



### 저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

# 도시차원의 에너지 통합 운영 알고리즘 개발

Development of Energy Integrated Operating Algorithm  
in City Level



2012년 2월

한국해양대학교 대학원

해양건축공학과

허 나 리

도시차원의 에너지 통합 운영  
알고리즘 개발



2012년 2월

허나리

공학석사 학위논문

# 도시차원의 에너지 통합 운영 알고리즘 개발

Development of Energy Integrated Operating Algorithm  
in City Level



2012년 2월

한국해양대학교 대학원

해양건축공학과

허 나 리

本 論文을 許나리의 工學碩士 學位論文으로 認准함

위원장 박 동 천 (인)

위 원 송 화 철 (인)

위 원 도 근 영 (인)



2012년 2월

한국해양대학교 대학원

# [목 차]

목 차 .....	i
표 목 차 .....	iv
그림목차 .....	v
Abstract .....	vii
제1장 서 론 .....	1
1.1 연구배경 및 목적 .....	1
1.2 연구범위와 내용 .....	3
제2장 에너지통합 운영시스템의 사례조사 .....	5
2.1 전력공급 시스템 .....	5
2.1.1 마이크로그리드 기술과 사례 .....	5
2.1.2 스마트그리드 기술과 개발동향 .....	8
2.2 집단 열 공급 시설 .....	18
2.2.1 지역냉난방사업의 도입배경 .....	18
2.2.2 지역냉난방사업의 역사 .....	20
2.2.3 지역냉난방사업의 국내·외 현황 .....	21
제3장 에너지 통합 운영 알고리즘 제안 .....	24
3.1 에너지 통합 운영 시스템 개요 .....	24
3.2 생산플랜트 .....	26
3.2.1 태양광발전 .....	26
3.2.2 풍력발전 .....	29
3.2.3 소수력 .....	32

3.2.4 바이오에너지	35
3.2.5. 석탄가스화 복합발전(IGCC)	37
3.2.6 폐기물 에너지	39
3.2.7 열병합발전 시스템	41
3.2.8 지역난방(지열, 하천)	46
3.2.9 연료전지	52
3.2.10 부생가스	53
3.3 에너지 통합 운영 알고리즘 제안	59
3.3.1 에너지 통합 운영 알고리즘	59
<b>제4장 에너지 통합 운영 알고리즘 개발</b>	<b>60</b>
4.1 에너지 통합 운영 알고리즘 요소	60
4.2 에너지 생산 우선순위	62
4.2.1 전력 생산 우선순위	64
4.2.2 열원 생산 우선순위	66
4.2.3 생산 우선순위 알고리즘	67
4.3 태양광, 풍력 발전량 추정	71
4.3.1 태양광 발전량 추정	71
4.3.2 풍력 발전량 추정	76
4.4 축열량 결정	84
4.3.1 축열량 결정 알고리즘	85
4.3.2 축열 스케줄 결정	89
<b>제4장 에너지 통합 운영 알고리즘 개발</b>	<b>62</b>
4.1 에너지 통합 운영 알고리즘의 요소	62
4.2 에너지 생산 우선순위	64
4.2.1 전력 생산 우선순위	66
4.2.2 열원 생산 우선순위	68

4.2.3 생산 우선순위 알고리즘 .....	69
4.3 태양광, 풍력 발전량 추정 .....	73
4.3.1 태양광 발전량 추정 .....	73
4.3.2 풍력 발전량 추정 .....	78
4.4 축열량 결정 .....	86
4.3.1 축열량 결정 알고리즘 .....	87
4.3.2 축열 스케줄 결정 .....	91
제5장 결 론 .....	96
[참고문헌] .....	99





## 표 목 차

[표 2.1] 스마트그리드 5대 실증사업 .....	15
[표 2.2] 집단에너지사업 도입현황 .....	21
[표 2.3] 2002년 지역난방부문 사업자별 공급현황 .....	22
[표 2.4] 2002년 지역냉방부문 사업자별 공급현황 .....	22
[표 2.5] 2001년 유럽국가 난방방식별 시장 점유율 .....	23
[표 3.1] 풍력발전시스템의 분류 .....	31
[표 3.2] 소수력 발전의 분류 .....	34
[표 3.3] 우리나라의 소수력 발전 잠재력에 대한 평가 .....	35
[표 3.4] 바이오에너지 생산기술의 종류 .....	36
[표 3.5] 폐기물 신·재생에너지의 종류 .....	40
[표 3.6] 열병합발전용 원동기의 특성 비교 .....	42
[표 3.7] 포항, 광양제철소의 부생가스 배출량(1991년) .....	53
[표 3.8] 부생수소의 발생원과 생성 가스 내 수소 농도 .....	56
[표 3.9] 온실가스 종류별 배출현황(단위: 백만 TC) .....	57
[표 4.1] 발전원별 발전단가 .....	65
[표 4.2] 전력 플랜트 생산 우선순위 .....	66
[표 4.3] 열원 플랜트 생산 우선순위 .....	68
[표 4.4] 태양전지 사양 .....	73
[표 4.5] 날씨와 운량과의 관계 .....	75
[표 4.6] 2009년 7월의 전일사량 .....	76
[표 4.7] 2009년 7월의 예측에 의한 발전량 .....	77
[표 4.8] 풍력발전기의 크기 .....	78
[표 4.9] 풍력발전기의 풍속별 발전량 .....	79
[표 4.10] 풍력발전기 제원 .....	81
[표 4.11] 600kw급, 2MW급 대형 발전기의 블레이드 높이에서의 측정풍속과 보정풍속 .....	82

## 그 립 목 차

[그림 1.1] 연구 흐름도 .....	4
[그림 2.1] 열을 트럭으로 수송하는 트랜스 히트 컨테이너 .....	7
[그림 2.2] 스마트그리드 개념 .....	8
[그림 2.3] 지능형 전력망 구성 요소 .....	9
[그림 2.4] 지능형 소비자 구성 요소 .....	10
[그림 2.5] 지능형 운송 요소 .....	11
[그림 2.6] 지능형 신·재생 구성 요소 .....	12
[그림 2.7] 지능형 전력서비스 구성 요소 .....	13
[그림 3.1] 기존의 에너지 공급 시스템 개념도 .....	24
[그림 3.2] 도시 에너지 통합관리·운영 개념도 .....	25
[그림 3.3] 태양광발전의 원리 구성도 .....	26
[그림 3.4] 태양광 발전 시스템의 분류 .....	27
[그림 3.5] 태양전지의 원리 .....	28
[그림 3.6] 태양전지 종류 .....	29
[그림 3.7] 풍력발전시스템의 구성 .....	30
[그림 3.8] 수력발전의 구조 .....	33
[그림 3.9] 수력발전의 에너지 흐름 .....	33
[그림 3.10] 바이오에너지 생산과정 .....	36
[그림 3.11] 석탄가스화 복합발전의 구성도 .....	37
[그림 3.12] 폐기물의 에너지화 체계도 .....	39
[그림 3.13] 연중 외기 온도 및 지중 온도 변화(2003~2004) .....	47
[그림 3.14] 수직형 지중 열교환기 .....	49
[그림 3.15] 수평형 지중 열교환기 .....	49
[그림 3.16] 지하수열원 열펌프 시스템 .....	50
[그림 3.17] 지표수열원 열펌프 시스템 .....	50

[그림 3.18] 연료전지의 발전방식 .....	51
[그림 3.19] 연료전지 발전시스템 구성도 .....	52
[그림 3.20] Energy 통합 운영 알고리즘 .....	59
[그림 4.1] 발전원별 CO <sub>2</sub> 배출량 .....	64
[그림 4.2] 전력 생산 우선순위 알고리즘 .....	70
[그림 4.3] 열 생산 우선순위 알고리즘 .....	71
[그림 4.4] 일기예보에서 나타내는 날씨정보 .....	75
[그림 4.5] 풍력발전기의 출력성능곡선 .....	78
[그림 4.6] 2011년 11월 19일의 일기예보 (출처 : 기상청 제공) .....	79
[그림 4.7] 600kw 대형 풍력발전기 .....	80
[그림 4.8] 출력성능곡선(S52-0.6, S82-1.5) .....	81
[그림 4.9] 출력성능곡선(U88-2.0, U54-0.75) .....	81
[그림 4.10] S52-0.6MW의 보정풍속 .....	83
[그림 4.11] U88-2MW의 보정풍속 .....	83
[그림 4.12] 2009년 07월 05일의 U88, S52의 발전량 .....	84
[그림 4.13] 축열량 결정 알고리즘 .....	87
[그림 4.14] 축열 알고리즘 1 .....	88
[그림 4.15] 축열 알고리즘 2 .....	88
[그림 4.16] 축열 알고리즘 3 .....	89
[그림 4.17] 1월의 전력 생산 스케줄 .....	91
[그림 4.18] 1월의 열 생산 스케줄 .....	91
[그림 4.19] 7월의 전력 생산 스케줄 .....	92
[그림 4.20] 7월의 열 생산 스케줄 .....	92
[그림 4.21] 4월의 전력 생산 스케줄 .....	93
[그림 4.22] 4월의 열 생산 스케줄 .....	93
[그림 4.23] 11월의 전력 생산 스케줄 .....	93
[그림 4.24] 11월의 열 생산 스케줄 .....	94

# Development of Energy Integrated Operating Algorithm in City Level

Heo, Na-Ri

*Department of Ocean Architecture Engineering*

*Graduate School of Korea Maritime National University, Busan, Korea*

## Abstract

The purpose of this paper is to develop algorithm of using and operating energy effectively from the entire city.

To realize "Low Carbon, Green City", some techniques related to reducing energy of existing buildings have been used for energy saving. However, there is the limitation of reducing carbon dioxide emissions in the entire city and energy consumption. Through the renewable energy which has less carbon dioxide emission, it is to reduce carbon dioxide emission for the realization of "Low Carbon, Green City".

It is needed to realize "Next-Generation Energy System in City Level". Through energy infrastructure and the effective management, it is possible to reduce energy consumption. I develop the operation of this system.

The research methods and procedures of this study are as follows.

First, I investigated two systems. One is the micro grid and smart

grid of power system which is energy integration operating system. The other is district heating and cooling of heat source system.

