V \times \gamma \times (i_1 \sim i_2)$ V : 급기량, γ : 공기의 비중, i_1 : 입구공기 엔탈피, i_2 : 출구공기 엔탈피, R_{OW} : 코일 열수, ΔT_{im} : 대수평균온도차, A_f : 코일정면 면적, WSF : 습윤면적계수
8	평가	-도서 등을 참고하여 냉수전열계수 곡선을 작성하고, 비교평가 -측정시점의 냉수전열계수 저하도를 파악

<표 2.66> 조명기구의 2차진단 방법

No.	항목	측정 및 평가방법
1	사용현황	현지조사, 유지보수원과의 면담 등으로 조명기구 사용현황 조사 ① 누적점등시간 ② 누적고장율(누적고장 대수/전체 대수) ③ 사용조건 등
2	조사	사용 중 1~3대 정도를 샘플링, 다음과 같은 조사 실시 ① 세정에 의한 반사판의 배광특성 회복레벨 ② 소켓의 크랙, 접촉불량 상황 ③ 전선의 변색, 변형, 크랙 ④ 안정기 충전물의 유출, 변색, 온도상승 특성 ⑤ 콘덴서의 변형 ⑥ 절연저항

㈏ 에너지소비량(적산값) 측정 및 방법

ㄱ. 적산전력량계

- 적산전력량계는 크게 유도형과 전자식으로 구분할 수 있고, 정밀도에 따라 보통급, 정밀급, 특별정밀급으로 분류된다. 먼 곳에서 소비전력량을 계량할 때에는 펄스발신 기능이 있는 것을 사용할 필요가 있고, 부하변동이 심한 기기에 대해서는 가급적 기기마다 적산전력량계를 부착하는 것이 바람직하다.

ㄴ. 적산유량계

- 적산유량계는 가스나 유류 등의 유량을 측정하여 적산값으로 계량한 것으로 가스메터, 오일메터 등으로 불린다. 펄스발신 기능이 부착된 것도 있으며 가스나 유류를 사용하는 기기마다 설치하는 것이 바람직하다. 또한, 가스는 기체이기 때문에 압력과 온도에 따라 체적이 변화하고, 이를 위해 대상 가스미터의 압력과 온도를 확인하여 0℃, 1기압에서 적산유량(Nm^3)으로 변환하여 사용해야 한다.

ㄷ. 적산열량계

- 적산열량계는 열량을 적산하여 계량하는 것으로, 지역냉방 및 지역난방의 사용열량을 조회하기 위해서 사용되고, 건물에서는 공조열원기기의 출력열량(생산열량)이나 공조기의 소비열량 계량 등에 사용된다. 적산전력량계나 가스미터, 오일미터에 비하여 건물에 설치되는 수는 적지만 적정한 에너지관리를 위해서는 가능한 많은 수량을 주요부분에 설치하는 것이 바람직하다. 또한 해당 열원기기에 의하여 생산된 냉·온수가 복수의 기기에 공급되는 경우에는 계통마다 적산열량계를 설치하는 것이 바람직하다.



㉮ 적산전력량계



㉯ 적산유량계 ㉰ 적산열량계

[그림 2.55] 에너지소비량 측정기기

2. 2차년도 연구수행과정 및 내용

가. 기존건물 개보수 우선순위 제시를 위한 건물 에너지 Retrofit 표준 Process 관련 기술의 개발 (단국대학교)

(1) 기존 건물의 에너지 성능평가 프로세스의 검증

(가) 기존 건축물의 성능평가 프로세스

○ 현재 국내에서는 '건물에너지효율등급인증제도' 등의 인증제도를 통해 신축 및 기존 건축물의 성능평가를 수행하고 있다. 시뮬레이션 프로그램 등을 활용해 단위면적당 에너지소요량을 도출해 기준을 삼아 등급을 표시하는 제도로 신축 및 기존 건축물에 대한 프로세스는 동일하게 활용되고 있다.

○ 하지만 '3.1.1 기존 건축물의 에너지 소비 패턴과 소요량의 상관관계 분석'에서 다루었던 것처럼 기존 건축물의 에너지소비패턴은 설계도서 및 시뮬레이션 프로그램 결과값만으로 예측해 성능평가를 실시하는 것이 현실적으로 어렵다.

○ 따라서, 본 논문에서는 건축물의 용도 및 건축물 위치에 따른 기상현황이 고려된 운영현황이 반영된, 시뮬레이션 프로그램을 활용한 에너지 성능평가 프로세스를 제시하고자 한다.

○ 시뮬레이션 모델링을 진행하면서 기존 건축물의 운영현황이 고려된다면 기존 건축물의 전체 에너지 사용량을 '냉방, 난방, 급탕, 조명, 환기, 기타' 등의 요소로 결과 표시가 가능해져 추후 건물의 Retrofit에도 연동할 수 있게 된다.



[그림 2.56] 기존 건축물의 성능평가 프로세스 제시

① 기존 건축물 에너지 성능평가 프로세스 가이드라인

○ 기존 건축물의 에너지 성능평가 방법은 현재 국내 시행되고 있는 '건물에너지효율등급인증제도'의 프로세스를 그대로 활용하되, 건축물의 운영현황이 고려될 수 있는 몇 가지 프로세스를 추가하는 '안'을 제시한다.

○ 사전조사를 바탕으로 한 성능평가가 주를 이루는 현재의 '건물에너지효율등급인증제도' 프로세스에 운영현황을 고려하는 '추가고려사항'을 추가한 성능평가 프로세스 가이드라인은 다음 [그림 2.57]과 같다.



[그림 2.57] 운영현황이 고려된 기존 건축물 에너지 성능평가 프로세스 제시

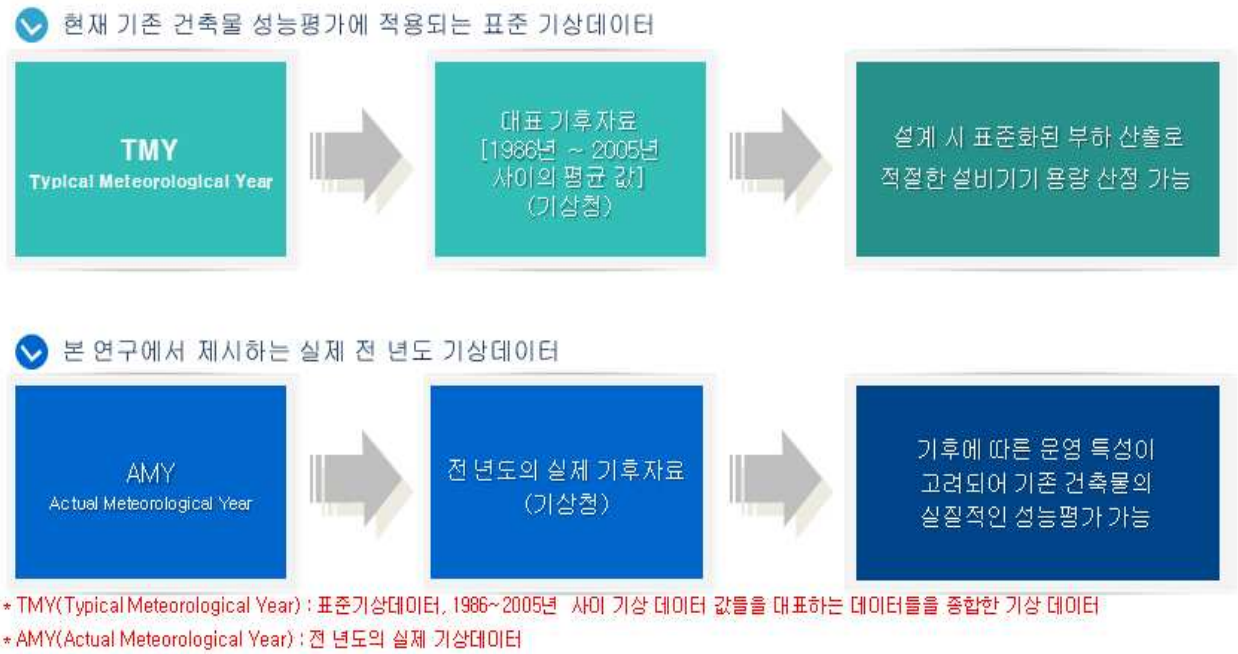
㉮ 사전조사

○ 대상 건축물의 성능평가 착수를 위해 필요 자료를 확보하는 조사과정이다. 실제 기존건축물의 설계도면 및 설계도서, 설비기기 자료 등을 확보해 추후 시뮬레이션 프로그램 입력 요소를 파악한다. 이 부분은 에너지 관리공단에서 실시하고 있는 기존 건축물 에너지 성능평가에 포함되어 있는 부분이다. 그리고, 현장측정이 필요한 경우, 설비기기 자료 및 설계도서를 통해 측정 장비 및 계획을 수립할 수 있게 된다.

㉯ 설비시스템(냉난방) 계절효율계수 도출

○ 첫번째, 대상 건축물의 운영현황을 파악할 수 있도록 최신 기상데이터를 확보한다. 현재 기

존 건축물 성능평가에 활용되는 프로그램은 표준기상데이터(TMY)를 활용하고 있다. 하지만 기존 건축물의 성능평가를 위해서는 운영현황이 고려될 수 있는 실제 기상데이터(AMY)를 확보하여 적용해야 한다. 최신 기상데이터를 적용하게 될 경우 건구 온도, 상대습도, 풍향 및 풍속, 직달 일사량, 확산 일사량 등의 데이터가 확보 되어야 시뮬레이션 프로그램에 적용이 가능하다.



[그림 2.58] 표준기상데이터(TMY) 와 실제 기상데이터(AMY)의 비교

○ 두번째, 건축물의 운영현황이 고려된 계절효율계수 도출이 필요하다. 현재 기존 건축물의 성능평가 프로그램은 냉난방 설비의 효율 입력값에 정격효율 값을 입력하도록 되어있다. 하지만 기존 건축물의 설비기기는 기기 종류 및 운영현황에 따라 상이한 부분부하패턴에 따른 효율로 운전되기 때문에 부분부하 패턴을 고려할 수 있는 계절효율계수를 도출해야 한다.

㉰ Simulation 모델링과 검증

○ 첫번째, Simulation에서 제시하는 요소에 맞춰 대상 건축물을 모델링한다. 사전조사 및 현장조사를 통해 확보한 데이터를 바탕으로, 국내 기준에 맞는 기존 건축물 에너지 성능평가 프로그램을 활용해 Simulation 변수를 입력한다.

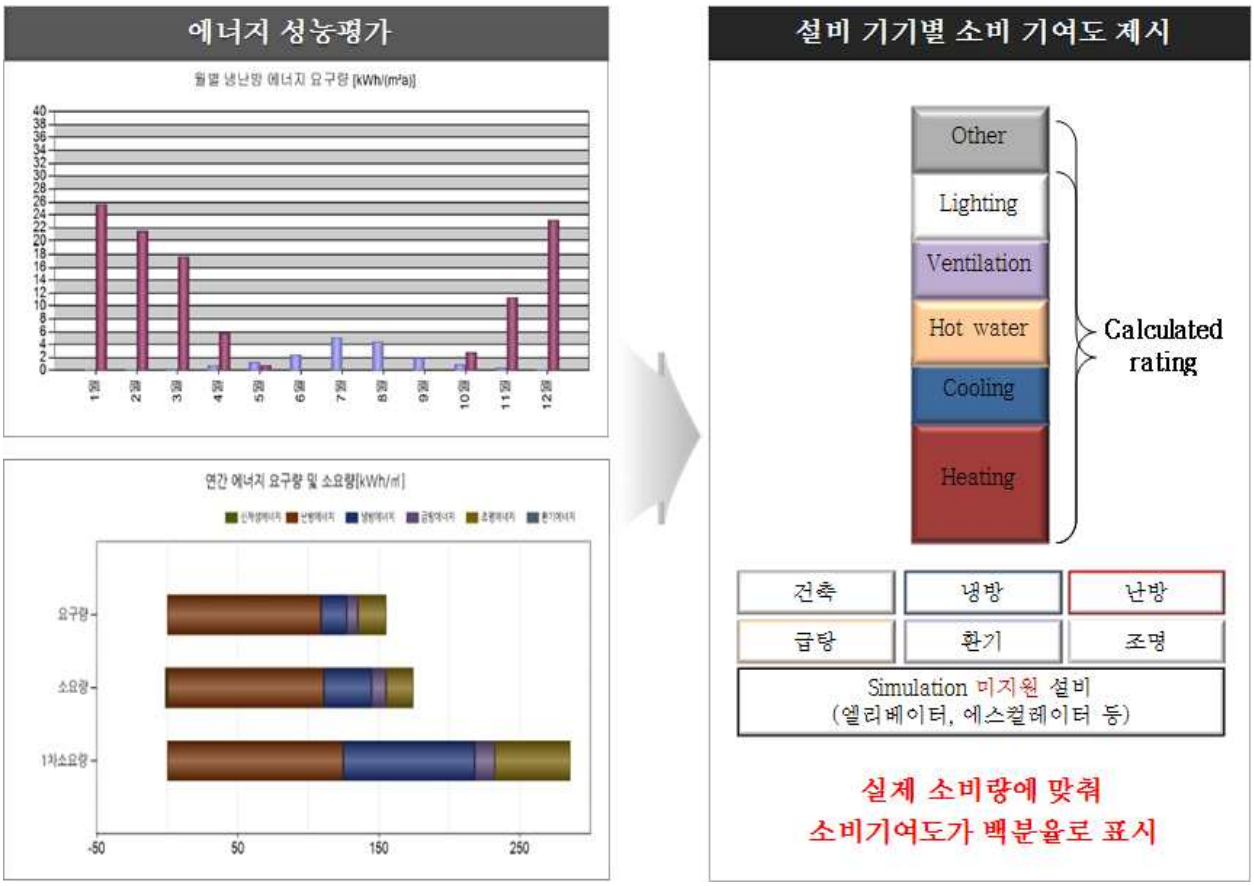
○ 두번째, Simulation 검증부분은 ASHRAE Guideline 14-2002에서 제공하는 통계적 검증방법을 활용하여 Simulation 결과 데이터와 실제 대상 건축물의 에너지사용량의 오차율 및 신뢰성을 검증한다. Simulation 결과가 보정된 경우 입력된 변수값에 대한 결과는 신뢰성을 가지고 실제 대상건물의 각 요소별 소비실적과 동일한 오차율을 가지는 것으로 판단한다.

㉱ 평가보고서 작성

○ 현재 기존 건축물의 성능평가 프로세스에서 Simulation을 활용한 성능평가가 완료되면, 평가보고서에 결과를 첨부하여 건축물의 에너지효율등급을 평가하도록 되어 있다. 그러나 냉

방, 난방, 급탕, 조명, 환기 부분의 에너지 사용량이 5가지로 구분되어 있기 때문에 기존 건축물 에너지 성능평가 시 에너지 성능개선 부분을 구분하기 어렵다.

○ 따라서, 설비시스템의 에너지 사용 요소별 소비기여도 제시가 필요하다. Simulation 결과에 대한 검증이 완료 되었으므로, 결과값을 바탕으로 한 에너지 사용요소별 소비기여도를 제시한다. 추후 소비기여도 제시를 통해 기존 건축물의 에너지 성능평가 뿐만이 아니라 에너지 소비 기여도를 활용하여 Retrofit을 연동한 기존 건축물의 에너지 성능평가가 가능하다.



[그림 2.59] Simulation 프로그램의 결과를 바탕으로 한 평가보고서 작성 예

(나) 현장조사 건물의 선정

○ 건물 용도별 에너지 소비 특성을 알아보고, 성능 진단 프로세스를 검증하기 위해 판매시설, 상업용 건물, 공동 주택의 세가지 용도별 건축물을 선정하였으며 각 건축물의 건축개요는 <표 2.67>, <표 2.68>, <표 2.69>와 같다.

<표 2.67> 판매시설의 건축개요

판매시설 A		건물 위치	대전광역시 서구
		주요 용도	판매 및 영업시설
		층 수	지하:1층 지상:7층
		건 폐 율	75.3%
		용 적 율	243.7%
		대지 면적	8,714 ㎡
		건축 면적	6,560 ㎡
		연 면 적	40,101 ㎡
		HVAC	CAV + FCU + P.A.C
		구 조	PC구조 + RC구조
		외장재	THK150 ALC,판넬 THK18 저반사복층유리
판매시설 B		건물 위치	서울특별시 중랑구
		주요 용도	판매 및 영업시설
		층 수	지하:1층 지상:7층
		건 폐 율	59.86%
		용 적 율	189.74%
		대지 면적	9,250 ㎡
		건축 면적	5,540 ㎡
		연 면 적	39,432 ㎡
		HVAC	CAV + FCU + P.A.C
		구 조	철골, 철근 콘크리트조
		외장재	THK10강화유리 THK18칼라로이복층유리
판매시설 C		건물 위치	서울특별시 강동구
		주요 용도	판매 및 영업시설
		층 수	지하:4층 지상:6층
		건 폐 율	51.5%
		용 적 율	282.9%
		대지 면적	4,959 ㎡
		건축 면적	2,484 ㎡
		연 면 적	27,912 ㎡
		HVAC	CAV + FCU + EHP
		구 조	철골, 철근 콘크리트조
		외장재	THK30샌드스톤, THK18반사복층유리

<표 2.68> 상업용 건물의 건축개요

오피스 A		건물 위치	광주시 서구
		주요 용도	업무 시설 (근린생활시설)
		층 수	지하 4층 / 지상 18층
		건 폐 율	52.64%
		용 적 율	697.52%
		대지 면적	3,266.4㎡
		건축 면적	1,719.74㎡
		연 면 적	31,590.41㎡
		HVAC	CAV + FCU
		구 조	철골/철근콘크리트 구조
		외장재	THK18 복층유리 THK20 화강석물갈기
오피스 B		건물 위치	서울시 서초구
		주요 용도	업무 시설 (근린생활시설)
		층 수	지하 5층 / 지상 20층
		건 폐 율	59.63%
		용 적 율	1,043.24%
		대지 면적	1,167.50㎡
		건축 면적	696.16㎡
		연 면 적	17,164.07㎡
		HVAC	CAV + FCU
		구 조	철골/철근콘크리트 구조
		외장재	THK24칼라로이복층유리 THK30 화강석물갈기
오피스 C		건물 위치	대구시 수성구
		주요 용도	업무 시설 (근린생활시설)
		층 수	지하 8층 / 지상 20층
		건 폐 율	36.4%
		용 적 율	295%
		대지 면적	4,000.84㎡
		건축 면적	1,171.46㎡
		연 면 적	40,976.23㎡
		HVAC	CAV + FCU
		구 조	철골/철근콘크리트 구조
		외장재	THK18 복층유리 THK20 화강석물갈기

<표 2.69> 공동 주택의 건축 개요

외관			
건물 위치	경기도 용인시	준공일	2004년 7월
주요 용도	주거시설 (공동주택)	규모	지상14층
연면적	6,245.22 ㎡	세대별 전용면적	84.99 ㎡
건축면적	544.29 ㎡	세대별 주거공용	26.55 ㎡
층고	2.5 ㎡	세대별 분양면적	111.54 ㎡
난방시스템	지역난방		

(다) 현장 조사를 통한 기존 건물의 에너지 소비패턴

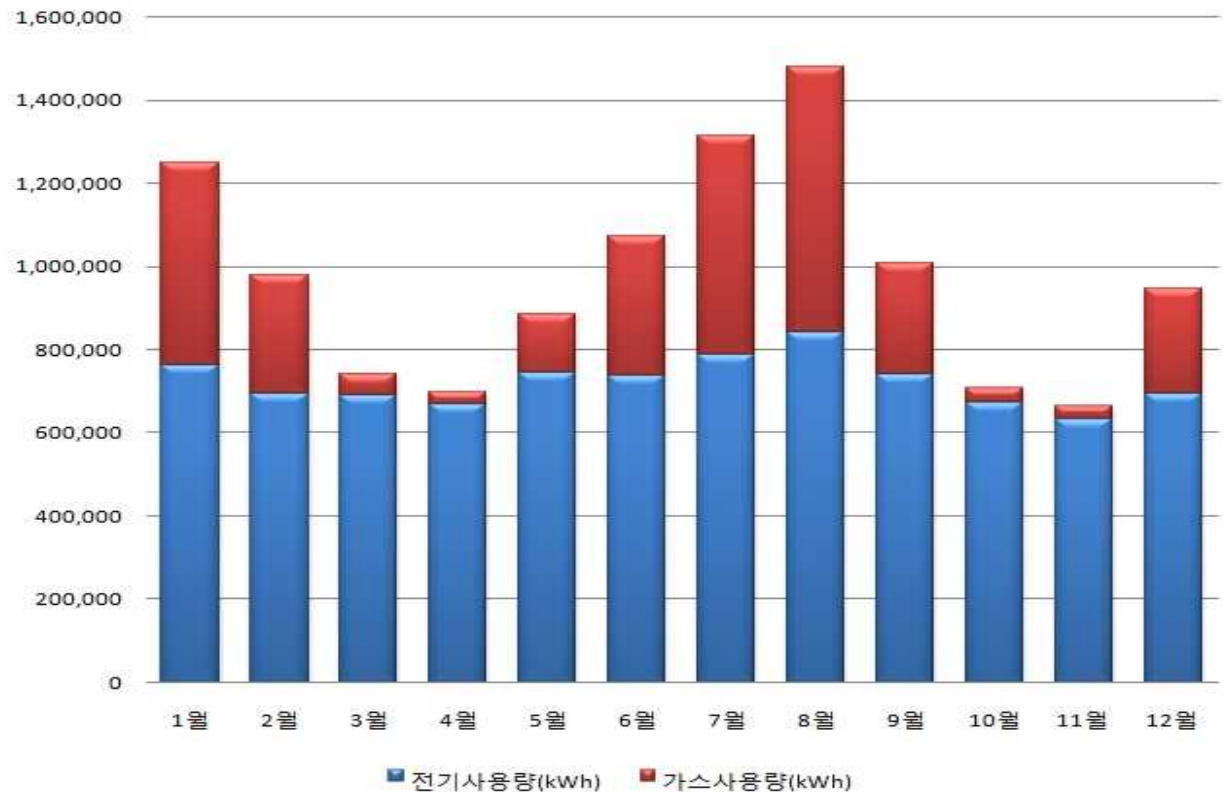
○ 기존 건물의 용도별 특성에 따른 에너지 소비패턴 및 기여도 파악을 위해 판매시설, 상업용 건물, 공동 주택 세 종류의 건물을 선정하였다. 1차년도 연구성과인 기존 건물의 성능평가 프로세스를 바탕으로, 현장조사를 실시하였다. 각 건물 용도별 에너지 사용량 및 에너지 사용량을 토대로 용도별 특성을 분석 하였다.

① 판매시설

㉮ 판매시설 A

ㄱ.총 에너지 사용량

- 판매시설 A의 2012년도 월별 전력 사용량(kWh) 및 가스사용량(kWh)를 합산하여 산출하였다. 가스사용량(kWh)는 가스사용량(㎥)에 '에너지절약기준'에 따라 11,000 kcal/㎥을 적용하였다. 합산된 총 에너지사용량은 [그림 2.60]과 같다.
- 2012년도 8월의 경우 가스사용량은 635,966 kWh와 전기사용량 844,008 kWh의 1,479,974 kWh로 가장 큰 에너지사용량을 보였다. 동절기 보다는 하절기의 에너지사용량이 크게 나타났다. 이는 흡수식 냉온수기를 사용하여 가스로 냉방과 난방을 모두 진행하기 때문에 가스사용량에 따른 에너지사용량 증대가 원인으로 보이며, 이에 따른 에너지 소비량을 줄이기 위해 2013년도부터 터보식 냉동기를 통한 냉방을 실시한다고 한다.



[그림 2.60] 판매시설 A 총 에너지 사용량

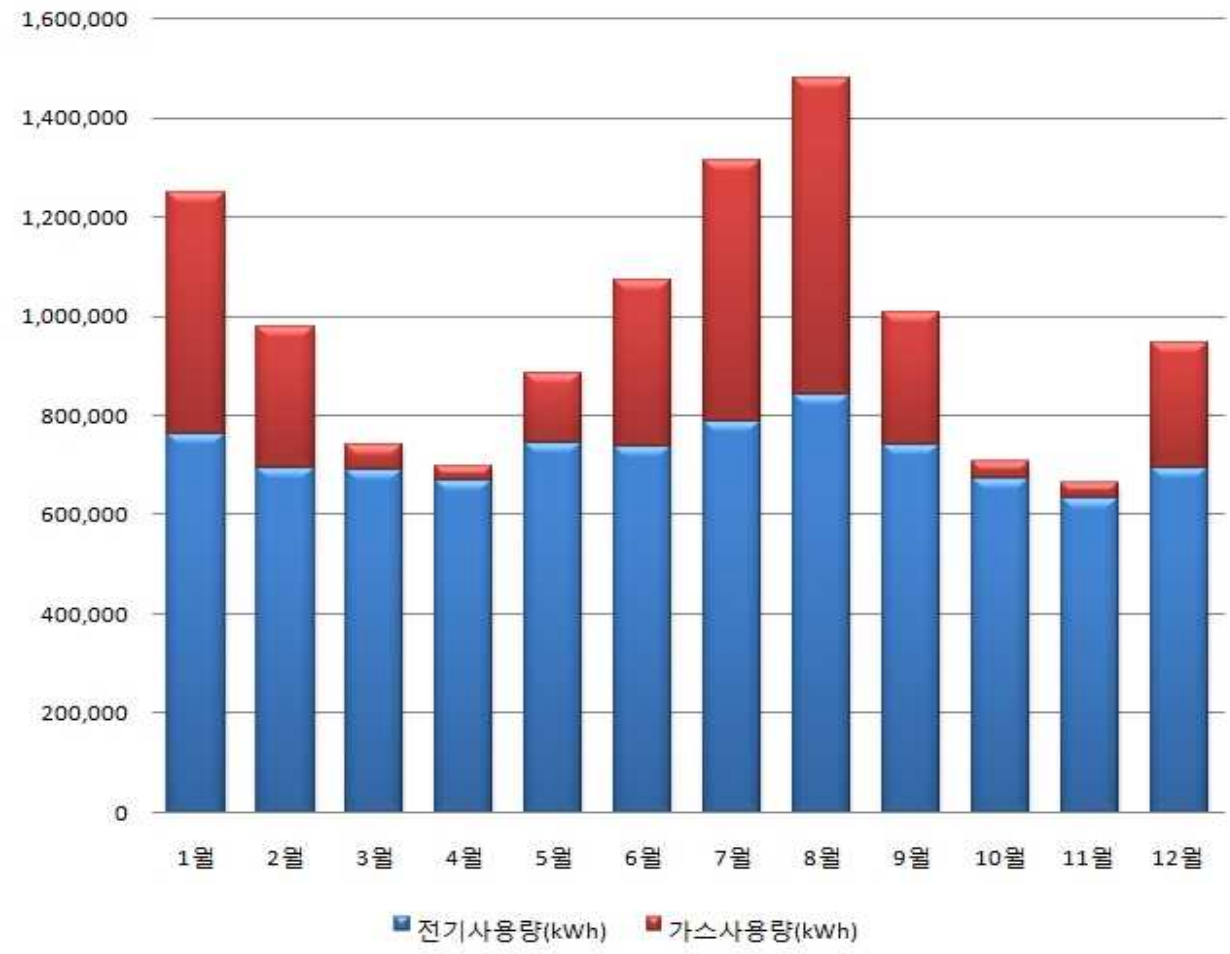
<표 2.70> 월별 총에너지 사용량

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
총 에너지 사용량 (MWh)	1,249	979	742	699	885	1,075	1,316	1,480	1,008	707	666	948

㈏ 판매시설 B

ㄱ.총 에너지 사용량

- 판매시설 B의 2012년도 월별 전력 사용량(kWh) 및 가스사용량(kWh)를 합산하여 산출하였다. 가스사용량(kWh)는 가스사용량(㎥)에 '에너지절약기준'에 따라 11,000 kcal/㎥을 적용하였다. 합산된 총 에너지사용량은 [그림 2.61]과 같다.
- 2012년도 12월의 경우 가스사용량은 271,019 kWh와 전기사용량 751,833 kWh의 1,022,853 kWh로 가장 큰 에너지사용량을 보였다. 하절기 보다는 동절기의 에너지사용량이 크게 나타났다.



[그림 2.61] 판매시설 B 총 에너지 사용량

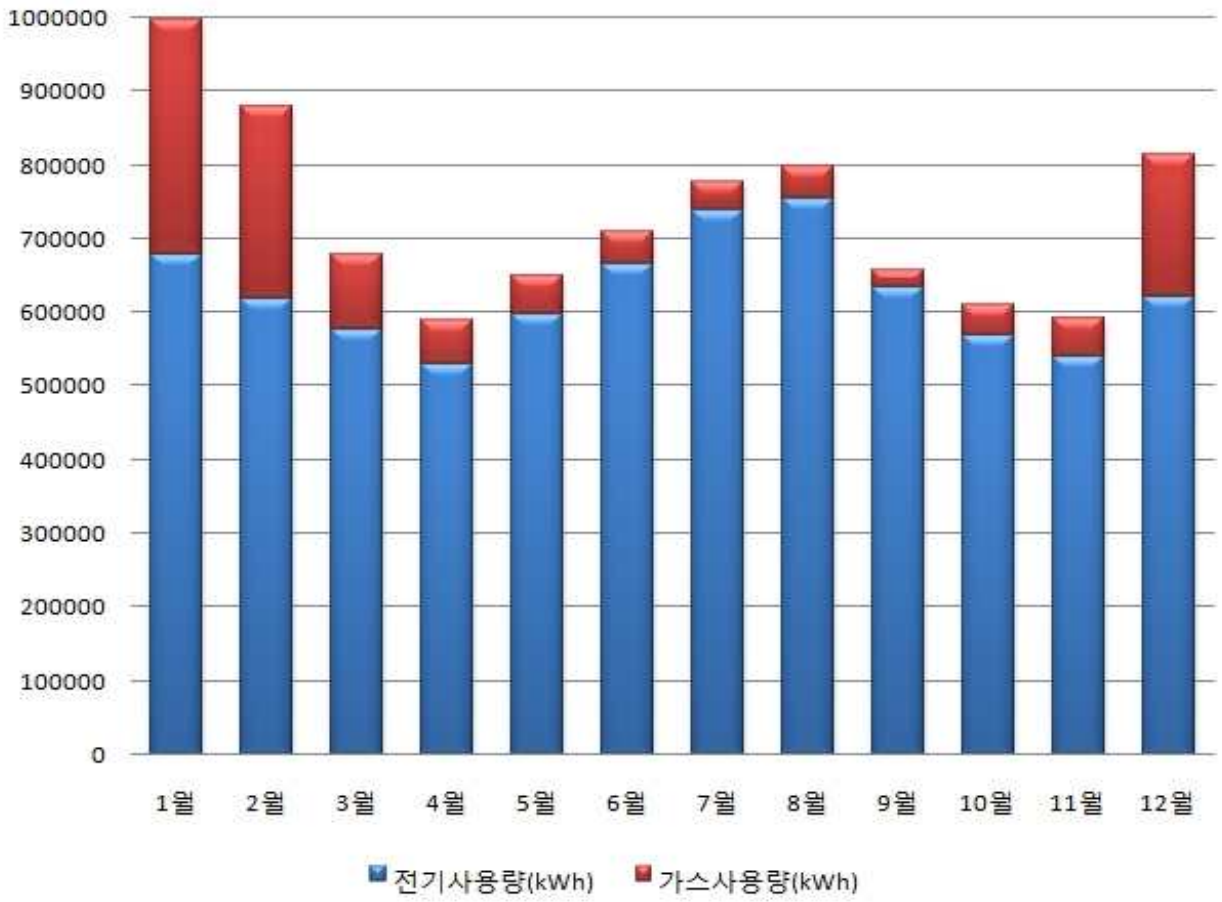
<표 2.71> 월별 총에너지 사용량

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
총 에너지 사용량 (MWh)	1,249	979	742	699	885	1,075	1,316	1,480	1,008	707	666	948

㈐ 판매시설 C

ㄱ.총 에너지 사용량

- 판매시설 C의 2012년도 월별 전력 사용량(kWh) 및 가스사용량(kWh)를 합산하여 산출하였다. 가스사용량(kWh)는 가스사용량(㎥)에 '에너지절약기준'에 따라 11,000 kcal/㎥을 적용하였다. 합산된 총 에너지사용량은 [그림 2.62]와 같다.
- 2012년도 1월의 경우 가스사용량은 316,921 kWh와 전기사용량 679,180 kWh가 측정되어 총 996,101 kWh로 가장 큰 에너지사용량을 보였다. 하절기 보다는 동절기의 에너지사용량이 크게 나타났다. 이는 터보냉동기를 증설하여 하절기에 터보냉동기의 높은 효율에 따른 에너지 저감 효과로 사료된다.



[그림 2.62] 판매시설 C 총에너지 사용량

<표 2.72> 월별 총에너지 사용량

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
총 에너지 사용량 (MWh)	996	879	679	590	650	710	777	797	657	611	592	814

② 상업용 건물

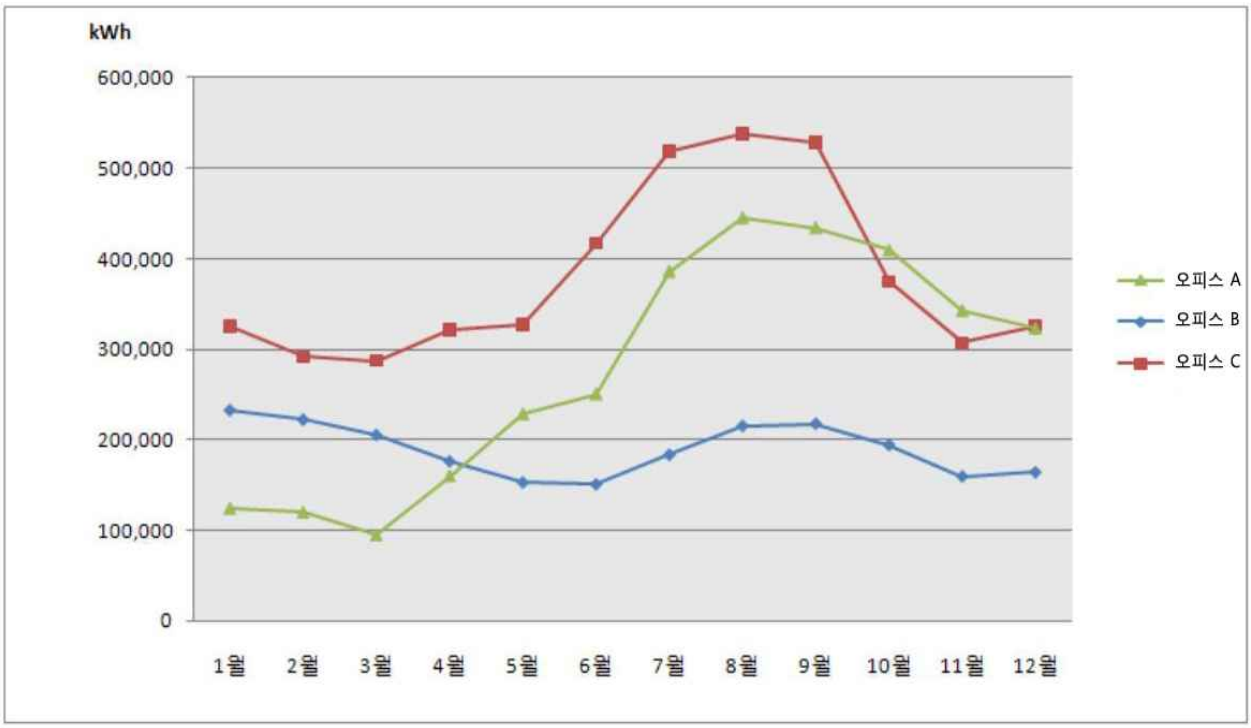
㉮ 상업용 건물의 에너지 사용량 분석

○ 각 사옥별 2012년도 전력사용량과 가스사용량을 표와 그래프로 나타냈다. 각 대상 건물의 공실률 및 입주완료 시기의 고려가 필요하다. 따라서 에너지 사용에 따른 베이스 라인은 6월 이후의 사용량을 기준으로 활용한다.

ㄱ. 전력사용량 (2012년도)

<표 2.73> 전력사용량 (2012년도)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
오피스 A	123,960	119,544	94,296	159,648	228,384	250,248	386,016	445,248	434,280	409,440	342,816	322,704
오피스 B	232,220	221,840	205,100	176,240	153,170	151,120	183,312	215,004	217,320	194,256	159,648	164,234
오피스 C	325,106	291,645	287,309	321,941	327,257	416,945	518,741	538,109	528,962	374,846	307,097	326,076

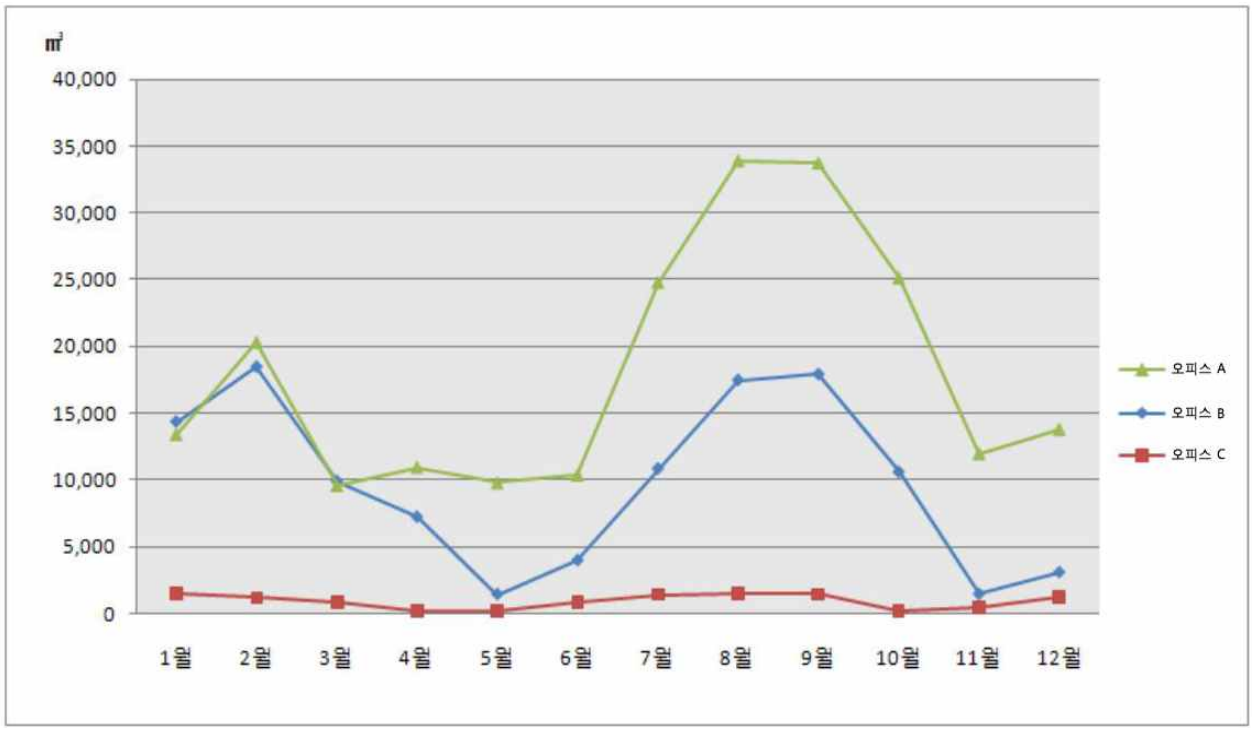


[그림 2.63] 전력사용량(2012년도)

ㄴ. 가스사용량 (2012년도)

<표 2.74> 가스사용량 (2012년도)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
오피스 A	13,418	20,312	9,569	10,942	9,789	10,381	24,788	33,891	33,742	25,130	11,962	13,809
오피스 B	14,338	18,449	9,883	7,207	1,410	3,949	10,820	17,460	17,897	10,565	1,423	3,047
오피스 C	1,525	1,174	835	152	205	801	1,397	1,473	1,423	199	411	1,253

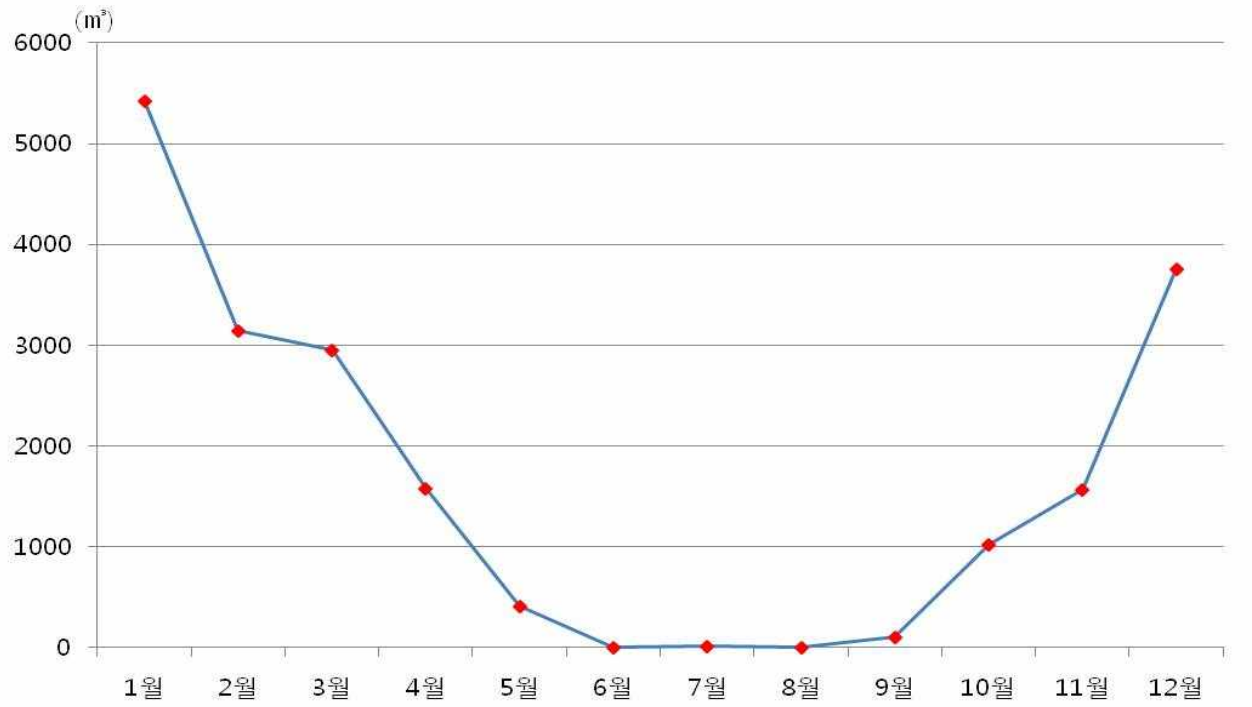


[그림 2.64] 가스사용량(2012년도)

③ 공동주택

㉮ 조사 대상의 난방에너지 사용 패턴 분석

○ 조사 대상의 열원은 지역난방을 사용하고 있으며, 난방에너지 사용 조사 기간은 2012년 1월부터 2012년 12월까지 조사하였다. 다음 [그림 2.65]와 <표 2.75>는 단지 내의 한 개동의 월별 난방 사용 유량을 나타내고 있다.



[그림 2.65] A동 월별 총 난방 유량 사용량(㎥)

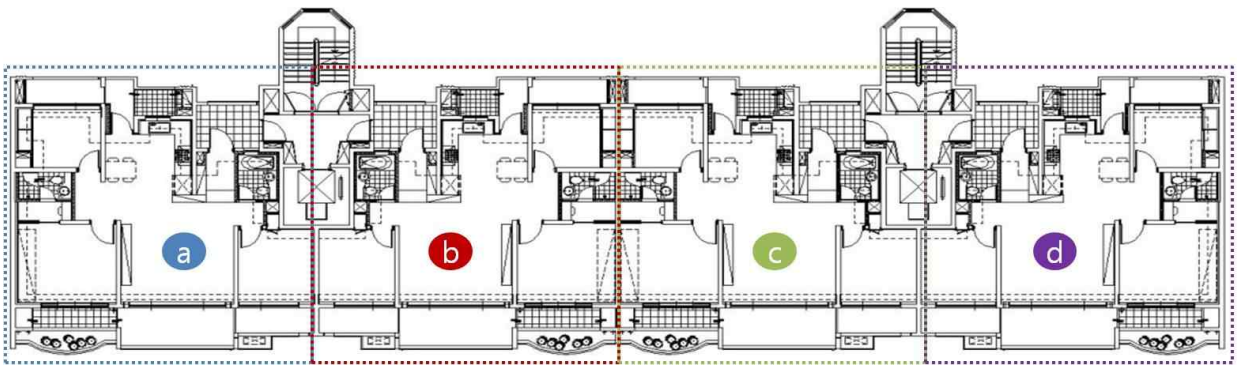
<표 2.75> A동의 월별 난방 유량 사용량

	난방 유량 사용량 (㎥)
1월	5,427
2월	3,147
3월	2,951
4월	1,580
5월	414
6월	2
7월	8
8월	4
9월	99
10월	1,027
11월	1,568
12월	3,759
합계	19,986

○ 월별 사용 패턴을 살펴보면, 한 개동의 56세대에서 사용한 난방유량은 총 19,986㎥로 나타났으며 가장 많은 사용량을 나타낸 월은 1월로써 5,427㎥로 나타났다. 그 다음 순으로는 12월, 2월 순으로 나타났으며 가장 난방 유량을 적게 사용한 달은 6월로써 2㎥로 나타났다.

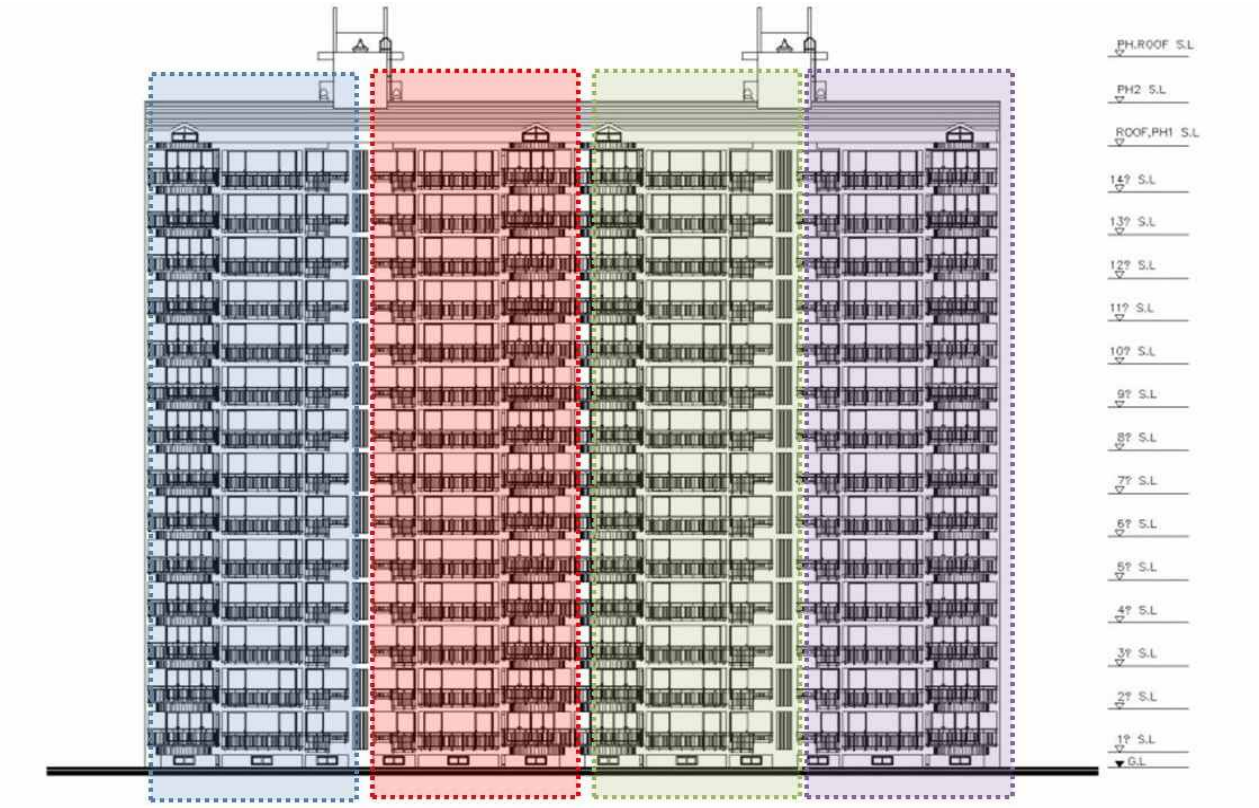
㉯ 세대 위치별 난방 유량 사용량 비교 분석

○ 건축물은 외기에 접한 면적이 클수록 벽체를 통해 외부로 손실되는 열이 많아진다. 판상형 아파트의 경우 4개의 세대가 한 개층에 위치하면서 측면에 위치한 세대와 중간에 위치한 세대가 외기에 접한 면적에 차이를 보이고 있다. [그림 2.66]에서 보여지듯이 각 세대별로 a~d로 명칭을 정하였으며, a와 d세대는 측면에 위치한 세대로 b와 c세대보다 외기에 접한 면적이 넓다.



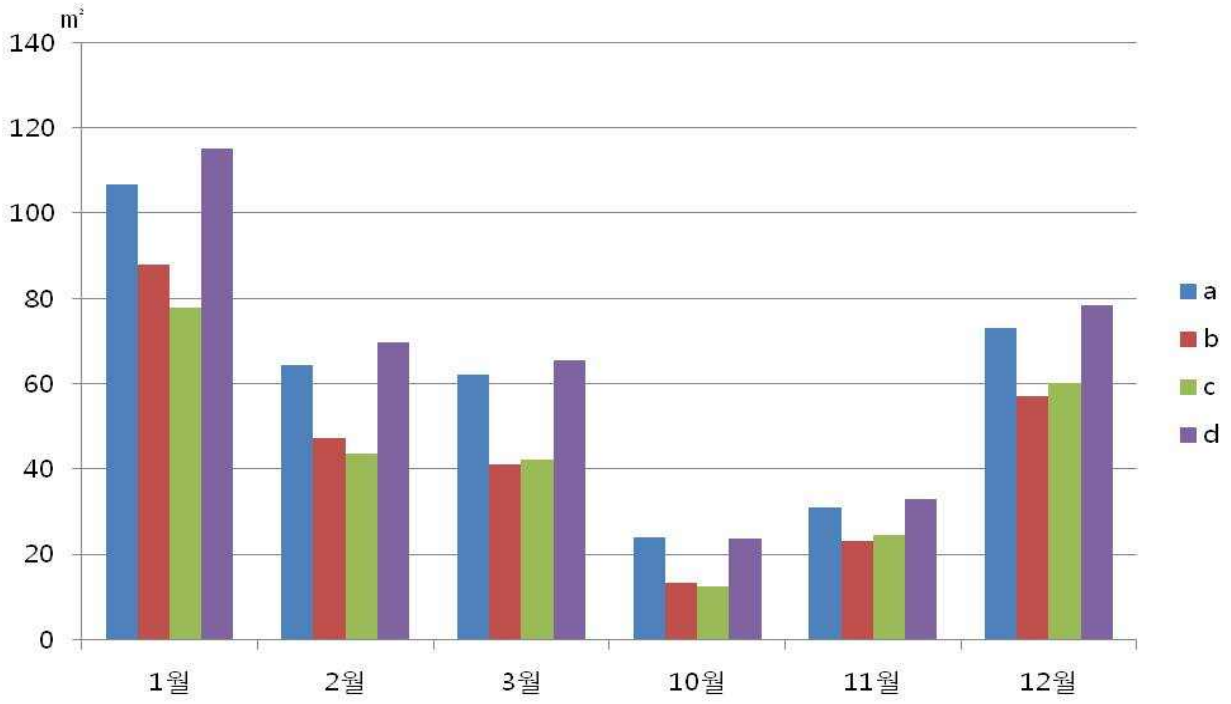
[그림 2.66] 세대 구분 평면도

○ 세대 위치별 난방 유량 분석은 난방을 주로 하는 1월부터 3월, 10월부터 12월까지 분석 하였다. 분석 방법은 세대 위치별 난방유량 사용량을 비교 분석하였으며, [그림 2.67]에서 보여지듯이 a 부터 d 세대의 1층부터 14층까지의 평균 난방유량 사용량을 분석하였다.



[그림 2.67] 세대별 구분 입면도

○ <표 2.76>에서 보여 지듯이 a세대와 d세대는 외기에 많이 노출되어 있어서 난방유량 사용량이 많은 것을 볼 수 있다. 난방유량 사용량 평균 합계는 a세대가 361.28567㎥, d세대가 385.35712㎥이며 전체 난방유량 사용량의 58.46%를 차지하고 있다.



[그림 2.68] 세대 위치별(1층~14층) 월평균 난방 사용 유량(㎥) 비교 그래프

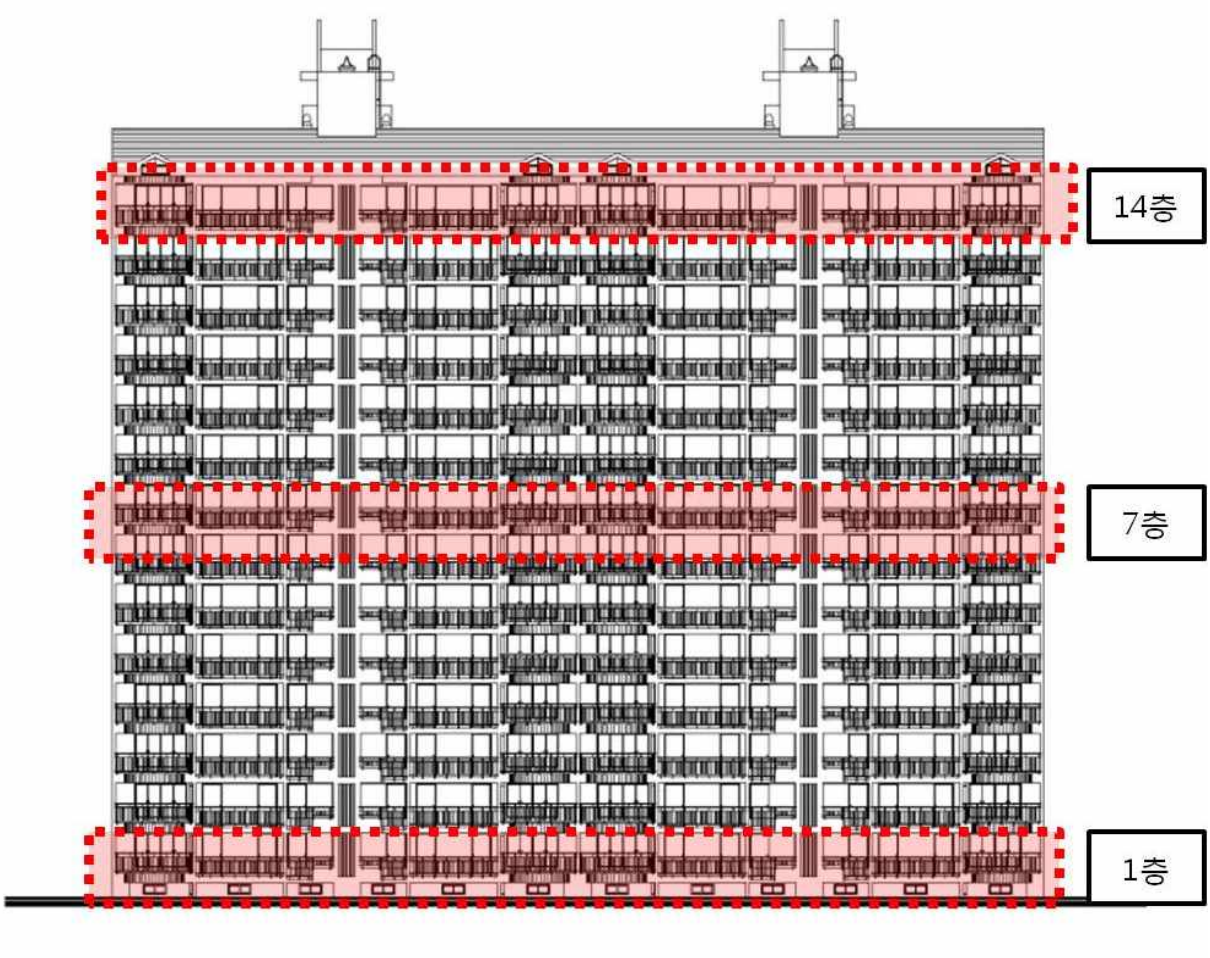
<표 2.76> 세대 위치별(1층~14층) 월평균 난방 사용 유량

구분	a	b	c	d
1월	106.8571	87.85714	77.85714	115.0714
2월	64.35714	47.21429	43.5	69.71429
3월	62	41	42.21429	65.57143
10월	23.92857	13.42857	12.42857	23.57143
11월	31.07143	23.21429	24.64286	33.07143
12월	73.07143	57	60.07143	78.35714

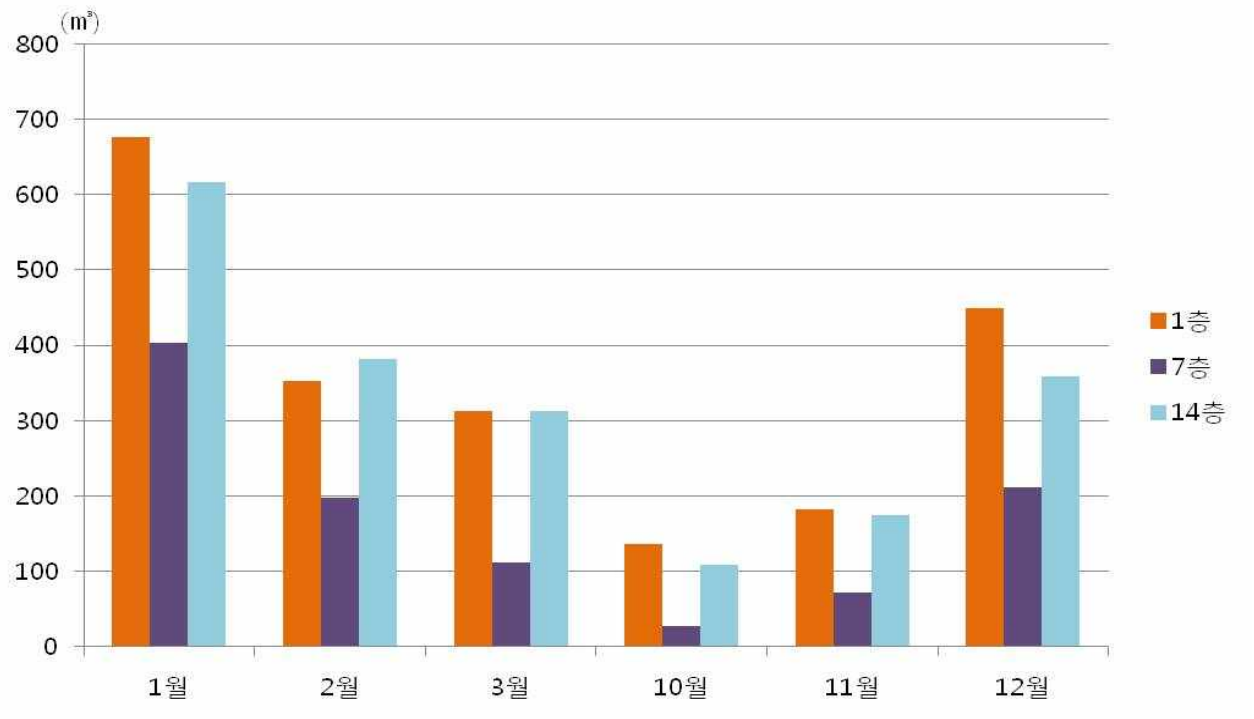
㉰ 층별 난방 유량 사용량 비교 분석

○ 세대위치별로 가지는 건축적인 요소의 차이가 발생하는 것과 마찬가지로, 층별로 최하층, 중간층, 최상층이 가지는 건축적인 요소도 차이가 발생한다. 세대 위치별로 난방유량 사용량에 차이가 발생하는 것처럼 층별로도 난방유량 사용량에 차이가 발생한다. 이는 층별로 최하층, 중간층, 최상층이 가지는 건축적인 요소에 차이가 있기 때문에 난방 사용유량에 차이가 발생한다.

○ 층별 난방 유량 사용량 비교 분석은 1층, 7층, 14층의 사용 유량을 비교 분석 하였다.



[그림 2.69] 층별(1층, 7층, 14층) 구분 입면도



[그림 2.70] 층별 난방 사용 유량(㎥) 비교 그래프

<표 2.77> 층별(1층, 7층, 14층) 난방 사용 유량

구분	1층	7층	14층
1월	677	403	617
2월	353	198	382
3월	312	112	312
10월	136	27	109
11월	182	71	175
12월	450	211	359
합계	2,111	1,029	1,968

○ 층별로 분석을 하면, 지하층과 진입부 공간과 면하고 있는 최하층인 1층의 경우 난방 유량 사용량이 2,111㎥로 가장 많은 유량을 사용하였고, 최상층인 14층은 천장이 옥상과 면하고 있어서 다른 층보다는 외부에 면하고 있는 부분이 많아 1,968㎥를 사용하여 1층 다음으로 난방 유량을 많이 사용한 것으로 나타났으며, 중간층인 7층은 1,029㎥로 1층과 14층에 비하여 난방 유량을 적게 사용하는 것으로 나타났다.

○ 이것을 통해 외기에 노출되어있는 양 측벽의 가구와 1층과 최상층은 다른 가구보다 난방 유량 사용량이 많다는 것을 알 수 있다.

㉱ 비난방세대에 인접한 난방세대의 난방유량 사용량 분석

○ 공동 주택의 경우 세대 별로 소유자가 전부 다르며 가족 구성원의 성향에 따라 주거 이동이 이루어진다. 이때 주거 이동을 하게 되는 세대는 사용하지 않는 공간이 되면서 비난방 공간이 형성되게 된다. 또한 가족 구성원의 생활 패턴에 따라 세대마다 난방을 하는 시간대가 다르기 때문에 난방을 하는 세대에 인접한 세대에서 난방을 하지 않는 경우도 발생하게 된다.

○ 조사 대상 공동주택에서도 난방세대와 접한 세대에서 난방 유량 사용량이 현저하게 낮게 나타나거나 난방을 하지 않는 경우도 발생하게 된다.

○ 다음에 나타나는 <표 2.78>은 A동의 1월부터 3월과 11월부터 12월까지 난방 기간 동안에 난방 유량 사용량이 현저하게 낮게 나타나거나 난방을 하지 않는 경우의 세대들을 분류해 놓은 표이다.

<표 2.78> 월별 난방유량 사용량이 적은 세대

월	세대	난방유량 사용량 (㎥)
1월	4층 - a	0
	6층 - b	7
	8층 - c	11
	9층 - d	3
	12층 - c	7
2월	6층 - b	1
	8층 - c	4
	12층 - c	1
3월	3층 - b	5
	6층 - b	0
	7층 - a	2
	8층 - c	1
	12층 - c	0
11월	3층 - d	8
	6층 - a	5
	6층 - b	0
	6층 - d	3
	7층 - a	0
	8층 - c	0
	9층 - d	5
	11층 - b	5
	12층 - c	7
12월	6층 - b	7
	8층 - c	5

○ 난방 유량 사용량이 적은 세대를 조사하였을 때, 1월에는 전체 세대의 평균 난방유량 사용량이 96.91㎥이며 이중에서 난방을 하지 않는 세대가 1세대 있었으며 평균 사용량보다 현저하게 적게 사용한 세대가 4세대가 있었다. 2월에는 전체 세대의 평균 난방유량 사용량이 56.19㎥이며 이중에서 평균 사용량보다 현저하게 적게 사용한 세대가 3세대 있었다. 3월에는 전체 세대의 평균 난방유량 사용량이 56.69㎥이며 이중에서 난방을 하지 않는 세대는 2세대가 있었으며 평균 사용량보다 현저하게 적게 사용한 세대가 3세대 있었다. 11월에는 전체 세대의 평균 난방유량 사용량이 28㎥이며 이중에서 난방을 하지 않는 세대는 3세대가 있었으며 평균 사용량보다 현저하게 적게 사용한 세대가 6세대 있었다. 12월에는 전체 세대의 평균 난방유량 사용량이 67.12㎥이며 이중에서 평균 사용량보다 현저하게 적게 사용한 세대

가 2세대 있었다.

○ 현재 공동주택 설계 단계에서는 내부 공간의 열교환에 관한 사항을 고려하지 않고 있으며, 현재 지어진 공동주택의 경우 내벽에는 단열재를 넣지 않고 설계된 경우가 대부분이다.

○ 때문에 공동주택 리모델링시 세대간 내벽과 내부 바닥에 대한 열 성능을 향상 시킬 필요가 있다.

㈐ 소결

○ 본 연구에서는 지역난방 시스템을 사용하는 공동주택의 난방 유량 사용량을 분석하였으며, 세대 위치별, 층별 난방사용량 등을 조사하여 대상 공동주택의 난방시의 문제점을 분석하였다. 이를 통해 공동주택 건물에너지 절감형 리모델링시 성능 개선 요소를 선정을 통한 주요 결론은 다음과 같다.

ㄱ. 세대 위치별로 난방유량 사용량이 가장 많은 1월의 난방유량 사용량을 조사 하였을 때, 측벽세대에서는 각각 106.85㎥, 115.07㎥의 유량을 사용하였으며 중간세대는 각각 87.85㎥, 77.85㎥의 유량을 사용하였다. 이는 외기에 접한 측벽을 통하여 에너지가 손실되기 때문이다.

ㄴ. 층별로 난방유량 사용량이 가장 많은 1월의 난방유량 사용량을 조사 하였을 때, 1층은 677㎥, 7층은 403㎥, 14층은 617㎥의 유량을 사용하였다. 이는 최상층은 외기와 접한면이 지붕을 통하여 에너지가 손실되며, 최하층은 바닥을 통하여 에너지가 손실되기 때문이다.

ㄷ. 난방유량 사용량이 주위의 세대보다 현저히 적거나 사용하지 않는 세대가 발생하였다. 난방유량 사용량이 적은 세대는 난방을 하는 시간보다 난방을 하지 않는 시간이 더 많기 때문이다. 난방을 하지 않는 세대에 인접한 난방을 하는 세대는 세대 간 내벽을 통하여 에너지가 손실된다. 또한 공동주택의 특성상 난방을 하는 시간대는 세대마다 틀리다. 때문에 난방을 하는 세대에 인접한 세대에서는 난방을 하지 않는 경우가 발생하게 된다. 따라서 공동주택 건물에너지 절감형 리모델링시 세대 간의 내벽을 고려해야 한다.

○ 공동주택의 난방유량 사용량 분석과 기존 문헌 고찰을 통하여 난방에너지는 외피를 통하여 많이 손실되는 것을 알 수 있었다. 때문에 공동주택 건물에너지 절감형 리모델링시 고려해야 될 요소로 측벽, 외단열, 외벽, 창호, 지붕, 최하층 바닥, 세대간 내벽, 세대간 바닥을 선정하였다.

(2) 기존 건물 Retrofit 우선순위 제시를 위한 프로세스의 검증

(가) Retrofit 우선 순위 개요

① Retrofit의 범주와 우선 순위의 필요성

○ 일반적으로 건물의 Retrofit은 현재 정상적으로 운영되고 있는 건물시스템의 성능을 개선시킨다는 점에서 건물의 보수, 보강, 수선, 개수, 교체 등과는 의미의 차이가 있다. 이에 따라

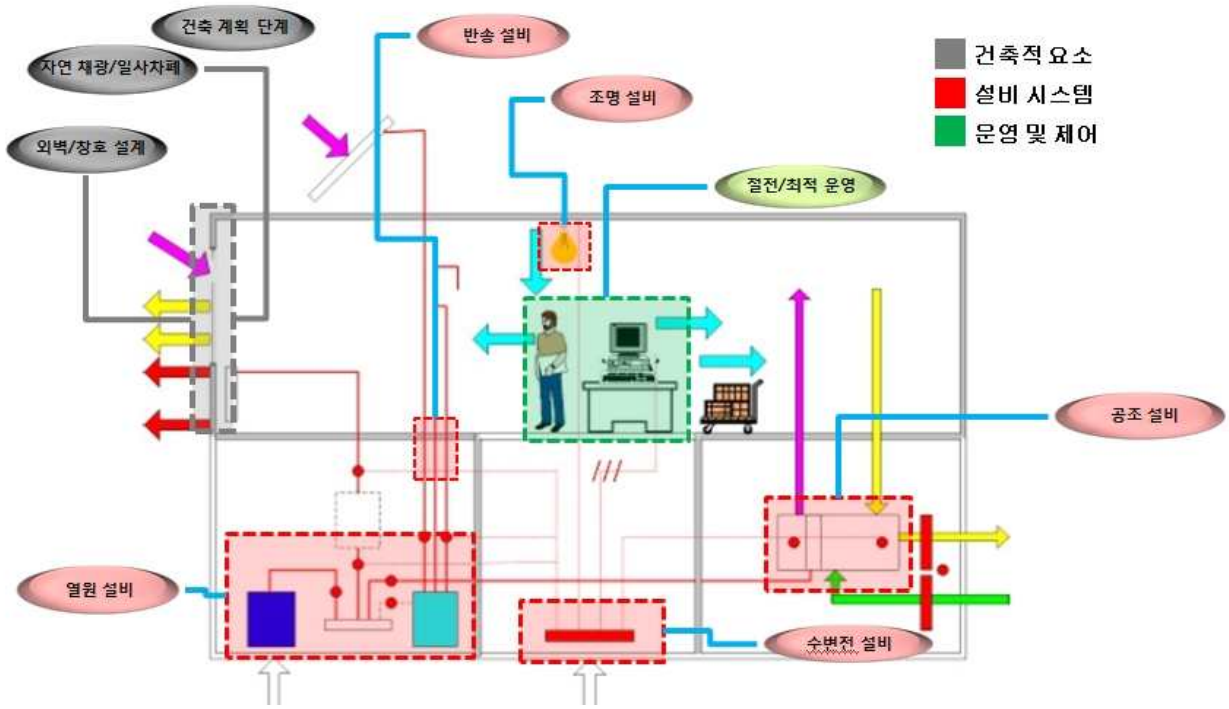
건물의 Retrofit 방안에는 매우 다양한 대안이 제시될 수 있으며, 의사 결정을 위해서는 체계적인 방법론에 의한 대안 선택과 경제성 분석이 필수적이어야 한다. 그러나 최근 기존 건물의 Retrofit에 대한 관심이 고조되면서 부분적으로 이루어지고 있는 Retrofit 관련 사업의 상당수가 건물 Retrofit에 대한 이해부족과 무계획적인 사업추진으로 인해 충분한 효과를 얻지 못하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 기존 건물의 설비적 측면을 고려한 기기 단위부터의 Retrofit 제시를 통해 건물 용도별 Retrofit의 우선 순위를 도출해 보고자 한다.

② Retrofit 우선 순위 도출 과정

○ 본 연구에서는 건축물의 에너지 소비형태요소를 건축적, 설비적, 운영적 요소로 크게 세 가지로 나누었고, 리스트의 작성 범위는 그 중 기존 건물에 대한 요소로써 'EN[5]'을 인용해 설비적, 운영적 요소들이 가지는 위계를 고려하여 세분화 시켰다. 세분화 시킨 'EN'의 기준들은 다음과 같다.

- 열원 설비 : EN 15316-1, EN 15316-4, EN 15243, EN 15316-3
- 공조 설비 : EN 15241
- 조명 설비 : EN 15193
- 운영 및 제어 : EN 15232

○ [그림 2.71]은 'EN-15232'에 게재된 건물의 에너지 성능에 대한 각 에너지 소비 요소에 대한 개념도이다.

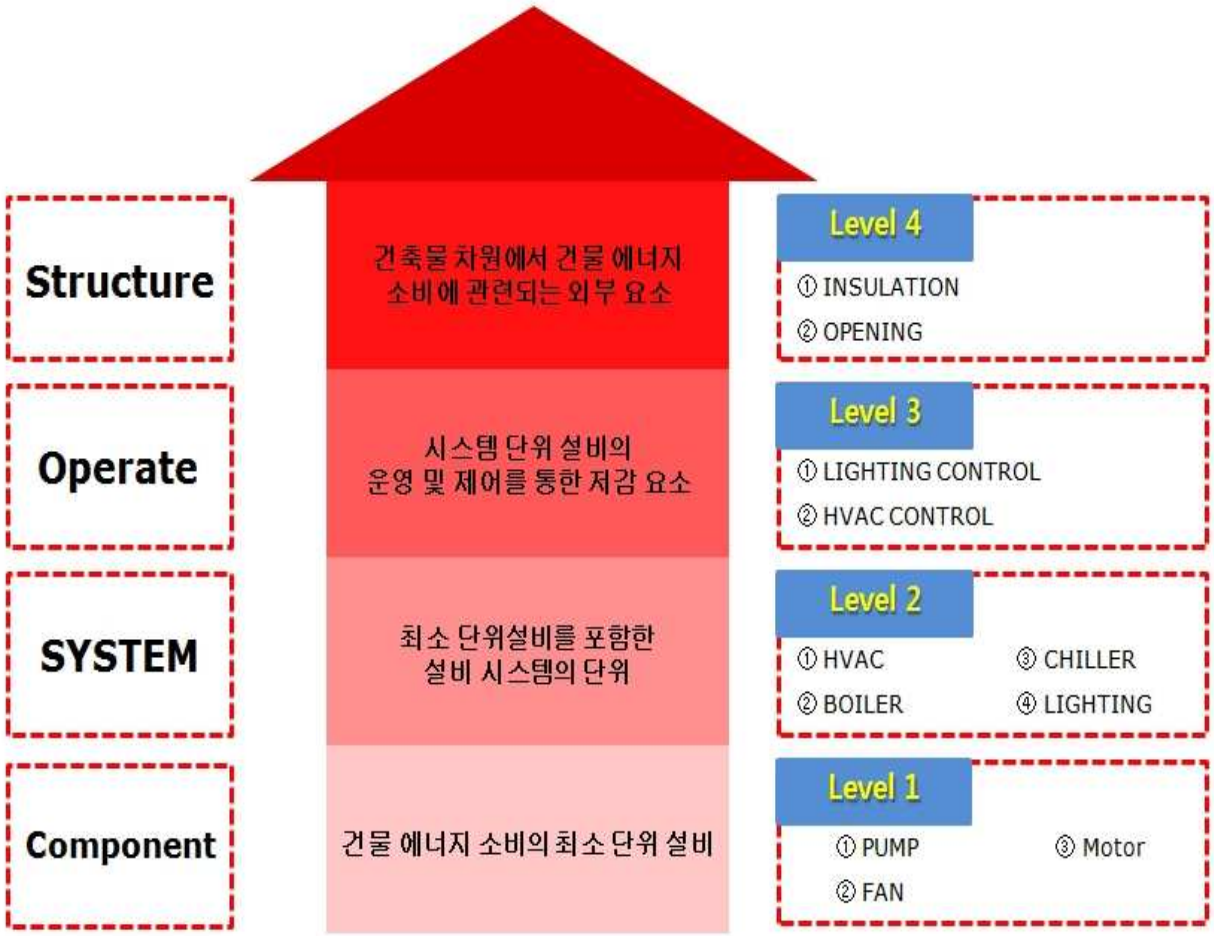


[그림 2.71] 건물의 에너지 소비요소에 대한 개념도

5) European Standard : 유럽 표준화 기구

○ 설비 시스템을 크게 나누면 열원 설비, 반송 설비, 공조 설비, 수변전 설비, 조명 설비 등으로 크게 나눌 수 있다. 하지만 본 연구에서는 설비 시스템 단위가 아닌 이러한 시스템을 구성하는 FAN, PUMP, MOTOR 등의 기계 설비 단위를 시작으로 Retrofit 방안을 제시하였다.

○ 건물 에너지 Retrofit을 위한 위계는 [그림 2.72]와 같다.



[그림 2.72] 건물 에너지 Retrofit을 위한 요소별 적용 순서

○ [그림 2.72]의 순서도를 바탕으로 보정된 판매시설, 상업용 건물의 EnergyPlus 기반의 시뮬레이션 데이터 값에 적용시켜 각 요소별 에너지 저감량을 도출하였고, 3차 년도에는 ISO 13790기반 Tool인'BEST'로 Retrofit 프로세스를 검증하고, 가격 정보가 포함된 DB를 이용하여 경제성 분석까지 진행이 예정되어 있다.

(나) 현장 진단을 통한 에너지 성능개선

○ 기존 건물의 Retrofit 우선순위 제시를 위한 프로세스를 검증하기 위해서는 먼저 현재 에너지 진단 부분에서 활용 중인 진단 프로세스를 파악할 필요가 있다. 그래서 대상 건물 중 한 곳의 판매시설에 대한 에너지 진단을 에너지 진단 전문가와 함께 실시하였으며, 그 중 가장 에너지 사용 기여도가 높았던 열원 설비와 조명 설비 부문의 프로세스 검증을 실시하였다.

○ 그 과정에서 기존 현장 측정에 대한 국내 에너지 진단 산업의 미흡한 부분을 파악하고, 그 부분을 보완하기 위한 공정시험방법(안)을 제시하였다.

○ 진단 범위 및 진단보고서 작성 기준

<table>
<tr><td>진단보고서 작성 기준 및 대상 공정 연료사용량</td><td colspan="2">· 에너지진단 운영규정 제17조 제1항에 의거 보고서 작성방법에 따라 작성.
· 에너지사용량, 운전시간 등은 전년도 사용량을 기준.
· 2008년도 에너지 사용량 : 2,332 (toe/년).
· 에너지 사용현황 및 실적자료는 귀 사에서 제시한 수치 및 자료를 기준으로 삼았으며 개별설비의 에너지 사용량은 실측 또는 제시 자료를 적용하였음.
· 계측자료는 진단기간 중 실시한 실제 측정치를 기준으로 작성.
· 기대효과 계산은 진단 시 운전상태를 기준으로 삼았으므로 조업방법 및 운전환경의 변화가 발생한 경우에는 이를 감안하였음.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">절감효과 계산 기준</td><td>에너지 단 가</td><td>· 도시가스(LNG) : 543 (원/N㎥)
· 전 력 (일반) : 82 (원/kWh)</td></tr>
<tr><td>설 비 투자비</td><td>· 설비 제작업체 및 물가 자료를 참조
⇒ 정확한 투자비산출은 설계 후 견적에 의해 재 산출 요망</td></tr>
<tr><td>투 자 경제성</td><td>· 간이 자본 회수법 적용 (이자율 제외)
· 부대효과(생산성 향상, 환경개선 효과, 안전성 등)는 제외
· 단순회수기간으로 3년 내외일 때 투자경제성이 있다고 판단.
· 설비투자 여부는 시공시 회사자체 기준으로 재검토 후 결정 요망.</td></tr>
</table>

(다) 현장 측정을 통한 에너지 성능 개선을 위한 공정시험방법제시

○ 설비시스템의 현장측정은 간이 조사 결과를 통해 에너지 이용효율화 측면에서 개선이 필요한 것으로 판단된 부분·항목에 대하여 정밀한 평가를 수행하는 단계이다. 보다 정밀한 측정을 수행하고, 이를 통해 에너지 이용효율화를 위한 개선방안의 도출 및 효율 하락 등의 원인을 분석하기 위하여 실시한다.

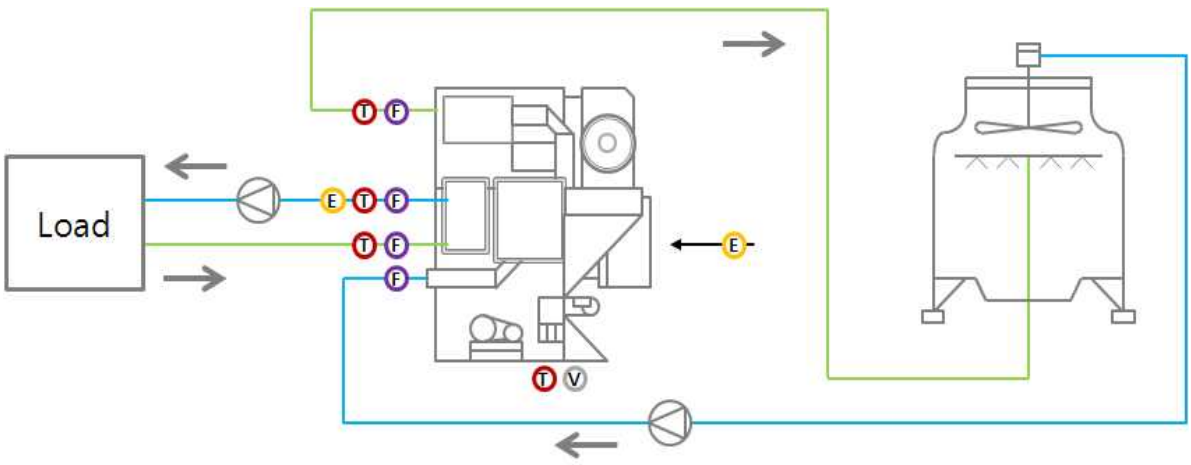
○ 정밀한 측정을 위해 냉난방 시스템별·기기별 등으로 나누어 상세하게 수행하며 다음 표와 같이 열에너지 진단 및 전기에너지 진단으로 구분 할 수 있다.

<표 2.79> 부분별 에너지 진단 내용

진단구분	시스템	진단 내용
열에너지 진단	열발생 설비	연료, 급수공급 계통과 연소관리의 문제점 검토 보일러 및 각종 요소의 성능시험 손실요인 분석과 효율향상방안
	열사용 설비	각종 열 사용 설비의 성능시험 건물의 냉난방 부하 계산 에너지 절약 시설투자 경제성 검토
	열수송 설비	에너지 수송계통의 문제점 합리적인 에너지 수송 시스템 검토 폐열회수 및 보온 강화 시 경제성 검토
전기에너지 진단	수배전 설비	전력 수급계약의 적정성 검토 수배전 변압기의 용량 검토 부하측 전압 공급장치 검토
	동력 설비	동력설비 용량 및 운전효율 산정 부하율, 역률에 대한 개선안 제시 조업 개선을 통한 절전 가능성 검토
	전열 및 조명 설비	적정용량 및 부하 검토 적정조도 유지 및 절전형 광원 검토

① 설비시스템의 현장 측정방법

○ 현장측정을 행하는 계측이나 시험은 상당한 시간과 비용이 소요되므로 사전에 진단계획을 검토하고 실시체제에 대한 충분한 사전협의가 필요하다. 또한, 가능한 과거의 데이터나 간이 조사에서 얻은 데이터를 활용하여 기존의 에너지소비량과 측정값의 비교를 통해 객관적이고, 다양한 영향변수에 대해 고려하는 것이 필요하다. 다음 표는 온수보일러, 냉동기, 공조기, 조명기구를 예로 건물의 에너지진단을 위한 측정 및 평가방법의 예를 도시한 것이다. 다음 아래 그림에서 각각의 설비기기 계통도와 측정위치를 나타냈다.



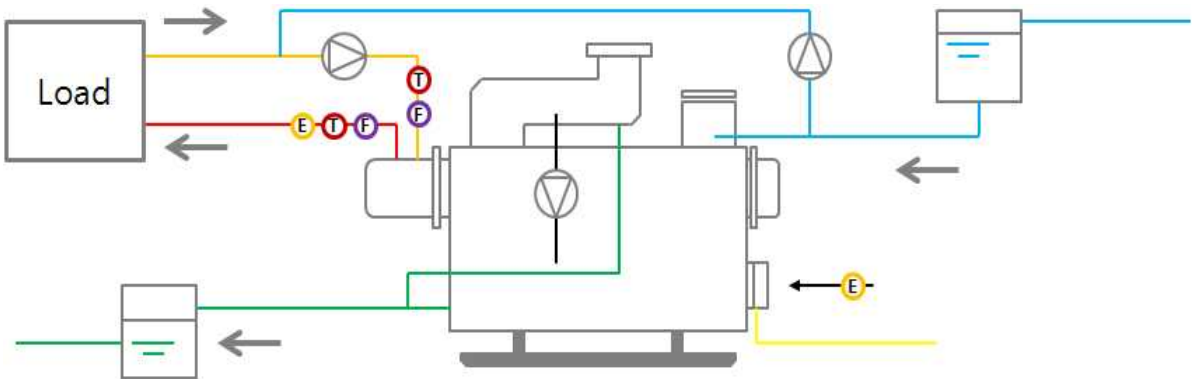
[그림 2.73] 설비기기 계통도와 측정위치

여기서,
T = 공급(회수)온도
F = 유량
E = 입력(출력)에너지

을 표시하며 각각의 설비기기에서 공급 및 회수되는 온수온도측정, 온수 유량 측정, 설비기기의 출력 및 입력 에너지 산출을 종합하여 평가가 이루어진다.

<표 2.80> 온수 보일러의 현장 측정 방법

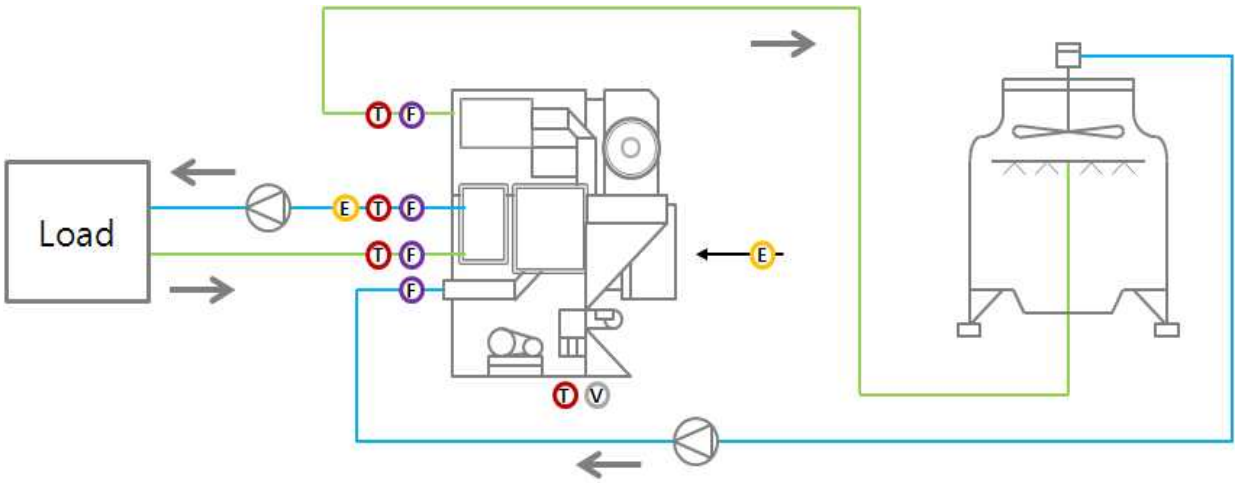
No.	항목	측정 및 평가방법
1	온도	열전대 등을 사용하여 공급·회수되는 온수 온도 측정
2	유량	기존 유량계 또는 초음파 유량계 등에 의해 온수 유량 측정 열량계가 설치된 경우, 온도의 유량의 측정 불필요
3	출력 에너지	온도와 유량의 측정값을 이용해 보일러의 출력 에너지를 산출 열량계를 사용하는 경우, 열량계 결과를 이용
4	입력 에너지	가스메터, 오일메터 등을 검침하여 가스, 유류 소비량 측정 가스, 유류 소비량과 발열량을 통해 입력 에너지 산출 가스 소비량은 가스온도 및 압력을 알고 있는 경우, 소비량 보정
5	효율	출력 에너지와 입력 에너지의 측정값을 이용해 효율 산출
6	평가	성능사양서 등에서 제공하는 보일러 효율, 성능곡선과 비교 극단적으로 효율 저하되는 경우, 원인 규명 및 유지보수 수행



[그림 2.74] 보일러 계통도와 측정위치

<표 2.81> 냉동기의 현장측정 방법

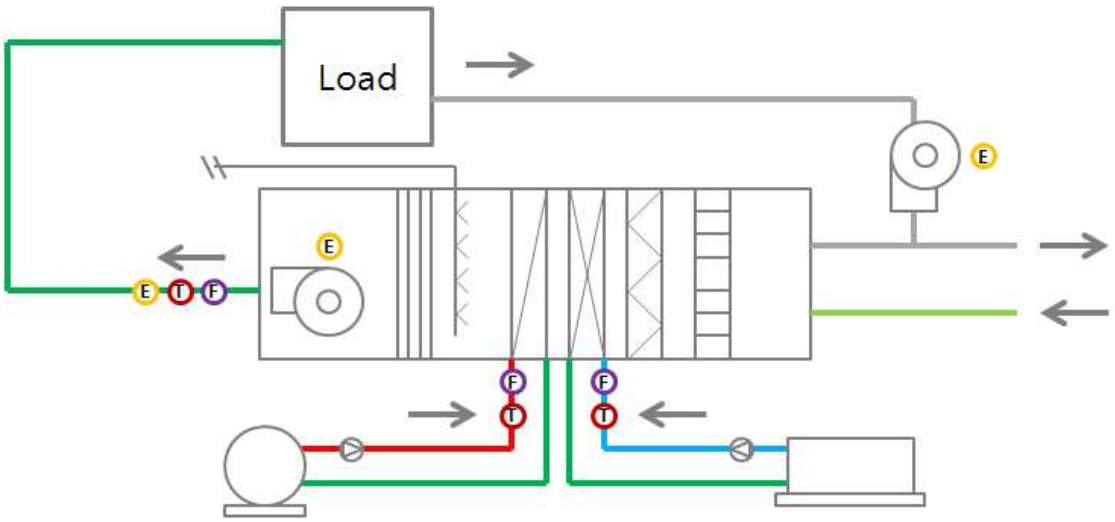
No.	항목	측정 및 평가방법
1	온도	열전대 등을 사용하여 냉수·냉각수의 공급·회수온도 측정
2	유량	기존 유량계 또는 초음파 유량계 등으로 냉수·냉각수 유량 측정 열량계가 설치된 경우, 온도와 유량의 측정 불필요
3	출력 에너지	온도와 유량의 측정값을 이용해 냉동기의 출력 에너지 산출 열량계를 사용하는 경우, 열량계 결과를 이용
4	입력 에너지	① 전동식 냉동기에 적산전력량계가 삽입되어 있는 경우는 이 값 사용 미설치, 저압인 경우 적상기능의 큼램프온(Clamp-on)형 전력계 등에 의하여 일정시간 냉동기의 소비전력 등 측정 ② 흡수식 가스메터, 오일메터 등을 검침하여 가스, 유류 소비량 측정 가스 소비량은 가스온도, 압력을 알고 있는 경우, 소비량 보정 측정은 계절별로 1~2일 정도 수행 가능한 저부하~고부하의 넓은 범위 측정
5	성적계수	출력 에너지와 입력 에너지를 통해 성적계수 산출
6	기타측정	기기본체 온도, 진동 등 측정
7	평가	성능사양서 등에서 제공하는 냉동기 효율, 성능곡선과 비교 극단적으로 효율 저하되는 경우, 원인 규명 및 유지보수 수행 기기본체 온도, 진동 이상여부 평가



[그림 2.75] 냉동기 계통도와 측정위치

<표 2.82> 공조기의 현장측정 방법

No.	항목	측정 및 평가방법
1	진단	코일의 냉수 전열계수에 의한 진단 실시
2	온도	열전대 등을 사용하여 공조기 코일의 입·출구온도 측정
3	순환수량	기존 유량계 또는 초음파 유량계 등에 의해 코일 순환수량 측정
4	엔탈피	열전대 등을 사용하여 공조기 코일 출구측 공기 엔탈피 측정
5	풍량	열선풍속계 등에 의해 메인덕트 직관부 풍속 측정 평균 풍속을 산출하고, 덕트면적을 통해 풍량 산출
6	코일 열수	기기완성도 등에서 코일의 열수·정면면적·코일형식 등 조사 코일형식은 1열당 튜브 본수 및 단면적 등
7	전열계수	코일의 냉수 전열계수 산출 $K = \frac{q_t}{R_{OW} \times \Delta T_{im} \times A_f \times WSF}$ [kcal/mh℃] $q_t = V \times \gamma \times (i_1 \sim i_2)$ V : 급기량, γ : 공기의 비중, i_1 : 입구공기 엔탈피, i_2 : 출구공기 엔탈피, R_{OW} : 코일열수, ΔT_{im} : 대수평균온도차, A_f : 코일정면 면적, WSF : 습윤면적계수
8	평가	도서 등을 참고하여 냉수전열계수 곡선을 작성하고, 비교평가 측정시점의 냉수전열계수 저하도 파악



[그림 2.76] 공조기 계통도와 측정위치

② 설비시스템 성능 측정 장비

○ 설비시스템의 성능을 측정하기 위해서는 다음과 같은 장비들이 필요하며, 기존건축물의 현장상황이 각기 다르므로, 현장 상황에 맞는 장비와 설치 위치가 중요하다. 현장 측정을 위해 필요한 장비들은 다음과 같다.

- 적산전력량계

유도형과 전자식으로 구분할 수 있고, 정밀도에 따라 보통급, 정밀급, 특별 정밀급으로 분류된다. 먼 곳에서 소비전력량을 계량할 때에는 펄스발신 기능이 있는 것을 사용할 필요가 있고, 부하변동이 심한 기기에 대해서는 가급적 기기마다 적산전력량계를 부착한다.

- 적산유량계

가스나 유류 등의 유량을 측정하여 적산값으로 계량한 것으로 가스메터, 오일메터 등으로 불린다. 펄스발신 기능이 부착된 것도 있으며 가스나 유류를 사용하는 기기마다 설치하는 것이 바람직하다. 또한, 가스는 기체이기 때문에 압력과 온도에 따라 체적이 변화하고, 이를 위해 대상 가스미터의 압력과 온도를 확인하여 0℃, 1기압에서 적산유량(Nm³)으로 변환하여 사용한다.

- 적산열량계

열량을 적산하여 계량하는 것으로, 지역냉방 및 지역난방의 사용열량을 조회하기 위해서 사용되고, 건물에서는 공조열원기기의 출력열량(생산열량)이나 공조기의 소비열량 계량 등에 사용된다. 적산전력량계나 가스미터, 오일미터에 비하여 건물에 설치되는 수는 적지만 적정한 에너지관리를 위해서는 가능한 많은 수량을 주요부분에 설치하는 것이 바람직하다. 또한 해당 열원기기에 의하여 생산된 냉·온수가 복수의 기기에 공급되는 경우에는 계통마다 적산열량계를 설치한다.

(3) 시뮬레이션 프로그램을 활용한 에너지 성능 개선

(가) 열원 설비의 요소별 에너지 저감률

① 판매시설

㉮ 냉동기 COP 향상

○ 건물의 냉동기 COP값 향상에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 냉동기 COP값 향상을 통해 냉방운행 전기 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음 <표 2.83>과 같다.

<표 2.83> 냉동기 COP값 향상에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상	안(+0.5)	대상	안(+0.5)	대상	안(+0.5)
전기사용량(kWh)	9,722,974	9,464,015	7,903,943	7,811,531	7,633,643	7,494,386
가스사용량(kWh)	806,318	806,318	615,948	615,948	579,966	579,966
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	10,270,333	8,519,891	8,427,479	8,213,609	8,074,352
저감률(%)		2.46		1.08		1.70



[그림 2.77] 냉동기 COP값 향상에 따른 에너지 저감량 및 저감률

㉯ 보일러 출구수온 하강

○ 건물 보일러의 출구수온 하강에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 보일러 출구 수온 하강 시 보일러 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음 <표 2.84>과 같다.

<표 2.84> 보일러 출구수온 하강에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상	안(-5℃)	대상	안(-5℃)	대상	안(-5℃)
전기사용량(kWh)	9,722,974	9,722,974	7,903,943	7,903,943	7,633,643	7,633,643
가스사용량(kWh)	806,318	806,186	615,948	614,345	579,966	579,844
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	10,529,160	8,519,891	8,518,288	8,213,609	8,213,487
저감률(%)		0.001		0.02		0.001



[그림 2.78] 보일러 출구수온 하강에 따른 에너지 저감량 및 저감률

㉰ 보일러 효율 상승

○ 보일러 효율 상승에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 보일러 효율 상승 시 보일러 가스 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음 <표 2.85>과 같다.

<표 2.85> 보일러 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)
전기사용량(kWh)	9,722,974	9,722,974	7,903,943	7,903,944	7,633,643	7,633,643
가스사용량(kWh)	806,318	722,881	615,948	548,831	579,966	494,121
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	10,445,855	8,519,891	8,452,775	8,213,609	8,127,764
저감률(%)		1.4		0.78		1.05



[그림 2.79] 보일러 효율 상승

㉱ 냉동기 출구수온 상승

○ 건물의 냉동기 출구수온 상승에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 냉동기 출구수온 상승을 통해 냉방전기 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음<표 2.86>과 같다.

<표 2.86> 냉동기 출구수온 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상	안 (+5℃)	대상	안 (+5℃)	대상	안 (+5℃)
전기사용량(kWh)	9,722,974	9,713,517	7,903,943	7,897,272	7,633,643	7,593,326
가스사용량(kWh)	806,318	806,318	615,948	617,300	579,966	579,966
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	10,519,835	8,519,891	8,514,572	8,213,609	8,173,292
저감률(%)		0.08		0.06		0.49



[그림 2.80] 냉동기 출구수온 상승

㈐ 온수 배관 온도 하강

○ 온수 배관의 온도 하강에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 온수 배관 온도 조절시 보일러 가스 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음<표 2.87>과 같다.

<표 2.87> 온수 배관 온도 하강에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	둔판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상	안(-5℃)	대상	안(-5℃)	대상	안(-5℃)
전기사용량(kWh)	9,722,974	9,620,474	7,903,943	7,803,935	7,633,643	7,632,529
가스사용량(kWh)	806,318	789,419	615,948	616,876	579,966	544,871
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	10,409,893	8,519,891	8,220,811	8,213,609	8,177,400
저감률(%)		1.13		1.16		0.44



[그림 2.81] 온수 배관 온도 하강

② 상업용 건물

㈎ 냉동기 COP 향상

○ 건물의 냉동기 COP값 향상에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 냉동기 COP값 향상 시 냉방 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 건물별 저감률은 다음<표 2.88>과 같다.

<표 2.88> 냉동기 COP값 향상에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상	안 (+0.5)	대상	안 (+0.5)	대상	안 (+0.5)
전기사용량(kWh)	7,590,862	7,321,083	3,667,879	3,570,108	7,177,525	7,016,245
가스사용량(kWh)	312,314	312,312	423,309	423,296	1,817,833	1,817,833
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	7,633,395	4,092,188	3,993,404	8,995,358	8,834,078
저감률(%)		3.41		2.39		1.79



[그림 2.82] 냉동기 COP 향상

㉯ 보일러 출구수온 상승

○ 건물 보일러의 출구수온 상승에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 보일러 출구수온 상승 시 보일러 가스 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 건물별 저감률은 다음<표 2.89>와 같다.

<표 2.89> 보일러 출구수온 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상	안 (-5℃)	대상	안 (-5℃)	대상	안 (-5℃)
전기사용량(kWh)	7,590,862	7,590,855	3,667,879	3,667,871	7,177,525	7,177,525
가스사용량(kWh)	312,314	311,936	423,309	423,050	1,817,833	1,805,286
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	7,902,791	4,091,188	4,090,921	8,995,358	8,982,811
저감률(%)		0.005		0.007		0.13



[그림 2.83] 보일러 출구수온 상승

㉰ 보일러 효율 상승

○ 보일러 효율 상승에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 보일러 효율 상승 시 보일러 가스 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 건물별 저감률은 다음 <표 2.90>과 같다.

<표 2.90> 보일러 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상	안 (+10%)	대상	안 (+10%)	대상	안 (+10%)
전기사용량(kWh)	7,590,862	7,590,861	3,667,879	3,667,876	7,177,525	7,177,525
가스사용량(kWh)	312,314	274,846	423,309	376,788	1,817,833	1,791,258
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	7,865,707	4,091,188	4,080,664	8,995,358	8,968,783
저감률(%)		0.474		0.257		0.295



[그림 2.84] 보일러 효율 상승

㉰ 냉동기 출구수온 상승

○ 건물의 냉동기 출구수온 상승에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 냉동기 출구수온 상승 시 냉방기 전기 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 건물별 저감률은 다음 <표 2.91>와 같다.

<표 2.91> 냉동기 출구수온 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상	안 (+5℃)	대상	안 (+5℃)	대상	안(+5℃)
전기사용량(kWh)	7,590,862	7,590,762	3,667,879	3,664,124	7,177,525	7,174,317
가스사용량(kWh)	312,314	312,313	423,309	423,294	1,817,833	1,816,313
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	7,903,075	4,091,188	4,087,418	8,995,358	8,990,630
저감률(%)		0.00128		0.09		0.05



[그림 2.85] 냉동기 출구수온 상승

㉱ 온수 배관 온도 하강

온수 배관의 온도 하강에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 온수 배관 온도 조절시 보일러 가스 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 건물별 저감률은 다음<표 2.92>와 같다.

<표 2.92> 온수 배관 온도 하강에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상	안 (-0.5℃)	대상	안 (-0.5℃)	대상	안 (-0.5℃)
전기사용량(kWh)	7,590,862	7,590,855	3,667,879	3,667,529	7,177,525	7,177,525
가스사용량(kWh)	312,314	312,098	423,309	418,367	1,817,833	1,782,466
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	7,902,953	4,091,188	4,075,896	8,995,358	8,959,991
저감률(%)		0.0028		0.37		0.39



[그림 2.86] 온수 배관 온도 하강

(나) 반송 설비의 요소별 에너지 저감률

① 판매시설

㉮ 팬코일 유닛(FCU) 팬 효율 상승

○ 팬코일 유닛의 팬 효율 상승에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 팬코일의 팬 효율 상승 시 팬코일의 전력 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음<표 2.93>와 같다.

<표 2.93> 팬코일 유닛의 팬 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)
전기사용량(kWh)	9,722,974	9,714,251	7,903,943	7,288,740	7,633,643	7,631,528
가스사용량(kWh)	806,318	806,410	615,948	616,884	579,966	577,655
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	10,520,661	8,519,891	7,905,624	8,213,609	8,209,183
저감률(%)		0.08		7.2		0.05



[그림 2.87] 팬코일 유닛의 팬 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

㉯ 냉동기 펌프 효율 상승

○ 냉동기 펌프 효율 상승에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 냉동기의 펌프 효율 상승시 냉동기의 전력 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음<표 2.94>과 같다.

<표 2.94> 냉동기의 펌프 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)
전기사용량(kWh)	9,722,974	9,712,114	7,903,943	7,901,004	7,633,643	7,622,998
가스사용량(kWh)	806,318	806,318	615,948	615,948	579,966	577,655
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	10,518,432	8,519,891	8,516,952	8,213,609	8,200,653
저감률(%)		0.1		0.035		0.15



[그림 2.88] 냉동기 펌프 효율 상승

㉰ 냉각탑 펌프 효율 상승

○ 냉각탑 펌프 효율 상승에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 냉각탑의 펌프 효율 상승시 냉각탑의 전력 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음<표 2.95>과 같다.

<표 2.95> 냉각탑 펌프 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)
전기사용량(kWh)	9,722,974	9,712,660	7,903,943	7,840,500	7,633,643	7,623,342
가스사용량(kWh)	806,318	806,318	615,948	649,250	579,966	579,966
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	10,518,978	8,519,891	8,489,750	8,213,609	8,203,308
저감률(%)		0.1		0.35		0.098



[그림 2.89] 냉각탑 펌프 효율 상승

㉱ 에어 핸들링 유닛(AHU) 팬 효율 상승

○ AHU의 팬 효율 상승에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. AHU의 팬 효율 상승시 AHU의 전력 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 점포별 저감률은 <표 2.96>와 같다.

<표 2.96> AHU 팬 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)
전기사용량(kWh)	9,722,974	9,571,778	7,903,943	7,742,383	7,633,643	7,487,250
가스사용량(kWh)	806,318	825,631	615,948	664,889	579,966	599,107
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	10,397,409	8,519,891	8,407,272	8,213,609	8,086,357
저감률(%)		1.25		1.32		1.55



[그림 2.90] 에어 핸들링 유닛(AHU) 팬 효율 상승

㈐ 팬코일 유닛(FCU) 모터 효율 상승

○ FCU의 모터 효율 상승에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. FCU의 모터 효율 상승시 FCU의 전력 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음<표 2.97>과 같다.

<표 2.97> FCU 모터 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)
전기사용량(kWh)	9,722,974	9,431,658	7,903,943	7,631,824	7,633,643	7,631,824
가스사용량(kWh)	806,318	806,318	615,948	579,876	579,966	579,876
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	1,023,7976	8,519,891	8,211,700	8,213,609	8,211,700
저감률(%)		2.77		3.62		0.02



[그림 2.91] 팬코일 유닛(FCU) 모터 효율 상승

㈑ 에어 핸들링 유닛(AHU) 모터 효율 상승

○ AHU의 모터 효율 상승에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. AHU의 모터 효율 상승시 AHU의 전력 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 점포별 저감률은 <표 2.98>와 같다.

<표 2.98> AHU 모터 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)
전기사용량(kWh)	9,722,974	9,710,244	7,903,943	7,630,454	7,633,643	7,630,454
가스사용량(kWh)	806,318	806,318	615,948	579,253	579,966	579,253
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	10,516,562	8,519,891	8,209,707	8,213,609	8,209,707
저감률(%)		0.12		3.64		0.05



[그림 2.92] 에어 핸들링 유닛(AHU) 모터 효율 상승

② 상업용 건물

㉮ 팬코일 유닛(FCU) 팬 효율 상승

○ 팬코일 유닛의 팬 효율 상승에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 팬코일의 팬 효율 상승시 팬코일의 전력 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 건물별 저감률은 다음<표 2.99>과 같다.

<표 2.99> 팬코일 유닛의 팬 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상	안(+20%)	대상	안(+20%)	대상()	안 ()
전기사용량(kWh)	7,590,862	7,564,584	3,667,879	3,663,864	7,177,525	7,139,254
가스사용량(kWh)	312,314	319,689	423,309	424,589	1,817,833	1,820,213
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	7,884,273	4,091,188	4,088,453	8,995,358	8,959,467
저감률(%)		0.24		0.07		0.40



[그림 2.93] 팬코일 유닛(FCU) 팬 효율 상승

㉯ 냉동기 펌프 효율 상승

냉동기 펌프 효율 상승에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 냉동기의 펌프 효율 상승시 냉동기의 전력 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 건물별 저감률은 다음<표 2.100>과 같다.

<표 2.100> 냉동기의 펌프 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)	대상()	안 ()
전기사용량(kWh)	7,590,862	7,576,907	3,667,879	3,663,862	7,177,525	7,153,265
가스사용량(kWh)	312,314	312,314	423,309	423,393	1,817,833	1,817,833
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	7,889,221	4,091,188	4,087,155	8,995,358	8,971,098
저감률(%)		0.176		0.098		0.26



[그림 2.94] 냉동기 펌프 효율 상승

㉰ 냉각탑 펌프 효율 상승

○ 냉각탑 펌프 효율 상승에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 냉각탑의 펌프 효율 상승시 냉각탑의 전력 사 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 건물별 저감률은 다음<표 2.101>과 같다.

<표 2.101> 냉각탑 펌프 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)	대상()	안 ()
전기사용량(kWh)	7,590,862	7,577,613	3,667,879	3,664,068	7,177,525	7,172,326
가스사용량(kWh)	312,314	312,314	423,309	423,296	1,817,833	1,817,823
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	7,889,927	4,091,188	4,087,364	8,995,358	8,990,149
저감률(%)		0.167		0.093		0.06



[그림 2.95] 냉각탑 펌프 효율 상승

㉱ 에어 핸들링 유닛(AHU) 팬 효율 상승

AHU의 팬 효율 상승에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. AHU의 팬 효율 상승시 AHU의 전력 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 건물별 저감률은 다음<표 2.102>와 같다.

<표 2.102> AHU 팬 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)	대상()	안 ()
전기사용량(kWh)	7,590,862	6,979,153	3,667,879	3,568,831	7,177,525	7,099,654
가스사용량(kWh)	312,314	313,614	423,309	457,358	1,817,833	1,824,315
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	7,292,767	4,091,188	4,026,189	8,995,358	8,923,969
저감률(%)		7.723		1.588		0.8



[그림 2.96] 에어 핸들링 유닛(AHU) 팬 효율 상승

㈐ 팬코일 유닛(FCU) 모터 효율 상승

○ FCU의 모터 효율 상승에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. FCU의 모터 효율 상승시 FCU의 전력 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 건물별 저감률은 다음<표 2.103>과 같다.

<표 2.103> FCU 모터 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)	대상()	안 ()
전기사용량(kWh)	7,590,862	7,590,368	3,667,879	3,667,877	7,177,525	7,176,944
가스사용량(kWh)	312,314	312,314	423,309	423,295	1,817,833	1,817,295
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	7,902,682	4,091,188	4,090,841	8,995,358	8,994,239
저감률(%)		0.01		0.01		0.01



[그림 2.97] 팬코일 유닛(FCU) 모터 효율 상승

㈑ 에어 핸들링 유닛(AHU) 모터 효율 상승

AHU의 모터 효율 상승에 따른 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. AHU의 모터 효율 상승시 AHU의 전력 에너지 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 건물별 저감률은 다음<표 2.104>과 같다.

<표 2.104> AHU 모터 효율 상승에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상	안(+10%)	대상	안(+10%)	대상()	안 ()
전기사용량(kWh)	7,590,862	7,587,851	3,667,879	3,652,831	7,177,525	7,166,879
가스사용량(kWh)	312,314	312,253	423,309	423,300	1,817,833	1,817,010
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	7,900,104	4,091,188	4,076,131	8,995,358	8,983,889
저감률(%)		0.04		0.368		0.13



[그림 2.98] 에어 핸들링 유닛(AHU) 모터 효율 상승

(다) 공조 설비의 요소별 에너지 저감률

① 판매시설

㉮ VAV 공조 방식의 적용

○ 변풍량 공조 시스템(V.A.V)을 적용해 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 변풍량 공조 시스템을 적용 시 각 존 별로 개별 풍량이 들어가기 때문에 전력 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음<표 2.105>와 같다.

<표 2.105> VAV 공조 방식의 적용에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상(CAV)	안(VAV)	대상()	안 ()	대상(CAV)	안(VAV)
전기사용량(kWh)	9,722,974	9,371,125	7,903,943	7,076,488	7,633,643	7,228,699
가스사용량(kWh)	806,318	707,975	615,948	902,795	579,966	600,321
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	10,079,100	8,519,891	7,979,283	8,213,609	7,829,020
저감률(%)		4.3		6.35		4.8



[그림 2.99] VAV 공조 방식의 적용

㉯ 폐열회수 시스템의 적용

폐열회수 시스템을 적용해 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 폐열회수 시스템을 적용시 폐열을 회수하여 난방을 다시 실시하기 때문에 난방시 가스 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음<표 2.106>과 같다.

<표 2.106> 폐열회수 시스템에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상(없음)	폐열회수	대상(없음)	폐열회수	대상(없음)	폐열회수
전기사용량(kWh)	9,722,974	9,791,234	7,903,943	7,887,627	7,633,643	7,656,247
가스사용량(kWh)	806,318	230,626	615,948	211,804	579,966	301,587
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	10,021,860	8,519,891	8,099,431	8,213,609	7,957,834
저감률(%)		4.8		4.94		3.11



[그림 2.100] 폐열회수 시스템의 적용

㉰ 예냉 설비의 적용

○ 예냉 설비의 적용을 통해 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 예냉 설비 적용시 냉방시 전기 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 점포별 저감률은 <표 2.107>과 같다.

<표 2.107> 예냉 설비의 적용에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상(없음)	예냉 적용	대상()	안 ()	대상(없음)	예냉 적용
전기사용량(kWh)	9,722,974	8,540,536	7,903,943	7,360,058	7,633,643	7,001,237
가스사용량(kWh)	806,318	805,935	615,948	586,193	579,966	577,248
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	9,346,471	8,519,891	7,946,251	8,213,609	7,458,485
저감률(%)		11.23		6.73		9.2



[그림 2.101] 예냉 설비의 적용

㉱ 예열 설비의 적용

○ 예열 설비의 적용을 통해 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 예열 설비 적용시 난방가스 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음<표 2.108>과 같다.

<표 2.108> 예열 설비의 적용에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상(없음)	예열 적용	대상(없음)	예열 적용	대상(없음)	예열 적용
전기사용량(kWh)	9,722,974	9,722,060	7,903,943	7,897,687	7,633,643	7,633,643
가스사용량(kWh)	806,318	491,686	615,948	569,259	579,966	423,247
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	10,213,746	8,519,891	8,466,946	8,213,609	8,056,890
저감률(%)		3.00		0.62		1.91



[그림 2.102] 예열 설비의 적용

② 상업용 건물

㉮ VAV 공조 방식의 적용

○ 변풍량 공조 시스템(V.A.V)을 적용해 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 변풍량 공조 시스템을 적용시 각 존 별로 개별 풍량이 들어가기 때문에 전력 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 건물별 저감률은 <표 2.109>와 같다.

<표 2.109> VAV 공조 방식의 적용에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상(CAV)	안 (VAV)	대상(CAV)	안 (VAV)	대상(CAV)	안 (VAV)
전기사용량(kWh)	7,590,862	5,834,427	3,667,879	3,070,400	7,177,525	6,388,644
가스사용량(kWh)	312,314	1,704,736	423,309	580,282	1,817,833	2,114,318
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	7,539,163	4,091,188	3,650,682	8,995,358	8,502,962
저감률(%)		4.606		10.77		5.47



[그림 2.103] VAV 공조 방식의 적용

㉯ 폐열회수 시스템의 적용

○ 폐열회수 시스템을 적용해 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 폐열회수 시스템을 적용시 폐열을 회수하여 난방을 다시 실시하기 때문에 난방시 가스 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 건물별 저감률은 다음<표 2.110>과 같다.

<표 2.110> 폐열회수 시스템에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상(없음)	폐열회수	대상(없음)	폐열회수	대상()	안 ()
전기사용량(kWh)	7,590,862	7,557,694	3,667,879	3,706,021	7,177,525	7,195,475
가스사용량(kWh)	312,314	311,290	423,309	243,901	1,817,833	1,522,314
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	7,868,984	4,091,188	3,949,922	8,995,358	8,717,789
저감률(%)		0.433		3.4		3.09



[그림 2.104] 폐열회수 시스템의 적용

㉰ 예냉 설비의 적용

○ 예냉 설비의 적용을 통해 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 예냉 설비 적용시 냉방전기 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 건물별 저감률은 다음<표 2.111>와 같다.

<표 2.111> 예냉 설비의 적용에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상(없음)	예냉 적용	대상(없음)	예냉 적용	대상(없음)	예냉 적용
전기사용량(kWh)	7,590,862	6,423,446	3,667,879	3,098,107	7,177,525	6,041,357
가스사용량(kWh)	312,314	312,314	423,309	422,897	1,817,833	1,817,833
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	6,735,760	4,091,188	3,521,004	8,995,358	7,859,190
저감률(%)		14.14		13.94		12.63



[그림 2.105] 예냉 설비의 적용

㉱ 예열 설비의 적용

○ 예열 설비의 적용을 통해 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 예열 설비 적용시 난방가스 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 각 건물별 저감률은 다음<표 2.112>와 같다.

<표 2.112> 예열 설비의 적용에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상(없음)	예열 적용	대상(없음)	예열 적용	대상(없음)	예열 적용
전기사용량(kWh)	7,590,862	7,712,991	3,667,879	3,667,879	7,177,525	7,177,525
가스사용량(kWh)	312,314	121,898	423,309	232,893	1,817,833	1,336,479
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	7,834,889	4,091,188	3,900,772	8,995,358	8,514,004
저감률(%)		0.86		4.65		5.35



[그림 2.106] 예열 설비의 적용

(라) 조명 설비의 요소별 에너지 저감률

① 판매시설

㉮ 고효율 LED 사용

○ 고효율 조명의 적용을 통해 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 고효율 조명 적용시 조명교체로 인한 조명 에너지 사용량을 저감할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음 <표 2.113>와 같다.

<표 2.113> 고효율 LED 사용에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상(일반)	고효율 LED	대상()	안 ()	대상(일반)	고효율 LED
전기사용량(kWh)	9,722,974	8,738,384	7,903,943	6,291,042	7,633,643	6,641,293
가스사용량(kWh)	806,318	835,679	615,948	1,430,558	579,966	597,411
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	9,574,063	8,519,891	7,721,600	8,213,609	7,238,704
저감률(%)		9.07		5.99		11.87



[그림 2.107] 고효율 LED 사용

㉯ 고효율 LED + 조명 발열 배기설비 활용

○ 고효율 LED + 조명 발열 배기 설비의 적용을 통해 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 고효율 LED + 조명 발열 배기 설비 설치 시 LED조명의 발열 제어로 인한 냉방에너지 사용량을 저감할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음<표 2.114>과 같다.

<표 2.114> 고효율 조명 설비의 적용에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상(일반)	LED+ 발열제어	대상(일반)	LED+ 발열제어	대상(일반)	LED+ 발열제어
전기사용량(kWh)	9,722,974	8,736,168	7,903,943	6,289,140	7,633,643	6,631,252
가스사용량(kWh)	806,318	834,907	615,948	1,430,558	579,966	578,264
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	9,571,075	8,519,891	7,719,698	8,213,609	7,209,516
저감률(%)		9.10		6.01		12.22



[그림 2.108] 고효율 LED + 조명 발열 배기설비 활용

② 상업용 건물

㉮ 고효율 LED 사용

고효율 조명의 적용을 통해 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 고효율 조명 적용 시 조명교체로 인한 조명 에너지 사용량을 저감할 수 있었으며 각 건물별 저감률은 다음<표 2.115>과 같다.

<표 2.115> 고효율 LED 사용에 따른 에너지 저감량 및 저감률 표

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상(일반)	고효율 LED	대상(일반)	고효율 LED	대상(일반)	고효율 LED
전기사용량(kWh)	7,590,862	6,722,441	3,667,879	3,158,603	7,177,525	6,023,292
가스사용량(kWh)	312,314	369,369	423,309	560,461	1,817,833	2,066,111
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	7,091,810	4,091,188	3,719,064	8,995,358	8,089,403
저감률(%)		10.27		9.10		10.07



[그림 2.109] 고효율 LED 사용

㉯ 고효율 LED + 조명 발열 배기설비 활용

○ 고효율 LED + 조명 발열 배기 설비의 적용을 통해 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 고효율 LED + 조명 발열 배기 설비 설치 시 LED조명의 발열 제어로 인한 냉방에너지 사용량을 저감할 수 있으며 각 건물별 저감률은 다음<표 2.116>과 같다.

<표 2.116> 고효율 조명 설비의 적용에 따른 에너지 저감량 및 저감률 표

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상(일반)	LED+ 발열제어	대상(일반)	LED+ 발열제어	대상(일반)	LED+ 발열제어
전기사용량(kWh)	7,590,862	5,873,950	3,667,879	2,994,297	7,177,525	6,033,530
가스사용량(kWh)	312,314	405,408	423,309	609,127	1,817,833	2,056,271
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	6,279,358	4,091,188	3,603,424	8,995,358	8,089,801
저감률(%)		20.55		9.48		10.07



[그림 2.110] 고효율 LED + 조명 발열 배기설비 활용

(마) 설비 시스템별 에너지 저감률

① 판매시설

㉮ AHU+FCU 성능개선

○ 공조 설비 시스템 성능 개선을 통한 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 공조 설비 성능 개선시 반송 에너지 감소로 인해 에너지 사용량을 저감할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음<표 2.117>와 같다.

<표 2.117> AHU+FCU 개선에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상(일반)	설비 개선	대상(일반)	설비 개선	대상(일반)	설비 개선
전기사용량(kWh)	9,722,974	9,595,453	7,903,943	7,884,317	7,633,643	6,842,406
가스사용량(kWh)	806,318	820,939	615,948	522,955	579,966	892,035
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	10,416,392	8,519,891	8,407,272	8,213,609	7,734,441
저감률(%)		1.07		1.32		5.83



[그림 2.111] AHU+FCU 성능개선

㉯ 냉동기+보일러 성능개선

○ 냉난방 열원설비 성능 개선을 통한 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 냉동기와 보일러의 성능 개선시 효율 증가로 인한 에너지 사용량을 저감할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음<표 2.118>와 같다.

<표 2.118> 냉동기+보일러 개선에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상(일반)	설비 개선	대상(일반)	설비 개선	대상(일반)	설비 개선
전기사용량(kWh)	9,722,974	9,571,886	7,903,943	7,799,641	7,633,643	6,905,385
가스사용량(kWh)	806,318	699,828	615,948	412,000	579,966	648,524
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	10,271,724	8,519,891	8,211,641	8,213,609	7,553,909
저감률(%)		2.45		3.61		8.03



[그림 2.112] 냉동기+보일러 성능개선

㉰ 냉동기+냉각탑 성능개선

○ 냉방 열원설비 성능 개선을 통한 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 냉동기와 냉각탑의 성능 개선시 냉방 효율 증가로 인한 냉방 에너지 사용량을 저감할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음<표 2.119>와 같다.

