R&D / 10첨단도시C03

온실가스 저감을 위한 공공아파트 시설물 유지관리 프로세스 개발

국토해양부 한국건설교통기술평가원

첨단도시개발사업 최종보고서

R&D / 10첨단도시C03

온실가스 저감을 위한 공공아파트 시설물 유지관리 프로세스 개발

2012. 12. 13.

주관연구기관 / 연세대학교
공동연구기관 / 성균관대학교

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 "온실가스 저감을 위한 공공아파트 시설물 유지관리 프로세스 개발"과제의 보고서로 제출합니다.

2012. 12. 13.

주관연구기관 : 연세대학교 산학협력단
단장 박 태 선

공동연구기관 : 성균관대학교 산학협력단
단장 김 현 수

■ 주관연구기관 연구책임자 / 책임연구원 홍태훈(연세대학교) 주관책임
■ 주관연구기관 참여연구원 / 연 구 원 구충완(연세대학교) 의사결정 모델 개발 총괄
/ 연 구 원 지창윤(연세대학교) 의사결정 모델 개발 총괄
/ 연 구 원 박성기(연세대학교) 최적 개선안 의사결정 모델 개발
/ 연 구 원 김현중(연세대학교) 최적 개선안 의사결정 모델 개발
/ 연 구 원 정광복(연세대학교) 거시적 관점의 의사결정 모델 개발
/ 연 구 원 김지민(연세대학교) 거시적 관점의 의사결정 모델 개발
/ 연 구 원 장민호(연세대학교) 신재생에너지 최적설계 모델 개발
/ 연 구 원 이민현(연세대학교) 신재생에너지 최적설계 모델 개발
/ 연 구 원 곽태현(연세대학교) 친환경 건축정책 분석 및 방향 제시
/ 연 구 원 이승욱(연세대학교) 친환경 건축정책 분석 및 방향 제시

■ 공동연구기관 연구책임자 / 책임연구원 김예상(성균관대학교) 공동책임
■ 공동연구기관 참여연구원 / 연 구 원 최준호(성균관대학교) LCC&LCCO$_2$ 분석
/ 연 구 원 최재홍(성균관대학교) LCC&LCCO$_2$ 분석
/ 연 구 원 안병호(성균관대학교) LCC&LCCO$_2$ 분석
/ 연 구 원 김병용(성균관대학교) 유지관리현황분석
/ 연 구 원 정재국(성균관대학교) 유지관리현황분석

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>10첨단도시
C03</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td colspan="2">2011.09.29.
~2012.07.28</td><td>단 계 구 분</td><td>2단계/2단계</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="5">첨단도시개발사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="5">온실가스 저감을 위한 공공아파트 시설물 유지관리 프로세스 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">홍 태 훈</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 19명
내부 : 8명
외부 : 11명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td colspan="2">정부 : 110,000천원
기업 : 60,000천원
계 : 170,000천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 38명
내부 : 16명
외부 : 22명</td><td>총연구비</td><td colspan="2">정부 : 210,000천원
기업 : 120,000천원
계 : 330,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">연세대학교</td><td>참여기업명</td><td colspan="3">대림산업(주)
(주)이에이엔테크놀로지
슈프림이앤씨(주)</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="3">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="3">연구기관명 :</td><td colspan="3">연구책임자 :</td></tr>
<tr><td colspan="5">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td>192</td></tr>
<tr><td colspan="7">○ 공동주택 유지관리 현황 분석 및 개선방향 제시
○ 공동주택 에너지 절감 방안 Pool 작성
○ 공동주택 유형분류체계 구축 및 단지 개선여부 의사결정 지원모델 구축
○ 개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스 개발
○ 거시적 관점의 공동주택 개선사업 의사결정 모델 개발
○ 신재생에너지 시스템 최적설계 모델 개발
○ 친환경 건축정책 및 인센티브 방안 제시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="6">공동주택, 유지관리, 에너지 절감 방안,
분류체계, 의사결정 지원도구</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="6">Multi-family Housing, Maintenance Management,
Energy Saving Measures, Breakdown Structure,
Decision Support Tool</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제 목

온실가스 저감을 위한 공공아파트 시설물 유지관리 프로세스 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구의 목적

본 연구에서는 기존 공동주택 건축물의 유지관리 행위를 통한 에너지 소비량 절감 및 CO_2 배출량 감축을 달성할 수 있는 프로세스를 개발하고, 공동주택의 개선여부를 결정할 수 있는 의사결정 시스템을 개발하고자 한다.

또한 이를 기반으로, 유지관리 의사 결정자용 매뉴얼을 개발하여 주거용 건축물 분야에서의 직접적인 CO_2 감축을 도모함과 동시에 향후 주거용 건축물 유지관리에 관한 정책의 기준으로 활용할 수 있는 수단을 제시하고자 한다. 공동주택 시설물 유지관리 프로세스 구축을 위한 세부연구목표는 다음과 같다.

(1) 본 연구과제에서는 온실가스 저감을 위한 공동주택 시설물 유지관리 프로세스를 개발함으로써, 친환경 패러다임을 실생활 속에 도입시키고자 한다.

(2) 기존의 노후화된 공동주택(준공 후 15년 이상 경과된 공동주택로서, 2009년 기준 전체 공동주택의 36%)에 대한 프로젝트 정보 및 에너지 사용량 자료를 수집·분석함으로써, 현황 및 문제점을 도출하고자 한다.

(3) 이러한 문제점에 대한 개선대책을 수립하는 과정에서, 공동주택 유형 분류체계(Apartment Type Breakdown Structure; ATBS)를 개발하여 체계적인 분석 프로세스를 적용하고, 온실가스 저감을 위한 에너지 시뮬레이션 기반의 생애주기비용(LCC) 분석을 실시함으로써, 환경성은 물론 경제성까지 고려한 최적의 개선 시나리오를 제시하고자 한다.

(4) 공동주택 유형 분류체계에서 뽑아낸 대표 공동주택 단지에 대한 탄소배출량 감축 목

표(Carbon emissions reduction target; CERT)를 수립하고, 이를 달성할 수 있는 최적의 에너지 효율개선 시나리오를 선정할 수 있는 의사결정 프로세스를 정립하고자 한다.

(5) 공동주택 개선사업에 있어서 국가 차원의 마스터플랜으로 활용할 수 있는 거시적 지침이 요구되기 때문에. 공동주택 유형분류체계와 함께 유전자 알고리즘을 활용하여 공동주택 개선사업에 있어서 거시적 차원의 예산 배분 및 의사결정을 위한 모델을 개발하고자 한다.

2. 연구의 필요성

온실가스 과다 배출로 인한 기후변화가 지구 차원의 문제로 대두되면서, 전 세계적으로 에너지 절감 및 이산화탄소 배출량 감축을 위한 노력이 전개되고 있다. 건설 분야에서도 이러한 노력이 이루어지고 있는데, 특히 건물 사용단계에서의 에너지 소비에 의한 이산화탄소 배출량은 국내 총 이산화탄소 배출량의 약 25% 이상을 차지하고 있으며 그 중에서도 주거 부문은 연간 총 건축물 에너지 사용량의 53%를 차지하고 있다.

이와 같은 현실을 고려하여 정부에서는 다양한 제도를 통해 건물의 에너지 성능 개선을 통한 이산화탄소 배출량 감축을 도모하고 있다. 또한, 에너지 절감형 주택 설계와 관련된 연구 및 기술개발 역시 산업 전반에 걸쳐 진행 중이다.

그러나 신축 공동주택의 에너지 효율 향상 못지않게 기존 공동주택의 개선을 통한 에너지 절감 역시 중요함에도 불구하고, 이러한 노력은 상대적으로 미흡한 실정이며, 개선 프로세스에서 활용할 수 있는 적절한 수단이 마련되어 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 기존 공동주택 건축물의 유지관리 행위를 통한 에너지 소비량 절감 및 CO_2 배출량 감축을 달성할 수 있는 프로세스를 개발하고, 유지관리 의사 결정자용 매뉴얼을 개발하여 주거용 건축물 분야에서의 직접적인 CO_2 감축을 도모함과 동시에 향후 주거용 건축물 유지관리에 관한 정책의 기준으로 활용할 수 있는 수단을 제시하고자 한다.

이에 대한 세부적인 연구의 필요성은 다음과 같다.

(1) 국내 공동주택 시설물의 유지관리 단계에서 적용 가능한 방안들을 체계적으로 정리하고, 다양한 조합을 통한 시나리오를 평가함으로써 종합적이면서도 특화된 솔루션을 개발할 필요가 있다.

(2) 건축물 에너지 절감 기술의 활용효과를 극대화하기 위해서는 공동주택 유형별 데이

터베이스를 구축하고 각 유형 특성에 맞는 유지관리 전략을 제시해야 한다.

(3) 공동주택에서의 에너지 절감은 그 자체로 비용 절감 효과가 있으며, 배출권 거래제의 시행을 고려하면 본 연구를 통해 상당한 경제적 효과가 발생할 것으로 기대된다.

(4) 사회적으로 노후 공동주택의 리모델링 및 개·보수 등 유지관리 수요가 높아지고 있는 상황에서 유지관리 수행 시 건물 기능 보완을 통한 주민들의 삶의 질 개선과 더불어 에너지 성능을 향상시켜 에너지 절감 및 CO_2 감축 효과를 창출할 필요가 있다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구과제는 공동주택 유지관리 현황 분석 및 개선 방향 제시, 공동주택 에너지 절감 방안 POOL 구축, 공동주택 유형분류체계 구축, 공동주택 단지 개선여부 의사결정 지원모델 개발(이상 1차년도), 개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스 구축, 거시적 관점의 공동주택 개선사업 의사결정 모델 개발, 신재생에너지 시스템 최적설계 모델 개발, 건물 에너지효율 관련 제도 개선방향 제시(이상 2차년도)으로 구분하여 수행하였으며, 세부적인 연구개발 범위는 다음과 같다.

1. 공동주택 유지관리 현황 및 개선 방향

한국의 LH공사와 일본의 UR 소속 담당부서 면담을 통해, 공동주택 유지관리 프로세스 현황을 파악하였고, 공통적인 문제점 도출 및 개선방안을 제시하였다. 이렇게 도출된 공동주택 유지관리 프로세스 개선방안을 정책 제안을 통해 실효성을 높이고자 하였다.

2. 공동주택 에너지 절감 방안 POOL 구축

민간업체(예: CM사, 설계사 등) 전문가 자문을 통해, 공동주택 에너지 절감방안 Pool을 구축하였으며, 2차년도 과제수행을 위한 선행연구로서의 의미가 있다. 다양한 에너지 절감 방안들 중 실제로 공동주택 유지관리 단계에서 적용이 가능한 것들에 대해 특징 및 장단점, 경제성 분석을 실시하여 그 결과를 정리하였다.

3. 공동주택 유형분류체계 구축

수집된 전기 에너지, 가스 에너지, 지역난방 에너지를 활용하여, 공동주택 유형분류체계(Apartment Type Breakdown Structure; ATBS)를 개발하였다. 이를 위해 통계 패키지 내에서 의사결정나무(Decision Tree) 방법론을 활용하는 한편 온톨로지(Ontology) 방법론을 적용하였다.

4. 공동주택 단지 개선여부 의사결정 지원모델 개발

사례기반추론(Case Based Reasoning; CBR) 중심으로 인공신경망, 다중회귀분석, 유전자알고리즘 등 다양한 방법론이 가미된 Advanced CBR 모델을 개발·적용하였다. 본 모델은 공동주택 유형분류체계와 결합하여 공동주택 유지관리 여부 의사결정 지원도구로 활용이 가능하다.

5. 개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스 구축

기본적으로 공동주택 유형분류체계 및 Advanced CBR 모델을 활용, 에너지 절감 목표를 명확하게 설정하였으며 이러한 목표를 달성할 수 있는 다양한 개선안 중 환경적, 경제적 측면에서 최선의 효과를 얻을 수 있도록 하는 최적 개선안 선정을 위한 의사결정 프로세스를 구축하였다.

6. 거시적 관점의 공동주택 개선사업 의사결정 모델 개발

‘국가 온실가스 감축목표의 달성’이라는 거시적 관점의 목표를 기준으로 삼아, 공동주택 개선사업 시행 시 단지별 예산 배분을 위한 의사결정 도구로 활용이 가능한 모델을 개발하였다.

7. 신재생에너지 시스템 최적설계 모델 개발

신재생에너지 시스템 중 가장 건물에 대한 적용 빈도가 높은 태양광 발전 시스템을 대상으로 하는 최적설계 모델을 개발하였다. 기존에 사용되는 시뮬레이션을 통한 에너지 생산량 산출과 더불어, 비용 및 투자효과 등을 고려한 다목적 최적화 모델을 엑셀 프로그램을 기반으로 한 VBA(Visual Basic for Application)를 활용하여 개발하였다.

8. 건물 에너지효율 관련 제도 개선방향 제시

국내외의 건물 에너지효율 관련 제도 및 정책에 대한 조사 및 분석을 통해, 국내 제도의 문제점과 그 원인을 분석하고, 개선 방향을 제시하였다.

Ⅳ. 연구개발결과

본 연구과제는 공동주택 유지관리 현황 및 개선 방향, 공동주택 에너지 절감 방안 POOL 구축, 공동주택 유형분류체계 구축, 공동주택 단지 개선여부 의사결정 지원모델 개발, 개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스 구축, 거시적 관점의 공동주택 개선사업 의사결정 모델개발, 신재생에너지 시스템 최적 설계 모델 개발, 건물 에너지효율 관련 제도 개선방향제시로 구분하여 수행하였으며, 세부내용별 연구결과는 다음과 같다.

1. 공동주택 유지관리 현황 및 개선 방향

(1) 국내의 공동주택 유지관리 현황

① LH공사의 에너지 사용량 관리 및 활용 현황

LH공사에서 관할하고 있는 임대주택의 에너지 사용량에 대한 데이터는 위탁을 통해 관리하고 있다. 주택관리공단 또는 민간업체와의 계약을 통해 지속적인 데이터 축적은 이루어지고 있는 상황이다. 그러나 축적된 데이터가 시설물 개선여부 의사결정의 기준으로 활용되지 못하고 있다.

② LH공사의 온실가스 감축을 위한 유지관리 프로세스

기존주택에 대한 에너지 절감사업의 일환으로 시설개선 및 그린홈화 사업이 추진되고 있다. 기존주택의 노후시설을 부분적으로 개선함으로써, 에너지 사용량을 약 10%정도 절감시키는 것을 목표로 하고 있다. 그러나 개선 대상 선정 시 '지역별 평등 분배의 원칙하에, 사용 후 15년 이상 경과된 단지, 1000세대 이상의 단지'라는 다소 모호한 기준을 적용하고 있으며 에너지 사용량 자체를 고려하지 않고 있어 그 타당성이 떨어지며, 또한 개선사업 이후의 후속평가 프로세스가 명확하게 정립되어 있지 않다.

(2) 일본의 공동주택 유지관리 현황

① UR도시기구의 에너지 사용량 관리 및 활용 현황

UR도시기구는 임대주택의 에너지 사용량 데이터를 수집 및 분석하고 있는 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 UR도시기구에서는 매년 환경보고서를 발간하고 있다. 또한, 설비시설 및 배관 등의 사용연한을 사전에 명확하게 정의하고, 전문부서가 이를 지속적으로 관리하고 있는 것으로 나타났다. LH공사에서도 유사한 프로세스가 적용되고 있으나, UR도시기구의 경우 부문별 유지관리 데이터가 보다 체계적으로 관리되고 있는 것으로 나타났다. 다만 국내와 마찬가지로 이러한 데이터는 시설물 개선여부 의사결정의 기준으로 활용되지 못하고 있다.

② UR도시기구의 온실가스 감축을 위한 유지관리 프로세스

UR도시기구는 환경 에너지 대국이라는 전략 하에, 온실가스 감축을 목표로 하는 장기적인 로드맵을 수립하였으며, 2020년까지 제로에너지하우스 실현을 목표로 하고 있다. 주택부문의 에너지성능 향상을 위한 개선사업에 대해 공사비용을 부분적으로 지원하는 제도는 국내와 유사하며, 특히 정부의 적극적인 정책에 의해 개선사업의 주체에게 에코마일리지 포인트를 지급하고 있다. 한편 UR도시기구에서는 도시주택기술연구소를 통해 온실가스 감축을 위한 지속적인 연구를 수행하고 있는데, 건축물을 골조와 내부설비로 분리한 시스템(SI 시스템)을 개발하여 개선사업이 필요할 경우 부분적인 수선이 가능한 합리적 절차 및 기술을 갖추고 있었다. 그러나 개선대상 선정 시 에너지 사용량은 역시 고려되지 못하고 있었다.

(3) 국내외 유지관리 현황 분석을 통한 개선안

LH와 UR 도시기구의 유지관리 현황 분석을 바탕으로, 체계적이고 효율적인 유지관리 프로세스를 정립하기 위한 개선안을 다음과 같이 제시하고자 한다.

첫째, 공동주택 개선사업을 위한 판단기준이 명확하게 수립되어야 한다. 특히 에너지 사용량을 기준으로 한 판단기준이 수립되어야 한다. 현재는 개선 대상 선정 기준으로 사용년수가 거의 유일하게 사용되나, 사용년수가 오래됐다고 무조건 에너지 효율이 떨어지는 것은 아니다. 따라서 에너지 절약을 위한 시설물 개선 사업을 보다 효율적으로 진행하기 위해 에너지 사용량을 고려한 새로운 기준을 마련하고 이를 개선 사업에 적용할 필요가 있다.

둘째, 개선 사업에 적용할 아이템 선별의 기준이 마련되어야 한다. 에너지 절약 및 온실가스 저감을 위한 시설물의 개선 사업도 결국 비용의 제약을 받게 되므로, 개선 사업은 최소한의 비용으로 최고의 효과를 얻을 수 있는 아이템을 선별하여 진행되어야 한다. 따라서 에너지 사용량을 근거로 한 개선 대상 판단 기준을 기초로 하여, LCC 및 $LCCO_2$ 분석 결과를 통합적으로 고려한 최적 아이템 선정 및 평가 기준이 적용되어야 한다.

마지막으로, CO_2 감축을 위한 중장기 로드맵의 현실화가 필요하며, 시민들의 자발적인 참여를 독려할 수 있는 인센티브 정책이 마련되어야 한다. 유지관리 프로세스를 잘 구축하더라도 실 거주자들의 노력이 수반되어야 그 효과를 극대화할 수 있으므로 정책적 지원이나 인센티브 지급 등을 통한 동기부여 역시 목표 달성을 위해 꼭 필요하다.

2. 공동주택 에너지 절감 방안 POOL구축

(1) Active Energy Saving Measures

① 콘덴싱 보일러
② 고효율 유도전동기
③ 열병합 발전시스템
④ 고효율 변압기
⑤ 하이브리드 환기시스템
⑥ 바닥 취출 공조방식
⑦ 폐열 회수 환기시스템
⑧ 각방 제어 시스템
⑨ 자동절전 제어장치
⑩ 외기보상제어(ORC)
⑪ LED 조명
⑫ 무전극 램프
⑬ T-5 형광등
⑭ 에어커튼
⑮ 절수위생설비

(2) Passive Energy Saving Measures

① 로이 복층유리(Low-E 유리)

② 고단열 삼중유리

③ 진공유리

④ 옥상녹화

⑤ 벽면녹화

⑥ 빗물이용 시스템

⑦ 중수도 시스템

⑧ 열반사 단열재

(3) New Renewable Energy Techniques

① 태양열 급탕 시스템

② 지열 히트 펌프 시스템

③ 태양광 발전 시스템

④ 태양광 채광 시스템

⑤ BIPV 시스템

⑥ 연료전지

⑦ 소형 풍력발전 시스템

3. 공동주택 유형분류체계 구축

(1) 서울시 내 공동주택 단지 데이터베이스 구축

① 변수 정의

의사결정나무와 같은 데이터 마이닝 과정을 수행하기 위해서는 입력변수 및 목표변수의 정의가 필요하다. 공동주택 특성에 따른 에너지 사용량의 차이를 분석하고자 하므로 공동주택 특성을 입력변수로, 전기, 가스, 지역난방 각각의 에너지 사용량을 목표변수로 설정했다. 본 연구에서는 공동주택 개선 단계에서의 의사결정에 활용할 수 있는 단지 단위의 분류체계를 구축하고자 하므로 건물의 에너지 사용량에 영향을 미치는 다양한 요인(기후조건, 건

물 특성, 사용자 특성, 설비 특성, 사회·경제적 요인, 요구되는 실내 환경의 질 등) 중 단지 단위로 적용이 가능한 '건물 특성'에 해당하는 항목들만을 입력변수로 설정했으며, 목표변수는 전력, 가스, 지역난방 각각의 단위면적당 사용량으로 설정했다. 아래 표에 선정된 변수와 각각의 척도 유형을 나타냈다.

구분	변수	척도 유형	세부 내용
입력변수	지역구	명목척도	서울시 내 25개 구
	세대타입	명목척도	분양/임대/혼합
	복도유형	명목척도	계단식/복도식/혼합
	난방방식	명목척도	개별난방/중앙난방/지역난방
	경과년수	비율척도	2010년 기준
	동 수	비율척도	
	최고층수	비율척도	
	관리비 부과 면적	비율척도	단위 : ㎡
	세대수	비율척도	
	세대당 면적	비율척도	
목표변수	면적당 에너지 사용량	비율척도	전력 : kWh/㎡ 가스 : ㎥/㎡ 지역난방 : Gcal/㎡

② 데이터 수집 및 선별

공동주택의 특성에 기반을 둔 분류체계를 구축하기 위해 앞서 입력변수로 선정한 여러 공동주택 단지의 특성 데이터를 수집했으며, 목표변수로 선정한 해당 단지들의 에너지 사용량 데이터 역시 확보하여 데이터베이스를 구축했다.

공동주택 단지 특성의 경우, 국토해양부에서 운영하는 공동주택관리정보시스템을 활용하여 서울시 내 공동주택 단지들의 다양한 특성 정보를 수집했으며, 에너지 사용량 데이터의 경우 전력, 가스, 지역난방에 대해 각각 한국전력공사, 서울지역 도시가스 공급업체 2곳, 한국지역난방공사를 통해 각각 1,771개, 375개, 309개 공동주택 단지의 데이터를 확보했다.

(2) 서울시 내 공동주택 단지 유형분류체계 구축

① 의사결정나무를 활용한 분류체계

건축물의 에너지 사용량과 관련된 연구 방법론으로는 크게 에너지 시뮬레이션을 이용하는 방법과 데이터마이닝 기법들을 활용하는 방법이 있다. 이 중 에너지 시뮬레이션은 다양한 조건들을 구체적으로 설정해서 수행하게 되므로 상세한 분석이 가능한 반면 매우 자세한 정보가 요구되기 때문에 시간과 노력이 많이 소요되는 단점이 있다. 반면 데이터마이닝

기법 중 하나인 의사결정나무는 입력변수가 목표변수에 미치는 영향력을 통계적으로 분석하여 군집을 형성하며, 전문 지식이 없는 사람도 쉽게 이해할 수 있고 이상값에 민감하지 않다는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 의사결정나무 기법을 활용하여 분류체계를 구축하였다.

(3) 분류체계에 따른 공동주택 에너지 사용량 분석

① 전력 사용량 분석

공동주택 전력 사용량 데이터를 의사결정나무 기법을 이용하여 7개의 leaf로 분류하였고, 각 leaf 별 특성에 대한 분석을 진행하였다. 그 결과를 바탕으로 몬테카를로 시뮬레이션(MCS)을 수행하여 군집에 따라 에너지 사용량 분포를 분석하였다.

총 1,664개의 전체 데이터를 대상으로 실시한 시뮬레이션에서는 평균값 45.88, 표준편차 5.90으로 나타나고 있다. 전수를 대상으로 분석하였을 때와 비교하여 각 군집 별 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하는 경우 공공주택의 특성에 따른 전기 에너지 사용량 분포를 군집별로 구분하여 분석할 수 있다.

② 가스에너지 사용량 분석

전수를 대상으로 실시한 시뮬레이션에서는 평균값 10.20, 표준편차 1.52으로 나타났다. 반면, 군집별 시뮬레이션 분석에서는 leaf2와 leaf3의 경우에 전수를 대상으로 한 분석 결과에 비해 표준편차가 크게 나왔지만, 나머지 5가지 군집에서는 작은 값이 나왔다. 따라서 각 군집 별 시뮬레이션 수행을 통해 공공주택의 가스에너지 사용량의 분포가 평균을 중심으로 군집마다 종형의 분포를 보이고 있음을 확인할 수 있다.

③ 지역난방 에너지 사용량 분석

전수를 대상으로 실시한 시뮬레이션에서는 평균값 101.34, 표준편차 25.76으로 나타났다. 반면, 군집별 시뮬레이션 분석에서는 각 군집 별 전기에너지 사용량의 평균에 따른 표준편차가 leaf1(19.18), leaf2(19.06), leaf3(14.78), leaf4(21.78), leaf5(14.43)이다. 이 결과는 면적당 지역난방 에너지 사용량(Gcal/㎡)의 전체 데이터를 대상으로 분석한 값과 비교하여 표준편차가 작게 나타났음을 알 수 있다.

4. 공동주택 단지 개선여부 의사결정 지원모델

(1) 사례기반추론을 통한 유사사례 선택

유사사례의 조회에는 일반적으로 귀납적 조회기법(Inductive Retrieval)과 최근이웃 조회기법(Nearest-Neighbor Retrieval)이 사용된다. 최근이웃 조회기법은 데이터베이스가 많은 경우 지나치게 오랜 시간이 걸리는데, 본 연구에서는 앞서 의사결정나무(Decision Tree) 기법을 통해 공동주택 단지 데이터베이스의 분류체계를 구축한 바 있으며, 이를 통해 분석 시간을 상당히 단축시켰다. 즉, 본 연구에서는 귀납적 조회기법과 최근이웃 조회기법 각각의 장점을 갖춘 사례기반추론 기법을 적용함으로써 유사사례 조회 과정을 최적화시켰다고 할 수 있다.

(2) 유전자 알고리즘을 통한 모델 최적화 프로세스

사례기반추론은 사례유사도 값에 의해, 유사사례를 도출하고, 이 사례의 목표변수의 값을 기준으로 예측정확도를 판단하게 되는데, 일반적으로 사례유사도와 예측정확도가 항상 비례하지는 않는다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결함으로써 예측정확도를 향상시키기 위하여, MCAS, RAW, RCS, TRCRMA 등 4개의 최적화 매개변수를 도입하였으며, 이들 매개변수에 대해 유전자 알고리즘의 반복적 프로세스를 적용함으로써 예측정확도를 가장 높일 수 있는 사례기반추론 모델을 구현하였다.

(3) 구축된 의사결정 지원 모델 성능 검증

① 최종 예측정확도 및 표준편차를 통한 모델 성능 검증

(단위 : %)

방법론		전력 부문		가스 부문		지역난방 부문	
		예측 정확도	표준편차	예측 정확도	표준편차	예측 정확도	표준편차
의사결정나무 미형성 (전수 대상 분석)	MRA	91.94	11.63	91.47	8.89	86.99	13.38
	ANN	92.27	11.87	91.51	7.44	87.30	12.86
	CBR+GA (MCAS, RAW, RCS)	90.00	10.43	90.88	6.64	83.56	11.31
	CBR+GA (MCAS, RAW, RCS, TRCRMA)	91.87	10.47	92.59	5.42		
의사결정나무 형성 (군집별 분석)	MRA	92.71	10.62	90.56	8.09	89.39	9.96
	ANN	93.00	9.90	91.02	5.99	90.27	9.37
	CBR+GA (MCAS, RAW, RCS)	92.62	8.01	91.74	5.52		
	CBR+GA (MCAS, RAW, RCS, TRCRMA)	93.51	7.97	93.47	4.90	91.49	6.85

본 연구에서 구축한 의사결정 지원 모델의 성능 검증하기 위해 기존 방법론과의 비교 분석을 실시한 결과를 위의 표에 나타냈다. 의사결정나무를 활용한 군집화를 실시한 경우에 전수를 대상으로 분석했을 때보다 예측정확도가 향상되는 양상을 보였으며, 표준편차는 크게 작아지는 것을 확인할 수 있으므로 예측의 정확성뿐 아니라 안정성 측면에서도 비교우위에 있음을 알 수 있다. 즉, 분류체계 형성은 의도한 바와 같이 예측성능 향상에 기여한 것으로 나타났다.

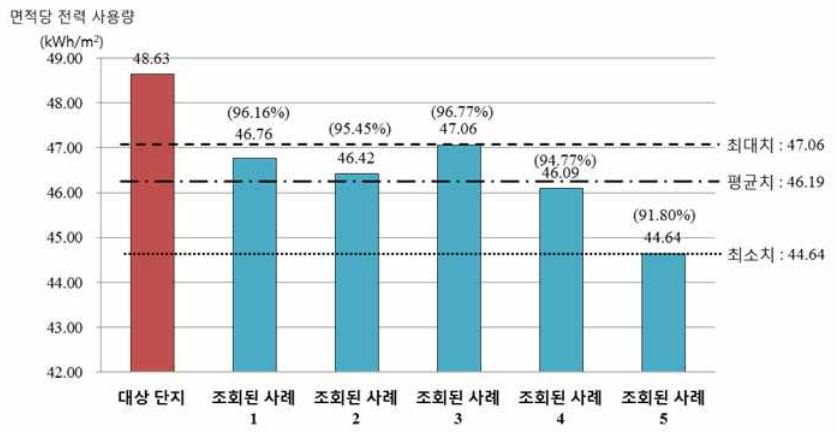
한편 의사결정나무, 사례기반추론, 다중회귀분석, 인공신경망분석, 유전자 알고리즘의 조합을 통한 다양한 방법론 중에서, 예측성능이 가장 우수한 것은 본 연구에서 구축한 모델, 즉 의사결정나무를 적용하여 군집을 형성하고, MCAS, RAW, RCS, TRCRMA 4개의 매개변수에 대한 유전자 알고리즘을 통해 최적화 프로세스를 결합시킨 사례기반추론 기법으로 나타났다. 위 표의 음영부분에서 제시된 바와 같이, 전력 부문, 가스 부문, 지역난방 부문 모두에 걸쳐 예측정확도는 가장 높게, 표준편차는 가장 낮게 나타나고 있다.

따라서 공동주택 유형분류체계와 Advanced CBR 방법론을 결합한 모델은 공동주택 단지의 개선여부 의사결정 지원모델로서 그 정확성 및 안정성을 확보하였음이 입증되었다.

② 사례 분석을 통한 모델 성능 검증

공동주택 개선여부 의사결정 모델로서의 성능 검증 차원에서 일련의 프로세스에 대해 사례 분석을 실시하였다. 아래 표에 대상 단지 및 조회된 유사사례의 단지 특성을 나타냈다. 사례유사도 점수를 기준으로 선정된 5건의 유사사례를 보면 평균 예측 정확도는 94.99%로 상당히 높게 나타남을 볼 수 있었다.

	사례 번호	지역 구	경과 년수	연면적 (㎡)	동수	최고 층수	세대 수	세대당 면적 (㎡)	세대 타입	복도 유형	난방 방식	사례 유사도 점수	면적당 사용량 (kWh/㎡)	예측 정확도 (%)
대상 단지	110	노원	11	26,581	3	19	260	102.23	분양	혼합	개별	-	48.63	-
조회된 사례1	120	노원	10	29,244	4	18	300	97.48	분양	혼합	개별	0.9765	46.76	96.16
조회된 사례 2	109	노원	11	28,432	2	17	289	98.38	분양	혼합	개별	0.9713	46.42	95.45
조회된 사례 3	115	노원	13	25,090	3	17	259	96.87	분양	혼합	개별	0.9709	47.06	**96.77**
조회된 사례 4	121	노원	11	21,223	2	21	216	98.25	분양	혼합	개별	0.9699	46.09	94.78
조회된 사례 5	119	노원	13	29,765	2	16	290	102.64	분양	혼합	개별	0.9624	44.64	**91.80**
평균												**0.9702**	**46.19**	**94.99**



위 그림은 대상 단지와 조회된 유사사례들의 면적당 전력 사용량을 그래프로 나타낸 것이다. 개발된 모델은 특정 단지에 대한 적정 수준의 CO_2 배출량을 예측하기 위한 정량적이고 객관적인 기준을 제시한다. 대상 단지의 실제 배출량이 모델을 통한 예측값, 즉 조회된 유사 단지의 배출량과 비교했을 때 지나치게 크게 나타난다면 해당 단지의 개선이 필요하다는 판단을 내릴 수 있다. 공동주택 단지의 개선을 통한 전력 절감 목표량은 (i) 최대 전력 소비량 기준, (ii) 최소 전력 소비량 기준, (iii) 평균 전력 소비량 기준 중 한 가지를 선정할 수 있다. 단지 관리자, 한국토지주택공사의 공공임대주택 관리부서 등 의사결정자들은 상황에 따라 각기 다른 기준을 수립할 수 있을 것이다.

5. 개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스

(1) 대상 단지 선정 및 탄소배출량 감축목표(CERT) 수립

① 표준공동주택 단지 선정

도출된 결과물의 실용성을 확보하고 그 파급효과를 극대화 하기 위하여 다음과 같은 기준으로 표준공동주택을 선정하였다. i) 단위면적당 이산화탄소 배출량이 가장 높은 서울(20,647.8 tCO2/km2)에 소재한 공동주택 단지 ii) 국가소유의 공공임대인 공동주택 단지 iii) 단위면적당 이산화탄소 배출량이 상위 5% 이내의 공동주택 단지를 표준 공동주택 단지

② 표준 공동주택 단지에 대한 탄소배출량 감축목표(CERT) 수립

공동주택 단지의 에너지 효율 개선에 대한 보다 객관적이고 정확한 결정을 위해서는, 공

동주택 단지의 특성을 기반으로 유사한 특성을 갖는 공동주택 단지에 대하여 군집을 형성하고, 같은 군집 내에 속한 유사 공동주택 단지와의 비교를 통해 평가할 필요가 있다. 따라서 앞서 소개한 공동주택 유형분류체계 및 단지 개선여부 의사결정 지원모델(advanced CBR 모델)을 활용하여 표준공동주택 단지에 대한 CERT를 수립하였다. 표준공동주택 단지의 면적당 전력 사용량(86.10 kWh/m2)에 대하여, 23.0%의 CERT가 수립되었고, 면적당 가스 사용량(14.32 m3/m2)에 대해서는 27.9%의 CERT이 수립되었다.

(2) 에너지 절감 모델 구축

① 에너지 사용양상 분석

전력 소비로 발생하는 이산화탄소 배출량은 55.4%를 차지하는 것으로 나타났고, 가스 소비로 발생하는 이산화탄소 배출량은 44.6%를 차지하는 것으로 나타났다. 이와 같이, 표준공동주택 단지에서 발생하는 이산화탄소 배출량은 어느 한 가지 에너지원에 편중되기 보다는 전력 및 가스, 두 가지 에너지원 모두에서 영향을 받는 것으로 분석되었다. 이러한 표준공동주택 단지의 에너지원 별 이산화탄소 배출량에 대한 분석결과는 에너지 절감 방안을 선정하기 위한 기본정보로 활용된다.

② 에너지 절감 방안 선정

단지의 에너지 사용 양상에 대한 분석결과를 토대로, 적용 가능한 에너지 절감 방안을 선정하였다. 1차년도에 작성한 '공동주택 에너지 절감 방안 30선'을 토대로, 다양한 문헌조사와 LH공사 및 SH공사에 소속된 에너지 효율 개선사업 관련 담당자 등 전문가와의 면담 조사를 통해, 공동주택 단지에 적용 가능한 에너지 절감 방안을 선별하였다. 이중, 에너지 시뮬레이션 결과, CERT를 달성하는데 효과적이라고 판단되는 6mm-12mm-6mm 로이 복층유리, LED 조명, 대기전력 차단 콘센트, 콘덴싱 보일러 등 4개의 에너지 절감 방안을 최종 선정하였다.

③ 표준 공동주택 단지의 에너지 절감모델

표준 공동주택 단지의 CERT를 달성하기 위하여, 4개의 요소 에너지 절감 방안이 선정되었다.

에너지 사용용도	에너지 절감방안	에너지 절감 시나리오														
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15
냉난방	6mm-12mm-6mm 로이복층유리	O	-	-	-	O	O	O	-	-	-	O	O	O	-	O
조명	LED 조명	-	O	-	-	O	-	-	O	O	-	O	O	-	O	O
가전제품	대기전력 차단 콘센트	-	-	O	-	-	O	-	O	-	O	O	-	O	O	O
난방	콘덴싱 보일러	-	-	-	O	-	-	O	-	O	O	-	O	O	O	O

한편, 가스 사용량에 대한 CERT(27.9%)는 6mm-12mm-6mm 로이복층유리 및 콘덴싱 보일러를 동시에 적용함으로써 달성 가능할 것으로 판단되지만, 전력 사용량에 대한 CERT(23.0%)는 달성하기 어려울 것으로 판단된다. 이에 따라, 전력 사용량을 절감하기 위한 새로운 대책이 수립되어야 한다. 본 연구에서는 신재생에너지 중, 태양광을 활용하여 전력을 생산하는 태양광 발전 시스템(photovoltaic system, 태양광 발전 시스템)을 도입함으로써 사용 전력의 에너지원을 대체하고, 나아가 전력 사용량에 대한 CERT(23.0%)를 달성하고자 하였다.

(3) LCC 및 $LCCO_2$ 분석을 통한 경제성 및 환경성 평가

표준 공동주택 단지에 적용할 15개의 에너지 절감 시나리오를 반영한 에너지 절감 모델을 구축하고, 전력 사용량에 대한 CERT(23.0%)를 달성하기 위하여, 태양광 발전 시스템의 도입을 추가적으로 고려하였다. 이러한 다양한 개선시나리오 중, 한정된 예산 이내에서 투자대비효율이 가장 우수한 시나리오를 선정할 수 있어야 한다. 따라서 생애주기적 관점에서의 경제성 및 환경성 평가를 실시하였다.

① 에너지 절감 시나리오별 경제성 및 환경성 분석을 통한 최적 시나리오 선정

4가지의 요소 에너지 절감 방안 중, LED 조명 또는 대기전력 차단 콘센트를 적용할 경우, 전력 사용량 절감 효과가 두드러지게 나타났다. 한편, 6mm-12mm-6mm 로이복층유리 또는 콘덴싱 보일러를 적용할 경우, 가스 사용량 절감 효과가 두드러지게 나타났다.

② CERT 달성을 위한 개선 시나리오 도출 및 경제성, 환경성 분석 통한 최적 시나리오 선정

표준 공동주택 단지의 옥상면적 전체(1,245m2)에 태양광 발전 시스템을 도입함으로써,

연간 146,026kWh의 전력량을 생산할 수 있고, 이는 전체 전력 사용량(919,431kWh)의 15.9%를 대체하는 효과인 것으로 분석되었다. 전기 및 가스 사용량 모두에 대해 CERT를 달성한 시나리오는 오직 시나리오 #12 뿐인 것으로 분석되었다. 또한 해당 시나리오의 NPV40은 US$ 1,061,410로 전체 시나리오 중 2위, SIR40은 2.93으로 3위를 차지함으로써 2가지 분석 지표 관점에서도 상당히 우수한 시나리오인 것으로 나타나고 있다. 따라서 시나리오 #12는 표준 공동주택 단지의 CERT를 달성할 수 있는 최적의 개선시나리오이다.

시나리오	태양광 발전 시스템의 CERT 할당분	초기투자 비용 (원)	수선교체 비용 (원)	생애주기 에너지비용 (원)	온실가스 감축실적 판매분 (원)	NPV_{40}		SIR_{40}	
						값 (원)	순위	값	순위
시나리오 #5 (로이복층유리 & LED) + PV	**15.7%**	339,796,304	145,317,624	1,316,300,486	44,452,018	875,638,577	6	**2.81**	**5**
시나리오 #11 (로이복층유리 & LED & 콘센트) + PV	1.8%	199,291,165	241,911,102	1,288,525,571	31,768,217	879,091,521	5	2.99	2
시나리오 #12 (로이복층유리 & LED & 콘덴싱) + PV	**15.7%**	399,646,464	226,004,296	1,778,296,918	53,115,154	**1,205,761,313**	**2**	**2.93**	**3**
시나리오 #13 (로이복층유리 & 콘센트 & 콘덴싱) + PV	9.1%	269,929,378	372,875,179	1,762,675,341	46,740,895	1,166,611,679	3	2.81	4
시나리오 #14 (LED & 콘센트 & 콘덴싱) + PV	1.7%	219,863,680	304,489,306	1,408,615,594	33,942,314	918,204,923	4	2.75	6
시나리오 #15 (로이복층유리 & LED & 콘센트 & 콘덴싱) + PV	1.8%	259,141,325	322,597,774	1,827,893,827	41,882,025	**1,288,036,753**	**1**	**3.21**	**1**

6. 거시적 관점의 공동주택 개선사업 의사결정 모델

(1) 유형 분류체계를 이용한 유형별 대표단지 선정

① 표준공동주택 단지 선정

공동주택 개선사업의 투자방향을 설정하기 위해 다양한 개선안을 적용해 보고 그 효과를 평가할 때, 전체 공동주택 단지를 대상으로 분석을 수행하는 것은 사실상 불가능하므로, 1차년도 연구를 통해 개발된 전력 사용량 기반의 유형분류체계를 구성하고 있는 7개의 군집(leaf)에서 사례분석을 위한 표준 공동주택 단지를 한 곳씩 선정하였다.

② 표준공동주택 단지들의 에너지 모델 작성

대표 단지로 선정된 단지들의 에너지 모델 작성 시, 세대당 면적이 분류 기준으로 적용된 유형분류체계에 입각하여 세대당 면적에 따라 달라지는 특성만을 조절 변인으로 적용시켜서 분석을 실시하였다. 이러한 데이터를 입력해서 단지별 기본 에너지 모델을 작성하였다. 4절의 내용과 마찬가지로 DesignBuilder v3.0을 이용하여 기본 에너지 모델을 작성하였으며, CV(RMSE) 값을 통해 모델의 유효성을 검증하였다.

(2) 에너지 시뮬레이션을 활용한 단지별 에너지 절감 시나리오 분석

① 에너지 절감 시나리오 구성

단일단지 세부 개선안 선정 시 적용했던 에너지 절감 방안 및 신재생에너지 설비 중에서 전력 사용량과 직결되는 방안인 대기전력차단콘센트, LED 조명, 태양광 발전 등 3가지 방안만을 선정하고, 이들의 조합을 통해 7가지의 에너지 절감 시나리오를 구축하였다.

에너지 절감방안 / 시나리오	대기전력차단콘센트	LED 조명	태양광 발전
시나리오 #1	O		
시나리오 #2		O	
시나리오 #3	O	O	
시나리오 #4			O
시나리오 #5	O		O
시나리오 #6		O	O
시나리오 #7	O	O	O

② 단지별 개선시나리오의 환경성 및 경제성 평가

1) 환경성 평가

환경적 관점에서 공동주택의 환경개선사업을 통해 에너지 효율성을 향상시키고자 하는 경우에는, 에너지 사용용도, 세대별 면적 등을 고려하여 최적의 개선 시나리오를 선택할 수 있어야 한다. 이때, 하나의 에너지 절감 방안 적용 시나리오 중에는 시나리오 #3(LED 적용)이 최적의 개선 시나리오인 것으로 나타났다. 환경적 관점에서는 2개의 에너지 절감 방안과 태양광 발전 시스템을 모두 적용한 시나리오 #7(대기전력차단콘센트, LED, 태양광 발전) 이 최적의 개선 시나리오인 것으로 나타났다.

2) 경제성 평가

주거환경 개선 사업과 같은 국가 정책 사업은 에너지 절감 효과만을 고려할 것이 아니라, 한정된 예산을 합리적으로 배분하는 것이 중요하다. 이를 위해 에너지 절감 효과와 초기투자비용뿐 아니라 생애주기비용 관점의 비교지표인 순현재가치(NPV)와 투자대비수익률(SIR) 그리고 손익분기점(BEP)을 고려할 수 있다.

기본 에너지 모델에 대기전력 차단 콘센트, LED 조명 및 태양광 발전 시스템을 모두 적용하는 시나리오 #7은 NPV는 양의 값으로, SIR40은 1이상의 값으로 분석되었으며 BEP 또한 40년 이내에 나타났다. 세대당 면적 관점에서 분석해 보면, 시나리오 #7은 시나리오 #1(대기전력 차단 콘센트), 시나리오 #2(LED 조명), 시나리오 #4(태양광 발전 시스템)의 특성을 복합적으로 지니고 있는데, 에너지 사용량은 역시 세대당 면적과 반비례 관계에 있다. 다시 말해서 세대당 면적이 작을수록 시나리오 #7 적용을 통한 에너지 절감의 잠재적 효과가 더욱 크다고 할 수 있다. 또한, 태양광 발전 시스템의 경우 같은 에너지 생산량이 발생한다 하더라도 에너지사용량이 더 많은 곳에서 비용 절감 효과가 크다고 할 수 있다. 따라서, S 단지의 SIR(2.95)이 G 단지의 SIR(1.68)에 비해 우수하게 나타났다.

(3) 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 최적 투자안 도출

① 에너지 사용량 추세 분석

정부는 국가차원에서의 온실가스 감축 목표(Carbon Emission Reduction Target, CERT)를 2020년의 온실가스 배출 전망치(Business-As-Usual, BAU) 대비 30%로 수립하였으며, 건축물에 대해서는 26.9%로 수립하였다. 이러한 목표치는 상대적 수치로, 현재시점(2012)에서의 온실가스 감축을 위한 구체적인 실행계획을 수립하기 위해서는 미래시점(2020)에서의 절대적 수치를 파악할 수 있어야 한다. 현재시점(2012)에서의 온실가스 감축을 위한 구체적인 실행계획(에너지 절감방안 및 신재생에너지 시스템 시나리오)을 적용할 경우의 에너지 절감 효과를 분석하고, 그 이후의 에너지 사용량 증가 추세를 재분석할 수 있다.

② 최적 개선시나리오 선정을 위한 의사결정 시스템

본 연구에서는 최적화를 위한 3가지 목적변수(초기투자비용의 최소화, NPV의 최대화, SIR의 최대화)를 고려하였기 때문에 결과적으로는 총 6,291,456개의 시나리오

(2,097,152×3=6,291,456)를 분석해야 한다. 따라서 상기 일련의 프로세스를 시스템화시키고, 최적화 프로세스를 도입을 목적으로 유전자 알고리즘 개념을 도입하여 최적 시나리오를 선정하는 의사결정 시스템을 구축하였다.

③ 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 공동주택 개선사업 의사결정

정부의 건축물 부문에 대한 CERT는 2020년 BAU 대비 26.9%를 절감시키는 것이다. 현재시점(2012)에서의 온실가스 감축을 위한 다양한 개선시나리오 적용하여 온실가스 감축목표 달성을 위한 최적 시나리오를 도출하였다. 초기투자비용 최소화, NPV 최대화, SIR 최대화 등 3가지 목적변수에 대하여, 건축물 부문에 대한 국가 CERT, 즉 2020년의 온실가스 배출 전망치(BAU) 대비 26.9% 감축 목표를 달성한 투자안을 제시할 수 있다. 다음은 초기투자비용 최소화를 목적변수로 한 상위 5개의 투자안을 예시로 제시한 것이다.

최적 시나리오							2012년 에너지 절감량 (%)	2020년 에너지 절감량 (%)	초기투자비용		수선교체 비용 (천원)	생애주기 에너지 비용 (천원)	KCER (천원)	NPV		SIR	
leaf 1	leaf 2	leaf 3	leaf 4	leaf 5	leaf 6	leaf 7			금액 (천원)	순위				비용 (천원)	순위	비율	순위
#0	#5	#1	#0	#5	#5	#0	20.75%	27.37%	731,221	1	1,123,696	3,674,136	119,341	1,993,285	5	2.05	5
#3	#6	#3	#2	#1	#7	#1	25.51%	28.85%	1,041,798	2	1,256,834	5,112,279	155,775	3,037,383	4	2.29	2
#6	#3	#4	#2	#6	#6	#2	22.36%	27.05%	1,298,598	3	652,315	4,898,211	148,311	3,110,115	3	2.59	1
#7	#3	#7	#1	#5	#5	#1	29.33%	33.60%	1,320,319	4	1,857,284	6,695,713	210,135	3,823,698	1	2.17	3
#2	#4	#5	#4	#7	#7	#5	31.04%	35.02%	1,536,479	5	1,450,422	6,121,482	203,290	3,393,357	2	2.12	4

7. 신재생에너지 시스템 최적설계 모델

(1) 기초자료 조사

태양광 시스템을 적용하고자 하는 대상 시설물로 앞 절에서 다루었던 표준공동주택을 선정하고, 해당 시설물의 사용현황 정보를 조사한다. 또한, 태양광 시스템에 대한 시장조사를 통해, 태양광 패널 및 인버터에 대한 상세정보를 수집한다. 이러한 정보는 태양광 시스템의 도입을 위한 시나리오 생성의 기초자료로 활용된다.

(2) 다목적 최적화 기법

① Pareto front 개념에 입각한 최적해 집합

A, B, C의 최적화 목적함수가 각각 초기투자비, 손익분기점(BEP), 전력 생산량 편익인 경우, A(초기투자비)와 B(BEP)의 최적화 목적함수는 최솟값에 근접할수록, 그리고 C의 최적화 목적함수(전력 생산량 편익)는 최댓값에 근접할수록 최적화되는 것으로 판단할 수 있다.

(3) 태양광 시스템 최적설계 모델 개발

① 태양광 시스템 최적설계 모델의 프레임워크

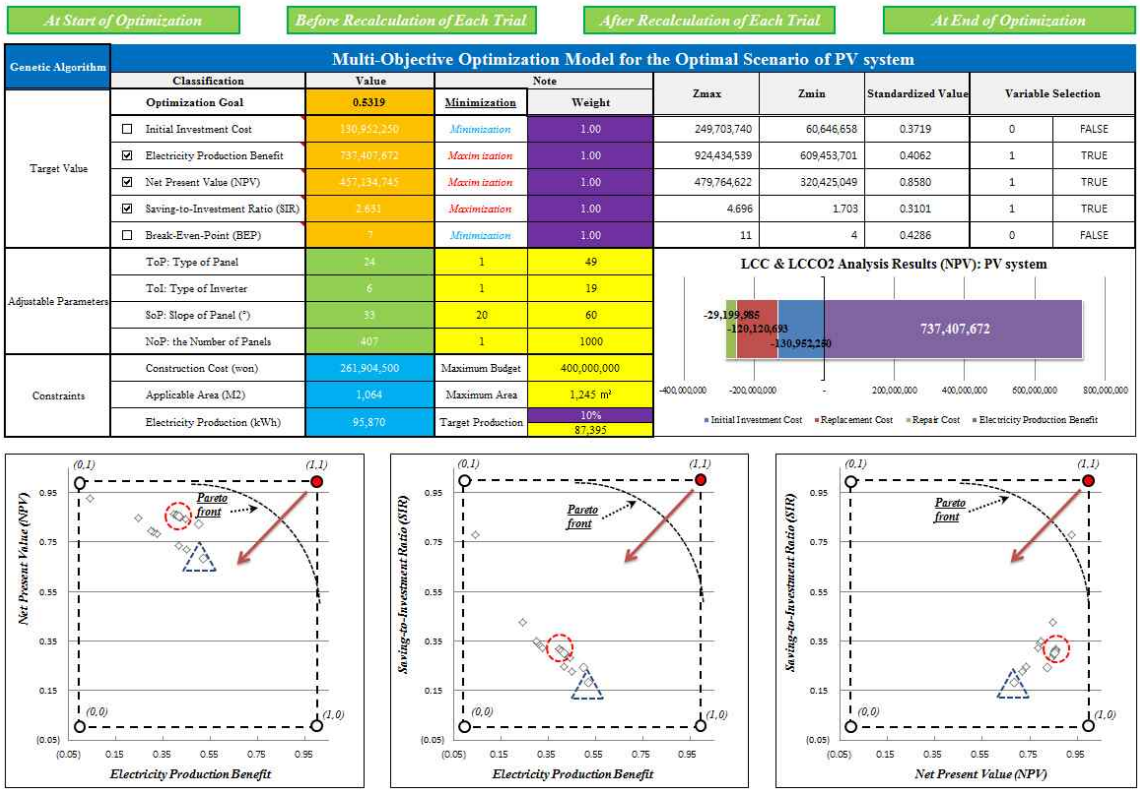
본 연구에서는 태양광 시스템의 도입 과정에서 발생 가능한 모든 시나리오를 분석하여 최적의 시나리오를 도출할 수 있는 태양광 시스템 최적설계 모델을 제안한다. 'RETScreen'이라는 신재생에너지 시뮬레이션 프로그램의 입력정보로 활용되며, 결과적으로 전력 생산량을 산출하게 된다. 이 결과는 LCC와 $LCCO_2$ 분석의 입력정보로 활용되며, 결과적으로 순현재가치(NPV), 투자대비수익률(SIR), 손익분기점(BEP) 등의 지표를 산출하게 된다. 또한, 이 결과는 최적화 모델의 입력정보로 활용되며, 최종적으로 적합도 함수를 만족시키는 최적 설계안이 도출된다. 본 연구에서는 이러한 일련의 프로세스를 통합모델로서 개발하기 위하여, 유전자 알고리즘(GA)을 활용하였다.

② 유전자 알고리즘의 최적화 매개변수

- 목표변수 : 초기투자비, 전력 생산량 편익, 순현재가치(NPV), 투자대비수익률(SIR), 손익분기점(BEP).
- 조절변수 : 태양광 패널 종류(ToP), 태양광 인버터 종류(ToI), 태양광 패널 갯수(NoP), 태양광 패널 각도(SoP), 최적화 목적함수1 (EPB) 가중치1, 최적화 목적함수2(NPV) 가중치2, 최적화 목적함수3(SIR) 가중치3.
- 제약조건: 예산 한도, 적용가능 면적 한도, 목표 전력 생산량 한도

③ 태양광 시스템 최적설계 모델의 시스템화

신재생에너지 시뮬레이션 프로그램인 'RETScreen', 유전자 알고리즘 도구인 'Evolver', LCC 및 $LCCO_2$ 분석도구, 다목적 최적화 등의 프로세스 및 그에 따른 프로그램이 복합적으로 적용되고 있다. 따라서, 이러한 프로세스를 통합시킴으로써, 본 연구에서 제안된 모델에 대한 사용성, 신뢰성, 정밀성 등을 향상시켜야 한다. 이를 위해 엑셀 프로그램을 기반으로 한 VBA(Visual Basic for Application)를 활용하였다.



(4) 사례분석을 통한 모델 검증

① 최적화 결과

3개의 그래프 상에서, 붉은색 원으로 표기한 1순위 시나리오는 18순위 시나리오와 비교하여, 상대적으로 더 가까운 좌표상에 위치하고 있음을 확인할 수 있다.

순위	ToP	ToI	SoP	NoP	적합도 함수	최적화 목적함수1	최적화 목적함수 2	최적화 목적함수 3
1	24	6	33	407	0.5319	0.4062	0.8580	0.3101
2	24	6	33	408	0.5319	0.4081	0.8573	0.3087
3	24	6	32	410	0.5319	0.4118	0.8560	0.3058
4	24	6	32	402	0.5319	0.3969	0.8612	0.3175
5	24	6	32	405	0.5319	0.4025	0.8592	0.3131
6	22	6	32	392	0.5319	0.4221	0.8524	0.2979
7	24	6	32	417	0.5319	0.4248	0.8514	0.2958
8	24	6	31	413	0.5320	0.4172	0.8538	0.3014
9	23	6	29	434	0.5326	0.4434	0.8428	0.2813
10	24	6	29	458	0.5334	0.5000	0.8229	0.2435
11	12	19	24	289	0.5561	0.2435	0.8464	0.4241
12	28	12	31	351	0.5649	0.2989	0.7968	0.3486
13	27	13	31	360	0.5651	0.3061	0.7932	0.3414
14	27	13	31	370	0.5657	0.3243	0.7840	0.3240
15	29	13	30	409	0.5700	0.4165	0.7370	0.2484
16	47	14	29	190	0.5701	0.0408	0.9255	0.7777
17	28	13	30	433	0.5719	0.4501	0.7201	0.2252
18	30	14	29	458	0.5770	0.5198	0.6839	0.1825

② LCC 및 $LCCO_2$ 분석 결과

1순위 최적 시나리오를 적용하였을 경우, LCC 및 $LCCO_2$ 분석 결과, 생애주기에 걸친 전력 생산량 편익은 737,407,672원으로, NPV40은 457,134,745원으로, SIR40은 2.631로 나타났다. 3가지 최적화 목적함수 모두 우수한 결과로 나타났다. 한편, BEP는 7년으로서, 초기투자비를 7년만에 회수할 수 있는 것으로 분석되었다.

8. 친환경 건축정책 및 인센티브 방안

(1) 국내외 친환경 건축정책

① 국내의 친환경 건축정책

(i) 친환경 건축물 인증 제도, (ii) 주택성능 등급 표시 제도, (iii) 건물 에너지 효율 등급 제도, (iv) 친환경 주택의 건설 기준 및 성능이 있다. 하지만, 법적인 강제성은 주로 청사 등의 공공 건축물에 한정되어 있다는 한계점이 있다. 또한, 건축물 유지관리 단계에서 발생하는 에너지 소비와 관련된 정책과 제도는 국내에서는 좀처럼 찾아보기 힘들다. 그 원인은 궁극적으로 에너지 성능개선 사업이 저변으로까지 활성화되어 있지 못하기 때문에 발생한 것임을 알 수 있다.

② 국외의 친환경 건축정책

EU를 비롯한 선진국에서는 이와 같이 에너지 절약과 관련된 인센티브를 넓은 범위 및 다양한 형태로써 제공하기 때문에, 에너지 성능 개선 사업에 대한 동기 부여가 우리나라에 비하여 뛰어날 것으로 판단할 수 있다. EU 국가들에서 인센티브를 제공하는 기본 방침은 아래와 같다.

- 에너지 성능 개선 공사에 대한 보조금 지원
- 에너지 효율 제품의 가격 인하
- 에너지성능 개선 공사를 실시할 경우의 세금 절감
- 에너지성능 개선 공사를 실시할 경우의 저리 융자금 지원
- 주택의 EPC(Energy Performance Certification) 등급에 따른 세금 차등 책정

(2) 국내 친환경 정책의 개선 방안

첫째, 친환경 정책 및 제도를 통합할 필요가 있다. 현재 국내의 다수의 친환경 정책들로 인하여, 에너지 절약을 추구하는 거주자들에게 오히려 혼란과 시간 및 비용적인 손실이 야기되고 있는 상태이다. 따라서 이를 극복하기 위하여, 제도를 통합하여 세부적으로 정리한,

단일 친환경 기준을 만들 필요가 있다.

둘째, 인센티브의 적용 대상 및 범위를 확장시킬 필요가 있다. 건축 기준 완화 적용 및 확대 방안에 대한 세부적인 검토 후, 우리 실정에 맞는 기준 마련이 필요할 것으로 보인다.

셋째, 에너지 절약형 건축물을 위한 개선 사업에 지원되는 보조금의 규모를 늘리고, 성능 개선을 수행한 건축물의 경우에는 그 이후 발생하는 세금을 감면해주는 등의 다차원적인 세제 혜택이 필수적일 것으로 판단된다.

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

본 연구과제에서는 공동주택 유지관리 현황 및 개선 방향, 공동주택 에너지 절감 방안 POOL 구축, 공동주택 유형분류체계 구축, 공동주택 유지관리 의사결정 지원모델통합 구축, 개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스 구축, 거시적 관점의 공동주택 개선사업 의사결정 모델 개발, 신재생에너지 시스템 최적설계 모델 개발, 친환경 건축정책 및 인센티브 방안 제시를 수행하였으며, 연구개발결과의 활용계획은 다음과 같다.

1. 에너지 사용량 기반의 유사 공동주택 단지 선정 모델

(1) 활용분야 및 활용방안

공동주택 프로젝트 특성에 따른 에너지 사용량을 비교·평가 또는 예측할 수 있는 모델로서, 1)공동주택 단지의 개선사업 추진여부 의사결정지원모델 또는 2)프로젝트 특성에 따른 에너지사용량을 예측하기 위한 모델로 활용할 수 있다.

(2) 추가 연구

사용자 활용성 및 편의성을 고려하여, 엑셀모델의 인터페이스를 재구축하는 연구가 수행되어야 하며, Web-based System 또는 Smart device-based Application 개발을 위한 추가연구를 수행할 필요가 있다.

(3) 기업화, 기술이전 계획

앞서 언급한 활용방안 중, “1)공동주택 단지의 개선사업 추진여부 의사결정지원모델”의

경우에는 국가 차원에서 정책적으로 추진되어야 하는 것으로서 기업화, 기술이전 계획이 선행될 수 없는 성격이고, “2)프로젝트 특성에 따른 에너지사용량을 예측하기 위한 모델”의 경우에는 민간업체(예: CM회사, 설계회사, 시공회사 등)의 수요를 반영하여, 기술이전이 가능할 것으로 판단된다.

2. LCC 및 $LCCO_2$ 분석 기반의 최적모델

(1) 활용분야 및 활용방안

상기의 3가지 모델은 공동주택 개선사업 추진이 결정된 이후에 활용할 수 있는 모델로서, 본 연구과제에서는 2차년도 연구기간에 개발되었다. LCC 및 $LCCO_2$ 분석을 기반으로 하여, 1)최적 에너지절감 시나리오 선정, 2)최적 신재생에너지 선정, 3)적정 예산 산정의 목적으로 활용할 수 있다.

(2) 추가 연구

사용자 활용성 및 편의성을 고려하여, 엑셀모델의 인터페이스를 재구축하는 연구가 수행되어야 하며, Web-based System 또는 Smart device-based Application 개발을 위한 추가연구를 수행할 필요가 있다.

(3) 기업화, 기술이전 계획

앞서 언급한 활용방안 중, “1)LCC 및 $LCCO_2$ 분석 기반의 최적 에너지절감 시나리오 선정 모델”의 경우에는 특허출원을 완료한 상황이며, 이미 민간업체(CM사)와의 용역계약을 통해 추가연구를 수행중이며, 기술이전 계획을 수립 중이다. 민간업체(예: CM회사, 설계회사, 시공회사 등)의 수요를 반영하여, 추가적인 기술이전이 가능할 것으로 판단된다. “2)LCC 및 $LCCO_2$ 분석 기반의 최적 신재생에너지 선정 모델” 및 “3)LCC 및 $LCCO_2$ 분석 기반의 적정 예산 산정 모델” 개발을 위한 연구를 진행 중이며, 상기의 1)번 모델과 연계하여 기술이전이 가능할 것으로 판단된다.

SUMMARY

Ⅰ. Title

Maintenance Management Process for Reducing CO_2 Emission in Multi-Family Housing Project

Ⅱ. Necessity and Objective of Research Development

1. Objectives

The aim of this study is to develop a maintenance management process for reducing CO_2 emission and energy consumption in Multi-Family Housing project and to develop a decision support system to improve the Multi-Family Housing facility for final decision maker.

Based on this study, the decision supporting manual for decision maker, making a decision for improvement of the facility, will be developed. By using this manual, the amount of CO_2 emission in Multi-Family Housing can be reduced. Furthermore this manual will be a political criteria for maintenance of residential buildings in South Korea.

The specific goals of the study to develop a maintenance management process for reducing CO_2 emission in Multi-Family Housing project are as follows.

(1) To adopt an eco-friendly paradigm in practical life of people, by develop a maintenance management process for reducing CO_2 emission and energy consumption.

(2) To collect an project information of the decrepit facilities(in specially, the apartments older than 15 years after the completion, these apartment charge 36% of the whole Multi-Family Housing project), and analysis the present

condition of the energy consumption of that of collected projects, and draw a problem of current state of affairs.

(3) To develop an Apartment Type Breakdown Structure(ATBS) in the analysis process to solve the problems of current states and make a reasonable analysis program, and execute the Life Cycle Cost analysis based on energy simulation program to suggest an optimal scenario for improvement of facilities considering not only the economic feasibility but also environment performance evaluation.

(4) Establish carbon emissions reduction target(CERT) derived from the Apartment Type Breakdown Structure(ATBS), and set a decision-making process which enables to select a scenario achieving optimum energy efficiency improvements.

(5) Since macroscopic guidelines are required which can serve as a master plan at the national level for the improvement of multi-family housing project, genetic algorithms is used with Apartment Type Breakdown Structure(ATBS) to develop a model which help the budget allocation and decision-making for the improvement of multi-family housing project in the macroscopic dimensions.

2. Necessities

Energy consumption is increasing worldwide, and greenhouse gas emission is likewise increasing. Such a change causes global temperature to increase and triggers other climate changes (e.g. rise in sea levels, desertification, and El Nino). For that reason, an effort for reducing CO_2 emission and energy consumption is globally carried out.

In construction field, this reducing effort is carrying. The amount of CO_2 emission in the maintenance of buildings is charging 25% of the whole CO_2 emission of the South Korea. Especially in residential buildings, the amount of energy consumption is charging 53% of the whole energy consumption in all

buildings.

In this circumstance, various policies for reducing greenhouse gas are rapidly being established and implemented by increasing the energy efficiency of buildings. Moreover, various research and technical development is achieved for application in energy-saving house in the design phase.

However, most of them are limited to newly built buildings, while efforts to reduce CO_2 emission in existing buildings remain limited. Moreover very minimal research on CO_2 emission reduction in existing residential buildings has been done and policy support is largely insufficient and there is no appropriate measures in improvement process.

Therefore, the aim of this study is to develop a maintenance management process for reducing CO_2 emission and energy consumption in Multi-Family Housing project. And the decision supporting manual for decision maker, making a decision for improvement of the facility, will be developed. By using this manual, the amount of CO_2 emission in Multi-Family Housing can be reduced. Furthermore this manual will be a political criteria for maintenance of residential buildings in South Korea.

The specific needs for the study are as follows.

(1) Measures adoptable in the maintenance phase need to be arranged systemic. And special solution will be developed to evaluate various combination scenarios applying in multi-family housing project to saving energy.

(2) To maximize the efficiency of energy saving measures planned to apply buildings, it is needed to make databases according to the various apartment types and suggest a maintenance strategy for those type of buildings.

(3) Reducing energy consumption is effective for cost saving in itself. And considering the international implementation of the CO_2 emission trading system, it will be anticipated to make a lot of economic profit through energy saving.

(4) A demand for remodeling or improvement of obsolete multi-family housing

is increasing gradually. Therefore it is needed not only making the functional supplementation for enhancement of living qualities but also improve energy efficiencies to reduce CO_2 emission in residential buildings.

Ⅲ. Contents and Scope of Research Development

This study was divided into current situation and improvement measures for apartments, establishment of energy saving measure pools adoptable to apartments, development of apartment type breakdown structure, development of an decision support model for improvement of multi-family housing apartments, development of an decision-making process of an optimum improvement scheme from apartment complex targets for improvement, development of an decision support model for the improvement of multi-family housing project of macroscopic point of view, development of optimization model for selecting the optimal scenario of new renewable energy system, and proposing improvements for the system of building energy efficiency, and the research contents and range according to each part are as follows.

1. Current Situation and Improvement Measures for Apartments

Based on extensive interview with expert of LH public corporation in Korea and UR public corporation in Japan, this research had a general idea of the maintenance process of multi-family housing project. And then, this research drew common problems of korean maintenance process and suggested the solution related in those problems. Finally by submitting political proposal to related government organization, we attempted to get an actual effectiveness of the improvement measures for apartment.

2. Energy saving Measure Pools Adoptable to Apartments

This research established energy saving measure pools adoptable to apartments

through the consultation with expert of private enterprises(i.e. CM company, Designer). The energy saving measure pools will be used for the research assignments in second year of this project. Among various kind of energy saving measures, this research selected specific measures that can be adopted to multi-family housing project. Finally we arranged detailed characteristics, strengths, weaknesses and the results of economic feasibility of the energy saving measures.

3. Apartment Type Breakdown Structure(ATBS)

With collected energy consumption databases of electricity, gas, and district heating, this research developed unique classification systems of multi-family housing project(Apartment Type Breakdown Structure; ATBS). To do this, we make use of statistic methodology, Decision Tree, by using a statistic computer program and utilize another classification methodology, Ontology.

4. Decision Support Model for Improvement of Multi-family Housing Apartments

This research developed an decision supporting model integrating various methodologies of Artificial Neural Network, Multiple Regression Analysis, and Genetic Algorithm with Case based Reasoning as the center. This integrated model can be an useful tool supporting final decision for improvement or remodeling business of multi-family housing project, combined with apartment type breakdown structure-ATBS.

5. Decision-making process of an optimum improvement scheme from apartment complex targets for improvement

Through utilizing Apartment Type Breakdown Structure(ATBS) and Advanced CBR models, energy savings target are clearly set and decision-making process for selecting optimum scenario is established which optimizes the effect of

environment and economic point of view of various improvement scheme.

6. Decision Support Model for the improvement of multi-family housing project of macroscopic point of view

Based on the goal of a macro perspective, “The achievement of national goals to reduce greenhouse gas emissions", decision support model for the budget allocation for each apartment complex was developed when implementing the improvement of multi-family housing project.

7. Optimization Model for Selecting the Optimal Scenario of New Renewable Energy System

optimization model for selecting the optimal scenario of photovoltaic(PV) system is developed since PV system is one of the most applicable system among new renewable energy system. Along with energy generation calculation based on the simulation, multi-objective optimization model is developed which considers costs and investment effect, based on Excel VBA (Visual Basic for Application)

8. Proposing improvements for the system of building energy efficiency

Through research and analysis of systems and policies related to energy efficiency of building, problems and solutions of the domestic system are suggested.

Ⅳ. Results of Research Development

This study was divided into current situation and improvement measures for apartments, establishment of energy saving measure pools adoptable to apartments, development of apartment type breakdown structure, development of an decision-making process of an optimum improvement scheme from apartment

complex targets for improvement, development of an decision support model for the improvement of multi-family housing project of macroscopic point of view, development of optimization model for selecting the optimal scenario of new renewable energy system, and proposing improvements for the system of building energy efficiency, and the research contents and range according to each part are as follows.

1. Current situation and improvement measures for apartments

(1) Current situation of maintenance process for apartment in Korea

① Current situation of management of the energy consumption data of LH

Energy consumption data of apartments belong to LH corporation is managed in trust as the form of outsourcing. A continuous collection of energy consumption data is performed by House Management Public Corporation and other private companies. However these collected databases are not available for a criteria to supporting make a decision for improvement or remodeling of multi-family housing project.

② Maintenance process of LH corporation to reduce CO_2 emission

Green Home Project is pushing ahead with Korean governmental policy as a public business for reducing energy consumption. It aims to reduce about 10% of energy consumption in buildings by partially improving the obsolete apartments. However, A criteria for selecting the facilities of improvement is somewhat uncertain and unreasonable(i.e. equal distribution according to a administrational district, apartment complex that has households more than 1,000 has elapsed year more than 15). In addition, because this criteria is not considering energy consumption, the validity of this criteria is questioned from the energy efficiency point of view. Moreover follow-up evaluating process is not defined clearly.

(2) Current situation of maintenance process for apartment in Japan

① Current situation of management of the energy consumption data of UR

Energy consumption data of rental apartments belong to UR corporation is collected and analyzed by UR autonomously. Based on this management system, UR corporation publishes the annual environmental report. In addition, they define the lifespan of equipment and plumbing clearly, and special division performs all related tasks. Nevertheless LH corporation is performing these kind of tasks, UR has a more-detailed management process in comparison to that process of LH corporation. However the same as Korea, these collected databases are not available for a criteria to supporting make a decision for improvement or remodeling of multi-family housing project.

② Maintenance process of UR corporation to reduce CO_2 emission

UR corporation establishes a long-term road map aimed to reduce CO_2 emission under a national level of strategy named “Environment and Energy Power”. And Japan has a goal of realization of zero-energy house by 2020. A system that support initial cost of improvement or remodeling business for energy efficiency is similar to that of Korea. Especially, Japanese government gives a lot of active incentives like eco-point to the main agent of improvement project. UR corporation, Meanwhile, performs continuous researches for reduction CO_2 emission derived the phase of building maintenance by Housing and City Engineering Laboratory. Housing and City Engineering Laboratory has developed a architectural structure system called SI-System. SI-System devide a building into structure section and interior equipment section. In case having necessity of partial repair, it is available to take an economic mending to the broken section needed to repair. However, A criteria for selecting the facilities of improvement is not considering energy consumption alike in Korea.

(3) Solutions of maintenance process deducted from current situation

Based on the maintenance status analysis of LH and UR corporation, the suggestions of this research are given as follows to solve these problems and make a reasonable and efficient process.

First, it is urgent to establish and define a clear criteria for the improvement of multi-family housing project. Especially, a decision standard for improvement project should be based on energy consumption data with high accuracy. Nowadays elapsed year is the only criteria for selection of improvement facilities. However it is not always equivalent between elapsed year and energy efficiency. Therefore, to make a good progress in improvement projects for energy saving, it is necessary to establish a new criteria to select the improvement facilities and to adopt this new criteria to improvement project of obsolete multi-family housing project.

Second, it is necessary to make a selection standard to adopt the improvement project. Improvement Project or business for energy saving and CO_2 emission reduction is under the constraint of initial cost and life cycle cost, so improvement project must be proceeded with the best cost-efficiency items. Therefore, through the analysis of LCC and $LCCO_2$, the optimal item selection criteria and evaluation standard should be established based on accurate energy consumption data.

Finally, it is urgent to realize a long-term road map for CO_2 emission reduction in the level of whole country. And a governmental policy of incentives should be established to make a spontaneous participation of the people. The effect of maintenance process can be maximized with a lot of effort of actual dweller. Therefore, it is essential to make a political support and give practical incentives to motivate people getting the effort for energy saving and CO_2 emission reduction.

2. Energy saving measure pools adoptable to apartments

(1) Active Energy Saving Measures

① Condensing Boiler

② High Efficiency Induction Motor

③ Cogeneration System

④ High Efficiency Transformer

⑤ Hybrid Ventilation System

⑥ Under Floor Air Distribution

⑦ Heat Recovery Ventilation System

⑧ Each Room Controling System

⑨ Automatic Electricity Saving System

⑩ Outdoor Reset Control

⑪ LED Lighting

⑫ Induction Lamp

⑬ T-5 Fluorescent Lamp

⑭ Air Curtain

⑮ Sanitary Fittings for Saving Water

(2) Passive Energy Saving Measures

① Low-E Double Glazing

② Super Insulation Triplex Glazing

③ Vacuum Glazing

④ Green Roof

⑤ Green Wall

⑥ Rainwater Utilizing System

⑦ Wastewater Reusing System

⑧ Heat Reflection Insulator

(3) New Renewable Energy Techniques

① Solar Water Heating System

② Ground Source Heat Pump System

③ Photovoltaic System

④ Sunlighting System

⑤ Building Integrated Photovoltaic (BIPV) System

⑥ Fuel Cell

⑦ Small Wind Turbine

3. Apartment Type Breakdown Structure(ATBS)

(1) Establishment of Database

① Definition of Variables

Definition of input and target variables is necessary for data mining process including decision tree. In this study, the breakdown structure in complex level would be established that applicable items for apartment complex among various factors affecting building energy consumption(e.g. climate, building-related characteristics, user-related characteristics, building service systems and operation, building occupants' behavior and activities, social and economic factors, the required indoor environmental quality) are considered as input variables. Energy consumption per unit area was set as the target variable. Following table shows the selected variables and the type of scale that was used for each variable.

Variables		Type of Scale	Detailed Classification
Input Variables	district	nominal	25 districts in Seoul
	tenure type	nominal	sale/rent/mixed
	corridor type	nominal	stair/corridor/mixed
	heating type	nominal	individual/central/district
	elapsed years	ratio	reference year : 2010
	number of buildings	ratio	
	number of stories	ratio	
	gross area	ratio	unit : ㎡
	number of households	ratio	
	area per households	ratio	
Target Variable	energy consumption per unit area	ratio	electricity : kWh/㎡ gas : ㎥/㎡ district heating : Gcal/㎡

② Data collection and filtering

The project characteristics(input variables) and energy consumption(target variables) data of the multi-family housing complexes located in Seoul were collected.

The project characteristics data was collected via the Apartment Management Information System operated by South Korea's Ministry of Land, Transport, and Maritime Affairs. Energy consumption data was acquired by conducting interviews with, and requesting data from, the department in charge of the Korea Electric Power Corporation, two city gas corporations, and Korea District Heating Corporation. Finally, energy data of 1,771 complexes, 375 complexes, 309 complexes were obtained, respectively.

(2) Apartment Type Breakdown Structure for Complexes in Seoul

① Breakdown Structure by Decision Tree

Energy simulation and data mining methods are generally used in studies dealing with the building energy consumption. Energy simulation takes too much time and effort, even though it serves detailed analysis. On the other hand, decision tree, one of data mining methods, analyzes the input variables' impact on target variable statistically and forms clusters. It has strong points that even layperson can understand its result easily and it isn't too sensitive on outlier.

Therefore, the cases in the database were grouped to form cluster using decision tree.

(3) Energy Consumption Analysis Based on Breakdown Structure

① Electricity

7 leaves were formed by decision tree on electricity. The distribution of electricity consumption was analyzed by Monte Carlo Simulation(MCS) on each cluster(leaf).

As a result of simulation on 1,664 cases, the mean value was 45.88kWh/m^2, standard deviation was 5.90kWh/m^2. Compare to the analysis on whole cases, electricity consumption influenced by apartment characteristics may be analyzed by the MCS on each cluster.

② Gas

7 leaves were formed by decision tree on gas. In MCS on whole cases, the mean value was 10.20m^3/m^2, standard deviation was 1.52m^3/m^2. While, the result in MCS on each cluster was generally smaller than whole cases analysis. There exists the bell-shaped distribution on each cluster.

③ District Heating

5 leaves were formed by decision tree on district heating. In MCS on whole cases, the mean value was 101.34Gcal/m^2, standard deviation was 25.76Gcal/m^2. While, the standard deviation in MCS on each cluster was 19.18(leaf1), 19.06(leaf2), 14.78(leaf3), 21.78(leaf4), 14.43(leaf5). It shows that the standard deviation is smaller than analysis on whole data.

4. Decision Support Model for Improvement of Multi-family Housing Apartments

(1) Retrieval of Similar Cases by CBR

Inductive retrieval and nearest-neighbor retrieval are generally used for retrieving similar cases. Nearest-neighbor retrieval takes too much time in case of heavy database. In this study, the analysis time was shortened by forming breakdown structure with decision tree. That is, the retrieval process was optimized by applying CBR technique combining the strong points of both retrieval methods.

(2) Optimization Process by Genetic Algorithm

CBR produces similar cases based on the case similarity score, and determines the prediction accuracy based on the value of the target variable. However, the previous study showed that the relation between case similarity and prediction accuracy is not always proportional. Therefore, to improve the prediction accuracy by solving such problem, four optimization parameters (MCAS, RAW, TRCRMA, and RCS) were introduced in this study. Such optimization process was realized via GA.

(3) Verification of Model Performance

① Verification by Prediction Accuracy and Standard Deviation

(unit : %)

Type of Model		Electricity		Gas		District Heating	
		Prediction Accuracy	Standard Deviation	Prediction Accuracy	Standard Deviation	Prediction Accuracy	Standard Deviation
No Clustering	MRA	91.94	11.63	91.47	8.89	86.99	13.38
	ANN	92.27	11.87	91.51	7.44	87.30	12.86
	CBR+GA (MCAS, RAW, RCS Applied)	90.00	10.43	90.88	6.64	83.56	11.31
	CBR+GA (MCAS, RAW, RCS, TRCRMA Applied)	91.87	10.47	92.59	5.42		
Clustering by Decision Tree	MRA	92.71	10.62	90.56	8.09	89.39	9.96
	ANN	93.00	9.90	91.02	5.99	90.27	9.37
	CBR+GA (MCAS, RAW, RCS Applied)	92.62	8.01	91.74	5.52		
	CBR+GA (MCAS, RAW, RCS, TRCRMA Applied)	93.51	7.97	93.47	4.90	91.49	6.85

Table shows the prediction accuracy and standard deviation values by model based on various combinations of techniques. Clustering by decision tree was shown to have contributed to the improvement of the model's prediction performance. That is, the prediction accuracy of models which used clustering were shown to have improved more than that of models which did not use

clustering.

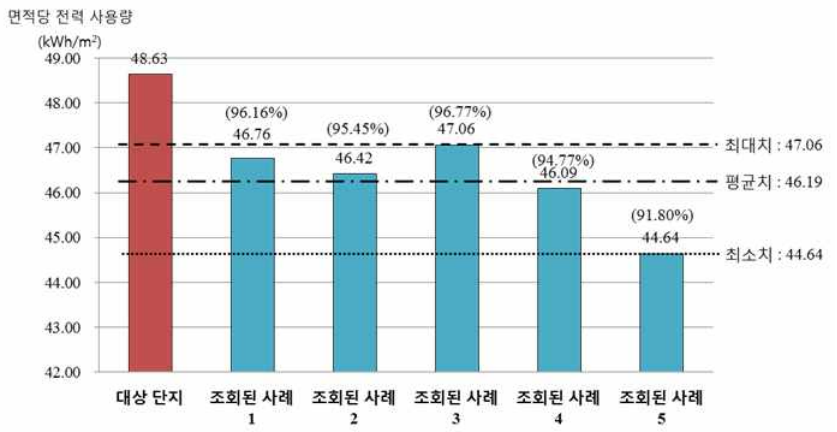
The model that used clustering by decision tree and the four optimization parameters was shown to be superior to the other models. As shown in the shaded part of table, the prediction accuracy of the model is the highest and the standard deviation is the lowest. In other words, it showed the most accurate and stable prediction performance.

Finally, the model combining the ATBS and advanced CBR was proved that it secures the accuracy and stability as a decision support model for maintenance management of multi-family housing.

② Case Study

A case study was conducted to verify the model performance. Following table shows the project characteristics and prediction result of the test case. 5 retrieved cases were selected based on case similarity. The average prediction accuracy was very high (94.99%)

	No.	district	year	area (㎡)	building	story	household	area/hh (㎡)	tenure	corridor	heating	case similarity score	consumption per area (kWh/㎡)	prediction accuracy (%)
test case	110	Nowon	11	26,581	3	19	260	102.23	sale	mixed	individual	-	48.63	-
retrieve 1	120	Nowon	10	29,244	4	18	300	97.48	sale	mixed	individual	0.9765	46.76	96.16
retrieve 2	109	Nowon	11	28,432	2	17	289	98.38	sale	mixed	individual	0.9713	46.42	95.45
retrieve 2	115	Nowon	13	25,090	3	17	259	96.87	sale	mixed	individual	0.9709	47.06	**96.77**
retrieve 4	121	Nowon	11	21,223	2	21	216	98.25	sale	mixed	individual	0.9699	46.09	94.78
retrieve 5	119	Nowon	13	29,765	2	16	290	102.64	sale	mixed	individual	0.9624	44.64	**91.80**
Mean												**0.9702**	**46.19**	**94.99**



The graph shows the electricity consumption per area of test case and retrieved cases. Using such model, the retrieved cases with characteristics similar to those of the test case can be determined. Comparison of the retrieved case with the electricity consumption allows any overuse of the electricity consumption of the test case to be determined. One of the following can then be selected as the CO_2 emission reduction target: (i) maximum electricity consumption; (ii) minimum electricity consumption; or (iii) average electricity consumption. Another standard can be established according to the decision-maker (e.g., the manager of a multi-family housing complex, or the manager of a public-lease housing complex owned by the Korea Land & Housing Corporation), based on the retrieved cases.

5. Decision-making process of an optimum improvement scheme from apartment complex targets for improvement

(1) Establishment of CERT for improving a target multi-family housing complex

① Selection of a standard multi-family housing complex

We selected a standard multi-family housing complex according to the following criteria to obtain a practicality of deducted product and to maximize a ripple effect. i) A multi-family housing complex in Seoul city has the most

amount of CO_2 emission based on unit area ii) A rental multi-family housing complex owned by Korean government iii) A multi-family housing complex whose CO_2 emission in unit area belongs in upper 5%

② Establishment of CERT for a standard multi-family housing complex

It is important to cluster groups that have similar characteristics based on their architectural characteristics and to compare each individuals in his own group for a more objective and accurate decision. Therefore, we established CERT for a standard multi-family housing complex by using the advanced CBR model. The electricity consumption in unit area was set the by 23% of reduction(86.10 kWh/m2), and the gas energy consumption in unit area was set the by 27.9% of reduction(14.32 m3/m2) as CERT.

(2) Construction of an energy saving model

① Pattern analysis of energy consumption

It was shown that the amount of CO_2 emission by electricity consumption is charged as 55.4%, and the amount of CO_2 emission by gas energy consumption is charged as 44.6%. Thus, the amount of CO_2 emission is affected by the two energy sources not by one source. The analysis result of CO_2 emission on each of energy sources is utilized to make decision of energy saving alternative.

② Selection of energy saving alternatives

We selected appliable energy saving alternatives based on the pattern analysis of energy consumption. We selected appliable energy saving alternatives by conducting a heavy literature reviews and a face-to-face talk with experts based on the '30 energy saving measures' that is made in the first year's research. Among these measures, the four measures of double Low-e glazing(6mm-12mm-6mm), LED lightings, zero standby power outlet, and

condensing boiler are selected as the final appliable energy saving measures.

③ Energy saving model for a standard multi-family housing complex

The four energy saving measures are selected to achieve CERT for a standard multi-family housing complex.

Energy use	energy saving measures	Energy saving scenarios														
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15
Heating & cooling	double Low-e glazing(6mm-12 mm-6mm)	O	-	-	-	O	O	O	-	-	-	O	O	O	-	O
Lighting	LED lightings	-	O	-	-	O	-	-	O	O	-	O	O	-	O	O
Home appliances	zero standby power outlet	-	-	O	-	-	O	-	O	-	O	O	-	O	O	O
Heating	condensing boiler	-	-	-	O	-	-	O	-	O	O	-	O	O	O	O

CERT for gas energy consumption(27.9%) is seen to achieve with using the two energy saving measures(double Low-e glazing(6mm-12mm-6mm) and condensing boiler), meanwhile, CERT for electricity consumption(23.0%) is seen to fail. In this reason, to achieve CERT for electricity consumption, it is necessary to make a new alternative. In this research, we attempt to achieve CERT for electricity consumption(23%) by application the photovoltaic system to reduct the amount of electricity consumption.

(3) LCC & $LCCO_2$ analysis on economic and environmental evaluation

The research team consider to apply additional photovoltaic systems to make an improvement of the 15 energy saving scenarios for achievement of electricity CERT(23.0%). Among these various scenarios for improving, it is important to select the most outstanding scenario considering the cost-effectiveness. Therefore, we accomplished LCC & $LCCO_2$ analysis on economic and environmental evaluation.

① Optimal scenario selection based on economic and environmental evaluation

Among the 4 energy saving measures, it shows the most electricity saving effect in the cases of LED lighting or zero standby power outlet. Meanwhile, it

shows noticeable energy saving effects in the cases of double Low-e glazing(6mm-12mm-6mm) or condensing boiler.

② Scenarios to achieve CERT and draw an optimal improving scenario based on analysis of economic and environmental evaluation

It is analyzed to product 146,026kWh of electricity on the years by applying photovoltaic system in the whole rooftop of the standard multi-family housing complex(1,245m2) that substitute the 15.9% of all electricity consumption (919,431kWh). Through the LCC & $LCCO_2$ analysis on economic and environmental evaluation, it turned out the only scenario that achieves the CERT for electricity and gas energy is #12(with photovoltaic system). In addition, because this scenario's NPV_{40}(US$ 1,061,410) is No. 2 and SIR_{40}(2.93) is No. 3, it turned out that the scenario #12(with photovoltaic system) is outstanding in the manner of NPV_{40} and SIR_{40}. Therefore, #12(with photovoltaic system) is decided as an optimal improving scenario to achieve CERT of the standard multi-family housing complex.

Scenario	Portion of photovoltaic system in CERT	Initial cost (KRW)	repair and replacement cost (KRW)	Life cycle energy cost (KRW)	Korean certified emission reduction (KRW)	NPV40		SIR40	
						cost (KRW)	Rank	value	Rank
Scen. #5 (Low-e double glazing & LED) + PV	**15.7%**	339,796,304	145,317,624	1,316,300,486	44,452,018	**875,638,577**	6	**2.81**	**5**
Scen. #11 (Low-e double glazing & LED & outlet) + PV	1.8%	199,291,165	241,911,102	1,288,525,571	31,768,217	879,091,521	5	2.99	2
Scen. #12 (Low-e double glazing & LED & condensing boiler) + PV	**15.7%**	399,646,464	226,004,296	1,778,296,918	53,115,154	**1,205,761,313**	**2**	**2.93**	**3**
Scen. #13 (Low-e double glazing & outlet & condensing boiler) + PV	9.1%	269,929,378	372,875,179	1,762,675,341	46,740,895	1,166,611,679	3	2.81	4
Scen. #14 (LED & outlet & condensing boiler) + PV	1.7%	219,863,680	304,489,306	1,408,615,594	33,942,314	918,204,923	4	2.75	6
Scen. #15 (Low-e double glazing & LED & outlet & condensing boiler) + PV	**1.8%**	259,141,325	322,597,774	1,827,893,827	41,882,025	**1,288,036,753**	**1**	**3.21**	**1**

6. Decision Support Model for the improvement of multi-family housing project of macroscopic point of view

(1) Selection of representative complex using apartment type breakdown structure(ATBS)

① Selection of standard multi-family housing complex

In order to set the direction for investment in multi-family housing improvement projects, we applied a variety of reports and evaluated the effectiveness; however it is impossible to perform the analysis targeting the whole multi-family housing complex. Thus, we selected a specific multi-family housing complex to analysis the case of seven communities which are made up the classification system developed through first year research.

② Make an energy model of standard multi-family housing complex

When establishing an energy model of the complex selected as representative, we analyzed the control variable only depending on the area of household. Standard energy model of each complex were made by entering these data. As in section 4, standard energy model were made by using DesignBuilder v3.0, and we validated the validity through CV(RMSE) values.

(2) Energy saving scenario analysis through energy simulation

① Composition of energy saving scenario

When selecting a single complex improvement plan, take only three plan(power-down outlet, LED lighting and solar power) which are directly related to power consumption. Through a combination of these plan, we established seven kinds energy saving scenario.

② Environmental and economic assessment for improvement scenarios of each complex

1) Environmental Assessment

In the cases of improving energy efficiency through environment improvement projects in the apartments of environmental aspects, energy usage, area per household, and etc. should be considered when selecting the optimal scenario. In this case, scenario # 3 (LED Application) appeared to be the best scenario among energy saving plan. From environmental perspective, scenario # 7 (off standby power outlet, LED, PV system) appeared to be the best scenario which applied two energy-saving plans and PV system.

2) Economic assessment

National policy project such as residential environment improvement should consider not only the energy savings, but also a rational allocation of limited budget. Therefore, life cycle cost perspective index such as net present value(NPV), saving to investment ratio(SIR) and break-even point(BEP) should be considered along with energy savings and initial investment costs.

scenarios # 7 which applied off standby power outlet, LED lighting and PV system to the basic energy model appeared to have positive NPV value, greater SIR_{40} value than 1, BEP value within 40 years. When analyzed in terms of area per household, scenario # 1 has the characteristics of all three scenarios, scenario # 7 (off standby power outlet), scenario # 2 (LED lighting), and scenario # 4 (PV system), energy consumption is in inverse proportion to the area per household. In other words, the smaller the area per household, the bigger the potential of energy-saving effect by applying scenario # 7. In addition, even though same amount of energy is produced by PV system, energy-saving effect is greater where more energy consumption occurs. Therefore, SIR(2.95) of S complex appeared to be better than that(1.68) of G complex.

(3) Derivation of optimal investment scenario for the achievement of National Carbon Emission Reduction Target(CERT)

① Analysis of energy usage trend

The Korean government aims to meet Carbon Emission Reduction Target(CERT) of 30% relative to a Business-As-Usual(BAU) baseline by 2020, and Carbon Emission Reduction Target(CERT) of 26.9% for buildings. These target values are relative values. However, to establish specific action plans for carbon emission reduction in present point(2012), absolute values should be identified in future point(2020). energy-saving effect of the cases that applies specific action plans(energy-saving plans and new renewable energy system scenarios) for carbon emission reduction in present point(2012) can be analyzed and energy consumption trend will be re-analyzed as a next step.

② Decision-making system for selecting optimal mproved scenario

In this study, three objective parameters(initial investment cost minimization, NPV maximization, SIR maximization) were considered for the optimization. Therefore, a total of 6,291,456 (2,097,152 × 3 = 6,291,456) scenarios should be analyzed as a result. Thus, systemization of optimization process is necessary and decision-support system was developed to select the optimal scenario by introducing the concept of genetic algorithms.

③ decision-making for achievement of National Carbon Emission Reduction Target(CERT) in improvement of multi-family housing

The Korean government aims to meet Carbon Emission Reduction Target(CERT) of 26.9% for buildings, relative to a Business-As-Usual(BAU) baseline by 2020. Optimal scenario to achieve Carbon Emission Reduction Target(CERT) was derived by applying various improvement scenarios for carbon emission reduction in present point(2012). It is possible to suggest investment scenario which achieved Carbon Emission Reduction Target(CERT) of 26.9% for buildings by setting three objective parameters(initial investment cost minimization, NPV maximization, SIR maximization).

7. Optimization Model for Selecting the Optimal Scenario of New Renewable Energy System

(1) Basic data survey

Standard multi-family housing was selected as a target facilitiy which PV system will be applied, and information of target facility was collected. In addition, through market research on PV system, detailed information of solar panels and inverters were gathered. This information are used as basic data for generating scenarios of the PV system adoption.

(2) Multi-objective optimization method

① Pareto front and the optimal solution set

When the objective function of A, B, and C is the initial investment, the breakeven point (BEP), energy production, respectively, the closer the objective function of A(initial investment) and B(BEP) gets to the minimum value, and the closer the objective function of C(energy production benefits) gets to the maximum value, it is determined to be optimized.

(3) Optimization model for selecting the optimal scenario of photovoltaic system

① PV system optimization model framework

The research team suggests the optimized design model for photovoltaic system that analyze all possible scenario in the process of introducing the photovoltaic system. This model utilize 'RETScreen' for producing the input values of new & renewable energy simulation. As a result, this model calculate the amount of electricity production. The calculation results are utilized as input values for LCC and LCCO2 analysis, it can be compute the indicators like Net Present Value(NPV), Saving to Investment Ratio(SIR), and Break Even Point(BEP). In

addition, the results are utilized as input values for model, and finally the optimized design alternative is produced as satisfying the criteria of the fitness function. In this research, Genetic algorithm is used to develop a integrated design model for a series of these processes.

② Optimal variable of GA(Genetic Algorithm)

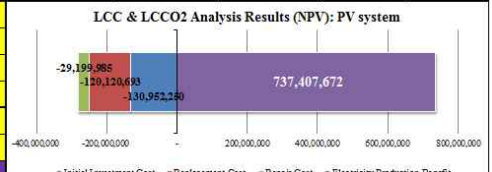
- Target variable : Initial cost, electricity output benefit, net present value(NPV), saving to investment ratio(SIR), breaking even point(BEP).
- Control variable : Type of panel(ToP), Type of inverter(ToI), Number of panel(NoP), Slope of panel(SoP), optimal objective function1(EPB) weighting1, optimal objective function2(NPV) weighting2, optimal objective3(SIR) weighting3.
- Constraint condition: Budget limit, applicable area limit, target electricity output limit

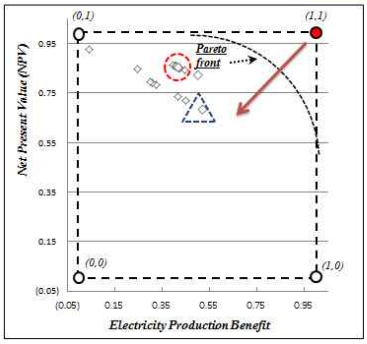
③ Optimal design model of Solar radiation system

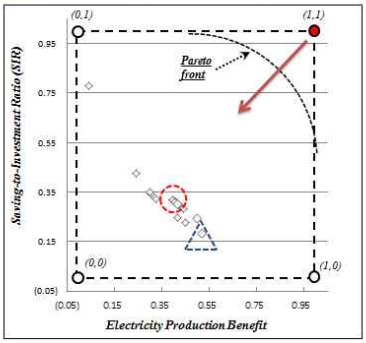
Renewable energy simulation program 'RETScreen', genetic algorithm tool 'Evolver', LCC and $LCCO_2$ analysis tools, such as multi-objective optimization process program has been applied in combination. Thus, by integrating these processes, the usability, reliability, and precision for the proposed model in this study should be improved. To this end, a program based on EXCEL VBA(Visual Basic for Application)were used.

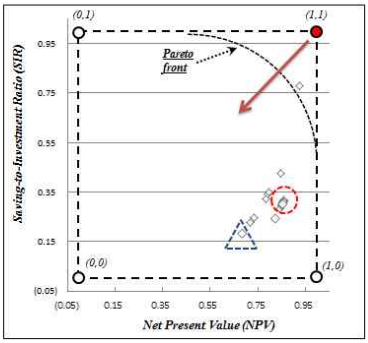
At Start of Optimization | *Before Recalculation of Each Trial* | *After Recalculation of Each Trial* | *At End of Optimization*

Genetic Algorithm	Multi-Objective Optimization Model for the Optimal Scenario of PV system								
	Classification	Value	Note		Zmax	Zmin	Standardized Value	Variable Selection	
	Optimization Goal	0.5319	Minimization	Weight					
Target Value	☐ Initial Investment Cost	130,952,280	Minimization	1.00	249,703,740	60,646,658	0.3719	0	FALSE
	☑ Electricity Production Benefit	737,407,672	Maximization	1.00	924,434,539	609,453,701	0.4062	1	TRUE
	☑ Net Present Value (NPV)	457,334,745	Maximization	1.00	479,764,622	320,425,049	0.8580	1	TRUE
	☑ Saving-to-Investment Ratio (SIR)	2.651	Maximization	1.00	4.696	1.703	0.3101	1	TRUE
	☐ Break-Even-Point (BEP)	7	Minimization	1.00	11	4	0.4286	0	FALSE
Adjustable Parameters	ToP: Type of Panel	24	1	49					
	ToI: Type of Inverter	6	1	19					
	SoP: Slope of Panel (°)	33	20	60					
	NoP: the Number of Panels	407	1	1000					
Constraints	Construction Cost (won)	261,904,500	Maximum Budget	400,000,000					
	Applicable Area (M2)	1,064	Maximum Area	1,245 m²					
	Electricity Production (kWh)	95,870	Target Production	10%					
				87,395					









(4) Case study for model validation

① Result of optimization

Through the 3 graphs, the red marked No. 1 scenario is more closer to the coordinate compared with the no. 18 scenario.

Rank	ToP	TeI	SoP	NoP	Fitness function	Optimization objective function 1	Optimization objective function 2	Optimization objective function 3
1	24	6	33	407	0.5319	0.4062	0.8580	0.3101
2	24	6	33	408	0.5319	0.4081	0.8573	0.3087
3	24	6	32	410	0.5319	0.4118	0.8560	0.3058
4	24	6	32	402	0.5319	0.3969	0.8612	0.3175
5	24	6	32	405	0.5319	0.4025	0.8592	0.3131
6	22	6	32	392	0.5319	0.4221	0.8524	0.2979
7	24	6	32	417	0.5319	0.4248	0.8514	0.2958
8	24	6	31	413	0.5320	0.4172	0.8538	0.3014
9	23	6	29	434	0.5326	0.4434	0.8428	0.2813
10	24	6	29	458	0.5334	0.5000	0.8229	0.2435
11	12	19	24	289	0.5561	0.2435	0.8464	0.4241
12	28	12	31	351	0.5649	0.2989	0.7968	0.3486
13	27	13	31	360	0.5651	0.3061	0.7932	0.3414
14	27	13	31	370	0.5657	0.3243	0.7840	0.3240
15	29	13	30	409	0.5700	0.4165	0.7370	0.2484
16	47	14	29	190	0.5701	0.0408	0.9255	0.7777
17	28	13	30	433	0.5719	0.4501	0.7201	0.2252
18	30	14	29	458	0.5770	0.5198	0.6839	0.1825

② Result of LCC & $LCCO_2$ analysis

In case of applying the No. 1 optimized scenario, the life cycle benefit is 737,407,672KRW, NPV40 is 457,134,745KRW, and SIR40 is 2.631. All of 3 kinds of optimization objective function shows the remarkable result. In addition, because the BEP occurs in 7th year, the additional initial cost can be withdrawable in 7 years.

8. Green Building Policies and Incentives Plan

(1) Domestic and foreign green building policy

① Green building policy in Korea

There are some policies of Korea; (i) green building certification system, (ii)

Housing Performance Grade Indication System, (iii) building energy efficiency rating system, (iv) the construction of environmentally friendly housing standards and performance. However, legal force is limited to public buildings. In addition, it is difficult to find that institutions and policies relating to energy consumption on maintenance phase. Because, energy efficiency improvement projects have not expanded to private buildings.

② Foreign Green building policy

In developed countries including the EU, concerning energy saving and a wide range and variety of incentives provides motivation for energy performance improvement projects than Korea. EU countries provide incentives as follows:

- Subsidies for energy performance improvements construction
- Energy efficiency cuts the price of the product
- The tax savings if conducting energy performance improvements construction
- Low-interest loans if conducting energy performance improvements construction
- Tax differential pricing according to grade of House EPC (Energy Performance Certification)

(2) Improvement of national green policies

First, eco-friendly policies and institutions need to integrate. The current policy of environment-friendly because of the large number of domestic, rather than to the residents to pursue energy-saving confusion and a loss of time and money is the focus of the state. Therefore, in order to overcome this, a system organized specifically by integration, it is nevessary to create a single eco-friendly standards.

Second, the incentive application range and object need to be extended. Building standards applicable mitigation and after reviewing the details of ways to expand, our situation would be necessary to provide appropriate standards.

Third, energy-saving building support for the improvement profect to increase the size of the subsidy, in the case of buildings made to improve performance that occurs after the tax as a multi-demensional reduction tax benefits are considered to be essential.

Ⅴ. Utilization Plan of R&D Results

In this study, analysis on current situation and improvement measures for apartments, establishment of energy saving measure pools adoptable to apartments, development of apartment type breakdown structure, development of an decision support model for improvement of multi-family housing apartments, development of an decision-making process of an optimum improvement scheme from apartment complex targets for improvement, development of an decision support model for the improvement of multi-family housing project of macroscopic point of view, development of optimization model for selecting the optimal scenario of new renewable energy system, and proposing improvements for the system of building energy efficiency were conducted. The plan for practical use of the result are as follows.

1. Retrieval Model for Similar Complex Based on Energy Consumption

(1) Applicable Field and Plan

The advanced CBR model that compare and evaluate the energy consumption can be utilized as (i) decision support model for improvement project of apartment complex (ii) prediction model of energy consumption based on project characteristics.

(2) Additional Research

Considering the user-friendliness and serviceability, it is required to redevelop the interface of excel model and convert to web-based system or smart device based application.

(3) Commercialization Plan

The decision support model for improvement project of apartment complex should be accompanied with some supporting policies in the national level. On the other hand, the prediction model of energy consumption based on project characteristics is possible to be commercialized and transferred reflecting demands of private enterprises(e.g. CM company, design firm, construction company).

2. Integrated Optimization Model Based on LCC and LCCO2 Analysis

(1) Applicable Field and Plan

Following 3 models would be included the integrated model.

(i) optimal energy saving scenario selection model based on LCC & $LCCO_2$

(ii) optimization model for renewable energy based on LCC & $LCCO_2$

(iii) budget optimization model for improvement project based on LCC & $LCCO_2$

Above 3 models available after the improvement is already fixed to go will be completely developed during the second research year. In addition, the integrated model including all of these 3 models will be developed either.

(2) Additional Research

Considering the user-friendliness and serviceability, it is required to redevelop the interface of excel model and convert to web-based system or smart device based application.

(3) Commercialization Plan

The optimal energy saving scenario selection model based on LCC & $LCCO_2$ is already developed and a patent has been applied. Additional research is being conducted by a service contract with a private enterprise(CM company). optimization model for renewable energy based on LCC & $LCCO_2$ and the budget optimization model for improvement project based on LCC & $LCCO_2$ are also possible to be commercialized and transferred with relation to the optimal energy saving scenario selection model and reflection of demands of private enterprises(e.g. CM company, design firm, construction company).