Second, I described "Next-Generation Energy System in City Level" which is suggested in this study and described energy source of operating plant. And it is presented energy integrated operating algorithm in city level.

Third, this study describes three elements which configured algorithm. First element is to determine the production priority of energy source from lowest carbon emission and lowest power cost. Next element was to forecast power forecasting of photovoltaic and wind power generation. Photovoltaic predicts using "Predict Solar Radiation According to Weather Report" and Prediction equation of output capability diagram from wind power generation's generator. The last element, storage of heat shows from the decision of prediction of regenerative power and heat demand forecasting, prior to 24 hours from the decision.



# 제1장 서론

## 1.1 연구배경 및 목적

전 지구적인 기후변화와 지구 온난화에 따라 서구 선진 국가들을 중심으로 저탄소 녹색성장(green growth)이 새로운 화두로 등장하고 있고 이 전략은 미래의 성장 동력으로까지 발전되고 있다. 지구 온난화에 대한 대응의 하나인 저탄소 사회를 달성하기 위하여 세계 각국은 교토의정서를 체결하고 온실가스 배출량을 2008년부터 2012년까지 1990년도 수준의 5.2%로 줄이도록 선언 하였다.

우리나라는 교토의정서에서 의무감축대상국가에 속하지 않지만 포스트-교토(Post-Kyoto)인 2013년부터는 의무대상국가에 포함될 가능성이 높은 상황이다. 이 같은 추세에서 우리나라도 국가 뉴 비전으로 「저탄소 녹색성장」을 제시 하였고, 이를 견인하기 위해 도시전체의 에너지 환경 문제를 고려한 탄소중립의 친환경 도시개발 패러다임이 대두되고 있다.

한편, 건축물을 대상으로 한 고단열, 고기밀 등의 건축계획적인 기법과 기기의 고효율화 및 이용자의 에너지 절약의식 향상 등을 통한, 즉 건축적인 저감 방법으로 도시 전체의 탄소 배출량 및 에너지 사용량 저감에는 한계가 있다.<sup>1)</sup> 또한, 다양한 방법을 통해 에너지 사용량을 줄인다고 하더라도 현재 도시의 쾌적성, 편리성을 유지하기 위해 필요한 에너지를 0으로 하기는 어렵다. 따라서 도시의 에너지 인프라 구축을 통한 에너지 사용량 절감과 도시의 운영에 필요한 에너지 생산에 따른 탄소 발생량 저감이 필요하다. 즉, 「저탄소 녹색도시」를

---

1) 한국해양대학교 산학협력단, U-기반 차세대에너지 통합관리·운영시스템 기술 개발 1단계 연구결과보고서, 건설교통부 한국건설교통기술평가원, 2010.04.29, p2

구현하기 위해 탄소배출량이 적은 신·재생에너지 활용 등을 통해 탄소 발생량을 저감하며 에너지 인프라와 효율적 관리 운영을 통해 에너지 소비량을 저감할 수 있는 “도시차원의 차세대에너지 시스템” 구축이 필요하다.

기존의 에너지 공급시스템 중, 전기는 발전소에서 도시역의 변전소를 거쳐 각 사용자에게 공급되고 있으며 전기공급의 모니터링과 제어를 위해 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)와 EMS (Energy Management System)가 구축되어 있으나 이는 도시역의 변전소까지를 대상으로 하고 있으며, 도시 내의 전기 흐름에 대해서는 모니터링이나 제어를 하지 않고 있다. 또한, 신·재생에너지원을 포함한 분산 전원 시스템에 대한 고려가 미흡하여 분산전원과 기존 전력계통의 연계 방안, 분산전원을 고려한 도시내의 최적 전력공급 모델, 도시차원의 에너지 모니터링 시스템의 부재라는 문제점을 안고 있다.<sup>2)</sup>

열원공급 시스템은 지역난방공사에 의해 운영되고 지역난방 플랜트나 열병합 발전 플랜트에서 사용자에게 공급되고 있으나, 도시 전역을 대상으로 하는 것이 아니기 때문에 열밀도가 높아 경제성이 있는 아파트, 오피스 등의 밀집 지역만을 대상으로 열원을 공급하고 있는 상황이다.

“도시차원의 차세대에너지 시스템”을 구축하기 위해서는 도시계획 단계에서 정확한 에너지 사용량을 예측하고, 예측치에 따라 적정 공급량을 계획하며, 지역특성에 적합한 신·재생에너지를 활용하는 에너지 플랜트를 계획해야 한다. 또한, 구축된 차세대 에너지 시스템을 효율적으로 운영하기 위한 알고리즘이 필요하다.

본 연구는 도시차원의 차세대 에너지 시스템의 에너지 통합 운영을 효율적으로 하기 위한 알고리즘 개발을 목적으로 하고 있다.

---

2) 한국해양대학교 산학협력단, U-기반 차세대에너지 통합관리· 운영시스템 기술 개발 2차년도 연구결과보고서, 건설교통부 한국건설교통기술평가원, 2009.06.29, p8

## 1.2 연구범위와 내용

본 연구는 도시차원의 에너지 통합 운영 알고리즘을 개발하기 위해 그림 1.1과 같은 흐름으로 연구하였다.

1장에서는 연구의 목적과 에너지 통합 운영의 필요성에 대해 기술 하였다.

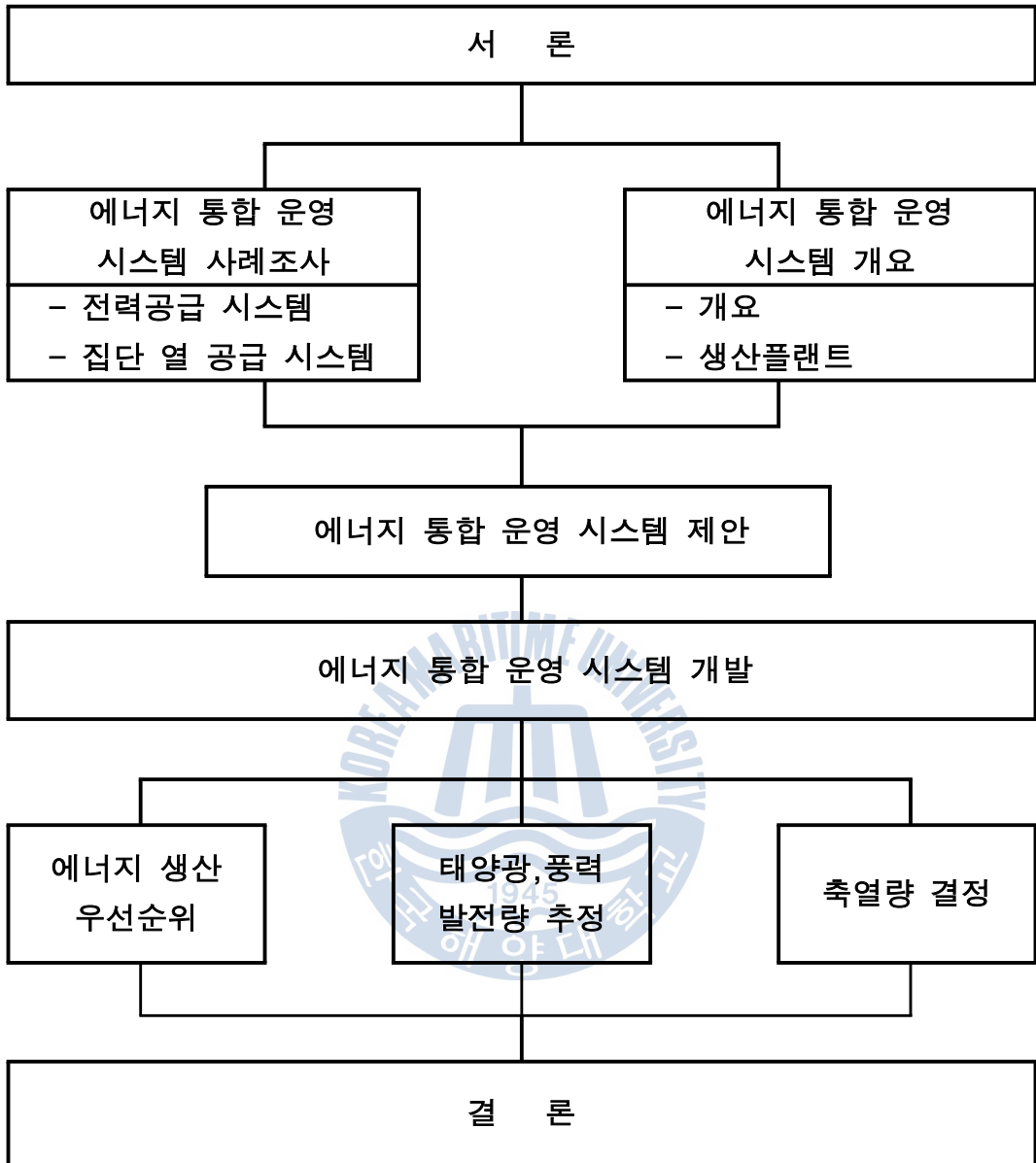
2장에서는 기존에 있거나 개발중인 에너지 운영 시스템 중에서 전력계통의 스마트그리드와 마이크로그리드, 열원 계통인 지역냉난방에 대해 조사, 분석하여 도시차원의 에너지 통합 운영 알고리즘 개발 방향을 검토하였다.

3장에서는 도시차원의 차세대 에너지시스템과 에너지 통합 관리 운영 시스템에 대해 정리하고 에너지 통합 관리 운영 알고리즘을 제시하였다.

4장에서는 제시한 에너지 통합 관리 운영 알고리즘을 실행하기 위해 필요한 에너지 생산 우선순위 결정, 에너지 생산량 예측 및 축열량 결정 방법에 대해 검토하였다.

5장에서는 도시차원의 탄소배출량을 저감하기 위한 시스템을 운영하는 알고리즘에 대해 종합적 내용으로 정리하였다.