<표 2.119> 냉동기+냉각탑 개선에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	판매시설 A		판매시설 B		판매시설 C	
	대상(일반)	설비 개선	대상(일반)	설비 개선	대상(일반)	설비 개선
전기사용량(kWh)	9,722,974	9,563,854	7,903,943	7,420,597	7,633,643	6,905,385
가스사용량(kWh)	806,318	806,318	615,948	615,948	579,966	864,698
총 에너지사용량(kWh)	10,529,292	10,370,172	8,519,891	8,036,545	8,213,609	7,770,083
저감률(%)		1.51		5.67		5.40



[그림 2.113] 냉동기+냉각탑 성능개선

② 상업용 건물

㉮ AHU+FCU 성능개선

○ 공조 설비 시스템 성능 개선을 통한 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 공조 설비 성능 개선시 반송 에너지 감소로 인해 에너지 사용량을 저감할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음<표 2.120>와 같다.

<표 2.120> AHU+FCU 개선에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상(일반)	설비 개선	대상(일반)	설비 개선	대상(일반)	설비 개선
전기사용량(kWh)	7,590,862	6,604,458	3,667,879	3,464,916	7,177,525	6,443,842
가스사용량(kWh)	312,314	313,632	423,309	428,652	1,817,833	1,830,915
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	6,918,090	4,091,188	3,893,568	8,995,358	8,274,757
저감률(%)		12.46		4.83		



[그림 2.114] AHU+FCU 성능개선

㉯ 냉동기+보일러 성능개선

○ 냉난방 열원설비 성능 개선을 통한 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 냉동기와 보일러의 성능 개선시 효율 증가로 인한 에너지 사용량을 저감할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음<표 2.121>와 같다.

<표 2.121> 냉동기+보일러 개선에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상(일반)	설비 개선	대상(일반)	설비 개선	대상(일반)	설비 개선
전기사용량(kWh)	7,590,862	7,209,212	3,667,879	3,491,945	7,177,525	6,716,101
가스사용량(kWh)	312,314	280,472	423,309	403,443	1,817,833	1,830,915
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	7,489,684	4,091,188	3,895,388	8,995,358	8,547,016
저감률(%)		5.23		4.79		4.98



[그림 2.115] 냉동기+보일러 성능개선

㉰ 냉동기+냉각탑 성능개선

○ 냉방 열원설비 성능 개선을 통한 건물 전체의 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 냉동기와 냉각탑의 성능 개선시 냉방 효율 증가로 인한 냉방 에너지 사용량을 저감할 수 있으며 각 점포별 저감률은 다음<표 2.122>와 같다.

<표 2.122> 냉동기+냉각탑 개선에 따른 에너지 저감량 및 저감률

	오피스 A		오피스 B		오피스 C	
	대상(일반)	설비 개선	대상(일반)	설비 개선	대상(일반)	설비 개선
전기사용량(kWh)	7,590,862	6,966,208	3,667,879	3,503,716	7,177,525	7,041,502
가스사용량(kWh)	312,314	299,894	423,309	423,298	1,817,833	1,817,851
총 에너지사용량(kWh)	7,903,176	7,489,684	4,091,188	3,927,014	8,995,358	8,859,353
저감률(%)		5.23		4.01		1.51

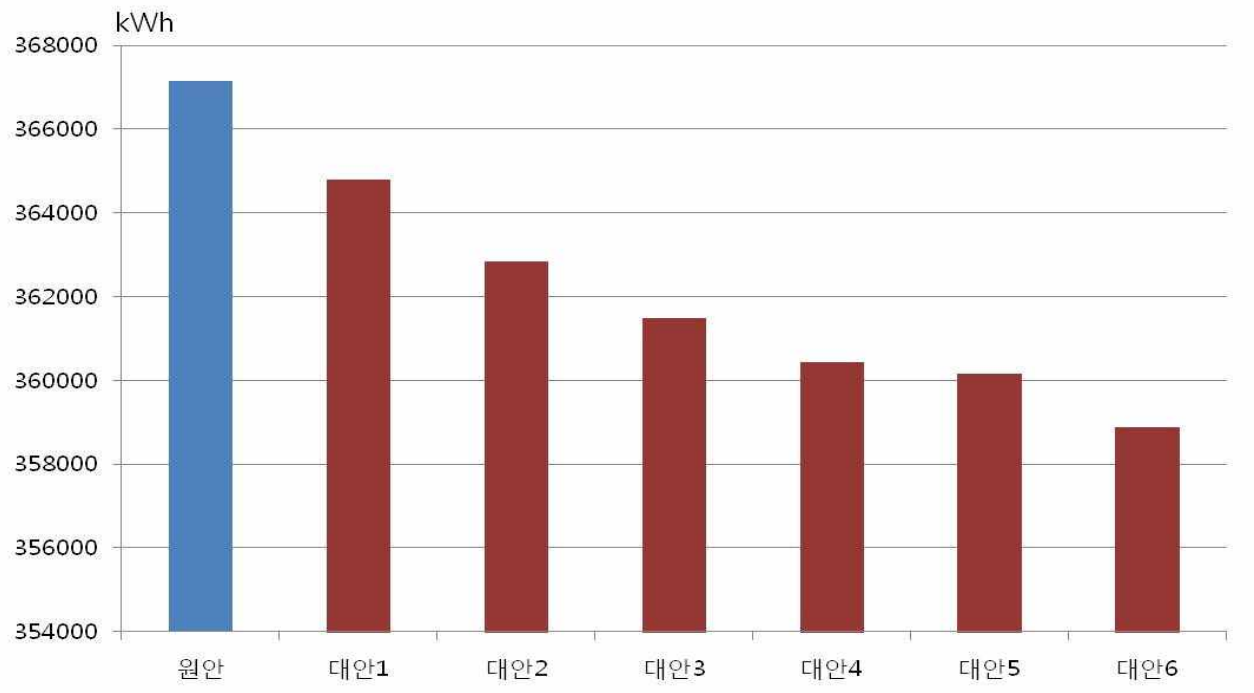


[그림 2.116] 냉동기+냉각탑 성능개선

(바) 공동주택의 요소별 에너지 저감률

① 측벽의 단열 성능 개선 시뮬레이션 결과

○ 대상 건물의 측벽 부분의 단열 성능을 단열재의 두께를 조절하여 시뮬레이션 하였다. 대상 건물의 측벽의 단열 성능은 0.270W/㎡K이며, 측벽의 기본 단열재의 두께에서 10mm씩 두께를 증가 시켰을 때 난방부하를 비교하였다.



[그림 2.117] 측벽 성능 개선 시뮬레이션 결과 값

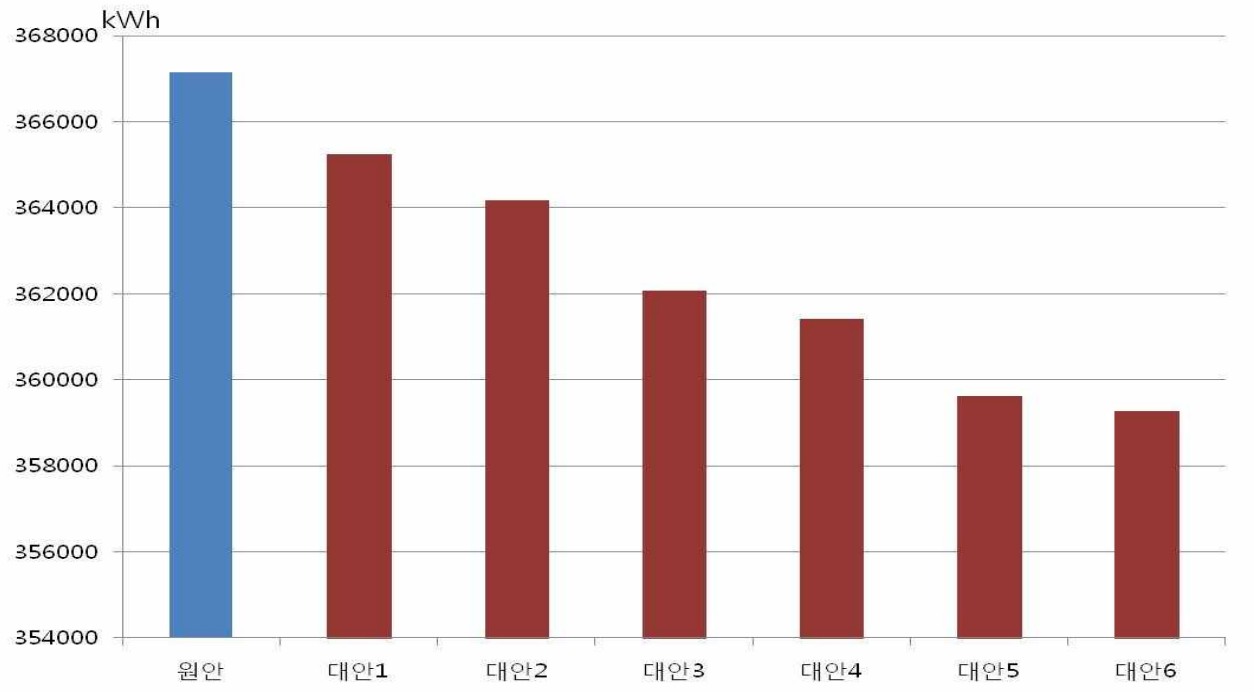
<표 2.123> 측벽 성능 개선 시뮬레이션 결과 값 절감율

구분	시뮬레이션 결과 값 (kWh)	대상 건물 대비 절감율 (%)
원안	367157.92	-
대안 1	364798.69	0.64
대안 2	362842.98	1.18
대안 3	361481.63	1.55
대안 4	360424.81	1.83
대안 5	360148.71	1.91
대안 6	358887.84	2.25

○ 측벽 리모델링시 측벽의 단열재를 추가 하였을 경우, 단열재의 두께가 두꺼워 질수록 난방부하는 절감되는 것으로 나타났다. 대상건축물의 단열재 두께를 10mm씩 추가 시켰으며, 대안6의 추가된 단열재의 두께가 60mm일 때 난방부하는 대상 건축물 대비 2.25%로 가장 많이 절감되는 것으로 나타났다.

② 외벽의 단열 성능 개선 시뮬레이션 결과

○ 대상 건물의 외벽 부분의 단열 성능을 단열재의 두께를 조절하여 시뮬레이션 하였다. 대상 건물의 외벽의 단열 성능은 0.231W/㎡K이며, 외벽의 기본 단열재의 두께에서 10mm씩 두께를 증가 시켰을 때 난방부하를 비교하였다.



[그림 2.118] 외벽 성능 개선 시뮬레이션 결과

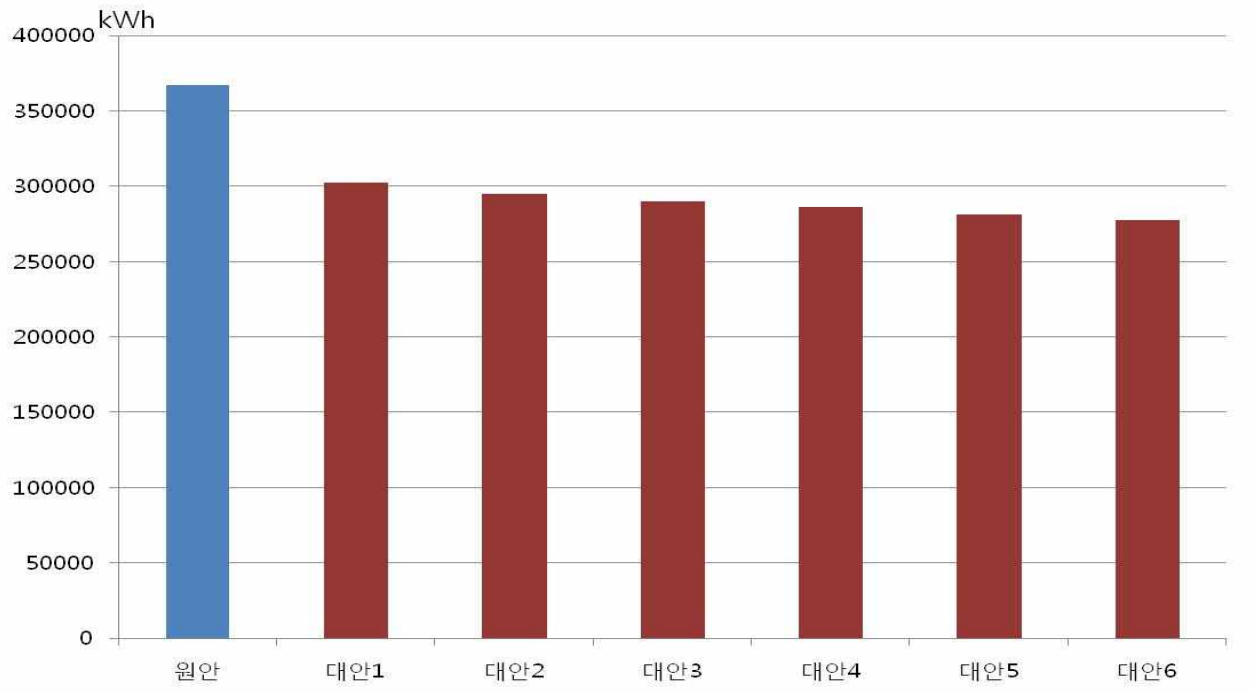
<표 2.124> 외벽 성능 개선 시뮬레이션 결과 값 절감율

구분	시뮬레이션 결과 값 (kWh)	대상 건물 대비 절감율 (%)
원안	367157.92	-
대안 1	365254.28	0.52
대안 2	364172.43	0.81
대안 3	362074.69	1.38
대안 4	361423.12	1.56
대안 5	359631.01	2.05
대안 6	359276.74	2.15

○ 외벽 리모델링시 외벽의 단열재를 추가 하였을 경우, 단열재의 두께가 두꺼워 질수록 난방부하는 절감되는 것으로 나타났다. 대상건축물의 단열재 두께를 10mm씩 추가 시켰으며, 대안6의 추가된 단열재의 두께가 60mm일 때 난방부하는 대상 건축물 대비 2.15%로 가장 많이 절감되는 것으로 나타났다.

③ 창호의 단열 성능 개선 시뮬레이션 결과

○ 대상 건물의 창호 부분의 단열 성능을 이건창호 제품의 창호를 사용하여 향상 시켜 시뮬레이션 하였다. 대상 건물의 창호의 단열 성능은 2.665W/㎡K이며, 대안1부터 대안 6까지 순차적으로 단열 성능을 향상시켰을 때 난방부하를 비교하였다.



[그림 2.119] 창호 성능 개선 시뮬레이션 결과 값

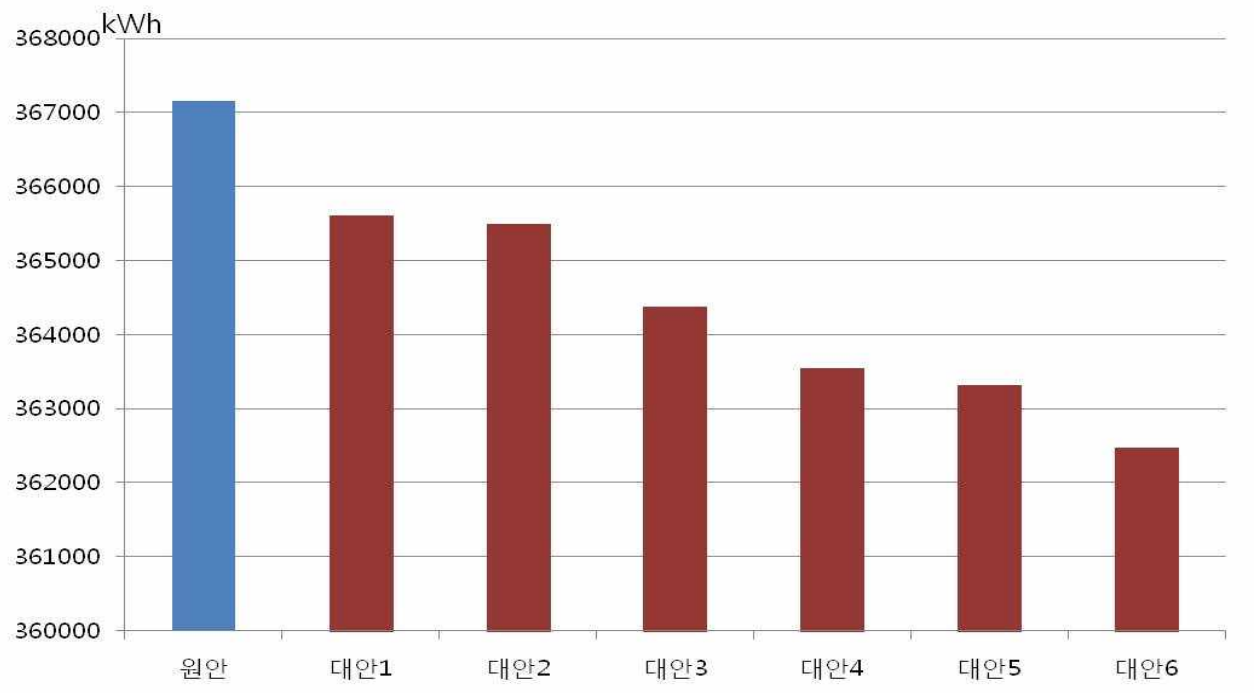
<표 2.125> 창호 성능 개선 시뮬레이션 결과 값 절감율

구분	시뮬레이션 결과 값 (kWh)	대상 건물 대비 절감율 (%)
원안	367157.92	-
대안 1	302725.37	17.55
대안 2	294994.42	19.65
대안 3	289699.11	21.10
대안 4	286111.86	22.07
대안 5	281557.04	23.31
대안 6	277710.97	24.36

○ 창호 리모델링시 창호의 종류를 다르게 하여 단열 성능을 향상시켰으며, 창호의 단열 성능이 향상 될수록 난방부하는 절감되는 것으로 나타났다. 대상건축물의 창호의 열관류율을 2.665W/㎡K이었으며 대안 6의 열관류율을 0.738W/㎡K로 개선 시켰을 때 난방부하는 대상 건축물 대비 24.36%로 가장 많이 절감되는 것으로 나타났다.

④ 최하층 바닥의 단열 성능 개선 시뮬레이션 결과

○ 대상 건물의 최하층 바닥 부분의 단열 성능을 단열재의 두께를 조절하여 시뮬레이션 하였다. 대상건물의 최하층 바닥의 단열 성능은 0.336W/㎡K이며, 최하층 바닥의 기본 단열재의 두께에서 10mm씩 두께를 증가 시켰을 때 난방부하를 비교하였다.



[그림 2.120] 최하층 바닥 성능 개선 시뮬레이션 결과 값

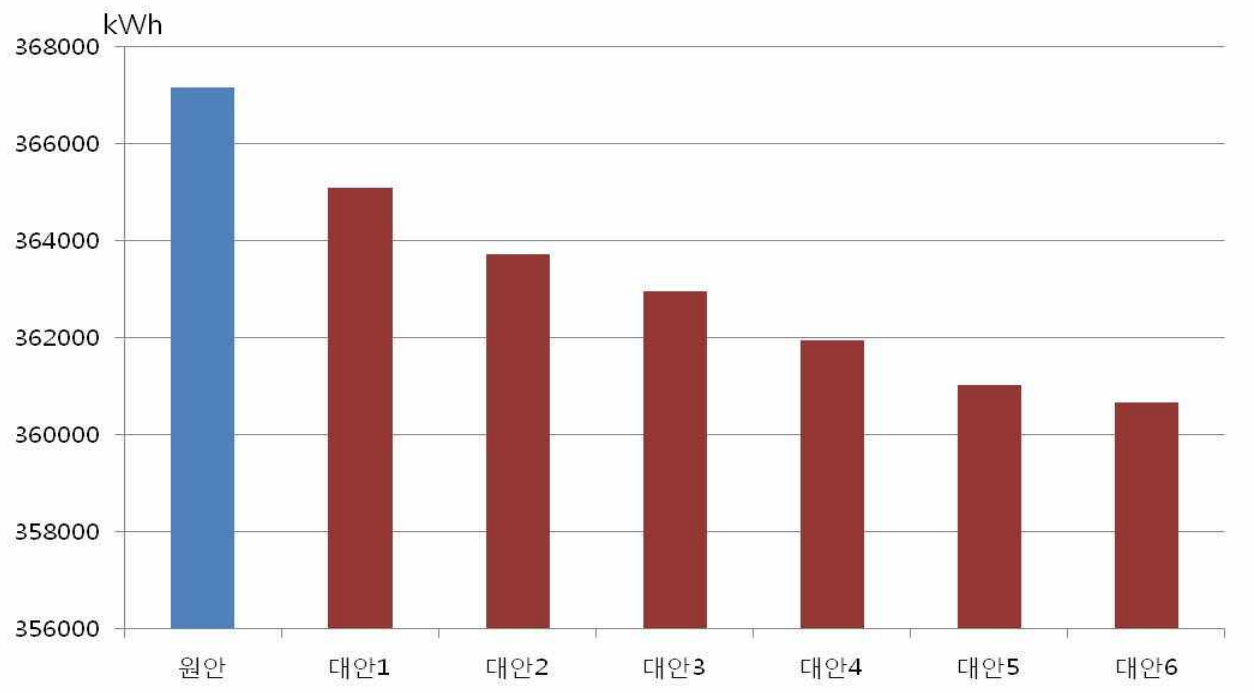
<표 2.126> 최하층 바닥 성능 개선 시뮬레이션 결과 값 절감율

구분	시뮬레이션 결과 값 (kWh)	대상 건물 대비 절감율 (%)
원안	367157.92	-
대안 1	365612.97	0.42
대안 2	365501.57	0.45
대안 3	364371.97	0.76
대안 4	363545.54	0.98
대안 5	363311.59	1.05
대안 6	362475.79	1.28

○ 최하층 바닥 리모델링시 최하층 바닥의 단열재를 추가 하였을 경우, 단열재의 두께가 두꺼워 질수록 난방부하는 절감되는 것으로 나타났다. 대상건축물의 단열재 두께를 10mm씩 추가 시켰으며, 대안6의 추가된 단열재의 두께가 60mm일 때 난방부하는 대상 건축물 대비 1.28%로 가장 많이 절감되는 것으로 나타났다.

⑤ 지붕의 단열 성능 개선 시뮬레이션 결과

○ 대상 건물의 지붕 부분의 단열 성능을 단열재의 두께를 조절하여 시뮬레이션 하였다. 대상 건물의 지붕의 단열 성능은 0.256W/㎡K이며, 지붕의 기본 단열재의 두께에서 10mm씩 두께를 증가 시켰을 때 난방부하를 비교하였다.



[그림 2.121] 지붕 성능 개선 시뮬레이션 결과 값

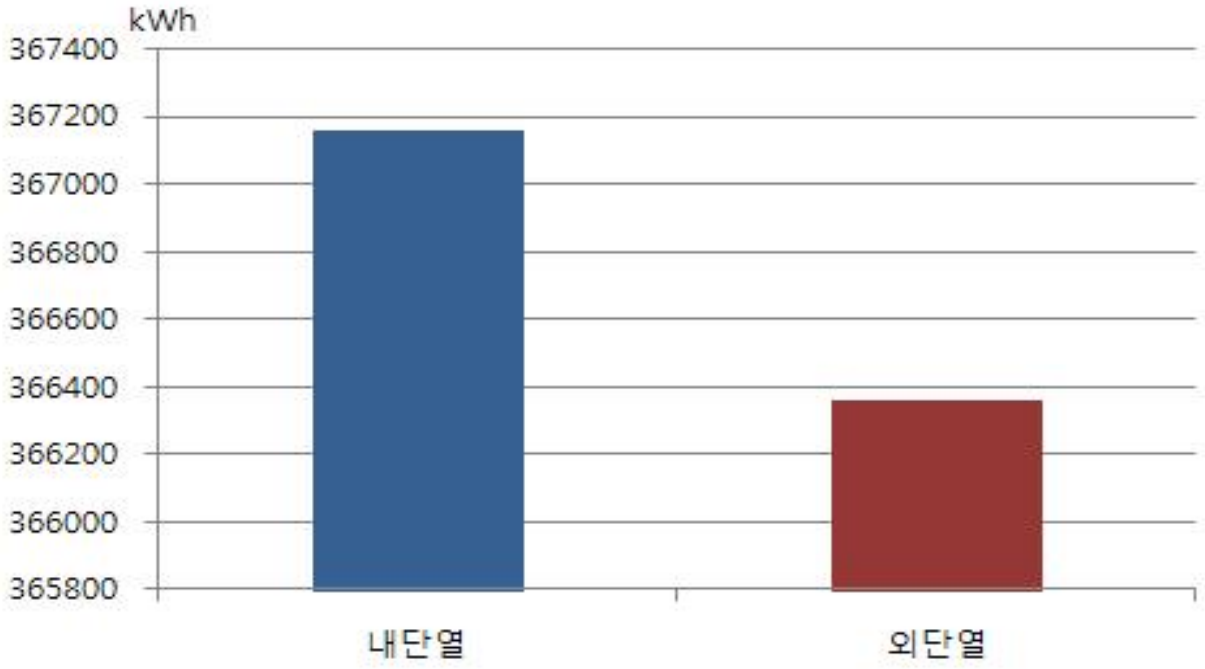
<표 2.127> 지붕 성능 개선 시뮬레이션 결과 값 절감율

구분	시뮬레이션 결과 값 (kWh)	대상 건물 대비 절감율 (%)
원안	367157.92	-
대안 1	365105.62	0.56
대안 2	363735.26	0.93
대안 3	362960.37	1.14
대안 4	361947.23	1.42
대안 5	361034.82	1.67
대안 6	360663.97	1.77

○ 지붕 리모델링시 지붕의 단열재를 추가 하였을 경우, 단열재의 두께가 두꺼워 질수록 난방부하는 절감되는 것으로 나타났다. 대상건축물의 단열재 두께를 10mm씩 추가 시켰으며, 대안6의 추가된 단열재의 두께가 60mm일 때 난방부하는 대상 건축물 대비 1.77%로 가장 많이 절감되는 것으로 나타났다.

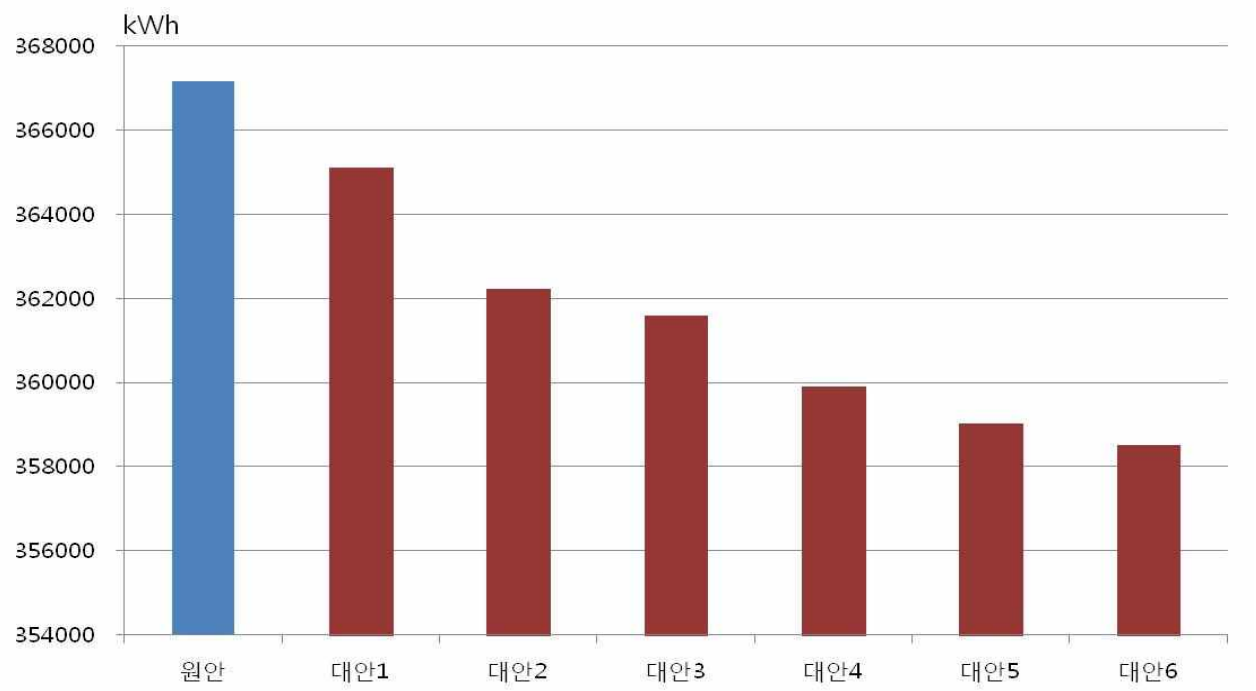
⑥ 외단열 시스템의 단열 성능 개선 시뮬레이션 결과

○ 대상 건물의 측벽 부분의 단열 방식을 내단열에서 외단열로 교체하여 시뮬레이션 하였다. 대상건물은 기본적으로 내단열로 시공 되었으며 난방부하는 367,157.88kWh 이며, 외단열로 시공 되었을 경우에 난방부하는 366356.37kWh로 총 0.22% 절감되는 걸로 나타났다.



[그림 2.122] 내단열, 외단열 난방부하 비교 그래프

○ 대상 건물의 외단열 시스템의 단열 성능을 단열재의 두께를 조절하여 시뮬레이션 하였다. 대상건물의 측벽의 외단열 단열 성능은 0.270 W/㎡K이며, 기본 단열재의 두께에서 10mm씩 두께를 증가 시켰을 때 난방부하를 비교하였다.



[그림 2.123] 외단열 성능 개선 시뮬레이션 결과 값

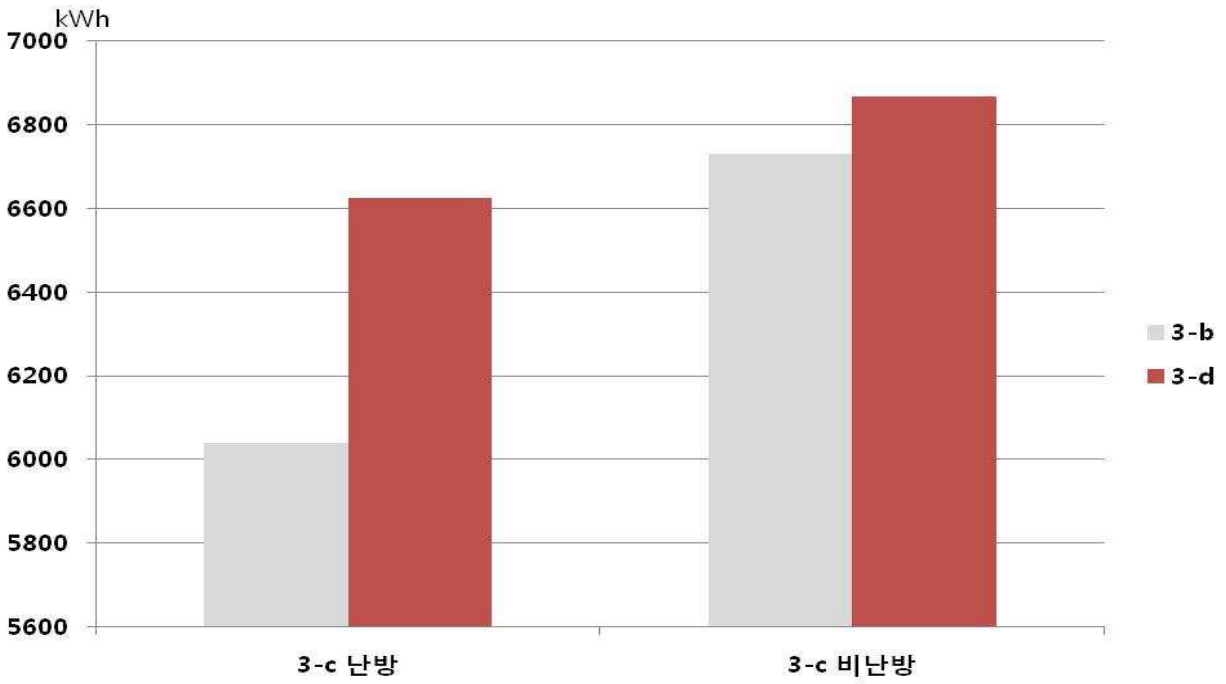
<표 2.128> 외단열 성능 개선 시뮬레이션 결과 값 절감율

구분	시뮬레이션 결과 값 (kWh)	대상 건물 대비 절감율 (%)
원안	367157.92	-
대안 1	365121.52	0.55
대안 2	362228.01	1.34
대안 3	361590.01	1.52
대안 4	359905.78	1.98
대안 5	359022.55	2.22
대안 6	358512.50	2.35

○ 측벽 리모델링 시 외단열 시공으로 단열재를 추가 하였을 경우, 단열재의 두께가 두꺼워 질수록 난방부하는 절감되는 것으로 나타났다. 대상건물의 측벽에 외단열 시공 방법으로 단열재의 두께를 10mm씩 추가 시켰으며, 대안6의 추가된 외단열 단열재의 두께가 60mm일 때 난방부하는 대상 건물 대비 2.35% 절감되는 것으로 나타났다.

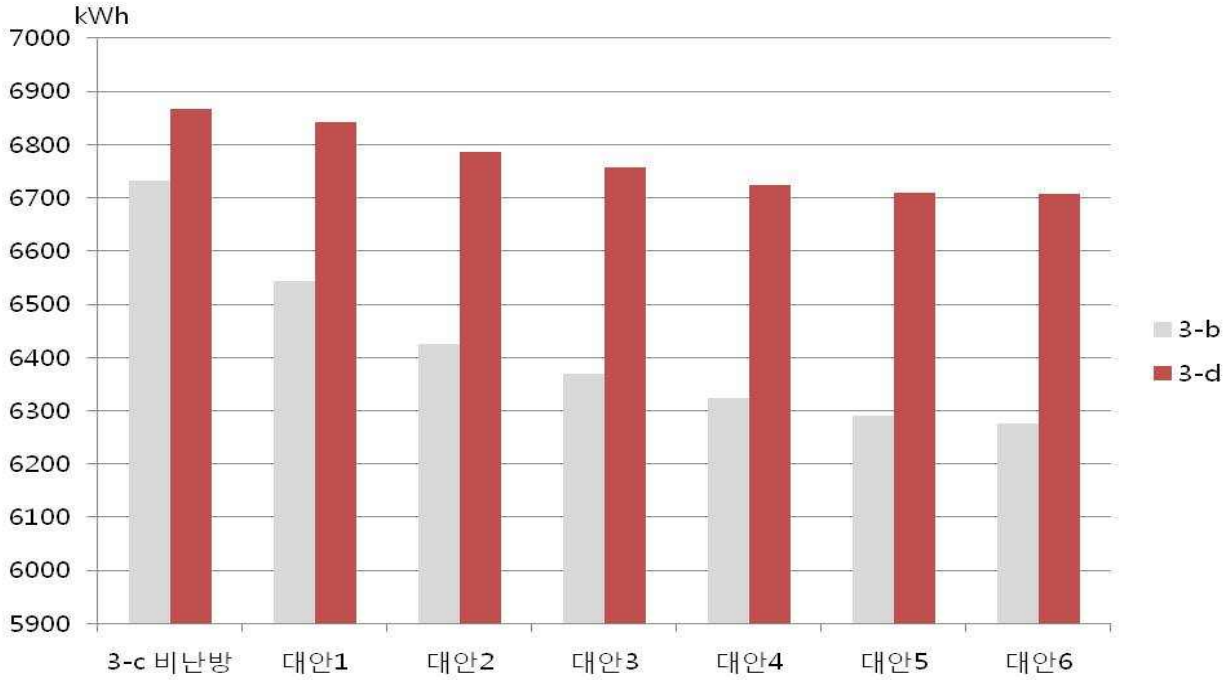
⑦ 비난방 세대에 인접한 세대의 단열 성능 개선 시뮬레이션 결과

○ [그림 2.124]는 3-c 세대에서 난방 했을 경우와 난방을 하지 않았을 경우, 수평 인접 세대인 3-b, 3-d 세대의 난방부하를 비교한 그래프이다. 3-c 세대에서 난방을 하지 않았을 경우 3-b 세대는 난방부하가 691.57kWh 늘어났으며, 3-d 세대는 난방부하가 243.75kWh 늘어났다. 이는 3-c 세대에서 난방을 했을 경우의 11.45%, 3.68%에 해당하는 수치이다.



[그림 2.124] 3-c 세대 난방/비난방 시 수평 인접세대 난방부하

○ 3-c 세대에서 난방을 하지 않았을 경우 세대간 내벽의 단열재를 추가 하여 3-b, 3-d 세대의 난방부하 결과 값은 [그림 2.125], <표 2.129>와 같다.



[그림 2.125] 비난방 세대에 접한 난방세대의 세대간 내벽 성능 개선 시뮬레이션 그래프

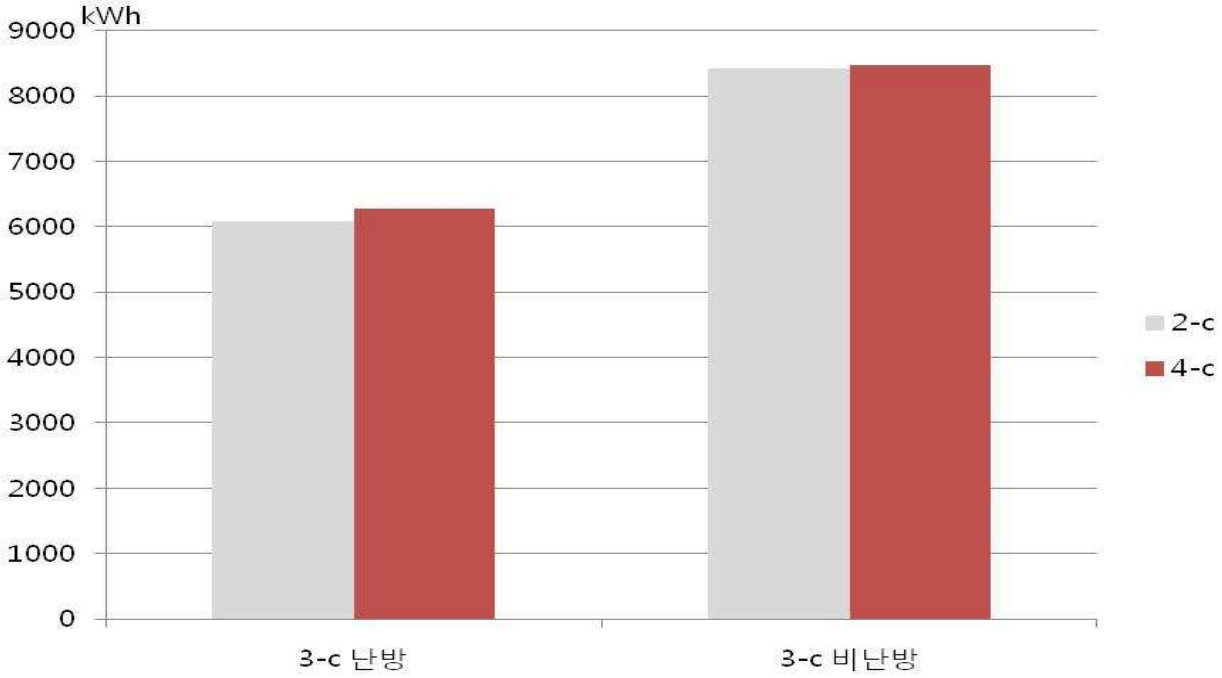
<표 2.129> 비난방 세대에 접한 난방세대의 세대간 내벽 성능 개선 시뮬레이션결과 값 절감율

구분	3-b		3-d	
	난방부하 (kWh)	절감율 (%)	난방부하 (kWh)	절감율 (%)
3-c 난방	6040.10	-	6623.79	-
3-c 비난방	6731.67	-	6867.54	-
대안1	6542.80	2.81	6842.64	0.36
대안2	6425.63	4.55	6787.06	1.17
대안3	6369.74	5.38	6756.87	1.61
대안4	6324.56	6.05	6723.64	2.10
대안5	6291.59	6.54	6709.45	2.30
대안6	6276.25	6.77	6707.51	2.33

○ 비난방 세대 발생시 인접 세대에서는 난방부하가 증가하게 되며, 세대간 내벽 리모델링시 지붕의 단열재를 추가 하였을 경우, 단열재의 두께가 두꺼워 질수록 인접세대의 난방부하는 절감되는 것으로 나타났다.

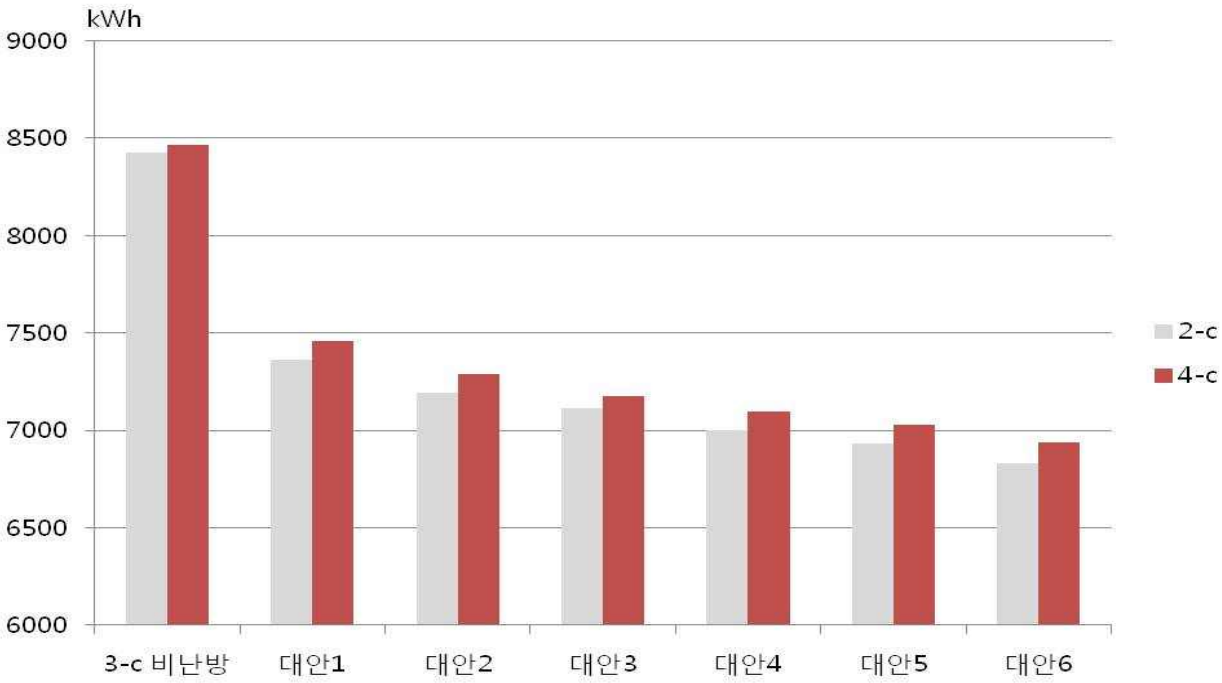
○ [그림 2.126]는 3-c 세대에서 난방 했을 경우와 난방을 하지 않았을 경우, 수직 인접 세대인 2-c, 4-c 세대의 난방부하를 비교한 그래프이다. 3-c 세대에서 난방을 하지 않았을 경우 2-c 세대는 난방부하가 2336.05kWh 늘어났으며, 4-c 세대는 난방부하가 2183.37kWh 늘어

났다. 이는 3-c 세대에서 난방을 했을 경우의 38.36%, 34.75%에 해당하는 수치이다.



[그림 2.126] 3-c 세대 난방/비난방 시 수직 인접세대 난방부하

○ 3-c 세대에서 난방을 하지 않았을 경우 세대간 바닥의 단열재를 추가 하여 2-c, 4-c 세대의 난방부하 결과 값은 [그림 2.127], <표 2.130>와 같다.



[그림 2.127] 비난방 세대에 접한 난방세대의 세대간 바닥 성능 개선 시뮬레이션 그래프

<표 2.130> 비난방 세대에 접한 난방세대의 세대간 바닥 성능 개선 시뮬레이션결과 값 절감율

구분	2-c		4-c	
	난방부하 (kWh)	절감율 (%)	난방부하 (kWh)	절감율 (%)
3-c 난방	6090.07	-	6282.70	-
3-c 비난방	8426.12	-	8466.07	-
대안1	7361.55	12.63	7458.59	11.90
대안2	7191.71	14.65	7288.55	13.91
대안3	7113.97	15.57	7174.18	15.26
대안4	6999.04	16.94	7095.98	16.18
대안5	6935.13	17.69	7030.31	16.96
대안6	6828.59	18.96	6939.84	18.03

(사) 기존 건물 에너지 저감률 분석 결과

① 판매시설의 에너지 저감률 분석 결과

○ 세 곳의 판매 시설을 대상으로 설비 기기의 성능 향상에 대한 에너지 저감률을 분석을 통한 에너지 저감률 결과는 다음과 같다. <표 2.131>참조

<표 2.131> 판매 시설의 에너지 저감 요소 분석 결과

구분	판매시설 A	판매시설 B	판매시설 C
	저감률 (%)	저감률 (%)	저감률 (%)
냉동기 COP향상	2.46	1.08	1.70
보일러 출구수온 상승	0.001	0.02	0.001
보일러 효율 상승	1.4	0.78	1.05
냉동기 출구수온 상승	0.08	0.06	0.49
온수 배관 온도 하강	1.13	1.16	0.44
FCU 팬 효율 상승	0.08	7.2	0.05
냉동기 펌프효율	0.1	0.035	0.15
냉각탑 펌프효율	0.1	0.35	0.098
AHU 팬 효율 상승	1.25	1.32	1.55
FCU 모터 효율 상승	2.77	3.62	0.02
AHU 모터 효율 상승	0.12	3.64	0.05
VAV공조 방식 사용	4.3	6.35	4.8
폐열회수 시스템 적용	4.8	4.94	3.11
예냉 설비의 적용	11.23	6.73	9.2
예열 설비의 적용	3.0	0.62	1.91
고효율 LED의 적용	9.07	5.9	11.87
LED + 조명 발열배기	9.10	6.01	12.22

○ 본 연구의 분석 결과를 통하여 판매시설에서 공통적으로 높은 에너지 저감률을 보이는 항목들을 <표 2.132>과 같이 도출하였다.

<표 2.132> 판매 시설의 에너지 저감 요소들의 분석 결과

구분	판매시설 A	판매시설 B	판매시설 C
	저감률 (%)	저감률 (%)	저감률 (%)
예냉 설비의 적용	11.23	6.73	9.2
고효율 LED의 적용	9.07	5.9	11.87
LED + 조명 발열배기	9.10	6.01	12.22
VAV 공조 방식 사용	4.3	6.35	4.8
폐열회수 시스템 적용	4.8	4.94	3.11
냉동기 COP 향상	2.46	1.08	1.70

○ 판매 시설은 '고효율 조명' 및 '냉방 설비'에 대한 부분에 높은 에너지 저감률을 보였다. 그 이유는 쇼케이스 및 상품 진열에 대한 높은 조명사용율과 운영 시간에 따른 주간 공조 및 조명의 발열량으로 인한 냉방 부하의 증가가 그 원인으로 예상된다.

② 업무시설 에너지 저감률 분석 결과

○ 세 곳의 업무 시설을 대상으로 설비 기기의 성능 향상에 대한 에너지 저감률을 분석하였으며 이에 대한 결과는 <표 2.133>과 같다.

<표 2.133> 업무 시설의 에너지 저감 요소들의 분석 결과

구분	오피스 A	오피스 B	오피스 C
	저감률 (%)	저감률 (%)	저감률 (%)
냉동기 COP향상	3.41	2.39	1.79
보일러 출구수온 상승	0.005	0.007	0.13
보일러 효율 상승	0.474	0.257	0.295
냉동기 출구수온 상승	0.00128	0.09	0.05
온수 배관 온도 하강	0.0028	0.37	0.39
FCU 팬 효율 상승	0.24	0.07	0.40
냉동기 펌프효율	0.17657	0.09	0.26
냉각탑 펌프효율	0.1676	0.1	0.06
AHU 팬 효율 상승	7.7	1.5	0.08
FCU 모터 효율 상승	0.01	0.01	0.01
AHU 모터 효율 상승	0.03	0.36	0.13
VAV공조 방식 사용	4.606	10.767	5.47
폐열회수 시스템 사용	0.433	3.453	3.09
예냉 설비의 적용	14.14	13.94	12.63
예열 설비의 적용	0.8	4.65	5.35
고효율 LED의 적용	10.27	9.10	10.07
LED + 조명 발열배기	11.49	9.48	10.07

○ 이러한 분석 결과를 바탕으로 판매시설에서 공통적으로 높은 에너지 저감률을 보이는 항목들을 <표 2.134>에 따로 나열해 보았다.

<표 2.134> 업무의 에너지 저감 요소들의 분석 결과

구분	오피스 A	오피스 B	오피스 C
	저감률 (%)	저감률 (%)	저감률 (%)
예냉 설비의 적용	14.14	13.94	12.63
고효율 LED의 적용	10.27	9.10	10.07
LED + 조명 발열배기	11.49	9.48	10.07
VAV 공조 방식 사용	4.606	10.767	5.47
AHU 팬효율 상승	7.7	1.5	0.8
냉동기 COP 향상	3.41	2.39	1.79

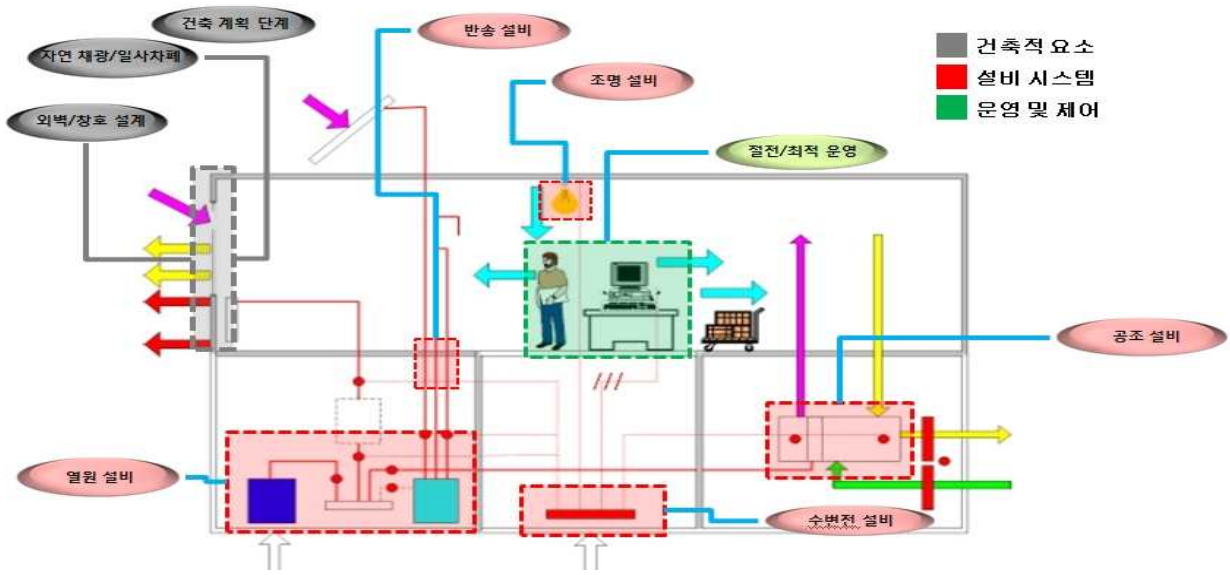
○ 업무 시설은 '고효율 조명' 및 '냉방 설비'에 대한 부분에 높은 에너지 저감률을 보였다. 그 이유는 운영 시간에 따른 주간 공조 및 조명, 사무 설비의 발열량으로 인한 냉방 부하의 증가가 그 원인으로 보여 진다. 그리고 각 존에 따른 부분 공조 또한 중요하기 때문에 판매시설에 비해 AHU 대수가 비교적 많았던 업무 시설은 AHU 팬 효율에 따라 높은 저감률을 보인다.

(아) 시뮬레이션에 적용 가능한 기존 건물의 에너지 저감 리스트 작성

○ 본 연구에서는 건축물의 에너지 소비형태요소를 건축적, 설비적, 운영적 요소로 크게 세 가지로 나누었고, 리스트의 작성 범위는 그 중 기존 건물에 대한 요소로써 'EN[6]'을 인용해 설비적, 운영적 요소들이 가지는 위계를 고려하여 세분화 시켰다. 세분화 시킨 'EN'의 기준들은 다음과 같다.

- 열원 설비 : EN 15316-1, EN 15316-4, EN 15243, EN 15316-3
- 공조 설비 : EN 15241
- 조명 설비 : EN 15193
- 운영 및 제어 : EN 15232

○ [그림 2.128]은 'EN-15232'에 게재된 건물의 에너지 성능에 대한 각 에너지 소비 요소에 대한 개념도이다.



[그림 2.128] 건물의 에너지 소비요소에 대한 개념도

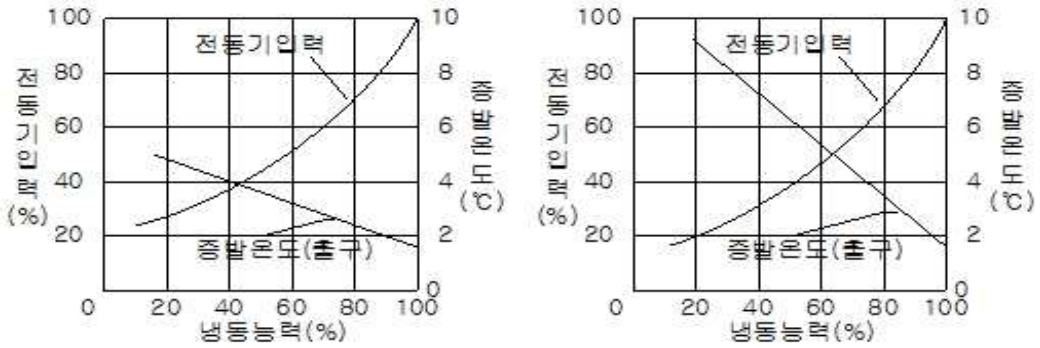
6) European Standard : 유럽 표준화 기구

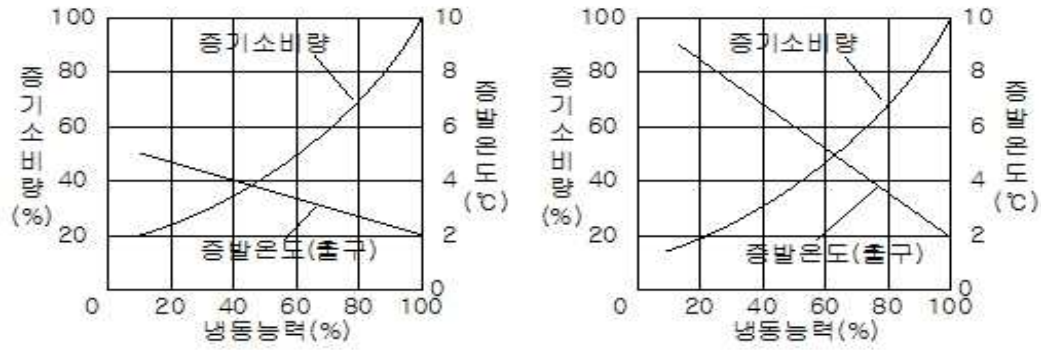
① 설비 부문의 에너지 저감 리스트 작성

○ [그림 2.128]의 개념도에 맞춰 기존 건물의 에너지 저감 요소들을 위계에 맞추어 체계화 하였고, 이에 대한 목차는 다음과 같다. 그리고 해당 리스트에 대한 부분은 지속적으로 검증, 수정해 나갈 예정이다.

항목	구분	내용
열원 설비 (M-01)	M-01-01	배기가스 폐열회수 시스템 도입
	M-01-02	폐열이용 온수 생산 시스템 도입
	M-01-03	고효율 보일러 사용
	M-01-04	응축수 회수 설비 사용
	M-01-05	보일러 증기압력 감압 이용
	M-01-06	열교환기 교체
	M-01-07	냉방 설비 COP개선
	M-01-08	외기 취입 냉방
	M-01-09	고효율 냉동기 사용
	M-01-10	냉각탑 팬 제어
	M-01-11	냉동기 열원 대체
	M-01-12	냉동기 냉수온도 조절
	M-01-13	냉동기 냉수출구온도 조절
	M-01-14	냉동기 냉각수온도 조절
	M-01-15	보일러 연료 타입 변경
반송 설비 (M-02)	M-02-01	고효율 냉수 펌프 사용
	M-02-02	고효율 냉각수 펌프 사용
	M-02-03	고효율 전동기(Motor) 사용
	M-02-04	가변 피치 팬(variable pitch fan) 사용
공조 설비 (M-03)	M-03-01	공조기 전열 교환기 설치
	M-03-02	V.V.V.F 인버터제어 실시
	M-03-03	고효율 급기팬 사용
	M-03-04	공조기 전동기 교체
	M-03-05	고효율 배기팬 사용
	M-03-06	VAV 공조방식 사용
	M-03-07	증발냉각 장치의 설치
	M-03-08	예냉, 예열 설비 사용
	M-03-09	프리 쿨링(Free Cooling) 적용
조명 설비 (M-04)	M-04-01	고효율 조명 사용
	M-04-02	불필요 개소 소등 및 조명 청소
	M-04-03	고조도 반사갓 사용
	M-04-04	조명 전압 조절장치 사용

○ 해당 리스트의 상세 예시는 다음과 같다.

<table>
<tr><td colspan="4">건물 에너지 성능 개선 요소의 도출</td></tr>
<tr><td rowspan="2">개선항목</td><td>지침번호</td><td>중분류</td><td>개선안</td></tr>
<tr><td>M-01-14</td><td>열원 설비</td><td>냉동기 냉수온도 조절</td></tr>
<tr><td>선정
원인</td><td colspan="3">· 냉동기의 온도제어는 계절의 특성과 부분부하 특성을 고려하여 최적조건을 찾아야 한다.</td></tr>
<tr><td>개요</td><td colspan="3">1) 냉수온도제어는 입구온도제어가 바람직하다.
2) 냉수출구온도는 계절에 따라 설정치를 조절하여야 한다.
3) 냉각수온도는 가능한한 낮은 것이 바람직하다.</td></tr>
<tr><td>보충
설명
자료</td><td colspan="3"> 

증발온도와 전동기투입력의 관계(터보냉동기)
 

증발온도와 증기소비량의 관계(흡수식냉동기)</td></tr>
</table>

(자) 결론

○ 본 연구는 현재 사용 중인 기존 건물 판매시설, 상업용 건물, 공동주택을 대상으로, 건축물 에너지 관리 현황을 조사하여 추후 에너지 효율등급 인증제도 등 현재 신축 건축물에만 적용되는 에너지 관련 정책이 확대 적용될 경우를 대비하여 기존 건물 에너지 절약 방안의 기초 자료를 구축하는데 목적을 두고 있다. 시뮬레이션을 통한 에너지 절약 방안을 예측한 연구로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

○ 첫째, 기존 건물 판매시설, 상업용 건물의 운영자의 각 실별 온도의 판단 기준은 공조기의 온도센서에서 측정되는 환기온도 센서의 데이터를 실내온도로 판단 하지만, 실별 온도를 실제 측정한 결과 건물별로 온도 차이를 보인다. 실내 각 조닝별로 신뢰할 수 있는 실내온도 값과 이를 이용한 온도보정치의 활용이 필요하다.

○ 둘째, 판매시설의 설비부문의 에너지 저감요소에 따른 에너지소비량을 분석 결과는 다음과 같다. 대상건물의 CAV 공조시스템을 VAV로 변경 시 최대 7%의 에너지사용량이 저감되고, 형광등을 LED조명 교체 및 조명발열배기시스템 적용 시 12% 까지의 에너지 저감이 가능하다.

○ 상업용 건물의 설비부문의 에너지 저감요소에 따른 에너지소비량을 분석 결과는 다음과 같다. 대상건물에 예냉설비를 적용 시 최대 14%의 에너지사용량이 저감되고, 형광등을 LED조명 교체 및 조명발열배기시스템 적용 시 11% 까지의 에너지 저감이 가능하다.

○ 공동주택의 난방부하를 분석하였을 때, 수평으로 인접한 난방세대인 3-b 세대는 11.45%, 3-d 세대는 3.68%의 난방부하가 증가하였다. 또한 수직으로 인전한 세대의 난방부하 증가율은 2-c 세대는 38.36%, 4-c 세대는 34.75%의 증가하였다. 또한 세대간 내벽 및 바닥의 단열재를 추가하여 성능 개선하였을 경우 비난방 세대에 인접한 난방세대의 난방부하가 절감되었다.

○ 셋째, 건물에너지효율등급제도에서는 공동주택 동 전체를 기준으로 등급을 정하기 때문에 세대 간 내벽과 바닥에 대한 사항은 고려하지 않고 있다. 하지만 공동주택에서는 세대 위치별로 요구되는 난방부하가 다르며, 난방을 하지 않는 세대가 발생할 수 있다. 때문에 부동산 매매시 첨부되는 에너지효율등급 평가서에는 공동주택의 동 전체의 에너지효율 등급과 더불어 세대별 에너지효율등급이 같이 제시되어야 된다고 판단되며, 세대별 에너지효율등급 산출 시에는 세대 간 내벽과 바닥의 단열 성능도 같이 고려되어야 한다.

○ 기존 건물의 에너지 성능을 상향 조정하기 위해서는 외피시스템의 교체, 운영스케줄의 재설정, 설비시스템의 교체를 들 수 있다. 건축물의 리 모델링 시 고효율의 설비시스템을 통한 에너지 절감량이 우선순위가 될 수 있다.

나. 건물 에너지 성능 정량화 기법 완성, Tool-Kit 개발 (G & S !NNOVATION)

(1) 건물에너지 평가 표준 모델

(가) 표준모델 적용 범위

① ISO 13790를 기반 건물 에너지성능 평가 모델에서 동적 시뮬레이션과의 오차범위를 줄이기 위한 조정 요소의 분석 및 향후 도입이 늘어나는 건물 에너지 관리 시스템의 요소를 고려함으로서 미래 수요를 반영 하도록 함. 평가 표준모델은 에너지 소비량에 대한 표준 평가 기준 제시를 목표로 한다.

② 건물 에너지 평가 모델에 적용하기 위한 배경 이론으로써 EN ISO 13790 월간 계산법을 기반으로 하였으며, 동적 시뮬레이션과의 비교 및 Utilisation Factor 도출 시 요구되어지는 산출식이다. 식은 아래와 같다.

(나) 표준 모델 배경 이론

① Utilization factor(η)란 ?

○ 유효 계수로 ISO 13790기법에서 획득열량 유효계수($\eta_{H,gn}$,$\eta_{C,ls}$)는 각각 난방 및 냉방모드에서 획득 및 손실열량이 손실 및 획득열량을 감소시키는데 활용되는 정도를 나타내는 계수로서, 총 전열량과 총 획득열량의 열평형 비율(heat-balance ratio)과 구조체의 열용량을 반영하여 계산한다. 본 연구에서는 매개변수 $a_{H,0}$, $\tau_{H,0}$에 대한 검토 및 추가적 연구의 필요성을 제시한다. 냉난방 유효계수 및 냉난방 에너지 요구량 산출식은 아래와 같이 정의된다.

㉮ 냉난방 에너지 요구량 산출식

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn}$$
$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} Q_{C,ht}$$

위 식에서,

$Q_{H,nd}$: *연속난방 시 난방 에너지 요구량(MJ)*

$Q_{H,ht}$: *난방모드에서의 총 전열량(MJ)*

$\eta_{H,gn}$: *난방모드에서의 획득 열량 유효계수*

$Q_{H,gn}$: *난방모드에서의 총 획득 열량(MJ)*

$Q_{C,nd}$: *연속냉방 시 냉방 에너지 요구량(MJ)*

$Q_{C,gn}$: *냉방모드에서의 총 획득 열량(MJ)*

$\eta_{C,ls}$: *냉방모드에서의 손실열량 유효계수*

$Q_{C,ht}$: *냉방모드에서의 총 전열량(MJ)*

- 위 식에서 총 전열량($Q_{H,ht}$,$Q_{C,ht}$)은 외피 및 환기 전열량을, 총 획득열량($Q_{H,gn}$,$Q_{C,gn}$)은 내부발열량 및 일사 열획득량을 의미함.

㉯ 난방 에너지 요구량 산출식

○ 획득열량 유효계수($\eta_{H,gn}$)는 아래 식 (2.12)~(2.18)와 같이 계산된다.

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}$$

if $\gamma_H > 0$, $\gamma_H \neq 1$: $\eta_{H,gn} = \frac{1-\gamma_H^{a_H}}{1-\gamma_H^{a_H+1}}$

if γ_H=1: $\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H+1}$

if γ_H<0: $\eta_{H,gn} = 1/\gamma_H$

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}$$

$$\tau = \frac{C_m/3{,}600}{H_{tr}+H_{ve}}$$

$$C_m = \sum(\kappa_j \times A_j)$$

위 식에서,

γ_H : *난방모드에서의 열평형비*

a_H : *시간 상수(τ_H)에 따른 계수*

$a_{H,0}$: *참고 계수*

τ: *건축물 존의 시간 상수(h)*

$\tau_{H,0}$: *참고 시간 상수(h)*

C_m : *건축물이나 존의 실내 공기와 직접 접촉하는 건축물 요소 열용량의 합(J/K)*

κ_j : *건축물 요소 j의 단위 면적당 열용량(J/㎡K)*

A_j : *건축물 요소 j의 면적(㎡)*

㉰ 냉방 에너지 요구량 산출식

○ 획득열량 유효계수($\eta_{H,gn}$)는 아래 식과 같이 계산된다.

$$\gamma_C = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}}$$

if $\gamma_C > 0$, $\gamma_C \neq 1$: $\eta_{C,ls} = \frac{1-\gamma_C^{-a_C}}{1-\gamma_C^{-(a_C+1)}}$

if γ_C=1: $\eta_{C,ls} = \frac{a_C}{a_C+1}$

if γ_C<0: $\eta_{C,ls} = 1$

$$a_C = a_{C,0} + \frac{\tau}{\tau_{C,0}}$$

위 식에서,

γ_C: *냉방모드에서의 열평형비*

a_C: *시간 상수(τ_C)에 따른 계수*

$a_{C,0}$: *참고 계수*

τ: *건축물 존의 시간 상수(h)*

$\tau_{C,0}$: *참고 시간 상수(h)*

㉮ 간헐 운전에 따른 냉난방 부하량

○ 사무소 건물의 경우 24시간 운전이 아닌 주간에만 운전을 함으로 이를 반영하기 위한 수정계수가 ISO 13790에 제시 되어 있다. 기후 데이터에 대한 주야간 패턴으로 인한 건물의 내부열 관성 효과 즉, 오후/밤 온도 조절장치 Set-back 혹은 Switch-off 효과에 대한 감소 영향 계수이다.

$$Q_{H,interm} = a_{H,red} Q_{H,cont}$$

위 식에서,

$Q_{H,cont}$: *연속 난방에서의 난방부하량(MJ)*

$a_{H,red}$: *간헐 난방에서의 무한대 감소계수, 아래의 식과 같다.*

$$a_{H,red} = 1 - [b_{H,red}(\frac{\tau_{H,0}}{\tau_H})\gamma_H(1 - f_{H,hr})]$$

위 식에서,

최소값 : $a_{H,red} = f_{H,hr}$

최대값 : $a_{H,red} = 1$

$f_{H,hr}$: *난방 설정 온도값과 해당 월에서의 시간값의 분수*

$b_{H,red}$: *실험에 의한 상관요소값 = 3*

τ_H: *건물에서의 난방운전 지속시간(h)*

$\tau_{H,0}$: *난방운전을 위한 참조 존속시간(h)*

γ_H: *난방운전에서의 무한대의 획득/손실률*

$$Q_{C,interm} = a_{C,red} Q_{C,cont}$$

위 식에서,

$Q_{C,cont}$: *연속 냉방에서의 냉방부하량(MJ)*

$a_{C,red}$: *간헐 냉방에서의 무한대 감소계수, 아래의 식과 같다.*

$$a_{C,red} = 1 - [b_{C,red}(\frac{\tau_{C,0}}{\tau_C})\frac{1}{\lambda_C}(1 - f_{C,Day})]$$

위 식에서,

최소값 : $a_{C,red} = f_{C,Day}$

최대값 : $a_{C,red} = 1$

$f_{C,Day}$: *연속냉방 설정온도 값과 최소 낮 시간대에서 해당월 분에 해당일수*

$b_{C,red}$: *실험에 의한 상관요소값 = 3*

τ_C : *건물에서의 냉방운전 지속시간(h)*

$\tau_{C,0}$: *냉방운전을 위한 참조 존속시간(h)*

λ_C : *냉방운전에서의 무한대의 획득/손실률*

ㄱ. ISO 13790에서는 월간 계산 방법(Monthly Calculation Method)으로 $a_{H,0}$,$a_{C,0}$ 참고계수에 대하여 1.0 그리고 $\tau_{H,0}$,$\tau_{C,0}$의 값으로 15(h)를 기준으로 하고 있다. 그러나 국내엔 기준이 부재하므로 위의 수식을 통해 각 종 해외 논문들 및 국내 논문 연구에서 언급하였듯이 국내의 유효계수를 산출해야 함.

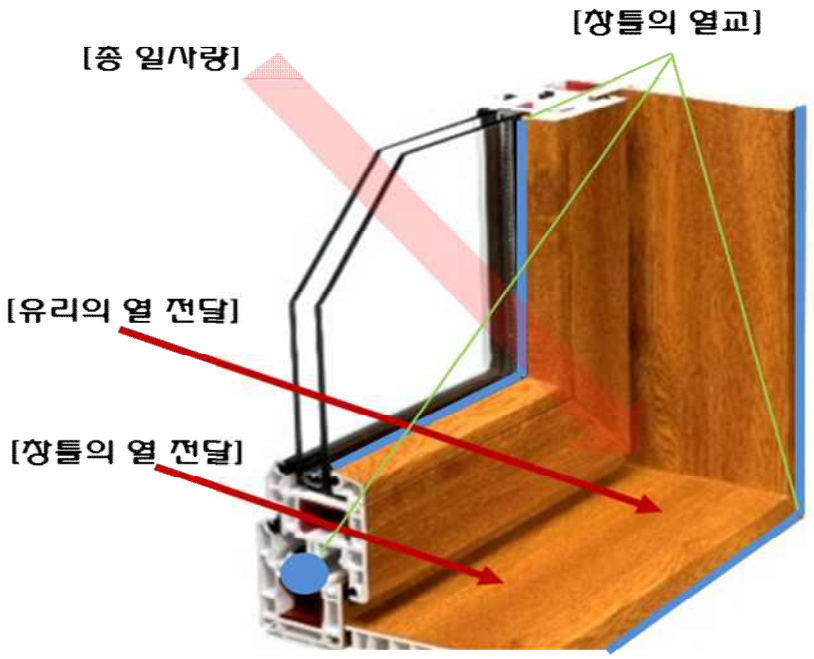
ㄴ. 냉난방을 위한 무한대의 Utilization factor를 얻는 것은 열평형비와 매개변수 수치에 관한 공식으로 가능하며, 이 공식은 위의 수식(각 월별 혹은 각 건물의 위치와 기간에 따른 수식)에 의해 주어진 해당건물의 타성에 따라 달라짐.

ㄷ. ISO 13790 2008 Annex I Explanation and derivation of monthly or seasonal utilization factors에 명시되어있듯 건물의 Operative temperature와 Setpoint는 차이가 있으며, 그 차이는 동적 시뮬레이션과 간이법과의 차이임을 알 수 있다. 차년도 연구에서 이를 검증 및 확인할 계획이다.

(다) 창문

① 창문의 Heat Balance 관계

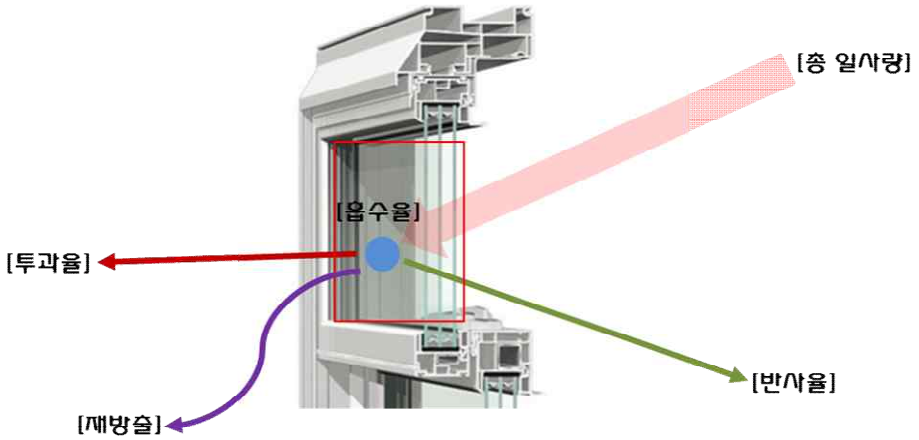
○ 창문은 열획득 손실에 의한 Heat Balance를 고려해야하는 부위 중 유리는 열 복사 및 열 전달을 기반으로하며, 창틀의 열 전도 및 열교값을 고려한다.



[그림 2.129] 창문의 Heat-Balance 관계도

② 창문은 유리를 통해 전달되는 열 전달값과 창문 투과, 흡수 및 반사 그리고 창틀에 의한 열
○ 전달과 창문 설치 및 엣지 그리고 간봉 사이의 열교를 통해 열 획득 손실의 관계가 성립된다.(단, 침기는 별도로 재검토 함)

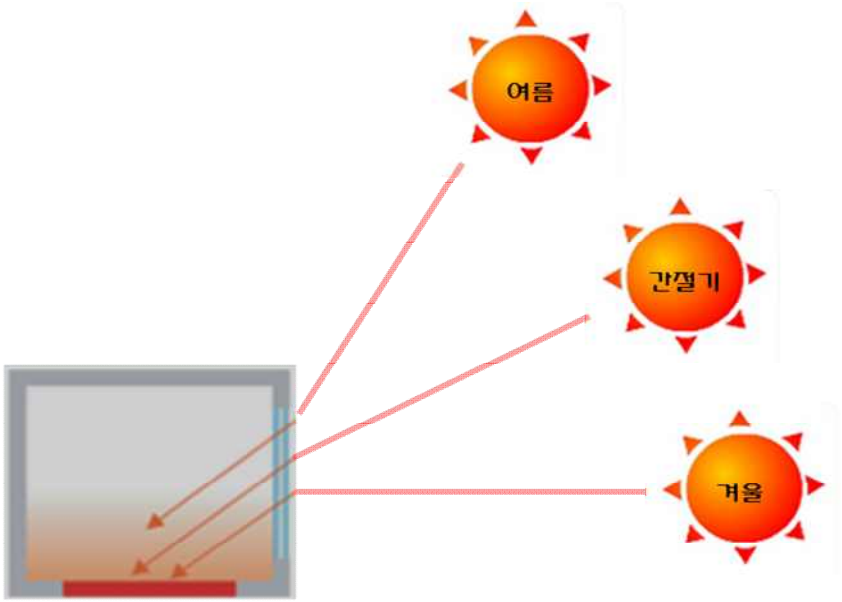
③ 유리의 일사 획득
○ 유리는 방위 및 유리 종류에 따라 일사 투과율(G-Value)가 다르며, G-Value는 창에 도달한 총 일사량에 대한 투과 및 존으로 인입된 양으로 정의된다.(단, 창틀은 G-Value과 관계가 없음, 투과율 + 흡수율 + 반사율 = 1이 되어야 함)



[그림 2.130] 유리의 일사 획득 과정(G-Value)

④ 태양 고도별 G-Value 및 Correction Factor
○ 유리의 G-Value는 태양 고도에 따른 값이 다르게 산정되며 이는 SBEM 및 EnergyPlus에도 반영이 되어있는 부분이다. 현재 국내 G-Value 산출 시 연간 월별 태양 고도에 따른

G-Value 보정을 해주지 않으며, EnergyPlus에서는 유리에 대한 Normal Incidence angle로 대푯값인 SHGC로만 나타냈을 뿐 시간별로 보정되어 산출된다. 방위 및 창문의 종류별 G-Value 보정 Correction Factor는 다르게 적용되어야 하며 이는 아래와 같이 산출되었다.



[그림 2.131] 태양 고도별 일사 획득 보정

<표 2.135> 연간 남향에 대한 Clear 유리 Correction Factor

1월	2월	3월	4월	5월	6월
0.82	0.81	0.76	0.71	0.63	0.61
7월	8월	9월	10월	11월	12월
0.63	0.65	0.73	0.77	0.81	0.83

⑤ 태양열에 의한 열획득 및 열손실

㉮ 투명체를 통한 태양입사광에 의한 열획득

○ 태양열에 의한 열획득 및 열손실에서 투명체를 통한 태양입사광에 의한 열획득은 다음과 같다.

$$Q_{Str} = F_W \cdot t \cdot g_{eff} \cdot A \cdot I_S \cdot F_F$$

위 식에서,

Q_{Str} *: 투명체를 통한 태양입사광에 의한 열획득*

F_W *: G-Value의 연간 월별 보정 계수*

F_F *: 창틀요소에 대한 계수*

t *: 시간*

g_{eff} *: 총에너지투과율*

A *: 면적*

I_S *: 월평균 일사강도*

$\varphi_{sol} = F \bullet A_{sol} \bullet I_{sol} - F_{r,k} \bullet \varphi_{r,k}$ *(출처 : ISO 13790 2008)*

위 식에서,

F *: 주변 장애물에 대한 영향 계수*

A *: 일사 영향 면적*

I *: 일사량*

F *: 천공에 대한 감소 계수*

φ *: 천공 복사량*

○ 태양 고도별 일사 획득 및 주변 장애물 등에 대한 영향을 알기 위해 위와 같은 식을 적용 및 분석한다.

㉯ 불투명 구조체를 통한 태양열 유입

○ 태양열에 의한 열획득 및 열손실에서 불투명 구조체를 통한 태양열 유입은 다음과 같다.

$$Q_{Sop} = R_{se} UA(\alpha I_s - F_f h_r \triangle \vartheta_{er})t$$
$\alpha I_s > F_f h_r \triangle \vartheta_{er}$ 일때 열손실

$$Q_{Sop} = R_{se} UA(F_f h_r \triangle \vartheta_{er} - \alpha I_s)t$$
$\alpha I_s < F_f h_r \triangle \vartheta_{er}$ 일때 열손실

위 식에서,

Q_{Sop} *: 불투명 구조체를 통한 태양열 유입*

R_{se} *: 벽체 외부 열전달저항(출처: SBEM - 0.05* m^2K/W*)*

U *: 열관류율*

A *: 면적*

α *: 표면의 흡수율*

F_f *: 일사에 대한 벽체의 형태벡터*

h_r *: 외부 방사 계수(5*ϵ*, 모를 시*ϵ *= 0.9, (출처:건설기술연구원, 기후변화 대응을 위한 건물에너지 효율등급 표시제도 개발 연구 1차년도 보고서, 2009)*

$\triangle \vartheta_{er}$ *: 외기온도와 진공온도차*

t *: 시간*

<표 2.136> 표면의 흡수율 α

표 면	흡 수 율 α
벽표면	
밝은 칠	0.4
중간 칠	0.6
어두운 칠	0.8
경질벽돌 벽	0.8
밝은 층 벽	0.6
지붕	
붉은벽돌	0.6
어두운 표면	0.8
금속(광택)	0.2

(출처: 건설기술연구원, 기후변화 대응을 위한 건물에너지효율등급 표시제도 개발 연구 1차년도 보고서, 2009)

(라) 차양 및 발코니

① 일사 취득 계수

㉮ 투명구조체에서 난방 열취득 따른 총열전도량
○ 아래 식에 의한 월, 위치, 그리고, 온도차로 계산하여 구해질 수 있다.

$$Q_T = \Sigma_k H_{T,k} \cdot (\theta_i - \theta_{e,k}) \cdot t$$

위 식에서,
Q_T *: 난방 열전달에 대한 총 열전도량* $H_{T,k}$*는 k요소의 인접공간, 환경 또는 W/K에서의* $\theta_{e,k}$*온도의 장소 까지의 열전달에 대한 열전도율*
θ_i *: 건물에서 난방기준온도 얻어지는 내부온도(섭씨온도)*
$\theta_{e,k}$ *: 요소 k(기후데이터에서 가져온 섭씨온도)에 대한 외부온도(위치에 따른 시간당 월평균온도)*
t *: 계산주기의 존속기간 즉, 해당 월 중의 며칠*

㉯ 투명 구조체를 통한 일사 취득량
○ 외피의 일부구조로의 투명구조체를 통한 일사 취득량은 아래식에 의해서 정의된다.

$$Q_{sun,t} = \sum_j (q_{sun,j} \times f_{sh,j} \times f_{sun,j} \times g_j \times f_f)$$

위 식에서,
$Q_{sun,t}$ *: 투명 구조체를 통한 일사 취득량 (단위=MJ)*
$q_{sun,j}$ *: 기후위치와 창 위치j에 대한 평면에서의 월별 태양복사에너지의 양 (단위=MJ/㎡)*
$f_{sh,j}$ *: 창j에 대한 일사차단 보정 계수*
$f_{sun,j}$ *: 창j에 대한 수동조정식 일사유입 감소계수*
g_j *: 창j에 대한 총 일사 투과율*
A_{rj} *: 창j의 면적 (단위=㎡, 창틀 포함)*
f_f *: 창틀요소(사용자가 입력한 창문에 대한 한 개의 창틀구성요소)에 대한 계산값*

○ 범위 0~1사이의 외부차양감소요소 $f_{sh,j}$는 수직차양과 수평차양에 의해 도출된 표면에 대한 일사유입의 감소를 설명한다.

㉰ 차양에 의한 일사차단 보정계수

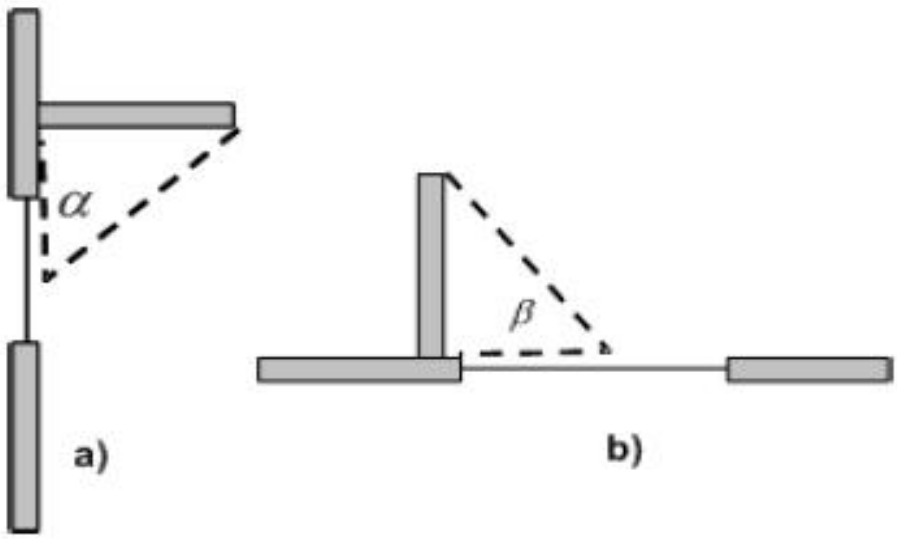
$$f_{sh,j} = F_O F_f$$

위 식에서,

F_O*는 수직차양에 대한 일사차단 보정계수*

F_f*는 수평차양에 대한 일사차단 보정계수*

○ 수평차양이나 수직차양에서 오는 일사는 수직차양 돌출각도, 수평차양 돌출각도, 위도, 방위 그리고 지역기후에 따라 달라진다.



[그림 2.132] 차양 돌출각도:
a) 수직 차양 b) 수평 차양

(출처 : Technical Manual for SBEM, 2011)

α *: 수직차양 돌출각도*

β *: 수평차양 돌출각도*

○ 이 계산의 목적에 따르면, [그림 2.132]에서 점선으로 제시된 돌출각도 α와 돌출각도 β는 평면의 창문과 중간창에서 수직차양 또는 수평차양의 그림자선 사이에서 주어진다.

<표 2.137> 수직차양에 대한 일사차단 보정계수 F_O

수직차양 돌출각도	대한민국 위도상 N				
	북 향	북동향 북서향	동 향 서 향	남동향 남서향	남 향
0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
30°	0.90	0.83	0.76	0.73	0.69
45°	0.85	0.74	0.63	0.60	0.56
60°	0.79	0.63	0.47	0.46	0.44

(출처 : 에너지관리공단(2001년), 건축물에너지효율등급 인증제도 운영규정)
SBEM의 각도에 따른 변환 산출

○ 수평차양의 돌출각도에 따른 일사차단 보정계수(F_t)는 창 깊이에 따른 표준을 제시한다.

<표 2.138> 길이에 따른 수직차양 일사차단 보정계수 F_O

차양길이/차양에서 창하부까지의 길이	북 향	북동향 북서향	동 향 서 향	남동향 남서향	남 향
0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.05	0.98	0.97	0.95	0.95	0.94
0.10	0.96	0.94	0.91	0.90	0.88
0.15	0.94	0.91	0.87	0.85	0.83
0.20	0.93	0.88	0.83	0.81	0.78
0.25	0.91	0.85	0.79	0.77	0.74
0.30	0.90	0.83	0.76	0.73	0.69
0.35	0.88	0.80	0.72	0.69	0.65
0.40	0.87	0.78	0.69	0.66	0.62
0.45	0.86	0.76	0.66	0.62	0.58
0.50	0.85	0.74	0.63	0.60	0.56
0.55	0.84	0.72	0.60	0.57	0.53
0.60	0.83	0.70	0.57	0.54	0.51
0.65	0.82	0.69	0.55	0.52	0.49
0.70	0.81	0.67	0.53	0.50	0.47
0.75	0.80	0.66	0.51	0.49	0.46
0.80	0.80	0.65	0.49	0.47	0.45
0.85	0.79	0.63	0.47	0.46	0.44
0.90	0.79	0.63	0.46	0.45	0.44
0.95	0.79	0.62	0.44	0.44	0.44
1.00	0.79	0.61	0.43	0.44	0.44
1.05	0.79	0.61	0.43	0.44	0.44
1.10	0.79	0.61	0.43	0.44	0.44
1.15	0.79	0.61	0.43	0.44	0.44
1.20	0.79	0.61	0.43	0.44	0.44
1.25	0.79	0.61	0.43	0.44	0.44

(출처 : 에너지관리공단(2001년), 건축물에너지효율등급 인증제도 운영규정)

○ 총 일사 투과율 g는 차양이 없는 요소에서 그 부수적인 요소까지 통과하는 일사의 시간에 대한 평균수치 비율이다. 창문 또는 빛이 산란되지 않는 유리를 끼운 외피요소에 대해서 ISO 9050 또는 EN 410은 유리에 대한 수직 복사에너지에 대한 일사투과 계산방법을 제공한다. 계산된 값 $g_{\perp}$는 시간에 대한 평균수치 투과량보다 약간 높다. 그리고 보정계수 F_w는 $g = F_w g_{\perp}$에서 사용된다.

○ F_w 는 아래 <표 2.139>에서 유리의 방위에 따라, 수평선에서의 경사각도에 따라 다르게 주어진다.

<표 2.139> 유리의 G-value에 대한 Correction Factor F_w

남향	1월	2월	3월	4월	5월	6월
	0.82	0.81	0.76	0.71	0.63	0.61
창기울기	7월	8월	9월	10월	11월	12월
90°	0.63	0.65	0.73	0.77	0.81	0.83

㉲ 투명체를 통한 태양입사광에 의한 열획득

$$Q_{S,tr} = F_F A g_{eff} I_S t$$

F_F : 창틀에 의한 감소계수

(전체면적 A에 대한 유리면적의 비 또는 표준값 $F_F = 0.7$)

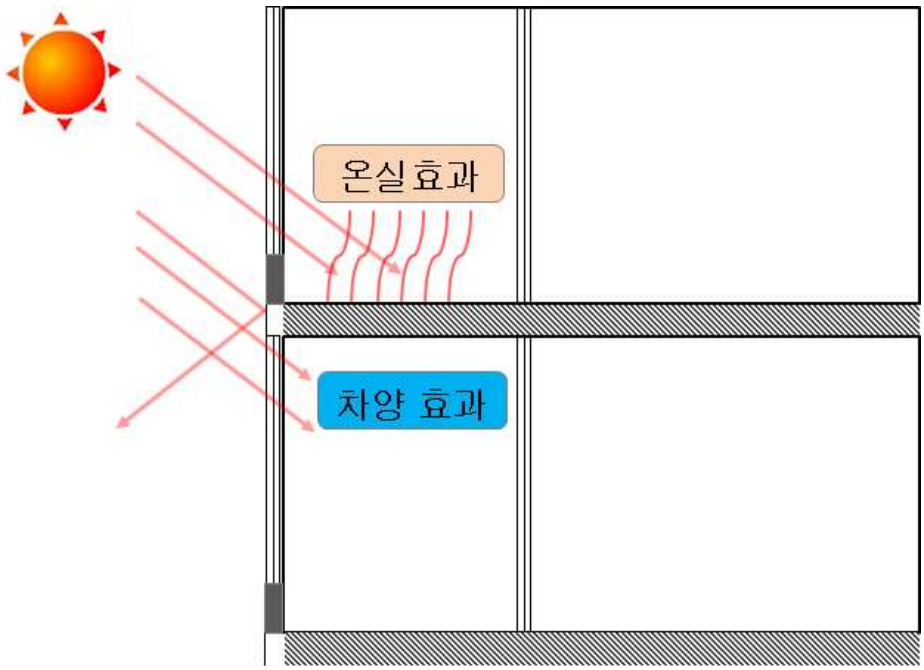
g_{eff} : 총에너지투과율

② 발코니에 의한 차양 효과

○ 발코니 공간은 기본적으로 비공조 존으로 이중외피적의 열적 특성으로 온실효과 및 계절별로 일사 조절을 하는 차양 효과를 가진 공간이다. 따라서 위의 차양 효과 및 온실 효과에 대한 표준을 1차년도 선행 연구 '발코니 창호 요소 변화에 따른 아파트 단위세대 냉난방부하 산출모델 제시'에 따라 창면적비, 일사취득계수, 열관류율과 관련하여 이를 기반으로 제시한다.

<표 2.140> 영향요소

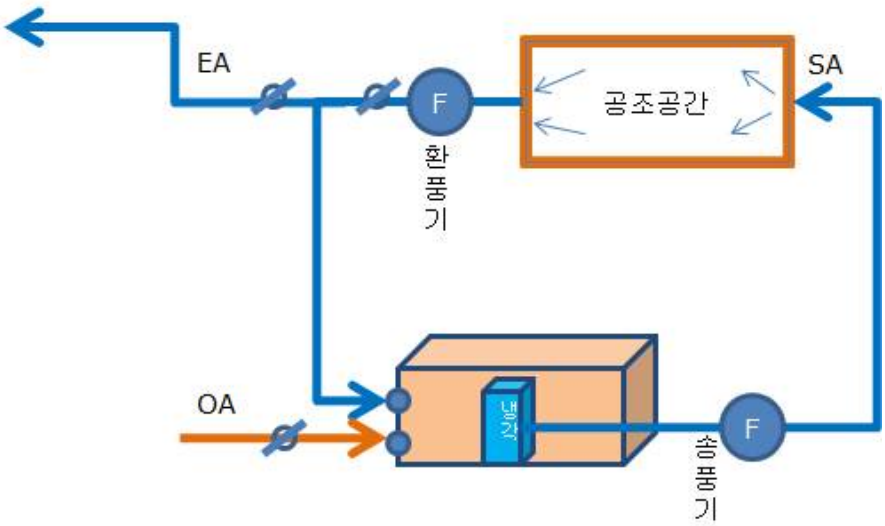
영향 요소			
유리 종류	창면적비	열관류율	일사취득계수



[그림 2.133] 발코니로 인한 온실효과 및 차양효과

○ 회귀방적식과 정밀 시뮬레이션의 비교를 통하여 냉난방 부하 계산 시 유리종류(더블 브론즈 코팅 6mm, 트리플 Low-E, 싱글 3mm), 창면적비, 열관류율, 일사취득계수에 따른 영향 비율 산정 및 회귀분선식 반영

(마) 환기



[그림 2.134] 환기 기본 개념도

① 난방시 환기에 의한 열전달

㉮ 매월, 난방시 환기에 의한 열전달 Q_{V-heat}

$$Q_{V-heat} = H_{V-heat} \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot n$$

위 식에서,

Q_{V-heat} *: 난방시 환기에 의한 열전달량*

H_{V-heat} *: 난방시 환기로 인한 열손실계수 (단위=W/K)*

θ_i *: 난방 설정온도*

θ_e *: 외부온도 (기후데이터에서 시간당 얻어지는 매월 평균온도)*

n *: 월별 일 수*

㉯ 난방시 환기에 의한 열손실계수

$$H_{V-heat} = \rho_a \cdot c_a \cdot u_{V-heat} \cdot A$$

위 식에서,

H_{V-heat} *: 난방시 환기 열손실계수(단위=W/K)*

$\rho_a \cdot c_a$ *: 부피에 따른 공기 열수용량 ~ 1.2 kJ/m³K (공기밀도결과, kg/m³ 그리고 특정공기 열수용량, kJ/m³K)*

u_{V-heat} *: 승인된 공간을 통한 공기유입비율(단위=l/sm² floor area)*

A *: 영역 바닥면적 (단위=m²)*

② 냉방시 환기에 의한 열전달

㉮ 매월, 냉방시 환기에 의한 열전달 Q_{V-cool}

$$Q_{V-cool} = H_{V-cool} \cdot (\theta_i - \theta_e^{'}) \cdot n$$

위 식에서,
Q_{V-cool} *: 냉방시 환기에 의한 열전달량*
H_{V-cool} *: 냉방시 환기에 의한 열획득계수 (단위=W/K)*
θ_i *: 내부온도 (외피가 점유하는 활동영역에 대한 NCM 활동데이타베이스 냉방 목표치)*
$\theta_e^{'}$ *: 수정된 외기온도*
n *: 한 개월의 일 수*

㉯ 냉방시 환기에 의한 열손실계수

$$H_{V-cool} = \rho_a \cdot c_a \cdot u_{V-cool} \cdot A$$

위 식에서,
H_{V-cool} *: 냉방시 환기 열손실계수(단위=W/K)*
$\rho_a \cdot c_a$ *: 부피에 따른 공기 열수용량 ~ 1.2 kJ/㎥K (공기밀도결과, kg/㎥ 그리고 특정공기 열수용량, kJ/㎥K)*
u_{V-heat} *: 승인된 공간을 통한 공기유입비율(단위=l/s㎡ floor area)*
A *: 영역 바닥면적 (단위=㎡)*

③ 침기

㉮ 침기에 의한 열손실 및 열획득

$$Q_{Vinf} = H_{Vinf}(\vartheta_i - \vartheta_e)t, \ \vartheta_i > \vartheta_e (\text{열손실})$$
$$Q_{Vinf} = H_{Vinf}(\vartheta_e - \vartheta_i)t, \quad \vartheta_i < \vartheta_e (\text{열획득})$$

위 식에서,
Q_{Vinf} *: 침기에 의한 열손실 및 열획득*
H_{Vinf} *: 환기 열손실계수*
ϑ_i *: 분석 실내온도*
ϑ_e *: 외기 온도*
t *: 시간*

㉯ 침기에 의한 열손실 및 열획득 계수

$H_{Vinf} = n_{i,n,f} \cdot V \cdot c_{pa} \cdot \rho_a$ *(외기와 접하지 않는 존의 환기 열손실계수는 0 이다.)*

위 식에서,

H_{Vinf} *: 환기 열손실계수*

$n_{i,n,f}$*: 침기에 의한 환기 횟수*

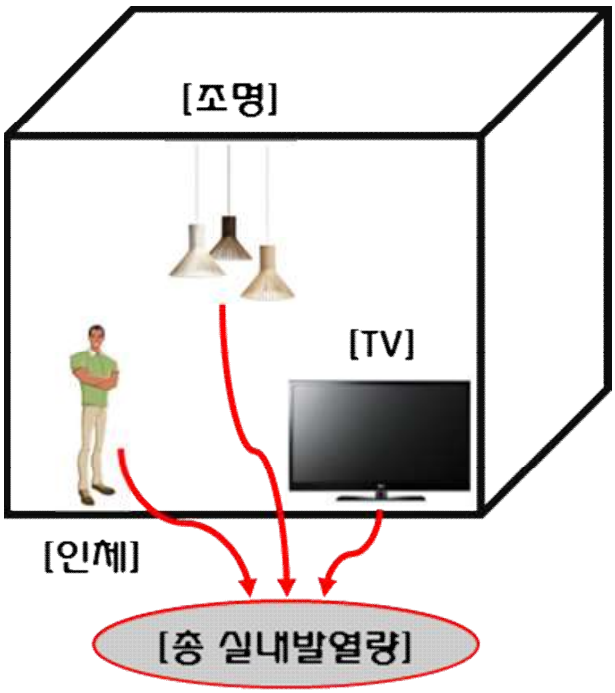
V *: 존의 체적*

c_{pa} *: 일정압력에서 환기*

ρ_a *: 공기밀도*

(바) 실내 발열량

① 내부발열에 의한 열획득



[그림 2.135] 총 실내발열량 구조

$$Q_{I,source} = Q_{I,source,p} + Q_{I,source,L} + Q_{I,source,fac}$$

위 식에서,

$Q_{I,source}$ *: 내부발열에 의한 열획득*

$Q_{I,source,p}$ *: 사람에 의한 열획득*

$Q_{I,source,L}$ *: 조명에 의한 열획득*

$Q_{I,source,fac}$ *: 기기에 의한 열획득*

② 조명

㉮ 조명 부하

$$Q_{I,source,L} = \rho light \bullet A \bullet t \bullet N\,day$$

위 식에서,

$\rho light$: *조명밀도(W/m²)*

A : *존의 면적(m²)*

t : *시간*

$N\ day$: *운전일수*

$Q_{I,source,L}$: *조명 에너지*

㉯ 조명의 냉방부하 변환계수

○ 조명 에너지는 CEN EN 15193-1의 계산법에 따란 계산 되어진다. 이 계산에 투입하는 입력값은 조명전력량, 점유기간의 영향을 포함하는 가동기간 그리고 자연광에 대처하는 시간을 포함한다.

조명전력량 공식

$$W_{light} = \frac{\sum_{j=1}^{12}[N_j \times \sum_{i=1}^{24} P_j \langle F_{Dji} \times F_{Oji} \rangle) + \sum_{i=1}^{24}(P_{dj} \times F_{Od}) + (24 \times P_P)]}{1000} kWh/m^2$$

여기에서,

N_j = *[31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31]. 각 월에서의 일수*

P_j = *월j의 각 시간에 대한 조명전력량 (단위=W/㎡)*

P_p = *와류전력량 (단위=W/㎡ hour)*

P_{dj} = *설치 조명전력량 (단위=월j의 각 시간에 대한 W/㎡)*

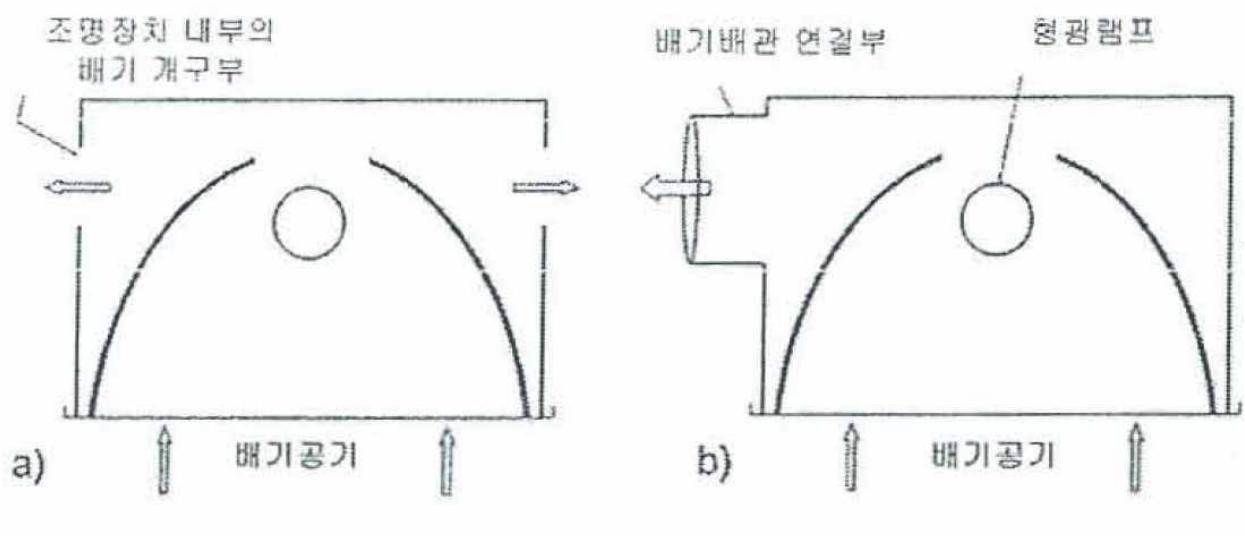
F_{Dji} = *자연광 교정계수 (월j의 시간i에 대한 이용계수)*

F_{Oji} =*는 월j의 시간i에 대한 점유 보정계수*

F_{Od} = *1년이상 설치조명 점유교정계수*

㉰ 인공조명에 의한 열획득원

○ 조명전력량 W_{light}과 배기구가 설치된 조명시설의 경우 실내부하율 μ_L는 다음의 <표 2.141>에 의해 구해진다.



[그림 2.136] 배기구가 설치된 조명장치의 두가지 예
a) 천정공간을 통한 흡입 b) 연결배관을 통한 흡입
(출처 : 건설기술연구원, 기후변화 대응을 위한 건물에너지효율등급 표시제도 개발 연구 1차년도 보고서, 2009)

<표 2.141> 배기구가 있는 조명장치에 대한 실내부하율 μ_L

천정시스템에서의 형광램프				
조명장치 연결성능 대비 배기량 $m^3/h \cdot W$	0.2	0.3	0.4	0.5
μ_L 천정공간을 통한 흡입	0.80	0.70	0.55	0.45
μ_L 비 단열배관을 통한 흡입	0.45	0.35	0.30	0.25
μ_L 단열배관을 통한 흡입	0.40	0.35	0.30	0.25

(출처 : 건설기술연구원, 기후변화 대응을 위한 건물에너지효율등급 표시제도 개발 연구 1차년도 보고서, 2009)

$$Q_{i,L} = \mu_L W_{light}$$

여기에서,
$Q_{i,L}$*는 인공조명 발열량*
μ_L*는 배기구가 있는 조명장치에 대한 실내부하율*
W_{light}*는 조명 전력량*

○ 표준 데이터 및 모델은 1차 문헌 조사 후 주관사가 최적성 검토를 하여 short list 화여 타당성을 제시한다.

○ 광덕트는 요구 조도가 획득되지 않을 때 보조 전력을 사용하므로 이에 대한 분석 및 결과는 아래 부록과 같이 도출한다.

③ 실내기기

㉮ 기기 부하

$$Q_{I,source,fac} = \rho fac \bullet A \bullet t \bullet N day$$

위 식에서,

ρfac *: 기기 발열 밀도(Wh/m² d)*

A *: 존의 면적(m²)*

t *: 시간*

N *day : 운전일수*

$Q_{I,source,fac}$ *: 기기 발열 에너지*

④ 인체

㉮ 인체 부하

$$Q_{I,source,p} = \rho person \bullet A \bullet t \bullet N day$$

위 식에서,

$\rho person$ *: 재실자 발열 밀도(Wh/m² d)*

A *: 존의 면적(m²)*

t *: 시간*

N *day : 운전일수*

$Q_{I,source,P}$ *: 인체 발열 에너지*

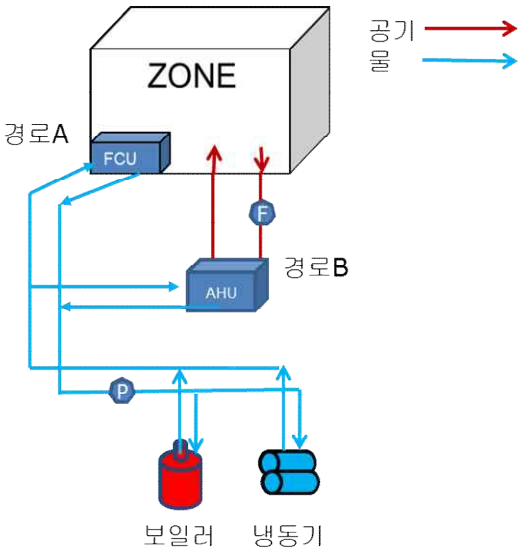
○ 인체 및 기기 발열에 있어 발열 밀도(Wh/m^2 d)는 '건설기술연구원, 기후변화 대응을 위한 건물에너지효율등급 표시제도 개발연구 1차년도 보고서(2009)'의 용도 프로파일을 출처로 한다.

(사) 공조

① 실효율

○ 건물의 용도 및 부분 부하에 따라 기기의 용량이 산정되며, 그에 따른 계절 및 기기별 효율(SEER)이 결정된다. 그 후 존 분배 시 덕트 및 파이프 손실로 인한 시스템 손실까지 포함하여 실효율(SSEER)을 도출한다.

② 존 분배에 따른 손실



[그림 2.137] 존 분배의 차이

○ 효율 = (투입열-손실)/투입열 이며, 우측의 경로 A,B는 다른 손실요인을 가진다

난방 예시)

경로A (FCU)

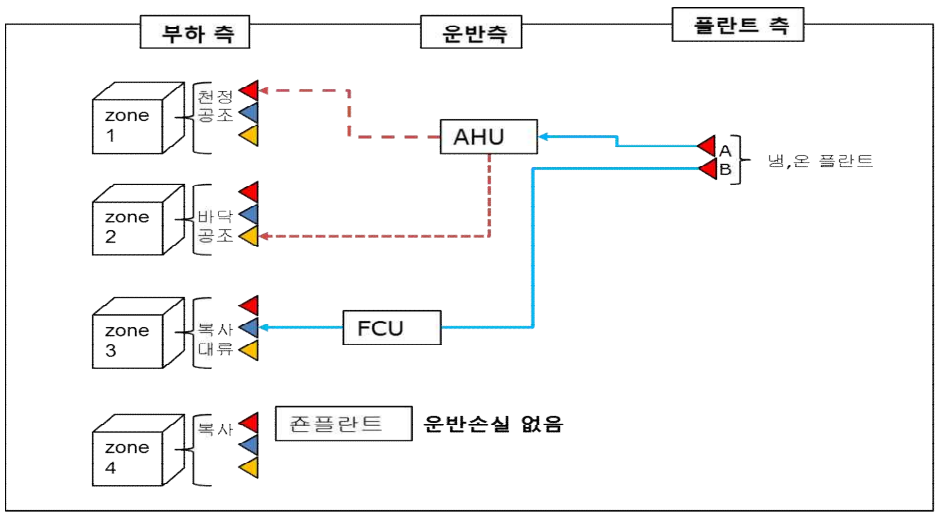
-> 보일러손실, 배관손실 ,펌프동력

경로B (AHU)

-> 보일러손실, 배관손실 ,펌프동력 + FAN전력 , 공기덕트손실

○ 기기별, 경로(공기, 물)별 손실조합을 내부 알고리즘화 및 표준 데이터 제시

③ 존별 기기 시스템 연결



[그림 2.138] 존별 경로 지정 개념

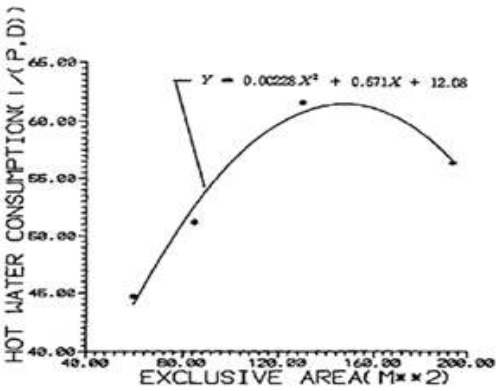
○ 존별 기기 설정 및 존 분배 과정이 다르다면 존별 실효율이 달라지므로 이에 따른 에너지 소비량 차이를 반영함.

(아) 급탕

○ 건물 용도별 운전 표준 프로파일 및 에너지 시스템별 시스템 표준 효율 계수를 문헌 조사 및 측정 데이터 분석을 통해 정의한다.

○ 표준 데이터 및 모델은 1차 문헌 조사 후 주관사가 최적성 검토를 하여 short list 화여 타당성을 제시한다.