CONTENTS

Chapter 1. Introduction ····· 1

1.1 Objectives ····· 1

1.2 Necessities ····· 7

1.3 Scope ····· 9

Chapter 2. State of domestic and foreign technical development ····· 12

2.1 State of domestic technical development ····· 12

2.2 State of foreign technical development ····· 16

2.3 State of maintenance and management of multi-family housing ····· 18

2.4 Energy saving measure pools adoptable to apartments ····· 29

2.5 Status of research result ····· 45

Chapter 3. Contents and results of R&D ····· 47

3.1 Research methodology and process ····· 47

3.2 Current situation and improvement measures for apartments ····· 48

3.3 Decision Support Model for Maintenance Management of Apartments ····· 59

3.4 Decision-making process of the optimal energy efficiency improvement scenario ····· 71

3.5 Decision-making model for multi-family housing improvement ····· 96

3.6 Multi-objective optimization model for ····· 125

3.7 Environment-friendly building policy and incentive plan ····· 146

Chapter 4. Degree of R&D achievement and contribution to industries ···· 156

4.1 Degree of R&D accomplishment ····· 156

4.2 Contribution to industries ····· 158

Chapter 5. Utilization plan of R&D results ····· 161

5.1 Utilization of annual research plan ····· 161

5.2 Utilization plan of future work ····· 163

5.3 Utilization plan to industries ····· 165

Chapter 6. Collected foreign science technology information during the period of R&D ····· 167
6.1 Maintenance and management state of UR ····· 167
6.2 Policy of external building energy performance ····· 173

Chapter 7. Referene ····· 180

목 차

제1장 연구개발과제의 개요 ····· 1

제1절 연구개발 목적 ····· 1

1. 연구의 배경 및 목적 ····· 1
2. 연구개발 최종목표 ····· 3
3. 최종목표의 성격 및 설정 근거 ····· 4
4. 연차별 연구목표 및 주요 연구내용 ····· 5

제2절 연구개발 필요성 ····· 7

1. 연구개발 개요 ····· 7
2. 연구개발의 중요성 ····· 7

가. 기술적 측면 ····· 7

나. 경제·산업적 측면 ····· 8

다. 사회·문화적 측면 ····· 8

제3절 연구개발 범위 ····· 9

1. 공동주택 유지관리 현황 분석 및 개선 방향 제시 ····· 9
2. 공동주택 에너지 절감 방안 POOL 구축 ····· 9
3. 공동주택 유형분류체계 구축 ····· 10
4. 공동주택 단지 개선여부 의사결정 지원모델 개발 ····· 10
5. 개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스 구축 ····· 10
6. 거시적 관점의 공동주택 개선사업 의사결정 모델 개발 ····· 11
7. 신재생에너지 시스템 최적설계 모델 개발 ····· 11
8. 건물 에너지효율 관련 제도 개선방향 제시 ····· 11

제2장 국내외 기술개발 현황 ····· 12

제1절 국내 기술개발현황 ····· 12

1. 시장현황 ····· 12
2. 시장예측 ····· 12
3. 특허 동향 ····· 13

4. 정부 지원정책 현황 ····· 14
제2절 국외 기술개발현황 ····· 16
1. 기존 건축물에 대한 국외 시장 현황 ····· 16
2. 주요국가의 시장규모 ····· 16
3. 국외의 저에너지 친환경 건축물 인증 및 지원 현황 ····· 17
제3절 공동주택 유지관리 현황 및 개선 방향 ····· 18
1. 유지관리 프로세스 현황 분석의 목적 ····· 18
2. 분석의 범위 및 방법 ····· 18
3. 국내의 공동주택 유지관리 현황 ····· 19
가. LH공사의 유지관리 조직 및 프로세스 ····· 19
나. LH공사의 에너지 사용량 관리 및 활용 현황 ····· 21
다. LH 공사의 온실가스 감축을 위한 유지관리 프로세스 ····· 21
4. 일본의 공동주택 유지관리 현황 ····· 22
가. UR도시기구의 유지관리 조직 및 프로세스 ····· 22
나. UR도시기구의 에너지 사용량 관리 및 활용 현황 ····· 26
다. UR도시기구의 온실가스 감축을 위한 유지관리 프로세스 ····· 26
5. 국내외 유지관리 현황 분석을 통한 문제점 및 개선안 ····· 27
제4절 공동주택 에너지 절감 방안 POOL ····· 29
1. 개요 ····· 29
2. Active Energy Saving Measures ····· 29
3. Passive Energy Saving Measures ····· 36
4. New Renewable Energy Techniques ····· 41
제5절 연구결과가 차지하는 위치 ····· 45

제3장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 47

제1절 연구 수행 방법 및 절차 ····· 47
제2절 공동주택 유형분류체계 구축 ····· 48
1. 공동주택 유형분류체계의 필요성 ····· 48
2. 서울시 내 공동주택 단지 데이터베이스 구축 ····· 49
가. 변수 정의 ····· 49

나. 데이터 수집 및 선별 ····· 50
3. 서울시 내 공동주택 단지 유형분류체계 구축 ····· 51
가. 의사결정나무를 활용한 분류체계 ····· 51
나. 온톨로지를 활용한 분류체계 ····· 59
4. 분류체계에 따른 공동주택 에너지 사용량 분석 ····· 62
가. 개요 ····· 62
나. 전력 사용량 분석 ····· 63
다. 가스에너지 사용량 분석 ····· 65
라. 지역난방 에너지 사용량 분석 ····· 67
제3절 공동주택 단지 개선여부 의사결정 지원모델 ····· 69
1. 개요 ····· 69
2. 사례기반추론을 통한 유사사례 선택 ····· 69
3. 유전자 알고리즘을 통한 모델 최적화 프로세스 ····· 72
가. 유전자 알고리즘 개요 ····· 72
나. 사례기반추론 예측정확도 향상을 위한 최적화 매개변수 ····· 73
4. 구축된 의사결정 지원모델 성능 검증 ····· 76
가. 최종 예측정확도 및 표준편차를 통한 모델 성능 검증 ····· 76
나. 사례 분석을 통한 모델 성능 검증 ····· 78
제4절 개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스 ····· 81
1. 개요 ····· 81
2. 개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스 ····· 81
3. 대상 단지 선정 및 탄소배출량 감축목표(CERT) 수립 ····· 83
가. 표준 공동주택 단지 선정 ····· 83
나. 표준 공동주택 단지에 대한 탄소배출량 감축목표(CERT) 수립 ····· 85
4. 기본 에너지 모델 구축 ····· 87
5. 에너지 절감 모델 구축 ····· 90
가. 에너지 사용 양상 분석 ····· 90
나. 에너지 절감 방안 선정 ····· 91
다. 표준 공동주택 단지의 에너지 절감 모델 ····· 92
6. LCC 및 $LCCO_2$ 분석을 통한 경제성 및 환경성 평가 ····· 95
가. LCC 및 $LCCO_2$ 분석을 위한 핵심 가정사항 ····· 95

나. LCC 및 $LCCO_2$ 분석을 위한 2가지 분석 지표 ····· 97
다. 에너지 절감 시나리오별 경제성 및 환경성 분석을 통한 최적 시나리오 선정 ····· 99
제5절 거시적 관점의 공동주택 개선사업 의사결정 모델 ····· 106
1. 거시적 관점에서의 공동주택 개선사업 의사결정 도구의 필요성 ····· 106
2. 공동주택 개선사업 투자방향 설정을 위한 의사결정 모델 ····· 106
가. 개요 ····· 106
나. 유형분류체계를 이용한 유형별 대표단지 선정 ····· 108
다. 에너지 시뮬레이션을 활용한 단지별 에너지 절감 시나리오 분석 ···· 112
라. 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 최적 투자안 도출 ····· 123
제6절 신재생에너지 시스템 최적설계 모델 ····· 135
1. 개요 ····· 135
2. 기초 자료 조사 ····· 137
3. 다목적 최적화 기법 ····· 139
가. Pareto front 개념에 입각한 최적해 집합 ····· 139
나. 세부 내용 및 적합도 함수식 ····· 141
4. 태양광 시스템 최적설계 모델 개발 ····· 146
가. 태양광 시스템 최적설계 모델의 프레임워크 ····· 146
나. 유전자 알고리즘의 최적화 매개변수 ····· 148
다. 태양광 시스템 최적설계 모델의 시스템화 ····· 149
5. 사례분석을 통한 모델 검증 ····· 151
가. 가정사항 ····· 151
나. 상관관계(Trade-off) 분석 ····· 152
다. 최적화 결과 ····· 152
라. LCC 및 $LCCO_2$ 분석 결과 ····· 154
6. 소결 ····· 155
제7절 친환경 건축정책 및 인센티브 방안 ····· 156
1. 개요 ····· 156
2. 친환경 건축정책의 특징 ····· 156
3. 국내의 친환경 건축정책 ····· 157
가. 건물 에너지 성능 개선을 위한 국내 친환경 정책 현황 ····· 157
나. 국내 친환경 정책의 문제점 ····· 160

4. 국외의 친환경 정책 ····· 161
가. 건축물 에너지 성능 개선을 위한 정책적 인센티브의 의의 ····· 161
나. 국외의 에너지 성능 개선에 대한 인센티브 정책 ····· 162
5. 국내 친환경 정책의 개선 방안 ····· 164

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 166

제1절 연구개발목표 달성도 ····· 166

제2절 관련분야에의 기여도 ····· 168

1. 공동주택 특성 및 에너지 사용량 DB 구축 ····· 168
2. 공동주택 유지관리 프로세스 개선방향 제시 ····· 168
3. 공동주택 에너지 절감 방안 POOL ····· 168
4. 공동주택 유형분류체계 구축 및 개선여부 의사결정 지원모델 개발 169
5. 개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스 구축 ····· 169
6. 거시적 관점의 공동주택 개선사업 의사결정 모델 ····· 169
7. 신재생에너지 시스템 최적설계 모델 ····· 170
8. 건물 에너지효율 관련 제도 개선방향 제시 ····· 170

제5장 연구개발결과의 활용계획 ····· 171

제1절 후속연구 활용계획 ····· 171

1. 공동주택 이외의 기타 시설물 유지관리 프로세스 및 매뉴얼 개발 … 171
2. 신재생에너지 최적설계 모델의 다각화 ····· 171
3. 공동주택 개선단계 의사결정 통합 패키지 개발 ····· 171
4. 도시 및 국가차원의 건축물 온실가스 통합관리 시스템 개발 ····· 172

제2절 기업화 추진방안 ····· 173

1. 기업화, 기술이전 계획 ····· 173
2. 연구결과의 기업 활용방안 ····· 173

제3절 기타 활용계획 ····· 175

1. 연구성과 실용화 및 사업화 계획 ····· 175
2. 연구성과 활용 및 관리 전략 ····· 175

3. 정부 정책과의 연계방안 ····· 176

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 177

제1절 일본 도시재생기구의 유지관리 현황정보 수집 ····· 177

1. 요코하마 UR 본사 방문 ····· 177
2. Urbanics Japan 방문 ····· 179
3. UR 산하 도시 주택 기술연구소 방문 ····· 181

제2절 국외 건물에너지 성능 관련 제도 ····· 183

제7장 참고문헌 ····· 190

표 차 례

<표 1-1-01> 최종목표의 성격 및 설정 근거 ····· 4
<표 1-1-02> 연구 목표 및 주요 연구내용 ····· 5

<표 2-1-01> 국내 건축물 유지관리 시스템 관련 특허 동향 ····· 13
<표 2-1-02> 관련법령, 정부 정책 및 담당기관 ····· 15
<표 2-1-03> 정부지원 정책사업 종류와 현황 ····· 15
<표 2-3-01> 공동주택 시설개선 및 그린홈화 사업 진행 현황 ····· 21
<표 2-3-02> 그린홈화 사업에 적용된 에너지 절감 아이템 ····· 22
<표 2-3-03> LH공사와 UR도시기구의 공동주택 유지관리 현황 비교 ····· 27

<표 3-2-01> 입력변수 및 목표변수 정의 ····· 50
<표 3-2-02> 전력 사용량 기반 의사결정나무의 leaf별 특성 ····· 54
<표 3-2-03> 가스 사용량 기반 의사결정나무의 leaf별 특성 ····· 56
<표 3-2-04> 지역난방 에너지 사용량 기반 의사결정나무의 leaf별 특성 ····· 58
<표 3-2-05> 입력변수 및 가스에너지 사용량의 Pearson 상관분석 결과 ····· 60
<표 3-2-06> 전력 사용량 MCS 결과 ····· 64
<표 3-2-07> 가스에너지 사용량 MCS 결과 ····· 66
<표 3-2-08> 지역난방 에너지 사용량 MCS 결과 ····· 68
<표 3-3-01> 방법론별 예측정확도 및 표준편차 ····· 76
<표 3-3-02> 대상 단지 및 모델을 통해 조회된 사례 단지의 특성 ····· 79
<표 3-3-03> 3가지 기준 수립에 따른 전력 절감 및 CO_2 감축 효과 ····· 80
<표 3-4-01> 지역별 가정부문 에너지 사용량 및 이산화탄소 배출량 (2010년) ····· 84
<표 3-4-02> 표준 공동주택 단지의 세부 정보 ····· 85
<표 3-4-03> 전력 사용량 기반 군집 분류 기준 ····· 86
<표 3-4-04> 가스 사용량 기반 군집 분류 기준 ····· 86
<표 3-4-05> S 단지 전력 사용량에 대한 탄소배출량 감축목표(CERT) ····· 87
<표 3-4-06> S 단지 가스 사용량에 대한 탄소배출량 감축목표(CERT) ····· 87
<표 3-4-07> 기본 에너지 모델 구축에 활용한 세대별 가전제품 사용 데이터 ····· 89
<표 3-4-08> CV(RMSE) of basic-energy-model by energy source ····· 90
<표 3-4-09> 적용가능 에너지 절감 방안들의 에너지 절감 및 이산화탄소 감축 효과 ····· 92
<표 3-4-10> 4개 에너지 절감 방안의 조합을 통한 15개 에너지 절감 시나리오 ····· 93
<표 3-4-11> 태양광 발전 시스템 사양 ····· 94
<표 3-4-12> LCC 및 LCCO2 분석을 위한 핵심 가정사항 ····· 96
<표 3-4-13> 에너지 절감 방안의 초기투자비용 및 수선교체주기 ····· 97
<표 3-4-14> 15가지 에너지 절감 시나리오의 에너지 절감 및 이산화탄소 감축 효과 ····· 99
<표 3-4-15> 전력 CERT 달성을 위한 에너지 절감 시나리오와 PV의 조합 ····· 102
<표 3-4-16> 15가지 에너지 절감 시나리오의 경제성 및 환경성 분석 지표 ····· 104

<표 3-4-17> 에너지 절감 시나리오와 태양광 발전 시스템의 조합을 통한 시나리오의 경제성 및 환경성 분석 지표 ····· 105
<표 3-5-01> 군집별 대표 단지들의 주요 특성 ····· 109
<표 3-5-02> 단지별 전력 및 조명 밀도 ····· 110
<표 3-5-03> 에너지 절감 시나리오 구성 ····· 113
<표 3-5-04> S 단지 기존안 및 개선시나리오별 에너지 사용 양상 ····· 114
<표 3-5-05> B 단지 기존안 및 개선시나리오별 에너지 사용 양상 ····· 114
<표 3-5-06> C 단지 기존안 및 개선시나리오별 에너지 사용 양상 ····· 114
<표 3-5-07> D 단지 기존안 및 개선시나리오별 에너지 사용 양상 ····· 115
<표 3-5-08> E 단지 기존안 및 개선시나리오별 에너지 사용 양상 ····· 115
<표 3-5-09> F 단지 기존안 및 개선시나리오별 에너지 사용 양상 ····· 115
<표 3-5-10> G 단지 기존안 및 개선시나리오별 에너지 사용 양상 ····· 116
<표 3-5-11> S 단지 개선시나리오의 경제성 분석 ····· 119
<표 3-5-12> B 단지 개선시나리오의 경제성 분석 ····· 120
<표 3-5-13> C 단지 개선시나리오의 경제성 분석 ····· 120
<표 3-5-14> D 단지 개선시나리오의 경제성 분석 ····· 120
<표 3-5-15> E 단지 개선시나리오의 경제성 분석 ····· 120
<표 3-5-16> F 단지 개선시나리오의 경제성 분석 ····· 121
<표 3-5-17> G 단지 개선시나리오의 경제성 분석 ····· 121
<표 3-5-18> 7개 대표단지의 전력 사용량 데이터 및 2020년 추정치(BAU) ····· 128
<표 3-5-19> 초기투자비용 최소화를 위한 최적 투자안 선정 결과 ····· 129
<표 3-5-20> NPV 최대화를 위한 최적 투자안 선정 결과 ····· 130
<표 3-5-21> SIR 최대화를 위한 최적 투자안 선정 결과 ····· 132
<표 3-5-22> '초기투자비용 최소화'시의 상위 5개 투자안 ····· 134
<표 3-5-23> 'NPV 최대화'시의 상위 5개 투자안 ····· 134
<표 3-5-24> 'SIR 최대화'시의 상위 5개 투자안 ····· 134
<표 3-6-01> 에너지원별 주택 보급실적 ····· 135
<표 3-6-02> 태양광 패널 프로필 ····· 138
<표 3-6-03> 태양광 인버터 프로필 ····· 139
<표 3-6-04> 최적화 결과 ····· 154
<표 3-6-05> LCC 및 $LCCO_2$ 분석 결과 ····· 155
<표 3-7-01> 국내의 건축물 관련 친환경 정책 ····· 158
<표 3-7-02> 유럽 주요국가의 건물 에너지 성능 개선 관련 인센티브 정책 ····· 163
<표 4-1-01> 1차년도 연구개발목표 달성도 ····· 166
<표 4-1-02> 1차년도 연구개발 수행 진도율 ····· 166
<표 4-1-03> 2차년도 연구개발목표 달성도 ····· 167
<표 4-1-04> 2차년도 연구개발 수행 진도율 ····· 167
<표 5-2-01> 참여기업별 관심영역 및 연계방안 ····· 174
<표 6-1-01> 일본 UR 방문 일정 ····· 177
<표 6-2-01> 국외의 건물 에너지 성능 개선 관련 인센티브 제도 ····· 183

그 림 차 례

[그림 1-1-01] 건축물 사용과정에서의 CO_2 배출량 ····· 1
[그림 1-1-02] 준공 후 15년 이상 경과 아파트의 누적 분포 ····· 2
[그림 1-1-03] 연구개발의 최종목표 ····· 3
[그림 1-1-04] 연차별 연구개발 계획 ····· 6

[그림 2-2-01] 해외의 친환경 건축물 인증제도 ····· 17
[그림 2-2-02] 해외의 건축물 에너지 효율 등급 제도 ····· 17
[그림 2-3-01] LH공사의 공동주택 유지관리 프로세스 ····· 20
[그림 2-3-02] UR도시기구 본사의 조직구성도 ····· 22
[그림 2-3-03] UR도시기구의 임대주택 관리 업무 흐름 ····· 23
[그림 2-3-04] UR도시기구의 공동주택 관리 체계 ····· 24
[그림 2-3-05] 유지보전 사업 프로세스 ····· 25
[그림 2-3-06] 시설개선 사업 프로세스 ····· 25
[그림 2-4-01] 콘덴싱 보일러 ····· 29
[그림 2-4-02] 고효율 유도전동기 ····· 30
[그림 2-4-03] 열병합 발전시스템 ····· 30
[그림 2-4-04] 고효율 변압기 ····· 31
[그림 2-4-05] 하이브리드 환기시스템 ····· 31
[그림 2-4-06] 바닥 취출 공조방식 ····· 32
[그림 2-4-07] 폐열 회수 환기시스템 ····· 32
[그림 2-4-08] 각방 제어 시스템 ····· 33
[그림 2-4-09] 자동절전 제어장치 ····· 33
[그림 2-4-10] 외기보상제어 ····· 34
[그림 2-4-11] LED 조명 ····· 34
[그림 2-4-12] 무전극 램프 ····· 35
[그림 2-4-13] T-5 형광등 ····· 35
[그림 2-4-14] 에어커튼 ····· 36
[그림 2-4-15] 절수위생설비 ····· 36
[그림 2-4-16] Low-E 복층유리 ····· 37
[그림 2-4-17] 고단열 삼중유리 ····· 37
[그림 2-4-18] 진공유리 ····· 38
[그림 2-4-19] 옥상녹화 ····· 38
[그림 2-4-20] 벽면녹화 ····· 39
[그림 2-4-21] 빗물이용 시스템 ····· 39
[그림 2-4-22] 중수도 시스템 ····· 40
[그림 2-4-23] 열반사 단열재 ····· 40
[그림 2-4-24] 태양열 급탕 시스템 ····· 41

[그림 2-4-25] 지열 히트펌프 시스템 ····· 41
[그림 2-4-26] 태양광 발전 시스템 ····· 42
[그림 2-4-27] 태양광 채광 시스템 ····· 42
[그림 2-4-28] BIPV 시스템 ····· 43
[그림 2-4-29] 연료전지 ····· 43
[그림 2-4-30] 소형 풍력발전 시스템 ····· 44
[그림 2-5-01] 온실가스 배출권 거래제 ····· 45
[그림 2-5-02] SWOT 분석을 통한 연구개발 전략 ····· 46

[그림 3-2-01] 전력 사용량 기반 의사결정나무 ····· 54
[그림 3-2-02] 가스 사용량 기반 의사결정나무 ····· 56
[그림 3-2-03] 지역난방 에너지 사용량 기반 의사결정나무 ····· 57
[그림 3-2-04] 온톨로지 기반 공동주택 분류체계 ····· 61
[그림 3-2-05] DL QUERY를 이용한 검색의 예시 ····· 62
[그림 3-2-06] 전력 사용량 전수 ····· 64
[그림 3-2-07] 전력 사용량 leaf1 ····· 64
[그림 3-2-08] 전력 사용량 leaf2 ····· 65
[그림 3-2-09] 전력 사용량 leaf3 ····· 65
[그림 3-2-10] 전력 사용량 leaf4 ····· 65
[그림 3-2-11] 전력 사용량 leaf5 ····· 65
[그림 3-2-12] 전력 사용량 leaf6 ····· 65
[그림 3-2-13] 전력 사용량 leaf7 ····· 65
[그림 3-2-14] 가스에너지 사용량 전수 ····· 66
[그림 3-2-15] 가스에너지 사용량 leaf1 ····· 66
[그림 3-2-16]가스에너지 사용량 leaf2 ····· 66
[그림 3-2-17] 가스에너지 사용량 leaf3 ····· 66
[그림 3-2-18] 가스에너지 사용량 leaf4 ····· 67
[그림 3-2-19] 가스에너지 사용량 leaf5 ····· 67
[그림 3-2-20] 가스에너지 사용량 leaf6 ····· 67
[그림 3-2-21] 가스에너지 사용량 leaf7 ····· 67
[그림 3-2-22] 지역난방 에너지 사용량 전수 ····· 68
[그림 3-2-23] 지역난방 에너지 사용량 leaf1 ····· 68
[그림 3-2-24] 지역난방 에너지 사용량 leaf2 ····· 68
[그림 3-2-25] 지역난방 에너지 사용량 leaf3 ····· 68
[그림 3-2-26] 지역난방 에너지 사용량 leaf4 ····· 68
[그림 3-2-27] 지역난방 에너지 사용량 leaf5 ····· 68
[그림 3-3-01] 사례기반추론의 프로세스 ····· 70
[그림 3-3-02] 유전자 알고리즘 프로세스 ····· 72
[그림 3-3-03] 추출된 유사 사례들의 면적당 전력 사용량 비교 ····· 79
[그림 3-4-01] 개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스 ····· 82

[그림 3-4-02] PV 패널 설치 단위면적 계산을 위한 도식 ····· 94
[그림 3-5-01] 공동주택 개선사업 투자방향 설정을 위한 의사결정 모델 ····· 97
[그림 3-5-02] S 단지 전력 사용량에 대한 CV(RMSE) ····· 110
[그림 3-5-03] B 단지 전력 사용량에 대한 CV(RMSE) ····· 110
[그림 3-5-04] C 단지 전력 사용량에 대한 CV(RMSE) ····· 111
[그림 3-5-05] D 단지 전력 사용량에 대한 CV(RMSE) ····· 111
[그림 3-5-06] E 단지 전력 사용량에 대한 CV(RMSE) ····· 111
[그림 3-5-07] F 단지 전력 사용량에 대한 CV(RMSE) ····· 112
[그림 3-5-08] G 단지 전력 사용량에 대한 CV(RMSE) ····· 112
[그림 3-5-09] 태양광 발전 시스템 도입 전후의 전력 소비량 ····· 118
[그림 3-5-10] 의사결정 시스템 GUI ····· 126
[그림 3-5-11] Low-carbon 시나리오 2020 (목적변수 : 초기투자비용 최소화) ····· 129
[그림 3-5-12] Low-carbon 시나리오 2020 (목적변수 : NPV 최대화) ····· 131
[그림 3-5-13] Low-carbon 시나리오 2020 (목적변수 : SIR 최대화) ····· 132
[그림 3-6-01] 연구 프레임워크 ····· 136
[그림 3-6-02] 두 개의 목적함수에 대한 Pareto front ····· 140
[그림 3-6-03] The non-dominated area와 최적해 집합 ····· 140
[그림 3-6-04] 3차원 공간에서의 non-dominated optimal solution ····· 141
[그림 3-6-05] 두 극점과 초평면(hyperplane) ····· 142
[그림 3-6-06] 네 종류의 적합도 함수 개념 ····· 143
[그림 3-6-07] 모델 프레임워크 ····· 147
[그림 3-6-08] 유전자 알고리즘의 염색체 개념 ····· 149
[그림 3-6-09] 개발 모델의 그래픽 사용자 인터페이스(GUI) ····· 150
[그림 3-6-10] 발생 가능한 모든 시나리오의 분포 그래프(5,000 시나리오) ····· 152
[그림 3-6-11] 최적 시나리오의 분포 그래프 ····· 153
[그림 3-7-01] 주택 성능등급 표시제도의 평가항목 ····· 160

[그림 5-3-01] 연구성과 실용화 및 사업화 계획 ····· 175
[그림 5-3-02] 연구성과 활용 및 관리 전략 ····· 175

[그림 6-1-01] 일본 옥상녹화 시스템의 모듈 ····· 180
[그림 6-1-02] SI 시스템의 설비 ····· 181
[그림 6-1-03] 도시 주택 기술연구소의 가변형 보호 전선 ····· 182

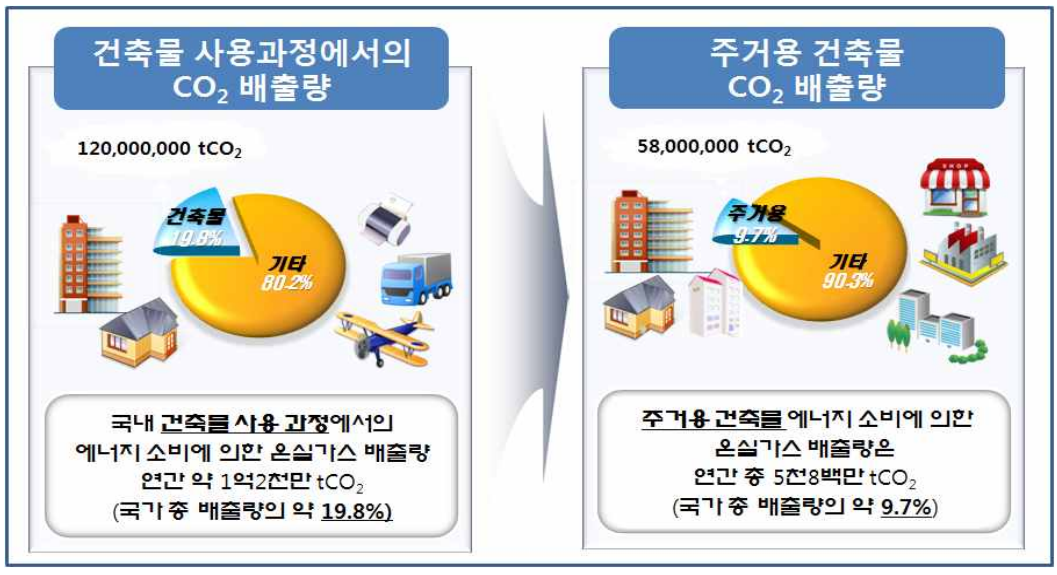
제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발 목적

1. 연구의 배경 및 목적

온실가스 과다 배출로 인한 기후변화가 지구 차원의 문제로 대두되면서, 전 세계적으로 에너지 절감 및 이산화탄소 배출량 감축을 위한 노력이 전개되고 있다. 전체 이산화탄소 배출량 중 약 30% 이상을 차지하는 건설 분야에서도 이러한 노력이 이루어지고 있다. 다시 말해서, 건물의 전 생애주기에 걸쳐 에너지 사용량을 절감함으로써, 이산화탄소 배출량을 감축시키기 위한 노력이 국내·외에서 활발하게 진행되고 있다.

특히, 건물 사용단계에서의 에너지 소비에 의한 이산화탄소 배출량은 국내 총 이산화탄소 배출량의 약 25% 이상을 차지하고 있으며, 그 중에서도 주거 부문은 연간 총 건축물 에너지 사용량의 53%를 차지하고 있다.

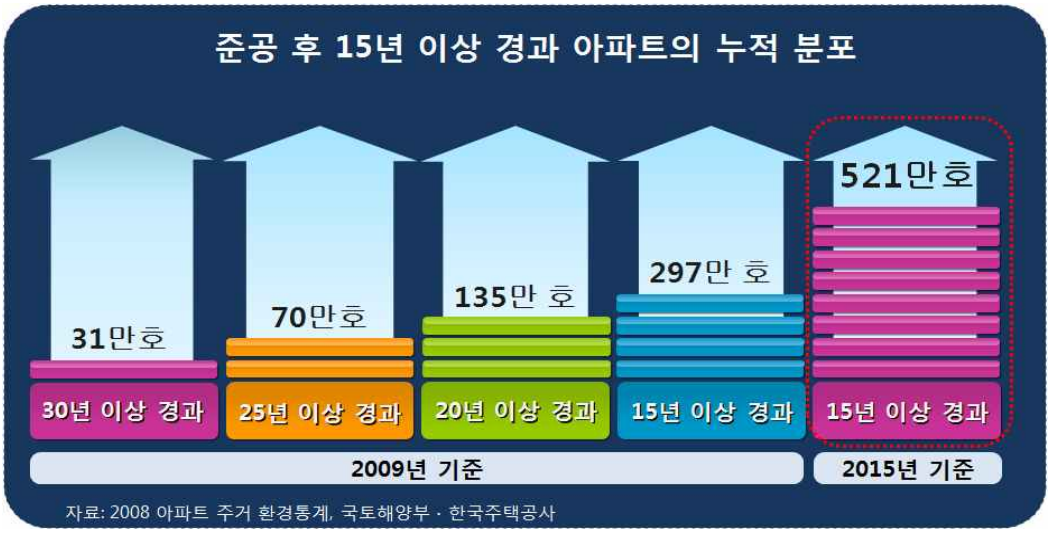


[그림 1-1-01] 건축물 사용과정에서의 CO_2 배출량

이와 같은 현실을 고려하여 정부에서는 건축물 에너지절약설계기준, 친환경 건축

물 인증제도 등을 시행하면서, 건물의 에너지 성능 개선을 통한 이산화탄소 배출량 감축을 도모하고 있다. 또한, 에너지 절감형 주택 설계와 관련된 연구 및 기술개발 역시 산업 전반에 걸쳐 진행 중이다.

그러나 준공 후 20년 이상 경과된 아파트가 2010년 기준 약 155만 호(전체 아파트의 약 21.4%)에 달하고, 2015년에는 300만 호를 초과(전체 아파트의 약 47% 도달)하게 되는 현실[1]을 고려할 때, 신축 공동주택의 에너지 효율 향상 못지않게 기존 공동주택의 개선을 통한 에너지 절감 역시 중요하다고 할 수 있다.



[그림 1-1-02] 준공 후 15년 이상 경과 아파트의 누적 분포

그럼에도 불구하고, 이러한 노력은 상대적으로 미흡한 실정이며, 개선 프로세스에서 활용할 수 있는 적절한 수단이 마련되어 있지 않다. 공동주택의 에너지 사용량 데이터베이스도 제대로 구축되지 않았으며, 그나마 구축된 데이터베이스도 공동주택 개선여부에 대한 의사결정의 기준으로서 적절히 활용되지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 기존 공공아파트 건축물의 유지관리 행위를 통한 에너지 소비량 절감 및 CO_2 배출량 감축을 달성할 수 있는 프로세스를 개발하고, 공동주택의 개선여부를 결정할 수 있는 의사결정 시스템을 개발하고자 한다.

또한 이를 기반으로, 유지관리 의사 결정자용 매뉴얼을 개발하여 주거용 건축물 분야에서의 직접적인 CO_2 감축을 도모함과 동시에 향후 주거용 건축물 유지관리에 관한 정책의 기준으로 활용할 수 있는 수단을 제시하고자 한다.

1) 국토해양부 (2008), 아파트주거환경통계, p.32.

2. 연구개발 최종목표

본 연구과제에서는 온실가스 저감을 위한 공공아파트 시설물 유지관리 프로세스를 개발함으로써, 친환경 패러다임을 실생활 속에 도입시키고자 한다. 기존의 노후화된 아파트(준공 후 15년 이상 경과된 아파트로서, 2009년 기준 전체 아파트의 36%)에 대한 프로젝트 정보 및 에너지 사용량 자료를 수집·분석함으로써 현황 및 문제점을 도출하고, 이러한 문제점에 대한 개선대책을 수립하는 과정에서 아파트 유형 분류체계 (Apartment Type Breakdown Structure; ATBS)를 개발하여 체계적인 분석 프로세스를 적용하며, 온실가스 저감을 위한 에너지 시뮬레이션 기반의 생애주기비용(LCC) 분석을 실시함으로써 환경성은 물론 경제성까지 고려한 최적의 개선시나리오를 제시하고자 한다.



[그림 1-1-03] 연구개발의 최종목표

3. 최종목표의 성격 및 설정 근거

앞서 언급한 최종목표의 성격 및 설정 근거는 다음 표와 같다.

<표 1-1-01> 최종목표의 성격 및 설정 근거

구분	세부내용
성과물 내용	▪ 온실가스 저감을 위한 공공아파트 시설물 유지관리 프로세스 개발
성과물의 성격	▪ 이론적 아이디어 개발 (공동주택 유형 분류체계, 유지관리 프로세스 등) ▪ 시작품 개발 (LCC분석 도구, 온실가스(CO_2) 저감량 분석 도구 등)
근거 기술	▪ 시설물 에너지 시뮬레이션을 통한 에너지 부하 산정 기술 ▪ 생애주기비용분석(Life Cycle Cost Analysis; LCCA) 기술 ▪ 생애주기 온실가스 배출량($LCCO_2$) 분석 기술을 포함한 생애주기 평가기법 (Life Cycle Assessment; LCA)
연구자의 역량	▪ 연세대학교 연구팀은 다수의 국책연구를 수행하고 있으며, 특히 친환경 관련 국책연구 수행 및 국내외 논문게재를 통해, 친환경 분야의 전문성을 확보하고 있음. 또한, 연구책임자인 홍태훈 교수는 교육과학기술부 주관의 '제1차 한중일 청년과학자 워크숍' 및 '한-스위스 과학의 날' 등 국제적인 행사에 한국의 대표로 참석하는 등 지속가능한 건축 분야에서 활발한 연구 활동 중이며, 해당 연구실적을 인정받아 세계 3대 인명사전인 미국의 "Marquis Who's Who in the World"의 과학·공학(Who's Who in Science and Engineering)분야 8th, 9th, 11th Edition, 영국 케임브리지 국제인명센터(International Biographic Center)의 (1)International Scientist of the Year for 2008, (2)Foremost Engineers of the World 2008, (3)2000 Outstanding Scientists 2008-2009, (4)Top 100 Scientists 2009 등에 등재된 바 있음 ▪ 성균관대학교 연구팀은 오랜 기간 국책과제를 수행한 바 있으며, 국토해양 분야의 다양한 부분에 있어 전문성을 확보하고 있고, 가상건설(BIM 등) 분야의 전문성을 확보하고 있음
자료수집의 한계	▪ 공공아파트의 에너지사용량 분석을 통해 문제점을 분석하고, 이를 토대로 온실가스 저감을 위한 개선안을 제시하고자 하며, 선행 분석자료로서 프로젝트 특성 및 에너지 사용량에 대한 자료를 수집하고자 함 - 프로젝트 특성 : LH공사, SH공사를 통해 자료 수집 및 DB 구축 - 전기 사용량 : 한국전력공사를 통해 자료 수집 및 DB 구축 - 가스 사용량 : 한국가스공사를 통해 자료 수집 및 DB 구축 ▪ 원활한 자료 수집을 위해, 국토해양부 공문 등 적극적인 협조 要
현 단계의 기술수준의 한계	▪ 공공아파트 특성에 따른 공공아파트 유형 분류체계(Apartment Type Breakdown Structure; ATBS)가 확립되어 있지 못함 ▪ 시설물 개선여부 결정을 위한 의사결정 도구로서의 유지관리 매뉴얼 부재 ▪ 에너지 시뮬레이션 분석 결과에 기초한 생애주기비용(LCC) 분석 미흡 ▪ 온실가스(CO_2) 발생량(자재, 에너지)에 대한 체계적인 분석 기법 미적용

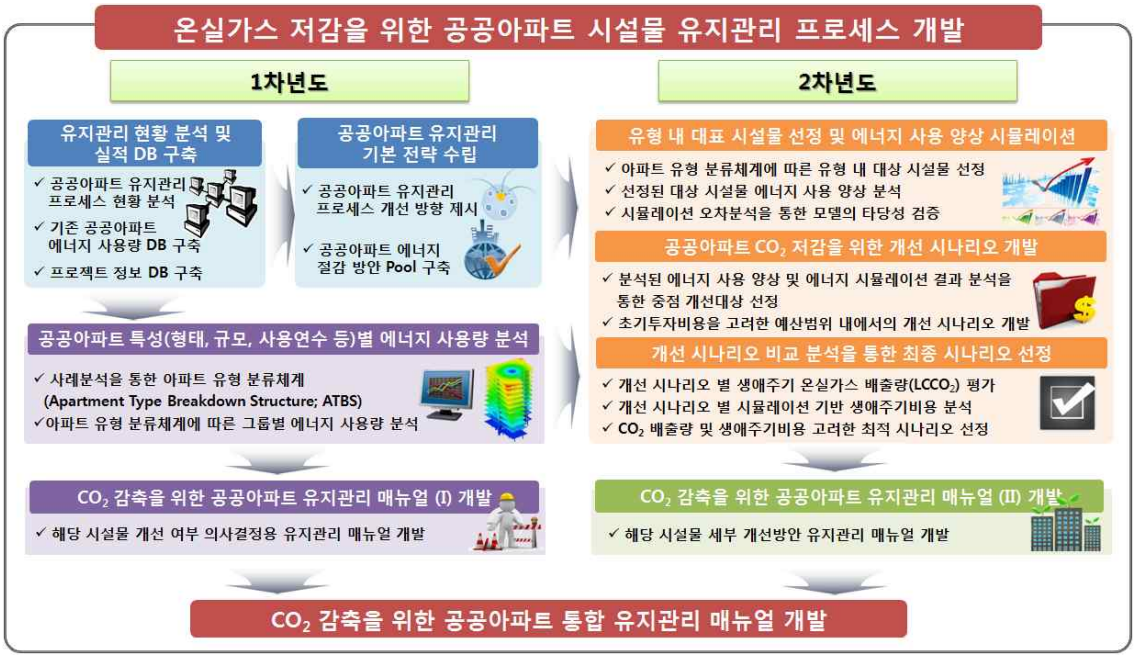
4. 연차별 연구목표 및 주요 연구내용

앞서 언급한 연구개발 최종목표 및 설정 근거에 기초한 연차별 연구목표 및 주요 연구내용은 다음 표와 같다.

<표 1-1-02> 연구 목표 및 주요 연구내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	기존 공공아파트 유지관리 현황 분석 및 실적자료 DB 구축	▪ 공공아파트 유지관리 프로세스 현황 분석 ▪ 기존 공공아파트의 프로젝트 정보 DB 구축 ▪ 기존 공공아파트의 에너지 사용량 DB 구축
	공공아파트 유지관리 기본 전략 수립	▪ 공공아파트 유지관리 프로세스 개선 방향 제시 ▪ 공공아파트 에너지 절감 방안 Pool 구축
	공공아파트 특성(형태, 규모, 사용 연수 등)별 에너지 사용량 분석	▪ 사례분석을 통한 아파트 유형 분류체계 (Apartment Type Breakdown Structure; ATBS) 개발 ▪ 아파트 유형 분류체계(ATBS)에 따른 유형별 에너지 사용량 분석
	CO_2 감축을 위한 공공아파트 유지관리 매뉴얼(Ⅰ) 개발	▪ 시설물 유지관리 및 개선 여부 의사결정 매뉴얼 개발
2차년도	유형별 대상 시설물 선정 및 에너지 사용 양상 분석	▪ 아파트 유형 분류체계(ATBS)에 따른 유형별 대상 시설물 선정 ▪ 선정된 대상 시설물 에너지 사용 양상 분석 ▪ 에너지 시뮬레이션 결과값 및 실제 에너지 사용량의 오차 분석을 통한 모델의 타당성 검증
	공공아파트 CO_2 저감을 위한 개선시나리오 개발	▪ 분석된 에너지 사용 양상 및 에너지 시뮬레이션 (As-Is) 결과 분석을 통한 중점 개선대상 선정 ▪ 초기투자비용을 고려한 예산범위 내에서의 개선시나리오개발
	개선시나리오 비교분석을 통한 최적 시나리오 선정	▪ 개선시나리오별 생애주기 온실가스 배출량 ($LCCO_2$) 평가 ▪ 개선시나리오별 시뮬레이션 기반 생애주기비용 (LCC) 분석 ▪ CO_2 배출량 및 생애주기비용을 고려한 최적 시나리오 선정
	CO_2 감축을 위한 공공아파트 유지관리 매뉴얼(Ⅱ) 개발	▪ 해당 시설물 세부 개선방안 매뉴얼 개발

아래 그림은 연차별·연구기관별 연구개발 계획을 도식화한 것으로서, 세부연구 내용 및 성과물을 제시하고 있다.



[그림 1-1-04] 연차별 연구개발 계획

제2절 연구개발 필요성

1. 연구개발 개요

온실가스 과다 배출로 인한 기후변화가 전 지구적 차원의 문제로 대두되면서 세계적으로 에너지 절감 및 이산화탄소 배출량 감축을 위한 노력이 전개되고 있다. 우리나라의 경우 2020년 온실가스 배출전망치 대비 30% 감축(2005년 배출량 대비 약 4% 감축)을 국가 온실가스 중기감축목표로 설정하였으며, 이에 따라 건축물 온실가스 감축과 관련된 각종 정책 수립이 빠르게 진행되고 있다.[2] 그러나 현재 정책의 방향은 신규 건축물의 에너지 성능 향상에 관련된 내용이 주를 이루고 있으며, 기존 건축물의 유지관리 행위를 통한 에너지 성능 향상을 위한 정책이나 방침은 미비한 실정이다. 국내 건축물 사용 과정에서의 에너지 소비에 의한 온실가스 배출량은 2008년 에너지 총조사 기준으로 연간 약 1억2천만 tCO_2(국가 총 배출량의 약 19.8%)에 달하고, 이 중 주거용 건축물 에너지 소비에 의한 온실가스 배출량은 연간 총 5천8백만 tCO_2 (국가 총 배출량의 약 9.7%)규모이다.

따라서 본 연구에서는 기존 공공아파트 건축물의 유지관리 행위를 통한 에너지 소비량 절감 및 CO_2 배출량 감축을 달성할 수 있는 프로세스를 개발하고, 유지관리 의사 결정자용 매뉴얼을 개발하여 주거용 건축물 분야에서의 직접적인 CO_2 감축을 도모함과 동시에 향후 주거용 건축물 유지관리에 관한 정책의 기준으로 활용할 수 있는 수단을 제시하고자 한다.

2. 연구개발의 중요성

가. 기술적 측면

건축물 에너지 절감 기술에 관한 연구는 국내외에서 활발하게 진행되고 있다. 하지만 이들 중 국내 아파트 시설물의 유지관리 단계에서 적용 가능한 방안들을 체계적으로 정리하고, 다양한 조합을 통한 시나리오를 생성하여 평가한 것은 거의

2)온실가스종합정보센터(2011). 부문별, 업종별, 연도별 온실가스 감축목표안, 환경부

없기 때문에 종합적이면서도 특화된 솔루션을 개발할 필요가 있다.

또한, 건축물 에너지 절감 기술의 활용효과를 극대화하기 위해서는 아파트 유형별 데이터베이스를 구축하고 각 유형 특성에 맞는 유지관리 전략을 제시해야 한다.

나. 경제·산업적 측면

국제사회에서는 이미 온실가스 배출권 거래제도가 시행 중에 있고, 최근 국내에서도 온실가스 배출권 거래제도에 관한 법률안이 입법 예고되어 2013년부터 시행될 예정이므로 온실가스의 감축은 금전적 문제와 직결된 사안이다.

주거용 건축물 에너지 소비로 인한 CO_2 배출량이 연간 국가 CO_2 배출량의 약 10%를 차지하는 현실을 고려할 때 본 연구의 결과를 통해 상당한 경제적 효과가 발생할 것으로 기대되며, 이를 발전시켜 국가 총 배출량의 약 20%에 달하는 전체 건축물 에너지 소비량 부문에까지 적용할 경우 더욱 큰 경제적 효과를 기대할 수 있다. 본 연구에서는 공공아파트 유지관리 시나리오에 대해 CO_2 감축 효과만을 평가하는 것이 아니라 생애주기비용 분석(Life Cycle Cost Analysis; LCCA)을 병행함으로써 친환경성뿐 아니라 경제성까지도 고려한 유지관리 프로세스 개발이 가능하다.

다. 사회·문화적 측면

사회적으로 노후 아파트의 리모델링 및 개·보수 등 유지관리 수요가 높아지고 있는 추세에서 유지관리 수행 시 건물 기능 보완을 통한 주민들의 삶의 질 개선과 더불어 에너지 성능을 향상시켜 에너지 절감 및 CO_2 감축 효과를 창출할 필요가 있다. 이를 위해서는 유지관리 인력의 전문적 지식 확보가 요구되나, 영세 주택관리업자들이 난립해 있는 상황에서 모든 유지관리 인력의 전문화·체계화는 사실상 불가능하므로 사용이 용이한 CO_2 저감형 유지관리 매뉴얼의 보급이 필요하다.

또한 유지관리 수행 시 의사결정 단계에서 에너지 절감을 고려할 수 있도록 입주민들 또는 유지관리 의사결정자가 에너지 측면에서의 개선 필요 여부를 판단할 수 있는 기준이 요구된다.

제3절 연구개발 범위

본 연구과제는 공동주택 유지관리 현황 분석 및 개선 방향 제시, 공동주택 에너지 절감 방안 POOL 구축, 공동주택 유형분류체계 구축, 공동주택 단지 개선여부 의사결정 지원모델 개발(이상 1차년도), 개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스 구축, 거시적 관점의 공동주택 개선사업 의사결정 모델 개발, 신재생에너지 시스템 최적설계 모델 개발, 건물 에너지효율 관련 제도 개선방향 제시(이상 2차년도)으로 구분하여 수행하였으며, 세부적인 연구개발 범위는 다음과 같다.

1. 공동주택 유지관리 현황 분석 및 개선 방향 제시

한국의 LH공사와 일본의 UR 소속 전문가 면담을 통해, 공동주택 유지관리 프로세스 현황을 파악하였고, 공통적인 문제점 도출 및 개선방안을 제시하였다.

국토해양부에서 관리하는 '공동주택관리정보시스템'을 활용하여, 공동주택의 프로젝트 정보를 DB화하였으며. 또한 한국전력을 통해 전력 사용량 데이터를, 서울도시가스 등 가스공급회사를 통해 가스 사용량 데이터를, 한국지역난방공사를 통해 지역난방에너지 사용량 데이터를 DB화하였다. 이렇게 구축된 DB를 연구과정 전반에 걸쳐 활용하였으며, 향후 지속적인 업데이트를 통해 공동주택 개선사업과 관련 의사결정 과정에서 유용하게 활용할 수 있다.

2. 공동주택 에너지 절감 방안 POOL 구축

민간업체(예: CM사, 설계사 등) 전문가 자문을 통해, 공동주택 에너지 절감방안 POOL을 구축하였으며, 2차년도 과제수행을 위한 선행연구로서의 의미가 있다. 본 에너지 절감방안 POOL은 산재되어 있는 에너지 절감 방안 중, 실제로 공공아파트에 적용이 가능하며, 또한 가격 대비 그 개선 성능이 우수할 것으로 예측되는 방안들을 모아 놓은 것이다. 따라서 차후 공공아파트의 시설 개선 사업 등에 우선적으로 적용 가능한 개선 에너지 절감 방안들이라 할 수 있다.

3. 공동주택 유형분류체계 구축

수집된 전력, 가스, 지역난방 에너지 사용량 데이터를 활용하여, 공동주택 유형분류체계(Apartment Type Breakdown Structure; ATBS)를 개발하였다. 의사결정나무(Decision Tree) 방법론을 적용하기 위해, PASW (Predictive Analytics SoftWare) Statistics 18을 활용하였고, 개발된 유형분류체계는 연구 전반에 걸쳐 의사결정의 기준이 되는 도구로 다양하게 활용되었다.

4. 공동주택 단지 개선여부 의사결정 지원모델 개발

사례기반추론(Case-Based Reasoning, CBR) 방법론을 근간으로 하여, 인공신경망, 다중회귀분석, 유전자 알고리즘 등 다양한 방법론이 통합적으로 반영된 Advanced CBR 모델을 개발·적용하였다.

공동주택 유형분류체계와 함께 Advanced CBR 모델을 활용하여 에너지 사용량을 근거로 공동주택 단지의 개선여부를 결정할 수 있는 의사결정 지원모델을 개발하여 이를 매뉴얼화 하였다. 향후 사용자의 편의성 및 활용성을 향상시키기 위하여, 엑셀기반 모델의 인터페이스를 개선할 필요가 있으며, 웹 또는 스마트기기 기반의 시스템으로 확대 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스 구축

기존 공동주택 에너지 효율 개선사업의 경우 '에너지 절감 목표의 설정과 개선안의 선정을 위한 명확한 기준의 부재'라는 문제점이 있었다. 본 연구에서는 기본적으로 공동주택 유형분류체계 및 Advanced CBR 모델을 활용, 에너지 절감 목표를 명확하게 설정하였으며 이러한 목표를 달성할 수 있는 다양한 개선안 중 환경적, 경제적 측면에서 최선의 효과를 얻을 수 있도록 하는 최적 개선안 선정을 위한 의사결정 프로세스를 구축하였다.

6. 거시적 관점의 공동주택 개선사업 의사결정 모델 개발

단일단지 단위에서의 개선여부 및 세부 개선안 의사결정 도구와 별도로, 국가 또는 공동주택 관리 기관 차원에서 활용할 수 있는 의사결정 도구가 필요하다. 본 연구에서는 '국가 온실가스 감축목표의 달성'이라는 거시적 관점의 목표를 기준으로 삼아, 공동주택 개선사업 시행 시 단지별 예산 배분을 위한 의사결정 도구로 활용이 가능한 모델을 개발하였다. 모델 개발에는 공동주택 유형분류체계와 유전자 알고리즘을 활용하였다.

7. 신재생에너지 시스템 최적설계 모델 개발

신재생에너지 시스템 중 가장 건물에 대한 적용 빈도가 높은 태양광 발전 시스템을 대상으로 하는 최적설계 모델을 개발하였다. 기존에 사용되는 시뮬레이션을 통한 에너지 생산량 산출과 더불어, 비용 및 투자효과 등을 고려한 다목적 최적화 모델을 엑셀 프로그램을 기반으로 한 VBA(Visual Basic for Application)를 활용하여 개발하였다.

8. 건물 에너지효율 관련 제도 개선방향 제시

국내외의 건물 에너지효율 관련 제도 및 정책에 대한 조사 및 분석을 통해, 국내 제도의 문제점과 그 원인을 분석하고, 개선 방향을 제시하였다.

제2장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내 기술개발현황

1. 시장현황

2010년 4월 기준 서울·수도권 지역의 공동주택 단지 중 리모델링 사업 검토 및 추진 중인 곳은 전체 167개 단지 129,000 세대이며, 향후 가구 수 증축 허용 등 리모델링 제도 개선 시 리모델링 사업 추진이 가능한 곳은 164개 단지 109,000개 세대로, 사업 진행 시 총 16조 8천억원의 도급액 규모일 것으로 예상된다[3].

한편 주택관리업의 시장 규모는 위탁관리수수료를 보았을 때 매우 열악한 편으로, 1개 사업자의 월 평균 매출이익은 약 565만원에 불과하다. 또한 주택관리업자 선정 시 무조건적인 최저가 입찰 방식의 시행으로 인해 비전문적이고 영세한 주택관리업자의 난립이 성행해 있다[4].

2. 시장예측

일본의 경우, 주택부문에서의 에너지절약기준으로 『주택의 에너지 절약 기준』이 1980년에 제정되어 일본 전국을 구분한 6개의 각 지역마다 단열성, 기밀성, 일사차폐에 관한 기준을 규정하고 있으며, 2009년 4월 이후로는 신축주택에 대해서 『주택성 에너지 라벨링』을 의무화함으로써 지속적으로 건축물 부문의 CO_2 저감을 위한 대책 및 정책을 수립하여 진행하고 있다[5].

에너지사용 절감을 위한 그린홈의 개발 및 추진에 있어 독일 등 유럽국가에서는 난방에너지 90%이상 절감형 패시브하우스의 보급이 활성화 되었으며 2011년부터 모든 신축주택에서 패시브 설계를 의무화하는 등 국내에 비해 기술 개발에 이은

3) 김성주 (2010). 공동주택 리모델링 현안 및 대책, 2010 공동주택 리모델링 사업 정책 법규 세미나 발표자료, 한국리모델링협회.
4) 노병용 (2008). "공동주택 관리의 현황과 발전 방향", 한국주거학회지 1(6), 28-38.
5) 송두삼 (2010). "일본의 주택, 건축물의 에너지절감 정책 동향", 대한건축학회지 54(2), 86-90.

실용화의 단계에 먼저 접어들었음을 알 수 있다.

리모델링 및 유지관리 행위가 보다 활성화되어 있는 국외의 시장 상황 및 건물 에너지 절감 노력을 기울이는 글로벌적 추세를 고려할 때 공동주택 유지관리 단계에서의 에너지 절감형 프로세스 및 매뉴얼은 국내뿐 아니라 유럽, 일본 등 해외 시장에서도 활용이 가능할 것으로 예상된다.

기존 건축물의 유지관리 행위의 의사결정을 지원하기 위한 객관적이고 정량적인 기준과 프로세스가 개발되었을 경우, 글로벌화 되고 있는 세계 건설 시장의 경쟁 속에서 우위를 점할 수 있을 것이라고 판단할 수 있다.

3. 특허 동향

아래의 표는 국내에서 친환경, 유지관리, 건축물 등의 이슈와 관련하여 출원 또는 등록된 특허의 현황을 정리한 것으로 크게 관리기술과 요소기술의 범주로 구분되며, 본 연구에서는 유지관리 프로세스를 개발함에 있어 관리기술 범주의 특허를, 개선시나리오를 개발함에 있어 요소기술 범주의 특허를 참고하고자 한다.

<표 2-1-01> 국내 건축물 유지관리 시스템 관련 특허 동향

연번	발명의 명칭	출원번호	등록번호	출원인	분야	기술	비고
1	교량의유지관리계획수립및생애주기비용산정을위한노후화예측방법	10-2003-0045068	1005478740000	(재)한국건설품질연구원 인본건설주식회사	토목	관리기술	생애 주기 비용
2	친환경건축물전생애환경부하평가방법	10-2007-0098524	1009349790000	한양대학교 산학협력단	건축	요소기술	환경 부하
3	공공시설물자산관리정보시스템	10-2008-0134837	심사중	한국건설기술연구원	건축	관리기술	자산 관리
4	사회기반구조물의생애주기성능및비용에기초한네트워크수준의최적관리체계수립시스템	10-2007-0140275	심사중	한국건설기술연구원	토목	관리기술	생애 주기 비용
5	시설물관련데이터유지/관리시스템	10-2007-0114768	심사중	중앙대학교산학협력단 주식회사티엠이앤씨	건축	관리기술	유지 관리
6	재건축시기예측모델링에의한건축물의재건축여부판정시스템및그방법과,건축물공사비예측모델에따른건축물공사비산정방법	10-2009-0022047	심사중	서울시립대학교 산학협력단	건축	관리기술	재건축 판정

연번	발명의 명칭	출원번호	등록번호	출원인	분야	기술	비고
7	실내의오염물질저감방법	10-2008-0090267	심사중	주식회사 포스코건설	건축	요소기술	실내 오염물질
8	태양광을이용한친환경의다목적채광및공조장치	10-2010-0004362	1009772980000	김주수	건축	요소기술	공조 장치
9	수축열식히트펌프냉난방장치와이를이용한에너지절약개별냉난방복합장치	10-2008-0006709	1009232060000	앤플러스이앤씨 주식회사 최윤용, 양우균	건축	요소기술	냉난방 시스템
10	친환경에너지관리방법	10-2009-0008910	심사중	㈜우리젠 주식회사한미파슨스 건축사사무소	건축	관리기술	에너지 관리
11	자연공조지열시스템을활용한실내건물의냉난방시스템	10-2008-0083805	심사중	주식회사 에이알테크	건축	요소기술	냉난방 시스템
12	건설시설물에대한가치평가및환경평가의수행을위한시뮬레이션시스템	10-2005-0081270	1005401590000	㈜에코아이	건축	관리기술	시설물 가치 평가
13	지열과태양열및보조열원을사용하는급탕및냉난방시스템과그운전제어방법	10-2006-0026537	1007588200000	한국건설기술연구원	건축	요소기술	냉난방 시스템
14	지붕녹화용식생유니트를이용한지붕녹화시스템	10-2008-0126410	1008800160000	한국건설기술연구원 주식회사한국도시녹화	건축	요소기술	옥상 녹화

4. 정부 지원정책 현황

친환경 녹색성장 정책이 대대적으로 시행됨에 따라, 탄소배출량 감축을 목표로 하는 관련법령이 제정되어 발효되고 있다. 그 중, 건축물에서의 에너지 절약과, 온실가스 배출량을 감축과 직접적으로 관련되어 있는 각종 정책에 관하여 정리하였다. 이는 본 연구과제의 방향과 현재 우리나라가 추구하고 있는 정책의 방향이 부합되고 있는가를 파악하기 위함이며, 또한 본 과제의 최종 결과물이 정책에 반영되어, 실효성 있는 연구의 결과를 도출하기 위함이다.

<표 2-1-02> 관련법령, 정부 정책 및 담당기관

관련 제도	근거법령	주요내용	담당부처
건축물 에너지효율등급 인정규정 전부개정 (2009.12.31)	건축법	기존에 신축 공동주택에 한해 시행하던 건축물 에너지효율등급 인증을 신축 업무용 건축물까지 확대 시행	국토해양부 지식경제부
「친환경 주택의 건설 기준 및 성능」 제정 (2009.12)	주택법 주택건설기준 등에 관한 규정	20세대 이상 주택 건설시 적용 85m2 이하의 경우 에너지 또는 온실가스 10% 이상 절감 85m2를 초과하는 경우 에너지 또는 온실가스 15% 이상 절감	국토해양부
환경영향평가법 시행령 개정 (2010.1.1. 시행)	환경영향 평가법	'환경영향평가서 작성 등에 관한 규정' 개정을 통해 환경영향평가서 작성 시 온실가스에 관한 항목을 추가	환경부
녹색 인증제 (2010.4.14)	저탄소 녹색성장 기본법	녹색기술, 사업, 기업에 대한 인증을 통해 「녹색금융」 프로그램에 의한 민간 투자를 활성화	지식경제부 환경부 국토해양부 외

<표 2-1-03> 정부지원 정책사업 종류와 현황

지원근거	사 업 명	자 금 지 원 대 상 자
에너지이용 합리화법 제14조 (금융·세제상 지원)	자발적 협약기업 투자사업	에너지이용합리화법 제28조에 따른 자발적 협약을 체결한 자 또는 협약의 기간이 완료되고 계속 협약에 참여하고자 참여의향서 및 해당 이행계획서를 제출한 자
	에너지절약시설 설치사업	자금지원 세부내역에 열거된 에너지절약시설을 신·증설 또는 개체하고자 하는 자
	집단에너지 절약시설 설치사업	집단에너지사업법 제9조에 의한 집단에너지사업허가를 받은 자
	건물효율등급 인증지원사업	건물에너지효율등급인증에관한규정 (지식경제부 고시)에 의하여 예비인증을 받은 자
조세특례제한법 제 25조의 2	에너지절약 시설투자에 대한 세제지원	기획재정부령이 정하는 "에너지절약시설"
주택건설촉진법 제10조 및 10조 6항	리모델링 공사비 국민주택 기금지원	리모델링 공사비 국민주택기금지원(2002.5) 85m2 이하 최대 3000만원

제2절 국외 기술개발현황

1. 기존 건축물에 대한 국외 시장 현황

서구 선진국의 경우 리모델링이 주택시장을 주도하고 있으며, 서유럽 15개 국가의 주택시장에서 리모델링이 차지하는 비중은 51% 정도로 신축보다 훨씬 높다. 또한 일본은 2000~2009년 기간의 재건축 리모델링 병행기를 거쳐 2010년 이후부터 리모델링 주도기로 이행하고 있다[6].

2. 주요국가의 시장규모

일본의 공동주택 관리업체들을 살펴보면 1위 업체의 연 매출액이 5,523억 원, 3위 업체의 매출액이 1조 180억 원, 5위 업체의 매출액이 3,517억 원 수준으로 국내 1위 업체의 202억 원에 비해 상당한 규모의 차이가 있으며, 전문성 및 조직 체계화의 정도가 우수하다[4].

일본의 경우, 주택부문에서의 에너지절약기준으로 『주택의 에너지 절약 기준』이 1980년에 제정되어 일본 전국을 구분한 6개의 각 지역마다 단열성, 기밀성, 일사차폐에 관한 기준을 규정하고 있으며, 2009년 4월 이후로는 신축주택에 대해서 『주택성 에너지 라벨링』을 의무화함으로써 지속적으로 건축물 부문의 CO_2 저감을 위한 대책 및 정책을 수립하여 진행하고 있다[5].

한편 세계 각국에서는 지구환경의 문제점 해결의 일환으로 친환경 주택인 그린홈(Green Home)개발을 진행 중에 있다. 특히 환경친화에너지와 자원의 재이용을 위한 기술의 개발이 유럽 국가들과 일본을 중심으로 진행되어 왔다.

에너지사용 절감을 위한 그린홈의 개발 및 추진에 있어 독일 등 유럽국가에서는 난방에너지 90%이상 절감형 패시브하우스의 보급이 활성화 되었으며 2011년부터 모든 신축주택에서 패시브 설계를 의무화하는 등 국내에 비해 기술 개발에 이은 실용화의 단계에 먼저 접어들었음을 알 수 있다.

---

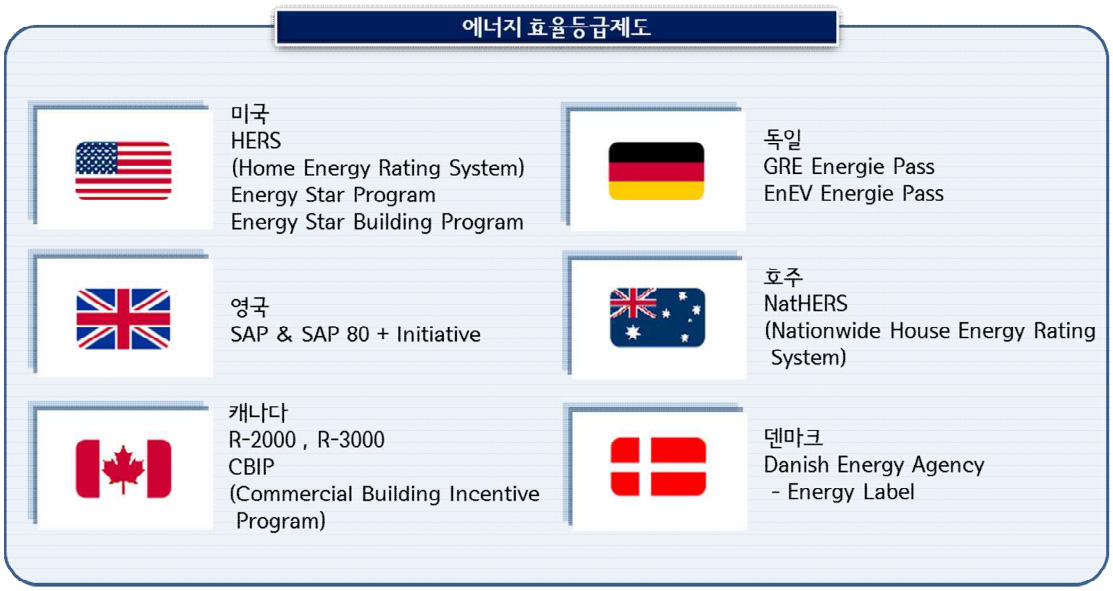
6) 오진희 (2009). “우리나라 아파트 리모델링 현실은?”, 아시아경제 인터넷기사, 2009. 12. 7. <http://www.asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2009112323463824962>

리모델링 및 유지관리 행위가 보다 활성화되어 있는 국외의 시장 상황 및 건물 에너지 절감 노력을 기울이는 글로벌적 추세를 고려할 때 공동주택 유지관리 단계에서의 에너지 절감형 프로세스 및 매뉴얼은 국내뿐 아니라 유럽, 일본 등 해외 시장에서도 활용이 가능할 것으로 예상된다.

3. 국외의 저에너지 친환경 건축물 인증 및 지원 현황



[그림 2-2-01] 해외의 친환경 건축물 인증제도



[그림 2-2-02] 해외의 건축물 에너지 효율 등급 제도

제3절 공동주택 유지관리 현황 및 개선 방향

1. 유지관리 프로세스 현황 분석의 목적

국내에서 주거용 건축물에서 발생하는 온실가스 배출량은 전체 온실가스 배출량의 약 10%정도를 차지하는 것으로 나타났다. 온실가스 배출은 화석연료의 연소에 기인하므로, 에너지 사용량 절감을 위한 노력이 필요하다. 건축물의 생애주기 동안 발생하는 CO_2 배출량의 약 80%가 유지관리단계에서 발생하는 것으로 추정되고 있다. 따라서 건축물 유지관리를 위한 체계적인 에너지 절약 프로세스를 개발 및 적용할 필요가 있다.

본 절에서는 이러한 목적을 위하여 국내의 공동주택 유지관리 프로세스를 조사하고 분석하였다. 또한 우리나라의 프로세스가 가지고 있는 장점이나 단점, 개선할 사항, 혹은 현재의 프로세스가 지닌 한계점 등에 관하여 보다 명확하게 파악하기 위하여, 국외의 유지관리 프로세스를 함께 조사하였다. 조사 및 분석을 통하여, 국내의 프로세스가 지닌 단점들과 부족한 점들을 보완함으로써, 국내의 공동주택 유지관리 프로세스의 개선 방향을 제시하고자 한다.

2. 분석의 범위 및 방법

본 절에서는 국내외 공동주택의 유지관리 프로세스를 비교 분석하고자 한다. 사례분석에 기초한 프로세스에 대한 연구이기 때문에, 공공부문의 아파트를 분석대상으로 설정하였다. 국내의 경우, 한국토지주택공사(이하 LH공사라 함)에서 시행하는 공동주택을 분석대상으로 선정하였다. 그리고 국내와 유사한 환경을 갖고 있는 일본의 도시재생기구(Urban Renaissance Agency)(이하 UR도시기구라 함)를 비교분석 대상으로 선정하였다. 공동주택은 사업유형에 따라 분양사업과 임대사업으로 구분되는데, 본 연구에서는 LH공사와 UR도시기구에서 공동주택의 유지관리 단계를 직접 관할하고 있는 임대주택으로 한정하였다.

연구는 우선적으로 최근 한국과 일본의 녹색성장 정책과 관련하여, 온실가스 배출량 감축을 위한 유지관리 프로세스에 대하여 초점을 맞추었다. 이러한 공동주택

의 유지관리 프로세스 분석을 위하여, 다음과 같은 방법으로 연구를 수행하였다.

① LH공사와 UR도시기구에서 웹사이트 및 브로슈어를 통해 제공하고 있는 일반적인 유지관리 프로세스를 사전적으로 고찰하였다.

② LH공사와 UR도시기구의 유지관리 조직 및 프로세스, 그리고 에너지사용량에 대한 관리 및 활용 현황에 대한 면담자료를 작성하였다.

③ LH공사와 UR도시기구에 직접 방문하였고, 면담자료를 토대로 하여, 보다 구체적인 현황을 파악하였다.

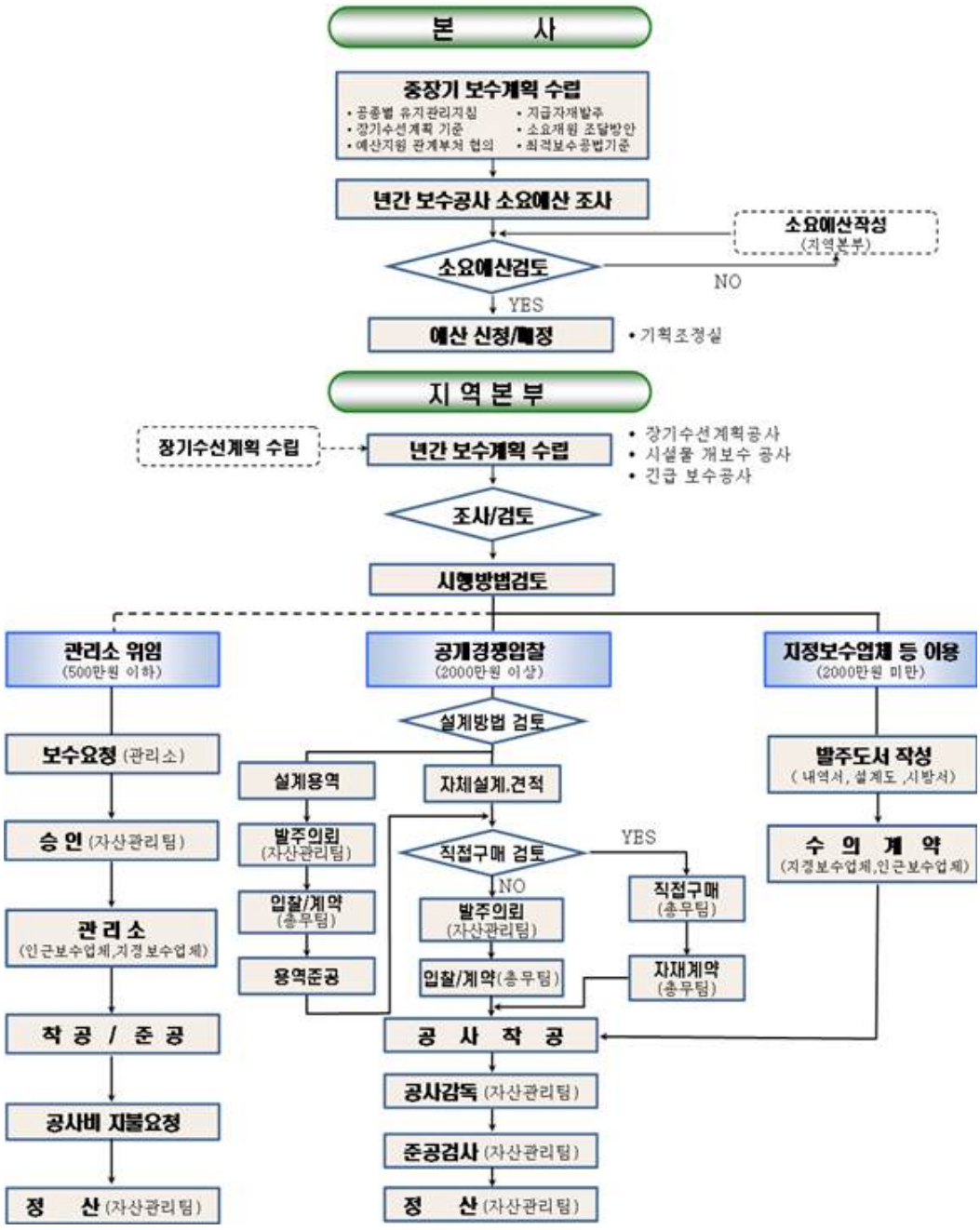
④ 면담결과를 토대로, 공동주택 유지관리 현황에 대한 비교 분석을 실시하였고, 그 결과를 활용하여 개선안을 제시하였다.

3. 국내의 공동주택 유지관리 현황

가. LH공사의 유지관리 조직 및 프로세스

LH공사에서 관리하는 공동주택은 현재 약 52만호 수준이며, 2015년 100만호, 2020년 이후 150만호를 예상하고 있다. 15년에서 20년 경과된 노후 공동주택이 가장 많은 것으로 나타나고 있다. 국내에서는 임대주택을 복지 관점에서 접근하고 있으며, 저소득층에게 주거환경을 제공하는 것을 목표로 하고 있다.

LH공사의 녹색성장과 공동주택 유지관리를 위한 조직은 크게 본사와 지사로 구분되어 있다. 본사에는 녹색성장부와 임대자산관리처가 존재하고 있으며, 지사에는 주거복지단이 있다. 본사의 녹색성장부는 상위기관의 지침에 따른 전사차원에서의 친환경 관련 기획 및 추진을 담당하고, 임대자산관리처는 임대주택의 유지관리를 담당하고 있다. 지사의 주거복지단에서는 관할 내의 공동주택 단지의 유지관리 현황을 분석하고 민원을 접수하는 역할을 수행한다. 지사에 편입되어 있지 않은 공동주택 단지는 본사에서 직접 관리하고 있다. LH공사 산하에 주택도시연구원을 두고 있으며, 유지관리 현황에 대한 분석 및 개선안 제시를 위한 연구를 수행 중이다. LH공사의 유지관리 프로세스는 다음 그림과 같다.



[그림 2-3-01] LH공사의 공동주택 유지관리 프로세스

나. LH공사의 에너지 사용량 관리 및 활용 현황

LH공사에서 관할하고 있는 임대주택의 에너지 사용량에 대한 데이터는 위탁을 통해 관리하고 있다. 주택관리공단 또는 민간업체와의 계약을 통해 지속적인 데이터 축적은 이루어지고 있는 상황이다. 다만, 이렇게 축적된 에너지 사용량 데이터는 공동주택 유지관리 단계에서 시설물 개선여부를 판단하기 위한 의사결정의 기초자료로 활용하고 있지 않고 있다. 또 개선사업 이후의 후속평가 프로세스가 명확하게 정립되어 있지 않으며, 에너지 사용량 추세의 변화도 고려되고 있지 못하다.

다. LH 공사의 온실가스 감축을 위한 유지관리 프로세스

신규주택에 대해서는 장기적인 에너지 절감계획을 수립하고 있으며, 2026년까지 제로에너지하우스의 목표를 실현하기 위해 노력하고 있다. 또한, 기존주택에 대해서는 에너지 절감사업의 일환으로서, 시설개선 및 그린홈화 사업이 추진되고 있다. 기존주택의 노후시설을 부분적으로 개선함으로써, 에너지 사용량을 약 10%정도 절감시키는 것을 목표로 하고 있다. 본 사업은 전국의 공동주택 단지 중 9개의 시범단지를 대상으로 진행하였다. 그 자세한 목록과 개선 사업의 내용은 아래의 표들과 같다. 이러한 9개의 시범단지는 ①지역별 평등 분배의 원칙 하에, ②사용연한 15년 이상 경과된 단지, ③1,000세대 이상의 단지라는 기준을 적용하여 선정되었다.

<표 2-3-01> 공동주택 시설개선 및 그린홈화 사업 진행 현황

지구명	세대수	사업비(백만원)	적용항목
계	10,229	14,141	(기본항목)
서울중계3	1,325	1,546	
**서울등촌7	1,146	2,172	발코니 방식
수원우만3	1,213	1,321	
대구안심1,3	1,848	2,745	대기전력차단장치
*김해구산1	552	944	옥외LED보안등
제천하소4	1,074	1,223	
전주평화1	1,650	1,735	(추가항목)
원주명륜2	1,133	1,287	콘덴싱보일러*
나주용산1	288	501	난방시스템 개선**
14개 단지 (LED보안등 설치)	(14,496)	667	잔여예산 활용

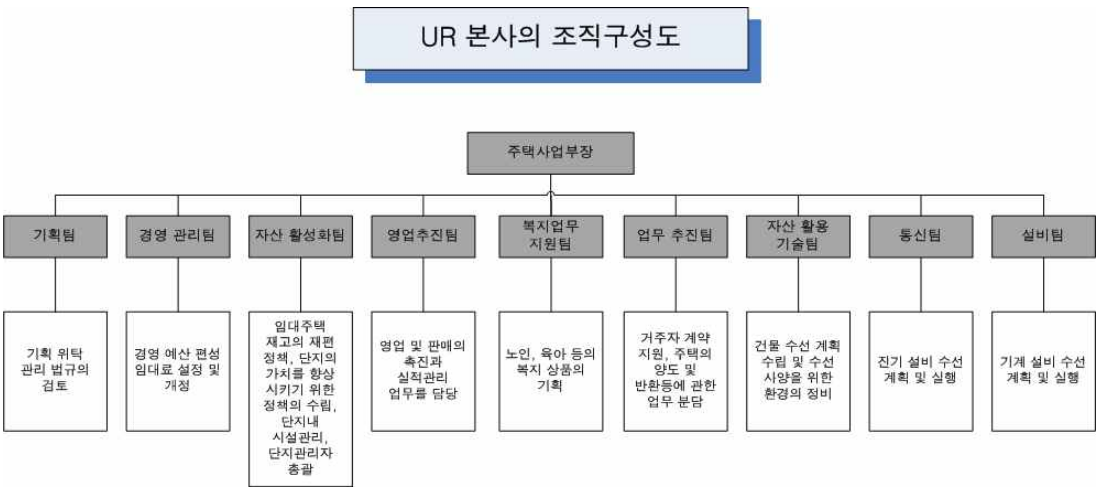
<표 2-3-02> 그린홈화 사업에 적용된 에너지 절감 아이템

구분	항목	세부내용	절감률
기본 항목 (4)	1. 발코니 샤시 설치	- 당초 : AL단창(단층 3~5mm) - 변경 : PL단창(복층 22mm)	8.5%
	2. 외부창호 교체	작은방 PL이중창 교체(복층22mm)	3.4%
	3. 옥외보안등 LED 교체	보안등주 및 LED전등 교체	0.39%
	4. 대기전력차단장치 설치	거실 1개소(1구형) 설치	4.8%
추가 선택 항목 (2)	1. 콘덴싱보일러 교체	고효율 콘덴싱보일러 교체	12%
	2. 난방시스템 개선	① 난방온도조절기 (비전기식→전기식)	2%
		② 온수분배기밸브 (수동→미세유량조절밸브)	3%
		③ 난방배관 교체(강관→동관)	2%
		④ 기계실 난방순환펌프 교체 (일반형→고효율 펌프)	1.5%

4. 일본의 공동주택 유지관리 현황

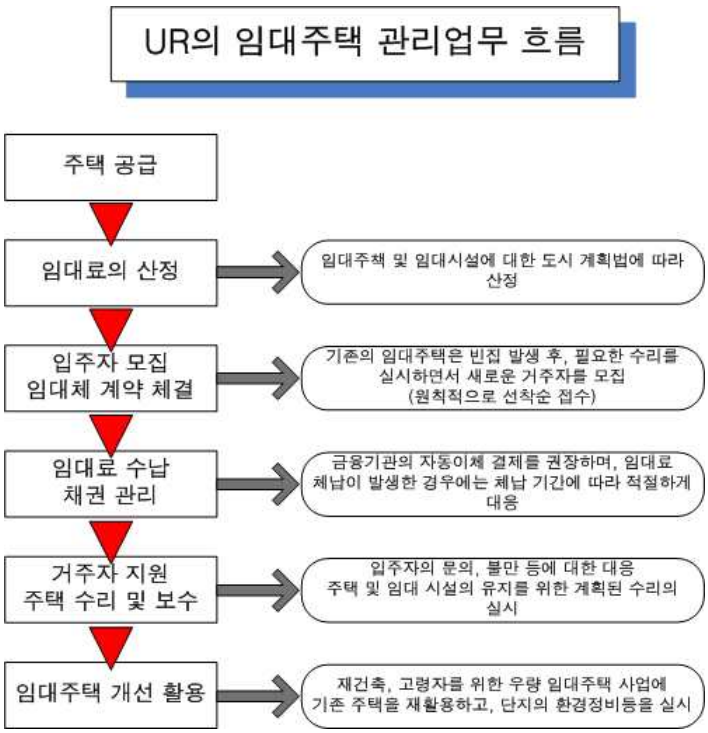
가. UR도시기구의 유지관리 조직 및 프로세스

일본의 UR도시기구는 한국의 LH공사와 매우 유사한 성격의 조직이다. 유지관리 조직 및 프로세스에 있어서도 LH공사와 매우 유사한 특성을 보이고 있다. 우선 UR도시기구의 웹페이지와 그 곳에서 제공되는 브로슈어를 통해 선행조사를 마친 후, 작성한 면담자료를 가지고 UR도시기구 담당자들과의 면담을 실시하였다. 사전조사와 면담을 통하여 파악한 UR도시기구 본사의 전체적인 조직구성은 다음 그림과 같다.



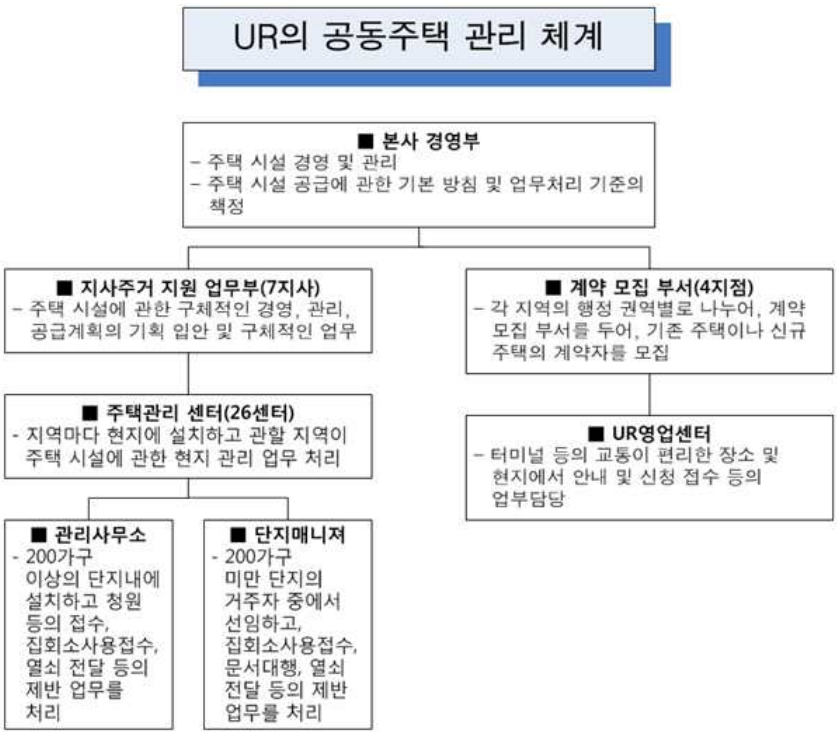
[그림 2-3-02] UR도시기구 본사의 조직구성도

요코하마에 소재한 UR도시기구 본사를 방문하여 International Cooperation General Affairs & Personnel Department, 친환경 관련 정책 수립 및 프로세스를 개발·관리하는 환경기획실, 공동주택의 개·수선을 포함한 유지관리 프로세스 전반을 총괄적으로 관리하는 주택경영부 소속 담당자들을 대상으로 전문가 면담을 실시하였다. UR도시기구는 770,000여 세대에 이르는 일본의 임대주택을 관리하고 있으며, 자사 소유 임대주택을 관리하는 업무의 흐름은 다음 그림과 같다.



[그림 2-3-03] UR도시기구의 임대주택 관리 업무 흐름

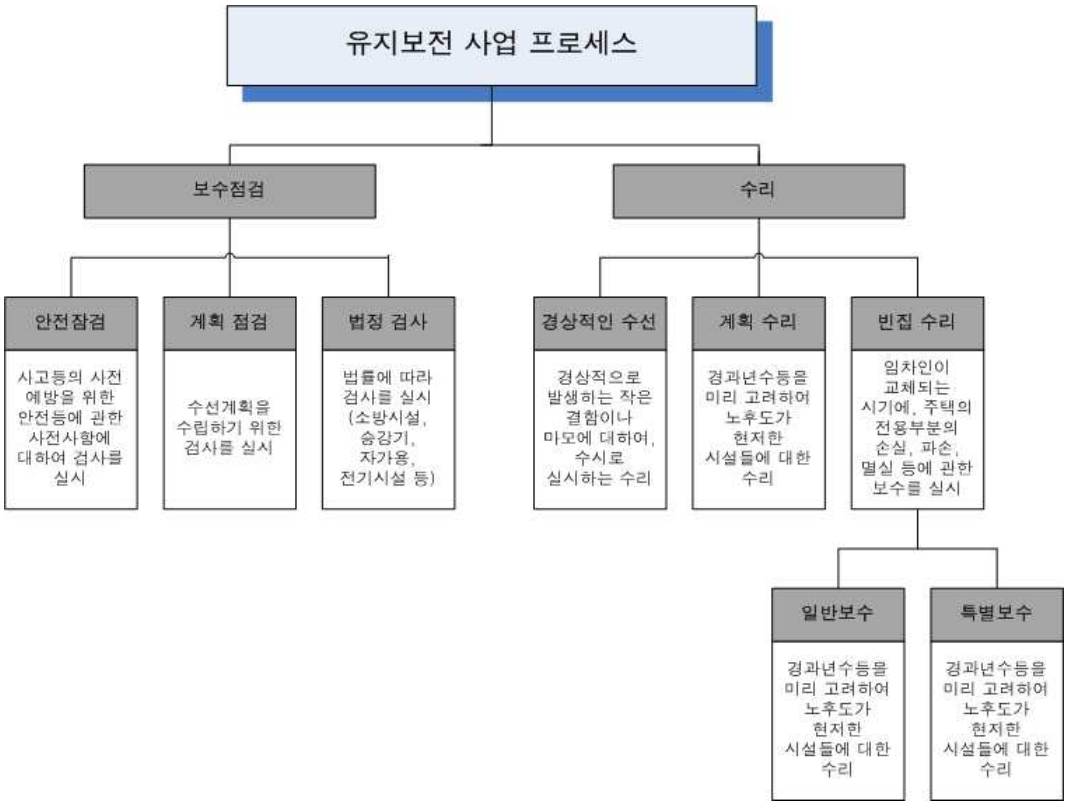
UR도시기구는 크게 본사와 지사로 구분되며, 본사에는 환경기획실과 주택경영부가, 지사에는 주택관리센터가 있다. 본사의 환경기획실은 상위기관의 지침에 따른 전사차원에서의 친환경 관련 기획 및 추진을 담당하고, 주택경영부는 임대주택의 유지관리를 담당하고 있다. 주택경영부에서는 공동주택의 유지관리 단계에서의 담당 업무를 세부적으로 정의함으로써, 수선이나 개보수 등의 실질적인 유지관리 업무가 실행한다. 주택경영부의 조직 구성은 다음 그림과 같다.



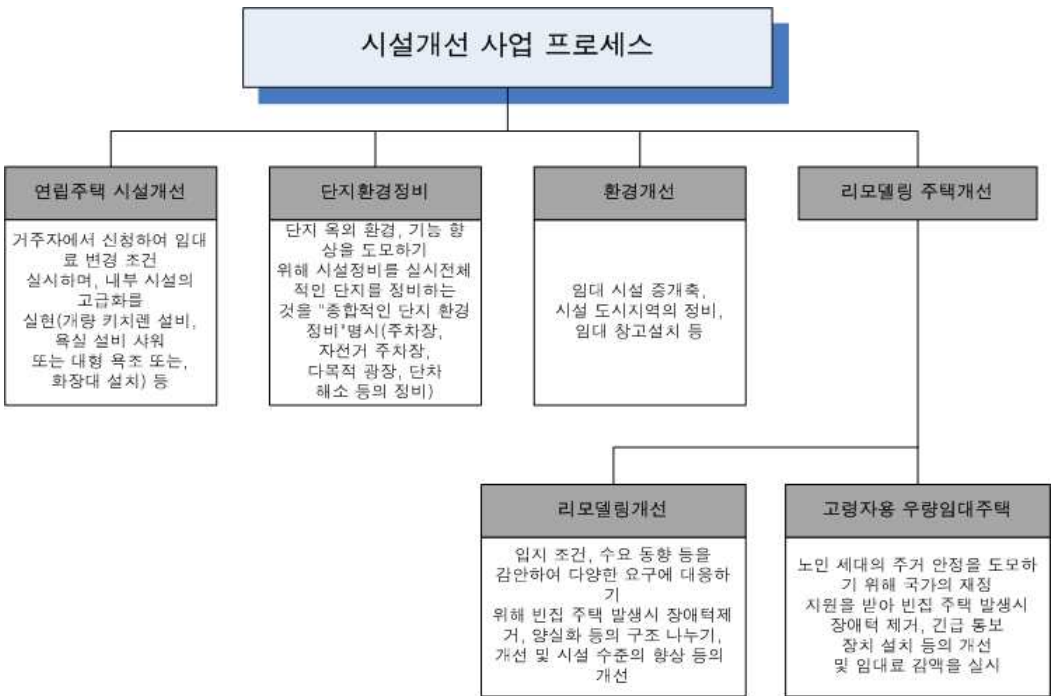
[그림 2-3-04] UR도시기구의 공동주택 관리 체계

지사의 주택관리센터에서는 관할 내의 공동주택 단지의 유지관리 현황을 분석하고 민원을 접수하는 역할을 수행한다. 단지매니저라는 업역이 존재하는데, 이를 통해 거주자의 불만사항 및 요구사항을 세부적으로 파악하고 있다. 일본의 임대주택이 자산 관점에서 관리되는 특징을 반영한 것으로 판단된다. UR도시기구 산하에 도시주택기술연구소를 두고 있으며, 유지관리 현황에 대한 분석 및 개선안 제시를 위한 연구를 수행 중이다.

앞서 언급한 대로, 일본에서는 임대주택 사업에 대하여 자사회의 자산이라는 관점에서 접근되고 있다. 그리고 유지 관리 단계에서의 시설물 개선 사업의 경우에도 이러한 특징이 반영되고 있었다. 개선 사업의 목표를 임대주택의 가치를 유지시키는 것과 주택의 가치를 향상시키는 것, 이렇게 두 가지로 설정하고 있었다. 또한 이 두 가지의 경우마다 적용되는 프로세스가 명확히 달라지는 것을 파악할 수 있었다. 임대주택의 가치를 유지시키는 개선 사업을 '시설물의 유지보전 사업'이라고 하고, 가치를 향상 시키는 개선 사업을 '시설 개선 사업'이라고 정의하였다. 각각의 서로 다른 프로세스는 다음 그림들과 같다.



[그림 2-3-05] 유지보전 사업 프로세스



[그림 2-3-06] 시설개선 사업 프로세스

나. UR도시기구의 에너지 사용량 관리 및 활용 현황

UR도시기구는 임대주택의 에너지 사용량 데이터를 수집 및 분석하고 있는 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 UR도시기구에서는 매년 환경보고서를 발간하고 있다. 또한, 설비시설 및 배관 등의 사용연한을 사전에 명확하게 정의하고, 전문부서가 이를 지속적으로 관리하고 있는 것으로 나타났다. LH공사에서도 유사한 프로세스가 적용되고 있으나, UR도시기구의 경우 부문별 유지관리 데이터가 보다 체계적으로 관리되고 있는 것으로 나타났다. 다만 국내와 마찬가지로 이러한 데이터는 공동주택 유지관리 단계에서 시설물 개선여부를 판단하기 위한 의사결정의 기초자료로 활용되지 못하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 국내와 같이 개선사업 이후의 후속 평가 프로세스가 명확하게 정립되어 있지 않으며, 에너지 사용량 추세의 변화도 고려되고 있지 못한 것으로 나타났다.

다. UR도시기구의 온실가스 감축을 위한 유지관리 프로세스

UR도시기구는 환경 에너지 대국이라는 전략 하에, 온실가스 감축을 목표로 하는 장기적인 로드맵을 수립하였으며, 2020년까지 제로에너지하우스 실현을 목표로 하고 있다. 주택부문의 에너지성능 향상을 위한 개선사업에 대하여, 공사비용을 부분적으로 지원하는 제도는 국내와 유사한 것으로 나타났다. 이에 추가적으로, 개선사업의 주체에게 에코마일리지 포인트를 지급하고 있는 것으로 조사되었으며, 이는 정부의 적극적인 정책에 의한 것이다. 이러한 노력의 결과로, 2007년 이후로 일본의 온실가스의 배출량은 점점 감소되고 있음을 알 수 있었다. 한편, UR도시기구에서는 도시주택기술연구소를 통해, 온실가스 감축을 위한 지속적인 연구를 수행하고 있는 것으로 나타났다. 건축물을 골조와 내부설비로 분리한 시스템(SI 시스템)을 개발하여, 개선사업이 필요할 경우 부분적인 수선이 가능한 합리적인 절차 및 기술을 갖추고 있는 것으로 나타났다.

5. 국내외 유지관리 현황 분석을 통한 문제점 및 개선안

LH공사와 UR의 공동주택, 특히 임대주택과 관련된 유지관리 조직 및 프로세스, 에너지 사용량 관리 및 활용 현황에 대한 분석 내용을 다음 표에 구체적으로 제시하였다.

<표 2-3-03> LH공사와 UR도시기구의 공동주택 유지관리 현황 비교

구분	LH공사(한국)	UR도시기구(일본)
공동주택 노후현황	▪ 현재 52만호 수준, 2015년 100만호 예상, 2020년 이후 150만호 예상 ▪ 15~20년 경과된 노후 공동주택이 가장 많은 것으로 나타남	▪ 1955년 이후 준공된 공동주택이 누적되고 있는 추세 (현재 76만호) ▪ 35~45년 경과된 노후 공동주택이 가장 많은 것으로 나타남
임대주택의 개념	▪ 복지관점에서 접근하고 있으며, 저소득층의 주거환경 제공을 목표로 하고 있음	▪ 자산관점에서 접근하고 있으며, 유지관리를 통한 시설물 개선은 임대료 상승의 효과로 반영됨
유지관리 조직구성	▪ 본사 : 녹색성장부, 임대자산관리처 ▪ 지사 : 주거복지단	▪ 본사 : 환경기획실, 주택경영부 ▪ 지사 : 주택관리센터(단지매니저)
에너지 사용량 관리 및 활용 현황	▪ 주택관리공단 또는 민간업체에 위탁하여 에너지 사용량 관리 ▪ 에너지 사용량 데이터를 유지관리 프로세스에 부분적으로 반영함	▪ UR 자체적으로 에너지 사용량 데이터를 수집·분석하고 있음 ▪ 에너지 사용량 데이터를 유지관리 프로세스에 부분적으로 반영함
시설물 개선규모	▪ 단지 단위의 개선사업	▪ 개별 세대 단위의 개선사업(종전) ▪ 단지 단위의 개선사업(현재)
개선대상 선정기준	▪ 15년 이상 노후 공동주택 단지 ▪ 1,000세대 이상 공동주택 단지 ▪ 지역별 평등 분배 원칙	▪ 설비의 사용연수 고려한 개선(종전) ▪ 부위별 기능저하 시 개선(종전) ▪ 비용대비 효과 높은 단지 선정(현재)
개선항목 선정기준	▪ 4대 기본요소와 2대 옵션 적용(발코니 샤시, 노후 창호 교체, 대기전력 차단장치, 단지 내 가로등 LED 교체)	▪ 설비별 사용연한 설정에 따른 개선 ▪ 개·보수 필요 시, 수시 대응
개선사업 후속평가	▪ 후속평가 프로세스 없음	▪ 후속평가 프로세스 없음
연구소 연계업무	▪ LH공사 산하의 주택도시연구원 ▪ 유지관리 현황에 대한 분석 및 개선안 제시를 위한 연구수행 중	▪ UR 산하의 도시주택기술연구소 ▪ 유지관리 현황에 대한 분석 및 개선안 제시를 위한 연구수행 중

LH공사와 UR의 공동주택 유지관리 현황 분석을 통해, 다음과 같은 몇 가지 공통적인 문제점을 도출하였다.

첫째, 가전제품의 판매량 증가, 1인 2가구 주택의 증가로 인해 개인별 에너지 사용량의 절대적인 수치가 증가하고 있는 것으로 나타났다. 즉, 고효율의 에너지 소비 제품들이 많아졌지만, 제품들의 절대적인 판매수량이 크게 증가하였기 때문에, 개인별 에너지 사용량은 오히려 증가하고 있다는 것이다.

둘째, 공동주택 증가 추세를 반영할 만큼의 관리인력 충원은 현실적으로 어려운 상황이다. 현재 LH에서 관리하는 임대주택은 약 52만호인데, 2020년까지 150만호

로 늘릴 계획이다. 국내에서 점차적으로 늘어나는 임대주택에 대한 선호도와 수요를 고려했을 때, 원활한 업무 진행이 점점 더 어려워질 위험이 있다.

셋째, 유지관리 업무는 각 사례별로 변동성이 커서 대부분의 업무에 일대일 대응이 필요하다. 예를 들면, 신축 공사의 경우 단위면적당 공사비가 비교적 명확하게 정해질 수 있는 반면, 보수 공사의 경우 같은 방수 공사라고 하더라도 노후도나 손상된 상태에 따라 공사비가 달라질 수 있다. 이런 이유로 유지관리 업무의 전산화 및 표준화에 한계가 있다.

이러한 문제점을 해결함과 동시에, 체계적이고 효율적인 유지관리 프로세스를 정립하기 위한 개선안을 다음과 같이 제시하고자 한다.

첫째, 공동주택 개선사업을 위한 판단기준이 명확하게 수립되어야 한다. 특히 에너지 사용량을 기준으로 한 판단기준이 수립되어야 한다. 개선 사업을 진행하기 위해서는 가장 우선적으로 개선대상 시설물을 선정해야 할 것이다. 현재로서는 개선대상의 기준으로 삼을 수 있는 지표로 사용년수가 거의 유일한 실정이다. 그러나 사용년수가 오래된 것이 에너지 효율이 떨어지는 것을 의미하지는 않는다. 따라서 에너지 절약을 위한 시설물 개선 사업을 보다 효율적으로 진행하기 위해서는 에너지 사용량과 에너지 효율을 기준으로 한 새로운 판단 기준을 마련하고 이를 개선사업에 적용하여야 할 것이다.

둘째, 개선 사업에 적용할 아이템 선별의 기준이 마련되어야 한다. 에너지 절약 및 온실가스 저감을 위한 시설물의 개선 사업도, 결국에는 비용에 대한 제약을 받게 된다. 개선 사업은 최소한의 비용으로 최고의 효과를 얻을 수 있는 아이템을 선별하여 진행되어야 한다. 따라서 에너지 사용량을 근거로 한 개선 대상 판단 기준을 기초로 하여, LCC 및 $LCCO_2$ 분석 결과를 통합적으로 고려한 최적 아이템 선정 및 평가 기준이 적용되어야 한다.

마지막으로, CO_2 감축을 위한 중장기 로드맵의 현실화가 필요하며, 시민들의 자발적인 참여를 독려할 수 있는 인센티브 정책이 마련되어야 한다. 현재 2026년 까지 제로에너지하우스라는 목표의 장기계획을 세우고 있지만, 이것은 실 거주자들의 노력이 없이는 실현될 수 없는 부분이다. 물론 가장 근본적인 해결책은 사용자의 의식개선이라고 할 수 있겠지만, 정책적 지원이나 인센티브 지급 등을 통한 동기부여 역시 목표 달성을 위해 꼭 필요하다.

제4절 공동주택 에너지 절감 방안 POOL

1. 개요

건물의 에너지 절감을 위한 기법은 크게 액티브(Active)한 기법과 패시브(Passive)한 기법으로 분류할 수 있다. 패시브 기법은 기본적으로 건축물이 사용하는 에너지의 절감을 유도하고, 자연에너지를 설비기기나 동력을 사용하지 않고 도입함으로써 에너지 절감형 건물을 구현하고자 건축적 요소를 활용하는 기법이다. 한편 액티브 기법은 설비 및 동력을 활용함으로써 패시브적인 요소를 활용한 에너지 절감 효과를 더욱 극대화하는 기법이다. 효과적인 건물의 에너지 절감을 건물 외피 및 형태적 요소 등의 패시브 기법과 설비 및 기술적 측면의 액티브 기법을 복합적으로 적절히 적용할 필요가 있다. 본 연구에서는 크게 액티브, 패시브 기법과 신재생에너지 부문으로 나누어 다양한 에너지 절감 방안들의 특징, 성능, 경제성 등을 조사 및 분석하였다. 그 결과는 별책으로 제시하였으며, 본 절에서는 각 에너지 절감 방안에 대한 간략한 설명 및 그림만을 첨부하였다.

2. Active Energy Saving Measures

(1) 콘덴싱 보일러

배기가스 온도를 일정온도 이하로 유지하여 응축수가 만들어지도록 하여 이때 발산되는 열을 이용하는 보일러를 말한다.



[그림 2-4-01] 콘덴싱 보일러

(2) 고효율 유도전동기

삼상유도전동기(0.4 ~ 200kW)로서 600V 이하의 전압이며, KS C 4202 규정 이상의 고효율 기준을 만족하는 전동기로, 표준 전동기보다 손실을 20~30%정도 감소시켜 효율이 4~10% 정도 높고 제품수명은 10~15년 정도인 전동기이다.



[그림 2-4-02] 고효율 유도전동기

(3) 열병합 발전시스템

동일한 연료를 사용하여 두 가지의 유형이 다른 에너지(열, 전기)를 동시에 생산하는 종합에너지시스템으로 일반적으로 고온부는 전기, 저온부는 공정열로 사용하는 에너지 시스템이다.



[그림 2-4-03] 열병합 발전시스템

(4) 고효율 변압기

철심소재를 비정질 자성재료나 방향성 규소 강판 등을 사용하여 무부하 손실을 기존 변압기에 비해 약 70% 줄인 절전형 변압기로, 일반변압기에 비해 가격이 고가이나 에너지 절감에 의한 전기요금 절약으로 약 3~4년 이내에 투자비 차액의 회수가 가능하다. 현재 고효율변압기로 인증된 제품들은 아몰퍼스 변압기의 종류들이다.



[그림 2-4-04] 고효율 변압기

(5) 하이브리드 환기시스템

자연환기와 기계환기 방식을 조화시켜 쾌적한 실내환경을 제공하는 환기시스템으로, 자연환기 모드와 기계환기모드를 자동적으로 전환할 수 있는 자동제어시스템을 설치하여 에너지 소모를 최소화하도록 계획되어진 시스템을 말한다.



[그림 2-4-05] 하이브리드 환기시스템

(6) 바닥 취출 공조방식

기존의 천장공조 시스템과는 구분되어 바닥에서 취출되는 공조방식으로 공조시스템뿐 아니라 기타 배선 및 배관설비를 수용할 수 있는 통합적인 시스템을 말한다.



[그림 2-4-06] 바닥 취출 공조방식

(7) 폐열 회수 환기시스템

냉난방을 하고 있는 실내에서 환기를 통해 실내의 오염된 공기를 배출시킬 때 실내 공기에 포함되어 외부로 빠져나가는 열에너지를 열 교환기에서 회수하여 외부로부터 들어오는 신선한 공기에 다시 이 회수된 에너지를 재공급함으로써 냉난방 에너지를 줄여주는 시스템이다.



[그림 2-4-07] 폐열 회수 환기시스템

(8) 각방 제어 시스템

기존 난방제어시스템은 세대당 1대의 온도조절기에 의해 실내 온도를 일괄적으로 설정·제어하는 방식으로, 실별 위치 및 구조에 따른 과냉 및 과열현상이 발생하여 비효율적인 난방이 될 수밖에 없었다. 실별 온도 조절시스템은 실별 위치 및 생활자의 취향에 따라 실내온도를 설정하면, 각 온도조절기에서 실내온도를 감지하고 온도의 공급을 자동 제어하여 실내온도를 유지하는 이상적인 난방제어 시스템이다.



[그림 2-4-08] 각방 제어 시스템

(9) 자동절전 제어장치

전자제품, 컴퓨터 등의 꺼짐 또는 스위치 오프나 조도설정, 시간설정 등을 자동 감지하여 연결된 기기의 전원을 3분 이내에 차단하고, 이때 자체 소비전력을 10W 이하로 만드는 장치이다. 자동전력제어장치는 제어방식에 따라 부하감지 형, 조도감지 형, 타이머 형, 복합형(부하, 조도, 인체감지 등)으로 구분된다.



[그림 2-4-09] 자동절전 제어장치

(10) 외기보상제어(ORC)

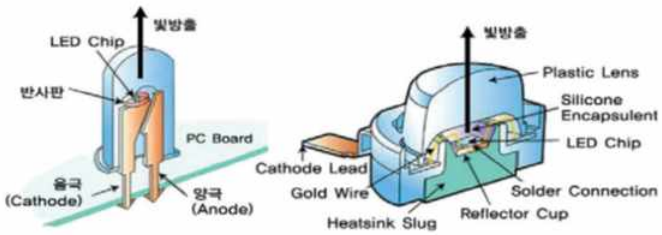
기상청에서 예보된 하루의 시간 별 외기온도의 변화에 따라서 실내로 공급되는 난방공급수의 온도를 비례적으로 변화시키는 제어법을 말한다. 외기보상제어의 목적은 외기온도의 변화에 맞게 실내온도의 설정치를 바꾸고 보건상 혹은 쾌감상의 개선을 꾀함과 동시에 외기온도의 변화에 의해 발생하는 실내온도의 오프셋을 제거하는 데 있다.



[그림 2-4-10] 외기보상제어

(11) LED 조명

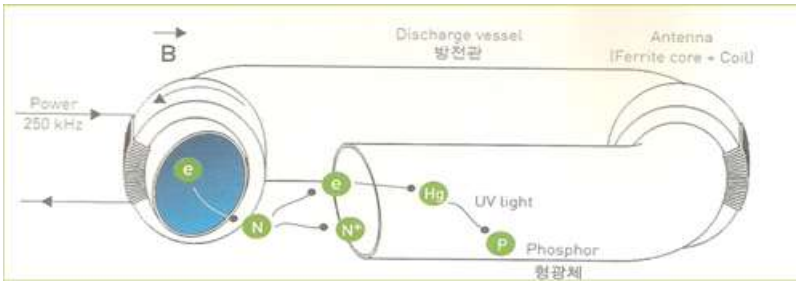
LED는 'Light-Emitting Diode'의 약자로서 전류가 흐르면 빛을 방출하는 다이오드의 일종이다. 기본적으로 반도체 다이오드로서 전기를 통하면 전자와 홀이 재결합하여 에너지 차이에 의해 빛의 형태로 발생한다. 이 효과를 '전기적인 발광'이라고 하며 발생되는 다양한 빛의 색깔은 에너지 차이의 크기에 따라 정해진다. LED는 20세기 초에 발견되었다. 처음의 LED는 어두운 붉은 광선을 방출했으나 지금은 잘 보이면서도 아주 밝은 빛을 방출한다. 크기가 매우 작지만 발광 무늬를 만들 수 있고 반사 기능을 갖고 있는 통합 광학 부품이다.



[그림 2-4-11] LED 조명

(12) 무전극 램프

외부로부터의 전압이나 전류 인가용 전극이 없는 형광방전 램프이다. 방전관 외부에 설치된 코일에 고주파가 흘러 발생된 자기장이 방전관을 통과하면 패러데이의 원리에 의해 기전력이 발생한다. 이 기전력에 의해 여러 가지 가스가 혼합된 방전관 내에서 전자가 가속되어 플라스마가 발생되고, 여기에서 나온 자외선은 유리관 내부에 도포된 형광체를 자극하여 조명에 알맞은 가시광선만을 방출하게 된다.



[그림 2-4-12] 무전극 램프

(13) T-5 형광등

슬림형 직관 램프로서, 주로 간접조명으로 많이 쓰이던 램프이다. 상업시설에 많이 쓰여 왔으나, 광효율이 우수해 최근에는 가정용 조명으로도 각광받고 있다.




[그림 2-4-13] T-5 형광등

(14) 에어커튼

위에서 아래로 압축공기를 분출시키고 흡입구를 아래쪽에 설치하여 공기유막을 만들어 바깥쪽과 안쪽을 차단하는 설비를 말한다. 사람이 거주하고 출입하는 모든 출입구에 설치하면 문이 열리고 닫힐 때, 냉난방 에너지의 유출을 차단할 수 있고 외부로부터의 공기오염 물질의 실내유입을 막을 수 있다. 에너지 비용을 절감하고

실내 거주환경을 개선하는 데 도움이 된다.



[그림 2-4-14] 에어커튼

(15) 절수위생설비

위생기구란 물의 공급 또는 세정되어야 할 오물의 저장 및 배출을 위해 설치되어진 급수기구, 물받이용기, 배수기구 및 그 부속품을 말하며 절수위생설비는 이러한 기구의 물 사용에 있어 기술의 적용을 통해 물의 소비를 줄일 수 있는 위생설비를 말한다.



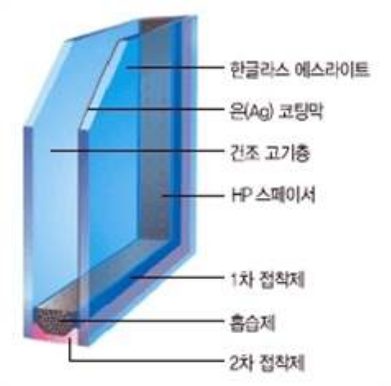
[그림 2-4-15] 절수위생설비

3. Passive Energy Saving Measures

(1) 로이 복층유리(Low-E 유리)

로이 유리란, 일반 유리 내부에 적외선 반사율이 높은 특수 금속 막(일반적으로 은박사용)을 코팅시킨 유리로 건축물의 단열성능을 높이는 유리이다. 특수 금속 막은 가시광선을 투과시켜 실내의 채광성을 높여주고, 적외선은 반사하므로 실내외

열의 이동을 극소화시켜 실내의 온도 변화를 적게 만들어주는 에너지 절약형 유리이다. 로이 복층유리는 판유리에 단열효과가 뛰어난 특수 금속 막을 코팅하므로 고단열 복층유리가 된다.



[그림 2-4-16] Low-E 복층유리

(2) 고단열 삼중유리

3장의 유리로 조합되어 두 겹의 공기단열 층을 갖는 삼중창호는 기존 복층유리보다 우수한 단열성능을 가지며 제작이 용이하여 점차적으로 확대 적용되는 창호이다. 기존 로이복층유리의 열관류율 1.8W/㎡·K 대비 열관류율 1.27W/㎡·K 로 단열성능이 30%이상 강화되었다.

국내 일부 오피스건물 등에 적용 중인 삼중창호는 공동주택 적용성을 위한 단열간봉 적용과 단열성능이 우수한 PVC창틀, 복층 내부 공기층에 다양한 불활성기체의 주입으로 단열성능을 더 강화한 창호개발을 위한 시뮬레이션이 진행 중에 있다.



[그림 2-4-17] 고단열 삼중유리

(3) 진공유리

진공유리는 세 장의 판유리를 사용한 삼중유리 구조로, 실내 방면으로 두 장의 유리 사이 공간을 0.2mm로 유지하고, 공기압력을 견딜 수 있도록 필러(Pillar)를 일정 간격으로 심은 뒤, 내부의 잔류가스를 완벽하게 제거해 밀봉함으로써 진공 상태의 유리를 만든다. 여기에 유리 한 장을 더해 아르곤(Ar), 크립톤(Kr) 등 고단열가스를 그 사이에 주입함으로써 단열성능을 극대화한 삼중유리형태의 진공유리를 만든다.



[그림 2-4-18] 진공유리

(4) 옥상녹화

녹지가 부족한 도심지역의 옥상부분에 녹화를 형성하여 녹지량을 확충함으로써 도시의 생태계를 개선하고 건강하고 쾌적한 도시환경개선, 에너지 절약 등의 많은 문제를 해결할 수 있는 방법이다.



[그림 2-4-19] 옥상녹화

(5) 벽면녹화

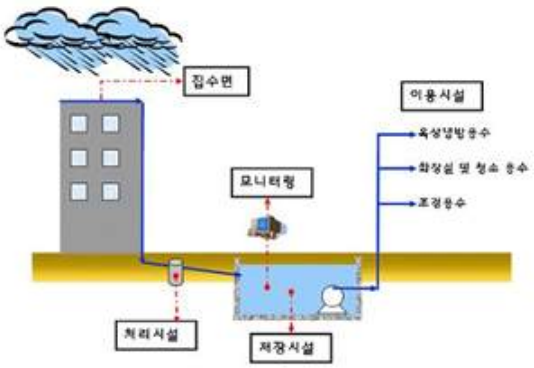
측면녹화에 의해 외부벽면의 복사열을 차단하여 에너지 부하를 감소시키는 방법을 말하며, 시공이 간단하며 외관상 건물의 노출이 꺼려지는 부위를 가려 미관을 조성하는 기법으로 적용이 가능하다.



[그림 2-4-20] 벽면녹화

(6) 빗물이용 시스템

빗물을 이용하여 물의 효율적 이용과 도시의 홍수대책, 하수도의 부하경감을 목적으로 하는 시스템으로 세차나 수경 용수, 살수, 소방용수, 수세식 화장실의 세척수 등으로 이용된다.



[그림 2-4-21] 빗물이용 시스템

(7) 중수도 시스템

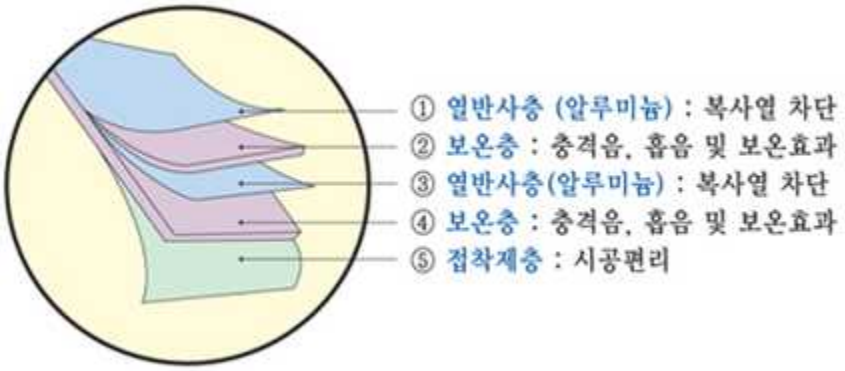
건물 내에서 발생되는 생활하수 및 오수를 미생물로 분해 처리한 후 막 분리공정을 이용하여 정제된 물만을 분리하여 건물 내에서 재이용하는 중수로 사용하는 시스템을 말한다.