[그림 1.1] 연구 흐름도

## 제2장 에너지통합 운영시스템의 사례조사

### 2.1 전력공급 시스템

#### 2.1.1 마이크로그리드 기술과 사례

마이크로그리드는 다수의 소규모 분산전원과 부하의 집합체로서 기존의 전력망과 연계 혹은 분리 운전될 수 있는 소규모 전력망으로 정의할 수 있으며 분산전원기술, 에너지저장기술, 전력망 운용기술, 통신기술, 제어기술이 통합된 미래혁신적인 전력공급기술로 받아들여지고 있으며 이 기술이 주목을 받는 이유는 기술이 가진 환경적, 경제적, 사회적 가치에 기인한다.<sup>3)</sup>

##### 가. 에너지공급시스템으로서의 마이크로그리드

일본의 시미즈(Shimizu) 프로젝트는 건물 단위의 열병합 발전이 가능한 마이크로그리드의 가능성을 실증한 연구이다. 건물을 대상으로 가스엔진, 축전지 및 슈퍼캐패시터, 태양광발전을 결합하여 전기와 열을 동시에 공급할 수 있도록 구성하였다. 연구의 목적은 분산전원이 계통에 미치는 영향을 최소화 할 수 있는 수단으로서 마이크로그리드의 기능에 대한 시험이었으며 이는 연계점에서의 전력 유입/유출을 일정하게 제어함으로서 구현되었다. 축전지와 슈퍼캐패시터를

3) 한국해양대학교 산학협력단, U-기반 차세대에너지 통합관리·운영시스템 기술 개발 2차년도 연구결과보고서, 건설교통부 한국건설교통기술평가원, 2009.6.29, pp97~100

이용하여 부하변동이나 신·재생전원의 간헐적인 출력을 내부적으로 흡수하여 연계점의 전력을 일정하게 제어하는 것이다. 이와 같은 제어를 통하여 건물에서의 합리적인 에너지 비용을 구현할 수 있으며 가스엔진의 제한된 출력응답속도를 축전지와 캐패시터를 결합하여 해결하였다. 마이크로그리드 EMS는 열수요와 전력요금 등의 정보로부터 전력을 구입할 것인지 자체 열병합발전기를 통해 발전할 것인지를 결정하는 것에 의해 에너지 비용의 최적화가 가능하게 된다.<sup>4)</sup>

## 나. 다품질전력공급으로서의 마이크로그리드

센다이(Sendai) 프로젝트는 대학 구내에 설치된 1MW 규모의 분산발전원과 에너지저장장치 및 전력품질보상장치를 이용한 다품질 전력공급시스템에 대한 실증적 연구로서 가스엔진, 연료전지, 태양광 등의 분산전원을 이용하고 BESS와 DVR를 이용하여 다양한 등급의 전력품질을 제공하고 있으며 일부는 직류전원을 공급하는 것도 시험하였다. 이와 같이 마이크로그리드는 내부에 보유한 분산자원을 이용하여 부하가 요구하는 특성의 전력품질을 효과적으로 제공할 수 있는 기술이다.

가와사키(Kawasaki)시 공업단지는 철강 메이커로부터 조달하고 있는 자가 발전력으로 에너지 절약 대책을 강화한다. 그리고 열병합 발전이나 열 수송 시스템이라고 하는 마이크로그리드를 지지하는 차세대 기술도 보급을 위하여 준비하고 있다. 가와사키 제로이미션(Zero Emission) 공업단지(가와사키 시 가와사키 구)는 인근에 있는 JFE 스틸의 자가 발전 설비로부터 잉여 전력의 공급을 받아 각 공장동에 배전하고 있다. 자가 발전을 사용 전력의 기본으로 전력회사의 전력 계통의 정전 영향을 받는 리스크는 낮다. 또한 사무동의 냉난방이나 열처리 에너지에 가스를 활용하는 등 에너지원의 '복선화'를 적극적으로 추진하고 있다. 에너지의 분산화와 복선화는 스마트 그리드의 특징으로

4) 안종보, 마이크로그리드 운영기술과 국내 연구 동향, 전력전자학회, 2010년 4월, p28

그 에너지원의 하나인 공장 등에서 배출하는 열을 전력으로 변환하는 기술이 실용화 단계에 들어가고 있다. 일본 기업 고마쓰(Komatsu)와 쇼와(Showa) 전공은 각각 열을 전기로 변환하는 소자를 개발하여 실증 실험을 진행시키고 있다. 고마쯔는 열처리 장치에서 나오는 저온도역(100~300℃), 쇼와전공은 폐기물의 소각로 등에서 발생하는 중온도역(300~600℃) 대응의 소자를 개발하여 열전변환 효율은 고마쯔가 약 7%, 쇼와 전공이 약 6%로 태양전지 패널과 비교하여 변환 효율은 높지 않지만 열 활용을 다양화함으로써 분산화하는 에너지원의 이용 효율을 올리는 것이 가능하게 된다. 열은 전기와 같이 보내거나 저장하는 것이 어려운 점이 이용을 저해하고 있다고 지적된다. 하지만 축전지와 같이 열을 탱크에 저장하여 수송하는 기술을 산키(Sanki) 공업이나 고베(Kobe) 제강소 등이 확립하여 일부 사업화가 시작되고 있다. 물과 외기 등의 온도차를 이용하는 시스템인 히트펌프나 열교환기에서로 지역 냉난방과 조합하여 효율이 좋은 에너지 이용을 기대할 수 있다. 지금까지 산학관에 의한 스마트 그리드 도입의 논의가 시작되어 전력에 대한 검토가 주체였지만 향후 스마트 그리드를 구성하는 요소의 하나로서 열의 이용을 추진할 것이라고 한다.<sup>5)</sup>



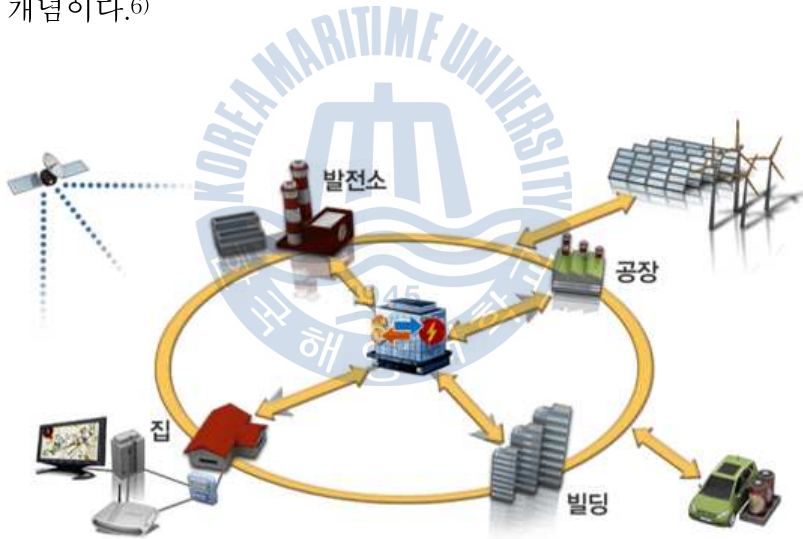
[그림 2.1] 열을 트럭으로 수송하는 트랜스 히트 컨테이너

5) 마이크로 그리드 보급 -자가 발전 열을 활용  
<http://www.nikkan.co.jp/toku/smartgrid/sg20110615-01n-220ps.html>

## 2.1.2 스마트그리드 기술과 개발동향

### 가. 스마트그리드 기술

스마트그리드 기술은 '발전(發電)-송전·배전-판매'의 단계로 이루어지던 기존의 단방향 전력망에 정보기술을 접목하여 전력 공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환함으로써 에너지 효율을 최적화하는 '지능형 전력망'을 가리킨다. 발전소와 송전·배전 시설과 전력 소비자를 정보통신망으로 연결하고 양방향으로 공유하는 정보를 통하여 전력시스템 전체가 한 몸처럼 효율적으로 작동하는 것이 기본 개념이다.<sup>6)</sup>

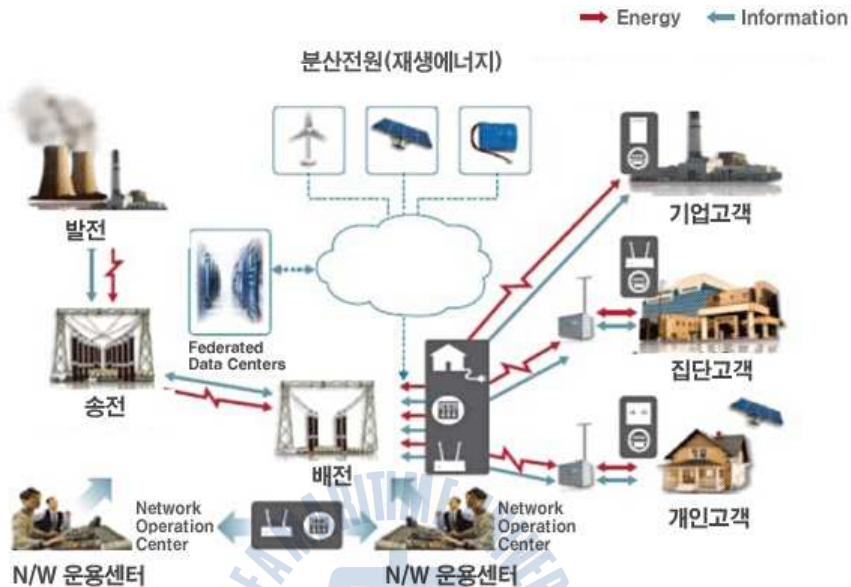


[그림 2.2] 스마트그리드 개념 (출처: (재)한국스마트그리드사업단 )

이는 국가 에너지소비의 3%절감(전기에너지의 10%) 및 태양광·풍력 등 전력생산이 불규칙한 신·재생발전원의 보급 확대 기반조성과 CO<sub>2</sub> 배출량 41백만 톤 감축 및 전기차 보급인프라 구축이 가능하다.