구 분	지역	59㎡ 이하	59~84㎡	84~130㎡	130㎡ 이상
세대당 하루평균 급탕사용량 (L)	중부	165	202	212	227
	남부	117	159	177	217
열량환산 [Mcal/yr·세대]	중부	2,697	3,301	3,465	3,710
	남부	1,913	2,599	2,893	3,547

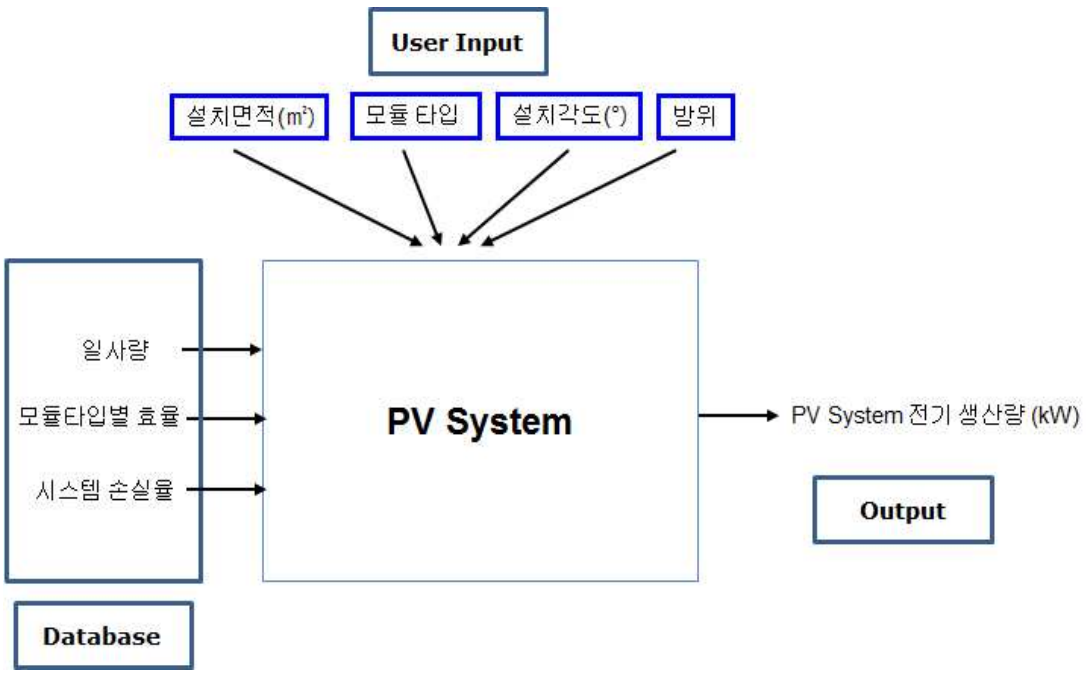


[그림 2.139] 예상 결과물 예시: 1-2인 소형 공동 주택 급탕량 계산 모델
1)평형별 급탕 사용량 2)일인당 하루 급탕 부하 예측 모델(바닥 면적당)

(자) 신재생 에너지 시스템

① PV System

○ 태양광발전 생산량 계산 알고리즘 개발



[그림 2.140] 태양광발전 Data Model

$$Q_{PV} = I \cdot K_E \cdot (1 - K_s) \cdot A \cdot K_{DP}$$

Q_{PV} = 태양광발전 연간 전기 생산량

K_E = PV Module에 도달하는 일사량(전일사량 : 직달일사 + 산란일사)

K_s = 시스템 손실 효율

A = PV Moule 설치면적

K_{DP} = 모듈설치 각도 및 방위에 따른 전기 생산효율

<표 2.142> 모듈 타입별 효율

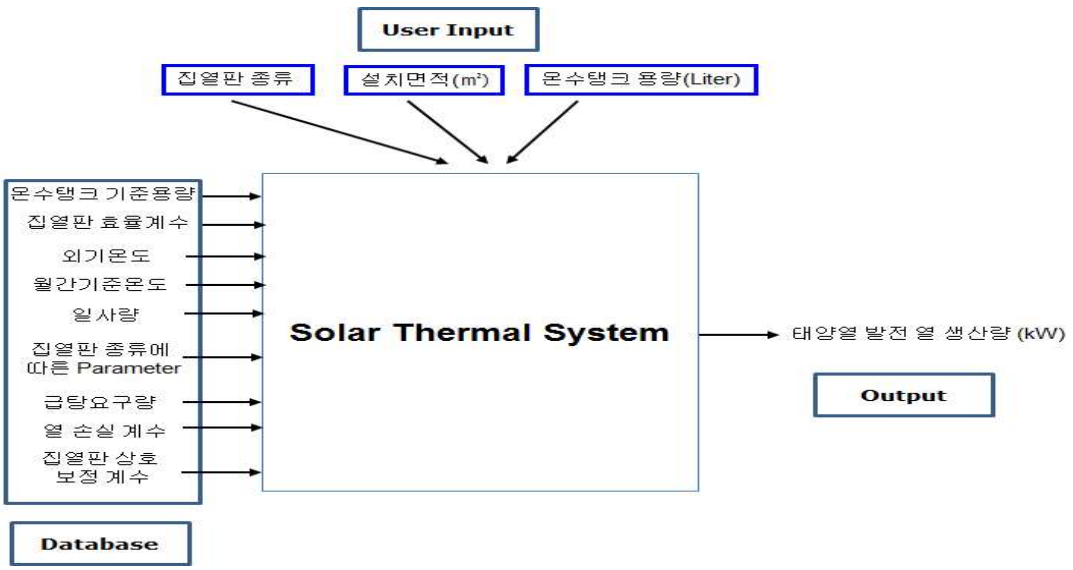
모듈타입	효율
단결정	15%
다결정	12%
비정질	6%
그 외 박막전지	8%

<표 2.143> 태양광발전 생산량 계산 수식

인버터 손실	7.5%
모듈의 그림자에 의한 손실	2.5%
모듈 표면온도에 의한 손실	3.5%
그림자에 의한 손실	2%
DC전압 손실	3.5%
최대 출력점 에러	1.5%
AC 전압 손실	3%
기타	1.5%
총 손실율	25%

② 태양열 시스템

○ 태양열 생산량 계산 알고리즘 개발



[그림 2.141] 태양열 Model data

<표 2.144> 태양열 입출력 모델

No	Items	unit	description
USER INPUT			
1	집열판 면적	㎡	태양열 집열판 설치 면적 입력
2	집열판 종류		집열판 종류(무광택, 평판형, 진공관형)을 선택 입력
3	설치탱크 용량	Liter	온수탱크 용량을 입력
Database			
1	온수탱크 기준용량	Liter	기준이 되는 온수 탱크의 용량
2	집열판 효율계수		태양광발전 시스템의 전기 손실율
3	외기온도	°C	해당지역의 월평균 외기온도
4	월간 기준온도	°C	기준이 되는 월평균 외기온도
5	일사량	W/㎡	해당지역의 월평균 일사량
6	집열판 종류에 따른 Parameter		집열판 종류에 따른 효율 및 보정계수
7	급탕요구량	kW/㎡	단위 면적당 급탕 요구량
8	집열판 상호 보정계수		온수 탱크에 연결된 집열판의 상호 보정계수
9	열손실 계수		집열판 특징, 배관단열, 시스템 전체 배관 등에 관한 열손실 계수
Output			
1	태양열 시스템 열 생산량	kWh	해당 태양열 시스템의 연간 열 생산량

$$Qw_{,sol,use,mi} = Qw_{,sol,out,mi} \cdot Q_{sol,mi}$$

$Qw_{,sol,use,mi}$ = 태양열 시스템 월간 열 생산량

$Qw_{,sol,out,mi}$ = 태양열 모듈 월간 열 발생량

$Q_{sol,mi}$ = 태양열 시스템 월간 손실량

여기에서,

$$Qw_{,sol,use,mi} = f \cdot Qw_{,sol,us,mi} = (aY_{w,mi} + bX_{w,mi} + cY_{w,mi} + dX_{w,mi} + eY_{w,mi} + fX_{w,mi}) \cdot Qw_{,sol,us,mi}$$

$Qw_{,sol,use,mi}$ = 월간 급탕 요구량

$$X_{mi} = \frac{A \cdot U_{loop} \cdot n_{loop} \cdot \triangle T_{mi} \cdot f_{st} \cdot t_{mi}}{Q_{w,sol,us,mi} \cdot 1000}$$

A = 집열판 면적

$U_{loop} = a1 + a2 + \frac{U_{loop \cdot p}}{A}$ = 집열판 특징과 배관 단열에 의해 결정되어지는 열손실 계수

$U_{loop,p} = 5 + 0.5A$ = 시스템 전체 배관의 열손실 계수

n_0 = EN 12975-2의 시험방법과 집열렌즈 면적과 관련된 열손실율 0인 집열판 효율계수

a_1 = EN 12975-2의 시험방법과 집열렌즈 면적과 관련된 집열판 열손실 효율

a_2 = EN 12975-2의 시험방법과 집열렌즈 면적과 관련된 집열판 열손실 효율 온도

IAM = 집열판 직달일사의 입사각의 50° 일 때, EN 12975-2의 시험방법에 의한 입사각 보정계수

$n_{loop} = 0.85$

<표 2.145> 집열판 타입에 따른 입력 Parameters

집열판 타입	n_0	a_1	a_2	IAM
무광택 집열판	0.9	20	0	1
평판형 집열판	0.75	6	0	0.94
진공관형 집열판	0.65	3	0	0.97

$\triangle T_{mi}$ = 월간 기준온도 차

$\triangle T_{mi} = T_{ref,mi} \cdot T_{e,avg,mi}$

$T_{ref,mi}$ = 월간 기준온도

$T_{ref,mi} = 11.6 + 11.8\,T_w + 3.86\,T_{cw} + 1.32\,T_{e,avg.mi}$

T_w = 40℃

T_{cw} = 10℃

$T_{e,avg,mi}$

$f_{st} = (\frac{V_{ref}}{V_{sol}})0.25$

V_{ref} = 75liter

V_{sol} = 설치 온수 탱크 용량

t_{mi} = 해당월의 일수

$Q_{w(H),sol,us,mi}$ = 월간 급탕 요구량

$$Y_{mi} = \frac{A \cdot IAM \cdot n_0 \cdot n_{loop} \cdot I_{mi} \cdot t_{mi}}{Q_{sol,us,mi} \cdot 1000}$$

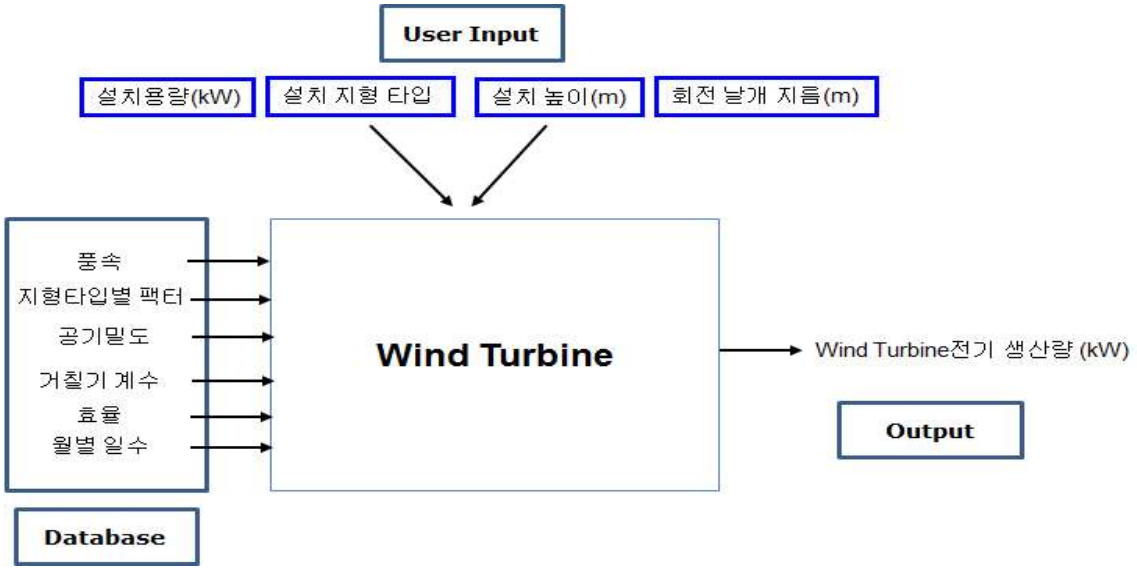
I_{mi} = 태양열 시스템에 도달하는 월간 평균 일사량

<표 2.146> 태양열 생산량 계산수식

a	1.029
b	-0.065
c	-0.245
d	0.0018
e	0.0215
f	0

③ 풍력발전 시스템

풍력발전 생산량 계산 알고리즘 개발



[그림 2.142] 풍력발전 Data Model

<표 2.147> 풍력발전 입출력 모델

No	Items	unit	description
USER INPUT			
1	설치면적	㎡	풍력발전 설치 면적 입력
2	설치 지형타입		설치 지형(평지, 농장, 주택, 도심지 등)을 선택입력
3	설치 높이	m	풍력발전 날개 설치 높이 입력
4	회전 날개 지름	m	풍력발전기 회전 날개 지금 입력
Database			
1	풍속	m/s	해당지역의 월평균 풍속, 시간당 풍속
2	지형타입별 팩터		지형타입별 지형 팩터, 길이
3	공기밀도	Kg/㎥	공기밀도(~1225kg/㎥)
4	거칠기 계수		지형팩터 설치높이를 고려한 계수
5	효율		풍속, 설치용량을 고려한 발전기 효율
6	월별일수		해당 월의 일수
Output			
1	Wind Turbine 전기생산량	kW	해당 태양열 시스템의 연간 전기 생산량

$$Q_{ut} = 0.5 \cdot p \cdot [C_r(z) \cdot V_o]^3 \cdot A \cdot EPF \cdot K_{WT} \cdot 24 \cdot N/1000[kWh]$$

Q_{ut} = 풍력발전 월간 전기 생산량

p = 공기밀도

$C_r(z)$ = 높이에 따른 거칠기 계수

V_o = CIBSE 비교 년도의 각 지역별 월별 풍속

A = 풍력발전기 날개의 회전 면적

EPF = CIBSE의 시간당 풍속에 의해 계산된 에너지 패턴 팩터

K_{WT} = 풍력발전기의 변환 효율

N = 해당월의 일수

여기서,

$$A = \pi \cdot D^2/4$$

D = 회전 날개 지름

여기서,

$$C_R(z) = K_R \cdot \ln(z/z_o)$$

K_R = 지형팩터

z = 풍력발전의 설치높이

z_o = 거칠기 높이

<표 2.148> 풍력발전 입력요소

지형타입	Kr 지형팩터	Zo(m) 거칠기
평지	0.17	0.01
울타리가 있는 농지, 농장, 주택 및 나무	0.19	0.05
교외, 산업지역, 숲	0.22	0.3
도심비	0.24	1

여기서,

$$EDF = \frac{APD}{0.5 \cdot p \cdot V_o^3}$$

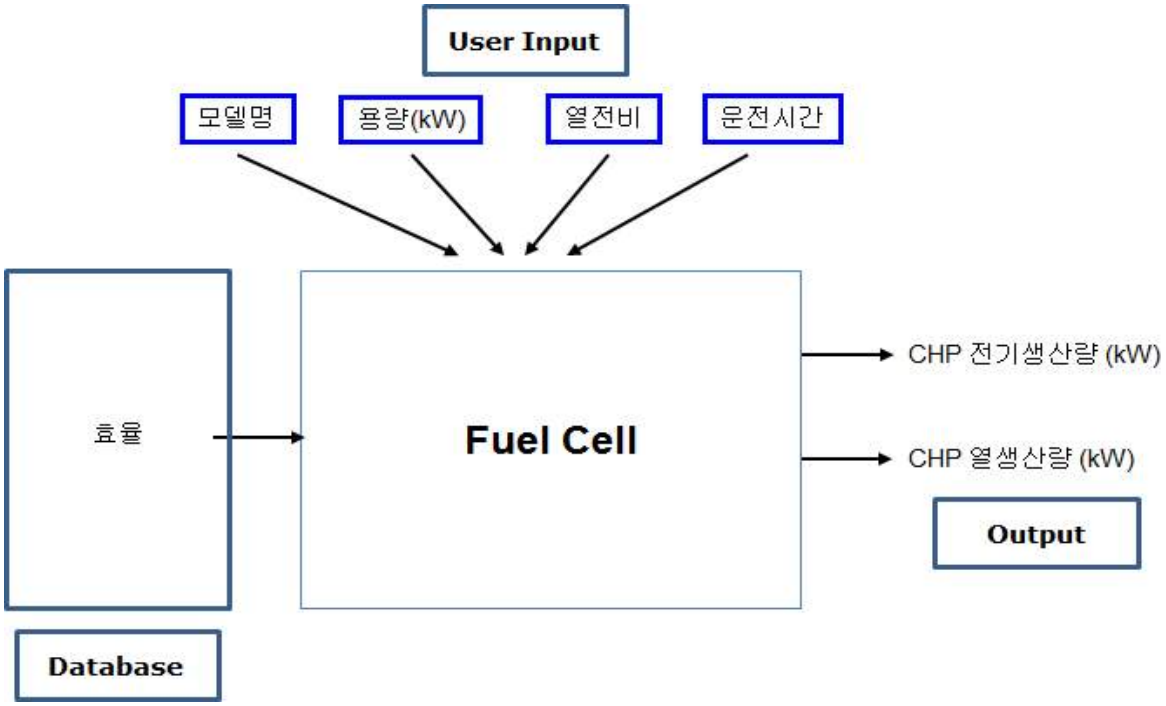
여기서,

$$APD = \frac{\sum_{i=1}^{8760} 0.5 \cdot p \cdot V_o^3}{8760}$$

V_i = CIBSE의 TRY 기상데이터의 시간당 풍속

④ 연료전지

○ 연료전지 생산량 계산 알고리즘 개발



[그림 2.143] 연료전지 Data Model

<표 2.149> 연료전지 입출력 모델

No	Items	unit	description
USER INPUT			
1	모델명		데이터 베이스에서 설치 Fuel Cell 유저가 선택 입력
2	용량	kW	해당 Fuel Cell의 효율을 입력
3	열전비		해당 Fuel Cell의 열, 전력 생산비를 입력
4	운전시간	h	해당CHP의 일일 가동시간을 입력
Database			
1	효율	%	Fuel Cell의 전력생산 효율
Output			
1	Fuel Cell 전기생산량	kW	해당 Fuel Cell의 연간 전기 생산량
2	Fuel Cell 열생산량	kW	해당 Fuel Cell의 연간 열 생산량

○ 연료전지 생산량 계산수식은 다음과 같다

$$E = \frac{C_{TC} \cdot C_{DH} \cdot 365}{C_E}$$

E = Fuel Cell 전기생산량
Ctc = Fuel Cell 설치용량
Cdh = Feul Cell 일일 운전 가동시간
Ce = Fuel Cell 전력 생산효율
Fuel Cell 열 생산량
H *= Fuel Cell 열 생산량*
R_{HP} *= Fuel Cell 열전비*

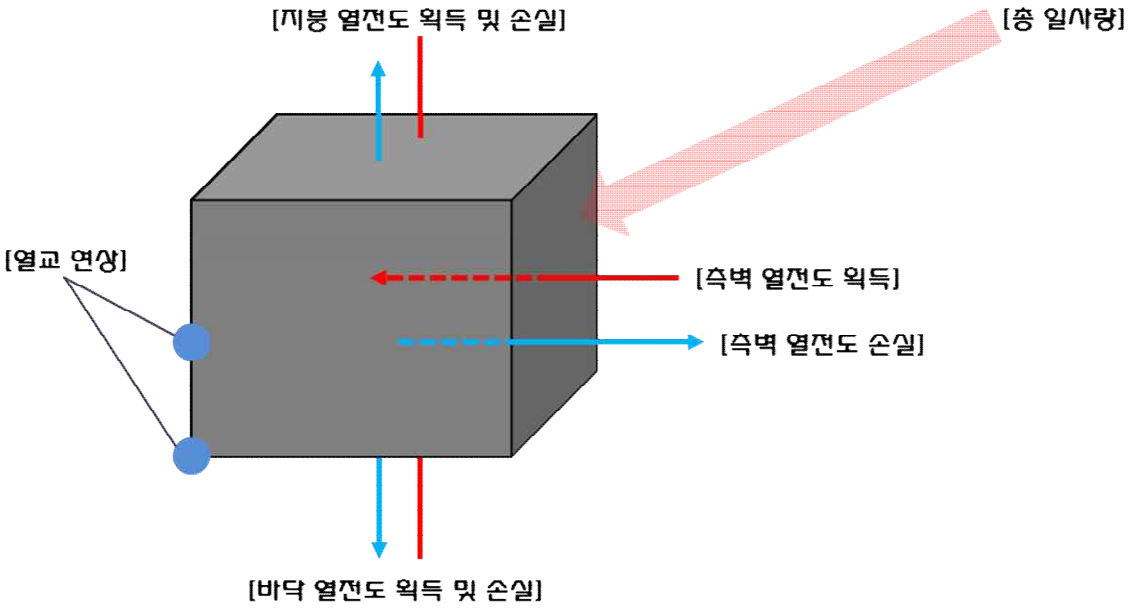
○ 연료전지 연료 소비량 계산수식은 다음과 같다

$$F = \frac{H_{SH} \cdot p_{SH} \cdot H_{HW} \cdot p_{HW} \cdot \frac{H_{SC} \cdot p_{SC}}{SEER}}{\eta_{TH}}$$

F *= Fuel Cell 연료 요구량*
H_{SH} *= 연간 난방 부하량*
p_{SH} *= 연간 난방 부하량 중 Fuel Cell에서 공급되어지는 난방에너지 비율*
H_{HW} *= 연간 급탕 부하량*
p_{HW} *= 연간 급탕 부하량 중 Fuel Cell에서 공급되어지는 급탕에너지 비율*
H_{SC} *= 연간 냉방 부하량*
p_{SC} *= 연간 냉방 부하량 중 냉동기에서 공급되어지는 냉방에너지 비율*
$SEER$ *= 냉동기의 계절별 부분부하 효율*
η_{TH} *= 연간 연료 투입량에서 나뉘어진 연간 총 열 사용 공급량에서 정의된 Fuel Cell 의 계절별 부분부하 효율*

(차) 열전도에 의한 획득/손실

① 벽체 열전도 및 복사 과정



[그림 2.144] 외벽 열획득 손실 프로세스

② 열 전도에 따른 요소별 열획득

㉮ 전도에 의한 열획득

$$Q_T = Q_{Te} + Q_{Tz} + Q_{Ts}$$

위 식에서,
Q_T *: 전도에 의한 열획득*
Q_{Te} *: 외벽*
Q_{Tz} *: 해석 존과 경계를 이루는 난방/냉방 존*
Q_{Ts} *: 지중 또는 지표*

㉯ 해석 존과 경계를 이루는 비난방 존 또는 구조물의 전도에 의한 열획득

$$Q_{Tu} = H_{Tiu} \cdot (\vartheta_u - \vartheta_i)t$$

위 식에서,
Q_{Tu} *: 해석 존과 경계를 이루는 비난방 존 또는 구조물*
H_{Tiu} *: 비난방 존을 통한 외부로의 전도열손실계수*
ϑ_u *: 비 난방 존의 온도*
ϑ_i *: 분석 실내온도*
t *: 시간*

㉰ 해석 존과 경계를 이루는 난방/냉방 존

$$Q_{Tz} = H_{Tiz} \bullet (\vartheta_z - \vartheta_i)t$$

위 식에서,
Q_{Tz} *: 해석 존과 경계를 이루는 난방/냉방 존*
H_{Tiz} *: 난방/냉방 존의 외부로의 전도열손실계수*
ϑ_z *: 이웃 존의 온도*
ϑ_i *: 분석 실내온도*
t *: 시간*

㉱ 외벽에 의한 열획득

$$Q_{Te} = H_{TD} \bullet (\vartheta_e - \vartheta_i)t$$

위 식에서,
Q_{Te} *: 외벽의 전도에 의한 열획득*
H_{TD} *: 존과 외기 사이의 관류에 의한 열손실계수*
ϑ_e *: 외기온도*
ϑ_i *: 분석 실내온도*
t *: 시간*

㉲ 지중 또는 지표를 통한 에너지 전도 열획득

$$Q_{Ts} = H_{Ts} \bullet (\vartheta_e - \vartheta_i)t$$

위 식에서,
Q_{Ts} *: 지중 또는 지표를 통한 에너지 전도 열획득*
H_{Ts} *: 지중으로의 관류에 의한 열손실계수*
ϑ_e *: 외기 온도*
ϑ_i *: 분석 실내온도*
t *: 시간*

㉳ 온도보정계수를 이용한 비 난방 존의 온도

○ ISO 13790 간이법 에서는 난방설비가 없는 지하실, 최하층, 최상층, 유리구조물, 계단실, 지중 등과 접하는 비 난방 존의 온도 ϑ_u는 아래의 식으로 구한다

$$\vartheta_u = \vartheta_i - F_x(\vartheta_i - \vartheta_e)$$
$\vartheta_i = \vartheta_{i,h}$ 또는 $\vartheta_{i,c}$

<표 2.150> 구조체의 온도보정 계수 F_D

			B'^{a}					
	외부로의 구조체를 통한 열류	F_x	온도-수정팩터 F_{x^f}					
1	외벽, 창, 외기에 접한 천정	F_e	1.0					
2	지붕 (시스템 경계로서)	F_D	1.0					
3	옥상 층 천정 (설비가 안 된 지붕공간)	F_D	0.8					
4	외부로 향한 벽 및 천정	F_u	0.8					
5	비난방 공간(지하 공간 이외의)으로 향한 벽 및 천정	F_u	0.5					
6 7 8	비난방 유리구조물로 향한 벽 및 창문 단층유리 복층유리 단열유리	F_u F_u F_u	0.8 0.7 0.5					
	건물 밑 부분 마감 구조체		<5m		5m~10m		>10m	
			R_f 또는 R_{w^b}		R_f 또는 R_{w^b}		R_f 또는 R_{w^b}	
	난방이 되는 지하의 지중으로의 구조면		≤1	>1	≤1	>1	≤1	>1
9	난방이 되는 지하의 바닥	F_G	0.30	0.45	0.25	0.40	0.20	0.35
10	난방이 되는 지하의 벽	F_G	0.40	0.60	0.40	0.60	0.40	0.60
			R_f		R_f		R_f	
			≤1	>1	≤1	>1	≤1	>1
11	지하실 없는 건물/건물존 지표위 바닥[c] 가장자리 단열 없이 지표면으로만 단열됨	F_G	0.45	0.6	0.4	0.5	0.25	0.35
12	지표위 바닥[c] 가장자리 단열 있음[d] 5m 너비, 수평	F_G	0.3		0.25		0.2	
13	비난방 지하실로의 지하실 천정 및 내벽 페리메트단열 있음[g]	F_G	0.55		0.5		0.45	
14	페리메트단열 없음[g]	F_G	0.7		0.65		0.55	
15	뜬 바닥 (예: 통풍되는 교회지하실)	F_G	0.9					
16	낮게 난방이 되는 공간의 바닥판[e]	F_G	0.2	0.55	0.15	0.5	0.1	0.35

(출처 : 건설기술연구원, 기후변화 대응을 위한 건물에너지효율등급 표시제도 개발 연구 1차년도 보고서, 2009)

㈏ 열교 현상

○ 열교에 대한 값은 Therm Program과 연계하여 ψ(선형열관류율,Psi) 및 점형열관류율(Chi)를 구하여 값을 도출한다.

(카) 열용량 산정

① 중량 및 경량에 대한 고려

$$\tau = \frac{C_m / 3,600}{H_{tr} + H_{ve}}$$

$$C_m = \sum(\kappa_j \times A_j)$$

위 식에서,

τ: *건축물 존의 시간 상수(h)*

C_m : *건축물이나 존의 실내 공기와 직접 접촉하는 건축물 요소 열용량의 합(J/K)*

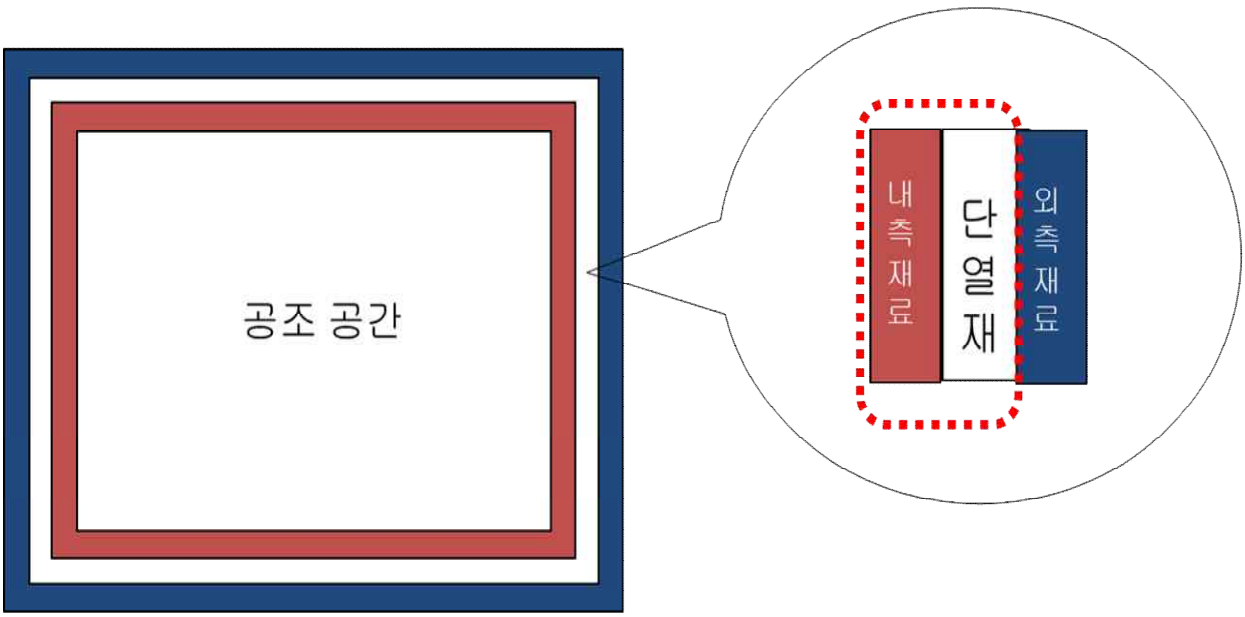
κ_j : *건축물 요소 j의 단위 면적당 열용량(J/㎡K)*

A_j : *건축물 요소 j의 면적(㎡)*

○ 구조체에 따른 냉난방 영향을 고려하기 위해 시간상수(τ) 도입

○ 시간 상수에 대한 영향은 구조체의 중경량에 따라 달라지므로 벽체 열용량 고려

② 내단열 및 외단열 고려



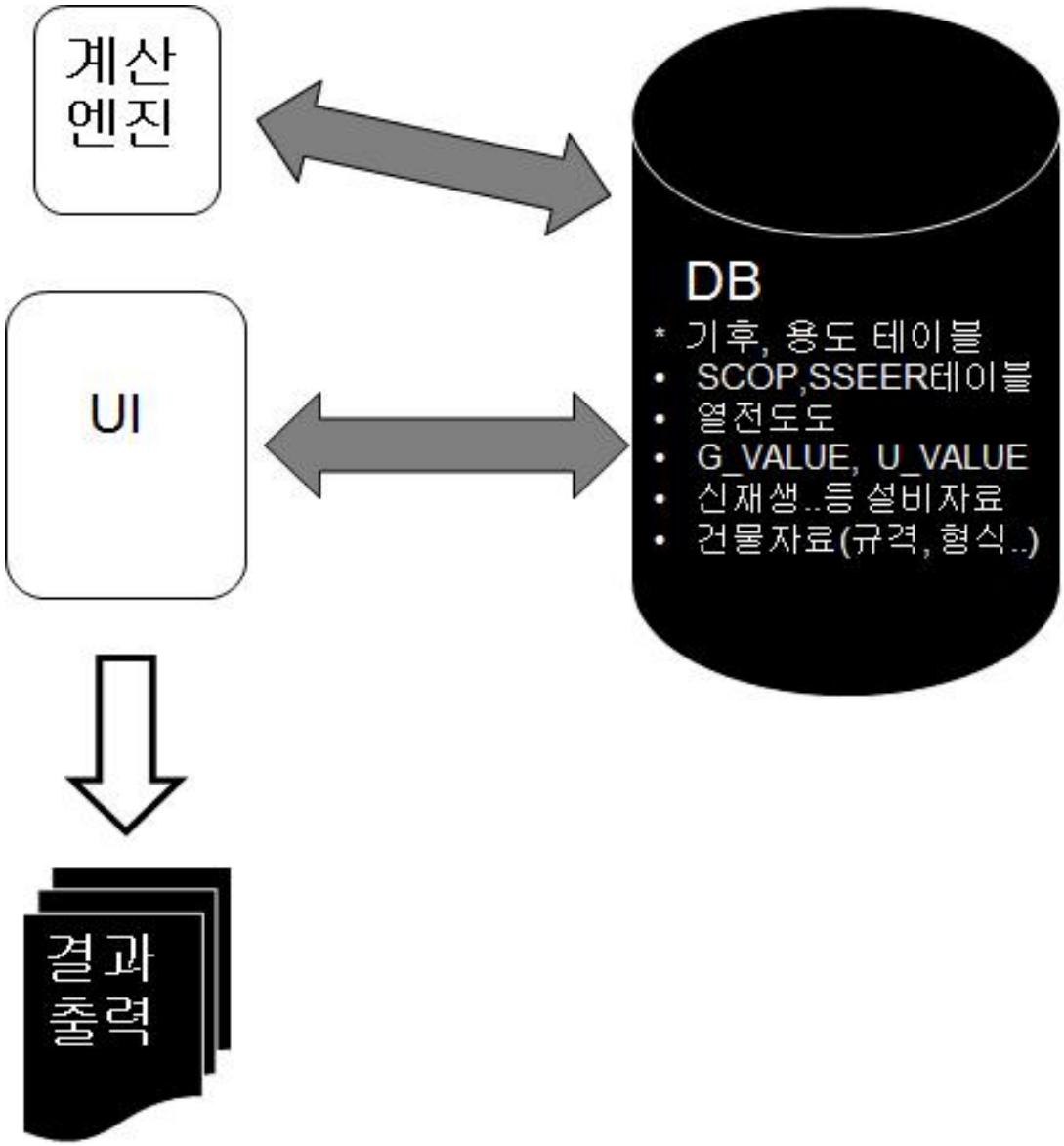
[그림 2.145] 내측 재료

○ 건축물 열용량에 의한 축열 활용에 관여하는 열용량은 벽체의 단열재 내측에 있는 재료의 열용량에 의하여 주로 영향을 받는다. 따라서 단열재를 기준하여 단열재와 내측 재료의 열용량의 합계를 벽체의 열용량으로 반영한다.

(2) 건물에너지 성능 평가 Tool Kit 개발

(가) Tool Kit의 구성

① UserInterface는 건물의 에너지요소(기후, 용도, 규격, 물성치(U_value, G_value, 열전도도)을 DataBase에 입력하고, 변경하여 에너지부하 및 에너지소요량 계산 환경을 제공한다.



[그림 2.146] 프로그램 요소의 관계도(UI와 엔진은 독립적으로 DB에 연결한다)

② UI(UserInterface)는 DB연계와 더불어 계산엔진의 작동 및 출력을 제어 한다.

③ DB(DataBase)는 기후, 용도, SCOP테이블, SSEER테이블, 재료의 물성치.. 등 에너지기초데

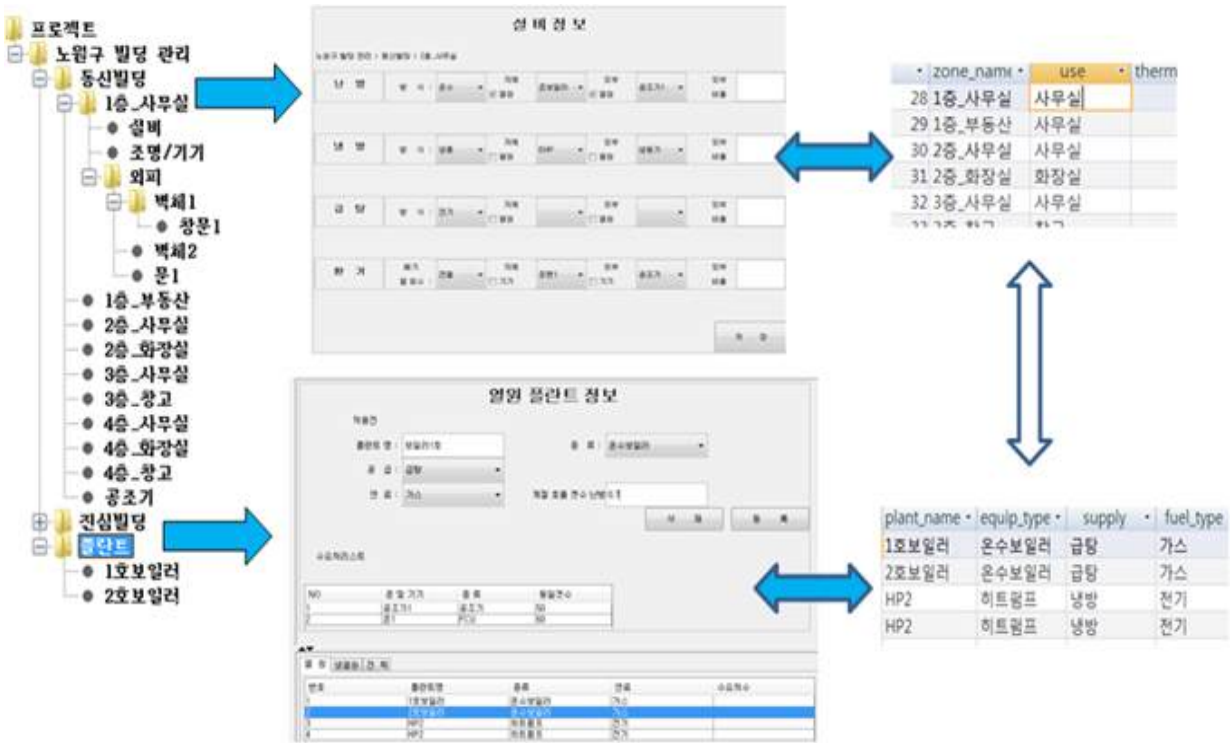
이터를 지원하고, 사용자의 건물데이터를 저장하여 환경변화(창호교체..등)를 지원한다.

④ 계산엔진은 사용자가 입력한 에너지요소(공조면적, 구조체조성, 방향, 사용패턴, 시스템방식, 운영방식(설비의 운영비율등.))와 제공요소(기후, 용도, SCOP, SSEER, 조합패턴..)를 근거하여 부하 및 1차, 2차 에너지소요량을 도출한다.

(가) Tool Kit의 특징

① 트리 구조 구현

○ 화면 좌측에 상황판 역할을 하는 트리를 표시하며, 건물의 모든 에너지요소를 계층구조(프로젝트->빌딩->존->벽체, 프로젝트->빌딩->존->창문, 프로젝트->빌딩->존->창틀, 프로젝트->플란트->열원플란트, 프로젝트->빌딩->존->열설비, 프로젝트->빌딩->존->조명)로 표시한다. 트리에서 추가, 삭제하므로, 건물의 에너지요소를 쉽게 모델링할 수 있다. 하위에 추가된 에너지요소는 계층적으로 상위요소에 포함된다.

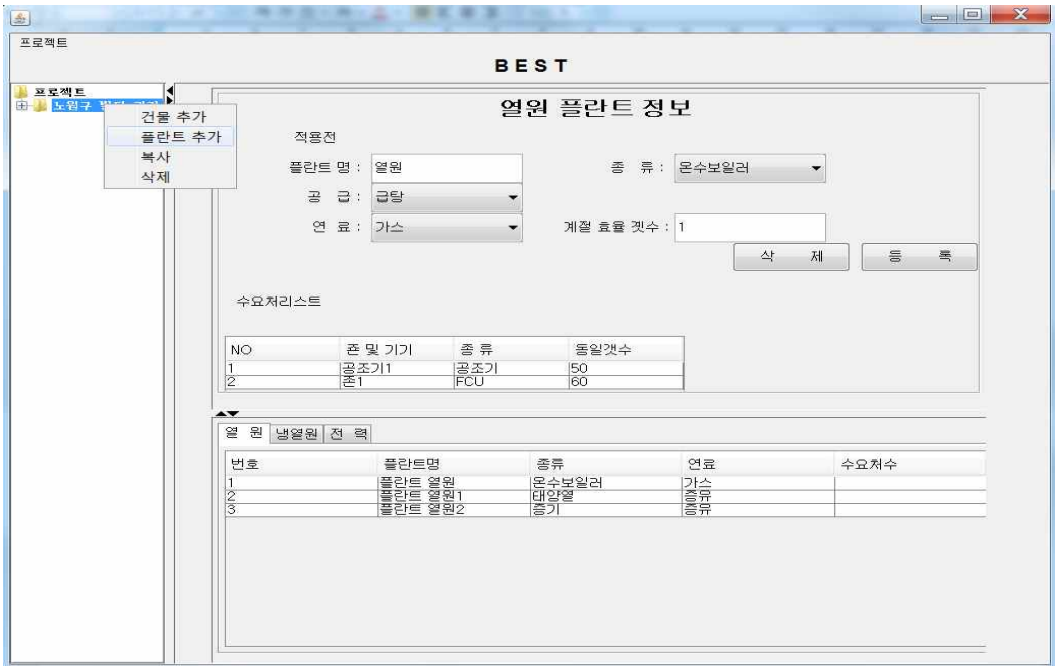


[그림 2.147] 트리구조와 UserInterface와 DB 연계도

○ 트리의 선택은 에너지요소(빌딩,존, 외피, 설비..등)를 계층구조상 상하 및 수평 단계를 확정하고, 그 단계에서 열린 UI는 그 단계의 건물 에너지요소로 입력데이터를 DB에 기록한다.

② 열원플란트를 프로젝트차원에서 관리

○ 플란트를 열원, 냉열원, 전력으로 분류하고, 건물보다 상위 차원인 프로젝트에서 공급하로 건물에서 세부 존까지 플란트를 할당 받게 한다.



[그림 2.148] 열원 플란트 정보 및 관리

① 존의 플란트 선택

○ 존에서 설비를 선택하는 것으로 열원, 냉열, 전력..등의 플란트의 수요자로 등록하게 된다. 또한 설비의 연결 방식을 선택하여 에너지공급 경로를 결정하게 된다. 존에서 플란트를 선택하므로, 구조에 맞는 효율을 구성하는 유연성 요건을 구현하게 된다.



[그림 2.149] 존노드에서 플란트(열원,냉열원)를 선택하는 화면

(3) 표준평가틀 개발을 위한 검증 프로세스

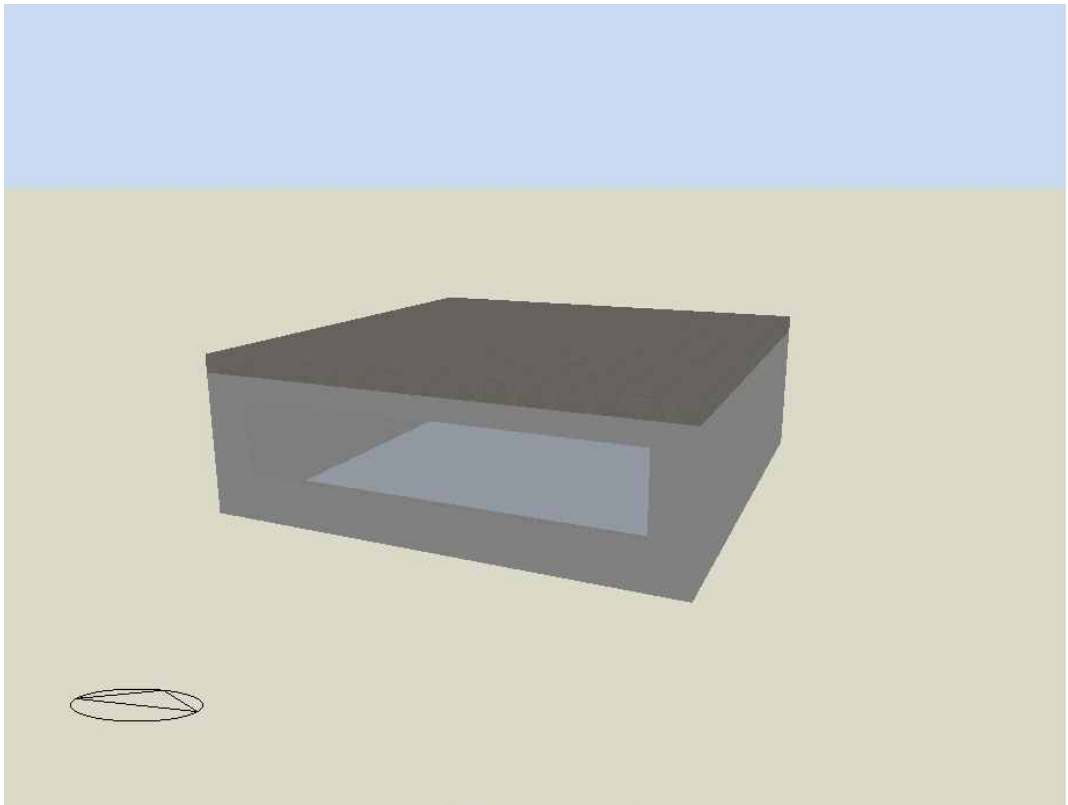
(가) 시뮬레이션 개요

① 시뮬레이션 모델 정의

○ 본 연구에서는 한국의 대표적 사무소 건물의 구조 특성을 반영하기 위해 일개 죤 모델을 정의하여 정밀 시뮬레이션과 ISO 13790 계산법에 적용하였다.

㉮ 시뮬레이션 모델 개요

○ 다중 존의 경우 보다 현실적으로는 모델이나 인접 존 간의 열 교환 현상이 발생 할 수 있으며 이럴 경우 대상 공간에서 열획득/손실율에서 오차를 발생 시킬 수 있는데 이는 정밀 시뮬레이션에서는 고려가 되나 ISO 13790에서는 알고리즘상 반영이 안되기 때문이다. 두 모델에서의 오차 원인을 유효계수의 차로 초점을 두는데 분석상의 어려움을 방지하기 위해 1개존 모델로 단순화 하였다.



[그림 2.150] 모델의 외관

㉯ 모델 기본 설정값

○ 기후 조건은 서울지역을 선택 하였다. 용도 및 환기횟수 그리고 설정온도는 건설기술연구원의 용도 프로파일을 기반으로 적용시켰다. 모델 단순화를 위해 침기량은 기계 환기량에 포함 하여 정의하였으며, 창틀에 의한 열전달 효과는 반영하지 않고 벽체와 창으로만 외피를 구성 하였다. 창은 방위에 따라 일사의 영향을 알아보기 위해 창 면적비를 변화 시켜 일사취득량의 변화에 따른 계산 결과를 비교할 수 있도록 하였다.

<표 2.151> 1존 모델 기본 설정값

건물개요	지역 : 서울		
	용도	개인사무실	
	건물형태	폭: 9m	높이: 2.7m
	채광창	남측: 50%	11.4㎡
	환기횟수	1.5 ACH	
	창문종류	투명 복층창	
	창문틀	미적용	
	침기	침기량 제거	
	실내냉난방 설정온도	난방온도:20℃	냉방온도:26℃

ㄱ. 모델 벽체 정보

- 창을 남측 기준으로 50% 설정하였으며 에너지 플러스 및 ISO 13790에서의 모든 설정값을 동일화 하였다. 벽체 및 창의 관류율과 G 값은 일반 이중창으로 0.81을 적용하였고 에너지 플러스에서는 일사 각도에 따른 평균 G 값이 동일한 유리창으로 선택하였다.

<표 2.152> 1 존 모델 벽체 정보

벽 정보	면적(㎡)	방향	관류율(W/㎡K)
외벽1	22.70	동	0.21
외벽2	22.70	서	0.21
외벽3	11.35	남	0.21
외벽4	22.70	북	0.21
지붕1	70.79		0.15
바닥1	70.79		0.18
창	11.35	남	관류율
			6.12
			G_Value
			0.81

ㄴ. 외벽체 구성밀도 및 열용량

- 벽체 및 창호의 구조체에 대한 열용량은 유효계수 산출 시 매개변수 $a_{H,0}$, $\tau_{H,0}$, C_m에 영향을 주는 요소인데 본 연구 모델에서는 벽면, 바닥, 지붕에서 동일한 구조를 사용한 것으로 가정 하였다. 외벽체 구성별 밀도(kg/㎥) 및 비열(J/kg·K)은 <표 2.153>과 같으며 벽체별 두께(m) 및 면적(㎡)은 개별적으로 설정되기 때문에 구조체별 열용량의 합계는 <표 2.154>와 같이 산출된다. 외벽체는 모두 내단열로 이루어져 있으며 열용량에 있어 충량은 중량 구조체 35.28kWh/K, 경량 구조체 7.30kWh/K로 산출하였다.

<표 2.153> 외벽체 자재별 밀도(kg/㎥) 및 비열(J/kg·K), 두께(M)

경량	경량 클래딩	XPS 압출 폴리스티렌	석고 플라스터보드
밀도	1250	35	900
비열	1000	1400	1000
두께	0.013	0.048	0.006
중량	중량 콘크리트 블럭	EPS 확장 중량 폴리스티렌	플라스터보드
밀도	2300	25	2800
비열	1000	1400	896
두께	0.2	0.15	0.01

<표 2.154> 중/경량 구조 열용량

열용량(kWh/K)	중량구조	경량구조
남측 벽	1.54	0.08
동,서,북측 벽	3.09	0.15
지붕	13.53	0.08
바닥	10.91	5.80
창	0.04	0.04
총 합	35.28	7.30

ㄷ. 기상 데이터 및 운전 스케쥴

- 기상데이터는 국내 기후를 반영하기 위해 한국태양에너지학회에서 20년간 자료를 산출한 데이터를 사용하였다(<표 2.155> 참조). 수직면 전일사량의 서울시의 기후데이터를 이용하여 16방위 벽면에 획득된 전일사량을 계산하여 사용하였다. 지중 온도 역시 한국태양에너지 학회 대한민국 표준 기상데이터를 기반으로 지중 3m 온도를 기반으로 하였다.

- 건물 에너지 각 월별 운전 일수는 2006년을 기준으로 한 달간 일수를 적용하였으며, 근무일은 사무실 근무일로 공휴일을 배제한 주 5일로 하였다. 개인사무실에 있어 예열시간을 고려하여 난방시간은 11시간, 냉방시간 13시간으로 용도 프로파일 적용[9]하여 시뮬레이션을 하였다. 조명과 재실자 그리고 기기는 사무실 이용시간을 고려해 9시간을 적용하였으며 사용률을 고려한다. 환기는 1.5ACH으로 냉난방 운행시간을 제외하고는 작동되지 않는다.

<표 2.155> 기상데이터 및 기준일

기상 데이터	한국태양에너지학회 서울 (86년-05년기준DOE-2포멧).txt 자료를 이용하여 EnergyPlus Weather Statistics and Conversions을 사용 및 생성 후 EnergyPlus 서울 기상데이터 적용 (www.kses.re.kr)			
2006년	일수	근무일	평균외기온도[℃]	지중온도[℃]
1월	31일	22일	-1.3	13.2
2월	28일	20일	1	11.2
3월	31일	23일	6.9	9.7
4월	30일	20일	13	9.6
5월	31일	23일	18.3	10.9
6월	30일	22일	22.8	12.9
7월	31일	21일	25.3	15.6
8월	31일	23일	24.8	18.4
9월	30일	21일	20.9	19.8
10월	31일	22일	15.5	19.4
11월	30일	22일	6.2	18.1
12월	31일	21일	1	15.8

<표 2.156> 한국태양에너지 학회 대한민국 표준 기상데이터(서울)

수평면 전일사(kWh/㎡d)					
1월	2월	3월	4월	5월	6월
1974.1	2962.7	4136.9	4906.0	6076.1	4960.0
7월	8일	9월	10월	11월	12월
3701.3	4071.7	3804.6	3289.4	1969.4	1990.6

㉰ 정밀 시뮬레이션 및 ISO 13790 기반툴 모델 일치화

ㄱ. 조명발열량 오차발생 원인 및 일치화

- 실내 조명 발열량은 14.74kWh/m^2로 동일한 값이 나오나 시간과 조명밀도의 차이가 발생하였다.
- ISO 13790 기반 툴에서 0.7의 구동대비 감소 펙터가 개인사무실 9시간에 적용되어 6.3시간이 적용되는 반면, 6시간으로 설정되어있는 에너지 플러스는 0.3시간의 차이를 조명밀도로 대체한 후 0%로 조정.
- 이 외의 실내발열 요소인 기기발열과 인체발열 역시 오차율 0%로 조정할 수 있었음.

ㄴ. 환기율 오차발생 원인 및 일치화

- 환기율은 1.5ACH로 조정했지만 환기 열손실 획득에 있어 오차가 발생함.
- ISO 13790의 평균 외기 온도는 연간 월별 24시간 평균 온도(한국태양에너지학회)로 산출되어지므로 이에 따라 환기 열손실 획득은 24시간 평균 외기 온도와 내부 설정 온도차로 산출된다.
- 반면 동적시뮬레이션 툴은 각 시간대별 외기온도와 내부 온도차로 산출함으로 동적시뮬레이션 툴에서 공조시간 동안 설정온도 유지 시 외기와의 온도차는 ISO 13790의 공조시간 동안 외기와 온도 차 비교 시 그 차이가 발생하는 것을 알 수 있음.

ㄷ. 창에 대한 일사 획득량의 오차발생 원인 및 일치화
- 창에 대한 일사 획득량은 동일한 패턴을 보이나 총량에서 월별 2kWh/m^2 차이가 발생함.
- 창의 G 값 적용 시 동적시뮬레이션의 경우 값이 태양 고도별로 변화하여 적용됨.
- 그에 비해 ISO 13790 계산법은 태양 고도별 G 값과 달리 0.81로 일정하게 적용되며, 일사취득 계수가 창에 대한 일사 각도마다 달라지는 것이 반영되지 못함.

② 데이터 분류별 모델 정의
- 분석 케이스별로 결과값을 산출하기 위하여 각 모델의 조건을 달리하여 정의하였다. 평가대상 유효계수는 ISO 13790 기본 값과 해외연구자가 제안한 유효계수 결정을 위한 매개변수를 적용하였다. Case1의 경우 Kokogiannakis의 연구에서 난방 시 아래 <표 2.157>과 같이 도입하였으며, 냉방 시엔 Corrado & Fabrizio의 창면적 대비 바닥 면적(ζ)에 대한 수정 방법을 적용하였다. 반면 Case2의 경우 냉난방 시 ISO 13790에서 제안 된 기본값을 사용하였다.

<표 2.157> Case별 매개변수 적용값

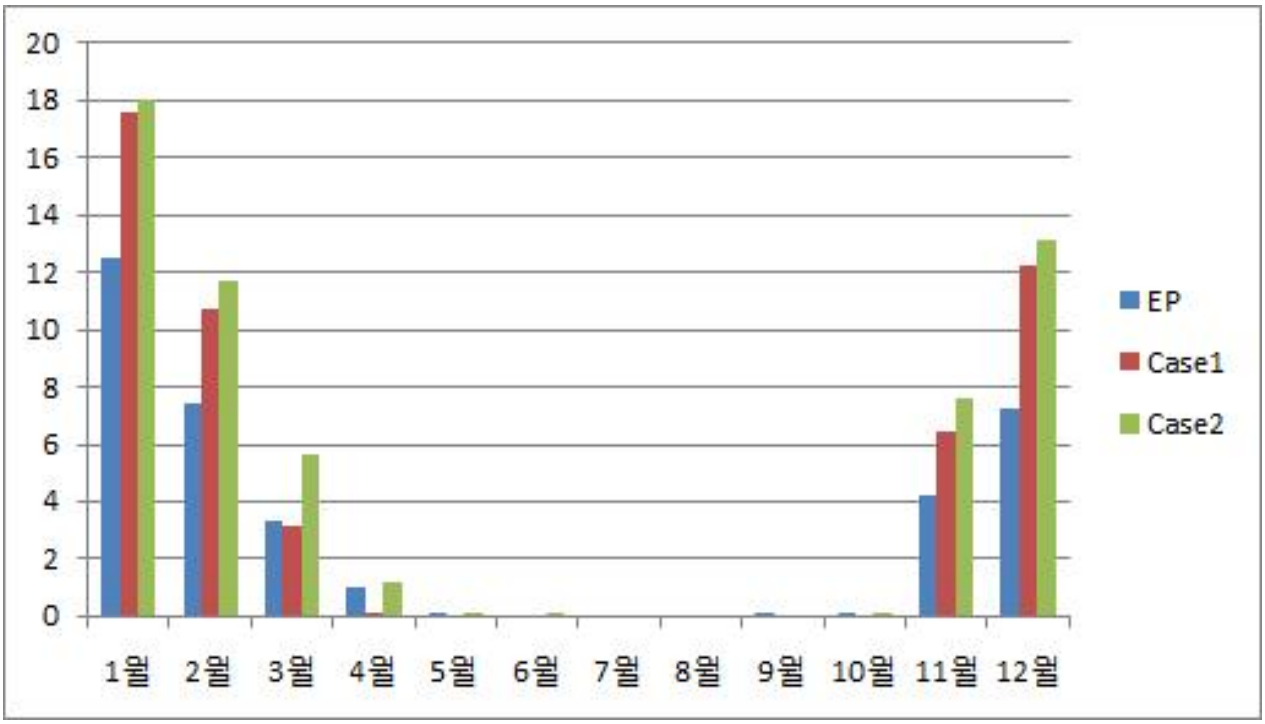
	Case1	Case2
냉방	$8.1-13\zeta+\frac{\tau}{17}$	$a_{0,C}$ = 1.0, $\tau_{0,C}$ = 15
난방	a_0 = 3.5 τ_0 = 10	$a_{0,H}$ = 0.8, $\tau_{0,H}$ = 70

- 일사량에 차이에 의한 오차율을 보기 위해 방위별 남, 동, 북으로 하였다. 중량/경량의 차이로 인해 열용량이 달라지므로 유효계수에 영향을 줄 것이며 시간에 따른 열 함유량도 달라질 것이다. 또한 창 면적이 커지면 열용량이 작아지므로 열에 대한 입출력 값이 달라질 것이며 일사에 대한 영향까지도 고려해 볼 수 있을 것이다. 모든 시나리오별로 에너지플러스를 참고 기준값으로 설정한 뒤 두 가지 유효계수 적용을 통해 산출된 오차율을 비교하였다.

③ 시뮬레이션 결과 비교 및 분석
㉮ 난방 부하 계산 결과 비교 분석_남측창, 벽면률 50%

<표 2.158> 월별 난방 부하 비교(kWh/㎡h, EP = EnergyPlus)

	남쪽 창, 간헐 운전, 중량 구조체, 창의 크기 11.35㎡											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
EP	12.5	7.41	3.35	1.01	0.13	0	0	0	0	0.13	4.26	7.24
Case1	17.6	10.7	3.14	0.01	0	0	0	0	0	0	6.44	12.3
Case2	18.1	11.7	5.62	1.20	0.01	0	0	0	0	0.12	7.61	13.1



[그림 2.151] <표 2.158>에 대한 난방 부하 비교 그래프

- 월별 비교 시 Case2의 난방부하 값이 Case1보다 1kWh/㎡ 정도 높게 산출되었으며 에너지 플러스와의 오차는 case1의 경우 월별 5kWh/㎡, Case2의 경우 월별 6kWh/㎡ 높게 발생하였다. 수정된 계수값이 기본 ISO 13790 값에 비해 오차율이 약간 작게 나왔으나, 전체적인 오차율 패턴은 큰 차이가 없었다.

㉯ 난방 부하 계산 결과 비교 분석_남측창, 벽면률 65%, 중량 및 간헐운전

<표 2.159> 월별 난방 부하 비교(kWh/㎡h, EP = EnergyPlus)

	남쪽 창, 간헐 운전, 경량 구조체, 창의 크기 20.04㎡											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
EP	13.0	8.06	4.40	1.61	0.39	0	0	0	0.04	0.37	5.25	7.60
Case1	9.95	3.55	1.18	0.09	0	0	0	0	0	0	2.26	4.15
Case2	12.4	5.54	3.65	1.28	0.18	0	0	0	0	0.5	4.10	6.09

○ 월별 비교 시 Case2의 난방부하 값이 Case1보다 2kWh/㎡정도 높게 산출되었으며 에너지 플러스와의 오차는 case1의 경우 월별 3kWh/㎡ 낮다. 반면 Case2의 경우 월별 1kWh/㎡의 오차가 발생하였다. 오차율 패턴은 중량에 비해 다른 결과를 나타내는데 Case2가 EnergyPlus의 값과 더 가까운 값을 보인다.

○ 창문이 커진 것은 일사량이 커진 효과도 있으나 건물의 열용량을 줄이는 데도 영향을 준 것이므로 열획득/손실 율관점에서 분석을 해야 할 필요가 있을 것으로 사료 되며 향후 연구에서 다루어져야 할 사항이다.

㉰ 연간 시나리오별 난방부하 비교(간헐운전)

<표 2.160> 연간 시나리오별 난방 부하 비교(간헐 운전)

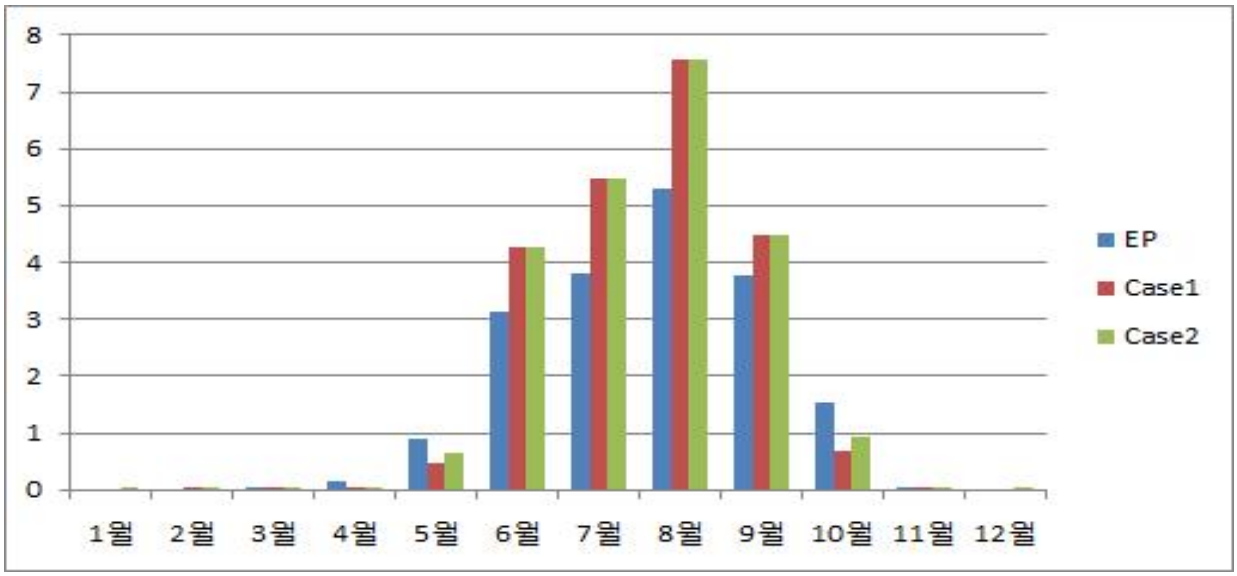
창의 방향	kWh/㎡	중 량	경 량	중 량	경 량
		11.35㎡		20.04㎡	
남 쪽	EnergyPlus	35.71	33.81	43.02	40.49
	Case1	50.15	51.52	28.54	21.19
	Case2	57.44	66.69	38.78	33.74
동 쪽	EnergyPlus	51.55	56.60	55.81	58.62
	Case1	81.94	105.24	61.55	70.78
	Case2	85.34	110.84	68.13	79.44
북 쪽	EnergyPlus	58.27	66.76	61.60	67.24
	Case1	90.24	119.13	70.86	87.50
	Case2	93.34	124.24	76.36	94.99

○ 에너지 플러스의 전체적 경향으론 중량보다 경량 구조의 부하량이 증가하였으며 창의 크기가 커질수록 부하량은 증가하였다. EnergyPlus의 경향과 다르게 Case1, Case2는 창의 크기가 증가할수록 부하는 감소하였으며 남쪽 창 20.04㎡를 제외한 난방 부하는 EnergyPlus보다 높게 산출되었다. 중량 구조체와 경량 구조체의 영향에서도 남쪽 창 20.04㎡는 난방 부하량이 감소하나 이를 제외한 Case1, Case2의 부하값은 증가하는 경향을 보인다. 창의 크기가 11.35㎡일 때 에너지플러스는 감소하는 반면 Case1, Case2는 증가하는 추세를 보인다. 이러한 오차 패턴은 상당히 큰 오차요인이 ISO13790 유효계수값 설정에 있음을 나타내는 것이라 할 수 있다. 더불어 일사취득량 계산시 사용되는 G 값에 대한 영향을 면밀히 검토할 필요가 있다고 사료된다.

㉱ 냉방 부하 계산 결과 비교 분석_남측창, 벽면률 50%

<표 2.161> 월별 냉방 부하 비교(kWh/㎡h, EP = EnergyPlus)

	남쪽 창, 간헐 운전, 중량 구조체, 창의 크기 11.35㎡											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
EP	0	0	0.01	0.17	0.89	3.15	3.80	5.29	3.76	1.55	0.01	0
Case1	0	0	0	0.1	0.49	4.25	5.49	7.56	4.47	0.70	0	0
Case2	0	0	0	0.05	0.66	4.26	5.49	7.56	4.47	0.93	0	0



[그림 2.152] <표 2.161>에 대한 냉방 부하 비교 그래프

○ <표 2.161>의 값은 남쪽에 창을 설치 후 벽면율 50%를 적용하여 11.35㎡의 면적을 적용하였으며 중량 및 간헐 운전을 사용하였다. 월별 비교시 Case1, Case2의 냉방 부하량은 EnergyPlus 대비 1kWh/㎡ 정도 높게 산출되었다. 반면 Case1, Case2의 냉방 부하량의 오차는 4월에 0.05kWh/㎡와 10월에 0.17kWh/㎡이 발생하였다.

㈐ 냉방 부하 계산 결과 비교 분석_남측창, 벽면률 65%, 중량 및 간헐운전

<표 2.162> 월별 냉방 부하 비교(kWh/㎡h, EP = EnergyPlus)

	남쪽 창, 간헐 운전, 경량 구조체, 창의 크기 20.04㎡											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
EP	0	0	0	0	0.7	2.88	3.56	4.21	1.54	0.09	0	0
Case1	0	0	0.01	0.09	1.07	5.56	6.80	7.45	1.57	0.07	0	0
Case2	0.03	0.07	0.29	0.79	2.50	5.99	6.82	7.49	2.51	0.63	0.06	0.03

○ <표 2.162>의 값은 남쪽에 창을 설치 후 벽면율을 증가시켰으며 20.04㎡의 면적을 적용하였다. 경량 구조체를 사용하였으며 냉방 부하량은 월별 3kWh/㎡ 정도 높게 산출되었다. Case1과 Case2의 차이는 Cable 12와 같이 미미하게 발생하였으며 Case2가 전체적으로 높게 나타났다.

㈑ 연간 시나리오별 냉방부하 비교(간헐운전)

<표 2.163> 연간 시나리오별 난방 부하 비교(간헐 운전)

창의 방향	kWh/㎡	중 량	경 량	중 량	경 량
		11.35㎡		20.04㎡	
남 쪽	EnergyPlus	16.97	28.47	16.55	26.28
	Case1	23.06	41.96	24.72	44.70
	Case2	23.42	42.83	30.69	57.25
동 쪽	EnergyPlus	16.45	23.06	14.26	20.97
	Case1	18.45	31.67	19.24	33.62
	Case2	18.67	32.05	23.04	39.91
북 쪽	EnergyPlus	11.04	13.56	10.05	12.99
	Case1	13.09	21.14	13.69	22.61
	Case2	13.26	21.44	16.55	27.21

○ EnergyPlus의 경우 창의 크기가 부하량은 감소하는 경향을 보이며 중량 구조체에 비해 경량 구조체의 냉방 부하량이 증가하는 것으로 산출되었다. Case1, Case2의 냉방 부하량은

EnergyPlus와 비교 시 전체적으로 높게 산출되었으며 case2의 값은 case1에 비해 높게 나타났다. Case1과 EnergyPlus의 오차는 Case2보다 낮게 발생하였다. EnergyPlus는 창의 면적이 증가할수록 부하량이 감소하는 반면 Case1과 Case2는 증가하는 경향을 보인다.

○ 난방의 경우와 달리 오차율 패턴에서 Case1의 오차율이 Case2보다 적게 나왔는데 이는 수정계수가 한국 기후패턴에 상대적으로 더 적합하다는 것을 알 수 있다. Corrado의 냉방 부하 계산시의 수정 계수 식을 좀더 발전 시킨다면 좀더 오차율이 작은 결과를 만들어 낼 수 있을 것으로 기대 된다.

㈏ 냉난방부하 오차율(간헐운전)

<표 2.164> 시나리오별 연간 난방 부하 오차율(간헐 운전)

%	창의 방향 : 남 쪽			
	중량		경량	
	11.35	20.04	11.35	20.04
EP_Case1 오차율	40.43	52.39	33.66	47.67
EP_Case2 오차율	60.84	97.26	9.86	16.67
	창의 방향 : 동 쪽			
EP_Case1 오차율	58.96	85.92	10.29	20.74
EP_Case2 오차율	65.55	95.83	22.08	35.53
	창의 방향 : 북 쪽			
EP_Case1 오차율	54.88	78.45	15.05	30.14
EP_Case2 오차율	60.19	86.11	23.98	41.26

○ 시나리오별 EnergyPlus와의 오차는 위 <표 2.164>와 같으며 케이스별 유효 계수값 적용에 따라 오차율이 달라진다. 중량 구조체에서 최소 오차율은 40.43%로 경량 구조체의 최소 오차율 9.86%와 비교 시 전체적으로 중량 구조체에서 난방부하 오차율이 크게 나타났다. 창면적이 증가할수록 오차율은 증가하며 증가율은 최대 36.42%이다.

○ 남쪽 창 및 경량 구조체의 시나리오 경우 Case1 오차율이 더 큰 것을 제외한다면 전체적으로 Case2의 오차율이 최소 9.86%에서 최대 97.26%로 높게 산출되었다.

○ 시나리오별 오차율의 패턴 및 범위를 보았을 때 일사 취득량와 열용량의 조합에 따라 결정되는 유효계수 특성식을 국내 건물에는 ISO 13790 기본 값이나 수정계수를 그대로 적용하는데 상당한 오차를 발생시킨다는 것을 알 수 있다.

<표 2.165> 시나리오별 연간 냉방 부하 오차율(간헐 운전)

%	창의 방향 : 남 쪽			
	중량		경량	
	11.35	20.04	11.35	20.04
EP_Case1 오차율	35.91	47.39	49.32	70.08
EP_Case2 오차율	38.04	50.45	85.42	117.86
	창의 방향 : 동 쪽			
EP_Case1 오차율	12.16	37.37	34.90	60.35
EP_Case2 오차율	13.49	39.02	61.56	90.35
	창의 방향 : 북 쪽			
EP_Case1 오차율	18.58	55.85	36.20	74.07
EP_Case2 오차율	20.08	58.05	64.67	109.53

○ 냉방부하 오차율은 방위와 무관하게 중량 구조체의 오차율이 경량 구조체의 오차율보다 낮게 나타났다. 오차율에 있어 중량 구조체 적용 시 최대 58.05%에 비해 경량 구조체 적용 시 117.86%로 높게 나타났다.

○ 오차율 패턴 면에서 난방과 달리 모두 케이스에 대해서 Case1 즉 바닥 면적과 창문의 비율을 고려한 Corrado의 수정 계수법이 ISO 13790기본 계수 보다 개선된 결과를 만들어 낼수 있다는 것을 알 수 있다. 난방 부하의 경우에도 한국형 유효계수 개발을 위해 Corrado 방식의 수정식이 적용되면 오차율을 줄일 수 있을 거라 사료된다.

㉮ 검증 결론

○ 본 연구는 동적 시뮬레이션 EnergyPlus와 ISO 13790 월간 계산법의 계수값에 따라 냉방부하의 오차율 최소 12.16%에서 최대 117.86%까지 발생하며 난방부하의 오차율도 최소 9.86%에서 97.26%까지 분포하는 것을 확인하였다. 오차율 면에서 Corrado의 수정계수법이 일정한 패턴으로 기본 유효계수법에 비해 개선된 결과를 보여줌을 알 수 있었다.

○ 또한, 유리창의 G값의 일정 값 적용시의 보정 방안이 필요하다는 것을 알 수 있었다. 본 연구의 비교 분석 결과를 토대로 판단 하였을 때 한국형 유효계수 개발을 위해서는 ISO13790의 유효계수 산출 식 보다는 일사량을 결정짓는 매개변수들의 보정을 통한 수정식을 고려하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

○ 다만, 본 연구에서는 사무소 건물을 대상을 하여서 간헐 운전만을 고려한 결과이나 공동 주택과 같이 연속 운전의 경우 오차율은 다른 패턴으로 나타날 것으로 사료 되므로 연속 및 간헐 운전의 경우를 비교 하는 추가 연구가 필요할 수 있다.

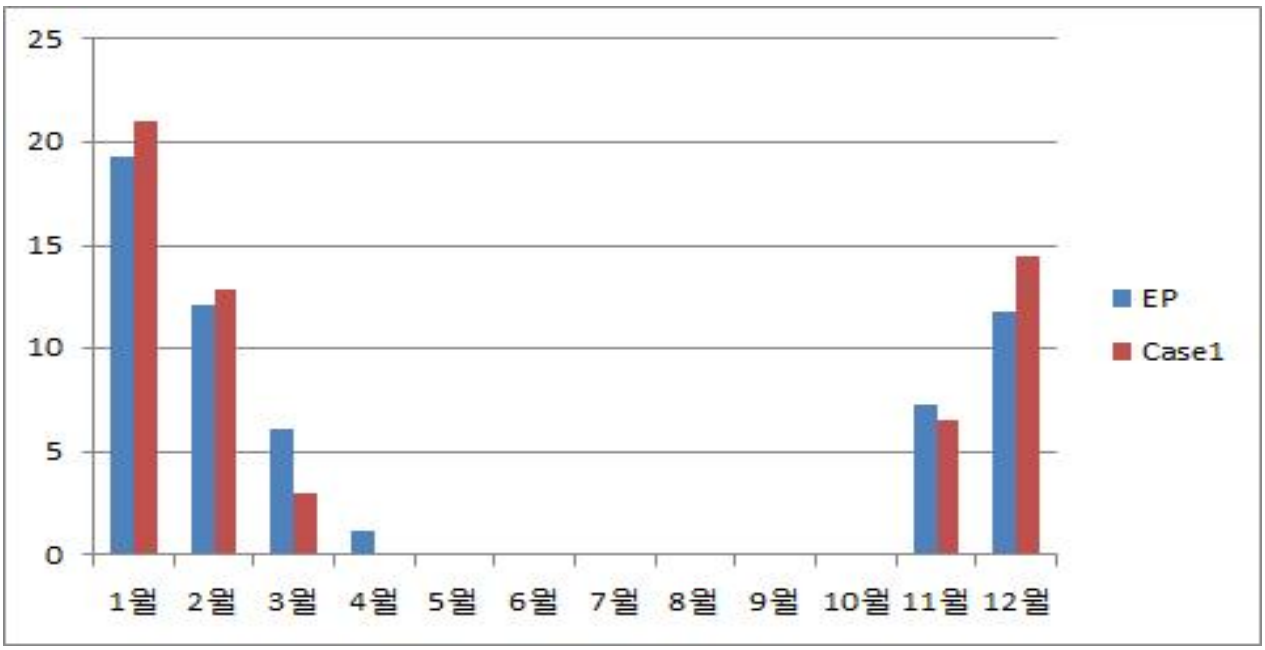
○ ISO 13790 2008 Annex I Explanation and derivation of monthly or seasonal utilization factors에 명시되어있듯 건물의 Operative temperature와 Setpoint는 차이가 있으며, 그 차이

는 동적 시뮬레이션과 간이법과의 차이임을 알 수 있다. 차년도 연구에서 이를 검증 및 확인할 계획이다.

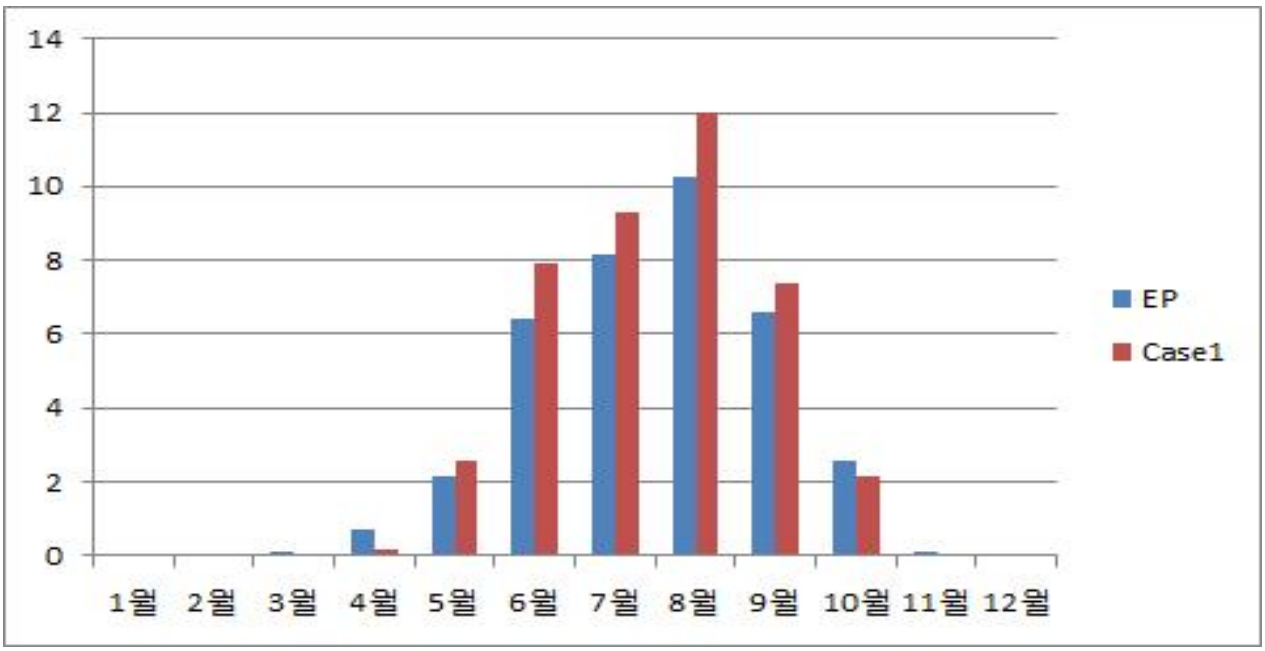
④ 연속 운전에 대한 검증

㉮ 월별 난방/냉방 부하 계산 결과 비교

○ 냉난방 부하 월별 비교 시 EnergyPlus의 경우 겨울철 냉난방 부하량이 ISO 13790 법(그래프 상 Case1)에 비해 평균편차 1 kWh/m^2 로 나타났으며, 간헐 운전 시 난방 부하량 차이가 3 kWh/m^2 발생하는 것에 비해 오차가 작은 것을 알 수 있다.



[그림 2.153] Comparison of monthly heating load (contineous operation)



[그림 2.154] Comparison of monthly cooling load (contineous operation)

<표 2.166> Monthly heating load(kWh/㎡h, EP = EnergyPlus, case1= ISO 13790)

	South window, contineous, heavy structure, window size 11.35㎡											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	
EP	19.3	12.1	6.09	1.18	0.01	0	0	0	0	0.13	7.32	11.8
Case1	21.0	12.9	2.96	0	0	0	0	0	0	0	6.51	14.5

<표 2.167> Monthly heating load(kWh/㎡h, EP = EnergyPlus, case1= ISO 13790)

	outh window, contineous, heavy structure, window size 11.35㎡											
	Ja	Fe	Ma	AP	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Oc	No	De
EP	0	0	0.09	0.71	2.17	6.41	8.17	10.3	6.60	2.56	0.12	0
Case1	0	0	0.01	0.14	2.57	7.95	9.31	12.0	7.93	2.18	0	0

㉯ 간헐 및 연속 운전에 따른 난방 부하 오차율

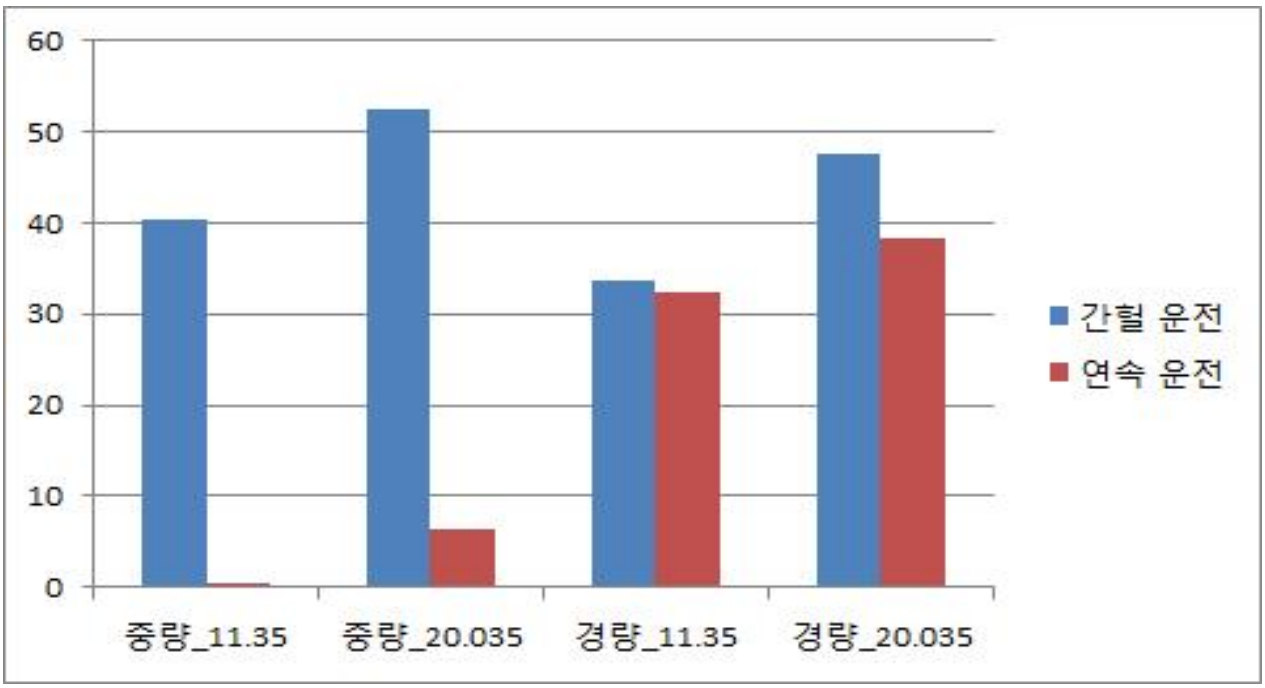
○ 난방 부하 오차율 산출 결과로 인해 간헐 운전 시 최대 85.92%, 최소 10.29%의 오차를 보이는 반면, 연속 운전 시 최대 38.28%, 최소 0.53%로 연속 운전 시 오차가 상대적으로 작게 나타났다. 간헐 및 연속 운전 시 창의 면적은 오차율을 증가하는데 관련이 있는 것으로 나타난다.

○ 창문의 방향에 의한 영향이 연속 운전에서 남쪽에 창이 있을 경우 오차율이 가장 작게 산출된다. 연속운전시의 오차율이 간헐 운전시보다 적게 나오나 냉방의 경우는 두 경우 모두 난방 시에 비해 오차가 크게 나온다. 열획득 손실비와 열용량에 의한 효과를 반영하는 유효계수를 수정 보완할 필요가 있음을 알 수 있다.

○ 간헐운전의 경우 냉방 난방 모두의 경우 오차율이 연속보다 크게 나오는데 SBEM의 간헐운전 보정계수법이 우리나라 건물 특성에 적합지 않다는 것을 알 수 있으며 오차를 줄이기 위한 알고리즘 검토가 필요하다.

<표 2.168> Comparison of heating loads

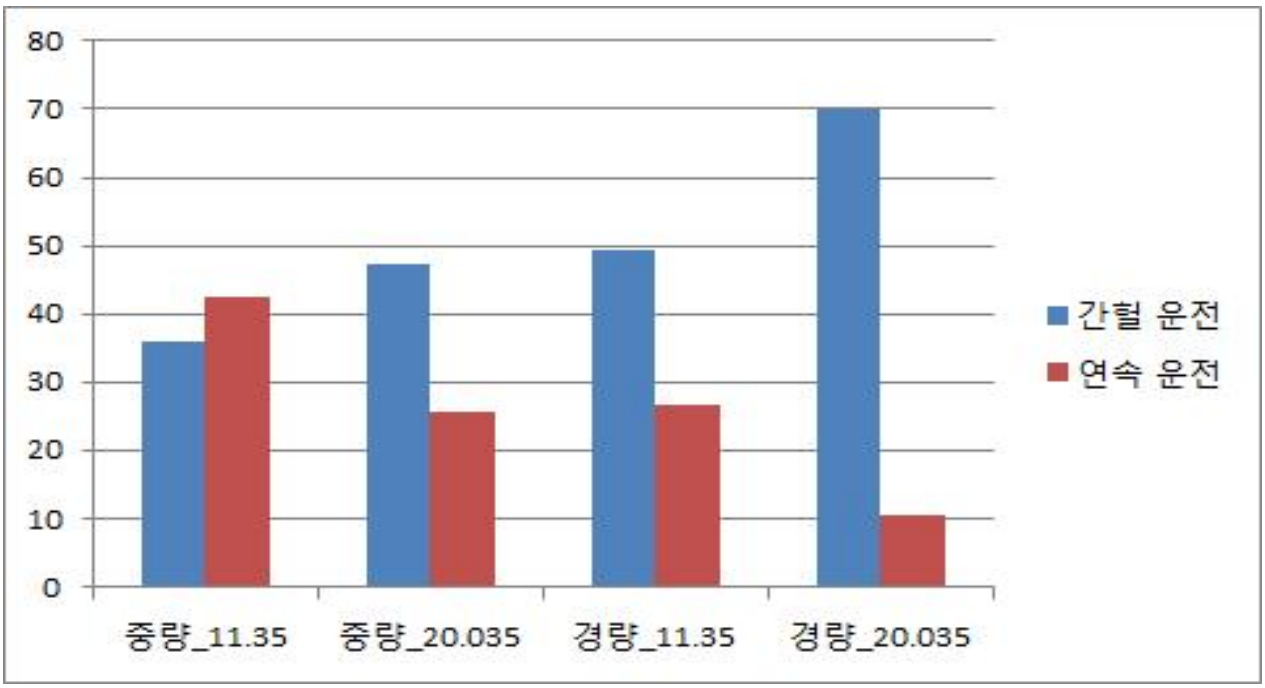
	간헐 운전			
%	창의 방향 : 남 쪽			
	중량		경량	
	11.35	20.04	11.35	20.04
EP_Case1 오차율	40.43	52.39	33.66	47.67
	창의 방향 : 동 쪽			
EP_Case1 오차율	58.96	85.92	10.29	20.74
	창의 방향 : 북 쪽			
EP_Case1 오차율	54.88	78.45	15.05	30.14
	연속 운전			
%	창의 방향 : 남 쪽			
	중량		경량	
	11.35	20.04	11.35	20.04
EP_Case1 오차율	0.53	6.35	32.43	38.28
	창의 방향 : 동 쪽			
EP_Case1 오차율	18.70	32.69	9.19	1.97
	창의 방향 : 북 쪽			
EP_Case1 오차율	17.55	30.91	7.17	4.98



[그림 2.155] Error rates of heating loads (South side)

<표 2.169> Comparison of cooling loads

	간헐 운전			
%	창의 방향 : 남 쪽			
	중량		경량	
	11.35	20.04	11.35	20.04
EP_Case1 오차율	35.91	47.39	49.32	70.08
	창의 방향 : 동 쪽			
EP_Case1 오차율	12.16	37.37	34.90	60.35
	창의 방향 : 북 쪽			
EP_Case1 오차율	18.58	55.85	36.20	74.07
	연속 운전			
%	창의 방향 : 남 쪽			
	중량		경량	
	11.35	20.04	11.35	20.04
EP_Case1 오차율	42.63	25.61	26.88	10.41
	창의 방향 : 동 쪽			
EP_Case1 오차율	3.83	19.68	33.71	46.53
	창의 방향 : 북 쪽			
EP_Case1 오차율	9.96	32.89	39.78	61.11



[그림 2.156] Error rates of cooling loads (South side)

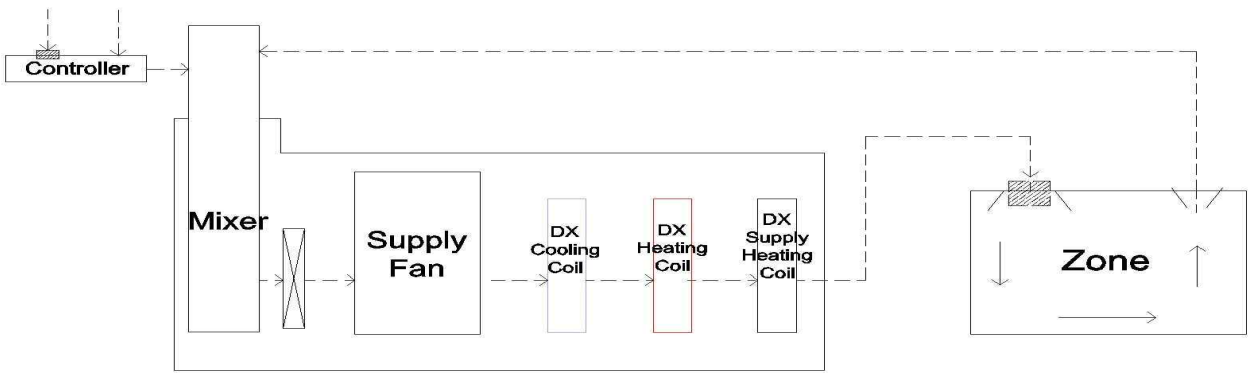
㉰ 검증 결론

○ ISO 13790 월간 계산법 국내 적용 시 정밀 시뮬레이션 대비 오차율을 비교 평가 하였다. 오차율은 본 연구의 케이스 모델 대상에서 난방의 경우 최소 0.53 %에서 최대 85 %, 냉방의 경우 3.8 %에서 74%의 오차가 발생함을 알 수 있었다. 현재의 ISO 13790 기반 툴의 오차 범위가 작지 않으므로 계산 시 신뢰성 허용 범위를 고려해야 한다.

○ ISO 13790 2008 Annex I Explanation and derivation of monthly or seasonal utilization factors에 명시되어있듯 건물의 Operative temperature와 Setpoint는 차이가 있으며, 그 차이는 동적 시뮬레이션과 간이법과의 차이임을 알 수 있다. 차년도 연구에서 이를 검증 및 확인할 계획이다.

⑤ 히트펌프 시스템 모델

○ 본 연구에서 공기 대 공기 히트펌프를 사용하였으며 구성도는 [그림 2.157]과 같다. Mixing Box에서 외부 공기와 실내에서 배출되는 공기가 혼합되도록 설정하였으며, 외기를 도입하는 컨트롤러의 경우 외부온도와 리턴에어를 실내로 공급하기 위해 혼합공기의 설정온도를 충족하는 양 만큼 도입되게 설정 되었다. 운영시간동안 공조공간에 일정하게 풍량을 공급하기 위해 Supply Fan은 ON, OFF제어를 할 수 있는 정풍량 시스템으로 구성하였다. 취출구 온도 설정은 냉방 13.8℃, 난방 50℃로 설정하였다. 유량의 경우 히트펌프 용량에 비례하여 비율을 곱해 유량을 설정하였으며, 난방능력 부족을 보충하기 위한 전열장치 소비전력 코일을 설정하였다. 부하는 벽체의 열용량, 지역, 창면적에 따라 최대 냉•난방 부하는 변화하기 때문에 각 변수에 맞는 부하를 산출하여 부하를 감당할 수 있는 용량을 설정하였다. 히트펌프 시스템의 세부구성 및 구성인자별 히트펌프의 용량, 기기 특성을 고려한 히트펌프 시스템 성능은 아래와 같다.



[그림 2.157] 히트 펌프 시스템 모델 구성도

<표 2.170> 시스템 구성

히트펌프 기기 구성인자		
안전율	1.2	
컨트롤러	이코노마이저 타입	Modulate Flow
Fan 설정	Fan 효율	0.7
	압력상승	300 Pa
	모터 효율	0.9
	제어방식	On, Off 제어
히트펌프 Heating	외기에 따른 컴프레서 작동온도	-5℃
	Electric 효율	0.8
풍량제어	Single Duct : 정풍량 방식	
열원	전기	

<표 2.171> EnergyPlus 각 모델에서 설정된 히트펌프 용량

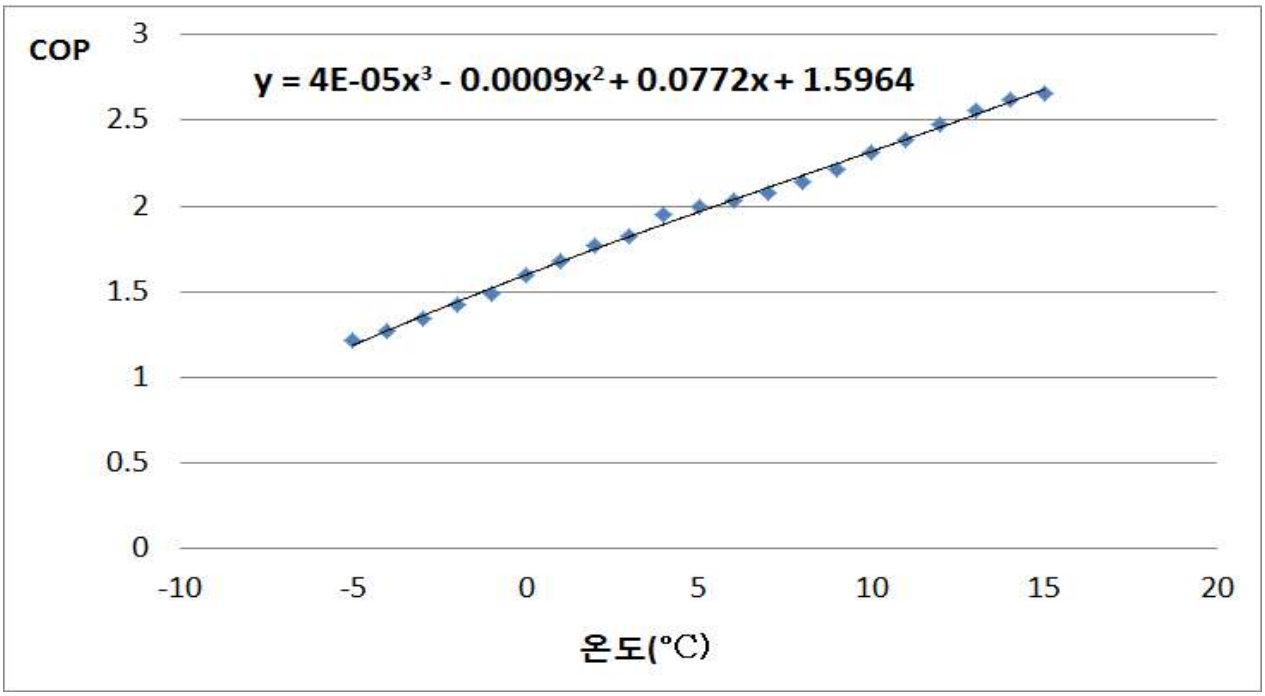
EnergyPlus 히트펌프 용량					
지역	방향	열용량	창문면적(㎡)	구분	용량(W)
서울	남	중량	11.35	냉방	3000
				난방	3000
			20.035	냉방	4000
				난방	4000
		경량	11.35	냉방	3500
				난방	3500
			20.035	냉방	5000
				난방	5000
서울	동	중량	11.35	냉방	3000
				난방	3000
			20.035	냉방	4500
				난방	4500
		경량	11.35	냉방	3000
				난방	3000
			20.035	냉방	4500
				난방	4500
	북	중량	11.35	냉방	2500
				난방	2500
			20.035	냉방	3000
				난방	3000
		경량	11.35	냉방	2500
				난방	2500
			20.035	냉방	3000
				난방	3000
울산	남	중량	11.35	냉방	3000
				난방	3000
			20.035	냉방	4000
				난방	4000
		경량	11.35	냉방	3500
				난방	3500
			20.035	냉방	4500
				난방	4500
울산	동	중량	11.35	냉방	4500
				난방	4500
			20.035	냉방	7000
				난방	7000
		경량	11.35	냉방	3000
				난방	3000
			20.035	냉방	6500
				난방	6500
	북	중량	11.35	냉방	3000
				난방	3000
			20.035	냉방	3500
				난방	3500
		경량	11.35	냉방	3000
				난방	3000
			20.035	냉방	3500
				난방	3500

<표 2.172> 히트펌프 용량

EnergyPlus 히트펌프 용량					
지역	방향	열용량	창문면적(㎡)	구분	용량(W)
없음	남	없음	11.35	냉방	8900
				난방	9000
			20.035	냉방	9300
				난방	9300
	동		11.35	냉방	8000
				난방	8000
			20.035	냉방	8500
				난방	8600
	북		11.35	냉방	6700
				난방	6800
			20.035	냉방	7000
				난방	7000

⑥ 히트 펌프 기기의 부분부하별 냉난방 COP

○ 연구에 사용된 히트펌프의 부분 부하 별 COP는 함수식으로 정리되어 난방의 경우 [그림 2.158]에 냉방의 경우 [그림 2.159]에 나타낸 바와 같다. 기기 특성 곡선식은 에너지플러스와 KS 9306 산출법에 적용되었다.



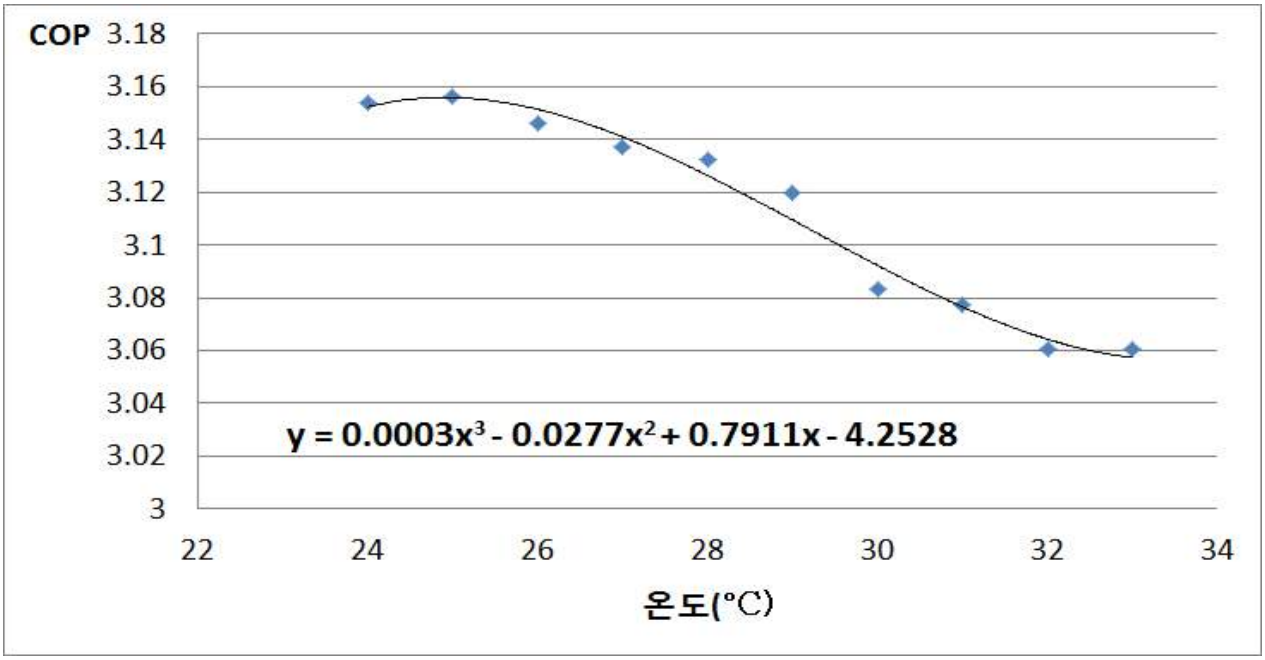
[그림 2.158] 외기온도에 따른 난방 COP 곡선

○ 에너지 플러스 모델에 위 히트 펌프의 기기특성식을 입력하기 위하여 난방 및 냉방 시의 공급 열량 산정 보정식을 (식1)과 (식2)와 같이 정의하였다.

$$Y = 0.0000034992x^3 + 0.0001x^2 + 0.0276x + 0.7587$$

○ 위의 식에서는 x는 외기온도이며 y는 난방용량에 대한 보정계수이다.

○ 아래 식에서 x는 냉방코일에 들어가는 습구온도, y는 콘덴서 코일에 들어가는 습구온도 이며, Z의 값은 냉방용량에 대한 보정계수 이다.



[그림 2.159] 외기 온도에 따른 냉방 COP 곡선

$$Z = 0.000457488x \cdot y - 0.000261144y^2 + 0.00134961y - 0.0000414703x^2 + 0.0107756x + 0.766956$$

⑦ KS C 9306 SEER 산출법

㉮ 냉방 기간 에너지 소비효율계수(CSPF)

$$CSPF = \frac{\Sigma Q_C}{\Sigma P_C}$$

$$\Sigma Q_C = \sum_{j=1}^{n} X(t_j) \cdot \dot{\Phi}_{cr}(t_j) \cdot n_j$$

$$\Sigma P_C = \sum_{j=1}^{n} \frac{X(t_j) \cdot \dot{P}_c(t_j) \cdot n_j}{PLF(t_j)}$$

위 식에서,

ΣQ_C : *냉방 기간 총 냉방량 합계*

ΣP_C : *냉방 기간 총 냉방 소비 전력량 합계*

$X(t_j)$: *온도 t_j에서의 건물 부하와 냉방 능력과의 비*

$\dot{\Phi}_{cr}(t_j)$: *온도 t_j에서 냉방 운전할 때의 냉방 능력*

n_j : *냉방 기간 중 냉방을 필요로 하는 각 온도의 발생시간*

$\dot{P}_c(t_j)$: *온도 t_j에서 냉방 운전할 때의 에어컨의 냉방 소비 전력*

$PLF(t_j)$: *단속 운전시 에너지 소비 효율과 연속 운전시의 에너지 소비 효율과의 비*

㉯ 난방기간 에너지 소비효율(HSPF)

$$HSPF = \frac{\Sigma Q_h}{\Sigma P_h}$$

$$\Sigma Q_h = \sum_{j=1}^{n} BL_h(t_j) \cdot n_j$$

$$\Sigma P_h = \sum_{j=1}^{n} \frac{X(t_j) \cdot \dot{P}_h(t_j) \cdot n_j}{PLF(t_j)} + \sum_{j=1}^{n} P_{RH}(t_j)$$

위 식에서,

ΣQ_h *: 난방 기간 총 난방량 합계*

ΣP_h *: 난방 기간 총 난방 소비 전력량 합계*

$BL_h(t_j)$ *: 온도* t_j*에서의 건물 부하와 난방 능력의 비*

n_j *: 난방 기간중 난방을 필요로 하는 각 온도의 발생 시간*

$X(t_j)$ *: 온도* t_j*에서의 건물 부하와 난방 능력의 비*

$\dot{P}_h$ *: 에어컨을 온도* t_j*에서 난방 운전할 때의 난방 능력*

$PLF(t_j)$ *: 단속 운전시의 에너지 소비 효율과 연속 운전시의 에너지 소비 효율과의 비*

$P_{RH}(t_j)$ *: 온도* t_j*에서의 건물 부하에 대하여 에어컨의 난방 능력 부족을 보충하기 위한 전열 장치의 소비 전력량(Wh)*

㉰ 냉방부하 산출방법

○ KS C 9306에서 규정하는 CSPF의 냉방부하는 (식 2.4)와 같이 계산된다.

$$BL_c(t_j) = BL_{c(33)} \cdot \frac{t_j - 23}{33 - 23}$$

위 식에서,

$BL_c(t_j)$ *: 건물 냉방 부하*

$BL_{c(33)}$ *: 부속서 4에 규정된 냉방부하*

- *여기서* $BL_{c(33)}$*은 부속서4에서 창 면적률, 위치, 재실인원, 조명기기 발열, 사무기기 발열, 외기량을 건물의 모델링 별로 고려하여 부하를 산출한다. 건물 부하 산출 후 부속서 표2를 참조하여 냉방에 필요한 온도를* t_j*에 삽입 후 최종적으로 냉방 부하를 산출하게 된다.*

㉱ 난방부하 산출 방법

$$BL_h(t_j) = \frac{16 - t_j}{16 - (-4)} \cdot BL_{h(-4)}$$

$$BL_{h(-4)} = BL_{c(33)} \times 1.39 \times 0.717$$

위 식에서,

$BL_h(t_j)$ *: 건물 난방 부하*

$BL_{h(-4)}$ *: 정격냉방 표준능력에 보정계수를 곱한 값*

- *여기서 $BL_{h(-4)}$는 부속서 4에 있는 정격냉방 표준능력에 난방능력 보정을 하기 위한 보정계수를 곱하여 산출한다. $BL_{c(33)}$은 부속서4를 참조하며, 난방에 필요한 온도를 부속서5 표4를 참조하여 t_j에 삽입후 건물의 난방부하를 산출한다. $\sum P_h$를 산출하기 위해 난방능력 부족을 보충하기 위해 소비전력량을 합산하여 난방기간 총 전력량을 산출한다.*

○ 아래 표는 냉난방 기간 에너지 효율계수를 산출한 결과이다. 표에서 나타났듯이CSPF는 정격 COP대비 높게 나타나고 HSPF는 정격 COP보다 낮게 나타난다. 또한 난방 부하의 경우 정격 용량보다 높은 부하량을 보이기 때문에 보조 난방 코일의 전력 소비량이 발생하여 HSPF의 값은 현격히 낮다. 표에서 CSPF* HSPF*는 Fan부하를 포함 했을 때의 효율 계수를 나타낸 것인데 KS에서는 팬 전력 소비량을 포함한다는 것이 명시가 안되어 있다. 본 연구에서는 에너지 플러스에서 산출된 팬 소비량을 KS에 전력 소비량에 함께 감안하여 효율계수를 산출 하였다.

<표 2.173> 냉방 기간에너지 효율계수(CSPF*: 팬 전력 소비량을 포함시)

구분	온도(°C)	시간(h)	x(t j)	blc(33)	blc(tj)	Qcr(tj)	Qc	Pc(tj)	Plf(tj)	Pc(tj)	CSPF(tj)	CSPF*(tj)
1	24	85	0.093	8984.38	898	9667	76367	3065	0.773	31313	2.439	2.36
2	25	94	0.187	8984.38	1796	9586	168906	3037	0.797	67153	2.515	2.44
3	26	105	0.282	8984.38	2695	9545	283007	3034	0.821	109624	2.582	2.50
4	27	101	0.378	8984.38	3593	9505	362968	3030	0.845	137008	2.649	2.56
5	28	82	0.474	8984.38	4492	9482	368359	3027	0.868	135408	2.720	2.63
6	29	65	0.573	8984.38	5390	9406	350390	3015	0.893	125732	2.787	2.70
7	30	59	0.678	8984.38	6289	9271	371054	3007	0.920	130873	2.835	2.74
8	31	50	0.778	8984.38	7187	9242	359375	3003	0.944	123643	2.907	2.81
9	32	35	0.886	8984.38	8085	9126	283007	2982	0.972	95187	2.973	2.88
10	33	24	0.984	8984.38	8984	9126	215625	2982	0.996	70731	3.048	2.95
11	34	14	1.000	8984.38	9882	9126	127764	2982	1.000	41748	3.060	2.96
12	35	9	1.000	8984.38	10781	9126	82134	2982	1.000	26838	3.060	2.96
13	36	4	1.000	8984.38	11679	9126	36504	2982	1.000	11928	3.060	2.96
14	37	3	1.000	8984.38	12578	9126	27378	2982	1.000	8946	3.060	2.96
15	38	2	1.000	8984.38	13476	9126	18252	2982	1.000	5964	3.060	2.96

<표 2.174> 난방 기간에너지 효율계수(HSPF*: 팬 전력 소비량 포함시)

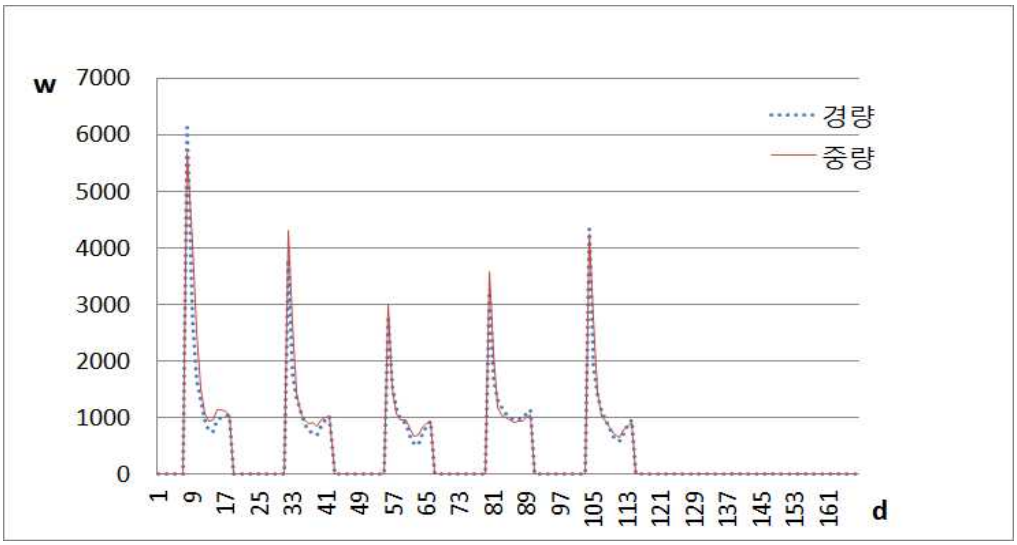
구분	온도 (°C)	시간 (h)	x (tj)	blc (33)	Qhr (tj)	BLh (-4)	BLh (tj)	Qh	Ph (tj)	PLF (tj)	Prh (tj)	Ph	HSPF	HSPF*
1	-15	1	1.00	8984	5606	8954	13879	13879	4621	1.000	8273	12894	1.07	1.05
2	-14	2	1.00	8984	5606	8954	13431	26862	4621	1.000	15650	24892	1.07	1.05
3	-13	3	1.00	8984	5606	8954	12983	38950	4621	1.000	22132	35995	1.08	1.06
4	-12	5	1.00	8984	5606	8954	12536	62679	4621	1.000	34649	57754	1.08	1.06
5	-11	8	1.00	8984	5606	8954	12088	96704	4621	1.000	51856	88824	1.08	1.06
6	-10	11	1.00	8984	5606	8954	11640	128044	4621	1.000	66378	117209	1.09	1.06
7	-9	13	1.00	8984	5606	8954	11193	145504	4621	1.000	72626	132699	1.09	1.07
8	-8	22	1.00	8984	5606	8954	10745	236388	4621	1.000	113056	214718	1.10	1.07
9	-7	25	1.00	8984	5606	8954	10297	257430	4621	1.000	117280	232805	1.10	1.07
10	-6	38	1.00	8984	5606	8954	9850	374281	4621	1.000	161253	336851	1.11	1.07
11	-5	54	1.00	8984	5606	8954	9402	507698	4621	1.000	204974	454508	1.11	1.08
12	-4	73	1.00	8984	5778	8954	8954	653649	4568	1.000	231855	565319	1.15	1.11
13	-3	94	1.00	8984	6021	8954	8506	799601	4492	1.000	233627	655875	1.21	1.17
14	-2	110	1.00	8984	6287	8954	8059	886456	4426	1.000	194886	681746	1.30	1.24
15	-1	152	1.00	8984	6556	8954	7611	1156870	4414	1.000	160358	831286	1.39	1.32
16	0	228	1.00	8984	6828	8954	7163	1633228	4274	1.000	76444	1050916	1.55	1.46
17	1	219	0.94	8984	7103	8954	6716	1470711	4239	0.986	0	889840	1.65	1.54
18	2	232	0.84	8984	7430	8954	6268	1454146	4210	0.961	0	857481	1.69	1.58
19	3	229	0.75	8984	7664	8954	5820	1332818	4200	0.940	0	777149	1.71	1.60
20	4	220	0.66	8984	8099	8954	5372	1181942	4150	0.916	0	661294	1.78	1.67
21	5	218	0.59	8984	8352	8954	4925	1073597	4187	0.897	0	599738	1.79	1.67
22	6	210	0.52	8984	8503	8954	4477	940181	4181	0.882	0	524363	1.79	1.67
23	7	196	0.46	8984	8676	8954	4029	789752	4180	0.866	0	439315	1.79	1.68
24	8	185	0.40	8984	8954	8954	3582	662604	4174	0.850	0	363387	1.82	1.70
25	9	163	0.34	8984	9222	8954	3134	510832	4170	0.835	0	276646	1.84	1.72
26	10	152	0.27	8984	9652	8954	2686	408307	4165	0.820	0	214978	1.89	1.77
27	11	138	0.22	8984	9942	8954	2239	308917	4163	0.806	0	160429	1.92	1.80
28	12	130	0.17	8984	10296	8954	1791	232807	4162	0.793	0	118602	1.96	1.83
29	13	118	0.12	8984	10654	8954	1343	158488	4160	0.782	0	79184	2.00	1.87
30	14	98	0.08	8984	10896	8954	895	87750	4157	0.771	0	43447	2.02	1.88
31	15	85	0.04	8984	11051	8954	448	38055	4155	0.760	0	18823	2.02	1.88

⑧ KS C 9306 표준 및 정밀 컴퓨터 모델링 결과

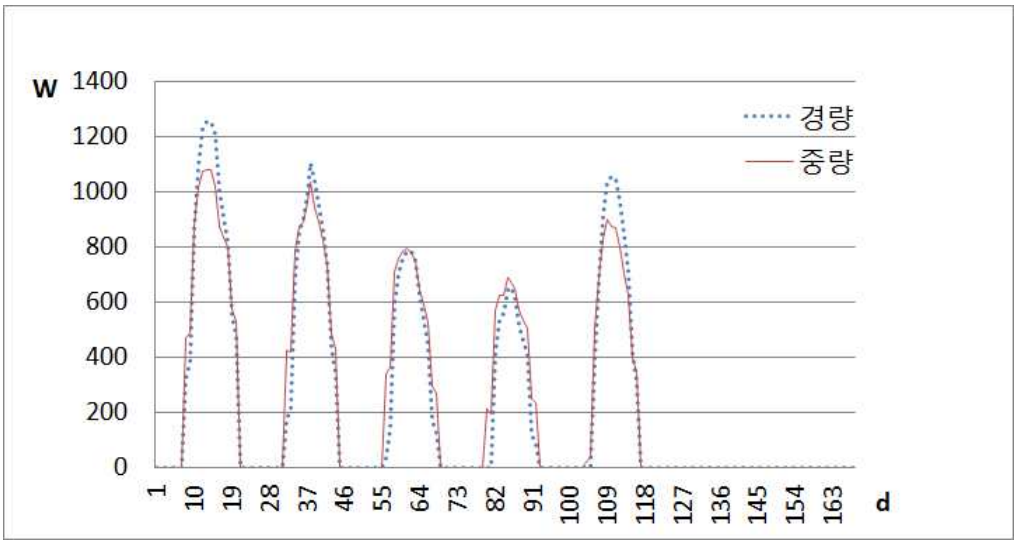
㉮ 시뮬레이션 모델의 결과

○ 간헐 히트 펌프 소비량 및 실내 온도 조건을 정밀 시뮬레이션 모델을 통하여 산출 하였다. 아래 그림은 냉•난방 대표 주간에서 히트펌프 컴프레서전력 소비량을 나타낸 것이다.

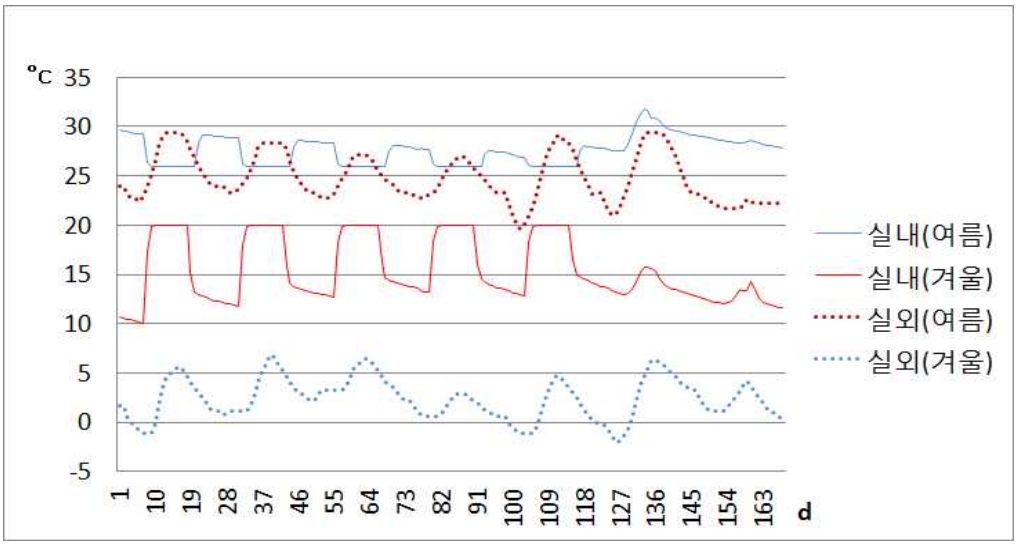
○ 난방의 경우 보조 난방 코일이 작동하나 이 그래프에서는 포함 하지 않았다. 겨울철은 아침에 밤사이 건물 구조체에서 손실된 열량을 보충해야 하므로 소비량이 높다가 낮아짐을 알 수 있다. 온 구배 [그림 2.162]는 여름과 겨울 대표 주간의 실내외 온도를 나타낸 것이다. 온도는 운영시간 중 20℃~26℃로 변화하는 것을 를 통해 알 수 있으며, 여름철 주말의 경우 실내의 열이 제어 되지를 않아 실내 온도가 높아지고 환기가 안되어 높은 온도를 유지하는 것을 볼 수 있다.



[그림 2.160] 난방 2차 에너지



[그림 2.161] 냉방 2차 에너지



[그림 2.162] 실내, 실외 온도

㉯ 건물 구조체 종류에 따른 CSPF/HSPF 비교

○ KS C 9306의 냉•난방 기간에너지 소비효율(CSPF, HSPF)을 산출 하기 위해 각 온도별 발생시간에 의한 냉방능력 및 소비전력은 기기 특성 곡선을 이용하여 산출했다. 부하는 창 면적별, 방위별로 구분하여 최대부하를 산출하였으며 KS 기준에 표기되어있는 수식을 통해 기간 에너지 효율(CSPF, HSPF)를 산출하였다. 아래 표는 EnergyPlus와 KS C 9306의 SEER을 비교한 것이다.

㉰ 지역 및 구조체에 따른 CSPF/HSPF

○ 창면적비, 열용량, 지역 3가지 요소가 변수로 작용하였을 시 HSPF 오차는 최대 34% 최소 20%로 나타났으며 CSPF 최대 8% 최소 3%로 나타났다. <표 2.175>, <표 2.176>은 지역 및 구조체에 따른 CSPF, HSPF 산출한 결과이다. 건물의 조건을 일정하게 설정하여 계산하는 KS의 냉난방 부하 산출법 에서는 동일한 결과가 산출되나 에너지 플러스에서는 건물의 용량별, 기후별로 계절별 효율 계수가 각각 다르게 산출되나, 냉방의 경우에는 그 오차가 크지 않으며 난방의 경우 오차가 크게 나오는 것을 알 수 있다.

<표 2.175> 구조체별 HSPF

		창면적비 50%			창면적비 65%		
		EP_COP	KS	오차율	EP_COP	KS	오차율
서울 (남향)	경량 (난방)	2.19	1.72	21%	2.21	1.46	34%
	중량 (난방)	2.15	1.72	20%	2.13	1.46	31%
울산 (남향)	경량 (난방)	2.21	1.72	22%	2.19	1.46	33%
	중량 (난방)	2.20	1.72	22%	2.19	1.46	33%

<표 2.176> 구조체별 CSPF

		창면적비 50%			창면적 65%		
		EP_COP	KS	오차율	EP_COP	KS	오차율
서울 (남향)	경량 (냉방)	2.98	2.74	8%	2.98	2.90	3%
	중량 (냉방)	2.98	2.74	8%	3.00	2.90	3%
울산 (남향)	경량 (냉방)	2.98	2.74	8%	2.84	2.90	2%
	중량 (냉방)	3.00	2.74	9%	3.01	2.90	4%

○ 냉•난방 부하 산출시 KS 기준의 경우 외벽에 대한 창면적비와 향별로 보정값을 적용하여 냉방 최대 부하를 산출하며 난방의 경우 냉방 부하값에 보정식을 사용하여 산출하는데 이 보정식에 따른 난방부하의 량에 계산식의 보완이 필요할 것으로 사료 된다. 현재 KS 기준에서는 난방 부하량을 예측 하는 방법이 제시 되어 있지는 않다.

㉲ 방위별 및 창면적비에 따른 CSPF, HSPF 비교

○ 방위 및 창면적비에 따른 계절별 효율계수의 경우 난방의 경우 에너지플러스와 KS의 결과값에서 최대 37% 최소20%의 오차를 보이며 냉방의 경우 최대 9% 최소 2%의 오차를 보인다. 창문의 방위에 따라 SEER의 값이 크게 변화됨에 따라 방위에 따른 일사량의 영향이 KS에서 설정한 부하율과 에너지 플러스의 부하율에서 큰 차이로 인한 것으로 사료된다. <표 2.177>, <표 2.178>은 방위별 HSPF, CSPF를 산출한 결과이다.

<표 2.177> 방위별 HSPF

		창면적비 50%			창면적비 65%		
		EP_COP	KS	오차율	EP_COP	KS	오차율
서울 (중량) 난방	남향	2.15	1.72	20%	2.13	1.46	31%
	북향	2.24	1.80	20%	2.24	1.44	36%
	동향	2.21	1.62	27%	2.19	1.61	26%
울산 (중량) 난방	남향	2.20	1.72	22%	2.19	1.46	33%
	북향	2.27	1.80	21%	2.27	1.44	37%
	동향	2.23	1.62	27%	2.22	1.61	27%

<표 2.178> 방위별 CSPF

		창면적비 50%			창면적비 65%		
		EP_COP	KS	오차율	EP_COP	KS	오차율
서울 (중량) 냉방	남향	2.98	2.74	8%	3.00	2.90	3%
	북향	2.99	2.83	5%	2.99	3.07	3%
	동향	2.99	2.86	4%	2.98	2.89	3%
울산 (중량) 냉방	남향	3.00	2.74	9%	3.01	2.90	4%
	북향	2.99	2.83	5%	2.98	3.07	3%
	동향	2.97	2.86	4%	2.94	2.89	2%

(나) 검증 결론

○ 계절별 효율계수를 정밀 시뮬레이션과 KS 계산법을 사용하여 산출해 보고 건물의 특성, 기후 차이에 따른 차이를 비교하였다. 일사 취득량 및 벽체 열손실/획득에 따라 시간별 냉방부하의 차이가 발생하여 시스템의 부분부하 효율을 적용하였을 때 5~10%정도의 오차율이 나타났다.

○ 한편, 열용량은 그다지 큰 차이를 발생시키지 않음을 알 수 있었는데 이는 열용량은 열 취득/손실 비율에 비하여 계절별 효율계수를 결정하는 데 큰 요인이 되지 않음을 시사한다. KS에서 정의된 간이 부하 계산법에 따른 사무소 건물의 냉방부하에서 작게 나오나 난방부하에서 상당히 큰 차이가 났다.

○ 이러한 차이는 SEER의 냉방 계절 효율계수에서는 2~9% 정도의 차이가 있었으나 난방계절 효율계수의 경우 30% 이상의 차이를 발생시켰는데, KS 계산법 상에 난방부하 계산 수식에 검토가 필요할 것으로 보인다.

다. 급탕 및 공조기기 조사 (WOOWON M&E)

(1) 급탕기기 DB 조사

(가) 급탕기기 개요

① 급탕의 정의

○ 급탕설비에서 탕의 사용 목적은 음료용, 인체의 세척 및 보온용, 물품의 세척 및 소독용, 보온용으로 분류할 수 있다. 급탕기기는 이러한 목적에 적합한 온도로 유체를 가열하여 수요처에 공급하는 기기를 말한다.

(나) 급탕기기 DB 조사

① 보일러

○ 건축물의 공조 또는 급탕을 위해 사용되는 보일러는 구조 및 용도, 사용연료 등에 따라 다양하게 분류할 수 있다. 보일러는 용도에 따라 육용정치(陸用定置) 보일러 박용(舶用) 보일러, 발전용(發電用) 보일러 등으로 구분하며, 연료에 따라서는 석탄 보일러, 석탄 유동층 보일러, 기름 보일러, 가스 보일러, 가스-기름 혼소보일러 등으로 불리기도 한다.

○ 또한 구조나 크기와 함께 용도나 사용연료를 덧붙여 표기(입형 박용 기름 보일러 등)하기도 하고, 구조와 목적을 합하여 분류하기도 한다. <표 2.179>는 구조에 따라 보일러를 분류한 것이다.

<표 2.179> 구조에 따른 보일러의 종류

구분	형식	종류
원통보일러	입형 보일러	
	노통 보일러	코니시, 랭카셔 보일러
	연관 보일러	내화식, 외화식
	노통연관 보일러	일반형, 증기드럼 별도형
수관보일러	자연순환식 보일러	
	강제순환식 보일러	
	복사 보일러	
관류보일러	관류 보일러	벤손, 슐저 보일러 등
	소형 관류 보일러	단관식, 다관식
기타 보일러	간접가열 보일러	진공식, 무압식 등
	응축잠열회수식 보일러	콘덴싱 보일러
	특수연료 보일러	유동층 보일러, 목재 보일러
	특수 열매체 보일러	다우섬 보일러
	폐열 보일러	소각 폐열 보일러 등
	기타	전기 보일러 등

○ 보일러의 주요부로는 연료 연소장치 및 노(爐)·물 및 증기를 포용용하는 강철로 된 용기로 이루어진다. 이 밖에 증기온도를 올리는 과열기(過熱器)와 재열기(宰列器) 또는 연소용 공기를 데우는 예열기(豫熱器) 등의 부속 장치가 있다. 보일러에 있어 가장 중요한 것은, 연료 연소에 의하여 생긴 열을 가급적 허비없이 물과 증기에 전달하는 일이다. 여기에서 연소형식이나 전열면(傳熱面)의 형태 등이 문제가 된다. 또한 고압증기를 발생시키므로, 재료강·내열·안전성 같은 문제도 발생한다. 보일러의 효과적인 적용을 위해서는 전술한 요소를 고려하여 적용할 필요가 있다. 본 연구에서는 1차년도에 기조사된 열원기기 중 보일러 부분의 보완을 위해 보일러 종류의 세분화 및 사양과 가격정보의 추가조사를 통해 DB 구축을 수행하였다. 보일러는 각 항목(종류)별로 18개 용량에 대한 사양과 금액부분을 조사하였다.

○ 보일러 조사의 항목 중 사양부분은 정격용량(공급 급탕온도 65℃ 기준), 정격효율, LNG, LPG 등 연료에 따른 사용량, 송풍기, 순환펌프, 오일펌프 등의 소비전력을 대상으로 하였고, 금액부분의 경우 단가(납품단가 기준)와 유지관리비에 대해 조사를 수행하였다. 이 중 연료에 따른 사용량은 모든 연료에 대한 사용량은 첨부된 카달로그를 통해 제공하고, 대표적으로 적용되는 LNG에 대해서만 기술하였다.

○ 유지관리비의 경우는 조사대상으로 선정된 업체의 경우, 제품을 생산하여 납품하는 업체로 유지관리비나 설치비용 등은 업무범위를 초과하기에 조사가 불가능하였다. 이에 곤련 문헌조사 및 LCC 업체 등을 통해 투자회수기간법, 생애주기비용분석 등에 사용되는 유지관리비 책정항목에 대해 조사를 수행하였다. 유지관리비용의 산출을 위해서는 설비기기별 초기비용 및 유지보수 비율(설비공학편람 중 공조냉동 위생편람 1권 2편)과 설비기기별 내구연수(ASHRAE, VFI 2067, 일본 설비기준 법정 내구연수, 일본 건설업협회 등 참조)를 통해 산정할 수 있었으며, 이는 다음과 같다.

<표 2.180> 설비기기별 초기비용 및 유지보수 비율

항목	유지보수비율	항목	유지보수비율
냉동기	0.35%	냉각탑	0.11%
보일러	0.25%	공조기	0.22%
공조필터	0.30%	기타	0.12%
냉매보급	0.15%	계	1.5%

② 온수기

○ 온수기(탕비기)는 일반적으로 소규모 급탕설비 또는 국소식 급탕설비에 적용되는 기기로 아파트의 부엌, 욕실이나 사무소 건물의 탕비실 등에 적용한다. 온수기는 사용 목적에 따라 순간식, 저탕식 등으로 분류할 수 있으며 가스, 유류, 전기 등을 이용해 열매를 직접 가열하는 직접가열방식의 기기이다. 온수기는 방식에 따라 순간식과 저탕식으로 구분할 수 있다.

○ 순간식 온수기의 능력은 수온을 25℃ 높일 때 1분간 8L의 출탕 능력을 갖는 것을 8호라 지칭하며, 통상 6호 이상을 대형이라 분류하고 있다. 벤추리 관내를 물이 통과할 때 마찰저항

에 의해 생기는 차압으로 다이어프램을 오르내리게 하여 가스밸브를 개폐시켜 일정 압력 이상의 차압이 필요하게 된다. 최저 0.5kg/㎠의 급수압이 필요하지만 안정된 상태를 얻기 위해서는 급수압 1kg/㎠ 이상이 바람직하다. 급탕이 필요한 장소에 유수저항이 큰 다른 기구들을 사용한 경우에는 대형 온수기의 경우 벤추리관의 통과수량이 적어지며 작동하지 않는 일이 있으니 주의를 요하고 있다. 저탕식 온수기는 일반용과 음료용으로 구분할 수 있다. 일반용의 경우 강판제, 동판제 등이 있으며, 강판제는 내면에 아연, 알루미늄 도금 또는 글라스라이닝 등의 방식처리가 되어있다. 동판제는 내압성 때문에 정수두 3m 이하에서 사용해야만 하므로 감압수조를 함께 적용하는 경우도 있다. 저탕식 온수기는 밀폐식으로 서모스탯 등에 의한 자동 조작으로 항상 일정한 온도를 유지할 수 있는 장점이 있다. 음료용의 경우 저탕조 내의 탕이 사용되면 볼탭 등에 의해 자동적으로 물이 공급되고 저탕조 내의 온도가 일정 온도 이하가 되면, 서모스탯의 작동 등에 의해 가스나 전기 등에 의해 점화되어 탕을 생성하게 된다.

○ 전기를 이용하는 경우는 급배기를 취하기 어려울 경우 또는 가스 등의 연료가 부적당한 설치장소 등에 사용된다. 전기가열기에는 투입식, 저탕식, 순간식의 방식이 있으며, 투입식은 니크롬선 발열체를 운모 등의 절연체로 싸서 동관에 넣은 것을 수몰시켜 물 자체를 가열하는 것으로 욕조 등의 수중에 넣어서 사용한다. 저탕식은 기기 내부에 발열체를 수몰시킨 것으로 발열체에는 니크롬선을 동관 또는 스테인레스관에 삽입한 것이나, 니크롬선과 동관 사이에 알루미늄과 같은 열전도체를 채워 넣은 스페이스 히터식이 있다. 순간식은 저탕식과 같은 발열체를 가열배관 도중에 넣어 물이 움직이면, 플로우 스위치에 의해 통전되어, 발열체에 접촉하는 물을 가열하는 방식이다.

○ 본 연구에서는 보일러와 마찬가지로 사양과 가격정보의 조사를 통해 3개 업체를 대상으로 소형 2종, 중형 16종, 대형 20종을 통해 DB 구축을 수행하였다. 사양부분은 용량, 최고온도, 소비전력을 대상으로 하였고, 금액부분의 경우는 보일러와 동일하게 진행되었다.