[그림 2-4-22] 중수도 시스템

(8) 열반사 단열재

복사열에 약한 기존 부피단열재의 단점을 보완한 알루미늄을 이용한 열반사 단열재로서 복사열을 최대 97%까지 차단할 수 있다. 여름에는 외부 복사열을 차단하고, 겨울에는 실내의 열기가 외부로 유출되는 것을 차단하여 열대야 현상 및 결로 예방 등 단열효과가 우수하여 냉난방비용의 최대 20%이상 절감이 가능하다.

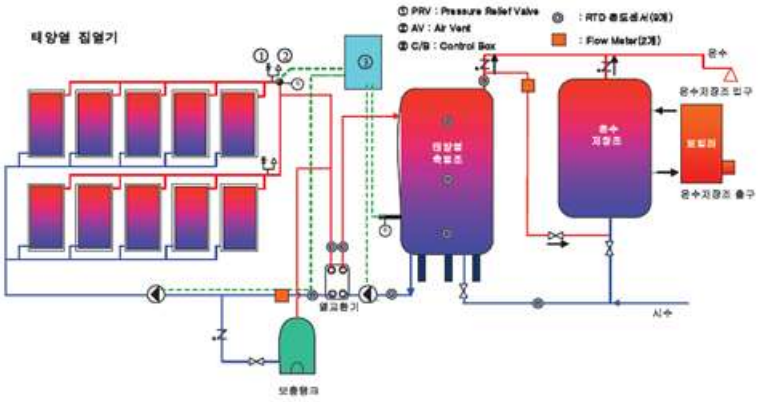


[그림 2-4-23] 열반사 단열재

4. New Renewable Energy Techniques

(1) 태양열 급탕 시스템

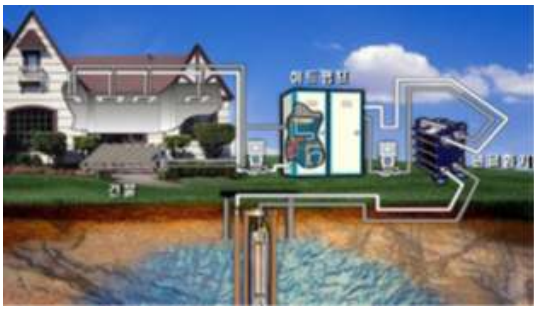
태양열을 이용한 온수 급탕 시스템으로서 유류를 대체할 수 있는 차세대 에너지이며, 유류비를 절감하고, 환경오염물질을 배출하지 않는 대체에너지 온수 급탕 시스템이다.



[그림 2-4-24] 태양열 급탕 시스템

(2) 지열 히트 펌프 시스템

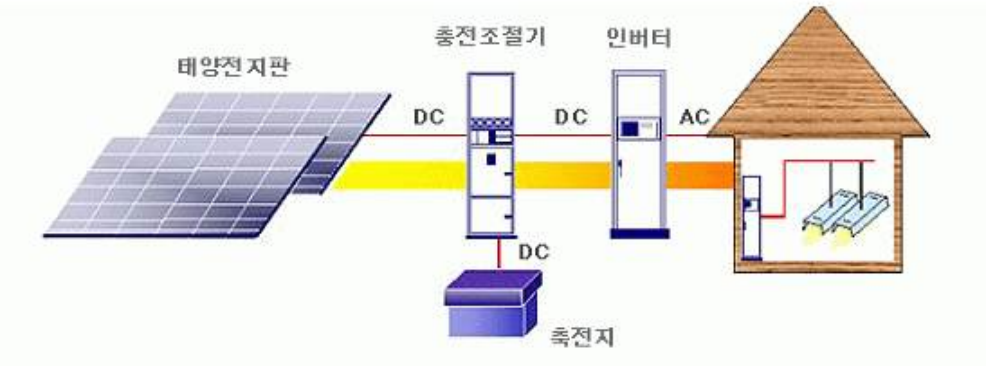
땅의 온도가 변화가 적다는 점을 이용하여 개발된 시스템으로, 물, 지하수 및 지하의 열 등의 온도차를 이용하여 냉, 난방에 활용하는 기술을 말한다.



[그림 2-4-25] 지열 히트펌프 시스템

(3) 태양광 발전 시스템

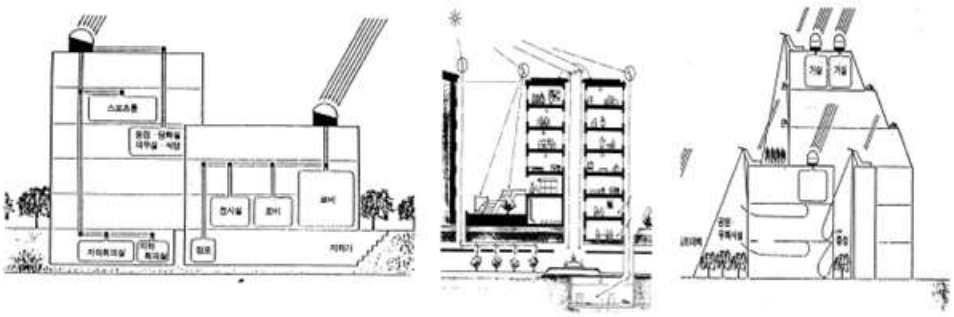
태양빛을 직접 전기로 변환하는 것으로 소음과 같은 환경 파괴적인 부산물이 없으며 태양광을 이용함으로 청정하고 에너지의 무제한 사용이 가능한 시스템이다. 태양전지로 구성되어 있는 모듈을 핵심부품으로 하고 있으며, 모듈은 실리콘이 주를 이루는 반도체 소재로 제작된다.



[그림 2-4-26] 태양광 발전 시스템

(4) 태양광 채광 시스템

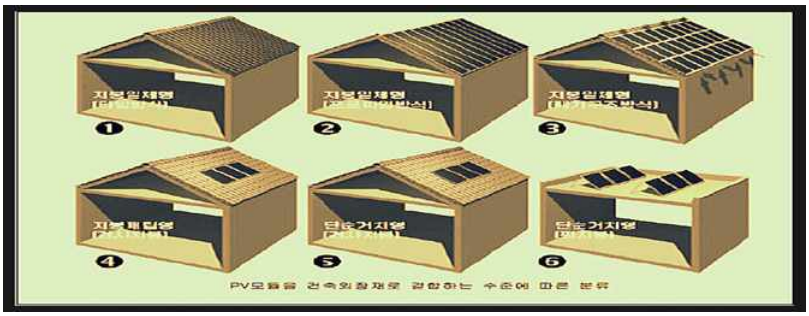
자연광의 유입이 어려운 실내에 여러 가지 하드웨어를 이용하여 부족한 자연광을 도입하는 채광시스템으로, 지구온난화를 방지하고 에너지절약 및 지속 가능한 건축을 위한 다양한 태양에너지 활용시스템의 하나이다.



[그림 2-4-27] 태양광 채광 시스템

(5) BIPV 시스템

건물 외피에 PV모듈을 이용하여 건물외장형 태양광 발전시스템으로 태양광에너지로 전기를 생산하여 공급하는 것 외에 태양광모듈을 건축물 외장재로 사용하여 건설비용을 줄이고 건물의 가치를 높이는 디자인요소로도 사용된다.



[그림 2-4-28] BIPV 시스템

(6) 연료전지

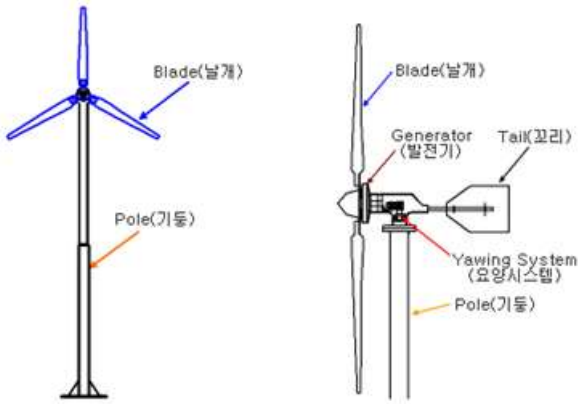
연료의 산화에 의해서 생기는 화학에너지를 직접 전력으로 변환시키는 일종의 발전장치이다. 가장 대표적인 것이 수소-산소 연료전지로서, 수소와 산소의 화학반응으로 생기는 화학에너지를 직접 전력으로 변환시키는 기술이다. 산화-환원반응이 이용되는 원리는 일반 화학전지와 같지만, 닫힌 계 내에서 반응이 일어나는 화학전지와 달리 반응물이 외부에서 계속 공급되어, 반응생성물이 연속적으로 계 외로 제거된다. 연료전지는 저공해성이며, 소음이 없고 배열을 이용할 수 있기 때문에 종합효율이 높다.



[그림 2-4-29] 연료전지

(7) 소형 풍력발전 시스템

바람을 이용하여 풍속에 의해 발생된 풍력에너지를 풍력터빈의 회전날개를 통하여 기계적 에너지로 변화시켜, 이 변화된 에너지를 이용하여 발전기의 회전자를 구동시켜 최종적으로 전력을 생산하는 시스템이다.



[그림 2-4-30] 소형 풍력발전 시스템

제5절 연구결과가 차지하는 위치

온실가스의 배출량의 폭발적인 증가는 지구 온난화 등의 전 지구적인 차원의 환경 문제를 일으키는 주된 요인이라고 할 수 있다.

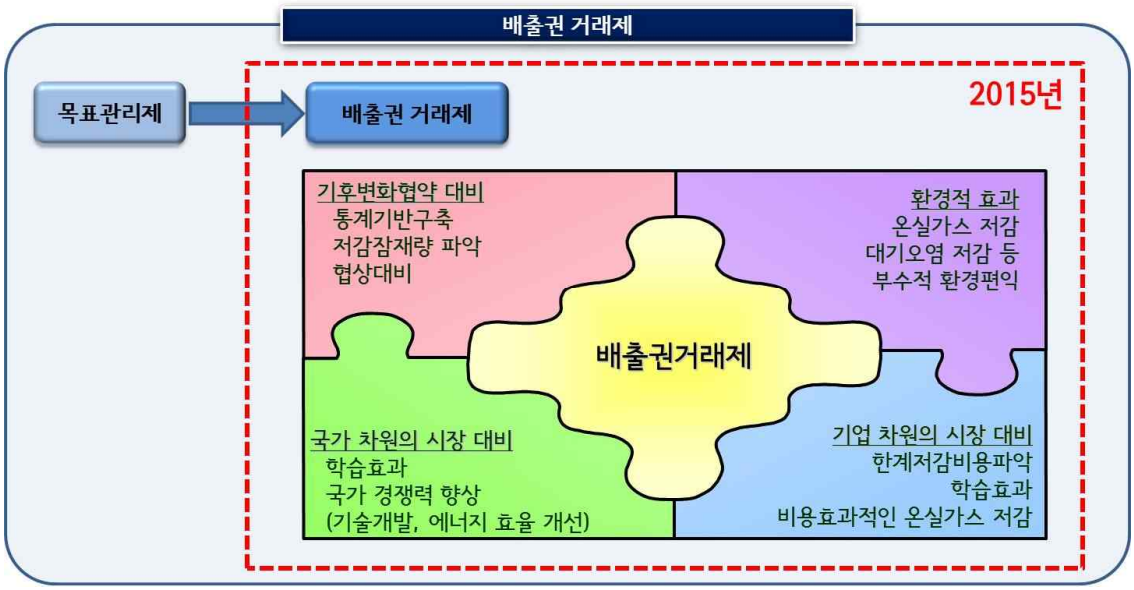
교토의정서가 발효된 이후, 온실가스 배출 감축을 목표로 하는 여러 차례의 기후변화 협약 들이 순차적으로 협의되고 있다. 현재 우리나라는 온실가스 의무 감축국에 포함되고 있지는 않지만, 의무 감축국에 포함되는 것은 눈앞에 두고 있다.

현재 우리나라에서는 '건축물 온실가스 배출 목표관리제'가 실행되고 있다. 이는 개별 건축물, 기업, 혹은 기관에 대한 온실가스 총량을 규정하고 이를 규제하기 위한 수단으로서 작용하게 된다.

현재 실행중인 목표관리제는 온실가스 배출량의 상한선을 정하고, 이를 불이행했을 경우에 해당 기관에 패널티를 부여하는 형식을 취하고 있다.

그러나 세계적인 정책의 흐름이 온실가스 배출권 거래제로 옮기는 추세이고, 우리나라도 2015년 배출권 거래제를 실행 할 것임을 밝혔다.

이는 온실가스의 배출량이 감축이 실질적인 이익과 연관되는 것을 의미한다. 온실가스의 거래 가격은 점차적으로 상승하고 있으며, 이에 온실가스 배출량을 저감함으로써 이익을 창출할 수 있음을 알 수 있다.



[그림 2-5-01] 온실가스 배출권 거래제

온실가스 배출량을 줄이기 위한 방안은 크게 세 가지로 나뉜다.

① 화석연료의 사용량을 줄임으로써 온실가스 배출량을 줄이는 방법

② 온실가스 배출을 일으키지 않는 태양광 등 신재생에너지를 이용하는 방법

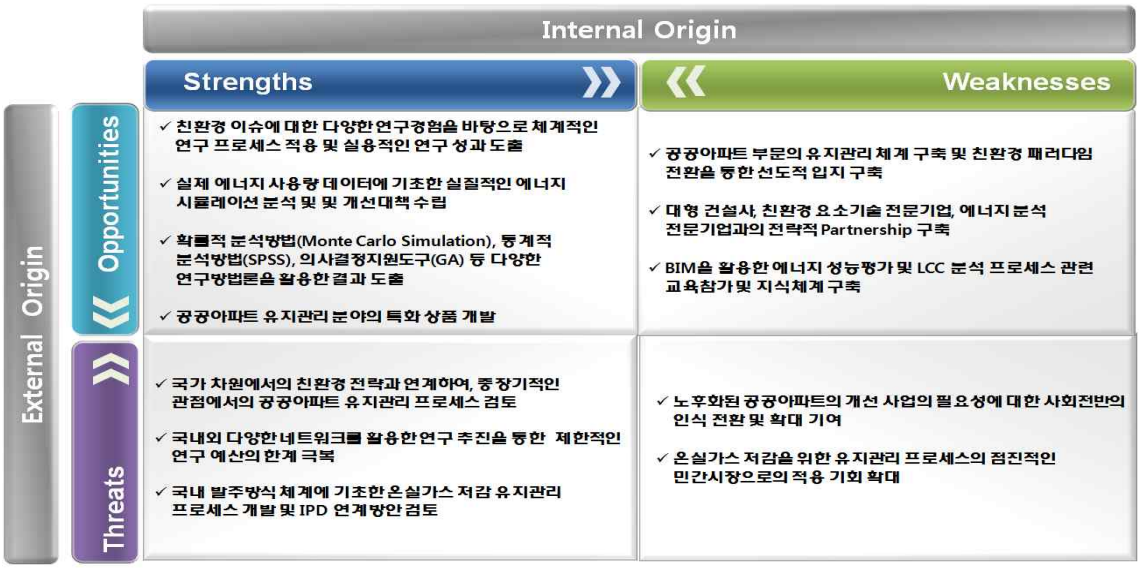
③ 발생하는 온실가스를 포집, 저장하여 온실가스 대기배출을 억제하는 방법

본 연구는 위의 세 가지 방안 중, 첫 번째에 해당하는 것으로써, 그 목표의 달성이 가장 현실적인 것이라고 할 수 있다.

미국의 경우 건축물에서 배출하는 온실가스를 줄이기 위하여, 도시적인 차원에서의 에너지 사용량 관리 및 모니터링이 이루어지고 있다. 온실가스 배출량을 미국과 같이 거시적이고 통합적인 차원에서 관리하려면, 결국 개개의 건축물들에 대한 온실가스 배출량 관리가 가장 근본적이라고 할 수 있다.

그러나 현재 국내에는 위와 같이 도시 전체를 기반으로 하는 통합 시스템이 전무하다. 또한 개별 건축물에 대한 정량적이고 객관적인 온실가스 배출량 선정 프로세스 역시 빈약한 실정이다. 이에 본 연구에서는, 도시 단위의 온실가스 관리를 위한 단계적 연구로서 공공아파트에서 발생하는 온실가스의 저감을 위한 프로세스를 개발하고자 한다.

연구개발 전략 수립을 위해 실행한 SWOT분석의 결과는 그림 [2-5-02]와 같다.



[그림 2-5-02] SWOT 분석을 통한 연구개발 전략

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 연구 수행 방법 및 절차

본 연구과제에서는 온실가스 감축을 위한 공공아파트 유지관리 프로세스의 개발을 위해 아래와 같은 방법 및 절차에 따라 연구를 수행하였다.

(1) 문헌조사 및 면담조사를 통해 국내외 공공아파트의 유지관리 현황을 파악하고, 사례조사 및 전문가 자문을 통해 문제점을 분석하고 개선 사항을 도출하였으며, 국내외 건설친환경정책 및 온실가스 감축 인센티브 제도의 현황을 분석하여 개선 방향을 제시하였다.

(2) 공동주택 도면, 단지 개괄 정보 및 에너지 사용량에 대한 데이터베이스를 구축하고 데이터마이닝 기법을 활용하여 공동주택 유형분류체계(ATBS)를 개발하였다. 또한 이를 활용하여 단지 개선여부 의사결정 모델을 구축하고, 사례분석을 위한 대상 단지를 선정하였다.

(3) 문헌조사 및 면담조사를 통한 기존 공동주택에 적용 가능한 에너지 절감 방안 목록을 작성하고, 이 목록 내 다양한 조합을 통한 개선시나리오를 구성하였다. 분석 대상 단지에 각 개선시나리오를 도입한 모델의 에너지 시뮬레이션을 수행한 뒤 에너지 절감을 통한 CO_2 감축량 및 생애주기비용 분석을 실시하여 최적 시나리오를 선정하였다. 또한 이러한 의사결정을 위한 프로세스를 구축하였다.

(4) 정부 차원에서 공공아파트 개선사업 시행 시 온실가스 감축목표 달성을 위한 방향을 제시할 수 있는 거시적 차원의 의사결정 모델을 개발하였다. 공동주택 유형분류체계를 활용하여 각 유형의 대표 단지를 1개씩 선정하고, 해당 단지들에 에너지 절감 시나리오를 적용할 경우의 효과를 평가하는 한편 유전자 알고리즘을 활용하여 국가 차원의 감축목표 달성을 위한 최적 투자안을 도출하였다.

(5) 공동주택 개선 단계에서의 신재생에너지 시스템 도입을 위한 최적설계 모델을 개발하였다. 유전자 알고리즘을 통해 에너지 생산량 및 다양한 경제성 지표를 최적화할 수 있는 시나리오 도출을 위한 모델을 개발하였다.

제2절 공동주택 유형분류체계 구축

1. 공동주택 유형분류체계의 필요성

에너지 사용량을 고려하여 공동주택의 개선에 대해 의사결정을 할 때, 단순히 전체 에너지 사용량이 높은 단지일수록 문제가 있고 우선적인 개선이 필요하다고 보기에는 어려움이 있다. 공동주택 각 단지가 지닌 다양한 특성에 따라 에너지 사용량이 좌우되기 때문이다. 예를 들어, 세대수가 많은 단지는 자연스럽게 에너지 사용량이 높을 것이고, 연면적이 큰 단지도 상대적으로 에너지 사용량이 높을 것으로 예상할 수 있다. 이와 같은 규모적 특성 이외에도 노후도(준공연도), 난방방식(개별, 중앙, 지역) 등 다양한 요인에 따른 에너지 사용량의 차이를 살펴볼 필요가 있다. 따라서 전체 에너지 사용량의 단순 비교를 통한 개선 대상 선정은 적절하지 않으며, 공동주택 단지의 다양한 특성을 고려한 에너지 사용량 비교 평가가 요구된다.

이러한 관점에서 볼 때, 유사한 특성을 지닌 단지들끼리 군집을 형성함으로써 공동주택 분류체계를 구축할 필요가 있다. 전수를 대상으로 에너지 사용량을 단순 비교하는 경우에는 각각의 단지들이 매우 다른 특성들을 지니고 있기 때문에 의사결정의 정확성 및 타당성이 결여될 수 있다. 반면, 특성이 유사한 공동주택들을 군집화한 뒤 각 군집 내에서의 에너지 사용량을 비교할 경우 보다 적합한 의사결정이 가능하게 된다. 이와 같은 관점에서 본 연구에서는 통계적 기법을 통해 유사 특성을 지닌 공동주택들의 군집을 형성함으로써 공동주택 분류체계를 구축하였다.

한편, 본 연구의 최종적 목표는 에너지 사용으로 인한 CO_2 배출량을 파악하고, 그에 따른 의사결정 지원 도구를 개발하는 것이다. 이를 위해서는 에너지원들의 사용량을 모두 통합하여 CO_2 배출량으로 환산한 수치를 기준으로 분류체계를 구축할 필요도 있다. 그러나 실제적으로 전력, 가스, 지역난방 등 에너지원의 용도에는 차이가 있고, 개선 단계에서도 각각의 에너지원별 사용량 현황을 파악하여, 그에 적합한 개선 방안을 수립해야 한다. 따라서 에너지원 각각에 대해 분류체계를 구축하고, 향후 필요에 따라 통합하는 방법이 바람직하다.

본 연구에서 개발한 유형분류체계는 우선 개선대상 단지 선정 및 공동주택 개선사업 의사결정 모델 구축을 위한 유형별 대표단지 선정 등에 다양하게 활용되었다.

2. 서울시 내 공동주택 단지 데이터베이스 구축

가. 변수 정의

의사결정나무와 같은 데이터 마이닝 과정을 수행하기 위해서는 입력변수 및 목표변수의 정의가 필요하다. 공동주택 특성에 따른 에너지 사용량의 차이를 분석하고자 하므로 공동주택 특성을 입력변수로, 전기, 가스, 지역난방 각각의 에너지 사용량을 목표변수로 설정했다. 건물 특성 중 에너지 사용량에 영향을 미치는 것들을 입력변수로 설정해야 하는데, 일반적으로 건물 에너지 사용량에 영향을 미치는 특성은 크게 다음 6가지로 구분할 수 있다.

(1) 기후조건 (외기온도, 태양복사, 풍속 등)
(2) 건물 특성 (규모, 노후도, 구조형태 등)
(3) 사용자 특성 (거주 시간, 활동정도 등)
(4) 설비 특성 (냉난방장치, 급탕장치 등)
(5) 사회·경제적 요인 (교육 정도, 에너지원 가격 등)
(6) 요구되는 실내 환경의 질

본 연구에서는 앞서 언급한 바와 같이, 공동주택 개선 단계에서의 의사결정에 활용할 수 있는 단지 단위의 분류체계를 구축하고자 하므로, 위의 요인들 중 단지 단위로 적용이 가능한 요인만을 입력 변수로 설정할 필요가 있다. 따라서 세대에 따라 상이한 사용자 특성, 설비 특성, 요구되는 실내 환경의 질 등의 항목은 입력변수로 사용하지 않았다. 한편 기후조건의 경우 단지 단위로 적용은 가능하나 연구범위를 '서울시 내 공동주택 단지'로 한정한 만큼 각 단지별로 동일한 기후조건이 적용되므로 역시 입력변수에서 제외했으며, 사회·경제적 요인 역시 국내의 상황에 따라 동일하게 변화하는 요인이므로 제외했다. 따라서'건물 특성'에 해당하는 항목들만을 입력변수로 사용하되, 개별 건물의 특성보다는 단지의 특성에 해당하는 항목들을 선별했다. 지역구, 세대타입, 복도유형, 난방방식, 경과년수, 동 수, 최고층수, 관리비 부과 연면적, 세대수, 세대당 면적 등 10가지 항목이 입력변수로 선정되었

으며, 목표변수는 전력, 가스, 지역난방 각각의 단위면적당 사용량으로 설정했다. 아래 표에 선정된 변수와 각각의 척도 유형을 나타냈다.

<표 3-2-01> 입력변수 및 목표변수 정의

구분	변수	척도 유형	세부 내용
입력변수	지역구	명목척도	서울시 내 25개 구
	세대타입	명목척도	분양/임대/혼합
	복도유형	명목척도	계단식/복도식/혼합
	난방방식	명목척도	개별난방/중앙난방/지역난방
	경과년수	비율척도	2010년 기준
	동 수	비율척도	
	최고층수	비율척도	
	관리비 부과 면적	비율척도	단위 : ㎡
	세대수	비율척도	
	세대당 면적	비율척도	
목표변수	면적당 에너지 사용량	비율척도	전력 : kWh/㎡ 가스 : ㎥/㎡ 지역난방 : Gcal/㎡

나. 데이터 수집 및 선별

공동주택의 특성에 기반을 둔 분류체계를 구축하기 위해 앞서 입력변수로 선정한 여러 공동주택 단지의 특성 데이터를 수집했으며, 목표변수로 선정한 해당 단지들의 에너지 사용량 데이터 역시 확보하여 데이터베이스를 구축했다.

공동주택 단지 특성의 경우, 국토해양부에서 운영하는 공동주택관리정보시스템을 활용하여 서울시 내 공동주택 단지들의 다양한 특성 정보를 수집했다. 이 시스템은 2009년 8월 주택법 시행령의 개정에 따라 2009년 10월부터 공동관리비 내역을 공개한 데 이어 2010년 10월부터는 전력, 수도, 가스 등의 사용료까지 공개해 오고 있다. 이와 함께 공동주택 단지의 세대수, 동수, 난방방식, 관리비 부과 면적, 세대타입, 복도유형 등 다양한 특성 정보 역시 제공하고 있는데, 본 연구에서는 이 특성 정보를 이용하여 데이터베이스를 구축했다.

한편 에너지 사용량 데이터의 경우 공동주택관리정보시스템에서 일부 제공하고는 있으나, 누락된 데이터가 많고 데이터의 신뢰성이 부족하다. 따라서 전력, 가스, 지역난방에 대해 각각의 에너지원을 공급·관리하는 업체들을 통해 데이터를 확보했다. 전력 사용량은 한국전력공사, 가스 사용량은 서울지역 도시가스 공급업체 2곳, 지역난방 에너지 사용량은 한국지역난방공사의 담당부서를 통해 각각 1,771개, 375

개, 309개 공동주택 단지의 데이터를 확보했다.

공동주택관리정보시스템에서는 서울시 내 대부분 공동주택 단지의 특성 정보가 제공되고 있었으나, 에너지 사용량의 경우 확보한 데이터가 서울시 내 공동주택 단지 중 극히 일부였기 때문에 에너지 사용량 데이터가 확보된 단지 위주로 데이터베이스를 구축했다. 또 그 중에서도 세대 수가 지나치게 적거나 에너지 사용량 데이터가 일부 누락된 경우, 지나치게 낮거나 높은 경우 등 데이터로서의 가치가 떨어지는 것들이 있었다. 따라서 다음과 같은 기준에 의해 분류체계 개발에 활용할 데이터를 선별했다.

(1) 단지의 세대수가 100세대 미만인 경우는 분석대상에서 제외했다.

(2) 공동주택 특성 및 에너지 사용량에 대한 정보들 중 일부가 누락된 경우는 분석대상에서 제외했다.

(3) 단위면적당 에너지 사용량을 기준으로 상·하위 2.5% 이내에 해당하는 자료는 이상값으로 판단하여 제거했다. 즉, 전체 데이터 중 5% 유의수준 내에서 유의한 데이터만을 분석대상으로 했다.

위와 같은 선별 과정을 거쳐 전력 부문 1,664건, 가스 부문 355건, 지역난방 부문 292건의 데이터베이스를 구축했다.

3. 서울시 내 공동주택 단지 유형분류체계 구축

가. 의사결정나무를 활용한 분류체계

(1) 의사결정나무의 특징 및 활용 이유

건축물의 에너지 사용량과 관련된 연구 방법론으로는 크게 에너지 시뮬레이션을 이용하는 방법과 데이터마이닝 기법들을 활용하는 방법이 있다. 이 중 에너지 시뮬레이션은 다양한 조건들을 구체적으로 설정해서 수행하게 되므로 상세한 분석이 가능하다. 반면 실별 거주시간 및 전기제품 사용현황 등 매우 자세한 정보가 요구

되기 때문에 시간과 노력이 많이 소요되는 단점이 있다. 본 절의 목적은 공동주택 개선을 위한 의사결정 지원 모델을 개발하는 것인데, 일반적으로 공동주택의 개선은 단지 단위로 진행되기 때문에, 의사결정 역시 단지 단위로 이루어지게 된다. 따라서, 세대별 상세 정보의 입력을 통해 에너지 사용량을 예측하는 에너지 시뮬레이션은, 개별 시설물에 대한 분석의 경우에는 적합하지만 본 연구의 목적에는 다소 부합하지 않는다. 본 연구에서는 데이터마이닝 기법의 활용이 보다 적합한 것으로 판단되었다.

에너지 사용량을 예측하는 데 주로 사용되어 온 데이터마이닝 기법에는 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis, MRA), 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN), 의사결정나무(Decision Tree, DT) 등이 있다. MRA는 에너지 사용량을 예측하는 데 가장 보편적으로 사용되어 온 통계적 방법이다. 분석 과정이 간편하고, 다양한 입력변수가 목표변수에 미치는 영향도를 회귀 계수를 통해 쉽게 파악할 수 있다. 단, 명확한 인과관계를 알 수는 없으며, 입력변수와 목표변수간의 관계가 선형으로 제시되기 때문에, 변수간 복잡한 상관관계가 존재하거나 상관관계 자체가 성립되지 않는 경우 모델의 예측성능이 다소 떨어진다는 한계가 있다.

ANN은 변수 간 관계가 비선형인 경우에도 이를 잘 반영해서 좋은 예측성능을 나타낸다. 건물의 에너지 사용량은 다양한 프로젝트 특성에 의해 영향을 받고, 그 관계가 복잡하다는 점을 고려할 때, ANN은 본 연구에 적합한 방법이라고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 수행과정에서 내부 알고리즘을 알 수 없어 블랙박스라고 불리는 은닉층이 존재하기 때문에, 결과물에 대한 논리적인 해석이 어렵다는 단점이 있다.

DT는 입력변수가 목표변수에 미치는 영향력을 통계적으로 분석하여 군집을 형성한다. 군집의 결과는 나뭇가지 형태의 도식으로 표현되는데, 예측정확도가 타 방법론과 비교하여 다소 떨어지는 경향이 있고 연속형 데이터를 처리하는 능력 역시 신경망 등 다른 통계 기법에 비해 떨어진다는 단점이 있다. 그러나 본 연구의 경우 목표변수가 연속형 데이터이지만, DT가 목표변수의 예측에 직접적으로 사용되는 것이 아니라 단지 유사 사례들 간의 군집을 형성함으로써 분류체계를 구축하는 데 사용된다. 향후 사례기반추론 및 유전자 알고리즘 등의 기법을 통해 예측의 정확도를 향상시키는 과정을 수행하게 되므로 이러한 단점이 큰 문제가 되지 않는다. 오히려 DT는 분석 대상들을 나뭇가지 형태로 분류한 도식과 함께 분류의 근거가 되

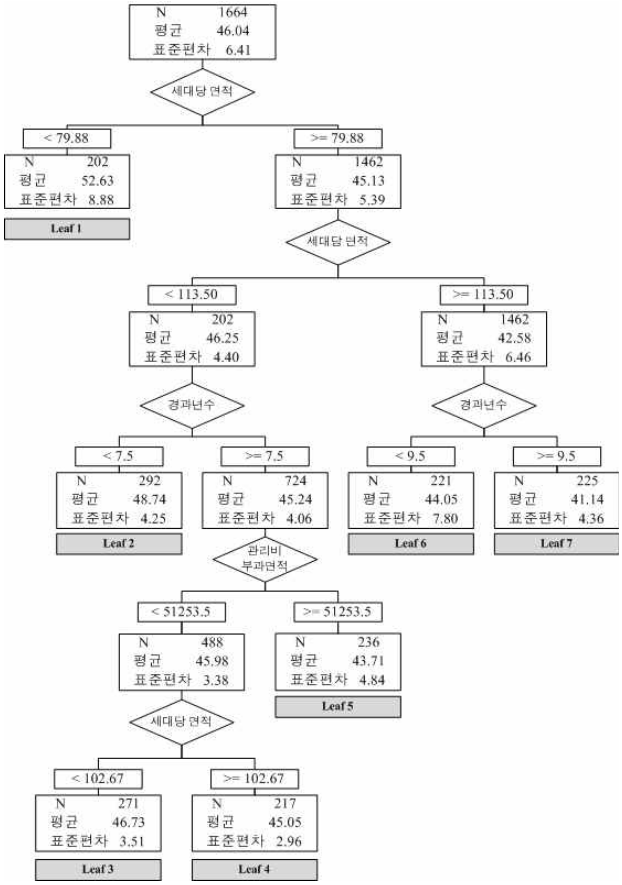
는 규칙들도 제시해 주기 때문에 전문 지식이 없는 사람도 쉽게 이해할 수 있으며, 모형구축 시 분류에 영향을 미치지 않는 변수를 자동으로 제외하며, 선형성이나 정규성과 같은 가정을 필요로 하지 않기 때문에 이상값에 덜 민감하다는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 의사결정나무 기법을 활용하여 분류체계를 구축하였다.

(2) 에너지원별 의사결정나무 생성

의사결정나무 생성에는 통계분석 소프트웨어인 SPSS Statistics 18의 트리 기능을 이용했다. 앞서 정의한 대로 입력변수 및 목표변수를 설정하고, 각각의 데이터베이스를 대상으로 트리 기능을 수행했다. 확장 방법으로는 CHAID (Chi-squared Automatic Interaction Detection) 알고리즘을 선택했으며, 분리를 계속 진행하는지의 결정 기준은 전력의 경우 데이터 수가 많으므로 상위 노드에는 최소 300개, 하위 노드에는 최소 100개의 데이터가 들어가는 것으로, 데이터 수가 적은 가스와 지역난방의 경우 상위 노드에 최소 100개, 하위 노드에 최소 30개의 데이터가 들어가는 것으로 설정했다.

(가) 전력 부문

아래 그림은 앞서 선정한 입력변수와 함께 단지별 단위면적당 전력 사용량(kWh/㎡)을 목표변수로 적용하여 의사결정나무 분석을 수행한 결과를 보여주고 있다. 의사결정나무의 말단 노드를 leaf라고 하는데, 각각의 leaf가 본 연구에서 구축하고자 한 분류체계의 각 집단, 즉 유사 특성을 지닌 단지들의 군집 역할을 한다고 볼 수 있다. 전력에 대해 수행한 의사결정나무 모델의 경우 7개의 leaf가 형성되었고, 각 leaf는 최소 202개, 최대 292개의 데이터로 구성되었다. 의사결정나무 수행을 위해 적용된 10개의 입력변수 중, 세대당 면적, 경과년수, 관리비 부과 면적 등 3개의 입력변수가 분류 기준으로 사용되었다. 이들 입력변수는 의사결정나무를 이용한 군집 형성 과정의 핵심요인으로 작용했음을 알 수 있다.



[그림 3-2-01] 전력 사용량 기반 의사결정나무

<표 3-2-02> 전력 사용량 기반 의사결정나무의 leaf별 특성

Leaf	분류 기준			개체 수	면적당 전력 사용량 (kWh/㎡)	
	세대당 면적 (㎡)	경과년수	관리비 부과 면적 (㎡)		평균	표준편차
1	x < 79.88	-	-	202	52.63	8.88
2	79.88 < x ≤ 113.50	< 7.5	-	292	48.74	4.25
3	79.88 ≤ x < 102.67	≥ 7.5	< 51253.5	271	46.73	3.51
4	102.67 ≤ x < 113.50	≥ 7.5	< 51253.5	217	45.05	2.96
5	79.88 ≤ x < 113.50	≥ 7.5	≥ 51253.5	236	43.71	4.84
6	x ≥ 113.50	< 9.5	-	221	44.05	7.80
7	x ≥ 113.50	≥ 9.5	-	225	41.14	4.36

위의 표는 전력 사용량 기반 의사결정나무의 각 leaf별 특성을 나타내고 있다. leaf 1의 경우 세대당 면적이 79.88㎡ 미만인 단지들로 구성된 군집인데, 전력 사용량의 평균은 53.77kWh/㎡로 가장 높게 나타났다. 반면 세대당 면적이 113.50㎡를 초과하는 단지들의 군집인 leaf 6, 7의 경우 평균 전력 사용량이 각각 44.05kWh/㎡, 41.14kWh/㎡로 낮게 나타났다. 이외에도 경과년수, 관리비 부과 면적은 동일한 조

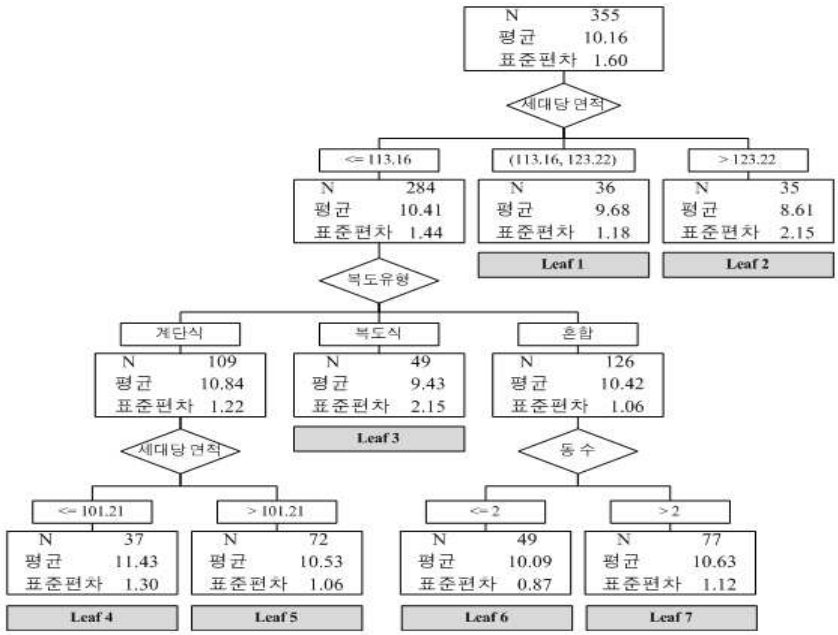
건이고 세대당 면적만 차이를 보이는 군집인 leaf 3과 leaf 4의 평균 전력 사용량을 비교해 보면 역시 세대당 면적이 더 작은 군집인 leaf 3의 평균 전력 사용량이 46.73kWh/㎡로 leaf 4의 45.05kWh/㎡에 비해 높게 나타나고 있다. 따라서 세대당 면적과 면적당 전력 사용량 사이에는 대체적으로 음의 상관관계가 있다는 것을 알 수 있다. 이는 면적이 큰 세대와 작은 세대 간 전력 사용량 차이가 면적에 비례하여 증가하지는 않는다는 것을 의미한다. 즉, 각 세대에서 기본적으로 사용하는 필수 가전제품들은 면적과 관계없이 어느 정도 비슷하며, 면적의 차이에 따라서는 전등이나 일부 전기제품의 영향으로 약간의 차이만이 발생한다는 것이다. 이러한 조건 하에, 단지 규모로 비교했을 때 세대당 면적이 작을수록 면적당 세대수는 늘어나게 되므로 면적당 전력 사용량이 높아진다고 볼 수 있다.

한편 경과년수의 경우에는 3가지의 변수가 얽혀 있어 직접적인 비교가 가능한 군집은 leaf 6과 leaf 7뿐인데, 경과년수가 오래된 단지들의 군집인 leaf 7이 leaf 6에 비해 낮은 평균 전력 사용량을 보이고 있다. 일반적인 통념과는 달리 경과년수가 오래될수록 면적당 전력 사용량은 오히려 감소하는 양상이 나타난 것이다. 그러나 leaf 6과 leaf 7은 분류 기준으로 적용된 규칙이 경과년수를 제외하면 '세대당 면적 113.50㎡ 이상' 1가지뿐이므로 구체적인 분류가 이루어지지 않았다고 할 수 있다. 따라서 단순 비교만으로 경과년수의 영향을 정확히 파악하기에는 어려움이 있다. 또한 관리비 부과 면적의 경우에도 직접적인 비교가 가능한 군집이 없으므로 분류체계만을 보고 변수에 대해 정의내리기는 어렵다. 다만 이들 항목은 전력 부문에 있어서의 공동주택 단지 분류체계를 형성하는 주요 변수임은 확인되었으므로 다양한 통계 분석을 통해 보다 심층적인 고찰을 할 필요성이 있다.

(나) 가스 부문

아래의 표와 그림은 단지별 단위면적당 가스 사용량(㎥/㎡)을 목표변수로 적용하여 의사결정나무 분석을 수행한 결과를 보여준다. 역시 총 7개의 leaf가 형성되었고, 각 leaf는 최소 35개, 최대 77개의 데이터로 구성되었다. 분류 기준으로 사용된 입력변수는 세대당 면적과 복도유형, 그리고 동 수의 3가지였다. 세대당 면적은 전력 부문 의사결정나무에서도 분류 기준으로 사용된 바 있으므로, 면적당 에너지 사

용량에 영향을 미치는 주요 요인으로 볼 수 있다. 복도유형 및 동 수는 전력 부문에서는 이용되지 않았는데 가스 부문 의사결정나무에서는 새롭게 이용되었다.



[그림 3-2-02] 가스 사용량 기반 의사결정나무

<표 3-2-03> 가스 사용량 기반 의사결정나무의 leaf별 특성

Leaf	분류 기준			개체 수	면적당 가스 사용량 (㎥/㎡)	
	세대당 면적 (㎡)	복도유형	동 수		평균	표준편차
1	113.16 < x ≤ 123.22	-	-	36	9.68	1.18
2	x > 123.22	-	-	35	8.61	2.15
3	x ≤ 113.16	복도식	-	49	9.43	2.15
4	x ≤ 101.21	계단식	-	37	11.43	1.30
5	101.21 < x ≤ 113.16	계단식	-	72	10.53	1.06
6	x ≤ 113.16	혼합	2동 이하	49	10.09	0.87
7	x ≤ 113.16	혼합	2동 초과	77	10.63	1.12

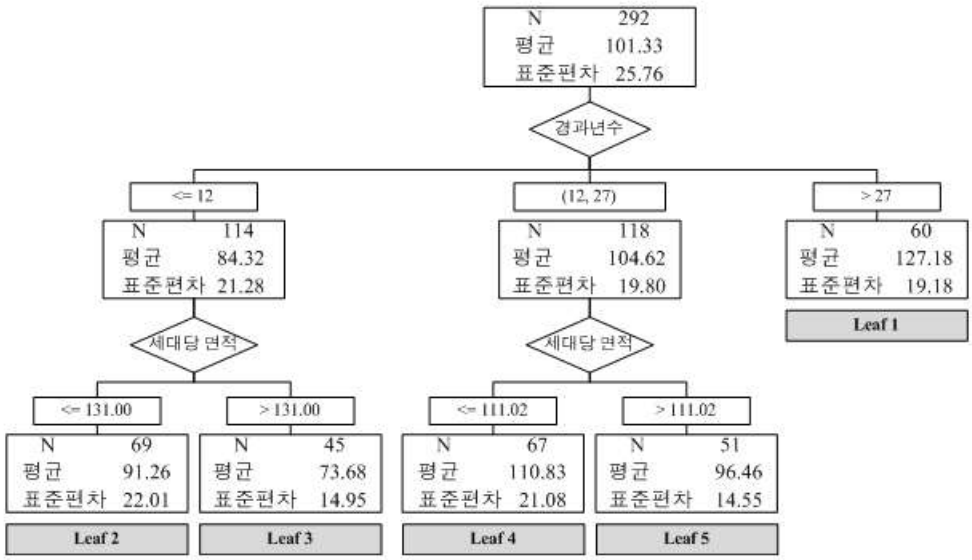
전력 부문과 마찬가지로 분류 기준으로 사용된 변수가 3가지인 만큼 분석이 간단하지는 않지만, 공통적으로 나타나는 특성은 있다. 다른 변수는 동일하고 세대당 면적만이 차이나는 leaf 1과 2, leaf 4와 5를 비교해 보면 공통적으로 세대당 면적이 작을수록 높은 평균 가스 사용량을 보였다. 또한 leaf 1, 2에 비해 세대당 면적이 작은 leaf 4~7의 평균 가스 사용량 역시 높게 나타났다. 즉, 전력의 경우와 마찬가지로 각 세대에서 기본적으로 사용하는 가스의 양은 세대당 면적과 관계없이

비슷하며, 기타 난방기구 및 취사기구의 종류 등에 따라 사용량이 달라지는 것으로 유추할 수 있다. 가스의 경우 주된 용도가 취사용인 만큼 사용량이 세대 면적에 비례하지 않는 것이 자연스러운 것으로 보인다.

한편 복도유형과 동 수의 경우에는 세대당 면적과 관계가 얽혀 있고 군집간 비교가 가능한 군집이 부족해 단편적인 비교만으로 가스 사용량과의 상관관계를 찾기에는 어려움이 있으며 보다 다양한 통계적 분석을 통해 이들 변수의 영향도를 분석할 필요가 있다.

(다) 지역난방 부문

아래 그림은 단지별 단위면적당 지역난방 에너지 사용량(Gcal/㎡)을 목표변수로 적용하여 의사결정나무 분석을 수행한 결과를 보여주고 있다. 지역난방 부문 의사결정나무의 경우 총 5개의 leaf가 형성되었고, 각 leaf에는 최소 45개, 최대 69개의 데이터가 포함되었다. 10개 입력변수 중 분류 기준으로 사용된 입력변수는 경과년수와 세대당 면적 2가지였다.



[그림 3-2-03] 지역난방 에너지 사용량 기반 의사결정나무

세대당 면적은 전력, 가스, 지역난방 부문에서 모두 분류 기준으로 사용되면서 에너지 사용량에 영향을 미치는 핵심적인 요인임이 다시 나타났다. 경과년수의 경우

전력 부문에 이어 지역난방 부문의 의사결정나무에서도 사용되면서 역시 주요 요소임이 확인되었다. 한편 각 에너지원 별로 사용량에 대한 입력변수들의 영향 관계가 달라짐을 알 수 있으며 이는 각각의 에너지원에 대한 별개의 의사결정나무 형성이 필요함을 반증한다. 아래 표에 지역난방 부문 의사결정나무의 leaf별 특성을 나타냈다.

<표 3-2-04> 지역난방 에너지 사용량 기반 의사결정나무의 leaf별 특성

Leaf	분류 기준		개체 수	면적당 지역난방 사용량 (Gcal/㎡)	
	경과년수	세대당 면적 (㎡)		평균	표준편차
1	27년 초과	-	60	127.18	19.18
2	12년 이하	x ≤ 131.00	69	91.26	22.01
3	12년 이하	x > 131.00	45	73.68	14.95
4	12년 초과 27년 이하	x ≤ 111.02	67	110.83	21.08
5	12년 초과 27년 이하	x > 111.02	51	96.46	14.55

먼저 세대당 면적을 살펴보면 전력, 가스 부문 의사결정나무와 마찬가지로 세대당 면적이 작을수록 높은 평균 사용량을 보였다. 경과년수는 동일하고 세대당 면적에서 차이를 보이는 군집들인 leaf 2와 leaf 3, 또 leaf 4와 leaf 5간의 비교를 통해 이 같은 사실을 확인할 수 있다. 따라서 전력, 가스의 경우와 마찬가지로 세대 면적의 지역난방 사용량에 대한 영향도는 그리 크지 않음을 알 수 있으며, 세대당 면적이 클수록 면적당 세대 수는 오히려 줄어드는 만큼 단지 단위의 비교에서 면적당 사용량 역시 줄어들게 됨을 확인할 수 있다.

한편 경과년수의 경우 전력, 가스 부문 의사결정나무에서의 일부 변수들과 마찬가지로 군집간 단편적 비교를 통해 목표변수에 대한 각 입력변수의 영향 관계를 알기에는 어려움이 있다. 그러나 대체적으로는 목표변수인 면적당 지역난방 에너지 사용량과 양의 상관관계를 갖는 양상을 보인다. 경과년수가 오래된 단지들의 군집인 leaf 1의 평균이 나머지 군집들에 비해 월등히 높고, leaf 2, 3과 leaf 4, 5의 평균을 비교해 봐도 경과년수가 오래된 leaf 4, 5의 평균이 높은 것을 확인할 수 있다. 지역난방의 경우 연수가 오래될수록 시설의 노후화로 인해 효율이 떨어지게 되어 상대적으로 많은 양의 에너지를 소비한 것으로 유추할 수 있다.

나. 온톨로지를 활용한 분류체계

(1) 온톨로지 개요

일반적으로 온톨로지는 특정한 영역을 표현하는 데이터 모델로서 특정한 영역에 속하는 개념과, 개념 사이의 관계를 기술하는 정형 어휘의 집합으로 정의된다. 기존 정보기술은 주로 단순히 정보를 저장하고 처리하는 데 중점을 두었기 때문에 필요한 정보의 지능적 검색이나 지적인 수행 능력에는 어려움이 있었다. 그러나 어떤 개념과, 개념간의 관계를 정의하는 온톨로지를 활용하면 컴퓨터에서도 사람이 갖고 있는 개념과 같은 것을 일종의 데이터베이스 형태로 만들어 줌으로써 사람과 컴퓨터 간의 커뮤니케이션을 향상시킬 수 있다. 이러한 온톨로지 기반의 시스템은 단순한 검색어 기반의 매칭 기술이 아닌 보다 지능적인 기술로 각 개인이 사용하는 용어의 차이에 관계없이 정확히 필요한 정보를 제공해 줄 수 있도록 해준다. 즉, 용어 검색자의 의도가 반영된 검색을 가능하게 하여 검색 효율을 높이는 것이다. 본 연구에서는 온톨로지 기반의 방법론을 활용하여 대상 공동주택 단지의 유사사례를 가장 잘 검색함으로써 의사결정의 적합성을 확보할 수 있는 분류체계를 구축하였다.

(2) Pearson 상관분석을 통한 변수 선택

온톨로지 기반의 공동주택 단지 분류체계를 구축하기에 앞서 입력변수로 선별된 공동주택 단지 특성 중 온톨로지 기반 분류체계 구축에 활용할 변수를 선정하였다. 위의 변수들이 가스에너지 사용량에 실질적으로 영향을 주고 있는지, 그 영향력은 어느 정도인지를 정량적으로 분석할 필요가 있으므로 각 단지들의 특성 및 가스 사용량에 대한 Pearson 상관분석을 실시하였고, 그 결과에 따라 목표변수(총 가스 사용량)와 상관관계가 높은 입력변수들을 선별했다. 이러한 선별된 입력변수를 활용하여 온톨로지 기반의 공동주택 분류체계를 구축함으로써, 보다 명확하고 간단한 분류체계를 구성하고자 하였다.

<표 3-2-05> 입력변수 및 가스에너지 사용량의 Pearson 상관분석 결과

		지역구	경과 년수	관리비 부과면적	동수	최고층수	세대수	세대당 면적	세대 타입	복도 유형	난방 방식	총 가스 사용량
지역구	Pearson 상관계수	1	-0.162**	-0.011	-0.008	-0.001	-0.032	-0.028	0.016	-0.052	0.021	-0.015
	유의확률 (양쪽)		0.002	0.825	0.884	0.988	0.531	0.590	0.759	0.312	0.690	0.774
경과년수	Pearson 상관계수	-0.162**	1	0.041	0.060	-0.406**	0.131*	-0.192**	-0.051	0.241**	0.277**	0.137**
	유의확률 (양쪽)	0.002		0.423	0.249	0.000	0.011	0.000	0.329	0.000	0.000	0.008
관리비 부과면적	Pearson 상관계수	-0.011	0.041	1	0.678**	0.280**	0.907**	0.189**	-0.062	0.052	0.225**	0.948**
	유의확률 (양쪽)	0.825	0.423		0.000	0.000	0.000	0.000	0.230	0.318	0.000	0.000
동수	Pearson 상관계수	-0.008	0.060	0.678**	1	-0.096	0.793**	-0.071	-0.013	-0.168**	0.125*	0.747**
	유의확률 (양쪽)	0.884	0.249	0.000		0.064	0.000	0.169	0.806	0.001	0.015	0.000
최고층수	Pearson 상관계수	-0.001	-0.406**	0.280**	-0.096	1	0.118*	0.388**	-0.091	0.019	-0.057	0.168**
	유의확률 (양쪽)	0.988	0.000	0.000	0.064		0.022	0.000	0.078	0.708	0.273	0.001
세대수	Pearson 상관계수	-0.032	0.131*	0.907**	0.793**	0.118*	1	-0.122*	0.003	0.076	0.197**	0.924**
	유의확률 (양쪽)	0.531	0.011	0.000	0.000	0.022		0.018	0.961	0.144	0.000	0.000
세대당 면적	Pearson 상관계수	-0.028	-0.192**	0.189**	-0.071	0.388**	-0.122*	1	-0.104*	-0.169**	0.137**	0.021
	유의확률 (양쪽)	0.590	0.000	0.000	0.169	0.000	0.018		0.044	0.001	0.008	0.681
세대타입	Pearson 상관계수	0.016	-0.051	-0.062	-0.013	-0.091	0.003	-0.104*	1	-0.042	0.142**	-0.046
	유의확률 (양쪽)	0.759	0.329	0.230	0.806	0.078	0.961	0.044		0.412	0.006	0.379
복도유형	Pearson 상관계수	-0.052	0.241**	0.052	-0.168**	0.019	0.076	-0.169**	-0.042	1	0.081	0.065
	유의확률 (양쪽)	0.312	0.000	0.318	0.001	0.708	0.144	0.001	0.412		0.115	0.211
난방방식	Pearson 상관계수	0.021	0.277**	0.225**	0.125*	-0.057	0.197**	0.137**	0.142**	0.081	1	0.294**
	유의확률 (양쪽)	0.690	0.000	0.000	0.015	0.273	0.000	0.008	0.006	0.115		0.000
총 가스 사용량	Pearson 상관계수	-0.015	0.137**	0.948**	0.747**	0.168**	0.924**	0.021	-0.046	0.065	0.294**	1
	유의확률 (양쪽)	0.774	0.008	0.000	0.000	0.001	0.000	0.681	0.379	0.211	0.000	

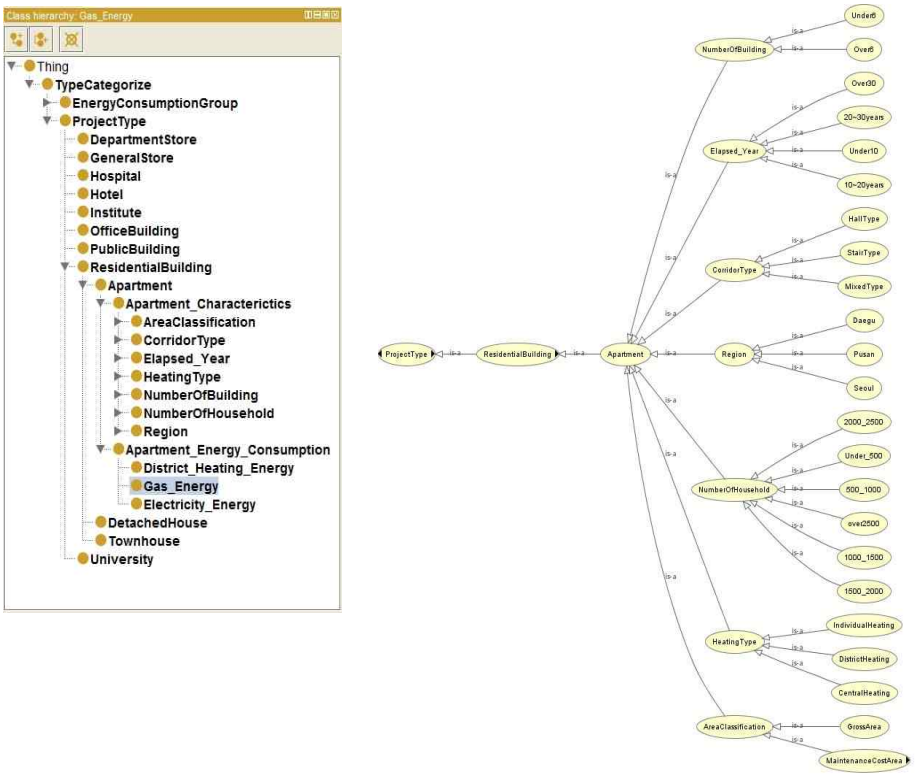
* : 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의함

** : 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의함

위의 표는 Pearson 상관분석 결과를 제시한 것이다. Pearson 상관계수는 -1.0 ~ 1.0 사이의 값으로 제시되는데, 통계학적으로 절대값이 0.5이상인 경우 두 변수 간의 상관관계가 높은 것으로 해석할 수 있다. 따라서, 이 연구에서는 Pearson 상관계수가 0.5 이상인 경우, 입력변수와 목표변수의 상관관계가 높은 것으로 정의하였다. 이를 통해 관리비부과면적(상관계수 : 0.948), 세대수(상관계수 : 0.924), 동수(상관계수 : 0.747)가 분류기준으로 선정되었다.

(3) 온톨로지 기반 공동주택 분류체계 구축

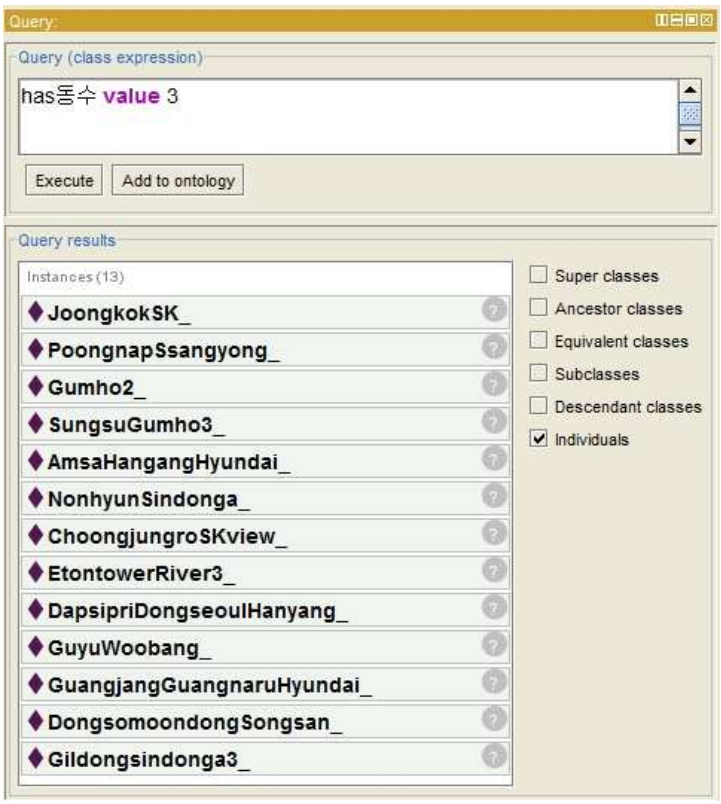
온톨로지 기반 공동주택 분류체계 구축을 위해 Protege 4.1을 활용하였고, 그 결과는 아래 그림과 같다. 이때 분류기준의 객관성 확보를 위해 건축법규에 의거한 용도 분류기준에 따라 3개의 상위 클래스를 구성한 뒤, 앞서 도출한 관리비부과면적, 세대수, 동수의 3가지 입력변수를 가스 사용량을 결정짓는 하위 항목으로 편성하여 분류체계를 구축하였다.



[그림 3-2-04] 온톨로지 기반 공동주택 분류체계

온톨로지는 웹이 궁극적으로 지향하는 바인 시맨틱 웹 검색을 구현하기 위한 도구이다. Protege 4.1은 이러한 시맨틱 검색을 구현하기 위하여 DL QUERY라는 기능을 갖고 있다. 온톨로지 기반의 분류체계를 구성한 이유는 데이터베이스의 검색을 통하여, 공동주택 단지별 적정 가스 에너지 사용량을 예측하기 위한 것이다. 나아가 예측된 결과에 기반하여, 시설물 개선여부를 판단하기 위한 의사결정 지원모델을 개발하는 것이다. DL QUERY를 이용하여, 변수별 특정한 값을 지정함으로써, 원하는 데이터를 추출할 수 있다.

Protege 4.1에서 변수의 속성을 정의하는 기능 중 하나로서 Individuals라는 기능이 있다. 공동주택 단지별 특성은 각각 특정한 성격과 값을 갖는 것이기 때문에, Individuals로 정의하였고, DL QUERY에서 명령어를 입력하여 원하는 검색이 가능하도록 하였다.



[그림 3-2-05] DL QUERY를 이용한 검색의 예시

위의 그림은 DL QUERY를 활용하여, 분류기준의 하나인 '동수'에 대하여, 특정 값의 범위를 갖는 공동주택을 검색한 결과를 나타낸 것이다.

4. 분류체계에 따른 공동주택 에너지 사용량 분석

가. 개요

중심극한정리에 의하면, 표본평균의 평균값을 알면 이를 통해 모집단의 평균값을 유추할 수 있다. 이러한 유추를 위한 가설은 모집단으로부터 표본크기가 30개 이상

인 표본을 추출하여야 한다는 것이며, 이 때 표본평균의 분포는 좌우대칭이 되는 종모양의 정규곡선 형태를 이룬다는 것이다. 이러한 수학적 가설에 따라, 본 연구에서 조사한 공동주택 에너지 사용량 데이터를 활용하여 분석 결과의 신뢰도를 더욱 향상시키기 위하여, 아래와 같이 몬테카를로 시뮬레이션을 활용한 추가적인 분석을 실시하였다.

몬테카를로 시뮬레이션은 무작위 난수를 발생시켜 확률적으로 리스크를 평가하는 기법으로서, 의사결정자의 경험, 기술, 그리고 판단을 이용하여 각 하위변수의 범위에 대한 추정값을 결정한 후, 사용자에 의해 정의된 확률분포 내에서 발생한 하위변수별 난수를 조합함으로써, 복합변수의 값을 예측하는 방법이다.

일반적으로 몬테카를로 시뮬레이션을 활용하기 위해서는 분석대상 변수의 확률분포를 알고 있거나 가정해야 하는데, 본 연구에서는 Crystal Ball 7.0 Standard Edition을 활용하여 몬테카를로 시뮬레이션을 실시하였다. Crystal Ball 7.0 Standard Edition은 표본의 분포를 분석하여 그 분포에 가장 적합한 확률분포를 추정해내고, 그 확률분포를 활용하여 몬테카를로 시뮬레이션을 실시한다.

일반적으로 통계자료의 대푯값으로는 평균값, 표준편차, 중앙값, 최빈값, 왜도, 첨도 등 다양한 자료를 활용한다. 본 연구에서는 평균값과 표준편차를 대푯값으로 활용하였다. 평균값은 가장 널리 쓰이는 방법으로서, 통계적인 유의성이 매우 큰 특징이고, 표준편차는 데이터의 산포도를 나타내는 특징을 가지는 것으로 표준편차가 작을수록 데이터가 평균에 가깝게 분포하고 있다는 것을 의미한다. 본 연구는 수집된 공공주택의 면적당 에너지 사용량에 대한 자료를 활용하여 분포 특징을 분석하고자 하며, 더 나아가 유사한 특성에 따라 분류된 군집에 따라 공공주택 에너지 사용량 분포에 대한 연구를 수행하는 것이 목적이다. 따라서 '중앙값'이나 단순한 빈도수 체크에 의한 '최빈값'을 활용하기 보다는 데이터에 대한 '평균값'과 '표준편차'를 활용하여 분포를 분석하는 것이 의미가 있다.

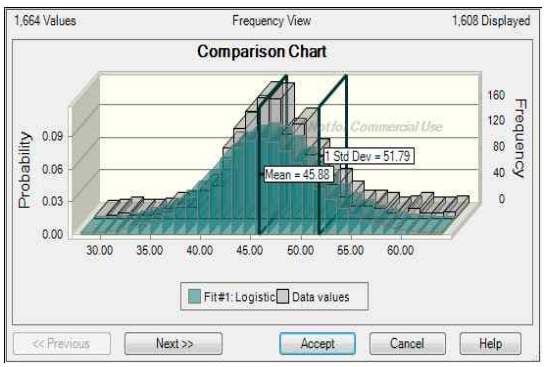
나. 전력 사용량 분석

앞서 공동주택 유형분류체계 구축을 위한 다양한 방법론 중에서 공동주택 에너지 사용량 데이터를 의사결정나무 기법을 이용하여 7개의 leaf로 분류하였고, 각 leaf

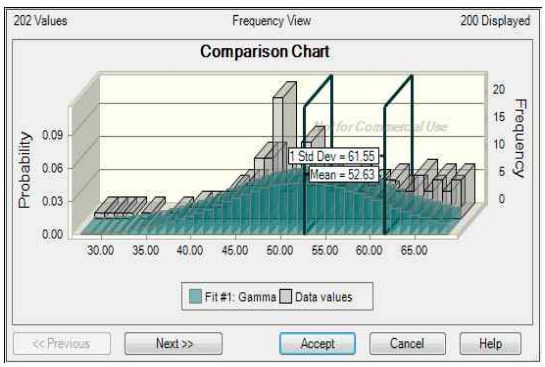
별 특성에 대한 분석을 진행하였다. 위의 연구를 결과를 바탕으로 몬테카를로 시뮬레이션(MCS)을 수행하여 군집에 따라 에너지 사용량 분포를 분석함으로써 연구의 신뢰성을 확보하고자 한다. 아래의 표와 그림들은 전력 부문에 대해 몬테카를로 시뮬레이션 분석을 수행한 결과이다. 총 1,664개의 전체 데이터를 대상으로 실시한 시뮬레이션에서는 평균값 45.88, 표준편차 5.90으로 나타나고 있다. 하지만, 7개의 군집별 시뮬레이션 분석에서는 각 군집에 따라 전력 사용량 평균에 차이를 보이를 보이고 있으며, 표준편차는 leaf2(4.25), leaf3(3.40), leaf4(2.69), leaf7(3.85)와 같이 전수를 대상으로 한 경우와 비교하여 작은 값을 나타내고 있다. 하지만 leaf1(8.91)과 leaf6(7.66)의 경우에 표준편차가 전수를 대상으로 분석하였을 경우와 비교하여 큰 값을 나타내고 있지만, 두 군집 역시 평균값을 중심으로 종형의 분포를 보이고 있으며, 전수를 대상으로 분석하였을 때와 비교하여 각 군집 별 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하는 경우 공공주택의 특성에 따른 전기 에너지 사용량 분포를 군집별로 구분하여 분석할 수 있다.

<표 3-2-06> 전력 사용량 MCS 결과

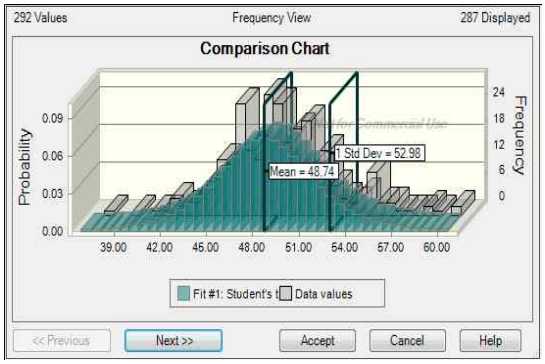
구분	All	Leaf 1	Leaf 2	Leaf 3	Leaf 4	Leaf 5	Leaf 6	Leaf 7
시뮬레이션 횟수(회)	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
평균(Mean)	45.88	52.63	48.74	46.70	45.01	43.71	44.26	41.34
중앙값(Median)	45.88	52.54	48.74	46.70	45.01	43.71	44.26	41.34
최빈값(Mode)	45.88	52.35	48.74	46.70	45.01	43.71	44.26	41.34
표준편차 (Standard Deviation)	5.90	8.91	4.25	3.40	2.69	-	7.66	3.85
분산(Variance)	34.84	79.46	18.03	11.59	7.25	-	58.62	14.78
왜도(Skewness)	0.00	0.0633	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00
첨도(Kurtosis)	4.20	3.01	28.42	4.20	4.20	-	4.20	4.20



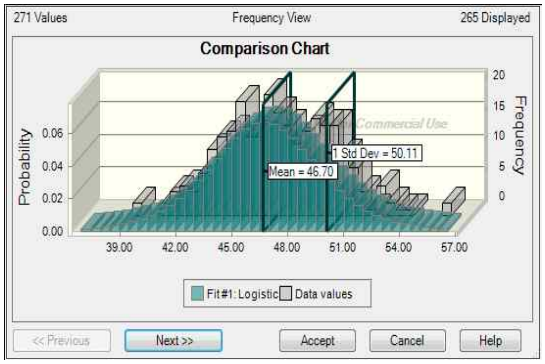
[그림 3-2-06] 전력 사용량 전수



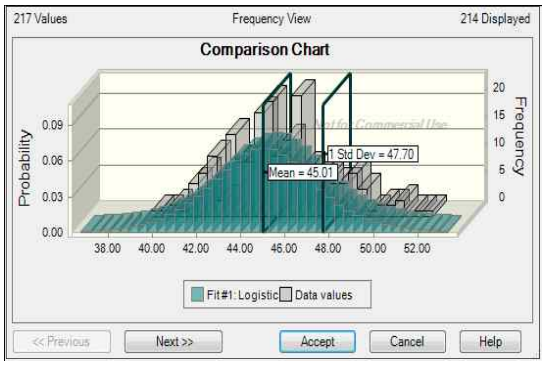
[그림 3-2-07] 전력 사용량 leaf1



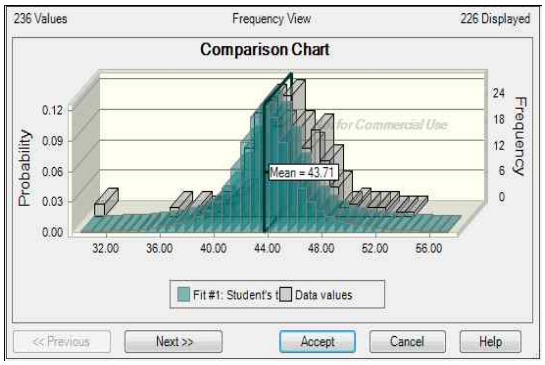
[그림 3-2-08] 전력 사용량 leaf2



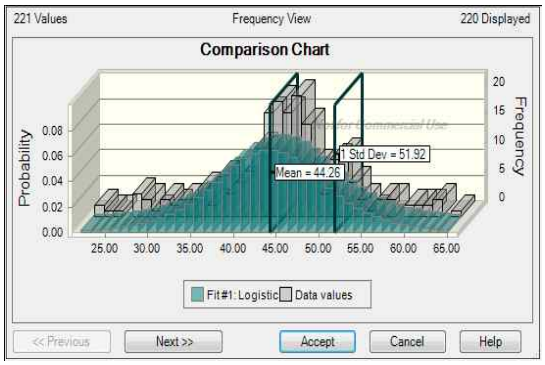
[그림 3-2-09] 전력 사용량 leaf3



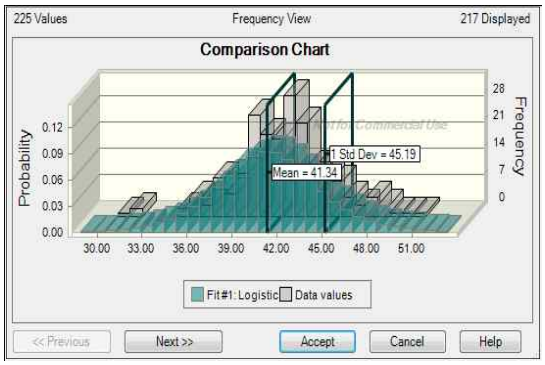
[그림 3-2-10] 전력 사용량 leaf4



[그림 3-2-11] 전력 사용량 leaf5



[그림 3-2-12] 전력 사용량 leaf6



[그림 3-2-13] 전력 사용량 leaf7

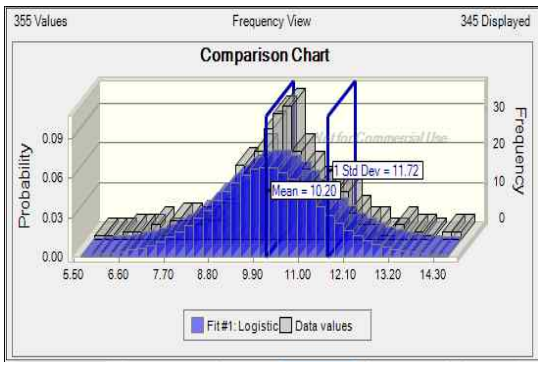
다. 가스에너지 사용량 분석

아래 표와 그림들은 공공주택의 면적당 가스에너지 사용량(m^3/m^2) 데이터 355개를 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 분석한 결과이다. 전수를 대상으로 실시한 시뮬레이션에서는 평균값 10.20, 표준편차 1.52으로 나타나고 있다. 반면, 군집별 시뮬레

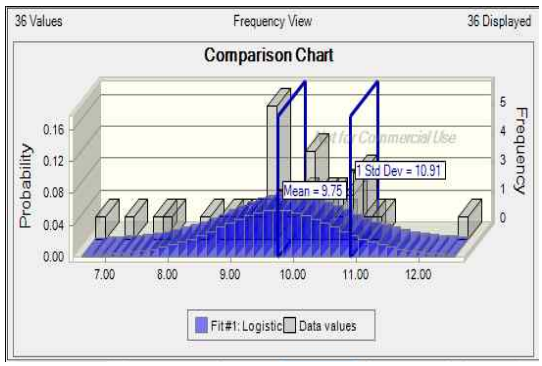
이션 분석에서는 각 군집별 가스에너지 사용량의 평균에 따른 표준편차가 leaf1(1.17), leaf2(2.17), leaf3(2.15), leaf4(1.33), leaf5(1.04), leaf6(0.82), leaf7(1.09)이다. 이 결과는 leaf2와 leaf3의 경우에 전수를 대상으로 한 분석 결과에 비해 표준편차가 크게 나왔지만, 나머지 5가지 군집에서는 작은 값이 나왔다. 따라서 각 군집 별 시뮬레이션 수행을 통해 공공주택의 가스에너지 사용량의 분포가 평균을 중심으로 군집마다 종형의 분포를 보이고 있음을 확인 할 수 있다.

<표 3-2-07> 가스에너지 사용량 MCS 결과

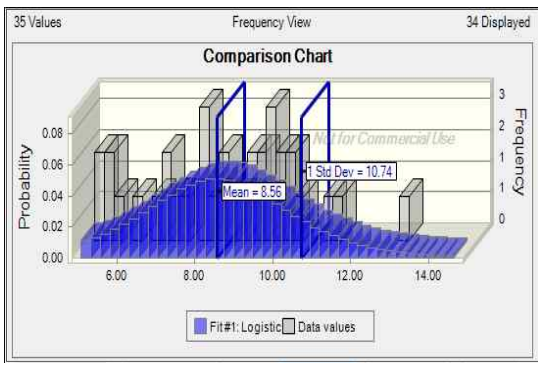
구분	All	Leaf 1	Leaf 2	Leaf 3	Leaf 4	Leaf 5	Leaf 6	Leaf 7
시뮬레이션 횟수(회)	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
평균(Mean)	10.20	9.75	8.56	9.43	11.44	10.53	10.41	10.63
중앙값(Median)	10.20	9.75	8.56	9.42	11.22	10.42	10.41	10.45
최빈값(Mode)	10.20	9.75	8.56	9.39	10.84	10.21	10.41	10.14
표준편차 (Standard Deviation)	1.52	1.17	2.17	2.15	1.33	1.04	0.82	1.09
분산(Variance)	2.30	1.36	4.72	4.63	1.78	1.09	0.67	1.18
왜도(Skewness)	0.00	0.00	0.00	0.00436	1.14	0.6715	0.00	1.14
첨도(Kurtosis)	4.20	4.20	4.20	3.00	5.40	3.81	4.20	5.40



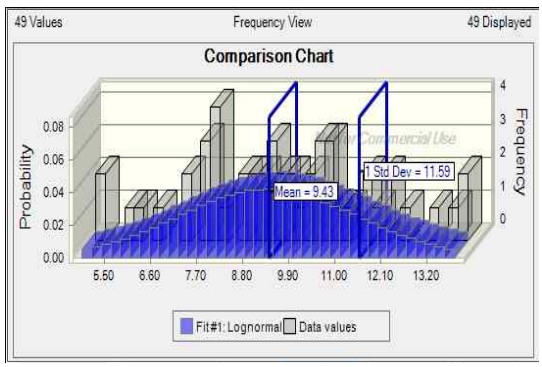
[그림 3-2-14] 가스에너지 사용량 전수



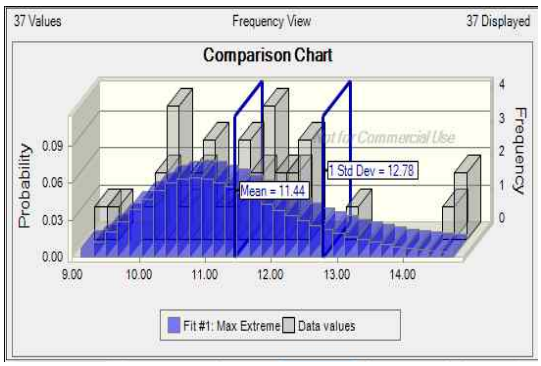
[그림 3-2-15] 가스에너지 사용량 leaf1



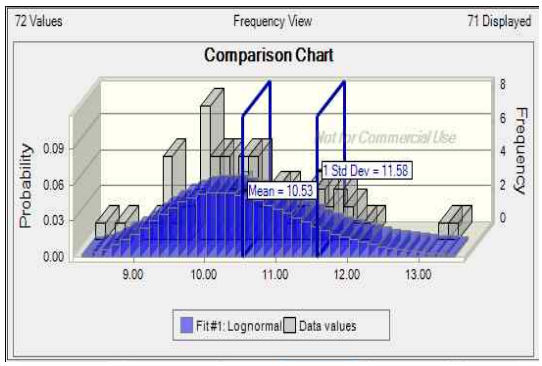
[그림 3-2-16]가스에너지 사용량 leaf2



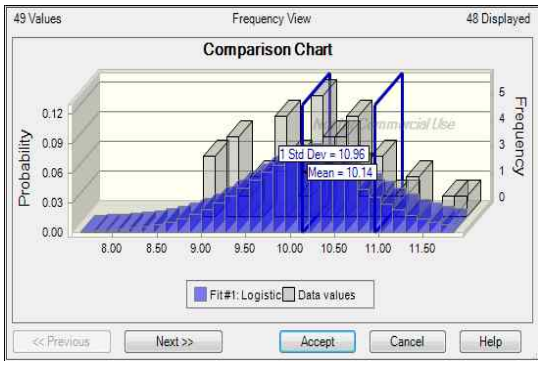
[그림 3-2-17] 가스에너지 사용량 leaf3



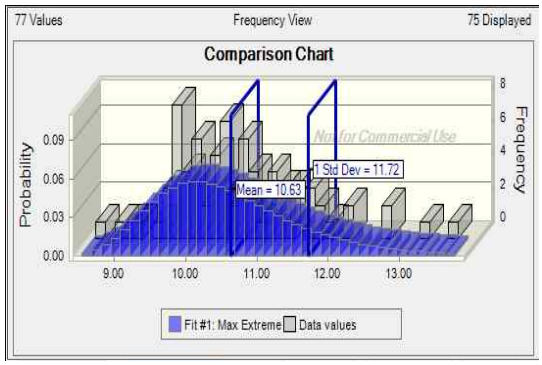
[그림 3-2-18] 가스에너지 사용량 leaf4



[그림 3-2-19] 가스에너지 사용량 leaf5



[그림 3-2-20] 가스에너지 사용량 leaf6



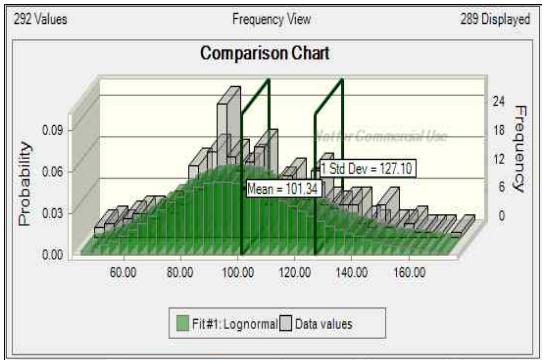
[그림 3-2-21] 가스에너지 사용량 leaf7

라. 지역난방 에너지 사용량 분석

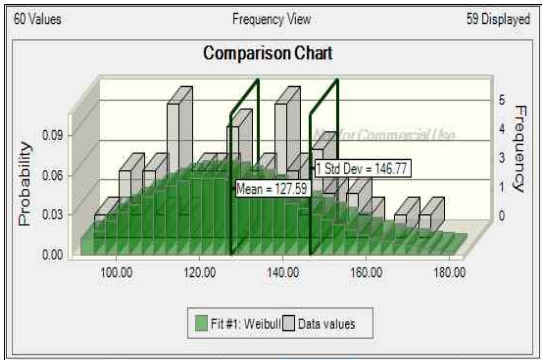
아래 표와 그림들은 공동주택의 면적당 지역난방 에너지 사용량(Gcal/㎡) 데이터 총 292개를 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 분석한 결과이다. 전수를 대상으로 실시한 시뮬레이션에서는 평균값 101.34, 표준편차 25.76으로 나타나고 있다. 반면, 군집별 시뮬레이션 분석에서는 각 군집 별 전기에너지 사용량의 평균에 따른 표준편차가 leaf1(19.18), leaf2(19.06), leaf3(14.78), leaf4(21.78), leaf5(14.43)이다. 이 결과는 면적당 지역난방 에너지 사용량(Gcal/㎡)의 전체 데이터를 대상으로 분석한 값과 비교하여 표준편차가 작게 나왔다. 따라서 각 군집에 따른 산포도가 평균값을 중심으로 작게 나옴을 알 수 있으며, 각 군집에 따라 종형의 분포 형태를 찾아 낼 수 있다

<표 3-2-08> 지역난방 에너지 사용량 MCS 결과

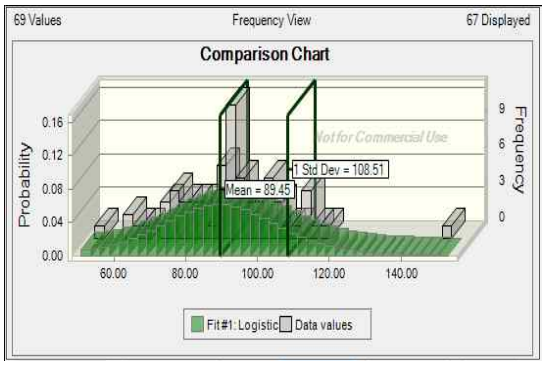
구분	All	Leaf 1	Leaf 2	Leaf 3	Leaf 4	Leaf 5
시뮬레이션 횟수(회)	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
평균(Mean)	101.34	127.59	89.45	73.68	110.37	95.27
중앙값(Median)	99.25	125.97	89.45	73.38	110.37	95.27
최빈값(Mode)	95.17	122.43	89.45	72.09	110.37	95.27
표준편차 (Standard Deviation)	25.76	19.18	19.06	14.78	21.19	14.43
분산(Variance)	663.50	367.97	363.41	218.46	449.22	208.17
왜도(Skewness)	0.4997	0.4692	0.00	0.0784	0.00	0.00
첨도(Kurtosis)	3.45	2.99	4.20	2.18	4.20	4.20



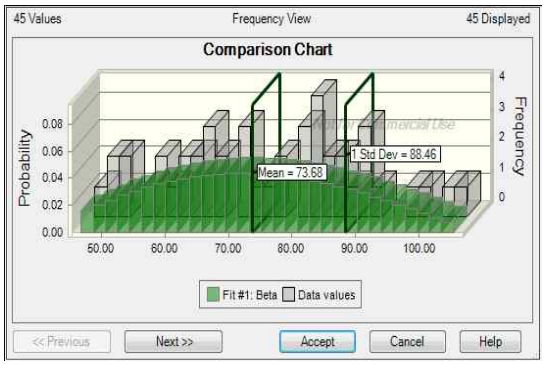
[그림 3-2-22] 지역난방 에너지 사용량 전수



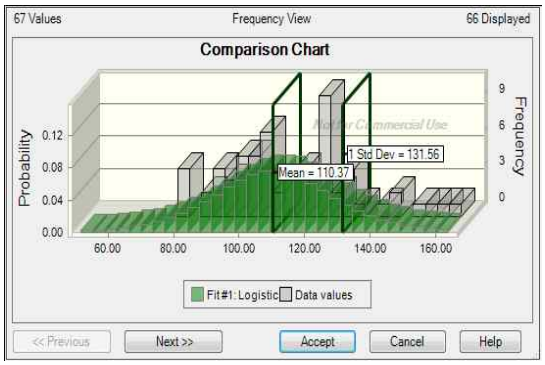
[그림 3-2-23] 지역난방 에너지 사용량 leaf1



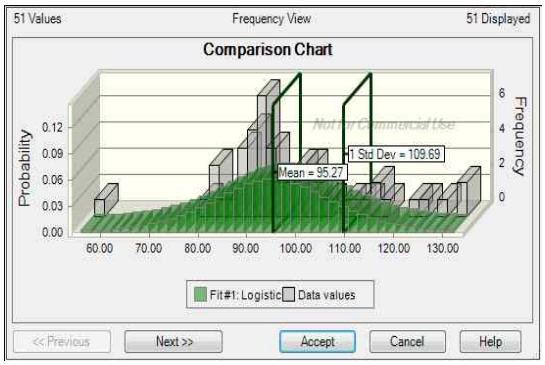
[그림 3-2-24] 지역난방 에너지 사용량 leaf2



[그림 3-2-25] 지역난방 에너지 사용량 leaf3



[그림 3-2-26] 지역난방 에너지 사용량 leaf4



[그림 3-2-27] 지역난방 에너지 사용량 leaf5

제3절 공동주택 단지 개선여부 의사결정 지원모델

1. 개요

앞 절에서는 프로젝트 특성에 따라 유사한 단지간의 군집을 형성하여 분류체계를 구축하였다. 이러한 군집 내 데이터 간의 비교평가를 실시하는 경우, 의사결정의 오류가 감소하게 되며, 공동주택 단지 개선여부에 대한 판단의 적절성을 확보할 수 있게 된다. 즉 분류체계를 토대로, 의사결정의 대상이 되는 단지가 있을 때 해당 단지가 포함되는 군집 내에서 해당 단지와의 유사 단지를 찾고 에너지 사용량을 비교함으로써 개선 여부에 대한 판단을 내릴 수 있게 된다.

이처럼 모델 내에서 의사결정을 위해 유사 단지를 찾아내는 방법으로는 사례기반추론(Case Based Reasoning, CBR)을 적용하였다. 사례기반추론은 과거에 있었던 사례들의 결과를 바탕으로 새로운 사례의 결과를 예측하는 기법으로서, 예측결과에 대한 설명력을 높일 수 있다는 장점과 사례가 축적됨에 따라 모델의 예측성능이 향상된다는 장점을 가지고 있다. 그럼에도 불구하고, 사례기반추론은 다중회귀분석, 인공신경망 등 타 모델과 비교하여, 예측정확도가 다소 낮은 경향을 보인다. 따라서 본 연구에서는 의사결정 지원모델의 성능 향상을 위해 사례기반추론의 예측정확도를 최대화하고자 유전자 알고리즘, 다중회귀분석, 인공신경망 등 다양한 방법을 결합시켜 적용하였다.

2. 사례기반추론을 통한 유사사례 선택

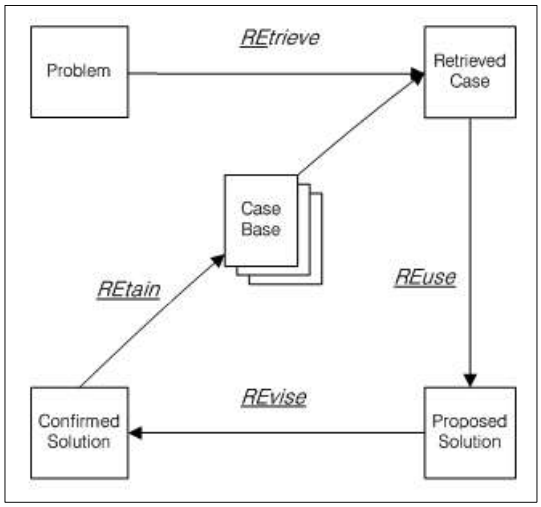
사례기반추론은 일반적으로 4단계로 구성된 반복적 프로세스(4REs)로 진행된다.

① REtrieve (조회) : 과거 사례 중 대상사례와 가장 유사한 한 개 이상의 사례 추출

② REuse (재사용) : 조회된 사례의 정보를 대상사례의 문제 해결에 재사용

③ REvise (수정) : 재사용하는 사례정보 및 해결책을 대상사례에 맞게 수정

④ REtain (저장) : 대상사례의 해결책을 기존 사례 데이터베이스에 추가



[그림 3-3-01] 사례기반추론의 프로세스

유사사례의 조회에는 일반적으로 귀납적 조회기법(Inductive Retrieval)과 최근이웃 조회기법(Nearest-Neighbor Retrieval)이 사용된다. 귀납적 조회기법은 수집된 사례들로부터 일반화된 규칙 또는 수식으로 표현된 분류 방법을 미리 도출한 후, 새로운 사례가 입력되면 정의된 분류 방법을 적용하여 유사한 과거 사례를 조회하는 방법이며, 의사결정나무(Decision Tree)를 통해 조회되므로 조회속도가 빠르지만 과거 사례 중 대상 사례와 특성이 동일한 사례가 없는 경우 조회 자체가 되지 않는다는 단점이 있다. 반면 최근이웃 조회기법은 저장되어 있는 사례들 중 일정한 유사성 척도에 의해 새로운 사례와 과거 사례를 대응시켜 유사 사례를 조회하는 방법으로, 모든 사례를 비교해야 하므로 조회속도가 느린 단점이 있으나 동일한 사례가 없어도 유사도 산정에 따라 가장 유사한 사례를 제시해 준다.

공동주택 단지들의 경우 매우 다양한 특성이 존재하므로 대상 단지와 동일한 과거 사례가 존재하지 않는 경우가 빈번하게 발생할 수 있다. 따라서 귀납적 조회기법보다는 최근이웃 조회기법이 보다 적절하다고 할 수 있다. 그러나 최근이웃 조회기법은 데이터베이스가 많은 경우 지나치게 오랜 시간이 걸리는데, 본 연구에서는 앞서 의사결정나무(Decision Tree) 기법을 통해 공동주택 단지 데이터베이스의 분류체계를 구축한 바 있으며, 이를 통해 분석 시간을 상당히 단축시켰다. 즉, 본 연구에서는 귀납적 조회기법과 최근이웃 조회기법 각각의 장점을 갖춘 사례기반추론 기법을 적용함으로써 유사사례 조회 과정을 최적화시켰다고 할 수 있다.

최근이웃 조회기법의 알고리즘은 매우 간단하다. 과거 사례와 대상 사례 간 속성

값을 비교하여 속성유사도를 계산하고, 과거 사례의 분석을 통해 산정한 속성별 속성가중치를 곱해 최종적으로 사례유사도 점수를 산출한다. 사례유사도 점수는 아래의 식 (1)과 같은 간단한 행렬식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} AS_{11} \cdots AS_{1n} \\ \vdots \quad \ddots \quad \vdots \\ AS_{m1} \cdots AS_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} AW_1 \\ \vdots \\ AW_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} CS_1 \\ \vdots \\ CS_n \end{pmatrix} \quad \text{----------} \quad (1)$$

AS : 속성유사도

AW : 속성가중치

CS : 사례유사도 점수

사례유사도 점수는 식 (2)에 의해 산출되며, 상기의 속성유사도와 속성가중치가 활용된다. 각각의 입력변수의 속성유사도에 속성가중치를 곱함으로써, 가중치 반영 속성유사도를 산출한다. 이 값을 속성가중치의 누적합으로 나눈 값이 사례유사도 점수(case similarity score)이다.

$$f_{CS}(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n} (f_{AW_i} \times f_{AS_i})}{\sum_{i=1}^{n} f_{AW_i}} \quad \text{----------} \quad (2)$$

f_{CS} : 사례유사도산정 함수
f_{AS} : 속성유사도산정 함수
f_{AW} : 속성가중치 산출 함수

본 연구에서 개발한 모델의 예측성능을 평가하기 위해서는, 예측의 표준 오차율과 예측정확도를 산정하여야 한다. 이들 수치는 다음의 수식 (3)과 (4)를 통해 각각 산출된다.

$$f_{SER}(x) = \frac{(\sum_{i=1}^{m} \frac{\sqrt{(AV_i - PV_i)^2}}{AV_i}}{m} \times 100 \quad \text{----------} \quad (3)$$

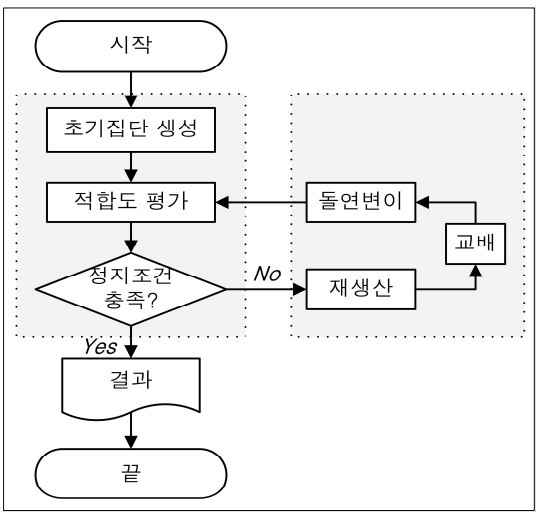
$$f_{PA}(x) = 100 - f_{SER}(x) \quad \text{----------} \quad (4)$$

f_{SER} : 예측오차율 산정 함수
AV : 시험사례의 목표변수 실제값
PV : 검색된 유사사례의 목표변수 예측값

3. 유전자 알고리즘을 통한 모델 최적화 프로세스

가. 유전자 알고리즘 개요

유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)은 John Holland에 의해서 1975년에 개발된 최적화 알고리즘으로, 자연 선택의 원리와 자연계의 생물 유전학에 기본 이론을 두며 모든 생물은 주어진 다양한 환경 속에 적응함으로써 살아남는다는 다윈의 적자생존 이론을 기본 개념으로 한다. 풀고자 하는 문제에 대한 가능한 해들을 정해진 형태의 자료구조로 표현한 다음 이들을 점차적으로 변형하여 점점 더 좋은 해들을 만들어 냄으로써 존재하는 수많은 해 중에서 최적화된 해를 구하기 위해 주로 사용된다. 유전자 알고리즘은 다음 그림과 같이 초기집단 생성, 적합도 평가 및 재생산, 교배, 돌연변이 등의 반복적 프로세스로 구성된다.



[그림 3-3-02] 유전자 알고리즘 프로세스

어떤 문제에 대해 유전자 표기와 적합도 함수가 정의되면, 우선적으로 문제에 대한 초기 해의 집단이 형성된다. 초기 해는 해 공간 내에 무작위로 분포되도록 선택되거나 경험적인 방법으로 선택되며, 이후의 해를 구하는 데 있어 초기 개체로서의 역할을 한다.

적합도 평가 및 재생산 단계에서는 각 해들이 특정한 적합도 함수에 의해 평가되며, 상대적인 적합도 값에 따라 해집단 내의 해들이 재생산을 위해 선택된다. 성능

이 좋은 해들은 더 많이 선택되어 복제되는 반면 성능이 나쁜 해들은 집단으로부터 소멸되면서 다음 세대의 구성이 이루어진다.

생명체가 교배를 통해 다음 세대를 생성하는 것과 마찬가지로 선택된 해들의 교배를 통해 다음 세대의 해집단을 생성하게 된다. 부모 세대의 적합도가 높은 해들 간에 유전정보를 교환함으로써 집단에 새로운 해를 도입하게 된다. 교배는 일반적으로 현 집단 내에 존재하는 정보만을 이용하여 변화를 시도하게 된다. 만약 이전 세대에서 특정 정보를 잃게 되면 교배는 이러한 정보를 보유하는 새로운 개체들을 생산할 수 없다.

돌연변이는 선택된 개체의 하나 이상의 유전정보를 임의로 변경하여 집단에 새로운 정보를 도입하는 수단을 제공한다. 그러나 이러한 변화는 매우 낮은 확률을 가지고 이행된다. 돌연변이는 국지적 최적해에 빠지거나 열등한 개체 집단으로 수렴하는 것을 방지하는 주요한 기법이다.

적합도 평가 및 선택, 재생산, 교배, 돌연변이의 프로세스는 반복적으로 진행되다가 세대가 일정 수준 진행되었거나, 해가 특정 범위에 들게 되면 알고리즘을 종료하게 된다.

나. 사례기반추론 예측정확도 향상을 위한 최적화 매개변수

사례기반추론은 사례유사도 값에 의해, 유사사례를 도출하고, 이 사례의 목표변수의 값을 기준으로 예측정확도를 판단하게 된다. 그런데, 이전 연구의 결과를 보면 사례유사도와 예측정확도가 항상 비례하지는 않는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결함으로써 예측정확도를 향상시키기 위하여, MCAS, RAW, RCS, TRCRMA 등 4개의 최적화 매개변수를 도입하였으며, 이들 매개변수에 대해 유전자 알고리즘의 반복적 프로세스를 적용함으로써 예측정확도를 가장 높일 수 있는 사례기반추론 모델을 구현하였다.

(1) 속성유사도 점수 산정을 위한 최소기준(Minimum Criteria for scoring Attribute Similarity, MCAS)

앞서 언급한 바와 같이 속성유사도 산정에는 최근 이웃 조회기법이 적용된다. 대상 사례와 데이터베이스 내 사례 간 속성유사도 산정에 있어서 척도 유형이 명목척도인 입력변수의 경우 일치하면 1점, 불일치하면 0점을 부여하였다. 한편 비율척도인 입력변수의 경우 속성유사도 점수 산정을 위한 최소기준(이하 MCAS)이라는 매개변수를 설정하여, 속성유사도가 MCAS 이상인 경우에만 점수를 인정하고, 그렇지 않은 경우에는 0점을 부여하도록 하였다. 식 (5)는 MCAS를 이용한 속성유사도 산정 방식을 표현하고 있다. 본 연구에서는 유전자 알고리즘을 통해 최적의 MCAS를 찾는 프로세스를 수행하였다.

$$f_{AS}(x)=\begin{cases}100-(\dfrac{|AV_{TestCase}-AV_{RetrievedCase}|}{AV_{TestCase}}\times 100), & f_{AS}(x)\geq MCAS\\ 0, & f_{AS}(x)<MCAS\end{cases} \quad \text{------ (5)}$$

f_{AS} : 속성유사도산정함수
$AV_{TestCase}$: 시험사례속성수치
$AV_{RetrievedCase}$: 검색된유사사례속성수치

(2) 속성가중치 범위(Range of Attribute Weight, RAW)

사례기반추론을 포함한 데이터마이닝 기법에서는 여러 가지 입력변수와 목표변수가 정의된다. 각각의 입력변수가 목표변수에 미치는 영향은 서로 다르다. 사례기반추론에서는 이러한 특성을 반영하기 위해 속성가중치 개념을 적용한다. 본 연구에서는 속성가중치 산정을 위해 속성가중치 범위(이하 RAW)라는 매개변수를 설정하였다. RAW 역시 유전자 알고리즘을 활용한 최적화 프로세스를 진행하였다.

(3) 사례 추출 범위(Range of Case Selection, RCS)

전체 사례 중, 얼마만큼의 사례를 유사한 사례로 도출할 것인가를 설정하기 위한 매개변수이다. 예를 들어, 전체 사례 수 100개가 존재하는 데이터베이스 내에서 사례기반추론을 실시하는 경우 RCS를 10%로 설정하면 100개 중 10% 이내인 사례유사도 점수 10위까지의 사례만을 대상으로 사례 조회가 진행된다. RCS 역시 MCAS, RAW와 같이 유전자 알고리즘을 활용한 최적화 프로세스가 적용되었다.

(4) 교차구간 여유율 범위(Tolerance Range of Cross Range between MRA and ANN, TRCRMA)

본 연구에서는, 사례기반추론의 예측정확도 향상을 위해, 회귀분석 및 신경망 분석을 통해 예측된 결과를 활용한 필터링 개념을 적용하고자 하였다.

$$\max\{\min(PR_{MRA}),\min(PR_{ANN})\} \le CRMA \le \min\{\max(PR_{MRA}),\max(PR_{ANN})\} \text{ ---------- (6)}$$

$CRMA$: 다중회귀분석(MRA)과 인공신경망분석(ANN)을 통해 나온 예측값의 교차구간

필터링 개념은 식 (6)을 활용하여 적용된다. 필터 범위는 다중회귀분석과 인공신경망분석을 통해 나온 예측값의 교차구간에 의해 도출하게 된다. 본 연구에서는 교차구간 도출을 위해, MRA모델과 ANN모델 예측범위의 교차구간(Cross Range between the predicted values of the MRA and ANN model, CRMA)이라는 매개변수를 설정하였다. 한편, 교차영역의 범위가 지나치게 좁은 영역으로 한정될 경우, 필터링의 의미가 퇴색될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 CRMA의 양측 값에 여유범위를 부여하기 위해, 교차구간 여유율 범위(Tolerance Range of CRMA, TRCRMA)라는 매개변수를 설정하였다. 이렇게 CRMA에 여유치가 부여된 범위를 CRMA* 라고 정의하였고, 다음의 식 (7)에 의해 산출된다.

$$\min(CRMA)\times(1-\frac{TRCRMA}{100}) \le CRMA^{*} \le \max(CRMA)\times(1+\frac{TRCRMA}{100}) \text{ ---------- (7)}$$

$TRCRMA$: 교차구간여유율범위
$CRMA$: 여유율이적용된교차구간

상기의 수식 (6)에는 PR_{MRA}와 PR_{ANN}이 포함되어 있다. 이러한 변수는 다중회귀분석과 ANN에 의해 예측된 값에 오차율이 적용된 범위로 제시된다. PRMRA와 PRANN은 각각 다음의 식 (8)과 (9)에 의해 산출된다.

$$PV_{MRA}\times(1-\frac{SER_{MRA}}{100}) \le PR_{MRA} \le PV_{MRA}\times(1+\frac{SER_{MRA}}{100}) \text{ ---------- (8)}$$

PR_{MRA} : MRA모델예측범위
PV_{MRA} : MRA모델예측값
SER_{MRA} : MRA모델표준오차율

$$PV_{ANN} \times (1 - \frac{SER_{ANN}}{100}) \leq PR_{ANN} \leq PV_{ANN} \times (1 + \frac{SER_{ANN}}{100}) \quad \text{---------- (9)}$$

PR_{ANN} : ANN모델예측범위
PV_{ANN} : ANN모델 예측값
SER_{ANN} : ANN모델표준오차율

4. 구축된 의사결정 지원모델 성능 검증

가. 최종 예측정확도 및 표준편차를 통한 모델 성능 검증

본 연구에서는 다양한 데이터마이닝 기법의 통합 적용을 통해, 예측정확도를 향상시킨 모델을 개발하고자 하였다. 우선 의사결정나무를 통해 데이터를 군집화하였고, 각 군집별 데이터를 대상으로 사례기반추론을 실시하되, 4종류의 최적화 매개변수를 만들고 이에 대한 유전자 알고리즘의 반영을 통해 모델의 예측정확도를 최적화하고자 하였다. 최적화 매개변수 중 TRCRMA를 통해서는 다중회귀분석 및 인공신경망에 의한 범위 제한도 적용하여 모델 성능을 보다 향상시켰다.

<표 3-3-01> 방법론별 예측정확도 및 표준편차 (단위 : %)

방법론		전력 부문		가스 부문		지역난방 부문	
		예측 정확도	표준편차	예측 정확도	표준편차	예측 정확도	표준편차
의사결정나무 미형성 (전수 대상 분석)	MRA	91.94	11.63	91.47	8.89	86.99	13.38
	ANN	92.27	11.87	91.51	7.44	87.30	12.86
	CBR+GA (MCAS, RAW, RCS 3매개변수 적용)	90.00	10.43	90.88	6.64	83.56	11.31
	CBR+GA (MCAS, RAW, RCS, TRCRMA 4매개변수 적용)	91.87	10.47	92.59	5.42		
의사결정나무 형성 (군집별 분석)	MRA	92.71	10.62	90.56	8.09	89.39	9.96
	ANN	93.00	9.90	91.02	5.99	90.27	9.37
	CBR+GA (MCAS, RAW, RCS 3매개변수 적용)	92.62	8.01	91.74	5.52		
	CBR+GA (MCAS, RAW, RCS, TRCRMA 4매개변수 적용)	93.51	7.97	93.47	4.90	91.49	6.85

본 연구에서 구축한 의사결정 지원 모델의 성능 검증하기 위해 기존 방법론과의 비교 분석을 실시한 결과를 위의 표에 나타냈다. 우선 쉽게 파악할 수 있는 사실은

군집화를 실시한 경우에 전수를 대상으로 분석했을 때보다 예측정확도가 향상되는 양상을 보인다는 것이다. 특히 전력 부문의 경우에는 MRA(다중회귀분석), ANN(인공신경망), 3개 또는 4개의 최적화 매개변수를 적용한 CBR(사례기반추론)+GA(유전자 알고리즘) 등 모든 방법론에 있어서 의사결정나무를 형성한 뒤 군집별로 분석한 경우 예측 정확도가 더 높게 나타났다. 반면에 표준편차는 더 낮게 나타나, 예측의 정확성뿐 아니라 안정성 측면에서도 비교우위에 있음을 알 수 있다. 가스 부문의 경우 군집화를 실시했을 때 다중회귀분석, 인공신경망 경우 예측정확도가 다소 낮아지는 양상을 보였으나 사례기반추론+유전자 알고리즘의 경우 예측정확도가 향상되었으며 모든 방법론에서 표준편차가 큰 폭으로 감소함을 확인할 수 있었다. 따라서 분류체계 형성은 의도한 바와 같이 예측성능 향상에 기여한 것으로 나타났다.

한편 의사결정나무, 사례기반추론, 다중회귀분석, 인공신경망분석, 유전자 알고리즘의 조합을 통한 다양한 방법론 중에서, 예측성능이 가장 우수한 것은 본 연구에서 구축한 모델, 즉 의사결정나무를 적용하여 군집을 형성하고, MCAS, RAW, RCS, TRCRMA 4개의 매개변수에 대한 유전자 알고리즘을 통해 최적화 프로세스를 결합시킨 사례기반추론 기법으로 나타났다. 위 표의 음영부분에서 제시된 바와 같이, 전력 부문, 가스 부문, 지역난방 부문 모두에 걸쳐 예측정확도는 가장 높게, 표준편차는 가장 낮게 나타나고 있다.

기존의 연구를 살펴보면, 사례기반추론은 예측값은 물론 근거가 되는 사례를 함께 제시하기 때문에, 예측결과의 설명력이 높다는 장점이 있는 반면 다중회귀분석, 인공신경망 등의 방법론과 비교하여 예측성능이 다소 떨어지는 단점이 있었다. 본 연구에서도 군집화를 실시하지 않고 전수를 대상으로 분석을 실시한 경우, 전력 부문에서는 다중회귀분석(예측정확도 91.94%), 인공신경망(예측정확도 92.27%)과 비교했을 때 3개 매개변수를 적용한 사례기반추론(예측정확도 90.00%), 4개 매개변수를 적용한 사례기반추론(예측정확도 92.55%)의 예측정확도가 낮거나 비슷하게 나타났다. 그러나 군집을 형성한 경우, 군집별 다중회귀분석(평균 예측정확도 92.71%), 군집별 인공신경망(평균 예측정확도 93.00%)과 비교하여, 군집별로 4개의 최적화 매개변수를 적용하여 사례기반추론을 실시한 경우의 평균 예측정확도가 93.51%로 높게 나타났으며 표준편차는 7.97%로 가장 낮게 나타났다. 이와 같은 결과는 가스 부문, 지역난방 부문에서도 유사하게 나타나, 예측정확도의 향상 및 표

준편차의 감소가 동반되었다. 따라서 본 연구에서 구축한 모델은 공동주택 단지의 개선여부 의사결정 지원모델로서 그 정확성 및 안정성을 확보하였음이 입증되었다.

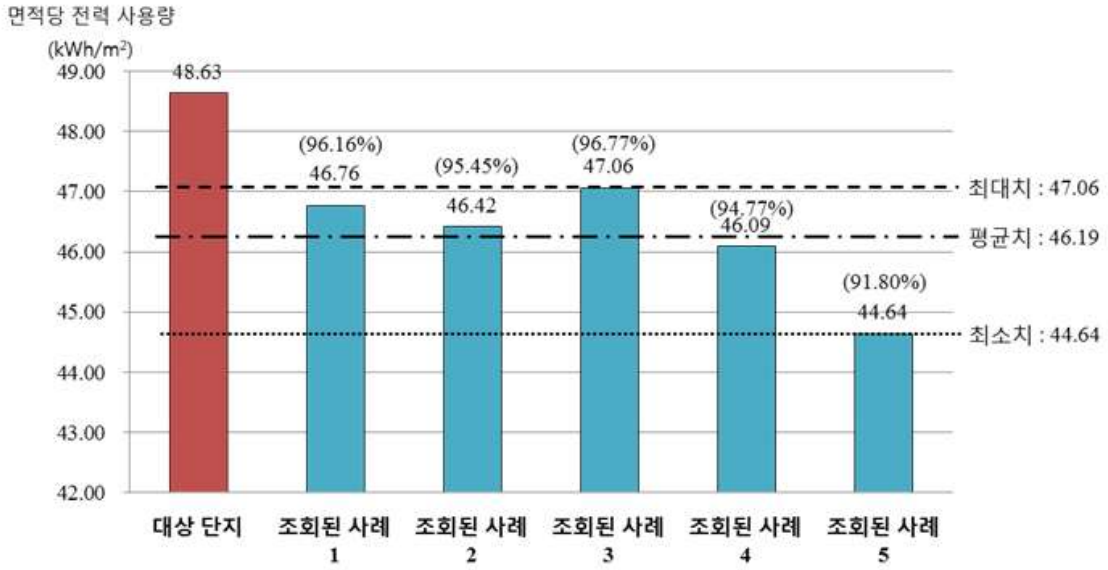
나. 사례 분석을 통한 모델 성능 검증

본 연구에서 개발된 모델을 활용하면 대상 단지와 유사한 특성을 가진 단지들이 RCS(사례 추출 범위)에 따른 개수만큼 조회되어 나온다. 이렇게 조회된 유사 단지들의 에너지 사용량(또는 그로 인한 CO_2 배출량)에 근거하여, 대상 단지의 에너지 사용량(또는 그로 인한 CO_2 배출량)의 적정 수준을 판단할 수 있다. 다시 말해서, 본 연구에서 개발된 모델은 특정 단지에 대한 적정 수준의 CO_2 배출량을 예측하기 위한 정량적이고 객관적인 기준을 제시한다. 대상 단지의 실제 배출량이 모델을 통한 예측값, 즉 조회된 유사 단지의 배출량과 비교했을 때 지나치게 크게 나타난다면 해당 단지의 개선이 필요하다는 판단을 내릴 수 있다.