6) 스마트 그리드 벽을 넘어라, 환경일보, 2009년 09월 25일,  
<http://www.hkbs.co.kr/hkbs/news.php?mid=1&r=view&treec=131&uid=160409>

스마트 그리드 기술은 전력망 부문, 소비자 부문, 전기자동차 및 운송 부문, 신·재생에너지 부문, 그리고 전력서비스 부문 등 5개 부문으로 구분할 수 있다.<sup>7)</sup>

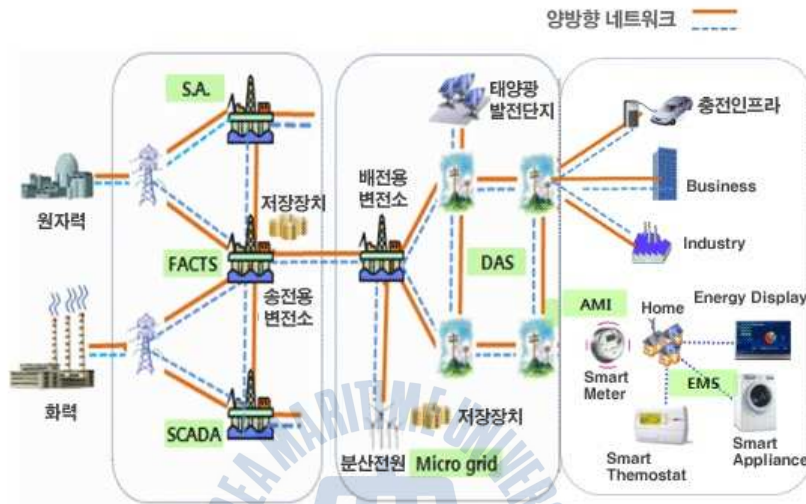


[그림 2.3] 지능형 전력망 구성 요소 (출처: (재)한국스마트그리드사업단 )

지능형 전력망 기술은 기존의 전력망에 정보·통신 기술을 접목하여 전력망의 신뢰도 및 운용 효율을 향상시키는 기술이며 지능형 송전시스템, 지능형 전력기기, 지능형 전력통신망 기술로 구성된다. 스마트그리드 구현을 위해서는 특히 전통적인 전력기술과 결합하는 통신기술의 개발 및 이를 실제 계통에 적용하는 상용화 전략이 요구된다. 지능형 송전시스템은 초전도, FACTS (Flexible Alternating Current Transmission System), HVDC(High Voltage Direct Current), WAMS, WACS, 디지털 변전시스템 등 지능형 전력기기를 적용하여 친환경, 고효율, 고신뢰성과 자동복구능력을 갖춘 미래 송전시스템이다. 지능형 배전시스템은 분산전원, AMI, 스마트개폐기 및 PCS 등 다양한 배전급 지능형전력기기를 적용하여 고품질, 고신뢰성 및 자동복구능력을 가진 미래 배전시스템이다. 지능형 전력기기는 지능형 전력망의 구성요소인 초전도, FACTS, HVDC, WAMS,

7) 고동수, 주요국의 스마트그리드 추진 현황과 정책적 시사점, 산업연구원, 2011, p21

WACS, 디지털변전시스템, AMI, 스마트개폐기 및 PCS 등 신 전력기기를 통칭한다. 지능형 전력통신망은 지능형 전력기기 및 지능형 전력망을 감시, 제어, 운영하는 신경회로에 해당하는 유·무선방식의 전력통신망을 통칭한다.<sup>8)</sup>

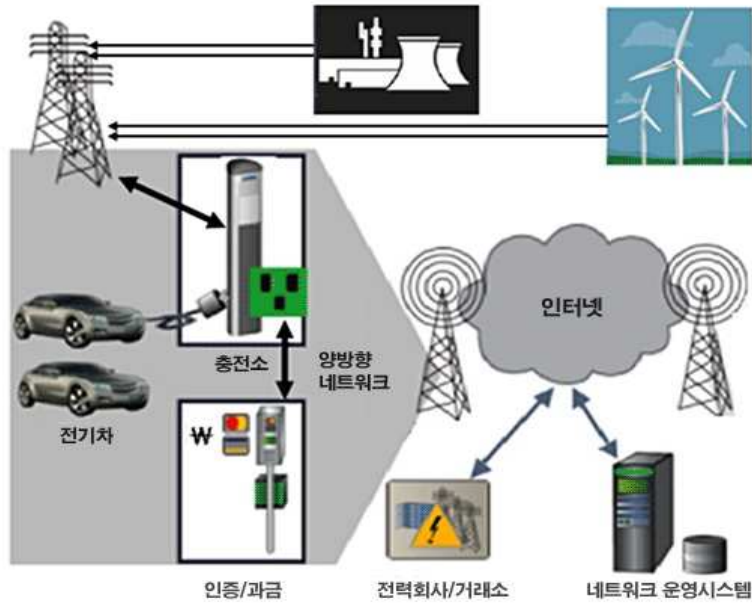


[그림 2.4] 지능형 소비자 구성 요소 (출처: (재)한국스마트그리드사업단)

지능형 소비자 기술이란 소비자 측에 양방향 통신망의 AMI 시스템을 구축하여 전력의 수요·공급 정보에 따라 전력소비를 최적화하고 전력망의 효율을 높이고자 하는 기술로 AMI (Advanced Metering Infrastructure), 에너지 관리시스템 (EMS: Energy Management System), 양방향 통신 네트워크 기술 등이 있다. AMI 기술은 양방향 통신망을 이용하여 전기 등의 에너지 사용에 대한 검침, 사용 정보 수집 뿐 만이 아니라 개별에너지 기기에 대한 능동적 제어가 가능한 기술이다. EMS 기술은 전기 등의 에너지 사용에 대한 모니터링, 제어 및 최적화를 구현하는 시스템 기술로서 가정, 빌딩, 공장 등에 적용이 가능하다. 양방향 통신네트워크 기술은 소비자와 공급자 양방향으로 에너지 사용 및 제어 데이터 등을 자유롭게 전달할 수 있는 기술로서 다양한 유·무선 통신방식이 적용된다.<sup>9)</sup>

8) (재)한국스마트그리드사업단 <http://www.smartgrid.or.kr/09smart2-6-5.php>

9) (재)한국스마트그리드사업단 <http://www.smartgrid.or.kr/09smart2-6-5-1.php>



[그림 2.5] 지능형 운송 요소 (출처: (재)한국스마트그리드사업단)

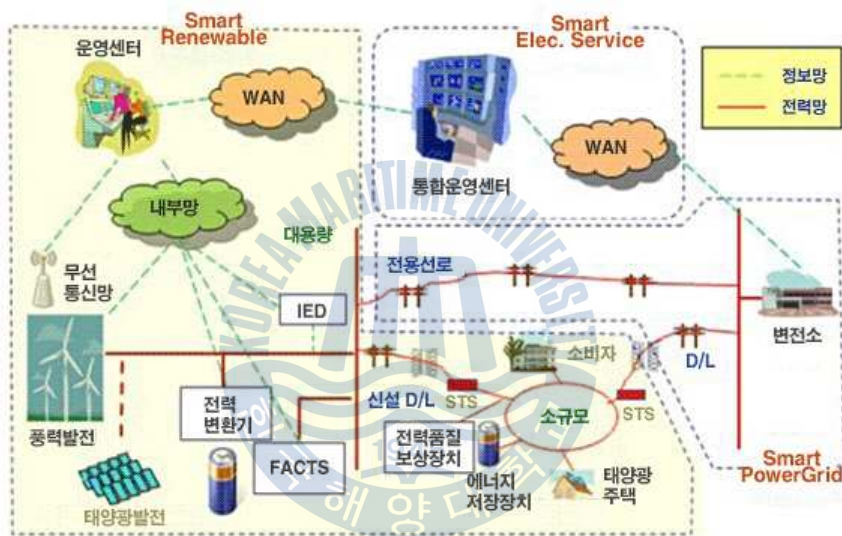
지능형 운송 기술이란 전력망과 전기자동차가 상호 자유롭게 접속하여 전력망의 효율을 높이고 온실가스 배출량을 감축시키는 기술을 총칭하는 것으로, 충전 인프라 기술, V2G 기술, 부품·소재 기술 등이 있다. 충전 인프라 기술은 전기차에 효율적으로 전기를 공급하기 위한 급속·완속 충전기, 충전 인터페이스 부품 및 인증·과금 등을 위한 전기차 ICT 서비스 시스템을 구축하는 기술이다. V2G 기술은 전력망과 전기자동차 배터리 전원을 연계하여 양방향으로 전력을 전송·역송하는 기술로서 실시간 시장요금에 근거하여 효율적인 계통 연계 및 운용 방안을 구축하는 기술이다. 부품·소재 기술은 소형 및 중대형 전기차 핵심 부품 및 소재에 해당하는 전기모니터, 배터리, 배터리 성능진단 시스템 등을 개발하는 기술이다.<sup>10)</sup>

지능형 신·재생에너지 기술이란 다양한 신·재생에너지를 사용하여 발전된 전력의 보급을 어렵게 하는 기술적인 장벽을 극복하여 신·재생전원을 기존의 전력망에 안정적으로 연계하는 기술을 의미하며, 마이크로그리드(Micro Grid),

10) (재)한국스마트그리드사업단 <http://www.smartgrid.or.kr/09smart2-6-5-2.php>



에너지저장장치(ESS: Endergy Storage System), 전력품질 보상기술, 전력거래 인프라 기술 등이 있다. 에너지저장 기술은 배터리, 플라이휠, 압축공기저장장치 등 에너지저장 매체 기술 및 운용하는 기술을 말하며 전력품질 보상 기술은 신·재생발전원의 급격한 출력 변동과 전력조류 변경에 기인한 계통 전압과 주파수 변동을 억제하는 전력품질 유지기술이다. 전력거래 인프라 기술은 실시간 전력요금제에 의한 전력의 입찰 및 발전량 계량을 위한 통신체계와 분산된 발전원 제어체계이다.<sup>11)</sup>

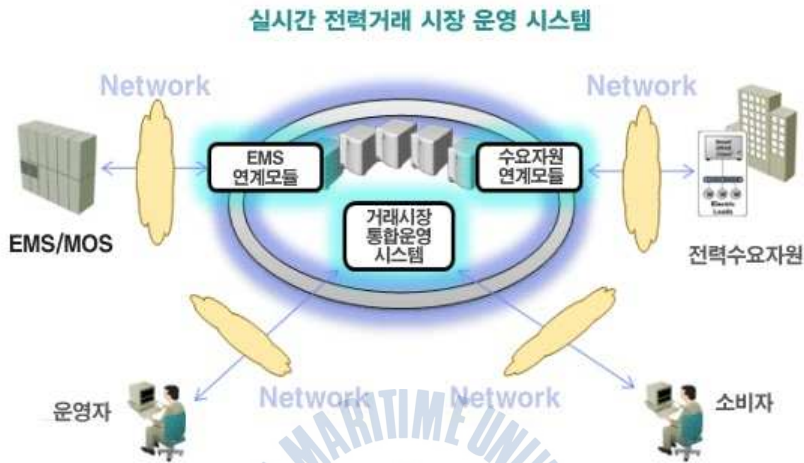


[그림 2.6] 지능형 신·재생 구성 요소 (출처: (재)한국스마트그리드사업단)

