도시건축연구사업

15CHUD-C060549-05

탄소저감 스마트 도시 에너지 관리시스템 개발 최종 보고서

2016. 9.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 지에스건설(주)
협동연구기관 / 한국건설기술연구원
기초전력연구원
위탁연구기관 / 상명대학교 산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 최종보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 ‘탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템’ 과제의 보고서로 제출합니다.

2016. 9. 2

주관연구기관명 지에스건설(주)
주관연구책임자 박시삼 책임연구원
연 구 원 이상필 상무
나상민 책임연구원
김 용 선임연구원
최형진 전임연구원

협동연구기관명 기초전력연구원
협동연구책임자 한후석 처장
연 구 원 한태경 선임연구원
위재우 선임연구원

협동연구기관명 한국건설기술연구원
협동연구책임자 김용기 수석연구원
연 구 원 이태원 선임연구위원
권한솔 선임연구원

협동연구기관명 상명대학교 산학협력단
위탁연구책임자 조수환 교수
연 구 원 엄지영 연구원
유제호 연구원
백자현 연구원
고은영 연구원

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>15CHUD-C060549-05</td><td>해당단계
연구기간</td><td>54.5개월</td><td>단계구분</td><td>(1)/(1)</td></tr>
<tr><td>연구사업명</td><td colspan="5">도시건축연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>최상위과제명</td><td colspan="4">탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>연구책임자</td><td>박 시 삼
책임연구원</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 21명
내부 : 17명
외부 : 4명</td><td>총
연구비</td><td>정부 : 2,850,000천원
기업 : 2,850,000천원
계 : 5,700,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명
및
소속부서명</td><td colspan="2">지에스건설(주)
기술연구소
건축환경연구팀</td><td>참여기관명</td><td colspan="2">한국건설기술연구원
기초전력연구원
상명대학교 산학협력단</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약 (연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td>559</td></tr>
<tr><td colspan="6">□ 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 운영 지원(Smart CEMS-O) S/W 개발
- 탄소저감 Smart CEMS-O는 에너지 공급 시스템이 결정되고, 실시간 모니터링 센서 네트워크가 구성되었을 경우, 에너지 공급설비의 최적운영 스케줄을 도출하는 운영 지원 S/W 임

□ 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 공급설비 최적설계지원(Smart CEMS-D) S/W 개발
- 탄소저감 Smart CEMS-D는 에너지 공급시스템의 최적조합 및 이에 따른 경제성 분석이 가능한 S/W로 도시계획단계에서부터 에너지 공급시스템의 종류 및 용량을 선정할 수 있는 S/W임

□ Smart CEMS POC 및 도시단위 실증을 통한 탄소저감 검증</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">도시에너지, 도시에너지관리시스템, 수요관리, 최적화, 탄소저감</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">Urban Energy, City Energy Management System, Demand Response, Optimization, Carbon Emission</td></tr>
</table>

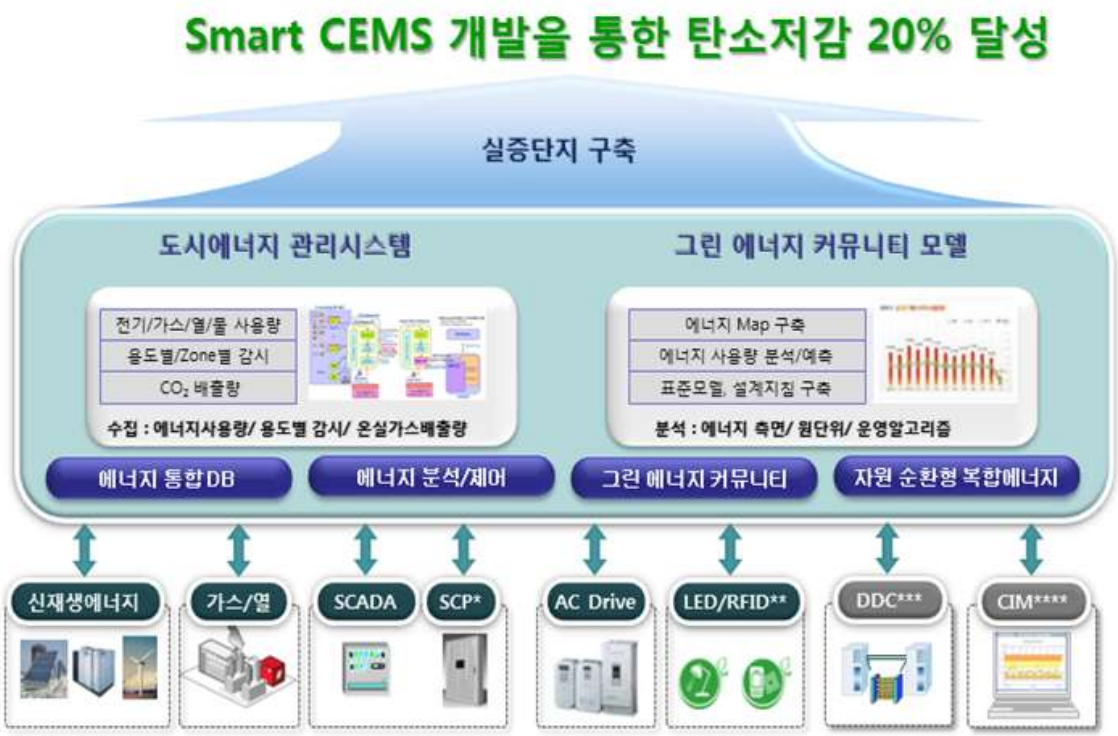
요 약 문

Ⅰ. 제 목

□ 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 개발

Ⅱ. 연구개발과제 개요

□ 연구개발 종료시점인 2016년까지, 탄소발생량 20% 감축(BAU 대비)이 가능한 플랫폼 기반 스마트 도시에너지 관리시스템(Smart CEMS-O, Smart City Energy Management System - Operation), 복합에너지 커뮤니티 표준모델(Smart CEMS-D, Smart City Energy Management System - Design) 개발 및 개발 기술의 실증



<최종 연구목표 개념도>

□ 이러한 탄소저감 목표를 위하여, 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 개발과제는 도시 및 지구단위 에너지 공급설비 최적화 지원을 위한 Smart CEMS-D와 운영최적화를 위한 CEMS-O 두 가지 S/W를 개발하는 과제와 이를 활용하여 POC 및 도시단위 실증을 하는 3개의 과제로 분류하였으며, 그 구성도는 아래의 그림과 같음



CEMS-D* : City Energy Management System - Design, CEMS-O** : City Energy Management System – Operation

<최종목표 달성을 위한 과제 구성도>

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

1차년도	■ 에너지 소비량 분석을 위한 분석시스템 요구사항 도출	■ 도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 설계 요건 조사 - 기존시스템을 통한 필요 요소 분석 및 관련 내용 조사 ■ 모니터링 시스템설치를 위한 기술조사 및 분석 ■ 데이터 취득을 위한 네트워크 구성 도출 - 네트워크 연결방식에 따른 장단점 및 특징 분석 - 적합한 POC 모니터링 시스템 구성 설계
	■ 빌딩, 커뮤니티, 도시 단위에 대한 에너지 효율화 기술 분석/기술 list 작성	■ 빌딩단위 에너지 효율화 기술 분석을 통한 리스트 작성 및 적용성 분석 ■ 커뮤니티, 도시 단위에 대한 에너지 효율화 기술 분석을 통한 리스트 작성 및 적용성 분석 - 에너지 저감 아이템에 따른 에너지 저감 기술 조사 및 이에 따른 저감량 분석
	■ 도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 요구사항 도출	■ 도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 설계 요건 조사 - 플랫폼 관련 기술조사(CIM/XML 등) 및 적용사례 조사 - 스마트그리드 표준화 동향 분석 ■ 도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 요구사항 도출 ■ RIA(Rich Internet Application) 기반 도시에너지 에너지 대시보드 구현
	■ 마이크로그리드 운전요구사항 도출 ■ 마이크로그리드 제어요구사항 도출	■ 에너지커뮤니티 운전 및 제어시스템 조사 - 미활용에너지 활용 열에너지 공급기술 - 에너지 저장장치 활용 전력시스템 제어기술 ■ 마이크로그리드 제어기술 분석을 통한 문제점 및 요구사항도출
	■ 지역별 수요분석 기술 조사 및 알고리즘 설계 ■ 시간대별 수요분석 기술 조사 및 알고리즘 설계	■ 지역에 따른 구성부하 및 지역기후에 따른 수요분석 방법 조사 및 이에 따른 예측 방법 고찰 - 온도민감 부하 분리를 통한 분석방법, 포화도에 따른 분석 등 ■ 기존 전력 분야에서 사용되고 있는 장기수요 예측 방법, 단기 예측 방법에 대한 조사
	■ 선진국과 국내 도시의 에너지 소비특성 비교, 분석 및 시사점 도출	■ 국내 도시/지역별 에너지 소비특성 분석을 통한 온실가스배출특성 확인 및 도시에너

	■ 국내외 도시 에너지 공급체계와 운영방안 비교, 검토 및 시사점 도출 ■ 도시 에너지 수급체계 분석을 위한 표준 해석모델 도출	지 공급체계의 문제점 분석 - 서울시 마곡지구 사례 분석 - 국내 도시관리계획에 따른 에너지 설계 관련 조항 및 내용 분석 - 국내 에너지 공급체계 문제점 분석 및 관련 연구 동향 확인 ■ 국외 복합에너지 공급 및 소비체계 사례조사 및 시사점 확인 ■ 도시에너지 공급시스템 해석을 위한 최적 설계 프로세서 설계 - 5단계의 설계 프로세서를 확정하였으며, 다양한 해석알고리즘에 대한 분석을 통해 에너지공급시스템 수치해석방법 및 관련 Solver 조사
2차년도	■ 주요 에너지 공급원과 수요처에 대한 자료조사 및 모니터링을 통한 원단위 파악 ■ 도시 내 주요 에너지 공급 및 수요처별 원단위 D/B 구축	■ 모니터링 시스템 데이터 DB 화 - 에너지 수요 Profile 자료수집(안산시 외 4개 지구) - 수집된 자료 DB화(POC 실증단지) - DB화를 통한 분석시스템 모델정립 ■ 분석시스템 개발(POC 통합관제센터 적용) - 목표: 오픈맵 기반 에너지 분석 시스템 - 사양: POC 실증용 에너지 분석 - 성능: 도시, 빌딩, 설비, 계측기 단위 모니터링 및 분석 - 용도: 마이크로 단위 에너지 공급량, 사용량 모니터링 - 기능: 에너지 사용, 공급 현황에 대한 분석을 통해 개선안 파악
	■ 마이크로 단위 에너지 커뮤니티 운전 및 제어시스템	■ 도시 내 에너지 자원 분류 자료수집 - 목표: 도시 내 에너지 자원을 관리하기 위해 기존의 단순공급설비 모델을 복합에너지 운전에 적합하도록 확장하여 모델링 - 기능: 도시 내 자원을 제어가능/제어불가능/저장설비/수요자원 분류 및 모델링 ■ 도시에너지 최적운전 모델정립 - 목표: 에너지원별 자원(제어가능/제어불가능/저장설비/수요자원)을 이용한 도시에너지 자원 관리 기능 정의 - 기능: 네트워킹/복합에너지운전/실시간운전/수요관리 정의 및 탄소저감 효과 분석 ■ Smart CEMS 시작품 개발 - 목표: POC 실증용 도시에너지 자원 최적(네트워킹/복합에너지운전/실시간운전/수요

		관리)스케줄링 모듈 개발 - 사양: Web 기반의 선형 알고리즘(MILP, 혼합정수선형계획법) 이용한 S/W - 기능: 에너지원(전기, 열, 가스 물)별 수요예측 및 제어불가능자원 패턴/출력 예측에 기반한 제어가능/저장설비/수요관리 스케줄링 - 용도: 에너지공급비용 관리/탄소발생량 관리/에너지피크수요관리
	■ 도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 설계	■ 도시 내 통합설비 정보교환 모듈 개발 - 목표: 통합 모니터링(KPI지수설정, 임계값 감시, 공간정보관점) 및 탄소저감 활동 프로세스에 대한 설계 - 사양: 이벤트 처리(초당 100건), Issue 관리, 활동 관리, 개선 관리 모듈 설계 - 용도: 신속한 탄소 배출 정보 전달, 지속적인 탄소 저감 활동 강화 - 기능: KPI설정, 지표 모니터링, 공간 정보 기반 모니터링, 임계초과 이벤트 발생, 탄소저감활동 프로세스 자동화
	■ 복합에너지 네트워크 Pilot 실증	■ 복합에너지 네트워크 Pilot(POC) 상세 설계 - 에너지 수급 Simulation 수행 - 신재생에너지 운영 최적화 시나리오 도출(태양광, 풍력 및 배터리) ■ 복합에너지 네트워크 Pilot 실증 - POC 실증단지 AMI 시스템 구축 - 통합관제센터 구축 및 시연
	■ 도시 에너지 수지 분석 및 최적화 프로그램 개발	■ 도시에너지 공급유형 분석을 통한 문제점 파악 및 안산시 공급 및 소비 특성 파악 ■ 도시 에너지 및 물질 수지 분석을 위한 해석 프로그램 개발(해석모델 정립) ■ 도시의 토지이용계획 및 에너지 공급시설과 연계방안 검토(자료 수집) ■ 도시에너지 수지 분석 및 최적화 프로그램 개발 및 통합 플랫폼 연계방안 검토 ■ 도시에너지 공급시스템 최적화 설계지원 소프트웨어 시작품 개발

		- 목표: 도시에너지 공급시스템 최적화 웹기반 설계지원 패키지 - 사양: Lingo S/W API 이용한 선형 알고리즘(MILP, 혼합정수선형계획법) 이용 - 성능: 변수(비선형 20개) 200개 이하, 제약조건(비선형 100개) 200개 이하에서의 구동속도 30분 이내 - 용도: 도시/지구단위에서의 에너지 공급시스템 최적화 개념설계 지원 - 기능: 에너지 공급시스템의 열원기기 결정, 용량 결정, 대수 결정 지원을 통한 경제성 분석, 탄소배출량 분석 등
	■ 주요 설계 및 운영인자에 따른 수치실험 수행 및 경제성 검토	■ 도시의 에너지 이용효율에 영향을 미치는 설계 및 운영인자 도출 ■ 최적화 프로그램을 이용한 주요 설계 및 운영인자에 따른 수치실험 수행 및 경제성 검토 - 안산신도시 모델 - 안산신길지구 모델 - 일산신도시 모델 - 서울시 뉴타운 또는 재개발지구 모델 - 해외(사우디 Jeddah 신도시) 모델
3차년도	■ 스마트 도시에너지 관리시스템 실증 사이트 구축	■ 도시에너지 공급단 Smart Metering 시스템 구축 - 목표: 분산발전원의 AMI 구축을 통한 공급량 분석 - 사양: 원격검침이 가능한 센서 및 G/W - 성능: 15분 단위 원격검침 가능 - 용도: 신재생 에너지를 포함한 분산발전원 생산량 계측 - 기능: 분산발전원 에너지 공급량 분석 - 주요개발내용: 안산시 상업단지, 주거단지, 산업단지 및 GS건설 기술연구소의 분산전원(신재생에너지, 비상용발전기 포함)에 원격 검침이 가능한 공급단 Smart Metering 시스템을 구축하였으며, 분산전원의 공급량 계측을 통하여 Smart CEMS-D 및 Smart CEMS-O 적용시의 효과를 분석할 수 있는 AMI 시스템 구축 ■ 스마트 도시에너지 관리시스템 실증사이트 구축 - 목표: Smart CEMS-D/O 실증을 위한 안산시 상업단지, 주거단지 및 산업단지 에너지 모니터링 시스템 구축

		- 사양: 원격검침이 가능한 센서 및 G/W - 성능: 15분 단위 원격검침 가능 - 용도: 안산시 주거단지(전력), 산업단지(전력, 열, 수도 등) 계측 - 기능: 에너지 수요분석, CEMS 최적화 기능에 활용 - 주요개발내용: 안산소재 주거단지(아파트)와 공장에 센서 및 원격검침 시스템을 설치하여, 실시간 모니터링이 가능하도록 구축하였음. 아울러, 수요반응(DR, Demand Response) 모듈 실증을 위하여, 무정전절체스위치(CTTS)를 활용한 수요자원 활용방안 검토를 수행해 보았으며, 서울 A 호텔의 에너지 부하 데이터를 토대로 비상용발전자원을 DR 자원으로 활용할 경우에 예상되는 효과 등을 분석함
	■ POC 에너지 모니터링 DB	■ POC 모니터링 DB 확보 - 목표: POC 실증을 위한 에너지 사용량 DB 확보 및 이를 활용한 건물 특성별 에너지 Profile 분석(주거/상업/복합 건물) - 사양: 건물 특성별 에너지 사용량 모니터링 월별 시간별 DB - 성능: Smart CEMS 프로그램에서 활용 가능한 에너지 사용량 DB형태 - 용도: POC 단지별 에너지 사용량(전기, 가스, 수도) 계측 - 기능: POC 에너지 수요분석, 에너지 현황에 대한 분석을 통해 개선안 파악, Smart CEMS 최적화 기능에 활용 - 주요개발내용: POC의 1년간 에너지 수급 데이터 분석 통해 개선안 파악, Smart CEMS 최적화 실증 데이터로 활용 가능한 형태로 DB화, 이를 통하여 최적화 프로그램 및 통합 S/W에 사용할 수 있는 형태로의 변환 ■ Smart CEMS 최적화를 통한 POC 실증 - 목표: POC 데이터를 활용한 Smart CEMS 최적화 모듈 실증 - 사양: POC 에너지 사용량 월별 시간별 DB 및 이를 활용한 분석 - 용도: POC의 데이터를 활용하여 Smart CEMS 적용성 확인 - 기능: 최적화 모듈의 탄소 저감 효과 및 에너지 저감 효과 분석

		- 주요개발내용: POC 열공급원 모델링을 통한 4가지 운전방식(네트워킹/복합에너지운전/실시간운전/수요관리)에 따른 에너지 및 탄소저감량 확인
	■ 도시에너지 운영 알고리즘 개선 - 실시간 예측 알고리즘개선 - 최적 스케줄링 알고리즘 개선	■ 수요예측 및 신재생(풍력, 태양광) 출력 예측 알고리즘 개선 (상명대) - 목표: 개발한 에너지 수요예측 및 신재생에너지 발전량 예측 알고리즘을 Smart CEMS의 기능에 맞춰 개선 및 보완 - 성능: 국내 최초 개발기술에 해당함. 에너지 수요예측 목표오차율(10%) 실시간 예측 목표오차율(5%), 풍력발전량 예측 목표오차율(40%), 태양광발전량 예측 목표오차율(20%) - 주요개발내용: 에너지원별 수요패턴을 고려하여 시간대별 수용가별 도시에너지 수요예측 모델을 개발하고 기상정보를 활용한 신재생에너지원의 시간대별 발전량예측 모델을 개발함 ■ 네트워킹/복합에너지운전/실시간운전/수요관리 알고리즘 개선 (기초연) - 목표: 기존기술 대비 에너지 절약 20% 이상 가능한 공급설비의 실시간 스케줄링, 공급자원 선택에 대한 의사결정지원 - 사양: Windows7, Xpress Solver Engine기반, HTML 5기반 UI - 성능: 국내 최초 개발기술에 해당함. 공급설비 50개, 최대 15분 단위, LP - 용도: 도시 내 제어가능 공급설비에 대한 주간, 일간 최적 운전 스케줄링 정보 제공, 도시 내의 운영자가 외부의 메인 시스템과 연계하여 자원의 구입 및 도시 내 설비의 운영을 결정 - 기능: 주어진 기간 내의 에너지 구입 계획 수립, 자원별 생산 계획(최대 1주일) 수립, 자원별 비용, 자원별 탄소배출량 - 주요 개발 내용: 데이터 구조개선(1시간단위→15분), Job관리 기능 개선, 수요예측 자동 연계, 신재생발전량예측 자동 연계
	■ 도시 실증용 스마트 도시에너지 관리시스템 개발 - 통합 UI/DB 개발	■ 도시 실증용 대시보드/모니터링/실시간예측/최적화/통계분석/자원관리 통합 UI/DB 개발

	- 통계분석모듈 개발	- 목표: 용인시 및 수원시 등의 실증 도시의 실시간 에너지 수요, 공급 관리 기능 확보 - 사양: 오픈소스기반(Linux, Mysql, Tomcat, Apache), HTML5기반 - 성능: 최대 1000개의 빌딩 관리, 최소 2일, 최대 1달 에너지 수급 예측, 설비 단위의 에너지 소비, 공급 관리 기능, 15분 단위의 에너지 모니터링 기능 - 용도: 도시에너지 수급에 대한 실시간 관리, 탄소저감을 위한 에너지 공급 의사 결정 지원 - 기능: 에너지 현황 관리, 에너지 수요 관리, 에너지 공급 관리, 최적 스케줄링, 자원 관리, 환경 설정 기능 제공 - 주요개발내용: 에너지 모니터링 기능개선(에너지현황, 행정구역별현황, 에너지수지, 공급프로파일, 성과지표, 계측기별모니터링, 복합에너지모니터링), 에너지수요기능개선(수요추이분석, 수요예측), 에너지공급(생산추이분석, 생산예측, 발전기 생산 예측), 최적스케줄링(모의관리, 모의결과), 환경설정(공급설비정보관리, District설정, 계측기정보관리, 사용자관리, 권한관리, 비밀번호변경, 구성파일 편집) ■ 정형 및 사용자 지정 보고서 생성 모듈 개발 - 목표: 도시단위의 에너지 수지 분석 - 사양: 오픈소스기반(Linux, Mysql, Tomcat, Apache), HTML5기반 - 성능: 최대 1000개의 빌딩, 15분 단위 - 용도: 일간, 주간, 월간 에너지 수요 및 에너지 공급 분석 - 기능: 에너지 수요/공급량 추이 분석(시계열), 에너지 수지 관리, 15분 단위의 에너지 분석 기능 - 주요개발내용: 에너지 수요추이분석, 에너지 생산추이분석, 엑셀 다운로드 기능
	■ 에너지절약 10% 이상인 도시에너지 공급 시스템 설계기법 개발	■ 테스트베드, 모델도시에 대한 도시 내 신재생에너지, 부존 에너지자원 활용 극대화 및 순환이용을 위한 설계기법<에너지 및

		탄소저감량 10% 달성> 도출 - 목표: 기존기술 대비 에너지 절약 10% 이상 가능한 복합에너지 공급시스템, 부하평준화 설계기술 개발 - 사양: 혼합정수선형계획법(MILP: Mixed Integer Linear Programming)을 이용한 수치해석적 방법 이용 - 성능: 국내 최초 개발기술에 해당함. - 용도: 도시단위에서의 탄소배출량을 저감하기 위한 에너지 공급시스템의 최적화에 활용. 에너지 공급시스템의 최적화에 따른 경제성 분석 및 탄소배출량의 정량적 평가에 활용 - 주요개발내용: 1) 해석 대상 도시(테스트베드 : 수원시)에 대한 에너지 소비패턴 분석 및 원단위 분석. 에너지 소비량 증가 추이 분석 2) 본 연구에서 개발한 도시에너지 공급시스템 설계지원 소프트웨어(Smart CEMS-D)를 이용하여 수치적으로 다양한 모델에 대한 배열발생 및 이용량 변화, 가동률 변화, 에너지 절감량 변화 등을 정량적으로 분석하였고, 이를 통하여 복합에너지 구성 및 부하 평준화를 통하여 에너지 절약 10% 이상이 달성 가능함을 확인하였음 ■ 도시에너지원별 부하 평준화 방안 검토 및 국내 실정에 적합한 복합에너지 커뮤니티 모델 도출 - 목표: 복합에너지 커뮤니티 표준모델 4건 도출 - 사양: 모델의 종류 1) 분산형, On-site형 모델 2) 신재생에너지 및 미활용에너지 등 에너지원 다변화형 표준모델 3) 부하 평준화형 표준모델 4) 에너지 공급원 우선순위 결정 등 최적 운영형 표준모델 - 성능: 복합에너지 커뮤니티 표준모델 적용에 따른 도시단위에서의 탄소배출량 저감 - 용도: 도시단위 에너지공급시스템의 개념설계에 활용, 최적화에 따른 효과분석에 활용 - 주요개발내용: 본 연구에서 개발한 도시에너지 공급시스템 설계지원 소프트웨어(Smart CEMS-D)를 이용하여 수치적으로

		다양한 모델에 대한 정량적인 평가를 통하여 목적함수(경상비, 탄소배출량)를 최소화하기 위한 모델을 개발하였으며, 이러한 다양한 모델들에 대한 Case Study를 수행함
	■ GIS 연계 도시에너지 공급시스템 최적화 프로그램	■ 2차년도에서 개발한 도시에너지 공급시스템 최적화 프로그램을 업데이트하고, GIS 엔진과 연계(GS건설 공동) - 목표: 도시에너지 공급시스템 설계지원 프로그램(Smart CEMS-D)의 성능을 개선하고, GIS 엔진과 연계하여 도시에너지 소비량의 가시화, 배관망 해석을 수행할 수 있는 웹 기반의 소프트웨어 패키지 개발 - 사양: 웹지원, DB 관리, Lingo S/W API 연동, ArcGIS 연동 - 성능: 혼합정수선형계획법 및 Lingo API을 통한 빠른 해석 수행 - 용도: 도시단위에서의 에너지 공급시스템 개념설계(열원설비의 종류, 대수 및 용량 산정)에 활용 - 기능: 경제성 모델 작성기능, 열원설비 구성 자동 다이어그램 작성기능, GIS 엔진 연동기능, 보고서 작성기능 - 주요개발내용: 2차년도에 개발한 도시에너지 공급시스템 설계지원 프로그램(Smart CEMS-D)의 성능(해석속도)을 개선하고, 추가적인 기능(경제성 모델, 열원설비 입출력 특성 입력기능)을 개발하였음 ■ 에너지 공급시설별 위치에 따른 에너지 이용 효율 변동을 고려한 시나리오 또는 알고리즘 설정 - 목표: 에너지 공급시스템의 종류 및 용량에 대한 해석결과를 반영한 에너지 공급설비의 부지면적 자동계산 및 배관망 최적화에 기반을 둔 에너지 공급시설의 위치선정 - 사양: 웹지원, DB 관리, ArcGIS 연동 - 성능: 혼합정수선형계획법 및 Lingo API을 통한 빠른 해석 수행 - 용도: 에너지 공급시설 위치선정에 활용 - 기능: GIS 엔진 연동기능, 지역난방 열배관망 최적화 기능, 에너지 공급시설 최적위치 결정 기능, 에너지 공급시설별 면적 산출 및 표출기능 - 주요개발내용: 에너지 공급시설별 부지면적

		산출, 배관망 최적화 알고리즘 개발(특허출원 예정), GIS 지도 및 알고리즘을 반영한 배관망 최적화 툴을 개발함 ■ 부하패턴을 이용한 도시에너지 소비량 가시화 기법 개발 - 목표: 도시단위 에너지 소비량을 구역별로 2D 또는 3D로 가시화 - 사양: GIS 기반의 에너지 맵 정보 제공 - 성능: 도시에너지 소비량 증가율에 따른 가시화 제공 - 용도: 에너지 소비량 분포 해석에 활용. 탄소배출량 절감방안 도출에 활용. 도시에너지 공급시스템 설계지원 툴(Smart CEMS-D) 개발에 활용 - 기능: 대상 도시에 대한 에너지 소비량의 가시화 - 주요개발내용: 테스트베드(수원시)에 대한 에너지원별, 구역별, 연도별 에너지 소비량을 분석하고, 건축물 연면적 정보를 토대로 도시단위 부하패턴 및 원단위를 작성하였음. 에너지 분석정보를 Smart CEMS-D에 반영하고, 타 모델도시에 적용할 수 있도록 일반화(메뉴화)하는 과정을 수행하고 있음
	■ 전기 이외의 도시에너지에 대한 수용가별 시간대별 수요예측 모델개발	■ 전기에너지 이외의 도시에너지원에 대한 도시 수용가별 시간대별 에너지 수요데이터 분석 - 목표: 전기 이외의 도시에너지원에 대한 수용가별 시간대별 수요예측 모델 개발 - 성능: 전기에너지 수요예측 성능과 유사 수준 - 주요개발내용: 에너지 수요예측 모델은 ① 요일별 시간대별 수요량(총량) 예측과 ② 수용가별 시간대별 점유율예측으로 구성 ■ 전기에너지의 도시 수용가별 시간대별 에너지 수요데이터 예측 모델의 활용가능성 연구 - 목표: 기 개발 완료한 전기에너지 수요예측 모델의 적용 가능성을 타진 - 주요개발내용: ① 요일별 시간대별 수요량(총량)예측 모델: 요일별 수요패턴이 전기에너지의 수요패턴과 상이하므로 요일분류 체계를 상이하게 적용함. ② 수용가별 시간대별 점유율예측 모델: 전기에너지 점유

		율 예측모델과 동일한 모델의 적용이 가능하나 현 데이터로는 실증이 불가능함 ■ POC 실측데이터를 활용한 모델 검증 및 보완작업 - POC 실측데이터(GS건설 기술연구소)를 활용하여 수도, 열, 가스 에너지에 대한 시간대별 수용가별 수요예측 개발 모델 검증 및 보완 - 데이터 계측 시스템 피드백
	■ CEMS 모니터링시스템에 활용 가능한 실시간예측 알고리즘 개발	■ 시계열분석기법을 활용한 실시간 데이터 예측모델 개발 - 목표: CEMS 에너지 수요 모니터링을 위한 시계열에너지수요 예측모델 개발 - 성능: 실시간 예측모델 오차: 5%이내 - 주요개발내용: 5분 단위 데이터 계측 시스템에 대해 시계열 분석을 통한 5분 단위 수요데이터 예측 모델 개발 ■ POC 실측데이터를 활용한 모델 검증 및 보완작업 - POC 실측데이터(GS건설 기술연구소)를 활용하여 수도, 열, 가스 에너지에 대한 실시간(5분 단위) 수요예측 개발 모델 검증 및 보완 - 데이터 계측 시스템 피드백
	■ 실데이터 기반의 개발 모델 검증 및 보완	■ 실데이터를 활용한 도시에너지원별 수용가별 시간대별 에너지 수요예측 모델 검증 및 보완작업 - 주요개발내용: 가능한 한 여러 사이트에서 수집한 수용가별 시간대별 에너지 수요데이터(최소 1달 이상의 실측된 시간대별 에너지 수요데이터)를 활용하여 요일별 시간대별 에너지 수요패턴을 분석하여 예측모델을 검증함 ■ 실데이터를 활용한 도시 신재생에너지원의 기상정보(풍속, 기후) 대 발전량 예측모델 검증 및 보완작업 - 주요개발내용: 가능한 한 여러 사이트에서 수집한 신재생에너지원의 발전량 데이터와 기상 데이터를 활용하여 기상 예보 데이터 기반의 발전량 예측모델을 검증함
4차년도	■ Smart Metering 시스템 및 도시에너지 관리 시스템 구축	■ 안산시 Smart Metering 구축 완료
	■ 이용가능 공급에너지원에 따른 복합에너	■ 신재생에너지 가용량 평가가 가능한 복합

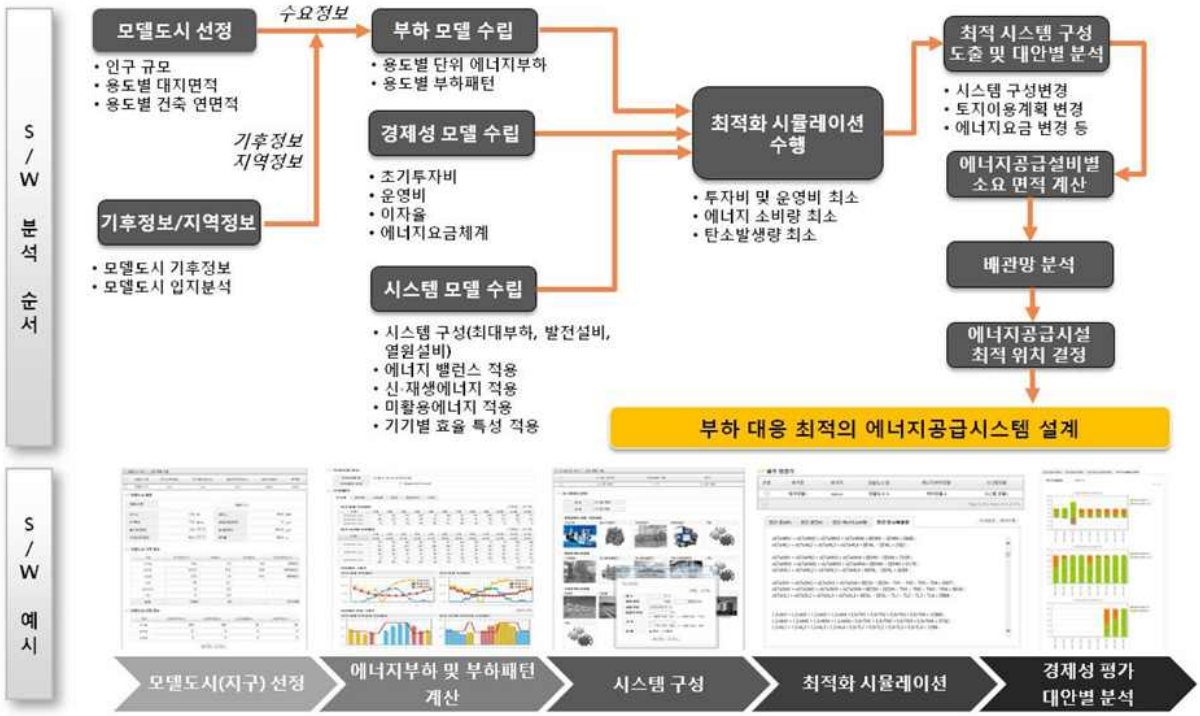
	지 최적설계 툴 개발	에너지 설계 툴 개발 ■ CEMS-D의 최적화 입력을 위한 기상정보를 활용한 신재생 에너지(태양광, 풍력) 복합 에너지 시뮬레이션
	■ 실증도시 에너지 사용량 모니터링 데이터 분석	■ 에너지 사용량 DB확보 (14년01월 ~ 12월) ■ 실증도시 에너지 사용량 분석
	■ 도시에너지 관리 시스템 구축에 따른 온실가스 저감 목표 검증	■ POC 열에너지 네트워킹에 따른 에너지 수급 시뮬레이션 ■ POC 열병합 대체에 따른 에너지 수급 시뮬레이션 ■ 에너지 수급 시뮬레이션에 따른 에너지 및 탄소저감량 검증
	■ 에너지 분석 기법 개발 및 적용	■ 도시단위 에너지 예측 데이터 분석 방법을 적용하여 시계열 예측결과의 정확도를 한눈에 확인할 수 있도록 적용 (MAPE, MAD, MSD 등 다양한 방법론을 적용하여 분석화면 개선) ■ 도시단위 에너지 소비량 모니터링 및 분석을 위한 선행처리, 실시간처리, 예측데이터에 대해서 전처리 방법을 적용하여 분석시간을 최적화
	■ 스마트 도시에너지 관리 시스템(Smart CEMS-O) 개선사항 도출 및 up-grade	■ 신재생에너지 설비와 배터리의 연계, 열병합발전기와 열저장장치의 연계기능을 추가하여, 신재생에너지의 간헐성을 해결하고 부족하거나, 남는 에너지를 활용 가능하도록 최적화 알고리즘을 보완 ■ 최적화 프로그램의 입력 UI를 개선하고, 최적화에 필요한 입력파일을 자동으로 생성해주는 모듈을 추가적으로 개발하여, 유저 친화적인 UI를 구성
	■ 3차년도에 개발한 Smart CEMS-D S/W의 업데이트	■ 에너지부하패턴 세분화, 에너지 요금 체계 세분화 ■ 도시에너지 소비량 가시화 기능 추가(도시에너지 설계부하와 실제 소비량의 비교분석 기능 등) ■ 신재생에너지시스템(태양열, 풍력, 연료전지) 모듈 추가 ■ 프로그램 최적화를 통한 실행속도 향상,

		S/W 전체적인 디자인 변경
	■ 복합 에너지 커뮤니티 운영관리방안 및 체계 검토	■ 에너지원별 실시간 모니터링시스템 구축 시의 설계 검토사항 정리 ■ 도시에너지 부하 대응 다양한 에너지원 믹스(mix) 방안 및 체계 검토
	■ 복합 에너지 커뮤니티의 고효율 통합 운영 알고리즘 개발	■ 복합에너지 시스템의 장기간 운전비용 분석을 위하여 생애주기비용 방법을 도입하는 방안 모색 ■ 건설구조물의 라이프 사이클의 각 단계에 있어서 복수의 LCC 대체안을 비교·검토하여 가장 바람직한 안을 선택하는 방식 검토 ■ 하나의 계획안에 대하여 전체 LCC의 산정 결과를 토대로 전체 안을 검토하는 방식 검토
	■ 타 과제에서 기 구축한 DB활용방안 및 고도화 모색	■ 도시에너지관리시스템(CEMS)과 건물에너지 관리시스템(BEMS, HEMS)의 연동방안 검토 ■ 도시 통합관제센터를 활용한 도시에너지 관리 서비스 방안 검토
	■ 복합 에너지 커뮤니티 보급 활성화를 위한 제도개선방안 검토	■ 도시기반시설(에너지공급시설, 환경기초시설, 신재생에너지)에 대한 관계 법령 검토 ■ 복합 에너지 커뮤니티 보급 활성화를 위한 제도개선 방향성 검토
	■ 도시/지역 단위 복합 에너지 커뮤니티 설계지침 작성	■ 도시에너지 이용 효율화 및 탄소배출량 저감을 위한 도시/지역 단위 복합 에너지 커뮤니티 설계 지침(가이드라인) 작성
5차년도	■ 스마트 도시에너지 관리시스템을 활용한 비즈니스 모델 개발	■ 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템이 적용 가능한 Biz. Model 조사 및 도출
	■ 국내 개발 예정 신도시를 대상으로 스마트 도시에너지 관리시스템 및 복합에너지 커뮤니티 모델 적용성 검토	■ 신도시를 대상으로 한 에너지공급설비 시뮬레이션
	■ 모듈러 신도시를 대상으로 하는 최적 복합에너지 커뮤니티 모델 도출	■ 모듈러 신도시를 대상으로 한 복합에너지 커뮤니티 모델 구성

Ⅳ. 최종 연구 성과 및 기대효과

□ 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 공급설비 최적설계지원(Smart CEMS-D) S/W 개발

- 탄소저감 Smart CEMS-D는 에너지 공급시스템의 최적조합 및 이에 따른 경제성 분석이 가능한 S/W로 도시계획단계에서부터 에너지 공급시스템의 종류 및 용량을 선정할 수 있는 S/W임



<탄소저감 CEMS-D의 S/W구성 및 예시>

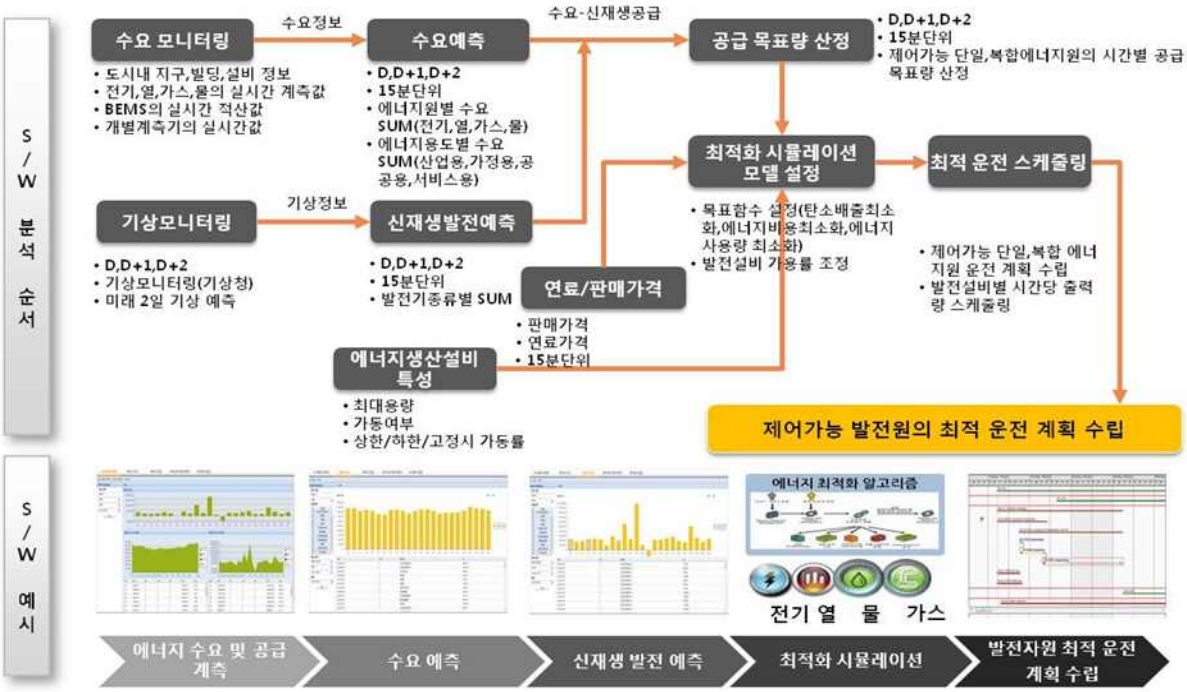
- Smart CEMS-D를 활용하여, 도시설계에서부터 온실가스 저감 정책에 부합하는 에너지공급설비의 종류 및 용량을 결정할 수 있으며, 부하의 증가에 따른 에너지 공급설비의 증설계획에도 활용이 가능하며, 집단에너지 공급 사업자의 경우 전력 및 열원의 에너지 믹스를 통하여 최적의 에너지 공급이 가능한 시스템의 구성이 가능함

- 또한 Smart CEMS-D 활용을 통해 지구 단위(친환경에너지타운, 에너지자립섬 등) 에너지 시스템 설계 및 이에 대한 효과 분석을 통해 사업성 있는 모델을 제안함으로써 관련 정책 확산에 역할을 할 수 있을 것으로 기대

- 기존 도시의 Revamping과 같은 도시 재생사업의 경우에도 투자비 대비하여, LCC 분석 및 적용에 따른 효과 분석 가능

□ 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 운영 지원(Smart CEMS-O) S/W 개발

- 탄소저감 Smart CEMS-O는 에너지 공급 시스템이 결정되고, 실시간 모니터링 센서 네트워크가 구성되었을 경우, 에너지 공급설비의 최적운영 스케줄을 도출하는 운영 지원 S/W임. 에너지 공급시스템의 운전을 통하여 에너지 비용 및 탄소저감 최적화가 가능하며, 부하 및 신재생발전량 예측을 통하여 제어 가능한 설비의 운전 스케줄링이 가능



<탄소저감 CEMS-O의 S/W구성 및 예시>

- 신재생에너지 확산 정책은 다양한 분산전원의 증가로 이어졌으며, 이로 인하여 분산전원의 최적운전의 필요성이 증가하고 있는 실정이므로, CEMS-O를 이용한 도시단위 발전량 및 수요예측을 통하여, 에너지 설비의 Stand-by time 감소를 통한 에너지 및 탄소저감 효과 가능

- 또한 다양한 에너지 프로슈머 관련 사업에 CEMS-O를 활용하여 참여가 가능할 것으로 예상되며, 특히 수요반응자원 및 에너지 거래분야에 참여해서 운영 스케줄을 최적화함으로써 에너지 비용 최적화가 가능

- 신도시 개발사업의 경우에는 근래에는 도시설계에서부터 탄소 및 에너지 저감 도시의 형태로 구성하여 최적운영을 위한 솔루션까지 제공하고 있는 경우가 있으며, 향후에

는 탄소저감도시 및 에너지저감도시의 형태로 지속적인 발전이 있을 것으로 예상되므로 탄소저감 CEMS-D 및 O를 활용한 Total 패키지를 통하여 국내외 신도시 개발사업의 F/S부터 운영까지 적용 가능함

□ 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 구축 및 실증

- CEMS-D 및 CEMS-O의 실증을 위하여, 최적화 컨셉 및 필요 요소를 도출하기 위하여, POC(Proof of Concept) 실증을 GS건설 기술연구소에 진행하였음

- GS건설 기술연구소의 경우, 주거단지 에너지 사용패턴, 상업단지의 에너지 사용 패턴을 가지고 있으며, Micro energy 빌딩에 일부 센서 모니터링 및 신재생에너지(PV, 풍력, 연료전지 등)이 설치되어 있어서 POC실증을 위한 최적의 조건임

- CEMS-O의 경우, POC데이터를 활용하여, 에너지 비용 및 탄소저감량을 검증하였으며, 특히 열네트워크 모듈의 경우에는 에너지 저감 효과가 매우 큰 것으로 확인됨, 즉, Partial 부하가 아닌 적절한 효율부분에서 에너지 공급설비들이 운전될 수 있는 에너지 공급시스템 네트워크가 도시 설계 시 미리 구성되어 있으면, 효율적인 운전이 가능하다는 것을 실증결과를 통하여 확인함

- 또한 안산시의 아파트 단지 및 공공시설의 에너지 모니터링 시스템을 구성하여, 에너지 사용량 DB를 구축. 그러나 도시단위에서 에너지 공급설비의 운전 스케줄을 조정하는 것은 불가능하기 때문에, CEMS-O의 DR모듈을 실제적으로 이용할 수 있도록 CEMS-DR 프로그램을 실증을 위하여 개발하였으며, 안산시 아파트의 경우 실제적인 에너지 저감 및 인센티브를 받을 수 있는 수요반응자원에 참여할 수 있도록 하여, 국가정책적으로 8대 신산업으로 추진하는 수요반응자원 거래시장에 참여하고 있음

- CEMS-D의 경우에는 수원시의 에너지 사용량 데이터와 건축물대장을 기반으로 에너지 원단위 DB를 구성하였으며, 이를 기반으로 에너지 공급설비의 변화에 따른 탄소저감량을 검증하였으며, 이를 기반으로 수원시정연구원 및 수원시청 에너지 관계자와 관련 내용에 대하여 협의를 진행하였음

- 또한 CEMS-D의 수치분석을 통하여, 해외 신도시 및 에너지 10%이상 저감 방안에 대 시뮬레이션을 통하여 관련 내용에 대한 분석을 수행하였음

- CEMS-D의 경우에는 해외 DTU(Denmark Technology University)의 해외 전문가인 Dr.

Wu의 전문가 Peer Review를 받았으며, 관련 내용에 대한 알고리즘 및 프로그램의 구성에 대한 전반적인 평가를 완료하였음

- CEMS-D 및 O 실증결과를 활용하여, 국내에서 활발하게 투자가 이루어지고 있는 에너지 신산업 분야에 참여가 가능할 것으로 예상되며, 에너지 프로슈머, 자립섬 등의 에너지 설계 및 운영분야에 참여가 가능할 것으로 예상됨

- 또한 실증데이터를 기반으로 Track Record를 확보하고, 다양한 케이스 분석 및 Smart Grid 인프라의 확산이 이루어진다면, 국내외 신도시 개발사업의 Total 솔루션으로 활용함으로써, 자원순환형 신도시의 새로운 모델의 제시가 가능할 것으로 예상됨

목 차

제 출 문 ····· i
요 약 문 ····· iii

제 1 장 연구개발 과제 개요 ····· 1
제 1 절 연구개발의 필요성 및 목적 ····· 1
1. 연구개발 필요성 ····· 1
2. 연구개발 목적 ····· 5
제 2 절 관련분야의 국내외 기술 및 산업현황 ····· 11
1. 국내외 기술 및 산업동향 ····· 11
2. 정부정책 현황 ····· 44

제 2 장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 63
제 1 절 연구개발목표 및 내용 ····· 63
제 2 절 연구개발 수행내용 ····· 65
1. CEMS-D ····· 65
2. CEMS-O ····· 66
3. CEMS 구축 및 실증 ····· 67
제 3 절 연구개발 수행 결과 ····· 68

제 3 장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 81
제 1 절 핵심성과 리스트 ····· 81
제 2 절 핵심성과별 결과 및 실적 ····· 84
1. 도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 설계 요건 조사 ····· 84
2. 에너지 커뮤니티 운전 및 제어시스템 조사 및 분석 ····· 99
3. 국내외 도시에너지 소비특성 및 공급체계 분석 자료 ····· 117
4. 도시에너지 공급원 및 수요처별 에너지 원단위 DB ····· 135
5. 에너지 효율화 기술 List ····· 150
6. 도시 에너지소비량 모니터링 및 분석시스템 설계 ····· 162
7. 에너지 시스템 모델링 및 운전 최적화 Prototype 모듈 개발 ····· 176

8. 도시에너지 공급시스템 최적화 프로그램 ····· 193
9. 도시특성을 감안한 전력수요예측 알고리즘 ····· 207
10. 도시 신재생 예측 알고리즘 개발 ····· 213
11. 안산시 도시에너지 공급 및 소비특성 분석자료 ····· 224
12. 도시 에너지·자원 부존량 분석 및 수차실험을 통한 에너지 공급시스템의 경제성 분석자료 ···· 238
13. POC 실증 ····· 272
14. 스마트 도시에너지 관리시스템 실증사이트 구축 ····· 306
15. 에너지절약 10% 이상인 도시에너지 공급시스템 설계기법 ····· 324
16. GIS 연계 도시에너지 공급시스템 최적화 프로그램 ····· 335
17. 도시 실증용 통합에너지관제시스템 ····· 348
18. 도시에너지운영 최적화기법 ····· 357
19. 도시특성을 감안한 기타 도시에너지(가스, 열, 수도) 수요예측 알고리즘 ··· 379
20. 모니터링 시스템 활용 가능한 실시간 예측 알고리즘 ····· 387
21. 복합에너지 최적설계 툴 개발 ····· 402
22. Long-term 복합에너지 커뮤니티 운영 알고리즘 및 기법 ····· 414
23. 복합에너지 커뮤니티 설계지침 및 제도개선방안 ····· 425
24. 도시에너지사용 분석기법 ····· 436
25. 개선된 통합에너지관제시스템 ····· 442
26. 도시규모에 적합한 CEMS용 수요관리(DR) 프로그램 개발 ····· 455
27. 스마트 도시에너지 관리시스템 모니터링 및 비즈니스 모델 개발 ····· 473
28. 스마트 도시에너지 관리시스템 및 복합 에너지 커뮤니티 모델 적용성 검토 ····· 507

제 4 장 연구목표 달성 및 효과 ····· 527
제 1 절 연구개발 목표 달성도 ····· 527
제 2 절 연구개발 기대효과 ····· 532
1. 정책적 기대효과 ····· 532
2. 기술 및 경제적 기대효과 ····· 541

제 5 장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 546
제 1 절 연구성과 활용방안 ····· 546
제 2 절 추가연구의 필요성 ····· 554

그 림 목 차

그림 1-1 모듈러 도시계획 구성(안) ····· 2
그림 1-2 전 세계 부문별 탄소 배출량 비중 및 전력/열 생산 분야의 탄소 배출량 추이 ····· 3
그림 1-3 복합 에너지 운전으로의 에너지 공급 시스템 설계 및 운영 패러다임 변화 ···· 4
그림 1-4 최종 연구목표 개념도 ····· 5
그림 1-5 최종목표 달성을 위한 과제 구성도 ····· 6
그림 1-6 세계 도시인구 전망 및 메가시티 자원소비 비중 ····· 11
그림 1-7 스마트시티의 주요 개념 ····· 12
그림 1-8 스마트시티 시장 전망 ····· 13
그림 1-9 EU의 스마트시티 로드맵 ····· 16
그림 1-10 일본의 스마트시트 추진현황 ····· 17
그림 1-11 마스다르 프로젝트 ····· 18
그림 1-12 동탄 프로젝트 ····· 20
그림 1-13 코펜하겐 전경 ····· 21
그림 1-14 네덜란드 암스테르담 프로젝트 개념 ····· 21
그림 1-15 히타치 스마트 시티 개념도 ····· 24
그림 1-16 제주 스마트그리드 실증단지 개념 ····· 25
그림 1-17 스마트시티의 개념과 주요 기능 ····· 27
그림 1-18 IT 인프라를 중심으로 한 스마트시티 요소기술 ····· 27
그림 1-19 IBM사와 보스턴 시 추진 기술개발 내용 ····· 28
그림 1-20 주요 기술 구성도 ····· 29
그림 1-21 일본의 스마트시티 관련 주요 기술 ····· 29
그림 1-22 스마트시티 분야 Top Player ····· 30
그림 1-23 Hitachi 스마트시티 프로젝트 현황 ····· 31
그림 1-24 Toshiba 요코하마 프로젝트 ····· 31
그림 1-25 스마트그리드 개념 ····· 32
그림 1-26 EMS 개념 ····· 36
그림 1-27 시스템 적용 장소별 EMS 구성 ····· 36
그림 1-28 판교 HEMS 적용 구성 ····· 38
그림 1-29 AMI 개념 ····· 40
그림 1-30 스마트그리드 발전 개념 ····· 40
그림 1-31 스마트그리드의 과도기적 형태 ····· 41

그림 1-32 고속 PLC 국제 표준 추진체계 ····· 42
그림 1-33 에너지신산업 3개년 목표 ····· 45
그림 1-34 에너지신산업 세부 추진 방안 ····· 46
그림 1-35 스마트그리드 스테이션 개념도 ····· 48
그림 1-36 울릉도 친환경 에너지자립 섬 조성사업 개념도 ····· 49
그림 1-37 스마트그리드 확산사업 개념도 ····· 49
그림 1-38 전기차 충전인프라 구조도 ····· 51
그림 3-1 IEC61970(CIM/RDF/XML)의 개요 ····· 85
그림 3-2 CIM/RDF/XML 생성 개념도 ····· 85
그림 3-3 oBIX의 구조 ····· 86
그림 3-4 BACnet/XML의 개요 ····· 87
그림 3-5 OPC XML-DA 서버게이트웨이 구조 ····· 88
그림 3-6 gbXML을 이용한 CAD 데이터 교환 ····· 89
그림 3-7 스마트그리드 표준화 포럼 조직도 ····· 93
그림 3-8 도시에너지 통합관제 시스템의 개념도 ····· 94
그림 3-9 탄소저감 도시에너지 관리시스템 ····· 98
그림 3-10 미활용에너지 개념도 ····· 100
그림 3-11 미활용에너지를 이용한 열공급시스템의 개요 ····· 103
그림 3-12 하천수이용 히트펌프의 작동원리 ····· 104
그림 3-13 히트펌프를 이용한 열공급시스템 ····· 105
그림 3-14 히트펌프와 열병합 복합시스템 ····· 106
그림 3-15 에너지저장장치의 활용분야에 따른 요구사항 ····· 107
그림 3-16 배터리 기술의 자본비용별 비교 ····· 111
그림 3-17 배터리기술의 정격출력별 비교 ····· 111
그림 3-18 배터리 기술의 에너지밀도별 비교 ····· 111
그림 3-19 마이크로그리드 운전 요구사항 ····· 112
그림 3-20 도시에너지관리시스템의 기능 ····· 113
그림 3-21 도시에너지관리시스템의 운전알고리즘별 대상 및 필요데이터베이스 ····· 114
그림 3-22 마이크로그리드 제어 요구사항 ····· 115
그림 3-23 최종에너지 원별/용도별 소비 추이 ····· 118
그림 3-24 가정・상업부문 에너지원별 소비 추이 ····· 118
그림 3-25 부문별 온실가스 배출 현황 ····· 119
그림 3-26 국내 지역별/부문별 최종 에너지 소비 현황(‘09년) ····· 119
그림 3-27 국내 지역별/부문별 전력 소비 현황(‘09년) ····· 120

그림 3-28 국내 지역별/원별 최종 에너지 소비 현황(‘09년) ····· 120
그림 3-29 전국 7대 도시에서의 건물 용도별 전력 사용 비율 ····· 120
그림 3-30 국내 도시관리계획 수립 절차 ····· 123
그림 3-31 도시관련 법체계 ····· 124
그림 3-32 집단에너지 공급시스템 검토 체계 ····· 125
그림 3-33 국내 지역별 전력수요 및 발전소별 전력생산율 ····· 125
그림 3-34 국내 복합화력발전소별 가동률 ····· 126
그림 3-35 건물용도별 지역난방 공급열량의 연도별 추이 ····· 126
그림 3-36 지방 신도시 복합화력발전 및 열전용 보일러의 월별 가동률 ····· 127
그림 3-37 서울시 마곡지구 토지이용계획도 ····· 128
그림 3-38 EU의 에너지원별 소비량 추이(단위: Mtoe) 및 부문별 에너지 소비량 비율 ·· 129
그림 3-39 EU의 1차 에너지 혼합(Mixing)에 의한 탄소배출 저감 목표 시나리오(2009) ·· 129
그림 3-40 Goteborg Energi사의 에너지 플랜트 현황 ····· 130
그림 3-41 연간 총 에너지 생산량 중 에너지원별 비율(Goteborg Energi사) ····· 130
그림 3-42 Goteborg Energi사의 연간 에너지 생산 실적(좌: 2002년도, 우: 2010년도) 131
그림 3-43 스웨덴 웁살라시의 에너지 공급시스템의 시설용량 및 에너지원별 생산실적 ··· 132
그림 3-44 상업·공공건물의 연면적당 에너지 원단위 ····· 136
그림 3-45 에너지 원단위 D/B 구축방안 ····· 138
그림 3-46 에너지 원단위 D/B 및 분석 결과(고양시 소재의 OB-1 건물) ····· 139
그림 3-47 에너지 원단위 D/B 및 분석 결과(서울시 서초구 소재의 OB-2 건물) ····· 140
그림 3-48 에너지 원단위 D/B 및 분석 결과(서울시 강서구 소재의 OB-3 건물) ····· 141
그림 3-49 에너지 원단위 D/B 및 분석 결과(서울시 강서구 소재의 OB-4 건물) ····· 142
그림 3-50 에너지 원단위 D/B 및 분석 결과(서울시 강서구 소재의 OB-5 건물) ····· 142
그림 3-51 에너지 원단위 D/B 및 분석 결과(용인시 수지구 소재의 H-1 건물 & 성남시 분당구 소재의 H-2 건물) ····· 143
그림 3-52 전력 통계 D/B ····· 145
그림 3-53 전력의 시장가격 결정구조 ····· 146
그림 3-54 회사별 수요가수 및 공급량(좌), 용도별 공급량 구성비(우) ····· 146
그림 3-55 도시가스 통계 D/B ····· 147
그림 3-56 지역난방 통계 D/B ····· 148
그림 3-57 건축물 에너지 사용효율 향상 설계 프로세스 ····· 151
그림 3-58 주요 업무용 건축물 연간 에너지소요량 ····· 153
그림 3-59 건축물 에너지저감 설계기술 분류 및 주요 List ····· 154
그림 3-60 열에너지 저감 기술 적용에 따른 분석 ····· 155

그림 3-61 전기에너지 저감 기술 적용에 따른 분석 ····· 155
그림 3-62 커뮤니티/도시 단위 에너지 효율화 기술에 따른 분석 ····· 161
그림 3-63 POC 평면도 및 에너지 수요 프로파일 ····· 163
그림 3-64 기 구축된 GS건설 기술연구소 생활관을 통한 필요 요소 도출 ····· 164
그림 3-65 일반적인 건물용 에너지 모니터링/제어 구성 ····· 164
그림 3-66 자동 원격검침시스템 구성도(AMR) ····· 166
그림 3-67 스마트폰을 이용한 무선 원격검침시스템 (OMR) ····· 166
그림 3-68 모니터링 시스템 기술 분석 ····· 167
그림 3-69 POC 모니터링 시스템 기능 구성도 ····· 167
그림 3-70 센서네트워크 통신방식 기술 분석 ····· 168
그림 3-71 POC 모니터링 시스템 설계 구성도-ZigBee방식 ····· 169
그림 3-72 각 건물별 1월 전기 사용량 ····· 170
그림 3-73 각 건물별 1월 열 사용량 ····· 171
그림 3-74 각 건물별 1월 수도 사용량 ····· 171
그림 3-75 통합 DB 구성도 ····· 172
그림 3-76 국산 DB 구성도 ····· 173
그림 3-77 최적해 도출 순서도 ····· 184
그림 3-78 변수제약을 완화한 선형계획법(Relaxed LP) ····· 185
그림 3-79 oBIX서버 아키텍처 ····· 189
그림 3-80 oX 시스템의 클래스 계층 구조 ····· 189
그림 3-81 oBIX 서버와 CEMS 간의 관계 ····· 190
그림 3-82 CEMS PDCA ····· 191
그림 3-83 CEMS 구조 설계 ····· 191
그림 3-84 CEMS 분석 모듈 ····· 192
그림 3-85 CEMS 최적화 모듈 ····· 192
그림 3-86 에너지 공급시스템 해석 모델 ····· 196
그림 3-87 최적화 S/W의 한 종류인 Lingo 구동 화면 ····· 198
그림 3-88 도시단위 통합 에너지 커뮤니티 보급모델의 개념도 ····· 199
그림 3-89 저탄소 에너지 절약형 도시계획 요소 ····· 200
그림 3-90 도시에너지 최적 공급시스템의 설계 프로세스 ····· 200
그림 3-91 모델도시의 계획(안), 토지이용계획, 건물 용도별 대지면적 및 건축연면적 계산 예시, 난방면적 계산 예시 ····· 201
그림 3-92 에너지 부하 계산 및 부하패턴 예시 ····· 201
그림 3-93 시스템 구성 방안 ····· 202

그림 3-94 혼합정수계획법에 의한 수치 모델링 방법 ····· 204
그림 3-95 개발된 프로그램의 분석 방법 예시 ····· 204
그림 3-96 에너지 공급시스템 최적화 S/W(EnergyPlan, EnergyPro) ····· 205
그림 3-97 도시 내 전체 전력수요 예측 알고리즘 ····· 208
그림 3-98 도시 내 수용가별 전력수요 점유율 예측 알고리즘 ····· 211
그림 3-99 용도별 점유율 ····· 212
그림 3-100 풍속빈(좌)과 평균 풍속(우)을 이용한 풍속 대 출력 곡선 ····· 214
그림 3-101 관련 데이터 항목 ····· 215
그림 3-102 풍속에 대한 출력 3차 함수식 ····· 215
그림 3-103 다항식 회귀 분석(y-절편(시동출력) 기준) ····· 215
그림 3-104 다항식회귀분석, y절편기준 다항식 회귀분석의 풍속 대 출력 그래프 ····· 216
그림 3-105 내삽법을 통한 풍속 대 출력 그래프 ····· 216
그림 3-106 예시의 풍속 대 출력 그래프 ····· 217
그림 3-107 풍속 대 출력 그래프를 지수모델과 단순 멱방정식 모델로 선형화한 그래프 ··· 219
그림 3-108 풍속빈 구성 ····· 219
그림 3-109 α차 함수의 α=3 과 α보정 그래프 ····· 220
그림 3-110 날씨-시간대별 출력량 그래프 ····· 221
그림 3-111 2차 함수 근사화 ····· 222
그림 3-112 예시 2차 함수 근사화와 날씨-시간대별 출력량 그래프 ····· 223
그림 3-113 예시 시간대별 기상 ····· 223
그림 3-114 최종에너지와 전력소비량 추이 ····· 226
그림 3-115 업무용 건물(Trade Tower & ASEM Tower의 연간 월별 냉난방 부하패턴 ·· 229
그림 3-116 상업용 건물(COEX Mall)의 연간 월별 냉난방 부하패턴 ····· 229
그림 3-117 건물 유형에 따른 시간대별 부하패턴 ····· 230
그림 3-118 안산시 에너지 소비 특성 ····· 231
그림 3-119 안산도시개발 지역난방 공급시설 전경 ····· 232
그림 3-120 안산지역난방 열생산시설 계통도 ····· 232
그림 3-121 안산도시개발 열공급 현황(2013년 1월 기준) ····· 233
그림 3-122 단지별(59개 단지) 월별 열사용량(2012년) ····· 234
그림 3-123 단지별(59개 단지) 월별 열사용량(2011년(좌), 2010년(우)) ····· 234
그림 3-124 단지별(23개 단지) 월별 단위 난방면적당 열사용량(2012년) ····· 235
그림 3-125 안산도시개발 열공급 현황(2013년 1월 기준) ····· 236
그림 3-126 안산시 및 시화호 사진(출처 : 네이버 지도검색서비스) ····· 239
그림 3-127 시화호 수질과 해수 유통량 변화 ····· 240

그림 3-128 시화호 월평균 수온 및 기온(2012년) ····· 240
그림 3-129 시화호 월평균 수온-기온 온도차(2012년) ····· 240
그림 3-130 해수열원 열펌프를 이용한 시화호 동하절기 최대 이용가능 열량(2012년 수온/기온 기준) (동절기 9월 ~ 3월, 하절기 4월 ~ 8월) ····· 241
그림 3-131 하수열 이용모델(안산시) ····· 243
그림 3-132 월별 하수처리량(월평균)의 변화(서울시) ····· 243
그림 3-133 안산 하수처리장 연중 유량(2000년) ····· 244
그림 3-134 안산 하수처리장 하수 유량 ····· 244
그림 3-135 동절기 하절기 외기온도 및 하수처리수 온도분포 비교 ····· 245
그림 3-136 월별 하수열 온도, 외기온도 및 하수처리량 변화 ····· 246
그림 3-137 월별 하수열에너지 이용 가능 열량 ····· 247
그림 3-138 시화국가산업단지 안내도 ····· 248
그림 3-139 태양열 및 태양광 부존잠재량의 경기도 지역별 분포도 ····· 251
그림 3-140 육상 및 해상 풍력단지 개발가능 영역(짙은 회색) ····· 252
그림 3-141 풍력설비 보급현황(2008년 말) ····· 252
그림 3-142 바이오에너지의 종류 및 생산 기술 분류 ····· 254
그림 3-143 경기도 지역별 바이오매스 부존량 ····· 256
그림 3-144 분산형 전원 및 구역형 에너지공급시설 개념도 ····· 258
그림 3-145 원동기 대수에 따른 계절별, 부하별 배열발생량 및 배열이용량의 변화 ··· 260
그림 3-146 시스템 분산화에 따른 부하율 및 가동률 변화(좌), 연간 에너지소비량 및 에너지 절감율의 변화(우) ····· 260
그림 3-147 안산시 지구단위계획구역 총괄도 ····· 261
그림 3-148 소각시설 용량에 따른 열량 및 증기터빈 출력 변화 ····· 262
그림 3-149 안산시 지구단위계획구역 총괄도 ····· 264
그림 3-150 냉방 시의 하수 용량(좌) 및 하수처리수 온도변화(우)에 따른 이용가능 열량 ··· 265
그림 3-151 사우디 Jeddah 신도시의 위치 ····· 269
그림 3-152 Jeddah 시 주요 분석 내용 ····· 271
그림 3-153 POC 모니터링 시스템 설계 구성도-ZigBee방식 ····· 273
그림 3-154 가스 계측보정기 구성도 ····· 275
그림 3-155 가스 계측보정기 사양 ····· 276
그림 3-156 전기실 공사 ····· 277
그림 3-157 가스 인프라 공사 ····· 278
그림 3-158 수도계량기 설치 ····· 278
그림 3-159 POC 통합관제실 구성 ····· 279

그림 3-160 중간기 전기 사용량 ····· 280
그림 3-161 하절기 전기 사용량 ····· 281
그림 3-162 동절기 전기 사용량 ····· 281
그림 3-163 보일러 모델링 및 효율 곡선 ····· 284
그림 3-164 가스히트펌프 모델링 및 성능 곡선 ····· 286
그림 3-165 지열히트펌프 모델링 및 성능 곡선 ····· 287
그림 3-166 연료전지 모델링 ····· 288
그림 3-167 생활관 부하 프로파일 ····· 288
그림 3-168 국제관 부하 프로파일 ····· 289
그림 3-169 본관동 부하 프로파일 ····· 289
그림 3-170 개별 운전 방식 ····· 290
그림 3-171 구획별 열원설비 운전 방식: 1안 ····· 291
그림 3-172 구획별 열원설비 운전 방식: 2안 ····· 291
그림 3-173 全건물 통합운전 방식 ····· 292
그림 3-174 운전 방식에 따른 시간별 연료사용량 ····· 294
그림 3-175 운전 방식에 따른 시간별 CO2 발생량 ····· 295
그림 3-176 열병합발전 시스템의 일반적인 구성기기 ····· 296
그림 3-177 가스엔진 시스템 ····· 299
그림 3-178 열병합발전설비 모델링 ····· 299
그림 3-179 가스엔진별 성능 곡선 ····· 300
그림 3-180 시간 변화에 따른 각 기기별 열공급량 ····· 300
그림 3-181 운전 방식 및 설비에 따른 시간별 연료 소비량 ····· 303
그림 3-182 운전 방식 및 설비에 따른 시간별 CO2 발생량 ····· 303
그림 3-183 POC 공급량 계측 시스템 구성도 ····· 307
그림 3-184 태양광 발전량 모니터링 시스템 구성도 ····· 308
그림 3-185 태양광발전 일일발전량 모니터링 화면 ····· 308
그림 3-186 비상용 발전기 공급량 모니터링 시스템 구성 ····· 309
그림 3-187 A아파트 배전도 ····· 309
그림 3-188 안산시 주거/산업단지 모니터링 구성도 ····· 311
그림 3-189 안산시 주거/산업단지 센서 네트워크 구성도 ····· 311
그림 3-190 비상용 발전기의 수요자원 활용 ····· 313
그림 3-191 하계 요일별 에너지사용량(2013년 7월) ····· 315
그림 3-192 하계 요일별 에너지사용량(2013년 8월) ····· 315
그림 3-193 동계 요일별 에너지사용량(2013년 12월) ····· 316

그림 3-194 동계 요일별 에너지사용량(2013년 1월) ····· 316
그림 3-195 중간기 요일별 에너지사용량(2013년 3월) ····· 317
그림 3-196 동절기 월 데이터(13년 12월, 에너지 사용량) ····· 318
그림 3-197 간절기 월 데이터(14년 5월, 에너지 사용량) ····· 318
그림 3-198 하절기 월 데이터(14년 8월, 에너지 사용량) ····· 319
그림 3-199 월별 전력에너지 사용량 추세 데이터 ····· 319
그림 3-200 동절기 월 데이터(13년 12월, 에너지 사용량) ····· 320
그림 3-201 간절기 월 데이터(14년 5월, 에너지 사용량) ····· 320
그림 3-202 하절기 월 데이터(14년 8월, 에너지 사용량) ····· 320
그림 3-203 동절기 월 데이터(15년 1월, 에너지 사용량) ····· 321
그림 3-204 간절기 월 데이터(15년 3월, 에너지 사용량) ····· 321
그림 3-205 동절기 시간대별 요일데이터(15년 1월, 에너지 사용량) ····· 322
그림 3-206 간절기 시간대별 요일데이터(15년 3월, 에너지 사용량) ····· 323
그림 3-207 부하 패턴 ····· 325
그림 3-208 에너지 공급시스템의 규모 및 전력부하에 따른 연간 에너지사용량의 변화 ·· 327
그림 3-209 전력부하의 비율변화에 따른 하절기 발전배열 이용량 변화 ····· 328
그림 3-210 에너지 공급시스템의 규모 및 전력부하의 비율에 따른 하절기 발전배열 이용률 변화 ····· 328
그림 3-211 부하구조에 따른 에너지사용량 및 배열 이용률 변화 ····· 330
그림 3-212 수원시 GIS 맵 ····· 331
그림 3-213 수원시 건축물대장을 참고한 건물별 연면적 목록 예시 ····· 332
그림 3-214 수원시 에너지 부하 ····· 333
그림 3-215 수원시 연도별 발전현황 및 발전설비 가동률 ····· 336
그림 3-216 수원시 전력사용량 ····· 337
그림 3-217 Smart CEMS-D S/W 구성 체계 ····· 339
그림 3-218 Smart CEMS-D S/W에서의 Ver. 1.0과 Ver. 2.0의 업무 구분 개념도 ····· 339
그림 3-219 Smart CEMS-D S/W의 해석 프로세스 ····· 339
그림 3-220 Smart CEMS-D S/W 개발 화면 ····· 340
그림 3-221 해외 선진사 프로그램과의 기술수준 분석:Smart CEMS-D ····· 341
그림 3-222 에너지 소비량의 2D 및 3D 가시화 예시 ····· 343
그림 3-223 에너지 공급설비 위치의 2D 가시화 개념도 ····· 343
그림 3-224 도시 에너지 공급망 가시화 개념도 ····· 344
그림 3-225 도시 에너지 배관망 네트워크 최적화 개념도 ····· 344
그림 3-226 도시기반시설의 용량별 부지면적 ····· 347

그림 3-227 통합관리센터 시스템 주요 흐름도 ····· 349
그림 3-228 통합관리센터 시스템 구성도 ····· 350
그림 3-229 데이터 집계 체계 ····· 352
그림 3-230 시스템 구성 ····· 353
그림 3-231 시스템 구성 모델 ····· 354
그림 3-232 에너지 수요 및 공급 프로파일 ····· 355
그림 3-233 에너지 수요 및 공급 프로파일 ····· 355
그림 3-234 해외 선진사 프로그램과의 기술수준 분석:Smart CEMS-O ····· 356
그림 3-235 도시에너지 운영 최적화 기법의 적용 목적 ····· 358
그림 3-236 최적화 모델 구성요소 ····· 358
그림 3-237 최적화 프로세스 ····· 359
그림 3-238 최적화 시스템 적용에 따른 기대효과 ····· 359
그림 3-239 에너지 시스템의 구조 ····· 360
그림 3-240 에너지 네트워킹 관련 프로세서 구조 ····· 361
그림 3-241 수요 자원 최적 운전 관련 프로세서 구조 ····· 362
그림 3-242 전기/열 최적 비율 생산(복합 발전기 운전) 관련 프로세서 구조 ····· 363
그림 3-243 최적화 방법론 ····· 364
그림 3-244 데이터 시각화 방법 ····· 365
그림 3-245 최적화 프로세스 ····· 367
그림 3-246 최적화 프로세스 자동화 기법 ····· 369
그림 3-247 최적화 알고리즘 자동 수행 구동 방법 ····· 370
그림 3-248 최적화 목표 설정 ····· 372
그림 3-249 제어불가능 공급자원 선택 ····· 372
그림 3-250 저장설비 선택 ····· 373
그림 3-251 수요자원 선택 ····· 373
그림 3-252 최적화 수행 후 전체 출력 프로파일 ····· 374
그림 3-253 자원 출력 누적 프로파일 ····· 375
그림 3-254 CHP 미반영시의 최적화 프로파일 ····· 375
그림 3-255 수요 이전 비용이 0일 경우의 결과 ····· 376
그림 3-256 수요이전 미 고려 시 결과 ····· 377
그림 3-257 주간수요 결과 프로파일 ····· 378
그림 3-258 도시 내 전체 전력수요 예측 알고리즘 ····· 381
그림 3-259전력 수요의 계절별 온도 민감도 (산업용_오피스의 예) ····· 381
그림 3-260 도시 내 용도별 전력 수요 점유율 예측 알고리즘 ····· 382

그림 3-261 시간대별/용도별 전력 수요 및 점유율 예측 ····· 382
그림 3-262 시간대별 용도별 전력 수요 예측 ····· 383
그림 3-263 도시 내 전체 에너지 수요 예측 알고리즘 ····· 385
그림 3-264 외삽법(좌:m=2, 1차, 우:m=3, 2차)을 이용한 실시간 전력 수요 예측 ····· 389
그림 3-265 요일별 대형할인점 전력 수요 ····· 391
그림 3-266 요일별 종합상사 전력 수요 ····· 392
그림 3-267 요일별 제조업체 전력 수요 ····· 393
그림 3-268 날씨별 발전효율 예측 ····· 396
그림 3-269 날씨별 발전량 예측 ····· 397
그림 3-270 날씨별 발전량 예측 ····· 398
그림 3-271 날씨별 발전량 예측 ····· 399
그림 3-272 보유 수요데이터 ····· 403
그림 3-273 Demand CLIMATE 화면 ····· 404
그림 3-274 Demand 화면 ····· 405
그림 3-275 Demand 설정 화면 ····· 405
그림 3-276 Supply 화면 ····· 406
그림 3-277 Supply 스펙 설정 ····· 406
그림 3-278 수급분석(Matching) 화면 ····· 407
그림 3-279 기후데이터의 Esp-r 형식 ····· 408
그림 3-280 수원지역 연간 시간별 기후데이터 ····· 409
그림 3-281 전력수요 데이터 (8,760 시간) ····· 409
그림 3-282 열수요 데이터 (8,760 시간, 난방+냉방+급탕) ····· 409
그림 3-283 PV 발전량 프로파일(연간) ····· 410
그림 3-284 BIPV 발전량 프로파일(연간) ····· 410
그림 3-285 Wind Turbine 발전량 프로파일(연간) ····· 411
그림 3-286 연료전지 5㎾급 2대 발전량 프로파일(전력-연간) ····· 411
그림 3-287 연료전지 5㎾급 2대 열생산량 프로파일(열(급탕)-연간) ····· 412
그림 3-288 지열히트펌프의 열생산 프로파일(냉난방-연간) ····· 412
그림 3-289 프로젝트 진행에 따른 생애주기비용 항목의 개념도 ····· 415
그림 3-290 건설공사에서의 일반적인 생애주기비용 분석항목의 분류 ····· 418
그림 3-291 사용년수에 따른 평균년가의 변화 ····· 418
그림 3-292 물가상승률에 따른 도시기반 공급·처리시설의 설치방법별 LCC 비교 ····· 421
그림 3-293 할인율에 따른 복합에너지 시스템의 설치방법별 LCC 비교 ····· 422
그림 3-294 내용년수에 따른 복합에너지 시스템의 설치방법별 LCC 비교 (물가상승률이

5%일 경우) ····· 422
그림 3-295 내용년수에 따른 복합에너지 시스템의 설치방법별 LCC 비교 (물가상승률이 10%일 경우) ····· 423
그림 3-296 통계적 분석방법별 특징 ····· 438
그림 3-297 통계적 분석방법 적용 예시 ····· 439
그림 3-298 데이터 전처리 방법 ····· 440
그림 3-299 분석기간 및 방법 ····· 441
그림 3-300 실시간 에너지 모니터링 화면 ····· 441
그림 3-301 Link 기능 적용 예시 ····· 443
그림 3-302 Slack 변수 적용 예시 ····· 444
그림 3-303 지자체 에너지 관리 체계 문제점 및 개선안 ····· 445
그림 3-304 도시에너지 보고서 프로세스 ····· 445
그림 3-305 주요 보고서 ····· 446
그림 3-306 프로그램 기능구조도 및 구성 ····· 447
그림 3-307 DB 스키마 개선 및 보완 내용 ····· 448
그림 3-308 데이터 수집 개선 내용 ····· 451
그림 3-309 기상데이터 수집 개선 내용 ····· 452
그림 3-310 UI 개선 화면 ····· 453
그림 3-311 관제도시 전체 화면 ····· 454
그림 3-312 관제도시 에너지 분석 화면 ····· 454
그림 3-313 수요관리 제도 ····· 457
그림 3-314 실제와 예측의 시간대별 전력수요량 비교 ····· 466
그림 3-315 대시보드 화면 ····· 470
그림 3-316 부하 및 경제성 분석 화면 ····· 470
그림 3-317 실시간 급전지시 관리 화면 ····· 470
그림 3-318 데이터 보정 및 자원관리 화면 ····· 471
그림 3-319 휴무일 관리 화면 ····· 471
그림 3-320 한전 Ismart 데이터 수집 화면 ····· 472
그림 3-321 비상용 발전기를 이용한 부하감축 방안 ····· 474
그림 3-322 에너지 프로슈머의 컨셉 및 거래 효과 ····· 475
그림 3-323 마이크로 단위 에너지 사업자 Biz. model 예시 ····· 476
그림 3-324 가사도 에너지자립섬 계통 구성도 ····· 477
그림 3-325 CEM-O 접속 화면 ····· 479
그림 3-326 CEM-O 메인 화면 ····· 479

그림 3-327 통합관제대상 선택 화면 ····· 480
그림 3-328 최적화 기능 선택 ····· 480
그림 3-329 비용최소화 CEMS-O 시뮬레이션 결과 ····· 483
그림 3-330 탄소제약 시 비용최소화 시뮬레이션 실행 입력화면 ····· 484
그림 3-331 탄소제약 조건 시 비용최소화 CEMS-O 시뮬레이션 결과 ····· 485
그림 3-332 탄소최소화 시뮬레이션 실행 입력화면 ····· 487
그림 3-333 탄소최소화 CEMS-O 시뮬레이션 결과 ····· 487
그림 3-334 선로연계 비용최소화 CEMS-O 시뮬레이션 결과 (에너지 생산량) ····· 489
그림 3-335 선로연계 비용최소화 CEMS-O 시뮬레이션 결과 (전력 생산량) ····· 489
그림 3-336 선로연계 탄소최소화 시뮬레이션 실행 입력화면 ····· 490
그림 3-337 선로연계 탄소최소화 CEMS-O 시뮬레이션 결과 (선로연계 CO2 1차 계수: 5) ··· 491
그림 3-338 선로연계 탄소최소화 CEMS-O 시뮬레이션 결과 (선로연계 CO2 1차 계수: 0.5) ···· 491
그림 3-339 복합설비(CHP) 반영여부 CEMS-O 시뮬레이션 결과 ····· 493
그림 3-340 열수요 vs 복합설비(CHP) 운전 CEMS-O 시뮬레이션 결과 (열수요가 없는 경우) ···· 494
그림 3-341 열수요 vs 복합설비(CHP) 운전 CEMS-O 시뮬레이션 결과 (열수요 50Mcal인 경우) ··· 494
그림 3-342 열수요 vs 복합설비(CHP) 운전 CEMS-O 시뮬레이션 결과 (열수요 20Mcal인 경우) ··· 495
그림 3-343 열수요 vs 복합설비(CHP) 운전 CEMS-O 시뮬레이션 결과 (열수요 : 50Mcal, 최소발전 용량 : 0kW) ····· 496
그림 3-344 열수요 vs 복합설비(CHP) 운전 CEMS-O 시뮬레이션 결과 (열수요 : 20Mcal, 최소발전 용량 : 0kW) ····· 496
그림 3-345 배터리 최대저장용량 확인을 위한 시간대별 전기수요 데이터 ····· 497
그림 3-346 배터리(최대충전용량: 400kWh) 반영 CEMS-O 시뮬레이션 결과 ····· 498
그림 3-347 배터리(최대충전용량: 200kWh) 반영 CEMS-O 시뮬레이션 결과 ····· 499
그림 3-348 배터리(최대충전용량: 400kWh) 시간대별 충방전 및 SOC 데이터 ····· 500
그림 3-349 배터리(최대충전용량: 200kWh) 시간대별 충방전 및 SOC 데이터 ····· 500
그림 3-350 배터리 효율(80%) 반영 CEMS-O 시뮬레이션 결과 ····· 501
그림 3-351 배터리(최대충전용량 400kWh, 효율 80%) 시간대별 충방전 및 SOC 데이터 502
그림 3-352 CEMS-O 프로그램에서 수요이전 기능 추가 ····· 502
그림 3-353 수요이전 기능 모의를 위한 전력수요 데이터 및 수요이전량 ····· 503
그림 3-354 수요이전 반영 전의 CEMS-O 시뮬레이션 결과 ····· 503
그림 3-355 수요이전 반영 후의 CEMS-O 시뮬레이션 결과 ····· 504
그림 3-356 수요이전 비용(24,950원)에 대한 CEMS-O 시뮬레이션 결과 ····· 505
그림 3-357 수요이전 비용(24,950원)에 대한 CEMS-O 시뮬레이션 결과 ····· 505
그림 3-358 POC 실증 데이터(전력부하, 태양광, 열부하, 풍력) ····· 506

그림 3-359 POC 실증데이터의 시뮬레이션 결과 ····· 506
그림 3-360 Sustainability Services and Qualifications ····· 508
그림 3-361 중국 도시개발 모델링 사례 ····· 508
그림 3-362 Thematic Performance Sub-models ····· 509
그림 3-363 단계별 도시 최적 모델링 ····· 509
그림 3-364 새만금 조감도 및 토지이용계획도 ····· 510
그림 3-365 집단에너지시설 입지 ····· 512
그림 3-366 2030년 최적시나리오 해석 결과 ····· 515
그림 3-367 2050년 최적시나리오 해석 결과 ····· 515
그림 3-368 2013년 수원시 월평균외기온도 vs 지역난방열소비량 및 도시가스사용량 ··· 517
그림 3-369 2013년 수원시 월평균외기온도 vs 전력사용량 ····· 517
그림 3-370 2013년 수원시 일평균외기온도 vs 일간열부하(추정) ····· 517
그림 3-371 2013년 수원시 일평균외기온도 vs 일간전력부하(추정) ····· 517
그림 3-372 수원시 평일 부하패턴(용도별, 종합) ····· 518
그림 3-373 수원시 주말 부하패턴(용도별, 종합) ····· 518
그림 3-374 2013년 수원시 부하 ····· 518
그림 3-375 2013년 수원시 CEMS-D 해석결과 ····· 520
그림 3-376 토지이용계획 도안 ····· 522
그림 3-377 에너지 부하 프로파일 작성창 ····· 524
그림 3-378 설비 용량 및 종류 설정창 ····· 525
그림 3-379 최적설비 결정 및 경제성 분석창 ····· 525
그림 3-380 설비/수요처 간의 배관망 구성창 ····· 526
그림 4-1 전력 수요관리 시장 ····· 534
그림 4-2 ESS/전기차 사업 모델 ····· 534
그림 4-3 친환경에너지타운 개념도 ····· 535
그림 4-4 에너지자립섬 조성사업 개념도 ····· 535
그림 4-5 신재생에너지 보급 정책 ····· 536
그림 4-6 E-프로슈머 사업 유형 ····· 541
그림 4-7 E-프로슈머 구분 및 정책 방향 ····· 542
그림 4-8 신재생 설비 시장 전망 ····· 543
그림 4-9 스마트시티 시장 전망 ····· 544
그림 5-1 GS건설 기술연구소 POC 실증 개념도 ····· 547
그림 5-2 안산시 T/B 실증 개념도 ····· 547
그림 5-3 수원시 Simulation 실증 개념도 ····· 548

그림 5-4 Peer Review 결과 ····· 548
그림 5-5 CEMS 홍보 브로셔 ····· 549
그림 5-6 수원시 CEMS 홍보 부스 및 Poster ····· 550
그림 5-7 CEMS 홍보 ····· 550
그림 5-8 에너지 신산업 개요 ····· 551
그림 5-9 베트남 나베 신도시 개발사업 ····· 552
그림 5-10 연구성과 활용방안 ····· 553
그림 5-11 그린에너지 커뮤니티 모델 개요 ····· 556
그림 5-12 Micro-Grid Hub 모델 ····· 557
그림 5-13 의료복합단지 개념도 ····· 557
그림 5-14 GS건설의 7-C City Grand Package 개요 ····· 558

표 목 차

표 1-1 연구개발의 중요성 ····· 6
표 1-2 프로젝트 주요 내용 ····· 22
표 1-3 주요 프로젝트 및 결과 ····· 22
표 1-4 전력공급 체계의 변화 ····· 33
표 1-5 사업별 주요실적 (요약) ····· 45
표 1-6 한전의 에너지신산업 육성정책 사업 모델 ····· 47
표 1-7 2030 에너지 신산업 확산전략 ····· 52
표 1-8 공급의무 비율 ····· 53
표 1-9 신재생에너지 공급인증서 가중치 ····· 54
표 1-10 신재생에너지 설치의무화 비율 ····· 55
표 1-11 신재생에너지원별 보조금 지원 예산액 (2015년, 백만원) ····· 55
표 1-12 에너지원별/용량별 보조금 지원 기준 (2015, 단위: 천원, VAT 포함) ····· 56
표 1-13 에너지원별/용량별 지원 규모 (2015, 단위: 백만원) ····· 57
표 1-14 에너지원별/용량별 지원 기준 (2015) ····· 57
표 1-15 금융지원 규모 (2015) ····· 58
표 1-16 금융지원 조건 (2015) ····· 58
표 1-17 1/2차 유비쿼터스 도시 종합계획 특징 ····· 59
표 1-18 정부의 스마트 시티 구성 및 운영 방안 ····· 60
표 1-19 글로벌 스마트시티 실증단지 주요 서비스 예시 ····· 61
표 1-20 주요 도시 스마트시티 추진 현황 ····· 61
표 3-1 도시에너지 통합관제 시스템의 기능 ····· 94
표 3-2 도시에너지 통합관제시스템의 구현에 있어서 문제점 ····· 95
표 3-3 도시에너지 통합관제 시스템 요구사항 ····· 96
표 3-4 미활용에너지의 발생원별 이용형태 및 이용방법 ····· 101
표 3-5 도시에서 미활용에너지의 효과 ····· 101
표 3-6 미활용에너지 활용을 위한 기술적 과제 ····· 102
표 3-7 미활용에너지 활용을 위한 시행상의 과제 ····· 102
표 3-8 미활용에너지를 활용한 열공급시스템 ····· 103
표 3-9 배터리기술별 비교 ····· 109
표 3-10 도시에너지 관리시스템 입력변수, 알고리즘, 출력 ····· 114
표 3-11 최종에너지 부문별 에너지 절감 목표 ····· 119

표 3-12 안산시 및 고양시의 온실가스 배출 특성 ····· 121
표 3-13 에너지 부문 온실가스 배출량 중 세부 부문별 비중 ····· 122
표 3-14 에너지 부문 온실가스 배출량 중 세부 부문별 비중 ····· 122
표 3-15 에너지사용계획서의 구성 내용 ····· 124
표 3-16 유럽에서의 도시에너지 공급체계 특징 ····· 132
표 3-17 국내 에너지 공급체계의 문제점 및 해결방안 ····· 133
표 3-18 건물 용도별 단위면적당 에너지 원단위 자료 ····· 136
표 3-19 주요 전력 통계 자료 ····· 144
표 3-20 에너지 공급원 및 에너지 수요처별 원단위 D/B 목록 ····· 149
표 3-21 주요 업무용 건축물 부하별 에너지 사용 분포 ····· 153
표 3-22 주거용 건축물 부하별 에너지 사용 분포 ····· 154
표 3-23 시설개선/관리를 통한 분야별 건물에너지 절약 방법 ····· 157
표 3-24 운전/운영방식 개선에 의한 건물에너지 절약 방법 ····· 158
표 3-25 에너지 공급/소비 모니터링 시스템 개요 ····· 173
표 3-26 전기에너지 모델링 개요 ····· 177
표 3-27 열에너지 모델링 개요 ····· 178
표 3-28 가스에너지 모델링 개요 ····· 178
표 3-29 물에너지 모델링 개요 ····· 179
표 3-30 복합에너지 모델링 개요 ····· 179
표 3-31 도시에너지 최적화 알고리즘_네트워킹 ····· 180
표 3-32 도시에너지 최적화 알고리즘_복합에너지운전 ····· 181
표 3-33 도시에너지 최적화 알고리즘_실시간운전 ····· 182
표 3-34 도시에너지 최적화 알고리즘_수요관리 ····· 183
표 3-35 프로그램 모듈의 UI 및 DB 구조 ····· 186
표 3-36 UI 트리구조 및 관련 구성 ····· 186
표 3-37 선형계획법에 의한 최적화 방법에서의 해석을 위한 입출력 자료 내용 ····· 197
표 3-38 에너지공급시스템 해석방법 ····· 203
표 3-39 에너지공급시스템에서의 다양한 입력조건(발전원별 발전단가) ····· 203
표 3-40 전력소비량 세계 순위(단위 : 억 kWh) ····· 225
표 3-41 부문별 전력판매량 비중(단위 : %) ····· 225
표 3-42 최대전력 및 기본부하 분야별 비중(단위 : MW) ····· 226
표 3-43 원별 발전설비 규모 및 비중(단위 : MW) ····· 227
표 3-44 원별 발전량 규모 및 비중(단위 : GWh) ····· 227
표 3-45 연도별 예비력 및 예비율 추이(단위 : MW, %) ····· 227

표 3-46 도시에너지 수요패턴 분석을 위한 대상건물(업무용, 상업용) 개요 ····· 228
표 3-47 도시에너지 수요패턴 분석을 위한 대상건물(공동주택 A) 개요 ····· 228
표 3-48 연간 월별 냉난방 부하패턴 ····· 229
표 3-49 안산도시개발 연도별 열판매 실적 ····· 233
표 3-50 안산시 용도별 전력소비량 추이 ····· 237
표 3-51 시화호 가용 열량 ····· 241
표 3-52 하수열을 활용한 지역 냉난방 이용 사례 ····· 242
표 3-53 안산시 하수종말처리시설 개요 ····· 243
표 3-54 안산 하수처리장의 활용 가능 열량 계산 ····· 246
표 3-55 시화국가산업단지 주요 제조 업종별 면적분포 ····· 248
표 3-56 국가 업종별 소비열량 및 연면적 ····· 249
표 3-57 국가 업종별 전체 소비에너지 대비 배열량의 비 ····· 249
표 3-58 시화국가산업단지 주요 제조 업종별 배열량 ····· 249
표 3-59 신재생에너지 전체 잠재량(단위 : 천toe) ····· 250
표 3-60 경기도의 신재생에너지 기술적 잠재량 분포 ····· 251
표 3-61 경기도 지역별 신재생에너지원별 잠재량 통계(단위 : Tcal/year) ····· 253
표 3-62 안산시 유기성 폐기물 발생량 ····· 255
표 3-63 가축별 일평균 축분 배출량 및 바이오 가스 발생량 ····· 255
표 3-64 소규모 분산형 전원의 특징 ····· 258
표 3-65 에너지공급시스템의 분산화 및 부하구조의 변화에 따른 효과 ····· 259
표 3-66 안산시 생활폐기물 소각시설 개요 ····· 262
표 3-67 복합시스템(열병합발전+소각폐열 활용)에서의 소각폐열 도입 효과 ····· 263
표 3-68 복합시스템에서의 열펌프 도입효과 ····· 266
표 3-69 복합시스템(열병합발전시스템+음식물 소화가스시스템)에서의 소화가스 도입 효과 268
표 3-70 전력 추가 계측 포인트(34개 포인트) ····· 274
표 3-71 가스 계측 포인트(7개) ····· 275
표 3-72 수도 계측 포인트(3개) ····· 276
표 3-73 수도계측기 사양표 ····· 276
표 3-74 각 건물별 열공급 설비 자료 ····· 283
표 3-75 보일러 주요 사양 ····· 284
표 3-76 가스히트펌프 총 설치 용량 및 공급 구역 ····· 285
표 3-77 지열히트펌프 시스템 ····· 286
표 3-78 각 건물별 연료사용량 및 탄소발생량 ····· 293
표 3-79 열병합발전기 시스템별 특징 ····· 297

표 3-80 열병합발전 시스템의 주요 사양 ····· 298
표 3-81 시간 변화에 따른 각 기기별 열공급량 ····· 301
표 3-82 운전 방식별 연료 소비량 및 탄소발생량, CO2 환산계수 2.75kg CO2/kg LNG ····· 302
표 3-83 운전 방식 및 설비별 총 사용요금 ····· 304
표 3-84 운전 방식 및 설비별 총 사용요금, 2018년 예상 ····· 304
표 3-85 운전 방식 및 설비별 실제 CO2 발생량 ····· 305
표 3-86 안산시 모니터링 시스템 개요 ····· 310
표 3-87 집중기의 주요 기능 ····· 312
표 3-88 국내 비상발전기 설비현황('11년 12월) ····· 313
표 3-89 모델 도시의 개요 ····· 325
표 3-90 에너지 공급시스템의 규모 및 전력부하에 따른 연간 에너지사용량의 변화 ····· 326
표 3-91 에너지 원단위 ····· 329
표 3-92 건물 용도에 따른 기존 도시 대비 전력부하 비율 ····· 329
표 3-93 한국지역난방공사 열공급규정에서의 단위연결열부하 기준표, (단위 :㎉/㎡·h) ···· 332
표 3-94 건축물의 단위전력부하 및 수용률 ····· 333
표 3-95 Case별 해석 결과 ····· 334
표 3-96 Ver 2.0의 메뉴 구성 ····· 338
표 3-97 지역난방공사 열배관 설계표준단가표 ····· 345
표 3-98 에너지공급시설의 시설용량별 부지면적 ····· 346
표 3-99 연차별 개발 내용 ····· 351
표 3-100 데이터 엔터티 체계 ····· 352
표 3-101 에너지 네트워킹 항목 ····· 361
표 3-102 수요자원 최적 운전 항목 ····· 362
표 3-103 전기/열 최적 비율 생산 관련 항목 ····· 363
표 3-104 자원 분류 방법 및 특성 ····· 366
표 3-105 설비 속성 분류 ····· 370
표 3-106 생산 비용 ····· 374
표 3-107 수요이전 전후의 생산 비용 ····· 377
표 3-108 이동평균법을 이용한 실시간 전력수요 예측 오차율 ····· 390
표 3-109 가중이동평균법을 이용한 실시간 전력수요 예측 오차율 비교 ····· 390
표 3-110 지수평활법을 이용한 실시간 전력수요 예측 오차율 비교 ····· 390
표 3-111 외삽법을 이용한 실시간 전력수요 예측 오차율 비교 ····· 391
표 3-112 풍속빈을 이용한 풍력 발전량 예측식 ····· 394
표 3-113 α 보정 오차율 평균 ····· 394

표 3-114 서울지역의 월별 일출, 남중, 일몰시간 정보 ····· 395
표 3-115 기상청 정보의 예 (3H 간격) ····· 395
표 3-116 시간대별 기상정보 변환 과정 ····· 395
표 3-117 '09.03~10.23' 태양광 발전량 데이터를 이용한 예측 모델 검증 오차율 (%) ····· 400
표 3-118 태양광 발전량 데이터를 이용한 예측모델 검증 결과(파란색: 실제, 주황색: 예측) ···· 400
표 3-119 신재생에너지원별 발전량 및 CO2 저감량 ····· 413
표 3-120 복합에너지 시스템의 설치방법별 생애주기비용 비교(단위 : 백만원) ····· 424
표 3-121 분야별, 시설별 사업주체 및 범위 ····· 428
표 3-122 도시계획 시설 중 도시기반 공급·처리시설의 계획 시 검토사항 ····· 431
표 3-123 CBL 계산 방법 ····· 459
표 3-124 예측일과 동일한 요일의 예측일 이전 3일의 과거 데이터 ····· 463
표 3-125 최대/최소 전력수요량 ····· 464
표 3-126 시간대별 정규화 전력수요량 ····· 465
표 3-127 예측일의 시간대별 전력수요량 ····· 466
표 3-128 비정상근무일 제외 ····· 467
표 3-129 생산조정일 제외 ····· 468
표 3-130 '산업용 Max(4/5)' CBL 산정 ····· 468
표 3-131 실제데이터를 활용 CBL 값 ····· 469
표 3-132 예측데이터 활용 CBL 산정 결과 ····· 469
표 3-133 예측데이터와 실측데이터를 활용한 CBL 오차율 ····· 469
표 3-134 에너지 프로슈머의 컨셉 및 거래 효과 ····· 476
표 3-135 최적화 검증 항목 분류 ····· 481
표 3-136 발전기 정보 ····· 483
표 3-137 발전기 정보 ····· 484
표 3-138 1일 발전비용 및 탄소배출량 ····· 485
표 3-139 1일 발전비용 및 탄소배출량 ····· 486
표 3-140 발전기 정보 ····· 487
표 3-141 선로연계 비용최소화 가정 ····· 489
표 3-142 선로연계 탄소최소화 가정 ····· 490
표 3-143 복합설비 반영 관련 가정 ····· 492
표 3-144 열수요와 CHP관련 가정 ····· 494
표 3-145 발전기와 CHP 관련 가정 ····· 498
표 3-146 발전기와 CHP 관련 가정 ····· 498
표 3-147 에너지 수요량 추세치 ····· 511

표 3-148 에너지 수요량 목표치 ····· 511
표 3-149 에너지 공급원 검토 및 배분 ····· 512
표 3-150 집단에너지시설 입지타당성 검토 ····· 513
표 3-151 신재생에너지 예상 생산량 ····· 513
표 3-152 신재생에너지원별 예상 공급량 ····· 513
표 3-153 CEMS-D S/W의 입출력 내용 ····· 514
표 3-154 수원시 2013년 에너지사용량 및 소각열생산량 (공공데이터포털) ····· 516
표 3-155 Net Present Costs(₩) ····· 520
표 3-156 Annualized Costs(₩) ····· 520
표 3-157 토지이용계획안 ····· 521
표 4-1 온실가스 감축 목표 및 부문별 온실가스 배출 전망 ····· 532
표 4-2 에너지 사용 계획 협의 사업 대상 ····· 538
표 4-3 분야별 녹색성장법 제체계도 ····· 539

제 1 장 연구개발 과제 개요

제 1 절 연구개발의 필요성 및 목적

1. 연구개발 필요성

□ 2003년 8월 14일 미국 동부와 캐나다 일부 지역에서 발생한 대규모 정전사태는 순식간에 전력계통망을 통해 뉴욕, 뉴저지 등 미국 동북부 전역, 미시간, 오하이오 등 미국 중서부 지역 그리고 캐나다 온타리오 주 등으로 확대되었으며, 그 결과 미국의 7개 주, 캐나다 1개 주가 3일 동안 암흑으로 변했고 이로 인해 많은 제조시설, 도시기반시설의 가동 중단 등으로 약 60억 달러의 손실이 발생하였음

□ 국내에서는 2011년 9월 15일에 전국적인 대규모 정전사태가 발생한 바 있으며, 오후 2시 15분부터 4시 사이 전력수요량이 실제 발전공급량을 넘어 예비전력이 0인 상황이 수십분 간 지속되면서 전국적 블랙아웃이 발생활 수 있는 위기상황이 발생됨. 한국전력거래소[1]에서 전력공급을 인위적인으로 차단함으로써 더 큰 확산을 막기는 했지만, 이러한 초유의 전국적인 대규모 정전사태가 발생한 이후 24시간이 채 지나지 않은 9월 16일 오후 또다시 최대 전력수요는 6740만kW를 기록, 전날보다 2만kW나 증가한 바 있음. 그 이후로도 2013년 8월까지 순간 예비전력이 350만kW 미만으로 떨어져 전국적으로 전력경보 '관심'과 '주의'가 수시로 발령된 바 있으며 지금도 지속적인 전력부족 위험 선상에 노출되어 있음

□ 이러한 대규모 정전사태의 주요원인으로는 냉난방 부하 즉, 열원부하의 전력사용비중이 지속적으로 높아지고 있고, 에너지 공급설비가 중앙 집중형이기 때문임

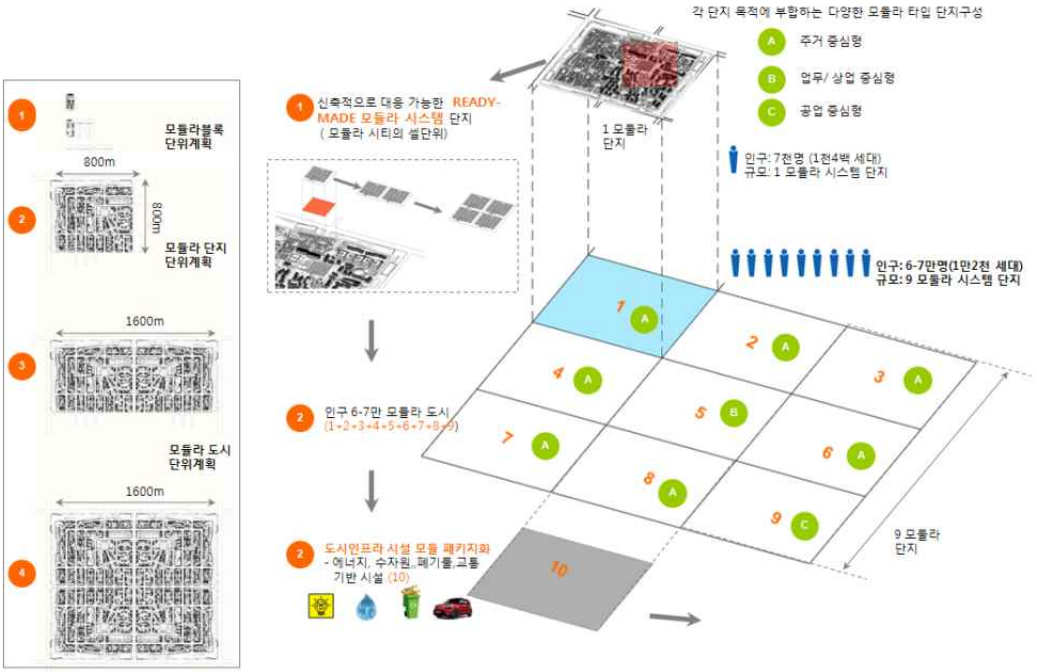
□ 특히, 국내의 경우 주요 대규모 전력 생산시설이 해안을 따라 지방에 편중되어 있고 수도권 등 대도시에서 많은 양의 에너지를 소비하는 국내 에너지 수급체계에서 비롯된 문제점이 나타나고 있음

□ 최근 이러한 문제를 해결하기 위하여, 신재생에너지원의 증가 및 다양한 분산전원을 활용하고 있으며, 도시차원의 에너지 공급시스템 설계 및 운영에 대한 다양한 연구가 진

1) 2000년 한국전력 내 설치된 전력거래 발전부문 한전 자회사, 영국의 송전전문회사 내셔널 그리드(NGC), 호주는 호주전력시장관리회사(NEMMCO), 노르웨이는 노르웨이 중앙송전망 운영회사(Statnett) 등이 있음

행 중

□ 또한 현대 도시개발을 MACRO 도시개발 위주에서 모듈화 도시개발 위주로 변화하고 있음. 따라서 주거단지, 상업단지, 공업단지, 복합단지 등의 모듈화 도시 에너지 수요특성에 적합한 에너지 공급 모델 도출 및 에너지 공급 최적화 설계 tool 개발이 요구됨



<그림 1-1 모듈러 도시계획 구성(안)>

□ 도시단위의 에너지 공급계통은 다양한 분산발전 전력/연원 공급, 에너지 저장장치 및 다양한 에너지 Resource Network을 통한 분산 순환형 에너지 효율향상 등의 방향으로 변화하고 있음

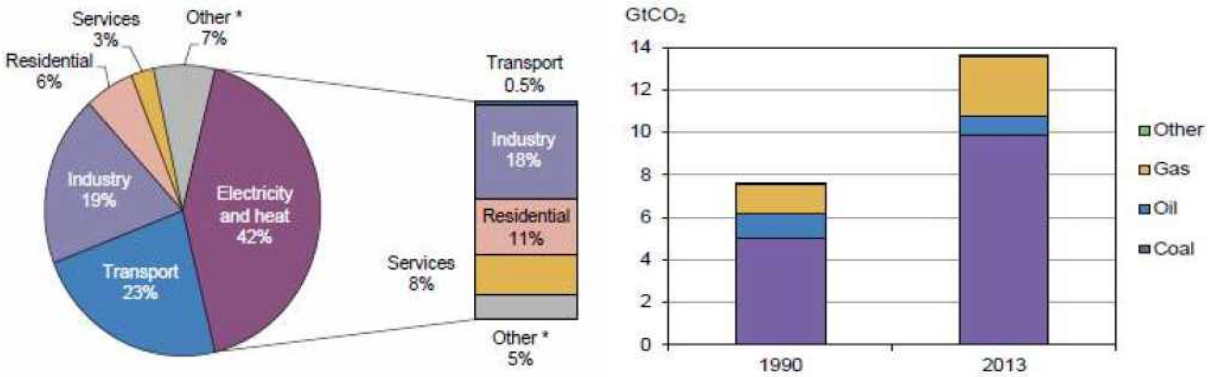
□ 최근 2013년 (CO2 Emissions from Fuel Combustion, IEA, 2015) 전 세계 온실가스배출량을 부문별로 구분한 결과 에너지생산(발전, 열생산)과 수송부문이 가장 큰 비중을 차지하여 이들 두 부문의 중요성이 증대되고 있음

- 2013년 세계 온실가스 배출량에서 에너지생산(발전, 열생산)이 42%, 수송부문이 23%, 산업부문이 19%, 가정부문이 6%, 서비스부문이 3%, 기타부문(농업/임업, 발전과 열 이외의 에너지 생산)이 7%를 차지했음

  : 에너지생산부문의 배출량 비중이 높은 것은 발전과 열생산이 석탄에 집중적으로 의존하고 있기 때문임. (1990년 이후 2013년까지 발전과 열생산 부문의 온실가스 배출량은 거의 2배 증가했는데 이는 석탄사용이 빠르게 증가했기 때문임)

: 또한, 2000년부터 2013년까지 발전부문(열생산 제외)의 세계 온실가스 배출량은 50% 증가했는데 북미와 유럽의 선진국에서는 감소한 반면, 아시아의 선진국과 개도국에서는 모두 증가했음

- 이러한 결과는 전 세계 탄소 배출량 중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 에너지 분야의 효율화를 통한 탄소 배출량 저감 잠재력이 매우 높다는 것을 보여주며, 국가 온실가스 감축목표 달성을 위해 온실가스 배출 저감 효과가 큰 도시단위의 에너지관리시스템이 필요하며, 실증을 통한 해외시장에서 국가경쟁력 확보가 필요함을 의미함



<그림 1-2 전 세계 부문별 탄소 배출량 비중 및 전력/열 생산 분야의 탄소 배출량 추이>

□ 또한, 국가 온실가스 감축목표 달성을 위해 온실가스 배출 저감 효과가 큰 도시단위의 에너지관리시스템이 필요하여, 실증을 통하여, 해외시장에서 국가경쟁력 확보가 필요

□ 지구온난화, 고유가시대에 대비하기 위한 에너지 공급체계의 개선 및 복합화를 통하여 에너지 순환이용을 통한 효율적 운영 체계 구축 시급

□ 에너지 빈국인 우리나라 입장에서는 다양한 1차 에너지의 효과적인 믹스가 매우 중요함. 이러한 에너지 믹스를 위해서는 도시계획에서부터 적절한 에너지 공급설비를 선택하여야 하며, 전력 중심의 스마트그리드만으로는 에너지 믹스 기능을 감당할 수 없으므로 여러 에너지망을 통합하여 운전함으로서 이러한 기능을 감당할 수 있는 네트워크를 구축하는데 필요한 기반기술 개발이 필요

□ 현재 전력, 도시가스, 열 인프라가 개별적으로 관리되고 있어 국가에너지 공급 인프라의 효율적 관리 및 이용효율 극대화를 위해서는 통합관리가 시급하며 통합관리를 통하여, 탄소 및 에너지 저감 효과의 극대화 필요하며, 도시계획과 연계한 종합적 에너지 공급 및 관리체계 구축이 시급

□ 도시의 형태와 규모에 적합한 도시기반의 에너지 공급설비 설계 기술은 자원 및 에너지 손실을 최소화하면서 사람과 자원과 에너지의 유기적 순환구조를 통해 경제성 향상을 제공할 수 있음

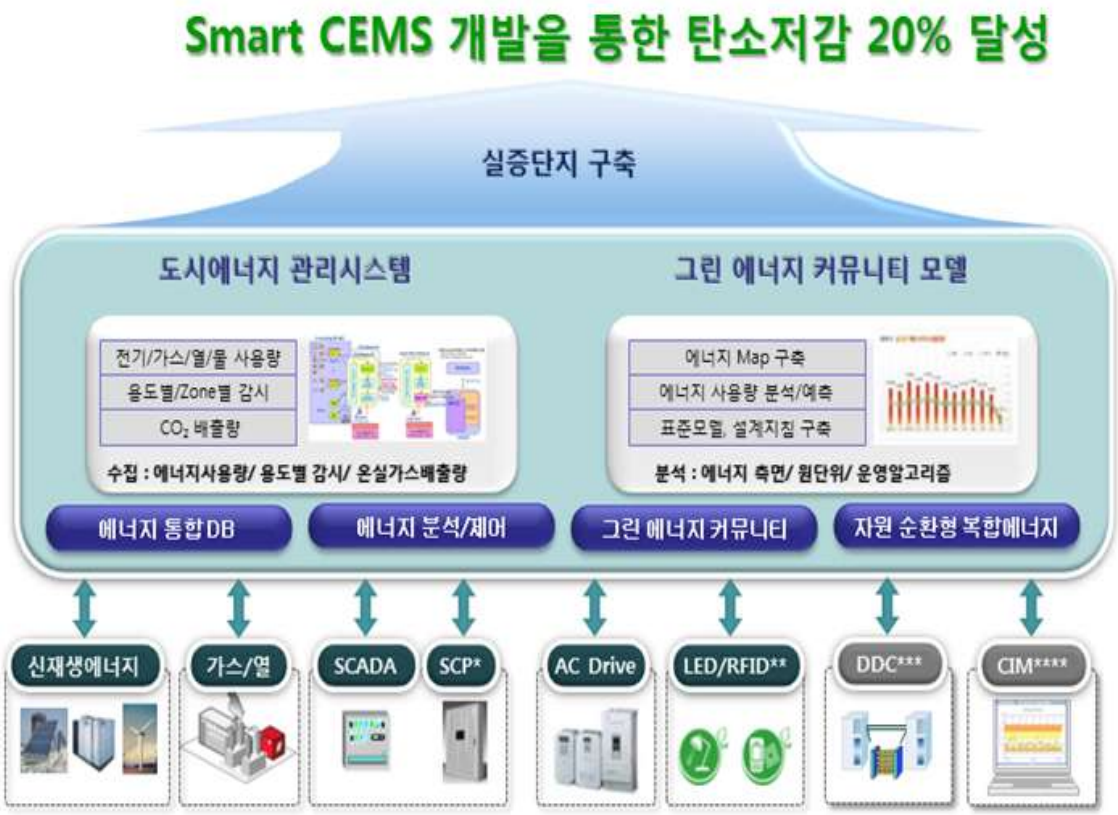
□ 에너지 사용 및 CO2 배출을 최소화하기 위하여 에너지 공급망을 개별적으로 독립운전(Individual Operation) 또는 연계운전(Combined Operation)하는 것보다 IT기술을 도입하여 전력 외 연료, 열, CO2, 용수관리 등의 여러 에너지망 사이에서 에너지 부하 이동이 용이하도록 복합운전(Collaborative Operation)하는 것이 필요



<그림 1-3 복합 에너지 운전으로의 에너지 공급 시스템 설계 및 운영 패러다임 변화>

2. 연구개발 목적

□ 연구개발 종료시점인 2016년까지, 탄소발생량 20% 감축(BAU 대비)이 가능한 플랫폼 기반 스마트 도시에너지 관리시스템(Smart CEMS-O, Smart City Energy Management System - Operation), 복합에너지 커뮤니티 표준모델(Smart CEMS-D, Smart City Energy Management System - Design) 개발 및 개발 기술의 실증



<그림 1-4 최종 연구목표 개념도>

□ 이러한 탄소저감 목표를 위하여, 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 개발과제는 도시 및 지구단위 에너지 공급설비 최적화 지원을 위한 Smart CEMS-D와 운영최적화를 위한 CEMS-O 두 가지 S/W를 개발하는 과제와 이를 활용하여, POC 및 도시단위 실증을 하는 3개의 과제로 분류하였으며, 그 구성도는 아래의 그림과 같음



CEMS-D* : City Energy Management System - Design, CEMS-O** : City Energy Management System – Operation

<그림 1-5 최종목표 달성을 위한 과제 구성도>

<표 1-1 연구개발의 중요성>

기술적 측면
□ 실시간 부하대응형 스마트 도시에너지 관리시스템 개발로 도시에너지의 효율적인 운영에 필요한 인프라가 구축되어 도시에서 사용되고 있는 에너지의 부하변동 및 소비량을 실시간으로 파악할 수 있게 됨 □ 에너지의 수요에 따른 공급량을 예측할 수 있게 되어 에너지의 부족으로 인한 긴급 상황을 예방할 수 있게 될 뿐만 아니라, 수요예측으로 공급량을 탄력적으로 조절할 수 있는 기술적 지원이 가능해짐 □ 분산 순환형 복합에너지의 운영알고리즘으로 전력, 열, 가스, 물의 복합 활용이 가능하게 되며 스마트 도시에너지 관리시스템을 통해 온실가스배출 저감을 기대할 수

있음

□ 도시에너지의 효율적인 운영으로 에너지 자원순환형 환경개선 및 에너지 저감을 기대할 수 있게 됨

□ 마이크로그리드단위로 운영되고 있는 신재생에너지와 그리드와의 연계로 기존발전량 대비 절감된 발전이 가능하게 되며, 온실가스 발생의 비율이 높은 석유나 석탄을 통해 발전이 이루어지고 있는 시간대에 신재생에너지를 활용할 수 있게 되어 100배의 온실가스 절감이 가능해짐

□ 또한, 에너지공급 시스템의 증설에서 수요반응자원거래시장 등의 수요반응 및 열원을 열원으로 공급하고, 다양한 분산전원을 활용한 에너지 믹스로의 전환이 이루어지는 등 에너지시스템의 설계 및 운영에 패러다임이 변화하고 있는데 이러한 패러다임 변화에 대응할 수 있는 기술임

경제 산업적 측면

□ 전력, 열, 가스, 물의 복합 활용으로 독립운전 방식 대비 약 30%의 효율향상이 기대됨

□ 최근 유가 급등 및 지구 온난화에 따른 탄소배출 억제 등의 영향으로 대외무역수지가 악화되고 있으며, 이에 따라 친환경 건설 및 플랜트 고도화 수출에 의한 외화 가득율의 향상 등에 대한 사회적 요구가 증대되고 있음

□ 도시의 구성은 단순히 “건설”로만 이루어지는 것이 아닌 연관 산업 기술 및 사회가 같이 어울려야 하는 것으로 IT, BT, NT 등 연관기술과의 연계를 통하여, 융복합 기술로의 확대가 가능함

□ 수요관리 및 운영 시스템을 통하여 15%의 피크부하 절감이 가능할 것으로 예측되며 이때 전력에너지 절감량은 760GWh의 5%인 38GWh를 절감할 것으로 예상됨

□ 연간절감에너지 : 38 GWh/년 × 215.05 toe/GWh = 8,172 toe/년,
(한국 1인당 연간전기소비량 7,607 ㎾h/인)

□ 연간 절감액: 8,172<천toe/년>×7.33<bl/toe>×80<$/bl>×1040<원/$> = 50 억원/년

□ 환경오염물질 감소량은 38 GWh/년 × 50%(보급율) × 0.24kg-CO2/kWh(LNG복합배출계수) = 4.6 천tCO2/년

□ 환경개선금액: 4.6 천tCO2/년 × 13,000원/tCO2 = 0.6억원/년

□ 도시에너지 관리시스템의 개발로 기존 관리제어기에 에너지 절감기능을 추가하여 글로벌 기업군의 경쟁모델보다 고부가가치화, 수출 아이템화의 실현이 가능

사회·문화적 측면

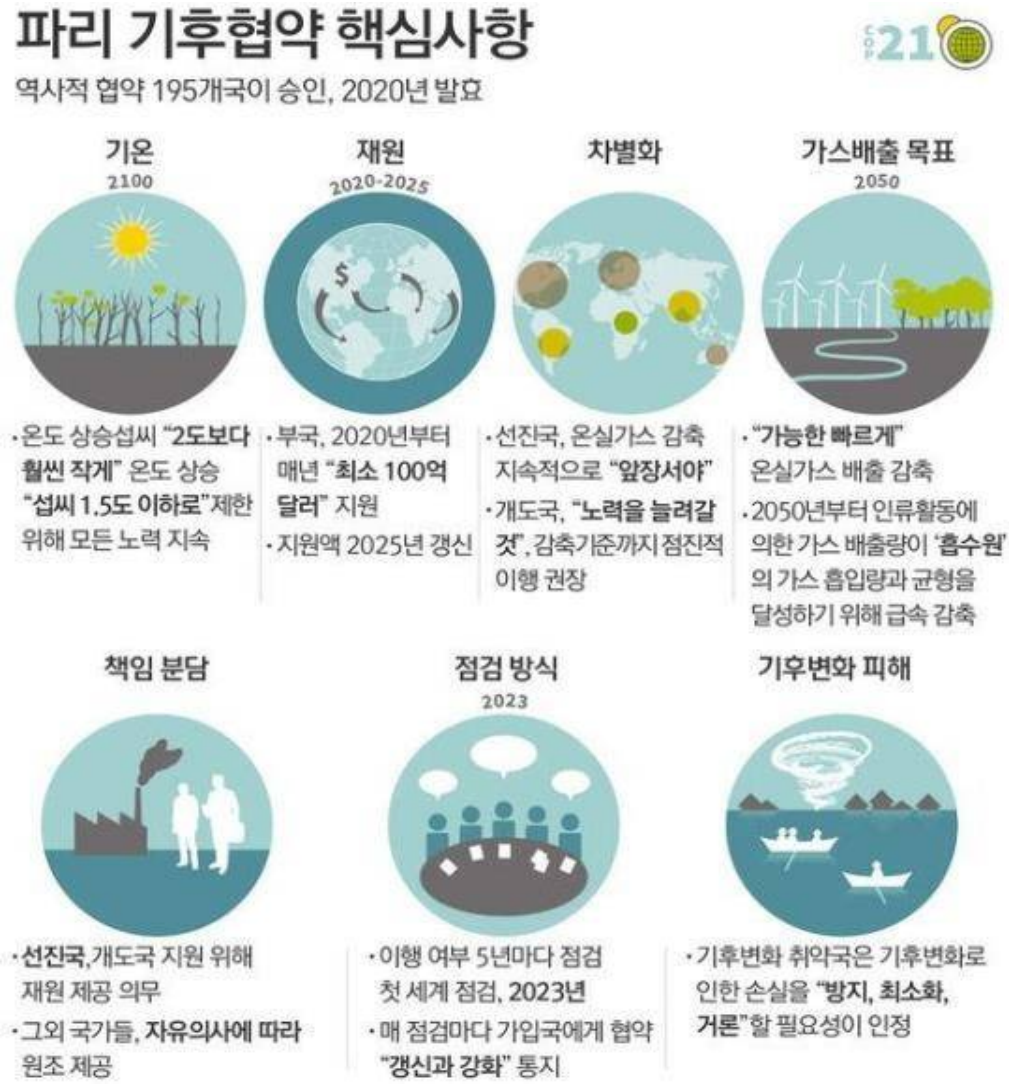
□ 산업혁명 이후, 제4의 혁명이라 불리는 “녹색혁명”은 현재 전 세계적 트렌드이며, 우리의 삶이 도시를 기반으로 한다는 점을 고려한다면 “기후변화대응 탄소저감형 도시 조성 기술”은 녹색혁명시대의 가치창출을 위한 가장 핵심적인 부분임

□ 최근 유가 급등 및 지구 온난화에 따른 탄소배출 억제 등의 영향으로 대외무역수지가 악화되고 있으며, 이에 따라 친환경 건설 및 플랜트 고도화 수출에 의한 외화 가득율의 향상 등에 대한 사회적 요구가 증대되고 있음

□ 특히 온실가스의 80% 이상이 도시에서 발생되며 이 중에서도 교통, 주택 등 도시생활 관련 온실가스가 전체 온실가스 배출의 43%를 차지하므로, 지구 온난화 방지를 위한 탄소제로 도시로의 전환은 매우 중요한 과제임(SERI, 2009)

□ 2015년 파리에서 개최된 ‘제 21차 기후변화협약 당사국총회(COP21)’에서 파리협약이 체결되었으며, 교토의정서의 체제(2020년 만료)의 연장선상으로 이전의 선진국 주도 의무감축에서 ‘모든 국가가 자국이 스스로 정한 방식(NDC)’에 따라 2020년부터 의무적인 온실가스 감축을 시행하기 때문에 이에 대한 대비가 필요한 상황임

	1997 교토의정서	2015 파리기후협약
대상국가	선진국 37개국 (OECD 국가)	195개 당사국
적용시기	2020년까지 기후변화 대응방식규정	2020년 이후 新 기후정택
적용내용	온실가스 총배출량은 1990년 수중보다 5.2% 감소, 선진국에서만 온실가스 의무 감축 부여	지구평균온도 상승폭을 산업화 이전과 비교하여, 1.5도까지 제안, 2020년부터 개도국에 1,000억 달러 지원, 2023년부터 5년마다 탄소감축상황보고



□ 이러한 탄소관련 협약에서 대한민국은 공격적인 목표를 설정하였으며, 2030년 배출 전망치(BAU) 대비 37%를 저감하여야하는 상황이므로, 온실가스배출량이 7위였던 국내의 에너지 산업의 다양한 변화가 필요한 상황임

□ 이러한 저탄소를 위해서는 설계초기부터 미활용에너지, 신재생에너지 및 복합에너지를 활용하여, 1차 에너지를 다양화할 수 있는 설계 기술과, 운영의 효율화를 통하여, 탄소 및 에너지 저감이 가능한 기술개발이 매우 중요함

제 2 절 관련분야의 국내외 기술 및 산업현황

1. 국내외 기술 및 산업 동향

1.1 스마트시티 개요 및 현황

□ 스마트시티 확산의 배경

- 전 세계적으로 도시인구의 증가로 글로벌 도시화 현상 가속
  : 전체인구는 연평균 0.9%, 도시인구는 1.6% 증가로 2030년에는 도시화율 60% 초과 전망
  : 인구 1천만 이상 메가시티도 2014년 28개에서 2030년 41개로 확대 전망(UN)
- 급속한 도시화로 인한 도시문제의 해결방안으로 지속가능한 도시정책의 필요성 증대
  : 높은 경제력으로 인한 대량의 에너지 및 각종 물자 소비 문제 발생
  : 온실가스 감축 등의 환경문제로 인해 메가시티의 효율적 자원 소비에 대한 중요성 증대
- 기술 발전을 통한 산업 간 융합 트렌드 가속화
  : ICT를 기반으로 산업간 장벽이 허물어지면서 新융합시장이 창출되고 있음
  : IoT, 빅데이터, 클라우드 등이 기술 패러다임 변화 주도, 초연결사회로 진전
  : 융합화는 ICT 인프라 고도화 및 네트워킹, ICT기술 발전을 중심으로 에너지·자동차·홈·건설·의료·제도·금융 등 기존 전통산업과의 3세대 융합이 진행 중



<그림 1-6 세계 도시인구 전망 및 메가시티 자원소비 비중>

□ 스마트시티 개념

- 지속적인 경제발전과 삶의 질 향상을 이룰 수 있는 미래형 도시
- 도시 계획, 설계, 구축, 운영에 IT를 적용하여 도시기능의 효율성 극대화
- 에너지, 교통, 재난/재해 등 도시의 공공데이터 개방을 통해 경제적 가치 창출



<그림 1-7 스마트시티의 주요 개념>

□ 스마트시티의 역할

- 서비스 플랫폼 구축 및 적용으로 도시문제 해결 및 지속가능성 제고
- 과거 도시문제는 건설 등 물리적 방식으로 해결되었으나, 스마트시티는 스마트 플랫폼을 활용, 데이터를 수집·분석하여 자원의 최적 분배로 해결

□ 스마트시티의 특징

- 글로벌 스마트시티는 에너지, 교통, 안전 3대 요소에 집중되어 구축
- 스마트그리드, 스마트 홈·빌딩 관리시스템, 지능형 교통관리시스템, 상수도 관리시스템, 보안 기술 및 서비스 등을 포함
- 도시가 보유한 자원과 문제점에 따라 특화된 스마트시티 사업전략을 추진 중

□ 스마트시티 시장 현황 및 전망

- 스마트시티 시장규모는 2019년 1조2400억 달러로 5년 내 약 2배 성장 전망
  : 미국, 유럽 등 선진국 중심에서 중국, 인도 등의 신흥국으로 확대되고 있음
- 스마트시티 수는 2015년 28개에서 2025년 88개로 증가할 전망(IHS Technology)
- 스마트시티 內 사업은 스마트 산업자동화(25%), 스마트그리드(18.5%), 스마트보안(17%)이 전체의 60% 정도를 차지



<그림 1-8 스마트시티 시장 전망>

□ 스마트시티 시장의 지역별 특징

- 스마트시티는 인프라 특성 및 환경에 따라 방향을 설정하여 추진

: 아시아 지역은 주로 공공부문 위주의 에너지·환경에 대한 국가경쟁력 강화를 위해 에너지자립형 스마트 도시를 건설·계획하고 있음

: 유럽, 미주 지역은 민간 참여에 의한 삶의 질 향상을 추구하는 에코 도시의 건설을 목표로 문화 및 예술 등의 분야에 집중하고 있음. 또한, 스마트시티는 도시가 지닌 개별적 특성을 강화하여 다른 도시와의 차별성을 지닐 수 있도록 하는 것을 목표로 하고 있음

: 선진국의 경우, 기후환경변화 대응 및 침체된 경기활성화 부양의 전환점이 될 수 있는 도시 패러다임으로 스마트 시티 프로젝트를 활용

: 비선진국의 경우, 급격한 도시화 및 인구증가에 따른 도시·환경문제의 해결책으로써 산업육성정책의 일환으로 스마트 시티를 활용

1.1.1 주요국 스마트시티 시장 동향

□ 미국: 총 1.6억$ 규모 스마트시티 연구개발 계획 수립(2015)

- 기후변화 대응, 교통 혼잡 해소, 범죄예방, 경제성장 촉진, 지역 문제해결(공공 서비스 등)에 초점을 둔 정책 발표
- NSF(국가과학재단, 3,500만 달러)와 NIST(국립표준기술연구소, 500만 달러)에서 주관하여 '스마트시티리서치 인프라' 건설에 약 4,000만 달러 이상 투자 계획
- DHS(국토안전부), DOT(교통부), DOE(에너지부) 등 정부부처를 중심으로 에너지, 안보, 기후변화, 교통, 헬스케어 부문 관련 프로젝트에 최소 7,000만 달러 이상 투자 계획
- 특히, DOE를 중심으로 환경 및 에너지 분야 효율화를 위한 스마트 계량기, 스마트그리드 등의 프로젝트를 중심으로 스마트 시티 프로젝트를 추진
- 이 외 빌딩 에너지소비 효율화를 위해 Better Building Initiative를 발표하고 에너지 효율화 빌딩으로 개보수 시 세금공제, 대출 등의 인센티브 제공

- 또한, 미국 지방정부를 중심으로 주정부 자체적으로 ICT 기술을 활용한 스마트시티 프로젝트를 추진 중

: 시카고는 스마트폰 연동 자전거 공유 시스템 '디비(DIVY)', IoT 기상정보 시스템 프로젝트, 도시 데이터 수집 및 제공 프로젝트인 'AoT(The Array of Things)', 빅데이터 기반 의사결정 지원 시스템 등의 프로젝트를 추진

: 보스턴에서는 낙후된 도시 인프라 개선을 위해 교통 분야에서 CIT 활용이 활발함

: LA, 뉴욕, 보스턴, 워싱턴DC 등 70여개 도시에서는 총성을 감지하고 발포 위치를 찾아내는 'Shot Spotter' 솔루션을 도입하였으며, 뉴욕 경찰청 등은 빅데이터 기반의 통합 범죄 정보 분석 시스템을 도입하는 등 안전·보안 부문에서 ICT 활용이 이루어짐

□ 중국: 스마트시티에 2025년까지 2조 위안(3,330억 달러) 투자 계획

- 중국 정부는 2020년까지 1차적으로 전국 500개 스마트시티 건설을 위해 총 1조 위안(약 182조원)을 투자하기로 결정

: 중국은 개혁/개방 이후 짧은 시간에 도시화가 진행되면서 도시 인구 유입이 가속화되어, 주택·교통·상하수도·전기/가스·의료·교육 등 여러 도시 인프라 부족 문제가 야기

: 정부의 국가개발 신 실크로드 전략인 '일대일로(一帶一路)'와 '징진지 수도권 광역 발전 프로젝트' 성공을 위해 대규모 투자 결정

: 2018년까지 '인터넷 플러스 전략'과 연계한 스마트시티 건설 추진

* 인터넷 플러스 전략 개요: 2018년까지 인터넷과 경제·사회 각 분야의 융합 발전을 통해 인터넷을 기반으로 한 신성장동력을 창출하고, 인터넷 경제와 실물경제의 융합 발전 체제를 구축하기 위한 국가 전략

: 중국 스마트 시티 계획은 중앙정부차원에서 추진되고 있으며, 도시화와 경제 성장에 중점

: 중국 정부는 서비스 산업 확대를 통한 산업 구조 전환 촉진과 개인 소비 유발을 통한 '투자에서 소비로' 성장 동력 전환 등을 목표로 스마트 시티 기반 도시화 정책을 적극 강조하고 있음 (기술 통합, 스마트 산업의 첨단기술 개발, 국민생활 편의성 증대, 스마트 서비스 효율화에 초점을 둔 정책)

: IoT와 클라우드 컴퓨팅 센터를 통한 도시 관리와 사회공공서비스 실현

: 기반시설 및 업종별 업무 플랫폼 구현, 기 구축—구축중—미구축 정보 시스템간의 호환성, 데이터 자원 연계 등 시스템 통합이 중점

- 스마트시티 발전/구현 계획 대비 스마트시티 개념이 분명하지 않아 스마트시티 구현과정에서 어려움을 겪고 있음

: 관련기술에 대한 표준과 법규가 없어 무질서한 추진으로 중복투자가 발생하고 있으며, 첨단시스템에 대한 운영과 관리노하우 부재로 전시행정이나 자원낭비로 이어짐

: 이러한 문제 해결을 위해 3G/4G WIFI 서비스, 모바일 인터넷, 공공 클라우드 서비스플랫폼 등 주요요소들은 사업자 및 전문 서비스업체가 제공하는 등 시장 메커니즘을 중심으로 하되 정부의 기반환경 조성을 보조로 네트워크 초석을 구축할 계획

□ 유럽: 2012년 1천억원, 2013년 4.5천억원 규모의 투자프로그램 신설(2020년까지 CO2 배출량 20% 감소 목표)

- EU는 회원국가 간 도시정책에 대한 지식 교환 및 네트워크 활성화를 위해 다양한 프로젝트를 운영 중

: 통합도시개발, 도시경제, 도시환경, 도시 관리에 대한 지원을 위해 URBACT Ⅲ 프로그램을 운영 중이며, 2014~2020년까지 총 96.3백만 유로를 지원할 계획

: 회원국의 도시 정책사례, 연구결과, 정책문서 등을 공유하고, 도시의 정책적 결정을 위한 정보를 제공하기 위하여 EUKN(European Urban knowledge Network) 를 운영 중

(도시환경, 주택, 교통 및 인프라, 경제, 사회 통합, 안전 및 범죄예방 등 도시 관련 주요 정보를 공유)

: EU는 회원국이 지속가능한 도시를 구현할 수 있도록 RFSC(Reference Framework for European Sustainable Cities)를 설립하고, 도시개발을 위한 국가 간 교류 플랫폼을 제공

: RFSC에서는 도시개발과 관련된 목표, 기준, 방법 및 조치 등에 대한 적합성을 평가하는 도구를 제공함

- EU는 스마트시티 관련 지원을 위해 EIP-SCC(The European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities)를 출범하고, 2014년 350여개의 프로젝트를 추진

: 동 프로젝트는 FP7에 기반하고 있으며 최초 출범 시 에너지 부문만 담당하며 8,100만 유로의 예산이 책정되었으나, 2012년 7월 교통 및 ICT 부문으로 확장되며 3억 6,500만 유로로 예산이 증가

: 2013년 12월 스마트 시티 구현을 위한 전략적 실행 계획(Strategic Implementation Plan)을 발표

(EU 스마트 시티의 전략적 실행 계획의 주요 전략 방향은 교통, 도시계획, 에너지・ICT・교통 융합 등으로 구성. 2014년 Horizon2020을 통해 도시, 교통, 오픈데이터, 비즈니스모델, 금융, 정책, 에너지 등의 분야에 약 2억 유로를 투자)

- Horizon2020에서는 ‘Secure, Clean and Efficient Energy’ 분야에서 스마트시티를 주요 우선 투자영역으로 설정하고, 4대 주요기술개발 목표를 설정

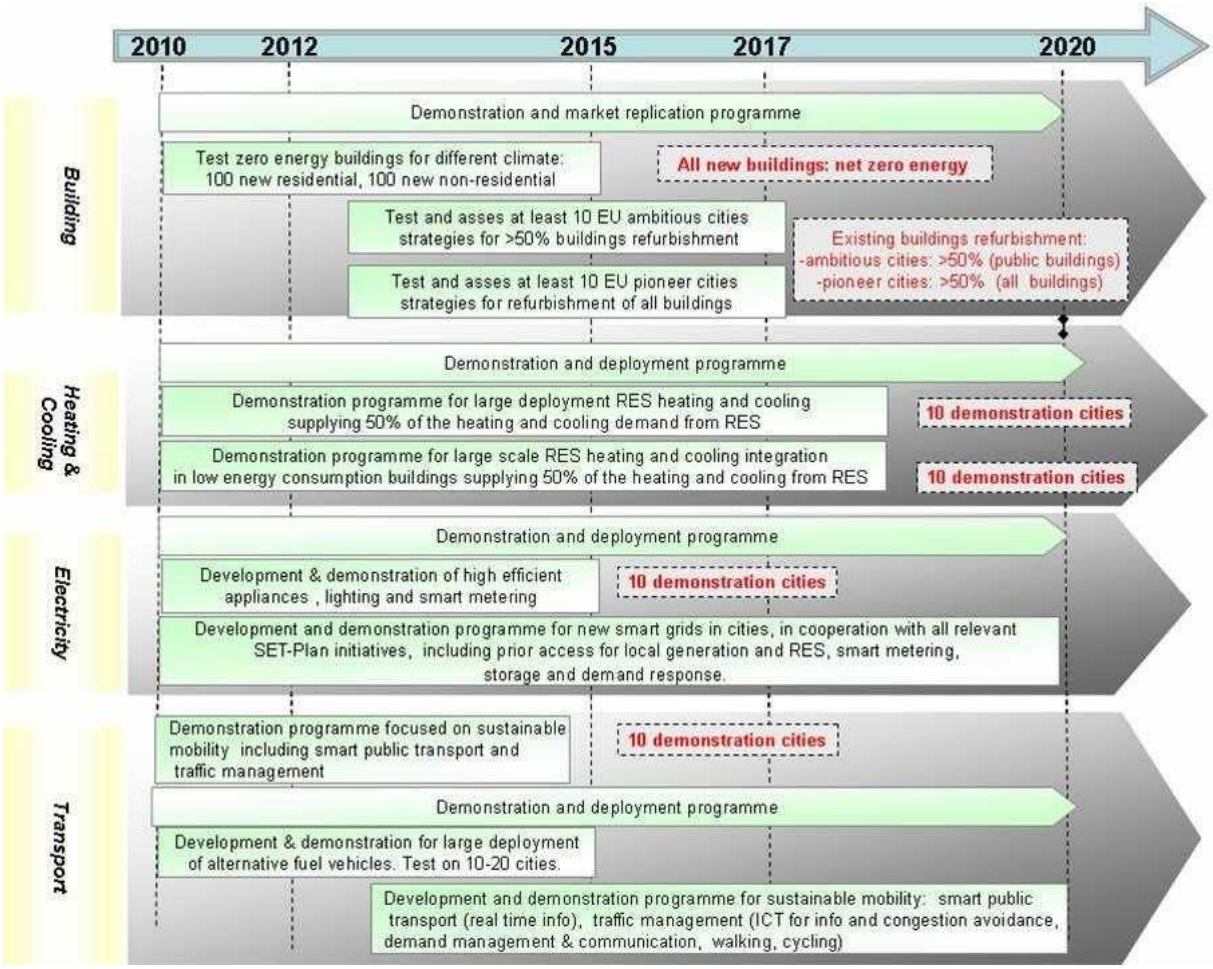
: Horizon2020에서 추진하는 스마트시티 관련 4대 프로젝트는 ① 에너지・교통・ICT가 통합된 스마트 도시와 지역사회 개발, ② 데이터 수집 성능 측정을 위한 프레임워크 개발, ③ 스마트도시 및 지역사회를 위한 시스템표준 개발, ④ 지방정부의 스마트도시 공공네트워크 설립

: 2014년 기준 32개 국가의 2,500개 파트너들이 350개 프로젝트를 추진 중이며, 연구 주체는 정부/공공(33%), 민간기업(29%), 학·연 기관(16%) 등 다양하게 구성

- EU는 2013년 3월부터 45개 회원국이 연합하여 유로 공간정보플랫폼(Euro Geographics)을 구축하고 유럽 전역의 지도(1:1000000 축척)를 제공

: Euro Geographics는 유럽의 공간정보 활용 활성화를 통해 유럽 내 경제, 사회, 환경문제 등 다양한 분야에서 유럽 상호간의 협력을 목적으로 시행

: 제공되는 정보는 행정경계, 지명위치, 교통네트워크, 주거지, 고도정보, 수계 등이며, 이를 통해 국경계획, 모니터링, 네트워크분석, 환경정책 등에 활용



<그림 1-9 EU의 스마트시티 로드맵>

□ 일 본: 2010년부터 스마트시티 관련정책에 약 680억엔 투자

- '일본 신성장 전략(2010)'의 일환으로 '그린 이노베이션에 의한 환경·에너지 대국 전략'을 추진 중이며 스마트시티도 포함

: ICT 스마트 타운 구상(총무성), 스마트 커뮤니티 구상(경제산업성), 환경-미래도시 구상

(내각부)의 3대 대표적 스마트시티 정책 추진 중

: 일본 정부 주요 부처는 2008년부터 다양한 스마트 시티 정책들을 추진 중이며 2013년 기준 스마트 시티 관련 정책 할당 예산액은 누계로 약 680억 엔 수준

: 2020년까지 3조2천억엔의 경제효과 및 6만명 이상의 고용창출 효과 기대

- 에너지 이용 효율화, 지역개발 활성화, 글로벌 경쟁력 강화에 초점을 둔 정책으로 지자체별 추진 계획 마련

: 2011년 3.11 대지진 이후 돗토리, 오카야마, 니이가타, 이와테, 야마나시, 아오모리, 미야기, 효고, 야마구치켄 등 10개시가 스마트시티 추진계획 마련

: 제4차 에너지 기본계획에 '에너지 이용 효율화'와 '고령자 돌봄' 등 생활 지원 시스템을 포함한 스마트시티 구축 계획 명기(2014.4)

- 실증사업이 추진 중인 4대 스마트 시티 시범 지역에서는 지방지자체나 민간기업 등이 제휴하여 '에너지 관리 시스템 구축', '가정용 배터리 사용', '전력·열의 통합 제어', '전기차 배터리와 가정의 상호 전기공급(V2G)' 등 다양한 실증 프로젝트를 진행

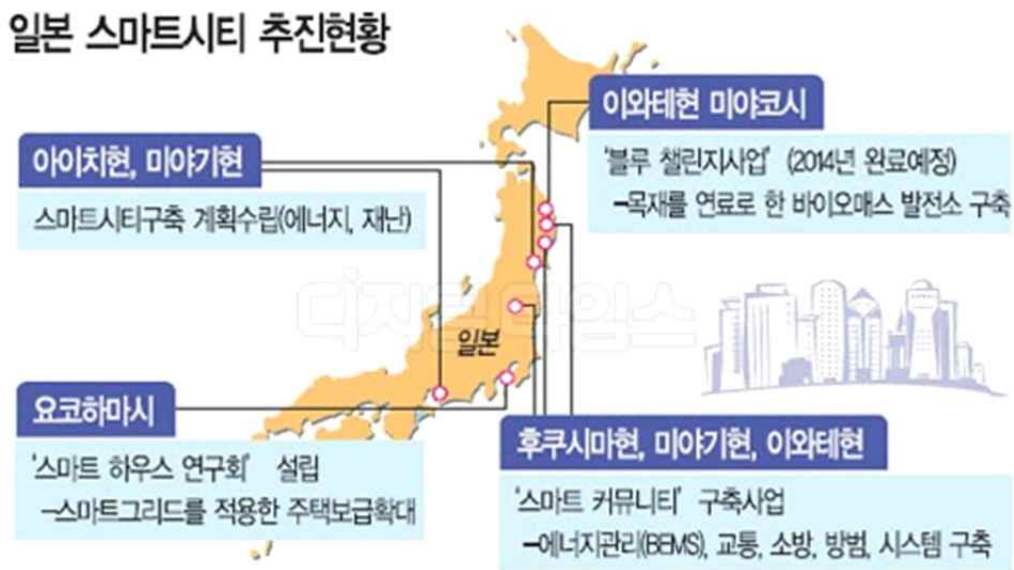
: 가나가와현 요코하마시는 에너지관리 시스템을 구축하여 BEMS, HEMS를 실증

: 아이치현 토요타시는 사고나 정체가 적은 차세대형 모빌리티(TDMS)를 실증

: 후쿠오카현 기타큐슈시는 가변적인 전력 요금 시스템을 실증

: 게이한나 학연도시는 HEMS 등을 시범 운영 중

- 인도의 델리-뭄바이 산업회(DMIC, Delhi-Mumbai Industrial Corridor) 사업에 포함된 6개 스마트시티 조성 추진 참여로 글로벌 경쟁력 강화



<그림 1-10 일본의 스마트시트 추진현황>

1.1.2 국내 스마트시티 시장 동향

□ 2000년대 중반에 스마트시티(U-City)에 대한 개념을 확립하고 전국 규모의 스마트시티 구축을 추진

- U-서비스를 기반으로 '03년부터 U-City라는 이름의 스마트시티 구축을 시작하여 다른 국가들에 비해 조기에 스마트시티 사업에 진출

  : 세계 최초로 U-City개념을 정의하고 17개 신성장동력으로 채택하여 추진하고 있으며 신규 수출산업으로 육성할 계획

  : 현재까지 성남, 용인, 파주 등 약 50여개 도시에 U-City 구축 관련 사업을 지원하였으며 현재 인천 송도, 세종시 등에서 구축 중

□ 부동산경기침체, 비즈니스모델 미흡 등으로 국민적 관심이 저조

- 사업추진 방향이 건설자체에 초점을 두고 향후 운영문제에 대한 고민이 부족하여 구축 완료 후 유지보수가 어려운 실정

  : 스마트시티 서비스 자체가 공공서비스에 치중하거나 이용자의 직접적인 수요와 동떨어진 경우가 많아 지속적 수익연계가 어려움

  ※ 화성 동탄의 u-서비스 현장조사 결과 범죄예방, 버스정보제공 등의 서비스가 제공되고 있음에도 주민들은 체감서비스가 없다고 느낌(KISDI, 2010)

  : U-City가 구축된 지자체는 재정자립도가 낮아 국가의 지원 없이는 U-City 통합운영센터의 운영과 기반설비의 유지보수가 어려운 상황

- 해외시장 진출 시 기업들이 내세울만한 비즈니스모델이 없고 구축 효율성 등을 증명할 성공실증사례가 부족

1.1.3 해외 스마트시티 구축 사례

□ UAE 마스다르

- 2016년 완공을 목표로 총 220억 달러 투입
- 전체 면적6㎢ 의 도시로 주거, 상업, 교육, 산업 등의 기능을 갖추고 온실가스와 쓰레기, 자동차가 없는 도시를 건설
- 도시 내 모든 건물은 에너지 효율화가 이루어지도록 설계. 태양광, 풍력 등의 신재생에너지를 활용해 24% 탄소를 감축 가능. 또한, 친환경 자동차로 7%의 탄소 감축이 가능. 이 외 폐기물을 재활용해 얻은 에너지로도 12% 탄소 저감
- 산유국인 UAE가 화석 연료의 비중이 줄어드는 것을 위기로 인식하지 않고 새로운 에너지 포트폴리오의 가능성으로 마스다르를 활용하고자 함



<그림 1-11 마스다르 프로젝트>

□ 중국 동탄 프로젝트

- 해당 프로젝트는 중국 최초 미래 친환경 도시 개발 프로젝트로 도시로 대거 이동하고 있는 농촌인구 3억 명을 수용하기 위해, 2020년까지 400개의 신도시를 매년 20여개씩 건설하는 프로젝트임
- 미국 맨하탄의 3/4(약 86㎢)의 크기인 동탄은 2001년 국가 규획에 따라 40년간의 프로젝트 건설을 통해 생태도시로 건설 중
  : 습지공원 24㎢, 생태농장 27㎢, 생태 도시 35㎢를 주요 지역으로 구성
  : 2020년 6.5㎢의 도시 건설이 완성되면 주민은 8만 명으로 늘어날 것으로 예상
- 완공된 후의 생태도시는 일반 도시개발 대비 60%의 에너지 절감효과 및 88%의 물 절감 효과. 에너지 사용, 오수 배출량, 매립 폐기물량은 각각 60%, 88%, 83%가 감소될 것으로 전망.
- 동탄 프로젝트는 건물, 교통, 에너지, 폐기물 등 각 부문별 탄소배출 저감 방안을 목표로 세워 추진 중
  : 건물 부문의 탄소배출 저감 방안을 살펴보면 모든 건물은 8층 이하로만 지을 수 있으며, 단열・방음・수자원 재활용을 위해 지붕은 모두 잔디와 녹색식물로 녹화해야 하며 태양광 모듈이 설치되어 소비에너지의 약 20%를 공급하도록 함. 또한, 태양광, 풍력을 이용한 전기 공급을 통해 대기 오염 감소
  : 교통 부문에서는 자전거 및 친환경 대중교통을 중심으로 도로・교통 체계를 설계하고 탄소제로 자동차, 연료전지 등을 사용하는 무공해 버스・트램・수상택시 등의 친환경 교통수단만 허용할 방침. 이 외에 가솔린 오토바이는 불허하는 한편 전기 스쿠터나 자전거로 대체할 방안
  : 에너지 분야에서는 모든 에너지 수요를 바이오, 풍력, 태양광 등 재생 에너지로 충당하며 쌀겨를 연료로 하는 열병합 발전소가 열・냉난방・전기 공급을 담당. 쌀겨를 활용한 바이오 연료는 화력발전소에서 전기를 만드는데 사용되어 1기 건설 후 40만 톤의 탄소배

출량 감소 효과 예상. 또한, 중앙에너지 센터가 풍력, 바이오 에너지 등 전체 에너지를 관리하는 시스템을 도입 예정임

: 폐기물 처리는 대부분의 도시 폐기물이 바이오 연료 등으로 재활용되며, 유기물 쓰레기는 에너지원 또는 비료로 활용하며 80% 정도의 고형 폐기물을 재활용하고자 하는 방침을 발표



<그림 1-12 동탄 프로젝트>

□ 덴마크 코펜하겐의 크로스로드(Crossroads Copenhagen)

- 덴마크 '크로스로드'는 코펜하겐을 스마트시티로 개발하는 도시개발 프로젝트명

: 개인과 기업 간의 네트워크를 통한 국제적 연구기관도시를 구성하는 것을 지향

: 크로스로드는 문화, 미디어와 통신 기술을 결합해 시민의 삶의 질을 높인 도시를 의미

: 도시 계획 단계에서부터 유비쿼터스 개념 포함과 적극적인 시민 참여를 유도를 통해 성공적 도시 개발 가능 (일부 시설을 빼거나 더하는 식의 변화를 도모하지 않고 계획 단계부터 유비쿼터스 개념을 도입해 생태를 보존하고 시민의 삶의 질을 높이는데 분명한 목표를 두고 도시 개발을 진행)

- 본 프로젝트는 2002년부터 시작하여 문화, 미디어, 통신 기술이 결합된 스마트시티로 크로스로드가 추진하는 내용은 교육・연구 혁신 프로젝트와 모바일 관련 프로젝트임

- 코펜하겐 시는 유비쿼터스 기반의 네트워크를 구축하기 위해 코펜하겐 IT 대학 등 4개 대학과 노키아, HP등 민간기업, 덴마크 방송 등 13개 공공기관을 테크노폴리스에 입주시키고 대학과 공공시설 내에 무선 랜(Lan)과 키오스크 등을 설치

: 테크노폴리스는 입주한 하이테크 기업들을 위한 기업환경 서비스와 영업활동과 관련된 제반 서비스를 제공

: 지역 간 소통 및 협력을 유도하며 특히 동종 기업, 연구소, 공적 투자 등을 결합한 공동 프로젝트를 추진하고 있는 점이 특징임. 이렇게 학교, 민간, 공공의 협력을 바탕으로 네트워크를 이뤄 문화, 미디어, 통신기술의 국제적 발전 중심지 개발

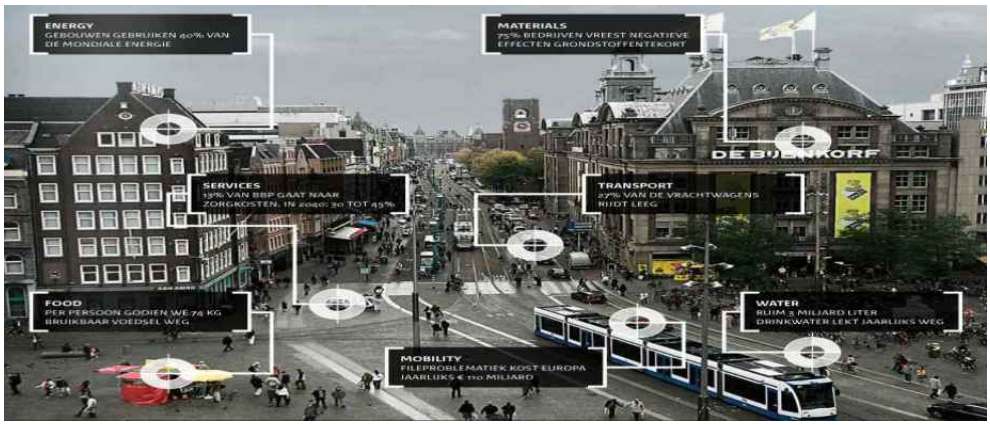
- 크로스로드의 가장 중요한 개념은 리빙 랩(Living Lab)으로, 이는 '생명력 있는 연구실'을 의미. 이를 개념화함으로써, 일반인들이 원하는 주거환경을 수용하고 도시방향을 제시할 수 있도록 함
- 이를 통해 해당 프로젝트의 직접적인 수혜자는 시민이라는 뚜렷한 의식을 가지고, 자신들이 원하는 환경에 대한 제안 하도록 함. (현실적이고 실용적인 도시 구현 가능)



<그림 1-13 코펜하겐 전경>

□ 네덜란드 암스테르담 스마트 시티 프로젝트

- 지속가능하고 효율적인 도시(2010) & 기후변화 중립적인 도시(2015)를 목표로 함
  : 도시의 기기 및 통신 인프라 투자를 통해 지속적인 경제성장 및 도시거주자들의 쾌적한 삶의 제공을 목표로 스마트 시티 프로젝트 추진
  : 2025년까지 1990년 대비 이산화탄소 배출량의 40%, 에너지 사용량 20%감축을 목표로 3개의 지역1)에서 테마별 프로젝트로 추진



<그림 1-14 네덜란드 암스테르담 프로젝트 개념>

<표 1-2 프로젝트 주요 내용>

구분	목적
주거(Living)	스마트 기술 및 에너지절약 기술을 활용한 이산화탄소 배출량과 에너지 소비를 절감
업무(Working)	효율적인 업무환경 조성 및 빌딩 에너지 절약
교통(Mobility)	지속가능한 인프라 및 교통수단 구축으로 CO2 배출량 저감
시설(Public Facilities)	공공시설에 환경대책을 실시하여 에너지 절약과 시민들의 환경의식 고취
데이터(Open Data)	다양한 공공데이터 공유를 통해 공공과 시민이 소통하고, 보다 신속하고 명확한 의사결정 유도

- 본 프로젝트는 개방형 프로세스를 통한 민간 참여 유도방식임
  : 서면심사를 거치지 않고 도시 내에 여러 장소에서 각각의 프로젝트를 실험한 후 성공한 프로젝트에 한해 도시 전체에 적용하는 방식
  : 스마트 기술적용, 스마트교통, 스마트빌딩, ESS, 스마트운송 부문으로 분류
  : 네덜란드 정부와 시스코, IBM 등 글로벌 기업들이 참가한 민관 합동으로 진행되고 있으며, IT 기업과 연구소 주도하에 시민과 기업 등 이해 당사자들과의 정보공유도 활발하게 진행되고 있음
  : 스마트그리드 프로젝트에 3억 유로, 가정용 전기사용 효율증대 프로젝트에 2억 유로, 에너지 절감 기술 개발 프로젝트에 3억 유로 등 총 11억 유로가 투입될 예정

<표 1-3 주요 프로젝트 및 결과>

프로젝트명	핵심내용	결과
Geuzenved	암스테르담 시내 700개 이상의 가구에 스마트 미터 설치	· CO2 발생량 8.9% 감소 · 전기 사용량 7% 감소 · 가스 사용량 9.9% 감소
West Orange	500여 가구에 스마트 에너지기기 보급 및 설치 후 에너지 사용에 대한 피드백 실시	· CO2 발생량 13.9% 감소 · 에너지 사용량 14% 감소
Climate Street	다운타운 쇼핑거리 내 환경개선 및 에너지 절감 프로젝트	· 해당 구역 내 가게의 90%가 전기차를 이용한 쓰레기 수거에 참여 · 해당 구역 내 가게의 80%에서 스마트 미터기 채택
Ship to Grid	강 위의 배들에 전력선을 통한 전기 공급으로 디젤엔진 사용 최소화	· CO2 발생량 감소
ITO Tower	스마트그리드를 통해 건물들을 연결함으로써 에너지 사용을 최적화	· 연간 CO2 발생량 300~500% 감소 · 건물 유지관리 비용 5~10% 감소

□ 스페인 말라가 스마트시티 프로젝트

- EU가 목표로 한 2020년까지 에너지 소비 20% 감축을 달성하기 위해 스페인 최초의 스마트시티로 개발

  : 최첨단 방식의 전력 관리·운영과 재생에너지 기반 전력생산 등을 통해 에너지 효율성을 제고하고 이산화탄소 배출을 억제하는데 중점

  : 2009년부터 시작된 이 프로젝트에는 4년간 3,100만 유로 규모의 예산이 투입

  : 스마트그리드에서부터 재생에너지 발전시스템, 전기자동차 충전망 구축까지 포괄적으로 다루고 있는 이 프로젝트에는 스페인 최대 전력기업인 엔데사(Endesa)를 중심으로 다수의 전력, 인프라, IT 관련 기업 11개와 14개의 연구소가 참여

  : 스마트그리드 프로젝트 완공 시 말라가 지역 1만 2200명의 전력 가입자가 수혜를 받게 되며, 전력소비의 20% 절감효과를 거두는 것으로 보고됨. 또한, 60억톤의 CO2 절감 효과를 예상

□ 일본 스마트시티 프로젝트

- 기타큐슈시(가변 전력 요금제도)

  : 2012년 일본 최초 전력 피크 시간대 가변전력요금제 실시를 통해 소비자에게 절전을 유도

  : 하절기의 전력 소비가 피크시간대(6월~9월, 13시~17시) 180세대에 가변 요금제를 적용하여 약 18～22%의 소비 전력 절감 (다음날의 전력 수요나 재생 가능 에너지의 발전량의 예측하여 피크 요금을 최소 50엔/kWh ~ 최대 150엔/kWh까지 상향 조정(기본 전력 요금은 15엔/kWh))

- 요코하마시(광역시 규모 에너지 관리 사업)

  : 시내에서 대규모로 에너지를 효율적으로 관리하는 시스템(CEMS, Community Energy Management System) 실증사업 실시

  : 2,000대의 EV, 4,000 세대의 HEMS, 상업 빌딩 에너지 관리 시스템(BEMS), 집합주택 에너지 관리 시스템(MEMS)을 모두 통합, 지역 전체의 에너지 이용의 최적화 시행

  : 동 실증사업을 통해 개별 기기 및 시스템간의 통합운영, 광역규모의 통합적인 에너지 관리시스템의 효율적 운영 가능성을 실험

- 토요타시(효율적 교통관리 시스템)

  : 토요타시는 교통문제 해결을 위한 효율적 교통관리 시스템(TDMS, Traffic Data Management System)을 시범운영

  : 2012년부터 공공 교통의 운행상황 및 도로 상황에 따른 전철·버스·자가용·택시 등 여러 교통수단의 최적 조합 루트를 안내하는 “멀티 모덜 루트(Multimodal route)안내” 실시



<그림 1-15 히타치 스마트 시티 개념도>

1.1.4 국내 스마트시티 구축 사례

□ 스마트그리드 실증단지 제주도

- 제주도 동북부 지역 구좌읍 일대 약 6천 가구와 추가된 제주시 지역 일부를 대상으로 구축

: 2009년 6월 한미 정상회담 시 미국 에너지부 DOE와 협력의향서를 체결하면서 시작

: 2009년 12월 168개 기업이 참여하여 총 2,395억 원(정부와 민간 각각 685억원, 1,710억 원)이 투입되어 '제주 실증단지 구축 사업' 이 추진

: 2011년 5월에 1단계 인프라 구축이 완료되었으며, 2013년 5월까지 구축된 인프라를 통합 운영하고 있는 확장단계를 거쳐 2013년 12월까지 진행

: 세계최대 규모의 '종합 스마트그리드 실증단지' 로 조성된 이 지역은 스마트그리드 관련기술개발 결과물을 테스트하고 비즈니스 모델을 개발하는 역할을 수행

: 제주 실증단지는 민간주도의 해외 여타 실증단지와는 달리 정부의 적극적인 지원 하에 진행되었으며, 에너지·환경문제 대응, 신성장 동력 육성, 국민의 저탄소 녹색생활패턴 정착을 종합적으로 고려하여 설계

: 2030년까지 제주의 모든 에너지를 청정에너지로 전환하여 탄소제로섬을 구축한다는 목표로 운영 예정

- 실증사업 주요 내용

: 실시간 요금제 운영 (약 1,000가구에 스마트 계량기가 보급)

: 제주 스마트그리드 실증단지의 운영 실적 분석

: 제주 스마트그리드 실증단지의 전력시장 가격 예측

: 스마트그리드 실증단지의 전력 수요 예측

: 제주 스마트그리드 실증단지의 전력 수요 입찰 및 낙찰, 정산 등

: 풍력/태양광 등의 신재생에너지 설비 설치 및 전기자동차(4대 운행), 전기차 충전소 100여 곳 구축

: 추후 2030년까지 화석연료 대체 및 에너지자립을 위하여 2019년까지 해상풍력 총 1GW를 개발하여 전력수요의 50%를 생산하며, 2030년까지는 해상풍력 총 2GW를 개발하여 전력수요의 100%를 생산할 계획. 또한, 육상풍력으로는 300㎿, 태양광으로는 100㎿가 목표임. 이 외에 2014년부터 스마트그리드 거점 도시를 구축한 제주 스마트그리드 시티 계획은 2020년까지 제주도 전역 스마트그리드 시티를 완공할 예정



<그림 1-16 제주 스마트그리드 실증단지 개념>

□ 세종시 저탄소 녹색도시

- 2009년 12월 '세종시 그린시티 조성 종합계획' 조성

: 정부의 신재생에너지 보급 및 확대정책 및 신재생에너지 공급의무화제도(RPS)를 적극 활용하기 위해 시작

: 2012년 9월 21일 국내 최초 스마트 그린시티 실증사업을 위해 K-MEG(Korea Micro-Grid Energy) 과제로 KT와 협약을 맺고 에너지 절감 15%를 목표로 시작

: 총 예산 30조원을 투자하여 세계적인 첨단 녹색도시 조성 중

- 원격에너지 관리를 위해 원격 에너지 운영센터 구축

: 에너지 운영센터에서는 각 건물 별 에너지 사용정보들을 수집하여 원격에서 제어 그리고 모니터링 및 빅데이터 활용 최적화 시뮬레이션이 가능한 관제센터의 역할 담당

: 수요에 따라 Real Time Pricing, 즉, 에너지 수요에 따라 실시간으로 변화하는 요금제도 서비스를 도입하여 제공함으로써 에너지 사용자들이 수동적으로가 아닌 자동적으로 에너지를 사용 혹은 절감을 가능하게 하는 기능 추가

- 미래지향형 녹색도시로 조성하기 위한 실천방안으로「CO2 감축가이드라인」과 「신 · 재생에너지도입 가이드라인」을 제정하여 운영

: 해당 내용으로는 세종시 건설을 마무리하는 2030년까지 CO2 배출량을 70%이상 감축하고, 예상 에너지사용량의 15%를 신재생에너지로 도입하는 두 가지 장기 목표를 달성하기 위한 방안

: 「CO2감축 가이드라인」은 도시온도를 낮추는 바람길 확보, 생태기능을 높이는 생태면적률 증대, 에너지 효율을 높인 건축 등 도시계획·건설·건축·교통 분야별 CO2 감축 방안

: 「신·재생에너지도입 가이드라인」은 시설(용도)별 연간예상에너지 사용량 대비 신·재생에너지 도입비율을 규정(공공청사 35%, 문화·복지시설 24% 등)

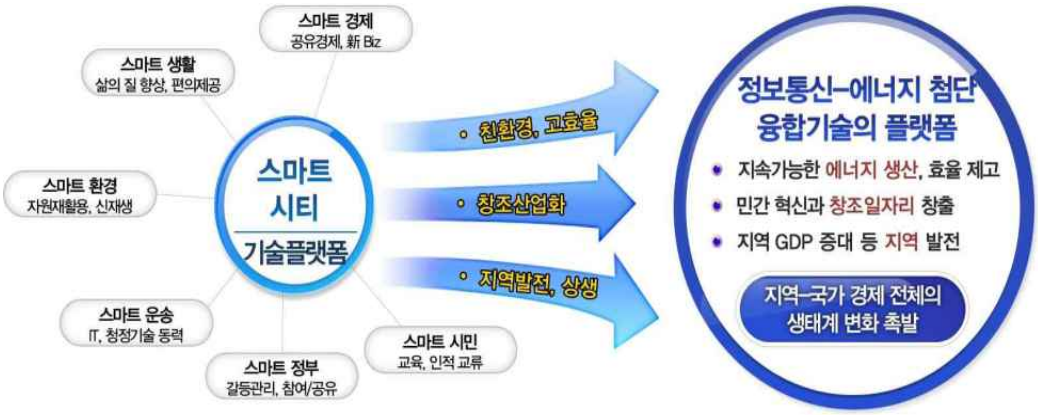
- 올해 초 세종시는 여러 가지 목표 중 녹색과 환경에 중점을 두고 있는 두 가지 분야의 목표를 발표했으며, 각각 '환경이 보전되는 지속가능도시' 로써 세종시는 대중교통 중심의 도시교통체계를 구축 중

1.2 스마트시티 조성을 위한 주요 기술 동향

1.2.1 기술관점의 스마트시티: 정보, 에너지 융합기술이 도입되는 개방형 플랫폼

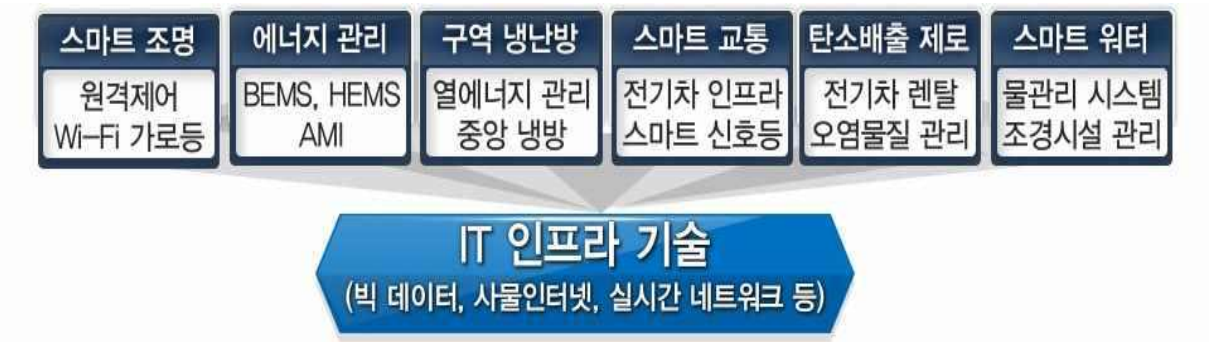
□ IT-ET 기술융합을 통해 에너지 효율을 제고하고 새로운 가치를 창출
- 도시 인구 급증과 이에 따른 경제활동 집중으로 발생하는 부작용을 최소화
- 거주민 삶의 질 향상과 지속 가능한 경제발전을 이루기 위한 기반을 제공

□ 스마트시티는 다양한 IT-ET 기술이 도입되는 개방형 플랫폼 기능을 수행
- 국가별로 개념과 범위가 상이하나, 융합기술 플랫폼을 제공한다는 기능은 유사



<그림 1-17 스마트시티의 개념과 주요 기능>

□ 기술의 핵심은 정보를 관리하여 에너지·자원 이용효율을 극대화하는 시스템
- 물, 전기, 운송 등 도시에서 소비되는 모든 형태의 에너지를 최적 관리
- IT 인프라 기술로 수집된 대규모 정보를 관리하여 효율뿐만 아니라 환경성도 제고



<그림 1-18 IT 인프라를 중심으로 한 스마트시티 요소기술>

1.2.2 주요국 추진사례: 각 국에서는 스마트시티 구현을 위한 체계적 R&D 전략추진

□ (미국) 기술경쟁력 우위를 바탕으로 신산업 창출 기술개발에 초점

- 세계최고의 기술력을 보유하여 스마트시티 기술 확보에 유리한 조건을 선점
- 연방정부는 세계표준 선도를 위한 프로토콜 등 플랫폼 기술을 중점 지원
- IBM社는 독창적이고 혁신적인 도시 건설을 목표로 실증기술 개발을 선도
- IBM은 중소/벤처기업과 연계하여 목표달성에 필요한 요소기술 개발을 추진



<그림 1-19 IBM사와 보스턴 시 추진 기술개발 내용>

□ (EU) 에너지 효율화를 목표로 즉시 적용 가능한 실증기술 개발에 주력

- EU와 회원국은 “Horizon 2020”을 바탕으로 공통 핵심적용 기술을 도출하여 스마트시티 분야에 EU의 경쟁력과 영향력을 강화하는데 노력을 경주
- 오스트리아 비엔나市는 세계 유수기업을 유치하여 스마트시티 시범단지를 설계하고, 에코혁신을 위해 분야 별 연구→개발→실증 전주기 지원
- 스페인 바르셀로나市는 전 산업부문의 탄소배출 저감을 목표로 생태학정보를 수집/분석해 에너지와 오염의 상관관계를 도출하여 솔루션을 제시
- 이탈리아의 Telecom Italia社는 정보교류에 적용되는 IT 시스템 기술을 개발



<그림 1-20 주요 기술 구성도>

□ (일본) ‘건강한 일본’을 슬로건으로 에너지, 환경을 중심으로 기술개발 추진

- 일본은 미국과 EU를 벤치마킹하여 융합기술의 발전 모델과 추진 전략을 수립
- 사회·경제적 新가치 창조를 위한 영역 횡단적인 과학기술 강화를 전략으로 에너지 이용 최소화, 자원제약 극복에 필요한 기술을 선정
- 신진 연구자의 신흥 융합 과학기술 도전 기회를 부여하는 연구 환경을 형성
- 에너지와 환경을 융합하는 기술을 개발하고 이를 활용한 실증도시 건설 및 단지모델의 해외시장 수출이 목표
- 전방위적인 신산업 창출型 융합기술을 육성하고 있어, 향후엔 IT, 의료 및 기타 소비자 서비스 산업으로 기술개발 영역을 확장할 계획



<그림 1-21 일본의 스마트시티 관련 주요 기술>

1.2.3 스마트시티 관련 업체 동향

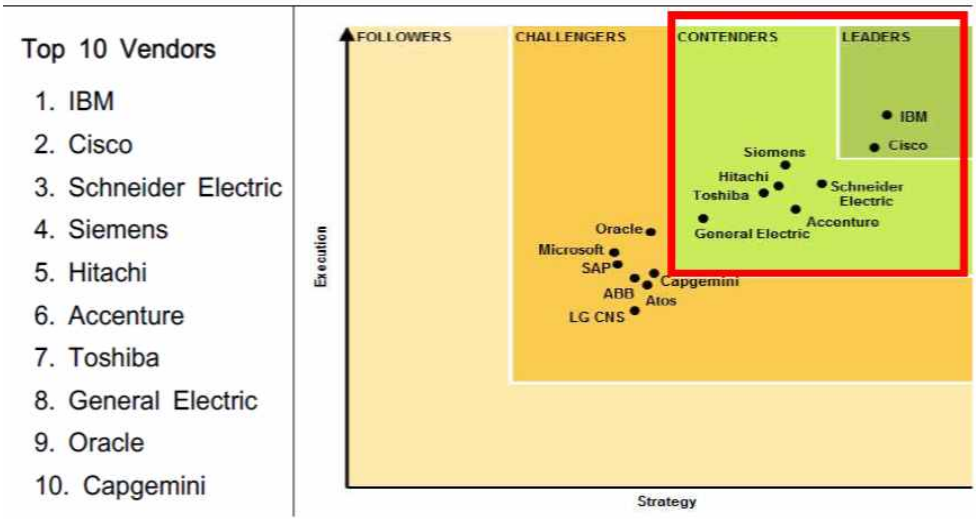
□ 세계 주요 IT기업들의 스마트시티 진출 러시

- IBM, Cisco등 미국 주요 IT기업들은 데이터분석, IoT 등을 통해 스마트시티 프로젝트에 사활을 걸고 있음 (일찍이 스마트시티 분야에 진출한 IBM과 Cisco는 동 분야 기업순위 1,2위를 다투며 리더 그룹을 형성)

  ※ Cisco는 인구 100만 이상이 거주하는 도시에 스마트시티를 구축하는 내용의 'Million Project'를 통해 중국, 인도, 중동 등지에 진출

- 지멘스, 히타치, 엑센추어 등의 주요 기업들도 스마트시티 기업 2위 그룹군을 형성하며 동 분야에 관한 관심을 반증

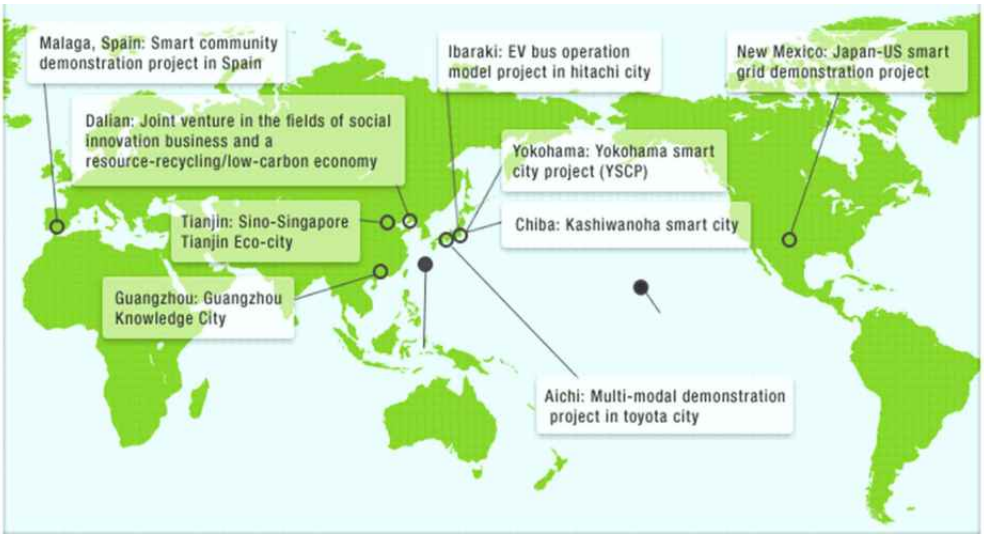
  ※ IBM, GE는 중국과 호주의 스마트시티 건설에 컨소시엄 참여



<그림 1-22 스마트시티 분야 Top Player>

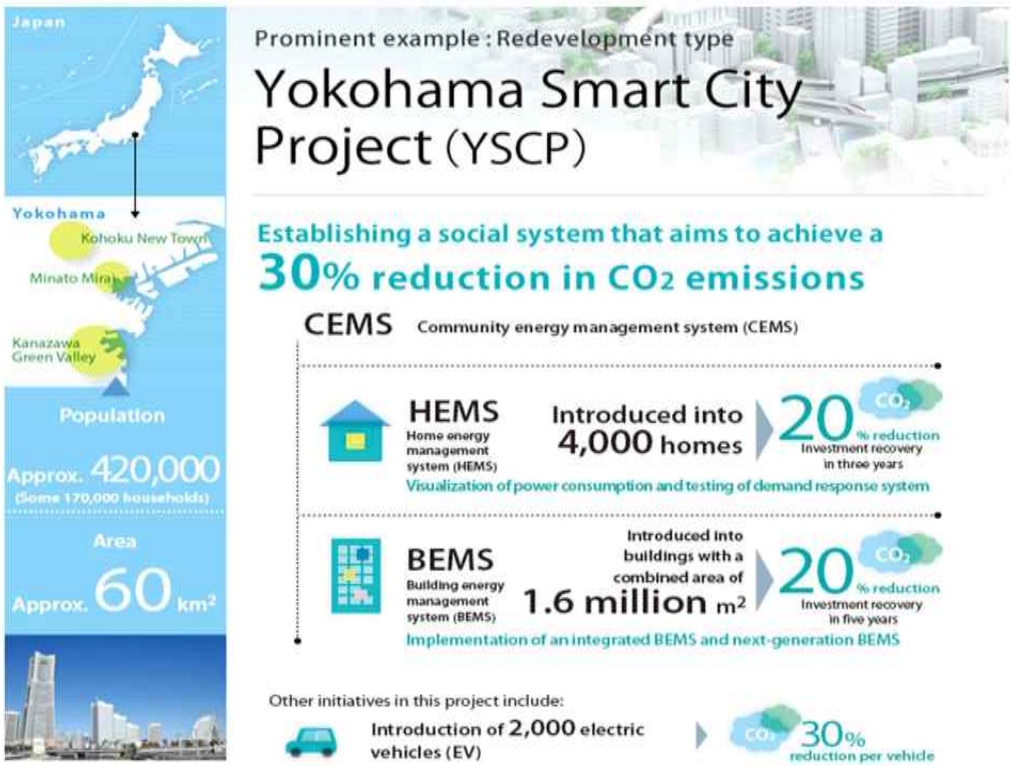
- 히타치, 도시바, 파나소닉 등 일본계 기업들은 '후쿠시마 원전사태' 이후 에너지 분야에 집중하고 있음

  : 히타치는 중국 국가발전개혁위원회와 환경관련 공동 프로젝트 추진 및 텐진 에코시티 환경솔루션 제공계약 체결



<그림 1-23 Hitachi 스마트시티 프로젝트 현황>

: 도시바, 도쿄가스 등은 인도 최대기업과 제휴해 델리 부근 공업단지 인프라 정비에 참여



<그림 1-24 Toshiba 요코하마 프로젝트>

1.3 스마트시티 에너지 분야 주요 요소 기술 동향

1.3.1 스마트그리드

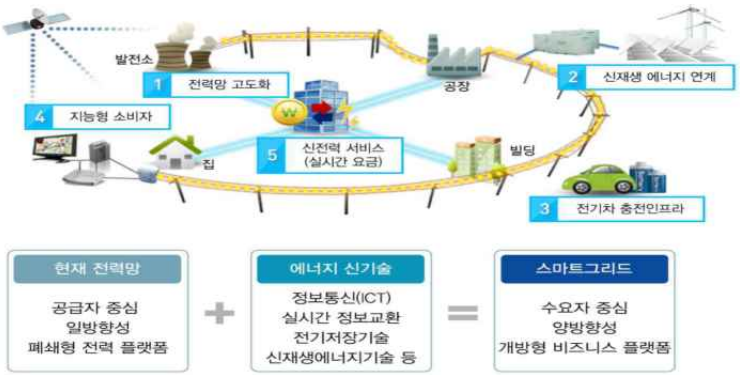
□ 기술개념 및 특징

- 기존의 전력망(Grid)에 ICT 기술(Smart)을 접목하여, 전력공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 전력 정보를 교환함으로써 에너지 효율을 최적화하는 차세대 전력망

  : 전력공급자와 소비자 간의 양방향 커뮤니케이션을 통해 발생하는 빅데이터를 이용함으로써 전력 사용 및 효율을 극대화하는 차세대 IT 융합 전력망 기술

  : 전력망과 ICT를 결합, 에너지 네트워크와 통신 네트워크가 합쳐져 지능형 전력망을 구축함으로써 불규칙적인 전력 수요를 예측해 에너지 활용도를 높임

  : 전력 소비자는 전력 사용 현황을 실시간으로 파악함으로써 이에 맞게 요금이 비싼 시간대를 피하여 사용 시간과 사용량을 조절할 수 있으며, 공급자와 소비자가 정보를 교환해 실시간으로 전력 사용현황을 파악 가능



<그림 1-25 스마트그리드 개념>

- 스마트그리드 도입에 따른 전력 인프라의 변화

  : 기존에는 전력망이 송배전을 위한 그리그에 국한되어 있었다면, 지금은 IT를 더해 전력 인프라에서 비즈니스 인프라로 변화하는 과정에 있음

- 미래에는 그리드의 고유 기능인 전력 공급 활용 비율이 37% 이하로 예상되며, 스마트홈, 전기자동차, 빅데이터 분석과 비즈니스 인프라 활용 비율이 나머지 69% 이상을 차지할 것으로 예상

□ 기술분류

- 스마트그리드 기술은 크게 AMI(Advanced Meter Infrastructure), 수요관리(Demand

Response), 배전 시스템 관리(Distribution Grid Management), 고전압 전송(High-Voltage Transmission) 기술 등 네 가지로 구분

: (AMI) 소비자에게 전력사용 내역 및 요금 정보 등을 실시간으로 제공하는 기반 시설

: (수요관리) 양방향 커뮤니케이션을 통해 축적된 빅데이터를 바탕으로 안정적인 전력망을 유지 및 관리

: (배전 시스템 관리) 스마트그리드 관련 장비 및 시스템을 전사적으로 관리하는 시스템으로 변전소 자동화를 위한 센서와 구동기 등을 주요 관련 장비로 꼽을 수 있으며, 계량, 조정, 보전, 전달 등 기지국 수준에서의 모든 전자 장치와 관련된 기술을 포함

: (고전압 전송) 전력 통제 능력과 송전 능력 강화를 위해 고압의 전력을 송전하는 총체적 기술

<표 1-4 전력공급 체계의 변화>

구분	현재 기술	개발 방향
지능형 전원	· 화석연료 중심 · 중앙집중식 전원 · 원자력 발전 중심	· 재생에너지 중심 · 분산형 전원 · 탈 원자력 발전
지능형 시장	· 도매시장 중심 · 국내 시장 중심	· 소매시장 중심 · 국가 간 연계 시장 중심
지능형 운영	· 전력망 감시제어 기능 선택 · 변전, 배전 단위의 개별적 운영	· 전력망 감시 제어기능 필수 · 실시간 종합모니터링 운영
지능형 송전	· 기존 EMS · 전통적인 에너지 전달체계	· 지능형 EMS · 대용량 에너지 전송기술
지능형 배전	· 배전설비의 단방향 보호협조 · 제한적 분산전원 연계 · 단일 배전망 기술	· 양방향 보호협조 기술 · 신규 대용량 분산전원 수용 · 마이크로그리드 연계 기술
지능형 소비자	· 저성능 미터 · 일반 단방향 통신 · 공급자 중심 네트워크 · 수동적 에너지관리 · AC 시스템	· 스마트미터 · 양방향 통신기반 · 수요자 중심 네트워크 · 능동적 에너지관리(EMS/DR) · AC 및 DC 하이브리드 시스템
지능형 운송	· PWM 및 CAN 통신 · 단순 충전방식	· PLC 통신방식 · 양방향 충전 및 V2G 방식
지능형 분산자원	· 개별적 분산형 전원관리 · 소형 ESS · 독립형 EES	· 통합적 분산형 전원관리 · 중/대형 ESS · 계통연계형 ESS

□ 국내외 스마트그리드 동향

- (전력공급체계의 변화) 중앙집중식 공급체계에서 분산형 공급체계로, 공급우선 정책에서 수요관리 우선 정책으로 전환
- (글로벌 투자동향) 2013년 이전에는 미국의 스마트그리드 투자액이 가장 많았으나, 2013년을 기점으로 중국의 투자액이 가장 커짐

: (미국) 2013년 기준 36억 USD를 투자하여 노후 전력망 보강을 위한 스마트그리드 도입 본격화

※ 2014년 기준 SGDP: 32개 사업, 15억 USD; SGIG: 99개 사업, 80억 USD

: (중국) 2013년 기준 43억 USD 투자

※ 2014년 기준 완료 혹은 진행 중인 사업이 298개(7개 스마트그리드 실증단지)이며 2015년에 16개 실증단지 추가 계획

: (EU) 2012년 기준 14억 USD 투자

※ 2014년 기준 238개 사업완료 및 221개 사업 수행 중(31억 5,000만 유로 투자)

: (일본) 2010년 기준 8억 4,900만 USD 투자

※ 4개의 스마트 커뮤니티 사업과 17개의 해외실증사업(미국, EU, 중국 일본 등) 추진

: (한국) 다른 국가보다 조금 빠른 시점인 2009년에 스마트그리드 부문 투자 시작

□ 국내외 스마트그리드 전망

- 스마트그리드 투자 규모가 단기적으로 스마트그리드 규제, 표준화, 금융, 수용성 등의 변수로 인해 현 전망과 다소 달라질 수 있으나, 전 세계적으로 시장이 꾸준히 성장하는 추세는 유지될 전망

: 2011년 Frost&Sullivan은 세계 스마트그리드 시장이 2012년 413억 4,000만 USD에서 연평균 약 19.6% 증가하여 2018년 1,212억 3,000만 USD에 이를 것으로 전망

: 국제에너지기구(IEA)는 2030년까지 전 세계 스마트그리드 관련 시장에서 최소 2조 9,880억 USD가 창출될 것으로 전망

: 2011년 Icon Group International은 ’30년까지 약 8,700억 USD의 시장을 창출 할 수 있을 것으로 전망

: 2014년 한국전력공사는 2030년에는 1경원에 달하는 스마트그리드 시장이 형성될 것으로 예상

- ABB, Siemens, GE, Itron 등이 전체 시장의 50% 이상을 점유하고 있으며, 특히 ABB는 배전 시스템 장비 및 서비스 부분에서 축적된 노하우와 기술을 바탕으로 세계 시장을 선도

1.3.2 EMS (Energy Management System)

□ 기술개념 및 특징

- 계측・통신・제어장비 등을 이용하여 하위 Device의 에너지 소비량을 모니터링하고, 이를 분석 및 제어하여 경제적, 안정적 에너지 생산/공급부터 에너지 소비에 걸쳐 전주기의 에너지 효율을 향상시키는 통합 시스템

  : ICT 기술과 제어 기술을 활용하여 상업용 빌딩, 사업장(공장), 주택, 사회 인프라(전력망, 교통망 등) 등을 대상으로 에너지 흐름과 사용을 시각화 및 최적화하기 위한 통합 에너지 관리 솔루션

  : 에너지를 효율적으로 관리, 절약할 수 있도록 가정, 건물, 공장의 위치・용도별 에너지 소비량 측정 및 흐름제어를 통해 에너지 사용을 최적화하는 에너지 관리 통합 모델

  : EMS는 소비자를 단순한 컨슈머(Consumer)에서 프로슈머(Prosumer)로 변화시키는 플랫폼

  : 적용 환경 및 장소, 설치자의 요구사항에 따라 EMS의 구성이 달라지며, Big Data, Cloud 기반 에너지 진단/분석 등 사물인터넷(Internet of Things, IoT)의 신기술과 접목되어 발전 가능

- 에너지효율 향상 목표를 설정하고 이를 달성하기 위해 관리체제를 일정한 절차 및 기법에 따라 체계적이고 지속적으로 추진하는 전사적 시스템

- 에너지 사용을 계측하고 실시간으로 모니터링 하여 제어하는 통합에너지관리 솔루션인 EMS는 계측, 통신 및 시각화 장비 등 하드웨어와 데이터 집계, 분석 및 제어 등 소프트웨어 기술로 구성

  : 일반적으로 EMS는 모니터링, 제어, 에너지 분석, 시뮬레이션, 외부 연계, 기본정보관리시스템 등으로 구성

- 에너지 생산 및 공급부터 에너지 소비에 걸쳐 전체적으로 에너지 효율화를 위한 방안으로 EMS 적용이 가능하며 기술이 빠르게 발전되어 과거 단순히 에너지 사용 계측과 시각화에서 벗어나 최근 제어기능이 추가되어 고도화 추세를 보이고 있음

  - 전력 소비량의 시각화가 가능하고 스마트 가전, 스마트 플러그 등의 최적/고효율 운영을 지원하며, AMI연계를 활용한 수요반응 기반 제어 및 신재생에너지 관리가 가능

- EMS 종류는 시스템 적용 장소(가정, 건물, 공장)에 따라 기능 및 규모 다양

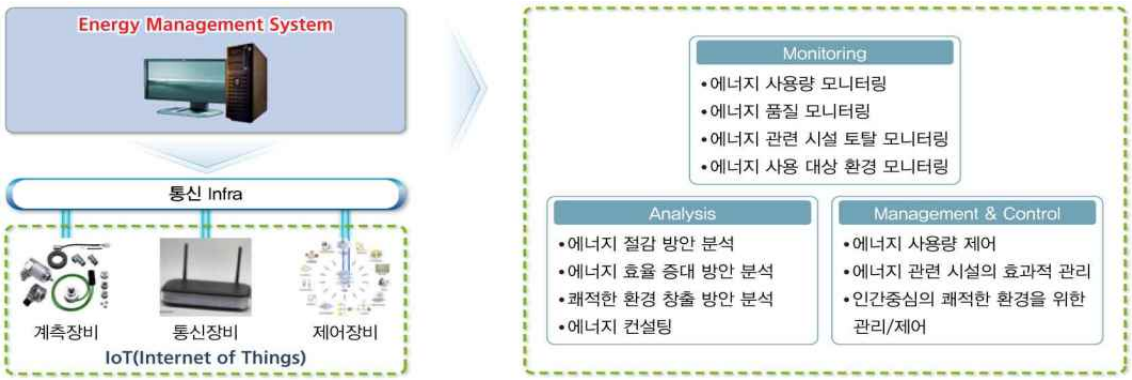
  (Home Energy Management System (HEMS), Building Energy Management System (BEMS), Factory Energy Management System (FEMS), School Energy Management System (SEMS), City or Community Energy Management System (CEMS) 등)

: (HEMS) IT 기술을 활용하여 종합적으로 에너지를 관리함으로서 가정에서 전력, 가스, 열 등을 효율적으로 이용

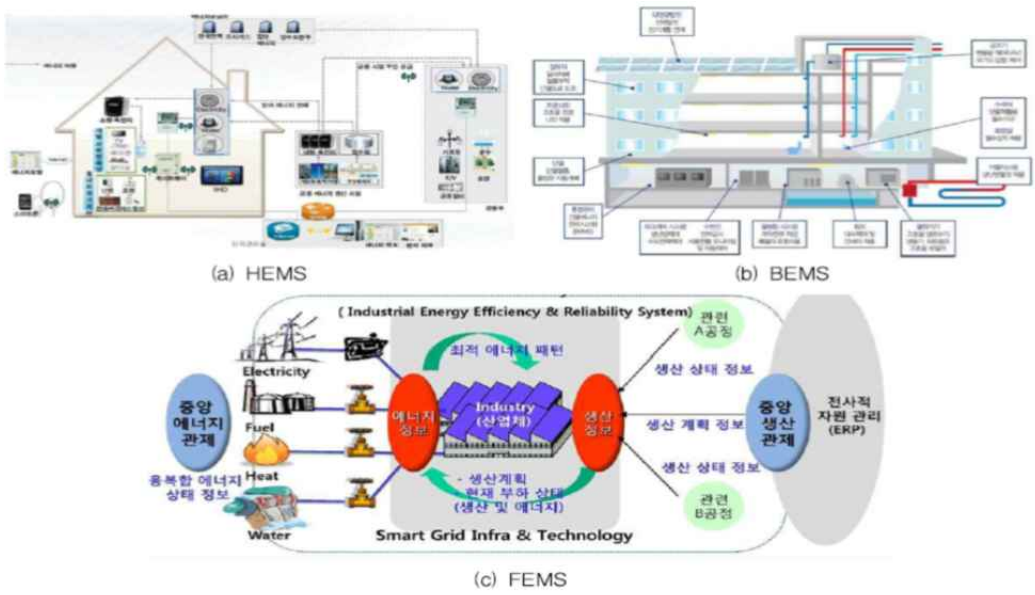
: (BEMS) 상업빌딩, 병원, 호텔, 학교 등 건물 특성에 맞춰 실내 환경과 에너지 사용 현황 등의 정보를 수집/분석하고 건축물을 구성하는 설비의 통합 운전·관리를 통하여 에너지 소비량 절감

: (FEMS) 공장 내의 배전 설비, 공조 설비, 조명 설비, 생산라인 설비에 대해 에너지 사용 및 가동 상황을 모니터링하고 제어하는 에너지관리시스템

: (CEMS) 스마트그리드에서 주축이 되는 시스템으로 수요 측 자원인 분산전원을 포함한 전력 계통의 하류 측 설비에 대해 감시·제어하는 동시에 개별 수요자의 HEMS, BEMS, FEMS를 포함한 지역 전체의 에너지를 관리하는 솔루션



<그림 1-26 EMS 개념>



<그림 1-27 시스템 적용 장소별 EMS 구성>

- 향후 EMS는 시각화(모니터링)에서 자동화(제어)를 거쳐 지능화(intelligence)로 개발 및 발전될 전망

: (시각화) 에너지 절약 유도

: (자동화) 이산화탄소 배출량을 고려한 자동 제어

: (지능화) 다양한 자동 제어 기능의 조합을 통해 사람이 통제하지 않아도 자체 시스템 컨트롤 가능

: 전기요금이 현실화되면 수요반응이나 수요관리 사업에 참여하지 않는 일반 소비자들도 HEMS 등 기기 자체를 구매할 것으로 예상

□ 국내외 EMS 동향

- EMS 하드웨어, 소프트웨어 등 산업부문 동향은 2020년 225억 USD로 2013년 113억 USD에 비해 연평균 10.3% 성장 예측

: EMS 산업부문 시장 점유율은 북미, 유럽, 아시아 순으로 나타나며, 소프트웨어, IT 결합 등 기술적 집약도 향상 및 개발에 주력하고 있어 중소기업들의 일자리 창출 및 산업 성장을 통해 점차적으로 증가할 것으로 예측

- 선진국에서는 BEMS를 활용한 건물에너지 절약 및 쾌적도 향상에 대한 검증이나 효율적인 BEMS 운영과 관련한 다양한 사례연구가 진행

: 전 세계 BEMS 세계시장 전망을 통해 2020년 약 56억 달러 성장 예측

: 미국, 일본, 독일 등의 해외 선진사례를 중심으로 건축설비의 에너지 절감을 위하여 시스템 구성 요소들의 최적 운전점이 설정되고, 감시제어를 통한 통합 최적 운전 및 유지관리 기술이 개발 중

: 하니웰, 지멘스, 아즈빌 등의 회사들은 건축 설비 관리시스템의 개발 및 생산에 주력하고 있으며, 건축물 제어시스템의 기술수준도 높은 것으로 평가되고 있음

- (미국, 유럽) 현재 보급화 단계에 있으며 열원 설비의 최적용량 산정 및 최적 운전을 통한 건축물 에너지 사용의 최적화가 이루어짐

- (일본) 후쿠시마 원자력 발전소 사고 이후 피크 시 전력 부족 상황을 해결하기 위하여 일본 정부는 공급 증강 측면의 대책과 함께 수요 억제 측면을 강화하는 대응 방침 수립

: (대응방침 1) 2011년 11월 에너지 수급 안정 행동 계획 발표

: (대응방침 2) 2016년까지 스마트 미터 80% 이상 보급과 전력 소매 전면 자율화 실시, 2020년까지 제로에너지 하우스 실현, 2030년까지 전세대 HEMS 설치를 목표로 선정

: (대응방침 3) 수요 및 공급구조의 개혁을 위한 Home 영역의 대응 방안 마련

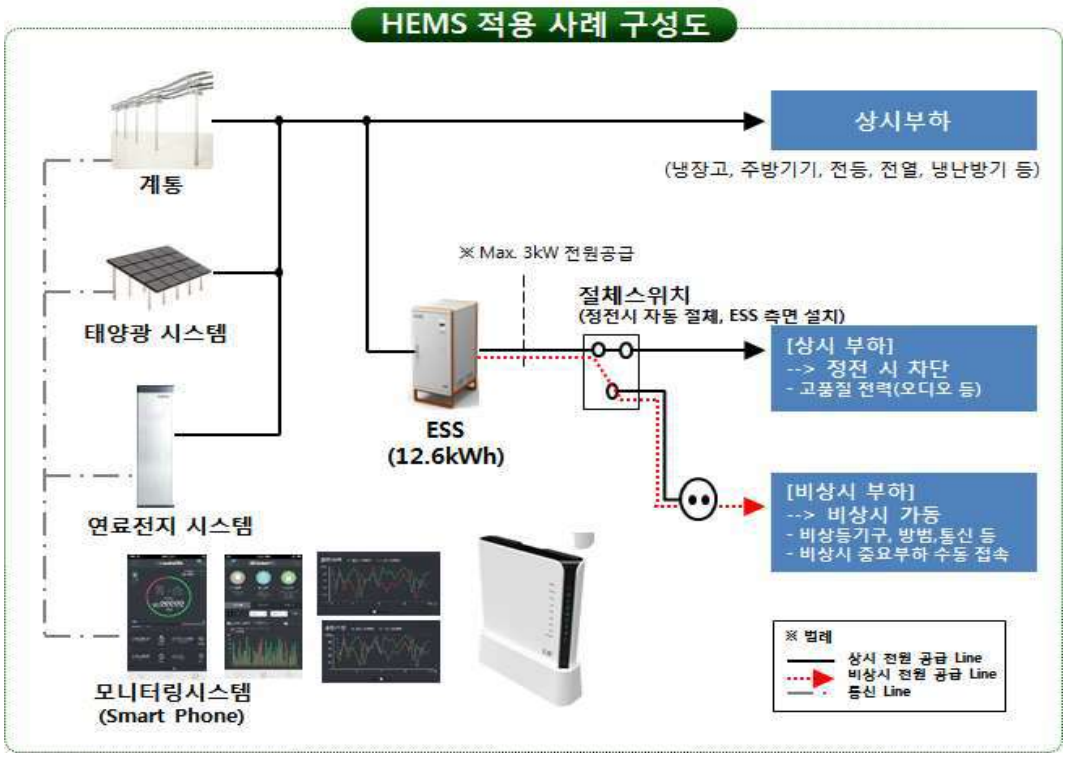
: (대응방침 4) Flexible 요금제를 통한 절전 촉진

- (한국) 국내 EMS 시장 활성화를 위해 IT·통신 관련 사업자 및 기술인력 지원을 통한 ESCO 육성을 통해 EMS 설치 확대 도모

: EMS 시장 활성화, 기술개발 및 표준화 지원을 위해 2013년 「에너지이용합리화법 시행령」을 바탕으로 ESCO 기술 인력 등 EMS 기술을 보유한 (중소)기업에 장기 저리 금융 지원 (10년, 2.75%) 및 투자세액 등 세제 지원

: 연면적 1만㎡ 이상 규모의 공공·민간기관 건물과 에너지 수요가 많은 공장 건축물 내에 EMS 설치 도입 권장

: 판교지역에 Green home 단지 건설 시 누진구간 2단계의 전기 다소비 주택의 경우 신재생 에너지와 HEMS의 설치로 3.2년 만에 투자액을 회수할 수 있으며, 향후 계시별 차등 요금제 실시 시 ESS의 운영으로 추가 수익 확보 가능 (태양광 9㎾, 연료전지 1㎾, ESS 12.6㎾ 적용)



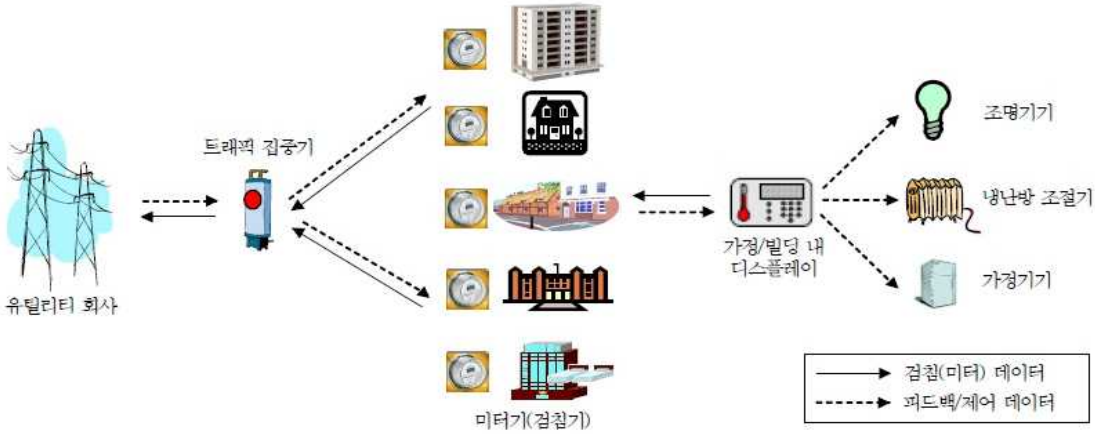
<그림 1-28 판교 HEMS 적용 구성>

1.3.3 AMI (Advanced Metering Infrastructure)

□ AMI 개요

- 에너지 자원의 절약 및 보호 일환으로 세계 각국에서 도입. AMI 적용을 통해 에너지

의 효율적 관리가 가능하며, 스마트그리드 구축을 위한 핵심 기술로 현재의 단방향/폐쇄적 에너지 공급에서 양방향 에너지 종합관리 시스템 구축을 위한 기반 기술
- 국내 '지능형전력망 로드맵 추진위원회' 자료에 의하면 스마트그리드는 기존의 전력망에 정보기술을 접목하여, 전력공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환하여, 에너지 효율을 최적화하며 새로운 부가가치를 창출하는 차세대 전력망으로 정의하고 있음
- 이를 통해 스마트그리드에서는 독립적인 운영이 이루어지며, 소비자의 요구에 실시간으로 반응할 수 있도록 지능화 및 기타 여러 기술에 기반을 둔 서비스의 제공을 통해 기존 전력 계통이 갖고 있는 비효율성을 극복
- 스마트그리드의 특징 중에서 소비자들에게 가장 분명하게 나타나는 것은 에너지 소비 효율성 향상을 위한 지능형 계량기임. 지능형 계량기를 통하여 첨두(peak) 혹은 비첨두(off-peak) 부하 기간 동안의 전력 생산 차이를 반영하는 과금 체계가 가능할 것으로 전망
- AMI는 아래 그림과 같이 전기, 가스, 수도와 같은 여러 가지 유틸리티 자원의 사용과 관련된 데이터를 평가하기 위하여 사용되는 시스템의 집합체를 의미하며, 부하제어 및 수요 응답(Demand Response)을 사용하여 시스템 상의 피크(peak)를 감소시키고, 에너지 소비와 비용 감소를 유도하기 위한 실시간 과금을 가능하게 함
- AMI는 AMR이 진화된 형태로서 전력 생산자와 소비자 사이의 양방향 데이터 통신을 통하여 다양한 서비스를 제공하기 위한 인프라를 의미
- 기존의 AMR(Automatic Metering Reading)과는 다르게 스마트미터를 중심으로 양방향 통신과 오픈 프로토콜을 기반으로 전력차단이 가능하고, 선불형 계량 인프라가 될 수 있으며 실시간 요금제, 피크 요금제, TOU(Time-of-Use) 요금제 등 다양한 요금제의 적용도 가능 (이는 수요 반응 메커니즘에는 없어서는 안 될 내용이며 더 나아가서는 홈오토메이션, 홈네트워킹과 연결되고, 스마트그리드의 기본 인프라가 됨)
- 통상적으로 AMI 환경에서는 통신의 구간에 따라 세 구간으로 나누게 되는데, 각 가정의 디바이스와 스마트미터는 HAN(Home Area Network)을 통해 PLC(Power Line Communication), Z-Wave 및 ZigBee를 주로 사용