공동주택 개선여부 의사결정 모델로서의 성능 검증 차원에서 일련의 프로세스에 대해 사례 분석을 실시하였다. 전력 부문 의사결정나무를 통해 형성된 9개의 군집들 중, leaf 3 내 1개의 단지(사례번호 110번)를 선정한 뒤 본 연구에서 개발한 모델을 활용하여 유사사례를 조회하였다. leaf 3의 전체 사례 271건 중 약 2%인 5건(사례번호 120, 109, 115, 121, 119번)이 유사사례로써 조회되었다. leaf 3의 최적 RCS 0.03으로 도출되었는데 3%가 아닌 2%의 유사사례가 선정된 것은 CRMA*, 즉 '여유율이 적용된 MRA와 ANN의 교차구간' 내에 포함되지 않은 1%의 사례가 제외되었기 때문이다. 아래 표에 대상 단지 및 조회된 유사사례의 단지 특성을 나타냈다. 5건의 유사사례는 사례유사도 점수를 기준으로 선정되었다. 대상 단지와 유사사례 간 비교를 통해 나온 예측 정확도는 최소 91.80%부터 최대 96.77%까지의 범위로 나타났고 평균 예측 정확도는 94.99%로 상당히 높게 나타났다.

<표 3-3-02> 대상 단지 및 모델을 통해 조회된 사례 단지의 특성

	사례 번호	지역구	경과 년수	연면적 (㎡)	동수	최고 층수	세대 수	세대당 면적 (㎡)	세대 타입	복도 유형	난방 방식	사례 유사도 점수	면적당 사용량 (kWh/㎡)	예측 정확도 (%)
대상 단지	110	노원	11	26,581	3	19	260	102.23	분양	혼합	개별	-	48.63	-
조회된 사례1	120	노원	10	29,244	4	18	300	97.48	분양	혼합	개별	0.9765	46.76	96.16
조회된 사례 2	109	노원	11	28,432	2	17	289	98.38	분양	혼합	개별	0.9713	46.42	95.45
조회된 사례 3	115	노원	13	25,090	3	17	259	96.87	분양	혼합	개별	0.9709	47.06	**96.77**
조회된 사례 4	121	노원	11	21,223	2	21	216	98.25	분양	혼합	개별	0.9699	46.09	94.78
조회된 사례 5	119	노원	13	29,765	2	16	290	102.64	분양	혼합	개별	0.9624	44.64	**91.80**
평균												**0.9702**	**46.19**	**94.99**



[그림 3-3-03] 추출된 유사 사례들의 면적당 전력 사용량 비교

위 그림은 대상 단지와 조회된 유사사례들의 면적당 전력 사용량을 그래프로 나타낸 것이다. 이러한 그래프를 활용하여 유사사례 간 전력 사용량을 비교 평가할 수 있다. 앞서 언급한 바와 같이, 모든 유사사례는 90% 이상의 높은 예측 정확도를 보이고 있다. 이러한 우수한 예측 정확도에 근거하여, 대상 단지의 전력 사용량 과다여부를 판단할 수 있으며, 또한 본 연구의 목표 중 하나인 CO_2 배출량 감축을 위한 개선대상 공동주택 단지 선정기준으로 활용할 수 있다. 공동주택 단지의 개선을 통한 전력 절감 목표량은 (i) 최대 전력 소비량 기준, (ii) 최소 전력 소비량 기

준, (iii) 평균 전력 소비량 기준 중 한 가지를 선정할 수 있다. 단지 관리자, 한국토지주택공사의 공공임대주택 관리부서 등 의사결정자들은 상황에 따라 조회된 유사 사례의 전력 사용량에 근거하여 각기 다른 기준을 수립할 수 있을 것이다.

<표 3-3-03> 3가지 기준 수립에 따른 전력 절감 및 CO_2 감축 효과

구분	면적당 전력 사용량 (kWh/㎡)	단지 총 전력 사용량 (kWh)	단지 총 이산화탄소 배출량 (tCO_2)	목표 설정에 따른 예상 전력 절감량 (kWh)	목표 설정에 따른 이산화탄소 감축 기대효과 (tCO_2)
대상 단지	48.63	1,292,634	608.44	-	-
최대치 기준	47.06	1,250,902	588.80	41,732	19.64
최소치 기준	44.64	1,186,576	558.52	106,058	49.92
평균치 기준	46.19	1,227,776	577.91	64,858	30.53

위 표는 위의 3가지 기준을 적용했을 경우의 전력 절감 및 이산화탄소 감축 기대효과를 보여주고 있다. 위의 그림에서 보듯, 대상 단지는 유사 사례로 선정된 단지들과 비교했을 때 전력 사용량이 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 시설물 개선여부 결정을 위해, 의사결정자는 개선의 필요성을 정량적으로 평가할 필요가 있다. 시설물 개선을 결정함에 있어, 에너지 절감 목표량을 최소 전력 소비량 기준으로 수립할 경우, 대상 단지는 연간 106,058 kWh의 전력을 절감할 수 있고, 49.92 tCO_2의 이산화탄소를 감축할 수 있다. 가스 및 지역난방의 경우에도 위와 같은 과정을 거쳐 특정 단지의 개선 여부에 대한 의사결정을 내릴 수 있으며, 거시적 관점에서는 우선적으로 개선을 실시해야 할 단지를 선정하기 위한 기준으로 본 모델을 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

제4절 개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스

1. 개요

공동주택 단지에 대한 공동주택에 적용할 수 있는 에너지 절감기법과 신재생에너지 설비의 경우 그 종류가 매우 다양한데, 현실적으로 사용할 수 있는 예산은 한정되어 있기 때문에 유지관리를 위한 의사결정 시 최적의 조합을 찾는 것이 매우 중요하다.

기존의 대표적 공공아파트 에너지효율 개선사업인 한국토지주택공사(LH공사)의 시설개선 및 그린홈 사업의 경우, 기존 공공임대주택의 노후시설을 부분적으로 개선함으로써, 에너지 사용량을 약 10%정도 절감시키는 것을 목표로 수행하였다. 그러나 온실가스 감축을 위한 뚜렷한 목표와 단지 특성에 대한 상세한 분석 과정 없이, 개선 대상으로 선정된 단지에 4가지의 에너지 성능 개선 기술(발코니 새시 교체, 복도 창호 교체, 대기전력 차단장치 설치, 단지 내 가로등을 LED등으로 교체)을 일괄적으로 적용하는 방식을 채택하였다. 따라서 개선 방안을 적용하는 과정에서 대상 시설물의 특성을 합리적으로 반영하지는 못하였으며, 개선 사업 후의 실제 개선 효과를 분석하는 등의 후속 프로세스가 진행되지는 못하고 있다.

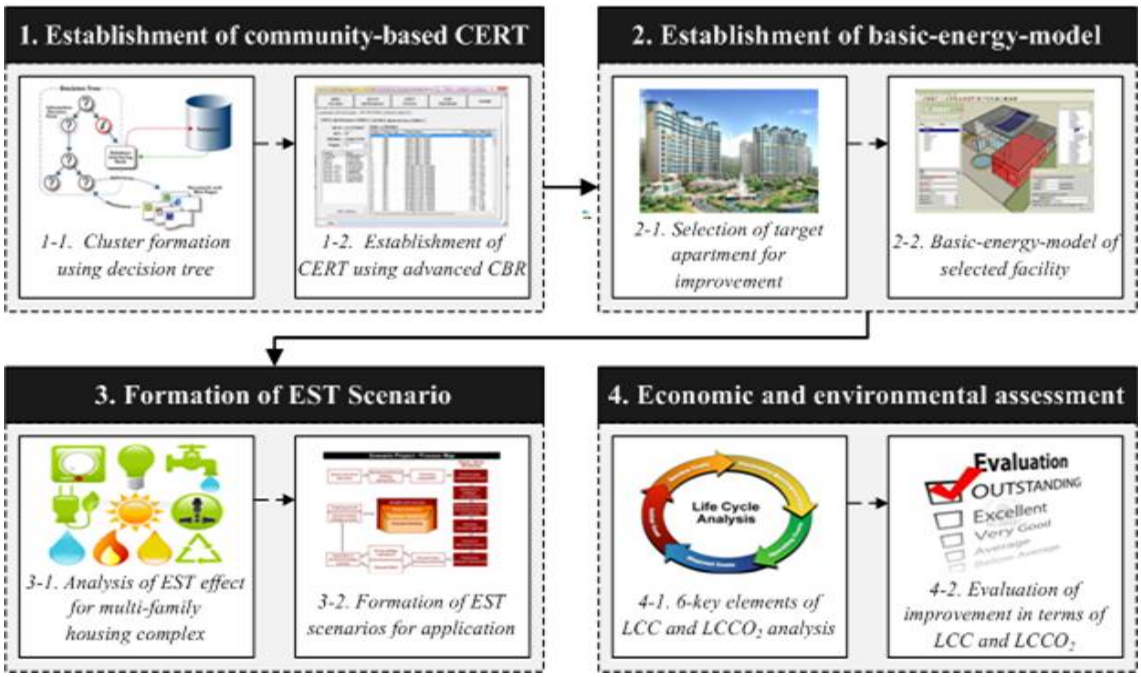
건축물 분야에서 2020년까지 BAU 대비 26.9%라는 구체적인 온실가스 감축목표가 수립된 현 시점에서, 이를 달성하기 위해서는 공공아파트 개선사업 시행 시에도 보다 구체적인 에너지 효율 개선 및 온실가스 감축목표를 수립하고, 다각적인 검토와 분석 과정을 거쳐 이를 달성할 수 있는 다양한 에너지 절감 방안의 조합들 가운데 환경적 및 경제적 측면에서 최적의 개선안을 적용해야 할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 공동주택 단지에 대한 탄소배출량 감축 목표(Carbon emissions reduction target; CERT)를 수립하고, 이를 달성할 수 있는 최적의 에너지 효율개선 시나리오를 선정할 수 있는 의사결정 프로세스를 정립하고자 한다.

2. 개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스

공동주택 단지에 대한 에너지 효율 개선 및 온실가스 감축 목표를 수립하고, 이

를 달성할 수 있는 최적 개선안을 선정하기 위한 프로세스를 [그림 3-4-01]에 도식화하여 나타냈으며, 자세한 내용은 다음과 같다.



[그림 3-4-01] 개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스

첫째, 공동주택 단지의 탄소배출량 감축목표(CERT)를 수립하기 위한 기반을 조성한다. 우선 분석 대상으로 활용할 표준 공동주택 단지를 선정하고, 앞 절에서 소개한 공동주택 유형분류체계 및 advanced CBR 모델을 활용하여, 해당 공동주택 단지에 대한 탄소배출량 감축목표(CERT)를 수립한다.

둘째, 표준 공동주택 단지에 대한 기본 에너지 모델을 구축한다. 우선 표준 공동주택 단지의 건축도면 및 시방서를 분석하고, 이를 활용하여, 기본 에너지 모델을 구축한 뒤 미국냉동공조공학회(American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ASHRAE)의 CV(RMSE) 기준을 적용하여, 기본 에너지 모델의 타당성을 검증한다.

셋째, 표준 공동주택 단지에 다양한 개선시나리오를 적용하여 에너지 절감 모델을 구축한다. 우선 표준 공동주택 단지에 적용 가능한 에너지절감 방안을 선별하고, 이를 활용하여 다양한 개선시나리오를 수립한다. 다음으로 기본 에너지 모델에

이들 개선시나리오를 적용함으로써 다양한 에너지 절감 모델을 구축한다.

넷째, 다양한 에너지 절감 모델에 대한 경제성 및 환경성 평가를 실시함으로써, 최적 개선시나리오를 선정한다. 우선, 기본 에너지 모델과 다양한 에너지 절감 모델의 에너지원별 에너지 소비량을 비교/평가함으로써, 다양한 에너지 절감 모델 각각에 대한 에너지 절감 효과를 평가한다. 다음으로, 표준 공동주택 단지의 CERT를 달성할 수 있는 에너지 절감 모델을 선별한다. 최종적으로, 선별된 에너지 절감 모델에 대한 경제성 및 환경성 평가를 실시하고, 이를 토대로 최적 개선시나리오를 선정한다.

3. 대상 단지 선정 및 탄소배출량 감축목표(CERT) 수립

가. 표준 공동주택 단지 선정

<표 3-4-01>은 국내 7개 특별시 및 광역시(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산) 와 9개 도(경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주)의 가정 부문 전력 및 가스 사용량과 이로 인해 발생하는 이산화탄소 배출량을 나타낸 것이다. 지식경제부에서 발간하는 '2011년도 에너지 총조사 보고서[7]'에 제시되어 있는 2010년 1년간의 에너지 사용량 데이터를 참고하였으며, 이산화탄소 배출량으로 환산하기 위해 식 (3-4-01), (3-4-02)를 활용하였다.

$$\text{전력사용으로 인한 } CO_2 \text{ 배출량}(tCO_2) = 0.471(tCO_2/MWh) \times \text{전력사용량}(MWh) \quad (3\text{-}4\text{-}01)$$

0.471(tCO_2/MWh) : 2010년 전력부문 온실가스 배출계수[8]

$$\text{가스사용으로 인한 } CO_2 \text{ 배출량}(tCO_2) = 0.000942(TOE/m^3) \times 0.637(tC/TOE) \times \frac{44}{12}(tCO_2/tC) \times \text{가스사용량}(m^3) \quad (3\text{-}4\text{-}02)$$

7) 에너지경제연구원 (2011). 2011년도 에너지총조사 보고서, 지식경제부.
8) 전력거래소, 전력부문 온실가스 배출계수, http://www.kpx.or.kr, 2012. 07. 23.

0.000942(TOE/m^3) : 도시가스의 열량환산기준(순발열량)[9]

0.637(tC/TOE) : 도시가스의 IPCC 탄소배출계수[10]

$\frac{44}{12}$(tCO_2/tC) : 이산화탄소/탄소의 분자량비

<표 3-4-01> 지역별 가정부문 에너지 사용량 및 이산화탄소 배출량 (2010년)

지역	면적 (km^2)	전력 사용량 (MWh)	가스 사용량 (1,000m^3)	이산화탄소 배출량 (tCO_2)	단위면적당 이산화탄소 배출량 (tCO_2/km^2)
서울	**605.50**	**13,306,931**	**2,951,798**	**12,502,268**	**20,647.8**
부산	759.87	4,585,253	668,844	3,531,180	4,647.1
대구	885.61	3,063,354	521,826	2,526,376	2,852.7
인천	964.53	3,378,764	780,239	3,243,033	3,362.3
광주	501.44	1,748,350	306,651	1,461,572	2,914.8
대전	539.83	1,802,903	386,100	1,663,041	3,080.7
울산	1,056.29	1,392,706	308,309	1,307,092	1,237.4
경기	10,135.21	14,141,346	2,971,134	12,916,516	1,274.4
강원	16,571.83	1,861,094	167,426	1,201,185	72.5
충북	7,431.69	1,843,962	169,765	1,198,782	161.3
충남	8,586.44	2,470,373	240,150	1,634,378	190.3
전북	8,050.07	2,247,579	255,900	1,570,416	195.1
전남	11,986.97	2,227,126	151,970	1,329,510	110.9
경북	19,023.69	3,158,926	342,430	2,168,752	114.0
경남	10,515.49	3,980,595	342,855	2,535,151	241.1
제주	1,846.29	626,198	4,340	288,192	156.1
계	99,460.75	61,835,460	10,569,737	51,077,445	513.5

<표 3-4-01>을 참고, 다음의 기준에 따라 표준 공동주택 단지를 선정하였다.

① 본 연구에서 도출된 결과물의 실용성을 확보하고, 그 파급효과를 극대화하기 위하여, 단위면적당 이산화탄소 배출량이 가장 높은 서울(20,647.8 tCO_2/km^2)에 소재한 공동주택 단지를 표준 공동주택 단지로 선정하였다.

② 본 연구에서 도출하는 결과물은 공동주택의 개별 세대가 아닌, 단지 관점에서 적용할 수 있는 의사결정 지원모델이므로, 국가소유의 공공임대인 공동주택 단지를 표준 공동주택 단지로 선정하였다.

③ 본 연구에서 도출한 결과물이 향후 발생 가능한 모든 경우의 수를 고려할 수 있도록 하기 위하여, 서울에 소재한 공동주택 단지 중에서, 단위면적당 이산화탄소 배출량이 상위 5% 이내의 공동주택 단지를 표준 공동주택 단지로 선정하였다.

9) 에너지자원정책과, 에너지 기본법 시행규칙 제 5조 1항 에너지 열량 환산 기준, 지식경제부
10) 에너지관리공단, IPCC 탄소배출계수,http://co2.kemco.or.kr, 2012.07.23

<표 3-4-02> 표준 공동주택 단지의 세부 정보

구분	세부 정보
이름	S 단지
위치	서울시 성북구
점유형태	임대
경과년수	3
구조	철근콘크리트조
관리비 부과면적	10,150m^2
옥상면적	1,245m^2
동수	1
층수	15
세대수	285
세대당 면적	35.61m^2
복도유형	계단식
난방방식	개별난방
전력 사용량 (2011)	873,946 kWh
가스 사용량 (2011)	145,365 m^3
이산화탄소 배출량 (2011)	712.93 tCO_2
면적당 이산화탄소 배출량	70.24 $kgCO_2/m^2$

<표 3-4-02>는 위에 언급한 3가지 기준에 따라, 최종적으로 선정된 S 단지에 대한 구체적인 정보를 제시한 것이다. S 단지는 서울에 소재한 국가소유의 공공임대형 공동주택 단지로서, 2008년도에 준공되어 3년이 경과되었다. 철근 콘크리트 구조로서, 도시가스(LNG)를 이용하여 개별난방 방식을 취하고 있다. 전력 및 가스 사용량에 대한 데이터가 모두 확보되어 있는 330개 공동주택 단지를 분석한 결과, S 단지의 단위면적당 이산화탄소 배출량(70.24 $kgCO_2/m^2$)이 가장 높은 것으로 나타났다. 따라서, 표준 공동주택 단지로 선정된 S 단지는 사례분석의 대상 시설물로서 적절한 것으로 판단된다.

나. 표준 공동주택 단지에 대한 탄소배출량 감축목표(CERT) 수립

표준 공동주택 단지로 선정된 S 단지에 대한 CERT를 수립하기 위해서는, 현재 시점에서의 S 단지의 에너지 사용 현황을 분석할 필요가 있다. 이러한 분석결과를 활용하여, S 단지에서의 에너지 효율 개선사업 추진여부를 판단할 수 있고, 또한

에너지 효율 개선의 잠재적 효과를 예측함으로써, 사업수행을 통해 달성하고자 하는 CERT를 명확하게 수립할 수 있다.

공동주택 단지의 에너지 효율 개선에 대한 보다 객관적이고 정확한 결정을 위해서는, 공동주택 단지의 특성을 기반으로 유사한 특성을 갖는 공동주택 단지에 대하여 군집을 형성하고, 같은 군집 내에 속한 유사 공동주택 단지와의 비교를 통해 평가할 필요가 있다. 따라서 앞서 2, 3절에서 소개한 공동주택 유형분류체계 및 단지 개선여부 의사결정 지원모델(advanced CBR 모델)을 활용하여 S 단지에 대한 CERT를 수립하였다. 우선 S 단지의 프로젝트 특성을 활용하여 S 단지가 포함되는 군집(cluster)을 파악해 본 결과, 전력 및 가스 사용량 기반의 공동주택 유형분류체계 각각에서, leaf 1 및 leaf 4에 포함되는 것으로 분석되었다(<표 3-4-03>, <표 3-4-04> 참조). 또한, advanced CBR 모델을 활용하여, S 단지의 전력 및 가스 사용량 각각에 대한 CERT를 수립하였다. <표 3-4-05>와 같이 S 단지의 면적당 전력 사용량(86.10 kWh/m^2)에 대하여, 23.0%의 CERT가 수립되었고, <표 3-4-06>과 같이 면적당 가스 사용량(14.32 m^3/m^2)에 대해서는 27.9%의 CERT이 수립되었다.

<표 3-4-03> 전력 사용량 기반 군집 분류 기준

군집 (leaf)	단지 수	면적당 전력 사용량 (kWh/m^2)	분류 기준		
			세대당 면적	경과년수	관리비 부과면적
1	**202**	**52.63**	**X_1<79.88**	**all**	**all**
2	292	48.74	79.88 ≤ X_1<113.50	X_2<7.5	all
3	271	46.73	79.88 ≤ X_1<102.67	X_2≥ 7.5	X_3<51,253.5
4	217	45.05	102.67 ≤ X_1<113.50	X_2≥ 7.5	X_3<51,253.5
5	236	43.71	79.88 ≤ X_1<113.50	X_2≥ 7.5	X_3≥ 51,253.5
6	221	44.05	X_1≥ 113.50	X_2<9.5	all
7	225	41.14	X_1≥ 113.50	X_2≥ 9.5	all

<표 3-4-04> 가스 사용량 기반 군집 분류 기준

군집 (leaf)	단지 수	면적당 가스 사용량 (㎥/㎡)	분류 기준		
			세대당 면적 (㎡)	복도유형	동 수
1	36	9.68	113.16 < x ≤ 123.22	all	all
2	35	8.61	x > 123.22	all	all
3	49	9.43	x ≤ 113.16	복도식	all
4	37	11.43	x ≤ 101.21	계단식	all
5	72	10.53	101.21 < x ≤ 113.16	계단식	all
6	49	10.09	x ≤ 113.16	혼합	2동 이하
7	77	10.63	x ≤ 113.16	혼합	2동 초과

<표 3-4-05> S 단지 전력 사용량에 대한 탄소배출량 감축목표(CERT)

에너지원	구분	사례번호	경과년수	연면적 (m^2)	동 수	최고층수	세대수	세대당 면적 (m^2)	복도유형	난방방식	사례유사도점수	면적당 전력사용량 (kWh/m^2)	CERT
전력	대상사례 (S 단지)	149	3	10,150	1	15	285	35.61	계단식	개별난방	-	86.10	-
	조회된 유사사례 1	186	8	23,800	7	15	298	79.87	계단식	개별난방	0.8338	65.42	24.0%
	조회된 유사사례 2	150	3	9,672	1	16	209	46.28	복도식	개별난방	0.9713	65.00	24.5%
	조회된 유사사례 3	151	3	13,701	1	18	288	47.57	복도식	개별난방	0.9709	68.41	20.5%
	평균											***66.28***	***23.0%***

<표 3-4-06> S 단지 가스 사용량에 대한 탄소배출량 감축목표(CERT)

에너지원	구분	사례번호	경과년수	연면적 (m^2)	동 수	최고층수	세대수	세대당 면적 (m^2)	복도유형	난방방식	사례유사도점수	면적당 가스사용량 (m^3/m^2)	CERT
가스	대상사례 (S 단지)	32	3	10,150	1	15	285	35.61	계단식	개별난방	-	14.32	-
	조회된 유사사례 1	30	2	17,057	4	12	169	100.93	계단식	개별난방	0.8496	10.33	27.9%
	평균											***10.33***	***27.9%***

4. 기본 에너지 모델 구축

표준 공동주택 단지인 S 단지의 기본 에너지 모델을 구축하기 위해서는 건축도면 및 시방서 등 기본적인 정보와 함께, 에너지 사용 양상을 파악할 필요가 있다. 공동주택 단지의 에너지 사용 양상에 영향을 미치는 요인은 크게 건축물의 물리적 요인과 거주자의 행태적 요인으로 구분할 수 있다. 전자는 공동주택 단지의 창면적비, 단열층 등과 같이, 건축도면 및 시방서를 활용하여 객관적으로 파악할 수 있는 외적 요소를 의미한다. 반면, 후자는 가전제품의 종류 및 개수, 실내온도, 거주시간 등과 같이 거주자의 선호도에 따라 달라지는 내적 요소이다. 이와 같은 거주자의 행태적 요인은 건축물의 물리적 요인과는 달리, 객관적으로 파악하기 어렵다는 특징이 있다.

교육시설물 또는 오피스 건물의 경우에는 일상적인 운영 스케줄 및 근무 시간 등의 거주자의 에너지 사용 양상을 분석할 수 있는 참고자료가 존재한다. 또한, 이러한 건축물 유형에 대해서는, 일반적으로 에너지 사용이나 시설물 운영이 중앙에서 통제 및 관리하는 경우가 대부분이므로, 에너지 사용 양상이 비교적 일정하다. 반

면, 공동주택 단지의 경우에는, 각 세대별 거주자의 선호도에 따라 에너지 사용 양상이 달라지므로, 객관적인 기준을 정립하기 어렵다. 이에 따라, 거주자의 에너지 사용 양상을 분석하고자 했던 대부분의 선행연구에서는 주로 설문조사에 의존하고 있다 [11][12][13][14]. 그러나, 설문조사의 경우 데이터 수집을 위해 많은 비용과 시간이 소모될 뿐만 아니라, 연구결과의 적용 및 확장에도 한계가 나타난다.

본 연구에서는 거주자의 에너지 사용 양상을 분석하기 위하여, 지식경제부에서 발간한 '2011년도 에너지 총조사 보고서'와 전력거래소에서 발간한 '2011년 가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태 조사 결과보고서[15]'를 참고하였다. 에너지 총조사 보고서는 20,000여 건의 표본조사를 통해, 건축물의 형태, 규모, 지역, 에너지원 등에 따른 에너지 사용량 통계정보를 제공하며, 가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태 조사 결과보고서는 4,000여 건의 표본조사를 통해, 공동주택의 규모 및 계절에 따른 가전제품의 보유대수, 사용시간, 소비전력 등에 대한 통계정보를 제공한다. 두 자료를 참고하여, 단위 세대별 거주자의 에너지 사용 양상을 도출하였으며, 표준 공동주택 단지, S 단지의 기본 에너지 모델 구축을 위해 활용하였다. 이 내용을 <표 3-4-07>에 나타냈다.

---

11) Tso, G., Yau, K. (2007). "Predicting electricity energy consumption: a comparison of regression analysis, decision tree and neural networks." Energy 32(9), 1761-8.

12) Ouyang, J., Hokao, K. (2009). "Energy-saving potential by improving occupants' behavior in urban residential sector in Hangzhou City, China." Energy and Buildings 41(7), 711-720.

13) Lopes, L., Hokoi, S., Miura, H., Shuhei, K. (2005). "Energy efficiency and energy savings in Japanese residential buildings - research methodology and surveyed results." Energy and Buildings 37(7), 698-706.

14) Wood, G., Newborough, M. (2005). "Dynamic energy-consumption indicators for domestic appliances : environment, behaviour and design." Energy and Buildings 35(8), 821-841.

15) 한국 전력거래소 (2011). 2011년 가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태 조사 결과 보고서, 한국 전력거래소

<표 3-4-07> 기본 에너지 모델 구축에 활용한 세대별 가전제품 사용 데이터

가전제품	대수	소비전력 (W)	월간 사용일수	일간 사용시간 (분)	연간 사용시간 (시간)	연간 소비전력량 (kWh)
냉장고	1.00	70.0	30.0	1,440	8,760.0	3,197.4
전기밥솥(보온용)	0.93	100.7	26.7	869	5,286.4	1,929.5
전기밥솥(취사용)	0.93	1,015.0	25.7	84	206.0	75.2
김치냉장고	0.30	27.0	30.0	1,440	8,760.0	3,197.4
TV	1.03	137.0	30.0	300	1,825.0	666.1
가습기	0.28	42.0	30.0	600	3,650.0	1,332.3
컴퓨터	0.51	195.6	26.6	148	900.3	328.6
비디오	0.28	21.9	8.4	146	888.2	324.2
조명(방)	4.00	36.0	30.0	300	1,825.0	666.1
조명(부엌)	1.00	60.0	30.0	300	1,825.0	666.1
조명(화장실)	1.00	36.0	30.0	120	730.0	266.5
전기프라이팬	0.29	800.0	30.0	60	365.0	133.2
세탁기	0.96	305.5	15.1	86	523.2	191.0
전자레인지	0.80	1,171.6	17.5	18	109.5	40.0
토스트기	0.22	850.0	30.0	20	121.7	44.4
커피포트	0.43	500.0	30.0	20	121.7	44.4
전기믹서	0.53	250.0	30.0	30	182.5	66.6
전기다리미	0.89	1,123.4	9.1	25	45.0	50.2
진공청소기	0.87	1,125.0	19.6	32	128.0	145.6
선풍기	1.19	60.0	30.0	300	593.0	216.4
전기장판	0.60	150.0	30.0	720	1,095.0	399.7
에어컨	0.17	1,800.0	30.0	360	206.0	75.2

S 단지의 건축 도면 및 시방서, 단위 세대별 거주자의 에너지 사용 양상 데이터를 바탕으로 하여, 사용 스케줄 및 설비 사양 등 입력정보를 활용한 에너지 모델링을 실시하였다. 에너지 시뮬레이션에는 영국에서 개발된 프로그램인 DesignBuilder v3.0을 활용하였고, 시뮬레이션 기간은 2011년 1월부터 12월까지의 1년으로 설정하였다.

에너지 시뮬레이션 결과에 대한 타당성을 검증하기 위하여, 미국냉동공조공학회(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE)에서 제공하는 에너지의 오차 한계범위, 즉 Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error(CV(RMSE))를 활용하였다. 식 (3-4-03)을 활용하여 CV(RMSE)를 산출하였으며, 그 값이 25% 이내인 경우, 에너지 시뮬레이션 결과에 대한 타당성이 확보된 것으로 판단하였다[16].

16) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). 2002. ASHRAE guideline 14-2002. Atlanta: ASHRAE.

$$CV(RMSE) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(AEC_i - SEC_i)^2 \times \frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^{n} AEC_i \times \frac{1}{n}} \times 100 \qquad (3\text{-}4\text{-}03)$$

CV(RMSE) : Coefficient of variation of the root mean square error
AEC_i : 실제 에너지 사용량 데이터
SEC_i : 시뮬레이션 결과 에너지 사용량
n : 데이터 수 (개월 수)

<표 3-4-08> CV(RMSE) of basic-energy-model by energy source

월	전력 (kWh)		가스 (m^3)	
	실제값	시뮬레이션	실제값	시뮬레이션
1	71,491	74,787	25,543	26,022
2	70,192	67,566	16,537	16,788
3	60,712	74,829	17,325	19,902
4	66,820	72,380	9,845	10,212
5	67,895	74,787	6,640	4,542
6	72,608	72,422	4,902	4,395
7	77,672	92,892	4,836	4,548
8	85,564	95,372	3,064	4,551
9	79,162	72,401	7,573	8,351
10	71,482	74,787	10,936	10,989
11	74,586	72,401	15,726	15,489
12	75,762	74,808	22,438	21,794
CV(RMSE)	10.38%		9.67%	

<표 3-4-08>은 S 단지의 실제 전력 및 가스 사용량과 시뮬레이션 결과의 월별 차이를 제시한 것이다. 전력 및 가스 사용량에 대한 CV(RMSE) 수치는 각각 10.38%, 9.67%로 나타나 오차 한계범위를 만족하는 것으로 분석되었다. 따라서, 기본 에너지 모델의 타당성이 확보된 것으로 판단하였다.

5. 에너지 절감 모델 구축

가. 에너지 사용 양상 분석

S 단지의 주 사용 에너지원은 전력 및 도시가스이다. 전력은 가전제품, 조명 및

냉방에 사용되고, 도시가스는 난방 및 급탕에 사용된다. S 단지에서 발생하는 이산화탄소 배출량을 종합적으로 평가하기 위하여, 식 (3-4-01) 및 (3-4-02)에 따라 전력 및 가스 사용량으로부터 발생하는 이산화탄소 배출량을 산출하였다. 이렇게 산출된 결과를 토대로, S 단지에서의 이산화탄소 배출 양상을 살펴보면, 가전제품(45.4%), 급탕(22.9%), 난방(21.7%), 조명(7.7%) 냉방(2.3%)의 순서로 나타났다. 전력 소비로 발생하는 이산화탄소 배출량은 55.4%를 차지하는 것으로 나타났고, 가스 소비로 발생하는 이산화탄소 배출량은 44.6%를 차지하는 것으로 나타났다. 이와 같이, S 단지에서 발생하는 이산화탄소 배출량은 어느 한 가지 에너지원에 편중되기보다는 전력 및 가스, 두 가지 에너지원 모두에서 영향을 받는 것으로 분석되었다.

이러한 S 단지의 에너지원 별 이산화탄소 배출량에 대한 분석결과는 에너지 절감 방안을 선정하기 위한 기본정보로 활용된다. 다시 말해서, 각각의 에너지 절감 방안이 어떤 에너지원을 절감시킬지에 대한 사전적 검토와 함께, 가전제품, 난방, 조명 등의 구체적인 에너지 사용 용도에 대한 분석도 수행할 수 있다.

나. 에너지 절감 방안 선정

S 단지의 에너지 사용 양상에 대한 분석결과를 토대로, 적용 가능한 에너지 절감 방안을 선정하였다. 1차년도에 작성한 '공동주택 에너지 절감 방안 30선'을 토대로, 다양한 문헌 조사와 LH공사 및 SH공사에 소속된 에너지 효율 개선사업 관련 담당자 등 전문가와의 면담 조사를 통해, 공동주택 단지에 적용 가능한 에너지 절감 방안을 선별하였다. 창문 외부차양, 콘덴싱 보일러, 6mm-12mm-6mm 로이복층유리, LED 조명, UPVC 프레임, 벽체 외단열, 최상층 지붕 단열, 복도 이중창, 대기전력 차단 콘센트 등 9가지 에너지 절감 방안이 선정되었다 [17)18)]. 이렇게 선정된 9가지 에너지 절감 방안을 S 단지의 기본 에너지 모델에 적용함으로써, 각 방안의 에너지 절감 효과를 분석하였다. 에너지 시뮬레이션 결과, <표 3-4-09>와 같이 S 단지의 CERT를 달성하는데 효과적이라고 판단되는 6mm-12mm-6mm 로이복층유리,

17) 채동훈 (2009). "공동주택에 적용 가능한 에너지 절약기술 및 적용 타당성 분석". 한국건축환경설비학회지 3(2), 23-28.

18) Hong, T., Kim, H., Kwak, T. (2012). "Energy Saving Techniques for Reducing CO_2 Emission in Elementary Schools." Journal of Management in Engineering 28 (in press).

LED 조명, 대기전력 차단 콘센트, 콘덴싱 보일러 등 4개의 에너지 절감 방안을 최종 선정하였다.

<표 3-4-09> 적용가능 에너지 절감 방안들의 에너지 절감 및 이산화탄소 감축 효과

에너지 절감 방안	연간 전력사용량 (kWh)	연간 전력사용량 절감률 (%)	연간 가스사용량 (m^3)	연간 가스사용량 절감률 (%)	연간 CO_2 배출량 (tCO_2)	연간 CO_2 감축률 (%)
기본 에너지 모델	919,431	-	71,794	-	569	-
외부차양	919,925	-0.1%	69,267	3.5%	564	0.95%
6mm-12mm-6mm 로이복층유리	920,331	-0.1%	57,092	**20.5%**	537	**5.69%**
LED 조명	851,227	**7.4%**	74,993	-4.5%	546	**4.08%**
UPVC 프레임	919,402	0.0%	72,077	-0.4%	570	-0.11%
콘덴싱 보일러	919,431	0.0%	56,424	**21.4%**	535	**6.02%**
벽체 외단열	919,441	0.0%	71,733	0.1%	569	0.02%
최상층 지붕단열	917,409	0.2%	71,031	1.1%	566	0.46%
복도 이중창	917,489	0.2%	70,332	2.0%	565	0.72%
대기전력 차단 콘센트	791,071	**14.0%**	82,028	-14.3%	535	**6.02%**

다. 표준 공동주택 단지의 에너지 절감 모델

표준 공동주택 단지인 S 단지의 CERT를 달성하기 위하여, 4개의 요소 에너지 절감 방안이 선정되었다. 각 에너지 절감 방안은 주로 관련되어 있는 에너지 사용 용도가 다르며, 이에 따라 에너지 절감 효과에도 차이가 발생한다. LED 조명 및 대기전력 차단 콘센트는 각각 조명 및 가전제품에 소비되는 전력을 절감시킬 수 있는 에너지 절감 방안이다. 또한 6mm-12mm-6mm 로이복층유리 및 콘덴싱 보일러는 냉난방 및 급탕에 소비되는 가스를 절감시킬 수 있는 에너지 절감 방안이다. 그런데, 2개 이상의 에너지 절감 방안을 복합적으로 적용했을 경우, 전체적인 에너지 절감 효과는 단일 에너지 절감 방안의 에너지 절감 효과의 단순합으로 나타나지는 않는다. 따라서 4개의 요소 에너지 절감 방안을 활용하여, S 단지에 적용하기 위한 총 15개의 에너지 절감 시나리오를 수립하였으며, 이를 <표 3-4-10>에 제시하였다.

<표 3-4-10> 4개 에너지 절감 방안의 조합을 통한 15개 에너지 절감 시나리오

에너지 사용용도	에너지 절감방안	에너지 절감 시나리오														
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15
냉난방	6mm-12mm-6mm 로이복층유리	O	-	-	-	O	O	O	-	-	-	O	O	O	-	O
조명	LED 조명	-	O	-	-	O	-	-	O	O	-	O	O	-	O	O
가전제품	대기전력 차단 콘센트	-	-	O	-	-	O	-	O	-	O	O	-	O	O	O
난방	콘덴싱 보일러	-	-	-	O	-	-	O	-	O	O	-	O	O	O	O

한편 S 단지의 CERT는 전력에 대해 23.0%, 가스에 대해 27.9%로 수립되었다. <표 3-4-09>에서 제시한 결과에 따르면, 전력 사용량과 관련된 LED 조명 및 대기전력 차단 콘센트의 에너지 절감 효과는 각각 7.4%, 14.0%로 분석되었다. 그리고 가스 사용량과 관련된 6mm-12mm-6mm 로이복층유리 및 콘덴싱 보일러의 에너지 절감 효과는 각각 20.5%, 21.4%로 분석되었다. 이러한 분석결과에 비추어 볼 때, 가스 사용량에 대한 CERT(27.9%)는 6mm-12mm-6mm 로이복층유리 및 콘덴싱 보일러를 동시에 적용함으로써 달성 가능할 것으로 판단되지만, 전력 사용량에 대한 CERT(23.0%)는 달성하기 어려울 것으로 판단된다. 이에 따라, 전력 사용량을 절감하기 위한 새로운 대책이 수립되어야 한다. 본 연구에서는 신재생에너지 중, 태양광을 활용하여 전력을 생산하는 태양광 발전 시스템(photovoltaic system, 태양광 발전 시스템)을 도입함으로써 사용 전력의 에너지원을 대체하고, 나아가 전력 사용량에 대한 CERT(23.0%)를 달성하고자 하였다.

<표 3-4-11>은 본 연구에서 적용한 태양광 발전 시스템의 패널 및 인버터의 사양을 제시한 것이다. 캐나다와 미국에서 공동으로 개발한 신재생에너지 설비 시뮬레이션 프로그램인 RETScreen 활용하여 분석한 결과, 해당 태양광 발전 시스템을 S 단지의 옥상면적 1,234m^2에 적용할 경우의 전력 생산량은 연간 146,026kWh로 산출되었다. 태양광 발전 시스템을 도입함으로써, S 단지의 연간 전력 사용량(919,431 kWh)의 15.9%를 대체하는 효과가 발생하였다.

식 (3-4-04)는 PV 패널이 설치되었을 때의 단위면적을 산출하기 위한 수식으로, 크게 PV 패널의 규격 및 설치각도에 따라 달라진다. [그림 3-4-02]는 식 (3-4-04)에 대한 이해를 돕기 위하여 해당 식에 적용된 여러 수치를 도식으로 제시한 것이다. 이렇게 산출된 1개 PV 패널의 설치 단위면적(이때 PV 패널의 설치각도는 27°

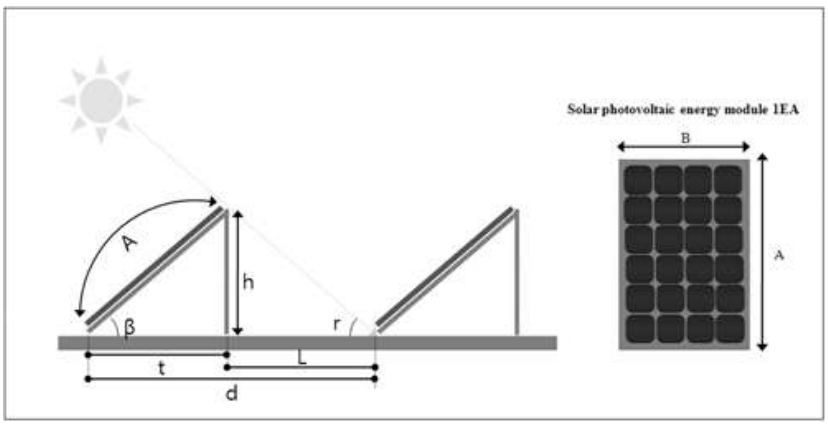
로 설정함)을 활용하여, S 단지의 옥상면적(1,245m^2)에 적용될 PV 패널의 총 개수(506개)를 산출할 수 있다. 이에 대하여, 1개 PV 패널의 단위용량(221W)을 적용함으로써, 최종적으로 태양광 발전 시스템의 설치용량(111.83kW)을 산출할 수 있다[19].

<표 3-4-11> 태양광 발전 시스템 사양

구분		PV 패널	PV 인버터
모델명		HIS-S221SF	HPC-500SL-K
용량 (W)		221	500
효율 (%)		15.2	98.0
잡손실 (%)		3.0	3.0
규격	폭 (B)	983	-
	길이 (A)	1,476	-
	두께	35	-

$$\text{설치 단위면적} = d \times B = (L+t) \times B = (A \times \frac{\sin\beta}{\tan\gamma} + A \times \cos\beta) \times B \qquad (3\text{-}4\text{-}04)$$

d : PV 패널 설치 유효길이
B : PV 패널 폭
L : PV 패널 그림자 길이
t : PV 패널 설치부분 수평길이
A : PV 패널 길이
β : PV 패널 설치각
γ : 태양 최소 입사각 (동지 정오 때)



[그림 3-4-02] PV 패널 설치 단위면적 계산을 위한 도식

19) Wood, G., Newborough, M. (2005). "Dynamic energy-consumption indicators for domestic appliances : environment, behaviour and design." Energy and Buildings 35(8), 821-841.

6. LCC 및 $LCCO_2$ 분석을 통한 경제성 및 환경성 평가

표준 공동주택 단지에 적용할 15개의 에너지 절감 시나리오를 반영한 에너지 절감 모델을 구축하고, S 단지의 전력 사용량에 대한 CERT(23.0%)를 달성하기 위하여, 태양광 발전 시스템의 도입을 추가적으로 고려하였다. 이러한 다양한 개선시나리오 중, 최적 시나리오를 선정하기 위해서는 다각적인 관점에서의 분석이 수반되어야 한다. 이러한 분석을 통해, 한정된 예산 이내에서 투자대비효율이 가장 우수한 시나리오를 선정할 수 있어야 한다. 따라서 생애주기적 관점에서의 경제성 및 환경성 평가를 실시하였다[20)21)22)].

가. LCC 및 $LCCO_2$ 분석을 위한 핵심 가정사항

LCC 및 $LCCO_2$ 분석은 미래시점에 발생할 모든 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 평가하는 방법론이다. 따라서 LCC 및 $LCCO_2$ 분석을 위해서는 여러 가지 가정사항이 수반되어야 한다. 본 연구에서는 분석 방법, 실질할인율, 물가상승률 및 에너지비용 상승률, 분석 기간, 분석 시작 시점, 비용 항목 등 6가지 핵심적 요소에 대한 가정사항을 <표 3-4-12>와 같이 수립하였다.

---

20) Hong, T., Koo, C., Kim, H. (2012). “A Decision Support Model for Improving a Multi-Family Housing Complex based on CO2 Emission from Electricity Consumption.” Journal of Environmental Management. Accepted Article

21) Hong, T., Koo, C., and Park, S. (2012). “A decision support model for improving a multi-family housing complex based on CO2 emission from gas energy consumption.” Building and Environment 52(6),142-151.

22) Kim, J., Hong, T., Koo, C. (2012). “Economic and Environmental Evaluation Model for Selecting the Optimum Design of Green Roof Systems in Elementary Schools.” Environment Science & Technology. Accepted Article

<표 3-4-12> LCC 및 $LCCO_2$ 분석을 위한 핵심 가정사항

구분		세부내용
분석 방법		현가법 (순현재가치)
실질할인율	명목이자율	3.30%
	전기요금	0.66%
	가스요금	0.11%
	온실가스 감축실적 정부구매단가(KCER)	2.66%
분석 기간		40 년
분석 시작 시점		2012
비용 항목	초기투자비용	초기투자비용
	운영 및 유지관리 비용	수선교체비용
		에너지비용
	운영 및 유지관리 편익	에너지절감
		온실가스감축실적 판매분

첫째, 실질할인율은 식 (3-4-05)를 활용하여 산정하였다. 한국은행 경제통계시스템(ECOS) 및 국가통계포털(KOSIS)의 데이터를 참고하여 명목이자율, 전기 및 가스요금, 온실가스 감축실적 단가에 대한 실질할인율을 각각 계산했다.

$$i = \frac{(1+i_n)}{(1+f)} - 1 \qquad (5)$$

i : 실질할인률
i_n : 명목이자율
f : 물가상승률, 전기요금/가스요금상승률, KCER 단가 상승률

둘째, 분석 기간은 40년으로 수립하였다. S 단지는 철근콘크리트구조로, '법인세법 시행규칙 별표 5 : 건축물 등의 기준내용연수 및 내용연수 범위표'의 철근콘크리트조 기준내용연수를 근거로 하였다[23].

셋째, 비용 항목의 경우 일반적으로 초기투자비용, 운영 및 유지관리비용, 해체비용을 고려하는데, 본 연구에서는 대안별로 해체비의 차이는 발생하지 않는다는 가정 하에 해체비를 분석대상에서 제외하였다. '월간거래가격 2012.5'와 '주택법 시행규칙 별표 5 : 장기수선계획의 수립기준'을 참고하여, 4가지 요소 에너지 절감 방안 및 태양광 발전 시스템에 대한 초기투자비용과 및 수선교체주기를 조사하였다[24][25]. 특별히 한국 정부에서는 태양광 발전 시스템의 확대보급을 위하여, 태양광 발전 시

23) 국가법령정보센터 (2012). 법인세법 시행규칙 별표 5 : 건축물 등의 기준내용연수 및 내용연수 범위표. 법제처
24) 월간거래가격 5월호 (2012). 대한건설협회
25) 국가법령정보센터 (2012). 주택법 시행규칙 별표 5: 장기수선계획의 수립기준. 법제처

스템의 초기투자비용의 40%에 대하여 정부지원금을 지급하고 있는데, 이를 분석과정에서 고려하였다.[26]

<표 3-4-13> 에너지 절감 방안의 초기투자비용 및 수선교체주기

구분	항목		초기투자비용 (원)	수선주기 (년)	수선율 (%)	교체주기 (년)
창유리	기존안	5mm-6mm-5mm 투명유리	44,298,576	-	-	25
	대안	6-12-6 로이복층유리	82,736,640	-	-	25
조명	기존안	32W 형광등	5,044,500	-	-	3
	대안	22W/14W LED 등	93,564,075	-	-	25
대기전력 차단	기존안	-	-	-	-	-
	대안	대기전력 차단 콘센트	47,880,000	-	-	5
보일러	기존안	일반 보일러	94,050,000	5	10	15
	대안	콘덴싱 보일러	153,900,000	5	10	15
태양광 발전 시스템	기존안	-	-	-	-	-
	대안	태양광 발전 시스템 적용	359,799,600 (자체 부담분 215,879,760)	1	0.5	25

* 태양광 발전 시스템의 경우 초기투자비용의 40%(143,919,840원)는 정부보조금으로 충당.

나. LCC 및 $LCCO_2$ 분석을 위한 2가지 분석 지표

LCC 및 $LCCO_2$ 분석 결과는 크게 순현재가치(net present value, NPV)와 투자대비수익률(saving to investment ratio, SIR) 2가지의 관점에서 평가할 수 있다. NPV는 에너지 효율 개선사업의 절대적인 가치를 제시하는 지표로서, 생애주기 관점의 편익에서 비용을 제한 수치를 현재가치로 환산하여 산출할 수 있다 (식 (3-4-06) 참조). 'NPV > 0'인 경우에 개선사업의 타당성이 있는 것으로 인정되며,

26) 에너지관리공단, 일반보급보조사업, http://www.energy.or.kr/knrec/12/KNREC120200.asp

손익분기점(break-even point, BEP)이 발생한 것으로 판단할 수 있다.

$$NPV_n = \sum_{t=0}^{n} \frac{BES_t + BET_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{CI_t + CRr_t + CRt_t}{(1+r)^t} \quad (6)$$

n : 분석 기간(년)
NPV_n : 분석 종료시점(n년째)의 순현재가치
BES_t : t번째 해에서의 에너지 절감으로 인한 편익
BET_t : t번째 해에서의 온실가스 감축실적 판매로 인한 편익
CI_t : t번째 해에 발생하는 초기투자비용
CRr_t : t번째 해에서 발생하는 수선비용
CRt_t : t번째 해에서 발생하는 교체비용
r : 실질할인율

SIR은 개선사업의 상대적인 가치를 제시하는 지표로서, 생애주기 관점의 편익과 비용을 현재가치로 환산한 수치의 비율로서 산출할 수 있다 (식 (3-4-07) 참조). 'SIR≥1'인 경우, 개선사업의 타당성이 있는 것으로 인정되며, BEP가 발생한 것으로 판단할 수 있다.

$$SIR_n = \frac{\sum_{t=0}^{n} \frac{BES_t + BET_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^{n} \frac{CI_t + CRr_t + CRt_t}{(1+r)^t}} \quad (7)$$

n : 분석 기간(년)
SIR_n : 분석 기간 동안의 투자대비수익률
BES_t : t번째 해에서의 에너지 절감으로 인한 편익
BET_t : t번째 해에서의 온실가스 감축실적 판매로 인한 편익
CI_t : t번째 해에 발생하는 초기투자비용
CRr_t : t번째 해에서 발생하는 수선비용
CRt_t : t번째 해에서 발생하는 교체비용
r : 실질할인율

일반적으로, NPV가 클수록 우수한 대안으로 판단할 수 있으나, SIR을 함께 고려함으로써, 대안에 대한 투자대비효율을 평가할 수 있다.

다. 에너지 절감 시나리오별 경제성 및 환경성 분석을 통한 최적 시나리오 선정

(1) 요소 에너지 절감 방안들의 에너지 절감 효과

<표 3-4-14>는 다양한 에너지 절감 시나리오에 대한 전력 절감 효과, 가스 절감 효과 및 전력과 가스 절감을 동시에 고려한 이산화탄소 배출량 감축 효과를 제시하고 있다.

<표 3-4-14> 15가지 에너지 절감 시나리오의 에너지 절감 및 이산화탄소 감축 효과

시나리오	연간 전력사용량 (kWh)	연간 전력사용량 절감률	연간 가스사용량 (m^3)	연간 가스사용량 절감률	연간 CO_2 배출량 (tCO_2)	연간 CO_2 배출량 감축률
기존안	919,431	0.0%	71,794	0.0%	569.06	0.0%
시나리오 #1 (6mm-12mm-6mm 로이복층유리)	920,331	-0.1%	57,092	20.5%	536.67	5.7%
시나리오 #2 (LED 조명)	851,227	7.4%	74,993	-4.5%	545.87	4.1%
시나리오 #3 (대기전력 차단 콘센트)	791,071	14.0%	82,028	-14.3%	534.80	6.0%
시나리오 #4 (콘덴싱 보일러)	919,431	0.0%	56,424	21.4%	534.78	6.0%
시나리오 #5 (로이복층유리 & LED)	851,931	7.3%	60,243	16.1%	513.28	9.8%
시나리오 #6 (로이복층유리 & 콘센트)	791,677	13.9%	67,026	6.6%	501.61	11.9%
시나리오 #7 (로이복층유리& 콘덴싱)	920,331	-0.1%	44,869	**37.5%**	509.41	10.5%
시나리오 #8 (LED & 콘센트)	723,935	21.3%	85,323	-18.8%	512.29	10.0%
시나리오 #9 (LED & 콘덴싱)	851,227	7.4%	58,938	17.9%	510.05	10.4%
시나리오 #10 (콘센트 & 콘덴싱)	791,071	14.0%	64,466	10.2%	495.63	12.9%
시나리오 #11 (로이복층유리 & LED & 콘센트)	724,503	21.2%	70,332	2.0%	479.10	15.8%
시나리오 #12 (로이복층유리 & LED & 콘덴싱)	851,931	7.3%	47,345	**34.1%**	484.51	14.9%
시나리오 #13 (로이복층유리 & 콘센트 & 콘덴싱)	791,677	13.9%	52,676	26.6%	469.60	17.5%
시나리오 #14 (LED & 콘센트 & 콘덴싱)	723,935	21.3%	67,056	6.6%	471.55	17.1%
시나리오 #15 (로이복층유리 & LED & 콘센트 & 콘덴싱)	724,503	21.2%	55,274	23.0%	445.52	21.7%

*이산화탄소 배출계수(전력) : 0.471tCO_2/MWh
이산화탄소 배출계수(가스) : 0.002200tCO_2/m^3

4가지의 요소 에너지 절감 방안 중, LED 조명 또는 대기전력 차단 콘센트를 적용할 경우, 전력 사용량 절감 효과가 두드러지게 나타났다. LED 조명을 적용한 시나리오 #2에서는 7.4%의 전력 절감 효과가 발생한 것으로 분석되었다. 이는 교육시설물을 대상으로 실시한 기존 연구[27]에서 LED 조명을 적용했을 때의 효과(10.3% 절감)와 비교할 때, 다소 낮은 수치이다. 이러한 결과는 일반적인 공동주택 및 학교의 사용시간 특성에서 비롯된 것으로 판단된다. 교육시설물의 관리자 면담결과 및 일반 교실의 재실 스케줄에 따르면, 교육시설물의 주중 조명 사용시간은 약 9시간인 것으로 조사되었다. 이에 반해, '2011년 가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태 조사 결과보고서'에 따르면, 공동주택에서의 일일 조명 사용시간은 약 5시간인 것으로 조사되었다. 이에 따라, 본 연구에서의 LED 조명 적용효과는 상대적으로 낮게 나타난 것으로 판단된다. 대기전력 차단 콘센트를 적용한 시나리오 #3에서는 14.0%의 전력 절감 효과가 발생한 것으로 분석되었다. S 단지의 세대당 면적은 35.61m^2으로, 매우 작은 규모의 공동주택 단지에 포함된다. 그런데, 공동주택 단지의 세대당 면적과는 상관없이 일상생활을 영위하기 위한 가전제품은 대부분의 세대에서 기본적으로 유사하게 구비하고 있다. 특히, 냉장고 및 김치냉장고와 같이 24시간 내내 가동하는 가전제품도 포함되어 있다. 따라서 S 단지와 같이 세대당 면적이 작은 단지의 경우에는 단위면적당 전력 사용량은 상대적으로 높게 나타나게 되며, 이에 따라 대기전력 차단 콘센트 적용 시 에너지 절감율이 높아지게 된다. 그 결과, 대기전력 차단 콘센트를 적용한 시나리오 #3의 연간 전력 사용량 절감율이 14.0%로 상당히 높게 나타나고 있다.

한편, 6mm-12mm-6mm 로이복층유리 또는 콘덴싱 보일러를 적용할 경우, 가스 사용량 절감 효과가 두드러지게 나타났다. 6mm-12mm-6mm 로이복층유리를 적용한 시나리오 #1에서는 20.5%의 가스 절감 효과가 발생한 것으로 분석되었다. 베란다창 유리에 적용된 6mm-12mm-6mm 로이복층유리는 단열효과를 향상시킴으로써, 난방용 가스의 절감 효과가 발생하였다. 콘덴싱 보일러를 적용한 시나리오 #4에서는 21.4%의 가스 절감 효과가 발생한 것으로 분석되었다. 콘덴싱 보일러는 일반 보일러와 비교하여 효율이 높은 설비이다. 전문가 면담 결과, 콘덴싱 보일러는 개별난방이 도입되어 있는 공동주택 단지에 적용이 가능한 것으로 조사되었다. 최

27) Hong, T., Kim, H., Kwak, T. (2012). Energy Saving Techniques for Reducing CO2 Emission in Elementary Schools. Journal of Management in Engineering28(1), 1-12.

근 들어, 세계적인 이상기후로 인해 국내의 겨울철 온도가 낮아지고 있는 추세임을 고려할 때, 상기 2가지 방안의 적용을 통한 에너지 절감 효과가 더 향상될 것으로 기대된다.

(2) CERT 달성을 위한 개선시나리오

앞서 S 단지의 에너지원 별 CERT를 제시하였다 (전력 : 23.0%, 가스 : 27.9%). 그러나 <표 3-4-14>에 나타난 바와 같이, 4가지 에너지 절감 방안의 조합을 통해 생성된 다양한 개선시나리오 중 전력 사용량에 대한 CERT를 달성한 시나리오는 없는 것으로 분석되었다. 이는 요소 에너지 절감 방안의 다소 낮은 전력 절감 효과를 살펴보았을 때 이미 예상되었던 결과이다. 따라서 앞서 언급한 대로 CERT 달성을 위해 태양광 발전 시스템 도입이 필요하다. S 단지의 옥상면적 전체(1,245m^2)에 태양광 발전 시스템을 도입함으로써, 연간 146,026kWh의 전력량을 생산할 수 있고, 이는 전체 전력 사용량(919,431kWh)의 15.9%를 대체하는 효과인 것으로 분석되었다. 에너지 절감 방안과 함께 태양광 발전 시스템 도입을 고려할 경우, 시나리오 #1, #4, #7을 제외한 모든 시나리오가 전력 사용량에 대한 CERT를 달성할 수 있는 것으로 분석되었다 (<표 3-4-15> 참조). <표 3-4-15>는 각 시나리오별로 CERT 달성을 위해 요구되는 태양광 발전 시스템의 전력 생산량과, 그때 에너지 절감 시나리오와 태양광 발전 시스템에 CERT 할당이 어떻게 이루어지는지 표시하고 있다.

한편 가스 사용량에 대해 CERT(27.9%)를 달성한 시나리오는 <표 3-4-14>에서 보듯 시나리오 #7, #12로, 각각 37.5%, 34.1%의 절감률을 보이고 있다. 시나리오 #1, #4, #13, #15의 경우, 각각 가스 절감률이 20.5%, 21.4%, 26.6%, 23.0%로 상당히 높게 나타나고 있음에도 불구하고, 극히 높은 S 단지의 면적당 가스 사용량(14.32m^3/m^2)으로 인해 높게 설정된 CERT를 달성하지는 못한 것으로 분석되었다. 만일, 예산 등의 문제로 차선책이 필요한 경우에는, 이러한 시나리오의 적용을 고려할 수 있다.

<표 3-4-15> 전력 CERT 달성을 위한 에너지 절감 시나리오와 PV의 조합

시나리오	연간 전력사용량 (kWh)	연간 전력사용량 절감률	PV 도입을 통한 연간 전력생산량 (kWh)	연간 전력사용량 대비 전력생산량 비율
기존안	919,431	0.0%	-	-
시나리오 #1 (6mm-12mm-6mm 로이복층유리)	920,331	-0.1%	-	-
시나리오 #2 (LED 조명) + PV	851,227	**7.4%**	143,265	**15.6%**
시나리오 #3 (대기전력 차단 콘센트) + PV	791,071	**14.0%**	83,108	**9.0%**
시나리오 #4 (콘덴싱 보일러)	919,431	0.0%	-	-
시나리오 #5 (로이복층유리 & LED) + PV	851,931	**7.3%**	143,969	**15.7%**
시나리오 #6 (로이복층유리 & 콘센트) + PV	791,677	**13.9%**	83,715	**9.1%**
시나리오 #7 (로이복층유리 & 콘덴싱)	920,331	-0.1%	-	-
시나리오 #8 (LED & 콘센트) + PV	723,935	**21.3%**	15,973	**1.7%**
시나리오 #9 (LED & 콘덴싱) + PV	851,227	**7.4%**	143,265	**15.6%**
시나리오 #10 (콘센트 & 콘덴싱) + PV	791,071	**14.0%**	83,108	**9.0%**
시나리오 #11 (로이복층유리 & LED & 콘센트) + PV	724,503	**21.2%**	16,541	**1.8%**
시나리오 #12 (로이복층유리 & LED & 콘덴싱) + PV	851,931	**7.3%**	143,969	**15.7%**
시나리오 #13 (로이복층유리 & 콘센트 & 콘덴싱) + PV	791,677	**13.9%**	83,715	**9.1%**
시나리오 #14 (LED&대기전력 차단 콘센트&콘덴싱) + PV	723,935	**21.3%**	15,973	**1.7%**
시나리오 #15 (로이복층유리 & LED & 콘센트 & 콘덴싱) + PV	724,503	**21.2%**	16,541	**1.8%**

(3) 경제성 및 환경성 분석을 통한 최적 시나리오 선정

S 단지의 CERT를 달성할 수 있는 다양한 개선시나리오에 대하여, 경제성 및 환경성 평가를 통해 최적 개선시나리오를 선정하였다. 첫째, 앞서 제시한 바와 같이

전력 사용량에 대한 CERT의 경우 에너지 절감 시나리오와 함께 태양광 발전 시스템을 도입 시 시나리오 #1, #4, #7을 제외한 모든 시나리오가 달성할 수 있는 것으로 분석되었다. NPV_{40}(생애주기편익 및 생애주기비용 현재가치의 차액) 관점에서 시나리오 #15, #12, #13, #14, #11의 순서로 우수한 것으로 나타났으며, SIR_{40}(생애주기편익 및 생애주기비용 현재가치의 비율) 관점에서 시나리오 #15, #11, #12, #13, #5의 순서로 우수한 것으로 나타났다. 즉 전력 사용량 CERT 달성 여부만 고려한다면, 시나리오 #15와 태양광 발전 시스템의 조합이 최적의 개선시나리오인 것으로 분석되었다 (<표 3-4-17> 참조). 한편, 에너지 절감 시나리오와 함께 태양광 발전 시스템을 적용한 경우에는 에너지 절감 시나리오만을 적용한 경우와 비교할 때, SIR_{40}이 현저하게 감소되는 것을 확인할 수 있다. 특히, 시나리오 #2, #5, #9, #12의 경우, 태양광 발전 시스템이 전체 전력 사용량의 15.6~15.7%를 대체하기 때문에, SIR_{40}의 감소폭이 상대적으로 크게 나타나고 있다 (<표 3-4-16>, <표 3-4-17> 참조). 이는 태양광 발전 시스템의 SIR_{40}이 1.58임을 감안할 때, 4가지 에너지 절감 방안에 비해 투자대비효율이 상대적으로 낮기 때문에 발생하는 것이다. 6mm-12mm-6mm 로이복층유리, LED 조명, 대기전력 차단 콘센트, 콘덴싱 보일러의 SIR_{40}은 각각, 9.44%, 3.17%, 1.72%, 3.99%로 분석되었다. 현재 국내에서는 태양광 발전 시스템에 대한 정부지원금이 40% 수준으로 지원되고 있으나, 태양광 발전 시스템의 확대보급을 위해서는 추가적인 정부지원금이 마련되거나, 태양광 발전 시스템의 효율을 개선하기 위한 정부정책이 마련될 필요가 있다. 둘째, 앞서 제시한 바와 같이, 가스 사용량에 대해서는 시나리오 #7 또는 시나리오 #12를 적용할 경우 CERT를 달성할 수 있는 것으로 분석되었다. 그러나 시나리오 #7의 경우, 에너지 절감 시나리오와 함께 태양광 발전 시스템을 도입하더라도 전력 사용량에 대한 CERT를 달성하지 못하는 것으로 분석된 바 있다. 따라서 시나리오 #7은 전력 및 가스를 모두 고려한다면 최적 시나리오로 선정되기에 문제가 있다.

결론적으로, 전력 및 가스 사용량 모두에 대해 CERT를 달성한 시나리오는 오직 시나리오 #12(with 태양광 발전 시스템)뿐인 것으로 분석되었다. 또한 해당 시나리오의 NPV_{40}은 US$ 1,061,410로 전체 시나리오 중 2위, SIR_{40}은 2.93으로 3위를 차지함으로써 2가지 분석 지표 관점에서도 상당히 우수한 시나리오인 것으로 나타나고 있다. 따라서 시나리오 #12는 표준 공동주택 단지인 S 단지의 CERT를 달성할 수 있는 최적의 개선시나리오인 것으로 분석되었다.

<표 3-4-16> 15가지 에너지 절감 시나리오의 경제성 및 환경성 분석 지표

시나리오	초기투자비용 (원)	수선교체비용 (원)	생애주기 에너지비용 절감액 (원)	온실가스 감축실적 판매분 (원)	NPV_{40}		SIR_{40}	
					값 (원)	순위	값	순위
시나리오 #1 (6mm-12mm-6mm 로이복층유리)	38,437,696	17,629,584	519,699,552	9,748,016	473,380,288	11	9.44	1
시나리오 #2 (LED 조명)	88,519,392	6,341,152	293,220,912	7,532,816	205,893,184	14	**3.17**	**10**
시나리오 #3 (대기전력 차단 콘센트)	47,880,128	203,998,336	421,219,712	11,347,504	180,688,752	15	1.72	15
시나리오 #4 (콘덴싱 보일러)	59,850,160	80,686,672	550,583,984	10,323,968	420,371,120	12	3.99	5
시나리오 #5 (로이복층유리 & LED)	126,957,088	23,970,736	814,867,568	17,341,040	681,280,784	7	**5.51**	**2**
시나리오 #6 (로이복층유리 & 콘센트)	86,317,824	221,627,920	957,085,680	21,337,488	670,477,424	9	3.18	9
시나리오 #7 (로이복층유리 & 콘덴싱)	98,287,856	98,316,256	957,534,400	17,957,888	778,888,176	6	4.96	3
시나리오 #8 (LED & 콘센트)	136,399,520	210,339,488	698,649,088	18,664,480	370,574,560	13	2.07	14
시나리오 #9 (LED & 콘덴싱)	148,369,552	87,027,824	868,340,224	18,316,864	651,259,712	10	**3.77**	**6**
시나리오 #10 (콘센트 & 콘덴싱)	107,730,288	284,685,008	1,050,284,256	23,143,728	681,012,688	8	2.74	13
시나리오 #11 (로이복층유리 & LED & 콘센트)	174,837,216	227,969,072	1,230,913,936	28,653,328	856,760,976	5	3.13	11
시나리오 #12 (로이복층유리 & LED & 콘덴싱)	186,807,248	104,657,408	1,276,864,000	26,004,176	1,011,403,520	3	**4.47**	**4**
시나리오 #13 (로이복층유리 & 콘센트 & 콘덴싱)	146,167,984	302,314,592	1,471,102,960	30,976,448	1,053,596,832	2	3.35	7
시나리오 #14 (LED & 콘센트 & 콘덴싱)	196,249,680	291,026,160	1,352,982,816	30,934,416	896,641,392	4	2.84	12
시나리오 #15 (로이복층유리 & LED & 콘센트 & 콘덴싱)	234,687,376	308,655,744	1,770,282,192	38,767,136	1,265,706,208	1	3.33	8

<표 3-4-17> 에너지 절감 시나리오와 태양광 발전 시스템의 조합을 통한 시나리오의 경제성 및 환경성 분석 지표

시나리오	태양광 발전 시스템의 CERT 할당분	초기투자비용 (원)	수선교체비용 (원)	생애주기 에너지비용 절감액 (원)	온실가스 감축실적 판매분 (원)	NPV_{40}		SIR_{40}		LCC 절감률	
						값 (원)	순위	값	순위	%	순위
기본 에너지 모델 + PV	**15.9%**	**215,880,093**	**123,080,595**	**508,596,992**	**27,498,318**	**197,134,622**	**-**	**1.58**	**-**	2.1%	13
시나리오 #2 (LED) + PV	**15.6%**	300,317,556	127,094,501	792,201,192	34,511,188	399,300,322	10	**1.93**	**11**	4.3%	10
시나리오 #3 (콘센트) + PV	9.0%	170,744,936	274,047,749	710,679,806	26,997,746	292,884,866	12	1.66	12	3.2%	12
시나리오 #5 (로이복층유리 & LED) + PV	**15.7%**	339,796,304	145,317,624	1,316,300,486	44,452,018	875,638,577	6	**2.81**	**5**	9.5%	6
시나리오 #6 (로이복층유리 & 콘센트) + PV	9.1%	210,079,218	292,188,507	1,248,658,061	37,101,935	783,492,271	9	2.56	7	8.5%	9
시나리오 #8 (LED & 콘센트) + PV	1.7%	160,013,520	223,802,634	754,281,866	21,672,378	392,138,091	11	2.02	10	4.3%	11
시나리오 #9 (LED & 콘덴싱) + PV	**15.6%**	360,167,716	207,781,173	1,367,320,504	45,295,236	844,666,850	7	**2.49**	**8**	9.2%	7
시나리오 #10 (콘센트 & 콘덴싱) + PV	9.0%	230,595,096	354,734,421	1,339,744,350	38,793,970	793,208,802	8	2.36	9	8.6%	8
시나리오 #11 (로이복층유리 & LED & 콘센트) + PV	1.8%	199,291,165	241,911,102	1,288,525,571	31,768,217	879,091,521	5	2.99	2	9.6%	5
시나리오 #12 (로이복층유리 & LED & 콘덴싱) + PV	**15.7%**	**399,646,464**	**226,004,296**	**1,778,296,918**	**53,115,154**	**1,205,761,313**	**2**	**2.93**	**3**	**13.1%**	**2**
시나리오 #13 (로이복층유리 & 콘센트 & 콘덴싱) + PV	9.1%	269,929,378	372,875,179	1,762,675,341	46,740,895	1,166,611,679	3	2.81	4	**12.7%**	**3**
시나리오 #14 (LED & 콘센트 & 콘덴싱) + PV	1.7%	219,863,680	304,489,306	1,408,615,594	33,942,314	918,204,923	4	2.75	6	10.0%	4
시나리오 #15 (로이복층유리 & LED & 콘센트 & 콘덴싱) + PV	1.8%	259,141,325	322,597,774	1,827,893,827	41,882,025	**1,288,036,753**	**1**	**3.21**	**1**	**14.0%**	**1**

* 온실가스 감축실적 판매단가 : 12,000원/tCO_2 [28)]

* 기존안의 40년째 LCC값의 현가 : 9,182,678,975원

28) 이두면 외 (2012). "온실가스 감축실적, 정부가 기존보다 두배 비싸게 삽니다", 지식경제부 보도자료, 2012.3.29.

제5절 거시적 관점의 공동주택 개선사업 의사결정 모델

1. 거시적 관점에서의 공동주택 개선사업 의사결정 도구의 필요성

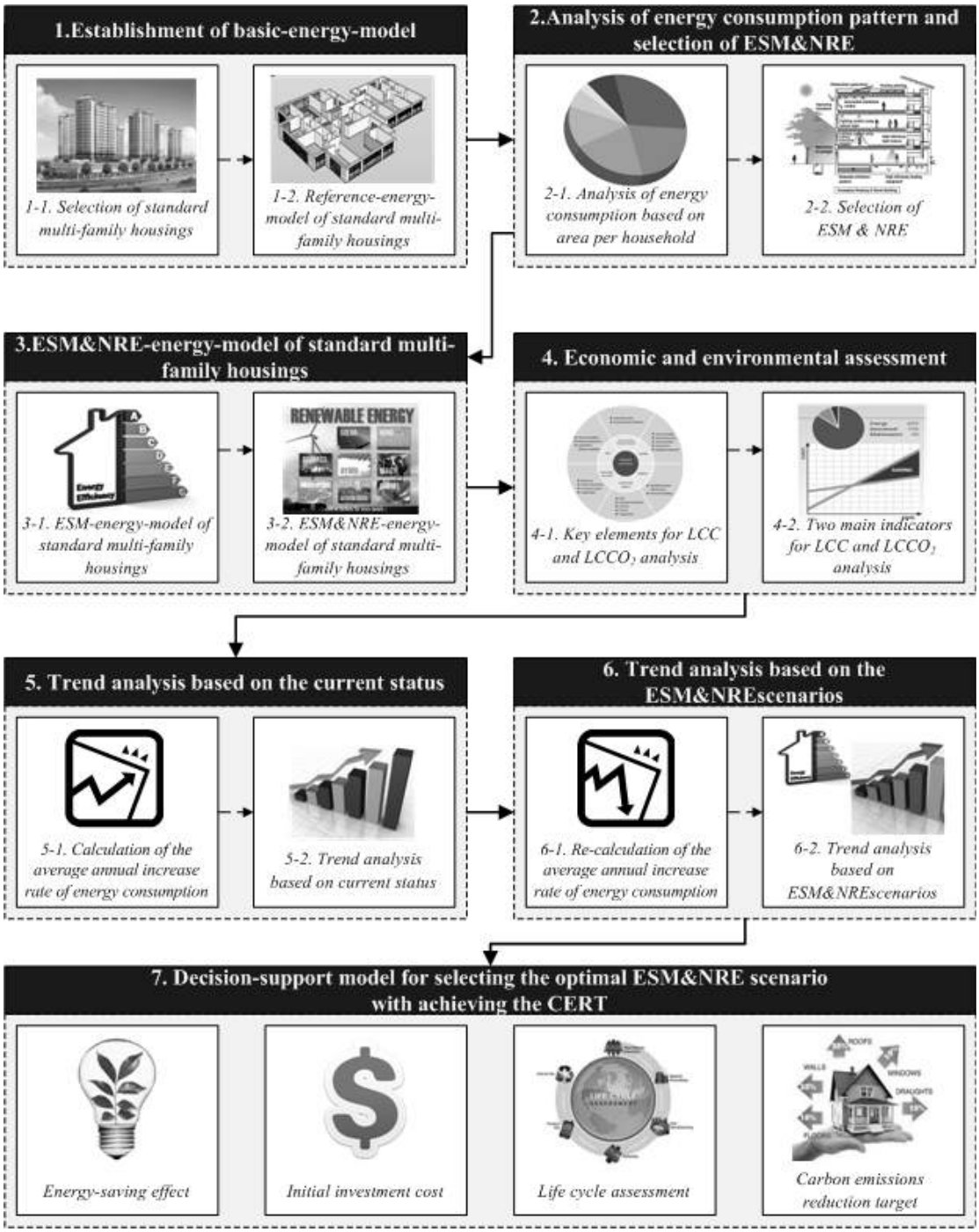
단일단지 단위에서의 개선여부 및 세부 개선안 의사결정 도구와 별도로, 건축물 분야의 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 지침으로서 국가 또는 공동주택 관리기관 차원에서 활용할 수 있는 의사결정 도구가 필요하다. '2020년까지 건축물 분야 온실가스 26.9% 감축'이라는 목표 달성을 위해 다양한 분야의 노력이 요구되는데, 공동주택의 개선을 통한 에너지 절감 역시 이러한 목표 달성을 위해 중요한 부분이다. 그러나 노후 공동주택 단지의 수가 점점 증가하고 있는 시점에서 개선 사업의 예산을 지역별, 단지별로 배분하는 것이 쉽지 않다. 실제로 이러한 배분이 원활하게 이루어지지 못하고 있으며, 단순히 경과년수가 오래되고 세대수가 많은 단지에 예산을 우선 투입한다는 모호한 기준을 사용하고 있는 실정이다. 따라서 공동주택 개선사업에 있어서 국가 차원의 마스터플랜으로 활용할 수 있는 거시적 지침이 요구된다. 이에 본 연구에서는 1차년도에 개발한 공동주택 유형분류체계와 함께 유전자 알고리즘을 활용하여 공동주택 개선사업에 있어서 거시적 차원의 예산 배분 및 의사결정을 위한 모델을 개발하였다.

2. 공동주택 개선사업 투자방향 설정을 위한 의사결정 모델

가. 개요

국가 또는 공공기관 차원에서의 공동주택 개선사업 수행 시의 최우선 목표는 개선을 통해 국가 온실가스 감축목표 달성을 위해 필요한 만큼의 에너지 절감 및 온실가스 감축을 실현하는 것이다. 이러한 관점에서 전체 공동주택을 대표할 수 있는 표본 공동주택 단지들을 선정한 뒤 이들 단지들에 대해 에너지 절감 방안 및 신재생에너지 설비의 조합을 통한 개선안을 적용하여 그 효과를 평가하였다. 또한 그 결과를 토대로 공동주택 에너지 사용량 추세분석을 통해 예측된 미래 시점에서의 국가 온실가스 감축목표 수준에 해당하는 온실가스 감축이 이루어지는지를 검토하

고, 목표 달성이 이루어지는 개선안 중 최적안을 선정하는 모델을 구축하였다. 본 모델을 구축하기 위해 진행한 프로세스는 [그림 3-5-01]과 같다.



[그림 3-5-01] 공동주택 개선사업 투자방향 설정을 위한 의사결정 모델 구축 프로세스

나. 유형분류체계를 이용한 유형별 대표단지 선정

(1) 유형별 대표단지 선정

공동주택 개선사업의 투자방향을 설정하기 위해 다양한 개선안을 적용해 보고 그 효과를 평가할 때, 전체 공동주택 단지를 대상으로 분석을 수행하는 것은 사실상 불가능하므로, 1차년도 연구를 통해 개발된 서울시 내 공동주택 유형분류체계를 활용하여 대표 단지를 선정하였다. 그런데 공동주택 유형분류체계 구축 과정에서 전력의 경우 한국전력공사에서 일괄적으로 관리하기 때문에 서울시 내 대부분 공동주택의 데이터(1,664건)를 확보하여 유형분류체계를 구축했으나, 가스 및 지역난방의 경우 지역에 따라 별개의 기관에서 관리하며, 협조가 이루어지지 않아 충분한 수의 데이터가 확보되지 않았다(가스 355건, 지역난방 292건). 따라서 전체 공동주택의 대표 단지 선정을 위해서는 가스와 지역난방 유형분류체계는 적절치 않을 것으로 판단되어 제외하고, 전력 사용량 기반의 유형분류체계만을 활용하여 단지 선정을 수행하였다.

전력 사용량 기반의 유형분류체계([그림 3-2-01] 및 <표 3-2-02> 참조)를 구성하고 있는 7개의 군집(leaf)에서 사례분석을 위한 표준 공동주택 단지를 한 곳씩 선정하였다. 선정 기준은 다음과 같다.

① 단위면적당 전력 사용량이 가장 높은 군집인 leaf 1의 경우에는, 우선 개선대상으로 선정해서 세부 개선방안 적용 프로세스를 진행했던 S 단지를 선정하였다.

② 각 군집을 대표할 수 있는 단지들을 선정하기 위해 단위면적당 전력 사용량이 각 군집의 평균값에 대한 상대오차율 10% 이내에 드는 공동주택을 선정하였다.

③ 유형분류체계의 주요 분류기준으로 작용한 '세대당 면적'이 주요 조절 변인으로 작용하도록 하기 위해 단지들이 소속 군집의 평균 세대당 면적 순으로 나열되도록 했으며, 난방방식 및 복도유형은 전체 공동주택의 대다수를 차지하는 개별난방/계단형 공동주택을 선정하는 것으로 통일하였다.

위의 3가지 기준에 따라 선정된 군집별 대표 단지의 주요 특성을 <표 3-5-01>에 나타냈다. 군집 형성의 목표변수였던 단위면적당 전기사용량의 순으로 나열하면 leaf 1, 2, 3, 4, 6, 5, 7의 순으로 나열된다. 세대당 면적이 주요 분류 기준이었던 만큼 대체로 이 순서와 일치하나(단 반비례 관계임), leaf 5와 leaf 6의 경우에는 세대당 면적의 범위 자체가 leaf 6이 더 높게 위치하면서 역전이 이루어졌다.

<표 3-5-01> 군집별 대표 단지들의 주요 특성

군집	단지명	위치	복도유형	난방방식	세대당 면적 (m^2)	단위면적당 전기사용량 (kWh/m^2)
Leaf 1	S 단지	서울시 성북구	계단형	개별난방	53.4	57.4
Leaf 2	B 단지	서울시 구로구	계단형	개별난방	84.9	46.1
Leaf 3	C 단지	서울시 도봉구	계단형	개별난방	95.7	45.7
Leaf 4	D 단지	서울시 영등포구	계단형	개별난방	107.0	44.9
Leaf 6	E 단지	서울시 구로구	계단형	개별난방	113.9	43.4
Leaf 5	F 단지	서울시 중구	계단형	개별난방	111.7	43.2
Leaf 7	G 단지	서울시 광진구	계단형	개별난방	129.4	41.4

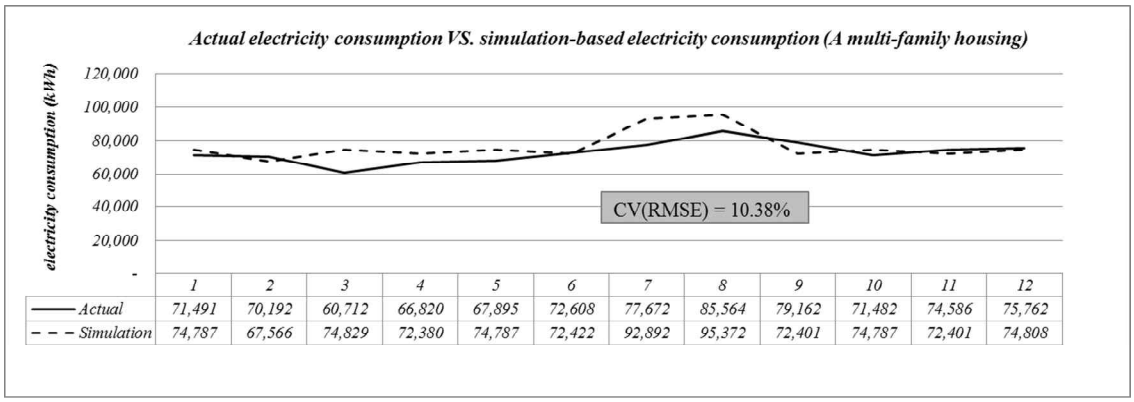
(2) 대표 단지들의 에너지 모델 작성

공동주택들의 건물 형태, 규모, 향 등 물리적 특성과 거주자의 특성 등 조건들을 모두 반영하여 에너지 모델링을 실시할 경우 변인이 너무 많아서 분석된 결과에 따라 의사결정의 기준을 설정하기에 어려움이 있다. 따라서 대표 단지로 선정된 단지들의 에너지 모델 작성 시, 세대당 면적이 분류 기준으로 적용된 유형분류체계에 입각하여 세대당 면적에 따라 달라지는 특성만을 조절 변인으로 적용시켜서 분석을 실시하였다. 세대당 면적의 차이에 따라 전력 및 조명 밀도의 차이가 발생하는데, 이는 세대당 면적이 클수록 조명 및 가전제품의 개수 역시 증가하지만 그 증가하는 정도가 면적의 증가 비율에 미치지 못하기 때문이다. 즉, 세대당 면적이 클수록 단위면적당 조명 부하 및 전력 부하는 줄어들게 되고, 조명 및 전력 밀도가 낮아지게 된다. 에너지 모델 작성 시 이를 반영하여 데이터를 입력했으며, 단지별로 조명 및 가전제품 종류에 따라 입력된 전력 밀도는 <표 3-5-02>에 나타냈다.

<표 3-5-02> 단지별 전력 및 조명 밀도

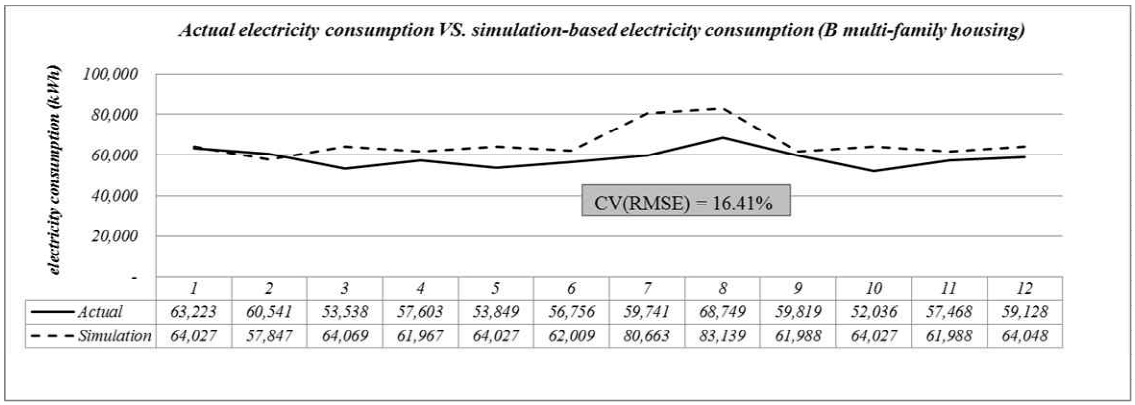
단지명	TV 및 컴퓨터	냉장고	취사용 기기	기타 전기제품	조명밀도
S 단지	4.22	2.59	48.30	5.81	4.41
B 단지	3.58	2.20	41.02	4.93	3.75
C 단지	3.53	2.17	40.44	4.86	3.69
D 단지	3.16	1.94	36.17	4.35	3.30
E 단지	3.07	1.88	35.12	4.23	3.21
F 단지	3.03	1.86	34.65	4.17	3.16
G 단지	2.61	1.60	29.90	3.60	2.73

이러한 데이터를 입력해서 단지별 기본 에너지 모델을 작성하였다. 4절의 내용과 마찬가지로 DesignBuilder v3.0을 이용하여 기본 에너지 모델을 작성하였으며, CV(RMSE) 값을 통해 모델의 유효성을 검증하였다.



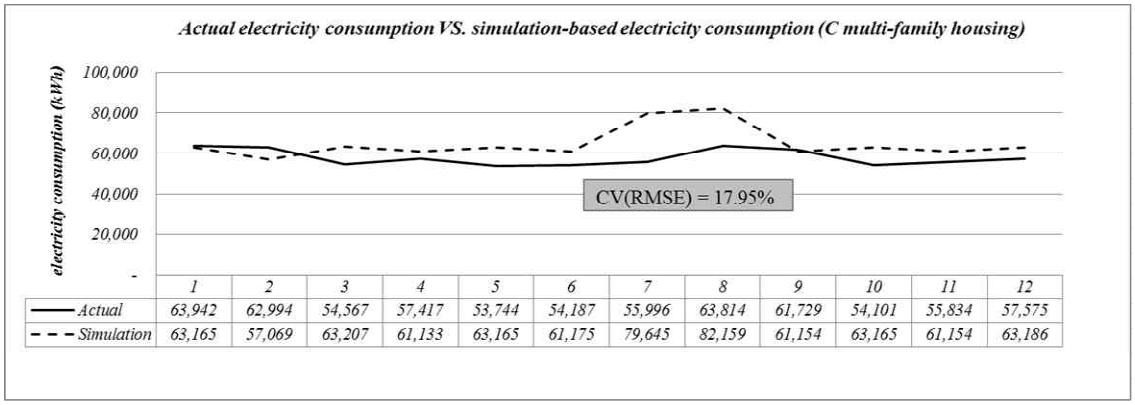
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Actual	71,491	70,192	60,712	66,820	67,895	72,608	77,672	85,564	79,162	71,482	74,586	75,762
Simulation	74,787	67,566	74,829	72,380	74,787	72,422	92,892	95,372	72,401	74,787	72,401	74,808

[그림 3-5-02] S 단지 전력 사용량에 대한 CV(RMSE)



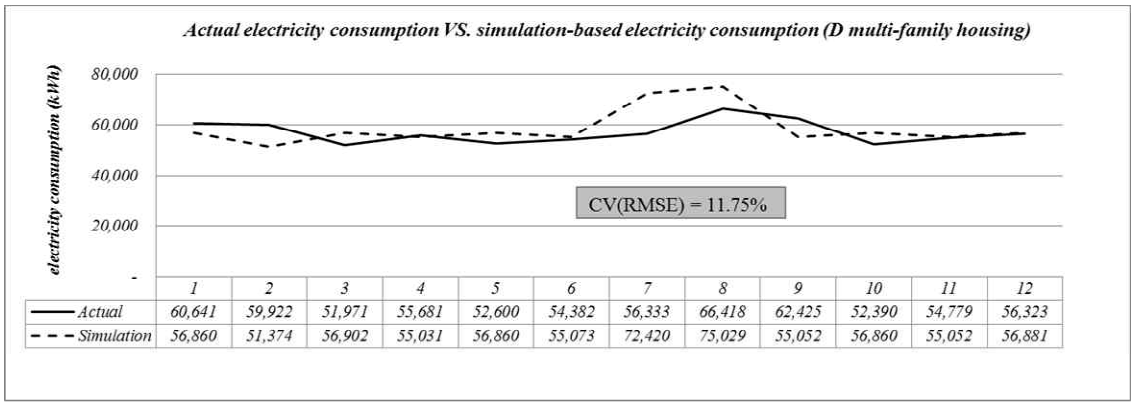
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Actual	63,223	60,541	53,538	57,603	53,849	56,756	59,741	68,749	59,819	52,036	57,468	59,128
Simulation	64,027	57,847	64,069	61,967	64,027	62,009	80,663	83,139	61,988	64,027	61,988	64,048

[그림 3-5-03] B 단지 전력 사용량에 대한 CV(RMSE)



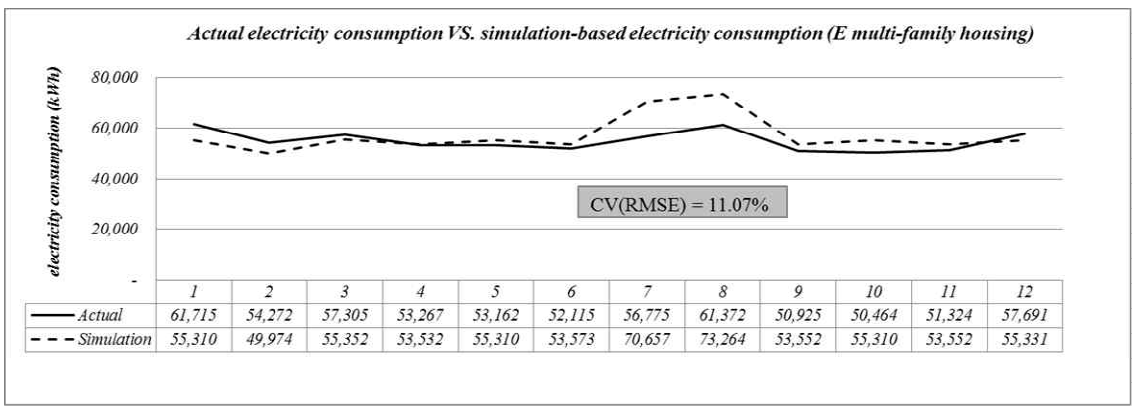
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Actual	63,942	62,994	54,567	57,417	53,744	54,187	55,996	63,814	61,729	54,101	55,834	57,575
Simulation	63,165	57,069	63,207	61,133	63,165	61,175	79,645	82,159	61,154	63,165	61,154	63,186

[그림 3-5-04] C 단지 전력 사용량에 대한 CV(RMSE)



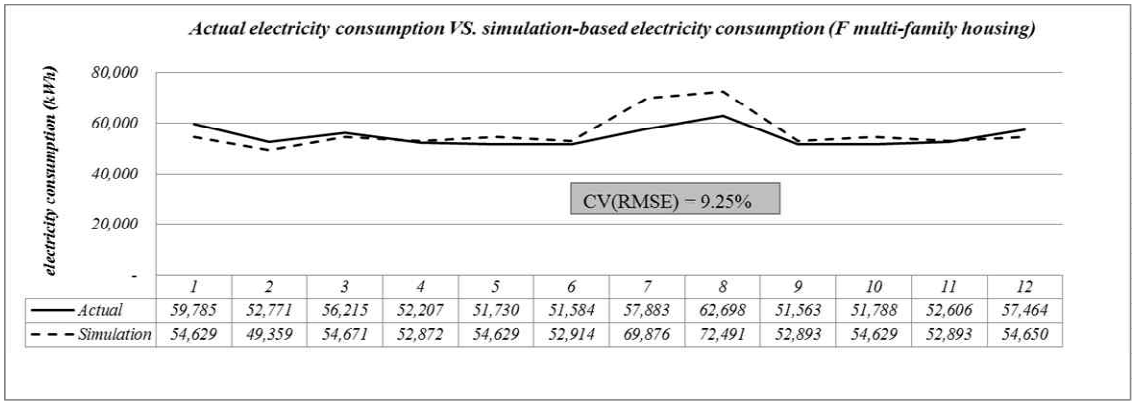
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Actual	60,641	59,922	51,971	55,681	52,600	54,382	56,333	66,418	62,425	52,390	54,779	56,323
Simulation	56,860	51,374	56,902	55,031	56,860	55,073	72,420	75,029	55,052	56,860	55,052	56,881

[그림 3-5-05] D 단지 전력 사용량에 대한 CV(RMSE)



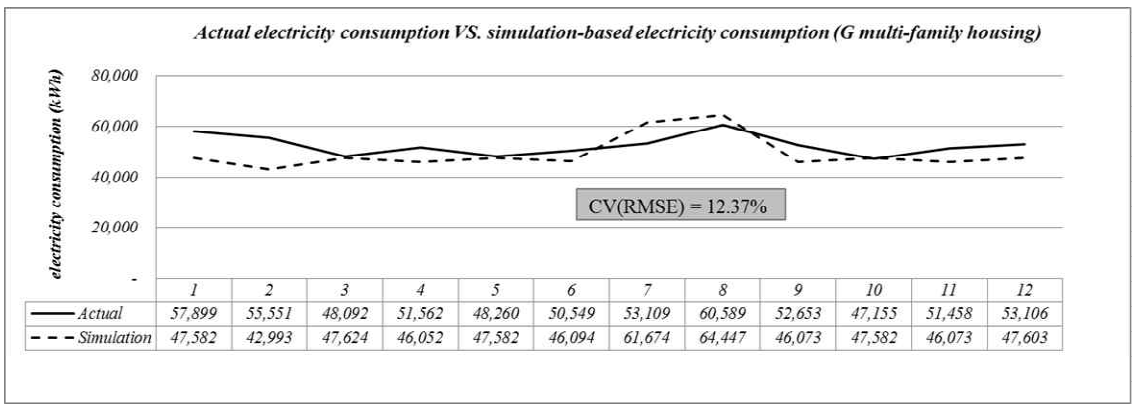
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Actual	61,715	54,272	57,305	53,267	53,162	52,115	56,775	61,372	50,925	50,464	51,324	57,691
Simulation	55,310	49,974	55,352	53,532	55,310	53,573	70,657	73,264	53,552	55,310	53,552	55,331

[그림 3-5-06] E 단지 전력 사용량에 대한 CV(RMSE)



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Actual	59,785	52,771	56,215	52,207	51,730	51,584	57,883	62,698	51,563	51,788	52,606	57,464
Simulation	54,629	49,359	54,671	52,872	54,629	52,914	69,876	72,491	52,893	54,629	52,893	54,650

[그림 3-5-07] F 단지 전력 사용량에 대한 CV(RMSE)



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Actual	57,899	55,551	48,092	51,562	48,260	50,549	53,109	60,589	52,653	47,155	51,458	53,106
Simulation	47,582	42,993	47,624	46,052	47,582	46,094	61,674	64,447	46,073	47,582	46,073	47,603

[그림 3-5-08] G 단지 전력 사용량에 대한 CV(RMSE)

[그림 3-5-02]~[그림 3-5-08]은 A~G 단지의 월별 전력 사용량의 실제 및 시뮬레이션 데이터 및 CV(RMSE)를 제시한 것이다. 7개 단지의 기본 에너지 모델에 대한 CV(RMSE) 값은 각각 10.38%, 16.41%, 17.95%, 11.75%, 11.07%, 9.25%, 12.37%로 25% 이내의 값을 나타냈으며, 따라서 기본 에너지 모델의 유효성이 확보된 것으로 볼 수 있다.

다. 에너지 시뮬레이션을 활용한 단지별 에너지 절감 시나리오 분석

(1) 에너지 절감 시나리오 구성

제 4절에서 단일단지 세부 개선안 선정 시 적용했던 에너지 절감 방안 및 신재생에너지 설비 중에서 전력 사용량과 직결되는 방안인 대기전력차단콘센트, LED 조

명, 태양광 발전 등 3가지 방안만을 선정하고, 이들의 조합을 통해 7가지의 에너지 절감 시나리오를 <표 3-5-03>과 같이 구성하였다.

<표 3-5-03> 에너지 절감 시나리오 구성

에너지 절감방안 / 시나리오	대기전력차단콘센트	LED 조명	태양광 발전
시나리오 #1	O		
시나리오 #2		O	
시나리오 #3	O	O	
시나리오 #4			O
시나리오 #5	O		O
시나리오 #6		O	O
시나리오 #7	O	O	O

7개 단지의 기본 에너지 모델에 대해 7가지 시나리오를 적용하여 에너지 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과에 대한 종합적인 분석을 통해, 7가지 시나리오의 에너지 절감효과를 평가할 수 있다. 이때, 한정된 예산을 합리적으로 배분함으로써, 투자대비효율이 높은 사업을 추진하기 위해서는 경제성 분석을 함께 수행해야 한다. 나아가, 생애주기적 관점에서의 경제성 및 환경성 분석을 실시하고, 에너지 절감 양상 및 비용이 상이한 7가지 간의 최적 조합을 선정하여야 한다.

(2) 단지별 개선시나리오의 환경성 및 경제성 평가

(가) 개선시나리오 적용 시의 환경성 평가

단지별로 개선시나리오를 적용하여 에너지 시뮬레이션을 통해 산출한 전력 절감효과를 <표 3-5-04>~<표 3-5-10>에 나타냈다.

<표 3-5-04> S 단지 기존안 및 개선시나리오별 에너지 사용 양상

기존안		총량		전기제품		조명		냉방		태양광 발전
		전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 생산량 비율
		919,431	100%	753,662	81.97%	127,101	13.82%	38,669	4.21%	15.88%
개선 시나리오		총량		전기제품		조명		냉방		태양광 발전
		전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 생산량 (kWh)
에너지 절감 방안	#1	791,071	13.96%	627,188	16.78%	127,101	0.00%	36,782	4.88%	-
	#2	850,526	7.49%	753,662	0.00%	59,116	53.49%	37,749	2.38%	-
	#3	722,071	21.47%	627,188	16.78%	59,116	53.49%	35,767	7.50%	-
에너지 절감 방안 & 신재생E	#4	773,405	15.88%	753,662	0.00%	127,101	0.00%	38,669	0.00%	146,026
	#5	645,045	29.84%	627,188	16.78%	127,101	0.00%	36,782	4.88%	146,026
	#6	704,500	23.38%	753,662	0.00%	59,116	53.49%	37,749	2.38%	146,026
	#7	576,045	37.35%	627,188	16.78%	59,116	53.49%	35,767	7.50%	146,026

<표 3-5-05> B 단지 기존안 및 개선시나리오별 에너지 사용 양상

기존안		총량		전기제품		조명		냉방		태양광 발전
		전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 생산량 비율
		789,799	100%	639,941	81.03%	114,131	14.45%	35,727	4.52%	18.49%
개선 시나리오		총량		전기제품		조명		냉방		태양광 발전
		전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 생산량 (kWh)
에너지 절감 방안	#1	680,655	13.82%	532,548	16.78%	114,131	0.00%	33,976	4.90%	-
	#2	731,440	7.39%	639,941	0.00%	56,561	50.44%	34,938	2.21%	-
	#3	622,235	21.22%	532,548	16.78%	56,561	50.44%	33,126	7.28%	-
에너지 절감 방안 & 신재생E	#4	643,773	18.49%	639,941	0.00%	114,131	0.00%	35,727	0.00%	146,026
	#5	534,629	32.31%	532,548	16.78%	114,131	0.00%	33,976	4.90%	146,026
	#6	585,414	25.88%	639,941	0.00%	56,561	50.44%	34,938	2.21%	146,026
	#7	476,209	39.70%	532,548	16.78%	56,561	50.44%	33,126	7.28%	146,026

<표 3-5-06> C 단지 기존안 및 개선시나리오별 에너지 사용 양상

기존안		총량		전기제품		조명		냉방		태양광 발전
		전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 생산량 비율
		779,376	100%	630,970	80.96%	112,952	14.49%	35,454	4.55%	18.74%
개선 시나리오		총량		전기제품		조명		냉방		태양광 발전
		전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 생산량 (kWh)
에너지 절감 방안	#1	671,810	13.80%	525,093	16.78%	112,952	0.00%	33,764	4.76%	-
	#2	717,626	7.92%	630,970	0.00%	52,041	53.93%	34,614	2.37%	-
	#3	609,994	21.73%	525,093	16.78%	52,041	53.93%	32,859	7.32%	-
에너지 절감 방안 & 신재생E	#4	633,350	18.74%	630,970	0.00%	112,952	0.00%	35,454	0.00%	146,026
	#5	525,784	32.54%	525,093	16.78%	112,952	0.00%	33,764	4.76%	146,026
	#6	571,600	26.66%	630,970	0.00%	52,041	53.93%	34,614	2.37%	146,026
	#7	463,968	40.47%	525,093	16.78%	52,041	53.93%	32,859	7.32%	146,026

<표 3-5-07> D 단지 기존안 및 개선시나리오별 에너지 사용 양상

기존안		총량		전기제품		조명		냉방		태양광 발전
		전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 생산량 비율
		703,393	100%	564,398	80.24%	105,288	14.97%	33,708	4.79%	20.76%
개선 시나리오		총량		전기제품		조명		냉방		태양광 발전
		전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 생산량 (kWh)
에너지 절감 방안	#1	607,058	13.70%	469,687	16.78%	105,288	0.00%	32,083	4.82%	-
	#2	645,395	8.25%	564,398	0.00%	48,111	54.31%	32,887	2.44%	-
	#3	549,054	21.94%	469,687	16.78%	48,111	54.31%	31,255	7.27%	-
에너지 절감 방안 & 신재생E	#4	557,367	20.76%	564,398	0.00%	105,288	0.00%	33,708	0.00%	146,026
	#5	461,032	34.46%	469,687	16.78%	105,288	0.00%	32,083	4.82%	146,026
	#6	499,369	29.01%	564,398	0.00%	48,111	54.31%	32,887	2.44%	146,026
	#7	403,028	42.70%	469,687	16.78%	48,111	54.31%	31,255	7.27%	146,026

<표 3-5-08> E 단지 기존안 및 개선시나리오별 에너지 사용 양상

기존안		총량		전기제품		조명		냉방		태양광 발전
		전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 생산량 비율
		684,720	100%	547,920	80.02%	103,520	15.12%	33,280	4.86%	21.33%
개선 시나리오		총량		전기제품		조명		냉방		태양광 발전
		전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 생산량 (kWh)
에너지 절감 방안	#1	591,147	13.67%	455,951	16.79%	103,520	0.00%	31,676	4.82%	-
	#2	627,480	8.36%	547,920	0.00%	47,129	54.47%	32,431	2.55%	-
	#3	533,899	22.03%	455,951	16.79%	47,129	54.47%	30,820	7.39%	-
에너지 절감 방안 & 신재생E	#4	538,694	21.33%	547,920	0.00%	103,520	0.00%	33,280	0.00%	146,026
	#5	445,121	34.99%	455,951	16.79%	103,520	0.00%	31,676	4.82%	146,026
	#6	481,454	29.69%	547,920	0.00%	47,129	54.47%	32,431	2.55%	146,026
	#7	387,873	43.35%	455,951	16.79%	47,129	54.47%	30,820	7.39%	146,026

<표 3-5-09> F 단지 기존안 및 개선시나리오별 에너지 사용 양상

기존안		총량		전기제품		조명		냉방		태양광 발전
		전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 생산량 비율
		676,506	100%	540,880	79.95%	102,537	15.16%	33,089	4.89%	21.59%
개선 시나리오		총량		전기제품		조명		냉방		태양광 발전
		전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 생산량 (kWh)
에너지 절감 방안	#1	584,165	13.65%	450,137	16.78%	102,537	0.00%	31,491	4.83%	-
	#2	619,890	8.37%	540,880	0.00%	46,736	54.42%	32,274	2.46%	-
	#3	527,513	22.02%	450,137	16.78%	46,736	54.42%	30,640	7.40%	-
에너지 절감 방안 & 신재생E	#4	530,480	21.59%	540,880	0.00%	102,537	0.00%	33,089	0.00%	146,026
	#5	438,139	35.23%	450,137	16.78%	102,537	0.00%	31,491	4.83%	146,026
	#6	473,864	29.95%	540,880	0.00%	46,736	54.42%	32,274	2.46%	146,026
	#7	381,487	43.61%	450,137	16.78%	46,736	54.42%	30,640	7.40%	146,026

<표 3-5-10> G 단지 기존안 및 개선시나리오별 에너지 사용 양상

기존안		총량		전기제품		조명		냉방		태양광 발전
		전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 생산량 비율
		591,377	100%	466,354	78.86%	94,087	15.91%	30,936	5.23%	24.69%
개선 시나리오		총량		전기제품		조명		냉방		태양광 발전
		전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 사용량 (kWh)	구성비	전력 생산량 (kWh)
에너지 절감 방안	#1	511,729	13.47%	388,071	16.79%	94,087	0.00%	29,570	4.42%	-
	#2	539,019	8.85%	466,354	0.00%	42,413	54.92%	30,253	2.21%	-
	#3	459,376	22.32%	388,071	16.79%	42,413	54.92%	28,893	6.61%	-
에너지 절감 방안 & 신재생E	#4	445,351	24.69%	466,354	0.00%	94,087	0.00%	30,936	0.00%	146,026
	#5	365,703	38.16%	388,071	16.79%	94,087	0.00%	29,570	4.42%	146,026
	#6	392,993	33.55%	466,354	0.00%	42,413	54.92%	30,253	2.21%	146,026
	#7	313,350	47.01%	388,071	16.79%	42,413	54.92%	28,893	6.61%	146,026

이 중에서 우선 에너지 절감 방안만을 적용한 시나리오 #1~#3 전력 절감 효과를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 7개 단지 모두에서 대기전력 차단 콘센트를 적용한 시나리오 #1의 전력 절감률은 13% 수준으로 나타났다 (A: 13.96%, B: 13.82%, C: 13.80%, D: 13.70%, E: 13.67%, F: 13.65%, G: 13.47%). 대기전력 차단 콘센트는 전력 사용량 중 주로 전기제품에 사용되는 전력을 절감시키며 (A: 16.78%, B: 16.78%, C: 16.78%, D: 16.78%, E: 16.79%, F: 16.78%, G: 16.78%), 다음으로는 냉방 에너지를 절감시킨다 (A: 4.88%, B: 4.90%, C: 4.76%, D: 4.82%, E: 4.82%, F: 4.83%, G: 4.42%). 7개 단지에서 절감률이 비슷한 수준으로 나타난 것을 볼 때, 대기전력 차단 콘센트의 절감 효과는 세대당 면적에 크게 영향을 받지 않는 것으로 보인다. 대기전력 차단 콘센트는 가전제품의 미사용 시간에도 소모되는 전력을 줄이면서 동시에 발열량을 감소시키기 때문에 냉방 에너지의 소폭 절감이 발생하게 되며, 세대당 면적이 작아질수록 그 절감 비율이 커지는 것을 볼 수 있다.

둘째, 7개 단지 모두에서 LED 조명을 적용한 시나리오 #2의 전력 절감 효과는 8% 내외의 수준으로 나타났다(A: 7.49%, B: 7.39%, C: 7.92%, D: 8.25%, E: 8.36%, F: 8.37%, G: 8.85%). LED는 전력 사용량 중 주로 조명에 사용되는 전력을 절감시키며(A: 53.49%, B: 50.44%, C: 53.93%, D: 54.31%, E: 54.47%, F: 54.42%, G: 54.92%). 다음으로 냉방 에너지를 절감시킨다(A: 2.38%, B: 2.21%, C: 2.37%, D: 2.44%, E: 2.55%, F: 2.46%, G: 2.21%). 세대당 면적이 커질수록 전력 절감률이 더 높아지는 양상을 보이는데, 전체 전력 사용량에서의 조명의 구성비가 증가하면서

궁극적으로 LED 조명 적용을 통한 전력 절감 효과가 향상되는 것으로 판단된다. 또 LED 조명은 조명에 의한 발열량을 감소시키기 때문에, 냉방 에너지 절감 역시 이루어지게 된다.