(2) 공조기기 DB 조사

① 공조기기 개요

○ 공기조화(Air Conditioning)란 공기의 온도, 습도, 기류, 분진, 박테리아, 취기, 유해가스 등의 조건을 실내의 인간 또는 물품에 대해 가장 양호하게 유지하는 것을 의미한다. 이러한 요소 중 온도는 감각에 가장 민감하게 느껴지는 요소로, 온도에 비중을 두어 공기조화를 냉방 또는 난방이라고 부르기도 하지만, 다른 요소를 무시해서는 완전한 공기조화라고 부를 수 없다. 완전한 공기조화란 공기의 상태를 조정하여 인간에 대해서는 쾌적감과 청정도를 양호하게 하고, 물품에 대해서는 쾌적한 공기의 상태를 기계적으로 만들어 내는 것이라 할 수 있다. 공기조화의 4대 요소는 온도(Temperature), 습도(Humidity), 청결도(Cleanless), 기류(Distribution)이다.

② 송풍기 DB 조사 내용

○ 본 연구에서는 공기조화기를 구성하는 요소 중 공기를 이송하는 역할을 수행하고, 실제 에너지를 소비하는 요소인 송풍기를 대상으로 DB 조사를 수행하였다. 송풍기의 DB 조사를

위해 8개 업체를 대상으로, 공조기에 사용되는 송풍기 Sirocco Type 및 Air-Foil Type에 대해 조사하였다. 송풍기의 규격별로 조사를 수행하였고, 송풍기의 조사항목으로는 풍량, 정압, 정격효율, 소비전력의 사양과 단가(납품단가 기준)와 유지관리비에 대해 조사하였다.

○ 유지관리비의 경우는 조사대상으로 선정된 업체의 경우, 제품을 생산하여 납품하는 업체로 유지관리비나 설치비용 등은 업무범위를 초과하기에 조사가 불가능하였다. 이에 관련 문헌조사 및 LCC 업체 등을 통해 투자회수기간법, 생애주기비용분석 등에 사용되는 유지관리비 책정항목에 대해 조사를 수행하였다.

○ 유지관리비용의 산출을 위해서는 설비기기별 초기비용 및 유지보수 비율(설비공학편람 중 공조냉동 위생편람 1권 2편)과 설비기기별 내구연수(ASHRAE, VFI 2067, 일본 법정 내구연수, 일본 건설업협회 등 참조)를 통해 산정할 수 있었으며, 이는 다음과 같다.

<표 2.181> 설비기기별 초기비용 및 유지보수 비율

항목	유지보수비율	항목	유지보수비율
냉동기	0.35%	냉각탑	0.11%
보일러	0.25%	공조기	0.22%
공조필터	0.30%	기타	0.12%
냉매보급	0.15%	계	1.5%

<표 2.182> 설비기기별 내구연수(공조기기 관련 부분 일부 발췌)

구 분		ASHRAE	VFI 2067	법정내구연수(일본)	건설업협회(일본)
공기조화기		-	15	-	17.5
열교환기	쉘튜브	24	20	-	-
	판형	-	15~20	-	-
송풍기		25(원심)	20(저압,일반)	15	18.6(다익)
		20(축류)			
		15(프로펠러)	15(고압)		
		20(루프)			
펌프		20(일반)	10(라인)	15(급수,오수)	-
		10(라인)			
		10(배수)	10(응축수)		
		15(응축수)			
전동기		18	15	15	-

3. 3차년도 연구수행과정 및 내용

가. 기존건물 개보수 우선순위 제시를 위한 건물 에너지 Retrofit 표준 Process 와 관련 기술의 표준 제안 (단국대학교)

(1) 기존건물의 성능평가 및 Retrofit 표준 Process 의 현장 적용성 검토

(가) 현장조사 및 에너지 소비패턴 분석

○ 기존 건축물의 성능평가방 및 Retrofit 표준 Process의 현장 적용성 검토를 위하여 실제 운영 중인 건축물을 조사 하였다. 총 6개 건축물을 대상으로 진행하였으며, 오피스 및 판매시설 용도의 건축물로 선정하였다. 다음 <표 2.183>은 현장조사 해당 건축물의 이미지이다.

<표 2.183> 현장 조사 건물 이미지

상업용 건물 A	상업용 건물 B	상업용 건물 C
		
판매시설 A	판매시설 B	판매시설 C
		

① 상업용 건축물의 현장조사

○ 기존 건물의 용도별 특성에 따른 에너지 소비패턴 및 기여도 파악을 위해 상업용 건물과 판매시설 두 종류의 건물을 선정하였다. 먼저 기존 건축물 중 상업용 건축물을 선정하여 현장조사를 진행하였다. 상업용 건축물의 에너지 소비량 분석을 위하여 같은 계열사의 용도 건축물로 대상을 선정하였다. 그리고 지역별 기후에 따른 에너지 소비특성을 파악하기 위하여 서울, 대전, 광주 지역에 위치한 상업용 건축물을 선정 하였다.

<표 2.184> 건물의 개요

건물명 / 구분	상업용 건물 A	상업용 건물 B	상업용 건물 C
대상건물			
건물 위치	서울특별시 서초구	대구광역시 수성구	광주광역시 서구
주요 용도	사무실	사무실	사무실
층 수	지하5층/지상20층	지하8층/지상20층	지하4층/지상18층
건 폐 율	59.63%	36.4%	52.64%
용 적 율	73.14%	243.7%	189.74%
대지 면적	1,167.50 ㎡	4,000.84 ㎡	3,266.4 ㎡
건축 면적	696.16 ㎡	1,171.46 ㎡	1,719.74 ㎡
연 면 적	17,164.07 ㎡	40,976.23 ㎡	31,590.41 ㎡
HVAC	CAV + FCU	CAV + FCU	CAV + FCU

㉮ 상업용 건물의 현장조사 내용

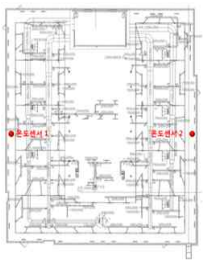
ㄱ. 설비 시스템운영기준

a. 실구성과 설정조건

- 상업용 건물별 대표적 실구성과 센서 위치 및 이미지 <표 2.185>를 보게 되면, 실내 온습도 자동제어 관제점은 각 층 공조기 내에 설치되어 있는 4개의 온도센서(외기, 환기, 혼합, 급기) 및 2개의 FCU용 온도센서, 2개의 습도센서를 이용한다. 실제 운영관리자가 실내의 온도를 판단하는 기준은 다음과 같다.

- 내주부에 해당하는 구역의 판단기준은 공조기 내 환기 온도값을 기준으로 삼고 있고, 외주부는 기둥에 설치되어 있는 FCU용 온도센서 값에 의해 운영 된다. 실내 온도 센서는 각 층 2개씩 설치되어 FCU와 연동되어 있다. 그리고 센서의 노후화 및 실내 파티션에 의한 공간 분활로 인하여 센서의 정밀도가 떨어져 관리자가 계측을 하고 있는 실정이다. 상업용 건물 B의 경우 동서쪽에 1개씩 있으며 북쪽에 2개가 있다. 상업용 건물 C는 건축물 방위 및 형상을 고려한 조닝을 통하여 외부환경에 유기적으로 대응하고 있으며, 건축물의 동쪽 및 서쪽의 일사량에 따른 실내의 온도환경을 반영한다. 센서는 동서쪽에 각각 1개씩 설치되어 있으나 감도 및 개수가 적어 신뢰성이 없는 실정이다.

<표 2.185> 실구성과 센서 위치 및 이미지

건물명 / 구분	상업용 건물 A	상업용 건물 B	상업용 건물 C
기준층 공조 조닝			
센서 이미지 및 위치			

<표 2.186> 시스템 운영 요소

구분 \ 건물명		상업용 건물 A	상업용 건물 B		상업용 건물 C
온도 관리 기준	환절기	26℃	26℃		24℃
	하절기	25℃	24℃~26℃		26℃
	동절기	23.5℃	22℃~24℃		23℃
냉방 장비 운영 기준	외기기준	25℃ 이상	25℃이상 습도:40~70%	32℃이상 습도:40~70%	25℃ 이상
	A.H.U	05:00~18:30	07:10~18:00	06:30~18:00	08:00~17:00
	F.C.U	05:00~18:30	07:30~18:00	07:00~18:00	08:00~17:00
	냉동기	05:00~18:30 (월 04:00~18:30)	제빙 - 22:00~07:00 냉방 - 07:30~11:00		06:00~17:00
	온수 보일러	05:00~18:30 (월 04:00~18:30)	07:00~18:00	07:00~21:00	06:00~17:00
	냉방 운영조건	환절기에는 냉열원을 운영하지 않고 외기 Damper 밸브로만 제어(4~5월, 10~11월)	외기온도 25℃이상 시 또는 환기온도 26℃이상 시		혹서기(외기온도 30℃~35℃)시 흡수식 냉동기 가동
난방 장비 운영 기준	외기기준	5℃ 이하	-3℃이하 습도:40~70%	5℃이하 습도:40~60%	25℃ 이상
	A.H.U	05:00~18:30	06:30~18:00	07:00~18:00	08:00~17:00
	F.C.U	05:00~18:30	07:00~18:00	07:30~18:00	08:00~17:00
	온수 보일러	05:00~18:30 (월 04:00~18:30)	07:00~21:00	07:00~21:00	06:00~17:00
	난방 운영조건	동파방지운전 (새벽에 운영)	외기온도 17℃이하 시 또는 환기온도 20℃이상 시		혹한기(외기온도 -5℃~-10℃)시 흡수식 냉동기 가동

b. 설비 시스템의 비교

- 공조설비의 중앙관제 시스템 정보 <표 2.187>은 각 사옥별 운영프로그램을 메타시스(상업용 건물 A, B)와 컨트롤시티(상업용 건물 C)로 사용한다. 시스템 OS는 WIN98 과 윈도우 2000을 사용한다. 주 공조 방식<표 2.188>은 세 사옥 모두 FCU(외주부)+CAV(외주부)를 사용하며 공조조닝 기준 11~12시간 운영 및 간헐적 운영이 가능하다.

<표 2.187> 냉난방 설비 장비

구분 \ 건물명	상업용 건물 A	상업용 건물 B		상업용 건물 C
난방기기	냉온수기	온수 보일러	증기 보일러	냉온수기
난방용량	907,200 (Kcal/hr)	300,000 (Kcal/hr)	2.5 (ton/hr)	840,000 (Kcal/hr)
냉방기기	냉각탑	냉각탑		냉각탑
냉방용량	1,890,000 (Kcal/hr)	2,724,000 (Kcal/hr)	84,380 (Kcal/hr)	2,340,000 (Kcal/hr)
유량	5,200 (LPM)	9,080 (LPM)	480 (LPM)	6,410 (LPM)
입/출구 온도	37.2/32℃	37/32℃	37/32℃	37.2/32℃
휀모터 동력	30(kw)	30(kw)	3.7(kw)	30(kw)

<표 2.188> 주 공조방식

건물명	주공조방식	공조 조닝기준	공조설비 시스템	
			전체	기준층
상업용 건물 A	FCU + CAV (내주부:CAV,외주부:FCU)	12시간	CAV	CAV+ FCU
		간헐적 운영	FCU	
상업용 건물 B	FCU + CAV (내주부:CAV,외주부:FCU)	11시간	CAV	CAV+ FCU
		간헐적 운영	FCU	
상업용 건물 C	FCU + CAV (내주부:CAV,외주부:FCU)	11시간	CAV	CAV+ FCU
		간헐적 운영	FCU	

② 판매시설 건축물의 현장조사

○ 대형마트 11개 지점의 실제 에너지 사용량 분석 결과 평균 8,325,040kWh으로 집계 되었다. 또한 국가 통계 포털 자료[7]에 의하면 대형종합소매업 525개 사업체 중 과반수이상인 271개소의 연면적이 23,100m²이상으로 집계되었다. 평균 에너지사용량 및 연면적을 고려하여 대상건물을 선정하였다. 연면적 40,000㎡ 로 규모가 비슷한 건물, 지역별로 서울, 경기도, 대전지역에 위치한 건물을 선정하였다. 다음 <표 2.189>는 건물의 일반현황이다.

<표 2.189> 건물의 일반현황

구분 \ 건물명	판매시설 건물 A	판매시설 건물 B	판매시설 건물 C
대상건물			
건물 위치	경기도 부천시	대전시 서구	서울시 중랑구
주요 용도	판매 및 영업시설	판매 및 영업시설	판매 및 영업시설
층 수	지하 3층 / 지상 6층	지하:1층 지상:7층	지하:1층 지상:8층
건 폐 율	71.6%	75.3%	59.86%
용 적 율	73.14%	243.7%	189.74%
대지 면적	8,379 ㎡	8,714 ㎡	9,250 ㎡
건축 면적	6,002 ㎡	6,560 ㎡	5,540 ㎡
연 면 적	47,950 ㎡	40,101 ㎡	39,432 ㎡
HVAC	CAV + FCU	CAV + FCU + P.A.C	CAV + FCU + P.A.C

7) http://kosis.kr/, *국가 통계 포털 (Korean Statistical Information Service) 자료

㉮ 설계도서

○ 현장조사를 위하여 대상 건축물의 설계 도서를 바탕으로 건축물의 현황 및 설비시스템을 분석 하였다. 특이 사항으로는 보고서에 포함된 판매시설 이외의 용도 건물 중 설비시스템의 경우 기존 흡수식냉온수기를 적용한 판매시설이 많이 있었다. 그러나 가스비용의 증가 및 에너지 효율측면에서 터보냉동기로 교체하고 있는 상황이었다. 판매시설의 경우 이용객이 많기 때문에, 시설 운영자와의 면담에서 건축물 냉방 부분에 중점을 두고 건축물을 운영하고 있다. 다음은 설계도서 분석을 통한 현장 조사 건물 대상의 분석 내용이다.

ㄱ. 판매시설 A

- 장방형 형태의 건물로 지하 3층부터 지상 1층 까지는 에스컬레이터가 중앙에 설치되어 있고 지상 1층부터는 건물 상부에 위치해 있다. 엘리베이터의 경우는 좌측, 우측, 하단에 설치되어 있다.
- 주요 열원으로는 터보냉동기와 흡수식냉온수기로 이루어져 있다. 냉난방 시스템은 AHU(Air Handling Unit)와 FCU(Fan Coil Unit) 그리고 EHP(Electric Heat pump)로 이루어져있다. 공조기는 크게 14개가 있으며 각층별(지하1층~지상6층)로 2개의 공조기(AHU)가 존재하며 각층을 2개의 존으로 나눠 각자의 존을 관리한다. 공조기는 외기온도에 따라 당직자가 수동으로 조절가능하다.

ㄴ. 판매시설 B

- 장방형 형태의 건물로 매장내 에스컬레이터는 지상 1층부터 지상 3층 까지 에스컬레이터가 건물 좌측에 설치되어 있고, 매장 외부 쪽에서는 지상1층부터 지상7층까지 에스컬레이터가 건물 하단에 설치되어 있다. 4층부터는 건물 상부에 위치해 있다. 엘리베이터의 경우는 좌측, 우측, 하단에 설치되어 있다.
- 주요 열원으로는 터보냉동기와 흡수식냉온수기로 이루어져 있다. 냉난방 시스템은 AHU(Air Handling Unit)와 FCU(Fan Coil Unit) 그리고 P.A.C(Packaged Air Conditioner)로 이루어져있다. 공조기는 크게 8개가 있으며 각 매장 층별(지상1층~지상3층)로 2~3개의 공조기(AHU)가 존재하며 각층을 2~3개의 존으로 나눠 각자의 존을 관리한다. 공조기는 외기온도에 따라 당직자가 수동으로 조절가능하다.

ㄷ. 판매시설 C

- 장방형 형태의 건물로 매장내 에스컬레이터는 지상 1층부터 지상 7층 까지 에스컬레이터가 건물 하단에 설치되어 있고, 매장 외부 쪽에서는 지상1층부터 지상7층까지 에스컬레이터가 건물 하단에 설치되어 있다. 층부터는 건물 상부에 위치해 있다. 엘리베이터의 경우는 좌측, 우측, 하단에 설치되어 있다.
- 주요 열원으로는 터보냉동기와 온수식 보일러로 이루어져 있다. 냉난방 시스템은 AHU(Air Handling Unit)와 FCU(Fan Coil Unit) 그리고 P.A.C(Packaged Air Conditioner)로 이루어져있다. 공조기는 크게 7개가 있으며 각 매장 층별(지상1층~지상3층)로 1~2개의 공조기(AHU)가 존재하며 각 층을 1~2개의 존으로 나눠 각자의 존을 관리한다. 공조기는 외기온도에 따라 당직자가 수동으로 조절가능하다.

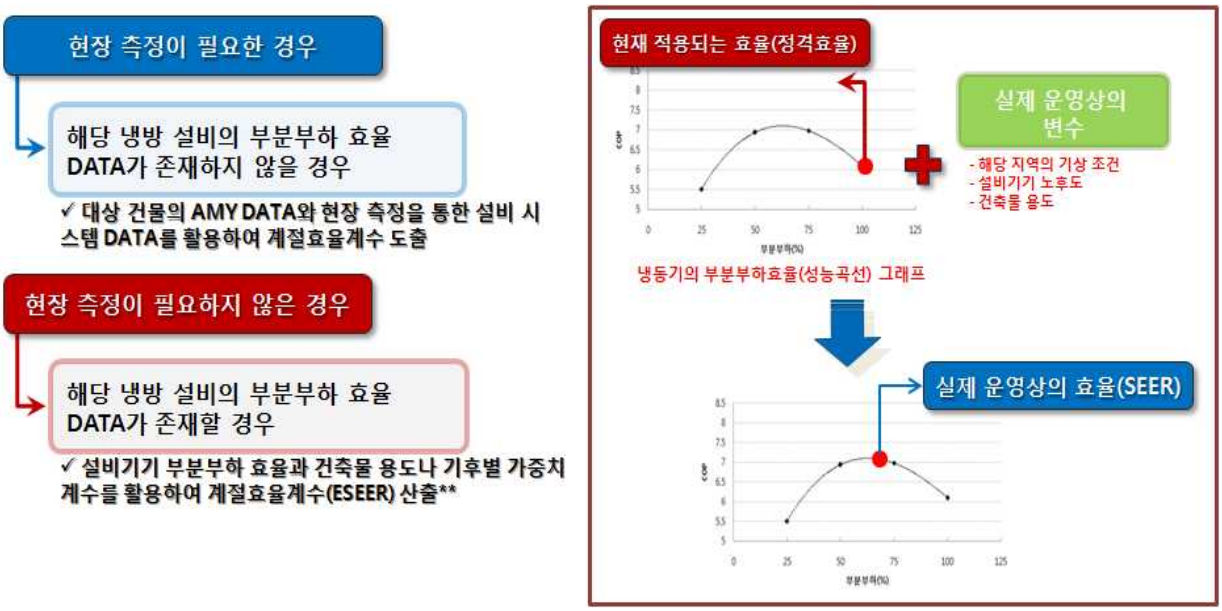
<표 2.190> 시뮬레이션

지점별		판매시설 A	판매시설 B	판매시설 C
벽체 정보	외부벽체 열관류율	0.896 W/㎡K	0.941 W/㎡K	0.896 W/㎡K
	창호 열관류율	3.1 W/㎡K	3.31 W/㎡K	3.0 W/㎡K
	지붕 열관류율	0.4 W/㎡K	0.6 W/㎡K	0.5 W/㎡K
	바닥 열관류율	0.32 W/㎡K	0.24 W/㎡K	0.31 W/㎡K
창문 종류		반사 복층 유리	저반사 복층 유리	칼라로이 복층 유리 저반사 복층 유리
조명 정보		각 ZONE별로 조명기구 일람표 참고하여 데이터 입력		
냉,난방 설정		난방 급기온도 : 20℃, 냉방 급기온도 : 26℃		
		난방 운행시간 : 11시간, 냉방 운행시간 : 13시간		

(나) 계절효율계수 도출을 위한 알고리즘 개발

① 설비시스템 부분부하 효율 자료를 활용한 계절효율계수 도출 프로세스

○ 계절효율계수는 EN 14825에서 제시한 계절별 에너지 효율비로 연간 전체 냉각에너지에 대한 효율을 말한다. 냉방 기기의 부분부하효율을 이용하여 실제 운전 시 적용되는 평균 효율 값을 말한다. 본 연구를 통해 개발된 계절효율계수 도출 프로세스는 현장 측정이 필요한 경우와 현장 측정이 필요하지 않은 경우로 나뉜다. 계절효율계수 산출에 대한 기본 개념은 다음과 같다.



[그림 2.163] 계절효율계수의 개념 및 산출방법

○ 국내 설비시스템의 부분부하 효율 DB를 활용한 계절효율계수 산출 방법은 설비기기 부분부하 효율과 건축물 용도 또는 기후에 따른 가중치계수를 활용하는 계절효율계수 산출 방식(SEER)을 근거로 한다. SEER에서의 가중치계수는 각 지역별 또는 건축물 용도별로 지정된 설비기기의 부분 부하 효율별 사용비율계수로, 기존 건축물의 연간 운영현황을 반영시키는데 있어 중요한 역할을 하게 된다. 계절효율계수 산출시 사전조사를 통한 설비기기의 부분부하효율 DATA가 확보되어 있는 경우 25% 단위의 부하율에 따른 설비기기 효율 값과 건축물 용도와 기후에 따른 가중치계수를 곱하여 계절효율계수를 산출한다.

○ 설비기기 부분부하효율 DB를 활용한 기본 산출 식은 다음과 같다.

$$\text{계절효율계수} = (\text{가중계수}_{25\%} \times \text{효율}_{25\%}) + \cdots + (\text{가중계수}_{100\%} \times \text{효율}_{100\%})$$

○ 하지만 가중치계수 및 부분부하 효율 DB의 확보 조건에 따라 산출결과가 달라질 수 있으므로 본 논문에서는 Non-domestic Building Services Compliance Guide[8]에서 제시하는 4가지 산출방식을 제시하였다.

㉮ 100%부하(Full load)만 존재할 경우

○ 100% 부하(Full load)에 대한 정격효율만 존재하게 될 경우 정격효율 값 자체가 계절효율계수가 된다. (기존 방식)

$$\text{계절효율계수} = \text{효율}_{100\%} \times 1.0$$

㉯ 부분부하 효율 DB가 100% 부하(Full load), 50% 부하(Half load)만 존재할 경우

○ 두 부분부하 효율 데이터의 평균 값이 계절효율계수가 된다.

$$\text{계절효율계수} = (\text{효율}_{100\%} \times 0.5) + (\text{효율}_{50\%} \times 0.5)$$

㉰ 각 부분부하 효율 Data는 존재하나 각 부분부하 효율별 가중치계수가 존재하지 않을 경우

○ 각 부분부하 효율 데이터의 평균값이 계절효율계수가 된다.

$$\text{계절효율계수} = (\text{효율}_{100\%} \times 0.25) + (\text{효율}_{75\%} \times 0.25) + (\text{효율}_{50\%} \times 0.25) + (\text{효율}_{25\%} \times 0.25)$$

㉱ 각 부분부하 효율 Data와 부분부하효율별 가중치계수가 존재할 경우

○ 각 부분부하 효율 데이터에 가중치계수를 곱한 값의 합이 계절효율계수가 된다.

$$\text{계절효율계수} = (\text{효율}_{100\%} \times \text{가중치계수}_{100\%}) + (\text{효율}_{75\%} \times \text{가중치계수}_{75\%}) + (\text{효율}_{50\%} \times \text{가중치계수}_{50\%}) + (\text{효율}_{25\%} \times \text{가중치계수}_{25\%})$$

8) Non-domestic Building Services Compliance Guide, — Section 9.5 Calculating the seasonal energy efficiency ratio, 2013

<표 2.191> 국내 설비기기 DB를 활용한 계절효율계수 산출방법 예시

구분	산출프로세스
부분부하 효율이 100% 부하(Full load)와 50% 부하(Half load)만 존재할 경우	두 부분부하 효율 Data의 평균 값이 계절효율계수
각 부분부하 효율 Data는 존재하나 각 부분부하 효율별 가중계수가 존재하지 않을 경우	각 부분부하 효율 Date의 전체 평균 값이 계절효율계수
부분부하 효율 Data와 건축물 용도별 가중치 계수가 존재할 경우	각 부분부하 효율 Data에 가중치계수를 곱한 값이 계절효율계수
100% 부하(Full load)만 존재할 경우	100% 부하(Full load)자체가 계절효율계수 (기존 프로세스 방식)

② 설비시스템의 현장측정 자료를 활용한 계절효율계수 도출

○ 기존 건축물 설비시스템의 현장 측정을 활용한 계절효율계수 도출의 경우 대상 건축물 지역의 최신 기상데이터(AMY) 와 대상 설비의 현장 측정을 통한 효율 데이터를 활용한다. 기본 산출식은 다음과 같다.

$$\text{계절효율계수} = \frac{(T_{MODE1} \times \text{효율}_{MODE1}) + (T_{MODE2} \times \text{효율}_{MODE2}) + (T_{MODE3} \times \text{효율}_{MODE3})}{T_{MODE1} + T_{MODE2} + T_{MODE3}}$$

·Tn : MODE 별 대표 온도 대의 시간빈도 수(h)의 합
·효율n : MODE 별 대표 온도 대에 맞춰 측정된 효율 값

○ MODE는 지역별 기상데이터 및 대상 건축물의 운영시간을 참조하여 분류한 시간대를 의미한다. MODE에 대한 조건은 다음과 같다.

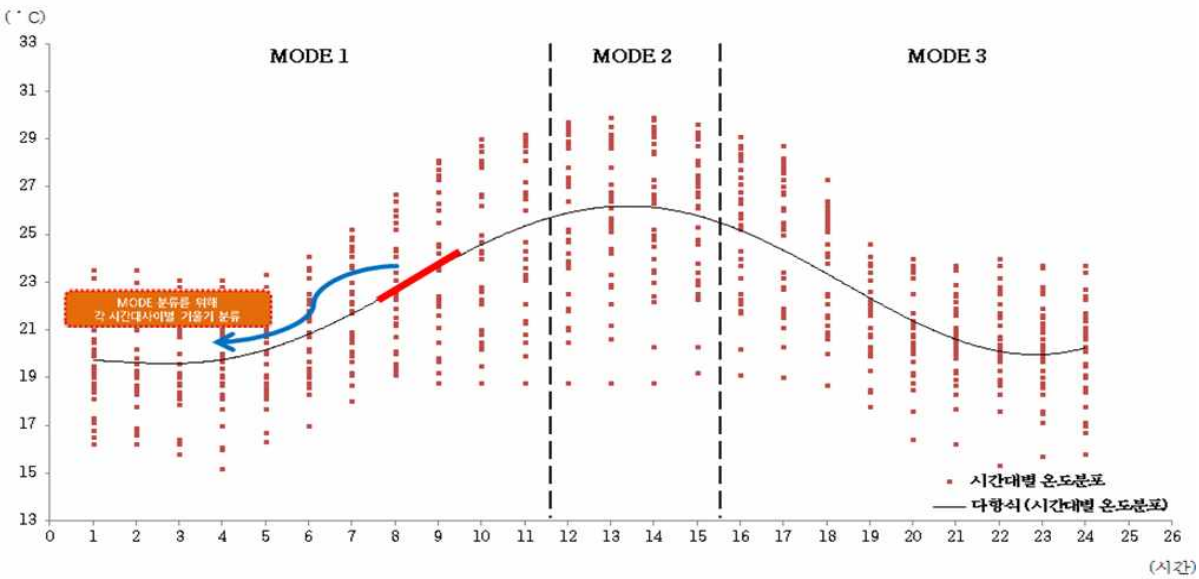
- 각 MODE는 냉난방 사이클 중 설비 기기의 부하량이 차이가 있는 시간대를 나눈 것이다.
- 오전/정오/오후 시간대를 설비 기기 부하에 따라 MODE 1, 2, 3 로 분류

· MODE 1 : 외기온도 상승, 설비기기 부분부하 효율 상승 시점
· MODE 2 : 외기온도 최대, 설비기기 부분부하 효율 최대 시점
· MODE 3 : 외기온도 하강, 설비기기 부분부하 효율 하락 시점

- 각 MODE를 나누는 기준은 기상 데이터나 건축물 용도, 운영 시간 등에 따라 차이가 있다.
- 단, Peak 시간대의 MODE 2는 기상데이터에만 영향을 받음

㉮ 시간대별 외기 온도차 분석

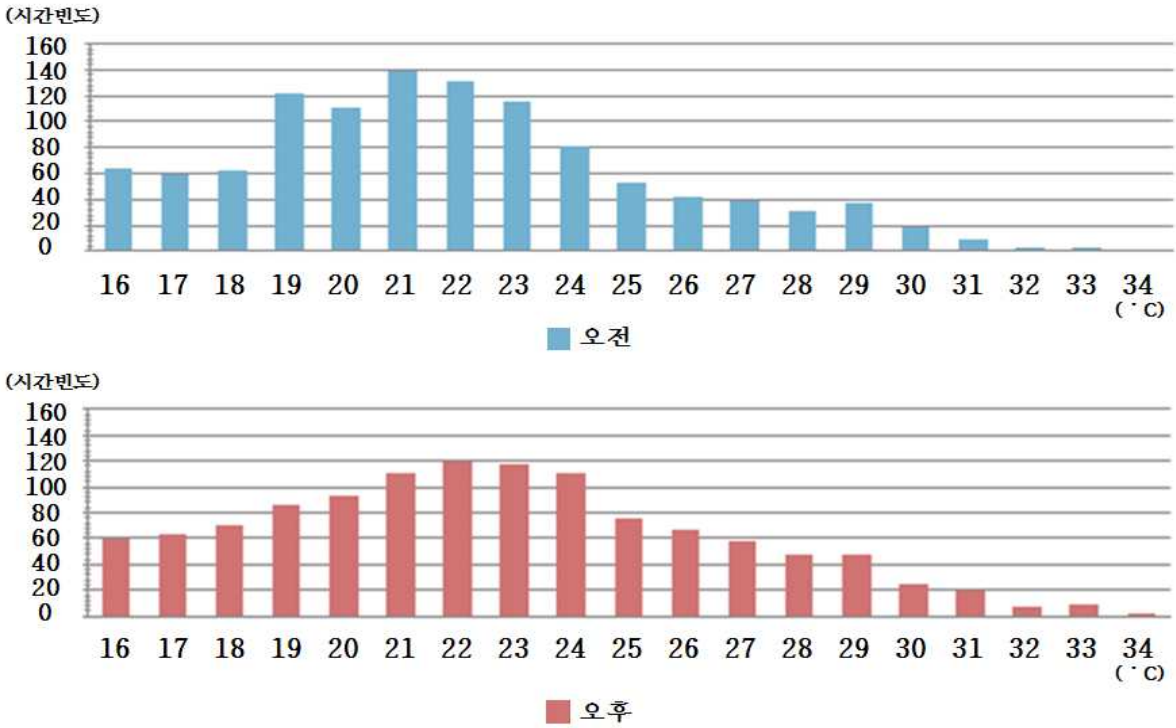
○ 시간대별 외기온도를 분석하여 Peak 시간대를 도출하였다. Peak 시간대를 기준으로 외기온도차 기울기를 분석하여 적정한 시간대를 분류해 MODE 2를 선정한다. MODE 2를 나누게 되면 운영시간기준 MODE 1, 3은 자동으로 분류가 가능하다.



[그림 2.164] 월 시간대별 외기온도 분포 및 경향 그래프를 통한 MODE ② 도출

㉯ 시간대별 평균온도 및 시간빈도수 도출

○ 대상건물의 냉난방기간 운영데이터를 확보하여 냉난방 기간의 시간대별 평균온도를 도출한다. 각 평균온도별 시간빈도수를 오전, 오후별로 분류하여 시간빈도수를 도출한다. 시간빈도수의 합은 '계절효율계수 기본산출식'의 가중치계수와 동일하게 활용된다.



[그림 2.165] 평균 온도에 대한 오전/오후별 시간빈도수 도출

㉰ MODE 별 현장 측정

○ 각 MODE 별로 열원 설비시스템의 현장측정을 실시하여 대상 설비기기의 효율을 산출한다. 여기서 산출된 효율 값은 '계절효율계수 기본 산출식'의 부분부하효율과 동일하게 활용된다.

각 설비기기 종류 및 제조사, 용량에 따라 부분부하패턴이 상이하기 때문에 현장측정을 실시할 경우 각 MODE 시간대별 효율 산출은 필수적이다.

㉲ 계절효율계수 도출

○ 시간대별 평균온도 및 시간빈도수 및 MODE별로 측정된 효율 값을 바탕으로 계절효율계수가 도출된다.

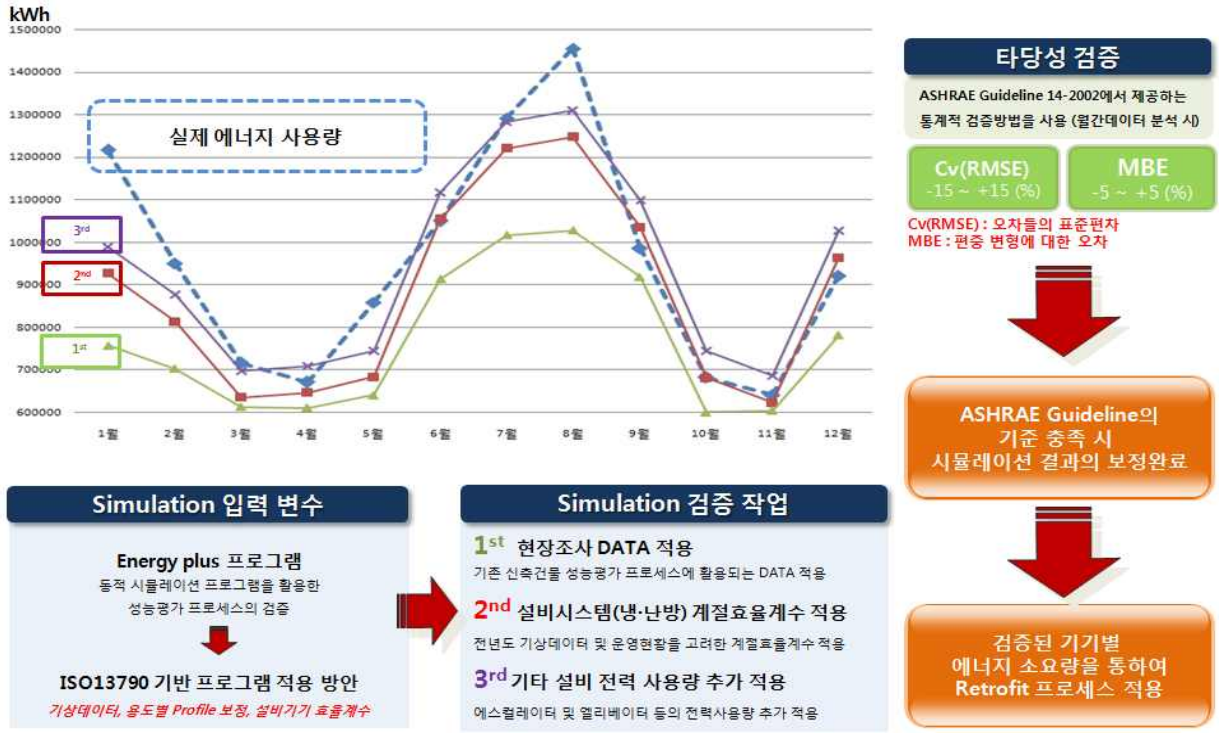
(다) 건물 에너지 사용량과 시뮬레이션 소요량 데이터의 검증

○ 기존 건축물 성능평가 프로세스의 현장 검증을 위해서는 본 연구에서 제시한 계절효율계수 산출프로세스를 동적 시뮬레이션 프로그램에 적용시켜 실제 건물 에너지 사용량과 비교 검증하는 작업을 거쳐야 한다.

○ 본 연구에서는 대상 건물들의 시뮬레이션 프로그램 모델링 작업을 마치고, 기존 건축물의 소비량 예측을 위해 다음과 같은 보정 프로세스를 실시하였다.

- 현장조사를 통한 실제 설비시스템의 운영시간 및 측정 자료를 적용 하였다.
- 두 번째, 열원 설비기기의 성능 곡선을 적용 하였다.
- 마지막으로, 대상 건축물의 에너지 사용량에는 포함되지만 시뮬레이션에 적용이 불가능한 기타 설비기기의 에너지 사용량을 계산하여 반영 하였다.

○ 기존 건축물의 소비량 예측 프로세스로 인한 소비량 보정 결과 개념 및 연구 방향에 대한 개념도는 다음 [그림 2.166]과 같다.



[그림 2.166] 소비량 보정 프로세스의 개념 및 Retrofit 프로세스 적용 방안

○ 대상 건물의 실제 에너지사용량과 비교하는 대조 모델은 총 3가지로 분류하였는데, 실제 소비량을 포함한 전체 모델들의 세부내용은 다음과 같다.

- 대상 건축물의 실제 에너지소비량
- 정격효율을 적용시킨 시뮬레이션 모델
- 계절효율계수를 적용시킨 시뮬레이션 모델

○ 실제 에너지사용량이 반영된 보정된 시뮬레이션 모델을 기준으로 열원 설비의 계절효율계수가 에너지 소요량에 미치는 영향을 판단하기 위하여, 독립변수를 열원 설비의 정격출력 및 계절효율계수로 각각 정하고 시뮬레이션 결과를 분석 하였다.

① 검증 방법

○ 미국냉동공조학회(ASHRAE)에서는 건물 에너지절감에 대한 여러 가이드라인을 제시하고 있는데 그 중'ASHRAE Guideline 14-2002 : Measurement of Energy and Demand Savings'는 건물의 신뢰성 있는 진단 및 성능평가를 위한 지침을 제공한다.

○ ASHRAE Guideline 14-2002의 '5.3.2.4 Whole Building Calibrated Simulation Performance Path'에 따르면 시뮬레이션을 기반으로 성능평가 및 요소별 사용률을 도출할 경우 다음과 같은 요소들을 확보하도록 되어있다.

- 연간 8,760 시간의 데이터 (8,760 hour per year)
- 열용량 효과 (thermal mass effects)
- 재실인원 정보 및 운영 일정, 스케줄 (occupancy and operating schedules that can be separately defined for each day of the week and holidays)
- 냉난방 구역 및 HVAC 정보 (individual setpoints for thermal zones or HVAC components)
- 기계설비의 부분부하 성능 곡선 (user-definable part-load performance curves for mechanical equipment)
- 기계설비 용량 및 비 정격 운전 시 데이터 (user-definable capacity and efficiency correction curves for mechanical equipment operationg at non rated conditions.)

○ 이러한 데이터를 바탕으로 시뮬레이션을 기반으로 한 성능평가를 실시하였을 때 가이드라인에서 제시하는 통계적 검증 방법 활용이 가능해진다.

○ 본 연구에서는 ASHRAE Guideline 14-2002[9]에서 제시하는 통계적 검증 방법인 Cv(RMSE)(the root mean squared error)법과 MBE(The mean bias error)을 사용하여 실제 에너지사용량과 시뮬레이션을 통한 에너지사용량의 타당성을 검증한다.

㉮ Cv(RMSE) [Coefficient of Variation of the Root-Mean-Squared Error]

○ 평균제곱근오차의 변동계수를 말하며, 자료간 다양성에 대한 정규측정치이다. 보정된 시뮬레이션 목적을 위해, 짝을 이루는 시간별 자료들간에 차이를 제곱하고, 매달 혹은 요금고지

9) U.S. Department of Energy (2008) M&V Guidelines - Measurement and Verification for Federal Energy Projects Version 3.0.

서 기간에 걸쳐 이 제곱된 차이값을 합하고서 월별 시간수로 나누어 얻어지는데 이를 평균 제곱 오차라 한다. 이 값의 제곱근이 RMSE이다. Cv(RMSE)는 RMSE를 그 달 혹은 요금고지서 기간에 대해 측정된 자료의 평균으로 나누어 얻어진다. 값이 작을수록 보정이 잘된 것이다.

㉯ MBE [Mean Bias Error]

○ 월별 평균 편향오차를 말하며, 보통 한달이나 같은 기간의 요금고지서 기간인 주어진 기간에 걸쳐 측정된 에너지소비량으로부터 시뮬레이션에 의해 얻어진 에너지 소비량을 빼서 계산된다. MBE는 측정된 자료와 비교하여 에너지 소비량이 얼마나 잘 모델에 의해 예측되는가를 나타낸다. 값이 작을수록 보정이 잘된 것이다.

㉰ RMSE [Root Mean Square Error]

○ 직관적인 근사모델 정확성 평가방법이다. 임의의 실험점에서 '실제모델과 근사모델의 차'의 평균 제곱합으로, 적용된 실험점의 수가 많으면 많을수록 더 정확한 근사모델의 정확도를 평가할 수 있는 방법을 말한다. MBE는 Mean Bias Error의 약자로 실제 모델과 근사모델 총합의 오차율을 말한다.

○ ASHRAE Guideline에서 제시하는 산출식은 다음과 같다.

$$MBE(\%) = \frac{\sum_{Period}(S-M)_{interval}}{\sum_{Period} M_{interval}} \times 100$$

$$RMSE_{period} = \sqrt{\frac{\sum(S-M)^2_{interval}}{N_{interval}}}$$

$$A_{period} = \frac{\sum_{Period} M_{interval}}{N_{interval}}$$

$$Cv(RMSE_{period}) = \frac{RMSE_{period}}{A_{Period}} \times 100$$

여기서,
M : 측정된 kWh 또는 에너지소비량
S : 시뮬레이션에서 계산된 kWh 또는 에너지소비량
N : 측정된 데이터 수 (월, 기간, 년)
A : 측정된 기간의 평균 에너지 사용량

② Simulation 모델링

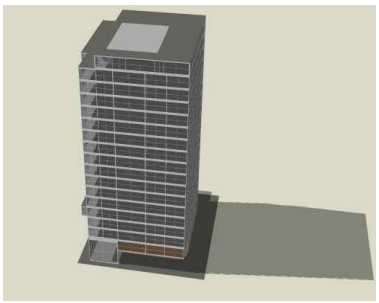
○ 대상 건축물의 모델링은 국내 기존 건축물 에너지 성능평가 프로그램인 'Design builder'를 활용한다. BLAST 와 DOE-2의 장점만을 결합하여 개발된 EnergyPlus를 기반으로 건물에너지해석을 수행하는 동적 시뮬레이션 프로그램이다. EnergyPlus는 건물의 응답(response)

과 1차, 2차 시스템이 견고하게 결합되어져 통합된 건물과 시스템의 동시 해석이 가능하고 열적 존(thermal zones)과 주변 환경(외부 변수) 간의 상호작용을 위해 보조 시간간격(표준 이외의 시간 간격 : Sub-hourly) 및 사용자 지정 시간 간격으로 해석이 가능하다.

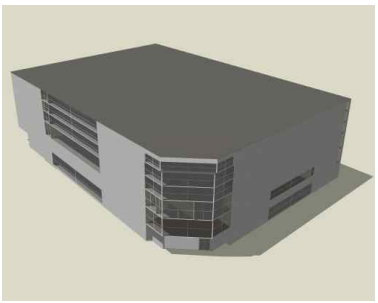
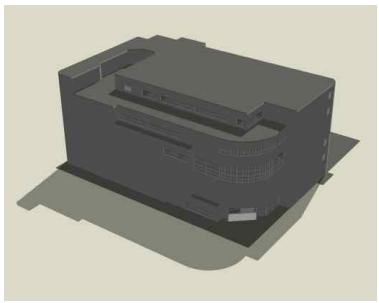
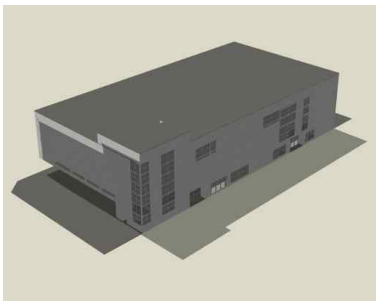
○ 매 시간간격에서 내·외부 표면에서의 복사와 대류 효과를 동시 계산이 가능하도록 하는 건물 열부하에 대한 열평형에 기반하는 해석 기법이며 사용자가 프로그램 소스 코드를 재 컴파일링하지 않고 특정 시스템과 다소 수정된 시스템으로 수정할 수 있도록 한 HVAC Loop 시스템이 구성된다.

○ 기준건물 모델링은 DesignBuilder의 입력 메뉴 창에서 요구되는 항목에 따라 만들어졌다. 크게 Weather Data, Construction, Opening, HVAC, Lighting, Activity 의 6가지 구성으로 나누어 입력 하였다. Construction 의 입력창의 경우 외벽과 내벽, 최상층 지붕, 최하층 지붕 등 의 물성치를 입력하고 Opening의 경우는 개구부나 창의 물성치를 입력한다. HVAC의 경우 열원 및 냉난방 공조를 위한 설비시스템을 입력하고 Activity는 재실자의 쾌적성을 위한 실내의 냉난방 기준 온도 및 내부 발열을 입력한다. 다음 표는 Design builder을 활용한 대상건물의 형상모델링을 나타낸다.

<표 2.192> Design builder를 활용한 상업용 건물의 모델형상

구분	상업용건물 A	상업용건물 B	상업용건물 C
모델링이미지			

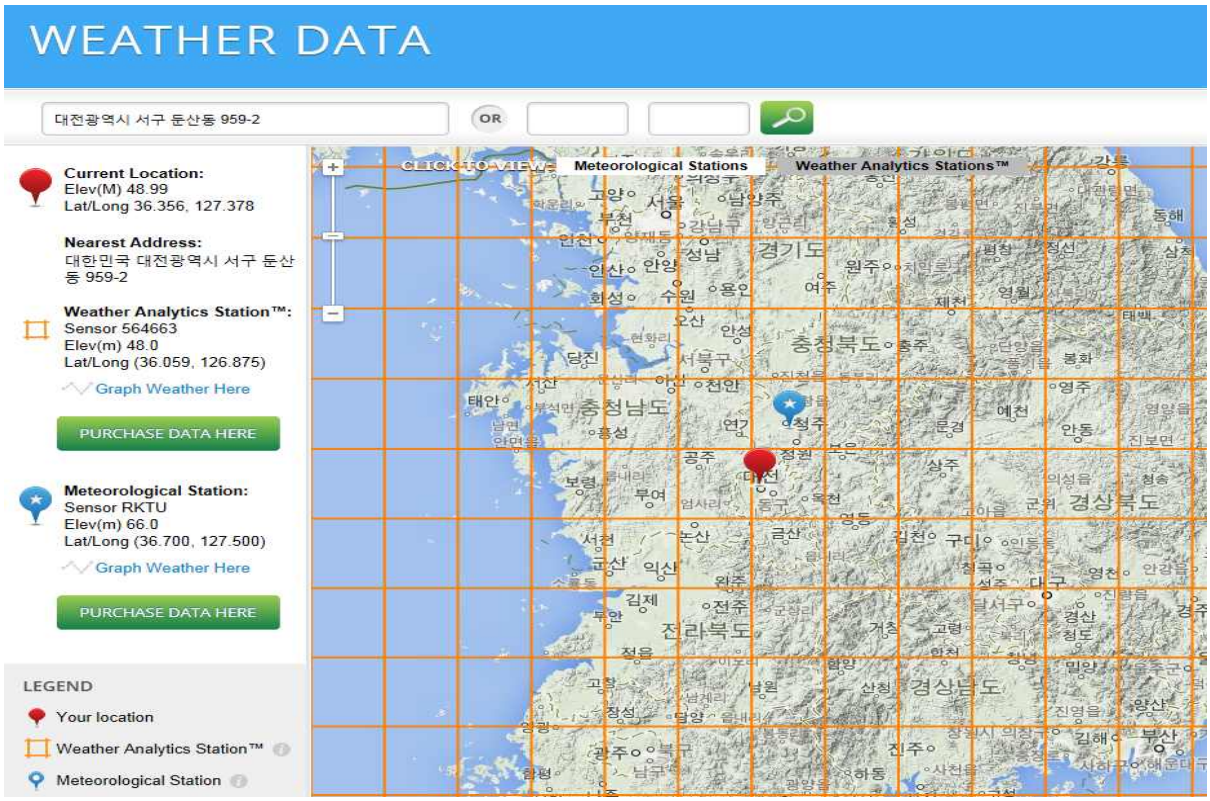
<표 2.193> Design builder를 활용한 판매시설의 모델형상

구분	판매시설 A	판매시설 B	판매시설 C
모델링이미지			

㉮ AMY 기상데이터 적용

○ 국내 기상청에서는 연간 시간대별 기상데이터를 제공하고 있으나 현재까진 기상청데이터를 ISO 13790 또는 DIN V 18599 기반의 프로그램에 맞게 변환시키거나 적용시키는 방안은 없다.

○ 본 연구에서는 Simulation 프로그램에 적용 가능한 기상데이터를 확보할 수 있는 'weather analytics'를 이용하여 각 대상 건물의 위치별 전년도 기상데이터(AMY, Actual Meteorological Year)를 확보해 Design Builder 프로그램에 적용시켰다. Design Builder 프로그램에 적용가능한 .epw 형식의 기상데이터 파일을 적용한다. Simulation 프로그램에 적용되는 .epw 형식의 기상데이터 파일 및 대상 건축물 기상데이터 확보 위치는 다음과 같다.



[그림 2.167] Design builder에 적용 가능한 기상데이터를 제공하는 weather analytics

TYPICAL/EXTREME PERIODS											
GROUND TEMPERATURES											
HOLIDAYS	No	0	0	0							
COMMEN	Weather Analytics - Sensor Point System data - based on the NOAA/NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CF										
COMMENTS 2											
DATA PER	1	1	Data	Sunday	01월 01일	12월 31일					
2013	1	1	1	60	C8C8C8C8	-5.4	-7	89	101360	0	0
2013	1	1	2	60	C8C8C8C8	-5	-6.5	90	101300	0	0
2013	1	1	3	60	C8C8C8C8	-4.7	-6	91	101320	0	0
2013	1	1	4	60	C8C8C8C8	-3.5	-4.7	91	101220	0	0
2013	1	1	5	60	C8C8C8C8	-2.5	-3.8	91	101190	0	0
2013	1	1	6	60	C8C8C8C8	-1.6	-3	91	101150	0	0
2013	1	1	7	60	C8C8C8C8	-0.7	-2.1	90	101130	0	0
2013	1	1	8	60	C8C8C8C8	0.2	-1.4	89	101140	0	0
2013	1	1	9	60	C8C8C8C8	1.3	-0.7	86	101180	180	1413
2013	1	1	10	60	C8C8C8C8	1.7	-0.5	85	101220	400	1413
2013	1	1	11	60	C8C8C8C8	1.8	-0.6	84	101220	572	1413
2013	1	1	12	60	C8C8C8C8	1.7	-0.7	83	101200	684	1413
2013	1	1	13	60	C8C8C8C8	1.7	-1.2	81	101210	727	1413
2013	1	1	14	60	C8C8C8C8	1.6	-1.8	78	101240	698	1413
2013	1	1	15	60	C8C8C8C8	1	-2.8	75	101290	600	1413
2013	1	1	16	60	C8C8C8C8	-0.3	-4.6	74	101320	439	1413
2013	1	1	17	60	C8C8C8C8	-1.5	-6	72	101340	227	1413

[그림 2.168] Simulation에 적용 가능한 전년도 기상데이터(AMY) 파일 (.epw 형식)

<표 2.194> 대상 건물별 기상데이터 확보 위치

대상 건물	장소	좌표 및 고도	
상업용 건물 A	서울특별시 서초구 서초동	Lat/Long :	37.494, 127.029
		Elev(M) :	28.35
상업용 건물 B	대구광역시 수성구 범어동	Lat/Long :	35.866, 128.626
		Elev(M) :	57.38
상업용 건물 C	광주광역시 서구 치평동	Lat/Long :	35.151, 126.852
		Elev(M) :	21.84
판매시설 A	경기도 부천시 원미구 중동	Lat/Long :	37.504, 126.764
		Elev(M) :	16
판매시설 B	대전광역시 서구 둔산동	Lat/Long :	36.356, 127.378
		Elev(M) :	48.99
판매시설 C	서울특별시 중랑구 망우본동	Lat/Long :	37.596, 127.094
		Elev(M) :	32.8

㉯ 설비시스템 운영현황

ㄱ. 상업용 건물

- 각 대상 건물의 운영 스케쥴을 확보하여 Simulation 프로그램 운전 스케쥴을 입력하여 실제 운영현황을 고려한다. 대상 건물 3곳 모두 2013년도 설비기기 운영 스케쥴이 컴퓨터에 저장되어 있고, 동일한 프로그램을 사용하기 때문에 대상 건물에 직접 방문하여 2013년도 운영스케줄을 추출했다.



[그림 2.169] 상업용 건물의 건물관리 프로그램 (BEMS)

<표 2.195> 상업용 건물의 냉·난방 열원설비 운영 스케줄

	열원 설비	가동시간	정지시간	비 고
상업용 건물 A	냉온수기	06:00	17:00	- 온도감시 철저 (냉방 26℃, 난방 23℃) - 난방시 냉온수기 대수 제어 - 외기온도에 따라 당직자 수동으로 Off
	냉온수기	06:00	17:00	
상업용 건물 B	냉온수기	05:00	18:30	- 온도감시 철저 (냉방 26℃, 난방 23℃) - 난방시 냉온수기, 보일러 교차 운전 - 외기온도에 따라 당직자 수동으로 Off
	보일러 + 냉온수기	05:00	18:30	
상업용 건물 C	냉동기	07:00	18:00	- 온도감시 철저 (냉방 26℃, 난방 23℃) - 외기온도에 따라 당직자 수동으로 Off
	보일러	07:00	18:00	

<표 2.196> 상업용 건물의 2013년도 냉난방 스케줄

대상 건물	냉방 스케줄 (부분 운전 포함)			난방 스케줄 (부분 운전 포함)		
상업용 건물 A	05 . 24	~	09 . 20	11 . 11	~	02 . 25
상업용 건물 B	05 . 24	~	09 . 20	11 . 11	~	02 . 25
상업용 건물 C	05 . 24	~	09 . 20	11 . 11	~	02 . 25

<표 2.197> 상업용 건물의 2013년도 조명 운영 스케줄

전등 라인	가동 시간	정지 시간
지상층 일반 전등	07:00	19:00
지하층 일반 전등	06:00	24:00
지하층 주차장 일반 전등	06:00	24:00

<표 2.198> 상업용 건물의 공조기 운영 스케줄

공조기	가 동 시 간	정 지 시 간
AHU	06:20	18:00
FCU	06:20	18:00
에어커튼	06:20	18:00
급·배기팬	06:20	18:00
패키지에어컨	06:20	18:00
라디에이터	06:20	18:00

ㄴ. 판매시설

- 각 대상 건물의 운영 스케쥴을 확보하여 Simulation 프로그램 운전 스케쥴을 입력하여 실제 운영현황을 고려한다. 대상 건물 3곳 모두 2013년도 설비기기 운영스케쥴이 컴퓨터에 저장되어 있고, 동일한 에너지 관리 프로그램을 사용하기 때문에 대상 건물에 직접 방문하여 2013년도 운영스케줄을 추출했다.

<표 2.199> 판매시설의 냉·난방 열원설비 운영 스케줄

	열원 설비	가동시간	정지시간	비 고
판매 시설 A	냉동기	09:00	23:30	- 1호기와 2호기 대수 제어 - 외기온도에 따라 당직자 수동으로 Off
	냉온수기	11:00	22:00	
판매 시설 B	냉동기	09:00	23:30	- 외기온도에 따라 당직자 수동으로 Off
	보일러	11:00	22:00	
판매 시설 B	냉동기	09:00	23:30	- 1호기와 2호기 대수 제어 - 외기온도에 따라 당직자 수동으로 Off
	열교환기	11:00	22:00	

<표 2.200> 판매시설의 2013년도 냉난방 스케줄

대상 건물	냉방 스케줄 (부분 운전 포함)			난방 스케줄 (부분 운전 포함)		
판매시설 A	05 . 13	~	10 . 10	11 . 11	~	02 . 20
판매시설 B	05 . 15	~	10 . 14	11 . 11	~	04 . 05
판매시설 C	05 . 13	~	10 . 14	11 . 03	~	04 . 05

<표 2.201> 판매시설의 2013년도 조명 운영스케줄

전등 라인	가동 시간	정지 시간
지상층 일반 전등	10:00	0:15
지하층 일반 전등	10:00	0:15
지상층 주차장 일반 전등	9:25	0:20
지하층 주차장 일반 전등	9:30	0:20

<표 2.202> 판매시설의 공조기 운영스케줄

공조기	가 동 시 간	정 지 시 간
AHU	06:20	18:00
FCU	06:20	18:00
에어커튼	06:20	18:00
급·배기팬	06:20	18:00
패키지에어컨	06:20	18:00
라디에이터	06:20	18:00

㉰ 기타 설비 전력사용량 데이터 확보

○ 건물의 전체 에너지 사용량 중에서 엘리베이터와 무빙워크의 전력사용량이 적지 않은 비중을 차지한다. 일본에너지저감센터에 따르면 상업용 건축물의 경우 승강기에서 사용되는 전력량이 전체 사용량의 약 5%를 차지한다고 한다. 특히 판매시설의 경우 이에 따른 에너지 사용량이 상업용 건축물보다 더 큰 비중을 차지할 것으로 예측되므로 올바른 소비량 예측을 위해 엘리베이터와 무빙워크 그리고 쇼케이스의 전력사용량에 대한 고려가 필요하다. Simulation 프로그램에 적용되지 않는 엘리베이터, 무빙워크 등의 운송설비의 연간 에너지 사용량을 확보한다. 판매시설의 경우 엘리베이터 및 무빙워크 설비가 Simulation 프로그램에 지원이 되지 않아 대상 설비기기들의 각 점포별 연간 사용량을 조사하였다. 상업용 건물의 경우 엘리베이터 설비가 Simulation 프로그램에 지원이 되지 않아 대상 설비기기의 각 건물별 연간 사용량을 조사하였다.

ㄱ. 상업용 건물

a. 상업용 건물 A

- 상업용 건물 A의 엘리베이터 개요는 다음 표와 같다. 월간 평균 전기 에너지 사용량은 운영시간 및 운전거리, 모터효율 등을 고려하여 산출하였다.

<표 2.203> 상업용 건물 A의 엘리베이터 개요

구분	1호기	2호기	3호기	4호기	5호기	6호기
용 도	승객용 (비상용)	승객용 (장애인용)	승객용	승객용	승객용	승객용
하 중	15인승	15인승	24인승	24인승	24인승	24인승
속 도	150m/min	210m/min	210m/min	210m/min	210m/min	210m/min
DOOR SIZE	1100	1100	1100	1100	1100	1100
운행층	B4~18F	B4~18F	B1~18F	1F~18F	1F~18F	1F~18F
승강로 SIZE	2825×3100	2825×2950	2825×2950	2825×3150	2825×3150	2825×3150

b. 상업용 건물 B

- 상업용 건물 B의 엘리베이터 개요는 다음 표와 같다. 월간 평균 전기 에너지 사용량은 운영시간 및 운전거리, 모터효율 등을 고려하여 산출하였다.

<표 2.204> 상업용 건물 B의 엘리베이터 개요

구분	1호기	2호기	3호기	4호기
용 도	승객용 (장애인, 비상용)	승객용 (장애인용)	승객용	승객용
하 중	17인승	24인승	24인승	24인승
속 도	180m/min	210m/min	210m/min	210m/min
DOOR SIZE	1020	1020	1020	1020
운행층	B4~18F	1F~18F	1F~18F	1F~18F
승강로 SIZE	2600×2600	2700×2700	2700×2700	2700×2700

c. 상업용 건물 C

- 상업용 건물 C의 엘리베이터 개요는 다음 표와 같다. 월간 평균 전기 에너지 사용량은 운영시간 및 운전거리, 모터효율 등을 고려하여 산출하였다.

<표 2.205> 상업용 건물 C의 엘리베이터 개요

구분	1호기	2호기	3호기	4호기	5호기	6호기	7호기	8호기
용 도	승객용 (비상용)	승객용 (비상용)	승객용	승객용	승객용	승객용	승객용	승객용
하 중	15인승	15인승	24인승	24인승	24인승	24인승	24인승	24인승
속 도	150m/min	150m/min	210m/min	210m/min	210m/min	210m/min	210m/min	210m/min
DOOR SIZE	1100	1100	1300	1300	1300	1300	1300	1300
운행층	B4~1F	B5~19F	B1~19F	B1~19F	B1~19F	B1~19F	B1~19F	B1~19F
승강로 SIZE	2650×2600	2500×2500	2550×2500	2550×2500	2550×2500	2550×2500	2550×2500	2550×2500

d. 상업용 건물 기타설비기기의 월간 평균 에너지 소비량

- 상업용 건물의 엘리베이터 개요 및 운전스케줄로 산출된 점포별 기타 설비기기의 월간 평균 에너지 소비량은 다음 표와 같다. 표에 제시된 기타 설비기기 월간 평균 에너지 소비량은 소비량 예측 검증 작업에서 Simulation 결과 데이터에 합산되어 적용된다.

<표 2.206> 상업용 건물 기타 설비기기의 월간 평균 에너지 사용량

구 분	엘리베이터 (kWh)
상업용 건물 A	8,064
상업용 건물 B	7,795
상업용 건물 C	15,008

ㄴ. 판매시설

- 판매시설 A, B, C의 경우 동일한 엘리베이터와 무빙워크를 사용 중에 있으나 운용 대수가 달라 연간 사용량에 차이가 있다. 각 판매시설별 기타 설비 개요는 다음 표와 같다.

a. 판매시설 A

- 판매시설 A의 엘리베이터 및 무빙워크 개요는 다음 표와 같다. 월간 평균 전기 에너지 사용량은 운영시간 및 운전거리, 모터효율 등을 고려하여 산출하였다.

<표 2.207> 판매시설 A의 엘리베이터 개요

구분	1호기	2호기	3호기	4호기
용 도	승객용 (장애자용)	승객용	화물용	화물용
하 중	20인승	20인승	3.5ton	3.5ton
속 도	$60m/\min$	$60m/\min$	$30m/\min$	$30m/\min$
DOOR SIZE	1500	1500	3200	3200
운행층	1F~7F	1F~7F	B1~3F	B1~3F
승강로 SIZE	2500×2250	2500×2250	4450×5000	4450×5000

<표 2.208> 판매시설 A의 무빙워크 개요

구분	1～12호기	13～16호기
형 식	AGS-1000형	AGS-1000형
각 도	12°	12°
속도	$30m/\min$	$30m/\min$
디딤판 폭	804	804
운행층	1F~7F	1F~3F
운행 층고	3500~5200	5000~5200
운행 형식	교차형	일방향
운행 구간	A구간	B구간

b. 판매시설 B

- 판매시설 B의 엘리베이터 및 무빙워크 개요는 다음 표와 같다. 월간 평균 전기 에너지 사용량은 운영시간 및 운전거리, 모터효율 등을 고려하여 산출하였다.

<표 2.209> 판매시설 B의 엘리베이터 개요

구분	1호기	2호기	3호기	4호기	5호기	6호기
용 도	승객용 (장애자용)	승객용	승객용	승객용	화물용	화물용
하 중	30인승	30인승	30인승	30인승	3ton	3ton
속 도	$60m/\min$	$60m/\min$	$60m/\min$	$60m/\min$	$30m/\min$	$30m/\min$
DOOR SIZE	1400	1400	1400	1400	3000	3000
운행층	B1~8F	B1~8F	B1~8F	B1~8F	1F~4F	1F~8F
승강로 SIZE	3200×3000	3200×3000	3200×3000	3200×3000	4000×5000	4000×5000

<표 2.210> 판매시설 B의 무빙워크 개요

구분	1～14호기
형 식	AGS-1000형
각 도	12°
속도	30m/min
디딤판 폭	804
운행층	1F~8F
운행 층고	3300~5200
운행 형식	교차형
운행 구간	A구간

c. 판매시설 C

- 판매시설 C의 엘리베이터 및 무빙워크 개요는 다음 표와 같다. 월간 평균 전기 에너지 사용량은 운영시간 및 운전거리, 모터효율 등을 고려하여 산출하였다.

<표 2.211> 판매시설 C의 엘리베이터 개요

구분	1호기	2호기	3호기	4호기	5호기	6호기
용 도	승객용 (장애자용)	승객용	승객용	승객용	화물용	화물용
하 중	35인승	35인승	35인승	35인승	4ton	4ton
속 도	60m/min	60m/min	60m/min	60m/min	20m/min	20m/min
DOOR SIZE	1300	1300	1300	1300	2700	2700
운행층	1F~6F	1F~6F	1F~6F	1F~6F	B3~1F	B2~1F
승강로 SIZE	3200×3000	3200×3000	3200×3000	3200×3000	4000×5000	4000×5000

<표 2.212> 판매시설 C의 무빙워크 개요

구분	1～6호기	7～14호기
형 식	AGS-1000형	AGS-1000형
각 도	12°	12°
속도	30m/min	30m/min
디딤판 폭	804	804
운행층	B2~1F	1F~4F
운행 층고	5200~5500	3300~5200
운행 형식	교차형	교차형
운행 구간	A구간	B구간

d. 판매시설 기타설비기기의 월간 평균 에너지 소비량

- 판매시설의 엘리베이터 및 무빙워크 개요 및 운전 스케줄로 산출된 점포별 기타 설비기기의 월간 평균 에너지 소비량은 다음 표와 같다. 표에 제시된 기타 설비기기 월간 평균 에너지 소비량은 소비량 예측 검증 작업에서 Simulation 결과 데이터에 합산되어 적용된다.

<표 2.213> 판매시설 기타 설비기기의 월간 평균 에너지 사용량

	엘리베이터 (kWh)	무빙워크(kWh)
판매시설 A	6,523	50,644
판매시설 B	9,533	52,013
판매시설 C	10,537	51,556

(라) Retrofit을 위한 의사결정모델 제시

① VE의 개념 및 정의

○ VE란 최저의 총 생애비용(Life Cycle Cost, 이하 LCC)으로써 필요한 기능을 확실히 달성하기 위하여 시스템의 기능분석 및 기능에 쏟는 조직적인 노력을 수치화한 것을 말한다. 즉 VE는 제품이나 서비스에 대한 기능을 정의하며 기능에 대한 가치를 수립하고 건축물의 LCC 또는 현재의 투자비용에 대한 비용 대비 가치를 평가하는 방법이다. 또한 VE는 여러 분야의 전문기술을 기반으로 창의적인 대안을 창출하고 체계적인 절차를 통해 반영하는 조직적인 노력으로 VE의 평가식 및 가치지수 향상방법은 다음 식 및 표와 같다.

$$V = \frac{F}{C}$$

V : 가치지수 (Value index)
F : 기능 (Function)
C : 비용 (Cost)

○ VE에서는 다음표의 유형①에서 ④까지에 대해서 착안을 하지만 원가절감과 품질실현이라는 측면에서 유형①과 ②를 1차 목표로 접근한다. 그리고 원칙적으로 ⑤와 같은 방향의 접근은 지양한다.

<표 2.214> 가치지수 향상 방법

향상 방법		
① $V = \frac{F\rightarrow}{C\searrow}$	② $V = \frac{F\nearrow}{C\searrow}$	③ $V = \frac{F\nearrow}{C\rightarrow}$
④ $V = \frac{F\nearrow}{C\nearrow}$	⑤ $V = \frac{F\searrow}{C\searrow}$	

② 최적대안 선정을 위한 매트릭스 평가방법의 고찰

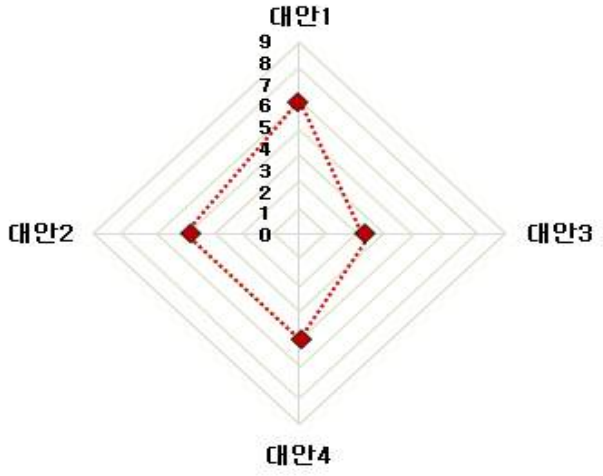
○ 매트릭스 평가법은 각 대안이 실행되었을 경우 영향을 받을 평가항목을 결정하고 영향도에 대한 점수를 부여하여 가장 점수가 높은 대안을 최적안으로 한다. 매트릭스 평가법의 변형인 가중치부여 매트릭스 평가법은 현행 VE 실무에서 대표적으로 사용되고 있는 기법으로, 특정 공정의 여러 대안 가운데 최적안의 선정시 이용되고 있다. 각 대안의 평가점수는 평가항목별 점수에 평가항목별 가중치를 곱하고 곱한 점수를 합산하여 산출한다. 최적안 선정을 위한 가중치부여 매트릭스 평가는 평가항목간의 상호비교를 통하여 평가항목별 가중치 부여를 위한 평가항목 점수표와 각 대안의 평가항목에 대한 만족도를 종합적으로 평가하여 상대적으로 가장 우수한 대안을 최적안으로 선정하기 위한 대안 평가표로 구분된다. 매트릭스 평가법을 활용한 각 대안별 가치지수 산출결과 예시는 다음 [그림 2.170]과 같다.

대안1 $\frac{0.2700+0.2480+0.2250+0.2248}{0.1590} = 6.0848$

대안2 $\frac{0.2476+0.2403+0.2232+0.2244}{0.2258} = 4.1427$

대안3 $\frac{0.2329+0.2693+0.3349+0.3316}{0.4148} = 2.8177$

대안4 $\frac{0.2496+0.2423+0.2169+0.2192}{0.2004} = 4.6317$



[그림 2.170] 대안별 가치지수 산출 예시

③ 의사결정모델의 구성 및 기본모형

○ 설계원안 및 VE를 통해 창출된 부위별 대안은 각 건축물 설비기기 교체 과정에 발생하는 알맞은 용량에 따른 설비기기 교체 리스트와 설치비, 기기 단가 등을 포함한 설비기기 자체의 물리적 성능이다. 본 연구에서는 가치지수(V) 산출을 위하여 상기 요소들을 다음 표와 같이 비용(C) 와 기능(F)으로 구분하였다.

<표 2.215> 가치지수 적용 조건

	적용 조건
비용(C) 평가	기기 단가, 설치비 등
기능(F) 평가	설비기기 효율(설비기기 DB) 등 데이터 입력시 산출되는 Simulation 에너지 소비량과 기존 설비 적용시 소비량의 차이

○ 프로세스 상으로, 각 기존 건축물의 에너지 사용비율에 따라 Retrofit 대상이 달라져야하지만 본 연구에서 확보된 설비기기 DB는 냉동기, 냉온수기, 보일러 등의 냉난방 설비기기로 한정되어 있어 냉온열원에 대한 의사결정모델에 대한 현장 검증을 실시하였다.

ㄱ. 비용평가

- VE를 통해 창출된 대안 적용 시 비용평가 부분을 산출한다. 비용평가지수는 평가대상 설

계안의 소요비용을 전체 대안의 비용의 합으로 나누어 산출하여 가장 높은 비용이 높은 평가 값을 갖게 한다. 비용평가지수 산출모델은 다음 식과 같다.

$$C = \frac{C_n}{\sum_{i=1}^{n} C_i}$$

C : 평가대상 Retrofit안의 비용평가지수

n : Retrofit 대안

C_n : Retrofit 대안의 비용 (설치비용 + 기기 단가)

i : 평가 대상 종류별 창출된 Retrofit 대안

C_i : 평가 대상 종류별 창출된 Retrofit 대안의 비용 (설치비용 + 기기 단가)

○ 대상 건축물을 통한 비용평가 산출예시는 다음과 같다.

<표 2.216> 비용평가(C) 산출 과정 예시

제조사	모델명	가격정보 (단위:천원)	산출식	비용평가 (C)
L사	RCW***	250,000	= 250,000 / 1,572,000	0.1590
T사	CVH***	355,000	= 355,000 / 1,572,000	0.2258
C사	19X***	652,000	= 652,000 / 1,572,000	0.4148
Y사	YKL***	315,000	= 315,000 / 1,572,000	0.2004
합계		1,572,000	-	1.0

ㄴ. 기능평가

- 기능 평가는 각 수집된 설비기기 DB에 들어있는 효율 또는 성능지표 값을 활용하여 평가 항목을 생성해 산출한다. 냉난방 설비기기의 경우, 기존에 사용 중인 설비기기 데이터를 입력한 Simulation 결과 값과 Retrofit 대안 설비기기 데이터를 입력한 Simulation 결과 값의 차이를 기능지수로 정의한다.. 각 대입 요소에 따른 효율 값을 Simulation에 적용시켜 상대적으로 높은 결과 값을 갖는 대안이 높은 평가지수를 갖도록 한다. 기능평가지수 산출모델은 다음 식과 같다.

$$F = \frac{\sum F_n}{\sum_{i=1}^{n} F_i}$$

F : 평가대상 Retrofit안의 기능평가지수

n : Retrofit 대안

F_n : Retrofit 대안의 기능

(Retrofit 대안 적용 후 산출되는 Simulation 결과 값과 기존 안 적용 후 산출되는 Simulation 결과의 차)

i : 평가 대상 종류별 추출된 Retrofit 대안

F_i : 평가 대상 종류별 추출된 Retrofit 대안의 기능

(Retrofit 대안 적용 후 산출되는 Simulation 결과 값과 기존 안 적용 후 산출되는 Simulation 결과의 차)

○ 대상 건축물을 통한 기능평가 산출예시는 다음과 같다.

<표 2.217> 기능 평가(F) 산출 과정 예시

제조사	모델명	부분부하효율				기능 지수(F_n)	기능평가 (F)
		100	75	50	25	Simulation 결과 값(kWh)	
L사	RCW***	6.63	7.45	7.86	6.08	1,067,950	0.2419
T사	CVH***	6.08	7.22	7.8	6.07	1,032,646	0.2339
C사	19X***	5.72	8.09	11.7	8.97	1,289,704	0.2922
Y사	YKL***	6.13	7.28	7.58	5.93	1,023,820	0.2319
합계		24.56	30.04	34.94	27.08	4,414,119	1.0

○ 비용 평가 및 기능 평가 결과 값을 통해 설비기기 Retrofit 대안들의 가치지수를 산출하면 다음과 같다.

<표 2.218> 가치지수(V) 산출 과정 예시

제조사	모델명	비용 평가(C)	기능 평가(F)	산출식	가치지수(V)
L사	RCW***	0.1590	0.2419	= 0.2419 / 0.1590	1.5216
T사	CVH***	0.2258	0.2339	= 0.2258 / 0.2258	1.0361
C사	19X***	0.4148	0.2922	= 0.4148 / 0.4148	0.7044
Y사	YKL***	0.2004	0.2319	= 0.2004 / 0.2004	1.1574

○ 이에 대한 결과로 대상 건물의 Retrofit 대안 중 L사의'RCW***'모델이 비용과 효율을 고려하였을 때 가치지수가 가장 높은 대안으로 확인되었다는 것을 알 수 있다.

④ 최종 VE 대안의 선정

○ VE를 통해 창출된 대안에 대해 비용과 기능의 변화를 복합적으로 평가하여 비용 대비 기능에 대한 가치지수를 산출한다. 설계원안과 비교하여 가치지수가 높은 부위별 대안이 시공 및 완공시 생산성이 높은 대안으로 평가된다. 따라서 설계원안의 가치지수를 기준으로 산출된 가치지수에 따른 각 VE 대안들을 비교하여 설계원안보다 높은 가치지수를 갖는 대안을 최종안으로 채택한다.

⑤ VE기법을 활용한 가치지수 산출

○ 대상 건물들의 평가 Simulation 결과를 바탕으로 냉난방 설비기기 교체에 대한 의사결정모델을 가치지수로 제시한다. 평가보고서에 의한 결과를 활용하여 높은 에너지 소비율을 지닌 설비에 대한 가치지수를 산출하여야하나 현재 확보 중인 DB는 냉난방 열원 설비이기 때문에 냉난방 설비에 대한 가치지수만을 산출한다.

(2) 기존건물의 성능평가 및 Retrofit 프로세스의 표준 제시

(가) 목적

○ 기존 건물의 Retrofit을 전제로하는 성능평가를 위한 목적으로 제시되었으며, Retrofit을 전제로 하는 기존 건축물의 에너지 성능평가를 실시하는 과정 및 조건을 명시하기 위한 것이다.

(나) 적용범위

① 이 프로세스 표준은 상업용 건물, 판매시설을 대상으로 Simulation 결과 값에 소비량을 보정하는 프로세스를 다룬다.
② 이 프로세스 표준을 적용시키기 위해서는 기상데이터 변경이 가능하며 'DIN V 18599'기반이나, 'ISO 13790'기반의 Simulation이어야 한다.
③ 이 프로세스 표준은 해당 건축물의 실제 소비량과 Simulation 결과 값을 비교하기 위한 것으로 Simulation의 보정 관련 사항을 다루는 분야에서 활용되어질 수 있다.
④ 이 프로세스 표준은 기존 건축물의 현장 측정까지 완료가 된 상태에서, 즉 건축물이 1년 이상 사용된 경우에 적용되어야 한다. 1년이 지났더라도 대상 건축물의 연간 에너지 소비실적(사용량) 데이터가 없으면 이 기준을 적용할 수 없다.
⑤ 이 프로세스 표준은 현재 에너지관리공단에서 시행하고 있는 '건물에너지효율등급인증제도'의 기존 현안을 기본으로 한다.

(다) 참고규범

○ 다음의 참고규범 또는 표준은 이 기준의 적용에 있어서 필요한 사항들이다. 발행연도가 표기되지 않은 참고규범들은 최신판을 적용한다.

① EN-14825, Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with elecrically driven compressors, for space heating and cooling — Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance
② EN-14511, Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling — Part 1 ~ 4
③ HM Government, Non-domestic Building Services Compliance Guide
④ ASHRAE Guideline 14-2002 — Measurement of energy and demand savings
⑤ ISO 13790 — Energy performance of buildings : Calculation of energy use for space heating and cooling
⑥ DIN V 18599 — Energy efficiency of buildings : Calculation of the energy needs, delivered energy and primary energy for heating, cooling, ventilation, domestic hot water and lighting
⑦ 건축물의 에너지절약설계기준 해설서 — 에너지관리공단

(라) 용어 및 정의

① 기상데이터(Weather data)는 지역, 시기에 따라 차이가 있다. 본 기준에서 활용한 기상데이터는 습구 온도(℃), 습도(%)가 시간단위로 조사된 데이터를 말한다. 기상데이터를 표현하는 방법은 다음과 같다.

- TMY(Typical Meteorological Year, 표준기상데이터) : 에너지 시뮬레이션 결과에 영향을 미칠 수 있는 기상요소들을 고려한 것으로, 대상지역의 장기간 기상데이터를 토대로하여 조사기간 중 그 지역의 기상상태를 대표할 수 있는 달을 선정하고 필요한 데이터를 추출해 1년 12개월을 구성한 것이다.
- AMY(Actual Meteorological Year, 최신기상데이터) : 실제 지난 한 해 동안의 실제 시간당 데이터를 추출해 1년 12개월을 구성한 것이다.

② 건축물의 전기에너지소비량의 단위는 kWh로 표현하고, 단위 면적당 전기에너지소비량은 kWh/㎡로 표현한다.

③ 기타 설비는 냉방, 난방, 조명, 환기, 급탕 설비를 제외하고 해당 Simulation이 지원하지 않는 설비를 말한다. (예 : 무빙워크 등)

④ Retrofit은 냉·난방 설비기기의 교체를 통한 건축물 에너지성능 개선을 말한다.

⑤ Simulation 결과 값과 실제 소비량에 대한 비교를 정확히 하기 위해 ASHRAE Guideline 14-2002의 통계적 방법 중 하나인 Cv(RMSE, The Root Mean Squard Error)법과 MBE(The Mean Bias Error)을 사용하여 실제 에너지 사용량과 시뮬레이션을 통한 에너지 사용량의 타당성을 검증한다.

- Cv(RMSE) [Coefficient of Variation of the Root-Mean-Squared Error] : 평균제곱근오차의 변동계수를 말하며, 자료간 다양성에 대한 정규측정치이다. 보정된 시뮬레이션 목적을 위해, 짝을 이루는 시간별 자료들간에 차이를 제곱하고, 매달 혹은 요금고지서 기간에 걸쳐 이 제곱된 차이값을 합하고서 월별 시간수로 나누어 얻어지는데 이를 평균제곱 오차라 한다. 이 값의 제곱근이 RMSE이다. Cv(RMSE)는 RMSE를 그 달 혹은 요금고지서 기간에 대해 측정된 자료의 평균으로 나누어 얻어진다. 값이 작을수록 보정이 잘된 것이다.
- MBE [Mean Bias Error] : 월별 평균 편향오차를 말하며, 보통 한달 이나 같은 기간의 요금고지서 기간인 주어진 기간에 걸쳐 측정된 에너지소비량으로부터 시뮬레이션에 의해 얻어진 에너지 소비량을 빼서 계산된다. MBE는 측정된 자료와 비교하여 에너지 소비량이 얼마나 잘 모델에 의해 예측되는 가를 나타낸다. 값이 작을수록 보정이 잘된 것이다.

⑥ 계절효율계수는 연간 전체 냉난방 에너지에 대한 효율을 말한다. 냉방계절효율은 SEER로 표기하고, 난방계절효율은 SCOP로 표기한다. 본 기준의 계절효율계수는 건축물의 설계단계가 아닌, 운영단계에서 실제 반영된 효율을 말한다.

- SEER [Seasonal Energy Efficiency Ratio] : EN 14825에서 제시한 계절에너지효율비로, 연간 전체 냉방 에너지에 대한 효율을 말한다. 각 냉방 설비기기의 부분부하별 효율에 가중치계수를 곱해 계산한다. 지역 및 국가에 따라 명칭은 상이할 수 있다.
- SCOP [Seasonal Coefficient of Performance] : EN 14825에서 제시한 계절에너지효율비로, 연간 전체 난방 에너지에 대한 효율을 말한다. 지역 및 국가에 따라 명칭은 상이할 수 있다.

(마) 프로세스 기준

① 보정프로세스를 적용한 Simulation 결과 값은 ASHRAE Guideline 14-2002에서 제시하는 보정기준에 적합해야 한다. Simulation 결과 값의 Cv(RMSE)는 실제 소비량 대비 15%이내의 오차율을 가져야 하며, MBE 또한 실제 소비량 대비 5%이내의 오차율을 가져야 ASHRAE Guideline 14-2002 기준에 만족한다고 판단할 수 있다.
② 성능평가 기준시간은 당해 연도의 바로 전년도를 기준으로 1월부터 12월까지의 시간을 말하고, 기준시간 동안의 대상 건축물의 에너지소비량 데이터를 확보하고 있어야 한다.
③ 경제성 분석을 통한 Retrofit 대안은 냉·난방 설비기기로 한정한다.
④ 설비기기의 측정 방법은 (8)의 내용을 따른다.

(바) 전체 프로세스

① 먼저 대상 건축물의 사전조사를 통해 설계도서 및 운영현황을 확보한다. 운영현황은 대상 건축물의 '전년도 에너지소비실적' 및 '전년도 기상데이터'를 포함한다.
② 현장조사를 통해 대상 건축물의 냉·난방 설비기기의 효율을 산출한다. 냉·난방 효율 산출을 위한 측정방법은 (7)의 과정을 따른다.
③ '(6)-(가)' 및 '(6)-(나)'의 결과 값을 통해 냉·난방계절효율계수(SEER, SCOP)를 산출한다.
④ 프로세스에 활용할 Simulation 프로그램을 선정하고, 해당 Simulation이 지원하지 않는 기타 설비기기의 전년도 에너지소비량을 분류한다.
⑤ '(6)-(가) ~ (6)-(다)'의 데이터를 바탕으로 Simulation 모델링을 실시하고, 결과 데이터를 통해 설비 시스템별 기여도를 확인한다.
⑥ 국내 설비기기 DB DATA를 활용하여 경제성 분석(Value Engineering)을 실시한다. 여기서 경제성 분석은 payback기간과 비용을 포함한다.

(사) 사전조사

① 대상 건축물의 위치에 따른 '전년도 기상데이터(AMY)'를 확보한다. 외기 습구온도, 습도, 풍속, 일사량 등이 제공되는 기상데이터는 냉방계절효율계수(SEER) 및 Simulation에 적용시키는데 이용된다.
② 대상 건축물의 설계 도서를 확보한다. 건축도면 및 기계도면 등의 Simulation에 활용되는 도면들을 확보한다. 개축이나 증축된 건축물인 경우 당시의 도면을 확보한다.
③ 대상 건축물의 '전년도 에너지소비실적'을 확보한다. 에너지소비실적 DATA를 확보하는 과정에서, 대상 건축물의 관리자에게 Simulation에 지원되지 않는 기타설비에 관한 카탈로그나 소비량 또는 운영DATA를 요청해 분류해야한다.
④ 대상 건축물의 운영 현황이나 관련된 DATA를 확보한다. 운영 현황 DATA는 설비 시스템 가동시간, 연간 사용연료, 조명 점등 시간 등의 내용을 포함한다. BEMS(Building Energy Management System)등의 자동화 시스템의 경우 BEMS DATA를 확보한다.

(아) 현장조사

① 냉동기 및 냉온수기의 현장 측정으로 냉방효율(COP)을 산출한다. 냉방효율 산출을 위해서 설비기기의 입출구온도 및 유량을 측정한다. 산출 과정은 다음과 같다.

㉮ 입열

ㄱ. 연료의 발열량(Hh)

Hh = (kcal/N㎥ - 연료)

ㄴ. 연료의 현열(Q1)

Q1 = 연료의 비열(kcal/N㎥℃) x (버너전온도 - 외기온도(건))(℃)

ㄷ. 공기의 현열(Q2)

Q2 = 실제 공기량 x 비열 x (본체입구온도 - 외기온도)

= 이론연소공기량(N㎥/N㎥) x 공기비 x 비열(kcal/N㎥℃)

x (본체입구온도 - 외기온도(건))(℃)

ㄹ. 총 입열량(Qi)

Qi = Hh + Q1 + Q2 + Q3

㉯ 입열

ㄱ. 냉방출력(kcal/h)

= 냉수유량(㎥/h) × 냉수밀도(kg/㎥) × 냉수비열(kcal/kg℃) × 냉수의 입출구 온도차(℃)

ㄴ. 공급열량(kcal/h)

= 연료사용량(N㎥/h) × 총입열량(kcal/N㎥)

※ 연료사용량 = 온압보정계량값.

ㄷ. 성적계수(COP)

- 운전치

= [냉방출력] / [공급열량]

ㄹ. 냉온수기 부하율(%)

= [냉방출력 / 정격냉방능력] × 100

② 보일러의 현장 측정으로 열효율(%)을 산출한다. 열효율 산출을 위해서 설비기기 입출구온도 및 유량을 측정한다. 산출과정은 다음과 같다.

㉮ 기본 계산

ㄱ. 연료 사용량 (V0)

V0 = (Nm³/h - 연료)

ㄴ. 공기비 (m)

$$m = \frac{21}{21 - O_2}$$

ㄷ. 급수량 (W_1)

= 체적유량 [ℓ/h] ÷ 급수온도(48℃)의 비체적 [ℓ/kg]

ㄹ. 발생증기량 (W_2)

= 발생증기량은 급수량과 동일로 함.

ㅁ. 연료 1Nm³당 증발량 (W)

= 시간당증발량[kg/h] / 시간당연료사용량[Nm³/h]

㉯ 입열량 계산

ㄱ. 연료의 발열량(Hh) : 저위발열량으로 계산

Hh = (kcal/Nm³ - 연료)

ㄴ. 연료의 현열(Q_1)

= 연료의 비열[kcal/kg℃] × (버너전온도-외기온도(건))(℃)

ㄷ. 연소용 공기의 현열(Q_2)

= 실제공기량 × 비열 × (보일러본체입구온도-외기온도)

= 이론연소공기량[Nm³/Nm³] × 공기비 × 비열 [kcal/N

ㄹ. 입열 한계(Qi)

= 연료의 발열량 + 연료의 현열 + 공기의 현열[kcal/Nm³]

㉰ 출열량 계산

ㄱ. 발생 증기 흡수열(Li) : 유효 출열

= 연료 1kg당 증발량[kg/Nm³] × (증기엔탈피 - 급수엔탈피)[kcal/kg]

단, 발생증기가 습증기일 때의 엔탈피

= 급수의 현열 + (잠열 × 증기건도)

ㄴ. 배기가스의 손실열(L_1)

= {이론배기가스량 + (공기비-1) × 이론연소공기량}[Nm³/Nm³]

× 비열[kcal/Nm³℃] × (보일러본체출구온도 - 외기온도)[℃]

ㄷ. 불완전 연소에 의한 열손실(L_2)

= 30.5[kcal/Nm³] × {이론배기가스량 + (공기비-1)

× 이론연소공기량} [N㎥/kg] × CO(%)

ㄹ. 방열, 전열 및 기타 손실열(L_3)

= 입열합계 - (발생 증기 흡수열 + 배기가스손실열 + 불완전연소에 의한 열손실)

ㅁ. 출열 합계[kcal/N㎥]

= 발생 증기 흡수열 + 배기가스의 손실열
+ 불완전 연소에 의한 열손실 + 방열, 전열 및 기타 손실열

㉱ 성능치

ㄱ. 보일러 열효율

= (발생증기흡수열[kcal/N㎥] / 입열합계[kcal/N㎥]) × 100

ㄴ. 보일러 부하율

= (실제증발량[kg/hr] / 최대연속증발량[kg/hr]) × 100

(자) 계절효율계수 산출 방법

① 냉방계절효율계수(SEER) 산출시 사전조사를 통한 설비기기의 부분부하효율 DATA가 확보되어 있는 경우 25% 단위의 부하율에 따른 설비기기 효율 값과 건축물 용도와 기후에 따른 가중치계수를 곱하여 냉방계절효율계수를 산출한다. 설비기기 부분부하효율 DATA가 존재하는 경우의 산출 식은 다음과 같다.

$$SEER = (\text{가중계수}_{25\%} \times \text{효율}_{25\%}) + \cdots + (\text{가중계수}_{100\%} \times \text{효율}_{100\%})$$

② 냉방계절효율계수(SEER) 산출시 설비기기의 부분부하효율 DATA가 확보되어 있지 않은 경우 기상 DATA와 현장 측정 DATA를 활용하여 냉방계절효율계수를 도출한다. 설비기기 부분부하효율 DATA가 존재하지 않는 경우의 산출 식은 다음과 같다.

$$SEER = \frac{(T_1 \times COP_1) + (T_2 \times COP_2) + (T_3 \times COP_3)}{T_1 + T_2 + T_3}$$

여기서,
Tn : MODE별 대표 온도대의 시간빈도 수의 합
COPn : MODE별 대표 온도대의 측정된 효율(COP) 값
각 MODE별 효율 값이 변수에 포함되기 때문에, 해당 MODE시간대별로 반복하여 측정을 실시한다.

③ 난방계절효율계수(SCOP) 산출시 보일러의 경우, 7.2의 연소효율계산법을 그대로 따른다. 난방의 경우, 기기자체 효율이 아닌 연료의 연소효율로 계산되어 부하율별 효율은 차이가 없기 때문에 MODE별 반복 측정은 하지 않는다.

④ 측정을 통한 냉방계절효율계수(SEER) 산출 가이드라인

㉮ Peak 시간대 도출을 위한 시간대별 온도분포 그래프를 작성하여 냉방 계절효율계수 도출을 위한 MODE를 분류한다.
㉯ Peak 시간대의 MODE 2를 분류하고, MODE 2의 전(前) 시간대를 MODE 1, 후(後) 시간대를 MODE 3로 분류하여 MODE 분류작업을 마친다.
㉰ 각 시간대별 평균 온도를 도출한다. 평균 온도는 0.5℃ 단위로 반올림하여 도출한다.
㉱ 도출된 평균 온도 값들에 대한 시간 빈도수를 도출한다. 시간 빈도수는 전체시간빈도수, 오전시간빈도수, 오후시간빈도수를 따로 도출한다.
㉲ 도출된 시간빈도수를 MODE별로 나누고, 각 MODE시간대별 COP를 8.1의 과정을 통해 산출한다. 측정한 COP와 MODE별로 분류된 시간빈도수를 가지고 '(9)-(가)'의 과정을 통해 계절효율계수를 산출한다.

(차) Simulation 모델링

① 먼저 성능평가에 사용할 Simulation 프로그램을 선정한다. Simulation 프로그램의 선정 조건은 '(2)-(나)'의 기준을 참고한다.
② 설계도면은 개축, 증축 등의 환경변화를 참작하여 최근 자료를 활용한다.
③ 냉·난방 설비시스템의 효율 값은 9의 내용을 따라 적용한다.
④ 운영 현황 및 기상데이터의 경우, 사전조사에서 확보한 DATA를 적용한다.

(카) 성능평가 결과

① 설비 시스템별 에너지소비 기여도를 확인한다. 이 기준에서 제시하는 설비 시스템은 냉방, 난방, 급탕, 조명, 환기 시스템을 말한다.
② 온전한 에너지소비 기여도 도출을 위해 7.3에서 분류한 기타설비의 에너지소비량을 함께 포함시켜 한번 더 산출한다.
③ 소요량에 의한 성능평가는 기존 '건물에너지효율등급인증제도'의 평가 기준과 동일하게 진행한다.
④ 위 프로세스는 '(4)-(마)'에서 제시한 ASHRAE Guideline 14-2002 보정 기준을 만족해야 신뢰가 가능하다.
⑤ 만일 '(4)-(마)'의 조건을 만족하지 못할 경우, 프로세스를 현장조사부터 다시 실시한다.

(타) 가치공학을 통한 경제성 분석

① 가치공학을 통한 경제성 분석은 기존 Simulation의 결과값 보정이 완료되었다고 판단될 때 실시한다.
② 경제성 분석 결과로 제시되는 설비기기는 국내 설비기기에 한정하며 지속적으로 설비기기 List를 확장, 관리한다.
③ 경제성 분석에 활용되는 설비기기의 지수는 가격정보, 부분부하효율이다.
④ 의사결정 제시를 위한 경제성 분석 산출식은 기본 VE기법대로 실시하며 VE의 기본 산출식을 따른다.

$$V = \frac{F}{C}$$

여기서,
V : 대안 설비기기의 비용과 기능을 종합한 가치지수
F : 대안 설비기기의 부분부하효율 데이터를 적용시켰을 때의 Simulation 결과 값과 기존 설비기기의 데이터를 적용시켰을 때의 Simulation 결과 값의 차
C : 대안 설비기기의 가격정보

⑤ 경제성 분석 시 적용되는 대안들은, 대상 건축물의 용량에 따라 고려해 분류한다.

(파) 보고서

○ 보고서에는 적어도 다음과 같은 정보가 포함되어야 한다.

① 계절효율계수 산출에 활용된, 설비기기 카탈로그나 측정 데이터의 정보를 포함하여야 한다.
② 건축물에너지효율등급인증제도에 적용시킬 Simulation 프로그램의 결과 내용을 포함하여야 한다.
③ Simulation 보정프로세스의 결과로 ASHRAE Guideline 14-2002의 기준을 만족하는지의 Cv(RMSE), MBE 값을 포함하여야 한다.
④ 측정담당자 또는 감독자[관련 공인교육을 이수하고 자격증을 취득하여 건물의 진단이나 성능평가에 대한 이해와 측정방법을 수행할 수 있는 능력을 검증받은 사람(또는 이러한 사람이 있는 기관)]의 정보를 포함하여야 한다.
⑤ 기타 보고서의 이해와 해석을 위해 필요하다고 판단되는 사항을 포함 할 수 있다.

나. 건물 에너지 성능 평가 모델 적용 검증 (G & S INNOVATION)

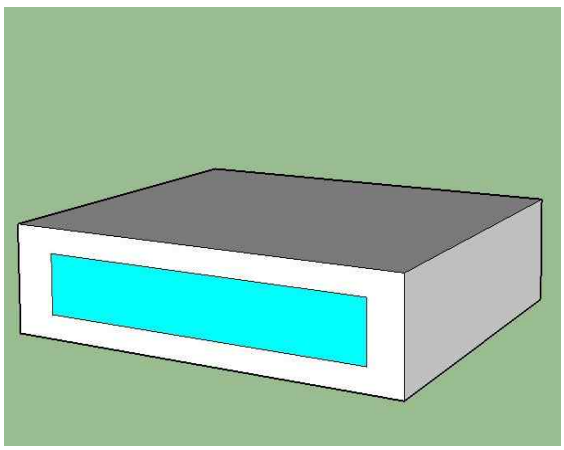
(1) 부하 검증

(가) 시뮬레이션 모델 정의

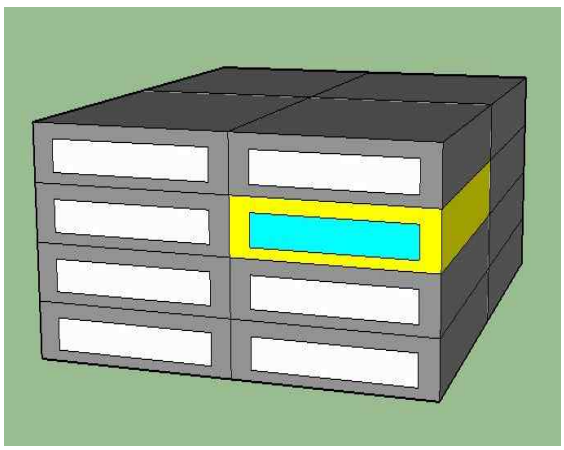
① 기준 모델 설정

○ 본 연구에서는 일개 죤 모델을 정의하여 정밀 시뮬레이션과 ISO 13790 계산법에 적용하였다. 다중 존을 선택할 경우 시뮬레이션 모델에선 인접 존 간의 열 교환 현상이 발생 할 수 있으며 대상 공간에서 열획득/손실율에서 오차를 발생 시킬 수 있다. 이는 정밀 시뮬레이션에서는 고려가 되나 ISO 13790에서는 알고리즘상 반영이 되기 않기 때문이다. 두 모델에서의 오차 원인을 유효계수의 차로 초점을 두고 다른 변수의 영향을 제거하기 위해 1개존 모델로 단순화 하였다.

○ 한국의 건물의 경우 단독 건물 형태 보다는 다층형 커튼월 구조가 최근 대부분 차지하고 있다. 이 경우 인접죤이 실내여서 열교환이 없는 경우가 있고 열용량도 일반적인 중량 보다는 가벼운 경우가 한국의 건물을 대표한다 할 수 있다. 본 연구에서는 일개 죤 모델 단독 건물 형태와 인접죤의 커튼월 구조 모델을 기준 모델로 정의하고 분석 대상으로 삼았다. Figure 1은 단독 건물형 일개 존 모델을 나타내며, Figure 2는 인접 죤 경량 일개죤 모델을 나타낸다.



[그림 2.171] 중량모델



[그림 2.172] 인접존모델

㉮ 환기횟수 및 침기량 설정

○ 본 건물의 입지 조건은 서울지역을 선택 하였다. 용도 및 환기횟수 그리고 설정온도는 건설기술연구원의 용도 프로파일을 기반으로 적용시켰다. 모델 단순화를 위해 정밀 시뮬이션 및 ISO 13790 모델 모두 침기량은 없는 것으로 가정하였으며, 최소외기도입량은 4 m3/h·m2 을 반영하였다. 창틀은 포함시키지 않았으며 열교효과는 모델에서 제외시킨다. 즉, 벽체와 창으로만 외피를 구성 하였다.

<표 2.219> 1Zone 설정 값

건물개요	지역 : 서울		
	용도	개인사무실	
	건물형태	폭: 9m	높이: 2.7m
	환기횟수	1.5 ACH	
	창문종류	단일/이중	
	창문틀	미적용	
	침기	침기량 제거	
	실내냉난방 설정온도	난방온도:20° C	냉방온도:26° C

㉯ 창 설정

○ 창을 남측 기준으로 50% 설정하였으며 EnergyPlus 및 ISO 13790 월간계산법에서의 모든 설정값을 동일화 하였다. 동서남북 창의 각 향별로 시뮬레이션을 실시하였다. 창의 관류율과 G value는 일반 단일창으로 6.12와 0.81을 적용하였고 EnergyPlus 또한 수평 입사각에 대한 SHGC 값이 동일한 창으로 선택하였다. 이때 SHGC값에는 유리창 틀이 없는 것으로 모델화하여 G value와 동일한 특성이 되도록 조정 하였다. 이중창의 관류율 및 G value는 Table 6과 같으며 그 값은 1.978과 0.687로 설정하였다. 각 향별로 일사취득 시 태양고도에 따른 일사 취득양이 달라지는 것을 G value 에 Energy plus에서 도출한 창을 통과한 일사 취득량의 월별 비율을 기반으로 보정 계수를 적용 보정하였다.

<표 2.220> 초중량 모델 벽체 정보(남측기준)

벽 정보	면적(㎡)	방향	관류율(W/㎡K)
외벽1	22.70	동	0.25
외벽2	22.70	서	0.25
외벽3	11.35	남	0.25
외벽4	22.70	북	0.25
지붕1	70.79		0.147
바닥1	70.79		0.18
창(단일)	11.35	남	관류율
			6.12
			G_Value
			0.81

<표 2.221> 중량 모델 벽체 정보(남측기준)

벽 정보	면적(㎡)	방향	관류율(W/㎡K)
외벽1	22.70	동	0.25
외벽2	22.70	서	0.25
외벽3	11.35	남	0.25
외벽4	22.70	북	0.25
지붕1	70.79		0.39
바닥1	70.79		0.46
창(단일)	11.35	남	관류율
			6.12
			G_Value
			0.81

<표 2.222> 중간세대 경량 모델 벽체 정보(남측기준)

벽 정보	면적(㎡)	방향	관류율(W/㎡K)
내벽1	22.70	동	3.39
내벽2	22.70	서	3.39
외벽3	11.35	남	0.25
내벽4	22.7	북	3.39
지붕1	70.79		1.97
바닥1	70.79		0.25
창(이중)	11.35	남	관류율
			1.978
			G_Value
			0.687

㉰ 구조체 열용량 설정

○ 구조체 열용량 산출 시 건축법적기준에 부합하는 벽체를 선정하였다. 열용량 값은 건설기술연구원에서 제시하는 중간 무게의 건물 범주 $90\,Wh/m^2 \cdot K$에 포함되는 값이다. 벽체 및 창호의 구조체에 대한 열용량은 유효계수 산출 시 매개변수 $a_{H,0}$, $\tau_{H,0}$, C_m에 영향을 주는 중요한 요소이다. 구조체 용량별 열용량 총합은 Table 7과 같으며 그 값은 31.140kWh/K, 13.427kWh/K, 7.479kWh/K로 산출된 값을 ISO 13790 수식에 사용하였다.

<표 2.223> 중량별 열용량(kWh/K)

열용량(kWh/K)	초중량	중량	중간세대 경량
남측 벽	0.952	0.952	0.085
동,서,북측 벽	1.903*3	1.903*3	0.576*3
지붕	13.531	0.933	2.963
바닥	10.913	5.797	2.67
창	0.035	0.035	0.035
총 합	31.140	13.427	7.479

② 운전 스케쥴

○ 운전 스케쥴은 365일 동안 24시간 운행을 기준으로 한다. 구조체 열용량의 차이를 보기 위해 시간차에 의한 계산을 배제함을 목표로 하며, 이를 위해 24시간 연속운전으로 설정하였다.

③ 기상 데이터

○ 기상데이터는 국내 기후를 반영하기 위해 대표적으로 서울 지역을 선정하였고, 한국 태양에너지 학회에서 20년간 자료를 기반으로 산출한 데이터를 사용하였다. 수직면 전일사량의 서울시의 기후데이터를 이용하여 16방위 벽면에 획득된 전일사량을 계산하여 사용하였다. 지중 온도 역시 한국태양에너지 학회 대한민국 표준 기상데이터를 기반으로 지중 3 m에서의 온도를 기반으로 하였다. 서울지역 기상데이터는 Table 1, 2와 나타난 바와 같다.

<표 2.224> 한국태양에너지 학회 대한민국 표준 기상데이터(서울)

월	일사량(kWh/㎡d)				
	수평면	수직면			
		동	서	남	북
1	1974.1	927.6	1435.6	2510.4	693.8
2	2962.7	1360	2061.6	3106.7	981.6
3	4136.9	1836.3	2680.8	3259.8	1281.9
4	4905	2045.7	3138.7	2782.2	1525.8
5	5075.1	2133.5	2942.3	2274.4	1596.7
6	4960	2082.8	2862.1	2035.1	1647.9
7	3701.3	1591.1	2088.9	1642.8	1259.3
8	4071.7	1876.8	2253.1	2170	1300.7
9	3804.6	1743.6	2335	2787.5	1186.4
10	3289.4	1747	2084.3	3208.6	1051.9
11	1969.4	933.5	1418.4	2443.3	678.7
12	1990.6	1073.5	1480.4	2872.6	691.5

<표 2.225> 기상데이터

기상 데이터	한국태양에너지학회 서울 (86년-05년기준DOE-2포멧).txt 자료를 이용하여 EnergyPlus Weather Statistics and Conversions을 사용 및 생성 후 EnergyPlus 서울 기상데이터 적용(www.kses.re.kr)	
	평균외기온도[℃]	지중온도[℃]
1월	-1.3	13.2
2월	1	11.2
3월	6.9	9.7
4월	13	9.6
5월	18.3	10.9
6월	22.8	12.9
7월	25.3	15.6
8월	24.8	18.4
9월	20.9	19.8
10월	15.5	19.4
11월	6.2	18.1
12월	1	15.8

④ 열획득 손실비에 따른 유효계수 함수식 도출

○ 동일한 모델을 시뮬레이션 하였을 경우 결과치에 대한 비교를 기본으로 하는데 유효계수 산출식에 지배 방정식의 계수값을 변경하면서 가장 오차가 적은 계수 조합을 도출하고자 하였다. EnergyPlus 및 ISO 13790 월간계산법에 Corrado & Fabrizio의 창면적 대비 바닥 면적(ζ)에 대한 수정식을 적용하여, 구조체 중량과 월별, 향별 모델의 열획득 및 손실 비에 따른 각각의 결과들을 비교한 후 가장 오차가 적을 때의 a_0, τ_0값의 조합을 도출 하고자 하였다. 즉, 냉난방 모두에 Corrado & Fabrizio의 창면적 대비 바닥 면적(ζ)에 대한 수정식에 본 연구에서 도출된 계수값들을 넣은 식 $a_0 - 13\zeta + \frac{\tau}{\tau_0}$을 사용하였다.

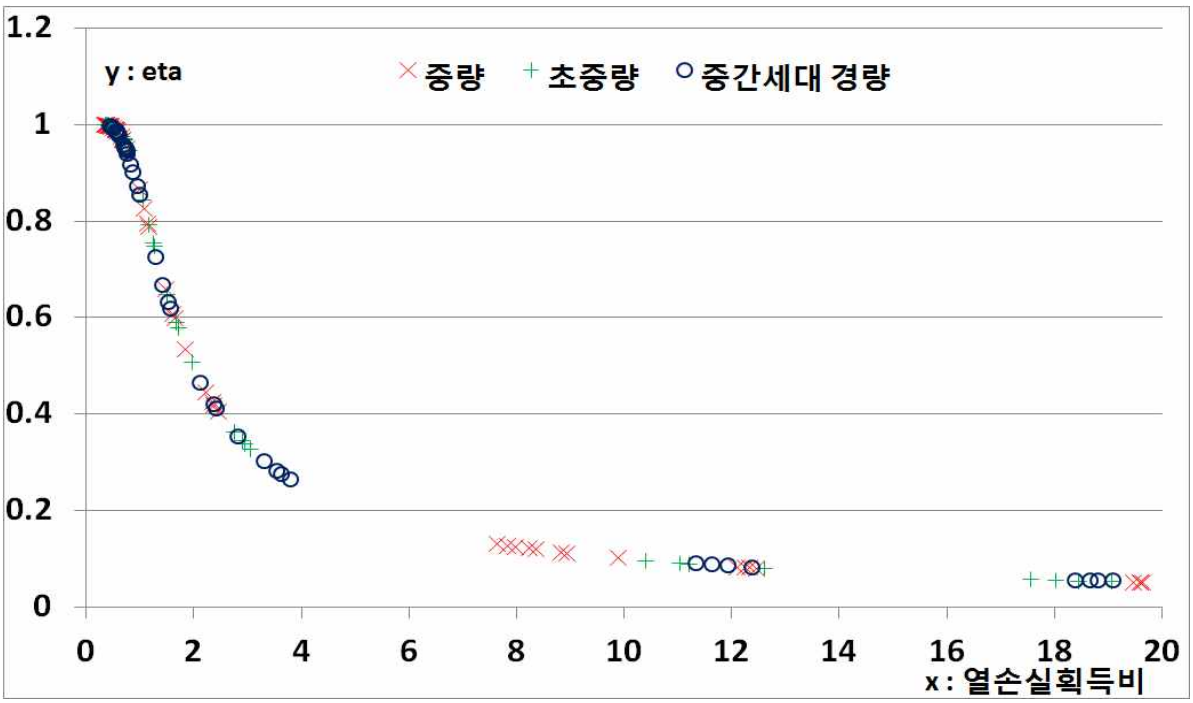
○ 이때 a_0값 범주는 0.1 ~ 18까지 20가지이며, τ_0값 범주는 0.5 ~ 161까지 162가지로 설정하였다. 두가지 변수의 값을 변경하는 경우, 총 경우의 수는 3,240가지이며, 총 분석 수는 냉난방 모두 포함하여 19,440 가지였다. 19,440개의 중 최적의 값들은 아래 Table 3.과 같이 도출 되었다.

○ 또한, 이 수식을 기본으로 열손실/획득비에 따른 유효계수의 그래프를 그려보면 아래 Fig 8.과 Fig 9.와 같다. 그래프에서 난방 유효계수에서는 ISO 13790에서 표준으로 제시한 그래프에 비해 열획득/손실비의 범위가 4에서 20 까지 더 광범위하게 나타난다는 점이다. 건물

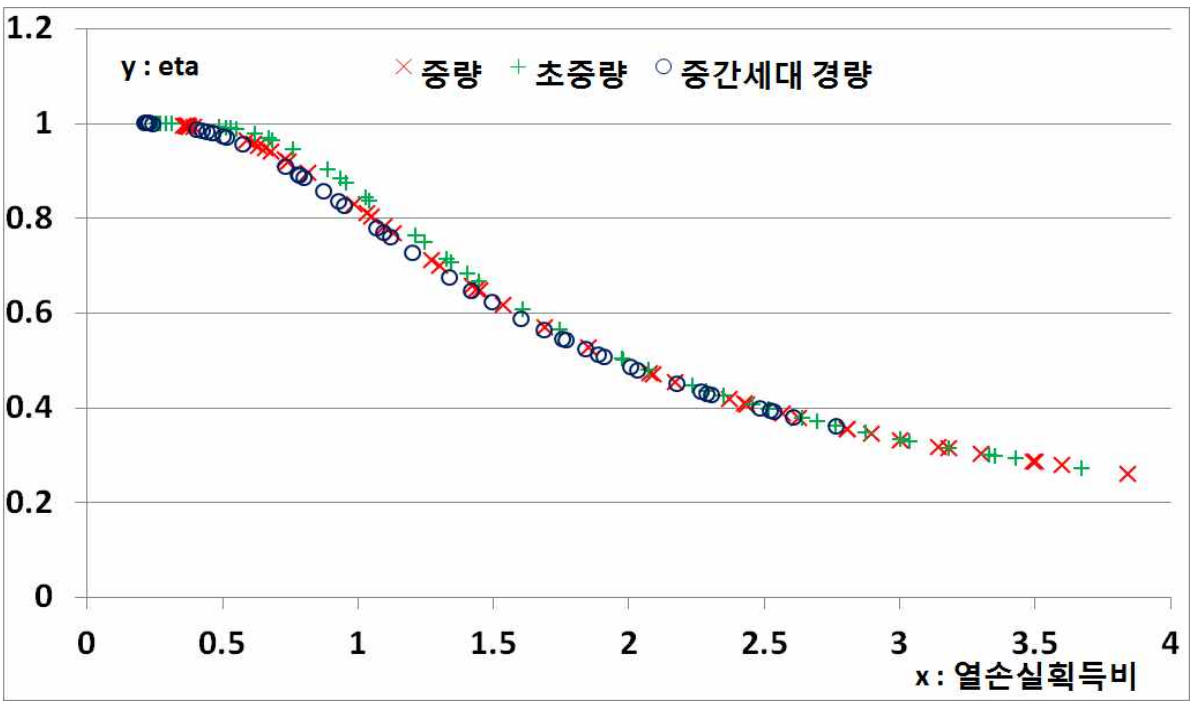
의 유형과 봄가을 중간기의 기후 특성이 반영된 결과로 보여진다.

<표 2.226> 유효계수의 Best case

	냉방	난방
a_0	6	8
τ_0	71	161



[그림 2.173] 난방 유효 계수에 대한 획득/손실 비율



[그림 2.174] 냉방 유효 계수에 대한 손실/획득 비율

⑤ 기존 산출법과의 비교 검증

○ 본 연구에서 도출된 계수값들 (난방 시 a_0=8, τ_0=161 냉방 시 a_0=6, τ_0=71)을 사용한 부하 계산 값과 비교 대상 케이스에는 Corrado & Fabrizio의 창면적 대비 바닥 면적(ζ)에 대한 수정식 $8.1-13\zeta+\frac{\tau}{17}$을 적용한 것과 ISO 13790 에서 권장치로 사용 중 인 a_0=1, τ_0=15을 적용하였다.

○ 도표에서 EP 는 EnergyPlus, Case 1은 본 연구의 최적 계수값 적용, Case 2 는 Corrado & Fabrizio 수정식, Case 3 는 ISO 13790 표준 권장 계수 값 적용을 나타낸다.

○ 다음은 세 가지 Case 들의 냉난방 부하 계산값과 Enegyplus 값의 비교 분석 결과이다.

㉮ 월별 난방/냉방 부하 계산 결과 비교

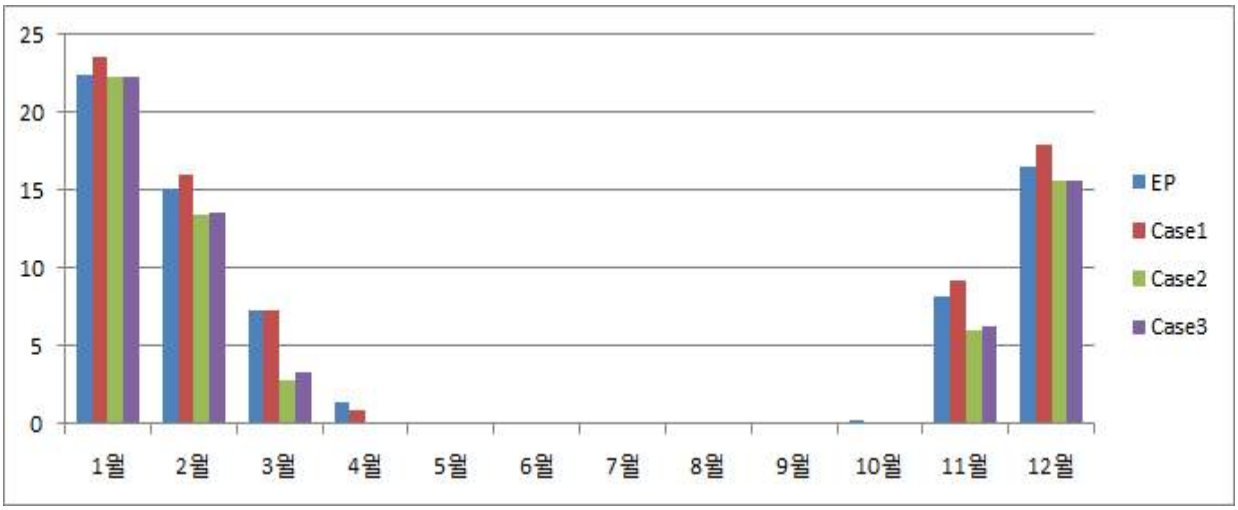
○ 부하의 오차율을 비교한 결과 특징적인 부분은 7, 8월 냉방 부하의 오차율이다. 오차율을 전체적으로 비교해 보면, EnergyPlus와 Case 1이 유사한 양상을 보이고, Case 2와 Case 3이 비슷한 양상을 보인다. 두 가지 Case별로 비슷한 양상을 보인다고는 하나 전체적으로는 유사한 양상을 보인다. 그러나 난방 부하나 다른 달에 비하여 7, 8월의 냉방 부하의 오차율이 큰 것을 확인 할 수 있었다. 해외 다수의 선행 연구들과 국내의 연구에서 ISO 권장 유효계수는 냉방부하에서 오차가 상당히 크게 나타났는데 본 연구에서도 동일한 결과를 얻었다. 또한 앞서 언급한 것처럼 Case 2와 Case 3이 비슷한 양상을 보임이도 불구하고 Table 15과 Table 16에서 오차율의 차가 크게 나타난 것은 일사보정 값 등의 차이 때문인 것으로 보인다.

○ 비교적 오차가 적은 초중량의 난방 부하의 경우 전반적으로 EnergyPlus와의 오차는 크게 나타나지 않으나 Case 2와 Case 3의 경우 중간기에서 오차가 커지는 것을 볼 수 있다. 열획득 손실비가 커지는 계절 즉 전열 손실에 비해 일사 취득이 큰 계절에서 유효계수 값을 결정하는 수식에서 오차가 크게 발생함을 알 수 있다.

○ 구조체 열용량이 낮아질수록 EnergyPlus와 기존 방법들인 Case 2와 Case 3의 결과 값이 차가 크게 발생함으로 알 수 있다. 중간세대 경량모델의 경우 기존 방법들은 오차가 가장 큰 범위를 나타냈으며 본 연구에서 제안한 계수를 사용한 Case 1은 EnergyPlus와의 거의 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 2월, 3월에도 냉방부하가 산출되는 것을 볼 수 있는데 중간세대로 전도열에 의한 손실량보다는 일사획득 및 실내 기기 발열을 통해 얻는 획득열이 큰 경우가 발생하기 때문으로 볼 수 있다.