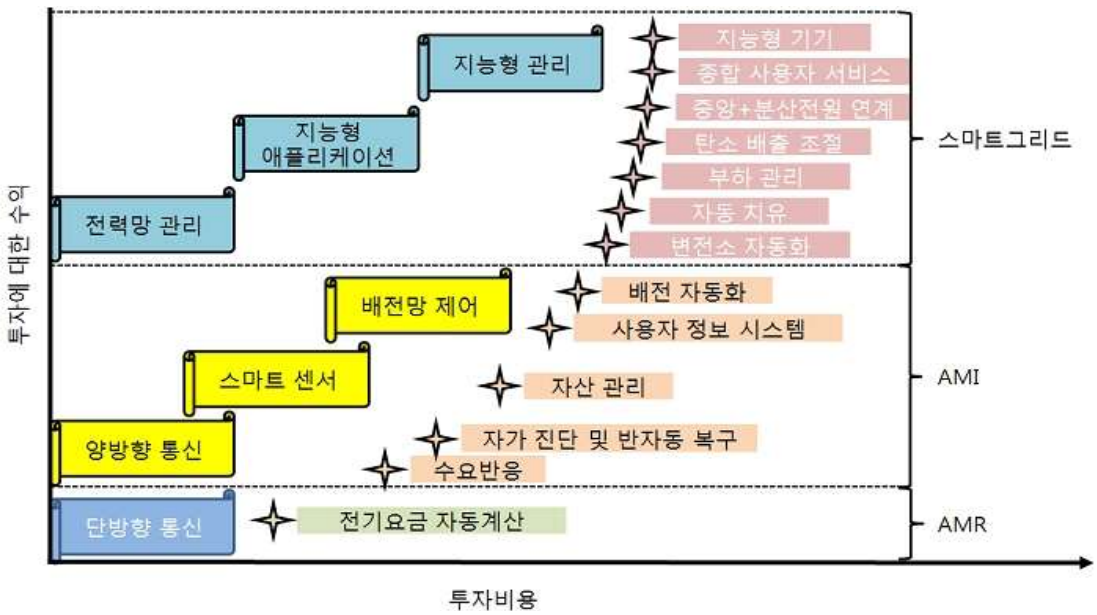
<그림 1-29 AMI 개념>

- 아래 그림은 스마트그리드의 발달 과정을 표현한 것으로 AMI는 스마트그리드의 주요 요소임을 알 수 있음

: 기존 프로젝트는 배전망의 AMR(Automated Meter Reading)을 중심(전력회사가 사용자의 전력 사용량을 원격으로 읽고 기록하고 현재 상태에 경고를 하는 기능 중심)

: AMR이 초기에는 매력적이지만 수요관리 측변에서 이점이 없음

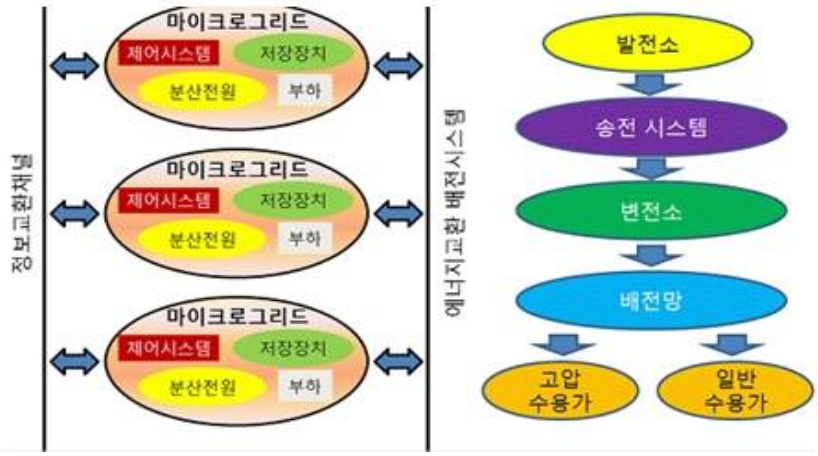
: 따라서 양방향으로 정보교환이 이루어져야 하는 스마트그리드에 적용하기 위해서는 AMI 적용이 필수적 (양방향 통신, 전력사용량 조절 가능, 이익 창출 가능)



<그림 1-30 스마트그리드 발전 개념>

- 향후 아래 그림과 같이 우측의 기존 전력시스템에서 좌측의 스마트그리드가 적용된

배전망으로 변화 예상



<그림 1-31 스마트그리드의 과도기적 형태>

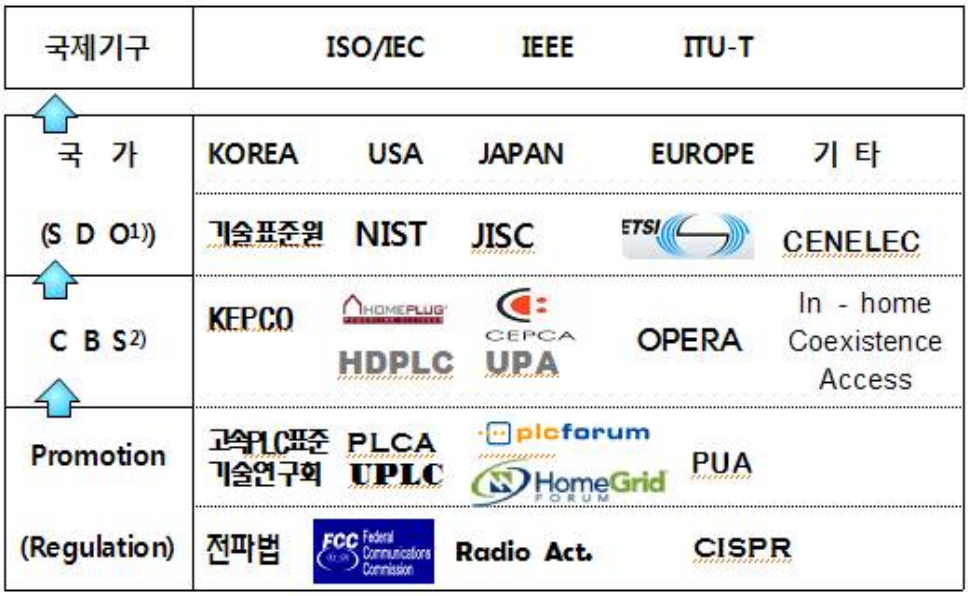
□ 국내 동향

- 국내에서는 지난 2000년 처음으로 소비자를 대상으로 자동원격검침 시스템(AMR)을 도입하여 원격검침 상용화를 시작 (13만 고객을 대상으로 15분 단위의 계량정보를 취득하여 관련고객이 부가서비스를 사용)
- 저전압 수용가에 대한 시범 사업은 초기 ZigBee 방식을 사용하여 제주도의 1천 가구에 구축. 2005년부터 한국전력에서 고속 PLC(Programmable Logic Controller) 방식을 이용하여 원격검침 사업을 시작하여 2009년에 약 5만 5천 가구에 원격검침 시스템을 구축한 상태
- 또한, PLC 통신 방식을 사용하여 무선과 연동하여 수도 및 가스 검침을 동시에 수행하는 시범 사업을 추진 중이며, 장거리 전송망으로는 HFC(Hybrid Fiber Coax), CDMA 통신망을 이용하여 구축
- AMI 관련 기술개발 현황
  : 2000년에 AMI 이전의 AMR 산업용 소비자를 대상으로 상용화
  : 저압 수용가에 대해서는 ZigBee 방식을 사용하여 제주도의 1천 가구에 대한 시범사업 실시
  : 2005년 한전에서 고속전력망 통신을 사용하여 원격검침 시범사업 시작
  : 한전에서 전력망 통신을 이용하여 무선과 연동하여 수도 및 가스 검침을 동시에 수행하는 원격검침 사업이 추진
  : 우암코퍼레이션은 AMI와 AMR 통합 시스템을 개발하였는데 이는 PLC 통신모뎀, 데이터 집합장치, 양방향 디지털전력량계 등으로 구성되어 있으며, 데이터 통신에는 DS2 통신 및 ZigBee 통신 방식이 맞춤형으로 지원

: 누리텔레콤에서는 ZigBee 방식의 AMI 기술을 개발하여 해외시장 개척에 주력

□ 해외 동향

- 전 세계의 PLC 표준은 우리나라의 ISO 표준 PLC와 유럽 DS2(현재 미국Marvell에 합병됨)칩 제조사를 중심으로 한 OPERA 포럼, 미국의 Intelon(현재 Atheros사에 합병됨) 칩 제조사를 중심으로 한 Home Plug 단체 표준으로 형성
- 국내에서는 한국전력공사가 2006년 5월 "고속 PLC 정보교환기술(KS X4600-1)"이 국내 KS 표준으로 제정 공포됨과 함께 ISO/IEC 국제 표준 등록에 노력한 끝에 2008년 8월 고속 PLC 기술 최초로 속성코드(Fast Track)로 ISO/IEC 국제 표준 승인을 받았고, 2009년 7월 ISO/IEC 12139-1이란 표준으로 등록
- 아래 그림은 각국의 PLC 표준 추진체계를 나타냄



<그림 1-32 고속 PLC 국제 표준 추진체계>

- 미국은 주로 AMI 구축에 ZigBee 통신 방식을 사용
  : 2005년 EPAct 2005 법령 발효를 통해 AMI 시스템 도입을 법제화
  : 상기 법령을 근거로 미국은 전력이용 효율화를 위한 AMI 시스템 구축 작업을 활발하게 진행 중
  : 특히, 캘리포니아 주, 뉴욕 주, 텍사스 주에서 활발히 진행 중이며, 캘리포니아 주의 대형 전력회사 가운데 하나인 SCE는 2006년에 시범사업을 실시 (2008년부터 2012년까지 530만호, PG&E는 2006년부터 2011년까지 1,030만호, SDG&E도 2011년까지 140만호를 설치)

- EU에서는 2006년 5월 에너지 효율 및 서비스 지침안을 발표
  : 지침안은 Smart Meter의 설치를 의무화하고, 시간대별 사용량, 에너지 가격 및 사용량 비교자료 등을 사용자에게 제공하여 고객단체, 에너지 대리점과 통신을 통하여 에너지 장치의 효율화 및 기술자료 등에 대한 정보 접근을 허용한다는 내용이 포함
  : 이탈리아 Enel사는 1998년 저속 전력선통신 기술을 이용한 원격 검침 시스템 설계를 시작하여 현재 3천 300만 수용가에 AMI 시스템 구축을 완료하고 운영 중. 구축된 시스템을 통해 일검침을 수행하며 도전 감시, 변압기 감시, 고객에게 전력 사용량 제공 등 전력부가 서비스를 제공. 또한 향후 원격검침 시스템을 통한 수익창출형 부가서비스를 개발하기 위해 요금제 다양화, 통합검침 등의 응용 서비스도 함께 개발 중
  : 이 외에도 프랑스, 스페인, 네덜란드 등의 대부분의 유럽 국가에서는 200여 가구가 접속하는 대용량 변압기 기반의 계통 구성으로 전력통신 기술을 대부분 채용

□ 향후 전망

- AMI는 스마트그리드 구축을 위한 핵심 기술로 현재의 단방향, 폐쇄적 에너지 공급에서 양방향 에너지 종합관리 시스템 구축을 위한 기반 기술
- AMI 분야에서는 비교적 ZigBee가 유용. 미국이 주로 ZigBee 방식을 많이 사용 중. 또한 각국의 AMI 구축동향을 보면 PLC 방식도 많이 사용됨. 그러나 기존 설치된 전력망의 간편성으로 인하여 PLC 투자 확대와 기술적 개선 속도를 볼 때 PLC와 ZigBee간의 장단점을 조화롭게 활용하여 상호 보완하는 방안을 만드는 것도 AMI 사업 확대를 위해 중요
- 스마트그리드의 기반이 되는 AMI는 단순히 계량값만을 읽어가던 AMR과는 차원이 다른 서비스를 전력사와 사용자 양쪽 모두에게 제공할 것으로 기대
- 또한, AMI는 실시간 요금제 등 다양한 요금제 실시를 위해 꼭 필요한 인프라로써, 특히, 태양광이나 풍력, 연료 전지 등 신재생 에너지가 도입되고 전기 자동차가 실생활에 사용되는 가까운 미래에는 스마트그리드에 연결시켜 줄 AMI 구현은 필수
- AMI를 전 수용가에 배포하는 것은 비용이 많이 들고 한꺼번에 설치하는 것이 어려우므로 AMI를 스마트그리드로 진행하기 위해서는 과도기적 상황을 거쳐야 함. 현재의 전력시스템과 스마트그리드가 공존하면서 점차적으로 기존 전력 시스템의 비율을 줄이고 새로운 시스템으로 바꾸어 나갈 것으로 전망

2. 정부 정책현황

2.1 에너지 신산업 분야 정책

□ 2015년 11월 파리 협약을 통해 新기후체제(Post 2020) 출범에 대응한 에너지 산업의 패러다임 전환이 요구됨

- 신기후체제 출범에 대응하여, 우리나라는 온실가스 감축 목표를 2030년 배출전망치 대비 37% 감축안으로 UN에 제출

  * 국제시장의 활용분 11.3%를 제외하면, 실질적인 감축 부담은 25.7% 수준

- 우리나라의 에너지 산업은 1970년대 이후 빠른 경제성장에 대응하기 위해 석탄, LNG, 원자력 등 화력 발전소를 중심으로 한 중앙 집중형 공급방식으로 고착화

  * 국내발전 비중(2014년, %) : (석탄)39.3, (원자력)30.0, (LNG)20.4, (석유)1.4, (기타)8.9

- 온실가스 감축 목표 및 현재 국내 에너지 시장을 고려하였을 때, 탄소배출이 높은 에너지 분야에서 친환경 연료전환, 분산형 발전, 에너지 효율화 등의 노력 및 과감한 혁신이 필요

□ 현재 정부는 온실가스 감축의 실질적 대안으로 2014년 이후 '에너지 신산업'을 주목하고 있으며, 에너지 신시장 창출을 위한 정책 수립 및 제도적 기반 마련

- 미국, 유럽, 중국 등에서는 신재생에너지, ICT 기술 등을 접목한 에너지 신산업에 대하여 적극적인 투자를 추진 중

  * (중국) 태양광 발전 총 395억불 투자(2011~2015) (미국) 스마트미터 36억불 투자(2013)

- 우리나라도 작년부터 에너지 신산업 중요성을 인식하고, 단기 사업화가 가능한 8大 사업 중심으로 초기시장 창출에 주력

  * 에너지신산업창출방안 발표(2014.7), 에너지신산업 대토론회 개최(2014.9) 등

- 에너지 신시장 창출을 위한 정책 수립 및 제도적 기반 마련

  : (정책 수립) 에너지자립섬 등 유망 사업 발굴을 포함한 '에너지 신산업 창출방안'을 수립하고, 차질 없이 이행 (2014.7~)

  * 에너지신산업 활성화 이행계획(2015.4), 친환경에너지타운 신규사업(2015.4) 등

  : (제도 기반) 사업의 수익성 확보를 위해 제도적 인센티브를 마련하고, 일부 사업의 경우에는 새로운 시장제도를 신설하여 운영

  * 풍력 연계형 ESS의 REC 가중치 부여, 수요자원 거래시장 개설 등

- 초기 시장을 확대하기 위한 정부의 마중물 역할 강화

  : (대규모 프로젝트) 친환경에너지타운(13개소), 제로에너지빌딩(5개소), 울릉도 에너

지자립섬 등 주요 프로젝트 본격 추진

: (해외 진출) 한국 전력 등 공공 기관이 중심이 되어, 국내 중소기업의 에너지 신산업 동반 해외 진출* 지원

* 캐나다 배전급 마이크로그리드 실증사업, 모잠비크 마이크로그리드 시범사업

<표 1-5 사업별 주요실적 (요약)>

분 야	주요 실적
① 전기자동차	▸국내 최초 배터리리스 사업 신설, 민간유료충전사업자 설립
② 수요자원 거래시장	▸개설 1년만에 총 1,000억원 시장 창출(발전소 5기 분량)
③ 에너지자립섬	▸울릉도 에너지자립섬 착공, 추가로 5개 도서 사업 추진
④ ESS(에너지저장장치)	▸주파수 조정용 200㎿ ESS 구축(1,600억원 시장 창출)
⑤ 친환경에너지타운	▸홍천시 친환경에너지타운 준공, 신규 사업 10개소 지정
⑥ 제로에너지빌딩	▸저층형 및 고층형 제로에너지 빌딩 착공
⑦ 발전소 온배수열 활용	▸신재생에너지원으로 인정, 당진 등 3개소 온실재배 사업 추진
⑧ 태양광 대여	▸태양광 대여 10,000가구 돌파(’14 ~ ’15)



<그림 1-33 에너지신산업 3개년 목표>



<그림 1-34 에너지신산업 세부 추진 방안>

□ 한전의 에너지신산업 육성 정책

- 한전은 정부의 에너지신산업 육성 정책에 맞춰 국가 차원의 전력망 효율화와 함께 관련 중소기업 글로벌 시장 경쟁력 확보에도 기여할 목적으로 에너지신산업 육성 사업을 추진

- 한전은 2017년까지 스마트그리드·신재생에너지·마이크로그리드 분야에 총 1조 1,210억원 투자계획

- 2017년까지 에너지저장장치(ESS) 구축사업에 6,500억원을 투자하여 주파수조정용 ESS 구축사업 및 나주 신사옥 내 스마트그리드 스테이션 구축 계획

- 2017년까지 전기차 완·급속 충전기를 공공기관 및 일반인 대상으로 전국에 5,580개소 설치 계획
- 2020년까지 원격검침인프라(AMI) 구축사업에 총 1조 7,000억원을 투자할 계획

<표 1-6 한전의 에너지신산업 육성정책 사업 모델>

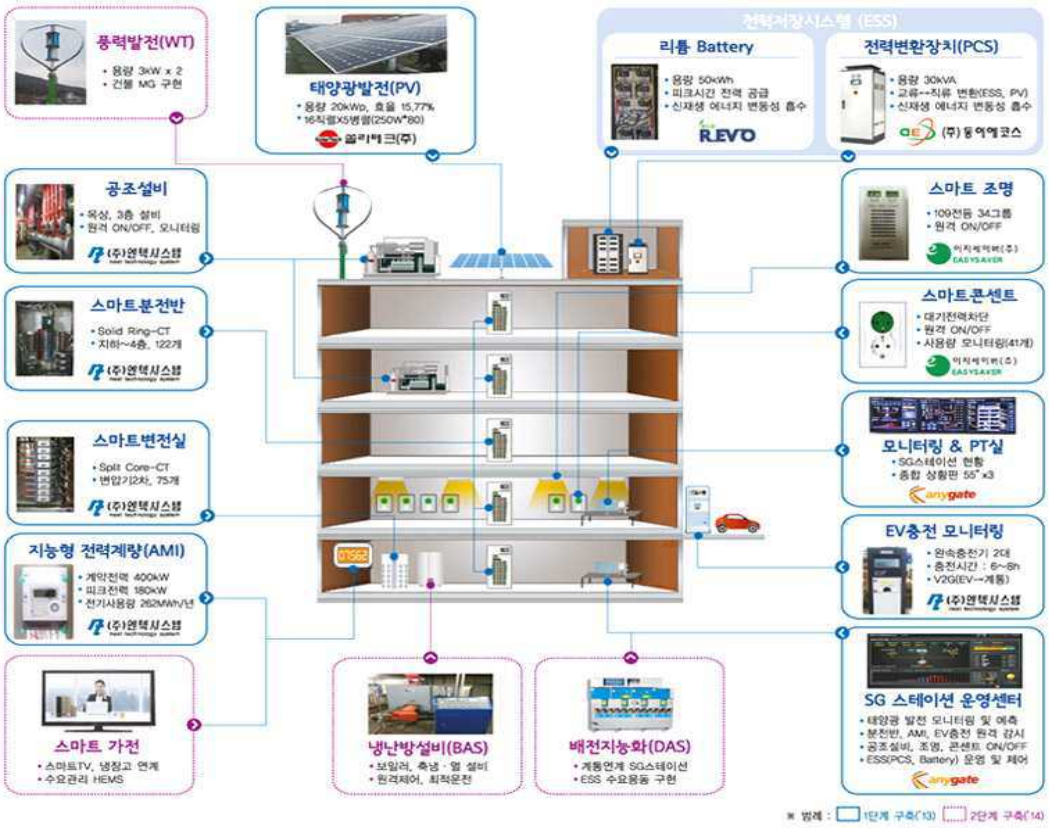
사업 분야	사업 내용
스마트그리드 스테이션	· 2014년 29개 한전 지역본부 사업장 구축 · 2015년 90개 한전 지역본부 사업장 구축
마이크로그리드	· 덕적도 에코아일랜드 조성사업 - 2015년에 AMI, 소형 풍력 및 태양광 설치 · 울릉도 친환경 에너지자립 섬 조성사업 - 1단계 조성사업 시행(신재생 30%)
스마트그리드 확산사업	· 47개 기관 참여, 총 1,585억원 투자(2015~2017년) · 수요반응, 전기차 충전 등 9개 사업모델 적용
AMI 구축사업	· AMI 2차년도 사업 추진 · AMI 통신방식 기술검증 추진
ESS 구축사업	· 주파수조정(FR)용 ESS 구축사업 시행 · 나주 신사옥 내 스마트그리드 스테이션 구축
전기차 충전인프라 구축	· 공공기관 및 일반인 대상 충전인프라 구축 예정

- 스마트그리드 스테이션

: 스마트그리드 스테이션이란 전력계통 운영시스템을 기반으로 신재생에너지(태양광, 풍력), ESS, AMI, 전기차 충전장치와 건물 자동화 시스템(BAS) 등을 효율적으로 통합 제어하는 지역단위의 스마트그리드 운영센터

: 스마트그리드 스테이션을 통해 사용자는 건물 내 에너지의 흐름을 실시간으로 모니터링 할 수 있으며 이를 통해 낭비되는 에너지를 효과적으로 파악해 원인을 분석한 후 차단시킴으로써 전체적인 에너지 사용 최적화 가능

: 단순히 건물 자체의 에너지 최적화 외에도 전국적인 전력수요 증가로 인해 전력수급경보가 발생하면 각 단계별로 미리 설정한 설비의 전력을 자동을 차단하는 기능도 갖추고 있음



<그림 1-35 스마트그리드 스테이션 개념도>

- 마이크로그리드(독립형 전력망): 울릉도 친환경 에너지자립섬 조성사업

: 울릉도 친환경 에너지자립섬 조성사업은 기존 디젤발전 중심의 전력공급체계를 ICT(ESS, EMS)가 융합된 신재생발전원으로 대체하는 사업

: 한국전력과 지자체 및 참여기업이 특수목적법인(SPC)을 설립하여 친환경자립섬 구축운영을 전담하며 사업의 구축비 3,300억원은 한전 등이 참여하는 SPC 투자금과 PF를 통해 조달 예정

: 1단계 사업으로 2017년까지 울릉도 전체전력의 30%를 신재생에너지로 전환하며 태양광, 풍력, 소수력발전 설비 및 ESS, EMS를 도입

: 2단계 사업기간에 기저발전을 담당할 지열 및 연료전지 발전소가 도입되어 ICT가 융합된 세계 최대 규모의 친환경 에너지자립섬 구성

: 사업을 통해 정전예방, 발전설비 투자 감축, 경제적 전력공급, 신재생에너지 이용률 향상으로 1조 7천억원, 에너지소비절감, 생산유발 효과, 고용창출 및 CO2절감으로 1조 4천억원 등 총 3.1조원의 경제적 효과가 있을 것으로 기대

: 사업을 통해 해외 마이크로그리드 구축사업에 진출할 수 있는 토대를 마련하여 에너지 분야의 새로운 성장 동력이 될 것으로 전망



<그림 1-36 울릉도 친환경 에너지자립 섬 조성사업 개념도>

- 스마트그리드 확산사업

: 스마트그리드 확산사업이란 제주 실증단지를 통해 검증된 사업모델을 공장, 빌딩, 가정 등 실제 환경에 구현하고 민간 주도로 확대하기 위한 기반조성 사업

: 민간 주도의 확산을 위한 민관합동의 대형 융복합 사업으로 전력, 통신, 자동차 등 다양한 분야의 산업 융합을 통해 고부가가치 창출을 목표로 함

: 약 24만 전력 사용자를 대상으로 하며 전국 16개 광역시도가 참여하는 전국가적 사업

: 정부가 지원하고 8개의 컨소시엄이 참여하는 초기 확산 사업으로 시작해서 차후에 민간비중이 100%인 본격 확산 단계로 전환

: 확산사업은 분야별로 지능형 소비자형, 신재생형, 전기자동차 인프라형, 자립형 에너지원 연계형으로 구성

: 스마트그리드 확산사업을 통해 에너지 사용 절감, 전력피크 완화, 온실가스 배출 감소 등의 효과



<그림 1-37 스마트그리드 확산사업 개념도>

- 원격검침인프라(AMI) 구축사업

: 국내는 2000년 처음으로 소비자를 대상으로 자동원격검침시스템(AMR)을 도입하여 원격검침 상용화 시작

: 한국전력은 2005년부터 고속 PLC(Programmable Logic Controller) 방식을 이용하여 원격검침 사업을 시작 (2009년 약 5만 5천 가구에 원격검침 시스템 구축)

: 현재 전력망 통신을 이용하여 무선으로 연동된 수도 및 가스 검침을 동시에 수행하는 원격검침 사업 추진 중

- 에너지저장장치(ESS) 구축사업

: 한국전력은 2013년 10월에 세계 최고 수준의 ESS(에너지저장장치, Energy Storage System)를 구축하겠다는 청사진을 제시

: 한전은 우선 1단계 사업으로 2014년부터 2017년까지 약 6,250억원을 투입하고 총 50만kW의 ESS 설비를 한전 변전소에 단계적으로 설치한다는 방침을 제시

: 본사 신성장동력본부 내에 'SG&ESS처'를 신설한데 이어, 처 내에 ESS를 전담할 'ESS사업팀' 발족

: ESS는 크게 석탄화력발전소가 담당하는 주파수 조정, 피크부하 감소를 통한 수요조정, 신재생 발전원의 출력 안정화를 통한 전력계통 품질향상 등 3가지 기능으로 구분 가능

: 현재 석탄화력 등 일부 발전기는 주파수조정을 위해 자기용량의 95%를 출력하고 5%는 예비력으로 보유 (ESS가 발전기의 FR(주파수조정) 예비력(약 1.84GW, 5년간 연간 평균 제공량)을 담당할 경우 연료비 절감과 발전기 효율 향상에 따른 연간 약 7,000억원의 국가편익이 발생활 것으로 예상)

: ESS를 이용하는 고객은 경부하 시간대에 전기에너지를 ESS에 저장했다가 전력이 가장 많이 필요한 최대부하시간대에 사용

: 신재생 전원이 전력계통에 연계될 경우 출력 불안정과 전압변동 등으로 인해 전력품질이 저하될 수 있음. 이와 같은 문제점들을 해결하는데 ESS가 사용됨. 신재생 전원 확대로 초래되는 전력품질의 문제점을 해소하기 위해 지속적으로 연구개발에 투자할 방침. 지속적인 연구개발을 통해 다양한 신재생에너지원과 연계시키는 ESS 사업화 모델을 개발하고, 에너지원별 ESS 설치기준을 제정, 개정하며 관련 기술의 표준화 추진을 위한 산학연 협력관계를 강화해 나간다는 방침

: 다양한 분야의 새로운 수요를 유도해 일자리 창출과 국가 창조경제 구현에 기여하려는 목표

- 전기차 충전인프라 구축

: 전기차 충전인프라는 충전기, 운영시스템, 전기설비, 통신설비, 부가서비스 등으로

구성되며 충전기가 전기차에 전력을 공급하는 과정에서 거치는 유무형의 시설, 설비, S/W 등을 총칭

: 전기자동차 산업은 블루오션 시장으로, 배터리 1회 충전 시 주행거리가 130~160㎞ 이기 때문에 전기자동차의 보급과 확산을 위해서는 충전인프라 구축이 필수

: 전기자동차는 온실가스 감축 등의 환경규제 강화와 석유 에너지 수입 절감을 위해 필수적으로 개발해야 함

: 전기자동차와 충전 인프라를 활용하여 전력계통의 피크부하를 저감해 에너지 사용 효율을 향상



<그림 1-38 전기차 충전인프라 구조도>

□ 이 외에도 정부는 미래 에너지 트렌드 대응을 위해 중장기 미래 비전을 포함한, ‘2030 에너지 신산업 확산전략’ 수립

- (기본 방향) 전력, 수송, 산업 등 사회 전 분야에 대하여, 신재생에너지, ICT 기술 동향을 토대로 에너지 신산업 과제를 도출

- (작업 과정) 에너지 기술혁신 로드맵 등 미래 전망 보고서를 참고하고, 분야별로 전문가 협의체(150여명)를 구성·운영 (’15.7~11)

* (참고) 기존 8대 사업은 신규 도출한 4대 에너지 신산업 군으로 포함

<표 1-7 2030 에너지 신산업 확산전략>

4대 분야	주요 내용
에너지 프로슈머 (E-Prosumer)	소규모 신재생에너지, ICT 기술 등을 활용하여, 누구나 직접 전기를 생산하고, 소비하는 다양한 유형의 신산업 * 마이크로그리드, 수요자원 시장, 제로에너지빌딩, 친환경에너지타운, 태양광 홈 등
저탄소 발전	국내 발전의 저탄소화를 위해, 신재생에너지, 화력발전 효율화, 차세대 전력 인프라 등이 포함 * 신재생에너지 발전, 초초임계 발전시스템, 대형 가스터빈, CCS, 초고압 직류송전, 초전도 케이블, ESS 등
전기자동차	순수 전기차 제조업과 더불어, 전기차 연관 생태계 활성화를 위한 새로운 산업도 포함 * 배터리리스, 충전 서비스, 전기오토바이·자전거, 폐배터리 활용, 전기차 보험 등
친환경 공정	제조 공장의 효율향상·온실가스 대체하는 공정으로 전환하거나, 버려지는 미활용열을 사용하는 신개념 산업 * 스마트공장, 수소환원제철, 친환경냉매, 발전소 온배수열, LNG냉열 등)

2.2 신재생에너지 분야 정책

□ 정부는 신재생에너지 보급에 다양한 지원 정책을 시행 중

- 신재생에너지의 법률적 정의: 신에너지 및 재생에너지 개발 · 이용 · 보급 촉진법 (약칭: 신재생에너지법)에서는 신재생에너지를 다음과 같이 정의

  : 재생에너지: 태양열, 태양광발전, 바이오매스, 풍력, 소수력, 지열, 해양에너지, 폐기물에너지

  : 신에너지: 연료전지, 석탄액화 · 가스화, 수소에너지

□ 신재생에너지 공급의무화(RPS)

- 신재생에너지법에서는 전기사업법과 집단에너지법에 의거해서 허가를 득한 발전사업자는 매년 의무적으로 신재생에너지를 공급해야 함.

  : 공급의무자의 범위 → 한국수력원자력, 남동발전, 중부발전, 서부발전, 남부발전, 동서발전, 지역난방공사, 수자원공사, SK E&S, GS EPS, GS파워, 포스코에너지, 엠피씨율촌전력, 평택에너지서비스, 대륜발전, 에스파워, 포천파워 (총 17개사,' 15년)

<표 1-8 공급의무 비율>

해당 연도	12년	13년	14년	15년	16년	17년	18년	19년	20년	21년	22년	23년	24년 이후
비율 (%)	2.0	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0

: 신재생에너지 공급인증서(REC) → 신재생에너지 발전사업자는 발전한 양에 대해서 공급인증서를 발급 받음. 의무공급업자는 의무생산량을 채우지 못했을 경우, 공급인증서를 구입해서 보충할 수 있음. 현재 한국전력거래소에 매월 공급인증서 거래가 이뤄짐 (발전사업자가 의무생산량을 채우지 않고, 공급인증서도 구입하지 않은 해당 월 공급인증서의 150%의 벌금을 물어야 함)

: 공급인증서 가중치 → 신재생에너지라도 더욱 환경 친화적인 경우가 있음. 이를 신재생에너지원별로 가중치로 반영 (가중치는 환경, 기술개발 및 산업 활성화에 미치는 영향, 발전원가, 부존잠재량, 온실가스 배출 저감에 미치는 효과 등을 고려하여 산업통상자원부장관이 정하여 고시. 공급인증서 가중치는 3년마다 재검토(필요한 경우 재검토기간 단축 가능))

<표 1-9 신재생에너지 공급인증서 가중치>

구분	공급인증서 가중치	대상에너지 및 기준	
		설치유형	세부기준
태양광 에너지	1.2	일반부지에 설치하는 경우	100㎾ 미만
	1.0		100㎾ 이상
	0.7		3,000㎾ 초과부터
	1.5	건축물 등 기존 시설물을 이용하는 경우	3,000㎾ 이하
	1.0		3,000㎾ 초과부터
	1.5	유지의 수면에 부유하여 설치하는 경우	
기타 신재생에너지	0.25	IGCC, 부생가스	
	0.5	폐기물, 매립지가스	
	1.0	수력, 육상풍력, 바이오에너지, RDF 전소발전, 폐기물 가스화 발전, 조력(방조제 有)	
	1.5	목질계 바이오매스 전소발전, 해상풍력 (연계거리 5㎞이하), 수열	
	2.0	연료전지, 조류	
	2.0	해상풍력(연계거리 5㎞초과), 지열, 조력(방조제 無)	고정형
	1.0~2.5		변동형
	5.5	ESS설비(풍력설비 연계)	15년
	5.0		16년
	4.5		17년

□ 신재생에너지 설치의무화

- 1,000㎡ 이상 면적의 신축/증축되는 공공기관의 경우, 의무적으로 일정비율의 신재생에너지의 설비를 설치해야 함 (공공기관의 범위는 국가기관, 지방자치단체, 정부출연기관, 특별법에 의해 설치된 법인을 모두 포괄)

<표 1-10 신재생에너지 설치의무화 비율>

해당 연도	11~ 12년	13년	14년	15년	16년	17년	18년	19년	20년 이후
비율 (%)	10	11	12	15	18	21	24	27	30

□ 신재생에너지 주택설치지원 (그린홈)

- 정부는 일반 주택의 신재생에너지설비 100만호 보급을 목표로 '그린홈' 사업을 실시 중 (주택에 신재생에너지를 설치하기 전에 신고를 하면, 일정금액을 지원해주는 제도로 태양광, 태양열, 지열, 소형풍력, 연료전지가 해당됨).

: 개별단위 신청 → 단독주택소유자나 공동주택 소유자(입주자 대표)가 신청 가능. 공동주택의 경우입주자(세대주 전체) 자필동의서 또는 입주자 대표회의 의결내역 제출 필수

: 마을단위 신청 → 10가구 이상의 단독 또는 공동주택이 신청할 수 있고, 마을회관과 같이 공동시설은 신청 불가 (주택만 해당)

<표 1-11 신재생에너지원별 보조금 지원 예산액 (2015년, 백만원)>

구분	지원범위	예산 배정액	비고
태양광	3.0㎾이하/호(세대)	13,600	주택 등
		6,640	마을단지지원 등
태양열	20.0㎡ 이하/호(세대)	6,200	주택 등
		2,513	마을단지지원 등
지열	17.5㎾이하/호(세대)	8,825	주택 등
		3,780	마을단지지원 등
소형풍력	3.0㎾이하/호(세대)	300	주택 등
연료전지	1.0㎾이하/호(세대)	3,500	주택 등
		1,400	마을단지지원 등
계		46,758	

* 지원예산은 사업 상황에 따라 조정될 수 있음

* 보급지원을 위한 설치확인 비용 600백만원 별도

: 보조금은 위의 예산에 맞추어 아래와 같이 지급되며, 예산이 부족하면 보조금은 조정됨

<표 1-12 에너지원별/용량별 보조금 지원 기준 (2015, 단위: 천원, VAT 포함)>

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="4">설비 또는 용량(성능) 구분</th><th>보조금
지원단가</th><th>도서지역
지원단가</th></tr>
<tr><td rowspan="2">태양광
(고정식)</td><td colspan="2">단독주택</td><td>~2.0kW</td><td>1,010/kW</td><td>1,210/kW</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>2.0kW~3.0kW</td><td>840/kW</td><td>1,000/kW</td></tr>
<tr><td>공동주택</td><td colspan="2"></td><td>~30kW/동</td><td>960/kW</td><td>1,150/kW</td></tr>
<tr><td rowspan="12">태양열</td><td rowspan="10">평판형
진공관형</td><td rowspan="3">7.0㎡
이하</td><td>10.0MJ/㎡・d~</td><td>570/㎡</td><td>680/㎡</td></tr>
<tr><td>7.5MJ/㎡・d~
10MJ/㎡・d</td><td>520/㎡</td><td>620/㎡</td></tr>
<tr><td>~7.5MJ/㎡・d</td><td>480/㎡</td><td>570/㎡</td></tr>
<tr><td rowspan="3">7.0㎡~
14.0㎡</td><td>10.0MJ/㎡・d~</td><td>500/㎡</td><td>600/㎡</td></tr>
<tr><td>7.5MJ/㎡・d~
10MJ/㎡・d</td><td>460/㎡</td><td>550/㎡</td></tr>
<tr><td>~7.5MJ/㎡・d</td><td>420/㎡</td><td>500/㎡</td></tr>
<tr><td rowspan="3">14.0㎡~
20㎡</td><td>10.0MJ/㎡・d~</td><td>450/㎡</td><td>540/㎡</td></tr>
<tr><td>7.5MJ/㎡・d~
10MJ/㎡・d</td><td>420/㎡</td><td>500/㎡</td></tr>
<tr><td>~7.5MJ/㎡・d</td><td>380/㎡</td><td>450/㎡</td></tr>
<tr><td>자연순환식
온수기</td><td colspan="2">6.0㎡ 급</td><td>2,620/대</td><td>3,140/대</td></tr>
<tr><td rowspan="2">지열</td><td colspan="2" rowspan="2">수직밀폐형</td><td>10.5kW 이하</td><td>750/kW</td><td>900/kW</td></tr>
<tr><td>10.5kW~17.5kW</td><td>580/kW</td><td>690/kW</td></tr>
<tr><td>연료전지</td><td colspan="4">1kW 이하</td><td>28,420/kW</td><td>34,100/kW</td></tr>
</table>

□ 일반건물설치 지원

- 주택과 공공기관 건물을 제외한 모든 일반시설에 대해서 신재생에너지설치에 따라 지원을 받을 수 있는 금액 (타 사업과 중복해서 지원 불가)

<표 1-13 에너지원별/용량별 지원 규모 (2015, 단위: 백만원)>

구분		지원범위	예산 배정액
건물지원사업	태양광	75㎾ 이하	5,000
	태양열	1,500㎡ 이하	4,500
	지열	1,000㎾ 이하	4,500
	연료전지	-	2,500
	기타	-	1,500
시범적 사업		-	2,000
계			20,000

- 지원예산은 사업상황에 따라 조정될 수 있으며, 자가용 설비에 한하여 지원하는 원칙이 있음. 구체적인 지원기준은 다음과 같음

<표 1-14 에너지원별/용량별 지원 기준 (2015)>

구분			지원범위 (단위사업당)	지원예산액 (백만원)	보조금 지원단가 (천원,VAT포함)	비고
건물지원사업	태양광 (고정식)	일반	~75㎾	5,000	1,260/㎾	계통연계 기준
		축사 및 축사시설			1,760/㎾	
	태양열 (평판/진공관/자연순환)	~1,500㎡	10.0MJ/㎡·d~	4,500	460/㎡	심야전력 이용시설 제외
			7.5MJ/㎡·d~ 10MJ/㎡·d		420/㎡	
			~7.5MJ/㎡·d		370/㎡	
			자연순환		2,450/대	
	지열 (수직밀폐형)	~1,000㎾		4,500	420/㎾	
	연료전지	-		2,500	27,540/㎾	-
	기타	-		1,500	별도검토	태양광(추적식, BIPV), 태양열냉난방, 풍력, 중고온태양열 등
	소계	-		18,000	-	
시범적 사업		-		2,000	별도검토	
총계				20,000	-	-

□ 금융지원

- 신재생에너지 설비를 생산하거나, 대규모의 발전소를 만드는 기업들을 위한 금융제도 (장기저리로 융자해주는 제도)

  : 시설자금 → 신재생에너지를 이용하기 위한 시설을 설치하고자 하는 자가 신청하는 자금 (예) 풍력발전설비, 태양열설비, 지열설비, 바이오설비 등)

  : 생산자금 → 신재생에너지 관련 제품 또는 설비를 생산하는 시설을 설치하고자 하는 자가 신청하는 자금 (예) 태양광모듈 생산라인, 풍력발전 터빈 생산라인 등)

  : 운전자금 → 신재생에너지 관련 제품을 생산하는 제조업체(중소기업만 해당)의 원활한 자금유동성 확보를 위해 필요한 자금

<표 1-15 금융지원 규모 (2015)>

구분		전력기금
지원예산액	생산 및 시설자금	1,120억원
	운전자금	30억원
	함계	1,150억원

<표 1-16 금융지원 조건 (2015)>

구분	자금용도	동일사업자당 지원한도액	대출기간	이자율	지원비율
전력기금	생산자금 및 시설자금	100억원 이내	5년 거치 10년 분할상황	2015년 기준 분기별 변동금리 (3/4분기, 1.5%)	중소기업: 90% 이내 중견기업: 70% 이내 대기업: 40% 이내
	바이오 및 폐기물 분야	100억원 이내	3년 거치 5년 분할상환		
	주택용 설비	1억원 이내			
	운전 자금	10억원 이내	1년 거치 2년 분할상환		

2.3 스마트시티 분야 정책

□ 국내의 스마트시티 정책은 과거 u-City 추진 정책과 궤를 같이 함

- 2003년 성남 판교, 인천 송도, 화성 동탄 등을 중심으로 신도시 건설 열풍이 불면서 스마트시티 프로젝트 시작
- 2006년 12월 정보통신부가 u-City 서비스 표준모델 개발과 관련 법/제도 내용을 담은 'u-City 구축활성화기본계획'을 확정 발표
- 이후 국토해양부가 2009년 11월 '제1차 유비쿼터스 도시 종합계획'(2009~2013)과 2013년 10월 '제2차 유비쿼터스 도시 종합계획'(2014~2018)을 각각 발표
  : (1차 계획) u-City 태동 및 성장 단계로써 공공중심으로 제도마련, 핵심 기술 및 서비스 개발, 산업육성 지원 등 전반적인 기반을 조성
  : (2차 계획) 본격적인 u-City 확산과 ICT 건설 산업 중심의 해외시장 진출을 위한 선순환 동반성장 구조 확립에 집중

<표 1-17 1/2차 유비쿼터스 도시 종합계획 특징>

구분	기존 정책(1차)	선순환 동반성장 정책(2차)
확산 정책	수도권 신도시 중심의 선택 집중 정책	도시 간 균형 발전을 중시하는 확산 정책
성장 정책	공공 중심의 성장 정책	민간기업과 공공이 함께 협력하는 동반성장 정책
해외 정책	형식적/소극적 추진	실질적/주도적 추진

□ 최근 u-City에서 보다 확장된 개념의 스마트시티 실증단지 조성사업 시행

- 기존의 u-City 개발 인프라를 토대로 IoT, 친환경기술 등에 무게 중심을 두어 새로운 스마트시티 모델 개발을 유도
- 2015년 6월 미래창조과학부는 '사물인터넷(IoT) 실증단지 조성 공고'를 통해 글로벌 스마트시티 실증단지 조성을 계획
  : 경제혁신 3개년 계획의 후속조치인 스마트챌린지 사업 중 하나로 사물 인터넷 중심의 다양한 스마트서비스를 제공할 계획 (스마트챌린지: 정보통신 신기술을 기반으로 신시장 창출을 위한 도전적 과제를 추진하는 것으로 총 7개(지자체 협력형 2개, 기업협력형 5개)로 구성)
  : 2015년 ~ 2017년간 스마트시티 실증사업에 정부가 약 170억원을 투입하여 대기업/중소기업과 함께 다양한 비즈니스 모델을 실증할 계획

<표 1-18 정부의 스마트 시티 구성 및 운영 방안>

구분	주요 내용
스마트시티 실증단지는 크게 지원센터와 스마트시티 분야 서비스 실증으로 구성	
지원센터 (플랫폼+중소벤처지원+체험공간)	(플랫폼) 국제표준 기반의 개방형 IoT 플랫폼(오픈소스)을 구축/운영하고, 도시 관제 플랫폼과 상호 운영성 확보 (중소벤처 지원) 다양한 중소벤처기업들이 도시용 IoT 제품 및 솔루션을 개발할 수 있도록 멘토링, 인큐베이팅, 경진대회 등을 통해 창업·사업화 지원 (체험공간 구축) 스마트시티용 제품·솔루션 등을 활용한 서비스를 시민들이 직접 체험할 수 있는 리빙랩(Living Lab) 개념의 체험 공간 구축
스마트시티 서비스 실증	스마트홈 서비스, 스마트 주차관리 서비스, 커넥티드 관광 서비스 등
기대효과	국내 IoT산업 육성, 국내외 기업의 자발적 참여·투자, 다양한 IoT 제품·솔루션 개발 중소벤처업체 육성 및 시민체험의 장 마련 등

□ 2015년 6월 부산시 SKT 컨소시엄이 스마트시티 실증사업 대상자로 선정

- 시민안전, 교통, 에너지, 생활 편의 등 4개 분야의 16개 서비스 실증 中
- 해운대구를 중심으로 스마트시티 실증단지 조성사업을 시작, 실증단지를 통해 검증된 스마트시티 인프라와 서비스는 부산시 전역으로 확대할 계획
  : 2019년까지 IoT 전문인력 1,500명 양성, 창조기업 150개 육성, 글로벌 강소기업 15개 육성, 글로벌 공동서비스 15개 발굴 목표
- 정부는 2016년 중 스마트시티 실증단지 한곳을 추가 지정할 계획

<표 1-19 글로벌 스마트시티 실증단지 주요 서비스 예시>

분류	서비스명	서비스개요
교통	스마트 파킹	스마트폰 앱으로 인근 주차장의 빈 주차 공간 실시간 안내 및 자동 과금 (내비게이션 연동)
	스마트 횡단보도	초등학교 앞 횡단보도에 스마트 볼라드 및 안전펜스를 통해 차량 정지선 위반, 무단횡단 시 경보(전광판/음성)
에너지	스마트 가로등	에너지 절약형 LED 가로등에 CCTV WiFi 기능을 추가하여 에너지절감 및 방범 편의 강화
	스마트 빌딩	각종 빌딩 에너지 관련 정보를 모니터링하고 에너지 절감을 위해 필요시 원격으로 제어
	스마트 매장관리	프랜차이즈 매장 환경/에너지 관리 솔루션 제공 실시간 에너지 누적 데이터 분석을 통한 에너지 사용 가이드 제공
생활	상황 인지형 스마트홈	빌딩에서 화재 발생 시, 화재 발생 위치에 따라 각 층 및 공간에서 최적의 대피로 및 행동 요령을 음성으로 안내
	비콘 기반 소상공인 마케팅	식음료 매장 등 주요 상권의 소상공인 대상으로 근거리 네트워크 기술인 비콘(Beacon) 기반 저비용 고효율 마케팅 제공

□ 지자체 별로 스마트시티 구축을 위한 노력 지속 中

- 지자체를 중심으로 추진되는 대표적인 스마트시티(u-City 포함) 프로젝트는 ‘스마트 서울 2015’, ‘인천 검단스마트시티’ 등이 있음

<표 1-20 주요 도시 스마트시티 추진 현황>

도시	주요 현황
서울	2011년 ‘스마트 서울 2015’ 계획 발표 스마트 인프라 확충, 스마트 기기를 활용한 맞춤 행정 및 사회 안전도 제고, 일자리 창출 및 세계 정보보안 Top3 달성 등 목표
인천	송도/영종/청라 지구에 ‘Global Leading U-City’를 표방한 스마트 도시 건설 中 두바이 국영기업인 스마트시티(SCD)와 검단신도시 내 미래형 복합도시 ‘스마트시티 코리아’ 프로젝트 추진 中

□ 우리나라는 도시경쟁력 향상과 산업육성 및 해외 시장 진출 등에 초점이 맞춰져 있어 해외의 스마트시티 추진 정책과 다소 상이

- 중국의 신도시, 인도의 스마트시티 개발 등은 국민의 삶의 질과 직결되는 에너지 부족과 각종 도시 문제 해결을 위한 계획
- 우리나라는 민간 중심으로 수익성 있는 비즈니스 모델을 개발하고 한국형 스마트시티 성공사례를 만들어 해외 시장에 진출할 계획
  : 국내외 스마트시티 기술 서비스 관련 민간 기업들이 자유롭게 투자하고 사업을 할 수 있는 환경을 조성하는데 큰 의의가 있음
  : 특히, 중소벤처업체들의 창의적인 아이디어를 사업화하여 첨단기술을 적극 도입하고 동반성장 할 수 있는 비즈니스 플랫폼 조성을 중요시함
- 해외 스마트시티 개발 사업에 참여하기 위해서는 가장 중요한 사업 분야 중 하나인 ‘스마트에너지’ 관련 기술 서비스 개발 경험 중요
  : 최근 실증단지 사업에서 스마트에너지의 비중이 증가하고 있으나 분산 전원, 에너지 관리시스템, 에너지+ICT 융복합형 서비스 등 미비

제 2 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 연구개발목표 및 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▪ 도시 에너지소비량 모니터링 및 분석시스템 설계	▪ 에너지 소비량 분석을 위한 분석시스템 요구사항 도출
	▪ 에너지 효율화 기술 list 작성	▪ 빌딩, 커뮤니티, 도시 단위에 대한 에너지 효율화 기술 분석/기술 list 작성
	▪ 도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 설계 요건 조사	▪ 도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 요구사항 도출
	▪ 에너지 커뮤니티 운전 및 제어시스템 조사 및 분석	▪ 마이크로그리드 운전요구사항 도출 ▪ 마이크로그리드 제어요구사항 도출
	▪ 지역별, 시간대별 수요분석 스마트 통계 및 실시간 모니터링 기술 조사 및 분석	▪ 지역별 수요분석 기술 조사 및 알고리즘 설계 ▪ 시간대별 수요분석 기술 조사 및 알고리즘 설계
	▪ 국내외 도시 에너지 소비특성 및 공급체계 분석	▪ 선진국과 국내 도시의 에너지 소비특성 비교, 분석 및 시사점 도출 ▪ 국내외 도시 에너지 공급체계와 운영방안 비교, 검토 및 시사점 도출 ▪ 도시 에너지 수급체계 분석을 위한 표준 해석모델 도출
	▪ 도시 내 대표적인 에너지 공급원 및 수요처별 에너지 원단위 D/B 구축	▪ 주요 에너지 공급원과 수요처에 대한 자료조사 및 모니터링을 통한 원단위 파악 ▪ 도시 내 주요 에너지 공급 및 수요처별 원단위 D/B 구축
2차년도	▪ 도시 에너지소비량 모니터링 및 분석시스템 개발	▪ 모니터링 시스템 데이터 DB 화 ▪ 분석시스템 개발
	▪ 마이크로 단위 에너지 커뮤니티 운전 및 제어시스템	▪ 마이크로그리드 신재생에너지와 그리드 연계 알고리즘개발 ▪ 마이크로그리드 단위 신재생에너지 구성 알고리즘 개발
	▪ 도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 설계	▪ 도시 내 설비통합 시스템 정보 교환 시스템 구현
	▪ 복합에너지 네트워크 Pilot 실증	▪ 복합에너지 네트워크 Pilot 상세 설계 ▪ 복합에너지 네트워크 Pilot 실증
	▪ 도시 에너지 수지 분석 및 최적화 프로그램 개발	▪ 도시에너지 공급유형 분석을 통한 문제점 파악 및 안산시 공급 및 소비 특성 파악 ▪ 도시 에너지 및 물질 수지 분석을 위한 해석 프로그램 개발 ▪ 도시의 토지이용계획 및 에너지 공급시설과 연계방안 검토 ▪ 도시에너지 수지 분석 및 최적화 프로그램 개발 및 통합 플랫폼 연계
	▪ 주요 설계 및 운영인자에 따른 수치실험 수행 및 경제성 검토	▪ 도시의 에너지 이용효율에 영향을 미치는 설계 및 운영인자 도출 ▪ 주요 설계 및 운영인자에 따른 도시 에너지 수급체계 수치실험 수행 및 분석

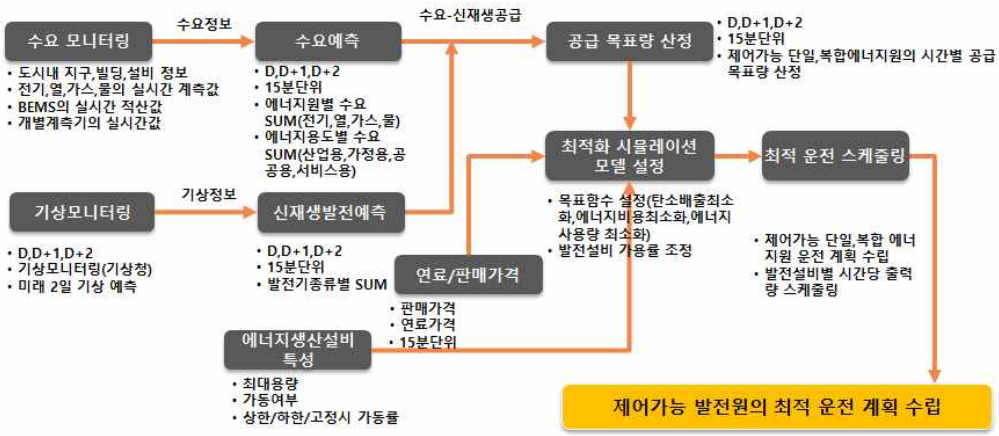
3차년도	▪ 도시에너지 수요관리 및 실시간 부하예측 알고리즘 개발	▪ 도시에너지 소비량 모니터링을 활용한 수요관리 및 실시간 부하예측 알고리즘 개발
	▪ 스마트 도시에너지 관리시스템 개발	▪ 마이크로 단위 에너지 커뮤니티 운전 및 제어시스템 적용 ▪ 도시에너지 통합관제 플랫폼 구축
	▪ 스마트 도시에너지 관리시스템 실증 사이트 구축	▪ 도시에너지 공급단 Smart Metering 시스템 구축 ▪ 스마트 도시에너지 관리시스템 실증사이트 구축
	▪ 도시 에너지원별 부하평준화 (Energy Mixing) 방안 검토	▪ 도시 에너지원별 부하량 및 부하패턴 분석 및 문제점 분석 ▪ 에너지 부하의 혼합(Mixing)과 공급 및 수요의 매칭을 통한 평준화 방안 검토
	▪ 국내 실정에 적합한 복합 에너지 커뮤니티 표준모델 도출	▪ 도시 및 단지 형태, 규모별 순환형 토지이용계획 표준모델 개발 ▪ 토지이용계획 표준모델별 최적 에너지 공급체계 도출
4차년도	▪ 스마트 도시에너지 관리시스템 실증사이트 구축(계속) 및 복합에너지 최적설계 툴 개발	▪ Smart Metering 시스템 및 도시에너지 관리 시스템 구축 ▪ 이용가능 공급에너지원에 따른 복합에너지 최적설계 툴 개발
	▪ 스마트 도시에너지 관리시스템 모니터링 및 효율 검증	▪ 실증도시 에너지 사용량 모니터링 ▪ 스마트 도시에너지 관리시스템 구축 전후의 에너지 사용량 비교 검토 ▪ 온실가스 저감 목표 검증
	▪ 스마트 도시에너지 관리시스템 개선	▪ 시뮬레이션과 실제 data 비교 검토 ▪ 스마트 도시에너지 관리 시스템 개선사항 도출 및 up-grade
	▪ 분산순환형 도시에너지 공급체계 구축 및 운영방안 도출	▪ 분산순환형 통합형 도시 에너지 공급체계 구축방안 검토 ▪ 이용효율 극대화를 위한 통합 에너지 공급 시스템 운영방안 도출
	▪ 복합 에너지 커뮤니티 운영 알고리즘 개발	▪ 복합 에너지 커뮤니티 운영관리방안 및 체계 검토 ▪ 복합 에너지 커뮤니티의 고효율 통합 운영 알고리즘 개발
	▪ 복합 에너지 커뮤니티 설계지침 및 제도 개선방안 도출	▪ 도시/지역 단위 복합 에너지 커뮤니티 설계지침 작성 ▪ 복합 에너지 커뮤니티 보급 활성화를 위한 제도개선방안 검토
5차년도	▪ 스마트 도시에너지 관리시스템 모니터링 및 비즈니스 모델 개발	▪ 실증도시 에너지 소비 효율화 분석 ▪ 스마트 도시에너지 관리시스템을 활용한 비즈니스 모델 개발
	▪ 스마트 도시에너지 관리시스템 및 복합에너지 커뮤니티 모델 적용성 검토	▪ 국내 개발 예정 신도시를 대상으로 스마트 도시에너지 관리시스템 및 복합에너지 커뮤니티 모델 적용성 검토 ▪ 모듈러 신도시를 대상으로 하는 최적 복합에너지 커뮤니티 모델 도출

제 2 절 연구개발 수행내용

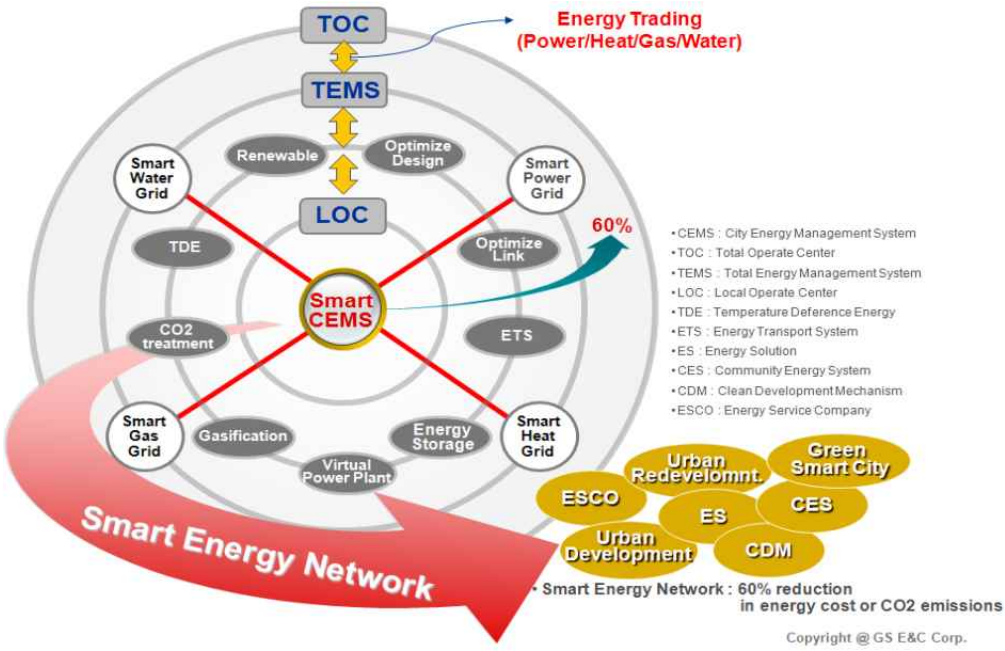
1. CEMS-D

세부목표	그린 에너지 커뮤니티 모델개발
개발목표	• 도시 에너지 수급체계 분석 기술 기반 및 에너지 원단위 DB 확보 • 도시 에너지 수급체계 최적화 설계 방안 확보 • 도시 에너지 공급시스템 주요 설계 운영 인자에 따른 분석 • 도시에너지 복합 에너지 커뮤니티 설계지침 도출 • 분산순환형 복합 에너지 커뮤니티 부하평준화(Energy Mixing) 방안 개발
개발 내용	• 국내외 도시 에너지 공급체계와 운영방안 비교, 검토 및 시사점 도출 • 도시 에너지 수급체계 분석을 위한 표준 해석모델 도출 • 주요 에너지 공급원과 수요처에 대한 자료조사 및 모니터링을 통한 원단위 파악 • 도시 내 주요 에너지 공급 및 수요처별 원단위 D/B 구축 • 도시에너지 수지 분석 및 설계 최적화 지원 프로그램 개발 및 GIS 연계 • 도시의 에너지 이용효율에 영향을 미치는 설계 및 운영인자 도출 • 도시 내 신재생에너지 및 부존 에너지자원 활용 극대화 및 순환 이용방안 도출 필요 • 도시 및 단지 형태 및 규모별 순환형 토지이용계획 표준모델 개발 

2. CEMS-O

세부목표	실시간 부하대응형 스마트 도시에너지 관리시스템 개발
개발목표	• 도시에너지관리 실시간 운영 플랫폼 개발 • 도시 인프라 설비 시스템 최적운영 기술 개발 • 도시 수요 및 신재생에너지 예측기반 지원시스템 개발 • 마이크로그리드 운영 솔루션 및 최적화 운영 지원 알고리즘 개발 • 에너지 데이터 수집 서버 운영 및 스마트 통계 및 실시간 모니터링 처리
개발 내용	• 도시에너지관리를 위한 도시에너지소비량을 실시간으로 모니터링 및 분석하는 시스템 개발 • 도시에너지관리운영 플랫폼 인터페이스 개발 • 마이크로그리드 신재생에너지와 그리드 연계 알고리즘 개발 • 사용하고 있는 에너지의 실시간 모니터링과 분석서비스 플랫폼 개발 • 도시 내 설비통합 시스템 정보 교환 시스템 구현 • 도시에너지 소비량 모니터링을 활용한 수요관리 및 실시간 부하예측 알고리즘 개발 • 마이크로 단위 에너지 커뮤니티 운전 및 제어시스템 적용하여 도시에너지 통합관제 플랫폼 구축 • 최적운영 시뮬레이터 활용 에너지사용량 데이터 대비 에너지 저감량과 온실가스 감축량을 예측 시스템 개발 

3. CEMS 구축 및 실증

세부목표	탄소저감 스마트 도시에너지관리시스템 구축 및 실증
개발목표	• 빌딩, 커뮤니티, 도시 단위의 에너지 효율화 기술 list 작성 • 도시 에너지 소비 모니터링 및 분석시스템 개발 • 실증도시에 도시에너지관리시스템 구축 • 실증도시에 대한 에너지 모니터링 및 효율성 검증 • 도시에너지 관리시스템 구축을 통해 에너지 효율 20% 향상
개발 내용	• 빌딩, 커뮤니티, 도시 단위별로 에너지 효율화 기술에 따른 적용 효과 분석 • 실제 POC 구축을 통한 운전 및 대체 효과 분석 • 에너지 사용 형태에 따른 실시간 에너지 사용량 DB 구축(안산시, GS건설 기술연구소 등) • 에너지 소비 패턴에 대한 분석 및 효율화 방안 검토 • 스마트 도시에너지 관리시스템 및 그린 에너지 커뮤니티 모델에 대한 시뮬레이션 실증 • 실증단지 모니터링 및 DR 프로그램을 활용한 안산시 아파트의 수요반응 실제 검증 • 도시단위 에너지 관리시스템 (CEMS)를 활용한 Biz. Model 개발 및 이에 따른 기대효과 분석 

제 3 절 연구개발 수행 결과

1차년도	▪ 에너지 소비량 분석을 위한 분석시스템 요구사항 도출	▪ 도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 설계 요건 조사 - 기존시스템을 통한 필요 요소 분석 및 관련 내용 조사 ▪ 모니터링 시스템설치를 위한 기술조사 및 분석 ▪ 데이터 취득을 위한 네트워크 구성 도출 - 네트워크 연결방식에 따른 장단점 및 특징 분석 - 적합한 POC 모니터링 시스템 구성 설계
	▪ 빌딩, 커뮤니티, 도시 단위에 대한 에너지 효율화 기술 분석/기술 list 작성	▪ 빌딩단위 에너지 효율화 기술 분석을 통한 리스트 작성 및 적용성 분석 ▪ 커뮤니티, 도시 단위에 대한 에너지 효율화 기술 분석을 통한 리스트 작성 및 적용성 분석 - 에너지 저감 아이템에 따른 에너지 저감 기술 조사 및 이에 따른 저감량 분석
	▪ 도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 요구사항 도출	▪ 도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 설계 요건 조사 - 플랫폼 관련 기술조사(CIM/XML 등) 및 적용사례 조사 - 스마트그리드 표준화 동향 분석 ▪ 도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 요구사항 도출 ▪ RIA(Rich Internet Application) 기반 도시에너지 에너지 대시보드 구현
	▪ 마이크로그리드 운전요구사항 도출 ▪ 마이크로그리드 제어요구사항 도출	▪ 에너지커뮤니티 운전 및 제어시스템 조사 - 미활용에너지 활용 열에너지 공급기술 - 에너지 저장장치 활용 전력시스템 제어기술 ▪ 마이크로그리드 제어기술 분석을 통한 문제점 및 요구사항 도출
	▪ 지역별 수요분석 기술 조사 및 알고리즘 설계 ▪ 시간대별 수요분석 기술 조사 및 알고리즘 설계	▪ 지역에 따른 구성 부하 및 지역기후에 따른 수요분석 방법 조사 및 이에 따른 예측 방법 고찰 - 온도민감 부하 분리를 통한 분석방법, 포화도에 따른 분석 등 ▪ 기존 전력 분야에서 사용되고 있는 장기 수요 예측 방법, 단기 예측 방법에 대한 조사
	▪ 선진국과 국내 도시의 에너지 소비특성 비교, 분석 및 시사점 도출	▪ 국내 도시/지역별 에너지 소비특성 분석을 통한 온실가스배출특성 확인 및 도시에너

	▪ 국내외 도시 에너지 공급체계와 운영방안 비교, 검토 및 시사점 도출 ▪ 도시 에너지 수급체계 분석을 위한 표준 해석모델 도출	지 공급체계의 문제점 분석 - 서울시 마곡지구 사례 분석 - 국내 도시관리계획에 따른 에너지 설계 관련 조항 및 내용 분석 - 국내 에너지 공급체계 문제점 분석 및 관련 연구 동향 확인 ▪ 국외 복합에너지 공급 및 소비체계 사례 조사 및 시사점 확인 ▪ 도시에너지 공급시스템 해석을 위한 최적 설계 프로세서 설계 - 5단계의 설계 프로세서를 확정하였으며, 다양한 해석알고리즘에 대한 분석을 통해 에너지공급시스템 수치해석방법 및 관련 Solver 조사
2차년도	▪ 주요 에너지 공급원과 수요처에 대한 자료 조사 및 모니터링을 통한 원단위 파악 ▪ 도시 내 주요 에너지 공급 및 수요처별 원단위 D/B 구축	▪ 모니터링 시스템 데이터 DB 화 - 에너지 수요 Profile 자료수집(안산시외 4개 지구) - 수집된 자료 DB화(POC 실증단지) - DB화를 통한 분석시스템 모델정립 ▪ 분석시스템 개발(POC 통합관제센터 적용) - 목표: 오픈맵 기반 에너지 분석 시스템 - 사양: POC 실증용 에너지 분석 - 성능: 도시, 빌딩, 설비, 계측기 단위 모니터링 및 분석 - 용도: 마이크로 단위 에너지 공급량, 사용량 모니터링 - 기능: 에너지 사용, 공급 현황에 대한 분석을 통해 개선안 파악
	▪ 마이크로 단위 에너지 커뮤니티 운전 및 제어시스템	▪ 도시 내 에너지 자원 분류 자료수집 - 목표: 도시 내 에너지 자원을 관리하기 위해 기존의 단순공급설비 모델을 복합에너지 운전에 적합하도록 확장하여 모델링 - 기능: 도시 내 자원을 제어가능/제어불가능/저장설비/수요자원 분류 및 모델링 ▪ 도시에너지 최적운전 모델정립 - 목표: 에너지원별 자원(제어가능/제어불가능/저장설비/수요자원)을 이용한 도시에너지 자원 관리 기능 정의 - 기능: 네트워킹/복합에너지운전/실시간운전/수요관리 정의 및 탄소저감 효과 분석 ▪ Smart CEMS 시작품 개발 - 목표: POC 실증용 도시에너지 자원 최적(네트워킹/복합에너지운전/실시간운전/수

		요관리)스케줄링 모듈 개발 - 사양: Web 기반의 선형 알고리즘(MILP, 혼합정수선형계획법) 이용한 S/W - 기능: 에너지원(전기, 열, 가스 물)별 수요예측 및 제어불가능자원 패턴/출력 예측에 기반을 둔 제어가능/저장설비/수요관리 스케줄링 - 용도: 에너지공급비용 관리/탄소발생량 관리/에너지피크수요관리
	▪ 도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 설계	▪ 도시 내 통합설비 정보교환 모듈 개발 - 목표: 통합 모니터링(KPI지수설정, 임계값 감시, 공간정보관점) 및 탄소저감 활동 프로세스에 대한 설계 - 사양: 이벤트 처리(초당 100건), Issue 관리, 활동 관리, 개선 관리 모듈 설계 - 용도: 신속한 탄소 배출 정보 전달, 지속적인 탄소 저감 활동 강화 - 기능: KPI설정, 지표 모니터링, 공간 정보 기반 모니터링, 임계초과 이벤트 발생, 탄소저감 활동 프로세스 자동화
	▪ 복합에너지 네트워크 Pilot 실증	▪ 복합에너지 네트워크 Pilot(POC) 상세 설계 - 에너지 수급 Simulation 수행 - 신재생에너지 운영 최적화 시나리오 도출(태양광, 풍력 및 배터리) ▪ 복합에너지 네트워크 Pilot 실증 - POC 실증단지 AMI 시스템 구축 - 통합관제센터 구축 및 시연
	▪ 도시 에너지 수지 분석 및 최적화 프로그램 개발	▪ 도시에너지 공급유형 분석을 통한 문제점 파악 및 안산시 공급 및 소비 특성 파악 ▪ 도시 에너지 및 물질 수지 분석을 위한 해석 프로그램 개발(해석모델 정립) ▪ 도시의 토지이용계획 및 에너지 공급시설과 연계방안 검토(자료 수집) ▪ 도시에너지 수지 분석 및 최적화 프로그램 개발 및 통합 플랫폼 연계방안 검토 ▪ 도시에너지 공급시스템 최적화 설계지원 소프트웨어 시작품 개발

		- 목표: 도시에너지 공급시스템 최적화 웹기반 설계지원 패키지 - 사양: Lingo S/W API 이용한 선형 알고리즘(MILP, 혼합정수선형계획법) 이용 - 성능: 변수(비선형 20개) 200개 이하, 제약조건(비선형 100개) 200개 이하에서의 구동속도 30분 이내 - 용도: 도시/지구단위에서의 에너지 공급시스템 최적화 개념설계 지원 - 기능: 에너지 공급시스템의 열원기기 결정, 용량 결정, 대수 결정 지원을 통한 경제성 분석, 탄소배출량 분석 등
	▪ 주요 설계 및 운영인자에 따른 수치실험 수행 및 경제성 검토	▪ 도시의 에너지 이용효율에 영향을 미치는 설계 및 운영인자 도출 ▪ 최적화 프로그램을 이용한 주요 설계 및 운영인자에 따른 수치실험 수행 및 경제성 검토 - 안산신도시 모델 - 안산신길지구 모델 - 일산신도시 모델 - 서울시 뉴타운 또는 재개발지구 모델 - 해외(사우디 Jeddah 신도시) 모델
3차년도	▪ 스마트 도시에너지 관리시스템 실증 사이트 구축	▪ 도시에너지 공급단 Smart Metering 시스템 구축 - 목표: 분산발전원의 AMI 구축을 통한 공급량 분석 - 사양: 원격검침이 가능한 센서 및 G/W - 성능: 15분 단위 원격검침 가능 - 용도: 신재생 에너지를 포함한 분산발전원 생산량 계측 - 기능: 분산발전원 에너지 공급량 분석 - 주요개발내용: 안산시 상업단지, 주거단지, 산업단지 및 GS건설 기술연구소의 분산전원(신재생에너지, 비상용발전기 포함)에 원격 검침이 가능한 공급단 Smart Metering 시스템을 구축하였으며, 분산전원의 공급량 계측을 통하여 Smart CEMS-D 및 Smart CEMS-O 적용시의 효과를 분석할 수 있는 AMI 시스템 구축 ▪ 스마트 도시에너지 관리시스템 실증사이트 구축 - 목표: Smart CEMS-D/O 실증을 위한 안산시 상업단지, 주거단지 및 산업단지 에너지 모니터링 시스템 구축

		- 사양: 원격검침이 가능한 센서 및 G/W - 성능: 15분 단위 원격검침 가능 - 용도: 안산시 주거단지(전력), 산업단지(전력, 열, 수도 등) 계측 - 기능: 에너지 수요분석, CEMS 최적화 기능에 활용 - 주요개발내용: 안산소재 주거단지(아파트)와 공장에 센서 및 원격검침 시스템을 설치하여, 실시간 모니터링이 가능하도록 구축하였음. 아울러, 수요반응(DR, Demand Response) 모듈 실증을 위하여, 무정전절체스위치(CTTS)를 활용한 수요자원 활용 방안 검토를 수행해 보았으며, 서울 A 호텔의 에너지 부하 데이터를 토대로 비상용 발전자원을 DR 자원으로 활용할 경우에 예상되는 효과 등을 분석함
	▪ POC 에너지 모니터링 DB	▪ POC 모니터링 DB 확보 - 목표: POC 실증을 위한 에너지 사용량 DB 확보 및 이를 활용한 건물 특성별 에너지 Profile 분석(주거/상업/복합 건물) - 사양: 건물 특성별 에너지 사용량 모니터링 월별 시간별 DB - 성능: Smart CEMS 프로그램에서 활용 가능한 에너지 사용량 DB형태 - 용도: POC 단지별 에너지 사용량(전기, 가스, 수도) 계측 - 기능: POC 에너지 수요분석, 에너지 현황에 대한 분석을 통해 개선안 파악, Smart CEMS 최적화 기능에 활용 - 주요개발내용: POC의 1년간 에너지 수급 데이터 분석 통해 개선안 파악, Smart CEMS 최적화 실증 데이터로 활용 가능한 형태로 DB화, 이를 통하여 최적화 프로그램 및 통합 S/W에 사용할 수 있는 형태로의 변환 ▪ Smart CEMS 최적화를 통한 POC 실증 - 목표: POC 데이터를 활용한 Smart CEMS 최적화 모듈 실증 - 사양: POC 에너지 사용량 월별 시간별 DB 및 이를 활용한 분석 - 용도: POC의 데이터를 활용하여 Smart CEMS 적용성 확인 - 기능: 최적화 모듈의 탄소 저감 효과 및 에너지 저감 효과 분석

		- 주요개발내용: POC 열공급원 모델링을 통한 4가지 운전방식(네트워킹/복합에너지운전/실시간운전/수요관리)에 따른 에너지 및 탄소저감량 확인
	▪ 도시에너지 운영 알고리즘 개선 - 실시간 예측 알고리즘개선 - 최적 스케줄링 알고리즘 개선	▪ 수요예측 및 신재생(풍력, 태양광) 출력 예측 알고리즘 개선 (상명대) - 목표: 개발한 에너지 수요예측 및 신재생에너지 발전량 예측 알고리즘을 Smart CEMS의 기능에 맞춰 개선 및 보완 - 성능: 국내 최초 개발기술에 해당함 에너지 수요예측 목표오차율(10%) 실시간 예측 목표오차율(5%), 풍력발전량 예측 목표오차율(40%), 태양광발전량 예측 목표오차율(20%) - 주요개발내용: 에너지원별 수요패턴을 고려하여 시간대별 수용가별 도시에너지 수요예측 모델을 개발하고 기상정보를 활용한 신재생에너지원의 시간대별 발전량예측 모델을 개발함 ▪ 네트워킹/복합에너지운전/실시간운전/수요관리 알고리즘 개선 (기초연) - 목표: 기존기술 대비 에너지 절약 20% 이상 가능한 공급설비의 실시간 스케줄링, 공급자원 선택에 대한 의사결정지원 - 사양: Windows7, Xpress Solver Engine 기반, HTML 5기반 UI - 성능: 국내 최초 개발기술에 해당함. 공급설비 50개, 최대 15분 단위, LP - 용도: 도시 내 제어가능 공급설비에 대한 주간, 일간 최적 운전 스케줄링 정보 제공, 도시 내의 운영자가 외부의 메인 시스템과 연계하여 자원의 구입 및 도시 내 설비의 운영을 결정 - 기능: 주어진 기간 내의 에너지 구입 계획 수립, 자원별 생산 계획(최대 1주일) 수립, 자원별 비용, 자원별 탄소배출량 - 주요 개발 내용: 데이터 구조개선(1시간단위→15분), Job관리 기능 개선, 수요예측 자동 연계, 신재생발전량예측 자동 연계
	▪ 도시 실증용 스마트 도시에너지 관리시스템 개발 - 통합 UI/DB 개발	▪ 도시 실증용 대시보드/모니터링/실시간예측/최적화/통계분석/자원관리 통합 UI/DB 개발

	- 통계분석모듈 개발	- 목표: 용인시 및 수원시 등의 실증 도시의 실시간 에너지 수요, 공급 관리 기능 확보 - 사양: 오픈소스기반(Linux, Mysql, Tomcat, Apache), HTML5기반 - 성능: 최대 1000개의 빌딩 관리, 최소 2일, 최대 1달 에너지 수급 예측, 설비 단위의 에너지 소비, 공급 관리 기능, 15분 단위의 에너지 모니터링 기능 - 용도: 도시에너지 수급에 대한 실시간 관리, 탄소저감을 위한 에너지 공급 의사 결정 지원 - 기능: 에너지 현황 관리, 에너지 수요 관리, 에너지 공급 관리, 최적 스케줄링, 자원 관리, 환경 설정 기능 제공 - 주요개발내용: 에너지 모니터링 기능개선(에너지현황, 행정구역별현황, 에너지수지, 공급프로파일, 성과지표, 계측기별모니터링, 복합에너지모니터링), 에너지수요기능개선(수요추이분석, 수요예측), 에너지공급(생산추이분석, 생산예측, 발전기 생산 예측), 최적스케줄링(모의관리, 모의결과), 환경설정(공급설비정보관리, District설정, 계측기정보관리, 사용자관리, 권한관리, 비밀번호변경, 구성파일 편집) ▪ 정형 및 사용자 지정 보고서 생성 모듈 개발 - 목표: 도시단위의 에너지 수지 분석 - 사양: 오픈소스기반(Linux, Mysql, Tomcat, Apache), HTML5기반 - 성능: 최대 1000개의 빌딩, 15분 단위 - 용도: 일간, 주간, 월간 에너지 수요 및 에너지 공급 분석 - 기능: 에너지 수요/공급량 추이 분석(시계열), 에너지 수지 관리, 15분 단위의 에너지 분석 기능 - 주요개발내용: 에너지 수요추이분석, 에너지 생산추이분석, 엑셀 다운로드 기능
	▪ 에너지절약 10% 이상인 도시에너지 공급 시스템 설계기법 개발	▪ 테스트베드, 모델도시에 대한 도시 내 신재생에너지, 부존 에너지자원 활용 극대화 및 순환이용을 위한 설계기법 <에너지 및 탄

		소저감량 10% 달성> 도출 - 목표: 기존기술 대비 에너지 절약 10% 이상 가능한 복합에너지 공급시스템, 부하평준화 설계기술 개발 - 사양: 혼합정수선형계획법(MILP: Mixed Integer Linear Programming)을 이용한 수치해석적 방법 이용 - 성능: 국내 최초 개발기술에 해당함. - 용도: 도시단위에서의 탄소배출량을 저감하기 위한 에너지 공급시스템의 최적화에 활용. 에너지 공급시스템의 최적화에 따른 경제성 분석 및 탄소배출량의 정량적 평가에 활용 - 주요개발내용: 1) 해석 대상 도시(테스트베드 : 수원시)에 대한 에너지 소비패턴 분석 및 원단위 분석. 에너지 소비량 증가 추이 분석 2) 본 연구에서 개발한 도시에너지 공급시스템 설계지원 소프트웨어(Smart CEMS-D)를 이용하여 수치적으로 다양한 모델에 대한 배열발생 및 이용량 변화, 가동률 변화, 에너지 절감량 변화 등을 정량적으로 분석하였고, 이를 통하여 복합에너지 구성 및 부하 평준화를 통하여 에너지 절약 10% 이상이 달성 가능함을 확인하였음 ▪ 도시에너지원별 부하 평준화 방안 검토 및 국내 실정에 적합한 복합에너지 커뮤니티 모델 도출 - 목표: 복합에너지 커뮤니티 표준모델 4건 도출 - 사양: 모델의 종류 1) 분산형, On-site형 모델 2) 신재생에너지 및 미활용에너지 등 에너지원 다변화형 표준모델 3) 부하 평준화형 표준모델 4) 에너지 공급원 우선순위 결정 등 최적 운영형 표준모델 - 성능: 복합에너지 커뮤니티 표준모델 적용에 따른 도시단위에서의 탄소배출량 저감 - 용도: 도시단위 에너지공급시스템의 개념설계에 활용, 최적화에 따른 효과분석에 활용 - 주요개발내용: 본 연구에서 개발한 도시에너지 공급시스템 설계지원 소프트웨어(smart CEMS-D)를 이용하여 수치적으로

		다양한 모델에 대한 정량적인 평가를 통하여 목적함수(경상비, 탄소배출량)를 최소화하기 위한 모델을 개발하였으며, 이러한 다양한 모델들에 대한 Case Study를 수행함
	▪ GIS 연계 도시에너지 공급시스템 최적화 프로그램	▪ 2차년도에서 개발한 도시에너지 공급시스템 최적화 프로그램을 업데이트하고, GIS 엔진과 연계(GS건설 공동) - 목표: 도시에너지 공급시스템 설계지원 프로그램(Smart CEMS-D)의 성능을 개선하고, GIS 엔진과 연계하여 도시에너지 소비량의 가시화, 배관망 해석을 수행할 수 있는 웹기반의 소프트웨어 패키지 개발 - 사양: 웹지원, DB 관리, Lingo S/W API 연동, ArcGIS 연동 - 성능: 혼합정수선형계획법 및 Lingo API을 통한 빠른 해석 수행 - 용도: 도시단위에서의 에너지 공급시스템 개념설계(열원설비의 종류, 대수 및 용량 산정)에 활용 - 기능: 경제성 모델 작성기능, 열원설비 구성 자동 다이어그램 작성기능, GIS 엔진 연동기능, 보고서 작성기능 - 주요개발내용: 2차년도에 개발한 도시에너지 공급시스템 설계지원 프로그램(Smart CEMS-D)의 성능(해석속도)을 개선하고, 추가적인 기능(경제성 모델, 열원설비 입출력특성 입력기능)을 개발하였음 ▪ 에너지 공급시설별 위치에 따른 에너지 이용 효율 변동을 고려한 시나리오 또는 알고리즘 설정 - 목표: 에너지 공급시스템의 종류 및 용량에 대한 해석결과를 반영한 에너지 공급설비의 부지면적 자동계산 및 배관망 최적화에 기반을 둔 에너지 공급시설의 위치선정 - 사양: 웹지원, DB 관리, ArcGIS 연동 - 성능: 혼합정수선형계획법 및 Lingo API을 통한 빠른 해석 수행 - 용도: 에너지 공급시설 위치선정에 활용 - 기능: GIS 엔진 연동기능, 지역난방 열배관망 최적화 기능, 에너지 공급시설 최적위치 결정 기능, 에너지 공급시설별 면적 산출 및 표출기능 - 주요개발내용: 에너지 공급시설별 부지면적

		산출, 배관망 최적화 알고리즘 개발(특허출원 예정), GIS 지도 및 알고리즘을 반영한 배관망 최적화 툴을 개발함 ▪ 부하패턴을 이용한 도시에너지 소비량 가시화 기법 개발 - 목표: 도시단위 에너지 소비량을 구역별로 2D 또는 3D로 가시화 - 사양: GIS 기반의 에너지 맵 정보 제공 - 성능: 도시에너지 소비량 증가율에 따른 가시화 제공 - 용도: 에너지 소비량 분포 해석에 활용. 탄소배출량 절감방안 도출에 활용. 도시에너지 공급시스템 설계지원 툴(Smart CEMS-D) 개발에 활용 - 기능: 대상 도시에 대한 에너지 소비량의 가시화 - 주요개발내용: 테스트베드(수원시)에 대한 에너지원별, 구역별, 연도별 에너지 소비량을 분석하고, 건축물 연면적 정보를 토대로 도시단위 부하패턴 및 원단위를 작성하였음. 에너지 분석정보를 Smart CEMS-D에 반영하고, 타 모델도시에 적용할 수 있도록 일반화(메뉴화)하는 과정을 수행하고 있음
	▪ 전기 이외의 도시에너지에 대한 수용가별 시간대별 수요예측 모델개발	▪ 전기에너지 이외의 도시에너지원에 대한 도시 수용가별 시간대별 에너지 수요데이터 분석 - 목표: 전기 이외의 도시에너지원에 대한 수용가별 시간대별 수요예측 모델 개발 - 성능: 전기에너지 수요예측 성능과 유사 수준 - 주요개발내용: 에너지 수요예측 모델은 ① 요일별 시간대별 수요량(총량) 예측과 ② 수용가별 시간대별 점유율예측으로 구성 ▪ 전기에너지의 도시 수용가별 시간대별 에너지 수요데이터 예측 모델의 활용가능성 연구 - 목표: 기 개발 완료한 전기에너지 수요예측 모델의 적용 가능성을 타진 - 주요개발내용: ① 요일별 시간대별 수요량(총량)예측 모델: 요일별 수요패턴이 전기에너지의 수요패턴과 상이하므로 요일분류체계를 상이하게 적용함. ② 수용가별 시간대별 점유율예측 모델: 전기에너지 점유율 예측모델과 동일한 모델의 적용이 가능하

		나 현 데이터로는 실증이 불가능함 ▪ POC 실측데이터를 활용한 모델 검증 및 보완작업 - POC 실측데이터(GS건설 기술연구소)를 활용하여 수도, 열, 가스 에너지에 대한 시간대별 수용가별 수요예측 개발 모델 검증 및 보완 - 데이터 계측 시스템 피드백
	▪ CEMS 모니터링시스템에 활용 가능한 실시간예측 알고리즘 개발	▪ 시계열분석기법을 활용한 실시간 데이터 예측모델 개발 - 목표: CEMS 에너지 수요 모니터링을 위한 시계열에너지수요 예측모델 개발 - 성능: 실시간 예측모델 오차: 5%이내 - 주요개발내용: 5분 단위 데이터 계측 시스템에 대해 시계열 분석을 통한 5분 단위 수요데이터 예측 모델 개발 ▪ POC 실측데이터를 활용한 모델 검증 및 보완작업 - POC 실측데이터(GS건설 기술연구소)를 활용하여 수도, 열, 가스 에너지에 대한 실시간(5분 단위) 수요예측 개발 모델 검증 및 보완 - 데이터 계측 시스템 피드백
	▪ 실데이터 기반의 개발 모델 검증 및 보완	▪ 실데이터를 활용한 도시에너지원별 수용가별 시간대별 에너지 수요예측 모델 검증 및 보완작업 - 주요개발내용: 가능한 한 여러 사이트에서 수집한 수용가별 시간대별 에너지 수요데이터(최소 1달 이상의 실측된 시간대별 에너지 수요데이터)를 활용하여 요일별 시간대별 에너지 수요패턴을 분석하여 예측모델을 검증함 ▪ 실데이터를 활용한 도시 신재생에너지원의 기상정보(풍속, 기후) 대 발전량 예측모델 검증 및 보완작업 - 주요개발내용: 가능한 한 여러 사이트에서 수집한 신재생에너지원의 발전량 데이터와 기상 데이터를 활용하여 기상 예보 데이터 기반의 발전량 예측모델을 검증함
4차년도	▪ Smart Metering 시스템 및 도시에너지 관리 시스템 구축	▪ 안산시 Smart Metering 구축 완료
	▪ 이용가능 공급에너지원에 따른 복합에너지 최적설계 툴 개발	▪ 신재생에너지 가용량 평가가 가능한 복합에너지 설계 툴 개발

		▪ CEMS-D의 최적화 입력을 위한 기상정보를 활용한 신재생 에너지(태양광, 풍력) 복합에너지 시뮬레이션
	▪ 실증도시 에너지 사용량 모니터링 데이터 분석	▪ 에너지 사용량 DB확보 (14년 01월 ~ 12월) ▪ 실증도시 에너지 사용량 분석
	▪ 도시에너지 관리 시스템 구축에 따른 온실가스 저감 목표 검증	▪ POC 열에너지 네트워킹에 따른 에너지 수급 시뮬레이션 ▪ POC 열병합 대체에 따른 에너지 수급 시뮬레이션 ▪ 에너지 수급 시뮬레이션에 따른 에너지 및 탄소저감량 검증
	▪ 에너지 분석 기법 개발 및 적용	▪ 도시단위 에너지 예측 데이터 분석 방법을 적용하여 시계열 예측결과의 정확도를 한눈에 확인할 수 있도록 적용 (MAPE, MAD, MSD 등 다양한 방법론을 적용하여 분석화면 개선) ▪ 도시단위 에너지 소비량 모니터링 및 분석을 위한 선행처리, 실시간처리, 예측데이터에 대해서 전처리 방법을 적용하여 분석시간을 최적화
	▪ 스마트 도시에너지 관리 시스템(Smart CEMS-O) 개선사항 도출 및 up-grade	▪ 신재생에너지 설비와 배터리의 연계, 열병합발전기와 열저장장치의 연계기능을 추가하여, 신재생에너지의 간헐성을 해결하고 부족하거나, 남는 에너지를 활용 가능하도록 최적화 알고리즘을 보완 ▪ 최적화 프로그램의 입력 UI를 개선하고, 최적화에 필요한 입력파일을 자동으로 생성해주는 모듈을 추가적으로 개발하여, 유저 친화적인 UI를 구성
	▪ 3차년도에 개발한 Smart CEMS-D S/W의 업데이트	▪ 에너지부하패턴 세분화, 에너지 요금 체계 세분화 ▪ 도시에너지 소비량 가시화 기능 추가(도시에너지 설계부하와 실제 소비량의 비교분석 기능 등) ▪ 신재생에너지시스템(태양열, 풍력, 연료전지) 모듈 추가 ▪ 프로그램 최적화를 통한 실행속도 향상, S/W 전체적인 디자인 변경

	▪ 복합 에너지 커뮤니티 운영관리방안 및 체계 검토	▪ 에너지원별 실시간 모니터링시스템 구축 시의 설계 검토사항 정리 ▪ 도시에너지 부하 대응 다양한 에너지원 믹스(mix) 방안 및 체계 검토
	▪ 복합 에너지 커뮤니티의 고효율 통합 운영 알고리즘 개발	▪ 복합에너지 시스템의 장기간 운전비용 분석을 위하여 생애주기비용 방법을 도입방안 모색 ▪ 건설구조물의 라이프 사이클의 각 단계에 있어서 복수의 LCC 대체안을 비교·검토하여 가장 바람직한 안을 선택하는 방식 검토 ▪ 하나의 계획안에 대하여 전체 LCC의 산정 결과를 토대로 전체 안을 검토하는 방식 검토
	▪ 타 과제에서 기 구축한 DB활용방안 및 고도화 모색	▪ 도시에너지관리시스템(CEMS)과 건물에너지관리시스템(BEMS, HEMS)의 연동방안 검토 ▪ 도시 통합관제센터를 활용한 도시에너지 관리 서비스 방안 검토
	▪ 복합 에너지 커뮤니티 보급 활성화를 위한 제도개선방안 검토	▪ 도시기반시설(에너지공급시설, 환경기초시설, 신재생에너지)에 대한 관계 법령 검토 ▪ 복합 에너지 커뮤니티 보급 활성화를 위한 제도개선 방향성 검토
	▪ 도시/지역 단위 복합 에너지 커뮤니티 설계지침 작성	▪ 도시에너지 이용 효율화 및 탄소배출량 저감을 위한 도시/지역 단위 복합 에너지 커뮤니티 설계 지침(가이드라인) 작성
5차년도	▪ 스마트 도시에너지 관리시스템을 활용한 비즈니스 모델 개발	▪ 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템이 적용 가능한 Biz. Model 조사 및 도출
	▪ 국내 개발 예정 신도시를 대상으로 스마트 도시에너지 관리시스템 및 복합에너지 커뮤니티 모델 적용성 검토	▪ 신도시를 대상으로 한 에너지공급설비 시뮬레이션
	▪ 모듈러 신도시를 대상으로 하는 최적 복합에너지 커뮤니티 모델 도출	▪ 모듈러 신도시를 대상으로 한 복합에너지 커뮤니티 모델 구성

제 3 장 최종 연구성과 및 적용실적

제 1 절 핵심성과 리스트

연번		핵심성과명	핵심성과 설명	성과유형	성과달성 책임	해당연차
1	CEMS-O	도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 설계 요건 조사	• 통합관제 플랫폼 필요 기술조사 및 통합관제 플랫폼의 구성에 따른 장단점 분석 및 CEMS 통합 플랫폼의 필요요구사항 도출	기타 (기술분석)	기초전력 연구원	1차년도 '11.12 ~ '12.08 (9개월)
2		에너지 커뮤니티 운전 및 제어시스템 조사 및 분석	• 전력, 열, 가스, 물 등의 에너지 자원의 복합 운전을 위한 제어시스템 조사, 제어를 위한 요구사항 분석	기타 (기술분석)	기초전력 연구원	1차년도 '11.12 ~ '12.08 (9개월)
3	CEMS-D	국내외 도시에너지 소비특성 및 공급체계 분석 자료	• 국내(서울, 고양, 강릉, 안산) 에너지 소비특성 분석 및 도시에너지 공급체계의 문제점 분석 • 국외(예테보리, Uppsala, Sandvika, 스톡홀름) 복합에너지 공급체계 및 효과 분석	기타 (기술분석)	한국건설 기술연구원	1차년도 '11.12 ~ '12.05 6개월)
4		도시에너지 공급원 및 수요처별 에너지 원단위 DB	• 주요 에너지 공급원과 수요처에 대한 자료조사 및 실제 모니터링을 통한 에너지원별 원단위 파악 • 도시 내 주요 에너지 공급 및 수요처별 원단위 DB 구축을 위한 모니터링 결과 분석	소프트웨어 (DB)	한국건설 기술연구원	1차년도 '12.04 ~ '12.08 (5개월)
5	실증	에너지 효율화 기술 List	• 빌딩, 커뮤니티 도시단위로 적용 가능한 에너지 효율과 기술조사 및 분석 • 열/전기에너지 저감 기술에 따른 에너지 저감량(kWh/m²y) 계산 및 투자비용(원/m²), 회수기간(년) 분석	기타 (기술분석)	GS건설(주)	1차년도 '11.12 ~ '12.08 (9개월)
6	실증	도시 에너지소비량 모니터링 및 분석시스템 설계	• 기 구축된 GS건설 기술연구소 생활관을 이용한 필요 요소 분석 • 모니터링 시스템 설치를 위한 기술 분석(원격검침방법에 따른 장단점 분석 및 POC 적용성 분석) • 데이터 취득을 위한 네트워크 구성 도출 (센서 네트워크 구성을 위한 통신방식에 따른 특징 및 장단점, POC 적용성 분석)	기타 (기술분석)	GS건설(주)	1차년도 ~ 2차년도 '11.12 ~ '12.06 (7개월)
7	CEMS-O	에너지 시스템 모델링 및 운전 최적화 Prototype 모듈 개발	• 에너지원별 자원 및 연계 시스템 모델링 • 도시단위 최적화 운영 알고리즘애 대한 정의 및 탄소저감 효과 계산방법 설계 • POC 시스템용 Prototype 최적화 모듈 개발	소프트웨어 (최적화 프로그램)	기초전력 연구원	2차년도 '12.08 ~ '13.06 (10개월)
8	CEMS-D	도시에너지 공급시스템 최적화 프로그램	• 웹상에서 구현이 가능하고 도시에너지 시스템을 개념 설계할 수 있는 선형계획법을 이용한 도시에너지 공급시스템 최적화 프로그램 패키지 개발 • 소프트웨어 사용자 매뉴얼 개발	소프트웨어 (설계 프로그램)	한국건설 기술연구원	2차년도 '12.08 ~ '13.06 (11개월)
9	CEMS-O	도시특성을 감안한 전력수요 예측알고리즘	• 도시 수용가별(주거, 산업, 서비스, 공공용) 시간대 전력수요예측 • 전일 예측을 통한 발전계획 수립에 활용	기타 (알고리즘)	상명대학교	2차년도 '12.08 ~ '13.06 (11개월)
10	CEMS-O	도시 신재생 예측 알고리즘 개발	• 도시 내 풍력발전설비 전체용량 기준의 풍력발전량 예측(예측오차 40%이내 목표) • 도시 내 태양광발전설비 전체용량 기준의 태양광발전량 예측(예측오차 20%이내 목표) • 기상청 기상예보 정보 활용	기타 (알고리즘)	상명대학교	2차년도 '12.08 ~ '13.06 (11개월)

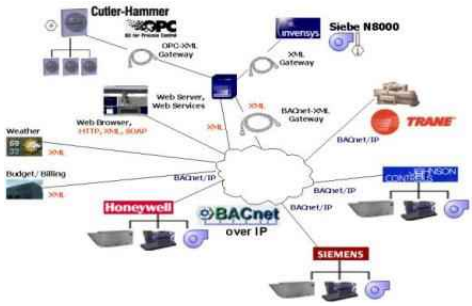
11	CEMS-D	안산시 도시에너지 공급 및 소비특성 분석 자료	• 안산시의 에너지(전력, 열)사용현황 분석을 통한 도시에너지 공급 및 소비특성 파악	기타 (기술분석)	GS건설(주) 한국건설기술연구원	2차년도 ~ 3차년도 '12.08 ~ '13.10 (15개월)
12	CEMS-D	도시 에너지·자원 부존량 분석 및 수치실험을 통한 에너지 공급시스템의 경제성 분석자료	• 테스트베드(안산시)에 대한 도시에너지·자원 부존량(미활용에너지 부존량, 신재생에너지 부존량) 분석 • 최적화 프로그램을 이용한 주요 설계 및 운영인자에 따른 수치실험 수행 및 경제성 검토	기타 (기술분석)	한국건설기술연구원	2차년도 ~ 3차년도 '12.10 ~ '13.09 (12개월)
13	실증	POC 실증	• POC 상세설계 및 실증 (GS건설 기술연구소 생활관, 본관동, 국제관 실증 및 13년 1월부터 12월 에너지 소비량 DB구축)	기타 (실증)	GS건설(주)	2차년도 ~ 3차년도 '12.08 ~ '14.06 (23개월)
14	실증	스마트 도시에너지 관리시스템 실증사이트 구축	• 도시에너지 Smart Metering 시스템 구축 (실증도시: 안산시) • Smart Meter와 통합관제를 통한 스마트 관리 시스템 실증 사이트 구축 (실증도시: 안산시)	기타 (실증)	GS건설(주)	2차년도 ~ 4차년도 '13.05 ~ '14.12 (20개월)
15	CEMS-D	에너지절약 10% 이상인 도시에너지 공급시스템 설계기법	• 테스트베드, 모델도시에 대한 도시 내 신재생에너지, 부존 에너지자원 활용 극대화 및 순환이용을 위한 설계기법<에너지 및 탄소 저감량 10% 달성> • 도시에너지원별 부하 평준화 방안 검토 및 국내 실정에 적합한 복합에너지 커뮤니티 모델 도출	공법·기법 (설계기법)	한국건설기술연구원	3차년도 '13.07 ~ '14.06 (12개월)
16	CEMS-D	GIS 연계 도시에너지 공급시스템 최적화 프로그램	• 2차년도에서 개발한 도시에너지 공급시스템 최적화 프로그램을 업데이트하고, GIS 엔진과 연계한 프로그램을 개발	소프트웨어 (설계 프로그램)	한국건설기술연구원 GS건설㈜	3차년도 '13.07 ~ '14.06 (12개월)
17	CEMS-O	도시 실증용 통합에너지관제시스템	• POC 실증에 사용된 통합에너지관제시스템을 도시 실증에 맞도록 프로그램을 개선함 • 대시보드/모니터링/실시간예측/최적화/통계분석/자원관리를 도시 실증에 맞도록 규모와 다양성을 고려하여 알고리즘/DB/UI를 개선함	소프트웨어 (프로그램)	기초전력연구원 GS건설㈜	3차년도 '13.07 ~ '14.06 (12개월)
18	CEMS-O	도시에너지운영 최적화기법	• 예측된 에너지 수요를 바탕으로 도시 내 에너지 자원을 최적으로 운영하는 네트워킹/복합에너지운전/실시간운전/수요관리 알고리즘을 도시 실증에 적합하도록 개선함	공법·기법 (최적화기법)	기초전력연구원	3차년도 '13.07 ~ '14.01 (7개월)
19	CEMS-O	도시특성을 감안한 기타 도시에너지(가스, 열 ,수도) 수요예측 알고리즘	• 전기에너지 이외의 도시에너지원(가스, 열, 수도)에 대한 도시 수용가별 시간대 에너지 수요예측 • 에너지믹스를 통한 도시에너지 간의 이용효율 극대화 가능 • POC 실증데이터를 활용한 검증 및 보완	기타 (알고리즘)	상명대학교 GS건설㈜	3차년도 '13.06 ~ '14.06 (13개월)
20	CEMS-O	모니터링 시스템 활용 가능한 실시간 예측알고리즘	• 시계열분석기법을 활용한 실시간 데이터예측 • 실시간 에너지모니터링 데이터 update 주기에 맞춰 개발 • POC 실증데이터를 활용한 검증 및 보완	기타 (알고리즘)	상명대학교 GS건설㈜	3차년도 '13.06 ~ '14.06 (13개월)
21	CEMS-D	복합에너지 최적설계 툴 개발	• 기후데이터에 기반한 신재생에너지 가용량 평가 (태양광, 풍력, 태양열) • 전력 및 열원 복합에너지원의 최적설계 툴 개발(설치비용 대비 Payback Period 분석, 민감도 분석 등)	소프트웨어 (프로그램)	GS건설(주)	4차년도 '14.06 ~ '15.06 (13개월)
22	CEMS-D	Long-term 복합에너지 커뮤니티 운영 알고리즘 및 기법	• 분산, 순환형, 통합형 도시에너지 공급체계 구축방안 검토 및 이용효율 극대화를 위한 통합에너지 공급시스템 장기 운영방안 도출 • 장기(long-term) 복합에너지 커뮤니티 운영 관리방안 및 체계 검토, 고효율 통합운영 알고리즘 개발	공법·기법 (설계기법)	한국건설기술연구원	4차년도 '14.07 ~ '15.06 (12개월)
23	CEMS-D	복합에너지 커뮤니티 설계지침 및 제도 개선방안	• 도시/지역단위 복합에너지 커뮤니티 설계지침 요소 확인 및 작성 • 복합에너지 커뮤니티의 보급 활성화를 위한 제도개선 방안 검토	정책·제도 (지침 등 제도개선 방안)	한국건설기술연구원	4차년도 '14.07 ~ '15.06 (12개월)

24	CEMS-O	도시에너지사용 분석기법	• 도시의 에너지 공급과 소비현황의 모니터링 결과를 바탕으로 에너지 흐름을 분석하여 정보를 제공하는 기법을 개발함	공법·기법 (분석기법)	기초전력연구원	4차년도 '14.07 ~ '15.01 (7개월)
25	CEMS-O	개선된 통합에너지 관제시스템	• 도시 실증에 사용된 통합에너지관제시스템을 도시 실증 결과분석에 따라서 프로그램을 개선함 • 대시보드/모니터링/실시간예측/최적화/통계분석/자원관리를 적용도시의 특성에 맞도록 알고리즘/DB/UI를 개선함	소프트웨어 (프로그램)	기초전력연구원	4차년도 '14.07 ~ '15.06 (12개월)
26	CEMS-O	도시규모에 적합한 CEMS용 수요관리(DR) 프로그램 개발	• 도시 내 제어가능 발전설비 혹은 에너지저장장치를 활용한 수요반응(DR) 방법론 분석 • 최적의 CEMS용 수요반응(DR) 프로그램 개발 및 발전기 운영 스케줄과의 연관성 분석을 통한 경제성 분석	기타 (알고리즘)	상명대학교	4차년도 '14.07 ~ '15.06 (12개월)
27	실증	스마트 도시에너지 관리시스템 모니터링 및 비즈니스 모델 개발	• 실증도시 에너지 소비 모니터링 및 분석 (14.07 ~ 15.06의 에너지 소비 모니터링 데이터 DB 및 분석을 통한 에너지 저감 방안의 적절성 검토 및 시뮬레이션) • 스마트 도시에너지 관리시스템을 활용한 비즈니스 모델 개발	기타 (Biz. Model개발)	GS건설(주)	4차년도 ~ 5차년도 '14.07 ~ '16.06 (24개월)
28	실증	스마트 도시에너지 관리시스템 및 복합에너지 커뮤니티 모델 적용성 검토	• 국내 개발예정 신도시를 대상으로 스마트 도시에너지 관리시스템 및 복합에너지 커뮤니티 모델 적용성 검토 (신도시 적용에 따른 에너지 저감량 및 탄소저감량 시뮬레이션)	기타 (시뮬레이션)	GS건설(주)	5차년도 '15.06 ~ '16.06 (12개월)

제 2 절 핵심성과별 결과 및 실적

1. 도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 설계 요건 조사

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="7">

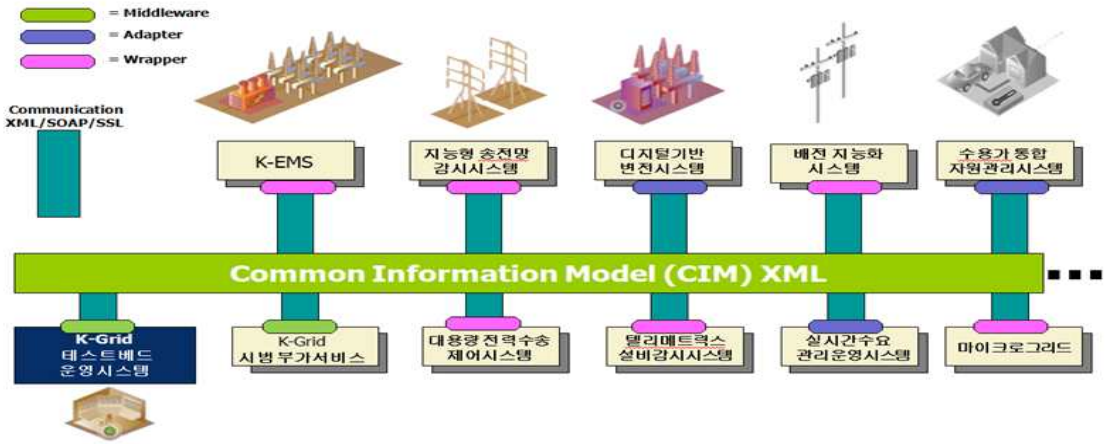
<통합관제 시스템 플랫폼 구성>


<BACnet/XML 플랫폼 예시></td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="7">- 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 통합플랫폼 설계를 위한 기초 조사 및 설계</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="7">- 도시에너지 관제를 위한 모니터링 시스템 및 최적화 S/W를 알고리즘 탑재를 위한 플랫폼 개발 필요</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="7">- 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 개발을 위한 기본자료 조사 및 이를 통한 기존 플랫폼과 관련 규정에 맞는 플랫폼 설계를 위함</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="7">(기존기술 수준)
- 개별에너지 최적화가 가능한 에너지 관리시스템은 있으나, 통합에너지 모니터링 및 에너지 최적화 시스템은 플랫폼은 없음
(개발기술 수준)
- 열, 전기, 가스의 통합모니터링과 기존 모니터링 시스템서버와 연계 가능하고, 최적운영 알고리즘의 및 의사결정지원시스템이 탑재가능하면서, 신속하고 안정적으로 동작하는 시스템의 개발이 되는 플랫폼 구성
(개발기술 수준 설정근거)
- 국내 사례분석</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="7">박시삼(GS건설㈜)
한태경(기초전력연구원)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="7">1차년도 '11.12 ~ '12.8 (9개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>1차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 플랫폼관련 기술동향 및 도시에너지 관리시스템 요구사항 분석 : 1건</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 질적성과 : 해당 보고서 확인</td></tr>
</table>

1.1 플랫폼 관련 기술동향 조사

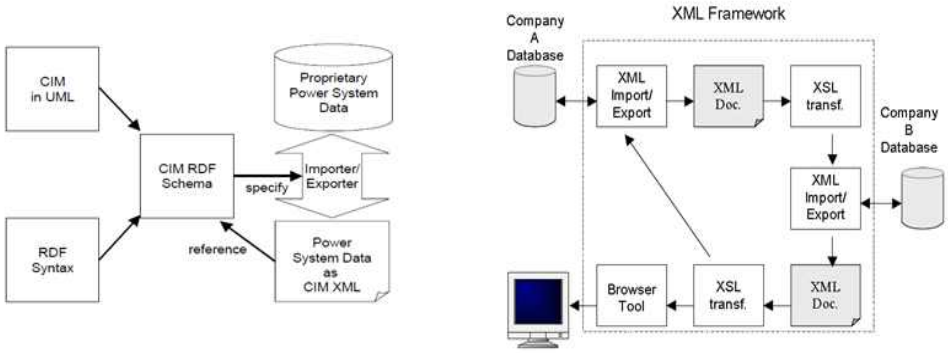
□ CIM/XML(Common Information Model/eXtensible Markup Language)

- 전력시스템과 같이 여러 가지 시스템으로 구성되는 대규모 시스템에서 시스템간의 협조와 확장성 및 상호운영성을 확보하기 위해 제안됨
- 객체기반의 공통정보모델(CIM)과 웹기반 데이터 교환방식인 XML로 구성됨
- IEC61970은 전력회사 간 정보교환표준으로 사용되는 공통정보모델(CIM)임



<그림 3-1 IEC61970(CIM/RDF/XML)의 개요>

- 객체, 객체속성, 객체 간 관계를 일반텍스트(RDF, Resource Description Framework)로 변환한 후, 시스템 간 데이터를 주고받을 때는 변환된 텍스트를 XML문서로 주고 받음

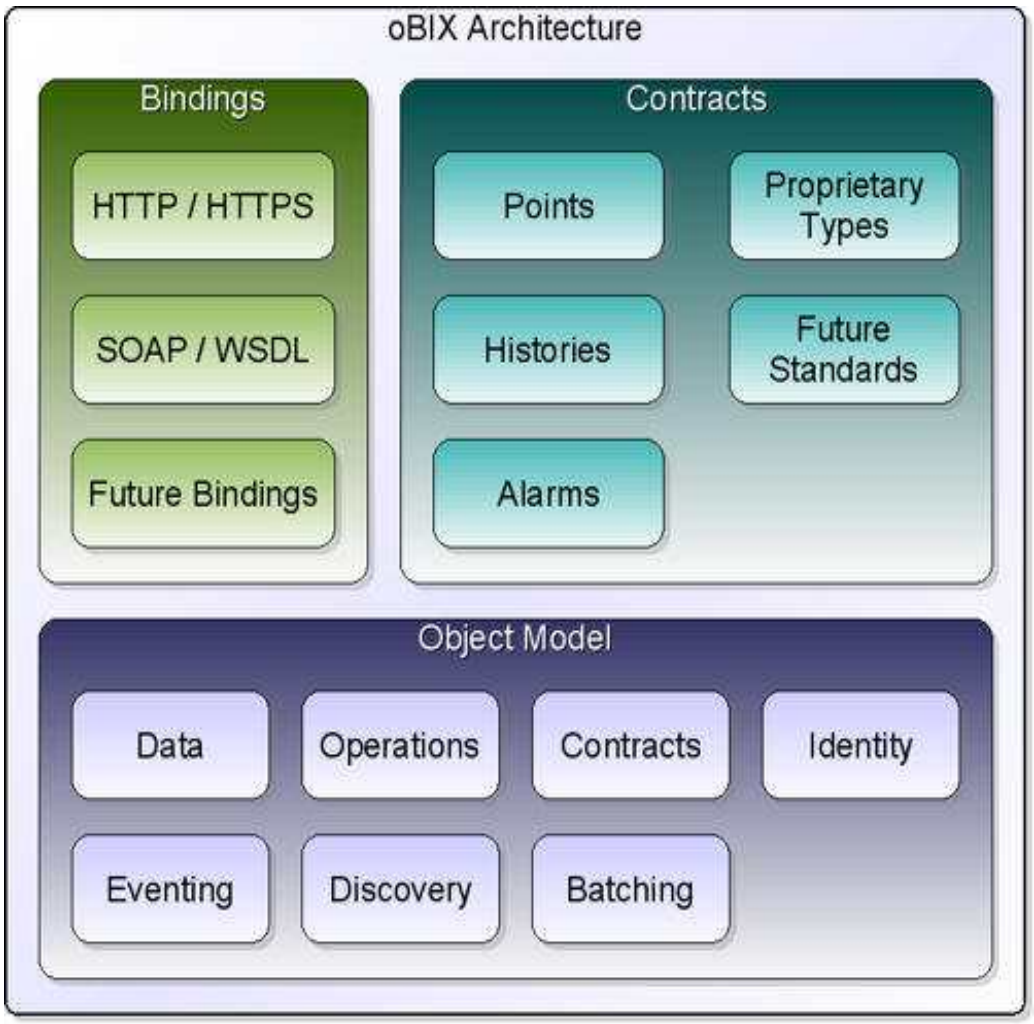


<그림 3-2 CIM/RDF/XML 생성 개념도>

1.2 XML지원 시스템 사례 조사

□ oBIX(Open Building Information eXchange)

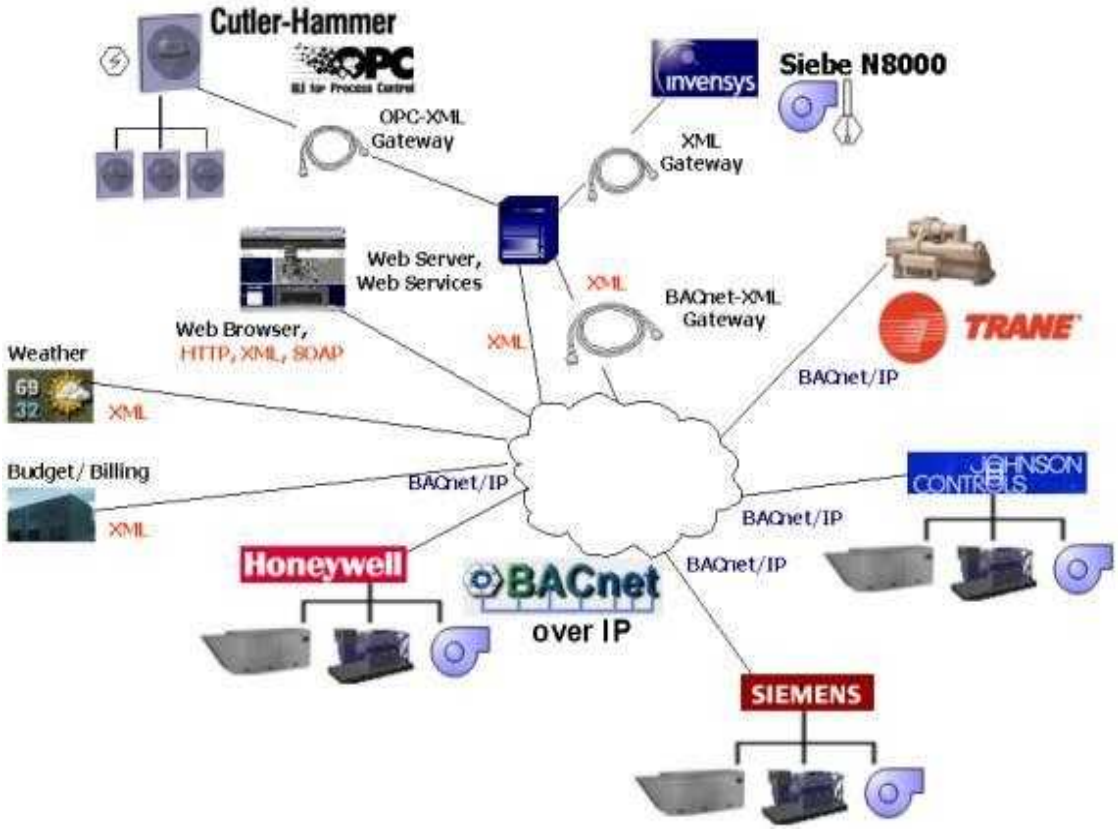
- 2003년 4월 CABA(Continental Automated Building Association)의 XML/Web 서비스 가이드라인 위원회에서 제안되었음
- 2004년 4월 OASIS(Organization for the Advancement of Structured Information Standards)로 관리주체가 이관되었음
- 인텔리전트빌딩간 정보교환, 기업용 어플리케이션의 통합, 시스템의 통합을 위한 표준 XML/Web 서비스 가이드라인 수립이 목표임



<그림 3-3 oBIX의 구조>

□ BACnet/XML(Building Automation and Control Networks)

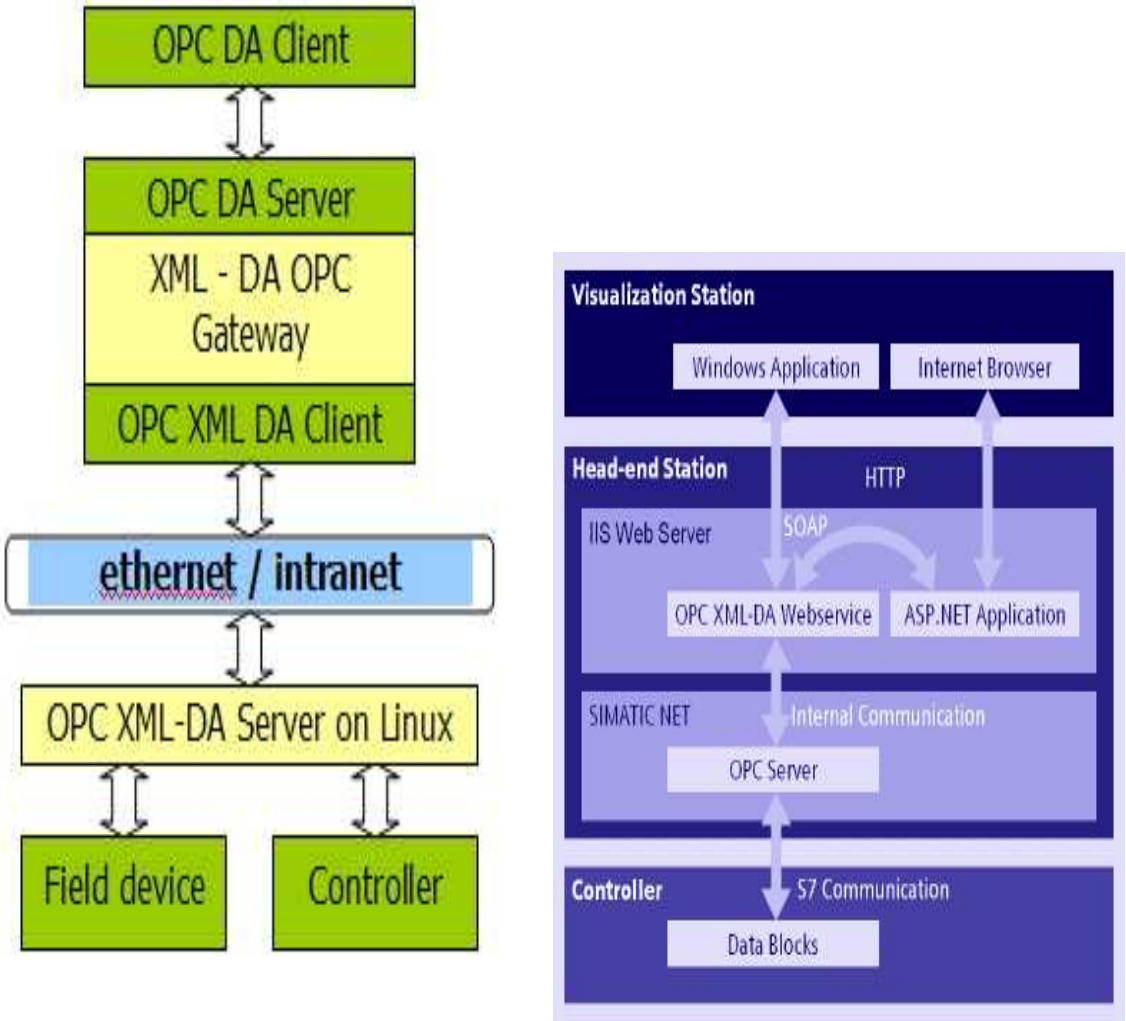
- BACnet은 ASHRAE(American Society of Heating Refrigerating and A/C Engineers)에서 관리하는 프로토콜로 건물자동화에 사용되는 유명한 표준임(ANSI/ASHRAE Standard 135, European pre-standard, ISO global standard (ISO 16484-5))
- BACnet에서 XML을 지원하기 위한 BACnet/XML 개발그룹은 2002년 9월 시작됨
- XPICS(XML Protocol Implementation Conformance Statement)로 기계가 인식 가능한 기기설명언어(device description language) 개발
- 2010년 2월 ASHRAE는 BACnet표준에 XML을 부록으로 추가, 이로써 XML의 장점을 BACnet에 추가함



<그림 3-4 BACnet/XML의 개요>

□ OPC(OLE for Process Control) XML-DA
- OPC는 산업자동화와 산업용 기업시스템에서 개방형 연결을 위한 것임
- 공개표준의 규격을 만들고 관리함으로써 상호운영성을 보장함
- OPC XML-DA 규격(Specification)은 XML을 사용하여 플랜트 데이터를 교환하기 위한 유연하고 일관성 있는 규칙과 형식을 개발하는 것임
- Microsoft의 OLE(ActiveX), COM (Component Object Model),DCOM (Distributed

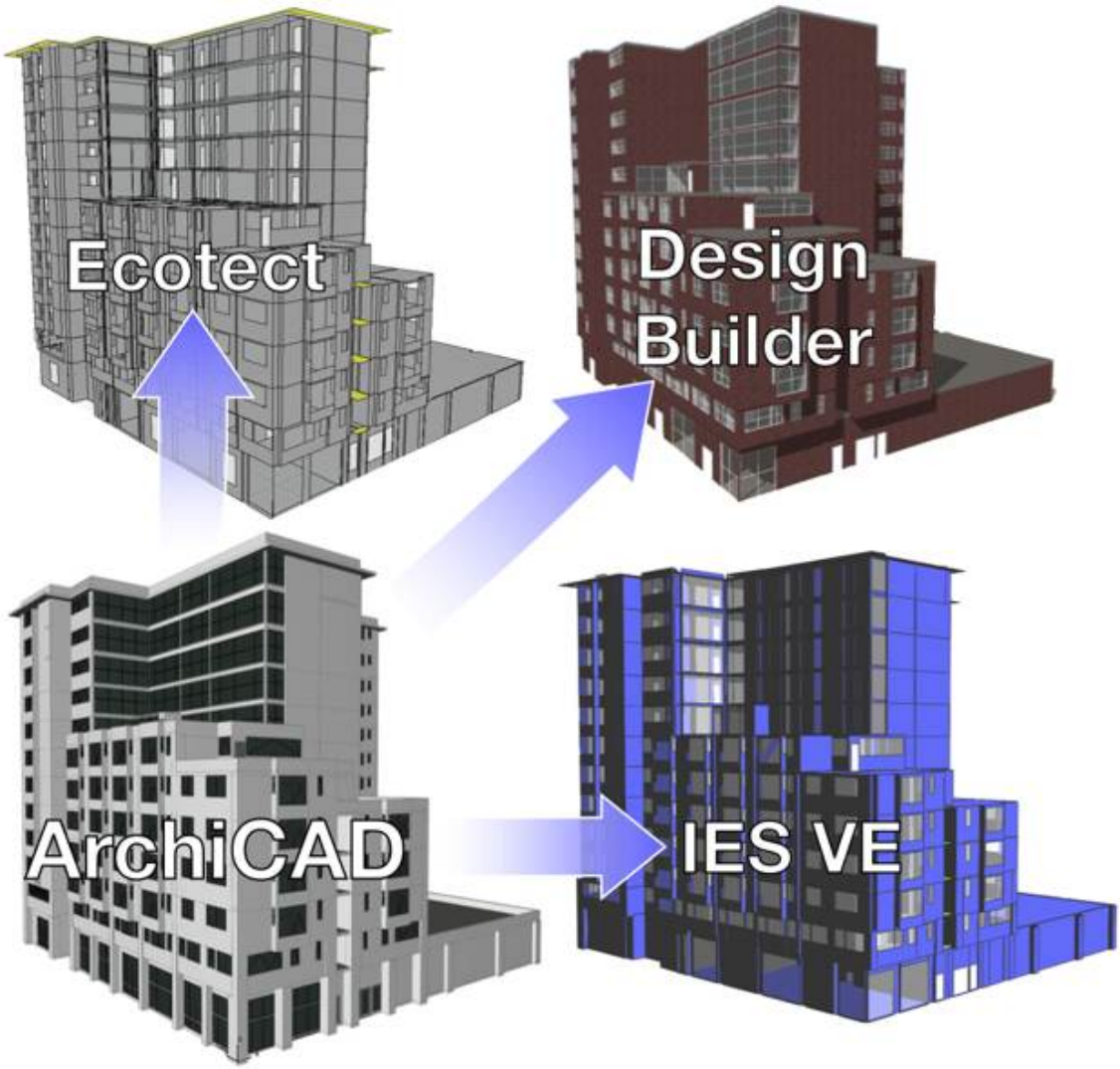
Component Object Model), .NET, Web Service, SOAP, 기타XML 프레임워크 등이 적용됨



<그림 3-5 OPC XML-DA 서버게이트웨이 구조>

□ gbXML(Green Building XML schema)

- CAD의 건물정보모델(building information model)의 정보를 다른 건물정보모델이나 다른 분석툴에서 활용하기 위한 용도로 개발
- 2004년 주요 CAD 개발자(Autodesk, Graphisoft, Bentley)가 지원하기로 함



<그림 3-6 gbXML을 이용한 CAD 데이터 교환>

1.3 스마트그리드 표준화 동향 조사

- 표준은 표준개발기구(SDO, Standard Developing Organization)에서 개발, 제정함
- 국제협력은 주로 국제표준화기구를 중심으로 이루어지고 있음
- 대표적인 국제표준개발기구로는 ISO, IEC, ITU가 있음
- 전기 및 전자 분야의 대표적인 지역표준개발기구로 미국의 IEEE SA, 유럽의 ETSI, CEN, CENELEC 등이 있음
- 스마트그리드 표준과 관련된 국제협력은 다음과 같음
  : 전기 분야 표준의 중심인 IEC에서는 SG3 (Strategic Group 3 on Smart Grid)
  : 정보통신 표준의 중심인 ISO/IEC JTC1에서는 스마트그리드 SWG (Special Working Group)
  : 통신회사(Telco) 표준의 중심인 ITU-T에서는 스마트그리드 FG (Focus Group)

□ IEC (International Electrotechnical Commission) 스마트그리드 표준 현황
- 2008년도에 SMB (Standardization Management Board)에서 SG3 (Strategic Group 3 on Smart Grid)를 설립
- 여기에서 스마트그리드 장치들과 시스템들의 상호운영성을 확보하고 미래 새로운 표준이 필요한 IEC 분야에 대한 장기적 전략 계획을 수립하기 위한 프레임워크의 개발함
- 프레임워크에 프로토콜들 뿐 아니라 스마트그리드용 모델 표준들을 포함시킴
- 2009년 4월 스마트그리드 프로젝트에 관련된 IEC 국제표준 리스트를 포함하여 필요한 자료들을 산업계에 제공하기 위한 IEC 웹포털 개발 논의
- 2009년 여름 스마트그리드 프레임워크 R1.0 공개하였음. 여기에는 다음이 포함되어 있음
  : 스마트그리드에 관련 IEC 국제표준 리스트
  : 스마트그리드 플랫폼 개발에 필수적인 IEC의 TC(Technical Committee) 및 SC(Sub Committee)들을 제공
- 추가적인 관련 TC 식별 작업이 계속 진행 중에 있음
- 로드맵(Roadmap), 사례조사(User Cases), 아키텍쳐(Architecture)의 3개의 대책반(Task Force Team)을 가동 중
- 스마트그리드에 관련되는 모든 TC들에게 전략적 지침을 하달
- 2010년 6월 스마트그리드 로드맵 1.0 발표하였음. 여기에는 다음이 포함되어 있음
  : 상호운영성, 송전, 배전, 미터링, 소비자와 연결 및 사이버 보안 등에 대한 표준
- 현재까지 24개 TC 와 100개 IEC 국제 표준들이 스마트그리드에 직접적 연관 있는 것으로 분류됨. 이와 관련하여 TC들에게 다음을 요구

: 기존 표준의 사용성을 증가시키기 위한 실무지침서의 제공
: 갭을 메우기 위한 새로운 표준의 속성 절차 (Fast Track)의 제공
:지속적인 개선을 위한 피드백 시스템의 구축
- 전 세계적으로 진행되고 있는 스마트그리드 프로젝트와 긴밀하게 협력
- NIST (National Institute of Standards and Technology), ISO (International Organization for Standardization), ITO (International Telecommunication Union) 및 CEN-CENELEC 등과 실무 연락 관계 유지

□ ITU-T (International Telecommunication and Union-T) 스마트그리드 표준 현황
- 2010년 2월 ITU-T 스마트그리드 포커스 그룹(FG) 설립, 5월부터 본격 활동
- 정보통신(Telecommunication/ICT) 관점에서 스마트그리드 지원 ITU-T 표준을 개발하는데 도움이 되는 정보와 개념 등을 수집하고 문서화
- 사례조사(User Cases), 네트워크 요구사항(Requirements), 아키텍쳐(Architecture)의 3개 작업반(Work Group)을 운영하고 있으며 주요 활동 범위는 아래와 같음
: 스마트그리드 관련하여 활동하고 있는 표준화 기구, 포럼, 컨소시엄 리스트의 갱신
: 스마트그리드의 비전 및 가치 명제들에 대한 수집
: 스마트그리드를 지원하기 위하여 필요한 용어 및 분류체계 제공
: 스마트그리드를 지원하기 위한 통신 네트워크 요구기능 및 역량분석
: 스마트그리드에 관련된 새로운 아이디어들을 모으고 스마트그리드를 지원하기 위한 잠재적인 표준화 추진 영역의 발굴
: 통신 네트워크 요구사항을 도출하는데 사용될 수 있는 스마트그리드 활용 사례의 발굴
: 향후 ITU-T 표준화 항목 및 관련 실천 사항 의 제안

□ ISO (International Organization for Standardization) 스마트그리드 표준 현황
- 2009년 11월 JTC1 텔아비브(이스라엘)회의에서 스마트그리드 SWG설립
- 2010년 1월 관련 단체들로부터 관련 전문가들을 추천받아서 본격적인 활동
: 스마트그리드 기술의 상호운영성과 필요한 국제 표준화에 특별한 관심을 가지고 스마트그리드 표준화 갭 및 시장 요구사항 발굴
: JTC1의 SC들이 ISO/IEC 스마트그리드 국제 표준의 필요성에 대해 고민하도록 격려
: JTC1에서 스마트그리드용 국제표준을 개발하고 개발된 표준들이 산업계 및 표준화 기구들 에게 인정되고 사용되도록 권장
: JTC1 스마트그리드 활동과 IEC, ISO, ITU-T 그리고 그 외 스마트그리드용 표준을 개발하는 표준화 기구들의 활동, 특히 IEC SMB의 스마트그리드 SG3 활동과 조율
: JTC1 기획 특별 작업반(SWG-Planning)에 주기적으로 결과 및 권고안들을 보고하며,

진행 중인 작업과 관련 계획의 조정

□ 미국의 스마트그리드 표준 현황

- 2007년 발효된 “에너지 독립 및 보안법(EISA 2007)” 에서 “스마트그리드를 달성하기 위하여 국가 송·배전망 현대화(modernization)를 지원하는 것이 미국의 정책임” 을 천명
- 스마트그리드 상호운영성 프레임워크(Smart Grid Interoperability Framework) 개발 책임을 NIST(National Institute of Standards and Technology)가 맡도록 규정
- NIST에서는 3단계의 단계별 접근 방식으로 추진
  : 1단계 → 2010년 1월 미국 스마트그리드 상호운영성 프레임워크 1.0 (NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards Rl.0)을 완성
  : 2단계 → 2009년 11월 NIST의 계약업체인 Enernex가 민관 포럼형태의 스마트그리드 전문가 집단인 SGIP (Smart Grid Interoperability Panel)을 설립함(현재진행 중)
  : 3단계 → 테스트 및 인증을 포함한 적합성 프레임워크 개발, 2011년 7월 스마트그리드 상호운영성 프레임워크 2.0 초안 (Draft NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards. R2.0)에 테스트 및 인증 부분 포함
- SGIP에서는 다음을 수행(실제 표준화 작업은 관련 SDO에서 완성함)
  : 전문가들에 의한 표준 간 상호운영성 검토
  : 표준 간 갭 분석으로 표준관련 과제 (Problem & Issue) 도출
  : 문제해결을 위한 우선 실행 계획 (PAP, Priority Action Plan) 등 추진
  : 추진 시 얻은 컨센서스를 바탕으로 CoS (Catalog of Standards) 제공

□ 유럽의 스마트그리드 표준 현황

- 2010년 6월, CEN, CENELEC, ETSI에서 스마트그리드 표준 합동작업반(Joint Working Group,JWG) 설립
- 2011년 3월, 최종보고서(“Final report of the CEN/CENELEC/ETSI Joint Working Group on Standards for Smart Grids“) 발간
- 2011년 3월 EC (European Commission)에서 표준화 강제규정(standardization mandate) M/490 발표
- ESO(European Standardization Organization)가 스마트그리드 표준 프레임워크를 개발
- JWG 회원중심으로 ESO내에 스마트그리드 조정반(Smart Grid Coordination Group, SG-CG) 운영

□ 국내 스마트그리드 표준 현황

- 2010년 6월 스마트그리드 제주 실증 컨소시엄의 표준개발을 지원하고 민간표준화 협력을 강화하기 위하여 「스마트그리드 표준화 포럼(Korea Smart Grid Standardization Forum. KSGSF)」 출범

- 한국스마트그리드 협회에 사무국을 두고 5개 응용분야별 분과 운영

  : 지능형 소비자(Smart Place, Smart Consumer)

  : 지능형 운송(Smart Transportation)

  : 지능형 신재생(Smart Renewable)

  : 지능형 전력망(Smart Power Grid)

  : 지능형 전력서비스 (Smart Electricity Services)

- 2009년 5월 한/미 양국 간 양국 정상회의에서 스마트그리드 관련 상호협력 협의

- 2011년 7월 캐나다 몬트리올 SGIP 하계 대면회의에서 다음 분야의 협력을 위해 SGIP GB-KSGSF 간 상호협력 의향서(Letter of Intent)를 체결

  : 스마트그리드 아키텍쳐 및 개념모델 (Smart Grid Architecture and Conceptual Model)

  : 스마트그리드 적용 사례 공유 (Sharing of Use Cases (Application Descriptions)

  : 사이버보안 요구 사항 및 관련 기술 (Cyber Security Requirements and Technologies)

  : 스마트그리드 상호운영성 표준 시험 및 인증 (Testing and Certification of Smart Grid interoperability Standards compliance)

- 국제 협력에 능동적이고 효율적으로 대응하기 위하여 기존의 응용 분야별 포럼 조직을 기술 및 문제 해결 중심의 조직으로 개편하는 작업을 추진 중



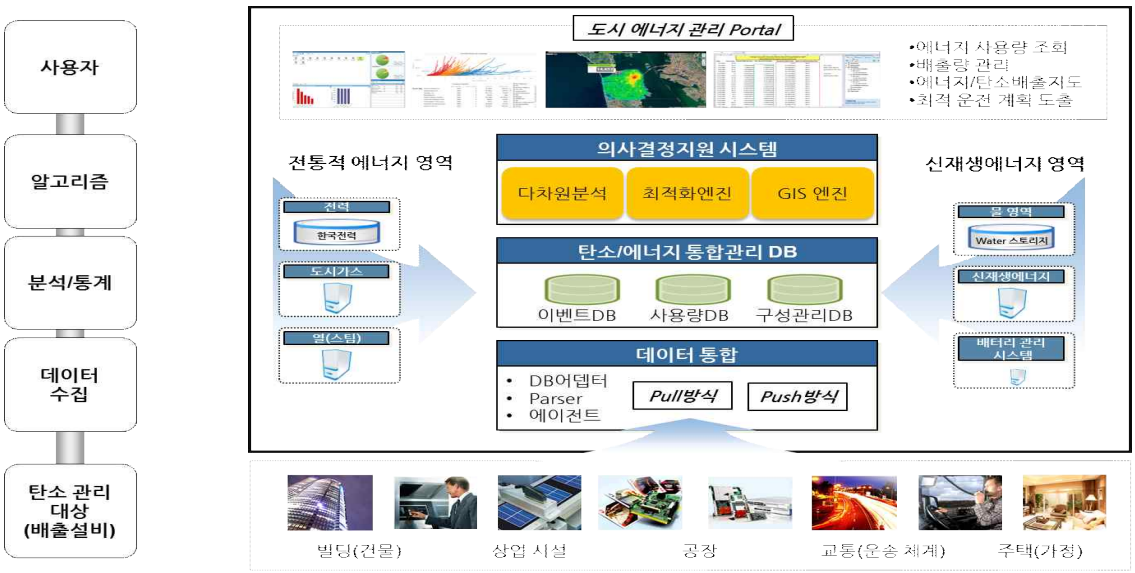
<그림 3-7 스마트그리드 표준화 포럼 조직도>

1.4 도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 요구사항 도출

- 본 연구에서 개발하고자 하는 실시간 부하대응형 탄소저감 스마트 도시에너지 관리 시스템은 개별에너지시스템이 아닌 도시의 모든 에너지시스템(전기/가스/열)을 통합하여 관제함
- 이를 위해서 최적운영 알고리즘의 개발과 함께 의사결정지원시스템이 필요하고 이를 신속하고 안정적으로 구현하고 효과적으로 시각화하는 시스템의 개발이 필요함

<표 3-1 도시에너지 통합관제 시스템의 기능>

기능	내용
도시 에너지 사용량 모니터링	- 에너지 및 워터 영역의 사용량/배출량 정보에 대한 실시간 모니터링 - 에너지원(전기, 도시가스, 열)별 /지역별 /배출원별 모니터링
다차원 분석	- 에너지 사용량/배출량에 영향을 미치는 변수 및 영향도 파악 - 도시에너지관리자/배출원별관리자/지역관리자/에너지원별 관리자 관점 분석
의사결정지원	- 에너지 최적 순환을 위한 최적화 알고리즘 적용 및 시뮬레이션



<그림 3-8 도시에너지 통합관제 시스템의 개념도>

- 도시단위의 에너지 관리시스템의 개발에서 있어 다음과 같은 문제점들이 고려되어야 함

<표 3-2 도시에너지 통합관제시스템의 구현에 있어서 문제점>

문제점	관리상의 이슈
관리 대상의 증가에 따른 복잡도 증가	- 관리 대상 에너지 설비 및 에너지 수용가의 규모가 지속적으로 증가하여 관리 사각 지대가 발생하고 있음
	- 이에 따라 전체 도시 에너지 운영 효율성이 떨어지고, 예기치 못한 에너지 조달 품질 저하, 에너지 가격 상승, 도시의 온실가스 배출량 증가가 발생되고 있음
	- 각 에너지 관리 주체가 도시 조직, 수용가 조직으로 분리되어 있어, 이들이 정보 습득, 에너지 배치 판단, 조달 구조 분석 등을 위해서는 동일 기능에 대한 개별 투자를 해야 하여 계속적인 중복 투자 발생 가능성애 대두되고 있음
	- 관리 대상의 증가는 복잡성이 승수적으로 증가하여 관리 실패 위험이 상존하고 있음. 이에 대한 완화 방안이 필요함.
통합 정보 획득 부재	- 효율적인 에너지 배치, 에너지 비용 절감, 에너지 효율화를 위한 통합 정보 획득이 부재함
사일로 형태의 에너지 조달 구조	- 도시 내 지역별, 에너지원별 다양한 에너지 조달 구조가 존재하며, 정보의 공유 부족 및 에너지 변환 기재의 부족으로 유휴 에너지의 전달 및 적정 에너지 수급이 곤란함
다양한 참여자가 존재	- 도시 에너지 관리에는 다양한 참여자가 존재함. 에너지 공급 분야 및 에너지 소비 분야, 지방 자치 단체 등의 조절자들이 존재하며, 이들 간의 정확한 정보 공유를 위해서는 데이터 정합성을 확보할 수 있는 통일되고, 잘 유지되는 데이터베이스가 필요함
다양한 수요 및 기능이 필요	- 각 참여자마다 다양한 에너지 관리 필요성이 존재함에 따라 이들의 Needs를 만족하기 위해서는 다양한 어플리케이션을 개발할 수 있는 기반 구조가 필요함. 즉, 기반 구조 하에서 쉽게 에너지 관리 관련 어플리케이션을 생성하고, 개선하는 선순환적 개발 구조를 실현하기 위해서는 데이터 생성, 처리, 그리고 사용자 경험에 대한 지원 구조가 필요하며, 이를 지원하는 것이 CEMS 플랫폼임

- 위의 문제점들을 고려하여 본 연구에서 개발하고자 하는 도시에너지 통합관제 시스템의 요구사항을 아래 표에 정리하였음

<표 3-3 도시에너지 통합관제 시스템 요구사항>

특 징	요구사항
플랫폼 기반	- 다양한 이해 관계자가 쉽고 자발적으로 참여할 수 있는 개방형 플랫폼 구조이어야 함 - 이를 위해서는 사용자의 데이터의 연계가 필요
인터넷 기반	- 에너지 공급자(한국전력, 도시가스 사업자, 스팀 사업자)의 에너지 공급량 데이터와 에너지 사용자(각 공장, 빌딩, 가정, 시설)의 에너지 사용량 데이터에 대한 (준)실시간 수집이 가능하여야함 - 웹 표준을 준수하여 인터넷을 통한 데이터 연동이 원활해야함 - 빈번하게 변경되는 에너지 사용 시설에 대한 구성 정보의 연동을 위해서는 구성 관리 표준이 수립되고, 이 표준이 쉽게 적용이 가능하여야함 - 따라서 XML **연동 방식**을 고려하여야 함
데이터 보안과 사용자 편의성과의 적절한 조화	- 개별 사업장의 에너지 사용량 정보는 대외비임 - 따라서 권한을 가진 자만이 시스템에 접근할 수 있어야 하며, 데이터 조회에 대한 권한 관리가 이루어져야 함 - 그러나 자격 증명을 통과한 사용자는 쉽게 시스템에 대한 접근이 가능하여야 함
데이터 연계	- 다양한 데이터 source와의 연동이 가능하도록 구현되어야 함 • DB to DB(DB link, Agent 방식, 임시 DB활용 등) • Text to DB(parser를 활용) • Agent to DB(원 데이터 제공자가 제공하는 agent를 통해 DB 연동) • 수기 입력 • Excel 입력(일괄 엑셀 업로드) • 센서 to DB(센서의 센싱데이터가 일괄적으로 DB에 업로드)
DB 구조	- 데이터베이스는 이벤트 DB와 CM DB(구성정보DB) 그리고 데이터 DB로 분리되어 운영되어야함 • 데이터 DB: 에너지 사용량 정보, 1차 DB, 2차 DB, 임시DB • 이벤트 DB: 고장/사고/상태변화 정보가 저장, 이벤트 라이프사이클 관리 • CMDB: 에너지 사용 시설에 대한 구성 정보가 기록, 구성항목(CI)간의 관계 정보가 보관됨.
오픈소스의 고려	- 시스템 구축비를 최소화하기 위해 x86 기반의 범용 서버와 오픈소스 S/W를 우선 활용 - 서버 가상화 기능을 활용하여 구축 비용을 최소화할 수 있도록 해야 함 • 시스템 SW:LAMP(Linux. Apache, MySQL, PHP) • 서버 가상화 SW: CentOS의 XenServer 혹은 VMWare Essential • DBMS: mySQL, MongoDB • 보고서: Opensource BIRT • 텍스트 마이닝: Gray2log
PDCA 프로세스 자동화의 고려	- 도시 내 에너지 전달망의 이상을 신속하게 발견하고, 이를 처리할 수 있도록 일반 시민 참여가 가능한 Incident 관리 체계, 위기 감지/관리 체계를 구현 - 이를 위해 GIS 기반의 incident 프로세스 자동화 시스템을 구현

1.5 RIA (Rich Internet Application)기반 에너지 대시보드 시스템 1단계 구현

□ 신속하고 정확한 의사결정을 위한 효과적인 시각화 방안

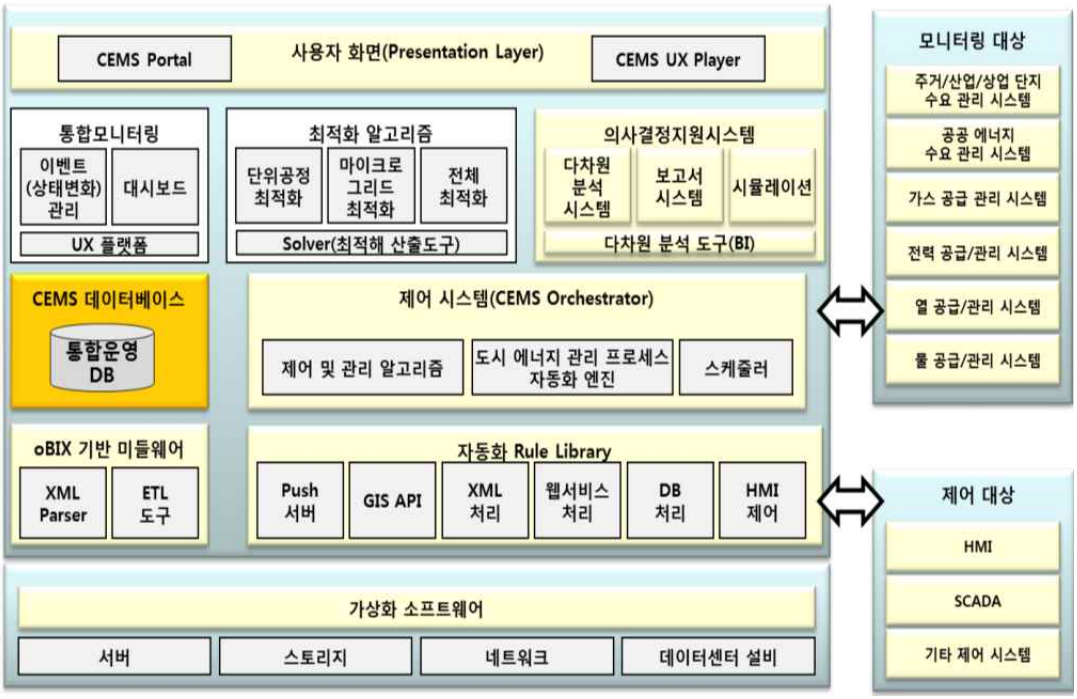
- 시계열 중심의 에너지원별 사용량/탄소배출량 프로파일링 설계
  : 사용자별로 각 에너지원별 실시간 에너지 사용량/탄소배출량을 표시
  : 사용자별로 각 에너지원별 과거 에너지 사용량/탄소배출량 데이터를 분석 표시
- 오픈맵 기반의 위치 기반 정보 시각화 방안 설계
  : 위치 기반 정보 시각화를 위해 heat map 혹은 테이블 위젯을 활용한 오픈맵을 활용한 UX 설계
  : 맵과 사용자 데이터 연결을 위한 도구 설계함
- 대시보드형 데이터 시각화 방안 설계
  : Adobe AIR 기반 대시보드로 위젯을 활용한 다양한 view 제공하고 데이터 파이프 개념을 통한 DIY 위젯 구성 기능
  : 대형 TV, 데스크탑 모바일 등에 대한 지원이 가능함

□ 통합관제 플랫폼 프로토타입 구현

- 신속하고 정확한 의사결정을 위한 효과적인 시각화 방안을 고려하여 대시보트형태로 구현한 도시에너지 통합관제 플랫폼의 프로토타입의 화면은 그림 3-9(a)와 같음
- 도시단위의 에너지 수급 설비 운영 최적화를 위한, 탄소저감 도시에너지 관리시스템의 플랫폼 아키텍쳐는 그림 3-9(b)와 같음
- 통합 플랫폼 구축 시 타 세부과제(자원순환체계 구축 연구 등)와의 협력 연구 등에 대한 사항을 검토할 예정임



(a) 플랫폼 대시보드 프로토타입

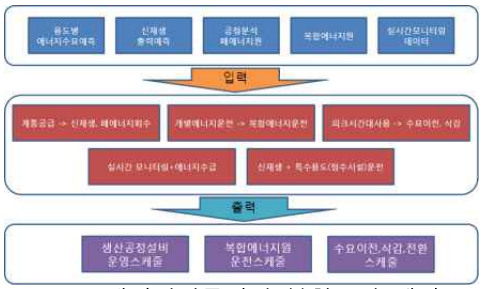


(b) 플랫폼 아키텍쳐

<그림 3-9 탄소저감 도시에너지 관리시스템>

2. 에너지 커뮤니티 운전 및 제어시스템 조사 및 분석

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">



<미활용에너지 활용 에너지 개념>
<에너지커뮤니티 복합운전 예시></td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">- 에너지 커뮤니티 운전을 위한 미활용에너지 및 배터리를 활용한 에너지 공급 시스템의 특성 분석과 마이크로그리드 운전 기술의 문제점을 파악하여, 도시에너지 관리시스템의 요구사항을 도출</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">- 열원의 전기화로 인한 부분이나, 전력의 과잉/부족을 해결할 수 있는 아이템을 활용한 에너지커뮤니티 운전방안의 제안을 위함
- 또한 복합에너지 핵심 알고리즘의 기본대상 및 자원을 정리하여, 기존의 문제점을 해결하기 위함</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">- 도시에너지 관리시스템의 운전 알고리즘 활용 및 개선을 위함</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 개별기술은 이미 존재함
(개발기술 수준)
- 개별기술을 활용하여 융복합 운전이 가능하도록 조사
(개발기술 수준 설정근거)
- 국외 사례분석</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">한태경(기초전력연구원)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">1차년도 '11.12 ~ '12.8 (9개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>1차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 에너지 커뮤니티 운전 및 제어시스템 조사 및 분석을 통한 요구사항 도출 : 1건</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 해당 보고서 확인</td></tr>
</table>

2.1 에너지 커뮤니티 운전 및 제어시스템 조사

2.1.1 미활용에너지를 이용한 열에너지공급기술 조사

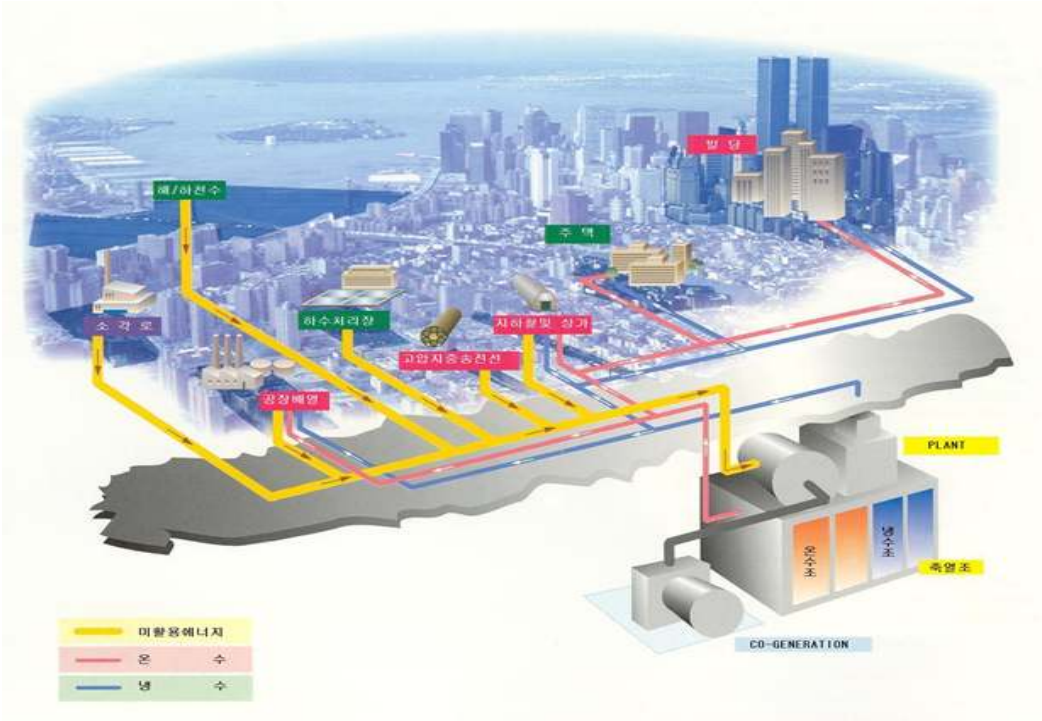
□ 미활용에너지의 개요

- 미활용에너지는 “도시지역 내에서 생활·업무·생산 활동을 위해 투입된 에너지 중 유효하게 회수, 이용되지 않고 환경 중으로 배출되는 각종 도시폐열과 자연에 풍부하게 존재하는 자연에너지 중 그 활용이 도시환경에 생태학적으로 크게 영향을 주지 않는 온도차 에너지”로 정의됨

* 도시폐열 : 쓰레기 소각장, 하수처리장, 지하철, 변전소 등 도시기반시설로부터의 폐열과 공장폐열

* 온도차에너지 : 여름은 대기온보다 낮고 겨울은 대기온보다 높은 하천수, 해수, 지하수 등

- 대표적인 미활용 에너지로는 소각열, 온도차에너지 등이 있음



<그림 3-10 미활용에너지 개념도>

- 미활용에너지의 발생원별 이용형태 및 이용방법은 다음 표와 같음

<표 3-4 미활용에너지의 발생원별 이용형태 및 이용방법>

발생원	형태	이용방법
하천수	물	열펌프열원 냉각수 등
해 수	“	“
지하수	“	“
하수처리장	생하수	열펌프열원
	처리수	“
	소화가스	발전. 열공급
	슬러지	“
폐기물 소각열	고온가스	증기에 의한 열회수, 발전. 열공급
	온수(발전용복수기)	열펌프열원에 직접이용
지하철 배열	공 기	열펌프열원
지중송전선. 변전소	냉각수	“
공장 등	고온가스	증기에 의한 열회수, 발전. 열공급
	온 수	열펌프열원에 직접이용
	LNG 냉열	발전, 공기액화 등
발전소 (복수기)	온 수	열펌프열원, 양식장 이용 등

- 도시에서 미활용에너지의 효과는 다음과 같음

: 기존의 냉・난방시스템(보일러＋냉동기)에 비해 27-36% 정도 에너지를 절약할 수 있음

: CO2 발생량을 40-60%, NOx 발생량을 60-80% 저감 가능 저감시킬 수 있음

: 개개 건물에서 연료연소가 불필요해지므로 도시환경을 개선시켜 청정 도시개발이 가능해지고, 도시 열섬화를 억제시킬 수 있음

: 축열식 열펌프 시스템 채용하여 전력평준화 기여할 수 있음

<표 3-5 도시에서 미활용에너지의 효과>

구 분	업무지구	상업지구	주택지구
열원	지하철, 빌딩배열, 하천, 하수처리수	지하철, 지중송전선, 빌딩배열	소각장, 공업용수, 하수처리수
에너지절약 효과	27.3%	28.4%	36.2%
NOx 저감량	68.6%	59.2%	75.8%
CO2저감량	47.8%	41.8%	57.8%

- 미활용에너지 활용을 위한 기술적 과제는 다음과 같은 것이 있음

<표 3-6 미활용에너지 활용을 위한 기술적 과제>

기술적과제	대응기술
열회수기술	- 열교환기 전처리기술 - 오염방지・제거기술
축열기술	- 지하대용량 축열조 개발 - 열펌프의 승온폭 향상기술
열변환기술	- 압축식 및 흡수식 열펌프의 COP 향상기술 - 저온배열 구동 흡수식 냉동기 개발
열수송기술	- 장거리 열수송기술 - 배관부설기술
플랜트최적계획•운전기술	- 플랜트최적계획 및 운전기술 - 플랜트최적설계기술

- 미활용에너지 활용을 위한 시행상의 과제는 다음과 같은 것이 있음

<표 3-7 미활용에너지 활용을 위한 시행상의 과제>

시행상의 과제	대응책
1. 초기투자비 과대 (열펌프, 배관, 축열조 등)	- 초기투자비 경감을 위한 재정지원, 표준화・대량생산에 의한 비용저감
2. 열원으로 부터 수요지까지 거리가 먼 경우 (지리적 불일치)	- 열수송배관을 사회기반시설의 일환으로 정비
3. 열원과 열수요의 시간적 불일치	- 대규모축열조 건설
4. 열수요처 확보	- 온도차에너지 이용효과가 기대되는 지역에 대해서는 초기 개발계획단계에서부터 열공급 가입 유도 필요

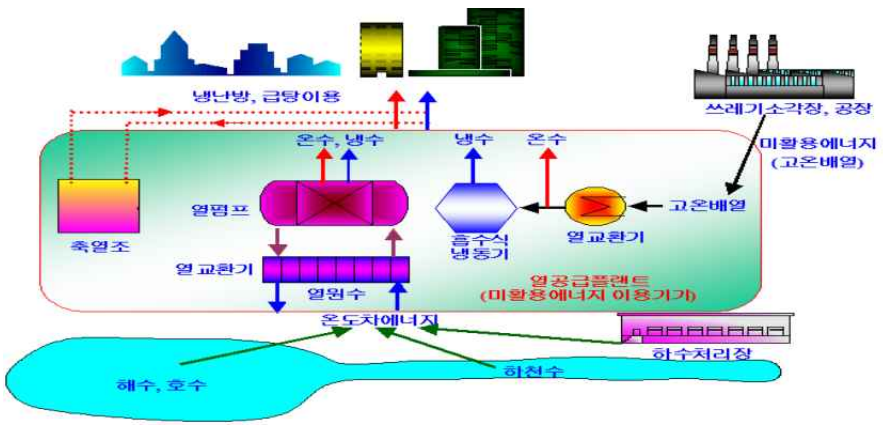
□ 미활용에너지를 활용한 열공급시스템

- 현재 사용되고 있는 미활용에너지를 활용한 열공급시스템은 아래와 같음

<표 3-8 미활용에너지를 활용한 열공급시스템>

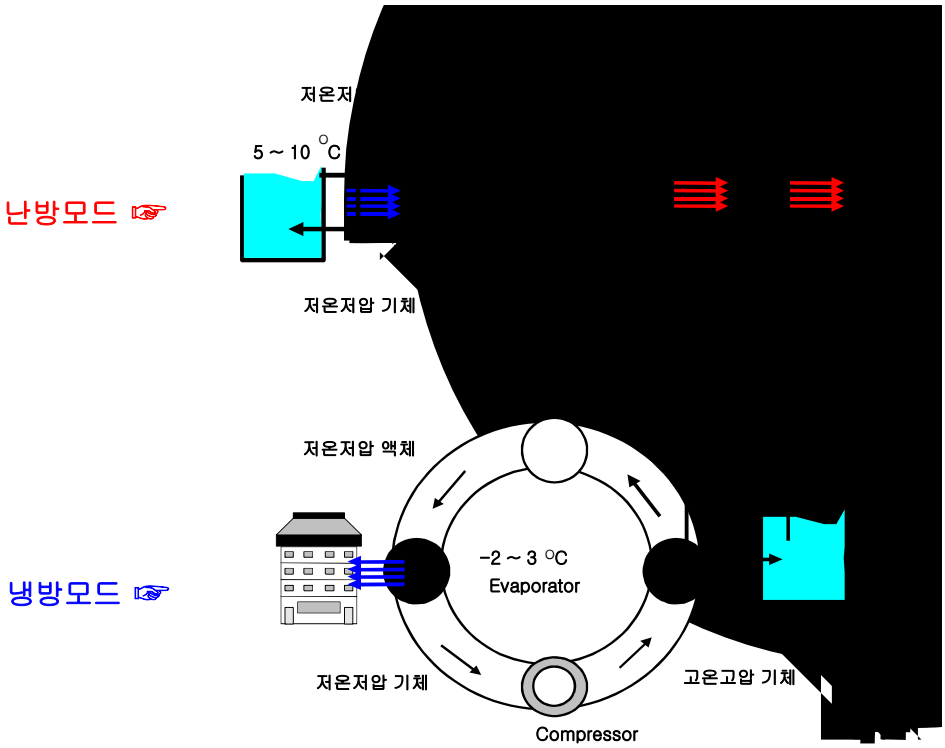
에너지원	열원설비		열공급시스템		수용가 요구사항
전기 가스 석탄 석유 폐열 산업폐열 미활용에너지	난방	온수 보일러 증기 보일러 히트펌프 축열설비 지역난방	배 관 망	온수배관망 냉수배관망 증기배관망 전기 선로	난방에너지 냉방에너지 전기에너지
	냉방	압축식 냉동기 흡수식냉동기 빙축열 히트펌프 축열설비	파이프의 개수	2관식 4관식 6관식	
	전기	열병합발전 -엔진 -터빈	매설방법	공동구 배관 전용구 배관 직접매설	
			배관방법	가공배관 지상설치배관방식 지하매설배관방식	

- 이 중에서 앞에서 언급한 미활용에너지를 이용하여 열을 공급하는 시스템은 다음과 같이 구성할 수 있음



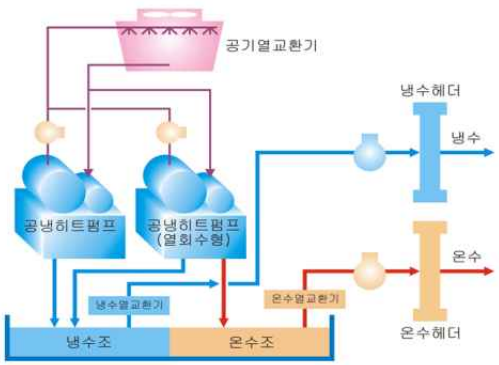
<그림 3-11 미활용에너지를 이용한 열공급시스템의 개요>

- 여기에서 미활용에너지를 열로 바꿔주는 시스템은 히트펌프가 있고 그 원리는 다음과 같음

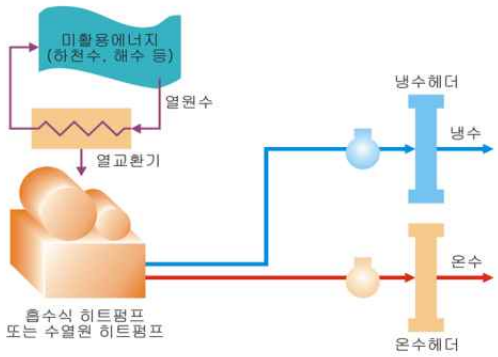


<그림 3-12 하천수이용 히트펌프의 작동원리>

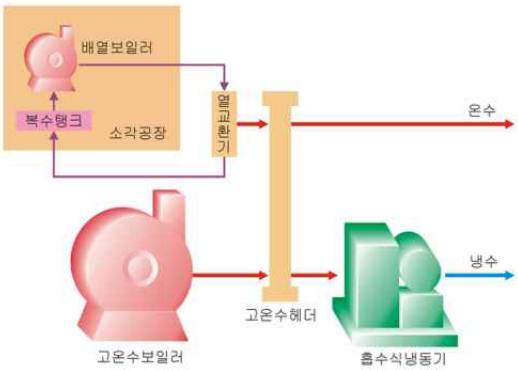
- 히트펌프를 이용한 열공급시스템의 예는 다음과 같음



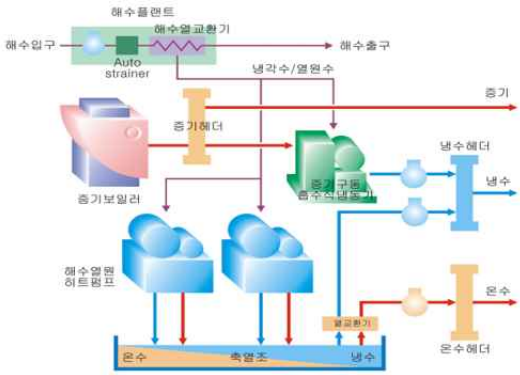
열회수형 히트펌프 및 축열조 이용
냉・온수공급시스템



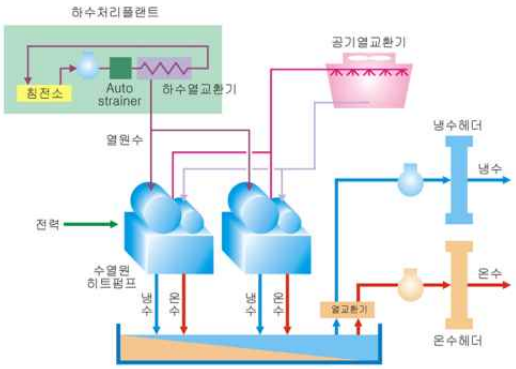
하천수열원 히트펌프이용
냉・온수공급시스템



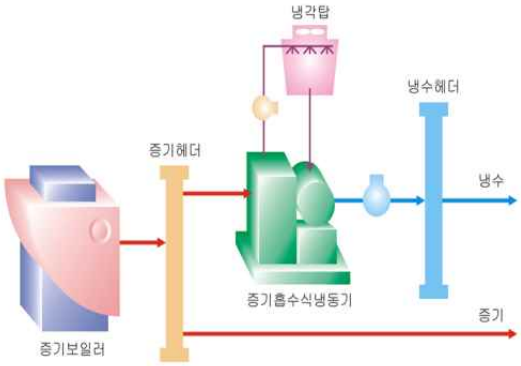
소각열 및 흡수식냉동기이용
냉・온수공급시스템



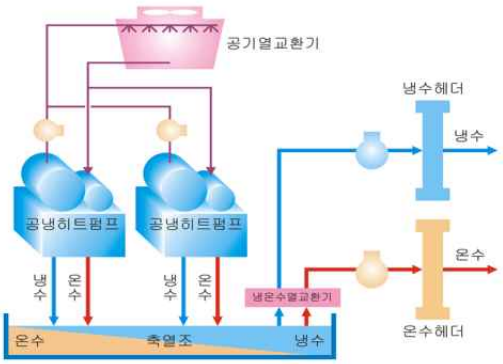
해수 및 흡수식냉동기 이용
냉・온수공급시스템



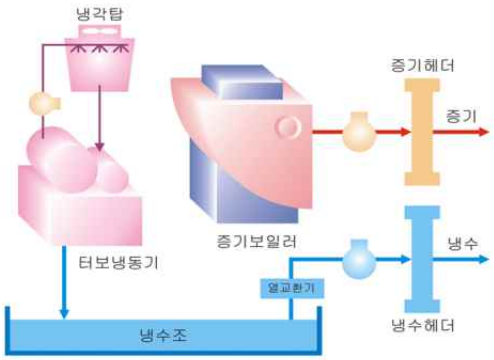
하수열원 히트펌프이용
냉・온수공급시스템



증기보일러+흡수식냉동기 이용
냉수・증기공급시스템



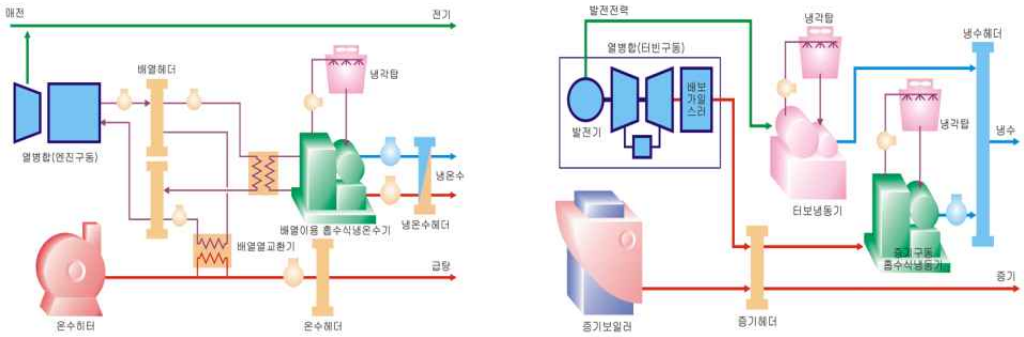
공냉 히트펌프+축열조 이용
냉・온수공급시스템



터보냉동기(축열조)+보일러 이용
냉수・증기공급시스템

<그림 3-13 히트펌프를 이용한 열공급시스템>

- 이와 같은 원리를 이용하여 다른 에너지 공급시스템과 같이 활용하는 복합시스템을 다음과 같이 구성할 수 있음



열병합+배열이용흡수식냉온수기+
온수히터 이용 복합시스템

열병합+증기보일러+흡수식냉동기+
터보냉동기 이용 복합시스템

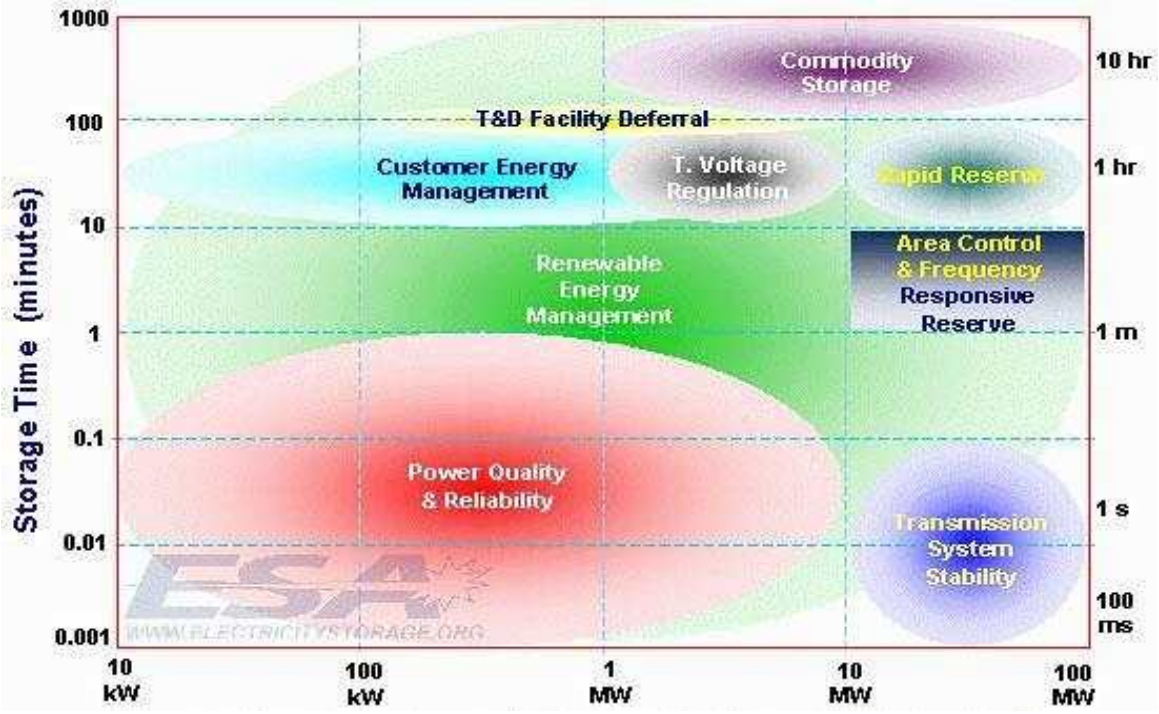
<그림 3-14 히트펌프와 열병합 복합시스템>

2.1.2 에너지저장장치를 활용한 전력시스템 제어기술

□ 서론

- 에너지 저장장치(Electric Energy Storage, EES)는 전기에너지를 위치에너지, 화학적 에너지, 운동에너지 등 다른 저장이 가능한 형태의 에너지로 변환하였다가 필요한 때에 전기에너지로 다시 바꾸어 주는 장치임
- 기존의 전력시스템은 주로 동기발전기로부터 생산되는 교류전기를 부하에 공급하였고, 이러한 전기는 직접적인 저장이 어렵기 때문에 양수발전 등을 활용하여 이를 보완하였음
- 근래에는 경제성장으로 인한 부하의 증가와 기존시설의 노후로 발전설비의 추가와 및 송배전 설비의 보강과 확장이 필요하지만 사업의 진행이 예상보다 지연되고 있음
- 이러한 가운데 비발전자원에 대한 요구가 커지고 있고, 그 수요의 큰 부분을 에너지 저장장치가 만족시킬 수 있을 것으로 예상되고 있음
- 하지만 에너지저장기술이 하루가 다르게 발전하고 있음에도 불구하고 아직까지는 경제적, 구조적 제약으로 인해 투자가 활성화되고 있지 않음
- 여기에서는 먼저 에너지 저장장치가 전력시스템에 주는 이득과 응용분야를 알아보고 기술적인 측면에서 에너지 저장장치가 구조 개편된 전력시장에 어떠한 형태로 참여가 가능한지를 알아보고, 현재 시장에 나와는 에너지저장기술을 정리함
- 또한 미국 NYISO에서 수행한 NaS 배터리와 플라이휠 에너지저장장치의 경제성을 2001~2007년 실제 시장데이터를 기반으로 평가한 절차와 결과 및 시사점을 보임

□ 에너지 저장장치의 이득 및 응용분야



<그림 3-15 에너지저장장치의 활용분야에 따른 요구사항>

- 에너지 저장장치를 사용했을 때 전력시스템 측면의 이득은 다음과 같음

① 계통안정화

- 에너지저장장치는 외란 이후에 송배전망을 원래대로 복구하는데 도움을 줌
- 위상각, 전압, 주파수 불안정을 해소하는데 도움을 줌

② 시스템운영지원

- 에너지 저장장치는 외란 시 계통안정화 외에 정상적인 계통운전에도 다음과 같은 도움을 줄 수 있음

㉮ 주파수제어

- 에너지저장장치는 에너지를 흡수 또는 방출을 함으로써 계통의 주파수를 유지할 수 있음

㉯ 상정예비력

- 발전기 탈락이나 송전선 사고 시 2시간까지 계통에 전력을 공급하여 순동(동기)예비력이나 보조(비동기)예비력으로 사용될 수 있음

㉰ 전압유지

- 에너지저장장치는 전력전자기술을 이용하여 무효전력을 흡수/방출함으로써 전압을 최적범위내로 유지할 수 있음

㉱ 자체기동(Black Start)

- 적절한 용량의 에너지저장시스템은 특정발전기와 함께 계통의 도움 없이 발전기를 기동하고, 다른 발전기를 계통에 투입될 수 있게 하는 자체기동기능을 제공함

③ 전력품질 및 신뢰도

- 전력저장장치는 전력품질과 신뢰도를 높이는데 사용될 수 있음
- 대부분의 전력품질 관련문제는 순간전압강하(Sag)와 2초 미만의 전기 공급 중단임
- 이러한 종류의 문제들은 에너지저장장치를 이용하여 대응할 수 있음

④ 부하이전

- 부하이전은 에너지 저장장치를 사용하여 기저부하시간대에 에너지를 저장하고 최대부하시간대에 저장된 에너지를 방출하여 최대부하를 낮추고 전체부하율을 높임
- 부하이전은 주로 시스템의 최대부하가 평균보다 상당히 높을 때나 최대부하발생이 빈번하지 않을 때 활용됨
- 에너지 저장장치를 부하이전에 활용할 때 경제성은 부하증가율 등에 영향을 받음.
- 부하이전의 대효적인 효과는 다음과 같음
  : 송배전망의 용량확대를 늦춤
  : 최대부하발전기인 가스발전기의 건설을 늦춤
  : 장기적으로 기저부하발전기의 전체용량비율을 높일 수 있음

⑤ 출력이 변동적인 신재생에너지원의 계통통합

- 풍력발전은 현재 가장 크고 빠르게 증가하는 신재생자원임. 하지만 기술적으로 기존의 발전자원과는 다른 계통운영상의 요구사항이 있음
- 이는 풍력뿐만 아니라 태양광(PV)같은 출력이 변동적인 신재생에너지에 대해서도 동일하게 적용됨
- 에너지 저장장치와 신재생에너지원을 연계하여 운전하면 주파수 및 순동예비력 지원, 송전제약 완화, 시간대이전(Time Shifting), 환경적 이득 및 탄소배출권거래, 사용시간대별요금제(Time-of-Use) 비용 감소 등의 효과가 있음

□ 배터리기술별 비교

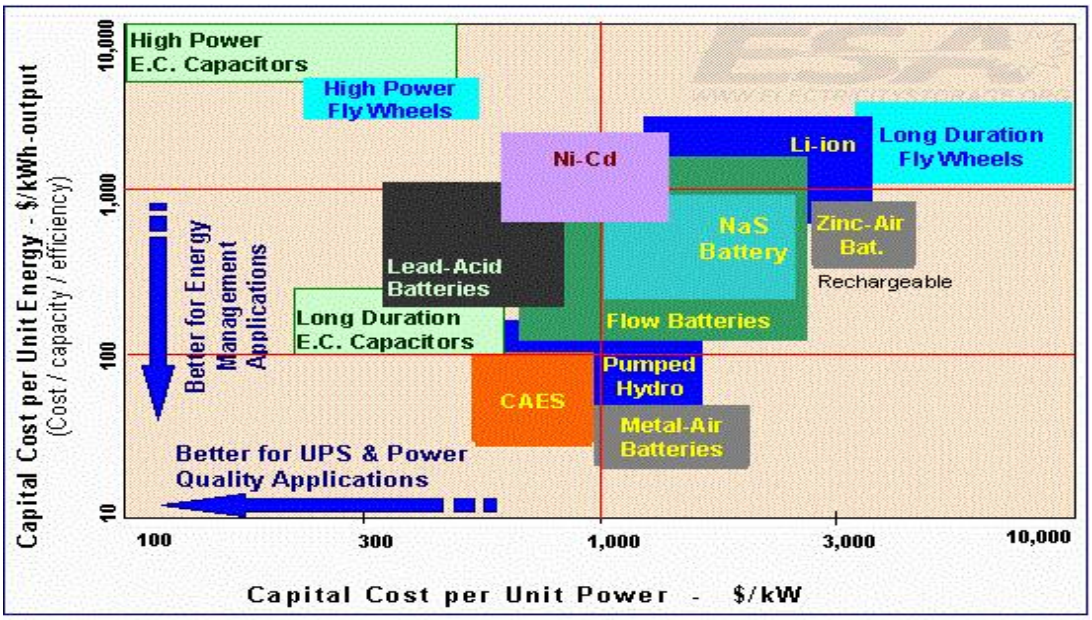
- 현재까지 시장에 나와 있는 배터리기술의 장단점과 적용대상과 향후발전가능성을 다음 표에 정리하였음

<표 3-9 배터리기술별 비교>

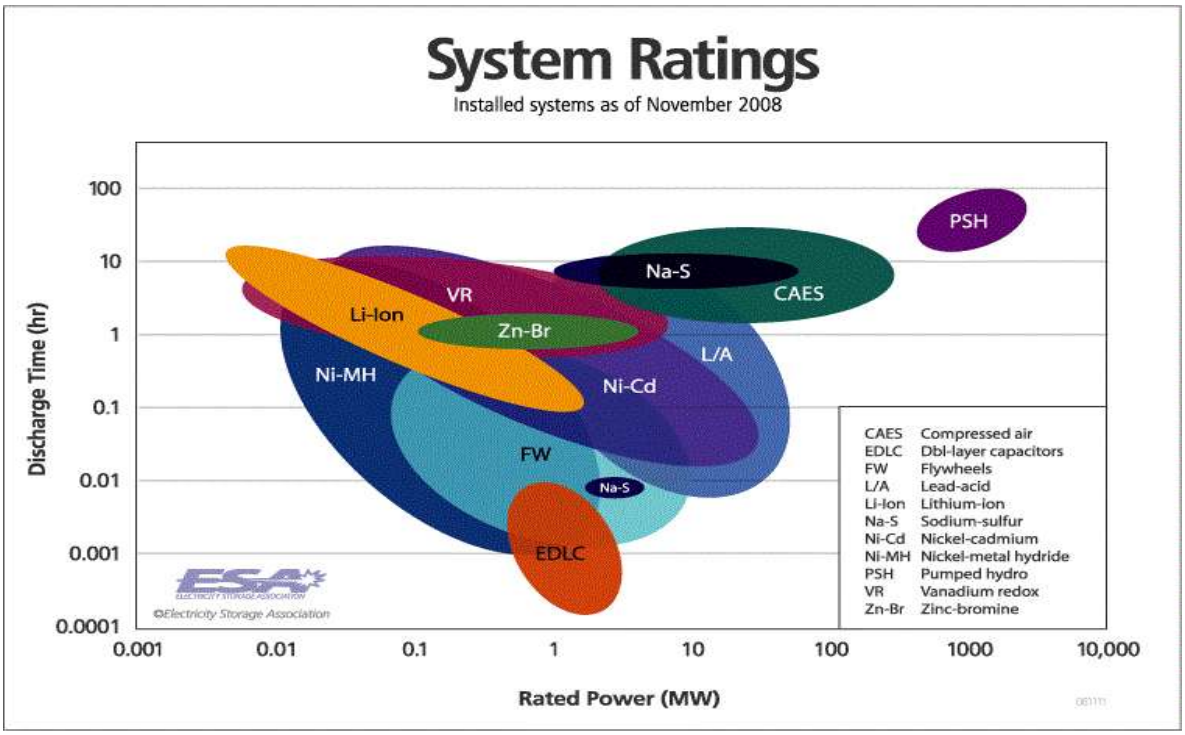
기술	장점	단점	주사용 분야	사용	향후기회
납축전지	- 기술성숙도 - 가격 - 구입편의성	- 에너지밀도 - 출력밀도 - 수명 유지보수 - 환경문제 - 동작온도	- 자동차 - UPS/통신/변전소 예비전력	- 발송배전 - 주택용/ 일반용 / 산업용 고객 - 자동차	- 수명 - 방전심도 - 동작온도
나트륨황 (NaS)	- 에너지밀도 - 출력밀도 - 고효율 - 수명 - 안정성	- 비용 - 고온	- 송배전투자 회피를 위한 최대부하감소 - 소규모부하의 부하평준화	- 발송배전회사 - 산업용고객	- 비용
바나듐 산화환원 (VRB)	- 에너지/출력 크기분리 - 확장성 - 에너지밀도 - 출력밀도 업그레이드	- 기술성숙도 비용 - 표준크기	- 송배전투자 회피위한 최대부하감소 - 소규모부하의 부하평준화 - 백업전원	- 발송배전회사 - 산업용고객	비용 표준화 안전
아연브롬 (ZBB)	- 에너지/출력 크기분리 - 확장성 - 에너지밀도 - 출력밀도	- 기술성숙도 - 유지보수비용 - 안전문제	- 송배전투자 회피위한 최대부하감소 - 소규모부하의 부하평준화 - 백업전원	- 발송배전회사 - 산업용고객	- 비용 - 제어방법 - 안전
리튬이온 (산화코발트)	- 에너지밀도 - 출력밀도 - 고효율	- 고비용 - 배터리관리 시스템 - 안전	- 가전기기 - 자동차(하이브리드, 플러그인) - 전력회사	- 발송배전회사 - 전기자동차 및 가전제품사용자	- 비용 - 안전도 - 열관리시스템 - 배터리관리 시스템
리튬이온 (인산염)	- 에너지밀도 (LiCoO2보다 낮음) - 고효율 - 비용(LiCoO2 보다 낮음)	- 기술성숙도 - 배터리관리 시스템 - 안전(LiCoO2 보다는 안전)	- 가전기기 - 자동차(하이브리드, 플러그인) - 전력회사	- 발송배전회사 - 전기자동차 및 가전제품사용자	- 비용 - 안전도 - 수명 - 열관리시스템 - 배터리관리 시스템

기술	장점	단점	주사용 분야	사용	향후기회
니켈카드뮴	- 기술성숙도 - 안정성 - 에너지밀도 - 출력밀도 - 수명(납축전지대비)	- 비용(납축전지대비) - 재료 때문에 비용하락이 어려움 - 위험물질(카드뮴)	- 전력회사/통신회사 백업 - 가전	- 발송배전회사 - 일반고객	- 비용 - 재활용능력
니켈수소	- 기술성숙도 - 안전성 에너지밀도 - 출력밀도 - 수명(납축전지대비) - 위험물질(니켈카드뮴대비)	- 비용(납축전지대비) - 재료 때문에 비용하락이 어려움	- 전력회사/통신회사 백업 - 가전	- 발송배전회사 - 일반고객	- 비용 - 재활용능력
대용량 캐퍼시터 (복층)	- 출력밀도 - 수명 - 충전속도	- 에너지밀도 - 비용 - 전압특성	- 전력품질 - 응급전력공급 - 변동완화	- 산업용고객 배전회사(신재생발전보유)	- 비용 - 에너지밀도
자기 (SMES)	- 고출력	- 에너지밀도 - 손실 - 비용	- 전력품질 - 응급전력공급	- 전력회사	- 비용 - 에너지밀도 - 충전속도
플라이휠	- 출력밀도 - 수명 - 충전속도 - 에너지/출력 크기분리	- 에너지밀도 손실 - 실패 시 위험	- 전압조정 - 전력품질 - 응급전력공급 - 변동성완화	- 산업용고객 - 전력회사	- 비용 - 에너지밀도
압축공기 (CAES)	- 에너지용량	- 지리적 제약 - 연료주입필요 - 건설기간 - 대규모	- 부하이전 - 주파수조정 - 보조서비스	- 전력회사	- 단열능력(열저장필요)
양수	- 에너지용량	- 지리적 제약 - 건설비용 - 건설기간 - 대규모	- 부하이전 - 주파수조정 - 보조서비스	- 전력회사	- 터빈효율

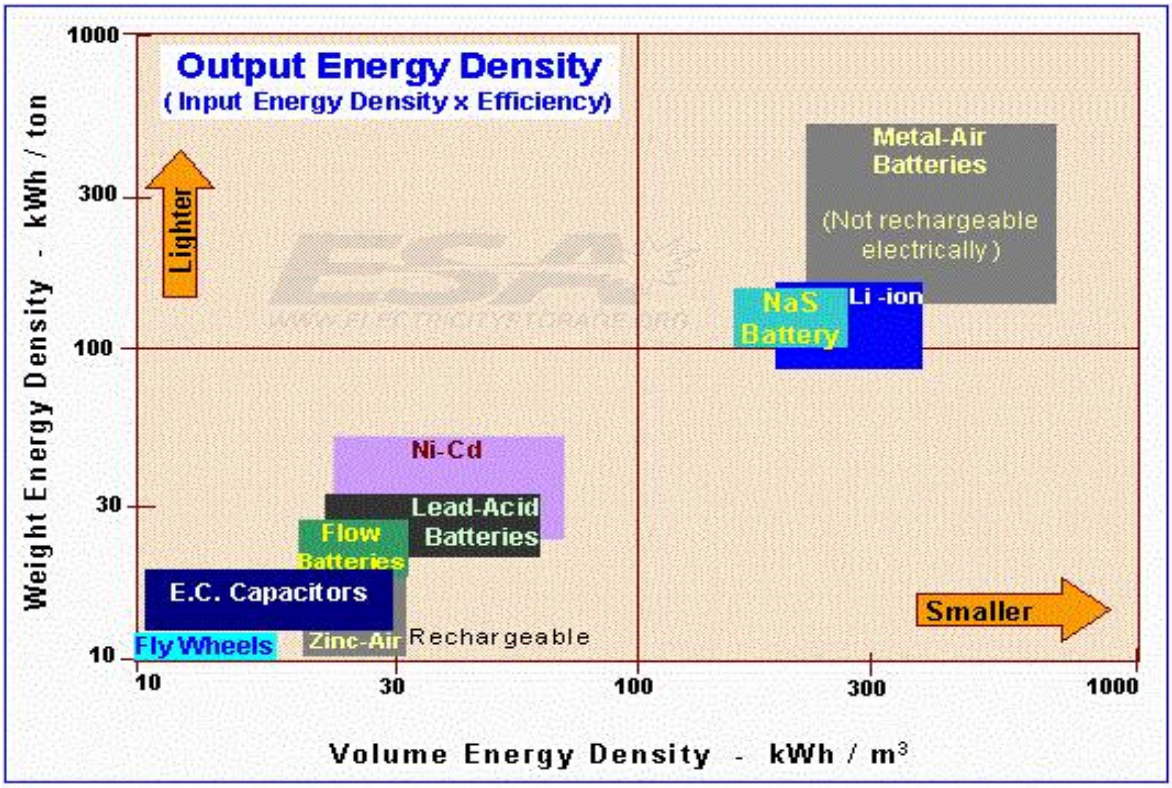
- 위의 배터리기술들을 자본별, 정격출력별, 에너지밀도별 비교를 아래 그림에 각각 나타내었음



<그림 3-16 배터리 기술의 자본비용별 비교>



<그림 3-17 배터리기술의 정격출력별 비교>



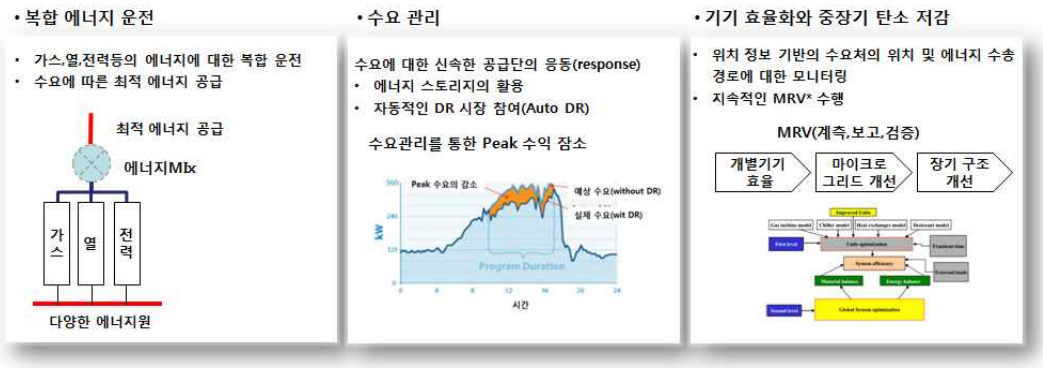
<그림 3-18 배터리 기술의 에너지밀도별 비교>

2.2. 마이크로그리드 운전 요구사항 도출

2.2.1 현행 마이크로그리드 운전기술의 문제점과 해결방안

□ 현행 마이크로그리드 운전기술의 문제점은 다음과 같음
- 전력, 가스 및 열에 대한 개별적 운전으로 에너지 효율이 낮음.
- 마이크로그리드 내 에너지 사용 효율을 높이기 위해서는 수요 관리가 필요
- 개별 기기에서 단위 마이크로그리드에 대한 연속적이고 체계적인 MRV 필요

□ 본 연구진은 다음과 같은 해결방안을 제시함
- 전력, 가스 및 열에 대한 통합(복합) 운전 체계 마련
- 수요 관리를 위한 마이크로 DR 시스템 개발 및 운전 자동화 구현
- 단위 설비에서 마이크로그리드까지 확대 가능한 Scale-up/Scale-out형 MRV 시스템의 구현



<그림 3-19 마이크로그리드 운전 요구사항>

2.2.2 도시단위 에너지관리시스템의 의미

□ 국가단위 에너지 관리시스템에서는 대규모에너지공급원, 지역별에너지부하, 기본 공급망 수준에서 에너지 관리시스템을 운영함

□ 빌딩/개별사용자 수준에서의 에너지 관리 시스템은 메인 에너지그리드에 연결되어 에너지 사용량을 관리하거나 분산에너지원으로 대체하는 기능을 함

□ 도시단위의 에너지 관리시스템은 다수의 빌딩/개별 수준으로 묶은 구역과 공장구역,

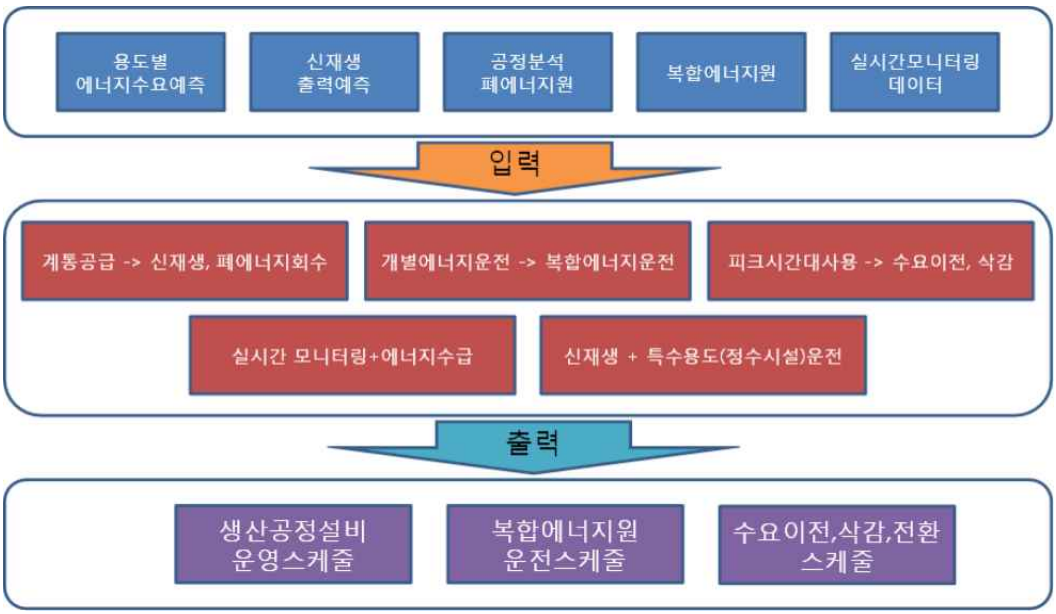
공공시설/인프라, 신재생에너지설비, 자원회수시설 등을 대상으로 함

□ 도시단위의 에너지 관리시스템이 빌딩/개별사용자 수준과 다른 점은 최소단위가 구역이라는 것으로, 실시간으로 각 구역의 에너지잉여/부족을 모니터링하고 도시 내의 분산/신재생에너지원/회수에너지 등을 사용하여 독립적으로 에너지 균형을 맞출 수 있는 효율적 순환구조를 이룰 수 있는 에너지 커뮤니티의 최소단위라고 할 수 있음

2.2.3 도시에너지관리시스템의 기능적 요구사항

□ 도시에너지관리시스템의 기능은 주계통으로부터 전기/열/가스/수도 등을 개별적으로 공급받던 것을 수요예측, 에너지플로우 분석, 실시간 모니터링을 기반으로 도시 내의 분산에너지원으로 대체하거나 복합에너지운전을 하고 에너지의 수요를 관리하는 최적의 도시 에너지 공급/소비 스케줄링을 하는 것임

□ 도시에너지 관리시스템의 입력변수와 결과인 출력, 그리고 이를 위해 필요한 최적화 알고리즘을 정리하면 다음과 같음



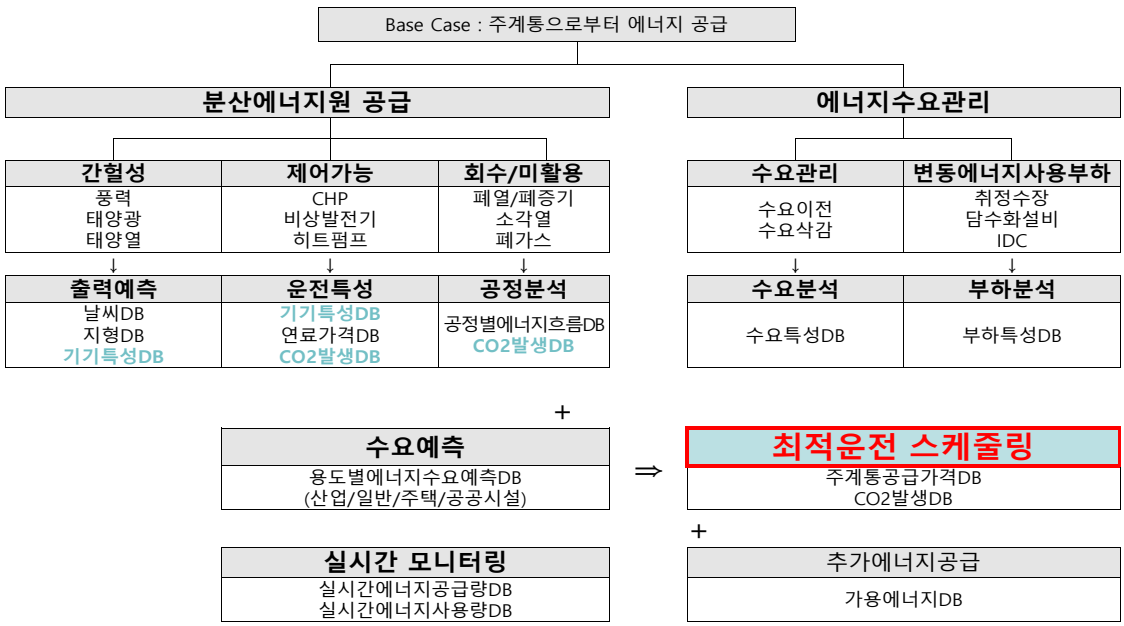
<그림 3-20 도시에너지관리시스템의 기능>

<표 3-10 도시에너지 관리시스템 입력변수, 알고리즘, 출력>

① 입력변수	② 알고리즘	③ 출력
• 용도별 에너지 수요 예측 • 신재생 에너지 출력 예측 • 산업별 공정 분석/ 미활용에너지 분석 • 복합에너지원 • 실시간 모니터링 데이터	• 계통공급 + 신재생 + 미활용에너지 • 복합에너지(전기+열+가스+수도) 운전 • 피크시간대 수요이전, 수요삭감 • 부하예측 + 실시간 모니터링 • 신재생 + 특수용도(정수시설)운전	• 설비 운영스케줄 • 복합에너지원 운전스케줄 • 수요이전, 삭감, 전환 스케줄

2.2.4 도시에너지관리시스템의 데이터베이스 구축 요구사항

□ 핵심 최적화 알고리즘이 적용되는 자원과 복합에너지 운전을 위해 해당자원을 대상으로 한 분석과정과 이로부터 구축되는 데이터베이스 등을 아래 그림에 나타내었음



<그림 3-21 도시에너지관리시스템의 운전알고리즘별 대상 및 필요데이터베이스>

2.3 마이크로그리드 제어 요구사항 도출

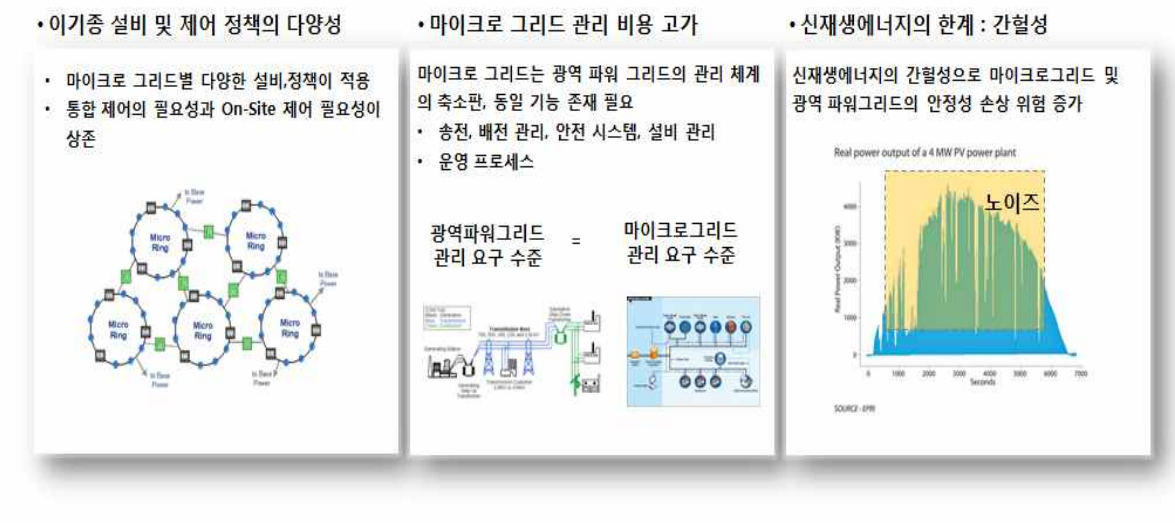
2.3.1 현행 마이크로그리드 제어기술의 문제점과 해결방안

□ 현행 마이크로그리드 제어기술의 문제점은 다음과 같음

- 전체 최적화 보다는 마이크로그리드 관점의 부분 최적화 경향
- 광역 파워그리드 수준의 관리 품질을 충족하기 위해서는 많은 비용 소요
- 신재생에너지의 간헐성에 따른 광역 파워그리드 안정성 유지 곤란

□ 본 연구진은 다음과 같은 해결방안을 제시함

- 마이크로그리드간의 신속한 정보 공유 및 전체 최적화 지향 체계 구현
- 마이크로그리드에서 필요한 동일 기능에 대한 shared service 형 제공
- 간헐성 완화를 위해 ESS 및 인버터 설비를 활용한 실시간 의사 결정 지원 알고리즘 구현 및 자동화



<그림 3-22 마이크로그리드 제어 요구사항>

2.3.2 복합에너지운전 핵심 알고리즘

□ 복합에너지운전의 핵심 알고리즘별로 기능의 설명과 대상 자원을 정리하면 아래와 같음

- 주계통 공급에서 분산전원으로 대체
  : 주계통에서 받는 에너지처럼 제어가 가능해야 함

: 열병합발전, 히트펌프, 폐열회수, 미활용에너지 활용 등

□ 전기/열/가스/물 개별운전에서 복합운전

: 다른 종류의 에너지로 변환이 가능 또는 두 가지 이상의 에너지를 동시에 공급 가능해야 함

: 상변환저장, 열병합발전, 히트펌프 등

□ 피크시간대 수요를 이전 또는 삭감

: 비용이 많이 발생하는 시간에 에너지 사용을 회피

: 에너지 저장장치, ON-OFF 프로그램 가능한 부하제어기 등

□ 실시간 모니터링 및 에너지 수급

: 실시간으로 공급량과 소비량의 균형을 모니터링

: SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), 스마트 미터 등

□ 신재생에너지 변동성 대응

: 풍력이나 태양광/열 등 신재생 에너지의 출력의 변동성에 대응

: 에너지 저장장치, 인버터 시스템 등

3. 국내외 도시에너지 소비특성 및 공급체계 분석 자료

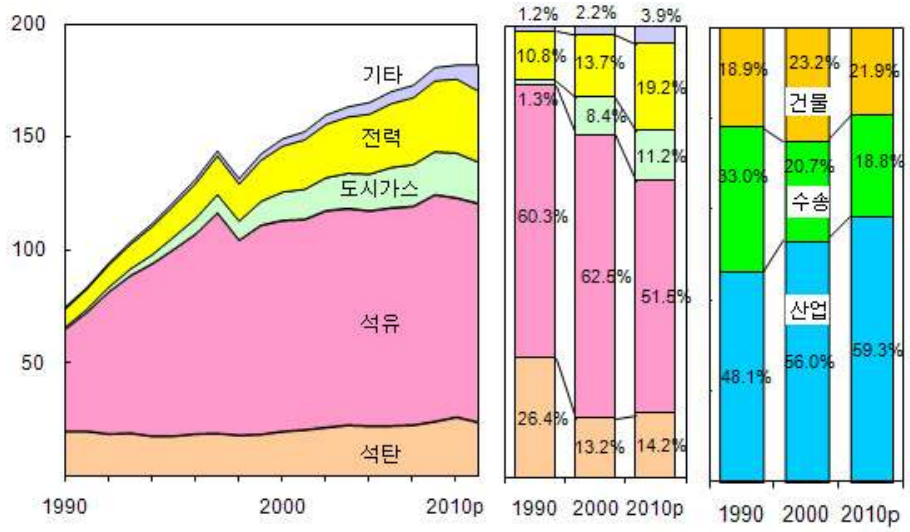
<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">

[국내 지역별 부문별 최종 에너지 소비 현황(2009년)]</td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">- 선진국과 국내 도시의 에너지 소비특성 비교, 분석 및 시사점 도출
- 국내외 도시 에너지 공급체계와 운영방안 비교검토 및 시사점 도출
- 도시 에너지 수급체계 분석을 위한 표준 해석모델 도출</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">- 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템을 효과적으로 개발하기 위해서는 국내외 도시에너지 소비특성 및 공급체계의 문제점을 파악해야 함</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">- 도시에너지 공급시스템의 최적화 설계기법 적용을 통한 도시단위에서의 에너지 절약 10% 및 탄소배출량 10% 이상 달성</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 국내 지역별 부문별 에너지 소비 현황 분석
(개발기술 수준)
- 국내 지역별 부문별 에너지 소비 현황 분석 자료를 근거로 문제점 분석
(개발기술 수준 설정근거)
- 국내외 사례분석</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">김용기(한국건설기술연구원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">1차년도 '12.03 ~ '12.08 (6개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적 성과</td><td>1차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td></td></tr>
<tr><td>질적 성과</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 도시에너지 소비특성 분석 건수 : 지자체별 3건 이상</td></tr>
<tr><td>달성 확인 방법</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 해당 보고서 확인</td></tr>
</table>

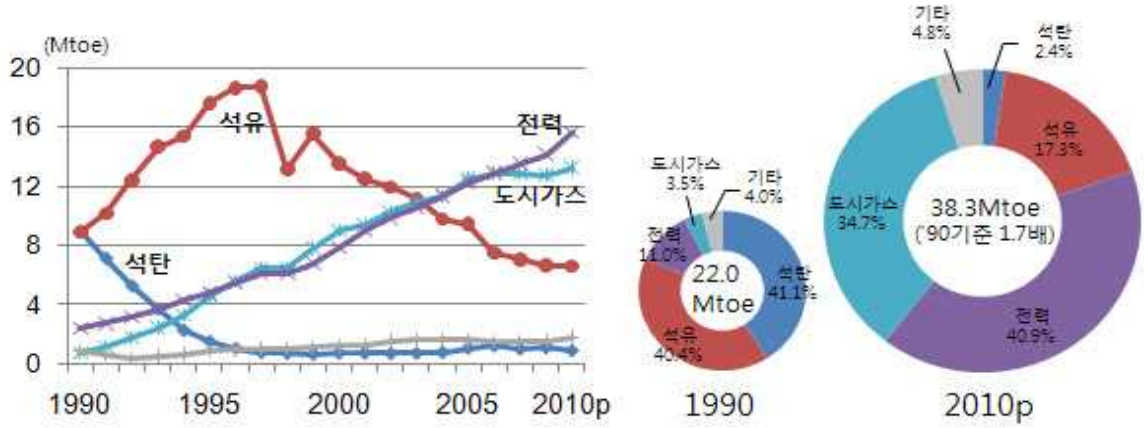
3.1 국내 도시에너지 수급체계 분석 기술 기반 확보 및 최적화 방안 확보

□ 국내 에너지 소비특성

- 국내 에너지 소비특성을 분석하기 위하여 최종에너지 원별, 용도별 소비 추이, 가정・상업부문 에너지원별 소비 추이, 부문별 온실가스 배출 현황, 최종에너지 부문별 에너지 절감 목표 등을 검토하였음[2)]



<그림 3-23 최종에너지 원별/용도별 소비 추이>



<그림 3-24 가정・상업부문 에너지원별 소비 추이>

2) 2011 에너지·기후변화 편람, 에너지관리공단



<그림 3-25 부문별 온실가스 배출 현황>

<표 3-11 최종에너지 부문별 에너지 절감 목표>

(단위 : 백만toe)

구 분		'06	'30			
			전망	목표	절감량	절감률
최종 에너지	산 업	97.2	134.0	117.3	16.7	12.5%
	수 송	36.5	45.9	39.0	7.0	15.1%
	가정·상업	39.8	59.1	47.1	12.0	20.3%
	공공·기타	3.8	6.0	4.1	1.9	31.5%
	합 계	173.6	245.1	207.5	37.6	15.3%
1차 에너지		233.4	342.8	300.4	42.3	12.4%

출처) 제1차 국가에너지 기본계획('08)

□ 국내 도시/지역별 에너지 소비특성

- 국내 도시/지역별 에너지 소비특성을 분석하기 위하여 국내 지역별 부문별 최종 에너지 소비 현황('09년), 국내 지역별 부문별 전력 소비 현황(' 09년), 국내 지역별 원별 최종 에너지 소비 현황('09년), 전국 7대 도시에서의 건물 용도별 전력 사용 비율 등을 검토하였음[3)]



<그림 3-26 국내 지역별/부문별 최종 에너지 소비 현황('09년)>

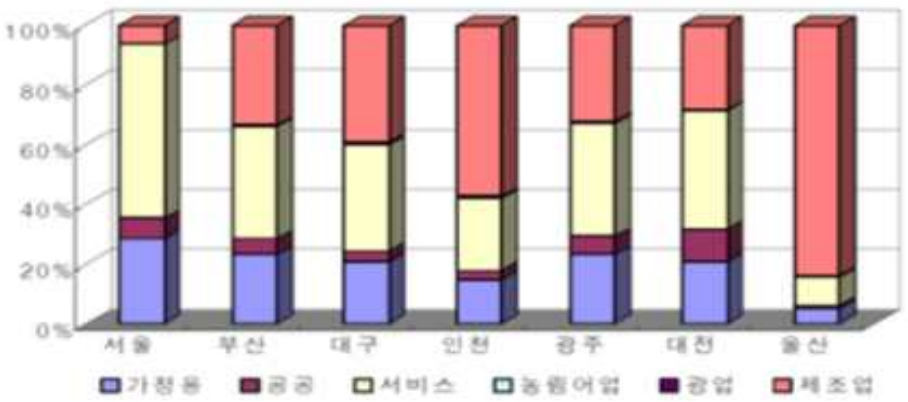
3) 2010 지역에너지 통계연보, 에너지경제연구원



<그림 3-27 국내 지역별/부문별 전력 소비 현황('09년)>



<그림 3-28 국내 지역별/원별 최종 에너지 소비 현황('09년)>



<그림 3-29 전국 7대 도시에서의 건물 용도별 전력 사용 비율>

- 서울시의 경우 : 서울시의 온실가스 배출량은 2007년도 기준으로 4천 5백만톤에 달하고, 온실가스 배출의 주범은 건물 및 수송부문이며, 총 배출량의 90%에 달함. 에너지의 60%를 건물에서 사용(수송분야 30%, 산업분야 10% 차지)하고 있으며, 온실가스의 43%를 건물에서 에너지 소비에 의해 배출함(수송분야 30%, 폐기물 12%, 산업 등 5% 차지)[4)]

- 고양시의 경우 온실가스 배출량은 4,333천 ton CO2 (에너지부문 : 4,020 천 ton CO2)에 달함. 고양시에서는 재생에너지의 적극 사용, 냉난방에너지 수요 최소화, 폐기물 발생 최소화 및 재활용, 제도적 관리방안 등을 검토하고 있으나, 아직까지는 실천이 부족한 실정임[5)]

- 강릉시의 경우 환경부와 국토해양부에서 저탄소 녹색도시로 선정(2009.07.15.), 교통, 주택, 에너지를 저탄소형으로 개편, 에코빌리지 및 신재생에너지복합단지 조성 등을 통해 탄소 저감형 도시로 변모를 시도

- 안산시의 경우 온실가스 배출량 7,142천 ton CO2 (경기도 전체 배출량의 9.5%). 경기도 지자체에서 가장 많은 온실가스를 배출(안산시>수원시>용인시>평택시>화성시)하고 있음. 아래의 표는 안산시와 고양시의 온실가스 배출 특성과 경기도 지자체 중 세부 부문별 비중, 경기도 지자체의 온실가스 배출량의 세부 부문별 비율을 정리한 것임[6)]

<표 3-12 안산시 및 고양시의 온실가스 배출 특성>

(a) 안산시의 경우

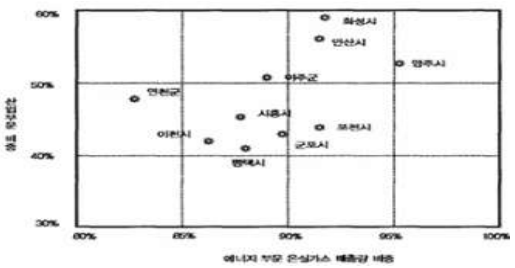
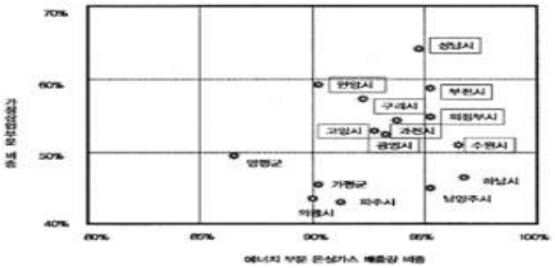
구분		CO_2 (톤)	CH_4	N_2O	합계	부문별 비중 (%)	건물분야 내 비중 (%)
총배출량		6,905,598.53	180,154.54	43,371.51	7,142,123.71	100	-
에너지	에너지 소계	6,526,599.23	4,294.08	14,143.64	6,545,036.95	91.64	-
	건물분야 소계	6,526,599.23	4,294.08	14,143.64	6,545,036.95	-	100
	산업 부문	3,716,755.96	2,136.31	8,108.19	3,726,908.45	-	56.97
	수송 부문	876,258.56	534.04	2,298.05	881,081.56	-	13.46
	가정/상업 부문	1,820,912.00	1,575.09	3,537.45	1,825,125.23	-	27.89
	공공기관 부문	112,072.03	50.63	180.05	112,336.71	-	1.69
	탈루성배출	-	-	-	-	-	-
산업공정		-	-	-	-	-	-
농업		0	9,055.68	5,696.21	14,751.89	0.21	-
폐기물		378,959.30	176,804.78	23,531.66	582,295.74	8.15	-
토지이용/산림		39.12	0	0	39.12	0.00	-

(b) 고양시의 경우

구분		CO_2 (톤)	CH_4	N_2O	합계	부문별 비중 (%)	건물분야 내 비중 (%)
총배출량		4,092,107.01	194,604.24	56,594.16	4,333,505.41	100	-
산배출량		4,097,921.47	194,604.24	56,594.16	4,319,049.87	-	-
에너지	에너지 소계	4,010,369.15	2,580.88	7,813.70	4,020,763.73	92.78	-
	건물분야 소계	4,010,369.15	2,580.88	7,813.70	4,020,763.73	-	100
	산업 부문	370,640.84	206.59	791.11	371,638.54	-	9.24
	수송 부문	1,365,745.41	820.15	3,554.80	1,370,120.44	-	34.08
	가정/상업 부문	2,132,800	1,475.26	3,215.80	2,137,571.16	-	53.16
	공공기관 부문	141,102.90	78.87	251.82	141,433.59	-	3.52
	탈루성배출	-	-	-	-	-	-
산업공정		-	-	-	-	-	-
농업		0	30,636.34	20,992.07	60,568.41	1.40	-
폐기물		71,737.86	152,617.02	27,848.40	252,203.28	5.82	-
토지이용/산림		-14,485.55	0	0	-14,485.55	-	-

4) 서울시, 2009, 서울시 기후변화대응 성과분석 및 비전수립
5) 고양시, 2008, 고양환경백서, p277) / 고양시, 2008, 고양시 환경보전 종합계획 학술연구, p371
6) 경기 개발연구원, 2007.12, 경기도 시군 지자체의 온실가스 배출특성 연구

<표 3-13 에너지 부문 온실가스 배출량 중 세부 부문별 비중>

(a) 산업부문	(b) 가정·상업부문
	

<표 3-14 에너지 부문 온실가스 배출량 중 세부 부문별 비중>

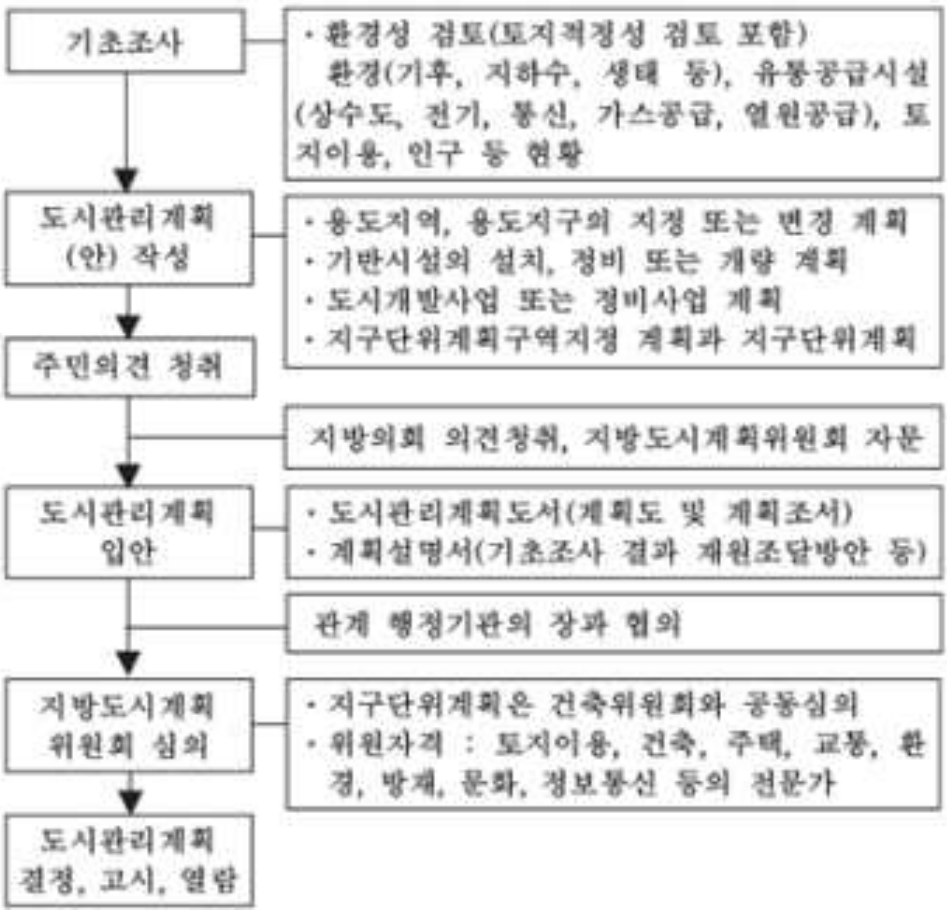
산업 (%)		수송 (%)		가정상업 (%)		공공기타 (%)	
시군합계	31.25	시군합계	25.58	시군합계	40.46	시군합계	2.72
화성시	59.92	의왕시	42.87	성남시	64.17	과천시	21.56
안산시	56.97	광주시	40.9	안양시	59.18	동두천시	10.51
양주시	52.7	남양주시	39.49	부천시	58.9	가평군	8.42
여주군	50.98	하남시	37.44	구리시	58.47	연천군	8.3
연천군	47.27	양평군	36.99	의정부시	55.37	의정부시	7.06
시흥시	45.24	가평군	34.93	과천시	54.39	양평군	5.59
포천시	43.89	고양시	34.08	고양시	53.16	구리시	4.7
군포시	42.83	안성시	33.6	광명시	52.01	파주시	4.58
이천시	41.7	광명시	32.99	수원시	51.83	성남시	4
평택시	40.92	의정부시	32.64	양평군	49.38	평택시	3.61
김포시	35.54	평택시	31.86	하남시	46.1	포천시	3.54
용인시	34.25	구리시	31.4	가평군	45.28	고양시	3.52
안성시	33.77	오산시	26.89	남양주시	45.11	양주시	2.66
동두천시	33.43	수원시	25.24	의왕시	43.71	수원시	2.65
오산시	32.77	포천시	25.15	파주시	42.11	이천시	2.54
파주시	29.96	용인시	25.09	용인시	38.6	김포시	2.45
광주시	23.75	이천시	24.44	김포시	38.53	안양시	2.12
수원시	20.27	시흥시	24.37	오산시	38.33	부천시	2.09
부천시	17.37	성남시	23.74	군포시	38.3	용인시	2.06
안양시	16.25	김포시	23.49	동두천시	34.82	오산시	2.01
하남시	15.16	파주시	23.36	광주시	34.3	안성시	1.83
광명시	14.22	안양시	22.46	이천시	31.32	남양주시	1.77
남양주시	13.62	과천시	22.28	안성시	30.8	안산시	1.69
의왕시	11.99	여주군	22.08	연천군	30.05	의왕시	1.43
가평군	11.38	부천시	21.64	시흥시	29.51	화성시	1.39
고양시	9.24	동두천시	21.24	안산시	27.89	하남시	1.3
성남시	8.09	양주시	20.94	포천시	27.42	여주군	1.17
양평군	8.04	화성시	18.7	여주군	25.77	광주시	1.05
구리시	5.43	군포시	18.16	양주시	23.7	광명시	0.89
의정부시	4.93	연천군	14.39	평택시	23.62	시흥시	0.88
과천시	1.77	안산시	13.46	화성시	19.99	군포시	0.71

* 음영부분은 전체 평균보다 비중이 높은 지자체를 나타냄.