셋째, 대기전력 차단 콘센트와 LED 조명을 함께 적용한 시나리오 #3의 전력 절감 효과는 각각의 에너지 절감 방안을 적용한 시나리오 #1, #2의 분석결과와 유사한 양상을 보이는 것으로 나타났다. 7개의 단지 모두에서, 시나리오 #3의 전력 절감 효과는 22% 내외의 수준으로 나타났다(A: 21.47%, B: 21.22%, C: 21.73%, D: 21.94%, E: 21.33%, F: 22.02%, G: 22.32%). 시나리오 #1과 시나리오 #2의 특성을 모두 포함하고 있는데, 전기제품(16.78~16.79%)과 조명(50.44~54.92%) 측면에서 전력 절감이 나타나고 있다.

결과적으로, 환경적 관점에서 아파트의 환경개선사업을 통해 에너지 효율성을 향상시키고자 하는 경우에는, 에너지 사용용도, 세대별 면적 등을 고려하여 최적의 개선 시나리오를 선택할 수 있어야 한다. 이때, 에너지 절감 방안 적용 시나리오 중에는 시나리오 #3이 최적의 개선 시나리오인 것으로 나타났다.

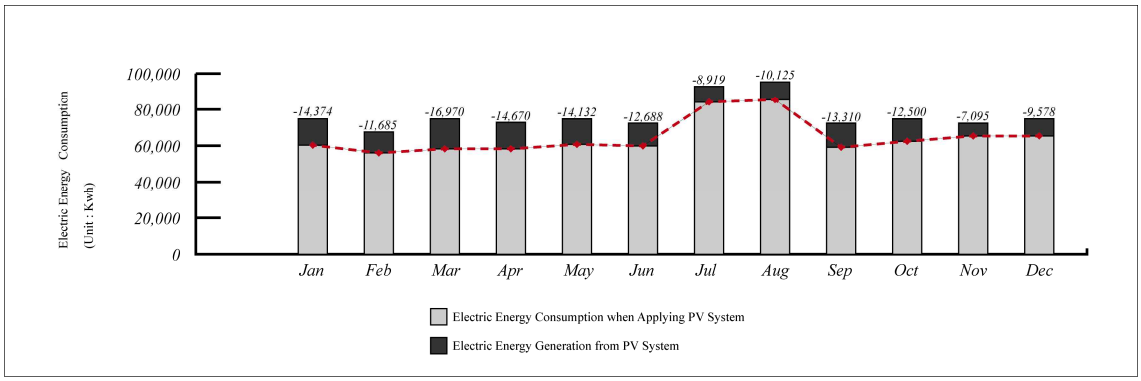
에너지 절감 방안과 더불어 태양광 발전 시스템을 도입한 시나리오 #4~#7의 전력 절감 효과는 다음과 같다. 첫째, 7개 단지에 태양광 발전 시스템만을 도입한 시나리오 #4의 전력 생산량은 146,026kWh로, 전체 전력 소비량 대비 그 비율은 15.88%~24.69%로 나타났다. 이 값은 대기전력 차단 콘센트와 LED 조명을 함께 적용하는 경우인 시나리오 #3의 전력 절감량과 거의 비슷한 수준으로, 상당한 효과를 거둘 수 있는 것으로 나타나고 있다. 대기전력 차단 콘센트, LED 조명, 태양광 발전 시스템을 모두 적용한 시나리오 #7의 경우, 전체 전력 절감량은 7개 단지에서 가장 큰 효과를 거두고 있다(A: 37.35%, B: 39.70%, C: 40.47%, D: 42.70%, E: 43.35%, F: 43.61%, G: 47.01%). 즉, 환경적 관점에서는 2개의 에너지 절감 방안과 태양광 발전 시스템을 모두 적용한 시나리오 #7이 최적의 개선 시나리오인 것으로 나타났다. 하지만, 국가 정책적으로 주거환경 개선 사업을 추진하고자 한다면, 에너지절감효과 및 환경개선효과와 더불어, 경제적 관점에서의 분석을 실시하여야 한다.

(나) 개선시나리오 적용의 경제성 평가

앞서, 에너지 사용 양상과 에너지 절감 효과의 분석결과를 제시하였다. 그런데, 주거환경 개선 사업과 같은 국가 정책 사업은 에너지 절감 효과만을 고려할 것이 아니라, 한정된 예산을 합리적으로 배분하는 것이 중요하다. 이를 위해 에너지 절감 효과와 초기투자비용뿐 아니라 생애주기비용 관점의 비교지표인 순현재가치(NPV)와 투자대비수익률(SIR) 그리고 손익분기점(BEP)을 고려할 수 있다. 우선, 환경성 및 경제성 분석에 앞서, 신재생에너지 도입에 따른 효과와 함께 공동주택의 전기요금의 특성에 대한 검토를 실시하였다. 또한 에너지 절감 방안 적용 모델을 대상으로, 세대당 면적 관점에서의 에너지 절감량에 따른 환경성 및 경제성 평가를 실시하였다. 마지막으로 에너지 절감 방안 및 신재생에너지 도입 모델을 대상으로, 세대당 면적 관점에서의 에너지 절감량에 공통주택의 전기요금(누진세)을 반영하여 환경성 및 경제성 평가를 실시하였다.

① 태양광 발전 시스템의 전력 생산량과 누진제 요금 특성

[그림 3-5-09]는 S 단지의 태양광 발전 시스템 도입 전과 후의 전력 사용량을 나타낸 것이다. 진하게 표시된 부분은 태양광 시스템의 전력 생산량을 나타낸 것으로서, 연간 약 146,026kWh에 해당한다. 7개 단지의 모델링 시 옥상 면적은 모두 동일하게 가정했기 때문에, 태양광 발전 시스템의 설치대수 및 설치비용은 동일하다.



[그림 3-5-09] 태양광 발전 시스템 도입 전후의 전력 소비량

하지만, 공동주택의 전기요금 특성상 그 절감비용은 상이하게 나타난다. 그 이유는 교육시설물 또는 상업시설물과는 다르게 누진제 요금을 부과하기 때문이다. “주택용 전력 사용량별 요금표[29]”를 참고하면, 사용량에 따라 기본요금 6단계, 전력량요금 6단계로 나눠서 적용되는 누진제는 기본요금과 전력량 요금에 모두 적용된다. 기본요금도 누진제이기 때문에 100kWh 단위지점마다 오르는데, 예를 들어 월 사용량이 500kWh를 초과한 7단계 요금단가는 100kWh 이하인 1단계보다 5배가 아닌 10배 이상 더 내도록 하고 있다. 즉, 전기 사용량이 많아질수록 전기요금은 기하급수적으로 오르게 된다. 역으로, 누진제 요금을 적용하는 공동주택의 경우, 같은 전기사용량이 절감되더라도, 기존에 전기사용량이 많은 단지의 비용 절감량이 더 크다는 것을 의미한다.

② 개선시나리오 적용 시의 경제성 평가

7개 단지에 대해 에너지 절감 방안 및 신재생에너지 설비를 적용하는 개선시나리오 #1～#7에 대한 경제성 분석 지표를 <표 3-5-11>～<표 3-5-17>에 나타냈다.

<표 3-5-11> S 단지 개선시나리오의 경제성 분석

개선 시나리오	추가 초기투자비	추가 교체수선비	생애주기 에너지비용	KCER	NPV		SIR		BEP	
	천원	천원	천원	천원	천원	순위	비율	순위	년	순위
시나리오 #1	47,880	203,999	787,796	18,221	567,630	6	3.2	5	3	1
시나리오 #2	88,520	6,342	413,857	9,782	328,777	7	4.47	1	7	3
시나리오 #3	136,400	210,340	1,188,883	28,015	883,651	4	3.51	2	4	2
시나리오 #4	179,900	102,567	892,266	20,729	630,781	5	3.23	4	8	6
시나리오 #5	227,780	306,566	1,528,737	38,950	1,047,085	2	2.93	7	7	3
시나리오 #6	268,420	108,909	1,263,892	30,510	917,328	3	3.43	3	8	6
시나리오 #7	316,300	312,907	1,807,456	48,745	1,240,740	1	2.95	6	7	3

29) 한국전력(2011). 주택용 전력 사용량별 요금표. 2011.8.1

<표 3-5-12> B 단지 개선시나리오의 경제성 분석

개선 시나리오	추가 초기투자비	추가 교체수선비	생애주기 에너지비용	KCER	NPV		SIR		BEP	
	천원	천원	천원	천원	천원	순위	비율	순위	년	순위
시나리오 #1	47,880	203,999	602,385	15,494	379,491	6	2.45	5	3	1
시나리오 #2	88,520	6,342	323,564	8,285	236,987	7	3.5	1	9	3
시나리오 #3	136,400	210,340	839,980	23,786	530,518	4	2.49	4	7	2
시나리오 #4	179,900	102,567	740,840	20,729	479,355	5	2.7	2	9	3
시나리오 #5	227,780	306,566	1,185,264	36,222	700,885	2	2.29	7	10	6
시나리오 #6	268,420	108,909	979,039	29,013	630,977	3	2.67	3	10	6
시나리오 #7	316,300	312,907	1,425,674	44,515	854,727	1	2.34	6	9	3

<표 3-5-13> C 단지 개선시나리오의 경제성 분석

개선 시나리오	추가 초기투자비	추가 교체수선비	생애주기 에너지비용	KCER	NPV		SIR		BEP	
	천원	천원	천원	천원	천원	순위	비율	순위	년	순위
시나리오 #1	47,880	203,999	577,248	15,270	354,129	6	2.35	5	3	1
시나리오 #2	88,520	6,342	348,098	8,765	262,003	7	3.76	1	8	2
시나리오 #3	136,400	210,340	830,227	24,045	521,024	4	2.46	4	8	2
시나리오 #4	179,900	102,567	719,624	20,729	458,139	5	2.62	3	10	5
시나리오 #5	227,780	306,566	1,155,702	35,999	671,099	2	2.23	7	10	5
시나리오 #6	268,420	108,909	971,096	29,495	623,516	3	2.65	2	10	5
시나리오 #7	316,300	312,907	1,414,212	44,773	843,523	1	2.32	6	9	4

<표 3-5-14> D 단지 개선시나리오의 경제성 분석

개선 시나리오	추가 초기투자비	추가 교체수선비	생애주기 에너지비용	KCER	NPV		SIR		BEP	
	천원	천원	천원	천원	천원	순위	비율	순위	년	순위
시나리오 #1	47,880	203,999	393,143	13,676	168,431	6	1.62	7	8	1
시나리오 #2	88,520	6,342	230,658	8,233	144,030	7	2.52	1	12	2
시나리오 #3	136,400	210,340	631,242	21,909	319,903	4	1.88	6	12	2
시나리오 #4	179,900	102,567	579,158	20,729	317,673	5	2.12	3	12	2
시나리오 #5	227,780	306,566	976,223	34,404	490,026	2	1.89	5	12	2
시나리오 #6	268,420	108,909	815,547	28,962	467,435	3	2.24	2	12	2
시나리오 #7	316,300	312,907	1,199,340	42,637	626,517	1	1.97	4	12	2

<표 3-5-15> E 단지 개선시나리오의 경제성 분석

개선 시나리오	추가 초기투자비	추가 교체수선비	생애주기 에너지비용	KCER	NPV		SIR		BEP	
	천원	천원	천원	천원	천원	순위	비율	순위	년	순위
시나리오 #1	47,880	203,999	380,475	13,283	155,370	6	1.56	7	12	1
시나리오 #2	88,520	6,342	230,658	8,125	143,922	7	2.52	1	12	1
시나리오 #3	136,400	210,340	617,970	21,410	306,131	5	1.84	6	12	1
시나리오 #4	179,900	102,567	577,550	20,729	316,065	4	2.12	3	12	1
시나리오 #5	227,780	306,566	958,226	34,012	471,636	2	1.86	5	12	1
시나리오 #6	268,420	108,909	816,150	28,854	467,930	3	2.24	2	12	1
시나리오 #7	316,300	312,907	1,183,655	42,138	610,331	1	1.95	4	12	1

<표 3-5-16> F 단지 개선시나리오의 경제성 분석

개선 시나리오	추가 초기투자비	추가 교체수선비	생애주기 에너지비용	KCER	NPV		SIR		BEP	
	천원	천원	천원	천원	천원	순위	비율	순위	년	순위
시나리오 #1	47,880	203,999	376,352	13,108	151,073	6	1.55	7	12	1
시나리오 #2	88,520	6,342	234,479	8,037	147,654	7	2.56	1	12	1
시나리오 #3	136,400	210,340	611,937	21,151	299,838	5	1.83	6	12	1
시나리오 #4	179,900	102,567	581,571	20,729	320,086	4	2.13	3	12	1
시나리오 #5	227,780	306,566	953,399	33,837	466,635	2	1.85	5	12	1
시나리오 #6	268,420	108,909	811,827	28,766	463,518	3	2.23	2	12	1
시나리오 #7	316,300	312,907	1,173,701	41,879	600,117	1	1.93	4	12	1

<표 3-5-17> G 단지 개선시나리오의 경제성 분석

개선 시나리오	추가 초기투자비	추가 교체수선비	생애주기 에너지비용	KCER	NPV		SIR		BEP	
	천원	천원	천원	천원	천원	순위	비율	순위	년	순위
시나리오 #1	47,880	203,999	329,296	11,306	102,215	7	1.35	7	20	7
시나리오 #2	88,520	6,342	216,079	7,433	128,650	6	2.36	1	12	1
시나리오 #3	136,400	210,340	528,683	18,739	214,172	5	1.58	6	14	5
시나리오 #4	179,900	102,567	578,152	20,729	316,668	4	2.12	3	12	1
시나리오 #5	227,780	306,566	874,569	32,036	386,003	3	1.7	4	13	4
시나리오 #6	268,420	108,909	780,154	28,161	431,241	2	2.14	2	12	1
시나리오 #7	316,300	312,907	1,020,666	39,467	444,670	1	1.68	5	15	6

우선 대기전력 차단 콘센트와 LED 조명 등 2가지의 에너지 절감 방안을 적용하는 시나리오 #1~#3을 살펴보면, 3가지 시나리오 모두에서 순현재가치(NPV)는 양의 값으로, 투자대비수익률(SIR)은 1 이상의 값으로 나타남으로써 사업타당성을 확보한 것으로 나타났으며 손익분기점(BEP) 역시 40년의 분석기간 내에서 발생하고 있다. 한편 세대당 면적을 고려하여 분석해 보면, 앞서 언급한 바와 같이 전기제품 및 조명에 사용되는 전력 밀도는 세대당 면적과는 대체로 음의 관계를 형성한다. 따라서, 세대당 면적이 작을수록, 대기전력 차단 콘센트 및 LED 조명 적용을 통한 잠재적 전력 절감량이 더 커진다고 할 수 있다. 따라서, 동일한 시나리오에 대해 세대당 면적이 작은 단지의 순서(A, B, C, D, F, E, G 단지 순)대로 NPV 및 SIR 값이 우수하게 나타나고 있다.

경제성 및 환경성 관점에서의 타당성을 확보하기 위해서는 해당 공동주택의 세대당 면적을 고려하여 최적의 개선시나리오를 선택해야 한다. 각 단지별로 다소의 순위 차이는 있었지만, NPV 관점에서는 대기전력 차단 콘센트와 LED 조명을 복합 적용한 시나리오 #3이, SIR관점에서는 LED를 적용한 시나리오 #2가 가장 우수한

것으로 분석되었다. 대기전력 차단 콘센트의 초기투자비용은 LED와 비교하여 50% 수준으로 저렴하기 때문에 투자회수기간이 상대적으로 우수하지만 (BEP 3~14년), NPV 및 SIR에 대해서는 LED 조명과 비교하여 상대적으로 열악하게 나타난다.

초기투자비용으로 활용할 수 있는 예산이 충분하다면, 대기전력 차단 콘센트와 LED 조명을 함께 적용한 시나리오 #3이 최적의 시나리오라고 판단할 수 있다. 그렇지 않은 경우에는 LED 조명만을 적용하는 시나리오 #2의 적용이 적합하며, 만일 예산이 매우 부족한 경우라면 대기전력 차단 콘센트를 적용하는 시나리오 #1을 고려할 수 있다.

7개 단지에 대해 에너지 절감 방안과 더불어 태양광 발전 시스템을 도입하는 시나리오 #4~#7에 대한 경제성 분석 결과는 다음과 같다.

우선 태양광 발전 시스템만을 적용한 시나리오 #4의 NPV는 양의 값으로, SIR는 1 이상의 값으로 분석되어 사업타당성을 확보한 것으로 나타났으며, BEP 역시 40년 이내에서 발생하였다.

여기서 주목할 점은 태양광 발전의 경우 7개 단지의 에너지 모델에서 옥상면적을 모두 동일하게 적용했기 때문에 초기투자비용 및 에너지 생산량이 동일하다. 그러나 공동주택의 전기요금에 누진제를 적용함으로써 생애주기 에너지비용의 값이 달라지면서 NPV 및 SIR 값의 차이가 발생하였다. 기본 에너지 모델에서 전력 사용량이 가장 많았던 S 단지는 세대별 전력 사용량이 연간 511kWh 절감(3,225kWh -> 2,714kWh)되었고, 전력 사용량이 가장 적었던 G 단지는 세대별 전력 사용량이 연간 513kWh 절감(2,076kWh -> 1,563kWh)되었다. G 단지의 전력 절감량이 더 많지만, 누진제의 적용으로 인해 절감 비용은 S 단지가 더 많은 것을 볼 수 있다. 다시 말해서, 기존에 전력 사용량이 더 많은 단지의 경우, 동일한 에너지를 절감하더라도 그 비용적 효과는 더 크다는 것을 보여준다. 이를 바탕으로 세대당 면적 관점에서 분석해 보면, 세대당 면적이 작을수록 에너지 사용량이 많기 때문에 태양광 발전 시스템 도입을 통한 에너지 생산량은 같더라도, 그 비용 절감 효과는 더 크다는 것을 보여준다. 따라서, S 단지의 SIR(3.23)이 G 단지의 SIR(2.12)과 비교하여 우수하게 나타났다.

기본 에너지 모델에 대기전력 차단 콘센트, LED 조명 및 태양광 발전 시스템을 모두 적용하는 시나리오 #7 역시 NPV는 양의 값으로, SIR40은 1이상의 값으로 분석되었으며 BEP 또한 40년 이내에 나타났다. 세대당 면적 관점에서 분석해 보면,

시나리오 #7은 시나리오 #1(대기전력 차단 콘센트), 시나리오 #2(LED 조명), 시나리오 #4(태양광 발전 시스템)의 특성을 복합적으로 지니고 있는데, 에너지 사용량은 역시 세대당 면적과 반비례 관계에 있다. 다시 말해서 세대당 면적이 작을수록 시나리오 #7 적용을 통한 에너지 절감의 잠재적 효과가 더욱 크다고 할 수 있다. 또한, 태양광 발전 시스템의 경우 같은 에너지 생산량이 발생한다 하더라도 에너지 사용량이 더 많은 곳에서 비용 절감 효과가 크다고 할 수 있다. 따라서, S 단지의 SIR(2.95)이 G 단지의 SIR(1.68)에 비해 우수하게 나타났다.

라. 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 최적 투자안 도출

(1) 에너지 사용량 추세 분석

정부는 국가차원에서의 온실가스 감축 목표(Carbon Emission Reduction Target, CERT)를 2020년의 온실가스 배출 전망치(Business-As-Usual, BAU) 대비 30%로 수립하였으며, 건축물에 대해서는 26.9%로 수립하였다. 이러한 목표치는 상대적 수치로, 현재 시점(2012)에서의 온실가스 감축을 위한 구체적인 실행계획을 수립하기 위해서는 미래시점(2020)에서의 절대적 수치를 파악할 수 있어야 한다. 특히, 해당 분야, 해당 부문의 에너지 사용패턴에 대한 분석을 토대로 하여, 에너지 사용량에 대한 추세 분석을 실시하여야 한다.

본 연구의 대상인 공동주택 사용 부문에서의 에너지 사용량 추세 분석을 위해, 한국전력공사에서 관리하는 서울시 내 공동주택에 대한 2005년부터 2010년까지의 연도별 전력 사용량 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터를 활용하여, 전력 사용량 증가율을 산출하였으며, 연평균 성장률(Compound Annual Growth Rate, CAGR)의 개념을 적용하였다. CAGR는 수년 동안의 성장률에 대하여, 매년 일정한 성장률을 지속한다고 가정하여, 평균 성장률로 환산한 것으로서, 다음의 식 (3-5-01)와 같이 나타낼 수 있다.

$$CAGR\ (t_0, t_n) = \left(\frac{EC\ (t_n)}{EC\ (t_0)} \right)^{\frac{1}{(t_n - t_0)}} - 1 \qquad (3\text{-}5\text{-}01)$$

CAGR : 연평균 성장률
$EC(t_n)$: t_n 년(마지막해)의 에너지 사용량
$EC(t_0)$: t_0 년(첫해)의 에너지 사용량
t_n-t_0 : 분석기간(연수)

이렇게 산출된 CAGR의 수치를 활용하여, 2012년부터 2020년까지의 에너지 사용량에 대한 추세 분석을 실시하였다.

앞서 7개 대표 단지에 대해 에너지 절감 시나리오 적용을 통한 에너지 절감 효과 및 환경성, 경제성 평가를 실시하였으며, 공동주택 부문의 에너지 사용량 증가 추세를 분석하였다. 이러한 2가지 분석결과를 활용하여, 현재시점(2012)에서의 온실가스 감축을 위한 구체적인 실행계획(에너지 절감방안 및 신재생에너지 시스템 시나리오)을 적용할 경우의 에너지 절감 효과를 분석하고, 그 이후의 에너지 사용량 증가 추세를 재분석할 수 있다. 이를 위해, 다음의 식 (3-5-02)를 활용하여, 개량 연평균 성장률 improved Compound Annual Growth Rate (iCAGR)을 산출하였다.

$$iCAGR\ (t_0, t_n) = \left[\left(\frac{EC\ (t_n)}{EC\ (t_0)} \right)^{\frac{1}{(t_n - t_0)}} - 1 \right] \times \left(1 - ESR_s\right) \qquad (3\text{-}5\text{-}02)$$

iCAGR : 개량 연평균 성장률
$EC(t_n)$: t_n 년(마지막해)의 에너지 사용량
$EC(t_0)$: t_0 년(첫해)의 에너지 사용량
t_n-t_0 : 분석기간(연수)
ESR_s : 해당 시나리오의 에너지 절감률

이렇게 산출된 iCAGR의 수치를 활용하여, 현재시점(2012)에서의 온실가스 감축을 위한 구체적인 실행계획 적용 이후(2012년~2020년)의 개선된 에너지 사용량에 대한 추세 분석을 실시하였다.

결과적으로, CAGR를 적용한 2020년의 에너지 사용량에 대한 추정치와 iCAGR를 적용한 2020년의 에너지 사용량에 대한 추정치를 활용하여 2020년 시점의 국가 온실가스 감축목표(건축물 부문 감축목표 : 26.9%)에 대한 달성여부를 평가하였다.

(2) 최적 개선시나리오 선정을 위한 의사결정 시스템

(가) 시스템 구축을 위한 고려사항

국가차원에서의 CERT 달성을 위한 'Low-carbon scenario 2020'을 제시하기 위해서는 분석대상 시설물의 세대별 면적에 따른 특성, 해당 시설물의 에너지 사용양상, 해당 시설물에 적용 가능한 에너지 절감 방안 및 신재생에너지 유형 및 에너지 절감 효과 등 다양한 요인에 대한 고려가 수반되어야 한다. 본 연구에서는 분석대상을 공동주택으로 한정하였고, 에너지 절감 방안의 유형은 2가지(대기전력 차단 콘센트, LED 조명), 신재생에너지 시스템의 유형은 1가지(태양광 발전 시스템)로 한정하였음에도 불구하고, 최적 개선시나리오를 선정하기 위해서는 총 2,097,152개의 시나리오(총 7개의 시나리오에 개선 미실시까지 8개 시나리오를 7가지 유형의 단지에 선택 적용하므로 8^7=2,097,152)를 분석해야 한다. 아울러, 본 연구에서는 최적화를 위한 3가지 목적변수(초기투자비용의 최소화, NPV의 최대화, SIR의 최대화)를 고려하였기 때문에 결과적으로는 총 6,291,456개의 시나리오(2,097,152×3=6,291,456)를 분석해야 한다. 만일 분석대상 시설물의 유형이 다양화되고, 이에 대하여 적용하고자 하는 에너지 절감 방안 및 신재생에너지 시스템의 종류가 증가할 경우, 분석해야 할 시나리오의 개수는 기하급수적으로 증가하게 된다. 따라서 상기 일련의 프로세스를 시스템화시키고, 최적화 프로세스를 도입할 필요가 있다. 본 연구에서는 마이크로소프트 엑셀 기반의 VBA(Visual Basic for application)를 활용하여 시스템을 구축하였다. 아울러, 최적화 프로세스 구현을 위해 유전자 알고리즘 도구인 Evolver를 활용하였다. 에너지관리공단 및 한국에너지기술연구원에 소속된 공동주택 에너지 효율 관련 전문가와의 면담 결과에 기초하여, 다음과 같은 고려사항들을 시스템 개발과정에 반영하였다.

① 연도별 에너지사용량 데이터가 지속적으로 축적될 수 있도록 DB 구조의 확장성 고려

② 본 연구에서 다루고 있는 방안 이외의 다양한 에너지 절감 방안 및 신재생에너지 시스템을 고려할 수 있도록 분석 프로세스의 확장성 고려

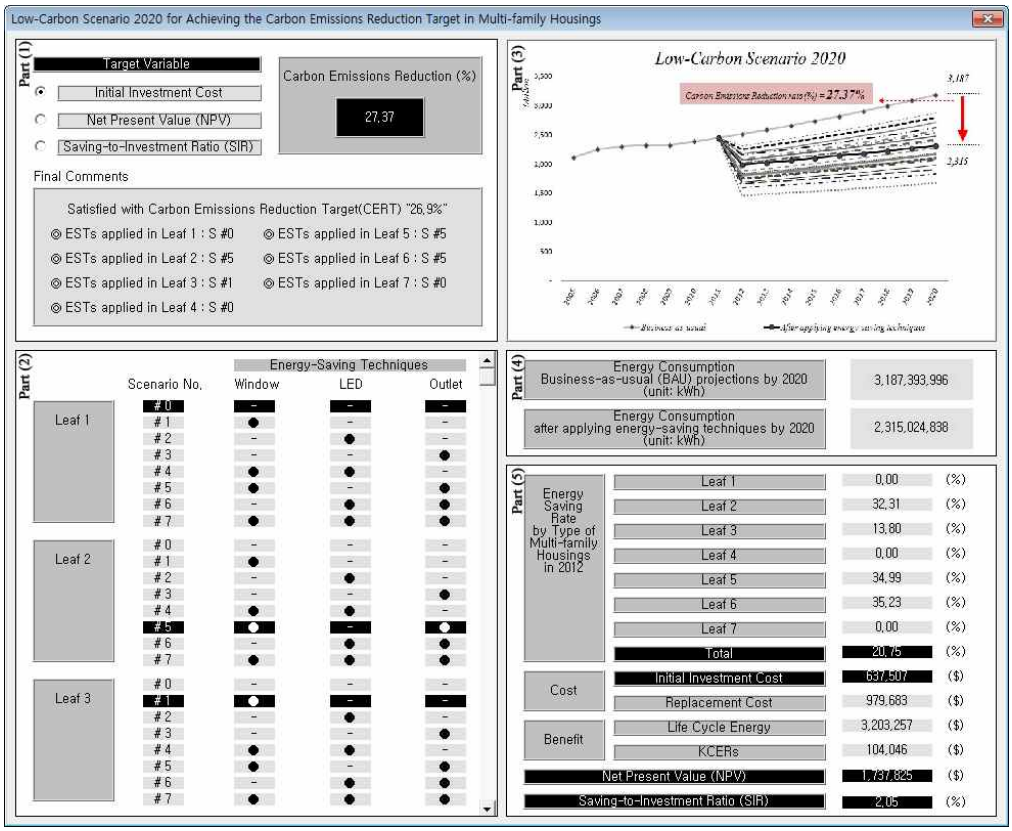
③ 의사결정자로 하여금 다양한 개선시나리오에 대한 비교 평가를 쉽고 명확하게 진행할 수 있도록 하기 위하여, 추세 분석 결과에 대한 시각화 고려

④ 최종 분석결과에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여, 분석 프로세스 상에서 발생하는 주요 변수에 대한 DB화 고려

⑤ 공동주택 이외에 상업용 시설물과 같은 주요 건축물 유형에 대한 분석이 가능하도록 시스템 구성의 확장성 고려

(나) Graphical user interface (GUI)

본 연구에서 구축한 시스템의 GUI는, 앞서 제시한 고려사항을 반영하여 개발하였으며, 이를 [그림 3-5-11]에 나타냈다.



[그림 3-5-10] 의사결정 시스템 GUI

① Part (1) - 최적화를 위한 목적변수를 선택하고, 이에 대한 분석결과가 제

시된다. 목적변수는 초기투자비용의 최소화, NPV의 최대화, SIR의 최대화 등 3가지로 구성된다. 그리고, 최종 검토의견을 통해 CERT에 대한 달성 여부를 분석결과로서 제시한다.

② Part (2) - 최적화 과정에서 적용된 시나리오를 제시한다. 의사결정자는 공동주택의 유형별 최적 개선시나리오를 한눈에 파악할 수 있고, 각각의 에너지 절감 방안 및 신재생에너지 시스템에 대한 링크 정보를 통해, 구체적인 특성을 확인할 수 있다.

③ Part (3) - 공동주택의 과거부터 현재까지의 에너지 사용량 정보를 활용하여, BAU에 의한 2020년까지의 에너지 사용량의 증가추세를 도식화하여 제시한다. 아울러, 다양한 에너지 절감 방안 및 신재생에너지 시나리오를 적용했을 경우 2020년까지의 에너지 사용량의 증가추세를 도식화하여 제시한다.

④ Part (4) - BAU에 의한 분석 종료시점(2020년)의 공동주택 부문의 에너지 사용량 추정치를 제시한다. 아울러, 최적 개선시나리오로 선정된 시나리오 적용 시의 2020년 공동주택 부문 에너지 사용량 추정치를 제시한다. Part (3), (4)의 추세 그래프 및 에너지 사용량 추정치를 활용하여, 의사결정자는 2020년 시점에서의 온실가스 감축률을 한눈에 파악할 수 있다.

⑤ Part (5) - 최종적인 최적화 결과에 대한 구체적인 정보를 제시한다. 공동주택 유형별 에너지 절감률, 생애주기에 걸쳐 발생하는 전체 비용 및 수익을 제시한다. 아울러 비용 및 수익을 활용하여 절대적 평가 지표인 NPV 및 상대적 평가 지표인 SIR를 제시한다.

(3) 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 공동주택 개선사업 의사결정

정부의 건축물 부문에 대한 CERT는 2020년 BAU 대비 26.9%를 절감시키는 것이다. 현재시점(2012)에서의 온실가스 감축을 위한 다양한 개선시나리오 적용에 앞서, 2005년부터 2010년까지의 연차별 전력 사용량 데이터를 활용하여, 식 (3-5-01)에 따라 7개 대표단지의 CAGR를 산출하였다. 전력 사용량에 대한 CAGR는 각각 1.41%, 6.94%, 1.07%, 1.12%, 5.98%, 1.19% and 0.95%로 산출되었다(<표 3-5-18> 참조).

<표 3-5-18> 7개 대표단지의 전력 사용량 데이터 및 2020년 추정치(BAU)

구분	2005년 전력 사용량 (kWh)	2010년 전력 사용량 (kWh)	CAGR	미개선시(BAU) 2020년 전력 사용량 추정치 (kWh)
S 단지	320,768,150	343,954,717	1.41%	395,477,091
B 단지	263,672,079	368,790,601	6.94%	721,458,318
C 단지	181,859,624	191,815,991	1.07%	213,393,827
D 단지	185,666,858	196,327,305	1.12%	219,519,618
E 단지	227,200,073	303,752,443	5.98%	542,928,207
F 단지	649,446,724	688,915,323	1.19%	775,194,125
G 단지	277,245,236	290,646,236	0.95%	319,422,809
전체 아파트	2,105,858,744	2,384,202,616	2.51%	3,187,393,996

이렇게 산출된 CAGR를 가장 최근 실측된 2010년의 전력 사용량에 적용하여, 2020년 전력 사용량 추정치(BAU)를 산출한 결과, 단지별로 각각 395,477,091kWh, 721,458,318kWh, 213,393,827kWh, 219,519,618kWh, 542,928,207kWh, 775,194,125 kWh, 319,422,809kWh로 나타났다. 또한 서울시 내 전체 공동주택 단지의 전력 사용량 추정치는 3,187,393,996kWh로 나타났다. 이 수치에 대해 국가 온실가스 감축 목표인 26.9% 절감을 목표로 수립하고, 초기투자비용의 최소화, NPV의 최대화, SIR의 최대화 등 3가지 관점에서 분석결과를 제시하였다.

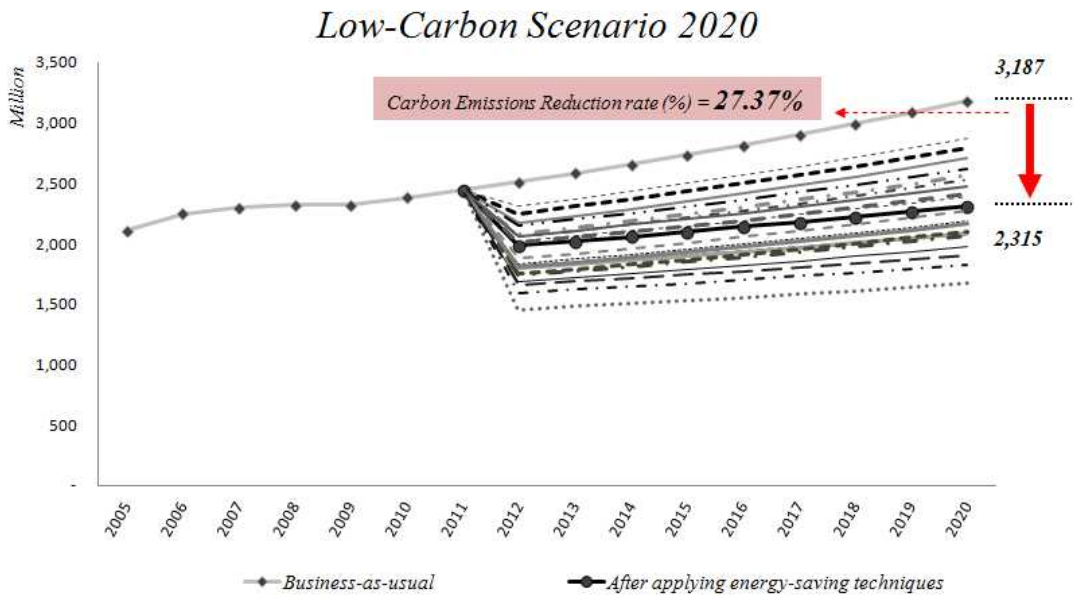
(가) 초기투자비용 최소화를 위한 최적 투자안 선정

초기투자비용을 최소화하는 단지유형별 최적 시나리오 도출을 위해 우선 식(3-5-02)에 따라 iCAGR를 산출하였다. 초기투자비용의 최소화를 목적변수로 수립할 경우, 공동주택 유형분류체계의 각 군집(leaf)에 대해 각각 시나리오 #0, #5, #1, #0, #5, #5, #0을 적용하는 것이 최적 투자안인 것으로 분석되었다. 이때 시나리오 #0은 개선을 시행하지 않는 것을 의미한다. 거시적 관점에서의 최적 투자안이 반드시 모든 단지에 대해 개선사업을 시행하는 것으로 도출된다는 보장은 없으므로, 개선을 포함하지 않고 기존안을 유지하는 것을 시나리오 #0으로 포함시켰다. 초기투자비용 최소화를 위한 최적 투자안 선정 결과, iCAGR는 단지별로 각각 1.41%, 4.70%, 0.92%, 1.12%, 3.89%, 0.77%, 0.95%로 산출되었으며, 최종적으로 2020년 시점에서의 에너지 절감 효과는 27.37%로 나타나 CERT인 26.9%를 달성한 것으로

분석되었다. 초기투자비용 최소화를 위한 최적 투자안 선정 결과를 <표 3-5-19>에 나타냈다.

<표 3-5-19> 초기투자비용 최소화를 위한 최적 투자안 선정 결과

구분	최적 시나리오	2012년 에너지 절감률	iCAGR	2020년 전력사용량 추정치 (BAU)	2020년 전력사용량 추정치 (개선시)	2020년 에너지 절감률
S 단지 (leaf 1)	#0 (기존안)	0.00%	1.41%	395,477,091 kWh	395,477,091 kWh	0.00%
B 단지 (leaf 2)	시나리오 #5	32.31%	4.70%	721,458,318 kWh	412,211,024 kWh	42.86%
C 단지 (leaf 3)	시나리오 #1	13.80%	0.92%	213,393,827 kWh	181,799,467 kWh	14.81%
D 단지 (leaf 4)	#0 (기존안)	0.00%	1.12%	219,519,618 kWh	219,519,618 kWh	0.00%
E 단지 (leaf 6)	시나리오 #5	34.99%	3.89%	542,928,207 kWh	300,902,413 kWh	44.58%
F 단지 (leaf 5)	시나리오 #5	35.23%	0.77%	775,194,125 kWh	485,692,415 kWh	37.35%
G 단지 (leaf 7)	#0 (기존안)	0.00%	0.95%	319,422,809 kWh	319,422,809 kWh	0.00%
전체단지 (서울시)	-	-	-	3,187,393,996 kWh	2,315,024,838 kWh	27.37%



[그림 3-5-11] Low-carbon 시나리오 2020 (목적변수 : 초기투자비용 최소화)

[그림 3-5-12]는 초기투자비용의 최소화를 목적변수로 수립할 경우, 발생 가능한

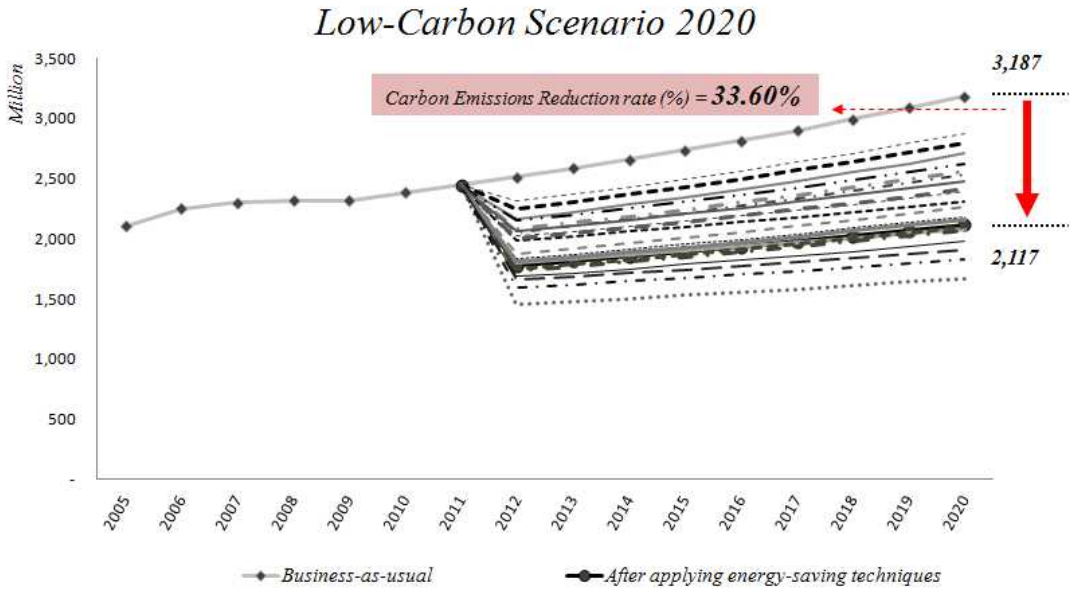
다양한 시나리오에 대한 2020년까지의 서울시 공동주택의 전력 사용량 추세를 도식화하여 나타낸 것이다. 여기서, 최적 투자안 적용 시의 전력 사용량 절감률인 27.37%을 강조하여 제시하였다.

(나) 순현재가치(NPV) 최대화를 위한 최적 투자안 선정

NPV를 최대화하는 단지유형별 최적 시나리오 도출을 위해 식 (3-5-02)에 따라 iCAGR를 산출하였다. NPV의 최대화를 목적변수로 수립할 경우, 공동주택 유형분류체계의 각 군집(leaf)에 대해 각각 시나리오 #7, #3, #7, #1, #5, #5, #1을 적용하는 것이 최적 투자안인 것으로 분석되었다. 이 최적 투자안의 적용 결과, iCAGR는 단지별로 각각 0.88%, 5.47%, 0.64%, 0.97%, 3.89%, 0.77%, 0.82%로 산출되었으며, 최종적으로 2020년 시점에서의 에너지 절감 효과는 33.60%로 나타나 CERT인 26.9%를 달성한 것으로 분석되었다. NPV 최대화를 위한 최적 투자안 선정 결과를 <표 3-5-20>에 나타냈다.

<표 3-5-20> NPV 최대화를 위한 최적 투자안 선정 결과

구분	최적 시나리오	2012년 에너지 절감률	iCAGR	2020년 전력사용량 추정치 (BAU)	2020년 전력사용량 추정치 (개선시)	2020년 에너지 절감률
S 단지 (leaf 1)	시나리오 #7	37.35%	0.88%	395,477,091 kWh	237,697,826 kWh	39.90%
B 단지 (leaf 2)	시나리오 #3	21.22%	5.47%	721,458,318 kWh	508,716,632 kWh	29.49%
C 단지 (leaf 3)	시나리오 #7	40.47%	0.64%	213,393,827 kWh	122,738,599 kWh	42.48%
D 단지 (leaf 4)	시나리오 #1	13.70%	0.97%	219,519,618 kWh	187,162,060 kWh	14.74%
E 단지 (leaf 6)	시나리오 #5	34.99%	3.89%	542,928,207 kWh	300,902,413 kWh	44.58%
F 단지 (leaf 5)	시나리오 #5	35.23%	0.77%	775,194,125 kWh	485,692,415 kWh	37.35%
G 단지 (leaf 7)	시나리오 #1	13.47%	0.82%	319,422,809 kWh	273,615,923 kWh	14.34%
전체단지 (서울시)	-	-	-	3,187,393,996 kWh	2,116,525,868 kWh	33.60%



[그림 3-5-12] Low-carbon 시나리오 2020 (목적변수 : NPV 최대화)

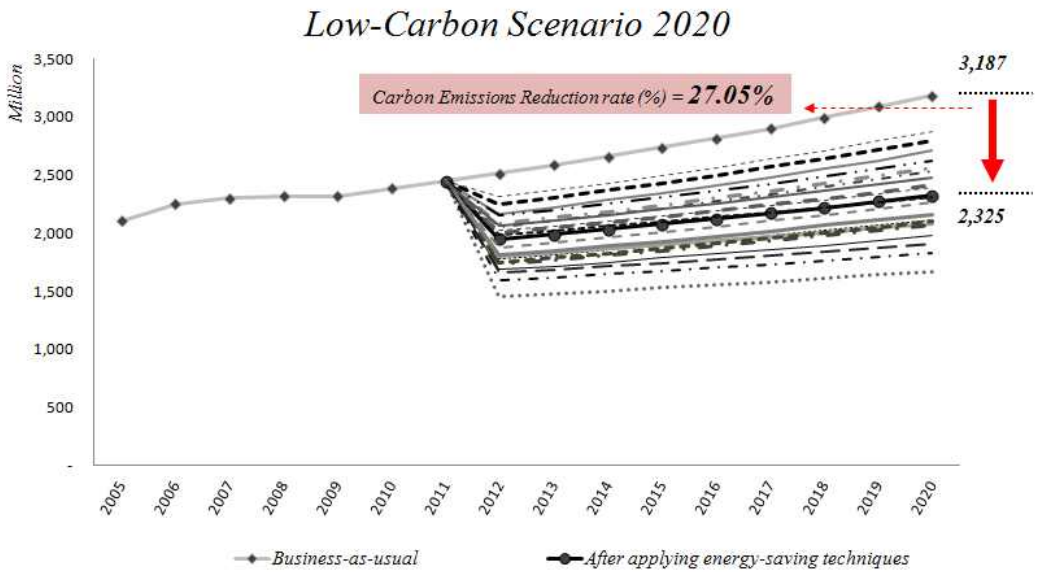
[그림 3-5-12]는 NPV의 최대화를 목적변수로 수립할 경우, 발생 가능한 다양한 시나리오에 대한 2020년까지의 서울시 공동주택의 전력 사용량 추세를 도식화하여 나타낸 것이다. 여기서, 최적 투자안 적용 시의 전력 사용량 절감률인 33.60%을 강조하여 제시하였다.

(다) 투자대비수익률(SIR) 최대화를 위한 최적 투자안 선정

SIR를 최대화하는 단지유형별 최적 시나리오 도출을 위해 식 (3-5-02)에 따라 iCAGR를 산출하였다. SIR의 최대화를 목적변수로 수립할 경우, 공동주택 유형분류 체계의 각 군집(leaf)에 대해 각각 시나리오 #6, #3, #4, #2, #6, #6, #2를 적용하는 것이 최적 투자안인 것으로 분석되었다. 이 최적 투자안의 적용 결과, iCAGR는 각각 1.08%, 5.47%, 0.87%, 1.03%, 4.20%, 0.83%, 0.86%로 산출되었으며, 최종적으로 2020년 시점에서의 에너지 절감 효과는 27.05%로 나타나 CERT인 26.9%를 달성한 것으로 분석되었다. SIR 최대화를 위한 최적 투자안 선정 결과를 <표 3-5-21>에 나타냈다.

<표 3-5-21> SIR 최대화를 위한 최적 투자안 선정 결과

구분	최적 시나리오	2012년 에너지 절감률	iCAGR	2020년 전력사용량 추정치 (BAU)	2020년 전력사용량 추정치 (개선시)	2020년 에너지 절감률
S 단지 (leaf 1)	시나리오 #6	23.38%	1.08%	395,477,091 kWh	295,261,608 kWh	25.34%
B 단지 (leaf 2)	시나리오 #3	21.22%	5.47%	721,458,318 kWh	508,716,632 kWh	29.49%
C 단지 (leaf 3)	시나리오 #4	18.74%	0.87%	213,393,827 kWh	170,674,697 kWh	20.02%
D 단지 (leaf 4)	시나리오 #2	8.25%	1.03%	219,519,618 kWh	199,948,670 kWh	8.92%
E 단지 (leaf 6)	시나리오 #6	29.69%	4.20%	542,928,207 kWh	333,501,633 kWh	38.57%
F 단지 (leaf 5)	시나리오 #6	29.95%	0.83%	775,194,125 kWh	527,914,337 kWh	31.90%
G 단지 (leaf 7)	시나리오 #2	8.85%	0.86%	319,422,809 kWh	289,210,410 kWh	9.46%
전체단지 (서울시)	-	-	-	3,187,393,996 kWh	2,325,227,988 kWh	27.05%



[그림 3-5-13] Low-carbon 시나리오 2020 (목적변수 : SIR 최대화)

[그림 3-5-13]는 SIR의 최대화를 목적변수로 수립할 경우, 발생 가능한 다양한 시나리오에 대한 2020년까지의 서울시 공동주택의 전력 사용량 추세를 도식화하여 나타낸 것이다. 여기서, 최적 투자안 적용 시의 전력 사용량 절감률인 27.05%을 강조하여 제시하였다.

(라) 다양한 관점에서의 최종 의사결정

<표 3-5-22>~<표 3-5-24>는 초기투자비용 최소화, NPV 최대화, SIR 최대화 등 3가지 목적변수에 대하여, 건축물 부문에 대한 국가 CERT, 즉 2020년의 온실가스 배출 전망치(BAU) 대비 26.9% 감축 목표를 달성한 상위 5개의 투자안을 제시한 것이다. 3가지 목적변수에 따라, 최적 투자안이 달라지는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어, 초기투자비용의 최소화를 목적변수로 수립할 경우, 공동주택의 각 군집(leaf)에 대하여, 각각 시나리오 #0(leaf 1), #5(leaf 2), #1(leaf 3), #0(leaf 4), #5(leaf 6), #5(leaf 5), #0(leaf 7)을 적용하는 것이 최적 투자안인 것으로 분석되었다. 이때, NPV 및 SIR 관점에서는 최하위(5위)로 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다. 마찬가지로 NPV 또는 SIR의 최대화를 목적변수로 수립할 경우에도, 3가지 목적변수에 따른 순위는 변동되는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구를 통해 개발한 최적화 프로세스에 대한 타당성이 입증되었음을 알 수 있다. 향후 공동주택의 각 군집(leaf)별 대표 단지의 변경, 적용될 에너지 절감 방안 및 신재생에너지 시스템 종류의 변경, 미래 기준시점의 변경 등이 발생할 경우, 본 연구에서 개발한 모델을 활용하여 신속하고 정확하게 필요한 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

<표 3-5-22> ‘초기투자비용 최소화’ 시의 상위 5개 투자안

최적 시나리오							2012년 에너지 절감량 (%)	2020년 에너지 절감량 (%)	초기투자비용		수선교체비용 (천원)	생애주기 에너지비용 (천원)	KCER (천원)	NPV		SIR	
leaf 1	leaf 2	leaf 3	leaf 4	leaf 5	leaf 6	leaf 7			금액(천원)	순위				비용(천원)	순위	비율	순위
#0	#5	#1	#0	#5	#5	#0	20.75%	27.37%	731,221	1	1,123,696	3,674,136	119,341	1,993,285	5	2.05	5
#3	#6	#3	#2	#1	#7	#1	25.51%	28.85%	1,041,798	2	1,256,834	5,112,279	155,775	3,037,383	4	2.29	2
#6	#3	#4	#2	#6	#6	#2	22.36%	27.05%	1,298,598	3	652,315	4,898,211	148,311	3,110,115	3	2.59	1
#7	#3	#7	#1	#5	#5	#1	29.33%	33.60%	1,320,319	4	1,857,284	6,695,713	210,135	3,823,698	1	2.17	3
#2	#4	#5	#4	#7	#7	#5	31.04%	35.02%	1,536,479	5	1,450,422	6,121,482	203,290	3,393,357	2	2.12	4

<표 3-5-23> ‘NPV 최대화’ 시의 상위 5개 투자안

최적 시나리오							2012년 에너지 절감량 (%)	2020년 에너지 절감량 (%)	초기투자비용		수선교체비용 (천원)	생애주기 에너지비용 (천원)	KCER (천원)	NPV		SIR	
leaf 1	leaf 2	leaf 3	leaf 4	leaf 5	leaf 6	leaf 7			금액(천원)	순위				비용(원)	순위	비율	순위
#7	#3	#7	#1	#5	#5	#1	29.33%	33.60%	1,320,319	4	1,857,284	6,695,713	210,135	3,823,698	1	2.17	3
#2	#4	#5	#4	#7	#7	#5	31.04%	35.02%	1,536,479	5	1,450,422	6,121,482	203,290	3,393,357	2	2.12	4
#6	#3	#4	#2	#6	#6	#2	22.36%	27.05%	1,298,598	3	652,315	4,898,211	148,311	3,110,115	3	2.59	1
#3	#6	#3	#2	#1	#7	#1	25.51%	28.85%	1,041,798	2	1,256,834	5,112,279	155,775	3,037,383	4	2.29	2
#0	#5	#1	#0	#5	#5	#0	20.75%	27.37%	731,221	1	1,123,696	3,674,136	119,341	1,993,285	5	2.05	5

<표 3-5-24> ‘SIR 최대화’ 시의 상위 5개 투자안

최적 시나리오							2012년 에너지 절감량 (%)	2020년 에너지 절감량 (%)	초기투자비용		수선교체비용 (천원)	생애주기 에너지비용 (천원)	KCER (천원)	NPV		SIR	
leaf 1	leaf 2	leaf 3	leaf 4	leaf 5	leaf 6	leaf 7			금액(천원)	순위				비용(원)	순위	비율	순위
#6	#3	#4	#2	#6	#6	#2	22.36%	27.05%	1,298,598	3	652,315	4,898,211	148,311	3,110,115	3	2.59	1
#3	#6	#3	#2	#1	#7	#1	25.51%	28.85%	1,041,798	2	1,256,834	5,112,279	155,775	3,037,383	4	2.29	2
#7	#3	#7	#1	#5	#5	#1	29.33%	33.60%	1,320,319	4	1,857,284	6,695,713	210,135	3,823,698	1	2.17	3
#2	#4	#5	#4	#7	#7	#5	31.04%	35.02%	1,536,479	5	1,450,422	6,121,482	203,290	3,393,357	2	2.12	4
#0	#5	#1	#0	#5	#5	#0	20.75%	27.37%	731,221	1	1,123,696	3,674,136	119,341	1,993,285	5	2.05	5

제6절 신재생에너지 시스템 최적설계 모델

1. 개요

최근, 지구 온난화와 환경 문제가 이슈가 되고 있는 가운데, 정부는 온실가스 감축 노력의 일환으로 공공기관을 중심으로 한 신재생에너지 보급 사업을 추진하고 있다. 지속가능한 청정 에너지원인 신재생에너지에는 태양광, 태양열, 풍력, 수력, 지열, 바이오 등이 있는데 그 중에서도 태양광 에너지는 건물의 옥상 면적에 적용할 수 있으며, 가장 잠재력이 뛰어나다. 태양광 발전 시스템은 풍력 발전 시스템처럼 소음을 동반하지 않으며, 지열 시스템처럼 지형적인 문제로 시공이 어려운 장소가 있는 것이 아니기 때문에 공동주택을 포함한 건축물에 도입하기 가장 적합한 신재생에너지 시스템으로 꼽힌다.

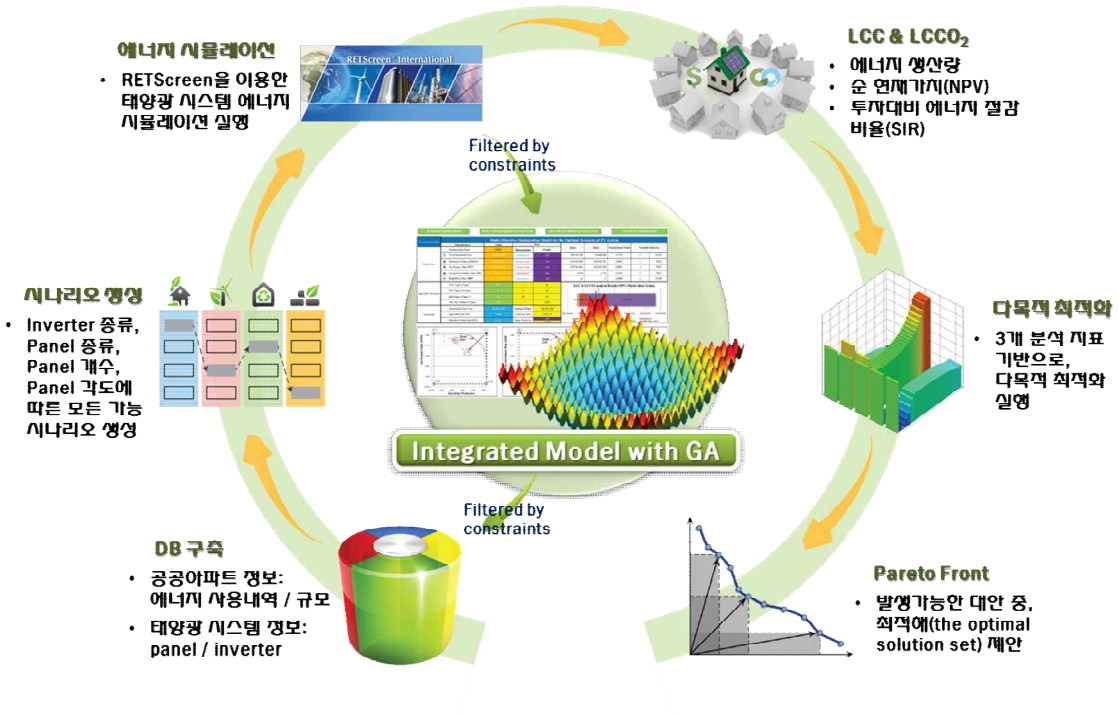
우리나라는 저탄소 녹색성장 정책에 따라 2020년까지 배출전망대비 온실가스 30% 감축(건축물 분야 26.9% 감축)을 목표로 설정하고 신재생에너지의 확대 보급을 위해 다양한 정책을 마련하고 있다. 정부의 신재생에너지 정책으로 신재생에너지 설비 융자지원 제도, 보급보조사업, 그린홈 100만호 보급 사업, 신재생에너지 지방보급사업, 신재생에너지 기반조성사업 등이 있는데, <표 3-6-01>에 나타난 그린홈 100만호 보급 사업의 에너지원별 주택 보급실적을 살펴보면 태양광 주택이 가장 큰 비중을 차지하는 것을 알 수 있다. 아울러 2011년 기준으로 서울시 공공기관에 설치된 신재생에너지 시스템은 태양광 153개, 태양열 106개, 풍력 1개, 지열 10개, 바이오에너지 4개, 연료전지 3개, 폐기물에너지 4개가 있는 것으로 보아, 건물에 적용할 수 있는 신재생에너지로 태양광 시스템이 월등한 잠재력을 가지고 있다고 볼 수 있다.

<표 3-6-01> 에너지원별 주택 보급실적

년도		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011.07	합계
주택수	태양광	310	907	5,964	7,317	9,142	14,895	26,360	11,961	76,856
	태양열	-	-	-	150	879	3,653	1,097	736	6,510
	지열	-	-	-	-	-	292	1,428	696	2,416

태양광 발전 시스템의 경우 태양광 패널과 인버터로 구성되는데, 이들의 종류가 매우 다양하고, 설치 위치 및 각도에 따라 그 효율이 크게 차이나기 때문에 설치에 앞서 다양한 분석을 통해 최적의 설계를 구현할 필요가 있다. 기존에는 신재생에너지 시스템 시뮬레이션 프로그램을 통해 에너지 생산량을 예측함으로써 최적설계를 시도하고 있으나, 비용 및 투자효과 등을 고려한 통합 의사결정 도구로서는 다소 미흡함이 있다. 따라서 전력 엑셀 프로그램을 기반으로 한 VBA(Visual Basic for Application)를 활용하여 생산량 편익(electricity production benefit), 순현재가치(NPV), 투자대비수익률(SIR) 3개의 지표를 대상으로 최적해를 도출할 수 있는 통합 최적설계 모델을 개발하였다.

이 절에서는 공동주택의 옥상에 설치할 수 있는 대표적인 요소기술인 태양광 발전 시스템에 대하여, 다양한 관점에서 다각적으로 평가할 수 있는 다목적 최적화 모델에 대해 소개하고자 한다. 본 연구의 프로세스는 [그림 3-4-01]에서 제시하고 있으며, 구체적인 내용은 다음과 같다.



[그림 3-6-01] 연구 프레임워크

첫째, 태양광 시스템을 적용하고자 하는 대상 시설물을 선정하고, 해당 시설물의 사용현황 정보를 조사한다. 또한, 태양광 시스템에 대한 시장조사를 통해, 태양광 패널 및 인버터에 대한 상세정보를 수집한다. 이러한 정보는 태양광 시스템의 도입을 위한 시나리오 생성의 기초자료로 활용된다.

둘째, 앞서 생성된 태양광 시스템의 시나리오에 대하여, 'RETScreen'이라는 신재생에너지 시뮬레이션 프로그램을 활용하여, 에너지 시뮬레이션을 실시한다. 이를 통해, 태양광 시스템 도입에 의한 월별 에너지 생산량을 산출한다.

셋째, 태양광 시스템의 시나리오별 생애주기비용(LCC)과 생애주기 이산화탄소 배출량($LCCO_2$) 분석을 실시한다. LCC 분석은 순현재가치(NPV) 방법론에 기초하며, $LCCO_2$ 분석은 에너지 사용에 따른 탄소배출량 정보를 활용한다.

넷째, 태양광 시스템에 대한 다각적인 평가를 위해, 다목적 최적화 모델을 구축한다. 본 연구에서는 3가지 변수를 지표로 설정하였다. ① 전력 생산량 편익 ② 절대적 지표로서 순현재가치(NPV) ③ 상대적 지표로서 투자대비수익률(SIR).

다섯째, 상기의 일련의 프로세스를 통합적으로 구축하여, 최적해를 도출할 수 있는 프로세스를 구축하였다. 크게 5개의 부문으로 구성되어 있으며, 엑셀 프로그램을 기반으로 한 VBA(Visual Basic for Application)를 활용하여 개발하였다.

2. 기초 자료 조사

본 연구에서 제안하는 태양광 시스템에 대한 다목적 최적화 모델을 개발하기 위하여, 3절에서 분석대상 시설물로 선정한 S 아파트에 대해 태양광 시스템을 적용하는 사례분석을 진행하였다. 태양광 시스템 도입을 위하여 사용할 수 있는 S 아파트의 옥상면적은 1,245m^2이다.

태양광 시스템은 태양전지의 재료에 따라, 결정질 실리콘과 비정질 실리콘으로 구분된다. 현재 국내의 태양광 시스템 시장에서는 결정질 실리콘 중, 단결정과 다결정 형태의 모듈이 가장 상용화되어 있다 [14].[30] 이러한 사전정보를 토대로, 시장조사를 통해 49건의 태양광 패널 및 19건의 태양광 인버터에 대한 상세정보를 수집하였다. 다음의 <표 3-6-02>와 <표 3-6-03>은 수집한 태양광 패널 및 인버터

30) California Energy Commission Energy Technology Development Division (2001). A guide to photovoltaic(PV) system design and installation, 1st edition., Endecon Engineering, California.

에 대한 상세 프로필을 표로 정리하여 제시한 것이다.

<표 3-6-02> 태양광 패널 프로필

연번	모델명	용량 (w)	모듈 효율 (%)	잡손실 (%)	크기(mm)		
					가로(B)	세로 (A)	두께
1	SM-42KSM	42	14.00%	5.00%	505	680	38
2	SM-48KSM	48	14.00%	5.00%	560	680	38
3	SM-63KSM	63	14.00%	5.00%	715	680	38
4	SM-70KSM	70	14.00%	5.00%	795	680	38
5	SM-83KSM	83	14.00%	5.00%	920	680	38
6	SM-165PA0	165	14.00%	3.00%	1587	790	38
7	SM-200PD0	200	14.00%	3.00%	1460	980	38
8	SM-200PJ0	200	14.00%	3.00%	1460	980	50
9	SM-200PK0	200	14.00%	3.00%	1460	980	50
10	SM-220PK0	220	14.05%	3.00%	980	1620	50
11	SM-224MHO	224	14.21%	3.00%	980	1620	50
12	SM-232MHO	232	14.75%	3.00%	980	1620	50
13	SM-240MHO	240	15.20%	3.00%	980	1620	50
14	HIS·M188SF	188	13.00%	3.00%	983	1476	35
15	HIS·M191SF	191	13.20%	3.00%	983	1476	35
16	HIS·M194SF	194	13.40%	3.00%	983	1476	35
17	HIS·M197SF	197	13.60%	3.00%	983	1476	35
18	HIS·M200SF	200	13.80%	3.00%	983	1476	35
19	HIS·M203SF	203	14.00%	3.00%	983	1476	35
20	HIS·M206SF	206	14.20%	3.00%	983	1476	35
21	HIS·M209SF	209	14.40%	3.00%	983	1476	35
22	HIS·M212SF	212	14.60%	3.00%	983	1476	35
23	HIS-S197SF	197	13.60%	3.00%	983	1476	35
24	HIS-S200SF	200	13.80%	3.00%	983	1476	35
25	HIS-S203SF	203	14.00%	3.00%	983	1476	35
26	HIS-S206SF	206	14.20%	3.00%	983	1476	35
27	HIS-S209SF	209	14.40%	3.00%	983	1476	35
28	HIS-S212SF	212	14.60%	3.00%	983	1476	35
29	HIS-S215SF	215	14.80%	3.00%	983	1476	35
30	HIS-S218SF	218	15.00%	3.00%	983	1476	35
31	HIS-S221SF	221	15.20%	3.00%	983	1476	35
32	HIS-M209SG	209	12.90%	3.00%	983	1645	35
33	HIS-M212SG	212	13.10%	3.00%	983	1645	35
34	HIS-M215SG	215	13.30%	3.00%	983	1645	35
35	HIS-M218SG	218	13.50%	3.00%	983	1645	35
36	HIS-M221SG	221	13.70%	3.00%	983	1645	35
37	HIS-M224SG	224	13.90%	3.00%	983	1645	35
38	HIS-M227SG	227	14.00%	3.00%	983	1645	35
39	HIS-M230SG	230	14.20%	3.00%	983	1645	35
40	HIS-M233SG	233	14.40%	3.00%	983	1645	35
41	HIS-S218SG	218	13.50%	3.00%	983	1645	35
42	HIS-S221SG	221	13.70%	3.00%	983	1645	35
43	HIS-S224SG	224	13.90%	3.00%	983	1645	35
44	HIS-S227SG	227	14.00%	3.00%	983	1645	35
45	HIS-S230SG	230	14.20%	3.00%	983	1645	35
46	HIS-S233SG	233	14.40%	3.00%	983	1645	35
47	HIS-S236SG	236	14.60%	3.00%	983	1645	35
48	HIS-S239SG	239	14.80%	3.00%	983	1645	35
49	HIS-S242SG	242	15.00%	3.00%	983	1645	35

<표 3-6-03> 태양광 인버터 프로필

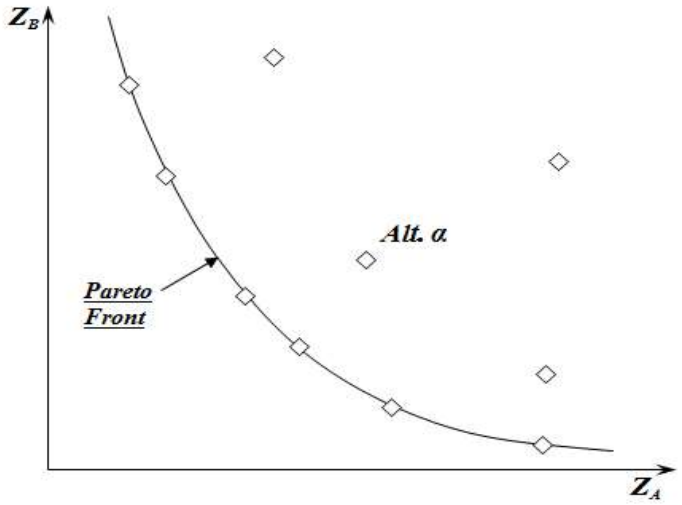
연번	모델명	모듈 효율 (%)	용량 (kw)	잡손실 (%)
1	HPC-012SL-K	94.60%	12.5	3.00%
2	HPC-030SL-K	94.60%	30	3.00%
3	HPC-050SL-K	95.80%	50	3.00%
4	HPC-100SL-K	96.90%	100	3.00%
5	HPC-250SL-K	96.90%	250	3.00%
6	HPC-500SL-K	98.00%	500	3.00%
7	PV-C310S/H	90.00%	10	3.00%
8	PV-C315S/H	90.00%	15	3.00%
9	PV-C320S/H	90.00%	20	3.00%
10	PV-C325S/H	90.00%	25	3.00%
11	PV-C330S/H	90.00%	30	3.00%
12	PV-C335S/H	92.00%	35	3.00%
13	PV-C340S/H	92.00%	40	3.00%
14	PV-C345S/H	92.00%	45	3.00%
15	PV-C350S/H	92.00%	50	3.00%
16	PV-C3100S	92.00%	100	3.00%
17	PV-C3200S	94.00%	200	3.00%
18	PV-C3250S	94.00%	250	3.00%
19	PV-C3250CE	94.00%	250	3.00%

3. 다목적 최적화 기법

가. Pareto front 개념에 입각한 최적해 집합

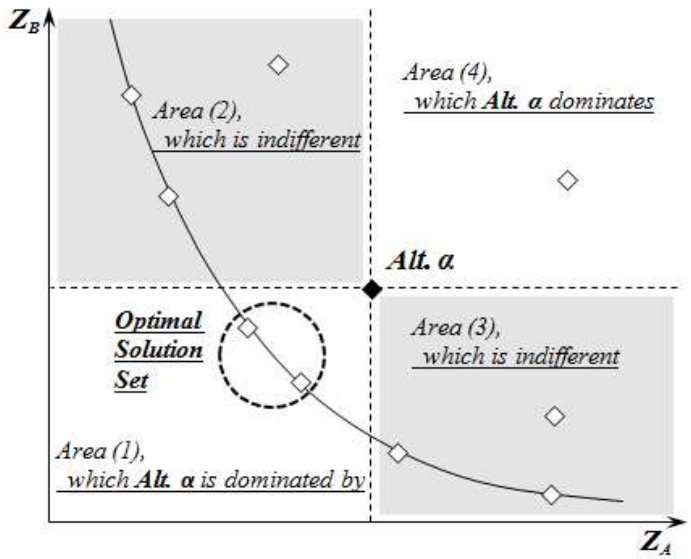
본 연구에서는 Pareto front와 최적해 집합 개념에 입각하여, 태양광 시스템에 대한 다각적인 평가를 위한 다목적 최적화 모델을 개발하였다. 선행 연구에 대한 사전적 검토를 통해 기존 연구의 한계점을 파악하였다. 이러한 분석결과를 토대로, 본 연구에서 최적화 모델 개발을 위해 고려한 사항은 다음과 같다.

- [그림 3-6-02], [그림 3-6-03]과 같이, Pareto front 개념에 입각하여 최적해 집합을 제공할 수 있는 모델을 개발한다.
- [그림 3-6-04]와 같이, 문제정의에 따라 쉽게 응용할 수 있는 확장이 개선된 모델로서, 두 개 이상의 최적화 목적함수를 다룰 수 있는 모델을 개발한다.
- 기존 연구에서 제시하는 복잡한 프로세스와 산식을 단순화한 모델을 개발한다.
- 유전자 알고리즘(GA)을 적용하여, 최적화 알고리즘을 구현한 모델을 개발한다.



[그림 3-6-02] 두 개의 목적함수에 대한 Pareto front

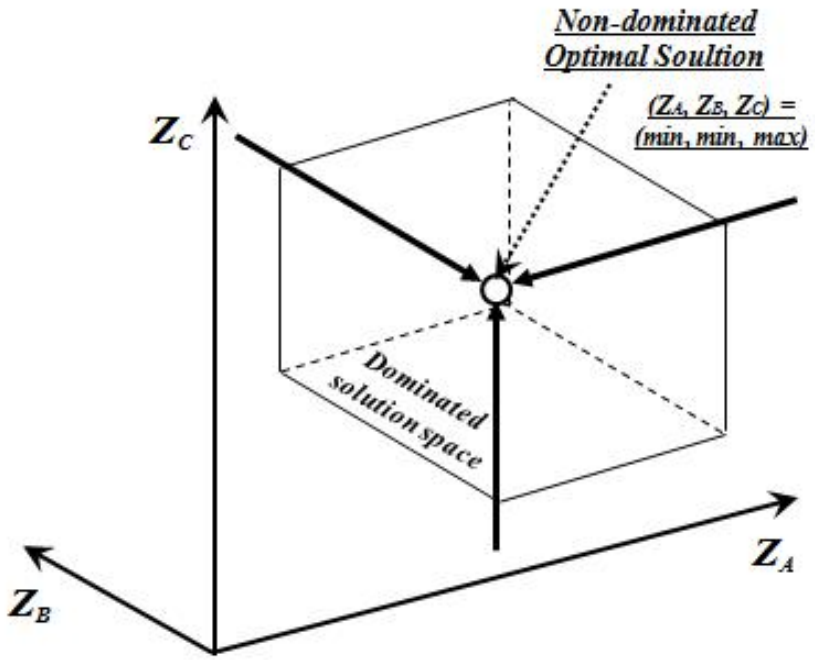
[그림 3-6-02]는 Pareto front의 개념을 설명하고 있다. Pareto front 위에 있는 어떠한 대안도 나머지 대안과 비교하여, Z_A, Z_B두개의 최적화 목적함수 관점에서 동시에 우월하지 않다. 즉, Pareto front는 서로 우열을 판단하기 어려운 대안들의 집합을 의미한다.



[그림 3-6-03] The non-dominated area와 최적해 집합

[그림 3-6-03]은 Alt. α를 기준으로 구획되는 Area (1) - Area (4)를 활용하여, the non-dominated area와 최적해 집합의 개념을 설명하고 있다. 첫째, Area (1)은 Alt. α와 비교하여, 2개의 최적화 목적함수 모두에 대해 우월한 영역을 의미한다. 그리고, Area (1) 안에 있는 서로 우열을 판단하기 어려운 대안들의 집합을 일컬어 최적해 집합이라고 한다. 둘째, Area (2)와 Area (3)은 Alt. α와 비교하여, 2개의 최적화 목적함수 중에 1개만 우월한, 무의미한 영역을 의미한다. 셋째, Area (4)는 Alt. α와 비교하여, 2개의 최적화 목적함수 모두에 대해 열악한 영역을 의미한다.

이러한 개념은 두 개 이상의 최적해 목적함수에서도 동일하게 적용될 수 있다. [그림 3-6-04]는 세 개의 최적화 목적함수에 대하여 개념적으로 제시하고 있다. 본 연구에서 제시하는 모델은 3차원 이상의 다차원으로 확장이 가능하다. 이러한 경우에는, 본 연구에서 제안하는 다목적 최적화 모델의 4가지 유형의 적합도 함수를 확장한 식을 응용하여 활용할 수 있다. 이는 뒤에서 자세히 소개하기로 한다.



[그림 3-6-04] 3차원 공간에서의 non-dominated optimal solution

나. 세부 내용 및 적합도 함수식

다목적 최적화 모델을 구축하기 위한 세부 내용은 다음과 같다.

첫째, 프로젝트 특성에 따라 정의된 최적화 목적함수의 값들을 표준화 하게 된다. 우선, [그림 3-6-05]에 나타난 극대점(Z^+)과 극소점(Z^-), 두 극점은 식 (3-6-01)과 (3-6-02)에 의해 산출할 수 있다.[31] 본 연구에서는 최적화 목적함수를 전력 생산량 편익, 절대적 지표로서의 순현재가치(NPV), 상대적 지표로서의 투자대비수익률(SIR) 등 3가지로 정의하고자 한다.

$$Z^+ = \left\{ Z_A^{\max}, Z_B^{\max}, Z_C^{\max} \right\} \quad (3\text{-}6\text{-}01)$$

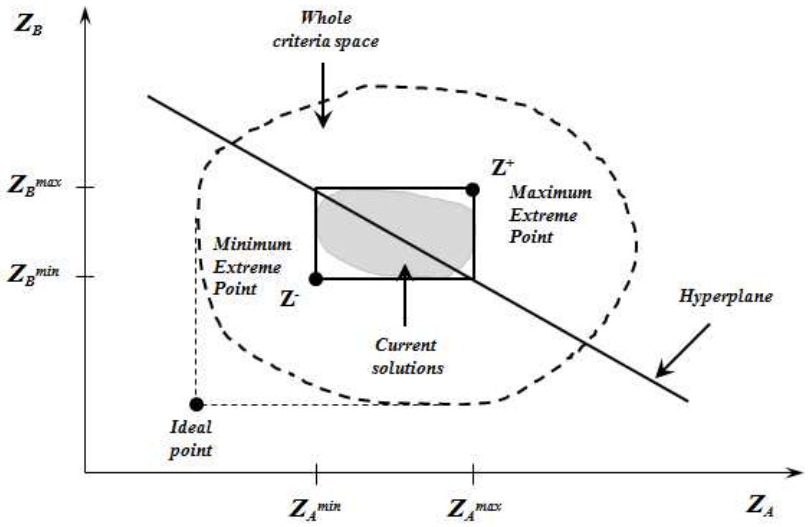
$$Z^- = \left\{ Z_A^{\min}, Z_B^{\min}, Z_C^{\min} \right\} \quad (3\text{-}6\text{-}02)$$

Z^+: 극대점

Z^-: 극소점

Z_A^{max}, Z_B^{max}, Z_C^{max}: 최적화 목적함수 A, B, C 각각의 최댓값

Z_A^{min}, Z_B^{min}, Z_C^{min}: 최적화 목적함수 A, B, C 각각의 최솟값



[그림 3-6-05] 두 극점과 초평면(hyperplane)

[그림 3-6-05]에서 음영으로 표시된 whole criteria space에 존재하는 모든 좌표는 식 (3-6-03), (3-6-04), (3-6-05)에 의해 표준화할 수 있다.

$$S_A = \frac{Z_A - Z_A^{\min}}{Z_A^{\max} - Z_A^{\min}} \quad (3\text{-}6\text{-}03)$$

31) Gen, M., Cheng, R. (2000). Genetic algorithms & engineering optimization, New York: Wiley-Interscience.

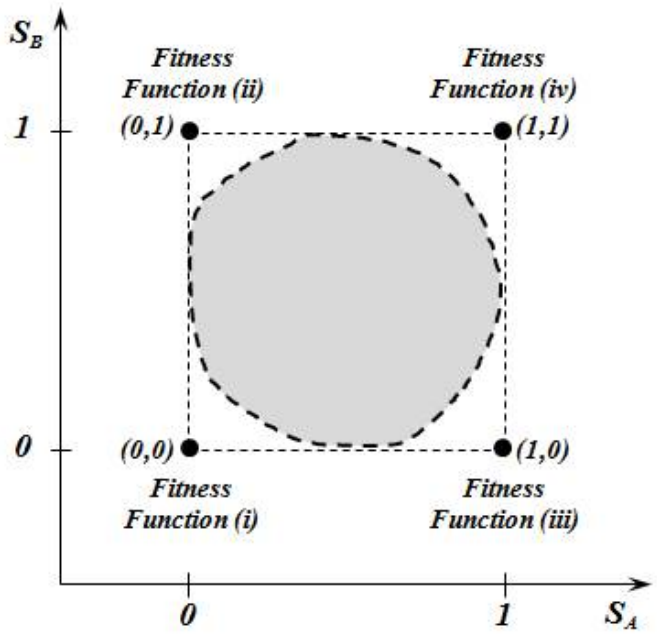
$$S_B = \frac{Z_B - Z_B^{\min}}{Z_B^{\max} - Z_B^{\min}} \quad (3\text{-}6\text{-}04)$$

$$S_C = \frac{Z_C - Z_C^{\min}}{Z_C^{\max} - Z_C^{\min}} \quad (3\text{-}6\text{-}05)$$

S_A: Z_A의 표준화된 값

S_B: Z_B의 표준화된 값

S_C: Z_C의 표준화된 값



[그림 3-6-06] 네 종류의 적합도 함수 개념

이러한 표준화 과정을 통해 원래 수치는 [그림 3-6-06]과 같이 0과 1사이의 표준화된 수치로 변환된다. 이를 통해 다음과 같은 다양한 효과를 얻을 수 있다.

① 각각의 지표의 단위가 불일치가 최종 결과에 미치는 영향을 사전에 제거할 수 있으며, 이를 통해 순수한 의미의 가중치를 적용할 수 있게 된다.

② Gen and Cheng(2000)의 연구에서는 zero division scenario에 대한 문제를 해결하지 못했고, Zheng 외 2인(2004)의 연구[32]에서는 복잡한 기준의

32) Zheng, D., Ng, S., Kumaraswamy, M. (2004). Applying a genetic algorithm-based multiobjective approach for time-cost optimization, Journal of Construction Engineering and Management, 130(2), 168-176.

산식 및 임의의 숫자 τ (0과 1 사이)를 적용함으로써, 이러한 문제를 해결하고자 하였다. 반면, 본 연구에서는 최적화 목적함수에 대한 표준화를 통해 이러한 문제를 간단하게 해결하였다.

③ 최적화 프로세스 및 산식을 단순화함으로써, 다양한 문제에 쉽게 응용할 수 있는 확장성을 확보하였다.

④ 기존 연구에서는 2차원의 다목적 최적화 문제를 다루었던 반면, 본 연구에서 제안하는 모델은 3차원 이상 다차원의 다목적 최적화 문제에 쉽게 적용할 수 있다.

한편, 각각의 최적화 목적함수에 대한 중요도 평가를 통해 가중치를 적용할 수 있다. 본 연구에서는 가중 유클리드 거리(weighted euclidean distance)를 적용하였으며, 이는 식 (3-6-06)과 같다.

$$wed_{x,b} = \sqrt{\sum_{i-1}^{n} w_i \times (x_i - b_i)^2}, 0 < w_i < 1 \text{ and } \sum_{i=}^{n} w_i = 1 \qquad (3\text{-}6\text{-}06)$$

$wed_{x,b}$: x와 b 사이의 가중 유클리드 거리(weighted euclidean distance)

x_i: 특정 데이터의 i번째 측정값

b_i: x_i값의 해당 기준값 (0 또는 1)

w_i: i번째 측정값의 가중치

가중치를 산정하기 위한 방법은 전문가 면담을 통한 AHP 기법, 최종의사결정자의 의지, 통계적인 기법 등 매우 다양하게 존재한다. 본 연구에서는 가중치에 대해서는 다루지 않는다.

[그림 3-6-06]에서 제시하는 바와 같이, 본 연구에서 제안하는 다목적 최적화 모델은 식 (3-6-07)~(3-6-10)과 같은 4가지 유형의 적합도 함수로 구분할 수 있다. 프로젝트 특성에 따라 정의된 최적화 목적함수의 성격에 따라, 적합한 적합도 함수를 선정할 수 있다. 각각의 경우에 Fitness Function이 최솟값을 갖게 될 때 최적화 프로세스가 종료된다.

A의 최적화 목적함수 값과 B의 최적화 목적함수 값을 모두 최소화하는 경우의 적합도 함수식은 식 (3-6-07)과 같다.

$$Fitness\ Function(i) = \sqrt{W_A \times (S_A - 0)^2 + W_B \times (S_B - 0)^2} \qquad (3\text{-}6\text{-}07)$$

W_A: A의 최적화 목적함수 값을 최소화하는 최종의사결정자가 규정하는 상대 가중치

W_B: B의 최적화 목적함수 값을 최소화하는 최종의사결정자가 규정하는 상대 가중치

예를 들면, A와 B의 최적화 목적함수가 각각 초기투자비와 손익분기점(BEP)인 경우, 두 변수 모두 최솟값에 근접할수록 최적화되는 것으로 판단할 수 있다.

A의 최적화 목적함수 값을 최소화하고 B의 최적화 목적함수 값을 최대화하는 경우의 적합도 함수식은 식 (3-6-08)과 같다.

$$Fitness\ Function(ii) = \sqrt{W_A \times (S_A - 0)^2 + W_B \times (1 - S_B)^2} \qquad (3\text{-}6\text{-}08)$$

예를 들면, A와 B의 최적화 목적함수가 각각 초기투자비와 전력 생산량 편익인 경우, A의 최적화 목적함수(초기투자비)는 최솟값에 근접할수록, 그리고 B의 최적화 목적함수(전력 생산량 편익)는 최댓값에 근접할수록 최적화되는 것으로 판단할 수 있다.

A의 최적화 목적함수 값을 최대화하고 B의 최적화 목적함수 값을 최소화하는 경우의 적합도 함수식은 식 (3-6-09)와 같다.

$$Fitness\ Function(iii) = \sqrt{W_A \times (1 - S_A)^2 + W_B \times (S_B - 0)^2} \qquad (3\text{-}6\text{-}09)$$

예를 들면, A와 B의 최적화 목적함수가 각각 투자대비수익률(SIR)과 초기투자비인 경우, A의 최적화 목적함수(SIR)는 최댓값에 근접할수록, 그리고 B의 최적화 목적함수(초기투자비)는 최솟값에 근접할수록 최적화되는 것으로 판단할 수 있다.

A의 최적화 목적함수 값과 B의 최적화 목적함수 값을 모두 최대화하는 경우의 적합도 함수식은 식 (3-6-10)과 같다.

$$Fitness\ Function(iv) = \sqrt{W_A \times (1 - S_A)^2 + W_B \times (1 - S_B)^2} \qquad (3\text{-}6\text{-}10)$$

예를 들면, A와 B의 최적화 목적함수가 각각 순현재가치(NPV)와 투자대비수익률(SIR)인 경우, 두 변수 모두 최댓값에 근접할수록 최적화되는 것으로 판단할 수 있다.

변수가 3개인 경우에도 변수가 2개인 위 4가지의 경우와 마찬가지로 함수식을 생성할 수 있다. 예를 들어 A와 B의 최적화 목적함수 값을 최소화하고 C의 최적화 목적함수 값을 최대화하는 경우의 적합도 함수식은 식 (3-6-11)과 같다.

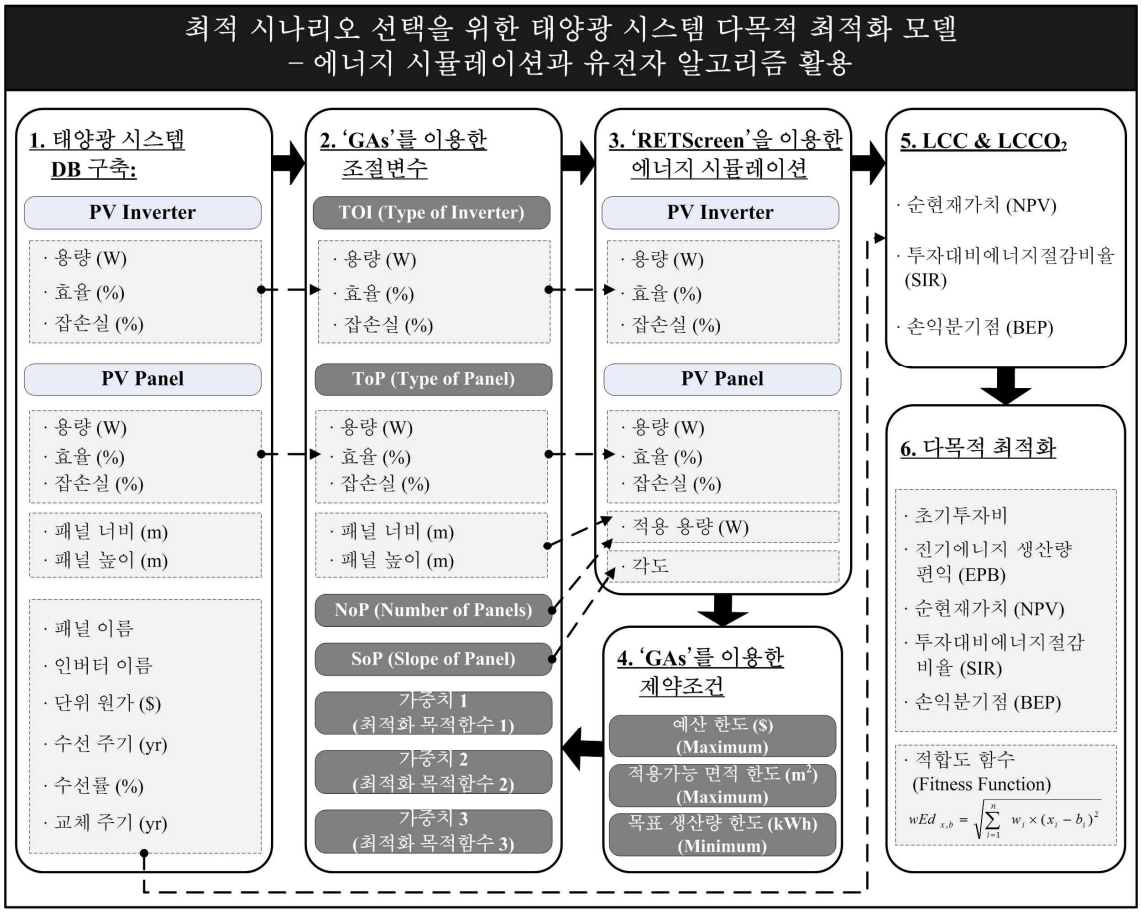
$$Fitness\ Function(v) = \sqrt{W_A \times (S_A - 0)^2 + W_B \times (S_B - 0)^2 + W_C \times (1 - S_C)^2} \qquad (3\text{-}6\text{-}11)$$

만일 A, B, C의 최적화 목적함수가 각각 초기투자비, 손익분기점(BEP), 전력 생산량 편익인 경우, A(초기투자비)와 B(BEP)의 최적화 목적함수는 최솟값에 근접할수록, 그리고 C의 최적화 목적함수(전력 생산량 편익)는 최댓값에 근접할수록 최적화되는 것으로 판단할 수 있다.

4. 태양광 시스템 최적설계 모델 개발

가. 태양광 시스템 최적설계 모델의 프레임워크

본 연구에서는 태양광 시스템의 도입 과정에서 발생 가능한 모든 시나리오를 분석하여 최적의 시나리오를 도출할 수 있는 태양광 시스템 최적설계 모델을 제안한다. 본 연구에서 제안하는 모델은 [그림 3-6-07]과 같은 프로세스로 구성되었다.



[그림 3-6-07] 모델 프레임워크

기본적으로 태양광 패널과 인버터에 대한 정보를 저장하기 위한 하위 모듈(sub-module)을 구축하였다. 이 정보는 'RETScreen'이라는 신재생에너지 시뮬레이션 프로그램의 입력정보로 활용되며, 결과적으로 전력 생산량을 산출하게 된다. 이 결과는 LCC와 $LCCO_2$ 분석의 입력정보로 활용되며, 결과적으로 순현재가치(NPV), 투자대비수익률(SIR), 손익분기점(BEP) 등의 지표를 산출하게 된다. 또한, 이 결과는 최적화 모델의 입력정보로 활용되며, 최종적으로 적합도 함수를 만족시키는 최적 설계안이 도출된다.

본 연구에서는 이러한 일련의 프로세스를 통합모델로서 개발하기 위하여, 유전자 알고리즘(GA)을 활용하였다. 이러한 통합모델 상에서, 태양광 시스템의 발생 가능한 시나리오를 자동 생성시키기 위한 하위 모듈과 제한요인에 포함되는 시나리오는 배제시키기 위한 하위 모듈을 구축하였다. 따라서 의사결정자는 간단한 초기설정만으로도 최종결과물을 쉽고 빠르게 도출할 수 있다. 또한, 시뮬레이션 과정에서

발생한 모든 시나리오 및 그 결과에 대한 저장 및 출력을 위한 하위 모듈을 구축하였고, 최적 설계안을 저장 및 출력하기 위한 하위 모듈도 구축하였다. 이러한 최종결과물은 그래프 및 표의 형태로 제시되기 때문에, 최적화 프로세스 및 그 결과에 대한 신뢰성 및 정밀성을 향상시킬 수 있도록 하였다.

유전자 알고리즘에서 목표변수(target variables), 조절변수(adjustable variables), 제약조건(constraints)은 다음과 같은 변수로 구성하여, 의사결정자의 판단에 따라, 설정할 수 있도록 하였다.

① 목표변수 : 초기투자비, 전력 생산량 편익, 순현재가치(NPV), 투자대비수익률(SIR), 손익분기점(BEP).

② 조절변수 : 태양광 패널 종류(ToP), 태양광 인버터 종류(ToI), 태양광 패널 갯수(NoP), 태양광 패널 각도(SoP), 최적화 목적함수1(EPB) 가중치1, 최적화 목적함수2(NPV) 가중치2, 최적화 목적함수3(SIR) 가중치3.

③ 제약조건: 예산 한도, 적용가능 면적 한도, 목표 전력 생산량 한도

나. 유전자 알고리즘의 최적화 매개변수

유전자 알고리즘은 상기의 일련의 프로세스 상에서 적합도 함수에 대한 최적해를 도출하기 위한 탐색 알고리즘이다. 유전자 알고리즘에서, 최적화 매개변수 집단을 염색체로 정의한다. 이러한 염색체는 여러 개의 유전자로 구성되는데, 각각의 유전자는 각각의 최적화 매개변수로 정의된다.[33] 본 연구에서는, [그림 3-6-08]에서 제시하는 바와 같이, 7개의 유전자가 염색체를 구성한다.

① 태양광 패널 종류(ToP)

② 태양광 인버터 종류(ToI)

③ 태양광 패널 개수(NoP)

④ 태양광 패널 각도(SoP)

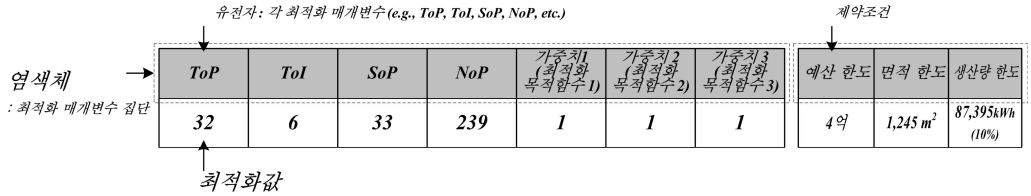
33) Konak, A., Coit, D., Smith, A. (2006). Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial, Reliability Engineering & System Safety, 2006, 91(9), 992-1007.

⑤ 최적화 목적함수1 가중치1

⑥ 최적화 목적함수2 가중치2

⑦ 최적화 목적함수3 가중치3

본 연구에서는 적합도 함수에 포함되는 최적화 목적함수에 대하여, 가중치를 설정할 수 있도록 하였다. 한편, 제약조건을 설정함으로써, 발생 가능한 시나리오 중, 배제되어야 하는 시나리오를 선별하게 된다. [그림 3-6-08]에서 제시하는 바와 같이, 예산 한도, 적용가능 면적 한, 목표 전력 생산량 한도 등 3개의 제약조건을 설정하였다.



[그림 3-6-08] 유전자 알고리즘의 염색체 개념

다. 태양광 시스템 최적설계 모델의 시스템화

본 연구에서 개발하고자 하는 통합모델에서는 여러 프로세스가 복합적으로 연계되어 있고, 또한, 여러 프로그램들이 동시에 구동되어야 한다. 신재생에너지 시뮬레이션 프로그램인 'RETScreen', 유전자 알고리즘 도구인 'Evolver', LCC 및 $LCCO_2$ 분석도구, 다목적 최적화 등의 프로세스 및 그에 따른 프로그램이 복합적으로 적용되고 있다. 따라서, 이러한 프로세스를 통합시킴으로써, 본 연구에서 제안된 모델에 대한 사용성, 신뢰성, 정밀성 등을 향상시켜야 한다. 이를 위해 엑셀 프로그램을 기반으로 한 VBA(Visual Basic for Application)를 활용하였다.

본 연구의 제안모델의 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)는 [그림 3-6-09]와 같다.

① Part (1) : 다목적 최적화에 포함시킬 목표 변수를 선정하기 위하여, 체크박스를 선택한다. 의사결정자의 선택에 따라, 목표 변수의 중요도를 가중치로 정의할 수 있다.

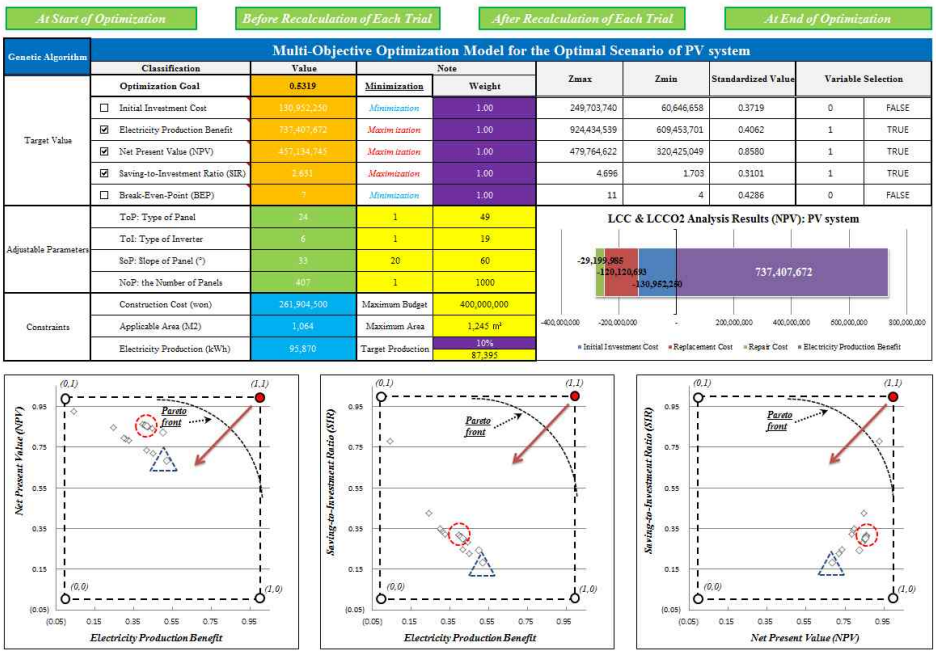
② Part (2) : 태양광 시스템의 발생 가능한 시나리오를 생성시키기 위하여, 조절변수를 정의할 수 있다. ToP, ToI는 데이터 베이스로 부터의 정보호출을 위한 변수이고, SoP, NoP는 태양광 시스템 설치와 관련하여 결정해야 할 변수이다.

③ Part (3): 태양광 시스템의 발생 가능한 시나리오 중에서, 해당 프로젝트에서 요구되는 제약조건을 만족시키지 못하는 시나리오는 배제시킬 수 있어야 한다. 예산 한도, 적용가능 면적 한도, 목표 전력 생산량 한도의 3가지 변수로 구성된다.

④ Part (4) : 다목적 최적화를 구동시키기 위해서는, 각각의 목표변수의 수치를 0과 1사이의 수치로 표준화시킬 필요가 있다. 식 (3-6-03)~(3-6-05)를 활용하게 된다.

⑤ Part (5) : LCC 및 $LCCO_2$ 분석 결과로서 도출된 그래프이다. 초기투자비, 교체비용, 수선비용, 전력 생산량 편익을 제시하고 있다. 사용자의 요구에 따라 다양한 양식의 그래프 또는 표를 생성시킬 수 있다.

⑥ Part (6) : 다목적 최적화 결과로서 도출된 그래프이다. Part (1)에서 목표변수로 선정된 목적함수들 간의 관계를 2차원 좌표의 그래프로 제시하고 있다. 3차원 이상의 목적함수로 구성된 적합도 함수를 2차원 좌표로 제시함으로써, 의사결정자의 이해도를 향상시킬 수 있다.



[그림 3-6-09] 개발 모델의 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)

5. 사례분석을 통한 모델 검증

가. 가정사항

본 연구에서는 태양광 시스템을 도입함에 있어서, 다양한 관점에서 다각적으로 평가할 수 있는 다목적 최적화 모델을 개발하고자 하였다. 이를 위해, 연구진은 여러 프로세스를 복합적으로 연계시키고, 다양한 소프트웨어 프로그램을 동시에 구동시키기 위하여, 통합모델을 개발하였다. 이렇게 개발된 통합모델의 성능을 평가하기 위하여, 다음과 같은 가정사항에 기초하여, 결과를 분석하였다.

① 태양광 시스템 도입에 따른 전체 건설공사비는 4억원을 상한기준으로 수립하였고, 정부지원금은 '신재생에너지 설치의무화사업'에서 제시하는 "전체 건설공사비의 50%"로 수립하였다. 다시 말해서, 실제 소요되는 건설공사비는 2.4억원을 상한기준으로 수립하였다.

② 사례분석를 위한 대상시설은 S 아파트로 선정하였다. S 아파트의 옥상면적은 1,245㎡으로, 이는 태양광 시스템의 적용가능 면적의 상한기준으로 수립하였다.

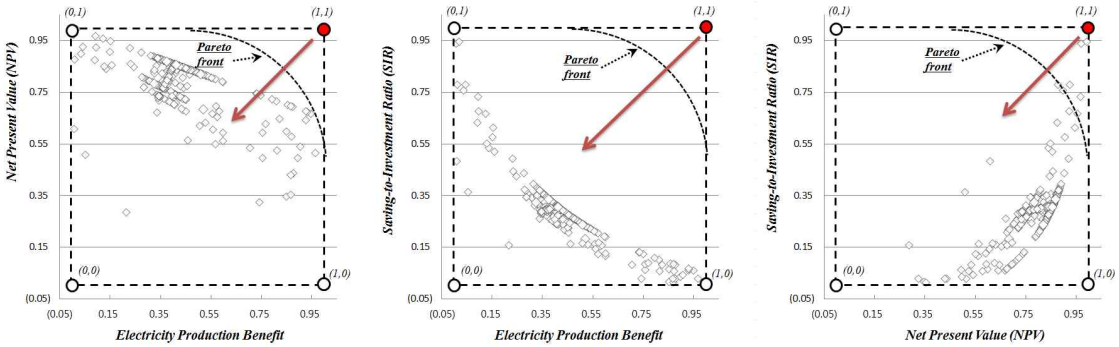
③ 태양광 시스템 도입에 의한 전력 생산량의 최저기준은 '신재생에너지 설치의무화사업'에서 제시하는 전체 에너지 사용량(873,946kWh)의 10%를 대체하는 것으로 수립하였다.

④ 태양광 시스템의 적용 시나리오 수립을 위한 기본자료로서의 태양광 패널 및 인버터의 종류는 본 연구진에서 시장조사를 통해 수집한 자료만을 대상으로 하였다 (각각 49개, 19개).

⑤ 적합도 함수에 적용시킬 최적화 목적함수는 전력 생산량 편익(에너지 사용량 대체효과에 따른 CO_2 감축량에 대해서는 온실가스 감축실적 정부구매단가를 적용한 환산가격을 편익으로 포함), 순현재가치(NPV)(LCC 및 $LCCO_2$ 분석 기반), 투자대비수익률(SIR)(LCC 및 $LCCO_2$ 분석 기반) 등 3가지로 설정하였다.

나. 상관관계(Trade-off) 분석

다목적 최적화의 근본적인 목적을 달성하기 위해서는 최적화 목적함수들 간에 상관관계가 성립하는 것이 적합하다. 이에 따라, 최적화 결과를 분석하기에 앞서, 적합도 함수에 포함된 3가지 최적화 목적함수들 간의 상관관계를 분석하였다. [그림 3-6-10]에서 제시하는 바와 같이, 전력 생산량 편익과 순현재가치(NPV)는 반비례의 추세를 보이고 있다. 또한, 전력 생산량 편익과 투자대비수익률(SIR) 역시 전형적인 반비례의 추세를 보이고 있다. 마지막으로, 순현재가치(NPV)과 투자대비수익률(SIR)은 지수적 비례관계를 보이고 있다. 앞의 두 관계는 상관관계로 판단할 수 있으나, 마지막의 NPV와 SIR의 관계는 상관관계라고 보기 어렵다. 하지만, LCC 및 $LCCO_2$ 분석결과를 제시함에 있어서, NPV는 절대적 지표, SIR는 상대적 지표로서의 의미를 갖는다. 따라서, 상기의 3가지 최적화 목적함수를 적합도 함수에 포함시키는 것은 타당하다고 판단할 수 있다.



[그림 3-6-10] 발생 가능한 모든 시나리오의 분포 그래프(5,000 시나리오)

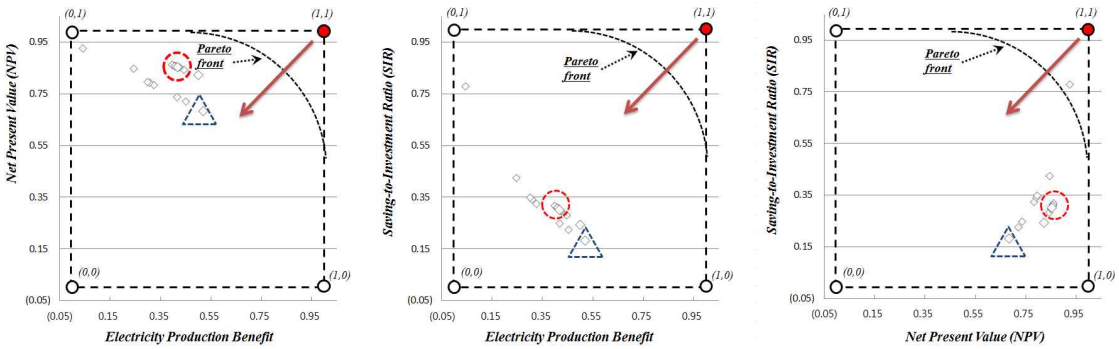
다. 최적화 결과

적합도 함수에 포함된 3가지 최적화 목적함수는 모두 최대값에 근접할수록 최적화되는 것으로 판단할 수 있다. 상기의 식 (3-6-11)을 응용하면, 다음의 식 (3-6-12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Fitness\ Function(v) = \sqrt{W_A \times (1 - S_A)^2 + W_B \times (1 - S_B)^2 + W_C \times (1 - S_C)^2} \qquad (3\text{-}6\text{-}12)$$

* A, B, C의 최적화 목적함수는 각각 전력 생산량 편익, 순현재가치(NPV), 투자대비수익률(SIR)을 의미함.

[그림 3-6-11]은 적합도 함수의 최적화 결과를 제시하고 있다. [그림 3-6-10]에서 발생 가능한 5,000가지의 시나리오를 좌표상에 표시한 것과 비교하여, [그림 3-6-11]은 본 연구에서 개발한 통합모델에서 도출한 18가지의 최적 시나리오를 제시한 것이다. [그림 3-6-10]과 [그림 3-6-11]에 대한 단순 비교를 통해서, 본 연구에서 개발한 통합모델의 신뢰성 및 정밀성이 확보되었음을 알 수 있다. [그림 3-6-11]에서 제시하고 있는 18가지 최적 시나리오 중, 1순위 시나리오(붉은색 원으로 표시된 부분)와 18순위 시나리오(파랑색 삼각형으로 표시된 부분)의 좌표를 분석함으로써, 본 연구에서 개발한 통합모델의 신뢰성 및 정밀성을 더 확실하게 검증할 수 있다. 3개의 그래프 상에서, 붉은색 원으로 표기한 1순위 시나리오는 18순위 시나리오와 비교하여, 상대적으로 더 가까운 좌표상에 위치하고 있음을 확인할 수 있다. 구체적인 결과는 <표 3-6-04>에서 제시하고 있다.



[그림 3-6-11] 최적 시나리오의 분포 그래프

<표 3-6-04> 최적화 결과

순위	ToP	ToI	SoP	NoP	적합도 함수	최적화 목적함수1	최적화 목적함수 2	최적화 목적함수 3
1	24	6	33	407	0.5319	0.4062	0.8580	0.3101
2	24	6	33	408	0.5319	0.4081	0.8573	0.3087
3	24	6	32	410	0.5319	0.4118	0.8560	0.3058
4	24	6	32	402	0.5319	0.3969	0.8612	0.3175
5	24	6	32	405	0.5319	0.4025	0.8592	0.3131
6	22	6	32	392	0.5319	0.4221	0.8524	0.2979
7	24	6	32	417	0.5319	0.4248	0.8514	0.2958
8	24	6	31	413	0.5320	0.4172	0.8538	0.3014
9	23	6	29	434	0.5326	0.4434	0.8428	0.2813
10	24	6	29	458	0.5334	0.5000	0.8229	0.2435
11	12	19	24	289	0.5561	0.2435	0.8464	0.4241
12	28	12	31	351	0.5649	0.2989	0.7968	0.3486
13	27	13	31	360	0.5651	0.3061	0.7932	0.3414
14	27	13	31	370	0.5657	0.3243	0.7840	0.3240
15	29	13	30	409	0.5700	0.4165	0.7370	0.2484
16	47	14	29	190	0.5701	0.0408	0.9255	0.7777
17	28	13	30	433	0.5719	0.4501	0.7201	0.2252
18	30	14	29	458	0.5770	0.5198	0.6839	0.1825

한편, 본 연구에서 개발한 통합모델은 발생 가능한 5,000가지의 시나리오를 분석하고, 최종적으로 28가지의 최적 시나리오를 도출하는데, 약 12초가 소요되었다 (컴퓨터는 [3.8 GHz IntelR CoreTM i7-2600 processor with 3.48 GB (16 GB available) of RAM] 사양을 활용하였다). 따라서, 최적화 프로세스에 대한 소요시간 관점에서 효율성을 확보한 것으로 판단된다.

라. LCC 및 $LCCO_2$ 분석 결과

<표 3-6-04> 에서 제시하고 있는 1순위 최적 시나리오를 적용하였을 경우, LCC 및 $LCCO_2$ 분석 결과는 <표 3-6-05>와 같다. 생애주기에 걸친 전력 생산량 편익은 737,407,672원으로, NPV_{40}은 457,134,745원으로, SIR_{40}은 2.631로 나타났다. 3가지 최적화 목적함수 모두 우수한 결과로 나타났다. 한편, BEP는 7년으로서, 초기투자

비를 7년만에 회수할 수 있는 것으로 분석되었다.

<표 3-6-05> LCC 및 $LCCO_2$ 분석 결과

구분	설명
초기투자비	130,952,250
정부 보조금	130,952,250
전력 생산량 편익	737,407,672
순현재가치 (NPV_{40})	457,134,745
투자대비수익률 (SIR_{40})	2.631
손익분기점 (BEP)	7
적용가능 면적 (m^2)	1,064 (< 1.245)
전력 생산량 (kWh)	95,870 (> 87,395)

6. 소결

이 절에서는 태양광 시스템에 대하여, 다양한 관점에서 다각적으로 평가할 수 있는 다목적 최적화 모델을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 통합모델은 발생 가능한 5,000가지의 시나리오를 분석하고, 최종적으로 27가지의 최적 시나리오를 도출하였다. 그리고 이러한 분석에 소요되는 시간은 약 12초로 나타났다. 따라서, 최적화 프로세스에 대한 효과 및 효율을 동시에 확보한 것으로 판단된다.

본 연구는 한계점을 갖고 있으며, 본 연구진은 다음과 같은 향후 연구를 통해 이를 해결하고자 한다.

① 태양광 패널 및 인버터에 대한 광범위한 시장조사를 통해, 포괄적인 DB 구축을 통해, 최적화 프로세스를 재검증해 보고자 한다.