지능형 전력서비스 기술이란 여러 가지 전기요금제도를 개발하고 소비자 전력거래시스템을 구축하여 전력망의 효율을 증대시킴으로써 수요반응 및 지능형 전력거래 등 다양한 비즈니스를 가능하게 해 주는 기술을 의미하며, 실시간요금제(RTP), 수요반응(DR), 전력거래 기술 등이 있다. 실시간 요금제 기술은 변화하는 요금정보를 소비자에게 실시간으로 전달하여 전력수요의 가격반응을 유도하는 기술이며 수요반응 기술은 전력가격 및 시스템 상황에

11) (재)한국스마트그리드사업단 <http://www.smartgrid.or.kr/09smart2-6-5-3.php>

반응하여 소비자가 전력소비를 조정하도록 유도하여 시스템의 신뢰도 향상과 비용절감을 추구하는 기술이다. 전력거래 기술은 수요와 공급의 다양한 참여자가 각기 보유한 전력자원을 자유롭게 거래하여 에너지 효율을 극대화하는 기술이다.<sup>12)</sup>



[그림 2.7] 지능형 전력서비스 구성 요소 (출처: (재)한국스마트그리드사업단)

## 나. 국내 스마트그리드 기술개발 동향

### 1) 국가단위의 스마트 그리드 로드맵 수립

저탄소 녹색성장 추진의 일환으로 정부는 녹색성장위원회 주도로 서머타임제 도입, LED, 그린 오피스와 함께 지능형 전력망 등 4개 정책과제를 제시하였다. 이 방안에 따르면 2020년 까지 소비자측 지능화를 완료하고 2030년까지 세계 최초로 국가단위의 지능형 전력망 구축 완료를 목표로 하고 있다. 이에 따라 정부는 한전, 전력거래소, 학계 등과 함께 민관공동으로 2009년 3월 지능형 전력망 로드맵을 수립 중이며 법제도 정비 · 기술개발 · 투자 · 보급 · 수출계획

12) (재)한국스마트그리드사업단 <http://www.smartgrid.or.kr/09smart2-6-5-4.php>

등을 담은 Total Solution 로드맵을 제작하고 있다.<sup>13)</sup>

## 2) 전력 IT 10대 과제

우리나라는 2005년부터 총 2,532억원을 투입하여 전력산업 분야에서의 신 성장동력을 육성하기 위하여 전력IT 10대 과제를 선정하여 기술개발을 추진하여 왔으며, 전력 IT 10대 과제 중에서 5개 과제 성과물이 현재 제주도 실증사업에 적용되고 있다. 국내의 스마트그리드 기술수준의 경우 AMI, 스마트미터, 모니터링 설비 등은 선진국과 동등한 수준이나, 수요반응 및 전기자동차 관련 기술수준은 상당히 뒤쳐져 있는 상태이다.<sup>14)</sup>

## 3) 스마트그리드 실증단지 구축

전력망 기술은 전력수급 및 전력품질에 직접적인 영향을 미칠 수 있으므로 계통에 실적용 되기 위해서는 그 안정성 및 호환성이 충분히 입증될 필요가 있다. 따라서 현재 정부는 전력IT 개발시제품 및 기술을 상호연동시험하고 전국 전력계통에 적용할 수 있도록 통합실증단지 구축을 추진 중에 있다. 실증지역으로는 계통의 안정성과 신·재생에너지 자원의 풍부함 등을 이유로 제주시 구좌읍이 선정되었으며, 주택, 상업시설 등 총 6,000여 세대에 전력을 공급 중인 2개 변전소, 4개 배전선로를 대상으로 하고 있다. 사업범위는 풍력 등 신·재생 에너지 연계시스템을 구축하고 전기자동차용 충전인프라가 시범구축·운영될 예정이다. 또한, 정부는 스마트미터를 설치하고 수용가가 이를 활용하여 에너지절약 및 전력거래에 참여할 수 있도록 AMI (Advanced Metering Infrastructure)

13) 천영길, 스마트그리드 구축을 위한 전력저장기술 및 제도적 개선방안 연구, 한양대학교(석사논문), p23

14) 고동수, 주요국의 스마트그리드 추진 현황과 정책적 시사점, 산업연구원, 2011, p34

시스템을 구축하는 등 5대 분야에 대해 실증 및 비즈니스모델을 개발할 계획이다.<sup>15)</sup>

[표 2.1] 스마트그리드 5대 실증사업

분야	사업개념 및 범위	정부지원예산
Smart Place	<소비자중심의 에너지효율화> -AMI 구축을 통해 최대전력절감, 자동화된 에너지관리	200억
Smart Transport	<전기자동차 보급인프라 구축> - 충전소설치, 통신기반플랫폼 구축	150억
Smart Renewable	<녹색에너지 활용기반 구축> - 마이크로그리드 운영플랫폼 구축	100억
Smart Powergrid	<지능형 송/변/배전망 구축> - 실시간 정보수집, 제어, 자동복구	195억
Smart Electricity Service	<신전력서비스 활성화> - 다양한 요금제 및 시장기능개발	60억
실증단지마스터플랜	실증단지 통합운영계획 수립 · 관리	20억

#### 다. 국외 스마트그리드 기술개발 동향<sup>16)</sup>

##### 1) 미국의 스마트그리드

미국은 뉴욕 대정전 발생을 계기로 전력관제시스템의 취약성과 에너지 안보적 문제점을 각인하고 51개의 기업, 연구소가 참여하여 전력산업의 현대화를 위한 GRID2030 계획을 수립하였으며 정책적 배경, 시장 배경, 기술적 배경에 기초하여 “언제, 어디서나 풍부하고, 저렴하고, 깨끗하고, 효율적이고, 믿을 수 있는 전력의 공급”을 목표로 하고 있다. Grid 2030 비전 발표를 통해 미국은 세계 최초로 21세기 전력시스템에 대한 국가 단위 비전을 제시하였다. 그리드

15) 스마트그리드 구축을 위한 전력저장기술 및 제도적 개선방안 연구, p25

16) (재)한국스마트그리드사업단 <http://www.smartgrid.or.kr/09smart2-1d.php>

현대화를 통해 에너지안보 및 에너지의 이용효율 향상을 추진키로 하였으며, 이것은 2007년에 에너지부 주관으로 제정된 ‘에너지 독립 및 안보에 관한 법률’에 성문화 되어 연구개발, 투자비 보조 등 법적 지원체계를 갖추게 되었다. 특히, 오바마 정부는 세계적인 환경보호와 경제위기 극복을 위해 환경을 지키면서 일자리를 창출할 수 있는 녹색뉴딜 정책을 표방하면서 그 일환으로 스마트그리드분야에 매년 45억불을 투자하기로 결정하였다. 현재 콜로라도 볼더시에는 세계 최초로 스마트그리드 시범도시가 구축되어 있으며 세계 시장 선점을 위해 확대를 계획 중이다. World Energy Outlook은 스마트그리드가 2030년까지 전세계 전력설비를 신설 및 교체하는 과정에서 약 10조 달러의 시장을 창출할 것이라고 예측하고 있으며, 네덜란드 전기시험소(KEMA)는 미국이 2009년~2012년 동안 스마트그리드에 지출하는 160억 달러는 향후 640억 달러의 가치가 있는 스마트그리드 프로젝트를 추진하는 기폭제로 작용할 것으로 예측하고 있다. 이들 프로젝트의 효과는 다양한 분야에서 약 28만개의 새로운 일자리를 직접 창출할 것이며, 이중에서 약 14만개는 부가가치가 높은 일자리로서 영구적으로 지속될 것으로 추정하고 있다. 이외에도 유무형의 간접적인 일자리 창출에도 상당히 영향을 미칠 것으로 전망하고 있다.

## 2) 유럽의 스마트그리드

유럽은 온실가스 감축에 대하여 세계적으로 선도적으로 대응하며 자국이 산업경쟁력 우위에 있는 풍력, 태양광 등 신·재생에너지의 지속적인 보급을 주장하여 왔다. EU는 재생에너지 보급로드맵을 통해 2020년 까지 총 에너지 소비 중 재생에너지에 의한 비율을 20%까지 끌어올리겠다고 발표하였다. 영국은 현재 70억 파운드를 투자해 20년까지 스마트 계량기 보급 계획을 추진하고 있으며 독일은 MMREGIO(Minimum Emissions Region)프로젝트를 통해 최적의 전력망을 구축해 CO2 배출량 제로를 목표로 하고 있다. 또한 칼스루에

(Karlsruhe) - 슈투트가르트(Stuttgart)지역에서 시범운영 중이며 신·재생에너지 통합, 소비자에게 가격신호를 실시간으로 전송해주고 있다. 네덜란드는 암스테르담 지능형 도시 설립 계획을 하고 있으며 2025년까지 신·재생에너지 전력수요의 1/3 충당을 계획하고 있다. 핀란드는 300만가구중 20%가 이미 스마트 계량기를 설치하였으며 2013년 말에는 핀란드 가정의 80%를 스마트 계량기가 설치 될 것으로 예상하고 있다.



## 2.2 집단 열 공급 시설

### 2.2.1 지역냉난방사업의 도입배경<sup>17)</sup>

최근 산업의 발전 및 생활수준의 향상으로 전력소비량이 지속적으로 증가하고 있다. 이를 해결하기 위해서 발전량은 지속적으로 증가되어야 하지만 교토의정서에 의한 환경문제, 에너지부존자원이 절대적으로 부족한 우리나라는 전력수급의 안정성을 확보하기 위해서는 공급과 소비 양면에 걸친 대책이 강화되어야 하고 나아가 다양한 에너지원의 효율적인 활용 및 분산형전원의 개발이 적극적으로 도입되는 추세이다.