- 따라서 이와 같은 결과를 바탕으로 경기도 지자체 중 온실가스 배출량이 가장 많고, 산업부문에서 온실가스를 많이 배출하고 있는 안산시를 본 과제의 운영부문의 테스트 베드로 선정할 계획임. 또한, 안산시에서는 산업공정 배열을 이용하여 가정, 상업부문 온실가스를 저감시킬 수 있는 가능성이 크므로 테스트 베드로서의 장점을 가지고 있음

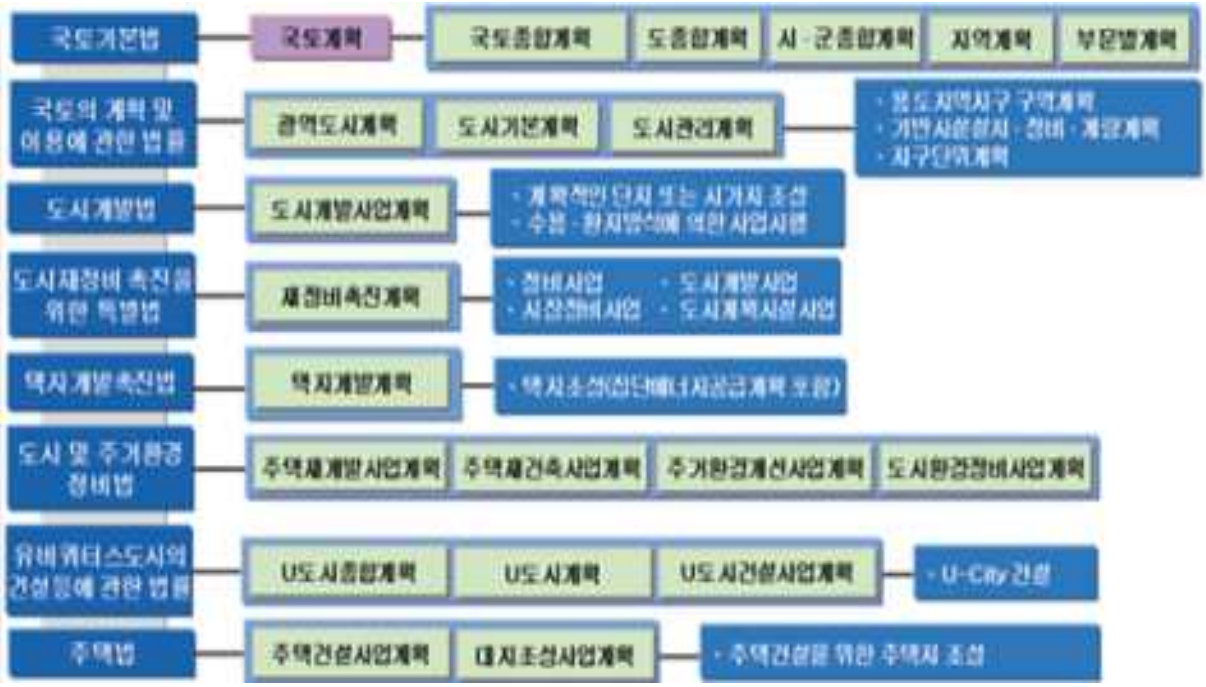
□ 국내 도시에너지 공급체계

- 국내 도시관리계획 수립 절차는 아래 그림에 보인 바와 같음. 기초조사, 도시관리계획(안) 작성, 주민의견 청취, 도시관리계획 입안, 지방도시계획위원회 심의, 도시관리계획 결정, 고시, 열람의 순으로 도시계획이 이루어지고 있으며, 에너지 관련 사항은 포함되어 있지 않음



<그림 3-30 국내 도시관리계획 수립 절차>

- 도시관련 법체계는 에너지 및 탄소저감 관련 법체계는 포함되어 있지 않음



<그림 3-31 도시관련 법체계>

- 집단에너지사업법에 의한 집단에너지 공급시스템 검토 체계는 아래 그림에 보인 바와 같음. 에너지사용계획서의 구성 내용은 아래 표 3-15에서 보여주고 있음. 에너지사용계획서에서는 에너지 수요 예측, 에너지 공급 계획, 고효율에너지 이용설비 도입타당성 검토 및 설치 여부, 소각열 등 폐열 회수 및 활용계획, 신재생에너지 이용계획, 이산화탄소 배출 감소방안 등을 검토하고 있으나, 도시에서의 탄소배출량을 저감시키기 위한 체계적인 검토는 아직 미흡한 실정임

<표 3-15 에너지사용계획서의 구성 내용>

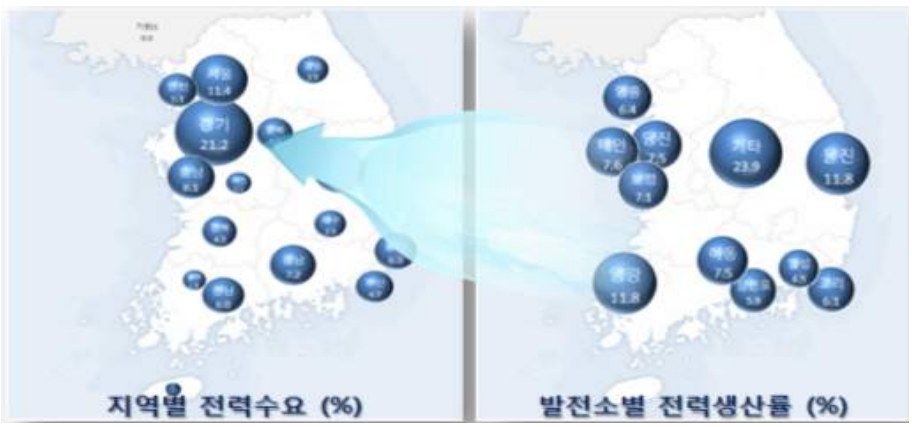
제1장	사업의 개요(주변지역 에너지 관련시설 현황 등)
제2장	에너지 수요 예측
제3장	에너지 공급계획(에너지 공급설비 및 수단, 전력 공급계획, 집단에너지 공급타당성 검토 등)
제4장	에너지 이용효율 향상방안 및 이산화탄소 배출감소 방안(고효율 에너지 이용설비 도입타당성 검토 및 설치여부, 소각열 등 폐열회수 및 활용계획, 신재생에너지 이용계획, 이산화탄소 배출감소방안 등)
제5장	에너지 이용효과 및 수급체계에 미치는 영향 분석
제6장	에너지 사후관리계획
제7장	관련사업 및 관계법령
제8장	종합평가 및 결론



<그림 3-32 집단에너지 공급시스템 검토 체계>

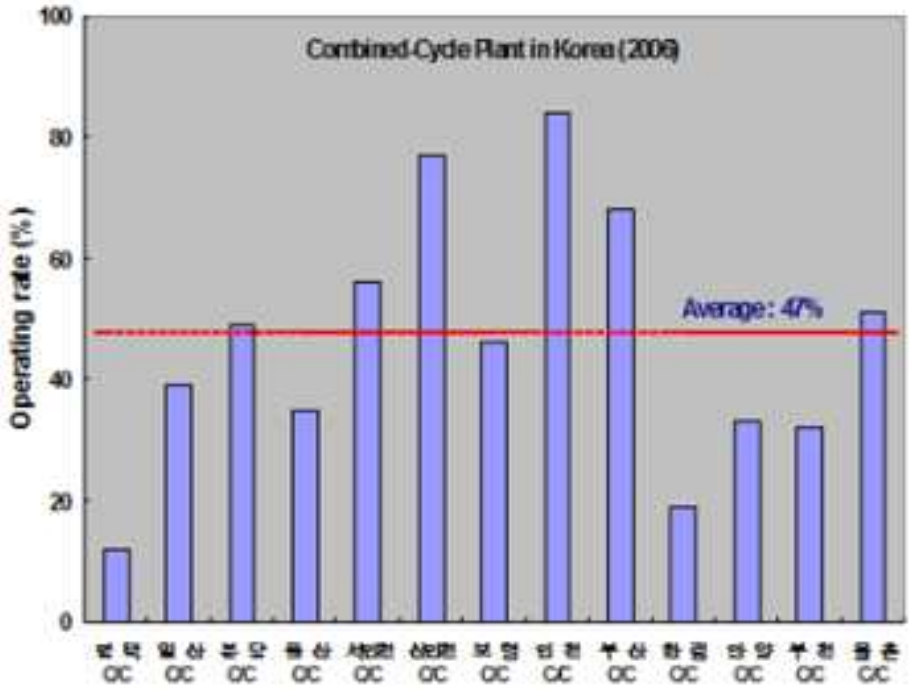
□ 국내 도시에너지 공급체계 문제점 분석

- 아래 그림은 국내 지역별 전력수요 및 발전소별 전력생산율을 도시하고 있음. 대형 발전소들은 냉각수 확보가 용이한 지역을 중심으로 지방에 대부분 분포되어 있으나, 전력수요는 서울을 포함한 수도권에 집중되어 있어, 대규모 송배전설비가 필요하게 되었고, 송배전에 따른 전력손실이 발생하게 되었음



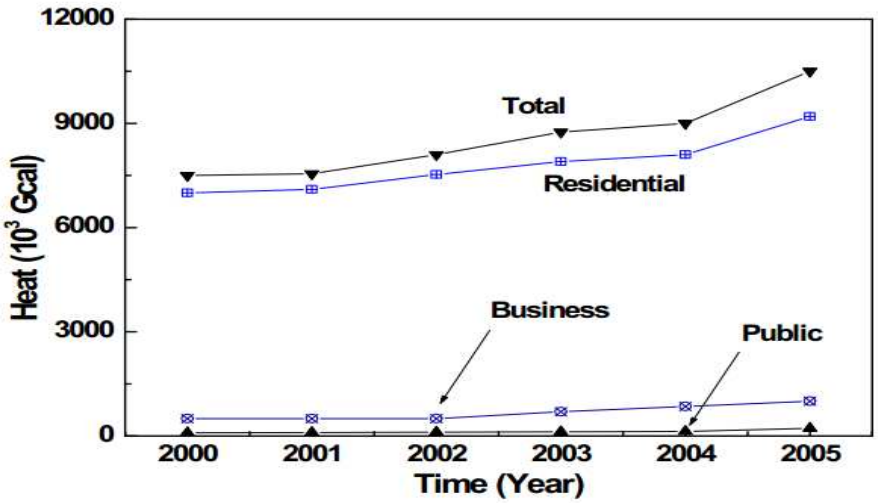
<그림 3-33 국내 지역별 전력수요 및 발전소별 전력생산율>

- 아래 그림은 2006년도 국내 복합화력발전소별 가동률을 도시하고 있음. 평균적으로 47%의 가동률을 보여주고 있음



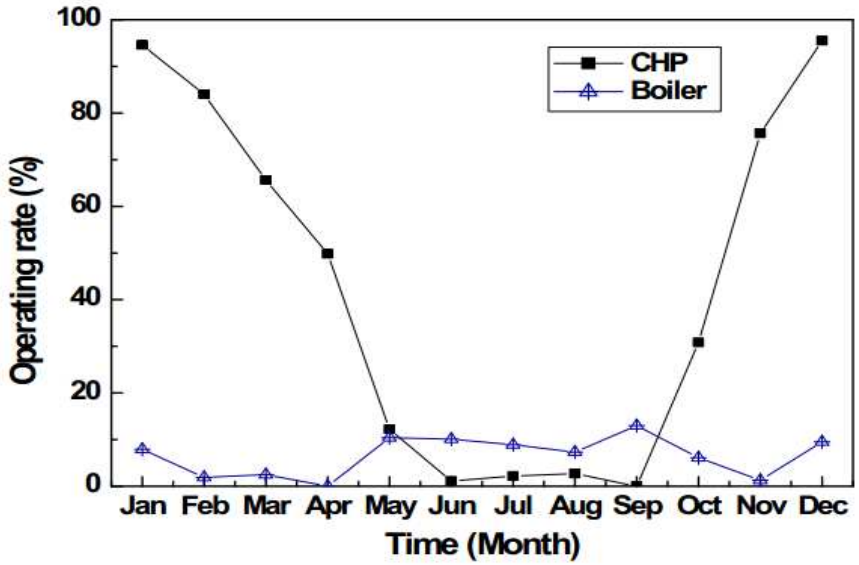
<그림 3-34 국내 복합화력발전소별 가동률>

- 아래 그림은 건물용도별 지역난방 공급열량의 연도별 추이를 보여주고 있음



<그림 3-35 건물용도별 지역난방 공급열량의 연도별 추이>

- 아래 그림은 지방 신도시 복합화력발전 및 열전용 보일러의 월별 가동률을 도시하고 있음



<그림 3-36 지방 신도시 복합화력발전 및 열전용 보일러의 월별 가동률>

- 한국지역난방공사에서는 2011년 현재 전국 약 1,177천 호에 지역난방을 공급 중에 있으며, 신도시를 중심으로 지역난방 공급시스템이 확대되고 있으나, 열병합발전플랜트, 보조보일러, 축열조 플랜트를 기반으로 하는 대규모시스템 및 도시가스 등(일부 소각폐열 활용)의 획일적인 열원을 사용하고 있음
- 따라서 국내 도시에너지 공급체계의 문제점을 정리하면 다음과 같음
  - 대도시 지역의 열전(熱電) 분리 공급체계
  - 에너지원별 독자적인 공급체계
  - 신재생에너지 및 미활용에너지 도입 미흡

□ 서울시 마곡지구 사례 분석

- 서울시에서는 마곡지구를 화석연료 등 에너지사용을 최소화하고 환경친화적 도시개발의 모범사례로 지향/개발하고, 뉴타운 및 균형발전촉진 지구 등 도시개발 단계에서 에너지 저소비형, 에너지 고효율, 저탄소 녹색도시로 계획 및 설계를 추진하고 있음. 마곡지구 개발사업 주요 내용은 다음과 같음
  - ○ 위치 : 강서구 마곡동, 가양동 일원 / 면적 : 3,664,875 ㎡
  - ○ 시행자 : 서울특별시 SH공사 / 사업기간 : 2007.12 ~ 2014.12
  - ○ 기후 및 에너지 측면에서의 개발방향 :

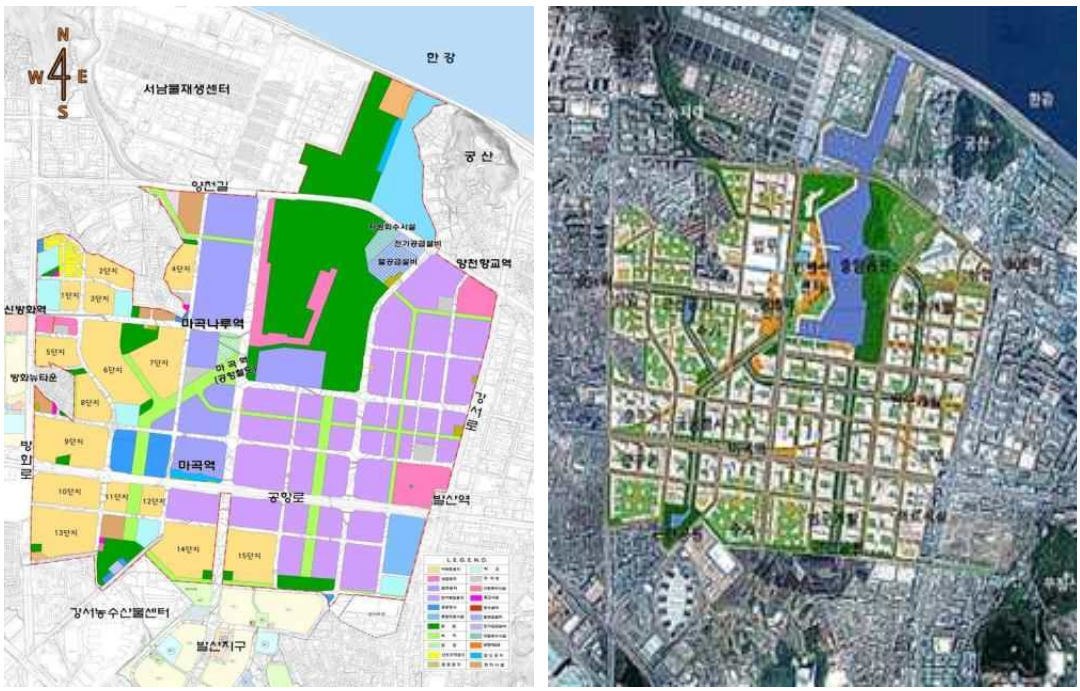
• 에너지 절약 및 이용효율 향상으로 에너지 저소비형 도시 건설 : 집단에너지 공급 방식 도입, 에너지 절약형 건축 설계, 토지용 및 배치, 녹지체계 구축

• 신재생에너지 적극 도입으로 저탄소 배출 친환경 도시 조성 : 태양광, 지열, 연료전지 등 신재생에너지 이용률 향상

• 미활용에너지의 적극 개발 등 소요 에너지의 자체 공급으로 에너지 자립형 도시 기반구축 : 하수열, 소각열 등을 냉난방 에너지원으로 적극 활용

- 에너지 사용 목표 : 에너지사용량 65% 이상 절감, 신재생에너지는 최종 에너지소비량의 40% 이상, 에너지 자립률은 60% 이상 달성, 온실가스 배출량은 65% 이상 감축

- 서울시 홍보자료[7] : 마곡지구 집단에너지공급시설은 신재생에너지를 이용하여 대규모로 에너지를 공급하는 국내 첫 사례임. 마곡지구 일대를 소각열, 하수열을 활용한 친환경에너지 공급으로 온실가스 및 대기오염물질 감축에 기여하는 명실상부한 녹색도시로 자리 잡을 수 있도록 구축 예정



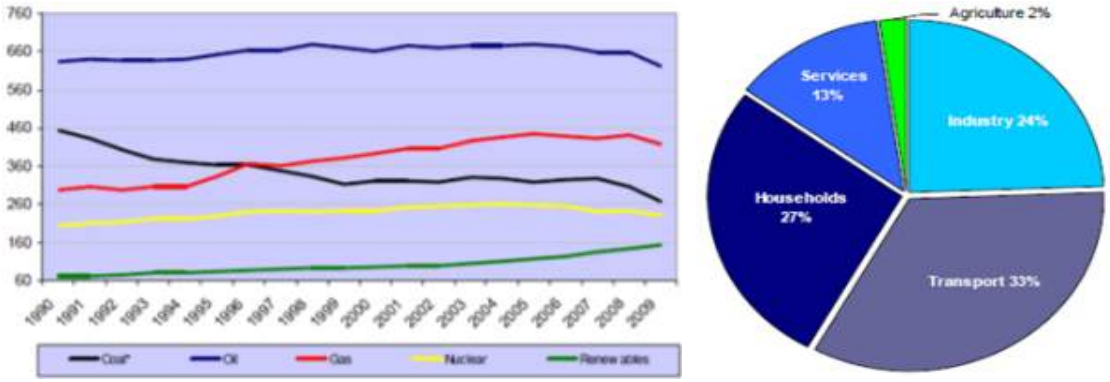
<그림 3-37 서울시 마곡지구 토지이용계획도>

7) 황치영 서울시 기후환경본부 기후변화정책관, 2012.02

3.2 국외 도시에너지 소비특성 및 공급체계 분석

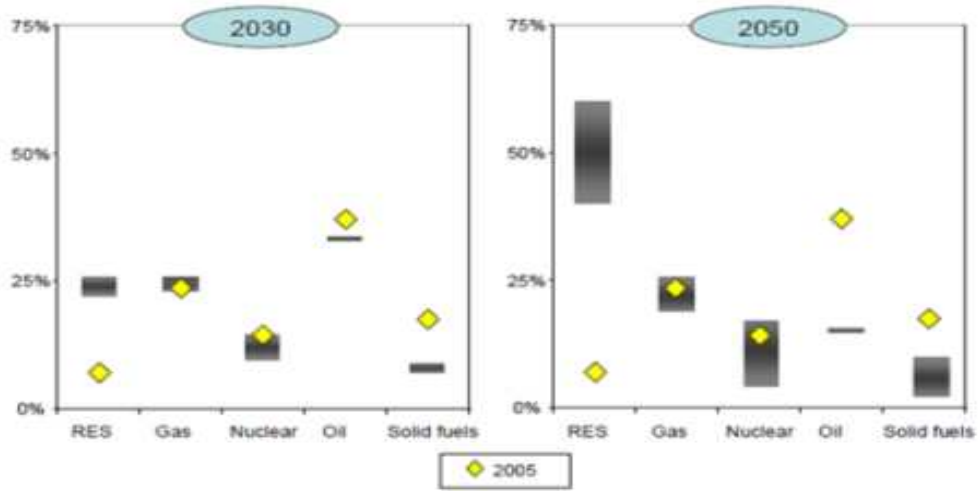
□ 국외(유럽) 에너지 소비특성

- 아래의 그림은 EU의 에너지원별 소비량 추이(단위: Mtoe) 및 부문별 에너지 소비량 비율을 도시하고 있음. 신재생에너지의 소비 비율은 증가하고 있으며, 기타 화석연료의 소비 비율은 2009년도에 감소 추세에 있음. 부문별 에너지 소비량 비율을 보면, 가정·서비스 부문이 40%를 차지하고 있음



<그림 3-38 EU의 에너지원별 소비량 추이(단위: Mtoe) 및 부문별 에너지 소비량 비율>[8]

- 아래의 그림은 EU의 1차 에너지 혼합(Mixing)에 의한 탄소배출 저감 목표 시나리오(2009)를 도시하고 있음



<그림 3-39 EU의 1차 에너지 혼합(Mixing)에 의한 탄소배출 저감 목표 시나리오(2009)>[9]

8) Eurostat, May 2011
9) Energy Roadmap 2050, European Commission, 2011

□ 국외 도시에너지 소비 및 공급체계

- 스웨덴 고텐베르그시(Gothenburg)의 경우 : 스웨덴 Goteborg Energi사는 14개소의 에너지 플랜트에서 전력과 17만 세대에 지역난방을 공급하면서 지역난방 에너지원의 96%를 미활용에너지(공장폐열 81%)와 신재생에너지(Biomass+Wind+Solar 15%)로 충당하고 있음. Goteborg Energi 사의 현황은 다음과 같음

  ○ 소유주 : Gothenburg시

  ○ 고객수 : 약 30만 세대

  ○ 지역난방 세대수 : 약 17만 세대

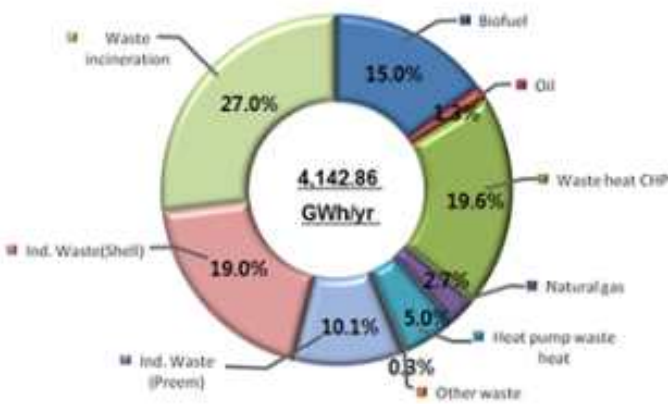
  ○ 지역난방 시설용량 : 2,025㎿

  ○ 에너지 플랜트 수 : 14곳

  ○ 난방 공급 중 약 96%를 신재생에너지와 미활용에너지로 공급
  (산업체 배열 81% + 신재생에너지(Biomass+Wind+Solar) 15%)

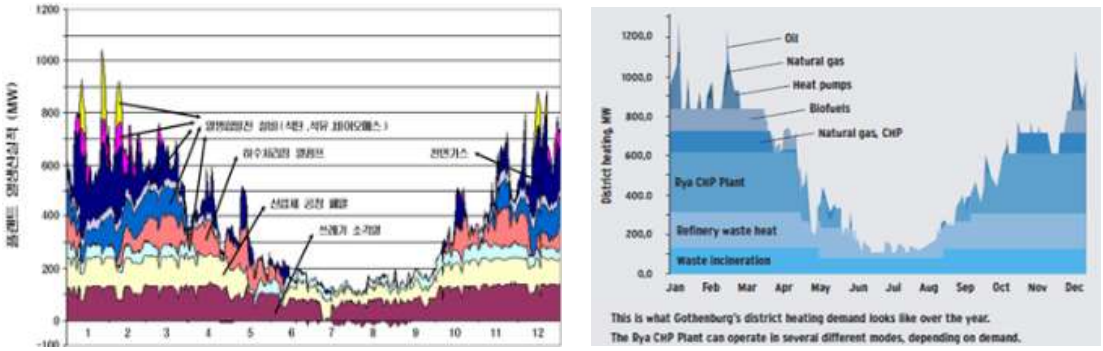


<그림 3-40 Goteborg Energi사의 에너지 플랜트 현황>



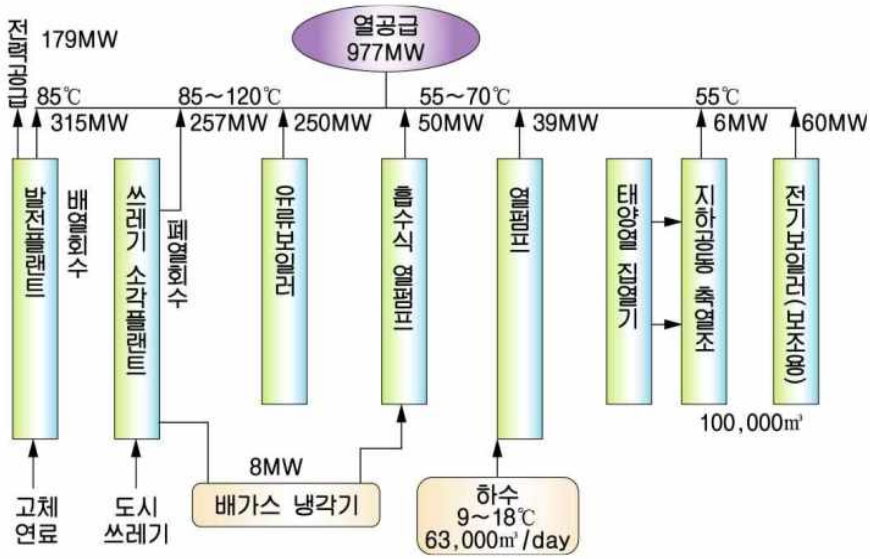
<그림 3-41 연간 총 에너지 생산량 중 에너지원별 비율(Goteborg Energi사)>

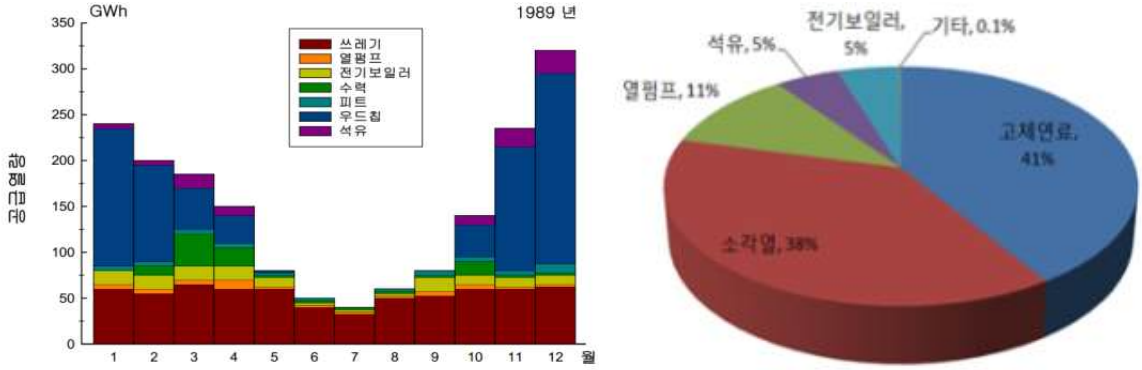
- 연간 에너지 생산 실적을 보여주고 있음. 에너지 요금 체계 및 생산 단가 등에 따라 해마다 운영을 최적화하고 있음을 볼 수 있음



<그림 3-42 Goteborg Energi사의 연간 에너지 생산 실적(좌: 2002년도, 우: 2010년도)>

- 스웨덴 Uppsala시의 경우 : 웁살라시(인구 약 11만명)에서는 1980년 당시 에너지 공급을 위한 석유의존도는 92%에 달하였으나, 1980년대 후반 제2차 석유파동을 겪으면서 도시에너지 공급체계를 변경하였으며, 현재는 석유 일변도의 에너지 사용형태에서 벗어나 우드칩이나 피트 등의 고체연료와 쓰레기 소각, 각 종 도시배열을 이용하는 하수열원 열펌프시스템 및 태양열 암반공동 장기 축열 등 다양한 시스템을 도입하여 탄소배출량을 감소시키고, 도시에너지 자급률을 크게 높이고 있음. 아래 그림은 스웨덴 웁살라시 에너지 공급시스템의 시설용량 및 에너지원별 생산실적을 보여주고 있음

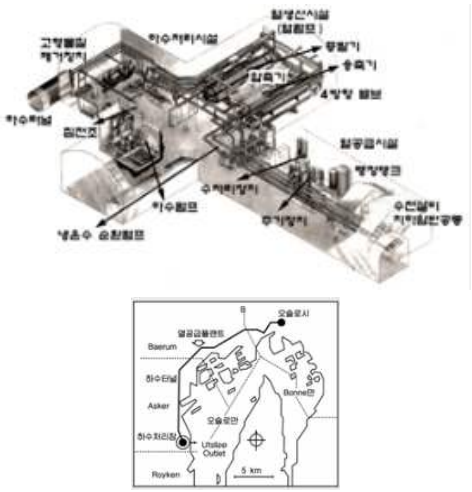
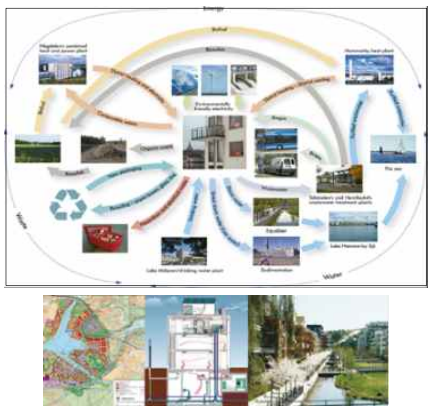




<그림 3-43 스웨덴 웁살라시의 에너지 공급시스템의 시설용량 및 에너지원별 생산실적>

- 아래의 표는 유럽에서의 도시에너지 공급체계 특징을 보여주고 있음

<표 3-16 유럽에서의 도시에너지 공급체계 특징>

구 분	에너지 공급시스템 특징	개념도
노르웨이 Sandvika	· 노르웨이 수도 오슬로 인근 약 10 ㎞에 위치 · 사업주체 : Baerum Energi · Sandvika 지역 약 27만 ㎡ 내의 건물 대상 · 냉난방 대상건물 연면적 : 50만 ㎡ · 온열부하: 60GWh/y, 냉열부하: 12GWh/y · 하수 처리수의 온도 : 약 10℃ · 하수열을 열원으로 하는 열펌프 시스템을 이용하여 지역냉난방 및 도로 융설을 수행	
스웨덴 스톡홀름시 Hammarby Sjostad	· 스웨덴 수도 스톡홀름 인근 남쪽 약 5㎞ 위치 · 계획인구: 17,500명 · 도시규모: 약 200 ha 생태도시 · 에너지 공급시스템 체계: 지역냉난방시스템, 하수열원 열펌프 이용, 신재생에너지(태양광+지열+풍력+바이오가스) 이용	

3.3 국내 도시에너지 공급체계 문제점 분석 및 연구동향

- 국내 도시에너지 공급시스템은 대규모 시스템이고, 획일적인 열원(석탄 원자력, LNG, 석유)을 이용하는 등의 단순 시스템 도입에 따라 시스템 효율이 낮고, 부하에 능동적으로 대응하지 못하고 있음
- 선진 외국에서의 도시단위 에너지 공급계통은 다양한 열원을 이용하여 분산발전, 신재생에너지 도입, 미활용에너지를 이용하는 등 에너지 Resource Network를 통한 분산・순환형 시스템으로 변화하고 있음
- 따라서, 대규모의 에너지와 자원을 필요로 하는 도시・단지에서는 분산형 열병합발전 시스템, 소규모 지역냉난방시스템, 신재생에너지 및 도시 미활용에너지를 적극 이용하는 등의 자족・순환형으로 구축될 필요성이 있음

<표 3-17 국내 에너지 공급체계의 문제점 및 해결방안>

구 분		문 제 점	해 결 방 안
도시단지 계획측면	원인	· 도시 및 단지계획 시 도시기반 공급·처리시설운영의 측면에서 자원 및 에너지의 이용효율향상을 고려하지 않음 · 신도시 건설이나 지역 재개발 수행시대규모주택단지 조성 (용도별 지역분화 심화) · 현재 지역난방시설은 대규모 주택단지가 주요 공급대상 · 주택은 체계적인 냉방을 수행하지 않음	· 자원·에너지의 수요 평준화를 고려(반영)함으로써 공급・처리효율을 향상시킬 수 있는 자원・에너지 자립형 도시 및 단지계획 수립 · 주택 대체냉방시스템의 체계적 도입
	결과	· 비전력 에너지원의 동고하저, 전력의 하고동저 현상 발생 · 공급에너지의 계절별, 시각별 불균형 심화 · 설비가동률과 연간 운전효율 저하 초래 · 장거리 수송에 따른 에너지 손실 증가	· 공급에너지의 계절별, 시각별 합리적 이용 · 설비의 가동률 및 운전효율 향상 · 수송거리의 단축을 위하여 On-site형 구축
시스템 구성측면	원인	· 신도시나 재개발 지역 전체를 공급 대상으로 하는 대규모 시스템의 도입 · 전력생산 위주의 공급시스템 구축 · 부하특성 및 에너지원에 따른 다양한 시스템의 검토 및 채택 미흡	· 대규모 시스템과 On-site형 중소형 플랜트의 역할 분담체계 확립 · 지역특성을 반영하는 다양한 시스템의 검토 및 도입
	결과	· 획일적이고 단순한 시스템 구성 · 부하변동에 대한 탄력성 부족 · 에너지원간 상호보완 및 연계성 부족 · 재생가능 에너지 등 지역특성 반영 불가능 · 운전비상승 등 시스템 효율저하 초래	· 부하특성과 에너지 사정을 고려하는 복합시스템의 구성 · 신재생가능에너지의 적극 활용 · 시스템 효율 향상

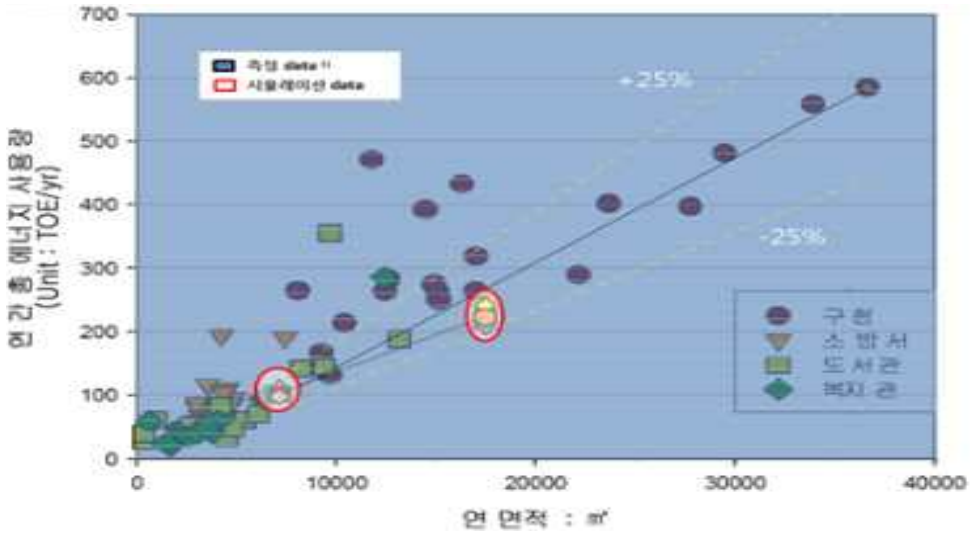
- 지금까지 기술한 바와 같이 도시 및 단지 규모에서의 탄소배출량을 저감시키기 위해서는 건물부문에서 탄소배출량을 먼저 저감시켜야 하며, 건물부문에서의 에너지 수요를 줄이는 노력과 더불어(본 과제의 연구내용이 아님) 에너지 수요를 충족시킬 수 있는 최적의 에너지공급시스템을 설계, 운영(운전 Scheme)함으로써 에너지 및 탄소배출량을 저감시켜야 함

4. 도시에너지 공급원 및 수요처별 에너지 원단위 DB

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">
[에너지 원단위 DB]</td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">- 주요 에너지 공급원과 수요처에 대한 자료조사 및 실제 모니터링을 통한 에너지원별 원단위 파악
- 도시 내 주요 에너지 공급 및 수요처별 원단위 DB 구축을 위한 모니터링 결과 분석</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">- 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템을 효과적으로 개발하기 위해서는 도시에너지 공급원 및 수요처별 에너지 원단위 DB 구축 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">- 도시에너지 공급시스템의 최적화 설계기법 적용을 통한 도시단위에서의 에너지 절약 10% 및 탄소배출량 10% 이상 달성</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 에너지원별 통계자료 수준
(개발기술 수준)
- 도시에너지 공급원 및 수요처별 에너지 원단위 DB 수준
(개발기술 수준 설정근거)
- 데이터량</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">김용기(한국건설기술연구원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">1차년도 '12.03 ~ '12.08 (6개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심성과</td><td rowspan="2">양적 성과</td><td rowspan="2">1차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td></td></tr>
<tr><td>질적 성과</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 에너지 원단위 분석 건수 : 2건 이상</td></tr>
<tr><td>달성 확인 방법</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 해당 보고서 확인</td></tr>
</table>

4.1 에너지 수요 원단위 자료 분석

□ 아래 그림은 에너지 다소비 대형건물(2,000 toe/년 이상)을 대상으로 상업・공공건물의 연면적당 에너지 원단위를 도시하고 있으며, 표는 건물 용도별 에너지 원단위 자료를 보여주고 있음. 연면적과 연간 에너지사용량의 관계는 건물의 용도에 따라 다르다는 것을 알 수 있음



<그림 3-44 상업·공공건물의 연면적당 에너지 원단위>[10]

대구광역시의 경우(자료 : 이강국, 홍원화, 2006, 도시에너지 소비의 공간・시간적 특성 분석, 대한건축학회논문집 계획계 22권 9호, PP. 291-298)

<표 3-18 건물 용도별 단위면적당 에너지 원단위 자료>

건축물 용도분류	난방용 (Mcal/㎡・년)	급탕용 (Mcal/㎡・년)	냉방용 (Mcal/㎡・년)	전력 (kWh/㎡・년)	상수 (㎥/㎡・년)	가스 (㎥/㎡・년)
주거건축	138.5	85.6	46.2	37.6	2.960	264.0
업무건축	49.9	13.4	71.4	170.0	2.073	6.3
상업건축	35.3	22.5	85.8	291.3	3.252	19.2
문화건축	43.0	63.6	69.9	200.2	3.805	-
병원건축	80.0	205.5	123.2	185.3	4.182	22.6
숙박건축	118.3	309.6	64.9	132.5	9.941	16.3
교육건축	80.1	-	-	23.2	3.565	-
기타용도	98.3	-	214.7	455.5	-	-

10) 시정연, 2007, 서울시 공공건물의 에너지 절약 방안

(단위 : 총에너지 Kcal/m², 전력 KWh/m²)

년 도	구 분	전 체	업무용	상업용	교육용	호텔	병원	통신	아파트
'01	총에너지	218	241	345	169	461	440	550	165
	전력	98	170	266	100	199	175	564	39
'07	총에너지	216	242	356	181	419	421	726	139
	전력	122	179	293	121	223	203	762	41
증가율(%) ('01-'07)	총에너지	△0.3	0.1	1.1	2.3	△3.1	△1.5	9.7	△5.6
	전력	7.6	1.7	3.3	6.6	3.9	5.1	10.5	1.7

구 분	단 위	주거	업무	상업	공공	관람집회	숙박	교육	의료	종교
전 력	W/m²	30	50	70	50	50	50	40	50	40
	kWh/m²·년	21	156	226	120	120	200	100	170	110
난 방	kcal/h·m²	40	90	120	90	90	75	90	90	90
	Mcal/m²·년	8	70	125	70	70	100	55	80	50
냉 방	kcal/h·m²	30	50	80	50	50	67	40	82	50
	Mcal/m²·년	0	31	35	31	31	80	31	74	31
급 탕	kcal/h·m²	16	14	20	14	14	100	14	40	14
	Mcal/m²·년	30	2.2	23	2.2	2.2	80	2.2	80	2.2

출처: 2008년 에너지총조사보고서, 지식경제부, 에너지경제연구원

(kcal/m²/Year)

구 분	호텔	병원	오피스 빌딩	오피스텔	공공건물	백화점	쇼핑센타	관람시설	아파트	주상복합 아파트
냉방부하	143,087	69,204	61,878	64,461	86,390	361,372	128,756	359,173	1,020	56,245
난방부하	172,341	134,015	62,694	64,088	51,569	49,896	51,521	115,256	86,130	70,211
급탕부하	244,875	176,582	0	15,518	5,273	50,169	2,100	16,453	17,134	26,868
전기부하	148,976	81,678	109,469	67,522	78,359	217,264	103,008	134,599	39,028	34,009

출처: 박화춘, 단위건물의 에너지부하 모델개발, 설비저널 2003년 11월호, pp. 39-44

□ 에너지 수요 원단위 자료 수집 방안

- 도시 내 건축물의 기능유지에 얼마나 많은 에너지가 어떻게 사용되는가를 관측, 예측하는 것은 에너지의 유효이용과 도시에너지 관리 측면에서 매우 중요함. 따라서 에너지 원단위 및 부하패턴이 필요하며, 이를 얻기 위하여 문헌조사뿐만 아니라 온라인 데이터 수집시스템을 이용하여 건물에너지 원단위 D/B를 구축하고 있음. 아래 그림은 에너지 원단위 D/B 구축방안을 도시하고 있음

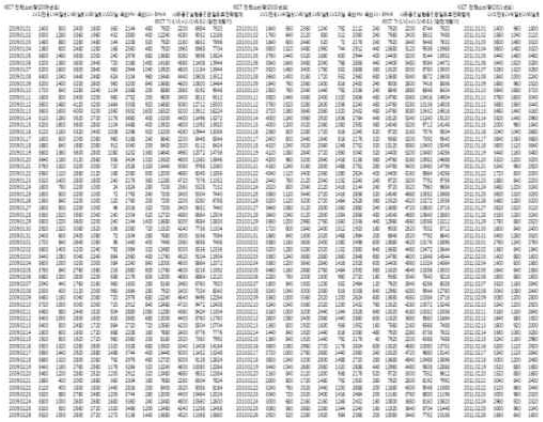


<그림 3-45 에너지 원단위 D/B 구축방안>

□ 에너지 수요 원단위 자료 분석

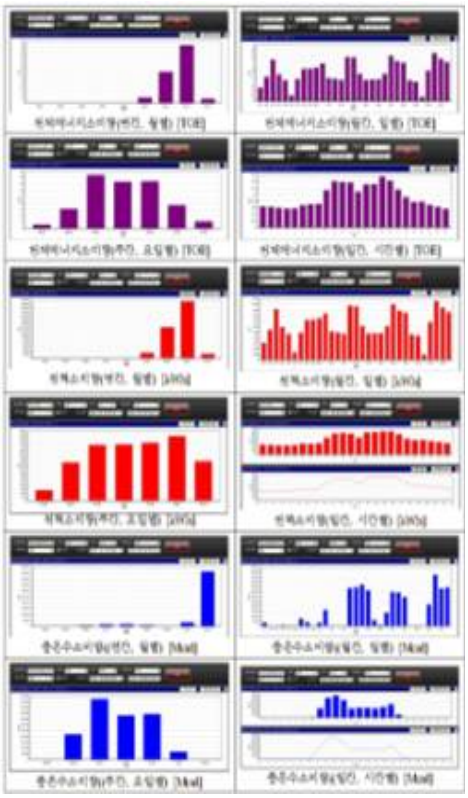
- 사무용 OB-1 건물(고양시 소재)
  - ○ 건물 개요 : 사무용, 지하 1층/지상 5층, 연면적 8,843㎡, 1997년 준공
  - ○ 설비 개요 : 열원설비(중온수 흡수식 냉동기 252USRT×2대, 난방 및 급탕용 지역난방 열교환기 3대(591 Mcal/h×2대, 166 Mcal/h×1대)), 반송설비(공기조화기 3대, 냉수 순환펌프(22kW), 냉각수 순환펌프(37kW), 온수 순환펌프(15kW)
  - ○ 에너지 원단위 D/B의 종류 : TOE, 전기, 난방, 냉방
  - ○ 에너지 원단위 D/B 및 D/B를 활용한 데이터 분석 그래프

- 일간 전력소비량



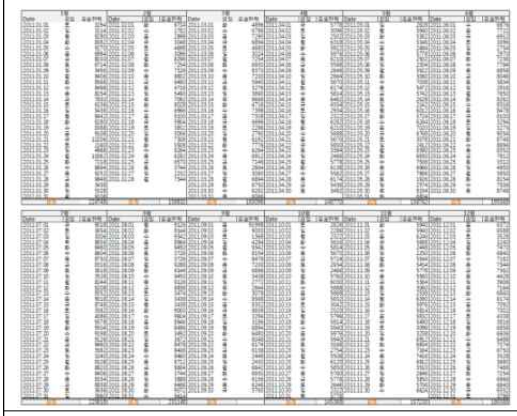
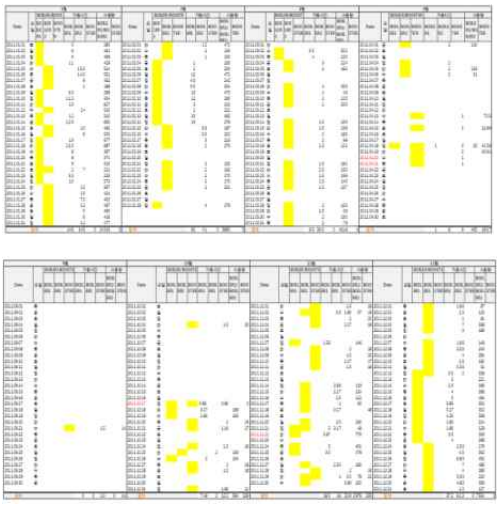
- 일간 중온수 소비량(난방 및 급탕, 냉방)

	날짜	요일	외기온도(일간 평균)[℃]	외기온도(일간 최저)[℃]	외기온도(일간 최고)[℃]	본관1동 난방/급탕용 [Gcal]	본관1동 냉방용 [Gcal]	본관2동 난방/급탕용 [Gcal]	본관2동 냉방용 [Gcal]
374	2011-01-05	수	-4	-7.7	-1.8	9.5	0	1.39	0
375	2011-01-06	목	-7.6	-9.8	-4.6	7.4	0	1.43	0
376	2011-01-07	금	-7	-10.6	-2.9	11.8	0	1.35	0
377	2011-01-08	토	-3.6	-8.2	0.1	2	0	0.3	0
378	2011-01-09	일	-7	-10.3	-0.3	2.4	0	0.5	0
379	2011-01-10	월	-8.2	-11.8	-4.6	9.8	0	1.71	0
380	2011-01-11	화	-5.4	-7.8	-2.7	9.8	0	1.43	0
381	2011-01-12	수	-8.2	-11.1	-4.9	9.4	0	1.56	0
382	2011-01-13	목	-5.9	-11.1	-0.6	8.8	0	1.42	0
383	2011-01-14	금	-3.8	-6.9	0.3	6.9	0	0.82	0
384	2011-01-15	토	-12.2	-15.7	-6.9	7.8	0	0.4	0
385	2011-01-16	일	-14.5	-17.8	-10.7	8.4	0	0.5	0
386	2011-01-17	월	-9.7	-14.1	-4.8	9.4	0	1.84	0
387	2011-01-18	화	-6.7	-10.8	-2.7	7.4	0	1.24	0
388	2011-01-19	수	-6.6	-10	-3.2	7.8	0	1.26	0
389	2011-01-20	목	-8.2	-10.5	-4.7	8	0	1.38	0
390	2011-01-21	금	-6.8	-9.7	-3.2	7.4	0	1.1	0
391	2011-01-22	토	-4.3	-7.1	-0.8	2.1	0	0.2	0
392	2011-01-23	일	-4.5	-7.1	-2.1	2.2	0	0.2	0
393	2011-01-24	월	-8.8	-10.9	-5.8	8.4	0	1.45	0
394	2011-01-25	화	-8.4	-11.9	-4.4	8.4	0	1.39	0
395	2011-01-26	수	-8.5	-10.7	-5.2	8.2	0	1.21	0
396	2011-01-27	목	-8.9	-11.5	-5.7	8	0	1.2	0
397	2011-01-28	금	-7.9	-10.5	-4.3	7.9	0	1.2	0
398	2011-01-29	토	-9.1	-11.5	-5.5	8.3	0	0.3	0
399	2011-01-30	일	-10.1	-13.6	-5.7	5.2	0	0.4	0
400	2011-01-31	월	-6.2	-12.7	-1.8	7.6	0	1.45	0
401	2011-02-01	화	-0.2	-4.2	5	6.4	0	1.68	0
402	2011-02-02	수	1.3	-2.8	7	4.4	0	0.25	0
403	2011-02-03	목	1.5	-1.3	4.9	4.3	0	0.2	0
404	2011-02-04	금	1.2	-0.5	3.5	4.3	0	0.24	0
405	2011-02-05	토	1.1	-0.8	5.5	4.3	0	0.23	0
406	2011-02-06	일	0.3	-2.1	2.7	4.5	0	0.26	0
407	2011-02-07	월	0.3	-2.8	4.2	7.2	0	1.23	0
408	2011-02-08	화	2.9	-0.5	8.5	6.6	0	1.06	0
409	2011-02-09	수	-1.2	-4.1	2.1	6.8	0	1.02	0
410	2011-02-10	목	-2.1	-5.6	2.7	6.5	0	1.01	0
411	2011-02-11	금	-2.9	-6.2	1.8	6.8	0	1.02	0
412	2011-02-12	토	-5.9	-9.2	-1.8	3.1	0	0.3	0
413	2011-02-13	일	-4.8	-9	-0.2	2.9	0	0.3	0
414	2011-02-14	월	-3.4	-6.7	-0.2	6.9	0	1.13	0
415	2011-02-15	화	-1.8	-5.5	2.9	7.1	0	1.08	0



<그림 3-46 에너지 원단위 D/B 및 분석 결과(고양시 소재의 OB-1 건물)>

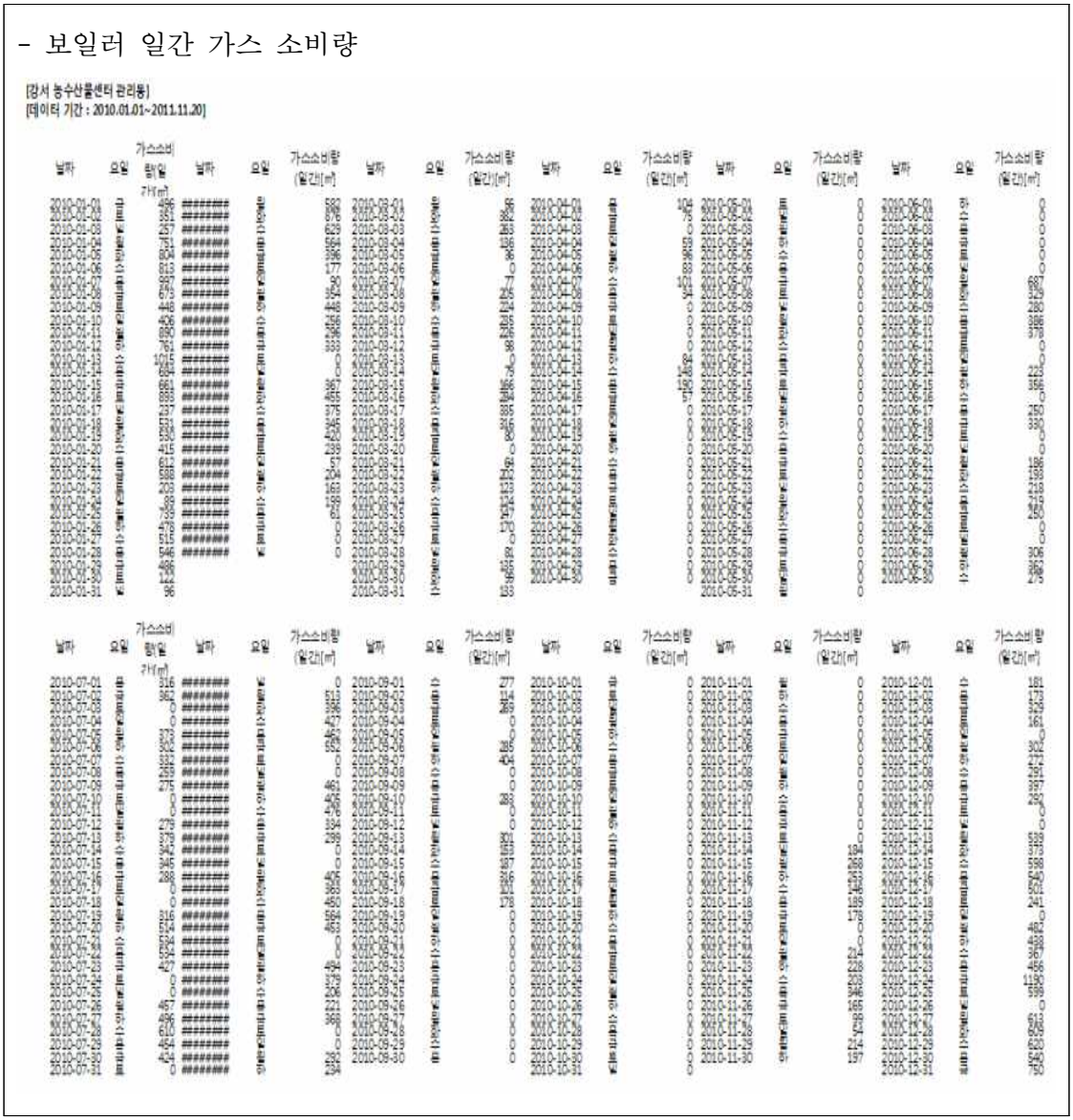
- 사무용 OB-2 건물(서울시 서초구 소재)
  - ○건물 개요 : 사무용, 지하 3층/지상 10층, 연면적 12,953㎡, 1997년 준공
  - ○설비 개요 : 열원설비(증기보일러 2t/h×2대, 터보냉동기 180USRT×2대), 반송설비(공기조화기 3대, 펌프류), EHP
  - ○ 에너지 원단위 D/B의 종류 : TOE, 전기, 난방, 냉방
  - ○ 에너지 원단위 D/B 및 D/B를 활용한 데이터 분석 그래프

<table>
<tr>
<td>- 일간 전력 소비량
</td>
<td>- 월간 전력소비량
</td>
</tr>
<tr>
<td>- 보일러 일간 가스 소비량
</td>
<td>- 월간 가스소비량
</td>
</tr>
</table>

<그림 3-47 에너지 원단위 D/B 및 분석 결과(서울시 서초구 소재의 OB-2 건물)>

- 사무용 OB-3 건물(서울시 서초구 소재)
  - ○ 건물 개요 : 사무용, 지하 1층/지상 6층, 연면적 19,500㎡, 2003년 준공
  - ○ 설비 개요 : 열원설비(증기보일러 2대, 증기 흡수식 냉동기 2대), 반송설비(공기조화기 5대, 냉온수 순환펌프 각각 3대)
  - ○ 에너지 원단위 D/B의 종류 : TOE, 전기, 난방, 냉방
  - ○ 에너지 원단위 D/B 및 D/B를 활용한 데이터 분석 그래프

- 보일러 일간 가스 소비량


[강서 농수산물센터 관리동]
[데이터 기간 : 2010.01.01~2011.11.20]

<그림 3-48 에너지 원단위 D/B 및 분석 결과(서울시 강서구 소재의 OB-3 건물)>

- 사무용 OB-4 건물(서울시 중구 소재)

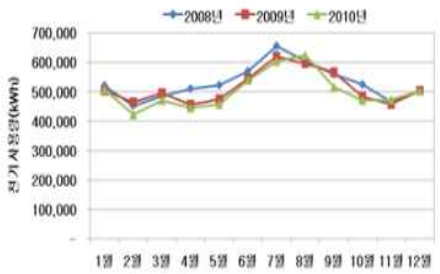
○ 건물 개요 : 사무용, 지하 5층/지상 21층, 연면적 39,907㎡, 1971년 준공

○ 설비 개요 : 열원설비(터보냉동기 2대, 보일러 5대), 반송설비(공조기 69대, 팬코일 유닛 27대, 펌프류 17대)

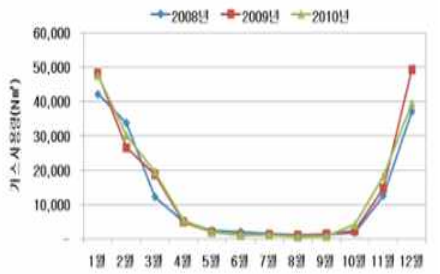
○ 에너지 원단위 D/B의 종류 : TOE, 전기, 난방, 냉방

○ 에너지 원단위 D/B 및 D/B를 활용한 데이터 분석 그래프

- 월별 전력 사용량



- 월별 가스 사용량



- 연도별 에너지 사용비율



<그림 3-49 에너지 원단위 D/B 및 분석 결과(서울시 강서구 소재의 OB-4 건물)>

- 사무용 OB-5 건물(제주시 연동 소재)
  - ○ 건물 개요 : 사무용, 지하 1층/지상 3층, 연면적 841㎡, 1995년 준공
  - ○ 설비 개요 : 열원설비(개별 EHP 및 PAC)
  - ○ 에너지 원단위 D/B 및 D/B를 활용한 데이터 분석 그래프

- 총 에너지 사용량 및 전력사용량



구 분	2009년	2010년	증감	비율
TOE	155	167	(+)12	TOE 기준 2009년 대비 약 8% 증가
TC	87	94	(+)7	
TCO_2	320	345	(+)26	



구 분	2009년	2010년	증감	비율(%)
사용량	718,956	776,552	(+)57,596	8% 증가
요금	67,467,620	73,823,960	(+)6,356,340	9% 증가

- 용도별 전력사용량



용도 구분	2009년	2010년	증감	비율
전등, 전열, 동산	662,645	714,800	(+)52,155	(+)8%
냉방	35,863	43,282	(+)7,419	(+)21%
난방	20,448	18,470	(-)1,978	(-)10%

구 분	2009년	2010년	증감	비율
1차 에너지 원단위	2,348	2,536	(+)188	2009년 대비 약 8% 증가

<그림 3-50 에너지 원단위 D/B 및 분석 결과(서울시 강서구 소재의 OB-5 건물)>

- 주거용 H-1 건물(용인시 수지구 소재)
  - ○ 건물 개요 : 주거용 공동주택, 지상 11~15층, 연면적 65,659.9㎡, 5동/351세대
  - ○ 세대별 면적 : 125 / 148 / 165㎡
  - ○ 에너지 원단위 D/B 및 D/B를 활용한 데이터 분석 그래프

- 주거용 H-2 건물(성남시 분당구 소재)
  - ○ 건물 개요 : 주거용 공동주택, 지상 20층, 연면적 53,172.1㎡, 3동/212세대
  - ○ 세대별 면적 : 109 / 161 / 195 / 218㎡
  - ○ 에너지 원단위 D/B 및 D/B를 활용한 데이터 분석 그래프

- 난방 및 급탕 사용량 및 요금(주거용 H-1 건물)

구분	월	지역난방				세대 부과요금		검침량		단가		단위난방요금(검침기준)	
		열사용량 (Gcal)	부과금액 (백만원)	세대당 (만원/세대.월)	면적당 (원/㎡.월)	난방 (백만원)	급탕 (백만원)	난방 (㎥)	급탕 (㎥)	난방 (원/㎥)	급탕 (원/㎥)	세대당 (만원/세대.월)	면적당 (원/㎡.월)
2010년	1월	715.3	54.1	15.4	1,313.6	44.04	10.30	34,292	2,711	1,284	3,799	12.5	1,069
	2월	502.3	38.0	10.8	922.7	28.66	9.56	24,100	2,517	1,189	3,798	8.2	696
	3월	468.2	35.4	10.1	859.7	25.75	9.89	23,016	2,747	1,119	3,600	7.3	625
	4월	305.8	23.1	6.6	560.7	14.26	9.09	13,007	2,524	1,096	3,601	4.1	346
	5월	125.8	9.5	2.7	231.2	2.43	7.30	2,877	2,280	845	3,202	0.7	59
	6월	57.3	4.3	1.2	105.2	0.14	4.40	189	1,797	741	2,449	0.0	3
	7월	35.3	2.7	0.8	64.9	0.04	2.83	49	1,375	816	2,058	0.0	1
	8월	30.3	2.2	0.6	53.4	0.11	2.31	122	1,230	902	1,878	0.0	3
	9월	59.0	4.3	1.2	104.1	0.97	3.55	1,085	1,690	894	2,101	0.1	24
	10월	174.7	12.8	3.6	309.7	7.00	5.98	7,396	1,992	946	3,002	2.0	170
	11월	363.5	26.6	7.6	645.3	19.33	7.46	18,816	2,131	1,027	3,501	5.5	469
	12월	611.9	44.7	12.7	1,086.1	34.89	10.06	27,120	2,580	1,287	3,899	9.9	847
합계/평균		3,449.4	257.8	73.4	6,256.8	177.62	82.73	152,069	25,574	1,012	3,074	50.6	4,311.3
2011년	1월	757.6	55.4	15.8	1,344.9	42.6	13.0	31,091	2,592	1,372	5,000	12.1	1,035
	2월	501.7	36.7	10.5	890.4	27.3	9.6	20,904	2,455	1,307	3,900	7.8	663
	3월	450.7	32.6	9.3	791.4	22.8	10.0	19,842	2,556	1,151	3,900	6.5	554
	4월	257.3	18.6	5.3	451.8	11.1	7.7	12,008	2,411	925	3,200	3.2	269
합계/평균		1,967.3	143.3	40.8	3,478.4	103.9	40.2	83,845	10,014	1,188	4,000	29.6	2,521.9

- 난방 및 급탕 사용량 및 요금(주거용 H-2 건물)

구분	월	지역난방 요금				세대 부과요금		검침량		단가		단위난방요금(검침기준)		부과금액차
		열사용량 (Gcal)	부과금액 (백만원)	세대당 (만원/세대.월)	면적당 (원/㎡.월)	난방 (백만원)	급탕 (백만원)	난방 (MWh)	급탕 (㎥)	난방 (원/MWh)	급탕 (원/㎥)	세대당 (만원/세대.월)	면적당 (원/㎡.월)	
2010년	1월	656.9	49.7	23.5	1,733.6	37.22	11.25	519.8	1,984	71,600	5,670	17.6	1,298	2.5%
	2월	467.8	35.4	16.7	1,234.6	24.31	10.00	339.6	2,019	71,600	4,950	11.5	848	3.1%
	3월	421.5	31.9	15.0	1,112.2	20.88	9.46	291.6	1,604	71,600	5,900	9.8	728	4.9%
	4월	257.7	19.5	9.2	680.0	10.62	8.01	148.3	1,771	71,600	4,520	5.0	370	4.5%
	5월	108.4	8.2	3.9	286.1	1.98	6.22	27.6	1,690	71,600	3,680	0.9	69	0.1%
	6월	39.7	3.0	1.4	104.7	0.03	2.97	0.4	1,495	71,600	1,985	0.0	1	0.2%
	7월	25.6	1.9	0.9	67.5	-	1.91	-	1,170	71,600	1,630	-	-	1.5%
	8월	20.4	1.5	0.7	52.2	-	1.49	-	985	71,600	1,510	-	-	0.6%
	9월	43.0	2.0	1.0	71.3	0.43	2.71	6.0	992	71,600	2,735	0.2	15	-
	10월	154.2	11.3	5.3	393.1	5.86	4.87	81.9	1,237	71,600	3,940	2.8	204	4.8%
	11월	344.0	25.2	11.9	877.1	17.08	7.26	246.9	1,545	69,180	4,700	8.1	596	3.2%
	12월	549.2	40.2	18.9	1,400.3	29.29	9.78	423.4	1,740	69,180	5,620	13.8	1,021	2.7%
합계		3,088.4	229.8	108.4	8,012.7	147.69	75.92	2,085.4	18,233		3,903	69.7	5,149.5	2.7%
2011년	1월	698.5	51.1	24.1	1,781.1	38.35	11.45	554.4	2,005	69,180	5,709	18.1	1,337	2.5%
	2월	450.2	32.9	15.5	1,147.9	22.04	9.79	318.6	2,053	69,180	4,770	10.4	768	3.3%
	3월	408.6	29.6	13.9	1,030.5	19.18	9.34	280.3	1,803	68,440	5,180	9.0	669	3.5%
	4월	227.7	16.5	7.8	574.5	8.41	7.02	122.8	1,908	68,440	3,680	4.0	293	6.4%
합계		1,785.0	130.0	61.3	4,534.1	87.98	37.60	1,276.1	7,769	68,810	4,835	41.5	3,067.5	3.4%

<그림 3-51 에너지 원단위 D/B 및 분석 결과>
(용인시 수지구 소재의 H-1 건물 & 성남시 분당구 소재의 H-2 건물)

4.2 에너지 공급원 DB 구축

□ 전력 통계 자료 : 전력통계정보시스템(http://epsis.kpx.or.kr)의 데이터 활용

- 주요통계

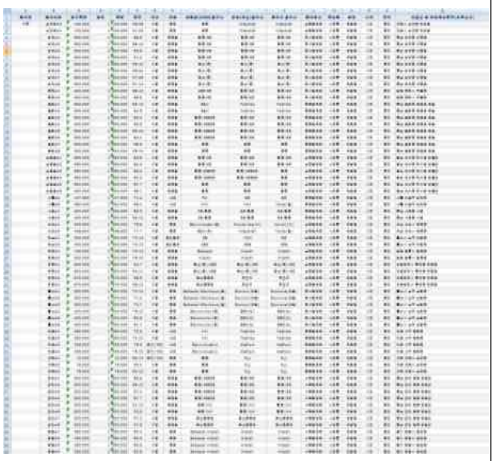
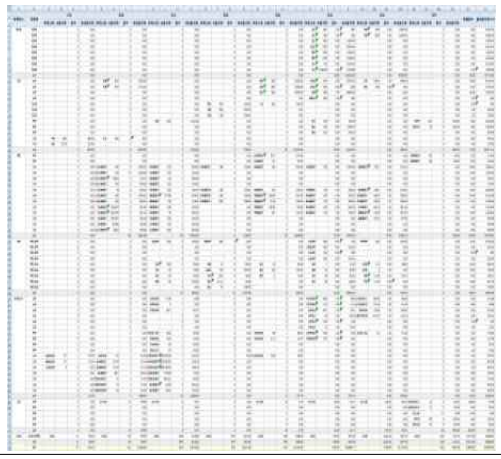
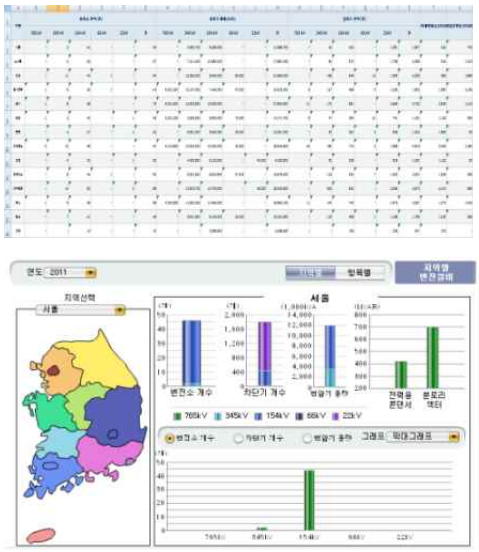
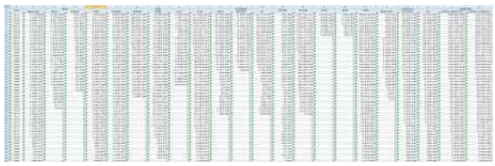
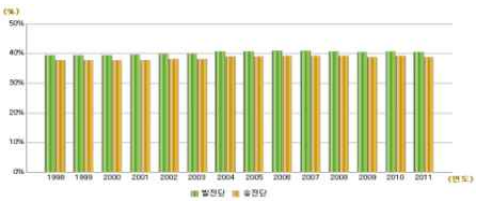
<표 3-19 주요 전력 통계 자료>

전력수급(2012년도)	발전설비 용량('12.07 기준)	전력시장('12.05 기준)
공급능력(만kW); 7,950.5 최대전력(만kW); 7,383.3 공급예비율(%); 7.7	총계(㎿); 80,552 원자력(㎿); 19,716 유류(㎿); 5,293 LNG(㎿); 21,740 양수(㎿); 4,700 석탄(국내탄 포함)(㎿); 25,128 신재생(수력 포함)(㎿); 3,976	회원사수; 434 SMP(원/kWh); 171.35 거래량(GWh); 36,450 거래금액(10억원); 3,370 정산단가(원/kWh); 92.46

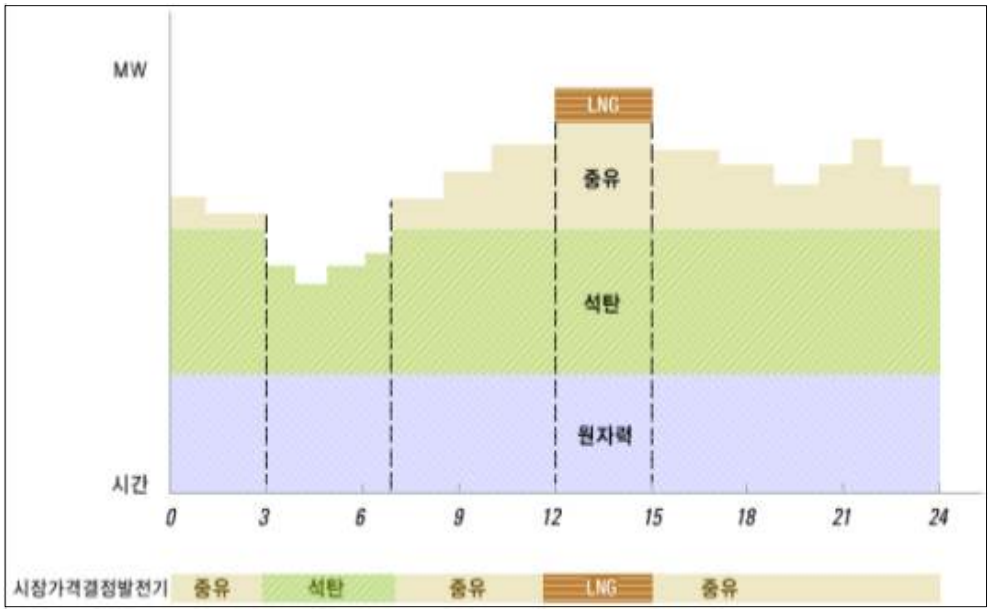
- 전력 통계 자료의 용도 : 도시에너지 최적화 프로그램의 입력자료로 활용
- 전력의 시장가격 결정구조 : 원자력-석탄-중유-LNG

□ 도시가스 통계 자료 : 한국가스공사(www.kogas.or.kr) 및 한국도시가스협회(www.citygas.or.kr)의 데이터 활용

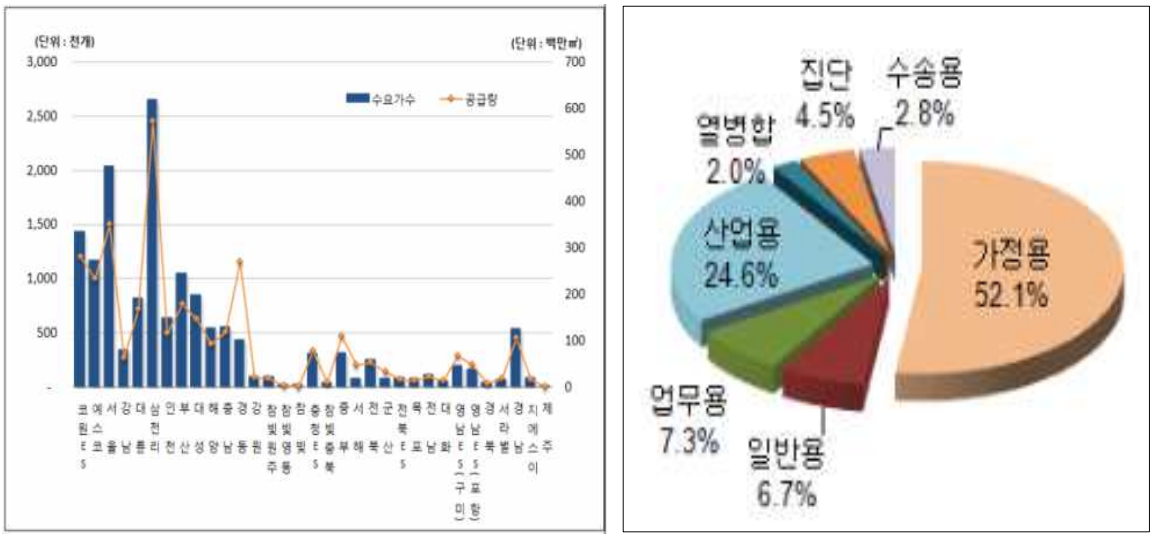
- 2012년 4월말 기준, 도시가스 사업자는 LNG를 공급하고 있는 30개사와 LPG/AIR 도시가스를 제조 공급하는 4개사로 전국에 33개 사업자가 있음
- 2012년 4월말 기준, 도시가스 총 수요가수는 15,412,144호(수도권; 9,172,594호, 지방; 6,239,550호)로 2011년도 대비 5%의 증가율을 보였음
- 회사별 수요가수 및 공급량, 용도별 공급량 구성비(2012년 1월)
- 2012년 7월부터 도시가스 요금단위가 부피단위(원/N㎥)에서 열량단위(원/MJ)로 변경됨

<table>
<tr><td>발전설비 D/B</td><td>- 발전소별
</td><td>- 지역종합별
</td></tr>
<tr><td>송전설비 변전설비 D/B</td><td>- 송전설비(회선길이)
</td><td>- 지역별 변전설비
</td></tr>
<tr><td>발전실적 D/B</td><td>- 지역별 연도별 발전량
</td><td>- 전원별 발전량

- 화력발전소 열효율
</td></tr>
</table>

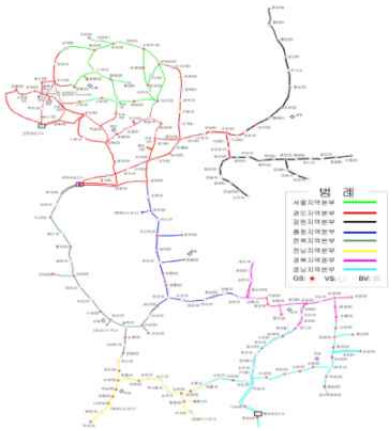
<그림 3-52 전력 통계 D/B>

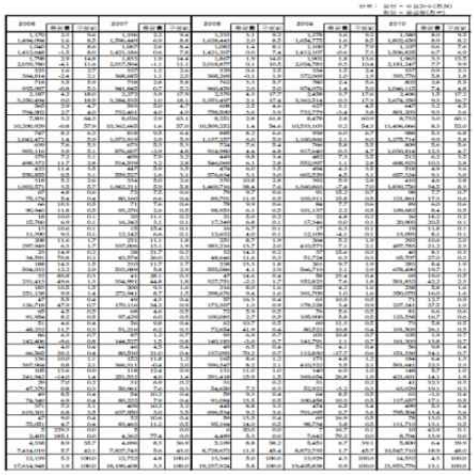
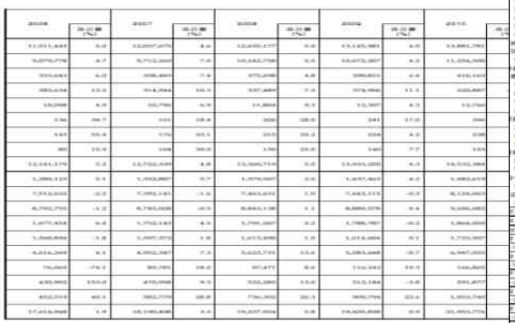
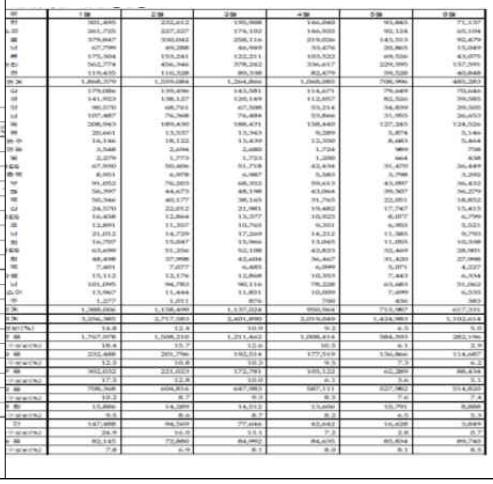


<그림 3-53 전력의 시장가격 결정구조>



<그림 3-54 회사별 수요가수 및 공급량(좌), 용도별 공급량 구성비(우)>

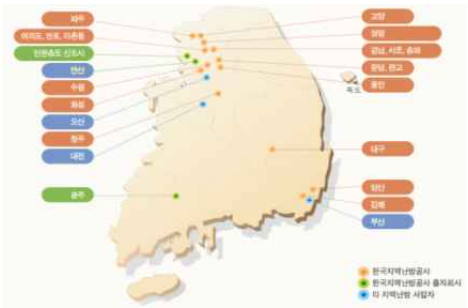
<table>
<tr>
<td>공급
설비
현황</td>
<td>- 공급배관망
</td>
<td>- 도시가스 회사현황

</td>
</tr>
<tr>
<td>회사별
도시가스
공급량
D/B</td>
<td>- 회사별 도시가스 공급열량
</td>
<td>- 연도별, 회사별 수요가수 및 공급량 (2001~2010년)
</td>
</tr>
<tr>
<td>용도별
수요가
수
및
공급량
D/B</td>
<td>- 연도별, 용도별 수요가수 및 공급량 (2001~2010년)
</td>
<td>- 회사별, 월별 공급량(2010년)
</td>
</tr>
</table>

<그림 3-55 도시가스 통계 D/B>

□ 지역난방 통계 자료 : 한국지역난방공사(www.kdhc.co.kr)의 데이터 활용

- 한국지역난방공사 배관망 : 수도권 + 기타지역(대구 열수송관, 청주 열수송관, 양산 열수송관, 김해 열수송관)

<table>
<tr>
<td>공급
설비
현황</td>
<td>
</td>
<td>
</td>
</tr>
<tr>
<td>지역
난방
D/B</td>
<td>- 용도별 열 판매량(한국지역난방공사)
[2011년 열 판매량]
<table>
<tr><th rowspan="2">월별</th><th colspan="4">열(Gcal)</th></tr>
<tr><th>주택용</th><th>업무용</th><th>공공용</th><th>계</th></tr>
<tr><td>01월</td><td>2,416,796.40</td><td>226,329.19</td><td>56,886.78</td><td>2,700,012.37</td></tr>
<tr><td>02월</td><td>1,624,577.20</td><td>133,515.66</td><td>34,457.90</td><td>1,792,550.76</td></tr>
<tr><td>03월</td><td>1,477,748.91</td><td>114,150.25</td><td>33,028.78</td><td>1,624,927.94</td></tr>
<tr><td>04월</td><td>878,169.55</td><td>56,558.92</td><td>14,161.06</td><td>948,889.53</td></tr>
<tr><td>05월</td><td>442,122.12</td><td>42,999.40</td><td>7,983.70</td><td>493,105.22</td></tr>
<tr><td>06월</td><td>244,162.95</td><td>53,641.30</td><td>8,276.46</td><td>306,080.71</td></tr>
<tr><td>07월</td><td>203,369.02</td><td>70,069.72</td><td>11,387.05</td><td>284,825.79</td></tr>
<tr><td>08월</td><td>162,399.61</td><td>75,052.23</td><td>12,101.83</td><td>249,553.67</td></tr>
<tr><td>09월</td><td>208,052.65</td><td>49,333.68</td><td>7,860.61</td><td>265,246.94</td></tr>
<tr><td>10월</td><td>614,027.88</td><td>39,983.06</td><td>8,527.46</td><td>662,538.40</td></tr>
<tr><td>11월</td><td>909,180.38</td><td>64,488.75</td><td>17,065.29</td><td>990,734.42</td></tr>
<tr><td>12월</td><td>1,856,561.72</td><td>160,090.33</td><td>44,268.43</td><td>2,060,920.48</td></tr>
<tr><td>계</td><td>11,037,168.39</td><td>1,086,212.49</td><td>256,005.35</td><td>12,379,386.23</td></tr>
</table>
[2010년 열 판매량]
<table>
<tr><th rowspan="2">월별</th><th colspan="4">열(Gcal)</th></tr>
<tr><th>주택용</th><th>업무용</th><th>공공용</th><th>계</th></tr>
<tr><td>01월</td><td>2,170,561.11</td><td>201,587</td><td>51,161.72</td><td>2,423,309.83</td></tr>
<tr><td>02월</td><td>1,561,609.87</td><td>132,366.85</td><td>35,064.48</td><td>1,729,041.20</td></tr>
<tr><td>03월</td><td>1,437,537.94</td><td>108,171.77</td><td>32,209.19</td><td>1,577,918.90</td></tr>
<tr><td>04월</td><td>973,105.58</td><td>62,191.70</td><td>16,683.65</td><td>1,051,980.93</td></tr>
<tr><td>05월</td><td>442,240.32</td><td>35,923.42</td><td>7,183.06</td><td>485,346.80</td></tr>
<tr><td>06월</td><td>209,814.13</td><td>49,021.87</td><td>8,655.62</td><td>267,491.62</td></tr>
<tr><td>07월</td><td>146,927.50</td><td>60,660.21</td><td>11,787.06</td><td>219,374.77</td></tr>
<tr><td>08월</td><td>121,889.95</td><td>66,299.95</td><td>12,434.04</td><td>200,623.94</td></tr>
<tr><td>09월</td><td>210,864.29</td><td>46,333.99</td><td>7,579.81</td><td>264,778.09</td></tr>
<tr><td>10월</td><td>603,709.80</td><td>38,464.10</td><td>7,880.96</td><td>650,054.86</td></tr>
<tr><td>11월</td><td>1,195,469.70</td><td>86,109.36</td><td>23,429.24</td><td>1,305,008.30</td></tr>
<tr><td>12월</td><td>1,919,501.67</td><td>165,637.34</td><td>46,400.19</td><td>2,131,539.20</td></tr>
<tr><td>계</td><td>10,993,231.86</td><td>1,052,767.56</td><td>260,469.02</td><td>12,306,468.44</td></tr>
</table>
[2009년 열 판매량]
<table>
<tr><th rowspan="2">월별</th><th colspan="4">열(Gcal)</th></tr>
<tr><th>주택용</th><th>업무용</th><th>공공용</th><th>계</th></tr>
<tr><td>01월</td><td>2,170,561.11</td><td>201,587</td><td>51,161.72</td><td>2,423,309.83</td></tr>
<tr><td>02월</td><td>1,561,609.87</td><td>132,366.85</td><td>35,064.48</td><td>1,729,041.20</td></tr>
<tr><td>03월</td><td>1,437,537.94</td><td>108,171.77</td><td>32,209.19</td><td>1,577,918.90</td></tr>
<tr><td>04월</td><td>973,105.58</td><td>62,191.70</td><td>16,683.65</td><td>1,051,980.93</td></tr>
<tr><td>05월</td><td>442,240.32</td><td>35,923.42</td><td>7,183.06</td><td>485,346.80</td></tr>
<tr><td>06월</td><td>209,814.13</td><td>49,021.87</td><td>8,655.62</td><td>267,491.62</td></tr>
<tr><td>07월</td><td>146,927.50</td><td>60,660.21</td><td>11,787.06</td><td>219,374.77</td></tr>
<tr><td>08월</td><td>121,889.95</td><td>66,299.95</td><td>12,434.04</td><td>200,623.94</td></tr>
<tr><td>09월</td><td>210,864.29</td><td>46,333.99</td><td>7,579.81</td><td>264,778.09</td></tr>
<tr><td>10월</td><td>603,709.80</td><td>38,464.10</td><td>7,880.96</td><td>650,054.86</td></tr>
<tr><td>11월</td><td>1,195,469.70</td><td>86,109.36</td><td>23,429.24</td><td>1,305,008.30</td></tr>
<tr><td>12월</td><td>1,919,501.67</td><td>165,637.34</td><td>46,400.19</td><td>2,131,539.20</td></tr>
<tr><td>계</td><td>10,993,231.86</td><td>1,052,767.56</td><td>260,469.02</td><td>12,306,468.44</td></tr>
</table>
</td>
<td>- 시설별 열 생산량(한국지역난방공사)
[2011년도 열 생산량]
<table>
<tr><th rowspan="3">월별</th><th colspan="4">열(Gcal)</th></tr>
<tr><th colspan="2">열병합발전</th><th rowspan="2">열전용보일러</th><th rowspan="2">소각로</th><th rowspan="2">계</th></tr>
<tr><th>자체</th><th>발전자회사</th></tr>
<tr><td>01월</td><td>754,607</td><td>888,090</td><td>916,155</td><td>141,318</td><td>2,700,170</td></tr>
<tr><td>02월</td><td>631,372</td><td>516,212</td><td>511,531</td><td>127,251</td><td>1,786,366</td></tr>
<tr><td>03월</td><td>637,011</td><td>520,866</td><td>327,981</td><td>147,152.50</td><td>1,633,010.50</td></tr>
<tr><td>04월</td><td>229,176.70</td><td>116,048</td><td>39,497</td><td>64,616</td><td>449,337.70</td></tr>
<tr><td>05월</td><td>200,024</td><td>79,185</td><td>105,577</td><td>132,015</td><td>516,801</td></tr>
<tr><td>06월</td><td>150,208</td><td>52,504</td><td>24,590</td><td>102,929</td><td>330,231</td></tr>
<tr><td>07월</td><td>154,900</td><td>46,663</td><td>20,831</td><td>94,036</td><td>316,430</td></tr>
<tr><td>08월</td><td>99,353</td><td>31,000</td><td>21,295</td><td>134,085</td><td>285,733</td></tr>
<tr><td>09월</td><td>84,707</td><td>41,050</td><td>19,633</td><td>147,771</td><td>293,161</td></tr>
<tr><td>10월</td><td>358,009.69</td><td>103,466</td><td>55,716</td><td>150,548</td><td>667,739.69</td></tr>
<tr><td>11월</td><td>500,635.70</td><td>198,527</td><td>141,193</td><td>146,849</td><td>987,204.70</td></tr>
<tr><td>12월</td><td>617,720.65</td><td>435,869</td><td>404,459</td><td>123,823</td><td>1,581,871.65</td></tr>
<tr><td>계</td><td>4,417,724.74</td><td>3,029,480</td><td>2,588,458</td><td>1,512,393.50</td><td>11,548,056.24</td></tr>
</table>
[2010년도 열 생산량]
<table>
<tr><th rowspan="3">월별</th><th colspan="4">열(Gcal)</th></tr>
<tr><th colspan="2">열병합발전</th><th rowspan="2">열전용보일러</th><th rowspan="2">소각로</th><th rowspan="2">계</th></tr>
<tr><th>자체</th><th>발전자회사</th></tr>
<tr><td>01월</td><td>424,647</td><td>908,858</td><td>945,941</td><td>153,428.32</td><td>2,432,874.32</td></tr>
<tr><td>02월</td><td>362,989</td><td>701,242</td><td>526,161</td><td>143,152.49</td><td>1,733,544.49</td></tr>
<tr><td>03월</td><td>384,531</td><td>659,660</td><td>357,525</td><td>169,012</td><td>1,570,728</td></tr>
<tr><td>04월</td><td>272,684</td><td>493,299</td><td>145,526</td><td>155,336</td><td>1,066,845</td></tr>
<tr><td>05월</td><td>76,458</td><td>196,129</td><td>90,831</td><td>159,297.55</td><td>522,715.55</td></tr>
<tr><td>06월</td><td>33,081</td><td>91,947</td><td>24,979</td><td>144,288.88</td><td>294,295.88</td></tr>
<tr><td>07월</td><td>37,305</td><td>46,030</td><td>15,758</td><td>148,134</td><td>247,227</td></tr>
<tr><td>08월</td><td>25,960</td><td>100,581</td><td>14,782</td><td>85,511</td><td>226,834</td></tr>
<tr><td>09월</td><td>35,275</td><td>79,665</td><td>26,944</td><td>137,536</td><td>279,440</td></tr>
<tr><td>10월</td><td>140,017</td><td>239,662</td><td>96,230</td><td>156,770</td><td>632,679</td></tr>
<tr><td>11월</td><td>416,033</td><td>466,936</td><td>227,770</td><td>165,639</td><td>1,276,378</td></tr>
<tr><td>12월</td><td>565,302</td><td>748,481</td><td>617,349</td><td>158,539</td><td>2,089,671</td></tr>
<tr><td>계</td><td>2,774,282</td><td>4,732,510</td><td>3,089,796</td><td>1,776,644.24</td><td>12,373,232.24</td></tr>
</table>
[2009년도 열 생산량]
<table>
<tr><th rowspan="3">월별</th><th colspan="4">열(Gcal)</th></tr>
<tr><th colspan="2">열병합발전</th><th rowspan="2">열전용보일러</th><th rowspan="2">소각로</th><th rowspan="2">계</th></tr>
<tr><th>자체</th><th>발전자회사</th></tr>
<tr><td>01월</td><td>402,019</td><td>1,005,603</td><td>659,663.67</td><td>130,297</td><td>2,197,582.67</td></tr>
<tr><td>02월</td><td>380,916</td><td>723,881</td><td>339,605.62</td><td>127,362</td><td>1,571,764.62</td></tr>
<tr><td>03월</td><td>379,649</td><td>570,499</td><td>305,351.56</td><td>151,296</td><td>1,406,795.56</td></tr>
<tr><td>04월</td><td>196,334</td><td>324,547</td><td>190,289.08</td><td>134,177</td><td>845,347.08</td></tr>
<tr><td>05월</td><td>56,122</td><td>150,624</td><td>95,661.39</td><td>136,579</td><td>438,986.39</td></tr>
<tr><td>06월</td><td>38,021</td><td>115,614</td><td>24,298</td><td>119,522</td><td>297,455</td></tr>
<tr><td>07월</td><td>25,298</td><td>103,222</td><td>23,151</td><td>117,409.90</td><td>269,080.90</td></tr>
<tr><td>08월</td><td>28,605</td><td>80,230</td><td>16,635</td><td>115,641</td><td>241,111</td></tr>
<tr><td>09월</td><td>27,149</td><td>93,677</td><td>21,774</td><td>135,958</td><td>278,558</td></tr>
<tr><td>10월</td><td>74,066</td><td>203,675</td><td>125,477</td><td>157,189</td><td>560,407</td></tr>
<tr><td>11월</td><td>272,176</td><td>536,988</td><td>304,303</td><td>174,503</td><td>1,287,970</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
</table>

<그림 3-56 지역난방 통계 D/B>

4.3 에너지 공급원 D/B 및 수요처별 에너지 원단위 D/B 구축

<표 3-20 에너지 공급원 및 에너지 수요처별 원단위 D/B 목록>

No.	구 분			개 요	D/B 종류
1	에너지 공급원 D/B	전력		전력통계정보시스템 데이터 활용	· 발전설비용량 · 송/변전설비용량 · 발전실적
2		가스		한국가스공사 및 한국도시가스협회 데이터 활용	· 공급설비 현황 · 회사별 수요가수 및 공급량 · 용도별 수요가수 및 공급량
3		지역난방		한국지역난방공사 데이터 활용	· 공급설비 현황 · 용도별 열 판매량 · 시설별 열 생산량
4	수요처에너지원단위 D/B	사무용	OB-1 건물	· 소재지; 경기도 고양시 · 층수; 지하1층, 지상5층 · 연면적; 8,843㎡	· TOE · 전력 · 지역난방 중온수 소비량(난방, 냉방)
5		사무용	OB-2 건물	· 소재지; 서울시 서초구 · 층수; 지하3층, 지상10층 · 연면적; 12,953㎡	· TOE · 전력 · 가스소비량(난방, 냉방)
6		사무용	OB-3 건물	· 소재지; 서울시 강서구 · 층수; 지하1층, 지상6층 · 연면적; 9,500㎡	· TOE · 전력 · 가스소비량(난방, 냉방)
7		사무용	OB-4 건물	· 소재지; 서울시 중구 · 층수; 지하5층, 지상21층 · 연면적; 39,907㎡	· TOE · 전력 · 가스소비량(난방, 냉방)
8		사무용	OB-5 건물	· 소재지; 제주시 연동 · 층수; 지하1층, 지상3층 · 연면적; 841㎡	· TOE · 전력 · 가스소비량(난방, 냉방)
9		주거용	H-1 건물	· 소재지; 용인시 수지구 · 세대수; 5동, 351세대 · 연면적; 65,659.9㎡	· 난방
10		주거용	H-2 건물	· 소재지; 성남시 분당구 · 세대수; 3동, 212세대 · 연면적; 53,172.1㎡	· 난방

5. 에너지 효율화 기술 List

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">
<열에너지 저감을 위한 효율화 리스트>

<전기에너지 저감을 위한 효율화 리스트></td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">- 건물 및 지구단위에 적용이 가능한 에너지 효율화 기술 리스트를 작성하고, 이에 따른 에너지 저감량, 저감비용, 투자비용 등의 에너지 효율화 기술리스트 작성</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">- 건물 및 지구단위의 에너지 효율화 기술 적용에 따른 에너지원단위 변화가 생길 수 있으며, 이에 따른 원단위 보정 및 적용에 따른 에너지저감량 및 투자비용과 관련된 정보가 필요함</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">- 도시에너지 관리시스템의 에너지원단위 보정 활용 및 원단위 개선을 위함</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 개별기술은 이미 존재함
(개발기술 수준)
- 개별기술에 대해서 적용비용 및 적용성 평가
(개발기술 수준 설정근거)
- 국내외 사례 분석</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">박시삼 (지에스건설(주))</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">1차년도 '11.12 ~ '12.8 (9개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td rowspan="2">1차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 에너지 효율화 기술에 대한 적용성 평가 및 적용에 따른 효과 분석 : 1건</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 해당 보고서 확인</td></tr>
</table>

5.1 빌딩단위 에너지 효율화 기술리스트 작성 및 적용성 분석

□ 건축물의 에너지저감기술은 기본적으로 에너지요구량을 감소시키는 건축적인 방법과 에너지를 사용하는 설비의 효율(energy efficiency)을 증진시키는 설비적인 기술과 준공 후 최적운전 등을 포함하는 적절한 유지관리(energy management)기술들이 있으며, 이를 설계 프로세스적인 측면에서 접근하면 아래 그림과 같음



<그림 3-57 건축물 에너지 사용효율 향상 설계 프로세스>

□ 건축물에서 사용되는 에너지를 저감을 위한 설계방법은 아래와 같음

- 첫 번째 방법은 건축물이라는 구조물의 내부공간과 외부 공간 간에 열, 태양, 바람 등의 흐름을 최소화 또는 최대화시킴으로써 건축물 내부에 거주하는 재실자들에게 쾌적한 환경을 제공하기 위해 필요한 에너지요구량(energy requirement), 즉 냉·난방 및 환기부하, 조명부하 등 열 및 전기부하를 원천적으로 줄이는 것으로서 신축 및 기존 건축물의 초기 계획단계부터 반영되어야 하는 기술임
- 두 번째 방법은 건축물의 실내 환경 유지를 위해 필요한 에너지요구량(energy requirement)을 충족시키기 위해 요구되는 에너지, 즉 열 및 전기를 만들고 에너지가 요구되는 장소까지 운반한 후, 사용되고 남는 폐열은 회수하여 재사용하는 등의 방법

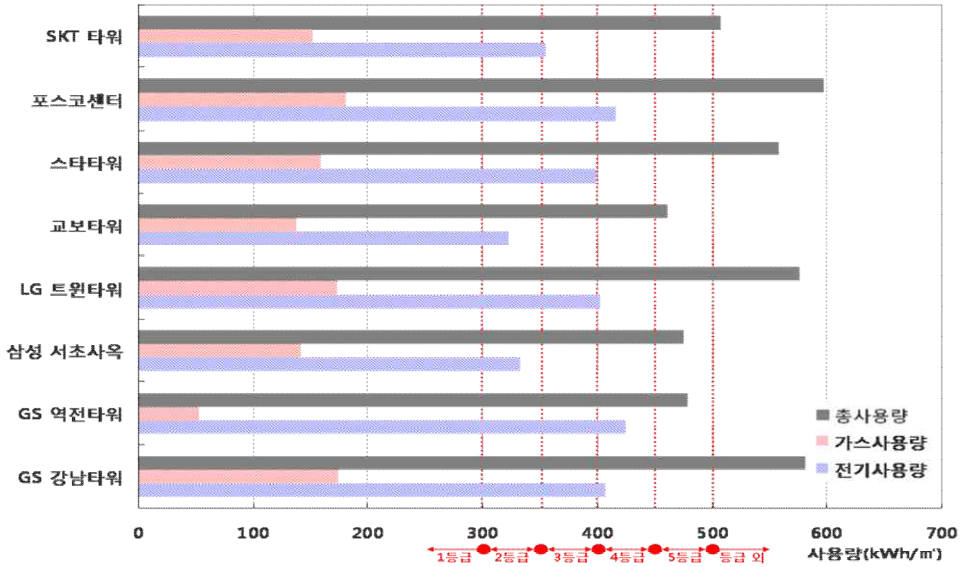
임. 이는 설비의 효율을 최대한 높임으로 에너지소비를 줄이는 방법으로 고효율의 설비 시스템을 사용하고, 열의 다단계적 이용을 극대화 하는 것으로 건축물의 초기 계획 및 설계, 운영 단계까지 적용 가능한 기술임

- 세 번째는 상기와 같은 건축물의 에너지저감 설계에 의해 원천적으로 에너지요구량이 적을 뿐만 아니라 고효율의 설비가 채택된 건축물의 최적운전과 합리적인 유지·관리를 통해 에너지를 저감하는 방법으로, 이와 같은 최적운전기술은 에너지생산 및 공급과 수요 간의 에너지평형을 가능하게 함으로써 상당한 에너지저감 효과를 증대시킬 수 있음

- 위에서 언급된 3가지 기술은 각각 중요성을 가지고 있으며 그 중 하나라도 소홀하게 취급하면 그만큼 에너지 저감량이 줄어들 수밖에 없음. 따라서 고효율의 건축물을 설계함에 있어서 우선 건축물의 에너지요구량을 원천적으로 줄이기 위한 다양한 방안을 고려해야 함. 이러한 고려사항으로서는 건축계획단계에서 고려할 사항, 건축물 외피의 에너지저감 성능과 관련된 사항, 자연에너지의 이용과 관련된 사항, 열 및 전기부하 감소와 관련된 사항 등이 있음. 한편 설비효율 향상기술로서는 열의 공급 및 반송시스템에 관한 사항, 설비 자체의 효율향상과 관련된 사항, 환기와 관련된 사항, 위생설비 관련사항, 조명설비 관련사항, 전동에너지 관련사항 등이 있음

- 건축물의 연간 단위 면적당 에너지 요구량 및 소요량은 건축물의 유형 또는 동일 유형이라 할지라도 실내의 사용공간의 목적, 건축물의 형태 및 배치, 외피(외벽 및 창호 등)의 단열성능, HVAC(Heating, Ventilation and Air-conditioning) 시스템의 유형 및 성능 등에 의해 상이할 수 있으나, 건축물의 에너지저감 설계기술의 조사 항목, 내용 및 범위 등을 구체화하기 위해서는 건축물 용도별 열 및 전력사용 분포 외 부하별(난방, 냉방, 급탕, 반송, 조명 등) 에너지 사용 분포를 조사하는 것이 선행되어야 함

- 비주거용 건축물에서 가장 많은 분포 현황을 나타내고 있는 업무용 건축물의 연간 에너지소요량 조사를 통해 부하별 에너지 사용 분포를 분석하였으며, 대표적인 업무용 건축물의 연간 에너지소요량 및 부하별 에너지 사용 분포는 아래 그림 및 표와 같음



<그림 3-58 주요 업무용 건축물 연간 에너지소요량>

<표 3-21 주요 업무용 건축물 부하별 에너지 사용 분포>

구분	열원			반송		조명/콘센트		기타		
	난방	급탕	냉방	팬	펌프	조명	콘센트	수송	위생	기타
비율 (%)	6.5	3.1	16.2	17.9	5.2	17.7	18.1	7.9	2.0	8.4

- 위의 그림에 의하면 일반적인 업무용 건축물의 연간 에너지소요량은 건축물 에너지 효율등급 5등급 기준인 약 500kWh/㎡·y 정도 사용하는 것으로 나타남. 에너지원으로 가스와 전기를 사용하고 있으며, 가스와 전기의 사용은 건축물에 따라 다소 상이하나 평균적으로 가스는 연간 총에너지소요량의 30.0% 미만, 전기는 연간 총에너지소요량의 70.0% 이상을 사용하고 있는 것으로 분석 됨
- 또한 부하별 에너지소요량 분석결과에 의하면 업무용 건축물의 경우, 열원, 반송, 조명 및 콘센트의 에너지소요량이 전체의 약 85.0% 정도로 상당량의 에너지가 건축물의 주요 에너지 사용시설(열원 및 공조설비, 조명설비 등)에서 소비되고 있는 것으로 나타남
- 업무용 건축물의 부하별 에너지소요량 분포 이외 아래와 같이 주거용 건축물의 부하별 에너지소요량 분포를 이용하여 전체 건축물에서 상당한 분포 비중을 차지하고 있는 주택과 업무용 건축물에 적용 가능한 에너지 저감 설계기술을 조사

<표 3-22 주거용 건축물 부하별 에너지 사용 분포>

구분	난방	급탕	냉방	조명	기기	합계
비율 (%)	44.5	35.0	15.9	10.3	30.3	100.0

- 건축물의 부하별 에너지저감 설계기술은 수많은 기술들이 있으나, 이를 부하관리의 중요도와 부하를 최소화하기 위한 주요 설계기술들로 구분하고, 이를 적용하기 위한 단계별 접근 방법에 대해 정리하면 아래와 같음
- 건축물 에너지저감 설계기술 분류 및 주요 List를 일반적인 건축물 에너지저감 설계 프로세스와 연계하여 적용기술을 에너지 저감 수준에 따라 분석하면 아래 그림과 같이 요약 가능함

중요 부하관리 항목(열)		에너지소요량 저감기술
냉방 및 난방	외피 부하	• Super Insulation Panel & Window • Solar Shading • Thermal Mass Activation • Ventilated Façades
	외기도입 부하	• Earth Coupling • IAQ Damper / CO_2 Control • Exhaust Heat Recovery System • Dedicated Outdoor Air System (DOAS)
	실내 부하	• Passive Cooling & Heating • Task / Ambient Layout • Under Floor Air Distribution • Chilled Beam • Radiant Heating & Cooing
	중간기 부하	• Natural Ventilation • Free Cooling • Economizer Cycle Control
송풍	팬 부하 (급·배기 및 환기)	• Fan Inverter Control - Supply, Return & Exhaust
펌프	순환 펌프부하 (냉·온수, 냉각수)	• Circulation Pump Inverter Control - Hot, Cold & Chilled Water
중요 부하관리 항목(전력)		**에너지소요량 저감기술**
조명	조명부하	• Task / Ambient Layout • Day & High Efficiency Lighting • Response Dimming Control
콘센트	대기전력 부하	• Standby Power Cut-Off Equipment
기타	수송 및 전력계통 부하	• High Efficiency Equipment • Distribution Loss Minimization

구 분		설계단계	에너지소요량 저감 방안
열	냉방 및 난방	1단계	• 외피 부하 최소화
		2단계	• 최소 외기 도입
		3단계	• 실내 부하 최소화
	송풍	1단계	• 용량 최적화 설계
		2단계	• 고효율 송풍기 적용
		3단계	• 회전수 및 대수 제어
	펌프	1단계	• 용량 최적화 설계
		2단계	• 고효율 펌프 적용
		3단계	• 인버터 및 대수 제어
전력	조명	1단계	• Task / Ambient Layout
		2단계	• 자연채광 및 고효율 조명 적용
		3단계	• 조명 제어
	콘센트	1단계	• 대기전력 차단장치 적용
	기타	1단계	• 설계 최적화(급수, 급탕, 배전 등)
		2단계	• 고효율 기기 적용
		3단계	• 전력망 개선 (AC망→DC 망, 일부)

<그림 3-59 건축물 에너지저감 설계기술 분류 및 주요 List>

- 이러한 수준별 기술 분류를 통하여 각각의 열원 및 전력의 기술에 따른 에너지 저감량 및 효과를 분석함

기술분류		세부기술명	에너지사용량(kWh/m²y)						저감량 (kWh/m²y)	저감비용 (원/m²y)	투자비용 (원/m²)	회
			난방	냉방	급탕	송풍	펌프	총계				
Envelope Load	Wall Insulation	• Baseline (그라스울, 나 등급 단열재)	32.5	81.0	15.5	89.5	26.0	244.5	0.0	0.0	0	
		• Vacuum Insulation Panel	31.1	77.6	15.5	89.5	26.0	239.7	4.8	384.0	7,300	
	Window Insulation	• Baseline (24T, 일반복층, AL)	32.5	81.0	15.5	89.5	26.0	244.5	0.0	0.0	0	
		• Triple Glazing (42T, 로이삼복층, AL)	28.6	71.4	15.5	78.8	22.9	217.2	27.3	2,320	16,200	
		• Vacuum Window(24T, 로이복층, AL)	27.8	69.3	15.5	76.6	22.2	211.4	33.1	2,820	43,400	
	Solar Shading	• Baseline (Solar Shading 無)	32.5	81.0	15.5	89.5	26.0	244.5	0.0	0.0	0	
		• Switchable (Electrochromic) Window	39.2	72.7	15.5	80.4	23.3	221.1	23.4	1,990	50,200	
		• Green Roof	32.2	80.2	15.5	89.5	26.0	243.3	1.2	96	1,500	
		• Moveable/Operable Shading System	30.8	76.9	15.5	84.9	24.7	232.8	11.7	995	13,900	
		• Fixed Shading System										
		• Prismatic Shading System										
	Ventilated Façades	• Baseline (24T, 일반복층, AL)	32.5	81.0	15.5	89.5	26.0	244.5	0.0	0.0	0	
		• Air Barrier System	28.4	70.7	15.5	78.1	22.7	215.3	29.2	2,480	6,700	
		• Double Skin Window	24.2	60.3	15.5	66.7	19.4	186.1	58.4	4,970	38,000	
		• Airflow Window	27.8	69.3	15.5	76.6	22.2	211.4	33.1	2,820	27,800	
	Thermal Mass Activation	• Baseline (Thermal Mass 無)	32.5	81.0	15.5	89.5	26.0	244.5	0.0	0.0	0	
		• PCM (Phase Change Materials)	31.4	78.2	15.5	89.5	26.0	240.6	3.9	312	5,500	
		• Core Thermal Mass Activation	30.6	76.2	15.5	84.2	24.5	230.9	13.6	1,170	10,500	
Outdoor-Air (OA) Load	Earth Coupling	• Baseline (Earth Coupling 無)	32.5	81.0	15.5	89.5	26.0	244.5	0.0	0.0	0	
		• Earth Duct / Cool Tube	32.1	80.0	15.5	89.5	26.0	243.1	1.4	112	1,550	
		• Thermal Labyrinth										
	OA Handling	• Baseline (OA Control 無)	32.5	81.0	15.5	89.5	26.0	244.5	0.0	0.0	0	
		• IAQ Damper / CO_2 Control	31.4	78.2	15.5	89.5	26.0	240.6	3.9	312	2,200	
		• Exhaust Heat Recovery System	31.3	77.9	15.5	89.5	26.0	240.2	4.3	34	2,780	

<그림 3-60 열에너지 저감 기술 적용에 따른 분석>

기술분류		세부기술명	에너지사용량(kWh/m²y)					저감량 (kWh/m²y)	저감비용 (원/m²y)	투자비용 (원/m²)	회
			조명	콘센트	수송	기타	총계				
Lighting Load	Day Lighting	• Baseline (Day Lighting 無)	88.5	90.5	24.5	52.0	255.5	0.0	0.0	0	
		• Task / Ambient Layout	88.5	90.5	24.5	52.0	255.5	0.0	0.0	0	
		• Day Lighting	65.9	90.5	24.5	52.0	232.9	22.6	2,050	15,000	
		- Light Shelves									
		- Light Pipe / Light Duct									
	High Efficiency Lighting	• Baseline (FPL 32W)	88.5	90.5	24.5	52.0	255.5	0.0	0.0	0	
		• T5 28W	79.1	90.5	24.5	52.0	246.1	9.4	846	5,880	
		• AC LED (Light-Emitting Diode)	73.5	90.5	24.5	52.0	240.5	15.0	1,350	31,320	
		• DC LED (Light-Emitting Diode)	73.5	90.5	24.5	52.0	240.5	15.0	1,350	25,920	
	Lighting Control	• Baseline (Lighting Control 無)	88.5	90.5	24.5	52.0	255.5	0.0	0.0	0	
		• Responsive Dimming	58.4	90.5	24.5	52.0	225.4	30.1	2,710	25,300	
		- Using Photo sensor									
Plug Load	Standby Power	• Baseline (Cut-Off System 無)	88.5	90.5	24.5	52.0	255.5	0.0	0.0	0	
		• Smart Socket	88.5	79.0	24.5	52.0	244.0	11.5	1,035	3,400	
		• Baseline (無)	88.5	90.5	24.5	52.0	255.5	0.0	0.0	0	
		• High Efficiency UPS	-	-	-	-	254.1	1.4	126	830	
Etc. Load	Elevator	• Baseline (Control System 無)	88.5	90.5	24.5	52.0	255.5	0.0	0.0	0	
		• Destination Control System	88.5	90.5	18.3	52.0	249.3	6.2	558	3,500	
		• Regeneration Inverter	88.5	90.5	18.3	52.0	249.3	6.2	558	3,500	
	AC Network	• Baseline (無)	88.5	90.5	24.5	52.0	255.5	0.0	0.0	0	
		• Power Quality Compensation	88.5	90.5	24.5	51.3	254.8	0.7	63	440	
		• Proximity Effect Losses Reduction	88.5	90.5	24.5	51.7	255.2	0.3	27	620	
		• Eddy-Current Losses Reduction	88.5	90.5	24.5	51.9	255.4	0.1	9	150	
		• Transient Voltage Surge Suppressor	88.5	90.5	24.5	51.9	255.4	0.1	9	167	
		• Load Line & Cabinet Panel Separation	88.5	90.5	24.5	51.4	254.9	0.6	54	451	
	DC Network	• Baseline (無)	88.5	90.5	24.5	52.0	255.5	0.0	0.0	0	
		• AC-DC Bi-directional Rectifier	88.5	90.5	24.5	51.1	254.6	0.9	81	-	
		• DC Grid-Connected PCS	88.5	90.5	24.5	51.5	255.0	0.5	45	-	
		• DC Grid-Connected BMS	88.5	90.5	24.5	51.7	255.2	0.3	27	-	
		• BMS Optimization Control	88.5	90.5	24.5	51.8	255.3	0.2	18	-	

<그림 3-61 전기에너지 저감 기술 적용에 따른 분석>

- 에너지 효율화 기술을 열원, 공기조화, 외기도입, 환기, 위생, 수전, 조명 등으로 분류

하여 이에 대한 리스트를 정리하였음

- 건물 적용 가능한 열원시스템 효율화 기술은 설계시의 부하나 용량 제어에 따른 기종 및 용량으로 선정, 저부하 운전 고려 시스템 선정, 계절 COP 및 최대부하 시 운전 COP 평가를 통한 최적설계를 통한 방법과 기기의 모듈화에 의한 대상공간의 용도별, 사용 시간대별 차별운전, 열원기기 대수제어, 부분부하 대응 열원기기 용량제어, 외기부하에 따른 적정 냉/온수 공급온도 산정 및 설정, 냉각수 온도 및 냉각탑 최적제어, 최적 축열제어, 열원펌프 변유량(VWV) 제어 등의 제어방법으로 분류하여 이에 따른 저감효과 및 투자비용을 분석

- 건물 적용 가능한 공기조화 방법으로는 사용공간의 조닝에 의한 용도별, 사용시간대별 차별운전, 코어 및 페리미터 존의 분리 및 연동제어, 적정 실내압 유지, 최적 공조기 가동시간 설정, 부하에 따른 공조기와 실내기의 기동/정지, 운전스케줄에 의한 공조기 설정값 변경, 공조용 송풍기의 순차적 기동 및 가속완충기동, 댐퍼개도(차압변화)에 따른 공조용 송풍기의 풍량제어, 공조기 환기온도 및 실내기 설정온도 설정값의 실시간 산정/수정, 쾌적지표(PMV)에 의한 실내환경조건 자동설정, 중간기(Zero Energy Band) 제어, 공조기와 실내기의 스케줄 운전, 공조기와 실내기의 구역별/대수 제어, 변풍량(VAV) 제어, 대온도차 제어, 공조설비 통합제어 등의 방법을 효율화 기술로 분류하였음

- 건물 적용 가능한 외기도입 방법으로는 송수송풍온도 최적 설정, 태스크 앰비언트 공조, 중간기 전열교환기이용, 최적 조닝으로 공조정지/전환운전, 공조의 단계적 이용(거실→ 창고), 공조배기의 차고급기 등의 설계를 통한 효율화 방안과 공조기 기동 시 외기 차단, 엔탈피 제어, CO2센서 이용 최소 외기도입 제어, 야간 외기냉방(Night Purge) 등의 제어 방법으로 효율화가 가능

- 건물 적용 가능한 환기 방법으로는 송풍량과 축동력에 따른 전압 고려 최적송풍기 선정, 원거리 루트 부스터팬, 인터로크로 순차제어 등의 설계를 통한 효율화 방안과 로비 등 대공간의 상부 배기(설정온도 제어 등), 스케줄 운전, CO 농도제어, 연소기기 운전 연동 환기 등의 제어 방법으로 효율화 가능

<표 3-23 시설개선/관리를 통한 분야별 건물에너지 절약 방법>

분 류		절 약 방 안
고효율화	건축	· 단열구조패널(Structural Insulated Panel) · 진공 패널 시공 · 단열 커튼 시공 · 이중외피 창문 설치 · 진공단열 창문 설치 · 단열 도료/필름 시공 · 전기/열 변색성 유리 이용
	기계	· 지역냉난방시스템 · 가스열병합시스템(마이크로 가스터빈 등) · 고효율 보일러/냉동기 채택 · 심야전력 이용/ 빙축열 시스템 · 가스흡수/흡착식 냉방시스템 · 증발/복사 냉각시스템 · 동시 냉난방시스템 · 프로그램가능(타이머 부착 등)한 온도설정기 설치 · 증기밸브 자켓 채택 · 전열교환기 설치/활용(취입 외기와 실내배기의 열교환) · 공조기 코일 동파방지용 전기히터를 냉/온수 코일로 대체 · 제로 에너지 밴드 설정 · 시수압을 이용한 저층부 급수(저수조 인입배관 분지)
	전기	· 역율개선 제어 · 고효율 조명기기(LED, T5/T8 형광등, 컴팩트 형광등(CFL)) · 고효율 트랜스 채용 · ID Card 판독에 의한 조명의 점/소등 · 공조기 사용존에 대한 조명 점/소등 · 주차관제시스템과 연동된 조명관제시스템
	신재생에너지	· 연료전지 · 태양광발전 · 태양열 급탕시스템 · CO2 Heat Pump
유지관리		· 스케줄(일정) 관리 · 데이터의 보존/활용 · 운전/운영 자료의 수집 및 보고 : 에너지소비량 관리 · 설비/시스템 고장검출 및 진단시스템 · 배전반 고장진단시스템 · 센서 고장 판단 · 공기질 측정 모니터링 시스템(분진/CO2) · 공기 누출량 감소를 위한 보수 · LCC 분석을 통한 HVAC시스템 유지관리 · 프로세스 게인과 조작 단말 보정 · 적정전압의 유지 · 계약전력 수정 · 냉각용수 하수도 감면신청

<표 3-24 운전/운영방식 개선에 의한 건물에너지 절약 방법>

분 야		관리항목 및 내용
중앙감시/관리		·건물에너지 사용량 분석 자료의 제공
건축		·자동차양장치(전동모터 등 이용) ·일사차폐제어(블라인드의 기능적 개폐제어 등) ·더블스킨으로부터의 열회수
기계	열원	·기기의 모듈화에 의한 대상공간의 용도별, 사용시간대별 차별운전 ·열원기기 대수제어 ·부분부하 대응 열원기기 용량제어 ·열병합발전시스템의 부하추종 최적 운전제어 ·외기부하에 따른 적정 냉/온수 공급온도 산정 및 설정 ·냉각수 온도 및 냉각탑 최적제어 ·최적 축열제어 ·열원펌프 변유량(VWV) 제어
	공기 조화	·사용공간의 조닝에 의한 용도별, 사용시간대별 차별운전 ·코어 및 페리미터 존의 분리 및 연동제어 ·적정 실내압 유지 ·최적 공조기 가동시간 설정 ·부하에 따른 공조기와 실내기의 기동/정지 ·운전스케줄에 의한 공조기 설정값 변경 ·공조용 송풍기의 순차적 기동 및 가속완충기동 ·댐퍼개도(차압변화)에 따른 공조용 송풍기의 풍량제어 ·공조기 환기온도 및 실내기 설정온도 설정값의 실시간 산정/수정 ·쾌적지표(PMV)에 의한 실내환경조건 자동설정 ·중간기(Zero Energy Band) 제어 ·공조기와 실내기의 스케줄 운전 ·공조기와 실내기의 구역별/대수 제어 ·변풍량(VAV) 제어 ·대온도차 제어 ·공조설비 통합제어
	외기 도입	·공조기 기동 시 외기 차단 ·엔탈피 제어 ·CO2센서 이용 최소 외기도입 제어 ·야간 외기냉방(Night Purge)
	환기	·로비 등 대공간의 상부 배기(설정온도 제어 등) ·스케줄 운전 ·CO 농도제어 ·연소기기 운전 연동 환기
	위생 /기타	·부스터 방식 급수펌프제어 ·급탕온도 재설정
전기	수전	·전력수요제어 ·역률제어
	조명	·스케줄 조명제어 ·주광센서 이용 점멸/스탭 조도제어 ·인체감지센서 이용 점등제어

- 이러한 분류를 통하여 에너지 저감률은 매우 높으나 투자대비 효과가 상대적으로 작은 항목(투자비 과다 소요), 투자대비 효과는 매우 좋으나 에너지 저감률이 상대적으로 낮은 항목(개선효과 미흡)에 우선하여 에너지 저감률과 투자대비 효과가 모두 높은 순서에 따른 효과를 확인
- 조명제어(스케줄 조명제어, 주광센서 이용 조도제어), 구역(존)별 제어/실내기 대수제어, 열원펌프 변유량 제어, 연소기기 운전 연동 환기, 실내온도 자동설정/제어 등의 항목은 에너지 저감률과 투자대비 효과의 측면에서도 높은 순위 차지
- 열원기기 대수제어(축열조 축열제어: 특정항목), 최소외기도입(CO2) 환기, 공조기 변풍량제어, 중앙감시/에너지관리 등의 항목이 차순위 판단
- 공조기 변유량제어, CO 농도 환기제어(주차장 등), 공조기 간헐운전, 공조 시 외기냉방 등의 항목은 건물의 특징 및 환경에 따라 적용 고려하여 적용하는 것이 바람직한 것으로 분석됨

5.2 커뮤니티, 도시단위 에너지 효율화 기술리스트 작성 및 적용성 분석

□ 건축물에 적용되는 에너지 효율화기술과 차별되는 커뮤니티 및 도시단위로 적용 가능한 에너지 효율화 기술에 대해서 조사를 진행하였음

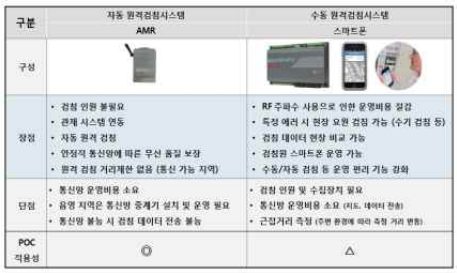
- 커뮤니티, 도시단위의 에너지 효율화 기술로는 크게 수열원 이용 기술, 폐기물 이용 기술, 폐열 이용 기술로 분류하여 분석하였음
- 수열원기술중 하수열에너지는 사계절 안정적 열원, 부존량이 많고, 수요지와 근접한 장점이 있으며, 하수열 이용 냉난방시스템은 설치 용량 80RT 이상(80RT을 생산할 수 있는 하수 처리량은 약 50,000㎥/일)일 때에는 경제성 확보되는 것으로 분석됨. 또한 기존 보일러 · 냉동기 이용 시스템에 비해 30% 에너지 절감, 온실가스 발생을 최대 60%까지 저감이 가능하여 에너지 저감량이 크지만, 부유 이물질, 스케일링, 슬라임 관련 문제 해결 필요
- 수열원기술중 상수열에너지중의 광역상수도 원수는 매우 큰 온도차에너지 열원, 하천수의 열원 특성과 지중열교환기의 특성을 동시에 갖고 있음. 원수 온도차 냉난방시스템의 경우 1.0Mcal 생산비용이 27.20원/Mcal으로 가장 적으므로 가장 효용성이 높은 것으로 분석됨. 이는 LNG, 보일러등유, 지역난방, 전열에 비해 각각 42.65원/Mcal, 67.81원/Mcal, 70.56원/Mcal, 81.60원/Mcal가 절약됨
- 수열원 기술 중 하천수 열에너지는 수온의 변화가 외기에 비하여 안정되어 있어 1년 내내 에너지를 얻기가 좋고, 수용지와 근접해있다는 장점이 있음. 이의 경제성을 확인해보면 동경 Hakozaki 재개발지구 사례에서 하천수이용에 의해 약 20%의 에너지 절감한 사례가 있으며, 염가인 심야전력을 이용하고 수열원 히트펌프를 가동시켜 냉온수를 제조, 이를 축열조에 축열하여 peak shift를 통한 에너지비용 및 탄소저감적인 측면에서 큰 효과를 얻을 수 있었음
- 폐기물 소각을 통한 폐기물 이용기술로는 폐기물 소각 시 발생하는 에너지를 활용한 전기 및 열에너지 공급 가능함. 또한 폐기물의 경우에는 거의 연중 일정하게 발생하기 때문에 소각 에너지는 Base load를 담당할 수 있음. 그러나 발전의 경우 수송이 용이하지만 발전효율이 낮다는 단점이 존재하며, 열공급의 경우 변환효율 높지만, 축열, 열배관망에 대한 대책 필요
- 폐열 회수에너지는 산업체에서 발생하는 고온의 물, 증기, 가스를 회수하여 이용한다는 점에서 경제적인 것으로 분석됨. 주로 공단 내 잉여열을 회수/재이용할 수 있도록 증기 공급/수급 배관망 구축하여 에너지 공급하는데 이때 열을 전달하는 곳까지의 거리에 따라 열배관 구축비용이 달라지므로 거리에 따른 경제성 분석 필요

기술분류		내용	적용성	경제성	에너지 공급량
수열원 이용 기술	하수열 에너지	- **하수열은 사계절 안정적 열원, 부존량이 많고, 수요지와 근접** - 하수열 이용 냉난방시스템은 설치 용량 80RT이상(80RT을 생산할 수 있는 하수 처리량은 약 50,000㎥/일)일 때에는 경제성 확보 - 기존 보일러 · 냉동기 이용 시스템에 비해 30% 에너지 절감, 온실가스 발생을 최대 60%까지 저감 - 부유 이물질, 스케링, 슬라임 관련 문제 해결 필요	高	中	中
	상수열 에너지	- **광역상수도 원수는 매우 큰 온도차에너지 열원, 하천수의 열원 특성과 지중열교환기의 특성을 동시에 갖고 있음** - 원수 온도차 냉난방시스템의 경우 1.0Mcal 생산비용이 27.20원/Mcal으로 가장 적으며, LNG, 보일러등유, 지역난방, 전열에 비해 각각 42.65원/Mcal, 67.81원/Mcal, 70.56원/Mcal, 81.60원/Mcal가 절약	中	高	中
	하천수 에너지	- **하천수는 수온의 변화가 외기에 비하여 안정되어 있고, 수요지와 근접** - 동경 Hakozaki 재개발지구 사례에서 하천수이용에 의해 약 20%의 에너지 절감 - 염가인 심야전력을 이용하고 수열원 히트펌프를 가동시켜 냉온수를 제조, 이를 축열조에 축열하여 peak shift 가능	中	中	中
폐기물 이용 기술	폐기물 소각 에너지	- 폐기물 소각시 발생하는 에너지를 활용한 전기 및 열에너지 공급 가능 - **연중 일정하게 발생하는 소각 에너지는 Base load를 담당할 수 있음** - 발전의 경우 수송이 용이하지만 발전효율이 낮음 - 열공급의 경우 변환효율 높지만, 축열, 열 배관망에 대한 대책 필요	高	高	高
폐열 이용 기술	폐열 회수 에너지	- 산업체에서 발생하는 고온의 물, 증기, 가스를 회수하여 이용 - **공단 내 잉여열을 회수/재이용할 수 있도록 증기 공급/수급 배관망 구축하여 에너지 공급** - **열 배관 구축에 따른 경제성 분석 필요**	中	高	高

<그림 3-62 커뮤니티/도시 단위 에너지 효율화 기술에 따른 분석>

6. 도시 에너지소비량 모니터링 및 분석시스템 설계

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="7">

<기 구축 요소분석을 통한 필요사항 도출>


<원격검침관리시스템 방식에 따른 분석></td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="7">- POC 에너지 모니터링 및 분석 시스템 설계를 위하여 GS건설 기술연구소에 기 설치된 모니터링 시스템을 활용하여 필요사항을 도출하고, 검침방식에 따른 장단점 분석을 통하여, 필요 요소 도출</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="7">- 도시단위의 에너지 설계/운영시스템 개발을 위하여, 도시에너지 소비량을 적절하게 측정할 수 있는 모니터링 및 분석시스템의 구성 및 필요 요소 도출을 위함</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="7">- 실제 POC 모니터링 시스템 구성 및 에너지 분석 시스템 개발에 활용</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="7">(기존기술 수준)
- 에너지 모니터링 개별 기술을 이미 존재
(개발기술 수준)
- 개별기술을 활용하여, 도시단위의 분석에 맞도록 최적화 필요
(개발기술 수준 설정근거)
- 국외 사례분석</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="7">박시삼 (지에스건설(주))</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="7">1차년도 '11.12 ~ '12.8 (9개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>1차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>학술발표
국내 1건
국외 1건</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 기 구축 시스템 활용 필요 요소 도출 및 모니터링 기술 분석 : 1건</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 해당 보고서 확인
- 학술대회 발표논문 확인</td></tr>
</table>

6.1 분석시스템 요구사항 도출 및 기 구축된 GS건설 연구소를 이용한 필요 요소 분석

□ GS건설 연구소 개요

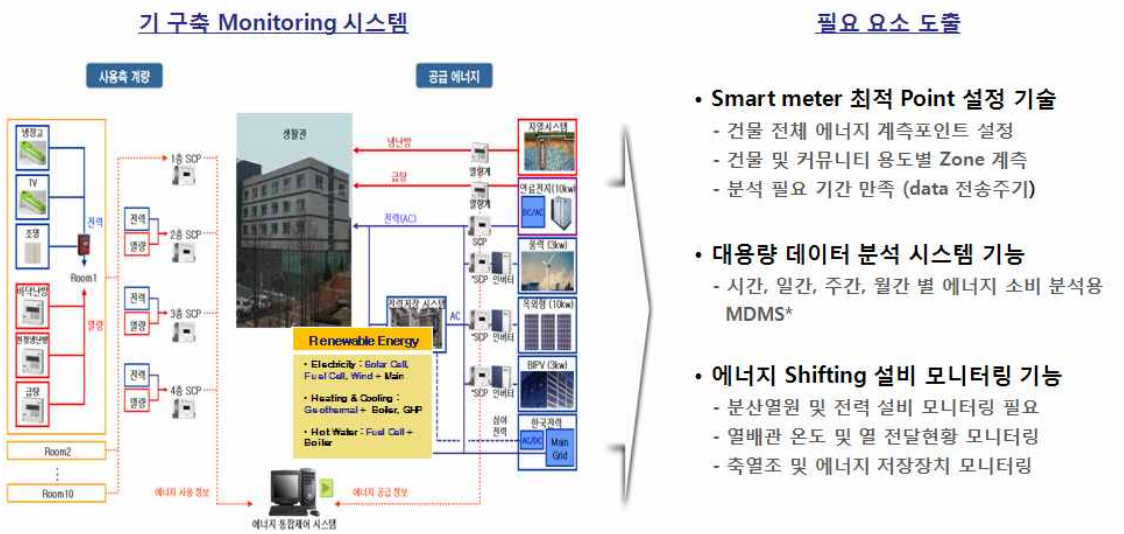
- POC로 선정한 GS건설 기술연구소에는 다양한 수요프로파일을 가지고 있는 주거시설(생활관), 상업시설(연구동), 복합시설(국제관)으로 구성되어 있음



<그림 3-63 POC 평면도 및 에너지 수요 프로파일>

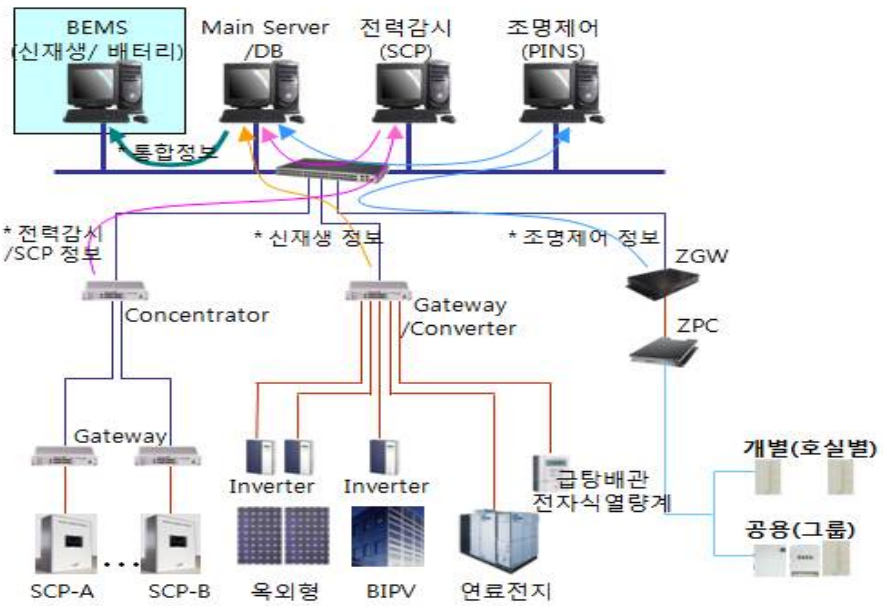
- 또한, GS건설 기술연구소 생활관은 PV, BIPV, 풍력, 연료전지, 배터리 등의 신재생에너지원 및 각 방의 에너지 사용량을 계측할 수 있는 에너지 모니터링 시스템이 기설치된 Micro Energy Building임
- 도시단위의 실증을 위하여 GS건설 기술연구소 생활관과 같이 모든 구역, 모든 방에 에너지를 측정할 수 있는 계측기를 설치하기는 불가능함
- 모든 계측 포인트에 모니터링 장비 설치가 불가능하기 때문에 GS 기술연구소 생활관에서 생산된 신재생에너지원의 발전량 모니터링 및 에너지 사용량을 분석을 통하여 에너지 모니터링 필요 요소를 도출

□ GS건설 기술연구소 기 구축 시스템 활용 필요 요소 도출



<그림 3-64 기 구축된 GS건설 기술연구소 생활관을 통한 필요 요소 도출>

- 도시에너지 관리시스템에 적합한 필요 요소로 Smart meter 최적 Point 설정 기술이 필요하며, 이의 세부 필요 요소로는 건물전체의 에너지 계측이 가능한 계측 포인트의 설정, 건물 및 커뮤니티 용도별 Zone 계측 계획과 계측 포인트의 최적화, 분석을 만족하도록 하는 데이터 전송주기 및 통신주기의 설정이 필요



<그림 3-65 일반적인 건물용 에너지 모니터링/제어 구성>

- 또한, 도시에너지 관리시스템은 전기, 가스, 수도, 열량에 데이터 분석을 위한 통합 계측이 필요
- 데이터 분석 시스템은 시간, 일별, 주간, 월간별 에너지 소비분석이 꼭 필요하며, 이를 위한 MDMS(Meter Data Management System)의 구축 및 에너지 생산기기에 따른 생산량 분석이 필요
- 탄소저감을 위해서는 분산열원 및 전력 설비 모니터링, 열배관 온도 및 열전달현황 모니터링, 축열조 및 에너지 저장장치 모니터링 등 에너지 Shifting 설비 모니터링 기능 또한 필수적인 요소임

6.2 모니터링 시스템 설치를 위한 기술 분석

□ 원격 검침방법에 따른 비교

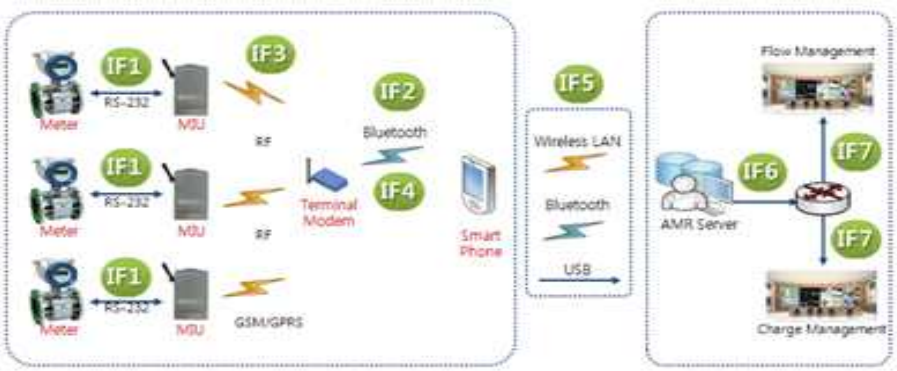
- GS건설 기술연구소에 추가적인 모니터링 시스템설치를 위하여, 자동 및 수동원격검침 시스템에 대한 비교 분석 수행

- 자동 원격검침시스템(AMR : Automatic Meter Reading)은 데이터 검침 모뎀(MIU : Meter Interface Modem)이 정해진 시간별 또는 주기적으로 검침데이터를 자동으로 수집, 연산, 저장하며, 정해진 시간에 통신망을 이용하여 자동으로 검침데이터를 원격지 서버로 전달하는 자동 원격검침시스템임



<그림 3-66 자동 원격검침시스템 구성도(AMR)>

- 수동 원격검침시스템(OMR : Off-site Meter Reading)은 데이터 검침 모뎀이 정해진 시간별 또는 주기적으로 검침데이터를 자동으로 수집, 연산, 저장하며, 검침원이 데이터 검침 모뎀 설치 장소 부근에서 무선 주파수로 검침 데이터를 요청, 수집하여 Internet 등의 통신망을 이용하여 원격지 서버로 검침데이터를 전달하는 반자동 원격검침시스템임



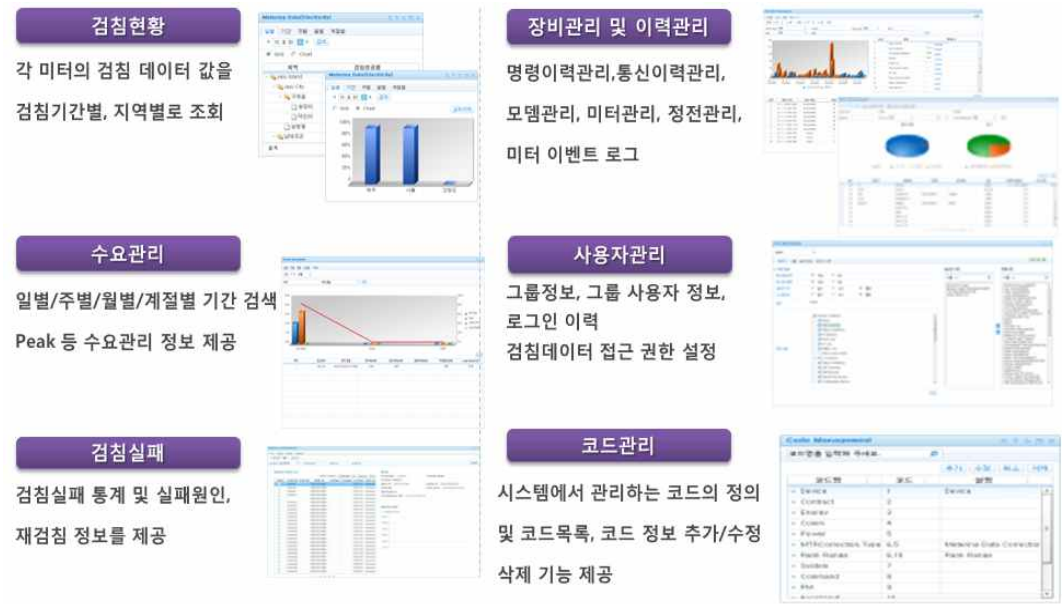
<그림 3-67 스마트폰을 이용한 무선 원격검침시스템 (OMR)>

- 두 가지 검침방법을 비교해 본 결과 본 연구에서는 검침인원이 필요 없이 실시간 모니터링 데이터를 확보할 수 있고, 공동연구기관의 데이터 접근의 용이성이 높은 자동원격검침이 POC 적용에 적절한 것으로 판단

구분	자동 원격검침시스템 AMR	수동 원격검침시스템 스마트폰
구성		
장점	• 검침 인원 불필요 • 관제 시스템 연동 • 자동 원격 검침 • 안정적 통신망에 따른 무선 품질 보장 • 원격 검침 거리제한 없음 (통신 가능 지역)	• RF 주파수 사용으로 인한 운영비용 절감 • 특정 에러 시 현장 요원 검침 가능 (수기 검침 등) • 검침 데이터 현장 비교 가능 • 검침원 스마트폰 운영 가능 • 수동/자동 검침 등 운영 편리 기능 강화
단점	• 통신망 운영비용 소요 • 음영 지역은 통신망 중계기 설치 및 운영 필요 • 통신망 불능 시 검침 데이터 전송 불능	• 검침 인원 및 수집장치 필요 • 통신망 운영비용 소요 (지도, 데이터 전송) • 근접거리 측정 (주변 환경에 따라 측정 거리 변동)
POC 적용성	◎	△

<그림 3-68 모니터링 시스템 기술 분석>

- 또한, POC 모니터링 시스템은 검침현황, 수요관리, 검침실패, 장비관리 및 이력관리, 사용자 관리, 코드관리를 통한 다양한 에너지 데이터를 사용 가능하며, 코드관리를 통하여 사용자가 필요한 데이터의 접근이 용의하도록 하였음



<그림 3-69 POC 모니터링 시스템 기능 구성도>

6.3 데이터 취득을 위한 네트워크 구성 도출

- 데이터를 어떠한 통신을 이용하여 취득할 것인가에 대한 구성 또한 모니터링 시스템에 있어서 중요한 요소임
- 센서들의 통합네트워크 통신방식 결정을 위하여, ZigBee, PLC(Power Line Communication), RS485, RF(Radio Frequency) 방식의 특징 및 장단점을 분석하여 이의 POC 적용성에 대하여 분석
- 본 연구에서는 POC에 적용 가능한 두 가지의 통신방식으로 Zigbee방식과 RS 485방식을 선정하였음

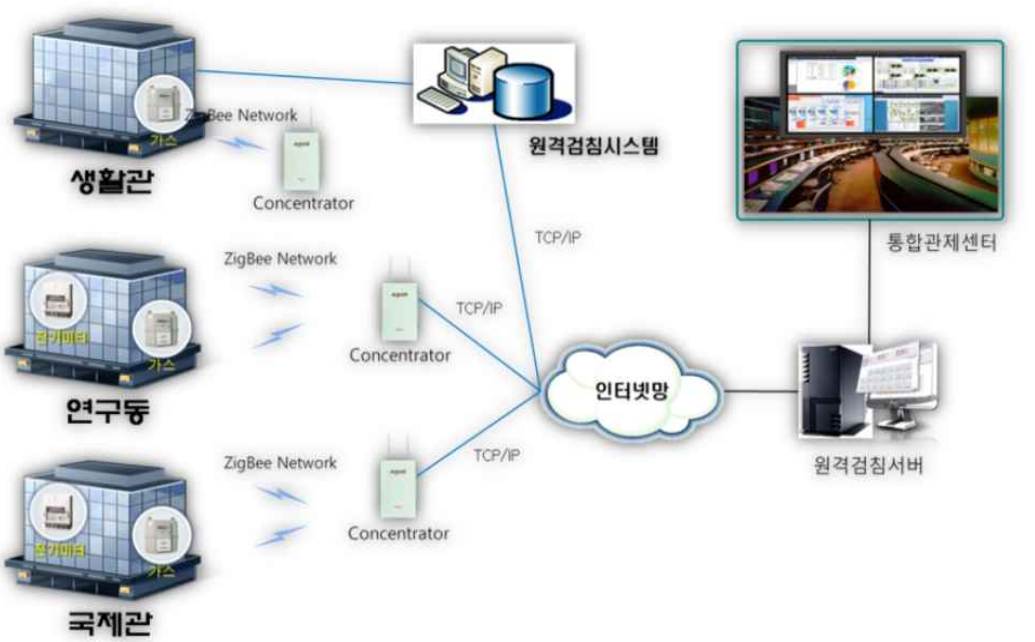
구분	ZigBee	PLC (Power Line Communication)	RS485	RF (Radio Frequency)
방식	• 저속의 근거리 무선통신 국제표준	• 전력선의 전원파형에 통신신호를 실어 전송	• 시리얼 통신 프로토콜 표준 규격	• 전자기파 주파수 대역을 이용하여 통신하는 무선통신 방식
특징	• 원격제어 및 원격관리, 원격 모니터링에 적합 • 근거리 통신용	• 이미 설치된 전력선을 이용하기 때문에 저렴한 비용으로 구축이 가능	• 모든 장치들이 같은 라인에서 데이터 전송 및 수신 가능 • 반 이중 방식과 전 이중 통신 방식을 모두 지원	• 음성기능 등 기타 부가기능을 부여할 수 있음
장단점	• 저전력, 저가격 • 통신의 안정성 높음	• 잡음과 부하가 걸림	• 최대 드라이버·리시버 수가 각각 32개 • 최대 속도 10Mbps • 최장 거리 1.2km	• 통신대역이 넓음
POC 적용성	◎	△	○	△

<그림 3-70 센서네트워크 통신방식 기술 분석>

- ZigBee 방식 장점은 기기들이 완전히 필요할 때만 서로 통신을 하기 때문에 필요로 하지 않는 경우는 센서노드를 Sleep상태로 만들어 줌. 이는 동작이 필요하지 않는 경우의 대기전력이 아주 작음을 의미
- 또한 ZigBee 방식은 Mesh 구조에서는 전체의 전송 출력을 줄여줌으로써 저전력운전이 가능하고, 전송송실에 의한 전력소모를 낮춰 줌
- ZigBee 방식은 자가 조직화(Self-organizing)이 가능한 네트워크를 제공하므로, 수동설정이 필요 없음. 즉, 새로운 센서 및 장비의 추가가 자동으로 되기 때문에 설치가 용의

함

- RS485 방식은 Multi-drop이 가능하여 여러 대의 RS485 장비를 하나의 노드에 병렬로 접속이 가능하며, Converter 종류에 따라 10개에서 32개정도의 장비가 하나의 노드에 연결되는 좋은 확장성을 가짐
- RS232가 보통 115.2kBPS인데 반해 수 MBPS까지 속도를 올릴 수 있기 때문에 빠른 데이터처리가 가능
- 또한 속도를 포기한다면 100kBPS 정도의 속도에서 약 1.2㎞까지도 통신이 가능하며, 두 가닥의 선만으로 통신이 가능
- 두 가지의 선택되어진 통신방식을 이용하여 생활관, 연구동, 국제관을 통합 검침하는 POC모니터링 시스템의 구성도를 아래와 같이 설계하였음



<그림 3-71 POC 모니터링 시스템 설계 구성도-ZigBee방식>

- 전기 및 가스 검침데이터는 ZigBee통신을 통하여 집중기에 모이게 되고 집중기에서 TCP/IP를 통한 인터넷망으로 데이터를 전송받아 원격검침서버에 데이터가 축적되고 이를 통합관제센터로 전송하는 형태임
- 원격검침서버는 공동연구기관이 인터넷망을 통하여 접속이 가능하도록 함으로써 향후 탄소저감 Smart CEMS(City Energy Management System)의 개발에 필요한 데이터를 수집

6.4. POC 에너지 사용량 데이터 DB화

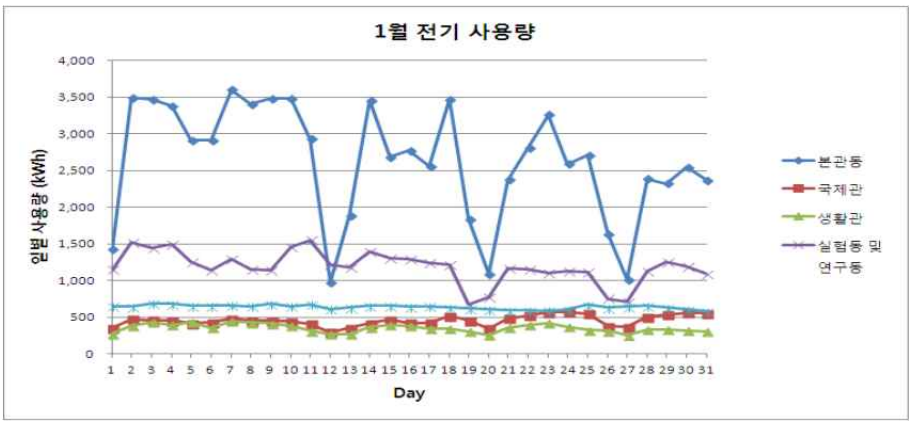
□ 수집된 자료 DB화(POC 실증단지)

- 월별 전기 사용량

: 본관동의 전기 사용량이 모니터링 기간 전체에 걸쳐 가장 많으며, 실험동 및 연구동 순으로 나타나며, 나머지 건물들은 거의 비슷한 사용량을 보임

: 일별로 차이가 있기는 하나, 건물 사용 인력이 있는 주중 근무 시간에는 전기 사용량이 많으며, 주말 시간의 전기 사용량이 크게 줄어든다는 것을 알 수 있음

: 월별 전기 사용량은 1월이 가장 많게 나타나며, 5월 사용량이 가장 적게 나타나며, 모니터링 기간 동안의 일별 기저 부하는 본관동 703.4kWh, 국제관 165.1kWh, 생활관 141.9kWh, 실험동 및 연구동 526.4kWh, 기타 시설 313.6kWh임



<그림 3-72 각 건물별 1월 전기 사용량>

- 월별 열 사용량 (가스)

: POC 열 사용량을 파악하기 위해 가스 사용량을 모니터링 하였으며, 사용된 가스량에 LNG의 발열량 및 열량 환산계수를 적용하여 사용 열량으로 환산하였음

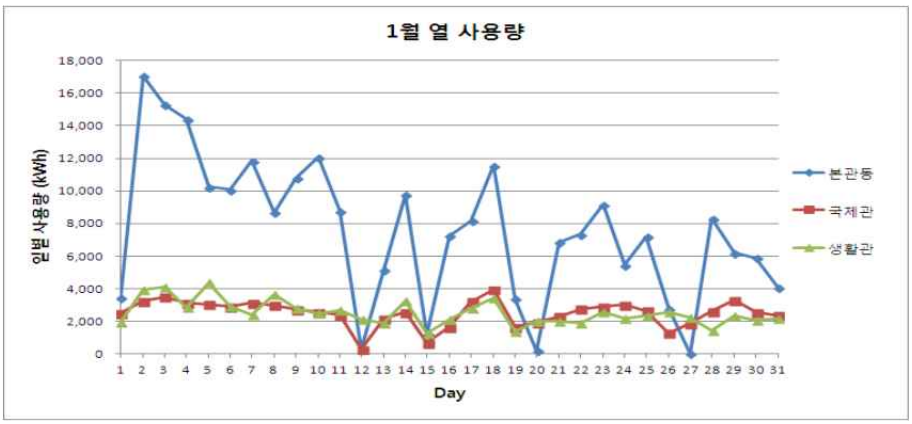
: 본관동의 열 사용량이 모니터링 전 기간에 걸쳐 가장 많으며, 생활관, 국제관 순으로 나타남

: 일별 데이터에서 열 사용량이 없는 기간은 주말로 인한 건물 사용이 없기 때문임

: 국제관 및 생활관의 부하 프로파일 상에 본관동과 일부 주말 및 주중 시간에 차이가 발생하는데, 이는 교육 기간의 비정기성으로 인한 교육생들의 비정기적 상주로 인한 것으로 판단됨

: 월별 사용량에서는 겨울철인 1월, 2월에 사용량이 많게 나타나며, 시간이 지날수록

열 사용량은 줄어든다는 것을 확인 가능



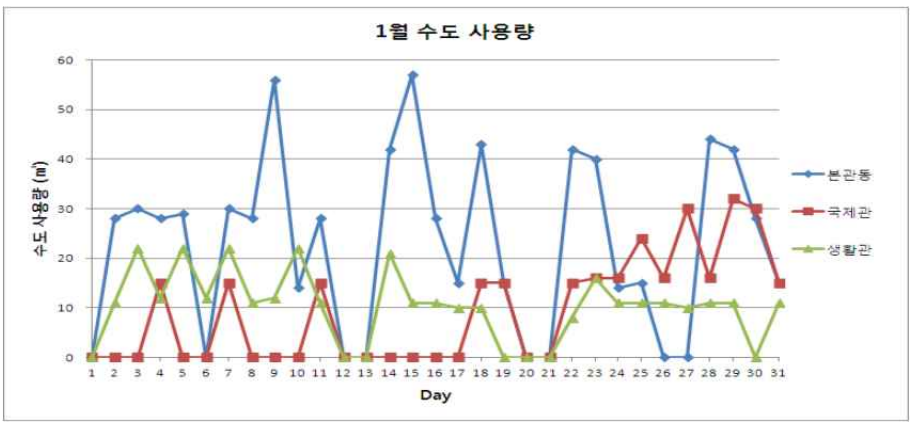
<그림 3-73 각 건물별 1월 열 사용량>

- 월별 수도 사용량

: 본관동의 경우 건물 내 상주 인원이 있는 주중 시간대의 수도 사용량이 높게 나타나며, 주말 시간대에는 사용량이 없음을 확인

: 생활관 및 국제관은 일정한 패턴이 나타나지 않는데 이는 앞서 설명한 바와 같이 교육생 및 건물 내 관리 인원/강사들의 비정기적 상주로 인한 사용량에 의한 것으로 판단됨

: 월별 사용량에서는 1월의 사용량이 가장 많으며, 2월 및 5월이 가장 적은 사용량을 보임

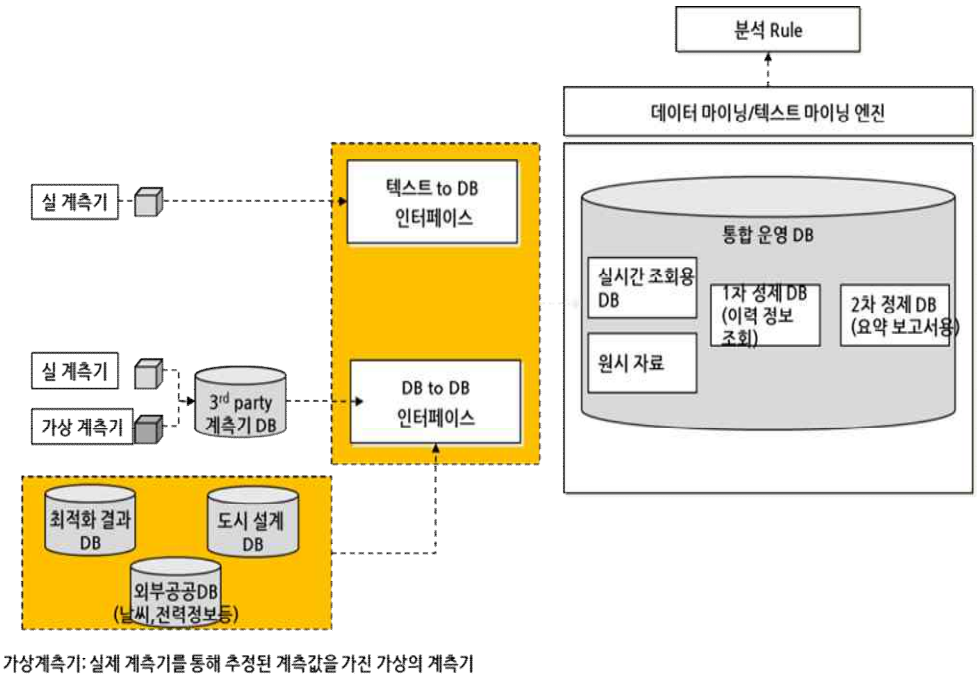


<그림 3-74 각 건물별 1월 수도 사용량>

6.5 분석 시스템 개발

□ 모니터링 시스템용 통합 DB 구현

- 도시 에너지의 소비 설비와 공급 설비에 대한 모니터링 데이터의 집계 및 보관을 위한 통합 데이터베이스를 구현하였음



<그림 3-75 통합 DB 구성도>

: 유연한 인터페이스를 위해 DB to DB, Text to DB 인터페이스를 활용하였으며, 해당 연차에는 DB to DB 인터페이스를 구현하였음

: 가상계측기 개념을 도입하여 실계측기가 연계되지 않더라도 사용자가 제공한 데이터가 표시될 수 있도록 구성하였음

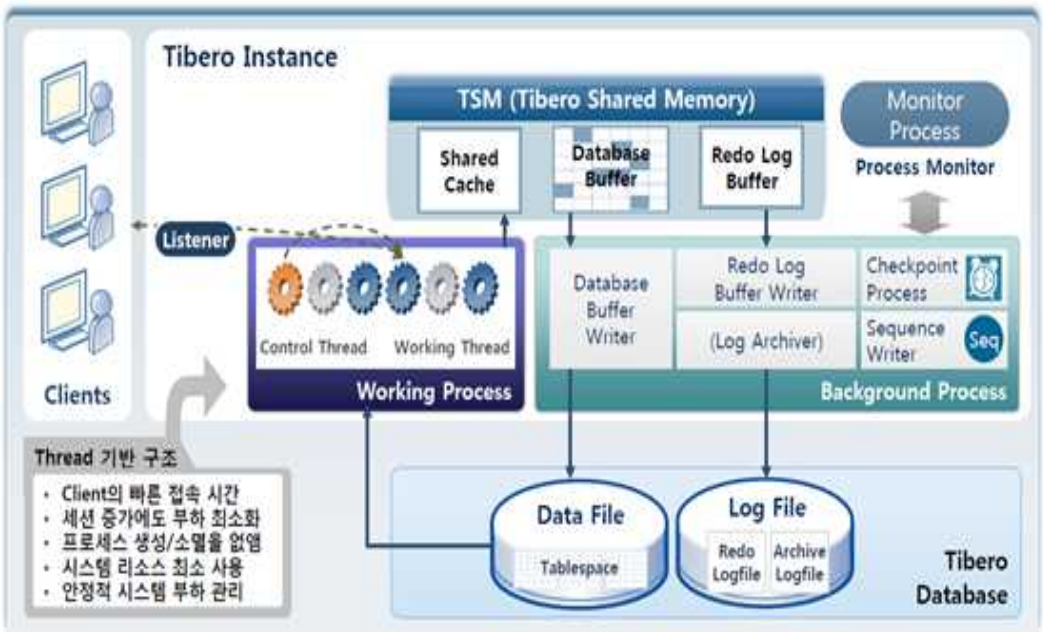
: 기 구현된 계측 시스템의 계측 정보 자동 수집 환경 구현(데이터 추출 SW 활용)

: 조회 성능 개선을 위한 계측 데이터 마이닝 구현

- 오픈소스(MySQL)와 국산DB(Tibero RDBMS)를 활용하여 비용 절감 및 안정성 확보

: GIS표준엔진이 오픈소스 DBMS(PostgreSQL)를 지원하므로 비용 절감이 가능

: 국내 금융권, 공공 분야에서 안정성이 검증된 국산DB를 활용하여, 시스템 가용성 및 처리 속도에 대한 보증(Assurance)이 필요한 경우에 사용하는 구조임



<그림 3-76 국산 DB 구성도>

: 국산 상용 DB의 특징은 다음과 같음

→ Client의 빠른 접속 시간(도시 에너지 관리자, 개별 단위 에너지 관리자의 QoS 확보)

→ 세션 증가에도 부하 최소화(사용자 접속이 많아질 경우 이에 대한 대응)

→ 프로세스 생성/소멸을 없앰(자체적인 프로세스 관리를 통한 오류 발생 방지)

→ 시스템 리소스 최소 사용(최소 가상 서버 활용을 통한 서버 도입 비용 절감)

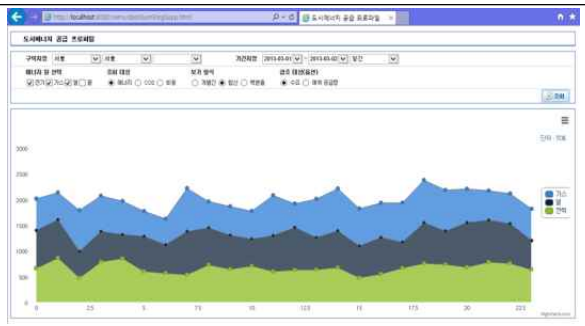
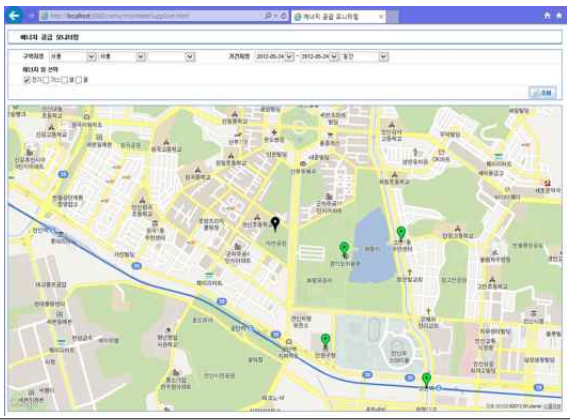
→ 안정적 시스템 부하 관리(계측기 데이터에 대한 Data Mining시 활용)

□ 오픈맵 기반 에너지 공급/소비 모니터링 개발

- 과제 표준 GIS 엔진 및 오픈맵(Google Maps)과 호환되는 2D 공간 정보 기반의 에너지 공급/소비 모니터링 개발

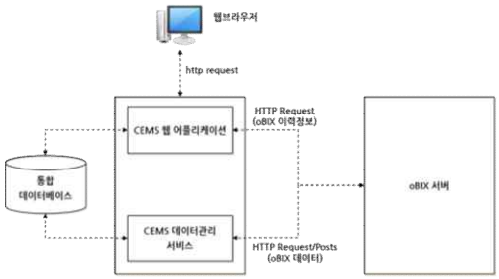
<표 3-25 에너지 공급/소비 모니터링 시스템 개요>

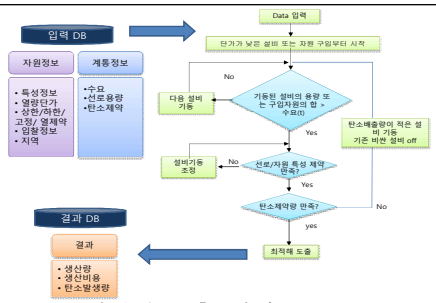
대시보드	도시에너지 공급 프로파일	■도시 에너지 공급 현황에 대한 정보를 표시 - 공급 설비에 부착된 계측기를 통해 파악된 정보를 바탕으로 에너지량, 이산화탄소배출량, 비용 기준으로 공급 프로파일을 작성 - D-1일 기준으로 집계됨.

		
	도시에너지 수요 프로파일	■ 도시 에너지 수요 현황에 대한 정보를 표시 - 에너지 소비 설비에 부착된 계측기를 통해 파악된 정보를 바탕으로 에너지량, 이산화탄소 배출량, 비용 기준으로 에너지 수요 프로파일을 작성 - D-1일 기준으로 집계됨.
	도시에너지 공급 현황	■ 관리 경계(시도/군구/동)를 기준으로 에너지 공급 정보를 공급 예측 정보, 수요 예측 정보를 함께 표시
	도시에너지 사용 현황	■ 관리 경계(시도/군구/동)를 기준으로 에너지 소비 정보를 공급 예측 정보, 수요 예측 정보를 함께 표시
~모니터링	에너지 공급 모니터링	■ 공간 정보를 바탕으로 각 계측기에 수집된 에너지 공급량 정보를 표시 - 일자별 조회 기능 - 현재 시각 기준 -1시간 조회 가능 
	에너지 수요 모니터링	■ 공간 정보를 바탕으로 각 계측기에 수집된 에너지 사용량 정보를 표시함. - 일자별 조회 기능 - 현재 시각 기준 -1시간 조회 가능
실시간예측	수요 예측	■ 전력 부분에 대한 에너지 수요량을 예측 - 일 기준 - 동기 3주간의 데이터를 지수평활법을 이용하여 수요를 예측
	태양광 발전 예측	■ 익일 태양광 발전량을 예측 - 익일 시간별 태양광 발전량을 예측 - 태양광 발전 설비의 효율 및 기상 정보를 활용하여 태양광 발전량을 예측
	풍력 발전 예측	■ 익일 풍력 발전량을 예측 - 익일 시간별 풍력 발전량을 예측 - 풍력 발전 설비의 효율 및 기상 정보를 활용하여 풍력 발전량을 예측
최적스케줄링	모의조건설정	■ 모의 조건을 설정
	모의실행	■ 모의를 실행
	Job처리상태	■ 최적화 Job의 실행 상태를 관리
	부하목록	■ 부하 목록을 관리

	공급자원	■ 공급 자원으로 연계선, 신재생 발전 설비 자원을 관리
	부하자원	■ 부하 자원 관리
	연계선 관리	■ 전력 연계선에 대한 관리
	분석결과	■ 분석 결과를 그래프로 표시
통계분석	정형 보고서	■ 3차년도에서 개발할 예정임
	사용자지정 보고서	■ 3차년도에서 개발할 예정임
자산관리	계측기관리	■ 계측기에 대한 관리 기능으로 DB에서 직접 관리
	계측데이터입력	■ ETL도구를 이용하여 Excel 데이터의 직접 DB 입력 기능 구현
	예측데이터입력	■ ETL도구를 이용하여 Excel 데이터의 직접 DB 입력 기능 구현

7. 에너지 시스템 모델링 및 운전 최적화 Prototype 모듈 개발

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">

<CEMS 통합관제 플랫폼 예시>


<최적해 도출 예시></td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">- 도시에너지 관리시스템 개발을 위한 에너지 공급 시스템 모델링 및 최적화 프로그램 컨셉 적용을 통한에너지 관리 시스템 개발</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">- 설비의 모델링을 통한 에너지 최적운영 스케줄링이 가능한 에너지 관리시스템 모듈 개발이 필요
- 핵심 알고리즘의 기본대상 및 자원을 정리하여, 최적화 스케줄링 운전을 통해 기존의 문제점을 해결하기 위함</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">- 도시에너지 관리시스템의 운전 알고리즘 활용 및 개선을 위함</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 도시단위 에너지 관리시스템 없음
(개발기술 수준)
- 도시단위 에너지 스케줄링 운전이 가능하도록 조사
(개발기술 수준 설정근거)
- 국외 사례분석</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">한태경(기초전력연구원)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">2차년도 '12.08 ~ '13.06 (11개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>2차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>논문 1건</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>2차년도</td><td colspan="5">- 통합관제 어플리케이션 매뉴얼 개발 : 1건
- 통합관제 플랫폼 매뉴얼 개발 : 1건</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td>2차년도</td><td colspan="5">- 해당 보고서 확인
- 논문집 확인</td></tr>
</table>

7.1 에너지원별 자원모델링

□ 도시 내 에너지 자원은 전기/열/가스/수도/복합에너지로 분류가 가능하며 이는 다시 아래와 같이 분류하여 모델링하였음

- 제어가능 자원
- 제어불가능 자원
- 저장설비
- 수요자원

□ 전기에너지 모델링

<표 3-26 전기에너지 모델링 개요>

제어가능

해당자원	가스나 디젤을 사용하는 일정규모의 발전기
특징	기계적 특성을 통해 on/off와 출력을 결정
입력	연료가격, 연료효율, 최소운전/정지시간, 최대/최소출력, ramp rate
출력	전기, 열, 탄소

제어불가능

해당자원	신재생발전기(풍력, 태양광)
특징	외부에서 주어지는 예측패턴으로 모델링
입력	예측패턴
출력	전기, 탄소

저장설비

해당자원	배터리
특징	저장용량과 충전/방전용량/효율을 고려하여 모델링 ① 초기 잔량을 고려할 수 있어야 함 ② 최종 잔량의 유무 및 고려 여부는 자원별로 옵션으로 처리할 수 있어야 함. 입력데이터에 최종잔량의 항목이 있으며, 옵션으로 이 조건이 고려될 경우 최종시간의 배터리의 잔량은 최종 잔량과 일치하게 됨 ③ 연계된 풍력발전기의 출력을 고려하여 충전하는 경우와 계통에서 전력을 구입하여 충전하는 경우를 옵션으로 선택할 수 있어야 함
입력	용량, 충전/방전속도, 효율
출력	전기

수요자원

해당자원	부하이전, 부하삭감
특징	외부에서 주어지는 시간대별 가용용량으로 모델링함
입력	시간별 부하이전/삭감 가능용량, 가격
출력	전기, 탄소

□ 열에너지 모델링

<표 3-27 열에너지 모델링 개요>

제어가능

해당자원	보일러(가스, 디젤), 히트펌프(전기, 가스)
특징	기계적 특성을 통해 on/off와 출력을 결정
입력	연료가격, 연료효율, 최소운전/정지시간, 최대/최소출력, ramp rate
출력	열, 탄소

제어불가능

해당자원	배열, 폐열
특징	외부에서 주어지는 배열/폐열 발생패턴으로 모델링
입력	배열/폐열 발생패턴
출력	열

저장설비

해당자원	축열설비
특징	저장용량과 축열/방열용량/효율을 고려하여 모델링
입력	열
출력	열

수요자원

해당자원	부하이전, 부하삭감
특징	외부에서 주어지는 시간대별 가용용량으로 모델링함
입력	시간별 부하이전/삭감 가능용량, 가격
출력	열

□ 가스에너지 모델링

<표 3-28 가스에너지 모델링 개요>

제어불가능

해당자원	바이오연료, 폐가스
특징	외부에서 주어지는 배열/폐열 발생패턴으로 모델링
입력	배열/폐열 발생패턴
출력	가스

저장설비

해당자원	가스탱크
특징	저장용량, 최소저장량, 축기/방기용량/효율을 고려하여 모델링
입력	가스, 전기
출력	가스

수요자원

해당자원	부하이전, 부하삭감
특징	외부에서 주어지는 시간대별 가용용량으로 모델링함
입력	시간별 부하이전/삭감 가능용량, 가격
출력	가스

□ 물에너지 모델링

<표 3-29 물에너지 모델링 개요>

저장설비

해당자원	저수조, 취수펌프
특징	저장용량, 최소수위, 충수/방수용량/효율을 고려하여 모델링
입력	물
출력	물

수요자원

해당자원	부하이전, 부하삭감
특징	외부에서 주어지는 시간대별 가용용량으로 모델링함
입력	시간별 부하이전/삭감 가능용량, 가격
출력	물

□ 복합에너지 모델링

<표 3-30 복합에너지 모델링 개요>

제어가능

해당자원	열병합발전(CHP), 연료전지
특징	열 출력은 전기 출력에 비례하도록 설계 주어진 계수에 따라 전기출력의 일정 비율에 해당하는 열이 생산 전기출력 x heat ratio = 열출력
입력	연료
출력	전기, 열, 탄소

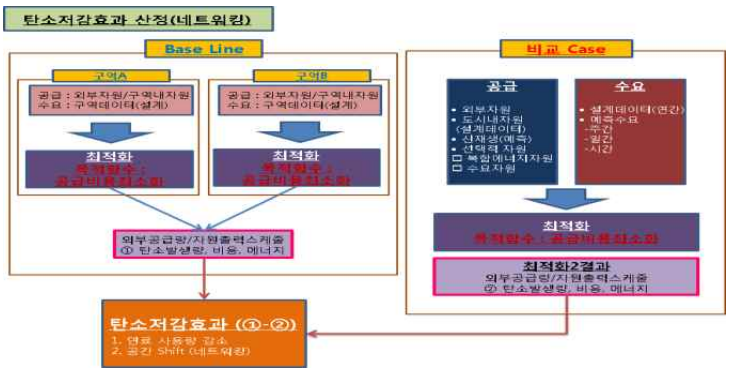
□ 연계시스템 모델링

- 전기/열/가스/물 연계는 네트워킹을 통해 외부로부터 에너지를 도시에 공급함
- 연계선의 용량을 고려하여 자원의 거래가 가능해야 함
- 연계선은 유입/유출의 최대/최소값이 정의되어야 하며 제약으로 반영됨
- 연계선의 용량은 시간별로 정의됨

□ 도시에너지 최적화 알고리즘 컨셉 설계

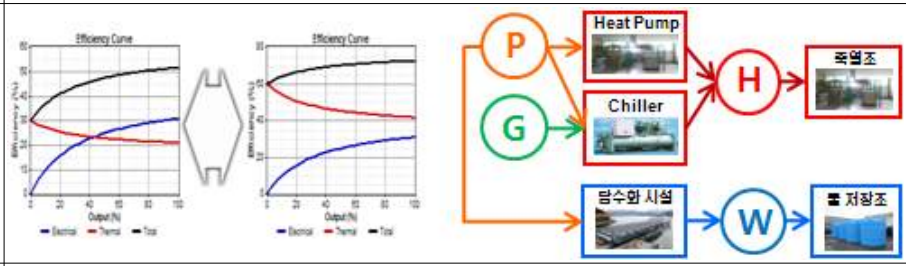
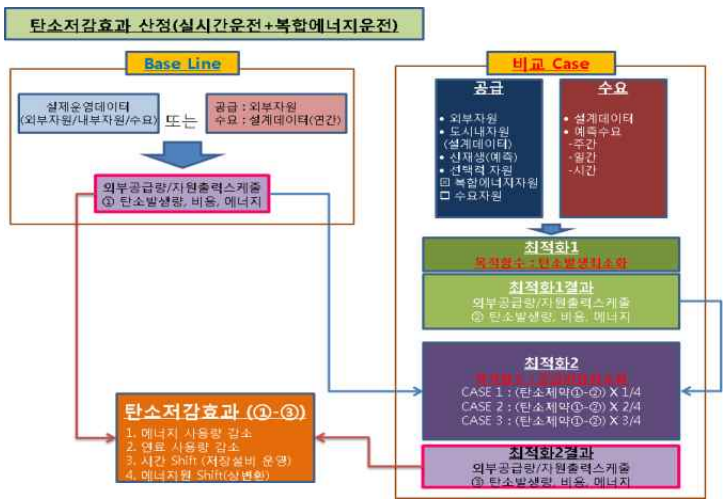
<표 3-31 도시에너지 최적화 알고리즘_네트워킹>

네트워킹

정의	도시 내 에너지 설비가 도시 내 일부 구역의 에너지 수요만을 고려하여 개별로 운전하는 경우 설비의 이용효율이 낮아지게 됨. 네트워킹에서는 이러한 현상을 개선하기 위해 구역 간 에너지 교환을 통한 수요평준화로 설비를 정격 부하와 비슷한 조건으로 운전되게 함으로써 설비 이용 효율을 높여 에너지 공급효율을 높이는 것임
예시	
탄소저감 효과	- 탄소저감 효과는 연료사용량 감소와 네트워킹으로 인한 에너지의 공간 shift에서 발생함 - 탄소저감 효과 산정과정은 다음과 같음 ① 구역별로 공급비용최소화로 최적운전 스케줄을 계산 ② 구역별 탄소발생량을 집계하여 도시전체 탄소발생량 계산(1) ③ 도시전체로 공급비용최소화로 최적운전 스케줄을 계산 ④ 도시전체의 탄소발생량 계산(2) ⑤ (1)과 (2)의 차이로 효과 산정  <네트워킹의 탄소저감 효과 산정>

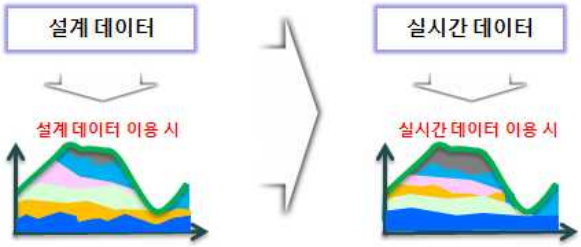
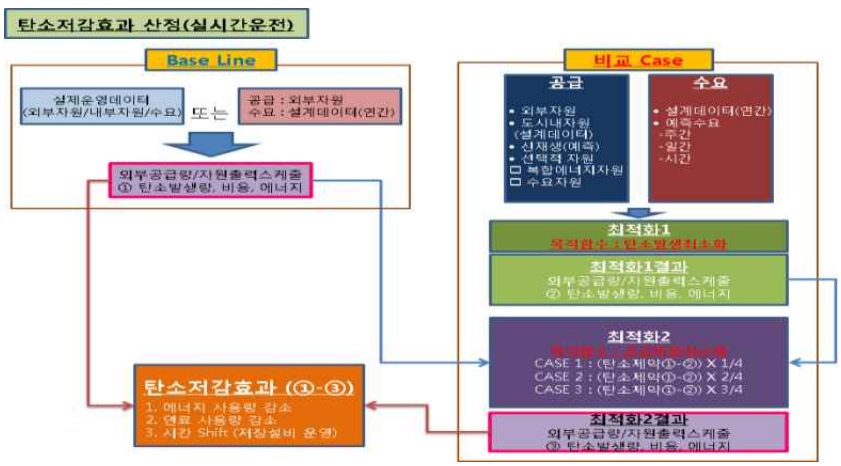
<표 3-32 도시에너지 최적화 알고리즘_복합에너지운전>

복합에너지운전

정의	개별운전의 경우 도시 내 공급 에너지원별로 최적화를 수행함. 그러나 CHP와 같은 설비의 특성상 하나 이상의 에너지를 공급할 수도 있고(전기, 열), 히트펌프와 같이 하나의 에너지원(전기 또는 가스)이 다른 에너지원의 입력(열)이 될 수도 있으므로(히트펌프) 이러한 에너지원간의 상관관계를 이용하여 전체 도시에너지 공급을 최적화하는 것임
예시	
탄소저감 효과	- 탄소저감 효과는 에너지사용량 감소와 연료사용량 감소, 그리고 저장설비를 이용한 시간 shift 효과와 에너지 간 변환에 따른 상변환(에너지원 shift)에서 발생함 - 탄소저감 효과 산정과정은 다음과 같음 ① 실제운영데이터를 이용하거나 외부자원만을 고려하여 공급비용최소화로 최적운전 스케줄을 계산 ② 도시전체의 탄소발생량 계산(1) ③ 도시 내 복합에너지 자원(제어가능, 저장설비)을 고려하여 탄소발생최소화로 최적운전 스케줄을 계산 ④ 도시전체의 탄소발생량 계산(2) ⑤ (1)과 (2)의 1/4, 2/4, 3/4가 되는 제약식을 각각 고려하여 도시 내 복합에너지자원을 고려한 공급비용최소화 운전 스케줄을 계산(3) ⑥ (1)과 (3)의 차이로 효과 산정  <복합에너지운전의 탄소저감 효과 산정>

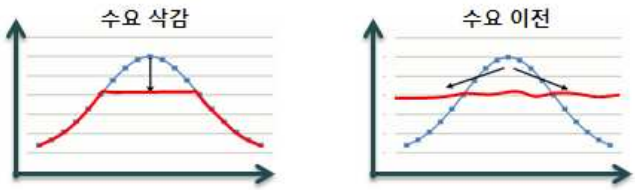
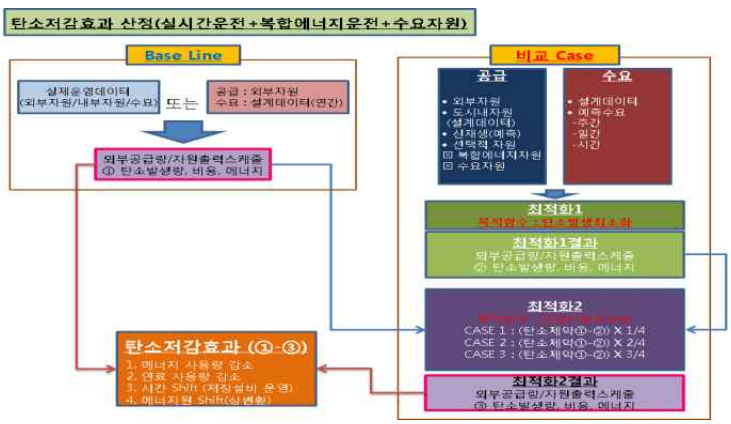
<표 3-33 도시에너지 최적화 알고리즘_실시간운전>

실시간운전

정의	도시 내 공급자원 중 신재생자원(풍력, 태양광)과 도시의 에너지 수요는 주위 환경에 따른 변화가 심하기 때문에 실제 에너지 공급/소비량을 미리 정확히 알기가 어려움. 따라서 이를 고려하여 자원을 가용한 상태로 일정량 이상 준비해야 함. 이를 개선하기 위하여 에너지 소비 패턴이 일정한 주간을 최장 사용 패턴으로 정한 후, 저장설비의 운영스케줄을 계산. 이를 통해 얻어진 스케줄 데이터 및 최근 기상 데이터를 바탕으로 일간/시간의 신재생자원의 출력과 수요를 예측하여 도시에너지 공급을 최적화하는 것임
예시	
탄소저감 효과	- 탄소저감 효과는 에너지 사용량 감소와 연료사용량 감소, 그리고 저장설비를 이용한 시간 shift 효과에서 발생함 - 탄소저감 효과 산정과정은 다음과 같음 ① 실제 운영데이터를 이용하거나 외부자원만을 고려하여 공급비용최소화로 연간 최적운전 스케줄을 계산 ② 도시전체의 탄소발생량 계산(1) ③ 저장설비와 주간/일간/시간 예측으로 탄소발생최소화로 최적운전 스케줄을 계산 ④ 도시전체의 탄소발생량 계산(2) ⑤ (1)과 (2)의 1/4, 2/4, 3/4가 되는 제약식을 각각 고려하여 도시 내 저장설비와 주간/일간/시간 예측을 고려한 공급비용최소화 운전 스케줄을 계산(3) ⑥ (1)과 (3)의 차이로 효과 산정  <실시간운전의 탄소저감 효과 산정>

<표 3-34 도시에너지 최적화 알고리즘_수요관리>

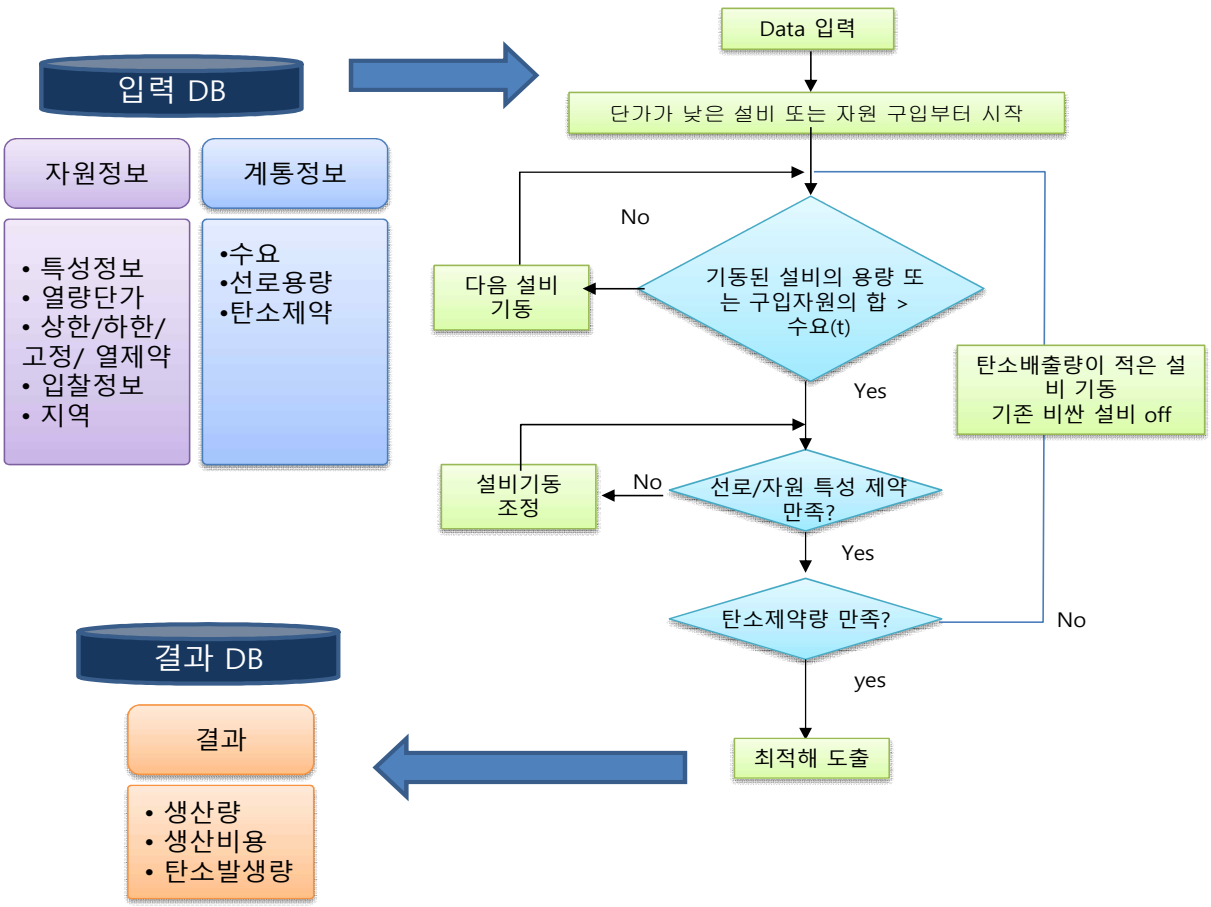
수요관리

정의	- 일반적인 도시의 에너지 수요의 패턴은 일정한 주기로 높낮이가 반복됨. 따라서 peak 부하를 공급하기 위한 설비가 필요하며, 이러한 설비는 peak 부하 수요시간대에만 가동됨. 이러한 설비는 일반적으로 가동시간이 짧고 효율이 낮음. 이를 개선하기 위하여 요금제와 인센티브를 통하여 에너지수요를 이전 또는 삭감시켜 에너지 수요를 완만하게 하여 해당설비의 운영시간을 늘이고 효율을 높여 전체 도시에너지 공급을 최적화하는 것임
예시	
탄소저감 효과	- 탄소저감 효과는 에너지 사용량 감소와 연료사용량 감소, 그리고 저장설비를 이용한 시간 shift 효과와 에너지 간 변환에 따른 상변환(에너지원 shift)에서 발생함 - 탄소저감 효과 산정과정은 다음과 같음 ① 실제운영데이터를 이용하거나 외부자원만을 고려하여 공급비용최소화로 최적운전 스케줄을 계산 ② 도시전체의 탄소발생량 계산(1) ③ 도시 내 복합에너지 자원과 수요자원을 고려하여 탄소발생최소화로 최적운전 스케줄을 계산 ④ 도시전체의 탄소발생량 계산(2) ⑤ (1)과 (2)의 1/4, 2/4, 3/4가 되는 제약식을 각각 고려하여 도시 내 복합에너지자원과 수요자원을 고려한 공급비용최소화 운전 스케줄을 계산(3) ⑥ (1)과 (3)의 차이로 효과 산정  <수요관리의 탄소저감 효과 산정>

7.2 통합에너지관제 시스템용 최적화 Prototype 모듈 제작

□ 최적화 알고리즘

- 에너지 공급 시 탄소발생량을 줄이게 되면 에너지 공급비용이 증가하게 되므로, 탄소발생저감과 공급비용 최소화 사이에 균형점을 찾아야 함. 이를 위하여 주어진 상황에서 탄소발생의 최소량을 구한 후 이보다 낮은 탄소발생량을 제약으로 주고 비용의 변화를 관찰함
- 이를 위하여 다음과 같은 순서로 최적해를 구함
  ① 단가가 낮은 설비 또는 자원부터 투입
  ② 에너지 수급제약 고려
  ③ 에너지 수급제약에 문제가 없으면 선로/자원특성 제약고려
  ④ 선로/자원특성 제약에도 문제가 없으면 탄소발생량 제약 고려
  ⑤ 최적 설비운영 스케줄 도출



<그림 3-77 최적해 도출 순서도>

- 최적해를 구하기 위해서 변수제약을 완화한 선형계획법(Relaxed LP)을 사용함
- 변수제약을 완화한 선형계획법은 다음과 같이 진행됨

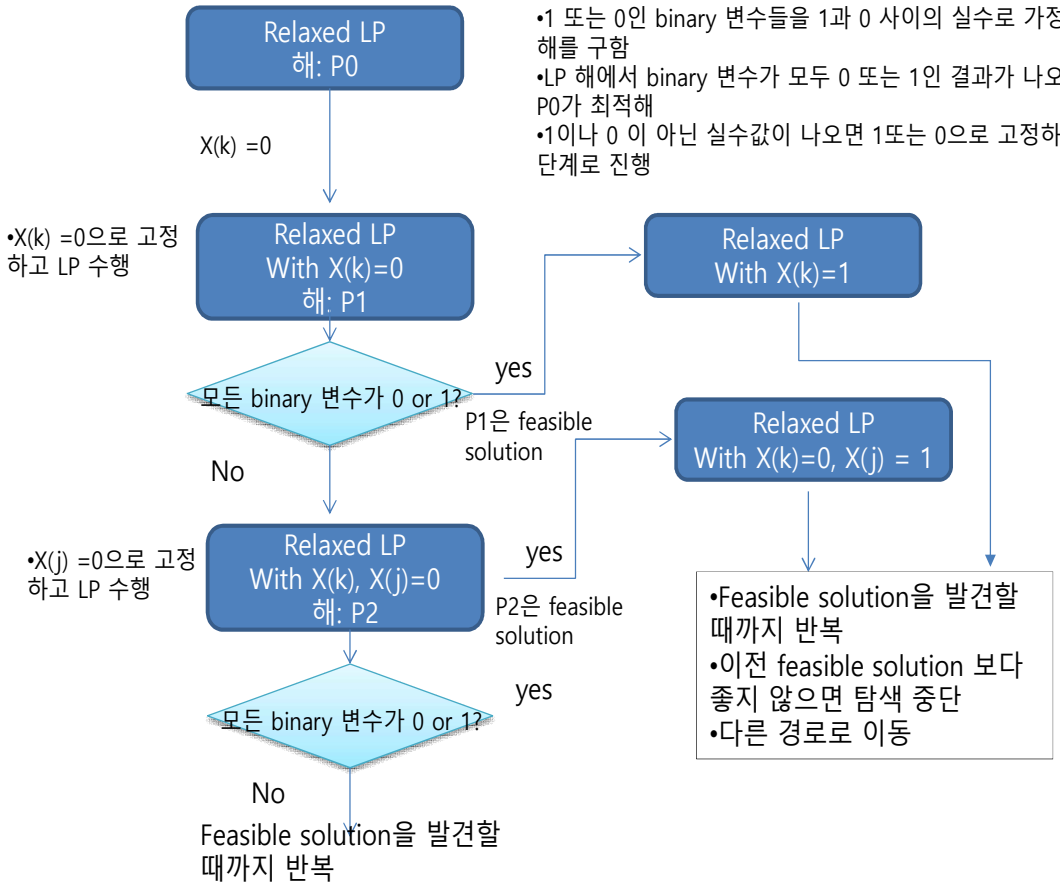
① on/off를 결정하는 변수들을 0과 1사이의 연속변수로 가정하고 LP 최적화 수행

② on/off를 결정하는 변수들 중 0이나 1로 결과가 나오는 변수는 고정

③ on/off를 결정하는 변수들 중 0이나 1이 아닌 실수로 나오면 그 중 하나를 0이나 1로 고정하고 다시 LP 최적화 수행

④ ③에서 0 또는 1로 고정한 변수 외에 실수로 나오는 변수가 있으면 ②~③을 수행

⑤ 모든 on/off를 결정하는 변수가 0이나 1이 될 때까지 ④를 반복



<그림 3-78 변수제약을 완화한 선형계획법(Relaxed LP)>

□ UI/DB 기본 구성

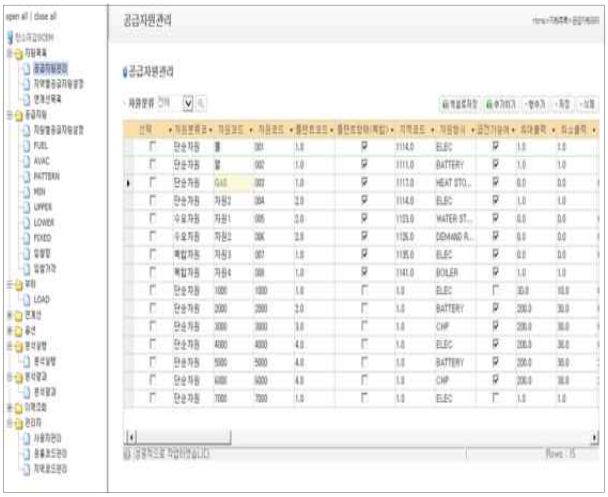
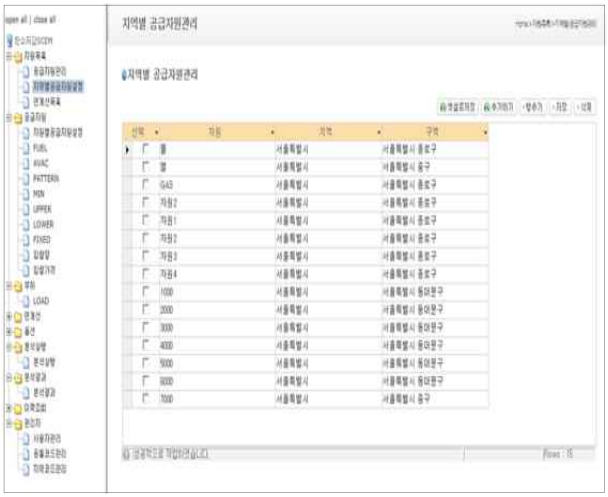
- 위의 알고리즘을 구현한 프로그램 모듈은 다음과 같은 UI와 DB구조를 가지고 있음

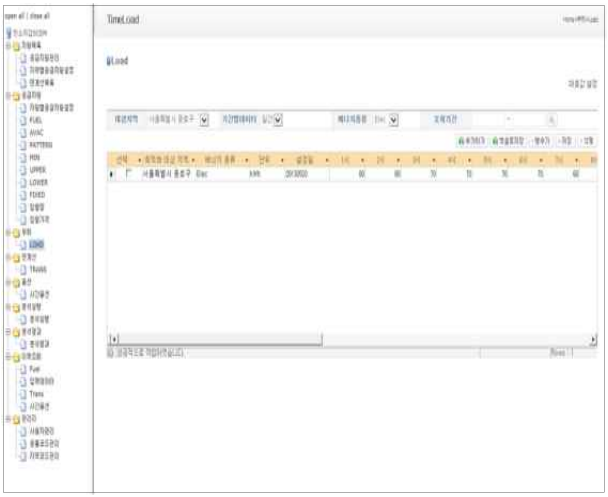
<표 3-35 프로그램 모듈의 UI 및 DB 구조>

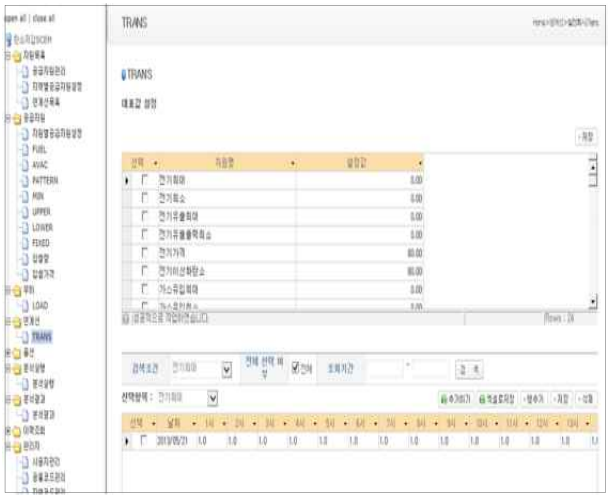
① 자원목록	② 공급자원	③ 에너지수요
④ 연계선 정보	⑤ 분석옵션	⑥ 분석실행
⑦ 분석결과	⑧ 이력조회	⑨ 관리자

- UI는 트리구조를 갖고 있으며 좌측의 트리에 중요한 정보들이 구분되어 입력할 수 있도록 되어 있음

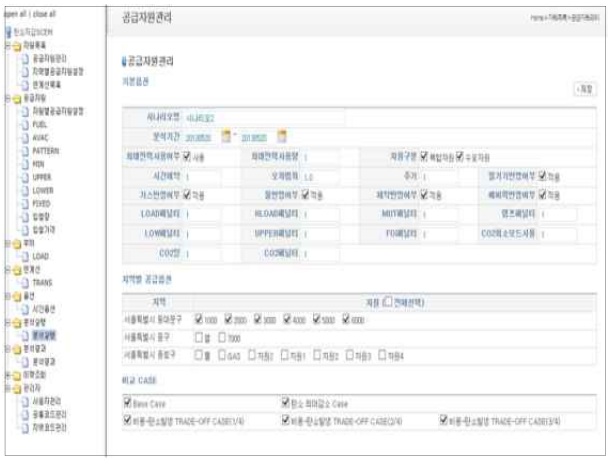
<표 3-36 UI 트리구조 및 관련 구성>

<table>
<tr>
<td>① 자원목록
- 자원목록에는 도시 내의 각종 자원들의 기본특성을 확인하고 수정할 수 있도록 구성되어 있음

<자원목록 화면></td>
<td>② 공급자원
- 공급자원에서는 각종 자원들의 특성, 연료 가격, 각종 제약 정보 등을 입력할 수 있도록 구성되어 있음.