② 옥상녹화와 같이 옥상에 적용 가능한 에너지 절감 방안을 동시에 고려한 분석을 수행하고자 한다.

③ 지열에너지 시스템과 같이, 공공아파트에 적용 가능한 신재생에너지를 동시에 고려한 분석을 수행하고자 한다.

본 연구의 결과물은 태양광 시스템 적용 시, 건축적 특성(건축물 위치, 인접 건물 또는 조경과의 관계, 옥상면적, 에너지 사용 특성) 및 지역적 특성(기후적 조건 또는 태양광 제품 유형)을 고려하여, 태양광 시스템 도입을 위한 최적 시나리오 선정에 활용될 수 있다.

제7절 친환경 건축정책 및 인센티브 방안

1. 개요

본 연구의 목적은 공동 주택의 유지관리 단계에서의 시설물 에너지 효율 개선을 통한 에너지 절감 및 CO_2 배출량의 감축 방안을 제시하는 것이다.

공동 주택에서 발생하는 에너지 소비는 궁극적으로 최종 사용자, 다시 말해 공동 주택 거주자의 이용에 따라 좌우된다. 따라서 에너지 소비를 줄이고 이를 통하여 온실가스 배출량을 감축시키기 위해서는 거주자들의 자발적인 노력이 가장 중요하다고 할 수 있다. 정책적인 측면에서 거주자들에게 에너지 절약을 장려하는 방안은 크게 아래와 같이 나눌 수 있다.

① 교육 및 홍보를 통한 거주자들의 에너지 의식 개선

② 정책적 규제 및 보상을 통한 거주자의 참여 유도

이 절에서는 위의 두 가지 방안 중, 두 번째에 해당하는 정책적인 방안에 관하여 접근하였다. 이를 위하여 우리나라와 선진국의 에너지 성능 개선 사업 정책에 관하여 조사하였고, 최종적으로 우리나라의 정책과 제도가 추구해야 할 방향을 제시하고자 하였다.

2. 친환경 건축정책의 특징

에너지 절감과 그로 인한 온실가스 배출량의 감축은 전 세계적인 차원의 시급한 과제이며, 이를 실현하기 위한 노력이 진행 중이다. 국내 및 미국, 유럽 등의 선진국에서는 위의 목표를 조속히 실현하기 위하여 국가적인 차원의 정책 및 제도(이하 친환경 정책)를 수립하였고, 지속적인 갱신을 통하여 문제점을 해결함으로써 제도의 점진적인 발전을 이루고 있다.

친환경 건축정책에서는 공통적으로 발견할 수 있는 특징이 있다. 보통의 정책이

나 제도의 경우, 그것을 준행하지 않았을 경우의 페널티가 부여되는 것이 일반적이나, 친환경 정책의 경우는 준행하였을 경우의 인센티브와 준행하지 않았을 경우의 페널티가 동시에 부여되는 것이 바로 그 특징이라고 할 수 있다.[34)]

건축물의 에너지 성능 개선을 위한 국내 및 세계의 친환경 정책은 각 국가의 현황을 반영하여 제정되지만, 위에 언급한 특징을 바탕으로 기본적으로는 유사한 프레임을 따르고 있다. 따라서 이러한 특징을 기반으로, 국내 및 선진국의 친환경 정책, 그 중에서도 건축물의 에너지 성능 개선과 관련된 친환경 정책에 대하여 비교/조사하고, 이를 통해 국내 친환경 정책의 개선점을 도출하는 것은 우리나라의 친환경 정책 발전에 크게 기여할 수 있을 것이다.

3. 국내의 친환경 건축정책

가. 건물 에너지 성능 개선을 위한 국내 친환경 정책 현황

본 절에서는 국내의 친환경 정책에 대하여 조사하고, 현황 및 문제점에 관하여 파악하였다.

현재 국내에서는 공동 주택의 에너지 성능 개선을 위한 제도[35)]로서 여러 가지가 시행되고 있는데, 그 중 대표적인 것으로 (i) 친환경 건축물 인증 제도, (ii) 주택성능 등급 표시 제도, (iii) 건물 에너지 효율 등급 제도, (iv) 친환경 주택의 건설 기준 및 성능 이 있다. 이에 대한 내용을 간략히 정리하여 <표 3-7-01>에 제시하였다.

34) 조한(2006). 국내외 친환경건축물 인증제도 실내 환경 관련 부문 비교 분석 및 개선안 연구. 한국실내디자인학회논문집. 16(4). 21-28.

35) 정지나 외 3인 (2010). 국내 공동주택 관련 인증제도의 세부 항목에 대한 비교 분석에 관한 연구, 한국건설기술연구원. 한국태양에너지 학회 논문집. 30(3). 116-123.

<표 3-7-01> 국내의 건축물 관련 친환경 정책

	친환경건축물 인증제도	주택성능등급 표시제도	건물에너지 효율등급제도	친환경주택의 건설기준 및 성능
시행시기	2002.01(통합) 2010.05(전면개정 / 7월 시행)	2006.01(의무화) 2009.12(일부개정)	2001.01(주거) 2010.01(전면개정 및 비주거포함)	2009.10
인증대상	-공동주택 -복합건축물 -업무용건물 -학교시설 -판매시설 -숙박시설 -그 밖의 건축물	-신축공동주택	-18세대 이상의 신축 공동주택 -신축 업무용건물	-20세대 이상의 신축공동주택
인증등급	1~4 등급	1~4 등급	1~5 등급	사업승인 가능 /불가능
인증신청	-계획승인 단계 (예비인증) -사용승인단계 (본인증)	-계획승인단계 (설계도서)	-계획승인 단계 (예비인증) -사용승인단계 (본인증)	-계획승인단계 (평가서) -사용승인단계 (이행확인서)
평가분야	-토지이용 -교통 -에너지 -재료 및 자원 -수자원 -환경오염방지 -유지관리 -생태환경 -실내환경	-소음 -구조 -환경 -생활환경 -화재 및 소방	-신축공동주택 : 난방에너지 -신축업무용건물 : 난방, 냉방, 환기, 급탕, 조명에너지	난방, 급탕, 전력, 열공급원 등에 대한 에너지 절감률 및 이산화탄소 배출 감축률
운영기관	-환경부 -국토해양부	-국토해양부	-지식경제부 -국토해양부	-국토해양부
인증기관	-에너지기술연구원 -한국토지주택공사 -한국교육환경연구원 -크레비즈인증원	-한국토지주택공사 -한국감정원 -건설기술연구원 -한국시설안전공단	-에너지기술연구원 -건설기술연구원	-사업승인 해당관청
인센티브	-지방세법 제 286조	-주택품질 향상에 따른 가산비용 기준	-지방세법 제 286조 -2010년도 에너지 이용합리화 사업을 위한 자금지원 지침	-건축비의 증가분은 분양가에 실비로 인정
강제시행여부	-일반건축물 : 권장 -공공건축물 : 연면적 10,000m^2 이상에 한하여 의무	-1,000세대 이상의 공동주택에 한하여 의무	-일반건축물 : 권장 -공공건축물 : 의무	-권장

위에서 보는 바와 같이 현재 국내에서는 건축물의 에너지 성능 개선을 위한 친환경 정책이 다수 시행되고 있으나, 법적인 강제성은 주로 청사 등의 공공 건축물에 한정되어 있다는 문제점이 있다.

공공건축물의 경우 개인에게 귀속된 것이 아닌, 국가의 소유물이라고 할 수 있다. 따라서 국가 정책적인 차원에서 공공건축물의 에너지 사용량이나 온실가스 배출량

의 한도를 정하고, 이를 지키도록 의무화 하는 것이 가능하다.

반면 일반 건축물, 특히 본 연구의 대상인 공동주택의 경우 특정 개인의 소유물이며, 에너지 사용에 따른 비용 역시 건축물의 소유자가 부담하는 것이므로, 법적인 강제성을 부여하여 에너지 사용량을 무작정 제한시키는 것에는 다소 무리가 따른다. 또한 에너지 과소비에 대한 규제의 일환인 누진세와 같은 제도가 이미 시행되고 있기 때문에, 에너지 사용량을 제도적으로 제한시키는 것은 이중 과세 등의 논쟁에 휘말릴 우려가 있다.

또 하나의 문제점으로서 지적할 수 있는 것은, 에너지 성능 개선을 위한 친환경 정책의 대상이 주로 신축 건축물에 한정되어 있다는 점이다. 다시 말해, 공동 주택에서 발생하는 에너지 사용량 및 온실가스 배출량의 대다수를 차지하고 있는, 기존 공동 주택을 대상으로 한 정책 및 제도적인 방안은 찾아보기 어려운 실정이라고 할 수 있다.

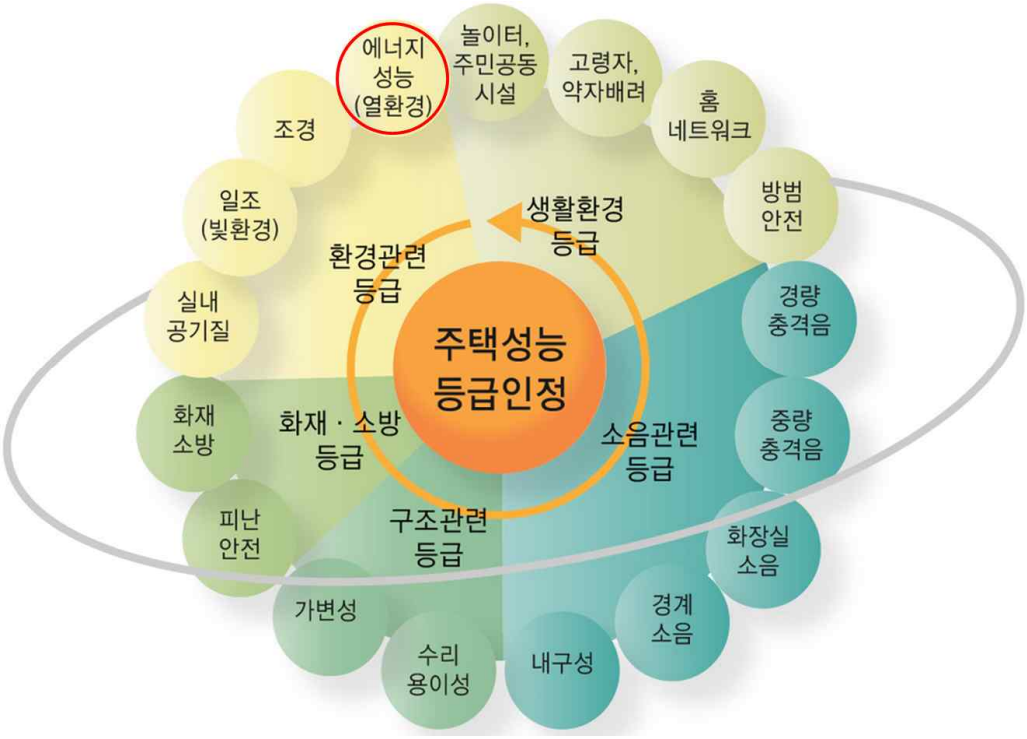
국내의 대표적인 친환경 정책 중 하나인 “주택성능등급 표시제도”의 경우, 유일하게 공동 주택에 대한 에너지 성능 규정을 의무화하고 있다. 그러나 위 정책 역시 에너지 성능 개선을 실현시키기에는 많은 한계를 지니고 있으며, 그 이유는 아래와 같다.

① 정책 적용의 대상이 신축 공동 주택에 한정되어 있다.

② 1,000세대 이상의 대규모 공동 주택 단지만을 대상으로 한다.

③ 조경, 방범 안전, 소음, 가변성, 일조, 화재 소방 등, 총 27개의 성능 평가 항목 중, 단 1개의 항목만이 에너지 성능(열환경)과 관련되어 있으므로, 실질적으로 에너지 성능 개선을 위한 제도라고 보기 어렵다(<그림 3-7-01> 참조).

④ 취득한 주택 성능 등급에 따라, 분양가 산정시 기본 건축비에 가산하는 형식으로 인센티브가 부여된다. 즉, 건축주에게만 초기 비용에 대한 혜택이 돌아가는 형태라고 할 수 있다. 따라서 공동 주택에서 에너지를 사용하는 주체인 “거주자”의 입장에서는, 유지관리 단계에서 지속적으로 보상되는 인센티브라고 볼 수 없다.



[그림 3-7-01] 주택 성능등급 표시제도의 평가항목

나. 국내 친환경 정책의 문제점

앞에서 살펴본 바와 같이, 건축물 유지관리 단계에서 발생하는 에너지 소비와 관련된 정책과 제도는 국내에서는 좀처럼 찾아보기 힘들다. 그 원인을 파악하기 위하여 전문가 면담을 실시한 결과, 이러한 현상은 궁극적으로 에너지 성능개선 사업이 저변으로까지 활성화되어 있지 못하기 때문에 발생한 것임을 알 수 있다. 아래에 그에 대한 내용을 자세히 서술하였다.

① 건축물 에너지 성능을 높이기 위한 사업은 크게 재건축, 리모델링, 개보수의 3가지로 나뉜다. 현재까지 우리나라에서는 위 3가지 형태의 사업 중, 어떤 것이 생애주기의 관점에서 비용 대비 효율적인가에 대한 정량적인 평가가 없었다. 따라서 건축물의 유지관리 단계에서 발생하는 에너지 사용량에 관한 정량적인 심사기준이 제정되기 어려웠고, 이를 정책적으로 반영할 수 없었다.

② 우리나라에서는 전세 형태의 거주가 약 40%를 차지한다. 따라서 세입자의 경우 투자비용을 감당하면서까지 시설물 개선을 수행하기 어려우며, 건물주의 경우 직접 건축물을 이용하지 않으므로, 개선 공사를 수행할 동기부여가 부족하다고 할 수 있다.

③ 시공 전문가와의 면담 결과, 주택의 에너지 성능 개선 공사를 실행하려면 세대당 대략 1,000만원 정도의 초기 투자비가 투입된다고 한다. 우리나라의 경우, 초기투자비의 일부를 지원해주기는 하나, 그 지원 정도가 미미한 편이다. 따라서 거주자의 입장에서 초기투자비에 대한 부담이 상대적으로 크기 때문에, 건축물의 에너지 성능 개선이 활발히 이루어지지 못하였다.

④ 우리나라는 산업 의존도가 높은 국가로서, 국가 총 에너지 소비의 약 60%가 산업 부문에서 이루어진다. 반면 건축물에서 소비되는 에너지는 국가 총 에너지 사용량의 약 20% 정도로서 산업 부문에 비해 적은 편이다. 따라서 에너지 절약과 온실가스 배출량 감축을 위한 정책적인 노력이 산업 부문에 치중된 측면이 강하며, 건물 부문에서 발생하는 에너지 절감에 대한 정책적인 배려가 상대적으로 적었다.

4. 국외의 친환경 정책

가. 건축물 에너지 성능 개선을 위한 정책적 인센티브의 의의

앞서 언급한 바와 같이 건축물의 에너지 성능 개선을 위한 친환경 정책은, 에너지 과소비에 대한 페널티와 에너지 절약에 대한 인센티브가 동시에 부여되는 형태를 지니고 있다.

그러나 청사 등의 공공 건축물이 아닌 일반적인 공동 주택을 대상으로 할 때는, 정책적인 차원에서 일방적인 페널티를 부여하는 것은 합리적이라고 볼 수 없다. 공동 주택에서 발생하는 에너지 소비 절감 및 온실가스 배출량 감축을 실현하기 위해서는 에너지 과소비에 대한 페널티가 아니라, 오히려 에너지 절감에 대한 다양한 인센티브를 제공함으로써, 공동 주택 거주자의 자발적인 참여를 유도하는 것이 바람직하다고 하겠다.

건축물의 성능 개선을 위한 프로젝트, 혹은 사업을 진행할 때, 경우에 따라서는

투자비용을 회수할 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 또는 비록 생애주기관점에서는 비용의 이익이 발생한다고 하더라도, 손익분기점이 발생하기 전까지는 초기투자비로 인한 경제적 측면의 취약성이 존재하게 된다. 즉, 성능 개선 사업에 투입되는 초기투자비나, 성능 개선을 통하여 얻을 수 있는 지속적인 이익 등이 건축물의 성능 개선 사업을 결정짓는 요인이라고 할 수 있다. 이런 이유로, EU등의 선진국에서는 건축물의 에너지 성능 개선을 장려하기 위하여, 다양한 형태의 인센티브를 폭넓게 제공하고 있다.

우리나라의 경우, 에너지 성능 개선 공사를 실시할 경우 초기 투자비의 일부를 지원하거나, 투입되는 비용을 기본 건축비에 가산하는 등의 인센티브 정책이 시행되고 있다. 그러나 EU 등 선진국에 비해 그 지원 규모 및 범위가 협소하기 때문에, 거주자의 입장에서는 에너지 성능 개선 사업을 실행할 수 있는 동기부여가 되지 못하고 있다.[36] 따라서 우리나라의 정책과 비교하여, 보다 앞서 있는 EU 등 에너지 선진국의 인센티브 방안을 조사하고 이를 분석하는 것은, 우리나라의 친환경 정책의 발전에 긍정적인 효과를 가져올 수 있다고 판단된다.

나. 국외의 에너지 성능 개선에 대한 인센티브 정책

우리나라의 경우 국가 총 에너지 소비량의 약 20%[37]의 에너지 소비가 건물 분야에서 이루어지는 반면, EU 등의 선진국에서는 국가 총 에너지 소비량의 약 40%정도가 건축물에서 발생한다. 그런 이유로, EU 등의 선진국에서는 건축물에서 발생하는 에너지 소비를 줄이기 위한 정책적인 노력이 우리나라보다 훨씬 이전부터 진행되어 왔으며, 우리나라의 정책에 비해 앞서 있는 측면이 많다.

<표 3-7-02>는 유럽 주요국가의 친환경 정책 중, 건축물의 에너지 성능 개선 사업에 지원되는 인센티브의 현황에 대하여 조사한 것이다.[38] 기타 국가들의 인센티브 제도에 대한 내용은 6장에 별도로 첨부하였다.

---

36) 한혜심 외 2인(2011). 건축물 에너지 효율등급 인증제도 인센티브 개선방안에 관한 연구. 대한건축학회논문집. 27(5). 13-20.
37) 에너지경제연구원(2012). 2011년도 에너지 총조사 보고서. 지식경제부
38) FINANCIAL AND FISCAL INCENTIVE PROGRAMMES(2009). EuroACE

<표 3-7-02> 유럽 주요국가의 건물 에너지 성능 개선 관련 인센티브 정책

국가	프로그램	주관	분류	대상	내용
영국	Stamp Duty Relief for Zero Carbon Homes	Department of Customs	세금감면	신축주거	신축주거 건물이 제로에너지 건물로 지어졌을 경우에, 건물의 취득세를 면제해준다.
	Landlords' Energy Saving Allowance	Department of Customs	세금환급	기존주거	건물을 임대해준 집주인들을 위한 세금환급 제도이다. 에너지효율개선 공사를 한 경우에 1500파운드를 지원한다.
벨기에	Subsidies for roof insulation	Federal government	보조금	기존주거	건물의 단열성능 개선사업을 실시한 경우에, 1,000유로까지 지출비용을 지원한다. 이것은 전체국가의 사업이라기보다는, 지방 정부에서 그 지역에 실행하는 사업이다.
	Support for solar photovoltaics	Federal government	발전차액 지원제도	모든건물	PV로 인한 발전량을 수입하며1,000kWh당 450유로의 가격으로 사들인다.
	Lower VAT on home refurbishment	Federal government	세금감면	기존주거 신축주거	기존 주거에서 에너지 효율증가 공사를 수행하는 경우 공사금의 21%까지를 지원해주고, 신축 주거의 경우에는 50,000유로까지 세금을 감면해준다.
프랑스	White Certificate Trading	Environment and Energy Agency	배출권 거래	기존주거 상업시설	에너지 공급회사들 간의 거래제도를 말한다. 정부가 지정한 에너지 사용량 절감 기준이 있으며, 에너지 공급회사는 이를 충족시키기 위하여 사용자에게 인센티브를 지원하거나, 교육을 하는 등의 어떠한 방법도 이용할 수 있다. 이를 지키지 못한 회사는 kWh당 0.02유로의 벌금이 부과된다. 이 벌금은 에너지 절감 규약을 지킨 회사들에게 지원된다.
	Energy efficiency tax credit	Department of Finance	세금환급	기존주거 신축주거	Modernizing buildings and cities 프로그램을 통하여 개발된 The Environment Round Table이 개선공사로 인한 세금환급의 기준이 된다.
네덜란드	More with Less Programme	Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment	보조금	기존주거	에너지 성능개선을 위한 모든 프로세스(에너지 등급 인증을 받는 것부터 에너지 성능공사를 실시하는 것까지의 전 과정)은 건물주의 의뢰를 받아 개선 전문가에 의해서 이루어진다. 이 전문가는 에너지 성능 개선을 위한 모든 제반 업무, 즉 에너지 라벨을 받거나, 보조금을 받거나, 에너지 공사관련 카운슬링을 받거나, 시공을 하는 등의 모든 업무를 책임지고 수행 한다. 또한 공사에 들어간 비용은 에너지 절약 금액으로 매달 상각시킨다. 또한 이 기간 동안 2주에 한번 씩 전문 기관에서 교육을 실시한다.
스웨덴	Energy Declaration of Buildings Act	Ministry of Sustainable Development; Swedish Energy Agency; National Board of Housing, Building and Planning	보조금	기존주거 상업시설	바이오매스 보일러로 교체할 시, 공사금액의 30%를 지원 해 준다. 또한 고효율 창호로 교체 할 시에는 2,570유로를 지원해준다. 전기 히팅 방식을 히트 펌프 방식이나 지역난방으로 바꿀 경우의 공사비를 지원한다.

EU를 비롯한 선진국에서는 이와 같이 에너지 절약과 관련된 인센티브를 넓은 범위 및 다양한 형태로써 제공하기 때문에, 에너지 성능 개선 사업에 대한 동기 부여가 우리나라에 비하여 뛰어날 것으로 판단할 수 있다.

이상의 내용을 통하여 파악한 것으로서, EU 국가들에서 인센티브를 제공하는 기본 방침은 아래와 같다.

① 에너지 성능 개선 공사에 대한 보조금 지원
② 에너지 효율 제품의 가격 인하
③ 에너지성능 개선 공사를 실시할 경우의 세금 절감
④ 에너지성능 개선 공사를 실시할 경우의 저리 융자금 지원
⑤ 주택의 EPC(Energy Performance Certification) 등급에 따른 세금 차등 책정

5. 국내 친환경 정책의 개선 방안

본 연구에서는 위의 언급한 내용들을 종합적으로 파악하고 분석한 결과로서, 국내 친환경 정책의 개선 방안을 다음과 같이 제시한다.

첫째, 친환경 정책 및 제도를 통합할 필요가 있다.

현재 우리나라에는 비슷한 개념의 건축물 관련 인증제도가 비교적 많다는 문제점이 있다. 국내의 건축물 관련 인증 제도로서 앞서 언급한 '친환경 건축물 인증제도', '주택 성능 등급 표시제도', '건물 에너지 효율 등급 제도', '친환경 주택의 건설기준 및 성능' 외에도, '지능형 건축물 인증제도', '신재생 에너지 이용 건축물 인증제도' 등이 있다. 그러나 각 인증제도의 내용을 살펴본 결과, 세부 평가 항목들 사이에 중복된 기준이 존재한다는 점을 알 수 있었다. 또한 위의 정책들에 다수의 관련 부처가 참여함으로 인하여 정책 적용의 일관성이 일부 결여되고 있으며, 부처간 협조가 어려운 문제 역시 발생하고 있는 것으로 나타났다. 즉 현재 국내의 다수의 친환경 정책들로 인하여, 에너지 절약을 추구하는 거주자들에게 오히려 혼란과 시간 및 비용적인 손실이 야기되고 있는 상태이다. 따라서 이를 극복하기 위하여, 제도를 통합하여 세부적으로 정리한, 단일 친환경 기준을 만들 필요가 있다.

둘째, 인센티브의 적용 대상 및 범위를 확장시킬 필요가 있다.

현재 우리나라에서 건축물의 성능 개선 사업을 장려하기 위하여 제공하는 인센티브의 혜택은 대부분 사업 초기에 건축주에게만 제공되는 형태이다. 따라서 건축물

유지관리 단계에서의 에너지 절감량에 따라, 실 거주자에게 지속적으로 제공되는 혜택으로 보기 어렵다. 또한 우리나라에서 친환경 에너지 성능을 갖춘 건축물에 제공하는 인센티브로서 용적률 및 최고높이 기준 완화 등은 실제로 건축물의 에너지 성능과는 무관한 측면으로, 오히려 생활 환경을 악화시킬 수 있다는 우려가 제기되고 있다. 따라서 건축 기준 완화 적용 및 확대 방안에 대한 세부적인 검토 후, 우리 실정에 맞는 기준 마련이 필요할 것으로 보인다.

또한 앞서 살펴본 바와 같이 대부분의 해외 사례에서는 보조금과 세금감면 등의 인센티브가 활발하게 시행되고 있는 반면, 우리나라의 경우 보조금 지원보다는 저리 융자, 건축 기준 완화, 친환경 에너지 성능에 따른 가점 부여 등이 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 에너지 절약형 건축물을 위한 개선 사업에 지원되는 보조금의 규모를 늘리고, 성능 개선을 수행한 건축물의 경우에는 그 이후 발생하는 세금을 감면해주는 등의 다차원적인 세제 혜택이 필수적일 것으로 판단된다.

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 연구개발목표 달성도

1차년도의 연구목표는 기존 공공아파트 유지관리 현황 분석 및 실적자료 DB 구축, 공공아파트 유지관리 기본 전략 수립, 공공아파트 특성(형태, 규모, 사용 연수 등)별 에너지 사용량 분석, CO_2 감축을 위한 공공아파트 유지관리 매뉴얼(Ⅰ) 개발 등으로 구성하였으며, 연구개발목표의 구체적인 달성도는 다음과 같다.

<표 4-1-01> 1차년도 연구개발목표 달성도

연차	연구목표	주요 연구내용	달성도
1차 년도	기존 공공아파트 유지관리 현황 분석 및 실적자료 DB 구축	▪ 공공아파트 유지관리 프로세스 현황 분석 ▪ 기존 공공아파트의 프로젝트 정보 DB 구축 ▪ 기존 공공아파트의 에너지 사용량 DB 구축	100%
	공공아파트 유지관리 기본 전략 수립	▪ 공공아파트 유지관리 프로세스 개선 방향 제시 ▪ 공공아파트 에너지 절감 방안 POOL 구축	100%
	공공아파트 특성(형태, 규모, 사용 연수 등)별 에너지 사용량 분석	▪ 에너지 사용량 기반의 공동주택 유형 분류체계 (Apartment Type Breakdown Structure; ATBS) 개발 ▪ 아파트 유형 분류체계(ATBS)에 따른 유형별 에너지 사용량 분석	100%
	CO_2 감축을 위한 공공아파트 유지관리 매뉴얼(Ⅰ) 개발	▪ 공동주택 단지 개선여부 의사결정 매뉴얼 개발	100%

<표 4-1-02> 1차년도 연구개발 수행 진도율

연구내용	연 구 개 발 기 간 (월)									진도
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
공공아파트 유지관리 프로세스 현황 분석	----	----	———							100%
기존 공공아파트 프로젝트 정보 DB 구축	----	----	———							100%
기존 공공아파트 에너지 사용량 DB 구축	----	----	———							100%
유지관리 프로세스 개선 방향 제시			----	----	———	———	———			100%
공공아파트 에너지 절감 방안 Pool 구축			----	----	———	———	———			100%
아파트 유형분류체계(ATBS) 개발			———	———	———	———				100%
아파트 유형별 에너지 사용량 분석					———	———	———			100%
유지관리 및 개선여부 의사결정 매뉴얼 개발							———	———		100%
중간보고서 작성								———	———	100%
총 진도율	10%	10%	15%	10%	10%	10%	15%	10%	10%	100%

---------- 당초계획

——————— 실 적

2차년도의 연구목표는 건설친환경정책 총괄 검토 및 인센티브 적용방안 수립, 공유형별 대상 시설물 선정 및 에너지 사용 양상 분석, 공공아파트 CO_2 저감을 위한 개선 시나리오 개발, 개선시나리오 비교분석을 통한 최적 시나리오 선정, CO_2 감축을 위한 공공아파트 유지관리 매뉴얼(Ⅱ) 개발 등으로 구성하였으며, 연구개발목표의 구체적인 달성도는 다음과 같다.

<표 4-1-03> 2차년도 연구개발목표 달성도

연차	연구목표	주요 연구내용	달성도
2차년도	건설친환경정책 총괄 검토 및 인센티브 적용방안 수립	▪ 국내외 건설친환경정책 현황 분석 ▪ 국내외 건설친환경정책과 연계하여 온실가스 저감에 대한 인센티브 적용방안 수립	100%
	유형별 대상 시설물 선정 및 에너지 사용 양상 분석	▪ 아파트 유형 분류체계(ATBS)에 따른 유형별 대상 시설물 선정 ▪ 선정된 대상 시설물 에너지 사용 양상 분석 ▪ 에너지 시뮬레이션 결과값 및 실제 에너지 사용량의 오차 분석을 통한 모델의 타당성 검증	100%
	공공아파트 CO_2 저감을 위한 개선 시나리오 개발	▪ 분석된 에너지 사용 양상 및 에너지 시뮬레이션(As-Is) 결과 분석을 통한 중점 개선대상 선정 ▪ 초기투자비용을 고려한 예산범위 내에서의 개선 시나리오개발	100%
	개선시나리오 비교분석을 통한 최적 시나리오 선정	▪ 개선시나리오별 생애주기 온실가스 배출량 ($LCCO_2$) 생애주기비용 (LCC) 분석 ▪ CO_2 배출량 및 생애주기비용을 고려한 최적 시나리오 선정	100%
	CO_2 감축을 위한 공공아파트 유지관리 매뉴얼(Ⅱ) 개발	▪ 개선대상 단지 세부 개선방안 매뉴얼 개발	100%

<표 4-1-04> 2차년도 연구개발 수행 진도율

연구내용	연구개발기간(월)										진도
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
국내·외 건설친환경정책 현황 분석	------	------									100%
	———	———									
온실가스 감축 인센티브 적용방안 수립	------	------									100%
	———	———									
아파트 유형 분류체계(ATBS)에 따른 유형별 대상 시설물 선정	------	------									100%
	———	———									
선정된 대상 시설물 에너지 사용 양상 분석		------	------								100%
		———	———								
에너지 시뮬레이션 오차 분석을 통한 모델의 타당성 검증		------	------								100%
		———	———								
에너지 시뮬레이션 결과 분석을 통한 중점 개선대상 선정			------	------							100%
			———	———							
초기투자비용을 고려한 예산범위 내에서의 개선시나리오 개발				------	------						100%
				———	———						
개선시나리오별 CO_2 배출량 및 생애주기비용 분석					------	------					100%
					———	———					
CO_2 배출량 및 생애주기비용을 고려한 최적 시나리오 선정							------	------			100%
							———	———			
개선대상 단지 세부 개선방안 매뉴얼 개발								------	------	------	100%
								———	———	———	
최종보고서 작성									------	------	100%
									———	———	
총 진도율	5%	10%	10%	10%	10%	10%	15%	15%	10%	5%	100%

------ 당초계획

——— 실 적

제2절 관련분야에의 기여도

1. 공동주택 특성 및 에너지 사용량 DB 구축

1차년도 연구를 통해 서울시 내 공동주택 단지의 다양한 특성 정보 및 에너지 사용량 데이터를 수집하여 데이터베이스를 구축함으로써 공동주택의 특성과 에너지 사용량 간의 관계를 파악하는 데 필요한 기반을 마련하였다. 향후 다양한 연구수행 또는 의사결정 과정에서 본 데이터베이스를 활용 가능하며 본 연구를 통해 축적된 노하우를 바탕으로 지속적으로 데이터를 업데이트함으로써 보다 다양한 각도에서 시설물 활용 행태 및 에너지 사용량, 또한 그 관계를 분석할 수 있는 토대를 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 공동주택 유지관리 프로세스 개선방향 제시

한국토지주택공사(LH공사)를 중심으로 국내 공공 임대아파트의 유지관리 프로세스를 분석한 결과 에너지 절감을 통한 온실가스 감축을 위해 필요한 유지관리 전략의 방향을 제시하였다. 이러한 방향에 따라 공공아파트의 유지관리 프로세스를 개선해서 적용함으로써 유지관리 행위의 효과를 극대화할 수 있으며, 나아가 다양한 의사결정 도구를 일반 공동주택 단지에도 확장시켜 적용함으로써 국내 주택시장에서 절대적인 비중을 차지하는 공동주택의 유지관리 표준을 제시가 가능하다.

3. 공동주택 에너지 절감 방안 POOL

국내외 다양한 문헌 및 웹사이트 등을 통해 조사한 건물 에너지 절감 방안 중에서 공동주택 유지관리 단계에서 적용 가능한 방안들을 제시한 '공동주택 에너지 절감 방안 30선'을 작성하였다. 별도의 책자로 구성한 이 목록은 크게 액티브, 패시브 기법과 신재생에너지로 나누어 각 방안의 특징, 성능, 경제성 등을 포함하고 있어 본 연구의 개선안 환경성 및 경제성 분석에도 활용되었으며, 일반에 공개하여 공동주택 유지관리 및 개선 과정에서의 의사결정 시 참고자료로도 활용이 가능하다.

4. 공동주택 유형분류체계 구축 및 개선여부 의사결정 지원모델 개발

공동주택의 개선여부 의사결정 과정에서 공동주택 단지의 다양한 특성을 고려하여 에너지 사용량을 비교 평가할 수 있도록 통계적 기법을 통해 유사 특성을 지닌 공동주택들의 군집을 형성함으로써 공동주택 분류체계를 구축하고, 이러한 분류체계를 토대로 사례기반추론 기법을 활용한 의사결정 지원모델을 개발하였다. 이 모델은 웹 기반 시스템으로 발전시켜 개별 공동주택 단지 관리자 및 토지주택공사 공공임대주택 관리부서 등 의사결정자들이 상황에 따라 다양한 기준에 의해 활용이 가능하다. 또한 의사결정 지원 매뉴얼도 작성함으로써 구체적이고 합리적인 개선대상 선정기준이 미비한 현 공동주택 유지관리 프로세스의 개선 방향을 제시하였다.

5. 개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스 구축

개선여부 의사결정 지원모델을 활용하여 특정 단지를 개선하는 것으로 의사결정이 이루어졌다고 하더라도, 세부적으로 어떤 에너지 절감 방안을 적용하여 개선을 시행할지에 대한 의사결정이 또 이루어져야 한다. 공동주택에 적용 가능한 에너지 절감 방안은 매우 다양한데, 현실적으로 개선사업 시 사용할 수 있는 예산은 한정적이기 때문에 가용 예산 내에서 적용 가능한 최적의 조합을 선정하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 특별한 기준 없이 무작정 개선안을 도입해 왔던 과거 사례들과 달리 공공아파트 개선사업 시행 시 환경적, 경제적 측면에서 최선의 효과를 얻을 수 있도록 하는 세부 개선안 선정을 위한 의사결정 프로세스를 구축함으로써 향후 공공아파트 개선사업의 의사결정의 기준을 제시하였다. 또한 의사결정자의 다양한 상황 및 조건에 따라 적절한 선택을 할 수 있도록 프로세스에 다양성을 부여하여 사용 범위의 폭을 확장하였다.

6. 거시적 관점의 공동주택 개선사업 의사결정 모델

노후 공동주택 단지의 수가 점점 증가하고 기존 공동주택의 에너지 효율 개선의

중요성이 부각됨에 따라 LH, SH공사 등의 기관에서 기존 공동주택 개선사업을 시행하고 있다. 그러나 이 또한 에너지 절감 및 온실가스 감축에 대한 거시적 관점에서의 마스터플랜 없이, 사업 예산의 배분이 다소 무분별하게 이루어지고 있다. 이에 건축물 분야의 국가 온실가스 감축 목표(2020년까지 26.9% 감축)를 거시적 차원의 마스터플랜으로 삼아, 기본적으로 해당 목표 달성을 가능하게 하는 예산 투자안 중 다양한 관점에서의 최적안을 선정하는 모델을 개발하였다. 개별 단지 차원에서의 관리가 아닌 지역 단위 및 도시 단위, 나아가 국가 차원에서의 온실가스 감축 목표 달성을 위한 정책적 의사결정 도구로 활용이 가능하다.

7. 신재생에너지 시스템 최적설계 모델

신재생에너지 설비의 건물 도입을 통한 화석연료 사용 감소 노력이 증가하고 있는 추세에서 특히 잠재력이 뛰어난 태양광 에너지를 대상으로 하는 최적설계 모델을 구축하였다. 기존에는 신재생에너지 시스템 시뮬레이션 프로그램을 통해 에너지 생산량을 예측함으로써 최적설계를 시도하고 있으나, 비용 및 투자효과 등을 고려한 통합 의사결정 도구로서는 다소 미흡함이 있다. 따라서 엑셀 프로그램을 기반으로 한 VBA(Visual Basic for Application)를 활용하여 전력 생산량 편익, 순현재가치(NPV), 투자대비수익률(SIR) 3개의 지표를 대상으로 최적해를 도출할 수 있는 통합 최적설계 모델을 개발하였다.

8. 건물 에너지효율 관련 제도 개선방향 제시

국내외의 건물 에너지효율 관련 제도 및 정책에 대한 조사 및 분석을 통해, 국내 제도의 문제점과 그 원인을 분석하고, 개선 방향을 제시하였다. 해당 내용을 통해 공동주택 개선사업 시행에 대한 동기부여 강화가 가능하며, 앞서 소개한 다양한 공동주택 개선사업 의사결정 도구들을 정책적으로 반영함으로써 그 효과를 극대화할 수 있을 것으로 기대된다.

제5장 연구개발결과의 활용계획

제1절 후속연구 활용계획

1. 공동주택 이외의 기타 시설물 유지관리 프로세스 및 매뉴얼 개발

공동주택을 넘어선 다양한 시설물의 유지관리 프로세스 및 매뉴얼 개발은 본 연구의 수행 방법 및 절차와 유사한 프로세스를 통해 가능하다. 물론 각 시설물의 특성에 따라 데이터 수집 및 분석 방법 등의 차이는 있으나 대동소이할 것으로 판단된다. 따라서 이러한 연구들은 새로운 연구 주제라기보다는 차후 도시 단위, 국가 단위의 온실가스 관리로의 확장을 위한 과정으로 볼 수 있다.

2. 신재생에너지 최적설계 모델의 다각화

본 연구에서는 신재생 에너지 태양광 발전 설비만을 대상으로 하는 최적설계 모델을 개발하였으나, 그 범위를 확장하여 태양열 급탕 설비 및 지열 냉난방 설비 등 다른 종류의 신재생에너지 설비의 도입에도 적용이 가능하다. 또한 태양광 시스템과 옥상녹화처럼 상충하는 방안(옥상면적을 필요로 함) 간의 비교 우위를 평가해 보고 최적의 조합을 찾을 수 있는 모델로의 발전 역시 필요할 것으로 판단된다.

3. 공동주택 개선단계 의사결정 통합 패키지 개발

본 연구를 통해 개발된 유지관리 여부 의사결정유지관리 여부 의사결정 지원 모델은 현재 엑셀 기반의 모델로, 상용화 및 사용성 확대를 위해서는 사용자 편의성을 고려하여 엑셀 모델을 웹 기반 시스템 및 스마트기기 기반의 어플리케이션으로 재구축할 필요가 있다. 또한 단지 개선여부 의사결정 모델, 최적 개선안 의사결정 프로세스, 거시적 관점의 공동주택 개선사업 의사결정 모델, 신재생에너지 시스템 등 다양한 의사결정 도구를 하나로 통합하여 패키지를 구성함으로써 공동주택 개

선단계에서의 의사결정을 위한 통합 솔루션을 제시할 필요가 있다. 이러한 과정을 통해 궁극적으로는 도시 및 국가차원의 건축물 온실가스 통합관리 도구의 개발을 달성하고자 한다.

4. 도시 및 국가차원의 건축물 온실가스 통합관리 시스템 개발

본 연구를 통해 개발한 공동주택 유형분류체계와 다양한 의사결정 도구들은 궁극적으로는 도시 및 국가 단위의 건축물 분야 온실가스 통합관리 연구로 연계하여 진행할 필요가 있다. 이를 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 공동주택뿐 아니라 다양한 시설물에 대해서 데이터베이스 구축 및 에너지 사용 양상 분석 등이 선행되어야 하며, 온실가스 모니터링 시스템 개발, 전 생애주기에 걸친 건축물 온실가스 감축 기술 개발, 웹 및 스마트 기기 기반의 건물 친환경성 평가 시스템 등을 구축해야 한다. 본 연구를 통해 단일 단지 단위의 온실가스 감축 방안뿐 아니라 거시적 차원의 온실가스 관리 기반을 마련한 만큼, 향후 연구의 확장 가능성이 매우 높다고 할 수 있다. 본 연구진은 현재 교육과학기술부의 도약과제로서 '유기체적 도시 기반 탄소통합형 건설관리 시스템 개발' 과제 연구에 착수하였으며, 본 과제를 진행하며 축적된 경험과 우수한 성과물을 십분 활용하여 연구의 연속성을 확보하고 연구 성과의 효용성을 지속적으로 높이고자 한다.

제2절 기업화 추진방안

1. 기업화, 기술이전 계획

본 연구의 결과물 중, '공동주택 단지 개선여부 의사결정 지원모델' 및 '거시적 관점의 공동주택 개선사업 의사결정 지원모델'의 경우에는 그 성격 자체가 국가 차원에서 정책적으로 반영할 필요가 있으므로 기업화, 기술이전 계획이 선행되기에는 다소 무리가 있다. 그러나 LH, SH공사 등 공공의 성격을 강하게 띠고 있는 기업의 경우에는 이러한 의사결정 도구를 활용함으로써 공동주택 개선사업의 효과를 극대화할 수 있다. 따라서 두 기업에 해당 의사결정 모델의 매뉴얼 자료를 배포하였으며, 추후 상호 교류를 통해 공동주택 유지관리 프로세스를 보다 구체적으로 개선해 나가고자 한다.

또한 '개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스' 및 '신재생에너지 시스템 최적설계 모델'의 경우에는 그 자체로 민간 기업(설계사, 시공사, CM사 등)에서도 활용이 가능하다고 판단된다. 따라서 향후 모델의 인터페이스 개선 등 현안과 관련된 문제를 개선한다면 충분한 사업성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

1차년도 연구를 통해 개발한 '공동주택의 에너지 사용량 예측 시스템 및 방법'의 경우에는 특허출원을 완료한 상황으로 민간업체(CM사)와의 용역계약을 통해 추가 연구를 수행 중이며, 기술이전 계획을 수립 중이다. 민간업체의 수요를 반영하여, 최적 개선안 의사결정 프로세스와 연계하여 추가적인 기술이전이 가능할 것으로 판단된다.

2. 연구결과의 기업 활용방안

대림산업(주)은 국내 아파트 시공분야의 대표적 기업으로서, 최근 친환경 관련 아파트 요소기술 및 유지관리 분야에서 활발한 활동을 수행 중이며 특히 산하 건축환경연구센터에서는 친환경 프로젝트에 대한 정보 및 기술력을 축적 중에 있다. 본 연구의 결과물을 활용하여 공동주택 유지관리단계에서의 온실가스 저감방안을 수립하며, 공공아파트뿐 아니라 민간 공동주택 분야로의 연구결과 확장이 가능할

것으로 기대된다.

(주)이에이엔테크놀로지는 친환경 건축계획 컨설팅, 저탄소 저에너지 건축 및 시스템 컨설팅, 시뮬레이션 기반의 건축환경 성능평가 등 친환경 건축기술 분야의 노하우를 축적하고 있으며, 2차년도 연구 과정에서는 전문가적 관점에서 시뮬레이션의 오차를 분석함으로써 에너지 시뮬레이션 모델의 타당성 검증을 수행할 것이다. 또한, 본 연구의 성과물인 '신재생에너지 시스템 최적설계 모델'을 실무에 적용함으로써, 신재생에너지 설비 관련 컨설팅 전략을 수립할 수 있을 것으로 기대된다.

슈프림이앤씨(주)는 옥상녹화, 조경계획 등 관련분야 전문기술을 확보하고 있고 방수, 방근 분야 특허를 보유한 친환경 업체로서, 다수 프로젝트 수행을 통해 축적된 노하우를 연구수행 과정에서 활용할 예정이다. 최종적으로 도출하고자 하는 시뮬레이션 기반의 옥상녹화 적용방안을 실무에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

<표 5-2-01> 참여기업별 관심영역 및 연계방안

번호	기업명	과제에 대한 기업 관심영역	연계방안								
			기업 활용	장비 활용	교육 연계	기술 상담	정보 제공	기술 지도	기술 이전	공동 연구	창업 지원
1	대림산업 (주)	공공아파트 유지관리 프로세스 현황	√			√	√	√			
2		공공아파트 유형별 에너지 사용량 분석 DB	√					√			
3		CO_2 배출량 및 생애주기비용을 고려한 최적 시나리오 선정 방안	√			√		√			
4		해당 시설물 유지관리 및 개선 여부 의사결정 및 개선방안 매뉴얼	√			√		√			
5	(주) 이에이엔 테크놀로지	에너지 시뮬레이션 결과에 대한 타당성 검증		√		√		√			
6		시뮬레이션 기반 생애주기비용 분석 방법	√	√				√			
7	슈프림 이앤씨(주)	공공아파트 옥상녹화 관련 에너지 절감 방안 제시				√	√	√			
8		에너지 시뮬레이션 결과 분석에 기초한 옥상녹화 적용방안 제시	√					√			

제3절 기타 활용계획

1. 연구성과 실용화 및 사업화 계획



[그림 5-3-01] 연구성과 실용화 및 사업화 계획

2. 연구성과 활용 및 관리 전략



[그림 5-3-02] 연구성과 활용 및 관리 전략

3. 정부 정책과의 연계방안

본 연구에서는 공동주택 유형분류체계를 기반으로 단지 개선여부 의사결정 모델부터 신재생에너지 시스템 최적설계 모델에 이르기까지 다양한 의사결정 도구를 연구 성과로서 개발하였다. 그러나 이러한 연구 성과들의 효용성을 극대화하기 위해서는 반드시 정책적인 뒷받침이 필요하다. 공공아파트를 비롯한 공동주택 개선단계에서 본 연구과제의 성과와 같은 의사결정 도구들을 활용함으로써 명확한 기준에 근거한 개선사업의 시행이 가능하며, 궁극적으로는 국가 온실가스 감축 목표 달성에 큰 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

이러한 효과 달성을 위해 현재 '개선대상 단지 최적 개선안 의사결정 프로세스' 및 '거시적 관점의 공동주택 개선사업 의사결정 모델'의 내용을 근간으로 하는 정책 제안 2건을 '국가건축정책위원회'에 제출한 상황이며, 향후 논의를 통해 구체적인 정책 조성 방안을 마련하고자 한다.

또한 향후 '공동주택 개선단계 의사결정 통합 패키지'의 개발이 완료되면 공동주택 개선단계 의사결정 과정에서의 활용 장려 또는 의무화 제도 시행을 추진하고자 한다.

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제1절 일본 도시재생기구의 유지관리 현황정보 수집

본 연구를 수행하는 과정에서, 우리나라의 실정과 가장 가깝다고 할 수 있는 일본의 공동주택 유지관리에 대한 기술정보를 수집하였다. 일본의 도시재생기구(UR)는 일본의 공동주택 중 임대주택 전체를 총괄적으로 관리하는 기관이다. 일본은 현재 공동 주택에서 발생하는 에너지 사용량 및 온실가스의 배출량을 체계적으로 수집하고 있었다. 이를 통하여 온실가스 감축을 위한 국가적인 차원의 중장기적인 전략을 수립하고 이를 실행 중에 있었다. 아래의 표는 방문 일시 및 장소, 방문목적 및 내용을 간략하게 정리한 것이다.

<표 6-1-01> 일본 UR 방문 일정

일 자	방문장소	내 용
7월5일 (화요일)	요코하마 UR 본사	전문가 면담 1: UR 환경기획실 및 주택경영부 소속 전문가
	Urbanics Japan	전문가 면담 2: Urbanics Japan 안락유고 대표
7월6일 (수요일)	도쿄도시 주택 기술연구소	UR 산하 도시 주택 기술연구소 견학

1. 요코하마 UR 본사 방문

본 방문에서는, UR에서 현재 수행 중인 친환경 정책 및 공동주택 유지관리 프로세스에 대하여 전반적인 정보를 알 수 있었다. 또한, 각국의 현재 상황에 대하여 의견을 공유할 수 있었고, 이를 토대로 향후 연구수행 방향에 대한 다양한 아이디

어를 도출할 수 있었다.

우선 주택경영부의 공동주택 사업 관련 조직구성, 유지관리 프로세스, 에너지 사용량 분석현황, 그리고 그 활용현황에 대한 정보를 수집하였다. 또 환경기획실의 CO_2 감축 정책과 더불어 UR의 친환경 정책 및 프로세스에 대하여 소개하였다.

각 기관에서 준비한 발표가 끝난 후, 상호 질의/응답하는 시간을 가졌다. 한국과 일본의 공동주택에 대한 계약구조(특히 임대계약)가 상이하고, 이로 인하여 유지관리 프로세스, 공동주택을 관리하기 위한 조직구성에 차이가 있는 것으로 나타났다. 그러나 노후 공동주택을 개선함으로써, 현재와 비교하여 거주자의 생활여건을 향상시키고, 나아가 CO_2 발생량을 감축하기 위한 노력은 양국 모두에서 공통적으로 진행되고 있다는 것을 알 수 있었다.

UR 본사 방문을 통해, 일본의 공동주택 유지관리 프로세스에 대하여 다음과 같은 사항을 파악할 수 있었다.

첫째, 공동주택의 열화도(Deterioration)평가 및 시설물 개선여부 결정을 위하여, 시설물 경과년수 또는 실측평가 결과를 활용하고 있는 것으로 나타났다. 특히 설비의 사용연한을 사전에 계획하고, 이를 지속적으로 모니터링하는 것으로 나타났다. 그러나 친환경 관점에서의 평가를 위한, 시설물 열화도에 따른 에너지 사용량 평가기준은 마련되어 있지 않은 것으로 나타났다. 다시 말해서, 시설물의 열화도가 높을수록 에너지 효율성이 떨어지게 되고, 이에 따라 온실가스 배출량이 증가하게 되는데, 일본은 아직 시설물의 에너지 효율보다는, 육안으로 확인할 수 있는 설비 또는 구조물의 열화에 시설물 개선의 초점이 맞추어져 있었다.

한편, 시설물 개선 대상선정 및 개선 범위를 판단함에 있어서, 개선 후 임대료 상승을 고려하고 있다고 한다. 이러한 사실은 UR에서 관리하고 있는 공동주택이 임대계약 방식으로 운영되고 있다는 사실에서 기인한 것이다. 즉 투자 대비 효율이 높은 방향으로 의사결정을 내리고 있는 것으로 나타났다.

둘째, 시설물 개선사업이 세대규모가 아닌 단지규모 차원에서 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 과거에는 신규 입주자의 사용성을 고려하여 세대별 요구에 따라 개선·수선이 이루어졌지만, 최근에는 하나의 단지 전체를 개선함으로써 단지 전체의 가치를 높이는 방향의 개선방안이 적용되고 있는 추세라고 한다. 이러한 사회적인 경향을 반영하여 '단지매니저'라는 직업도 생겨났다고 한다.

한편, 단지 차원에서의 시설물 개선을 위해서는 기존 입주자에 대한 이주대책을

선행적으로 마련하여야 한다. 이를 위하여, 하나의 단지를 Target으로 정하고, 한 세대 한 세대씩 비워나감으로써, 하나의 단지 전체를 비우게 된다. 그리고 이렇게 비워진 단지를 이주대책의 방안으로서 활용한다고 한다.

셋째, 기존 건축물에서 발생하는 온실가스 배출량 감축을 위하여, 과거의 에너지 사용량에 대한 통계정보를 분석하고, 이를 반영한 실현가능한 개선기준을 수립하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 이러한 목표를 달성하기 위하여 국가적 차원에서의 중장기적인 로드맵을 개발하고 있다. 이러한 사실은 우리나라의 현황과도 일맥상통하는 부분이다.

한편, 국가 차원에서의 친환경 건설 로드맵을 일상생활 속에서 현실화시키기 위하여, 에코마일리지(Eco-Mileage)와 같은 국가 차원에서의 인센티브 제도를 운영하고 있다. 크게 제조 분야와 건설 분야로 구분되어 있는 것으로 나타났다. 제조 분야에서는 에코제품을 구매할 경우, 건설 분야에서는 에코제품으로 시설물 개선을 수행할 경우, 에코마일리지가 적립되는 것으로 나타났다. 여기서 에코마일리지는 향후 제품 구매 시 활용할 수 있다.

국내의 실정과 비교했을 때, 에너지 절감 및 온실가스 배출량 감축을 위한 동기부여 요소가 구체적이고 상세하다는 것을 느낄 수 있었다. 또한, 시민들이 에코마일리지 제도를 명확히 인식하고 있으며, 실제로도 활용되고 있는 것으로 나타났다. 이러한 정책적인 지원은 물론이거니와, 대지진 이후 에너지 절약에 관한 시민들의 인식 또한 매우 빠르게 자리 잡아 가고 있음을 알 수 있었다.

2. Urbanics Japan 방문

일본에서 옥상 녹화 및 벽면 녹화에 대하여 실무적으로 왕성한 활동을 수행하고 있는 어버닉스 저팬(Urbanics Japan)의 안락유고 대표와의 면담을 실시하였다.

일본에서는 이미 옥상녹화의 효용성에 대한 가치가 높게 평가되고 있는 것으로 나타났다. 옥상녹화의 장점으로는 식물의 광합성에 의한 CO_2 감축효과, 난방부하 감소효과, 수분함유에 따른 홍수방지 및 배관축소 효과 등이 있는 것으로 나타났다. 또한 옥상녹화의 수요가 지속적으로 증가 추세에 있고, 적용사례 역시 우리나라와 비교하여 많은 것으로 나타났다. 주로 기존 건축물에 옥상녹화를 적용하고 있

는 것으로 나타났으며, 구조적 하중에 문제가 없도록 하기 위하여 세덤류가 주로 활용되고 있는 것으로 나타났다.

한편, 옥상녹화에 적합한 토양은 일본에 더욱 다양한 형태로 존재하고 있으며, 그 공급도 원활하게 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 반면, 우리나라는 토양의 구성이 단순하고, 기후 조건이 불리하여, 옥상녹화의 안정적인 구현이 쉽지 않은 것으로 나타났다.



[그림 6-1-01] 일본 옥상녹화 시스템의 모듈

어버닉스 저팬(Urbanics Japan 방문을 통해, 옥상녹화의 국내 적용상의 문제점을 명확하게 인식할 수 있었다. 또한 이를 극복하기 위한 여러 가지 방안에 대해서도 논의가 이루어졌다.

3. UR 산하 도시 주택 기술연구소 방문

도쿄에 위치한 UR 산하의 도시 주택 기술연구소에 방문하였다. 본 탐방은 약 3시간에 걸쳐 진행되었는데, 우선적으로 도시 주택 기술연구소의 연구방향과 성과에 대한 동영상 소개 자료를 관람한 후, 연구소의 각 시설을 견학하는 형식으로 진행되었다.

첫 번째로 UR의 SI(Skeleton Infill) 시스템을 적용한 실험동을 견학하였다. SI 시스템은 오랜 기간 사용이 가능한 골조 부분(Skeleton)과 상대적으로 수명이 짧은 설비 및 배관 부분(Infill)으로 구성되어 있으며, 완전 분리된 형태를 취하고 있었다. SI 시스템은 한번 준공된 건축물을 최대한 오랜 기간 사용하기 위해 고안된 UR의 공동주택 설계 시스템이라고 설명하였다.



[그림 6-1-02] SI 시스템의 설비

UR에서는 준공된 건물의 골조를 100년 동안 사용하는 것을 목표로 연구를 진행하고 있었다. 골조 부분과 설비 및 배관 부분을 독립시킴으로써, 설비의 노후화에 따른 교체가 수월하도록 설계하였다.

한편, 전기 인입부분의 부피를 최소화시키고, 향후의 전기 제품의 위치변화에 수월하게 대응하기 위하여, 특별 고안된 평면형 전선을 활용하고 있었다. 또한, 그것을 보호하기 위하여 철판을 덧붙이는 형태을 취하고 있었다. 건축물의 수명에 대한 고려는 물론, 인테리어 측면에서의 고려도 수반되어 있음을 알 수 있었다.



[그림 6-1-03] 도시 주택 기술연구소의 가변형 보호 전선

SI 시스템을 견학하면서, 건축물의 에너지 절감을 위한 노력에 대한 또 다른 관점을 배울 수 있었다. 에너지 절감 방안을 적용하거나, 신재생 에너지를 도입하는 등 에너지 절감을 위한 직접적인 노력도 필요하겠지만, 건축물을 가능한 오랫동안 효율적으로 사용하는 것 또한 중요함을 알 수 있었다. 다시 말해서, SI 시스템을 적용함으로써, 건축물의 시공과정에서 발생하는 CO_2 발생량을 최소화시킬 수 있다는 것이다. 공동주택 유지관리 프로세스를 개발함에 있어, 우리가 나아가야 할 새로운 방향을 인식할 수 있었다.

제2절 국외 건물에너지 성능 관련 제도

3장에서 살펴보았던 유럽 주요국가 이외 국가들의 건물 에너지 성능 개선 관련 인센티브 제도를 <표 6-2-01>에 나타냈다.

<표 6-2-01> 국외의 건물 에너지 성능 개선 관련 인센티브 제도

국가	프로그램	주관	분류	대상	내용
영국	Stamp Duty Relief for Zero Carbon Homes	Department of Customs	세금감면	신축주거	신축주거 건물이 제로에너지 건물로 지어졌을 경우에, 건물의 취득세를 면제해준다.
	Landlords' Energy Saving Allowance	Department of Customs	세금환급	기존주거	건물을 임대해준 집주인들을 위한 세금환급제도이다. 에너지효율개선 공사를 한 경우에 1500파운드를 지원한다.
	Warm Front Scheme	Department for Environment, Food and Rural Affairs	보조금	기존주거	장기 질병자나 노인, 장애인이 있는 가정에 한해서 2700파운드 상당의 중앙난방을 무료로 제공한다.
	Green New Deal	Central government	대출우대	기존주거	시설개선 공사를 통하여 줄어든 에너지 사용 비용이 그대로 개선공사에 투입된 융자금을 갚는 것에 이용된다.
아일랜드	Northern Ireland Warm Homes Scheme	Northern Ireland Department for Social Development	보조금	기존주거	창이나 문등의 개구부 방풍처리를 하는 가구에 대해 850유로의 공사비용을 제공한다. 장애인이 있거나 사회보장의 혜택을 받는 가구들에 한해서는 난방시스템 교체와 최고수준의 단열공사를 무료로 실행할 수 있다.
	Low Carbon Homes Programme	Department of sustainability	보조금	신축주거	주로 5~15개의 유닛이 모인 주거에 지원되는 보조금이며, 한 가구당 지원되는 금액의 한도는 에너지 성능 개선 공사에 소요되는 지출의 40%(최고 15,000유로)이다.

국가	프로그램	주관	분류	대상	내용
웨일즈	Wales Home Energy Efficiency Scheme	Central government	보조금	기존주거	사회적 약자들을 위한 보조금지원 제도이다. 혜택 대상자들의 단계를 분류하여 보조금을 지원한다. 1. 2,000파운드 : 어린이나 임산부가 있을 경우 2. 3,600파운드 : 60세 이상의 노인이 있거나 편부/편모,장애인이 있는 경우, 80세 이상의 노인이 독거하는 경우
프랑스	Climate change mitigation; energy efficiency	Development bank	대출우대	기존주거	에너지성능 개선 공사를 실행하는 경우 최대 30,000유로까지 무이자로 대출이 가능하며, 대출순위에 우선권이 부여된다. 최대 10년까지 무이자 대출이 가능하다.
	Preferential loans for retrofitting social housing	-	대출우대	기존주거	1년에 100,000 주택을 개선하는 것을 목표로 하는 프로젝트이다. 개선사업을 하는 주거에 1.9%의 이율로 대출을 제공하며, 대지와 관련된 세금의 25%를 감면한다.
	White Certificate Trading	Environment and Energy Agency	배출권거래	기존주거 상업시설	에너지 공급회사들 간의 거래제도를 말한다. 정부가 지정한 에너지 사용량 절감 기준이 있으며, 에너지 공급회사는 이를 충족시키기 위하여 사용자에게 인센티브를 지원하거나, 교육을 하는 등의 어떠한 방법도 이용할 수 있다. 이를 지키지 못한 회사는 kWh당 0.02유로의 벌금이 부과진다. 이 벌금은 에너지 절감 규약을 지킨 회사들에게 지원된다.
	OSEO Innovation for SMEs	Department of Economy Department of Employment	대출우대	상업시설	리모델링 공사에 대한 지출비용의 일부를 보조해주고, 나머지 금액에 대해서는 무이자로 융자해준다. 또한 향후 에너지 성능 개선 효과를 분석하여, 성공한 정도에 따라 대출금액에 대한 2차 지원이 제공된다.
	Energy efficiency tax credit	Department of Finance	세금환급	기존주거 신축주거	Modernizing buildings and cities 프로그램을 통하여 개발된 The Environment Round Table이 개선공사로 인한 세금환급의 기준이 된다.
	Realisation of low consumption buildings	Environment and Energy Agency	보조금	신축주거 상업시설	신축건물의 경우 에너지 고효율 건물을 짓기 위한 보조금이 단위면적당 40~80유로까지 지원되고, 개선공사의 경우 50~100유로까지 지원된다.

국가	프로그램	주관	분류	대상	내용
폴란드	Thermo-modernization fund	Department of economy	대출우대	기존주거	에너지 성능개선 공사를 위해 투입되는 금액의 80%를 대출해 준다. 기존 에너지 사용량 대비 25% 이상 절약을 달성할 수 있는 개선 공사에 한하여 대출이 승인된다. 대출금액 및 이자가 약정기간동안 이상 없이 제대로 갚아지는 경우에 한하여, 대출금 완납 시 이자의 25%를 환급한다.
독일	KfW CO_2 Building Rehabilitation Programme	Development bank	보조금 대출우대	기존주거	난방시설 현대화, 단열공사, 창호 교체 등의 개선공사에 지원되며, 600,000 이상의 가구가 비용 지원을 받았다.
체코	EKO-ENERGIE	Department of Industry and Trade	보조금	상업시설	단열성능 개선 공사를 실행 할 경우, 40%까지 공사금을 지원해준다.
	National Environment Fund: 'Green to Savings'	Department of environment	보조금	기존주거 신축주거	공사금액의 40~50%를 국가에서지원해주고, 지원되는 금액 외의 부담금액은 은행에서 융자해준다. 에너지 성능 개선으로 인하여 줄어드는 온실가스 배출량을 금액 으로 환산하여 융자에서 상각시키며, 10년동안 나머지 금액을 갚아나가는 방식이다.
불가리아	National Strategy for financing the building insulation for energy efficiency	Department of Territory	보조금	기존주거	연립주택에서 단열성능 개선공사를 실행할 경우, 공사 금액의 20%를 지원해준다.
	Residential Energy Efficiency Credit Facility REECL	Committee of Energy Efficiency	특혜대출	기존주거	창호 단열, 이중창, 보일러 등 에너지 성능의 개선을 위한 공사를 진행한 경우, 에너지 절약으로 인한 금액이 20%가 인센티브로 지원된다.
	Building Tax Exemption	Finalcial Department	세금감면	주거시설	에너지등급 A를 받은 경우, 7년 동안 건물 관련 세금이 면제되며, 에너지등급 B를 받은 경우 3년 동안 건물 관련 세금이 면제 된다.

국가	프로그램	주관	분류	대상	내용
오스트리아	Federal Promotion of Extraordinary Efficiency in Buildings	Department of environment	보조금	기존주거	단열기준을 65kW/m^2에서 25~45 kW/m^2까지 떨어뜨리는 것을 목표로 한다.
	Energy Efficient Housing Programmes	Department of environment, Federal government	보조금	기존주거	현재 오스트리아는 대부분의 기존주거에 대한 개선 사업이 이루어졌다. 이 프로그램은 신재생 에너지를 도입하거나 외피 열성능 최적화, 제로에너지 하우스를 위한 개선공사를 실행하는 경우에는 추가적인 보조금 혜택이 주어진다.
	Third-party financing for energy efficiency investment	Development bank	특혜대출	기존주거 상업시설	단열성능개선 사업등에 특화된 펀드나 자금을 조성하여 개선 사업을 실시한다.
	Third Party Financing for Efficiency Improvements in Public Buildings	Department of environment	보조금	기존공공	64개의 학교 건물들과 20%의 공공기관 건물의 에너지 성능을 개선하기 위한 사업이다. 성능개선으로 인하여 매년 6.5million 유로의 비용이 절약되는 것으로 추산된다.
	Stimulus Package II	Federal government	보조금	기존주거 상업시설	공사금액의 20%가 주어지고 가구당 최대 5,000유로까지 공사금액이 지원된다.
포르투갈	National Energy Efficiency Action Plan	Department of Economic Innovation	세금감면 저리융자 세금환경	주거시설 상업시설 공공시설	에너지 성능개선 공사를 실행한 건물주에게 주택관련 세금감면 외에도 개인소득세를 감면해준다. 또한 에너지 성능개선 공사에 대한 장리저리융자를 실시한다. EPC(Energy Performance Cetification) A등급이나 A+등급을 받은 주택을 거래하는 경우에는 세금의 10%를 감면해준다. 또한 성능개선공사를 실행한 경우는 자산의 가치를 5~10%가량 상승시켜준다. 전년도 대비 10~20%에 에너지 소비량 절감이 있었을 경우에, 절감량 만큼의 금액을 수표로 돌려주며, 환급받은 금액은 에너지 성능개선을 위한 소비에만 사용 될 수 있다.

국가	프로그램	주관	분류	대상	내용
벨기에	Subsidies for energy efficient equipment	Department of Energy and Technology	보조금	상업시설	성능개선 사업에 7,500유로까지의 보조금이 지원되고, 콘덴싱 보일러로의 교체 공사시에는 12,500유로까지 지원된다.
	Tax reductions for home improvements	Department of Economy	세금감면	기존주거 상업시설	세금감면 비율은 점점 증가하고 있으며, 2008년의 세금감면은 지출의 40% 수준이었으며, 가구당 2,650유로의 금액이 절감되었다. 특별히 PV를 설치하는 경우에는 3,000유로까지 지원됐다.
	Subsidies for energy efficiency audits and energy analysis systems	Department of Energy and Technology	보조금	상업시설	사업에 참여하는 경우, 개선사업 비용의 50%까지 지원되며, 자발적 참여자의 경우에는 75%까지 지원된다. 사업체의 에너지사용과 실내온도 등의 실시간 모니터링이 가능한 시설을 설치하는 업체에 관해서는 사업비의 50%까지를 지원한다. 또한 효율을 개선할 수 있는 제품을 개발한 회사의 경우 개발비용의 50%를 지원한다.
	Subsidies to Improve Energy Efficiency of Public Buildings	Federal Financial Center	보조금	기존주거 상업시설	저소득층에게 개선사업을 위한 비용의 최소 70%를 제공한다.
	Subsidies for roof insulation	Federal government	보조금	기존주거	건물의 단열성능 개선사업을 실시한 경우에, 1,000유로까지 지출비용을 지원한다. 이것은 전체국가의 사업이라기보다는, 지방 정부에서 그 지역에 실행하는 사업이다.
	Support for solar photovoltaics	Federal government	발전차액 지원제도	모든건물	PV로 인한 발전량을 수입하며1,000kWh당 450유로의 가격으로 사들인다.
	Lower VAT on home refurbishment	Federal government	세금감면	기존주거 신축주거	기존 주거에서 에너지 효율증가 공사를 수행하는 경우 공사금의 21%까지를 지원해주고, 신축 주거의 경우에는 50,000유로까지 세금을 감면해준다.
덴마크	Renovation Fund	Ministry of Enterprise and Construction	보조금	기존주거	에너지효율관련 공사를 수행할 때, 노무비의 40%를 지원(최대 15,000유로)하며, 재료비의 20%를 지원한다(최대 10,000유로) 2015년 까지 모든 전기 계량기를 스마트 전기 계량기(소비자가 사용하고 있는 가전제품에 따른 전기 소비량을 알 수 있게 하는 계량기이다. 2012년 이후로 신축되는 건물에 오일 관식 보일러는 설치 할 수 없으며, 2017년 이후에는 기존건물에도 오일 관식 보일러를 적용하는 것이 금지된다.

국가	프로그램	주관	분류	대상	내용
핀란드	Energy Grants for Residential Buildings	Ministry of the Environment; Housing Finance and Development Centre of Finland	보조금	기존주거	성능 개선을 위한 공사비의 40%와, 공사와 관련하여 발생하는 제반비용의 10~15%를 지원한다.
	Tax breaks for residential refurbishment	Department of Customs	세금감면	기존주거	에너지 성능개선 공사를 실행하는 경우 60%의 노무비(최대1,150유로)을 지원해준다. 향후 세대당 세금감면 금액을 6,000유로까지 높일 계획에 있으며, maintenance 비용의 일부로까지 세금감면의 범위를 넓힐 계획이다.
	Energy audit subsidy	Ministry of Trade and Industry	보조금	공공시설 상업시설	에너지성능개선 공사를 실행한 경우 공사비의 50%를 지원한다.
루마니아	Programs for the thermal rehabilitation of multi-level residential buildings	Ministry of Development, Public Works and Housing	보조금	기존주거	열성능 개선을 이룬 건물의 경우, 건물의 판매가격을 최고20%까지 더 높게 요구할 수 있다. 또한 열성능 개선공사에 50%는 공공예산, 30%는 지방 정부에서 부담하며, 건물주의 경우에 20%만을 지불한다. 건물주는 20%의 비용을 부담하지만, 에너지 사용비용이 절감하고, 또한 건물의 가격가치는 상승하게 되므로, 결국 이익을 얻게 된다. 방이 2~3개인 보통의 아파트의 경우 외벽단열성능 향상과 오래된 창을 이중창으로 바꾸는 공사를 실행하는 데에 단위면적당 15~20유로의 공사가격이 들어간다. 개선공사를 한 건물과 그렇지 않은 건물을 비교해 보았을 때, 개선공사를 실행한 건물의 경우 단위면적당 200~300유로 정도 비싸게 거래가 되고 있다.
헝가리	National Energy Conservation Programme	Department of Energy Department of Technology	보조금	기존주거	창의 단열 성능을 개선 시 980유로, 보일러 교체 시 1,480유로, 에너지원 성능 개선 시 2,670유로 신재생 에너지 도입시 3,700유로가 지원된다
	Grants for Renovation of Prefabricated	Department of Energy and Transportation	보조금	기존주거 상업시설 공공시설	바이오매스에너지 도입, 신재생에너지 도입, 지역 난방시스템 도입을 촉진하기 위한 프로그램이다.
	German Coal Aid Revolving Fund	Energy Agency	대출우대	상업시설 공공시설	시중은행의 1/3규모의 이율을 제공한다. 1년에 325TJ의 에너지 절약효과를 가져 왔다.

국가	프로그램	주관	분류	대상	내용
네덜란드	More with Less Programme	Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment	보조금	기존주거	에너지 성능개선을 위한 모든 프로세스(에너지 등급 인증을 받는 것부터 에너지 성능공사를 실시하는 것까지의 전 과정)은 건물주의 의뢰를 받아 개선 전문가에 의해서 이루어진다. 이 전문가는 에너지 성능 개선을 위한 모든 제반 업무, 즉 에너지 라벨을 받거나, 보조금을 받거나, 에너지 공사관련 카운슬링을 받거나, 시공을 하는 등의 모든 업무를 책임지고 수행 한다. 또한 공사에 들어간 비용은 에너지 절약 금액으로 매달 상각시킨다. 또한 이 기간 동안 2주에 한번 씩 전문 기관에서 교육을 실시 한다.
룩셈부르크	Energy Efficient Partner	Department of Economy and Trade	대출우대	신축주거	에너지 성능 개선 공사를 실행한 가구들에 한하여 0.125%의 저리융자를 실시한다. 위 사업에 동참한 은행에 관해서는 Energy Efficient Partner Logo를 공식적으로 부착할 수 있다.
슬로바키아	Scheme of efficient use of energy for households with low income	Ministry of Environment and Spatial Planning	보조금	기존주거	저소득층의 에너지 성능 개선사업을 위한 지원하는 프로그램이다. 저소득층 주거에 단열개선, 고효율 조명 적용 등의 개선 공사를 지원한다.
스웨덴	Energy Declaration of Buildings Act	Ministry of Sustainable Development; Swedish Energy Agency; National Board of Housing, Building and Planning	보조금	기존주거 상업시설	바이오매스 보일러로 교체할 시, 공사금액의 30%를 지원 해 준다. 또한 고효율 창호로 교체 할 시에는 2,570유로를 지원해준다. 전기 히팅 방식을 히트 펌프 방식이나 지역난방으로 바꿀 경우의 공사비를 지원한다.
미국	마이애미와 새크라멘토 주의 에너지절감 프로그램	-	-	기존주거	낡은 건물의 개보수를 위하여 6억5천만 달러규모의 투자 컨소시움을 진행중에 있다.
호주	-	-	-	기타	기차역이나 쇼핑센터 주변에서 에너지 절약형 전구와 물 절약형 샤워헤드를 무료로 나누어준다. 나누어주는 기관에서는 탄소배출권을 통하여 자금을 회수할 수 있다. 전구6개와 샤워헤드 1개의 1SET가 50유로를 환급받는다

제7장 참고문헌

제1절 국내 문헌

1. 국가법령정보센터 (2012). 법인세법 시행규칙 별표 5 : 건축물 등의 기준내용연수 및 내용연수 범위표. 법제처
2. 국가법령정보센터 (2012). 주택법 시행규칙 별표 5: 장기수선계획의 수립기준. 법제처
3. 국토해양부 (2008), 아파트주거환경통계, p.32.
4. 김성주 (2010). 공동주택 리모델링 현안 및 대책, 2010 공동주택 리모델링 사업 정책 법규 세미나 발표자료, 한국리모델링협회.
5. 노병용 (2008). “공동주택 관리의 현황과 발전 방향”, 한국주거학회지 1(6), 28-38.
6. 송두삼 (2010). “일본의 주택, 건축물의 에너지절감 정책 동향”, 대한건축학회지 54(2), 86-90.
7. 에너지경제연구원 (2011). 2011년도 에너지총조사 보고서, 지식경제부.
8. 에너지관리공단, 일반보급보조사업, <http://www.energy.or.kr/knrec/12/KNREC120200.asp>
9. 에너지관리공단, IPCC 탄소배출계수,http://co2.kemco.or.kr, 2012.07.23.
10. 에너지자원정책과, 에너지 기본법 시행규칙 제 5조 1항 에너지 열량 환산 기준, 지식경제부
11. 오진희 (2009). “우리나라 아파트 리모델링 현실은?”, 아시아경제 인터넷기사, <http://www.asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2009112323463824962> 2009. 12. 7.
12. 온실가스종합정보센터(2011). 부문별, 업종별, 연도별 온실가스 감축 목표안, 환경부
13. 월간거래가격 5월호 (2012). 대한건설협회
14. 이두면 외 (2012). “온실가스 감축실적, 정부가 기존보다 두배 비싸게 삽니다”, 지식경제부 보도자료, 2012.3.29.
15. 전력거래소, 전력부문 온실가스 배출계수, <http://www.kpx.or.kr>, 2012. 07. 23.

16. 정지나 외 3인 (2010). 국내 공동주택 관련 인증제도의 세부 항목에 대한 비교 분석에 관한 연구, 한국건설기술연구원. 한국태양에너지 학회 논문집. 30(3). 116-123.

17. 조한(2006). 국내외 친환경건축물 인증제도 실내 환경 관련 부문 비교 분석 및 개선안 연구. 한국실내디자인학회논문집. 16(4). 21-28.

18. 채동훈 (2009). “공동주택에 적용 가능한 에너지 절약기술 및 적용 타당성 분석”. 한국건축환경설비학회지 3(2), 23-28.

19. 한국 전력거래소 (2011). 2011년 가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태 조사 결과 보고서, 한국 전력거래소

20. 한국 전력(2011). 주택용 전력 사용량별 요금표. 2011.8.1

21. 한혜심 외 2인(2011). 건축물 에너지 효율등급 인증제도 인센티브 개선방안에 관한 연구. 대한건축학회논문집. 27(5). 13-20.

제2절 국외 문헌

1. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). 2002. ASHRAE guideline 14-2002. Atlanta: ASHRAE.

2. California Energy Commision Energy Technology Development Division (2001). A guide to photovoltaic(PV) system design and installation, 1st edition., Endecon Engineering, California.

3. FINANCIAL AND FISCAL INCENTIVE PROGRAMMES(2009). EuroACE

4. Gen, M., Cheng, R. (2000). Genetic algorithms & engineering optimization, New York: Wiley-Interscience.

5. Hong, T., Kim, H., Kwak, T. (2012). Energy Saving Techniques for Reducing CO2 Emission in Elementary Schools. Journal of Management in Engineering28(1), 1-12.

6. Hong, T., Koo, C., Kim, H. (2012). “A Decision Support Model for

Improving a Multi-Family Housing Complex based on CO2 Emission from Electricity Consumption." Journal of Environmental Management. Accepted Article

7. Hong, T., Koo, C., and Park, S. (2012). "A decision support model for improving a multi-family housing complex based on CO2 emission from gas energy consumption." Building and Environment 52(6),142-151.
8. Kim, J., Hong, T., Koo, C. (2012). "Economic and Environmental Evaluation Model for Selecting the Optimum Design of Green Roof Systems in Elementary Schools." Environment Science & Technology. Accepted Article
9. Konak, A., Coit, D., Smith, A. (2006). Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial, Reliability Engineering & System Safety, 2006, 91(9), 992-1007.
10. Lopes, L., Hokoi, S., Miura, H., Shuhei, K. (2005). "Energy efficiency and energy savings in Japanese residential buildings - research methodology and surveyed results." Energy and Buildings 37(7), 698-706.
11. Ouyang, J., Hokao, K. (2009). "Energy-saving potential by improving occupants' behavior in urban residential sector in Hangzhou City, China." Energy and Buildings 41(7), 711-720.
12. Tso, G., Yau, K. (2007). "Predicting electricity energy consumption: a comparison of regression analysis, decision tree and neural networks." Energy 32(9), 1761-8.
13. Wood, G., Newborough, M. (2005). "Dynamic energy-consumption indicators for domestic appliances : environment, behaviour and design." Energy and Buildings 35(8), 821-841.
14. Zheng, D., Ng, S., Kumaraswamy, M. (2004). Applying a genetic algorithm-based multiobjective approach for time-cost optimization, Journal of Construction Engineering and Management, 130(2), 168-176.

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 첨단도시개발사업의 "온실가스 저감을 위한 공공아파트 시설물 유지관리 프로세스 개발"(10첨단도시C03)의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 첨단도시개발사업의 "온실가스 저감을 위한 공공아파트 시설물 유지관리 프로세스 개발"(10첨단도시C03)의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ 문의처 : 한국건설교통기술평가원 TEL 031)389-6362
연세대학교 산학협력단 TEL 02)2123-8322

R&D/10첨단도시C03

온실가스 저감을 위한 공공아파트 시설물 유지관리 프로세스 개발

■ 발행일 / 2012. 07. 27

■ 발행처 / 연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제1공학관 410호

■ 인쇄처 / 페덱스킨코스코리아(주)

부 록
(연구성과물)

사 업 명	첨단도시개발사업
과 제 번 호	10첨단도시C03
과 제 명	온실가스 저감을 위한 공공아파트 시설물 유지관리 프로세스 개발
주관연구기관	연세대학교 산학협력단
주관연구책임자	홍 태 훈 (洪 兌 熏)
제 출 일	2012. 12. 13

목차

[유지관리 프로세스 매뉴얼]

-. 매뉴얼 1. 온실가스 저감을 위한 공동주택 시설물 유지관리 시스템

-. 매뉴얼 2. 공동주택 시설물의 저탄소 시나리오 2020

[프로그램 매뉴얼]

-. 매뉴얼 3. 생애주기 비용 및 이산화탄소 분석 도구

-. 매뉴얼 4. 신재생에너지 시스템 분석 도구

[에너지 절감방안 매뉴얼]

-. 매뉴얼 5. 공동주택 에너지 절감 방안 30선

온실가스 저감을 위한
공동주택 시설물 유지관리 시스템

Facility Management System for GHG Emission Reduction in Multi-Family Housing Complex

- **Part 1: 에너지 사용량 관리 및 온실가스 저감 목표기준 수립**
- **Part 2: 최적 에너지 효율 개선 시나리오 선정**

사용자 매뉴얼

연세대학교 건축공학과 SUSCOM Lab.

Copyright 2011-2012 SUSCOM Lab. at Yonsei Univ.
All Rights Reserved.

목 차

1. Main Page 3
2. 폴더 관리 4
3. 로그인 정보 설정 5
4. 데이터베이스 관리 6
5. 사례 검색 7
6. Case-Base Reasoning을 활용한 유사사례검색 8
7. 온실가스 저감 목표기준 수립 10
8. Summary 11
9. 출력 12
10. 최적 에너지 효율 개선 시나리오 선정 13

1. Main Page



① 로그인 관리

- 공동주택 단지 에너지사용량 관리자의 권한에 의해, 로그인 정보를 부여할 수 있다.
- 로그인 정보의 초기설정은 다음과 같다.
  - I D : 이니셜 (예: **cwkoo**)
  - Pass : 호수 (**1201**)

② 기능구성

- **Data Base** : 개별 프로젝트 정보(특성 및 에너지사용량)를 통합 관리하기 위한 기능
- **Search** : 통합 DB 상에서, 기 수행된 유사 프로젝트를 검색하기 위한 기능
- **Summary** : 기 수행된 유사 프로젝트의 요약정보(단지특성 및 에너지사용량) 제공 기능
- **Print** : 기 수행된 유사 프로젝트의 정보를 출력하는 기능
  (앞표지, 목차, Summary, 프로젝트 정보, 설계정보, 에너지사용량정보, 뒤표지)
- **Delete** : 필요에 따라, 데이터베이스에 축적된 데이터 중 일부를 삭제할 수 있는 기능

2. 폴더 관리

작업사항	결과 및 설명

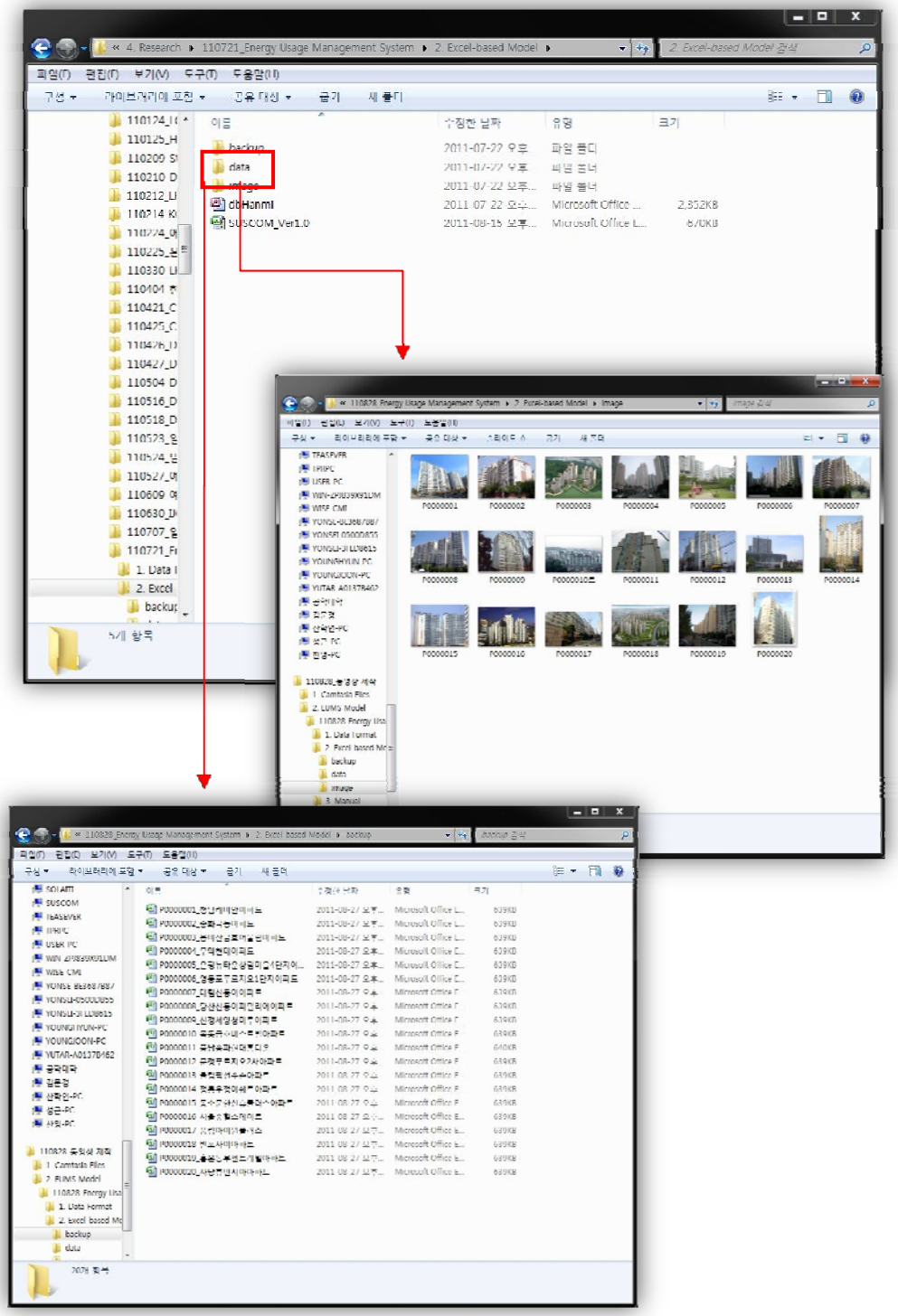
1. 하나의 폴더에 우측 그림과 같이, **5개의 Folder 또는 File**로 구성된다.

- folder : backup
- folder : data
- folder : image
- file : dbSUSCOM.mdb
- file : SUSCOM_V1.0.xlsm

2. 신규 프로젝트는 엑셀파일과 이미지 파일로 구성되며,
엑셀 파일은 data folder,
이미지 파일은 image folder에 저장한다.

- 시스템 구동 후, 

클릭하면, data folder에 있던 파일들이 backup폴더로 이동한다. (“4. 데이터베이스 관리” 참조)



3. 로그인 정보 설정

작업사항

1. **dbSUSCOM.mdb** 파일을 연다.

2. 로그인 정보를 설정한다.

- PASS : SUSCOM

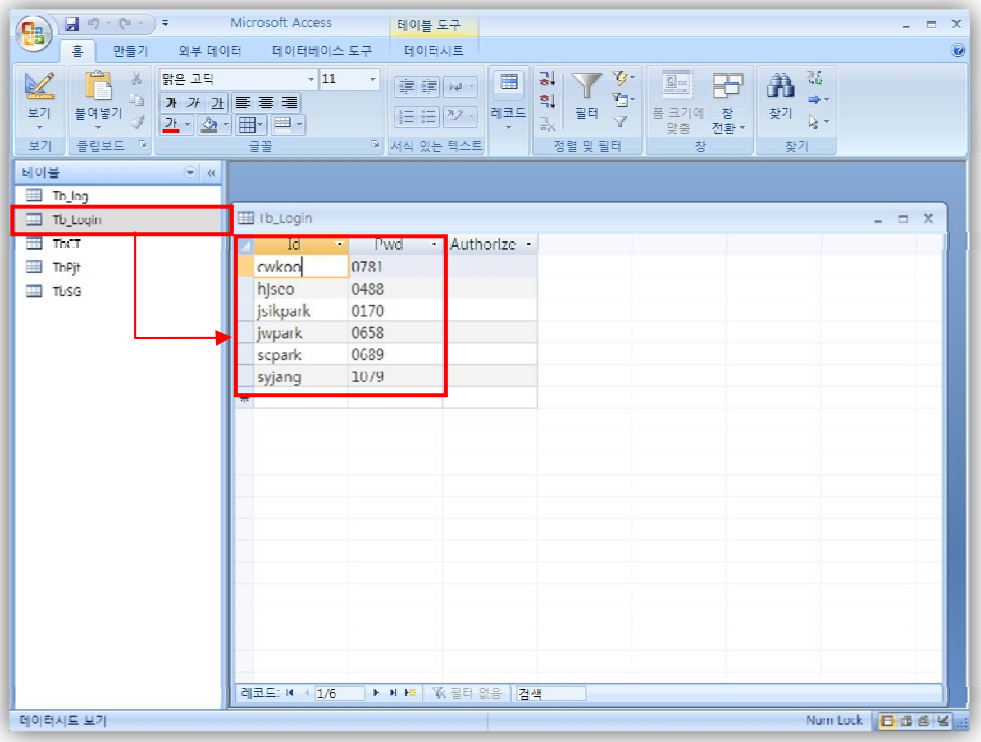
3. **Tb_Login** 버튼을 클릭하면, 로그인 정보를 설정할 수 있는 창이 나타난다.

4. **아이디(Id)**와 **패스워드(Pwd)**를 설정하고, 저장한다.

5. 시스템을 활용하기 위하여, 로그인 정보(ID, PASS)를 입력한다.

6. 로그인 정보는 공동주택 단지 에너지 사용량 관리자의 권한이므로, **로그인 정보를 신설**하고자 할 경우, **공동주택 단지 에너지사용량 관리자와 협의**하여야 한다.

결과 및 설명





4. 데이터베이스 관리

작업사항

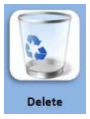
결과 및 설명

1. 

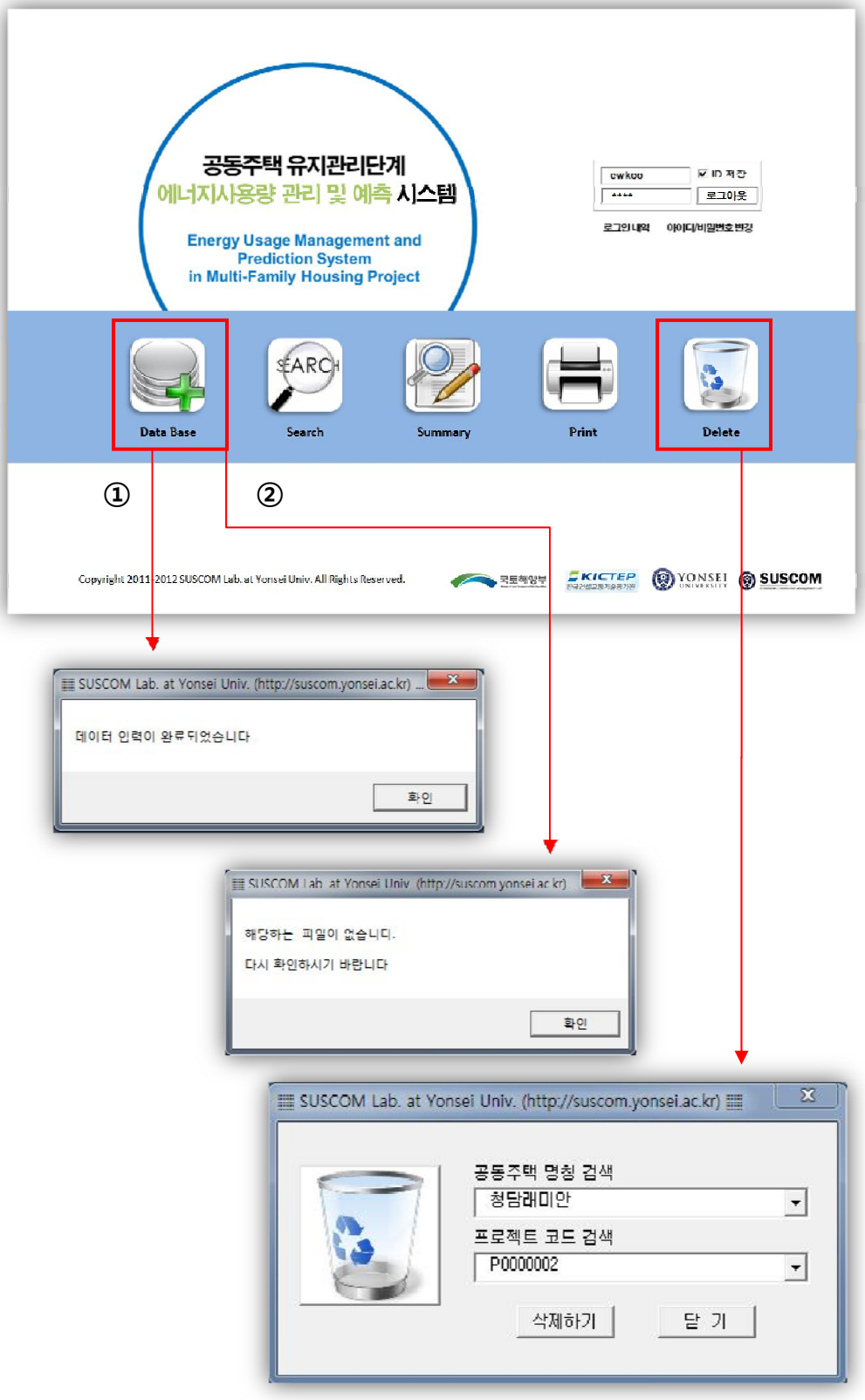
클릭하면, **data folder**에 있던 파일들이 **backup folder**로 이동한다.

2. **data folder에 파일이 존재하는 경우**, backup이 완료되면, 우측의 **①번과 같은 팝업창**이 나타난다.

3. **data folder에 파일이 존재하지 않는 경우**, 우측의 **②번과 같은 경고 팝업창**이 나타난다.

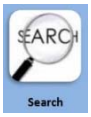
4. 

클릭하면, **backup folder**에 축적된 데이터 중 일부를 **선택적으로 삭제**할 수 있다.
단, ASSESS DB 에서 데이터가 삭제된 것으로, **backup folder** 데이터는 자동으로 삭제되지 않으므로 직접 삭제해야 한다.



5. 사례 검색

작업사항	결과 및 설명



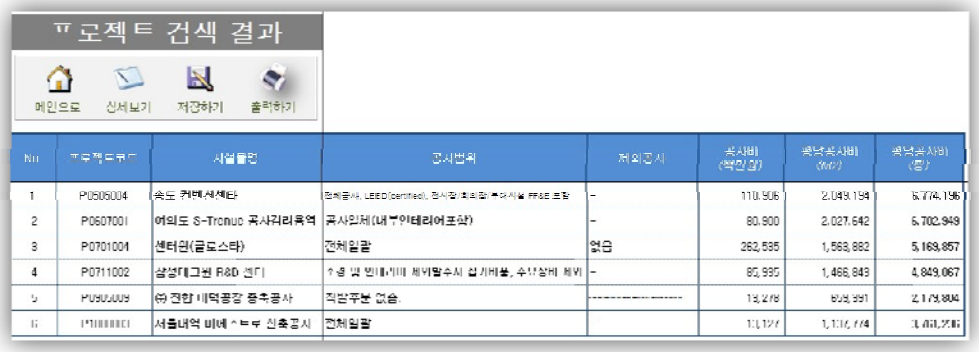
1. 클릭하면, 우측과 같은 "검색 " 이 제시되며, 검색 결과를 보여주는 "프로젝트 검색 결과" 화면이 제시된다.



2. 검색인자는 2 가지유형으로 구분된다.
- 항상 검색인자 : 검색창의 상단부에 고정적으로 제시된다.
- 기타 검색인자 : 검색창의 하단부에 선택적으로 적용된다.



3. 하나의 검색인자에 대하여 "OR" 를 활용하여 "1억 이상 2억 이하" 이 가능하며, 서로 다른 검색인자는 "AND" 개념이 적용된다.

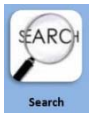


4. 프로젝트 검색 결과의 화면 구성은 우측의 그림과 같고, 아이콘의 기능을 활용할 수 있다.

6. Case-Base Reasoning을 활용한 유사사례검색

작업사항

결과 및 설명

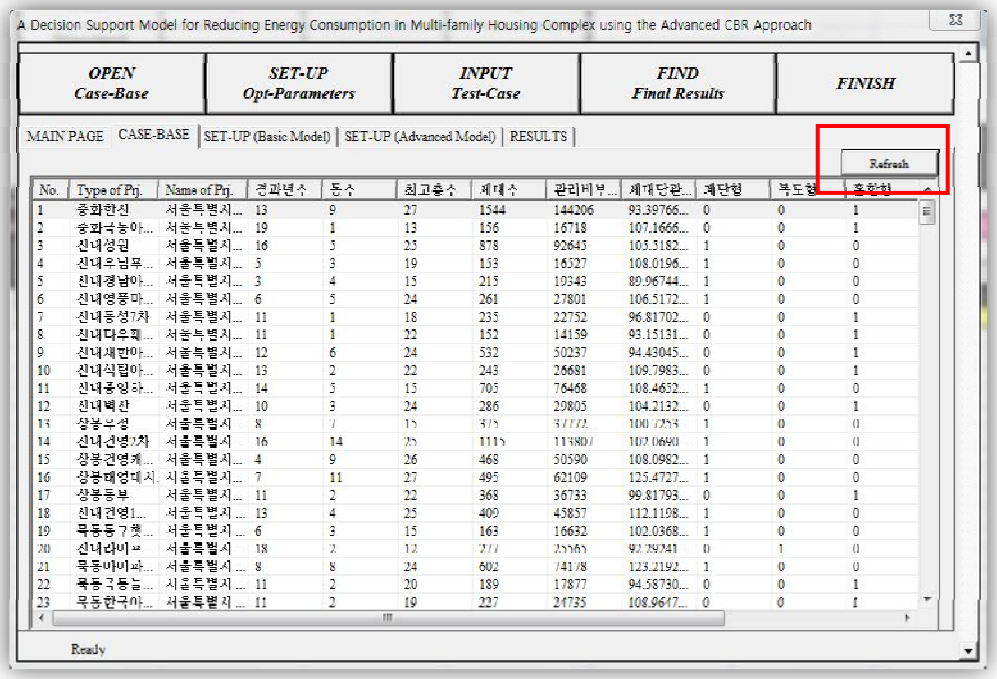
1. 

클릭한 후,하단의 CBR 버튼을 클릭하면, **"Case-Based Reasoning을 활용한 유사사례검색"** 화면이 제시된다.



2. 첫 번째로, 데이터베이스의 사례들을 모델 내부로 불러들이는 창이 제시된다.

- **Refresh** : 우측 상단의 버튼을 클릭하여, **데이터 불러오기** 기능을 실행한다.



6. Case-Base Reasoning을 활용한 유사사례검색 (계속)

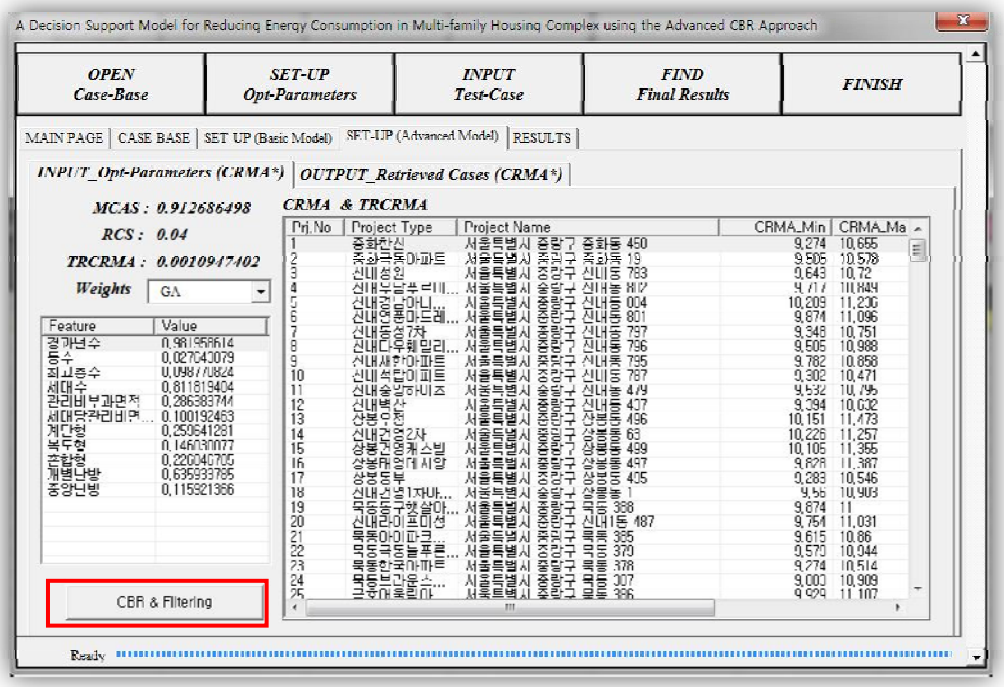
작업사항

결과 및 설명

3. 두 번째로, **데이터 불러오기**에 의해 모델에 저장된 사례에 기초하여, 최적화된 CBR 모델을 초기화 한다.

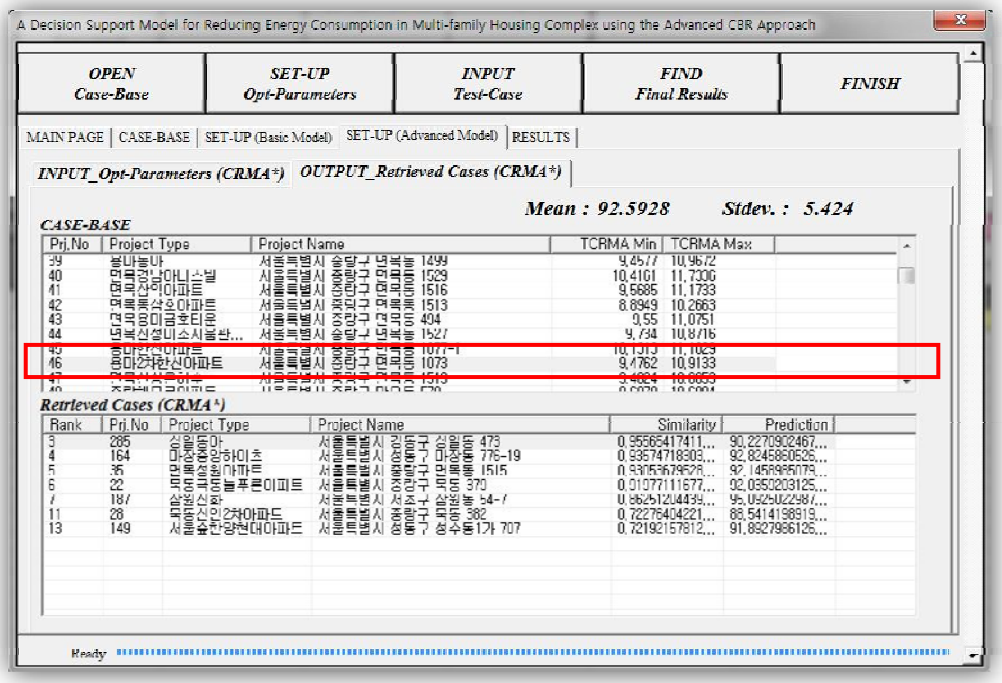
- **CBR & Filtering** : 좌측 하단의 버튼을 클릭하여, **CBR 모델 초기화** 기능을 실행한다

- **최적화 매개변수** : 4개의 최적화 매개변수, 즉, **MCAS, RAW, RCS, TRCRMA** 등의 최적화된 수치가 모델에 적용된다.



4. 세 번째로, 공동주택 단지별 에너지사용량을 비교·분석 하기 위하여, 해당 공동주택 단지를 선택함으로써, 유사사례 검색 결과를 확인할 수 있다.

- 상단의 **CASE-BASE로부터 하나의 공동주택 단지를 선택**한 경우, 유사 공동주택 단지 5건(예시)이 선택된 것을 확인할 수 있다. 이를 그래프화 하여 비교·분석할 수 있다.

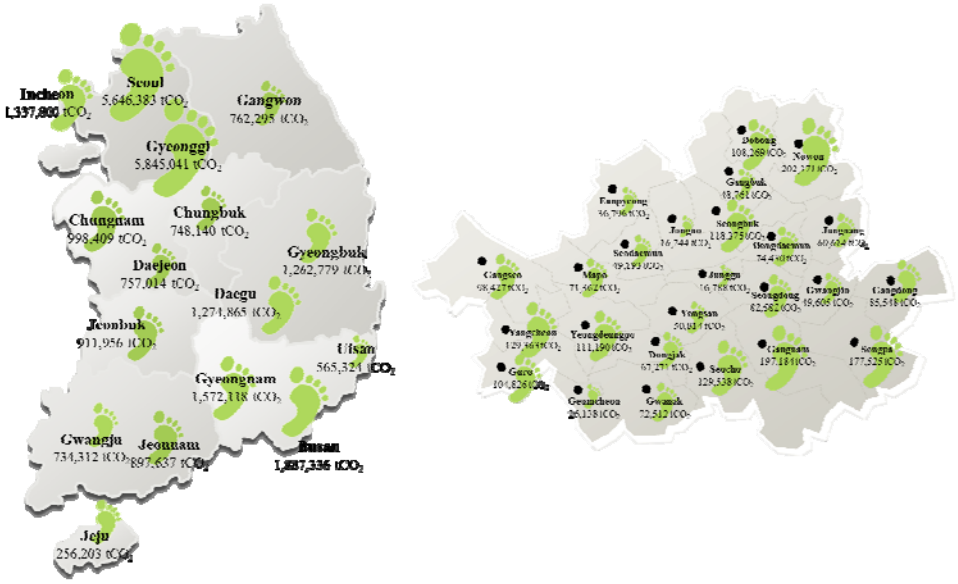


7. 온실가스 저감 목표기준 수립

작업사항

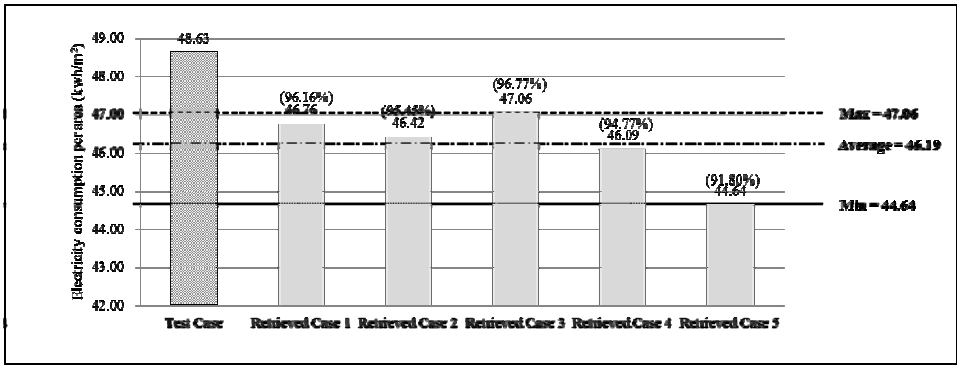
1. 네 번째로, 검색된 결과는 전국의 에너지 사용에 따른 온실가스 배출량 그래프(Green-house Gas Footprint Map)와 함께 제시된다. 또한, 해당 공동주택 프로젝트가 속한 지역(예를 들어, 서울특별시인 경우 구단위로 제시됨)의 온실가스 배출량 그래프도 함께 제시된다.

결과 및 설명



2. 비교기준이 되는 공동주택 단지(Test-Case)의 에너지사용량은 유사 프로젝트로 선정된 5건(예시)의 공동주택 단지(Retrieved Case)별 에너지사용량과 함께 그래프로 제시된다.

- 유사사례(Retrieved Case)를 활용하여, **최대값(Maximum) (Alt.1), 최소값(Minimum) (Alt.2), 평균값(Average) (Alt.3)의 3가지 기준값**이 제시되며, 최종의사결정자(Final Decision-Maker)의 의사결정을 위한 기본자료로 활용된다.



	Electricity Consumption per Area (kWh/m^2)	Total Electricity Consumption (kWh)	Total CO_2 Emission (tCO_2)	Expected Electricity Consumption Reduction (kWh)	Expected CO_2 Emission Reduction (tCO_2)
Test case	48.63	1,292,634	608.44	-	-
Alt. 1 Max.	47.06	1,250,902	588.80	41,732	19.64
Alt. 2 Min.	44.64	1,186,576	558.52	**106,058**	**49.92**
Alt. 3 Aver.	46.19	1,227,776	577.91	64,858	30.53

8. Summary

작업사항	결과 및 설명

1. 

클릭하면, 우측과 같은 **"Summary 쉬트"**가 제시된다.

2. Summary 구성
- **프로젝트 설계 정보**
- **에너지사용량 정보**

3. Summary의 화면 구성은 우측의 그림과 같고, 아이콘의 기능을 활용할 수 있다.
- **메인으로**
- **파일열기**
- **검색화면**
- **저장하기: 별도저장**
- **출력하기: 별도출력**

4. 프로젝트 조감도 이미지는 image folder에서 프로젝트 코드를 key 값으로 하여 연계되어 나타난다.