<표 2.227> 월별 난방 부하(kWh/㎡h, EP = EnergyPlus, case1= 본 연구 제안 계수, case2= Corrado & Fabrizio, case3= ISO)

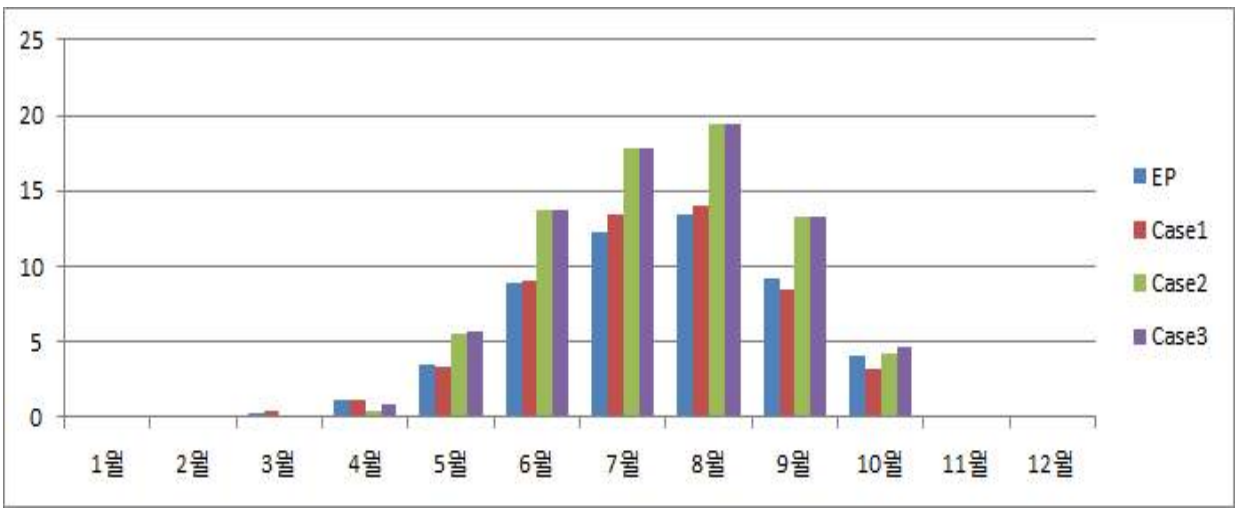
	South window, contineous, 초중량, window size 11.35㎡											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
EP	22.4	15.1	7.3	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	8.2	16.5
Case1	23.5	16.0	7.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	9.2	17.9
Case2	22.3	13.5	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	15.6
Case3	22.3	13.5	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	15.6



[그림 2.175] 월별 난방 부하 비교(연속운전), 초중량

<표 2.228> 월별 냉방 부하(kWh/㎡h)

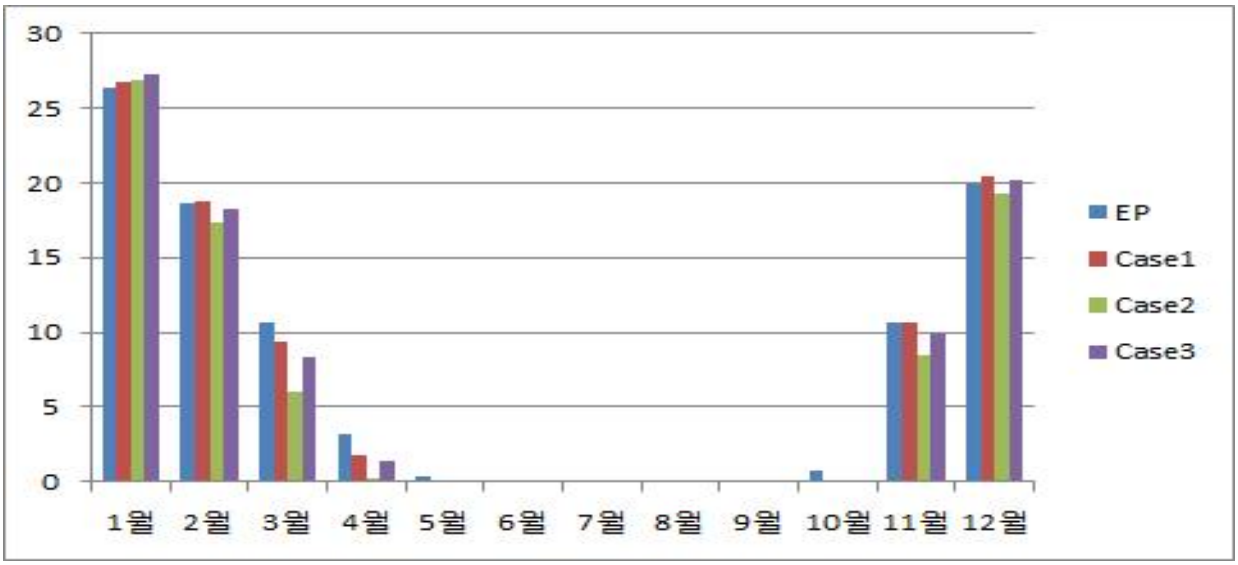
	South window, contineous, 초중량, window size 11.35㎡											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
EP	0.0	0.0	0.3	1.1	3.5	8.8	12.3	13.5	9.2	4.0	0.2	0.0
Case1	0.0	0.1	0.4	1.1	3.3	9.0	13.4	14.0	8.5	3.1	0.2	0.1
Case2	0.0	0.0	0.0	0.5	5.5	13.7	17.8	19.4	13.3	4.3	0.0	0.0
Case3	0.0	0.0	0.1	0.9	5.7	13.7	17.8	19.4	13.3	4.6	0.0	0.0



[그림 2.176] 월별 냉방 부하 비교(연속운전), 초중량

<표 2.229> 월별 난방 부하(kWh/㎡h)

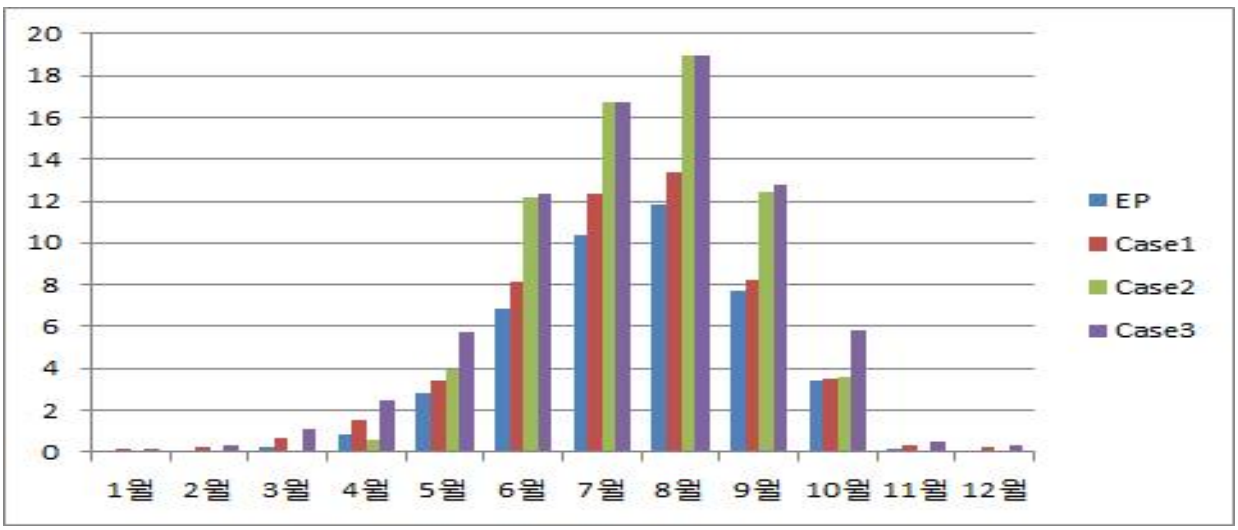
	South window, contineous, 중량, window size 11.35㎡											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
EP	26.4	18.6	10.7	3.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	10.7	20.0
Case1	26.7	18.7	9.4	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	10.7	20.5
Case2	26.9	17.4	6.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	19.3
Case3	27.3	18.3	8.3	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	9.9	20.1



[그림 2.177] 월별 난방 부하 비교(연속운전), 중량

<표 2.230> 월별 냉방 부하(kWh/㎡h)

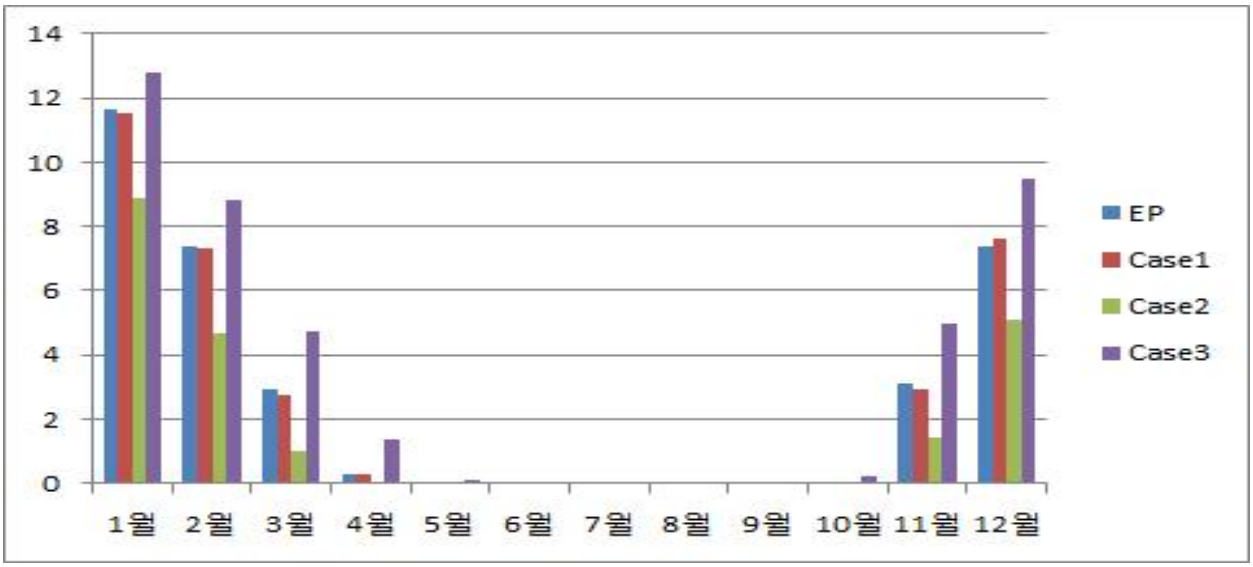
	South window, contineous, 중량, window size 11.35㎡											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
EP	0.0	0.0	0.2	0.9	2.8	6.8	10.3	11.8	7.7	3.4	0.1	0.0
Case1	0.1	0.2	0.7	1.5	3.4	8.1	12.3	13.4	8.2	3.5	0.4	0.2
Case2	0.0	0.0	0.1	0.6	3.9	12.2	16.8	19.0	12.5	3.6	0.0	0.0
Case3	0.2	0.3	1.1	2.4	5.8	12.4	16.8	19.0	12.8	5.8	0.5	0.3



[그림 2.178] 월별 냉방 부하 비교(연속운전), 중량

<표 2.231> 월별 난방 부하(kWh/㎡h)

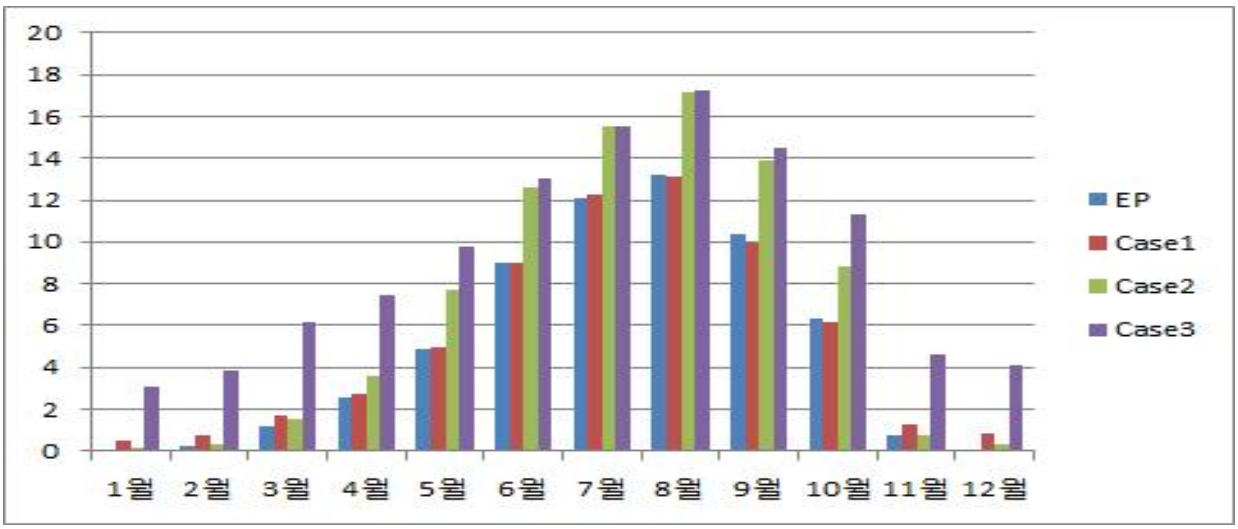
	South window, contineous, 중간세대 경량, window size 11.35㎡											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
EP	11.7	7.4	2.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	7.4
Case1	11.5	7.3	2.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	7.6
Case2	8.9	4.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	5.1
Case3	12.8	8.8	4.7	1.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	5.0	9.5



[그림 2.179] 월별 난방 부하 비교(연속운전), 중간세대 경량

<표 2.322> 월별 냉방 부하(kWh/㎡h)

	South window, contineous, 중간세대 경량, window size 11.35㎡											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
EP	0.0	0.2	1.2	2.5	4.8	9.0	12.1	13.2	10.3	6.4	0.7	0.0
Case1	0.5	0.8	1.7	2.7	4.9	9.0	12.3	13.1	10.0	6.1	1.3	0.9
Case2	0.1	0.4	1.5	3.6	7.7	12.6	15.5	17.2	13.9	8.8	0.8	0.4
Case3	3.1	3.9	6.2	7.5	9.8	13.0	15.5	17.2	14.4	11.3	4.6	4.1



[그림 2.180] 월별 냉방 부하 비교(연속운전), 중간세대 경량

㉰ 난방/냉방 부하 연간 오차 비교

○ 연간 냉난방 부하 오차율 비교 시 초중량 모델의 경우 냉방의 경우 Case 2에서는 41.1%, Case 3에서 43.1%의 오차를 가지지만 Case1의 경우 최소 0.8%에서 최대 5.26%의 오차를 나타낸다. 중량 모델에서 그 오차율이 더욱 커져서 Case 2에서 55.3%, Case 3에서 74.8%으로 증가하고 인접죤 경량 모델에서는 case 2 36.1 %, Case3 82.4%까지 오차가 크게 나타났다.

○ 연간 난방 부하의 경우 냉방에 비해 비교적 낮게 오차율이 나타났으며 중간세대 경량의 경우에는 본 연구에서 제안한 계수를 사용시 냉난방 모두 0.98 -17.9%로 낮은 오차율을 얻을 수 있었다.

<표 2.233> 연간 부하량 오차율 비교

	연속 운전			
%	창의 방향 : 남 쪽			
	초중량			
	EP	Case1	Case2	Case3
냉방	0	0.8	41.1	43.1
난방	0	5.26	15.4	14.0
	중량			
냉방	0	17.9	55.3	74.8
난방	0	3.0	13.6	5.8
	중간세대 경량			
냉방	0	4.5	36.1	82.4
난방	0	0.98	35.5	29.5

⑥ 결론

○ 본 연구는 국내 기상데이터 및 한국형 건물 모델에 따른 ISO 13790 월간 계산법 도입 시 국내에 적용 가능한 유효계수 산출법 도출을 목적으로 하였다. 냉난방 각각의 유효계수값 산출을 위해 유럽남부 지방과 특성이 유사한 특성을 반영하여 Corrado & Fabrizio의 창면적 대비 바닥 면적(ζ)에 대한 수정식을 사용할 경우 의미 있는 오차율 감소를 얻을 수 있었다.

○ 난방부하 계산의 경우 ISO 13790의 권장 유효계수 곡선식은 오차가 크지 않게 나오고 있으나 냉방의 경우에는 그대로 사용하기에 상당한 주의가 필요할 정도로 오차가 크게 나왔으며, 국내 건물의 특성으로 중간세대 커튼월 구조에서는 그 오차가 심각할 정도로 나올 수 있음을 알 수 있다. ISO 13790 권장 유효계수들은 표준 계산법으로 사용하기 위해서 보다 많은 모델의 사례를 검토해 볼 필요가 있다고 사료된다.

다. 설비기기 특성분석 (WOOWON M&E)

○ 본 연구에서 설비기기의 신재생에너지기기를 대상으로 각 장비의 용량, 정격효율 및 부분부하 효율 등의 장비사양, 제품단가, 유지관리비 등의 가격정보를 조사하였다. 조사된 내용을 기반으로 DB를 구축하였으며, 이를 통해 한국형 건물에너지성능 측정평가의 기초자료로 활용하였다. 조사된 DB는 각 장비의 성능평가를 위한 KS 규격의 성능시험방법 등에 기초하여 측정, 실험된 자료가 주가 되었으며, 현재 국내에서 장비의 성능측정 또는 성능평가 수행, 이에 대한 자료제공에 대한 의무사항이 없어 모든 장비에 대해 평가가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이로 인해 실제 건축물의 설계시 장비의 성능과 특성을 고려한 장비의 선정보다 경험에 의한 장비의 선정, 단순하게 장비의 성능인 COP가 높은 장비를 우선 적용하고 있어 운영특성에 따른 에너지절감에 대한 고려가 필요한 것으로 분석되고 있다.

○ 건축물의 냉방을 위한 냉열원설비인 냉동기는 원심식냉동기(터보냉동기), 스크류냉동기, 흡수식냉동기 등 다양한 종류의 장비가 생산·적용되고 있다. 하지만 현재 설계자료 검토 및 사례조사를 통한 건축물의 열원설비 적용사항을 검토했을 때, 특별한 설계기준을 마련하지 않고 설계자의 경험, 장비의 COP, 발주처의 의견 등에 의해 설계가 진행되고 있음을 확인할 수 있었다. 사례조사 중 지역난방 의무고시지역에서의 장비 선정과 열병합발전기를 적용한 시스템의 경우, 냉방기간에도 공급·생성되는 온수를 활용하기 위해 흡수식냉동기를 적용하여 에너지절약을 계획하고 있지만, 일반적으로 공동주택·업무시설·판매시설 등에 대해서는 건물의 운영특성과 열원설비의 운영계획을 명확하게 계획하지 않고 스크류냉동기, 터보냉동기 등의 장비를 적용하고 있다. 동일한 업무시설이라 하여도 운영특성과 열원설비의 조닝을 검토하여 냉동기를 적용하는 것이 에너지절약적인 측면에서 더 유리할 것으로 판단된다.

○ 예를 들어, 운영시간 중 고정적으로 발생하는 부하가 높고, 상주하는 인원이 많은 경우 냉동기는 상대적으로 저부하 운전이 아닌 75% 또는 100%의 정격운전이 많이 이루어지게 되며, 이 때의 COP가 높고 변화폭이 크지 않은 스크류냉동기를 적용하는 것이 바람직하다.

○ 이와 다르게 영업부서의 수가 많아 고정적으로 발생하는 부하가 적고, 상주하는 인원이 적은 경우 냉동기는 상대적으로 저부하 운전으로 작동하게 되며, 50%의 부분부하 운전에서 COP가 높은 터보냉동기를 적용하는 것이 바람직하다.

○ 본 연구에서는 전술한 내용과 같이 건축물의 기계설비 계획에서 에너지절약, 효율적인 장비의 운영을 위한 설계 기초자료의 활용을 위해 1차년도와 2차년도에 조사된 DB를 이용하여 장비의 형식, 종류, 용량별 성능을 분석하고 장비의 용량 변화에 따른 효율 변화, 부분부하 효율에서의 변화 패턴 등을 분석하고자 한다. 이를 통해 도출된 결과는 효과적인 열원장비 선정을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이라 기대된다.

○ 본 연구를 통해 조사된 열원설비, 급탕설비, 공조설비 중 부분부하 효율이 조사된 열원설비에 대해 성능분석을 수행하였다. 열원설비의 성능분석은 조사된 열원설비를 장비의 형식, 종류, 용량별로 분류하고 장비별 용량 변화에 따른 효율 변화, 부분부하 효율에서의 변화패턴 등 장비의 운전에 따른 성능변화를 분석하였다.

(1) 보일러 성능분석

○ 보일러의 DB 구축 내용을 통해 보일러의 성능분석을 수행하였다. 보일러의 종류는 열매체에 따라 증기와 온수로, 사용되는 연료에 따라 경유와 LNG로 구분하였다. 증기보일러는 열매체를 직접 가열하여 생성된 증기를 라디에이터 등에 공급하거나 열교환기를 이용해 온수를 생성해 부하측으로 공급한다. 이와 다르게 온수보일러는 열매체를 직접 가열하지 않고, 배관 등을 통해 유체를 간접적으로 가열하여 급탕, 난방 등의 부하 사용처에 직접 공급한다.

○ 보일러의 성능분석을 위해 각 장비의 정격용량과 25%, 50%, 75%, 100%의 부분부하에 따른 출력량과 사용연료량을 검토하고, 사용연료의 발열량을 이용해 부분부하 효율에서의 연소효율을 도출한 것이다. 사용연료의 발열량은 제조사마다 공급되는 연료의 구성비가 다양하기 때문에「에너지법 시행규칙」 별표 에너지열량 환산기준에 의해 일반적으로 적용되는 값이 아닌 사양서 등에 제시하는 발열량을 이용하였다. 본 연구에서는 조사된 증기보일러 20종, 온수보일러 18종으로 총 38개의 모델에 대해 연소효율을 산출하고, 산출된 결과를 이용해 보일러의 성능분석을 수행하였다.

(가) 증기보일러 성능분석을 위한 보일러 DB 구축 요약

○ 보일러의 연소효율은 전술한 용량별 성능변화와 마찬가지로 부분부하 변화와 관계없이 연소효율이 일정한 것으로 나타났다. 이는 보일러의 연소효율이 투입되는 에너지(연료)와 출력되는 에너지의 관계로 나타나기 때문이며, 투입되는 연료의 연소를 통해 에너지로 변환하는 과정에서 에너지보존법칙으로 인해 투입되는 연료가 가진 에너지 이상으로 변환하지 못하기 때문이다. 에너지 변환 중 손실되는 열량(배기가스 등으로 인한 손실, 불완전연소, 에너지 이동 중 손실 등)으로 인해 보일러의 연소효율이 변화하였다.

○ 동일한 업체에서 제작되는 보일러라 하여도 투입되는 연료의 종류에 따라 효율은 차이가 있는 것으로 나타났다. 2개 업체 모두 경유를 사용하는 보일러가 LNG를 사용하는 보일러보다 효율이 다소 높게 나타났으나, 실제 장비 가동에 있어 연료의 보관 및 공급의 용이성, 가격 등을 검토했을 때 LNG를 사용하는 장비가 경유를 사용하는 장비에 비해 다소 유리할 수 있으며, 장비 용량에 따른 효율 변화를 1~2%로 나타났으며, 이는 장비 선택에 있어 큰 영향요소는 아니라고 판단되었다.

(나) 온수보일러 성능분석을 위한 보일러 DB 구축 요약

○ 보일러의 연소효율은 전술한 용량별 성능변화와 마찬가지로 부분부하 변화와 관계없이 연소효율이 일정한 것으로 나타났다. 이는 증기보일러와 마찬가지로 보일러의 연소효율이 투입되는 에너지(연료)와 출력되는 에너지의 관계로 나타나기 때문이며, 투입되는 연료의 연소를 통해 에너지로 변환하는 과정에서 에너지보존법칙으로 인해 투입되는 연료가 가진 에너지 이상으로 변환하지 못하기 때문이다. 온수보일러는 증기보일러와 달리 출력된 에너지를 전달하는 열매체가 온수의 형태이기 때문에 증기보일러에 비해 효율이 다소 낮게 나타났다. 이는 안정적인 수질 확보 및 설정온도(공급온도)를 일정하게 유지하기 위한 목적 등으로

보일러 내부로 공급한 물을 직접 가열하여 온수를 생성하지 않고, 보일러 내부의 배관으로 물을 급수하고 코일 등을 통한 열교환 방식으로 온수를 생성하기 때문이다. 증기보일러와 마찬가지로 투입되는 연료에 따라 효율은 차이가 있었으며, 경유에 비해 LNG를 사용하는 보일러가 효율이 낮게 나타났다.

(2) 냉동기 성능분석

○ 냉동기의 DB 구축 내용을 통해 냉동기의 성능분석을 수행하였다. 냉동기의 종류는 구동방식에 따라 원심식냉동기(터보냉동기), 스크류냉동기, 흡수식냉동기로 구분하였다. 원심식냉동기와 스크류냉동기는 압축식 냉동기로 냉매를 압축하고, 이 가스를 응축기 내에서 고온으로 응축해서 냉매액으로 하고, 팽창 밸브를 통해 감압하여 증발기 내에서 증발, 이 증발열로 주위의 물 또는 공기를 냉각한다. 증발한 가스는 다시 압축기로 되돌아가며, 이러한 과정을 냉동사이클이라 한다.

(가) 냉동기 성능분석을 위한 냉동기 DB 구축 요약

○ 냉동기의 성능분석을 위해 각 장비의 정격용량의 25%, 50%, 75%, 100%의 부분부하에 따른 출력량과 사용연료량을 검토하고, 사용연료의 발열량을 이용해 부분부하 효율에서의 COP(Coefficient of Performance)를 기술한 것이다. 본 연구에서는 조사된 터보냉동기 74종(일반 정속형 63종, 인버터형 11종), 스크류냉동기 14종, 흡수식냉동기 42종(저온수2단 19종, 증기열원 23종)으로 총 130개 모델에 대해 부분부하에 따른 COP를 조사하고, 이를 이용해 냉동기의 성능분석을 수행하였다.

(나) 터보냉동기 성능분석을 위한 냉동기 DB 구축 요약

○ 업체별 터보냉동기의 COP 변화 그래프는 모두 비슷한 패턴으로 나타났다. 부분부하 25%에서 가장 낮은 COP로 나타나고, 부분부하가 50%, 75%, 정격운전인 100%로 상승할수록 COP가 감소하는 특성으로 나타났다.

○ 냉동기의 COP는 용량별 성능변화와 마찬가지로 부분부하에 따라 COP가 다르게 나타났으며, 이는 전술한 보일러의 연소효율과 차이점을 보인다. 보일러는 단순히 버너에 의해 연료를 가열하고, 이를 통해 에너지를 얻는 것으로 연료의 양에 비례해 출력되는 에너지가 결정되는 형태이고, 냉동기는 압축기, 응축기, 팽창밸브 등으로 인한 압축 사이클에 의해 에너지를 생성하기에 나타나는 차이점이다.○ 장비의 용량이 증가함에 따라 COP는 대체적으로 상승하는 경향이 나타났으나, 업체별로 일부 부분부하에서의 COP는 감소하는 경향도 나타났다. 냉동기는 용량이 증가함에 따라 냉동기를 구성하는 압축기 등의 장비 사양이 커지게 되고, 장비가 커질수록 저부하에서의 압축율이 높아져 장비의 성능이 전술한 것처럼 나타난 것이라 판단된다.

○ 분석 결과, 터보냉동기는 50%, 75% 부분부하가 상시 발생하는 건물(사무소건물, 공공건물 등)에 적용하여 지속적으로 운전하는 것이 에너지절약 및 경제성 부분에서 보다 유리할 것

으로 판단된다. 높은 COP로 지속적인 운전이 행해지면 이에 따른 소비전력이 감소하고, 이에 따라 운영비가 절감되기 때문이다.

(다) 터보냉동기(인버터) 성능분석을 위한 냉동기 DB 구축 요약

○ 정속형 터보냉동기와 동일하게 냉동기의 COP는 용량별 성능변화와 마찬가지로 부분부하에 따라 COP가 다르게 나타났으며, 장비의 용량이 증가함에 따라 COP는 대체적으로 상승하는 경향이 나타났다. 다만, 정속형 터보냉동기와 다르게 효율 자체가 매우 높게 나타났으며, 이는 부분부하 운전에 따라 인버터제어를 통해 에너지절감, 효율 향상을 이루었기 때문이라 판단된다.

○ 분석 결과, 인버터형 터보냉동기는 정속형과 동일하게 50%, 75% 부분부하가 상시 발생하는 건물(사무소건물, 공공건물 등)에 적용하여 지속적으로 운전하는 것이 에너지절약 및 경제성 부분에서 보다 유리할 것으로 판단된다. 또한, 50%, 75% 부분부하 운전이 상시 발생하는 경우 정속형보다 뛰어난 성능을 보일 것으로 기대할 수 있다.

(라) 스크류냉동기 성능분석을 위한 냉동기 DB 구축 요약

○ 스크류냉동기는 터보냉동기에 비해 부분부하 운전시 COP의 변화폭은 적게 나타났으며, 터보냉동기가 25% 부분부하에서 COP가 낮게 나타난 것과 달리 25%, 50%, 75% 부분부하에서의 COP 차이가 크게 발생하지 않았다. COP의 변화폭이 크지 않아 지속적인 운전에서 유리할 것으로 판단되었으며, 100% 정격운전에서의 COP는 터보냉동기와 동일하게 낮아지는 경향으로 나타났다.

○ 분석 결과, 스크류냉동기는 25%, 50%, 75% 부분부하의 운전이 유동적으로 변화하는 건물(임대건물 등)에 유리할 것으로 판단되었다. 터보냉동기와 달리 25%, 50%, 75% 부분부하 운전에서의 COP가 큰 변화가 없는 것으로 나타났고, 이에 따라 냉동기가 부분부하에 따라 유동적으로 가동되어도 에너지절약 및 경제성이 유리할 것으로 판단되었다.

(마) 흡수식냉동기 성능분석을 위한 냉동기 DB 구축 요약

○ L사의 저온수2단 흡수식냉동기 19종, 증기열원 흡수식냉동기 23종은 각각 성능조사된 결과가 모두 동일한 내용으로 접수되었다. 흡수식냉동기의 경우 타 냉동기와 달리 대표적인 모델에 대한 실험을 수행하여 다양한 모델에 대한 실험결과가 없다는 업체측의 답변을 받았으며, 이로 인해 타 냉동기처럼 용량별 성능변화, 부분부하 변화에 따른 성능변화를 분석하기에 어려움이 있다. 저온수 2단 흡수식냉동기의 COP 변화는 스크류냉동기와 유사하게 나타났고, 증기열원 흡수식냉동기의 COP 변화는 터보냉동기와 유사하게 나타났다. 저온수2단 흡수식냉동기의 경우 전술한 스크류냉동기와 같이 25%, 50%, 75% 부분부하의 운전이 유동적으로 변화하는 건물(임대건물 등)에 유리할 것으로 판단되며, 증기열원 흡수식냉동기의 경우 50%, 75% 부분부하가 상시 발생하는 건물(사무소건물, 공공건물 등)에 적용하여 지속적으로 운전하는 것이 에너지절약 및 경제성 부분에서 보다 유리할 것으로 판단된다.

제 3절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등

1. 기존건물 개보수 우선순위 제시를 위한 건물 에너지 Retrofit 표준 Process 와 관련 기술의 표준 제안 (단국대학교)

가. 기존건물의 성능평가 및 Retrofit 표준 Process의 현장 적용성 검토

(1) 대상 건축물의 에너지 소비패턴 분석

(가) 상업용 건물의 에너지 소비패턴

○ 상업용 건물의 에너지 사용량을 조사한 부분이다. 대상건물의 2013년도 월별 전력 사용량(kWh) 및 가스사용량(kWh)를 합산하여 산출하였다. 가스사용량(kWh)는 가스사용량(Nm³)에 '에너지절약기준'에 따라 10,500 kcal/Nm³을 적용하였다. 총 에너지사용량 기존 건축물에서 실제 사용되는 모든 에너지 사용량을 기준으로 조사하였다.

○ 기존 건축물의 성능을 시뮬레이션 프로그램으로 평가하기 위해서는 실제 사용량에서 시뮬레이션의 소요량으로 평가 할 수 있는 '냉방, 난방, 급탕, 조명, 환기' 에너지 사용량을 분석하여야 된다. 동일한 용도의 건물이라도 운영방식, 기후조건, 설비시스템 적용현황에 따라 전기 및 가스 사용량에 차이가 발생함을 알 수 있다.

① 상업용 건물 A

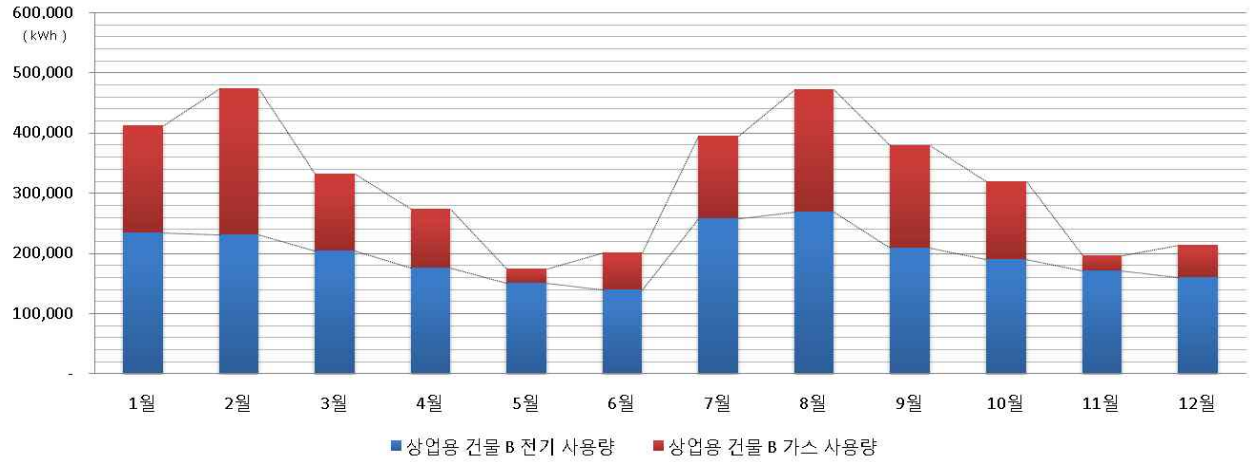
○ 다음 그림은 상업용 건물 A의 2013년도 에너지 소비량을 전기 및 가스로 구분하였다. 7월부터 9월의 전력사용량과 가스 사용량이 많은 것을 알 수 있다. 설비시스템이 흡수식 냉온수기가 설치되어 있어서 전기 사용량뿐만 아니라 가스 사용량 또한 높게 나타난 것으로 판단된다.



[그림 2.181] 상업용 건물 A 월별 전기 및 가스 에너지 소비량

② 상업용 건물 B

○ 다음 그림은 상업용 건물 B의 2013년도 에너지 소비량을 전기 및 가스로 구분하였다. 8월의 경우 최대전력사용량인 220MWh로 나타났다. 이는 상업용 건축물의 주간 운영 특성상 여름철 냉방시 사용되는 냉동기 및 FCU의 영향으로 판단되며 여름철 가스사용량이 높은 건축물은 흡수식 냉온수기가 설치되어 있는 것을 알 수 있다.



[그림 2.182] 상업용 건물 B 월별 전기 및 가스 에너지 소비량

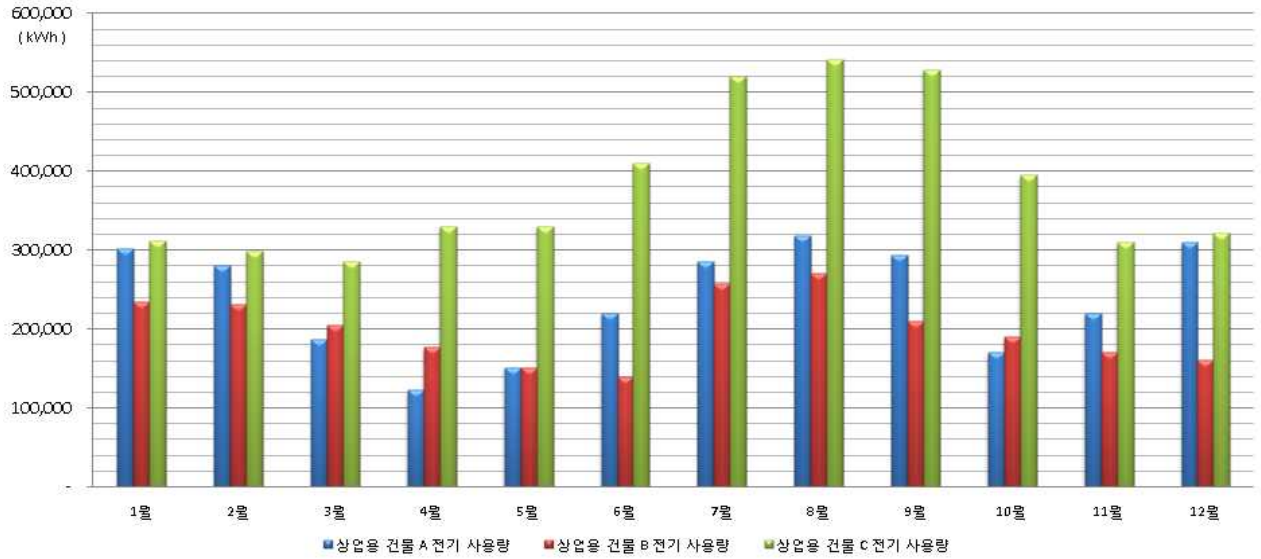
③ 상업용 건물 C

○ 다음 그림은 상업용 건물 C의 2013년도 월별 전력 사용량을 나타냈다. 그러나 상업용 건축물 C의 경우 다른 오피스 건물과 비교했을 때 가스 사용량이 상대적으로 낮은 부분을 알 수 있다. 냉방 시 고효율 터보냉동기를 사용하므로 가스사용량 작으며, 가스의 경우 급탕용 보일러에 사용된다.

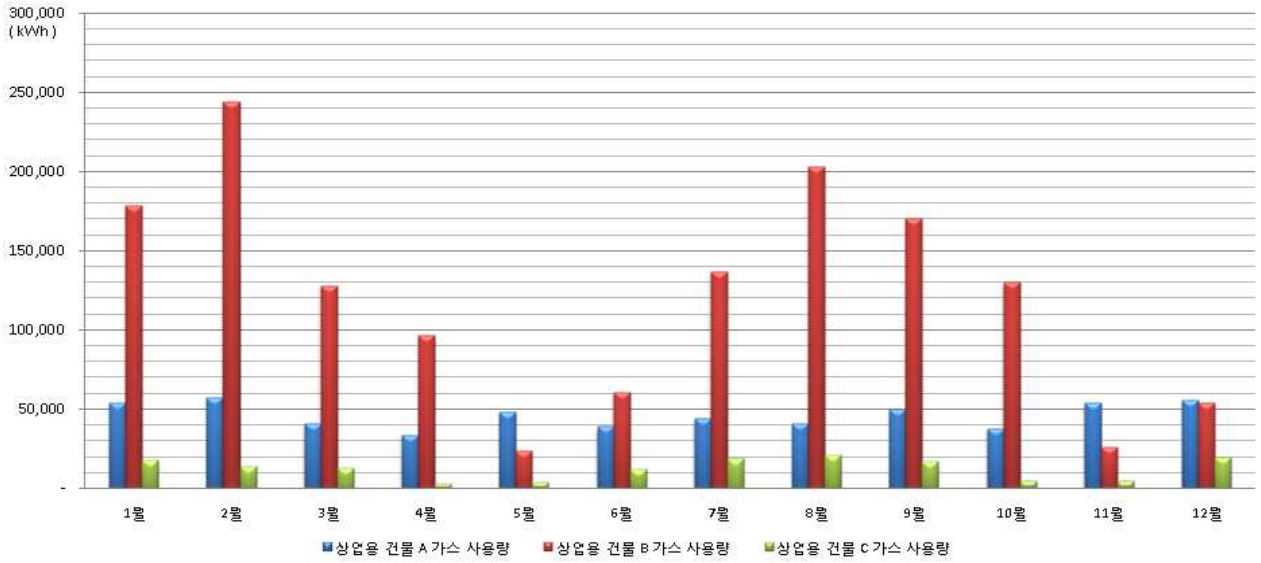


[그림 2.183] 상업용 건물 C 월별 전기 및 가스 에너지 소비량

④ 상업용 건물별 에너지 사용량



[그림 2.184] 2013년도 상업용 건물 A, B, C 전력사용량



[그림 2.185] 2013년도 상업용 건물 A, B, C 가스사용량

(나) 판매시설 건물의 에너지 소비패턴

○ 대형마트 11개 지점의 실제 에너지사용량 분석 결과 평균 8,325,040kWh으로 집계 되었다. 또한 국가 통계 포털 자료[10]에 의하면 대형종합소매업 525개 사업체 중 과반수이상인 271개소의 연면적이 23,100m²이상으로 집계되었다. 에너지 다소비 건물로 관리를 받고 있으며, 단위면적당 에너지소비량이 오피스 건물과 비교하면 많은 것을 알 수 있다. 판매시설 또한 2013년 월별 전력 사용량(kWh) 및 가스사용량(kWh)를 합산하여 산출하였다. 가스사용량(kWh)는 가스사용량(Nm³)에 '에너지절약기준'에 따라 10,500 kcal/Nm³을 적용하였다.

10) http://kosis.kr/, 국가통계포털

① 판매시설 A

○ 다음 그림은 판매시설 A의 2013년도 월별에너지사용량을 나타냈다. 8월의 경우 최대전력사용량인 832MWh로 나타났다. 냉방기와 난방기에 각각 전기 사용량이 높게 나타났는데, 이는 냉방기에 터보냉동기 및 FCU에 사용되는 전력량 및 난방기 때 환기에 사용되는 AHU의 영향으로 판단되며, 1월의 경우가 외기의 온도가 가장 낮아서 난방 시 가동된 흡수식 냉온수기의 가스사용량이 증대된 것으로 판단된다.



[그림 2.186] 판매시설 A 월별 전기 및 가스 에너지 소비량

② 판매시설 B

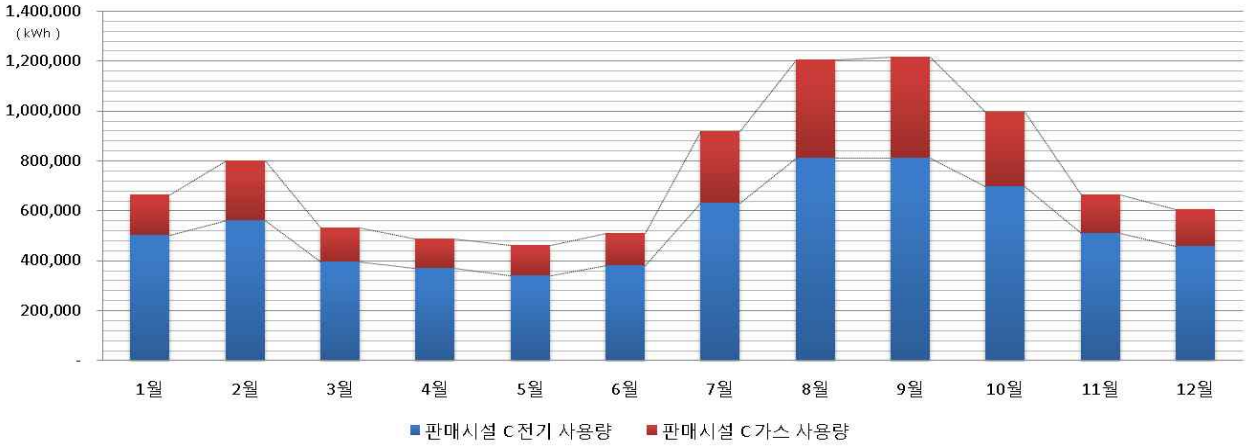
○ 다음 그림은 판매시설 B의 2013년도 월별 에너지 사용량을 나타낸다. 냉방기와 난방기에 각각 전기 사용량이 높게 나타났는데, 이는 냉방기에 터보냉동기 및 FCU에 사용되는 전력량 및 난방기 때 환기에 사용되는 AHU의 영향으로 판단된다. 1월의 경우가 외기의 온도가 가장 낮아서 난방 시 가동된 흡수식냉온수기의 가스사용량이 증대된 것으로 판단된다.



[그림 2.187] 판매시설 B 월별 전기 및 가스 에너지 소비량

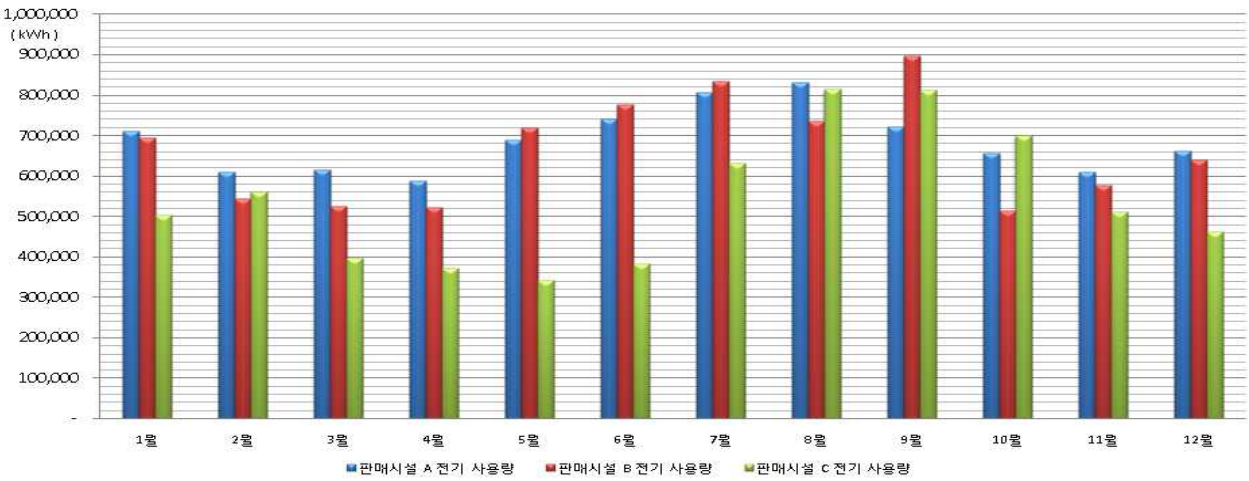
③ 판매시설 C

○ 다음 그림은 판매시설 C의 2013년도 월별 에너지 사용량을 나타낸다. 그러나 판매시설 C의 경우 다른 판매시설 건물과 비교했을 때 가스 사용량이 8, 9월에 상대적으로 높은 부분을 알 수 있다. 냉방 시 흡수식 냉온수기를 사용하여 여름철에도 가스 사용량이 발생한 것으로 판단된다.

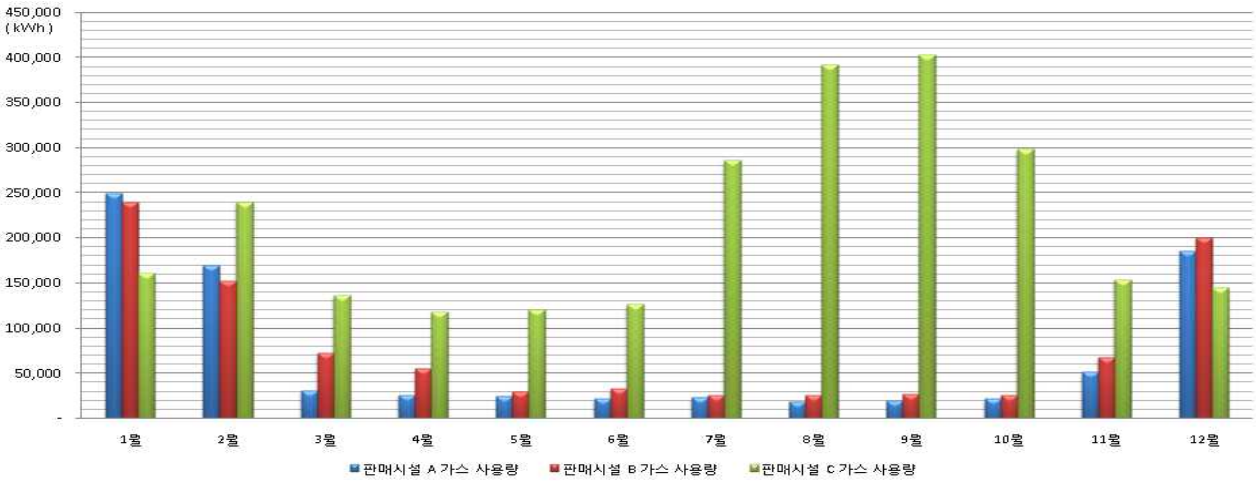


[그림 2.188] 판매시설 C 월별 전기 및 가스 에너지 소비량

④ 판매시설 건물별 에너지 사용량



[그림 2.189] 2013년도 판매시설 A, B, C 전력사용량



[그림 2.190] 2013년도 판매시설 A, B, C 가스사용량

(2) 대상 건축물에 대한 계절효율계수 산출

○ 기존 건축물 성능평가 프로세스의 현장 검증을 위해서 계절효율계수 및 냉난방 설비기기 DB를 활용한 성능곡선 등에 대한 오차율을 분석해야 한다. 대상 건물들의 설비기기 현황 및 운영현황 데이터를 활용해 기존 건축물의 에너지 성능평가 프로세스 조건에 맞춰 현장조사를 통한 냉난방설비 계절효율계수를 산출해 부분부하패턴 그래프를 도시하였고, 정격효율과의 오차율을 분석하였다.

(가) 상업용 건물 A

① 계절효율계수 산출

<표 2.234> 상업용 건물 A에서 운전 중인 냉온수기 정보

항목(단위) \ 형식 SAU-BGN				내 용
냉동능력			USRT	500
			kW	1758
난방능력			kcal/h	1,270,100
			kW	1477
냉수/온수	온도	냉수	°C	12°C - 7°C
		온수		55.8°C - 60°C
	유량		㎥/h	302.4
	압력손실		mAq	5.7
	접속배관구경		A	200
	패스수		EA	흡수
냉각수	온도		°C	32°C - 37°C
	유량		㎥/h	505.3
	압력손실		mAq	7.5
	접속배관구경		A	250
	패스수		EA	흡수
연료 소모량	가스	냉방	N㎥/h	110.2
		난방		139.7
		접속배관구경	A	40
		가스압력	mmAq	4,000

○ 상업용 건물 A는 S사의 흡수식냉온수기를 대수제어로 2대 운용하고 있고, 대상 설비기기제조사 자료를 통해 부분부하효율을 확인할 수 있다. 냉온수기 매뉴얼의 부분부하효율 및 가중치계수를 활용하여 상업용 건물 A에서 운용 중인 흡수식냉온수기의 계절효율계수를 산출한다. 상업용 건물 A에서 운전 중인 흡수식냉온수기의 매뉴얼은 다음과 같다. 확보된 열원설비시스템 부분부하 효율 DB에 냉온수기 정보가 기재되어 있어 현재 상업용 건물 A에서 운용 중인 냉온수기의 부분부하 효율 데이터를 확보할 수 있었다.

<표 2.235> 상업용 건물 A에서 운전 중인 냉온수기의 부분부하별 효율

	부분부하별 효율(COP)			
부분부하	25%	50%	75%	100%
효율(COP)	1.32	1.61	1.47	1.3

○ 상업용 건물의 계절효율계수 산출을 위한 가중치계수는 유럽의 산정 기준을 적용하였다.

<표 2.236> 상업용 건물 A의 부분부하별 계절효율 가중치계수

	부분부하별 가중치계수			
부분부하	25%	50%	75%	100%
가중치계수	0.23	0.41	0.33	0.03

○ 상업용 건물 A의 냉온수기에 대한 계절효율계수 산출은 가중치계수와 부분부하효율의 곱을 합하여 산출 한다.

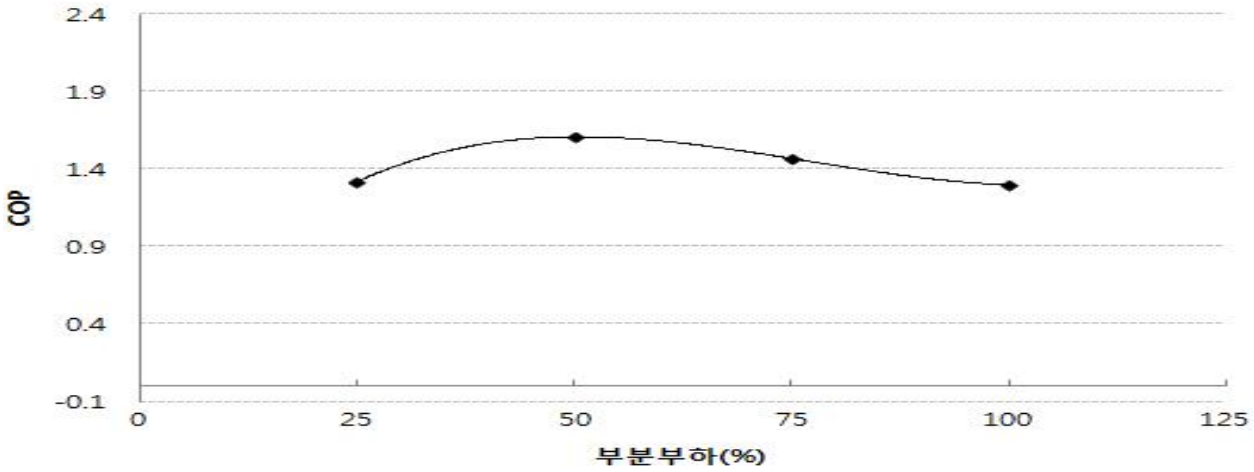
$$\text{계절효율계수} = (\text{효율}_{25\%} \times 0.23) + (\text{효율}_{50\%} \times 0.41) + (\text{효율}_{75\%} \times 0.33) + (\text{효율}_{100\%} \times 0.03)$$

$$= 003036 + 0.6601 + 0.4851 + 0.039$$

$$= 1.4878$$

② 부분부하패턴 분석

○ 상업용 건물 A의 냉온수기 부분부하효율 데이터를 바탕으로 부분부하패턴 그래프를 도시하였다. 부분부하패턴의 신뢰성 검증을 위한 회귀방정식과 설명계수(R-Squared)를 추가 첨부하였다.



[그림 2.191] 상업용 건물 A의 냉온수기 부분부하효율 패턴

$$y = 4E{-}06x^3 - 0.001x^2 + 0.0667x + 0.2 \quad R^2 = 1$$

(나) 상업용 건물 B

① 계절효율계수 산출

○ 상업용 건물 B는 W사의 흡수식냉온수기를 대수제어로 2대 운용하고 있고, 대상 설비기기제조사 자료를 통해 부분부하효율을 확인할 수 있다. 냉온수기 매뉴얼의 부분부하효율 및 가중치계수를 활용하여 상업용 건물 B에서 운용 중인 흡수식냉온수기의 계절효율계수를 산출한다. 상업용 건물 B에서 운전 중인 흡수식냉온수기의 매뉴얼은 다음과 같다.

<표 2.237> 상업용 건물 B에서 운전 중인 냉온수기 정보

모델		단위	DW400
냉동능력		kW	1,407
		USRT	400
난방능력		kW	1,174
		kcal/h	1,009
냉수	냉수입출구온도	°C	12 / 7
	냉수유량	m^3/h	242
	압력손실	mAq	6.0
	접속구경	mm	150
온수	온수입출구온도	°C	55.8 / 60
	온수유량	m^3/h	242
	압력손실	mAq	6.0
	접속구경	mm	150
냉각수	냉각수입출구온도	°C	32 / 37.5
	냉각수유량	m^3/h	400
	압력손실	mAq	8.7
	접속구경	m	200
가스	고발열량	kcal/Nm^3	10,550
	유량	Nm^3/h	115
	가스입구압력	mmAq	4,000
	가스접속구경	mm	50(4,000mmAq)
	배기가스	mm	360 x 310

○ 확보된 열원 설비시스템 부분부하 효율 DB에 냉온수기 정보가 기재되어 있어 현재 상업용 건물 B에서 운용 중인 냉온수기의 부분부하 효율 데이터를 확보할 수 있었다.

<표 2.238> 상업용 건물 B에서 운전 중인 냉온수기 부분부하별 효율

	부분부하별 효율(COP)			
부분부하	25%	50%	75%	100%
효율(COP)	1.33	1.50	1.64	1.35

○ 상업용 건물의 계절효율계수 산출을 위한 가중치계수는 유럽의 산정 기준을 적용하였다.

<표 2.239> 상업용 건물 B의 부분부하별 계절효율 가중치계수

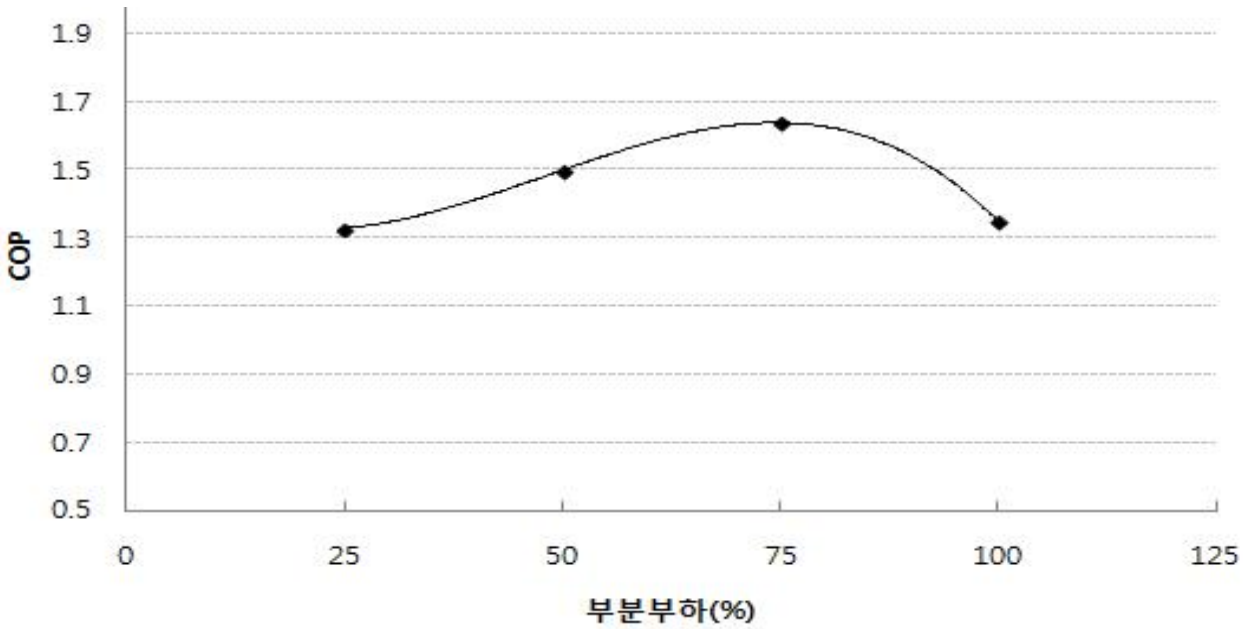
	부분부하별 가중치계수			
부분부하	25%	50%	75%	100%
가중치계수	0.23	0.41	0.33	0.03

○ 상업용 건물 B의 냉온수기에 대한 계절효율계수 산출은 가중치계수와 부분부하효율의 곱을 합하여 산출한다.

$$\text{계절효율계수} = (\text{효율}_{25\%} \times 0.23) + (\text{효율}_{50\%} \times 0.41) + (\text{효율}_{75\%} \times 0.33) + (\text{효율}_{100\%} \times 0.03)$$
$$= 0.3059 + 0.615 + 0.5412 + 0.0405$$
$$= 1.5026$$

② 부분부하패턴 분석

○ 상업용 건물 B의 냉온수기 부분부하효율 데이터를 바탕으로 부분부하패턴 그래프를 도시하였다. 부분부하패턴의 신뢰성 검증을 위한 회귀방정식과 설명계수(R-Squared)를 추가 첨부하였다.



[그림 2.192] 상업용 건물 B의 냉온수기 부분부하효율 패턴

$$y = -4E-06x^3 + 0.0006x^2 - 0.0207x + 1.53 \quad R^2 = 1$$

(다) 상업용 건물 C

① 계절효율계수 산출

○ 상업용 건물 C는 E사의 흡수식냉온수기를 사용하고 있고, 제조사 홈페이지를 통해 대상 설비기기의 매뉴얼을 조회할 수 있다. 냉온수기 매뉴얼의 부분부하효율 및 가중치계수를 활용하여 상업용 건물 C에서 운용 중인 흡수식냉온수기의 계절효율계수를 산출한다. 상업용 건물 C에서 운전 중인 흡수식냉온수기의 매뉴얼은 다음과 같다.

<표 2.240> 상업용 건물 C에서 운전 중인 냉온수기 정보

모델			L050
냉동능력		kW	1,758
		USRT	500
외형치수	길이	㎡	4,900
	폭	mm	2,700
	높이	mm	2,600
무게	운반중량	t	14.8
	작동중량	t	16.5

○ 확보된 열원 설비시스템 부분부하 효율 DB에 냉온수기 정보가 기재되어 있어 현재 상업용 건물 C에서 운용 중인 냉온수기의 부분부하 효율 데이터를 확보할 수 있었다.

<표 2.241> 상업용 건물 C에서 운전 중인 냉온수기의 부분부하별 효율

	부분부하별 효율(COP)			
부분부하	25%	50%	75%	100%
효율(COP)	1.24	1.53	1.39	1.22

○ 상업용 건물의 계절효율계수 산출을 위한 가중치계수는 유럽의 산정 기준을 적용하였다.

<표 2.242> 상업용 건물 C의 부분부하별 계절효율 가중치계수

	부분부하별 가중치계수			
부분부하	25%	50%	75%	100%
가중치계수	0.23	0.41	0.33	0.03

○ 상업용 건물 C의 냉온수기에 대한 계절효율계수 산출은 가중치계수와 부분부하효율의 곱을 합하여 산출한다.

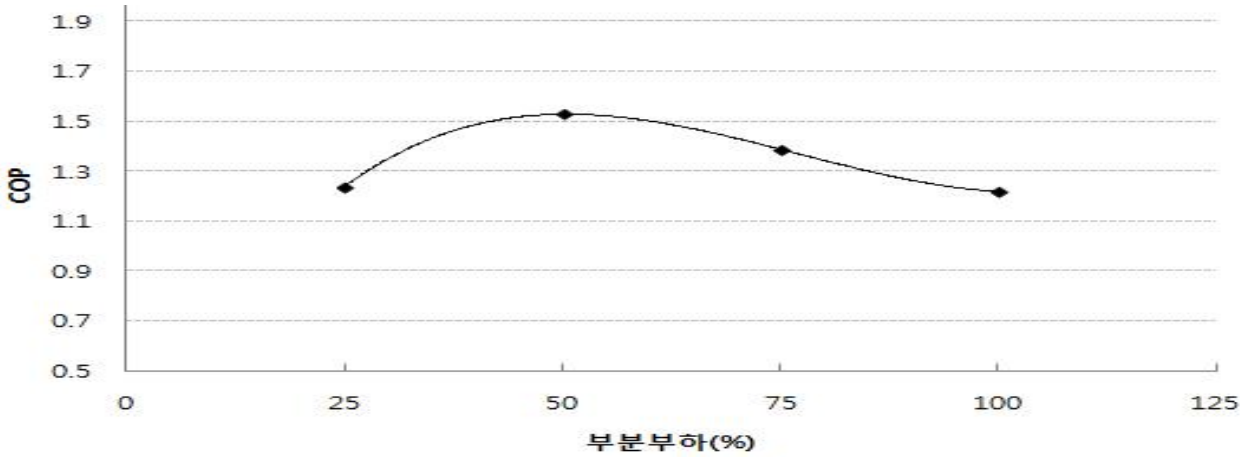
$$\text{계절효율계수} = (\text{효율}_{25\%} \times 0.23) + (\text{효율}_{50\%} \times 0.41) + (\text{효율}_{75\%} \times 0.33) + (\text{효율}_{100\%} \times 0.03)$$

$$= 0.2853 + 0.6273 + 0.4587 + 0.0366$$

$$= 1.4078$$

② 부분부하패턴 분석

○ 상업용 건물 C의 냉온수기 부분부하효율 데이터를 바탕으로 부분부하패턴 그래프를 도시하였다. 부분부하패턴의 신뢰성 검증을 위한 회귀방정식과 설명계수(R-Squared)를 추가 첨부 하였다.



[그림 2.193] 상업용 건물 C의 냉온수기 부분부하효율 패턴

$$y = 4E-06x^3 + 0.001x^2 + 0.0667x + 0.12 \qquad R^2 = 1$$

(라) 판매시설 A

○ 판매시설 A는 D사의 흡수식냉온수기를 사용하고 있고, 진단보고서의 대상 설비 성능계산서를 통해 기본적인 정보를 입수할 수 있다. 또한 판매시설 A의 경우 부분부하효율에 대한 데이터가 없어 현장조사를 통한 계절효율계수 산출을 실시한다. 기상데이터를 분석하여 시간빈도수를 도출하고, 현장 측정을 통해 각 시간대별 효율 값을 각각 산출하여 계절효율계수를 산출한다. 판매시설 A의 2013년도 기상데이터 분석을 통한 시간 빈도수는 다음과 같다.

① 시간빈도수 도출

○ 판매시설 A 지역의 평균온도를 0.5℃ 단위로 반올림하여 시간대별 평균온도로 표시한다. 냉방계절효율계수의 경우, 대상 건물의 운영 스케줄을 참고하여 냉방 시작일시부터 종료일시까지의 시간대를 대상으로 한다. 시간빈도수 도출시 중복을 방지하기 위해 오전 시간빈도수와 오후 시간빈도수를 나눈다. 냉방기 전체에 대한 시간빈도수 도출 표는 다음 <표 2.243>과 같다.

<표 2.243> 냉방 기간의 평균 온도별 시간빈도수

온도 ℃	전체	오전	오후
15.5 이하	360	205	155
16	59	31	28
16.5	54	27	27
17	64	31	33
17.5	56	30	26
…			
31.5	4	1	3
32	6	3	3
32.5	10	2	8
33	5	2	3
33.5	1	0	1
34	2	1	1
34.5	0	0	0

② 각 MODE 분류

○ 각 시간대별 온도차를 분석하여 Peak 시간대의 최대 온도로부터 온도차 기울기가 0.3이내인 시간대를 MODE 2로 지정하여 MODE 2 시간대를 기점으로 MODE 1과 3를 자동 도출한다. 판매시설 A의 MODE 분류 결과 12~15시 사이가 MODE 2가 되어 9~12는 MODE 1, 15~24는 MODE 3로 도출되었다. 시간대별 온도차 분류 및 MODE 2시간대 선정에 대한 참고표는 다음 <표 2.244>와 같다.

<표 2.244> 시간대별 온도차 분석을 통한 MODE 2 도출

해당 시간	온도차 ℃
9~10	0.9
10~11	0.7
11~12	0.5
12~13	0.3
13~14	0
14~15	0.1
15~16	0.4
16~17	1.2
17~18	1.4
18~19	1.7
19~20	1.5
20~21	0.2
21~22	0.3
22~23	0.2
23~24	0.2

③ MODE 별 현장 측정을 통한 COP 산출

○ 계절효율계수 도출을 위해, 각 MODE별 측정을 실시하여 COP를 산출한다. MODE별 1회씩 냉온수기의 입출구 온도와 유량을 측정해 COP를 산출한다. 측정된 MODE 별 입출구 온도 및 유량은 다음 표와 같다.



[그림 2.194] 냉온수기의 유량 측정(좌) 및 입출구 온도 측정(우)

<표 2.245> MODE 시간대별 유량 및 입출구 온도 측정 결과

시간		냉온수기 입출구 온도		유량 속도			
		입구	출구				
MODE 1	10 : 30	9.7 ℃	11.1 ℃	Pos Tot :	848 (m3)	Vel :	5.3 (m/s)
				Rate :	642.13 (m3/h)	Signal :	14.4 (%)
	11 : 30	11.1 ℃	12.0 ℃	Pos Tot :	917 (m3)	Vel :	1.2 (m/s)
				Rate :	316.69 (m3/h)	Signal :	14.6 (%)
MODE 2	13 : 00	10.6 ℃	12.7 ℃	Pos Tot :	971 (m3)	Vel :	1.2 (m/s)
				Rate :	312.35 (m3/h)	Signal :	14.4 (%)
	14 : 00	10.9 ℃	13.8 ℃	Pos Tot :	1027 (m3)	Vel :	1.2 (m/s)
				Rate :	313.90 (m3/h)	Signal :	14.5 (%)
MODE 3	18 : 00	11.6 ℃	13.2 ℃	Pos Tot :	1054 (m3)	Vel :	1.2 (m/s)
				Rate :	309.43 (m3/h)	Signal :	14.5 (%)
	19 : 00	10.9 ℃	12.2 ℃	Pos Tot :	1185 (m3)	Vel :	1.2 (m/s)
				Rate :	313.08 (m3/h)	Signal :	14.5 (%)

- 냉온수기 입열량 및 공급열량 (공통)

구분	내용
연료의 발열량(Hh)	***10,540 (kcal/Nm³ - 연료)***
연료의 현열(Q1)	= 연료의 비열(kcal/Nm³℃) x (버너전온도 - 외기온도(건))(℃) = 0.40 x (26 - 25) = ***0.4 (kcal/Nm³ - 연료)***
공기의 현열(Q2)	= 이론연소공기량(Nm³/Nm³) x 공기비 x 비열(kcal/Nm³℃) x (본체입구온도 - 외기온도(건))(℃) = 10.696 x 1.1 x 0.31 x (26 - 25) = ***3.5 (kcal/Nm³ - 연료)***
총 입열량(Qi)	= Hh + Q1 + Q2 + Q3 = 10,540.0 + 0.4 + 3.5 + 0.0 = ***10,544 (kcal/Nm³ - 연료)***
공급열량(kcal/h)	= 연료사용량(Nm³/h) × 총입열량(kcal/Nm³) = 42 × 10,544 = ***442,845(kcal/h)***
※ 연료사용량 = 온압보정계량값.	

- MODE 시간대에서의 냉방출력 및 COP 값

구분	내용
냉방출력(kcal/h)	= 냉수유량(m³/h) × 냉수밀도(kg/m³) × 냉수비열(kcal/kg℃) × 냉수의 입출구 온도차(℃)
성적계수(COP)	- 운전치 =［냉방출력］/［공급열량］
- MODE 1 냉방출력	= 311.255 × 1,000 × 1.0 × (12.7 - 11.3) = ***435,757 (kcal/h)***
- MODE 1 COP	= 435,757(kcal/h) / 442,845(kcal/h) = ***0.98***
- MODE 2 냉방출력	= 479.41 × 1,000 × 1.0 × (11.6 - 10.4) = ***575,292 (kcal/h)***
- MODE 2 COP	= 575,292(kcal/h) / 442,845(kcal/h) = ***1.3***
- MODE 3 냉방출력	= 313.125 × 1,000 × 1.0 × (13.3 - 10.8) = ***782,813 (kcal/h)***
- MODE 3 COP	= 782,813(kcal/h) / 442,845(kcal/h) = ***1.7***

○ MODE 별 산출된 COP 값은 다음 표와 같다.

<표 2.246> 현장 측정이 적용된 각 MODE별 산출 효율 값

구 분	효율 (COP)
MODE 1	0.98
MODE 2	1.3
MODE 3	1.7

④ 냉방기간 운영 시간대별 평균온도 도출

○ 판매시설 A의 냉방기간 시간대별 평균온도를 0.5℃ 단위로 반올림하여 각 시간대별 평균온도를 도출한다. 판매시설 A의 냉방기간의 운영 시간대별 대표 온도는 다음 표와 같다.

<표 2.247> 판매시설 A의 냉방기간 운영 시간대별 평균 온도

운영 시간	평균 온도 ℃	대표 온도(반올림) ℃
9	24.2	24
10	25.1	25
11	25.8	26
12	26.3	26.5
13	26.6	26.5
14	26.6	26.5
15	26.5	26.5
16	26.1	26
17	25.3	25.5
18	23.9	24
19	22.1	22
20	21.6	21.5
21	21.4	21.5
22	21.1	21
23	20.9	21
24	20.7	20.5

⑤ 시간대별 평균온도 및 MODE별 효율값을 활용한 계절효율계수 산출

○ 각 MODE별 COP에 MODE 시간대별 시간빈도수의 합을 곱해 계절효율계수를 산출한다.

$$\text{계절효율계수} = \frac{(T_1 \times \text{효율}_{MODE1}) + (T_2 \times \text{효율}_{MODE2}) + (T_3 \times \text{효율}_{MODE3})}{T_1 + T_2 + T_3}$$

여기에서,
·Tn : MODE 시간대별 대표 온도대의 시간빈도수의 합
·효율n : MODE 시간대별 측정되어 산출된 효율

○ 산출식에 제시된 Tn 값들은 다음 표와 같다.

<표 2.248> 판매시설 A의 계절효율계수 산출을 위한 Tn 도출 표

MODE	시간	대표온도	시간빈도수	Tn
MODE 1	9	24	31	T1 = 78
	10	25	21	
	11	26	26	
MODE 2	12	26.5	23	T2 = 116
	13	26.5	31	
	14	26.5	31	
	15	26.5	31	
MODE 3	16	26	37	T3 = 469
	17	25.5	29	
	18	24	63	
	19	22	50	
	20	21.5	68	
	21	21.5	68	
	22	21	45	
	23	21	45	
	24	20.5	64	

○ 산출한 계절효율계수는 다음과 같다.

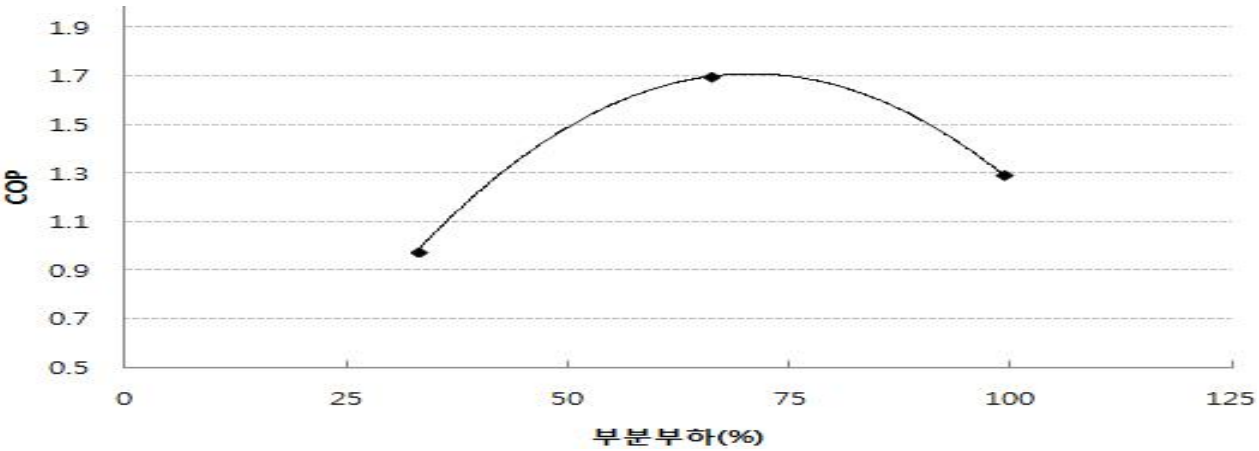
$$\text{계절효율계수} = \frac{(78\times 0.98) + (116\times 1.3) + (469\times 1.7)}{469+116+78}$$

$$= 1.54$$

따라서, 판매시설 A의 냉온수기 계절효율계수는 1.54 이다.

⑥ 부분부하패턴 분석

○ 판매시설 A의 경우 각 MODE별로 도출된 효율을 부분부하효율로 선정하여 그래프로 도시하였다.



[그림 2.195] 판매시설 A의 냉온수기 부분부하효율 패턴

$$y = -0.0005x^2 + 0.0727x - 0.86 \qquad R^2 = 1$$

(마) 판매시설 B

① 계절효율계수 산출

○ 판매시설 B는 T사의 터보냉동기를 사용하고 있고, 직접 대상 건축물을 방문하여 터보냉동기의 부분부하효율 데이터 및 설비기기 현황을 확인 하였다. 냉동기의 부분부하효율 및 가중치계수를 활용하여 판매시설 B에서 운용 중인 냉동기의 계절효율계수를 산출한다. 판매시설 B에서 운전 중인 냉동기 현황 사진 및 매뉴얼은 다음과 같다.

<표 2.249> 판매시설 B에서 운전 중인 냉동기 정보

TRANE



Job 01
TIG

Tag	CTV-600RT	Model Number	CVHF0485
Quantity	1		

Certified in accordance with the Water-Chilling Packages Using the Vapor Compression Cycle Certification Program, which is based on AHRI Standare 550/590.

AHRI CERTIFIED® www.ahridirectory.org Water-Cooled Chillers AHRI Standard 550/590

Sound pressure measured in accordance with AHRI Standard 575-94.

ASHRAE 90.1 - 2007 Add. M Complies

Unit Information

Model	CVHF	Compressor size	485
Impeller size	285	Orifice size	835
Motor size	453		
Motor frequency	60 Hz	Motor voltage	380
Incoming line frequency	60 Hz	Incoming line voltage	380
Evap shell size	050L	Cond shell size	080L
Evap bundle size	860	Cond bundle size	710
Evap tube type	IMC1	Cond tube type	TECU
Evap tube thickness	0.025 ¨	Cond tube thickness	0.028 ¨
Evap passes	2	Cond passes	2

Design Information

Cooling capacity	600.0 tons		
Primary power	345.0 kW	HCFC-123 refrigerant charge	476 kg
Primary efficiency	0.575 kW/ton	Shipping weight	9491 kg
NPLV	0.484 kW/ton	Operating weight	10995 kg
Wye-delta starter type	Unit Mounted WyeD		
Application type	Standard cooling	Green Seal certification	No
Heat rejected into equip room	5.89 MBh	Free cooling option	No

Evaporator Information

Evap leaving temp	7.00 C	Evap pressure drop	7.07 m H2O
Evap flow rate	361.7 m3/hr	Evap fluid type	water
Evap entering temp	12.00 C	Evap fluid concentration	N/A
Evap flow/capacity	2.65 gpm/ton	Evap water box type	non-marine
Evap fouling factor	0.00010 hr-sq ft-deg F/Btu	Evap water box pressure	150 psig

Condenser Information

Cond entering temp	32.00 C	Cond pressure drop	9.72 m H2O
Cond flow rate	428.9 m3/hr	Cond fluid type	water
Cond leaving temp	37.00 C	Cond fluid concentration	N/A
Cond flow/capacity	3.15 gpm/ton	Cond water box type	non-marine
Cond fouling factor	0.00025 hr-sq ft-deg F/Btu	Cond water box pressure	150 psig

Electrical Information

Motor LRA	3645 A	Compressor motor RLA	623.90 A
Primary RLA(Incoming line)	625.4 A	Min circuit ampacity	793 A
Un-corrected power factor	0.89	Max overcurrent protection	1200 A

○ 확보된 열원 설비시스템 부분부하 효율 DB에 냉온수기 정보가 기재되어 있어 현재 판매시설 B에서 운용 중인 터보 냉동기의 부분부하 효율 데이터를 확보할 수 있었다.

<표 2.250> 판매시설 B에서 운전 중인 냉동기의 부분부하별 효율

	부분부하별 효율(COP)			
부분부하	25%	50%	75%	100%
효율(COP)	6.08	7.22	7.80	6.07

○ 판매시설의 계절효율계수 산출을 위한 가중치계수는 유럽의 산정 기준을 적용한다.

<표 2.251> 판매시설 B의 부분부하별 계절효율 가중치계수

	부분부하별 가중치계수			
부분부하	25%	50%	75%	100%
가중치계수	0.23	0.41	0.33	0.03

○ 판매시설 B의 냉동기에 대한 계절효율계수 산출은 가중치계수와 부분부하효율의 곱을 합하여 산출한다.

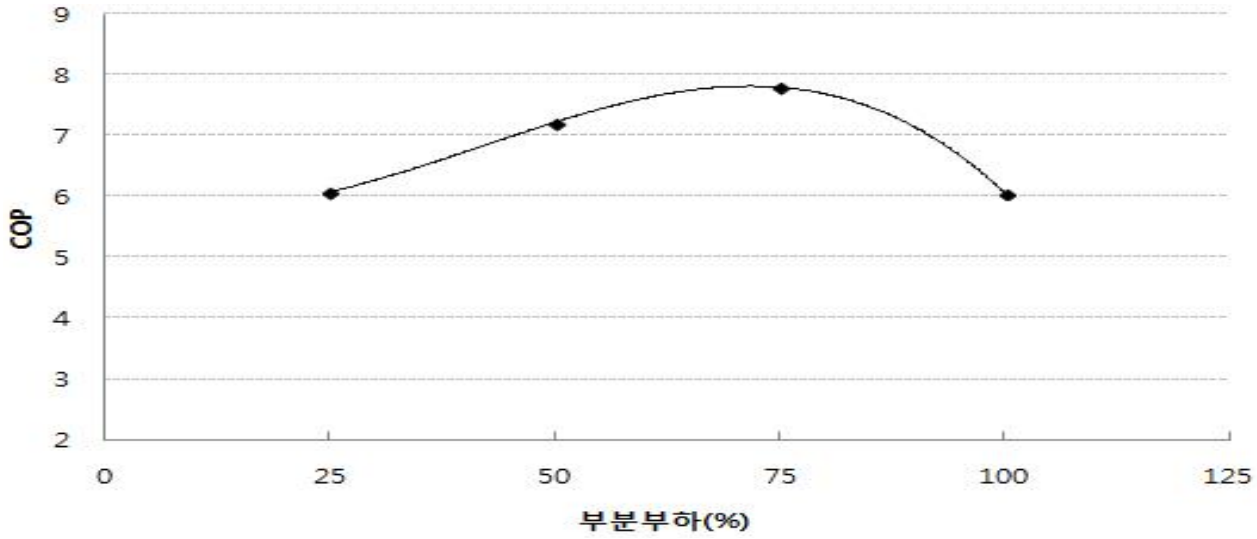
$$\text{계절효율계수} = (\text{효율}_{25\%} \times 0.23) + (\text{효율}_{50\%} \times 0.41) + (\text{효율}_{75\%} \times 0.33) + (\text{효율}_{100\%} \times 0.03)$$

$$= 1.3984 + 2.9602 + 2.574 + 0.1821$$

$$= 7.1147$$

② 부분부하패턴 분석

○ 판매시설 B의 냉동기 부분부하효율 데이터를 바탕으로 부분부하패턴 그래프를 도시 하였다. 부분부하패턴의 신뢰성 검증을 위한 회귀방정식과 설명계수(R-Squared)를 추가 첨부 하였다.



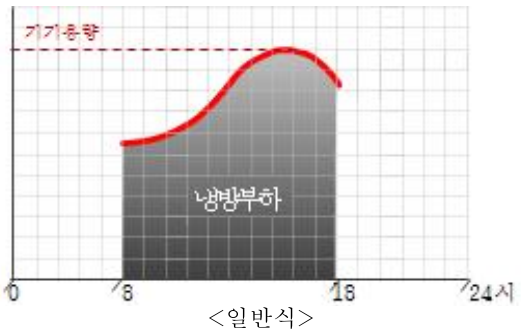
[그림 2.196] 판매시설 B의 냉동기 부분부하효율 패턴

$$y = -2E-05x^3 + 0.0024x^2 - 0.0491x + 6.13 \qquad R^2 = 1$$

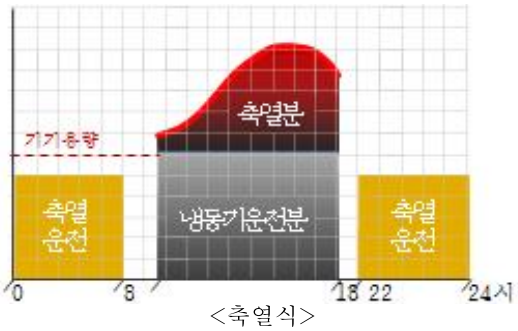
(바) 판매시설 C

① 계절효율계수 산출

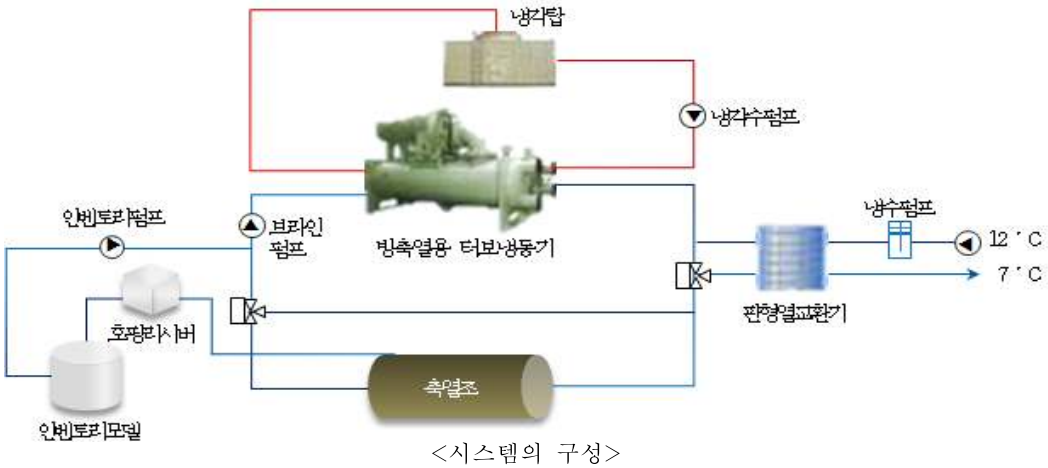
○ 판매시설 C는 L사의 터보냉동기를 사용하고 있고, 대상 설비기기 매뉴얼을 통해 냉동기의 부분부하효율을 파악할 수 있다. 냉동기의 부분부하효율 및 가중치계수를 활용하여 판매시설 C에서 운용 중인 냉동기의 계절효율계수를 산출한다. 판매시설 C에서 운전 중인 냉동기의 매뉴얼은 다음과 같다.



<일반식>



<축열식>



<시스템의 구성>

<표 2.252> 판매시설 C에서 운전 중인 터보냉동기 정보

모델명			LTX-0508	
			주간	야간
냉동용량		USRT	680	500
소요축동력		kW	469	434
증발기	브라인 입구온도	℃	10.4	-2
	브라인 출구온도	℃	5	-6
	브라인 유량	㎥/h	433	
	기내 수두 손실	mAq	5.9	6.2
	접속배관구경		250A	
응축기	냉각수 입구온도	℃	32	27
	냉각수 출구온도	℃	38.4	32
	냉각수 유량	㎥/h	396	
	기내 수두 손실	mAq	6.6	6.6
	접속배관구경		250A	
중량		ton	18	
치수	길이 x 폭 x 높이	mm	5320 x 2920 x 3290	
냉매충진량		kg	1500	

○ 확보된 열원 설비시스템 부분부하 효율 DB에 터보 냉동기 정보가 기재되어 있어 현재 판매시설 C에서 운용 중인 터보 냉동기의 부분부하 효율 데이터를 확보할 수 있었다.

<표 2.253> 판매시설 C에서 운전 중인 냉동기의 부분부하별 효율

	부분부하별 효율(COP)			
부분부하	25%	50%	75%	100%
효율(COP)	5.41	6.23	6.64	4.86

○ 판매시설의 계절효율계수 산출을 위한 가중치계수는 유럽의 산정 기준을 적용한다.

<표 2.254> 판매시설 C의 부분부하별 계절효율 가중치계수

	부분부하별 가중치계수			
부분부하	25%	50%	75%	100%
가중치계수	0.23	0.41	0.33	0.03

○ 판매시설 C의 냉동기에 대한 계절효율계수 산출은 가중치계수와 부분부하효율의 곱을 합하여 산출한다.

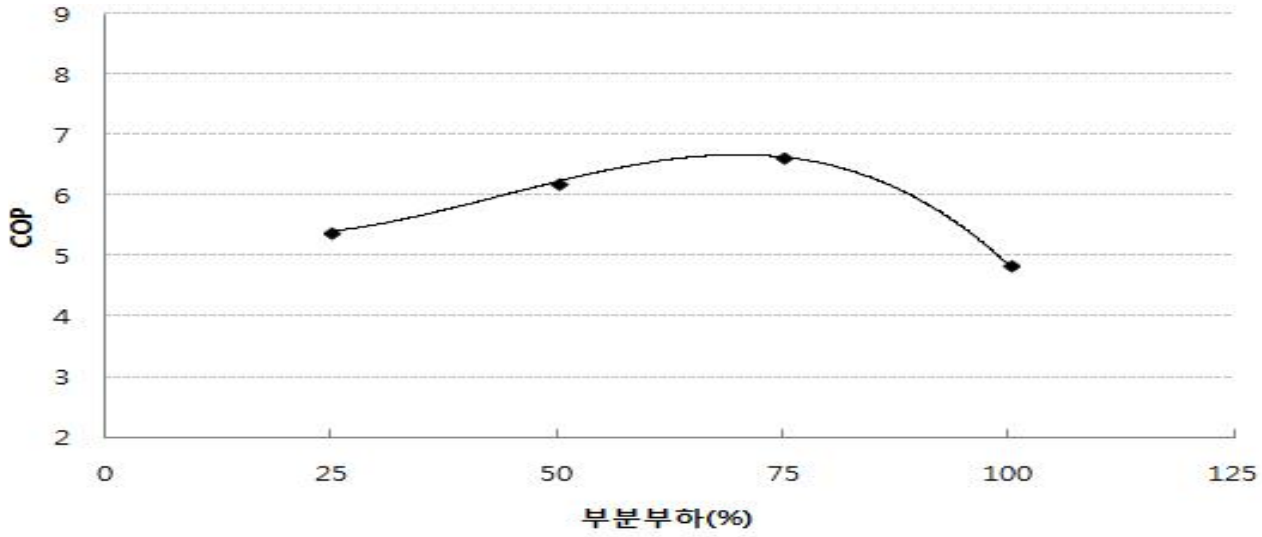
$$\text{계절효율계수} = (\text{효율}_{25\%} \times 0.23) + (\text{효율}_{50\%} \times 0.41) + (\text{효율}_{75\%} \times 0.33) + (\text{효율}_{100\%} \times 0.03)$$

$$= 1.2443 + 2.5543 + 2.1912 + 0.1458$$

$$= 6.1356$$

② 부분부하패턴 분석

○ 판매시설 C의 냉동기 부분부하효율 데이터를 바탕으로 부분부하패턴 그래프를 도시 하였다. 부분부하패턴의 신뢰성 검증을 위한 회귀방정식과 결정계수(R-Squared)를 추가 첨부 하였다.



[그림 2.197] 판매시설 C의 냉동기 부분부하효율 패턴

$$y = -2E-05x^3 + 0.0025x^2 - 0.0731x + 5.96 \qquad R^2 = 1$$

(사) 계절효율계수 도출 종합 및 결과 분석

○ 산출된 계절효율계수와 기존 제공되는 정격효율을 비교한 결과, 대상 건축물 6개소 모두 일정부분 오차가 있는 것으로 확인 되었다. 현재 건축물 에너지 성능평가 시뮬레이션 프로그램에 적용되고 있는 정격효율과 본 논문에서 제시하는 기존 건축물 에너지 성능평가를 위한 계절효율계수는 최대 46.7%까지의 오차가 있는 것을 확인할 수 있었다.

<표 2.255> 대상 설비기기의 오차율

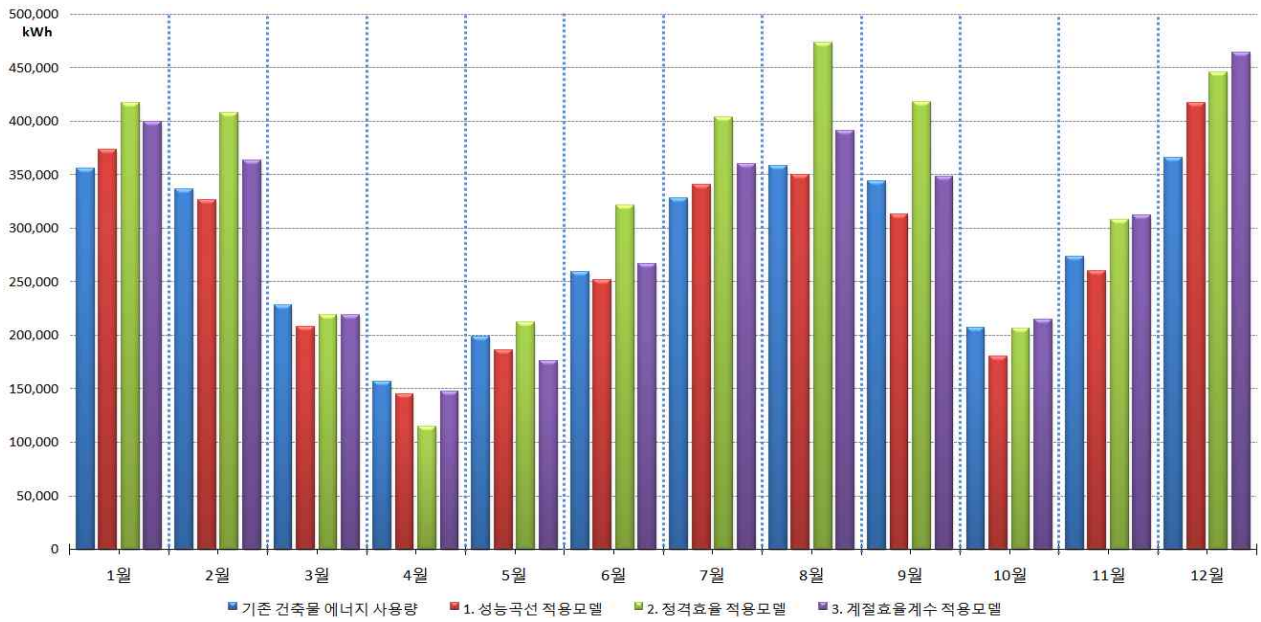
구분	정격효율	계절효율계수	오차율(%)
상업용 건물 A	1.30	1.49	14.6
상업용 건물 B	1.35	1.50	11.1
상업용 건물 C	1.22	1.41	15.6
판매시설 A	1.05	1.54	46.7
판매시설 B	6.07	7.11	17.1
판매시설 C	4.86	6.14	26.3

(3) 대상 건축물에 대한 실제 에너지 사용량과 시뮬레이션 소요량 데이터의 검증

○ 기존 건축물 성능평가 프로세스의 현장 검증을 위해 대상 건축물의 2013년도 에너지 소비실적 데이터와 Simulation 결과 데이터를 비교하여 데이터의 정확성을 검증한다.

(가) 상업용 건물 A

○ 상업용 건물 A의 실제 '2013년도 월간 에너지소비실적' 데이터와 대조모델 3개를 분석해 타당성을 검토하였다.



[그림 2.198] 상업용 건물 A의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프

<표 2.256> 상업용 건축물 A의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조표

	대상 건축물 실제 에너지사용량	성능곡선 적용모델	정격효율 적용모델	계절효율계수 적용모델
1월	356,027	373,828	417,264	400,174
2월	336,965	326,856	408,065	363,248
3월	228,329	207,779	219,196	219,424
4월	156,788	145,029	115,239	147,381
5월	199,245	186,294	212,196	176,133
6월	259,301	251,522	321,793	267,080
7월	328,769	340,933	404,386	360,660
8월	358,969	349,995	473,839	391,635
9월	344,150	313,177	418,142	348,280
10월	207,742	180,736	206,496	215,013
11월	273,963	260,265	308,208	312,318
12월	366,009	417,250	446,165	464,831

○ 시뮬레이션 결과 데이터의 정확한 타당성 검증을 위해 ASHRAE Guideline의 프로세스를 적용시켰으며 신뢰성 검증 데이터는 다음과 같았다.

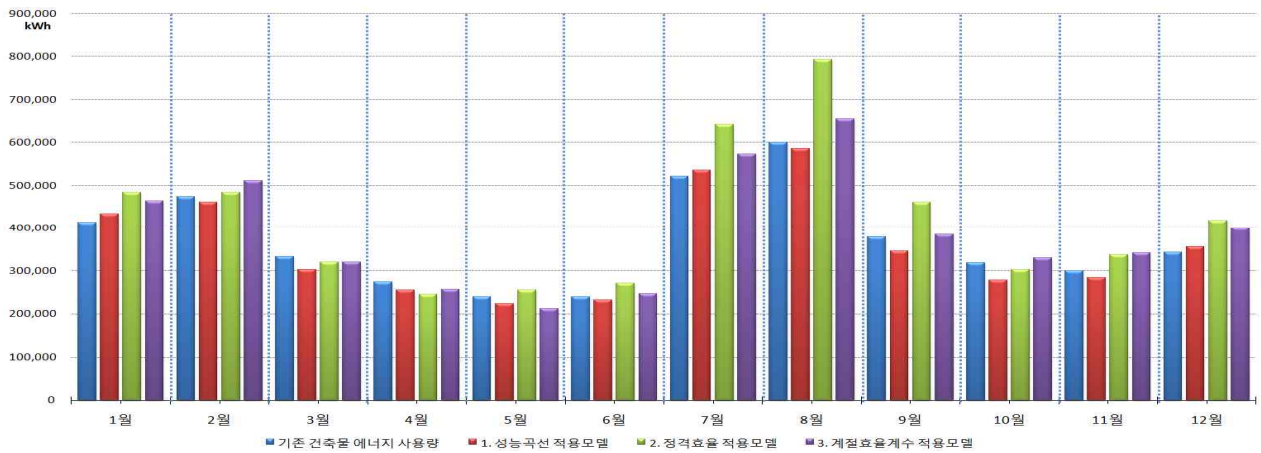
<표 2.257> 상업용 건물 A의 ASHRAE Guideline에 따른 신뢰성 검증 결과

구분	MBE(%)	Cv(RMSE)
상업용 건물 A 실제 에너지사용량	-	-
성능곡선 적용모델	-1.83	7.81
정격효율 적용모델	17.48	22.51
계절효율계수 적용모델	7.32	13.24

○ 타당성 검증 결과, 성능곡선 데이터를 직접 시뮬레이션에 적용한 경우, MBE 값과 Cv(RMSE) 값 모두 ASHRAE Guideline의 신뢰성 기준을 만족하는 것으로 판단되었다.

(나) 상업용 건물 B

○ 상업용 건물 B의 실제 '2013년도 월간 에너지소비실적' 데이터와 대조모델 3개를 분석해 타당성을 검토하였다.



[그림 2.199] 상업용 건물 B의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프

<표 2.258> 상업용 건축물 B의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조표

	대상 건축물 실제 에너지사용량	성능곡선 적용모델	정격효율 적용모델	계절효율계수 적용모델
1월	413,419	434,090	484,527	464,683
2월	474,729	460,487	484,698	511,758
3월	333,120	303,139	319,795	320,128
4월	273,980	254,801	245,212	257,541
5월	239,481	223,915	255,047	211,701
6월	239,438	232,255	271,523	246,621
7월	522,242	535,820	642,358	572,899
8월	601,241	586,210	793,638	655,954
9월	379,827	345,643	461,490	384,385
10월	319,450	277,922	303,478	330,631
11월	299,839	284,847	337,319	341,816
12월	343,031	356,752	418,155	401,346

○ 시뮬레이션 결과 데이터의 정확한 타당성 검증을 위해 ASHRAE Guideline의 프로세스를 적용시켰으며 신뢰성 검증 데이터는 다음과 같았다.

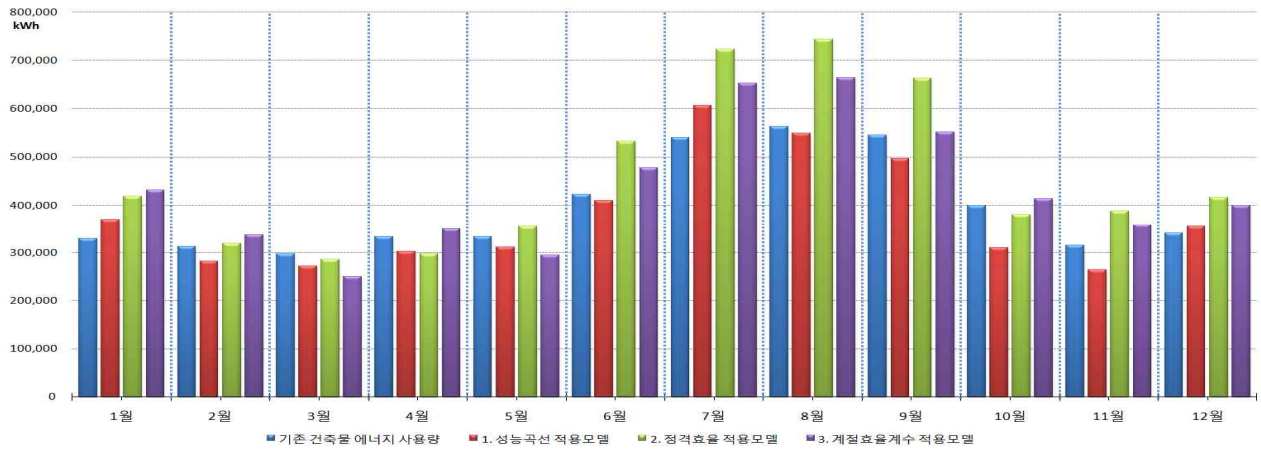
<표 2.259> 상업용 건물 B의 ASHRAE Guideline에 따른 신뢰성 검증 결과

구분	MBE(%)	Cv(RMSE)
상업용 건물 B 실제 에너지사용량	-	-
성능곡선 적용모델	-3.24	6.00
정격효율 적용모델	16.25	22.20
계절효율계수 적용모델	5.85	9.91

○ 타당성 검증 결과, 성능곡선 데이터를 직접 시뮬레이션에 적용한 경우, MBE 값과 Cv(RMSE) 값 모두 ASHRAE Guideline의 신뢰성 기준을 만족하는 것으로 판단되었다.

(다) 상업용 건물 C

○ 상업용 건물 C의 실제 '2013년도 월간 에너지소비실적' 데이터와 대조모델 3개를 분석해 타당성을 검토하였다.



[그림 2.200] 상업용 건물 C의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프

<표 2.260> 상업용 건축물 C의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조표

	대상 건축물 실제 에너지사용량	성능곡선 적용모델	정격효율 적용모델	계절효율계수 적용모델
1월	329,064	370,197	418,240	431,074
2월	312,760	281,484	319,328	337,155
3월	298,004	271,184	286,084	250,323
4월	332,886	302,926	297,933	349,530
5월	333,582	311,899	355,265	294,886
6월	422,368	409,697	532,184	477,276
7월	539,677	606,597	723,167	653,009
8월	562,924	548,851	743,060	664,250
9월	545,872	496,744	663,234	552,422
10월	400,213	309,765	380,202	414,220
11월	314,787	264,421	388,762	358,857
12월	341,129	354,774	415,836	399,121

○ 시뮬레이션 결과 데이터의 정확한 타당성 검증을 위해 ASHRAE Guideline의 프로세스를 적용시켰으며 신뢰성 검증 데이터는 다음과 같았다.

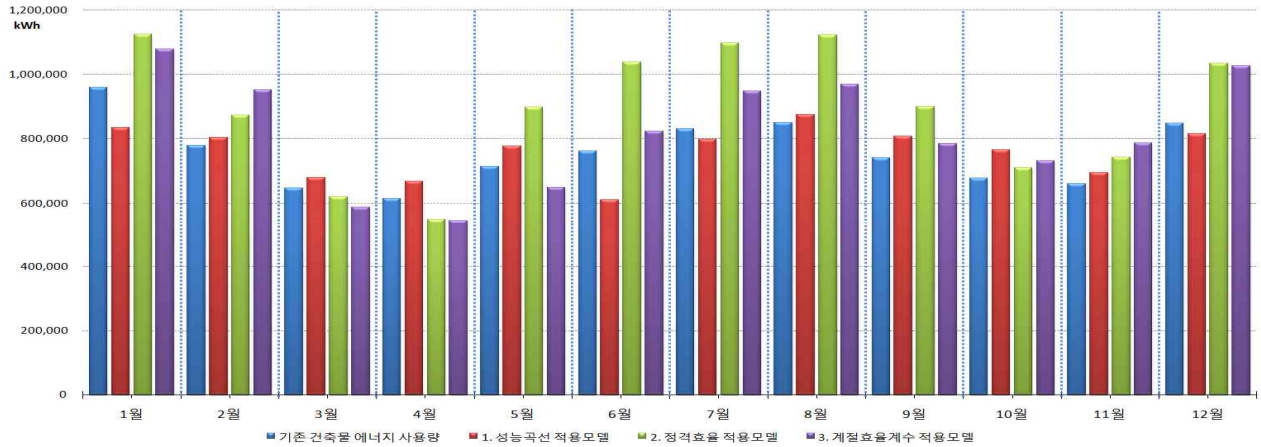
<표 2.261> 상업용 건물 C의 ASHRAE Guideline에 따른 신뢰성 검증 결과

구분	MBE(%)	Cv(RMSE)
상업용 건물 C 실제 에너지사용량	-	-
성능곡선 적용모델	-4.33	11.08
정격효율 적용모델	21.02	25.78
계절효율계수 적용모델	9.48	15.82

○ 타당성 검증 결과, 성능곡선 데이터를 직접 시뮬레이션에 적용한 경우, MBE 값과 Cv(RMSE) 값 모두 ASHRAE Guideline의 신뢰성 기준을 만족하는 것으로 판단되었다.

(라) 판매시설 A

○ 판매시설 A의 실제 '2013년도 월간 에너지소비실적' 데이터와 대조모델 3개를 분석해 타당성을 검토하였다.



[그림 2.201] 판매시설 A의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프

<표 2.262> 판매시설 A의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조표

	대상 건축물 실제 에너지사용량	성능곡선 적용모델	정격효율 적용모델	계절효율계수 적용모델
1월	960,255	834,462	1,125,419	1,079,327
2월	780,674	804,094	874,355	952,422
3월	646,825	679,166	620,952	588,611
4월	614,039	669,303	549,565	546,495
5월	713,794	778,035	899,380	649,553
6월	763,002	610,402	1,037,683	824,042
7월	831,746	798,476	1,097,905	948,190
8월	850,798	876,322	1,123,053	969,910
9월	741,891	808,661	901,398	786,404
10월	677,782	765,894	711,671	732,005
11월	661,395	694,465	744,069	787,060
12월	849,263	815,292	1,035,252	1,027,608

○ 시뮬레이션 결과 데이터의 정확한 타당성 검증을 위해 ASHRAE Guideline의 프로세스를 적용시켰으며 신뢰성 검증 데이터는 다음과 같았다.

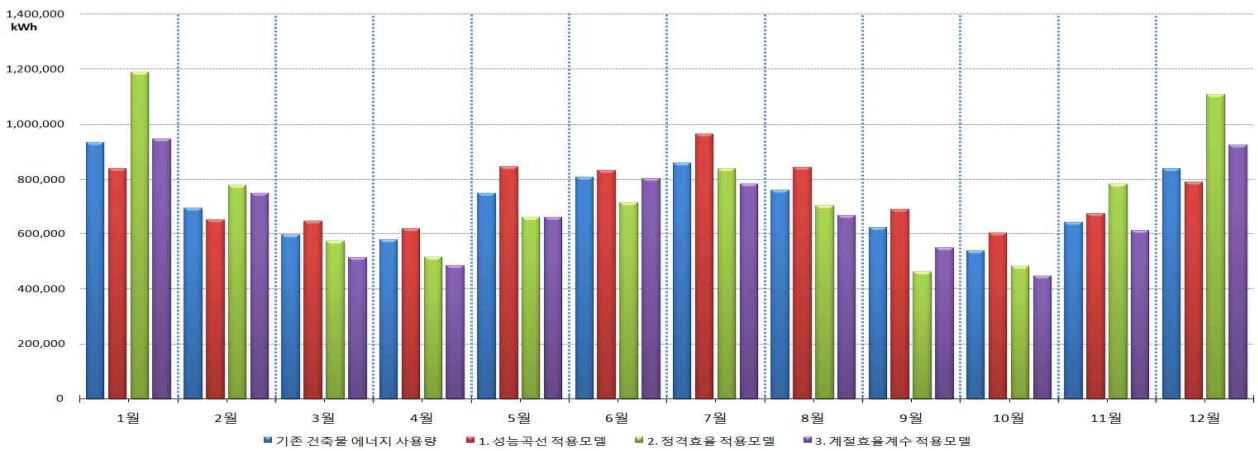
<표 2.263> 판매시설 A의 ASHRAE Guideline에 따른 신뢰성 검증 결과

구분	MBE(%)	Cv(RMSE)
판매시설 A 실제 에너지사용량	-	-
성능곡선 적용모델	0.47	9.65
정격효율 적용모델	17.45	27.41
계절효율계수 적용모델	8.80	14.24

○ 타당성 검증 결과, 성능곡선 데이터를 직접 시뮬레이션에 적용한 경우, MBE 값과 Cv(RMSE) 값 모두 ASHRAE Guideline의 신뢰성 기준을 만족하는 것으로 판단되었다.

(마) 판매시설 B

○ 판매시설 B의 실제 '2013년도 월간 에너지소비실적' 데이터와 대조모델 3개를 분석해 타당성을 검토하였다.



[그림 2.202] 판매시설 B의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프

<표 2.264> 판매시설 B의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조표

	대상 건축물 실제 에너지사용량	성능곡선 적용모델	정격효율 적용모델	계절효율계수 적용모델
1월	934,580	841,122	1,188,786	1,050,468
2월	696,499	654,709	780,775	750,826
3월	597,013	650,744	573,132	514,028
4월	577,632	618,066	516,981	542,974
5월	749,838	847,317	662,857	662,857
6월	808,945	833,213	717,534	833,213
7월	861,030	966,076	841,226	1,030,653
8월	762,029	845,852	706,401	907,577
9월	623,635	692,235	462,737	631,119
10월	539,016	603,698	482,419	557,882
11월	644,965	677,213	783,632	735,260
12월	840,545	790,112	1,108,679	1,067,492

○ 시뮬레이션 결과 데이터의 정확한 타당성 검증을 위해 ASHRAE Guideline의 프로세스를 적용시켰으며 신뢰성 검증 데이터는 다음과 같았다.

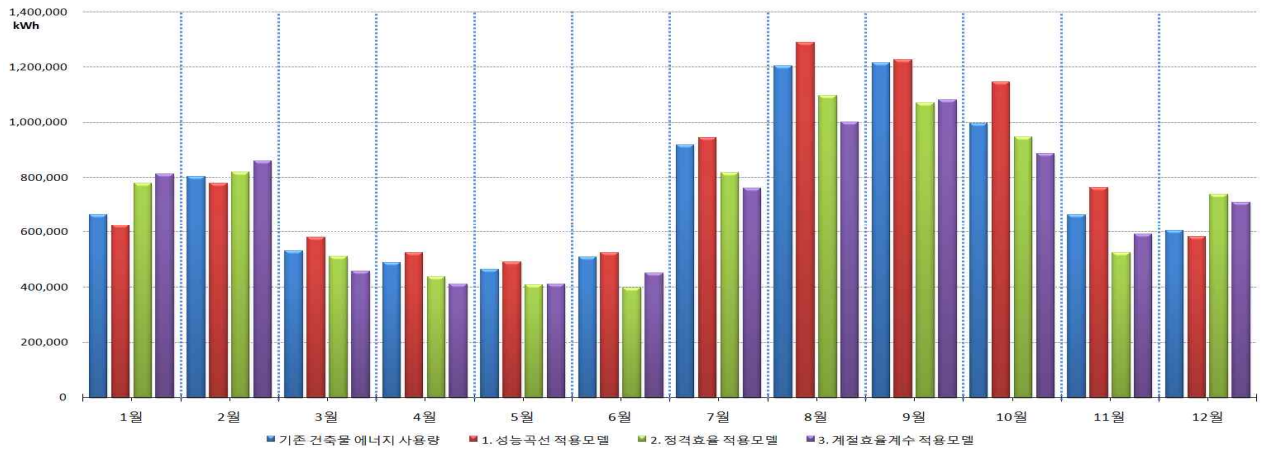
<표 2.265> 판매시설 B의 ASHRAE Guideline에 따른 신뢰성 검증 결과

구분	MBE(%)	Cv(RMSE)
판매시설 B 실제 에너지사용량	-	-
성능곡선 적용모델	4.45	9.46
정격효율 적용모델	-2.26	25.86
계절효율계수 적용모델	-5.60	10.04

○ 타당성 검증 결과, 성능곡선 데이터를 직접 시뮬레이션에 적용한 경우, MBE 값과 Cv(RMSE) 값 모두 ASHRAE Guideline의 신뢰성 기준을 만족하는 것으로 판단되었다.

(바) 판매시설 C

○ 판매시설 C의 실제 '2013년도 월간 에너지소비실적' 데이터와 대조모델 3개를 분석해 타당성을 검토하였다.



[그림 2.203] 판매시설 C의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프

<표 2.266> 판매시설 C의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조표

	대상 건축물 실제 에너지사용량	성능곡선 적용모델	정격효율 적용모델	계절효율계수 적용모델
1월	665,294	625,376	779,725	747,790
2월	803,976	779,857	820,859	860,254
3월	532,720	580,665	511,411	458,139
4월	490,118	524,426	438,656	411,699
5월	464,019	491,860	408,337	410,193
6월	509,964	525,263	397,772	501,295
7월	918,207	945,753	817,204	762,112
8월	1,205,817	1,290,224	1,097,293	1,121,410
9월	1,215,693	1,227,850	1,069,810	1,081,967
10월	997,154	1,146,727	947,296	887,467
11월	664,960	764,704	525,318	591,814
12월	606,434	582,177	739,243	709,528

○ 시뮬레이션 결과 데이터의 정확한 타당성 검증을 위해 ASHRAE Guideline의 프로세스를 적용시켰으며 신뢰성 검증 데이터는 다음과 같았다.

<표 2.267> 판매시설 C의 ASHRAE Guideline에 따른 신뢰성 검증 결과

구분	MBE(%)	Cv(RMSE)
판매시설 C 실제 에너지사용량	-	-
성능곡선 적용모델	4.52	8.33
정격효율 적용모델	-10.27	19.52
계절효율계수 적용모델	-7.01	15.07

○ 타당성 검증 결과, 성능곡선 데이터를 직접 시뮬레이션에 적용한 경우, MBE 값과 Cv(RMSE) 값 모두 ASHRAE Guideline의 신뢰성 기준을 만족하는 것으로 판단되었다.

(사) 검증 결과 종합

○ 대상건물 6개소의 타당성 검증결과, 성능곡선 적용모델이 오차율이 다른 모델들에 비해 상대적으로 낮은 것으로 확인 되었다.

○ 계절효율계수를 적용시킨 모델은 정격효율에 비해 오차율이 더 낮았지만 ASHRAE Guideline의 타당성 검증 조건을 만족하지는 못했다. 대상 건물의 각 모델별 타당성 검증 값들의 종합 표는 다음 <표 2.268>과 같다.

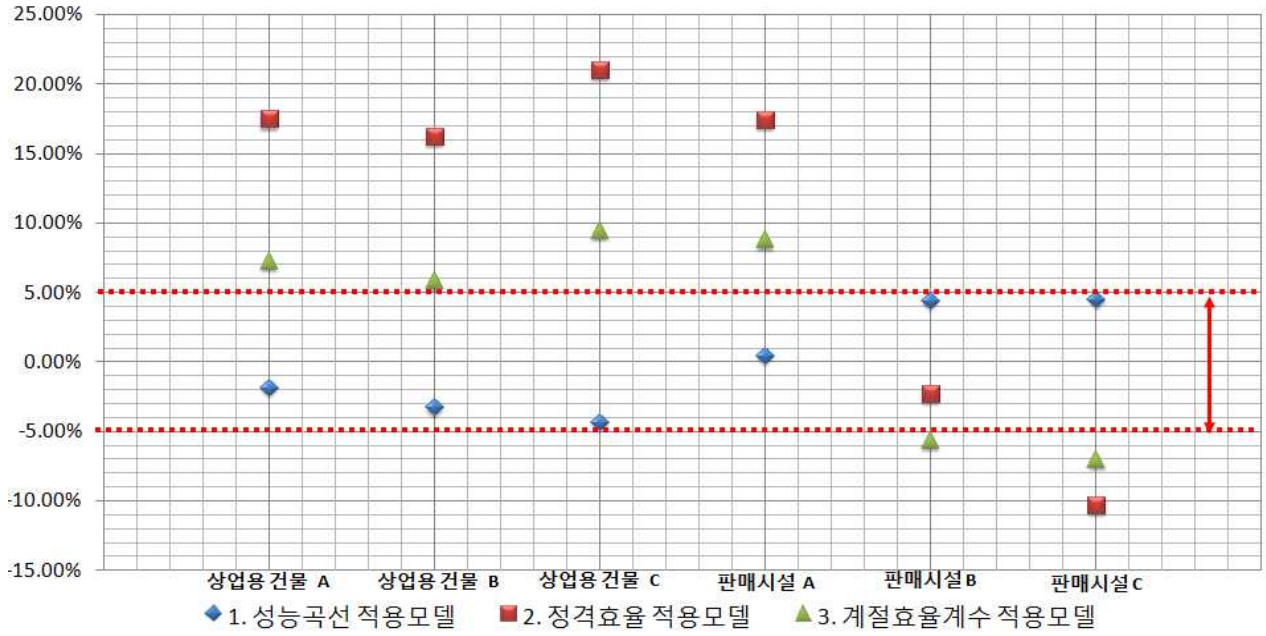
<표 2.268> ASHRAE Guideline에 따른 신뢰성 검증 결과

구분		MBE (%)	Cv(RMSE)
상업용 건물 A	성능곡선 적용모델	-1.83	7.81
	정격효율 적용모델	17.48	22.51
	계절효율계수 적용모델	7.32	13.14
상업용 건물 B	성능곡선 적용모델	-3.24	6.00
	정격효율 적용모델	16.25	22.20
	계절효율계수 적용모델	5.85	9.91
상업용 건물 C	성능곡선 적용모델	-4.33	11.08
	정격효율 적용모델	21.02	25.78
	계절효율계수 적용모델	9.48	15.82
판매시설 A	성능곡선 적용모델	0.47	9.65
	정격효율 적용모델	17.45	27.41
	계절효율계수 적용모델	8.80	14.24
판매시설 B	성능곡선 적용모델	4.45	9.46
	정격효율 적용모델	-2.26	25.86
	계절효율계수 적용모델	-5.60	10.04
판매시설 C	성능곡선 적용모델	4.52	8.33
	정격효율 적용모델	-10.27	19.52
	계절효율계수 적용모델	-7.01	15.07
비고	MBE (%) : ± 5 Cv(RMSE) (%) : 15		

○ 대상 건물별 모델 결과의 추이를 살펴보기 위해 분산형 그래프를 도시하였다. MBE의 경우 대부분의 대상 건축물들이 성능곡선적용모델을 적용시킨 경우 ASHRAE Guideline의 신뢰성 요구 값을 만족하는 것으로 확인되었다.

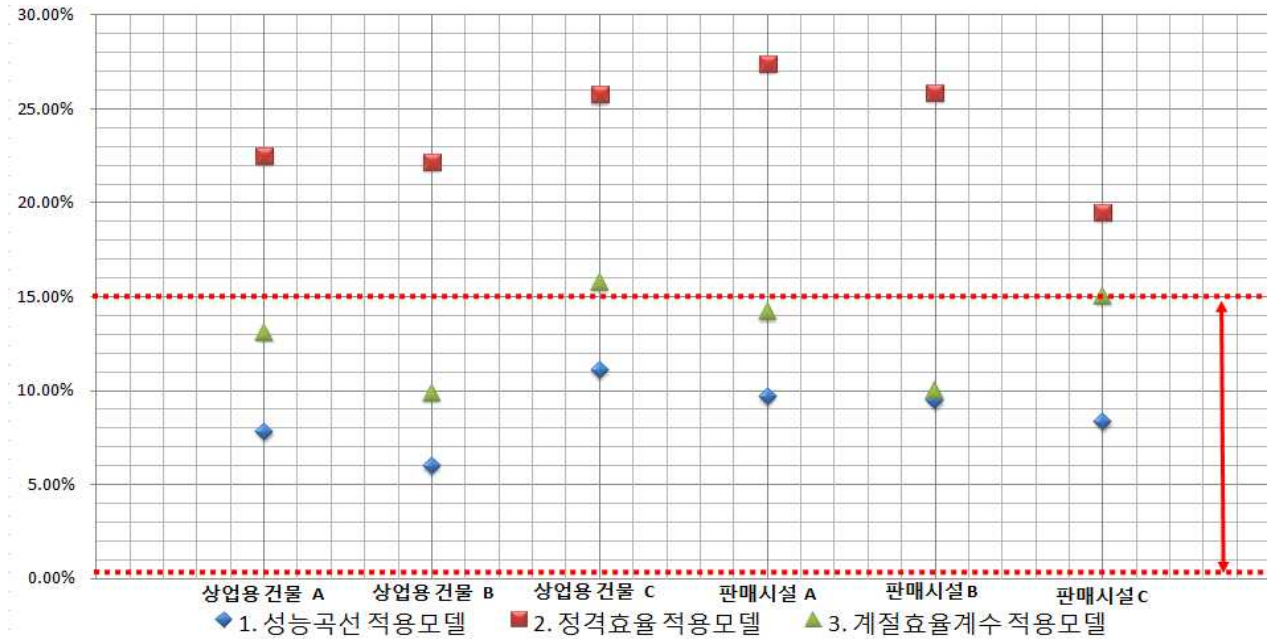
○ 그리고 상업용 건물의 경우 MBE 값의 편차 및 정확도 순이 일정하였지만 판매시설의 경우 일정치 않은 것으로 확인되었다.

○ 이는 재실인원이나 재실율의 변동이 크지 않은 상업용 건물에 비해 판매시설은 시간대나 기상에 따라 재실율의 변동이 매우 크기 때문으로 사료된다.



[그림 2.204] 대상 건물별 모델결과 추이 - MBE

○ Cv(RMSE)의 경우 정격효율 적용모델은 다른 모델들에 비해 오차율이 큰 것으로 확인되었으나, 계절효율계수 적용모델 및 성능곡선 적용모델은 ASHRAE Guideline의 신뢰성 요구값을 만족하는 것으로 확인되었다.



[그림 2.205] 대상 건물별 모델결과 추이 - Cv(RMSE)

(4) 대상 건물의 VE기법을 통한 의사결정모델 제시 검증

○ 대상 건물들의 Simulation 결과를 바탕으로 냉난방 설비기기 교체에 대한 의사결정모델을 위해 가치지수를 산출해 제시한다. 현재 확보된 냉난방 설비기기 DB를 활용하여 대상 건물들의 냉난방 설비기기 교체에 대한 의사결정모델을 제공한다.

(가) 상업용 건물 A

○ 상업용 건물 A는 S사의 흡수식냉온수기를 2대 대수제어로 운용하고 있으며 의사결정모델을 수행하기 위한 기본 정보는 다음 표와 같다.

<표 2.269> 상업용 건물 A에서 운전 중인 냉온수기 정보

	부분부하별 효율(COP)				용량(kW)
부분부하	25%	50%	75%	100%	1758
효율(COP)	1.32	1.61	1.47	1.3	

○ 피크 부하 및 설계율을 고려하였을 때 해당 냉온수기의 용량에 맞는 설비기기들을 DB에서 추출하였다. 냉온수기는 냉난방 모두를 가동하지만, 기존 2대에서 한 대를 난방에 활용하고, 냉방에 활용되는 냉온수기를 냉동기로 교체한다고 가정하고 추출된 설비 DB는 다음 표와 같다.