<공급자원 화면></td>
</tr>
<tr>
<td>③ 에너지수요
- 에너지 수요에는 전기, 물, 가스, 열 수요가 시간별로 표시됨</td>
<td>④ 연계선 정보
- 연계선의 용량이 시간별로 표시됨</td>
</tr>
</table>

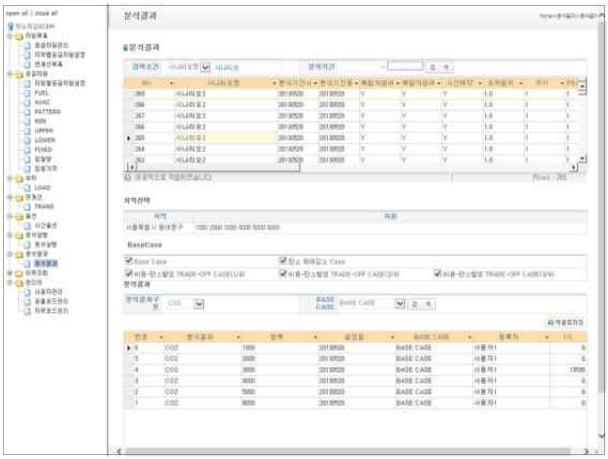
<table>
<tr>
<td>

<에너지 수요 화면></td>
<td>

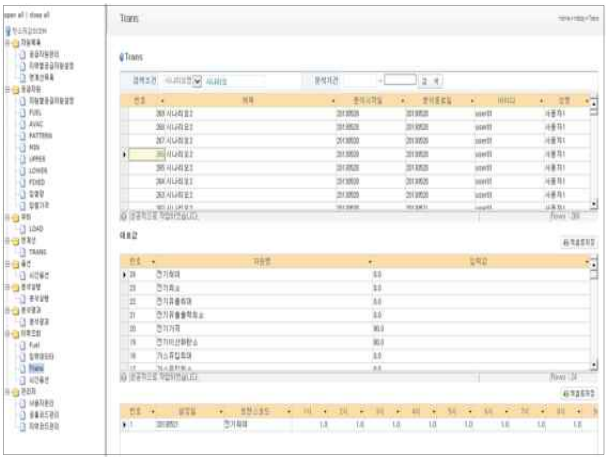
<연계선 화면></td>
</tr>
<tr>
<td>⑤ 분석옵션
- 분석옵션에서는 최적화에 반영해야 할 각종 옵션을 설정할 수 있음


<분석옵션 화면></td>
<td>⑥ 분석실행
- 분석실행에서는 주요 정보를 사용자가 입력하여 최적화를 수행할 수 있도록 처리함


<분석실행 화면></td>
</tr>
<tr>
<td>⑦ 분석결과
- 분석결과에서는 모의한 결과를 확인할 수 있도록 구성됨</td>
<td>⑧ 이력조회
- 이력조회에서는 데이터들의 이력을 검색할 수 있도록 되어 있음</td>
</tr>
</table>



〈분석결과 화면〉



〈이력조회 화면〉

⑨ 관리자

- 관리자 화면에서는 주요 정보(코드 등)을 관리할 수 있도록 구성됨.



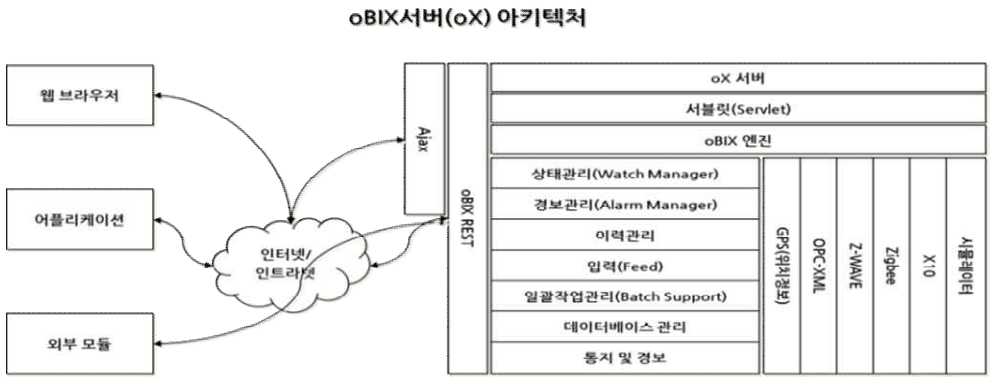
〈관리자 화면〉

7.3 도시에너지 통합관제를 위한 플랫폼 설계

7.3.1 oBIX기반 미들웨어 설계 개선

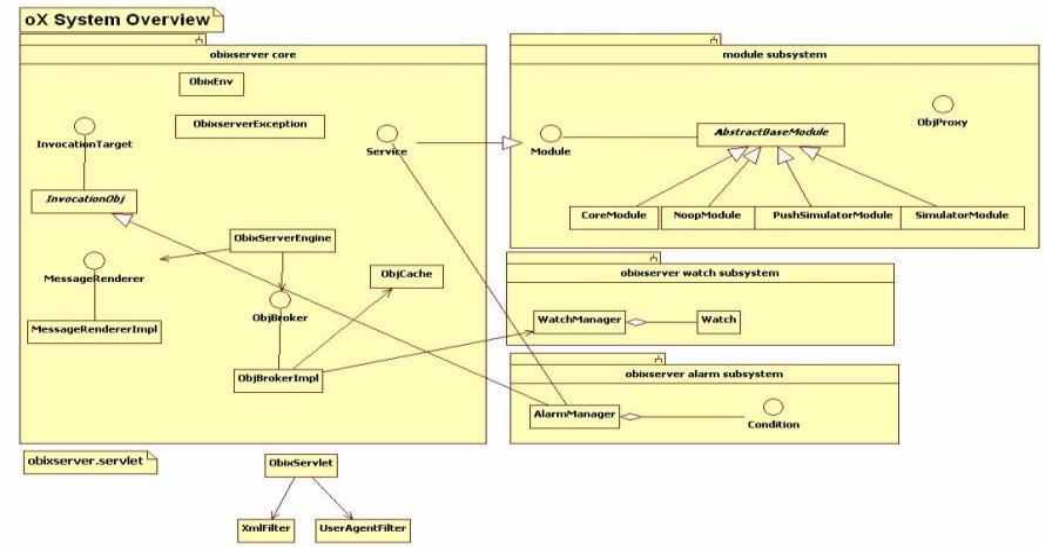
□ 계측 정보 통합을 위한 인터페이스 표준화

- 범용 oBIX서버와의 연계를 위한 oBIX드라이버 개발
- 에너지 사용량 정보 및 설비 정보의 용이한 추출이 가능
- oBIX 표준화 그룹인 OASIS oBIX 표준 준수하는 oX 서버를 기반으로 연구 (http://obix-server.sourceforge.net/)



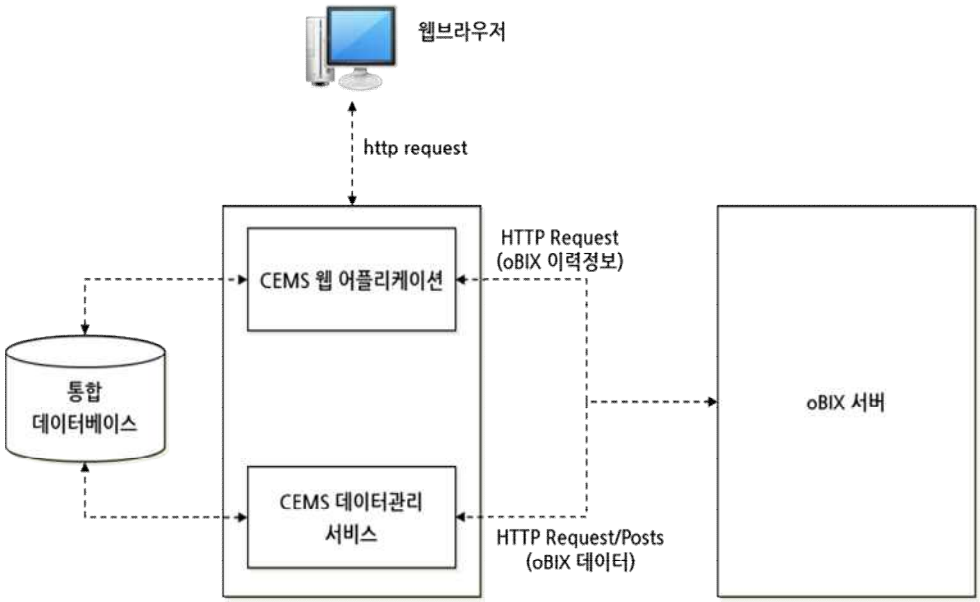
<그림 3-79 oBIX서버 아키텍처>

- oX 시스템의 클래스 계층 구조는 다음과 같음 (자료원: oX 프로젝트)



<그림 3-80 oX 시스템의 클래스 계층 구조>

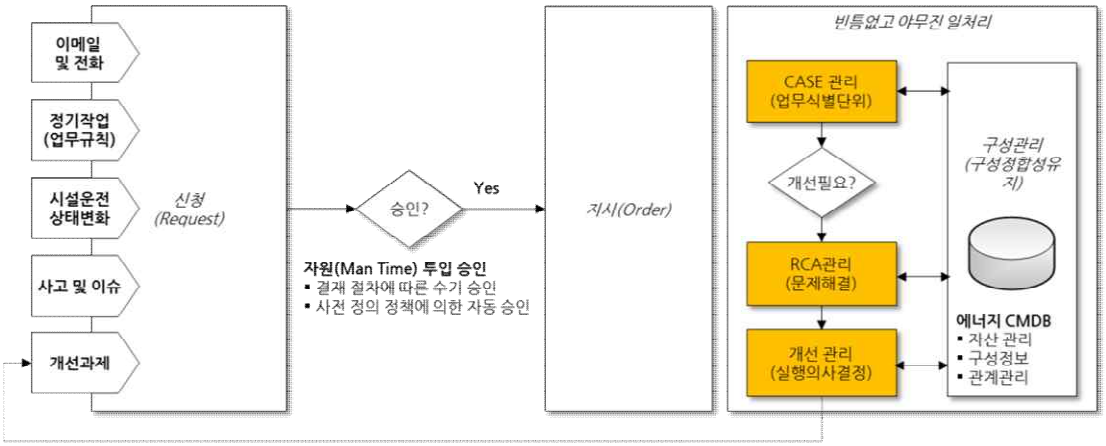
- oBIX 서버와 CEMS 간의 관계
  o HTTP Request를 활용하여 oBIX서버와 통신
  o PUSH, PULL 모듈을 활용하여 정보를 교환함



<그림 3-81 oBIX 서버와 CEMS 간의 관계>

7.3.2 지속적인 온실가스 저감을 위한 프로세스 개선 체계 연구

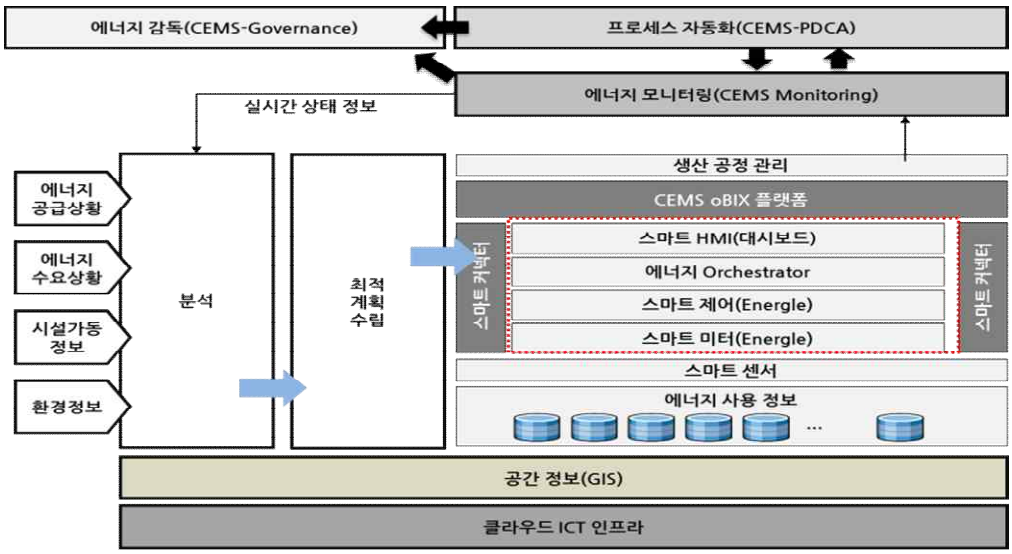
□ PDCA(Plan-Do-Check-Act) 기반의 프로세스 자동화 방안 연구
- CEMS PDCA는 에너지 관련 일처리를 프로세스적으로 처리할 수 있는 프로세스 자동화 체계로서, 국내 표준(KSA 4000)을 준수하도록 설계
- 세부 구성으로는 1) Case(이벤트, 사고, 이슈, 업무 요청) 관리, 2) RCA(근본원인파악) 관리, 3) 개선 관리(자원 투입에 대한 의사 결정), 4) 에너지 CMDB(에너지 사용 자산의 구성 정보 DB) 및 에너지 맵으로 구성됨



<그림 3-82 CEMS PDCA>

□ 프로세스 자동화를 고려한 CEMS 구조 설계

- 도시 에너지 운영에서 사용되는 CEMS은 1) 데이터 마이닝 및 텍스트 마이닝을 활용한 에너지 분석(Energy Analytics) 모듈, 2) 최적화 도구(Solver)를 활용한 최적 생산 계획 산출 로직(Energy Optimizer), 3) 실시간 에너지 사용량 및 상황 정보를 제공하는 에너지 모니터링 모듈, 4) PDCA 사이클을 시스템화한 프로세스 자동화 모듈, 5) 에너지 경영 활동의 성과 관리 및 비용 관리 기능을 제공하는 에너지 감독(Energy Governance) 모듈로 구성되도록 함

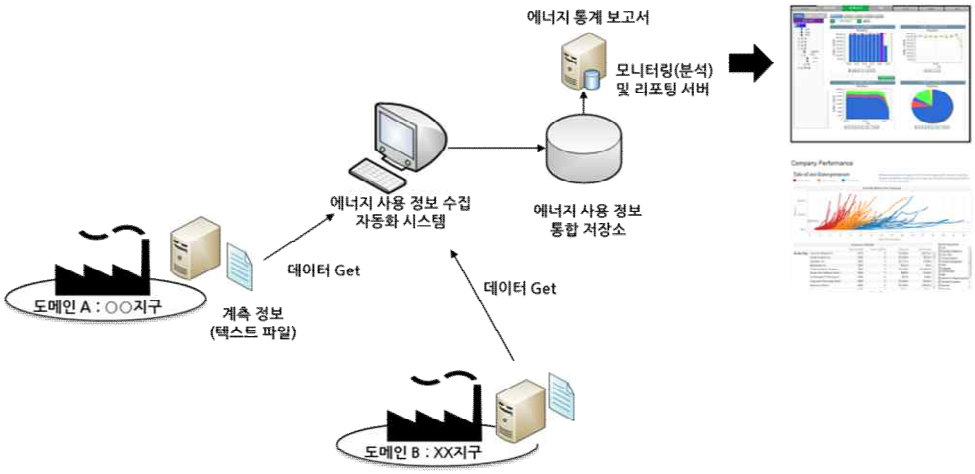


<그림 3-83 CEMS 구조 설계>

□ CEMS 분석 모듈(CEMS Analytics)

- 에너지 데이터의 다차원 분석 솔루션인 CEMS Analytics는 에너지 BI 솔루션으로

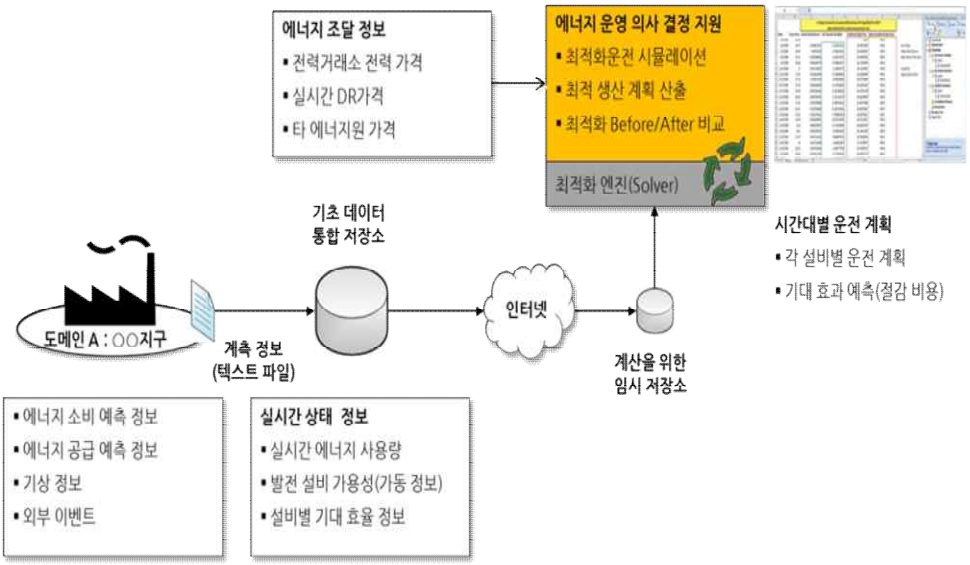
에너지 사용 관련 이력 정보와 실시간 정보를 1)에너지 관리자 관점, 2) 목표 관리제 준수 관점, 3) 도시 설비 운영 관리자 관점, 4) 원가 관리자 관점에서 분석할 수 있는 기능을 제공하도록 구성함



<그림 3-84 CEMS 분석 모듈>

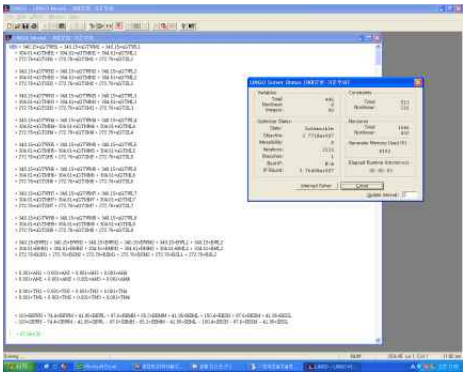
□ CEMS 최적화 모듈(에너지 운영 의사 결정 지원)

- CEMS Optimizer는 에너지 비용 및 온실가스 배출량을 최소화할 수 있도록 도시 내 에너지 설비 운전 계획을 자동 산출하는 시스템으로 온실가스 최소화, 운영 비용 최소화 등의 목표에 최적화된 에너지 운영 계획을 시뮬레이션하고, 이를 통해 각 단위의 에너지 관리자가 에너지 운영 계획을 과학적으로 산출할 수 있도록 지원함



<그림 3-85 CEMS 최적화 모듈>

8. 도시에너지 공급시스템 최적화 프로그램

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">
[도시에너지 공급시스템 최적화 프로그램]</td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">- 도시에너지 수급체계 수치실험 수행 및 분석을 통한 프로그램 주요 알고리즘 개발
- 혼합정수선형계획법(MILP)를 이용한 최적화 프로그램 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">- 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템을 효과적으로 개발하기 위해서는 최적화 설계 프로그램 개발 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">- 도시에너지 공급시스템의 최적화 설계기법 적용을 통한 도시단위에서의 에너지 절약 10% 및 탄소배출량 10% 이상 달성</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 단순 경제성 계산
(개발기술 수준)
- 최적화 방법론을 이용한 최적 경제성 계산
(개발기술 수준 설정근거)
- 혼합정수선형계획법(MILP) 이용</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">김용기(한국건설기술연구원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">2차년도 '12.10 ~ '13.06 (9개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적 성과</td><td>1차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>등록 1건</td><td>학술발표 1건</td></tr>
<tr><td>질적 성과</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 프로그램의 신뢰성</td></tr>
<tr><td>달성 확인 방법</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 해당 보고서 확인</td></tr>
</table>

8.1 도시 에너지 및 물질 수지 분석을 위한 해석 프로그램 개발

□ 최적화 선행연구

- 에너지 시스템 계획 및 운영에 대한 최적화 모델링 관련 선행연구를 살펴보면, Yong Zeng 외(2011)는 온실가스 배출 감소를 위한 최적화 모델링 방법, 불확실성 하에서의 에너지 시스템 계획의 최적화 모델링 방법 및 이들에 대한 모델기반 분석·결정 지원 툴에 대하여 검토하였으며, 이 논문에서는 결정론적인(Deterministic) 최적화 모델링[11], 부정확한(Inexact) 최적화 모델링[12], 모델기반 결정지원 툴(Model-based decision support tool)에 대하여 검토한 바 있음
- 선형계획법을 이용한 에너지 공급시스템 최적화에 대한 기존의 연구를 살펴보면, 오시덕 외(2007)는 열병합발전시스템의 경제성 평가방법으로 선형계획법을 사용하였고, Eugenia D. Mehleri 외(2012)는 단지규모에서 분산형 에너지 공급시스템의 최적설계를 위하여 혼합정수 선형계획법(MILP; Mixed integer linear programming)을 사용하였음. 또한, Ryohei Yokoyama 외(2002)는 복잡한 구조를 가지는 에너지공급시스템에 대하여 혼합정수 선형계획법 중 분해접근(Decomposition approach) 방법이 효과적인 해석방법임을 고찰하였음. Ryohei Yokoyama 외(2012)는 에너지 공급시스템의 설계와 운영 사이의 계통적 관계의 최적화를 위하여 MILP를 사용하였음. 한편, 최근 들어 비선형적 요인(부하율, 인버터 제어특성 등) 때문에 선형계획법 보다는 유전자 알고리즘을 이용한 해석방법이 등장(Genku Kayo, 2010, Farshid Mostofi, 2012)하고 있음

□ 에너지공급시스템 최적화 해석방법의 종류

- 비용의 최소화, 이익의 최대화 등 어떤 목적을 달성하기 위하여 인적 또는 물적 자원의 가장 효과적인 이용을 위한 방법으로 수리계획법(Mathematical programming)이 이용되며, 수리계획법은 결과를 나타내는 목적함수와 그 결과를 얻기 위하여 공급되는 자원의 제약이나 한계를 나타내는 제약조건들이 수식화된 최적치 문제의 해를 구체적으로 구하는 방법임. 아래 그림은 도시기반 에너지 공급시스템의 설계 및 운영계획 수립절차 개념도를 도시하고 있음
- 에너지 공급시스템을 설계할 시에는 도입 가능한 에너지원을 모두 입력하고, 투입 가능한 에너지 변환장치를 모두 고려한 후에 에너지 부하에 적합하도록 최적화를

11) 결정론적인 최적화 모델링 방법으로는 선형계획 모델(Linear programming model), 동적 선형계획 모델, 혼합정수 선형계획 모델(Mixed integer linear programming model), 유전자 알고리즘(Genetic algorithm : GA) 기반 해석모델, 다중목적(Multi-objective) 최적화 모델, 비선형 계획 모델(Nonlinear programming model) 등이 있다.

12) 부정확한 최적화 모델링 방법으로는 퍼지 계산적 프로그래밍(Fuzzy mathematical programming), 확률적 계산적 프로그래밍(Stochastic mathematical programming), 간격 계산적 프로그래밍(Interval mathematical programming) 등이 있다.

통하여 에너지 변환장치를 선택하게 됨. 운영단계에서는 설계단계에서 선택된 에너지 변환장치 중 최소의 비용으로 에너지 부하를 만족하도록 기기별, 시간대별 운전계획을 수립하게 됨

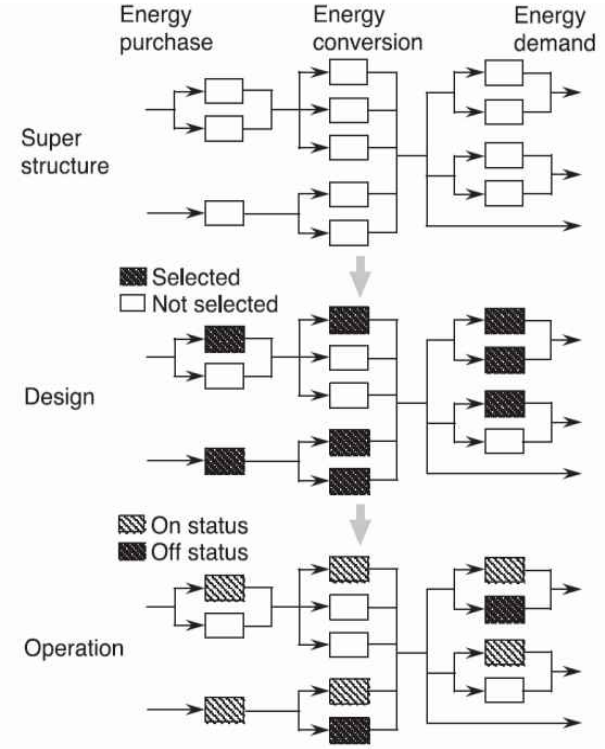
- 이러한 에너지 공급시스템의 설계 및 운영계획 수립절차를 공학적으로 해석하는 방법은 열역학적 효율에 근거한 모델(열역학 제1, 2 법칙 이용), 계산적인 방법에 의한 모델(선형·비선형 프로그래밍, 다중목적함수, 다중기간문제, 귀납적 프로그래밍) 및 혼합적인 모델(핀치기술 등)이 있음. 가장 많이 사용하고 있는 방법으로는 계산적인 방법의 일종인 선형계획법임. 일반적으로 에너지 시스템의 정밀한 분석을 위해서는 유전자 알고리즘 방법을 사용하고 있으며, 대규모 시스템(도시단위, 국가단위 등)에 대한 최적화 방법으로는 선형계획법을 채택하는 경우가 많음

□ 선형계획법을 이용한 해석방법 : 해석모델

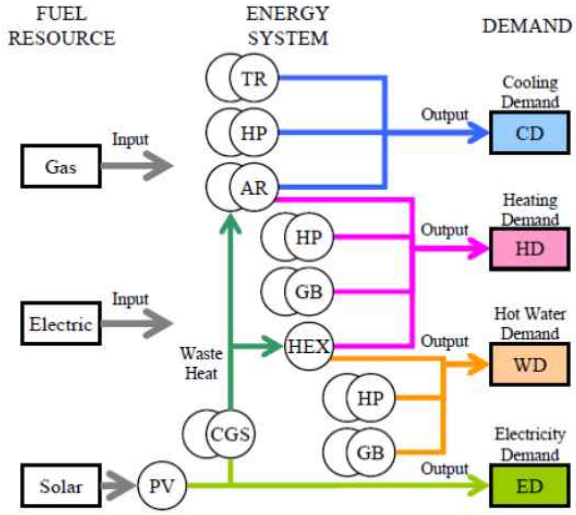
- 도시지역에서 일반적으로 설치되는 기반시설 중 먼저 자원의 처리·회수·이용시설로서 도시 생활하수를 처리하는 하수 및 중수처리시설, 가연성 도시쓰레기를 소각처리하는 쓰레기 소각시설이 검토될 수 있음. 이때 하수 및 중수처리시설에서는 처리공정에 따라 소화가스 및 슬러지가 배출되는데 이를 연료 등으로 재자원화하는 방안이 강구되고 있고, 또 하수에 잠재되어 있는 열원을 이용하고자 하는 시도도 증가하고 있음

- 또한, 쓰레기 소각시설의 경우에는 소각 시 발생되는 열원을 이용하여 증기터빈에 의한 전력생산과 폐열을 열원으로 이용하는 방법과 단순히 열원으로만 이용하는 경우가 있음

- 에너지 공급시설로는 가스터빈과 증기터빈에 의한 열병합발전시설과 보조보일러가 선정될 수 있는데, 발전 후 발생되는 폐열은 회수되어 열원으로 이용되고 있음. 이들 시설의 에너지원으로는 주로 유류나 고체연료 등 주로 화석연료가 사용되는데 도시지역에서는 환경적인 측면을 고려하여 도시가스가 사용되고 있음. 이와 아울러 냉방용 열원을 생산하기 위해 전기구동 냉동기와 비전기식 냉동기 등이 필요하며, 부족한 전력의 공급 및 비상시의 수요를 위해 상용전력계통으로부터 전기에너지를 공급받음과 동시에 상용전력계통으로의 전력판매도 가능함. 다양한 신재생에너지원(태양광, 태양열, 지열, 풍력 등)도 포함시킬 수 있음. 이상에서 기술한 시스템에 적절한 가정에 의해 해석모델을 설정하였으며, 이와 같은 에너지원이 혼합된 도시기반 에너지 공급시스템의 개략도는 아래 그림 참조



<에너지 공급시스템의 설계 및 운영계획 수립절차 개념도(출처: Ryohei Yokoyama 외, 2012)>



- TR : Turbo refrigerator
- HP : Heat pump
- AR : Absorption refrigerator
- GB : Gas boiler
- HEX : Heat Exchanger
- CGS : Cogeneration system
- PV : Photovoltaic power system

<에너지 공급시스템의 구조도(출처: Genku Kayo 외, 2010)>

<그림 3-86 에너지 공급시스템 해석 모델>

□ 지배방정식 및 해석방법

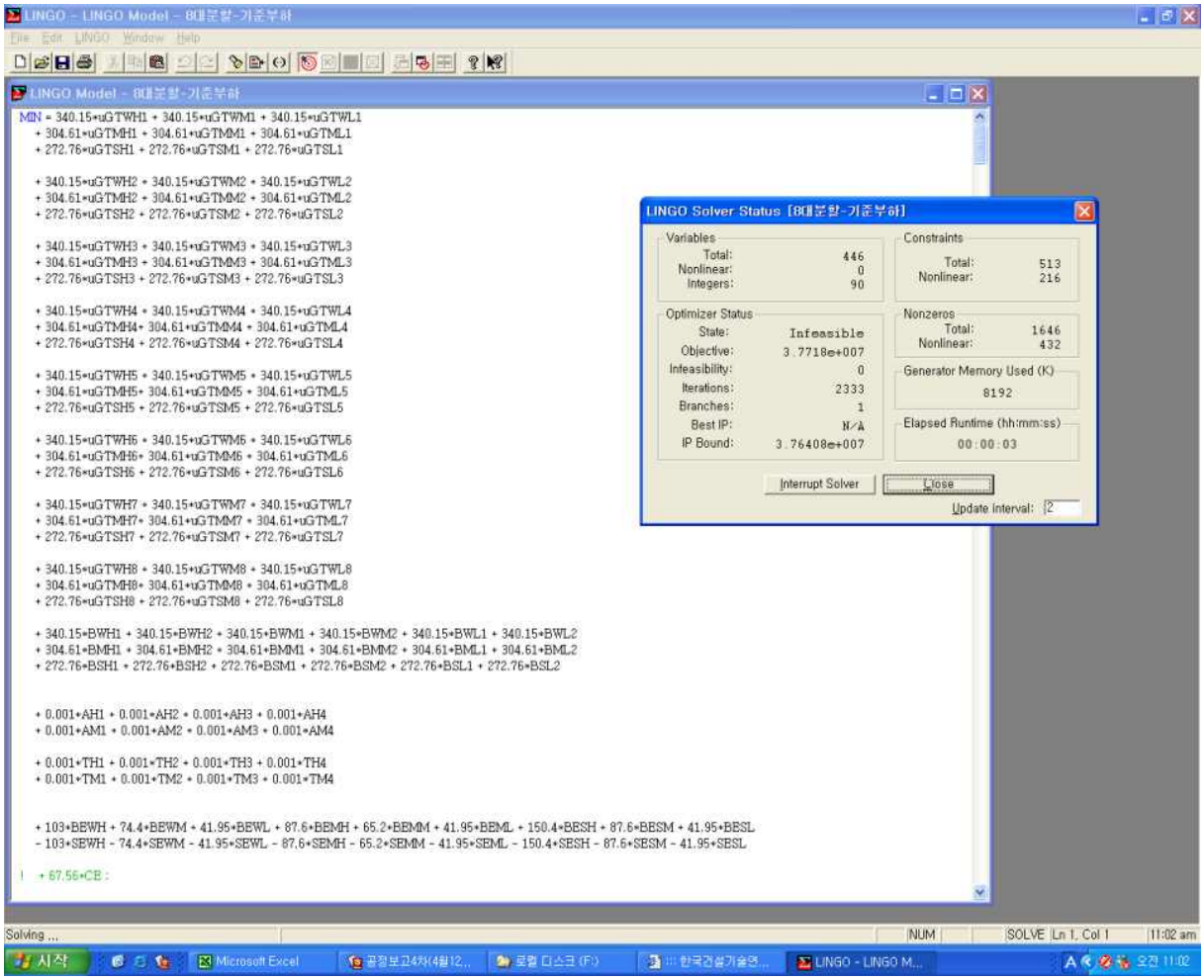
- 목적함수는 연간고정비와 연간운전비의 합으로 나타나며 목적함수 즉 시스템의 전체 경상비를 최소화하기 위하여 수치실험을 수행하였음. 도시지역의 건물 및 단지에 소요되는 각종 에너지의 공급을 위해 가스터빈, 보조보일러, 흡수식냉동기, 터보냉동기, 열펌프 등 i개의 기기들이 사용될 수 있다고 생각함.
- 이때 각 기기의 출력은 선형화 시킬 수 있으며, 연간운전비와 연간고정비의 합인 연간경상비는 다음의 식으로 표현할 수 있음. 여기서 목적함수의 i는 기기의 종류를 의미하며, R은 자본회수계수, X와 Y는 계수, η는 설비용량, γ는 0-1변수, ϕ는 에너지요금 단가, j는 계절별, 일간부하별 분할을 의미하며, u는 에너지소비량, T는 기기의 연간운전시간을 의미함. 제약조건에서 v는 기기의 출력을 의미하며, V는 에너지부하, ζ는 연속변수, p와 q는 계수임. 목적함수의 제약식은 에너지부하를 만족시키는 식과 각 기기의 입력값의 제한값으로 표현할 수 있음. 여기서 δ는 0-1 변수로서 0일 때는 기기의 정지, 1일 때는 운전을 의미

$$
\begin{aligned}
\min \quad & z = \sum_{i=1}^{I}\left\{ R(X_i \gamma_i + Y_i \eta_i) + \Phi_i \sum_{j=1}^{J} T_j u_{ij} \right\} \\
s.t. \quad & \sum_{i=1}^{I} v_{ij} = Vj \quad (j=1,2,\ldots,J) \\
& \eta_i = \zeta_{ij} \quad (i=1,2,\ldots,I;\ j=1,2,\ldots,J) \\
& \left.\begin{array}{l} \underline{\eta}_i \gamma_i \le \eta_i \le \overline{\eta_i} \gamma_i \\ \gamma_i \in \{0,1\} \end{array}\right\} \quad (i=1,2,\ldots,I) \\
& \left.\begin{array}{l} v_{ij} = p_i(\zeta_{ij}) u_{ij} + q_i(\zeta_{ij}) \delta_{ij} \\ \underline{v}_i(\zeta_{ij}) \delta_{ij} \le v_{ij} \le \overline{v_i}(\zeta_{ij}) \delta_{ij} \\ \delta_{ij} \le \zeta_{ij} / \underline{\eta}_i \\ \delta_{ij} \in \{0,1\} \end{array}\right\} \quad (i=1,2,\ldots,I;\ j=1,2,\ldots,J)
\end{aligned}
$$

- 모델 해석을 위해서는 아래 표에 보인 바와 같이 각종 입력자료가 필요하며, 출력물로는 운전비 및 경상비, 연료소비량, 배열발생량, 설비이용률 등을 분석할 수 있음
- 해석 알고리즘은 단체법을 사용하였으며, 초기투자비를 경상비로 나타내기 위하여 연등가비용법을 사용하였음. 고정비를 계산하기 위하여 잔존가 10%, 이자율 5%, 내용년수 15년, 자본회수계수 0.09634를 적용하였음. 각 종기기의 초기투자비(건설비)는 건설금리와 관리비를 포함하여 설비비의 1.25배로 산정하였으며, 설비비는 기기본체의 단가에다 배관비(기기본체×0.3), 계장비((기기본체+배관비)×0.1), 전기공사비((기기본체+배관비)×0.1), 토건비((기기본체+배관비)×0.25)를 더한 값으로 산정하였음. 한편, 선형계획법에 대한 해석 프로그램은 LINDO Systems 사에서 개발한 Lingo를 사용하였음

<표 3-37 선형계획법에 의한 최적화 방법에서의 해석을 위한 입출력 자료 내용>

구 분	내 용
입력 자료	○ 구성기기의 종류(예 : 가스터빈, 보조보일러, 흡수식냉동기 등) ○ 각 기기의 최대 설정 대수, 구성기기의 특성(출력특성) ○ 기기의 설비비(초기투자비), 각 기기의 최소용량과 최대용량 ○ 연간 및 일간 분할 수(Segment) ○ 에너지부하(전력부하, 온열부하, 냉열부하) ○ 에너지요금(전력요금 및 도시가스요금, B-C유 등) ○ 기타(이자율, 내용년수, 자본회수계수 등)
출력 자료	○ 최적 구성기기 및 용량, 구성 대수, 초기투자비, 운전비, 경상비 ○ 연료소비량, 수전량과 매전량, 에너지소비량 ○ 배열발생량과 이용량, 배열이용률, 부하율, 설비이용률 등



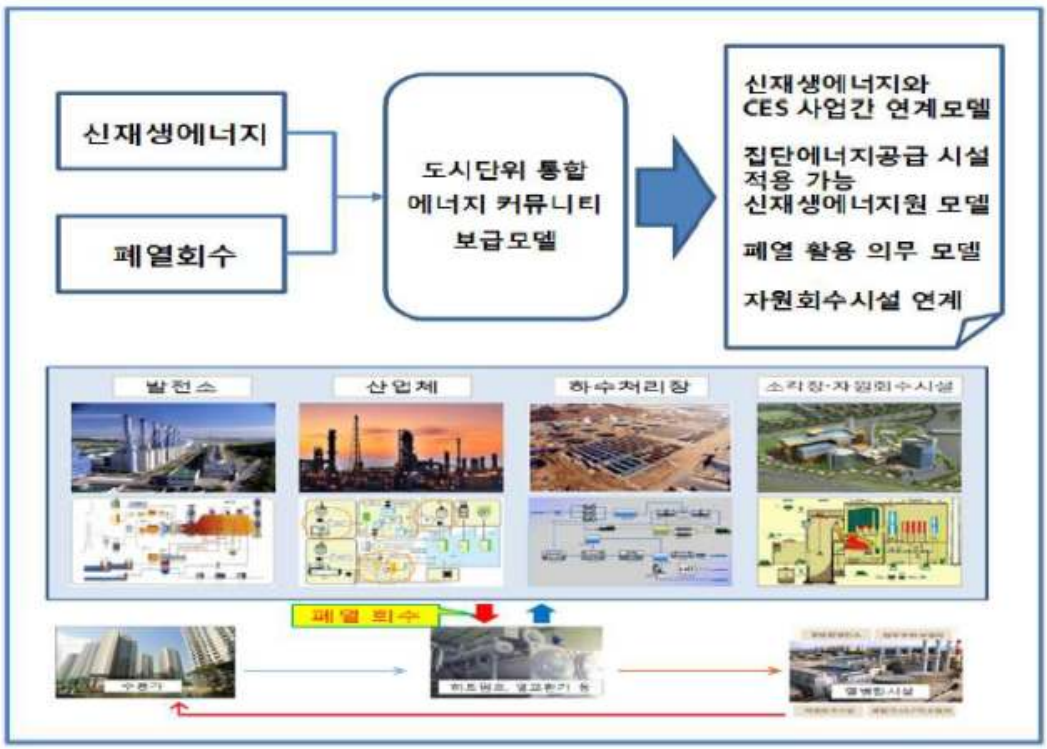
<그림 3-87 최적화 S/W의 한 종류인 Lingo 구동 화면>

8.2 도시에너지 공급시스템 해석모델 개발

8.2.1 도시에너지 공급시스템 최적 설계방법

□ 그린 에너지 커뮤니티 표준모델 : 도시 전체의 ‘에너지 자립성’ 및 ‘도시의 삶의 질’을 높이기 위해 단지 및 지역차원에서 적절한 에너지, 환경, 생태기술을 도시 전체에 미치는 영향을 고려하여 조합(복합)한 녹색도시 모델

□ 도시에너지 공급시스템을 최적화하기 위해서는 도시에너지 자급률을 높이기 위한 소규모 분산발전시스템의 도입 및 그로부터 발생되는 발전배열의 이용을 증대시키기 위한 방안 도출, 도시 내 신재생에너지 및 미활용에너지 활용 극대화 및 순환 이용방안 도출, 에너지 Networking 및 Mixing 기술 적용, 현재의 저효율 에너지 다소비형 도시구조 및 에너지 공급체계를 고효율 순환형 커뮤니티로 개선하기 위한 표준모델 개발이 필요함. 아래 그림은 도시단위 통합 에너지 커뮤니티 보급모델의 개념도를 보여주고 있음



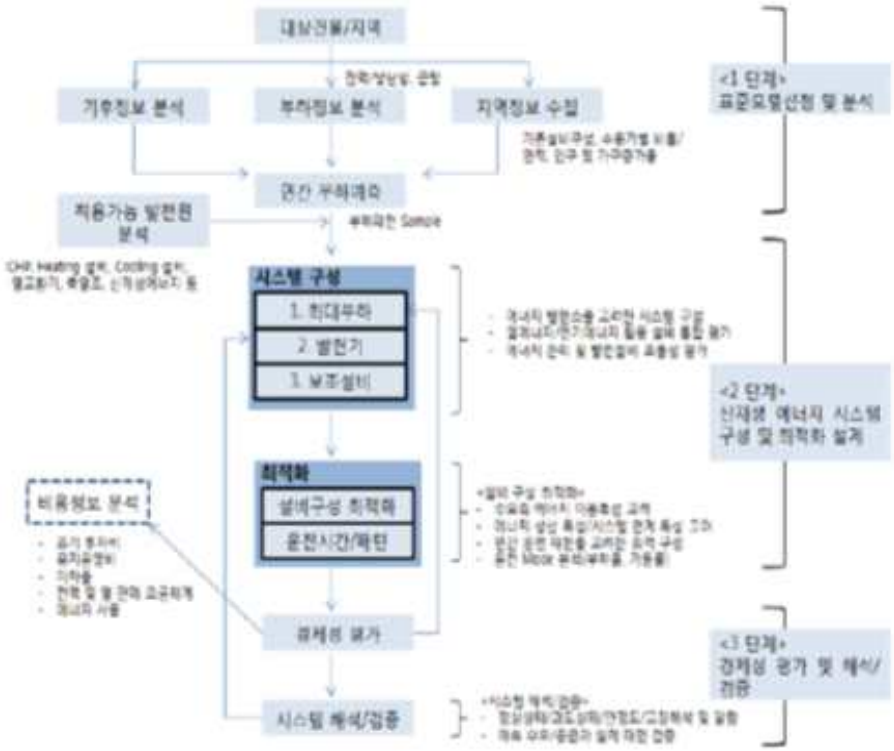
<그림 3-88 도시단위 통합 에너지 커뮤니티 보급모델의 개념도>

□ 아래 그림은 저탄소 에너지 절약형 도시계획 요소를 보여주고 있음



<그림 3-89 저탄소 에너지 절약형 도시계획 요소>

□ 아래 그림은 도시에너지 최적 공급시스템의 설계 프로세스를 도시하고 있음. 에너지 절약적인 도시계획에서의 목표는 에너지 투입 최소화 및 폐기물 배출 최소화, 탄소흡수 최대화 및 신재생에너지 활용 극대화 계획 등을 포함해야 함



<그림 3-90 도시에너지 최적 공급시스템의 설계 프로세스>

□ 설계 프로세스 1 : 모델도시의 선정

- 먼저 모델도시를 선정해야 함. 아래 그림은 모델도시의 계획(안), 토지이용계획, 건물 용도별 대지면적 및 건축연면적 계산 예시, 난방면적 계산 예시를 보여주고 있음

구 분	내 용
인구수	50,000명
인구밀도	100명/ha
필요 토지면적	500ha(5,000,000㎡)
거주용 토지면적	1,250,000㎡(전체토지의 25%)
세대수	20,000세대(2.5인/세대)
세대당 평균면적	84㎡
총세대면적	1,680,000㎡
용적율	134

모델도시 계획(안)

구 분	면 적[㎡]	비율[%]
주택(공동주택, 단독주택, 연립)	1,250,000	25
업무용, 상업용	150,000	3
도로	85,0000	17
공원녹지	185,0000	37
기타	90,0000	18

토지이용계획 예시

건물 용도별 대지면적 및 건축연면적 계산 예시

구분	대지면적[㎡]	용적율[%]	건축연면적[㎡]
주택(공동주택, 단독주택, 연립)	1,250,000	134	1,680,000
업무용(55%)	82,500	200	165,000
상업용(45%)	67,500	400	270,000

건물 용도별 난방면적 예시

구분	건축연면적[㎡]	난방면적율[%]	수요개발율[%]	난방면적[㎡]
주택	1,680,000	95	100	1,596,000
업무용	165,000	84	63	87,318
상업용	270,000	70	59	111,510

<그림 3-91 모델도시의 계획(안), 토지이용계획, 건물 용도별 대지면적 및 건축연면적 계산 예시, 난방면적 계산 예시>

□ 설계 프로세스 2 : 에너지부하 및 부하패턴 계산

건물용도	연결열부하 [Mcal/h]	동시부하율 [%]	수송 손실율[%]	최대열부하 [Mcal/h]
주택	102,144	80	4	85,120
업무	8,121	80	4	6,767
상업	11,486	80	4	9,571
기타시설				10,146
합계				111,604

건물용도별 최대 열부하(난방 및 급탕) 산정

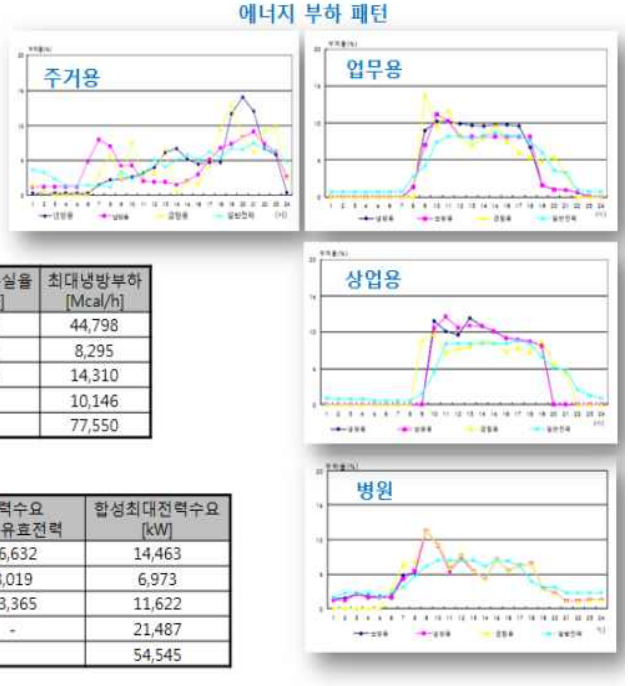
건물용도	단위부하 [kcal/㎡]	냉방면적 [㎡]	연결부하 [Mcal/h]	동시부하율 [%]	수송손실율 [%]	최대냉방부하 [Mcal/h]
주택	54	1,596,000	86,013	50	4	44,798
업무	114	87,318	9,954	80	4	8,295
상업	154	111,510	17,173	80	4	14,310
기타시설						10,146
합계						77,550

건물용도별 최대 냉방부하 산정

건물용도	연면적 [㎡]	단위전력부하 [VA/㎡]	전력부하 [kVA]	전력수요 [kW]-유효전력	합성최대전력수요 [kW]
주택	168,0000	11	18,480	16,632	14,463
업무	165,000	54	8,910	8,019	6,973
상업	270,000	55	14,850	13,365	11,622
기타시설(주택, 상업, 업무의 60%)		-	-	-	21,487
계					54,545

건물용도별 합성최대 전력수요

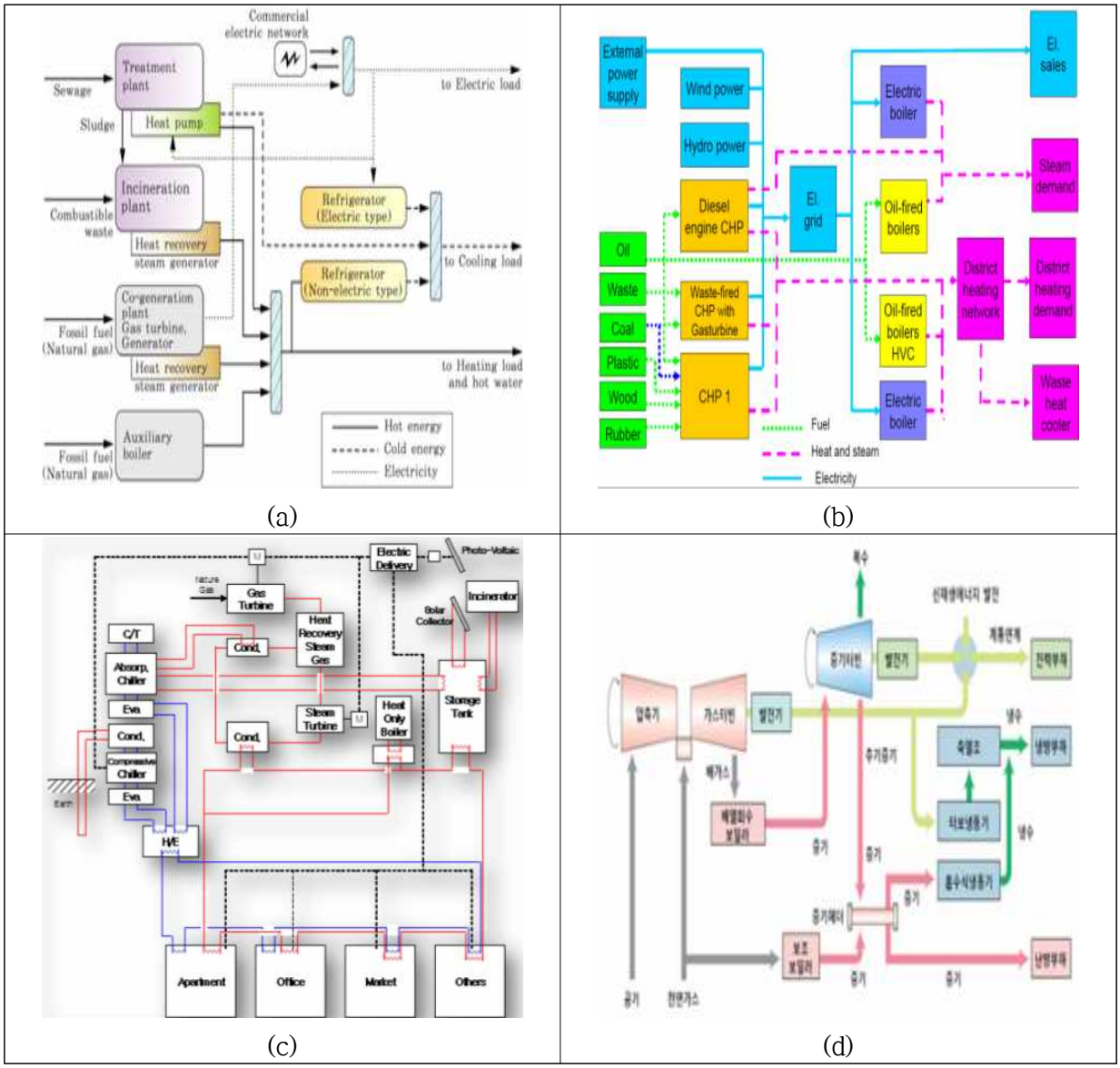
에너지 부하 패턴



<그림 3-92 에너지 부하 계산 및 부하패턴 예시>

□ 설계 프로세스 3 : 시스템 구성 방안

- 도시에너지 공급시스템은 아래 그림에 보인 바와 같이 다양하게 구성할 수 있음. 모델도시 또는 최적화 대상 도시 및 단지가 결정되면, 적용 가능한 에너지원을 모두 나열하고, 에너지 부하(전력, 난방, 냉방, 급탕, 증기 등)에 맞게 시스템을 구성해야 함. 열병합발전시스템의 도입 유무에 따라 난이도가 달라질 수 있음



<그림 3-93 시스템 구성 방안>

□ 설계 프로세스 4 : 해석 알고리즘 적용

- 도시에너지 공급시스템을 최적화하기 위해서는 아래 표에 보인 바와 같은 해석방

법을 통해 수치 시뮬레이션을 수행해야 함

<표 3-38 에너지공급시스템 해석방법>

구 분		방 법
열역학적 효율에 근거한 모델		• 열역학 1법칙 • 열역학 2법칙
계산적인 방법에 의한 모델	수학적 프로그래밍	• 선형프로그래밍(Linear Programming) • 비선형프로그래밍(Non-linear Programming) • 다중목적함수(Multi-objective Function) • 다중기간문제(Multi-period Problems)
	귀납적 모델 (Heuristic Models)	• Heuristic Programming
혼합적인 모델		• 핀치기술(Pinch technology)

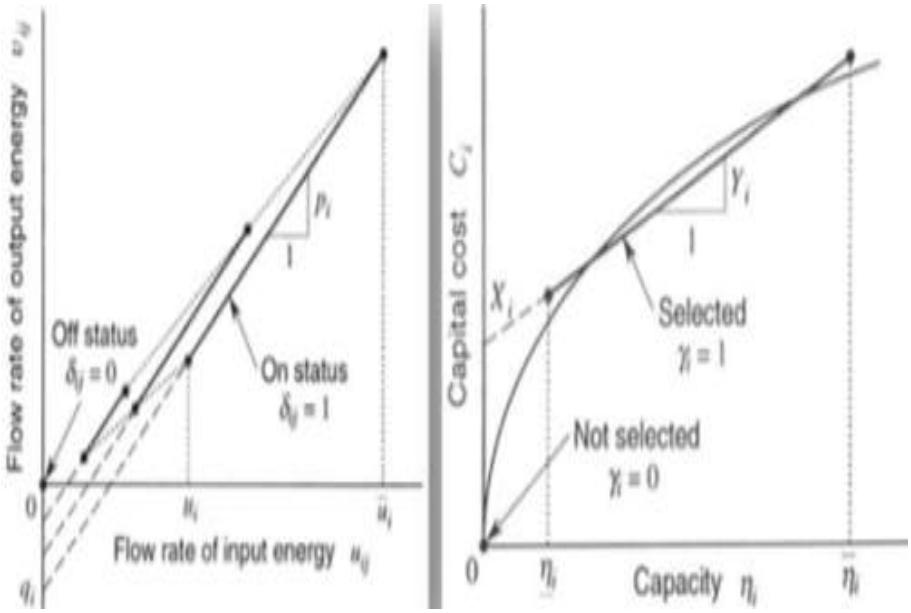
- 표는 에너지공급시스템에서의 다양한 입력조건을 보여주고 있으며, 그림은 혼합정수계획법(MILP : Mixed Inter Linear Programming)에 의한 수치 모델링 방법을 보여주고 있음

<표 3-39 에너지공급시스템에서의 다양한 입력조건(발전원별 발전단가)>[13]

구분	발전단가(원/kWh)	구분	발전단가(원/kWh)
복합 GT	120.72 1)	태양광	716 2)
LNG	113.2 a)	풍력	107 a)
유류	95.13 a)	바이오매스	98 3)
국내탄	60.67 a)	폐기물	71 a)
석탄	60.3 a)	연료전지	264 4)
원자력	41.4 a)	석탄액화가스	56.6 5)
열병합	92.97 6)	소수력	70 a)

$$
\begin{aligned}
\min \quad & z=\sum_{i=1}^{I}\left\{R(X_i Y_i+Y_i n_i)+\phi_i \sum_{j=1}^{J} T_j u_{ij}\right\} \\
s.t. \quad & \sum_{i=1}^{I} v_{ij}=Vj \quad (j=1,2,\ldots,J) \\
& n_i=\zeta_{ij} \quad (i=1,2,\ldots,I;\ j=1,2,\ldots,J) \\
& \left.\begin{array}{l} \underline{n}_i Y_i \le n_i \le \overline{n}_i Y_i \\ Y_i \in \{0,1\} \end{array}\right\} \quad (i=1,2,\ldots,I) \\
& \left.\begin{array}{l} v_{ij}=p_i(\zeta_{ij})u_{ij}+q_i(\zeta_{ij})\delta_{ij} \\ \underline{v}_i(\zeta_{ij})\delta_{ij} \le v_{ij} \le \overline{v}_i(\zeta_{ij})\delta_{ij} \\ \delta_{ij} \le \zeta_{ij}/\underline{n}_i \\ \delta_{ij} \in \{0,1\} \end{array}\right\} \quad (i=1,2,\ldots,I;\ j=1,2,\ldots,J)
\end{aligned}
$$

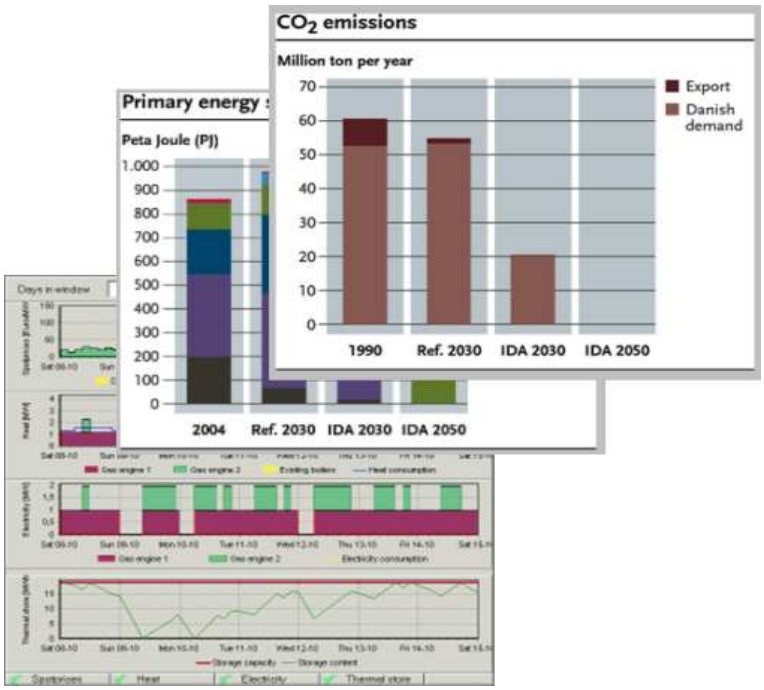
13) 허나리 외, 2011, 도시에너지 통합관리운영 알고리즘 개발에 관한 연구, 대한건축학회 지회연합회 학술발표대회 논문집, pp. 141-144



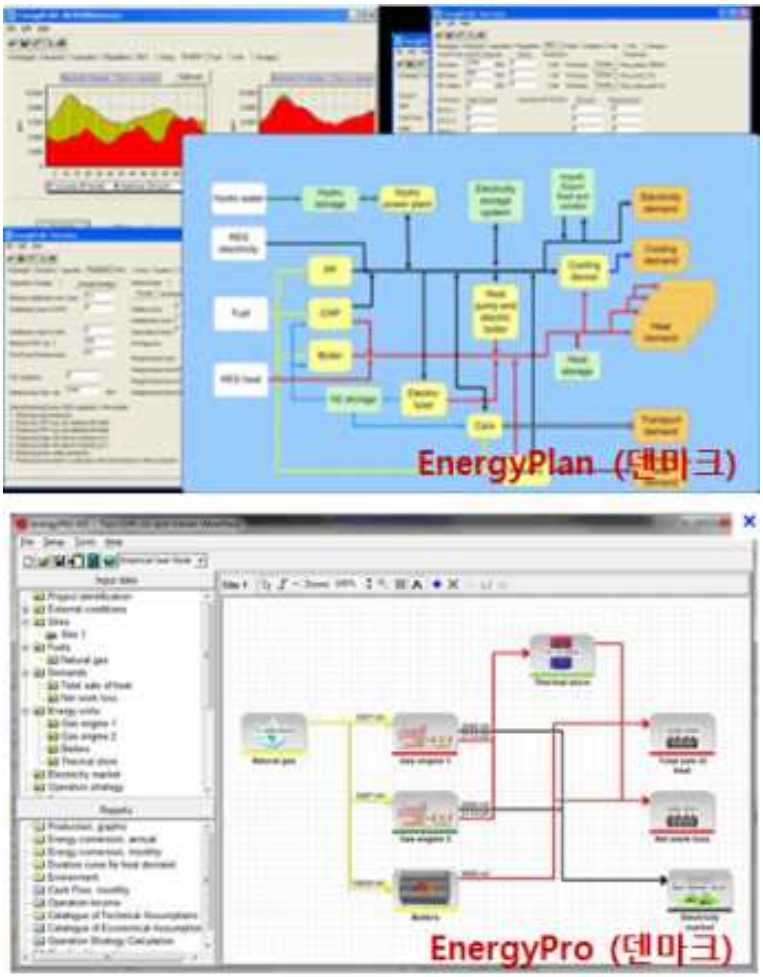
〈그림 3-94 혼합정수계획법에 의한 수치 모델링 방법〉

□ 설계 프로세스 5 : 분석 및 검증

- 아래의 그림에서는 개발된 프로그램의 분석 방법의 예를 도시하고 있으며, 개발된 알고리즘의 검증을 위하여 덴마크 Aalborg 대학에서 개발한 EnergyPlan 등을 활용할 계획임



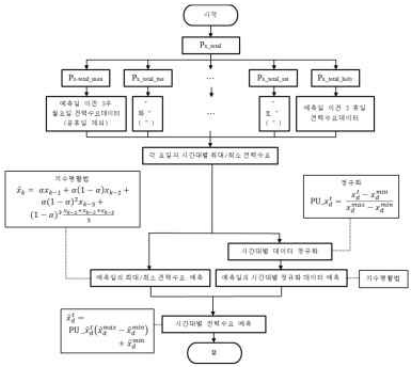
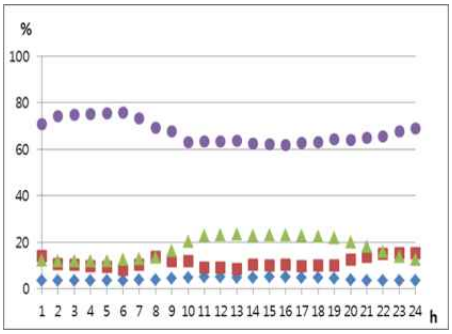
〈그림 3-95 개발된 프로그램의 분석 방법 예시〉



<그림 3-96 에너지 공급시스템 최적화 S/W(EnergyPlan, EnergyPro)>

8.3 CEMS-D S/W 사용자 매뉴얼 : 부록 참조

9. 도시특성을 감안한 전력수요예측 알고리즘

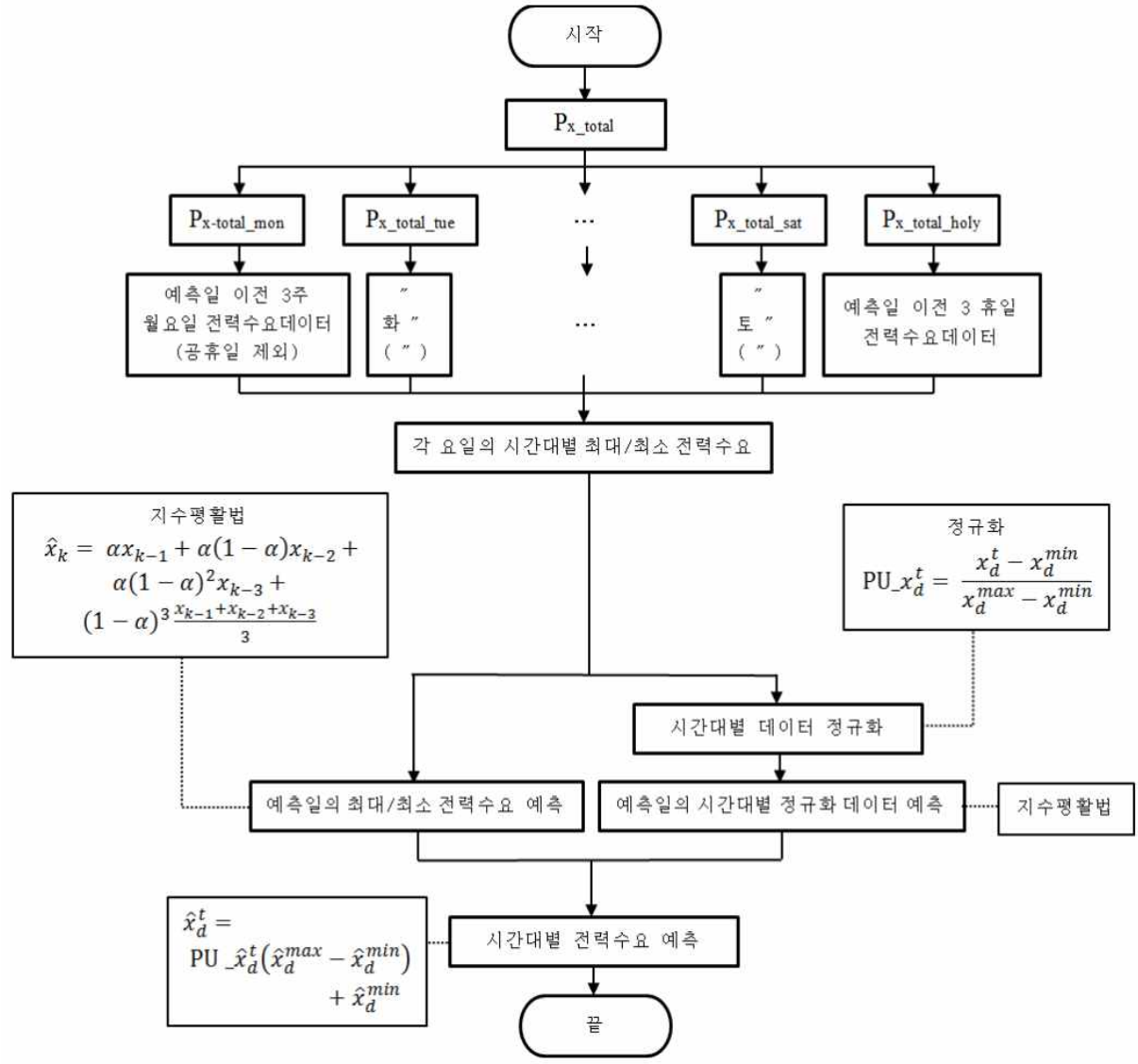
<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="7">
<전력수요예측 알고리즘 다이어그램>


<용도별 점유율 예시></td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="7">- 도시단위 수요예측을 위한 전체 수요예측 및 용도별 수요예측 알고리즘 개발</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="7">- 에너지 공급설비 운전 스케줄링 및 최적화를 위하여, 도시단위의 에너지 수요예측알고리즘이 필요</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="7">- 도시의 구성에 따른 에너지 수요예측 및 용도별 수요예측을 통한 CEMS용 수요예측 모듈에 사용</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="7">(기존기술 수준)
- 개별에너지를 건물단위나 국가단위의 예측을 하고 있으나, 용도별, 도시점유율을 고려한 예측은 없음
(개발기술 수준)
- 도시의 전체 수요예측 및 용도별 점유율 예측을 통한 알고리즘 개발
(개발기술 수준 설정근거)
- 국내 사례분석</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="7">조수환(상명대학교)
박시삼(GS건설㈜)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="7">2차년도 '12.08 ~ '13.06 (11개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td>2차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td colspan="2">기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td colspan="2">학술발표
국내 1건
(GS건설 공동)</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>2차년도</td><td colspan="5">도시에너지 전력수요예측 알고리즘 개발 : 1건</td></tr>
<tr><td rowspan="2">달성 확인방법</td><td>2차년도</td><td colspan="5">- 질적성과 : 해당 보고서 확인</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">- 학술발표 국내 1건 : 논문집 확인</td></tr>
</table>

9.1 도시 내 전체 전력수요 예측

□ 도시 내 전체 전력수요 예측 알고리즘

- 전체 전력수요량을 요일별로 분류
- 예측일 이전 최소 3일의 과거 데이터 수집
- 과거 데이터(3일)의 최대/최소 전력수요를 통해 예측일의 최대/최소 전력수요 예측
- 과거 데이터의 최대/최소 전력수요를 통해 시간대별 패턴 정규화
- 과거 시간대별 정규화 패턴을 통해 예측일의 시간대별 정규화 패턴 예측
- 예측된 최대/최소 전력수요와 시간대별 정규화 패턴으로 시간대별 전력수요 예측



<그림 3-97 도시 내 전체 전력수요 예측 알고리즘>

• 기호 설명

P_{x_total}: 시간대별 전체 전력수요량

$P_{x_total_mon}$, $P_{x_total_tue}$, … , $P_{x_total_sat}$, $P_{x_total_holy}$: 월, 화, 수, 목, 금, 토요일과 휴일(일요일, 공휴일 포함)의 시간대별 전력수요량

$\widehat{x}_k$: 예측값, x:실제값, α: 지수평활계수(=가중치)

$PU_x^t_d$: 정규화된 값, x^t_d: 기본값, $x_d^{\max}$:최대값, $x_d^{\min}$:최소값

□ 도시 내 전체 전력수요 예측 세부 알고리즘

- 전체 전력수요량을 요일별로 분류

: 시간대별 전체 전력수요량을 '월, 화, 수, 목, 금, 토요일과 휴일(일요일, 공휴일 포함)'의 요일별로 분류

: 도시 내에서는 요일의 특성에 따른 전력수요가 다르기 때문에 각 요일별로 분류

- 예측일 이전 최소 3일의 과거 데이터 수집

: 월~토요일 : 예측일 이전 3주의 해당 요일 데이터

: 휴일 : 예측일 이전 3개의 휴일 데이터

: 예측은 과거 데이터를 기반으로 하기 때문에 과거 데이터가 최소 3일치 필수

- 과거 데이터(3일)의 최대/최소 전력수요를 통해 예측일의 최대/최소 전력수요 예측

: 과거 데이터 일별 최대 전력수요와 최소 전력수요 선정

: 지수평활법을 사용하여 예측

: 지수평활계수는 0.5로 지정

: 최근 데이터에 가중치를 더 부여

$$\widehat{x}_{k+1} = \alpha x_{k-1} + \alpha(1-\alpha)x_{k-2} + \alpha(1-\alpha)^2 x_{k-3} + (1-\alpha)^3 \frac{x_{k-1}+x_{k-2}+x_{k-3}}{3}$$

- 과거 데이터의 최대/최소 전력수요를 통해 시간대별 패턴 정규화

: 정규화식을 통해 과거 데이터를 시간대별로 정규화함

$$PU_x^t_d = \frac{x^t_d - x_d^{\min}}{x_d^{\max} - x_d^{\min}}$$

- 과거 시간대별 정규화 패턴을 통해 예측일의 시간대별 정규화 패턴 예측

: 지수평활법을 사용하여 예측

$$PU_\hat{x}^{t}_{k+1} = \alpha PU_x^{t}_{k-1} + \alpha(1-\alpha)PU_x^{t}_{k-2} + \alpha(1-\alpha)^{2}PU_x^{t}_{k-3} + (1-\alpha)^{3}\frac{PU_x^{t}_{k-1} + PU_x^{t}_{k-2} + PU_x^{t}_{k-3}}{3}$$

- 예측된 최대/최소 전력수요와 시간대별 정규화 패턴으로 시간대별 전력수요 예측

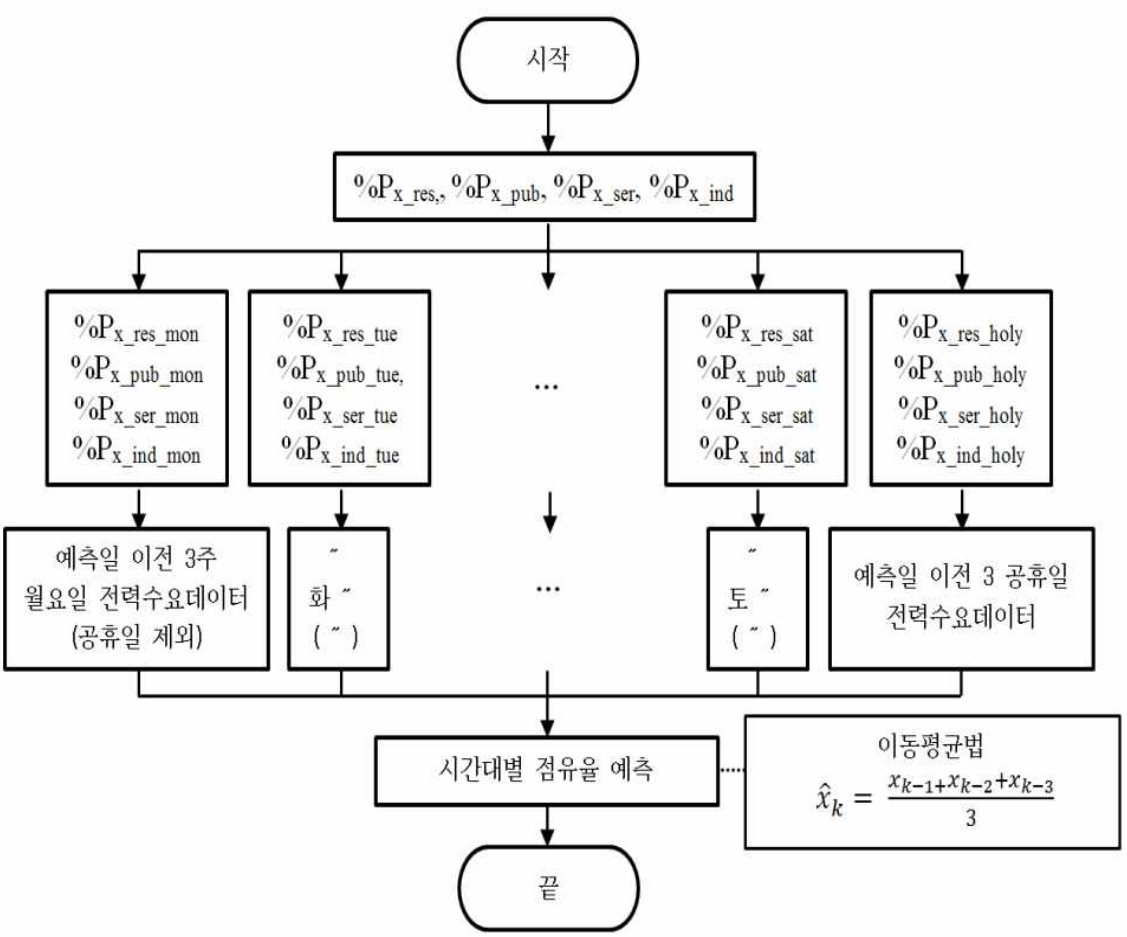
: 정규화식을 통해 시간대별 전력수요 예측값을 계산

$$\hat{x}^{t}_{d} = PU_\hat{x}^{t}_{d}\left(\hat{x}^{\max}_{d} - \hat{x}^{\min}_{d}\right) + \hat{x}^{\min}_{d}$$

9.2 도시 내 수용가별 전력수요 점유율 예측

□ 도시 내 수용가별 전력수요 점유율 예측 알고리즘

- 용도별 전력수요량을 용도별 점유율로 환산
- 용도별 점유율을 요일별로 분류
- 예측일 이전 최소 3일의 과거 데이터 수집
- 예측일의 시간대별 용도별 점유율 예측



<그림 3-98 도시 내 수용가별 전력수요 점유율 예측 알고리즘>

• 기호 설명

$\%P_{x_res}$, $\%P_{x_pub}$, $\%P_{x_ser}$, $\%P_{x_ind}$: 용도별(가정, 공공, 서비스, 산업) 점유율

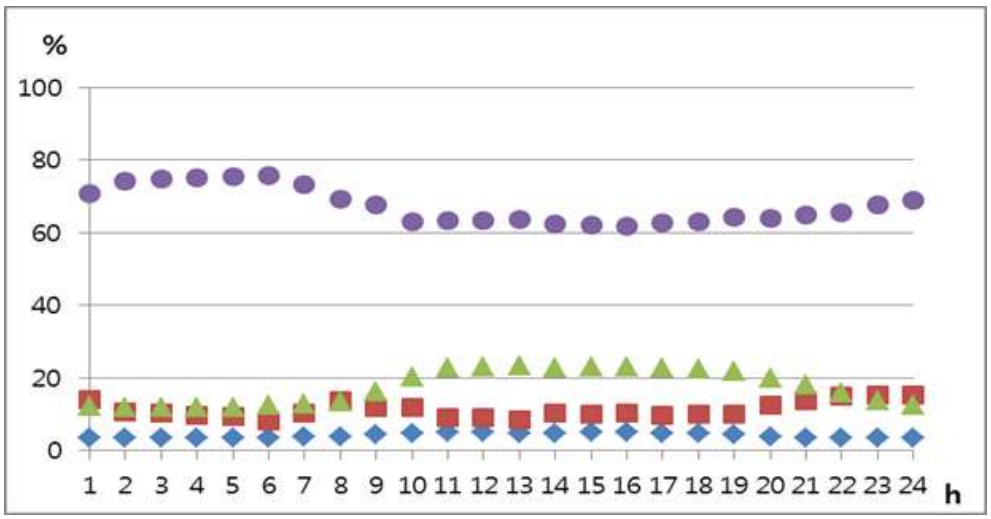
$\%P_{x_res_mon}$, $\%P_{x_res_tue}$, … , $\%P_{x_res_sat}$, $\%P_{x_res_holy}$: 월, 화, 수, 목, 금, 토요일과 휴일(일요일 공휴일 포함)의 가정용 점유율

□ 도시 내 수용가별 전력수요 점유율 예측 세부 알고리즘

- 용도별 전력수요량을 용도별 점유율로 환산

  : 용도별 전력수요량을 다음과 같은 그래프의 용도별 점유율로 환산

  : 아래에서부터 공공용(◆), 가정용(■), 서비스용(▲), 산업용(●)을 나타냄



〈그림 3-99 용도별 점유율〉

- 용도별 점유율을 요일별로 분류

  : 용도별 점유율을 ‘월, 화, 수, 목, 금, 토요일과 휴일(일요일, 공휴일 포함)’의 요일별로 분류

- 예측일 이전 최소 3일의 과거 데이터 수집

  : 월~토요일 : 예측일 이전 3주의 해당 요일 데이터

  : 휴일 : 예측일 이전 3개의 휴일 데이터

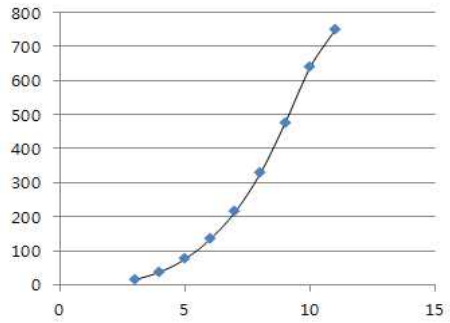
- 예측일의 시간대별 용도별 점유율 예측

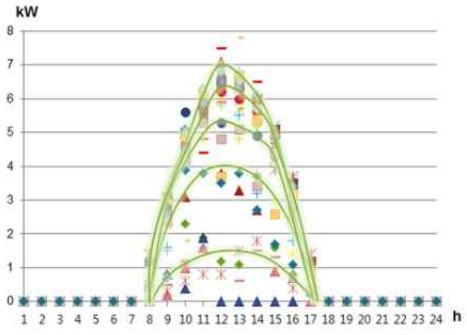
  : 이동평균법을 사용하여 예측

  : 과거 데이터에 동일한 가중치를 부여

$$\widehat{x}_{k+1} = \frac{x_{k-1} + x_{k-2} + x_{k-3}}{3}$$

10. 도시 신재생 예측 알고리즘 개발

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">



<풍력에너지 발전량 예측> <태양광 발전량 예측></td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">- 도시단위 에너지 공급시스템 최적화를 위한 도시단위의 신재생에너지(풍력 및 태양광) 예측알고리즘 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">- 도시에 주로 많이 사용되는 태양광 및 풍력 발전량의 예측데이터가 있어야, 이를 활용한 나머지 설비의 운전 최적화가 가능함</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">- 도시단위 수요예측 부하량에서 신재생에너지 예측량을 제외한 실제 필요량 계산에 사용</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 태양광 및 풍력 모델링은 이미 있는 기술임
(개발기술 수준)
- 기상청 예측데이터(개략적인 데이터)를 활용한 도시 단위의 태양광 및 풍력 예측량 산정
(개발기술 수준 설정근거)
- 국내외 사례분석</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">조수환(상명대학교)
박시삼(GS건설㈜)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">2차년도 '12.08 ~ '13.6 (11개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td>2차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>학술발표
국내 1건</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>2차년도</td><td colspan="5">도시 신재생 알고리즘 건수 : 2건</td></tr>
<tr><td rowspan="2">달성 확인방법</td><td>2차년도</td><td colspan="5">- 질적성과 : 해당 보고서 확인</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">- 학술발표 국내 1건 : 논문집 확인</td></tr>
</table>

10.1 풍력 발전량 예측 모델

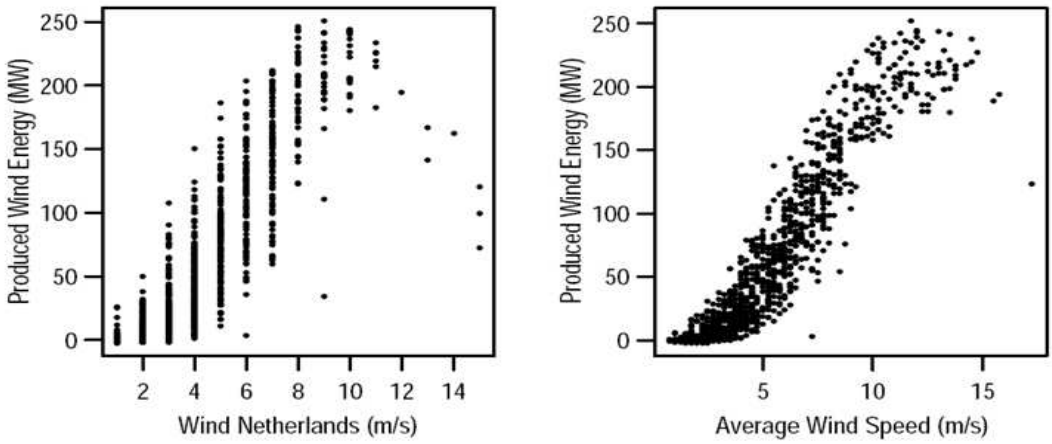
10.1.1 일반적인 풍력 발전량 예측 모델

□ 관측 대상 발전기(설치 지역별)에서 실측된 풍속-출력 데이터를 이용하므로 지역-풍력 발전기 모델에 특화된 모델링이 가능

□ 특정 지역의 과거 풍황 데이터와 풍력발전기 모델을 이용하여 해당 지역의 연간 풍력 발전량 예측에 활용

□ 풍속 예측

- 단기 풍속 예측 : 발전기 인근 허브높이에 설치된 다수의 풍속계에서 측정된 풍속 데이터 활용
- 장기 풍속 예측 : 기상청에서 제공하는 풍속 데이터 활용
- 그림은 풍력 발전기의 풍속 대 출력 곡선(Power Curve)으로 왼쪽은 풍속빈을 이용한 출력발전 출력곡선으로 해당 풍속에서 출력 평균, 표준편차로 계산하고 오른쪽은 평균 풍속을 이용한 풍력 발전 출력 곡선으로 회귀분석을 사용함



<그림 3-100 풍속빈(좌)과 평균 풍속(우)을 이용한 풍속 대 출력 곡선>

10.1.2 CEMS용 풍력 발전량 예측 모델

□ Mode 1 : CEMS에 측정되어 저장된 풍속(도시평균풍속) - 출력 데이터(도시 전체 풍력발전량 합계)가 충분치 않는 경우 <스펙기반 수학적 예측 기법>

- 다항식 회귀분석

<필수 데이터>

필수 데이터	
동일 모델 설치대수	N (대)
정격용량	P_rated (kW)
시동풍속	V_cutin (m/sec)
정격풍속	V_rated (m/sec)
종단풍속	V_cutout (m/sec)

<입력 데이터>

출력곡선 입력데이터	
풍속(m/sec)	출력량(kW)
3.0 (V_cutin)	15.3
4.0	37.9
5.0	75.7
⋮	⋮
10	639.9
11	750 (P_rated)
12	750 (P_rated)
⋮	⋮
25 (V_cutout)	750 (P_rated)

<그림 3-101 관련 데이터 항목>

: 출력곡선의 데이터 입력가능 시에 시동풍속, 정격풍속, 종단풍속, 정격용량 데이터를 기본으로 출력곡선 입력 데이터 테이블을 자동 생성

: 풍속에 대한 출력의 3차 함수식을 유도

: 시동풍속 이상 정격풍속 이하의 데이터 활용

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + e \Rightarrow S_r = \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - a_3 x_i^3\right)^2$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = -2\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - a_3 x_i^3\right) = 0$$
$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = -2\sum_{i=1}^{n} x_i\left(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - a_3 x_i^3\right) = 0$$
$$\frac{\partial S_r}{\partial a_2} = -2\sum_{i=1}^{n} x_i^2\left(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - a_3 x_i^3\right) = 0$$
$$\frac{\partial S_r}{\partial a_3} = -2\sum_{i=1}^{n} x_i^3\left(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - a_3 x_i^3\right) = 0$$

$$\Rightarrow$$

$$na_0 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)a_1 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2\right)a_2 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^3\right)a_3 = \sum_{i=1}^{n} y_i$$
$$\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)a_0 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2\right)a_1 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^3\right)a_2 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^4\right)a_3 = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i$$
$$\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2\right)a_0 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^3\right)a_1 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^4\right)a_2 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^5\right)a_3 = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 y_i$$
$$\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^3\right)a_0 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^4\right)a_1 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^5\right)a_2 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^6\right)a_3 = \sum_{i=1}^{n} x_i^3 y_i$$

<그림 3-102 풍속에 대한 출력 3차 함수식>

- 다항식 회귀분석(y-절편(시동출력) 기준)

: x-축 방향으로 (-시동풍속)만큼 평행이동 수행

$$y = P_{cutin} + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + e \Rightarrow S_r = \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - P_{cutin} - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - a_3 x_i^3\right)^2$$

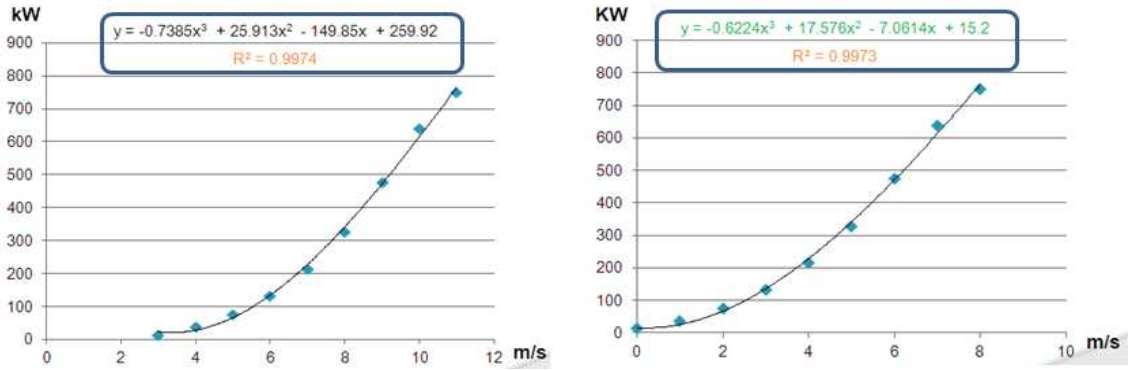
$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = -2\sum_{i=1}^{9} x_i\left(y_i - P_{cutin} - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - a_3 x_i^3\right) = 0$$
$$\frac{\partial S_r}{\partial a_2} = -2\sum_{i=1}^{9} x_i^2\left(y_i - P_{cutin} - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - a_3 x_i^3\right) = 0$$
$$\frac{\partial S_r}{\partial a_3} = -2\sum_{i=1}^{9} x_i^3\left(y_i - P_{cutin} - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - a_3 x_i^3\right) = 0$$

$$\Rightarrow$$

$$\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2\right)a_1 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^3\right)a_2 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^4\right)a_3 = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)P_{cutin}$$
$$\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^3\right)a_1 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^4\right)a_2 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^5\right)a_3 = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2\right)P_{cutin}$$
$$\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^4\right)a_1 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^5\right)a_2 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^6\right)a_3 = \sum_{i=1}^{n} x_i^3 y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^3\right)P_{cutin}$$

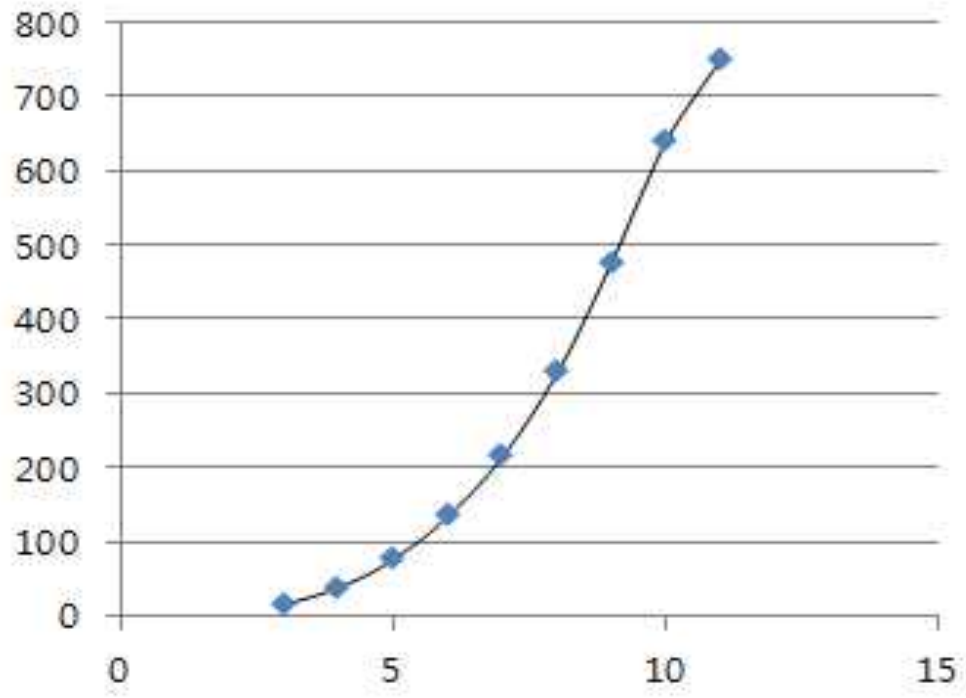
<그림 3-103 다항식 회귀 분석(y-절편(시동출력) 기준)>

- 다항식 회귀분석과 다항식 회귀분석(y-절편(시동출력) 기준) 예측 성능을 비교한 것으로 시동풍속 시의 출력량 정확히 예측이 가능



<그림 3-104 다항식회귀분석, y절편기준 다항식 회귀분석의 풍속 대 출력 그래프>

- 구간별 선형보간법(내삽법, Interpolation)
  : 출력곡선 입력 데이터를 활용 (풍속 대 출력 그래프)
  : 인접한 데이터 yi 와 yi+1 를 직선으로 연결시켜 근을 찾음



<그림 3-105 내삽법을 통한 풍속 대 출력 그래프>

- 3차함수 계수결정법(입력데이터가 한정적인 경우)

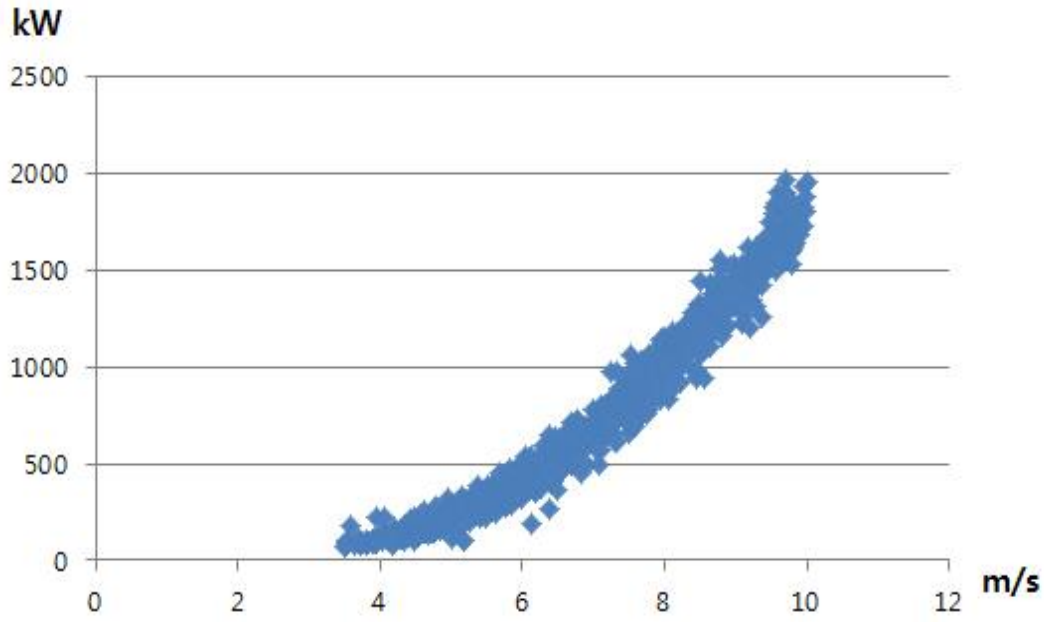
: 출력곡선 입력 데이터 제외, 필수 입력 데이터만 입력 가능 시 아래의 식을 활용

$$P_{est-i} = P_{rated} \frac{V^3 - V_{cutin}^3}{V_{cutout}^3 - V_{rated}^3} \quad \text{for } V_{cutin} \le V \le V_{rated}$$
$$P_{est-i} = P_{rated} \quad \text{for } V_{rated} \le V \le V_{cutout}$$

□ Mode 2 : CEMS에 측정되어 저장된 풍속(도시평균풍속)-출력 데이터(도시 전체 풍력발전량 합계)가 충분한 경우 <풍속-출력의 통계 데이터 활용>

- 비선형관계식의 선형화기법 1 (지수모델)

: 예시 : 정격출력(2000㎾ : 500㎾, 4기), 시동풍속(3.5m/sec), 정격풍속(10m/sec)



<그림 3-106 예시의 풍속 대 출력 그래프>

: 다음은 지수형태를 통한 선형화, 회귀분석, 계수결정을 나타냄

: 자연로그를 취하면 지수모델의 형태로 선형화

$$y = \alpha_2 x^{\beta_2} \quad \Rightarrow \quad \log y = \log \alpha_2 + \beta_2 \log x$$

$$y = a_0 + a_1 x + e \quad \Rightarrow \quad S_r = \sum_{i=1}^{n} (y_i - a_0 - a_1 x_i)^2$$

$$a_1 = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}$$

$$a_0 = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i\right) - a_1\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i\right)$$

- 비선형관계식의 선형화기법 2 (단순 멱방정식 모델)

: 다음은 멱방정식 형태를 통한 선형화, 회귀분석, 계수결정을 나타냄

: 역수를 취하면 멱방정식모델의 형태로 선형화

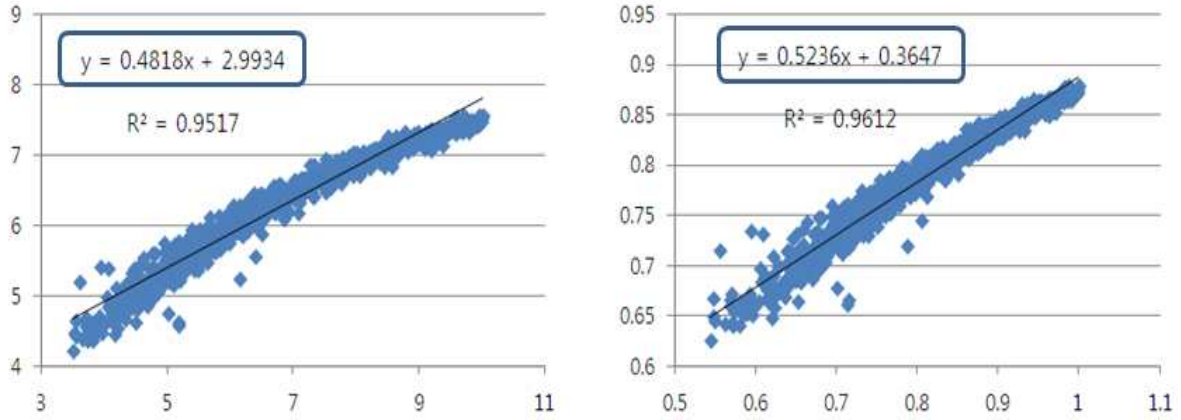
$$y = \alpha_1 e^{\beta_1 x} \quad \Rightarrow \quad \ln y = \ln \alpha_1 + \beta_1 x$$

$$y = a_0 + a_1 x + e \quad \Rightarrow \quad S_r = \sum_{i=1}^{n} (y_i - a_0 - a_1 x_i)^2$$

$$a_1 = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}$$

$$a_0 = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i\right) - a_1\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i\right)$$

: 왼쪽의 지수모델과 오른쪽의 단순 멱방정식모델을 비교한 것으로 단순 멱방적식 모델이 더욱 정확함



<그림 3-107 풍속 대 출력 그래프를 지수모델과 단순 멱방정식 모델로 선형화한 그래프>

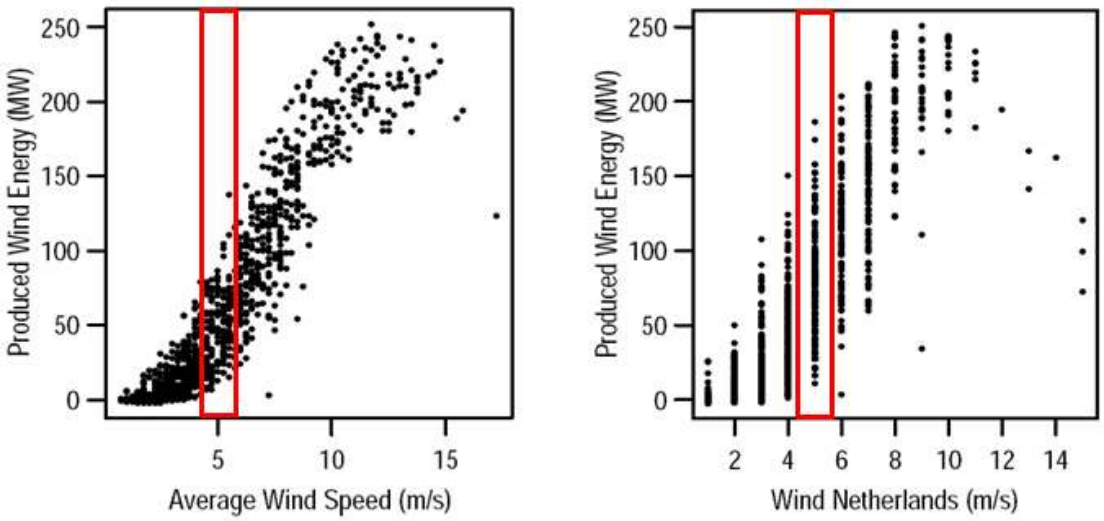
- 풍속빈 방법

: 평균풍속 데이터를 활용하여 그래프를 작성 후 풍속빈 구성

: 5m/sec 풍속빈의 경우, 풍속 4.5 ~ 5.5m/sec 사이의 출력값들에 대해 평균 및 표준편차를 계산

: 해당 풍속빈에 해당하는 평균풍속을 계속 갱신 (회귀최소자승법)

: 풍속빈 사이값에 대한 예측은 내삽법을 활용



<그림 3-108 풍속빈 구성>

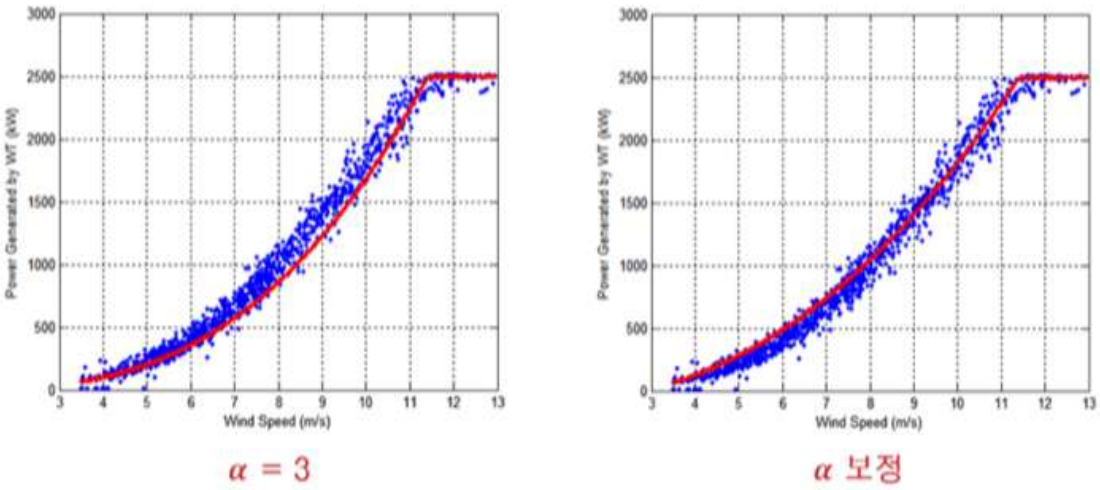
- α 차 함수 승수(α)보정법

: Mode 1에서 필수 입력 데이터만을 이용한 아래의 3차함수 계수결정법식의 차수를 보정

: 차수 α=3 보다 오차를 최소화하는 최적의 α 값을 새로 계산하여 보정

$$P_{est-i} = P_{rated} \frac{V^{\alpha} - V_{cutin}^{\alpha}}{V_{cutout}^{\alpha} - V_{rated}^{\alpha}}$$

: 다음 그래프는 α=3일 때와 α를 보정하였을 때를 비교한 것으로 α를 보정한 그래프가 풍속 대 출력 그래프에 더 정확히 따르는 것을 확인할 수 있음



<그림 3-109 α차 함수의 α=3 과 α보정 그래프>

: 풍속 데이터는 기상청으로부터 3시간 단위의 예측 풍속을 사용

10.2 태양광 발전량 예측 모델

□ 일반적인 태양광 발전량 예측 모델

- CRM(Cloud cover Radiation Model)기법

  : 날씨(운량)와 대기투과율의 관계를 분석 → 대기투과율을 기초로 일사량 산출

- 일사량(MJ/㎡) 통계 정보 활용

  : 통합계수 : 설비 가동시간, 태양광모듈 효율, 인버터 변환효율, 환경변수 선로손실, 계량기 효율 등에 의해 결정

  : 원별 월평균 일사량과 실제발전량을 통해 계산한 일사량당 발전계수를 평균해서 통합계수 산정

  : 월별 평균 일사량과 발전량의 변화가 크기 때문에 평균을 통한 통합계수 계산은 큰 불확실성을 포함하게 됨

□ CEMS용 태양광 발전량 예측 모델

- Mode 1 : CEMS에 측정되어 저장된 날씨-발전량 데이터가 충분하지 않을 경우

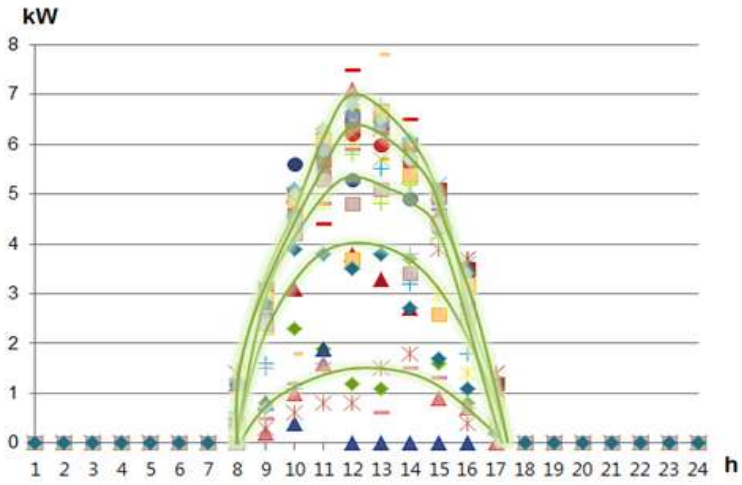
  : 맑은 날씨를 기준으로 설비용량 대비 시간대별 발전량 데이터 수집

  : 맑은 날씨의 발전량(P_clear) 대비 구름 조금(P_cloud1), 구름 많음(P_cloud2), 흐림(P_cloud3) 그리고 비(P_rain)의 평균 발전량 효율(%) 계산

  : (날씨)발전량 = 도시 내 태양광설비용량(㎾) * (날씨)효율

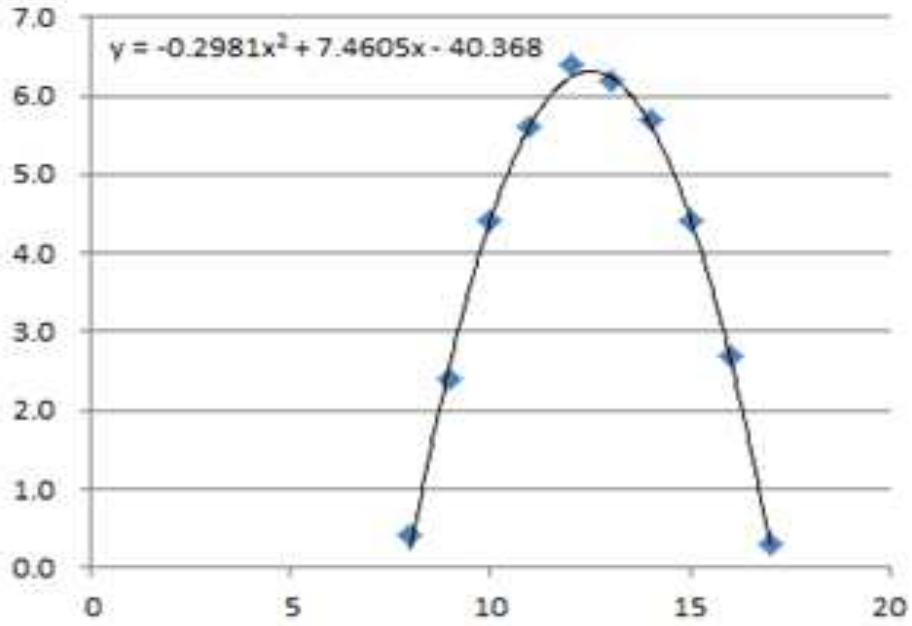
  : 날씨-시간대 별 출력량 그래프

  : 맑음(P_clear) : 100%(기준), 구름 조금(P_cloud1) : 91%, 구름 많음(P_cloud2) : 77%, 흐림(P_cloud3) : 57%, 비(P_rain) : 21%



<그림 3-110 날씨-시간대별 출력량 그래프>

: 시간대별 평균값으로 Curve fitting 시 2차 함수로 근사화 가능



<그림 3-111 2차 함수 근사화>

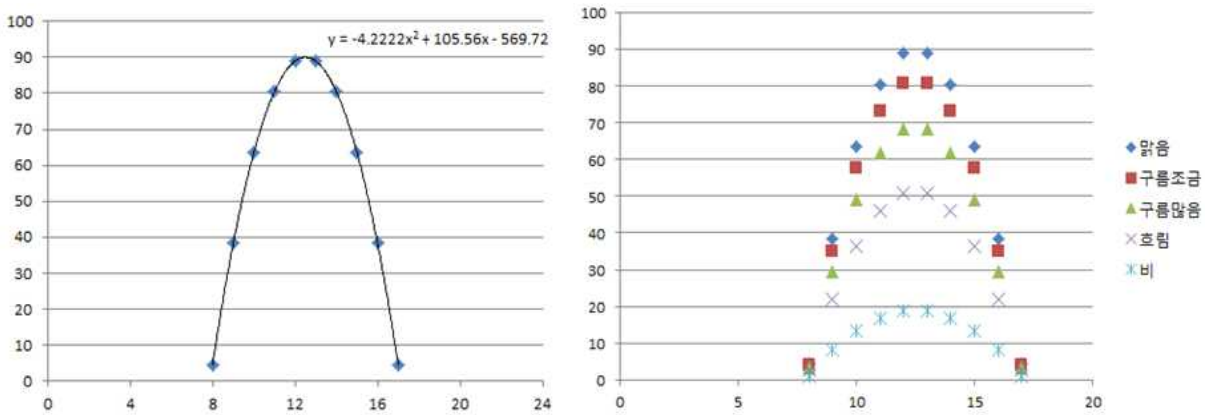
: 예시

- 날씨 : 맑음 기준으로 작성 (설비용량 대비 약 90%)
- 일출시간 : 7~8시 (과거 데이터 활용) 8시 첫 출력
- 일몰시간 : 17~18시 (과거 데이터 활용) 17시 마지막 출력
- 도시 내 태양광 전체 설비용량(Ppv) : 100kW
- 일일 예상 최대 출력 (P_clear_MAX) = Ppv * P_clear% = 90 kW
- 예상 최대출력 시간 : 일출/일몰의 중간 = (8+17)/2 = 12.5시 (12시 30분. 남중시간)
- 일출/일몰 시 출력값(Prise, Pset) : 과거 맑음 데이터의 평균 사용(과거 맑음 3일간의 8시 평균출력, 17시 평균출력) 의 평균 = 4.5kW

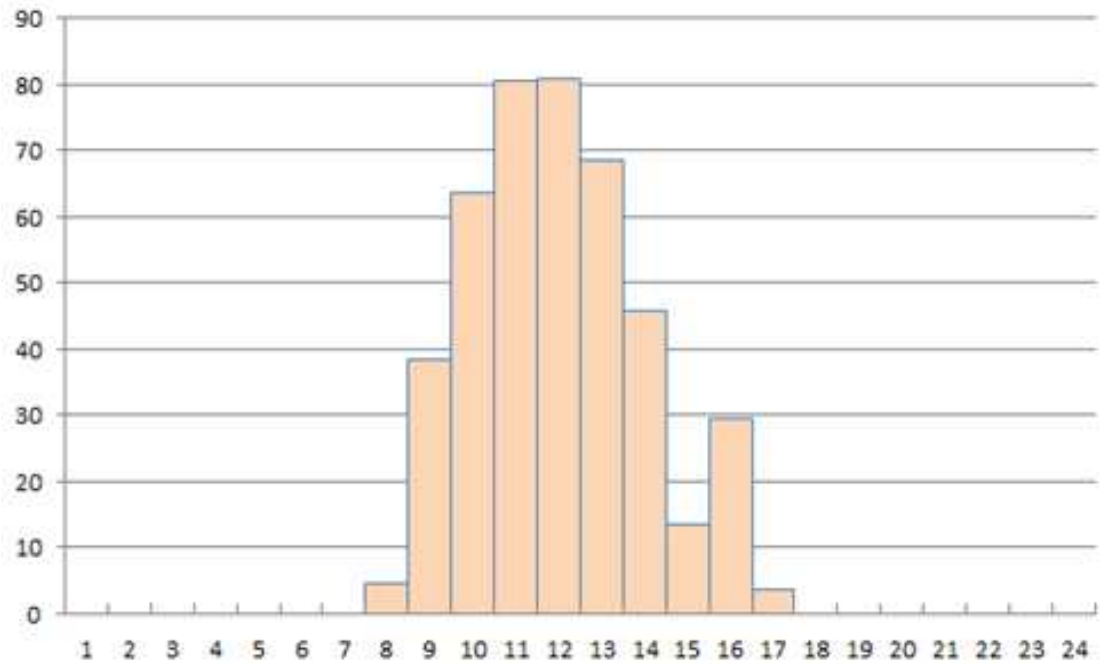
: 시간대별 평균값을 통한 2차 함수 그래프와 위의 표를 통한 날씨-시간대 별 출력량 그래프

$$\mathcal{P} = A_0\left(t-\left(\frac{t_{set}+t_{rise}}{2}\right)\right)^2 + P_{clear_MAX}\ ,\quad where\ A_0 = \frac{P_{rise}-P_{clear_MAX}}{\left(\frac{t_{set}-t_{rise}}{2}\right)^2}$$

- 위의 예시를 활용한 아래 그래프의 시간대별 기상정보 : 08~11시(맑음), 12시(구름 많음), 14시(흐림), 15시(비), 16~17시(구름 많음)



<그림 3-112 예시 2차 함수 근사화와 날씨-시간대별 출력량 그래프>



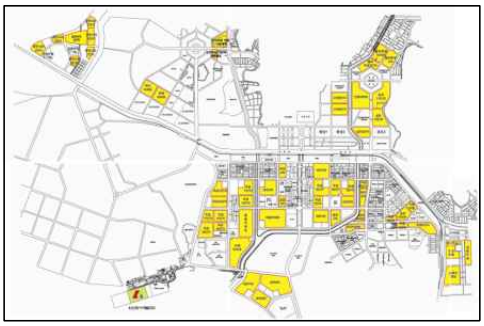
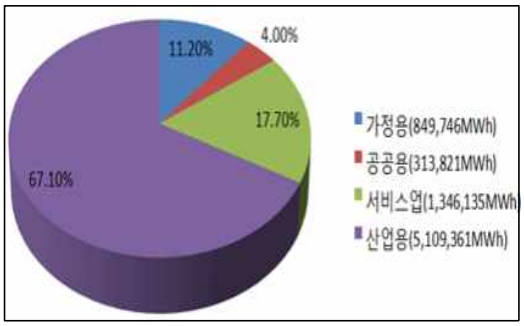
<그림 3-113 예시 시간대별 기상>

- Mode 2

: 과거 데이터를 저장하고 분석하여 날씨별 출력 효율을 계속적으로 보정

: 예측 과정은 Mode 1과 동일

11. 안산시 도시에너지 공급 및 소비특성 분석자료

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">
<안산시 지역냉난방 공급현황>

<안산시 부문별 전력소비량(2010년)></td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">- 선진국과 안산시의 에너지(전력, 열) 사용현황 분석을 통한 도시에너지 공급 및 소비특성 파악</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">- 1차년도 연차평가 의견을 반영하여 안산시 도시에너지 공급 및 소비특성을 정밀하게 분석 필요</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">- 안산시를 대상으로 도시에너지 공급원 단위 및 에너지 소비원 말단까지의 정밀한 도시에너지 공급 및 소비특성 분석</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 안산시를 대상으로 도시에너지 소비특성 및 공급체계를 종합적으로 분석한 자료는 없음.
(개발기술 수준)
- 안산시를 대상으로 자료 수집 및 실시간 모니터링 자료를 기반으로 도시에너지 공급 및 소비특성 파악
(개발기술 수준 설정근거)
- 국내 사례분석</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">김용기(한국건설기술연구원)
박시삼(GS건설㈜)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">2~3차년도 '12.08 ~ '13.10 (15개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td rowspan="2">3차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>학술발표
국내 1건
(GS건설 공동)</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>2차년도</td><td colspan="5">안산시 도시에너지 공급 및 소비특성 분석건수 : 2건
- 전력소비량 분석 1건
- 지역냉난방소비량 분석 1건</td></tr>
<tr><td rowspan="2">달성 확인방법</td><td>2차년도</td><td colspan="5">- 질적성과 : 해당 보고서 확인</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">- 학술발표 국내 1건 : 논문집 확인</td></tr>
</table>

11.1 도시에너지 공급 체계 및 사용량 분석

□ 국내 전력 공급체계[14)]

- 2011년 말 기준 국내 총 전력소비량은 455,070GWh
- 2002년 278,451GWh 대비 10년간 63% 증가
- 전력소비량은 2011년도 기준으로 세계 8위 규모

<표 3-40 전력소비량 세계 순위(단위 : 억 kWh)>

순위	국가명	소비량	순위	국가명	소비량
1	중국	46,930	6	독일	5,095
2	미국	38,890	7	캐나다	5,048
3	일본	8,597	**8**	**한국**	**4,551**
4	러시아	8,080	9	프랑스	4,514
5	인도	6,376	10	브라질	4,383

출처 : 미국 CIA the World Factbook 2012

- 전력소비량의 부분별 비중을 보면, 산업용 전력수요가 절반 이상을 차지하는 가운데, 상업용 30%, 주택용 20% 수준임. 지난 10년간 기계, 전자, 자동차, 철강, 석유화학 등 주력산업이 크게 성장하면서 전력수요에서 산업용 비중 증가

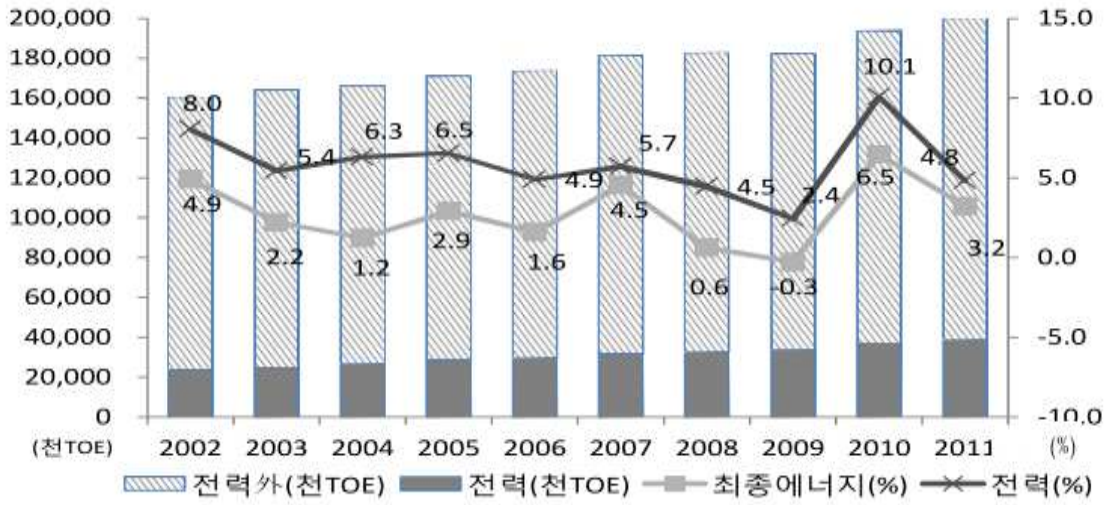
<표 3-41 부문별 전력판매량 비중(단위 : %)>

구 분	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11
주택용	19.5	19.5	19.6	19.5	19.4	18.9	18.7	18.5	17.8	16.9
상업용	28.6	29.3	29.7	30.4	30.6	30.5	30.8	31.3	30.8	29.9
기계전자	13.6	14.1	15.0	15.9	16.5	17.1	17.5	17.2	18.3	19.1
산업용	51.9	51.2	50.7	50.2	50.1	50.5	50.5	50.1	51.4	53.2
전 체	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

주) 기계전자 : 기계, 조립금속, 사무·전기기기, 반도체, 디스플레이, 자동차, 선박, 철도, 항공기 등

14) 지식경제부 공고 제2013-63호(2013.02.25), 제6차 전력수급기본계획(2013~2027).

- 전력소비량은 2002년 ~ 2011년간 연평균 5.6% 증가. 동 기간 최종에너지 소비증가율 2.7%(전력제외 2.1%)를 크게 상회. 지난 10년간 상업용 전력소비 증가율이 6.4%로 가장 크며, 산업용 6.0%, 주택용 4.6% 순



<그림 3-114 최종에너지와 전력소비량 추이>

- 최대전력 수요는 2012년 하계기준 74,291㎿ 발생. 2002년 43,125㎿ 대비 72%(31,166㎿) 증가. 최대전력은 기본부하(4월, 10월)와 비교하여 산업용 수요비중이 감소하고 일반용 수요비중이 크게 증가하는 패턴임. 기본부하와 비교 시 일반용 냉난방 수요가 큰 폭으로 증가하여 최대전력 증가

<표 3-42 최대전력 및 기본부하 분야별 비중(단위 : ㎿)>

	산업용	일반용	교육용	주택용	농사용	가로등	심야	기타	계
'11.4월	31,697	12,924	1,360	5,662	1,208	424	836	2,541	56,652
비중(%)	56.0	22.8	2.4	10.0	2.1	0.7	1.5	4.5	100
하계피크 ('11.8월)	35,728	19,920	2,427	7,911	1,616	375	839	3,378	72,194
비중(%)	49.5	**27.6**	3.4	10.9	2.2	0.5	1.2	4.7	100
'11.10월	34,222	12,553	1,094	5,890	1,102	416	450	2,920	58,647
비중(%)	58.4	21.4	1.9	10.0	1.9	0.7	0.8	5.0	100
동계피크 ('12.2월)	35,207	21,018	2,254	8,580	1,857	485	1,036	3,396	73,833
비중(%)	47.7	**28.5**	3.0	11.6	2.5	0.7	1.4	4.6	100

* 기타 : 임시 및 소내소비

- 2012년 말 기준 국내 발전설비 규모는 총 81,806㎿이고, 2002년 53,801㎿ 대비 52%(28,005㎿) 증가. 총 발전설비 규모는 세계 13위 수준(2010년 기준)으로 전력수요

규모(세계 8위)에 비해 설비 규모가 작은 편임. 발전설비는 원자력, 석탄, 가스 비중이 높은 반면, 발전량은 수급상황이 최근 악화되면서 가스발전 비중이 크게 증가함

<표 3-43 원별 발전설비 규모 및 비중(단위 : MW)>

구분	원자력	석탄	LNG	석유	양수	신재생	합계
'02년	15,716	15,931	13,618	4,660	2,300	1,576	53,801
	29.2	29.6	25.3	8.7	4.3	2.9	100
'12년	20,716	25,128	21,885	5,293	4,700	4,084	81,806
	25.3	30.7	26.8	6.5	5.7	5.0	100

<표 3-44 원별 발전량 규모 및 비중(단위 : GWh)>

구분	원자력	석탄	LNG	석유	양수	신재생	합계
'02년	119,103	118,022	38,943	25,095	2,078	3,233	306,474
	38.9	38.5	12.7	8.2	0.7	1.1	100
'12년	150,623	200,482	126,358	15,610	3,675	11,632	508,380
	29.6	39.4	24.9	3.1	0.7	2.3	100

* 출처 : '12년 발전량은 전력거래소 발전실적관리시스템 잠정치 기준
* 집단에너지는 연료원별로 설비 및 발전량에 배분

<표 3-45 연도별 예비력 및 예비율 추이(단위 : MW, %)>

	구분	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12
설비용량	예비력	6,507	7,026	8,696	7,865	7,106	5,784	4,911	7,559	10,160	**4,521**	**7,052**	**7,261**
	예비율	15.1	15.3	18.4	15.3	13.0	9.8	7.9	12.0	16.1	**6.5**	**9.8**	**9.8**
공급능력	예비력	5,574	6,340	8,103	6,264	6,187	6,189	4,493	5,725	9,420	**4,458**	**5,442**	**2,791**
	예비율	12.9	13.9	17.1	12.2	11.3	10.5	7.2	9.1	14.9	**6.4**	**7.5**	**3.8**

* 단기 수요감축 조치를 통한 수요관리 후 수요기준

□ 문제점 : 타 에너지에 비해 상대적으로 낮은 전기요금으로 인해 전기화 현상 심화됨. 이상기온(폭염, 한파)으로 냉난방기기 보급이 급증하면서 냉난방부하가 크게 증가함. 소득수준 향상, 전기사용의 편리성에 따른 전기냉난방기기 보급 확대로 과거와 동일한 기온에서도 냉난방 전력소비 증가하고 있음

□ 시사점 : 건물 및 인구가 밀집해 있는 도시단위에서는 상기 문제가 심화될 것으로 판단되며, 냉난방부하 증가에 따른 전기소비를 억제하고, 지역냉난방을 통한 온열 및 냉열 공급으로 냉난방부하를 충당하는 것이 바람직함. 또한, 도시단위에서의 각 종 미활용에너지 및 신재생에너지의 보급 활성화를 통해 에너지원을 혼합(Mix)하고, 다변화

하는 노력이 필요함

□ 도시에너지 수요패턴 분석

- 도시에너지 공급 유형 분석 및 도시에너지 해석 모델 개발을 위한 건물단위에서의 에너지 부하별 수요패턴을 분석하였음
- 분석대상 건물 개요는 다음과 같음. 대상 건물에서 수집된 데이터는 타 과제[15]에서도 일부 사용되었음

<표 3-46 도시에너지 수요패턴 분석을 위한 대상건물(업무용, 상업용) 개요>

구분	건물명	용도구분	연면적(㎡)	층수
③	Trade Tower	업무	107,850.22	지하2층~54층
⑤	ASEM Tower	업무	147,060.51	지하4층~41층
④	COEX MALL	상점, 영화관, 수족관	111,591.45	지하1층
⑦	COEX CONVENTION	컨벤션	259,233.89	지하5(6)층~5(6)층

<표 3-47 도시에너지 수요패턴 분석을 위한 대상건물(공동주택 A) 개요>

구 분	2단지	3단지	5단지	7단지
전용면적 (공급면적)<㎡>	49.85(69.87)/ 59.90(83.98)	84.90(108.55)	84.73(109)/ 104.69(134.03)	84.45(108.25)/ 104.68(133.83)
세대수 (총세대수)	75/582(657)	540	329/107(436)	471/162(733)

- 업무용 건물 연간 월별 냉난방부하 패턴

: Trade Tower 및 ASEM Tower에서의 연간 월별 냉방부하패턴의 경우 예측되는 바와 같이 8월에서 피크가 발생하고 있으며, 냉방기간은 건물의 특성상 4월부터 10월까지임. 반면에 난방부하는 냉방부하에 비하여 상당히 작음

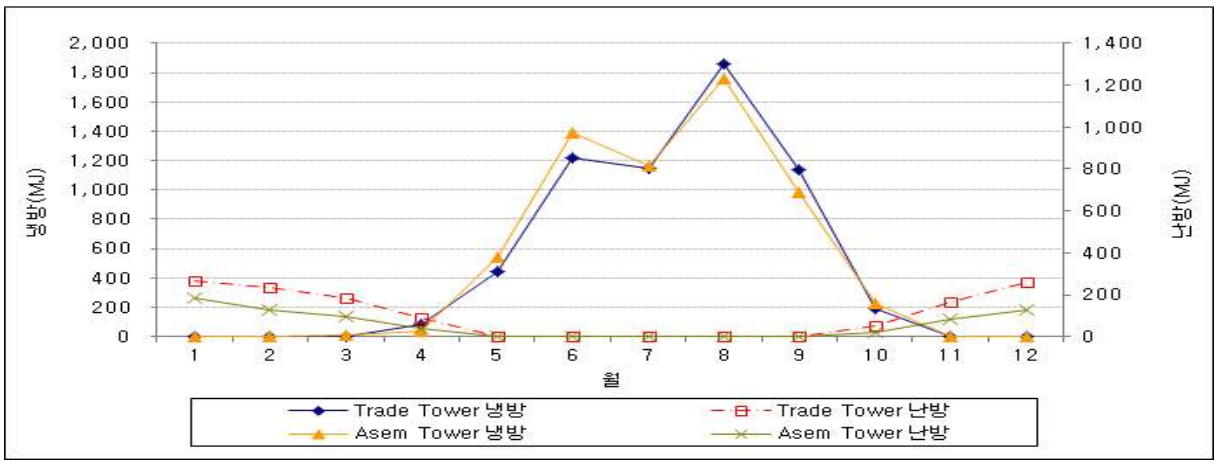
: 상업용 건물인 COEX Mall의 경우에는 연간 냉난방 피크 발생량이 비슷함. 냉방부하 피크는 8월에 발생하였으며, 난방부하 피크는 1월에 발생하였음

: 업무용 건물(Trade Tower 및 ASEM Tower)의 일간 시간대별 냉방부하패턴을 보면, 오전 7시부터 냉방부하가 크게 증가하여 일정하게 오후 6시까지 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있음

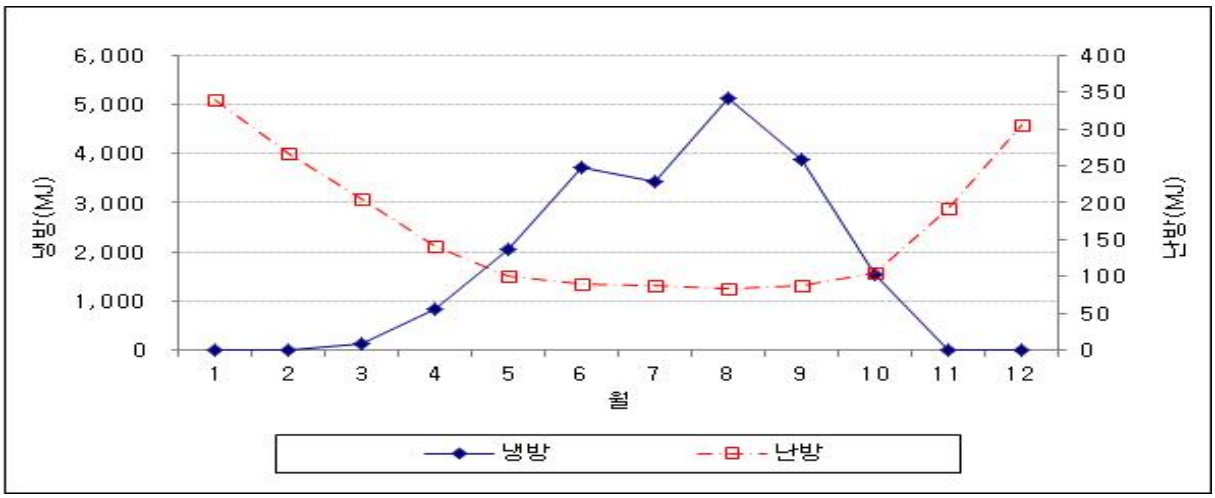
15) 서울시립대학교, 도시 광역적 에너지 수요관리시스템 개발, 2006년 첨단도시개발사업 1.2차년도 통합연구결과보고서.

<표 3-48 연간 월별 냉난방 부하패턴>

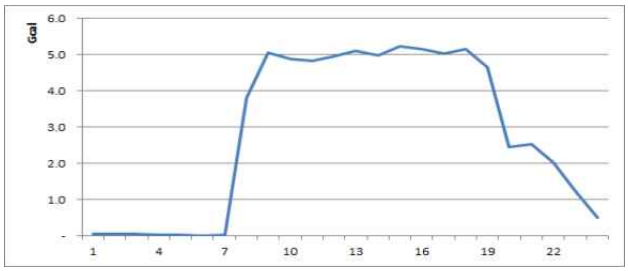
월	Trade Tower		ASEM Tower	
	냉방(GJ)	난방(GJ)	냉방(GJ)	난방(GJ)
1	0.0	265.9	0.0	186.5
2	0.0	232.7	0.0	125.9
3	5.4	185.1	5.5	96.2
4	79.8	91.0	24.7	37.8
5	448.2	2.9	379.2	0.3
6	1,217.7	3.0	971.4	0.2
7	1,145.5	3.0	817.0	0.2
8	1,861.0	3.4	1,234.0	0.4
9	1,139.0	3.8	690.9	0.2
10	195.3	49.1	161.4	21.6
11	0.0	166.1	0.0	85.9
12	0.0	259.7	0.0	126.5



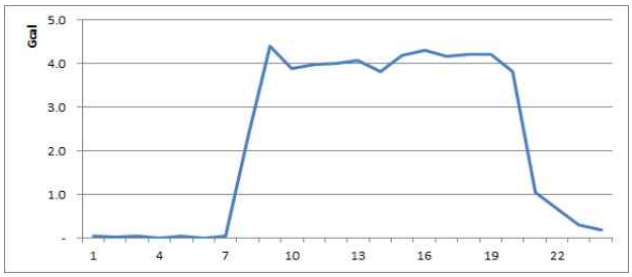
<그림 3-115 업무용 건물(Trade Tower & ASEM Tower의 연간 월별 냉난방 부하패턴>



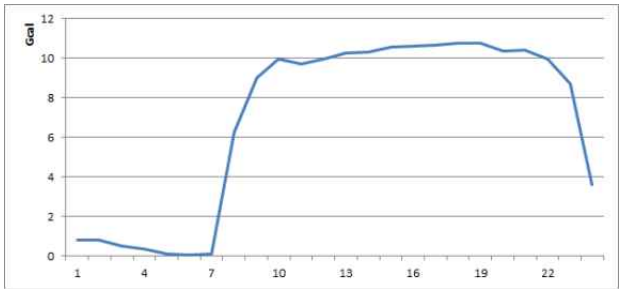
<그림 3-116 상업용 건물(COEX Mall)의 연간 월별 냉난방 부하패턴>



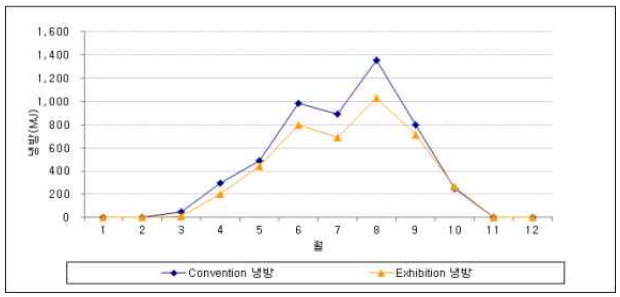
<업무용 건물(Trade Tower)의 일간 시간대별 냉방부하패턴>



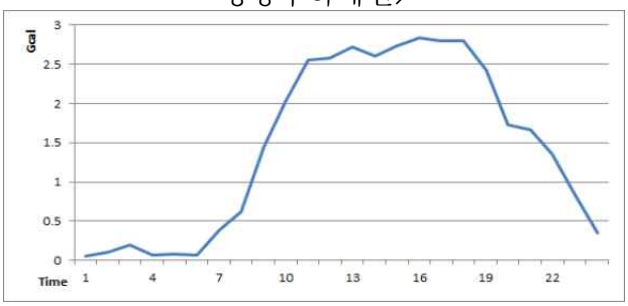
<업무용 건물(ASEM Tower)의 일간 시간대별 냉방부하패턴>



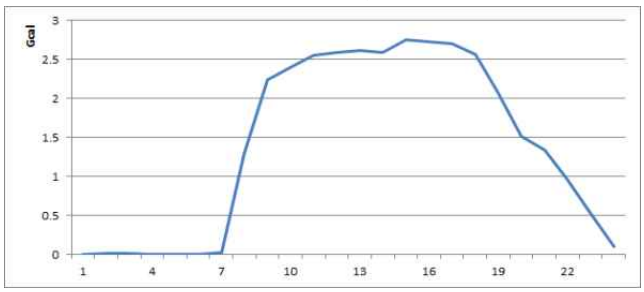
<상업용 건물(COEX Mall)의 일간 시간대별 냉방부하패턴>



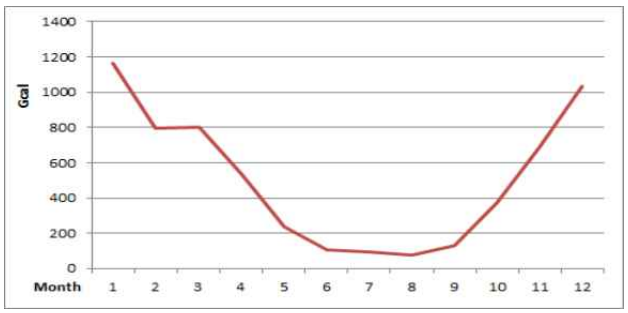
<전시용 건물(COEX 전시관)의 연간 월별 냉방부하패턴>



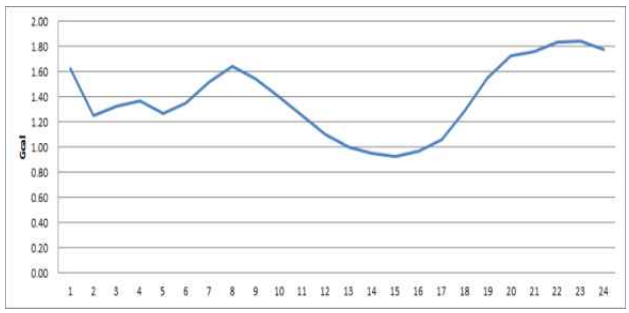
<전시용 건물(COEX Convention)의 일간 시간대별 냉방부하패턴>



<전시용 건물(COEX Exhibition)의 일간 시간대별 냉방부하패턴>



<공동주택(2단지)의 연간 월별 난방부하패턴>



<공동주택(2단지)의 일간 시간대별 난방부하패턴>

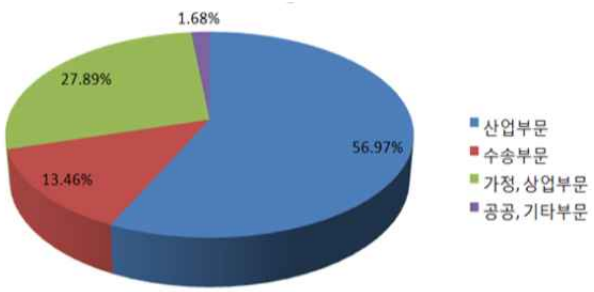
<그림 3-117 건물 유형에 따른 시간대별 부하패턴>

11.2 안산시 도시에너지 공급 및 소비특성 분석

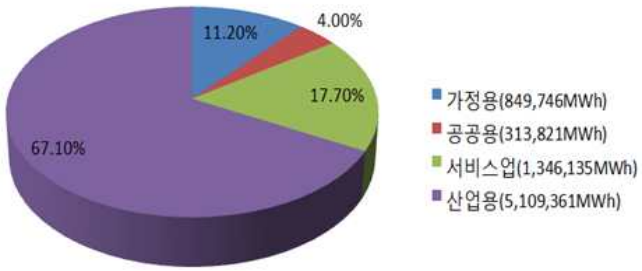
□ 안산시 개요

- 인구 : 759천명 (경기도 31개 시·군 중 6위)
- 면적 : 149.39㎢ (경기도 전체 면적의 1.47%)
- 온실가스 배출량 : 7,142천 ton CO2(경기도 전체 배출량의 9.5%)
- 경기도 지자체에서 가장 많은 온실가스를 배출 (안산시>수원시>용인시>평택시>화성시)
- 전력 소비량 : 7,619천MWh(전력 소비량의 67.1%는 산업부문에서 발생)
- 도시가스 소비량 : 444,637천㎥ (2010년)
- 기업체 현황 : 총 8,204개 업체(반월국가산업단지, 시화국가산업단지, 반월도금단지, 개별입지)

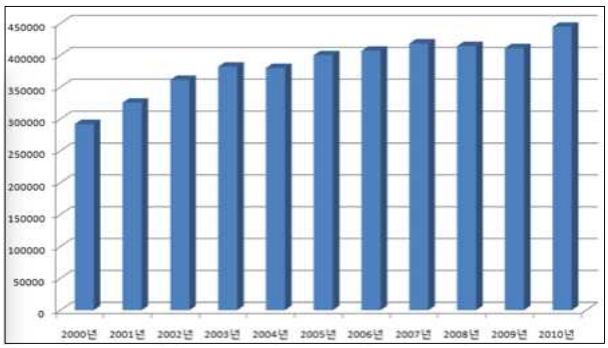
□ 안산시 총 에너지소비량 수요 및 공급특성



<안산시 부문별 온실가스 배출량 비율(2007년)>



<안산시 부문별 전력소비량 비율(2010년)>



<안산시 연도별 도시가스 소비량 추이>

<그림 3-118 안산시 에너지 소비 특성>

□ 안산시 지역난방 열공급 및 수요특성

- 안산시 지역난방 열공급 및 수요특성을 분석하기 위하여 안산신도시를 대상으로 지역난방열을 공급하고 있는 안산도시개발㈜의 협조를 받았음

- 안산도시개발㈜의 개요

: 2012년 6월 현재 안산지역 53,351세대의 아파트에 지역난방을 공급

: 일부 업무용 건물에는 지역냉방 공급

: 공동주택 지역냉방 시범사업 추진

: 주요설비 : 열병합 발전설비+자원회수시설의 배열을 이용



(a) 열병합발전소



(b) 축열조



© 중앙제어실



(d) 주보일러



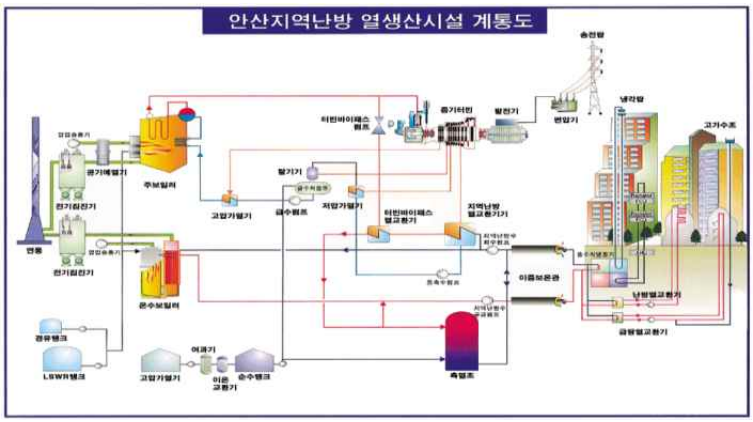
(e) 터빈발전기



(f) 열교환기

<그림 3-119 안산도시개발 지역난방 공급시설 전경>

: 열생산시설 계통도



<그림 3-120 안산지역난방 열생산시설 계통도>

- 자료 요청 사항 : 단지별 열수요 데이터(엑셀 데이터)

: 단지별 2012년도 일간 시간대별 열 수요량

: 단지별 2012년도 연간 일별 열 수요량

: 단지별 3개년(2010년 ~ 2012년) 연간 월별 열 수요량

: 2012년도 단지별 연간 월별 열 사용요금

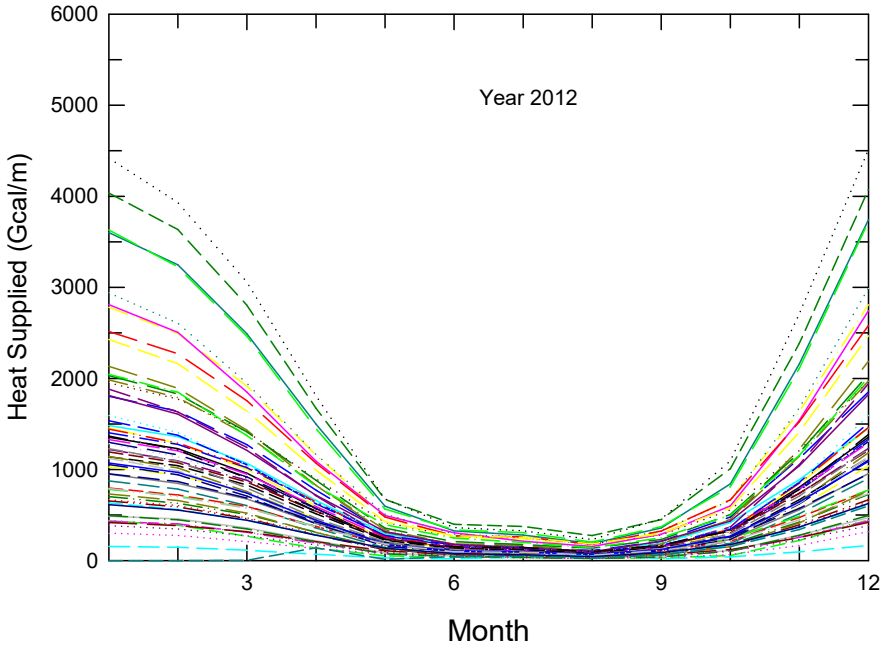
: 2012년도 단지별 난방 및 급탕요금 월별 부과현황:



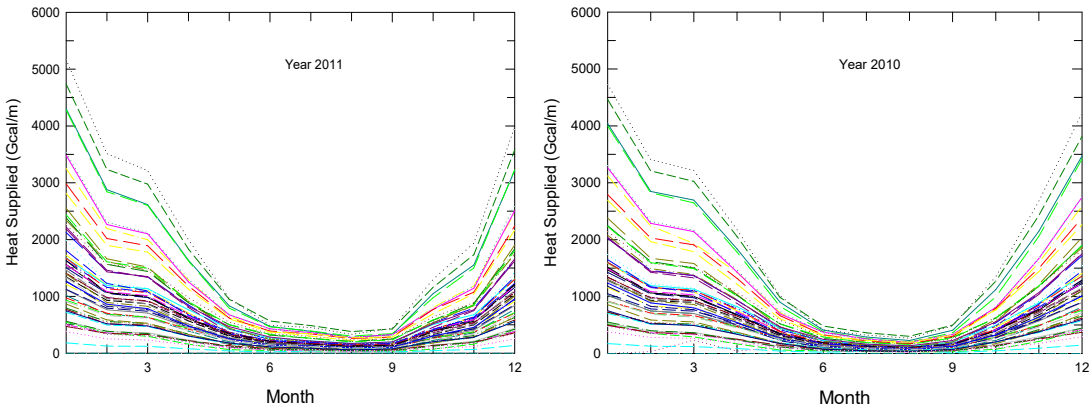
<그림 3-121 안산도시개발 열공급 현황(2013년 1월 기준)>

<표 3-49 안산도시개발 연도별 열판매 실적>

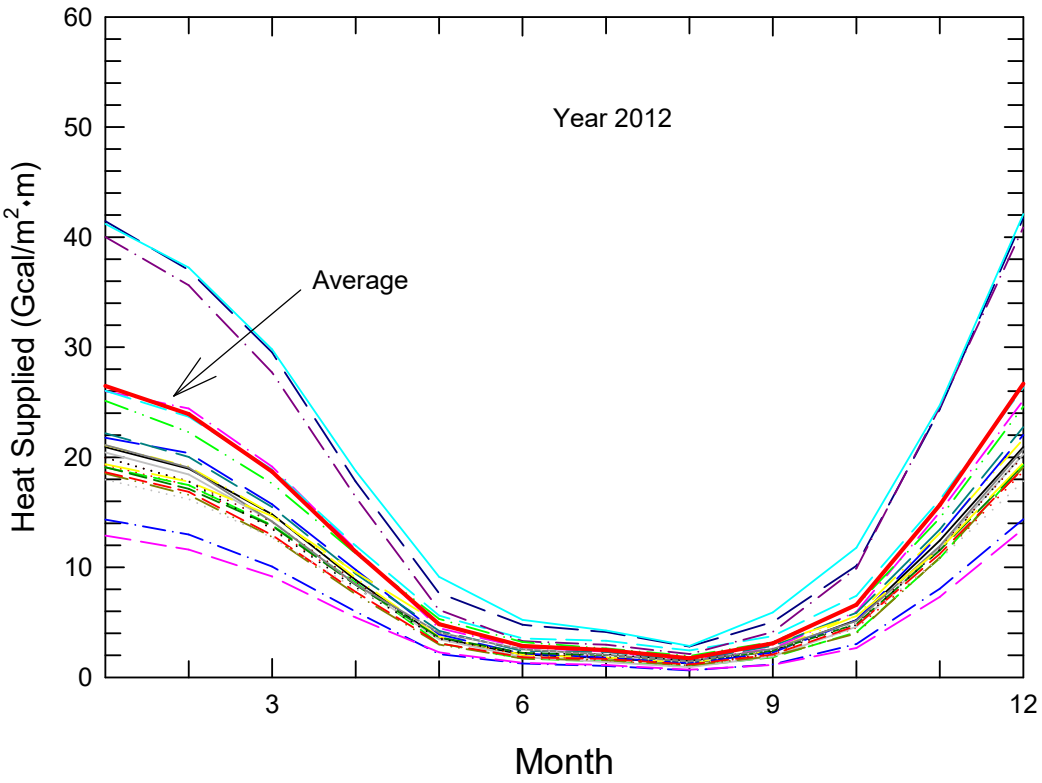
구 분	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년
주택용	434,430	420,455	416,375	428,791	431,243
업무용	32,203	31,117	33,183	49,822	52,169
공공용	14,633	14,168	15,137	15,251	15,843
열사용량 합계 (Gcal/년)	481,267	465,740	464,695	493,864	499,255
주택용	21,028	23,487	24,485	28,352	31,885
업무용	1,740	2,098	2,231	3,262	3,698
공공용	745	844	932	1,079	1,230
열판매금액 합계 (백만원/년)	23,513	26,429	27,648	32,693	36,813



<그림 3-122 단지별(59개 단지) 월별 열사용량(2012년)>



<그림 3-123 단지별(59개 단지) 월별 열사용량(2011년(좌), 2010년(우))>



<그림 3-124 단지별(23개 단지) 월별 단위 난방면적당 열사용량(2012년)>



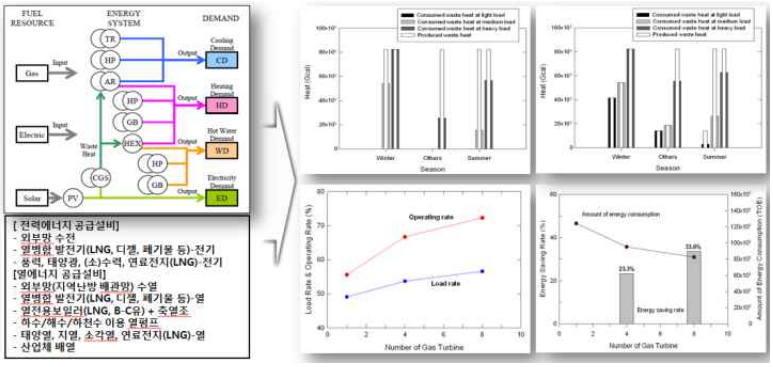
<그림 3-125 안산도시개발 열공급 현황(2013년 1월 기준)>

□ 안산시 전력소비량 수요특성

<표 3-50 안산시 용도별 전력소비량 추이>

구분	합계(MWh)	가정용 (MWh)	점유율 (%)	공공용 (MWh)	점유율 (%)	서비스업 (MWh)	점유율 (%)	산업용 소계(MWh)	점유율 (%)	농림 수산업 (MWh)	점유율 (%)	광업 (MWh)	점유율 (%)	제조업 (MWh)	점유율 (%)
2006년	6,615,497	734,990	11.1	266,980	4.0	1,150,581	17.4	4,462,946	67.5	9,250	0.1	1,073	0.0	4,452,623	67.3
2007년	6,846,806	766,933	11.2	286,494	4.2	1,200,527	17.5	4,592,852	67.1	10,125	0.1	1,332	0.0	4,581,395	66.9
2008년	6,871,968	793,266	11.5	298,682	4.3	1,244,436	18.1	4,535,584	66.0	11,464	0.2	2,259	0.0	4,521,861	65.8
2009년	6,873,867	809,555	11.8	299,756	4.4	1,256,587	18.3	4,507,969	65.6	12,290	0.2	2,176	0.0	4,493,503	65.4
2010년	7,619,063	849,746	11.2	313,821	4.1	1,346,135	17.7	5,109,361	67.1	12,587	0.2	5,146	0.1	5,091,627	66.8

12. 도시 에너지·자원 부존량 분석 및 수치실험을 통한 에너지 공급시스템의 경제성 분석자료

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">

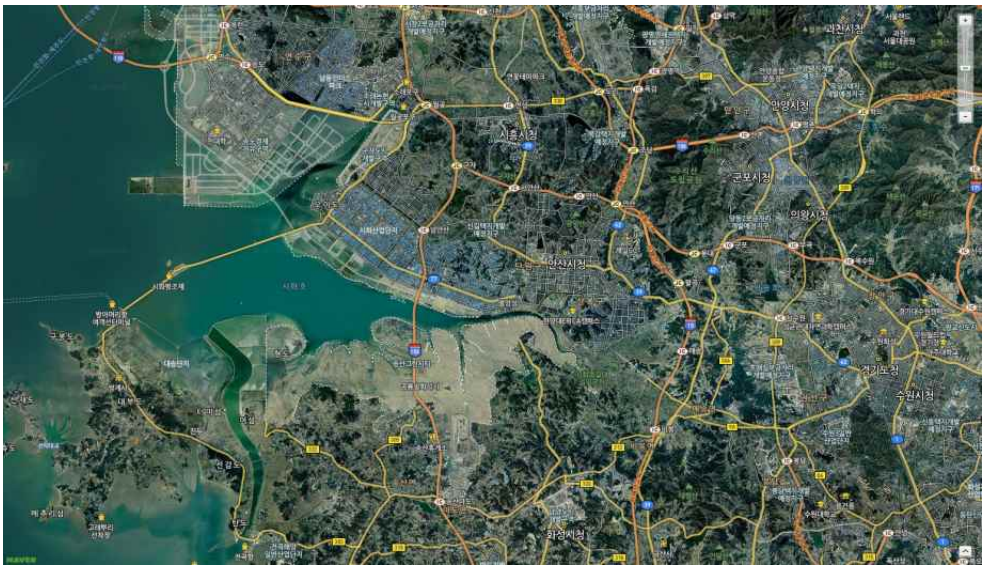
<모델도시(인구 6만명 규모)에 대한 해석결과 사례></td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">- 테스트베드(안산시)에 대한 도시에너지·자원 부존량(미활용에너지 부존량, 신재생에너지 부존량) 분석
- 최적화 프로그램을 이용한 주요 설계 및 운영인자에 따른 수치실험 수행 및 경제성 검토</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">- 도시의 에너지 이용효율에 영향을 미치는 설계 및 운영인자 도출을 통한 경제성 검토 방법 조사 필요
- 경제성 분석방법에 따른 차이점 분석 및 도시에너지/자원 부존량 분석 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">- 문헌조사 및 현장방문을 통한 도시 에너지·자원 부존량 분석
- 선형계획법을 이용한 수치실험을 통한 주요 설계 및 운영인자에 따른 에너지 공급시스템의 경제성 분석</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 도시 에너지·자원 부존량 분석 자료는 도시별, 에너지·자원별 일부 자료가 있음. 수치실험을 통한 도시단위 에너지 공급시스템 경제성 분석 자료는 거의 없음
(개발기술 수준)
- 테스트베드(안산시)에 대한 도시 에너지·자원 부존량을 상세하게 분석
- 수치실험을 통한 주요설계, 운영인자에 따른 에너지 공급시스템의 경제성 분석
(개발기술 수준 설정근거)
- 국내 문헌분석 및 사례분석</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">김용기(한국건설기술연구원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">2~3차년도 '12.10 ~ '13.09 (12개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td rowspan="2">3차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>논문게재
국내 1건</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>2차년도</td><td colspan="5">도시에너지·자원 부존량 분석건수 : 5건
- 테스트베드에 대한 미활용에너지 부존량 분석 3건
- 테스트베드에 대한 신재생에너지 부존량 분석 2건
수치실험을 통한 경제성 분석건수 : 5건
- 안산시 모델 2건, 수도권 신도시 모델 1건
- 서울시 뉴타운 또는 재개발 모델 1건, 해외모델 1건</td></tr>
<tr><td rowspan="2">달성 확인방법</td><td>2차년도</td><td colspan="5">- 질적성과 : 해당 보고서 확인</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">- 논문게재 국내 1건 : 논문집 확인</td></tr>
</table>

12.1 안산시 시화호 해수열원 이용가능 열량 분석

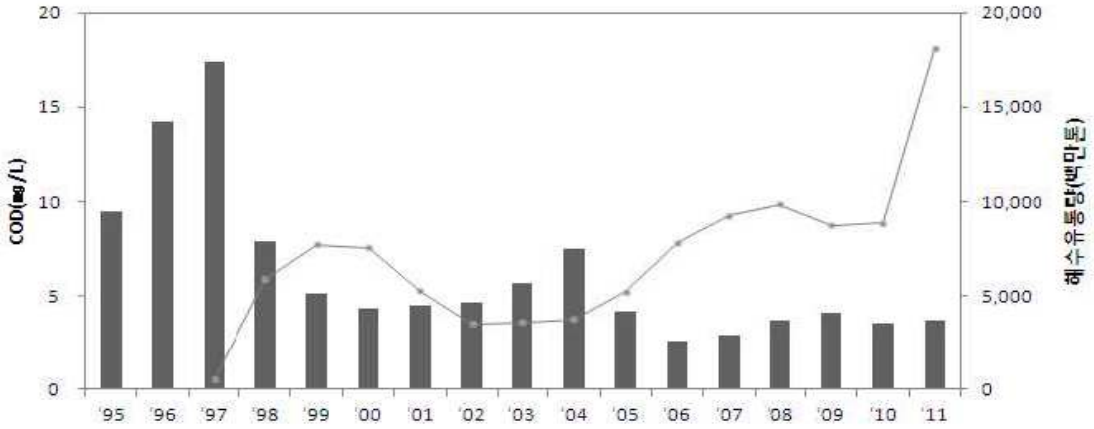
□ 시화호 방조제의 길이는 12.7㎞이고, 형성된 호수 면적은 43.8㎢이며, 시화호 수질에 직접적인 영향을 미치는 유역의 범위는 476.5 ㎢임. 시화호의 총 저수량은 332백만 톤, 관리수위는 -1.0m, 최대 수심은 18m에 달하며, 해수 유입량은 3억 8천만 톤/년<해수유통 3천만 톤/일중 100만 톤 순수유입, 체류일수 300일>임.

- 시화호 면적 : 6,100㎢
- 방조제 길이 : 12.7㎞
- 담수면적 : 56.5㎢
- 유역면적 : 476.5㎢
- 유효저수량 : 182백만 톤(최대 322백만 톤)
- 배수갑문 : 2개소(방아머리, 탄도)

□ 해수(시화호)의 연간 온도는 대기온도보다 겨울철에는 높고, 여름철에는 낮으므로 해수열원 열펌프를 적용하여 인근에 지역냉난방을 수행할 수 있음. 본 절에서는 시화호 수온을 가정하고, 해수열원 열펌프를 적용하였을 경우의 최대이용 가능 열량을 계산하고자 함

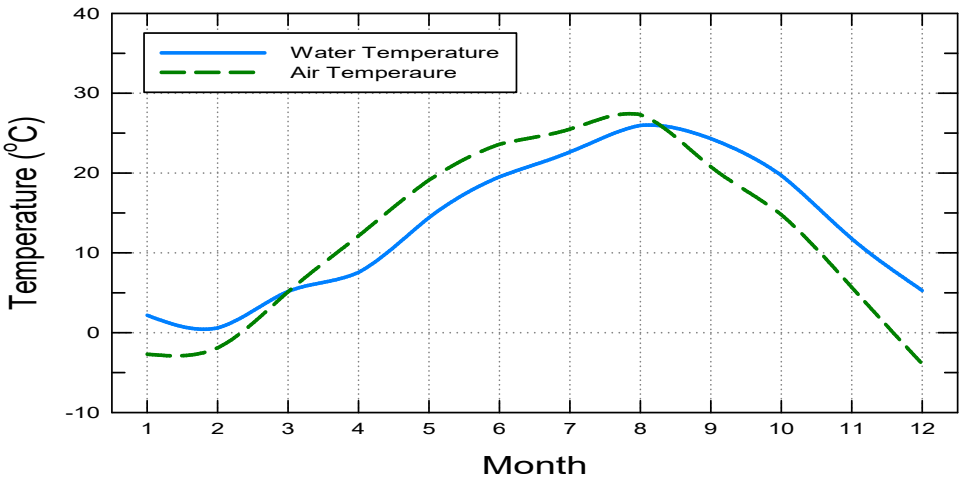


<그림 3-126 안산시 및 시화호 사진(출처 : 네이버 지도검색서비스)>



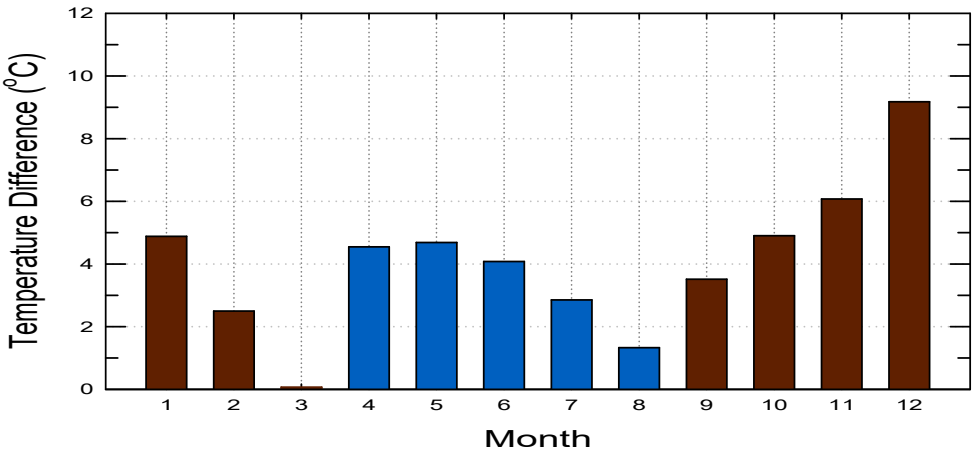
(자료: COD - 해양환경측정망, 해수유통량 - 한국수자원공사)

<그림 3-127 시화호 수질과 해수 유통량 변화>



<그림 3-128 시화호 월평균 수온 및 기온(2012년)>

(자료: 수온(MEIS,국가해양환경정보통합시스템), 기온(기상청))

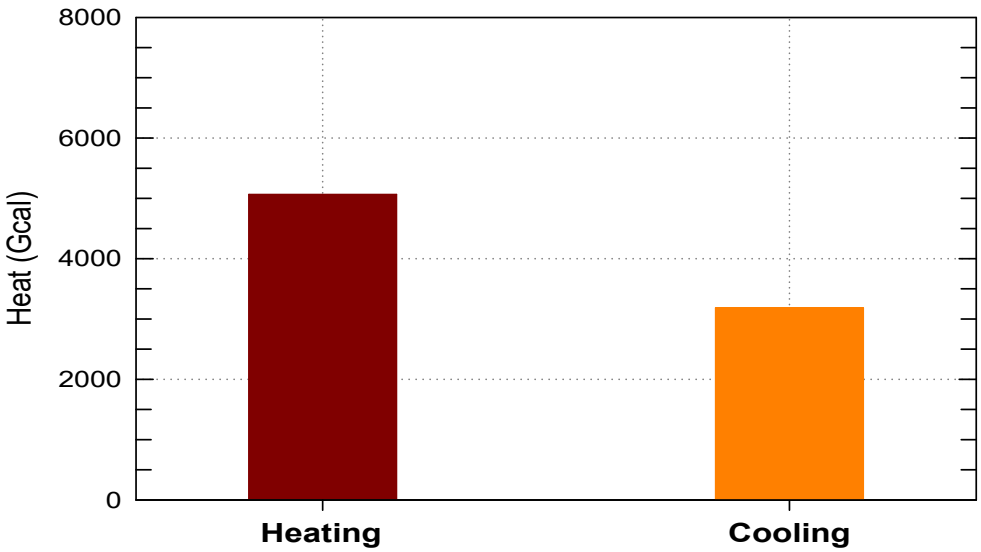


<그림 3-129 시화호 월평균 수온-기온 온도차(2012년)>

□ 시화호 이용가능 최대 열량

<표 3-51 시화호 가용 열량>

월 (2012년)	수온 (℃)	기온 (℃)	온도차 (℃)	유효저수량 (t)	최대 이용가능 열량 (Gcal)
1월	2.18	-2.70	4.88	182백만	888.71
2월	0.60	-1.90	2.50		454.59
3월	5.17	5.10	0.07		12.75
4월	7.55	12.10	4.55		827.76
5월	14.41	19.10	4.69		853.00
6월	19.52	23.60	4.08		742.63
7월	22.65	25.50	2.85		519.61
8월	25.97	27.30	1.33		241.81
9월	24.31	20.80	3.51		639.72
10월	19.70	14.80	4.90		291.97
11월	11.77	5.70	6.07		1,105.63
12월	5.28	-3.90	9.18		1,670.22
합 계					8,248.4



<그림 3-130 해수열원 열펌프를 이용한 시화호 동하절기 최대 이용가능 열량 (2012년 수온/기온 기준)> (동절기 9월 ~ 3월, 하절기 4월 ~ 8월)

12.2 안산시 하수열원 이용가능 열량 분석

□ 각 지역 및 공업단지에서 발생되는 다양한 유형의 미활용에너지를 회수하여 재활용하는 것은 에너지 절약 및 환경개선을 위해 개발이 반드시 필요. 특히, 지역의 하수처리수는 대량으로 부존하고 있으며, 조사결과 연간 36,000Tcal/년임. 이 열량은 2006년도 국내 총 에너지 소비량의 약 2.1%, 가정 및 상업부분 에너지 소비량의 9.7%를 차지하는 막대한 양임

□ 하수처리의 수온은 지역에 따라 다소 차이는 있으나 통상 하절기 20 ~ 25℃로 대기보다 10℃ 정도 낮고, 동절기에는 8 ~ 13℃로 대기보다 10℃정도 높아 동절기에는 증발기의 열원으로, 하절기에는 응축기의 냉각열원으로 이용하여 공기를 열원으로 한 열펌프에 비해 효율이 더 높아 경제적인 특성이 있음.[16] 아래의 표는 하수열을 활용한 지역냉난방 이용 사례를 보여주고 있음

<표 3-52 하수열을 활용한 지역 냉난방 이용 사례>

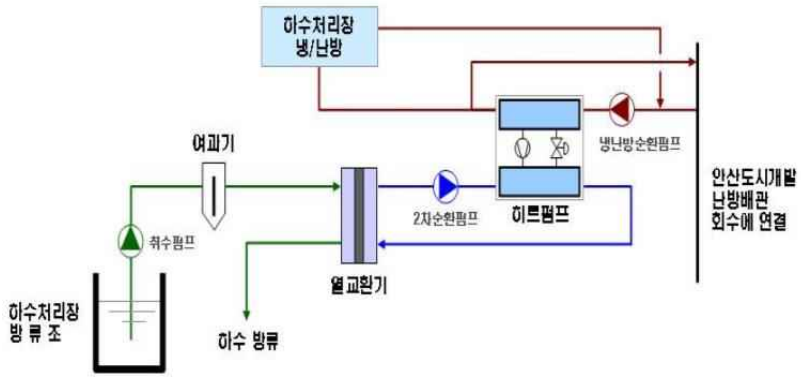
NO	국 명	공급지구명	공급대상(또는 수요처)	공급형태	이용열원
1	일 본	幕張新都心 High-tech Business	오피스 빌딩 외	온수·냉수	처 리 수
2	일 본	千葉問屋町	오피스 빌딩, 호텔 외	증기·온수·냉수	처 리 수
3	일 본	盛岡驛西口	오피스 빌딩, 방송국, 쇼핑센터	온수·냉수	처 리 수
4	일 본	高松市番町	행정시설, 병원, 복지시설	온수·냉수	처 리 수
5	일 본	下川端再開發	극장, 호텔, 병원 외	증기·온수·냉수	처 리 수
6	일 본	後樂1丁目	오피스 빌딩, 호텔, 문화시설	온수·냉수	생 하 수
7	스 웨 덴	스톡홀롬(솔루나)	주택·업무·공장	고온수	처 리 수
8	스 웨 덴	스톡홀롬(하마비)	주택	고온수	처 리 수
9	스 웨 덴	마루메	주택·업무·상업	고온수	처 리 수
10	스 웨 덴	우프사라	주택·업무·상업	고온수	처 리 수
11	스 웨 덴	유테포리	주택·업무	고온수	처 리 수
12	노르웨이	바륨·센드윗카	주택·업무·상업	고온수, 냉수	생 하 수
13	노르웨이	오슬로(스코안웨스트)	주택	고온수	생 하 수
14	노르웨이	오슬로	주택·업무	고온수	생 하 수

16) 이영수, 2008, 하수열원을 이용한 대구시 서부하수처리장 지역열공급시스템 실증 연구.

□ 안산시의 하수종말처리시설 개요

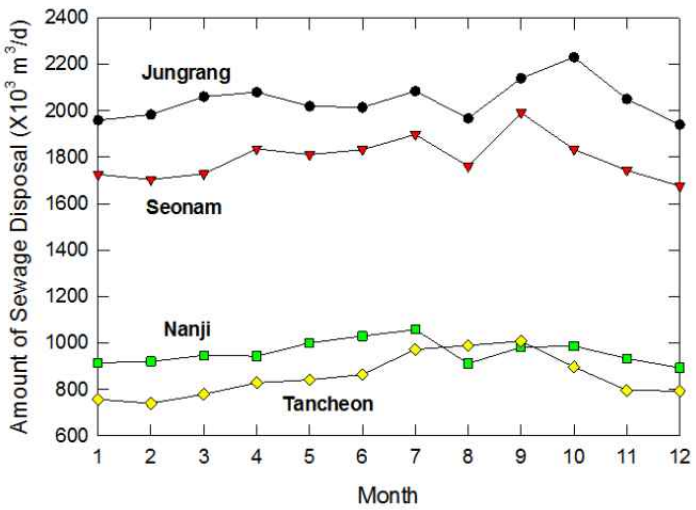
<표 3-53 안산시 하수종말처리시설 개요>

처리장명	안산시 환경사업소	처리구역	2,360ha
운영기관	안산시	처리인구	500,000명
지 역	경기	탈수 Cake 처분	매립
소 재 지	경기도 안산시 성곡동 621	차집방식	분류식
관 할 청	경인지방 환경관리청	차집관로	24.3㎞
공 법	표준활성슬러지법	중계펌프장	8개소
용 량	179,000 ㎥/일	인가일자	1992 / 12 / 4
설 치 비	134,190 백만원	설치일자	2000 / 12 /



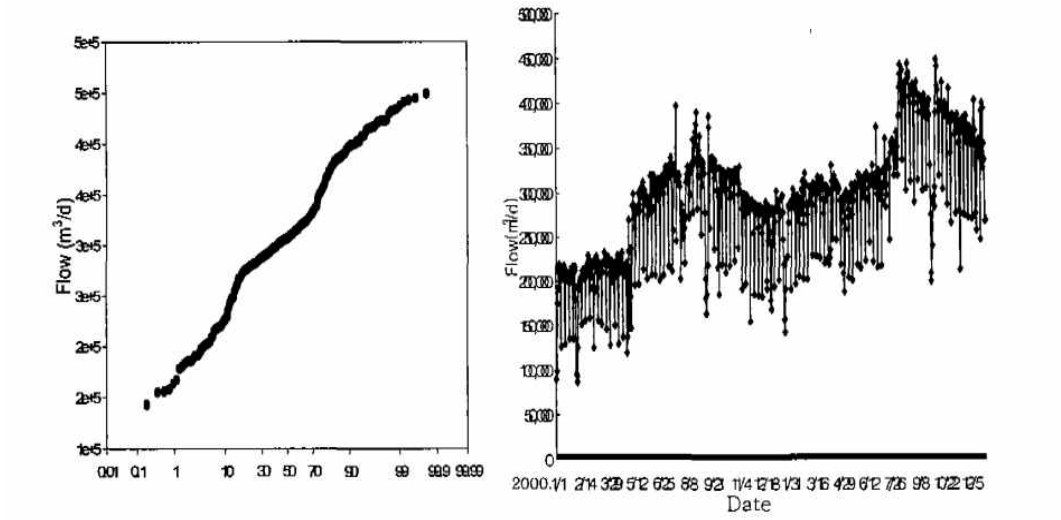
<그림 3-131 하수열 이용모델(안산시)>

(출처 : 환경부 보도자료, 2010.3, 하수처리시설 에너지 자립화 선도사업 선정)

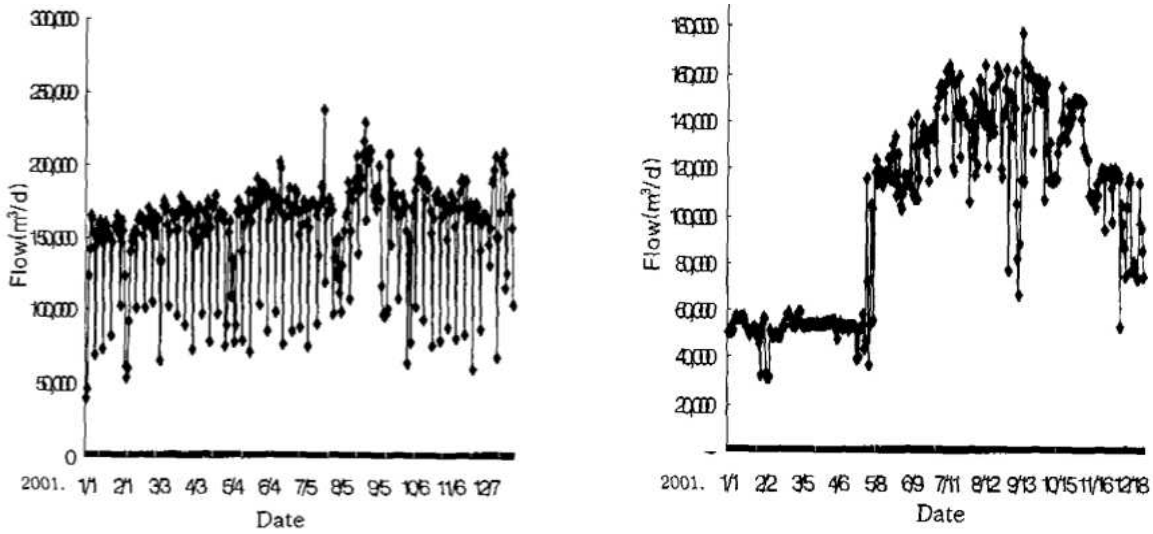


<그림 3-132 월별 하수처리량(월평균)의 변화(서울시)>

(출처: 한국건설기술연구원, 2004, 지하공간을 이용한 혐오시설의 복합플랜트화 연구보고서)



<그림 3-133 안산 하수처리장 연중 유량(2000년)>



<공장하수계열 유량> <가정하수계열 유량>

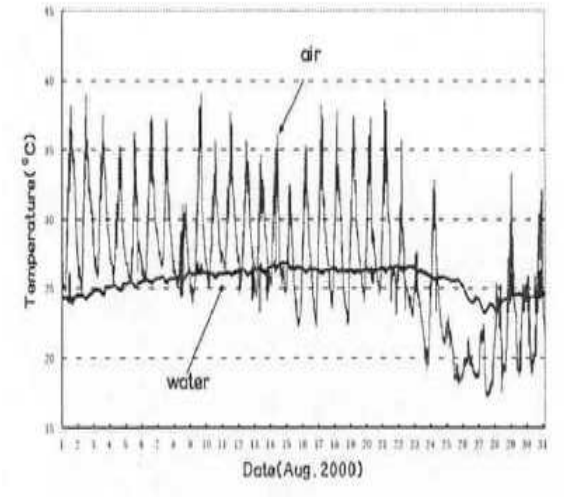
<그림 3-134 안산 하수처리장 하수 유량>

(출처 : 안산환경기술개발센터, 2001,안산하수처리장 운전효율 개선)

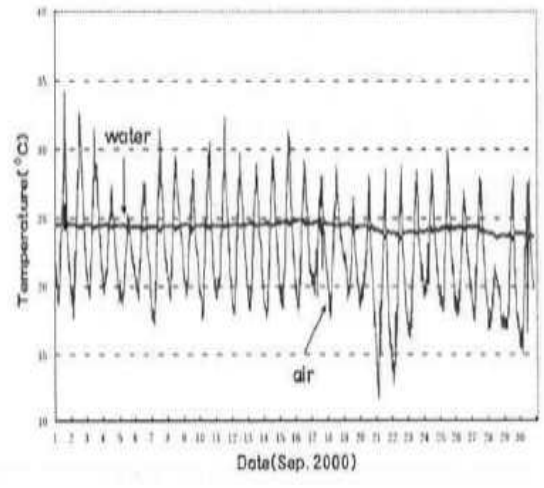
□ 안산 하수처리장에 유입되는 유량은 140,000 ~ 450,000㎥/d로 설계유량 385,000㎥/d 이상 유입되는 일수는 연중 14%에 해당하며, 처리대상구역의 공업단지의 확장, 아파트 단지 조성과 상업지역의 조성 등으로 유량은 꾸준히 증가

□ 안산 하수처리장의 가정하수계열은 연중 유량 변동폭이 53,000 ~ 177,000㎥/d이며, 공장폐수계열은 60,000 ~ 238,000㎥/d로서 공단의 주말 조업율 저하로 인한 유량감소

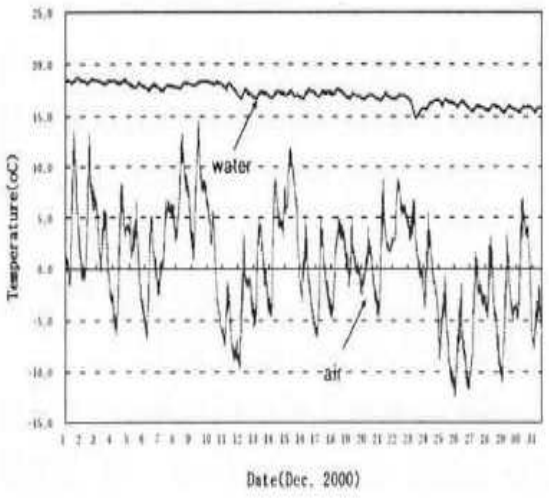
를 반영하는 결과를 보이고 있음. 또한, 공장폐수 계열의 연중 10% 이상은 20만 ㎥/d 이상의 유량을 보이고 있어 안산하수처리장 유량증가의 주원인임을 알 수 있음[17]



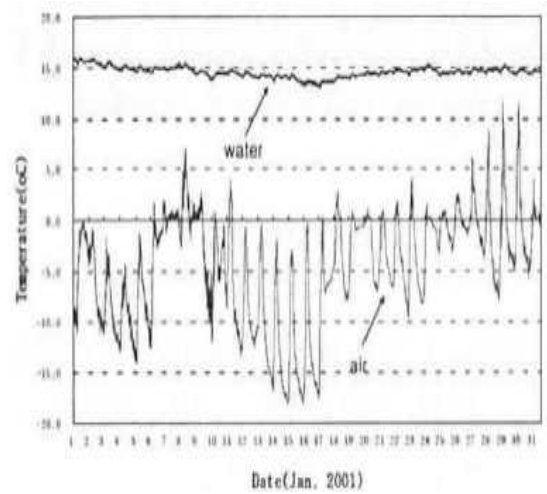
<하절기 8월 외기온도 및 하수열 온도>



<하절기 9월 외기온도 및 하수열 온도>



<동절기 12월 외기온도 및 하수열 온도>



<동절기 01월 외기온도 및 하수열 온도>

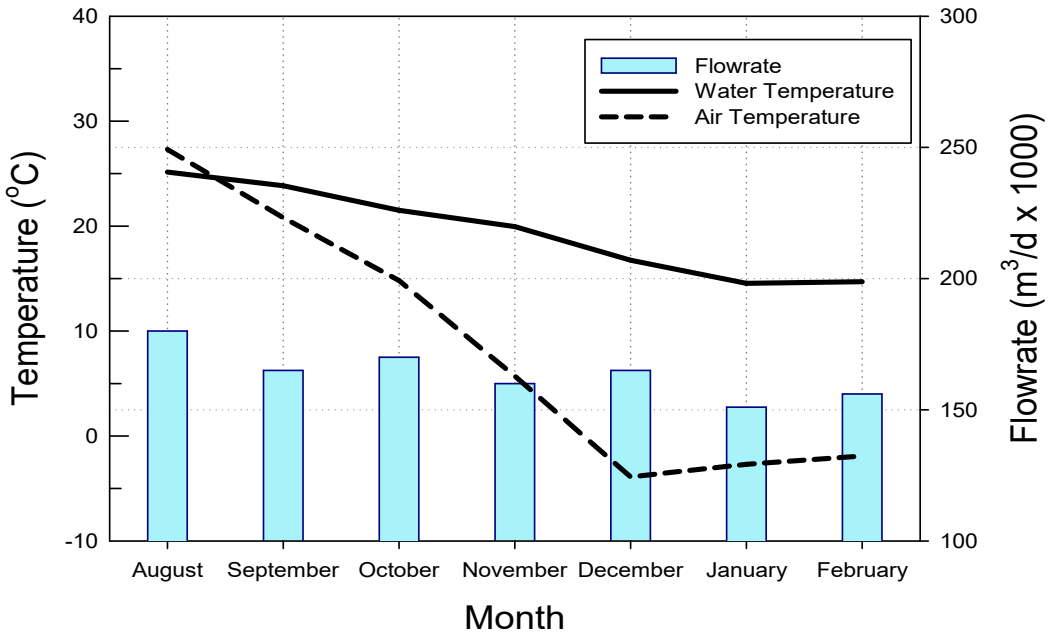
<그림 3-135 동절기 하절기 외기온도 및 하수처리수 온도분포 비교>[18]

□ 아래의 표는 안산 하수처리장의 하수열과 외기의 온도차 및 하수유량에 따른 월별 활용 열량을 계산한 것임. 하수열 온도는 고양 하수처리장 온도를 참조하였고, 외기온도는 기상청 데이터를 활용하였으며, 유량은 안산 하수처리장 데이터를 활용하였음

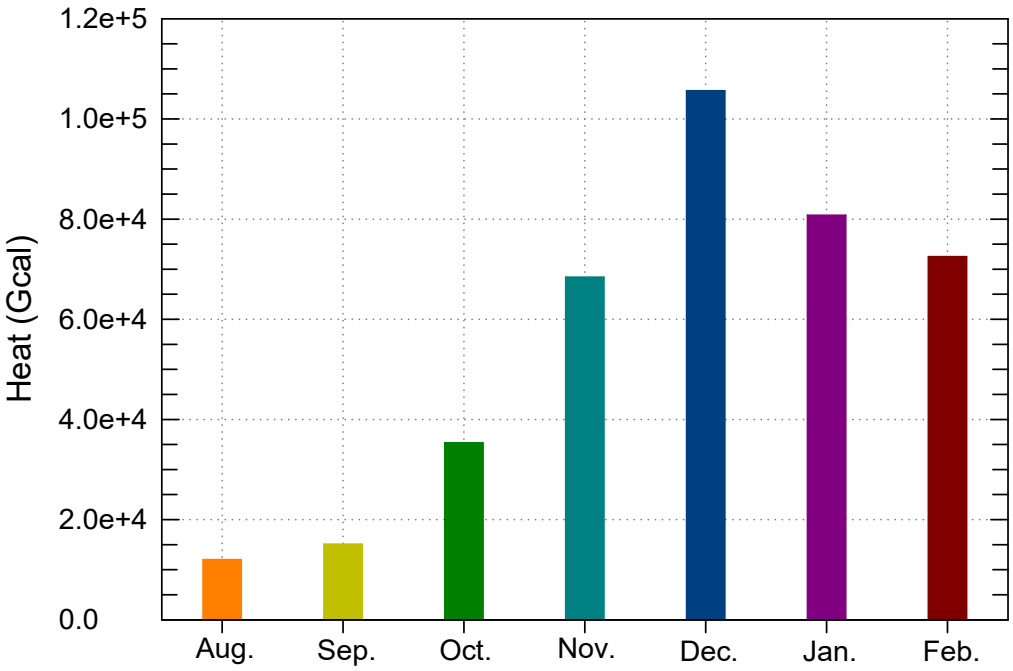
17) 안산환경기술개발센터, 2001, 안산하수처리장 운전효율 개선 방안.
18) 김보철, 신현준, 2005, 하수열원 열펌프시스템의 열원 특성 분석.

<표 3-54 안산 하수처리장의 활용 가능 열량 계산>

월	하수열 온도(℃)	외기온도 (℃)	온도차 (℃)	하수유량 (천t/d)	이용가능 열량	
					(Gcal/d)	(Gcal/m)
08월	25.15	27.30	2.15	180	387	11,997
09월	23.85	20.80	3.05	165	503	15,098
10월	21.5	14.80	6.70	170	1139	35,309
11월	19.95	5.70	14.25	160	2280	68,400
12월	16.75	-3.90	20.65	165	3407	105,625
01월	14.55	-2.70	17.25	151	2605	80,747
02월	14.7	-1.90	16.60	156	2590	72,509



<그림 3-136 월별 하수열 온도, 외기온도 및 하수처리량 변화>



<그림 3-137 월별 하수열에너지 이용 가능 열량>

12.3 시화산업단지 배열 이용가능 열량 분석

□ 버려지는 산업단지의 배열은 지역난방열원으로 사용이 충분히 가능하기 때문에, 이에 대한 부존량 분석이 매우 중요한 요소임



<그림 3-138 시화국가산업단지 안내도>

<표 3-55 시화국가산업단지 주요 제조 업종별 면적분포>[19]

업체구분	면적(천㎡)	업체 수
섬유의복	603	141
석유화학	1,727	598
조립금속・기계	4,423	5,284
메카트로닉스	88	171
소 계	6,841	6,194

19) 한국산업단지공단(2011), 『시화국가산업단지 관리기본계획』.

<표 3-56 국가 업종별 소비열량 및 연면적>[20]

업종분류	소비열량 (천TOE)	연면적(㎡)	비고
17.섬유제품	1,619.7	19,041,107	섬유의복업종분류
18.의복, 모피	90.1	3,712,017	섬유의복업종분류
19.가죽, 가방, 신발	72.2	1,898,425	섬유의복업종분류
24.화합물, 화학제품	25,745.2	18,689,995	석유화학업종분류
25.고무, 플라스틱	1,173.0	14,731,622	석유화학업종분류
28.조립금속제품	853.7	17,105,536	조립금속・기계업종분류
29.기타, 기계장비	1,089.7	21,449,211	조립금속・기계업종분류
31.기타, 전기기계, 전기변환장치	407.4	8,506,522	메카트로닉스업종분류

<표 3-57 국가 업종별 전체 소비에너지 대비 배열량의 비>[21]

섬유의복	석유화학	조립금속・기계	메카트로닉스
17.5%	12.2%	11.4%	11.4%

□ 이용가능 배열 산출량 계산 : 국가 업종별 소비열량(TOE) ÷ 국가 업종별 연면적(㎡) × 업종별 배열량 비 × 시화공단 업종별 면적(㎡)

<표 3-58 시화국가산업단지 주요 제조 업종별 배열량>

섬유의복	석유화학	조립금속・기계	메카트로닉스	합계
7,624.6 TOE	169,484.5 TOE	9,903.3 TOE	479.5 TOE	**187,492 TOE**

20) 통계청(2004,2003), 『산업부문(제조업) 업종별 소비열량』,『산업부문분류별 부지면적』.
21) 산업자원부(2003), 『산업폐열 현황분석 및 최적 열회수 이용기술 개발』, pp.16~25.

12.4 안산시 태양/풍력에너지 부존량 분석

□ 신재생에너지의 국내 전체 잠재량은 다음의 표와 같음. 가용 잠재량이 가장 많은 것은 지열에너지와 태양열에너지, 태양광에너지 순임

<표 3-59 신재생에너지 전체 잠재량(단위 : 천toe)>[22)]

구 분		부존 잠재량	가용 잠재량	기술적 잠재량	비 고
태양열 에너지		11,159495	3,483,910	870,977	태양열시스템 변환효율(25%) 고려
태양광 에너지				585,315	태양광시스템 변환효율(15%) 고려
풍력 에너지	육상	121,433	24,293	8,097	2MW급 국산 풍력발전기 적용
	해상	172,781	60,813	22,264	3MW급 국산 풍력발전기 적용
수력 에너지		126,273	65,210	20,867	
바이오매스 에너지		141,855	11,656	6,171	임산, 농부산, 축산, 도시폐기물 바이오매스에 대한 2010년 기준임 2030년 : 6,171예상
지열 에너지		2,352,347,459	160,131,880	233,793	심부지열
해양 에너지	조력			2,559	
	조류			288	
	파력	352,000	17,600	3,500	파력:(4MW/㎢ 발전기 적용)
총 계		2,364,421,296	163,795,362	1,753,831	

주) 자원 잠재량 용어의 정의 및 구분
(용어정의) 한반도에 존재하는 신재생에너지 자원량을 측정 및 평가하기 위하여 다음의 용어를 정의하여 활용하기로 한다.
○ 부존잠재량 : 한반도 전체에 부존하는 에너지 총량을 나타냄.
○ 가용잠재량 : 에너지 활용을 위한 설비가 입지할 수 있는 지리적인 여건을 고려한 값으로 활용 가능한 에너지의 양을 산정함.
○ 기술적잠재량 : 현재의 기술 수준으로 산출될 수 있는 최종 에너지의 양을 나타낸 값으로 기기의 시스템 효율 등을 적용함.

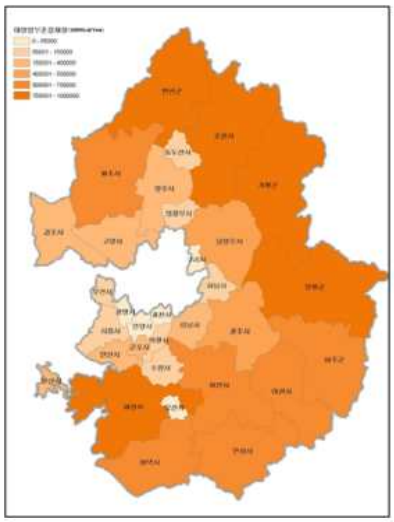
□ 경기지역의 신재생에너지 잠재량은 14,472천 TOE로서 전국의 13.7%를 차지하여 16개 시/도 중 가장 높은 것으로 조사되었음. 특히, 태양광, 태양열, 폐기물, 바이오매스, 소수력, 조력 등이 전국대비 잠재량 비중이 높게 나타났음

22) 에너지관리공단 신.재생에너지센터, 2012 신재생에너지백서, pp. 51.