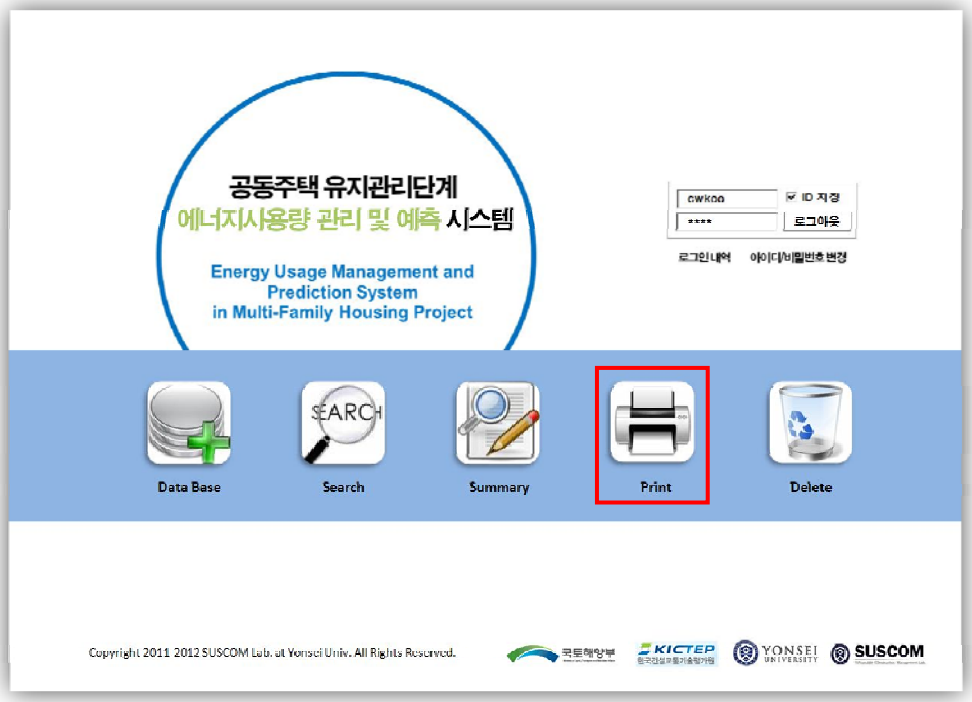


9. 출력

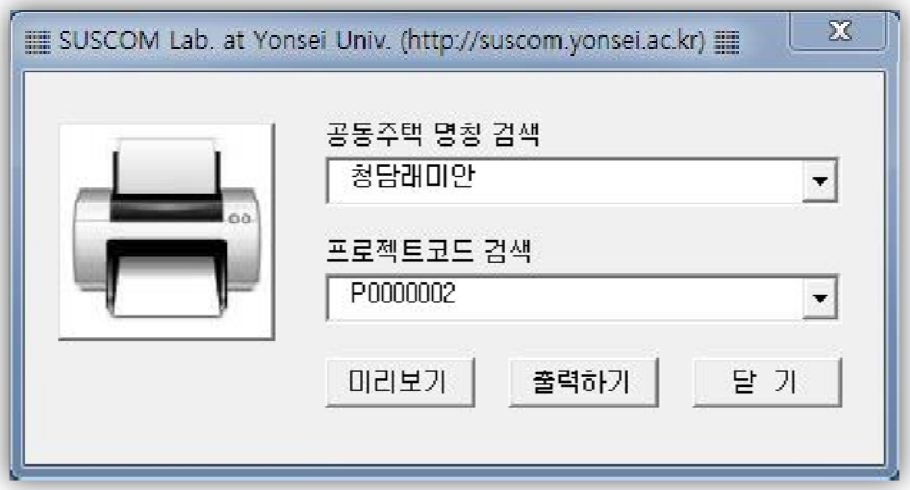
작업사항	결과 및 설명

1. 

클릭하면, 우측의 그림과 같이 출력하고자 하는 파일을 선택하기 위한 **"팝업창"** 이 제시된다.



2. 일괄 출력의 구성
- **앞 표지**
- **목차**
- **Summary**
- **프로젝트 정보**
- **설계정보**
- **에너지사용량정보**
- **뒤 표지**

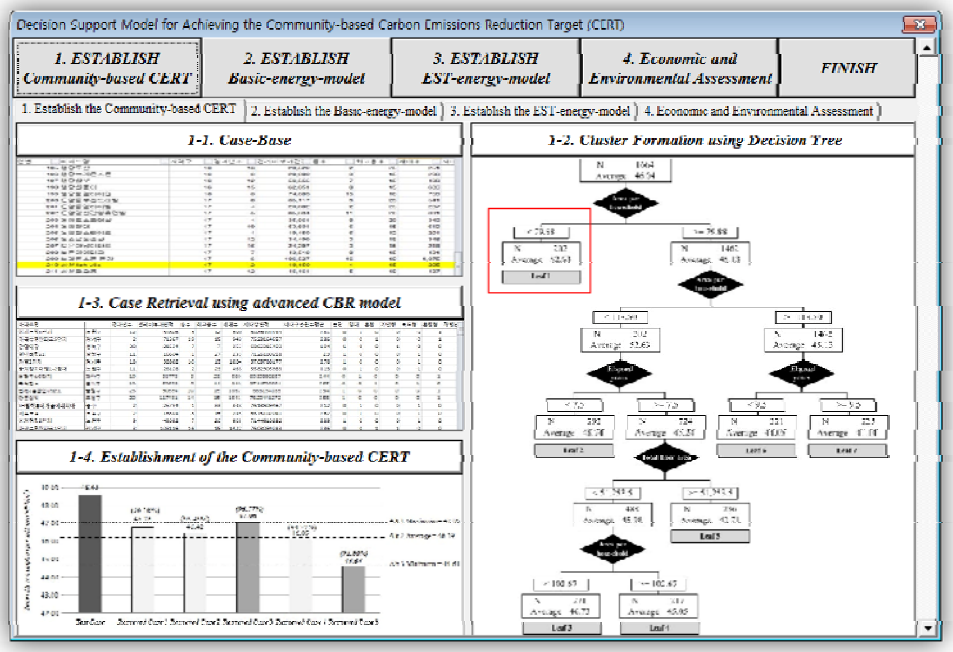


10. 최적 에너지 효율 개선 시나리오 선정

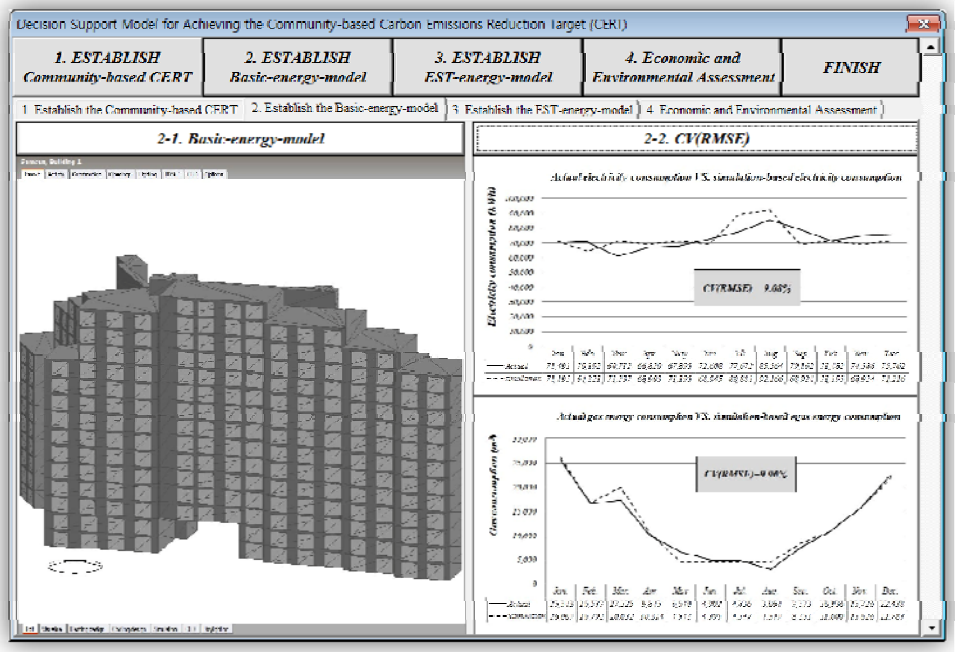
작업사항

1. "7. Carbon Emission Reduction Targeting (CERT)"에서 제시한 프로세스에 따라, 분석 대상 공동주택의 온실가스 저감 목표기준(CERT)를 수립한다. 프로젝트 특성 및 에너지사용량 정보를 기반하여, decision tree 방법론을 활용하여 cluster를 형성한다. 다음으로, 분석 대상 공동주택과 유사한 특성을 갖는 공동주택을 추출한다. 유사 공동주택의 에너지사용량 정보와의 비교평가를 통해, 분석 대상 공동주택의 온실가스 저감 목표기준을 수립한다.

결과 및 설명



2. 분석 대상 공동주택에 대한 에너지 시뮬레이션을 실시하여, 기본 모델을 구축한다. 에너지원별 실제 사용량과 시뮬레이션 결과를 비교하여, CV(RMSE)를 산출한다. 이 결과를 활용하여, 기본모델의 타당성을 검증한다. 또한, 에너지원별 소비현황 분석을 통해, 분석 대상 공동주택에 적용 가능한 에너지 절감기법(energy saving techniques) 또는 신재생에너지 시스템(new renewable energy system)을 선정한다.



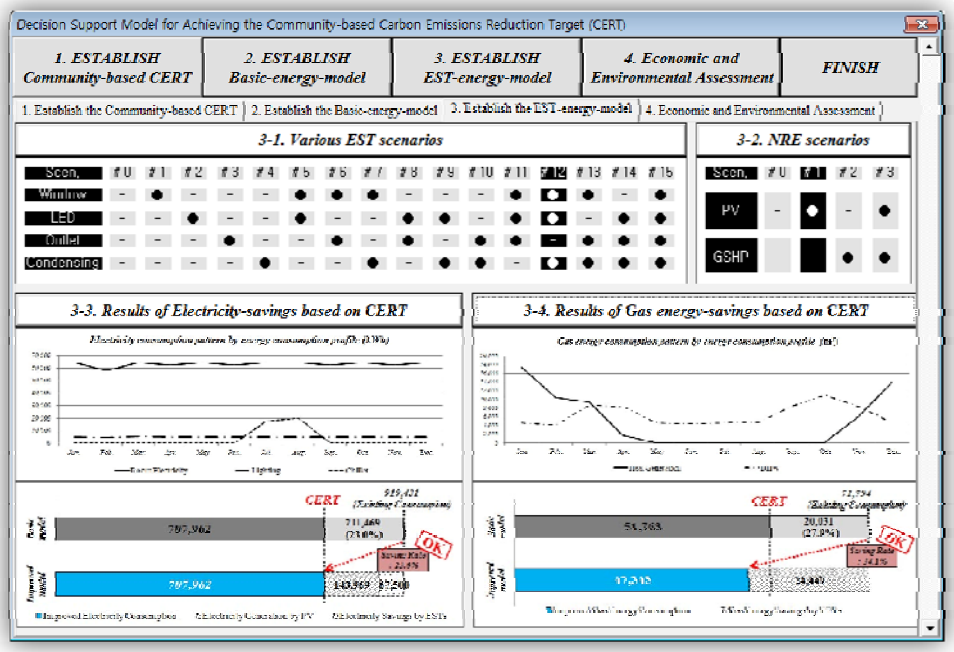
10. 최적 에너지 효율 개선 시나리오 선정 (계속)

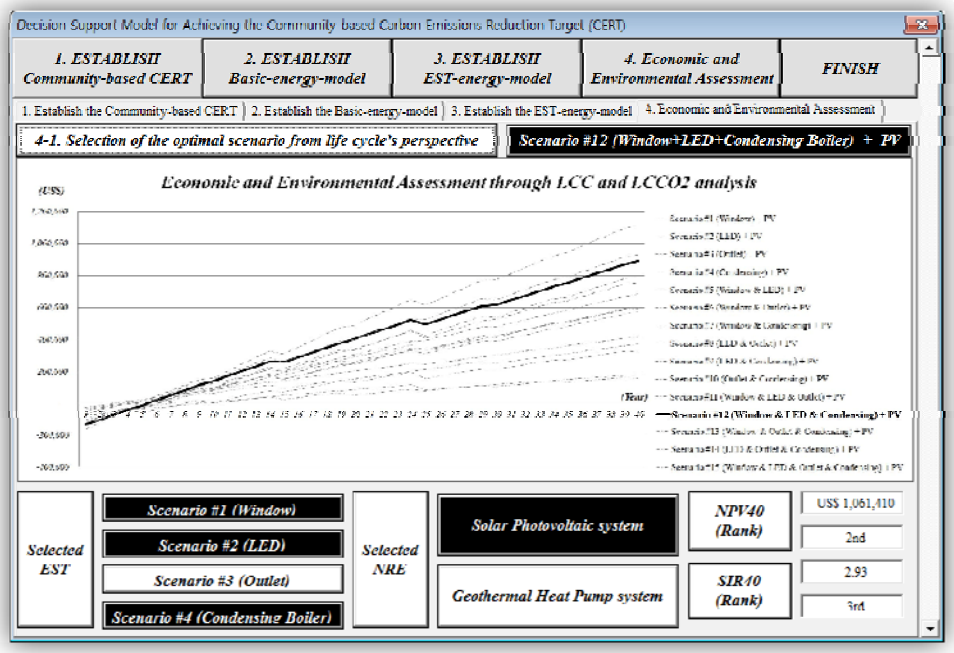
작업사항

3. 분석 대상 공동주택에 적용 가능한 에너지 절감기법(energy saving techniques) 또는 신재생에너지 시스템(new renewable energy system)을 활용하여, 다양한 에너지 효율 개선 시나리오를 수립한다. 이러한 시나리오를 기본모델에 적용함으로써, 개선된 에너지 모델을 구축한다. 다음으로, 각각의 에너지 효율 개선 시나리오에 대한 에너지원별 온실가스 저감 목표기준(CERT) 달성여부를 평가한다.

4. 다양한 에너지 효율 개선 분석 시나리오에 대한 에너지 절감효과 분석을 통해, CERT를 달성할 수 있는 시나리오를 선별한다. 이러한 선별된 시나리오에 대하여, LCC and LCCO2 analysis를 통해 경제성 및 환경성 평가를 실시한다. 초기공사비, 순현재가치(Net Present Value; NPV), 투자대비효과(Saving to Investment Ratio; SIR), 손익분기점(Break Even Point; BEP) 등의 평가기준에 따라 최적의 에너지 효율 개선 시나리오를 선정한다.

결과 및 설명





공동주택 시설물의

저탄소 시나리오 2020

Low Carbon Scenario 2020

in Multi-Family Housing Complex

사용자 매뉴얼

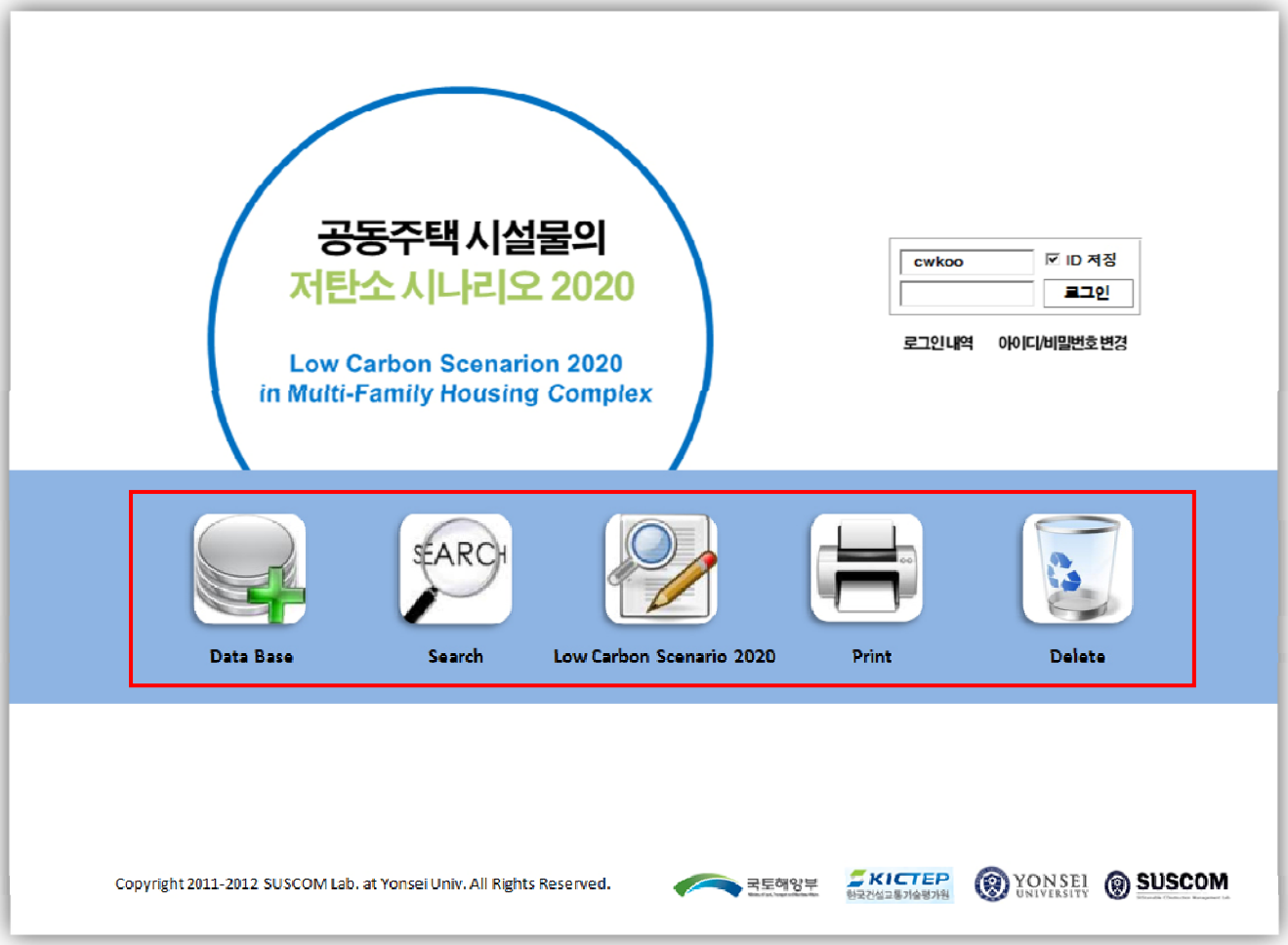
연세대학교 건축공학과 SUSCOM Lab.

Copyright 2011-2012 SUSCOM Lab. at Yonsei Univ.
All Rights Reserved.

목차

1. Main Page 3
2. 폴더 관리 4
3. 데이터베이스 관리 5
4. 사례 검색 6
5. Low Carbon Scenario 2020 7
6. 출력 12
7. 용어설명 13

1. Main Page



① 로그인 관리

- 공동주택 단지 에너지사용량 관리자의 권한에 의해, 로그인 정보를 부여할 수 있다.
- 로그인 정보의 초기설정은 다음과 같다.
  - I D : 이니셜 (예: **cwkoo**)
  - Pass : 호수 (**1201**)

② 기능구성

- **Data Base** : 개별 프로젝트 정보(특성 및 에너지사용량)를 통합 관리하기 위한 기능
- **Search** : 통합 DB 상에서, 기 수행된 프로젝트를 검색하기 위한 기능
- **Low Carbon Scenario 2020** : 공동주택 시설물의 저탄소 시나리오 2020 생성 기능
- **Print** : 기 수행된 프로젝트의 결과물을 출력하는 기능
- **Delete** : 필요에 따라, 데이터베이스에 축적된 데이터 중 일부를 삭제할 수 있는 기능

2. 폴더 관리

작업사항

1. 하나의 폴더에 우측 그림과 같이, **5개의 Folder 또는 File**로 구성된다.

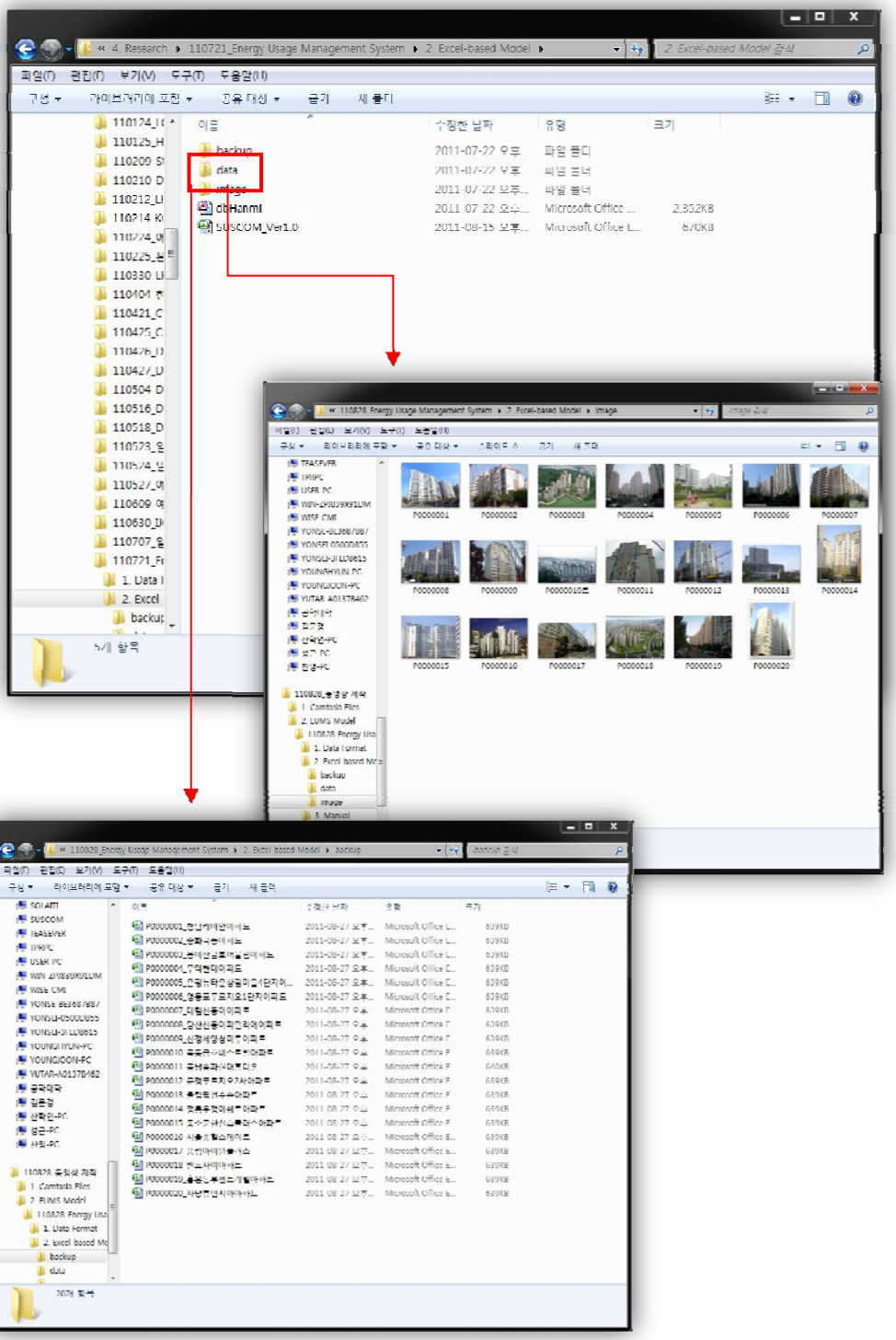
- folder : backup
- folder : data
- folder : image
- file : dbSUSCOM.mdb
- file : SUSCOM_V1.0.xlsm

2. 신규 프로젝트는 엑셀파일과 이미지 파일로 구성되며,
엑셀 파일은 data folder,
이미지 파일은 image folder에 저장한다.

- 시스템 구동 후, 

클릭하면, data folder에 있던 파일들이 backup폴더로 이동한다. (“3. 데이터베이스 관리” 참조①)

결과 및 설명



3. 데이터베이스 관리

작업사항

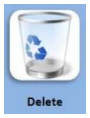
결과 및 설명

1. 

클릭하면, **data folder**에 있던 파일들이 **backup folder**로 이동한다.

2. **data folder에 파일이 존재하는 경우**, backup이 완료되면, 좌측의 **팝업창**이 나타난다.

3. **data folder에 파일이 존재하지 않는 경우**, 우측의 **경고 팝업창**이 나타난다.

4. 

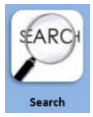
클릭하면, **backup folder**에 축적된 데이터 중 일부를 **선택적으로 삭제**할 수 있다.
단, ASSESS DB 에서 데이터가 삭제된 것으로, **backup folder** 데이터는 자동으로 삭제되지 않으므로 직접 삭제해야 한다.



4. 사례 검색

작업사항

결과 및 설명



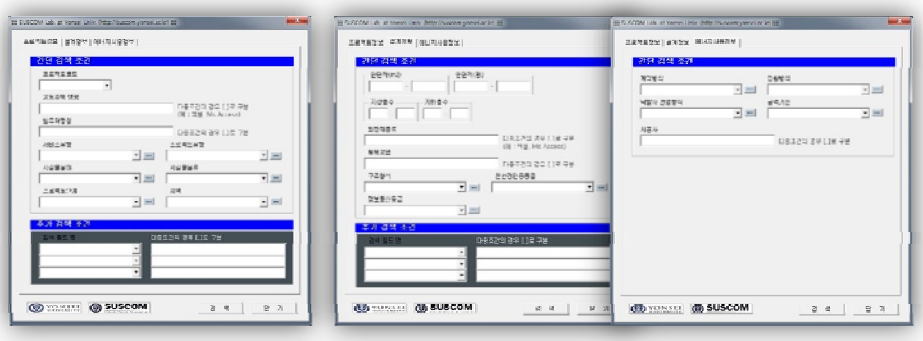
1. 클릭하면, 우측과 같은 **"검색창"**이 제시되며, 검색결과를 보여주는 **"프로젝트 검색 결과"** 화면이 제시된다.

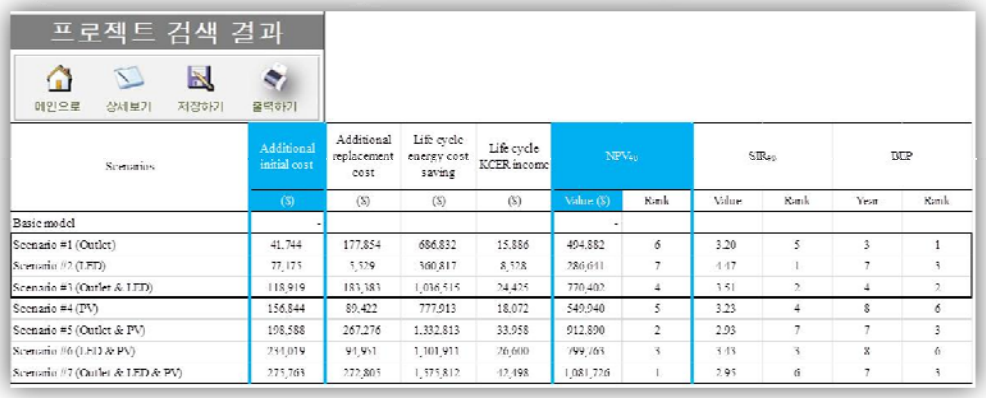
2. 검색인자는 2 가지유형으로 구분된다.
- **핵심 검색인자** : 검색창의 상단부에 고정적으로 제시된다.
- **기타 검색인자** : 검색창의 하단부에 선택적으로 적용된다.

3. 하나의 검색인자에 대하여 **"콤마(,)"**를 활용하여 "다중검색(or)"이 가능하며, 서로 다른 검색인자는 "and" 개념이 적용된다.

4. 프로젝트 검색 결과의 화면 구성은 우측의 그림과 같고, 아이콘의 기능을 활용할 수 있다.
- **메인으로**
- **상세보기**
- **저장하기: 별도저장**
- **출력하기: 별도출력**



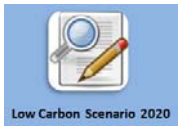




Scenarios	Additional initial cost	Additional replacement cost	Life cycle energy cost saving	Life cycle ICER income	NPV$_{60}$		SIR$_{60}$		DIP	
	($)	($)	($)	($)	Value ($)	Rank	Value	Rank	Year	Rank
Basic model	-				-					
Scenario #1 (Outlet)	41,744	177,854	686,832	15,886	494,882	6	3.20	5	3	1
Scenario #2 (LED)	77,175	5,579	360,817	8,578	286,611	7	1.47	1	7	3
Scenario #3 (Outlet & LED)	118,919	183,383	1,036,515	24,425	770,402	4	1.51	2	4	2
Scenario #4 (PV)	156,844	89,422	777,913	18,072	549,040	5	3.23	4	8	6
Scenario #5 (Outlet & PV)	198,588	267,276	1,332,813	33,958	912,890	2	2.03	7	7	3
Scenario #6 (LED & PV)	234,019	91,993	1,101,911	26,600	799,163	3	1.13	3	8	6
Scenario #7 (Outlet & LED & PV)	275,763	272,805	1,575,812	42,498	1,081,226	1	2.95	6	7	3

5. Low Carbon Scenario 2020

작업사항	결과 및 설명

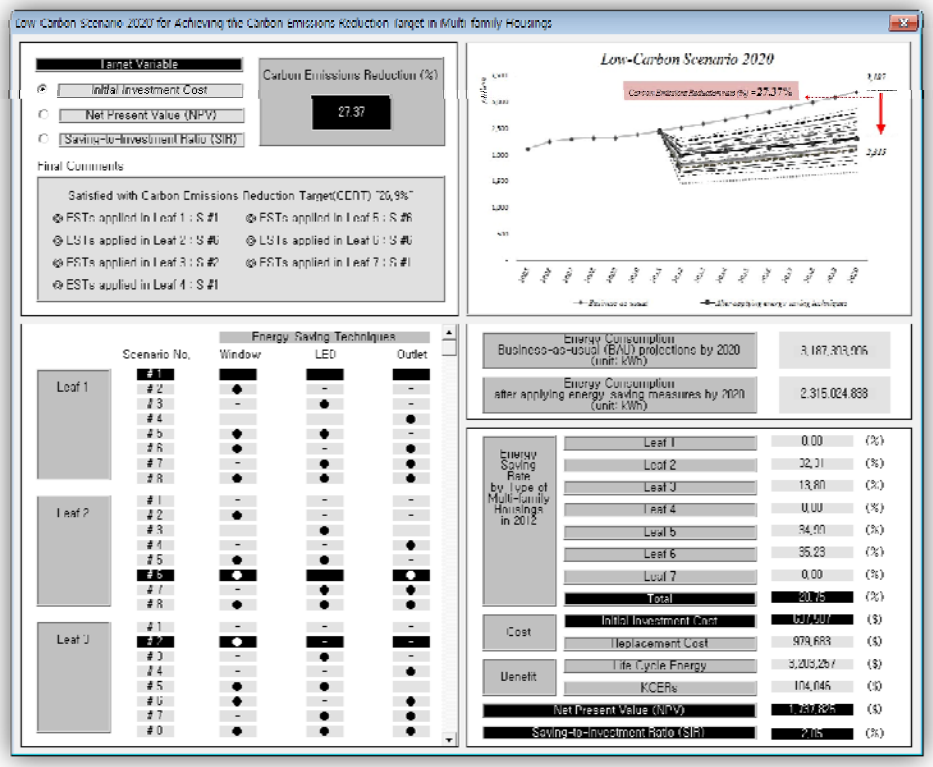
1. 

클릭하면, 우측과 같은 "**Low Carbon Scenario 2020**" User Form이 제시된다.



2. User Form 구성

- **목적변수 정보 및 선택**
- **온실가스 저감 목표기준 수립**
- **최적 에너지 효율 개선 시나리오 제시**
- **개선 전(BAU) 대비 개선 후 2020년 온실가스 배출 전망치 제시**
- **최종적인 최적화 결과 제시**



5. Low Carbon Scenario 2020 (계속)

작업사항

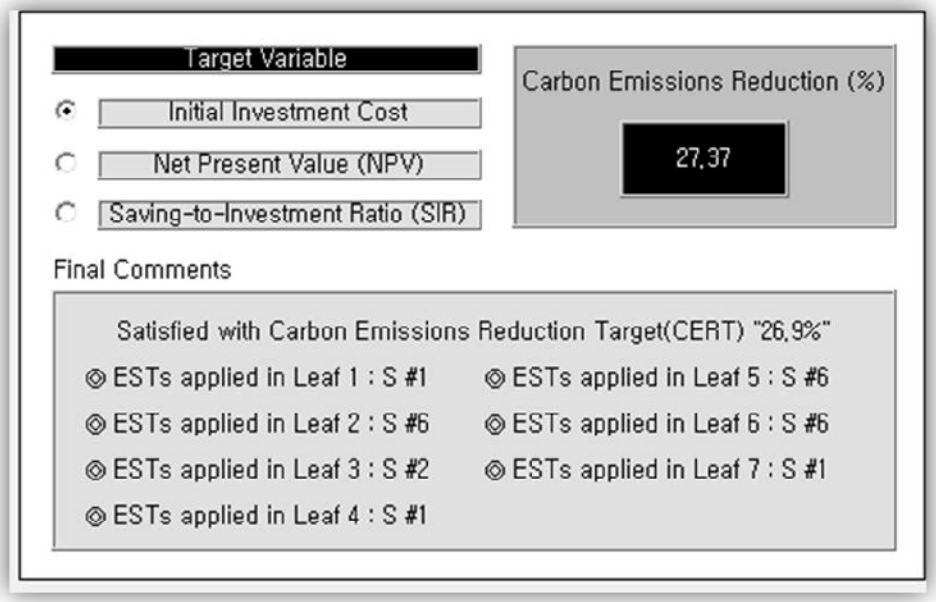
결과 및 설명

3. 최적화를 위한 **목적변수 (target variable)**를 선택한다.
- 초기 투자비용: 최소화 (minimization of initial investment cost)
- 순현재가치(NPV): 최대화 (Maximization of net present value)
- 투자 대비 수익율(SIR): 최대화 (Maximization of saving-to-investment ratio)



4. **온실가스 저감 목표 기준 (Carbon Emission Reduction Target: CERT)**에 대한 달성여부를 제시한다.
- 최적화 목적변수에 따른 CERT 제시

5. CERT 달성 시, **최적 에너지 효율 개선 시나리오**를 간략하게 제시한다.



5. Low Carbon Scenario 2020 (계속)

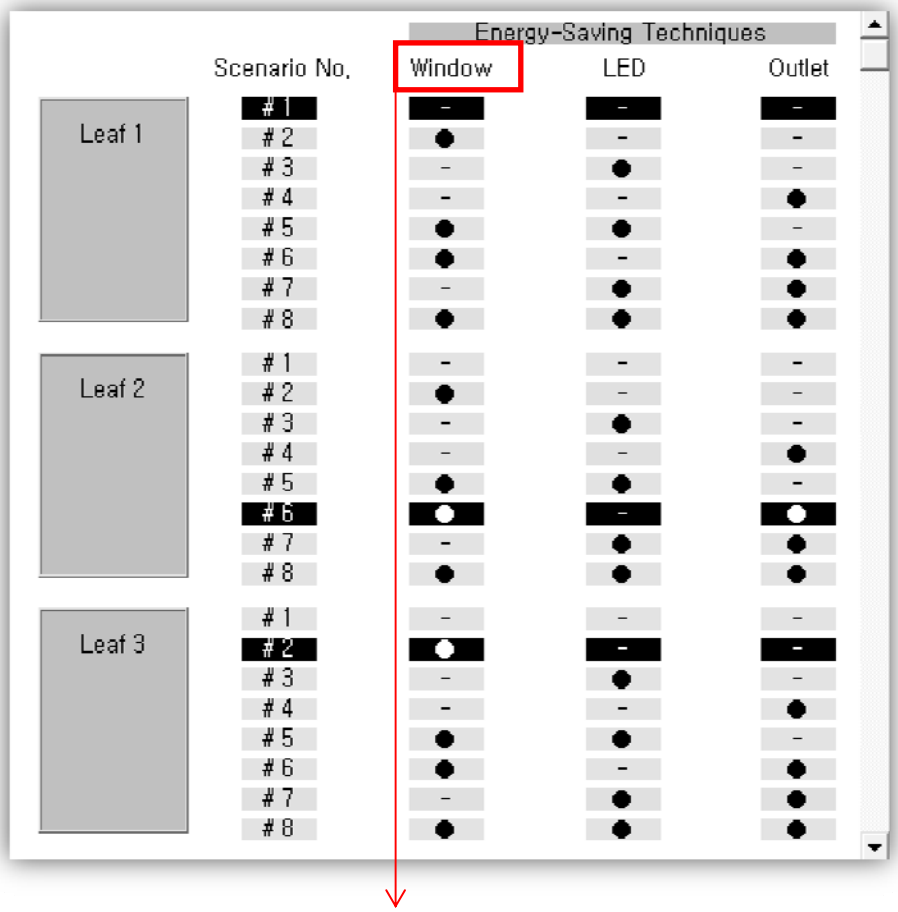
작업사항

결과 및 설명

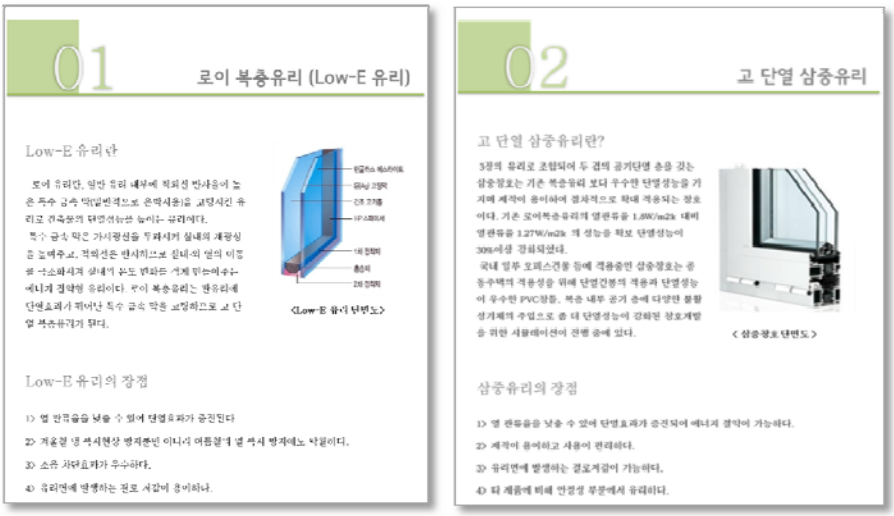
6. **최적 에너지 효율 개선 시나리오 선정 과정** (Optimization Process)

- 공동주택 유형별 (예: Leaf 1, leaf 2, leaf 3) 에너지 효율 개선 시나리오를 제시한다.

- 최종 의사결정자 관점에서 공동주택 유형별 최적 에너지 효율 개선 시나리오를 파악할 수 있다.



7. 링크정보: 에너지절감기법 및 신재생에너지 시스템에 대한 구체적인 특성을 제시한다.



5. Low Carbon Scenario 2020 (계속)

작업사항

결과 및 설명

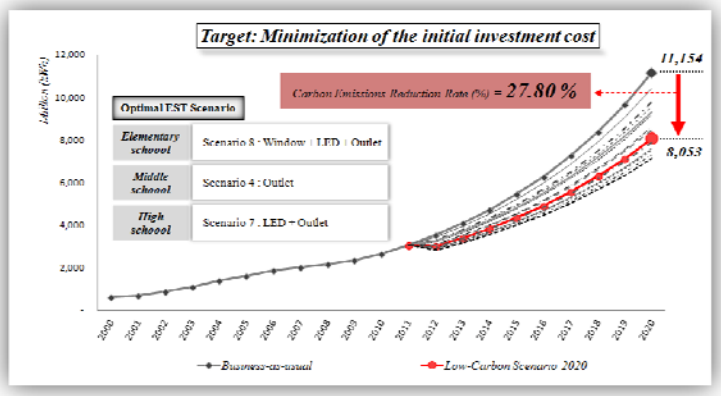
8. **그래프**

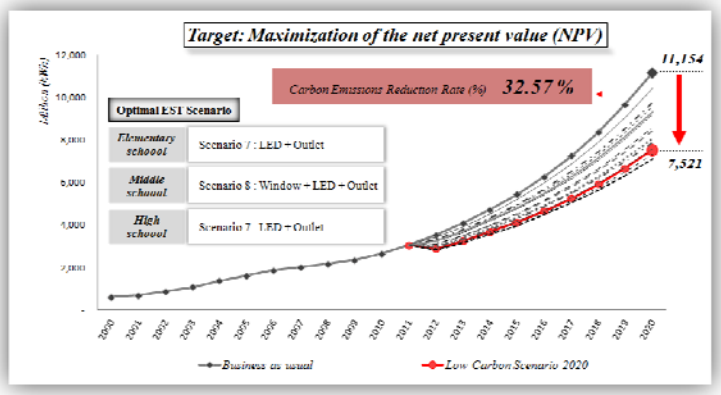
- 개선 전(BAU) 대비 개선 후 2020년 온실가스 배출 전망치를 제시한다.

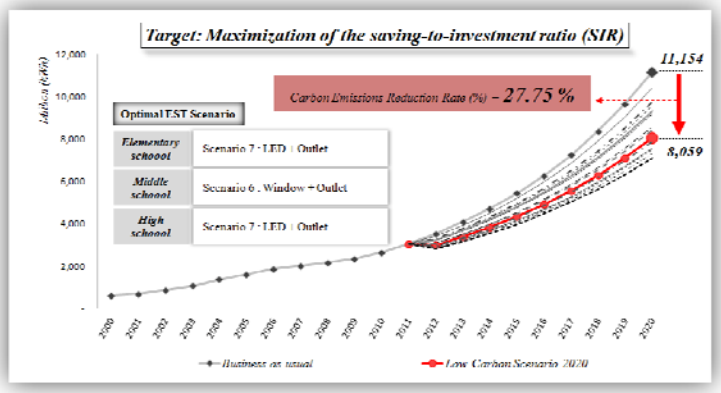
- BAU projections에 의한 **CAGR** 적용, 2020년까지 에너지 사용량 증가추세를 도식화하여 제시한다.

- 여러 가지 에너지절감기법 및 신재생에너지 시스템 도입 후 **iCAGR** 적용, 2020년까지 에너지 사용량 증가추세를 도식화하여 제시한다.

- 2020년 개선 전/후의 온실가스 배출량에 대한 비율을 제시함으로써, **온실가스 저감 목표기준(CERT)**을 달성했는지 여부를 판단할 수 있다.







9. **표**

- 개선 전(BAU) VS 개선 후 2020년 배출 전망치를 제시한다.

Energy Consumption Business-as-usual (BAU) projections by 2020 (unit: kWh)	3,187,393,996
Energy Consumption after applying energy-saving measures by 2020 (unit: kWh)	2,315,024,838

5. Low Carbon Scenario 2020 (계속)

작업사항

10. **최적화 결과**

- 공동주택 유형별 에너지 절감비율을 제시한다.

- 생애주기 동안 발생하는 비용을 제시한다 (초기투자비용, 수선교체비용).

- 생애주기 동안 발생하는 편익을 제시한다 (에너지 절감비용, 온실가스 감축 실적 비용).

- 비용 및 편익을 활용한 경제성 평가지표를 제시한다 (NPV, SIR).

결과 및 설명

Energy Saving Rate by Type of Multi-family Housings in 2012	Leaf 1	0.00	(%)
	Leaf 2	32.31	(%)
	Leaf 3	13.80	(%)
	Leaf 4	0.00	(%)
	Leaf 5	34.99	(%)
	Leaf 6	35.23	(%)
	Leaf 7	0.00	(%)
	Total	20.75	(%)
Cost	Initial Investment Cost	637,507	($)
	Replacement Cost	979,683	($)
Benefit	Life Cycle Energy	3,203,257	($)
	KCERs	104,046	($)
Net Present Value (NPV)		1,737,825	($)
Saving-to-Investment Ratio (SIR)		2.05	(%)

6. 출력

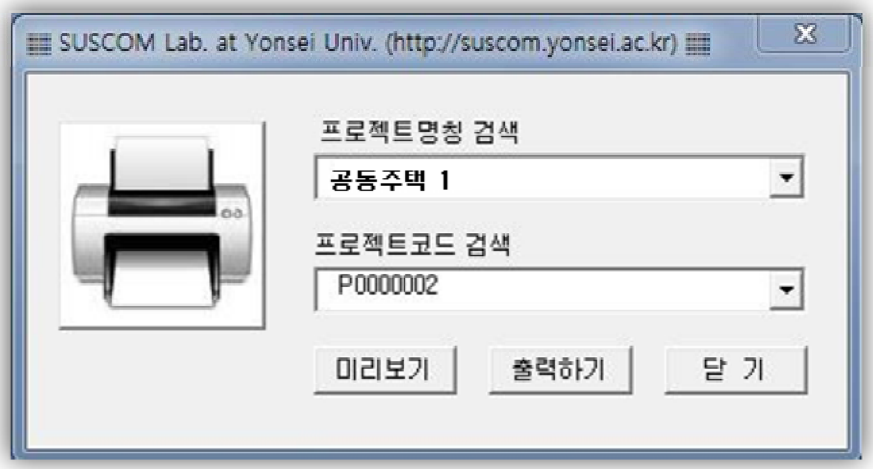
작업사항	결과 및 설명

1. 

클릭하면, 우측의 그림과 같이 출력하고자 하는 파일을 선택하기 위한 **"팝업창"** 이 제시된다.



2. 일괄 출력의 구성
- **앞 표지**
- **목차**
- **프로젝트 정보**
- **Result**
- **뒤 표지**



7. 용어설명

설명

① $$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

NPV: 순 현재가치
Bt: 연간 이득(에너지절감비용 및 온실가스 감축실적, 잔존가치)
Ct: 연간 투입비용(초기투자비, 교체수선비, 운영비, 해체폐기비)
r: 실질이자율
n: 분석기간 (생애주기기간)

- "NPV≥0"인 경우, 사업타당성이 인정
- "NPV=0"인 경우, 손익분기점 발생

② $$SIR = \frac{\sum_{t=0}^{n} \frac{S_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^{n} \frac{I_t}{(1+r)^t}}$$

SIR: 수익/투자 비율
St: 연간 수익(에너지절감비용 및 온실가스 감축실적, 잔존가치)
It: 연간투자비용(초기투자비, 교체수선비, 운영비, 해체폐기비)
r: 실질이자율
n: 분석기간 (생애주기기간)

- "SIR≥1"인 경우, 사업타당성이 인정
- "SIR=1"인 경우, 손익분기점 발생

7. 용어설명 (계속)

설명

③ $$CAGR\left(t_0,t_n\right)=\left(\frac{EC\left(t_n\right)}{EC\left(t_0\right)}\right)^{\frac{1}{\left(t_n-t_0\right)}}-1$$

CAGR: 연평균성장율
EC(t_n): t_n 해의 연간 에너지 사용량
EC(t_0): t_0 해의 연간 에너지 사용량
t_n-t_0: 분석기간

- 산출된 CAGR의 수치를 활용
- 2011년부터 2020년까지의 에너지사용량(energy consumption)에 대한 추세분석(trend analysis)을 실시

④ $$iCAGR\left(t_0,t_n\right)=\left[\left(\frac{EC\left(t_n\right)}{EC\left(t_0\right)}\right)^{\frac{1}{\left(t_n-t_0\right)}}-1\right]\times\left(1-ESR_s\right)$$

iCAGR: 개선(에너지절감기법 및 신재생에너지 도입) 후 연평균성장율
EC(t_n): t_n 해의 연간 에너지 사용량
EC(t_0): t_0 해의 연간 에너지 사용량
t_n-t_0: 분석기간
ESRs: 시나리오의 에너지절감비율

생애주기 비용 및 이산화탄소 분석 도구

Life Cycle Cost and Life Cycle CO_2 Analysis Tool

사용자 매뉴얼

연세대학교 건축공학과 SUSCOM Lab.

Copyright 2011-2012 SUSCOM Lab. at Yonsei Univ.
All Rights Reserved.

목차

1. Main Page 3
2. Tool Tab 4
3. 내역서 불러오기 5
4. 기본 입력사항 (LCA 가정사항) 6
5. 기본 입력사항 (LCC 가정사항) 7
6. 기본입력사항 (에너지 사용량) 8
7. 내역서 매칭(LCA 와 LCC) 9
8. 매칭 작업 마무리 및 파일 저장 10
9. 출력 (단일 건축물) 11
10. 출력 (대안선정) 12

1. Main Page



① 건축물 LCC & $LCCO_2$

- 건축물 전체를 대상으로 하여, 경제성 및 환경성 평가를 위한 모델
- 주로, 실시설계 단계(내역서)에서 활용

② 대안선정 LCC & $LCCO_2$

- 대안(또는 개선안)에 대하여, 경제성 및 환경성 관점의 최적안 선정 모델
- 주로, 기본설계/유지관리 단계에서 활용

2. Tool Tab



불러오기	기본 입력사항	매칭작업	출력
✓ 기능구성: 열기, 새로만들기, 저장, 다른이름으로 저장 ✓ 활용방법: 건축, 인테리어, 전기, 기계, 조경, 토목 등의 **공종별 내역서를 불러오고, 작업 후 저장**한다.	✓ 기능구성: LCA가정사항, LCC가정사항, 전력에너지, 가스에너지 ✓ 활용방법: 모델의 세부기능을 활용하기 전, **기본적인 가정사항을 설정**한다.	✓ 기능구성: LCA 매칭작업, LCC 매칭작업 ✓ 활용방법: 내역서의 각 항목과 **'LCA 가정사항의 환산계수', 'LCC 가정사항의 수선주기&수선율'을 매칭**시킨다.	✓ 기능구성: Part별 LCC집계, LCCO2 집계, 종괄집계 ✓ 활용방법: 프로세스 1, 2, 3을 순차적으로 완료한 후, **다양한 그래프 및 표를 결과로서 도출**한다.

■ 기능구성

- ✓ **불러오기**: 건축, 인테리어, 전기, 기계, 조경, 토목 등의 공종별 내역서를 불러오고, 작업 후 저장하는 단계
- ✓ **기본입력사항** : 모델의 세부기능을 활용하기 전, 기본적인 가정사항을 설정하는 단계
- ✓ **매칭작업** : 내역서의 각 항목과 'LCA 가정사항의 환산계수', 'LCC 가정사항의 수선주기&수선율'을 매칭시키는 단계
- ✓ **출력** : 프로세스 1(불러오기), 2(기본입력사항), 3(매칭작업)을 순차적으로 완료한 후 , 다양한 그래프 및 표를 결과로서 도출하는 단계

3. 내역서 불러오기

작업사항

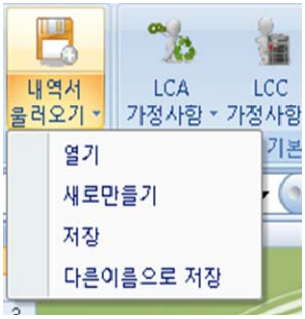
1.건축물 LCC & LCCO$_2$의 경우, 실시설계단계에 확정된 내역서를, 대안선정 LCC & LCCO$_2$의 경우 대안별 내역서를 불러오기부터 시작한다.

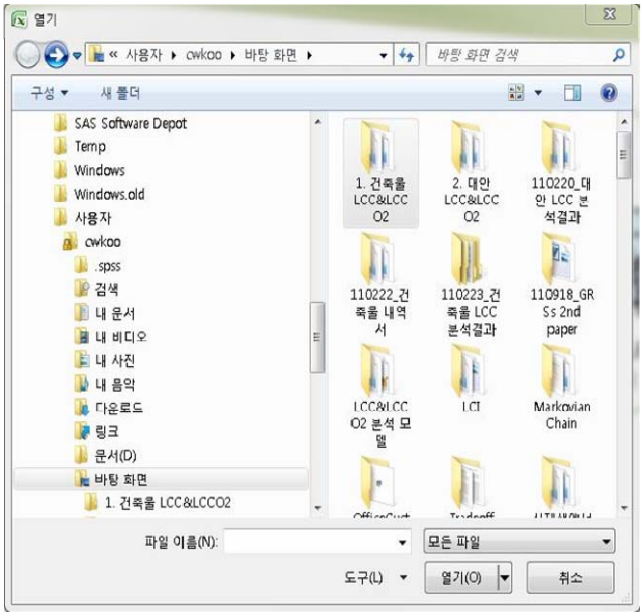
2. 내역서 불러오기 탭을 누르면, 순차적으로 **열기, 새로 만들기, 저장, 다른 이름으로 저장** 탭이 나온다.

3. **새로 만들기** 버튼을 클릭하여, 불러올 내역서를 폴더에서 선택한다.
이때, VE/LCC 용역에서는 **건축, 인테리어, 기계, 전기, 토목, 조경 이상 6가지**로 내역서가 작성된다.
(각 내역서에는 아이템 별 물량 및 금액이 나와 있다.)
대안별 내역서의 경우, 사용자가 정리해 놓은 내역서를 불러오면 된다. (단, 형식은 동일하게 작성되어야 함.)

결과 및 설명







4. 기본 입력사항 (LCA 가정사항)

작업사항

1. LCC 및 LCCO$_2$ 분석을 하기 위한 기본 입력 사항으로 **LCA 가정사항**을 입력한다.

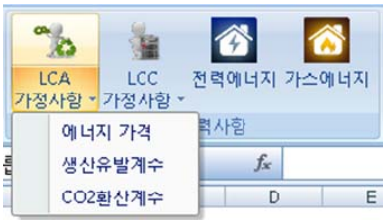
2. 건축물 전 단계 중 에너지 사용에 의한 CO_2 emission을 제외한 나머지 사항은 **LCA 평가 기법**을 이용하는데, 이를 위해 기본적으로 가정사항이 필요하다.

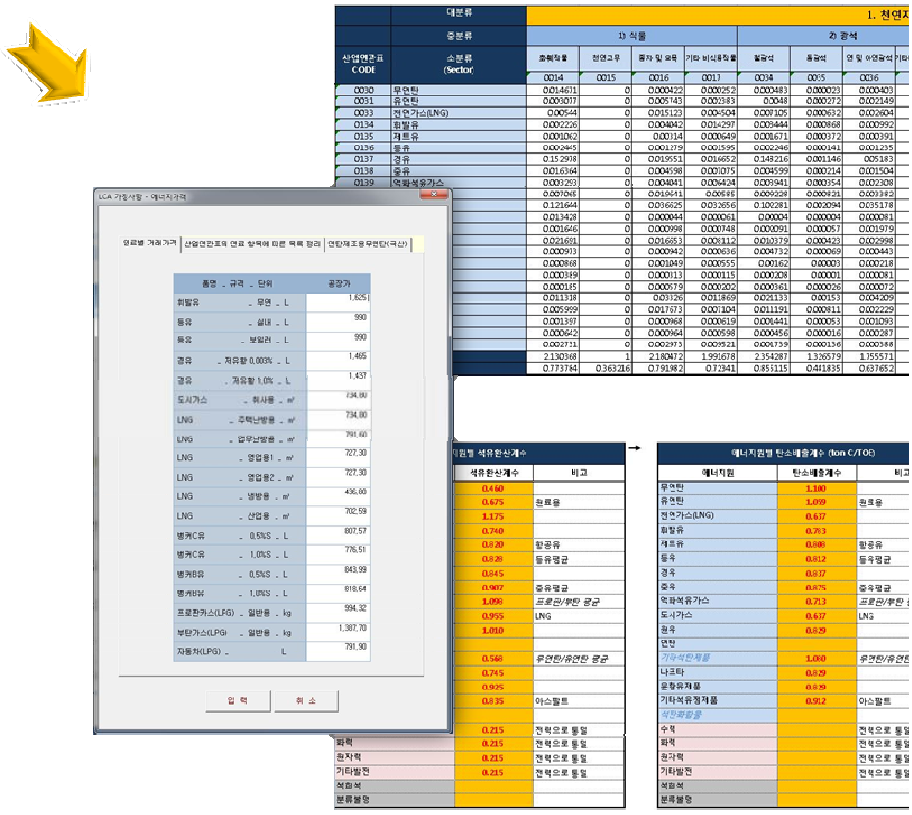
3. **에너지가격**의 경우, 실시간으로 업데이트 되기 때문에 **분석시점**에 맞추어 사용자가 업데이트가 필요함.

4. 갱신기간이 긴 **생산유발계수(5년)** 및 **CO_2 환산계수(계수의 변경 시 갱신)**는 시스템 상에서 업데이트 한 값이 고정으로 입력한다.

결과 및 설명







5. 기본 입력사항 (LCC 가정사항)

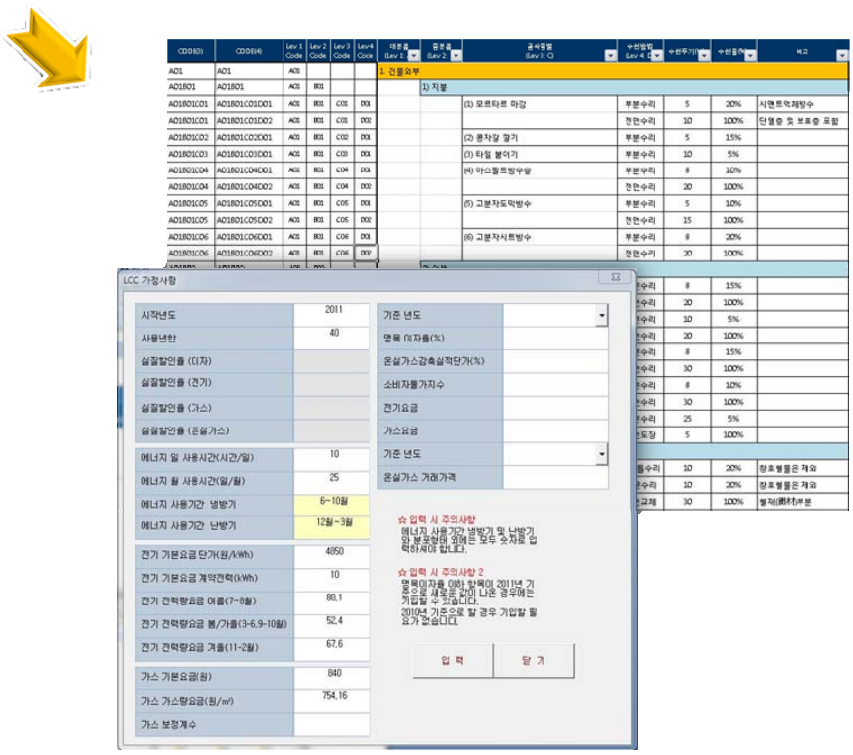
작업사항	결과 및 설명

1. LCC 가정사항으로, **기본 가정사항**을 입력하는데, 이는 총 분석기간, 시작년도를 기준으로 하는 각종 할인율 및 월별 에너지 요금사항 등을 입력한다.





2. **LCC 분석항목**은 유지관리 단계에서 중요한 **수선율, 수선주기**를 <주택법 시행규칙 (별표 5)> 를 바탕으로 작성하였는데, 수정가능 하도록 시스템을 연동시켜, 사용자가 필요시 변경 가능하다.



6. 기본입력사항 (에너지 사용량)

작업사항

1. 건물 운영단계의 전력 및 가스 에너지 사용량을 입력하는 단계이다.

2. 본 시스템은 에너지 효율성 평가를 위하여 **실제 1년치 실측 데이터**를 바탕으로 하거나, 실측 자료가 부족할 시, **에너지 시뮬레이션(BIM 관련)** 툴을 이용하여 에너지 사용량을 산출한다.

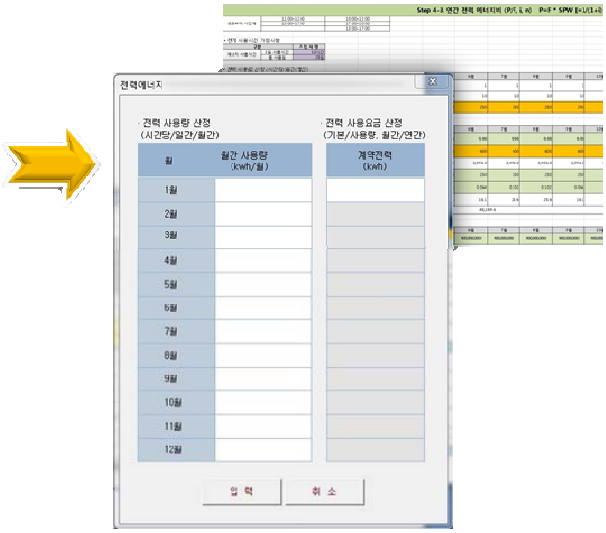
3. **전력에너지**는 각 월별 사용량 및 계약전력을 입력한다.

4. **가스에너지**는 냉방, 난방 에너지 사용량으로 나누어 월별 사용량에 맞게 입력한다.

결과 및 설명











7. 내역서 매칭(LCA 와 LCC)

작업사항

1. LCA 와 LCC를 분석하기 위하여 내역서와 매칭함으로써, **매칭된 각 항목은 수선 및 수선주기율을 고려**하여, 건축물 총 생애주기 동안 발생하는 **비용**뿐만 아니라 **CO_2 emission**을 산출한다

2.

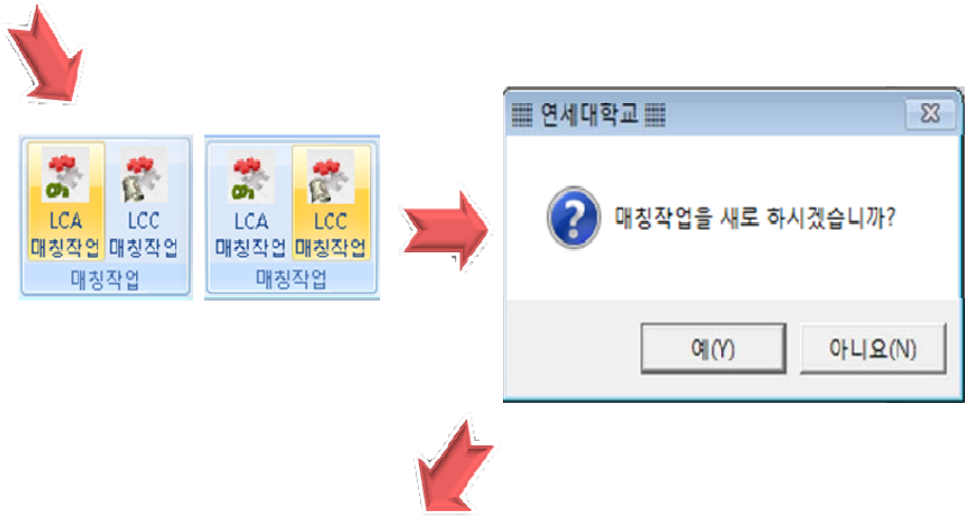


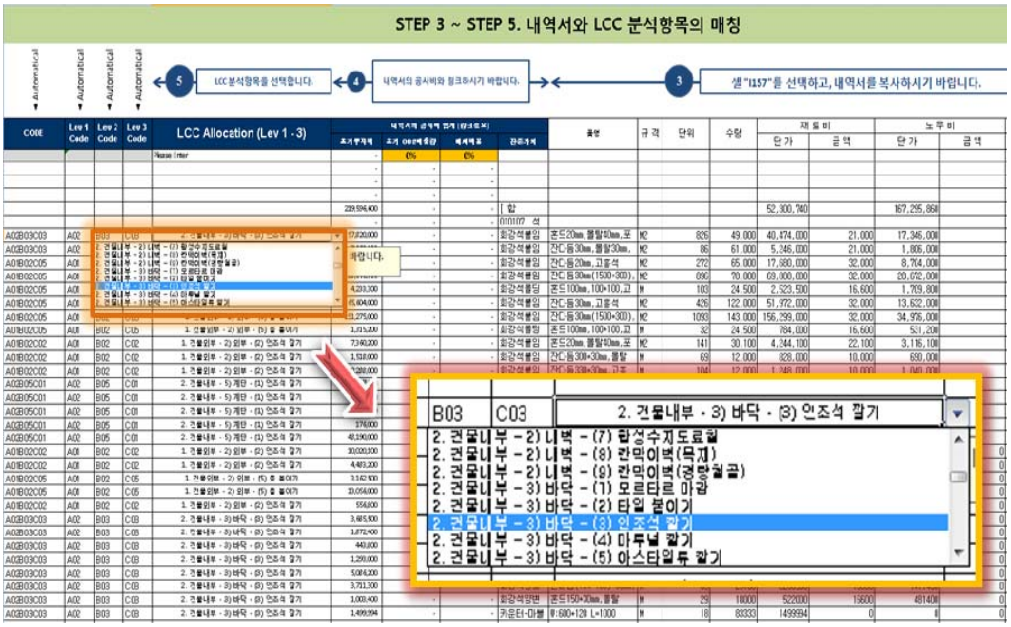
각 단계별로 상단의 버튼을 클릭하면, 매칭 작업의 유무를 묻는 창이 나온다. 이때, 예(Y) 버튼을 누르면, 3번 단계인 **내역서 불러오기**에서 불러왔던 내역서가 불러 들여지게 된다.

3. **LCA 매칭작업**에서는 대 분류, 중 분류, 소 분류 순으로 차례로 선택을 한다. **LCC 매칭작업**은 각 항목은 주택법 시행규칙에 맞추어 그 분류에 맞게 매칭을 수행함으로써 초기공사비에 수선주기 및 수선율을 적용시킨다.

결과 및 설명







8. 매칭 작업 마무리 및 파일 저장

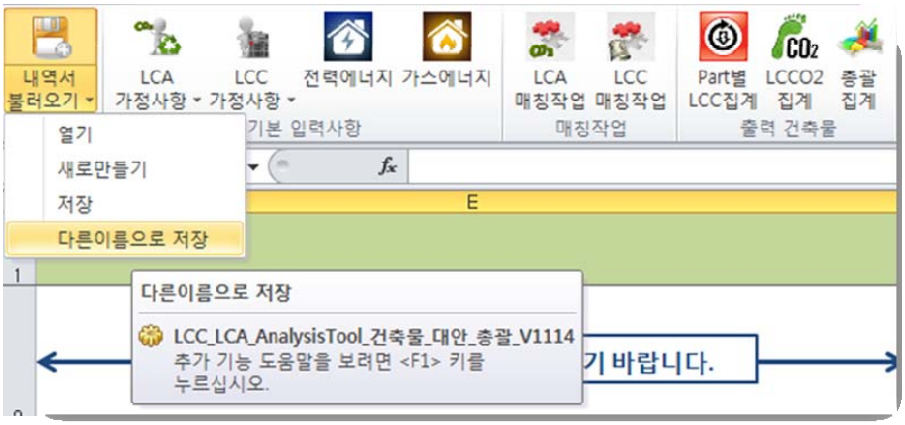
작업사항

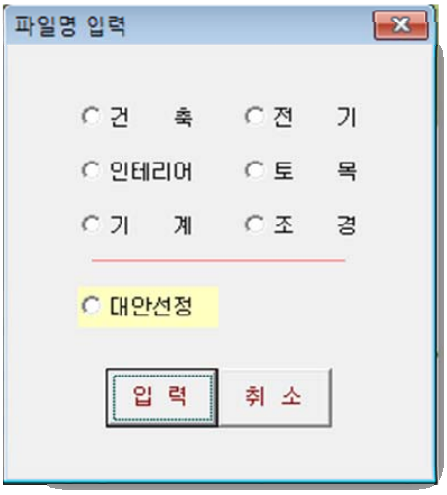
1. 매칭작업이 마무리 되면, 상단 왼쪽의 **내역서 불러오기** 사항에서 **다른 이름으로 저장하기 버튼**을 클릭합니다. 파일명 입력에서 불러온 내역서에 맞는 파일명을 선택한 후 입력 버튼을 누릅니다. 그러면, 건축 내역서에 대한 매칭 작업은 완료가 된다..

2. 건축 내역서 뿐만 아니라, 인테리어, 기계 등 각 내역서의 매칭 프로세스는 동일하다.

3. 파일은 건축물 LCC & LCCO2 작업의 경우 **건축LCC_LCCO2**, 대안선정 LCC&LCCO2 작업은 **대안선정 내역서파일_1** 형태로 저장이 된다.

결과 및 설명





9. 출력 (단일 건축물)

작업사항

1. 각 결과값은 상단 메뉴의 출력 건축물에서 파트별 LCC 집계 및 LCCO2버튼을 누르면 나온다.

2. **Part별 LCC 집계** 버튼을 누르면, 건축물 LCC의 각 파트별로 레벨에 따라 결과값이 산출 된다.

3. **LCCO$_2$ 집계** 버튼을 누르면, 건축물 각 파트별 총 생애주기 CO_2 발생량이 레벨에 따라 그래프로 출력 된다.

4. **총괄집계** 버튼을 클릭하면, 불러올 파일을 설정하는 창이 뜬다. 이때, 이전에 작업하였던 part 별 결과 파일을 차례대로 불러온다. 확인 버튼을 누르면 단일 건축물의 총 LCC 및 LCCO$_2$ 결과물을 보여준다.

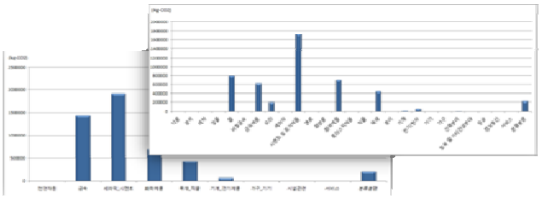
결과 및 설명













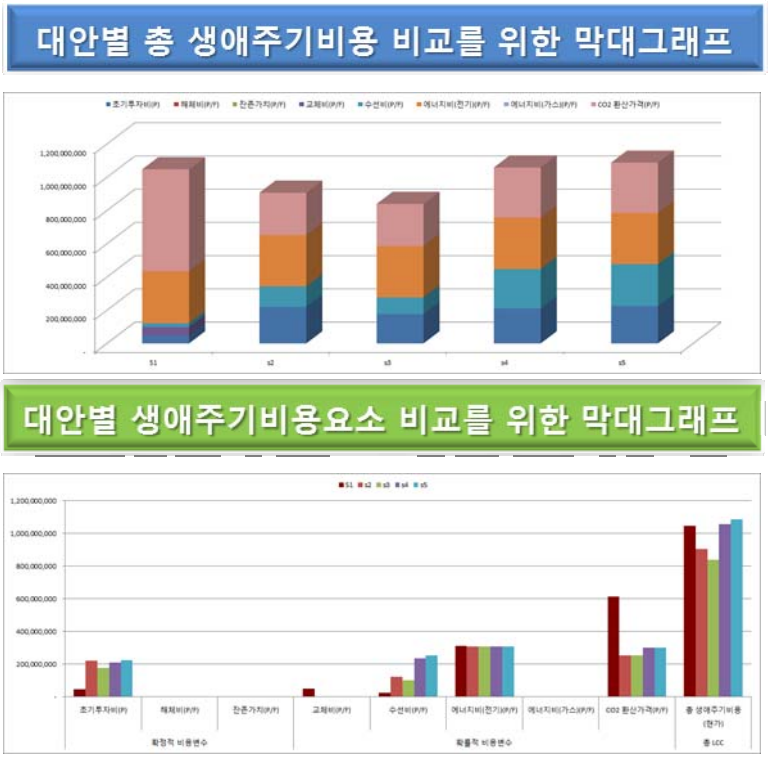


10. 출력 (대안선정)

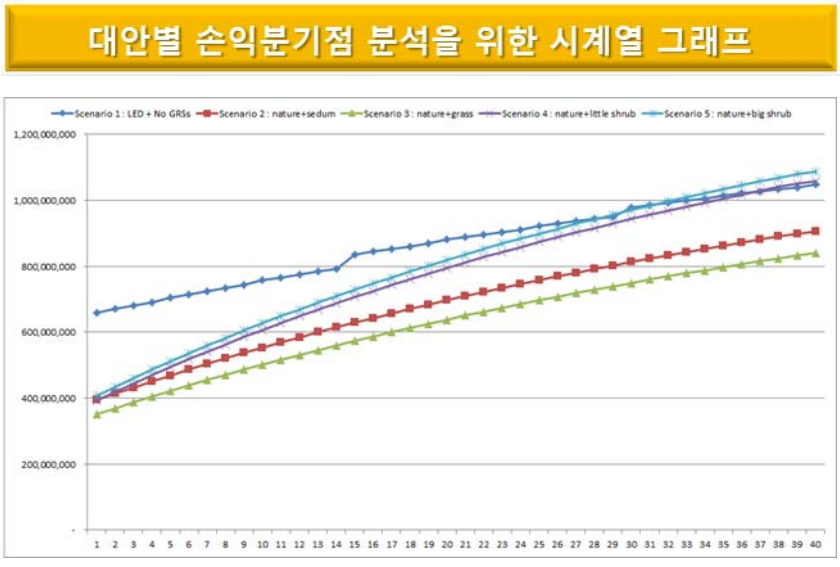
작업사항	결과 및 설명

1. 각 대안별로 매칭작업을 마친 후, 대안별 비교분석의 결과를 출력한다.

2. **LCC 비교표** 버튼을 클릭하면 파일 불러오기가 팝업창이 생성된다. 이때, 대안별로 저장된 파일을 차례로 불러온다.
대안별 LCC 비교표는 총 생애주기비용을 LCC를 통해 계산되는 경제적 비용변수와 LCCO$_2$통해 계산되는 환경적 비용 변수 모두를 포함하여 보여준다.



3. **LCC 손익분기점** 버튼을 클릭하면, 상단의 표와 하단의 그래프가 나타난다. 그래프는 대안별로 CO_2 발생량을 비용으로 환산한 비용을 포함한 LCC 값을 시계열로 보여줌으로서 손익 분기점을 알 수 있다.



신재생에너지 시스템 분석 도구

(RETScreen program)

New Renewable Energy system Analysis Tool

(RETScreen program)

사용자 매뉴얼

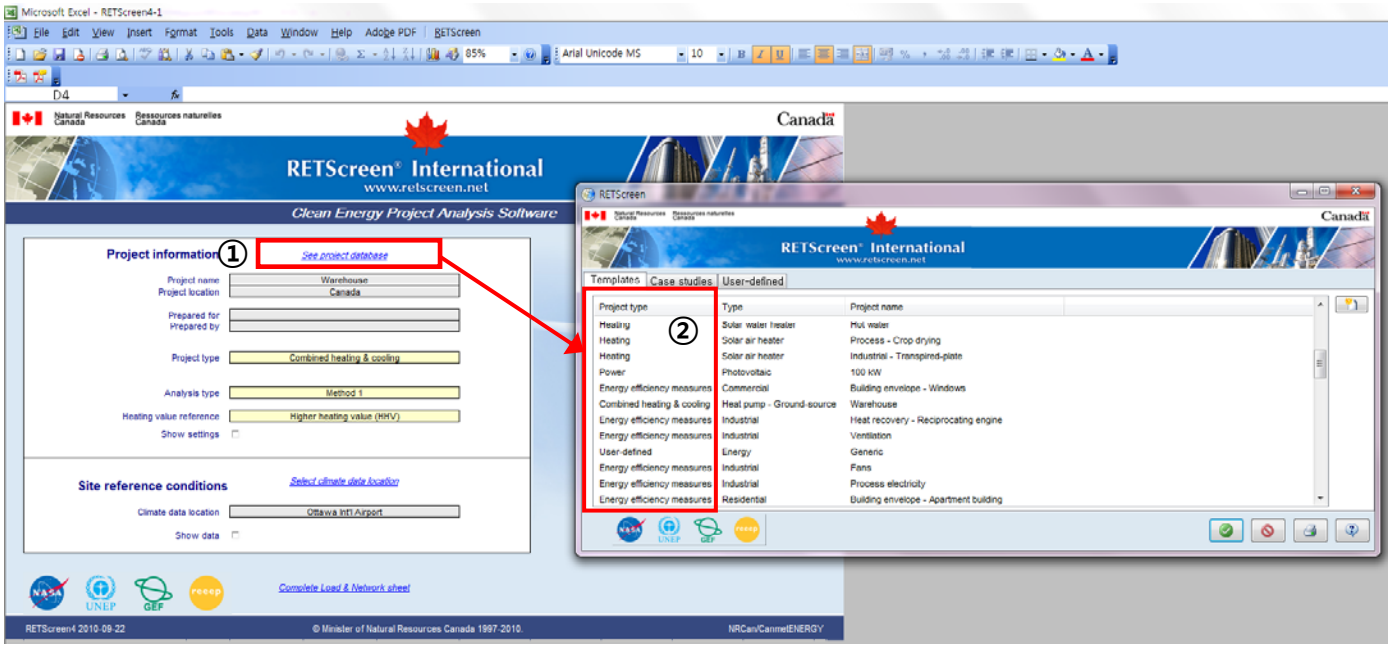
연세대학교 건축공학과 SUSCOM Lab.

Copyright 2011-2012 SUSCOM Lab. at Yonsei Univ.
All Rights Reserved.

목차

1. Library (Sample) 3
2. Help 4
3. Main Page 5
4. 태양광 6
5. 지열 12

1. Library (Sample)



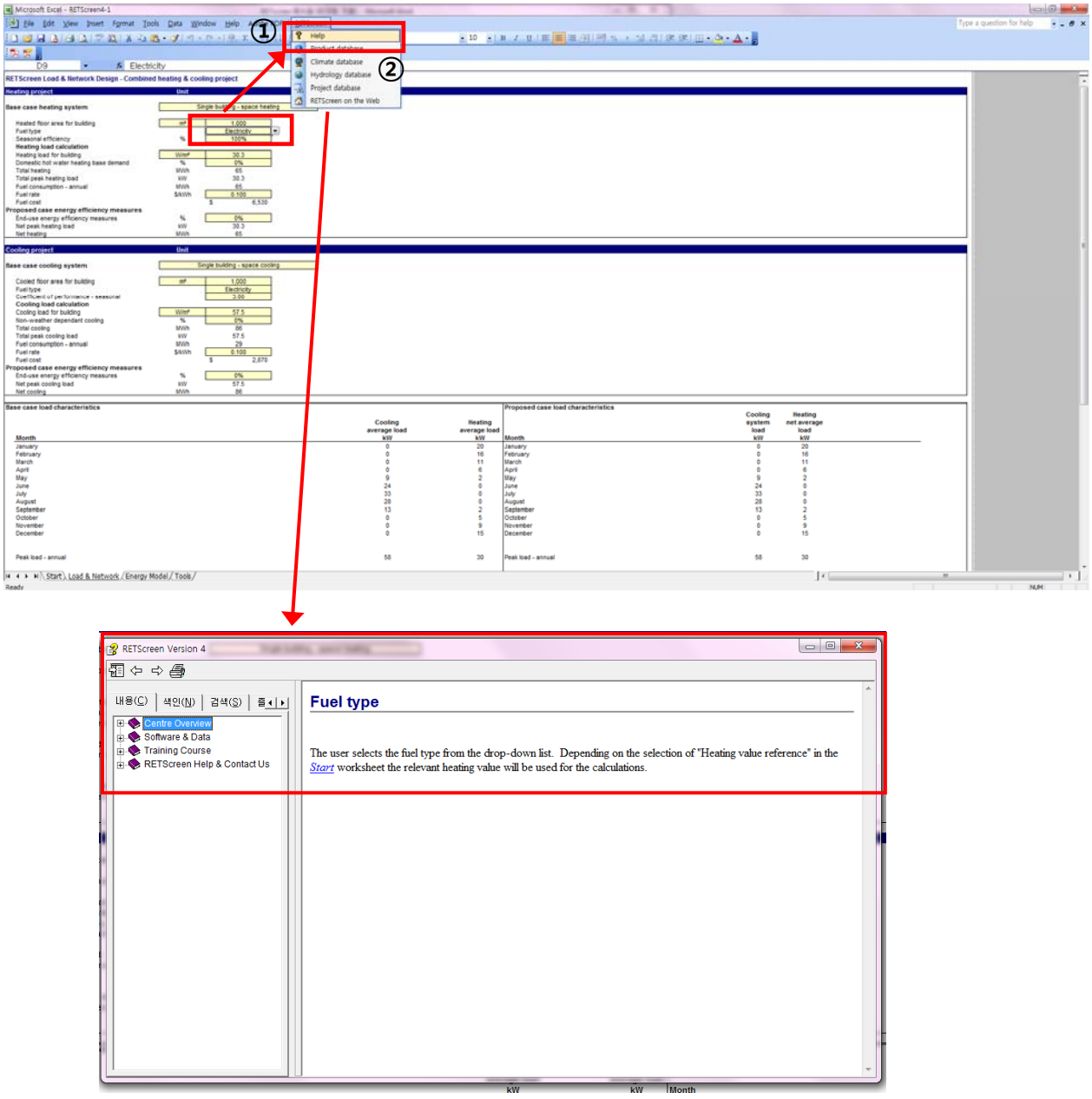
① **Project information**

- See project database: 예제 파일 Library

② **Templates, Case studies, User-defined**

- 프로젝트 Type에 따라 원하는 자료 선택가능

2. Help

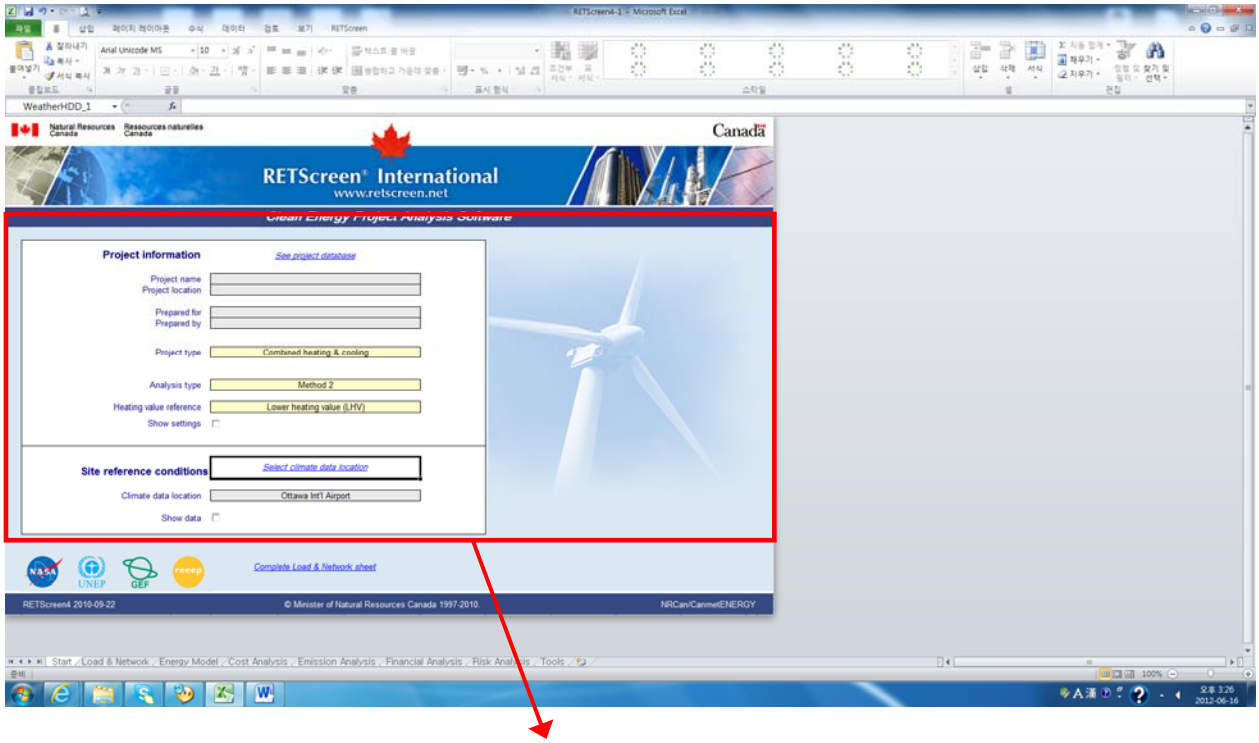


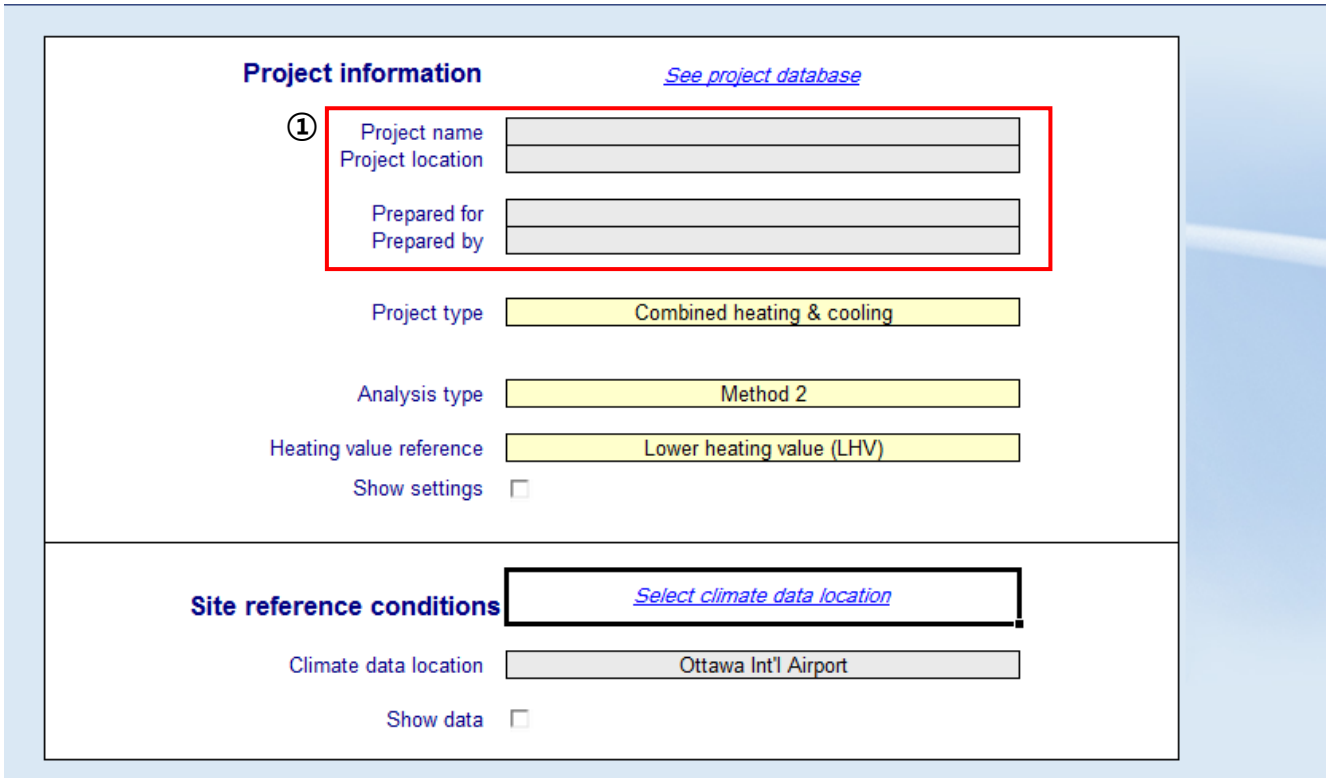
① **궁금한 내용의 셀 선택**

② **RETScreen → Help**

- 새 창이 열리면서, 선택한 셀 영역의 해당하는 설명을 볼 수 있음..

3. Main Page



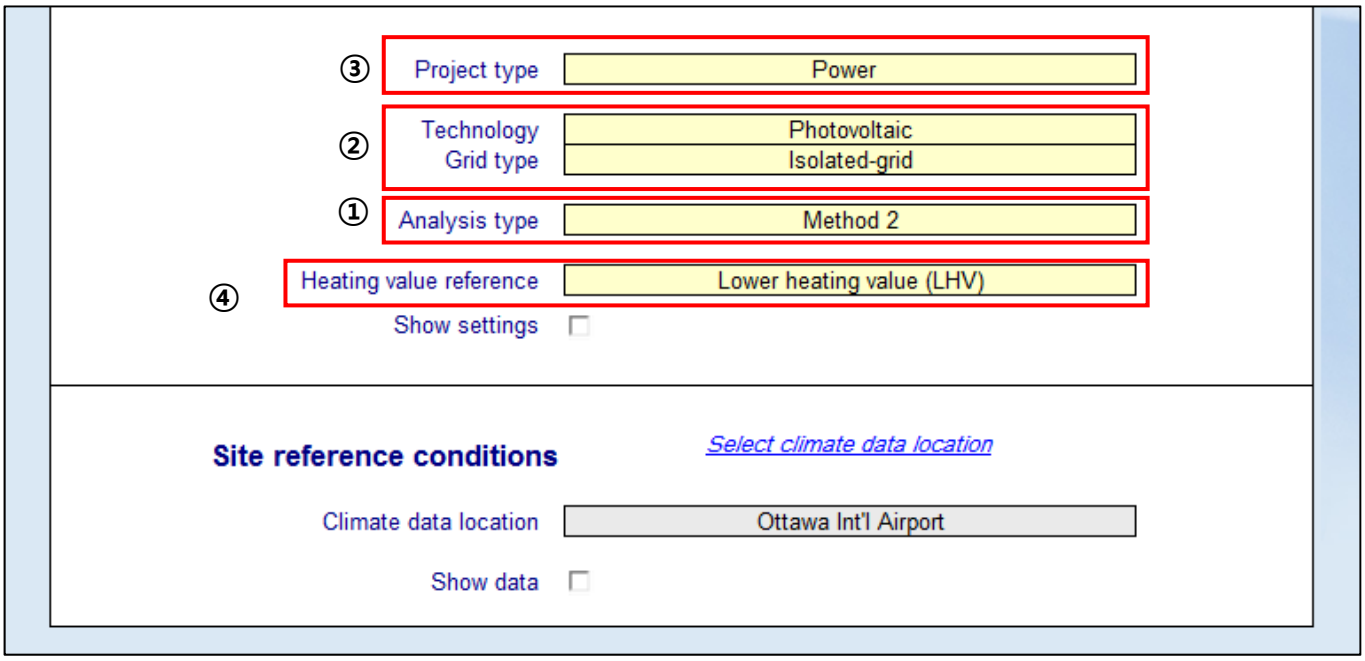


① 프로젝트 기본정보

- 프로젝트 기본 정보 입력란으로 프로젝트 명, 위치, 관리자 등 프로젝트 관련 기본 정보를 입력 (생략해도 무관)

4. 태양광 에너지 시스템

4.1 Start Sheet



① **Project type**

- Power

② **Technology & Grid type**

- Technology: Photovoltaic (태양광)
- Grid type: Central-grid(태양광발전단지), Central-grid & internal load, **Isolated-grid**, Isolated grid & internal load, off-grid

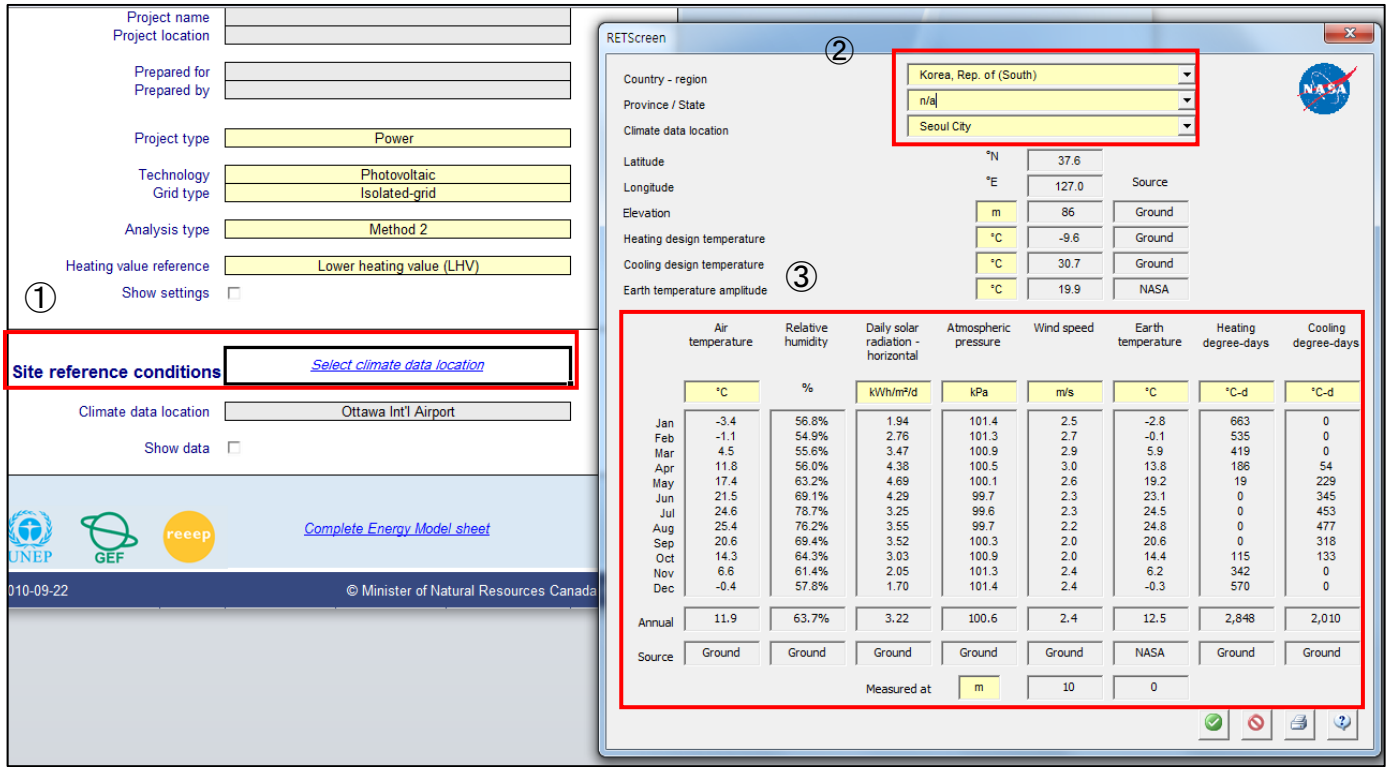
  → Isolated-grid: 전력계통으로부터 전력을 공급받지 못하는 낙도나 산간벽지, 무인등대, 무인중계소 등에 축전지와 인버터를 이용하여 직류 부하 또는 교류 부하에 전력을 공급한다. 상용 전력계통과 독립하여 태양광 발전 전력만으로 부하에 전력을 공급하며, 발전의 불안정성을 보완하기 위하여 부하 용도에 따라 축전지와 보조발전기를 사용하는 것이 일반적임.

③ **Analysis Type**

- Method 1: 간편분석
- **Method 2: 상세분석**

④ **Heating value reference**

- Higher heating value (잠열까지 포함되는 경우에 해당)
- **Lower heating value (보통 연료 계산시 LHV를 이용)**



① Site reference condition (지역)

- Select climate date location

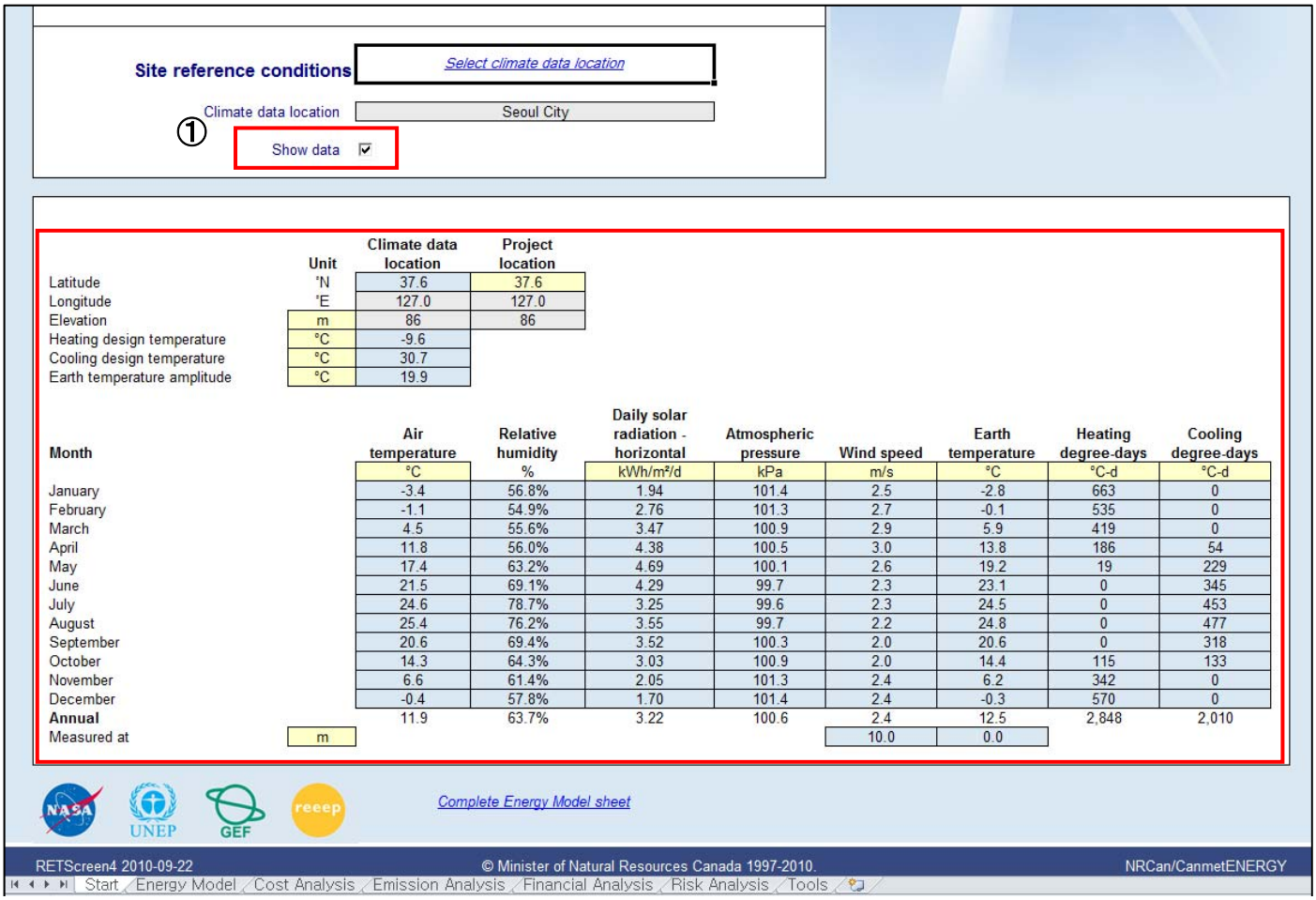
② 해당 지역 선택

- Country – region: 지역 선택 (예: 대한민국- Korea, Rep.of(South))
- Province/ State: n/a
- Climate data location: 해당 도시 선택

  - 분석 가능 지역: 안동, 제주, 진주, 전주, 철원, 춘천, 충무, 추풍령, 인천, 강릉, 군산, 광주, 마산, 목포, 오산, 백령도, 부산, 평택, 서울, 서귀포, 속초, 수원, 대구, 대관령, 대전, 동해, 울진, 울릉도, 울산, 완도, 원주, 여수

③ 기후데이터

- 해당지역의 날씨(위도, 경도, 고도, 난방설정온도, 냉방설정온도, 기온, 지중온도의 변화폭, 기온, 습도, 수평면 일사량, 기압, 풍속, 지중온도, 냉난방 도일 등)를 나타냄.



Site reference conditions | Select climate data location

① Climate data location: Seoul City

Show data ☑

	Unit	Climate data location	Project location
Latitude	°N	37.6	37.6
Longitude	°E	127.0	127.0
Elevation	m	86	86
Heating design temperature	°C	-9.6	
Cooling design temperature	°C	30.7	
Earth temperature amplitude	°C	19.9	

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	-3.4	56.8%	1.94	101.4	2.5	-2.8	663	0
February	-1.1	54.9%	2.76	101.3	2.7	-0.1	535	0
March	4.5	55.6%	3.47	100.9	2.9	5.9	419	0
April	11.8	56.0%	4.38	100.5	3.0	13.8	186	54
May	17.4	63.2%	4.69	100.1	2.6	19.2	19	229
June	21.5	69.1%	4.29	99.7	2.3	23.1	0	345
July	24.6	78.7%	3.25	99.6	2.3	24.5	0	453
August	25.4	76.2%	3.55	99.7	2.2	24.8	0	477
September	20.6	69.4%	3.52	100.3	2.0	20.6	0	318
October	14.3	64.3%	3.03	100.9	2.0	14.4	115	133
November	6.6	61.4%	2.05	101.3	2.4	6.2	342	0
December	-0.4	57.8%	1.70	101.4	2.4	-0.3	570	0
Annual	11.9	63.7%	3.22	100.6	2.4	12.5	2,848	2,010
Measured at	m				10.0	0.0		

Complete Energy Model sheet

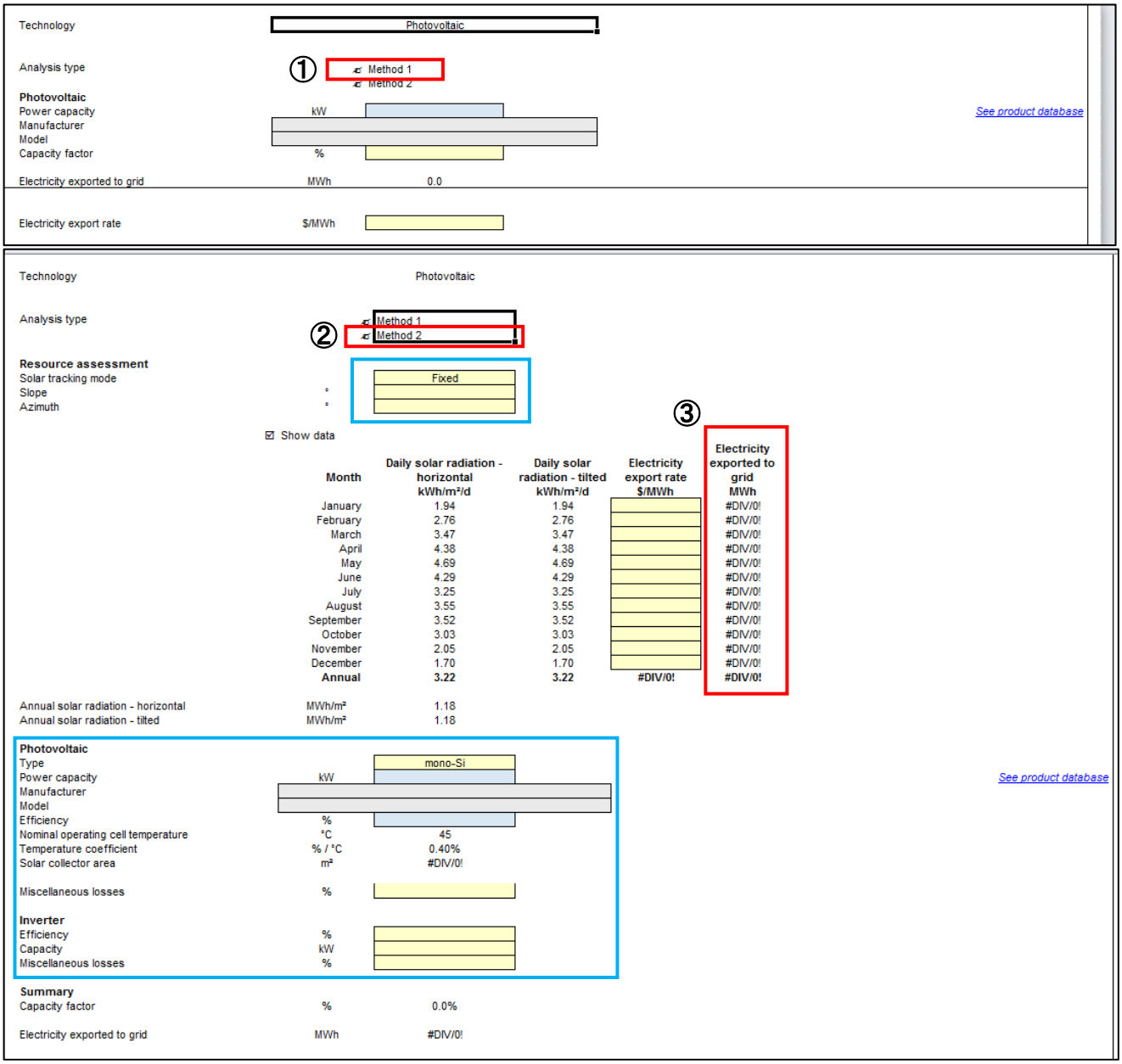
RETScreen4 2010-09-22 © Minister of Natural Resources Canada 1997-2010. NRCan/CanmetENERGY

Start | Energy Model | Cost Analysis | Emission Analysis | Financial Analysis | Risk Analysis | Tools

① Show data

- 해당지역의 날씨(위도, 경도, 고도, 난방설정온도, 냉방설정온도, 기온, 지중온도의 변화폭, 기온, 습도, 수평면 일사량, 기압, 풍속, 지중온도, 냉난방 도일 등)를 볼 수 있으며, **하늘색 셀 안의 내용 수정 가능**

4.2 Energy Model



▶ Analysis Type

① Method 1

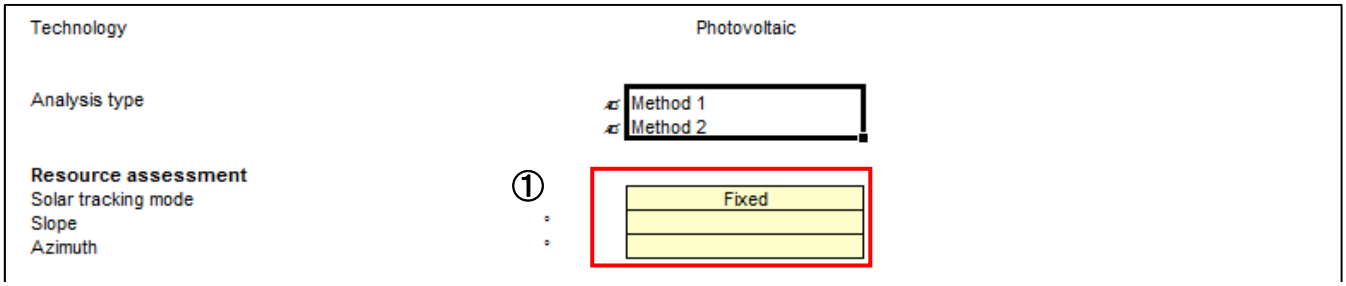
- 간편분석: 년 단위 태양광 생산량을 표기

② Method 2

- 상세분석: 월 단위 태양광 생산량을 표기

③ Electricity exported to grid

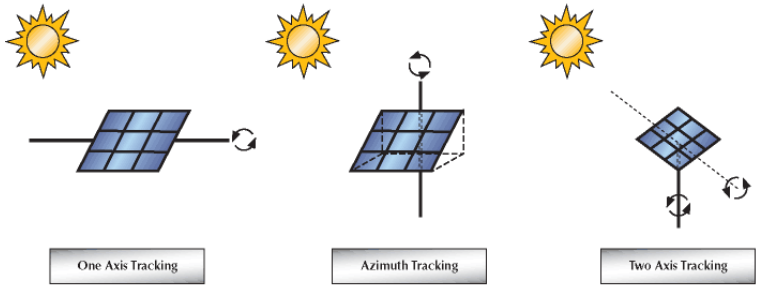
- Method 2로 분석 할 경우 1월 12월 까지 생산되는 발전량을 표기



① **Resource assessment: Solar tracking mode, Slope, Azimuth**

▪ Solar tracking: **Fixed,** One-axis, Two-axis, Azimuth

- 태양광을 설치할 때 고정식과 추적식으로 분류된다. 건축물에 추적식 형태의 태양광 시스템을 도입할 경우 경제성이 낮음. 일반으로 **고정형 태양광 시스템(Fixed)**을 많이 사용

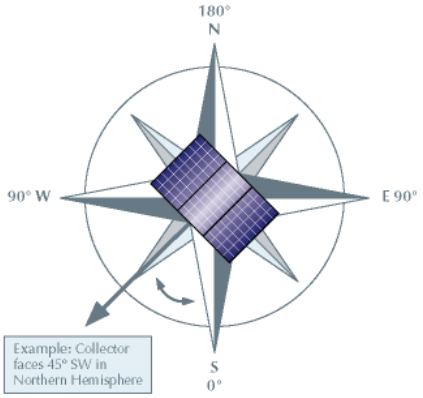


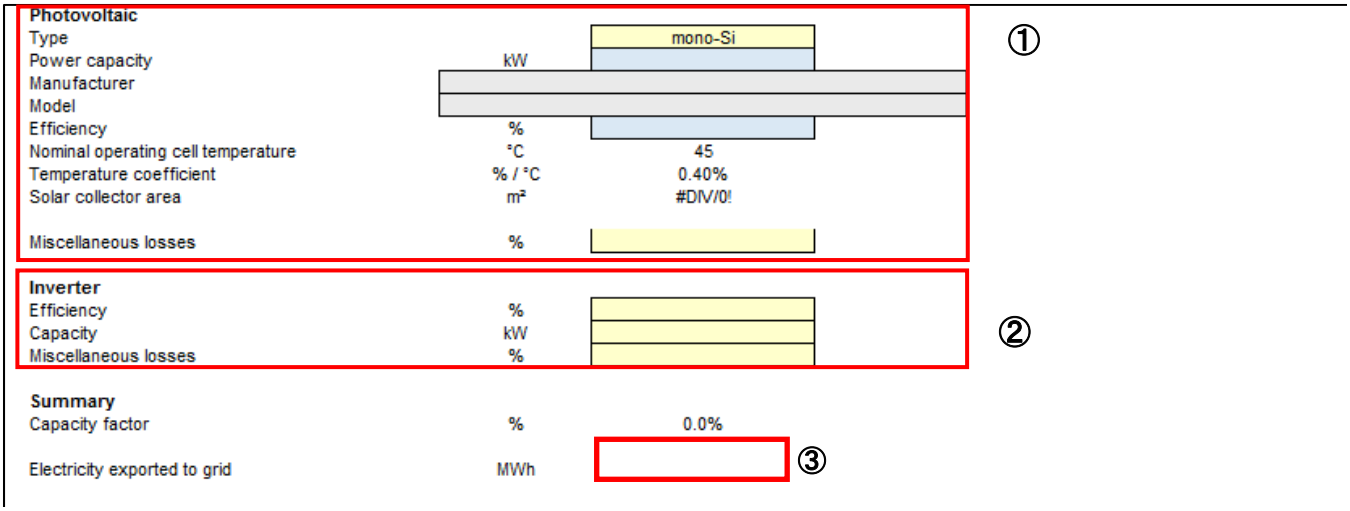
▪ Slope(경사각)

- 태양광 판의 경사를 의미하며, 지역에 따라 최적의 각도가 달라진다. 우리나라의 경우 30-40도로 설치 할 경우 높은 생산량을 나타냄.