이러한 추세에 의하여 분산형전원의 한 종류인 지역냉난방발전의 도입이 증가되고 있다. 지역냉난방발전은 열과 전기를 동시에 생산하는 시스템으로서 전기와 열 생산의 적정비율을 감안하여 열병합발전(CHP: Combined Heat and Power Generation)과 열전용보일러(PLB: Peak Load Boiler)를 운영중에 있다. 열과 전기를 동시에 생산하는 CHP는 에너지이용효율 향상, 에너지 절감 효과 등을 고려하여 운전해야 한다. 열을 담당하는 PLB는 연중 운영되는 것이 아니라 동절기 즉, 열 수요증가시만 보조열원으로 가동되는 특성이 있다. 열을 저장하는 축열조에 저장을 할 수 있으며 부하는 변동에 따라 축방열운전을 하고 있다. PLB와 축열조(ACC: Accumulator)는 적정용량을 산정하여 동절기 열수요 증가에 따른 미상열원 차원에서 운영해야 하나, 현재는 그렇지 못하다.

지역냉난방사업은 난방용, 급탕용, 냉방용의 열 또는 열과 전기를 공급하는 사업으로서 자가소비량을 제외한 열생산용량이 시간당 500만kcal 이상이어야

17) 한국지역난방공사·에너지경제연구원, 지역난방 발전계획 수립에 관한 연구: 중간보고서, 1996, pp.31~44.

한다.

경제개발계획이 추진된 1960년대 이후부터 공업화의 이전에 따라 에너지 정책에는 많은 변화가 있었다. 특히 1970년대 1·2차 석유파동과 1990년대 기후 변화협약의 발효에 따라 에너지 절약 개념에는 많은 변화가 생겨났다. 지역난방사업도 이러한 시대적 환경변화와 에너지 절약정책의 변화에 따라 생성된 하나의 소산물이라 보아도 지나친 표현이 아닐 것이다.

정부는 1991년에 집단에너지사업법을 제정하고, 이 법에 의거 1992년 5월 23일 한국지역난방주식회사를 공공법인으로 전환하여 한국지역난방공사를 설립하였다. 또한 1992년말 당시 보급률 3%인 지역난방을 2001년까지 총주택수의 15%인 180만호까지 높이는 중장기계획을 수립하고 에너지 장기계획에 집단에너지 공급계획을 반영하여 발전소 폐열, 산업폐열, 자원회수시설 폐열을 최대한 이용하도록 추진방향을 정했다.

지역난방사업을 함으로서 발생하는 사회적 편익은 다음 몇 가지를 들 수 있다.

- 에너지 이용효율 향상에 의한 대규모 에너지절감
- 연료사용량 감소 및 집중적인 환경관리로 대기환경 개선
- 24시간 연속난방에 의한 쾌적한 주거환경 조성 등 편의 제공
- 발전소 부지난 해소 및 송전손실 감소에 기여
- 지역난방 공급을 통한 하절기 전력 첨두부하 완화에 기여
- 유연탄, 유류, 천연가스, 폐열, 쓰레기 소각열, 매립가스(LPG) 등 연료 다원화에 의한 에너지수급의 용이성 및 미활용에너지 활용 증대

이 중 에너지 및 환경적 측면에서 가장 크게 나타나는 효과를 2가지로 요약하면 첫째는 에너지 절감효과이고, 둘째는 대기환경 개선효과이다.



## 2.2.2 지역냉난방사업의 역사

우리나라 지역냉난방사업의 역사는 아직 일천하지만 시기별로 구분해보면 - 기반조성기, 정착기, 성장기 및 전환기- 대략 4가지로 요약해 볼 수 있다.

1970년대는 지역난방사업의 기반조성기라고 볼 수 있고, 1972년과 1976년에 이미 울산과 여천 석유화학단지에 집단에너지 공급방식이 도입되었고, 1978년에는 동자부 발족과 함께 열병합발전을 이용한 지역난방시스템 도입에 따른 타당성조사가 시작되었다.

1980년대는 정착기로 볼 수 있다. 열병합발전에 의한 지역난방사업의 타당성이 인정되어 목동지역에 이어 서울화력을 이용한 남서울 지역난방사업이 전개되었다. 뿐만 아니라 정부는 수도권 지역의 아파트 건설을 계기로 지역난방 보급을 확대계획을 수립하게 됨에 따라 지역난방사업이 뿌리를 내리는 시기임을 알 수 있다.

1990년대는 성장기로 볼 수 있다. 90년대 초반에 수도권지역에 열공급을 개시하였고, 용인, 수서, 인천, 동수원, 대구지역, 청주지역 등으로 지역냉난방사업이 확대되었다. 특히, 1994년에는 중국 산둥성 칭도시에 지역난방사업 합작법을 설립하여 해외사업 진출도 이루어졌다.

2000년대는 전환기로 볼 수 있을 것이다. 1990년대 이후 지역난방이 폭발적으로 확대 보급되자 도시가스를 난방연료로 공급하려는 해당지역 도시가스 업체들은 영업권 침해 등으로 생각하여 강력히 반발하고, 지역냉난방사업에 직접 참여의사를 표시하고 있다. 실례로, 경동도시가스(주)에서 경상남도 양산 신도시지구에 지역냉난방사업허가를 취득하였으며, 삼천도리가스(주)에서 경기도 용인동백지구에 지역냉난방사업허가를 취득하였으나, 두 사업자 모두 사업권을 반납하였다. 또한 고객들로부터 양질의 서비스 욕구가 높아지고 있기 때문에 각 부문의 경쟁력을 강화하고 에너지산업 구조개편과 같이하여 사업을

다각화하는 전환기로 표현할 수 있다.

## 2.2.3 지역냉난방사업의 국내·외 현황

### 가. 국내 지역냉난방 사업 도입현황

2002년말 기준 집단에너지사업 도입현황을 표 2.2에 나타내었다. 2002년 말 기준 집단에너지사업은 지역난방부문의 8개 사업자가 21개 지역에서, 산업단지 부문의 19개 사업자가 20개 사업장에서 가동중이다.

[표 2.2] 집단에너지사업 도입현황

구분	사업자수 (가동중)	사업자수 (지역수)	열 판매 현황				전기직판 업체수
			공장수	주택호수 (천호)	난방 빌딩수	냉방 빌딩수	
지역난방	8	21	-	1,164	2,493	351	-
산업단지	19	20	563	13	-	-	156
계	27	41	563	1,177	2,493	351	156

2002년말 기준 지역난방 공급현황을 표 2.3에 나타내었다. 지역난방부문은 21개 지역에서 8개 사업자가 공동주택 1,164천호 및 산업단지 인근의 공동주택 13천호에 지역난방을 공급하고 있다. 서울시, 부산시, 한국지역난방공사 등 공공기관의 공급실적은 912천호로서 전체 지역난방공급 주택수의 77.5%에 해당한다.

2002년말 기준 지역냉방 공급현황을 표 2.4에 나타내었다. 한국지역난방공사 사업지구에는 2002년말 기준 고양, 분당 등 9개 지역의 총 202개 건물에 지역냉방열이 공급되어 총 73,057usRT의 흡수식냉동기가 가동중이다. 한국지역난방공사를 제외한 사업자의 사업지구에는 2002년말 기준하여 서울시, 부산시,

한국 CES, LG과워, 안산도시개발 등 7개 사업자가 8개지역의 총 129개 건물에 지역냉방열을 공급하여 총 59,454usRT의 흡수식냉동기가 가동중이다. 이 냉방공급용량을 전기냉방 기준으로 환산할 경우, 화력발전소가 약 341MW을 담당해야하는 냉방부하 수준이다.

[표 2.3] 2002년 지역난방부문 사업자별 공급현황

No.	사업자	지역수	열공급실적		비고 (공급지역)
			주택호수	빌딩수	
1	한국지역난방공사	12	685,025	1,505	중앙 등 10개지역
2	서울시	2	196,311	272	강서, 노원
3	부산시	1	30,676	77	해운대
4	안산도시개발	1	26,452	41	안산고잔
5	한국CES	1	-	9	광주상무
6	LG과워(주)	2	215,964	531	안양, 부천
7	인천공항에너지(주)	1	4,094	17	인천국제공항
8	포스코	1	5,198	28	포항효자동지
지역난방부문 소계		21	1,163,720	2,480	
9	오산에너지(주)	1	8,594	13	오산운암
10	에너지관리공단	1	3,036	-	대전 송강단지
11	사이스이천열병합발전소	1	1,530	-	이천 사동리 APT
산업단지부문 소계		3	13,160	13	
합계		24	1,176,880	2,493	

[표 2.4] 2002년 지역냉방부문 사업자별 공급현황

No.	사업자	건물개소	건축연면적 (m <sup>2</sup> )	냉방면적 (m <sup>2</sup> )	냉동기용량 (usRT)
1	한국지역난방공사	202	3,813,408	1,650,119	73,057
2	서울시	18	305,791	182,641	7,746
3	부산시	2	40,050	13,962	905
4	안산도시개발	14	128,162	77,369	3,968
5	한국CES	6	85,318	44,695	2,659
6	LG과워(주)	91	1,069,951	545,263	25,558
7	인천공항에너지(주)	16	845,000	281,667	18,558
지역난방부문 소계		349	6,287,680	2,795,716	132,451
9	오산에너지(주)	2	7,342	920	60
합계		351	6,295,022	2,796,636	132,511

## 나. 해외 지역난방사업 현황

지역난방을 공급하고 있는 각 국가의 전반적인 지역난방 현황을 살펴보면 유럽국가 22개국 및 러시아, 미주지역에서는 미국과 캐나다가 지역난방을 보급하고, 아시아지역에서는 한국·중국·일본이 지역난방을 보급하고 있다.