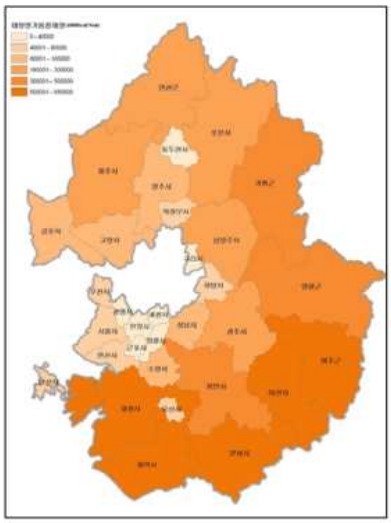
<표 3-60 경기도의 신재생에너지 기술적 잠재량 분포>[23]

구분	태양광 (TOE/Yr)	태양열 (TOE/Yr)	풍력 (kw)	소수력 (kw)	심부지열 (TOE)
전국	585,315,014	870,977,000	49,901,000	1,500,000	258,733,000
경기도	66,236,444	98,112,000	4,451,000	172,000	137,000
전국순위	4위	4위	4위	2위	11위
전국대비	11%	11%	9%	11%	0.1%

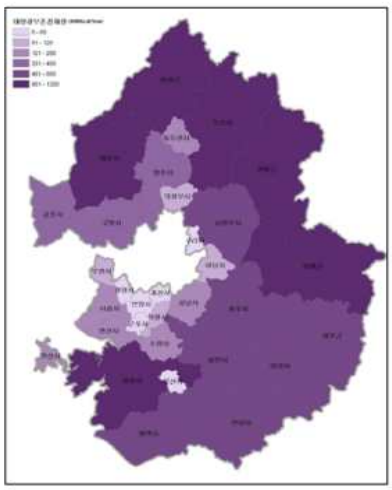
〈그림 3-7〉태양열 부존잠재량



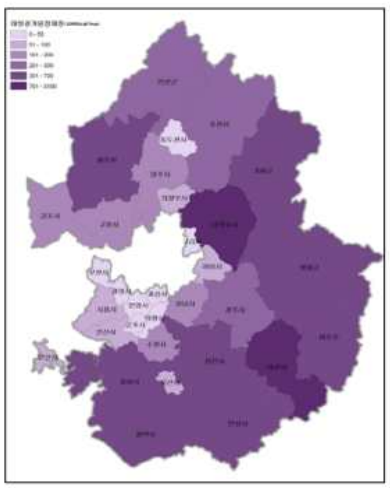
〈그림 3-8〉 태양열 가용잠재량



〈그림 3-9〉 태양광 부존잠재량



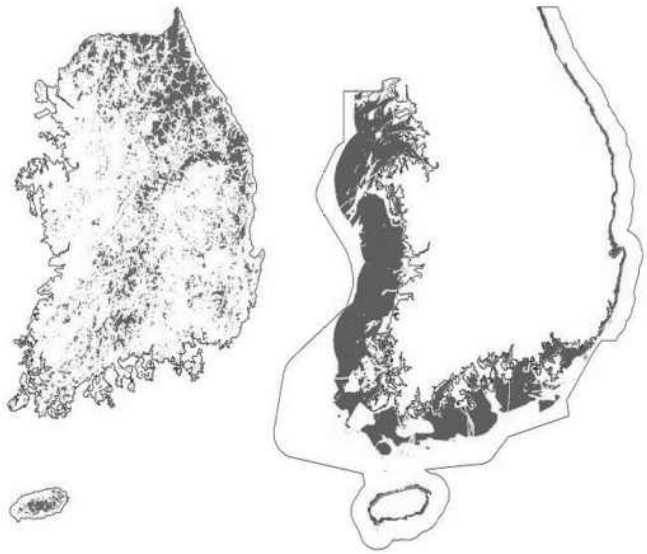
〈그림 3-10〉 태양광 가용잠재량



<그림 3-139 태양열 및 태양광 부존잠재량의 경기도 지역별 분포도>[24]

23) 에너지관리공단, 2008 신재생에너지 백서-재인용 : 경기도 신재생에너지산업육성방안, pp. 57
24) 이상훈, 2009.10, 경기도 신재생에너지산업 육성방안, 경기 개발연구원 정책연구 2009-23, pp. 72.

□ 아래 그림은 육상 및 해상 풍력단지 개발가능 영역을 보여주는 그림으로, 육상은 고산지를 위주로 개발가능성이 높은 경향을 보이고 있으며, 해상은 수심이 1차적인 개발 적합성을 결정짓는 요인임을 알 수 있음[25]



<그림 3-140 육상 및 해상 풍력단지 개발가능 영역(짙은 회색)>



<그림 3-141 풍력설비 보급현황(2008년 말)>[26]

25) 에너지관리공단 신.재생에너지센터, 2012 신재생에너지백서, pp. 62.
26) 국가 풍력자원지도, 2008, 한국에너지기술연구원/한국풍력기술개발사업단, 2008/에너지관리공단 신.재생에너지센터, 2012 신재생에너지백서, pp. 66.

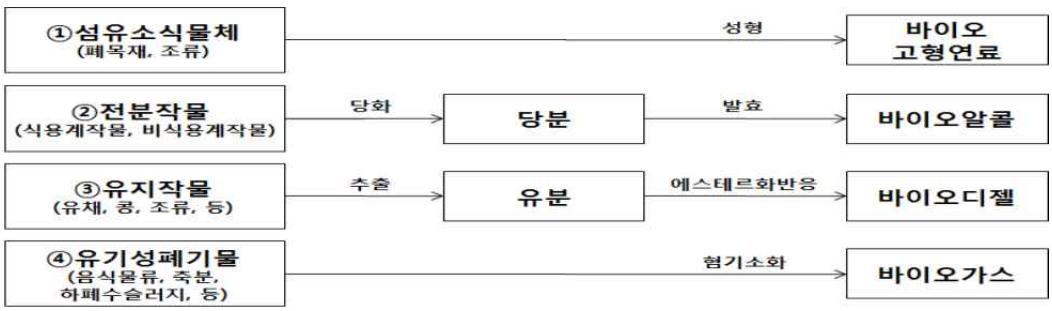
<표 3-61 경기도 지역별 신재생에너지원별 잠재량 통계(단위 : Tcal/year)>[27]

	태양열		태양광		바이오매스			
	부존 잠재량	가용 잠재량	부존 잠재량	가용 잠재량	임산 부산물	농산 부산물	축산 폐기물	도시 폐기물
가평군	974,046	433,808	1,133	504	746,721	31,573	117,369	88
고양시	279,932	154,178	325	179	111,824	14,388	79,610	1,156
과천시	37,212	20,525	43	23	26,708	495	5,299	152
광명시	41,611	24,567	48	28	13,259	1,322	4,497	497
광주시	467,551	233,826	543	271	288,873	10,328	21,492	427
구리시	34,624	34,589	40	40	17,521	152	243	592
군포시	394,185	18,324	45	21	15,250	1,150	2,663	429
김포시	294,085	164,192	341	190	73,686	35,411	140,790	198
남양주시	494,140	265,730	574	3,089	433,324	6,159	47,027	390
동두천시	104,878	27,003	121	31	80,445	1,611	13,755	75
부천시	56,379	41,560	65	48	11,854	1,707	2,168	1,255
성남시	151,336	116,962	175	135	96,689	1,130	4,703	1,654
수원시	131,845	130,887	153	152	29,826	5,345	0	1,113
시흥시	147,655	78,194	171	90	38,181	7,495	14,310	338
안산시	162,685	78,045	189	90	47,632	4,890	9,609	976
안성시	624,003	541,447	725	629	235,493	50,627	378,314	253
안양시	0	0	0	0	33,774	246	888	1,366
양주시	331,923	118,372	385	137	171,058	14,634	211,044	176
양평군	974,046	433,808	1,133	504	746,721	31,573	117,369	88
여주군	677,767	595,215	788	692	259,662	48,747	125,791	82
연천군	902,039	182,151	1,049	211	288,560	29,978	142,413	36
오산시	47,309	58,321	55	67	14,032	4,535	9,936	175
용인시	653,226	498,256	759	579	282,762	30,307	223,671	717
의왕시	57,615	24,572	66	28	33,363	1,339	3,087	261
의정부시	86,653	52,565	100	61	50,660	2,153	2,796	427
이천시	515,460	634,660	599	738	182,025	51,009	379,558	311
파주시	738,575	275,683	858	320	236,443	48,475	221,875	153
평택시	514,697	511,253	598	594	68,211	78,095	194,671	315
포천시	911,225	248,183	1,059	288	666,192	31,198	336,246	204
하남시	99,971	73,409	116	85	67,674	1,246	2,278	196
화성시	768,398	516,123	893	600	212,318	75,720	269,041	118

27) 에너지관리공단, 2008 신재생에너지 백서 / 재인용 : 이상훈, 2009.10, 경기도 신재생에너지산업 육성방안, 경기 개발연구원 정책연구 2009-23, pp. 72.

12.5 바이오에너지 부존량 분석

□ 바이오에너지의 종류는 섬유소 식물체, 전분작물, 유지작물, 유기성폐기물로 구분될 수 있음. 아래 그림은 바이오에너지의 종류 및 생산기술을 분류한 것임



<그림 3-142 바이오에너지의 종류 및 생산 기술 분류>

□ 위의 바이오에너지원 중에 안산시에 적용 가능한 것은 ①, ④로 각각에 대한 부존량은 다음과 같이 분석될 수 있음. 안산시 관련 자료는 2009년 조사된 자료를 기초로 하였음

□ 섬유소 식물체

- 현재 안산시에서는 산림폐목재 및 도시폐목재량을 기초로 성형을 통해 바이오 고형연료화 하는 방식을 택할 수 있음
- 산림폐목재 : 지자체의 숲가꾸기 사업 및 임목벌채 허가실적을 이용하여 산림폐목재의 연간 발생량을 산출하고 이를 기초로 하여 양을 산출하였음[28)]
  : 숲 가꾸기 사업을 통한 부산물 발생량 : 32.9㎥/ha
  : 임목벌채를 통한 부산물량(㎥)=(1-조재율)/조재율×임목벌채 체적+임목벌채 체적×(지상부 확장계수-1)
  : 조재율은 주벌과 수종갱신, 기타의 경우 0.85 적용, 간벌은 0.6 적용
  : 연간 산림 폐목재 부산물량 : 9,847㎥/년
- 도시폐목재 : 폐목재 발생량을 열량비(0.6=2,700/4,500)로 나누어 생목재 기준으로 부산물량을 환산.[29)] 폐목재는 완전 건조되어 함수율이 0%에 가깝기 때문에 발열량을 4,500㎉/㎏(BDT 기준)로 산정. 생목재의 경우 완전 건조 상태가 아니기 때문에 통상 2,700㎉/㎏의 발열량으로 산정
- 연간 도시폐목재 부산물량 : 29,736㎥/년

28) 박현태 외(2007), 『농업부문 바이오매스 이용활성화를 위한 정책방향과 전략(2/2차 연도)』, pp.156~162.
29) 산업자원부(2007), 『목질계 바이오매스의 에너지 활용 방안』, pp.343~344.

- 바이오 고형연료화의 결과로 효율이 높은 펠릿을 가정하여 발열량을 계산

: 총발열량=부산물량×목재 전건중 비중(0.5ton/㎥)×1,000kg/ton×펠릿 발열량(2,800kcal/kg)×효율(0.7)-(9,847+29,736)×0.5×1,000×2,800×0.7 = 38,791 Mcal/년

□ 유기성 폐기물

- 현재 안산시에서는 음식물류 및 가축분뇨, 하·폐수 슬러지를 기초로 혐기소화를 통해 바이오 가스화하는 방식을 채택할 수 있음. 다음의 표는 안산시의 유기성 폐기물 발생량을 보여주고 있음

<표 3-62 안산시 유기성 폐기물 발생량>

음식물류 발생량 (ton/일)	안산시 사육두수[30]				슬러지량 (ton/년)
	한육우	젖소	돼지	닭	
298.4	1,714	441	2,046	2,711	93,981

- 음식물류 : 음식물류의 톤당 바이오가스 발생량을 이용하여 산출

: 음식물류 1톤당 바이오가스 발생량 : 41.0N㎥/ton[31]

: 바이오 가스 발생량(N㎥) = 음식물류 발생량(ton/일)×365(일)×41.0 N㎥/ton = 298.4×365×41.0 = 4,465,556 N㎥/년

: 음식물류에 의한 바이오 가스 발열량 : 22,774Gcal/년(5,100 kcal/㎥ 적용)

- 가축분뇨 : 소·돼지·닭의 일평균 축분 배출량을 활용하여 연간 메탄가스 발생량을 산출하였음[32]

<표 3-63 가축별 일평균 축분 배출량 및 바이오 가스 발생량>

구 분	일평균 축분 배출량(kg)	바이오 가스 발생량(N㎥/kg)
한육우	4	0.325
젖소	4.5	0.325
돼지	0.7	0.4
닭	0.03	0.45

30) 안산시(2009), 『가축두수 통계』.
31) 박해현(2004), 『Hybrid Anaerobic Reactor을 이용한 음식물쓰레기 처리시 발생되는 메탄가스의 대체 에너지화 가능성에 관한 연구』, pp.42~44.
32) 경기도(2007), 『경기도 지역에너지 계획』.

: 바이오 가스 발생량(N㎥) = 마릿수(두)×일평균 축분 배출량(kg/일・두)×365(일)×바이오 가스 발생량(N㎥/kg) = (1,714×4×365×0.325) + (441×4.5×365×0.325) + (2,046×0.7×365×0.4) + (2,711×0.03×365×0.45) = 1,271,164N㎥/년

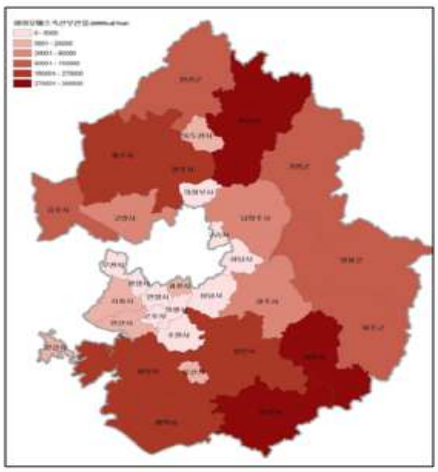
: 가축분뇨에 의한 바이오 가스 발열량 : 6,482Gcal/년(5,100kcal/㎥ 적용)

- 하폐수 슬러지 : 하수슬러지의 혐기소화를 통해 바이오가스 생산

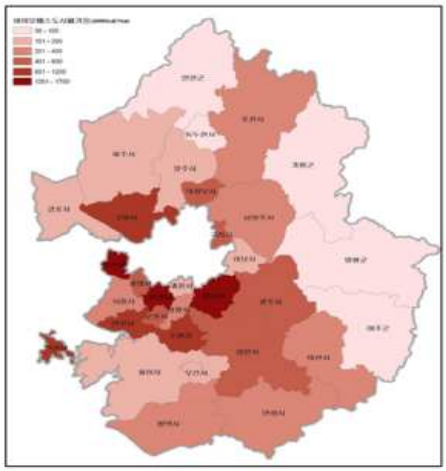
: 바이오 가스 발생량(N㎥) = 슬러지량(ton/년)×총고형물함량비×총고형물 대비 유기고형물 비×제거된 유기고형물당 가스발생량(N㎥/ton)×혐기소화효율[33] = 93,891×0.0264×0.7214×788.6×0.5 = 705,067.7N㎥/년

: 하폐수 슬러지에 의한 바이오 가스 발열량 : 3,595Gcal/년(5,100kcal/㎥ 적용)

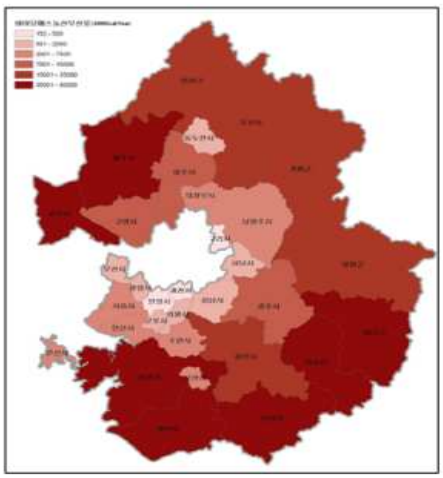
〈그림 3-11〉 바이오매스 축산부산물 잠재량



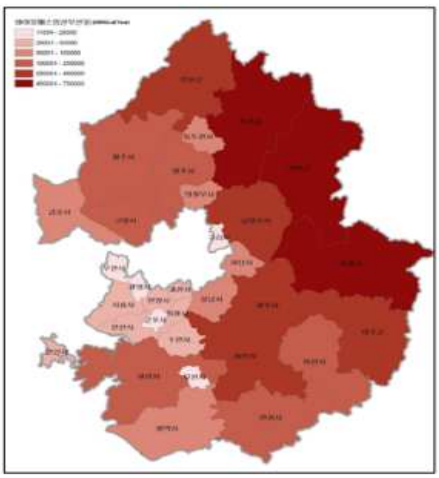
〈그림 3-12〉 바이오매스 도시폐기물 잠재량



〈그림 3-13〉 바이오매스 농산부산물 잠재량



〈그림 3-14〉 바이오매스 임산부산물 잠재량



<그림 3-143 경기도 지역별 바이오매스 부존량>[34]

33) 이기영 외(2011), 『소화조 효율 개선 및 에너지 자원화 사업 타당성 평가』, pp.88~92.
34) 이상훈, 2009.10, 경기도 신재생에너지산업 육성방안, 경기 개발연구원 정책연구 2009-23, pp. 72.

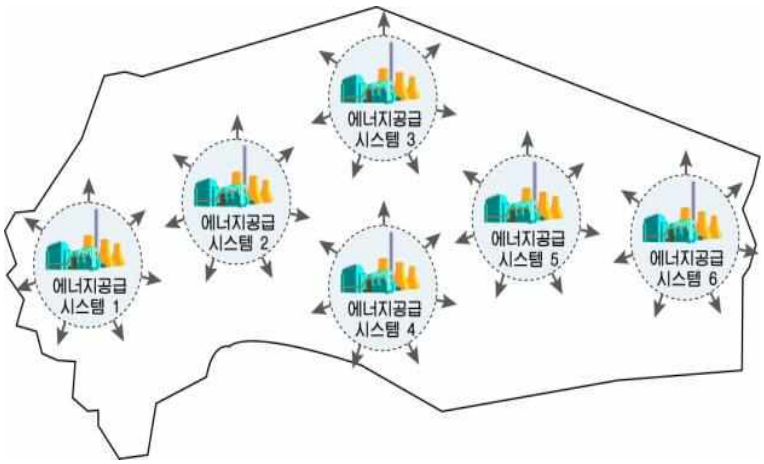
12.6 일산신도시 모델 : 분산형 에너지공급시스템

□ 해석모델 및 방법

- 도시에너지 공급시스템 최적화 해석을 위한 모델 도시는 인구가 6만명 규모로 산정. 난방면적 비율은 전체 건물 연면적의 80%를 차지하고, 난방부하의 동시부하율은 80%로 가정. 냉방면적 비율은 건물연면적의 70%를 차지하고, 상업용 건물 및 사무용 건물은 흡수식 냉방기 또는 전기식 냉방기를 사용하고, 주거용 건물은 패키지에어컨을 사용하는 것으로 함. 일간 부하패턴은 계절에 따라서 다르나 같은 계절의 경우에는 동일하다고 가정. 즉 6월부터 9월까지는 하절기, 12월부터 익년 3월까지는 동절기 그리고 4월과 5월 및 10월과 11월은 중간기로 구분하되, 각 계절의 일간 부하패턴은 월일에 관계없이 동일
- 온열부하에서 월간 최대부하(98.5㎿)는 동절기에 발생하며 중간기는 동절기의 30.9%, 하절기의 온열부하는 동절기의 7.2%임. 일간 중간부하는 최대부하의 65.5%, 경부하는 50.4%임. 월간 냉열 최대부하(60.7㎿)는 7, 8월에 발생하며 6월과 9월의 냉열부하는 최대부하의 13.5%에 해당함. 또한, 중간기와 동절기의 냉열부하는 없는 것으로 함. 일간 중간부하는 최대부하의 18.8%이며, 경부하는 없음. 전력부하는 하절기에 최대부하(73.5㎿)가 발생하며, 동절기에는 최대부하의 93%가 발생하는 것으로 하였으며, 중간기에는 최대부하의 88%가 발생하는 것으로 적용. 일간 중간부하는 최대부하의 70%의 부하가 발생하며, 경부하는 최대부하의 36%가 발생하는 것으로 적용
- 모델도시의 에너지부하는 수용인구 19만명 규모의 도시를 대상으로 하는 Y시 에너지사용계획서에서 계산된 에너지부하를 인구 비례로 축소하여 최대부하를 계산하고, 앞에서 언급한 부하패턴을 고려하여 각 계절별, 일간별 에너지부하를 산출
- 한편, 최근 선진국에서는 발전설비 구성이 중앙집중식 대규모 시스템에서 에너지이용 측면에서 효율적인 소규모 분산형 시스템으로 진행. 일반적으로 분산형 에너지공급시스템이란 최종 수요자 또는 수요지 근처에 설치되어 있는 소형 발전설비(30㎿이내) 및 지역냉난방설비로 기존의 전력계통에 연결되거나 독립적으로 운영되어 부하에 능동적으로 대처하는 에너지공급시스템을 의미
- 이러한 분산형 시스템의 장점으로는 태양광, 풍력과 같은 대체에너지 및 하수열원열펌프 등의 미활용에너지 등을 적용하고자 하는 지역특성에 맞게 신속하고, 유통성있게 설치 및 운영할 수 있다는 것임

<표 3-64 소규모 분산형 전원의 특징>

구 분	특 징
건설입지 및 도입조건	· 건설 입지난 해소 · 건설 공기 단축 · 비교적 간단한 유지·보수 관리
전력공급조건	· Peak Shaving 등 전력 수급 변동에 능동적 대응 · 발전설비 가동률 개선 효과 · 계통 고립지역 및 재해 등 비상시 전력 공급
에너지절약 효과	· 우수한 종합 에너지효율(열병합발전 등의 배열이용 가능) · 송전손실 저감 · 고효율 발전 및 저공해 설비를 통한 환경시설 설치비 저감
경제적 효과	· 불확실한 에너지수요 전망에 대한 자본 투자 전략 · 대형 설비(플랜트, 송전망)투자 곤란 회피 · 연료의 다양화를 통한 가치 창출 · 전력시장, 에너지 시장 자유화 대응



<그림 3-144 분산형 전원 및 구역형 에너지공급시설 개념도>

□ 해석결과 및 고찰

- 위와 같은 모델을 바탕으로 인구 6만명 규모의 에너지부하를 대상으로 에너지공급시스템의 분산화에 따른 경제성 및 에너지절약 효과 등을 분석. 먼저 아래 그림은 원동기 분할대수에 따른 계절별, 부하별 배열발생량 및 배열이용량의 변화를 도시. 원동기를 분할하지 않은 대규모 시스템의 경우 동절기 저부하와 중간기 중부하, 저부하 및 하절기 저부하의 경우에는 열병합 발전의 배열이 생산되지 않고 있으며, 하절기에는 낮은 온열부하에도 불구하고 높은 전력부하로 인한 발전 때문에 높은 배열량을 보여줌. 배열량이 많음에도 불구하고 낮은 냉방부하로 인하여 이용되지 않고

버려지는 양이 동절기보다 많음

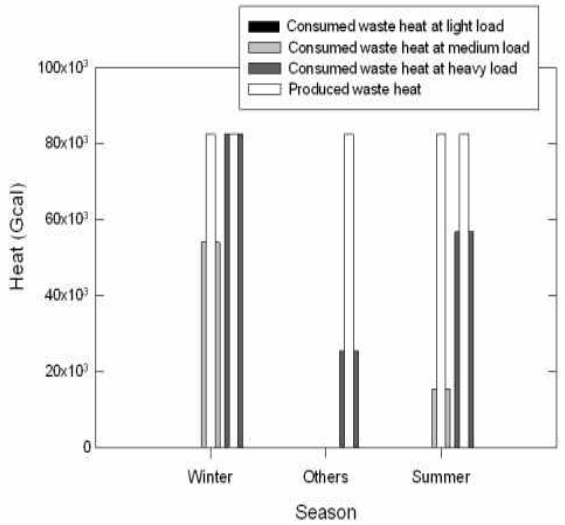
- 따라서 하절기에 이용되지 않고 버려지는 배열량을 최대한 활용할 수 있도록 전력부하를 감소시키거나 냉방부하를 증가시키는 등의 부하구조를 개선할 필요가 있음. 대수분할이 1대에서 8대로 증가함에 따라 배열발생량이 증가하게 되고, 배열 용량이 증가하게 되어 결과적으로 열병합발전시스템에서 발생하는 배열의 이용률은 증가함

- 아래 그림은 시스템 분산화에 따른 부하율 및 가동률 변화(좌), 연간 에너지소비량 및 에너지 절감율의 변화(우)를 도시. 원동기 대수분할이 증가함에 따라 부하율 및 가동률이 상승함에 따라 배열이용률이 높아지게 됨에 따라 에너지 소비량이 감소하여 원동기 분할대수 1대일 경우보다 4대일 경우에는 23.3%의 에너지 절약 효과가 있으며, 8대 일 경우에는 33.6%의 에너지 절약 효과가 있음

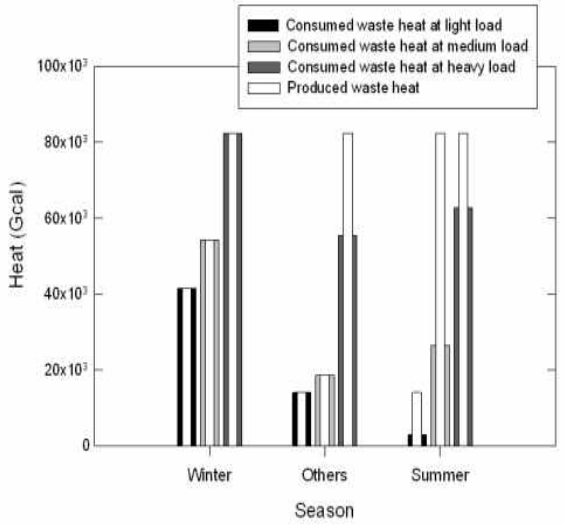
- 이와 같이 대규모 시스템을 분산형 시스템으로 구축하게 되면 운전 효율이 높아지게 되고, 배열이용량이 증가하게 되어 경제성을 확보할 수 있으며 에너지 절약효과가 뛰어나므로 향후 도시에너지 공급시스템을 건설할 경우 분산형 시스템을 적극 도입해야 할 것으로 판단됨

<표 3-65 에너지공급시스템의 분산화 및 부하구조의 변화에 따른 효과>

구 분	Case 1			Case 2			Case 3		
	초기 투자비 (억원)	운전비 (억원/년)	단순투자 회수기간 (년)	초기 투자비 (억원)	운전비 (억원/년)	단순투자 회수기간 (년)	초기 투자비 (억원)	운전비 (억원/년)	단순투자 회수기간 (년)
가스터빈 (80㎿×1대)	567	411	기준	589	372 (9%)	0.6	611	339 (18%)	0.6
가스터빈 (20㎿×4대)	771	322 (22%)	2.3	793	279 (32%)	1.7	837	250 (39%)	1.7
가스터빈 (10㎿×8대)	952	265 (36%)	2.6	972	226 (45%)	2.2	994	193 (53%)	2.0

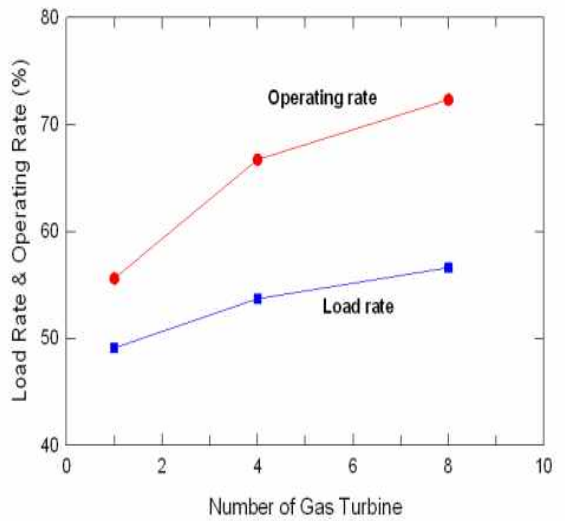


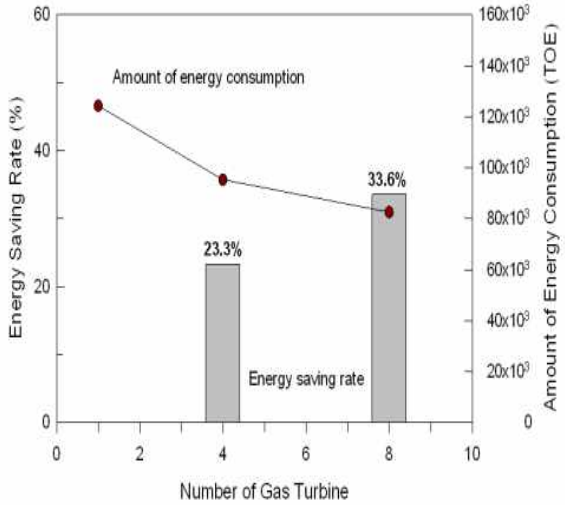
(대규모 시스템 : 원동기 분할대수가 1대일 경우)



(분산형 시스템 : 원동기 분할대수가 8대일 경우)

<그림 3-145 원동기 대수에 따른 계절별, 부하별 배열발생량 및 배열이용량의 변화>



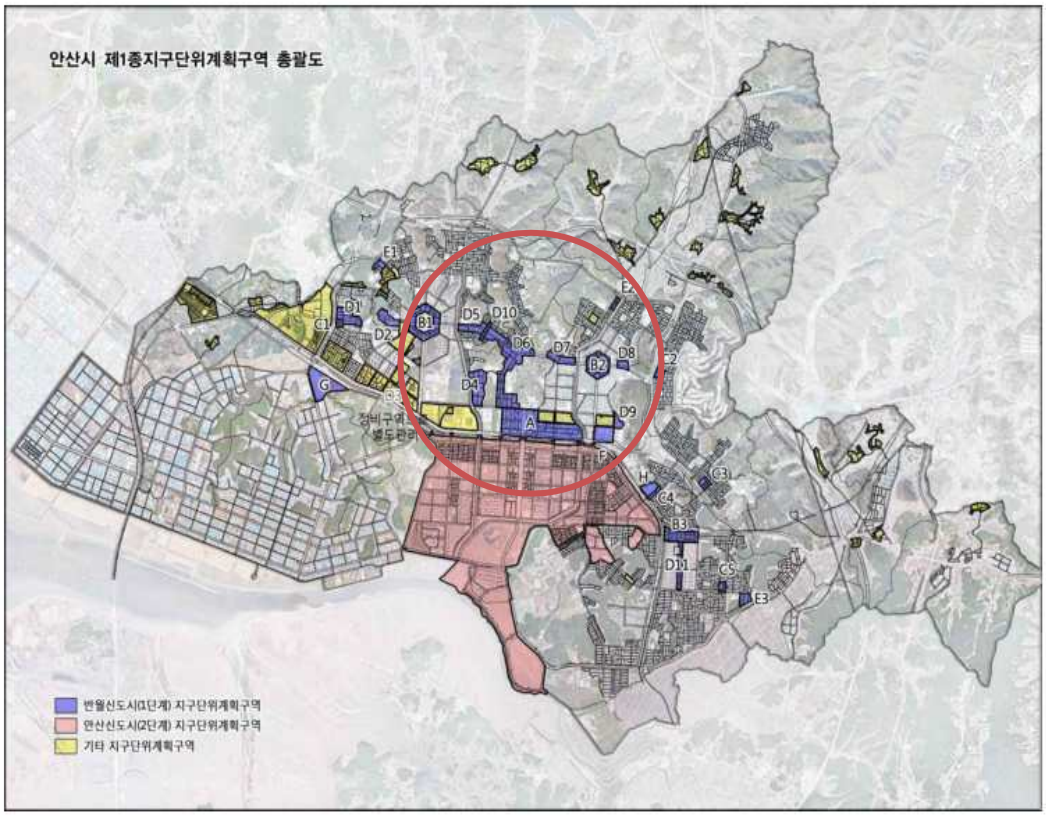


<그림 3-146 시스템 분산화에 따른 부하율 및 가동률 변화(좌), 연간 에너지소비량 및 에너지 절감율의 변화(우)>

12.7 안산신도시 모델 : 소각폐열 활용

□ 해석모델 및 방법

- 안산신도시에는 용량 200톤/일 규모의 생활폐기물 소각시설이 있으며, 본 모델에서는 열병합발전시스템과 소각폐열을 활용한 복합시스템에 대한 효과분석을 검토하고자 함
- 생활폐기물을 소각 처리할 때 발생하는 소각폐열은 폐기물을 처리하는 과정에서 발생하는 부산물로 경제성과 에너지 효율성이 우수하며, 폐기물 발생량이 연중 일정하기 때문에 폐열발생량도 장기간 안정적으로 발생하는 장점이 있음
- 생활폐기물 소각처리시설에서 발생하는 폐열의 에너지부존량은 소각장 내로 유입되는 폐기물 발생량과 폐기물의 저위발열량으로부터 산출될 수 있으며, 이용 가능한 열량은 에너지부존량에서 소각장 내의 이용열량 및 연돌 등의 손실열량을 제외한 값에 연간 가동률을 고려하여 계산



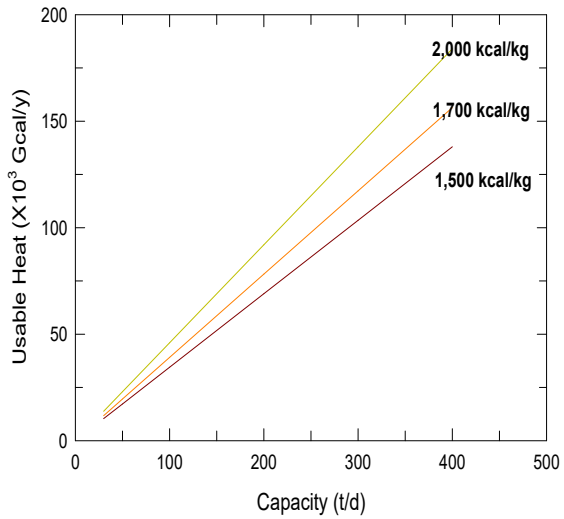
<그림 3-147 안산시 지구단위계획구역 총괄도>

(출처: 안산시, 2011.09, 안산시 제1종 지구단위계획 재정비 시행지침; 반월신도시(1단계))

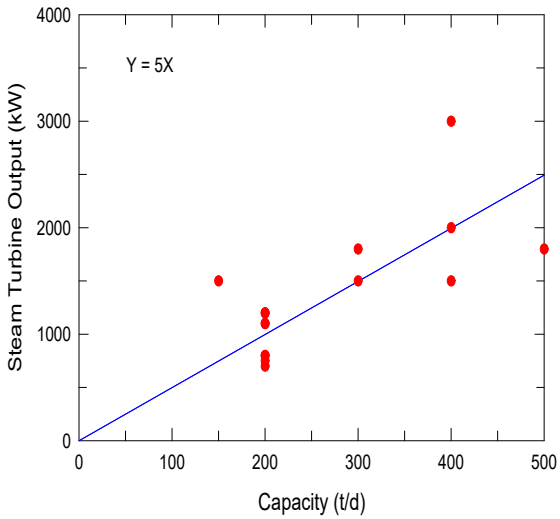
<표 3-66 안산시 생활폐기물 소각시설 개요>

1. 관리기관	명 칭	안산시 청소사업소	2. 운영기관	명 칭	동부건설주식회사
	소 재 지	경기 안산 단원구 고잔동 515		소 재 지	경기 안산 단원구 초지동 661-5
	전화번호	031-481-2255		전화번호	031-492-2152
	E-mail	songks@iansan.net		E-mail	dbansan@iansan.net
3. 관 할 청	한강유역환경청		4. 설치일자	2001년 4월 6일(준공일)	
5. 인가일자	1998년 10월 19일(설치승인일)		6. 조성기간	1997. 11. 13 ~ 2001. 04. 05 (41개월)	
7. 소 재 지	경기도 안산시 단원구 초지동 661-5				
8. 처리용량	200톤/일		9. 부지면적	66,940㎡(20,250평)	
10. 처리공법	연속 연소식(스토카식)		11. 시 공 사	동부건설주식회사	
12. 설 계 사	동부건설주식회사		13. 설 치 비	42,721백만원	
14. 운 영 비	3,562,278,259원('04년도)		15. 운영인원	40명	

- 일반적으로 소각 시 발생하는 총 열량의 65% 정도는 회수가 가능한 것으로 알려져 있음. 아래 그림은 폐기물 소각 처리량 및 발열량에 따른 이용 가능 열량의 변화를 도시. 폐기물 발열량은 일반적으로 1,500 ~ 2,000㎉/㎏이며, 폐기물 발열량 및 처리량이 증가할수록 이용 가능 열량은 증가. 국내 폐기물 소각처리 시설용량에 따른 증기터빈 출력 변화를 도시. 국내의 경우 폐기물 소각처리 시설용량이 200톤/일 경우 설치되는 증기터빈의 출력은 약 1,000㎾ 수준임



<소각처리량에 따른 이용 가능 열량 변화>



<소각처리 시설용량에 따른 증기터빈 출력 변화>

<그림 3-148 소각시설 용량에 따른 열량 및 증기터빈 출력 변화>

- 인구 6만명 규모의 에너지부하를 담당하는 에너지공급시스템에서의 소각폐열 도입효과를 고찰하기 위하여 다음과 같은 조건으로 분석을 수행. 폐기물 소각처리시설의 시설용량은 50톤/일으로 하였으며, 폐기물 저위발열량은 1,700㎉/㎏이고, 이용 가능한 열량은 자체 소요열량 및 열손실 등을 고려하여 에너지부존량의 65%로 산정한 결과 소각폐열의 이용 가능 열공급량은 2.7㎿로 산출됨

□ 해석결과 및 고찰

- 아래의 표는 복합시스템(열병합발전시스템+소각폐열 활용)의 도입 효과를 보여줌. 소각폐열을 도입함으로써 운전비는 연간 3.1억원을 절감할 수 있으며, 에너지 소비량은 연간 1,335toe(1.4%)를 절감할 수 있는 것으로 산출됨. 에너지 절감율이 적게 산출된 이유는 인구 6만명 규모의 도시를 대상으로 하는 소각장의 소각폐열 용량이 에너지공급시스템의 전체 설비용량에 비하여 온열부하를 기준으로 2.7% 정도로 전체 부하의 일부만을 담당하기 때문
- 소각폐열은 연중 발생량이 거의 일정하고 에너지밀도 또한 높아 하수열과 더불어 전력과 냉난방 열원으로서 중요한 역할을 차지하고 있으며, 선진국에서도 이를 적극적으로 활용
- 소각폐열의 도입효과를 극대화하기 위해서는 소규모 분산형 에너지공급시스템이 구축되어야 할 것으로 판단됨. 현재 설치되어 있는 대다수의 폐기물 소각처리장은 님비현상으로 인해 열수요지에서 원거리에 설치되고 있으나, 에너지 활용 측면에서는 소각장이 열수요지 근처에 건설되는 것이 바람직

<표 3-67 복합시스템(열병합발전+소각폐열 활용)에서의 소각폐열 도입 효과>

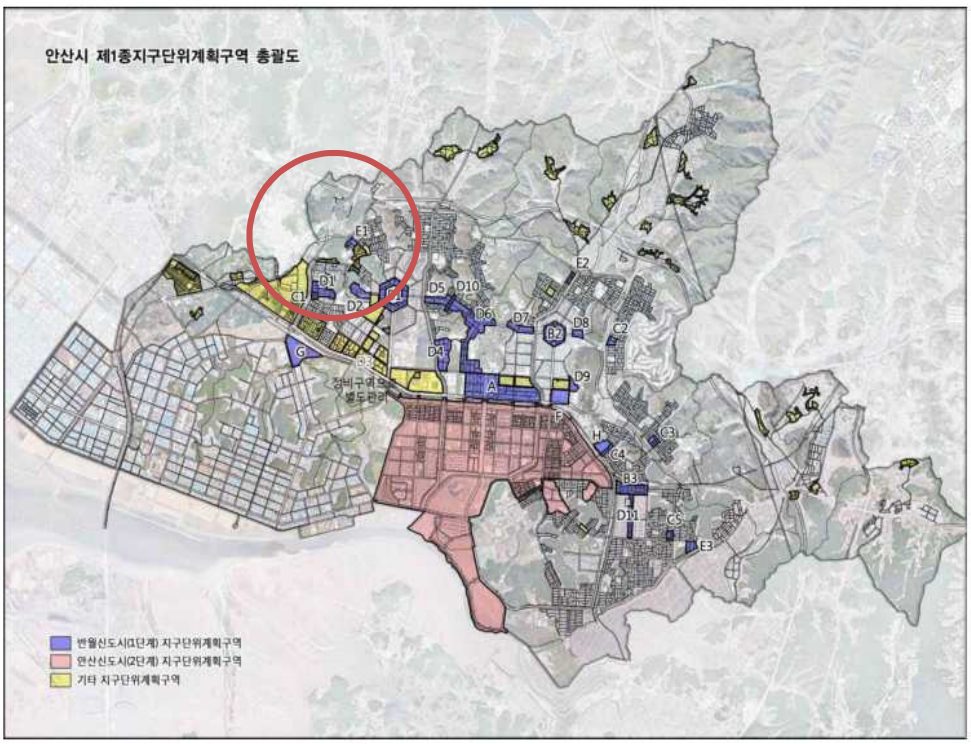
	운전비 (억원/년)	운전비 절감량 (억원/년)	에너지소비량 (TOE/년)	에너지 절감량 (TOE/년)
가스터빈(20㎿×4대)	279.3	기준	95,339	기준
가스터빈(20㎿×4대) + 소각폐열(2.7㎿)	276.2	3.1 (1.1%)	94,004	1,335 (1.4%)

주) 인구 6만명 기준, 부하구조 Case 2, ( )는 절감율

12.8 안산신길지구 모델 : 수열원 열펌프 활용

□ 해석모델 및 방법

- 아래 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 안산신길지구 인근에는 안산하수처리장(성곡동) 및 시화호가 위치하고 있으며, 하수(또는 해수) 열원을 이용한 복합시스템(열병합발전시스템+수열원 열펌프 시스템)에 대한 경제성 분석을 검토하고자 함

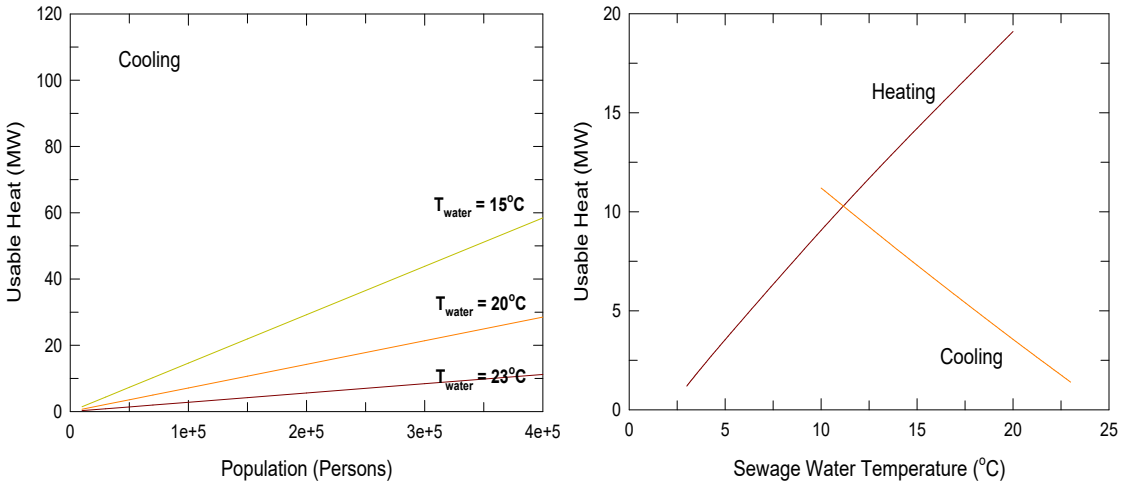


<그림 3-149 안산시 지구단위계획구역 총괄도>

(출처: 안산시, 2011.09, 안산시 제1종 지구단위계획 재정비 시행지침; 반월신도시(1단계))

- 하수열원 열펌프를 적용하였을 경우의 경제성 및 에너지 절감량을 분석하기 위하여 기존 시스템과 비교를 수행. 기존 시스템은 동절기에 난방을 위하여 보일러를 이용하고, 하절기에 냉방을 위하여 터보냉동기를 사용하는 것으로 함
- 동절기의 외기온도와 하수열원 평균온도는 각각 2℃와 10℃로 하였으며, 하절기의 외기온도와 하수열원 평균온도는 각각 25℃와 22℃로 함. 난방 시의 열펌프의 성적계수는 4.2, 냉방 시의 성적계수는 6.0으로 함. 연간 난방운전시간은 3,000시간으로 하였으며, 연간 냉방운전시간은 1,000시간으로 하였고, 보일러 효율은 80% 수준이며, 자본회수계수는 0.096, 도시가스 발열량은 10,500㎉/N㎥, 열펌프의 가격은 보일러 대비 1.5배로 하였으며, 냉동기 가격은 같은 용량대비 열펌프의 70% 수준으로

함. 도시가스요금은 413.3원/㎥을 적용하였으며, 전력요금은 80원/kWh를 적용하였다. 계산의 편의를 위하여 해수열원의 온도수준을 하수열원의 온도수준과 동일하다고 가정



<그림 3-150 냉방 시의 하수 용량(좌) 및 하수처리수 온도변화(우)에 따른 이용가능 열량>

□ 해석결과 및 고찰

- 인구 6만명 규모의 에너지부하를 담당하는 에너지공급시스템에서의 열펌프 도입효과를 알아보기 위하여 앞 절에서 고찰한 바 있는 분산형 에너지공급시스템(원동기 설비용량: 가스터빈 20㎿×4대, 부하구조: Case 2)과 이 시스템에 열펌프를 도입하였을 경우의 경제적 효과 및 에너지 절약효과 등을 분석. 열펌프 도입효과를 산출하기 위하여 열펌프 이용가능 하수량은 월평균 최저 하수량(시설용량의 87%)의 70%만을 사용 가능한 것으로 하였으며, 하수처리수의 동절기 평균 온도는 9.4℃이고 하절기의 평균온도는 22.3℃로 산정. 동절기의 외기와 하수열원의 온도차는 7.6℃이고, 하절기의 외기와 하수열원의 온도차는 2.8℃로 가정
- 난방 시의 성적계수를 3.6으로 산정하였으며, 냉방 시의 성적계수는 5.9로 산정. 이와 같은 결과로부터 동절기에 하수처리수로부터 이용 가능한 난방용량은 6㎿, 하절기에는 1.4㎿를 이용 가능한 것으로 산출됨
- 아래의 표는 복합시스템에서의 열펌프 도입효과를 보여줌. 열펌프를 설치함에 따라 초기투자비는 증가하나 운전비는 연간 1.9억원 감소하여 단수 투자회수기간은 3.3년으로 경제성이 있는 것으로 판단됨. 열펌프 도입으로 인한 에너지 절감량은 연간 858 toe이며, 절감율은 0.9%임
- 따라서 열펌프의 도입효과를 극대화하기 위해서는 소규모 분산형 에너지공급시스템에 열펌프를 도입하여 도시 에너지부하의 일부만을 담당하도록 하는 것이 바람직. 또한

현재 설치되어 있는 대다수의 하수처리장은 처리수를 방류하기 위해 열수요지에서 원거리인 하천 또는 바다인근에 설치되어 있으므로 하수열원 열펌프를 적극적으로 활용하기 위해서는 하수처리장이 열수요지 근처에 건설되는 것이 바람직

<표 3-68 복합시스템에서의 열펌프 도입효과>

	초기 투자비 (억원)	운전비 (억원/년)	운전비 절감량 (억원/년)	단순투자회수기간 (년)	에너지 소비량 (TOE/년)	에너지 절감량 (TOE/년)
가스터빈 (20㎿×4대)	793.1	279.3	기준	기준	95,339	기준
가스터빈 (20㎿×4대) + 열펌프(6㎿)	799.3	277.4	1.9 (0.7%)	3.3	94,481	858 (0.9%)

주) 인구 6만명 기준, 부하구조 Case 2, ( )는 절감율

12.9 서울시 뉴타운 또는 재개발 모델 : 소화가스 활용

- 서울시 뉴타운 또는 재개발 시에는 구도심에 위치하는 경우가 많으므로 소각폐열, 하수 및 해수열원, 산업체 배열 등을 이용하기 어려움. 따라서 도심지 내에서는 음식물 소화가스를 활용한 복합시스템이 검토될 수 있음
- 소화가스를 연료로 하는 열병합발전시스템에서 발생되는 폐열을 이용하여 인근에 지역난방열을 공급할 경우의 열판매 수익은 다음과 같이 계산. 공동주택 난방에너지 소비량이 242 Mcal/㎡·y일 경우 전용면적 30평형 기준으로 세대 당 난방부하는 연간 23,958 Mcal. 음식물 쓰레기의 평균 비열은 0.8㎉/kg·℃이며, 산/메탄 발효시설에서의 설정온도와 음식물 쓰레기의 평균 온도는 각각 55℃와 20℃. 부숙시설에서의 설정온도와 음식물 쓰레기의 평균 온도는 각각 55℃와 40℃
- 따라서 발효시설 및 부숙시설에 필요한 열량은 0.8Gcal/h임. 3.5㎿의 가스터빈에서 발생되는 열은 5.25Gcal/h이며, 여기에 공정에 필요한 열은 제외하면 지역난방에 사용 될 수 있는 열은 4.45Gcal/h. 따라서 난방에너지 소비량을 열공급량으로 나누게 되면, 지역난방열을 공급할 수 있는 세대 수는 804세대로 산출됨. 지역난방 열요금 단가가 43원/Mcal일 경우 세대 당 난방요금은 연간 103만원이고, 804세대를 공급할 수 있으므로 지역난방 열판매수익은 연간 828백만원. 결과적으로 전력판매와 지역난방열 판매로 연간 1,385백만원의 수익 가능
- 인구 6만명 규모의 에너지부하를 담당하는 에너지공급시스템에서의 소화가스 도입효과를 고찰하기 위하여 다음과 같은 조건으로 분석을 수행. 음식물 쓰레기 자원화시설의 용량은 10톤/일이고 실제 음식물 쓰레기 처리량은 5톤/일으로 가정. 또한, 하수처리시설의 하수처리량은 19,600㎥/일으로 산정. 단위 슬러지 발생량은 0.3kg/㎥이고, 하수처리시설의 슬러지 발생량은 5.9톤/일. 단위 소화가스 발생량이 50㎥/톤인 경우 소화가스 발생량은 545㎥/일이 되며, 산·메탄 발효시설 및 부숙시설에 소요되는 공정열량을 확보하는 데 소비되는 가스량은 83.3㎥/일임. 보일러 효율이 80%일 때, 공정 소요 열량은 0.4Gcal/일. 소화가스 발열량이 6,000㎉/㎥일 때, 이용 가능 소화가스량은 461.7 ㎥/일이며, 소화가스에는 메탄이 50~60% 정도 밖에 함유되어 있지 않으므로 이를 정제하여 발열량을 도시가스 수준으로 높여주어야 함. 따라서 정제 후 소화가스량을 정제 전의 70% 수준이라고 가정하였을 경우 연료로 이용 가능한 소화가스량은 323.2㎥/일.
- 이와 같이 산정된 소화가스를 에너지공급시스템의 열병합발전원동기의 연료로 사용할 경우의 효과를 아래의 표에 나타냄. 시간 당 13.4㎥의 소화가스를 이용할 경우 운전비는 연간 0.49억원을 절감할 수 있으며, 에너지는 연간 124toe를 절감할 수 있는 것으로 산출

<표 3-69 복합시스템(열병합발전시스템+음식물 소화가스시스템)에서의 소화가스 도입 효과>

	운전비 (억원/년)	운전비절감량 (억원/년)	에너지소비량 (TOE/년)	에너지절감량 (TOE/년)
가스터빈 (20㎿×4대)	279.30	기준	95,339	기준
가스터빈 (20㎿×4대) + 소화가스(13.4 ㎥/h)	278.81	0.49 (0.17%)	95,215	124 (0.13%)

주) 인구 6만명 기준, 부하구조 Case 2, ( )는 절감율

- 시설 규모가 작을 경우 가스 재활용이 비경제적이므로 메탄가스의 경제적 규모를 검토하거나 에너지공급시스템에 공급하여 연료로 사용하는 것이 바람직. 전문가들은 우선 비료수요가 많지 않은 대도시 지역에는 소화가스 플랜트를 적극 도입하고, 일정한 비료수요를 가진 전원도시나 농촌지역에는 호기성 퇴비화 장치를 그대로 보급하는 방안을 대안으로 제시

12.10 사우디 Jeddah 신도시 모델 : 신재생에너지 활용

- 사우디 Jeddah 신도시에서는 신재생에너지(태양에너지 등)를 활용하거나 해수열원 열펌프의 이용 가능. 본 절에서는 경제성 검토에 앞서 부하 프로파일 등을 검토함

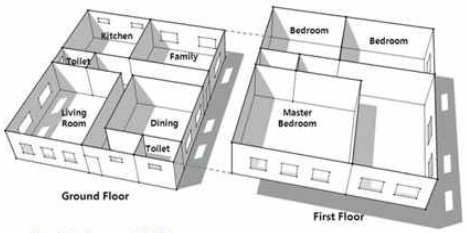


<그림 3-151 사우디 Jeddah 신도시의 위치>

City Size

KSA의 Jeddah를 대상 지역으로 한, 주거 총 5만 규모의 도시 가정

Population	**50,000 People**
Unit No.	10,000 Unit
Unit Area	525 ㎡
Employed Population	60,000 People
City Area	500 ha
Density	100 People/ha
Net Density	263 People/ha



House unit: 15.0m × 17.5m
(Total area: 525.0 ㎡, Total height: 7.0m)

Land Use

대상 도시 모델은 office, commercial, residential 지역으로 분리

Use		Land		Total Building Floor Area (㎡)	Assumption
		Area (ha)	Rate (%)		
Building	Office	47	9.4%	1,800,000	Employed population 60,000 X ㎡ /People
	Commercial	5	1.0%	35,000	Population 50,000 X 0.7㎡/People
	Hotel	3	0.6%	60,000	100 ㎡/Room X 600 Rooms
	Hospital	3	0.6%	30,000	300 Beds
	Culture	2	0.4%	10,000	
Housing	Deatached	185	37.0%	5,250,000	10,000 Unit X 525 ㎡/Unit
Public	Schools	18	3.6%	24,000	
	Road & etc.	237	47.4%		
Total		500	100%		

Energy Consumption (원단위)

각 시설별 면적에 대한 가중평균을 통해 에너지 소비량 계산

Use		Primary Energy Consumption Baseline(kWh/㎡ y)						
		Heating	Cooling	Hot water	Electricity			Total
					Lighting	Equipment	Fan/Pump	
Building	Office	0.0	266.6	22.0	125.5	128.3	185.8	728.2
	Commercial	0.0	328.5	37.1	215.2	19.0	240.5	1,019.2
	Hotel	0.0	248.5	510.6	89.6	98.3	825.4	1,772.4
	Hospital	0.0	471.6	338.9	143.4	119.4	684.5	1,757.9
	Culture	0.0	267.6	104.9	71.7	212.2	295.6	952.0
Housing	Deatached	0.1	410.3	16.2	86.8	50.5	0.0	563.9
Public	Schools	0.0	0.0	0.0	35.9	0.0	0.0	35.9
Total		0.1	724.7	374.4	279.3	293.3	811.6	2,483.4

연간에너지 소비량

Use		Primary Energy Consumption Baseline(GWh)						
		Heating	Cooling	Hot water	Electricity			Total
					Lighting	Equipment	Fan/Pump	
Building	Office	0.0	479.3	39.7	225.5	231.2	334.7	1,310.4
	Commercial	0.0	11.3	1.4	7.1	7.1	8.5	35.5
	Hotel	0.0	15.6	31.2	5.7	5.7	49.6	107.8
	Hospital	0.0	14.2	9.9	4.3	4.3	19.9	52.5
	Culture	0.0	2.8	1.4	1.4	1.4	2.8	9.9
Housing	Deatached	1.4	2,154.2	85.1	455.2	265.2	0.0	2,959.7
Public	Schools	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	1.4
Total		1.4	2,677.5	167.3	700.6	514.8	415.5	4,477.2

Waste

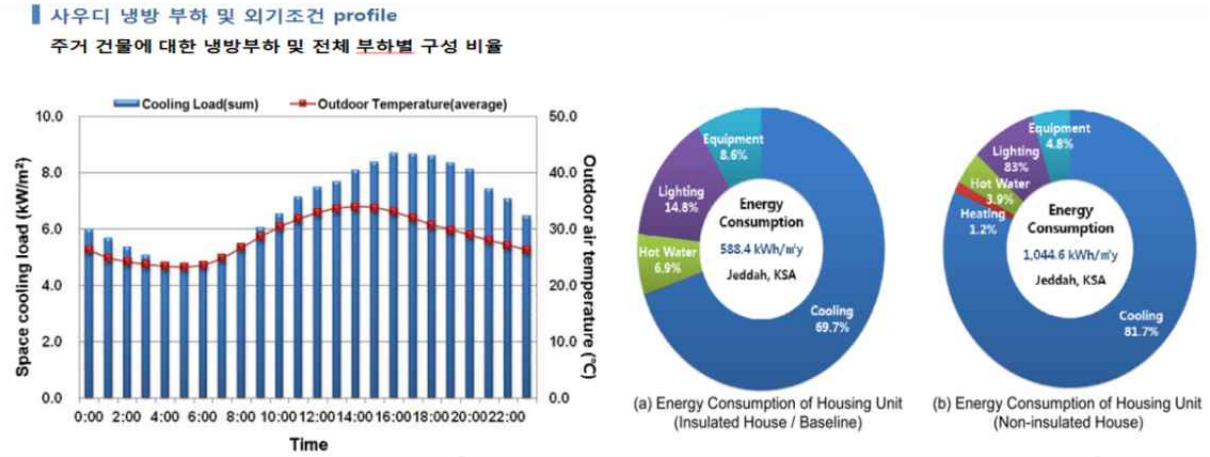
대상 도시 5만 인구에 대한 쓰레기 발생량 계산

Item			Note
Average daily waste generation per capita in the KSA		1.4kg/capita day	
Waste generation of the model city		70.0 ton/day	50,000 x 1.4kg/day
Waste composition	Recyclables	30%	
	Food waste	30%	
	Non-food waste	40%	combustible : incombustible = 95% : 5%

Water

대상 도시의 주거 인구/상업 인구 및 기타 시설에 대한 물 소비량 계산

Use		Water Consumption (L/capita/day or L/㎡/day)	Population (persons)	No. of Beds	Area (㎡)	Total Amount (㎥/day)
Building	Office	202	60,000			12.120
	Commercial	10.7			35,000	375
	Hotel	16		300	60,000	960
	Hospital	1,400				420
	Culture	25			10,000	250
Housing	Deatached	324.5	50,000			16.226
Public	Schools	10.7			24,000	257
	Road & etc.	1			2,370,000	2.370
Total						32.976



<그림 3-152 Jeddah 시 주요 분석 내용>

13. POC 실증

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">

<POC 모니터링 시스템 설치현황>

<POC 관제센터(안)></td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">- POC 상세설계 및 실증 (GS건설 기술연구소 생활관, 본관동, 국제관 실증 및 13년 1월부터 12월 에너지 소비량 DB구축)
◦ GS건설 기술연구소 생활관, 본관동, 국제관의 전력, 가스, 물 사용량 모니터링 센서 계측 위치 선정 및 설치
◦ 전력, 가스, 물 에너지 사용량 모니터링 데이터 DB 구축
◦ 통합관제센터 설치를 통한 도시에너지 관리시스템의 POC 실증</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">- GS건설 기술연구소는 신재생에너지원(풍력발전시스템 3㎾, 고정형 태양광 시스템(PV) 10㎾, BIPV 4㎾, 연료전지 10㎾ 및 지열냉난방 시스템 30RT) 및 에너지 저장을 위한 배터리 시스템 20㎾h 기설치
- 또한, GS건설 기술연구소에는 주거용 수요 프로파일을 가지고 있는 생활관, 업무용 수요 프로파일을 가지고 있는 연구동, 주거+상업 수요 프로파일을 가지고 있는 국제관등 다양한 수요 프로파일을 가진 건물들이 있어, 도시에너지 관리시스템의 실증에 적합</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">- 도시에너지 관리시스템의 도시단위 실증 전 컨셉을 검증(Proof of Concept)하여 도시에너지 관리시스템의 효과 분석 및 도시단위 실증의 문제점 최소화</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 에테보리 등
(개발기술 수준)
- 기존 탄소발생량의 20% 저감
(개발기술 수준 설정근거)
- 국외 사례분석</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">박시삼(GS건설㈜)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">2차년도～3차년도 '12.08 ～'14.06 (23개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="6">핵심성과</td><td rowspan="3">양적성과</td><td rowspan="2">2차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>학술발표
국내 1건</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>학술발표
국내 1건</td></tr>
<tr><td rowspan="2">질적성과</td><td>2차년도</td><td colspan="5">POC 모니터링 시스템 구축 : 1건
- 전기, 가스, 물 사용량 모니터링
- 에너지 모니터링 네트워크 구성
POC 통합관제실 구축 : 1건
POC 모니터링 DB : 1건
- '13. 01에서 '13. 05까지의 POC 모니터링 DB 확보</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">POC모니터링 DB : 1건
- '13. 01에서 '13. 12까지의 POC 모니터링 DB 확보</td></tr>
<tr><td rowspan="2">달성 확인방법</td><td>2차년도</td><td colspan="5">- 학술발표 : 논문집 확인
- POC 모니터링 시스템 구축, POC 통합관제실 구축 : 현장 확인
- POC모니터링 DB : 보고서 별권, 제출 파일 확인</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">- 학술발표 : 논문집 확인
- POC모니터링 DB : 보고서 별권, 제출 파일 확인</td></tr>
</table>

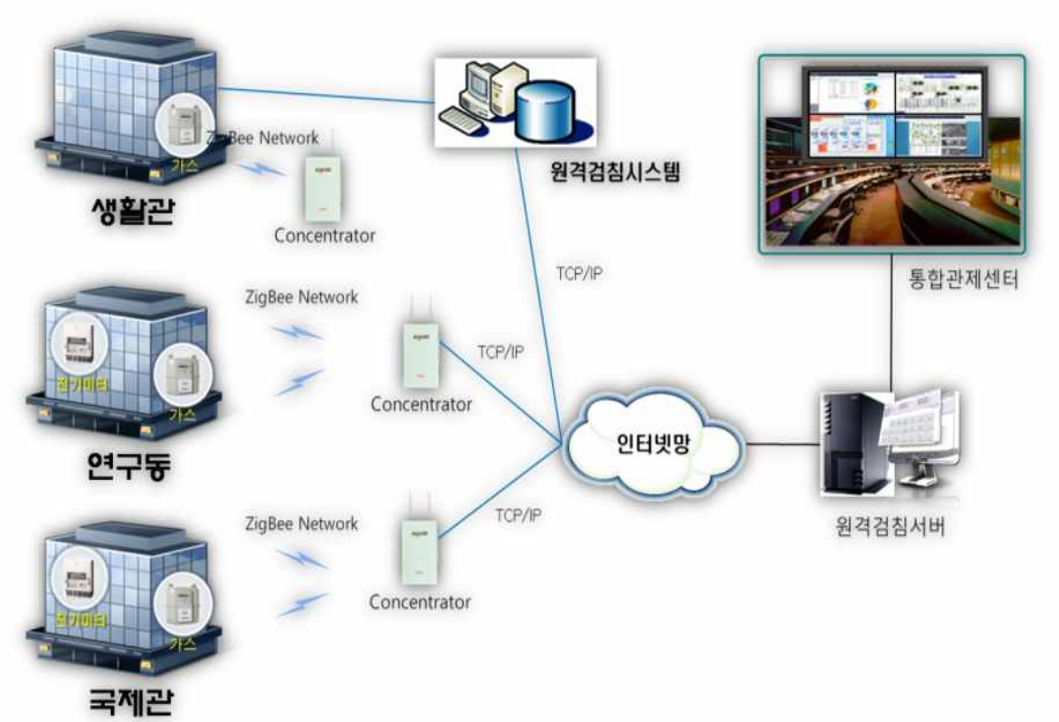
13.1 POC 실증단지 AMI 시스템 구축

□ POC 모니터링 시스템 구축 목적

- POC 건물 내 전기 사용량 통합관리(데이터 통합DB화)
- 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 POC 실증을 위한 통합 환경 구축
- POC 에너지 사용패턴 분석을 통한 에너지 사용량 분석

□ POC 모니터링 시스템 구성

- 생활관, 연구동, 국제관을 통합 검침하는 POC모니터링 시스템의 구성도를 아래와 같이 설계하였음



<그림 3-153 POC 모니터링 시스템 설계 구성도-ZigBee방식>

- 전기 및 가스 검침데이터는 ZigBee통신을 통하여 집중기에 모이게 되고 집중기에서 TCP/IP를 통한 인터넷망으로 데이터를 전송받아 원격검침서버에 데이터가 축적되고, 이를 통합관제센터로 전송하는 형태임
- POC의 경우에는 에너지 계측 포인트를 세분화하여 설정하였는데, 전력의 경우 기존계측 외에 34개의 추가 계측 포인트를 설정하였으며, 이는 아래의 표와 같음

<표 3-70 전력 추가 계측 포인트(34개 포인트)>

번호	판넬 및 설비명	미터번호	ZONE	ZONE1	상,선식	CT 비	비고
1	LM-1A	00008030007655	본관동	1층	3P 4W	20	A구역 전등, 전열
2	UPS-A	00008030007663	본관동	1층	3P 4W	40	실험실 장비
3	PM-1A	00008030007653	본관동	1층	3P 4W	60	연구실 전등, 전열
4	LM-2A	00008030007659	본관동	2층	3P 4W	20	A구역 전등, 전열
5	LM-2B	00008030007656	본관동	2층	3P 4W	30	B구역 전등, 전열
6	LM-3A	00008030007660	본관동	3층	3P 4W	20	A구역 전등, 전열
7	LM-3B	00008030007654	본관동	3층	3P 4W	40	대강당, RM전원
8	MCC-AU	00008030007666	본관동	기계실	3P 4W	30	각종 급/배기FAN
9	MCC-C1	00008030007664	본관동	기계실	3P 4W	40	보일러, 온수순환펌프 외
10	P-AH-PH1	00008030007662	본관동	옥탑층	3P 4W	40	A구역 공조기, FAN
11	P-AC-PH1	00008030007665	본관동	옥탑층	3P 4W	30	냉/난방 실외기
12	P-AH-PH2	00008030007667	본관동	옥탑층	3P 4W	30	냉/난방 실외기, FAN
13	LE-B-M	00008030007668	본관동	연구소B동	3P 4W	50	비상전원
14	LP-B-M	00008030007637	본관동	연구소B동	3P 4W	60	전등, 전열
15	PL-M-1	00008030007645	본관동	연구소C동	3P 4W	60	동력
16	LE-C-1	00008030007640	본관동	연구소C동	3P 4W	10	비상전원
17	LP-C-1	00008030007669	본관동	연구소C동	3P 4W	40	전등, 전열
18	PL-M-2	00008030007646	본관동	연구소D동	3P 4W	60	동력
19	LP-D-1	00008030007639	본관동	연구소D동	3P 4W	40	전등,전열
20	GIMAC	00008030007661	본관동	비상전원	3P 4W	80	비상전원
21	YP-M	00008030007648	본관동	외등	3P 4W	30	외등(가로등외)
22	LE-SO	00008030007657	본관동	기사대기실	3P 4W	10	기사대기실 전원
23	LN-PK-B1	00008030007658	본관동	기사대기실	3P 4W	20	기사대기실 전원
24	PP-G-M	00008030007652	국제관	동력	3P 4W	30	동력
25	LP-G-M	00008030007651	국제관	전등, 전열	3P 4W	50	전등, 전열
26	LE-G-M	00008030007650	국제관	비상전원	3P 4W	80	비상전원
27	LP-G-1	00008030007643	안내동	전등, 전열	3P 4W	20	전등, 전열
28	P-SEP	00008030007647	안내동	정화조	3P 4W	30	정화조
29	P-M-M	00008030007638	재료실험동	전등, 전열	3P 4W	80	전등, 전열
30	LP-E-1	00008030007641	주거환경실험동	전등, 전열	3P 4W	50	전등, 전열
31	LE-CL-1	00008030007636	클린룸실험동	비상전원	3P 4W	10	비상전원
32	LP-CL-1	00008030007644	클린품실험동	전등, 전열	3P 4W	80	전등, 전열
33	LP-CH-1	00008030007642	클럽하우스	전등, 전열	3P 4W	20	전등, 전열
34	YP-CM	00008030007649	클럽하우스	테니스장	3P 4W	30	조명탑

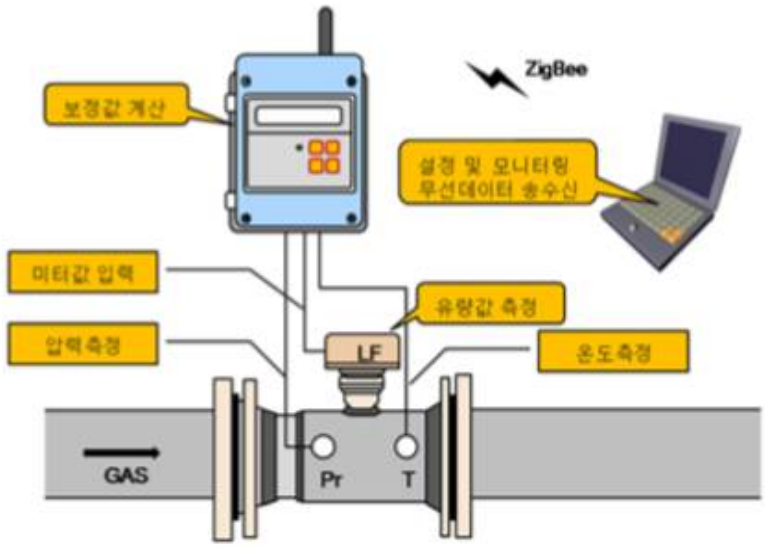
- 전력계측의 경우 본관동, 국제관, 안내동 등 생활관을 제외한 곳에 설치되었으며, 생활관의 경우에는 기 설치된 전력계측정보를 DB Interface 연계를 통하여 계측이 가능하도록 하여 이중투자를 방지하였음

- 가스 계측은 총 7개의 센서가 설치되었으며, 정확한 계측을 위하여, 보정기(GVC-750RE)를 설치하였음

<표 3-70 가스 계측 포인트(7개)>

번호	판넬 및 설비명	위치	용량	비고
1	기계실	국제관	G160	보정기(GVC-750RE), ZigBee to LAN
2	옥상	국제관	G16	보정기(GVC-750RE), ZigBee to LAN
3	옥상	연구동(본관)	G65	보정기(GVC-750RE), ZigBee to LAN
4	기계실	연구동(본관)	G160	보정기(GVC-750RE), ZigBee to LAN
5	식당	연구동(본관)	G25	보정기(GVC-750RE), ZigBee to LAN
6	기계실	생활관	G65	보정기(GVC-750RE), ZigBee to LAN
7	옥상	생활관	G16	보정기(GVC-750RE), ZigBee to LAN

- 가스 계측보정기는 가스미터의 계량 오차를 개선하기 위하여 사용되어지며, 가스미터의 계량값과 가스미터를 통과하는 가스의 온도 및 압력을 측정하여 적산 유량값을 보정해 주는 역할을 함



<그림 3-154 가스 계측보정기 구성도>

- 설치된 가스 계측보정기의 장점으로는 1. ZigBee 무선모듈탑재로 설치 및 운영이 간단, 2. 고성능 저전력 CPU 및 고정밀 ADC 탑재, 3. 0.3%의 보정오차 등을 들 수 있음

구 분	사 양	구 분	사양
사이즈(mm)	138 × 167 × 68 (W×H×D)	Accuracy	0.3 %
전 원	DC 3.6 V Li (Ext DC 9~12V/200mA)	Compressibility	AGA NX-19, SGERG, Constant value
IP 등급	IP 65	Meter input	Dry contact (Max 2Hz)
환 경	온도 : -20~60℃, 습도: 15~95%	Data logging	1 year
RF	RF 2.4 GHz (ISM band)	Pressure sensor	Connection : 1/8 NPT Female
Serial	RS232C (External power type)		Ranges : 95 ~ 300 kPa
	Baud rate 9600 Fixed		Type : Piezoresistive silicon
Weight	1.7 kg	Temp. sensor	Pt100 / 4Wire / A Class
Approval	KS, KC, EEx ib IIB T4		Ranges : -20~50℃
제품사진			

<그림 3-155 가스 계측보정기 사양>

- 수도 계측은 각 건물의 인입 수도배관에 1개씩 총 3개를 설치하였으며, 이를 이용하여 미소유량에 대한 정밀한 계측이 가능하도록 하였음, 설치현황은 아래의 표와 같음

<표 3-72 수도 계측 포인트(3개)>

번호	판넬 및 설비명	위치	용량	비고
1	기계실	연구동(본관)	80A	리드선, Pulse to LAN
2	기계실	생활관	80A	리드선, Pulse to LAN
3	기계실	국제관	65A	리드선, Pulse to LAN

- 설치 센서의 장점으로는 회전부분에 특수베어링을 사용하였으며, 임펠러 등 내부부품의 재질은 엔지니어링 플라스틱을 이용한 내구성에 있음

<표 3-73 수도계측기 사양표>



MODEL			WPD-50	WPD-65	WPD-80	WPD-100	WPD-125	WPD-150	WPD-200
구 경 (mm)			50	65	80	100	125	150	200
Q4	과부하유량	m^3/h	50	50	79	125	200	312	500
Q3	최대유량(±2%)	m^3/h	40	40	63	100	160	250	400
Q2	전이유량(±2%)	m^3/h	3.2	3.2	3.16	5.0	8.0	15.7	20.2
Q1	최소유량(±5%)	m^3/h	0.8	0.8	0.79	1.25	2.0	2.5	3.2
시 동 유 량			0.2	0.2	0.25	0.3	1.0	1.5	1.5
펄스당 유량		L/pulse	100	100	100	100	100	100	1000
미 터 전 장		L	200	200	205	240	250	300	350
미 터 높 이		H	213	223	231	240	254	270	368
KS 10kg/㎠ 후렌지	볼트 중심거리 Φc		120	140	150	175	210	240	290
	볼트 구멍 n×Φh		4×19	4×19	8×19	8×19	8×23	8×23	12x23
제수밸브용 후렌지	볼트 중심거리 Φc				160	180			295
	볼트 구멍 n×Φh				4×19	8×19			8x23
DIN 16 bar 후 렌 지 (주문생산품목)	볼트 중심거리 Φc		125	145	160	180	210	240	295
	볼트 구멍 n×Φh		4×19	4×19	8×19	8×19	8×19	8×23	8x23
중 량(kg)			8	10	11	15	20	30	51

- 검침된 센서 모니터링 데이터는 AMI 서버에 저장되며, 이를 Middleware 서버를 통하여 TCP/IP를 통하여 외부인터넷에서 확인이 가능함

□ POC 모니터링 시스템 인프라 공사

- GS건설 기술연구소 전기실에서 전력량계를 설치하는 공사를 진행하였으며, 모니터링 포인트 설정 및 전기 배선 분석 후 배선공사, 집중기 관련 공사, 전력량계 취부 공사, 이후 전력량계 통신모델 시운전 등의 절차를 거쳐서 검증하였음



<공사 전 전기실>



<배선공사 현장>



<전력계 추부 공사>



<공사 후 전기실>

<그림 3-156 전기실 공사>

- 가스 인프라 공사는 가스보정기를 포함한 센서를 설치하고, 가스의 누설테스트 및 가스 검침 데이터를 송부할 수 있는 가스 집중기함 설치를 통하여 AMI서버에서 모니터링을 확인하였음




〈가스보정기 설치〉




〈가스 누설 테스트〉 〈가스집중기함 공사〉

〈그림 3-157 가스 인프라 공사〉

- 수도계량기는 인입선 설치 후 보온을 완벽하게 하여 공사




〈수도계량기 설치(보온 전)〉 〈수도계량기 설치(보온 후)〉

〈그림 3-158 수도계량기 설치〉

13.2 POC 관제실 구축

□ POC 관제실 구축 목적

- CEMS 시스템을 통합 관제할 수 있는 관제실을 제안/구성
- LFD를 이용한 다중화면 표출을 통해 관제의 용이성을 높이고, CEMS 홍보 등 다양한 목적으로 사용

□ POC 관제실 구축

- GS건설 기술연구소 본관동에 구축



<그림 3-159 POC 통합관제실 구성>

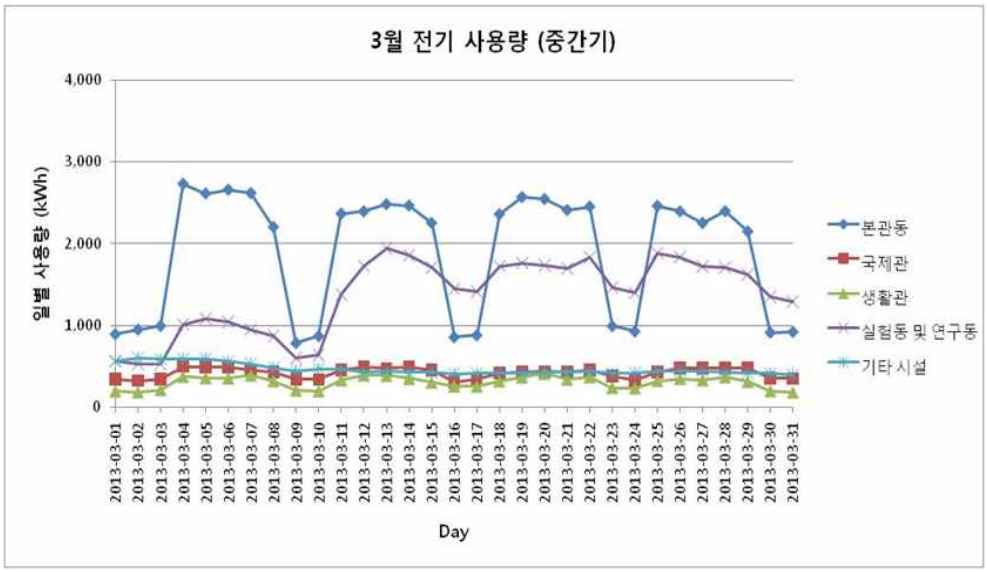
13.3 POC 모니터링 DB 확보

□ 구축한 POC 모니터링 시스템을 통한 POC 건물 내의 전기, 가스, 수도 사용량 통합 관리

□ 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 POC 실증을 위한 통합 환경 구축

□ POC 에너지 사용패턴 분석을 통한 에너지 사용량 분석

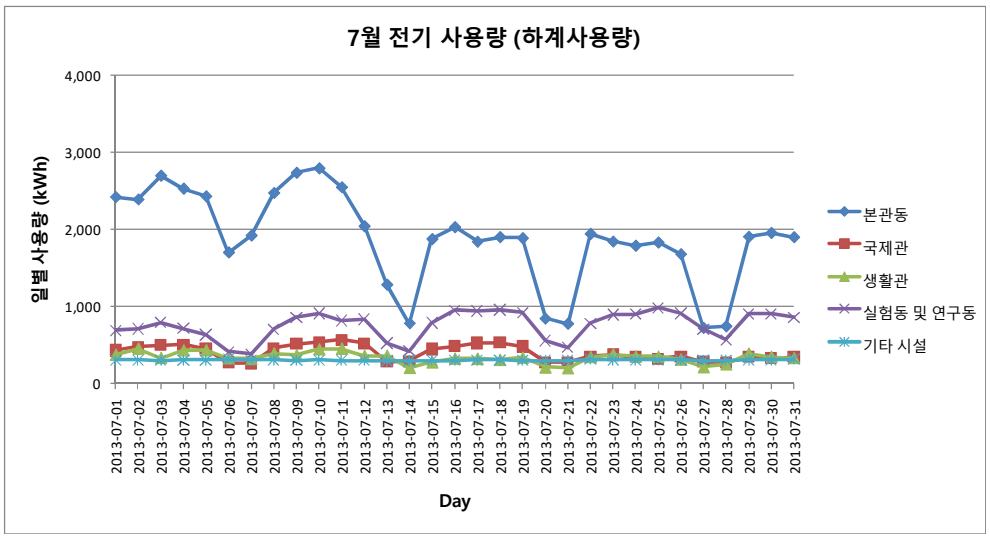
□ 경부하기 전기사용량 분석



<그림 3-160 중간기 전기 사용량>

- 전체적으로 본관동의 전기 사용량이 가장 많게 나타나며, 평일에 사용량이 증가하고, 주말인 토요일/일요일에는 감소하는 일반적인 업무형 지역의 특성을 보임
- 생활관의 경우도 주말에는 당 연구소 내 교육생이 없기 때문에 감소하는 특성을 보임
- 기저부하는 본관동: 800kW, 국제관: 300kW, 생활관: 180kW, 실험동 및 연구동: 530 kW, 기타시설: 400kW로 평가되었음
- 본관동은 약 1,800kW 정도의 평균사용량을 가지고 있으며, 시간대별 데이터로 확인해보면, 일과시간이 시작하면, 전기 사용량이 증가하고, 점심시간에 전기 사용량이 감소하며, 점심시간 이후 전기 사용량이 증가하는 일반적인 업무형 프로파일의 형태를 가짐

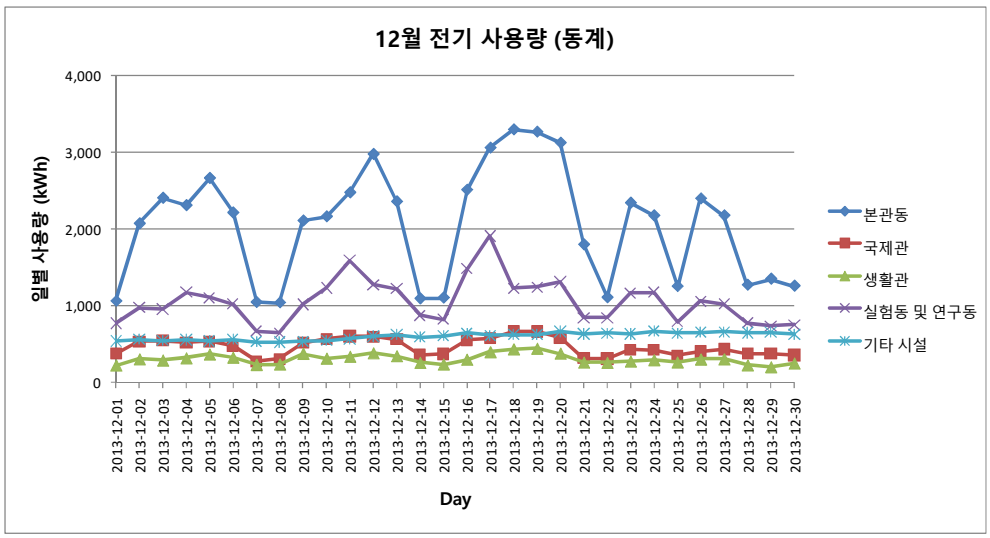
□ 하절기 전기사용량 분석



<그림 3-161 하절기 전기 사용량>

- 전체적인 특성은 경부하기와 비슷하며, 일반적으로 하절기가 중간기보다 높은 전기 사용량을 보일 것으로 예측하였으나, 7월 중순 이후로 휴가로 인하여 연구소 내 인원이 적어지는 관계로 전기 사용량이 줄어드는 것을 확인할 수 있음
- 냉방으로 인하여 생활관의 전체전력사용량이 증가하였으며, 기저부하 또한 증가한 것을 확인할 수 있음

□ 동절기 전기사용량 분석



<그림 3-162 동절기 전기 사용량>

- 평일의 에너지 사용량이 중간기, 하절기에 비해 높게 나타나며, 기저부하 또한 가장 높음을 확인할 수 있음
- 난방으로 인하여 연구원들의 주요 업무 장소인 본관동의 전기 사용량이 많음을 확인할 수 있으며, 나머지 건물들에 대한 전기 사용량은 타 기간과 유사하게 나타남

13.4 실제 데이터를 활용한 CEMS 최적화 모델 분석 및 실증 (운영방식에 따른 효과)

13.4.1 열공급 네트워크 시뮬레이션 (설비 모델링)

□ 열공급 설비 구성부 개요

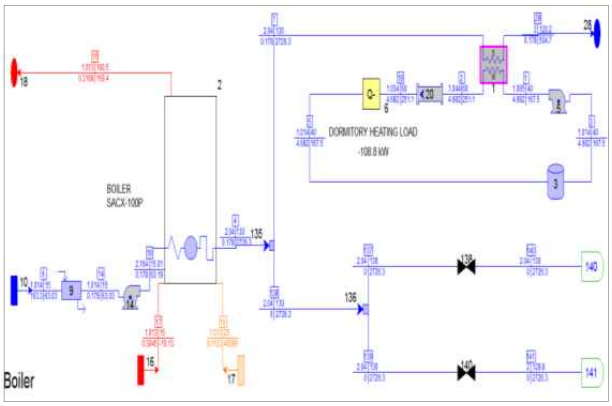
- 각 건물의 열공급 설비는 보일러(난방, 급탕용), 가스히트펌프(냉난방용)와 지열히트펌프(냉난방용), 연료전지(전기생산, 급탕)로 구성
- 건물별 열공급 설비 현황은 아래의 표와 같음

<표 3-74 각 건물별 열공급 설비 자료>

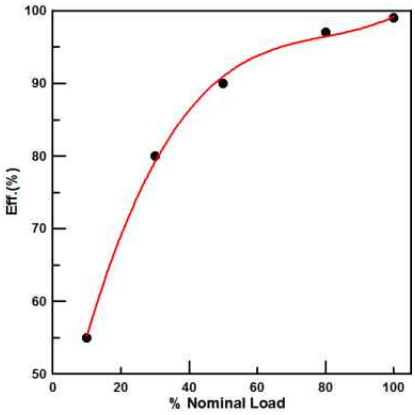
No.	건 물	개 요
1	생활관 (주거건물 Profile)	○ 보일러: 1.0ton x 2 ea ○ 급탕용 탱크: 5. ton (1,700㎜ X 2,400㎜) ○ 가스히트펌프: 난방용량 380㎾ / 냉방용량 336㎾ ○ 연료전지시스템: 10㎾ ○ 지열히트펌프: 난방용량 118㎾ / 냉방용량 107㎾
2	본관동 (상업건물 Profile)	○ 보일러: 1.5ton x 2 ea ○ 급탕용 탱크: 3ton (1,400㎜ x 1,900㎜) ○ 가스히트펌프: 난방용량 1440.5㎾ / 냉방용량 1238.5㎾ ○ 연료전지시스템: 5㎾
3	국제관 (복합건물 Profile)	○ 보일러: 1.5ton x 2 ea ○ 급탕용 탱크: 5.5 ton (1,700㎜ X 2,400㎜) ○ 가스히트펌프: 난방용량 430㎾ / 냉방용량 381㎾

□ 보일러 모델링

- 보일러는 펌프에서 이송된 물을 연료의 연소열(본 시스템은 LNG 사용)을 이용하여 가열함으로써, 난방 및 급탕에 필요로 하는 열원인 증기를 발생시키는 장치임
- 현재 각 건물에 설치된 보일러는 2bar, 130℃ 스팀을 생산하도록 설계되어 있으며, 보일러를 통해 생산된 스팀은 열교환기를 통하여 실제 공급수와 열교환이 이루어진 후 난방 및 급탕 열원으로 사용됨
- 보일러 모델링에서는 부분부하별로 연소효율을 적용하였으며, 타 건물로 공급되는 난방 및 급탕 열량을 조절하기 위해 각 건물별 보일러 출구에 밸브를 설치하는 형태로 시뮬레이션 모델을 구성하였음



<보일러 시스템 모델링>



<보일러 효율 곡선>

<그림 3-163 보일러 모델링 및 효율 곡선>

<표 3-75 보일러 주요 사양>

항목		단위	SACX-80P	생활관 SACX-100P	본관/국제관 SACX-150P	SACX-170P
보일러	정격증발량	kg/hr	800	1,000	1,500	1,700
본체	발생열량	Kcal/hr	514,960	643,700	965,550	1,094,290
	최고사용압력	kg/cm²	7, (10, 선택사양)			
	효율	%	99			
	전열면적	㎡	9.7	9.8	9.9	9.95
	제품중량	Ton	2	2.1	2.5	2.7
	보유수량	ℓ	172	173	174	178
연료	LNG	N ㎥/hr	52	65	97.5	110.5
소비량	LPG + AIR	N ㎥/hr	35.9	44.8	67.3	76.2
	프로판	N ㎥/hr	23.2	29	43.5	49.3
	(LPG)	kg/hr	46.9	58.6	87.9	99.7
	부탄	N ㎥/hr	17.6	22	33.1	37.5
	(LPG)	kg/hr	45.8	57.3	85.9	97.3
소비	급수펌프	kW	2.2	3.7	5.5	5.5
전력	송풍기	kW	3.7	3.7	7.5	7.5
	총소비전력	kW	1.5	2.2	2.2	2.2
	전원		3 ¢ *220V,380V(60Hz)			
제어	버너연소제어		High-Low-OFF(3 위치제어)			
	버너형식		강제압입통풍(브라스트식)			
	점화방식		고압 전기 스파크			
	수처리 제어		용존산소 탈기제어 (특허등록)			
접속	가스변	A	25	40	40	40
구경	주증기변	A	50	50	65	65
	급수변	A	25 × 20 (흡입측 × 토출측)			32 × 25 (흡입측 × 토출측)
	안전변	A	25	25	32	32
	자동브로우변	A	25	25	25	25
	배수변	A	40	40	40	40
설치	연도	mm ¢	300	300	350	350
개요	연돌	mm ¢	350	350	400	400
	장비전장(L)	mm	2,560	2,750	2,750	2,750
	장비전폭(W)	mm	1,100	1,100	1,100	1,100
	장비전고(H)	mm	2,300	2,420	2,420	2,420

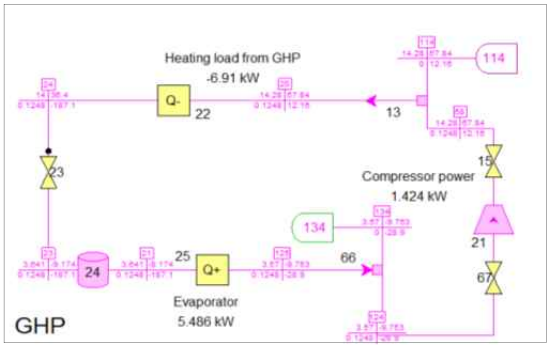
□ 가스히트펌프 (GHP) 모델링

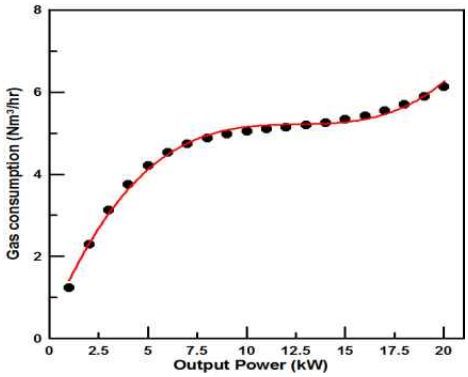
- GS건설 기술연구소에 설치된 가스히트펌프는 난방 및 냉방의 목적으로 사용되나, 본 시뮬레이션 상에는 난방용 열원 공급 설비로 가정
- 가스히트펌프의 주요 기기는 압축기와 응축기 및 증발기로 불리는 2개의 열교환기 그리고 모세관 강압기로 구성. 압축기는 가스엔진 구동(본 시스템은 연료로 LNG 사용)으로 작동하며, 모델링에서는 압축기와 가스엔진의 각 기기의 부분부하 운전 시 효율을 이용하여 압축기 출력별 연료사용량을 예측함
- 또한 타 건물에 공급되는 난방 열량을 제어하기 위해 실제 운전 시에는 열교환기(응축기) 측으로 들어가는 난방수의 유량을 제어함으로써, 가스히트펌프 내의 냉매 유량이 변화하게 됨, 그러나 본 시뮬레이션에서는 가스히트펌프의 난방부하를 직접 입력함에 따라 타 건물에 공급되는 난방 열량을 제어하기 위해, 압축기 입출구에 밸브를 설치하여 냉매 유량을 직접 조절할 수 있도록 모델링하였음

<표 3-76 가스히트펌프 총 설치 용량 및 공급 구역>

	장 소	위 치	실외기 번호	공조기 NO.	실내기 수량	제조번호	냉/난방 용량(KW)	공급 구역	비고
1	본관동	PH A구역	1	1-1	0	OFT 0230N	84/95	1층 실험실	AHU-1
2			2	2-1	0	OFT 0244N	84/95		
3			3	3-1	0	OFB 0104N	28/31.5		
4			4	4-4	0	5FR 0576N	56/67	302호-307호,오디토리움,복도,공용구역	AHU-4
5			5	5-4	0	5FR 0583N	56/67		
6			6	6-4	0	5FR 0592N	56/67		
7			7	7-4	0	5FN 0189N	45/50		
8			8	8-2	0	5FR 0591N	56/67	연구개발팀 사무실	AHU-2
9			9	9-2	0	5FR 0590N	56/67		
10			21	21-1좌파	8	OFC 0105N	35.5/40	1층 실험동 좌측(UPS실옥)	GHP
11			22	22-1좌우	8	OFC 0106N	35.5/40	1층 실험동 우측(환경실험실,라운지)	
12		PH C구역 (중앙)	20	2	4	4FC 0103N	35.5/40	1층 사무실,복도,휴게실,남녀 탈의실	GHP
13			23	1	0	OFT 0247N	84/95	3층 GS HALL,입구 좌측,우측	GHP
14		PH B구역	10	10-5	0	5FR 0584N	56/67	301호,FIRST ROOM,B구역 비버리지 카운터	AHU-5
15			11	11-5	0	5FN 0190N	45/50		
16			12	12-6	0	5FR 0537N	56/67	카페테리아 HALL(통제실)	AHU-6
17			13	13-6	0	5FN 0188N	45/50		
18			14	14-7	0	5FR 0572N	56/67	통제실(14),카페테리아 주방,퇴식실	AHU-7
19			15	15-7	0	5FR 0585N	56/67		
20			16	16-7	1	5FN 0192N	45/50		
21			17	17-3	0	5FR 0587N	56/67	2층 201호-209호,로비,복도,전시장	AHU-3
22			18	18-3	0	5FR 0581N	56/67		
23			19	19-3	0	5FR 0580N	56/67		

	장 소	위 치	GHP번호	호기 NO.	실내기 수량	제조번호	냉/난방 용량(KW)	공급 구역	비고
24	생활관	PH (B1F 실내기1대)	1	1	21	5FT 0209N	84/95	1층 사무실,복도,객실,남녀 사우나,헬스장,B1F E/L HALL	철거
25			2	2	30	5FT 0212N	84/95	2층 복도,객실	GHP
26			3	3	30	5FT 0214N	84/95	3층 복도,객실	GHP
27			4	4	28	5FT 0207N	84/95	4층 복도,객실	GHP
28	국제관	PH (B1F 실내기1대)	1	1	25	6GZ 0426N	84/95	1층 객실,복도,강의장,사무실,관리실	GHP
29			2	2	31	6GZ 0430N	84/95	2층 객실,복도	GHP
30			3	3	31	6GZ 0432N	84/95	3층 객실,복도	GHP
31			4	4	31	6GZ 0421N	84/95	4층 객실,복도	GHP
32			5	5	5	6GZ 0267N	45/50	1층~4층 중앙 HALL,B1층 사우나	GHP





〈가스히트펌프 시스템 모델링〉 〈압축기 출력별 연료 사용량〉

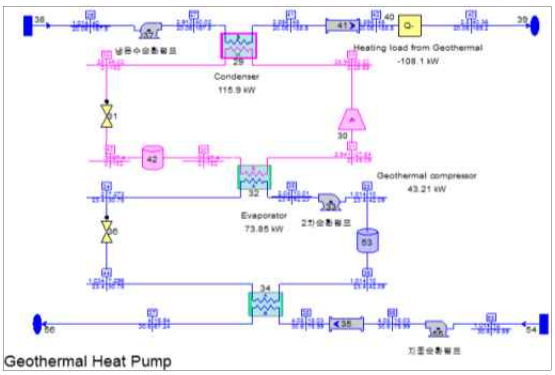
〈그림 3-164 가스히트펌프 모델링 및 성능 곡선〉

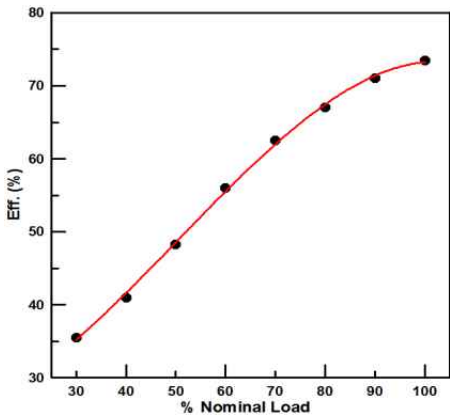
□ 지열히트펌프 시스템 모델링

〈표 3-77 지열히트펌프 시스템〉

SPECIFICATION SHEET			
TYPE		물-물 지열 열펌프 유니트	
MODEL		AHP-SLX31WG	
HEATING CAPACITY		W	135 277 / 118 745
		온도조건(℃)	지하수($t_{load,in}$=40, $t_{geo,in}$=10) / 지중루프($t_{load,in}$=40, $t_{geo,in}$=5)
COOLING CAPACITY		W	117 489 / 107 943
		온도조건(℃)	지하수($t_{load,in}$=12, $t_{geo,in}$=15) / 지중루프($t_{load,in}$=12, $t_{geo,in}$=25)
CONSUMPTION POWER	난 방 모 드	W	31 989 / 31 050
	냉 방 모 드	W	21 404 / 24 552
EFFICIENCY	COP (난방모드)	W/ W	4.22 / 3.83
	EER (냉방모드)	W/ W	5.49 / 4.39
COMPRE-SSOR	TYPE		SCROLL COMPRESSOR
	MODEL		ZP385KCE-TW7
	DISPLACEMENT	㎥/h	73.4 (at 3500RPM 60 Hz)
	법정냉동톤	냉동톤	12.87
	용 량 제 어		ON / OFF 제어
	기 동 방 식		직 입 기 동
HEAT EXCHANGER (For ROOM)	TYPE		PLATE HEAT EXCHANGER (EQ-TYPE)
	MODEL		ACH230-90EQ
	FLOW	LPM	473 (△P = 5 mH_2O 이내)
	PIPE CONNECT		65 A (Flange-10K)
HEAT EXCHANGER (For HEAT SOURCE)	TYPE		PLATE HEAT EXCHANGER (EQ-TYPE)
	MODEL		ACH230-90EQ
	FLOW	LPM	473 (△P = 5 mH_2O 이내)
	PIPE CONNECT		65 A (Flange-10K)
REFRIGERANT	TYPE		R - 410A
	EXPANSION TYPE		TEV (온도 감응식 팽창밸브)
	냉매절환방식		4-WAY VALVE (냉매절환방식)
POWER SOURCE	MAIN 전 원		AC 3φ 380V 60Hz
	조 작 전 원		AC 1φ 220V 60Hz
안전장치 및 보호장치			DUAL PRESSURE SWITCH, 가용전, FLOW SWITCH, 토출가스 온도 센서, 동결방지 센서, 역상 릴레이, EOCR, ECONOMIZER
SIZE		mm	L 1 400 x W 900 x H 1 215
WEIGHT		kg	650

- GS건설 기술연구소에 설치된 가스히트펌프는 난방 및 냉방의 목적으로 사용되나, 본 시뮬레이션 상에는 난방용 열원 공급 설비로 가정
- 지열히트펌프의 주요 기기는 압축기와 두개의 열교환기 그리고 모세관 강압기로 구성되어 있으며, 지중순환펌프를 통해 고온의 지중수의 열을 공급받아 히트펌프를 통해 승온하여 건물의 난방열원으로 사용
- 현재 지열히트펌프 설비는 생활관에만 설치되어 있으며, 지열히트펌프 열공급 배관이 각 건물에 설치되어 있지 않으므로 개별 운전만 가능하게 모델링함





〈지열히트펌프 시스템 모델링〉 〈지열히트펌프 압축기 효율 곡선〉

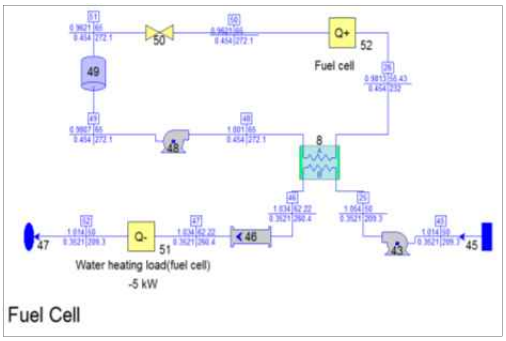
〈그림 3-165 지열히트펌프 모델링 및 성능 곡선〉

□ 연료전지(Fuel Cell) 모델링

- 일반적으로 연료전지는 전력 생산 장치로 활용되나, 연료 전지 내부의 화학 반응으로 인한 온도 상승에 의한 문제를 해결하기 위해 사용되는 냉각수를 통해 폐열회수가 가능하며, 이는 급탕 부하 공급을 위한 열원으로 활용이 가능
- 본 시뮬레이션에서는 열적 부하에 대해서만 모델링하였기 때문에 연료전지를 통해 생산되는 전력량은 무시하였으며, 연료전지에서 발생되는 폐열 회수를 통한 열원 공급설비로만 모델링하였음
- 또한, 실제 설치된 연료전지는 소규모(5kW급)로 현재 본관동과 생활관에만 급탕 부하 공급을 위해 설치되어 있으나, 발생되는 폐열량이 미비하기 때문에 따로 열적 네트워크상에 포함시키지 않고 실시간 부하 대응용으로 사용된다고 가정



<연료전지 시스템>

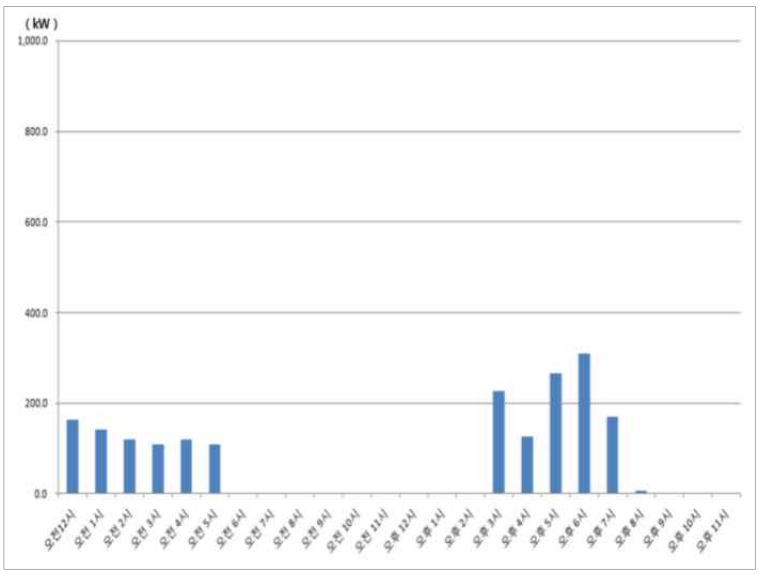


<연료전지 시스템 모델링>

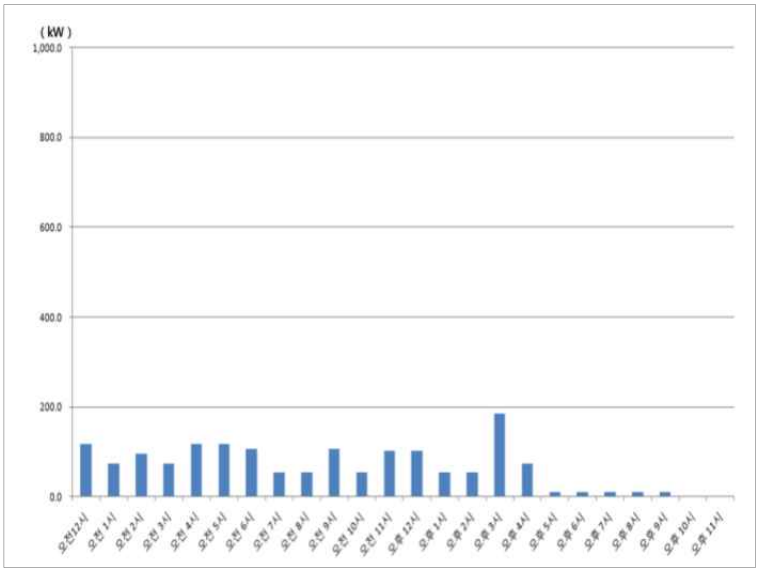
<그림 3-166 연료전지 모델링>

13.4.2 시뮬레이션에 이용된 POC 데이터 분석

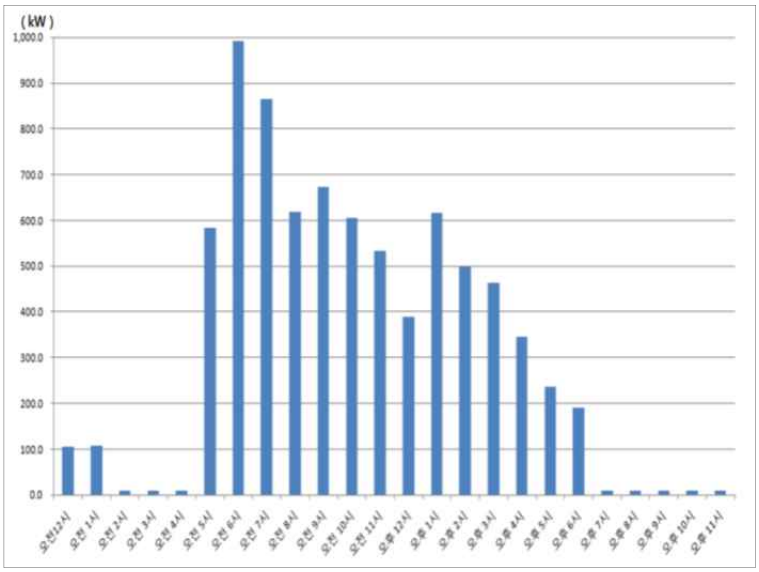
- 본 시뮬레이션에서는 GS건설 기술연구소 내의 생활관, 국제관, 본관동에 설치된 가스량계를 통해 겨울철 대표일에 각 설비에 사용되는 연료량을 시간별로 측정한 후 이 데이터에 열량 환산계수를 적용하여 각 건물별 부하를 계산하였음
- 아래 그림은 각 건물별(생활관, 국제관, 본관동) 부하 프로파일을 보여주고 있으며, 각 건물별 부하 프로파일을 보면 시간대별로 각 건물의 부하가 다르게 분포함을 확인 가능
- 본관동은 업무시간대에 부하량이 높아지는 것을 알 수 있으며, 생활관의 경우, 업무시간 외의 시간에서 부하량이 높게 나타남



<그림 3-167 생활관 부하 프로파일>



<그림 3-168 국제관 부하 프로파일>



<그림 3-169 본관동 부하 프로파일>

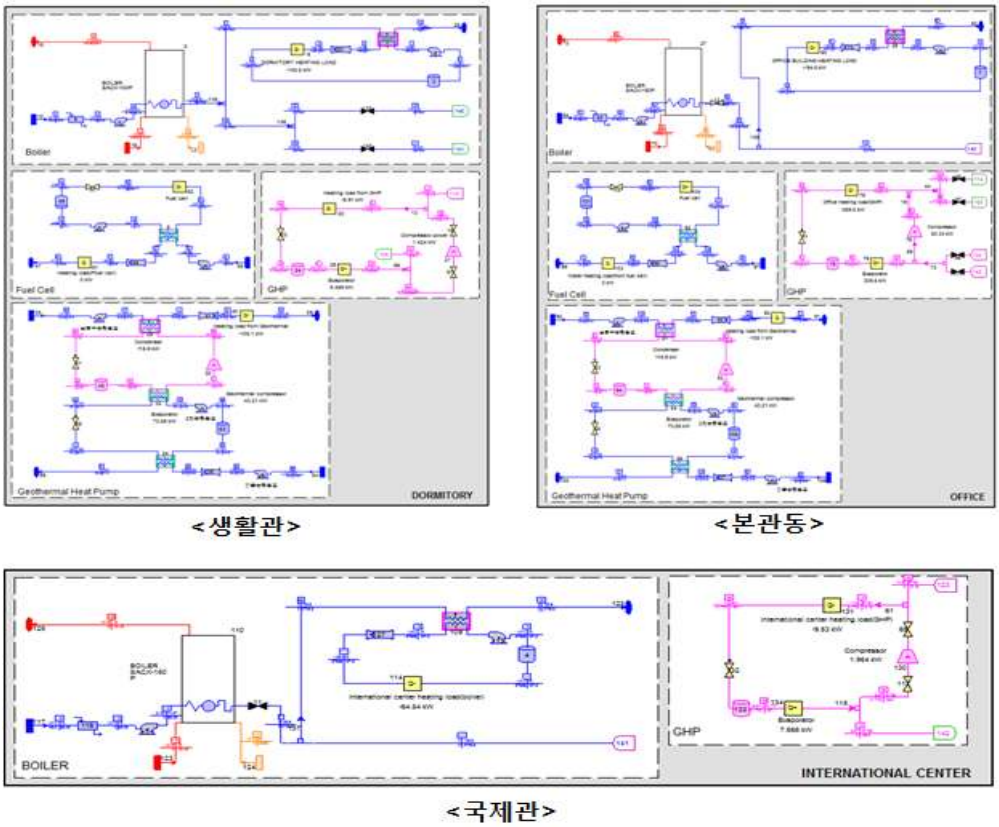
13.4.3 운전방식에 대한 분석 (건물별 개별운전 방식, 구획별 열원설비 운전 방식, 全건물 통합운전 방식)

□ 건물별 개별운전 방식

- 개별운전 방식은 각 건물별로 설치된 각각 설비들이 개별적으로 열원을 공급하는 방식이며, 이러한 방식은 각 건물의 피크부하에 맞추어서 설비의 최대용량을 결정하기 때문에, 일반적으로 부분부하 하에서 운전되게 될 경우 운전 효율 면에서는 떨어

질 수 있음

- 현재 GS건설 기술연구소 내 모든 건물의 열공급시설은 개별적으로 운전되고 있음

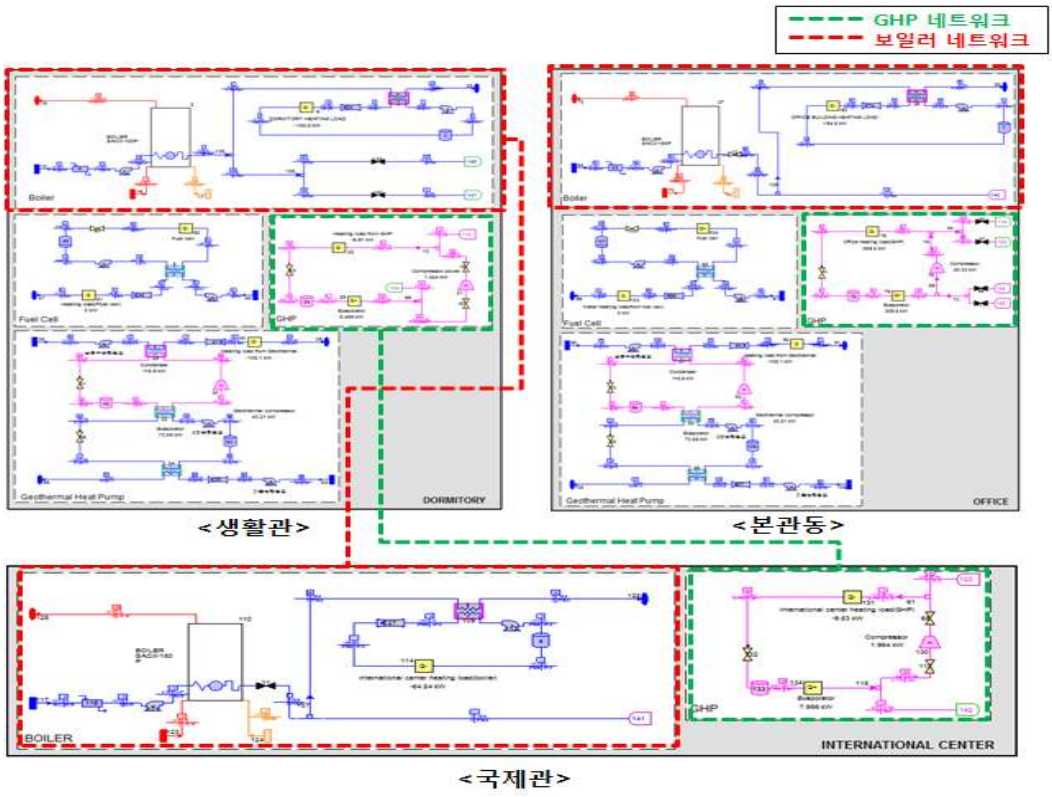


<그림 3-170 개별 운전 방식>

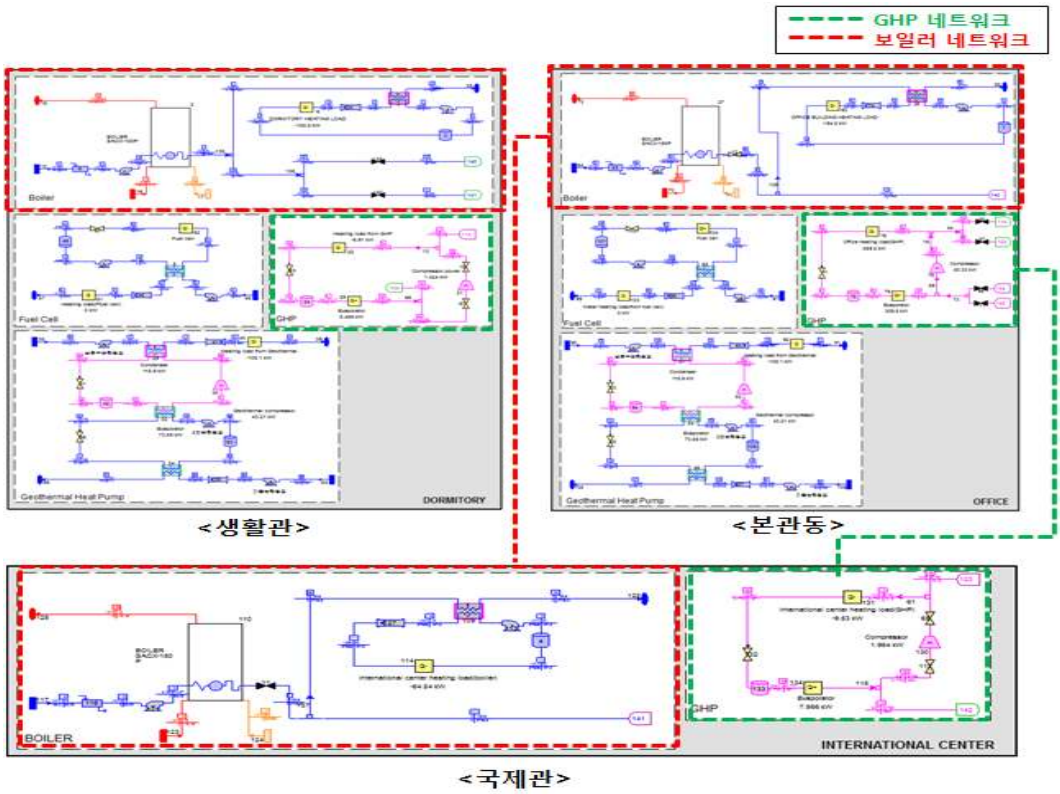
□ 구획별 열원설비 운전 방식

- 현재 개별운전 방식으로 건물의 열공급시설들이 운전되고 있기 때문에 대부분의 설비들이 부분부하 상태로 운전되고 있으며, 이에 따른 효율 저하를 피할 수 없는 상태임

- 이를 개선하기 위하여 상기 건물들 중 건물을 건물 부하량에 기초하여 구획별로 나누어, 1안: 생활관+국제관(1구획), 본관동(2구획), 2안: 국제관+본관동(1구획), 생활관(2구획) 최대한 각 열원 공급 설비들이 정격운전 조건에서 운전될 수 있도록 모델링하였음



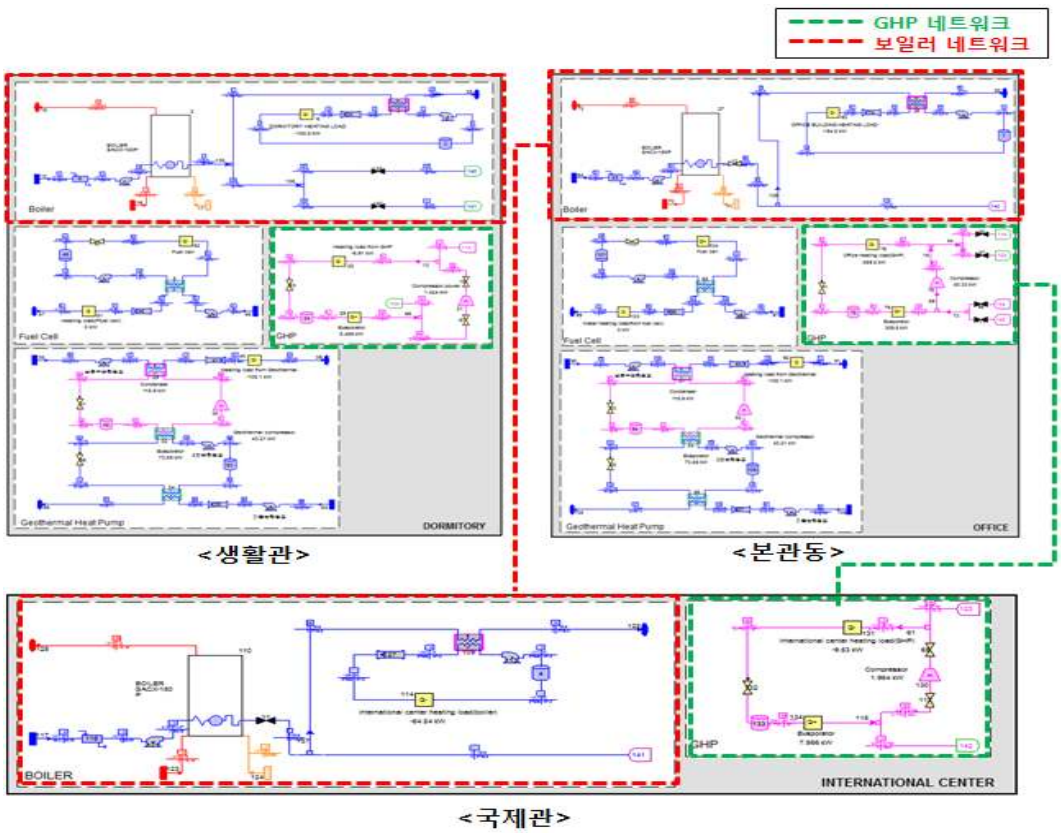
<그림 3-171 구획별 열원설비 운전 방식: 1안>



<그림 3-172 구획별 열원설비 운전 방식: 2안>

□ 全건물 통합운전 방식

- 현재 GS건설 기술연구소 내 각 건물에 설치되어 있는 열원 설비들은 Peak 부하를 기준으로 설계되어 설치되었기 때문에 평소에는 경부하에서 운전되고 있는 상태임
- 건물별 부하 분석 결과 대부분의 시간의 경우 한 건물에서 생산된 열에너지만으로도 전체 건물들에 대한 부하공급이 가능하나, 전체 건물들 사이의 열에너지 공급배관망이 설치되어야 함
- 이러한 배관망 구축공사 비용은 일반적으로 많은 비용(1㎞당 약 10억원)이 소요되며, 현재 GS건설 기술연구소에는 이러한 배관망이 구축되어 있지 않으나, 본 시뮬레이션에서는 이상적으로 각 건물들 사이의 열에너지 공급배관망이 구축되어 있다고 가정함
- 각 건물들의 보일러와 가스히트펌프를 연결한 후, 각 건물들의 열부하를 합쳐서 최대한 보일러와 가스히트펌프가 정격부하와 가까운 조건 하에서 운전될 수 있게 모델링하였음



<그림 3-173 全건물 통합운전 방식>

13.4.4 운전방식에 따른 시뮬레이션 결과

□ 수급 시뮬레이션에 따른 에너지 및 탄소저감량 검증

- 개별운전 방식과 구획별로 건물을 묶어 운전한 구획운전 방식(1안/2안) 및 대수제어를 통한 통합운전 방식 등과 같이 총 4가지 운전 방식에 대한 연료사용량과 CO2 발생량을 확인함. 아래 표 및 그림은 각 개별난방 및 대수제어 중앙난방 방식별 연료사용량과 CO2 발생량을 나타내고 있음

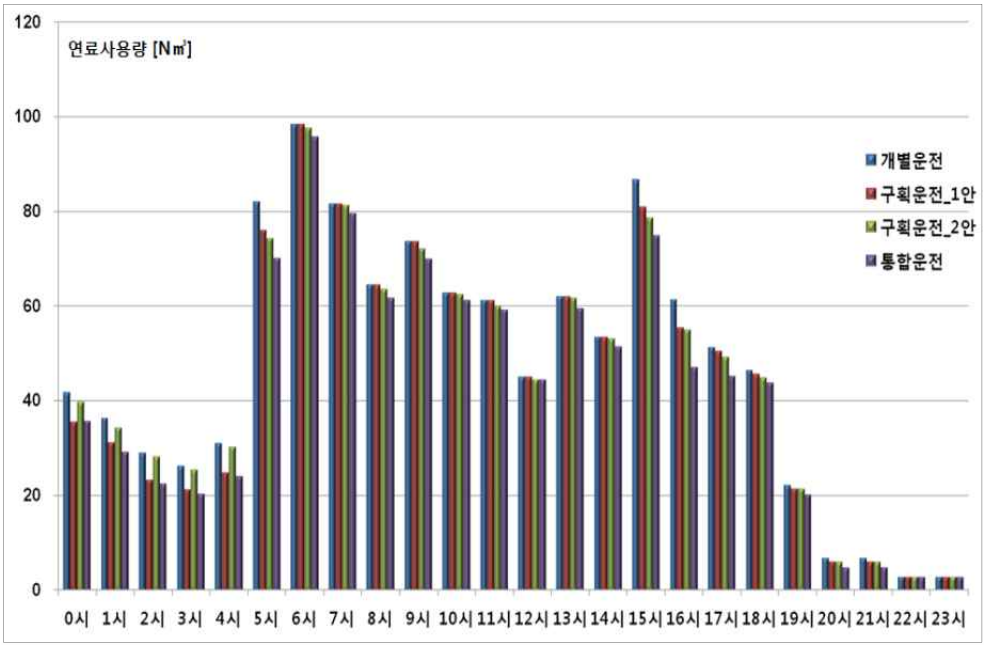
- 연료사용량은 개별운전의 경우 1,136.5N㎥/day, 구획운전 1안의 경우 1,086.6N㎥/day, 구획운전 2안의 경우 1,095.7N㎥/day, 통합운전의 경우 1,031.2N㎥/day로 구획운전 및 통합 운전을 통해 각 열원 설비들이 정격운전 조건에 가깝게 운전됨에 따라 연료 사용량이 절감된다는 것을 확인함

- 또한, CO2 발생량은 개별운전의 경우 2,631.7kg/day, 구획운전 1안의 경우 2,509.8kg/day, 구획운전 2안의 경우 2,537.2kg/day, 통합운전의 경우 2,380.2kg/day로 연료사용량과 비슷한 추세로 절감됨을 확인함

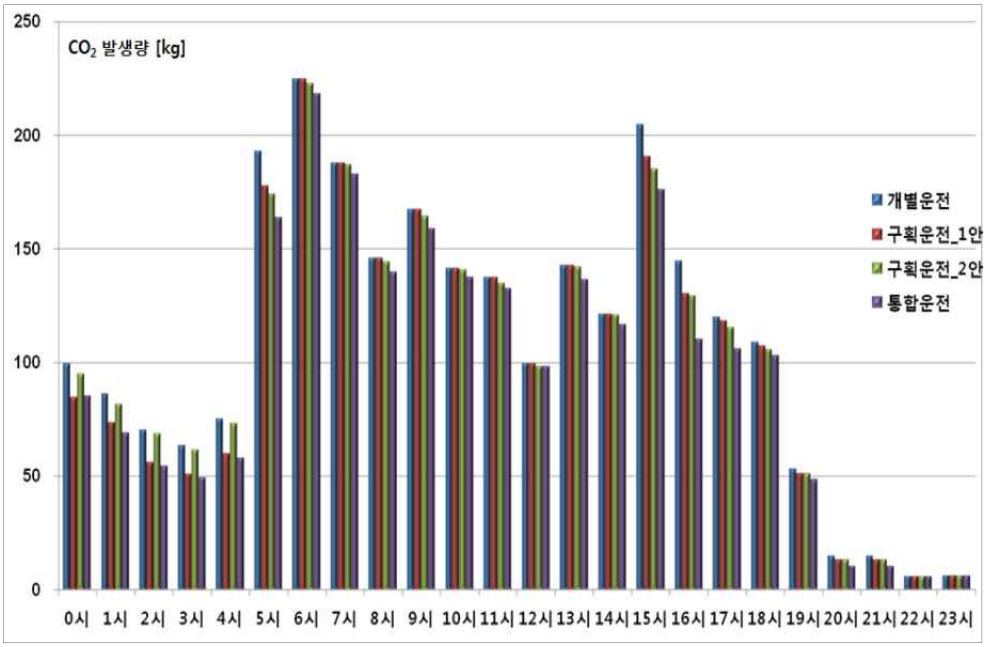
<표 3-78 각 건물별 연료사용량 및 탄소발생량>

시간	개별운전		구획운전-1안		구획운전-2안		통합운전	
	연료 사용량 (Nm³)	CO_2 발생량 (kg)	연료 사용량 (Nm³)	CO_2 발생량 (kg)	연료 사용량 (Nm³)	CO_2 발생량 (kg)	연료 사용량 (Nm³)	CO_2 발생량 (kg)
0시	41.73	99.63	35.64	84.64	39.73	95.21	35.72	85.34
1시	36.35	86.35	31.22	73.71	34.29	81.80	29.17	69.17
2시	29.09	70.47	23.32	56.23	28.31	68.75	22.54	54.51
3시	26.28	63.52	21.23	51.05	25.48	61.74	20.42	49.27
4시	31.07	75.31	24.87	60.05	30.26	73.53	24.07	58.27
5시	82.11	193.04	75.94	177.83	74.35	174.30	70.11	163.84
6시	98.46	224.79	98.46	224.79	97.57	222.82	95.75	218.33
7시	81.58	187.84	81.58	187.84	81.22	187.06	79.55	182.93
8시	64.43	146.12	64.43	146.12	63.60	144.28	61.76	139.76
9시	73.64	167.52	73.64	167.52	72.19	164.30	69.99	158.88
10시	62.81	141.57	62.81	141.57	62.46	140.79	61.20	137.69
11시	61.21	137.45	61.21	137.45	60.03	134.84	59.16	132.69
12시	45.05	99.61	45.05	99.61	44.47	98.33	44.47	98.33
13시	61.97	142.65	61.97	142.65	61.72	142.10	59.49	136.59

14시	53.39	121.49	53.39	121.49	53.15	120.94	51.43	116.72
15시	86.68	204.58	81.01	190.60	78.63	185.25	74.90	176.06
16시	61.33	144.65	55.46	130.36	54.97	129.42	47.07	110.30
17시	51.31	120.09	50.51	118.32	49.22	115.46	45.20	105.96
18시	46.44	109.12	45.64	107.35	44.90	105.70	43.76	103.18
19시	22.25	53.14	21.47	51.41	21.47	51.42	20.25	48.72
20시	6.87	15.19	6.07	13.42	6.06	13.41	4.82	10.65
21시	6.87	15.19	6.07	13.42	6.06	13.41	4.82	10.65
22시	2.74	6.07	2.74	6.07	2.74	6.07	2.74	6.07
23시	2.84	6.28	2.84	6.28	2.84	6.28	2.84	6.28
총합	1,136.50	2,631.65	**1,086.58**	**2,509.77**	**1,095.72**	**2,537.19**	**1,031.23**	**2,380.21**
증감율 (%)	-	-	**-4.39**	**-4.63**	**-3.59**	**-3.59**	**-9.26**	**-9.55**



<그림 3-174 운전 방식에 따른 시간별 연료사용량>



<그림 3-175 운전 방식에 따른 시간별 CO2 발생량>

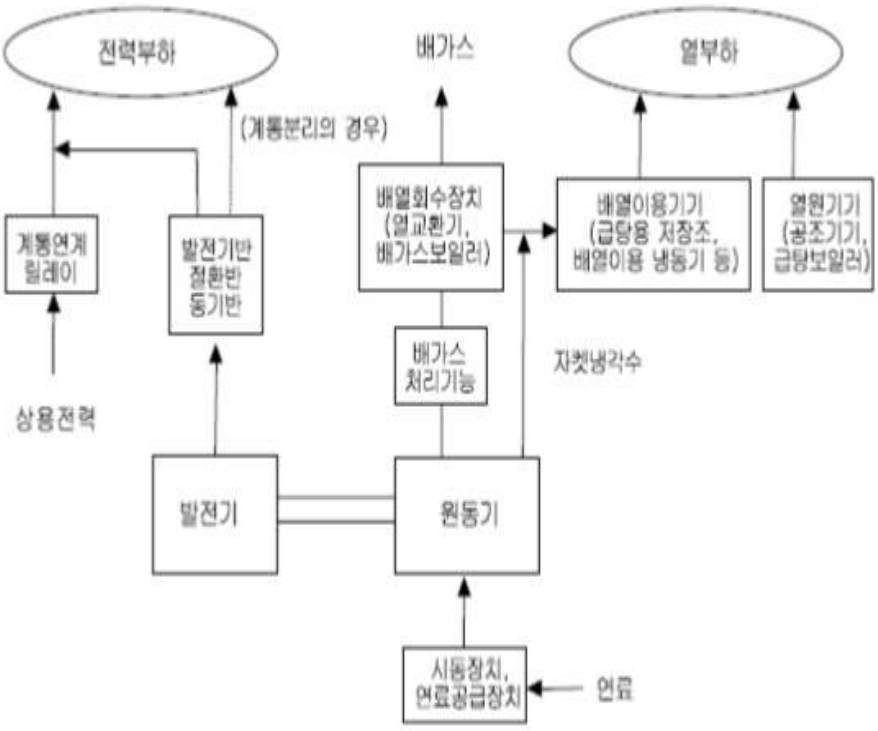
13.5 실제 데이터를 활용한 CEMS 최적화 모델 분석 (열병합 대체효과)

□ POC 데이터를 활용하여 열에너지 네트워크 및 열생산설비(보일러)를 열병합발전기로 대체한 경우에 운영에 따른 효과를 분석함

13.5.1 열생산설비(보일러) 대체 시뮬레이션 개요

□ 시뮬레이션 기본가정

- 기존에 설치되어 있는 열생산설비 중 보일러를 열병합발전기로 대체하였을 때의 효과를 분석. 현재 해당 사이트에 열병합발전기와 유사한 시스템인 연료전지가 설치되어 있으나, 용량이 부하에 비하여 매우 작아 지속적인 운전을 하는 상황임. 따라서 운전 패턴의 변화를 볼 수 없기 때문에 열병합발전기를 적용하는 것으로 가정
- 하나의 설비로 전기와 열을 동시에 생산할 수 있다는 측면에서 장점이 있으며, 회수 온도 역시 높은 배가스(400~700℃) 온도로 인해 다양한 온도 대의 열원을 확보할 수 있다는 장점이 있음



<그림 3-176 열병합발전 시스템의 일반적인 구성기기>

<표 3-79 열병합발전기 시스템별 특징>

	디젤엔진	가스엔진	가스터빈	연료전지(인산형)
단기용량	15~10,000㎾	8~5,000㎾	30~100,000㎾	50~10,000㎾
발전효율	30~42%	28~40%	20~35%	36~45%
종합효율	60~75%	65~80%	70~80%	60~80%
열전비	약 1.0	약 1.5	2~3	-
연료	등유/경유/A중유	천연가스/LPG	등유/경유/A중유/가스	가스/등유/메탄올
시동시간	10초 이내(비상용)	15초 이내	40초 이내(비상용)	4~5시간(인산형)
배열온도	배가스 400~500℃ 냉각수 70~80℃	배가스 500~700℃ 냉각수 80~90℃	배가스 450~600℃	작동온도 250℃ 이하 온수 70~120℃
가격(㎾ 당)	디젤엔진 < 가스엔진 < 가스터빈 < 연료전지			
보수비용	가스엔진 < 가스터빈 < 디젤엔진 < 연료전지			
소음	110dBA(저주파) 엔크로저로 감쇄	100dBA(저주파) 엔크로저로 감쇄	110dBA(고주파) 엔크로저로 감쇄	낮음
진동	대	대	중	소
배가스(NOx)	1,000ppm 전후	희박연소 200ppm 이하 3원 촉매 40ppm 이하	탈황촉매 84ppm 이하 희박연소 150ppm 이하	소
특징	발전효율 높음 연료가격 저렴 실적 풍부 배가스 처리 필요 보수 비용 높음 소음/진동이 큼 냉각수 온도가 낮음	배가스가 깨끗 열회수 용이 보수 용이 진동/소음이 큼 가격 높음	소/경량 컴팩트 냉각수 불필요 저소음/저진동 발전효율 낮음	발전효율 높음 진동/소음 낮음 NOx가 낮음 저가격화 필요
주 1) 발전효율은 출력레벨 등에 따라 다름 주 2) 종합효율은 배열회수 형태에 따라 다름				

□ 열병합발전시스템 선정 및 모델링

- GS건설 기술연구소 내 설치된 열생산설비 중 보일러 용량 및 실제 부하량을 바탕으로 보일러 용량과 동일한 열생산이 가능한 열병합발전기(가스엔진)를 설치하는 것으로 가정
- 가스엔진의 경우 타 시스템에 비해 열전비가 높으며, 소형으로 설치하기 적합하다는 장점이 있음. 또한, 설치비나 유지보수비용 역시 높지 않은 편에 속하며, 기존의 가스공급라인과 연결할 수 있다는 면에서 해당 시스템을 선정
- 실제 시뮬레이션에서 적용한 가스엔진의 시스템 사양은 아래 표와 같음

<표 3-80 열병합발전 시스템의 주요 사양>

	JMS 312GS-N.L	JMS 316GS-N.L
Type	Gas Engine(lean burn)	Gas Engine(lean burn)
Manufacturer	GE Jenbacher	GE Jenbacher
Electrical output	633㎾	848㎾
Recoverable thermal output (120℃)	814㎾	1,089㎾
Energy Input	1,661㎾	2,216㎾
Fuel consumption based on a LHV of 9.5㎾h/N㎥	174.8N㎥/h	233.3N㎥/h
Electrical efficiency	38.1%	38.3%
Thermal efficiency	49.0%	49.1%
Total efficiency	87.1%	87.4%
Emission values	NO_x < 500㎎/N㎥@5%O_2	NO_x < 500㎎/N㎥@5%O_2
Fuel type	Natural gas	Natural gas
Dimension (L X W X H)	4.7m X 2.3m X 2.3m	5.3m X 2.3m X 2.3m
Weight	9,400㎏	9,900㎏
Sound pressure level (engine, average value 1m)	95dBA	96dBA
Exhaust gas mass flow rate, wet	3,579㎏/h	4,772㎏/h
Exhaust gas temperature at full load	505℃	505℃
Hot water condition	70℃/90℃	70℃/90℃
Hot water flow rate	35.0㎥/h	46.8㎥/h
Generator	60Hz/480V	60Hz/480V



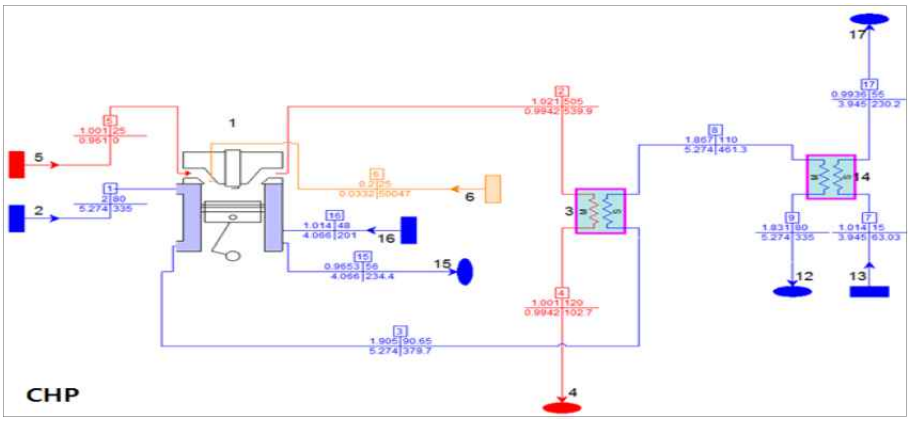
<JMS 312GS-NL>



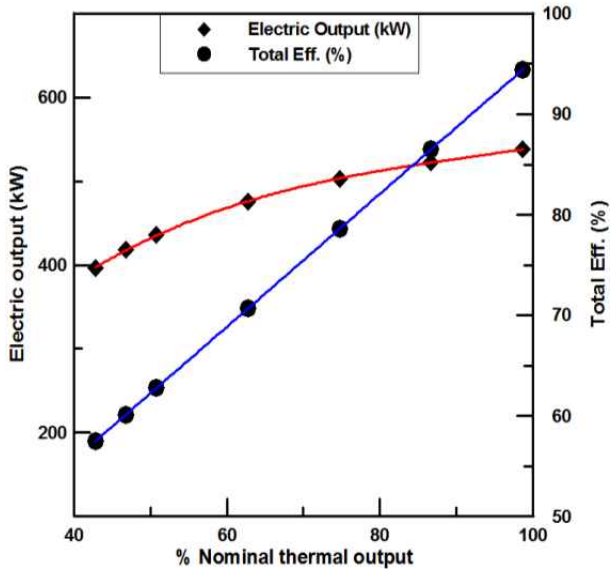
<JMS 316GS-NL>

<그림 3-177 가스엔진 시스템>

- 열병합발전설비는 앞서 부하 분석 결과 기존에 설치되어 있는 보일러 설비(본관동: 1,125kW x 2대, 국제관: 1,125kW x 2대, 생활관: 750kW x 2대)가 실제 부하에 비해 과다하게 설치되어 있기 때문에, 각 건물별로 1대씩 설치되어 있다고 가정
- 열병합발전설비는 기존 설비들과는 다르게 전력생산이 가능하나, 동일한 연료량을 투입하였을 때, 기존의 열전용 설비인 보일러보다는 열생산량이 적을 수밖에 없으며, 이는 결국 연료 소비량이 많아진다는 것을 의미함. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 열병합발전설비는 전력생산이 가능하기 때문에 생산된 전력은 전량 매전하는 것으로 가정
- 열병합발전설비는 기존 보일러를 대체하는 즉, 열추종 방식으로 운전하는 것으로 가정. 실제 열부하에 맞추어 운전할 경우 발전효율 측면에서는 손해를 볼 수 있음
- 또한, 이 경우 낮은 부하에서 운전됨에 따라 실제 전력 생산이 불가능한 경우가 발생활 있으므로 본 연구에서는 실제 설비 대비 열부하가 20% 이하로 걸릴 경우 전력 생산은 없고, 단순히 열생산만 한다고 가정

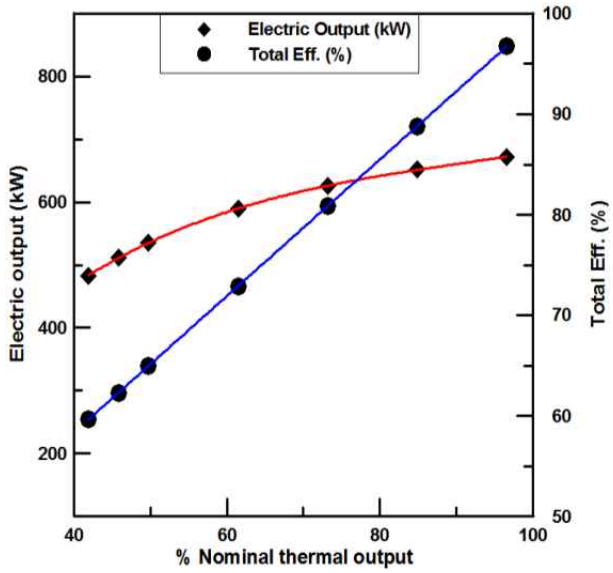


<그림 3-178 열병합발전설비 모델링>



〈열출력 대비 전력생산량 및 전체 효율〉

(JMS 312GS-NL)



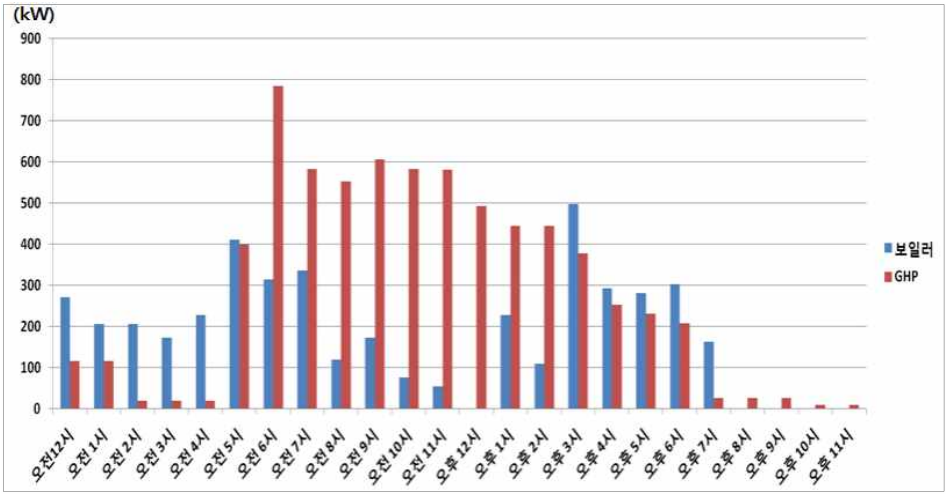
〈열출력 대비 전력생산량 및 전체 효율〉

(JMS 316GS-NL)

〈그림 3-179 가스엔진별 성능 곡선〉

□ 기존 각 기기별 공급열량 분석

- 기 분석하였던 실제 설비 사양에 대한 검토와 함께 기존 열원설비가 실제 공급하는 열공급량(GS건설 기술연구소 생활관, 본관동, 생활관)에 대한 검토를 수행
- 보일러의 경우 오후부터 부하가 많이 걸리기 시작한 후 심야 및 새벽 시간에 부하가 가장 많이 걸리며, GHP의 경우에는 새벽시간부터 부하가 걸리기 시작하여 전체 근무시간대에 걸쳐 부하가 걸린 후 점차 부하가 감소하는 상이한 패턴을 보여줌



〈그림 3-180 시간 변화에 따른 각 기기별 열공급량〉

<표 3-81 시간 변화에 따른 각 기기별 열공급량>

시간 (Time)	보일러 (kW)	GHP (kW)	총 열량 (kW)
오전12시	270.15	115.15	385.30
오전1시	205.31	116.16	321.47
오전2시	205.31	18.10	223.41
오전3시	172.90	18.58	191.47
오전4시	226.93	18.58	245.50
오전5시	410.63	399.38	810.01
오전6시	313.37	784.39	1097.76
오전7시	334.98	583.16	918.15
오전8시	118.87	552.68	671.54
오전9시	172.90	606.08	778.97
오전10시	75.64	583.16	658.80
오전11시	54.03	581.26	635.29
오후12시	0.00	492.53	492.53
오후1시	226.93	443.53	670.46
오후2시	108.06	443.53	551.59
오후3시	497.07	377.82	874.90
오후4시	291.76	252.96	544.72
오후5시	280.96	230.25	511.20
오후6시	302.57	207.84	510.41
오후7시	162.09	25.01	187.10
오후8시	0.00	25.49	25.49
오후9시	0.00	25.49	25.49
오후10시	0.00	9.05	9.05
오후11시	0.00	9.53	9.53

13.5.2 기존설비 대체 시뮬레이션 결과

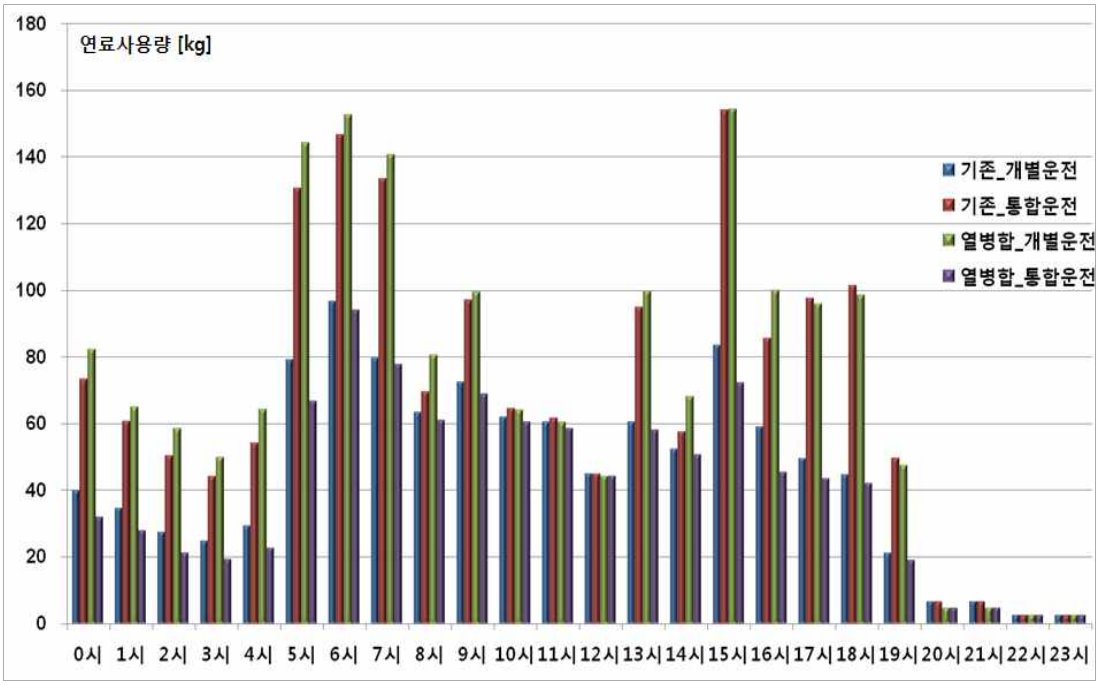
□ 기존 설비안과의 연료 소비량 및 CO2 발생량, 운영 수익 비교/분석 (전력생산 부분제외)

- 기존 보일러를 열병합발전설비로 대체한 경우에 대한 시뮬레이션을 수행함. 열병합발전설비의 경우 기존의 보일러와는 달리 열전설비이기 때문에 전체적으로 연료 소비량 및 CO2 발생량이 증가하는 것을 확인

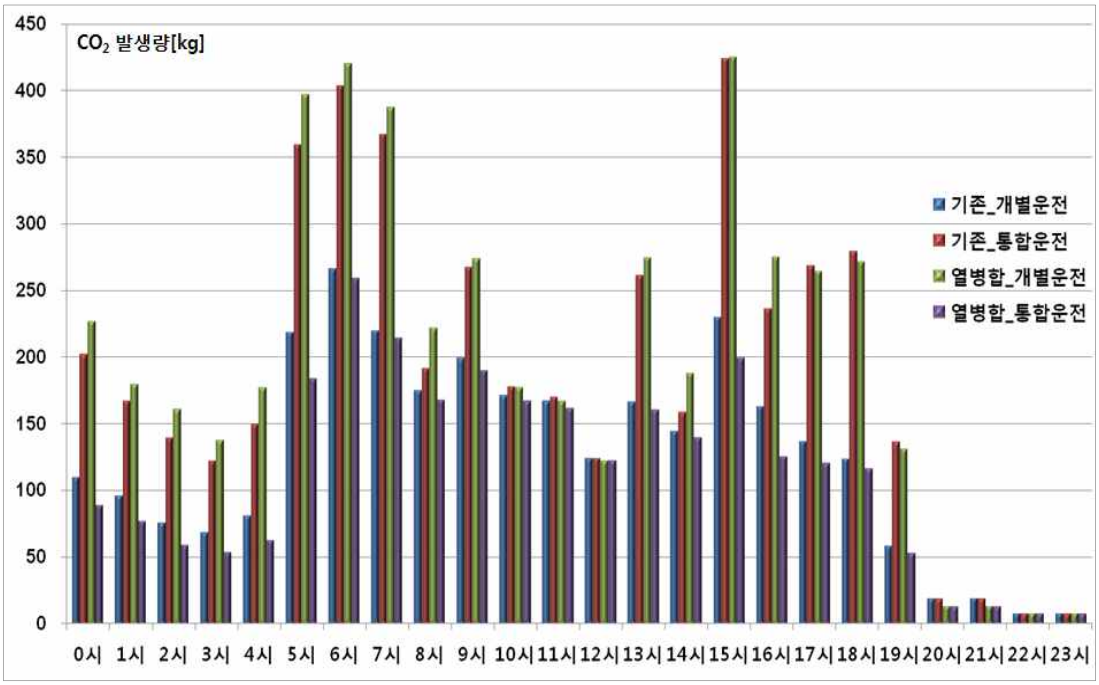
- 기존 설비안(개별운전, 통합운전) 대비 열병합발전설비를 적용한 경우(개별운전, 통합운전)에 대한 연료 소비량 및 CO2 발생량을 비교/분석

<표 3-82 운전 방식별 연료 소비량 및 탄소발생량, CO2 환산계수 2.75kg CO2/kg LNG>

시간	기존 개별운전		기존 통합운전		열병합 개별운전		열병합 통합운전	
	연료소비량 (kg)	CO_2발생량 (kg)	연료소비량 (kg)	CO_2발생량 (kg)	연료소비량 (kg)	CO_2발생량 (kg)	연료소비량 (kg)	CO_2발생량 (kg)
0시	39.95	109.86	32.24	88.67	73.54	202.25	82.42	226.67
1시	34.91	96.00	28.04	77.11	60.79	167.17	65.26	179.46
2시	27.61	75.93	21.41	58.89	50.71	139.44	58.63	161.24
3시	24.98	68.69	19.43	53.43	44.36	122.00	50.09	137.74
4시	29.47	81.04	22.85	62.84	54.35	149.45	64.42	177.15
5시	79.34	218.19	66.75	183.55	130.61	359.18	144.37	397.01
6시	96.75	266.05	94.15	258.91	146.64	403.27	152.82	420.27
7시	79.78	219.39	77.85	214.09	133.53	367.21	140.74	387.03
8시	63.55	174.76	61.00	167.74	69.63	191.48	80.74	222.05
9시	72.52	199.42	69.00	189.75	97.22	267.36	99.66	274.06
10시	62.16	170.95	60.63	166.73	64.70	177.91	64.34	176.94
11시	60.70	166.93	58.70	161.43	61.83	170.04	60.64	166.77
12시	45.05	123.89	44.47	122.30	45.05	123.89	44.47	122.30
13시	60.62	166.70	58.27	160.25	94.98	261.18	99.84	274.56
14시	52.57	144.56	50.71	139.45	57.69	158.66	68.31	187.85
15시	83.56	229.79	72.38	199.05	154.05	423.63	154.46	424.76
16시	59.15	162.67	45.57	125.32	85.82	236.00	100.01	275.04
17시	49.72	136.72	43.75	120.31	97.61	268.42	96.06	264.18
18시	44.90	123.46	42.21	116.08	101.46	279.01	98.77	271.63
19시	21.30	58.58	19.30	53.09	49.77	136.86	47.77	131.37
20시	6.87	18.89	4.82	13.25	6.87	18.89	4.82	13.25
21시	6.87	18.89	4.82	13.25	6.87	18.89	4.82	13.25
22시	2.74	7.54	2.74	7.54	2.74	7.54	2.74	7.54
23시	2.84	7.81	2.84	7.81	2.84	7.81	2.84	7.81
총합	1,107.89	3,046.71	1,003.94	2,760.84	1,693.65	4,657.54	1,789.06	4,919.90
증감률 (%)	-	-	-9.38	-9.38	52.87	52.87	61.48	61.48



<그림 3-181 운전 방식 및 설비에 따른 시간별 연료 소비량>



<그림 3-182 운전 방식 및 설비에 따른 시간별 CO2 발생량>

□ 기존 설비안과의 연료 소비량 및 CO2 발생량, 운영 수익 비교/분석 (전력생산 부분효과 포함)

- 운영 수익을 분석하기 위해서는 열부하를 공급하기 위해 실제 소비된 LNG량 및 설비 대체를 통해 생산된 전력 판매비를 통해 계산이 가능
- 아래 표는 실제 전력 생산량 및 운영 수익을 비교/분석한 결과임. 표를 통해 알 수 있듯이 열병합발전설비를 설치했을 경우가 좀 더 수익 면에서 좋지 않음
- 이는 국내의 경우 전력요금은 비정상적으로 낮게 책정되어 있으나, 이에 비해 가스요금은 높게 책정되어 있기 때문에 열병합발전설비의 경제성이 떨어지게 되는 결과를 야기하기 때문
- 그러나 최근 2012~2015년 사이 전력요금은 15.3% 이상 상승한 반면, 가스요금(열전용설비용)은 12년 1월 21.3561원/MJ에서 2015년 5월 현재 기준으로 18.59원으로 13.0% 하락함. 따라서 추후 열병합발전설비의 경제성은 점차 개선될 것으로 판단

<표 3-83 운전 방식 및 설비별 총 사용요금>

(열전용설비용: 18.59원/MJ, 열병합용:16.1412원/MJ, 전력요금: 108.5원kWh)

운전방식	연료소비량 (kg/day)	전력생산량 (kWh/day)	가스사용요금 (원/day)	전력판매수익 (원/day)	총 사용요금 (원/day)
기존_개별운전	1,107.89	-	1,000,931.8	-	1,00,931.8
기존_통합운전	1,003.94	-	907,014.7	-	907,014.7
열병합_개별운전	1,693.65	2,423.49	1,328,576.9	262,948.6	1,065,628.2
열병합_통합운전	1,789.06	4,591.53	1,403,417.7	498,181.4	905,236.3

- 지난 3년간 전력요금 상승률 및 가스요금 하락률을 기준으로 전력요금 및 가스요금을 산정하여, 수익을 다시 산정(2018년 예상)하였으며, 계산 결과 열병합발전설비를 운전할 경우 기존 보일러를 통해 열공급을 하는 경우에 비해 경제성이 더 나아진다는 것을 확인

<표 3-84 운전 방식 및 설비별 총 사용요금, 2018년 예상>

(열전용설비용: 16.1821원/MJ, 열병합용:14.0505원/MJ, 전력요금: 125.14원kWh)

운전방식	연료소비량 (kg/day)	전력생산량 (kWh/day)	가스사용요금 (원/day)	전력판매수익 (원/day)	총 사용요금 (원/day)
기존_개별운전	1,107.89	-	871,288.4	-	871,288.4
기존_통합운전	1,003.94	-	789,535.7	-	789,535.7
열병합_개별운전	1,693.65	2,423.49	1,156,496.0	303,267.3	853,228.7
열병합_통합운전	1,789.06	4,591.53	1,221,643.2	574,569.0	647,074.2

- 기존 대비 CO2 발생량 역시 증가하는 것으로 나타나나, 열병합발전설비를 통해 생산된 전력을 통해 CO2 발생량 저감이 가능하며, 개별운전 시에는 기존 보일러를

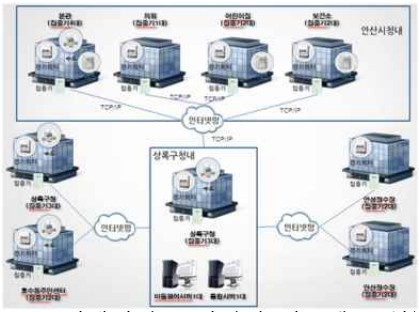
사용하는 경우의 CO2 발생량이 약 15% 정도 크게 나타나나, 통합운전 시에는 값의 차이가 거의 없다는 것을 확인하였으며, 기존대비 9.4%의 탄소저감 효과를 검증하였음

<표 3-85 운전 방식 및 설비별 실제 CO2 발생량>

(전력의 CO2 배출계수: 0.4705t/MWh)

운전방식	CO_2 발생량 (kg/day)	전력생산량 (kWh/day)	CO_2 저감량 (kg/day)	실제 CO_2 발생량 (kg/day)
기존_개별운전	3,046.71	-	-	3,046.71
기존_통합운전	2,760.84		-	2,760.84
열병합_개별운전	4,657.54	2,423.49	1,140.25	3,517.29
열병합_통합운전	4,919.90	4,591.53	2,160.32	2,759.58

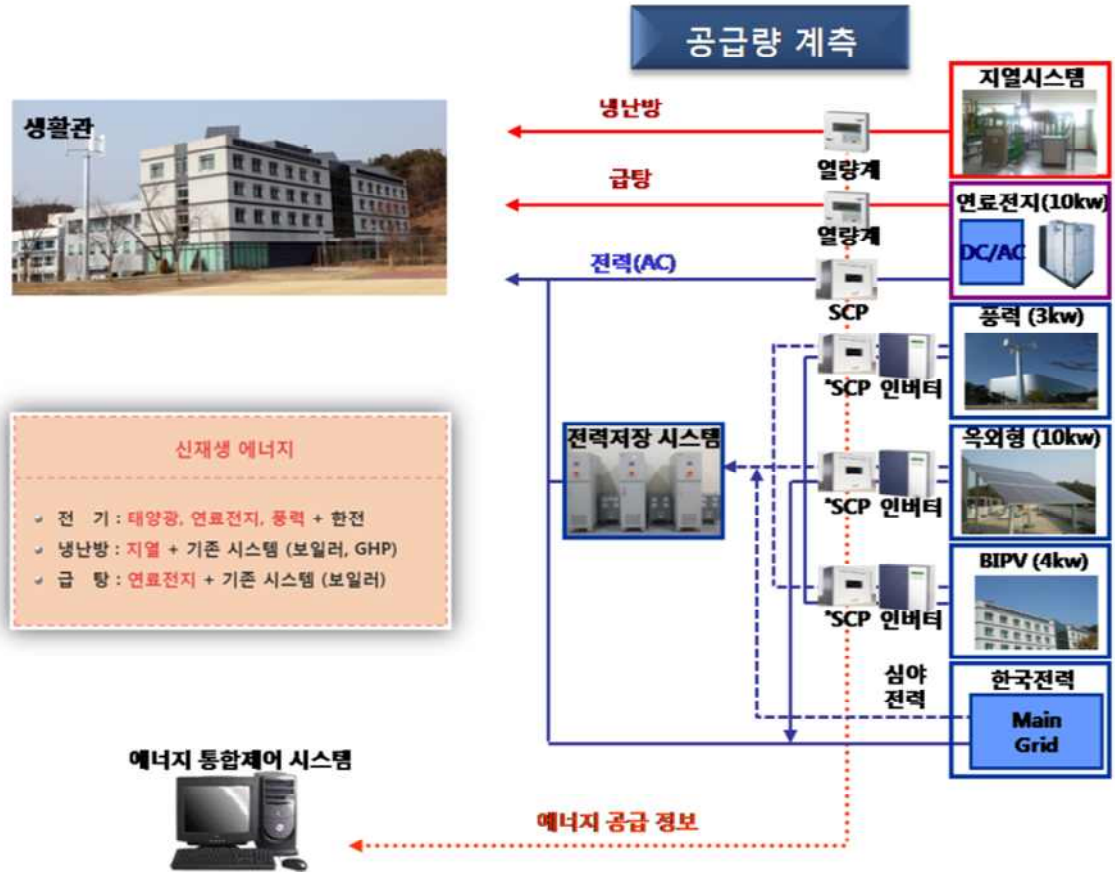
14. 스마트 도시에너지 관리시스템 실증사이트 구축

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">
<도시단위 실증 구성도(안)>

<도시에너지 모니터링 시스템 구성(안)></td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">- 도시에너지 Smart Metering 시스템 구축 (실증도시: 안산시)
◦ 안산시 일부 구역의 에너지 모니터링 포인트 선정 및 시스템 구축
◦ 전력, 가스, 물 에너지 사용량 모니터링 데이터 DB 구축
- Smart Meter와 통합관제를 통한 스마트 관리 시스템 실증 사이트 구축 (실증도시: 안산시)
◦ 통합관제센터 설치를 통한 도시에너지 관리시스템의 도시단위 실증</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">- 탄소저감 도시에너지 관리시스템의 실제 도시단위 적용을 통한 탄소저감 효과 확인
- 안산시의 경우 시화, 반월 공단이 존재하고 있어 에너지 관리시스템의 폐열을 활용한 효과가 확연히 나타날 것으로 예상</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">- 도시에너지 관리시스템의 도시단위 실증을 통한 도시에너지 관리시스템의 효과 분석 및 POC 시스템의 개선</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 에테보리 등
(개발기술 수준)
- 기존 탄소발생량의 15% 저감
(개발기술 수준 설정근거)
- 국외 사례분석</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">박시삼(GS건설㈜)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">2차년도～4차년도 '13.05 ～ '14.12 (20개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="5">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td>3차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>학술발표
국내 1건</td></tr>
<tr><td>4차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>학술발표
국내 1건</td></tr>
<tr><td rowspan="2">질적성과</td><td>3차년도</td><td colspan="5">안산시 모니터링 시스템 구축 : 1건
- 전기, 가스, 물 사용량 모니터링
- 에너지 모니터링 계측 포인트 설정
안산시 통합관제실 구축 : 1건
안산시 모니터링 DB : 1건
- '14. 01에서 '14. 05까지의 안산시 모니터링 DB 확보</td></tr>
<tr><td>4차년도</td><td colspan="5">안산시 모니터링 DB : 1건
- '14. 01에서 '14. 12까지의 안산시 모니터링 DB 확보</td></tr>
<tr><td rowspan="2">달성 확인방법</td><td>3차년도</td><td colspan="5">- 학술발표 : 논문집 확인
- 안산시 모니터링 시스템 구축, 안산시 통합관제실 구축 : 현장 확인
- 안산시 모니터링 DB : 보고서 별권, 제출 파일 확인</td></tr>
<tr><td>4차년도</td><td colspan="5">- 학술발표 : 논문집 확인
- 안산시 모니터링 DB : 보고서 별권, 제출 파일 확인</td></tr>
</table>

14.1 도시에너지 공급 Smart Metering 시스템 구축

□ POC 신재생에너지 공급단 Smart Metering 구축

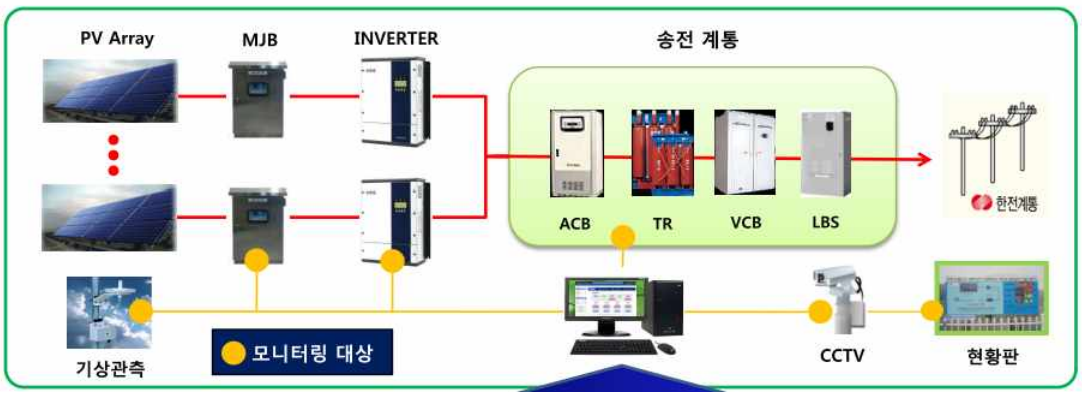
- POC의 지열, 태양광, 풍력, 연료전지 에너지 공급량을 모니터링 가능하도록 센서를 설치
- 아래의 구성도와 같이 모니터링 시스템을 구축하였으며, 신재생에너지 공급량을 통합 서버에서 확인할 수 있도록 설계
- 신재생에너지 발전량 예측프로그램의 데이터로 활용 가능하며, 이를 통하여 신재생에너지 가용량의 평가 가능



<그림 3-183 POC 공급량 계측 시스템 구성도>

□ 안산시 신재생(태양광, 지열) 시스템 연계 시스템 구축

- 안산시 공공건물에 기설치 되어 있는 신재생에너지 발전량 모니터링 시스템의 구성은 아래와 같음



<그림 3-184 태양광 발전량 모니터링 시스템 구성도>

- PV 어레이에서 나온 신재생발전량은 DC-AC 인버터를 통하여 계통에 연계되어 있으며, 현재는 전량 한전에 공급하는 형태로 되어 있음



<그림 3-185 태양광발전 일일발전량 모니터링 화면>

- 태양광 발전량에 대한 시간대별 모니터링을 이미 하고 있으나, 이를 CEMS에 활용하기 위하여 CEMS 통합 서버로의 프로토콜 및 데이터 연계를 수행

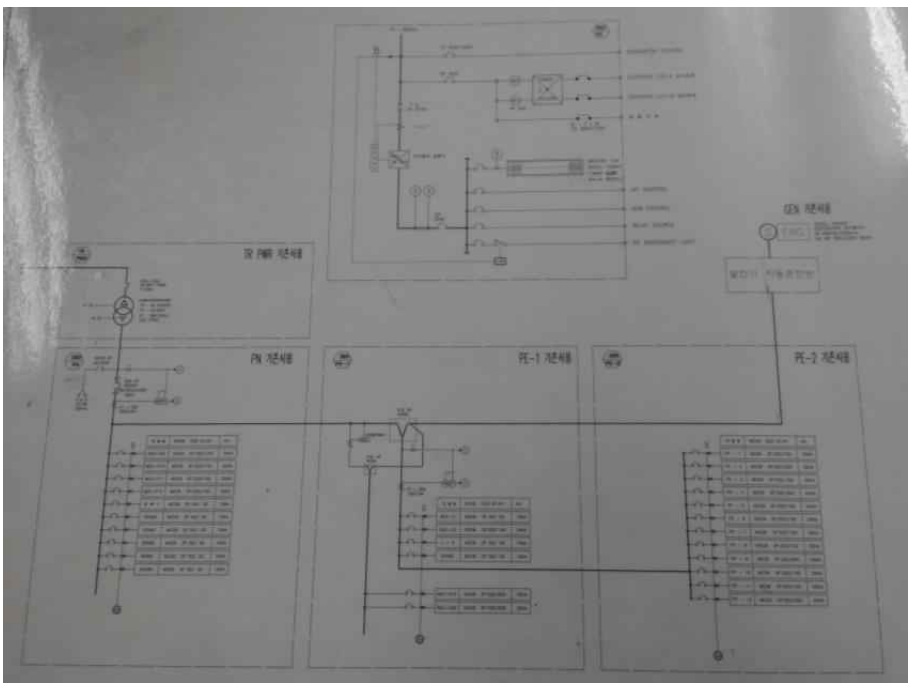
- 태양광 발전설비 서버에서 TCP/IP를 이용하여 연계하여 신재생발전량 공급을 수행하였으며, 안산시 자원회수시설의 Smart CEMS 통합관제센터에서 데이터를 확인할 수 있도록 구성

□ 안산시 주거단지 및 산업단지 비상용발전기 공급단 Smart Metering 구축

- 안산시 주거단지 및 산업단지의 비상용발전기는 분산전원으로 활용이 가능함
- 비상용 발전기의 출력단 측에 전력량계를 설치하여 에너지 공급량을 확인할 수 있도록 공급단 에너지 모니터링 시스템을 아래와 같이 구성



<그림 3-186 비상용 발전기 공급량 모니터링 시스템 구성도>



<그림 3-187 A아파트 배전도>

14.2 스마트 도시에너지 관리시스템 실증사이트 구축

14.2.1 안산시 소비량 모니터링 시스템 구축

- 도시단위 스마트 도시에너지 관리시스템 실증사이트 구축을 위하여, 2차년도에 안산시 공공단지 에너지 모니터링 및 통합관제센터 구축을 기 완료
- 3차년도에는 주거 및 산업단지의 에너지 사용량 모니터링 시스템 및 DR 실증을 위한 비상용발전기 무정전절체가 가능한 솔루션을 구축하였음

□ 안산시 주거 및 산업에너지 소비량 모니터링 시스템 구축

- 안산시 주거단지 및 산업단지 에너지 모니터링을 위하여 아파트 4개 단지 및 공장 1개 단지와의 협의를 통하여 에너지 모니터링 시스템을 구축하였으며, 그 내용은 아래의 표와 같음

<표 3-86 안산시 모니터링 시스템 개요>

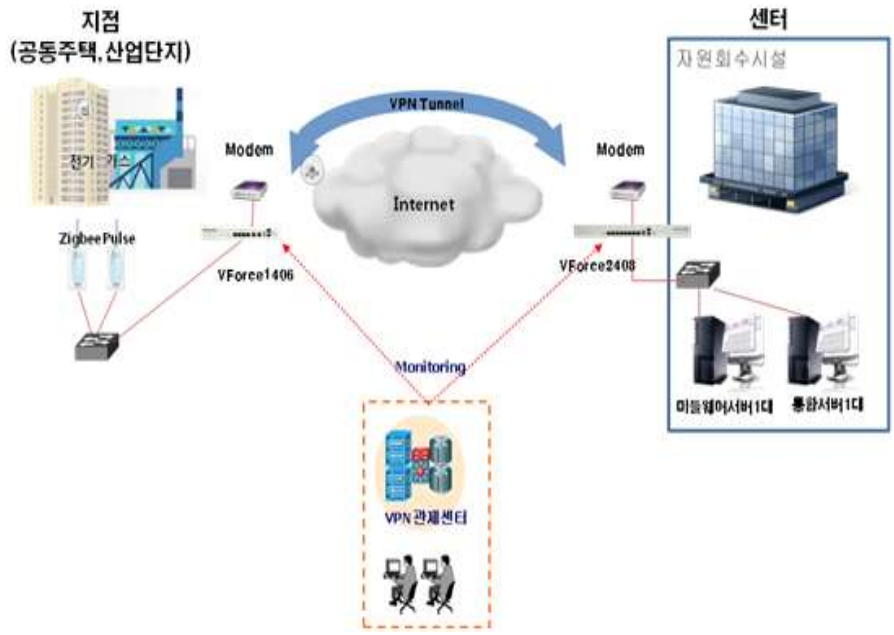
대분류	중분류	소분류	에너지원	계측 포인트	부하장소 및 사용부하
안산시	공동주택	A 아파트	전기	6	전기실 및 전기총량
		B 아파트	전기	5	전기실 및 전기총량
		C 아파트	전기	5	전기실 및 전기총량
		D 아파트	전기	4	전기실 및 전기총량
	산업단지	A 공장	전기	14	전기실 및 전기총량
			가스	2	기계실 및 가스총량

- 안산시 주거 및 산업단지 소비량 모니터링 시스템의 전체 구성도를 아래와 같이 설계하였으며, 주거 및 산업단지 내부 변압기 2차 측에 설치를 진행하였음



<그림 3-188 안산시 주거/산업단지 모니터링 구성도>

- 센서 데이터는 Zigbee 통신을 통하여 집중기로 데이터를 송신하고 이를 VPN를 사용하여 센서 및 집중기의 관리가 용의하도록 설계하였음



<그림 3-189 안산시 주거/산업단지 센서 네트워크 구성도>

- ZigBee 기술은 저속 저전력 기반의 무선개인영역 통신 기술로, IEEE 802.15.4 표준을 하위 표준(PHY & MAC)으로 하고, 상위에 NTW, APL을 표준화 하고 보안도

추가한 ZigBee Alliance에서 제정한 국제표준 스펙임. 원격 제어 및 관리의 응용에 적합한 홈오토메이션 등에 적용되며, USN 환경 구축에 없어서는 안 되는 기술임
- 집중기의 주요 기능은 아래의 표와 같음

<표 3-87 집중기의 주요 기능>

구 분	주 요 기 능
집중기	- 각각의 스마트미터로부터 수집된 데이터를 Ethernet 통신방식으로 Middleware Server에 전달 - 각 스마트미터의 데이터를 수집하여 최소 시간 단위로 데이터를 Middleware Server로 전송 - 집중기와 Middleware Server간의 통신방식은 상황에 따라 Ethernet 사용 - 스마트미터가 집중기에 join시에 시간 동기화를 위한 시간 데이터 전송 - 집중기를 통해 Server에서 모뎀의 설정값 변경이 가능 - 집중기와 중계기, Node 간의 Mesh 네트워크 구성 및 관리 - 로그 데이터 저장 - 정전 시에 서버에 정전통보 기능을 지원

- 또한, 2차년도에 구축한 통합관제센터와 연계하여 통합 DB를 생성할 수 있도록 설계하였으며, 통합관제센터에서 에너지 사용량을 확인할 수 있도록 하였음

14.2.2 DR 실증을 위한 비상용발전기 절체 솔루션 활용방안 모색

□ 비상용 발전기란 전력공급회사의 우발적인 전력계통 사고, 정전계획 및 고객의 수전설비 사고 등으로 인한 전력공급의 중단에 대비하여 설치되는 자가발전설비를 말하며, 현재 소방법에서 규정하고 있는 비상전원설비와 건축법에서 규정하고 있는 예비전원설비에 공급하기 위한 발전장치로 사용됨

□ 우리나라는 건축법 등 관련법규에 의해 일정 규모 이상의 건물에 비상발전기 보유가 의무화되어 있으므로, 그 설비용량은 상당한 수준임
□ 전력수급 위기 시 고객의 비상용발전기로 자체 부하의 일부 또는 전부를 분담할 수 있다면 적정 예비력 확보에 도움이 될 수 있음

<표 3-88 국내 비상발전기 설비현황('11년 12월)>

	500kW 미만	500~1000kW	1000kW 이상	합계
용량 (MW)	10,097 (52.3%)	4,210 (21.8%)	5,018 (26.0%)	19,325
대수	51,899 (84.1%)	6,470 (10.5%)	3,306 (5.4%)	61,675

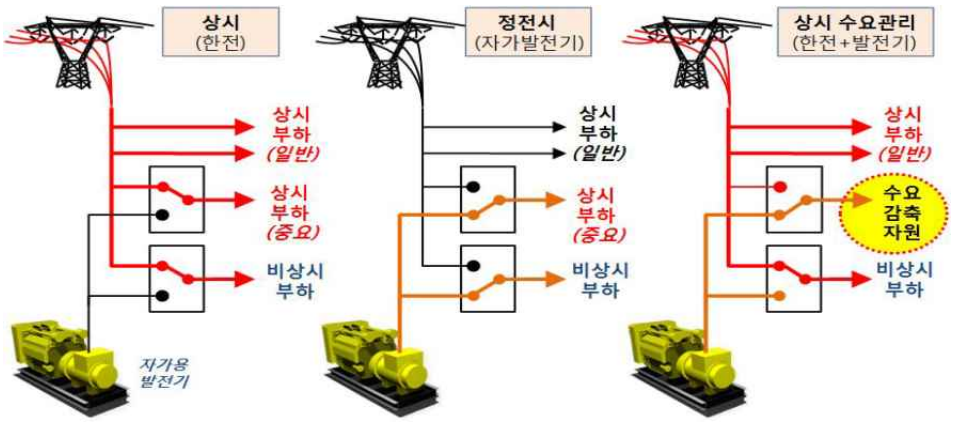
□ 비상용발전기를 이용하여 동·하계 피크전력을 관리하는 시설은 극히 적음

□ 정기시험은 1~2회/월을 일반적으로 시행하고 있으며, 무부하 운전이 대부분임

□ 비상용발전기의 시험 운전시간대를 전력 피크가 발생하는 시간대로 변경하여, 부하 운전 시 수요자원으로 활용할 수 있을 것임

- 장점: 고객 측 부하에 영향 없이 수전전력 감축 가능
- 단점: 높은 발전단가, 설비변경/개조 필요, 환경영향(소음, 매연 등)

□ ATS(Automatic Transfer Switch)에 의한 비상전원 절체는 순간정전이 발생되므로 고객 측 수용성 낮고, 무정전절체스위치(CTTS, Closed Transition Transfer Switch) 설치 시 수용성이 매우 높아짐



<그림 3-190 비상용 발전기의 수요자원 활용>

□ 비상용발전기를 이용한 부하관리 사례

- 호주 뉴사우스웨일즈(New South Wales) 州

: SKM (Sinclair Knight Merz)은 호주 뉴사우스웨일즈(New South Wales) 州정부의 부하관리 및 계획 프로젝트를 대신하여 3개 건물에 대한 방문조사를 수행

: 3개 건물에 대하여 무정전절체방식으로 업그레이드하는 경우의 자본비용을 평균 1kVA당 $262가 소요되는 것으로 추정

: 디젤을 연료로 사용하는 엔진은 질소산화물(NOx)과 미세먼지를 많이 발생시키기 때문에, 뉴사우스웨일즈 州 환경기후변화부가 규정한 대기오염기준을 위반하는 경우가 있을 수 있으므로, SKM은 비상발전기를 활용하는 부하관리 시스템에는 SCR (Selective catalytic reduction)이나 연소제어 등과 같은 대기오염 저감 설비를 갖추는 것을 권고

: 연간 100시간을 운전하는 경우를 가정할 경우, 연료비 및 유지보수비용은 1kVA당 $43가 소요되는 것으로 추정>

- Portland General Electric Co. (미국 오리건 州)

: Dispatchable Standby Generator Program 시행 중('00년 ~)

: 설비용량 1,000㎾ 이상이 참여 가능하며, 총 설비용량은 43㎿ 수준임

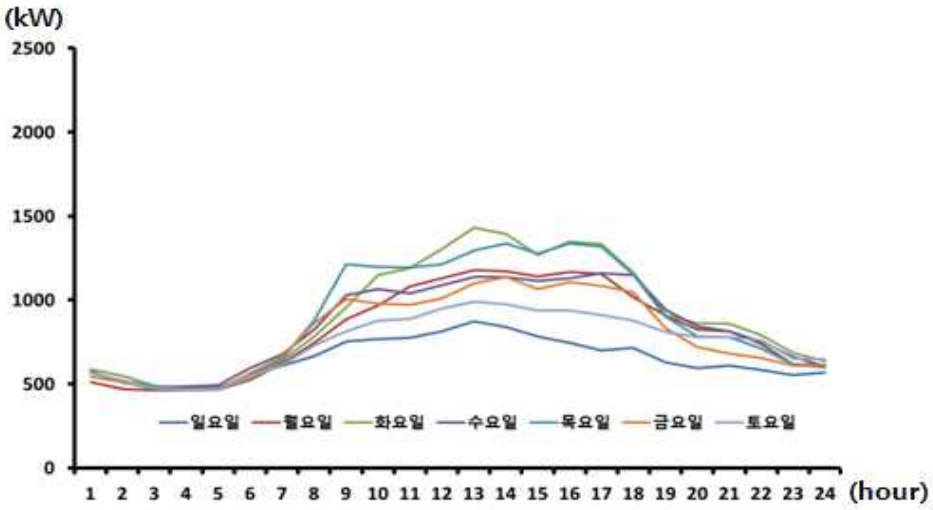
: 연간 최대 400시간 운전되며, 전력사의 원격제어 방식임

: 병렬연결장치, 제어/통신설비 설치, 소음억제 설비(필요 시), 추가 연료탱크, 유지보수 서비스 및 연료비 지원 등의 고객지원 시행

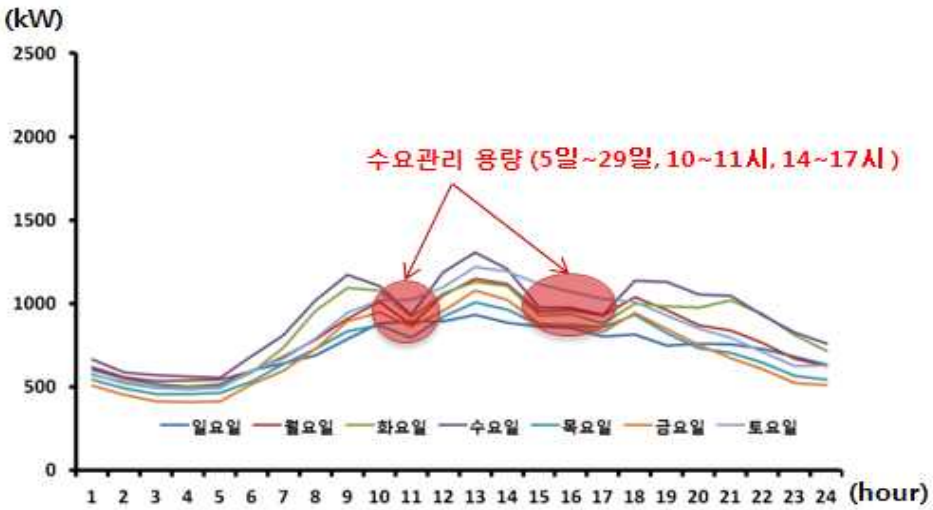
□ 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템의 DR 실증을 위하여 비상용발전기 절체가 가능한 DR 프로그램 및 시스템을 현재 구축

14.2.3 DR 가용량 평가 및 실제운영데이터를 활용한 에너지 저감량 분석 (서울소재 A 호텔)

- DR 가용량 평가를 위하여 실제 절전규제에 참여하여 에너지 사용량을 감축한 서울 소재 A호텔의 전력 사용량 데이터를 활용하여 에너지 저감량 및 DR 참여량을 분석하였음
- 하계 전력량 분석을 위하여 에너지 사용량을 근거로 요일별 평균분하를 분석하였음(13년 7월, 8월 데이터 활용)
- 7월에는 절전규제를 시행하지 않고 에너지를 사용하였으며, 8월에는 공용부하의 저감 노력을 수행하여 달성한 DR 감축량을 보여주고 있음

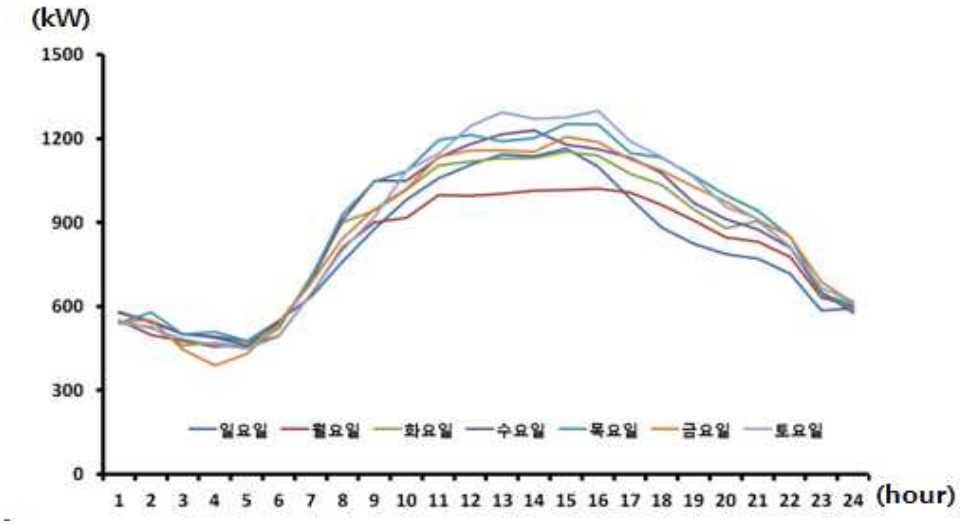


<그림 3-191 하계 요일별 에너지사용량(2013년 7월)>

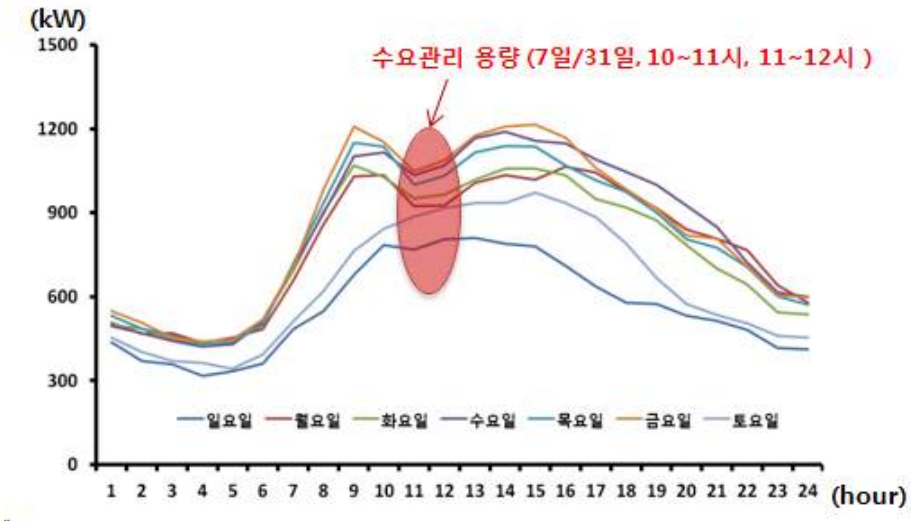


<그림 3-192 하계 요일별 에너지사용량(2013년 8월)>

- 분석결과에서 확인할 수 있듯이 8월 사용량을 확인해보면 수요관리를 통하여 10~11시, 14~17시의 부하가 급격하게 삭감된 것을 확인할 수 있으며, 주중에는 약 150㎾, 주말에는 약 120㎾의 저감량을 보여주고 있음
- 동계 전력량 분석을 위하여 에너지 사용량을 근거로 요일별 평균분하를 분석하였음(12년 12월, 13년 1월 데이터 활용)
- 12년 12월에는 절전규제를 시행하지 않고 에너지를 사용하였으며, 13년 1월에는 공용부하의 저감 노력을 수행하여 달성한 DR 감축량을 보여주고 있음

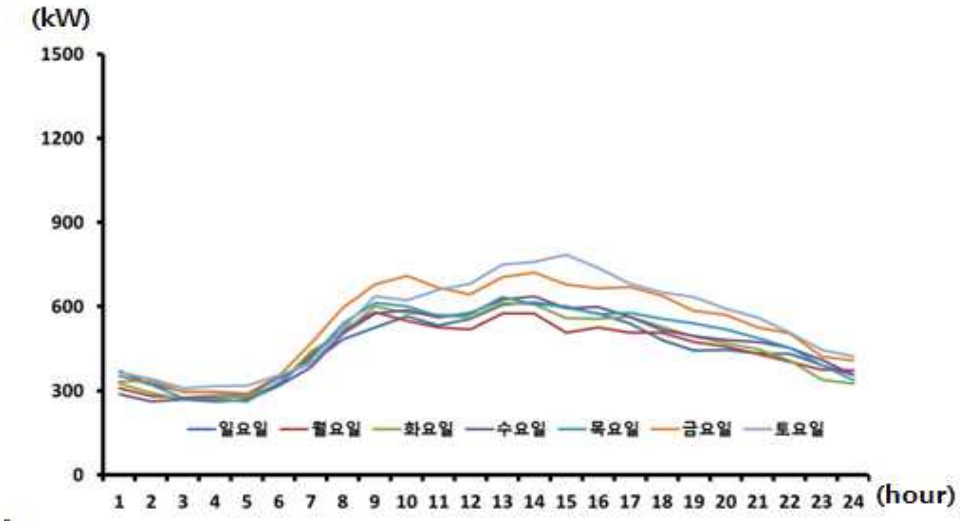


<그림 3-193 동계 요일별 에너지사용량(2013년 12월)>



<그림 3-194 동계 요일별 에너지사용량(2013년 1월)>

- 분석결과에서 확인할 수 있듯이 1월 사용량을 확인해보면 수요관리를 통하여 10~11시, 11~12시의 부하가 삭감된 것을 확인할 수 있으며, 주중에는 약 100㎾, 주말에는 약 100㎾의 저감량을 보여주고 있음
- 또한, 실제적인 부하감축 노력을 하지 않았으나, 중간기의 DR 가용량 분석을 위하여 부하변동률을 토대로 하여 에너지 저감량을 시뮬레이션해서 산정해 보면 11~17시를 기준으로 한 부하변동률은 약 12%가 되며, 이를 용량으로 환산하면 약 100㎾ 정도로 확인되며, 이를 DR 가용량으로 평가 가능함



<그림 3-195 중간기 요일별 에너지사용량(2013년 3월)>

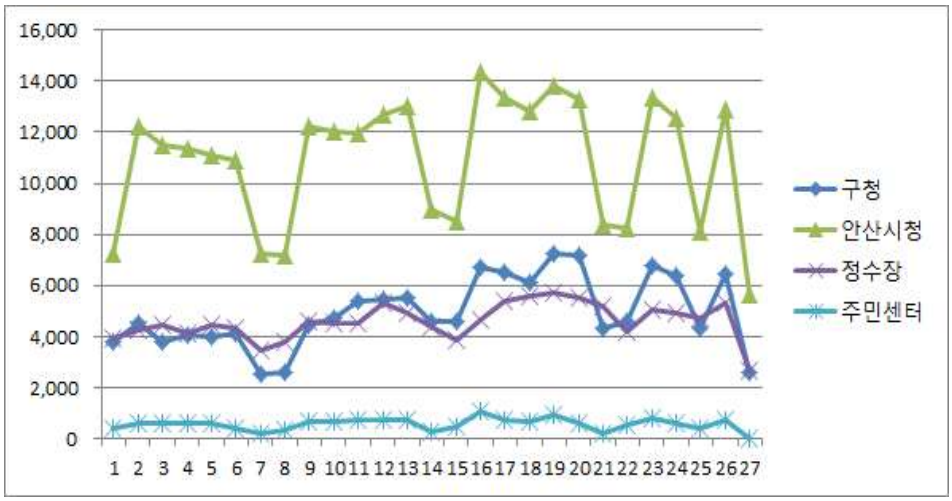
- 현재 이곳에 설치된 비상용 발전기 용량은 약 480kW이며, 추가적인 전기공사를 통하여 비상용발전기를 다른 부하에 사용이 가능하다고 가정할 수 있으며, 이 경우 기존 감축량 + 약 300kW 정도의 추가 감축이 가능할 것으로 예상됨

14.3 도시단위 에너지 모니터링 데이터 분석(안산시)

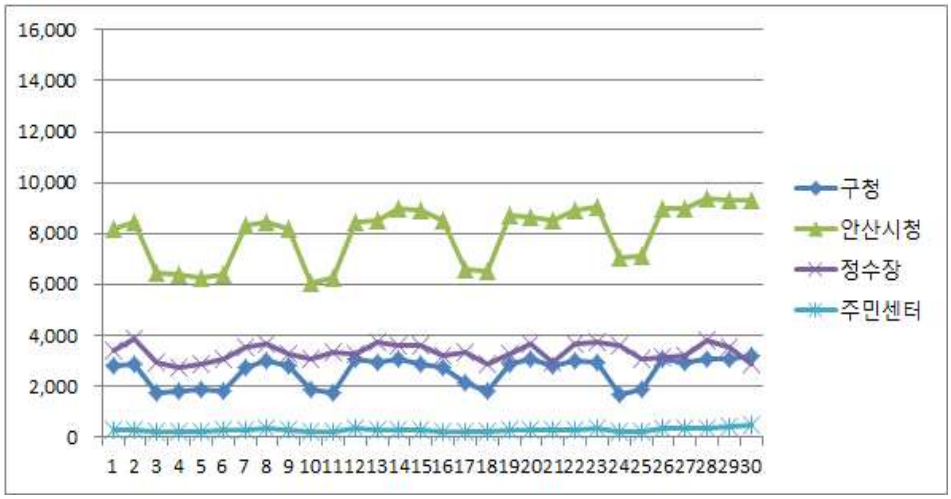
- 안산시 에너지 모니터링 데이터를 활용하여 에너지 사용패턴을 분석하고, 이에 대한 변동량 분석을 통해 DR 가용량 평가 및 이에 따른 효과를 분석하였음

□ 안산시 상업시설 에너지 분석 (구청, 시청, 정수장, 주민센터)

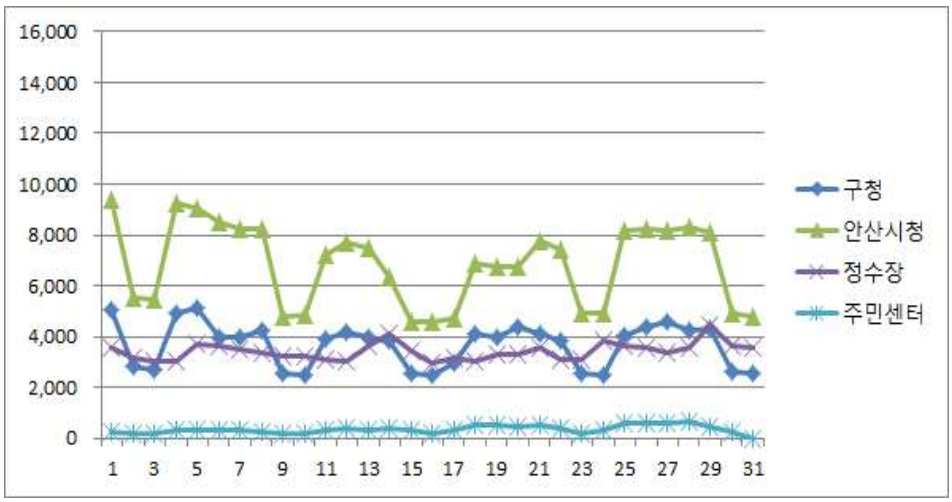
- 아래의 그림과 같이 안산시 상업시설은 정수장을 제외하고는 주중과 주말의 사용량이 확연한 차이를 보이는 전형적인 업무시설의 패턴을 보여주고 있음
- 정수장의 경우에는 거의 일정한 사용량을 보여주고 있으며, 변동폭은 약 1,000kW/day임



<그림 3-196 동절기 월 데이터(13년 12월, 에너지 사용량)>

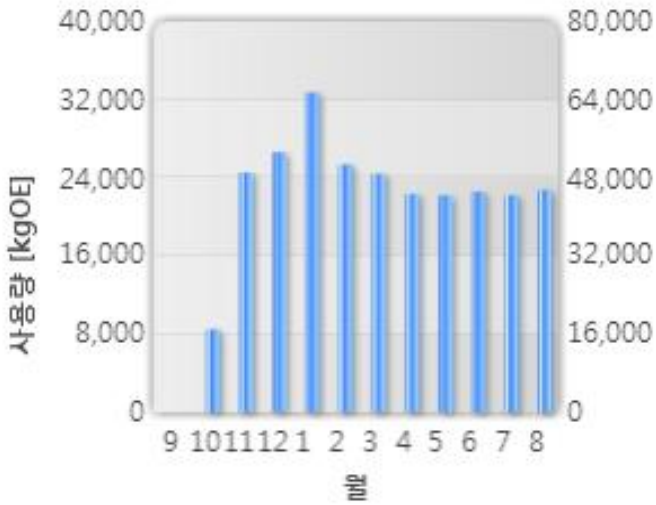


<그림 3-197 간절기 월 데이터(14년 5월, 에너지 사용량)>



<그림 3-198 하절기 월 데이터(14년 8월, 에너지 사용량)>

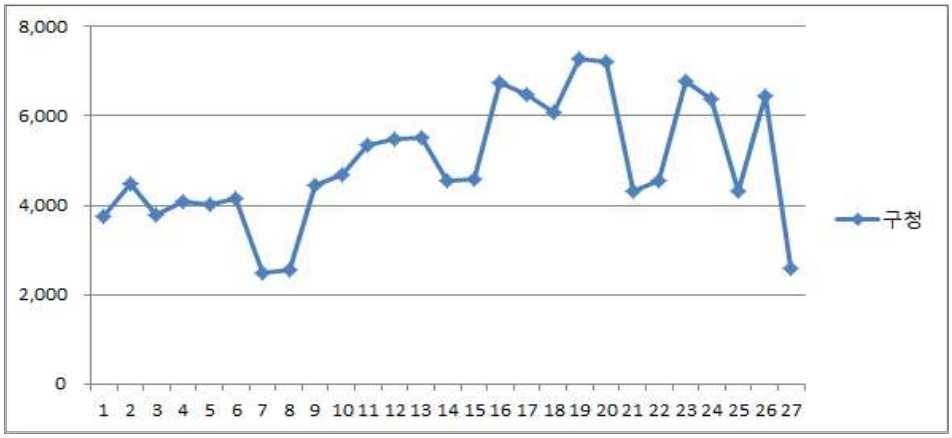
- 안산시청의 경우, 에너지 모니터링데이터를 기반으로 분석해 보면 동절기에는 평균적으로 약 12,300kWh/day 정도를 사용하고 있으며, 간절기는 약 8,300kWh/day로 동절기에 비하여 에너지 사용량이 적기 때문에, 전력을 이용한 난방의 비율이 높다는 점을 확인할 수 있음
- 다른 상업시설과 달리, 특이하게 하절기에는 약 8,200kWh/day로 간절기에 비하여 거의 사용량이 비슷함. 또한, 7월의 경우도 간절기와 큰 차이를 보이지 않고 있는데, 이는 냉방을 최소화하였기 때문인 것으로 보임



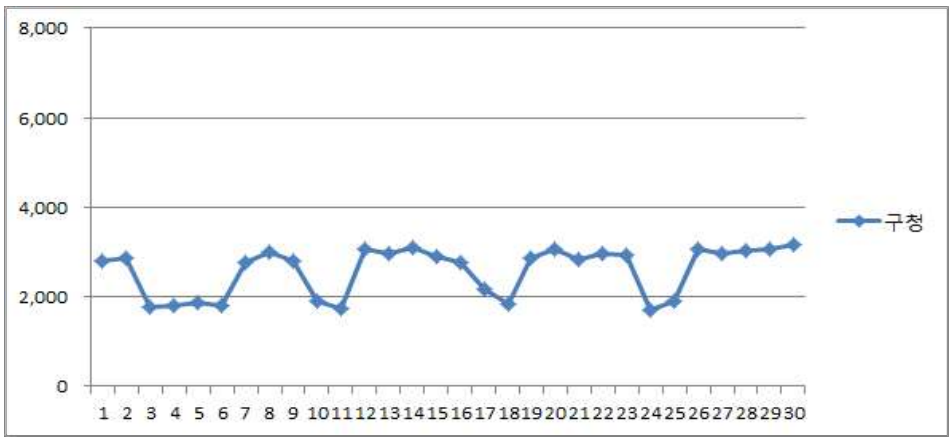
<그림 3-199 월별 전력에너지 사용량 추세 데이터>

- 이러한 추세는 일반적인 상업건물의 사용량 패턴이 아니기 때문에, 구청의 에너지

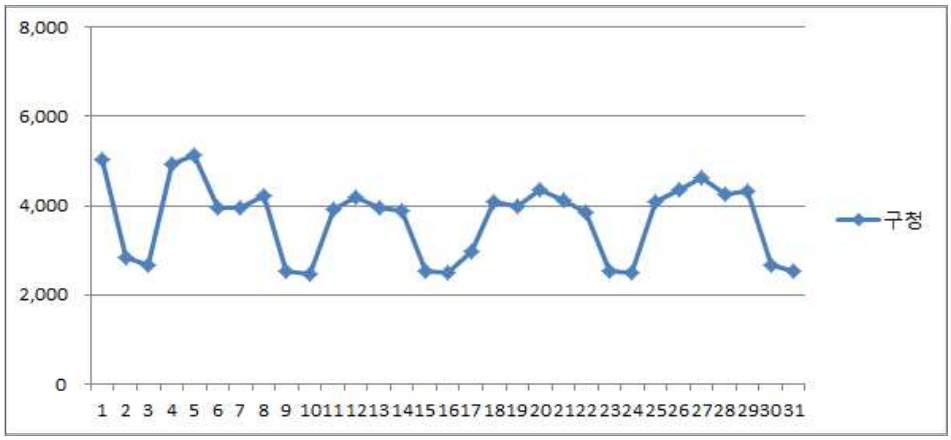
사용량을 동절기, 간절기, 하절기로 분류하여 재확인함



<그림 3-200 동절기 월 데이터(13년 12월, 에너지 사용량)>



<그림 3-201 간절기 월 데이터(14년 5월, 에너지 사용량)>

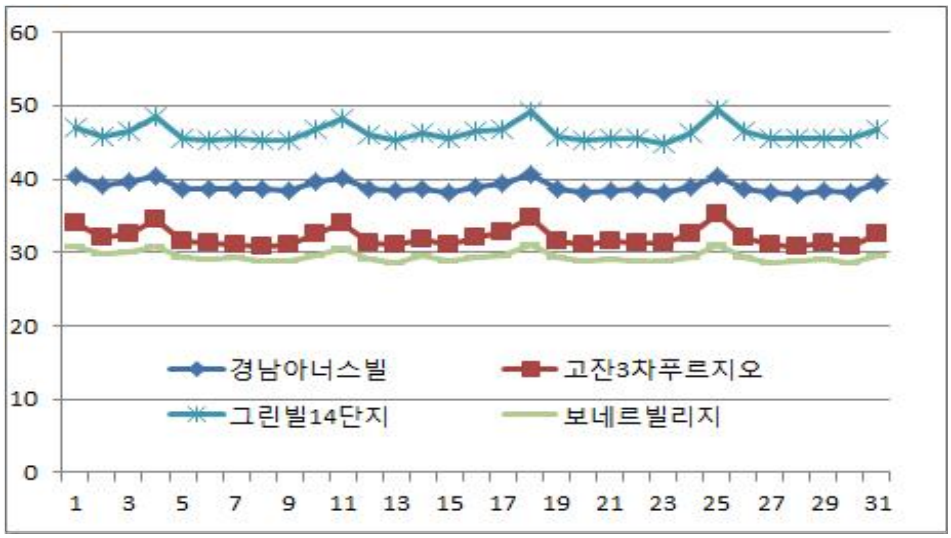


<그림 3-202 하절기 월 데이터(14년 8월, 에너지 사용량)>

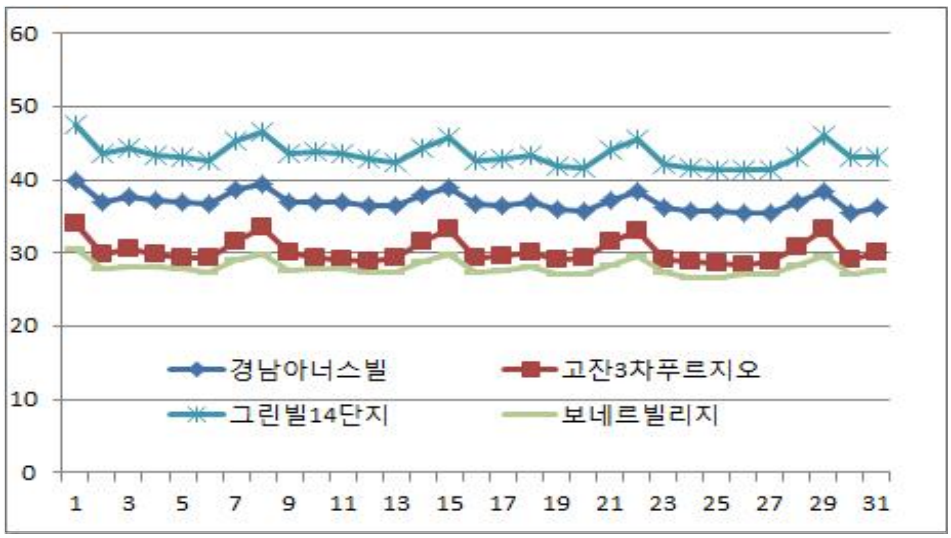
- 위의 사용량 데이터 그래프와 같이 동절기의 에너지 사용량이 가장 높으며, 하절기, 간절기 순으로 나타남을 확인. 이러한 에너지 사용패턴은 근래 난방 Peak가 지속적으로 증가하여, 하절기에 비해 동절기 Peak 문제가 있기 때문임