<표 2.270> 상업용 건물 A의 Retrofit 대상 설비기기 정보

제조사	모델명	용량 (kW)	부분부하별 효율				가격정보 (단위:천원)
			100%	75%	50%	25%	
L사	RCW***	1758	6.63	7.45	7.86	6.08	250,000
T사	CVH***	1758	6.08	7.22	7.80	6.07	355,000
C사	19X***	1758	5.72	8.09	11.70	8.97	652,000
Y사	YKL***	2109	6.13	7.28	7.58	5.93	315,000

○ 추출된 DB를 Retrofit 대상으로 보고 부분부하효율을 활용하여 기능평가를 실시하였고, 가격정보를 활용하여 비용평가를 실시하였다. 기능평가 및 비용평가 결과에 대한 가치지수 결과는 다음 표와 같다.

<표 2.271> 상업용 건물 A의 가치지수 산출 결과

제조사	모델명	기능 평가 지수 (F)	비용 평가 지수 (C)	가치지수 (V)
L사	RCW***	0.2419	0.1590	1.5216
T사	CVH***	0.2339	0.2258	1.0361
C사	19X***	0.2922	0.4148	0.7044
Y사	YKL***	0.2319	0.2004	1.1574

○ 상업용 건물 A의 냉방 설비의 Retrofit 대안으로는 L사의'RCW***'가 가장 가치지수가 높은 것으로 확인 되었다.

(나) 상업용 건물 B

○ 상업용 건물 B는 W사의 흡수식냉온수기를 2대 대수제어로 운용하고 있으며 의사결정모델을 수행하기 위한 기본 정보는 다음 표와 같다.

<표 2.272> 상업용 건물 B에서 운전 중인 냉온수기 정보

	부분부하별 효율(COP)				용량(kW)
부분부하	25%	50%	75%	100%	1407
효율(COP)	1.33	1.50	1.64	1.35	

○ 피크 부하 및 설계율을 고려하였을 때 해당 냉온수기의 용량에 맞는 설비기기들을 DB에서 추출하였다. 냉온수기는 냉난방 모두를 가동하지만, 기존 2대에서 한 대를 난방에 활용하고, 냉방에 활용되는 냉온수기를 냉동기로 교체한다고 가정하고 추출된 설비 DB는 다음 표와 같다.

<표 2.273> 상업용 건물 B의 Retrofit 대상 설비기기 정보

제조사	모델명	용량 (kW)	부분부하별 효율				가격정보 (단위:천원)
			100%	75%	50%	25%	
L사	RCW***	1407	5.72	6.54	6.95	5.17	236,000
Y사	YKF***	1407	6.01	7.29	7.64	5.58	285,000
C사	19X***	1407	5.53	6.24	6.50	4.57	330,200
T사	CVH***	1407	6.08	7.06	7.36	5.58	340,000

○ 추출된 DB를 Retrofit 대상으로 보고 부분부하효율을 활용하여 기능평가를 실시하였고, 가격정보를 활용하여 비용평가를 실시하였다. 기능평가 및 비용평가 결과에 대한 가치지수 결과는 다음 표와 같다.

<표 2.274> 상업용 건물 B의 가치지수 산출 결과

제조사	모델명	기능 평가 지수 (F)	비용 평가 지수 (C)	가치지수 (V)
L사	RCW***	0.2445	0.1981	1.2342
Y사	YKF***	0.2665	0.2393	1.1095
C사	19X***	0.2285	0.2772	0.8243
T사	CVH***	0.2615	0.2854	0.9163

○ 상업용 건물 B의 냉방 설비의 Retrofit 대안으로는 L사의'RCW***'가 가장 가치지수가 높은 것으로 확인 되었다.

(다) 상업용 건물 C

○ 상업용 건물 C는 E사의 흡수식냉온수기를 운용하고 있으며 의사결정모델을 수행하기 위한 기본 정보는 다음 표와 같다.

<표 2.275> 상업용 건물 C에서 운전 중인 냉온수기 정보

	부분부하별 효율(COP)				용량(kW)
부분부하	25%	50%	75%	100%	1758
효율(COP)	1.24	1.53	1.39	1.22	

○ 피크 부하 및 설계율을 고려하였을 때 해당 냉온수기의 용량에 맞는 설비기기들을 DB에서 추출하였다. 냉온수기는 냉난방 기간 모두 가동되기 때문에 같은 조건에서 운전이 가능한 냉온수기 DB를 활용하여 Retrofit 대안으로 선정한다. 상업용 건물 C의 Retrofit 대상 설비기기 정보는 다음 표와 같다.

<표 2.276> 상업용 건물 C의 Retrofit 대상 설비기기 정보

제조사	모델명	용량 (kW)	부분부하별 효율				가격정보 (단위:천원)
			100%	75%	50%	25%	
L사	WCS**50	1758	1.21	1.28	1.40	1.15	185,800
L사	WCD**56	1969	1.30	1.47	1.61	1.32	216,800
L사	WCD**50	1758	1.30	1.47	1.61	1.32	198,898
L사	WCD**45	1582	1.34	1.51	1.65	1.36	181,800

○ 추출된 DB를 Retrofit 대상으로 보고 부분부하효율을 활용하여 기능평가를 실시하였고, 가격정보를 활용하여 비용평가를 실시하였다. 기능평가 및 비용평가 결과에 대한 가치지수 결과는 다음 표와 같다.

<표 2.277> 상업용 건물 C의 가치지수 산출 결과

제조사	모델명	기능 평가 지수 (F)	비용 평가 지수 (C)	가치지수 (V)
L사	WCS**50	0.2262	0.2372	0.9537
L사	WCD**56	0.2555	0.2768	0.9232
L사	WCD**50	0.2555	0.2539	1.0063
L사	WCD**45	0.2627	0.2321	1.1320

○ 상업용 건물 C의 냉방 설비의 Retrofit 대안으로는 L사의‘WCD**45’가 가장 가치지수가 높은 것으로 확인 되었다.

(라) 판매시설 A

○ 판매시설 A는 D사의 흡수식냉온수기를 운용하고 있는데 부분부하효율에 대한 데이터가 없어 현장조사를 통해 효율을 측정하였다. 기본적인 용량 데이터는 설계당시 설비 성능 계산서를 통해 기본적인 정보를 입수하였다. 판매시설 A의 냉온수기 용량 데이터는 다음 표와 같다.

<표 2.278> 판매시설 A에서 운전 중인 냉온수기 정보

	부분부하별 효율(COP)				용량(kW)
부분부하	25%	50%	75%	100%	1758
효율(COP)	· 현장측정을 통해 산출				

○ 피크 부하 및 설계율을 고려하였을 때 해당 냉온수기의 용량에 맞는 설비기기들을 DB에서 추출하였다. 기존 적용 중인 냉온수기는 냉난방 기간 모두 가동되고 있으나 효율이 좋지 않아 난방으로 돌리고 냉방을 위한 냉동기를 설치하는 조건으로 Retrofit 프로세스를 진행한다. 때문에 같은 조건에서 운전이 가능한 냉동기 DB를 활용하여 Retrofit 대안으로 선정한다. 판매시설 A의 Retrofit 대상 설비기기 정보는 다음 표와 같다.

<표 2.279> 판매시설 A의 Retrofit 대상 설비기기 정보

제조사	모델명	용량 (kW)	부분부하별 효율				가격정보 (단위:천원)
			100%	75%	50%	25%	
C사	19X***	1758	5.84	6.72	6.97	5.05	462,700
T사	CVH***	1758	6.08	7.22	7.80	6.07	355,000
C사	19*R**	1758	5.72	8.09	11.70	8.97	652,000
Y사	YKL***	2110	6.13	7.28	7.59	5.93	315,000

○ 추출된 DB를 Retrofit 대상으로 보고 부분부하효율을 활용하여 기능평가를 실시하였고, 가격정보를 활용하여 비용평가를 실시하였다. 기능평가 및 비용평가 결과에 대한 가치지수 결과는 다음 표와 같다.

<표 2.280> 판매시설 A의 가치지수 산출 결과

제조사	모델명	기능 평가 지수 (F)	비용 평가 지수 (C)	가치지수 (V)
C사	19X***	0.2185	0.2593	0.8427
T사	CVH***	0.2410	0.1989	1.2117
C사	19*R**	0.3013	0.3653	0.8247
Y사	YKL***	0.2393	0.1765	1.3555

○ 판매시설 A의 냉방 설비의 Retrofit 대안으로는 Y사의‘YKL***’가 가장 가치지수가 높은 것으로 확인 되었다.

(마) 판매시설 B

○ 판매시설 B는 T사의 터보 냉동기를 운용하고 있다. 판매시설 B에서 운용 중인 터보 냉동기의 기본 정보는 다음 표와 같다.

<표 2.281> 판매시설 B에서 운전 중인 냉동기 정보

	부분부하별 효율(COP)				용량(kW)
부분부하	25%	50%	75%	100%	2316
효율(COP)	6.08	7.22	7.80	6.07	

○ 피크 부하 및 설계율을 고려하였을 때 해당 냉동기의 용량에 맞는 설비기기들을 DB에서 추출하였다. 동일한 조건으로 운전 가능한 냉동기 DB를 활용하여 Retrofit 대안으로 선정한다. 판매시설 B의 Retrofit 대상 설비기기 정보는 다음 표와 같다.

<표 2.282> 판매시설 B의 Retrofit 대상 설비기기 정보

제조사	모델명	용량 (kW)	부분부하별 효율				가격정보 (단위:천원)
			100%	75%	50%	25%	
T사	CVH***	2461	6.12	7.31	8.06	6.43	421,000
C사	19X***	2462	6.10	7.12	7.41	5.44	527,200
C사	19X**V	2462	5.87	8.16	12.31	8.66	717,000
L사	075***	2637	6.28	7.10	7.51	5.74	320,000

○ 추출된 DB를 Retrofit 대상으로 보고 부분부하효율을 활용하여 기능평가를 실시하였고, 가격정보를 활용하여 비용평가를 실시하였다. 기능평가 및 비용평가 결과에 대한 가치지수 결과는 다음 표와 같다.

<표 2.283> 판매시설 B의 가치지수 산출 결과

제조사	모델명	기능 평가 지수 (F)	비용 평가 지수 (C)	가치지수 (V)
T사	CVH***	0.2426	0.2121	1.1436
C사	19X***	0.2268	0.2656	0.8539
C사	19X**V	0.2986	0.3612	0.8266
L사	075***	0.2321	0.1612	1.4396

○ 판매시설 B의 냉방 설비의 Retrofit 대안으로는 L사의‘075***’가 가장 가치지수가 높은 것으로 확인 되었다.

(바) 판매시설 C

○ 판매시설 C는 L사의 터보 냉동기를 운용하고 있다. 판매시설 C에서 운용 중인 터보 냉동기의 기본 정보는 다음 표와 같다.

<표 2.284> 판매시설 C에서 운전 중인 냉동기 정보

	부분부하별 효율(COP)				용량(kW)
부분부하	25%	50%	75%	100%	2625
효율(COP)	5.41	6.23	6.64	4.86	

○ 피크 부하 및 설계율을 고려하였을 때 해당 냉동기의 용량에 맞는 설비기기들을 DB에서 추출하였다. 동일한 조건으로 운전 가능한 냉동기 DB를 활용하여 Retrofit 대안으로 선정한다. 판매시설 C의 Retrofit 대상 설비기기 정보는 다음 표와 같다.

<표 2.285> 판매시설 C의 Retrofit 대상 설비기기 정보

제조사	모델명	용량 (kW)	부분부하별 효율				가격정보 (단위:천원)
			100%	75%	50%	25%	
Y사	YKM***	2813	6.21	7.48	11.03	6.34	330,000
L사	075***	2637	6.28	7.10	7.51	5.74	320,000
T사	CVH***	2813	6.09	7.39	8.16	6.54	428,000
L사	080***	2813	6.51	7.33	7.73	5.97	335,000

○ 추출된 DB를 Retrofit 대상으로 보고 부분부하효율을 활용하여 기능평가를 실시하였고, 가격정보를 활용하여 비용평가를 실시하였다. 기능평가 및 비용평가 결과에 대한 가치지수 결과는 다음 표와 같다.

<표 2.286> 판매시설 C의 가치지수 산출 결과

제조사	모델명	기능 평가 지수 (F)	비용 평가 지수 (C)	가치지수 (V)
Y사	YKM***	1.081	0.2335	1.1574
L사	075***	0.944	0.2265	1.0419
T사	CVH***	0.998	0.3029	0.8237
L사	080***	0.977	0.2371	1.0302

○ 판매시설 C의 냉방 설비의 Retrofit 대안으로는 Y사의'YKM***'가 가장 가치지수가 높은 것으로 확인 되었다.

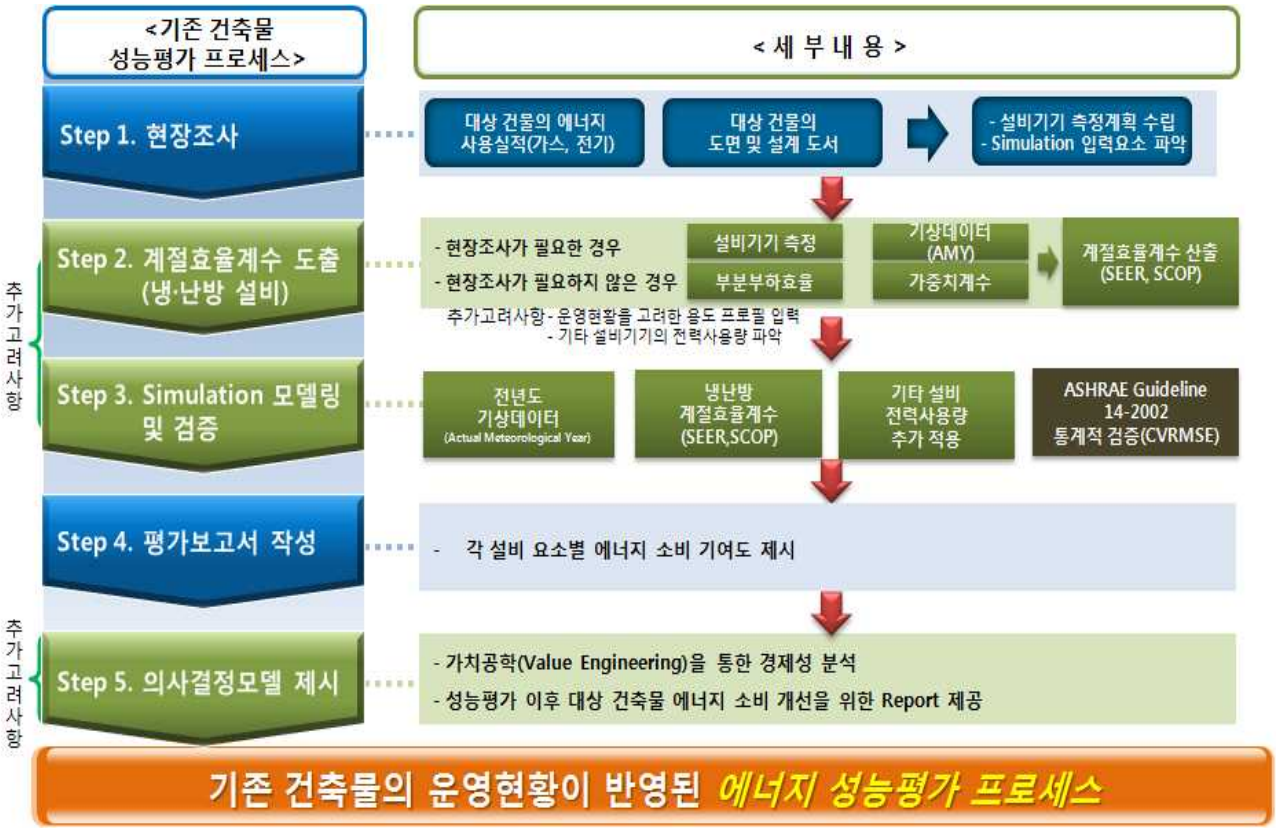
나. 기존건물의 성능평가 및 Retrofit 프로세스의 표준 제시

○ 현재 건물에너지 정책에 시행되고 있는 기존 건물 성능평가 프로세스는 현장 상황 및 Retrofit이 고려되지 않아 추가 고려사항이 필요한 실정이다.

○ 따라서 본 연구에서는 현장 상황 및 건물 에너지 소비 개선을 위한 프로세스를 추가하여 'Retrofit 및 현장 상황이 고려된 기존 건물 성능평가 프로세스'를 제시하였다.

○ 냉난방 계절효율계수 도출 및 Simulation 모델링 검증 작업을 통해 기존 건물의 현장상황을 고려하고, 가치공학을 통한 경제성분석을 통해 Retrofit 의사결정모델을 제시한다.

○ 다음 그림은 본 연구에서 제시하는 기존 건축물 성능평가 및 Retrofit 프로세스 표준의 순서도이다.



[그림 2.206] 기존 건물의 성능평가 및 Retrofit 표준 프로세스 순서도

2. 소비량 검증(G & S !NNOVATION)

가. 분석 개요

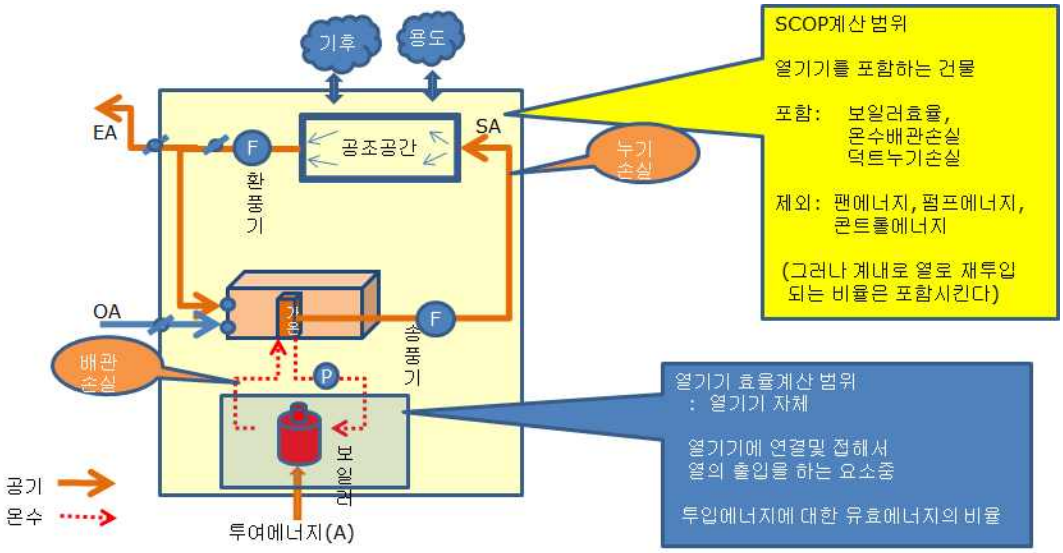
(1) SCOP(heating Seasonal Coefficient of Performance), SSEER(Seasonal System Energy Efficiency Ratio for cooling)의 개념

(가) SCOP/SSEER (기기의 냉난방 운전) 효율 계수 개념은 제조 업체에서 제공하는 단일기기(EHP, 냉동기, 보일러 등)의 명판(정격) 효율 대신 실제 건물에 설치하여 운전하였을 때의 실질적인 효율을 나타내기 위해 도입되는 것이다. SCOP/SSEER 효율은 단일기기의 정격 효율 조건과 실제 운영되는 건축물의 특성 및 운전 조건을 반영한 것으로 이론적 계산 범위 차이는 아래 표에 나타난 바와 같다.

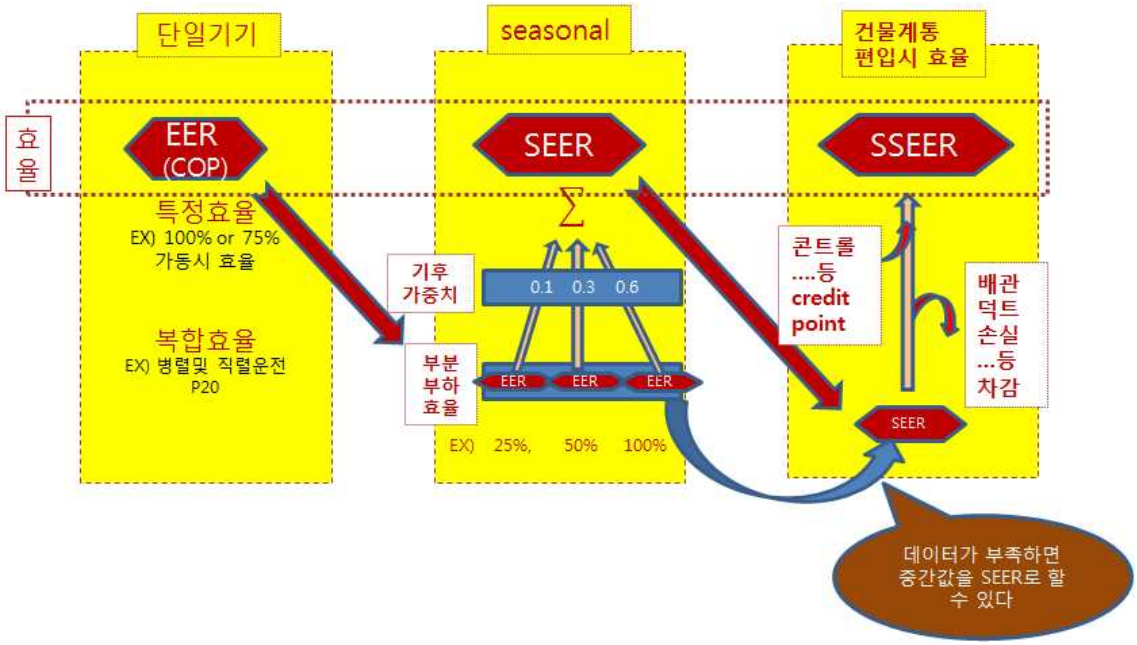
<표 2.287> 단일 기기와 건축물 통합시의 기기의 효율 산출 조건

	기후 조건	기기에 걸리는 부하
단일기기	최대 부하 발생 설계 일	기기의 입출력 물/공기의 온도 및 유량/풍량
건축물에 설치된 기기	기간에 시간마다 변동하는 외기 조건	건물의 구조에 의한 열 특성, 간헐/연속 운전에 따른 부하 및 배관, 덕트 열 에너지 반송 손실.

○ 즉, 정격효율과 기기 운전 효율의 산출은 에너지 부하의 범위를 다르게 적용하는 데서 비롯된 것이다. [그림 2.207]은 효율계산 범위를 도식화 한 것이다. 단일기기의 효율은 보일러 등 이 기기에 직접 연결된 부분에 전달하는 것을 최종 유효에너지로 보는 범위에서 계산 된 것이다. [그림 2.208] 에는 단일기기 효율 계절(Seasonal,기간)과 System(건물)요소를 단계적으로 반영함을 보이고 있다. 단일기기의 효율을 기후 및 손실요인을 단계적으로 반영한다면 <표 2.288>과 같이 정리할 수 있다. 에너지요소의 복합체인 건축물의 속성 모두를 고려한 효율보정은 불가능하다. 단지 본 연구에서는 주요한 편차 요소인 외기, 배관 덕트 등 대표적 손실 요인을 보정하는 범위에서 SCOP와 SSEER을 도출할 것이다.



[그림 2.207] 난방기기의 기기 운전 효율(SCOP)의 계산 범위



[그림 2.208] 냉열원기기의 효율용어

<표 2.288> 에너지 효율 관련 용어 비교표

난방	BE	Boiler Efficiency	단일보일러의 효율
	BSE	Boiler Seasonal Efficiency	기후 가중치를 반영한 성능계수
	SCOP	heating Seasonal Coefficient of Performance	건물 내 손실을 반영한 효율
냉방	EER	Energy Efficiency Ratio	단일기기의 성능
	SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio for cooling	기후 가중치를 반영한 성능계수
	SSEER	Seasonal System Energy Efficiency Ratio for cooling	건물 내 손실을 반영한 손실계수

(나) SCOP/SSEER 산출방법

○ 건물 에너지 성능 평가를 위해 에너지 시스템의 운전 효율을 구하기 위해서는 건물의 연간 시간별 부분 부하 특성을 파악 하여 그 부분부하에 대응하는 기기의 부분부하 효율을 매칭 시켜 산출 하여야 한다.

○ 기기의 부분부하별 효율은 통상적으로 제조사가 성능 곡선을 제공하거나 부분부하를 0~25% 범위의 효율, 25~50% 범위의 효율, 50~75% 범위의 효율, 75~100% 범위의 효율을 제공한다. 성능 곡선은 정밀 시뮬레이션 툴 등에 에너지 소비량 계산을 위해 사용될 수 있을 정도로 운전조건(입출구 공기/물의 온도별)에 따른 효율을 계산하는데 정밀성이 있는 장점이 있으나 모든 제조사가 정보 제공을 하고 있지는 않다. 한편, 4가지 부분 부하 범위별 효율은 어느 정도의 오차를 허용하나 간단히 적용할 수 있는 장점이 있다. 표준 모델에 적용하

는데 중요한 요소는 데이터의 확보 여부이며 본 연구 조사를 수행한 결과 국내 제조사들은 이 데이터를 모두 제공 하고 있다.

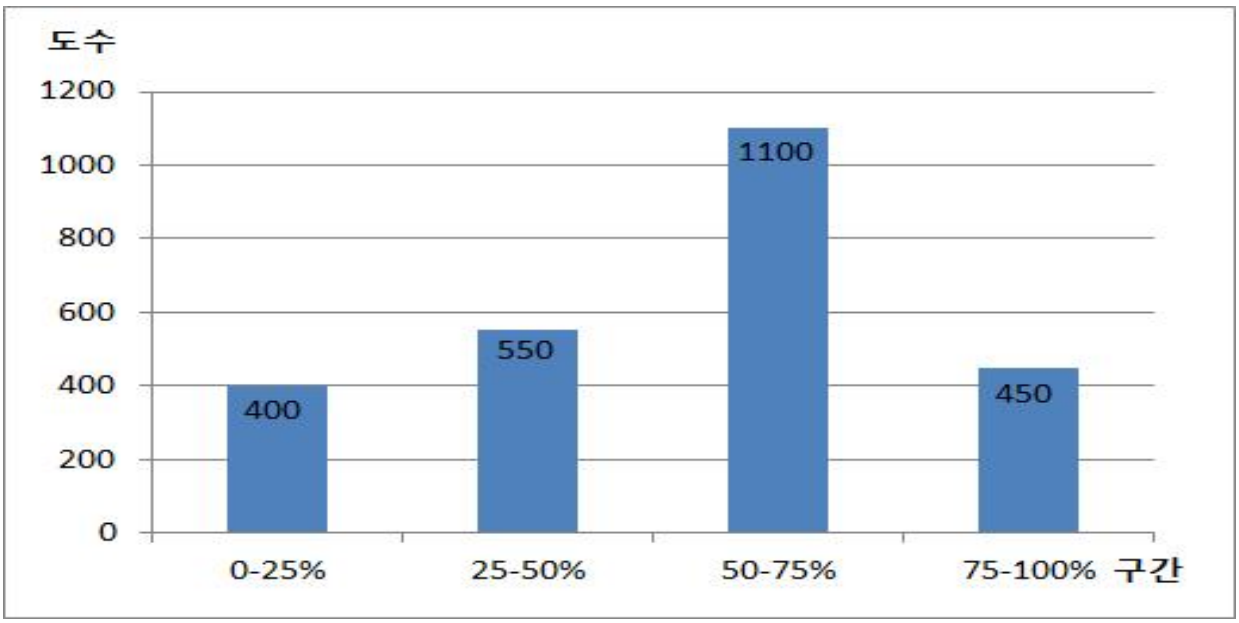
○ 부분부하에 따른 부분부하 효율 산출법은 에어컨디셔너의 경우 SEER은 KS C 9306에 제시된 바 있다. 외기 온도에 따른 부하 가중치 곡선을 적용하여 기기 설치 운전 되는 지역의 기후에 따라 부분부하 가중치를 산출한 후 기기의 부분부하의 효율 적용하여 SEER을 계산한다. 이때 사용된 온도별 부하 곡선은 표준 건물을 대상으로 부하를 미리 계산 한 후 만들어진 곡선이어서 건물의 구조, 유형, 운전 스케줄이 표준으로 고정된 값이다.

○ 본 연구에서는 이 SEER의 산출법을 근간으로 하되 건물 구조유형, 용도 별 부하 특성을 반영하여 연간 25%, 50%, 75%, 100%의 부분부하 가중치를 제시하고 제조사가 통상 제공하는 25%, 50%, 75%, 100% 부분부하시의 효율 계수값을 적용하여 SSEER/SCOP를 계산하는 방안을 제안한다. 여기서 건물의 연간 부분부하 가중치는 측정을 통해 구하거나, 정밀 시뮬레이션을 통해 구할 수 있는 것으로 건물 구조, 용도별로 다른 가중치를 갖게 된다. 본 연구에서는 부분 부하 가중치는 EnergyPlus의 건물 모델을 작성하여 연간 시간별 냉난방 부하를 시뮬레이션을 한 후 이를 각 부분부하 구간별로 통계적으로 합산하여 구하였다.

○ 본 산출법에 기반한 소비량 계산법은 그 신뢰성을 플란트 모델이 추가된 에너지 플러스의 통합 시뮬레이션을 수행하여 연간 플란트 소비량 계산 결과와 비교 하였다.

○ 이때 사무실, 아파트, 상업용 건물 등 용도별로 에너지 반송 및 분배에 다른 손실 비율은 일반적인 계수값(통상 5-10%)을 적용하였고, 이 손실요인을 반영하여 에너지 요구량을 산출 하였다. 또한 건물 용도에 따른 플란트 기기의 부분부하 가중치이므로 존별로 계산된 요구량을 모두 합산한 부하값을 적용하여야 하는 것으로 하였다.

① EnergyPlus의 부하가중치와 제조사의 부분부하효율로 SSEER 구하는 방법



[그림 2.209] 냉방부하산포도 예 (냉방부하시간:2,500시간인 경우)

$$\frac{(0-0.25)\text{의 부하를 요하는 시간의 계}(hour)}{\text{냉방부하시간}(hour)} = \frac{400(hour)}{2500(hour)} = 16\%$$

$$\frac{(0.25-0.5)\text{의 부하를 요하는 시간의 계}(hour)}{\text{냉방부하시간}(hour)} = \frac{550(hour)}{2500(hour)} = 22\%$$

$$\frac{(0.5-0.75)\text{의 부하를 요하는 시간의 계}(hour)}{\text{냉방부하시간}(hour)} = \frac{1100(hour)}{2500(hour)} = 44\%$$

$$\frac{(0.75-1)\text{의 부하를 요하는 시간의 계}(hour)}{\text{냉방부하시간}(hour)} = \frac{450(hour)}{2500(hour)} = 18\%$$

<표 2.289> 부하별 COP 가중치 (부분부하별 COP는 제조업체에서 제공)

	부분부하 25%	부분부하 50%	부분부하 75%	부분부하 100%
연간 부하비율	16%	22%	44%	18%
부분부하별COP	4.75	5.38	5.77	5.66

○ SSEER(부하가중치율)=[(0.16×4.75)+(0.22×5.38)+(0.44×5.77)+(0.18×5.66)] = 5.5012

○ 운송손실이 2% 인 경우 :
SSEER[건물 유형에 따른 손실(배관 및 덕트손실 등) 반영] = 5.5012 × 0.98 = 5.3912

○ 아래 <표 2.290>은 지역별, 용도별, 설비유형별 최종 SSEER을 보여주고 있다.

소요량 = 요구량/SSEER

<표 2.290> 지역별, 용도별 설비유형별 SSEER

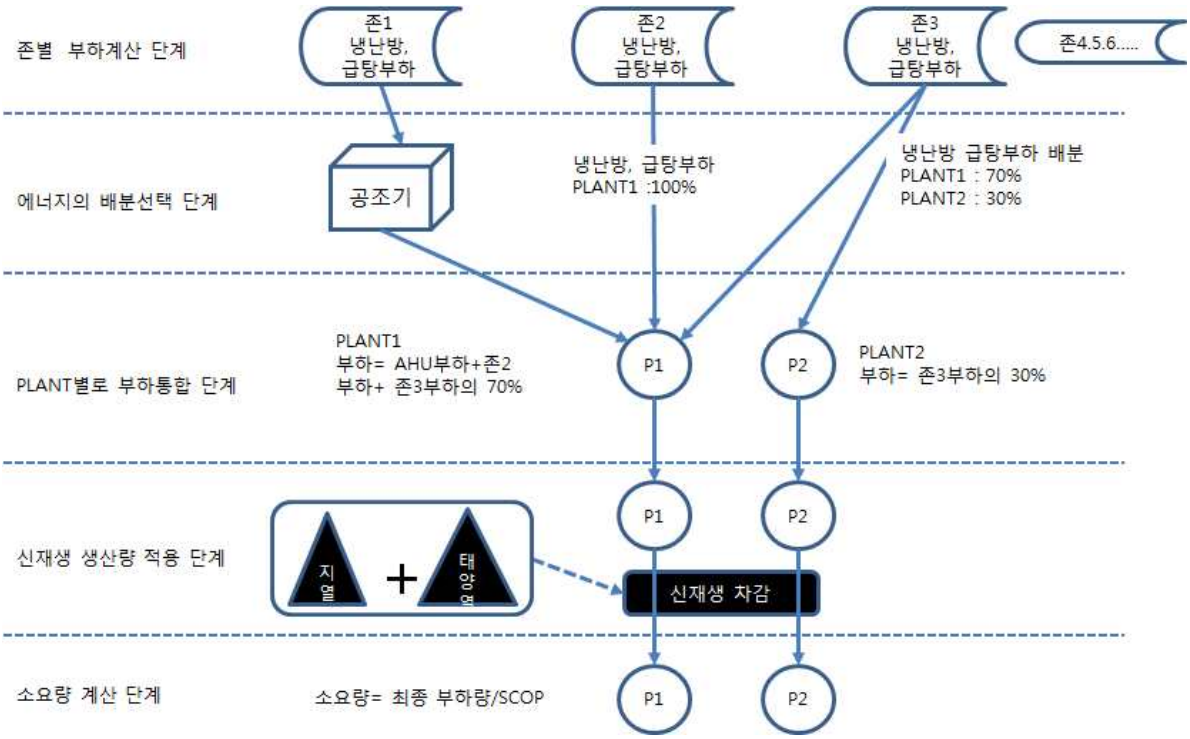
SSEER 표				
지역	플란트유형	건물유형		
		사무실	매장	공동주택
서울	EHP	5.39	5.37	5.32
울산	EHP	5.21	5.26	5.37
부산	GHP	5.26	5.37	5.32
광주	EHP	5.32	5.37	5.32
대전	EHP	5.21	5.26	5.37
대구	GHP	5.26	5.37	5.32

(다) 시스템의 사양 전체를 입력하여 구하는 방법

○ 부하의 비율만 도출하여 SSEER을 구하는 방법에 비교하여 이 방법은 시스템에 대한 상세한 데이터(성능곡선..등)를 입력하여 보다 정밀한 시뮬레이션 방법이 된다. 이 경우 설비에 대한 건물용도별, 설비유형별, 지역의 기후별 특성을 반영하므로 가장 정밀한 시뮬레이션이 가능하고 볼 수 있다. 그러나 현장기술자가 쉽게 입력하기가 어려운 전문자료가 요구된다는 단점이 있다.

(라) 부하에서 소요량을 도출하는 프로세스

○ 이 프로세스는 각 존별로 계산된 부하량으로 부터 소요량을 구하는 것이다. 프로세스를 단계별로 설명한다면 아래와 같다.



[그림 2.210] 소요량 도출 프로세스

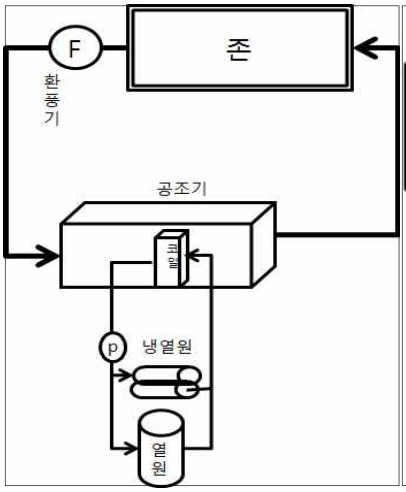
① 존별 냉난방 부하계산 단계

○ 프로젝트, 빌딩, 존 정보..등 기본 및 세부선택 사항을 근거하여 부하를 존별, 월별, 종류별(냉방, 난방, 급탕, 조명)로 도출

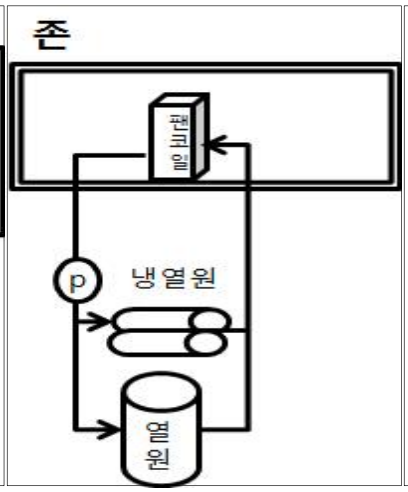
② 에너지 배분 선택 단계

○ 존의 부하를 처리하기 위한 설비는 존이 직접 설비에 연결되는 경우와 공조기를 통한 간접 연결되는 경우가 있다. 공조기를 통한 부하처리방식에서는 공조기에 연결된 냉.난방 환기설비가 그 존의 연계장비가 된다.

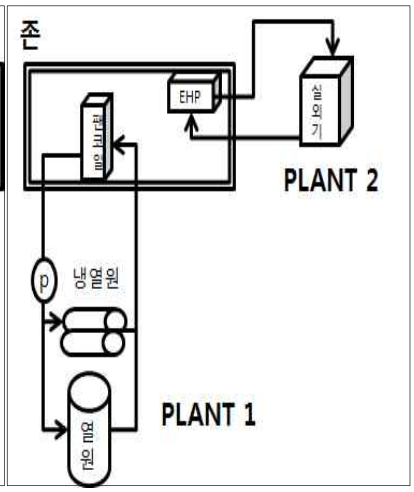
○ 또한, 동일한 존에 난방, 냉방..등 같은 종류의 부하를 처리하기 위하여 두 가지 이상의 설비가 연계되는 경우, TOOL은 두 번째 설비의 부하처리비율을 요구하게 된다. 일례로 존3의 냉난방 부하 처리하기 위해 메인설비와 서브설비가 연결된다고 선택이 되면, 두 번째 설비의 부하처리비율을 입력해야 한다. 위 경우 서브설비인 PLANT2의 처리비율이 30%로 기록이 되었고, 결과적으로 PLANT1의 부담률은 100-30=70%가 된다.



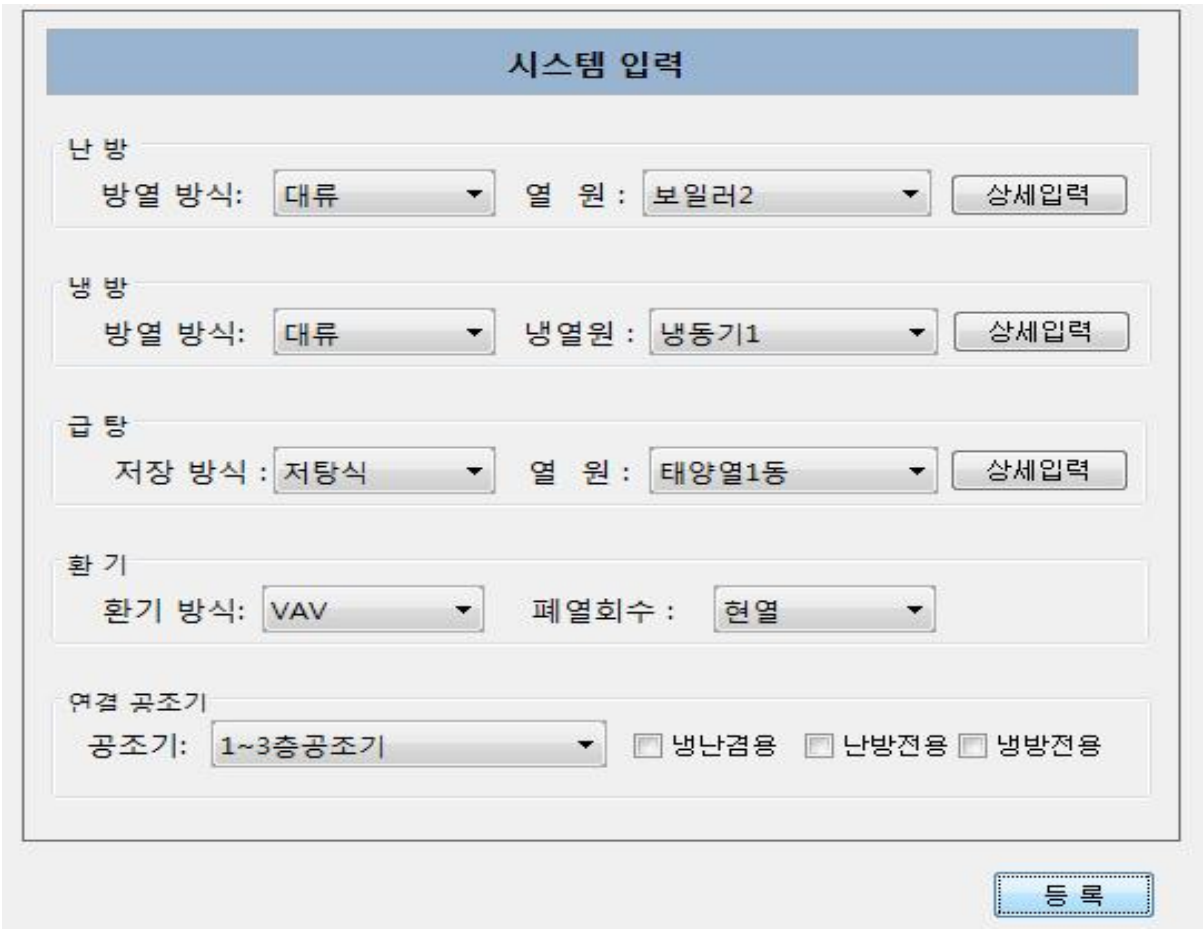
[그림 2.211] 공조기를 통한 PLANT연결 (존1 예)



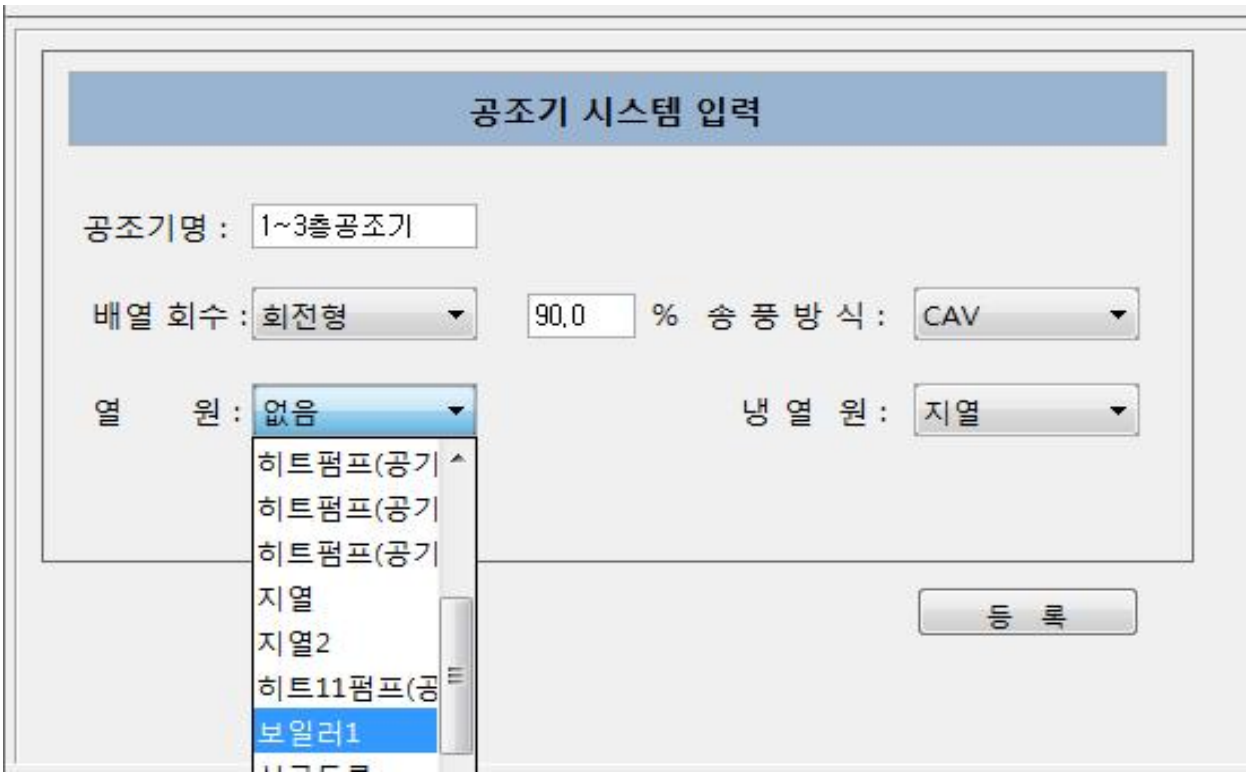
[그림 2.212] PLANT배관이 존에 직접 연결(존2 예)



[그림 2.213] 1존에 PLANT가 2개 연결(존3 예)



[그림 2.214] 존의 설비선택



[그림 2.215] 공조기의 열원선택

③ PLANT 별로 부하 통합 단계

○ 존의 설비로 선택된 경로를 따라서 최종으로 PLANT로 냉.난방부하가 통합된다. 상기 예는 존1의 냉.난방부하와 존2의 냉.난방부하 그리고 존3의 냉.난방부하의 70%가 PLANT1으로 할당이 되고, 존3의 냉.난방부하의 30%가 PLANT2로 할당된다.

④ 신재생 생산량 적용 단계

○ 할당된 냉.난방 부하는 우선적으로 신재생 설비로 처리한다. 신재생에너지는 생산량이 열 생산량과 전기 생산량으로 구분되어 모아지게 되고, 열 생산량은 급탕과 난방부하를 처리한다.

○ 신재생 생산량과 부하량의 매칭은 월 단위로 한다. 신재생 생산량이 전체 PLANT에 할당된 부하량보다 크다면 각 PLANT의 부하량을 상쇄하고 남는 신재생 생산량은 버려진다.

○ 신재생 생산량이 PLANT에 할당된 전체부하보다 적으면, 순차적으로 PLANT의 할당부하를 상쇄한다. 상쇄순서는 효율이 낮은 PLANT의 할당부하를 먼저 상쇄한다. 일례로 PLANT1의 효율이 낮다면, 우선 PLANT1의 할당부하를 상쇄하고, PLANT2의 할당부하량에서 잔여 신재생 부하량을 차감 한다.

<표 2.291> 신재생 생산량 적용 예

NO	신재생 생산량 (kW)	급탕 부하량 (kW)	급탕부하 잔여량 (kW)	난방 부하량 (kW)	난방부하 잔여량 (kW)	신재생 잔여량 (kW)
1	100	30	0	50	0	20
2	100	150	50	150	150	0
3	100	50	0	100	50	0

○ <표 2.291>의 NO1의 경우 신재생 열생산량이 100kW이고, 급탕부하가 30kW이고, 난방부하가 50kW이라면, 신재생 열생산량이 급탕과 난방부하를 합친 것보다 많으므로 급탕과 난방부하 모두를 상쇄하고도 20kW의 열량이 남는다. 이 경우 열생산을 위한 설비작동을 안하게 되며, 잔여량 열량은 버려지는 것으로 계산한다.
○ NO2의 경우 신재생 열생산량(100kW)이 급탕 부하량(150kW)보다 적으므로 일부 급탕부하량을 상쇄하고 신재생 열생산량은 소진된다. 이 경우 급탕설비는 급탕부하 잔여량(50kW)를 처리할 정도의 가동을 하게 되며, 난방부하는 상쇄할 수 없으므로 부하량 전체를 난방설비가 가동되어 처리하게 된다.
○ NO3의 경우는 신재생 열생산량(100kW)이 급탕 부하량(50kW)보다 많으므로 급탕부하량을 전제를 상쇄하게 되며, 잔여 신재생 열량(50Kw) 만큼 난방부하량을 상쇄하게 된다. 난방부하 잔여량 50kW가 되어 난방설비는 이 부하를 처리하는 정도로 가동하게 된다.

⑤ 소요량 계산 단계
○ 신재생 생산량을 상쇄한 부하가 설비의 최종부하로 PLANT에 남겨진다. PLANT의 소요량은 이 최종 할당 부하량으로 부터 도출된다.
○ 난방소요량 = (ΣPLANT의 최종부하/PLANT의 SCOP)
○ 냉방소요량 = (ΣPLANT의 최종부하/PLANT의 SSEER)

(마) 구현

① 데이터 테이블
○ SCOP계산에 관련된 테이블은 TZONE, PLANT, PARTLOAD_WEIGHTING_FACTOR, RESULT, RESULT_RENEW이다.

② TZONE 테이블
○ 존의 전체 정보를 보관하는 테이블로써, SCOP계산에 관여하는 PLANT와 연계방식 정보를 저장하고 있다.

③ TZONE 테이블 SCOP관련 입력사례

<표 2.292> PLANT테이블의 ATTRIBUTE컬럼의 상세입력(온열원, 냉열원)

컬럼명	입력 예	표준값
HEATING_PLANT_NAME1	보일러, EHP, GHP, 태양열	없음
COOLING_PLANT_NAME1	냉동기, EHP, GHP	없음
HWS_PLANT_NAME1	보일러, 태양열	없음
HEATING_PLANT_NAME2	보일러, EHP, GHP, 태양열	없음
COOLING_PLANT_NAME2	냉동기, EHP, GHP	없음
HWS_PLANT_NAME2	보일러, 태양열	없음
HEATING_PLANT_RATE2	서브 난방설비의 부하처리비율이 30%이면, 100-30=70(%)가 메인설비의 부하부담율이 된다	없음
COOLING_PLANT_RATE2	서브 냉방설비의 부하처리비율이 20%이면, 100-20=80(%)가 메인설비의 부하부담율이 된다	없음
HWS_PLANT_RATE2	서브 급탕설비의 부하처리비율이 10%이면, 100-10=90(%)가 메인설비의 부하부담율이 된다	없음

④ PLANT 테이블

○ PLANT의 정보를 저장하는 테이블 이다. TYPE은 PLANT의 분류를 위한 코드로 구체적인 구분은 다음 <표 2.293>과 같다. 다양한 PLANT의 속성값을 효과적으로 저장하기 위하여 ATTRIBUTE컬럼이 설계되었다. TVALUE컬럼은 ATTRIBUTE컬럼의 대응하는 항목으로 구체적인 값을 저장한다.

⑤ ATTRIBUTE컬럼의 상세 설명

○ 태양열, 히트펌프, 보일러, 등의 냉온열원 및 전력원을 입력하는 ATTRIBUTE이다.

<표 2.293> PLANT테이블의 ATTRIBUTE컬럼의 상세입력(온열원, 냉열원)

PLANT 종류		ATTRIBUTE명	내용	표준값
온열원	태양열	NAME	설비명	
		CAPACITY	설비의 정격용량	
		ORIENTATION	설치방위	남
		ANGLE:	집열판의 설치각	45도
		CIRCULATION	집열판과 저장탱크의 순환 방식	강제순환
		STORE	생산열의 저장방식,	저탕식
		SOLARPLATE	집열판의 종류,	
	히트펌프 (지열)	NAME	설비명	
		CAPACITY	설비의 정격용량	
		EQUIPKIND	:장비종류(폐쇄형,개발형..등)	
		EQUIPKIND	종류(폐쇄형, 개발형)	폐쇄형
		HEATCOP25	부분부하25%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP50	부분부하50%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP75	부분부하75%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP100	부분부하100%로 가동난방시의 효율,	0
	히트펌프 (공기열)	NAME	설비명	
		CAPACITY	설비의 정격용량	
		HEATCOP25	부분부하25%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP50	부분부하50%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP75	부분부하75%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP100	부분부하100%로 가동난방시의 효율,	0
	보일러	NAME	설비명	
		CAPACITY	설비의 정격용량	
		HEATRECOVERY	열회수 종류(전열, 현열)	전열
		HEATCOP25	부분부하25%로 가동시의 효율,	0
		HEATCOP50	부분부하50%로 가동시의 효율,	0
		HEATCOP75	부분부하75%로 가동시의 효율,	0
		HEATCOP100	부분부하100%로 가동시의 효율,	0
냉열원	터보식	NAME	설비명	
		CAPACITY	설비의 정격용량	
		KIND	종류(전력, 가스)	전력
		HEATCOP25	부분부하25%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP50	부분부하50%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP75	부분부하75%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP100	부분부하100%로 가동난방시의 효율,	0
	흡수식	NAME	설비명	
		CAPACITY	설비의 정격용량	
		KIND	종류(가스, 증기, 온수)	가스
		HEATCOP25	부분부하25%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP50	부분부하50%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP75	부분부하75%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP100	부분부하100%로 가동난방시의 효율,	0
	히트펌프(지열)	NAME	설비명	
		CAPACITY	설비의 정격용량	
		EQUIPKIND	종류(폐쇄형, 개발형)	폐쇄형
		HEATCOP25	부분부하25%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP50	부분부하50%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP75	부분부하75%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP100	부분부하100%로 가동난방시의 효율,	0
	히트펌프 (공기열)	NAME	설비명	
		CAPACITY	설비의 정격용량	
		HEATCOP25	부분부하25%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP50	부분부하50%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP75	부분부하75%로 가동난방시의 효율,	0
		HEATCOP100	부분부하100%로 가동난방시의 효율,	0

<표 2.294> PLANT테이블의 ATTRIBUTE컬럼의 상세입력(전력원)

PLANT 종류		ATTRIBUTE명	내용	표준값
전력원	태양광	NAME	설비명	
		CAPACITY	설비의 정격용량	
		ANGLE:	설치각	45도
		ORIENTATION	설치방위	남
		MODULE	모듈의 종류(단결정, 단결정)	단결정
	풍력	NAME	설비명	
		CAPACITY	설비의 정격용량	
		TYPE	종류(수평형, 수직형)	수평형
		LANDFORM	주변지형(도심, 평지)	평지
		HEIGHT	발전기설치 높이	
	열병합	NAME	설비명	
		CAPACITY	설비의 정격용량	
		HEAT_RATE	열전비	
		OPERATETIME	가동시간	

⑥ PLANT 테이블의 입력 사례

○ 다음 표의 입력 예는 이 PLANT가 이름이 지열(난방)이고, 장비 유형은 폐쇄형이며, 열원(211)설비이고, 용량은 50kW이다. 또한 제조사로 부터 받은 자료가 25%의 부분부하로 가동시 cop=7.5, 50%의 부분부하로 가동시 cop=7.3, 75%의 부분부하로 가동시 cop=6.5, 100%의 부분부하로 가동시 cop=4.0 임을 나타낸다.

<표 2.295> PLANT입력 예시 (지열)

NODE_ID	TYPE	ATTRIBUTE	TVALUE
105	211	NAME	지열(난방)
105	211	EQUIPKIND	폐쇄형
105	211	CAPACITY	50
105	211	HEATCOP25	7.5
105	211	HEATCOP50	7.3
105	211	HEATCOP75	6.5
105	211	HEATCOP100	4.0

⑦ PARTLOAD WEIGHTING_FACTOR 테이블

○ 다음 표의 테이블은 기후와 용도에 따른 연간 부분부하를 저장한다. 컬럼은 크게 난방과 냉방으로 구분되고, 각 부문은 25%, 50%, 75%, 100%의 부분부하를 저장하기 위해 구분된 컬럼을 가진다.

<표 2.296> PARTLOAD_WEIGHTING_FACTOR테이블

COLUMNS	ITEMS	DATA TYPE	UNIT	DESCRIPTION
USE_TYPE	용도	STRING	-	건축물의 용도(사무실, 아파트, 매장..등)
LOCATION	지역	STRING	-	건축물이 위치한 지역(서울,부산..등)
PER25HEATING	0%~25%난방 부분부하 비율	DOUBLE	%	기후와 용도에 따른 연간 0%~25%사이 부분부하 비율
PER50HEATING	25%~50%난방 부분부하 비율	DOUBLE	%	기후와 용도에 따른 연간 25%~50%사이 부분부하 비율
PER75HEATING	50%~75%난방 부분부하 비율	DOUBLE	%	기후와 용도에 따른 연간 50%~75%사이 부분부하 비율
PER100HEATING	75%~100%난방 부분부하 비율	DOUBLE	%	기후와 용도에 따른 연간75%~100%사이 부분부하 비율
PER25COOLING	0%~25%냉방 부분부하 비율	DOUBLE	%	기후와 용도에 따른 연간 0%~25%사이 부분부하 비율
PER50COOLING	25%~50%냉방 부분부하 비율	DOUBLE	%	기후와 용도에 따른 연간 25%~50%사이 부분부하 비율
PER75COOLING	50%~75%냉방 부분부하 비율	DOUBLE	%	기후와 용도에 따른 연간 50%~75%사이 부분부하 비율
PER100COOLING	75%~100%냉방 부분부하 비율	DOUBLE	%	기후와 용도에 따른 연간75%~100%사이 부분부하 비율

⑧ PARTLOAD WEIGHTING_FACTOR테이블의 입력 사례

○ 다음 표는 서울지역의 사무실과 아파트용도의 경우이며, 구체적으로 서울의 사무실의 난방부하는 0~25%이하는 55%, 25%~50%는 30%, 50~75%는 10%, 75%~100%는 5%의 비율을 가지는 경우이다. 서울의 사무실의 냉방부하는 0~25%이하는 40%, 25%~50%는 40%, 50~75%는 10%, 75%~100%는 10%의 비율을 가지는 경우이다.

<표 2.297> PARTLOAD_WEIGHTING_FACTOR의 입력 예시

TYPE	LOCATION	PER25_HEATING	PER50_HEATING	PER75_HEATING	PER100_HEATING	PER25_COOLING	PER50_COOLING	PER75_COOLING	PER100_COOLING
사무실	서울	55	30	10	5	40	40	10	10
아파트	서울	30	20	20	30	40	10	10	40

⑨ PLANT 테이블과 PARTLOAD WEIGHTING_FACTOR테이블의 계산 예

○ 서울지역 사무실 용도의 지열설비의 부분부하 반영 SCOP=7.5*55/100 + 7.3*30/100 + 6.5*10/100 + 4.0*5/100 = 7.16가 된다.

⑩ RESULT 테이블

○ 이 테이블은 부하계산의 1차 결과를 저장한다. 이 테이블에 기록된 부하는 설비를 통한 부하배분의 대상이 되고, 1차, 2차 에너지 소요량 근거가 된다. 저장항목은 다음 표와 같이 최

소화되어 있고, 에너지 소요량은 설비의 선택, 신재생생산량..등의 변수를 반영하여 동적으로 생성한다.

<표 2.298> RESULT테이블

COLUMNS	ITEMS	DATA TYPE	UNIT	DESCRIPTION
ZONE_NODE_ID	존 아이디	INT	-	에너지 계산이 수행된 존의 아이디
LOAD_TYPE	에너지 종류	STRING	-	H:난방 C:냉방 HW:급탕 V:환기 L:조명
LOAD	부하	DOUBLE	kWh	존의 벽체, 창..등 건축의 에너지요소구성 및 용도, 외기.등으로 부터 계산된 부하량. 5가지 LOAD_TYPE별로 12달의 에너지량이 계산되므로 1존에 60개의 에너지량을 도출한다.
AHU_NAME	연결된 공조기이름	STRING	-	연결된 공조기의 이름
AHU_HEATINGPLANT_SCOP	연결된 난방설비 SCOP	DOUBLE		공조기에 연결된 난방설비의 SCOP
AHU_COOLINGPLANT_SSEER	연결된 냉방설비SSEER	DOUBLE		공조기에 연결된 냉방설비의 SSEER
AHU_VENT_TYPE	환기타입	STRING		VAV, CAV등 환기 타입
AHU_RECOVERY_TYPE	열회수 타입	STRING		전열회수, 현열회수.
AHU_LOSS_RATE	공조기손실	DOUBLE	%	공조기를 연계했기 때문에 방생한 손실율
MAIN_PLANT	MAINPLANT이름	STRING	-	MAINPLANT의 이름
SUB_PLANT	SUBPLANT 이름	STRING	-	SUBPLANT의 이름
SUB_PLANT_RATE	PLANT2의 부하율	DOUBLE	%	전체부하에서 PLANT2가 부단하는 비율
ENERGY	에너지 소요량		W	2차 에너지 소요량
TIME_STAMP		TIME		

⑪ RESULT 입력 사항

○ NO1은 공조기만으로 존의 부하를 제거하는 시스템이다. 이 경우 존의 소요량은 공조기에 연결된 난방설비의 효율(90%)과 공조기의 손실(3%)와 난방부하로부터 도출된다.난방소요량=(난방부하량/효율)*(1+손실률/100)=(24.678/0.9)(1+3/100) =28,282.6(kWh)가 된다.

○ NO2의 경우는 난방부하를 보일러1:보일러2= 7:3의 비율로 부담하는 경우이다. 보일러1의 효율이 90%이고, 보일러2의 효율이 85%이므로 조합효율=0.9*70/100+0.85*30/100=0.885가 된다. 따라서 이 경우 난방에너지소요량=난방부하량/효율=35,000/0.885= 39,548.02가 된다.

○ NO3의 경우 5,300(kWh)의 급탕부하를 보일러1(효율90%)로 처리하는 경우로 급탕 에너지 소요량=5,300/0.9=5,888.88(kWh)로 계산된다.

<표 2.299> RESULT테이블 저장 및 계산 사례

NO	1	2	3
ZONNE_NODE_ID	105	105	105
LOAD_TYPE	H	H	HW
LOAD(kWh)	24678	35000	5300
AHU_NAME	1~3층공조기	없음	없음
AHU_HEATINGPLANT_SCOP	0.9	0	0
AHU_COOLINGPLANT_SSEER	0	0	0
AHU_VENT_TYPE	VAV	0	0
AHU_RECOVERY_TYPE	전열	0	0
AHU_LOSS_RATE(%)	3	0	0
MAIN_PLANT	없음	보일ï러	보일ï러
MAIN_COP	0	0.9	0.9
SUB_PLANT	없음	보일ï러	없음
SUB_COP	0	0.85	0
SUB_PLANT_RATE(%)	0	30	0
ENERGY(kW)	27420	39548.02	5888
TIME_STAMP			

⑫ RESULT_RENEW테이블

○ 신재생설비의 종류별 생산량을 기록한다.

<표 2.300> RESULT_RENEW테이블

COLUMNS	ITEMS	DATA TYPE	UNIT	DESCRIPTION
PRODUCT	생산량	DOUBLE	Wh	설비의 생산능력
RENEW_KIND	신재생 종류	STRING	-	태양광, 태양열, 풍력, 지열, 연료전지

⑬ RESULT_RENEW테이블 입력 사례

○ 다음 표는 1월에 태양광 생산량=15,650(Wh), 태양열생산량=9,201(Wh)이고, 2월 태양광생산량=18,012(Wh), 태양열생산량=12,014(Wh)인 경우 테이블의 내용이다. 이는 1월중 태양광설비가 15.56kWh의 전력을 생산하므로 이에 상응하는 설비의 부하량을 상쇄시킬 수 있음을 뜻한다. 또한 태양열은 9.2kWh의 열을 생산함으로써 이에 상응하는 설비의 부하량을 상쇄할 수 있다.

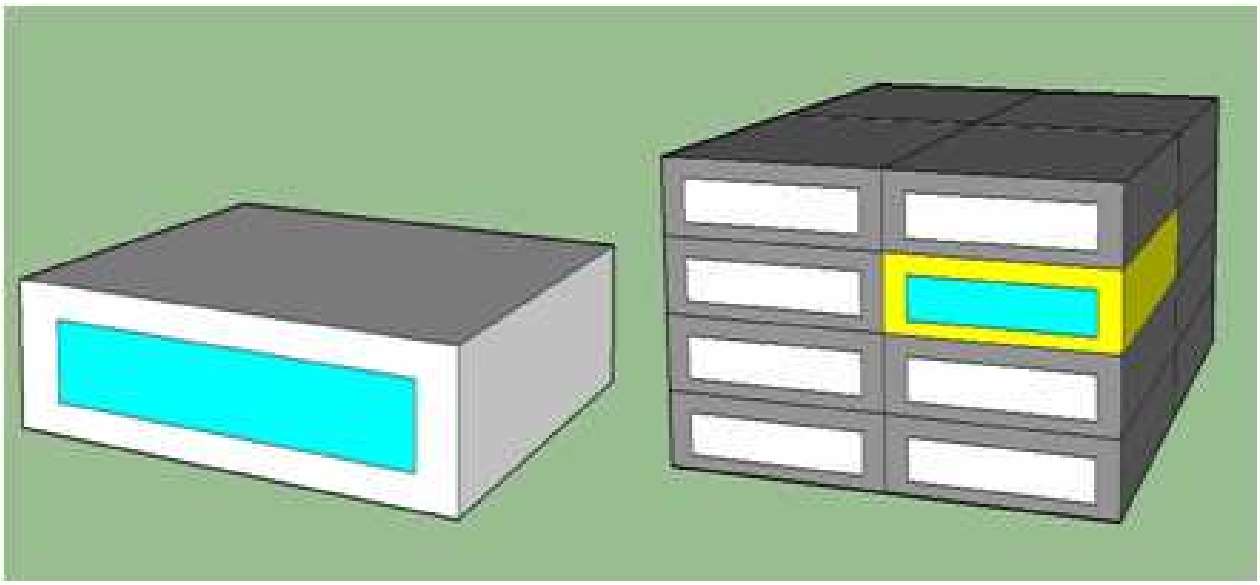
<표 2.301> RESULT_RENEW테이블 입력 사례

RENEW_KIND	PRODUCT(Wh)
PV	15,650
SOLAR	9,201
WIND	-
GEO	-
PV	18,012
SOLAR	12,014
WIND	-
GEO	-

나. 시뮬레이션 검증

(1) 시뮬레이션 모델 정의

○ 본 연구에서는 일개 존 모델을 정의하여 정밀 시뮬레이션과 ISO 13790 계산법에 적용하였다. 다중 존을 선택할 경우 시뮬레이션 모델에선 인접 존 간의 열 교환 현상이 발생 할 수 있으며 대상 공간에서 열획득/손실율에서 오차를 발생 시킬 수 있다. 이는 정밀 시뮬레이션에서는 고려가 되나 ISO 13790에서는 알고리즘 상 반영이 되기 않기 때문이다. 두 모델에서의 오차 원인을 유효계수의 차로 초점을 두고 다른 변수의 영향을 제거하기 위해 1개존 모델로 단순화 하였다.



[그림 2.216] 중량 구조체(좌)와 중간세대 경량구조체(우)

○ 한국의 건물의 경우 단독 건물 형태 보다는 다층형 커튼월 구조가 최근 대부분 차지하고 있다. 이 경우 인접존이 실내여서 열교환이 없는 경우가 있고 열용량도 일반적인 중량 보다는 가벼운 경우가 한국의 건물을 대표한다 할 수 있다.

○ 본 연구에서는 일개 존 중량 구조체의 단독 건물 형태와 중간세대의 경량 구조체 모델을 기준 모델로 정의하고 분석 대상으로 삼았다. 단독건물의 형태의 경우 방위별로 태양과 바람에 노출되게 설정을 함으로써 열 획득 손실에서 발생하는 오차를 알 수 있다. 그러나 위에서 말했듯이 국내의 대부분의 건물은 인접존 간의 열교환 현상이 발생 할 수 있으며 대상공간에서 열 획득/손실율에서 오차를 발생하는 것을 알 기 위해 방위별로 창이 있는 부분만 태양과 바람에 노출되게 설정을 하였다.

○ 위 그림은 중량 구조체 일개 존 모델과 중간세대 경량 구조체 일개존 모델을 나타낸다.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		S_327_0_0_0	R_327_1_0_0	W_327_2_0_0	W_327_3_0_0	W_327_4_0_0	W_327_5_0_0
Surface Type		Floor	Roof	Wall	Wall	Wall	Wall
Construction Name		1	3	5	5	5	5
Zone Name		327	327	327	327	327	327
Outside Boundary Condition		Ground	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors
Outside Boundary Condition Object							
Sun Exposure		NoSun	SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed
Wind Exposure		NoWind	WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed
View Factor to Ground		1	0	0.5	0.5	0.5	0.5
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	28.4629665461	20.0489665461	28.4629665461	28.4629665461	20.0489665461	20.0489665461
Vertex 1 Y-coordinate	m	0.5274198172	0.5274198172	0.5274198172	8.9414198172	8.9414198172	0.5274198172
Vertex 1 Z-coordinate	m	0	2.7	0	0	0	0
Vertex 2 X-coordinate	m	20.0489665461	28.4629665461	28.4629665461	20.0489665461	20.0489665461	28.4629665461
Vertex 2 Y-coordinate	m	0.5274198172	0.5274198172	8.9414198172	8.9414198172	0.5274198172	0.5274198172
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	2.7	0	0	0	0
Vertex 3 X-coordinate	m	20.0489665461	28.4629665461	28.4629665461	20.0489665461	20.0489665461	28.4629665461
Vertex 3 Y-coordinate	m	8.9414198172	8.9414198172	8.9414198172	8.9414198172	0.5274198172	0.5274198172
Vertex 3 Z-coordinate	m	0	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Vertex 4 X-coordinate	m	28.4629665461	20.0489665461	28.4629665461	28.4629665461	20.0489665461	20.0489665461
Vertex 4 Y-coordinate	m	8.9414198172	8.9414198172	0.5274198172	8.9414198172	8.9414198172	0.5274198172
Vertex 4 Z-coordinate	m	0	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7

[그림 2.217] 단독건물 Building Surface Detailed

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		S_327_0_0_0	R_327_1_0_0	W_327_2_0_0	W_327_3_0_0	W_327_4_0_0	W_327_5_0_0
Surface Type		Floor	Roof	Wall	Wall	Wall	Wall
Construction Name		1	3	7	7	7	5
Zone Name		327	327	327	327	327	327
Outside Boundary Condition		Ground	Adiabatic	Adiabatic	Adiabatic	Adiabatic	Outdoors
Outside Boundary Condition Object							
Sun Exposure		NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	SunExposed
Wind Exposure		NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	WindExposed
View Factor to Ground		1	0	0.5	0.5	0.5	0.5
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	28.4629665461	20.0489665461	28.4629665461	28.4629665461	20.0489665461	20.0489665461
Vertex 1 Y-coordinate	m	0.5274198172	0.5274198172	0.5274198172	8.9414198172	8.9414198172	0.5274198172
Vertex 1 Z-coordinate	m	0	2.7	0	0	0	0
Vertex 2 X-coordinate	m	20.0489665461	28.4629665461	28.4629665461	20.0489665461	20.0489665461	28.4629665461
Vertex 2 Y-coordinate	m	0.5274198172	0.5274198172	8.9414198172	8.9414198172	0.5274198172	0.5274198172
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	2.7	0	0	0	0
Vertex 3 X-coordinate	m	20.0489665461	28.4629665461	28.4629665461	20.0489665461	20.0489665461	28.4629665461
Vertex 3 Y-coordinate	m	8.9414198172	8.9414198172	8.9414198172	8.9414198172	0.5274198172	0.5274198172
Vertex 3 Z-coordinate	m	0	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Vertex 4 X-coordinate	m	28.4629665461	20.0489665461	28.4629665461	28.4629665461	20.0489665461	20.0489665461
Vertex 4 Y-coordinate	m	8.9414198172	8.9414198172	0.5274198172	8.9414198172	8.9414198172	0.5274198172
Vertex 4 Z-coordinate	m	0	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7

[그림 2.218] 중간세대 경량 Building Surface Detailed

(2) 시뮬레이션 조건

(가) 건물 정보

① 환기횟수 및 침기량 설정

○ 본 건물의 입지 조건은 서울지역을 선택 하였다. 용도 및 환기횟수 그리고 설정온도는 건설기술연구원의 용도 프로파일을 기반으로 적용시켰다. 모델 단순화를 위해 정밀 시뮬이션 및 ISO 13790 모델 모두 침기량은 없는 것으로 가정하였으며, 최소외기도입량은 4 m3/h·m2 을 반영하였다. 창틀은 포함시키지 않았으며 열교효과는 모델에서 제외시킨다. 즉, 벽체와 창으로만 외피를 구성 하였다.

<표 2.302> 1Zone 설정값

건물개요	지역 : 서울		
	용도	개인사무실	
	건물형태	폭: 9m	높이: 2.7m
	환기횟수	1.5 ACH	
	창문종류	단일/이중	
	창문틀	미적용	
	침기	침기량 제거	
	실내냉난방 설정온도	난방온도:20° C	냉방온도:26° C

② 창 설정

○ 창을 남측 기준으로 50% 설정하였으며 EnergyPlus 및 ISO 13790 월간계산법에서의 모든 설정값을 동일화 하였다. 동서남북 창의 각 향별로 시뮬레이션을 실시하였다. 창의 관류율과 G value는 일반 단일창으로 6.12와 0.81을 적용하였고 EnergyPlus 또한 수평 입사각에 대한 SHGC 값이 동일한 창으로 선택하였다. 이때 SHGC값에는 유리창 틀이 없는 것으로 모델화하여 G value와 동일한 특성이 되도록 조정 하였다.

○ 이중창의 관류율 및 G value는 Table 6과 같으며 그 값은 1.978과 0.687로 설정하였다. 각 향별로 일사취득 시 태양고도에 따른 일사 취득양이 달라지는 것을 G value 에 Energy plus에서 도출한 창을 통과한 일사 취득량의 월별 비율을 기반으로 보정 계수를 적용 보정 하였다.

③ 구조체 열용량

○ 구조체 열용량 산출 시 건축법적기준에 부합하는 벽체를 선정하였다. 열용량 값은 건설기술연구원에서 제시하는 중간 무게의 건물 범주 90 $Wh/m^2 \cdot K$에 포함되는 값이다. 벽체 및 창호의 구조체에 대한 열용량은 유효계수 산출 시 매개변수 $a_{H,0}$, $\tau_{H,0}$, C_m에 영향을 주는 중요한 요소이다. 구조체 용량별 열용량 총합은 Table 7과 같으며 그 값은 31.140kWh/K, 13.427kWh/K, 7.479kWh/K로 산출된 값을 ISO 13790 수식에 사용하였다.

<표 2.303> 중량 모델 벽체 정보(남측기준)

벽 정보	면적(㎡)	방향	관류율(W/㎡K)
외벽1	22.70	동	0.25
외벽2	22.70	서	0.25
외벽3	11.35	남	0.25
외벽4	22.70	북	0.25
지붕1	70.79		0.39
바닥1	70.79		0.46
창(단일)	11.35	남	관류율
			6.12
			G_Value
			0.81

<표 2.304> 중간세대 경량 모델 벽체 정보(남측기준)

벽 정보	면적(㎡)	방향	관류율(W/㎡K)
내벽1	22.70	동	3.39
내벽2	22.70	서	3.39
외벽3	11.35	남	0.25
내벽4	22.7	북	3.39
지붕1	70.79		1.97
바닥1	70.79		0.25
창(이중)	11.35	남	관류율
			1.978
			G_Value
			0.687

④ 기상데이터

○ 운전 스케쥴은 365일 동안 24시간 운행을 기준으로 한다. 구조체 열용량의 차이를 보기 위해 시간차에 의한 계산을 배제함을 목표로 하며, 이를 위해 24시간 연속운전으로 설정하였다.

○ 기상데이터는 국내 기후를 반영하기 위해 대표적으로 서울 지역을 선정하였고, 한국 태양에너지 학회에서 20년간 자료를 기반으로 산출한 데이터를 사용하였다. 수직면 전일사량의 서울시의 기후데이터를 이용하여 16방위 벽면에 획득된 전일사량을 계산하여 사용하였다. 지중 온도 역시 한국태양에너지 학회 대한민국 표준 기상데이터를 기반으로 지중 3 m에서의 온도를 기반으로 하였다. 서울지역 기상데이터는 Table 1, 2와 나타난 바와 같다.

<표 2.305> 한국태양에너지 학회 대한민국 표준 기상데이터(서울)

월	일사량(kWh/㎡d)				
	수평면	수직면			
		동	서	남	북
1	1974.1	927.6	1435.6	2510.4	693.8
2	2962.7	1360	2061.6	3106.7	981.6
3	4136.9	1836.3	2680.8	3259.8	1281.9
4	4905	2045.7	3138.7	2782.2	1525.8
5	5075.1	2133.5	2942.3	2274.4	1596.7
6	4960	2082.8	2862.1	2035.1	1647.9
7	3701.3	1591.1	2088.9	1642.8	1259.3
8	4071.7	1876.8	2253.1	2170	1300.7
9	3804.6	1743.6	2335	2787.5	1186.4
10	3289.4	1747	2084.3	3208.6	1051.9
11	1969.4	933.5	1418.4	2443.3	678.7
12	1990.6	1073.5	1480.4	2872.6	691.5

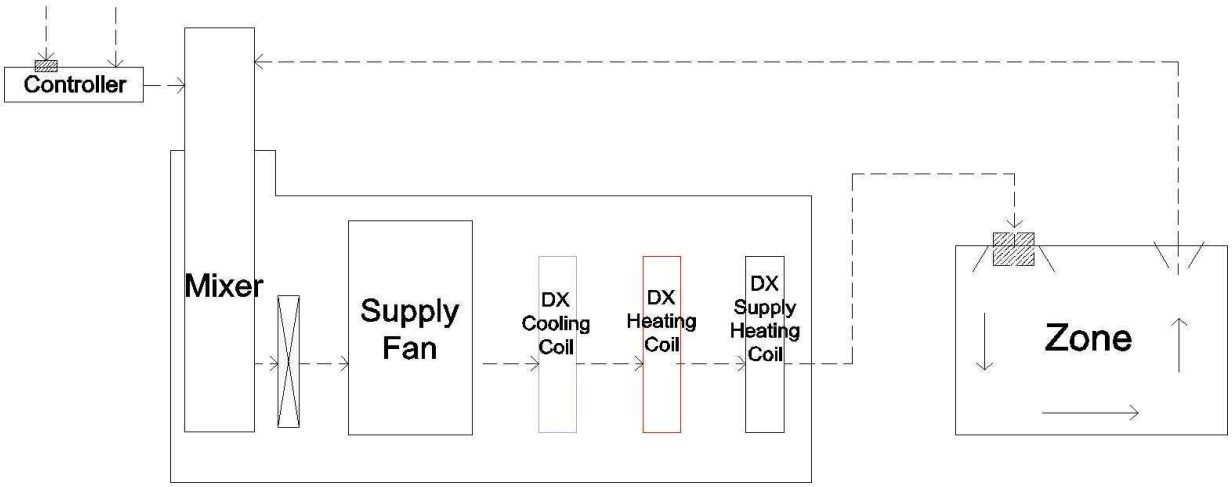
<표 2.306> 기상데이터

기상 데이터	한국태양에너지학회 서울 (86년-05년기준DOE-2포멧).txt 자료를 이용하여 EnergyPlus Weather Statistics and Conversions을 사용 및 생성 후 EnergyPlus 서울 기상데이터 적용(www.kses.re.kr)	
	평균외기온도[℃]	지중온도[℃]
1월	-1.3	13.2
2월	1	11.2
3월	6.9	9.7
4월	13	9.6
5월	18.3	10.9
6월	22.8	12.9
7월	25.3	15.6
8월	24.8	18.4
9월	20.9	19.8
10월	15.5	19.4
11월	6.2	18.1
12월	1	15.8

(나) 시스템 정보

① 히트펌프 시스템 모델

○ 본 연구에서 공기 대 공기 히트펌프를 사용하였으며 구성도는 [그림 2.219]와 같다. Mixing Box에서 외부 공기와 실내에서 배출되는 공기가 혼합되도록 설정하였으며, 외기를 도입하는 컨트롤러의 경우 외부온도와 리턴에어를 실내로 공급하기 위해 혼합공기의 설정온도를 충족하는 양 만큼 도입되게 설정 되었다. 운영시간동안 공조공간에 일정하게 풍량을 공급하기 위해 Supply Fan은 ON, OFF제어를 할 수 있는 정풍량 시스템으로 구성하였다. 취출구 온도 설정은 냉방 13.8℃, 난방 50℃로 설정하였다. 유량의 경우 히트펌프 용량에 비례하여 비율을 곱해 유량을 설정였다. 히트펌프 시스템의 세부구성 및 구성인자별 히트펌프의 용량, 기기 특성을 고려한 히트펌프 시스템 성능은 아래와 같다.



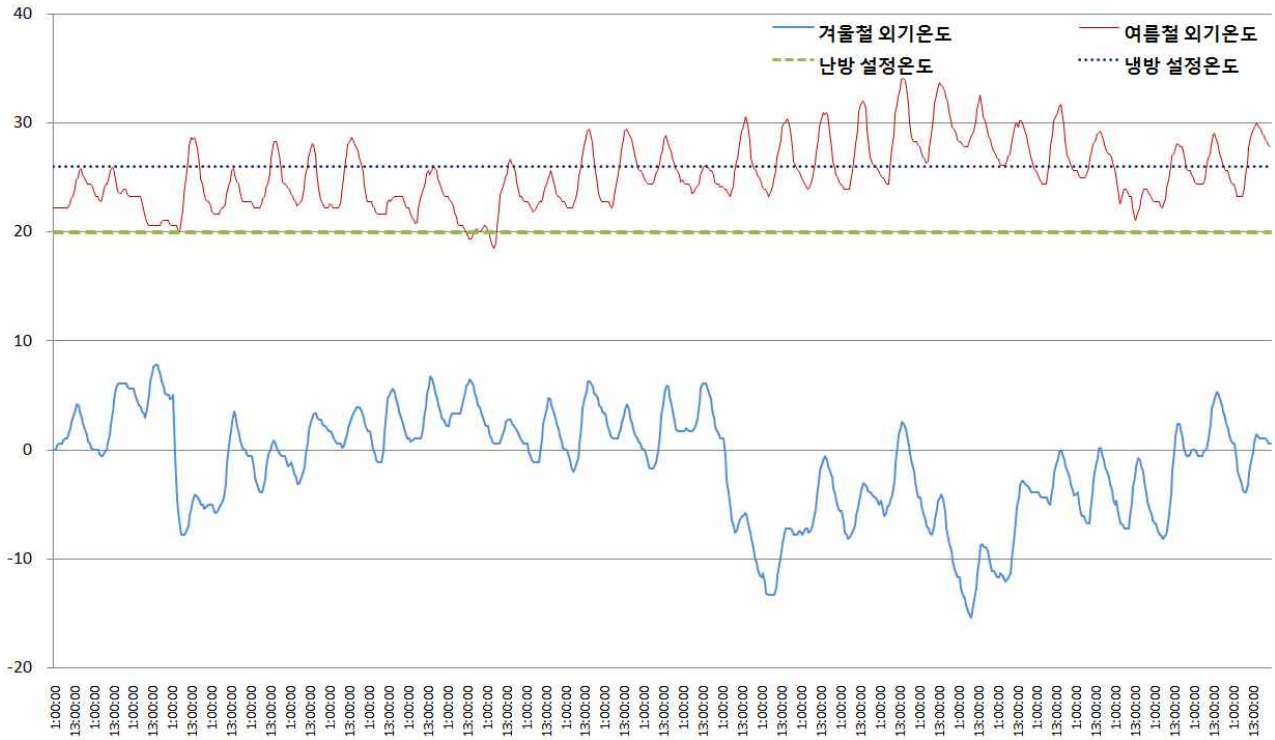
[그림 2.219] 기기시스템 모델 구성도

<표 2.307> 시스템 구성

히트펌프 기기 구성인자		
컨트롤러	이코노마이저 타입	Modulate Flow
Fan 설정	Fan 효율	0.9
	압력상승	300 Pa
	모터 효율	0.9
	제어방식	On, Off 제어
히트펌프 Heating	외기에 따른 컴프레서 작동온도	-16℃
	Electric 효율	0.8
풍량제어	Single Duct : 정풍량 방식	
열원	전기	

② 운전스케줄

○ 운전 스케쥴은 365일 동안 24시간 운행을 기준으로 한다. 구조체 열용량의 차이를 보기 위해 시간차에 의한 계산을 배제함을 목표로 하며, 이를 위해 24시간 연속운전으로 설정하였다. 냉방의 경우 26도에서 일정하게 운행되도록 설정을 하였으며 난방의 경우 20도에서 일정하게 운전하도록 설정하였다.



[그림 2.220] 운전 스케쥴

③ 히트펌프 시스템 용량 설정

○ 히트펌프의 용량의 경우 건물의 최대부하에 맞춰 설정을 해야 하며 최대부하의 경우 벽체의 열용량, 지역, 창면적에 따라 냉•난방 부하는 변화하기 때문에 각 변수에 맞는 부하를 산출하여 부하를 감당할 수 있는 용량을 설정하였다. 아래는 동적시뮬레이션에서 적용된 히트펌프 용량을 나타낸 것이다.

<표 2.308> 각 모델에서 설정된 히트펌프 용량

EnergyPlus 히트펌프 용량					
지역	방향	창문 면적(㎡)	열용량	구분	용량(W)
서울	남	11.35	중량	냉방	4600
				난방	3700
			중간세대 경량	냉방	4100
				난방	3200
	동		중량	냉방	3300
				난방	4900
			중간세대 경량	냉방	3600
				난방	3400
	북		중량	냉방	3500
				난방	5000
			중간세대 경량	냉방	3000
				난방	3500
	서		중량	냉방	4300
				난방	4900
			중간세대 경량	냉방	3900
				난방	3400

④ 냉난방 에너지 소비량 산출방안

○ 히트펌프의 경우 장비의 COP변화에 큰 영향을 주는 성능곡선은 Total Cooling Capacity Function of Temperature Curve, Total Cooling Capacity Function of Flow Fraction Curve, Energy Input Ratio Function of Temperature Curve, Energy Input Ration Function of Flow Fraction Curve, Part Load Fraction Correlation Curve를 작성해야 한다. 5가지의 성능곡선 입력 데이터 중에 잘못된 설정값이 있다면, 업체에서 제공해주는 부분부하에 따른 COP의 값과 다르게 나오는 것을 알 수 있다. 정확한 데이터를 입력해야 하며, 본 시뮬레이션은 동적시뮬레이션에서 제공된 기본 커브곡선 기준으로 시뮬레이션을 하였으며, 기본적으로 제공된 데이터는 다음과 같다.

㉮ 온도에 따른 냉난방 용량 설정 곡선

Total Cooling Capacity Function of Temperature Curve

$$Curve = C1 + C2X + C3X^2 + C4y + C5y^2 + C6xy$$

여기서,

X = *습구온도*

Y = *건구온도*

<표 2.309> Total Cooling Capacity Function of Temperature Curve 입력값

	Cooling, Heating
Curve	Biquadratic
C1	0.942587793
C2	0.009543347
C3	0.00068377
C4	-0.011042676
C5	0.000005249
C6	-0.00000972
	X, Y 값
Minimum Value of X	12.77778
Maximum Value of X	23.88889
Minimum Value of Y	18
Maximum Value of Y	46.11111

㉯ 유량에 따른 냉각 용량 변화 곡선

Total Cooling Capacity Function of Flow fraction Curve

$$Curve = C1 + C2X + C3X^2$$

여기서,

X = *유량*

<표 2.310> Total Cooling Capacity Function of Flow fraction Curve 입력값

	Cooling, Heating
Curve	Quadratic
C1	0.8
C2	0.2
C3	0
Minimum Value of X	0.5
Maximum Value of X	1.5

㉰ 온도에 따른 에너지 투입비

○ 정밀시뮬레이션에서 부분부하에 따른 COP를 결정하는 주요 인자로서는 온도에 따른 에너지 투입비가 있다. 현재 위탁 연구기관에서 제공하는 EHP의 데이터는 부분부하에 따른 COP만 제시 하고 있어 해외에서 제공하는 LG EHP의 실내, 실외 온도조건에 맞는 Power Input, Total Capacity,를 이용하여 위탁 연구기관에서 제공한 데이터의 기기 용량과 비슷한 성능의 값을 활용하여 Energy Input Ratio Function of Temperature Curve를 산출하였다. 비슷한 EHP 기기용량의 TC / PI를 하여 COP를 산출하였고 정밀시뮬레이션에서 25%, 50%, 75%, 100% 일때의 온도를 산출하고 위탁 연구기관에서 제공하는 데이터와 해외에서 제공하는 데이터의 COP를 일치시켰다.

○ <표 2.311>,<표 2.313>은 위와 같은 방법을 활용하여 Energy Input Ratio Function of Temperature Curve를 산출한 것이며, <표 2.312>,<표 2.314>은 Energy Input Ratio Function of Temperature Curve를 산출하는 과정을 나타낸 것이다. Energy Input Ratio Function of Temperature Curve의 계산수식은 아래 식과 같다.

Energy Input Ratio Function of Temperature Curve

$$Curve = C1 + C2X + C3X^2 + C4y + C5y^2 + C6xy$$

여기서,
X = 습구온도
Y = 응축기로 들어가는 건구 온도

<표 2.311> Energy Input Ratio Function of Temperature Curve 입력값

	Heating
Curve	Biquadratic
C1	1.0768782
C2	0.0023446
C3	0.0000223
C4	-0.0113914
C5	0.0002647
C6	-0.0001373
	X, Y 값
Minimum Value of X	12.77778
Maximum Value of X	23.88889
Minimum Value of Y	18
Maximum Value of Y	46.11111

<표 2.312> Energy Input Ratio Function of Temperature Curve 난방 산출법

X 실외온도	X^2	Y 실내온도	Y^2	$X \times Y$	EIR
-20	400	15	225	-300	1
-20	400	16	256	-320	0.99599986
-20	400	18	324	-360	0.99107214
-20	400	19	361	-380	0.98420219
-20	400	21	441	-420	0.97744111
-20	400	23	529	-460	0.96727273
-20	400	24	576	-480	0.96276504
-20	400	27	729	-540	0.96072342
-18	324	15	225	-270	1
-18	324	16	256	-288	0.98999531
-18	324	18	324	-324	0.98114204
-18	324	19	361	-342	0.97542612
-18	324	21	441	-378	0.97074499
-18	324	23	529	-414	0.96340589
-18	324	24	576	-432	0.95604006
-18	324	27	729	-486	0.967816
-15	225	15	225	-225	1
-15	225	16	256	-240	0.98024641
-15	225	18	324	-270	0.97539277
-15	225	19	361	-285	0.96970129
-15	225	21	441	-315	0.96319127
-15	225	23	529	-345	0.97263248
-15	225	24	576	-360	0.98937701
-15	225	27	729	-405	1
-13	169	15	225	-195	1
-13	169	16	256	-208	0.95998963
-13	169	18	324	-234	0.95171699
-13	169	19	361	-247	0.94703672
-13	169	21	441	-273	0.95839243
-13	169	23	529	-299	0.96620286
-13	169	24	576	-312	0.98176161
-13	169	27	729	-351	1
-10	100	15	225	-150	0.926957
-10	100	16	256	-160	0.92415839
-10	100	18	324	-180	0.92695661
-10	100	19	361	-190	0.94066221
-10	100	21	441	-210	0.95285157
-10	100	23	529	-230	0.96430585
-10	100	24	576	-240	0.98397048
-10	100	27	729	-270	1
-7	49	15	225	-105	0.910115
-7	49	16	256	-112	0.91375631
-7	49	18	324	-126	0.91929655
-7	49	19	361	-133	0.93476493
-7	49	21	441	-147	0.94989756
-7	49	23	529	-161	0.95881235
-7	49	24	576	-168	0.87571991
-7	49	27	729	-189	1
-5	25	15	225	-75	0.911943
-5	25	16	256	-80	0.92005578
-5	25	18	324	-90	0.92732622
-5	25	19	361	-95	0.94182905
-5	25	21	441	-105	0.95938387
-5	25	23	529	-115	0.97120288
-5	25	24	576	-120	1
-5	25	27	729	-135	0.98698718
-2	4	15	225	-30	0.918027
-2	4	16	256	-32	0.92629394

-2	4	18	324	-36	0.93477892
-2	4	19	361	-38	0.95048372
-2	4	21	441	-42	0.96616103
-2	4	23	529	-46	0.98068136
-2	4	24	576	-48	1
-2	4	27	729	-54	0.9670608
0	0	15	225	0	0.957291
0	0	16	256	0	0.96384191
0	0	18	324	0	0.9697326
0	0	19	361	0	0.98631918
0	0	21	441	0	1
0	0	23	529	0	0.99616951
0	0	24	576	0	0.99751535
0	0	27	729	0	0.96821373
2	4	15	225	30	0.983909
2	4	16	256	32	0.99121783
2	4	18	324	36	1
2	4	19	361	38	0.99978724
2	4	21	441	42	0.99154602
2	4	23	529	46	0.98833215
2	4	24	576	48	0.99619083
2	4	27	729	54	0.96743817
5	25	15	225	75	1
5	25	16	256	80	0.98512437
5	25	18	324	90	0.97058608
5	25	19	361	95	0.96830887
5	25	21	441	105	0.95927909
5	25	23	529	115	0.96472671
5	25	24	576	120	0.96919796
5	25	27	729	135	0.9430354
6	36	15	225	90	1
6	36	16	256	96	0.96997285
6	36	18	324	108	0.94032718
6	36	19	361	114	0.94109996
6	36	21	441	126	0.93126882
6	36	23	529	138	0.93862706
6	36	24	576	144	0.94666834
6	36	27	729	162	0.92455249
8	64	15	225	120	1
8	64	16	256	128	0.96812122
8	64	18	324	144	0.9366198
8	64	19	361	152	0.93214821
8	64	21	441	168	0.92593105
8	64	23	529	184	0.93189762
8	64	24	576	192	0.94681173
8	64	27	729	216	0.91762768
11	121	15	225	165	1
11	121	16	256	176	0.96832521
11	121	18	324	198	0.93554976
11	121	19	361	209	0.93613105
11	121	21	441	231	0.93198031
11	121	23	529	253	0.9357601
11	121	24	576	264	0.95031881
11	121	27	729	297	0.92340039
13	169	15	225	195	1
13	169	16	256	208	0.96875072
13	169	18	324	234	0.93795147
13	169	19	361	247	0.94478936
13	169	21	441	273	0.94696441
13	169	23	529	299	0.95291577
13	169	24	576	312	0.96128984
13	169	27	729	351	0.93752329

<표 2.313> Energy Input Ratio Function of Temperature Curve 냉방 입력값

	Cooling
Curve	Biquadratic
C1	1.5028336
C2	-0.0049576
C3	0.00006
C4	-0.0336536
C5	0.0005111
C6	0.0000483
	X, Y 값
Minimum Value of X	12.77778
Maximum Value of X	23.88889
Minimum Value of Y	18
Maximum Value of Y	46.11111

<표 2.314> Energy Input Ratio Function of Temperature Curve 냉방 산출법

X 실외온도	X^2	Y 실내온도	Y^2	$X \times Y$	EIR
-5	25	20	400	-100	1
-5	25	23	529	-115	0.98967139
-5	25	26	676	-130	0.97313374
-5	25	27	729	-135	0.96482056
-5	25	29	841	-145	0.97299448
-5	25	31	961	-155	0.95385981
-5	25	33	1089	-165	0.96684743
-4	16	20	400	-80	1
-4	16	23	529	-92	0.99065814
-4	16	26	676	-104	0.97092596
-4	16	27	729	-108	0.96322258
-4	16	29	841	-116	0.97195898
-4	16	31	961	-124	0.95087149
-4	16	33	1089	-132	0.96413612
-1	1	20	400	-20	1
-1	1	23	529	-23	0.9898857
-1	1	26	676	-26	0.97377
-1	1	27	729	-27	0.96747895
-1	1	29	841	-29	0.97118681
-1	1	31	961	-31	0.95303919
-1	1	33	1089	-33	0.96704992
2	4	20	400	40	1
2	4	23	529	46	0.98726608
2	4	26	676	52	0.96953541
2	4	27	729	54	0.964369
2	4	29	841	58	0.96923979
2	4	31	961	62	0.9500351
2	4	33	1089	66	0.96186586
4	16	20	400	80	1
4	16	23	529	92	0.99008776
4	16	26	676	104	0.9743696
4	16	27	729	108	0.96659405
4	16	29	841	116	0.969515
4	16	31	961	124	0.95228594
4	16	33	1089	132	0.96465927

7	49	20	400	140	1
7	49	23	529	161	0.98417149
7	49	26	676	182	0.97183717
7	49	27	729	189	0.96215496
7	49	29	841	203	0.96978122
7	49	31	961	217	0.93276
7	49	33	1089	231	0.94830272
10	100	20	400	200	1
10	100	23	529	230	0.99190947
10	100	26	676	260	0.97401214
1	1	27	729	27	0.96552687
10	100	29	841	290	0.97161747
1	1	31	961	31	0.95306609
10	100	33	1089	330	0.966952
13	169	20	400	260	1
13	169	23	529	299	0.98519317
13	169	26	676	338	0.96654367
13	169	27	729	351	0.95627453
13	169	29	841	377	0.9638847
13	169	31	961	403	0.94771309
13	169	33	1089	429	0.95535606
16	256	20	400	320	1
16	256	23	529	368	0.98251653
16	256	26	676	416	0.96247432
16	256	27	729	432	0.9549086
16	256	29	841	464	0.9620981
16	256	31	961	496	0.94951493
16	256	33	1089	528	0.66801159
18	324	20	400	360	1
18	324	23	529	414	0.985958
18	324	26	676	468	0.96509242
18	324	27	729	486	0.95577695
18	324	29	841	522	0.96441099
18	324	31	961	558	0.92762887
18	324	33	1089	594	0.93033805
21	441	20	400	420	1
21	441	23	529	483	0.98706465
21	441	26	676	546	0.937245
21	441	27	729	567	0.91655046
21	441	29	841	609	0.90633087
21	441	31	961	651	0.88275965
21	441	33	1089	693	0.88597179
24	576	20	400	480	1
24	576	23	529	552	0.95114081
24	576	26	676	624	0.89956554
24	576	27	729	648	0.877578
24	576	29	841	696	0.86908922
24	576	31	961	744	0.85310626
24	576	33	1089	792	0.8612863
27	729	20	400	540	1
27	729	23	529	621	0.95953769
27	729	26	676	702	0.91472523
27	729	27	729	729	0.89543861
27	729	29	841	783	0.885943
27	729	31	961	837	0.89091544
27	729	33	1089	891	0.89447998
29	841	20	400	580	1
29	841	23	529	667	0.95721719
29	841	26	676	754	0.9126272
29	841	27	729	783	0.89604303

29	841	29	841	841	0.88695159
29	841	31	961	899	0.81162
29	841	33	1089	957	0.81793871
32	1024	20	400	640	1
32	1024	23	529	736	0.95161502
32	1024	26	676	832	0.90459475
32	1024	27	729	864	0.88405166
32	1024	29	841	928	0.88858992
32	1024	31	961	992	0.90040502
32	1024	33	1089	1056	0.90536
35	1225	20	400	700	1
35	1225	23	529	805	0.93351407
35	1225	26	676	910	0.8692064
35	1225	27	729	945	0.84225969
35	1225	29	841	1015	0.86431485
35	1225	31	961	1085	0.874174
35	1225	33	1089	1155	0.88491728
38	1444	20	400	760	1
38	1444	23	529	874	0.93125714
38	1444	26	676	988	0.86722537
38	1444	27	729	1026	0.84878946
38	1444	29	841	1102	0.870822
38	1444	31	961	1178	0.88509178
38	1444	33	1089	1254	0.89169617
41	1681	20	400	820	1
41	1681	23	529	943	0.9303887
41	1681	26	676	1066	0.86263981
41	1681	27	729	1107	0.8677939
41	1681	29	841	1189	0.8859407
41	1681	31	961	1271	0.90180054
41	1681	33	1089	1353	0.91131913
43	1849	20	400	860	1
43	1849	23	529	989	0.92687965
43	1849	26	676	1118	0.8764517
43	1849	27	729	1161	0.89217195
43	1849	29	841	1247	0.89413223
43	1849	31	961	1333	0.89958624
43	1849	33	1089	1419	0.90453444
46	2116	20	400	920	1
46	2116	23	529	1058	0.93227252
46	2116	26	676	1196	0.91738521
46	2116	27	729	1242	0.94576231
46	2116	29	841	1334	0.95542381
46	2116	31	961	1426	0.96268583
46	2116	33	1089	1518	0.96083469
48	2304	20	400	960	1
48	2304	23	529	1104	0.87920065
48	2304	26	676	1248	0.95962813
48	2304	27	729	1296	0.98048333
48	2304	29	841	1392	0.9899209
48	2304	31	961	1488	0.99850916
48	2304	33	1089	1584	0.98758166
50	2500	20	400	1000	0.89147719
50	2500	23	529	1150	0.87612997
50	2500	26	676	1300	0.949786
50	2500	27	729	1350	0.980649
50	2500	29	841	1450	0.98943918
50	2500	31	961	1550	1
50	2500	33	1089	1650	0.98783448

㉱ 공기 유량에 따른 에너지 투입비

Energy Input Ratio Function of Flow Fraction Curve

$$Curve = C1 + C2X + C3X^2$$

여기서,

X = *최대부하일때의 공기 유량*

<표 2.315> Total Cooling Capacity Function of Flow fraction Curve 입력값

	Cooling, Heating
Curve	Quadratic
C1	1.1552
C2	-0.1808
C3	0.0256
Minimum Value of X	0.5
Maximum Value of X	1.5

㉲ 부분부하의 COP 커브 곡선

Part Load Fraction Correlation Curve

$$Curve = C1 + C2X + C3X^2 + C4X^3$$

여기서,

X = *부분부하 비*

<표 2.316> Total Cooling Capacity Function of Flow fraction Curve 입력값

	Cooling, Heating
Curve	Cubic
0.85	0.713
C2	-0.426
C3	1.14
C4	-0.428
Minimum Value of X	0
Maximum Value of X	1

⑤ 통합냉방효율 및 난방효율

○ 현재 국내에서는 지식경제부고시 제 2012-227 효율관리기자재 운용규정에 히트펌프에 관한 통합냉방효율(Integrated Energy Efficiency Ratio) 및 난방효율(Coefficient of Performance)에 대하여 산출하는 방법을 고시해 놓았다. 통합냉방효율이란 멀티전기히트펌프시스템을 냉방 부분부하 조건으로 운전하였을 때의 성적계수로서 다음의 식에 의해 산출

된 통합 에너지 효율비를 말한다. 또한 난방효율이란 당해 모델의 난방용량과 그때의 난방소비전력과의 비로서, 멀티전기히트펌프시스템을 난방조건으로 운전하였을 때의 성적계수로서 난방용량을 유효소비전력으로 나눈 값을 말한다. 현재 고시되어 있는 기준을 보면 방위별, 지역별, 열용량별로 따로 규정되어 있는 것이 아니라, 방위, 지역, 열용량에 상관없이 하나의 효율만을 나타내고 있다. 또한 월별 COP의 산출이 아닌 년간 COP 하나의 값으로 산출이 된다. 그러나 정밀시뮬레이션 결과 일사 취득량 및 벽체 열획득/손실에 따라 부하 차이가 발생하며 시스템의 부분부하 효율을 적용하였을 때 오차가 발생 할 것으로 보인다.

○ 통합냉방효율 및 난방효율 계산식은 다음과 같다.

㉮ 통합냉방효율(IEER)

$$IEER = (0.020 \times A) + (0.167 \times B) + (0.238 \times C) + (0.125 \times D)$$

여기서
A = 표준 조건에서 100% 정미 용량 상태에서의 EER
B = 전체 75%의 정미용량 상태에서의 EER
C = 전체 50%의 정미용량 상태에서의 EER
D = 전체 25%의 정미용량 상태에서의 EER

<표 2.317> 통합냉방효율 산출

IEER 가중계수	부분부하율	연간 부분부하 비율	SSEER	지식경제부 IEER
0.125	0.25	65%	4.7	4.458
0.238	0.5	31%	4.5	
0.617	0.75	4%	4.4	
0.02	1	0.1%	4.25	

㉯ 난방효율(COP)

$$\text{난방효율}(COP) = \frac{\text{표준난방효율}(COP1) + \text{한냉지난방효율}(COP2)}{2}$$

<표 2.318> 난방효율 산출

IEER 가중계수	부분부하율	연간 부분부하 비율	SEER	지식경제부 IEER
0.125	0.25	31%	5.29	4.5
0.238	0.5	36%	5.08	
0.617	0.75	19%	4.88	
0.02	1	14%	4.7	

⑥ 정밀시뮬레이션 부분부하율에 따른 SCOP 산출

○ 국내에서 시스템의 효율을 산정할 때 최대부하 100%에서부터 75%, 50%, 25%의 COP를 산정하게 된다. 아래 제시된 표는 정밀시뮬레이션에서 히트펌프 시스템을 구축하고 시뮬레이션한 결과로 연간 부분부하 비율 X COP를 함으로써 계절별 가중계수를 고려한 SEER 을 산출한 값이다.

㉮ 서울지역 중량 구조체 향별 SEER

<표 2.319> 서울_중량_남_20도_난방

부분부하율	연간 부분부하 비율	COP	SEER
0.25	31%	5.29	1.657881523
0.5	36%	5.08	1.811317348
0.75	19%	4.88	0.911300423
1	14%	4.7	0.673511989
		합	5.054

<표 2.320> 서울_중량_동_20도_난방

부분부하율	연간 부분부하 비율	COP	SEER
0.25	26%	5.29	1.368999483
0.5	32%	5.08	1.624601861
0.75	23%	4.88	1.136732161
1	19%	4.7	0.885806618
		합	5.016

<표 2.321> 서울_중량_북_20도_난방

부분부하율	연간 부분부하 비율	COP	SEER
0.25	35%	5.29	1.856892655
0.5	45%	5.08	2.293549496
0.75	18%	4.88	0.861881602
1	2%	4.7	0.098133137
		합	5.086

<표 2.322> 서울_중량_서_20도_난방

부분부하율	연간 부분부하 비율	COP	SEER
0.25	36%	5.29	1.87994012
0.5	46%	5.08	2.329049727
0.75	17%	4.88	0.813121583
1	2%	4.7	0.091772976
		합	5.092

<표 2.323> 서울_중량_남_26도_냉방

부분부하율	연간 부분부하 비율	COP	SEER
0.25	65%	4.7	3.040660805
0.5	31%	4.5	1.39088729
0.75	4%	4.4	0.191100453
1	0.1%	4.25	0.002264855
		합	4.625

<표 2.324> 서울_중량_동_26도_냉방

부분부하율	연간 부분부하 비율	COP	SEER
0.25	47%	4.7	2.208370536
0.5	39%	4.5	1.745256696
0.75	13%	4.4	0.564732143
1	1%	4.25	0.059291295
		합	4.578

<표 2.325> 서울_중량_북_26도_냉방

부분부하율	연간 부분부하 비율	COP	SEER
0.25	55%	4.7	2.608160703
0.5	39%	4.5	1.741525424
0.75	6%	4.4	0.255492781
1	1%	4.25	0.039645522
		합	4.645

<표 2.326> 서울_중량_서_20도_난방

부분부하율	연간 부분부하 비율	COP	SEER
0.25	59%	4.7	2.765789474
0.5	33%	4.5	1.506718925
0.75	7%	4.4	0.287010078
1	1%	4.25	0.048782195
		합	4.608

㉰ 서울지역 중간세대 경량 향별 SEER

<표 2.327> 서울_중간세대 경량_남_20도_난방

부분부하율	연간 부분부하 비율	COP	SEER
0.25	47%	5.29	2.48275321
0.5	34%	5.08	1.730171184
0.75	6%	4.88	0.295863053
1	13%	4.7	0.608452211
		합	5.117

<표 2.328> 서울_중간세대 경량_동_20도_난방

부분부하율	연간 부분부하 비율	COP	SEER
0.25	43%	5.29	2.254754098
0.5	36%	5.08	1.820017884
0.75	9%	4.88	0.437818182
1	13%	4.7	0.591177347
		합	5.104

<표 2.329> 서울_중간세대 경량_북_20도_난방

부분부하율	연간 부분부하 비율	COP	SEER
0.25	42%	5.29	2.206618465
0.5	37%	5.08	1.856262514
0.75	10%	4.88	0.465472747
1	12%	4.7	0.573776418
		합	5.102

<표 2.330> 서울_중간세대 경량_서_20도_난방

부분부하율	연간 부분부하 비율	COP	SEER
0.25	43%	5.29	2.253746944
0.5	36%	5.08	1.839792176
0.75	8%	4.88	0.408655257
1	13%	4.7	0.601864303
		합	5.104

㉮ 서울지역 중간세대 경량 향별 SEER

<표 2.331> 서울_중량_남_26도_냉방

부분부하율	연간 부분부하 비율	COP	SEER
0.25	60%	4.7	2.820848375
0.5	33%	4.5	1.504738267
0.75	6%	4.4	0.280956679
1	0.2%	4.25	0.006712545
		합	4.613

<표 2.332> 서울_중량_동_26도_냉방

부분부하율	연간 부분부하 비율	COP	SEER
0.25	53%	4.7	2.501129111
0.5	36%	4.5	1.639175258
0.75	10%	4.4	0.442808051
1	0.3%	4.25	0.012518409
		합	4.596

<표 2.333> 서울_중량_북_26도_냉방

부분부하율	연간 부분부하 비율	COP	SEER
0.25	50%	4.7	2.337513284
0.5	40%	4.5	1.789718385
0.75	10%	4.4	0.451222104
1	0.2%	4.25	0.010162062
		합	4.589

<표 2.334> 서울_중량_서_26도_냉방

부분부하율	연간 부분부하 비율	COP	SEER
0.25	56%	4.7	2.620893372
0.5	35%	4.5	1.568083573
0.75	8%	4.4	0.36560999
1	1.1%	4.25	0.045929395
		합	4.601

⑦ 시뮬레이션 결과

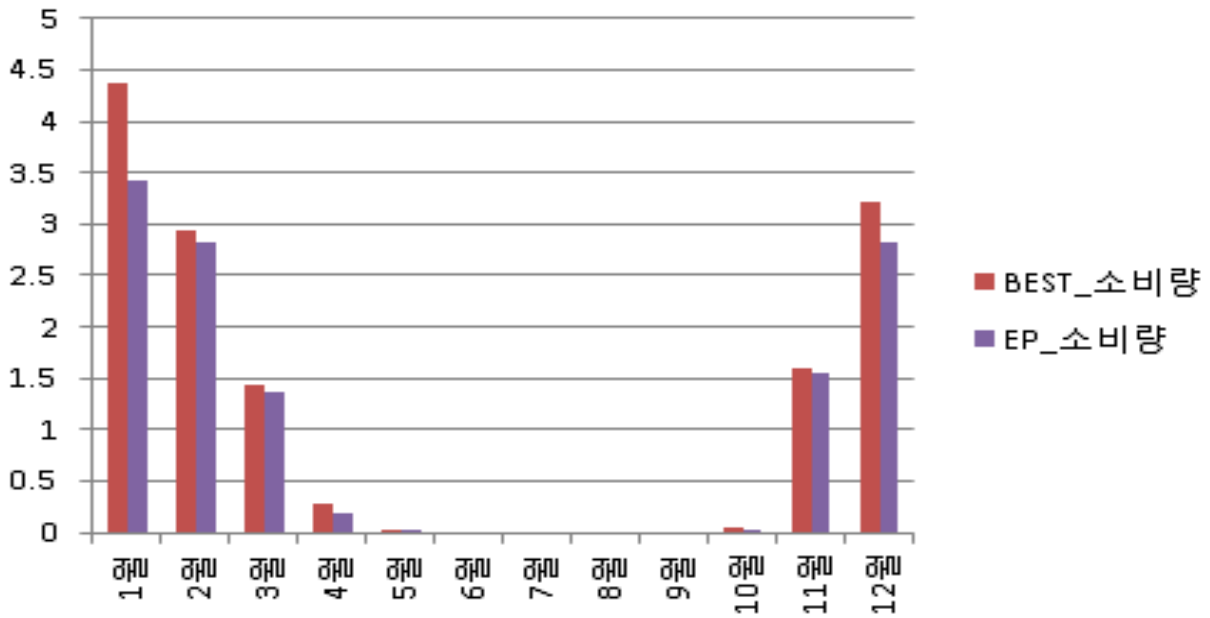
○ 정밀시뮬레이션과 BEST와의 에너지 소비량의 오차율을 비교한 결과 중간세대 경량의 구조체보다 중량 구조체가 더 많은 오차가 발생하는 것을 알 수 있다. 그러나 정밀시뮬레이션과 BEST의 에너지 소비량은 비슷한 양상을 보이고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 중간세대 경량모델의 경우 2월,3월에도 냉방부하가 산출되는 것을 볼 수 있는데 이는 중간세대로 인한 열 손실보다 일사획득 및 실내기기 발열을 통해 열획득이 더 크기 때문에 2,3월에도 냉방이 발생하는 것으로 보인다.