지역난방이 널리 보급된 유럽의 경우 2차레에 걸친 유가파동과 전력가격 불안정으로 인하여 CHP 지역난방이 주춤했던 시기가 있었으나, 현재는 기후변화 협약과 관련하여 온실가스 저감효과가 높은 CHP의 중요성이 부각되고 있으며, 보급확대를 위한 정책적 지원과 기술적 지원이 확대되기 시작했으며, 신·재생에너지의 활용비율이 점차 증가하고 있는 추세이다. 유럽 국가들의 주택난방방식별 점유율은 표 2.5과 같다.<sup>18)</sup>

북유럽을 중심으로 한 지역난방에서는 난방개념이 더 중요하지만, 미국을 포함한 국가들의 냉방기술의 중요성이 더 크다. 현재 지역난방의 동향은 고효율 가스터빈, 신 연료와 관련된 과학기술을 통한 환경이득의 최적화를 추구하고 있다.<sup>19)</sup>

[표 2.5] 2001년 유럽국가 난방방식별 시장 점유율

국가	지역난방	석유난방	가스난방	전기난방	기타
덴마크	48		18	4	30
핀란드	48.6	20	1.1	15.5	14.8
스웨덴	38		2	26	34(석유포함)
독일	12	32	40	6	10(석탄)
오스트리아	15.6		28.2	7.7	47.9
프랑스	6				
네덜란드	3.4				
스위스	2.6	65.4	19.5	5.9	6.6
노르웨이	0.25	11	0.08	69.6	19.07
러시아	70				
아이슬란드	86				

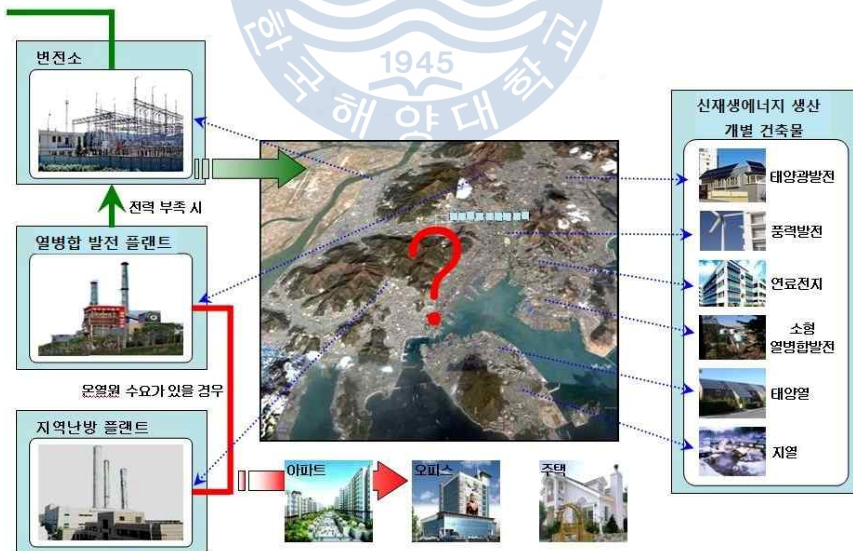
18) EUROHEAT & POWER, District Heat in Europe, Country by country-2003 survey, 2003

19) 한국지역난방공사·한국과학기술원, 중장기 사용연료정책 연구, 2003, pp.126~127.

## 제3장 에너지 통합 운영 알고리즘 제안

### 3.1 에너지 통합 운영 시스템 개요

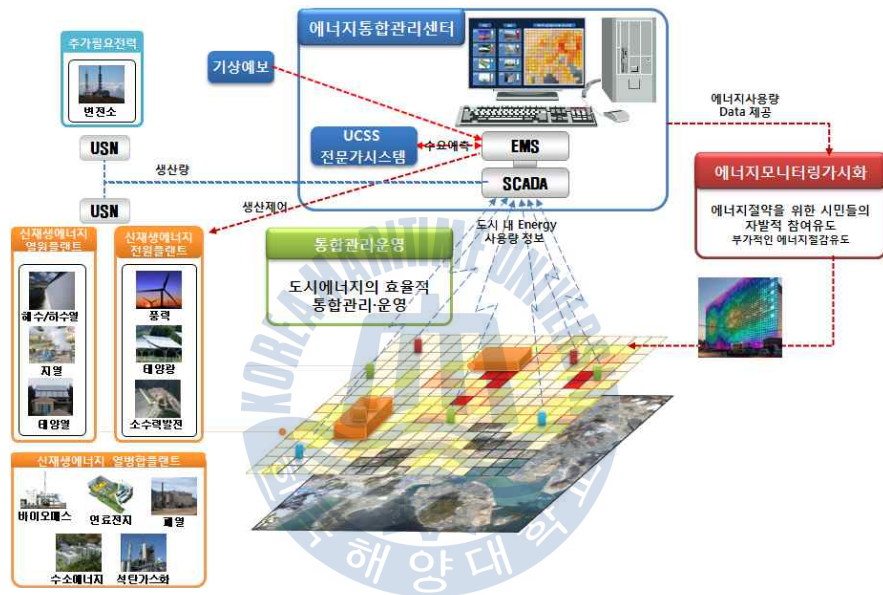
기존의 도시차원에서의 에너지 공급은 그림 3.1과 같이 플랜트는 있지만 통합관리 운영을 하지 못했다. 또한, 도시내의 설치되어있는 플랜트와 각 발전의 분산 에너지의 생산량을 고려하지 못하여 신·재생에너지를 사용하면서도 효율을 높이지 못했다. 그리고 열원공급 시스템은 도시 전역을 대상으로 하는 것이 아니라 상업성을 우선하여 제한적으로 열밀도가 높은 아파트, 오피스 등의 밀집 지역만을 대상으로 열을 공급함으로써 에너지의 활용이 부족하였다.



[그림 3.1] 기존의 에너지 공급 시스템 개념도

(출처: 한국해양대학교 산학협력단, U-기반 차세대에너지 통합관리·운영시스템 기술 개발 1단계 연구결과보고서, 2010.04.29)

도시차원의 에너지 통합관리·운영시스템은 도시차원의 에너지 사용량 및 탄소 배출량을 저감하기 위해 탄소 발생이 거의 없는 친환경에너지인 신·재생/미활용 에너지를 이용하여 에너지를 생산·공급하는 에너지 플랜트를 도시 내에 구축하고 이들 에너지의 정확한 수요예측과 에너지 사용량의 실시간 모니터링을 통해 생산과 공급의 효율을 극대화하여 도시의 에너지 사용량 및 CO<sub>2</sub> 발생을 저감하고자 하는 시스템이다.



[그림 3.2] 도시 에너지 통합관리·운영 개념도

기존의 전기와 열원의 공급 시스템은 발전소에서 도시역의 변전소를 거쳐 각 사용자에게 공급되고 있고, 지역난방공사에 의해 운영되어 발전 플랜트에서 사용자에게 공급되고 있다. 먼저, 기존에 변전소까지 대상이었던 전기 공급은 도시 내의 전기 흐름에 대해서도 모니터링을 하고 제어를 하며, 국부적으로 공급되던 열원 공급은 도시 내의 플랜트를 연계하여 전기공급과 함께 모니터링을 하여 제어한다. 전력과 열을 별도의 시스템으로 운전하였지만 본 연구에서는 도시차원의 에너지에 대해 통합관리운영을 하고자 한다.

## 3.2 생산플랜트<sup>20)</sup>

### 3.2.1 태양광발전

태양의 빛에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 태양전지/발전시스템 기술로서 태양의 복사에너지를 흡수하여 열에너지로 변환하여 이용하는 태양열 발전과는 달리 태양광발전은 반도체 혹은 염료, 고분자 등의 물질로 이루어져 햇빛을 받으면 광전효과에 의해 전기를 발생하는 태양전지를 이용하여 태양빛을 바로 에너지의 한 형태인 전기를 직접 생산하는 기술이다.

#### 가. 태양광발전시스템의 구성



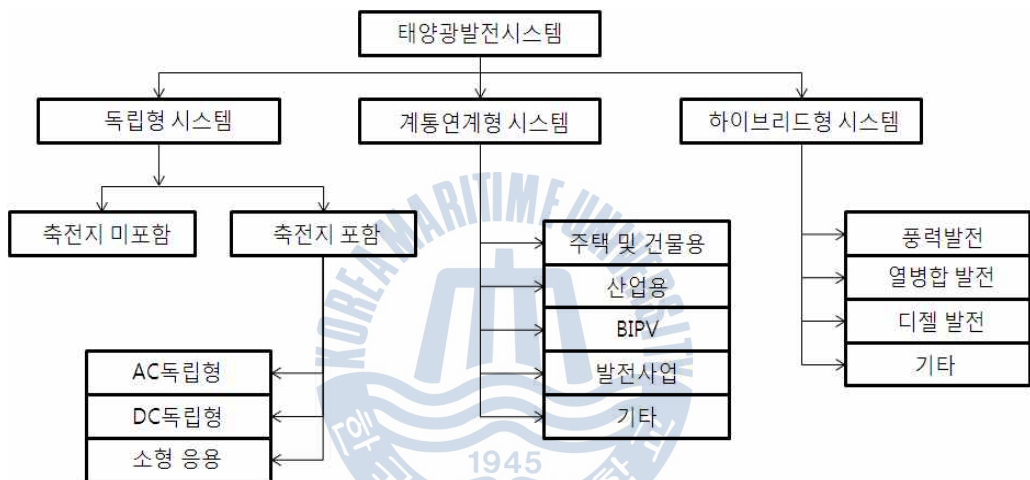
[그림 3.3] 태양광발전의 원리 구성도

(출처: 태양광발전시스템 구성, <http://blog.naver.com/hjo0075/150097336249>)

20) 한국 신 재생에너지 협회 (<http://www.knrea.or.kr>)

태양광발전(PV, Photovoltaic)은 무한정, 무공해의 태양에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 발전방식으로 빛을 받아서 전기로 전환시켜 주는 태양전지(모듈)와 생산된 전기를 수요에 맞도록 교류로 변환시키고 전력계통에 연결시켜주는 인버터, 축전장치 및 전력변환장치로 구성 된다.