□ 안산시 주거시설 에너지 분석 (안산시 아파트 4개 단지)

- 안산시 공동주거시설 4군데에 설치된 센서를 토대로 에너지 사용량을 분석해 본 결과, 일반적인 주거단지와 같이 주말 및 공휴일의 에너지 사용량이 증가하는 전형적인 형태를 보여주고 있음

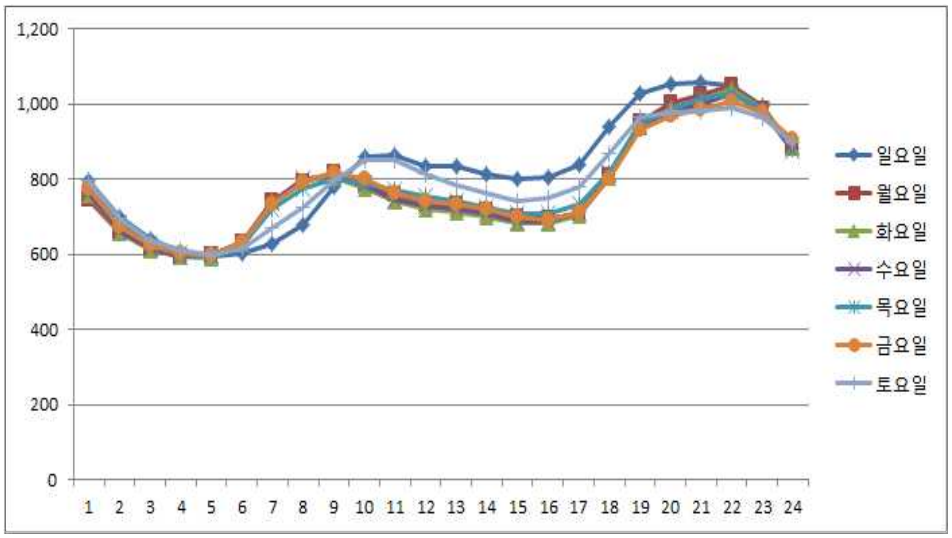


<그림 3-203 동절기 월 데이터(15년 1월, 에너지 사용량)>



<그림 3-204 간절기 월 데이터(15년 3월, 에너지 사용량)>

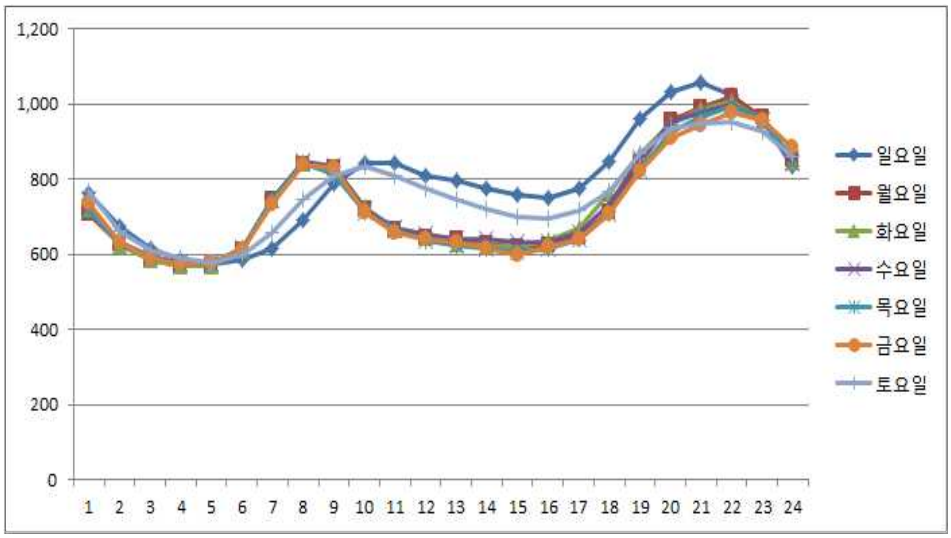
- 안산시 아파트의 경우 네가와트(Negawatt) 사업의 일종인 수요반응자원 거래시장에 참여하기로 되어 있기 때문에, 이 중 아파트 한 곳에 대해서, 부하변동률 및 CBL의 변동성 등을 확인하기 위하여 상세한 데이터 분석을 수행하였음
- 동절기인 15년 1월의 안산시 A아파트는 요일별 평균사용량이 아래와 같은 패턴을 보여주고 있음. 일자별로 약간의 차이가 있으나 사람이 생활하는 시간에 사용량이 큰 일반적인 주거건물의 시간 패턴을 보여주고 있음
- 또한 기저부하는 약 593kWh정도 확인되었으며, 새벽 4~5시 사이에 나타남
- 평일과 주말의 사용량 또한 차이가 있음을 확인할 수 있는데, 10~23시의 에너지 사용량이 일요일에 가장 많으며, 그 다음으로 토요일에 사용량이 많음을 확인할 수 있음. 또한, 주중의 경우에는 같은 시간대별 부하 변동량이 약 30~50kWh 사이이며, 전체 부하 대비 3~5% 정도의 시간대별 부하변동률((시간대별 최대부하-시간대별 최소부하)/시간대별 평균부하)을 보여줌



<그림 3-205 동절기 시간대별 요일데이터(15년 1월, 에너지 사용량)>

- 간절기인 15년 3월의 안산시 A아파트는 아래와 같은 패턴의 요일별 평균사용량을 보임. 일자별로 약간의 차이가 있으나 사람이 생활하는 시간에 사용량이 큰 일반적인 주거건물의 시간 패턴을 보여주고 있음
- 아래의 그래프에서 확인할 수 있듯이, 동절기 사용 패턴과는 약간의 차이를 보임. 먼저 전체적인 에너지사용량은 비슷하나, 10~17시의 에너지사용량이 1월에 비하여 적은 것을 확인할 수 있는데, 이는 방학이 끝남에 따라 해당 시간에 아파트에 있는 사람이 적은 것으로 예상됨
- 또한, 평일과 주말의 사용량 또한 차이가 있음을 확인할 수 있는데, 10~23시의 에

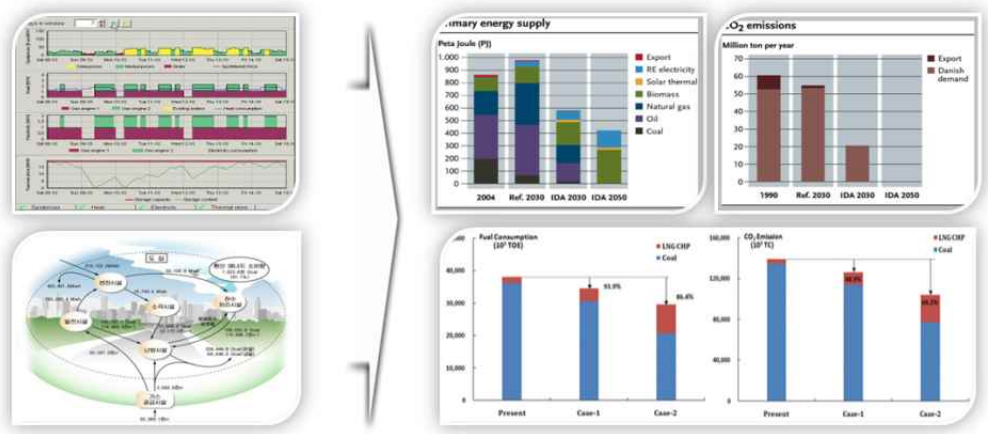
너지 사용량이 일요일이 가장 많으며, 그 다음으로 토요일에 사용량이 많음을 확인할 수 있음, 주중의 경우에는 같은 시간대별 부하 변동량이 약 10~50kWh 사이이며, 전체 부하 대비 1~5% 정도의 시간대별 부하변동률((시간대별 최대부하-시간대별 최소부하)/시간대별 평균부하)을 보임



<그림 3-206 간절기 시간대별 요일데이터(15년 3월, 에너지 사용량)>

- 시간대별 부하변동률을 토대로 DR에 참여할 수 있는 감축 가용량을 평가해 보면, 보수적으로 산정하였을 때 약 10kW 정도이며, 아파트가 적극적으로 참여한다면 약 50kW의 감축이 가능할 것으로 평가됨. 이를 바탕으로 현재 4개 아파트 단지가 DR 사업에 참여(200kW)하고 있음

15. 에너지절약 10% 이상인 도시에너지 공급시스템 설계기법

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">

<에너지 절약적인 도시에너지 공급시스템 설계기법></td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">- 테스트베드, 모델도시에 대한 도시 내 신재생에너지, 부존 에너지자원 활용 극대화 및 순환이용을 위한 설계기법<에너지 및 탄소저감량 10% 달성>
◦ 분산형, On-site형 복합에너지 공급시스템 설계: 3%
◦ 신재생에너지, 미활용에너지 등 활용가능 에너지원의 다변화, 최적화 설계: 3%
◦ 부하 평준화 설계: 2%
◦ 에너지 공급원 우선순위 결정 등 최적운영설계: 2%</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">- 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템을 개발하기 위해서는 도시에너지 설계 부분에서 효율적인 시스템이 구축되어야 하며, 이를 위해서는 해당 도시에 대한 신재생에너지의 적용 극대화, 미활용에너지의 적극적인 활용 및 부하 평준화 방안에 대한 검토가 필요하며, 검토사항이 효율적으로 반영될 수 있는 설계기법이 필요함.</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">- 도시에너지 공급시스템의 최적화 설계기법 적용을 통한 도시단위에서의 에너지 절약 10% 및 탄소배출량 10% 이상 달성</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 원거리 대규모 시스템 위주, 신재생에너지원의 반영 미비
(개발기술 수준)
- 기존기술 대비 에너지 절약 10% 이상 가능한 복합에너지 공급시스템, 부하평준화 설계기술
(개발기술 수준 설정근거)
- 국외 사례분석</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">김용기(한국건설기술연구원)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">3차년도 '13.07 ~ '14.06 (12개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>3차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>논문게재
국외 1건</td><td>-</td><td></td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>3차년도</td><td colspan="5">복합에너지 커뮤니티 표준 모델 건수 : 4건
- 분산형, On-site형 표준 모델
- 신재생에너지 및 미활용에너지 등 에너지원 다변화형 표준모델
- 부하 평준화형 표준모델
- 에너지 공급원 우선순위 결정 등 최적 운영형 표준모델</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td>3차년도</td><td colspan="5">- 논문게재 : 논문집 확인
- 질적성과: 표준모델 건수 (해당 보고서 확인)</td></tr>
</table>

15.1 모델도시 에너지 공급시스템 설계

15.1.1 기본 정보 및 가정

□ 해석방법

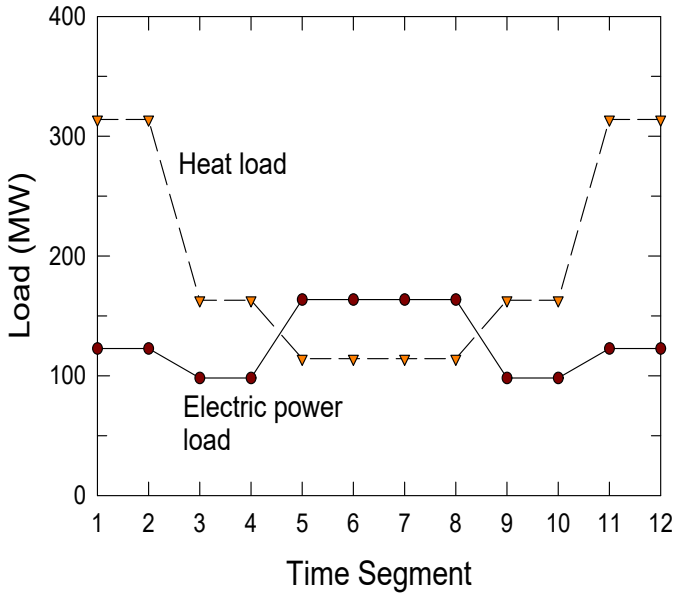
- 혼합정수 선형계획법(MILP : Mixed Integer Linear Programming) 이용
- Smart CEMS-D S/W를 이용

□ 모델도시의 규모 : 인구 12만명, 9백만㎡

<표 3-89 모델 도시의 개요>

	제원
모델도시의 규모	인구 : 120,000명 면적 : 9백만㎡
에너지 공급시스템의 종류	CHP : 511㎿ 보일러 : 342Gcal/h
부하	열 : 880,000Gcal/year 전기 : 713GWh/year

□ 부하패턴



<그림 3-207 부하 패턴>

- 기존의 도시 부하구조 하에서 에너지 공급시스템의 수치해석을 위한 자립형 및 인프라 시스템의 각 경우에 대해 설정한 전력부하를 기존 도시의 전력부하에 대한 비율

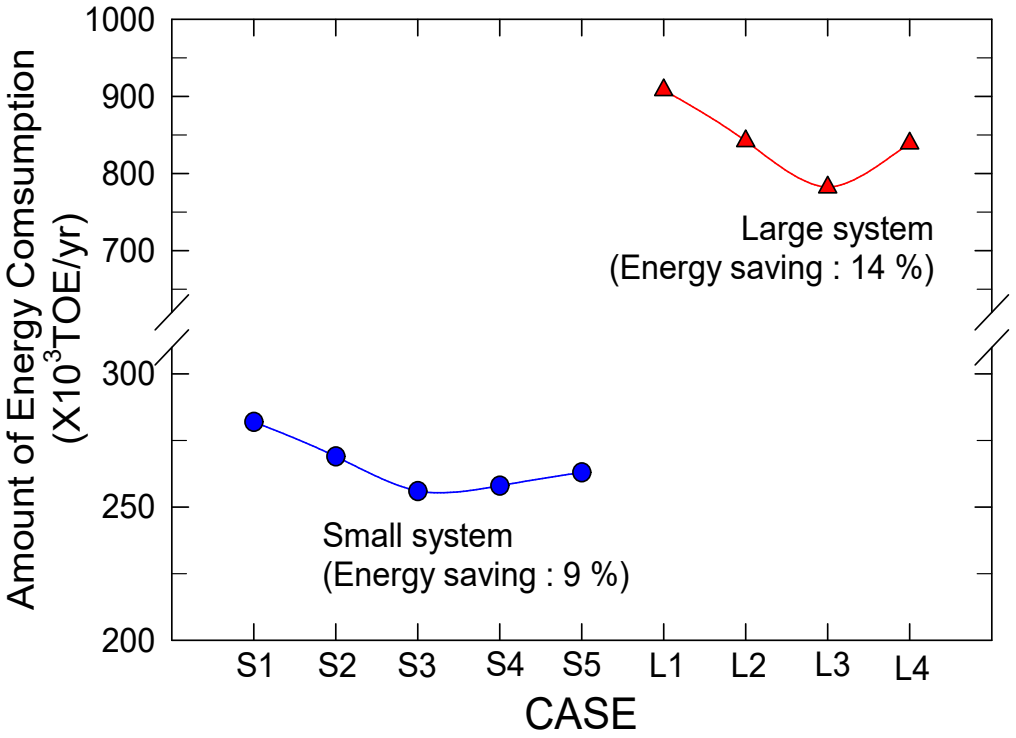
<표 3-90 에너지 공급시스템의 규모 및 전력부하에 따른 연간 에너지사용량의 변화>

분산형 소규모 시스템	하절기 전력부하	대규모 시스템	하절기 전력부하
Case S1	Conventional	Case L1	Conventional
Case S2	Decrease of 5%	Case L2	Decrease of 10%
Case S3	Decrease of 10%	Case L3	Decrease of 20%
Case S4	Decrease of 15%	Case L4	Decrease of 30%
Case S5	Decrease of 20%		

15.1.2 공급시스템 및 부하변동에 따른 해석

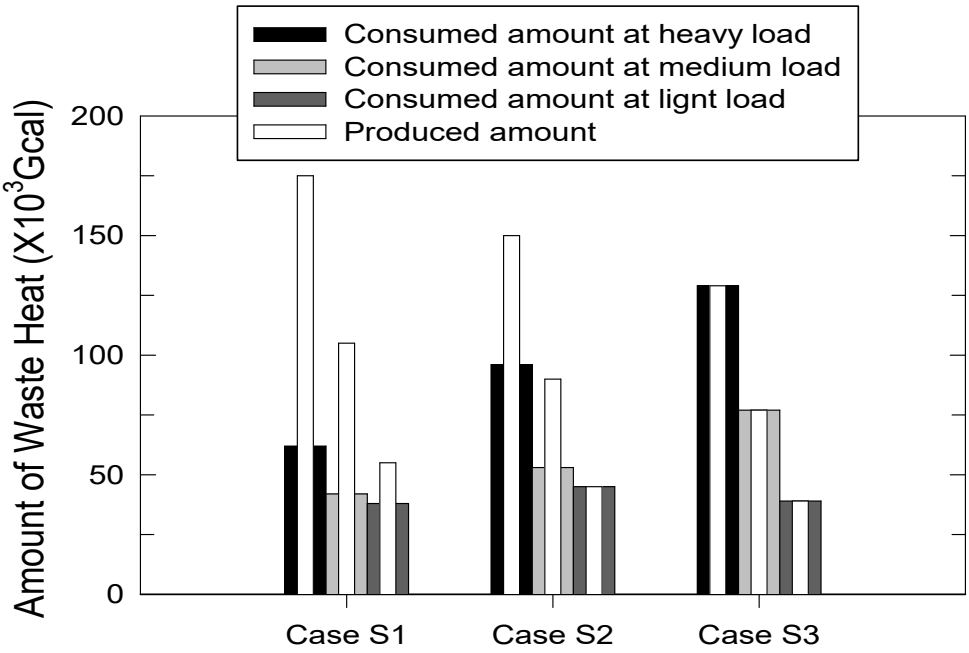
□ 시스템 규모 및 전력부하의 영향

- 전력부하 비율은 대규모 시스템의 경우 에너지사용량이 자립형 시스템에 비해 3배 이상 많음을 아래 그래프로 확인 가능. 이는 인근 도심으로의 전력공급에 따라 시스템 용량이 증가하기 때문임
- 각각의 에너지 공급시스템의 규모에 있어서 전체 에너지 부하 중 기존 부하비율 대비 전력부하의 비율이 감소함에 따라 연간 에너지사용량은 점차 감소하다가 일정 비율 이상 감소하면 다시 증가하는 경향을 보여주고 있고, 이에 따라 최적의 전력부하 비율이 존재하고 있다는 것을 확인 가능
- 자립형 시스템에 대해서는 S3, 즉 전력부하가 기존 경우의 부하에 비해 10% 감소하는 경우 최소의 에너지사용량을 보인 반면, 대규모 시스템의 경우에는 기존 부하 대비 전력부하가 20% 감소할 때 최소의 에너지사용량을 가짐을 최적화 결과를 통해 확인



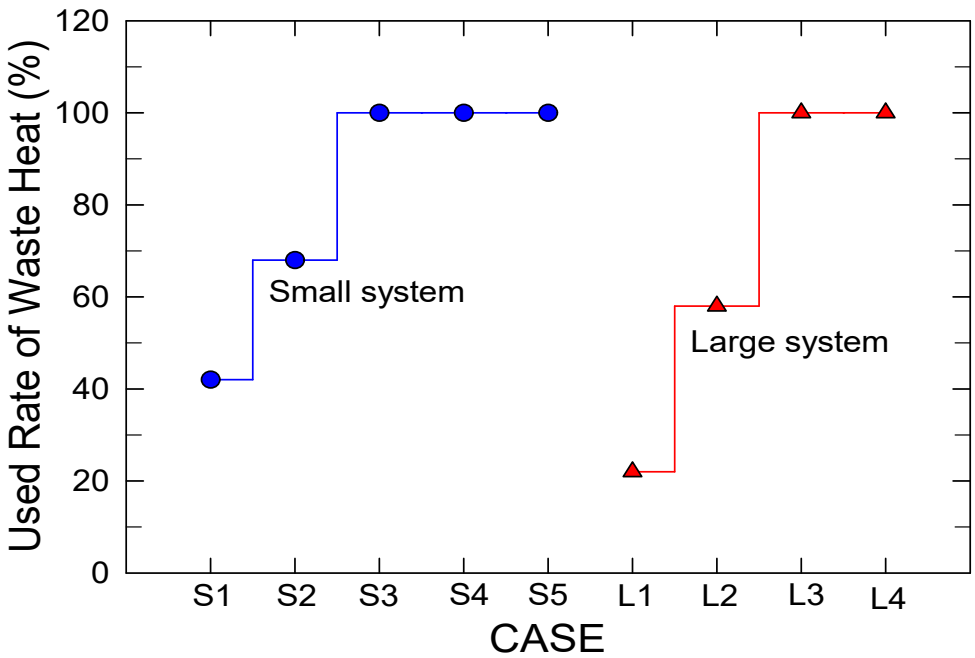
<그림 3-208 에너지 공급시스템의 규모 및 전력부하에 따른 연간 에너지사용량의 변화>

- 자립형 시스템 중 S3가 가장 적은 에너지 사용량을 가지는 것은 전력부하의 비율 변화에 따른 하절기 발전배열 이용량 그래프로 확인 가능
- 전력부하가 상대적으로 큰 S1의 경우에는 발전배열의 이용률이 매우 적으며 특히 발전량이 많은 고부하 시의 이용률이 적음. 반면 전력부하 비율이 10% 감소한 S3의 경우에는 발생한 배열을 모두 이용하기 때문에 S3의 에너지 사용량이 가장 적음
- 자립형 시스템인 S3의 경우 냉방부하의 처리를 위해 발전배열을 충분히 이용함으로써 앞의 그림에서 본 바와 같이 기존의 에너지 부하구조를 가지는 S1에 비해 9%의 에너지 절감이 가능할 것으로 계산됨



<그림 3-209 전력부하의 비율변화에 따른 하절기 발전배열 이용량 변화>

- 시스템 규모에 따라 에너지사용량이 최소로 되는 S3(자립형 시스템으로 전력부하가 10% 감소) 및 L3(대규모 시스템으로 전력부하가 20% 감소)의 경우에 발전배열의 이용률이 100%에 달함으로써 가장 높은 효율을 가짐을 확인



<그림 3-210 에너지 공급시스템의 규모 및 전력부하의 비율에 따른 하절기 발전배열 이용률 변화>

- 이상의 검토 결과를 통해 자립형 시스템(Case S)의 경우 1TOE의 에너지 비용을 30만원으로 가정할 때 연간 운전비는 846억원이고, 에너지 공급시스템의 최적화에 따라 연간 약 76억원의 운전비를 절감할 수 있을 것으로 예상됨. 또한, 대규모 시스템(Case L)의 경우에는 연간 운전비가 2,723억원, 최적화에 따른 연간 운전비 절감액은 381억원으로 예상됨

□ 부하구조(용도별 건물면적)의 영향

- 건물용도 및 에너지원별 적용한 원단위

<표 3-91 에너지 원단위>

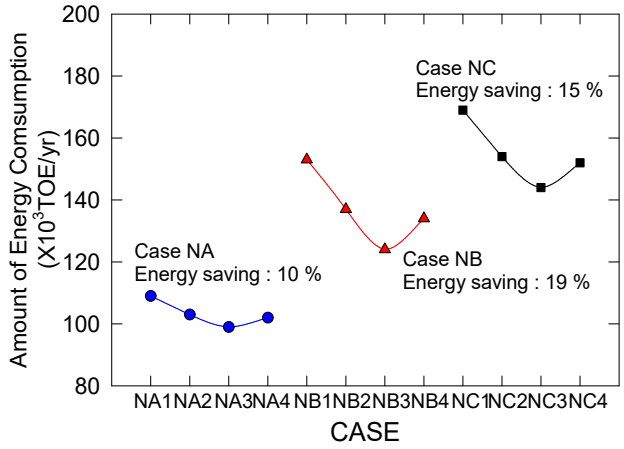
건물용도	단위 난방부하	단위 냉방부하	단위 전력부하
주거용	64	0	65
비주거용	100	120	100

- 에너지 공급시스템의 수치해석을 위해 건물의 용도에 따라 설정한 전력부하를 기존 도시의 전력부하에 대한 비율

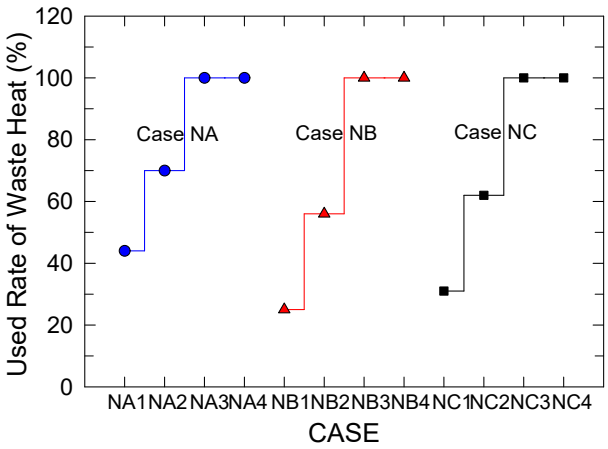
<표 3-92 건물 용도에 따른 기존 도시 대비 전력부하 비율>

Case	건물용도			
	주거용		비주거용	
Case NA	80%		20%	
Case NB	50%		50%	
Case NC	20%		80%	
Case	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Case NA Case NB Case NC	기존 전력부하	하절기 5% 감소	하절기 10% 감소	하절기 15% 감소

15.1.3 해석결과 분석



<부하구조에 따른 연간 에너지사용량의 변화>



<부하구조의 비율에 따른 하절기 발전배열 이용률 변화>

<그림 3-211 부하구조에 따른 에너지사용량 및 배열 이용률 변화>

□ 전력부하 비율은 도시 내에 비주거용 건물이 증가함에 따라 연간 에너지사용량이 증가함을 볼 수 있는데, 이는 비주거용 건물이 주거용 건물에 비해 단위 온열부하, 단위 냉열부하 및 단위 전력부하가 크기 때문임

□ 용도별 건물면적은 전체 에너지 부하 중 기존 부하비율 대비 전력부하의 비율의 변화에 따라서는 일반적인 경향을 보여주고 있으며, 모든 경우에 기존 부하 대비 전력부하가 10% 감소할 때 최소의 에너지사용량을 보임

□ 결국 주거용 건물의 면적이 80%를 차지하는 경우(NA, 기존 국내 신도시의 토지이용계획 상 일반적인 비율)에는 기존의 에너지 부하구조를 가지는 경우에 비해 10%의 에너지 절감이 가능한 것으로 계산되었으며, 주거용 건물의 면적이 50%(NB) 및 20%(NC)를 차지하는 경우에는 각각 19% 및 15%의 에너지 절감이 가능함을 확인

□ 용도별 건물면적 및 전력부하의 비율에 따른 하절기 발전배열 이용률 변화를 도시한 그림에서는 전력부하가 기존의 경우에 비해 10% 이상 감소할 때 발생하는 발전배열을 모두 이용하기 때문에 최소의 에너지사용량을 보여줌을 확인 가능함

15.2 수원시데이터 활용에너지 공급시스템 해석

15.2.1 기본 정보 및 가정

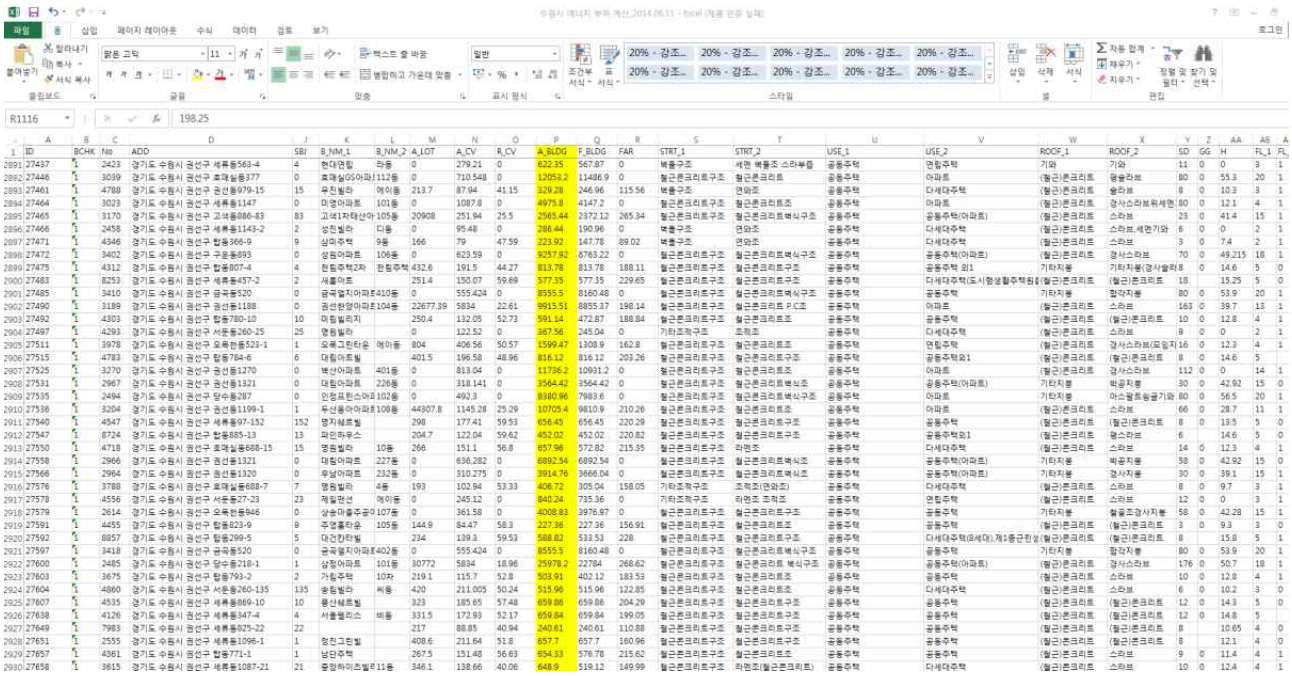
□ 해석방법

- 수원시 도시 에너지 부하
- GIS 맵에서는 건물군의 위치와 밀집도 등의 파악이 가능함



<그림 3-212 수원시 GIS 맵>

- 수원시 에너지 부하는 용도별 건물 연면적에 용도별 단위 에너지 부하를 곱하여 산출
- 용도별 건물 연면적은 수원시 건축물 대장을 참고하여 계산하였으며, 단위 에너지 부하는 한국지역난방공사 열공급규정 열부하 및 “에너지사용계획 수립 및 협의절차 등에 관한 규정(지식경제부 고시 제2009-29호)” 에서의 단위 전력부하를 적용하였음



<그림 3-213 수원시 건축물대장을 참고한 건물별 연면적 목록 예시>

<표 3-93 한국지역난방공사 열공급규정에서의 단위연결열부하 기준표, (단위 :㎉/㎡ · h)>

구분		온수			냉수	비고
		난방	급탕	합계		
공동주택	아파트	49	15	64		전용면적 60㎡이상 기준
	연립주택	53.9	15	68.9		전용면적 60㎡이상 기준
근린생활시설		86	5	91		관리사무소, 사회복지관, 아파트형공장 포함
근린공공시설		89	7	96		동사무소, 소방파출소, 파출소, 우체국
종교시설		115	2	117		
노약자시설		86	7	93		유치원, 노인정
의료시설		105	25	130	131	병원급 이하
교육연구시설		89	5	94	105	학교, 교육원, 직업훈련소
업무시설(업무 · 공공)		86	7	93	114	
숙박시설		89	45	134	129	
판매시설		98	5	103	154	
위락시설(특수목욕탕)		110	80	190	141	목욕장 이외의 시설은 판매시설 기준 적용
관람집회시설		115	2	117		
전시시설		115	2	117		

<표 3-94 건축물의 단위전력부하 및 수용률>

구 분	단위전력부하 (VA/㎡)	수용률(%)	비 고
단독주택	30	35	
공동주택	30	35	
근린생활시설	95	86	
상업시설	95	86	
업무시설	100	50	
공공청사	100	50	
학 교	40	40	
종교시설	40	50	
사회체육시설	15	40	
폐기물처리시설	8kVA/톤	70	
집단에너지공급시설	3.8kVA/톤	50	보일러용량(t/h) 기준
수도시설	100	40	
주 유 소	100	40	
자동차관련시설	100	50	
도로, 주차장, 광장 등	0.25	100	

용 도	건물동수	건물면면적	연면적비율	단위온열부하	단위냉열부하	단위전력부하	수용률	온열부하	냉열부하	전력부하	비고-열부하	비고-전력부하
	동	㎡	%	kcal/㎡·h	kcal/㎡·h	W/㎡	%	kW	kW	kW		
공동주택	7,856	25,238,968	46.4%	64	0	30	35	1,878,577	0	265,009		
공장	678	2,542,634	4.7%	40	0	100	50	118,283	0	127,132	단위온열부하 40으로 가정	업무시설 적용
관광휴게시설	15	13,509	0.0%	190	141	95	86	2,985	2,215	1,104	위락시설 적용	
교육연구및복지시설	1,209	5,002,885	9.2%	94	105	40	40	546,923	610,924	80,046		
교정및군사시설	212	164,377	0.3%	134	129	30	35	25,617	24,661	1,726	숙박시설 적용	단독주택 적용
근린생활시설	60	204,874	0.4%	91	0	95	86	21,682	0	16,738		
노유자시설	428	366,023	0.7%	93	0	95	86	39,588	0	29,904		근린생활시설 적용
단독주택	38,688	7,560,402	13.9%	75	0	30	35	659,453	0	79,384		
동식물관련시설	253	78,596	0.1%	0	0	15	40	0	0	472	부하 제로 적용	사회체육시설 적용
묘지관련시설	8	18,264	0.0%	10	0	15	40	212	0	110	단위온열부하 10으로 가정	사회체육시설 적용
문화및집회시설	72	217,187	0.4%	117	0	40	50	29,553	0	4,344		종교시설 적용
발전시설	24	57,405	0.1%	0	0	100	40	0	0	2,296	단위온열부하 0로 가정	수도시설 적용
방송통신시설	15	144,124	0.3%	130	131	95	86	21,790	21,958	11,775	의료시설 적용	상업시설 적용
분뇨쓰레기처리시설	50	40,888	0.1%	40	0	95	86	1,902	0	3,341	단위온열부하 40으로 가정	상업시설 적용
숙박시설, 수련시설	567	805,816	1.5%	134	129	30	35	125,579	120,894	8,461		단독주택 적용
업무시설	476	2,284,346	4.2%	93	114	100	50	247,071	302,862	114,217		
운동시설	64	344,279	0.6%	91	0	15	40	36,436	0	2,066	근린생활시설 적용	
운수시설, 위락시설	59	125,623	0.2%	190	141	100	40	27,759	20,600	5,025		주유소 적용
위험물저장처리시설	300	72,119	0.1%	0	0	0	0	0	0	0	단위온열부하 0로 가정	전력부하 0으로 가정
의료시설	64	373,730	0.7%	130	131	95	86	56,504	56,939	30,534		상업시설 적용
자동차관련시설	495	408,172	0.8%	91	0	100	50	43,198	0	20,409	근린생활시설 적용	
제1종근린생활시설	4,722	2,502,302	4.6%	91	0	95	86	264,825	0	204,438		
제2종근린생활시설	6,335	3,836,564	7.1%	91	0	95	86	406,033	0	313,447		
종교시설	294	451,224	0.8%	117	0	40	50	61,398	0	9,024		
창고시설	485	261,956	0.5%	0	0	15	40	0	0	1,572	단위온열부하 0로 가정	사회체육시설 적용
판매및영업시설	144	1,214,355	2.2%	103	154	95	86	145,466	217,492	99,213		
기타	43	50,285	0.1%	0	0	15	40	0	0	302	단위온열부하 0로 가정	사회체육시설 적용
소계	63,616	54,380,907	100.0%					4,760,834	1,378,544	1,432,087		

<그림 3-214 수원시 에너지 부하>

15.2.1 해석결과

□ 수원시 도시에너지 공급시스템 변화에 따른 에너지 소비량

- 공급시스템변화에 따른 에너지 소비량의 변동을 모델도시와 같은 방법으로 시뮬레이션하여 아래와 같은 해석결과를 도출
- 기존시스템을 분산형 시스템으로 변경하면 에너지소비량이 7.1% 줄어들며, 여기에 신재생에너지의 효과를 더하면 기존대비 10.8%의 에너지소비량 저감이 가능
- 여기에 부하평준화 및 최적운영에 따른 효과까지 모두 적용하면 기존대비 13.8%의 에너지 소비량 저감이 가능

<표 3-95 Case별 해석 결과>

구 분		에너지소비량(TOE)
Case A	기존 시스템 (열병합발전시스템 : 43㎿×1대)	3,841,812 (기준)
Case B	분산형 시스템 (열병합발전시스템 : 40㎿×33대)	3,568,623 (-7.1%)
Case C	Case B + 재생에너지 및 열펌프 시스템 (태양광: 64㎿, 풍력: 87㎿, 태양열: 120㎿, 하천수 및 지열 열펌프: 1,400RT)	3,424,892 (-10.8%)
Case D	Case B + Case C + 부하 평준화 (전력부하 30% 감소, 냉열부하 30% 증대)	3,325,759 (-13.4%)
Case E	Case B + Case C + Case D + 최적운영	3,312,237 (-13.8%)

16. GIS 연계 도시에너지 공급시스템 최적화 프로그램

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">
<도시에너지 소비량 2D 가시화 개념도>

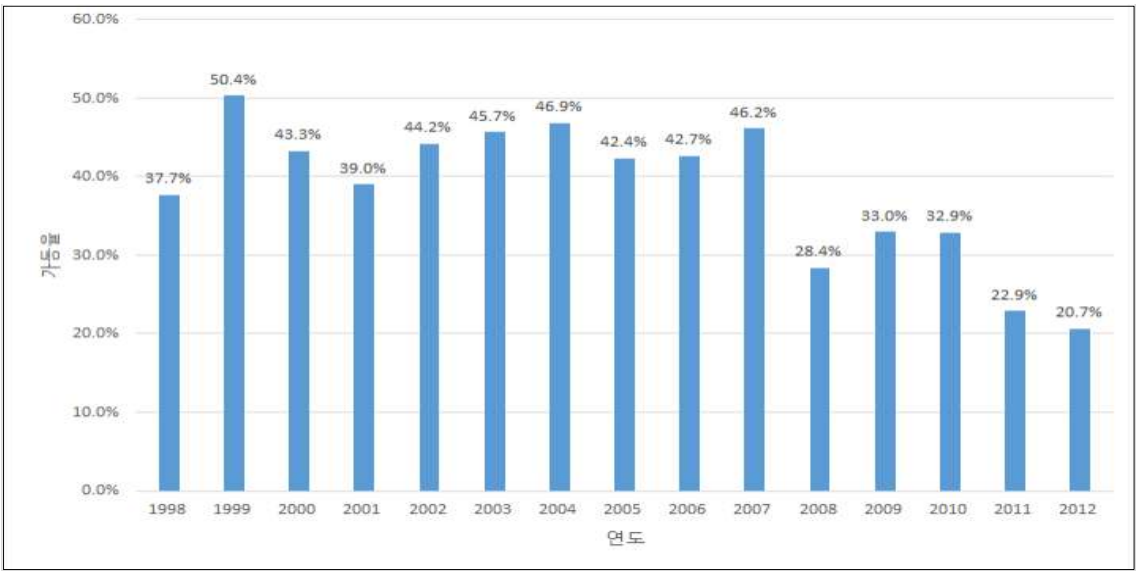
<에너지공급설비의 2D 위치 개념도></td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">- 2차년도에서 개발한 도시에너지 공급시스템 최적화 프로그램을 업데이트하고, GIS 엔진과 연계한 프로그램을 개발
◦ 부하구조에 따른 도시에너지 소비량 가시화 분석 가능
◦ 에너지 부하에 따른 공급설비 면적 자동계산 가능</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">- 설계단계부터 도시단위의 탄소배출량 저감을 위해서는 지구단위 계획에 따른 도시에너지 소비량을 직관적으로 분석할 수 있고, 에너지 부하에 따른 공급설비 면적 등을 자동계산 해 볼 수 있는 GIS 연계 도시에너지 최적화 프로그램이 필요함.</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">- 도시설계 전문가의 에너지 부문 프로그램 기능요구사항 2건 이상 만족</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 도시에너지 소비량을 2D 또는 3D로 가시화하는 수준
(개발기술 수준)
- 부하구조 및 부하패턴에 따른 에너지 소비량 가시화 가능, 에너지 공급설비 면적 자동계산 기능 등
(개발기술 수준 설정근거)
- 국내외 사례분석</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">김용기(한국건설기술연구원)
박시삼(GS건설㈜)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">3차년도 '13.07 ~ '14.06 (12개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>3차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>국내출원 1건
(GS건설 공동)</td><td>-</td><td>-</td><td>등록 1건
(GS건설 공동)</td><td>설문조사 1건
(GS건설 공동)</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>3차년도</td><td colspan="5">- 도시설계 전문가의 프로그램 기능요구사항 2건 이상 만족</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td>3차년도</td><td colspan="5">- 특허출원 : 특허출원증 확인
- 소프트웨어 등록 : 프로그램 등록증 확인
- 질적성과 기능요구사항 : 설문조사 결과 확인</td></tr>
</table>

16.1 수원시 도시에너지 소비특성 분석(세부내역 별첨 참조)

□ 전기소비량

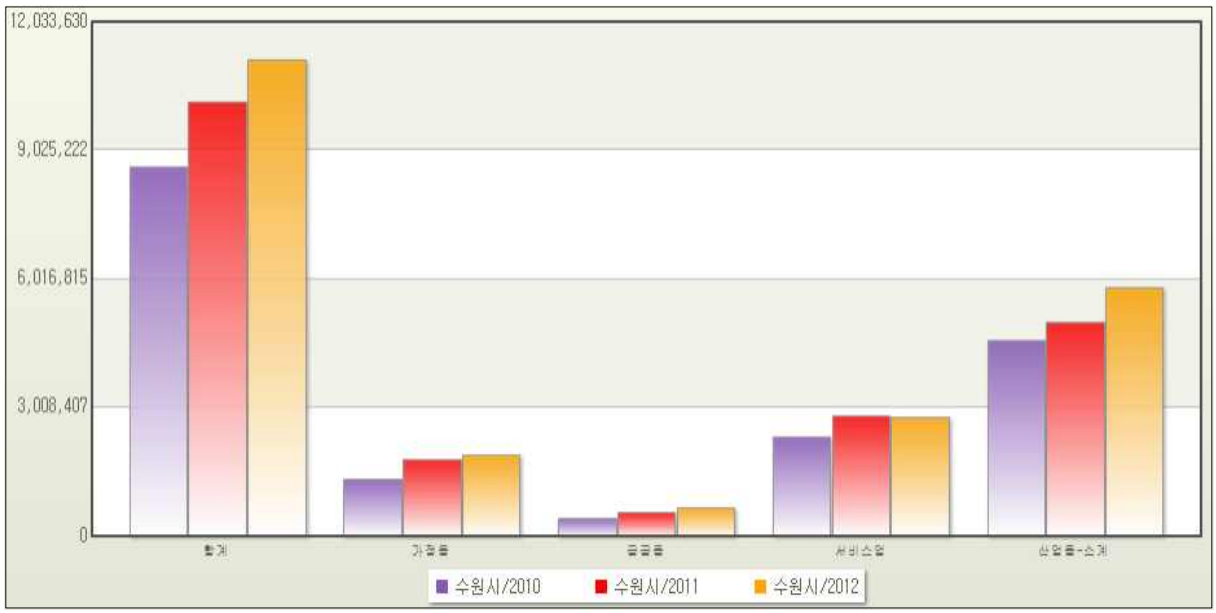
- 발전현황(2012년) <자료: 한국지역난방공사 수원지사>
  - · 발전설비 : 43,200kW, 발전량 : 78,311,000kWh
  - · 평균전력 : 30,755kW, 최대전력 : 39,270kW
  - · 가동률 : 20.7% (78,311MWh ÷ (43.2MW × 8760hr))<※계산결과>

연도별	시점	발전설비 (KW)	발전량 (MWh)	평균전력 (KW)
수원시	1998	43,200	142,576	16,276
	1999	43,200	190,555	21,753
	2000	43,200	163,894	18,658
	2001	43,200	147,725	16,864
	2002	43,200	167,439	19,114
	2003	43,200	172,849	19,732
	2004	43,200	177,450	20,257
	2005	43,200	160,371	18,307
	2006	43,200	161,565	18,443
	2007	43,200	174,651	19,937
	2008	43,200	107,644	12,255
	2009	43,200	124,863	35,839
	2010	43,200	124,564	33,449
	2011	43,200	86,563	31,652
	2012	43,200	78,311	30,755



<그림 3-215 수원시 연도별 발전현황 및 발전설비 가동률>

- 전력사용량(자료: 한국전력공사 경기본부)



<그림 3-216 수원시 전력사용량>

16.2 도시에너지 공급시스템 최적설계 프로그램(Smart CEMS-D S/W Ver. 2.0) 개발

□ 주요 기능

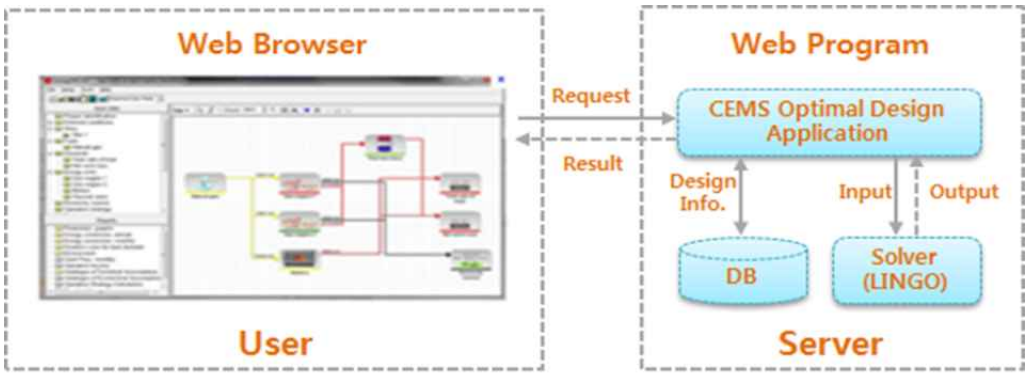
- Smart CEMS-D S/W Ver. 1.0의 주요 기능
  : 웹기반의 도시에너지 공급시스템 최적화 설계지원 툴을 개발
  : 모델도시 선정, 부하모델 수립 기능
  : 시스템 모델 수립 기능
  : 최적화 시뮬레이션 수행 기능(최적화 해석은 Lingo S/W를 이용하며, 웹상에서 해석모델 구성 및 텍스트 및 그래프 기반의 출력 기능)
- Smart CEMS-D S/W Ver. 2.0의 주요 기능
  : 경제성 모델 작성 기능
  : 시스템 모델 작성 기능(열원설비 구성 자동 다이어그램(diagram) 작성 기능 등)
  : GIS 엔진 연동 기능, 외부 DB와의 연동 기능
  : 지역냉난방 열배관망 최적화 기능
  : 에너지 공급시설 최적 위치 결정 기능
  : 에너지 공급시설별 면적 산출 및 표출 기능
  : 에너지소비량 표출 및 보고서 작성 기능

□ Ver. 2.0의 구성(메뉴)

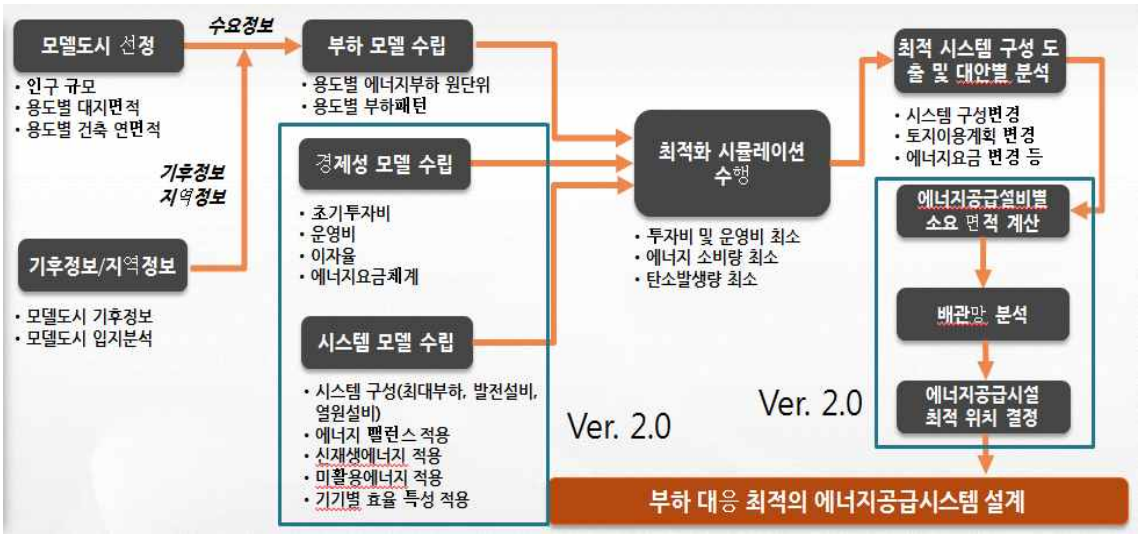
<표 3-96 Ver 2.0의 메뉴 구성>

프로젝트 관리	프로젝트 : 테스트베드>수원시				도움말
	도시에너지 소비 현황	도시에너지 시스템 최적화	도시에너지 시설입지 최적화	대안분석/보고서	
+테스트베드 -수원시 -안산시 -OO건설기술연구소 +신규 프로젝트 -프로젝트1 -프로젝트2 -프로젝트3	+도시단위 +행정구역단위 +가시화	+해석모델 -에너지부하 -에너지시스템 -요금체계 등 +해석방정식 -연간 경상비 -연간 운전비 -연간에너지소비량 -연간탄소배출량 +해석결과 -연간 경상비 -연간 운전비 -연간에너지소비량 -연간탄소배출량	+소요면적 -열병합발전시설 -지역냉난방시설 -태양광발전시설 -풍력발전시설 -태양열열원시설 -바이오처리시설 -소각처리시설 -하수처리시설 -기타시설 +배관망 최적화 -배전계통도 -도시가스계통도 -지역난방계통도 -현재 -최적화 -지역냉방계통 +가시화	+대안분석 -부하변경 -토지이용계획변경 -시스템구성변경 -에너지요금체계변경	+S/W 개요 +용어정리 +알고리듬 -선형계획법 -Lingo +S/W 매뉴얼 -프로젝트 관리 -도시에너지 소비 현황 -도시에너지 시스템 최적화 -도시에너지 시설입지 최적화 -대안분석/보고서

□ S/W의 구성 체계



<그림 3-217 Smart CEMS-D S/W 구성 체계>

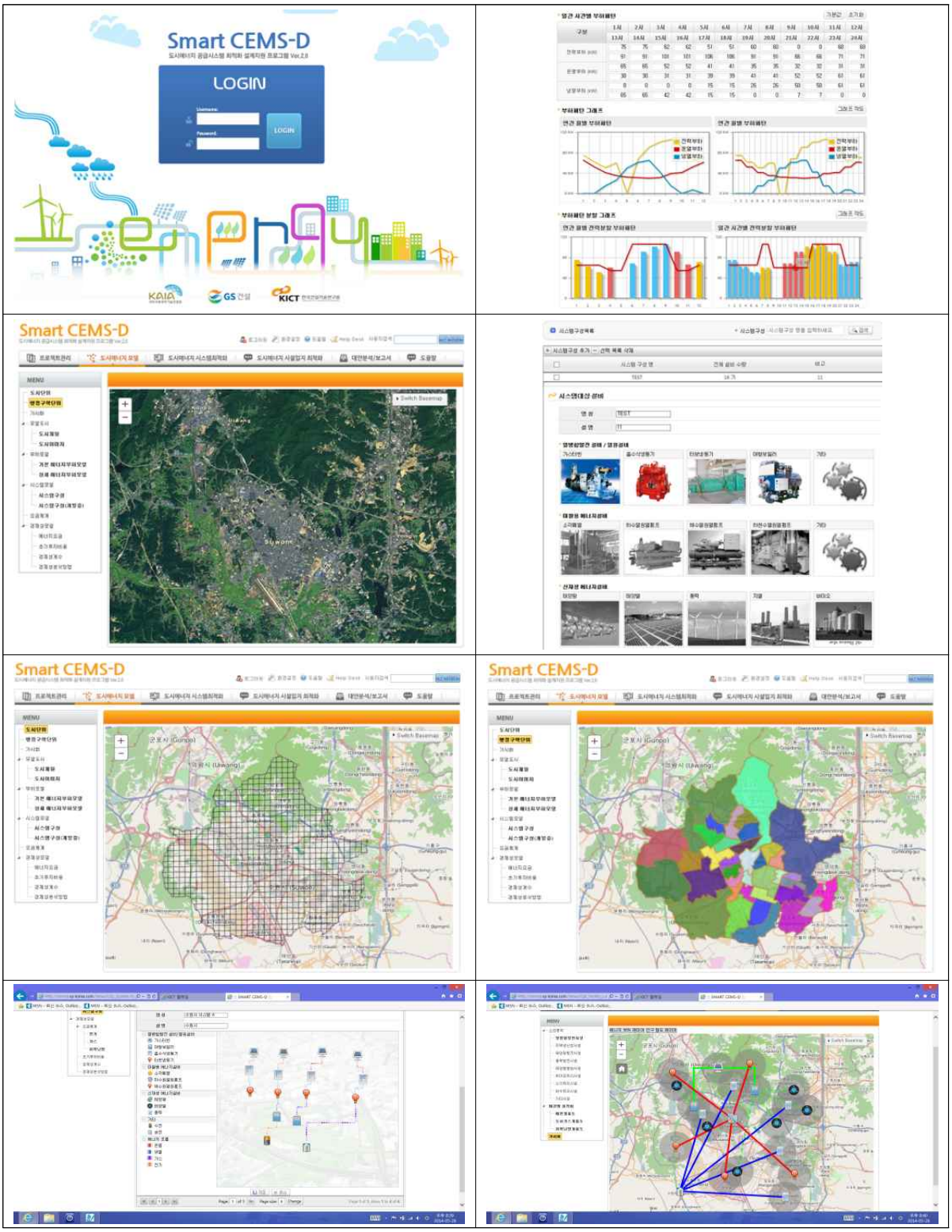


<그림 3-218 Smart CEMS-D S/W에서의 Ver. 1.0과 Ver. 2.0의 업무 구분 개념도>



<그림 3-219 Smart CEMS-D S/W의 해석 프로세스>

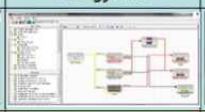
□ Smart CEMS-D S/W 개발 화면(세부사항은 S/W 매뉴얼 참조)



<그림 3-220 Smart CEMS-D S/W 개발 화면>

□ 해외 선진사 프로그램과 비교

- Energy Plan, Energy PRO, SSIMTM 등 다양한 설계지원 최적화 S/W가 현재 상용화 및 사용 중
- 해석범위의 차이가 있지만, CEMS-D는 배관망 최적화 및 GIS엔진 연계를 통한 다양한 데이터 분석 및 시각적인 가시화 방안 제시 등에서 다른 프로그램과 차별화됨

구 분	Smart CEMS-D	EnergyPLAN	EnergyPRO	HOMER	SSIM
메인화면					
해석범위	Regional energy system	National energy system	District energy system	Building energy system	Regional Integrated Sustainability Planning*
주요기능	최적화	최적화	최적화	최적화	대안분석
에너지 부하 모델링	Segment	Hourly	Hourly	Hourly	Yearly
신재생에너지 모델링	○	○	○	Δ(전기)	○
에너지 저장장치 모델링	○	○	○	○	X
경제성 분석	○	○	○	○	○
GIS 엔진 연계	○	X	X	X	X
배관망 최적화	○	X	X	X	X
에너지 사용량 가시화 (지도활용)	○	X	X	X	○
프로그램의 종류	웹 프로그램	윈도우 응용 프로그램	윈도우 응용 프로그램	윈도우 응용 프로그램	윈도우 응용 프로그램

<그림 3-221 해외 선진사 프로그램과의 기술수준 분석:Smart CEMS-D>

- ADB Enabling GrEEEn Cities Conference에 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템에 대한 부분을 발표하였으며, 특히 현재 개발 중인 Smart CEMS-D는 ADB 및 다양한 참가자들에게 많은 관심을 받았음
- ADB Enabling GrEEEn Cities Conference에 참여한 AECOM社는 SSIM(Sustainable System Integration Model)이라는 에너지+물+폐기물+교통 등을 아우르는 종합적이고, 개략적인 Sustainable 계획수립용 툴을 이용하여, 도시개발사업 수주를 위한 노력을 기울이고 있음

16.3 도시단위 배관망 최적화 알고리즘 개발

□ 설계방법

- ArcGIS 맵을 CEMS-D S/W Ver 2.0에 띄움. CEMS-D S/W 화면 내에 GIS 맵이 포함되어야 함. GIS 맵은 CEMS-D S/W의 모델도시 메뉴에서 설정하는 도시 및 지구단위의 것임
- 배관망 특성에 관한 입력조건을 입력할 수 있어야 함
  : 배관의 재질 선택, 지표면으로부터의 배관설치 심도 선택
  : 배관 구경별 단위길이 당 설치비용 (예시 : □원/㎞)
  : 배관 구경별 단위길이 당 펌핑비용 (예시 : □원/㎞)
  : 배관의 구경은 주관, 지관, 세관의 3단계로 구분. 단계를 선택함
- 배관망 최적화 방법은 다음과 같음
  : GIS Map을 활성화
  : 토지이용계획도를 활성화 시켜서, GIS Map과 중첩
  : 가로□m×세로□m 형식으로 Grid 수를 입력. Grid 생성. 생성된 Grid는 흰색 선으로 Map에 도시. 화면상에서 좌측, 최상단 Grid부터 Numbering을 수행하고, Map에 표시함
  : 구획별 면적을 계산. 구획별 건물 연면적을 계산. 건물의 용도를 구분
  : 구획별로 에너지 부하량을 산출
  : Grid 1번부터 1번에 열공급시설이 있다고 가정하고, 순차적으로 목적함수(배관망 건설비용)을 계산
  : 1번 구획부터 마지막 구획까지의 목적함수 값을 작은 비용부터 순차적으로 나열
  : 가장 작은 목적함수 값을 가지는 구획에 열공급시설 표시를 수행
  : 최적화된 경로를 GIS Map에 표시
- 알고리즘은 Lingo S/W를 이용하여 해석(solve) 수행
- GIS 엔진 연계방안
  : 구역별 에너지 사용량 가시화(에너지 Map) 기능
  → 각 종 에너지 원단위, 부하패턴 활용
  → 연면적 정보를 추정해야 함
  → 면적 및 색깔로 표시할 수 있어야 함
  → 시간대별 에너지 사용량 변화량 표시(슬라이드 바 활용)



<그림 3-222 에너지 소비량의 2D 및 3D 가시화 예시>

: 에너지 공급설비의 개략적인 위치 표시 기능

→ 열병합발전소 위치, 신재생에너지(태양광, 태양열, 지열, 풍력, 바이오, 폐기물) 공급시설 위치, 미활용에너지(하수열, 해수열, 산업체 배열 등) 공급시설 위치

→ 위치 선정은 기본 설계 자료를 참고하여 전문가 협의를 통해 결정

→ 계산된 면적에 맞게 표시해야 함

→ 면적 및 층고 자료는 기존 설계 자료를 분석한 용량별 면적 DB 활용

→ 에너지 공급시스템의 정확한 위치 선정은 배관망을 고려해야 하므로 추가적인 연구(배관망 최적화 등)가 필요함



<그림 3-223 에너지 공급설비 위치의 2D 가시화 개념도>

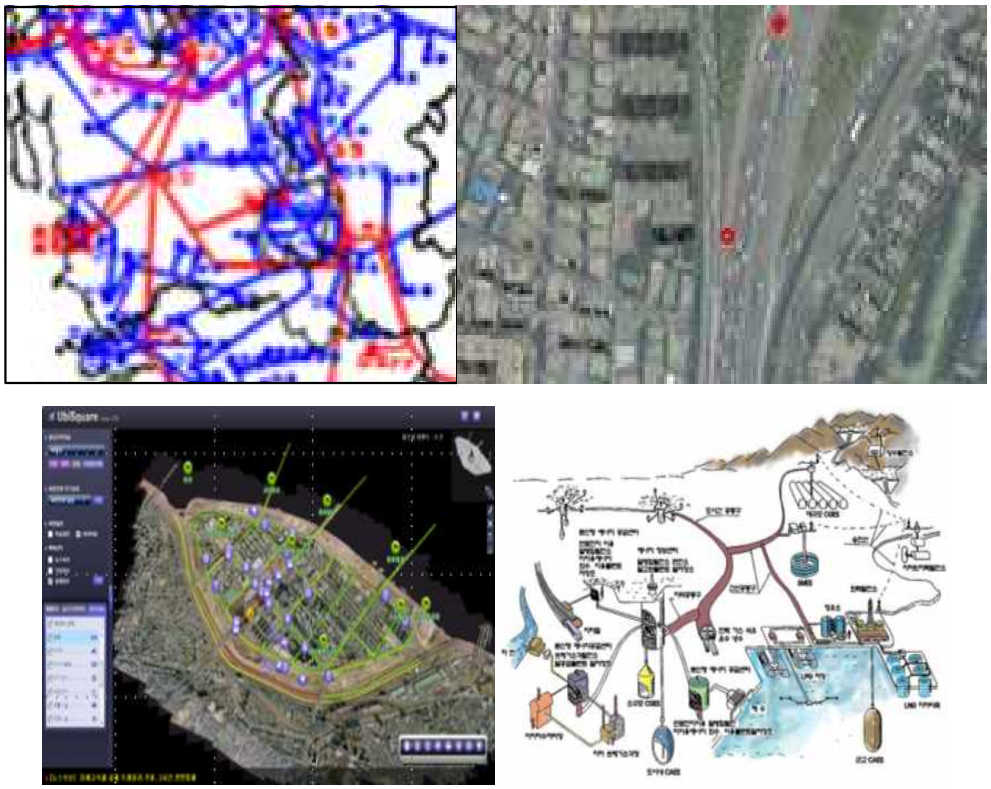
: 도시 에너지 공급망 가시화

→ 개략적인 전력선망, 도시가스망, 지역냉난방 배관망을 GIS 지도에 표시

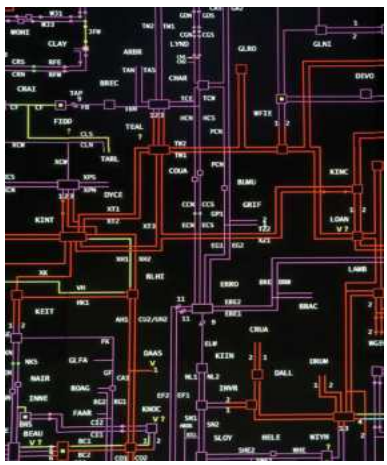
→ 도시 에너지 공급망 개략 설계는 전문가 협의를 통해 결정(자동화된 툴이 아님)

→ GIS 지도상에서 배관, 배선망 작도 기능 필요. 예) 양 지점(공급지점, 수요지점)

을 선택하고, 제약조건(도로망 공동구 이용, 최단거리 이용 등)을 선택하면 배관망, 배선망을 자동 플롯팅



<그림 3-224 도시 에너지 공급망 가시화 개념도>



<그림 3-225 도시 에너지 배관망 네트워크 최적화 개념도>

→ 도시에너지 배관망 네트워크 최적화 연구는 3차년도에 수행할 예정이며, 주관기관, 공동연구기관(KICT), 관련분야 전문가, GIS 엔진업체와 공동으로 수행할 예정임

→ 지역난방공사의 열배관 설계표준단가표는 다음과 같음

<표 3-97 지역난방공사 열배관 설계표준단가표>

2011년 하반기 열배관 설계표준단가

2011. 9월 기준 [관로길이 M 기준]

관경	보 사 구 간				트 로 구 간				비고
	공사비	자재비	N.D.T	계	공사비	자재비	N.D.T	계	
850A	1,205,949	1,711,105	64,619	2,979,676	1,745,821	1,711,105	64,619	3,524,545	
800A	1,161,619	1,469,222	57,203	2,677,944	1,683,373	1,469,222	57,203	3,209,798	
750A	1,092,242	1,270,276	57,026	2,419,544	1,632,632	1,270,276	57,026	2,959,934	
700A	1,048,926	1,132,445	51,927	2,233,301	1,576,168	1,132,445	51,927	2,760,533	
650A	993,476	1,055,105	51,505	2,100,386	1,541,037	1,055,105	51,505	2,667,947	
600A	928,061	916,660	42,517	1,886,415	1,473,089	916,660	42,517	2,431,426	
550A	881,929	821,553	42,696	1,726,905	1,397,786	821,553	42,696	2,262,945	
500A	803,031	643,554	42,519	1,489,104	1,339,657	643,554	42,519	2,025,760	
450A	797,593	662,766	37,866	1,388,226	1,327,260	662,766	37,866	1,917,892	
400A	731,942	601,310	45,999	1,279,761	1,202,555	601,310	45,999	1,760,364	
350A	690,701	398,796	46,820	1,136,317	1,160,738	398,796	46,820	1,606,354	
300A	638,848	356,603	36,649	1,031,195	1,088,157	356,603	36,649	1,480,609	
250A	550,373	305,636	36,431	892,340	964,269	305,636	36,431	1,306,226	
200A	508,984	224,666	34,915	768,567	911,021	224,666	34,915	1,170,594	
150A	462,568	168,616	34,679	666,062	880,077	168,616	34,679	1,083,271	
125A	423,931	130,589	34,620	589,140	756,142	130,589	34,620	961,351	
100A	431,816	121,122	55,671	608,608	792,360	121,122	55,671	969,045	
80A	403,666	94,666	64,810	563,020	643,353	94,666	64,810	792,748	
65A	383,413	84,216	36,345	503,976	619,939	84,216	36,345	740,502	
50A	366,999	73,303	36,229	476,531	602,223	73,303	36,229	711,755	
40A	362,664	64,813	36,165	463,640	581,792	64,813	36,165	682,770	
32A	345,093	63,486	37,126	445,704	577,247	63,486	37,126	677,858	
25A	341,435	56,056	37,066	434,556	571,302	56,056	37,066	664,423	

※ 1. 공사비는 감점이 포함되어, 주기세 별도임.

- 에산계획 수립, 에상투자비 산정에 사용
- 낙찰률 86% 고려한 가격이므로 에상추정가격 산정시는 공사비를 16% 증하여 사용
- 보정계수 90% 적용 단가임.

2. 감리업임, 하천횡단·중단, 전기방식등은 본 단가에서 제외되었으며, 필요시 별도계상 (협부 참조)

2011년 하반기 열배관 설계표준단가

2011. 9월 기준 [관로길이 M 기준]

관 경	감리업임	하 천 구 간		비 고
		하천횡단	하천중단	
850A	5,564,695	4,393,095	859,933	
800A	5,345,945	4,204,556	814,675	
750A	5,336,945	4,113,936	777,682	
700A	5,338,014	4,010,961	742,741	
650A	5,306,600	3,944,095	711,288	
600A	5,306,690	3,888,825	677,166	
550A	5,309,033	3,696,824	617,860	
500A	5,300,976	3,690,016	616,614	
450A	5,286,760	3,666,835	664,441	
400A	2,661,894	3,390,876	620,844	
350A	2,674,056	3,219,204	473,440	
300A	2,666,821	3,165,643	446,172	
250A	2,664,726	3,155,875	427,663	
200A	2,836,161	3,081,403	394,088	
150A	2,833,661	2,979,732	360,004	
125A	2,823,945	2,969,724	342,299	
100A	2,822,912	2,973,648	331,676	
80A		2,963,942	314,880	
65A		2,935,169	308,019	
50A		2,931,459	299,115	
40A		2,926,444	293,494	
32A		2,932,976	292,741	
25A		2,910,552	284,259	

※ 1. 공사비은 감점이 포함되어, 부가세 별도임.

2. 보정계수 90% 적용 단가임.

3. 감리업임, 하천횡단 중단은 전기방식·계측제어포함되며 비관공사비 별도임.

주) 자료 : 한국지역난방공사

□ 도시기반시설의 용량별 부지면적

- 해석방법 : 도시기반시설별(열병합발전시설, 지역난방 열공급시설, 신재생에너지 시설, 폐기물 소각처리시설, 수처리시설 등) 용량별 부지면적 정보를 데이터베이스화하여 통계처리(추세선 작도)하여 시설별, 용량별 부지면적을 결정

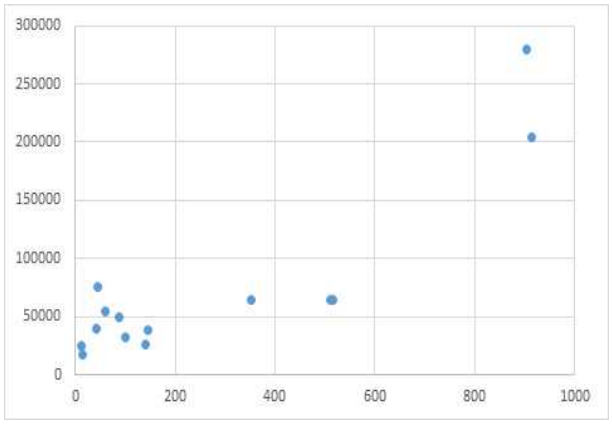
: 시설별, 용량별 부지면적 정보는 Smart CEMS-D S/W의 D/B에 저장되고, 사용자가 직접 입력하여 업데이트 될 수 있도록 구성

: 도시에너지 공급시스템이 최적 설계되어 시설의 종류 및 용량이 결정되고, 배관망 최적화에 의거하여 위치가 결정되면, 그 자리에 GIS 지도 기반의 부지면적이 가시화되어 표출됨

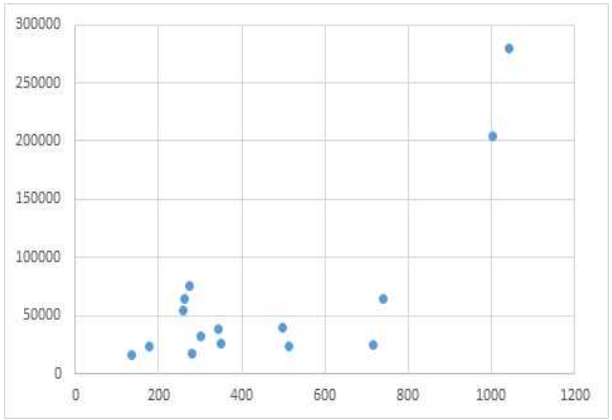
<표 3-98 에너지공급시설의 시설용량별 부지면적>

구 분		시설용량	부지면적(㎡)	비고
열공급시설	화성동탄지구	· 열병합발전: 80Gcal/h+42㎿ · 열전용보일러: 200t/h×3기 · 축열조: 16,000t×1기	59,425	설계자료
열공급시설	양산물금지구	· 열병합발전: 71Gcal/h+44㎿ · 열전용보일러: 200t/h×3기, 100t/h×1기 · 축열조: 20,000t×2기 · 소각로: 200t/h×2기	66,406	설계자료
열공급시설	김해장유지구	· 열전용보일러: 100t/h×1기 · 축열조: 20,000t×1기	43,800	설계자료
변전소	화성동탄지구	· 병점 변전소: 60MVA×4기 · 오산#2 변전소: 60MVA×4기 · 신수원 변전소: 60MVA×4기	44,487	설계자료
변전소	양산물금지구	· 물금 변전소: 60MVA×2기 · 양산, 산막변전소로부터 수전	5,024	설계자료
가스공급시설	화성동탄지구	중압 또는 저압 분기시설	5,279	설계자료
환경기초시설	성남시 환경/에너지시설	생활폐기물소각처리시설(600t/d, 하수슬러지 소각시설 100t/d, 소각 배열을 이용한 지역난방 공급	79,089	운영자료

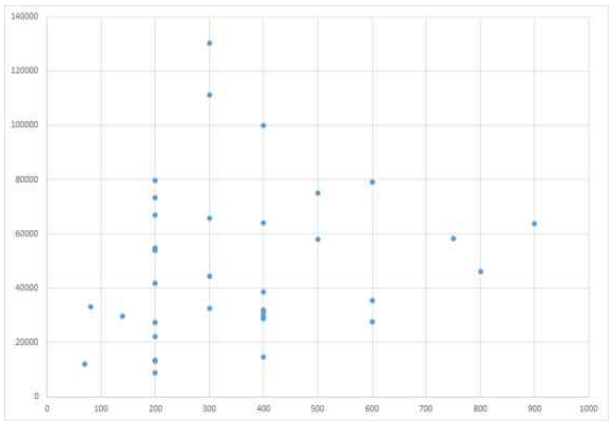
□ 도시기반시설의 용량별 부지면적 산출결과



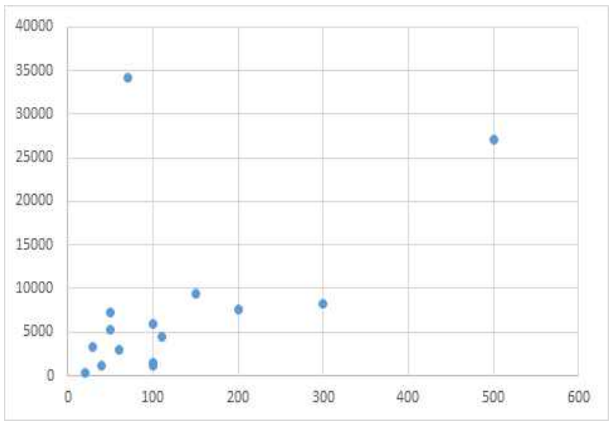
열병합발전시설의 용량(㎿)별 부지면적(㎡)



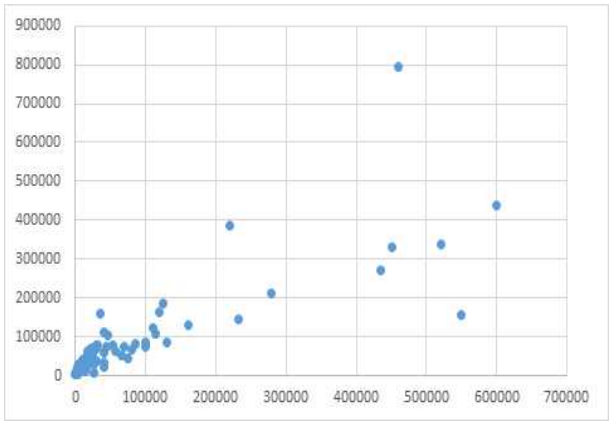
지역난방 열공급시설의 용량(Gcal/h)별 부지면적(㎡)



폐기물 소각처리시설의 용량(ton/day)별 부지면적(㎡)



음식물 처리시설의 용량(ton/day)별 부지면적(㎡)

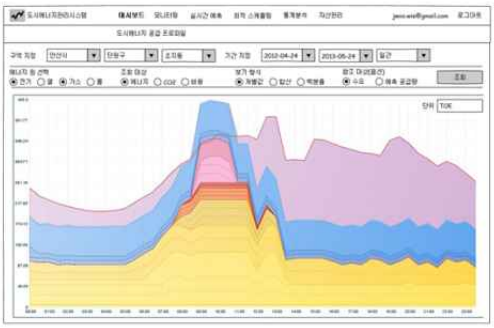


하수처리시설의 용량(ton/day)별 부지면적(㎡)

-

<그림 3-226 도시기반시설의 용량별 부지면적>

17. 도시 실증용 통합에너지관제시스템

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6"> </td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">- 도시단위 실증에 적합한 대시보드/모니터링/실시간예측/최적화/통계분석/자원관리 모듈로 구성된 통합에너지 관제시스템</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">- 기존 POC 실증은 대상의 규모나 다양성에서 실제도시와 차이가 있음
- 이를 고려하여 통합에너지 관제시스템의 대시보드/모니터링/실시간예측/최적화/통계분석/자원관리 모듈을 개선해야 할 필요가 있음</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">- 통합관제시스템의 대시보드/모니터링/실시간예측/최적화/통계분석/자원관리 모듈을 도시의 규모의 다양성에 맞게 수정하여 다음을 수행함
◦ 원활한 도시의 공급/수요 프로파일 및 공급/소비 현황을 표시
◦ 도시에너지 공급/수요 모니터링
◦ 도시에너지 수요 및 신재생(풍력/태양광) 출력을 예측
◦ 연단위/주단위/일단위/시간단위 최적 운영스케줄 도출
◦ 정형보고서 및 사용자 지정 보고서를 구현
◦ 도시 내 계측기 및 공급자원, 부하, 연계선 목록관리를 수행</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- POC에 적합한 소규모 단순유형 도시에 적함, 에너지 관리를 통한 탄소저감 10% 수준
(개발기술 수준)
- 중규모 복합도시(인구 7만명)에 적합하도록 성능 향상, 에너지 관리를 통한 탄소저감 10% 이상
(개발기술 수준 설정근거)
- POC 대상 대비 실제도시의 규모와 다양성 고려, 국외 사례분석</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">한태경(기초전력연구원)
박시삼(GS건설㈜)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">3차년도 '13.07 ~ '14.06 (12개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>3차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>등록 1건
(GS건설 공동)</td><td>학술발표
국내 1건</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>3차년도</td><td colspan="5">- 도시 실증용 프로그램 사용설명서 : 1건
- 도시 실증용 프로그램 시작품 : 1건</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td>3차년도</td><td colspan="5">- 소프트웨어 등록 : 프로그램 등록증 확인
- 학술발표 국내 1건 : 논문집 확인
- 도시 실증용 사용설명서 : 보고서 확인
- 도시 실증용 프로그램 시작품 : 시작품 시연</td></tr>
</table>

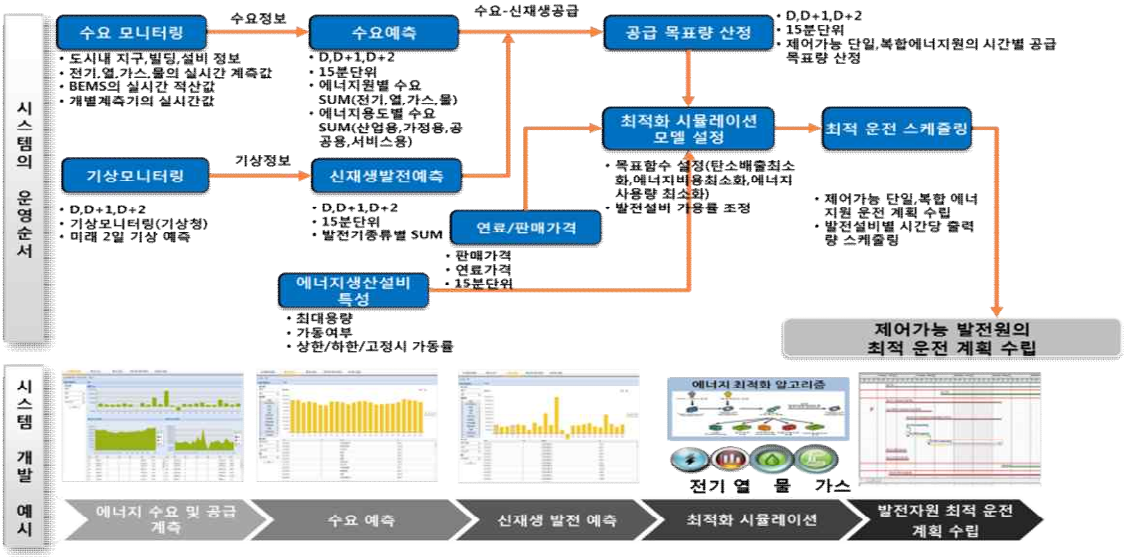
17.1 도시 실증용 통합에너지관제 시스템 개발

□ 시스템 개요: 통합관제시스템은 도시에너지의 수요와 공급에 대한 실시간 모니터링을 통해 에너지 현황을 각 건물/설비단위로 파악하고, 수요 예측 및 신재생 발전량 예측을 통해 주간, 익일의 에너지 공급설비에 대한 운전의사결정을 지원하는 시스템임

□ 시스템의 주요 기능

- 에너지 모니터링: 빌딩 및 설비단위의 에너지 사용량, 발전량 정보 제공(최대 15분 단위)
- 수요 예측: 3주간 평균 데이터를 활용하여 에너지 수요를 예측
- 신재생 발전량 예측: 최대 2일 발전기별 생산 예측 기능
- 최적화: 최대 672구간(15분 단위, 1주일)에 대한 제어가능발전설비에 대한 최적 공급 스케줄링 기능 제공

□ 프로세스



<그림 3-227 통합관리센터 시스템 주요 흐름도>

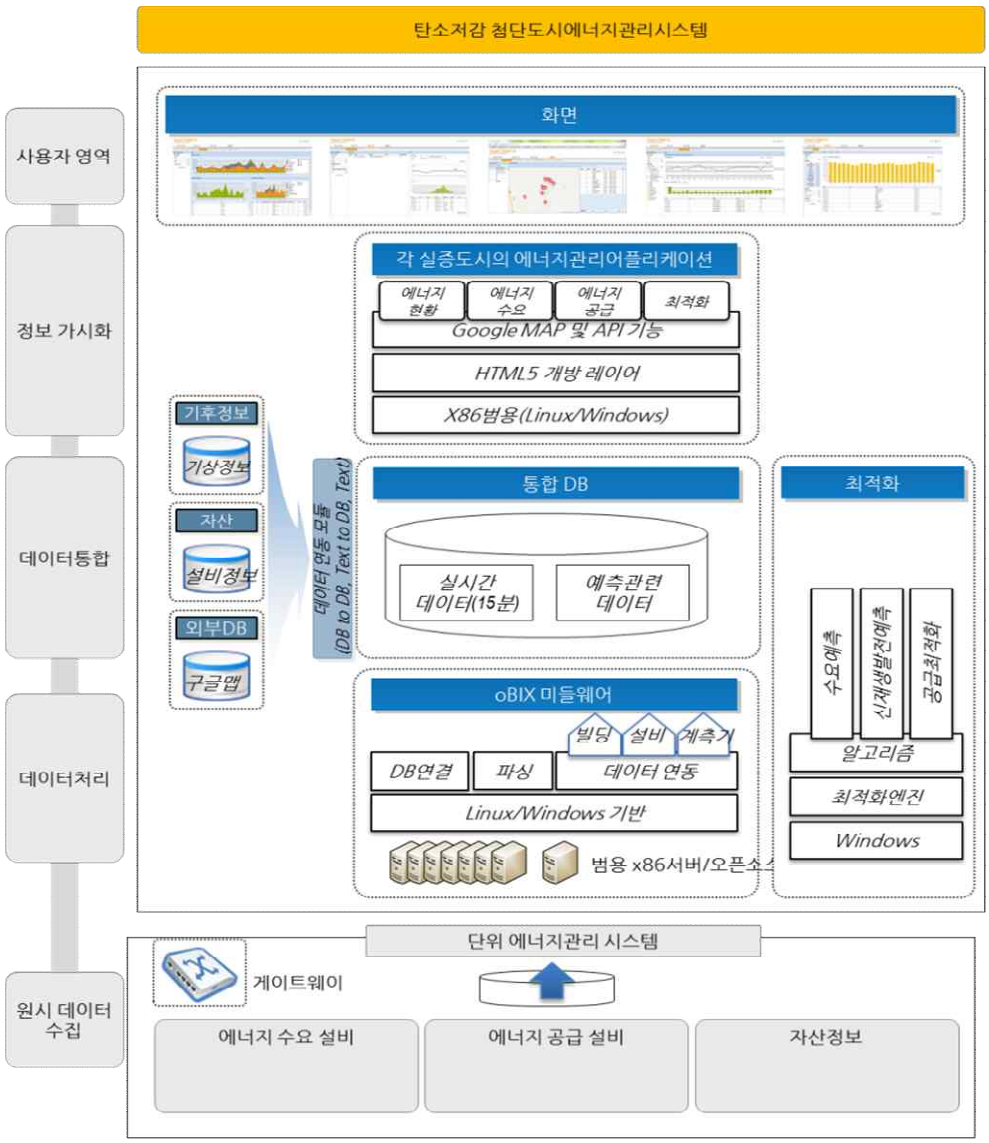
□ 에너지 모니터링의 범주

- 에너지: 전기, 열, 가스, 물(물의 경우 톤당 전기사용량을 kWh로 환산)
- 에너지 수요: 산업용, 공공용, 서비스용, 가정용
- 에너지 공급: 제어가능자원, 제어불가능자원, 수요자원, 저장자원, 연계선

- 신재생 설비: 태양력, 풍력
- 에너지 단위: kJ
- 이산화탄소 단위: tCO2

□ 시스템 구성도

- 탄소저감 도시에너지 관리 시스템은 원시데이터 수집, 데이터 처리, 데이터 통합, 정보 가시화, 사용자 영역으로 구성됨



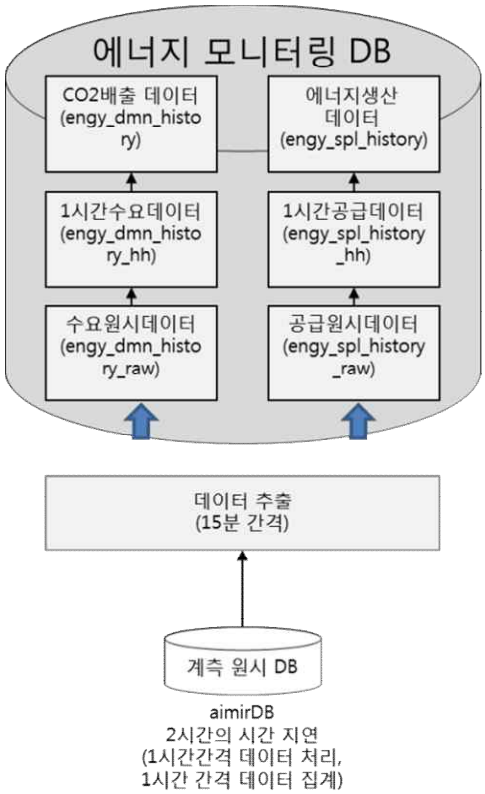
<그림 3-228 통합관리센터 시스템 구성도>

□ 연차별 개발 로드맵: 탄소저감 첨단도시에너지 관리 시스템은 각 연차별로 순차적으로 개발되고 있으며, 당해년도는 각 프로세스의 기능 구현을 중심으로 개발 진행

<표 3-99 연차별 개발 내용>

분류	기능	2년차 (전년도)	3년차 (당해년도)	4년차 (차년도)
일반	개발 대상	POC용	실증 도시용	실증 도시용
	개발 플랫폼	개발자	POC 담당자	도시 에너지 관리자
	개발 주안점	모니터링 및 예측 1시간단위 최적화	• 예측 및 최적화 • 15분 단위 최적화	현실 적용성 및 상용화 실시간 최적화
	CO2 저감 방안	절약	발전설비 최적 스케줄링	수요자원 및 저장자원의 최대 활용
데이터	연계 방법	상용 ETL도구를 활용	• 상용 ETL도구 • ODBC 연결	전용 adapter(SW) 개발
	연계 대상	GS건설 기술연구소의 POC 데이터 연동 (자동계측형)	• GS건설 기술연구소의 POC 데이터 연동 • 수원시 수기데이터 연동	• 안산시 자동, 수기 데이터 연동 • 유틸리티 사업자의 원천 DB 연동
	연계 대상 데이터	전기, 열, 가스, 물	전기, 열, 가스, 물	전기, 열, 가스, 물
	데이터 저장소	Single DB	Single DB	DB 클러스터링, 텍스트(xml)
	데이터 집계 주기	60분	15분	15분
기능	수요 모니터링	• 시간 적산값 기준 • 최대 2시간 지연	• 15분 적산값 기준 • 최대 2시간 지연	• 순시값 • 15분 적산값 • 최대 30분 지연
	수요 예측	지구별 수요 예측	• 지구별 수요 예측 • 용도별 수요 예측	• 지구별 수요 예측 • 용도별 수요 예측 • 건물별 수요 예측
	기상 모니터링	도시단위 기상 정보(최대2일, 3시간 주기)	• 지구 단위 기상 정보 • API를 통한 자동 연동	• 마을단위 기상정보 기상 정보(최대2일,3시간주기) • API를 통한 자동 연동
	신재생 발전 예측	기상 정보와 출고 시 사양	기상 정보와 설비 효율	• 기상 정보와 설비 효율 • 설비 효율은 자동 계산
	공급 모니터링	• 1시간 적산값 기준 • 최대 2시간 지연	15분 적산값 기준 최대 2시간 지연	• 순시값 • 15분 적산값 • 최대 30분 지연
	공급 목표량 산정	수요량-신재생발전량	수요량-신재생발전량	예비력+수요량-신재생발전량
	최적화 시뮬레이션 모델 설정	네트워킹/복합에너지운전	네트워킹/복합에너지운전/실시간운전/수요관리	외부네트워킹/내부네트워킹/복합에너지운전/실시간운전/수요관리
	최적 운전 스케줄링	1시간 단위	15분 단위	15분 단위, 3시간 주기의 자동 재 스케줄링
	효과 분석			Base model 대비 탄소/에너지사용량 저감 효과
	제어가능발전설비 운전계획 수립 및 실행 관리			웹기반 자동스케줄 게시 실행 관리(실행 여부, 실제 효과와 시뮬레이션 예측값과의 비교)

□ 데이터 집계 체계



데이터 집계 순서

1. 현장의 에너지 계측 마스터가 modbus 등의 산업통신규격, serial 통신을 통해 순시값을 수집(kW), serial 통신으로 순차적으로 데이터를 수집하므로 약 15분 간격의 순차값을 수집함
2. 현장의 에너지 계측 서버가 마스터로부터 수집한 정보를 저장하고, 이를 매 시각 10분에 데이터 정제화를 수행(통신 실패, peak 보정 등)
3. 도시에너지 관리 서버가 15분 간격으로 원시 데이터 및 정제된 데이터를 수집하여 통합 DB에 저장
4. 수요 및 공급 원시 데이터(15분 간격)와 1시간 데이터를 별도 운영하여 query 속도를 보장할 수 있도록 구성함
5. CO2 배출 및 공급원별로 에너지 관점의 데이터로 변환하여 별도의 테이블에 저장함
6. 각 테이블에 대하여 실시간 정보, 1시간 정보 표출 화면이 연계하여 데이터를 시각화함

<그림 3-229 데이터 집계 체계>

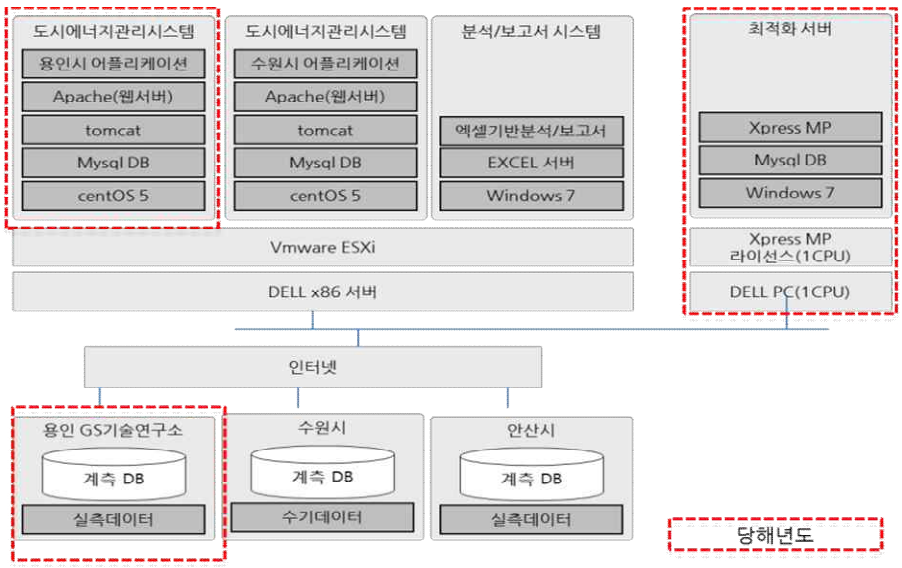
□ 데이터 엔터티 체계

<표 3-100 데이터 엔터티 체계>

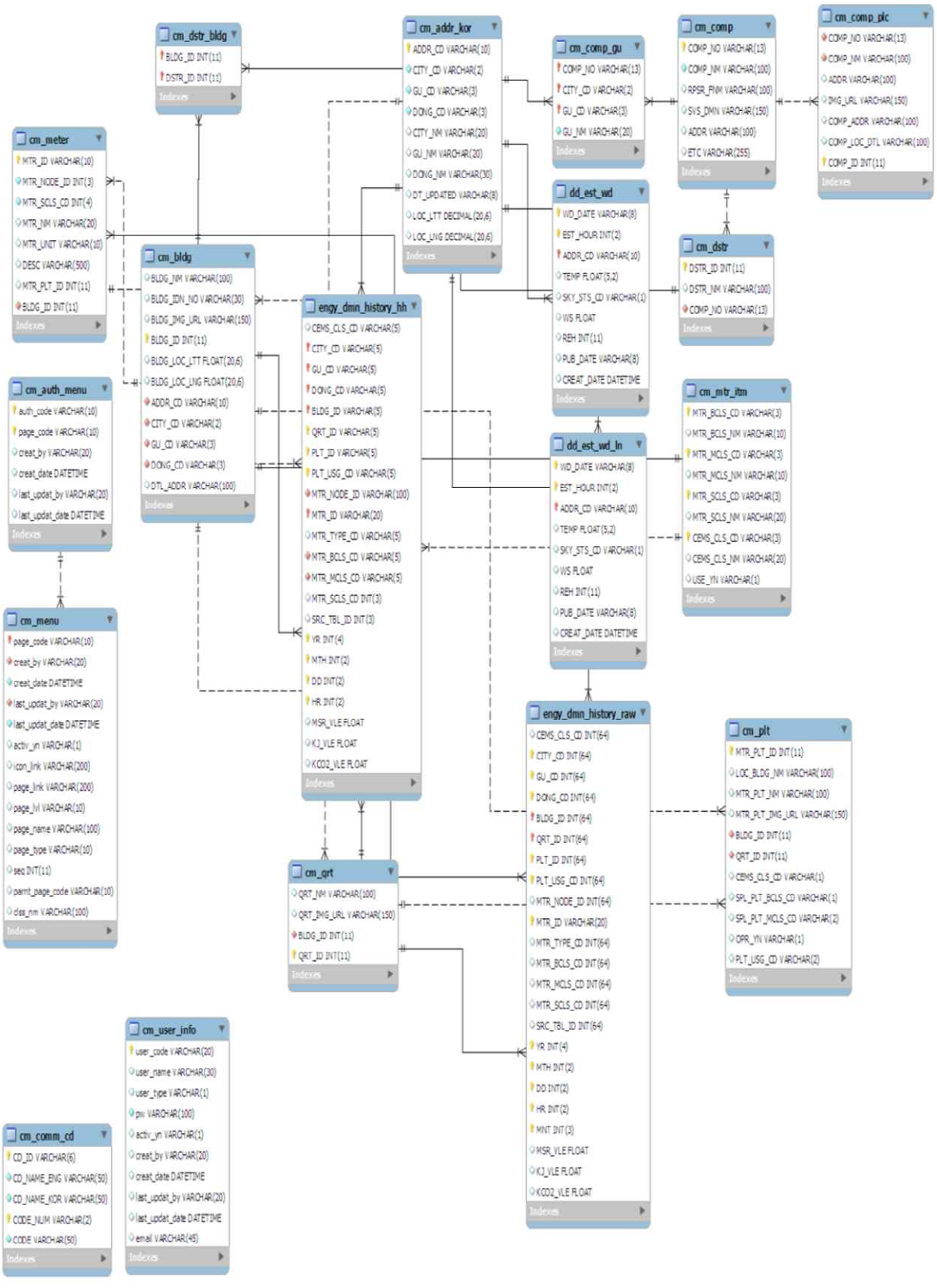
NO	Entity 명	Table 명	Entity 명	Table 정의
1	법정 동주소 코드	CM_ADDR_KOR	법정 동주소 코드	법정 동주소 코드
2	메뉴별 권한관리	CM_AUTH_MENU	메뉴별 권한관리	메뉴별 권한관리
3	건물관리	CM_BLDG	건물관리	건물관리
4	공통코드	CM_COmm_CD	공통코드	공통코드
5	사업자관리	CM_COMP	사업자관리	사업자관리
6	관리하는 구정보	CM_COMP_GU	관리하는 구정보	관리하는 구정보
7	사업장관리	CM_COMP_PLC	사업장관리	사업장관리
8	지구관리	CM_DSTR	지구관리	지구관리
9	지구별 건물관리	CM_DSTR_BLDG	지구별 건물관리	지구별 건물관리
10	메뉴관리	CM_MENU	메뉴관리	메뉴관리

11	계측기관리	CM_METER	계측기관리	계측기관리
12	계측항목관리	CM_MTR_ITM	계측항목관리	계측항목관리
13	설비관리	CM_PLT	설비관리	설비관리
14	구역관리	CM_QRT	구역관리	구역관리
15	사용자정보	CM_USER_INFO	사용자정보	사용자정보
16	날씨정보	DD_EST_WD	날씨정보	기상청의 날씨 정보, 3시간 단위
17	예측날씨정보	DD_EST_WD_LN	예측날씨정보	내삽법에 의한 날씨 정보
18	성과지표	DSH_GROUP	성과지표	성과지표
19	시간별 수요량	ENGY_DMN_HISTORY_HH	시간별 수요량	시간별 수요량
20	수요 원본데이터	ENGY_DMN_HISTORY_RAW	수요 원본데이터	수요 원본데이터
21	수요 시간별 예측데이터	ENGY_DMN_PLN_HISTORY_HH	수요 시간별 예측데이터	수요 시간별 예측데이터
22	시간별 공급량	ENGY_SPL_HISTORY_HH	시간별 공급량	시간별 공급량
23	공급 원본데이터	ENGY_SPL_HISTORY_RAW	공급 원본데이터	공급 원본데이터
25	공급제약조건	SPL_CND_CD	공급제약조건	공급제약조건
26	공급설비분류코드	SPL_MTR_PLT_TYPE	공급설비분류코드	공급설비분류코드
27	태양생산효율	SUN_EFC_VL	태양생산효율	태양생산효율
28	시간템플릿	TMP_TIME	시간템플릿	시간템플릿
29	바람생산효율	WNP_EFC_VL	바람생산효율	바람생산효율
30	공급 시간별 예측데이터	ENGY_SPL_PLN_HISTORY_HH	공급 시간별 예측데이터	공급 시간별 예측데이터

□ 시스템 구성 모델: 2Tier 구조로서 도시에너지 관리 시스템과 최적화 서버가 분리 운영됨. 이는 최적화 서버에서 수행중인 작업에 의한 도시에너지 관리 시스템의 영향을 최소화하기 위함임



<그림 3-230 시스템 구성>



<그림 3-231 시스템 구성 모델>

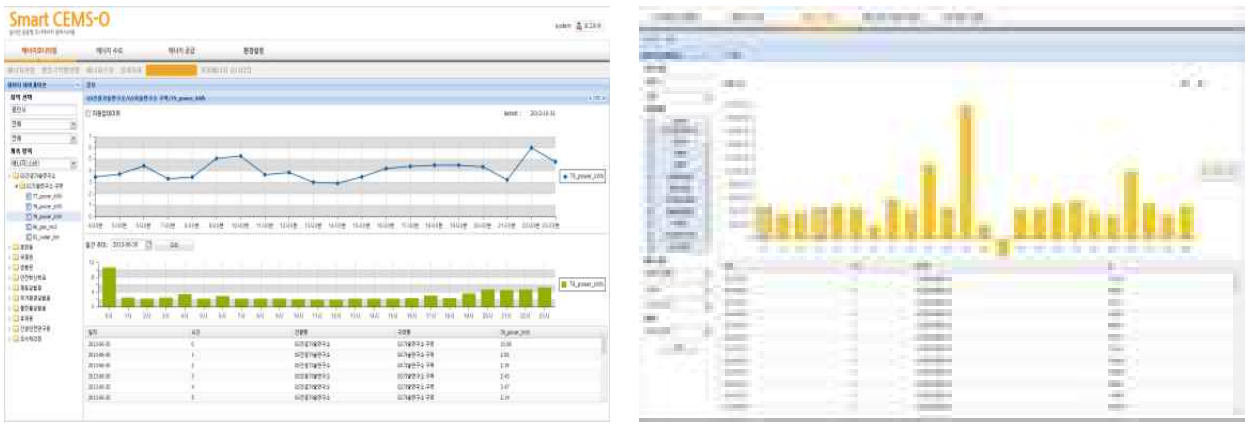
□ 시스템의 주요 화면

- 에너지 수지(에너지 수요 및 에너지 공급)



<그림 3-232 에너지 수요 및 공급 프로파일>

- 에너지 수지(에너지 수요 및 에너지 공급)

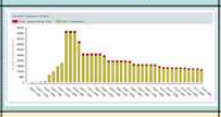


<그림 3-233 에너지 수요 및 공급 프로파일>

□ 해외 선진사 프로그램과 비교

- 현재 다양한 에너지 모니터링 및 관리시스템이 개발되고 있지만, 도시단위의 에너지 관리시스템은 없는 상태임

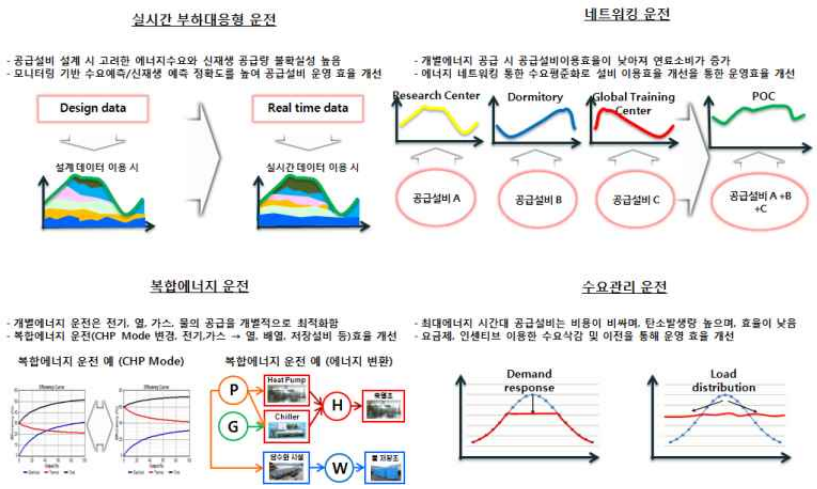
- CEMS-O의 경우 모니터링 범위가 넓고, 오픈맵을 연동하여 항상 지도 위에 실시간 데이터를 모니터링 할 수 있으며, 최적화 운영스케줄링 등에서 타 프로그램과 차별화되며, 기능적으로 우수함

구 분	Smart CEMS-O	Ecologic Analytics (Ecologic Analytics)	eMeter (Siemens)	PI System (OSIsoft)
메인화면				
모니터링 범위	전기,가스,수도,열량	전기,가스,수도	전기,가스,수도	전기,가스,수도
주요기능	최적화, 모니터링, 분석	모니터링, 분석	모니터링, 분석	모니터링, 분석
대용량 노드처리	○	○	○	○
SOA (Service Oriented Architecture)	○	○	○	○
VEE (Validation Estimating & Edition)	○	○	○	X
오픈맵 연동	○	X	○	X
수요예측	○	△	△	X
신재생 발전량 예측	○	X	X	X
Tariff	○	X	△	X
Regulation	○	X	△	X
최적화 운영 스케쥴	○	○	○	△
프로그램의 종류	웹 프로그램	웹 프로그램	웹 프로그램	웹 프로그램

<그림 3-234 해외 선진사 프로그램과의 기술수준 분석:Smart CEMS-O>

- ADB Enabling GrEEEn Cities Conference에 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템에 대한 부분을 발표하였으며, 특히 현재 개발 중인 Smart CEMS-O는 ADB 및 다양한 참가자들에게 많은 관심을 받았음

18. 도시에너지운영 최적화기법

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">

<도시에너지 최적화 기법 (안)></td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">- 도시단위 실증에 적합한 네트워킹/복합에너지운전/실시간운전/수요관리를 고려한 설비의 최적운영 알고리즘</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">- 기존 POC 실증은 대상의 규모나 다양성에서 실제도시와 차이가 있음.
- 이를 고려하여 최적화(네트워킹/복합에너지운전/실시간운전/수요관리)모듈에 적용될 알고리즘을 수정해야할 필요가 있음</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">- 통합관제시스템의 최적화 모듈을 도시의 규모의 다양성에 맞게 수정하여 다음을 원활하게 수행할 수 있도록 함
◦ Operation with Real Time Demand : 2% 저감
◦ Operation with Grid Network : 5% 저감
◦ Operation with Energy Convergence : 3% 저감
◦ Operation with Demand Response : 5% 저감</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- POC에 적합한 소규모 단순유형 도시에 적합. 과제의 에너지운영을 통한 탄소저감 목표의 60% 수준
(개발기술 수준)
- 중규모 복합도시(인구 7만명)에 적합하도록 성능 향상. 과제의 에너지운영을 통한 탄소저감 목표의 80% 수준
(개발기술 수준 설정근거)
- POC 대상 대비 실제도시의 규모와 다양성 고려</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">한태경(기초전력연구원)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">3차년도 '13.07 ~'14.01 (7개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>3차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>논문게재
국내 1건</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>3차년도</td><td colspan="5">- 도시에너지운영 최적화 기법 개발 : 4건
◦ 최적화 기법 : 네트워킹, 복합에너지운전, 실시간운전, 수요관리
- 도시에너지운영 최적화 기법 적용 : 1건
◦ 최적화 기법별 탄소저감량 분석</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td>3차년도</td><td colspan="5">- 논문게재 국내 1건 : 논문집 확인
- 도시에너지운영 최적화 기법 개발, 도시에너지운영 최적화 기법 적용 : 보고서 확인</td></tr>
</table>

18.1 도시에너지 운영 최적화 기법

□ 시스템의 목적

- 도시의 탄소 배출량 및 에너지 비용 최소화를 위한 대안의 마련



<그림 3-235 도시에너지 운영 최적화 기법의 적용 목적>

- 탄소 배출량 저감은 에너지 네트워킹, 복합에너지 공급 설비의 최적 운전, 실시간 수요 대응 운전, 수요 관리를 통해 이루어질 수 있도록 알고리즘을 구현

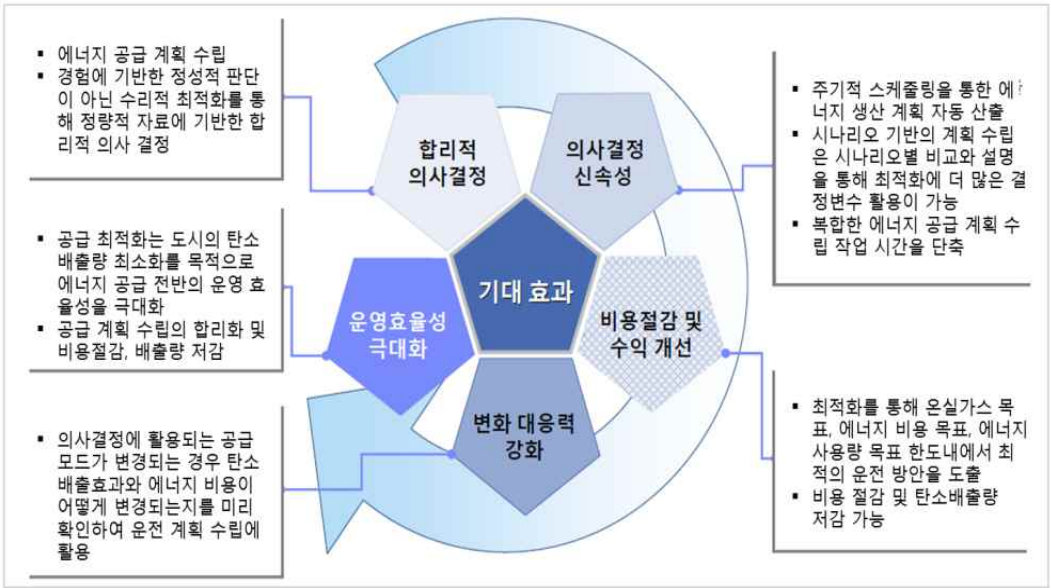


<그림 3-236 최적화 모델 구성요소>

항목	목적	수립 기준
계획 기간	에너지 수요 만족 및 탄소 저감 목표를 기반으로 모든 제약을 고려한 제어가능 에너지 공급 설비의 공급 량 및 공급 순서 결정을 위한 에너지 공급 계획 수립 기간의 설정	1주/ 1일
계획 구간	에너지 공급량 및 공급순서를 결정하기 위한 계획 구간 설정	1시간/15분
계획 주기	수요 변동 상황을 적시에 반영할 수 있는 공급 계획 주기 설정	차주(next week) 익일(tomorrow) 다음15분(next 15m)
계획 수립 단위	생산량 및 생산 순서 결정을 위한 계획 수립 단위 설정	제어가능 공급설비 출력량

<그림 3-237 최적화 프로세스>

□ 시스템의 기대효과

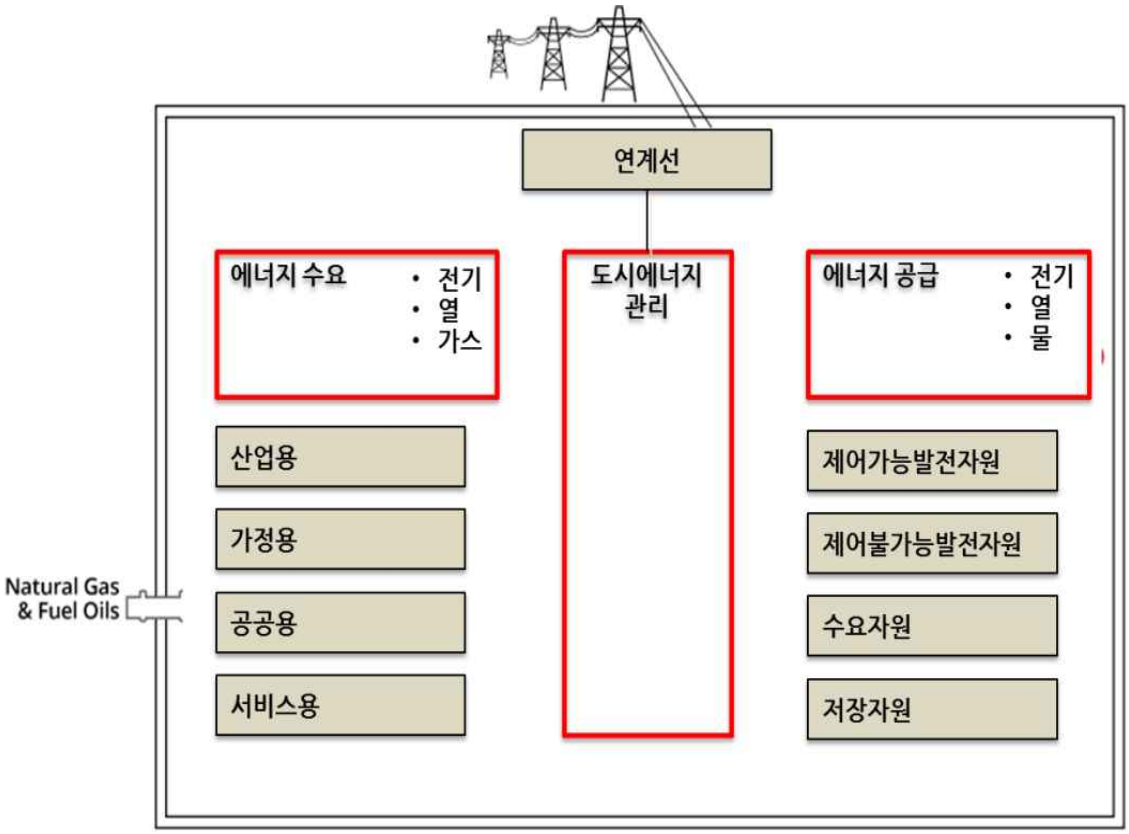


<그림 3-238 최적화 시스템 적용에 따른 기대효과>

18.2 도시 에너지 수요/공급 시스템의 구조 및 최적화 알고리즘

□ 최적화 알고리즘 : 도시에너지 최적화는 에너지 수요에 따른 에너지 공급자원의 생산 최적화를 의미하며, 도시의 탄소 배출량 최소화를 위해 에너지 네트워킹, 수요자원 최적 운영, 전기/열 최적 비율 생산(복합 발전기 운전), 수요에 대한 도시 에너지 실시간 최적 공급 방안(실시간 운전)의 4가지 운영방안을 제공

- 도시 에너지 수요/공급 시스템의 구조
  : 도시 에너지 수요는 전기, 열, 물에 대한 수요로서, 각각 사용 프로파일 및 전기 요금 단가가 상이한 산업용, 가정용, 공공용, 서비스용으로 구분되며, 전기 및 열, 물은 kWh 단위를 표준 단위로 사용하는 것으로 모델링



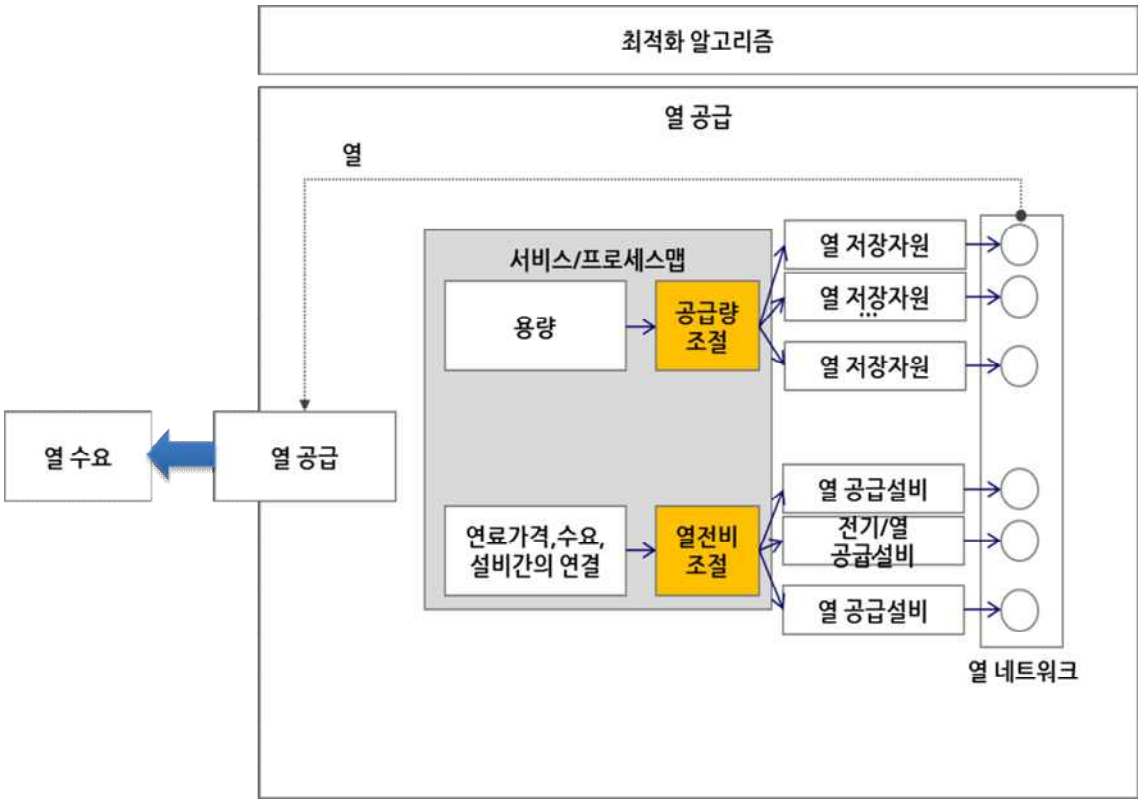
<그림 3-239 에너지 시스템의 구조>

- 에너지 네트워킹

: 에너지 네트워킹은 열 수요에 대하여 열저장자원 및 열공급 설비, 열/전기 복합 공급 설비의 시간에 따른 공급 스케줄을 파악하는 알고리즘으로 각 구성자원(저장자원, 공급설비, 복합공급설비)의 네트워크 경우의 수에 따라 온실가스 배출량을 계산

<표 3-101 에너지 네트워킹 항목>

항목	내용
에너지 수요	열
에너지 공급	제어가능 열공급 자원 제어가능 열/전기 공급 자원 저장자원
고려 요소	연료(LNG) 가격 저장자원의 용량 각 공급자원간의 네트워크 경우의 수(공급 효율은 100%로 계산)
도출하고자하는 값	각 공급자원의 15분 간격의 열 공급량 각 공급자원의 15분 간격의 에너지 비용 절감량



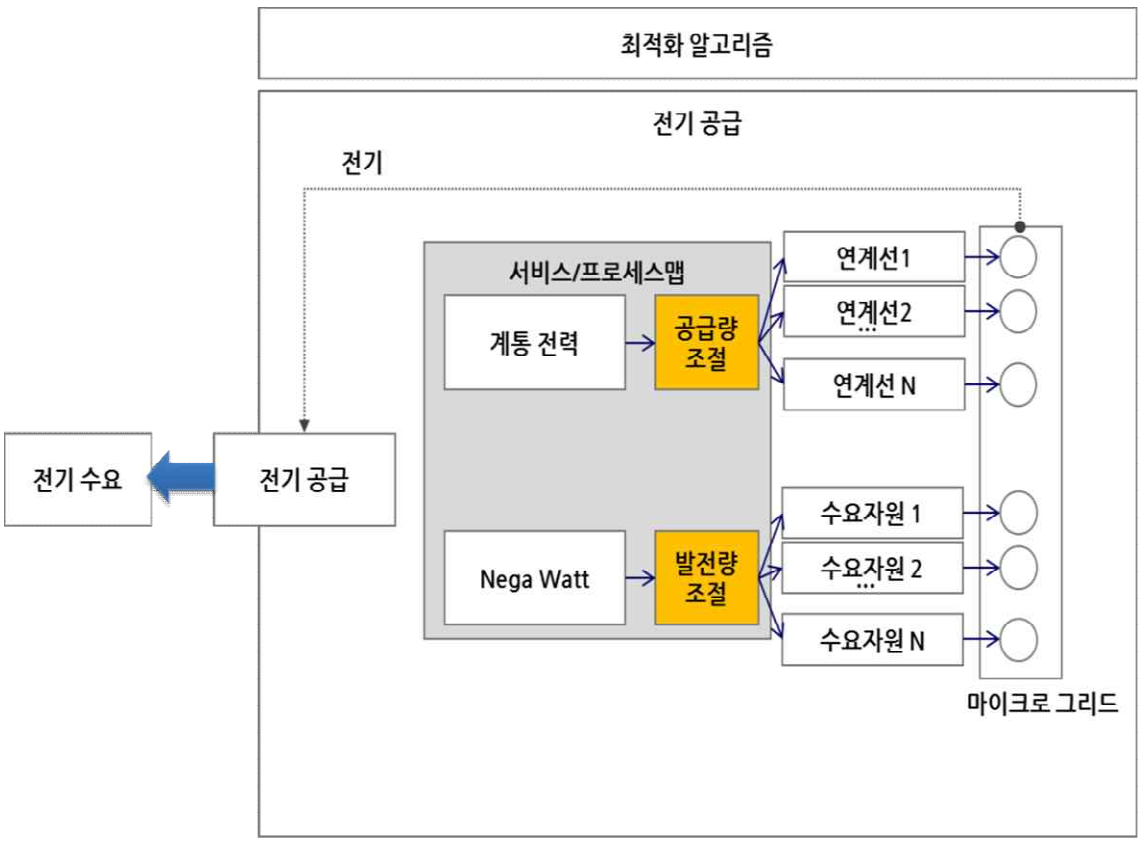
<그림 3-240 에너지 네트워킹 관련 프로세서 구조>

- 수요 자원 최적 운전

: 수요 자원 최적 운전은 전기 수요에 대하여 계통 전력의 사용량을 최소화하기 위한 도시 내의 수요 자원에 대한 최적 negawatt 발전량을 조절하는 모드임

<표 3-102 수요자원 최적 운전 항목>

항목	내용
에너지 수요	전기
에너지 공급	계통 전력(한국전력) 수요 자원(Negawatt)
고려 요소	전기 수요 전기 수요에 대한 시간대별 이산화탄소 배출량 계통의 전력 상태(SMP 요금 혹은 DR 요금) Negawatt 요구량 각 수요자원의 입찰가격은 동일하다고 가정 향후 수요자원의 입찰 가격 적용 예정
도출하고자하는 값	각 수요자원의 15분 단위 negawatt 발전량



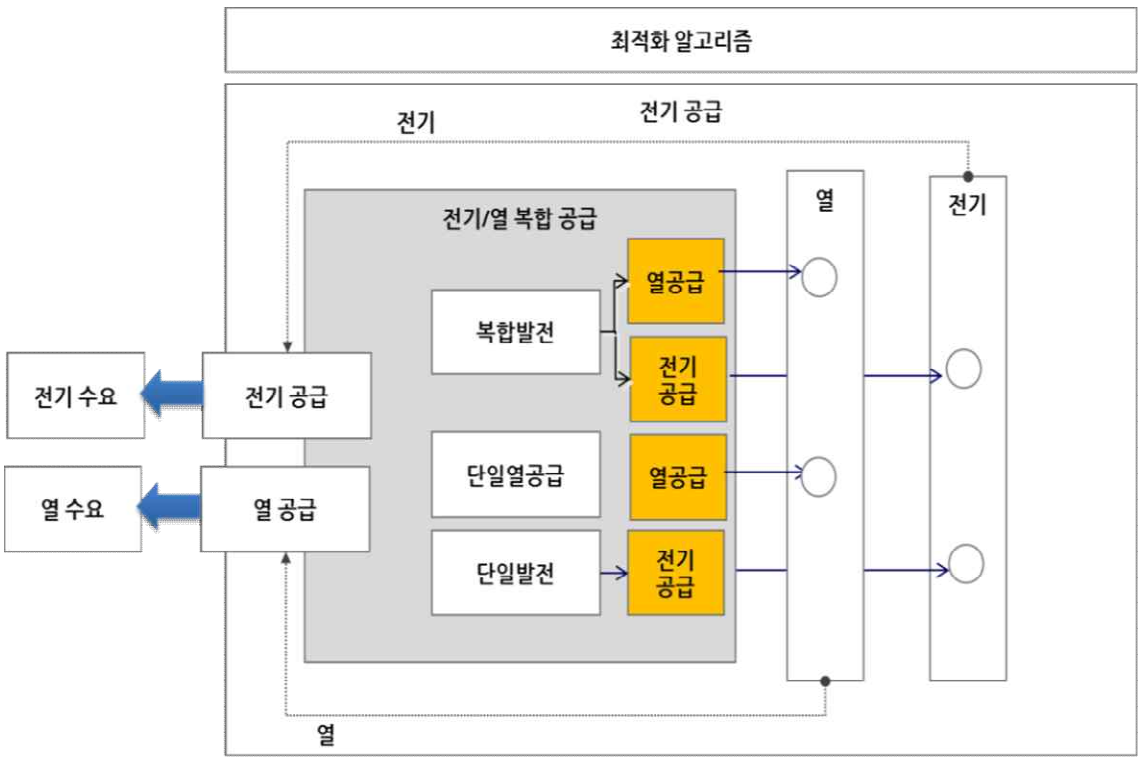
<그림 3-241 수요 자원 최적 운전 관련 프로세서 구조>

- 전기/열 최적 비율 생산(복합 발전기 운전)

: 전기, 열 수요에 대하여 복합 발전 자원의 시간대별 최적 열전비 및 공급량을 파악하는 모드로서, 마이크로그리드 독립 운전을 고려한 운전 모드임

<표 3-103 전기/열 최적 비율 생산 관련 항목>

항목	내용
에너지 수요	전기 수요 열 수요 15분 단위
에너지 공급	복합 에너지 공급 자원 단일 에너지 공급 자원(전기, 열) 에너지 네트워킹
고려 요소	연료 가격 온실가스 배출량
도출하고자하는 값	복합발전기의 열전비 복합발전기의 전기, 열 공급량(15분 단위) 단일 열공급 설비의 열 공급량(15분 단위) 단일 발전자원의 전기 공급량(15분 단위)

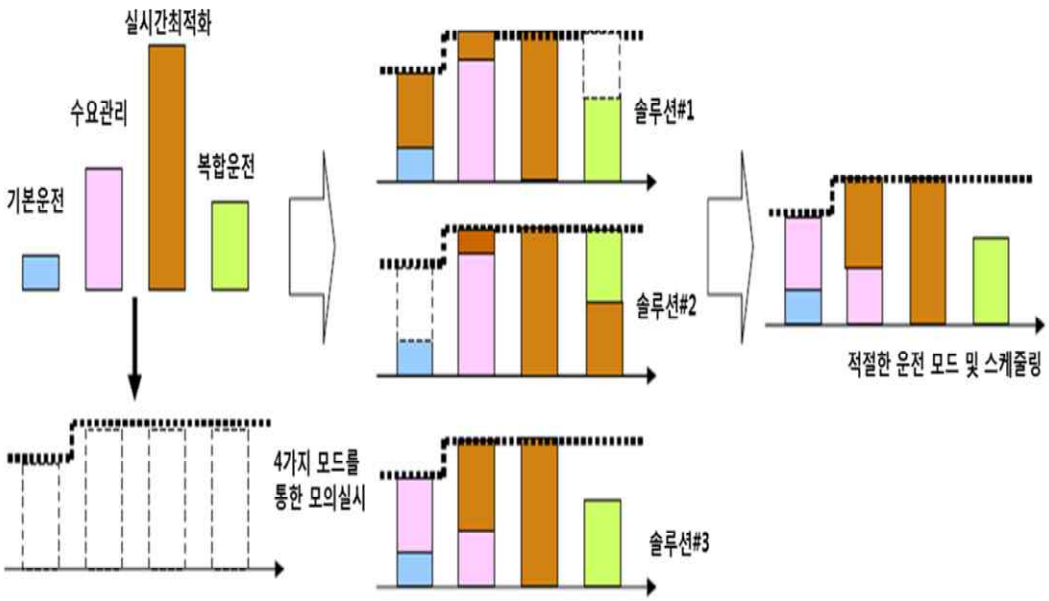


<그림 3-242 전기/열 최적 비율 생산(복합 발전기 운전) 관련 프로세서 구조>

- 실시간 운전

: 15분 동안의 전기, 열 수요에 대한 에너지 공급 설비의 15분 단위 공급량을 산정하는 알고리즘

□ 최적화 방법론: 수리적 최적화는 정해진 기간 동안 연속적으로 주어진 에너지 수요를 다양한 종류의 에너지 공급자원을 사용하여 최소의 비용 또는 최소의 탄소발생량으로 공급하는 문제를 혼합정수선형계획법(MILP)으로 해결 방안을 찾는 프로세스를 의미함



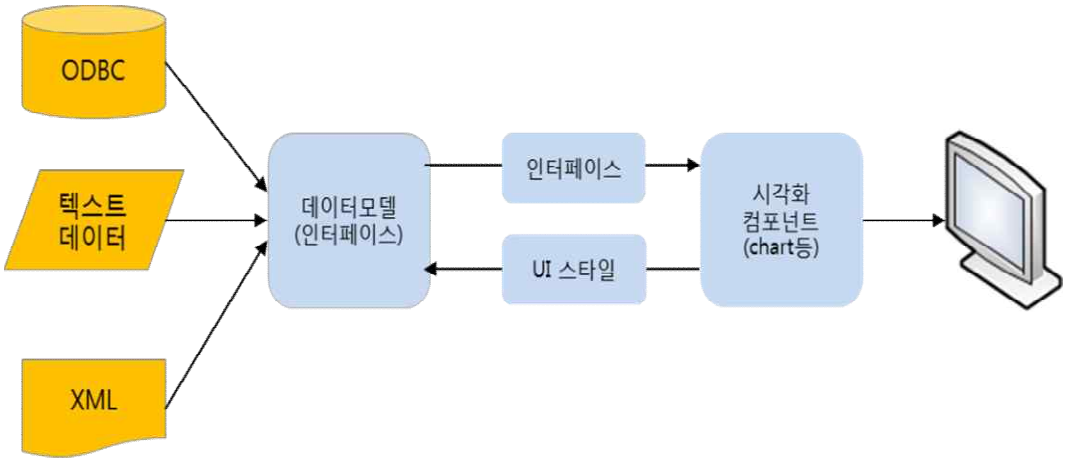
<그림 3-243 최적화 방법론>

□ 주간 최적화와 실시간 최적화

- 주간 최적화는 차주 7일에 대한 1시간 기준의 제어가능 에너지 공급 설비의 운전 스케줄을 계획하는 것이며, 일간 최적화는 익일 24시간의 수요에 대하여 1시간 단위, 15분 단위의 공급 계획을 수립하는 것임. 실시간 최적화는 다음 15분에 대한 최적 공급 계획을 수립하는 것.

□ 데이터 시각화 방법론

- 최적화 엔진을 통해 계산된 에너지 공급 모의는 DB 및 text 파일 형태로 저장되며, 웹 UI가 해당 내용을 조회하여 화면에 표시함



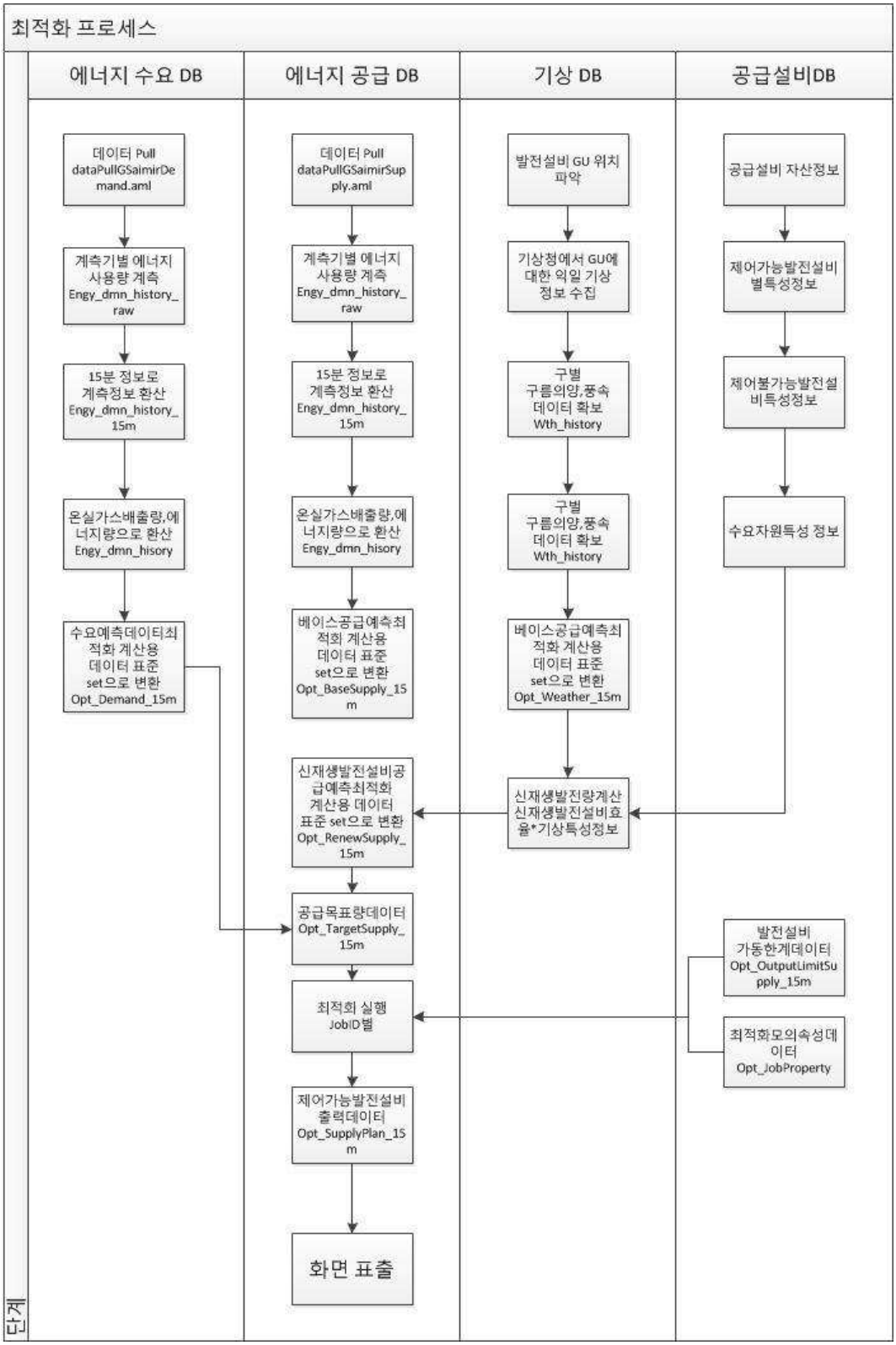
<그림 3-244 데이터 시각화 방법>

□ 자원의 정의: 에너지는 수요 분야, 공급 분야로 분리하여 관리되며 에너지 수요는 전기, 열, 가스, 물로 분류됨. 에너지 공급에는 다음과 같은 자원이 있음

- 제어가능 단일에너지 공급설비
- 제어불가능 단일에너지 공급설비
- 단일에너지 저장설비
- 단일에너지 수요자원
- 제어가능 복합에너지 공급설비
- 단일에너지 외부연계선

<표 3-104 자원 분류 방법 및 특성>

구 분		제어가능 단일에너지 공급설비	제어불가능 단일에너지 공급설비	단일에너지 저장설비	단일에너지 수요자원	제어가능 복합에너지 공급설비	연계선
출력값	공급량	○	○	저장량	삭감량/ 이전량	○	○
	비용	○	○	○	○	○	○
	탄소 발생량	○	○	○		○	○
	공급곡선		공급패턴	효율			
고려사항	연료별 가격	○					
	연료별 탄소발생계수	○					
제약조건	설비 용량	○	○	○		○	연계선 용량
	시간별 최대 출력	○	○	○		○	○
	시간별 최소 출력	○	○	○		○	○
	최대 출력 증가율	○		최대 저장속도		○	○
	최대 출력 감소율	○		최대 공급속도		○	○
	최소 운전시간	○				○	
	최소 정지시간	○				○	
	저장 효율			저장효율			
	공급			공급효율			



<그림 3-245 최적화 프로세스>

□ 최적화 실행의 전제 조건

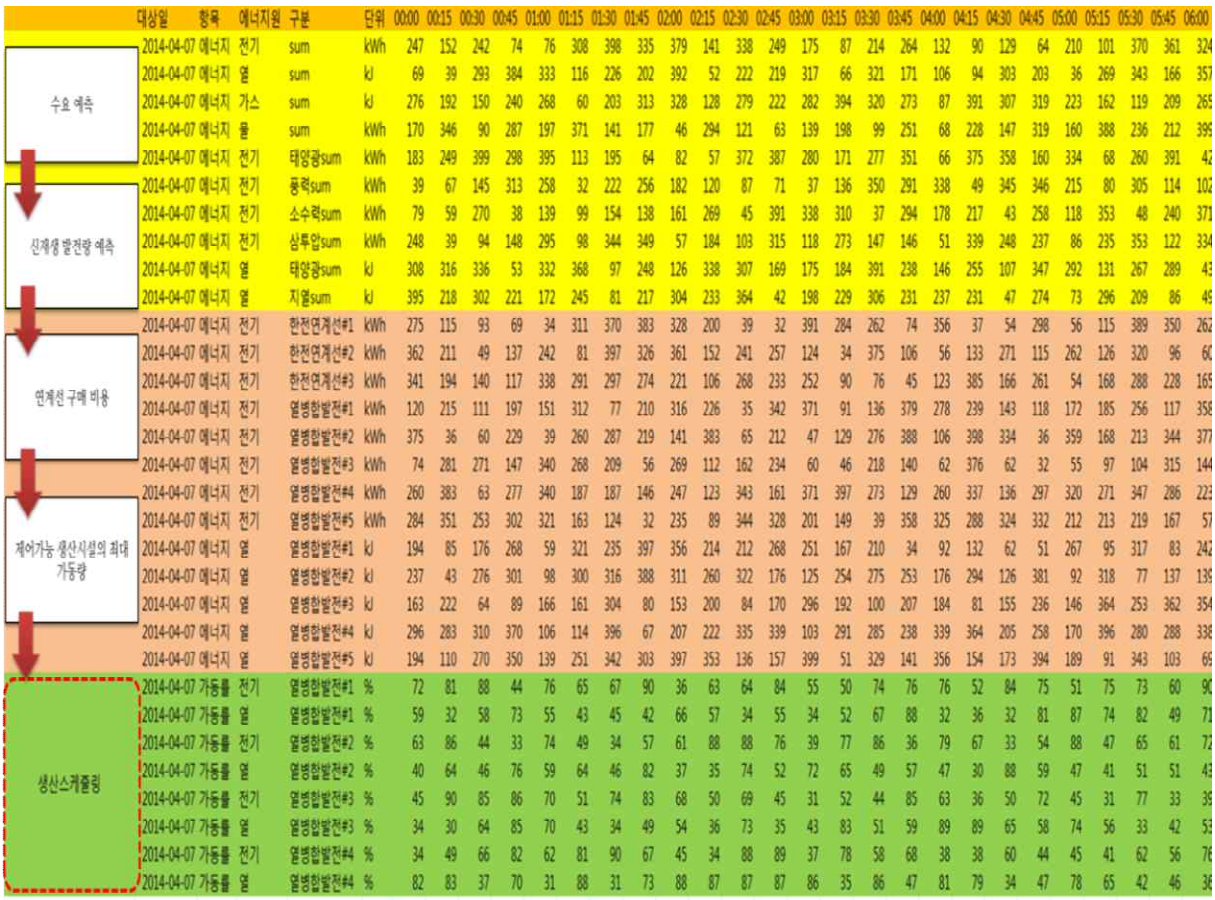
- 실시간 최적화에서는 저장설비의 운전스케줄은 가장 최근에 수행한 일주일 최적화에서 계산한 운전스케줄을 유지함
- 전기 및 열을 생산하기 위한 가스는 가스수요와 별도로 다룸
- 열/가스/물을 생산하기 위해 사용된 전기는 전기수요와 별도로 다룸
- 기본적으로 최소비용과 최소탄소발생량에 대한 최적화를 수행
- 운전 실적이 없을 경우 최소비용으로 최적화했을 때의 탄소발생량을 최대 탄소발생량으로 가정
- 운전 실적이 있을 경우 실제 탄소발생량을 최대 탄소발생량으로 가정

= 최대 탄소발생량과 최소 탄소발생량 사이에 1/4, 2/4, 3/4에 해당하는 탄소발생량을 제약식으로 하여 최소비용최적화를 수행

18.3 최적화 프로세스 자동화 방안

□ 최적화 프로세스

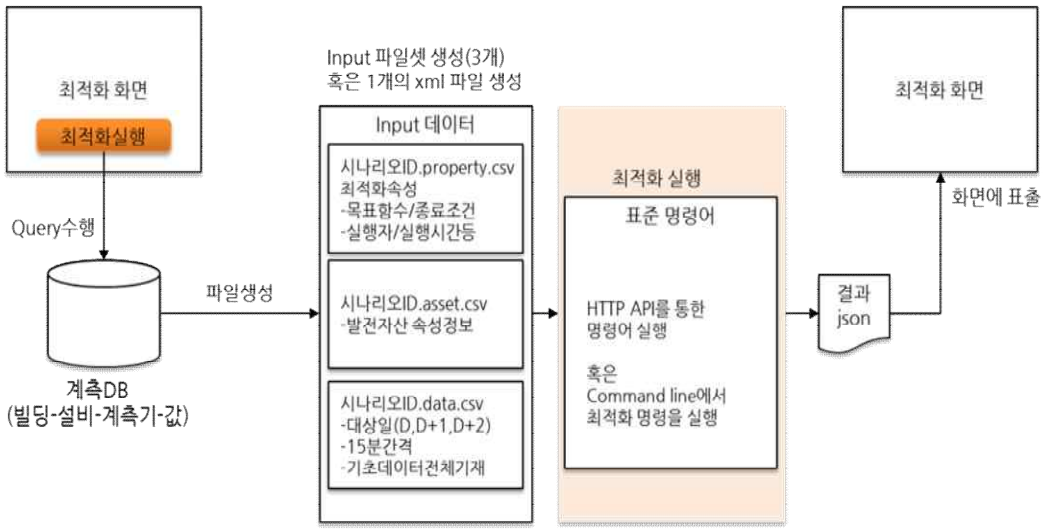
- 최적화 수행 대상인 도시 내의 에너지 지구를 지정
- 각 지구에 에너지를 공급하는 설비 중 본 최적화 모의에 참여하는 발전 설비를 선택. 발전설비는 제어가능발전설비, 저장설비, 수요자원으로 분류
- 수요 예측 및 신재생 발전 예측을 수행. 수요는 에너지 지구 단위로 산업용, 서비스용, 공공용, 가정용으로 집계되지만, 수요 예측에는 전기, 열, 가스, 물의 단위로 집계되며, 단위는 kWh임.
- 연계선을 통한 전력 구매 비용을 파악
- 제어가능발전설비의 15분 단위 최대 출력을 파악
- 최적화 알고리즘을 수행
- 제어가능 발전설비에 대하여 15분 단위 발전량이 표시됨



<그림 3-246 최적화 프로세스 자동화 기법>

□ 최적화 알고리즘의 자동 수행 구동 방법

- 사용자가 최적화 조건을 설정하고, 실행 버튼을 클릭
- 계측 DB에 접속한 후 수요 예측값과 발전설비 특성값, 기상 정보를 조회한 후 미리 정해진 절차에 따라 수요 예측, 신재생 발전량 산정, 공급량 등을 산정
- 최적화가 실행된 후 그 결과는 화면에 표시됨



<그림 3-247 최적화 알고리즘 자동 수행 구동 방법>

□ 설비 속성값

<표 3-105 설비 속성 분류>

설비 종류	속성값	단위
제어가능 발전설비	그리드 연결 상태	code
	최대 한계 생산량	kWh
	제약 조건 선택	code
	상한가 동률	%
	하한가 동률	%
	고정가 동률	%
	최대 용량	kWh
	최소 용량	kWh
	전기 생산-단위 연료사용량-전기	kWh per kWh
	전기 생산-단위 연료사용량-가스	ton per kWh
	전기생산-단위 연료사용량-물	ton per kJ
	열생산-단위 연료사용량-전기	kWh per kWh
	열생산-단위 연료사용량-가스	ton per kWh
	열생산-단위 연료사용량-물	ton per kJ

	판매가격-전기	KRW per kWh
	판매가격-열	KRW per kJ
	연료가격-전기	KRW per kWh
	연료가격-가스	KRW per ton
	연료가격-물	KRW per ton
	연료단위당 CO_2 발생량-전기	tCO_2 per kWh
	연료단위당 CO_2 발생량-가스	tCO_2 per ton
	연료단위당 CO_2 발생량-물	tCO_2 per ton

18.4 최적화 모듈의 입력의 간소화 및 UI개선

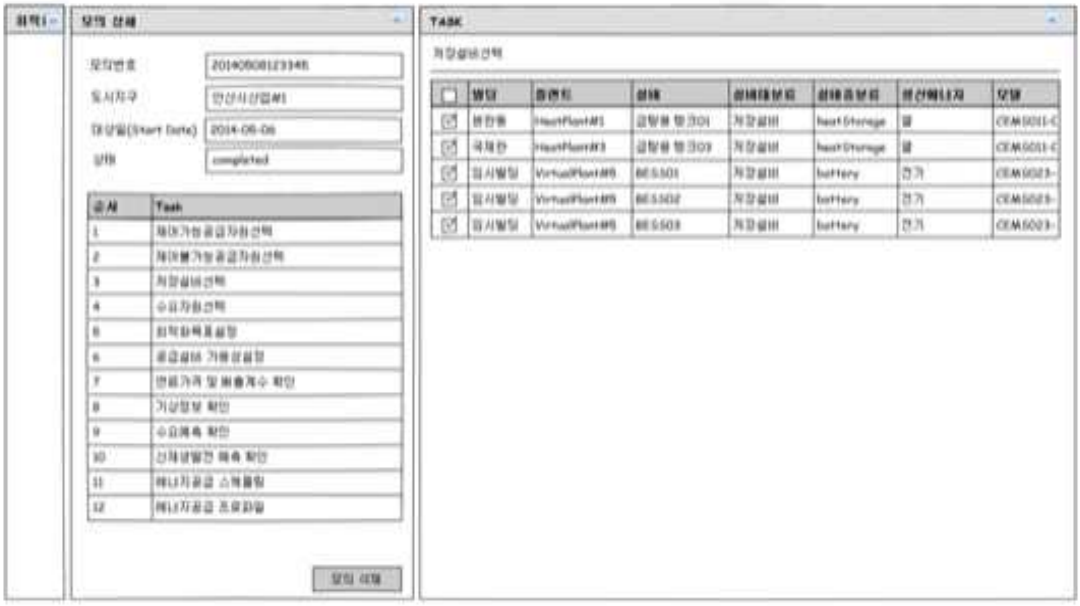
□ 4가지 최적화 모듈의 입력이 너무 복잡하고 전문가만이 알 수 있는 데이터를 넣어야하는 불편함을 개선하고, 비전문가도 최적화 로직의 수행을 간략하게 할 수 있도록 상세한 정보는 Default처리하여 입력 데이터를 간략하게 변경하였음



<그림 3-248 최적화 목표 설정>



<그림 3-249 제어불가능 공급자원 선택>



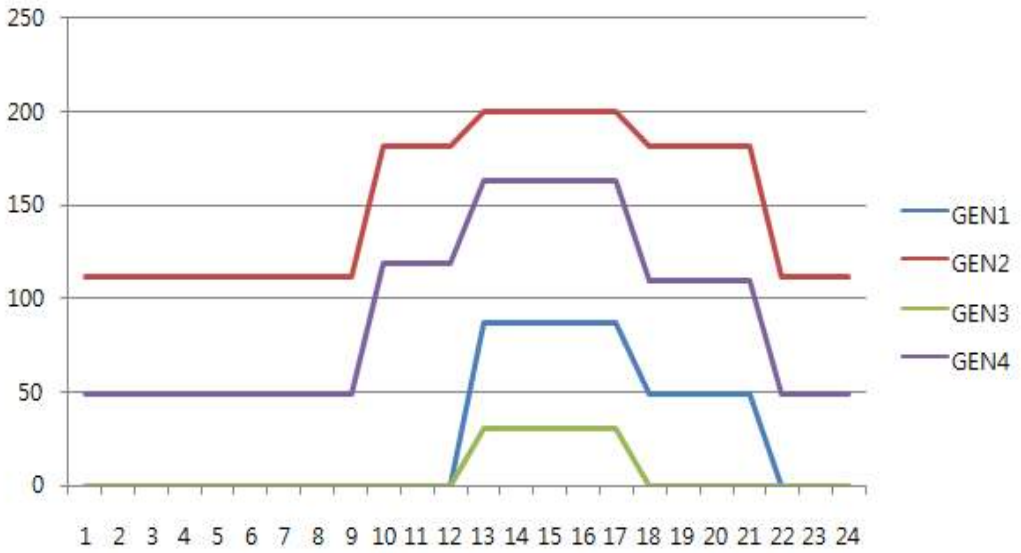
<그림 3-250 저장설비 선택>



<그림 3-251 수요자원 선택>

□ UI를 개선하고 입력데이터를 간소화한 4가지 모듈의 결과는 2차년도에 개발한 최적화 프로그램과 동일하였으며, 4가지의 최적화 기법이 모두 잘 동작함을 확인하였음

□ 네트워킹 모듈 테스트



<그림 3-252 최적화 수행 후 전체 출력 프로파일>

- 각각의 지역을 독립적으로 푼 경우와 합쳐서 푼 경우 자원들의 출력에 상당한 변화가 있음. 뿐만 아니라 생산비용에도 차이가 발생함

<표 3-106 생산 비용>

구분	생산비용
지역A	468,225
지역B	409,810
합	878,035
지역A+B	867,004

- 지역 A와 B를 독립적으로 푼 경우에 비해 연계해서 푼 경우 발전비용이 감소하는 이유는 여러 자원이 합쳐지면서 비용이 적어지도록 유기적인 조합이 가능해지기 때문임

□ 복합에너지 모듈 테스트



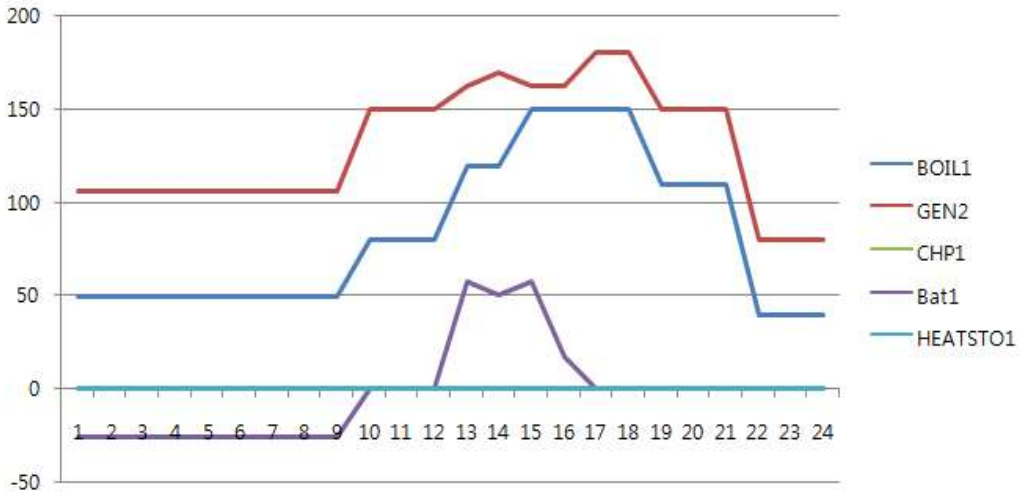
<그림 3-253 자원 출력 누적 프로파일>

- 위 그림은 열을 생산하는 자원들의 출력을 누적하여 보여 준 그래프로 아래와 같은 내용의 확인이 가능함

: CHP는 전기생산량의 80%에 해당하는 열을 생산.

: 누적한 그래프이므로 제일 상단의 축열조(HEATSTO1)에 해당하는 선이 열수요와 일치함

- 복합자원인 CHP을 반영하지 않도록 옵션을 주고 동일한 전기와 열수요에 대하여 최적화를 수행하면 다음과 같은 결과를 보임



<그림 3-254 CHP 미반영시의 최적화 프로파일>

- 위 그래프를 통해 다음을 알 수 있음

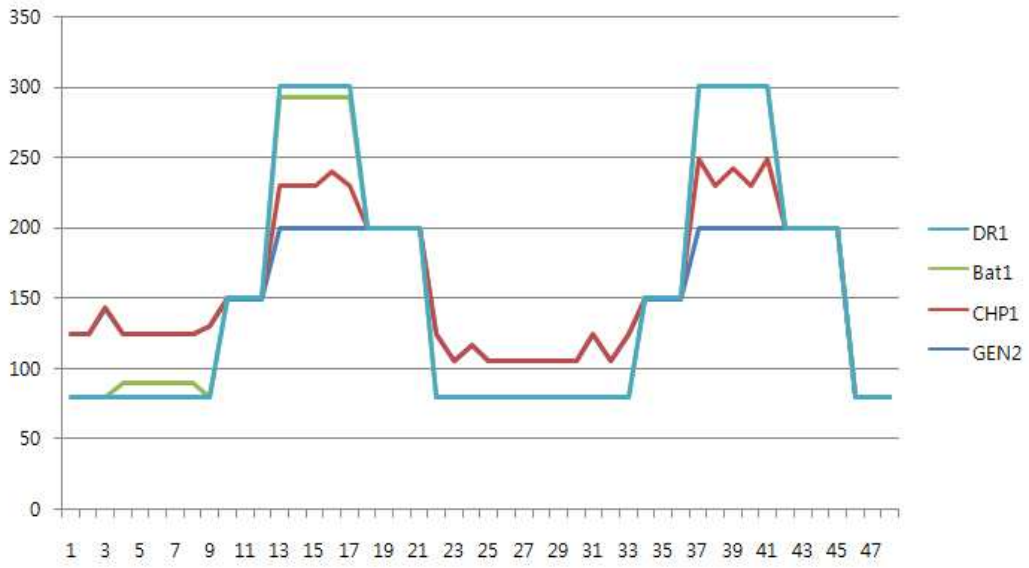
  : 복합자원을 반영하지 않도록 처리하여 CHP가 출력을 내지 않음

  : 모의에서 축열조는 CHP와 연계되도록 처리. 그 결과 CHP가 출력을 내지 않으므로 축열조도 축열/방열을 하지 않음

  : 위에서 CHP를 반영할 경우 총 생산비용은 635,389.54(천원)임. 그런데 CHP를 제외하므로 총 생산비용은 716,778.46(천원)으로 증가

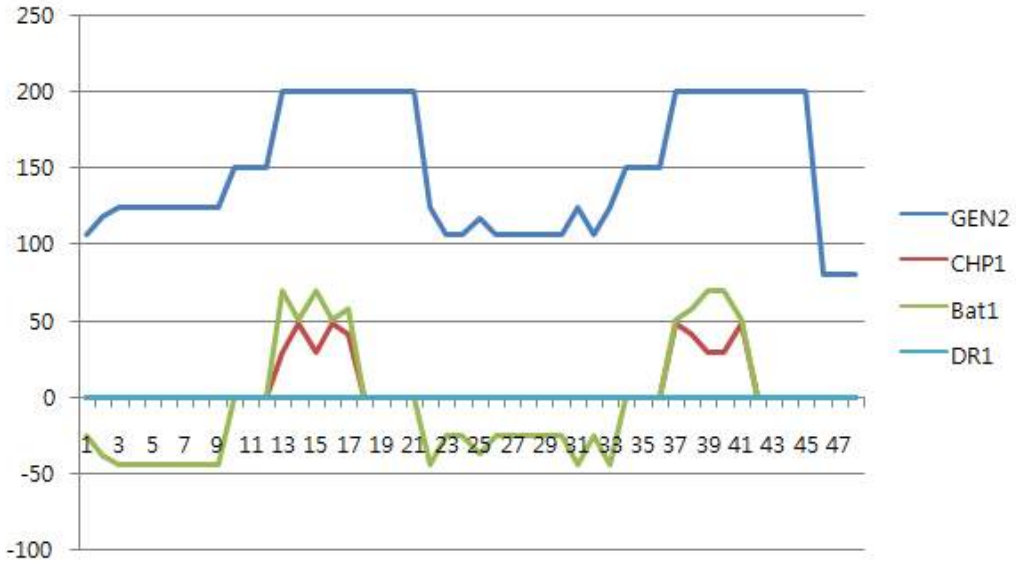
□ 수요관리 모듈 테스트

- 먼저 수요이전 비용을 0으로 처리하고 모의를 수행



<그림 3-255 수요 이전 비용이 0일 경우의 결과>

- 위 그래프는 생산량을 누적한 결과임. 이를 보면 맨 위의 DR1에 해당하는 그래프가 전체 전기수요와 일치하는 것을 확인함. 또한 수요자원이 반영되어 심야에 수요를 올리고 주간의 수요를 낮춰줌



<그림 3-256 수요이전 미 고려 시 결과>

- 위 그림은 수요이전을 고려하지 않도록 처리한 경우의 개별자원의 결과임. 수요이전이 시행되지 않아 DR1에 해당하는 값이 모두 0으로 처리되어 있음을 확인 가능
- 수요이전의 비용 효과를 검토하기 위해 수요이전의 비용을 0으로 하고 수요 이전 전후의 생산비용을 검토

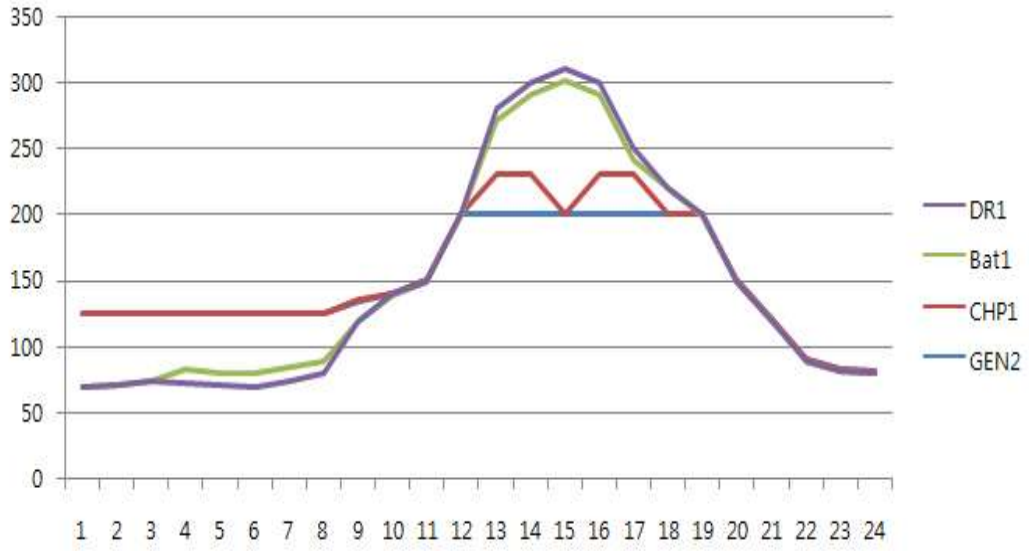
<표 3-107 수요이전 전후의 생산 비용>

수요이전 전 생산비용(천원)	932,334
수요이전 후 생산비용(천원)	935,045

- 즉, 수요이전에 의해서 2,295(천원)의 비용감소가 발생함을 알 수 있었음

□ 실시간운전 모듈 테스트

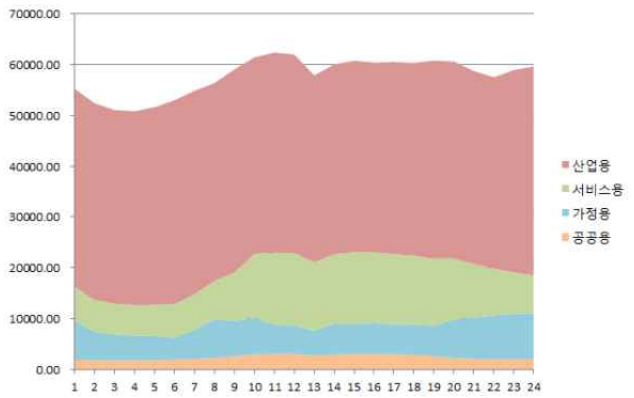
- 주간수요를 사용한 결과는 다음과 같음



<그림 3-257 주간수요 결과 프로파일>

- 시뮬레이션 결과 다음을 확인함
  - 먼저 위 그래프는 누적 그래프여서 DR1에 해당하는 선이 모의에 사용한 수요가 되며, 모의 결과 둘 다 정확히 주어진 수요를 만족함
  - 연간수요가 주간수요보다 조금 높게 수요가 형성되어서 연간수요를 이용한 경우 발전비용은 464,494(천원)이었고, 주간 수요를 이용한 경우는 441,907(천원)이 도출됨

19. 도시특성을 감안한 기타 도시에너지(가스, 열, 수도) 수요예측 알고리즘

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">

<전기에너지 수용가별 시간대별 수요량 예측></td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">- 도시 내에서 소모되는 에너지에 대한 수용가별 시간대별 수요량 예측의 예시 (전력수요예측의 예)
◦ 에너지원별 도시 전체의 시간대 수요예측
◦ 에너지원별 수용가별 시간대 점유율 예측
◦ 상기 예측데이터를 기반으로 수용가별 수간대 수요예측</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">- 도시에너지 수요량을 예측하기 위해서는 시간대별 수요데이터를 기반으로 요일 및 시간 특성을 감안하여 전체 수요를 예측함
- 과년도 연구 성과인 도시 수용가별 시간대 전력수요예측 알고리즘을 바탕으로 기타 도시에너지(가스, 열, 수도)에 대한 수용가별 시간대 수요예측 알고리즘을 개발함</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">- 도시 수용가별 도시에너지 수요량 예측
- 전일 예측을 통해 당일 에너지 수급계획을 수립하고 효과적인 에너지 믹스를 통해 도시 전체에서 소비되는 에너지 총량을 저감하고 에너지원의 최적화 및 다변화에 활용하고자 함</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 발전스케줄링을 위한 전력공급자(Utility) 위주의 전력수요 예측
(개발기술 수준)
- 도시의 특성(수용가 구성 비율)을 고려하는 동시에 에너지 수용가 중심의 에너지 수요예측
(개발기술 수준 설정근거)
- 스마트 도시에너지 관리시스템의 기능 구현에 적합하도록 수준을 설정
- POC 실증 데이터를 활용한 알고리즘 검증 및 보완</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">조수환(상명대학교)
박시삼(GS건설㈜)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">3차년도 '13.06 ~ '14.03 (10개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td rowspan="2">3차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>논문게재
국내 1건
(GS건설 공동)</td><td>-</td><td>학술발표
국내 1건</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>3차년도</td><td colspan="5">- 에너지원별 예측모델 개발 1건
(목표 오차율: 약 10% 이내, 전력수요예측 모델의 오차율 동등 수준)</td></tr>
<tr><td>달성 확인방법</td><td>3차년도</td><td colspan="5">- 실측데이터 기반의 오차 분석을 통한 목표성과 검증
- 보고서 및 논문 발표, 게재를 통한 알고리즘 확인</td></tr>
</table>

19.1 전력수요 예측 모델 활용 가능성 검토 및 보완

□ 시간대별 전력수요예측 모델(종합분석): ① 도시 내에서 소비되는 전체 전력수요량에 대한 예측과 ② 도시에너지 수용가 특성별(용도별) 점유율 예측으로 구성됨

- 도시 내 전체 전력수요의 시간대별 예측

: 요일 분류는 도시 유형(산업도시, 주거도시, 행정도시 등)에 따라 전기에너지의 수요패턴이 다르기 때문에 7개 요일(월, 화, 수, 목, 금, 토요일과 휴일(일요일 및 공휴일 포함))로 분류함

: 예측일 이전 3주(해당 주, 전 주, 전전 주)에 대한 요일별 시간대별 수요 데이터에 대해 지수평활법을 이용하여 예측일의 최대/최소전력수요량을 예측함

: 예측일 이전 3주에 대한 요일별 시간대별 수요 데이터에 대한 정규화 수행(최대, 최소값을 기준으로 0~1 사이의 p.u(per unit)값으로 표현)한 후 예측일의 시간대별 정규화 데이터를 계산함

: 최대/최소전력수요 예측값과 시간대별 정규화 예측데이터를 활용하여 예측일 시간대별 전력수요를 예측함

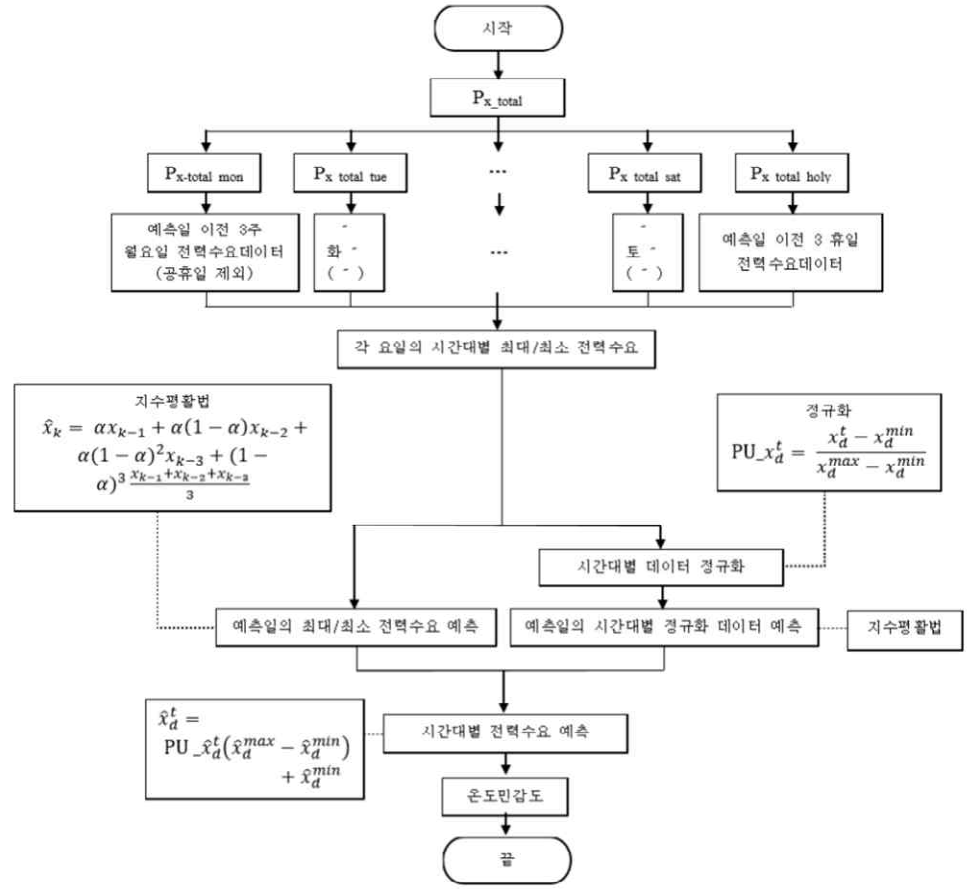
: 예측일의 예상 기온과 예측일 전 주 기온을 이용하여 온도민감도(△Power/△Temp)을 감안한 전력수요를 예측함

※ 온도에 대한 수요민감도 : 전일 데이터를 기반으로 온도변화에 따른 전력수요량의 변화를 분석함

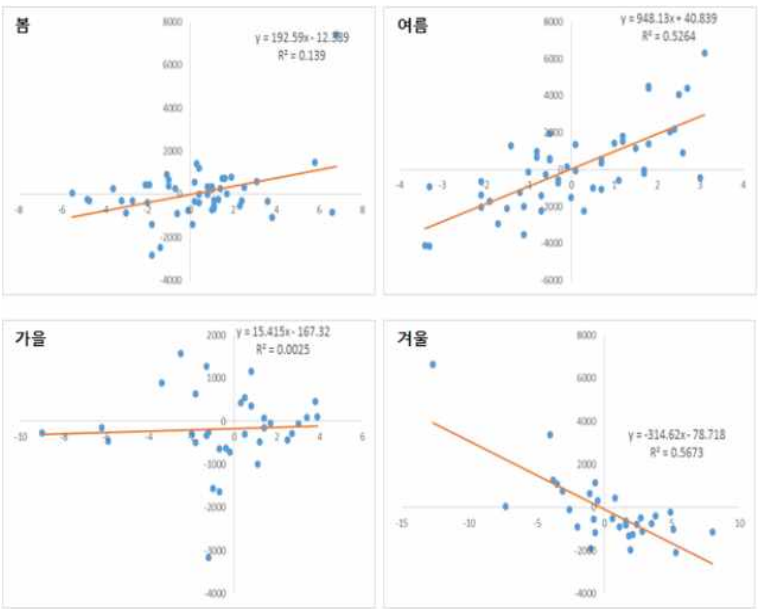
※ 여름과 겨울의 전력수요가 온도에 민감함 ⇒ 여름, 겨울에만 시행함

$$P_T = P_d + \frac{\triangle P}{\triangle T} = P_d + \frac{P_d - P_{d-1}}{T_d - T_{d-1}}$$

- P_T : 온도민감도를 적용한 예측일의 전력수요 예측값
- P_d : 예측일의 전력수요 예측값
- P_{d-1} : 예측일 전 주(해당요일)의 전력수요 실제값
- T_d : 예측일의 평균온도 예측값
- T_{d-1} : 예측일 전 주(해당요일)의 평균온도 실제값
- $\frac{\triangle P}{\triangle T}$: 온도민감도 기울기 ($\triangle P$: $P_d - P_{d-1}$, $\triangle T$: $T_d - T_{d-1}$)



<그림 3-258 도시 내 전체 전력수요 예측 알고리즘>



<그림 3-259 전력 수요의 계절별 온도 민감도 (산업용_오피스의 예)>

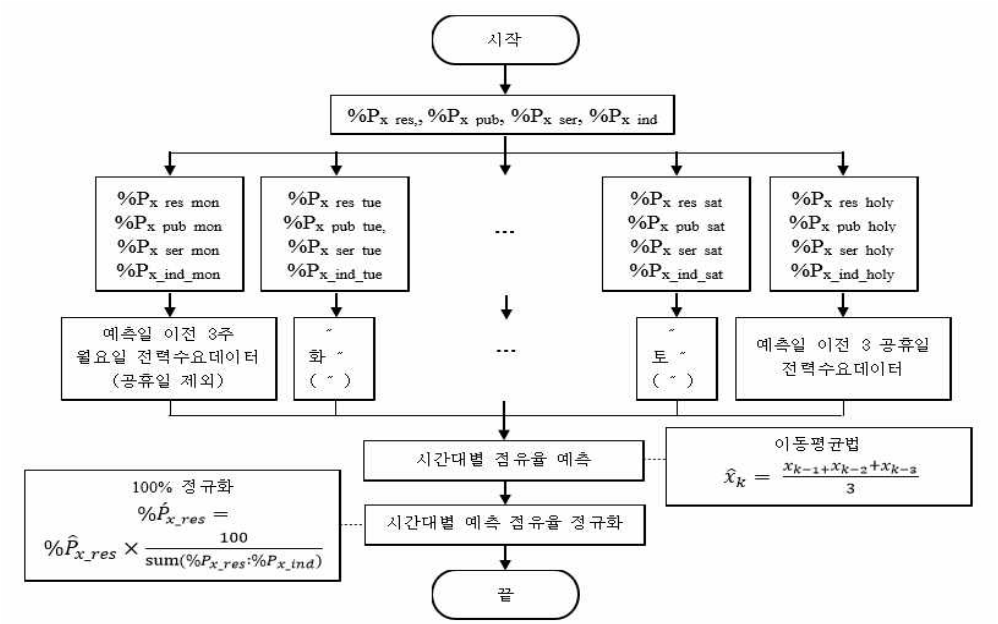
- 도시 내 용도별(수용가별) 전력수요 점유율 예측

: 용도 분류 → 공공용(◆), 가정용(■), 서비스용(▲), 산업용(●)

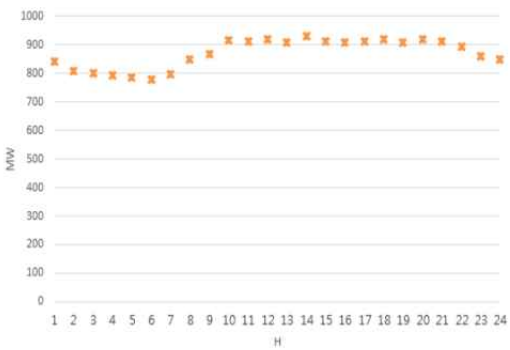
: 요일 분류 → 도시 유형(산업도시, 주거도시, 행정도시 등)에 따라 전기에너지의 수요패턴이 다르기 때문에 7개 요일(월, 화, 수, 목, 금, 토요일과 휴일(일요일 및 공휴일 포함))로 분류함

: 예측일 이전 3주(해당 주, 전 주, 전전 주)에 대한 요일별 시간대별 용도별점유율 데이터를 이용(이동평균법)하여 예측일의 시간대별 용도별점유율을 예측함

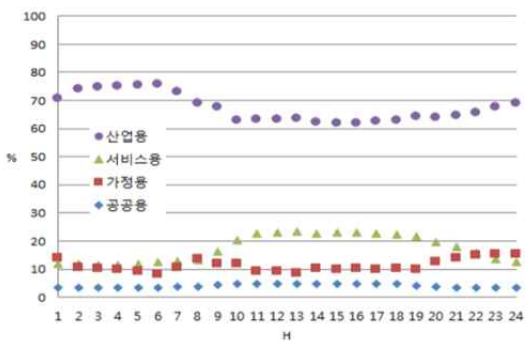
: 시간대별 용도별점유율 데이터를 이용하여 각각의 시간대별 용도별점유율의 합이 100%가 되도록 정규화 수행함



<그림 3-260 도시 내 용도별 전력 수요 점유율 예측 알고리즘>



<시간대별 전체 전력 수요 예측>



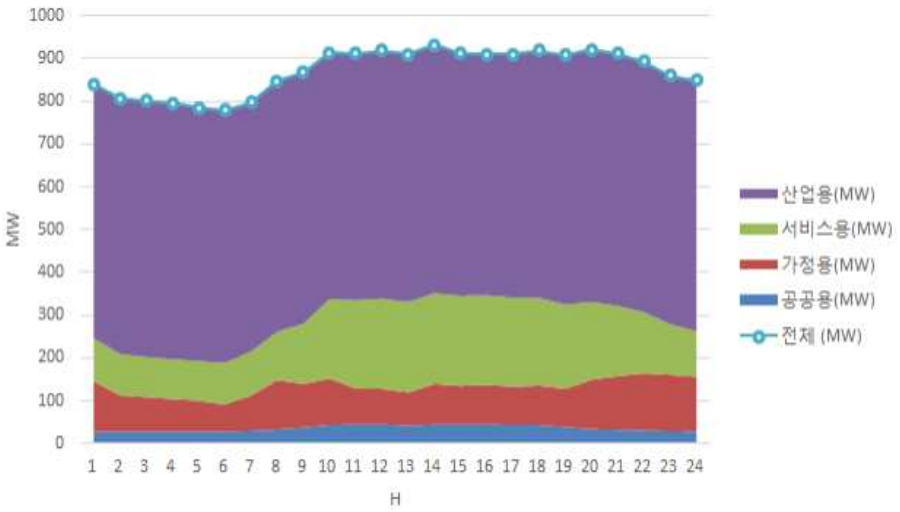
<용도별 전력 수요 점유율 예측>

<그림 3-261 시간대별/용도별 전력 수요 및 점유율 예측>

- 도시 내 용도별 시간대별 전력수요 예측(최종)

: 위에서 구한 도시 내 전체 전력수요의 시간대별 예측결과와 도시 내 용도별(수용가별) 전력수요 점유율 예측을 곱하여 최종적인 결과를 도출함

: CEMS용 용도별 시간대별 전력수요 예측(㎿) = 전체 전력수요 예측(㎿) * 용도별 전력수요 점유율 예측(%)



<그림 3-262 시간대별 용도별 전력 수요 예측>

19.2 전기 이외의 도시에너지(가스, 열, 수도) 수요에 대한 예측모델 개발

□ 전력수요예측 모델에서 요일 분류 및 온도민감도 부분을 상이하게 적용

- 전기에너지 수요예측의 경우 요일별 특성이 상이하기 때문에 월, 화, 수, 목, 금, 토, 공휴일(일요일 포함)과 같이 총 7개 요일로 분류하였으나, 전기 이외의 도시에너지(가스, 열, 수도)에 대한 수요예측의 경우에는 요일별 특성이 명확하지 않아 크게 주중(월~금)과 휴일(토, 일, 공휴일 포함)과 같이 총 2개 요일로 분류함
- 전기에너지의 경우 설비용량에 따라 수요 변동폭이 큰 특징(특히, 산업위주 도시의 경우)을 보이며 전기식냉난방설비(EHP) 및 도시 수용가 측의 개별 냉난방설비의 사용이 급증함에 따라 온도변화에 대한 에너지소비변동(온도민감도)이 크게 나타나지만 전기 이외의 도시에너지의 경우 온도에 대한 민감도가 크지 않아 알고리즘 간략화 차원에서 민감도 적용을 삭제함
- 온도에 대한 일별 수요변화는 요일 분류를 간소화(예측일 이전 3일 데이터를 활용)함에 따라 충분히 감안될 것으로 사료됨

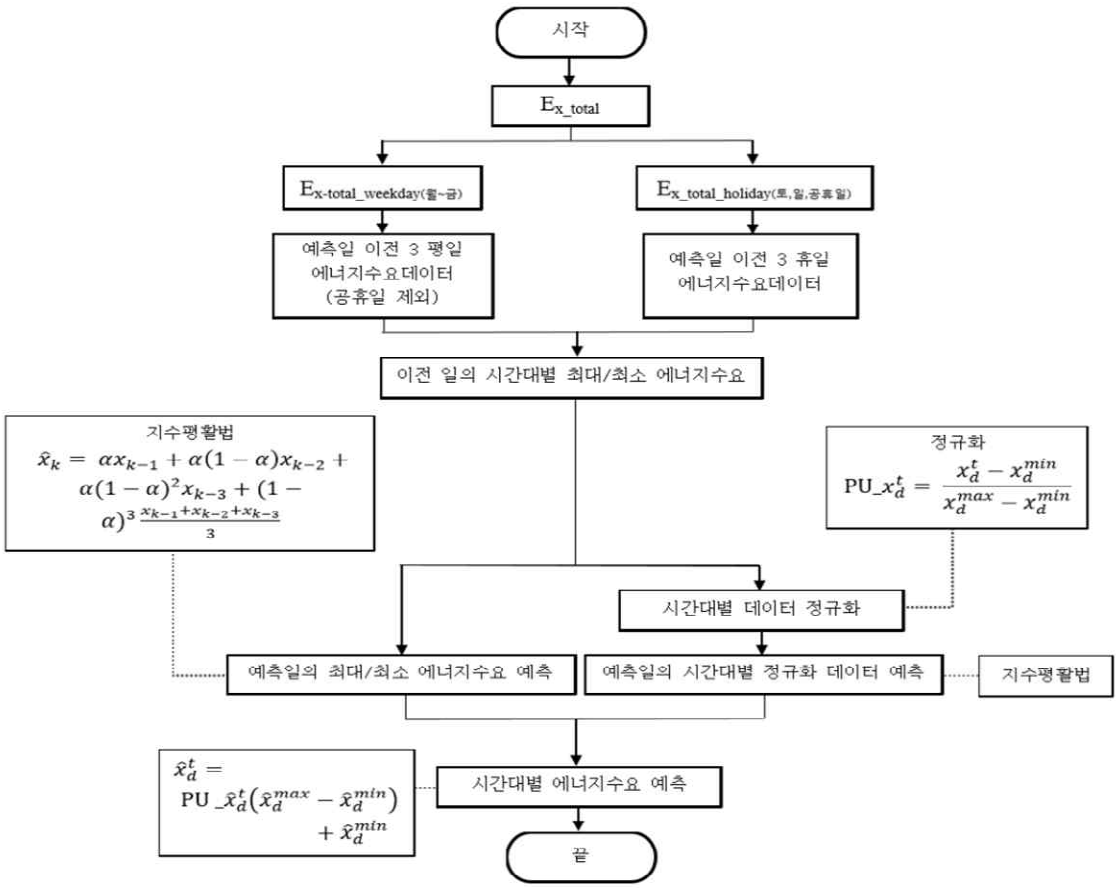
□ 용도별 수요예측 점유율 예측 부분을

- 도시에서 소모되는 가스, 열, 수도 에너지의 경우, 전기에너지와는 달리 실증사이트 내 계측기 설치 문제로 인해 수용가별 수요패턴 분석이 어려운 실정임
- 전기에너지의 경우 용도별 다른 요금체계(계약종별 요금체계)를 갖기 때문에 계약시 수용가의 특성을 감안하여 용도별 계약을 시행하므로 용도별 데이터 수집이 가능하나, 기타 도시에너지의 경우 총량 기반의 계량을 수행하기 때문에 용도별 수요데이터의 수집이 불가능한 상황임
- 수용가 특성별(용도별) 계측이 가능한 경우, 전기에너지의 용도별(수용가별) 수요예측 모델과 동일한 모델의 적용이 가능할 것으로 사료됨

□ 전기 이외의 도시에너지(가스, 열, 수도)의 시간대별 수요예측 모델:

- 요일 분류 : 요일별 수요패턴의 특성이 명확하지 않기 때문에 2개 요일(주중(월~금)과 휴일(토, 일, 공휴일 포함))로 분류함
- 예측일 이전 3일의 요일별 시간대별 수요 데이터에 대해 지수평활법을 이용하여 예측일의 최대/최소 에너지수요량을 예측함
- 예측일 이전 3일의 요일별 시간대별 수요 데이터에 대한 정규화 수행(최대, 최소값을 기준으로 0~1 사이의 p.u(per unit)값으로 표현)한 후 예측일의 시간대별 정규화 데이터를 계산함
- 최대/최소 에너지수요 예측값과 시간대별 정규화 예측데이터를 활용하여 예측일

시간대별 에너지 수요값을 예측함



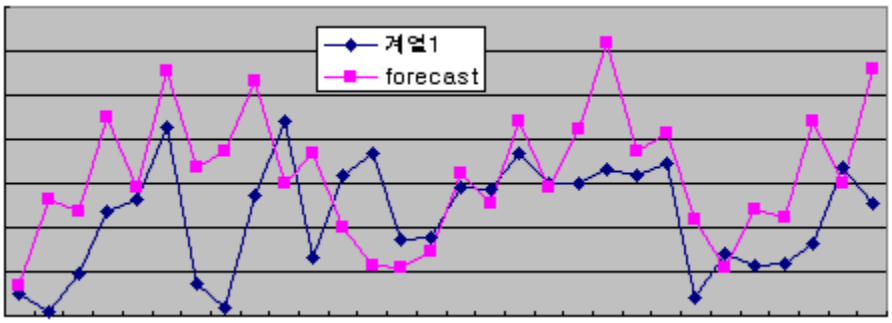
<그림 3-263 도시 내 전체 에너지 수요 예측 알고리즘>

19.3 실증 데이터를 활용한 예측모델 검증

□ 실증 사이트의 에너지 소비량이 매우 미비하여 오차가 확대 해석되는 경향을 보이나 더 많은 측정 사이트를 추가하여 도시단위로 확대하는 경우 오차가 상당 부분 개선될 것으로 예상됨

- 가스: R 건물(2013년 3월 일별 시간데이터)
  : 주중 평균 오차율 : 18.64%
  : 주말 평균 오차율 : 55.82% (사용량 변동이 큼)
- 수도: R 건물(2013년 4월 일별 시간데이터)
  : 주중 평균 오차율 : 27.11%
  : 사용량이 거의 없음(사용량 변동이 큼)
- 열: 지역난방으로 인해 가스에 포함됨

20. 모니터링 시스템 활용 가능한 실시간 예측 알고리즘

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">

<시계열 예측의 예시></td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">- 모니터링 시스템의 실시간 데이터 변동특성을 파악하기 위해 사용되는 시계열 분석을 통한 데이터 예측
◦ 다양한 시계열분석 기법을 활용한 에너지 수요량 및 발전량의 단기 예측
◦ 실측치와 예측치의 오차율 분석을 통한 성능 비교</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">- 시간(H) 혹은 일(D) 단위 이상의 중, 장기 예측과 더불어 실시간 모니터링을 위한 시계열 예측 필요
- 모니터링 시스템의 데이터 Update 주기에 적합한 시계열 예측 알고리즘 개발 필요</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">- 변화율 예측, ARIMA 및 외삽법 등 다양한 시계열 분석기법을 활용한 단기예측
- 도시에너지(전기, 가스, 열, 수도)의 수용가별 실시간 수요량 예측에 활용하기 위함
- 도시 신재생에너지(풍력, 태양광)의 실시간 발전량 예측에 활용하기 위함</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 모니터링 시스템의 성능에 따른 시계열 분석 알고리즘
(개발기술 수준)
- 다양한 시계열 분석 알고리즘 중 도시 에너지 관리시스템에 적합한 실시간 데이터 예측 알고리즘 개발
(개발기술 수준 설정근거)
- 스마트 도시에너지 관리시스템의 기능 구현에 적합하도록 수준을 설정
- POC 실증 데이터를 활용한 알고리즘 검증 및 보완</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">조수환(상명대학교)
박시삼(GS건설㈜)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">3차년도 '13.06 ~ '13.03 (10개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>3차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>논문게재
국내 1건
(GS건설 공동)</td><td>-</td><td>학술발표
국내 1건</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>3차년도</td><td colspan="5">- 모니터링 시스템의 실시간 데이터 예측모델 개발 1건
(목표 오차율: 약 5% 이내) 수집 데이터의 특성 상 변동 가능한 수치임
- 실측치와의 비교를 통한 예측오차계산 : 1건
(목표 오차율: 약 5% 이내) 수집 데이터의 특성 상 변동 가능한 수치임</td></tr>
<tr><td>달성 확인방법</td><td>3차년도</td><td colspan="5">- 실측데이터 기반의 오차 분석을 통한 목표성과 검증
- 보고서 및 논문 발표, 게재를 통한 알고리즘 확인</td></tr>
</table>

20.1 수요예측 모델의 검증

- 실시간 수요예측 모델은 CEMS-O의 기능 중 실시간 에너지 모니터링을 수행하기 위해 개발되었으며 데이터 취득을 위한 기본 시간격은 5분으로 함
- 실시간 모니터링을 위한 실시간 수요예측 방법으로 시계열 분석법과 외삽법을 비교/분석함

□ 시계열 분석법

- 이동평균법 : 일정 개수의 과거 데이터의 평균으로 다음 데이터를 예측함

$$\hat{x}_n = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_{n-1} + x_n}{n}$$

- 가중이동평균법 : 일정 개수의 과거 데이터에 총합이 1인 가중치를 부여하여 다음 데이터를 예측함

$$\hat{x}_n = w_1 x_1 + w_2 x_2 + \cdots + w_{n-1} x_{n-1} + w_n x_n$$

(단, $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$ 이며 가장 최근 데이터일수록 가중치가 커야 함)

- 지수평활법 : 회귀적 계산방법으로 과거의 모든 데이터를 사용하고 가장 최근 데이터에 가장 큰 가중치를 부여하여 다음 데이터를 예측함

$$\hat{x}_n = \alpha x_n + (1-\alpha)\hat{x}_{n-1}$$

- x_i : 과거 데이터 (x_n: 가장 최근의 과거데이터), $\hat{x}_n$: 현재 시점에서의 예측값
- $\hat{x}_{n-1}$: 바로 전 시점에서의 예측값, w 혹은 α : 가중치

□ 외삽법

- 일정 개수의 과거 데이터의 변화 추이(변화율)를 감안하여 다음 데이터를 예측하는 방법으로 1차(선형) 근사화와 2차(포물선) 근사화를 사용함

① 과거 데이터의 개수가 m인 경우 1차(선형) 근사화

$\hat{y}(x) = a_0 + a_1 x$ ($y(x)$: 시간(x)에 대한 수요예측값)

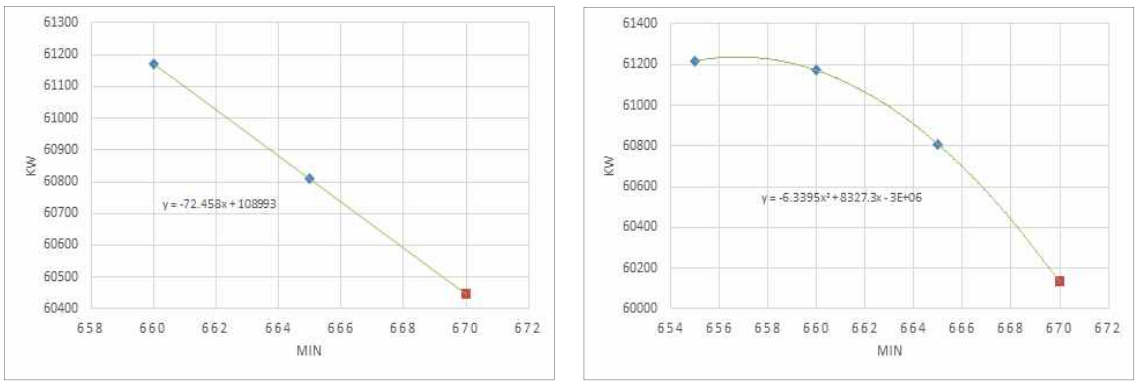
$$\begin{bmatrix} m & \sum_{i=1}^{m} x_i \\ \sum_{i=1}^{m} x_i & \sum_{i=1}^{m} x_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{m} y(x_i) \\ \sum_{i=1}^{m} x_i y(x_i) \end{bmatrix}$$ 행렬식을 풀어 다음의 계수를 구함

$$a_1 = \frac{m\sum_{i=1}^{m}(x_i y(x_i)) - \left(\sum_{i=1}^{m} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{m} y(x_i)\right)}{m\sum_{i=1}^{m} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} x_i\right)^2}, \quad a_0 = \frac{\sum_{i=1}^{m} y(x_i)}{m} - a_1 \frac{\sum_{i=1}^{m} x_i}{m}$$

② 과거 데이터의 개수가 m인 경우 2차(포물선) 근사화

$\hat{y}(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2$ ($y(x)$: 시간(x)에 대한 수요예측값)

$$\begin{bmatrix} m & \sum_{i=1}^{m} x_i & \sum_{i=1}^{m} x_i^2 \\ \sum_{i=1}^{m} x_i & \sum_{i=1}^{m} x_i^2 & \sum_{i=1}^{m} x_i^3 \\ \sum_{i=1}^{m} x_i^2 & \sum_{i=1}^{m} x_i^3 & \sum_{i=1}^{m} x_i^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{m} y(x_i) \\ \sum_{i=1}^{m} x_i y(x_i) \\ \sum_{i=1}^{m} x_i^2 y(x_i) \end{bmatrix}$$ 행렬식을 풀어 계수(a_0, a_1, a_2)를 구함



<그림 3-264 외삽법(좌:m=2, 1차, 우:m=3, 2차)을 이용한 실시간 전력 수요 예측>

20.1.1 실측 데이터를 활용한 예측 모델 검증 (실시간 전력수요예측)

□ 실시간 전력수요 예측 모델: 오차 분석결과 2개의 데이터를 이용한 선형 외삽법의 예측성능이 가장 우수한 것으로 분석됨

□ 시계열 분석법의 예측 오차율 비교(괄호 안은 최적 조건)

- 이동평균법 : 0.9478% (m=3)
- 가중이동평균법 : 0.9448% (m=3, W=0.5/0.3/0.2)
- 지수평활법 : 0.9638% (α =0.5)

□ 외삽법 예측 오차율 : 0.020% (m=2, 선형)

<표 3-108 이동평균법을 이용한 실시간 전력수요 예측 오차율>

이동평균법	오차율 (%)
m=2	0.980
m=3	0.948
m=4	0.979

<표 3-109 가중이동평균법을 이용한 실시간 전력수요 예측 오차율 비교>

가중이동평균법	오차율 (%)	가중이동평균법	오차율 (%)
m=2, W=0.8/0.2	1.022	m=3, W=0.6/0.2/0.2	0.955
m=2, W=0.6/0.4	0.982	m=3, W=0.5/0.3/0.2	0.945
m=2, W=0.5/0.5	0.980	m=3, W=0.5/0.4/0.1	0.955
m=2, W=0.4/0.6	0.992	m=4, W=0.6/0.2/0.1/0.1	0.971
m=3, W=0.6/0.3/0.1	0.964	m=4, W=0.5/0.3/0.1/0.1	0.957

<표 3-110 지수평활법을 이용한 실시간 전력수요 예측 오차율 비교>

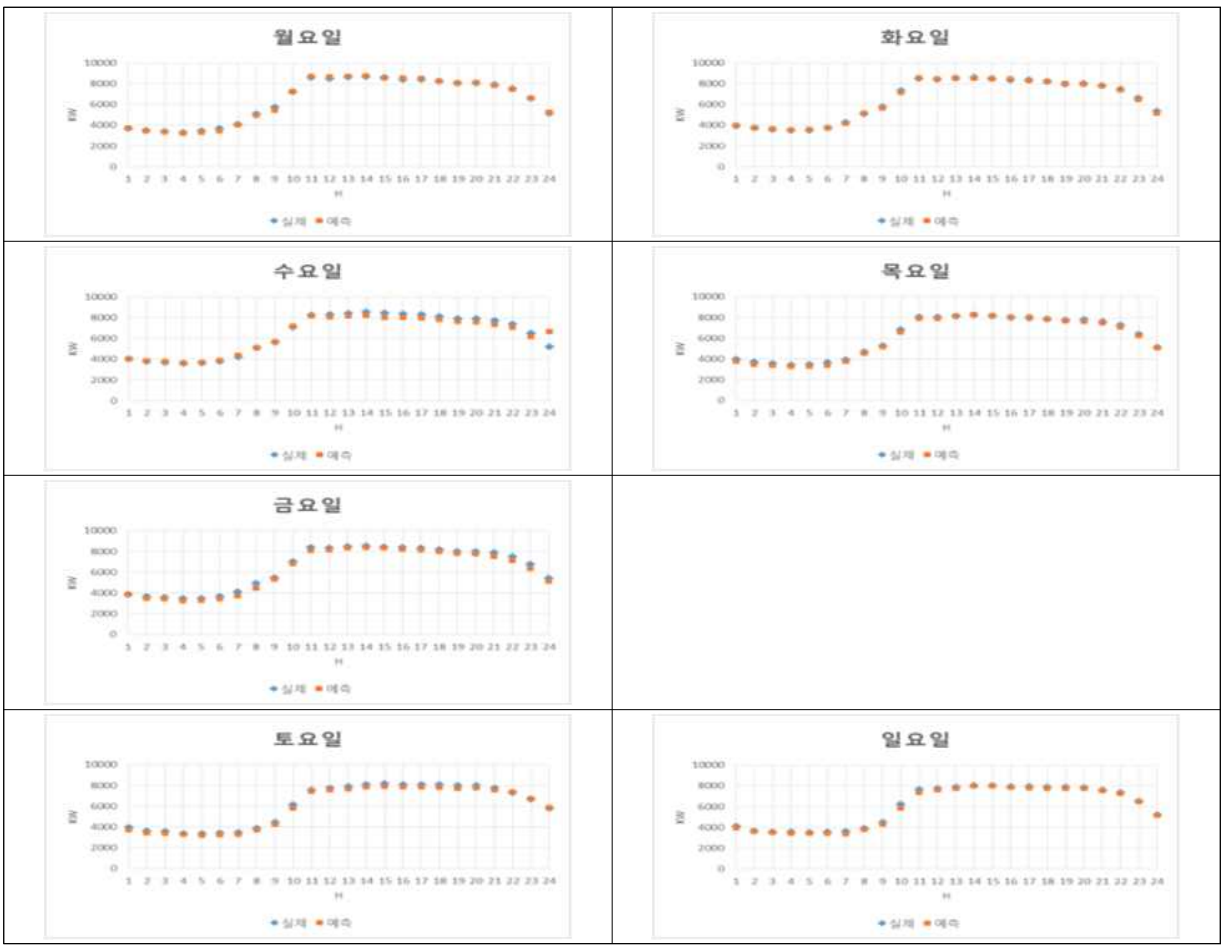
지수평활법	오차율 (%)	지수평활법	오차율 (%)
α =0.8	1.017	α =0.5	0.964
α =0.7	0.989	α =0.4	0.989
α =0.6	0.969	α =0.3	1.062

<표 3-111 외삽법을 이용한 실시간 전력수요 예측 오차율 비교>

5분	1차(선형) (%)	2차 (%)
m=2	0.0204	#N/A
m=3	0.0331	0.0407
m=4	0.0495	0.0401

20.1.2 실측 데이터를 활용한 예측 모델 검증 (시간대별 전력수요예측)

□ 대형할인점 A(서비스용) 요일별 예측오차(전체평균:1.762%): 월 0.230%, 화 0.396%, 수 1.257%, 목 1.851%, 금 3.661%, 토 2.920%, 일 2.109



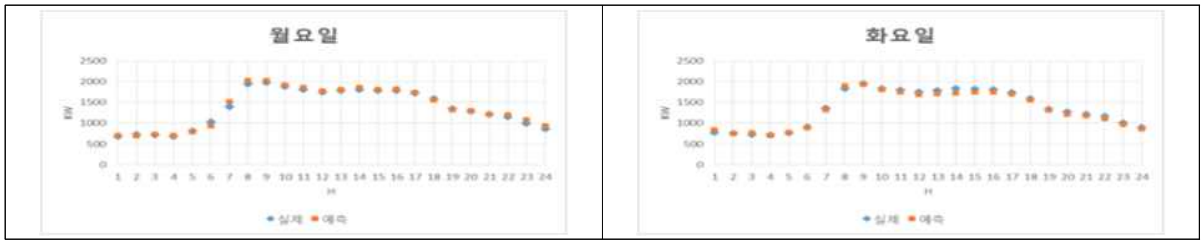
<그림 3-265 요일별 대형할인점 전력 수요>

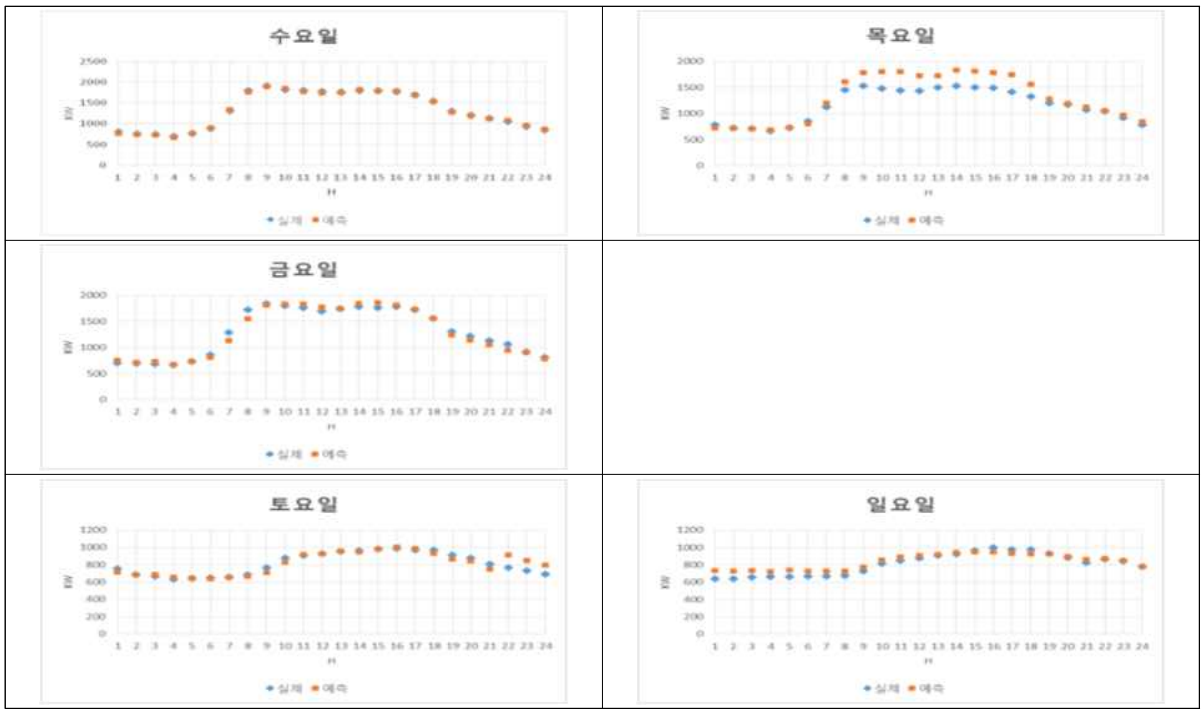
□ 종합상사 B(산업용_오피스) 요일별 예측오차(전체평균: 1.779%): 월 1.648%, 화 2.100%, 수 0.264%, 목 11.923%, 금 1.013%, 토 0.382%, 일 3.245%



<그림 3-266 요일별 종합상사 전력 수요>

□ 제조업체 C(산업용_공장) 요일별 예측오차(전체평균: 6.394%, 주말제외 시: 2.414%): 월 3.555%, 화 0.578%, 수 4.775%, 목 1.636%, 금 1.787%, 토 20.880%, 일 28.474%(산업용 공장부하의 경우 공장별 주말 운전스케줄에 영향을 크게 받으므로 주말 예측오차가 크게 나타남)





〈그림 3-267 요일별 제조업체 전력 수요〉

20.2 신재생 발전량 예측 모델의 검증

20.2.1 CEMS용 풍력 발전량 예측모델(기 개발 완료모델) 성능검증

□ 정격출력 2,000㎾, 시동풍속 3.5m/sec, 정격풍속 10m/sec인 풍력 발전량 데이터

- 비선형관계식의 선형화기법 I (지수모델) 오차율 : 15.157% ($y = 19.9534 \times e^{0.4818x}$)
- 비선형관계식의 선형화기법 II (멱방정식모델) 오차율 : 10.382% ($y = 1.3687 \times x^{3.1606}$)
- 풍속빈 방법 오차율: 11.245%

<표 3-112 풍속빈을 이용한 풍력 발전량 예측식>

풍속 범위(m/sec)	풍력 발전량 예측식
3.5~4	$y = 109.66x - 315.24$
4~5	$y = 98.366x - 270.04$
5~6	$y = 186.41x - 710.27$
6~7	$y = 269.06x - 1206.1$
7~8	$y = 311.71x - 1504.7$
8~9	$y = 407.93x - 2274.5$
9~10	$y = 313.75x - 1426.8$

- α 차 함수 지수결정법 오차율: 13.5942% ($y = 2000 \times \frac{x^{2.7} - 3.5^{2.7}}{10^{2.7} - 3.5^{2.7}}$)