▪ Azimuth(방위)

- 남쪽= 0°, 동서= 90°, 북= 180°
- 많은 태양에너지를 받기 위해서 남향(0°)으로 설치 하는 것이 타당함..





① **Photovoltaic**

- 제품 모델 사양(각 제품 카탈로그 활용)

▪ Type: **Mono-Si, poly-Si,** a-Si, CdTe, CIS, spheical-Si, other (product database에서 선택가능)

- Mono-Si(단결정), poly-Si(다결정)을 가장 많이 사용하며, Mono-Si이 poly-Si에 비해 가격이 비싸고 효율이 좋음.

▪ Power capacity: 설치할 태양광 모듈의 용량 (모듈 한개 당 용량 x 설치 모듈 수)

▪ Manufacturer: 태양광 모듈 회사명 (생략가능)

▪ Model: 태양광 모듈명 (생략가능)

▪ Efficiency: 모듈 효율

▪ Miscellaneous losses: PV 어레이 손실(보통 0~10%내외)

② **Inverter**

- 제품 모델 사양(각 제품 카탈로그 활용)

▪ Efficiency: DC, AC 변환 효율(보통 80~95%)

▪ Capacity: 설치할 인버터 용량(설치되는 모듈의 Power capacity와 같거나 높아야 함)

- 실제는 PV의 성능에 영향을 미치나, RETScreen상에서는 PV생산량에 영향을 주지 않음

▪ Miscellaneous losses: 인버터의 손실(보통 0~5%내외)

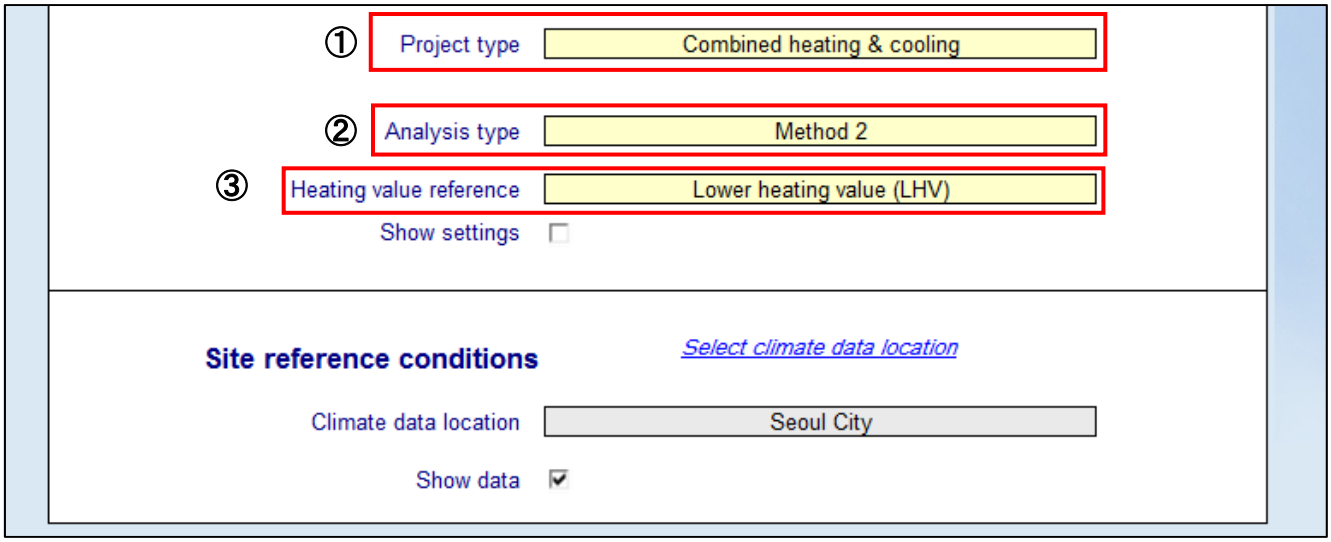
[결과값]

③ **Summary**

▪ 1년동의 태양광 생산량을 나타냄.

5. 지열 에너지 시스템

5.1 Start Sheet



① **Project type**

- Combined heating & cooling

② **Analysis Type**

- Method 1: 간편분석
- **Method 2: 상세분석**

③ **Heating value reference**

- Higher heating value (잠열까지 포함되는 경우에 해당)
- **Lower heating value (보통 연료 계산시 LHV를 이용)**

④ **Site reference condition 해당 지역 기상데이터 선택으로 p. 5 참고**

5.2 Energy Model

▶ 지열 시스템 도입 전 건물의 냉난방 현황을 파악하는 단계

▶ **Heating project**

RETScreen Load & Network Design - Combined heating & cooling project

Heating project		Unit	
Base case heating system		Single building - space heating	
Heated floor area for building		m²	
Fuel type			Natural gas - m³
Seasonal efficiency		%	
Heating load calculation			
Heating load for building		W/m²	
Domestic hot water heating base demand		%	
Total heating		MWh	0
Total peak heating load	②	kW	0.0
Fuel consumption - annual		m³	0
Fuel rate		$/m³	
Fuel cost			$ -
Proposed case energy efficiency measures			
End-use energy efficiency measures		%	
Net peak heating load		kW	0.0
Net heating		MWh	0

① **Base case heating system**

- **Base case heating system:** Single building – space heating
- **Heated floor area for building:** 난방이 이루어지는 면적
- **Fuel type:** 난방 연료타입(Biomass, Coal, Diesel, Electricity, Natural gas, Oil, Propane 등)
- **Seasonal efficiency(%):** 난방 효율 (% 단위로 기존 난방 Cop 100배를 입력)
- **Heating load for building:** 면적 당 소비되는 난방 부하량 **(Fuel consumption –peak의 결과 값과 크로스 체크할 경우 쉽게 산출 가능)**
- **Domestic hot water heating base demand**: 난방 부하 중 온수에 활용되는 비율

② **결과값**

- **Total heating:** Season efficiency가 100%일때를 가정하였을 때 연간 총 난방 에너지량
- **Total peak heating load:** **순간 요구되는 피크 난방부하량으로 Energy Model 단계에서 Capacity 에 입력해야 하는 수치**
- **Fuel consumption –peak:** 연간 총 난방 에너지 소비량

▶ Cooling project

Cooling project		Unit	
Base case cooling system		Single building - space cooling	
Cooled floor area for building	①	m²	
Fuel type			Electricity
Coefficient of performance - seasonal			
Cooling load calculation			
Cooling load for building		W/m²	
Non-weather dependant cooling		%	
Total cooling		MWh	-
Total peak cooling load	②	kW	0.0
Fuel consumption - annual		MWh	0
Fuel rate		$/kWh	
Fuel cost		$	-
Proposed case energy efficiency measures			
End-use energy efficiency measures		%	
Net peak cooling load		kW	0.0
Net cooling		MWh	0

① **Base case cooling system**

- **Base case cooling system:** Single building – space cooling
- **Cooled floor area for building:** 냉방이 이루어지는 면적
- **Fuel type:** 냉방 연료타입(Biomass, Coal, Diesel, Electricity, Natural gas, Oil, Propane 등)
- **Seasonal efficiency:** 냉방 효율 (난방 Cop: 성능효율계수 입력)_카달로그 활용
- **Cooling load for building:** 면적 당 소비되는 냉방 부하량 **(Fuel consumption –peak의 결과 값과 크로스 체크할 경우 쉽게 산출 가능)**
- **Non-weather dependent cooling:** 날씨와 상관없이 냉방이 사용되는 곳의 비율 (예: 냉동창고, 컴퓨터 서버실 등)

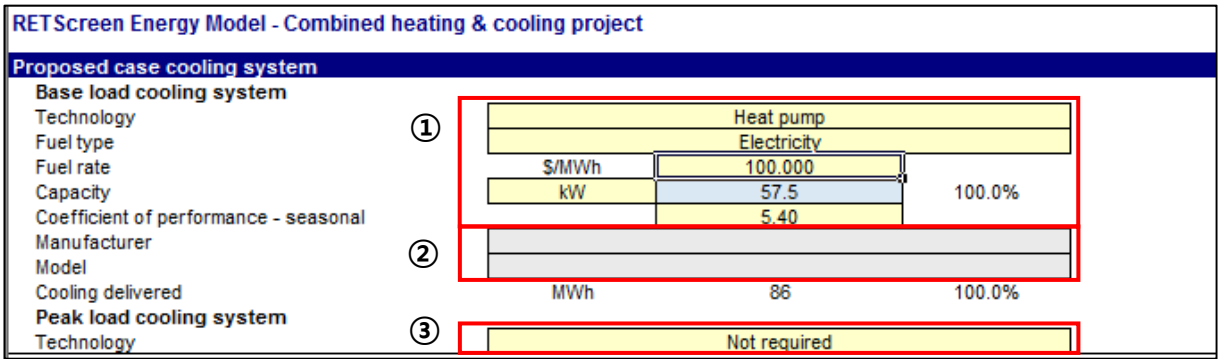
② **결과값**

- **Total cooling:** Season efficiency가 1로 가정하였을 때 필요한 연간 총 난방 에너지량
- **Total peak cooling load: 순간 요구되는 피크 냉방부하량으로 Energy Model 단계에서 Capacity에 입력해야 하는 수치**
- **Fuel consumption –peak:** 연간 총 냉방 에너지 소비량

5.3 Energy Model

▶ 지열 시스템 모델링

▶ Cooling system



① **Base case cooling system**

- **Technology:** Heat pump
- **Fuel type:** Electricity
- **Fuel rate($/MWh):** 생략(원≠$)
- **Capacity(kW):** **Total peak cooling load** [3.2 Cooling project p. 15 결과값 활용]
- **Coefficient of performance- seasonal:** 냉방 성능 계수 입력

② **제품모델 사양**

- Manufacturer: 지열시스템 회사명 (생략가능)
- Model: 지열시스템 모델명 (생략가능)

③ **Technology**

- Not required

▶ **Heating project**

Proposed case heating system			
System selection	Base load system		
Base load heating system			
Technology	Heat pump		
①			
Fuel selection method	Single fuel		
Fuel type	Electricity		
Fuel rate	$/MWh	100.000	
Heat pump			
②			
Capacity	kW	30.3	100.0%
Heating delivered	MWh	65	100.0%
Manufacturer	③		
Model			
Seasonal efficiency	%	320%	
Fuel required	GJ/h	0.0	

① **Base case heating system**

- **Technology:** Heat pump
- **Fuel type:** Electricity
- **Fuel rate($/MWh):** 생략(원≠$)

② **Capacity(kW): Total peak heating load** [5.2 Heating project p. 14의 결과값 활용]

③ **제품모델 사양**

- Manufacturer: 지열시스템 회사명 (생략가능)
- Model: 지열시스템 모델명 (생략가능)
- Seasonal efficiency: 난방 효율 (% 단위로 기존 난방 Cop 100배를 입력한다.)

[결과값]

	Proposed case system summary	Fuel type	Fuel consumption - unit	Fuel consumption	Capacity (kW)	Energy delivered (MWh)
①	Heating					
	Base load	Electricity	MWh	20	30	65
				Total	30	65
②	Cooling					
	Base load	Electricity	MWh	16	58	86
				Total	58	86

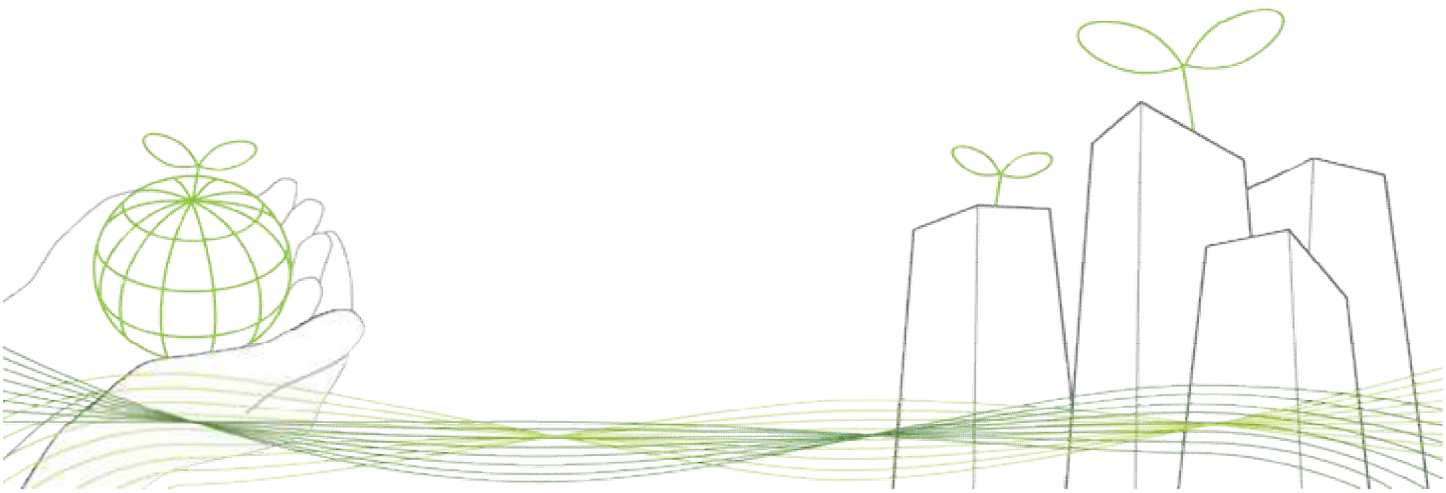
① **Heating system**

- **Fuel type:** 지열 Heating 시스템 연료
- **Fuel consumption unit:** 지열 Heating 시스템에 사용되는 연료 단위
- **Fuel consumption: 지열 Heating 시스템에 사용되는 연료 소비량**

② **Cooling system**

- **Fuel type:** 지열 Cooling 시스템 연료
- **Fuel consumption unit:** 지열 Cooling 시스템에 사용되는 연료 단위
- **Fuel consumption: 지열 Cooling 시스템에 사용되는 연료 소비량**

공동주택 에너지 절감 방안 30선



CONTENTS

Active Energy Saving Measures

01 콘덴싱 보일러
02 고효율 유도전동기
03 열병합 발전시스템
04 고효율 변압기
05 하이브리드 환기시스템
06 바닥 취출 공조방식
07 폐열 회수 환기시스템
08 각방제어시스템
09 자동절전 제어장치
10 외기보상제어
11 LED 조명
12 무전극 램프
13 T-5 형광등
14 에어커튼
15 절수위생설비



Passive Energy Saving Measures

01 로이 복층유리(Low-E 유리)
02 고단열 삼중유리
03 진공유리
04 옥상녹화
05 벽면녹화
06 빗물이용 시스템
07 중수도 시스템
08 열반사 단열재

New Renewable Energy Techniques

01 태양열 급탕 시스템
02 지열 히트 펌프 시스템
03 태양광 발전 시스템
04 태양광 채광 시스템
05 BIPV 시스템
06 연료전지
07 소형 풍력발전 시스템





01 콘덴싱 보일러
02 고효율 유도전동기
03 열병합 발전시스템
04 고효율 변압기
05 하이브리드 환기시스템
06 바닥 취출 공조방식
07 폐열 회수 환기시스템
08 각방제어시스템
09 자동절전 제어장치
10 외기보상제어
11 LED 조명
12 무전극 램프
13 T-5 형광등
14 에어커튼
15 절수위생설비

01 콘덴싱 보일러

콘덴싱 보일러란 ?

콘덴싱 보일러는 배기가스 온도를
일정온도 이하로 유지하여 응축수가
만들어지도록 하며, 이때 발산되는
열을 난방에 이용하는 보일러를 말한다.





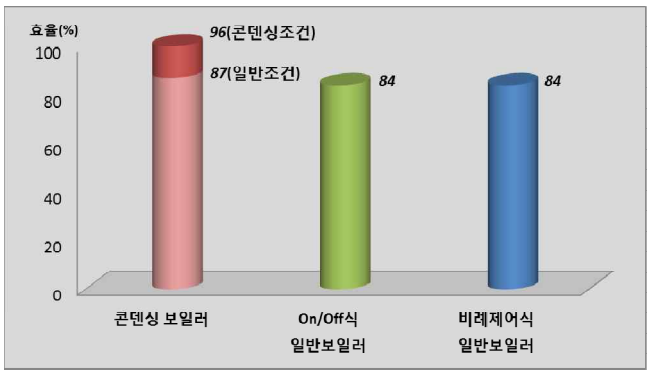
콘덴싱 보일러의 장점

1> 우수한 급탕 성능 : 일반보일러-6.4~6.5L/min, 콘덴싱 보일러-8.4L/min

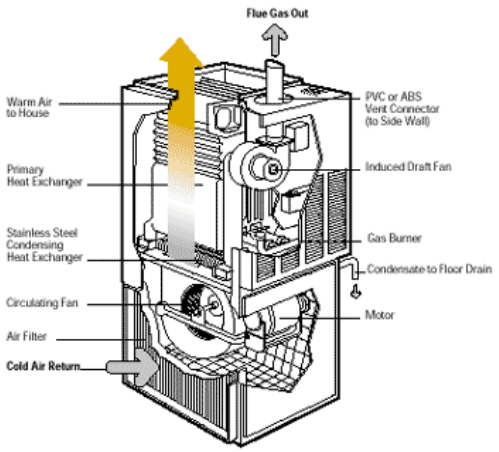
2> 배기가스에 포함되어 있는 응축열을 이용하여, 일반보일러 대비 약 11% 가량의 에너지를
효율 향상을 기대할 수 있다

3> 배기가스를 응축하여 이를 사용함으로써, 대기 중 CO_2 배출량을 줄이는데 도움을 준다.

4> 열 교환부와 배기가스의 온도가 상대적으로 낮으므로, 배기손실과 방열손실을
낮출 수 있기 때문에, 열효율을 크게 높일 수 있다.



<보일러 형태별 난방 열효율 비교>



<콘덴싱 보일러의 내부구조 >

성능비교

콘덴싱 보일러 vs 일반 보일러

열효율이 높은 보일러란 연소되어 발생한 열이 낭비되지 않고 물 온도를 상승시키는 용도로만 이용되는 보일러를 말한다. 손실되는 열이 없으므로 에너지 및 그에 따른 비용을 절감할 수 있다.

* 일반형 보일러(ON/OFF식 및 비례 제어식) : 84%
* 콘덴싱 보일러 일반조건 : 87%
* 콘덴싱 보일러 콘덴싱 조건 : 96%

보일러	필요 가스량 (m^2)	가스요금 (원)	84%대비 절약액(원)
일반형보일러 (ON/OFF식, 비례 제어식)	282.4	138,480	-
콘덴싱 보일러 (일반 조건)	272.6	133,670	4,810
콘덴싱 보일러 (콘덴싱 조건)	247.1	121,170	17,310

- 서울시 송파구 잠실동 우성아파트 32평 아파트 2005년 1월 월간 세대별 평균 난방 필요 발열량 2,521,647kcal 을 기준으로 산출함
- 도시가스의 발열량은 10,630 kcal/m^2으로 함
- 도시가스 요금은 서울 난방용 도시가스로 설정하였으며, 490,.37원./m^2로 산정.

경제성 비교

(단위 : 천원)

요소 기술	초기투자비용			세대 내 에너지비용		세대 내 절감액 (천원)	세대 내 저감율 (천원)	LCC (40년)	회수 기간
	기준	적용)	비용 증가	기준	적용				
콘덴싱 보일러	501	700	140%	1,519	1,408	111	7.3%	1,836	2년

참고자료

- 한인백(2005),'콘덴싱보일러vs일반형보일러 어떤 보일러가 경제적일까?' 소비자시대 2005.11
- 채동훈(2009),'공동주택에 적용 가능한 에너지절약기술 및 적용 타당성 분석',건축환경설비 2009.04,VOL.3,no2

02 고효율 유도전동기

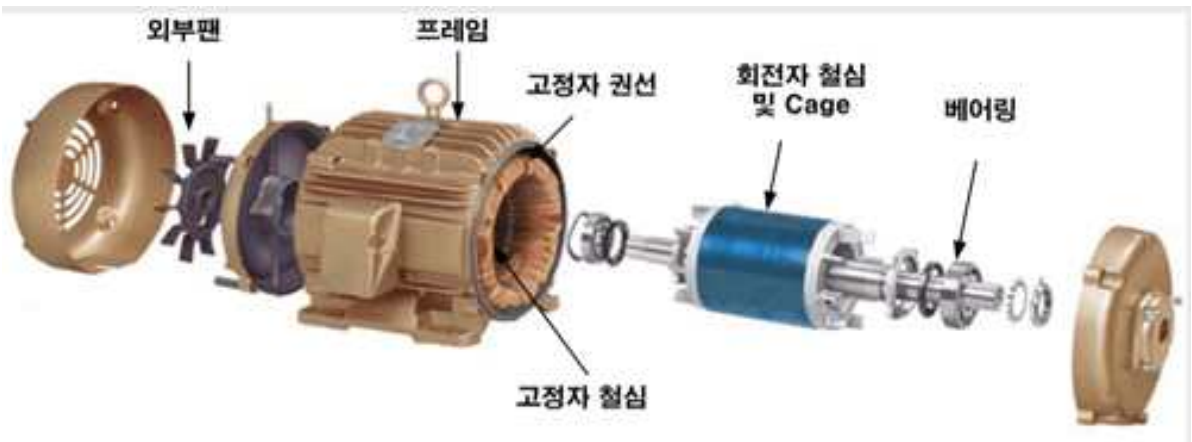
고효율 유도전동기란 ?



고효율전동기란 삼상유도전동기(0.4~200kW)중에서
600V 이하의 전압, KS C 4202 규정 이상의
고효율 기준을 만족하는 전동기로, 표준 전동기보다
열손실을 20~30%정도 감소시켜 전체적인 에너지 효율이
4~10% 정도 높고, 제품수명은 10~15년 정도인 전동기를
의미한다.

고효율 유도전동기의 장점

1> 일반 표준 유도전동기와 비교하여 효율이 높음 (약 1~6%)
2> 권선 절연의 수명이 길다(열손실이 적으므로 운전시 온도상승의 영향이 적기 때문)
3> 소음이 적음(풍손 저감을 위한 외부 팬의 형상 및 구조 변경 때문)



<고효율 전동기의 구조 >

성능비교

일반전동기 vs 고효율 유도전동기

전동기는 총 전력의 60%를 소비하며, 단일전기 소비품목으로는 가장 큰 전력소비를 차지하고 있다.

구분	수명	효율	소비전력	에너지 절약효과
일반전동기	10년 이상	83.0%	3.75kW	200원
고효율 유도전동기	15년 이상	89.5%	3.50kW	

경제성 비교

(단위 : 천원)

요소 기술	초기투자비용			세대 내 에너지비용		세대내 절감액	세대내 저감율	LCC (40년)	회수 기간
	기준	적용	비용 증가	기준	적용				
고효율 유도 전동기	4	7	153%	1,600	1,599	0.6	0.0%	7	5년

* 연간 약 12,000대가 보급될 경우, 국가적으로 18억원 절감이 가능

참고자료

- 에너지 관리공단 (http://www.kemco.or.kr/)
- 전연도(2008),' 고효율 유도전동기 최저소비효율 기준 국내외 동향', 전기설비 2008.05
- 한국전기연구원 공식블로그 http://blog.naver.com/keri
- 채동훈(2009),'공동주택에 적용 가능한 에너지절약기술 및 적용 타당성 분석',건축환경설비 2009.04,VOL.3,no2

03 열병합 발전시스템

열병합 발전시스템이란?

열병합발전은 한가지 연료를 사용하여 두 가지의 다른 유형의 에너지(열, 전기)를 동시에 생산하는 종합에너지시스템이다.
일반적으로 고온부는 전기, 저온부는 공정열로써 사용하는 에너지 시스템을 말한다.



열병합 발전시스템의 장점

1> 에너지 절약효과 : 자체적으로 전기를 생산하고, 발전시에 발생하는 폐열을 이용하여 난방을 하므로 기존시스템과 비교하여 30~40% 에너지 절약이 가능

2> 환경개선 효과 : 천연가스 등을 연로로 사용하므로 화석연료에 비해 CO2, SOx, NOx 의 배출이 적음

3> 계절별 엔진 수급 불균형의 개선기여



<이파트 열병합발전 시스템>

성능비교

<일반화력발전 vs 열병합발전>

구 분		일반화력발전	열병합발전
생 산		전기만 생산	전기와 열 동시 생산
효율	발전효율	35~40%	30~35%
	열효율	0%	45~50%
	종합효율	35~40%	75~85%



<기존방식>



<열병합 발전 방식>

경제성 비교

(단위 : 천원)

요소 기술	초기투자비용			세대 내 에너지비용		세대 내 절감액	세대 내 저감율	LCC (40년)	회수 기간
	기준	적용	비용 증가	기준	적용				
열병합 발전 (개별난방)	684	1,626	238%	1,519	1,338	180	11.9%	1,641	7년

참고자료

- 최정희(2007),' 공동주택의 열병합발전시스템 운전패턴에 따른 경제성 분석에 관한 연구
- 전기에너지 (http://user.chollian.net/~djbd/ele-2.html)
- 에너지관리공단 (http://www.kemco.or.kr/)
- 채동훈(2009),'공동주택에 적용 가능한 에너지절약기술 및 적용 타당성 분석',건축환경설비 2009.04,VOL.3,no2

04 고효율 변압기

고효율 변압기란?

고효율 변압기란 철심소재대신 비정질 자성재료나 방향성 규소 강판 등을 사용함으로써, 무부하 손실을 기존 변압기에 비해 약 70% 줄인 절전형 변압기를 말한다.
일반변압기에 비해 고가의 가격이나, 에너지 절감에 의한 전기요금 절약으로 약 3~4년 이내에 투자 투자비의 회수가 가능하다. 현재 고효율변압기로 인증된 제품들은 아몰퍼스 변압기 종류들이다.



고효율 변압기의 장점

1> 전력 손실 절감에 의한 변압기의 운전 보수비 절감과 변압기의 수명 연장 기대할 수 있음

2> 전력 절감 효과로 화력 발전소 증설이 억제되어 환경 오염 방지에 기여할 수 있음

3> 에너지원의 비용 상승 추세를 고려할 때, 손익분기점 단축할 수 있고 전력손실 절감액 증가할 것으로 예상됨

4> 고주파 및 고조파 대역에서 우수한 자기적 특성을 갖기 때문에, 효율이 높고 컴팩트화 된 변압기의 설계가 가능함

성능비교

일반 변압기 vs 고효율 변압기

구분	변압기	
	일반 변압기	고효율 변압기 (아몰퍼스 유압변압기)
권선 절연물	A종(105℃)	E종(120℃)
온도상승 (유온/권선온도)	50℃/55℃	60℃/65℃
절연특성 (장소)	안정 (옥내, 외)	안정 (옥내, 외)
무부하손실(500Kw)	1800(w)	270(w)
전력손실	보통(8700w)	작다(7170w)
전기요금(60%부하율)	100	64
고조파 부하(5%함유)	온도상승 큼(23%)	온도상승 작다(6%)
과부하내량	보통	크다

경제성 비교

(단위 : 천원)

요소 기술	초기투자비용			세대 내 에너지비용		세대 내 절감액	세대 내 저감율	LCC (40년)	회수 기간
	기준	적용	비용 증가	기준	적용				
고효율 변압기	108	127	118%	1,600	1,594	5.7	0.4%	0	13년

참고자료

- 정금영,유재홍(2007.7) .한전의 고효율변압기 및 고효율 자판기 보급지원제도
- 고효율 변압기 설치(www.kemco.or.kr/up_load/)
- 채동훈(2009),'공동주택에 적용 가능한 에너지절약기술 및 적용 타당성 분석',건축환경설비 2009.04,VOL.3,no2

05 하이브리드 환기 시스템

하이브리드 환기시스템이란?

하이브리드 환기는 자연환기와 기계환기 방식을 조화 시켜, 쾌적한 실내환경을 제공하는 환기시스템을 말한다. 자연환기 모드와 기계환기모드를 자동적으로 전환할 수 있는 자동제어시스템을 설치하여 에너지 소모를 최소화 하도록 계획된 시스템을 말한다.



하이브리드 환기의 장점

1> 에너지 소비를 최소화 : 자연환기 모드와 기계환기 모드를 자동적으로 전환할 수 있다.
2> 외기도입을 통한 실내환경의 조절이 가능하다.

	하이브리드 환기 (자연급기 + 강제배기)	바닥환기 (강제급기 +강제배기)	전열 교환기 (강제급기 + 강제배기)
장점	- 실내 상부의 잉여열 재활용 - 저 에너지소비 및 각실 환기 - 실내 공기질 2급 가능(선택) - 무 소음 및 유지보수비 저렴	- 바닥 온열 재활용	- 일정한 환기 풍량 유지 - 급 배기량 조절 용이 - 배기 에너지 회수
단점	- 배기 에너지 소량 미 회수	- 관내 불순물 침적 시 청소가 용이하지 못함 - 시스템 및 시공 복잡 - 유지보수 비용 증가 - 고전압팬 사용으로 소음발생	- 팬에 의한 소음 - 설치 공간, 공사비 증가 - 유지보수 비용 과다 - 전기세 과다 지출 원인

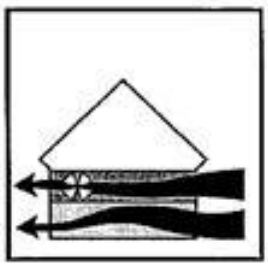
<하이브리드 방식과 기계환기방식의 비교>

성능비교

하이브리드 환기 vs 전열 교환기

구분	하이브리드 환기	전열 교환기
환기방식	온돌에 의한 대류이동	기계를 통한 강제 급배기
시공성	무덕트 공사로 시공 간단	덕트 공사로 시공 복잡
초기투자비	장비비 및 설치비 저렴	장비고가, 층고 확보로 건축비 증가
유지비	전열교환기 대비 약 50%감소	100%
유지보수	년 1회 필터 교환	년1회 필터교환 / 3~5년마다 여제교환

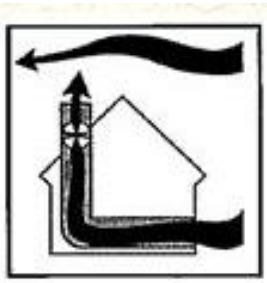
<환기시스템의 유형>



자연 및 기계환기 병용시스템



보조 팬형 환기시스템



연돌효과와 풍압을 활용한 환기시스템

경제성 비교

(단위 : KJ)

냉방부하 비교	하이브리드 환기	기계 환기
5월	11,807	3,069
7월	69,218	47,713
4~10월	368,853	196,126

- 두 환기시스템의 냉방부하를 비교한 결과, 중간기와 냉방기에 하이브리드 적용으로 인하여 냉방부하를 크게 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

참고자료

- 최영진(2008),'국내 공동주택 특성에 따른 하이브리드 환기시스템 설계 방안
- entopi (http://www.vwntopia.com)'

06

바닥 취출 공조방식

바닥 취출 공조방식이란?

바닥 취출 공조방식은 기존의 전형적인 천장공조 시스템 달리, 바닥에서 취출되는 공조방식을 말한다. 바닥 취줄 공조 방식이란, 공조시스템은 물론 기타 배선 및 배관설비까지를 모두 수용할 수 있는 통합적인 바닥 시스템이다.



바닥 취출 공조방식의 장점

1> 비 혼합형 공조에 의한 환기효율의 증대
2> 에너지 절약 : 거주지역 중심으로, 국부 및 개인 공조가 가능
3> 대용량 국부 발열원과 오염원의 효과적인 제거가 가능.
4> 재실자의 개인차를 고려하여 쾌적한 공조가 가능
5> 공사비 절감 : 덕트공사가 적음



<외주부 취출구 모습>



<바닥 취출 공조의 fan unit>

성능비교

<바닥 취출 공조방식 VS 천장 공조방식>

구분	바닥 취출 공조방식	천장 공조방식
공조효과	크다	적다
온도 분포차	적다 (2℃ 정도)	크다 (도달거리가 멀므로)
에너지절약	효과 크다 (국소냉방)	적다

경제성 비교

(단위 : KJ)

경재성 비교	바닥취출 공조방식	천장 공조방식
설비공사	**33,715**	**41,083**
건축공사	**25,180**	**25,500**
종합공사비	**59,525**	**66,583**

- 공사비의 관점에서도, 바닥 취출 공조방식 천장 공조방식에 비해 경제성을 갖추고 있는 것을 알 수 있음

참고자료

- ASI 시스템 (http://www.asicontrols.co.kr)
- 이현(2011),''바닥취출 공조방식',에너지설비관리_2011'

07 폐열 회수 환기시스템

폐열 회수 환기시스템 이란?



냉난방을 하고 있는 실내에서 오염된 공기를 배출시키기 위하여 환기를 할 때, 실내공기에 포함되어 있는 열에너지의 손실이 발생하게 된다.
폐열 회수 환기시스템은 이때의 손실되는 열에너지를 열 교환기에서 회수하여 외부로부터 들어오는 신선한 공기에 회수된 에너지를 재 공급함으로써 냉난방 에너지를 줄여주는 시스템을 말한다.

폐열 회수 환기시스템 의 장점

1> 온도교환효율 평균 97.3%로 열회수율이 높다. (한국생산기술연구원 시험결과)

2> 환기 시 실내온도가 거의 변하지 않는다.

3> 냉,난방 부하가 적어, 초기 설비투자비가 대폭 절감된다.

4> 양방향 환기로 정압차가 거의 없어 환기효과가 우수하다.

5> 설비가 간단하고, 유지관리가 용이하며 고장발생빈도가 적다.

성능비교

* 폐열 회수 환기시스템을 장착한 경우 장착하지 않은 경우 보다 인체에 유해한 세균 및 곰팡이 균의 검출이 40%이상 줄어드는 나타냄

구분	세균(CFU/㎥)	곰팡이(CFU/㎥)
비장착	110	43
폐열 회수 환기시스템 장착	65	13

경제성 비교

(단위 : KJ)

요소기술	열 교환기 재질	교체횟수	초기 투자비	총 투자비	에너지 절감액		LCC (15년)
					기발지불액 (원/년)	현재가치 (15년)	
폐열 회수 환기시스템	**알루미늄**	**0**	**1,500,000**	**2,664,985**	**298.921**	**3,591,158**	**-926,173**
	펄프	**7**	**1,300,000**	**3,006,440**	**321,108**	**3,857,707**	**-851,267**

참고자료

- 박용호외 1(2008),''폐열회수환기를 위한 열교환장치의 경제성 평가',2008년 추계학술발표대회 논문집(제8권 2호, 통권15집)'

08 각방 제어 시스템

각방제어 시스템이란?

기존 난방제어시스템은 세대에 1대의 온도조절기를 두어 실내 온도를 일괄적으로 설정·제어하는 방식이었다. 따라서 실별 위치 및 구조에 따른 과냉 및 과열현상이 발생하여 비효율적인 난방이 될 수 밖에 없었다.

실별 온도 조절시스템은 실별 위치 및 생활자의 취향에 따라 실내온도를 설정 하면, 각 온도조절기에서 실내온도를 감지하고 온도의 공급을 자동으로 제어하여 실내온도를 유지하는 이상적인 난방제어 시스템이다.

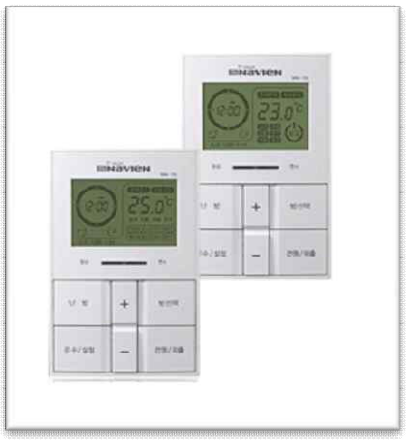


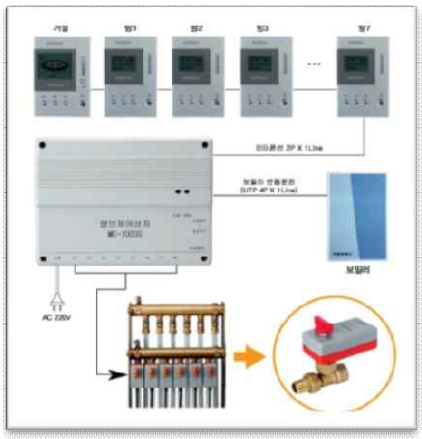
<각방 제어시스템>

각방제어시스템의 장점

1> 각 실 별 제어가 가능하므로 보다 쾌적한 실내환경 조성이 가능하다.

2> 개별제어를 통하여 비효율적인 난방을 줄임으로써, 에너지를 절약할 수 있다.







성능비교

(45평형세대의 기준)

	기간	에너지 소비량	
		기존	각방 제어 시스템
단위 면적당 에너지 소비량	12월	23.6 Mcal / cm^2	22.8 Mcal / cm^2
	1월	30.1 Mcal / cm^2	28.9 Mcal / cm^2
	2월	20.1 Mcal / cm^2	18.3 Mcal / cm^2
	동절기 합계	73.8 Mcal / cm^2	70.1 Mcal / cm^2
전체 에너지 소비량		6392.5 Mcal / cm^2	6064.7 Mcal / cm^2



참고자료

- http://www.hanimetal.co.kr/
- http://www.semsys.co.kr/_서울대학교 건축공학 연구소 비교시험자료

09 자동절전 제어장치

자동절전 제어장치란?

자동절전 제어장치는 전자제품, 컴퓨터 등이 꺼지거는 것을 자동 감지하거나, 조도설정, 시간설정 등을 자동 인식하여 연결된 기기의 전원을 3분 이내에 차단하고, 자체 소비전력을 10W이하로 만드는 장치이다. 자동전력제어장치는 제어방식에 따라 부하감지형, 조도감지 형, 타이머 형, 복합형(부하, 조도, 인체감지 등)으로 구분된다.



<자동절전 제어장치>

자동절전 제어장치의 장점

1> 매년, 한 가구에서 한달 동안 사용하는 전기사용량에 육박하는 306kWh(가정 전력 소비량의 11%)의 전력을 절약할 수 있다.

2> 효율적인 전자제품 사용으로 인해서 제품의 수명 증가한다





성능비교

- 기구 별 성능비교

구 분	컴퓨터	모니터	프린트	TV	전자 레인지	도어폰	비디오	오디오
작동 시 소모전력	70W	85W	430W	120W	1100W	18W	20W	400W
일반 시 대기전력	50W	80W	65W	7W	5W	5W	9W	9W
절전제어 시 대기전력	10W	4W	20W	3W	2W	3W	3W	2W
적용 효과	80% 절감	95% 절감	69% 절감	57% 절감	60% 절감	40% 절감	67% 절감	78% 절감

경제성 비교

(단위:천원)

요소기술	초기투자비용			세대 에너지 비용		세대내 절감액	세대내 저감율	LCC (40년)	회수 기간
	기준	적용	비용증가	기준	적용				
대기전력 제어장치	2.3	42	1,826%	1,600	1,596	4	0.2%	-7	불가

<공용 부 요소기술 에너지 절감 및 경제성 (지역난방/개별난방 단지 70세대 기준)>

참고자료

- 대기전력저감프로그램 운영규정 - 지식경제부
- 에너지관리공단
- 채동훈(2009),'공동주택에 적용 가능한 에너지절약기술 및 적용 타당성 분석',건축환경설비 2009.04,VOL.3,no2

10 외기보상제어 (ORC)

외기보상제어(ORC)란?

외기보상제어(Outdoor-Reset)란 기상청에서 예보된 시간 별 외기온도의 변화에 따라서 실내로 공급되는 난방공급수의 온도를 변화시키는 제어 법을 말한다. 외기보상제어의 목적은 외기온도의 변화에 맞게 실내온도의 설정값을 바꾸고 보건 혹은 쾌적도의 개선을 꾀함과 동시에 외기온도의 변화에 의해 발생하는 실내온도의 옵셋을 제거하는데 있다.



<외기보상 제어장치>

자동절전 제어장치의 장점

1> 실온 및 바닥온도의 변동폭이 작음

2> 공급온수온도- 발열량이 선형적인 관계이므로 제어가 용이함

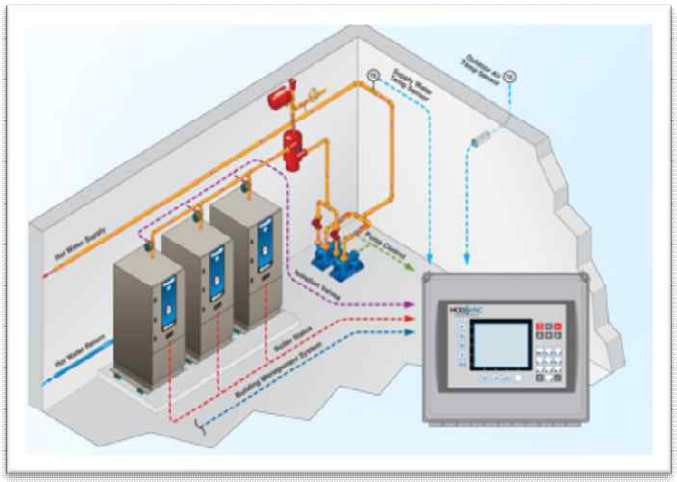
3> 배관 열손실, 기기의 팽창소음이 적고 배관 및 기기의 부식방지, 보일러의 저온부식,열적 충격방지에 유리

4> 부하에 따라 온수온도를 조절하므로 열원에서의 에너지절감

성능비교

- 기구 별 성능비교

실내온도 유지 시	절감효과
20°C	거의 없음
21°C	7.7%
22°C	14.9%
23°C	21.8%





경제성 비교

(단위:천원)

요소기술	초기투자비용			세대 에너지 비용		세대내 절감액	세대내 저감율	LCC (40년)	회수 기간
	기준	적용	비용증가	기준	적용				
외기보상 제어	0	0	-	1,600	1,555	45	2.8%	903	1

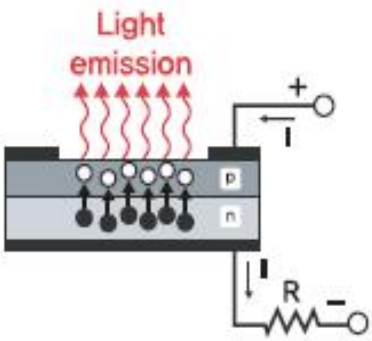
<공용 부 요소기술 에너지 절감 및 경제성 (지역난방/개별난방 단지 70세대 기준)>

참고자료

- 홍성석(2010), 외기온도 보상에 의한 난방시스템 에너지 절약 제어 방안 연구
- 채동훈(2009),'공동주택에 적용 가능한 에너지절약기술 및 적용 타당성 분석',건축환경설비 2009.04,VOL.3,no2

11 LED 조명

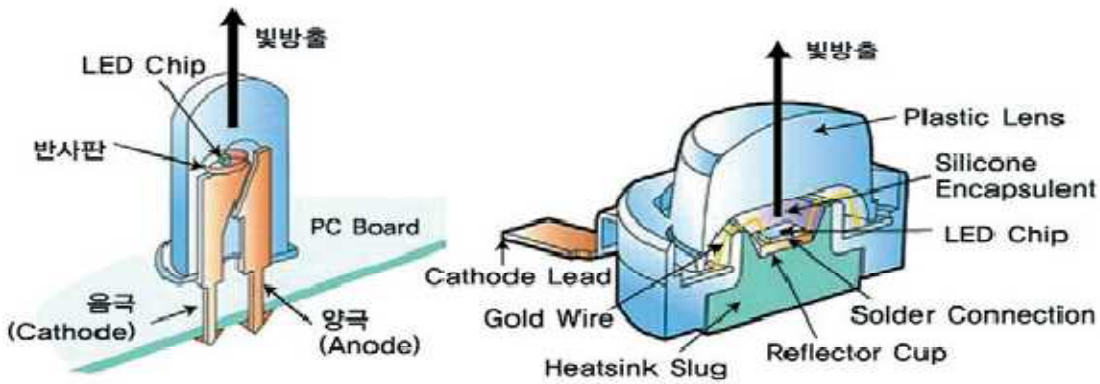
LED 조명은 ?



LED는 'Light-Emitting Diode'의 약자로서 전류가 흐르면 빛을 방출하는 다이오드의 일종이다. 기본적으로 반도체 다이오드로서 전기를 통하면 전자와 홀이 재결합하여 에너지 차이에 의해 빛의 형태로 발생한다. 이 효과를 '전기적인 발광'이라고 하며 발생되는 다양한 빛의 색깔은 에너지 차이의 크기에 따라 정해진다. LED는 20세기 초에 발견되었다. 처음의 LED는 어두운 붉은 광선을 방출했으나 지금은 잘 보이면서도 아주 밝은 빛을 방출한다. 크기가 매우 작지만 발광 무늬를 만들 수 있고 반사 기능을 갖고 있는 통합 광학 부품이다.

LED조명의 장점

1> 효율이 좋기 때문에 소비전력을 절감할 수 있다.
2> 수명시간이 길기 때문에 에너지 절감 효과가 있다.
3> 타 전구에 비교해 즉시 점등되는 효과가 있어 사용에 편의가 있다.
4> 방열면적을 최대화할 수 있어 이에 따른 발열의 최소화가 가능하다.



<LED 조명의 원리>

성능비교

구분	LED 조명	삼파장	할로겐램프	백열전구
효율(%)	80	37	15~21	15
소비전력	8.5W	20W	50W	60W
수명(시간)	100,000	3,000~6,000	2,000	1,000
색상연출	부드럽고 자연스러운 색	자연스러운 색	자연스러운 색	자연스러운 색
광량 유지율	발열량 많아 시간에 따라 저하	시간에 따라 저하됨(빠름)	시간에 따라 저하됨(빠름)	시간에 따라 저하됨(빠름)
램프발열	72℃			
	안전성/냉방비 절감	-	-	-
화재폭발위험	폭발위험 없음	O	O	O
자외선/열적외선	극히 적음	O	O	O
수은함량	X	O	O	O
감전사위험	없음	누전차단기 필요	누전차단기 필요	누전차단기 필요

경제성 비교

백열전구		삼성 LED전구
60W	소비전력(W)	8W
10lm/W	효율(lm/W)	75lm/W
12,877원	연간전기료(원)	1,717원
1,000시간	수명(hr)	40,000시간

*전기요금 : 98원/1kWh, *1년 365일 하루 6시간사용

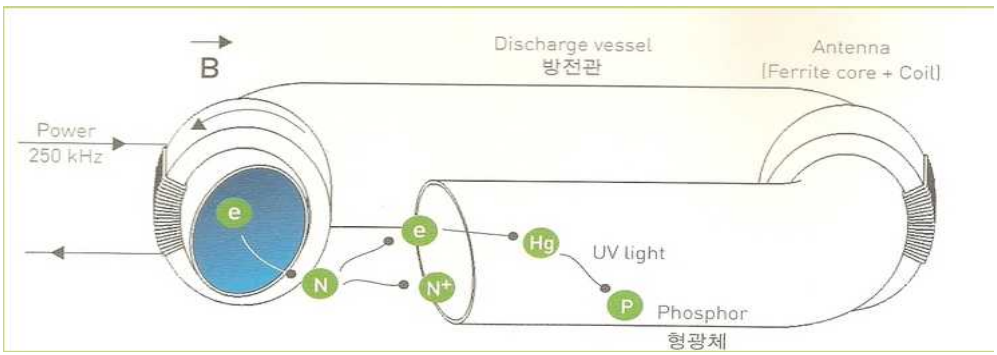
참고자료

- Sample : Samsung-led 전구 성능자료

12 무전극 램프

무전극 램프란 ?

외부로부터의 전압이나 전류 인가용 전극이 없는 형광방전 램프이다. 방전관 외부에 설치된 코일에 고주파가 흘러 발생된 자기장이 방전관을 통과하면 패러데이의 원리에 의해 기전력이 발생한다. 이 기전력에 의해 여러 가지 가스가 혼합된 방전관 내에서 전자가 가속되어 플라스마가 발생되고, 여기에서 나온 자외선은 유리관 내부에 도포된 형광체를 자극하여 조명에 알맞은 가시광선만을 방출하게 된다.



<무전극램프의 원리 및 구조>

무전극 램프의 장점

1> 수명이 길다. (1일 10시간 사용시 27년 이상 사용)
2> 고효율에 따른 에너지 절감 (기존 방전 램프 대비 35% 절전)
3> 연색성이 높아 시환경에 적합한 빛을 제공한다.
4> 휘도가 낮아 눈의 피로를 최소화 할 수 있다.
5> 환경친화적인 저 수은 램프이다.

성능비교

<주요 광원과의 성능비교표>

광원종류	소비전력[W]	효율[lm/W]	연색성[Ra]	정격수명[hr]	삼파장 무전극 램프 대비(%)		
					효율	연색성	수명
백열전구	100	15	100	1,000	17.5	116.3	1.0
할로겐램프	100	20	100	1,500	20.0	116.3	1.5
안정기 내장형 형광램프	13~21	37	82	10,000	46.3	95.3	10.0
고압 수은 램프	250	47	23	10,000	58.8	26.7	10.0
메탈 할라이드 램프	250	68	65	12,000	85.0	75.6	12.0
고압 나트륨 램프	250	100	28	24,000	117.5	32.6	24.0
삼파장 무전극 램프	100	80	86	100,000	100.0	100.0	100.0

- 삼파장 무전극램프 시스템 대비는 '무전극램프 ULTRA 100W 에 대한 대비임. ㈜이텍 ULTRA 램프

경제성 비교

구분	고압수은등	메탈할라이드 등	무전극램프
램프용량[W]	250	250	150
소모전력[W]	280	280	155
전광속[lm]	11,800	17,000	12,500
효율[lm/W]	47	68	83
수명[hrs]	6,000	12,000	100,000
가격[천원]	50	100	400

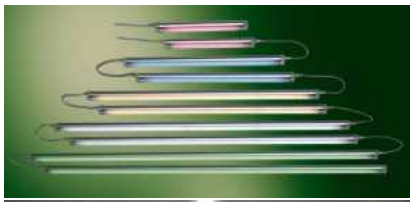
- 1000시간 사용 시, 전기요금 10천원 절감효과

13

T-5 형광등

T-5 형광등이란 ?

슬림형 직관 램프로서, 주로 간접조명으로 많이 쓰이던 램프이다. 상업시설에 많이 쓰여 왔으나, 광효율이 우수해 최근에는 가정용 조명으로도 각광받고 있다.





T-5 형광등의 장점

1> 긴 수명시간(16000시간)으로 에너지 절감효과를 기대할 수 있다.
2> 16mm 관경으로 기존 등기구에 비해 크기가 절반이다.
3> 형광등 중에서는 104 lm/W 로 효율이 가장 좋다.
4> 극소량의 수은만을 봉입하여 환경친화적이다.









성능비교

* 기존의 T-10과 T-8에 비해 각각 50%, 35% 이상으로 에너지 절감효과 기대
* 전체 체적이 T-10, T-8형광램프에 비해 76%, 64% 감소하였기 때문에 유리자원, 금속자재 폐기물을 감소할 수 있음

비교(data)		T10	T8	T5	비고
소비전력(W)	전자식	40	32	28	각각 12W, 4W절감
	자기식	49	33	X	자기식에 비교시 21W, 5W 절감
치수(mm)	관경	32	26	16	체적 각각 76%, 64% 감소
	전장	1198	1198	1149	
광속(lm)		2660	3040	2900	T10 비교 9% 증가
광효율(lm/W)		66.50	95.00	103.57	각각 55%, 9% 증가
경제성	수명(hrs)	8,000	10,000	16,000	각각 55%, 60% 증가
	연색성(CRI)	<69	>82	>82	연색성 향상

- 성능 및 경제성 비교

경제성 비교

	초기투자비	전기사용량	전기료	절전효과
O O 아파트 공용부분 형광등 교체공사	**5,270만원**	**5,870kWh 절감**	**매월 350만원 절감**	**65%**

참고자료

- 한국아파트 신문

14 에어커튼 (Air-Curtain)

에어커튼 이란?

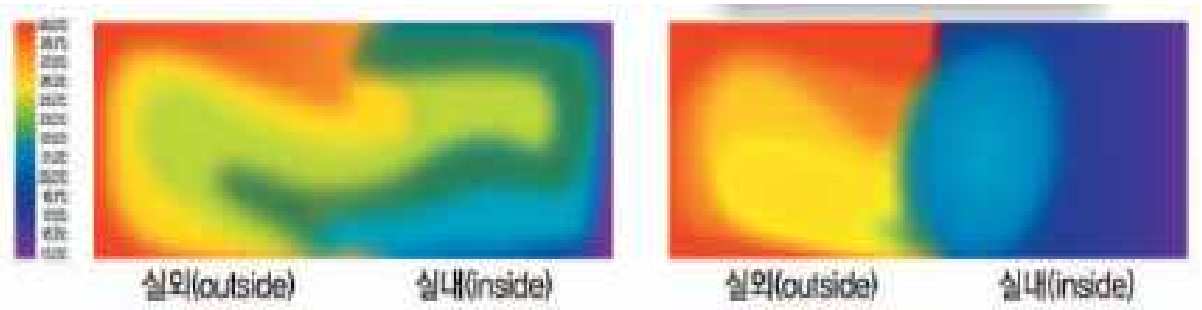
위에서 아래로 압축공기를 분출시키고 흡입구를 아래쪽에 설치하여 공기유막을 만들어 바깥쪽과 안쪽을 차단하는 설비를 말한다. 사람이 거주하고 출입하는 모든 출입구에 설치하면 문이 열리고 닫힐 때, 냉난방 에너지의 유출을 차단할 수 있고 외부로부터의 공기오염 물질의 실내유입을 막을 수 있다. 에너지 비용을 절감하고 실내 거주환경을 개선하는 데 도움이 된다.



에어커튼의 장점

1> 에어커튼 파동에 의한 실내공기의 순환으로 냉난방 효율 향상
2> 외부의 먼지, 분진, 매연 등의 실내 유입 방지 효과
3> 여름철 더운 공기의 실내유입과 찬 공기의 유출 차단
4> 겨울철 찬 공기의 실내유입과 더운 공기의 유출 차단

<냉방시 열차단 효과 모의 실험>



<미설치> <에어커튼설치>

성능비교

조건) 1.면적 : 66.4m2 (20평) (9.1m * 7.3m * 2.75m)
2.온도 (여름/겨울) : 실내(26℃/18℃) 실외(32℃/0℃)

(단위 : Kcal/h)

구분	기타요인으로 인한 손실	출입구로 유출된 손실	
에어커튼 없이 오픈	7,250	17,650	
		에어커튼 손실	절약효과
에어커튼 설치하고 오픈	7,250	3,520	14,130
자동문에 에어커튼 설치	7,250	880	16,770

참고자료

- (주)팬코리아테크놀로지

15 절수위생설비

절수위생설비 란?

위생기구란 물의 공급 또는 세정되어야 할 오물의 저장 및 배출을 위해 설치되어진 급수기구, 물받이 용기, 배수기구 및 그 부속품을 말하며 절수위생설비는 이러한 기구의 물 사용에 있어 기술의 적용을 통해 물의 소비를 줄일 수 있는 위생설비를 말한다.



절수위생설비 의 장점

1> 절수위생설비의 사용을 통해 상하수도 요금의 절감이 가능하다.

2> 온수 사용량의 절감으로 물 절약 이외에도 온수 생산을 위한 에너지 절약에 도움이 된다.



자폐식 수도꼭지



즉시 지수형 샤워헤드



절수 세척밸브

절수 위생설비의 종류

구분	명칭	특징	절수효과
수도꼭지	절수형 수도꼭지	수도꼭지에 절수형 디스크 및 패킹내장	20~50% 절수효과
	원터치형 수도꼭지	온, 냉 개폐장치가 한번에 작동되어 개폐 용이	개폐시간 단축으로 4-4.7% 절수효과
	전자 감지식 수도꼭지	전자눈의 감지로 밸브가 자동개폐	개폐시간 단축으로 4~5.3% / 비누칠하는 사이 40~50% 절수
	자폐식 수도꼭지	한번 누르면 일정량의 물이 나옴	수도꼭지를 잠그지 못해 낭비되는 물 절약
	포말식 수도꼭지	일반 수도꼭지에 포말전 부착	40~50% 절수
샤워기	절수형 샤워헤드	누름장치를 누르고 있는 동안만 나옴	비누칠 할 때 낭비되는 물 절약
변기	절수형 2단 양변기	대소변을 구분하여 2개 레버로 배출량 조절	대소변을 구분 사용하므로 40% 절수
	저유량 양변기	6-8L 의 세척수를 사용	세척수를 줄임
	로탱크내 절수기기	변기둑, 벽돌, PET병	세척수를 줄임
세탁기	절수형 세탁기	강한 세척력, 자동수위 조절기능	30-50% 절수
식기 세척기	절수형 식기세척기	세제 주입 전 음식찌꺼기 세척	22L 만 사용

참고자료

- 임남혁,'절수를 위한 위생기구
- 박희경, 차동훈, ' 절수기기보급에 의한 절수효과 분석에 관한 기획연구'

Passive energy

01 로이 복층유리(Low-E 유리)
02 고단열 삼중유리
03 진공유리
04 옥상녹화
05 벽면녹화
06 빗물이용 시스템
07 중수도 시스템
08 열반사 단열재

01 로이 복층유리 (Low-E 유리)

Low-E 유리란

로이 유리란, 일반 유리 내부에 적외선 반사율이 높은 특수 금속 막(일반적으로 은박사용)을 코팅시킨 유리로 건축물의 단열성능을 높이는 유리이다.

특수 금속 막은 가시광선을 투과시켜 실내의 채광성을 높여주고, 적외선은 반사하므로 실내·외 열의 이동을 극소화시켜 실내의 온도 변화를 적게 만들어주는 에너지 절약형 유리이다. 로이 복층유리는 판유리에 단열효과가 뛰어난 특수 금속 막을 코팅하므로 고 단열 복층유리가 된다.



<Low-E 유리 단면도>

Low-E 유리의 장점

1> 열 관류율을 낮출 수 있어 단열효과가 증진된다.

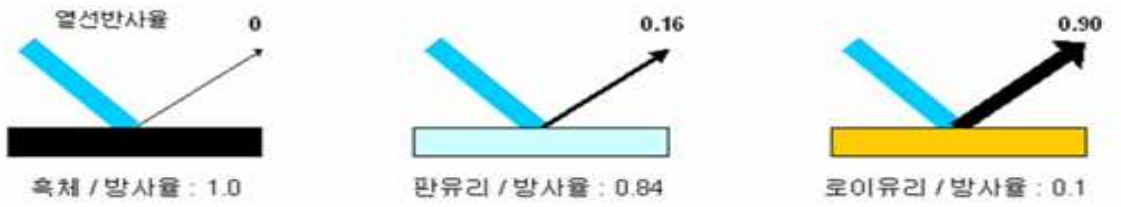
2> 겨울철 냉 복사현상 방지뿐만 아니라 여름철의 열 복사 방지에도 탁월하다.

3> 소음 차단효과가 우수하다.

4> 유리면에 발생하는 결로 저감이 용이하다.

성능비교

① 방사율 (적외선 에너지(열선)를 반사하는 정도



② 에너지 절감



☛ 로이복층유리는 판유리에 비해 32%, 복층유리에 비해 6%정도 에너지 절감 가능

경제성 비교

(단위:천원)

요소기술	초기투자비용			세대 에너지 비용		세대내 절감액	세대내 저감율	LCC (40년)	회수 기간
	기준	적용	비용증가	기준	적용				
Low-E 유리	1,329	2,850	215%	1,600	1,515	84	5.3%	+180	32년

<공용 부 요소기술 에너지 절감 및 경제성 (지역난방/개별난방 단지 70세대 기준)>

참고자료

- 이명준(2007),'공동주택의 창호 결로방지 평가 방법을 통한 Low-E 유리 적용 효과분석.
- 채동훈(2009),'공동주택에 적용 가능한 에너지절약기술 및 적용 타당성 분석',건축환경설비 2009.04,VOL.3,no2

02 고 단열 삼중유리

고 단열 삼중유리란?

3장의 유리로 조합되어 두 겹의 공기단열 층을 갖는 삼중창호는 기존 복층유리 보다 우수한 단열성능을 가지며 제작이 용이하여 점차적으로 확대 적용되는 창호이다. 기존 로이복층유리의 열관류율 1.8W/m2k 대비 열관류율 1.27W/m2k의 성능을 확보 단열성능이 30%이상 강화되었다.

국내 일부 오피스건물 등에 적용중인 삼중창호는 공동주택의 적용성을 위해 단열간봉의 적용과 단열성능이 우수한 PVC창틀, 복층 내부 공기 층에 다양한 불활성기체의 주입으로 좀 더 단열성능이 강화된 창호개발을 위한 시뮬레이션이 진행 중에 있다.



< 삼중창호 단면도 >

삼중유리의 장점

1> 열 관류율을 낮출 수 있어 단열효과가 증진되어 에너지 절약이 가능하다.

2> 제작이 용이하고 사용이 편리하다.

3> 유리면에 발생하는 결로저감이 가능하다.

4> 타 제품에 비해 안정성 부분에서 유리하다.

성능비교

① 각 유리 별 성능비교

	3중유리 (52mm 1면 로이코팅)	2중유리 (24mm 1면로이코팅)	3중/2중유리 성능비교
단열성	열관류율 1.27 W/m²hºC	열관류율 1.80 W/m²hºC	약 30% 향상
차음성	평균 29.7Db차음효과	평균 25.7Db차음효과	약 16% 향상
결로 저항성	결로 없음	간봉 주위 4면 결로발생	혹한기기준 비교 시 결로저항성 확연히 드러남
사용편의성	1회개폐 / 청소용이 Turn, Tilt 복합기능 환기효율 높음	2회개폐 / 청소불편 단순 환기기능	편의성 높음
안정성	개폐각도 조절가능	추락위험 가능성	안정성 높음

경제성 비교

② 경제성 비교 (24mm 로이복층유리와의 비교)

(금액정보는 2009년 하반기 기준)

제작사	-	알루이엔씨	KCC	LG하우시스
제품명	24mm 로이복층유리	52mm 삼중로이유리	35mm 삼중로이유리	31mm 삼중로이유리
단면	6CL+12A+6Low-E	6CL+18.5A+3CL+ 18.5A+6Low-E	5CL+10A+5CL+ 10A+5Low-E	5CL+8A+5CL+8Kr +5Low-E
열관류율	1.80W/m²hºC	1.27W/m²hºC	1.59W/m²hºC	1.25W/m²hºC (Ar) 0.93W/m²hºC (KR)
차음효과	25.7 dB	29.7 dB	30등급	
단가(원/m²)	24mm 로이복층 : 46,500원 24mm 로이1면반강화 : 50,000원	52mm 삼중로이 : 120,000원 52mm 삼중로이 1면반강화 : 125,000원	35mm 삼중로이 : 72,000-95,800원 35mm 삼중로이 1면반강화 : 77,000-110,000원	31mm 삼중로이Ar : 120,000원 31mm 삼중로이 일면반강화 : 125,000원
공사비 (원/연면적평)	28,000원	76,000원	45,800원	76,300원(Ar)

***CL: 투명유리, A: 공기층, Low-E 로이유리, Ar : 아르곤가스 주입 Kr :크립톤가스 주입**

삼중유리 적용에 있어서 문제점

① 삼중유리의 두께는 최소 30mm이상인데 반하여 이를 수용할 수 있는 PVC 창틀의 개발이 미흡하다.

② 삼중유리가 기존의 복층유리에 비하여 무게가 1.5배 이상 증가하여 취급이 곤란하고 현장 시공인건비 상승의 요인이 된다.

참고자료

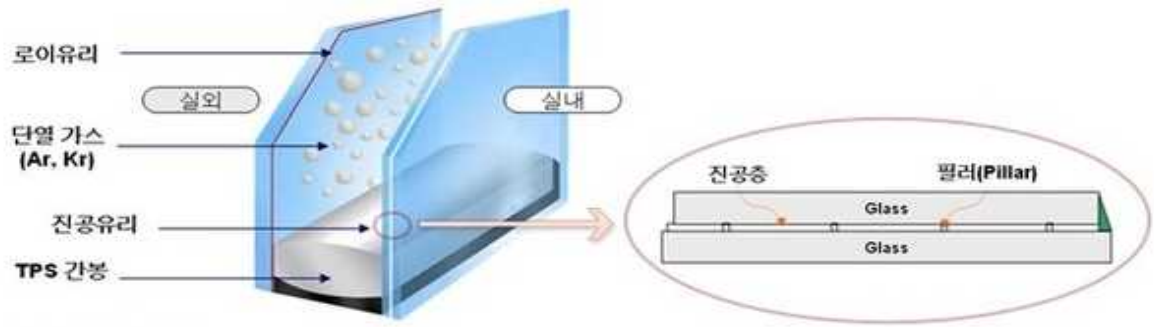
- http://www.aluenc.com_알루이엔씨 Homepage
- http://www.eagon.com_이건창호 Homepage

03 진공유리

진공유리란?

진공유리는 세 장의 판유리를 사용한 삼중유리 구조로, 실내 방면으로 두 장의 유리 사이 공간을 0.2mm로 유지하고, 공기압력을 견딜 수 있도록 필러(Pillar)를 일정 간격으로 심은 뒤, 내부의 잔류 가스를 완벽하게 제거해 밀봉함으로써 진공 상태의 유리를 만든다.

여기에 유리 한 장을 더해 아르곤(Ar), 크립톤(Kr) 등 고단열가스를 그 사이에 주입함으로써 단열성능을 극대화한 삼중유리형태의 진공유리를 만든다.



진공유리의 장점

1> 전도, 대류현상을 제거하여 단열성을 확보하므로 에너지 절약성능이 우수하다.
2> 진공상태로 안과 밖을 완전 차단시켜서 겨울에 유리창에 김이 서리는 현상도 없다.
3> 단열성능이 우수하여 유리면에 발생하는 결로저감이 가능하다.
4> 차음 성능에 있어서도 같은 조건에 있어서 복층 유리가 25dB의 차음효과를 가질 때,
진공유리는 35dB의 차음효과가 있다.

성능비교

① 각 유리 별 성능비교

(최상층 측세대. 20°C 기준)

구분	기준	기본	3등급	2등급	1등급
	표준주택	15-25% 절감	25-35% 절감	35-45% 절감	45-50% 절감
창호(W/m²K)	2.64	2.0	1.80	1.0	0.75
유리 적용 Spec	복층	로이복층	로이복층(Ar)	삼중복층(Kr)	진공복층

< 유리 별 에너지 절감 효과비교>



진공유리 적용에 있어서 문제점

① 현재의 제품들은 사이즈 제약이 있으므로 보완이 필요하다.

② 아직까지는 개발 초기단계라 가격적인 측면에서 보완이 필요하다.

참고자료

- 건기연, 저탄소 녹생성장을 위한 그린 홈 기술

04 옥상녹화

옥상녹화란 ?

녹지가 부족한 도심지역의 옥상부분에 녹화를 형성하여 녹지량을 확충함으로써 도시의 생태계를 개선하고 건강하고 쾌적한 도시환경개선, 에너지 절약 등의 많은 문제를 해결할 수 있는 방법을 말한다.



옥상녹화의 장점

1> 에너지 절약 : 옥상이나 지붕의 녹화를 통해 최상층에서의 차열이나 단열에 큰 효과 발휘
2> 환경개선 : 녹화를 통해 경관의 개선, 기온의 조정, 공기의 정화 등의 실현이 가능
3> 자연생태계 회복 : 생물과의 공생을 통해 작은 생태계를 형성함으로써 bio-top 창출
4> 기후변화완화 : 기온상승억제, 온도조절, 방풍, 녹음의 형성이 가능
5> 우수 일시 저장으로 도시의 홍수피해 예방

옥상녹화의 종류

종류	특징
평면형 녹화	세담류, 잔디, 각종잡초 등을 사용 높이방향의 확대가 적은 방식 건물에 부담되는 하중이 적다. 식생에 대한 전문적인 점검과 관리가 적게 요구됨
입체형 녹화	평면적 녹화에 관목, 교목을 같이 배치 기능성이 뛰어나고 가격이 경제적 관수나 식물의 관리가 많이 요구 유지관리의 비용이 많이 발생
비오톱 녹화	입체적 녹화에 실개천, 연못 등을 추가하여 다양한 생물의 생식공간을 갖춘 방식 기능성이 가장 뛰어난 방식 적재하중의 부담이 크며, 건설비 및 유지관리 비용이 많이 발생

옥상녹화의 성능비교

단위 : ℃

구분		평균온도	최저	최고	온도 차
외기온도		29.5	23	36	13
콘크리트		36.5	23	50	27
옥상녹화 시스템	표면	30.0	22	38	15
	0.5cm	27.5	23	32	9
	10cm	27.0	24	30	6

>> 여름철 콘크리트와 옥상녹화시스템의 온도변화

참고자료

- 건기연, 저탄소 녹생성장을 위한 그린 홈 기술
- http://www..tapsheet.com
- 이기덕,'옥상녹화 활성화 방안 연구'

05 벽면녹화

벽면녹화란 ?

측면녹화에 의해 외부벽면의 복사열을 차단하여 에너지 부하를 감소시키는 방법을 말하며, 시공이 간단하며 외관상 건물의 노출이 꺼려지는 부위를 가려 미관을 조성하는 기법으로 적용이 가능하다.



< 대구대학교 >

벽면녹화의 장점

1> 에너지 절감 효과 : 벽면의 녹화를 실시할 경우 실온에 3℃ 까지 차이를 발생시킴으로 냉방에너지가 절감되며, 겨울철 실내 난방에너지가 옥외로 빠져나가는 것을 방지하여 난방에너지 절감에도 기여

2> 건축물 내구성 향상 : 산성비 및 자외선 차단으로 벽 표면온도의 일교차, 계절교차, 습도 변화가 적어 건축물의 내구성이 향상

3> 건축물 강도 증가 : 덩굴식물로 녹화를 하게 되면 보강재로서 기능을 발휘

벽면녹화의 종류

종류	특징
흡착등반형 녹화	녹화대상 건축물이나 구조물 벽면의 표면에 흡착형의 덩굴식물을 이용하여 벽면을 흡착 등반시키는 방법
권만등반형 녹화	건축물이나 구조물의 벽면에 네트나 울타리, 격자 등을 설치하여 덩굴을 감아 올리는 방법
하직형 녹화	건축물 또는 구조물 벽면의 옥상부 또는 베란다에 식재공간을 만들어 덩굴식물을 심고, 생장에 따라 덩굴을 밑으로 늘어뜨려 벽면에 녹화를 형성하는 방법
컨테이너형 녹화	건축물 또는 구조물의 벽면에 덩굴식물을 식재한 컨테이너를 부착시켜 녹화하는 방법

성능비교

구분	벽면녹화	옥상녹화(잔디)
냉방에너지 저감율 (%)	1.2	3.1
녹화적용면적 (m^2)	358.56	688.9
단위면적당 냉방에너지 저감율 (%/100m^2)	0.33	0.45

대상 : 벽면녹화 -Y 대학교 자연대 제2실험동 / 옥상녹화-M 고등학교

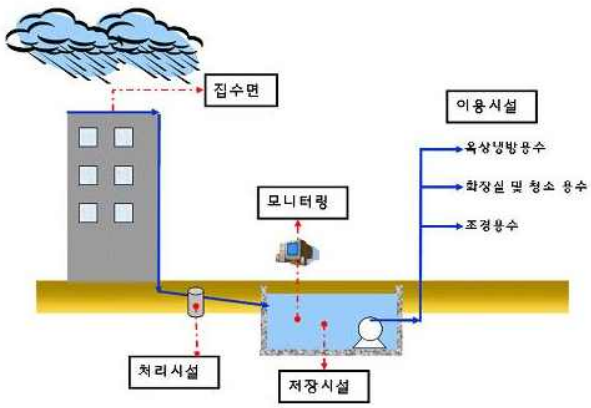
참고자료

- 造景生産經營.'인공지반 조경'
- 정애웅 외 2 (학교건물에서의 벽면 및 옥상녹화에 따른 에너지 성능 평가에 관한 연구',

06 빗물이용 시스템

빗물이용시스템이란 ?

빗물을 이용하여 물의 효율적 이용과 도시의 홍수 대책, 하수도의 부하경감을 목적으로 하는 시스템으로 세차나 수경 용수, 살수, 소방용수, 수세식 화장실의 세척수 등으로 이용된다.



빗물이용시스템의 장점

1> 도시홍수 방지 : 강수량이 많을 시 빗물을 저류하여 침수피해를 줄일 수 있다.
2> 수자원 활용 : 빗물을 여과하여 사용함으로써 상수 사용량의 절약이 가능하다.
3> 경제적 효과 : 상하수도 요금을 절감할 수 있다.

고려사항

1> 빗물집수 장소는 지붕, 옥상 등의 집수 가능한 불투수면에 시공해야 한다.

2> 초기우수를 배제하거나 제거할 수 있는 시설의 설치가 필요하다.

3.> 저장조는 내부청소가 용이한 구조로 하며, 누수 및 유해성분이 용출되지 않아야 한다.

4> 조류가 발생되지 않도록 햇빛 차단 및 증발과 먼지유입을 방지

5> 빗물배관은 음용수관과 별도로 설치하고 식별이 용이하게 표시

6> 저장조의 용량산정 기준에 맞게 설치

경제성 분석

상하수도 요금절약, 물 이용 분담금의 비용절감

(서울시 상하수도 요금 기준표)

가정용		업무용		영업용		물 이용 부담금
m²	원/m²	m²	원/m²	m²	원/m²	
0-30	480원	0-50	730원	0-100	1,450원	150원/m²
30-40	890원	50-300	990원	100-200	1,690원	
40-50	950원	300 이상	1,120원	200-1000	1,950원	
50 이상	1,370원			1000이상	2,140원	

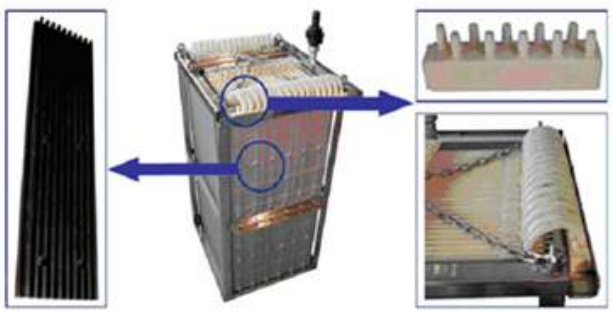
참고자료

- http://greenhomekorea.com
- ㈜가경코스모. '빗물이용시설 설명회'

07 중수도 시스템

중수도 시스템이란 ?

건물 내에서 발생되는 생활하수 및 오수를 미생물로 분해 처리한 후 막 분리공정을 이용하여 정제된 물만을 분리하여 건물 내에서 재이용하는 중수로 사용하는 시스템을 말한다.



중수도 시스템의 장점

1> 소요부지가 기존 처리공법에 비해 소요부지가 적음

2> 별도의 침전, 여과공정이 필요치 않아 에너지사용량을 줄일 수 있음

3> 잉여슬러지 발생이 저감되므로 폐기물 처리비용 절감

4> 병원성 세균의 완벽한 제거가 가능

5> 부유물질의 제거효율이 높고 대장균 제거효율이 우수함

참고자료

- http://eandtech.com
- 원라인테크㈜, '중수도 설치 제안서'

중수도 시스템의 종류

1> 개별순환방식
-단일 건물을 방류수와 배수를 자가 처리해서 중수로 재이용하는 방식 -처리비용이 많이 들고, 발생 슬러지 처리와 유지관리가 필요
2> 지구 순환방식
-대형 주택단지, 재개발 지구, 공단 등에서 해당건물의 중수공급량에 따라 재이용하는 방식 -하천의 오염 부하량을 줄일 수 있다. -송 배수 관로 공사비는 지역이 정해져 있어 저렴하다.
3>광역순환방식
-광역 및 대규모로 중수를 공급하는 방식 -유지관리가 용이하고 처리비가 저렴 -지하 매설물이 많아 시공 시 주의 필요

경제성 분석

(오수처리시설을 활용하여 일 450t의 고도처리 시설을 설치한 경우를 기준으로 산정)

항 목	시수 대체 시 (기준금액 : 2,270원/t)	지하수 대체시 (기준금액 : 1,000원/t)	비고
절감비용 A	372,847,500원/년 (450tx365일x2,2,70원)	164,250,000원/년 (450tx365일x1,000원)	시수 및 정수 절감액
추가절감비용 B	37,284,750원/년 (45tx365일x2,2,70원)	37,284,750원/년 (45tx365일x1,000원)	중수도 설치 시 중수용량의 10%이상 시수비 면제
유지관리비 C	20,202,750원/년 (450tx365일x123원)	20,202,750원/년 (450tx365일x123원)	T당 123원 기준
총절감비용 A+B-C	389,929,500원/년	181,332,000원/년	-

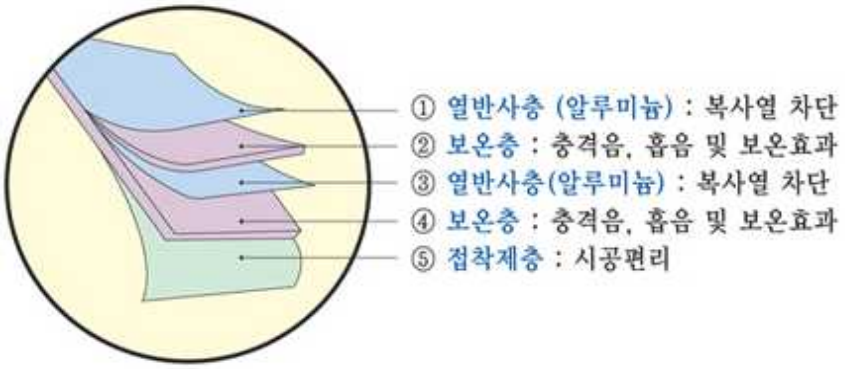
참고자료

- http://greenhomekorea.com
- ㈜가경코스모. '빗물이용시설 설명회
- 그린홈 지식창고.'greenhomekorea.org''

08 열반사 단열재

열반사 단열재란 ?

복사열에 약한 기존 부피단열재의 단점을 보완한 알루미늄을 이용한 열반사 단열재로서 복사열을 최대 97%까지 차단할 수 있다. 여름에는 외부 복사열을 차단하고, 겨울에는 실내의 열기가 외부로 유출되는 것을 차단하여 열대야 현상 및 결로 예방 등 단열효과가 우수하여 냉난방비용의 최대 20%이상 절감이 가능하다.



<열반사단열재의 단열구조>

열반사 단열재의 장점

1> 기밀시공 및 탁월한 단열효과로 냉난방비 절감
2> 열대야 및 결로 예방 효과
3> 부피단열재보다 얇은 두께로 공간활용
4> 습기가 발생하지 않아 곰팡이균 번식 방지

성능비교.

구분	열반사단열재	우레탄	스티로폼	아이소핑크	그라스울(32K)	그라스울(64K)
두께(mm)	6	42	80	62	74	68
열전도율(W/mK)		0.021	0.040	0.031	0.037	0.034
열저항(m^3K/W)	1.988		2	2	2	2

<단열성능비교>

구분	열반사단열재	스티로폼	그라스울	우레탄	석고보드
증기투과도	없음	>100/min	>100/min	2~3	1.2~3.0
배기/흡수성	없음	2% by weight	>중량%	없음	0.7
모세관현상	없음	없음	없음	없음	없음
내구성	불변	풍화발생	풍화발생	불변	변형
작업성	시공용이	보호장비필수	보호장비필수	시공용이	시공용이

<단열재비교분석표>

참고자료

- 벽산단열재

New Renewable Energy

01 태양열 급탕 시스템
02 지열 히트 펌프 시스템
03 태양광 발전 시스템
04 태양광 채광 시스템
05 BIPV 시스템
06 연료전지
07 소형 풍력발전 시스템

01 태양열 급탕 시스템

태양열 급탕 시스템이란?

태양열을 이용한 온수 급탕 시스템으로서 유류를 대체할 수 있는 차세대 에너지이며, 유류비를 절감하고, 환경오염물질을 배출하지 않는 대체에너지 온수 급탕 시스템을 말한다.

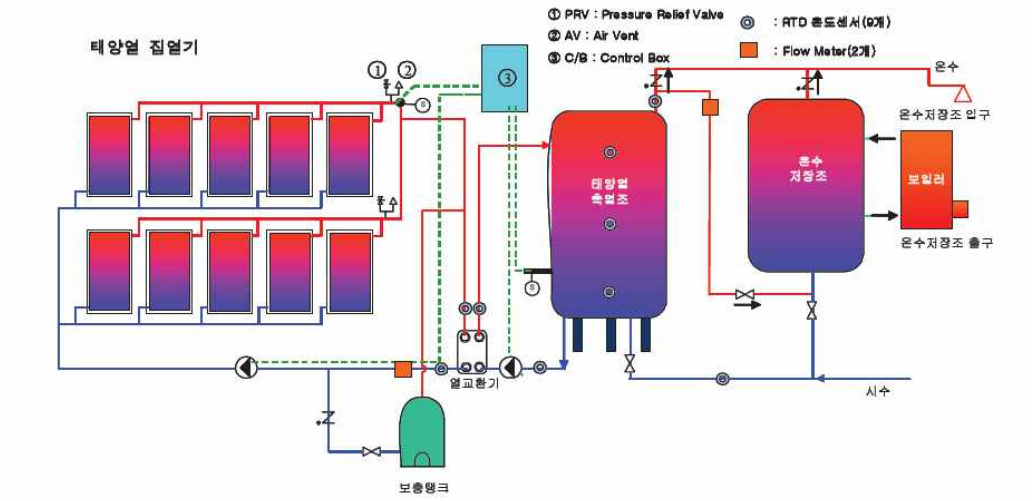


태양열 급탕 시스템의 장점

1> 화석에너지 사용량의 절감이 가능

2> 원유수입량 절감 (집열기 1장당 년간 약 250리터의 경유절감)

3> 환경오염물질 배출량 저감 (집열기 1장당 년간 약 0.2톤의 CO2 배출량 저감)

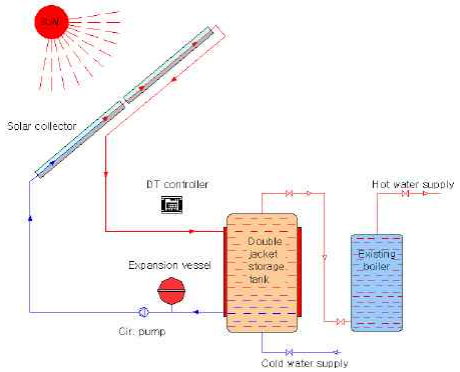


<태양열 급탕시설의 계통도>

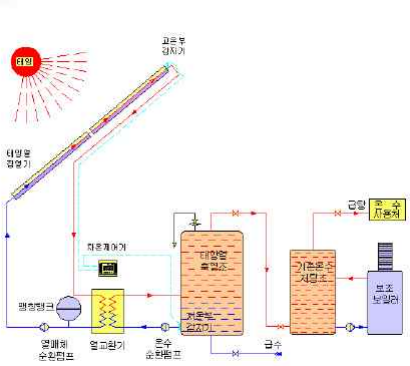
경제성 비교

요소 기술	초기투자비용			세대 내 에너지비용		세대 내 절감액	세대 내 저감율	LCC (40년)	회수 기간
	기준	적용	비용 증가	기준	적용				
태양열 급탕시설	501	1583	316%	1,519	1,463	56	3.7%	-704	불가

본 시스템은 현재 신, 재생에너지 설치 지원금을 받지 않는 조건에서는 경제성이 없으나 향후 에너지 단가 상승이 정부지원금을 받는 경우 경제성이 있을 것으로 예상되어진다.



<소규모 설비형 시스템>



<대용량 설비형 시스템>

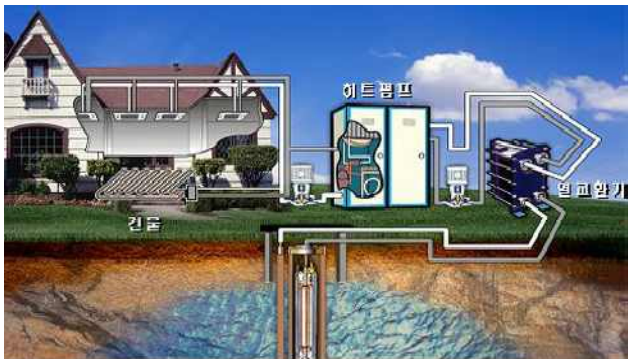
참고자료

- ㈜강남, 태양열 급탕 시스템
- 부현로,'기숙사 태양열 급탕시스템의 장기 열선응에 과한 실증연구'
- 채동훈(2009),'공동주택에 적용 가능한 에너지절약기술 및 적용 타당성 분석',건축환경설비 2009.04,VOL.3,no2

02 지열 히트 펌프시스템

지열 히트 펌프시스템 이란?

지열 히트 펌프시스템은 땅의 온도가 변화가 적다는 점을 이용하여 개발된 시스템으로, 물, 지하수 및 지하의 열등의 온도 차를 이용하여 냉, 난방에 활용하는 기술을 말한다.

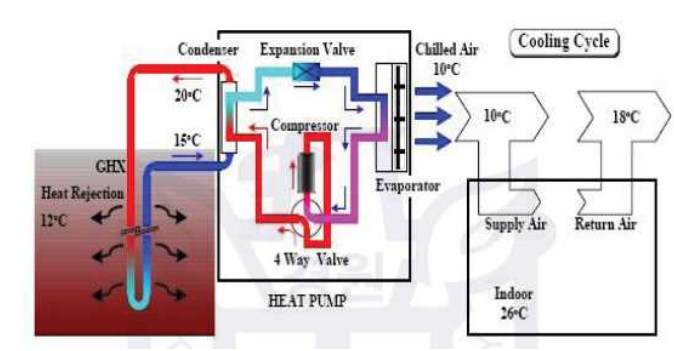


지열 히트 펌프시스템 의 장점

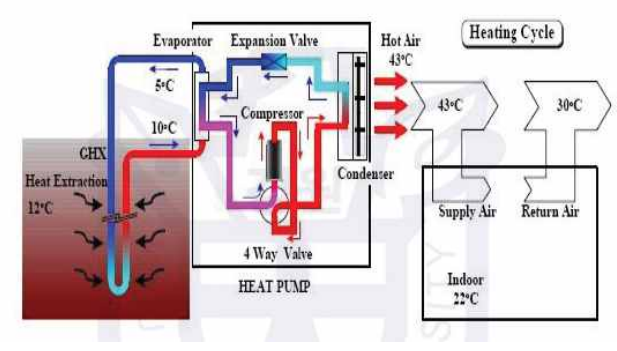
1> 에너지를 효율적 친환경적으로 이용 가능 :
태양에너지의 51%를 흡수한 지표면의 토양이나 수분에 축적된 열에너지를 지열교환기를 이용하여 높은 효율로 난방가능

2> 온실가스 배출이나 소음이 없는 환경친화적 냉, 난방방식

3> 전자동 작동 시스템에 의한 실내온도 조절 및 온수생산이 가능



<냉방 사이클>



<난방 사이클>

성능비교

	지열히트펌프	풍력
구조		
1000 Kcal/hr당 가격	123만원	544.8만원
사용시간	연중	바람 불 때
시스템 용도	냉난방, 급탕	발전
제약 조건	없음	2m/s이상의 풍속 유지
권장 지역	전국적으로 가능	바람이 많은 지역

경제성 비교

(단위:천원)

요소 기술	초기투자비용			세대 내 에너지비용		세대 내 절감액	세대 내 저감율	LCC (40년)	회수 기간
	기준	적용	비용 증가	기준	적용				
지열 히트펌프	130	292	224%	1,600	1,598	1.7	0.1%	-303	불가

본 시스템은 현재 신, 재생에너지 설치 지원금을 받지 않는 조건에서는 경제성이 없으나 향후 에너지 단가 상승이 정부지원금을 받는 경우 경제성이 있을 것으로 예상된다.

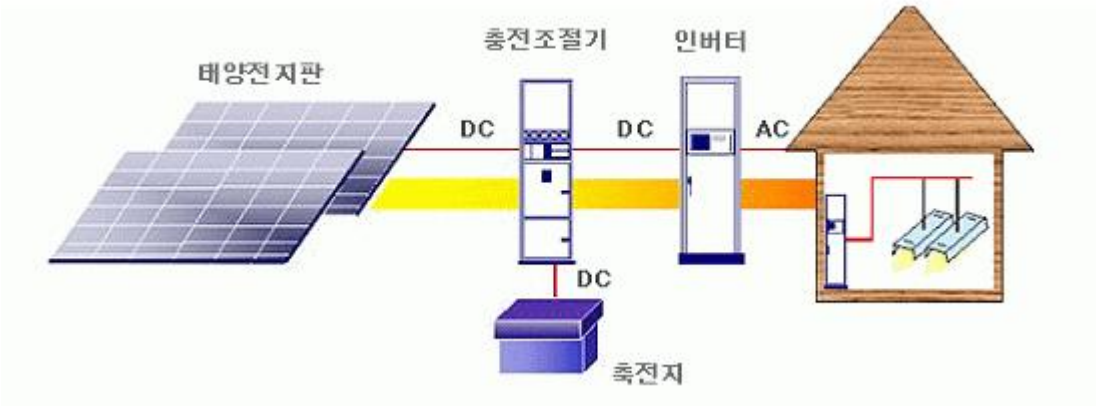
참고자료

- 김현일(2010),' BIPV 시스템의 발전성능 분석 및 신뢰성 평가에 관한 연구
- 채동훈(2009),'공동주택에 적용 가능한 에너지절약기술 및 적용 타당성 분석',건축환경설비 2009.04,VOL.3,no2

03 태양광 발전 시스템

태양광 발전 시스템이란 ?

태양빛을 직접 전기로 변환하는 것으로 소음과 같은 환경 파괴적인 부산물이 없으며 태양광을 이용함으로 청정하고 에너지의 무제한 사용이 가능한 시스템이다. 태양전지로 구성되어 있는 모듈을 핵심부품으로 하고 있으며, 모듈은 실리콘이 주를 이루는 반도체 소재로 제작된다.



태양광 발전 시스템의 장점

1> 에너지의 무제한 사용이 가능하고 청청하다.

2> 무인화가 가능하고 필요한 양만의 발전이 가능하다.

3> 시공기간이 짧다.

4> 수명이 길고 유지보수가 용이하다.

태양광 발전시스템의 종류

종류	특징
독립형 시스템	외딴 섬과 같이 전기가 들어오지 않는 지역에서 태양광발전으로만 전기를 공급하는 시스템
계통연계 시스템	태양광 발전으로 얻은 전기와 전력회사에서 공급하는 전기를 함께 쓰는 시스템

태양광 발전시스템의 문제점

1> 전략생산이 지역별 일사량에 의존하는 면이 크다.

2> 에너지 밀도가 낮음으로 넓은 설치면적이 요구된다.

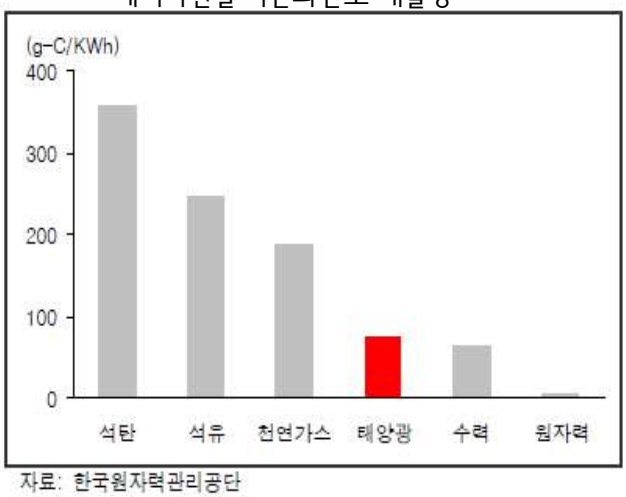
3> 시스템 설치에 고가의 비용이 소요된다.

4> 초기 투자비와 발전단가가 높다.

5> 일사량 변동에 따른 출력이 불안정하다.

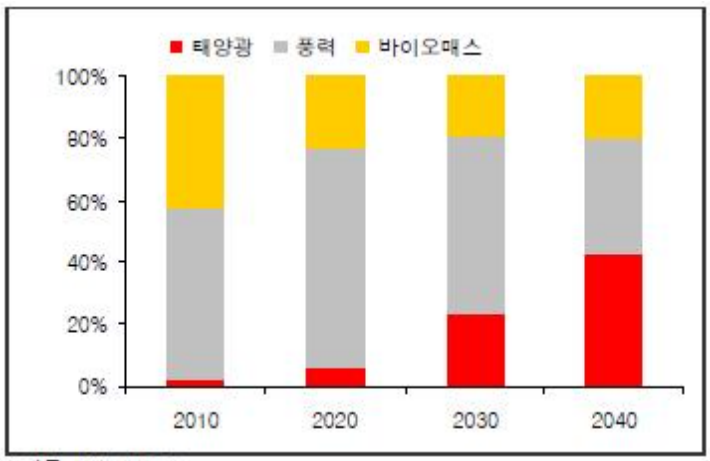
성능 비교

에너지원별 이산화탄소 배출량



자료: 한국원자력관리공단

대체에너지별 전력 생산 비중 전망



자료: IEA, EREC

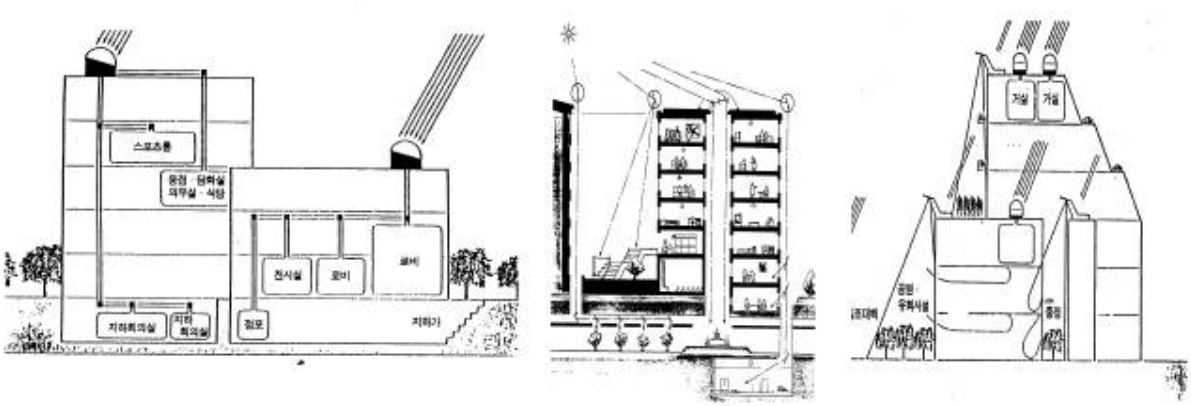
참고자료

- 신재생 에너지센터 (에너지관리공단)
- 한화증권 기업분석센터, ' 신재생 에너지'

04 태양광 채광 시스템

태양광 채광 시스템 이란 ?

자연광의 유입이 어려운 실내에 여러 가지 하드웨어를 이용하여 부족한 자연광을 도입하는 채광시스템으로, 지구온난화를 방지하고 에너지절약 및 지속 가능한 건축을 위한 다양한 태양에너지 활용시스템의 하나이다.



태양광 채광 시스템의 장점

1> 에너지의 무제한 사용이 가능하고 청청하다.

2> 반영구적 사용이 가능하다.

3> 지구온난화 방지에 기여하며, 에너지의 절약이 가능하다.

4> 인체에 유익하며 실내공기 정화에도 기능을 발휘한다.

태양광 채광 시스템의 종류

시스템	종류
덕트형 자연채광 시스템	지유솔라, 모노멘트, 솔라벤트
블라인드형 자연채광 시스템	베네치안 솔라인드 시스템 더블모터 솔라인드 시스템 베네치안 솔라인드 지니어스 시스템
루버형 자연채광 시스템	이동형 프리즘 고정형 프리즘 마이크로루버 시스템 글라스 엑스 크리스탈 오칼룩스
광섬유형 자연채광 시스템	-
건물일체형 자연채광 시스템	헬리오스텟 시스템 미러 시스템 광덕트 시스템

성능비교

		태양광 자연조명-집광채광	인공조명 전등
경제성	유지,보수,비용	거의 들지 않음	고가
	수명	반영구적	전등의 수명에 따라 다름
환경성	전자기파	인체에 유익	인체에 유해
	폐기물	철, 비철금속 (재활용가능)	유해폐기물 (수은)
기술성	화재,폭발,누전	없음	발생가능
	부가효과	질병치료, 실내공기 정화	없음

참고자료

- jiyou corporation (http://www.jiyousolar.com)
- 태양광 채광시스템 (경의대학교 채광조명시스템 연구실)

05 BIPV (Building Integrated Photovoltaic) 시스템

BIPV 시스템이란?



건물 외피에 PV모듈을 이용하여 건물외장형 태양광 발전시스템으로 태양광에너지로 전기를 생산하여 공급하는 것 외에 태양광모듈을 건축물 외장재로 사용하여 건설비용을 줄이고 건물의 가치를 높이는 디자인요소로도 사용 된다.

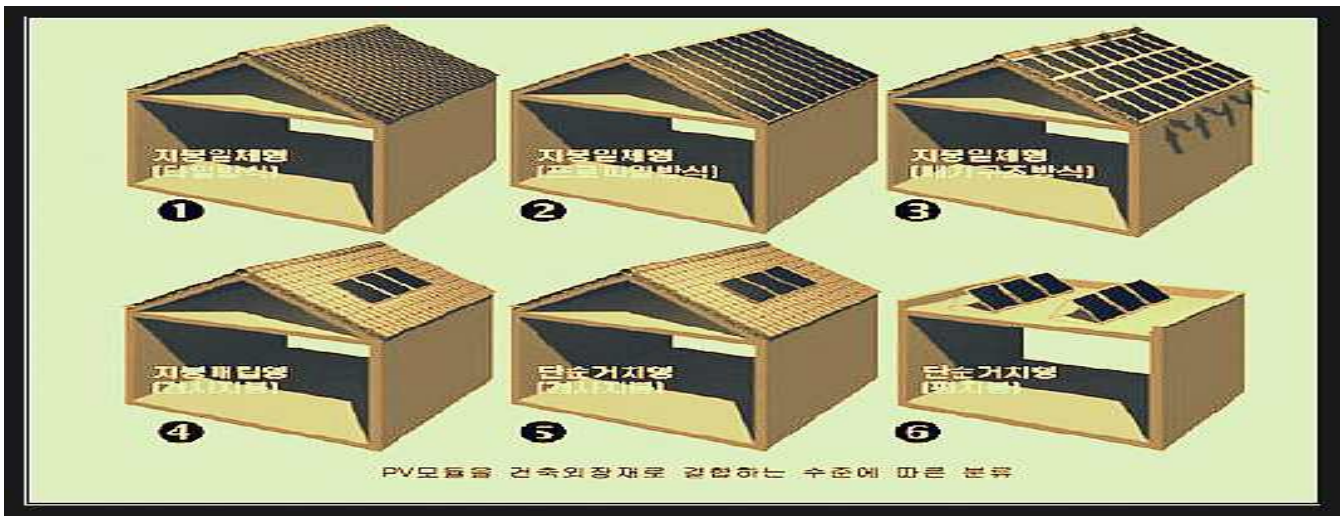
BIPV 시스템의 장점

1> BIPV시스템은 별도의 부지확보와 PV 시스템 지지를 위한 구조물 건립비용이 필요하지 않으며 신축 또는 기존건물의 개보수 경우 적용이 가능하다.

2> 유리라는 검증된 자료를 사용함으로 신뢰성 우수하다.

3> 외관이 미려하고 디자인효과가 우수하다.

4> 창호, 외벽, 지붕 등 모든 부위에 적용이 가능하며, 대면적 모듈 제작이 가능하다.



BIPV 활용 사례

	CIS Tower	Four Time Square	Whitehall Ferry Terminal
패널설치사진			
건축개요	완공연도 : 1965년 BIPV설치년도 : 2005년 높이 : 118m	완공년도 : 2000년 높이 : 48층, 247m 연면적 : 149,000 m²	완공년도 : 2006년
BIPV	용량 : 21kW 설치면적 : 약 2,000m² 연간발전량 : 180MWh	35~48층 남,동쪽면 외벽 용량 : 15kW 연간발전량 : 18.7MWh	남측외벽 및 옥상 용량 : 40kW 설치면적 : 743m² 패널수 : 288개 연간발전량 : 52MWh

경제성 비교

(단위:천원)

요소기술	초기투자비용			세대 내 에너지비용		세대 내 절감액	세대 내 저감율	LCC (40년)	회수기간
	기준	적용	비용증가	기준	적용				
태양광발전	0	117	-	1,600	1,596	0.1	0.0%	-12	불가

<공용 부 요소기술 에너지 절감 및 경제성 (지역난방/개별난방 단지 70세대 기준)>

본 시스템은 현재 신, 재생에너지 설치 지원금을 받지 않는 조건에서는 경제성이 없으나 향후 에너지 단가 상승이 정부지원금을 받는 경우 경제성이 있을 것으로 예상된다.

참고자료

- 채동훈(2009),'공동주택에 적용 가능한 에너지절약기술 및 적용 타당성 분석',건축환경설비 2009.04,VOL.3,no2

06 연료전지

연료전지란 ?

연료의 산화에 의해서 생기는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 일종의 발전장치이다. 가장 대표적인 것이 수소-산소 연료전지로서, 수소와 산소의 화학반응으로 생기는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술이다. 산화-환원반응이 이용되는 원리는 일반 화학전지와 같지만, 닫힌 계 내에서 반응이 일어나는 화학전지와 달리 반응물이 외부에서 계속 공급되어, 반응생성물이 연속적으로 계 외로 제거된다. 연료전지는 저공해성이며, 소음이 없고 배열을 이용할 수 있기 때문에 종합효율이 높다.



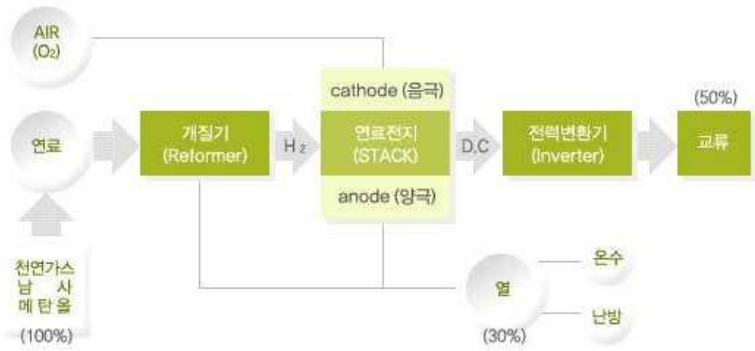
연료전지 발전원리

* 연료 중 수소와 공기 중 산소가 전기화학 반응에 의해 직접 발전되는 원리이다.

1> 연료극(양극)에 공급된 수소는 수소이온과 전자로 분리된다.

2> 수소이온은 전해질 층을 통과하여 공기극으로 이동하고, 전자는 외부회로를 통하여 공기극으로 이동한다.

3> 공기극(음극)쪽에서 산소이온과 수소이온이 만나 반응생성물(물)을 생성하고, 최종반응은 수소와 산소가 결합하여, 전기, 물 및 열을 생성한다.



<연료전지 발전시스템 구성도>

연료전지의 장점

1> 발전효율이 40%~60% 정도이며, 열병합 발전시 80% 이상이 가능하다.
2> 배기가스 중 질산화물, 황산화물 및 분진이 거의 발생하지 않으며, 이산화탄소 발생량에 있어서도 미분탄 화력발전에 비하여 20~40% 감소 효과를 보인다.
3> 회전부위가 없어 소음이 적으며, 기존 화력발전과 같은 다량의 냉각수가 불필요하다.
4> 도심부근에도 설치 가능하여 송배전시의 전력 및 설비의 손실이 적다.
5> 부하변동에 따라 신속히 반응할 수 있다.

연료전지의 종류 및 효율(성능)

* 전해질 종류에 따라 연료전지를 구분

구분	알칼리 (AFC)	인산형 (PAFC)	용융탄산염형 (MCFC)	고체산화물형 (SOFC)	고분자 전해질형 (PEMFC)	직접 매탄올형 (DMFC)
전해질	알칼리	인산염	탄산염	세라믹	이온교환막	이온교환막
동작온도 (℃)	100이하	200이하	650이하	1,200이하	80이하	80이하
효율(%)	85	70	80	85	75	40
용도	특수용	중형건물 (200kW)	중대형건물 (100kW~MW)	소,중,대용량 발전 (1kW~MW)	가정, 상업용 (1~10kW)	소형이동 (1kW이하)
선진수준	우주선	200kW	MW이상	MW이상	1~10kW 보급중	500W
국내수준	-	50kW	250kW	1kW	3kW	50W

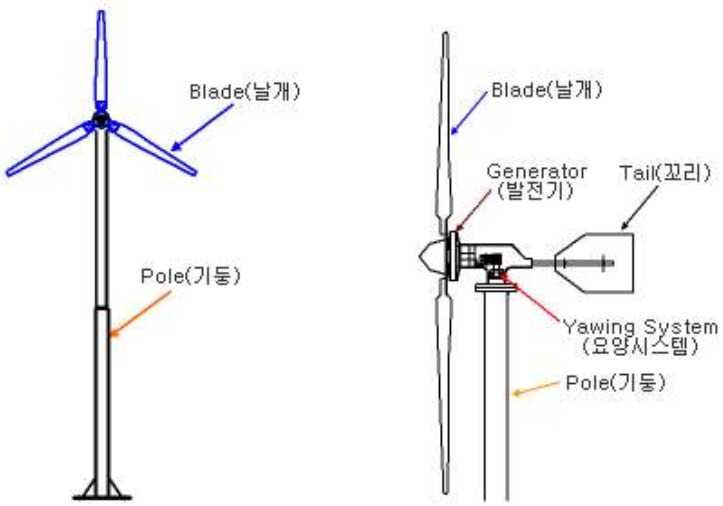
참고자료

- 신재생 에너지센터 (에너지관리공단)

07 소형 풍력발전 시스템

소형 풍력발전 시스템이란 ?

바람을 이용하여 풍속에 의해 발생된 풍력에너지를 풍력터빈의 회전날개를 통하여 기계적 에너지로 변화시켜, 이 변화된 에너지를 이용하여 발전기의 회전자를 구동시켜 최종적으로 전기에너지를 생산하는 시스템을 말한다.



소형 풍력발전 시스템의 장점

1> 공해를 발생시키지 않는 청정 대체 에너지 시스템이다.

2> 반영구적 사용이 가능하다.

3> 설치비용 및 설치 소요면적이 작은 편이다. (신재생 에너지 중)

4> 설치에 소요되는 시간이 적은 편이다.

소형 풍력발전 시스템의 문제점

1> 기상조건에 따라 출력의 변동발생이 일어날 수 있다.

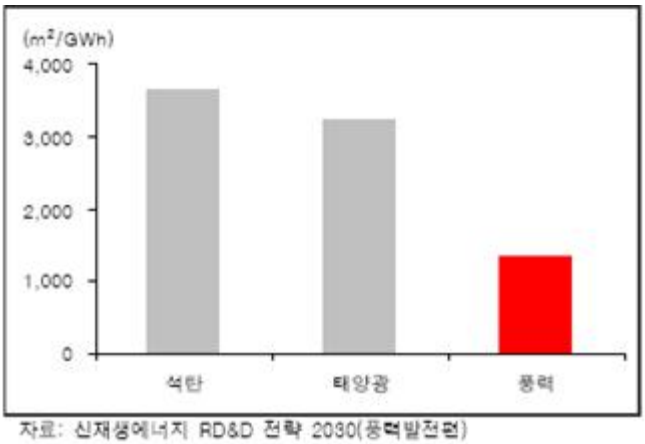
2> 소음과 같은 문제의 발생으로 인한 민원발생의 소지가 있다.

3> 높은 수준의 계통연계 기술이 요구된다,.

성능비교

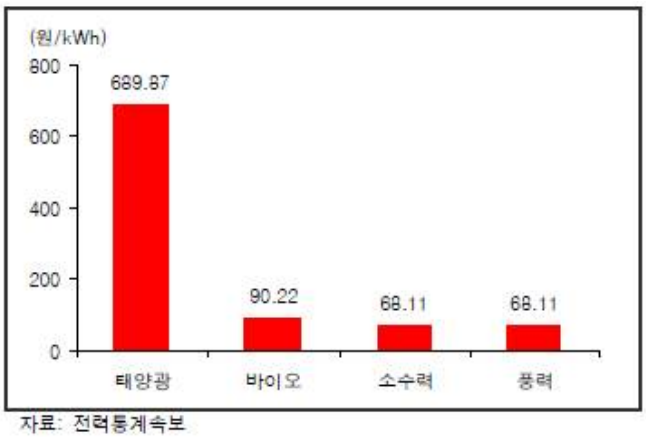
	수직형 방식	수평형 방식
발전효율	20%의 효율 (풍속 : 5m/s)	10% 효율 (풍속 : 10.5m/s))
설치비	약1000만원 이상 (1kw / 설치비 포함)	약700~800만원 (1kw /설치비 포함)

발전방식에 따른 소요면적



자료: 신재생에너지 RD&D 전략 2030(풍력발전편)

신재생 에너지별 구입 단가 비교



자료: 전력통계속보

참고자료

- Seoyoung tech (http://www.evsmotor.co.kr)
- INOVENTUS (WWW.INVENTUS.CO.KR),'친환경 하이브리드 시스템'
- 한화증권 기업분석센터, ' 신재생 에너지