㉮ 초중량 구조체 월별 소비량 비교

○ 향별 초중량, 월별 난방 소비량

<표 2.335> 월별 난방소비량

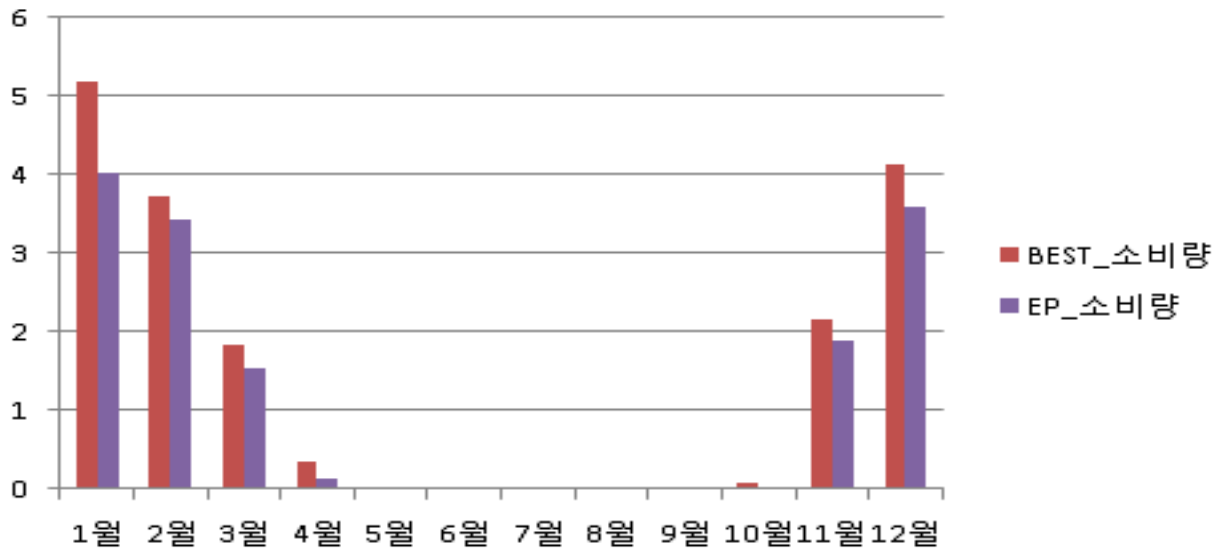
	남측창, 초중량											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
BEST	4.37	2.94	1.43	0.28	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	1.61	3.21
EP	3.42	2.81	1.37	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.55	2.83



[그림 2.221] 남향_초중량, 월별 난방 소비량 비교

<표 2.336> 월별 난방소비량

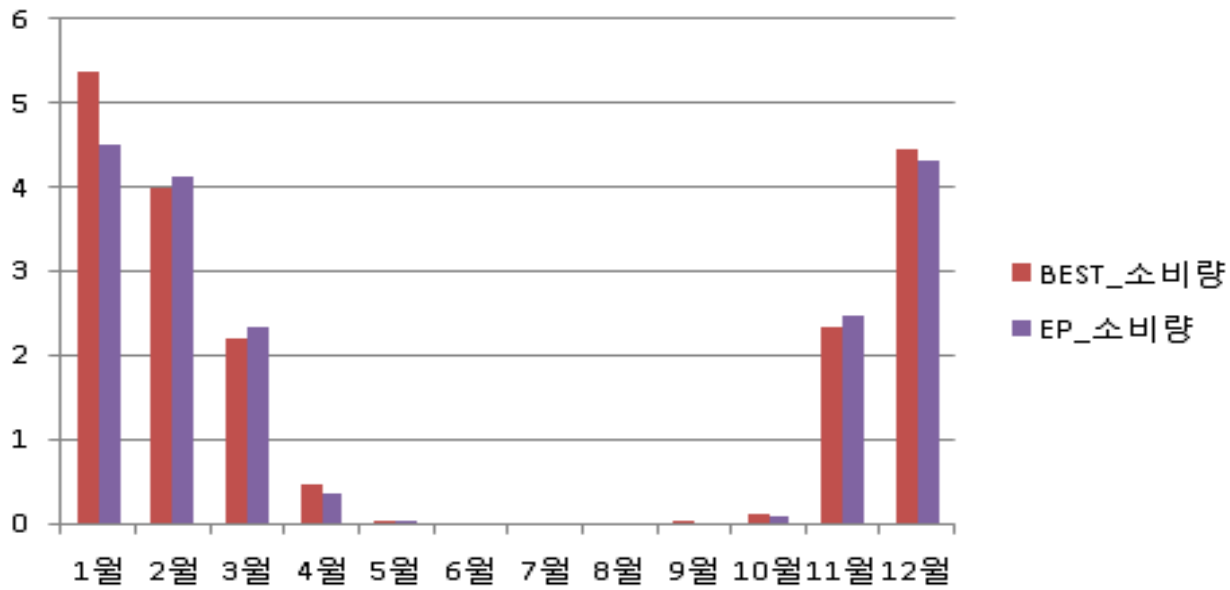
	동측창, 초중량											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
BEST	5.18	3.71	1.84	0.34	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	2.15	4.13
EP	4.03	3.43	1.54	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.89	3.58



[그림 2.222] 동향_초중량, 월별 난방 소비량 비교

<표 2.337> 월별 난방소비량

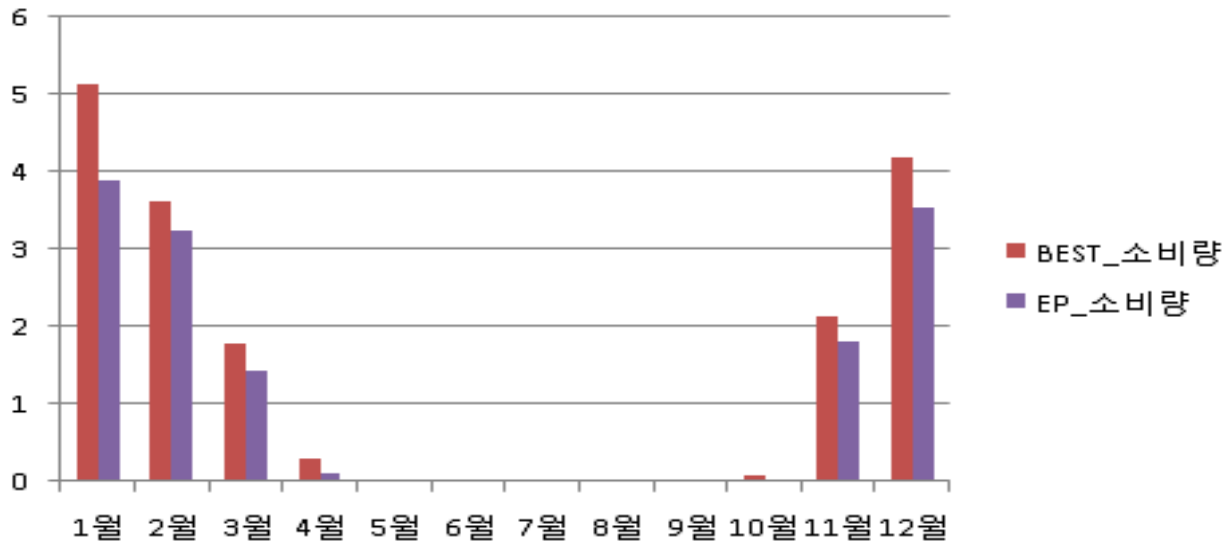
	북측창, 초중량											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
BEST	5.38	3.99	2.21	0.45	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	2.34	4.44
EP	4.50	4.13	2.34	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	2.46	4.31



[그림 2.223] 북향_초중량, 월별 난방 소비량 비교

<표 2.338> 월별 난방소비량

	서측창, 초중량											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
BEST	5.13	3.63	1.79	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	2.13	4.18
EP	3.89	3.25	1.44	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.81	3.54

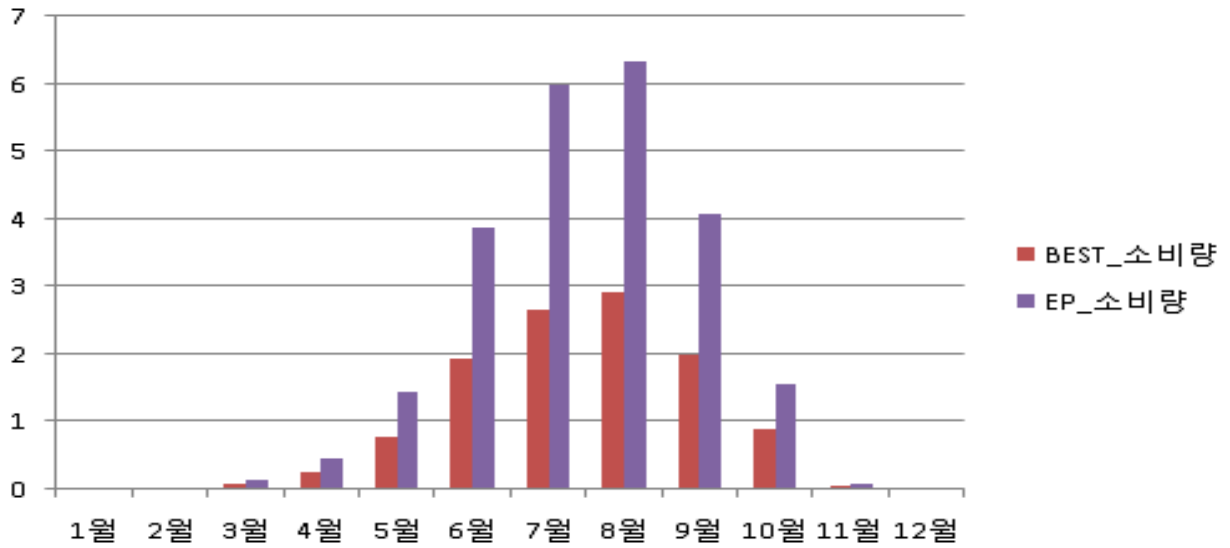


[그림 2.224] 서향_초중량, 월별 난방 소비량 비교

- 향별 초중량, 월별 냉방 소비량

<표 2.339> 월별 냉방소비량

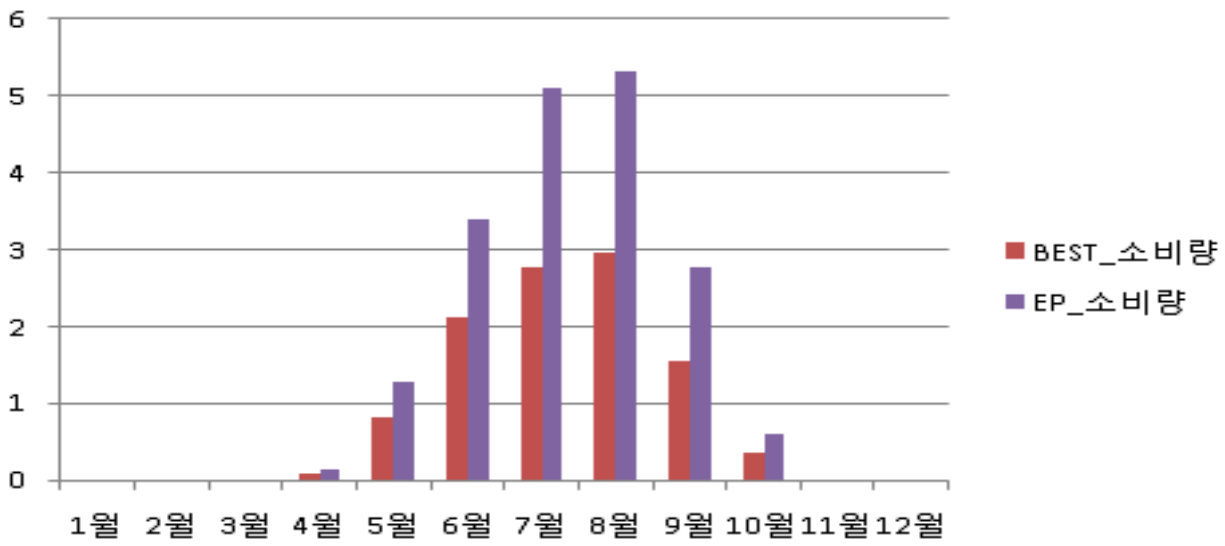
	남측창, 초중량											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
BEST	0.00	0.00	0.06	0.24	0.75	1.91	2.65	2.92	1.98	0.87	0.04	0.00
EP	0.00	0.00	0.12	0.46	1.43	3.85	5.99	6.32	4.06	1.54	0.07	0.00



[그림 2.225] 남향_초중량, 월별 냉방 소비량 비교

<표 2.340> 월별 냉방소비량

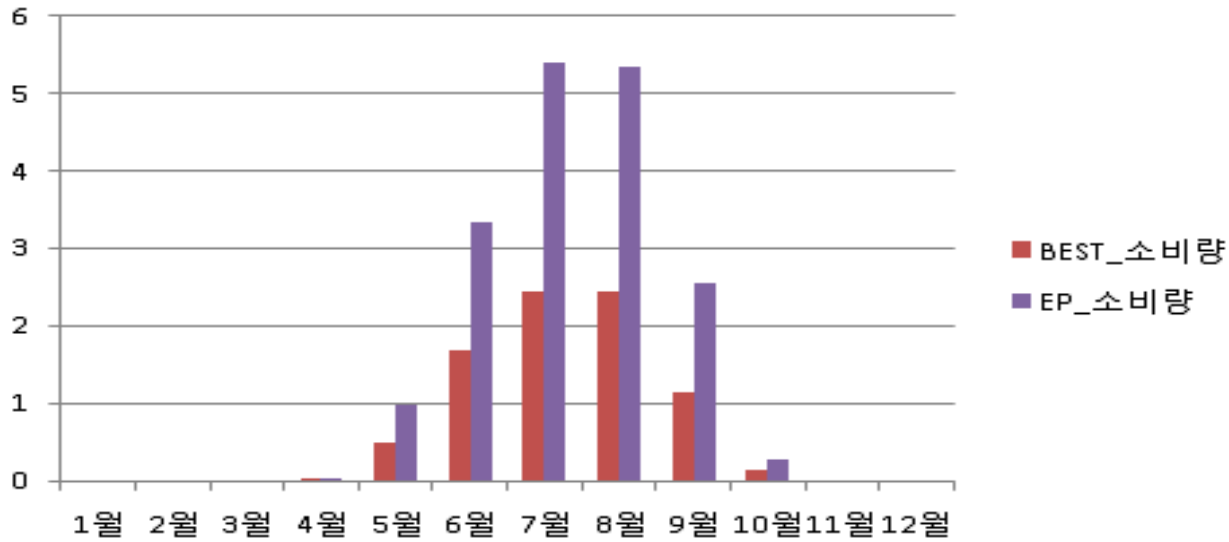
	동측창, 초중량											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
BEST	0.00	0.00	0.00	0.07	0.81	2.11	2.75	2.95	1.55	0.35	0.00	0.00
EP	0.00	0.00	0.00	0.15	1.28	3.38	5.11	5.30	2.76	0.59	0.00	0.00



[그림 2.226] 동향_초중량, 월별 냉방 소비량 비교

<표 2.341> 월별 냉방소비량

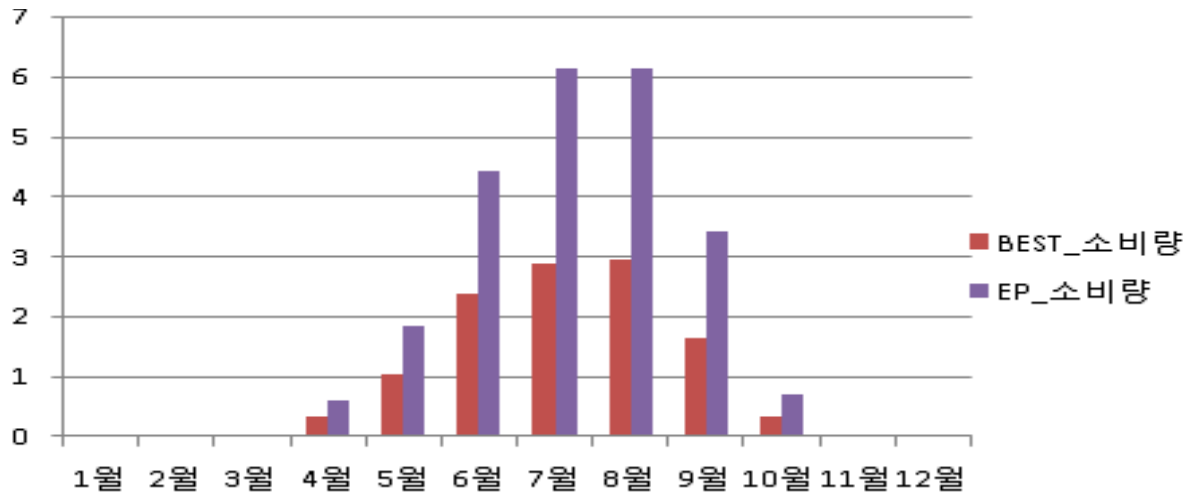
	북측창, 초중량											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
BEST	0.00	0.00	0.00	0.01	0.50	1.69	2.45	2.44	1.15	0.14	0.00	0.00
EP	0.00	0.00	0.00	0.04	0.97	3.35	5.39	5.34	2.54	0.28	0.00	0.00



[그림 2.227] 북향_초중량, 월별 냉방 소비량 비교

<표 2.342> 월별 냉방소비량

	서측창, 초중량											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
BEST	0.00	0.00	0.01	0.32	1.02	2.37	2.90	2.95	1.63	0.35	0.00	0.00
EP	0.00	0.00	0.04	0.59	1.86	4.44	6.14	6.15	3.42	0.69	0.00	0.00



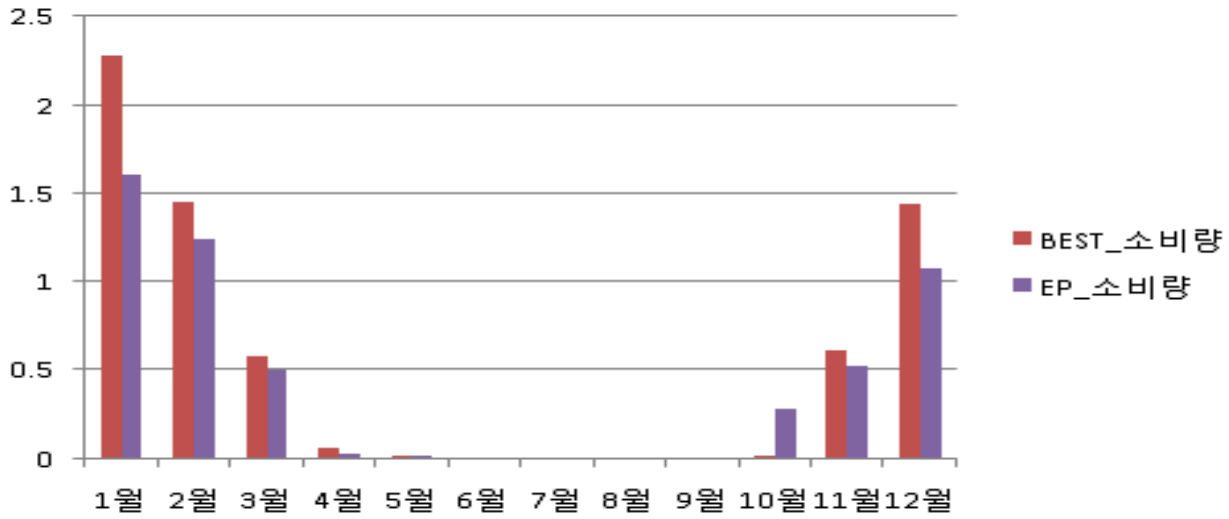
[그림 2.228] 서향_초중량, 월별 냉방 소비량 비교

㉯ 중간세대 경량 월별 소비량 비교

○ 향별 중간세대 경량, 월별 난방 소비량

<표 2.343> 월별 난방소비량

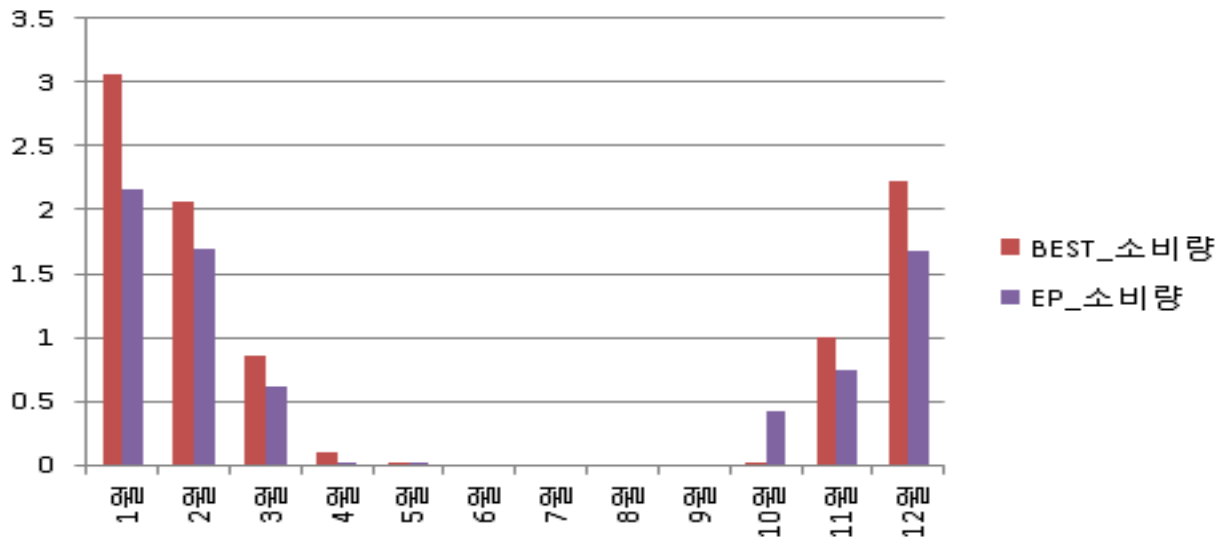
	남측창, 중간세대 경량											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
BEST	2.28	1.45	0.57	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	1.44
EP	1.60	1.23	0.50	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.52	1.08



[그림 2.229] 남향_중간세대 경량, 월별 난방 소비량 비교

<표 2.344> 월별 난방소비량

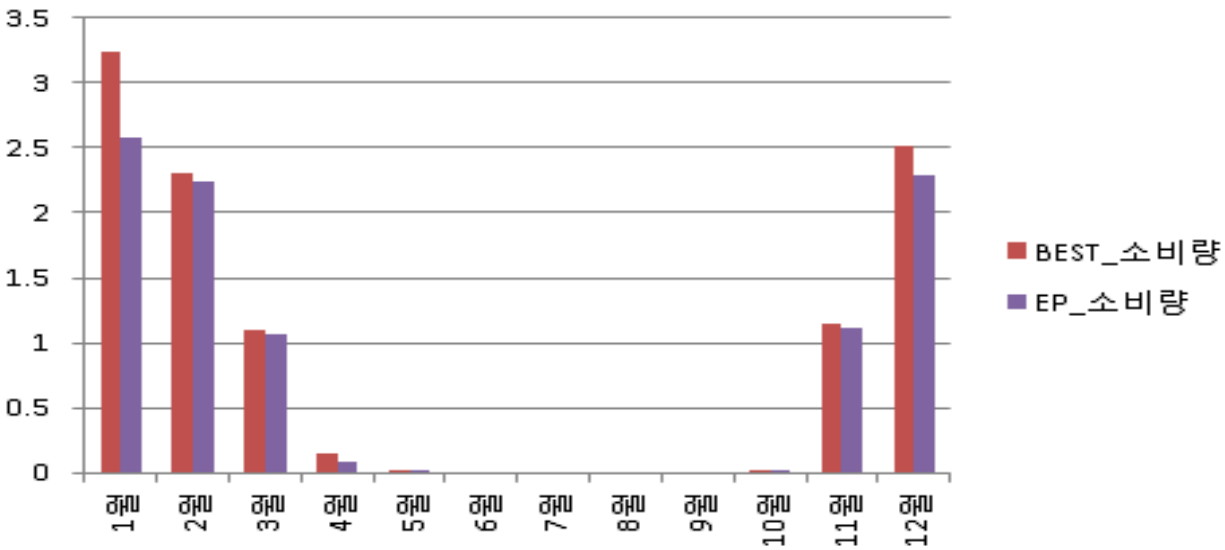
	동측창, 중간세대 경량											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
BEST	3.06	2.06	0.86	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	2.23
EP	2.17	1.69	0.62	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.75	1.68



[그림 2.230] 동향_중간세대 경량, 월별 난방 소비량 비교

<표 2.345> 월별 난방소비량

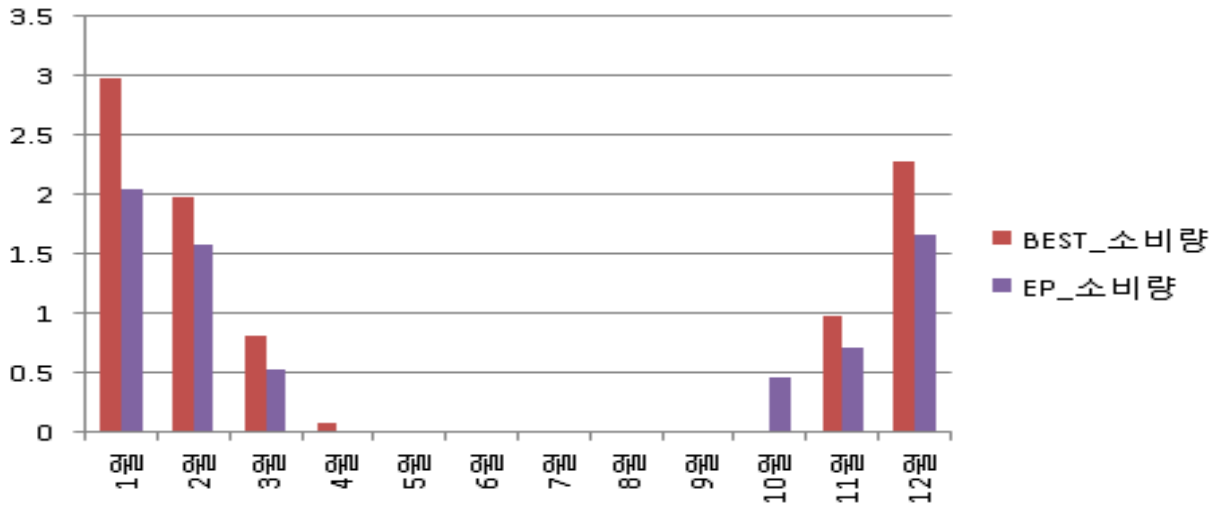
	북측창, 중간세대 경량											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
BEST	3.23	2.31	1.10	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.14	2.52
EP	2.58	2.24	1.07	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.11	2.29



[그림 2.231] 북향_중간세대 경량, 월별 난방 소비량 비교

<표 2.346> 월별 난방소비량

	서측창, 중간세대 경량											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
BEST	2.98	1.98	0.81	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.98	2.27
EP	2.04	1.57	0.53	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.71	1.66

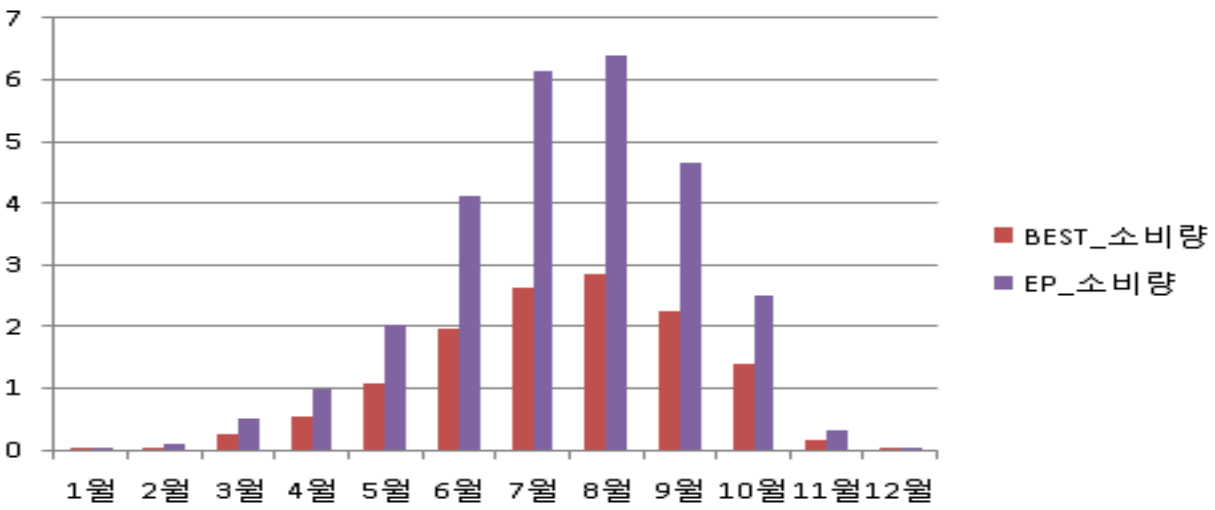


[그림 2.232] 서향_중간세대 경량, 월별 난방 소비량 비교

○ 향별 중간세대 경량, 월별 냉방 소비량

<표 2.347> 월별 냉방소비량

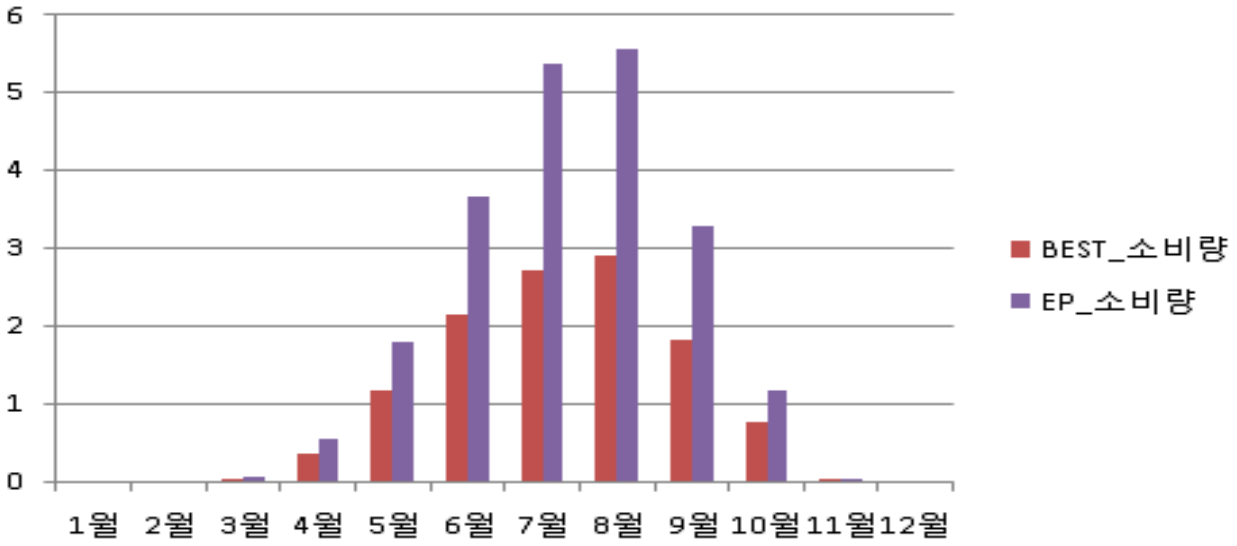
	남측창, 중간세대 경량											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
BEST	0.00	0.05	0.26	0.55	1.07	1.96	2.61	2.86	2.24	1.38	0.16	0.01
EP	0.00	0.09	0.49	0.98	2.01	4.12	6.14	6.39	4.66	2.50	0.31	0.03



[그림 2.233] 남향_중간세대 경량, 월별 냉방 소비량 비교

<표 2.348> 월별 냉방소비량

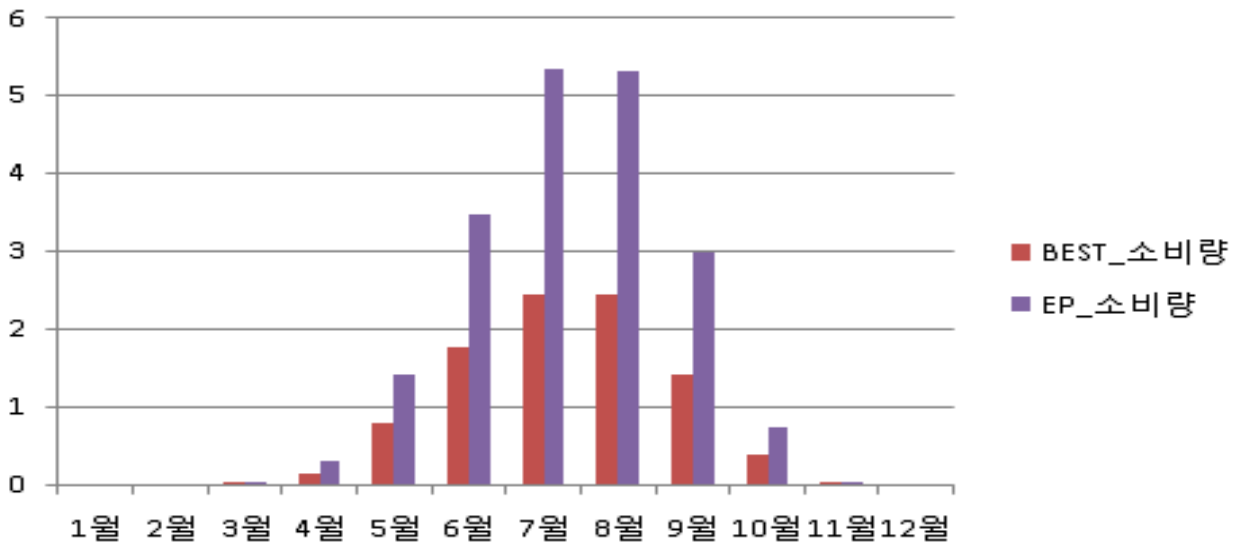
	동측창, 중간세대 경량											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
BEST	0.00	0.00	0.03	0.34	1.18	2.15	2.71	2.90	1.81	0.76	0.00	0.00
EP	0.00	0.00	0.05	0.53	1.78	3.67	5.38	5.57	3.28	1.17	0.01	0.00



[그림 2.234] 동향_중간세대 경량, 월별 냉방 소비량 비교

<표 2.349> 월별 냉방소비량

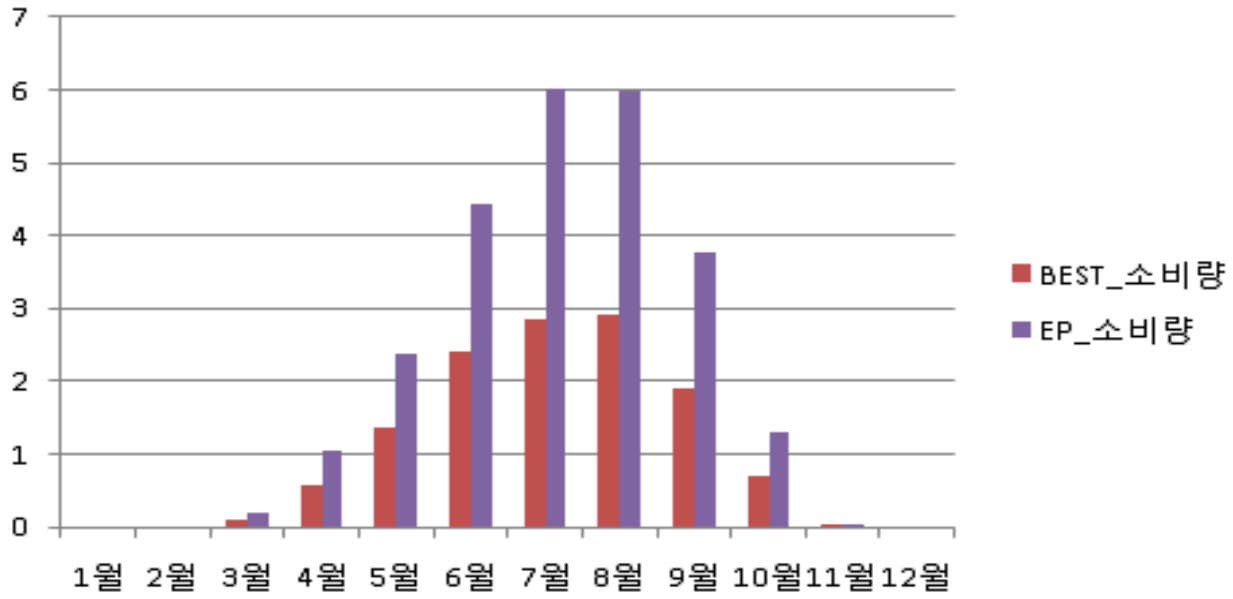
	북측창, 중간세대 경량											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
BEST	0.00	0.00	0.01	0.15	0.79	1.77	2.44	2.44	1.40	0.39	0.00	0.00
EP	0.00	0.00	0.01	0.29	1.42	3.48	5.34	5.31	3.00	0.74	0.00	0.00



[그림 2.235] 북향_중간세대 경량, 월별 냉방 소비량 비교

<표 2.350> 월별 냉방소비량

	서측창, 중간세대 경량											
	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Ju	Au	Se	Ot	No	De
BEST	0.00	0.00	0.09	0.58	1.38	2.40	2.86	2.91	1.89	0.69	0.02	0.00
EP	0.00	0.00	0.20	1.05	2.38	4.42	6.00	5.99	3.78	1.30	0.05	0.00



[그림 2.236] 서향_중간세대 경량, 월별 냉방 소비량 비교

○ 난방/냉방 소비량 연간 오차 비교

- 정밀시뮬레이션과 BEST의 연간 냉난방 소비량 오차율 비교시 초중량 모델에서 냉방의 경우 최소17% 최대18%의 오차율을 보이며, 난방의 경우 최서 0%, 최대 12%의 오차를 나타낸다.
- 또한 중간세대 경량의 경우 난방의 경우 최소 8%, 최대 11%, 냉방의 경우 최소 15%, 최대 26%의 오차율을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 정밀시뮬레이션상 부분부하 비에 따른 커브 곡선입력의 변수 및 시스템이 설치가 됨으로써 건물에서 필요로 하는 요구량 자체가 변화되어 오차가 발생된 것으로 알 수 있다.

<표 2.351> 난방 향별 연간 소비량 오차율

	향	BEST	정밀시뮬레이션	오차율
초중량	남향	13.90	12.18	14%
	동향	17.44	14.62	19%
	북향	23.45	18.17	29%
	서향	21.75	14.05	55%

<표 2.352> 냉방 향별 연간 소비량 오차율

	향	BEST	정밀시뮬레이션	오차율
초중량	남향	11.42	23.84	52%
	동향	10.60	18.57	43%
	북향	8.37	17.91	53%
	서향	11.56	23.33	50%

<표 2.353> 난방 향별 연간 소비량 오차율

	향	BEST	정밀시뮬레이션	오차율
중간세대 경량	남향	6.41	5.23	23%
	동향	9.33	7.35	27%
	북향	10.48	9.39	12%
	서향	9.10	6.98	30%

<표 2.354> 냉방 향별 연간 소비량 오차율

	향	BEST	정밀시뮬레이션	오차율
중간세대 경량	남향	13.16	27.73	53%
	동향	11.88	21.43	45%
	북향	9.39	19.59	52%
	서향	12.82	25.17	49%

○ IEER, 난방효율과 정밀시뮬레이션 SCOP, SSEER 비교

- 지식경제부고시 '제 2012-227' 효율관리기자재 운용규정의 통합 냉방효율과 난방효율과 정밀시뮬레이션의 SCOP, SSEER의 효율을 비교하였을 때 초중량의 경우 난방 12%, 냉방 3%의 오차율을 보이고 있으며, 중간세대 경량의 경우 난방 13%, 냉방 3%의 오차율을 보이고 있다. 정밀시뮬레이션과 BEST의 경우 향별 용량별로 SCOP, SSEER의 효율은 변화되고 있으나, 현재 지식경제부에서 고시하고 있는 통합냉방효율 및 난방효율은 향별, 용량별, 지역별로 고시되어 있는 것이 아니라 냉난방 효율을 구하는 방법만 제시하고 있어 정확한 비교는 불가능 하다. 그러므로 지식경제부에서 고시되고 있는 통합냉방효율 및 난방효율을 구하는 방법에 있어 향별, 용량별, 지역별의 가중계수를 제시해야 할 것으로 보인다.

○ 향별 초중량 효율 비교

<표 2.355> 난방 향별 연간 효율 오차율

	향	정밀시뮬레이션	지식경제부 고시	오차율
초중량	남향	5.054	4.5	11%
	동향	5.016		
	북향	5.085		
	서향	5.091		

<표 2.356> 냉방 향별 연간 소비량 오차율

	향	정밀시뮬레이션	지식경제부 고시	오차율
초중량	남향	4.624	4.45	3%
	동향	4.577		
	북향	4.644		
	서향	4.608		

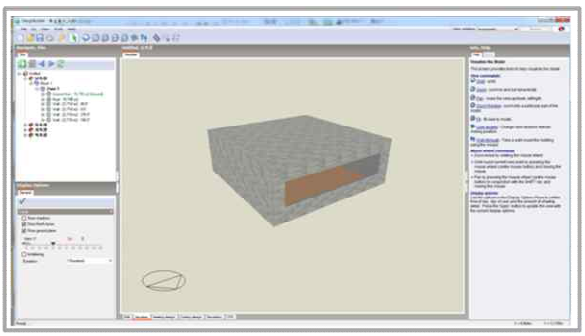
○ 향별 중간세대 경량 효율 비교

<표 2.357> 난방 향별 연간 효율 오차율

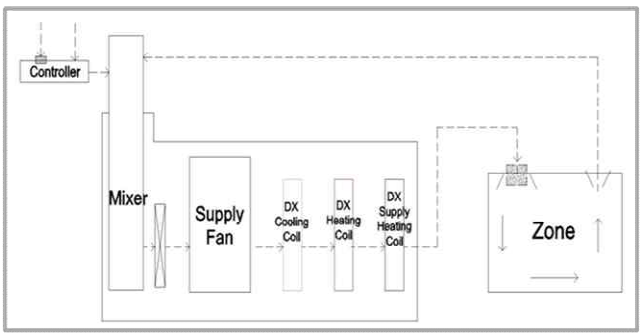
	향	정밀시뮬레이션	지식경제부 고시	오차율
중간세대 경량	남향	5.117	4.5	12%
	동향	5.103		
	북향	5.102		
	서향	5.104		

<표 2.358> 냉방 향별 연간 효율 오차율

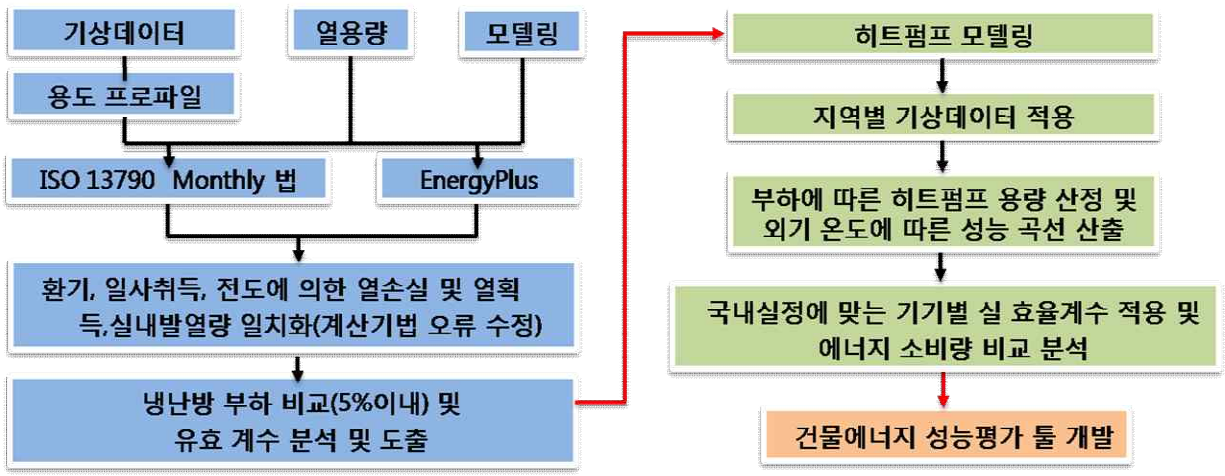
	향	정밀시뮬레이션	지식경제부 고시	오차율
중간세대 경량	남향	4.613	4.45	3%
	동향	4.595		
	북향	4.588		
	서향	4.600		



[EnergyPlus 1 Zone Model]



[AHU System 구성도]



[그림 2.237] 검증방향

3. 설비기기 특성곡선 도출 (WOOWON M&E)

가. 기조사된 용량, 타입별 설비기기의 DB 분석을 통해 특성곡선 도출

(1) 성능분석을 위한 보일러 DB 구축 요약

<표 2.359> 증기보일러(경유) DB 구축 요약

제조사	용량	사용연료량				연소효율			
		25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
	kW	ℓ	ℓ	ℓ	ℓ	%	%	%	%
D사	2,245	51.0	101.9	152.9	203.8	92.00	92.00	92.00	92.00
D사	3,742	84.9	169.8	254.7	339.6	92.02	92.02	92.02	92.02
D사	1,497	34.4	68.7	103.1	137.4	90.97	90.97	90.97	90.97
D사	2,245	51.5	103.0	154.5	206.0	91.01	91.01	91.01	91.01
B사	116	2.7	5.4	8.0	10.7	90.74	90.74	90.74	90.74
B사	698	16.0	32.0	48.0	64.0	91.02	91.02	91.02	91.02
B사	930	21.4	42.7	64.1	85.4	90.95	90.95	90.95	90.95
B사	1,395	32.0	64.0	96.0	128.0	91.02	91.02	91.02	91.02
B사	2,326	53.4	106.7	160.1	213.4	90.99	90.99	90.99	90.99
B사	4,186	96.0	192.1	288.1	384.1	91.00	91.00	91.00	91.00

<표 2.360> 증기보일러(LNG) DB 구축 요약

제조사	용량	사용연료량				연소효율			
		25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
	kW	ℓ	ℓ	ℓ	ℓ	%	%	%	%
D사	2,245	48.8	97.6	146.3	195.1	89.99	89.99	89.99	89.99
D사	3,742	81.3	162.6	243.8	325.1	90.01	90.01	90.01	90.01
D사	1,497	32.5	65.0	97.5	130.0	90.03	90.03	90.03	90.03
D사	2,245	48.8	97.6	146.3	195.1	89.98	89.98	89.98	89.98
B사	374	8.3	16.5	24.8	33.0	88.66	88.66	88.66	88.66
B사	749	16.5	33.0	49.5	66.0	88.66	88.66	88.66	88.66
B사	1,123	24.8	49.5	74.3	99.0	88.66	88.66	88.66	88.66
B사	1,497	33.2	66.4	99.5	132.7	88.20	88.20	88.20	88.20
B사	1,871	41.1	82.1	123.2	164.2	89.10	89.10	89.10	89.10
B사	2,246	49.3	98.5	147.8	197.0	89.11	89.11	89.11	89.11

<표 2.361> 온수보일러(경유) DB 구축 요약

제조사	용량	사용연료량				연소효율			
		25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
	kW	ℓ	ℓ	ℓ	ℓ	%	%	%	%
D사	581	13.3	26.7	40.0	53.3	91.08	91.08	91.08	91.08
D사	1,163	26.7	53.4	80.0	106.7	90.99	90.99	90.99	90.99
B사	116	2.7	5.4	8.0	10.7	90.74	90.74	90.74	90.74
B사	698	16.0	32.0	48.0	64.0	91.02	91.02	91.02	91.02
B사	930	21.4	42.7	64.1	85.4	90.95	90.95	90.95	90.95
B사	1,395	32.0	64.0	96.0	128.0	91.02	91.02	91.02	91.02
B사	2,326	53.4	106.7	160.1	213.4	90.99	90.99	90.99	90.99
B사	4,186	96.0	192.1	288.1	384.1	91.00	91.00	91.00	91.00

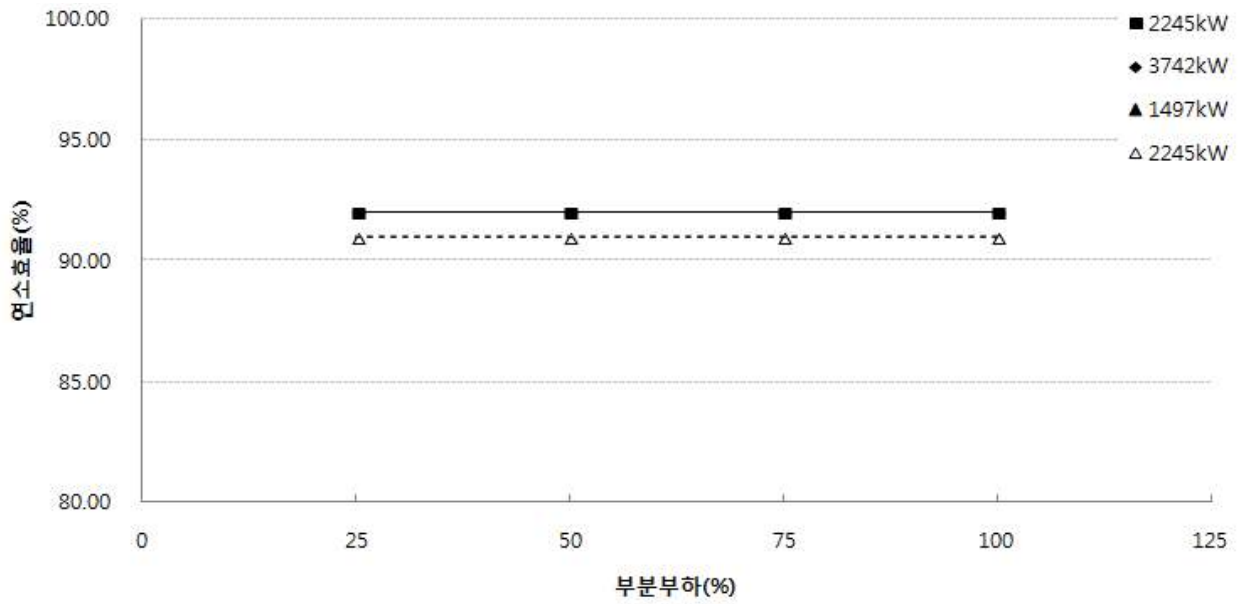
<표 2.362> 온수보일러(LNG) DB 구축 요약

제조사	용량	사용연료량				연소효율			
		25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
	kW	ℓ	ℓ	ℓ	ℓ	%	%	%	%
D사	581	13.7	27.5	41.2	54.9	82.80	82.80	82.80	82.80
D사	1,163	27.5	55.0	82.4	109.9	82.72	82.72	82.72	82.72
D사	2,326	50.5	101.0	151.5	202.0	90.01	90.01	90.01	90.01
D사	4,070	88.4	176.8	265.1	353.5	90.01	90.01	90.01	90.01
B사	116	2.8	5.6	8.3	11.1	81.90	81.90	81.90	81.90
B사	698	16.7	33.3	50.0	66.6	81.90	81.90	81.90	81.90
B사	930	22.2	44.4	66.6	88.8	81.90	81.90	81.90	81.90
B사	1,395	33.3	66.6	99.9	133.2	81.90	81.90	81.90	81.90
B사	2,326	55.5	111.0	166.5	222.0	81.90	81.90	81.90	81.90
B사	4,186	99.9	199.8	299.7	399.6	81.90	81.90	81.90	81.90

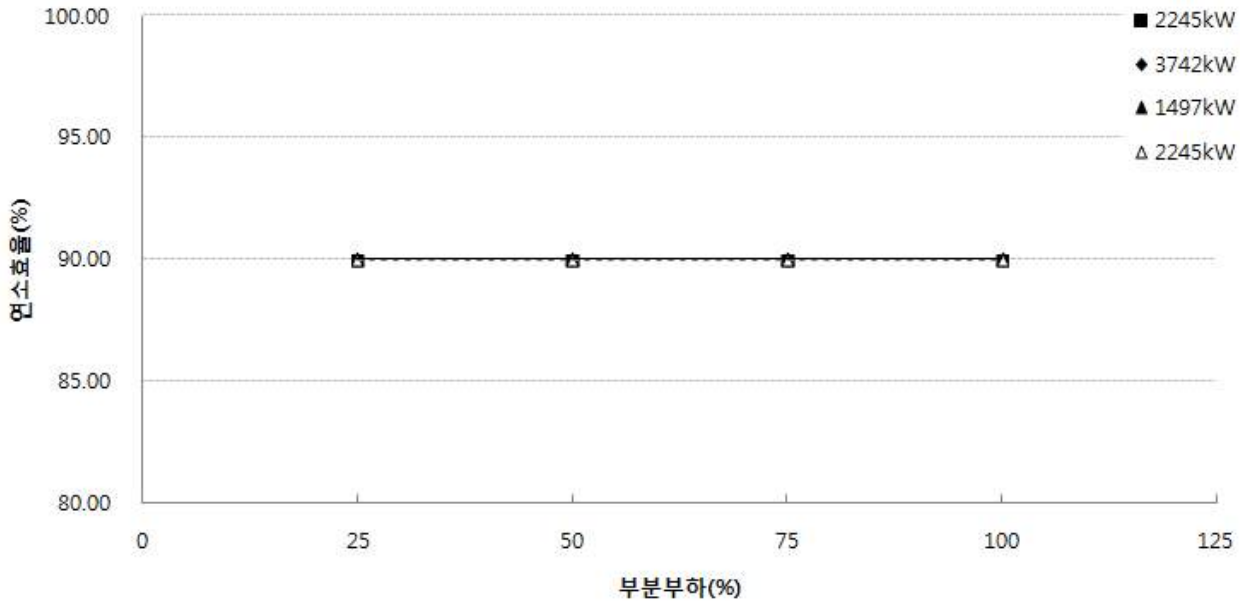
(2) DB 성능분석 종합

(가) 증기보일러 성능분석

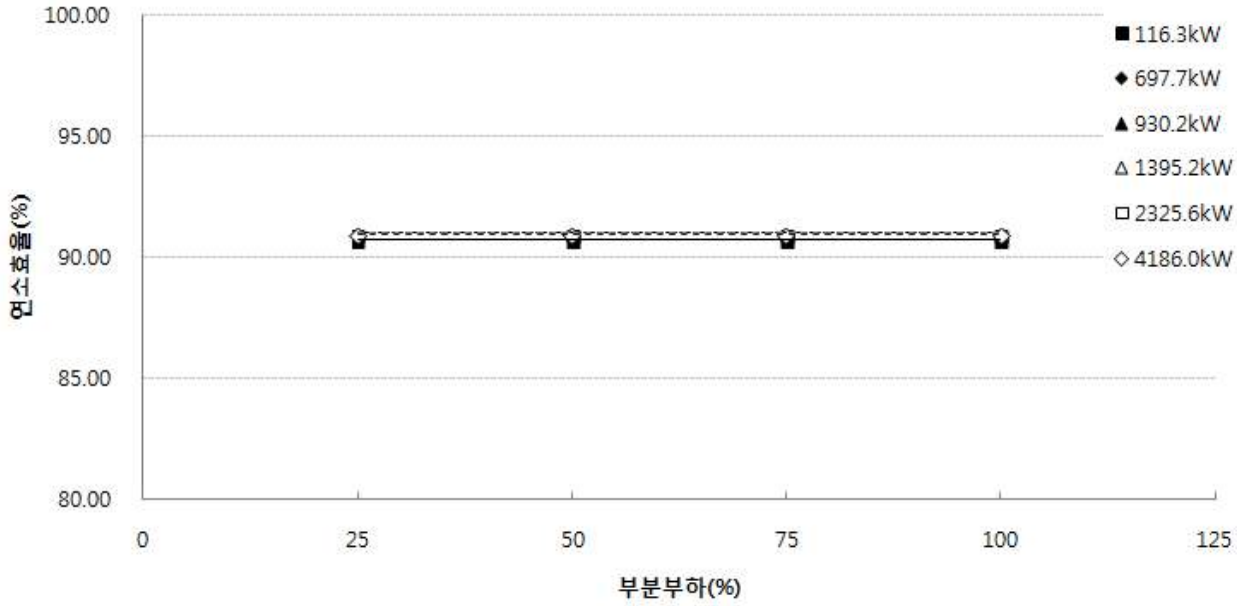
○ 다음은 업체별로 보일러의 부분부하에 따른 연소효율 변화를 나타낸 것으로, 보일러의 용량 변화에 따른 연소효율 변화를 알아보고자 하였다.



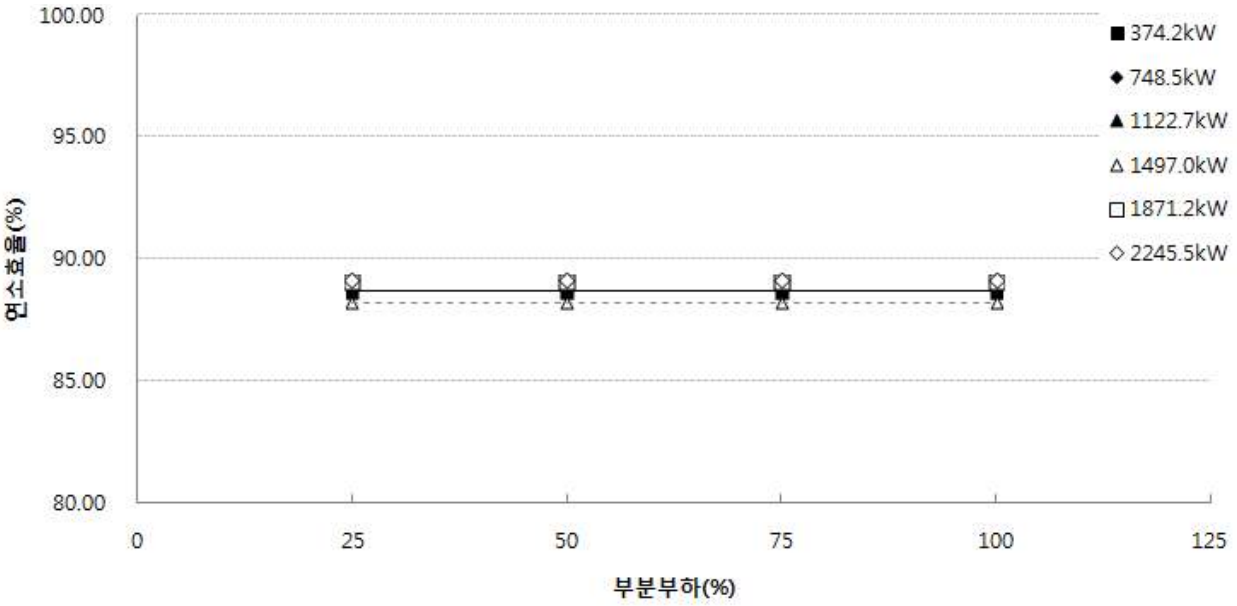
[그림 2.238] D사 증기보일러(경유) 성능변화



[그림 2.239] D사 증기보일러(LNG) 성능변화



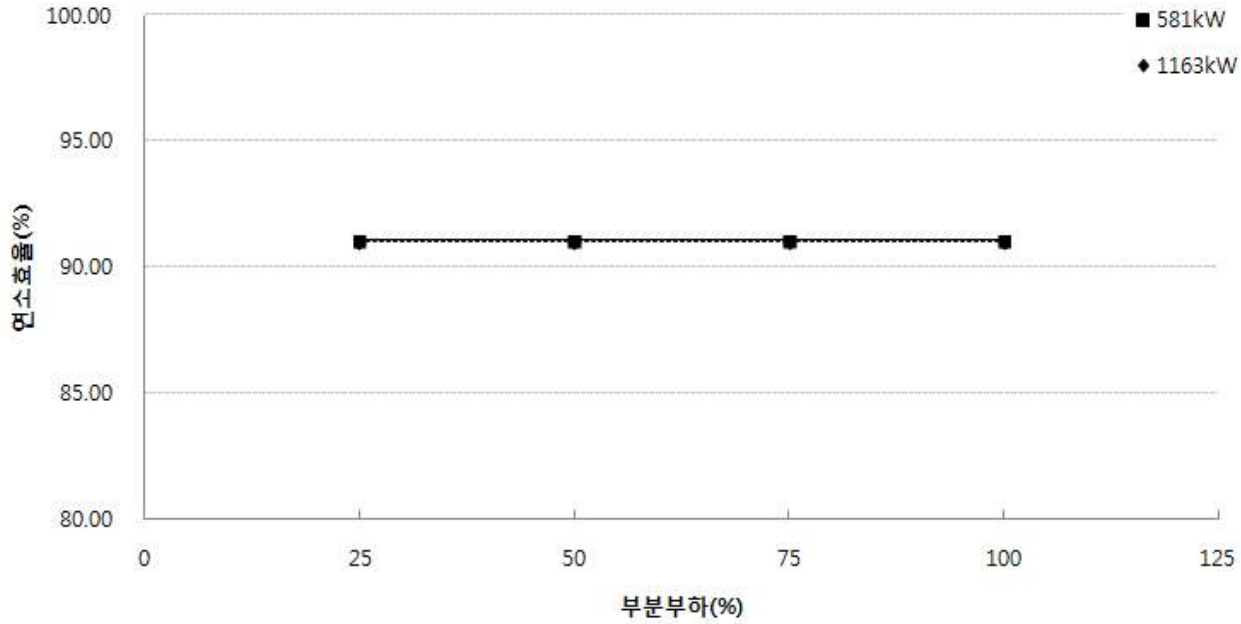
[그림 2.240] B사 증기보일러(경유) 성능변화



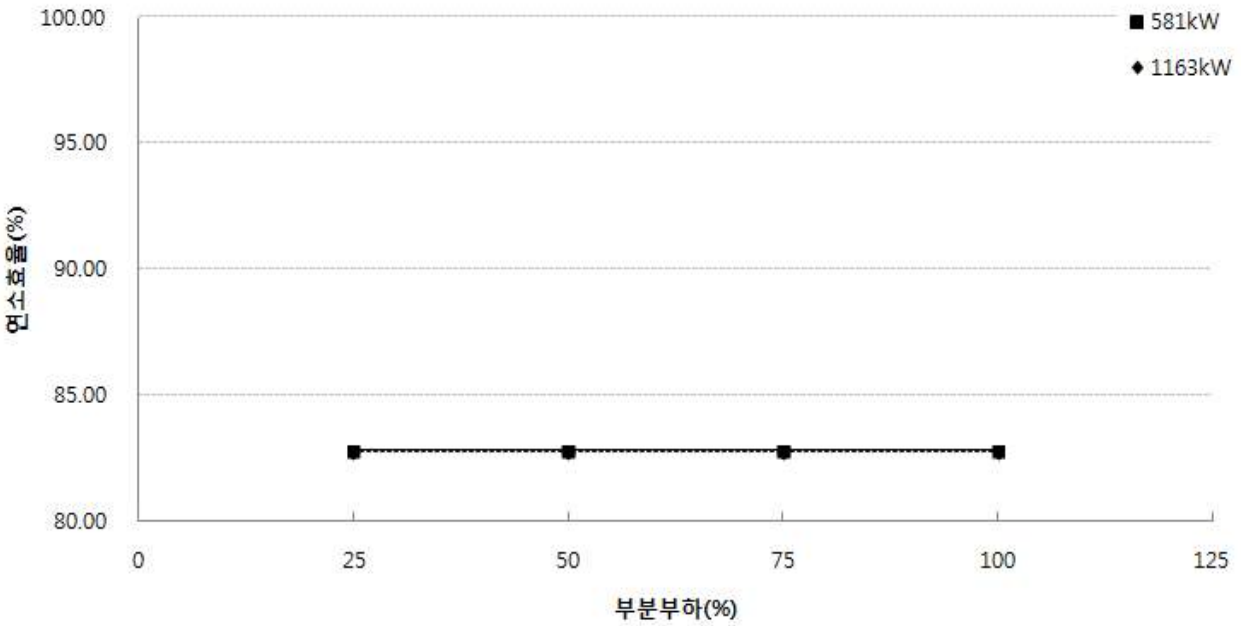
[그림 2.241] B사 증기보일러(LNG) 성능변화

(나) 온수보일러 성능분석

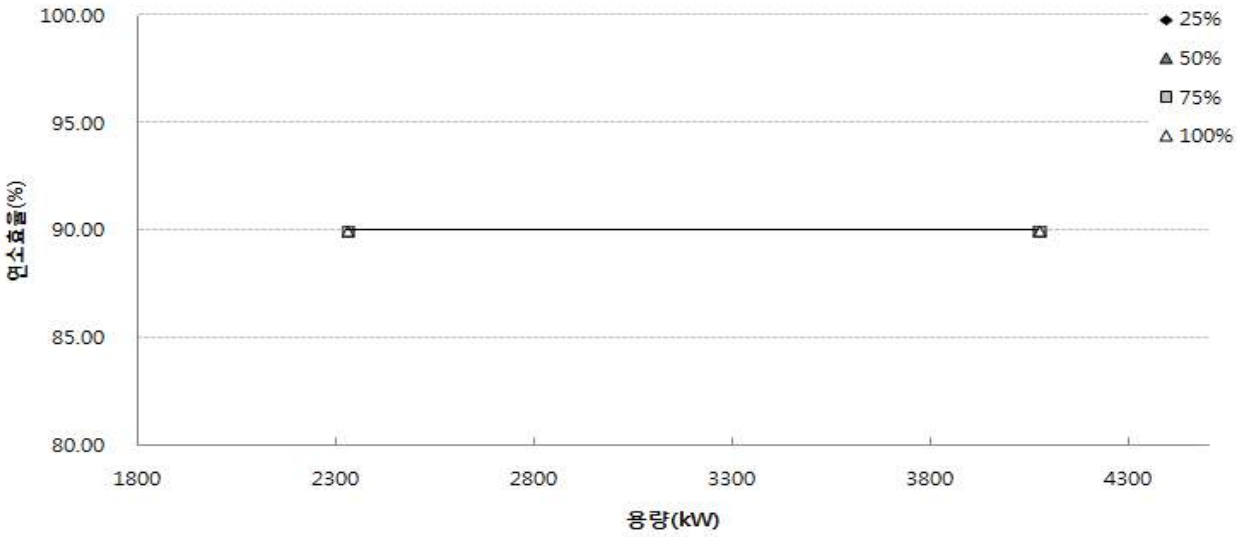
○ 다음은 업체별로 보일러의 부분부하에 따른 연소효율 변화를 나타낸 것으로, 보일러의 용량 변화에 따른 연소효율 변화를 알아보고자 하였다.



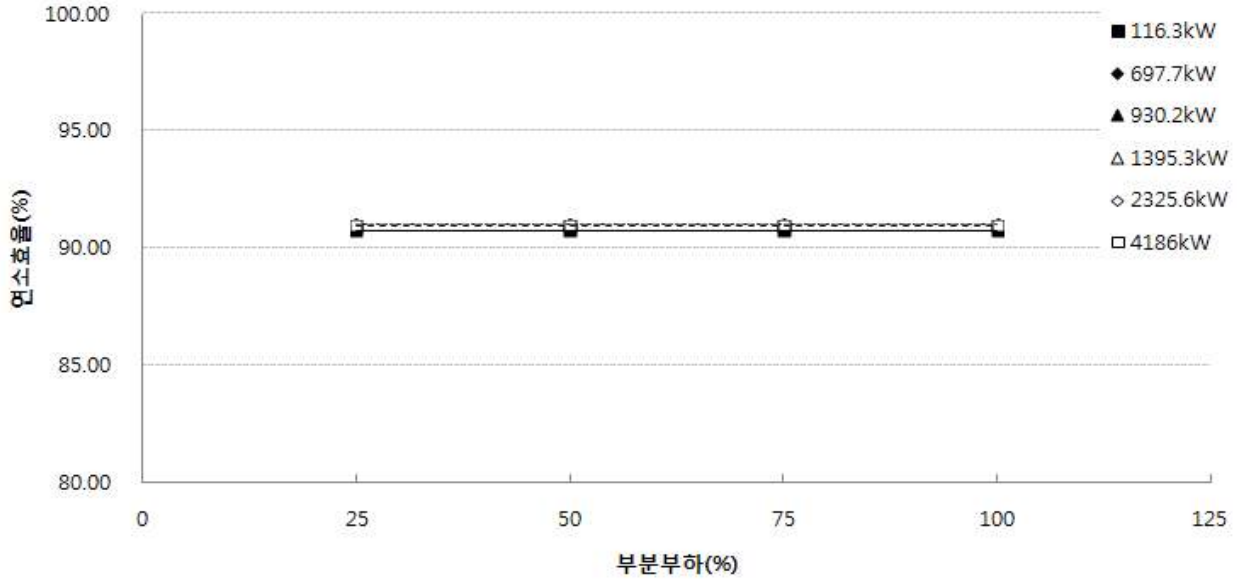
[그림 2.242] D사 진공온수보일러(경유) 성능변화



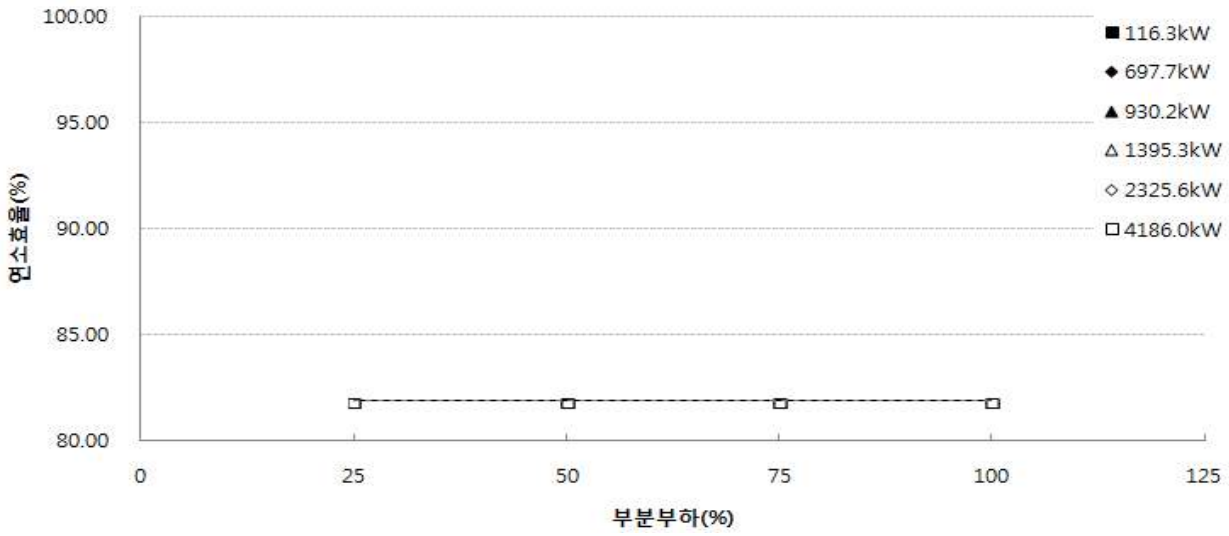
[그림 2.243] D사 진공온수보일러(LNG) 성능변화



[그림 2.244] D사 중온수보일러(경유) 성능변화



[그림 2.245] B사 진공온수보일러(경유) 성능변화



[그림 2.246] B사 진공온수보일러LNG) 성능변화

(3) 성능분석을 위한 냉동기 DB 구축 요약

<표 2.363> 터보냉동기 DB 구축 요약

제조사	용량	소비전력				COP			
		25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
	USRT	kW	kW	kW	kW	-	-	-	-
T사	300	191.4	152.0	151.1	172.9	5.5	6.9	7.0	6.1
T사	400	252.1	191.1	199.2	231.3	5.6	7.4	7.1	6.1
T사	470	289.6	225.4	243.5	289.2	6.1	7.8	7.2	6.1
T사	560	327.6	255.7	279.1	337.6	6.4	8.3	7.6	6.3
T사	660	382.8	305.4	336.7	402.2	6.4	8.1	7.3	6.1
T사	750	430.1	344.7	380.7	461.9	6.5	8.2	7.4	6.1
C사	300	195.8	129.9	122.5	138.1	3.6	5.4	5.7	5.1
C사	400	267.8	181.9	176.1	199.1	3.9	5.8	6.0	5.3
C사	500	307.9	216.5	225.5	254.4	4.6	6.5	6.2	5.5
C사	600	348.1	252.2	261.6	301.0	5.1	7.0	6.7	5.8
C사	700	459.7	308.0	302.7	377.5	4.6	6.9	7.0	5.6
C사	800	452.6	332.3	345.8	403.6	5.4	7.4	7.1	6.1
C사	900	545.2	397.9	404.2	460.4	5.2	7.1	7.0	6.1
C사	1000	608.7	443.9	460.0	543.8	5.2	7.1	6.9	5.8
C사	1100	648.9	470.2	500.3	589.1	5.4	7.5	7.0	6.0
C사	1200	704.7	514.5	552.7	660.2	5.5	7.5	7.0	5.9
C사	1300	748.2	554.5	595.2	711.6	5.6	7.6	7.1	5.9
C사	1400	792.4	560.3	642.1	767.1	5.8	8.2	7.1	6.0
C사	1500	808.5	588.3	689.6	826.2	6.1	8.4	7.1	6.0
C사	1600	832.0	634.0	731.6	882.1	6.3	8.3	7.2	6.0
C사	1700	936.3	702.5	800.4	944.1	6.0	8.0	7.0	6.0
Y사	300	213.0	153.0	161.0	183.0	5.0	6.9	6.6	5.8
Y사	400	252.0	184.0	193.0	234.0	5.6	7.6	7.3	6.0
Y사	600	356.0	278.0	290.0	344.0	5.9	7.6	7.3	6.1
Y사	800	444.0	255.0	376.0	453.0	6.3	11.0	7.5	6.2
Y사	1,000	532.0	418.0	457.0	565.0	6.6	8.4	7.7	6.2
L사	250	180.9	132.4	141.1	162.5	4.9	6.6	6.2	5.4
L사	400	272.1	202.4	215.1	245.9	5.2	7.0	6.5	5.7
L사	470	319.7	237.8	252.7	288.9	5.2	7.0	6.5	5.7
L사	900	612.1	455.3	483.9	553.3	5.2	7.0	6.5	5.7
L사	1,200	849.0	625.1	665.5	764.4	5.0	6.8	6.3	5.5
L사	1,300	877.4	654.0	694.7	793.6	5.2	7.0	6.6	5.8
L사	2,000	1,349.8	1,006.1	1,068.8	1,220.9	5.2	7.0	6.6	5.8
L사	400	257.1	194.0	205.6	233.6	5.5	7.3	6.8	6.0
L사	440	282.8	213.4	226.2	257.0	5.5	7.3	6.8	6.0
L사	470	302.1	228.0	241.6	274.5	5.5	7.3	6.8	6.0
L사	500	289.2	223.7	236.0	265.2	6.1	7.9	7.5	6.6
L사	510	327.8	247.4	262.2	297.9	5.5	7.3	6.8	6.0
L사	560	360.0	271.6	287.9	327.1	5.5	7.3	6.8	6.0
L사	620	400.8	302.4	320.6	364.6	5.4	7.2	6.8	6.0
L사	670	433.1	326.8	346.5	394.0	5.4	7.2	6.8	6.0
L사	730	471.9	356.0	377.5	429.2	5.4	7.2	6.8	6.0
L사	750	459.4	351.2	371.4	419.9	5.7	7.5	7.1	6.3
L사	770	498.6	376.6	398.8	453.5	5.4	7.2	6.8	6.0
L사	800	471.2	363.9	383.8	432.1	6.0	7.7	7.3	6.5
L사	830	537.5	405.9	429.8	488.9	5.4	7.2	6.8	6.0
L사	900	582.8	440.1	466.1	530.1	5.4	7.2	6.8	6.0
L사	940	585.0	440.7	466.9	531.4	5.7	7.5	7.1	6.2
L사	1,000	615.8	465.1	492.5	559.9	5.7	7.6	7.1	6.3
L사	1,100	684.6	515.7	546.3	621.8	5.7	7.5	7.1	6.2
L사	1,250	808.0	808.0	808.0	735.0	5.4	5.4	5.4	6.0
L사	1,300	781.4	781.4	781.4	715.4	5.9	5.9	5.9	6.4
L사	1,350	872.6	872.6	872.6	793.8	5.4	5.4	5.4	6.0
L사	1,500	969.6	969.6	969.6	882.0	5.4	5.4	5.4	6.0
L사	1,550	978.5	737.5	783.1	889.1	5.6	7.4	7.0	6.1
L사	1,650	1,041.6	785.1	833.6	946.5	5.6	7.4	7.0	6.1
L사	1,750	1,104.8	832.7	884.1	1,003.8	5.6	7.4	7.0	6.1
L사	1,950	1,262.8	953.7	1,009.8	1,148.5	5.4	7.2	6.8	6.0
L사	2,110	1,366.4	1,031.9	1,092.7	1,242.8	5.4	7.2	6.8	6.0
L사	2,300	1,489.4	1,124.8	1,191.1	1,354.7	5.4	7.2	6.8	6.0
L사	2,400	1,542.8	1,164.0	1,233.8	1,401.8	5.5	7.3	6.8	6.0
L사	2,600	1,671.4	1,261.0	1,336.6	1,518.7	5.5	7.3	6.8	6.0
L사	2,850	1,832.1	1,382.3	1,465.1	1,664.7	5.5	7.3	6.8	6.0

<표 2.364> 터보냉동기(인버터) DB 구축 요약

제조사	용량	소비전력				COP			
		25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
	USRT	kW	kW	kW	kW	-	-	-	-
C사	300	108.0	73.9	102.6	133.1	6.5	9.5	6.9	5.3
C사	400	139.9	101.9	145.5	192.2	7.5	10.4	7.3	5.5
C사	500	167.9	126.2	181.5	253.1	8.4	11.2	7.8	5.6
C사	600	196.0	150.3	217.3	307.3	9.0	11.7	8.1	5.7
C사	700	247.9	182.1	257.3	369.5	8.5	11.6	8.2	5.7
C사	800	284.3	200.0	301.7	419.4	8.7	12.3	8.2	5.9
C사	900	316.4	224.0	338.9	476.8	8.9	12.6	8.3	5.9
C사	1,000	332.1	242.0	369.3	573.4	9.5	13.1	8.6	5.5
C사	1,100	400.1	274.1	410.9	592.1	8.8	12.8	8.6	5.9
C사	1,200	408.1	292.2	444.2	668.2	9.5	13.2	8.7	5.8
C사	1,300	480.1	320.2	488.4	699.8	8.8	13.2	8.6	6.0

<표 2.365> 스크류냉동기 DB 구축 요약

제조사	용량	소비전력				COP			
		25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
	USRT	kW	kW	kW	kW	-	-	-	-
L사	79	48.1	47.5	45.6	56.9	5.8	5.9	6.1	4.9
L사	99	61.0	60.2	57.8	65.3	5.7	5.8	6.0	5.3
L사	108	65.5	64.6	62.0	77.3	5.8	5.9	6.1	4.9
L사	117	71.7	70.8	68.0	85.0	5.7	5.8	6.1	4.8
L사	138	81.5	80.4	77.3	96.5	6.0	6.0	6.3	5.0
L사	180	106.3	104.9	100.7	125.5	6.0	6.0	6.3	5.0
L사	191	113.3	111.8	107.4	134.3	5.9	6.0	6.3	5.0
L사	199	122.7	121.0	116.2	131.0	5.7	5.8	6.0	5.3
L사	216	130.9	129.2	124.1	155.0	5.8	5.9	6.1	4.9
L사	235	144.0	142.1	136.5	170.0	5.7	5.8	6.1	4.9
L사	276	163.0	160.9	154.5	193.0	6.0	6.0	6.3	5.0
L사	299	175.6	173.3	166.4	209.0	6.0	6.1	6.3	5.0
L사	360	212.5	209.7	201.4	251.0	6.0	6.0	6.3	5.0
L사	383	227.3	224.3	215.4	269.0	5.9	6.0	6.3	5.0

<표 2.366> 흡수식냉동기(저온수2단) DB 구축 요약

제조사	용량	1차측 열량				COP			
		25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
	USRT	kW	kW	kW	kW	-	-	-	-
L사	75	325.6	317.7	317.7	412.1	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	90	390.7	381.3	381.3	494.5	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	110	477.5	466.0	466.0	604.4	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	135	586.0	571.9	571.9	741.7	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	155	672.9	656.7	656.7	851.6	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	180	781.4	762.6	762.6	989.0	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	210	911.6	889.7	889.7	1,153.8	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	240	1,041.9	1,016.8	1,016.8	1,318.6	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	270	1,172.1	1,143.8	1,143.8	1,483.4	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	300	1,302.3	1,270.9	1,270.9	1,648.3	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	340	1,476.0	1,440.4	1,440.4	1,868.0	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	375	1,627.9	1,588.7	1,588.7	2,060.3	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	420	1,823.3	1,779.3	1,779.3	2,307.6	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	470	2,040.3	1,991.1	1,991.1	2,582.3	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	525	2,279.1	2,224.2	2,224.2	2,884.4	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	600	2,604.7	2,541.9	2,541.9	3,296.5	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	675	2,930.2	2,859.6	2,859.6	3,708.6	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	750	3,255.8	3,177.4	3,177.4	4,120.6	0.8	0.8	0.8	0.6
L사	825	3,581.4	3,495.1	3,495.1	4,532.7	0.8	0.8	0.8	0.6

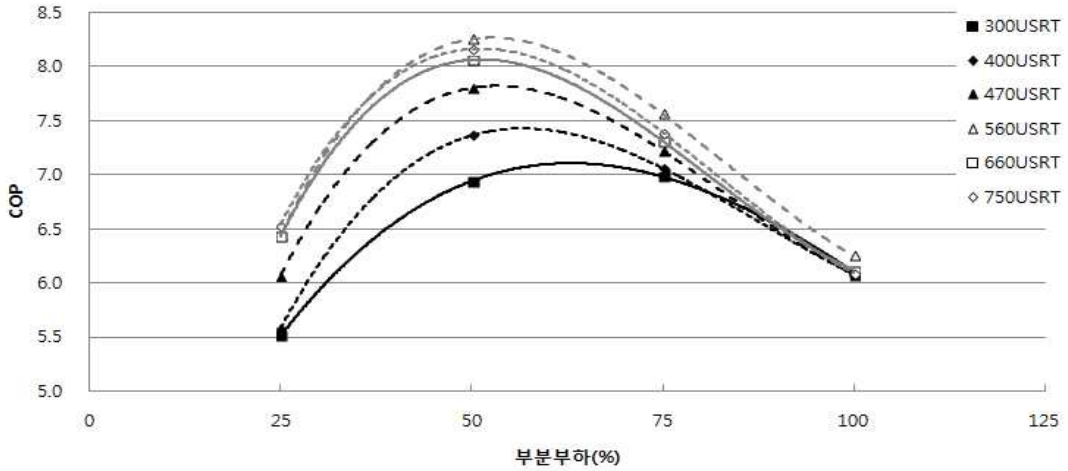
<표 2.367> 흡수식냉동기(증기열원) DB 구축 요약

제조사	용량	1차측 열량				COP			
		25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
	USRT	kW	kW	kW	kW	-	-	-	-
L사	100	305.8	251.2	274.7	290.1	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	120	366.9	301.4	329.7	348.1	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	150	458.6	376.7	412.1	435.1	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	180	550.4	452.1	494.5	522.1	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	210	642.1	527.4	576.9	609.1	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	240	733.8	602.8	659.3	698.8	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	280	856.1	703.3	769.2	810.9	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	320	978.4	803.7	879.1	929.5	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	360	1,100.7	904.2	989.0	1,041.6	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	400	1,223.1	1,004.7	1,098.8	1,160.3	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	450	1,375.9	1,130.2	1,236.2	1,305.3	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	500	1,528.8	1,255.8	1,373.5	1,450.3	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	560	1,712.3	1,406.5	1,538.4	1,628.3	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	630	1,926.3	1,582.3	1,730.7	1,832.7	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	700	2,140.3	1,758.1	1,923.0	2,030.5	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	800	2,446.1	2,009.3	2,197.7	2,320.5	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	900	2,751.9	2,260.5	2,472.4	2,610.6	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	1,000	3,057.6	2,511.6	2,747.1	2,900.7	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	1,100	3,363.4	2,762.8	3,021.8	3,190.7	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	1,200	3,669.2	3,014.0	3,296.5	3,480.8	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	1,300	3,974.9	3,265.1	3,571.2	3,770.9	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	1,400	4,280.7	3,516.3	3,845.9	4,060.9	1.2	1.4	1.3	1.2
L사	1,500	4,586.5	3,767.4	4,120.6	4,351.0	1.2	1.4	1.3	1.2

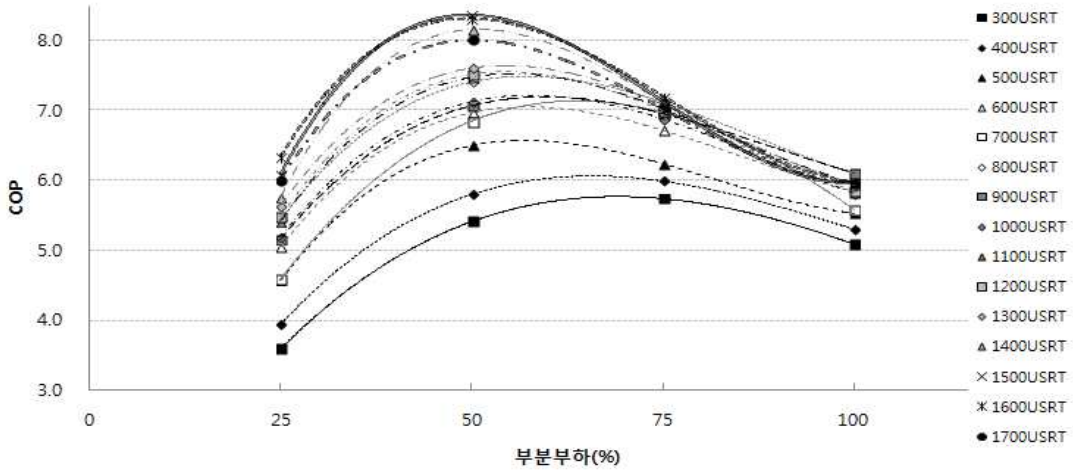
(4) DB 성능분석 종합

(가) 터보냉동기 성능분석

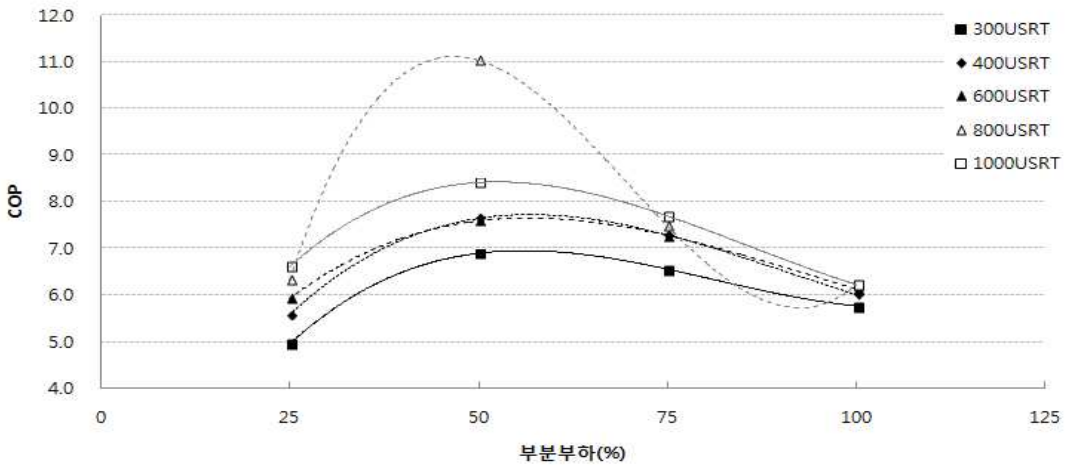
○ 다음 그림은 업체별 냉동기의 부분부하에 따른 COP 변화를 나타낸 것으로 업체별 냉동기의 COP 변화 특성, 동일 냉동기 타입에서 타 업체의 차이를 분석할 수 있다.



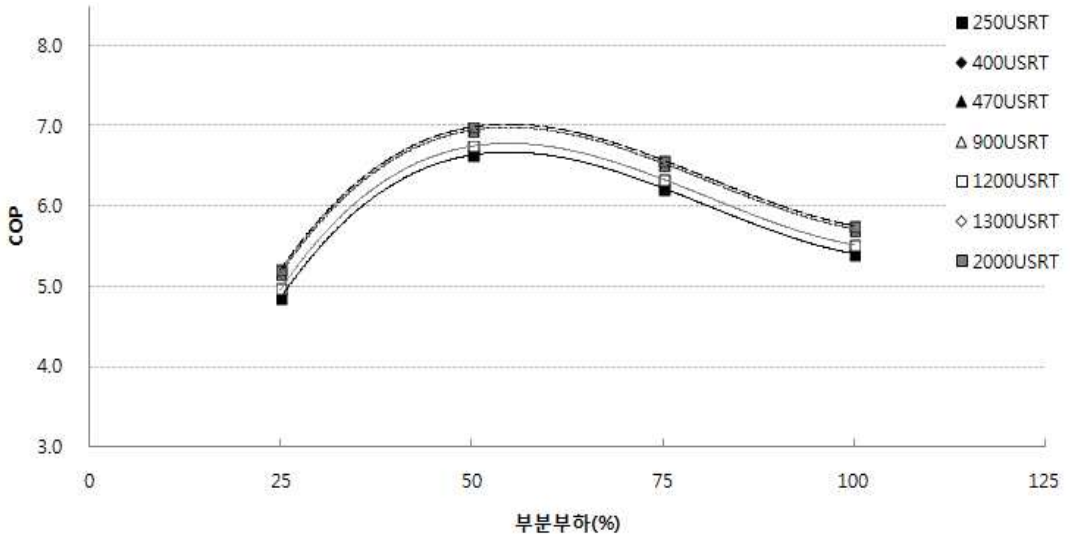
[그림 2.247] T사 터보냉동기 성능변화



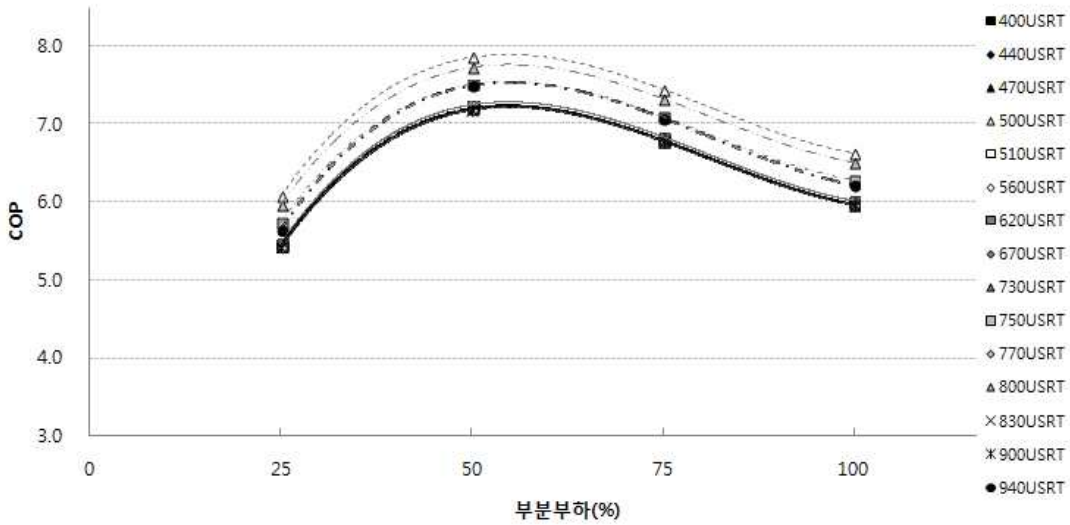
[그림 2.248] C사 터보냉동기 성능변화



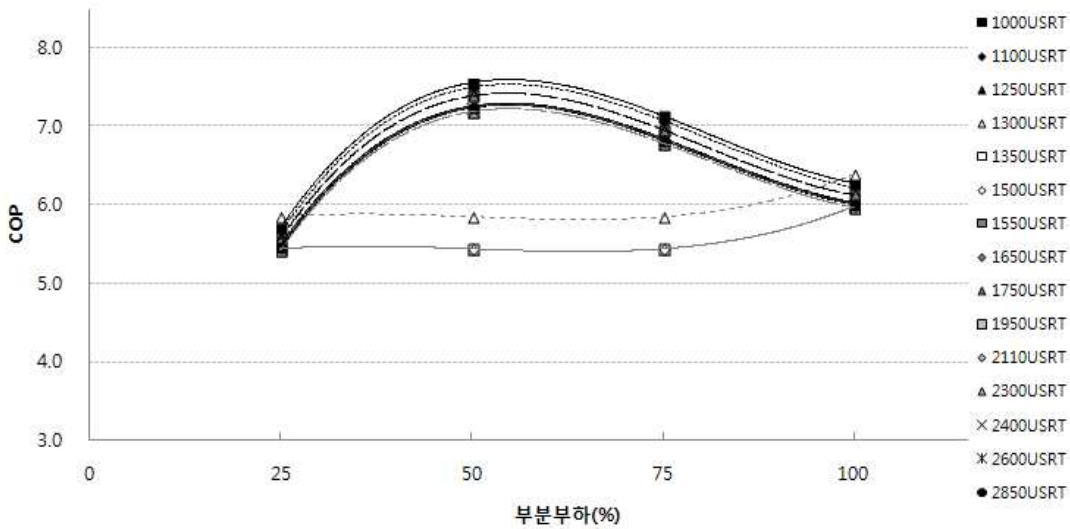
[그림 2.249] Y사 터보냉동기 성능변화



[그림 2.250] L사 터보냉동기(1단) 성능변화

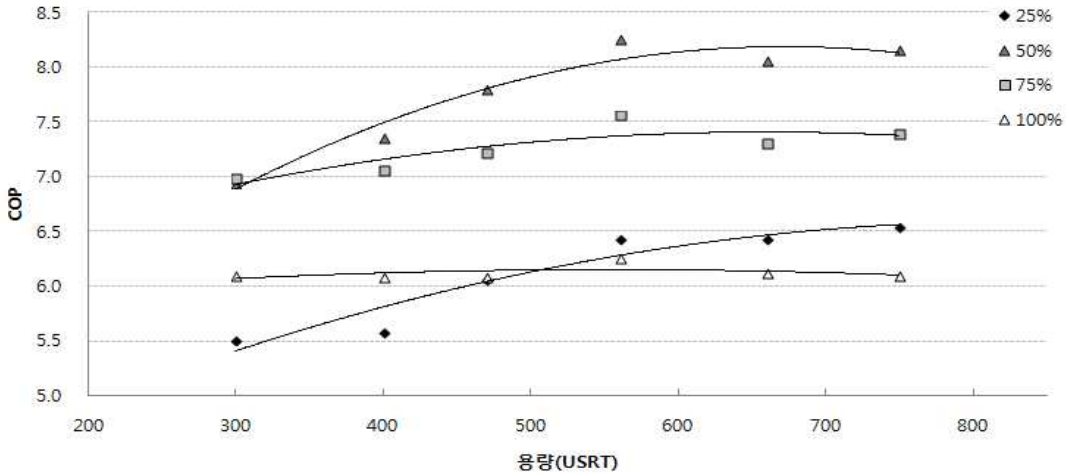


[그림 2.251] L사 터보냉동기(2단) 성능변화-1

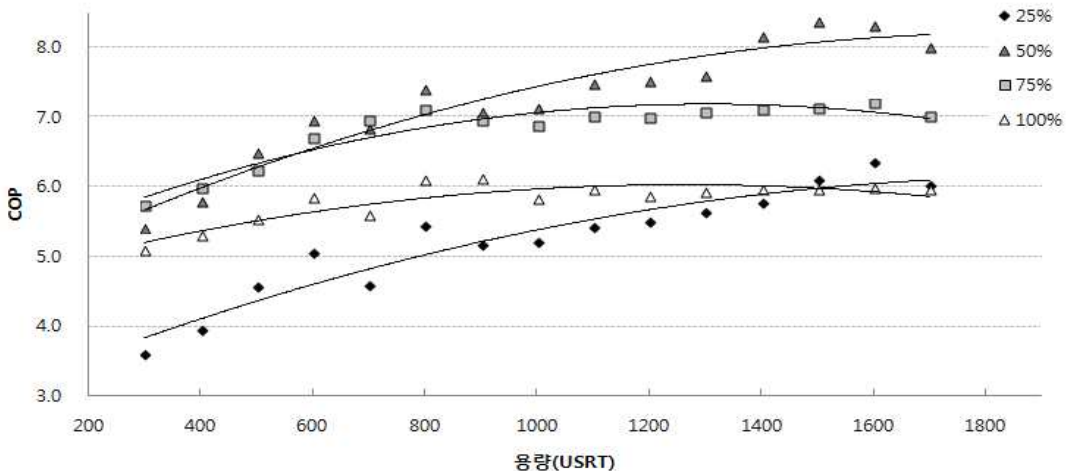


[그림 2.252] L사 터보냉동기(2단) 성능변화-2

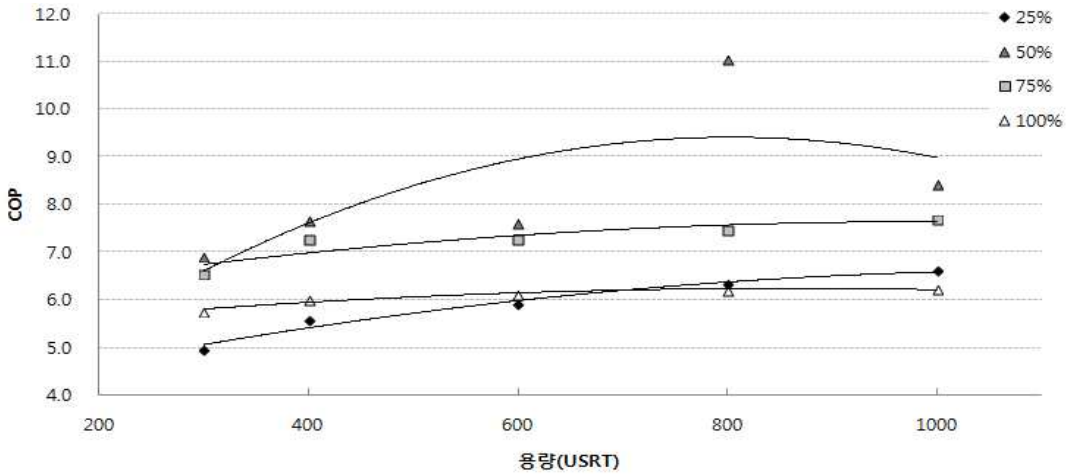
○ 다음 그림은 업체별 냉동기의 용량변화에 따른 부분부하 COP 변화를 나타낸 것으로, 장비의 용량이 증가함에 따라 부분부하의 변화폭을 분석하기에 용이하다.



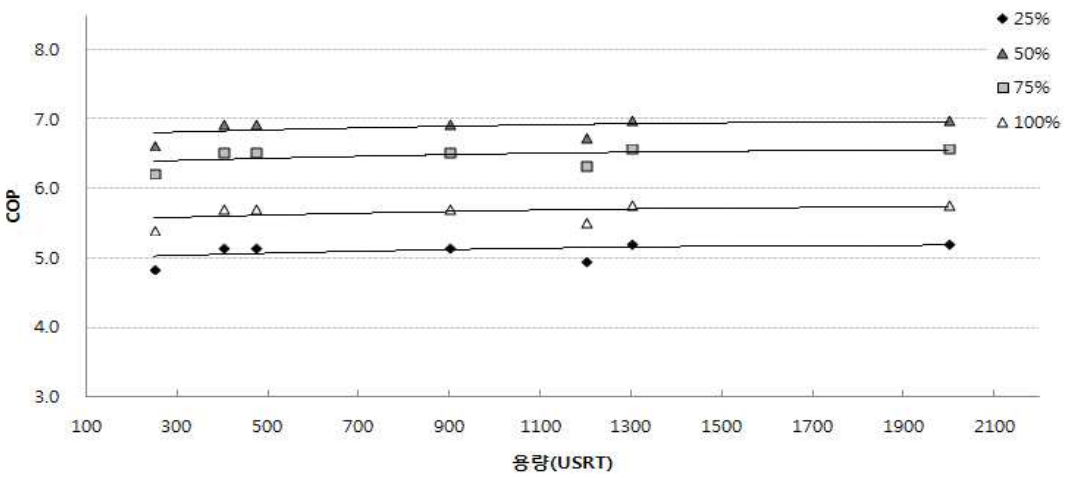
[그림 2.253] T사 터보냉동기 성능변화



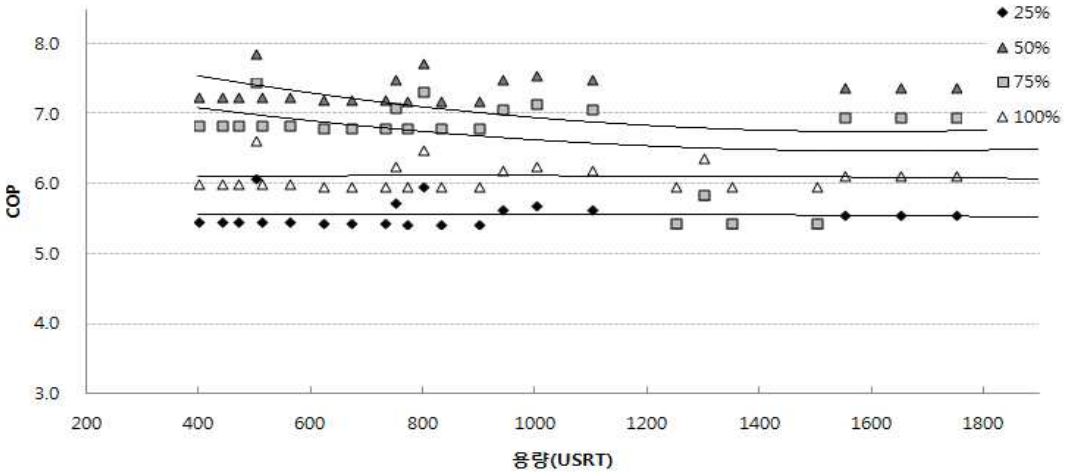
[그림 2.254] C사 터보냉동기 성능변화



[그림 2.255] Y사 터보냉동기 성능변화

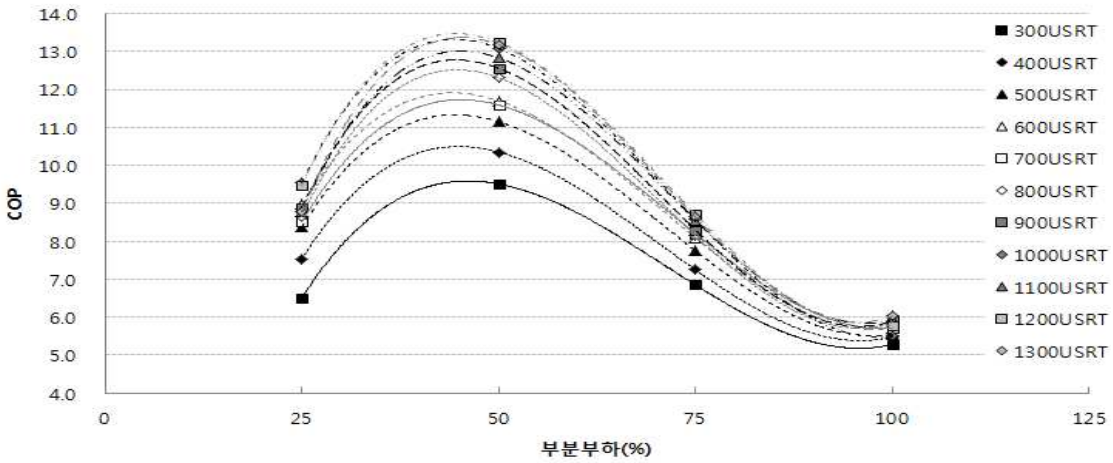


[그림 2.256] L사 터보냉동기(1단) 성능변화

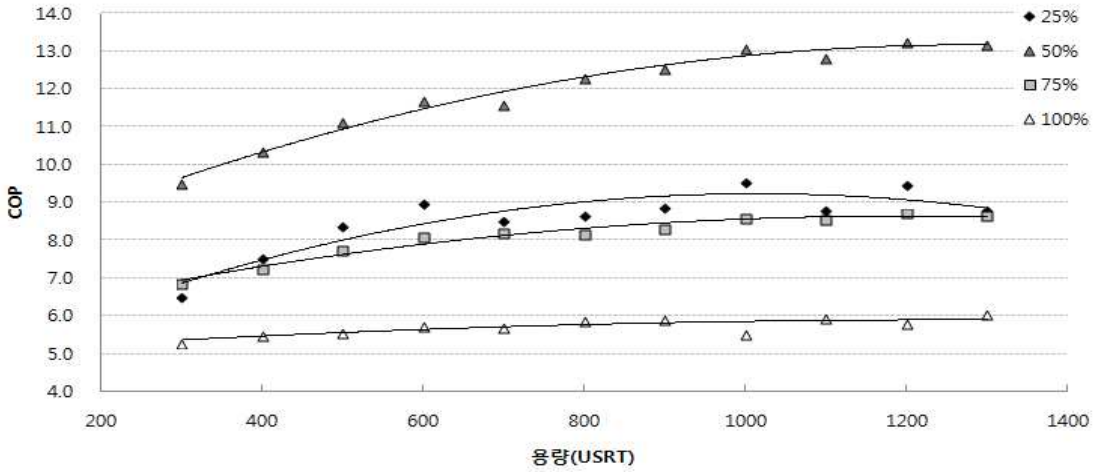


[그림 2.257] L사 터보냉동기(2단) 성능변화

(나) 터보냉동기(인버터) 성능분석



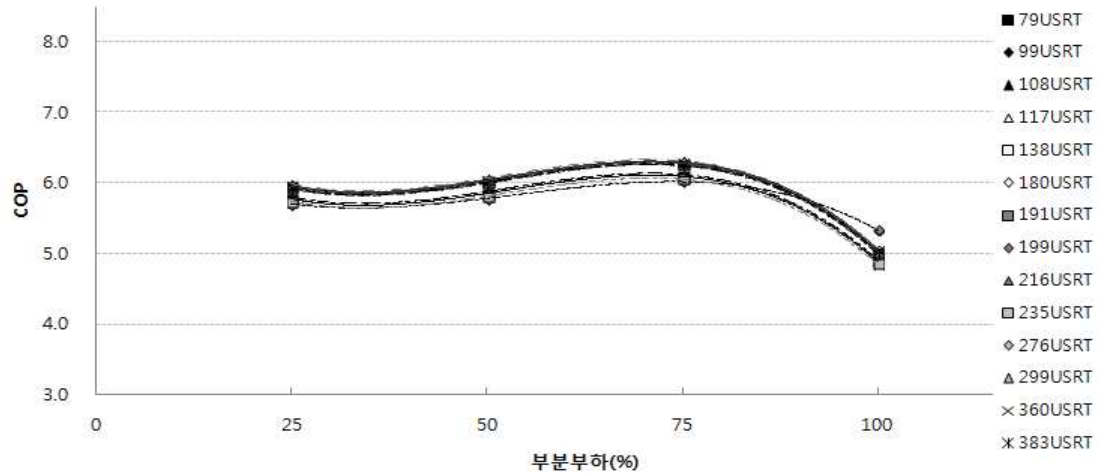
[그림 2.258] C사 터보냉동기(인버터) 성능변화



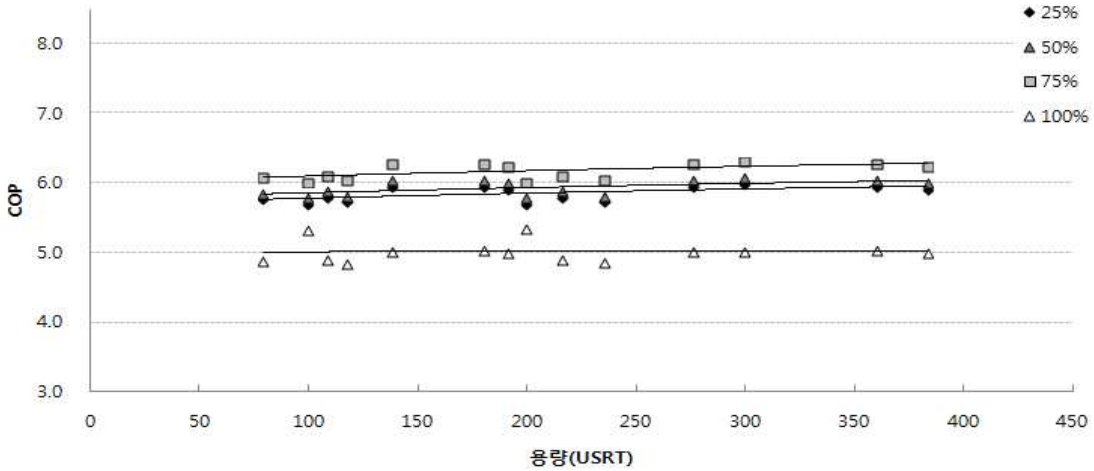
[그림 2.259] 터보냉동기(인버터) 성능변화

(다) 스크류냉동기 성능분석

○ 다음 그림은 L사 스크류냉동기의 부분부하에 따른 COP 변화와 냉동기의 용량변화에 따른 부분부하 COP 변화를 나타낸 것이다.



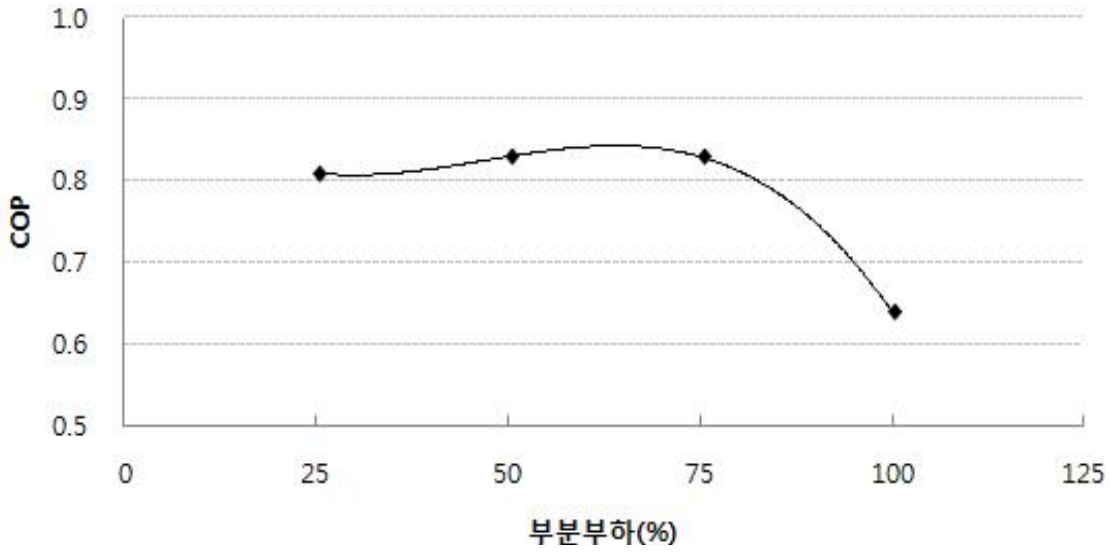
[그림 2.260] 스크류냉동기 성능변화



[그림 2.261] 스크류냉동기 성능변화

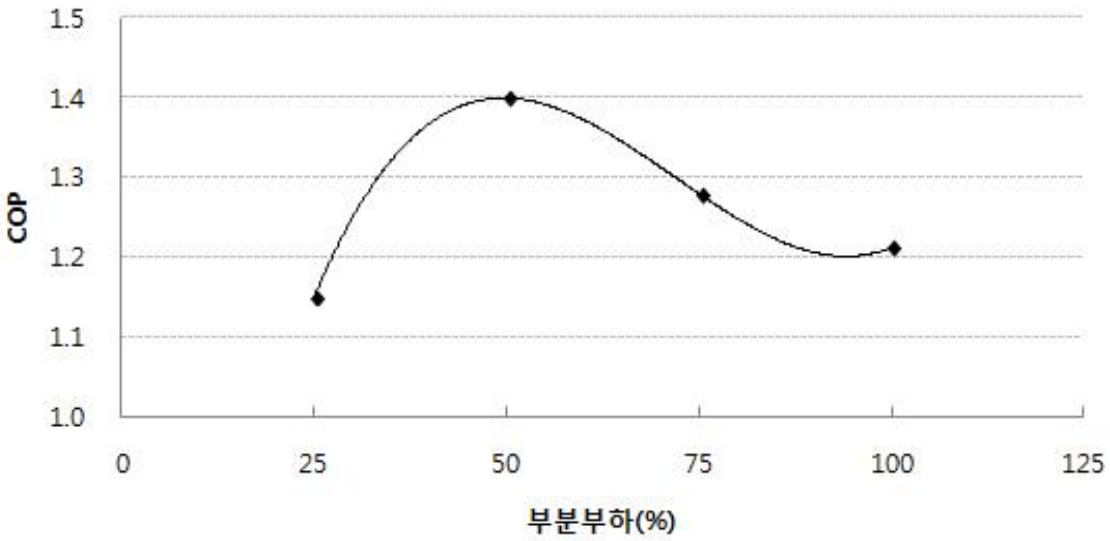
(라) 흡수식 냉동기 성능분석

○ L사 흡수식냉동기(저온수2단) 75~825 USRT



[그림 2.262] 부분부하별 COP

○ L사 흡수식냉동기(증기열원) 100~1,500 USRT



[그림 2.263] 부분부하별 COP

제 3 장 최종 연구성과 및 적용실적

제 1절 개별 연구성과

성과지표		개별 성과품	목표치	실적치
질적 성과	기존 건물의 에너지 성능진단 프로세스 개발	기술의 기초조사 및 이론정립	1건	1건
		4가지 용도 건축물의 실측	1건	1건
		성능진단 프로세스 개발	1건	1건
	기존 건물 Retrofit 우선 순위 제시를 위한 표준 프로세스 개발	기존건물Retrofit우선순위제시를 위한 표준프로세스개발	1건	1건
	기존 건물의 에너지 성능진단 프로세스의 검증	계수값 개발 건수	1건	1건
	기존 건물 Retrofit 우선순위 제시를 위한 표준 프로세스의 검증	지표 개발 건수	1건	1건
	기존 건물의 에너지 성능진단 프로세스의 표준화	검증 건수	1건	1건
	기존건물 Retrofit 우선순위 제시를 위한 표준 프로세스의 표준화	검증 건수	1건	1건
		적용성 평가 건수	1건	1건
	건물에너지 소비량의 정량적 산출이 가능한 표준 평가모델 구축을 위한 기초 조사 및 이론 정립	건물에너지 성능,설계변수분석 표준계산방법 정립을 위한 기초조사 수행 건물 에너지 정량화 기법 기준 조사	1건	1건
	국내외 관련 연구 및 기준조사	건물 에너지 성능 평가를 위한 표준모델 기준 구축	1건	1건
	건물에너지 평가를 위한 표준모델 구축	건물에너지 소비량 계산과 에너지성능계수 개념 정립 및 한국형 지표 산출 표준 계산기법 개념 완성 및 검증	1건	1건
	건물에너지성능 정량화기법완성 툴킷개발	국내외 관련 연구 및 기준조사	1건	1건
		이론 및 표준 계수 구축 건수	1건	1건
	효율계수 검증	검증 건수	1건	1건
	열원 기기 및 신재생에너지 기본 DB 조사	열원 기기 및 신재생에너지 기본 DB 조사	1건	1건
	건물 에너지성능 측정평가를 위한 공정시험 방법 및 대상건물 군별 측정 결과보고서 작성	건물 에너지성능 측정평가를 위한 공정시험 방법 및 대상건물 군별 측정 결과보고서 작성	1건	1 건
	급탕및공조기기 DB조사	DB 조사 건수	1건	1 건
	개별기기보정값 (SFP,HWSCOP) 확보및근거제시	보정값 확보 건수	1건	1 건
	설비기기 및 신재생 에너지 기기 DB 보완 및 수정	DB 구축 건수	1건	1 건

성과지표		개별 성과품	목표치	실적치
양적 성과	학술회의 발표 논문	- The evaluation of energy performance of an office building through energy monitoring and simulation application, 2012, 5th IBPC - A study on improvements of equipment and operation systems for optimum energy saving in office buildings, 2012, 9th CHAMPS - 실측 및 실내온도 모니터링 데이터를 활용한 오피스 건물의 냉방부하평가에 관한 연구, 2012, 대한설비공학회 하계학술발표대회 - 공동주택 건물에너지 개선을 위한 측정 및 방안, 2012 , 대한설비공학회 하계학술발표대회 - 대형 판매시설의 에너지 소비특성에 따른 에너지 저감 방안에 관한 연구, 2013, 대한건축학회 춘계학술발표대회 - 건물 에너지 부하 영향 인자의 민감도 분석에 따른 에너지 절감 영향도 평가 간이 모델, 2012, 대한설비공학회 하계학술발표대회 - ISO 13790 월간 냉난방부하 계산법 적용 타당성 연구, 2013, 대한설비공학회 하계학술발표대회 - 히트펌프의 계절별 시스템 효율계수에 관한 연구, 2013, 대한설비공학회 하계학술발표대회 - 공동주택 건물에너지 개선을 위한 측정 및 방안, 2012, 대한설비공학회 하계학술발표대회 - 공동주택 적용 태양열 급탕시스템 및 태양광 발전시스템의 성능평가, 2013, 대한설비공학회 하계학술발표대회 - 냉동기 효율 조사 및 분석에 관한 연구 , 2014, 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집 - 국내 열원기기 부분부하 효율 조사 및 분석에 관한 연구, 2014, 대한설비공학회 2014 하계학술발표대회 논문집	8건	12 건

성과지표		개별 성과품	목표치	실적치
	학술지 게재 논문	- 커튼월 구조 오피스건물의 에너지 절약을 위한 외피시스템개선 방안에 관한 기초연구, 2012, 한국건축친환경 설비학회 - 공동주택의 세대 위치에 따른 열적 불균형 개선을 위한 연구, 2013, 한국건축친환경 설비학회 - 대형 판매시설의 최적 에너지 절약을 위한 설비 운영시스템 개선 방안에 관한 연구, 2013, 대한건축학회 - 발코니 창호 요소 변화에 따른 아파트 단위세대 냉난방부하 산출모델 제시, 2012, 한국건축친환경 설비학회 - ISO 13790 월간계산법 냉난방부하 유효계수 국내 사무소 건물 적용 타당성 연구, 2013, 한국건축친환경 설비학회 - 건물 부하특성에 따른 히트펌프 시스템 계절별 에너지 효율 계수, 2013, 한국건축친환경 설비학회 - 냉방 설비시스템 실제 운영을 고려한 건축물 에너지 성능평가 방법 (심사중) - 현장측정을 통한 설비시스템 계절효율계수 적용이 기존 건물 에너지 성능평가 프로그램 결과에 미치는 영향 (심사중)	8건	8 건
	해외기술연수 및 교육	국내외 해외기술연수 및 교육	3건	7 건
	소프트웨어 등록건수	BEST(Building Energy Simulation Tool) 등록	1건	1 건
	지침/매뉴얼의 개발 및 보급	BEST(Building Energy Simulation Tool) 매뉴얼 외 2건	3건	3 건
	SCI급 학술지 게재 논문건수	- A Study on Commercial Buildings Energy Consumption Prediction using Seasonal Efficiency Ratio of Equipment System (심사중) - A study on The Computation of Seasonal Efficiency for Existing Buildings Energy Consumption Prediction (심사중) - Method of ISO 13790 Utilization Factors Calculation in Korean Context(심사중)	3건	3 건
	공법 및 프로세스 인증 건수	“기존 건축물의 에너지 성능평가 표준 프로세스” 공지 건	1건	1 건

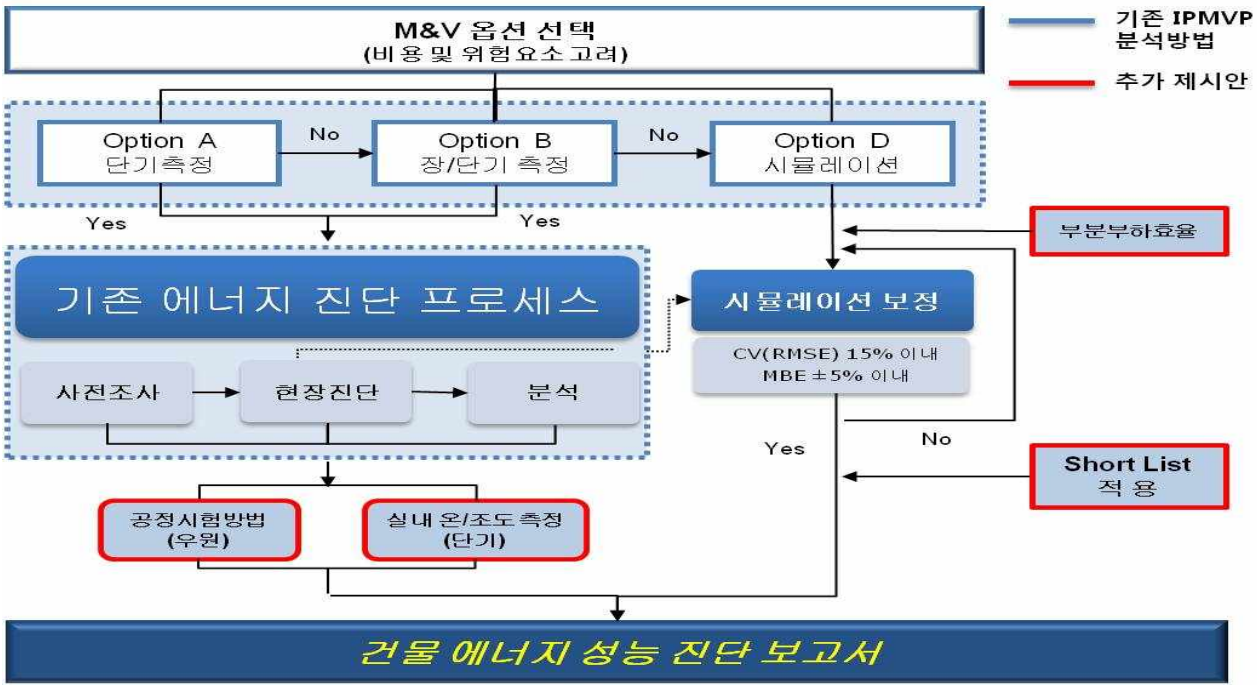
제 2절 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

1. 기존 건물 에너지 성능평가 및 성능개선(Energy Retrofit) 프로세스의 표준화

가. 기존건물 개보수 우선순위 제시를 위한 건물 에너지 Retrofit 표준 Process 관련 기술의 기초 조사 및 이론 정립

○ IPMVP와 BEC등의 에너지 진단 프로세스 및 에너지 성능평가 제도에 대한 국내·외 사례조사 및 ESRU 연수

○ 국내 에너지 성능진단제도와 ESCO 사업 그리고 IPMVP의 건물에너지 성능 진단 프로세스를 바탕으로 장/단기적 실내온도 측정 방법 및 공정시험 방법이 적용된 기존 건물에너지 성능 진단 프로세스(안)을 제시



[그림 3.1] 건물에너지 성능 진단 프로세스

○ 5개 용도 기존 건축물을 대상으로 현장 조사 실시

<표 3.1> 건축물 용도별 현장조사 대상

	추가	4개 용도			
	용도측정 시범 대상	공동주택	업무시설	판매시설	숙박시설
이미지					
주소	경기도 용인시		서울시 서초구	서울시 강동구	경기도 용인시

<표 3.2> 대상 건축물별 현장 조사 요소

		시범 대상 건물	공동주택	업무시설	판매시설	숙박시설
설계도서	건축	○	○	○	○	○
	기계	○	○	○	○	○
에너지 사용량	전기	X	○	○	○	○
	가스	X	○	○	○	○
실측데이터	실내 온도(순간)	○	○	○	○	X
	스케줄	○	-	○	○	-
	기계 설비 성능 (유량, 풍량등)	O	X	X	○	X

나. 기존 건물 Retrofit 우선 순위 제시를 위한 프로세스 개발

○ 대상 건축물 실측 및 사례조사를 통해 얻어진 내용을 토대로 성능개선 우선 순위 인자 도출

<표 3.3> 건축물의 에너지 절감 항목

건축물의 에너지 절감 항목	
건축 에너지 부하 저감 기술	-Green Roofs(옥상 및 벽면 녹화) -주 풍향 분석을 통한 자연환기 성능 효율화 -지능형 외피시스템, 이중 외피시스템, 외부차양시스템 -방위 및 배치 최적화 -친환경/고효율 건축기자재
기계설비 에너지 부하 저감 기술	-외기냉방 시스템 -냉각 효율화 계통 설계 -Chiller Replacement (냉동기 교체) -Ventilation Fans (배기 팬) -High Efficiency Motors (고효율 모터) -Heat Pumps (히트 펌프) -Heat Recovery and wheels (열 회수 휠) -Tri-generation (삼중열병합 - 발전/냉방/난방) -Heat Recovery (배/폐열 회수) 기계설비 EMS 프로그램 -최적 기동/정지제어, 절전운전 제어, 외기냉방제어, CO2농도제어
신 재생/대체 에너지 기술	-Combined Heat & Power (열병합) -Solar (Heating & Photovoltaic) -Small Scale Wind Turbine -Rainwater Harvesting, Biomass -Ground source heat pumps -River Water Cooling -Landfill Gas Utilization -Chilled Water / Ice Storage -Anaerobic Digester(Biogas) -Waste Handling / Waste Reduction

- Simulation을 활용한 용도별 건축물 성능개선 Check List의 우선순위 도출
- Simulation 결과값의 정확성 확보를 위한 보정 프로세스 제시

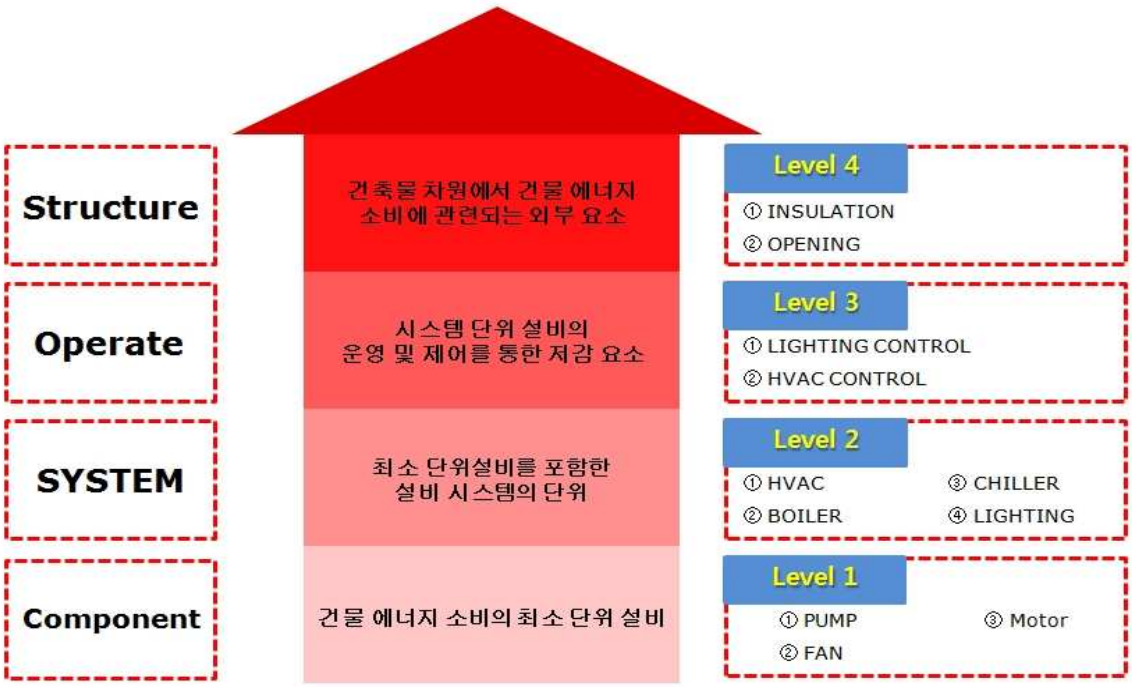


[그림 3.2] Simulation 결과 값의 정확성 확보를 위한 보정 프로세스

다. 기존건물 개보수 우선순위 제시를 위한 건물에너지 Retrofit 표준 프로세스 관련 기술의 개발

○ 판매시설 3곳, 상업용 건물 3곳, 공동주택을 선정하여 기존 건물의 소비량 보정 프로세스를 검증하고, 건물에너지 Retrofit 프로세스 관련 기술을 개발

○ Retrofit 우선순위 도출을 위해 건물 에너지 소비 요소를 세분화하여 적용하였고, 다음 그림을 바탕으로 보정된 판매시설, 상업용 건물의 EnergyPlus 기반의 시뮬레이션 데이터 값에 적용시켜 각 요소별 에너지 저감량을 도출



[그림 3.3] 건물 에너지 Retrofit을 위한 요소별 적용 순서 및 개념

<표 3.4> 판매 시설의 에너지 저감 요소 분석 결과

구분	판매시설 A	판매시설 B	판매시설 C
	저감률 (%)	저감률 (%)	저감률 (%)
냉동기 COP향상	2.46	1.08	1.70
보일러 출구수온 상승	0.001	0.02	0.001
보일러 효율 상승	1.4	0.78	1.05
냉동기 출구수온 상승	0.08	0.06	0.49
온수 배관 온도 하강	1.13	1.16	0.44
FCU 팬 효율 상승	0.08	7.2	0.05
냉동기 펌프효율	0.1	0.035	0.15
냉각탑 펌프효율	0.1	0.35	0.098
AHU 팬 효율 상승	1.25	1.32	1.55
FCU 모터 효율 상승	2.77	3.62	0.02
AHU 모터 효율 상승	0.12	3.64	0.05
VAV공조 방식 사용	4.3	6.35	4.8
폐열회수 시스템 적용	4.8	4.94	3.11
예냉 설비의 적용	11.23	6.73	9.2
예열 설비의 적용	3.0	0.62	1.91
고효율 LED의 적용	9.07	5.9	11.87
LED + 조명 발열배기	9.10	6.01	12.22

<표 3.5> 업무 시설의 에너지 저감 요소들의 분석 결과

구분	오피스 A	오피스 B	오피스 C
	저감률 (%)	저감률 (%)	저감률 (%)
냉동기 COP향상	3.41	2.39	1.79
보일러 출구수온 상승	0.005	0.007	0.13
보일러 효율 상승	0.474	0.257	0.295
냉동기 출구수온 상승	0.00128	0.09	0.05
온수 배관 온도 하강	0.0028	0.37	0.39
FCU 팬 효율 상승	0.24	0.07	0.40
냉동기 펌프효율	0.17657	0.09	0.26
냉각탑 펌프효율	0.1676	0.1	0.06
AHU 팬 효율 상승	7.7	1.5	0.08
FCU 모터 효율 상승	0.01	0.01	0.01
AHU 모터 효율 상승	0.03	0.36	0.13
VAV공조 방식 사용	4.606	10.767	5.47
폐열회수 시스템 사용	0.433	3.453	3.09
예냉 설비의 적용	14.14	13.94	12.63
예열 설비의 적용	0.8	4.65	5.35
고효율 LED의 적용	10.27	9.10	10.07
LED + 조명 발열배기	11.49	9.48	10.07

○ Simulation 결과 및 에너지 진단 보고서를 바탕으로 기존 건물의 에너지 저감 리스트를 작성하였고, EN 기준을 인용하여 설비적, 운영적 요소들을 세분화 시킴

<표 3.6> 설비 부문 에너지 저감 리스트

항목	구분	내용
열원 설비 (M-01)	M-01-01	배기가스 폐열회수 시스템 도입
	M-01-02	폐열이용 온수 생산 시스템 도입
	M-01-03	고효율 보일러 사용
	M-01-04	응축수 회수 설비 사용
	M-01-05	보일러 증기압력 감압 이용
	M-01-06	열교환기 교체
	M-01-07	냉방 설비 COP개선
	M-01-08	외기 취입 냉방
	M-01-09	고효율 냉동기 사용
	M-01-10	냉각탑 팬 제어
	M-01-11	냉동기 열원 대체
	M-01-12	냉동기 냉수온도 조절
	M-01-13	냉동기 냉수출구온도 조절
	M-01-14	냉동기 냉각수온도 조절
	M-01-15	보일러 연료 타입 변경
반송 설비 (M-02)	M-02-01	고효율 냉수 펌프 사용
	M-02-02	고효율 냉각수 펌프 사용
	M-02-03	고효율 전동기(Motor) 사용
	M-02-04	가변 피치 팬(variable pitch fan) 사용
공조 설비 (M-03)	M-03-01	공조기 전열 교환기 설치
	M-03-02	V.V.V.F 인버터제어 실시
	M-03-03	고효율 급기팬 사용
	M-03-04	공조기 전동기 교체
	M-03-05	고효율 배기팬 사용
	M-03-06	VAV 공조방식 사용
	M-03-07	증발냉각 장치의 설치
	M-03-08	예냉, 예열 설비 사용
	M-03-09	프리 쿨링(Free Cooling) 적용
조명 설비 (M-04)	M-04-01	고효율 조명 사용
	M-04-02	불필요 개소 소등 및 조명 청소
	M-04-03	고조도 반사갓 사용
	M-04-04	조명 전압 조절장치 사용

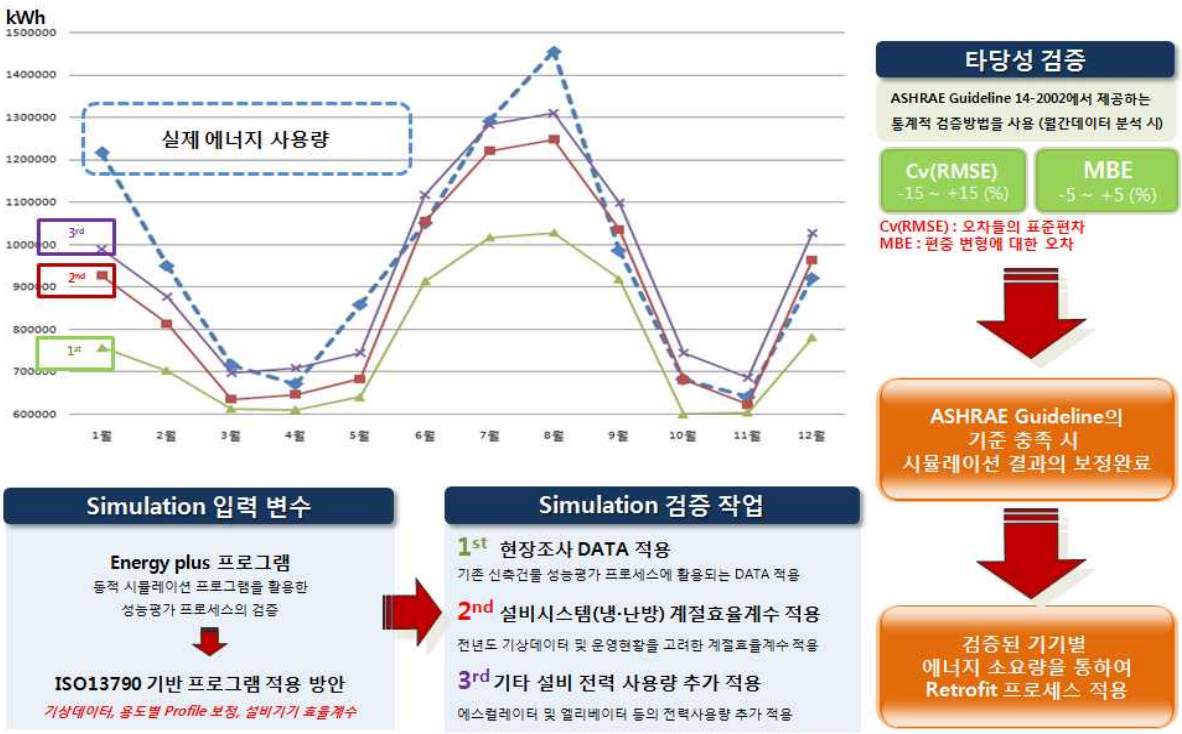
라. 기존건물 개보수 우선순위 제시를 위한 건물에너지 Retrofit 표준 프로세스와 관련 기술의 표준 제안

○ 판매시설 3곳, 상업용 건물 3곳을 선정하여 기존 건물 개보수 우선순위 제시를 위한 건물에너지 성능평가 프로세스에 대한 현장 적용성 검증



[그림 3.4] 기존 건물의 성능평가 및 Retrofit 표준 프로세스 순서도

○ 소비량 보정 프로세스를 포함한 기존 건물 에너지 성능평가 및 Retrofit 프로세스의 현장적용성 검증 결과 ASHRAE Guideline의 검증 기준을 만족



[그림 3.5] 소비량 보정 프로세스의 개념 및 Retrofit 프로세스 적용 방안

2. 건물에너지 성능 평가모델 및 성능개선 프로세스 표준화 개발

가. 건물 에너지 소비량의 정량적 산출이 가능한 표준 평가 모델 구축을 위한 기초 조사 및 이론 정립

○ 건물에너지 성능,설계변수분석 표준계산방법 정립을 위한 기초조사 수행 건물 에너지 정량화 기법 기준 조사
○ 건물 에너지 성능 평가를 위한 표준모델 기준 구축 : 전문가의견서 1건
○ 건물에너지 소비량 계산과 에너지성능계수 개념 정립 및 한국형 지표 산출 표준 계산기법 개념 완성 및 검증
○ 열원기기, 신재생에너지 기기, 급탕기기, 공조기기의 국내 DB를 구축하여 건물에너지 성능평가를 위한 기초자료로 활용, 건물에너지 성능평가의 신뢰성을 확보
○ 국내 실정에 맞는 DB 활용을 통해, 국내 장비 적용으로 인한 정확성 확보 및 상세한 성능분석

나. 건물 에너지 성능평가를 위한 표준모델 구축

(1) ISO 13790 기반의 한국형 건물의 열용량 및 열획득/손실비에 따른 유효계수 산출법

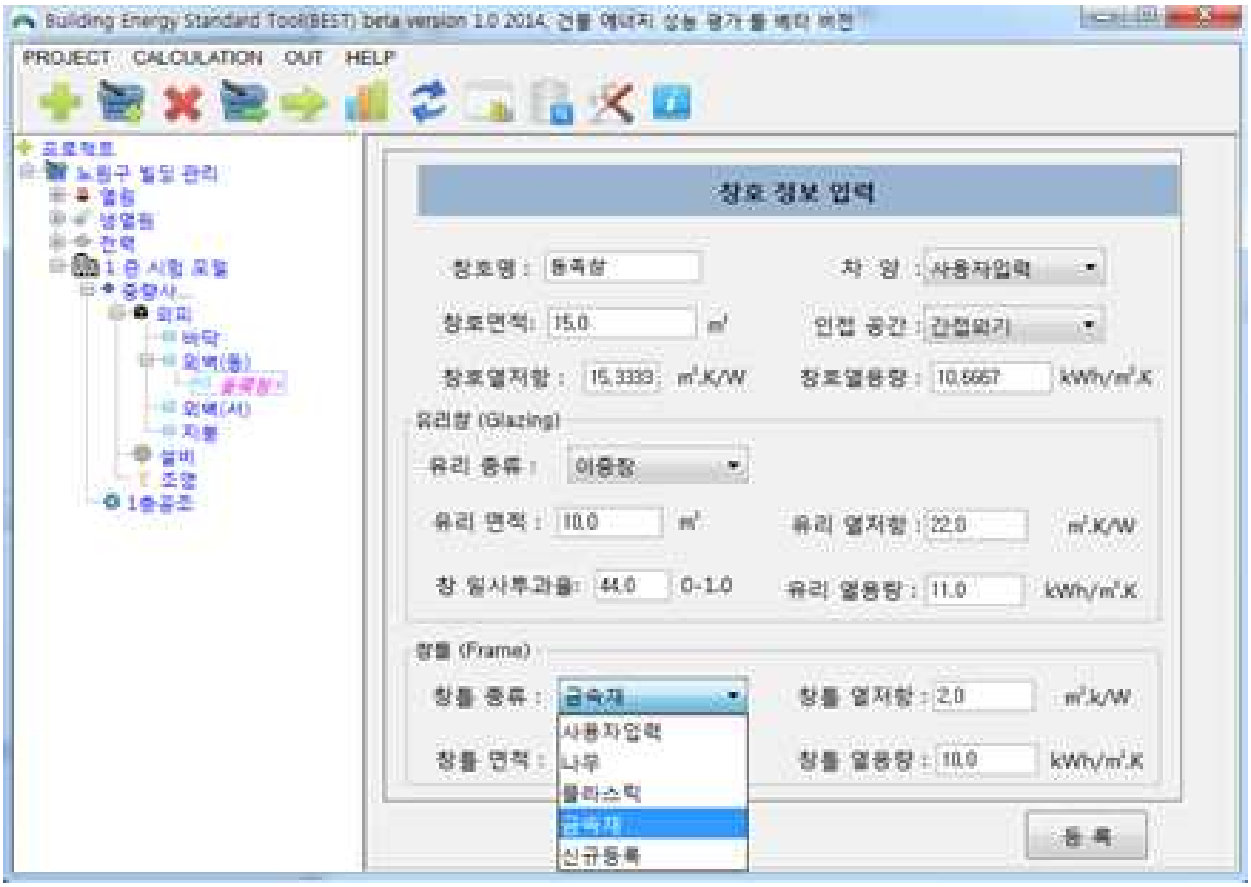
○ 정밀 계산법 대비 허용 오차율을 5% 이내 월간법 기반 건축물 에너지 냉난방 부하 산출법.
○ ISO 13790의 표준 계산 방법에 기반을 두었으나 Utilisation factor를 산출하는 계산식을 한국의 기후와 건물 유형에 맞도록 하여 수정법을 제시하였음.
○ 국제적으로 ISO 13790 법에서 월간법과 정밀법과의 오차가 크게 나타나는 냉방 부하값의 오차 범위를 현격히 줄일 수 있음.