<표 3-113 α 보정 오차율 평균>

α	오차율 (%)	α	오차율 (%)
2	26.917	3	16.007
2.1	23.782	3.1	17.645
2.2	20.912	3.2	19.531
2.3	18.439	3.3	21.5486
2.4	16.433	3.4	23.653
2.5	14.918	3.5	25.741
2.6	13.962	3.6	27.785
2.7	13.594	3.7	29.788
2.8	13.889	3.8	31.763
2.9	14.710	3.9	33.689

20.2.2 CEMS용 태양광 발전량 예측모델(기 개발 완료모델) 성능검증

□ CEMS용 태양광 발전량 예측을 위한 조건

- 시간별 발전량 데이터(도시 내 태양광 발전설비의 발전 총량(kW 혹은 MW 단위))
- 시간별 기상데이터(맑음(5), 구름조금(4), 구름많음(3), 흐림(2), 비(1))
- 지역별 일출, 일몰, 남중시간 정보(천문우주지식정보 사이트(astro.kasi.re.kr)의 생활천문관> 월별해달출몰시간 정보 활용)
- 3시간 간격 기상예보 데이터(기상청에서 제공하는 3시간 간격의 기상예보 정보를 활용)를 1시간 간격 정보로 변환한 후 시간대별 발전량 예측에 활용

<표 3-114 서울지역의 월별 일출, 남중, 일몰시간 정보>

월	서울 지역 (2014년 정보)					
	일출시간	확정일출	남중시간	확정남중	일몰시간	확정일몰
1	07:47~07:37	08	12:35~12:45	12:30	17:24~17:54	17
2	07:36~07:06	08	12:46~12:45	12:30	17:55~18:24	17, 18
3	07:04~06:20	08, 07	12:44~12:36	12:30	18:25~18:53	18
4	06:18~05:39	07, 06	12:36~12:29	12:30	18:54~19:21	18, 19
5	05:37~05:13	06	12:29~12:30	12:30	19:22~19:47	19
6	05:13~05:10	06	12:30~12:36	12:30	19:47~19:57	19
7	05:14~05:35	06	12:36~12:39	12:30	19:57~19:42	19
8	05:36~06:01	06	12:38~12:33	12:30	19:41~19:03	19
9	06:02~06:26	07	12:32~12:22	12:30	19:02~18:18	18
10	06:27~06:55	07, 08	12:22~12:16	12:30	18:16~17:35	18, 17
11	06:56~07:27	08	12:16~12:21	12:30	17:34~17:14	17
12	07:28~07:47	08	12:21~12:35	12:30	17:14~17:23	17

<표 3-115 기상청 정보의 예 (3H 간격)>

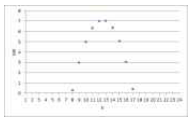
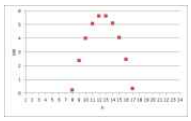
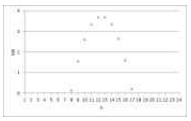
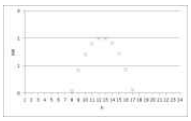
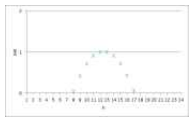
시간	기상예보정보	
0	흐림	2
3	흐림	2
6	비	1
9	비	1
12	비	1
15	비	1
18	구름많음	3
21	구름조금	4
24	구름조금	4

<표 3-116 시간대별 기상정보 변환 과정>

시간	기상 (내삽법)	예측	**예측 (확정)**	시간	기상 (내삽법)	예측	**예측 (확정)**
0	**2**	2	**흐림**	**12**	**1**	1	**비**
1	2	2	**흐림**	13	1	1	**비**
2	2	2	**흐림**	14	1	1	**비**
3	**2**	2	**흐림**	**15**	**1**	1	**비**
4	1.67	2	**흐림**	16	1.67	2	**흐림**
5	1.33	1	**비**	17	2.33	2	**흐림**
6	**1**	1	**비**	**18**	**3**	3	**구름많음**
7	1	1	**비**	19	3.33	3	**구름많음**
8	1	1	**비**	20	3.67	4	**구름조금**
9	**1**	1	**비**	**21**	**4**	4	**구름조금**
10	1	1	**비**	22	4	4	**구름조금**
11	1	1	**비**	23	4	4	**구름조금**
-	-	-	-	**24**	**4**		

□ 방법 1: 날씨별 발전효율(정격용량 기준)을 활용한 예측

- 기상정보별 출력량 이력데이터를 활용하여 날씨별 정격용량(P-rated) 대비 효율(%)을 결정함

맑음	구름조금	구름많음	흐림	비
				
P_clear%:70	P_cloud1%:56	P_cloud2%:37	P_cloud3%:20	P_rain%:10

<그림 3-268 날씨별 발전효율 예측>

- 일출 및 일몰시간의 결정: 천문우주지식정보 사이트에서 예상되는 일출시간 이후 정시(T_rise), 일몰시간 이전 정시(T_set)로 결정(예, 일출시간:07시 15분 → 확정일출시간: 08시, 일몰시간: 17시 35분 → 확정일몰시간: 17시)
- 남중시간: 12시(12H)
- 일출시간 출력량(P_rise), 일몰시간 출력량(P_set)을 결정함: 예측일 전일 데이터 활용
- (T_rise, P_rise), (12, P_rated), (T_set, P_set)을 이용하여 기준 출력예측 데이터를 결정함 (다항식)

$$\hat{P}= \frac{(t-t_{rated})(t-t_{set})}{(t_{rise}-t_{rated})(t_{rise}-t_{set})} P_{rise} + \frac{(t-t_{rise})(t-t_{set})}{(t_{rated}-t_{rise})(t_{rated}-t_{set})} P_{rated} + \frac{(t-t_{rise})(t-t_{rated})}{(t_{set}-t_{rise})(t_{set}-t_{reted})} P_{set}$$

- 정격출력(P_rated)값을 기준으로 날씨별 대비 효율을 곱하여 날씨별 발전량 예측값을 결정함

: '맑음' 예측발전량(P_clear)= 정격용량(P_rated)*맑음효율(P_clear%)

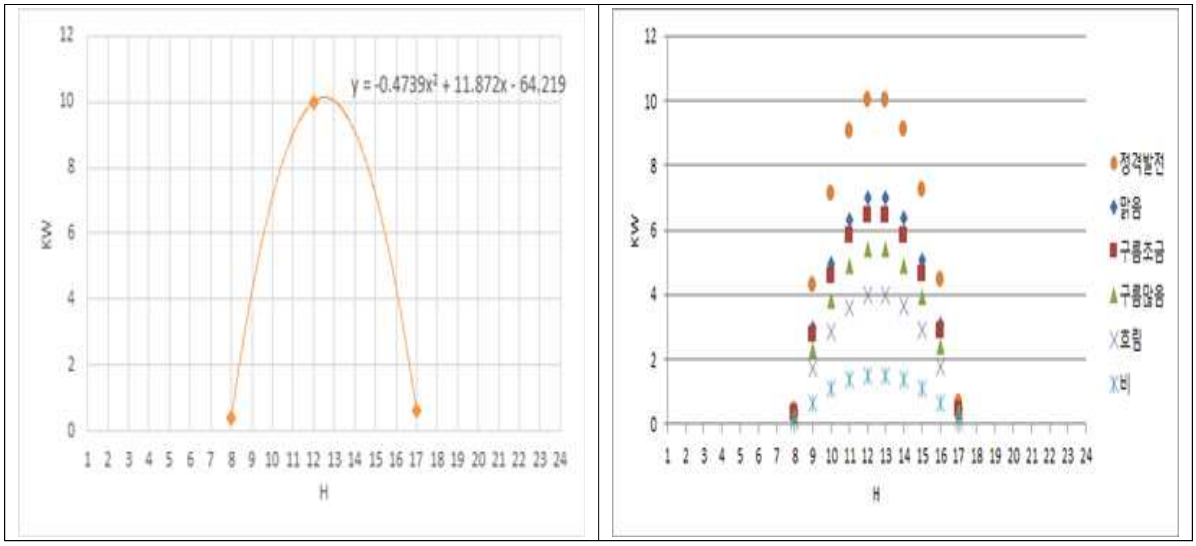
: '구름조금' 예측발전량(P_cloud1)= 정격용량(P_rated)*구름조금효율(P_cloud1%)

: '구름많음' 예측발전량(P_cloud2)= 정격용량(P_rated)*구름많음효율(P_cloud2%)

: '흐림' 예측발전량(P_cloud3)= 정격용량(P_rated)*흐림효율(P_cloud3%)

: '비' 예측발전량(P_rain)= 정격용량(P_rated) * 비효율(P_rain%)

- 일출시간과 일몰시간에서의 기상정보별 출력 예측값은 상이함
- 변환된 시간대별 기상정보에 해당하는 출력 예측값을 시간대별로 선택함



<그림 3-269 날씨별 발전량 예측>

□ 방법 2: 남중시간 기준 11~14시 데이터를 활용한 다항식 예측

- 남중시간(12시 30분)을 기준으로 11~14시 출력량 데이터를 활용하여 기상정보별 출력량 이력데이터를 산출
- 남중시간(T_rated): 12시 30분 (12.5H)
- 남중시간(T_rated), 일출시간(T_rise), 일몰시간(T_set)의 출력량(P_rated, P_rise, P_set)을 고정된 세 점으로 지정하고 기상정보별 출력량 다항식의 생성하여 예측값을 결정함

: '맑음' 예측 출력량 다항식

$$\hat{P}_{clear} = \frac{(t-t_{rated})(t-t_{set})}{(t_{rise}-t_{rated})(t_{rise}-t_{set})} P_{rise} + \frac{(t-t_{rise})(t-t_{set})}{(t_{rated}-t_{rise})(t_{rated}-t_{set})} P_{rated(clear)} + \frac{(t-t_{rise})(t-t_{rated})}{(t_{set}-t_{rise})(t_{set}-t_{reted})} P_{set}$$

: '구름조금' 예측 출력량 다항식

$$\hat{P}_{cloud1} = \frac{(t-t_{rated})(t-t_{set})}{(t_{rise}-t_{rated})(t_{rise}-t_{set})} P_{rise} + \frac{(t-t_{rise})(t-t_{set})}{(t_{rated}-t_{rise})(t_{rated}-t_{set})} P_{rated(cloud1)} + \frac{(t-t_{rise})(t-t_{rated})}{(t_{set}-t_{rise})(t_{set}-t_{reted})} P_{set}$$

: '구름많음' 예측 출력량 다항식

$$\hat{P}_{cloud2} = \frac{(t-t_{rated})(t-t_{set})}{(t_{rise}-t_{rated})(t_{rise}-t_{set})} P_{rise} + \frac{(t-t_{rise})(t-t_{set})}{(t_{rated}-t_{rise})(t_{rated}-t_{set})} P_{rated(cloud2)}$$
$$+ \frac{(t-t_{rise})(t-t_{rated})}{(t_{set}-t_{rise})(t_{set}-t_{reted})} P_{set}$$

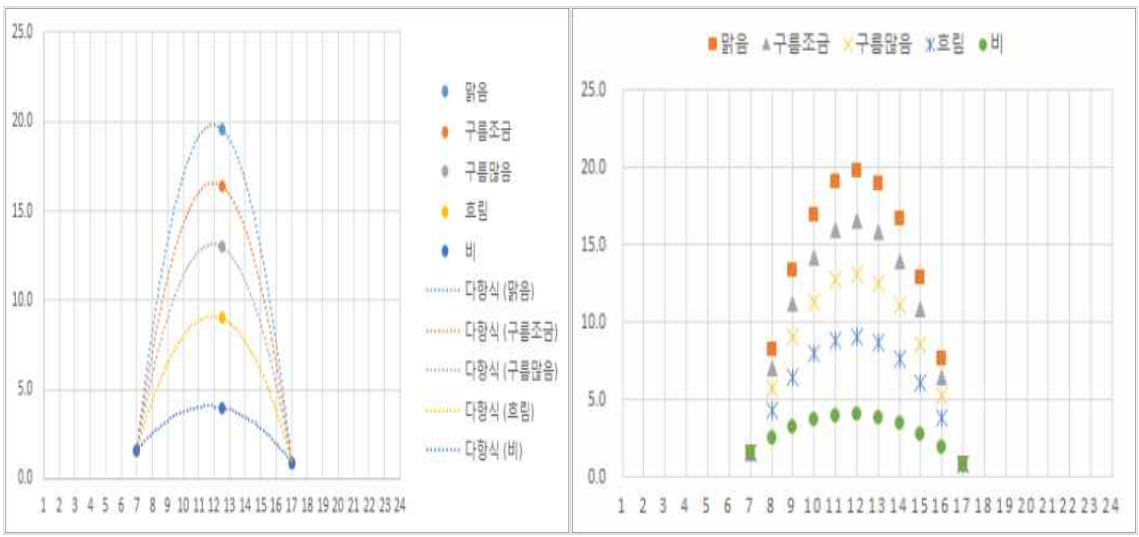
: '흐림' 예측 출력량 다항식

$$\hat{P}_{cloud3} = \frac{(t-t_{rated})(t-t_{set})}{(t_{rise}-t_{rated})(t_{rise}-t_{set})} P_{rise} + \frac{(t-t_{rise})(t-t_{set})}{(t_{rated}-t_{rise})(t_{rated}-t_{set})} P_{rated(cloud3)}$$
$$+ \frac{(t-t_{rise})(t-t_{rated})}{(t_{set}-t_{rise})(t_{set}-t_{reted})} P_{set}$$

: '비' 예측 출력량 다항식

$$\hat{P}_{rain} = \frac{(t-t_{rated})(t-t_{set})}{(t_{rise}-t_{rated})(t_{rise}-t_{set})} P_{rise} + \frac{(t-t_{rise})(t-t_{set})}{(t_{rated}-t_{rise})(t_{rated}-t_{set})} P_{rated(rain)}$$
$$+ \frac{(t-t_{rise})(t-t_{rated})}{(t_{set}-t_{rise})(t_{set}-t_{reted})} P_{set}$$

- 일출시간과 일몰시간의 출력량을 고정한 상태이기 때문에 일출시간과 일몰시간의 기상정보별 출력 예측값은 동일함



<그림 3-270 날씨별 발전량 예측>

□ 방법 3: 남중시간 기준 11~14시 데이터를 활용한 다항식 예측(간략화 방법)

- 남중시간(12시 30분)을 기준으로 11~14시 출력량 데이터를 활용하여 기상정보별

출력량 이력데이터를 산출

- 남중시간(T_rated): 12시 30분 (12.5H)
- 일출시간(T_rise)의 출력량(P_rise)과 일몰시간(T_set)의 출력량(P_set)이 동일하다는 가정 하에 간략화한 공식을 이용

$$A_0 = \frac{P_{rise} - P_{clear_MAX}}{\left(\frac{t_{set} - t_{rise}}{2}\right)^2}$$

$$\hat{P} = A_0\left(t - \left(\frac{t_{set} + t_{rise}}{2}\right)\right)^2 + P_{clear_MAX}$$



<그림 3-271 날씨별 발전량 예측>

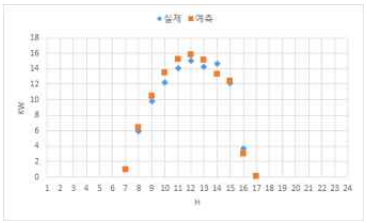
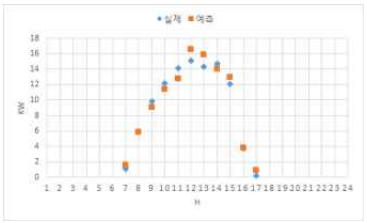
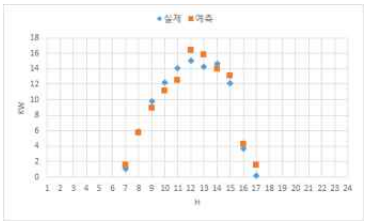
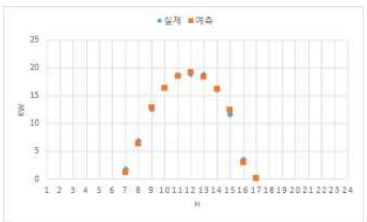
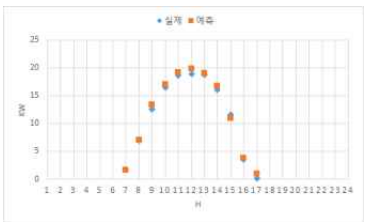
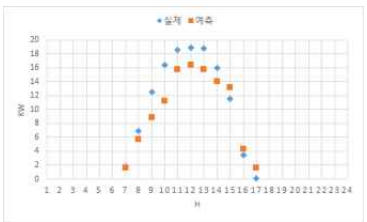
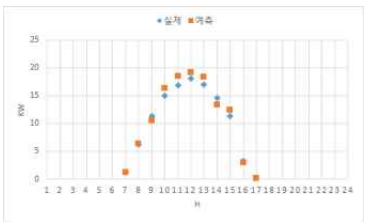
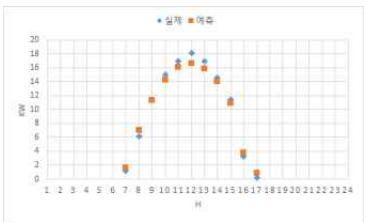
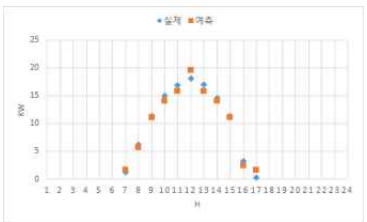
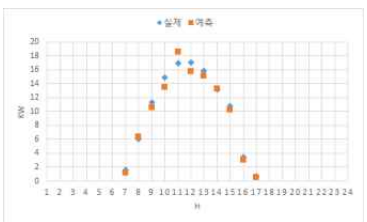
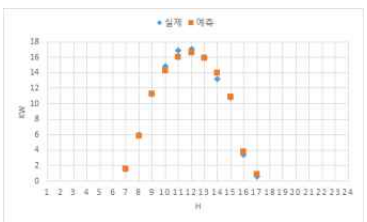
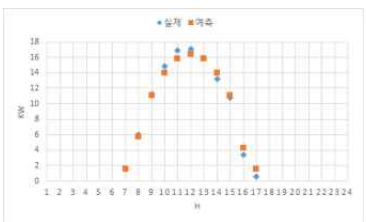
□ 실증데이터를 활용한 태양광 예측모델별 오차율 분석

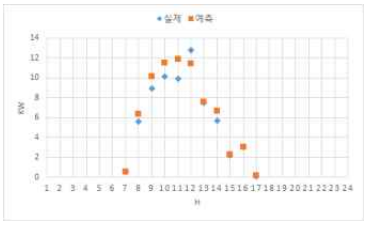
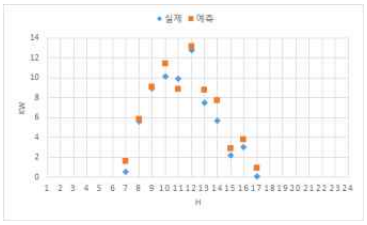
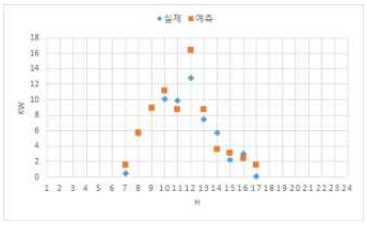
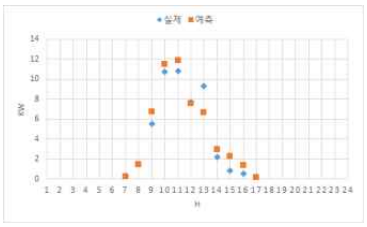
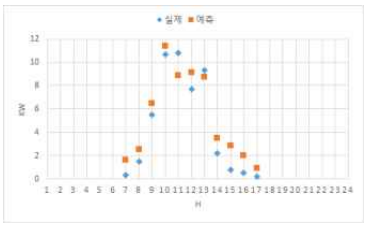
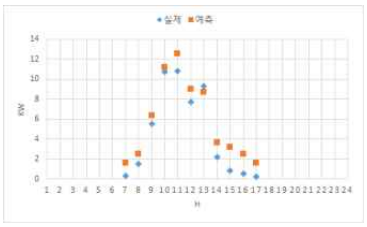
- 실증단지인 수원시의 노인복지회관에 설치한 정격용량 25㎾급 태양광 발전량 데이터 활용
- 방법 1, 방법 2, 방법 3의 모델을 예측성능을 검증함

<표 3-117 '09.03~10.23' 태양광 발전량 데이터를 이용한 예측 모델 검증 오차율 (%)>

	방법 1 (효율)	방법 2 (남중시간 Ⅰ)	방법 2 (남중시간 Ⅱ)
20131024	3.2108	1.5206	1.8837
20131025	0.3158	3.3389	13.3429
20131026	3.8879	2.3907	2.0052
20131027	3.0926	0.5321	0.2757
20131028	7.7981	11.4819	8.5973
20131029	6.4105	17.1236	26.5455
평균 오차율 (%)	4.1193	6.0646	8.7751

<표 3-118 태양광 발전량 데이터를 이용한 예측모델 검증 결과(파란색: 실제, 주황색: 예측)>

	방법 1 (효율)	**방법 2 (남중시간 Ⅰ)**	**방법 3 (남중시간 Ⅱ)**
10.24			
10.25			
10.26			
10.27			

10.28			
10.29			

- 신재생에너지 발전량 예측 모델 검증 결과

① ‘풍력 발전량 예측 모델’ 평균 오차율: 10.382% (목표 오차율: 약 40% 이내)

② ‘태양광 발전량 예측 모델’ 평균 오차율: 4.1193% (목표 오차율: 약 20% 이내)

- 도시에너지 수요 예측 모델 검증 결과

① ‘시간대별 수요 예측 모델’ 평균 오차율: 3.311% (목표 오차율: 약 10% 이내)

② ‘실시간 수요 예측 모델’ 평균 오차율: 0.020% (목표 오차율: 약 5% 이내)

21. 복합에너지 최적설계 툴 개발

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6"> 
<복합에너지 최적설계 툴></td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">- 신재생에너지 가용량 평가 및 전력 및 열원 복합에너지원의 최적 설계 툴 개발
◦ 기후데이터에 기반한 신재생에너지 가용량 평가 (태양광, 풍력, 태양열)
◦ 전력 및 열원 복합에너지원의 설치비용 대비 Payback Period 분석, 민감도 분석 등</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">- 설계 프로그램의 신재생에너지 가용량 평가의 정확성 확보 및 기후데이터 DB확보
- 복합에너지원의 가격정보에 따른 경제성 분석 및 민감도 분석 필요</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">- 비전문가도 에너지 비용분석을 쉽게 하기 위한 툴 개발</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 연료, 설치비에 따른 경제성 분석 가능, 태양광, 풍력, 태양열의 일반적인 효율 및 위도 경도 데이터를 이용한 가용량 분석
(개발기술 수준)
- 기후데이터를 이용한 설치지점의 정확한 가용량 평가, 연료가격/ 설치비 변동에 따른 경제성 분석(Payback Period 분석, 민감도 분석)
(개발기술 수준 설정근거)
- 해외 신재생가용량 평가 프로그램, 신재생 경제성 평가 프로그램</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">박시삼(GS건설㈜)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">4차년도 '14.06 ~ '15.06 (13개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td></td><td></td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td>4차년도</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>등록 1건</td><td>학술발표
국내 1건</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>4차년도</td><td colspan="5">복합에너지 최적설계 툴 프로그램 매뉴얼 : 1건</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td>4차년도</td><td colspan="5">- 학술발표 국내 1건 : 논문집 확인
- 복합에너지 최적설계 툴 프로그램 매뉴얼 : 해당 보고서 확인</td></tr>
</table>

21.1 복합에너지 최적설계 툴 개발

□ Smart CEMS-D에 활용 가능한 기본 최적설계 툴 개발

□ 전력/열 수요 데이터 및 기후 데이터를 이용하여 전력 및 열 수요 프로파일과 신재생에너지 설비의 공급 프로파일을 생산

□ 기후데이터를 활용한 최적화 알고리즘을 통해 사용자가 원하는 다양한 신재생에너지 설비의 최적 조합을 도출

- 수요입력 데이터

  : 수요데이터를 연간데이터(8,760시간에 대한 시간대별 데이터)를 입력할 수 있도록 하며, 그 종류는 전력과 열로 정의함

  : 국내의 경우 샘플데이터로 건물 용도별 단위면적 당 에너지 사용량을 가정하여 전력프로파일 1개, 열 프로파일 1개가 작성되어 입력됨. 가정조건은 에너지사용계획서의 factor를 참고

  : 15개의 용도별 국내 수요데이터 확보(전력, 난방, 급탕의 단위부하와 용도별 표준 프로파일 확보)

Demand Name	Area (㎡)	Electric	Heat	Air Condition	Hot Water
Detached house	0	37.75	147.5159447	47.49332413	53.1399011485151
Apartment house	0	39.72	128.2350904	47.49332413	53.13979145
Business Area	0	196.4	46.3559341	67.35957247	14.37187484
Public	0	126.3	36.04723418	55.92670356	12.67403453
Reservation	0	196.4	66.88082861	79.88804613	13.66019917
Religious Facility	0	41.6	46.31040697	69.54728488	4.113192696
Commercial Area	0	311.2	66.88114794	81.0997989	13.66027171
Distribution complex	0	298.8	69.77508147	81.10237137	13.6684089
Gas Station	0	157.7	107.7617707	66.81832401	21.12715357
Medical facility	0	202.3	274.7267234	96.94151579	115.9816454
Educational facility	0	86.5	23.8084928	52.25702223	115.9816454
Complex Community	0	126.3	102.2944363	67.15886136	32.52454208
Waterworks/Sewerage system	0	126.3	102.3516845	67.11804533	32.54302721
Road/Parking lot	0	4.1	0.0	0.0	0.0
Park Area	0	0.8	0.0	0.0	0.0

<그림 3-272 보유 수요데이터>

- 기후데이터

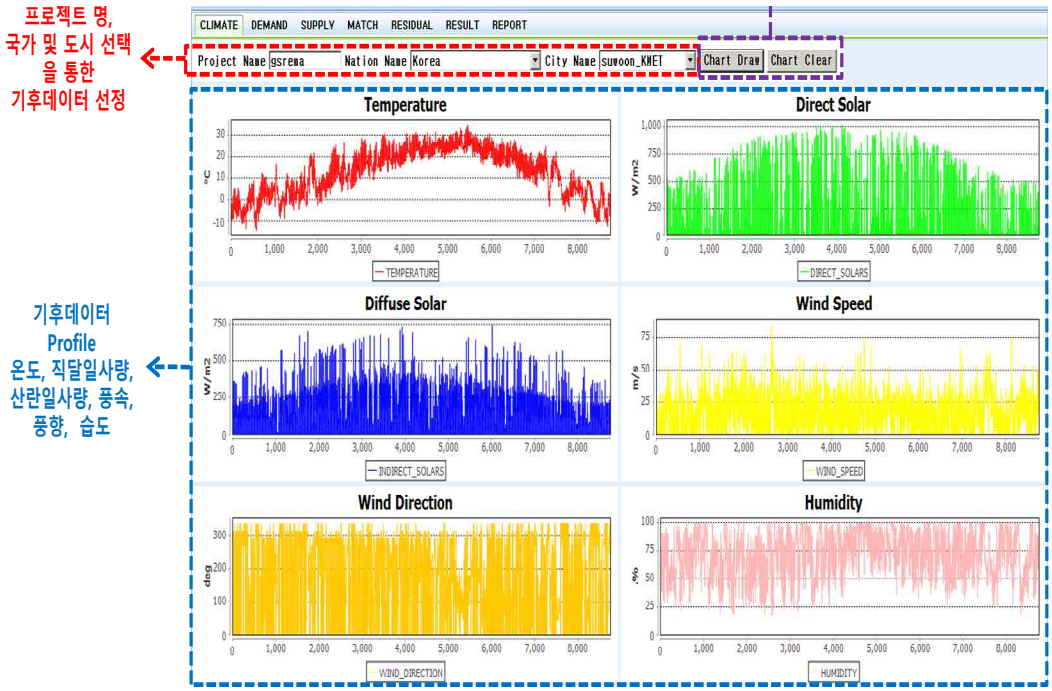
: 연간 기후데이터를 입력할 수 있도록 하며, 사용자가 기후데이터를 확보하여 프로그램에 입력포맷의 형태로 작성한 후 프로그램에 입력

: 샘플데이터로는 국내 및 유럽, 미주 등과 중앙아시아, 동남아시아, 중동 지역의 기후데이터 확보

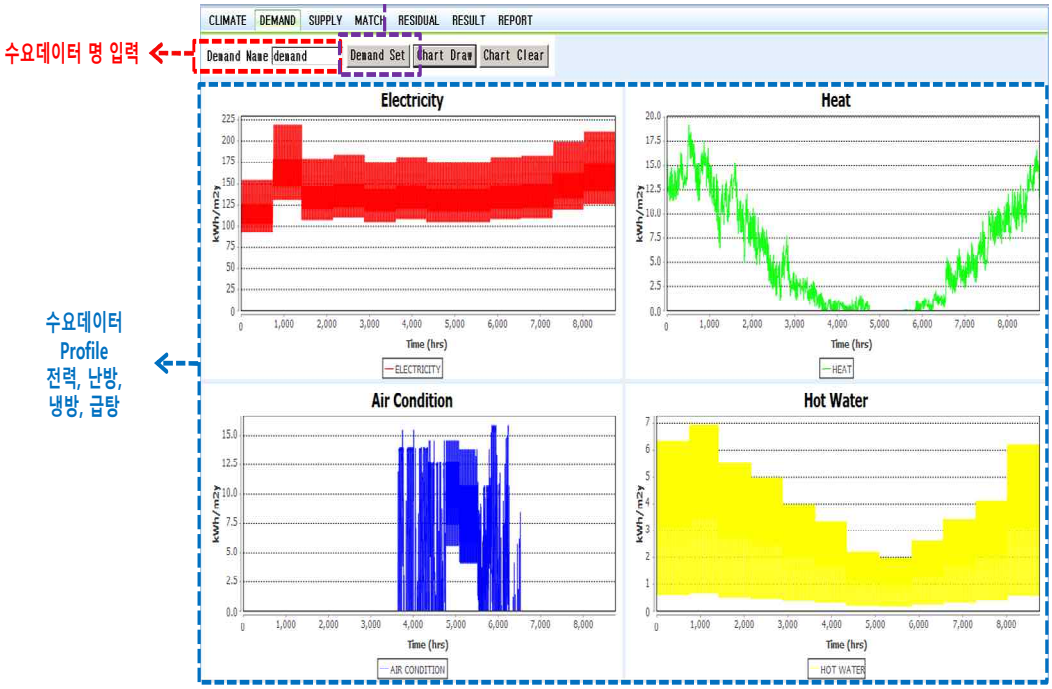
: 국내 기후데이터 → 국내 12개 도시(서울, 인천, 수원, 천안, 광주, 대구, 부산, 대전, 여수, 춘천, 강릉, 제주)

: 해외 기후데이터 → 31개국 94개 도시(Australia, Bangladesh, Belgium, Canada, China, Denmark, France, Germany, India, Iran, Ireland, Italy, Japan, Malaysia, Mexico, Mongolia, New Zealand, Pakistan, Philippines, Portugal, Russian Federation, Saudi Arabia, Singapore, Switzerland, Taiwan, Thailand, UK, United Arab Emirates, USA, Uzbekistan, Vietnam)

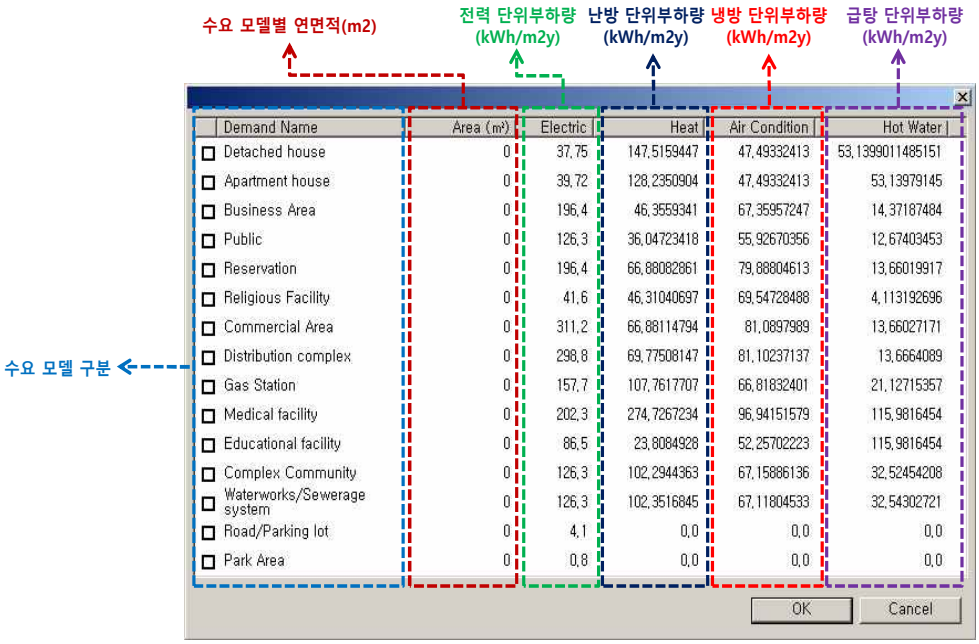
- 프로그램화면



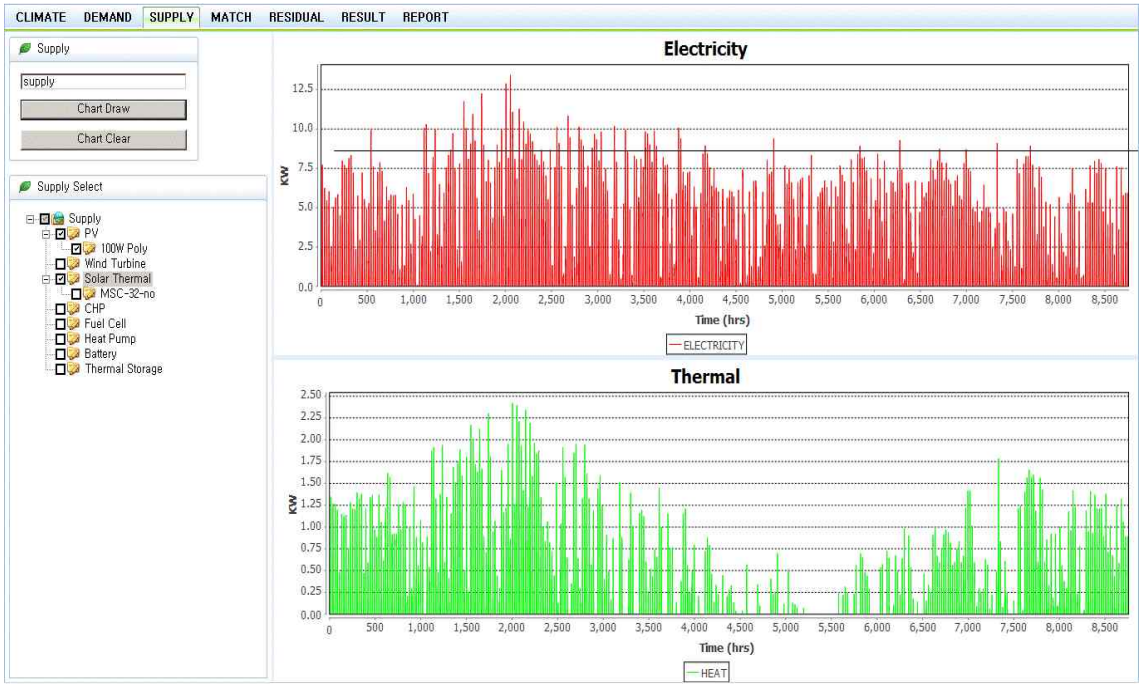
<그림 3-273 Demand CLIMATE 화면>



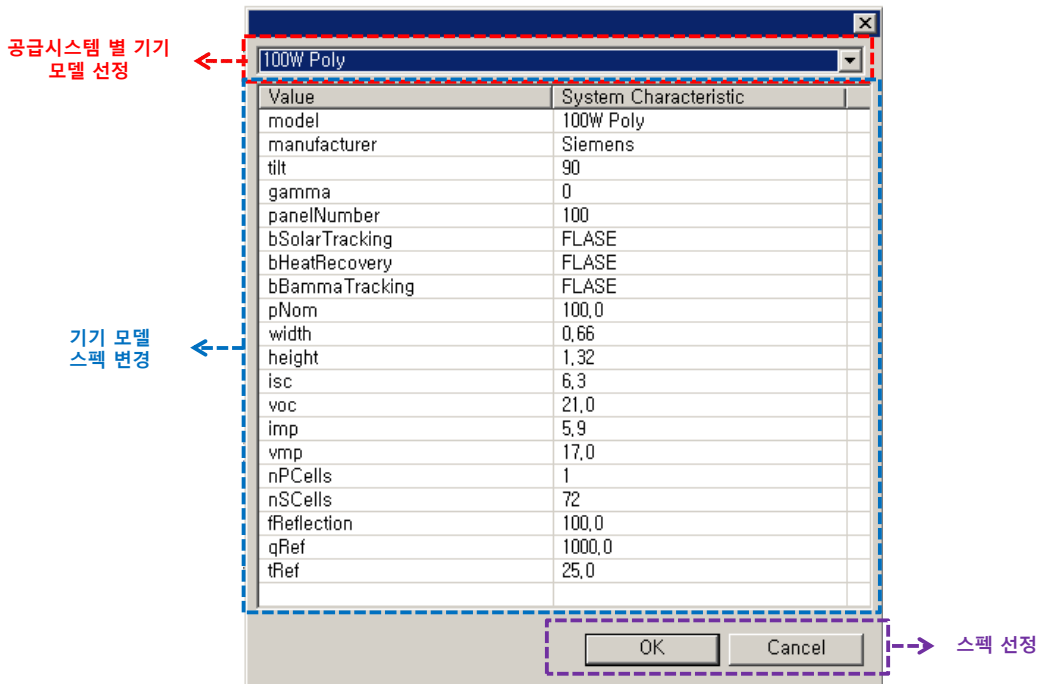
<그림 3-274 Demand 화면>



<그림 3-275 Demand 설정 화면>



<그림 3-276 Supply 화면>



<그림 3-277 Supply 스펙 설정>



<그림 3-278 수급분석(Matching) 화면>

21.2 복합에너지 최적설계 툴 활용 신재생분석

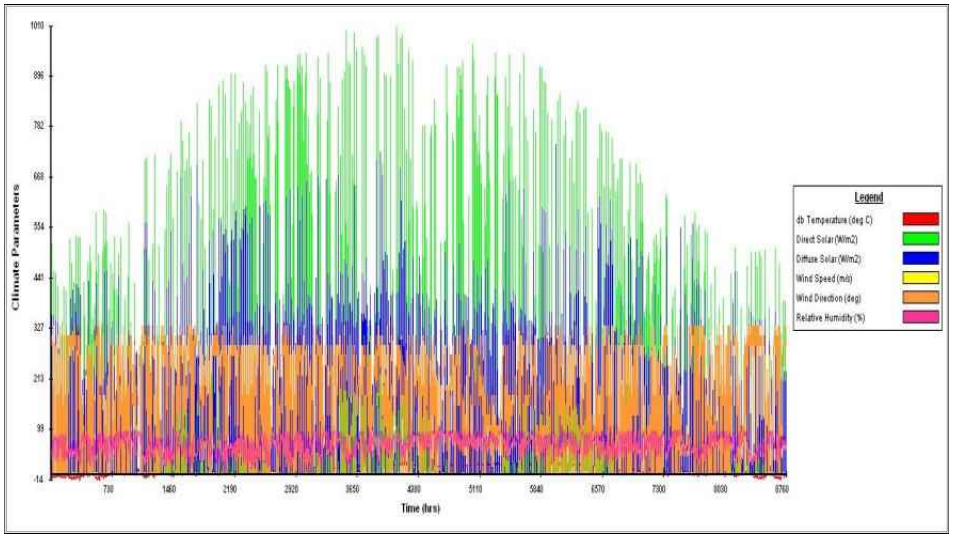
□ POC로 활용하고 있는 'GS건설 기술연구소 생활관'에 대하여 에너지 수요 패턴을 분석하고, 신재생에너지 시스템의 시뮬레이션 수행

□ 설치된 신재생에너지(PV, BIPV, 풍력발전시스템, 소형열병합발전시스템, 지열히트펌프 시스템) 복합시스템의 적용성을 평가・분석하여 최적 설계 수행

- 기상데이터 분석
  - 수요/공급 매칭 기반 신재생에너지 시뮬레이션 분석을 위해서는 대상지역의 기후특색을 나타내는 기상데이터를 분석하는 것이 필수적임. 기상데이터는 용인 지역과 가장 근접한 수원지역 기상데이터를 이용
  - 기상데이터는 연간 시간대별(8,760시간) 데이터로 측정하였으며, 이 외에도 지중온도 데이터는 GS건설 기술연구소에서 제공한 지열히트펌프 시공 전의 지중온도 데이터(15.5℃)를 사용. 그리고 기상청으로부터 제공되는 *.txt 파일을 Esp-r 포맷으로 변환하여(아래 표. 기후데이터의 Esp-r 형식)사용하였으며, 일사량은 산란일사 및 직달일사로 나누어 수원지역 기후데이터를 사용

STN_ID	TM	TA_01시	TA_02시	TA_03시	TA_04시	TA_05시	TA_06시	TA_07시	TA_08시	TA_09시	TA_10시	TA_11시	TA_12시	TA_13시	TA_14시	TA_15시	TA_16시	TA_17시	TA_18시	TA_19시	TA_20시	TA_21시	TA_22시	TA_23시	TA_24시
119	20000101	0	-0.6	-0.5	0	0.2	0	0.3	2.5	2.9	4.5	6.7	8.1	9.7	10	10.6	10.1	8.6	7.6	7.6	7.1	7	7	7.4	7
STN_ID	TM	HM_01시	HM_02시	HM_03시	HM_04시	HM_05시	HM_06시	HM_07시	HM_08시	HM_09시	HM_10시	HM_11시	HM_12시	HM_13시	HM_14시	HM_15시	HM_16시	HM_17시	HM_18시	HM_19시	HM_20시	HM_21시	HM_22시	HM_23시	HM_24시
119	20000101	92	92	92	93	90	90	89	78	79	69	61	54	51	47	45	49	57	61	64	68	70	71	71	73
STN_ID	TM					SI_05시	SI_06시	SI_07시	SI_08시	SI_09시	SI_10시	SI_11시	SI_12시	SI_13시	SI_14시	SI_15시	SI_16시	SI_17시	SI_18시	SI_19시	SI_20시				
119	20000101								0	0.02	0.48	1.09	1.23	1.31	1.32	0.89	0.47	0.11	0						
STN_ID	TM	WD_01시	WD_02시	WD_03시	WD_04시	WD_05시	WD_06시	WD_07시	WD_04시	WD_09시	WD_10시	WD_11시	WD_12시	WD_13시	WD_14시	WD_15시	WD_16시	WD_17시	WD_18시	WD_19시	WD_20시	WD_21시	WD_22시	WD_23시	WD_24시
119	20000101	29	0	32	0	27	0	0	14	16	11	14	14	11	11	14	14	11	9	11	11	14	16	14	14
STN_ID	TM	WS_01시	WS_02시	WS_03시	WS_04시	WS_05시	WS_06시	WS_07시	WS_08시	WS_09시	WS_10시	WS_11시	WS_12시	WS_13시	WS_14시	WS_15시	WS_16시	WS_17시	WS_18시	WS_19시	WS_20시	WS_21시	WS_22시	WS_23시	WS_24시
119	20000101	1	0	0.3	0	0.3	0.2	0.2	2	1.8	2.5	2.8	3.7	4.3	3.3	4.2	4.2	2.7	2.3	2.3	1.8	1.5	1.8	2.3	2

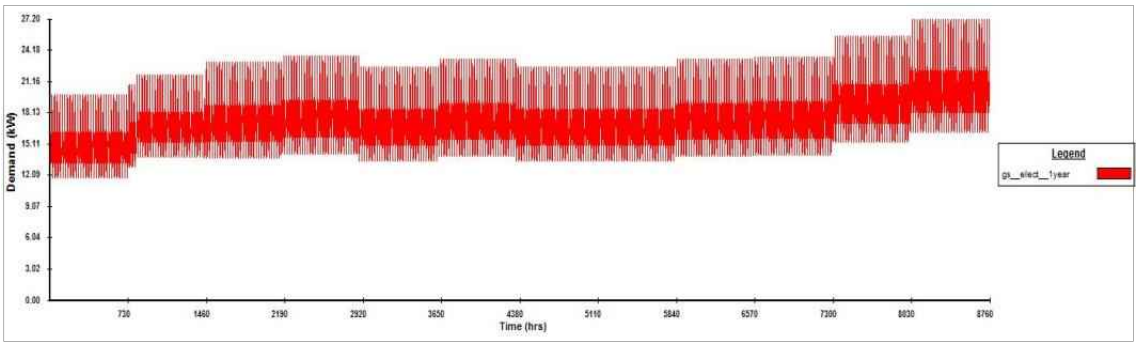
<그림 3-279 기후데이터의 Esp-r 형식>



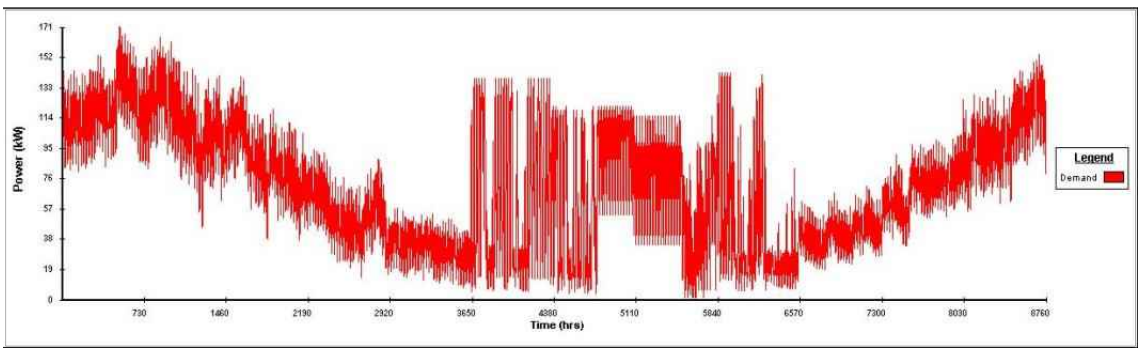
<그림 3-280 수원지역 연간 시간별 기후데이터>

- 생활관 수요데이터 분석

: 모니터링 데이터를 활용하여 수요 데이터를 입력하였으며, 전력 및 열수요는 아래의 그림과 같음



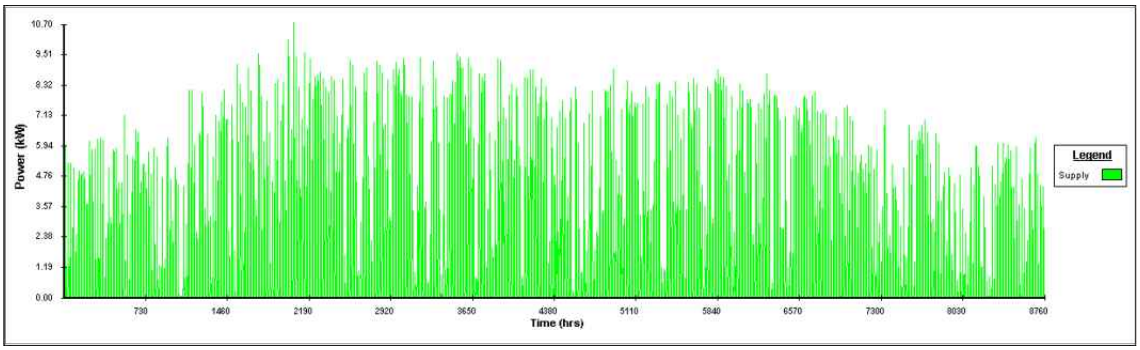
<그림 3-281 전력수요 데이터 (8,760 시간)>



<그림 3-282 열수요 데이터 (8,760 시간, 난방+냉방+급탕)>

- PV 발전량 시뮬레이션

: GS건설 기술연구소 생활관에 적용된 태양광시스템은 발전효율이 13.8%인 태양전지 모듈로서 대상건물 옥상에 30도 각도로 60매를 설치함. 연간 발전량 공급곡선은 아래와 같음



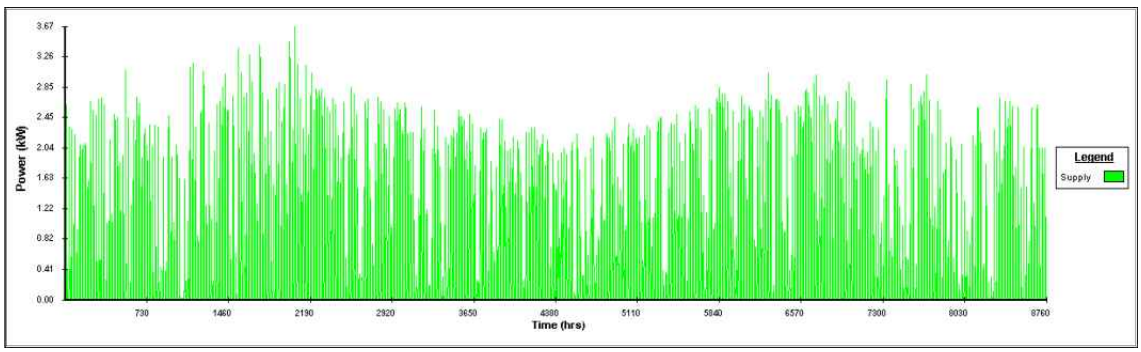
<그림 3-283 PV 발전량 프로파일(연간)>

: 상기 그림과 같이 일사량이 가장 높은 하절기에 비해 중간기인 4~6월에 발전량이 높게 나타나는 것을 알 수 있음

: 일사량이 높은 7~8월이 중간기인 4~6월에 비하여 발전량이 떨어지는 이유는 장마철과 태풍 등의 계절적 특징에 의한 것도 있으나, 여름철 태양전지의 온도와 전압은 반비례하는 특성이 있어 모듈의 온도가 상승하면 전압이 낮아져 발전출력이 감소하기 때문인 것으로 판단됨

- BIPV 발전량 시뮬레이션

: GS건설 기술연구소 생활관 건물 남서쪽 벽면에 90도 각도로 설치된 BIPV는 26매가 설치되어 있으며, 연간발전 패턴은 아래의 그림과 같으며, PV와 동일하게 5월에 가장 높은 발전량을 보임

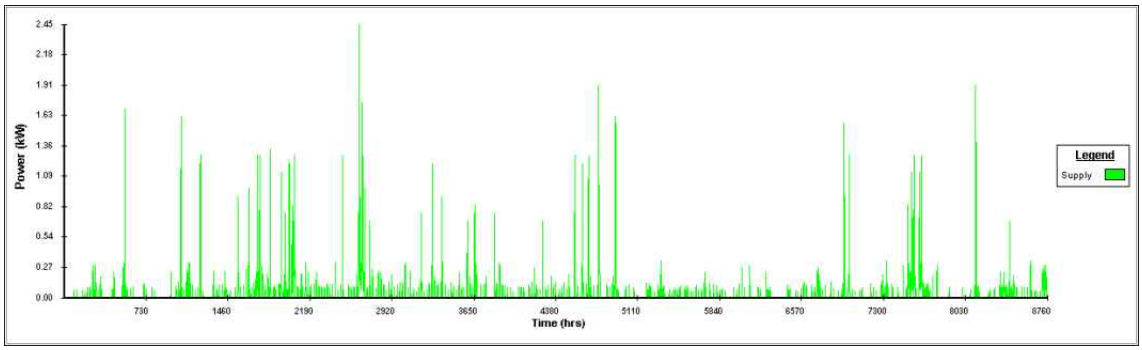


<그림 3-284 BIPV 발전량 프로파일(연간)>

- 풍력 발전량 시뮬레이션

: GS건설 기술연구소 생활관 건물 근처에는 3kW급 풍력발전기 1기가 설치되었으며, 풍력발전시스템은 발전 효율 면에서 매우 불안정한 발전 형태를 보임

: 아래 그림에 보이는 것과 같이 연중 특정 시간대에 정격 용량의 발전이 이루어지고 있으나, 전반적으로는 정격용량의 1/10인 0.3kWh에도 미치지 못함

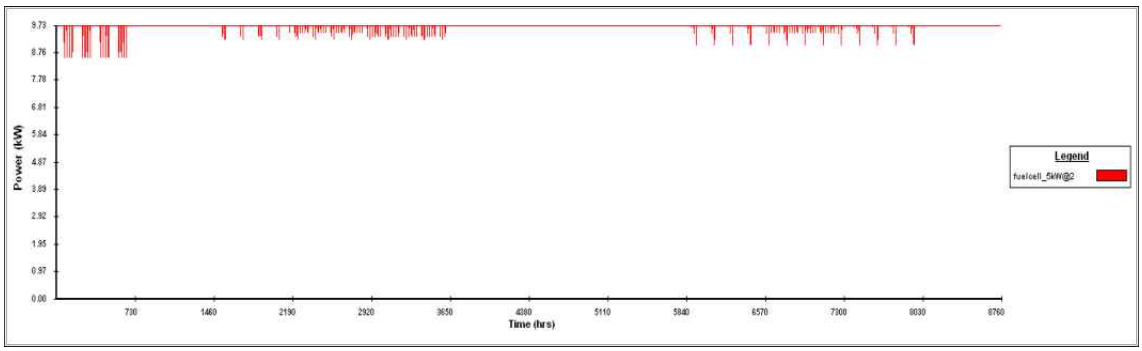


<그림 3-285 Wind Turbine 발전량 프로파일(연간)>

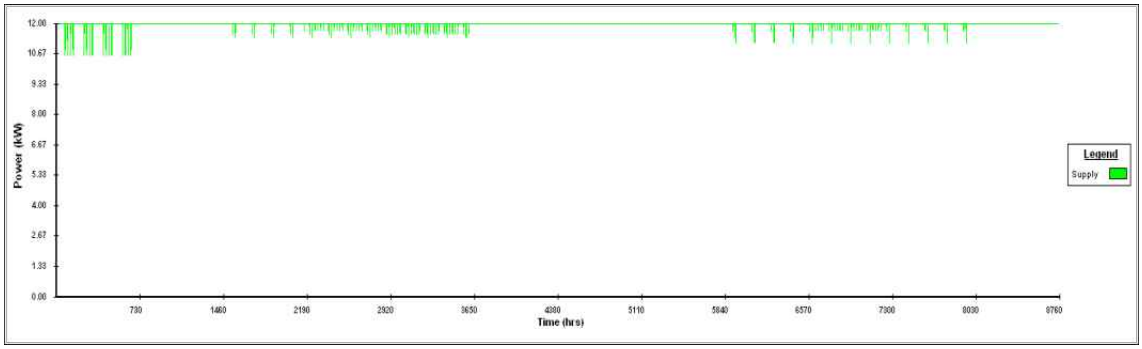
- 연료전지 발전량 및 열생산량 시뮬레이션

: 연료전지의 경우 전력추종 방식과 열추종 방식이 가능하나 본 시뮬레이션에서는 전력추종방식의 운전방식을 선택하여 시뮬레이션 수행

: 연간 발전량은 5kW에서 전력 41.07MWh, 열 50.63MWh로 나타났으며, 10kW에서는 전력 85.14MWh, 열 104.97MWh로 나타남. 또한, 연중 연료 사용량은 각각 10,512.93㎥와 21,025.85㎥임



<그림 3-286 연료전지 5kW급 2대 발전량 프로파일(전력-연간)>

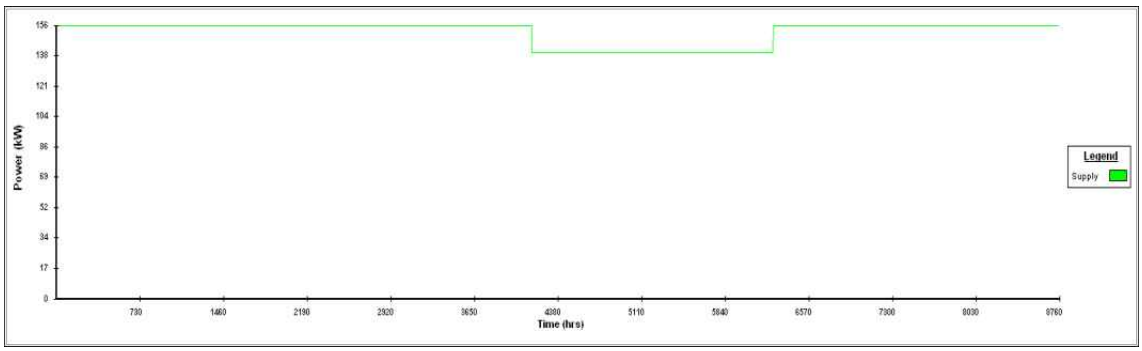


<그림 3-287 연료전지 5kW급 2대 열생산량 프로파일(열(급탕)-연간)>

- 지열히트펌프시스템 열생산량 시뮬레이션

: 본 시뮬레이션에서 지열히트펌프의 냉난방 운전모드는 수요프로파일을 기준으로 난방수요와 냉방수요가 간헐적으로 발생하는 시기인 6월 중순에서 9월 중순까지를 냉방운전 시기로 설정

: 운전 모드에 따른 전력 사용량은 연간 총 난방운전 시간(6,652시간)을 기준으로 계산한 소비전력 262.09MW와 연간 총 냉방운전 시간(2,108시간)을 기준으로 계산한 소비전력 63.45MW을 더한 결과 연간 총 소비전력은 325.54MW를 소비할 것으로 시뮬레이션 됨



<그림 3-288 지열히트펌프의 열생산 프로파일(냉난방-연간)>

- 공급시스템의 연간 발전량 및 CO2 저감량

: 각각의 기기들을 통해 생산된 발전량 및 소비전력에 대하여 파악하고, 이에 따른 CO2 저감량을 시뮬레이션 함

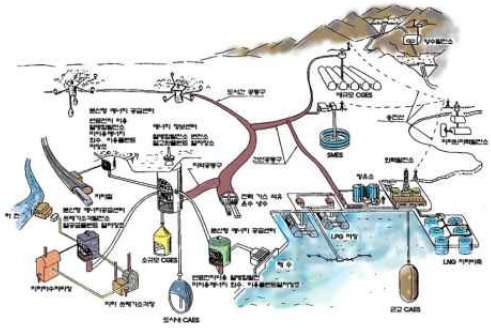
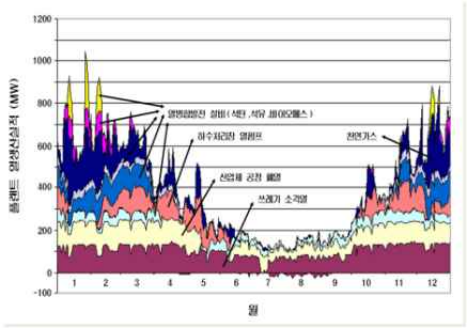
: 실제 부하데이터가 발전량에 비하여 크기 때문에 발전량 전체는 모두 소비되며, Gird전력과 보일러 가동시의 연료소비에 대한 CO2 저감량을 산정

: 연간 에너지 절감량은 1,218MWh이며, 이를 바탕으로 산정한 연간 CO2 저감량은 310.6ton임

<표 3-119 신재생에너지원별 발전량 및 CO2 저감량>

신재생에너지 종류		발전량 (kWh)	전력소비량 (kWh)	에너지 절감량(kWh)	CO2 발생량 (kg)	CO2 저감량 (kg)
PV		13,615.75	-	13,615.75	-	5,773.1
BIPV		4,486.55	-	4,486.55	-	1,902.3
Wind Turbine		301.58	-	301.58	-	127.9
Fuel Cell	전력	84,457.44	-	84,457.44	49,932	35,810.0
	열	104,120.95	-	104,120.95		25,717.9
Heat Pump	난방	335,986.20	8,474.90	327,511.30	-	80,895.3
	냉방	273,592.90	5,836.40	267,756.50	-	113,528.8
합계		**816,561.37**	**14,311.30**	**802,250.07**	**49,932**	**263,755.3**

22. Long-term 복합에너지 커뮤니티 운영 알고리즘 및 기법

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6"> 
<저탄소 순환형 도시 에너지 공급 체계 개념도> <에너지 공급시스템 최적 설계, 운영 개념도></td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">- 분산, 순환형 통합형 도시에너지 공급체계 구축방안 검토 및 이용효율 극대화를 위한 통합에너지 공급시스템 장기 운영방안 도출
- 장기(long-term) 복합에너지 커뮤니티 운영관리방안 및 체계 검토, 고효율 통합 운영 알고리즘 개발</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">- 분산, 순환형 통합형 도시에너지 공급체계 구축방안 검토 필요, 이용효율 극대화를 위한 통합에너지 공급시스템 장기 운영방안 도출 필요
- 장기(long-term) 복합에너지 커뮤니티 운영관리방안 및 체계 검토, 고효율 통합 운영 알고리즘 개발 필요</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">- 선형계획법을 이용한 도시에너지 부하증가에 대응할 수 있는 Long-term 복합에너지 공급시스템 운영 알고리즘 및 기법 개발</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 공동연구기관인 기초전력연구원에서는 실시간 모니터링과 단기 부하예측을 통한 에너지 공급시스템의 일간, 주간 스케줄링 기법 개발
(개발기술 수준)
- 공동연구기관인 한구건설기술연구원에서는 설계 지원 프로그램 외에 선형계획법을 이용한 도시에너지 부하 증가에 대응할 수 있는 Long-term 복합에너지 공급시스템 운영 알고리즘 및 기법 개발
(개발기술 수준 설정근거)
- 국내외 사례 및 문헌 분석</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">김용기(한국건설기술연구원)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">4차년도 '14.07 ~ '15.06 (12개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>4차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>국내출원 1건</td><td>-</td><td>논문게재
국내 1건</td><td>-</td><td>학술발표
국내 1건</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>4차년도</td><td colspan="5">- 운영 알고리즘 및 활용방안 제안 건수 : 2건</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td>4차년도</td><td colspan="5">- 국내 특허출원 1건 : 특허출원증 확인
- 논문게재 국내 1건 및 학술발표 국내 1건 : 논문집 확인
- 질적성과 : 해당 보고서 확인</td></tr>
</table>

22.1 해석모델 및 방법

□ 장기(long-term) 복합에너지 시스템 해석모델 및 방법

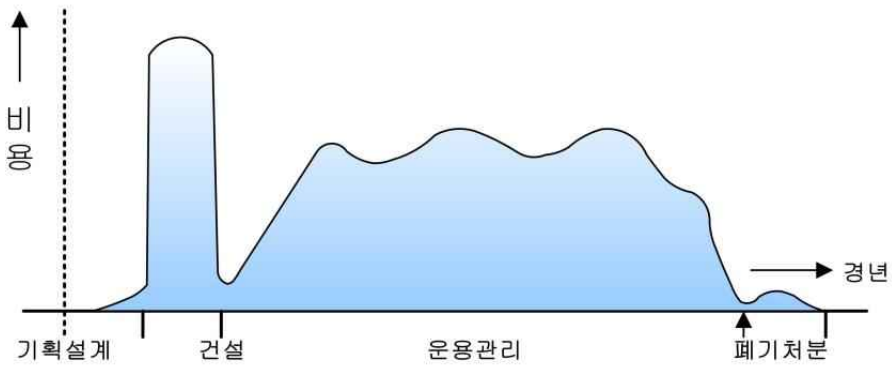
- 복합에너지 시스템의 장기간 운전비용 분석을 위하여 생애주기비용 방법을 도입
- 생애주기비용(LCC)의 정의

: 건설공사에 있어서 경제성 분석은 경제적 의사결정과정 중의 일부분으로서 올바른 의사결정을 할 수 있도록 보조하는 수리적 분석기법

: 사람이 행하는 경제적 판단은 유한한 자원을 서로 경쟁적인 관계에 있는 여러 가지 욕망을 충족시키기 위하여 배분하는 문제이며, 그 배분이 적정한가의 여부를 결정하는 기준은 배분의 경제적 효율성에 있다고 볼 수 있음. 즉, 복합에너지 시스템의 구성 및 설치방법별 경제성 분석을 수행하는 이유도 자원 및 에너지의 공급·처리를 위해 투자되는 비용과 그로 인한 자원·에너지 절감액을 적절한 기준으로 분석·평가하여 투자의 적정성을 판단하기 위함

: 생애주기비용(life cycle cost : LCC) 분석이란, 프로젝트의 여러 가지 투자 대안 중 최적안을 선택하는데 고려하여야 할 모든 중요한 요소들에 대해 주어진 기간에 따른 금전적 가치의 비교를 통하여 경제적 평가를 수행하는 절차를 말하며, 시스템이나 기기의 제작을 위한 기획, 연구, 개발에서 시작되어 제조, 조립, 시운전, 조정을 거쳐 운영을 한 후, 최후에 폐기되기까지에 필요한 모든 비용을 계산하는 방법

: 환경변화에 대응하기 위한 초기투자비, 에너지소비량, 유지·관리비용, 개체·폐기비용 등의 제비용을 종합적이고 체계적으로 분석할 수 있는 방법론



<그림 3-289 프로젝트 진행에 따른 생애주기비용 항목의 개념도>

: LCC를 구성하는 비용 항목은 크게 다음과 같이 4개의 범주로 나눌 수 있으며, 위 그림은 프로젝트 진행에 따른 LCC 비용 항목의 개념도를 보여주고 있음

㉠ 기획·설계비(planning & design cost)

㉡ 건설비(construction cost)

㉢ 운영비(operation & maintenance cost)

㉣ 폐기처분비(disposal cost)

: LCC 분석에 사용되는 일반적인 식은 다음과 같음. 여기에서 P는 초기투자비용을 나타내며, S는 잔존가치, M은 유지·보수비용, R은 개수비용, E는 운영비용임

$$LCC = P - S + M + R + E$$

: 위 식에서 모든 비용은 현가 혹은 연가로 할인되어야 하며 세금이나 인센티브제도에 의한 혜택도 고려되어야 함. 내용년수는 LCC 분석에서 LCC 분석기간의 결정을 의미하며, 분석기간은 목적으로 하는 대안의 LCC 분석결과에 가장 큰 영향을 미치는 요인 중의 하나로서 신중히 결정할 필요가 있음. 따라서 LCC를 분석하는 목적에 따라 내용연수를 정의하고 그 기간을 결정해야 함. 이자율은 LCC 분석에서 현재가치를 미래가치로 환산할 때 적용하고, 할인율은 미래가치를 현재가치로 환산할 때 적용됨. 또한, 인플레이션은 대안의 경제성을 비교할 때, 고려하는 경우와 고려하지 않는 경우 대안평가의 우선순위가 달라질 수 있기 때문에 분석과정에서 반드시 고려되어야 됨

- 발전배경

: LCC 분석은 1930년대에 미국 국방성에 의한 연구 개발에서 시작되어 군 병참지원을 위한 비용 평가 수법으로 이용되다가 1960년대 처음으로 LCC라는 용어가 사용되었으며, 국내에서의 LCC 분석은 일본보다 늦은 시기인 1980년대 초에 정부에서 의사결정수단으로서 장래에 발생되는 비용의 체계적인 분석에 관심을 두면서 시작되어 1981년 12월 병참지원을 위한 비용수단을 위한 지침서로서 '체계분석과 비용'이라는 자료를 출판하게 되면서임. 국내에서 LCC 개념이 도입된 이후 20년이 경과되어 이론적인 체계와 용어의 정확한 개념은 어느 정도 확립되어 있는 실정이나 아직까지 실용화는 이루어지지 않고 있음. 따라서 LCC가 실용화되기 위해서는 LCC에 입각한 의식의 사회적 확립, LCC 계산방법의 확립 및 LCC 분석에 필요한 설비기기의 내용년수와 수선율 등의 데이터 수집과 축적, 보전성에 대한 이해의 확립, 유지보전 기술의 향상 등 여러 가지 문제의 해결이 선행되어야 함

- 비용항목

: LCC 비용 항목 중 기획·설계비용은 크게 기획비용과 설계비용으로 구분되며, 이 외에 현지조사 비용, 용지취득 비용, 효과분석 비용 등이 있음. 복합에너지 커뮤니티를

구성할 경우 공간 및 시스템의 제약성으로 인하여 현지조사 비용 등의 증가로 인하여 기획·설계비용은 증가함. 또한, 기획·설계비용은 전체 LCC 중에서 극히 일부를 차지하는 수준이나 기획설계의 내용에 의하여 건설비용이나 운전 및 유지관리비용, 폐기처분비용에 큰 영향을 미치기 때문에 전체 LCC에 미치는 영향은 매우 큼

: 건설비용으로는 토목공사, 건축공사, 전기설비공사, 기계설비공사, 특수공사 그리고 사용의 편의성을 위해서 행해지는 부가적인 공사도 여기에 포함됨. 건설비용의 합계는 전체 LCC 중에서 가장 큰 부분을 차지하며, 대략 15~20%를 차지하는 것이 일반적. 유의할 점은 건설비용과 운영관리비용은 대개 트레이드-오프(trade-off)의 관계에 있음. 따라서 건설비용을 무리하게 삭감하고자 하면, 운영관리 비용이 증가하게 되고, 결국 라이프 사이클 측면에서는 오히려 비용이 상승하게 됨

: 운영비용은 운전비용(operating cost), 보전비용(maintenance cost), 수선비용(repair cost), 개선비용, 일반관리비용 등으로 크게 구분할 수 있으며, 운전비용은 전체 LCC 중에서 가장 큰 비중을 차지하고 있음. 보전비용은 법령에 의한 점검, 정기적인 점검·보수, 운전·일상점검, 청소 등을 포함하는데, 이는 구조물의 사용기간 전체에 걸쳐 소요되는 비용이라고 할 수 있음. 수선비용은 방수층의 교환, 설비 기기류의 경신 등에 소요되는 비용. 이 운전 및 유지관리비용의 합계는 전체 LCC 중에서 75~85%를 차지하는 수준이며, 건설비용의 4~5배에 달하는 것이 일반적임. 그러므로 LCC 측면에서 보면, LCC 비용의 80% 정도를 차지하는 운영비용을 어떻게 삭감할 수 있는가 하는 것이 중요한 문제임. 폐기처분비용은 해체비용(demolition cost)과 처분비용(disposal cost)이 포함됨. 아래 그림은 건설공사에서의 일반적인 LCC 분석 항목의 분류를 보여주고 있음

- 경제수명

: 모든 설비는 시간이 경과하면서 물리적인 열화가 진행되고 결국은 사용불능 상태에 도달하게 되며, 이 사용불능 상태에 도달하기까지의 기간을 일반적인 내용년수(耐用年數)라 함. 시스템을 이용하는 경우 이 내용년수까지 시스템을 계속적으로 사용하는 것은 운영관리의 비용이 증가하기 때문에 결과적으로 경제적으로 불리한 결과를 초래. 따라서 시스템에는 경제적으로 가장 유리한 사용기간이 있다는 것을 알 수 있으며, 이을 경제수명이라고 함. 경제수명은 LCC의 평균년가(平均年價)가 가장 적게 되는 경제적으로 가장 유리한 사용년수라고 정의할 수 있음. 아래 그림은 사용년수에 따른 평균년가의 변화를 도시하고 있음

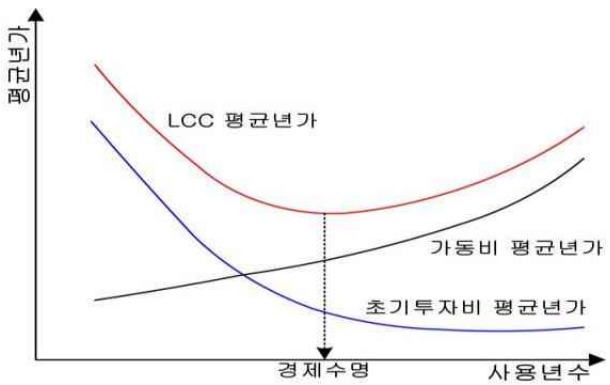
- LCC 분석 활용방안

: LCC 분석의 활용방안으로는 우선 건설구조물의 라이프 사이클의 각 단계에 있어서

복수의 LCC 대체안을 비교/검토하여 가장 바람직한 안을 선택하는 방식과 하나의 계획안에 대하여 전체 LCC의 산정결과를 토대로 전체 안을 검토하는 방식이 있을 수 있음. 아래 그림은 건설사업의 각 단계에서의 LCC 분석활용방안을 도시하고 있음



<그림 3-290 건설공사에서의 일반적인 생애주기비용 분석항목의 분류>



<그림 3-291 사용년수에 따른 평균년가의 변화>

□ 장기운전비용 분석 해석모델

- 기본가정

: 해석모델에서의 LCC 분석방법은 등가균등연간비용(EUAC) 방법을 사용

: 복합시설에서의 연간 운전비는 에너지공급시스템의 운전비만을 고려

: 내용년수 동안의 할인율은 6%이며, 물가상승율은 5%이고, 모든 구조 및 설비의 내용년수는 15년으로 함

: 연간 보전비용은 공사비의 3%로 산정하며, 연간 갱신비용은 공사비의 5%. 또한, 잔존가치는 총사업비의 10%로 산정

- 해석모델

: 본 연구에서는 미연방 조달청 공공건축국(GSA·PBS)의 LCC 분석모델을 이용하기로 함. 미연방 조달청 공공 건축국의 LCC 비용분석시스템은 연방정부 각 기관의 사무실 요구를 만족시키기 위하여 사무실 공급에 있어서의 총 비용을 평가하기 위한 시스템 절차로서 다음과 같은 비용분석시스템을 1975년부터 1976년에 걸쳐 개발하였음. 이 모델에서의 비용은 현재가치 또는 등가균등연간비용(equivalent uniform annual cost : EUAC)으로 산출. 모델식은 다음과 같음

$$EUAC = F_R[C_i \cdot F_p + \sum_{j=1}^{n} F_{pj}(C_R + C_{oj} \cdot I_{oj} + C_{mj}) + S \cdot F_p]$$

F_R : 자본회수계수(capital recovery factor : CRF) : $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$

(i : 할인율 또는 이자율, n : 내용년수)

C_i : 기획·설계·건설단계에서의 초기투자비용

F_p : 현재가치계수 : $\frac{1}{(1+i)^n}$ (단순지불시)

$\sum_{j=1}^{n}$: J=1에서 변화하는 년 수의 합계이며, 간단하게는 설비의 고유년수 또는 설비의 라이프 사이클이 끝나는 n년까지의 합계

C_R : 기준년으로 환산한 내용년수 내의 갱신비용

C_o : 기준년으로 환산한 연간 운전비용

I_o : 일반기준보다도 가격이 상승하였을 경우의 J번째 연간에서의 물가상승율

C_m : 기준년으로 환산한 연간 보전비용

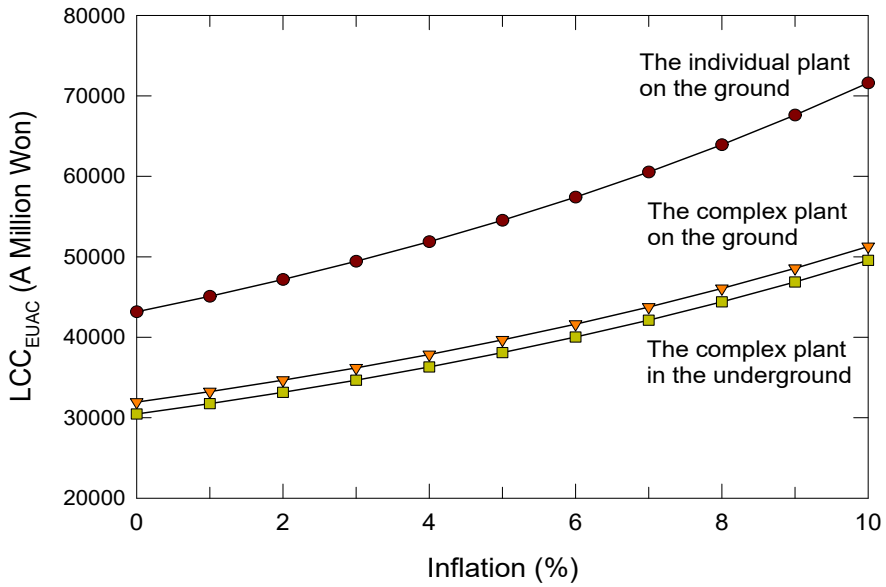
S : 라이프 사이클 종료 시의 건축물, 설비 및 부지의 폐기 또는 잔존가치

- 해석방법

: LCC 분석 항목으로 초기투자비와 운전비, 갱신비, 보전비, 잔존가치를 고려하였으며, 해당연도에서의 비용을 현재가치로 나타내기 위하여 등가균등연간비용으로 산출. 비용 대 효과성을 계산할 때 대체안의 내용년수 값이 다른 것을 비교할 때에는 현가법에 의한 비교가 용이하지 않으며, 이러한 경우에는 현금환산치로 비교하는 방법이 많이 사용되며, 이것은 현가법에서 구한 내용수명까지 발생하는 비용의 현가 총화에 자본회수 계수를 곱해서 구함

22.2 해석결과 및 고찰

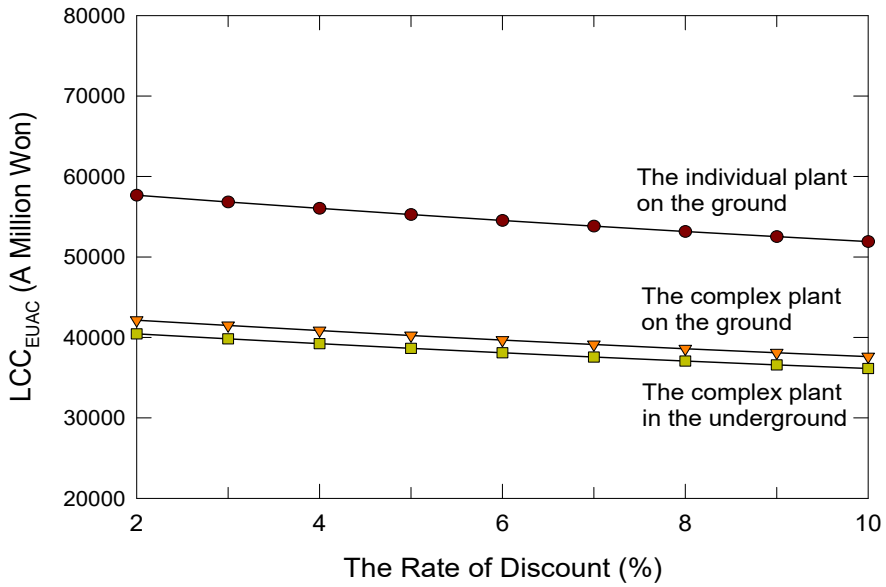
- 아래 그림은 물가상승률에 따른 도시기반 공급·처리시설의 설치방법별 LCC 비교를 도시하고 있음. 물가상승률이 증가함에 따라 모든 설치방법에서 LCC 비용이 크게 증가함을 알 수 있으며, 개별시설과 복합시설의 LCC 차이가 증가함을 알 수 있음. 또한 지하화 에너지 복합시설이 지상 개별시설보다 경제성이 우수하다는 것을 알 수 있음. 물가상승률이 10%일 경우 지하 에너지 복합시설의 LCC는 지상 개별시설에 비하여 69.2%에 불과하며, 지하화 에너지 복합시설의 경우 물가상승률이 0%에서 10%로 증가하게 되면 LCC는 1.6배 증가함을 알 수 있음



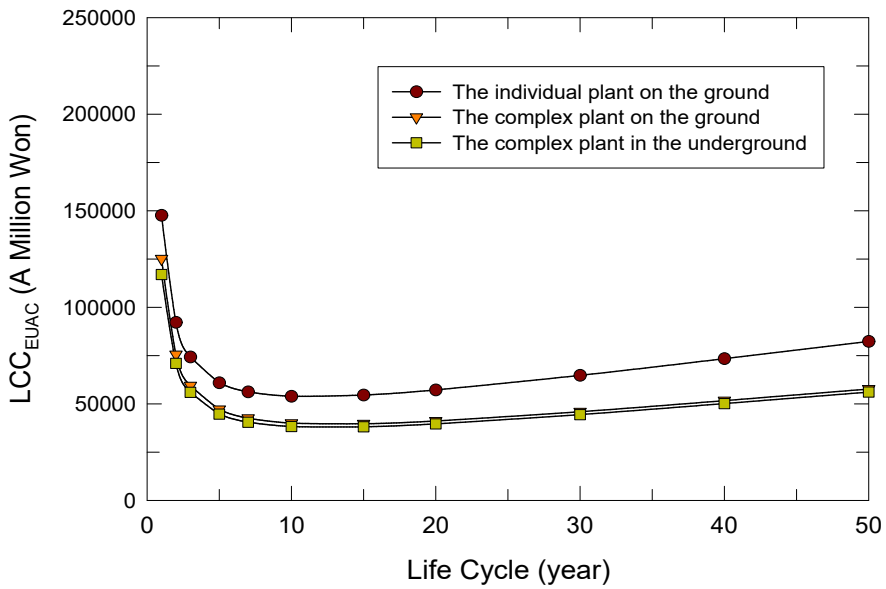
<그림 3-292 물가상승률에 따른 도시기반 공급·처리시설의 설치방법별 LCC 비교>

- 아래 그림은 할인율에 따른 도시기반 공급·처리시설의 설치방법별 LCC 비교를 도시하고 있음. 할인율이 증가할수록 LCC는 감소하는 것을 알 수 있으며, 물가상승률보다 할인율이 LCC에 미치는 영향이 적음을 알 수 있음. 지하 에너지 복합시설의 경우 할인율이 2%에서 10%로 증가하게 되면, LCC는 10.7% 감소함을 알 수 있음.
- 아래 그림은 물가상승률이 5%일 경우 내용년수에 따른 복합에너지 시스템의 설치방법별 LCC 비교를 도시하고 있음. 설비의 내용년수가 증가함에 따라 초기에는 LCC가 감소하다가 내용년수가 10년 이상이 되면 LCC가 증가하게 됨을 알 수 있음. 이와 같이 내용년수에 따라 LCC가 최소가 되는 경제수명이 존재하게 됨을 알 수 있으며, 물가상승률이 5%일 경우의 경제수명은 지상 개별시설의 경우 10년 정도이며, 지상 에너지 복

합시설 및 지하화 에너지 복합시설의 경우 15년 정도가 경제수명임을 알 수 있음. 이 이후에는 운영비가 증가하여 LCC가 다시 증가하게 됨



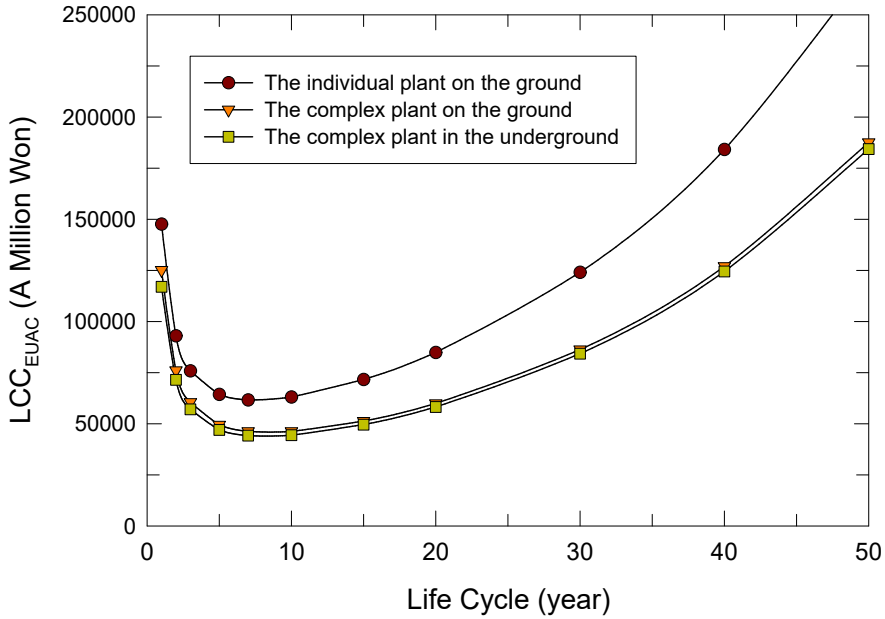
<그림 3-293 할인율에 따른 복합에너지 시스템의 설치방법별 LCC 비교>



<그림 3-294 내용년수에 따른 복합에너지 시스템의 설치방법별 LCC 비교>
(물가상승률이 5%일 경우)

- 아래 그림은 물가상승률이 10%일 경우 내용년수에 따른 복합에너지 시스템의 설치방법별 LCC 비교를 도시하고 있음. 물가상승률이 5%일 경우와 동일하게 설비의 내용년

수가 증가함에 따라 초기에는 LCC가 감소하다가 내용년수가 10년을 전후해서 LCC가 증가하게 됨. 또한, 물가상승률이 증가함에 따라 내용년수 증가에 따른 LCC 증가율이 커짐을 알 수 있음. 지하화 에너지 복합시설의 경우 물가상승률이 5%일 경우 내용년수가 10년에서 50년으로 증가함에 따라 LCC는 1.5배 증가하나 물가상승률이 10%일 경우 LCC는 4.2배 증가함을 알 수 있음. 즉, 물가상승률이 커질수록 내용년수가 LCC에 미치는 영향이 커짐을 알 수 있음. 물가상승률이 10%일 경우의 경제수명은 지상 개별시설의 경우 7년 정도이고, 지상 복합시설 및 지하 복합시설의 경우 10년 정도가 경제수명임을 알 수 있으며, 물가상승률이 5%일 경우보다 3년에서 5년 정도 경제수명이 감소함을 알 수 있음. 따라서 물가상승률이 증가하게 되면 설비의 경제수명이 감소하고, 물가상승률이 감소하게 되면 설비의 경제수명이 증가함



<그림 3-295 내용년수에 따른 도시기반 공급·처리시설의 설치방법별 LCC 비교>
(물가상승률이 10%일 경우)

- 이상과 같은 LCC 분석결과를 토대로 지하 복합플랜트의 경제성을 정리하면 아래 표와 같음. 이 때 LCC 분석방법은 등가균등비용 분석방법으로 수행하였으며, 할인율은 6%, 설비의 내용년수는 15년, 물가상승률은 5%로 고려하였음. 분석결과 지상 복합시설의 LCC는 지상 개별시설 대비 72.7%이며, 지하 복합시설의 LCC는 지상 개별시설 대비 69.8% 수준임을 알 수 있음. 즉, 총 사업비만을 고려하였을 경우보다 LCC 분석을 할 경우가 지하화 에너지 복합시설의 경제성이 증가한다는 것을 알 수 있었으며, 이러한

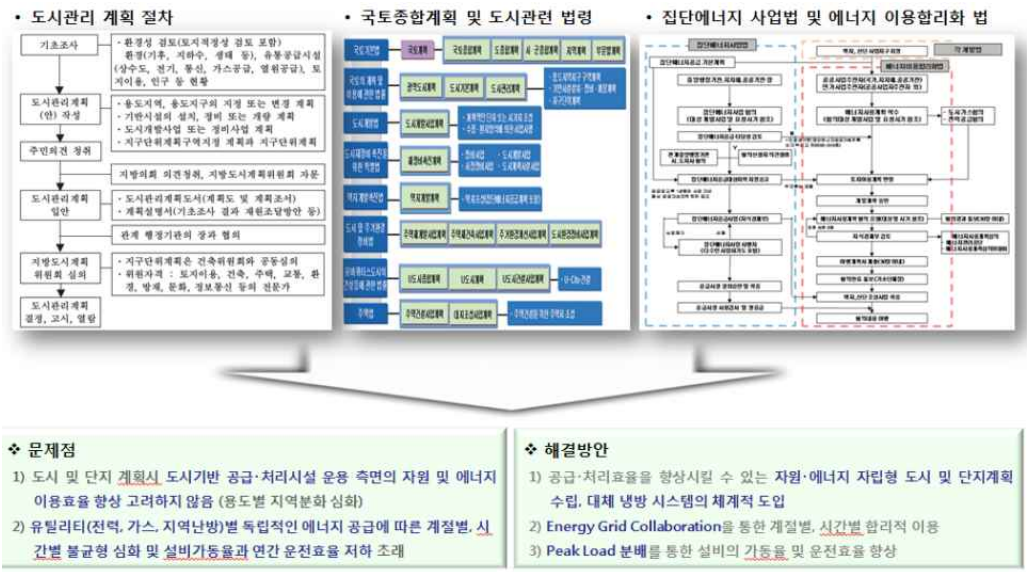
결과는 지하화 에너지 복합시설의 총 사업비가 지상 개별시설 대비 82.8%인 반면 운영관리비는 지상 개별시설 대비 69.1%로 LCC 분석에서 큰 부분을 차지하는 운영관리비의 감소율이 총 사업비보다 크기 때문임

<표 3-120 복합에너지 시스템의 설치방법별 생애주기비용 비교(단위 : 백만원)>

항 목	지상 개별시설①	지상 복합시설②	비율(%) ②/①	지하화 복합시설③	비율(%)	
					③/①	③/②
총 사업비	99,195	88,489	89.2	82,170	82.8	92.9
운영관리비	38,485	27,756	72.1	26,580	69.1	95.8
LCC (등가균등비용)	54,536	39,668	72.7	38,096	69.8	96.0

주) 할인율 6%, 내용년수 15년, 물가상승율 5%

23. 복합에너지 커뮤니티 설계지침 및 제도개선방안

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">
</td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">- 도시/지역단위 복합에너지 커뮤니티 설계지침 요소 확인 및 작성
- 복합에너지 커뮤니티의 보급 활성화를 위한 제도개선 방안 검토</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">- 도시 및 지구단위에서 복합에너지 커뮤니티 보급 활성화를 위해서는 설계지침 및 매뉴얼 개발 등 제도개선방안이 필요함.</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">- 도시 및 지구단위에서 복합에너지 커뮤니티 보급 활성화를 위한 도시에너지 공급시스템 설계지침 및 매뉴얼 개발 등 제도 개선방안 도출</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 에너지원별 독립적인 계획 수립
(개발기술 수준)
- 복합에너지 커뮤니티 구성을 통한 에너지 저감 및 탄소배출량 저감
(개발기술 수준 설정근거)
- 국내외 사례분석 및 문헌분석</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">김용기(한국건설기술연구원)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">4차년도 '14.07 ~ '15.06 (12개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>4차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>학술발표
국내 1건</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>4차년도</td><td colspan="5">- 복합에너지 커뮤니티 보급 활성화를 위한 제도개선 방안 1건(지침 또는 매뉴얼)</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td>4차년도</td><td colspan="5">- 학술발표 국내 1건 : 논문집 확인
- 질적성과 : 제도개선방안(지침 또는 매뉴얼 등) 문서 확인</td></tr>
</table>

23.1 복합에너지 구성을 위한 제도개선 기본방향(세부내역 별첨 참조)

□ 복합에너지 커뮤니티 구성 설치 업무 추진체계

- 복합에너지 커뮤니티는 다수의 공급 및 처리시설이 유기적으로 연관되어 하나의 부지에 설치되는 시스템으로서 앞에서 기술한 각 시설별 설치 업무 추진체계에 따라 설치 업무를 수행할 수도 있으나, 이 경우 각 시설별 설치 업무 추진체계에 있어 공통점이 거의 없어서 업무처리의 효율성이 크게 떨어질 것이므로 복합 커뮤니티의 경우 이들 각 시설별 설치 업무를 종합 고려하는 통합추진체계가 마련되는 것이 합리적일 것으로 판단됨

□ 복합에너지 커뮤니티 입지선정

- 에너지공급시설의 경우에는 당해 개발사업의 규모에 따른 시설용량만이 주요 검토대상이고 입지는 크게 문제시되지 않기 때문에, 입지선정 방법이나 절차에 관한 규정은 전혀 없는 것으로 보임
- 소각시설 등 폐기물처리시설은 혐오시설로 인식되어 있어 인근주민들이 설치를 기피하는 시설로서 입지를 선정하기가 매우 어려운 형편이고 따라서 입지선정 절차도 까다로움
- 하수종말처리장의 경우에는 국내에서 하수관거의 형태로 중력식을 채택하고 있기 때문에 혐오시설의 인식에 따른 입지선정의 어려움에 하천의 하류 등 배후도시보다 고도가 더 낮은 지역에 설치하여야 한다는 추가적인 어려움이 있음. 따라서 배후도시에서 비교적 멀리 떨어진 하천의 하류에 설치하거나 최근에는 개착식 공법에 의해 도시 인근의 지하에 설치하는 방법을 취하고 있고, 악취제거 등의 기술도 많이 향상됨으로써 폐기물처리시설에 비해서는 입지선정이 덜 까다롭기 때문에 입지선정을 위한 절차도 상대적으로 복잡하지 않은 것으로 검토됨
- 따라서 복합시설의 입지선정을 위한 방법과 절차가 마련될 필요가 있으며, 여기에는 복합시설에 채택되는 각종 시설군에 대한 몇 가지 사례검토가 포함되어야 할 것임

□ 복합에너지 커뮤니티 영향평가

- 먼저 환경영향평가를 실시하여야 하는 대상사업으로는 10㎿ 이상의 에너지개발사업과 하루 처리능력 100톤 이상의 소각시설 및 하루 처리능력이 10만㎥ 이상인 하수종말처리시설이 해당되나, 에너지개발사업 중 집단에너지사업법 시행령 제2조(사업의 구분 및 기준)의 규정에 의한 사업으로서 집단에너지시설로 설치되는 발전시설은 제외됨. 다만 전원개발사업 중 부지면적이 300만㎡ 이상이면 중앙교통영향심의위원회 심의대상이 되고, 15만㎡ 내지 300만㎡ 미만이면 지방교통영향심의위원회 심의대상으로 되어 있음

- 해당 사업이 영향평가 대상사업의 범위에 해당되는 경우에는 타 법령에 의해 승인 또는 허가되었다 하더라도 영향평가를 실시하여야 하고, 복합에너지 커뮤니티의 경우와 같이 하나의 사업에 2가지 이상의 시설이 설치되는 경우에는 하나의 시설이라도 대상사업의 범위에 해당되면 영향평가를 실시해야 함. 그러나 설치되는 시설 모두가 대상사업의 범위에 해당되지 않더라도 환경 등에 영향을 미칠 수 있으며, 이 경우 각 시설의 종류나 규모의 산정방식이 다르기 때문에 대상사업의 범위에 대한 검토가 필요할 것으로 판단됨

□ 복합에너지 커뮤니티 사업주체

- 폐기물처리시설의 경우 일정 규모 이상의 각종 개발사업은 개발사업자가 당해 지역으로부터 발생되는 음식물 등 유기성 폐기물을 포함한 생활폐기물처리시설을 설치하는 것으로 되어 있고, 그 이외의 경우에는 시장·군수·구청장 등 지방자치단체장 특히 기초자치단체장이 관할구역 안의 폐기물을 처리하기 위해 작성한 폐기물처리 기본계획에 의거 폐기물처리시설을 설치하여야 하는 것으로 요약될 수 있음
- 운영에 관해서는 택지개발사업의 경우에는 주체가 명확치 않으나 지방자치단체장이 운영하는 것이 일반적인 것으로 보이고, 산업단지 등의 개발사업의 경우에는 개발사업자가 직접 운영하거나 위탁운영도 가능. 그 이외의 경우에는 설치는 물론 운영도 지방자치단체장이 하는 것으로 되어 있음
- 수처리시설의 경우 공공하수도관리청이 아닌 비관리청도 공공하수도관리청의 허가를 받으면 공공하수도에 관한 공사의 시행과 유지는 가능한 것으로 되어 있는 반면, 공공하수도의 설치·개축 또는 수선에 관한 공사와 유지는 공공하수도관리청이 필요하다고 인정하여 공공하수도에 관한 공사를 대통령령(동법 시행령 제7조의2(공공하수도에 관한 공사의 위탁))이 정하는 기관에 위탁하는 등의 특별한 경우를 제외하고는 공공하수도관리청이 하도록 되어 있어 다소 모호한 것으로 판단됨
- 한편, 에너지공급시설의 경우에는 각종 개발사업자가 일차적으로 설치 및 관리에 대한 책임이 있음
- 이상에서 검토한 각 분야별 시설의 설치·관리주체, 설치범위 및 책임 또는 허가와 관련된 사항을 정리하면 다음 표와 같음(아래 표 참조)

<표 3-121 분야별, 시설별 사업주체 및 범위>

분 야	시 설	설치·관리자	범 위	비 고
에너지	집단에너지 공급시설	· 아파트지구개발사업자 · 주택건설사업자 · 대지조성사업자 · 토지구획정리사업자 · 도시재개발사업자 · 택지개발사업자 · 관광단지개발사업자	5Gcal/h 이상	산업통상자원부 장관 협의 및 허가 발전사업 허가
		· 산업단지개발사업자	30Gcal/h 이상	
폐기물	공공 처리시설	· 지방자치단체장	폐기물처리 기본계획	환경부 장관 승인
	소각시설, 퇴비화/사료화 시설	· 공동주택단지·택지 개발사업자	100만㎡ 이상	사업자 설치 또는 건설비 부담
	소각시설, 매립시설, 퇴비화/사료화 시설	· 산업단지조성사업자	폐기물 발생량 : 2만톤/년 이상, 조성면적 : 50만㎡ 이상	사업자 직접 또는 위탁 설치·운영
		· 공장개발사업자	폐기물 발생량 : 5만톤/년 이상, 조성면적 : 15만㎡ 이상	
		· 관광단지개발사업자	조성면적 :100만㎡ 이상	
하·중수	공공하수도	· 공공하수도관리청	하수도정비 기본계획	환경부 장관 승인
	중수도	· 숙박업 및 목욕장업 · 대규모 점포 · 여객시설 · 업무시설 · 공공용시설 등	건축 연면적 60,000㎡ 이상	사용수량의 10% 이상
		· 공장	폐수배출량 : 1,500㎥/일 이상	

23.2 복합에너지 커뮤니티 설계 지침(안)

23.2.1 기본계획 수립단계

□ 기본계획 측면

- 자원 및 에너지의 공급/처리효율이 높도록 토지이용계획을 수립
- 사업지역의 자원 및 에너지의 수요(부하) 및 수급여건을 면밀히 분석한 후, 시설별 최적의 용량 및 시스템 기본계획을 수립
- 시설의 통합 또는 복합화에 따른 효과를 정량적으로 분석하고 타당성을 검토
- 시설의 복합화 효과를 평가하여 우선순위를 결정. 기존 제도와의 상관관계를 검토하고 대응방안을 수립
- 토지이용계획 수립단계에서 시설별 반송경로와 효율 및 지형 및 지질조건 등을 종합적으로 고려하여 최적의 입지를 선정
- 사업주체를 검토
- 사업규모 결정을 위하여 다음과 같은 각종 계수들을 확정
  : 중장기 도시발전계획 및 대상구역 및 이동인구의 예측
  : 각종 수요 예측 쓰레기 발생량, 열 사용량, 하수량 및 슬러지 발생량 등
  : 이용 가능한 신재생에너지원 및 발생량 등
  : 에너지 신사업 추진 가능성 등
  : 주민 편의시설 대상 및 운영방안
  : 예측된 수요 유지를 위한 정책적, 제도적 추진방안
  : 사업 예비타당성 조사 사업부지 위치, 경제성, 투자비 확보, 사업운영 방안, 예정공정, 기술적 타당성 등

□ 도시계획 측면

- 도시계획 시설 중 도시기반 공급/처리시설의 계획 시에는 아래 표와 같은 검토사항을 고려하여야 함
- 택지개발 규모가 적정규모를 벗어날 경우는 택지 규모를 분산화 또는 통합화하여 지하시설 입지 및 수송효율 측면을 고려하여 시설 규모를 조정하도록 함

□ 시설계획 측면

- 개발면적이 100만㎡ 이상의 공동주택단지 또는 택지를 개발하는 경우에는 개발하고자 하는 자가 당해 공동주택단지 또는 택지로부터 발생되는 폐기물의 처리를 위한 폐기물처리시설(폐기물 소각시설과 퇴비화/사료화시설)을 설치하거나 그 설치비용에 상당

하는 금액을 당해 지역을 관할하는 시장/군수/구청장에게 납부하여야 하나, 그 이하의 경우에는 폐기물처리시설을 설치할 의무는 없음

- 공공하수도관리청이 인정하는 위탁기관 등 공공하수도관리청이 아닌 자도 공공하수도관리청의 허가를 받아 하수종말처리시설 등 공공하수도에 관한 공사 또는 유지를 할 수는 있으나, 공공하수도관리청이 필요하다고 인정하는 경우로 국한되어 있는 반면, 일정 규모 이상의 특정 시설물을 신축, 증축/개축 또는 재축하는 경우에는 중수도의 설치가 의무화되어 있음

- 개발면적이 60만㎡ 이상인 택지개발사업이나 도시개발사업, 개발면적이 30만㎡ 이상인 산업단지개발사업 등 대통령령이 정하는 일정규모 이상의 에너지를 사용하는 사업을 실시하거나 시설을 설치하고자 하는 자(사업주관자)는 에너지사용계획을 작성, 제출하여야 함. 특히, 열생산용량이 전기생산용량보다 크면서 열생산용량이 5Gcal/h 이상인 지역냉난방사업이나 열생산용량이 30Gcal/h 이상인 산업단지 집단에너지사업의 경우에는 산업자원부 장관과 집단에너지 공급타당성에 관한 협의를 하여야 함

- 결국 개발면적이 100만㎡ 이상인 택지개발사업이나 도시개발사업의 경우에는 그 사업을 수행하는 자가 폐기물처리시설과 하수처리시설 및 에너지공급시설의 설치와 운영에 관한 계획을 수립할 수 있을 것으로 판단됨. 중수처리시설 이외에 하수처리시설의 경우에는 공공하수도관리청의 허가가 요구됨

- 복합시설의 경우 시설의 합리적인 설치 및 운영을 위해서는 하나의 사업주체가 전체 시설을 관장할 필요가 있으며, 이를 위해서는 현재 시설별로 명확하게 구분되어 있는 시설별 사업주체에 대한 적극적인 검토가 요구되며, 또한 시설의 설치의무 대상 개발면적의 기준의 조정에 대한 검토 필요

<표 3-122 도시계획 시설 중 도시기반 공급·처리시설의 계획 시 검토사항>

항 목	내 용
시설의 중복결정	· 토지를 합리적으로 이용하기 위하여 필요한 경우에는 2개 이상의 시설을 같은 토지의 지하/지상/수중/수상 및 공중에 함께 결정할 수 있음. 이 경우 각 시설의 이용에 지장이 없어야 하고, 장래의 확장가능성을 고려하여야 함
입체적 시설의 결정	· 시설이 위치하는 지역의 적정하고 합리적인 토지이용을 촉진하기 위하여 필요한 경우에는 시설이 위치하는 공간의 일부만을 구획하여 시설결정을 할 수 있음. 이 경우 당해 시설의 보전, 장래의 확장가능성, 주변의 시설 등을 고려하여 필요한 공간이 충분히 확보되도록 하여야 함 · 이와 같은 규정에 의하여 시설을 설치하고자 하는 때에는 미리 토지소유자, 토지에 관한 소유권 외의 권리를 가진 자 및 그 토지에 있는 물건에 관하여 소유권 그 밖의 권리를 가진 자와 구분지상권의 설정 또는 이전 등을 위한 협의를 하여야 함
시설의 규모	· 시설은 당해 지역 기능의 유지 및 증진에 기여할 수 있도록 장래의 수요를 고려하여 적정한 규모로 결정하여야 하며, 부당하게 과대하거나 과소한 규모로 결정하여서는 안 됨
환경·생태계 및 경관 등의 보호	· 시설을 결정을 하는 때에는 환경·생태계 및 경관의 훼손을 최소화하여야 하며, 역사적/문화적 또는 향토적 의의가 있는 지역을 보전할 수 있도록 하여야 함

□ 시설입지 측면

- 복합에너지 이용 효율을 높이기 위하여 폐기물처리시설은 용도지역지구별로 행위제한사항을 두고 있으며, 각 용도지역별 개별법이 정하는 바에 따라 입지를 결정. 지정폐기물 이외의 폐기물처리시설은 전용공업지역, 일반공업지역, 준공업지역 및 자연녹지지역, 재활용시설은 제2종 일반주거지역, 제3종 일반주거지역, 준주거지역, 일반상업지역, 전용공업지역, 일반공업지역, 준공업지역, 자연녹지지역 및 계획관리지역에 한하여 설치가능

- 복합에너지 이용 효율을 높이기 위하여 하수처리시설은 수계별 또는 소구역을 단위로 하는 ‘분산처리방식(발생원 처리방식)’을 적극 도입할 것을 권장하고 있고, 도시계획 등 상위계획에 의하여 하수를 새로이 발생시키는 산업단지, 택지개발사업, 재개발사업 등을 시행하는 경우에는 최대한 현장인근 또는 단지 내에 별도의 하수처리장을 설치할 것을 권장

- 에너지공급시설은 에너지의 합리적인 이용이 가능한 입지의 선정을 요구하는 것 이외에, 열원시설은 제2종 전용주거지역, 제2종 일반주거지역, 제3종 일반주거지역, 준주거지역, 전용공업지역, 일반공업지역, 준공업지역, 자연녹지지역 및 계획관리지역에 설

치 가능. 전기공급시설 중 발전시설은 전용공업지역, 일반공업지역, 준공업지역, 자연녹지지역 및 계획관리지역에 한하여 설치 가능. 그리고 가스공급시설은 전용공업지역, 일반공업지역, 준공업지역, 자연녹지지역 및 계획관리지역에 한하여 설치 가능

- 에너지공급시설은 배관망 구성을 단순화하고, 설치비용 및 열손실을 줄이기 위하여 공급대상 지역 중앙에 설치되는 것이 바람직하며, 폐기물처리시설도 폐기물의 운송비용을 줄이기 위하여 처리지역 중앙에 설치되는 것이 바람직함. 다만, 하수처리시설은 배관망을 고려하면 중앙에 설치되는 것이 바람직하나 표고 등에 의한 펌핑동력 등의 여러 가지 요소들을 종합적으로 고려하여 위치를 선정하는 것이 바람직함

23.2.2 조사단계

□ 세부 사업계획을 확정
□ 부지 매입방안을 검토
□ 인허가 추진일정(환경/교통영향평가, 통합 또는 개별 인허가 등)을 검토
□ 용역 또는 시공발주 방안(민자, SOC, 공공사업, 일괄발주 등)을 검토
□ 충분한 조사를 실시하고, 착공시기 단축을 위한 설계일정을 계획
□ 기술적인 문제점을 검토하고 해결방안을 모색
- 굴뚝 단일화 방안, 소각장 폐기물 저장 이송의 공간 최소화
- 장비 사용 및 유지 보수 공간 고려 검토
- 환기, 부식에 따른 시설의 재질 선정 검토
- 안전관리시설 검토

□ 부지조사를 실시. 부지조사에는 지형현황측량, 지표지질조사, 물리탐사, 주변 현황조사, 실험실 조사 등이 수행되어야 함

23.2.3 설계단계

□ 도시에너지 이용 효율 향상을 위한 에너지공급시설 측면
- 에너지공급시스템의 공급부하가 결정되면 건설비 및 운전비, 원동기의 용량범위, 부분부하 운전특성, 고장 시 대책, 보수점검계획 등을 고려하여 대수분할을 고려하여야 함
- 집단에너지공급계획은 집단에너지, 열병합발전 및 폐열활용에 대해서는 자체적으로 건설하는 방안과 인근지역과의 연계 공급하는 방안을 검토하여 최적의 시스템을 선택하여야 하며, 에너지수요예측에서 산출된 간접열부하와 전력부하자료를 토대로 열부하

및 전력부하에 대한 시계열적 부하변동곡선 및 연간부하누적곡선을 작성하여 적절한 열병합발전방식과 용량을 선정하여야 함
- 열 이외에도 전기를 공급할 수 있는 열병합발전시설(증기터빈, 가스터빈, 복합화력 등)의 건설에 대한 검토가 병행되어야 함
- 에너지부하의 평준화를 위하여 우선적으로 각종 전기 대체냉방과 빙축열냉방 도입을 검토하여야 하며, 최대수요전력 감시제어시스템 및 직접부하제어시스템과 같은 적극적인 전력부하관리 방안을 검토하여 적절한 방법을 강구하여야 함
- 최종적인 연료의 선택은 환경적 측면에서의 지구환경보전과 정부의 연료정책을 고려하여야 하지만 적절한 공해배출방지시설을 갖춘 저렴한 연료의 선택도 고려되어야 함
- 공급부분 수요를 산출함에 있어 최종 소비부분 수요에 공급체계상의 제손실 요소를 고려하여야 함
- 에너지효율성이 높은 에너지공급방안인 집단에너지공급시설 및 열병합발전시설의 도입이 용이하도록 업종배치 및 폐열이용을 도모하여야 하고, 계획 당시에는 그러한 시스템 도입이 곤란하다 하여도 차후에 여건 조성 시에 용이하게 그러한 시스템에 연결될 수 있도록 계획을 수립하여야 함
- 에너지이용효율향상 기자재 및 시스템에 대해서는 관련 법률에 의한 의무설치사항과 에너지사용계획에 의한 설치계획사항을 업종(용도)별로 일목요연하게 일람표(Matrix)를 작성하여야 함
- 건축물 등은 정부가 시행하고 있는 ‘친환경적 건축물의 설계요령’ 및 ‘건물에너지효율등급 인증에 관한 규정’에 의한 우수한 설계가 되도록 노력하여야 하며, ‘고효율 에너지기자재 보급촉진에 관한 규정’에 의해 인증 받은 고효율 에너지기자재를 설치하도록 하여 에너지이용효율향상을 도모하여야 함
- 폐열의 회수이용에 대해서는 회수이용분과 잉여폐열분을 모두 제시함으로써 향후 필요시나 여건 조성 시 추가적인 잉여폐열의 회수이용이 용이하도록 함
- 기술적으로 적용가능한 모든 대체에너지에 대하여 누락되지 않도록 기술검토를 실시하고, 기술검토 결과에 따라 경제성 검토를 실시하여야 함
- 일정규모 이상의 공공건축물 신축 시는 소요에너지의 일정량 이상을 대체에너지로 공급토록 하는 방안을 검토하여야 함
- 이산화탄소 배출감소계획은 당해 사업(시설)의 시행으로 인한 이산화탄소 배출량을 정확히 예측토록 하여야 함
- 이산화탄소 배출감소에 관련된 기술과 도입내용을 상세히 제시하여야 함. 하수처리시설, 쓰레기소각시설, 열병합발전시설 등에서 소비되는 전력은 열병합발전시설에서 생산되는 전력을 사용하며, 비상 시 한전전원과 연계하여 사용할 수 있도록 계획

□ 복합에너지 커뮤니티 구성을 위한 환경기초시설 측면

- 폐기물에 대해서는 원천적인 발생량 감소대책 및 효과적인 처리(분류수집, 재활용 및 소각열 회수 등) 방안을 수립하여야 함
- 생활폐기물 소각시설 인근에 에너지공급시설이 있을 경우 에너지공급시설과 연계하는 방안을 적극적으로 고려해야 함
- 소각폐열만으로는 해당 지역의 열수요 전체를 충당하기는 불가능하며, 소각에 의해서 얻어지는 열의 단가는 일반 화석연료를 사용하여 생산되는 열의 가격보다 훨씬 저렴하므로 소각폐열을 전체 에너지공급시스템의 기저부하를 담당하도록 운영하여야 함
- 생활폐기물 소각로에서 연소 시 발생되는 850~950℃의 연소가스를 집진장치 등 연소가스처리설비에서 처리할 수 있도록 200℃ 가까이 감온할 필요가 있을 경우, 물분사 감온장치의 설치를 자제하고 배열회수보일러를 충분히 활용하여 연소가스의 온도를 제어하고 폐열을 회수하여야 함
- 소각시설 폐열보일러에서 증기의 생산조건은 증기의 사용목적과 용량에 따라 다르며, 일반적으로 증기터빈을 구동하여 전력을 생산하기 위해서는 고온(850~950℃), 중압(40kgf/㎠)의 과열증기(400℃ 이상)의 생산이 요구되는 반면, 지역열공급이 주목적이라면 중온수열공급시스템(120℃) 온도에 적합한 중저압(16kgf/㎠)의 포화증기(203℃)를 사용하는 것이 경제적임
- 현재 국내에서 일반적으로 채택하고 있는 소각폐열 활용방안은 열공급 위주의 방식이나, 소각시설 폐열보일러에서 발생하는 200℃의 증기를 지역난방용 온수(120℃ 이하)로 사용하기에는 열의 다단계 이용 측면에서 바람직하지 못하므로 증기를 에너지공급시스템의 증기터빈에 제공을 함으로써 전력생산 등의 증기터빈을 적극적으로 활용하여야 함
- 하수 및 중수의 여열을 활용하기 위하여 열펌프를 사용하여 에너지공급시스템과의 연계를 검토하는 것이 바람직함. 복합에너지 커뮤니티의 열펌프 열원으로는 하수열, 중수열, 폐기물 소각장의 복수기 폐열 및 연돌가스 폐열, 지열 등을 이용할 수 있음
- 저온수 공급방식으로 변경하거나 열펌프를 이용하여 생산된 저온수를 소각폐열 등을 이용, 승온하여 중온수로 공급하여야 함
- 지역난방 공급온수온도가 낮을수록 열펌프의 성적계수는 상승하므로 가능한 공급온수온도를 낮춰야 함. 단, 효율적인 지역난방 공급수 온도는 외기온도, 수송거리, 배관단열도, 펌핑동력, 공급열량 등을 고려해서 결정하도록 함
- 하수열을 이용할 경우 열교환기의 오염물질 부착을 방지하기 위한 열교환기의 자동세척장치가 필요하며, 다관식 열교환기를 사용할 경우 청소를 생각하여 튜브 중에 하수를 흐르도록 하는 것이 일반적임. 또한, 오염에 강한 튜브재질을 사용해야 함
- 지역난방에 사용하기 위해서는 열펌프의 열원수온도와 온수출력의 온도폭이 매우 크

기 때문에 냉매는 환경친화적인 R-134a를 적용하여 1단 압축 시스템보다는 2단 압축시스템으로 구성하는 것이 시스템의 성적계수를 높일 수가 있어 바람직

- 대용량의 열펌프를 구동하기 위한 압축기는 터보형 압축기를 사용하는 것이 바람직. 하수 슬러지를 소각 처리하여 여열을 회수하는 경우에는 슬러지의 발열량을 높이기 위해 소화공정을 거치지 않는 것이 바람직하며, 고형화하여 처리하는 경우에는 소화공정을 설치하여 유기물 함량을 가능한 낮추는 것이 바람직

- 하수 및 폐수처리장에서 발생되는 유기성 슬러지를 음식물 쓰레기와 골고루 혼합·교반시켜 합병처리 할 수도 있으나, 하수 및 폐수 슬러지는 중금속을 포함하고 있으므로 음식물 쓰레기와 합병·소화 처리하는 것을 신중히 고려하여야 함

- 여러 가지 재활용 및 감량화 방법 중에서 어떤 것을 선택할 것인가는 지역 여건, 특히 생산된 퇴비나 처리 잔재물 등의 수요처 확보 가능성을 감안하여 결정되어야 함. 예를 들면 퇴비의 수요처 확보가 가능한 농촌이나 농촌 인접 도시에서는 퇴비화를 추진하는 것이 좋고, 시멘트 제조회사가 인근에 위치하여 건조한 하수처리오니를 시멘트원료로 제공할 수 있다면, 건조를 추진하는 것이 바람직. 또한, 폐기물 매립지나 성토재의 수요가 많은 지역에서는 고화처리를 선택하는 것이 좋고, 폐열이나 보조연료를 싼 값으로 공급받을 수 있는 경우에는 건조나 소각처리를 선택하는 것이 바람직하고, 여열을 이용하여 복합에너지를 구성하는 것이 바람직함

24. 도시에너지사용 분석기법

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">
</td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">- 도시단위 실증 데이터를 사용하여 에너지 사용량 분석 기법 개발 및 도시에너지 관리자 및 에너지 사용자의 의사결정을 위한 에너지 사용정보에 대한 정형보고서 및 사용자지정 보고서 작성기법 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">- 도시의 에너지 사용에서 발생하는 탄소를 관리하기 위해서는 에너지의 사용에 대한 모니터링 결과를 바탕으로 현재 도시 에너지 공급과 소비의 문제점을 파악하고 개선점을 도출해야 함. 이를 위해 기존의 평면적 분석을 확장하여 개별 사용자별로 필요한 다차원분석을 할 수 있는 통계분석 모듈을 구현해야 할 필요가 있음</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">- 모니터링 결과를 바탕으로 현재 도시 에너지 공급과 소비의 문제점을 도시에너지 관리자 및 에너지 사용자가 원활하게 분석하고 파악할 수 있는 정형보고서 및 사용자 지정 보고서의 컨텐츠와 표현방식을 제공함</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 개별에너지/단순사용량/정형보고서 분석
(개발기술 수준)
- 도시단위 복합에너지 관점에서 분석
- 사용량 및 프로세스 분석
- 정형보고서 및 사용자 지정보고서 기반 분석
(개발기술 수준 설정근거)
- 도시단위에서 이루어지는 복합에너지통합관제와 대용량 비정형데이터 분석기법 고려</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">한태경(기초전력연구원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">4차년도 '14.07 ~'14.01 (7개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>4차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>논문게재
국내 1건</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>4차년도</td><td colspan="5">- 도시에너지 사용량 분석 기법 적용 : 1건
◦ 실증 단지 데이터 이용한 에너지 사용량 분석
◦ 분석결과를 통한 에너지 시뮬레이션 효과 확인</td></tr>
<tr><td>달성 확인방법</td><td>4차년도</td><td colspan="5">- 학술발표 국내 1건 : 논문집 확인
- 도시에너지 사용량 분석 기법 적용 : 보고서 확인</td></tr>
</table>

24.1 도시단위 에너지 예측 데이터 분석 방법(시계열 예측 결과의 검토)

□ 실시간 모니터링 센서를 통해서 취득된 데이터를 토대로 다양한 예측방법을 토대로 정확도를 측정할 수 있는 다양한 분석 메뉴를 구성

□ 평균절대오차, 절대편차평균, 제곱편차평균, 등 다양한 방법에 대한 분석 화면을 구성하여, 정확도 및 오차에 대한 비교가 가능하도록 분석 메뉴를 구성

24.1.1 백분율의 평균 절대 오차 (Mean Absolute Percentage Error)

□ 시계열 분석 결과로 나오며, 추세(Trend) 추정에 이용

□ MAPD (Mean Absolute Percentage Deviation) 라고도 하며, ((실제값 - 예측값)/실제값)의 절대값의 평균 X 100 을 나타냄

□ 오류의 비율로 정확성을 표현하므로 타 통계보다 직관적인 표현이 가능하며, 이에 대한 확인이 간편함

□ MAPE의 % 값만큼 예측 오차가 존재한다고 해석이 가능함. 즉, MAPE=5일 경우, 예측오차는 5%라고 알 수 있으며, 이를 통하여 실제값과 예측값의 예측오차율 표현이 가능함

□ 작은 값을 가질수록 예측 오차가 낮은 것이기 때문에 좋은 모델이라고 할 수 있음

24.1.2 절대 편차 평균(Mean Absolute Deviation)

□ 시계열 분석 결과로 나오며, 표준 편차를 대변하며, 각각의 데이터 값과 평균 차이 간의 거리를 평균으로 나타낸 것

□ (실제값 - 평균)의 절대값의 평균: 평균값 대신 중앙값(Median) 또는 최빈값 (Mode)을 사용하기도 하며, 중앙값을 사용할 경우가 평균값을 사용할 때보다 항상 작은 값이 나옴

□ 데이터에서 같은 단위에서 비교할 경우 사용하며, 단위가 다르면 분산보다는 표준편차를 이용함

□ 데이터가 정규분포일 경우, 평균값을 사용하면 <MAD = 0.8 X 표준편차>가 성립

□ 중심으로부터의 거리(평균이나 중앙값에서 흩어진 정도)를 보기 위해 사용하는 값이므로 표준편차보다 더 간단한 측정값으로 사용할 수 있어 많이 활용되는 분석 변수임

24.1.3 제곱 편차 평균(Mean Squared Deviation)

□ 시계열 분석 결과로 나오며, 적합한 정확도 측정에 이용

□ 표준편차를 일반화시킨 척도로 예측값의 정확성을 평가하는 양적인 척도로 활용이 가능함

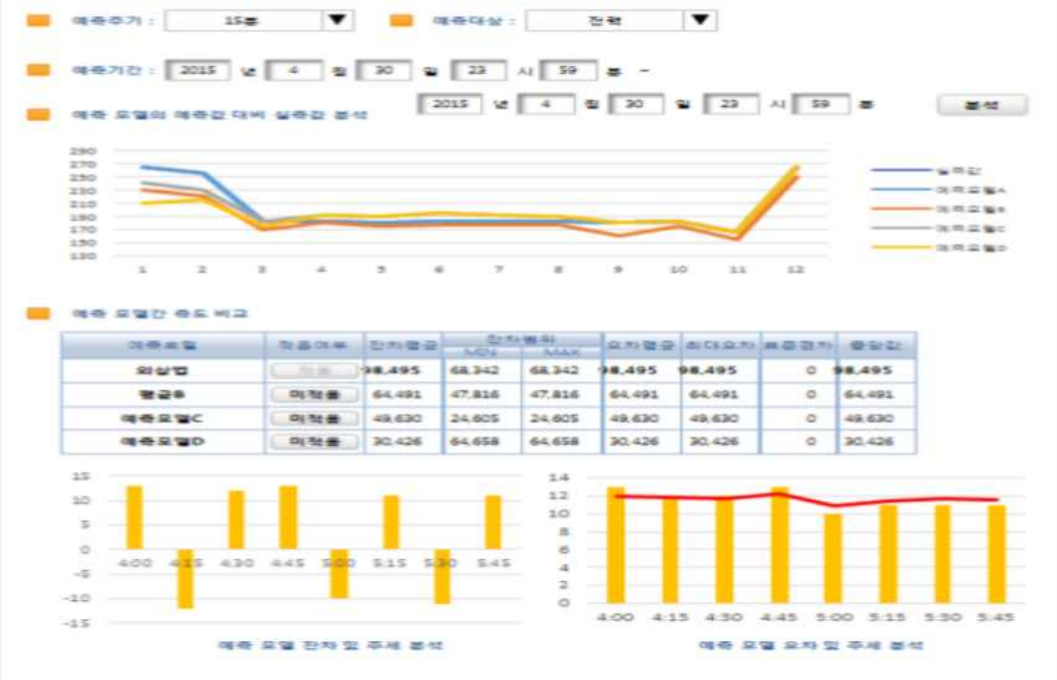
□ 추정 값 또는 모델이 예측한 값과 실제 환경에서 관찰되는 값의 차이를 다룰 때 흔히 사용하는 측도

□ 정밀도(precision)를 표현하는데 적합하며, 각각의 차이값은 잔차(residual)라고도 하며, 평균 제곱근 편차는 잔차들을 하나의 측도로 종합하여 확인할 때 필요

24.1.4 통계적 분석방법과 이에 따른 측정관련 내용

종류	MAPE	MAD	MSD	MSE	RMSE
분석방법	시계열	시계열	시계열	회귀	회귀
측정	예측오차율	표준편차	표준편차	분산	표준오차
비교	정확도	정확도	정확도	정확도	정밀도

<그림 3-296 통계적 분석방법별 특징>



<그림 3-297 통계적 분석방법 적용 예시>

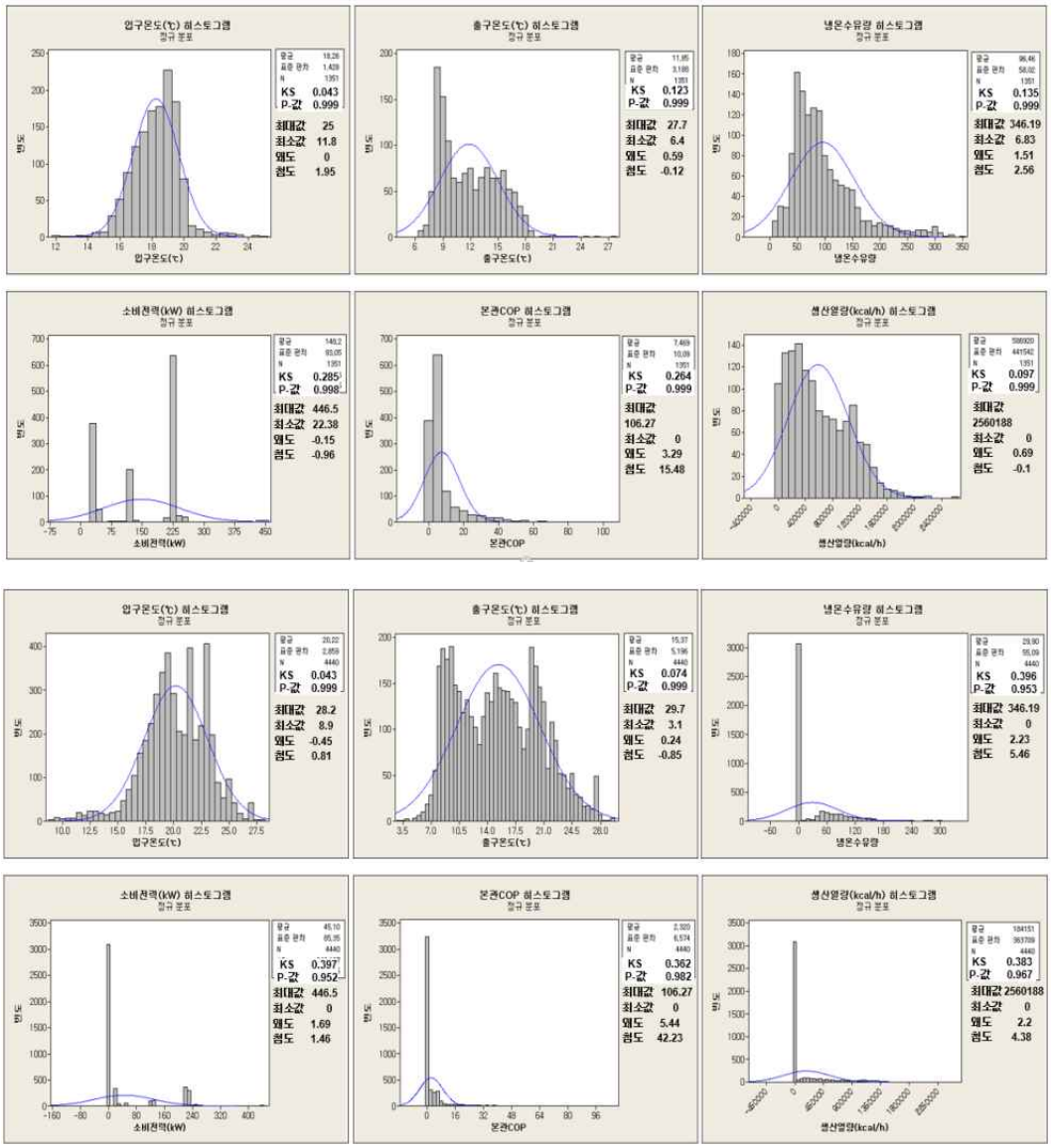
□ MAD, MSD는 두 가지 모두 정확도 측도 모두 변동(편차)에 대한 것을 측정하지만, 편차의 제곱의 평균을 나타내므로, 이상치를 판별해낼 때 MSD가 더 민감

□ 모델에 얼마나 잘 적합한가를 판단하는 측도이므로, 모든 값은 작을수록 좋음

24.2 도시단위 에너지 소비량 모니터링 및 분석

24.2.1 데이터(정보) 처리 절차 및 분석

□ 선행・실시간・예측 데이터(시스템 성능, 에너지 소비량 등) 등 다량의 다양한 데이터에 대한 전처리 방법을 활용하여 데이터 분석



<그림 3-298 데이터 전처리 방법>

□ 상관분석・요인분석・주성분분석 등의 통계적 방법과 데이터마이닝 방법에 의한 분석을 수행한 후, 장단점 비교를 통하여 적합한 분석 기간 및 방법을 선정

분석 기간	특성치	분석 대상	분석 방법
□ 1일 □ 1주 □ 2주 □ 1개월 □ 3개월 □ 6개월 □ 1년	□ 같은 시간 □ 같은 요일 □ 같은 월 □ 같은 계절 □ 평일/주말 □ 없음 □ 기타	□ 평균 □ 표준편차 □ 평균 ± x*표준편차 □ 중위수 □ Q1-z*IQR / Q3+z*IQR □ 회귀분석 (95%) □ 예측 □ 정규성	□ 시그마 범위 □ 부호 □ 증감 (상관성) □ Clustering □ Distance □ 이동평균 (가중치 :) □ winter's method

<그림 3-299 분석기간 및 방법>

24.2.2 실시간 모니터링 에너지 소비량 분석

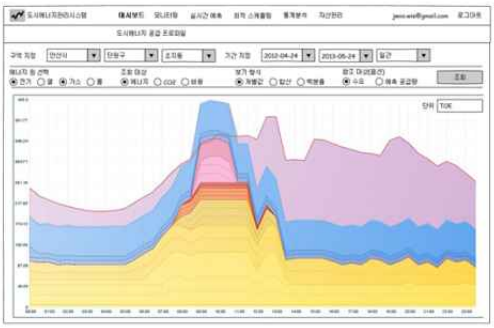
□ 각 에너지 소비량에 대한 모니터링을 지역별, 건물별, 기간별, 일별, 월별, 년별 등과 같은 다양한 검색 조건을 위한 분석 Chart 제공

□ 또한, 금일 예상 수요량 및 전일대비 증감률 Chart를 제공하여, 현재시간까지의 에너지 사용량을 직관적으로 분석 가능하도록 Chart 제공



<그림 3-300 실시간 에너지 모니터링 화면>

25. 개선된 통합에너지관제시스템

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6"> </td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">- 도시단위 실증결과를 분석한 결과에 따라 개선한 대시보드/모니터링/실시간예측/최적화/통계분석/자원관리 모듈로 구성된 통합에너지 관제시스템</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">- 도시단위 실증을 통하여 적용모듈의 유효성과 도시별 특성을 파악할 수 있음
- 이를 고려하여 통합에너지 관제시스템의 대시보드/모니터링/실시간예측/최적화/통계분석/자원관리 모듈을 개선해야 할 필요가 있음</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">- 통합관제시스템의 대시보드/모니터링/실시간예측/최적화/통계분석/자원관리 모듈을 도시단위 실증결과를 고려하여 도시의 특성에 맞게 수정하여 다음을 수행함
◦원활한 도시의 공급/수요 프로파일 및 공급/소비 현황을 표시
◦도시에너지 공급/수요 모니터링
◦도시에너지 수요 및 신재생(풍력/태양광) 출력을 예측
◦연단위/주단위/일단위/시간단위 최적운영스케줄 도출
◦정형보고서 및 사용자 지정 보고서를 구현
◦도시 내 계측기 및 공급자원, 부하, 연계선 목록관리를 수행</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 에너지 관리를 통한 탄소저감 10% 수준
(개발기술 수준)
- 에너지 관리를 통한 탄소저감 15% 이상
(개발기술 수준 설정근거)
- 일반적 도시 대비 대상도시의 특성 고려, 해외 사례 조사</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">한태경(기초전력연구원)
박시삼(GS건설㈜)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">4차년도 '14.07 ~ '15.06 (12개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>4차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>등록 1건
(GS건설 공동)</td><td>학술발표
국내 1건</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>4차년도</td><td colspan="5">- 개선된 통합에너지관제시스템 프로그램 사용설명서 : 1건
- 개선된 통합에너지관제시스템 프로그램 시작품 : 1건</td></tr>
<tr><td>달성 확인방법</td><td>4차년도</td><td colspan="5">- 소프트웨어 등록 : 프로그램 등록증 확인
- 학술발표 국내 1건 : 논문집 확인
- 개선된 통합에너지관제시스템 프로그램 사용설명 : 보고서 확인
- 개선된 통합에너지관제시스템 프로그램 시작품 : 시작품 시연</td></tr>
</table>

25.1 Smart CEMS 최적화 프로그램 개선사항

□ 신재생에너지 및 열병합발전기의 잉여열원을 저장장치와 연계하여 사용할 수 있도록 하여, 간헐성 해결 및 에너지 효율을 높일 수 있도록 프로그램 업그레이드

□ 또한, 전문가 입력부분 중에서 현재 사용하지 않는 부분을 관리자만이 세팅할 수 있도록 프로그램 구조 변경

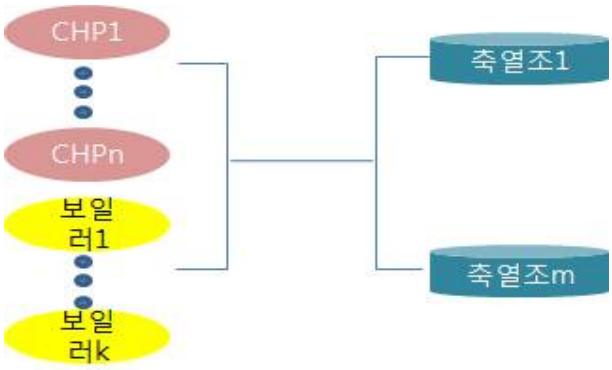
25.1.1 Link 기능 확대 적용

□ 에너지 저장장치(축열조, 배터리)와 출력설비를 연계할 수 있는 Link 기능을 추가

□ 신재생에너지(태양과, 풍력)과 배터리를 연계하여 에너지 유입과 유출의 최대/최소를 고려하고 초기잔량 및 최종잔량을 고려할 수 있도록 하였으며, 특정한 시간대에 배터리의 잔량을 지정하여 최적의 연계운전이 가능하도록 알고리즘을 수정

□ 또한 다수의 전기(신재생에너지) 및 열생산(열병합발전기, 보일러) 설비자원과 다수의 에너지 저장장치가 연계되는 상황을 고려. 이러한 경우에는 축열조의 축열은 Link로 연계된 설비의 에너지만을 사용하는 것으로 설정하여, 에너지의 저장 및 출력을 통한 운영이 아닌 내부설비의 잉여, 여분 에너지에 대해서 효과적으로 사용하는 방법으로 최적화가 이루어지도록 최적화 프로그램의 고려사항 추가

□ 입력데이터 쪽에서는 위에 연계사항에 대한 분석을 위하여 같이 운영하고자하는 설비를 동일한 플랜트 코드를 가져야하며, Link를 1로 설정하는 것으로 시스템을 설정



<그림 3-301 Link 기능 적용 예시>

25.1.2 Slack 변수의 적용을 통한 시스템 안정도 증가방안 모색

□ 최적화프로그램은 최적해를 찾기 위하여 시스템모델링 데이터를 가지고 반복적인 수행을 하게 되나, 여러 가지 상황으로 인해 최적해를 찾을 수 없는 경우에 최적화 엔진이 종료됨. 이러한 경우에는 적절하지 않은 결과를 보여주게 됨

□ 이때 가능한 적절한 해를 찾기 위해 주요제약에 대하여, Slack 변수를 도입함으로써 이러한 현상을 제거

[slack 변수가 없는 모델]

$$Min \sum_{i=1}^{n} c_i \cdot P_i$$

$$s.t. \sum_{i=1}^{n} P_i = Load$$

[slack 변수가 있는 모델]

$$Min \sum_{i=1}^{n} c_i \cdot P_i + T \cdot S$$

$$s.t. \sum_{i=1}^{n} P_i + S = Load$$

T: Penalty(일반적으로 큰 수)
S: slack 변수

<그림 3-302 Slack 변수 적용 예시>

□ 만일 자원들이 최대출력으로 생산해도 부하를 맞출 수 없는 경우라면, Slack 변수가 없는 왼편 모델에서는 해가 없으므로 엔진이 종료

□ Slack 변수가 있는 우측 모델은 동일한 상황에서 발전기들은 최대출력을 내고, 추가로 S라는 Slack 변수가 (부하 - 최대출력)만큼 생산하여 엔진이 종료되지 않고 찾을 수 있는 좋은 답(설비들이 최대출력을 내는 것)을 찾을 수 있음

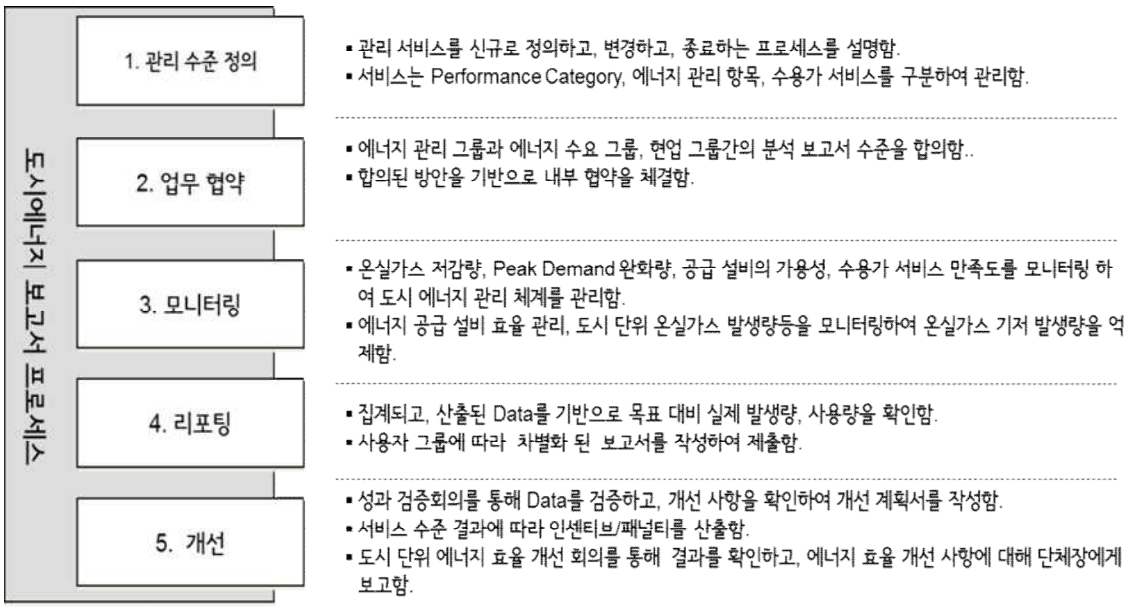
25.1.3 분석을 통한 정형보고서 관련 분석을 통한 요구사항 도출

□ 많은 지방자치단체의 도시단위 에너지 사용 분석 체계의 문제점은 다음과 같음

개선 대상	현재 지자체 에너지 관리 체계 문제점	개선 정의된 사항
사용자	- 사용자 그룹에 대한 명확한 구분 정의와 R&R 의 문서화 미비함 - 신재생, 에너지 관리자 중심으로 사용자 그룹이 한정되어 있음.	- 에너지 사용 추이 분석 보고서 사용자그룹을 도시 에너지 관리 프로세스를 기반으로 단체장,도시에너지관리자, 수용가 에너지 관리그룹, 에너지 공급 설비 담당 그룹으로 정의 함
보고서	- 현 보고의 주기가 월 1회 이하로 정해져 있고, 수작업으로 보고서를 작성함으로 시기별로 다양한 Trend 분석이 용이하지 않음. - 도시단위의 에너지 관리자를 위한 보고서는 있지만, 개별 수용가가 사용하는 각 수용가별 보고서가 없고, 지방자치단체장을 위한 현황 보고서가 미흡함	- 단체장, 현업 사용자그룹을 위한 보고서 정보 항목 추가 및 보고 주기 개선 - 보고서 구조 정의(1.에너지서비스 구분 : Performance Category 보고서, SL/OL항목 보고서, 수용가별 보고서 2.시기별 구분 : 일/주/월/분기/년간 보고서) - 데이터 추출 및 가공/집계 방안과 연계하여 자동화 방안에 반영 - 각 사용자그룹의 보고서 활용에 대한 구분을 에너지 경영진 관점, 에너지 실무 관리자 관점, 수용가 관점으로 분류하여 보고서를 제공

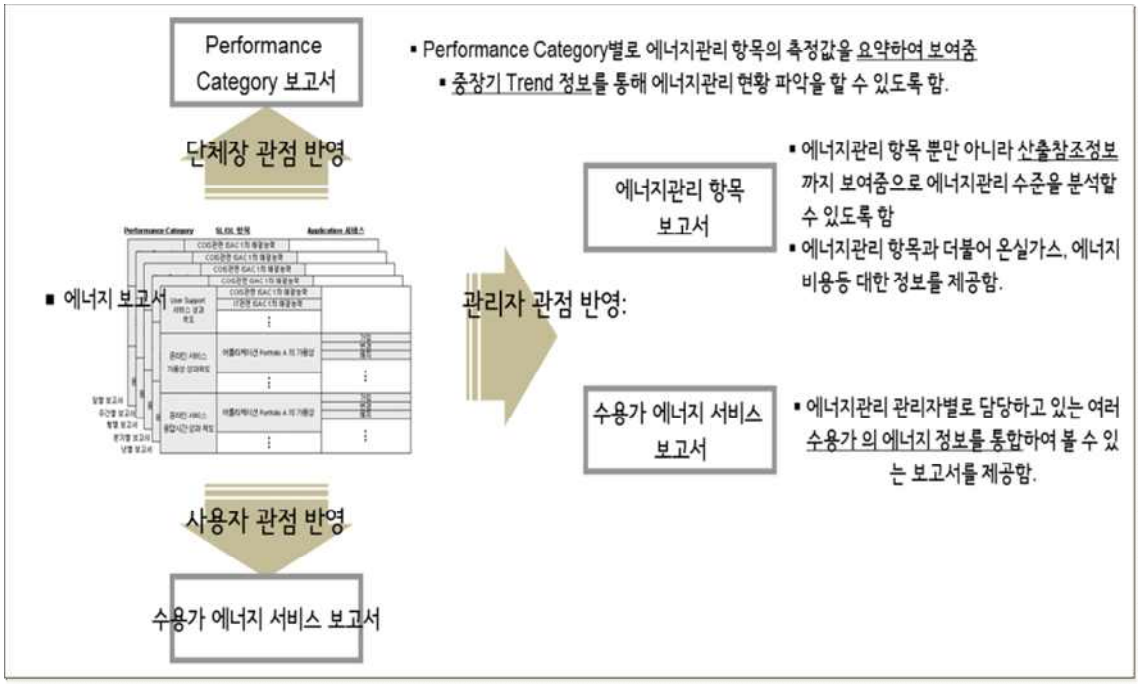
<그림 3-303 지자체 에너지 관리 체계 문제점 및 개선안>

□ 이에 대한 개선을 위해 다음과 같은 보고서 작성 체계를 제안



<그림 3-304 도시에너지 보고서 프로세스>

□ 에너지 사용 분석 보고서의 개선을 위해 다양한 관점의 보고서 작성 요구 사항을 도출



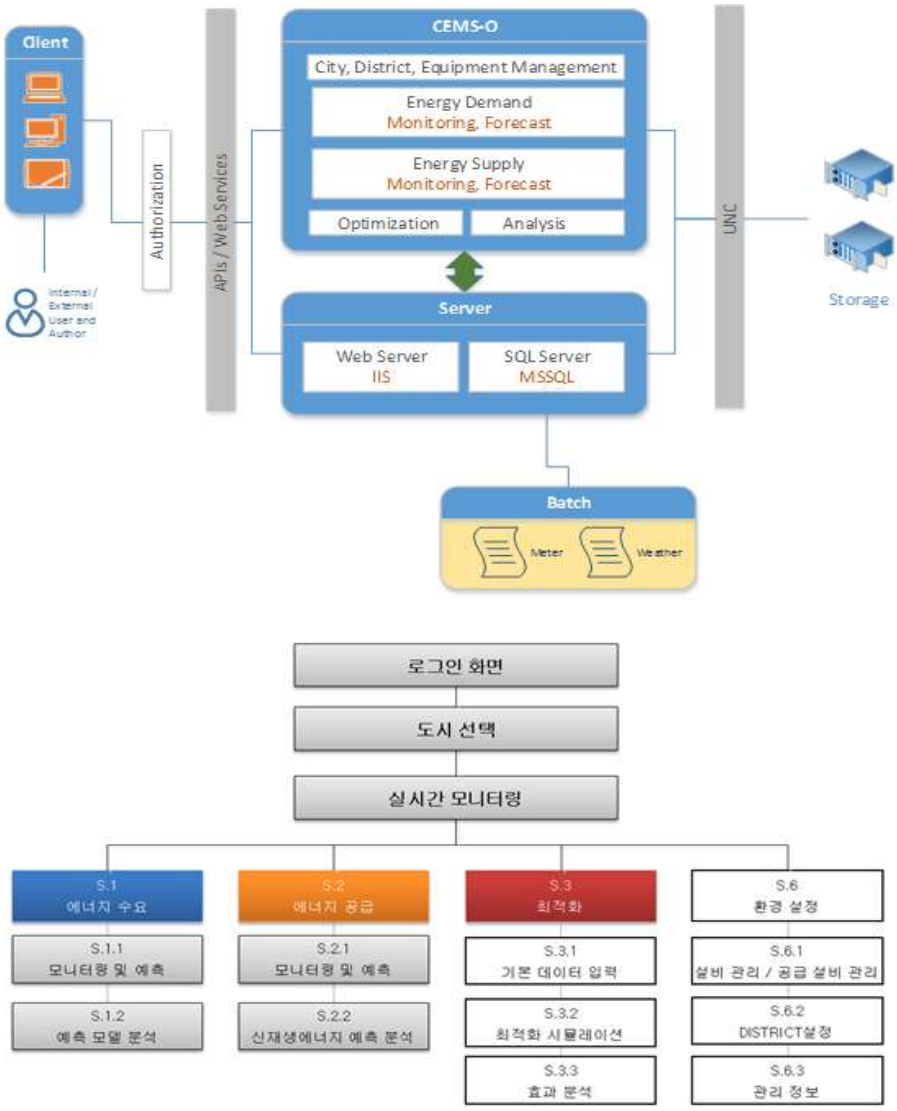
<그림 3-305 주요 보고서>

25.2 도시관제를 위한 Smart CEMS Upgrade

□ DB 스키마 개선을 통해 데이터의 연계성 확보 및 빠른 계산이 가능하도록 DB 보완

□ 관리자부분의 기능을 강화하여, 전문가가 필요한 기능을 수행할 수 있도록 개선하였고, 전체적인 프로그램의 UI 개선 및 전일대비 현재 사용량 그래프를 추가적으로 개발하여 구성하였음

25.2.1 프로그램 전체 구성의 개선

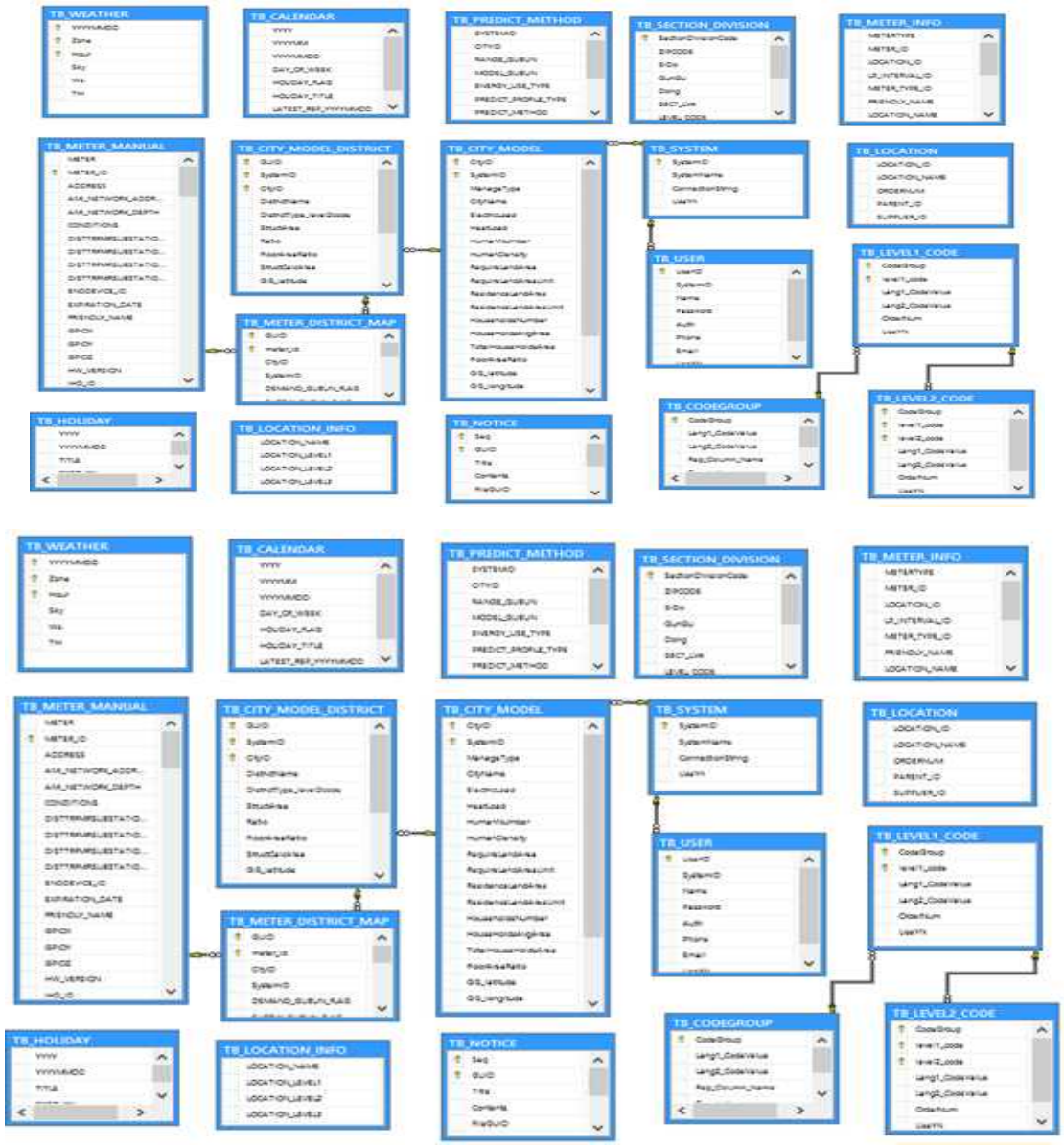


<그림 3-306 프로그램 기능구조도 및 구성>

25.2.2 DB 스키마 개선 및 보완

□ 아래의 그림과 같이 DB스키마를 구성하여, 지역정보, Meter정보, 도시정도 등 관련 자료의 연동이 용이하도록 구성

□ 공장과 빌딩 등 건물에 설치되어 있는 센서로부터 전력 데이터를 받아 빅데이터 관리 시스템에 적재하며, 클라이언트의 요청에 따라 분석된 결과를 JSON 또는 기타 유형의 데이터로 제공



<그림 3-307 DB 스키마 개선 및 보완 내용>

□ DB 테이블에 대해서는 별첨 6을 참조하면 되며, 아래와 같은 형태로 주요테이블에 대해서 정의하였음

- TB_SYSTEM: 시스템 정보를 저장, 가장 기초가 되는 테이블

칼럼	형식	비고
SystemID	nvarchar(50)	Pk, 시스템 아이디
SystemName	nvarchar(50)	시스템명
ConnectionString	nvarchar(1000)	DB 연결정보
UseYn	bit	사용여부

- TB_USER: 시스템에 해당하는 사용자 정보

칼럼	형식	비고
UserID	nvarchar(30)	Pk, 사용자 아이디
SystemID	nvarchar(50)	시스템 아이디
Name	nvarchar(50)	사용자명
Password	nvarchar(20)	비밀번호
Auth	tinyint	권한
Phone	nvarchar(30)	전화번호
Email	nvarchar(300)	이메일
UseYN	bit	사용여부

- TB_CITY_MODEL: 도시정보

칼럼	형식	비고
CityID	nvarchar(50)	Pk, 도시 아이디
SystemID	nvarchar(50)	Pk, 시스템 아이디
ManageType	char(1)	타입 (테스트베드. 운영)
CityName	nvarchar(50)	도시명
ElectricLoad	float	전력부하
HeatLoad	float	열부하
HumanNumber	int	인구수
HumanDensity	int	인구밀도
RequireLandArea	float	필요 토지면적
RequireLandAreaUnit	nvarchar(50)	필요 토지면적 단위
ResidenceLandArea	float	거주용 토지면적
ResidenceLandAreaUnit	nvarchar(50)	거주용 토지면적 단위
HouseholdsNumber	float	세대수
HouseHoldsAvgArea	float	세대 당 평균면적
TotalHouseHoldsArea	float	총 세대면적
FloorAreaRatio	float	용적율
GIS_latitude	decimal(30, 10)	GIS 위도좌표
GIS_longitude	decimal(30, 10)	GIS 경도좌표
RegUser	nvarchar(50)	등록자
RegDate	datetime	등록일
ModUser	nvarchar(50)	수정자
ModDate	datetime	수정일
UseYn	bit	사용유무

- TB_METER_DISTRICT_MAP: 구역별 Meter정보 매핑

칼럼	형식	비고
GUID	varchar(36)	Pk, 아이디
meter_id	int	Pk, Meter 아이디
CityID	nvarchar(50)	도시 아이디
SystemID	nvarchar(50)	시스템 아이디
DEMAND_GUBUN_FLAG	varchar(1)	수요용 여부
SUPPLY_GUBUN_FLAG	varchar(1)	공급용 여부
ENERGY_USE_TYPE	nvarchar(50)	에너지 사용타입 (전력, 열)
RENEWALABLE_YN	varchar(1)	신재생 여부
ENERGY_SUPPLY_EQUIP_TYPE	varchar(50)	공급설비 유형
ENERGY_SOURCE_TYPE	varchar(50)	에너지원
METER_UNIT	varchar(50)	미터기 단위
METER_STATUS	varchar(10)	미터기 상태
USEYN	bit	사용유무
RegUser	nvarchar(50)	등록자
RegDate	datetime	등록일
ModUser	nvarchar(50)	수정자
ModDate	datetime	수정일

- TB_METER_INFO: 미터기 정보

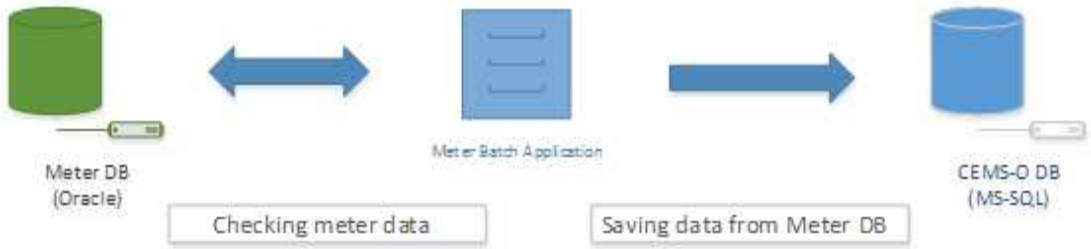
칼럼	형식	비고
METERTYPE	nvarchar(100)	Pk, 미터기 타입
METER_ID	int	Pk, 미터기 아이디
LOCATION_ID	int	미터기 위치
LP_INTERVAL_ID	int	데이터 간격
METER_TYPE_ID	int	
FRIENDLY_NAME	nvarchar(500)	
LOCATION_NAME	nvarchar(500)	
LOCATION_LEVEL1	nvarchar(500)	
E_SOURCE_TYPE	nvarchar(100)	
EQP_TYPE	nvarchar(100)	
LP_TYPE	nvarchar(100)	
METER_TYPE	nvarchar(100)	

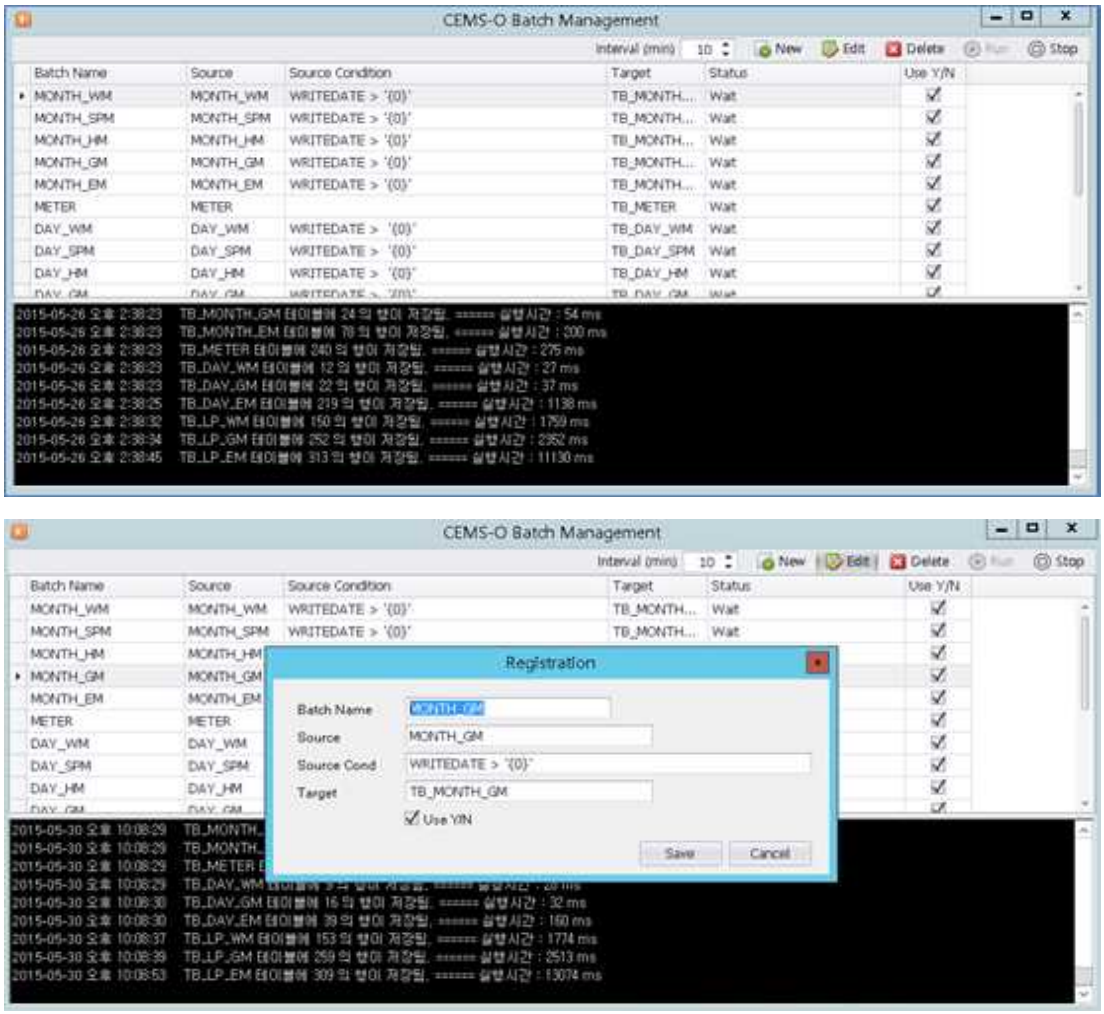
- TB_NOTICE: 공지사항 정보

칼럼	형식	비고
Type	char(1)	Pk, 구분
GUID	nvarchar(36)	Pk, 아이디
Title	nvarchar(100)	제목
Contents	text	내용
FileGUID	nvarchar(36)	파일 아이디
FileName	nvarchar(1000)	파일명
ReadCount	int	조회수
RegUser	nvarchar(50)	등록자

25.2.3 데이터 수집관련 개선

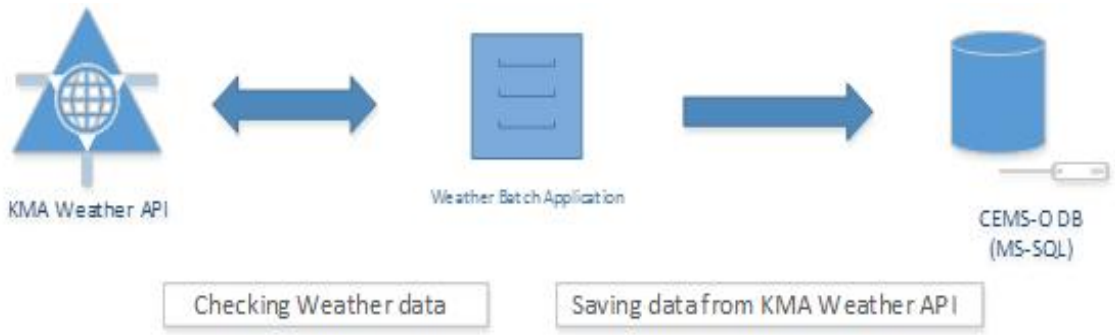
□ 센서 데이터의 수집 Batch작업을 개선하여, 센서데이터를 빠르게 수집 가능하도록 수정하였으며, 미터데이터의 DB를 가져오는 형태로 구성하여 센서데이터를 이중으로 저장 가능하도록 하였음

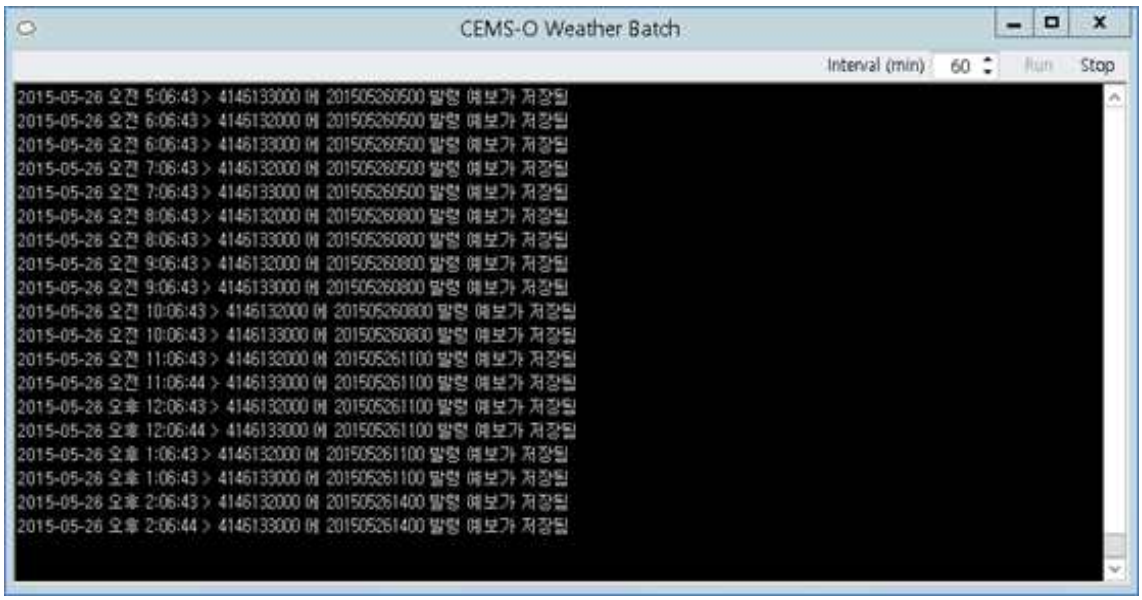




<그림 3-308 데이터 수집 개선 내용>

□ 신재생에너지 예측을 위한 기후데이터의 수집을 위하여 기상청의 데이터를 자동으로 수집하는 Batch 파일 개발을 바탕으로, 지속적인 데이터 수집을 통하여 자동으로 신재생에너지 예측이 가능하도록 시스템 개선



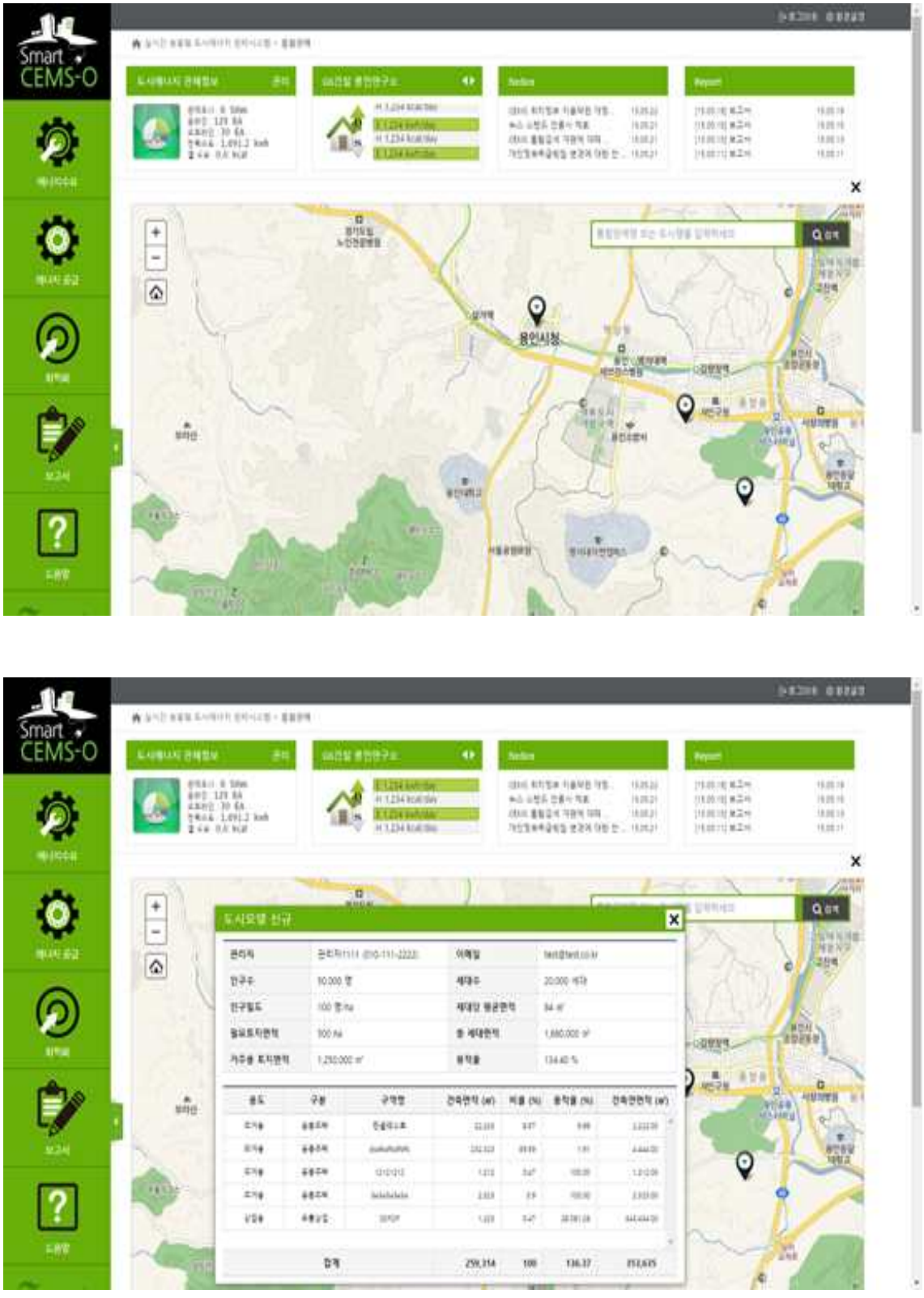


<그림 3-309 기상데이터 수집 개선 내용>

25.2.4 UI 개선

□ 통합관제화면구성을 통하여 관제도시에 대한 부분을 직관적으로 볼 수 있는 관제화면을 추가하였으며, 이외의 관리 및 모니터링 화면을 직관적으로 볼 수 있도록 화면의 구성 변경 및 개선 <별첨 6 참고>

□ 관제 메인



<그림 3-310 UI 개선 화면>

□ 관제도시 전체



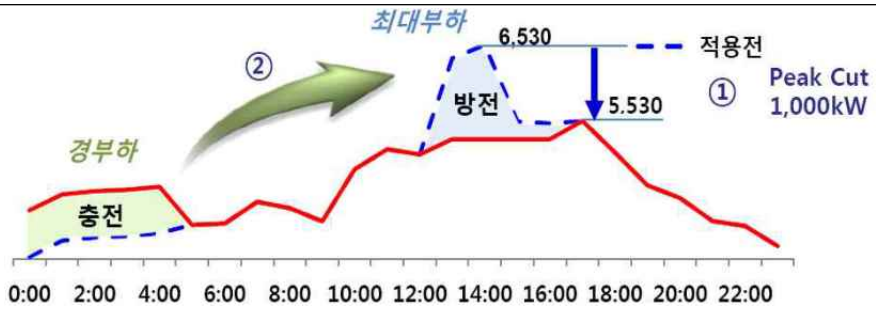
<그림 3-311 관제도시 전체 화면>

□ 관제도시 에너지 분석



<그림 3-312 관제도시 에너지 분석 화면>

26. 도시규모에 적합한 CEMS용 수요관리(DR) 프로그램 개발

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="7">

<ESS운영에 의한 Load-Shifting 방안></td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="7">- 수용가 측면에서 활용 가능한 자가발전 설비(비상용 예비전원, 소형열병합, 소용량 신재생에너지원, 소형ESS 등) 기반의 수요관리(Load shifting)가 가능한 CEMS급 수요관리(DR)프로그램</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="7">- 도시 내 발전설비에 대한 최적 운영 스케줄 수립과 동시에 비상발전기 혹은 에너지 저장장치를 활용한 최적의 수요반응(DR)을 통해 도시 에너지 저감 효과의 극대화</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="7">- 도시규모 에너지관리시스템(CEMS)를 활용하여 도시 수용가 측면에서 도시 에너지 수요 절감을 위한 수요관리(DR) 운영 기법 개발
- 수요반응에 의한 도시 차원의 경제성 분석
- 지능형 부하자원의 최적 운영, 활용 가능한 발전설비 및 부하자원 분석
- 국가 수요관리 정책을 분석하여 최적의 CEMS용 수요관리(DR) 프로그램 개발</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="7">(기존기술 수준)
- 부하 측 수요관리 프로그램 적용 이전 대비 약 10% 저감
(개발기술 수준)
- 부하 측 수요관리 프로그램 대비 도시규모 운영 한계로 인한 5%대 에너지 저감 목표
(개발기술 수준 설정근거)
- 일반적인 수요관리 효율 대비(해당 적용 사례가 없음)</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="7">조수환(상명대학교)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="7">4차년도 '14.07 ~ '15.06 (12개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>4차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>4차년도</td><td colspan="5">- 적용 전후 대비 에너지 저감 효과: 5% 이내 (도시 내 제어 가능 발전원의 특성에 따라 변동 가능한 수치임)</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td>4차년도</td><td colspan="5">- 시뮬레이션을 통한 목표성과 검증
- 보고서 및 논문 발표, 게재를 통한 수요관리 프로그램 적합성 확인</td></tr>
</table>

26.1 수요반응(Demand Response, DR) 관련 국가정책 및 프로그램 조사

□ 국내외 수요반응을 활용한 수요관리 프로그램을 조사하고, 이를 바탕으로 국내외 규정을 만족하는 적합한 개발 요소 도출

26.1.1 미국의 수요반응 프로그램 개요

□ 인센티브 기반 프로그램: 인센티브를 제공하여 전력 절감 유도

- Demand Bidding(수요입찰): 전력시장에서 가격 및 부하감축량 입찰 참여
- Direct Load Control(직접부하제어): 수용가의 전력기기를 원격으로 강제 차단
- Emergency Demand Response(비상시 수요반응): 비상 시 부하 감축 수용가에게 인센티브 제공
- Interruptible Load(부하차단): 수급비상 시 요금제 또는 할인약정으로 부하차단
- Load as a Capacity Resource(용량자원): 사전에 지정한 부하감축용량을 약정하고 부하감축
- Non-Spinning Reserve(비순동 예비력): 수급불균형 발생시 10분 초과 반응 가능한 수요자원
- Spinning Reserve(순동 예비력): 비상 시 수 분 내에 반응 가능한 수요자원
- Frequency Regulation(주파수조정): 계통운영자의 실시간 신호에 대응하여 부하를 증감하는 수요반응

□ 요금 기반 프로그램: 가격신호를 제공함으로써 최종소비자가 자율적인 판단에 의해 전력 절감

- Criticcal Peak Pricing(피크요금제): 한정된 기간 동안 사전에 정해진 요율 및 가격을 부과함으로써 부하감축 유도
- Peak Time Rebate(피크시간 리베이트): 피크 기간 중 지정된 시간 동안 부하감축 시 감축량만큼의 리베이트를 받는 제도
- Real-Time Pricing(실시간 요금제): 전기요금이 실시간으로 변동
- Time-of Use(시간대별 요금제): 전력사용량 단위 가격을 시간대에 따라 다양하게 설정하는 제도

□ 대표적인 수요반응자원시장을 운영하는 회사로는 PJM, NYISO, CAISO 등이 있으며, 줄일 수 있는 양을 약속하고 발령을 통하여 약속한 양을 줄이는 신뢰성 DR과 하루 전 시장에 입찰을 통하여 발전자원과 경쟁하는 경제성 DR 프로그램으로 분류가 가능

26.1.2 국내 수요반응 프로그램 개요

□ 국내에서는 미국의 수요반응 프로그램을 기반으로 전력법 개정을 통하여 2014년 11월부터 수요반응자원거래시장을 개설하였음

□ 기존에 아래의 표와 같은 다양한 수요관리를 위한 프로그램이 있었으나, 시장논리 및 경제적 논리에 의해서 이러한 제도는 현재 폐지되어가고 있는 상태이며, 수요반응자원거래시장으로 모두 편입되고 있음

구 분	지정기간 수요조정제도	주간예고 수요조정제도	수요자원시장	직접부하제어	지능형 DR
시행시기	피크부하시 (하계 10~15일간)	피크부하시 (예비력:450만kW미만)	피크부하시 (예비력:450만kW미만)	수급경보 주의 (예비력:300만kW미만)	피크부하시 (예비력:450만kW미만)
자원등록기준	300kW이상	300kW이상	300kW이상	300kW이상	100kW이상
주요 대상	산업용	산업용	산업용	산업용	소규모 산업용/일반용
통보 시점	2개월전	전주 금요일 ~ 전일	전일 15시 ~ 3시간 전	발생 시	1시간 전
제어 방식	수동	수동	수동	자동	자동/수동
참여 의무	자율	자율	자율	강제	강제
모집 주체	한전	한전	전력거래소/ 부하관리사업자	한전	부하관리사업자
지원방식	실적급	실적급	실적급	고정급+실적급	고정급+실적급
가격결정	약정	약정	입찰에 의한 가격경쟁	약정	입찰에 의한 가격경쟁
자원 규모	150만kW	400만kW	300만kW	100만kW	5만kW
지원단가 (원/kWh)	560 ~ 680원/kWh	540(5일전) ~ 900원(하루전)/kWh	1,072원/kWh (2011년 실적)	기본급 연간2,000원/kW 실적급 최대 3,400원/kWh	기본급 연간 51,200원/kW 실적급 550원/kWh

<그림 3-313 수요관리 제도>

□ 수요반응자원거래시장은 크게 실시간 급전지시에 따른 감축(신뢰성 DR)과 하루 전 시장 입찰에 따른 감축(경제성 DR)로 분류되며, 이는 미국의 프로그램과 거의 비슷한 형태임

□ 실시간급전지시에 따른 감축(신뢰성 DR)은 소비자가 줄일 수 있는 양을 계약하여, 감축시간(9:00~20:00)에 줄이라는 요청이 오게 되면, 약속한 만큼을 줄여 시장에 참여하는 것을 의미. 감축된 자원은 발전기과 동등하게 기본정산금과 실적정산금을 모두 받을 수 있음. 관련된 기본 조건은 아래와 같음

- 감축시행 시간대: 09:00~20:00, 단 12:00~13:00(점심시간) 제외
- 감축시작시간 1시간 전까지 급전지시 발령
- 1일 최대 2회까지 급전지시 발령 가능
- 금전지시 횟수별 최소 2시간에서 최대 4시간까지 감축지속가능
- 최대감축시간: 60시간(초기)

□ 감축량 평가는 고객기준부하(Customer Base Load, CBL)에서 실제 전력량을 차감하여 산출함

□ 또한 이러한 시장에 참여를 위해서는 RRMSE(Relative Root Mean Squared Error)라는 전기소비자의 전기소비행태와 고객기준부하 적합성을 검증하는 통계방식을 적용하여, 30% 이내가 되어야 참여가 가능한 형태임

26.2 수요반응(Demand Response, DR) 관련 프로그램 개발

□ DR 프로그램은 실제적으로 참여할 수 있고 데이터를 연계해서 확인할 수 있도록 부하관리사업자와의 연계를 통해서 실적적인 프로그램을 개발하였으며, 이에 대해 통신프로토콜은 OpenADR 2.0B를 적용하였음

□ 또한, 기존에 개발한 수요예측 모듈을 활용하여, 기존 DR 프로그램에는 없는 기능을 개발하였음

26.2.1 CBL 계산 방법

□ DR 프로그램에서 가장 중요한 기능은 감축 가용량의 산정에 필요한 CBL을 계산하는 방법이며, CBL을 계산하는 방법은 아래의 표와 같은 방법론이 있음

<표 3-123 CBL 계산 방법>

	구분	내용	비고
기본	Max(4/5)	최근 5일 중 최대 4일간의 평균 전기소비량	
	Mid(6/10)	최근 10일 중 최대 2일과 최소 2일을 제외한 6일의 평균 전기소비량	
옵션	비상 근무일	창립기념일 등 평상시와 매우 다른 날을 제외하여 CBL의 정확성 제고	일괄 적용
	SAA	감축시행일의 감축시작 전 전기소비패턴과 유사일과의 차이를 CBL산정에 반영	선택 가능

□ Max(4/5): 감축일로부터 최근 평일(참고일) 중 감축일의 총 감축시간대에 대해서 평균 사용전력량이 큰 순서대로 나열하여 최대 4일(유사일)을 선택한 후 유사일의 사용 전력량을 평균하여 거래시간별 고객기준부하로 산정하는 방식

□ Mid(6/10): 감축일로부터 최근 10일(참고일) 중 감축일의 총 감축시간대에 대해서 평균 사용전력량이 최대 2일과 최소 2일을 제외하고 남은 6일(유사일)을 선택한 후 유사일의 사용전력량을 평균하여 거래시간별 고객기준부하로 산정하는 방식

□ 참고일(CBL 산정일)

- 평상시 사용전력량을 추정하기 위하여 활용되는 유사일의 후보일
- 감축지시 발령일 이후의 최근 평일부터 카운트함
- 감축일은 참고일에서 제외
- 발전계획에 따른 감축량 평가 시 입찰일도 참고일에서 제외
- 비정상근무일 적용으로 참고일(5 or 10)이 부족할 경우, 감축일로부터 최근에 제외된 일시적인 생산조정일 → 비정상근무일 순서로 참고일에 포함시켜 유사일 산정

□ 비상근무일 옵션의 경우에는 일반용, 산업용에 관계없이 적용하는 것이 기준부하의 정확성을 높이는데 필요하며, 산업용 요금을 적용하고 있는 곳은 1단계로 비정상근무일을 제외하고, 2단계로 생산조정일을 제외하여 사용하며, 일반용 요금이 적용되는 수요처는 1단계 비정산근무일만을 제외함

□ 비정상근무일(1단계)
- 생산설비 고장 및 창립기념일 등 수요반응 참여고객의 평상시 전기소비형태와 매우 다른 날이 참고일에 포함되어 고객기준부하 산정에 왜곡이 발생하는 것을 방지하기 위함
- 모든 참여고객에게 일괄 적용하는 옵션
- 감축일의 감축시간대에 대해서 참고대상일별 평균 사용전력량이 최대감축기간(10일 또는 20일)의 평균 전력사용량의 75% 미만인 날을 참고일에서 제외

□ 일시적인 생산조정일(2단계): 산업용의 경우 사용
- 생산량의 일시적인 폭증 또는 감소로 인하여 일시적으로 수요반응참여고객의 평상시 전기소비형태와 다른 날이 참고일에 포함되어 고객기준부하 산정에 왜곡이 방생하는 것을 방지하기 위함
- 산업용 참여고객에 한하여 추가적으로 적용되는 옵션
- 1단계 비정상근무일을 제외한 후, 산정한 참고일(5일 또는 10일) 중 참고일별 평균 전력사용량이 전체 참고일(5일 또는 10일)의 평균 사용전력량의 75% 미만인 날과 125% 초과인 날을 참고일에서 추가적으로 제외
- 일시적인 생산조정일을 제외하여 참고일이 부족할 경우, 일시적인 생산조정일로 제외된 날 중 가장 최근의 날을 참고일로 포함하여 유사일 산정

□ SAA(Symmetric Addictive Adjustment) 옵션은 감축일의 전기소비형태를 반영하여 CBL을 보정하는 방법으로, 흔히 온도보정이라고도 알려져 있음. 이 방법은 산업용에 비하여 일반용에 적합하다고 알려져 있으며, 기후에 변동을 많이 받는 부하의 경우 적용하면 유

리함

- 감축일의 감축시작 시간으로부터 1시간 전에서 4시간 전까지의 3시간 동안의 평균사용량에서 유사일의 동일시간대 평균사용전력량을 차감한 값을 CBL 값에 합산하여 최종적으로 CBL을 산출
- 발전계획에 의한 감축량을 평가할 때는 적용하지 않음
- 1일 2회 발령 시 첫 번째 발령에 따른 SAA값을 두 번째 감축 시에 동일하게 적용하며, 점심시간(12:00~13:00)을 별도로 제외하지 않음

□ Max(4/5)의 CBL 산정 과정

- 최대참고일(10일)의 감축시간대에 대한 평균 사용전력량 산출
  : 산출한 평균 사용전력량보다 75% 미만인 날을 비정상근무일로 인정하여 참고일 산정에서 우선 제외
  : 비정상근무일을 제외한 후 재산정한 참고일(5일)의 감축시간대에 대한 평균 사용전력량에 비해 75% 미만인 날과 125% 초과인 날을 일시적인 생산조정일로 인정하여 추가적으로 참고일에서 제외
- 가장 최근 참고일(5일) 중 평균 사용전력량이 큰 순서로 나열하여 최대4일(유사일)을 선택한 후 고객기준부하(CBL)를 산정
- SAA 옵션을 선택하여 보정할 경우 감축일 3시간 평균계량값에서 유사일 3시간 평균계량값을 차감한 SAA값을 SAA 보정 전 고객기준부하(CBL)에 합산하여 최종 고객기준부하(CBL) 산정

□ MID(6/10)의 CBL 산정 과정

- 최대참고일(20일)의 감축시간대에 대한 평균 사용전력량 산출
  : 산출한 평균 사용전력량보다 75% 미만인 날을 비정상근무일로 인정하여 참고일 산정에서 우선 제외
  : 비정상근무일을 제외한 후 재산정한 참고일(5일)의 감축시간대에 대한 평균 사용전력량에 비해 75% 미만인 날과 125% 초과인 날을 일시적인 생산조정일로 인정하여 추가적으로 참고일에서 제외
- 가장 최근 참고일(10일) 중 평균 사용전력량이 최대인 2일과 최소인 2일을 제외하고 남은 6일(유사일)을 선택한 후 고객기준부하(CBL)를 산정
- SAA 옵션을 선택하여 보정할 경우 감축일 3시간 평균계량값에서 유사일 3시간 평균계량값을 차감한 SAA값을 SAA 보정 전 고객기준부하(CBL)에 합산하여 최종 고객기준부하(CBL) 산정

26.2.2 RRMSE 계산 방법

□ RRMSE는 전기소비자의 전기소비행태와 고객기준부하 적합성을 검증하는 통계방식으로 편차가 낮을수록 전기소비패턴이 규칙적이고 신뢰성이 높은 자원이라고 평가할 수 있음

□ 아래의 계산수식에서 확인 할 수 있듯이, 검증대상일의 CBL과 실제값의 RMSE를 계산하는 형태이며, 즉 CBL과의 편차에러를 확인하는 방법임

$$RRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{d\in D, t\in T}(CBL_{d,t} - Load_{d,t})^2}{D(n)\times T(n)}} \div \frac{\sum_{d\in D, t\in T} Load_{d,t}}{D(n)\times T(n)}$$

D : 검증대상일
D(n) : 검증대상일 개수
T : 검증대상 시간대(09:00~20:00, 점심시간 포함)
T(n) : 검증대상 시간대 개수
$CBL_{d,t}$: d일 t시의 고객기준부하
$Load_{d,t}$: d일 t시의 소비전력량

□ 검증대상일은 등록일 기준 20일 전부터 65일 전까지의 평일 45일 간이며, RRMSE 산정 시 CBL 산정에 필요한 이전 15일간의 데이터를 추가하여 평일 60일간의 전기소비량 데이터를 활용함

□ 이 계산에서 사용되는 CBL은 CBL 산정을 위한 옵션(비정상근무일, SAA)은 적용하지 않고 기본방식만으로 계산. 검증 대상일 45일 중 5일까지 수요관리사업자가 자체적으로 비정상근무일을 선정하여 검증 대상일에서 제외하여 30%가 넘지 않아야 신뢰도가 높은 자원으로 평가함(5일을 모두 제외할 경우 최종적으로 40일에 대해 검증)

26.2.3 수요예측데이터를 활용한 CBL 계산

□ CEMS 수요예측 데이터를 활용한 CBL 계산을 통하여 예측데이터를 활용한 CBL에 대한 오차율 분석을 수행

□ 산업용 건물인 공장의 2010년 09~10월 실제 전력수요량 데이터를 예시 데이터로 활용하여 감축일과 CBL 산정 과정을 아래와 같이 계산하였으며, 감축지시일은 10월 11일로 감축지시일의 감축시간대는 14~17시로 가정하였음

□ 1단계: 예측일과 동일한 요일의 예측일 이전 3일의 과거 데이터를 수집

- 예측일(감축지시일)은 10월 11일로 월요일이기 때문에 과거 데이터는 예측일과 동일한 요일인 월요일의 3일 데이터로 예측일 이전 1주인 10월 04일, 2주인 09월 27일, 3주인 09월 20일의 시간대별 전력수요량을 수집

<표 3-124 예측일과 동일한 요일의 예측일 이전 3일의 과거 데이터>

시간	09월 20일	09월 27일	10월 04일	10월 11일
1	10497.90	9878.40	9444.75	
2	10509.45	9884.70	9338.70	
3	10450.65	9778.65	9210.60	
4	10463.25	9749.25	9115.05	
5	10354.05	9727.20	9152.85	
6	10314.15	9717.75	9094.05	
7	10316.25	9529.80	8910.30	
8	10448.55	9553.95	8618.40	
9	10527.30	9950.85	8308.65	
10	10659.60	9955.05	8381.10	
11	10881.15	9936.15	8171.10	
12	10962.00	9834.30	8347.50	
13	11026.05	9871.05	8375.85	
14	11170.95	9981.30	8361.15	
15	10975.65	9985.50	8844.15	
16	11064.90	10056.90	9019.50	
17	11200.35	10198.65	8990.10	
18	11063.85	10236.45	8848.35	
19	11014.50	10292.10	8957.55	
20	11265.45	10356.15	8962.80	
21	11206.65	10233.30	8944.95	
22	11310.60	10179.75	8914.50	
23	11153.10	10028.55	8761.20	
24	11046.00	9828.00	8830.50	

□ 2단계: 과거 데이터(3일)의 최대/최소 전력수요량을 선정하여 예측일의 최대/최소 전력

수요량을 예측

- 과거 데이터(3일)의 최대/최소 전력수요량을 선정하고 최근 데이터에 더 큰 가중치를 부여하는 지수평활법(지수평활계수(α) : 0.5)을 이용하여 예측일의 최대/최소 전력수요량을 예측

$$\hat{x}_k = \alpha x_{k-1} + \alpha(1-\alpha)x_{k-2} + \alpha(1-\alpha)^2 x_{k-3} + (1-\alpha)^3 \frac{x_{k-1} + x_{k-2} + x_{k-3}}{3}$$

<표 3-125 최대/최소 전력수요량>

	09월 20일	09월 27일	10월 04일	10월 11일
최소 전력수요량	10314.15	9529.80	8171.10	8924.56
최대 전력수요량	11310.60	10356.15	9338.70	9964.11

□ 3단계: 과거 데이터의 시간대별 전력수요량에 정규화를 수행하고 예측일의 시간대별 정규화 전력수요량을 예측

- 정규화는 최대/최소 데이터를 기준으로 0~1 사이의 p.u.(per unit)값으로 표현하는 것을 말하기 때문에 최대 전력수요량의 정규화값은 1, 최소 전력수요량의 정규화값은 0으로 표현되고 2단계의 예측과 마찬가지로 지수평활법을 이용하여 예측일의 시간대별 정규화 전력수요량을 예측

$$PU_x_d^t = \frac{x_d^t - x_d^{\min}}{x_d^{\max} - x_d^{\min}}$$

$$PU_\hat{x}_k^t = \alpha PU_x_{k-1}^t + \alpha(1-\alpha)PU_x_{k-2}^t + \alpha(1-\alpha)^2 PU_x_{k-3}^t + (1-\alpha)^3 \frac{PU_x_{k-1}^t + PU_x_{k-2}^t + PU_x_{k-3}^t}{3}$$

<표 3-126 시간대별 정규화 전력수요량>

시간	09월 20일	09월 27일	10월 04일	10월 11일
1	0.1844	0.4219	1.0908	0.7446
2	0.1960	0.4295	1.0000	0.6996
3	0.1370	0.3011	0.8903	0.5929
4	0.1496	0.2656	0.8085	0.5403
5	0.0400	0.2389	0.8408	0.5318
6	0.0000	0.2274	0.7905	0.4945
7	0.0021	0.0000	0.6331	0.3433
8	0.1349	0.0292	0.3831	0.2385
9	0.2139	0.5095	0.1178	0.2481
10	0.3467	0.5146	0.1799	0.3053
11	0.5690	0.4917	0.0000	0.2383
12	0.6502	0.3685	0.1511	0.2977
13	0.7144	0.4130	0.1754	0.3345
14	0.8599	0.5464	0.1628	0.3908
15	0.6639	0.5515	0.5764	0.5837
16	0.7534	0.6379	0.7266	0.7052
17	0.8894	0.8094	0.7014	0.7642
18	0.7524	0.8551	0.5800	0.6890
19	0.7028	0.9225	0.6736	0.7510
20	0.9547	1.0000	0.6781	0.8181
21	0.8957	0.8513	0.6628	0.7566
22	1.0000	0.7865	0.6367	0.7409
23	0.8419	0.6036	0.5054	0.5901
24	0.7345	0.3609	0.5647	0.5336

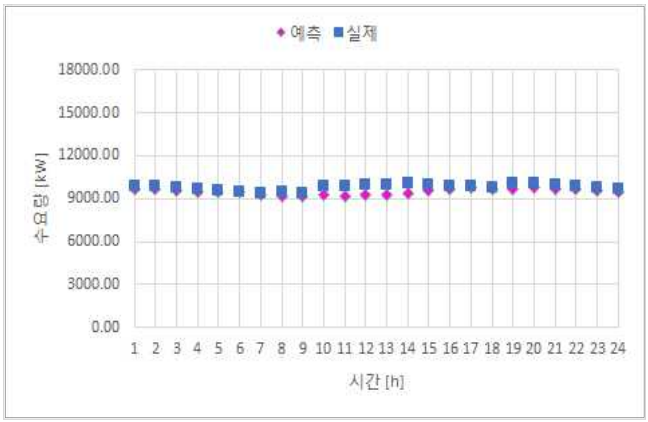
□ 4단계: 예측일의 시간대별 전력수요량을 예측

- 3단계에서 예측한 예측일의 시간대별 정규화 전력수요량과 2단계에서 예측한 예측일의 최대/최소 전력수요량을 이용하여 역정규화 과정을 통해 예측일의 시간대별 전력수요량을 예측
- 예측일(감축지시일)인 10월 11일의 실제 전력수요량과 예측 전력수요량의 오차율은 3.25%임

$$\hat{x}_d^t = PU_\hat{x}_d^t\left(\hat{x}_d^{\max} - \hat{x}_d^{\min}\right) + \hat{x}_d^{\min}$$

<표 3-127 예측일의 시간대별 전력수요량>

시간	10월 11일 (정규화)	10월 11일 (예측)
1	0.7446	9687.45
2	0.6996	9642.54
3	0.5929	9530.92
4	0.5403	9477.27
5	0.5318	9466.33
6	0.4945	9427.92
7	0.3433	9269.81
8	0.2385	9167.25
9	0.2481	9190.87
10	0.3053	9250.57
11	0.2383	9185.93
12	0.2977	9243.63
13	0.3345	9282.84
14	0.3908	9345.25
15	0.5837	9536.38
16	0.7052	9662.21
17	0.7642	9728.23
18	0.6890	9651.69
19	0.7510	9715.13
20	0.8181	9788.42
21	0.7566	9721.74
22	0.7409	9705.87
23	0.5901	9546.91
24	0.5336	9481.94



<그림 3-314 실제와 예측의 시간대별 전력수요량 비교>

26.2.4 수요예측 데이터 활용 CBL 계산 예시 (SAA 제외)

□ 최대참고일의 감축시간대에 대해 산출한 평균 전력수요량보다 75% 미만인 날을 비정상근무일로 인정하여 참고일 산정에서 우선 제외

- 최대참고일(10일)의 감축시간대에 대해 산출한 평균 전력수요량은 9,338.41㎾로 산출한 평균 전력수요량의 75%는 7,003.81㎾이며, 최대참고일의 감축시간대에 대해 산출한 평균 전력수요량보다 75% 미만인 날이 없으므로 비정상근무일이 없음을 확인

<표 3-128 비정상근무일 제외>

	10시	11시	12시	13시	14시	15시	16시	17시	평균
(예측) 10월 11일	9250.57	9185.93	9243.63	9282.84	9345.25	9536.38	9662.21	9728.23	
(예측) 10월 08일	9282.33	9427.75	9536.58	9479.38	9631.36	9565.50	9661.42	9829.96	9672.06
10월 07일	9976.05	9924.60	9681.00	9667.35	9797.55	9678.90	9678.90	9740.85	9724.05
10월 06일	8107.05	8552.25	8547.00	8533.35	8684.55	8678.25	8779.05	8864.10	8751.49
10월 05일	8713.95	8912.40	9132.90	9165.45	9320.85	9254.70	9098.25	9142.35	9204.04
10월 04일	8381.10	8171.10	8347.50	8375.85	8361.15	8844.15	9019.50	8990.10	8803.73
10월 01일	9118.20	9264.15	9418.50	9618.00	9662.10	9615.90	9660.00	9546.60	9621.15
09월 30일	8439.90	8265.60	8600.55	8724.45	8872.50	8793.75	8902.95	8922.90	8873.03
09월 29일	8991.15	9107.70	9182.25	8521.80	8656.20	8616.30	8641.50	8649.90	8640.98
09월 28일	10084.20	10207.05	10404.45	10419.15	10273.20	10034.85	9990.75	9853.20	10038.00
09월 27일	9955.05	9936.15	9834.30	9871.05	9981.30	9985.50	10056.90	10198.65	10055.59

□ 비정상근무일을 제외한 후 재산정한 참고일(5일)의 감축시간대에 대한 평균 전력수요량에 비해 75% 미만인 날과 125% 초과인 날을 일시적인 생산조정일로 인정하여 추가적으로 참고일에서 제외

- 참고일(5일)의 감축시간대에 대한 평균 전력수요량은 9,231.07㎾로 산출한 평균 전력수요량의 75%는 6,923.30㎾이며 산출한 평균 전력수요량의 125%는 11,538.84㎾임. 따라서 참고일(5일)의 감축시간대에 대한 평균 전력수요량에 비해 75% 미만인 날과 125% 초과인 날이 없으므로 생산조정일이 없음을 확인

<표 3-129 생산조정일 제외>

	10시	11시	12시	13시	14시	15시	16시	17시	평균
(예측) 10월 11일	9250.57	9185.93	9243.63	9282.84	9345.25	9536.38	9662.21	9728.23	
(예측) 10월 08일	9282.33	9427.75	9536.58	9479.38	9631.36	9565.50	9661.42	9829.96	9672.06
10월 07일	9976.05	9924.60	9681.00	9667.35	9797.55	9678.90	9678.90	9740.85	9724.05
10월 06일	8107.05	8552.25	8547.00	8533.35	8684.55	8678.25	8779.05	8864.10	8751.49
10월 05일	8713.95	8912.40	9132.90	9165.45	9320.85	9254.70	9098.25	9142.35	9204.04
10월 04일	8381.10	8171.10	8347.50	8375.85	8361.15	8844.15	9019.50	8990.10	8803.73

□ 가장 최근 참고일(5일) 중 평균 전력수요량이 큰 순서로 나열하여 최대4일(유사일)을 선택한 후 고객기준부하(CBL)를 산정

- 최대 4일의 감축시간대에 대한 평균 전력수요량으로 CBL을 산정한 결과, 감축지시일(10월 11일)의 감축시간대(14~17시) 최종 CBL은 9,277.73kW, 9,335.81kW, 9,364.52kW, 9,425.81kW임

<표 3-130 '산업용 Max(4/5)' CBL 산정>

	10시	11시	12시	13시	14시	15시	16시	17시	평균	최대 순위
(예측) 10월 11일	9250.57	9185.93	9243.63	9282.84	9345.25	9536.38	9662.21	9728.23		
(예측) 10월 08일	9282.33	9427.75	9536.58	9479.38	9631.36	9565.50	9661.42	9829.96	9672.06	2
10월 07일	9976.05	9924.60	9681.00	9667.35	9797.55	9678.90	9678.90	9740.85	9724.05	1
10월 06일	8107.05	8552.25	8547.00	8533.35	8684.55	8678.25	8779.05	8864.10	8751.49	5
10월 05일	8713.95	8912.40	9132.90	9165.45	9320.85	9254.70	9098.25	9142.35	9204.04	3
10월 04일	8381.10	8171.10	8347.50	8375.85	8361.15	8844.15	9019.50	8990.10	8803.73	4
최종 CBL					9277.73	9335.81	9364.52	9425.81		

26.2.5 수요예측 데이터 활용 CBL 오차율 계산

□ 산업용 건물인 공장의 2010년 09~10월 실제 전력수요량 데이터를 예시 데이터로 활용한 기존과 CEMS용 수요관리 프로그램의 결과를 비교

□ 아래의 표는 실제 데이터를 활용한 CBL 값을 보여주고 있으며, 이를 기준으로 예측데이터를 활용한 CBL과의 비교를 수행함

<표 3-131 실제데이터를 활용 CBL 값>

10월 11일		14시	15시	16시	17시
실제 CBL	Max(4/5)	9321.64	9374.40	9399.86	9430.84
	Max(4/5) SAA	10028.46	10081.23	10106.69	10137.66
	Mid(6/10)	9303.53	9317.88	9360.40	9365.48
	Mid(6/10) SAA	10125.09	10139.44	10181.97	10187.04

□ 이와는 반대로 아래의 표는 감축 지시 이전, 효율적인 수요관리를 위한 CESM용 수요관리 프로그램의 예측데이터를 활용한 CBL 계산 결과를 보여주고 있음

<표 3-132 예측데이터 활용 CBL 산정 결과>

10월 11일		14시	15시	16시	17시
예측 CBL	Max(4/5)	9277.73	9335.81	9364.52	9425.81
	Max(4/5) SAA	9380.50	9438.58	9467.29	9528.59
	Mid(6/10)	9274.25	9292.15	9336.84	9362.13
	Mid(6/10) SAA	9467.95	9485.85	9530.54	9555.83

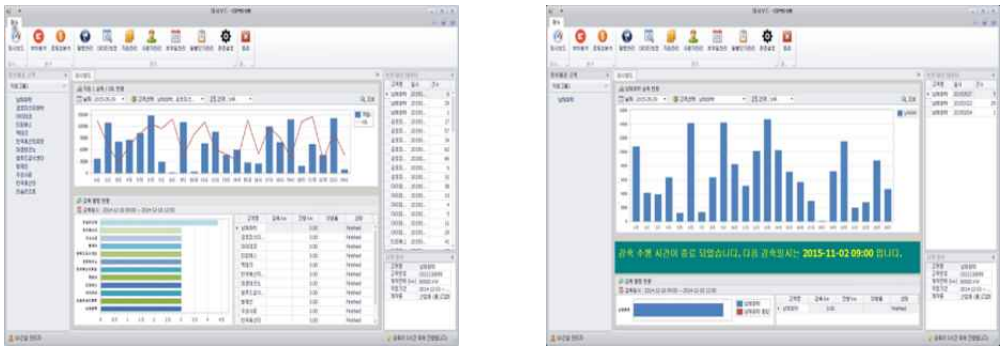
□ 감축지시일인 10월 11일의 전력수요량과 참고일로 포함되는 감축지시일 하루 전의 전력수요량을 예측하여 실제 결과와 비교해본 결과 예측 데이터를 이용한 CEMS용 CBL 계산 방법과의 오차율이 약 10%미안으로 들어오는 것으로 확인 가능

<표 3-133 예측데이터와 실측데이터를 활용한 CBL 오차율>

10월 11일		오차율<%>
CBL	Max(4/5)	0.33
	Max(4/5) SAA	6.29
	Mid(6/10)	0.22
	Mid(6/10) SAA	6.38

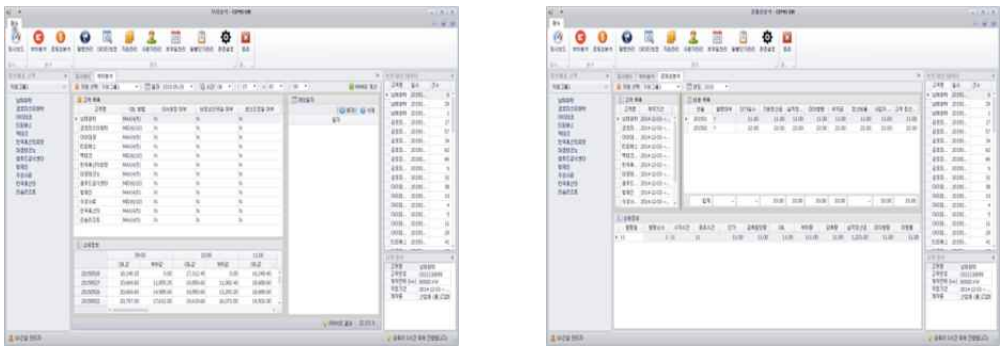
26.2.6 실제 프로그램 화면 구성

□ 대시보드



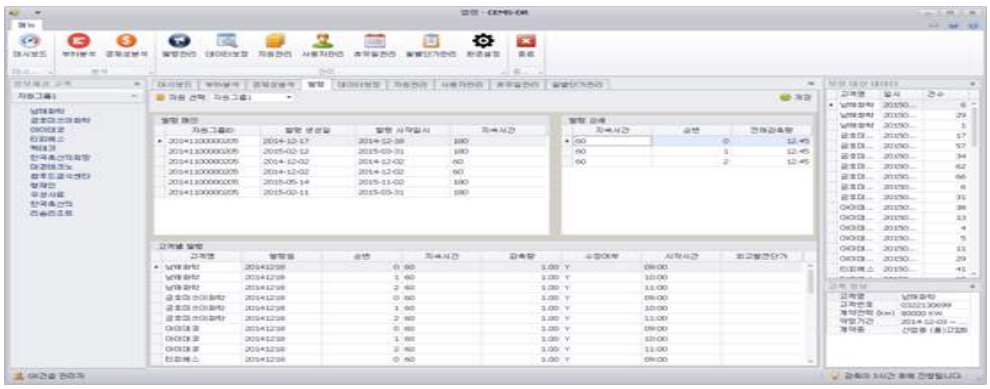
<그림 3-315 대시보드 화면>

□ 부하 및 경제성 분석



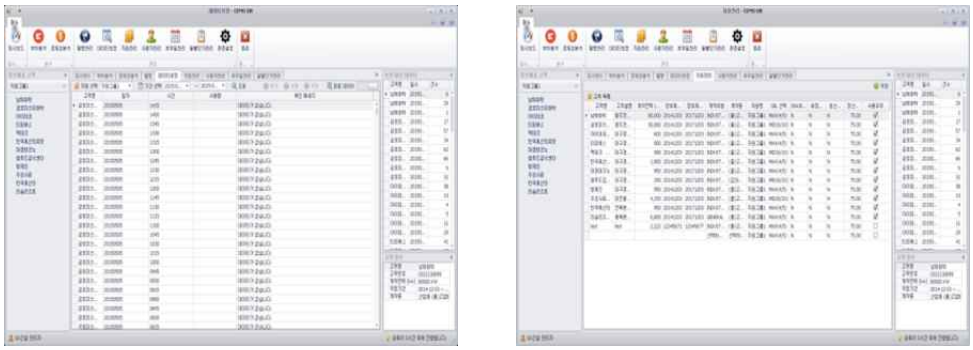
<그림 3-316 부하 및 경제성 분석 화면>

□ 실시간 급전지시 관리



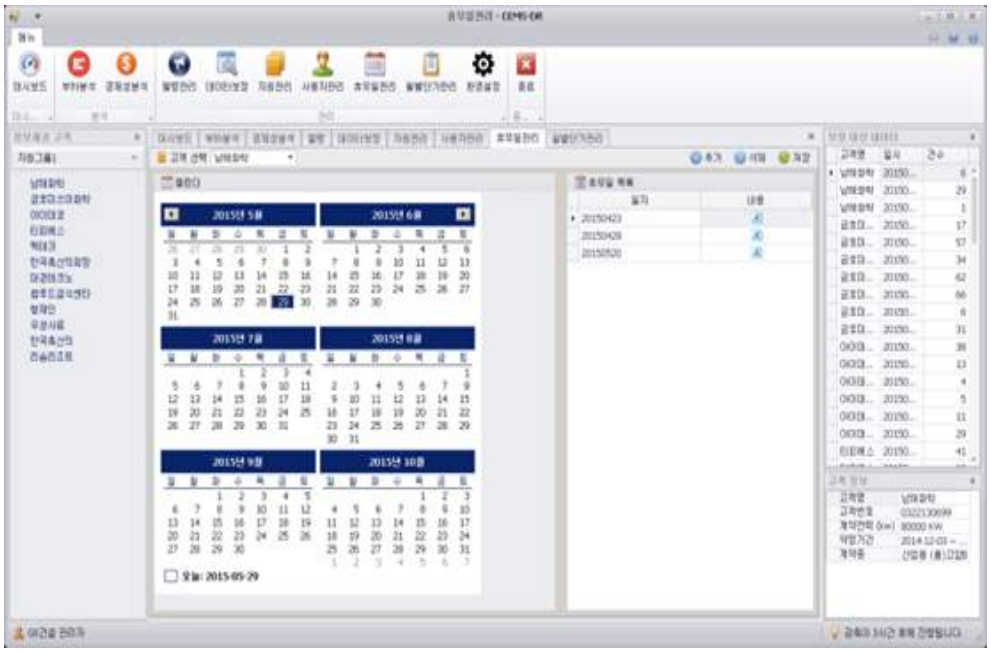
<그림 3-317 실시간 급전지시 관리 화면>

□ 데이터 보정 및 자원관리



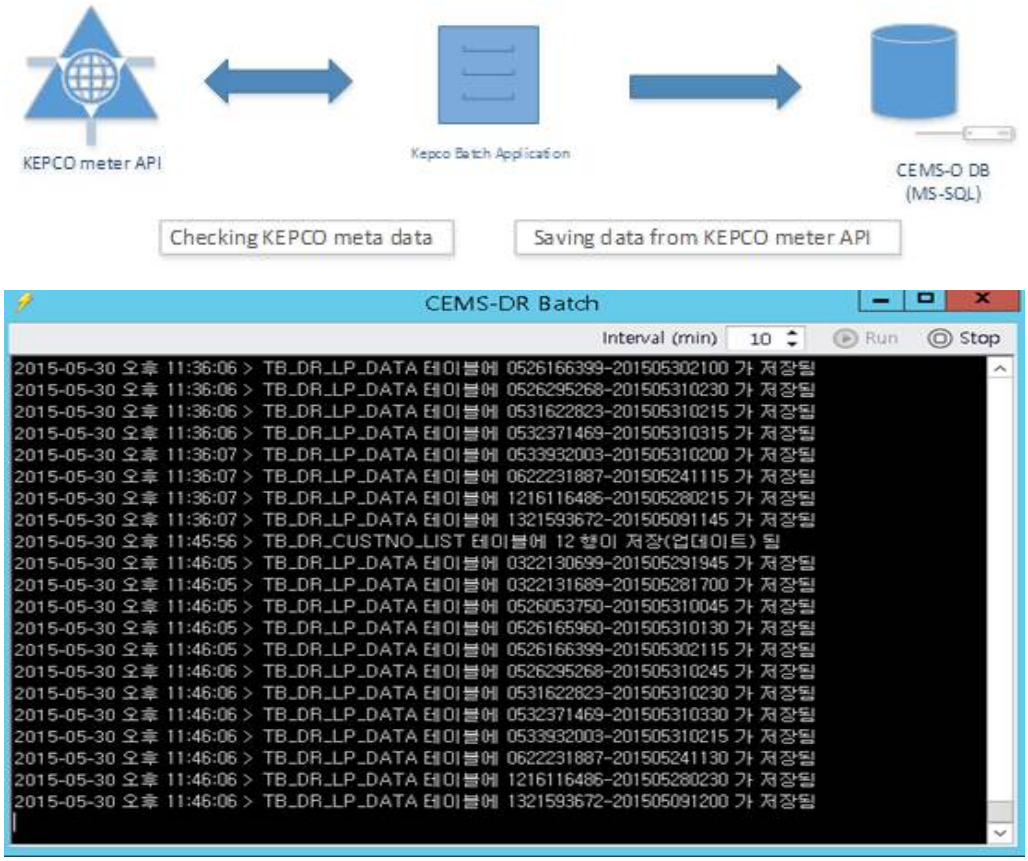
<그림 3-318 데이터 보정 및 자원관리 화면>

□ 휴무일 관리



<그림 3-319 휴무일 관리 화면>

□ 한전 Ismart 데이터 수집



<그림 3-320 한전 Ismart 데이터 수집 화면>

27. 스마트 도시에너지 관리시스템 모니터링 및 비즈니스 모델 개발

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">

<도시에너지 관리시스템 비즈니스 모델 도출(안)></td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">- 실증도시 에너지 소비 모니터링 및 분석 (‘14.07 ~ ’15.06의 에너지 소비 모니터링 데이터 DB 및 분석을 통한 에너지 저감 방안의 적절성 검토 및 시뮬레이션)
- 스마트 도시에너지 관리시스템을 활용한 비즈니스 모델 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">- 실증도시 데이터 분석을 통한 에너지 및 탄소저감 적절성 검토 필요
- 향후 사업화를 위한 비즈니스 모델 개발 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">- 실증도시 데이터 분석을 통한 에너지 및 탄소저감 적절성 검토
◦도시에너지 공급/수요 모니터링에 따른 실시간 예측의 적절성 확인
◦도시에너지 수요 및 신재생(풍력/태양광) 출력을 예측 적절성 확인
◦연단위/주단위/일단위/시간단위 최적운영스케줄 도출에 따른 적절성 확인
- 향후 사업화를 위한 비즈니스 모델 개발
◦사업진입 전략 및 가능대상 확인</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 기존 운영도시의 에너지운영에 따른 저감 효과 분석 미비
(개발기술 수준)
- 실증 데이터를 이용한 에너지 시뮬레이션을 통한 저감 효과 15%
(개발기술 수준 설정근거)
- 해외 사례 조사</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">박시삼(GS건설㈜)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">4차년도 ~ 5차년도 ‘14.07 ~ ’16.06 (24개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="6">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td>4차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>학술발표
국내 1건</td></tr>
<tr><td rowspan="2">질적성과</td><td>4차년도</td><td colspan="5">- 안산시 모니터링 DB : 1건
◦14.07 ~ ’15.06의 에너지 소비 모니터링 데이터 DB</td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td colspan="5">- 에너지 저감 방안의 적절성 검토 및 시뮬레이션 : 1건
◦14.07 ~ ’15.06의 에너지 소비 모니터링 데이터 DB 이용 에너지 시뮬레이션
- 스마트 도시에너지 관리시스템 비즈니스모델 도출 : 1건</td></tr>
<tr><td rowspan="2">달성 확인방법</td><td>4차년도</td><td colspan="5">- 안산시 모니터링 DB : DB 파일 제출</td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td colspan="5">- 에너지 저감 방안의 적절성 검토 및 시뮬레이션 : 보고서 확인
- 스마트 도시에너지 관리시스템 비즈니스 모델 도출 : 보고서 확인
- 학술발표 국내 1건 : 논문집 확인</td></tr>
</table>

27.1 탄소저감 스마트 도시에너지 시스템 개발 Biz. Model

□ 국내외 에너지정책은 급변하고 있으며, 다양한 에너지 정책에 의해 에너지거래 및 신재생에너지 발전, 수요반응 등 다양한 방법으로 패러다임이 변화하고 있음

27.1.1 에너지 프로슈머 관련 Biz. Model

□ 정부의 8대 신산업 중 하나인 수요반응자원 거래시장이 2014년 11월부터 개설되어 운영 중에 있으며, 이를 기반으로 아낀 전기를 팔 수 있는 시장이 생성되었음

□ 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 세부모듈로 개발되어진 DR 프로그램은 실제적으로 이러한 수요반응자원 거래시장에 참여할 수 있도록 처음부터 시스템 필요사항을 고려하여 개발되었으며, 실제 수요관리사업자의 요구사항 및 예측기능을 추가하였음

□ 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템을 활용한 에너지 프로슈머 Biz. Model은 아래와 같음

- 비상용발전기를 활용한 수요반응자원 거래시장 Biz. Model
- 신재생 및 배터리를 활용한 소규모 에너지 거래 Biz. Model
- 마이크로 단위 에너지 사업자 Biz. Model

□ 비상용발전기를 활용한 수요반응자원 거래시장 Biz. Model



<그림 3-321 비상용 발전기를 이용한 부하감축 방안>

- 현재 개설된 수요반응자원거래 시장은 수요반응자원도 발전자원과 동일하게 기본정산금(인센티브)를 받을 수 있다는 장점이 있음

- 발전용 자원으로 사용이 불가능한 비상용발전기의 경우에는 건축법상 반드시 설치가 되어야 하는 설비이지만, 실제로는 운영은 거의 되지 않는 설비임
- 비상용발전기를 공급화 자원으로 사용하면, 기본료 절감효과 및 인센티브가 생기기 때문에, 에너지비용절감이 가능한 솔루션으로 활용이 가능함
- 탄소저감 CEMS를 이용하여 실제적인 비상용발전기에 의한 부하절감량을 정확하게 판단이 가능

□ 신재생 및 배터리를 활용한 소규모 에너지 거래 Biz. Model



구 분	프로슈머	한 전	소비자
거래내용	남는 전기 판매	이웃간 거래 중개	옆집의 남는 전기구입
효 과	판매수익 발생	송배전망 건설 및 유지비용 절감	전기요금 절감

<그림 3-322 에너지 프로슈머의 컨셉 및 거래 효과>

- 소용량 분산전원의 경우에는 현재 3가지 사업유형이 존재함
- 상계거래, 자가용, 사업용이며, 자가용과 사업용의 경우에는 한전과 PPA를 맺는 방법과, KPX에 직접거래를 하는 방법이 있으나, 일반용발전설비를 설치한 소규모(10㎾ 이하) 분산전원 보유고객은 잉여발전량의 판매는 불가하고, 전력량 요금에서 차감되는 형태로, 미판매 전력의 양이 매우 많은 실정임(연간 42,256㎿h 이상 될 것으로 예상됨. 연료전지 및 제어가 가능한 자원의 경우에도 이러한 Biz.가 활성화되면 발전이 가능함)
- 국가적으로 이러한 미판매 전력에 대해서도, 이웃 간의 거래를 하는 방안에 대해서 현재 협의 중이며, 이러한 시장이 열릴 경우, CEMS의 신재생 발전량 예측 및 수요예측을 통한 원활한 거래 Biz. 플랫폼으로 사용 가능할 것으로 예상됨

<표 3-134 에너지 프로슈머의 컨셉 및 거래 효과>

구분	상계거래	자가용		사업용	
		한전 PPA	KPX 거래	한전 PPA	KPX 거래
법적지위	일반용 발전설비 설치자	자가용 발전설비 설치자		발전 사업자	
발전사업허가	불필요	불필요		필요	
설비용량	10㎾ 이하	10~1,000㎾		10~1,000㎾	
REC 발급여부	발급불가	발급불가		발급	
전력거래	잉여발전량판매 불가	총발전량의 50% 미만 한도 거래		전량 거래(소내전력 제외)	
수익구조	전력량 요금에서 차감	월평균 SMP	실시간 SMP	월평균 SMP+REC	실시간 SMP+REC
주요구성	주택	마을 회관, 학교, 사옥, 공공건물		발전사업자	
용량	358㎿ (PV 비율99.6%)	12㎿ (PV 비율97.0%)	1.2㎿ (PV 비율 : 100%)	1,587㎿ (PV 비율99.6%)	202㎿ (PV 비율 : 96.1%)
발전량	123,861㎿h	9,978㎿h	1,401㎿h	1,148,006㎿h	-
미판매전력	42,256㎿h (34%)	616㎿h (6.2%)	91㎿h (6.5%)	없음	없음

□ 마이크로 단위 에너지 사업자 Biz. Model



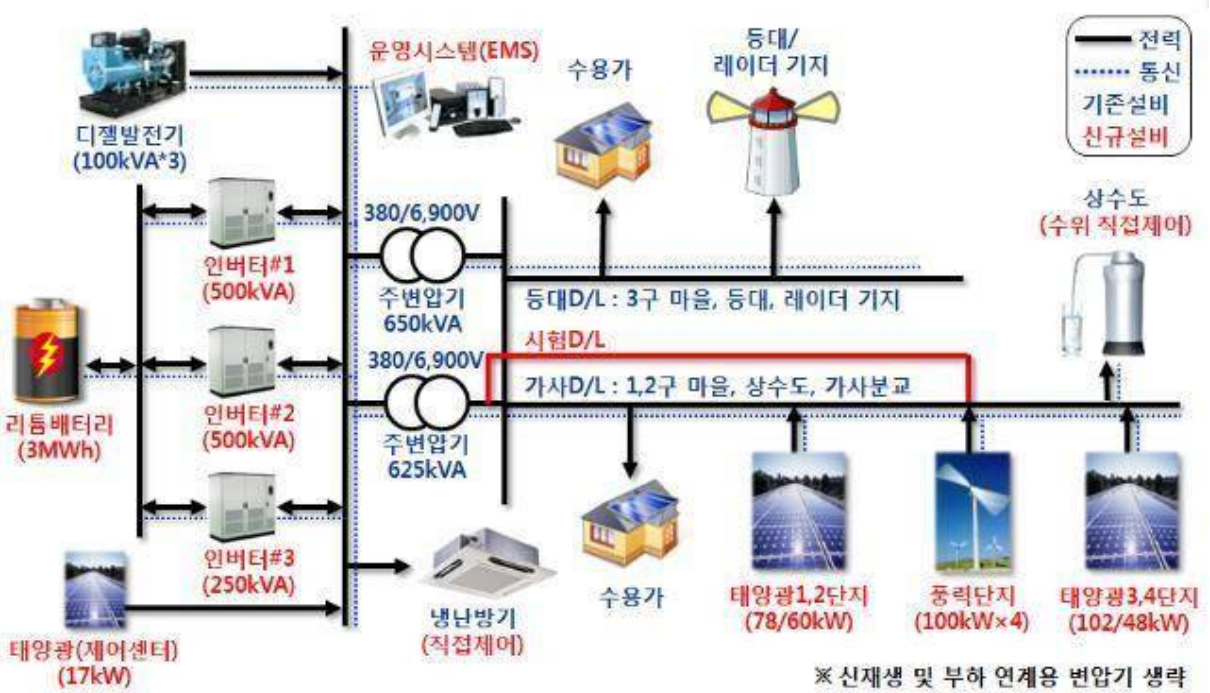
<그림 3-323 마이크로 단위 에너지 사업자 Biz. model 예시>

- 마이크로 단위의 에너지 커뮤니티가 증가하고 있는 추세이며, 단지/도시 규모의 분산전원이 증가함에 따라, 마이크로 단위의 에너지 사업자에 대한 관심이 높아지고 있는 추세임
- 이러한 다양한 분산전원 및 실시간요금제, 전기차의 증가는 마이크로 단위의 에너지 사업자 모델로 발전할 수 있으며, 다양한 분산전원을 수요반응자원으로 이용하면서 발전자원으로 활용하는 하이브리드 에너지 사업자 모델이 가능할 것으로 예상됨
- 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템의 경우, 분산자원의 예측, 스케줄링, 이를 통한 DR의 인센티브 금액을 기반으로 에너지 운영스케줄링이 가능하기 때문에 이러한 마이크로 단위 사업자의 최적운영 스케줄에 사용이 가능함

27.1.2 Micro Grid 관련 Biz. Model

□ 국내외 Smart Grid 및 Micro Grid 관련 프로젝트 및 Biz. Model은 지속적으로 증가하고 있으며, 이러한 사업의 연계하여, 탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템이 이용 가능함

□ 에너지자립섬 운영 Biz. Model



<그림 3-324 가사도 에너지자립섬 계통 구성도>

- 국내 도서의 경우 기존에는 디젤발전기를 이용하여 에너지를 공급하였으며, 디젤발전기의 연료는 선박 등을 이용하여 공급하고 있었기 때문에, 에너지 공급비용이 육지에 비하여 매우 높은 수준이었음
- 이러한 문제를 해결하고자 국내에서는 에너지자립섬을 구성하여, 최적운영을 위한 사업을 진행하고 있음,
- 탄소저감 Smart CEMS-D는 이러한 자립섬의 설계에 있어 절적한 가이드라인을 줄 수 있음
- 또한, 디젤발전기의 발전량 및 배터리의 운전 스케줄을 최적화하여, 에너지 비용을 최소로 하는 운전 및 연료가 부족할 때의 운전 등 다양한 상황에 따른 에너지 관리의 적용이 가능한 탄소저감 Smart CEMS-O는 이러한 에너지자립섬 사업 Biz. Model로 사용이 가능함

27.1.2 도시에너지 공급설비 최적화 Biz. Model

□ 안산시의 경우, 공공건물/주거단지의 실시간 모니터링을 수행하였으며, 이 DB를 활용하여, 최적의 에너지 운영방안이 도출가능하며, 데이터를 활용 시뮬레이션을 통하여, 실제 적용되었을 경우의 탄소 및 에너지 저감량에 대한 산출이 가능함

□ 이를 활용하여, 지자체의 노후에너지 공급시스템의 Revamping 시나리오 구성이 가능하며, 이를 활용한 공급 설비 교체 사업 Biz. Model이 지속적으로 증가할 것으로 예상

27.2 CEMS-O 프로그램 개요

27.2.1 CEMS-O 프로그램 화면

□ 접속 화면

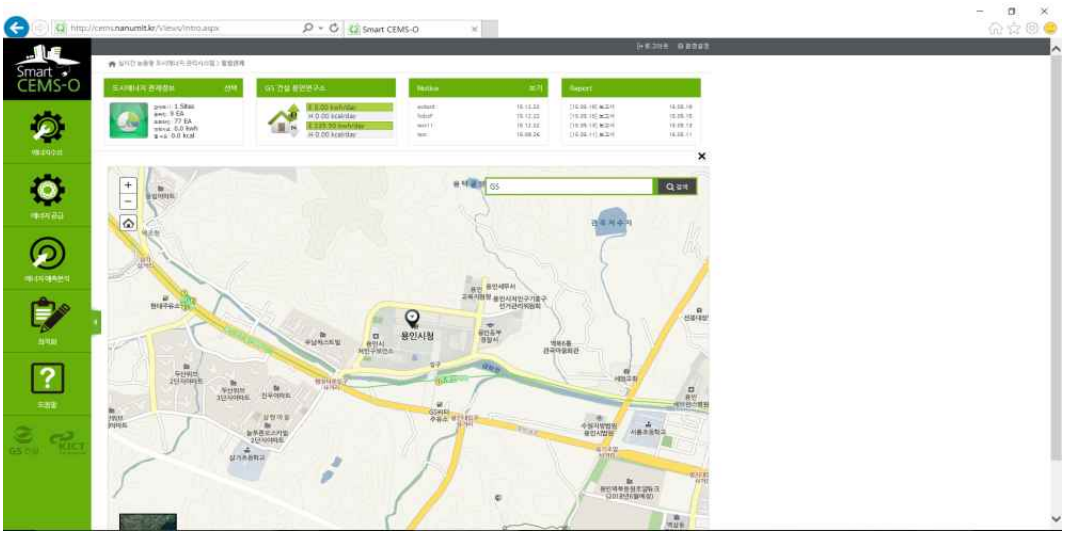
- URL : http://cems.nanumit.kr/Login.aspx



<그림 3-325 CEM-O 접속 화면>

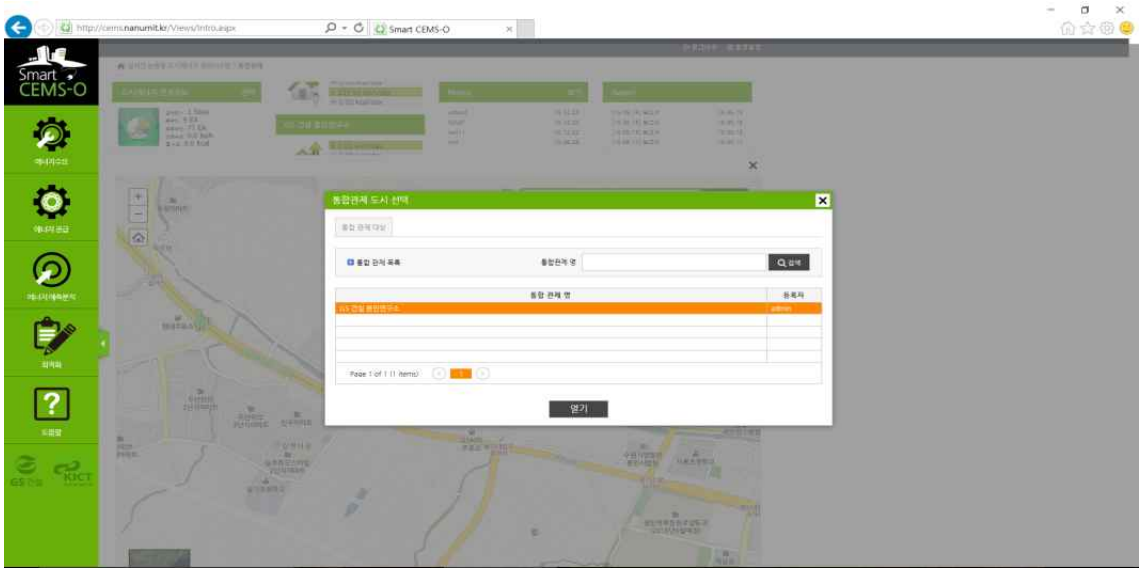
□ CEM-O 메인 화면

- 도시에너지 관제정보 '선택'을 클릭



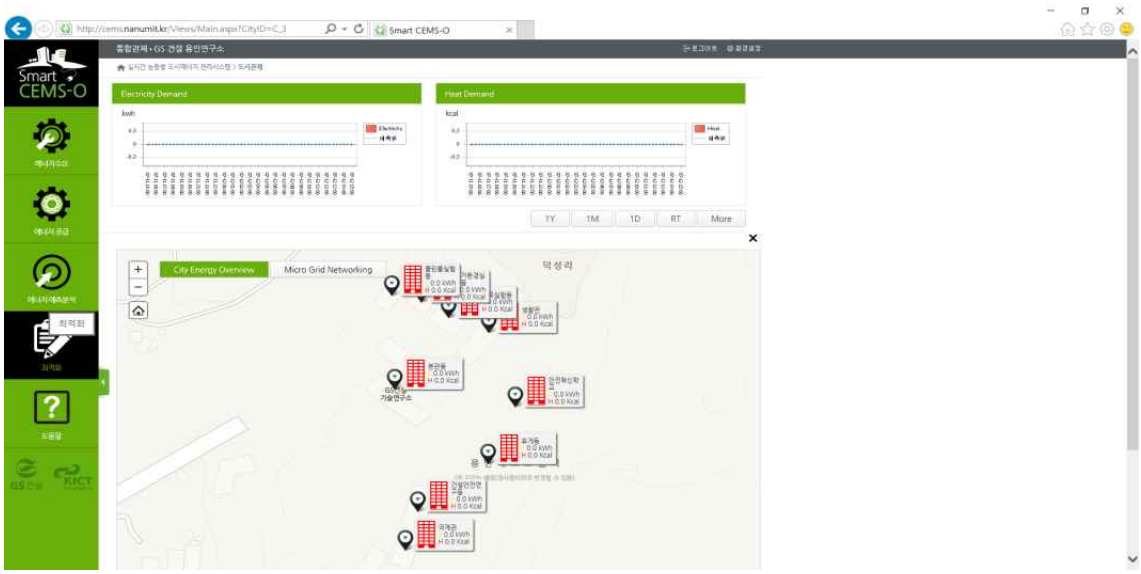
<그림 3-326 CEM-O 메인 화면>

- 도시에너지 관제정보에서 분석하고자 하는 통합관제대상 선택



<그림 3-327 통합관제대상 선택 화면>

- 좌측 분석 메뉴에서 최적화기능 선택



<그림 3-328 최적화 기능 선택>

- 환경설정 메뉴를 통해 최적화 관리를 위한 공급설비의 운전 조건, 부하데이터, 에너지 비용, 계통연계 조건 등 각종 최적화 데이터의 입력 가능

27.2.1 CEMS-O 프로그램 성능검증

□ 검증 개요

- FTP 정보 (일반 ftp)
  : server → 106.247.249.162
  : port → 22
  : ID → cemsFTP
  : P/W → cemsoftp12!

□ 검증 항목

- 최적화 프로그램 제작업체로부터 최적화 기능의 성능검증을 위한 원본 파일을 FAT(Factory Acceptance Test)파일 형태로 전달받아 CEMS-O 프로그램 입력 및 출력데이터의 FTP 원본 파일(입력: DATA폴더, 출력: RESULT폴더)과 CEMS-O 프로그램 상의 시뮬레이션 출력 결과를 비교하여 검증 수행
- 최적화 검증 항목

<표 3-135 최적화 검증 항목 분류>

1.	목적함수	
	1-1.	비용최소화
	1-2.	탄소제약 시 비용최소화
	1-3.	탄소최소화
	1-4.	선로연계 비용최소화
	1-5.	선로연계 탄소최소화
2.	열병합발전	
	2-1.	복합설비 반영 여부
	2-2.	열수요와 CHP
3.	배터리	
	3-1.	최대저장용량
	3-2.	배터리 효율 반영
4.	수요이전	
	4-1.	수요이전 옵션 반영
	4-2.	비용효과
5.	실측데이터 적용	

- 모의주기 : 15분, 30분, 1시간
  : 1시간 모의주기의 경우 24개의 입력데이터 창이 생성되며, 15분과 30분 모의주기인

경우, 각각 96개와 48개의 입력데이터 창이 생성됨

: 현재의 프로그램에서는 15분과 30분 모의주기가 각각 96시간과 48시간으로 계산되어 발전량 산정 시 오류가 발생하여 향후 1일 24시간 기준으로 수정되어야 함

27.3 CEMS-O 성능 검증

27.3.1 목적함수

□ 비용최소화

- 검증 조건

: 해당 기능을 통해 발전비용이 저렴한 발전자원이 우선적으로 기동하는지를 검토

: 시간대별 전력수요는 시간 당 80kW로 동일하게 설정하였고, 아래의 발전기 정보에 대해 30분 모의주기의 생산비용 최소화 기능을 수행

<표 3-136 발전기 정보>

이름	최대출력 (kW)	최소출력 (kW)	열량 단가	비용 2차	비용 1차	비용 상수	기동비	평균 비용	CO2-1차	CO2-상수
GEN1 (1000)	200	30	50	0.01	2.5	16	400	229	1	1
GEN2 (2000)	200	30	50	0.005	1.5	8	400	127	2	2

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 화면



<그림 3-329 비용최소화 CEMS-O 시뮬레이션 결과>

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 분석

: 시간대별 전력수요가 80kW인 경우, 두 발전기의 최대출력 범위 내에 있으므로 평균 비용이 저렴한 GEN2(2000)이 모든 전력수요(1,920kWh)를 감당할 수 있으며, CEMS-O를 통해 모의 결과가 유효함을 확인

$$\left\{(\text{비용2차})*\sum_{i=1}^{n*24}P_i^2+(\text{비용1차})*\sum_{i=1}^{n*24}P_i+(\text{비용상수})*(n*24)\right\}*(\text{열량단가})*\frac{1}{n}$$

: 1일 총 발전비용 계산에서 모의주기 1시간인 경우, n=1이고, 30분, 15분인 경우 각각 n=2, n=4를 사용

: 따라서 위의 시뮬레이션 결과에 따라 GEN2가 80㎾로 24시간 운전되는 경우, 연료비 및 생산비용을 계산하면 192,000원임

$$\left\{(CO_2 1\text{차})*\sum_{i=1}^{n*24}P_i+(CO_2\text{상수})*(n*24)\right\}*\frac{1}{n}$$

: 위의 시뮬레이션 결과에 따라 GEN2가 80㎾로 24시간 운전되는 경우, CO2 발생량을 계산하면 3,888㎏(혹은 3.888ton)임

□ 탄소제약 시 비용최소화

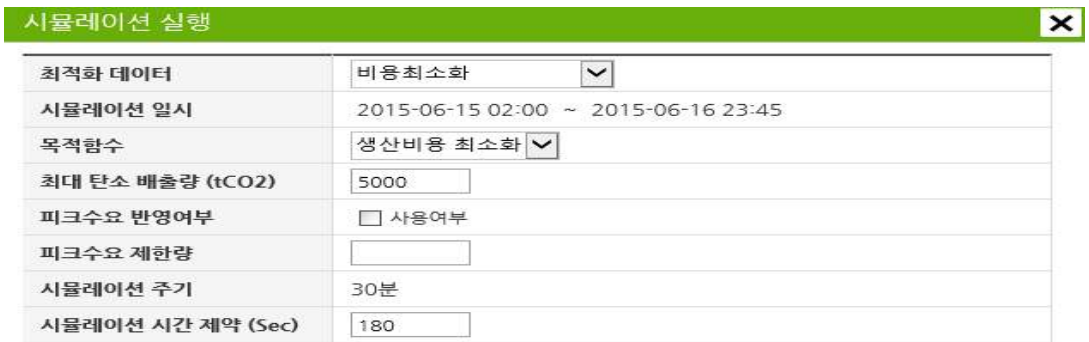
- 검증 조건

: 해당 기능을 통해 탄소배출량 제약 조건 하에서 비용을 최소화하기 위한 운전스케줄링이 가능한지를 검증

: 아래와 같이 상기 비용최소화 시뮬레이션 실행 조건과 동일한 조건 하에서 최대 탄소배출량 제약만을 추가

<표 3-137 발전기 정보>

이름	최대출력 (kW)	최소출력 (kW)	열량 단가	비용 2차	비용 1차	비용 상수	기동비	평균 비용	CO2-1차	CO2-상수
GEN1 (1000)	200	30	50	0.01	2.5	16	400	229	1	1
GEN2 (2000)	200	30	50	0.005	1.5	8	400	127	2	2



<그림 3-330 탄소제약 시 비용최소화 시뮬레이션 실행 입력화면>

: 시뮬레이션 실행 입력 화면에서 최대탄소 배출량 제약을 입력(5,000ton, 단위 수정 검토)한 경우, 최대 탄소 배출량 제약 범위 내에서 비용최소화의 결과를 보여줌

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 화면



<그림 3-331 탄소제약 조건 시 비용최소화 CEMS-O 시뮬레이션 결과>

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 분석

: 24시간 동안 GEN1과 GEN2가 시간 당 80kW를 각각 공급하는 경우 1일 발전비용과 1일 탄소배출량은 다음과 같음

<표 3-138 1일 발전비용 및 탄소배출량>

	발전비용 (원)	탄소배출량 (ton)
GEN1이 시간 당 80kW를 발전하는 경우 (1,920kWh)	336,000	1.944
GEN2가 시간 당 80kW를 발전하는 경우 (1,920kWh)	192,000	3.888

: 1일 총 발전비용은 아래 식과 같이 계산 가능

$$\left\{(\text{비용2차})*\sum_{i=1}^{n*24}P_i^2+(\text{비용1차})*\sum_{i=1}^{n*24}P_i+(\text{비용상수})*(n*24)\right\}*(\text{열량단가})*\frac{1}{n}$$

: 여기에서 모의주기 1시간인 경우, n=1이고, 30분, 15분인 경우 각각 n=2, n=4를 사용. 따라서 위의 시뮬레이션 결과에 따라 GEN1과 GEN2가 80kW로 24시간 운전되는 경우, 연료비 및 생산비용을 계산하면 각각 336,000원, 192,000원임

: CO2 발생량은 아래 식과 같이 계산 가능

$$\left\{(CO_2 1차)*\sum_{i=1}^{n*24}P_i+(CO_2 상수)*(n*24)\right\}*\frac{1}{n}$$

: 위의 시뮬레이션 결과에 따라 GEN1과 GEN2가 80kW로 24시간 운전되는 경우, CO2 발생량을 계산하면 각각 1.944ton(혹은 1,944kg), 3.888ton(혹은 3,888kg)임
: 현재 프로그램에서 30분 주기 모의시간의 경우 24시간이 아닌 48시간으로 계산하고 있으므로(추후 수정 필요) 최대 탄소제약량을 5.000ton(혹은 5,000kg) (프로그램 수정 후 2.500ton 혹은 2,500kg으로 설정해야 함)으로 설정하는 경우 GEN1과 GEN2의 발전량이 적절히 분배될 것이고 그 결과는 아래와 같음

<표 3-139 1일 발전비용 및 탄소배출량>

발전기 이름	1일 총발전량 (kWh)	탄소배출량 (ton)
GEN1(1000)	2,796	2.844
	(수정 후)1,398	(수정 후)1.422
GEN2(2000)	1,044	2.156
	(수정 후)522	(수정 후)1.078

: GEN1과 GEN2의 1일 총발전량의 합은 3,840kWh(80kW*48h)이며, 이는 48시간 즉 2일 기준으로 계산되므로 향후에 1일 기준 1,920kWh로 수정되어야 함. 최적화 결과에 따른 발전기별 운전시간은 GEN1은 48시간, GEN2는 34시간으로 총 14시간(수정 후 7시간)동안 GEN1만 가동되어야 함. 따라서 GEN1과 GEN2의 1일 탄소배출량은 각각 2.844ton과 2.156ton이며, 총합 5.000ton으로 최대 탄소배출량 제약을 만족함

$$CO_{2_GEN1}=(CO_2 1차)*\sum_{i=1}^{48}P_i+(CO_2 상수)*48=1*2,796+1*48=2,844$$

$$CO_{2_GEN2}=(CO_2 1차)*\sum_{i=1}^{34}P_i+(CO_2 상수)*34=1*1,044+1*34=2,156$$

□ 탄소최소화

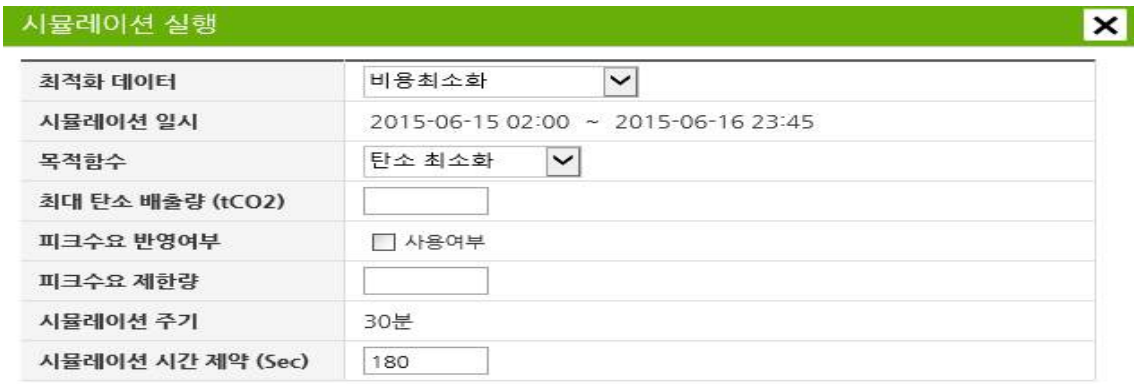
- 검증 조건

: 해당 기능을 통해 탄소발생량이 적은 자원이 우선적으로 기동되는지를 검토

: 아래와 같이 비용최소화 시뮬레이션의 실행 조건과 동일한 조건 하에서 30분 모의 주기의 탄소최소화 기능을 수행

<표 3-140 발전기 정보>

이름	최대출력 (kW)	최소출력 (kW)	열량 단가	비용 2차	비용 1차	비용 상수	기동비	평균 비용	CO2-1차	CO2-상수
GEN1 (1000)	200	30	50	0.01	2.5	16	400	229	1	1
GEN2 (2000)	200	30	50	0.005	1.5	8	400	127	2	2



<그림 3-332 탄소최소화 시뮬레이션 실행 입력화면>

: 목적함수에서 탄소최소화를 선택한 경우, 최대탄소 배출량 제약조건을 고려하지 않는 경우라 하더라도 최대탄소 배출량을 시뮬레이션 실행 입력화면 상에 입력해야 함. 이 경우 큰 값(예를 들어 500,000)을 임의로 입력하면 최적화 수행이 가능

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 화면



<그림 3-333 탄소최소화 CEMS-O 시뮬레이션 결과>

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 분석

: 위의 두 발전설비 중 GEN1과 GEN2의 발전비용은 각각 336,000원과 192,000원으로 GEN1이 GEN2에 비해 비싸지만 GEN1의 탄소발생량은 1.944ton으로 GEN2의 탄소발생량인 3.888ton의 절반에 해당하기 때문에, 탄소최소화 시 GEN1이 시간 당 전력수요를 감당하는 것이 타당

: 1일 총 발전비용은 아래 식을 통해 계산 가능

$$\left\{(\text{비용2차})*\sum_{i=1}^{n*24}P_i^2+(\text{비용1차})*\sum_{i=1}^{n*24}P_i+(\text{비용상수})*(n*24)\right\}*(\text{열량단가})*\frac{1}{n}$$

: 여기에서 모의주기 1시간인 경우, n=1이고, 30분, 15분인 경우 각각 n=2, n=4를 사용. 위의 시뮬레이션 결과에 따라 GEN1과 GEN2가 80kW로 24시간 운전되는 경우, 연료비 및 생산비용을 계산하면 각각 336,000원, 192,000원임

: CEMS-O 비용계산의 경우, 80kW 발전 시 GEN1의 시간 당 발전비용이 15,929.63원으로 보이나 비용 정의식에 따른 계산결과는 아래와 같이 시간 당 14,000원으로 이 부분에 대한 검토가 이뤄져야 할 것으로 보임

$$\{(0.01)*80^2+(2.5)*80+(16)\}*(50)=14,000$$

: CO2 발생량은 아래 식과 같이 계산

$$\left\{(CO_2\text{1차})*\sum_{i=1}^{n*24}P_i+(CO_2\text{상수})*(n*24)\right\}*\frac{1}{n}$$

: 위의 시뮬레이션 결과에 따라 GEN1과 GEN2가 80kW로 24시간 운전되는 경우, CO2 발생량을 계산하면 각각 1.944ton(혹은 1,944kg), 3.888ton(혹은 3,888kg)임

□ 선로연계 비용최소화

- 검증 조건

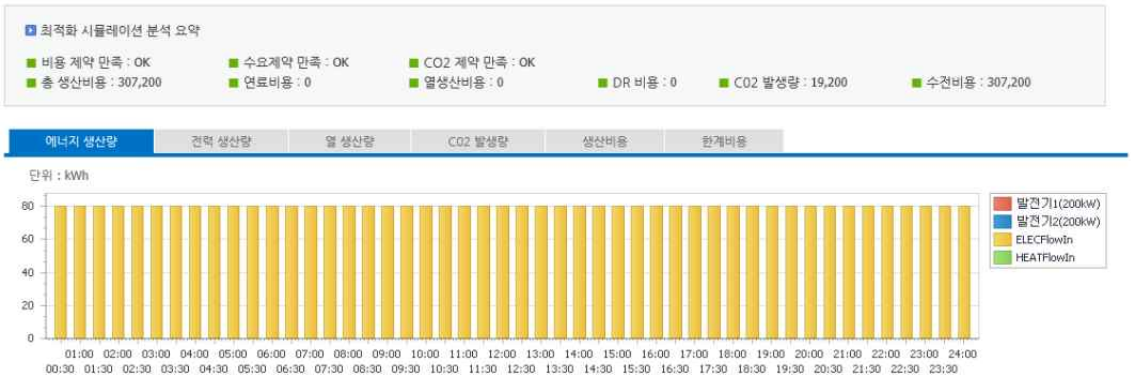
: 해당 기능을 통해 외부선로 연계를 고려한 경우에 대한 비용최소화를 검토

: 아래의 외부선로 정보에 대해 30분 모의주기의 생산비용 최소화 기능 수행

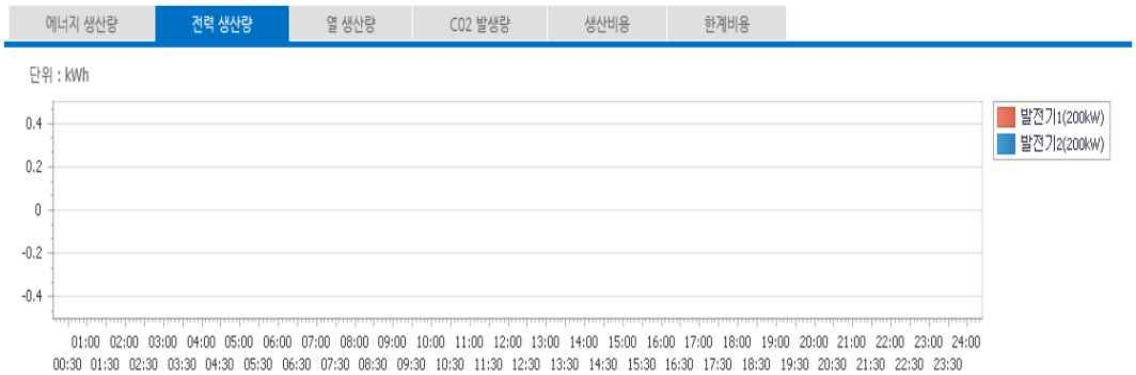
<표 3-141 선로연계 비용최소화 가정>

	ELECFLOWIN_MAX (kW)	ELECFLOWIN_MIN (kW)	ELECPRICE (\/kW)	CO2 1차
TRANS	100	0	80	5

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 화면



<그림 3-334 선로연계 비용최소화 CEMS-O 시뮬레이션 결과 (에너지 생산량)>



<그림 3-335 선로연계 비용최소화 CEMS-O 시뮬레이션 결과 (전력 생산량)>

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 분석

: 외부 선로를 통해 80원/kW의 가격으로 시간 당 최대 100kW 공급이 가능한 경우, GEN1과 GEN2을 이용하여 발전하는 것보다 외부선로를 이용하여 전력을 구입함으로써 비용의 최소화가 가능하며, CEMS-O의 시뮬레이션 결과를 통해 모의 결과가 유효함을 확인

: 1일 총 수전비용은 아래 식과 같이 계산

$$\left\{(\text{수전비용})*\sum_{i=1}^{n*24}P_i\right\}*\frac{1}{n}$$

: 여기에서 모의주기 1시간인 경우, n=1이고, 30분, 15분인 경우 각각 n=2, n=4를 사용. 따라서 위의 시뮬레이션 결과에 따라 외부선로를 통해 시간 당 80kW, 24시간 수전 받는 경우, 수전비용은 153,600천원임.

: CO2 발생량은 아래 식과 같이 계산

$$\left\{(CO_2 1\text{차})*\sum_{i=1}^{n*24}P_i\right\}*\frac{1}{n}$$

: 위의 시뮬레이션 결과에 따라 외부선로를 통해 시간 당 80kW, 24시간 수전 받는 경우, 선로연계 CO2 1차계수가 5이므로 CO2 발생량을 계산하면 9,600ton임

□ 선로연계 탄소최소화

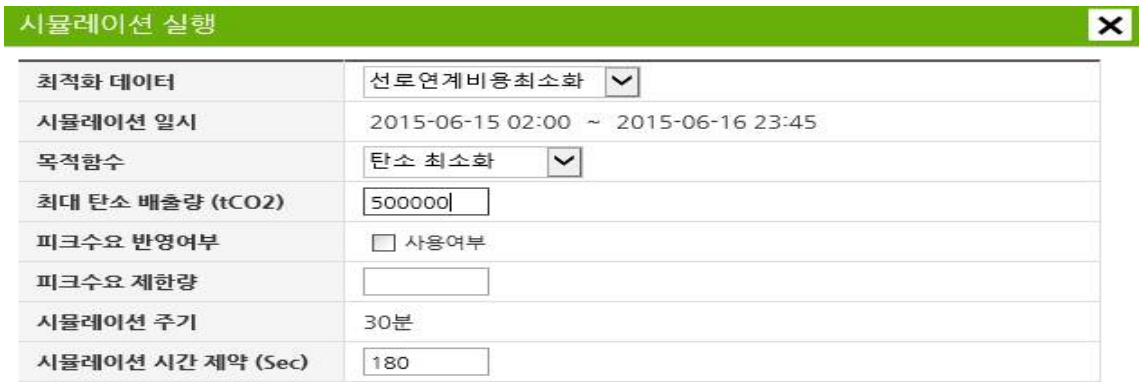
- 검증 조건

: 해당 기능을 통해 외부선로 연계를 고려한 경우에 대한 탄소배출 최소화를 검토

: 아래의 외부선로 정보에 대해 30분 모의주기의 생산비용 최소화 기능을 수행함. 외부선로를 통한 전력구입 경우와 자체 발전기를 가동하는 경우를 확인하기 위해 선로연계의 CO2 1차 계수가 5와 0.5인 경우를 가정하여 모의

<표 3-142 선로연계 탄소최소화 가정>

	ELECFLOWIN_MAX (kW)	ELECFLOWIN_MIN (kW)	ELECPRICE (\/kW)	CO2 1차
TRANS	100	0	80	case① 5 / case② 0.5



<그림 3-336 선로연계 탄소최소화 시뮬레이션 실행 입력화면>

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 화면

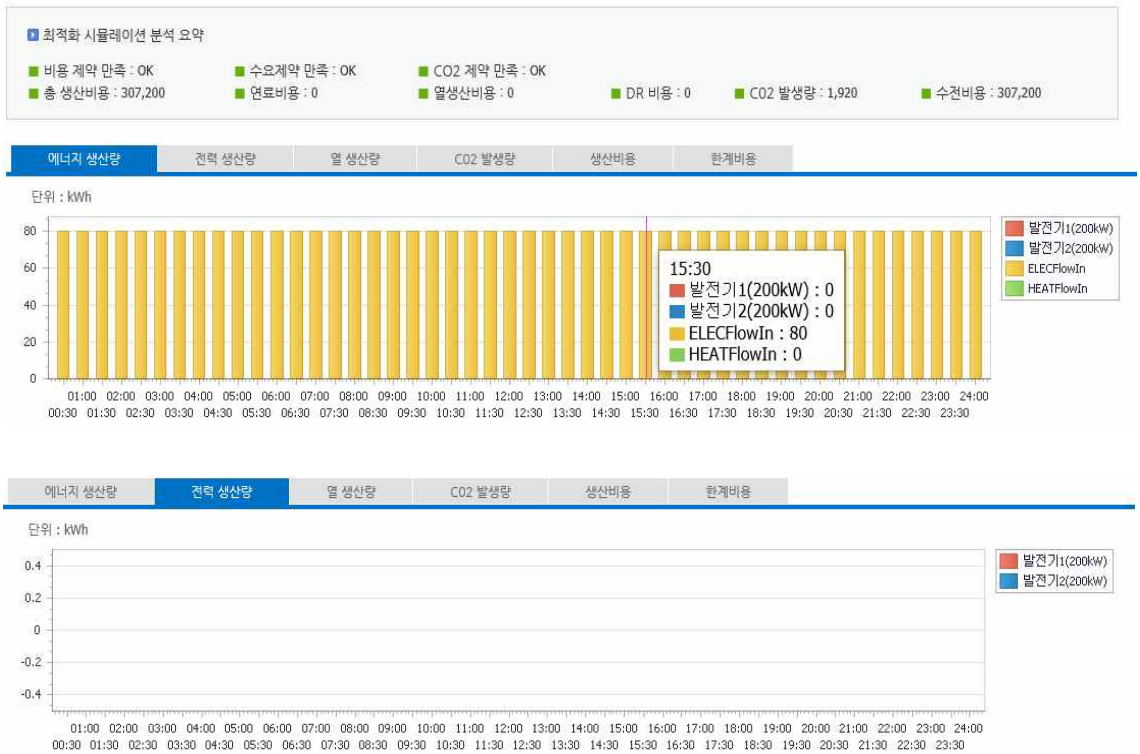
: Case 1 : 선로연계 CO2 1차계수가 5인 경우



<그림 3-337 선로연계 탄소최소화 CEMS-O 시뮬레이션 결과>

(선로연계 CO2 1차 계수: 5)

: Case 2 : 선로연계 CO2 1차계수가 0.5인 경우



<그림 3-338 선로연계 탄소최소화 CEMS-O 시뮬레이션 결과>

(선로연계 CO2 1차 계수: 0.5)

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 분석

: Case 1에서 선로연계 CO2 1차 계수가 5이므로 선로를 통해 외부로부터 전력을 구매하는 경우 탄소발생량이 많아 결국 탄소발생량이 적은 GEN1이 기동하여 전력수요 80kW를 충당함. 또한, Case 2에서는 선로연계 CO2 1차 계수가 0.5로 탄소발생량이 가장 적어 자체적으로 전력을 생산하는 것보다는 외부로부터 전력을 구매하는 것이 탄소발생량을 최소화함을 시뮬레이션을 통해 확인함

: CO2 발생량은 아래 식과 같이 계산

$$\left\{(CO_2 1차)*\sum_{i=1}^{n*24} P_i\right\}*\frac{1}{n}$$

: 위의 시뮬레이션 결과에 따라 외부선로를 통해 시간 당 80kW, 24시간 수전 받는 경우, 선로연계 CO2 1차계수가 0.5이므로 CO2 발생량을 계산하면 960ton임

27.3.2 열병합발전

□ 복합설비 반영 여부

- 검증 조건

: 해당 기능을 통해 복합설비(열병합발전, CHP)가 기존의 발전기와 동일한 발전원으로서 최적화 기능에 반영되는지를 확인

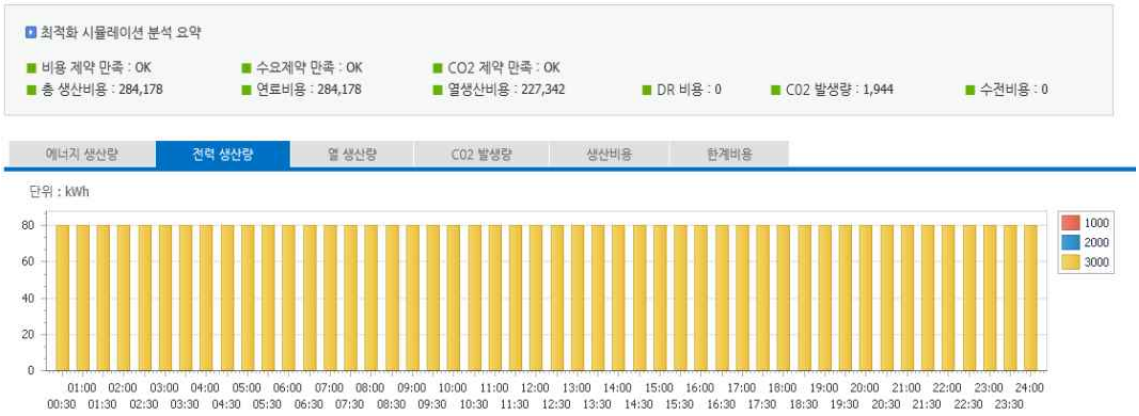
: 시간대별 전력수요는 시간 당 80kW로 동일하게 설정하였고, 아래의 발전기와 CHP 정보에 대해 30분 모의주기의 생산비용 최소화 기능을 수행

<표 3-143 복합설비 반영 관련 가정>

이름	최대출력 (kW)	최소출력 (kW)	열량단가	비용2차	비용1차	비용상수	기동비	평균비용	CO2-1차	CO2-상수
GEN1 (1000)	200	30	50	0.01	2.5	16	400	229	1	1
GEN2 (2000)	200	30	50	0.005	1.5	8	400	127	2	2
CHP (3000)	200	30	50	0.005	1	6	400	101.5	0.5	0.5

: CHP의 Heat ratio(전기생산량에 대한 열생산량의 비율)을 0.8로 설정. 위의 시뮬레이션에서는 열수요를 감안하지 않으므로 전기생산량만 고려함

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 화면



<그림 3-339 복합설비(CHP) 반영여부 CEMS-O 시뮬레이션 결과>

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 분석

: 발전기(GEN1, GEN2)와 열병합발전기(CHP)를 고려하여 시간 당 80㎾의 전력을 충당하는 경우 CHP의 발전비용이 가장 싸기 때문에 CHP가 우선 기동함을 확인

: 1일 총 발전비용은 아래 식과 같이 계산

$$\left\{(\text{비용2차})*\sum_{i=1}^{n*24}P_i^2+(\text{비용1차})*\sum_{i=1}^{n*24}P_i+(\text{비용상수})*(n*24)\right\}*(\text{열량단가})*\frac{1}{n}$$

: 여기에서 모의주기 1시간인 경우, n=1이고, 30분, 15분인 경우 각각 n=2, n=4를 사용. 위의 시뮬레이션 결과에 따라 CHP가 80㎾로 24시간 운전되는 경우, 연료비 및 생산비용을 계산하면 141,600원임

□ 열수요와 CHP

- 검증 조건

: 해당 기능을 통해 열수요를 감안하는 경우 CHP가 기동되는지를 확인

: 시간대별 전력수요는 시간 당 80㎾로 동일하게 설정하였고, 시간 당 50Mcal의 열수요를 추가하고, 아래의 발전기와 CHP 정보에 대해 30분 모의주기의 생산비용 최소화 기능을 수행

: 만일 열수요가 없다면 설비들 중에서 전기생산 단가가 가장 저렴한 설비가 우선적으로 기동될 것이며, 열수요가 있다면 생산단가가 비싸다 하더라도 CHP가 기동될 것임. CHP의 열비율은 0.8로 설정

<표 3-144 열수요와 CHP관련 가정>

이름	최대출력 (kW)	최소출력 (kW)	열량 단가	비용2 차	비용1 차	비용 상수	기동비	평균 비용	CO2-1차	CO2-상수
GEN1 (1000)	200	30	50	0.01	2.5	16	400	229	1	1
GEN2 (2000)	200	30	50	0.005	1.5	8	400	127	2	2
CHP (3000)	200	30	50	0.02	3	18	400	354.5	0.5	0.5

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 화면

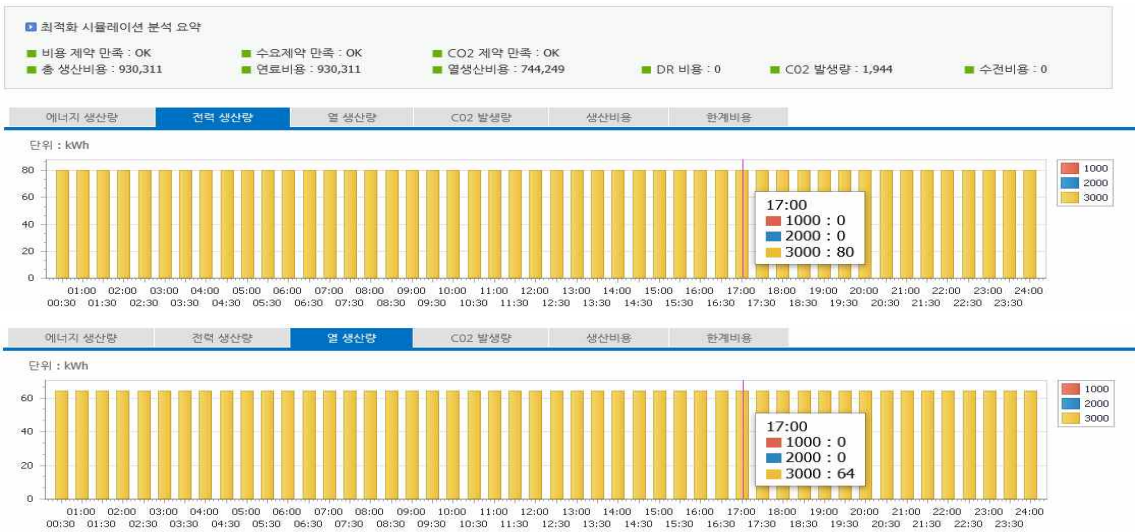
: Case 1 : 열수요를 감안하지 않는 경우



<그림 3-340 열수요 vs 복합설비(CHP) 운전 CEMS-O 시뮬레이션 결과>

(열수요가 없는 경우)

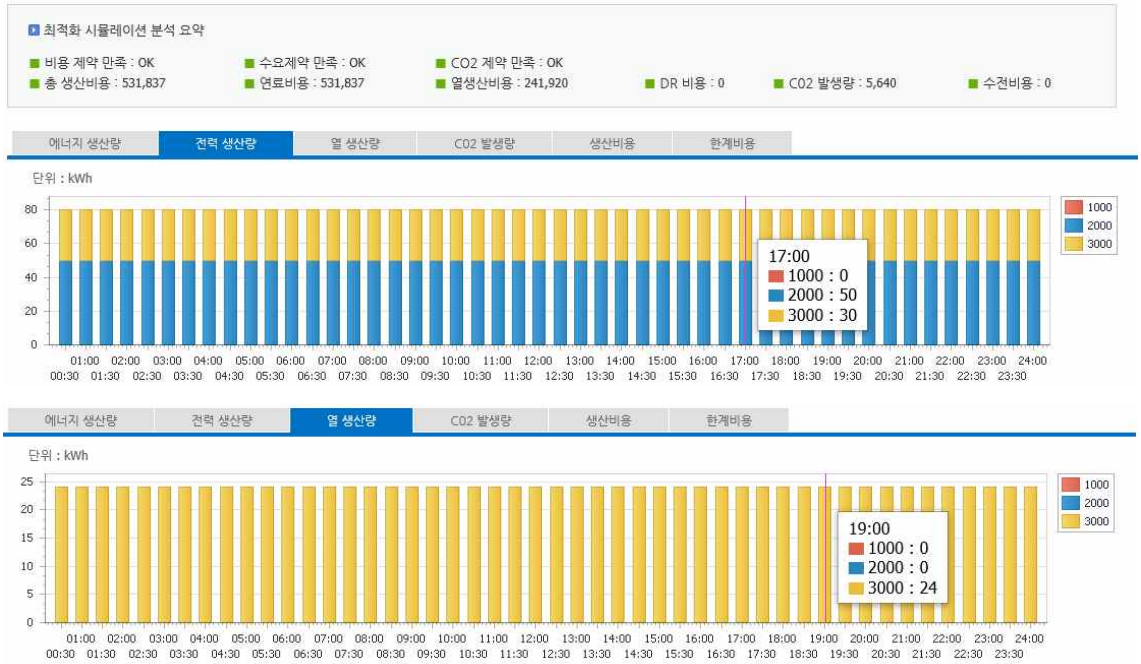
◦ Case 2 : 열수요(50Mcal)를 감안한 경우



<그림 3-341 열수요 vs 복합설비(CHP) 운전 CEMS-O 시뮬레이션 결과>

(열수요 50Mcal인 경우)

◦ Case 3 : 열수요(20Mcal)를 감안한 경우

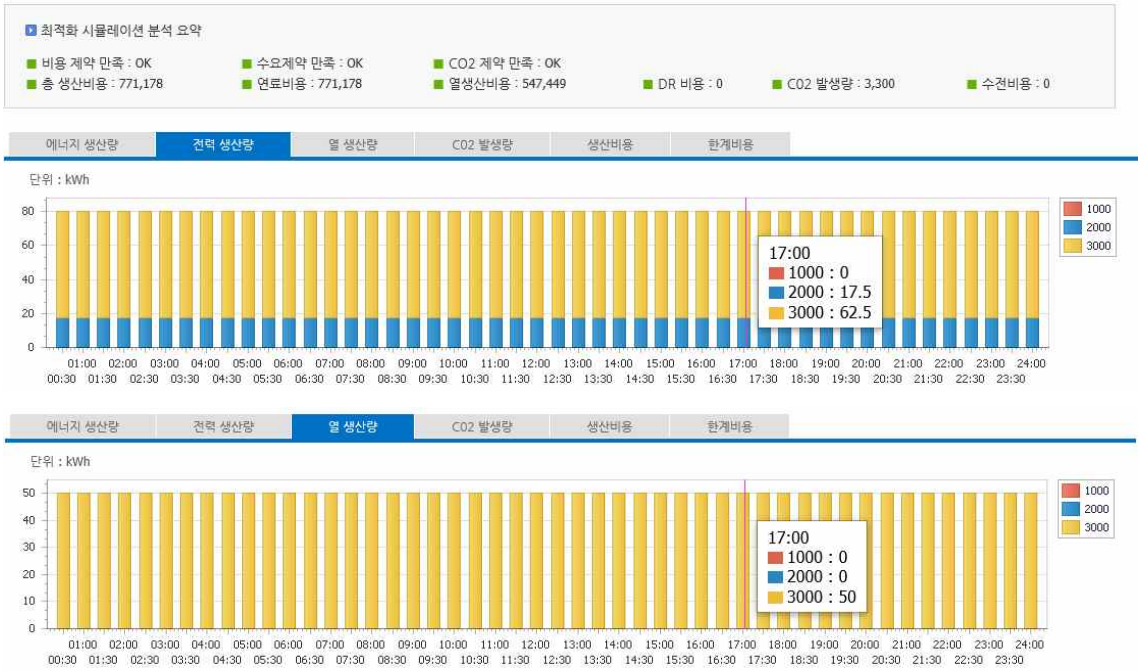


<그림 3-342 열수요 vs 복합설비(CHP) 운전 CEMS-O 시뮬레이션 결과>
(열수요 20Mcal인 경우)

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 분석

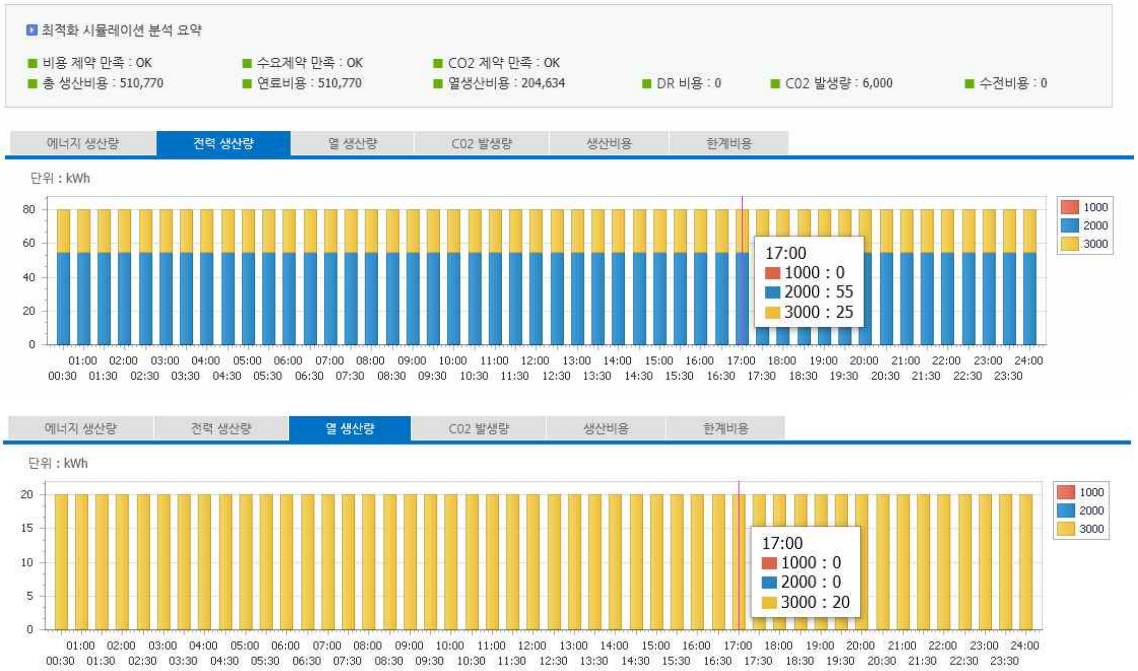
: Case 1은 열수요를 감안하지 않는 경우로 이 경우 CHP 역시 발전기와 동일한 역할을 하므로 발전기 2대와 CHP 중 전력생산 비용이 가장 저렴한 GEN2가 기동됨을 확인함

: Case 2는 열수요(50Mcal)를 감안한 경우로 전기수요 80kW와 열수요 50Mcal를 동시에 만족시키는 최적 조합을 결정함. 본 시뮬레이션에서 발전기와 CHP의 최소 출력을 30kW로 정함. 열수요를 충족시키기 위해 CHP의 전기출력 62.5kW와 열출력 50Mcal가 결정되고 나머지 전기출력 17.5kW를 충족시키기 위해서 GEN2가 기동되어야 하나 GEN2 역시 최소 출력이 30kW이므로 GEN2의 출력을 제한. 따라서 CHP의 전기출력을 80kW로 증가시켜 전기출력 80kW와 열출력 64Mcal를 냄으로써 전기수요와 열수요를 충족시킴. 만일 모든 발전기의 최소출력 조건을 0kW로 하는 경우, 그림 15와 같이 CHP의 전기출력 62.5kW와 열출력 50Mcal가 결정되고, 나머지 전기수요인 17.5kW(이 때, 각 발전기의 최소출력 조건 이상이므로 발전기 운전을 가정함)를 GEN2가 감당



<그림 3-343 열수요 vs 복합설비(CHP) 운전 CEMS-O 시뮬레이션 결과>

(열수요 : 50Mcal, 최소발전 용량 : 0kW)



<그림 3-344 열수요 vs 복합설비(CHP) 운전 CEMS-O 시뮬레이션 결과>

(열수요 : 20Mcal, 최소발전 용량 : 0kW)

: Case 3는 열수요(20Mcal)를 감안한 경우로 전기수요 80kW와 열수요 20Mcal를 동시에 만족시키는 최적 조합을 결정함. 본 시뮬레이션에서 발전기와 CHP의 최소 출력을 30

kW로 정함. 열수요를 충족시키기 위해 CHP의 전기출력 25kW와 열출력 20Mcal가 결정됨. 하지만 CHP의 최소출력이 30kW이므로 전기출력 30kW와 열출력 24Mcal로 결정되고, 나머지 전기출력 50kW를 충족시키기 위해서 GEN2가 기동됨을 확인할 수 있음. 만일 모든 발전기의 최소출력 조건을 0kW로 하는 경우, 그림과 같이 CHP의 전기출력 25kW와 열출력 20Mcal가 결정되고, 나머지 전기수요인 55kW(이 때, 각 발전기의 최소출력 조건 이상이므로 발전기 운전을 가정함)를 GEN2가 감당함

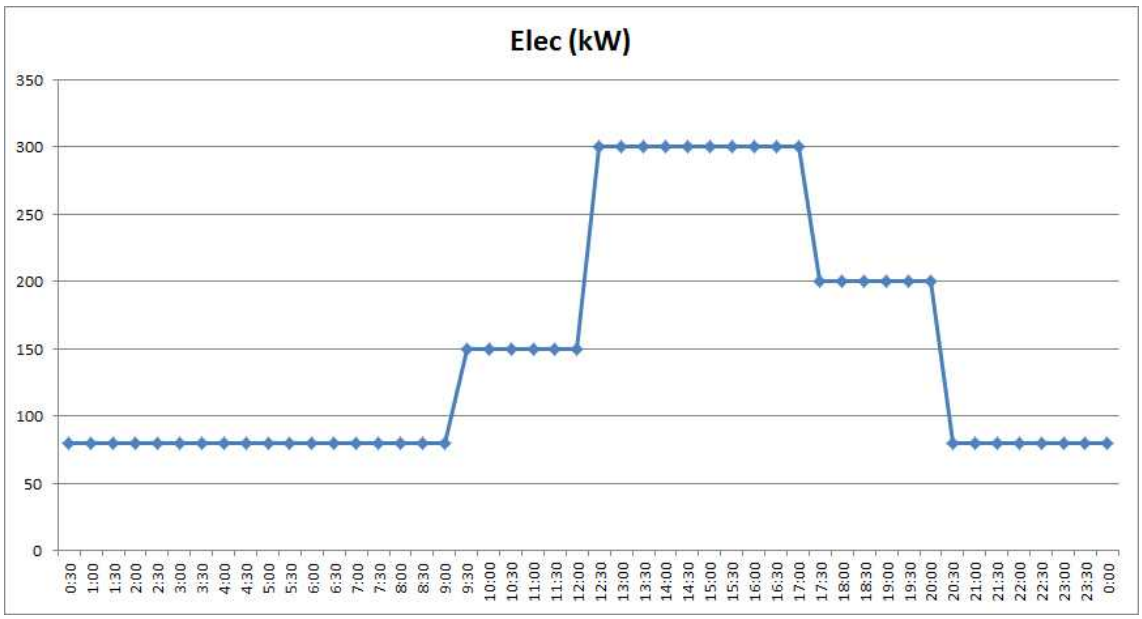
27.3.3 배터리

□ 최대저장용량

- 검증 조건

: 배터리의 최대저장용량이 정확히 반영되는지를 검토

: 배터리의 충방전을 위하여 전기수요를 아래의 그림과 같이 시간대에 따라 달리 설정함



<그림 3-345 배터리 최대저장용량 확인을 위한 시간대별 전기수요 데이터>

: 시간 당 50Mcal의 열수요를 추가하고, 아래의 발전기와 CHP 정보에 대해 30분 모의주기의 생산비용 최소화 기능을 수행함

<표 3-145 발전기와 CHP 관련 가정>

이름	최대출력 (kW)	최소출력 (kW)	열량 단가	비용2 차	비용1 차	비용 상수	기동비	평균 비용	CO2-1차	CO2-상수
GEN1 (1000)	200	30	50	0.01	2.5	16	400	229	1	1
GEN2 (2000)	200	30	50	0.005	1.5	8	400	127	2	2
CHP (3000)	200	30	50	0.02	3	18	400	354.5	0.5	0.5

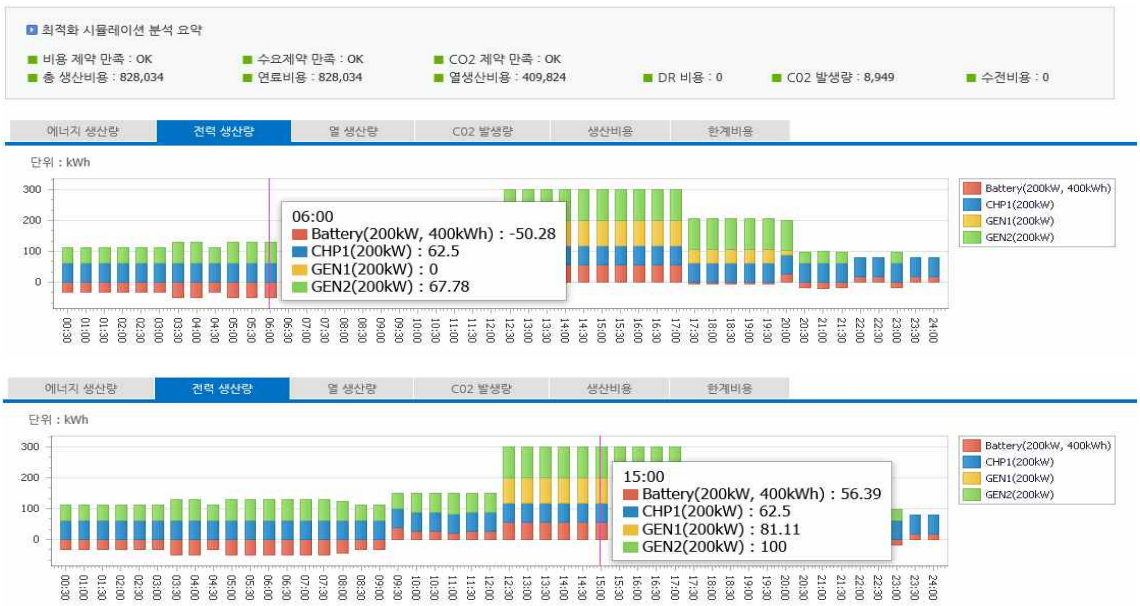
: 배터리 특성은 다음과 같음

<표 3-146 발전기와 CHP 관련 가정>

최대충전용량 [kWh]	case① 400 case② 200
최대방전 [kW]	200
최소방전 [kW]	5
최대충전 [kW]	200
최소충전 [kW]	5
효율 [%]	100

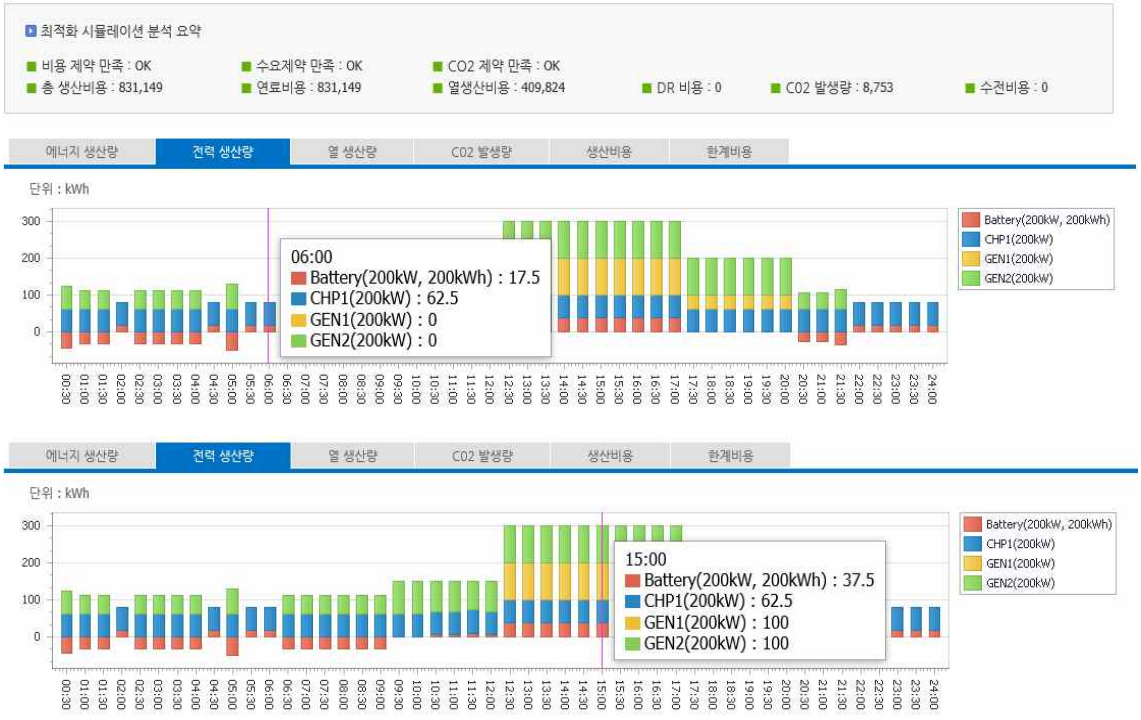
- CEMS-O 시뮬레이션 결과 화면

: Case 1은 배터리 최대충전용량이 400kWh인 경우임. 30분 모의의 경우 kWh의 연산에 의해 400kWh를 가정한 경우 CEMS-O 프로그램의 배터리 최대충전용량에는 800을 입력해야 함. 이는 CEMS-O는 1시간 기준으로 작성되었기 때문



<그림 3-346 배터리(최대충전용량: 400kWh) 반영 CEMS-O 시뮬레이션 결과>

: Case 2는 배터리 최대충전용량이 200kWh인 경우임. 위의 Case 1과 마찬가지로 200 kWh 모의를 위해 CEMS-O 프로그램의 배터리 최대충전용량에는 400을 입력함



<그림 3-347 배터리(최대충전용량: 200kWh) 반영 CEMS-O 시뮬레이션 결과>

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 분석

: Case 1은 배터리 최대충전용량이 400kWh인 경우임. 06시 00분의 최적화 시뮬레이션 결과를 보면 CHP1이 62.5kW, GEN2가 67.78kW의 출력을 내고 배터리가 50.28kW를 충전함으로써 해당 시간의 전력수요 80kW와 열수요 50kW를 충당하고 있음을 확인할 수 있음. 이와 유사하게 15시 00분의 최적화 시뮬레이션 결과를 보면 CHP1이 62.5kW, GEN1이 81.11kW, GEN2가 100kW씩의 출력을 내고 배터리가 56.39kW를 방전함으로써 해당 시간의 전력수요 300kW와 열수요 50kW를 충당하고 있음을 확인 가능. 이 경우 배터리의 시간대별 충방전량과 충전상태(SOC, Status of Charge)를 그래프로 표현하면 아래의 그림과 같음. 전력수요가 낮은 시간대(00:30~08:30)에 충전하고 전력수요가 높은 시간대(12:30~17:00)에 주로 방전함을 확인. 또한, 배터리 최대충전용량을 충분히 크게 하였기에 최대충전용량 범위 내에서 배터리 충전량이 결정됨(최대 약 360kW)을 확인할 수 있음



<그림 3-348 배터리(최대충전용량: 400kWh) 시간대별 충방전 및 SOC 데이터>

: Case 2는 배터리 최대충전용량이 200kWh인 경우임. 06시 00분의 최적화 시뮬레이션 결과를 보면 CHP1이 62.5kW, 배터리가 17.5kW을 방전함으로써 해당 시간의 전력수요 80kW와 열수요 50kW를 충당하고 있음을 확인 가능. 이와 유사하게 15시 00분의 최적화 시뮬레이션 결과를 보면 CHP1이 62.5kW, GEN1과 GEN2가 각각 100kW의 출력을 내고 배터리가 37.5kW를 방전함으로써 해당 시간의 전력수요 300kW와 열수요 50kW를 충당함을 확인할 수 있음



<그림 3-349 배터리(최대충전용량: 200kWh) 시간대별 충방전 및 SOC 데이터>

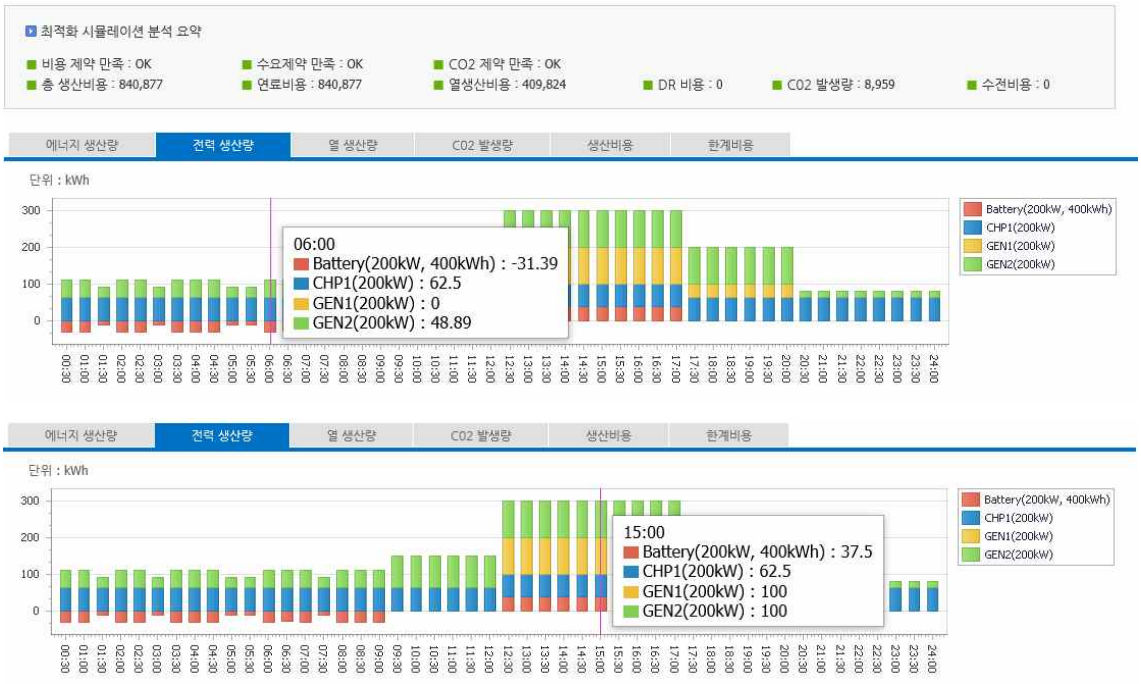
: 위의 시뮬레이션을 통해 배터리와 기존의 전력설비 간의 연계가 정상적임을 확인함. 또한, 최대충전용량 제약에 의해 배터리 충전량이 제한됨(200kWh)을 확인함

□ 배터리 효율 반영

- 검증 조건

: 배터리의 효율이 반영되는지를 검토하기 위해 배터리 특성효율을 80%로 조정하고 배터리 최대충전용량이 400kWh인 경우를 모의함

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 화면



<그림 3-350 배터리 효율(80%) 반영 CEMS-O 시뮬레이션 결과>

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 분석

: 배터리 효율을 80%로 설정함. 이는 충전량이 방전량보다 25%만큼 많아야 함을, 즉 100kWh만큼 방전하기 위해서는 125kWh만큼을 충전해야 함을 의미함. 아래의 배터리 SOC 그래프를 보면 00시 30분부터 09시 00분까지 총 468.75kWh만큼 충전되었고 12시 30부터 15시 00분까지 약 375kWh만큼 방전되어 더 이상 방전될 수 없음을 확인할 수 있음. 충전량과 방전량의 비율이 배터리 저장장치의 효율인 80%이다. 그림 27의 SOC는 배터리 용량을 의미하므로 충전량에는 효율을 곱하고, 방전량은 그대로 사용



<그림 3-351 배터리(최대충전용량 400kWh, 효율 80%) 시간대별 충방전 및 SOC 데이터>

27.3.4 수요이전

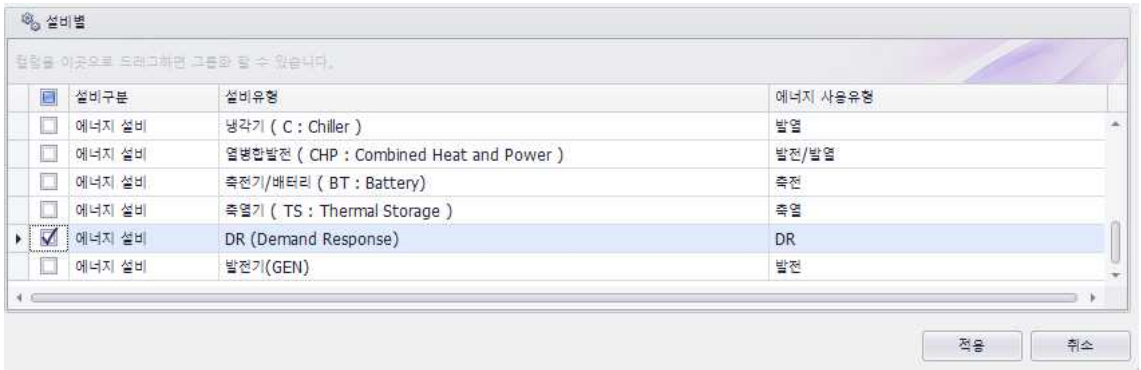
□ 수요이전 옵션 반영

- 검증 조건

: 원하는 시간대에 일정량의 전력수요를 줄이고 해당 전력수요를 다른 시간대로 이전하는 기능을 수행

: 일반적으로 중부하시간대(계시별 전력요금이 비싼 시간대)의 전력수요를 경부하시간대(계시별 전력요금이 싼 시간대)로 이전하는 용도로 사용

: 수요이전(DR) 기능을 추가하기 위해 '최적화관리' > '기본데이터 - 공급설비추가' > '설비추가' > '에너지설비-DR' 을 선택

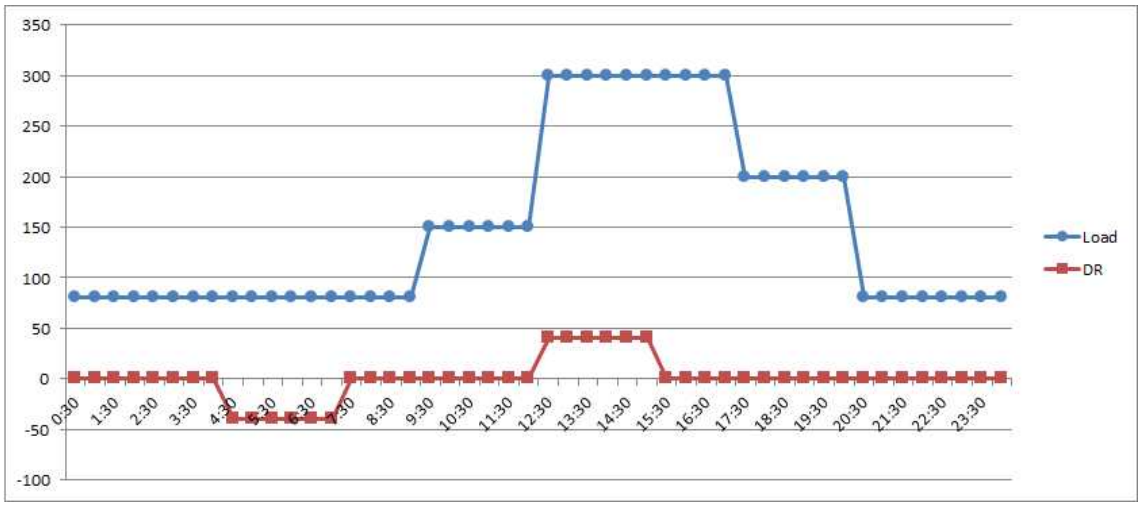


<그림 3-352 CEMS-O 프로그램에서 수요이전 기능 추가>

: 운전패턴 적용을 '0' 혹은 '1' 로 세팅하여 옵션반영 여부를 결정함

: 1일 시간대별 전력수요 및 수요이전량을 아래의 그림과 같이 설정함. 해당 수요이전기능을 통해 전력수요가 높은 시간대인 오후 12시 30분부터 오후 3시 00분까지의 전력수요를 50kW씩 총 150kWh를 줄이고 해당 부하량을 다른 시간대로 이전하는 상황을 가정

: 또한, 열수요를 50kW로 일정하게 설정하여 기본적으로 CHP를 기동하는 상황을 가정



<그림 3-353 수요이전 기능 모의를 위한 전력수요 데이터 및 수요이전량>

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 화면

: 수요이전 반영 전



<그림 3-353 수요이전 반영 전의 CEMS-O 시뮬레이션 결과>

: 수요이전 반영 후



<그림 3-355 수요이전 반영 후의 CEMS-O 시뮬레이션 결과>

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 분석

: 수요이전 반영 전의 경우는 00시 30분부터 09시 00분까지 전력수요는 80kW를 유지함. 이 때 열수요를 감당하기 위해 CHP는 지속적으로 62.5kW를 공급하고 CHP와 GEN2가 공급하는 량에서 전력수요를 뺀 전력을 배터리 충전에 사용하고 있음을 확인할 수 있음. 09시 30분부터 12시 00분까지 CHP와 GEN2가 각각 62.5kW와 48.89kW를 공급하고 배터리가 38.61kW를 방전함으로써 전력수요 150kW를 감당하고 있음을 확인함. 최대전력수요 시간대인 12시 30분부터 17시 00분까지 CHP, GEN1, GEN2와 배터리가 각각 62.5, 81.11, 100, 56.39kW를 공급함으로써 총 300kW의 부하를 감당하고 있음을 확인

: 수요이전 반영 후의 경우는 부하감축을 원하는 시간대인 오후 12시 30분부터 오후 3시 00분까지의 전력수요가 40kW씩 줄어들어 총 120kWh임을 확인. 이 때 CHP, GEN1, GEN2와 배터리가 각각 62.5, 81.11, 100, 16.39kW를 공급함으로써 총 260kW의 부하를 감당하고 있음을 확인. 다만, 수요이전을 통해 40kW만큼 증가되는 구간(04시 30분~07시 00분)이 그래프 상에 표현이 되지 않고 있음을 확인함

□ 수요이전 비용 효과

- 검증 조건

: 수요이전의 비용효과를 검토하기 위해서 수요이전 비용을 '0'으로 하고 수요이전 전후의 생산비용을 검토하여 25,046천원의 비용절감 효과가 있음을 알 수 있음

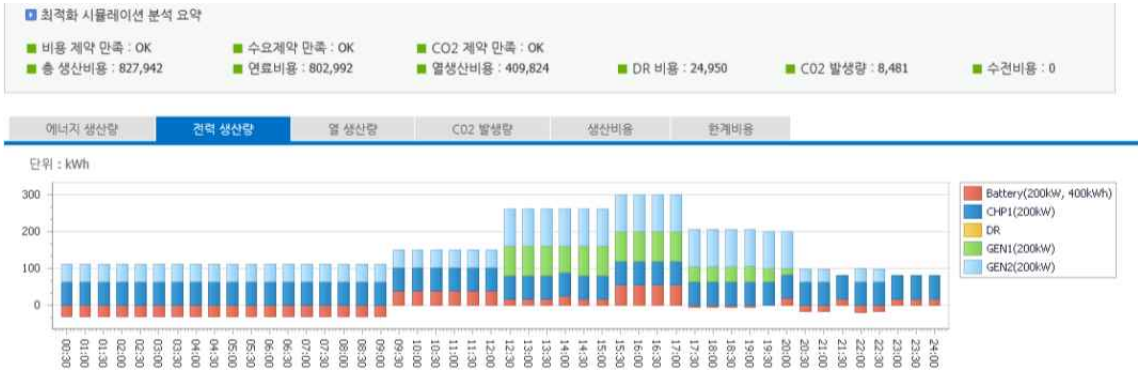
→ 수요이전 전 생산비용(천원) : 827,935

→ 수요이전 후 생산비용(천원) : 802,889

: 수요이전 비용의 반영 여부를 확인하기 위해 수요이전 비용을 각각 24,950천원과 25,100천원으로 입력한 후 결과를 비교

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 화면

: 수요이전 비용 : 24,950천원



<그림 3-356 수요이전 비용(24,950원)에 대한 CEMS-O 시뮬레이션 결과>

: 수요이전 비용 : 25,100천원



<그림 3-357 수요이전 비용(24,950원)에 대한 CEMS-O 시뮬레이션 결과>

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 분석

: 수요이전 비용이 비용절감 효과보다 작은 경우에만 수행되고 큰 경우에는 수행되지 않음을 확인함

27.3.5 실측데이터 적용

□ POC실측 데이터

- 검증 조건

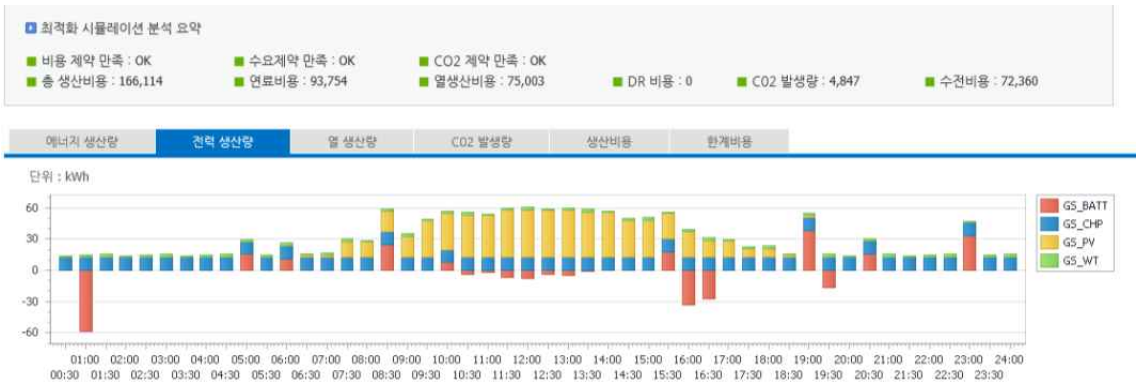
: POC사이트의 실제 24시간, 30분 단위 전력수요데이터와 태양광 데이터를 활용하여 CEMS-O 시뮬레이션 여부를 확인

: 태양광 50kW, 풍력 20kW, 배터리 100kW(100kWh)가 설치된 상황을 가정



<그림 3-358 POC 실증 데이터(전력부하, 태양광, 열부하, 풍력)>

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 화면

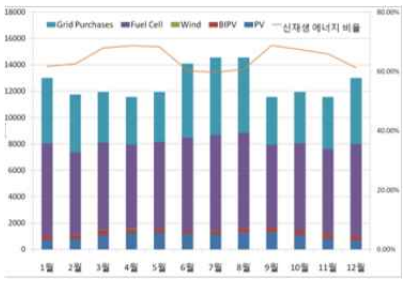


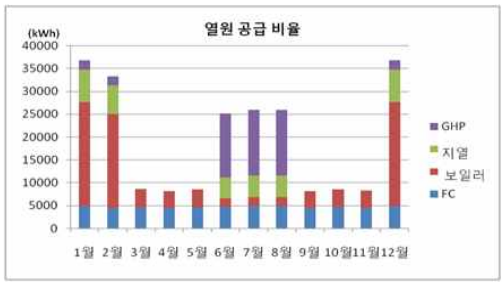
<그림 3-359 POC 실증데이터의 시뮬레이션 결과>

- CEMS-O 시뮬레이션 결과 분석

: 수요가 높은 시간대의 태양광과 풍력, CHP가 운영되어 남은 전력을 배터리에 충전하는 형태를 정확히 구현하고 있음을 확인

28. 스마트 도시에너지 관리시스템 및 복합 에너지 커뮤니티 모델 적용성 검토

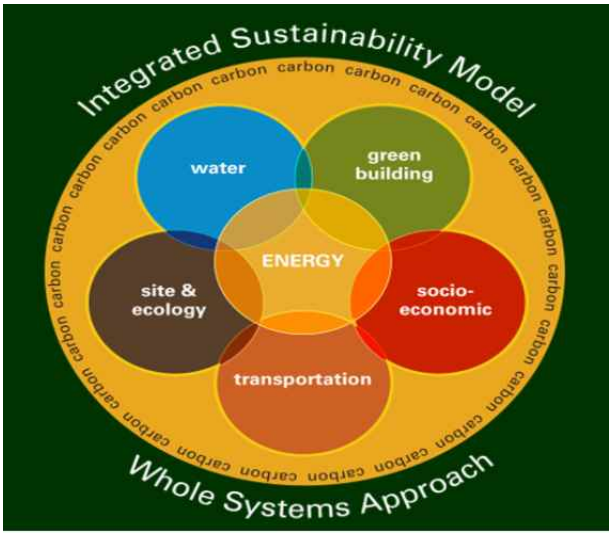
<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">



<스마트 도시에너지 관리시스템 시뮬레이션(안)></td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">- 국내외 개발 예정 신도시를 대상으로 스마트 도시에너지 관리시스템 및 복합에너지 커뮤니티 모델 적용성 검토</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">- 설계 및 운영프로그램의 적절성 확인 및 에너지 저감 효과 분석 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">- 개발 예정 신도시의 탄소 배출량 확인 및 복합에너지 설계 시의 저감량 확인 적용성 검토
◦탄소배출량 및 에너지 저감량 확인
- 운영시나리오에 따른 탄소배출량 확인 및 적용성 검토</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)
- 탄소저감 기존대비 5% 저감
(개발기술 수준)
- 에너지 시뮬레이션을 통한 저감 효과 15%
(개발기술 수준 설정근거)
- 해외 사례 조사</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">박시삼(GS건설㈜)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">5차년도 '15.06 ~ '16.06 (13개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td rowspan="2">5차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>5차년도</td><td colspan="5">- 개발 예정 신도시를 대상으로 스마트 도시에너지 관리시스템 적용성 검토 : 1건
- 개발 예정 신도시를 대상으로 복합에너지 커뮤니티 모델 적용성 검토 : 1건</td></tr>
<tr><td>달성 확인방법</td><td>5차년도</td><td colspan="5">- 개발 예정 신도시를 대상으로 스마트 도시에너지 관리시스템 적용성 검토 : 보고서 확인
- 개발 예정 신도시를 대상으로 복합에너지 커뮤니티 모델 적용성 검토 : 보고서 확인</td></tr>
</table>

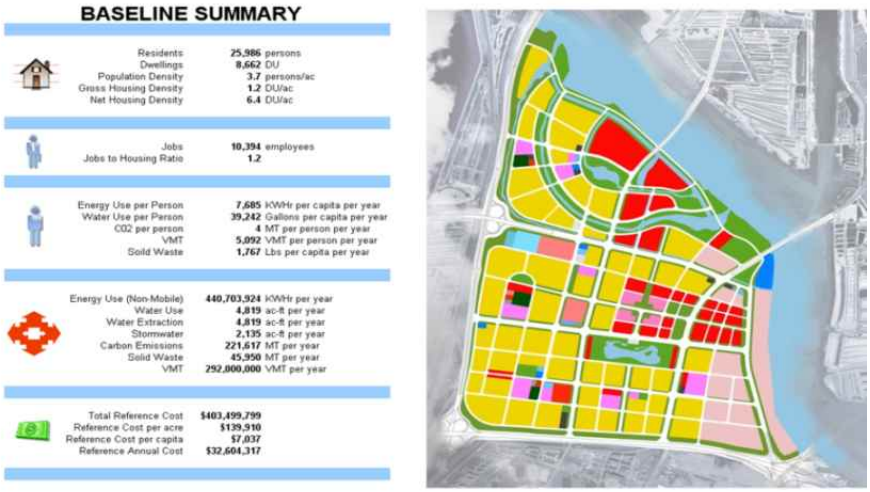
28.1 도시에너지 최적화 해외 프로젝트 조사

□ AECOM社의 경우, SSIM(Sustainable Systems Integration Model)을 활용하여, Smart City 도시개발 등의 개발사업의 수주경쟁력을 강화하고 있는 상황임

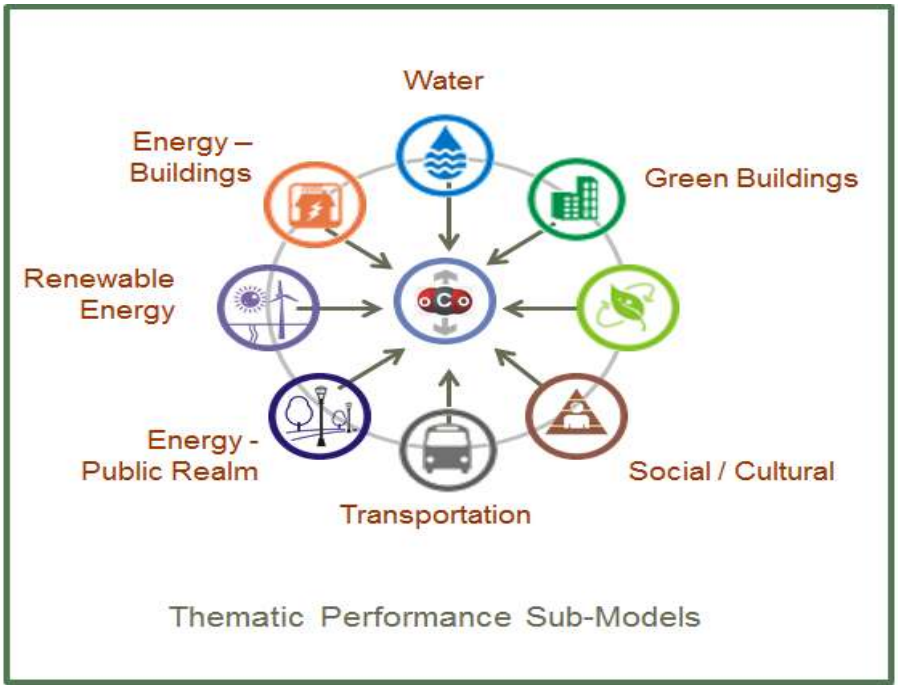


<그림 3-360 Sustainability Services and Qualifications>

□ SSIM(Sustainable Systems Integration Model)의 경우, 기후변화, 택지 개발계획 등의 도시개발시의 모든 영역에 대한 모델링을 할 수 있는 소프트웨어로 AECOM社는 이를 활용하여 Smart City 도시개발 등의 개발사업의 수주경쟁력을 강화하고 있는 상황임

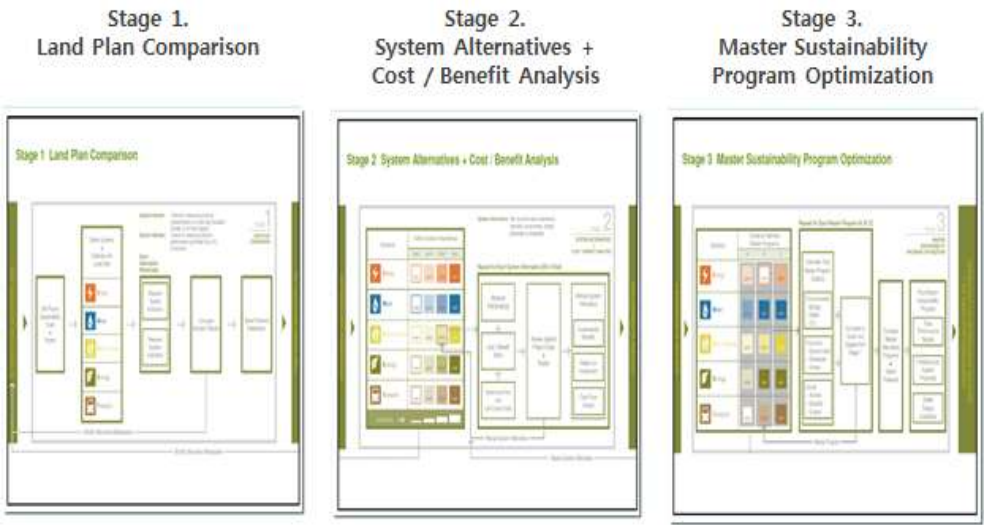


<그림 3-361 중국 도시개발 모델링 사례>



<그림 3-362 Thematic Performance Sub-models>

□ SSIM(Sustainable Systems Integration Model)은 각 분야별 개별 모델링 수행이 가능하며, 특히 기후변화 대응 시나리오로 신재생에너지, 공공에너지, 그린빌딩 등의 에너지 최적화 분야에 대한 기능 개선 강화 중



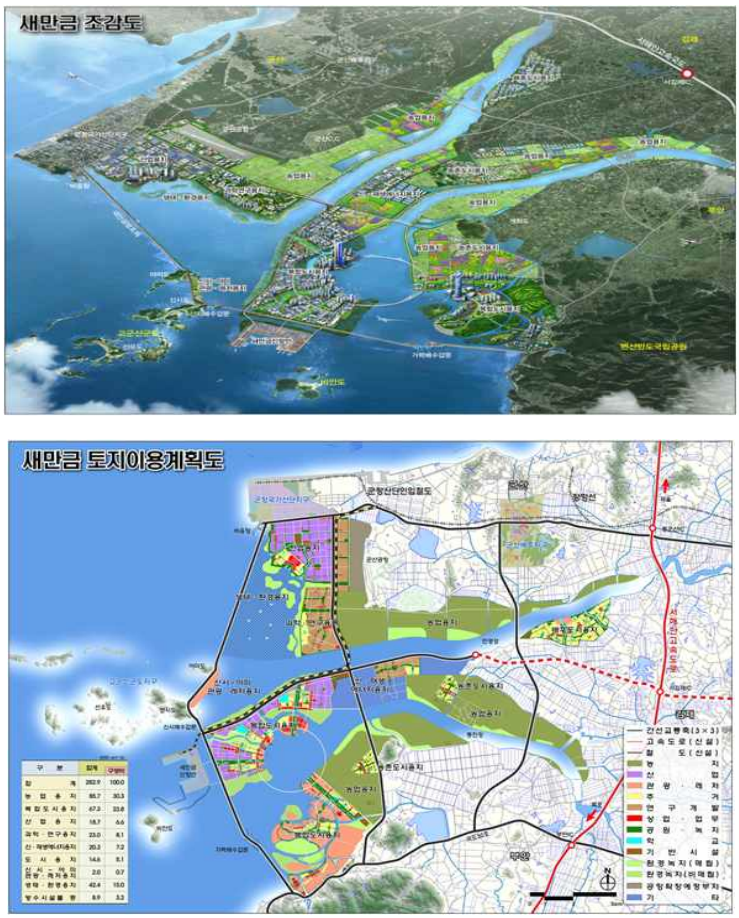
<그림 3-363 단계별 도시 최적 모델링>

□ 특히, 에너지 공급 시스템에 변화를 주면서, 초기투자비용 및 운영비용 등에 대한 편익 분석을 통한 경제성 분석 및 최적화 기능이 있음

28.2 새만금 지역에 대한 에너지공급시스템 최적화 설계

□ 새만금 지역 개요

- 새만금 개발 사업 개요 : 군산~부안을 연결하는 세계 최장의 방조제 33.9㎞를 축조하여 간척 토지 291㎢와 호소 118㎢를 조성하고, 여기에 경제와 산업, 관광을 아우르면서 글로벌 자유무역과 경제협력의 중심지를 건설하는 국책사업 [새만금개발청 홈페이지, 2016.03]
- 유발인구 : 새만금 개발로 인해 발생될 것으로 추정되는 유발인구 76만인은 새만금 지역 내 도시용지 및 개별용지와 새만금 지역외부의 기존 도시로 배분 (새만금 지역 내부는 쾌적하고 질 높은 거주환경을 제공하고, 미래 주거환경변화에 대응하기 위하여 전체의 38.2%에 해당하는 29.0만인을 용지별로 적정한 수용인구를 고려하여 배분) [새만금개발청 홈페이지, 2016.03]



<그림 3-364 새만금 조감도 및 토지이용계획도>[35]

35) 국토해양부, 2011, 새만금사업 종합개발계획(MP) 수립 용역-기술부문 최종보고서, ㈜동호, ㈜삼안

□ 새만금 지역의 에너지 공급계획[36)]

(1) 에너지 수요 및 목표

- 에너지 수요

: 새만금지역 개발이 모두 완료되는 경우 새만금 내부지역에서 필요로 하는 에너지의 총 수요량은 연간 약 517만toe로 전망

: 총 수요량은 열수요 18,896Tcal와 전력수요 14,013GWh/년으로 구성

<표 3-147 에너지 수요량 추세치>

구 분	합 계 (만toe/년)	열수요 (Tcal/년)	전력수요 (GWh/년)
합 계	517	18,896	14,013
복합도시용지	153	5,187	4,288
농 업 용 지	36	1,962	612
산 업 용 지	202	7,590	5,486
과학·연구용지	43	622	1,652
신·재생에너지용지	40	2,096	793
도 시 용 지	37	1,370	936
새만금 신항만	1	21	51
신시-야미 다기능부지	5	48	195

○ 에너지 목표

: 본 계획에서는 국가에너지감축정책에서 제시한 에너지 감축 목표치들을 고려하여 새만금지구에서 필요한 총 에너지수요량을 386만toe/년으로 설정

<표 3-148 에너지 수요량 목표치>

구 분	합 계 (만toe/년)	열수요 (Tcal/년)	전력수요 (GWh/년)
합 계	386	13,841	10,745
복합도시용지	108	3,694	3,052
농 업 용 지	27	1,482	445
산 업 용 지	166	5,895	4,786
과학·연구용지	30	415	1,143
신·재생에너지용지	29	1,595	572
도 시 용 지	21	708	561
새만금 신항만	1	15	36
신시-야미 다기능부지	4	37	150

(2) 에너지 공급원 검토

36) 국토해양부, 2011, 새만금사업 종합개발계획(MP) 수립 용역-기술부문 최종보고서, ㈜동호, ㈜삼안

- 전력 및 열공급원

: 새만금지역 개발에 따른 열수요와 전력수요는 주로 집단에너지, LNG, 신재생에너지 등의 다양한 방법을 통해 공급할 수 있을 것으로 판단

: 새만금지역 개발이 완료되는 경우 필요로 하는 열수요량 13,841Tcal/년 중 57.1%는 집단에너지를 통해 공급하고, 42.9%는 LNG를 통해 공급하는 것으로 계획

: 새만금지역에서 필요로 하는 전력수요량 10,745GWh/년은 한전에서 수전하는 것으로 계획

<표 3-149 에너지 공급원 검토 및 배분>

구 분		공 급 량	구성비(%)
열공급 (Tcal/년)	계	13,841	100.0
	집단에너지	7,903	57.1
	LNG(도시가스)	5,938	42.9
전력공급 (GWh/년)	한전 수전	10,745	100.0
	(집단에너지생산량)	(2,381)	(22.5)
	집단에너지 시설에서 생산된 전력은 한전으로 역송		

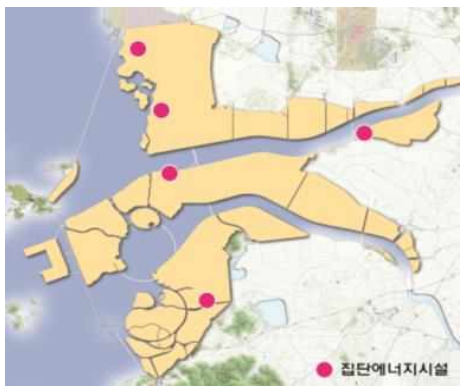
- 집단에너지 공급시설

: 열수요량이 총 수요 대비 5%를 초과하는 복합도시용지, 산업용지, 과학·연구용지, 신·재생에너지용지, 도시용지에 대해 입지타당성 검토 시행

: 집단에너지시설 입지타당성 검토 내용을 종합적으로 분석한 결과 복합도시용지 북측 및 남측지구, 산업용지, 과학·연구용지 및 배후도시에 집단에너지시설을 계획

: 복합도시용지 남측 및 북측지구, 과학·연구용지 및 배후도시는 고형연료(RDF)를 생산하는 폐기물처리시설과 집단에너지시설을 연계 배치

: 산업용지도 폐기물처리시설과 집단에너지시설이 연계 배치되어 있으나 실시계획 승인사항에 폐기물처리시설 내 고형연료(RDF) 생산시설에 대한 내용이 없음



<그림 3-365 집단에너지시설 입지>

<표 3-150 집단에너지시설 입지타당성 검토>

구 분		최대 열부하 (Gcal/h)	열사용량 (Gcal/년)	열밀도 (Gcal/㎢·h)	연료사용량 (toe/년)	판정
기 준	도시용지	150.0	300,000	30.00	-	-
	산업용지	-	-	60.00	50,000	-
복 합 도 시 용 지	북측지구	814.9	3,065,134	31.70	-	○
	남측지구	211.7	480,049	11.63	-	○
산 업 용 지		-	-	49.72	424,110	○
과학·연구용지		409.7	347,194	17.83	-	○
신·재생에너지용지		60.7	905,980	12.35	-	×
농 촌 도 시		24.0	29,573	5.13	-	×
배 후 도 시		379.0	920,026	37.93	-	○

- 신재생에너지 공급시설

: 새만금지역에서 생산이 가능한 신재생에너지 유형은 태양광, 바이오디젤, 풍력 등이며, 이들로부터 생산할 수 있는 신재생에너지는 총 775,500TOE/년으로 예상

<표 3-151 신재생에너지 예상 생산량>

구 분	예상 생산량 (TOE/년)	비 고
태 양 광	145,200	집광판 9.8㎢
바이오 디젤	1,500	바이오작물 재배 면적 10.5㎢
풍 력	496,800	5㎿급 175기
고형연료(RDF)	132,000	MBT 2,650ton/일

: 새만금지역의 에너지 총수요 중 신재생에너지 공급량은 총 에너지 수요량(추세치)의 15%를 공급하는 것으로 계획

: 이는 국가목표(11%)에 비해 4% 포인트가 높은 것이며, 태양광, 바이오, 풍력 등을 통해 에너지를 확보하는 것으로 계획

<표 3-152 신재생에너지원별 예상 공급량>

구 분	예상량(TOE/년)	총에너지수요 대비 비중
에너지 총수요(추세치)	5,170,000	100.0%
신·재생에너지	775,500	15.00%
태 양 광	145,200	2.81%
바이오 디젤	1,500	0.03%
풍 력	496,800	9.61%
고형연료(RDF)	132,000	2.55%

□ 에너지공급시스템 최적화 방법

- 해석방법

: 혼합정수선형계획법(MILP : Mixed Integer Linear Programming) 이용

: 본 과제에서 개발한 Smart CEMS-D S/W 이용

: 모델도시의 규모 : 인구 3십만 명

: 부하 : 새만금 종합개발계획(MP) 보고서의 기반시설계획편 참고

<표 3-153 CEMS-D S/W의 입출력 내용>

구 분	내 용
입력 자료	○ 구성기기의 종류(예 : 가스터빈, 보조보일러, 흡수식냉동기 등) ○ 각 기기의 최대 설정 대수, 구성기기의 특성(출력특성) ○ 기기의 설비비(초기투자비), 각 기기의 최소용량과 최대용량 ○ 연간 및 일간 분할 수(Segment) ○ 에너지부하(전력부하, 온열부하, 냉열부하) ○ 에너지요금(전력요금 및 도시가스요금, B-C유 등) ○ 기타(이자율, 내용년수, 자본회수계수 등)
출력 자료	○ 최적 구성기기 및 용량, 구성 대수, 초기투자비, 운전비, 경상비 ○ 연료소비량, 수전량과 매전량, 에너지소비량 ○ 배열발생량과 이용량, 배열이용률, 부하율, 설비이용률 등

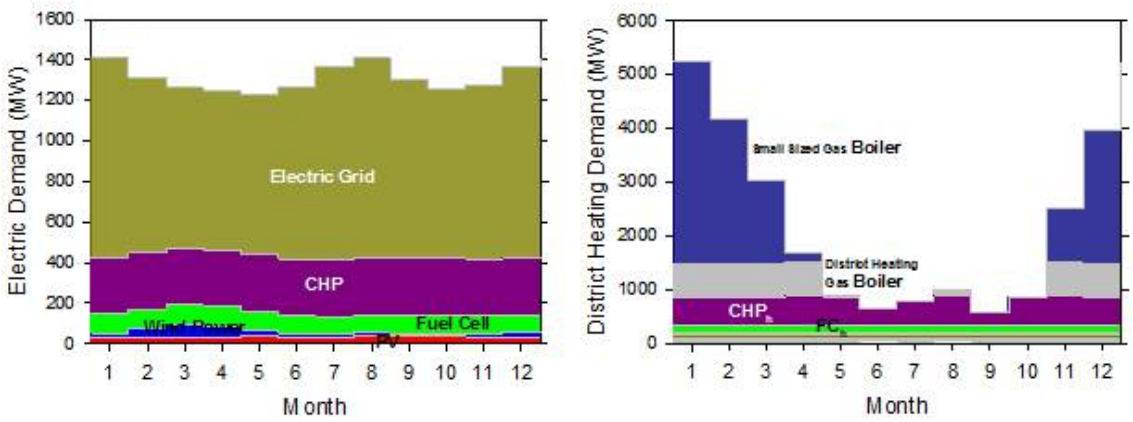
□ 해석결과

- 공급시스템변화에 따른 에너지 소비량의 변동을 시뮬레이션하여 아래와 같은 해석결과를 도출. 기존시스템을 분산형 시스템으로 변경하고, 신재생에너지시스템 도입율을 향상시키면, 에너지 소비량 감소 및 탄소배출량을 저감시킬 수 있음

- 에너지 공급원(PV+ESS, Wind Power, Fuel Cell, 소형 CHP, 수열원 열펌프, 소각배열, 산업배열, 지열, 태양열)의 다양화(분산전원) 및 신재생에너지의 적극적인 도입으로 도시단위 에너지 자립 및 탄소배출량 절감 가능

[2030년 최적 시나리오(안)]

기존 시스템(386만 TOE) → 2030년 시나리오(321만 TOE, 16.8% 감소), 탄소배출량 18.3% 감소

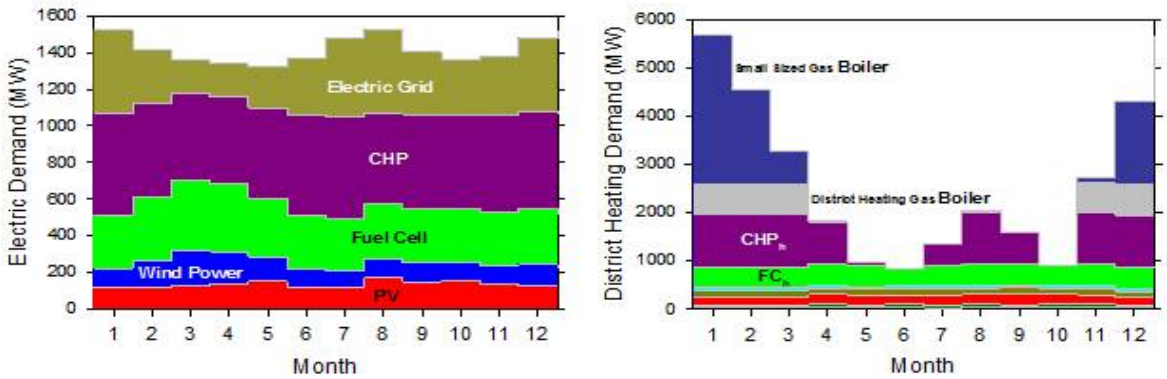


(전력부문) (열부문)

<그림 3-366 2030년 최적시나리오 해석 결과>

[2050년 최적 시나리오(안)]

기존 시스템(386만 TOE) → 2050년 시나리오(267만 TOE, 30.8% 감소), 탄소배출량 32.2% 감소



(전력부문) (열부문)

<그림 3-367 2050년 최적시나리오 해석 결과>

28.3 수원시 대상 에너지 최적설계 시뮬레이션

□ 도시 에너지 최적설계 시뮬레이션 개요

- 기존 에너지설비 최적화설계 프로그램(ENERGYPLAN, HOMER, RETScreen 등)은 전력/열부하에 대한 전력/열생산설비의 생산량최적화(ENERGYPLAN, RETScreen)와 전력생산설비의 용량설계 최적화(HOMER) 가능
- 용량이 정해진 설비의 운전최적화는 기존 최적화설계 프로그램으로 가능. 신재생, 열병합 등의 추가설비 고려 시 용량설계 최적화와 운전최적화 모두 필요
- 국내 환경은 인구밀도와 공동주택의 비율이 높아 열에너지네트워크의 활용가능성이 큼 → 열/전력설비 함께 최적화설계 필요. 열/전력설비에 대한 용량 및 운전 최적화를 위해 도시 에너지 최적설계(CEMS-D) 개발

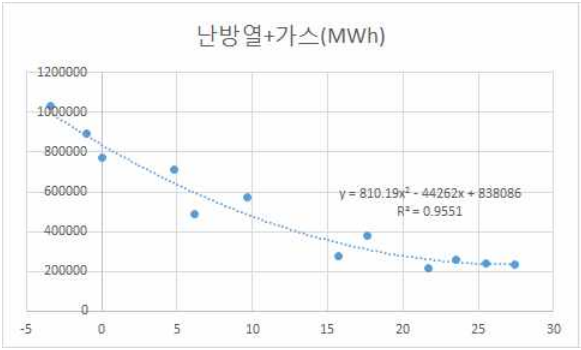
□ 주요 연구 내용

① 도시 열/전력 수요예측

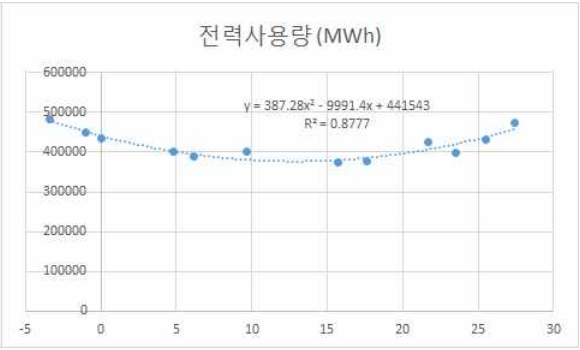
- 일평균외기온도, 월별에너지사용량, 시간별 에너지 사용패턴(평일/휴일), 용도별 면적을 이용한 수원시 대상 시간별 열/전력 수요예측
- 외기온도에 영향을 많이 받는 열사용량은 동일한 월에서도 일별부하의 차이가 매우 크므로 일별부하를 이용하여 입력하여 설계해야 용량부족에 대한 위험을 줄일 수 있음. 도시단위의 일별/시간별 열부하를 측정하는 것은 현실적으로 어려움 → 합리적 계산 필요

<표 3-154 수원시 2013년 에너지사용량 및 소각열생산량 (공공데이터포털)>

월	월평균외기온도 (℃)	지역난방열소비량 (MWh)	도시가스사용량 (MWh)	소각열생산량 (MWh)	전력사용량 (MWh)
1	-3.4	239,122	793,132	33,582	482,352
2	-1	189,748	703,991	28,098	451,316
3	4.8	150,300	561,641	37,370	401,473
4	9.7	103,663	468,415	37,527	401,183
5	17.6	46,467	331,156	33,091	377,346
6	23.5	24,239	234,655	30,016	397,592
7	25.5	21,364	219,628	35,104	430,866
8	27.4	15,841	215,494	31,288	473,088
9	21.7	21,733	196,422	31,187	425,964
10	15.7	49,978	225,604	31,964	375,234
11	6.2	131,319	356,203	31,332	389,720
12	0	203,204	567,117	35,489	436,013

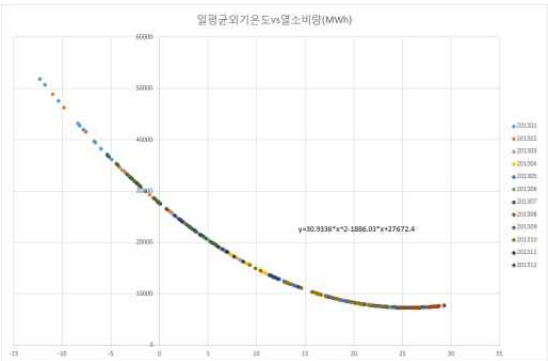


<그림 3-368 2013년 수원시 월평균외기온도 vs 지역난방열소비량 및 도시가스사용량>

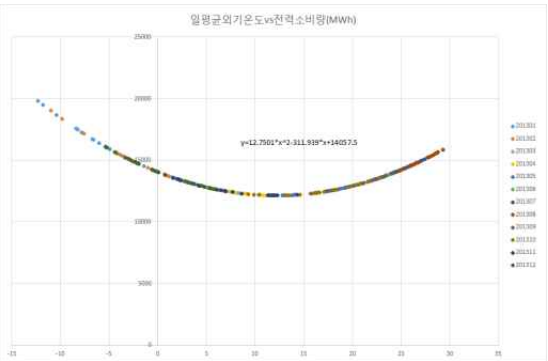


<그림 3-369 2013년 수원시 월평균외기온도 vs 전력사용량>

- 수원시는 일부 지역난방이 공급되고 있고, 폐기물 소각설비에서 소각열(증기)을 생산하고 있으므로 도시가스사용량과 지역난방열소비량, 폐기물 소각설비에서 발생하는 소각열(마이너스부하) 합계를 수원시 열부하로 사용
- 수원시 2013년 월평균외기온도, 월별에너지사용량 (공공데이터포털) 추세분석 결과, 위 그림과 같이 월평균외기온도와 강한 상관관계(열 R^2=0.96, 전력 R^2=0.88)를 가짐



<그림 3-370 2013년 수원시 일평균외기온도 vs 일간열부하(추정)>



<그림 3-371 2013년 수원시 일평균외기온도 vs 일간전력부하(추정)>

- 일평균외기온도와 일별에너지사용량 또한 2차식의 추세를 가지고 있다고 가정. 수원시 2013년 일평균외기온도에 대한 일별에너지사용량 추정(2차식 상수값 찾기). 추정된 일별에너지사용량을 월별로 합계한 결과와 월별에너지사용량은 양호한 상관관계를 보임.(열 R2=0.95, 전력 R2=0.74)

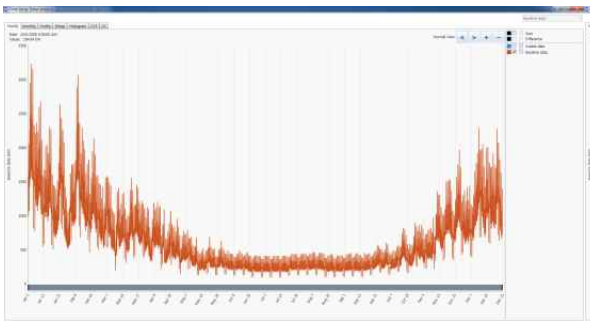


<그림 3-372 수원시 평일 부하패턴(용도별, 종합)>

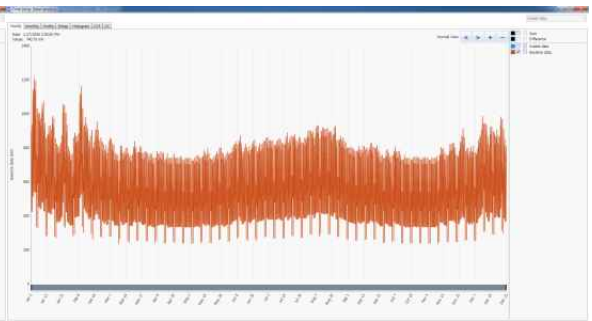


<그림 3-373 수원시 주말 부하패턴(용도별, 종합)>

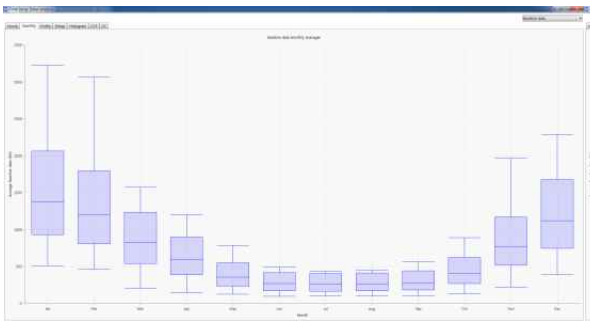
- 수원시의 건물용도별 토지면적, 단위에너지부하, 부하패턴을 종합하여 수원시 전체의 시간별 평균부하패턴을 산출. 산출된 시간별 부하패턴과 일별 에너지 사용량을 이용하여 시간별 부하계산



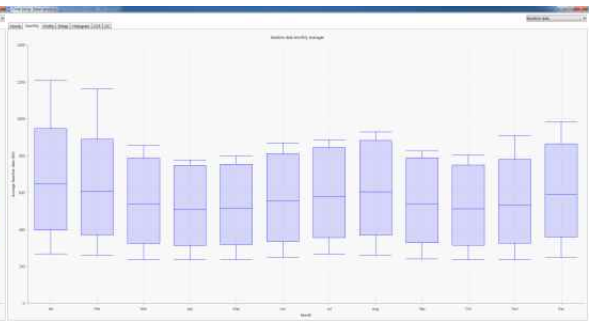
<2013년 수원시 연간 시간열부하(추정)>



<2013년 수원시 연간 시간전력부하(추정)>



<2013년 수원시 월별 시간열부하(추정) 분포>

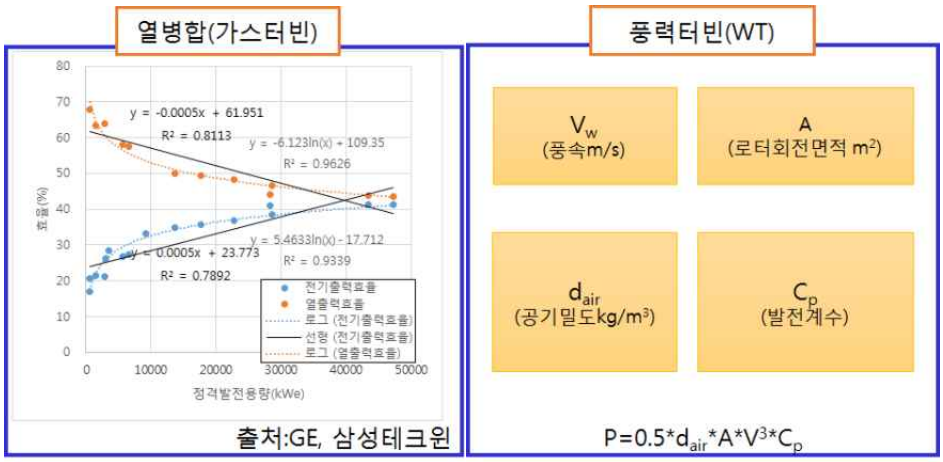


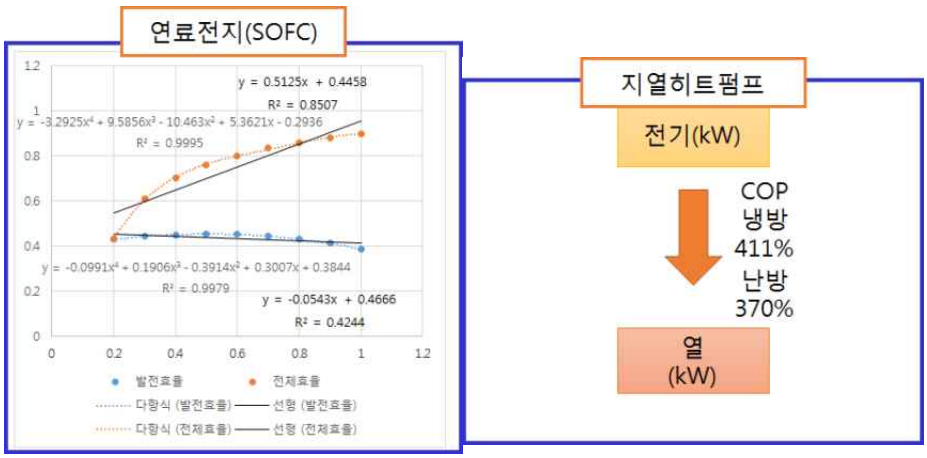
<2013년 수원시 월별 시간전력부하(추정) 분포>

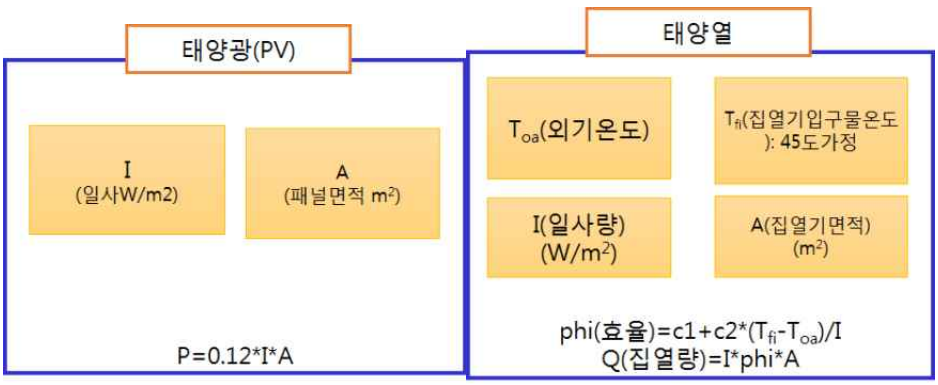
<그림 3-374 2013년 수원시 부하>

② 에너지설비 최적화 설계

- 순현재가치법(NPC)와 혼합정수 비선형 계획법(MINLP)을 이용한 설비 용량 및 운전 최적화. LINGO를 이용하여 최적화 설계 프로그램 개발
- 에너지설비 모델링. 상용제품의 성능회귀식 또는 평균성능계수를 이용한 모델사용









<그림 3-375 2013년 수원시 CEMS-D 해석결과>

- 비교검토를 위한 HOMER 해석결과

<표 3-155 Net Present Costs(₩)>

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
Generic flat plate PV	3,251,563	0	0	0	0	3,251,563
Generic 1 MW	9,520,000	0	0	0	0	9,520,000
43.2 MW CHP	0	0	0	838,398,592	0	838,398,592
Grid	0	0	5,776,754,688	0	0	5,776,754,688
Boiler	0	0	0	5,491,567,616	0	5,491,567,616
System	12,771,562	0	5,776,754,688	6,329,967,104	0	12,119,493,354

<표 3-156 Annualized Costs(₩)>

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
Generic flat plate PV	276,328	0	0	0	0	276,328
Generic 1 MW	809,038	0	0	0	0	809,038
43.2 MW CHP	0	0	0	71,249,648	0	71,249,648
Grid	0	0	490,926,080	0	0	490,926,080
Boiler	0	0	0	466,690,016	0	466,690,016
System	1,085,366	0	490,926,080	537,939,712	0	1,029,951,158

28.4 수원시 에너지 제로형 생태마을 조성계획 수립

□ 용역 개요 및 범위

- 최근 친환경에너지타운과 같은 에너지 자립 및 문화관광 등 다양한 산업과 연계된 도시개발 모델 관련 사업 확대
- 현재까지 유사한 개념의 다양한 사업들이 진행되어 왔으나, 지자체 협력/주민 이해 부족/재원 마련의 어려움 등으로 인해 실제적으로 성공한 사례가 극히 미비
- 본 용역에서는 수원시의 적극적인 협조 아래 총 140여 세대 규모의 마을에 대해 토지 이용 계획부터 실제 운영까지 모두 포괄하는 에너지 제로형 생태마을 조성을 위한 마스터플랜을 제안하고자 함

□ 주요 연구 내용 (도시 계획/개념)

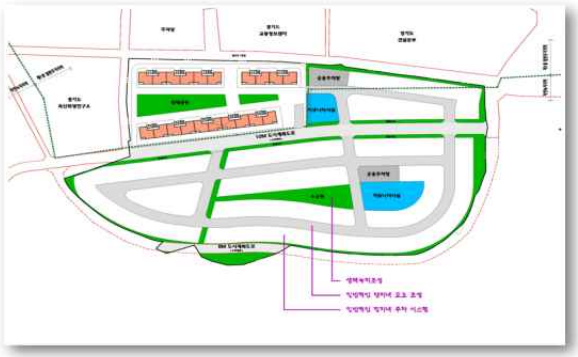
- 토지이용계획 제안

: 다양한 토지이용계획 제안을 통해 수원시 특성 및 주민 요구에 부합하는 토지활용안 선정

<표 3-157 토지이용계획안>

구분	대안 01	대안 02	대안 03	비 고
	중간보고 제시안	생태공원 조성안	커뮤니티 보행로 조성안	
단독주택 필지	67세대	68세대	63세대	개별필지면적 30평
연립주택 필지	78세대	78세대	78세대	21평형-78세대
커뮤니티 시설	커뮤니티 시설 필지 확보	커뮤니티 시설 필지 확보	커뮤니티 시설 필지 확보	
공용주차 시스템	중규모 공용주차장	소규모 공용주차장	소규모 공용주차장치	
세대 주차시스템	필지개별 주차	필지개별주차	블록별 공용주차 설치	
생태공원	소규모 생태공원조성	대규모 생태공원조성	커뮤니티 보행 도로 조성	
세대수	145세대	146세대	141세대	

Alt 1: 중간보고 제시안



- 중앙에 생태공원 및 커뮤니티 시설을 조성하고, 단지 내 도로를 통해 필지별 서비스를 하는 일반적인 토지이용계획안

Alt 2: 생태공원 조성안



- 래드번 계획에 적용된 완전한 보차분리 시스템을 적용한 대안
- 중앙의 생태보행길로 모든 필지가 보행로로 연결되고, 주차는 모든 필지에 단독으로 주차

Alt 3: 커뮤니티 보행로 조성안



- 공동주차 시스템을 적용, 내부 도로의 차량 통행을 최소화하여 커뮤니티 보행도로 조성
- 블록별 공동주차 및 블록별 생태보행길(텃밭 및 녹지)이 조성

<그림 3-376 토지이용계획 도안>

- 공동주택 중 연립주택 분양방안
  - Alt 1: 연립주택 부분을 저소득층을 위한 임대로 분양(전체 21평)
  - Alt 2: 일반분양으로 갈 경우 21평은 분양성이 떨어짐.
    주택처럼 연면적 32평으로 가는 것이 적합(단, 세대수는 감소)
  - Alt 3: 일반분양과 공공임대를 동 분리 없이 세대 간 분할
    (평수 협의 필요)
  - Alt 1, 2, 3에 따라 건축평면, 연립주택 부분 배치 평면이 달라질 수 있어 수원시와 협의 필요함

- 대상 마을 주제 테마
  : 단독주택 지역에 “유기농 먹거리 마을” 제안
  : 단독주택에 입주하는 주민 전체 혹은 일부는 유기농 커피집, 유기농 빵가게, 유기농 파스타집 등 본인의 집 저층부에서 유기농 먹거리 관련 음식점을 운영하는데, 상징적으로 본인의 마당에서 키우는 채소 등을 이용

- 홍보관 조성 및 국공립 어린이집 유치/게스트하우스 운영
  : 최근 마을 단지 내 국공립 어린이집을 유치할 경우 주변 단지의 집값이 상승하는 추세임
  : 수원시의 홍보관을 철거 없이 커뮤니티 시설로 이용하되, 내부 1층에 어린이집을 운영하고, 2층에 에너지 생태마을 홍보시설과 마을에 적용된 에너지 절약 아이템이 모두 적용된 게스트하우스를 운영함

□ 주요 연구 내용 (운영안)

① 경제적 운영(안)
  : 마을 내 유기농 상점 운영(빵집, 레스토랑, 카페, 식품점 등)
  : 주거의 저렴한 관리 및 운영비유지
  : 마을 커뮤니티 운영(마을 유지관리 및 운영 공동 수행)
  : 마을 내 어린이집 공동 육아

② 생태적 운영(안)
  - 환경 및 건강에 무해한 건축소재 사용 : 지역재료, 친환경 재료를 활용한 건강한 건축
  - 건강한 먹거리 장려 : 마을 정원, 채원 운영
  - 우수유출율 40% 유지: 목표달성을 위해 분산식 빗물관리 시스템 사용
    (지붕, 벽면, 투수포장, 투수녹지, 투수트렌치 등)

- 생태적 공간 조성 : 자연녹지 비율 40% 및 생태면적률 40% 등 목표를 위한 포장 및 그린 인프라 조성 (수치 부분은 토지이용계획과 연동하여 재검토)

③ 에너지 운영(안)

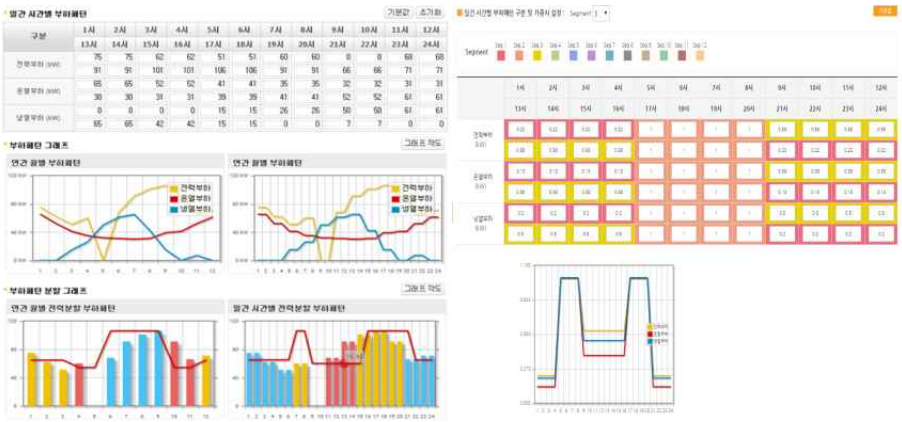
- 쓰레기 및 폐수의 최소화
  a. 폐기물 재활용을 위한 마을 규약 실천
  b. 물절약 시설 설치 (절수기 등)
  c. 폐기물 재활용율 60% 이상
- 태양광 발전시스템 사용
- 에너지 자급율 80% 달성
- 열손실을 최소화한 건축 구조 도입
- 자동차 교통 저감 노력: 지상, 지하 주차장 설치

④ 사회적 운영(안)

- 마을의 소통과 접촉 강화
  a. 마을 홈페이지 운영
  b. 마을센터, 공동체 중심지, 어린이집 등 운영
- 세대, 연령 통합: 다양성이 혼합된 마을
- 주민 공공 공간 조성, 주민참여 등 마을 운영에 열의
- 다양성과 동질성이 조화된 건축 (유니버설 디자인 등)

⑤ Smart CEMS-D 적용 방안 - 에너지 부분에 대한 설계 검토

- 해당 지역 내 에너지 부하 프로파일 작성



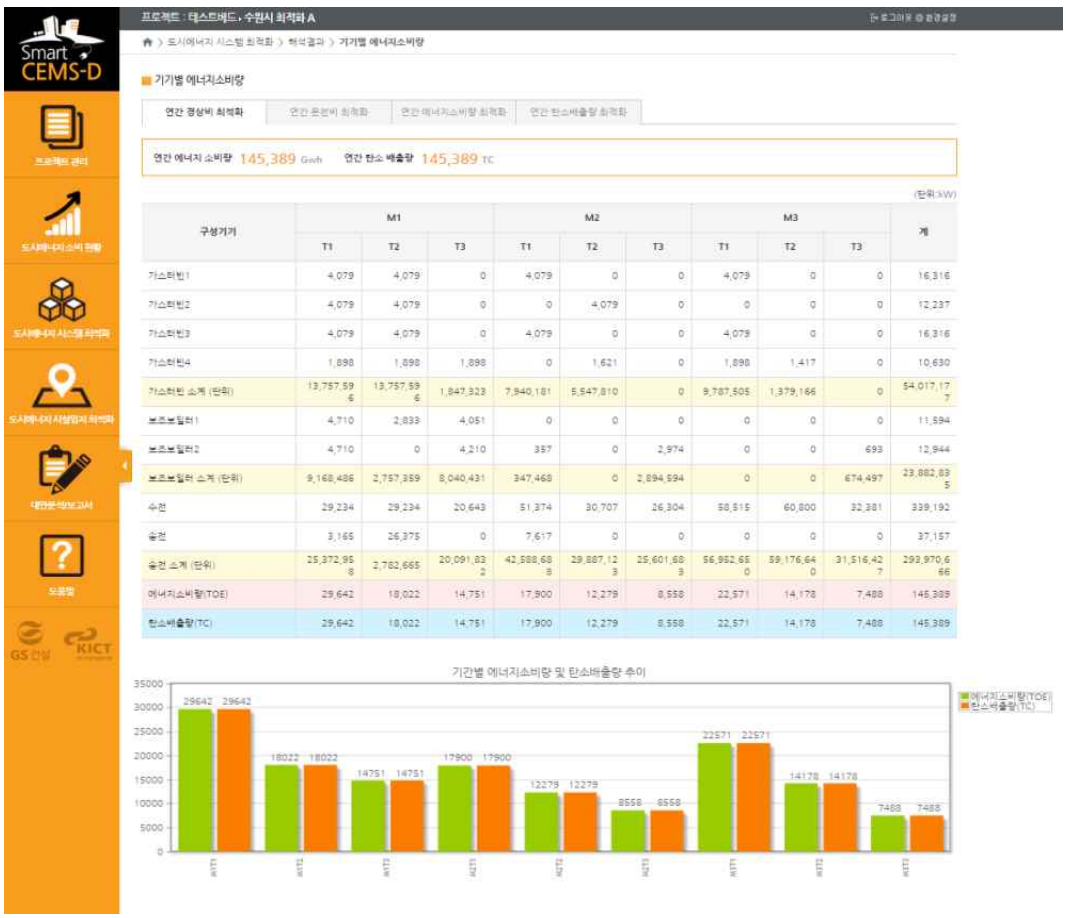
<그림 3-377 에너지 부하 프로파일 작성창>

- 적용 가능 에너지 공급 설비 용량 및 종류 설정



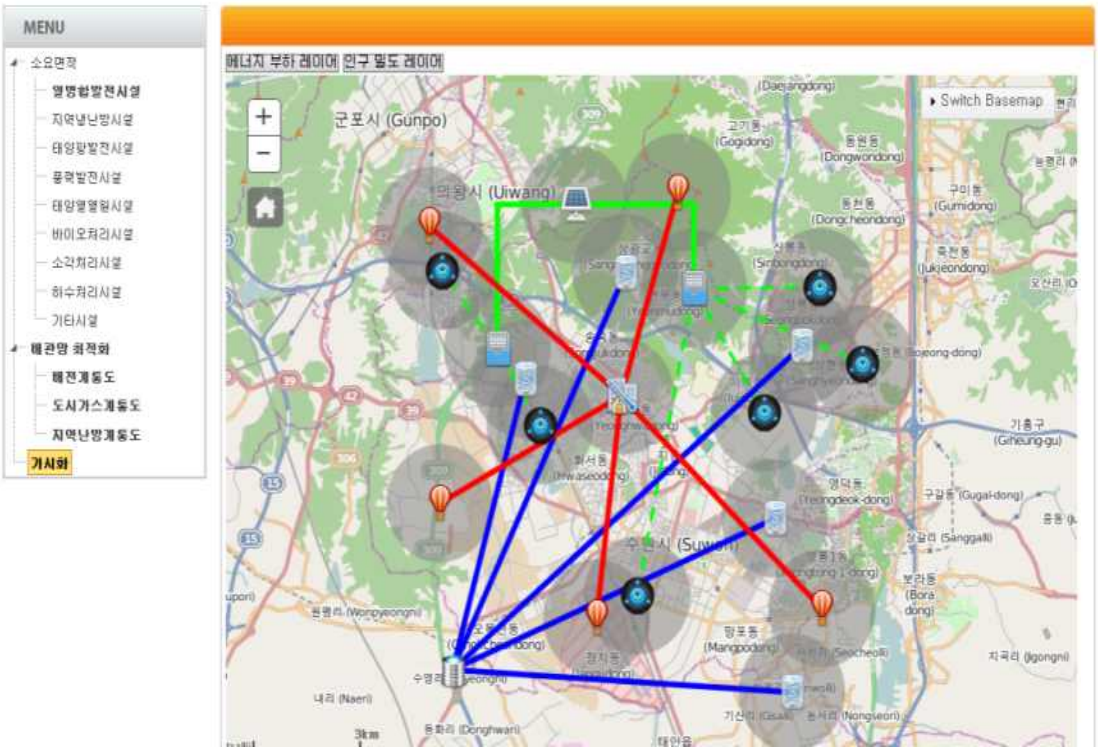
<그림 3-378 설비 용량 및 종류 설정창>

- 최적화를 통한 최적 설비 결정 및 경제성 분석



<그림 3-379 최적설비 결정 및 경제성 분석창>

- 배관망 최적화를 통한 경제성 확보 방안 검토



<그림 3-380 설비/수요처 간의 배관망 구성창>

제 4 장 연구목표 달성 및 효과

제 1 절 연구개발 목표 달성도

1. 1차년도

연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
도시 에너지 수급체계 최적화 방안 및 제품설계	에너지 효율화 기술 분석 List	건물단위 및 커뮤니티 (도시)단위 에너지 효율화 분석기술 적정성 분석 건수	1건	10%	2건
	에너지 공급원 DB	에너지 공급원 DB 확보건수 확인	3건	15%	3건
	수요처 에너지 원단위 DB	수요처 에너지 원단위 DB 확보건수 확인	7건	15%	7건
	도시에너지 수급체계 국내외 사례 분석	국내외 사례 분석	5건	10%	5건
	수요예측 기술 조사	전력수요예측 기술 조사	1건	5%	1건
	신재생에너지 예측 기술조사	신재생에너지 발전량 예측기술 조사	1건	5%	1건
	국내외 학술지 논문게재 건수	국내외 학술대회 발표 건수	2건	10%	2건
	국내외 학술대회 발표논문 건수	국내 학술지게재 논문건수	2건	5%	1건
	시작품 (대시보드)	시작품 설계서 및 시연	1건	15%	1건
	POC 센서 설계 위치도	센서위치도	1건	5%	1건
	홍보동영상(POC AMI)	동영상 확인	1건	5%	1건
총 계				100%	100%

2. 2차년도

연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
도시 에너지 수급체계 최적화 방안 및 제품설계	수치실험을 통한 에너지 공급 시스템 경제성 분석	수치실험을 통한 경제성 분석 건수	5건	5%	5건
	도시에너지/자원 부존량 분석	도시에너지/자원부존량 분석 건수	5건	10%	5건
	도시에너지 공급최적화 프로그램 매뉴얼	매뉴얼 개발 건수	1건	5%	1건
	통합관제 어플리케이션 매뉴얼 개발	매뉴얼 개발 건수	3건	5%	4건
	통합관제 플랫폼 매뉴얼 개발	통합관제 플랫폼 매뉴얼 개발건수	1건	10%	1건
	POC 모니터링 시스템 구축	현장 확인	1건	10%	1건
	POC 모니터링 데이터 DB	모니터링 데이터 D/B	1건	5%	1건
	국내외 학술지 논문게재 건수	국내학술지 게재 건수	2건	10%	0건
	국내외 학술대회 발표논문 건수	국내 학술지 게재논문 건수	2건	10%	6건
	시작품(도시에너지 최적화 프로그램, 통합관제 플랫폼)	시작품 설계서 및 시연	2건	15%	2건
	S/W 등록	도시에너지 공급최적화 프로그램, 통합관제 플랫폼 S/W 등록신청 또는 등록	2건	15%	2건
총 계				100%	100%

3. 3차년도

연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
도시에너지 수급체계 시스템 구축 및 표준모델 보급	지적재산권 확보 건수	특허 출원 건수	1건	15%	1건
	S/W 등록	GIS 연계 도시에너지 공급시스템 최적화 프로그램, 도시 실증용 통합에너지 관제 시스템 S/W 등록신청 또는 등록	2건	15%	2건
	통합관리시스템 구축 건수	통합관리시스템 구축 현장 확인	1건	15%	1건
	모니터링 DB	'13. 01에서 '13. 12까지의 POC 모니터링 DB	1건	5%	1건
		'14. 01에서 '14. 05까지의 안산시 모니터링 DB 확보	1건	5%	1건
	에너지 커뮤니티 표준모델 개발	형태 및 규모별 복합 에너지 커뮤니티 표준모델 건수	4건	10%	4건
	국내외 학술지 논문게재 건수	국내 학술지 게재논문 건수	4건	5%	3건
		국외 학술지 게재논문 건수	1건	10%	1건
	통합관리시스템 운영 매뉴얼 개발	통합관리시스템 운영매뉴얼 개발 건수	1건	10%	1건
	학술회의 발표논문 건수	국내 학술대회 발표논문 건수	6건	10%	9건
총 계				100%	108%

4. 4차년도

연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
도시에너지 수급체계 시스템 구축 및 표준모델 보급	운영 알고리즘 및 활용방안 제안 건수	운영 알고리즘 및 활용방안 제안 건수	2건	15%	15%
	지적재산권 확보 건수	특허 출원 건수	1건	20%	40%
	S/W 등록	복합에너지 최적설계 툴, 개선된 통합에너지관제시스템 프로그램 S/W 등록신청 또는 등록	2건	20%	20%
	국내외 학술지 논문 게재 건수	국내 학술지 게재 논문 건수	2건	15%	7%
		지침/제도개선 방안	복합에너지 커뮤니티 보급 활성화를 위한 제도개선 방안 1건	10%	10%
	환경개선효과	도시에너지 관리시스템 적용에 따른 탄소저감 효과 분석	온실가스 감소비율 확인 10%	10%	10%
	학술회의 발표 논문 건수	국내 학술대회 발표 논문	5건	20%	24% (6건)
총 계				100%	126%

5. 5차년도

연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
탄소저감 스마트 도시에너지 관리시스템 개발 실증	스마트 도시에너지 관리시스템 모니터링 및 비즈니스 모델 개발	사업화모델 작성	1건	40%	40%
	스마트 도시에너지 관리시스템 및 복합 에너지 커뮤니티 모델 적용성 검토	신도시 적정성 검토	2건	40%	40%
	국내외 학술대회 발표논문 건수	국내학술대회 발표	1건	10%	10%
총 계				100%	100%

제 2 절 연구개발 기대효과

1. 정책적 기대효과

본 과제를 통해 개발된 솔루션을 이용하여 현재 정부에서 추진 중에 있는 에너지 분야 및 도시 개발 분야 정책의 확산 및 정착에 이바지할 수 있을 것으로 기대

1.1 온실가스 저감 정책 대응

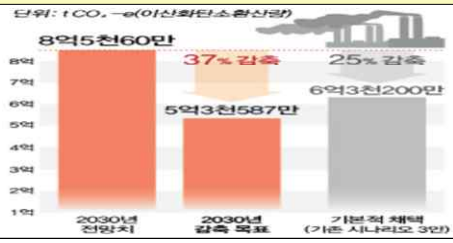
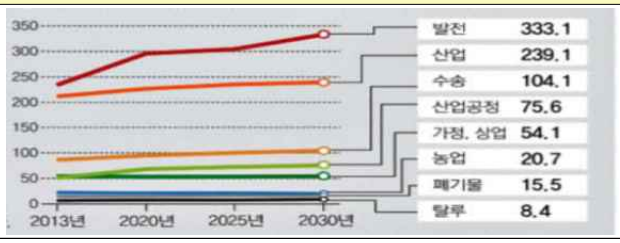
□ 최근 출범한 신기후체제 출범에 대응한 온실가스 감축 목표/정책에 대응

- 현 정부는 2015년 11월에 체결된 파리협약과 관련하여 온실가스 감축 목표를 2030년 배출전망치 대비 37% 감축안으로 UN에 제출

  (* 국제시장을 활용분 11.3%를 제외하면, 실질적인 감축 부담은 25.7% 수준)

  : 이는 우리나라의 국제적 책임과 기후변화 대응 리더쉽을 고려, 당초안(15~30%) 대비 상향된 목표로 국내 산업의 과감한 혁신이 요구

<표 4-1 온실가스 감축 목표 및 부문별 온실가스 배출 전망>

< 온실가스 감축 목표(톤) >	< 부문별 온실가스 배출 전망(백만톤) >
	

□ 국내의 온실가스 저감 정책은 에너지 소비량에 대한 제재 수단으로서 온실가스・에너지 목표관리제 등의 제도가 있음

- 해당 제도는 일정 기간의 에너지 사용량 감축에 대한 실적을 요구하며, 온실가스 다배출, 에너지 다소비 업체 등 관리 대상 업체나 건물을 지정하고, 연간 단위 및 5년 단위로 온실가스 배출량 및 에너지 사용량 감축에 대한목표량을 부과한 뒤 그 실적을 관리하는 것
- 2010년 4월 '저탄소 녹색성장 기본법' 시행에 따라 정부는 업종별로 선정된 업체 또는 사업장을 대상으로 2011년 9월까지 업체별 감축목표를 설정하고, 2012년부터 제도

를 시행하여 국가 온실가스 감축목표 달성을 위해 공공부문에 대한 온실가스·에너지 목표관리를 실시 중

- 부문별/용도별 건물/시설 및 도시 단위에 대해 에너지 통합 관리시스템을 통해 구축되는 건물용도별, 규모별, 등의 에너지소비 원단위를 활용할 경우 다양한 분야에서의 에너지절감에 대한 목표관리에 유효하게 활용될 것으로 예상

1.2 에너지 신산업 정책 대응

□ 정책 개요

- 기후변화대응, 에너지 안보, 수요관리 등 에너지 분야의 주요 현안을 효과적으로 해결하기 위한 '문제 해결형 산업'으로서, 시장의 흐름에 맞추어 가용 가능한 신기술, 정보통신기술(ICT) 등을 신속하게 활용하여 사업화 하는 새로운 형태의 비즈니스군을 의미
- 에너지신산업 예: 수요관리 시장, 에너지관리서비스, 전기차 서비스, 에너지자립섬, 태양광렌탈, 발전소 온배수열 활용 등

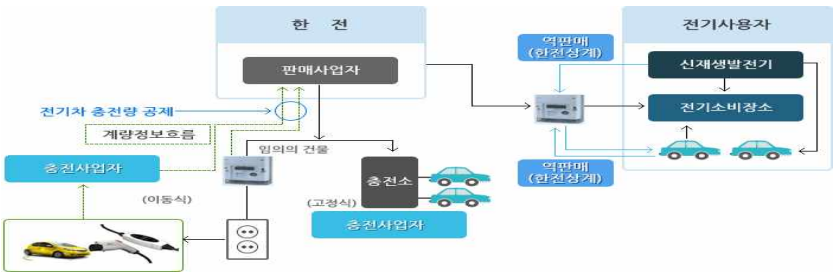
□ 다양한 전력 관련 시장 정책에 대응 가능

- 전력 수요관리 시장: 아낀 전기를 거래할 수 있는 수요관리시장으로 2014.11월에 개설



<그림 4-1 전력 수요관리 시장>

- ESS・전기차 등 신산업 맞춤형 전기요금 도입: 2015년부터 ESS・전기차 활성화를 위한 맞춤형 전기요금이 도입



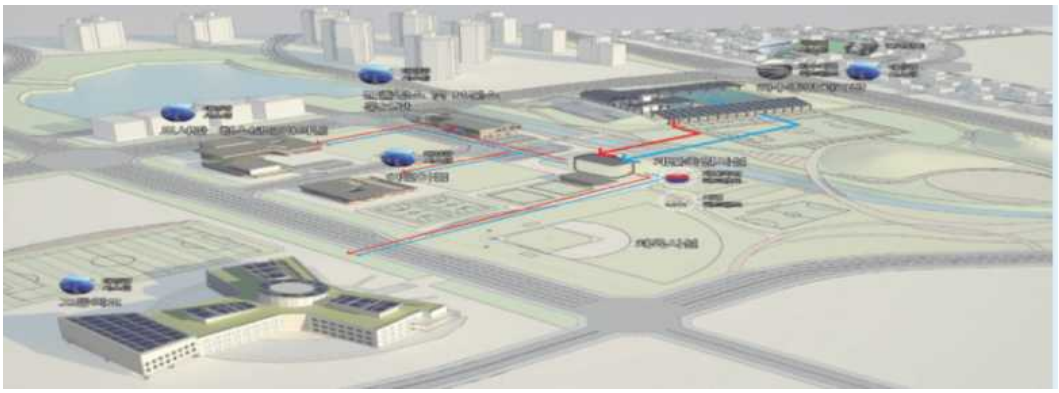
<그림 4-2 ESS/전기차 사업 모델>

- 본 과제를 통해 개발된 에너지 통합 운영/관리 시스템의 적용을 통해 기존 수요처에

대한 전력 수요량/패턴 등의 분석과 함께 감축 방안/수익 창출에 대한 다양한 가이드라인 제안 가능. 이를 바탕으로 정부의 수요관리, ESS 및 전기차 관련 정책의 정착에 일조가 가능할 것으로 전망

□ 친환경에너지 타운 및 에너지자립섬 확산 정책

- 친환경에너지타운 시범 사업: 2014년 10월부터 강원 홍천, 광주 운정, 충북 진천을 대상으로 시범 사업 진행 중



<그림 4-3 친환경에너지타운 개념도>

- 에너지자립섬 사업: 계통이 분리된 섬 지역에 에너지저장장치(ESS)가 결합된 신재생 전원과 지역별로 특화된 산업(관광, 레저 등)을 융합



<그림 4-4 에너지자립섬 조성사업 개념도>

- Smart CEMS-D 활용을 통해 지구 단위(친환경에너지타운, 에너지자립섬 등) 에너지 시스템 설계 및 이에 대한 효과 분석을 통해 사업성 있는 모델을 제안함으로써 관련 정책 확산에 역할을 할 수 있을 것으로 기대

1.3 신재생에너지 확산 정책 대응

□ 신재생에너지 활성화를 위한 보급 확대 및 제도



<그림 4-5 신재생에너지 보급 정책>

- 수요자 맞춤형 보급·확산정책

  : 주민이 참여하여 성과를 공유하고, 신재생보급에 기여하는 '소비자 참여기반'의 수익모델(주민참여형, 친환경에너지타운 등)을 확산

  : 정부 보조금 없이 민간사업자가 설비 설치에서 A/S까지 책임지고, 소비자는 대여료를 지불하는 대여사업을 확대

- 시장친화적 제도운영(신재생공급의무화제도(RPS) 개선)

  : 국내 여건을 감안하여 RPS 의무공급비율을 재조정(2020년 10% → 2022년 10%)

  : 소규모 사업자 지원을 위해 판매사업자 선정물량을 확대(2014~2015 150㎿ → 2016~2017 200㎿)할 계획

- 신재생에너지 해외시장 진출확대

  : 해외진출 중소기업에 대한 융자사업 신설 등을 통해 기업들의 가장 큰 애로사항인 자금조달을 지원

  : 체계적 해외시장분석을 통해 유망진출국별 맞춤형 전략을 수립하고, 향후 정부차원의 양자협력외교, 국제기구와의 협력을 통해 신재생산업의 해외진출 기회를 지속적으로 모색

- 새로운 신재생에너지 시장창출

: 전기에너지 중심에서 수송·열에너지로 시장을 확대하고, 버려지던 발전소 온배수 등 활용 가능한 새로운 신재생에너지원을 적극 발굴하고 활용방안을 강구

: 2015년 7월부터 바이오디젤부터 ‘신재생에너지 연료혼합제도(RFS)’를 시행하고, 건축물 사용 열에너지의 일정비율을 신재생에너지로 공급토록 하는 ‘신재생에너지 열공급제도(RHO)’ 도입 논의

- Smart CEM-D/O를 기반으로 도시/지구 단위 에너지 공급 사업 또는 기타 신재생에너지 발전 사업(특히, 분산 발전) 등에 대해 다양한 신재생에너지원에 대한 설계/조합/검토를 통해 관련 정책의 실효성 홍보 효과 기대 가능

1.4 도시 개발 사업 관련 정책 대응

□ 에너지 사용 계획 협의

- 일정규모 이상의 사업 시행 전에 에너지수급 및 이용효율향상 계획 등에 대하여 사전협의하여 에너지절약설비가 설치될 수 있도록 하여 에너지저소비형 사회 실현을 위한 제도

<표 4-2 에너지 사용 계획 협의 사업 대상>

구분	분야별	대상 사업	시설 규모	
			공공사업 주관자	민간사업 주관자
사업부문	도시개발	도시개발사업, 주택건설사업, 대지조성사업, 택지개발사업, 아파트지구개발사업, 도시재개발사업	개발면적 30만m^2 이상	개발면적 60만m^2 이상
		공업지역조성사업	개발면적 30만m^2 이상	좌 동
		물류단지개발사업	개발면적 30만m^2 이상	개발면적 40만m^2 이상
	산업단지 개발	국가(지방)산업단지개발사업, 농공단지개발사업, 자유무역지역개발사업	개발면적 15만m^2 이상	개발면적 30만m^2 이상
	에너지 개발	광산개발사업	채광면적 250만m^2 이상	좌 동
		발전소건설사업	발전용량 2만kW 이상	좌 동
		가스사업	-	-
	항만건설	지정항만과 지방항만 건설사업, 신항만건설사업	하역능력 1백만ton/년 이상	좌 동
	철도건설	철도건설사업, 도시철도건설사업, 고속철도건설사업	선로길이 10km 이상	좌 동
	공항건설	공항개발사업, 수도권신공항건설사업	개발면적 40만m^2 이상	좌 동
	관광단지 개발	관광지 및 관광단지 조성사업	관광시설계획면적 30만m^2 이상	관광시설계획면적 50만m^2 이상
	개발촉진 지구개발	개발촉진지구개발사업, 복합단지개발사업	-	-
시설부문	건축물, 공장, 기타시설	연료사용 2.5천toe/년 이상 전력사용 1천만kWh/년 이상	연료사용 5천toe/년 이상 전력사용 2천만kWh/년 이상	

□ 녹색도시 관련 법제

- 국가 녹색성장 5개년 계획에서 제시하고 있는 3대 전략 10대 정책과제와 연계하여 녹색법제의 범위를 개괄적으로 제시. 정책방향에 맞춘 녹색법제의 대분류는 16개이고, 녹색도시 조성과 관련해서는 총 7개 법제로 구분

<표 4-3 분야별 녹색성장법 제체계도>

구분	법제	내용
기후변화 대응 및 에너지 법제	에너지 법제	에너지이용합리화법, 신·재생에너지 개발·이용·보급 촉진법, 전기사업법, 집단에너지사업법, 원자력법, 해외자원개발사업법, 지능형 전력망 구축 및 지원에 관한 특별법안 등
	물관리 법제	하천법, 댐건설 및 주변지역지원 등에 관한 법률, 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한법률 등
	온실가스법제	대기환경보전법, 배출권 거래제법(안)등
	산림조성법제	산림기본법, 산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률, 임업 및 산촌진흥촉진에 관한 법률 등
	기후변화 적응법제	기상법, 감염병의 예방 및 관리에 관한 법률, 환경보전법, 연안관리법, 자연재해대책법 등
지속가능 발전 법제	녹색건물 법제	건축법, 주택법, 에너지이용합리화법, 녹색건축물 조성 지원법, 신에너지 및 재생에너지 개발 이용보급 촉진법 등
	녹색교통 법제	지속가능 교통물류 발전법, 도시교통정비 촉진법, 국가통합교통체계 효율화법, 자전거이용 활성화에 관한 법률, 철도산업발전 기본법
	녹색자동차 법제	환경친화적 자동차의 개발 및 보급촉진에 관한 법률, 자동차관리법, 대기환경보전법, 수도권 대기환경개선에 관한 특별법 등
	녹색소비 법제	환경기술개발 및 지원에 관한 법률, 친환경상품 구매촉진에 관한 법률, 에너지이용 합리화법, 대기환경보전법, 환경교육진흥법, 식생활교육지원법 등
	녹색농림수산 법제	농어업· 농어촌 및 식품산업기본법, 친환경농업육성법, 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 등
	생태계 보전 법제	지속가능발전법, 환경정책기본법, 자연환경보전법, 해양환경관리법, 해양생태계의 보전 및 관리 법률 등
	녹색국토 법제	국토기본법, 국토의 계획 및 이용에 관한 법률, 도시 공원 및 녹지 등에 관한 법률 등
녹색경제 성장 법제	녹색기술법제	과학기술기본법, 산업기술혁신촉진법, 환경기술개발 및 지원에 관한 법률 등
	녹색경영 법제	산업발전법, 환경친화적 산업구조로의 전환 촉진에 관한 법률, 환경기술개발 및 지원에 관한 법률, 에너지이용 합리화법 등
	녹색경제 법제	조세특례 제한법, 교통· 에너지· 환경세법, 개별소비세법, 지방세법, 에너지 및 자원사업특별회계법, 환경개선특별회계법, 환경개선비용 부담법 등
	자연순환 법제	폐기물 관리법, 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률, 전기전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률, 건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률 등

□ 기대효과

- 상기 에너지사용계획 및 도시개발 시 관련 법제에 대한 대응하기 위해 당 연구를 통

해 개발된 솔루션을 통해 에너지수요예측, 에너지공급계획 및 에너지 이용 효율향상 및 이산화탄소 배출감소 방안 등의 검토가 가능하며, 이를 통해 친환경 도시 개발 정책의 확산 가능

2. 기술 및 경제적 기대효과

최근 정부 및 정부는 스마트도시 및 이와 관련된 요소 기술의 차별화와 함께 신시장 발굴을 위한 노력을 경주하고 있으며, 본 과제의 성과물을 통해 다양한 분야에서의 Biz. Model 발굴/기술 적용이 가능할 것으로 예상

2.1 에너지신산업 분야 관련 기대효과

□ 정부는 전력, 수송, 산업 등 사회 전 분야에 대하여, 신재생에너지, ICT 기술 동향을 토대로 에너지 신산업 과제를 도출

- 정부는 '2030 에너지 신산업 확산 전략'을 통해 신성장동력 창출 총 100조원, 50만 명 고용 효과, 온실가스 총 5,500만톤의 절감 효과 기대

2.1.1 E-프로슈머 분야

□ (개념 및 필요성) 신재생 에너지 단가 하락, 스마트그리드 융합 등에 따라 직접 전력을 생산/소비하는 에너지 프로슈머* 등장

※ 에너지 프로슈머(E-Prosumer) : 생산(Production), 소비(Consumption)의 합성어로 에너지를 직접 생산하면서 소비를 하는 주체를 의미

⇒ 온실가스 감축 대응을 위해, 미국, 독일, 호주 등 세계적으로 소규모 태양광 설비를 비롯한 다양한 신재생에너지원을 이용한 E-프로슈머 시장이 급속히 확대

마이크로그리드	제로에너지빌딩	친환경에너지타운
		
▸섬, 대학, 산업단지 등	▸아파트, 상가 등	▸마을(주민참여형 사업)

<그림 4-6 E-프로슈머 사업 유형>

□ (현황) 국내 E-프로슈머 시장은 시범 사업 수준의 초기 단계임. 이는 협소한 시장 규모, 연관 생태계 미성숙 등에 기인함 ((에너지자립섬) 6개 도서 선정, (대학) 서울대 마이

크로그리드 1개, (제로에너지빌딩) 6개 빌딩 지정 (친환경에너지타운) 13개소 지정 등). 이러한 문제를 해결하기 위해 정부는 E-프로슈머 기반의 전력거래 시장제도를 신설하고, 대상별 맞춤형 사업 발굴·확대(총 발전량 12.8% 확대(2030))

구 분		정책 방향
중대형 E-프로슈머, 공통 기반	⇨	① 마이크로그리드 활성화 기반 강화 ② 친환경에너지타운 확산
소규모 E-프로슈머,	⇨	③ 제로에너지빌딩 확산
가상의 E-프로슈머		④ 수요자원 거래시장의 국민 참여

<그림 4-7 E-프로슈머 구분 및 정책 방향>

□ 각 분야별 시장 전망 및 기대 효과

- 마이크로그리드 활성화 기반 강화: 미주 지역에서 시장을 주도하고 있으나, 중국 등 아시아 지역에서 시장이 확대될 것으로 전망
  : 세계시장 규모 : (2013년) 83억불 → (2020년 전망) 400억불
  : 시장 점유율 : 미국 63%, 유럽 14%, 아시아 및 태평양 17%
- 친환경에너지타운 확산: 독일 등 일부 국가를 중심으로 사업 모델을 개발·적용하고 있으며, 향후 신재생에너지 확산에 따라 시장 확대 예상
  : 세계시장 전망 (2013년) 3.1조원 → (2030년) 21.8조원
- 제로에너지빌딩 확산: EU 등 선진국 중심으로 제로에너지 건축 활성화 (EU, 2020년부터 신축건축 의무화)를 적극 추진하여 시장 확대* 예상
  : 2030년 세계시장 전망 1,500조원
- 수요자원 거래시장 국민 참여 확대: 현재, 미국 중심의 글로벌 시장이 형성되어 있으나, 향후 아시아·태평양, EU 중심으로 급속히 확대될 전망
  : ·세계시장 규모 (2015년) 18억불 → (2030년 전망) 180억불
- 현재 상기 관련 사업들은 시장 초기 단계이나 향후 거대 시장으로 발전할 전망이므로, 이와 관련된 Biz. Model 및 다양한 요소 기술의 확보 필요. Smart CEMS-D/O는 이러한 E-프로슈머 사업과 관련된 다양한 솔루션(에너지 시스템 설계/운영, 도시 단위 설계/운영)을 제공함으로써 사업 기회 발굴 및 해외 시장 진출에 활용이 가능할 것으로 기대됨. 이를 통해 E-프로슈머 사업의 확산 및 국내 기업들의 시장 경쟁력 강화에 기

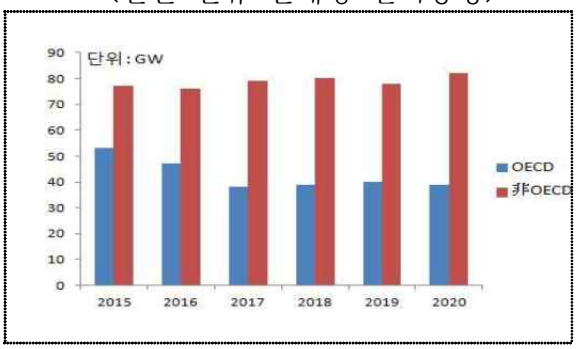
여 가능

2.1.2 저탄소 발전 분야

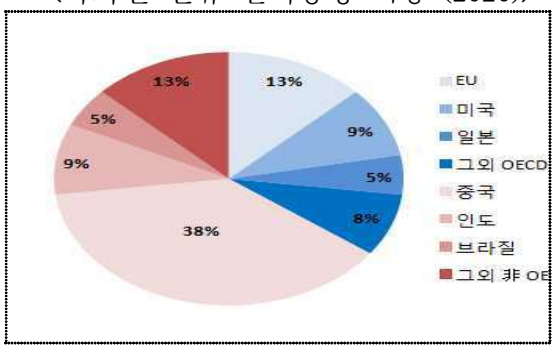
□ 신재생에너지 시장 전망: 저유가 등 어려운 여건에도 불구하고, 전 세계 각국의 신재생에너지에 대한 투자는 지속적으로 증가

- 2020년까지 세계 재생에너지 신규 설비용량은 728GW로 증가할 전망이며 이는 전체 신규 발전 설비용량의 2/3 수준 (IEA, 2015.10)
- 선진국뿐만 아니라 개도국의 적극적인 투자에 따라, 2020년까지 증설되는 신재생설비 중 非OECD 국가의 비중은 2/3에 이를 전망

<연간 신규 신재생 설비용량>



<국가별 신규 설치용량 비중 (2020)>



<그림 4-8 신재생 설비 시장 전망>

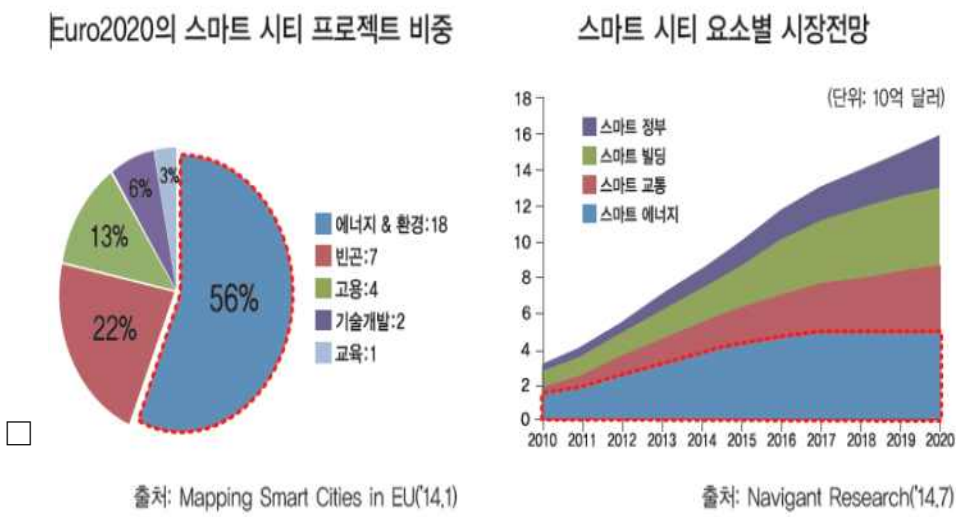
□ 기대효과

- 신재생에너지 관련 산업은 지속적으로 성장할 것으로 전망되며, 이에 대한 지속적인 연구와 투자가 절실함. 정부 역시 다양한 지원 사업을 진행 중에 있으나, 실제 적용 효과 및 사업성(투자, 운영 등)에 대한 검토는 미미함. Smart CEM-D/O는 이러한 부분에 대한 적절한 솔루션 제공을 통해 관련 산업의 시장 확대 및 투자 경쟁력 강화 부분에 기여

2.1.3 스마트시티 분야

□ 글로벌 스마트 도시 기술 시장은 2014년 88억 불에서 2023년 275억 불로 성장 예상. 관련 시장은 다시 스마트 에너지 / 스마트 워터 / 스마트 교통 / 스마트 빌딩 / 스마트 정부로 분류 가능. 최근 스마트 도시와 관련된 전 세계 170개의 프로젝트를 분석한 결과 80%는 에너지, 교통, 정부 서비스와 관련된 것이고, 50% 이상이 교통이나 이동에 연관된

것이며, 45%는 에너지와 관련된 프로젝트임



<그림 4-9 스마트시티 시장 전망>

□ 에너지 효율화를 위한 스마트 에너지가 부상하면서 여러 국가의 정부 및 많은 기업들이 신재생에너지, 스마트그리드 사업 등에 투자를 집중. 국내 역시 정부를 중심으로 다양한 스마트시티 지원 정책을 펼치고 있음 (스마트 시티 정책은 국토교통부가 총괄, 스마트 에너지·환경 관련 정책은 산업통상자원부에서 담당). 산자부는 에너지 부족 문제를 해결하고, 이를 발전시켜 관련 산업 육성 및 글로벌 시장 진출의 기회로 확대하기 위해 스마트그리드 보급 지원 사업을 추진 (제주 스마트그리드 실증 단지, 스마트그리드 보급 사업 등)

□ 이러한 사업들을 통해 다양한 스마트시티 관련 에너지 분야(스마트그리드, 전력저장장치(ESS), 마이크로그리드, 풍력·태양광 등 신재생 에너지 분야)의 요소 기술들의 확보를 통해 미래성장동력을 확보해 나간다는 계획

□ 스마트시티 사업의 해외 진출을 '스마트에너지' 관련 기술 서비스 개발 경험 중요. 특히, 상기의 요소 기술 외에 에너지관리 및 설계 시스템의 확보가 필수적

□ 본 과제를 통해 개발된 Smart CEMS-D/O를 통해 다양한 도시 모델 설계/제안 및 이에 대한 실증 시스템 구축을 통한 경쟁력 있는 Biz. Model(도시개발사업, 도시재생사업, 도시재개발사업 등)의 확보가 가능할 것으로 보임. 이와 함께 전 세계 스마트시티의 핵심부문을 제공함으로써 국내 경제성장을 도모하고, 창조경제를 실현하는데 큰 역할을 할 수 있

을 것으로 기대. 또한, 관련 산업군(스마트기기, 스마트그리드, IT, 신재생에너지, EMS 등)과의 연계를 통한 동반 성장 및 수익 창출 기대 가능

□ 또한, 다양한 설계/운영 솔루션을 바탕으로 한 다양한 사업군(주택, 건물, 공장, 도시 등) 적용을 통한 에너지 절감 및 CO2 저감 효과를 기대할 수 있으며, 이를 바탕으로 도시 개발 사업 등에서 단순 EPC가 아닌 제안형 사업, 운영 사업 등으로의 全 value chain 진출 가능 (고부가가치 창출)

제 5 장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

제 1 절 연구성과 활용방안

1. 성과물 검증

1.1 성과물 검증방안 선정

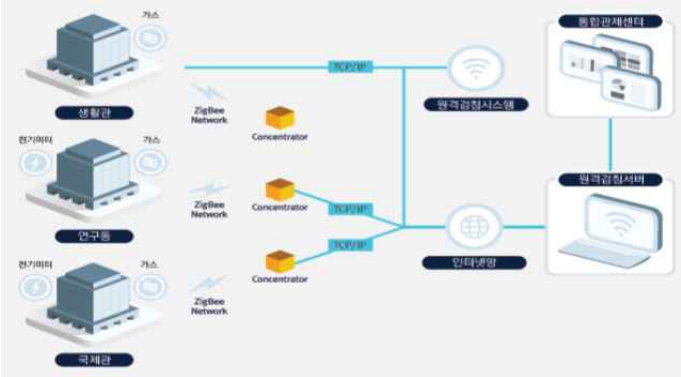
□ 본 과제 연구진 및 자문위원진 회의를 통해 본 연구과제의 최종 연구성과물인 ‘스마트 도시에너지 관리시스템’의 성능을 검증하기 위한 방안을 마련함

□ 성과물 검증방안은 GS건설 기술연구소 내 POC(Proof of Concept) 실증단지 에너지 최적화 설계/운전 Field Test 결과 분석, 안산시를 대상으로 한 실측결과 에너지 최적화 설계/운전 Simulation 결과 분석, 통합 Test Bed인 수원시에 대한 Simulation 실증 및 Peer Review로 제시됨

1.2 성과물 검증방안

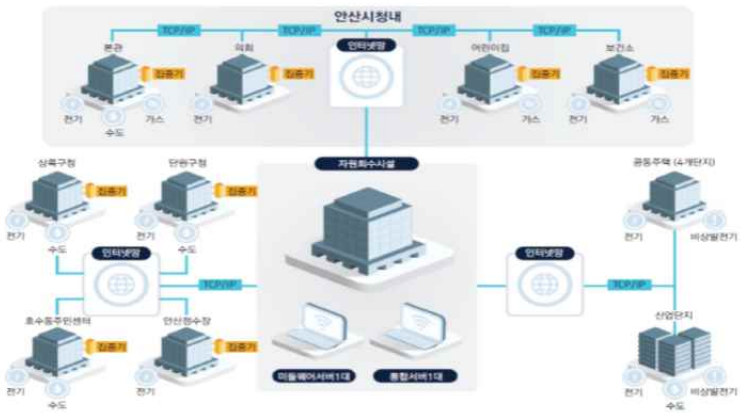
□ GS건설 기술연구소 POC 실증

- POC(Proof of Concept) 실증단지 Field Test 결과 분석 : 탄소저감을 목표로 하는 Field Test를 위해, AMI 시스템을 구축하고, 최적 설계/운전 Solution을 적용하기 전/후의 탄소저감 효과를 확인함 (기존 설계/운영안 대비 약 9.5%의 탄소 저감 효과 확인)



<그림 5-1 GS건설 기술연구소 POC 실증 개념도>

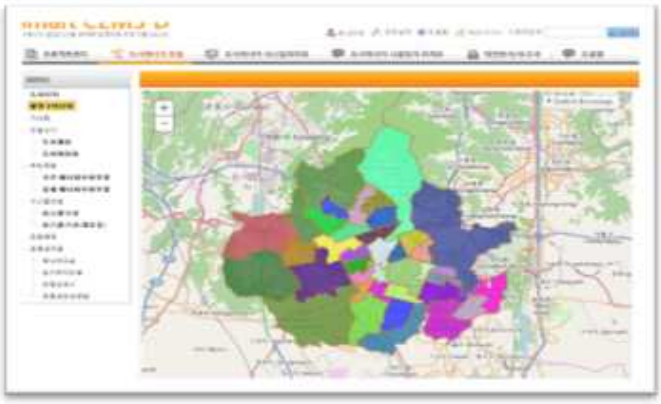
- 안산시를 대상으로 한 실측결과 에너지 최적화 설계/운전 Simulation 결과 분석
  : 탄소저감을 목표로 하는 Field Test+Simulation Test를 위해, 안산시 산하의 일부건물에 AMI 시스템을 구축한 후, 최적 설계/운전 Solution을 적용하기 전후의 탄소저감 효과를 확인함



<그림 5-2 안산시 T/B 실증 개념도>

- 통합 Test Bed인 수원시에 대한 Simulation 실증 및 Peer Review
  : 탄소저감 통합 Test Bed인 수원시를 대상으로, 수원시정연구원으로부터 제공받은

에너지 사용량을 DB화하여, 본 연구에서 개발한 Smart CEMS-D/O에 대한 적용성을 평가해 보았으며, 그 결과를 덴마크공대(DTU)의 에너지 최적화 분야의 전문가인 Qiuwei Wu 교수에게 Peer Review를 득하였음 (기존 설계/운영안 대비 약 13.8%의 탄소 저감 효과 확인)



<그림 5-3 수원시 Simulation 실증 개념도>

DTU Electrical Engineering

DTU

Peer Review for the City Energy Management System-Design (CEMS-D)

By Associate Professor Qiuwei Wu, Centre for Electric Power and Energy (CEE), Department of Electrical Engineering, Technical University of Denmark (DTU)

Email: qw@elektro.dtu.dk

Mobile: +45 52879194

The City Energy Management System-Design (CEMS-D) software is an advanced, comprehensive and handy tool to design the optimal energy supply mix systems for large and medium size cities. With the trend of further development of renewable energy, intelligent energy system, and smart cities, it is a timely and essential tool for the development of future zero carbon emission and renewable based energy systems and smart cities.

The CEMS-D explicitly considers the technical, economic and environmental characteristics of different energy technologies and their interactions. It receives the input data of load profiles, types of equipment and their technical and economic data, energy fee, economic parameters, and operation time. An optimization will be conducted to minimize the initial investment and operation cost, energy consumption and carbon emission. Sensitivity analysis will be done to investigate alternative designs with changes of system configuration, land use planning, energy cost, etc. With the energy equipment and use area calculation, the pipeline analysis will be carried out to determine the optimal locations of the energy supply facility. As such, the optimal energy supply system design will be realized. The design process is based on good reasoning and optimization.

The optimal structure of the energy supply systems is determined by the mixed integer linear programming (MILP) decomposition method in the CEMS-D. An optimal structural design problem is first formulated, and a decomposition method is presented to derive a suboptimal solution close to the optimal one. It is a feasible approach to solve the large scale and nonlinear system structure design of energy systems for cities with linearization and relaxation.

The CEMS-D is a web based tool and consists modules of 'log in', 'project selection and management', 'optimization', 'analysis', 'output', 'alternative analysis', and 'optimal location selection'. It has a user friendly interface and easy to use.

According to the comparison with other existing tools for energy system design, the CEMS-D is more comprehensive and superior.

For the future development, a few things could be considered, such as the uncertainties of renewable energy production, smart grid enabling technologies like intelligent scheduling of distributed energy resources, business models, etc.

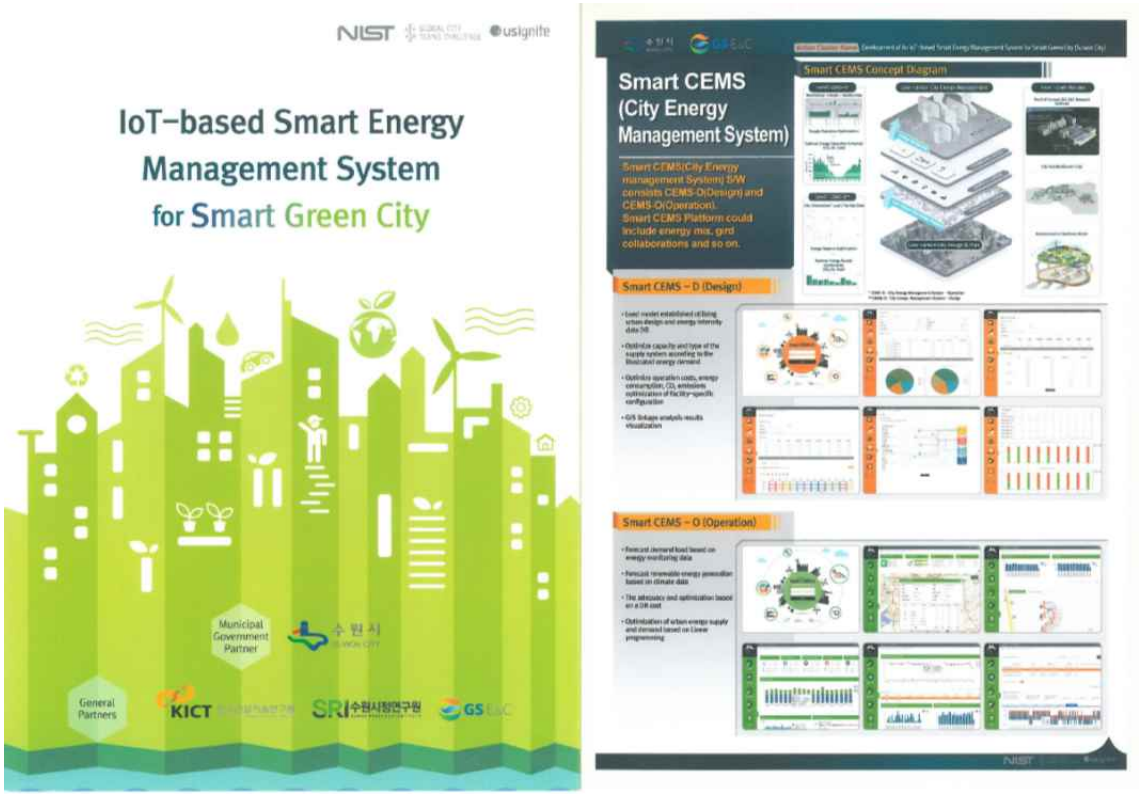
25-03-2016

Technical University of Denmark
Department of Electrical Engineering
Room 112
Elektrovej 325
DK-2800 Kgs. Lyngby
Denmark
Dir. +45 45 25 35 29
Fax +45 45 88 61 11
qw@elektro.dtu.dk
www.elektro.dtu.dk

<그림 5-4 Peer Review 결과>

- 통합 Test Bed인 수원시에 대한 Simulation 결과를 토대로 GCTC EXPO 참가

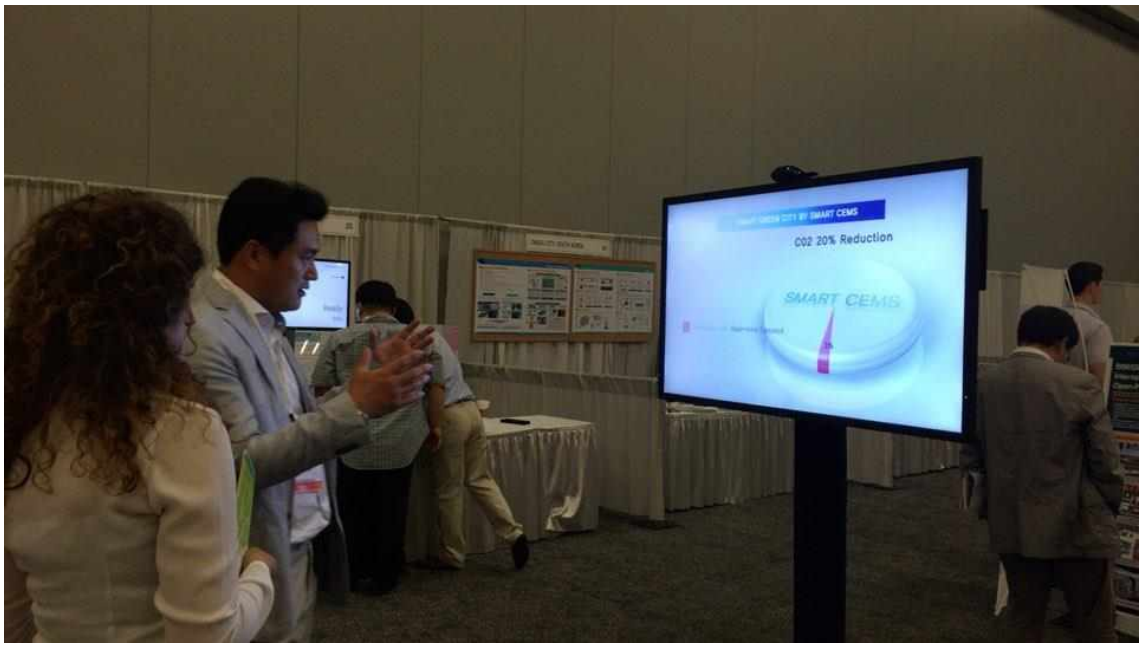
: 탄소저감 통합 Test Bed인 수원시와 수원시정연구원의 요청으로, Smart Cities Innovation Summit'의 일환인 GCTC EXPO에 수원시와 공동으로 참여하였으며, CEMS-D 및 CEMS-O의 시뮬레이션 결과 및 관련 내용에 대해 도시설계 전문가들의 의견을 수집하였으며, 홍보를 진행하였음



<그림 5-5 CEMS 홍보 브로셔>



<그림 5-6 수원시 CEMS 홍보 부스 및 Poster>



<그림 5-7 CEMS 홍보>

2. 성과물 활용

2.1 성과물 활용방안

□ 본 연구의 최종성과물인 탄소저감 도시에너지 관리시스템은 에너지 최적설계(Smart CEMS-D) 및 에너지 최적운영(Smart CEMS-O)로 분리할 수 있으며, 이를 토대로 정부에서 추진하고 있는 에너지자립섬 사업 등의 에너지 신산업분야에 진출할 수 있는 기반을 마련하였음



<그림 5-8 에너지 신산업 개요>

□ 아울러, 해외 지역/지구/도시 개발사업 진출 시, 에너지/물질 수지 Balance를 최적화 할 수 있는 Solution을 제공하여, 제안형 개발 사업을 발굴할 수 있을 것으로 판단됨

□ 현재 당사에서 추진하고 있는 베트남 나베 신도시 개발 사업에 본 연구결과를 적용할 계획이며, 적용효과 등을 실측한 이후, Track Record로 활용하여, 해외 도시 개발 사업에 적극 활용할 계획임



<그림 5-9 베트남 나베 신도시 개발사업>

□ 아울러, 세종시 2단계 개발 사업의 에너지 타당성 분석을 위한 '세종시 2단계 제로에너지 타운 조성을 위한 F/S 용역'을 국토연구원으로부터 받아 수행할 예정이며, 이를 활용하여 신도시개발사업의 에너지최적조합을 선정하고, 이에 대한 효과를 검증할 수 있을 것으로 판단됨

□ 또한, 현재 국내 건설사의 경우 해외 개발 사업에서 저부가가치/Red-Ocean化 되어 있는 EPC 중심의 업역을 주로 수행하고 있음. 본 연구 성과를 기반으로 할 경우 해외 개발 사업의 全 value-chain에 걸쳐 다양한 업역에서의 역할을 할 수 있을 것으로 판단되며, 특히 고부가가치의 개발사업 및 운영 사업 분야에 적극 참여할 수 있는 핵심기술을 고도화 할 수 있을 것으로 판단됨



<그림 5-10 연구성과 활용방안>

제 2 절 추가연구의 필요성

1. Smart CEMS-D/O 고도화

□ 현재 도시개발사업의 경우 development부터 O&M까지 전 value chain에 걸쳐서 다양한 기술을 필요로 하고 있으며, 개발/설계 단계에서부터 물, 에너지, 교통, 네트워크 등의 데이터의 수집 및 분석과 함께 도시 시설물(에너지생산설비, 주요처리시설 등)과 첨단 ICT 기술 융합을 통해 환경적 지속 가능성, 시민들의 삶의 질 제고, 지속적인 경제 성장 등을 지원하는 것을 목표로 하고 있음

□ Smart CEMS-D/O는 앞으로 이러한 도시개발사업에서 에너지 분야에 대한 최적 솔루션을 제공할 수 있음. 그러나 현재까지 이러한 도시에너지관리시스템의 시장은 초기 단계로 관련 시스템에 대한 인증 및 제도 확립이 필요하며, 이를 통한 CEMS-D/O를 구성하고 있는 요소기술의 고도화를 위한 후속 연구가 필요

□ 이와 함께 실제 도시 설계 및 운영을 위해서는 다양한 DB 구축이 필요하며, 특히 다양한 건물 단위, 지구 단위, 도시 단위별 에너지 관련 DB 확보 및 분석(기존 EMS와의 연계)을 통해 현실적인 솔루션 제공이 가능할 것으로 판단됨

□ 또한, 최근 대두되고 있는 ICT 기술과의 융합을 바탕으로 한 통합플랫폼 구축을 바탕으로 한 CEMS 고도화를 통해 에너지/자원의 효율적 이용을 극대화하여 저탄소 사회 전환을 촉진하고, 실시간 환경 감시 및 조기 재난 대응 체계를 마련하여 기후변화 대응력을 강화 가능

2. Smart CEMS-D/O 실제 현장 적용 및 효과 분석

□ 현재 본 과제를 통해 Smart CEMS-D/O를 활용한 수원시 대상의 에너지 최적설계 및 안산시 대상의 실시간 에너지 모니터링을 수행 중. 그러나 이는 기 구축된 도시에 대한 모니터링 및 개념상의 설계에 그칠 수밖에 없는 제약이 있음

□ 따라서 실제적인 효과를 확인하기 위해서는 지구/도시 단위 개발사업의 초기 단계의 설계부터 구축 및 운영까지의 全 가치사슬에 걸쳐 Smart CEMS-D/O 적용을 통한 효과를 검토할 필요가 있음. 특히, 이를 통해 다양한 도시 모델의 검토뿐만 아니라 구축 및 운영 시 발생할 수 있는 다양한 문제에 대한 솔루션과 함께 track record 확보를 통해 Biz. Model의 다각화가 가능할 것으로 보임

3. 후속 신규 사업 모델 발굴

□ 정부는 전력, 수송, 산업 등 사회 전 분야에 대하여, 신재생에너지, ICT 기술 동향을 토대로 에너지 신산업 과제를 도출

□ 또한, 최근 스마트시티 사업의 해외 진출을 위해서는 '스마트에너지' 관련 기술 서비스 개발 경험 중요. 특히, Smart CEMS-D/O와 같은 에너지관리 및 설계 시스템의 확보가 필수적 (다양한 도시 모델 설계 검토를 통해 각 지역별 특성에 부합하는 신규 도시사업 모델 개발 필요)

□ 그린에너지 커뮤니티 모델 개발

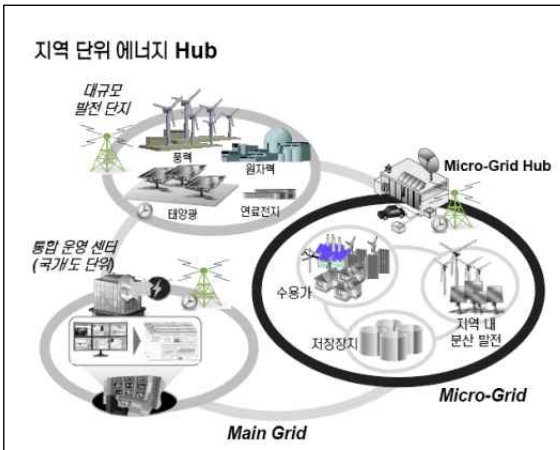
- 도시단위에 에너지 생산설비(신재생에너지 이용)를 구축할 경우, 최적의 에너지를 공급하여 비용을 회수하는 모델



<그림 5-11 그린에너지 커뮤니티 모델 개요>

□ Micro-Grid Hub 운영 (미래형 주유소) 모델

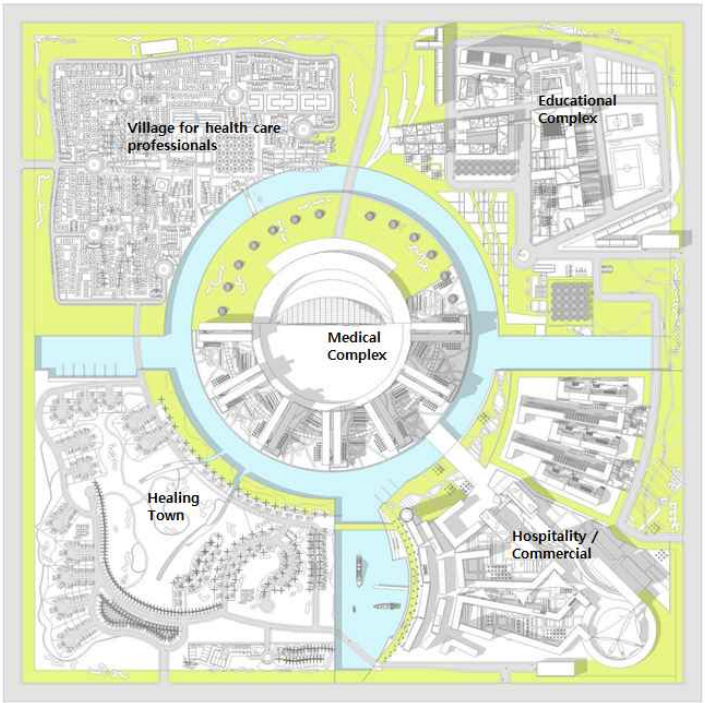
- Micro-Grid Hub 모델이란 - 에너지 계통 연계, 수급 조정, 효율성 확보 등 지역 단위 에너지 Re-distribution의 중추 역할을 담당 서비스 제공

<table>
<tr>
<td>
</td>
<td>지역 단위 통합 에너지 Re-distribution
- 에너지 수급, 분배, 관리의 효율성 증대
- 상위 전력 계통 연계 최적화 운영
Last Mile고객 서비스 제공
- 과금/사용 정보 기반의 홍보 및 Billing, call Center
- 에너지 코디 등 지역 내 에너지 관련 H/W관리 서비스
- 전기 자동차 급속 충전 및 차량 관리
Water/Utilities 통합 관리
- 에너지 수자원, 폐기물의 종합 Grid관리
- 응급 상황 대비 종합 관제 기능 수행</td>
</tr>
</table>

<그림 5-12 Micro-Grid Hub 모델>

□ 특수목적 기반의 복합 단지 조성 모델

- 해외 의료 단지 기반의 도시 구축 사업 모델 (의료복합단지)



<그림 5-13 의료복합단지 개념도>

□ 해외 Smart Green City 모델

- 융복합 및 Grand Package를 통한 해외 도시 개발(해외 Smart City)

- “이종 산업과 연계한 Package 구성, GS건설 주도의 해외 도시 개발 추진“
- GS 7-C City: 환경생태, 자원순환, IT기술을 기반으로 저탄소 에너지 절약형의 지속가능한 첨단 순환 도시 개념



<그림 5-14 GS건설의 7-C City Grand Package 개요>