(2) 연간 운전 효율 특성을 고려한 에너지 플란트 시스템 소요량 계산 산출법

○ 건물에 설치된 플란트의 에너지 소비량을 실제 운전 조건에 맞추어 계산하는 기법.
○ 건물의 운전 패턴 플란트 시스템의 부분부하 운전시의 효율 곡선을 반영하도록 함.
○ 연간 기후 조건 및 건물의 운영 조건을 플란트 부분부하 및 반송 계통 손실과 연계하여 실제적인 에너지 시스템 소비량 계산을 하도록 함.

(3) 건물 에너지 성능 정량화 기법 완성 및 툴 킷 개발

○ ISO13790 월간법 기반 냉난방 부하 계산 법 및 연간 운전 효율 계수법을 기반으로한 건물 에너지 소비량 계산툴.
○ 신축 및 리모델링 시 에너지 성능 평가
○ 죤 별 에너지 시스템 계통 연계기능 (방열방식, 2차 열원 정의)
○ 신재생 에너지 시스템 에너지 공급량 계산
○ 녹색 건축법 및 건물 에너지 성능 등급 제도 대응 건축물 설계 지원 툴



[그림 3.6] 건축물 에너지 성능 표준 평가 툴(BEST 유저인터페이스)

(4) 프로그램 코드 에러 검증 및 건물 에너지 성능 평가 모델 적용 검증

○ 건물 부하특성에 따른 히트펌프 시스템 계절별 에너지 효율 계수별 오차 비교 및 분석
○ 핵심 기술요소를 적용한 소프트웨어 프로그램을 일반에 공개하여 오픈소스 프로그램 개발 커뮤니티를 구성 하고 요소기술 검증 진행 예정.

(5) 종합 결과물의 활용성 증대를 위한 국내외 유관 기관과의 협력

○ 소프트웨어 프로그램은 상업용으로 사용 되지 않으며 일반에게 공개 되고 연구소 및 관련 기업이 사용할 수 있도록 함. 이를 통해 국가 표준 툴로 활용 되도록 함.
○ 서울시 건물 에너지 효율화 사업의 표준 툴로 시범 사업에 활용을 위해 서울시 운영 에너지 드림센터 내의 기술 연구소에서 보급 프로그램 추진 계획.
○ 에너지 기술 평가원의 중소형 건물 에너지 진단 서비스 개발의 시뮬레이션 툴의 기반툴로 활용하기 위한 작업 진행중
○ 연구 자문위원 20명의 자문 수행. 시험 검증은 연구개발 완료 후 건물 에너지 인증 기관인 한국 감정원 및 건설 기술 연구원에 정식 의뢰 예정.
○ 한국전자통신연구원은 표준평가모델을 신축 및 기존 건물을 대상으로 평가 하기 위한 추가 연구 수행 및 BEMS 연계 방법론 개발을 위해 활용 예정.
○ 커미셔닝 전문업체 (한미설비(주)), BEMS 업체 중소기업(우리젠(주), 베텍(주)), 건설 업체 (대림산업), 서울시 에너지 드림센터의 전문가 교육 프로그램.

제 3절 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과)

1. 학술적 성과

가. 학술발표

(1) The evaluation of energy performance of an office building through energy monitoring and simulation application, 2012, 5th IBPC

(2) A study on improvements of equipment and operation systems for optimum energy saving in office buildings, 2012, 9th CHAMPS

(3) 실측 및 실내온도 모니터링 데이터를 활용한 오피스 건물의 냉방부하평가에 관한 연구, 2012, 대한설비공학회 하계학술발표대회

(4) 공동주택 건물에너지 개선을 위한 측정 및 방안, 2012 , 대한설비공학회 하계학술발표대회

(5) 대형 판매시설의 에너지 소비특성에 따른 에너지 저감 방안에 관한 연구, 2013, 대한건축학회 춘계학술발표대회

(6) 건물 에너지 부하 영향 인자의 민감도 분석에 따른 에너지 절감 영향도 평가 간이 모델, 2012, 대한설비공학회 하계학술발표대회

(7) ISO 13790 월간 냉난방부하 계산법 적용 타당성 연구, 2013, 대한설비공학회 하계학술발표대회

(8) 히트펌프의 계절별 시스템 효율계수에 관한 연구, 2013, 대한설비공학회 하계학술발표대회

(9) 공동주택 건물에너지 개선을 위한 측정 및 방안, 2012, 대한설비공학회 하계학술발표대회

(10) 공동주택 적용 태양열 급탕시스템 및 태양광 발전시스템의 성능평가, 2013, 대한설비공학회 하계학술발표대회

(11) 냉동기 효율 조사 및 분석에 관한 연구 , 2014, 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집

(12) 국내 열원기기 부분부하 효율 조사 및 분석에 관한 연구, 2014, 대한설비공학회 2014 하계학술발표대회 논문집

나. 논문

(1) 커튼월 구조 오피스건물의 에너지 절약을 위한 외피시스템개선 방안에 관한 기초 연구, 2012, 한국건축친환경 설비학회

(2) 공동주택의 세대 위치에 따른 열적 불균형 개선을 위한 연구, 2013, 한국건축친환경 설비학회

(3) 대형 판매시설의 최적 에너지 절약을 위한 설비 운영시스템 개선 방안에 관한 연구, 2013, 대한건축학회

(4) 발코니 창호 요소 변화에 따른 아파트 단위세대 냉난방부하 산출모델 제시, 2012, 한국건축친환경 설비학회

(5) ISO 13790 월간계산법 냉난방부하 유효계수 국내 사무소 건물 적용 타당성 연구, 2013, 한국건축친환경 설비학회

(6) 건물 부하특성에 따른 히트펌프 시스템 계절별 에너지 효율 계수, 2013, 한국건축친환경 설비학회

(7) 냉방 설비시스템 실제 운영을 고려한 건축물 에너지 성능평가 방법 (심사중)

(8) 현장측정을 통한 설비시스템 계절효율계수 적용이 기존 건물 에너지 성능평가 프로그램 결과에 미치는 영향 (심사중)

(9) Title: A study on The Computation of Seasonal Efficiency for Existing Buildings Energy Consumption Prediction (심사중)

(10) A Study on Commercial Buildings Energy Consumption Prediction using Seasonal Efficiency Ratio of Equipment System (심사중)

2. 기술적 성과

(1) 건물 에너지성능 측정평가를 위한 공정시험 방법 및 대상건물 군별 측정 결과보고서
- ○ 건물 에너지성능 측정평가를 위한 공정시험 방법 및 대상건물 군별 측정 결과보고서 1건

(2) 건물 에너지 성능 정량화 기법 완성 툴킷 개발
- ○ 소프트웨어 등록건수 1건, 지침/매뉴얼 1건

(3) 국내 설비기기 및 신재생에너지기기 DB 구축
- ○ 국내에서 활용되는 설비기기 DB 수집 및 성능곡선도출 DB 보고서 1건

제 4절 기술실시 및 적용사례

1. 기존건물의 성능평가 및 Retrofit 표준 Process 의 현장 적용성

가. 현장조사 및 에너지 소비패턴 분석

(1) 현장조사 대상건물 선정

<표 3.7> 상업용 건물의 개요

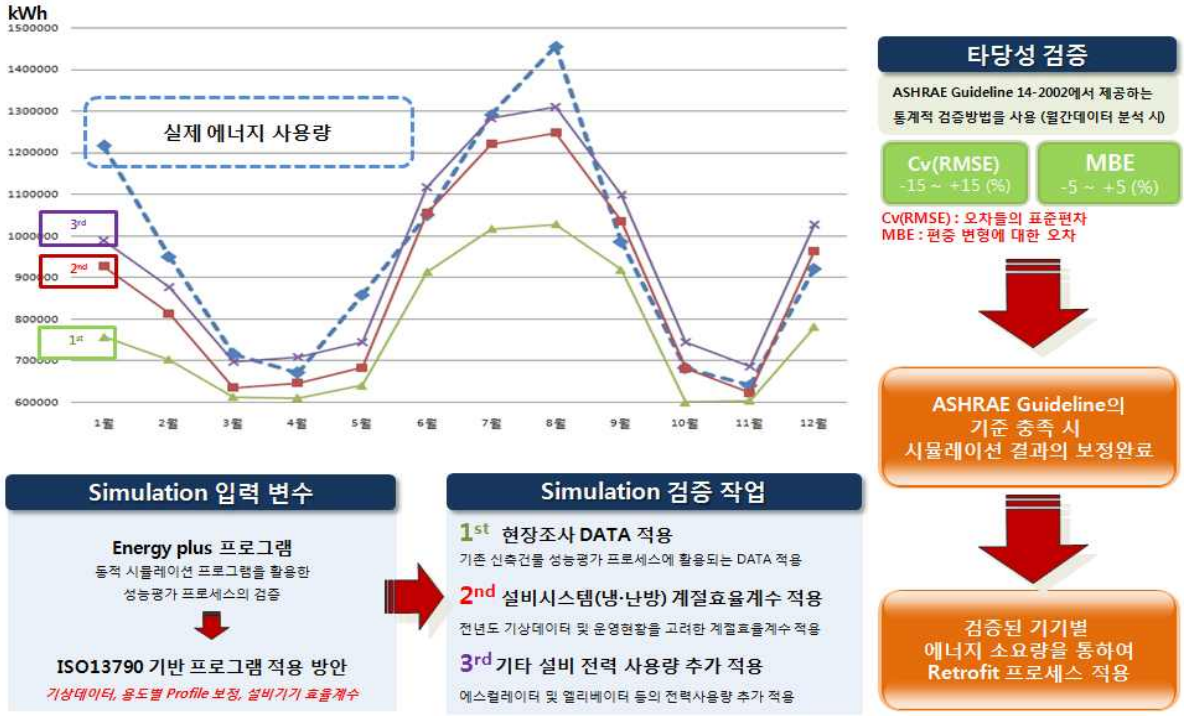
구분 \ 건물명	상업용 건물 A	상업용 건물 B	상업용 건물 C
대상건물			
건물 위치	서울특별시 서초구	대구광역시 수성구	광주광역시 서구
주요 용도	사무실	사무실	사무실
층 수	지하5층/지상20층	지하8층/지상20층	지하4층/지상18층
건 폐 율	59.63%	36.4%	52.64%
용 적 율	73.14%	243.7%	189.74%
대지 면적	1,167.50 ㎡	4,000.84 ㎡	3,266.4 ㎡
건축 면적	696.16 ㎡	1,171.46 ㎡	1,719.74 ㎡
연 면 적	17,164.07 ㎡	40,976.23 ㎡	31,590.41 ㎡
HVAC	CAV + FCU	CAV + FCU	CAV + FCU

<표 3.8> 건물의 일반현황

구분 \ 건물명	판매시설 건물 A	판매시설 건물 B	판매시설 건물 C
대상건물			
건물 위치	경기도 부천시	대전시 서구	서울시 중랑구
주요 용도	판매 및 영업시설	판매 및 영업시설	판매 및 영업시설
층 수	지하 3층 / 지상 6층	지하:1층 지상:7층	지하:1층 지상:8층
건 폐 율	71.6%	75.3%	59.86%
용 적 율	73.14%	243.7%	189.74%
대지 면적	8,379 ㎡	8,714 ㎡	9,250 ㎡
건축 면적	6,002 ㎡	6,560 ㎡	5,540 ㎡
연 면 적	47,950 ㎡	40,101 ㎡	39,432 ㎡
HVAC	CAV + FCU	CAV + FCU + P.A.C	CAV + FCU + P.A.C

나. 건물 에너지 사용량과 시뮬레이션 소요량 데이터의 검증

○ 본 연구에서는 대상 건물들의 시뮬레이션 프로그램 모델링 작업을 마치고, 기존 건축물의 소비량 예측을 위해 다음과 같은 보정 프로세스를 실시하였다.



[그림 3.7] 소비량 보정 프로세스의 개념 및 Retrofit 프로세스 적용 방안

(1) 검증 방법

○ 미국냉동공조학회(ASHRAE)에서는 건물 에너지절감에 대한 여러 가이드라인을 제시하고 있는데 그 중'ASHRAE Guideline 14-2002 : Measurement of Energy and Demand Savings'는 건물의 신뢰성 있는 진단 및 성능평가를 위한 지침을 제공한다.

- 연간 8,760 시간의 데이터 (8,760 hour per year)
- 열용량 효과 (thermal mass effects)
- 재실인원 정보 및 운영 일정, 스케줄 (occupancy and operating schedules that can be separately defined for each day of the week and holidays)
- 냉난방 구역 및 HVAC 정보 (individual setpoints for thermal zones or HVAC components)
- 기계설비의 부분부하 성능 곡선 (user-definable part-load performance curves for mechanical equipment)
- 기계설비 용량 및 비 정격 운전 시 데이터 (user-definable capacity and efficiency correction curves for mechanical equipment operationg at non rated conditions.)

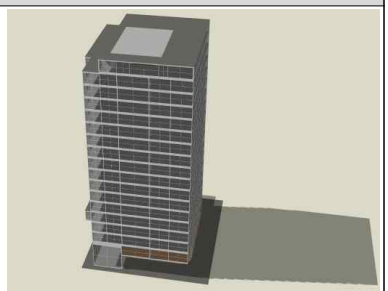
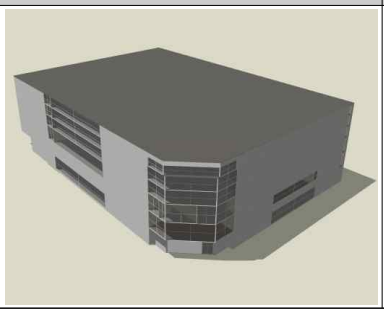
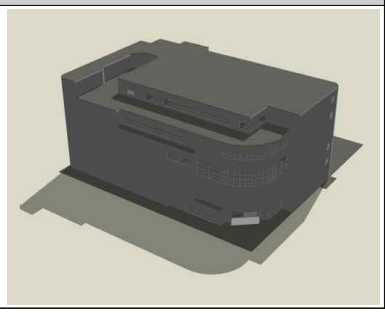
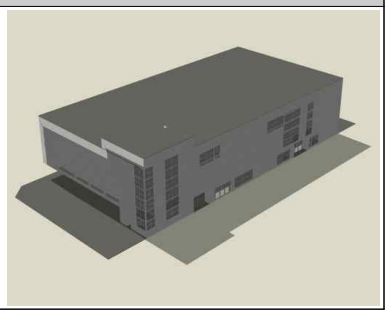
○ 본 연구에서는 ASHRAE Guideline 14-2002[11]에서 제시하는 통계적 검증 방법인

11) U.S. Department of Energy (2008) M&V Guidelines - Measurement and Verification for Federal Energy Projects Version 3.0.

Cv(RMSE)(the root mean squared error)법과 MBE(The mean bias error)을 사용하여 실제 에너지사용량과 시뮬레이션을 통한 에너지사용량의 타당성을 검증한다.

(2) Simulation 모델링

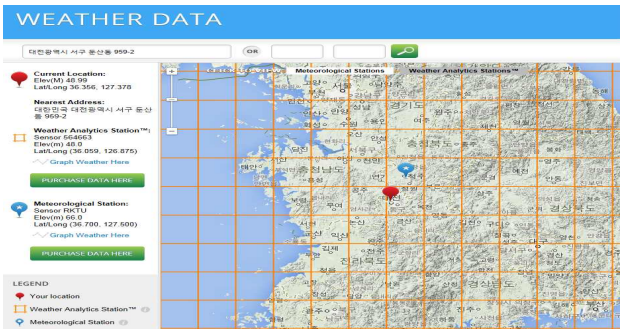
<표 3.9> Design builder를 활용한 상업용 및 판매시설 건물의 모델형상

구분	상업용건물 A	상업용건물 B	상업용건물 C
모델링이미지			
구분	판매시설 A	판매시설 B	판매시설 C
모델링이미지			

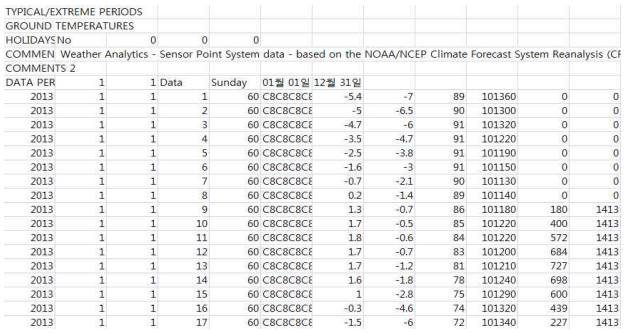
(가) AMY 기상데이터 적용

<표 3.10> 대상 건물별 기상데이터 확보 위치

대상 건물	장소	좌표 및 고도	
상업용 건물 A	서울특별시 서초구 서초동	Lat/Long :	37.494, 127.029
		Elev(M) :	28.35
상업용 건물 B	대구광역시 수성구 범어동	Lat/Long :	35.866, 128.626
		Elev(M) :	57.38
상업용 건물 C	광주광역시 서구 치평동	Lat/Long :	35.151, 126.852
		Elev(M) :	21.84
판매시설 A	경기도 부천시 원미구 중동	Lat/Long :	37.504, 126.764
		Elev(M) :	16
판매시설 B	대전광역시 서구 둔산동	Lat/Long :	36.356, 127.378
		Elev(M) :	48.99
판매시설 C	서울특별시 중랑구 망우본동	Lat/Long :	37.596, 127.094
		Elev(M) :	32.8



[그림 3.8] Design builder에 적용 가능한 기상데이터를 제공하는 weather analytics



TYPICAL/EXTREME PERIODS
GROUND TEMPERATURES
HOLIDAYS No 0 0 0
COMMEN Weather Analytics - Sensor Point System data - based on the NOAA/NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CF
COMMENTS 2
DATA PER 1 1 Data Sunday 01월 01일 12월 31일

2013	1	1	1	60	C8C8C8C8	-5.4	-7	89	101360	0	0
2013	1	1	2	60	C8C8C8C8	-5	-6.5	90	101300	0	0
2013	1	1	3	60	C8C8C8C8	-4.7	-6	91	101320	0	0
2013	1	1	4	60	C8C8C8C8	-3.5	-4.7	91	101220	0	0
2013	1	1	5	60	C8C8C8C8	-2.5	-3.8	91	101190	0	0
2013	1	1	6	60	C8C8C8C8	-1.6	-3	91	101150	0	0
2013	1	1	7	60	C8C8C8C8	-0.7	-2.1	90	101130	0	0
2013	1	1	8	60	C8C8C8C8	0.2	-1.4	89	101140	0	0
2013	1	1	9	60	C8C8C8C8	1.3	-0.7	86	101180	180	1413
2013	1	1	10	60	C8C8C8C8	1.7	-0.5	85	101220	400	1413
2013	1	1	11	60	C8C8C8C8	1.8	-0.6	84	101220	572	1413
2013	1	1	12	60	C8C8C8C8	1.7	-0.7	83	101200	684	1413
2013	1	1	13	60	C8C8C8C8	1.7	-1.2	81	101210	727	1413
2013	1	1	14	60	C8C8C8C8	1.6	-1.8	78	101240	698	1413
2013	1	1	15	60	C8C8C8C8	1	-2.8	75	101290	600	1413
2013	1	1	16	60	C8C8C8C8	-0.3	-4.6	74	101320	439	1413
2013	1	1	17	60	C8C8C8C8	-1.5	-6	72	101340	227	1413

[그림 3.9] Simulation에 적용 가능한 전년도 기상데이터(AMY) 파일 (.epw 형식)

(나) 설비시스템 운영현황

○ 대상 건물 3곳 모두 2013년도 설비기기 운영 스케쥴이 컴퓨터에 저장되어 있고, 동일한 프로그램을 사용하기 때문에 대상 건물에 직접 방문하여 2013년도 운영스케줄을 추출했다.

<표 3.11> 상업용 건물의 냉·난방 열원설비 운영 스케줄

	열원 설비	가동시간	정지시간	비 고
상업용 건물 A	냉온수기	06:00	17:00	- 온도감시 철저 (냉방 26℃, 난방 23℃) - 난방시 냉온수기 대수 제어 - 외기온도에 따라 당직자 수동으로 Off
	냉온수기	06:00	17:00	
상업용 건물 B	냉온수기	05:00	18:30	- 온도감시 철저 (냉방 26℃, 난방 23℃) - 난방시 냉온수기, 보일러 교차 운전 - 외기온도에 따라 당직자 수동으로 Off
	보일러 + 냉온수기	05:00	18:30	
상업용 건물 C	냉동기	07:00	18:00	- 온도감시 철저 (냉방 26℃, 난방 23℃) - 외기온도에 따라 당직자 수동으로 Off
	보일러	07:00	18:00	

<표 3.12> 상업용 건물의 2013년도 냉난방 스케줄

대상 건물	냉방 스케줄 (부분 운전 포함)			난방 스케줄 (부분 운전 포함)		
상업용 건물 A	05 . 24	~	09 . 20	11 . 11	~	02 . 25
상업용 건물 B	05 . 24	~	09 . 20	11 . 11	~	02 . 25
상업용 건물 C	05 . 24	~	09 . 20	11 . 11	~	02 . 25

<표 3.13> 상업용 건물의 2013년도 조명 운영 스케줄

전등 라인	가동 시간	정지 시간
지상층 일반 전등	07:00	19:00
지하층 일반 전등	06:00	24:00
지하층 주차장 일반 전등	06:00	24:00

<표 3.14> 상업용 건물의 공조기 운영 스케줄

공조기	가 동 시 간	정 지 시 간
AHU	06:20	18:00
FCU	06:20	18:00
에어커튼	06:20	18:00
급·배기팬	06:20	18:00
패키지에어컨	06:20	18:00
라디에이터	06:20	18:00

<표 3.15> 판매시설의 냉·난방 열원설비 운영 스케줄

	열원 설비	가동시간	정지시간	비 고
판매 시설 A	냉동기	09:00	23:30	- 1호기와 2호기 대수 제어
	냉온수기	11:00	22:00	- 외기온도에 따라 당직자 수동으로 Off
판매 시설 B	냉동기	09:00	23:30	- 외기온도에 따라 당직자 수동으로 Off
	보일러	11:00	22:00	
판매 시설 B	냉동기	09:00	23:30	- 1호기와 2호기 대수 제어
	열교환기	11:00	22:00	- 외기온도에 따라 당직자 수동으로 Off

<표 3.16> 판매시설의 2013년도 냉난방 스케줄

대상 건물	냉방 스케줄 (부분 운전 포함)			난방 스케줄 (부분 운전 포함)		
판매시설 A	05 . 13	~	10 . 10	11 . 11	~	02 . 20
판매시설 B	05 . 15	~	10 . 14	11 . 11	~	04 . 05
판매시설 C	05 . 13	~	10 . 14	11 . 03	~	04 . 05

<표 3.17> 판매시설의 2013년도 조명 운영스케줄

전등 라인	가동 시간	정지 시간
지상층 일반 전등	10:00	0:15
지하층 일반 전등	10:00	0:15
지상층 주차장 일반 전등	9:25	0:20
지하층 주차장 일반 전등	9:30	0:20

<표 3.18> 판매시설의 공조기 운영스케줄

공조기	가 동 시 간	정 지 시 간
AHU	06:20	18:00
FCU	06:20	18:00
에어커튼	06:20	18:00
급・배기팬	06:20	18:00
패키지에어컨	06:20	18:00
라디에이터	06:20	18:00

(다) 기타 설비 전력사용량 데이터 확보

<표 3.19> 상업용 건물 A의 엘리베이터 개요

구분	1호기	2호기	3호기	4호기	5호기	6호기
용 도	승객용 (비상용)	승객용 (장애인용)	승객용	승객용	승객용	승객용
하 중	15인승	15인승	24인승	24인승	24인승	24인승
속 도	150m/min	210m/min	210m/min	210m/min	210m/min	210m/min
DOOR SIZE	1100	1100	1100	1100	1100	1100
운행층	B4~18F	B4~18F	B1~18F	1F~18F	1F~18F	1F~18F
승강로 SIZE	2825×3100	2825×2950	2825×2950	2825×3150	2825×3150	2825×3150

<표 3.20> 상업용 건물 B의 엘리베이터 개요

구분	1호기	2호기	3호기	4호기
용 도	승객용 (장애인, 비상용)	승객용 (장애인용)	승객용	승객용
하 중	17인승	24인승	24인승	24인승
속 도	180m/min	210m/min	210m/min	210m/min
DOOR SIZE	1020	1020	1020	1020
운행층	B4~18F	1F~18F	1F~18F	1F~18F
승강로 SIZE	2600×2600	2700×2700	2700×2700	2700×2700

<표 3.21> 상업용 건물 C의 엘리베이터 개요

구분	1호기	2호기	3호기	4호기	5호기	6호기	7호기	8호기
용 도	승객용 (비상용)	승객용 (비상용)	승객용	승객용	승객용	승객용	승객용	승객용
하 중	15인승	15인승	24인승	24인승	24인승	24인승	24인승	24인승
속 도	150m/min	150m/min	210m/min	210m/min	210m/min	210m/min	210m/min	210m/min
DOOR SIZE	1100	1100	1300	1300	1300	1300	1300	1300
운행층	B4~1F	B5~19F	B1~19F	B1~19F	B1~19F	B1~19F	B1~19F	B1~19F
승강로 SIZE	2650×2600	2500×2500	2550×2500	2550×2500	2550×2500	2550×2500	2550×2500	2550×2500

<표 3.22> 상업용 건물 기타 설비기기의 월간 평균 에너지 사용량

	엘리베이터 (kWh)
상업용 건물 A	8,064
상업용 건물 B	7,795
상업용 건물 C	15,008

<표 3.23> 판매시설 A의 엘리베이터 개요

구분	1호기	2호기	3호기	4호기
용 도	승객용 (장애자용)	승객용	화물용	화물용
하 중	20인승	20인승	3.5ton	3.5ton
속 도	60m/min	60m/min	30m/min	30m/min
DOOR SIZE	1500	1500	3200	3200
운행층	1F~7F	1F~7F	B1~3F	B1~3F
승강로 SIZE	2500×2250	2500×2250	4450×5000	4450×5000

<표 3.24> 판매시설 A의 무빙워크 개요

구분	1～12호기	13～16호기
형 식	AGS-1000형	AGS-1000형
각 도	12°	12°
속도	30m/min	30m/min
디딤판 폭	804	804
운행층	1F~7F	1F~3F
운행 층고	3500~5200	5000~5200
운행 형식	교차형	일방향
운행 구간	A구간	B구간

<표 3.25> 판매시설 B의 엘리베이터 개요

구분	1호기	2호기	3호기	4호기	5호기	6호기
용 도	승객용 (장애자용)	승객용	승객용	승객용	화물용	화물용
하 중	30인승	30인승	30인승	30인승	3ton	3ton
속 도	60m/min	60m/min	60m/min	60m/min	30m/min	30m/min
DOOR SIZE	1400	1400	1400	1400	3000	3000
운행층	B1~8F	B1~8F	B1~8F	B1~8F	1F~4F	1F~8F
승강로 SIZE	3200×3000	3200×3000	3200×3000	3200×3000	4000×5000	4000×5000

<표 3.26> 판매시설 B의 무빙워크 개요

구분	1～14호기
형 식	AGS-1000형
각 도	12°
속도	30m/min
디딤판 폭	804
운행층	1F~8F
운행 층고	3300~5200
운행 형식	교차형
운행 구간	A구간

<표 3.27> 판매시설 C의 엘리베이터 개요

구분	1호기	2호기	3호기	4호기	5호기	6호기
용 도	승객용 (장애자용)	승객용	승객용	승객용	화물용	화물용
하 중	35인승	35인승	35인승	35인승	4ton	4ton
속 도	60m/min	60m/min	60m/min	60m/min	20m/min	20m/min
DOOR SIZE	1300	1300	1300	1300	2700	2700
운행층	1F~6F	1F~6F	1F~6F	1F~6F	B3~1F	B2~1F
승강로 SIZE	3200×3000	3200×3000	3200×3000	3200×3000	4000×5000	4000×5000

<표 3.28> 판매시설 C의 무빙워크 개요

구분	1～6호기	7～14호기
형 식	AGS-1000형	AGS-1000형
각 도	12°	12°
속도	30m/min	30m/min
디딤판 폭	804	804
운행층	B2~1F	1F~4F
운행 층고	5200~5500	3300~5200
운행 형식	교차형	교차형
운행 구간	A구간	B구간

<표 3.29> 판매시설 기타 설비기기의 월간 평균 에너지 사용량

	엘리베이터 (kWh)	무빙워크(kWh)
판매시설 A	6,523	50,644
판매시설 B	9,533	52,013
판매시설 C	10,537	51,556

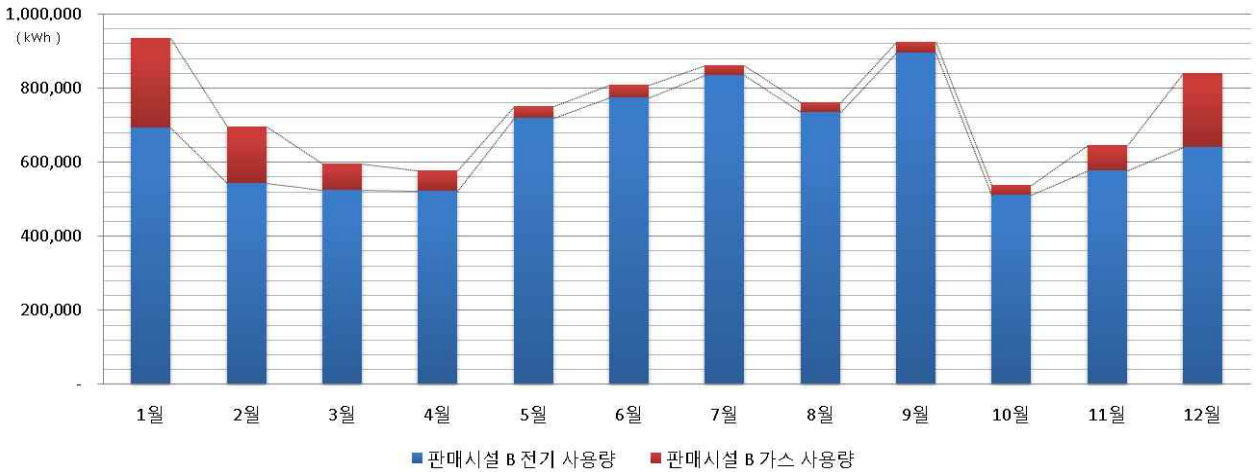
다. 대상 건축물의 에너지 소비패턴 분석

○ 다음 그림은 상업용 건물 A의 2013년도 에너지 소비량을 전기 및 가스로 구분하였다. 7월부터 9월의 전력사용량과 가스 사용량이 많은 것을 알 수 있다. 설비시스템이 흡수식 냉온수기가 설치되어 있어서 전기 사용량뿐만 아니라 가스 사용량 또한 높게 나타난 것으로 판단된다.



[그림 3.10] 판매시설 A 월별 전기 및 가스 에너지 소비량

○ 다음 그림은 상업용 건물 B의 2013년도 에너지 소비량을 전기 및 가스로 구분하였다. 8월의 경우 최대전력사용량인 220MWh로 나타났다. 이는 상업용 건축물의 주간 운영 특성상 여름철 냉방시 사용되는 냉동기 및 FCU의 영향으로 판단되며 여름철 가스사용량이 높은 건축물은 흡수식 냉온수기가 설치되어 있는 것을 알 수 있다.



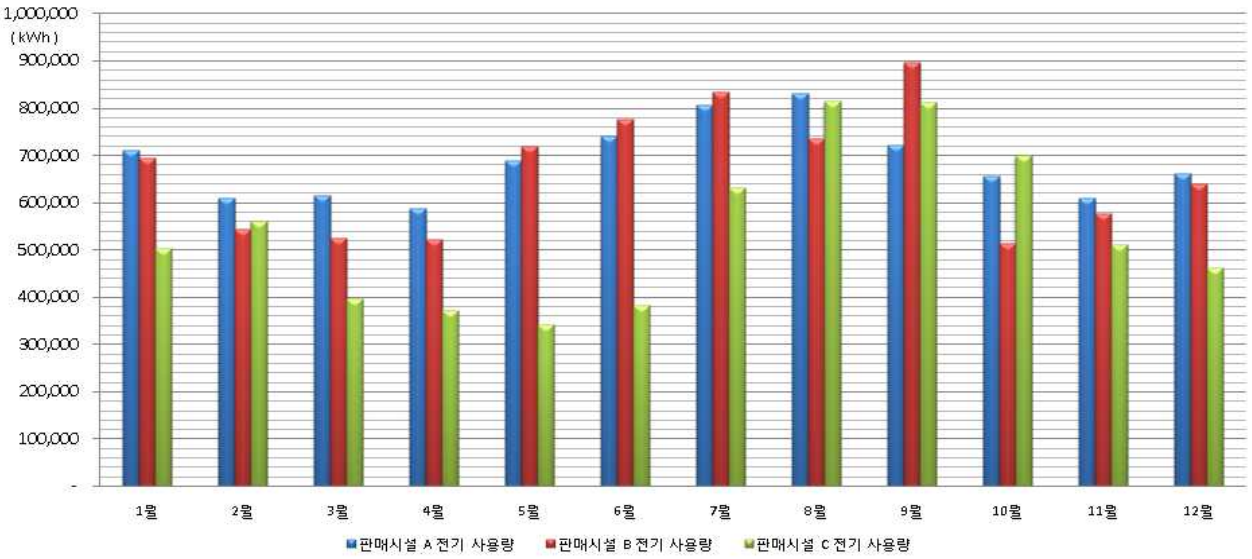
[그림 3.11] 판매시설 B 월별 전기 및 가스 에너지 소비량

○ 다음 그림은 상업용 건물 C의 2013년도 월별 전력 사용량을 나타냈다. 그러나 상업용 건축물 C의 경우 다른 오피스 건물과 비교했을 때 가스 사용량이 상대적으로 낮은 부분을 알 수 있다. 냉방 시 고효율 터보냉동기를 사용하므로 가스사용량 작으며, 가스의 경우 급탕용 보일러에 사용된다.

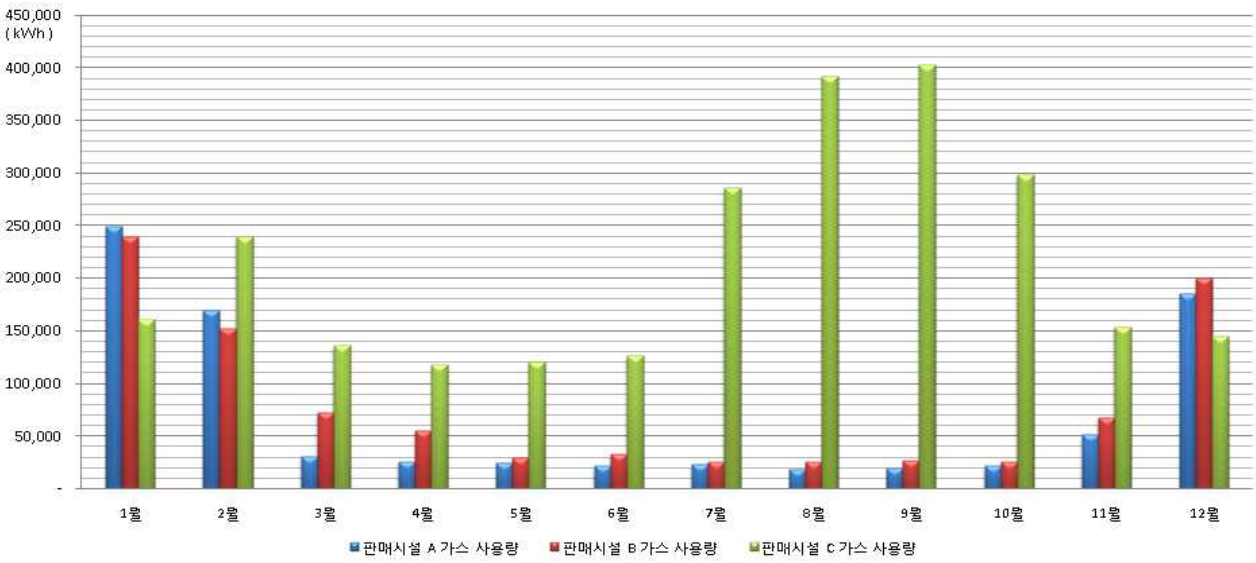


[그림 3.12] 상업용 건물 C 월별 전기 및 가스 에너지 소비량

○ 상업용 건물별 에너지 사용량



[그림 3.13] 2013년도 판매시설 A, B, C 전력사용량



[그림 3.14] 2013년도 판매시설 A, B, C 가스사용량

라. 대상 건축물에 대한 표준 Process 산출

(1) 시간빈도수 도출

○ 판매시설 A 지역의 평균온도를 0.5℃ 단위로 반올림하여 시간대별 평균온도로 표시한다. 냉방계절효율계수의 경우, 대상 건물의 운영 스케줄을 참고하여 냉방 시작일시부터 종료일시까지의 시간대를 대상으로 한다. 시간빈도수 도출시 중복을 방지하기 위해 오전 시간빈도수와 오후 시간빈도수를 나눈다. 냉방기 전체에 대한 시간빈도수 도출 표는 다음 표와 같다.

<표 3.30> 냉방 기간의 평균 온도별 시간빈도수

온도 ℃	전체	오전	오후
15.5 이하	360	205	155
16	59	31	28
16.5	54	27	27
17	64	31	33
17.5	56	30	26
…			
31.5	4	1	3
32	6	3	3
32.5	10	2	8
33	5	2	3
33.5	1	0	1
34	2	1	1
34.5	0	0	0

(2) 각 MODE 분류

○ 각 시간대별 온도차를 분석하여 Peak 시간대의 최대 온도로부터 온도차 기울기가 0.3이내인 시간대를 MODE 2로 지정하여 MODE 2 시간대를 기점으로 MODE 1과 3를 자동 도출한다. 판매시설 A의 MODE 분류 결과 12~15시 사이가 MODE 2가 되어 9~12는 MODE 1, 15~24는 MODE 3로 도출되었다. 시간대별 온도차 분류 및 MODE 2시간대 선정에 대한 참고표는 다음 표와 같다.

<표 3.31> 시간대별 온도차 분석을 통한 MODE 2 도출

해당 시간	온도차 ℃
9~10	0.9
10~11	0.7
11~12	0.5
12~13	0.3
13~14	0
14~15	0.1
15~16	0.4
16~17	1.2
17~18	1.4
18~19	1.7
19~20	1.5
20~21	0.2
21~22	0.3
22~23	0.2
23~24	0.2

(3) MODE 별 현장 측정을 통한 COP 산출

○ 계절효율계수 도출을 위해, 각 MODE별 측정을 실시하여 COP를 산출한다. MODE별 1회씩 냉온수기의 입출구 온도와 유량을 측정해 COP를 산출한다. 측정된 MODE 별 입출구 온도 및 유량은 다음 표와 같다.



[그림 3.15] 냉온수기의 유량 측정(좌) 및 입출구 온도 측정(우)

<표 3.32> MODE 시간대별 유량 및 입출구 온도 측정 결과

시간		냉온수기 입출구 온도		유량 속도			
		입구	출구				
MODE 1	10 : 30	9.7 ℃	11.1 ℃	Pos Tot :	848 (m3)	Vel :	5.3 (m/s)
				Rate :	642.13 (m3/h)	Signal :	14.4 (%)
	11 : 30	11.1 ℃	12.0 ℃	Pos Tot :	917 (m3)	Vel :	1.2 (m/s)
				Rate :	316.69 (m3/h)	Signal :	14.6 (%)
MODE 2	13 : 00	10.6 ℃	12.7 ℃	Pos Tot :	971 (m3)	Vel :	1.2 (m/s)
				Rate :	312.35 (m3/h)	Signal :	14.4 (%)
	14 : 00	10.9 ℃	13.8 ℃	Pos Tot :	1027 (m3)	Vel :	1.2 (m/s)
				Rate :	313.90 (m3/h)	Signal :	14.5 (%)
MODE 3	18 : 00	11.6 ℃	13.2 ℃	Pos Tot :	1054 (m3)	Vel :	1.2 (m/s)
				Rate :	309.43 (m3/h)	Signal :	14.5 (%)
	19 : 00	10.9 ℃	12.2 ℃	Pos Tot :	1185 (m3)	Vel :	1.2 (m/s)
				Rate :	313.08 (m3/h)	Signal :	14.5 (%)

- 냉온수기 입열량 및 공급열량 (공통)

구분	내용
연료의 발열량(Hh)	***10,540 (kcal/N㎥ - 연료)***
연료의 현열(Q1)	= 연료의 비열(kcal/N㎥℃) x (버너전온도 - 외기온도(건))(℃) = 0.40 x (26 - 25) = ***0.4 (kcal/N㎥ - 연료)***
공기의 현열(Q2)	= 이론연소공기량(N㎥/N㎥) x 공기비 x 비열(kcal/N㎥℃) x (본체입구온도 - 외기온도(건))(℃) = 10.696 x 1.1 x 0.31 x (26 - 25) = ***3.5 (kcal/N㎥ - 연료)***
총 입열량(Qi)	= Hh + Q1 + Q2 + Q3 = 10,540.0 + 0.4 + 3.5 + 0.0 = ***10,544 (kcal/N㎥ - 연료)***
공급열량(kcal/h)	= 연료사용량(N㎥/h) × 총입열량(kcal/N㎥) = 42 × 10,544 = ***442,845(kcal/h)***
※ 연료사용량 = 온압보정계량값.	

- MODE 시간대에서의 냉방출력 및 COP 값

구분	내용
냉방출력(kcal/h)	= 냉수유량(㎥/h) × 냉수밀도(㎏/㎥) × 냉수비열(kcal/㎏℃) × 냉수의 입출구 온도차(℃)
성적계수(COP)	- 운전치 = ［냉방출력］/［공급열량］
- MODE 1 냉방출력	= 311.255 × 1,000 × 1.0 × (12.7 - 11.3) = ***435,757 (kcal/h)***
- MODE 1 COP	= 435,757(kcal/h) / 442,845(kcal/h) = ***0.98***
- MODE 2 냉방출력	= 479.41 × 1,000 × 1.0 × (11.6 - 10.4) = ***575,292 (kcal/h)***
- MODE 2 COP	= 575,292(kcal/h) / 442,845(kcal/h) = ***1.3***
- MODE 3 냉방출력	= 313.125 × 1,000 × 1.0 × (13.3 - 10.8) = ***782,813 (kcal/h)***
- MODE 3 COP	= 782,813(kcal/h) / 442,845(kcal/h) = ***1.7***

○ MODE 별 산출된 COP 값은 다음 표와 같다.

<표 3.33> 현장 측정이 적용된 각 MODE별 산출 효율 값

구 분	효율 (COP)
MODE 1	0.98
MODE 2	1.3
MODE 3	1.7

(4) 냉방기간 운영 시간대별 평균온도 도출

○ 판매시설 A의 냉방기간 시간대별 평균온도를 0.5℃ 단위로 반올림하여 각 시간대별 평균온도를 도출한다. 판매시설 A의 냉방기간의 운영 시간대별 대표 온도는 다음 표와 같다.

<표 3.34> 판매시설 A의 냉방기간 운영 시간대별 평균 온도

운영 시간	평균 온도 ℃	대표 온도(반올림) ℃
9	24.2	24
10	25.1	25
11	25.8	26
12	26.3	26.5
13	26.6	26.5
14	26.6	26.5
15	26.5	26.5
16	26.1	26
17	25.3	25.5
18	23.9	24
19	22.1	22
20	21.6	21.5
21	21.4	21.5
22	21.1	21
23	20.9	21
24	20.7	20.5

(5) 시간대별 평균온도 및 MODE별 효율값을 활용한 계절효율계수 산출

○ 각 MODE별 COP에 MODE 시간대별 시간빈도수의 합을 곱해 계절효율계수를 산출한다.

$$\text{계절효율계수} = \frac{(T_1 \times \text{효율}_{MODE1}) + (T_2 \times \text{효율}_{MODE2}) + (T_3 \times \text{효율}_{MODE3})}{T_1 + T_2 + T_3}$$

여기에서,
·Tn : MODE 시간대별 대표 온도대의 시간빈도수의 합
·효율n : MODE 시간대별 측정되어 산출된 효율

○ 산출식에 제시된 Tn 값들은 다음 표와 같다.

<표 3.35> 판매시설 A의 계절효율계수 산출을 위한 Tn 도출 표

MODE	시간	대표온도	시간빈도수	Tn
MODE 1	9	24	31	T1 = 78
	10	25	21	
	11	26	26	
MODE 2	12	26.5	23	T2 = 116
	13	26.5	31	
	14	26.5	31	
	15	26.5	31	
MODE 3	16	26	37	T3 = 469
	17	25.5	29	
	18	24	63	
	19	22	50	
	20	21.5	68	
	21	21.5	68	
	22	21	45	
	23	21	45	
	24	20.5	64	

○ 산출한 계절효율계수는 다음과 같다.

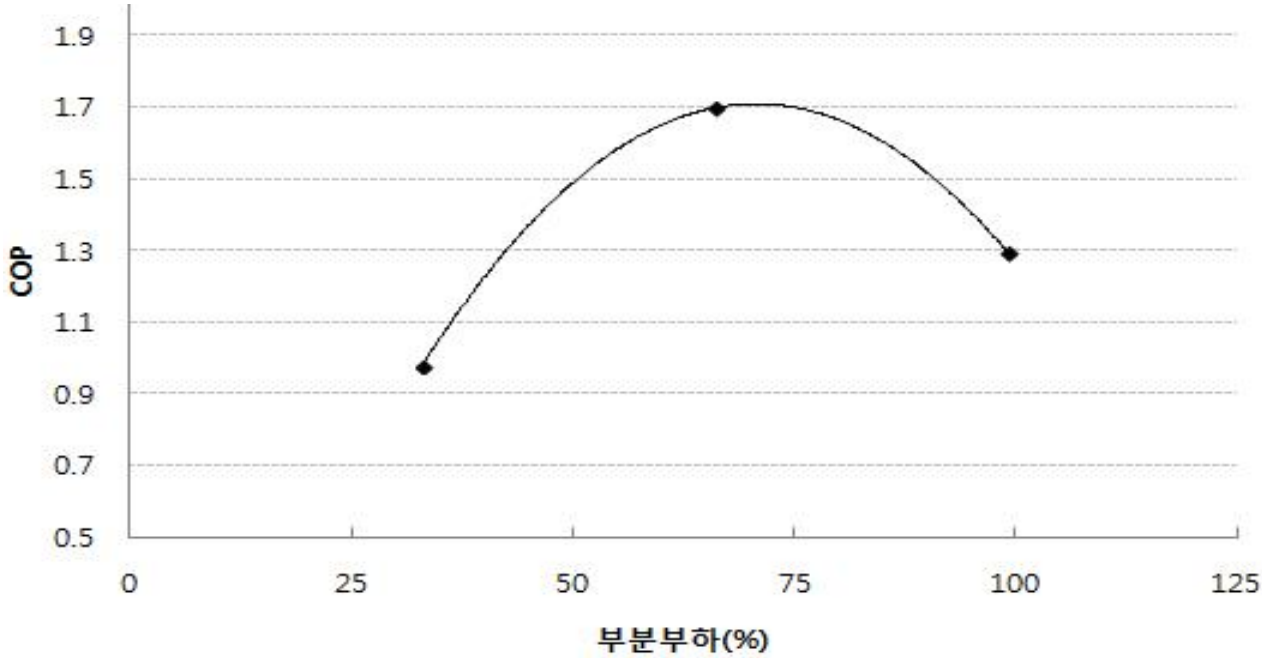
$$\text{계절효율계수} = \frac{(78 \times 0.98) + (116 \times 1.3) + (469 \times 1.7)}{469 + 116 + 78}$$

$$= 1.54$$

따라서, 판매시설 A의 냉온수기 계절효율계수는 1.54 이다.

(6) 부분부하패턴 분석

○ 판매시설 A의 경우 각 MODE별로 도출된 효율을 부분부하효율로 선정하여 그래프로 도시하였다.



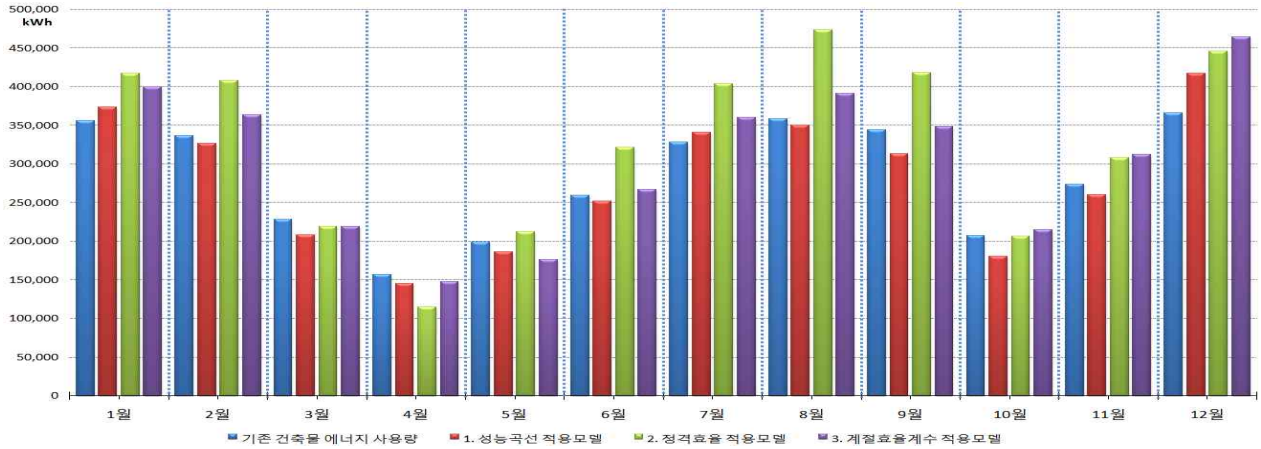
[그림 3.16] 판매시설 A의 냉온수기 부분부하효율 패턴

(7) 종합 및 결과 분석

<표 3.36> 대상 설비기기의 오차율

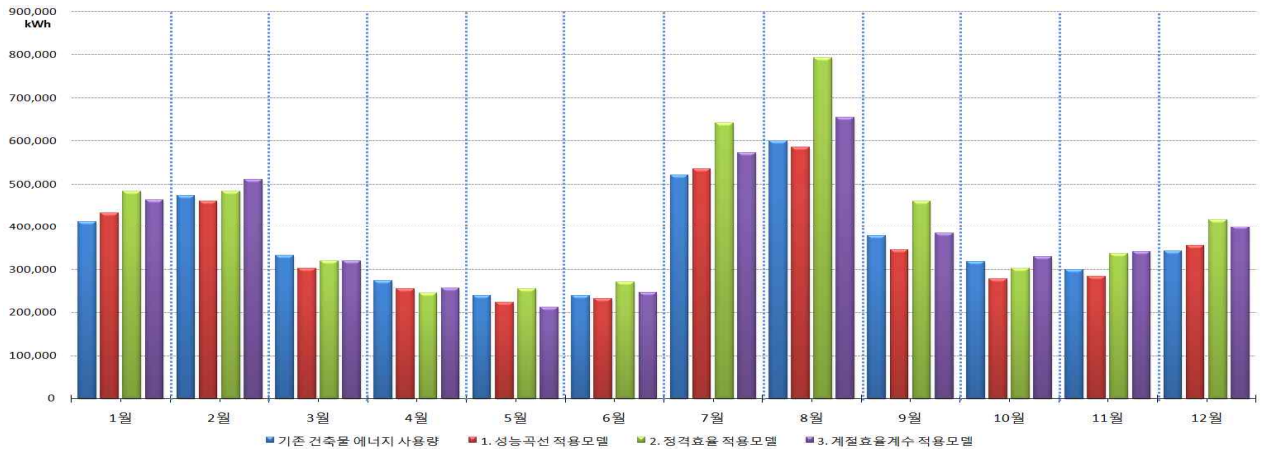
구분	정격효율	계절효율계수	오차율(%)
상업용 건물 A	1.30	1.49	14.6
상업용 건물 B	1.35	1.50	11.1
상업용 건물 C	1.22	1.41	15.6
판매시설 A	1.05	1.54	46.7
판매시설 B	6.07	7.11	17.1
판매시설 C	4.86	6.14	26.3

- 상업용 건물 A



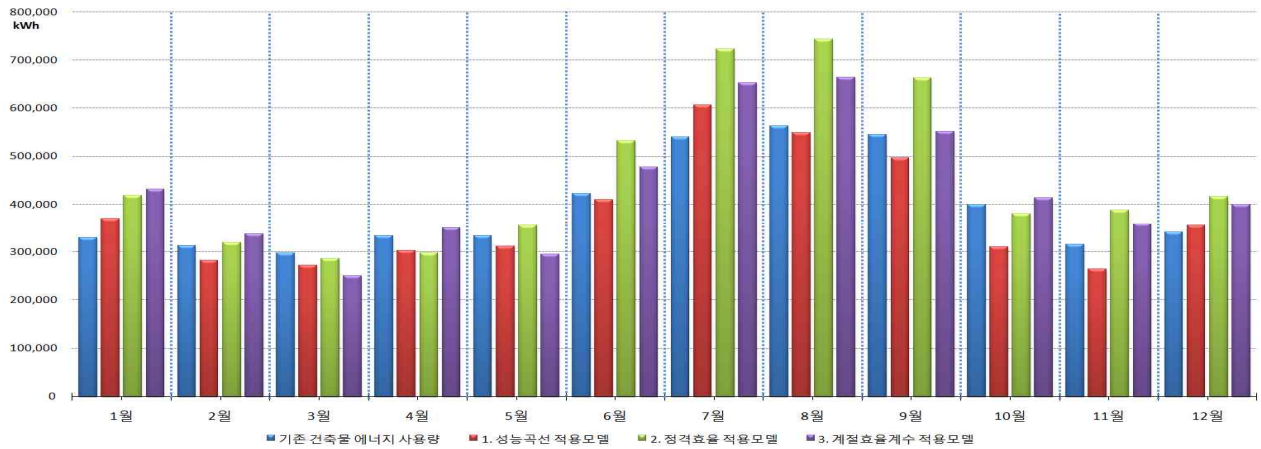
[그림 3.17] 상업용 건물 A의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프

- 상업용 건물 B



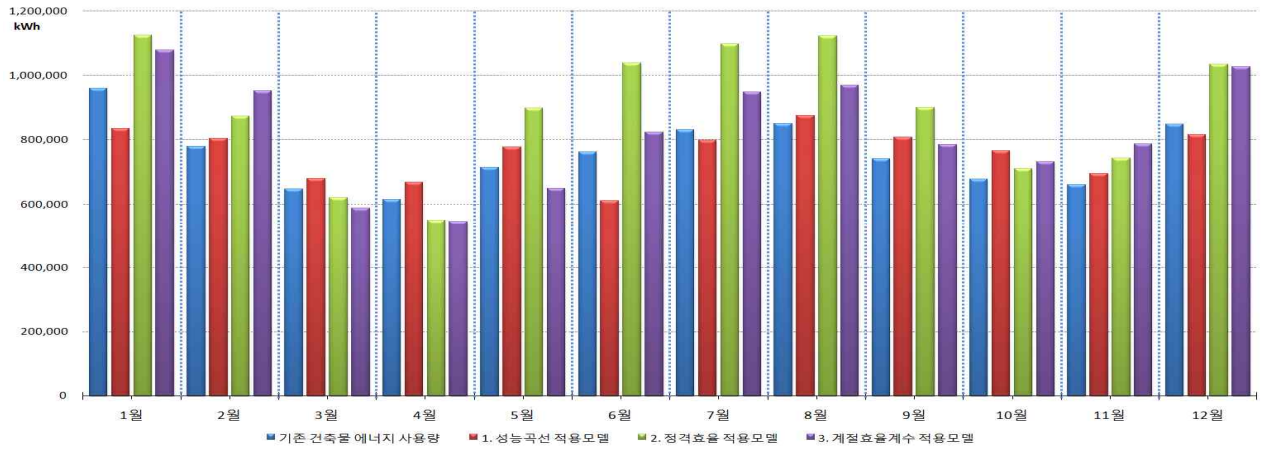
[그림 3.18] 상업용 건물 B의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프

- 상업용 건물 C



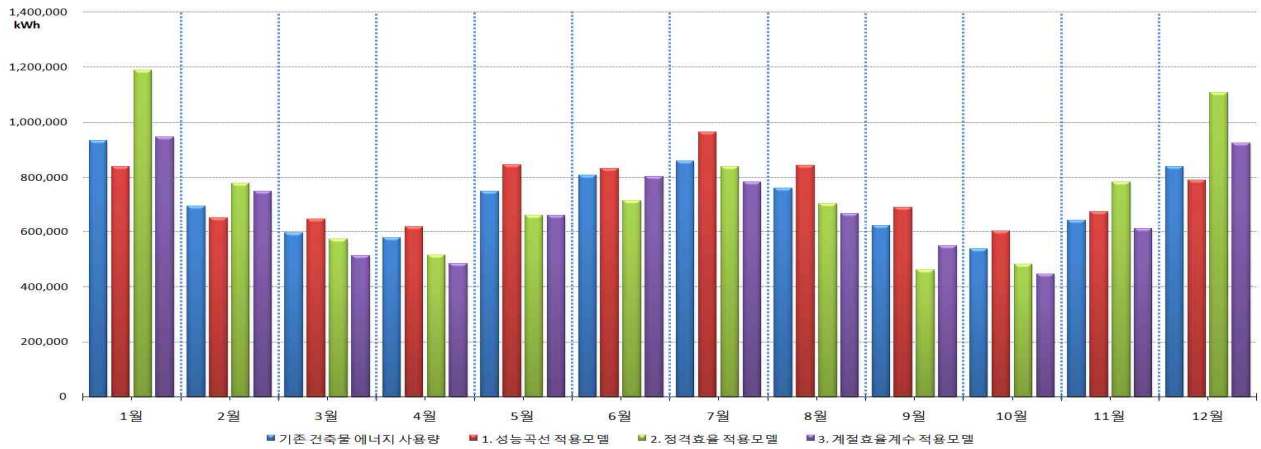
[그림 3.19] 상업용 건물 C의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프

- 판매시설 A



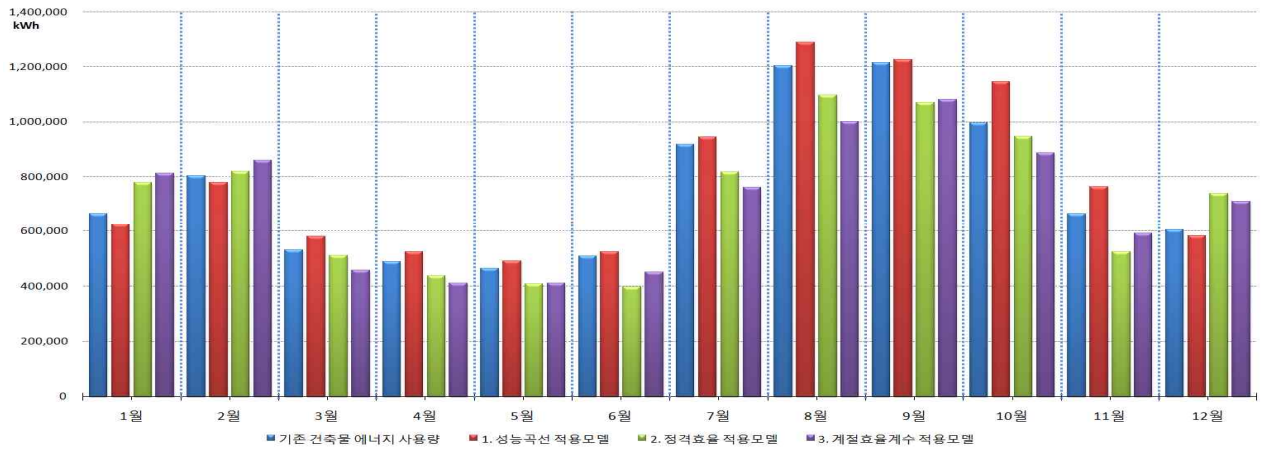
[그림 3.20] 판매시설 A의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프

- 판매시설 B



[그림 3.21] 판매시설 B의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프

- 판매시설 C



[그림 3.22] 판매시설 C의 실제 에너지사용량과 시뮬레이션 결과 데이터 대조 그래프

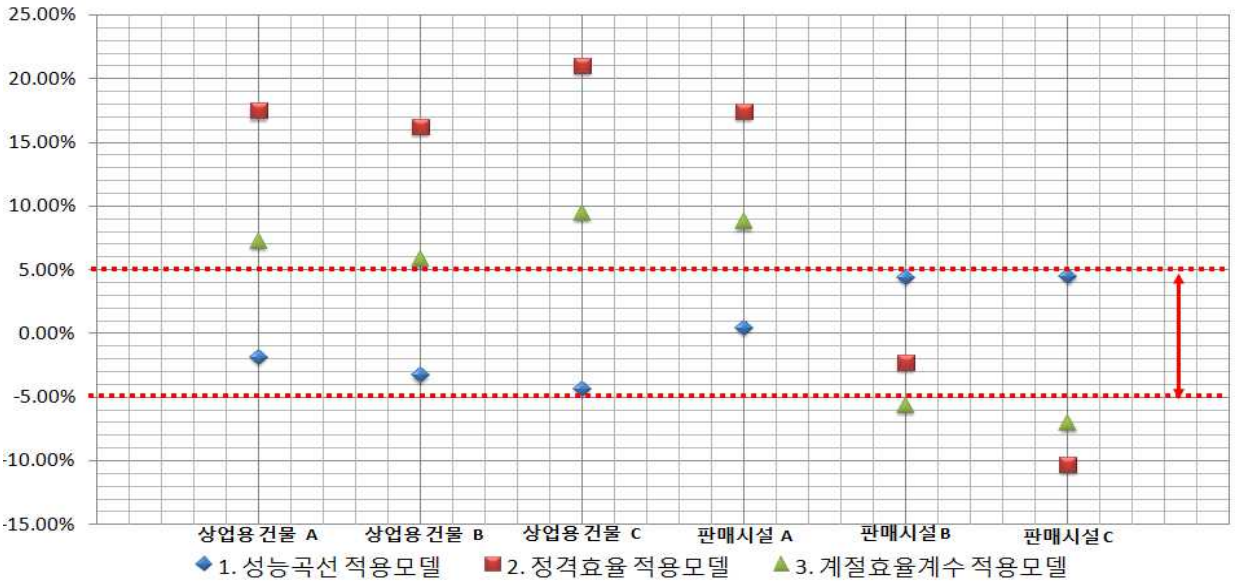
<표 3.37> ASHRAE Guideline에 따른 신뢰성 검증 결과

구분		MBE (%)	Cv(RMSE)
상업용 건물 A	성능곡선 적용모델	-1.83	7.81
	정격효율 적용모델	17.48	22.51
	계절효율계수 적용모델	7.32	13.14
상업용 건물 B	성능곡선 적용모델	-3.24	6.00
	정격효율 적용모델	16.25	22.20
	계절효율계수 적용모델	5.85	9.91
상업용 건물 C	성능곡선 적용모델	-4.33	11.08
	정격효율 적용모델	21.02	25.78
	계절효율계수 적용모델	9.48	15.82
판매시설 A	성능곡선 적용모델	0.47	9.65
	정격효율 적용모델	17.45	27.41
	계절효율계수 적용모델	8.80	14.24
판매시설 B	성능곡선 적용모델	4.45	9.46
	정격효율 적용모델	-2.26	25.86
	계절효율계수 적용모델	-5.60	10.04
판매시설 C	성능곡선 적용모델	4.52	8.33
	정격효율 적용모델	-10.27	19.52
	계절효율계수 적용모델	-7.01	15.07
비고	MBE (%) : ± 5 Cv(RMSE) (%) : 15		

○ 대상 건물별 모델 결과의 추이를 살펴보기 위해 분산형 그래프를 도시하였다. MBE의 경우 대부분의 대상 건축물들이 성능곡선적용모델을 적용시킨 경우 ASHRAE Guideline의 신뢰성 요구 값을 만족하는 것으로 확인되었다.

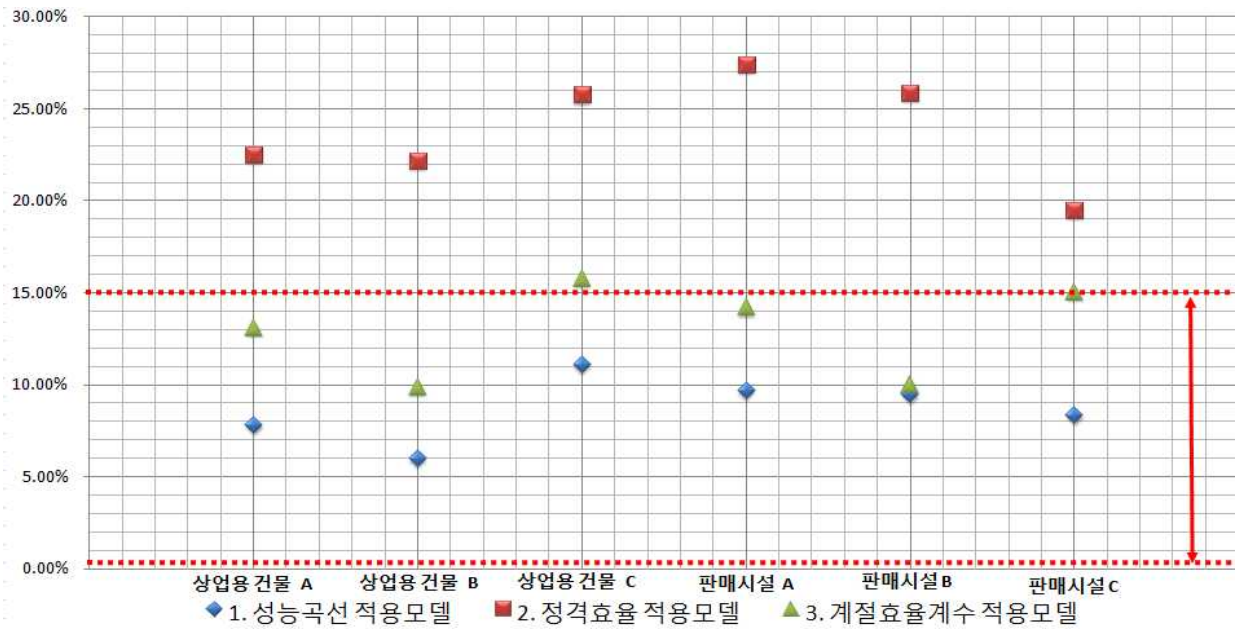
○ 그리고 상업용 건물의 경우 MBE 값의 편차 및 정확도 순이 일정하였지만 판매시설의 경우 일정치 않은 것으로 확인되었다.

○ 이는 재실인원이나 재실율의 변동이 크지 않은 상업용 건물에 비해 판매시설은 시간대나 기상에 따라 재실율의 변동이 매우 크기 때문으로 사료된다.



[그림 3.23] 대상 건물별 모델결과 추이 - MBE

○ Cv(RMSE)의 경우 정격효율 적용모델은 다른 모델들에 비해 오차율이 큰 것으로 확인되었으나, 계절효율계수 적용모델 및 성능곡선 적용모델은 ASHRAE Guideline의 신뢰성 요구 값을 만족하는 것으로 확인되었다.



[그림 3.24] 대상 건물별 모델결과 추이 - Cv(RMSE)

제 5절 기타 성과

1. icibs2014 ibs 국제 컨퍼런스 발표

○ 시뮬레이션 프로그램을 활용한 기존건물 성능평가 프로세스

2. 건축물 에너지 효율향상 세미나

○ 리트로핏 표준 모델 및 연구 사례





제 6절 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

○ 국내 유사 기술 적용한 툴들이 표준 모델로서 본 연구의 성과를 공유한다면 국가 건물 에너지 정책에 정부는 표준 계산법을 제시하고 민간은 상업용 툴을 제작 배포하는 역할을 맡으면서 시장으로부터 신뢰를 유지 할 수 있음.

○ 선진국에서 개도국으로 기술이전이 활발하게 일어나고, 선진국에서는 기술의 가치가 저하되나, 개도국에서는 아직 시장의 가치가 높은 기술

○ 상업용 툴로서 아닌 국가 표준 툴로서 신뢰성을 확보 하고 교육 기관 및 국책 연구소에 무료 배포 예정.

제 4 장 연구개발목표 달성 및 효과

제 1절 연구개발 최종 목표 달성도

구분	과제명 (연구기관)	연구목표	연구목표별 Activity	성과물 (산출물)	1차년도				2차년도				3차년도				달성율	성과물 소유
					1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4		
1차년도 주관	건물에너지 성능평가 및 성능개선 프로세스 표준화 개발 (단국대학교)	기존건물 개보수 우선순위 제시를 위한 건물 에너지 Retrofit 표준 Process 관련 기술의 기초 조사 및 이론 정립	- 국외 관련 연구 및 기준조사 - 국제 표준 규격 및 계산방법 정립	조사 및 이론 정립 건수													100%	단국대
			- 현장 조사를 통한 기존 건물의 운영현황 분석 - 인터뷰 및 설계도서 확보에 따른 에너지 사용량 조사	용도건축물 실측 건수													100%	단국대
			- 벤치마킹 기법에 의한 기존 건물군의 에너지 성능진단 프로세스 개발	프로세스 개발 건수													100%	단국대
		기존 건물 Retrofit 우선순위 제시를 위한 프로세스 개발	-기존 건물 Retrofit 우선순위 제시를 위한 표준 프로세스 개발	프로세스 개발 건수													100%	단국대
2차년도 주관		기존건물 개보수 우선순위 제시를 위한 건물에너지 Retrofit 표준 프로세스 관련 기술의 개발	- 정밀 시뮬레이션을 활용한 기기 시스템의 에너지 저감효과의 비교	계수값 개발 건수													100%	단국대
			- 실제 에너지 소비량을 근거로 기존 건물의 사용상, 운영상 등의 문제점 도출을 위한 프로세스의 보완	지표 개발 건수													100%	단국대
3차년도 주관		기존건물 개보수 우선순위 제시를 위한 건물에너지 Retrofit 표준 프로세스와 관련 기술의 표준 제안	-현장측정을 위한 공정시험방법 제시 -설비 시스템 기기단위의 공정시험방법 적용성 평가 -실내온도 측정 기준의 현장 적용을 통한 측정 기준의 적용성 평가	검증 건수													100%	단국대
			-실제 에너지 절감량을 통한 Retrofit 표준 프로세스의 적용성 검증 - 기존 건물대상으로 성능개선 전후의 기기별 에너지 성능 실측을 통한 에너지 저감량 측정	검증 건수													100%	단국대
			- 현장 적용성 검증을 통한 프로세스의 표준 제시	적용성 평가 건수													100%	단국대

구분	과제명 (연구기관)	연구목표	연구목표별 Activity	성과물 (산출물)	1차년도				2차년도				3차년도				달성율	성과물 소유
					1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4		
1차년도 공동	건물에너지 성능 평가모델 및 성능개선 프로세스 표준화 개발 (주식회사 지앤에스 이노베이션)	건물 에너지 소비량의 정량적 산출이 가능한 표준 평가 모델 구축을 위한 기초 조사 및 이론 정립	- 해외 국제표준(ISO13790) 및 유럽표준(EN) 분석을 통한 건물 에너지 KEY Factors 도출	기준조사 건수													100%	단국대
			- 도출된 KEY Factors 에 의한 평가모델 표준화 - 평가툴의 적용 범위 및 계산 방법 선정	기준 구축 건수													100%	단국대
			- 유럽 NCM 기준조사를 통한 계산법 이론 정립 - 한국형SCOP, SSEER 산출을 위한 자료 수집 분석 및 용도별 에너지성능계수 도출 - 냉난방, 환기, 조명, 급탕 등의 에너지 소비량의 표준계산 기법 완성	개념 완성 및 검증 건수													100%	단국대
2차년도 공동		건물 에너지 성능 평가를 위한 표준 모델 구축. 건물 에너지 성능 정량화 기법 완성, 툴킷개발	▪ 건물구조체 특성에 따른 열용량 유효계수, 일사취득 수정계수를 통한 표준평가모델 정의	데이터베이스 구축건수													100%	단국대
			▪ 한국형 계절별 에너지 시스템 효율계수 산출을 위한 건물 구조체에 따른 부분부하 적용 표준모델 정의														100%	단국대
			▪ 신재생에너지 표준평가 모델 정의														100%	단국대
			▪ 건물 냉난방 부하계산 및 에너지 소비량계산을 위한 프로그램 개발	프로그램 개발													100%	단국대
		프로그램 코드 에러 검증	▪ Program 검증 및 Debugging														100%	단국대
3차년도 공동		건물 에너지 성능 평가 모델 적용 검증	건물 유형에 따른 상세 모델과 실측 및 개발 프로그램과 비교	보고서 건수													100%	단국대
			신재생에너지 통합 및 평가 적용검증														100%	단국대
			한국형 기기별 성능곡선 데이터 기반 표준 기기 모델 구축														100%	단국대
			건물유형에 따른 부분부하 특성을 고려한 기기 시스템별 효율계수 정의														100%	단국대
		종합 결과물의 활용성 증대를 위한 국내외 유관 기관과의 협력	활용성 증대를 위한 국내 유관 기관과의 협의 및 타당성 검증 전문가 워크샵	전문가 의견서													100%	단국대
			수요 기관 협의 및 사용자 베타 테스트														100%	단국대

구분	과제명 (연구기관)	연구목표	연구목표별 Activity	성과물 (산출물)	1차년도				2차년도				3차년도				달성율	성과물 소유
					1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4		
1차년도 협력	건물에너지 성능 평가모델 및 성능개선 프로세스 표준화 개발 (우원앰엔이)	국내외 관련 연구 및 기준조사	설비기기 및 신재생에너지 설비의 DB구축 및 건물 에너지 성능 측정평가에 관한 연구 및 기준조사	기준조사건수													100%	단국대
		열원기기 및 신재생에너지 기본DB조사	열원설비 및 신재생에너지 설비의 DB조사 및 구축	DB조사건수													100%	단국대
		건물에너지성능측정평가 를 위한 공정시험 방법 및 대상건물 군별 측정 결과보고서 작성	건물에너지성능 측정평가를 위한 에너지진단, 공정시험방법에 대한 조사	보고서건수													100%	단국대
2차년도 협력		급탕 및 공조기기 DB조사	급탕 및 공조기기의 용량별, 메이커별 조사	DB조사 건수													100%	단국대
3차년도 협력		설비기기 및 신재생에너 지기기 DB추가보완	기조사된 DB내용 보완 및 태양열, 태양광, 지열 등 신재생에너지기기에 대한 DB 추가조사	DB 조사 건수													100%	단국대
		용량, 타입별 DB를 이용 한 설비기기 측정분석	▪ 기조사된 용량, 타입별 설 비기기의 DB 분석을 통해 특 성곡선 도출	특성곡선 도출													100%	단국대

제 2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석

○ 에너지 평가 표준 모델 개발은 정량적인 에너지 분석 데이터를 기반으로 친환경 건축 실현 방법론에서 보다 적극적 발전 가능

○ 국내 실정에 부합하는 에너지 정량적 산출법 개발은 정량화된 에너지 시뮬레이션 결과로 인해 사회적 이해범위를 넓혀 건축 전반적으로 친환경 건축 제공에 대한 국내 친환경 건축의 전반적인 수준 향상을 기대한다.

○ 건물에너지 성능 평가 모델 표준화 개발은 에너지 평가의 사회적 의식수준 향상과 친환경 건축의 전반적인 수준 향상을 이루어 국내 친환경 건축기술의 비약적 성장이 예상되며 범지구적 차원의 친환경 움직임에 앞서 나아갈 수 있는 사회적 기반을 마련한다.

○ 열원기기, 신재생에너지 기기, 급탕기기, 공조기기의 국내 DB를 구축하여 건물에너지 성능평가를 위한 기초자료로 활용, 건물에너지 성능평가의 신뢰성을 확보

○ 국내 실정에 맞는 DB 활용을 통해, 국내 장비 적용으로 인한 정확성 확보 및 상세한 성능분석

○ 기존에 비해 정량적이고 높은 신뢰성을 가진 결과 산출할 수 있을 것으로 기대되며, 이로 인해 국내 건축 분야의 전반적인 이해범위가 확장되고, 친환경 건축의 수준 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대됨

○ 기존 건물의 건물 에너지 성능개선 프로세스의 표준화에 따라 리트로핏의 보다 합리적인 에너지 저감 가능성을 확보할 수 있음

○ 건설 시장에 친환경 건물 생산 공정 고도화 및 에너지 절감대책의 기반 조성.

○ 한국형 설비의 DB구축에 따라 국내 장비 분야 에너지 성능의 방향성을 확보할 수 있음.

○ 기존 건물의 성능 평가 및 건물 에너지 소비를 건물의 구조 및 기기 특성을 반영 하여 정확하게 예측하게 함으로서 ESCO사업자등 건물 에너지 관련 산업의 불확실성을 최소화 함 으로서 에너지 효율 기기의 투자를 확대할 수 있도록 함.

제 3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석

○ 표준 평가모델로 인한 평가툴은 이해범위 내의 현실적인 친환경 건축 대안이 적용된 환경을 제공함으로서 친환경 건축의 실질적 보급이 가능하다.

○ 친환경 건축의 실질적 보급은 개인적 차원에서 건물 사용 시 에너지 사용에 따른 운영 유지

비용이 절감함으로서 경제적으로 삶의 가치를 향상 시킬 수 있다.

○ 또한 국가적 차원에서 에너지 사용 절감은 국제적인 온실가스 감축 목표에 부합하며 탄소 관련 시장의 확대에 적절한 대응이 가능하며 에너지수입국으로서 국가경쟁력을 향상시킬 수 있다.

○ 국내 실정의 기기에 대한 에너지평가를 수행하여 보다 정확한 운영·유지비를 예측할 수 있으며, 이를 통해 다양한 절감방안 도출 가능

○ 대형 건물의 운영비용을 절감 시키며, 교육, 공급, 유지보수하기위한 인력들의 전문화와 고용 증가

○ 건축물 에너지 성능평가 프로세스는 실 운영자로 하여금 효율적으로 에너지를 관리할 수 있도록 도와주며, 에너지성능 개선을 위해 적극적으로 Retrofit을 유도할 수 있음

제 4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석

○ 건물 에너지 생산/소비에 관한 정보 모델 표준화 기술 개발로 인하여 국가적으로 확대 진행되고 있는 Smart Grid 및 Micro Grid 연계를 통한 에너지효율 극대화 뿐만 아니라 추가적인 Business Model 확대 및 신규 Model 제시 가능 함. 또한, Smart Grid 및 Micro 구축에 필요한 기본 자료 제공 또한 가능함

○ 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 기존 건물에 대한 실효적 대안 제시
 - 특히 효율화 의지가 약한 중소형 및 임차형 건물에 대한 대안 부재 극복 방안으로 활용

○ 녹색건축 관련 정책에 부합하는 신뢰성 있는 제품 및 서비스에 대한 정보를 효과적으로 보급하여 이해당사자가 쉽게 접근이 가능한 표준화된 설비 DB 등을 통해 추가적인 녹색건축 관련 정책 수립 가능

○ 조사된 국내 설비기기 통합 DB를 활용하여 성능기준 강화 및 추가적인 인증 시스템제도에 적용 가능

○ 녹색 건축통합시스템에서 축적된 데이터의 분석 및 활용으로 국토교통부, 산업통상자원부, 환경부 등 유관부처의 친환경건축 정책수립 및 국가 인프라 기술 개발 방향 설정에 기여

제 5 장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

제1절 연구개발결과의 활용방안

○ 관련 제도에서 활용성 증대를 위한 국내 유관 기관과의 협의 및 타당성 검증 전문가 워크샵

○ 국내 건물에너지 관련 성능등급 인증 프로그램의 국내 표준화에 필요한 기초 데이터 제공.

○ 국제표준 건물에너지 성능평가 방법의 국내 표준화의 기초 연구 자료로 활용

○ 신재생에너지 설치 의무화 사업(건물에너지 소요량의 10%이상 신재생에너지 생산량으로 의무화)에서 신재생 에너지 소요량의 정량적 판단 근거 자료 도출에 활용

○ 설계 초기 단계의 건축물 에너지 절약을 위한 의사 결정 수단으로 활용 상세히 기술하고 이에 따른 기업화, 추가연구, 기술이전 계획 등을 서술

○ 건축, 기계, 전기, 신재생에너지의 다양한 에너지 절약적 기법 제시를 통해 건물에너지 저감 효과 평가를 함으로서 ESCO 사업 지원 툴로 활용.

○ 국내실정에 부합하는 표준 에너지 소비량 산출 기준이 도입된 에너지 성능 평가 도구로 인한 국내 에너지 절감 건축물 계획을 위한 기준 프로세스 방향 제시

○ 건축 관계자(건축주, 설계자, 시공자, 컨설턴트 등)의 건축물 에너지 성능평가 기술 적용시 경제성 평가에 활용

○ 정책 입안 및 기술 개발 방향 설정을 위한 국가 통계 자료로 활용

○ 기존 국내에 활용 중인 건축물 에너지 해석 도구(ECO2, CE3 등) 등에 적용될 수 있는 자료로 활용 가능

○ 현행 건물 에너지 관련 정책과의 연계를 통한 설비기기 DB의 체계적 관리

○ 기존 건축물의 평과 결과 본 연구 프로세스에 따른 개선안 적용 가능

○ 건축물 운영 단계에서 건물의 용도별 소비패턴을 분석해 설비기기 변경에 반영할 수 있는 성능 중심의 평가 도구로 활용 가능

제2절 추가연구 필요성 등

○ 본 연구에서 제시된 '계절효율계수'의 가중치계수에 대한 추가연구 필요
- 건축물 용도 및 위치에 따라 설비기기의 부분부하 가중치가 달라지기 때문에 더 많은 용도별, 위치별 집단을 구성하여 가중치계수를 추출하는 연구 필요

○ 건물 운영에 직접적으로 연관되는 BEMS 등의 건물에너지관리 시스템과 연계 가능한 성능평가 프로세스 및 프로그램에 대한 추가연구 필요

○ 국가 건축물 에너지 효율화를 위한 경제성 평가 자동화 프로그램 개발 필요
- 운영 및 Retrofit 단계에서의 경제성 평가 관련된 추가 프로그램에 대한 알고리즘 및 방법론 도출 필요
- 현재 본 연구에 제시하는 프로세스는 VE 기법을 통한 Retorift 표준 프로세스를 제공 중이며 본 프로세스를 활용한 자동화 프로그램의 제작 필요

○ 실제 기존 건물의 에너지사용에 기여하는 냉방, 난방, 급탕, 조명, 환기 설비기기에 대한 추가 DB 조사 및 정립이 필요하다. 5개 요소에 대한 DB조사 및 정립이 완료되면 기존 건축물의 모든 에너지 사용 요소들에 대한 Retrofit 제시가 가능하다.

○ 건물 에너지 평가 및 진단 표준화(안) 및 정책/재정 연계 운영방안 도출에 대한 추가 연구 필요
- 건물 에너지 생산/소비에 관한 정보모델 및 건물에너지 소요량 평가/진단 방법에 대한 표준안도출 필요
- 비 BEMS 건물의 진단활성화를 위한 정책 및 제3자 파이낸싱 등 재정연계 Business Model, 사후 관리를 위한 관리체계 구축(안) 제시 등

제 6 장 결 론

1. 국내 기존 건축물의 성능평가 프로세스로 사용되고 있는 '에너지 진단 제도'의 프로세스를 바탕으로 기존 건축물 성능평가방법에 대하여 제시 하였다. 그 중 시뮬레이션 프로그램의 입력 변수 중 냉·난방 에너지 소요량에 직접적으로 영향을 주는 설비시스템의 현장조사를 데이터를 활용하여, 설비시스템 계절효율계수 산출 프로세스가 적용된, 기존 건축물 에너지 성능평가 및 Retrofit 프로세스를 제시하였다.

- 현장조사를 통해 대상 건물의 에너지 사용실적을 조사하고, 도면 및 설계 도서를 확보해 설비기기 측정계획 수립 및 Simulation 입력 요소를 사전에 파악한다.

- 냉·난방 설비시스템 조사를 통해 계절효율계수를 산출한다. 계절효율계수를 산출하는 방법은 현장조사가 필요한 경우와 필요하지 않은 경우로 나누어진다. 현장조사가 필요한 경우, 효율의 실측 및 기상데이터를 활용하여 계절효율계수를 산출한다. 현장조사가 필요하지 않은 경우, 설비기기의 부분부하 효율 데이터와 건축물 용도별 가중치계수를 조합해 계절효율계수를 산출한다.

- 소비량 보정 프로세스를 활용하여 Simulation 모델링을 실시한다. 먼저 전년도 기상데이터(AMY)를 Simulation에 적용시키고, 설비기기 부분부하효율 성능곡선 데이터를 입력한다. 그리고 엘리베이터 등의 Simulation 프로그램에 미지원되는 설비기기 사용량을 파악해 적용시켜 소비량을 보정한다. 오차율 검증은 ASHRAE Guideline 14-2002의 통계적 검증방법을 사용한다.

- 각 설비 요소별 에너지 소비 기여도를 제시하고, 기확보된 설비기기 DB를 활용해 의사결정모델을 제시한다. 의사결정모델은 가치공학(VE, Value Engineering)을 활용해 도출하며 성능평가 이후 대상 건물의 소비 개선을 위한 Retrofit 보고서 내용에 적용된다.

2. 기존 건축물 성능평가 및 Retrofit 프로세스의 현장 적용성 검토를 위하여, 6개의 현장을 대상으로 성능평가 프로세스를 검증 하였다. 용도별 대상 건축물은 판매시설 3개, 상업용 건물 3개를 대상으로 진행 하였으며, 결론은 다음과 같다.

- 상업용 건물의 경우, 기존 건축물 성능평가 프로세스 적용 시 Simulation 결과 CV(RMSE) 기준 상업용 건축물의 경우 평균 12.95%, 판매시설의 경우 평균 13.16%로 실제 에너지 사용량 기준으로 보정이 되었고 기준 ASHRAE Guideline에서 제시하는 통계적 검증 범위를 만족하였다. 기존 건축물의 성능을 평가하기 위해서는 실제 에너지 사용량에 대한 보정된 상태에서 실제 건축물의 Retrofit 프로세스의

- 판매 시설의 경우, 소비량 보정 프로세스 적용시 적용전보다 Simulation 결과와 실제 소비량에 대한 오차율이 낮아져 ASHRAE Guideline에서 제시하는 통계적 검증 범위를 대체로 만족했다. 하지만 통계적 검증 변수의 편차 및 정확도가 일정치 않은 것으로 확인되었는데 이는 재실인원이나 재실율 변동이 크지 않은 상업용 건물에 비해 판매시설은 시간대나 기상에 따라 재실율의 변동이 매우 크기 때문으로 사료된다. Simulation 모델링 프로세스에서 냉난방 설비기기 효율 값을 입력 시 설비기기 성능곡선 데이터 및 계절효율계수를 함께 적용시켰을 때 ASHRAE Guideline의 통계적 검증을 만족하였다. 정격효율만 적용하였을 경우 성능곡선 데이터를 적용했을 때보다 최대 30% 오차를 보였다.

3. EnergyPlus 및 ISO 13790 월간계산법에 Corrado & Fabrizio의 창면적 대비 바닥 면적(ζ)에 대한 수정식을 적용하여, 구조체 중량과 월별, 향별 모델의 열획득 및 손실 비에 따른 각각의 결과들을 비교한 후 가장 오차가 적을 때의 a_0, τ_0값의 조합을 도출 하였다.

- 냉난방 모두에 Corrado & Fabrizio의 창면적 대비 바닥 면적(ζ)에 대한 수정식에 본 연구에서 도출된 계수값들을 넣은 식 $a_0 - 13\zeta + \frac{\tau}{\tau_0}$을 사용하였다. 이때 a_0값 범주는 0.1 ~ 18까지 20가지이며, τ_0값 범주는 0.5 ~ 161까지 162가지로 설정하였다. 두가지 변수의 값을 변경하는 경우, 총 경우의 수는 3,240가지이며, 총 분석 수는 냉난방 모두 포함하여 19,440 가지였다.

- 본 연구에서 도출된 계수값들 (난방 시 a_0=8, τ_0=161 냉방 시 a_0=6, τ_0=71)을 사용한 부하계산 값과 비교 대상 케이스에는 Corrado & Fabrizio의 창면적 대비 바닥 면적(ζ)에 대한 수정식 $8.1 - 13\zeta + \frac{\tau}{17}$을 적용한 것과 ISO 13790 에서 권장치로 사용 중 인 a_0=1, τ_0=15을 적용하였다

4. 기존 건축물의 소비량 성능평가를 위해 건물에너지 성능평가 표준모델을 구축해 냉난방 부하계산 및 에너지 소비량계산을 위한 프로그램을 개발하였다. 중량구조체 단일존, 중간세대 경량구조체 단일존을 구성하여 정밀 시뮬레이션과의 비교를 통해 성능평가 표준모델 및 Tool-kit의 검증을 실시하였다.

- 정밀 시뮬레이션과 Tool-kit의 냉·난방에너지 소비량 오차율을 비교한 결과 중량구조체 모델에서 냉방의 경우 최소 17%, 최대 18%의 오차율을 보였고, 난방의 경우 최소 0%, 최대 12% 오차율을 보였다. 경량구조체에서 난방의 경우 최소 8%, 최대 11%, 냉방의 경우 최소 15%, 최대 26%의 오차율을 보였다. 이는 정밀 시뮬레이션상 성능곡선 입력의 변수에 의해 요구량 자체가 변화되어 발생한 오차이다.

- 지식경제부고시 ‘제 2012-227’ 효율관리기자재 운용규정의 통합 냉방효율과 난방효율과 정밀시뮬레이션의 SCOP, SSEER의 효율을 비교하였을 때 초중량의 경우 난방 12%, 냉방 3%의 오차율을 보이고 있으며, 중간세대 경량의 경우 난방 13%, 냉방 3%의 오차율을 보이고 있다. 정밀시뮬레이션과 본 연구에서 개발한 Tool-kit의 경우 향별 용량별로 SCOP, SSEER의 효율은 변화되고 있으나, 현재 지식경제부에서 고시하고 있는 통합냉방효율 및 난방효율은 향별, 용량별, 지역별로 고시되어 있는 것이 아니라 냉난방 효율을 구하는 방법만 제시하고 있어 정확한 비교는 불가능 하다.

[참고문헌]

1. 강지은, 김영진, 안기언, 이서영, 박철수 (2012.10) “건물 에너지 시뮬레이션의 열적 조닝에 수반되는 불확실성”. 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 32(2), pp. 341-342.
2. 고재영 (2008) 에너지진단제도 현황 및 정책방향
3. 곽희정, 신현국, 조재훈, 서승직 (2012) “ISO 13790의 Monthly method 에너지 요구량 계산에서 열획득 이용률 산정방법에 관한 연구”. 한국건축친환경설비학회 추계학술발표대회 논문집. pp. 141-144.
4. 권장혁, 장향인, 김민규, 박효순, 서승직 (2012) “건물에너지평가도구와 동적해석프로그램의 연간냉난방요구량 해석 및 비교”. 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 363-366.
5. 김강식, 임경업, 윤종호, 신우철 (2011.10) “대전지역 공동주택의 전력소비 실태 및 패턴분석 연구”. 한국생태환경건축학회논문집, 11(5), pp. 91-96. pp. 107-117.
6. 김규생 (1998) 사무소건물의 T.A.B. 효과에 관한 연구
7. 김기철, 김영진, 김동구, 박철수 (2013.10) “기존건축물의 동적 에너지 모델 보정과 검증”. 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 33(2), pp. 383-384.
8. 김기철, 김영진, 이정철, 박철수 (2013.10) “기존 건축물의 동적 에너지 시뮬레이션 수행시 어려움과 한계”. 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 33(2), pp. 389-390.
9. 김기철, 박철수, 김인한 (2013.07) “실내 환경 정보와 재실자의 반응”. 대한건축학회 대한건축학회지, 29(7). pp. 229-237.
10. 김기철, 윤성환, 김덕우, 박철수 (2013.04) “기존건축물의 에너지 성능평가 방법” 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 33(1), pp. 245-246.
11. 김덕우, 김기철, 박철수 (2013.10) “재실률의 취보 가설 검정”. 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 33(2), pp. 361-362.
12. 김성실 (2001) 클린룸과 실험실이 있는 사무용 건물의 에너지 소비 실태측정 및 분석
13. 김영진, 박철수 (2014.07) “가우시안 프로세스 모델과 냉동기 실시간 최적 제어”. 대한건축학회 대한건축학회지, 30(7), pp. 211-220.
14. 김영진, 박철수, 김인한 (2012.06) “몬테카를로 빌딩 시뮬레이션의 샘플링 방법과 모집단 추정”. 대한건축학회 대한건축학회지, 28(6), pp. 227-236.
15. 김정석, 이훈, 오민석, 김회서 (2013) “대형 판매시설의 최적 에너지 절약을 위한 설비 운영시스템 개선 방안에 관한 연구”. 한국건축친환경설비학회 논문집, 7(2), pp. 168-177.
16. 김진광 (2008) 건물에너지 진단을 위한 에너지 절약기법
17. 김치훈, 안병립, 홍성희, 장철용 (2009.04) “공동주택에서의 창호성능에 따른 건물에너지 효율등급 평가 연구”. 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집, pp. 291-295.
18. 김희강, 장향인, 박창영, 윤성훈, 최창호, 홍종필 (2013.12) “ISO 13790기반의 준정상해석툴과 동적해석툴의 기상데이터에 의한 해석 결과 비교”. 한국건축친환경설비학회논문집, 7(4), pp. 274-280.
19. 노재영, 황동곤 (2014.04) “냉동기 효율 조사 및 분석에 관한 연구”. 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 34(1), pp. 237-238.
20. 노재영, 황동곤 (2014) “국내 열원기기 부분부하 효율 조사 및 분석에 관한 연구.”. 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 823-829.

21. 문현준, 최민석, 안경아 (2013.06) “BCVTB를 활용한 시뮬레이션 기반 BEMS 제어 방법 및 환기 시스템 적용”. 대한건축학회 대한건축학회지, 29(6), pp. 255-262.
22. 박소윤, 이윤재, 이현수 (2011.10) “공동주택 건축계획요소에 따른 전기 에너지 소비특성 분석 : 서울지역의 40평형(132㎡~165㎡)의 단위세대 전기에너지 사용량을 중심으로”. 한국생태환경건축학회논문집, 11(5), pp. 91-96. pp. 107-117.
23. 서원준, 박철수 (2012.01) “건물 에너지 진단을 위한 시뮬레이션 적용시 쟁점과 한계”. 대한건축학회 대한건축학회지, 28(1), pp. 273-283.
24. 송수원, 양희문, 이진호, 문유정 (2011.11) “건물에너지 해석프로그램을 이용한 공공기관 업무용건물 에너지효율등급 개선에 관한 사례연구”. 대한건축학회 대한건축학회지, 27(11), pp. 381-391.
25. 송승영, 구보경, 임재한 (2010.07) “ISO 13790의 Monthly Calculation Method를 이용한 내단열 대비 외단열 공동주택의 열교 제거와 열용량 증가에 의한 난방 및 냉방 에너지절약 효과 분석”. 대한건축학회 대한건축학회지, 26(7), pp. 321-332.
26. 안기언, 김영진, 박철수 (2012.12) “설계단계에서 동적 건물 에너지 성능분석의 쟁점들”. 대한건축학회 대한건축학회지, 28(12), pp. 361-369.
27. 오세민, 박철수 (2011) “ISO 13790의 Monthly Calculation Method와 동적 에너지 해석 프로그램 비교”. 한국건축친환경설비학회 추계학술발표대회 논문집. pp. 139-142.
28. 윤성도, 박선효, 손장열 (2008.12) “사무소 건물의 에너지 성능개선안 평가 사례”. 한국생활환경학회 한국생활환경학회지, 15(4-1), pp. 447-453.
29. 윤성환, 김영진, 박철수 (2013.04) “기존 건축물 에너지 리트로핏을 위한 확률적 접근”. 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 33(1), pp. 293-294.
30. 윤성환, 김영진, 박철수 (2014.04) “에너지 리트로핏을 위한 에너지 모델의 확률적 보정”. 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 34(1), pp. 193-194.
31. 윤성환, 박철수 (2014.01) “기존 건축물을 위한 x-Ray 개념의 에너지 모델 작성과 평가”. 대한건축학회 대한건축학회지, 30(1), pp. 235-244.
32. 윤성환, 박철수 (201404) “자료포락분석 방법을 이용한 건물 에너지 성능 분석”. 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 34(1), pp. 191-192.
33. 윤종호, 김병수 (2007.09) “공동주택의 에너지 자립을 위한 핵심요소기술의 에너지 성능평가”. 한국태양에너지학회논문집, 27(3), pp. 161-167.
34. 이동현, 김영진, 박철수 (2012.04) “동적 시뮬레이션의 베이지안 보정”. 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집 계획계, 32(1), pp. 221-222.
35. 이득환, 유호경, 한세희, 최현웅, 김재민 (2013.12) “건물 구조체에 따른 히트펌프 시스템 계절별 에너지 효율 계수”. 한국건축친환경설비학회 논문집, 7(4), pp. 223-231.
36. 이선옥 (2004) 업무용 초고층 건물의 T.A.B. 사례
37. 이우각 (2011) 공장건물 노후공조설비 T.A.B. 의 에너지절약 효과에 관한 연구
38. 이종식, 전재열 (2010) “건설 VE 최적대안 선정방법 및 의사결정지원 프로세스.”. 대한건축학회 구조계, pp. 111-119.
39. 이종식, 전재열 (2010) “건설 VE 최적대안 선정방법 및 의사결정지원 프로세스.”. 대한건축학회 구조계, pp. 111~119
40. 이현우, 김회서, 오민석, 한민지 (2011.02) “BIM과 건물부재별 CO2 DB를 활용한 LCCO2산출과 환경성능평가에 관한 연구”. 대한건축학회 대한건축학회지, 27(2), pp. 203-210.

41. 이훈, 김정석, 오민석, 김회서 (2012.06) “커튼월 구조 오피스 건물의 에너지 절약을 위한 외피시스템개선 방안에 관한 기초연구”. 한국건축친환경설비학회 논문집, 6(2), pp. 106-113.
42. 장희경, 정해권, 정영선, 유기형 (2014.01) “비주거용 건축물의 용도별 에너지성능지표검토서 특성분석”. 대한건축학회 대한건축학회지, 30(1), pp. 199-207.
43. 조영흠, 백승호, 김광우 (2010) 현장 실측을 통한 건물 에너지 진단 방법 연구
44. 최민석, 문현준 (2014.04) “건물 에너지 시뮬레이션 기반 실시간 건물시스템 성능평가”. 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 34(1), pp. 185-186.
45. 황장승, 김강수 (2009.10) “건물에너지 시뮬레이션을 활용한 사무소건물의 에너지성능평가”. 한국건축친환경설비학회 추계학술발표대회논문집, pp. 238-243.
46. 건설기술연구원 (2009.09) 기후변화 대응을 위한 건축물 에너지효율등급 표시제도 개발 연구.
47. 경기개발연구원 (2010) 경기도 ESCO 사업 활성화 방안 견구
48. 과학기술부 (2003) 건물 에너지 설비의 실시간 성능 감시 및 진단기술
49. 국토교통부 (2013) 녹색건축물 조성 지원법
50. 국토해양부 (2008) 건축자재 환경성정보 국가 D/B 구축사업
51. 국토해양부 (2008) 건축전기설비의 성능진단 및 유지관리시스템 개발 연구
52. 국토해양부 (2009 High-Green Home 추진방안 마련 연구
53. 대한건축학회 자료집 (2010) 친환경건축 설계의 평가 및 보급을 위한 워크숍
54. 대한건축학회 환경선언 및 환경에너지 심포지엄 자료집 (2009) 저탄소 녹색성장 시대를 리드하는 건축
55. 산업자원부 (2001) 에너지 Technology DB 구축사업
56. 산업자원부 (2005) 건물 냉난방공조 전기절감 진단시스템 및 산업용 펌프효율 측정장치 개발에 관한 연구
57. 산업자원부 (2007.01) 건축물의 에너지효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구
58. 산업자원부 (2009) 건축물의 에너지효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구
59. 산업자원부 (2011) 2010 신·재생에너지 백서
60. 서울시정개발연구원 (2011) 빌딩리트로핏을 위한 에너지성능평가 및 활용방안
61. 서울특별시 (2010) 2009 서울시 에너지백서
62. 서울특별시 주택본부 (2011.07) 「2030 그린디자인 서울」 건축부문 목표 실행을 위한 건축물 에너지소비총량제 확대 시행
63. 인포더북스, 일본태양광발전협회 (2010) 태양광 발전시스템 설계 및 시공
64. 일진사, 서승직, 최원기 공저 (2009) 트랜시스 응용프로그램
65. 지식경제부, 한국에너지기술연구원 (2008) 태양열설비 시스템 표준화
66. 지식경제부 (2009.09) 기후변화 대응을 위한 건물 에너지효율등급 표시제도 개발 연구(1차년도 보고서)
67. 지식경제부, 에너지경제연구원 (2011) 2010 에너지통계연보
68. 한국건설기술연구원 (2002) 에너지 절약 건물내 노후급수관의 상태 진단 및 평가를 위한 안전진단기술 개발
69. 한국지식산업정보원 (2009) 신성장동력 산업 핵심전략 - 녹색산업기술편-
70. 한국표준협회 (2002) KS C 9306 : 에어컨디셔너 규격
71. 한림원 출판사. 한정상, 한혁상, 한찬 공저 (2010) 지열 에너지(지열냉난방·지열발전)
72. 홍릉과학출판사, 이재근, 김양도, 윤석영 공저(2010) 신재생에너지 시스템설계
73. 田中稔ほか (2003) “建物の實踐的省エネルギー/コスト削減戰略”, 日本OHM社

74. 池田浩一 (2006) “BEMSの範囲とエネルギー削減への役割”, 日本の電氣設備學會誌
75. 日本の新エネルギー·産業技術總合開發機構 (NEDO) (2005) “住宅·建物高効率エネルギーシステム導入促進事業”
76. 高橋隆夫 (2011) “空調自動制御と省エネルギー”, 日本OHM社
77. 關高爐 (2006) “空調·電氣·衛生設備の劣化診斷と對策”, 日本OHM社
78. Adoption of Dynamic Simulation for an Energy Performance Rating Tool for Korean Residential Builldings : EDEM-SAMSUNG, Eleventh International IBPSA Conference July, 2009
79. ASHRAE GUIDLINE 14-2002 : Measurement of Energy and Demand Savings.
80. BS EN Standard (2006) BS EN 13053 : Ventilation for buildings. Air handling units. Rating and performance for units, components and sections, British-Adopted European Standard. pp. 52. ISBN: 0580488837
81. BS EN Standard (2007) BS EN 15232 : Energy performance of buildings - Impact of Building Automation, Controls and Building Management.
82. BS EN Standard (2007) BS EN 15243 : Ventilation for buildings - Calculation of room temperatures and of load and energy for buildings with room conditioning systems.
83. BS EN Standard (2011) BS EN 14511-1 : Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling, Part 1_Terms and definitions.
84. BS EN Standard (2011) BS EN 14511-2 : Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling, Part 2_Test conditions.
85. BS EN Standard (2011) BS EN 14511-3 : Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling, Part 2_Test Method.
86. BS EN Standard (2011) BS EN 14511-4 : Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling, Part 2_Requirements.
87. BS EN ISO Standard (2007) BS EN ISO 6946 : Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method.
88. BS EN ISO Standard (1996) BS EN ISO 7345 : Thermal insulation - Physical quantities and definitions.
89. BS EN ISO Standard (2009) BS EN ISO 15927-2 : Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data, Part 2_Hourly data for design cooling.
90. BS EN ISO Standard (2009) BS EN ISO 15927-3 : Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data, Part 3_Calculation of a driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data.
91. BS EN ISO Standard (2005) BS EN ISO 15927-4 : Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data, Part 4_Hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling.
92. BS EN ISO Standard (2004) BS EN ISO 15927-5 : Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data, Part 5_Data for design heat load for space heating.

93. BS EN ISO Standard (2007) BS EN ISO 15927-6 : Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data, Part 6_Accumulated temperature differences (degree-days).
94. BS EN ISO Standard (2006) BS EN ISO 10077-1 : Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance, Part 1_General.
95. BS EN ISO Standard (2003) BS EN ISO 10077-2 : Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance, Part 2_Numerical method for frames.
96. BS EN ISO Standard (2003) BS EN ISO 15927-1, Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data - Part 1: Monthly means of single.
97. BS EN ISO Standard (2007) BS EN ISO 13370 : Thermal performance of buildings - Heat transfer via the ground - Calculation methods.
98. BS EN ISO Standard (2007) BS EN ISO 13786 : Thermal performance of building components - Dynamic thermal characteristics, Calculation methods.
99. BS EN ISO Standard (2007) BS EN ISO 13789 : Thermal performance of buildings - Transmission and ventilation heat transfer coefficients - Calculation method.
100. BS EN ISO Standard (2008) BS EN ISO 13790 : Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling.
101. BS ISO Standards (2000) BS ISO 15217 : Fluid power systems and components - 16mm square electrical connector with earth contact - Characteristics and requirements.
102. BS ISO Standards (2011) BS ISO 50011 : Energy management systems - Requirements with guidance for use.
103. Communities (2011) A Technical Manual for SBEM(Simplified Building Energy Model), UK.
104. Communities (2008) Improving the energy efficiency of our buildings - A guide to Display Energy Certificates and advisory reports for public buildings, UK.
105. Directorate for the Built Environment Building Standards Division : “National Calculation Methodology(NCM) Modelling Guide for Non-Domestic Buildings in Scotland
106. HM Government (2010) Non-Domestic Building Services Compliance Guide.
107. HS MEDIA, Paul Gipe (2009) 풍력 에너지 기초
108. National Calculation Methodology (NCM) (2010) modelling guide (for buildings other than dwellings in England and Wales).
109. Non-Domestic Building Services Compliance Guide, 2010 Edition
110. Technical Manual for SBEM(Simplified building energy model), DCLG, London, UK.
111. U.S Gov: U.S. Department of Energy (2012) EnergyPlus Input/Output Reference : The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output.
112. U.S Gov: U.S. Department of Energy (2012) EnergyPlus Output Details and Examples : EnergyPlus Outputs, Example Inputs and Data Set Files.
113. Corrado, V. and Fabrizio (2007) “Assessment of building cooling energy need through a quasi-steady state model: simplified correlation for gain-loss mismatch” Energy & Buildings, vol. 39(5), pp. 569-579.
114. Georgios Kokogiannakis, Paul Strachan and Joe clarke (2008.12) “Comparison of the simplified

methods of the ISO 13790 standard and detailed modelling programs in a regulatory context". Journal of Building Performance Simulation, vol. 1(4), pp. 209-219.
115. Georgios Kokogiannakis (2008) Support for the Integration of Simulation in the European Energy Performance of Buildings Directive, A thesis of Doctor of Philosophy, Ph. D. Dissertation, University of Strathclyde, Scotland, UK.
116. Juha Jokisalo, Jarek Kurnitski (2007) "Performance of EN ISO 13790 utilisation factor heat demand calculation method in cold climate". Energy & Buildings, vol. 39(2), pp. 236-247.
117. Lee, Sang Hoon (2012.03) "Intermittent Heating and Cooling Load Calculation Method : Comparing with ISO 13790". ARCHITECTURAL RESEARCH. 14(1), pp. 11-18.
118. Roger Hitchin (2007) HVAC System Efficiencies for EPBD Calculation - Proceeding of Clima 2007 Well Being Indoors. FINVAC. UK.
119. Vincenzo Corrado, Houcem Eddine Mechri, Enrico Fabrizio (2007) "BUILDING ENERGY PERFORMANCE ASSESSMENT THROUGH SIMPLIFIED MODELS: APPLICATION OF THE ISO 13790 QUASI-STEADY STATE METHOD". Building Simulation Proceeding

주의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.