## 나. 태양광발전시스템의 종류



[그림 3.4] 태양광 발전 시스템의 분류

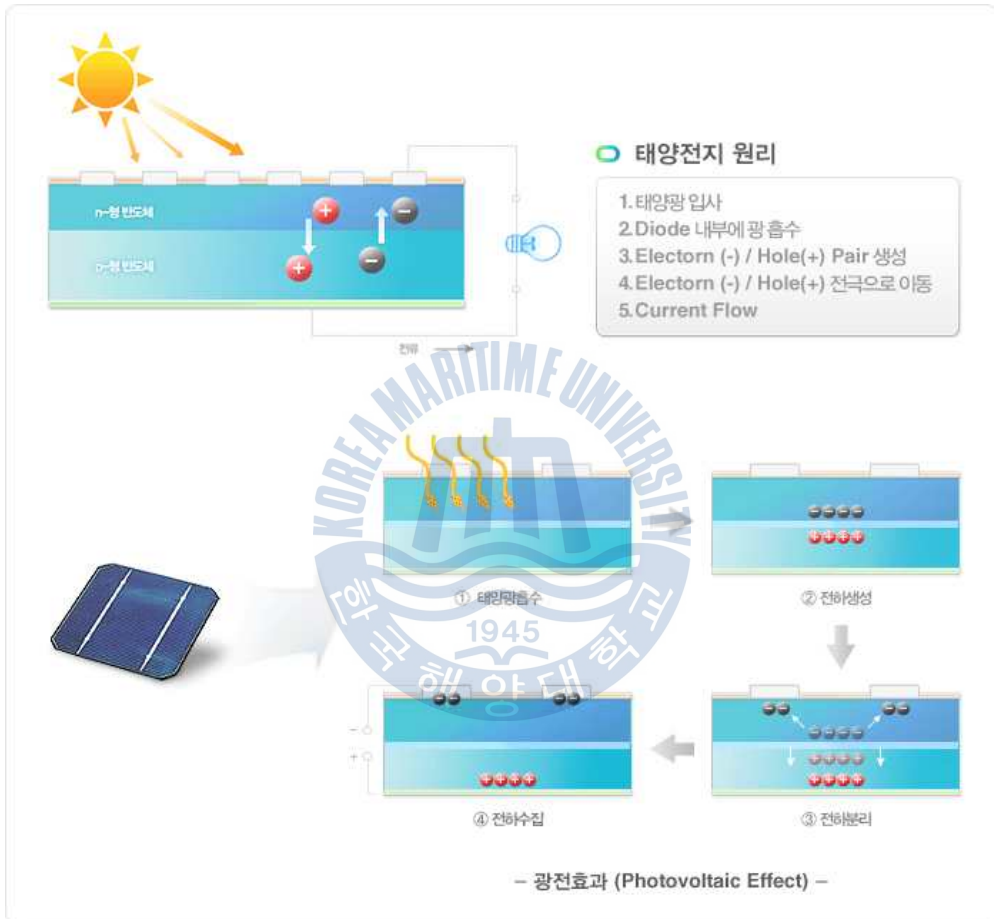
태양광 발전시스템은 태양빛이 공급되는 낮에만 발전할 수 있고, 밤에는 발전할 수 없는 단점이 있어 시스템 구성이나 부하의 종류에 따라서 독립형이나 계통연계형, 그리고 하이브리드형 시스템으로 분류한다.

## 다. 태양전지<sup>21)</sup>

21) 삼성SDI, [삼성SDI가 밝히는 더 밝은 미래] 태양 전지 원리와 종류, 내용참조 (<http://blog.naver.com/sdibat tery?Redirect=Log&logNo=60144936838>)



태양전지는 광전 효과를 이용하여 전기 에너지를 생산해 낸다. 태양 전지에 태양광이 입사하면 되면 n-형 반도체, p-형 반도체에서 전자와 홀이 생성이 되고 이 생성된 전자와 홀이 전극으로 이동하게 됩니다. 이때 전극을 서로 연결해 주면 전자가 이동하여 전기가 흐르게 된다.



[그림 3.5] 태양전지의 원리

태양전지의 종류는 다음과 같이 나누어진다. 주위에서 가장 쉽게 볼 수 있는 결정형 태양 전지부터 박막계 태양전지 CIGS, 차세대 태양전지인 DSSC까지 다양한 종류의 태양 전지들이 있다.



[그림 3.6] 태양전지 종류

태양전지는 발전 원가가 하락하는 유일한 전력원이다. 또한 발전소를 건설하게 되면 무한한 자원인 태양광을 이용하여 전력을 생산하기 때문에 유지 보수 비용 이외의 비용이 들지 않는다. 그리고 원자력 에너지와 다르게 안전한 에너지이고, 친환경 에너지이다.

이러한 태양전지를 이용하는 태양광발전의 특징은 에너지원이 청정·무제한이고, 필요한 장소에서 필요량이 발전가능하고, 유지보수가 용이하며 무인화가 가능하고 20년 이상 사용이 가능한 장수명이라는 장점들이 있다. 그러나 전력생산량이 지역별 일사량에 의존해야 하고, 에너지밀도가 낮아 큰 설치면적 필요하므로 설치장소가 한정적이며, 시스템 비용이 고가로 초기투자비와 발전단가가 높아 사용할 때에 이러한 부분들이 고려되어야 한다.

### 3.2.2 풍력발전<sup>22)</sup>

풍력에너지는 바람의 힘을 회전력으로 전환시켜 발생하는 유도전기를 전력

22) 박종용, 김석완 저(2010), 『에너지학 개론』, 동화기술, p122

계통이나 수요자에게 공급하는 것으로서 풍력발전이 이에 해당한다. 즉 풍력발전이란 공기의 유동이 가진 운동에너지의 공기역학적(aerodynamic) 특성을 이용하여 회전자(Rotor)를 회전시켜 기계적인 에너지로 변환시키고, 이 기계적인 에너지에 의해서 생성되는 유도전기를 전력계통이나 수요자에게 공급하는 기술이다. 이러한 과정에서 바람의 운동에너지를 날개(바람개비)를 사용해서 전기에너지로 바꾸는데, 이때 날개의 이론상 바람에너지 중에 59.5%만이 전기에너지로 바뀔 수 있는데, 이것도 날개의 형상에 따른 효율과 기계적인 마찰, 발전기의 효율 등을 고려하면 실제로 20 ~ 40%만이 전기에너지로 이용가능하다.

풍력발전시스템은 풍력이 가진 에너지를 흡수 변환하는 운동량 변환장치, 동력전달장치, 동력변환장치 등으로 구성되어 있으며, 각 구성요소들은 독립적으로 그 기능을 발휘하지 못하며 상호 연관되어 전체적인 시스템으로서의 기능을 수행하게 되는 일체형 시스템이다.<sup>23)</sup>



[그림 3.7] 풍력발전시스템의 구성 (출처: 한국 신·재생에너지협회)

풍력발전기는 날개의 회전축 방향에 따라 회전축이 지면에 대해 수직으로 설치되어있는 수직축 발전기와 회전축이 지면에 대해 수평으로 설치되어 있는 수평축 발전기로 구분하며, 수직축은 바람의 방향에 관계가 없어 사막이나 평원에 많이 설치하여 이용 가능하지만 소재가 비싸고 수평축 풍차에 비해 효율이 떨어지는 단점이 있다. 수평축은 간단한 구조로 이루어져 있어 설치하기 편리하나 바람의 방향에 영향을 받는다. 따라서 중대형급 이상은 수평축을 사

23) 박종용, 김석완 저(2010), 『에너지학 개론』, 동화기술, pp125-126

용하고, 100kW급 이하 소형은 수직축이 사용된다. 운전방식에 따라서는 기어형과 기어리스형으로 구분한다.

[표 3.1] 풍력발전시스템의 분류 (출처: 에너지학 개론, p125)

구조상 분류(회전축 방향)	-수평형 풍력시스템(HAWT) : 프로펠라형 -수직축 풍력시스템(VAWT) : 다리우스형, 사보니우스형
운전방식	-정속운전(fixed roter speed type) : 통상 기어 -가변속운전(variable roter speed type) : 통상 기어리스
구조상 분류	-Pitch(날개각) Controll -Stall(失速) Controll
운전방식	-계통연계(유도발전기, 동기발전기) -독립전원(동기발전기, 직류발전기)

또한 출력제어방식에 따라서 Pitch Control와 Stall Control으로 분류하고, Pitch Control 방식은 날개의 경사각(Pitch) 조절로 출력을 능동적 제어 하게 된다. 그리고 Stall Control 방식은 한계풍속 이상이 되었을 때 양력이 회전날개에 작용하지 못하도록 날개의 공기역학적 형상에 의한 제어로 고효율 발전이 가능하고, 기계적 링크가 없어 유지보수가 수월하다.

국내의 기술개발현황은 90년대 초에 대학과 연구원을 중심으로 기초연구 및 소형풍력시스템 연구를 시작한 이래 '90년대 중반부터 본격적으로 기술개발을 수행하였고, 수행과정과 개발현황은 다음과 같다.<sup>24)</sup>

- 1단계('88~'91) 사업으로 전국 64개 기상청 산하 기상관측소, 일부 지역의 도서 및 내륙 일부 지역에서 관측된 풍속과 풍향자료를 이용한 풍력자원 특성분석 이루어짐

- 1단계 사업기간에 한국과학기술원이 20kW 소형 수평축 풍력발전기를 국산화하려는 연구개발을 시도하였고, 2단계('92~'96) 사업기간에는 복합재료 분

24) 한국 신 재생에너지협회 [http://www.knrea.or.kr/energy/energy04\\_2.asp](http://www.knrea.or.kr/energy/energy04_2.asp)

야의 전문업체인 한국화이바가 한국형 중형급 수직축 300kW 풍력 발전기개발

- 한국화이바에서 중대형급(750kW급) Gearless Type (Direct Drive Generation)수평축 풍력발전기(블레이드) 개발 완료(2001년)

- 현재 3대 중점기 술개발과제로 기어드타입, 기어리스타입에서 750kW급 풍력발전기의 개발 시제품에 대해 실증 연구수행

  - 실증기간 : 2004.9 ~2006.8 (2년)

- 1~2MW급 중대형 풍력발전 시스템 개발 수행 중(2004년~ )

- 해상풍력 실증연구단지 조성연구 수행중

  - 실증기간 : 2005.12 ~2009.12 (4년)

유럽에서는 1980년대 초부터 풍력발전의 제작기술이 급속히 발전하여 독일의 독일선급협회(Germanischer Lloyd), 덴마크의 노르웨이 선급협회(DNV: Det Norske Veritas) 및 덴마크 국립 에너지연구소(RISO) 등에서 설계인증·검증, 성능평가기준을 제시하고 있으며 국제 에너지 기구(IEA: International Energy Agency)에서는 풍력발전에 관한 국제규정을 마련하고 있는 단계이다.

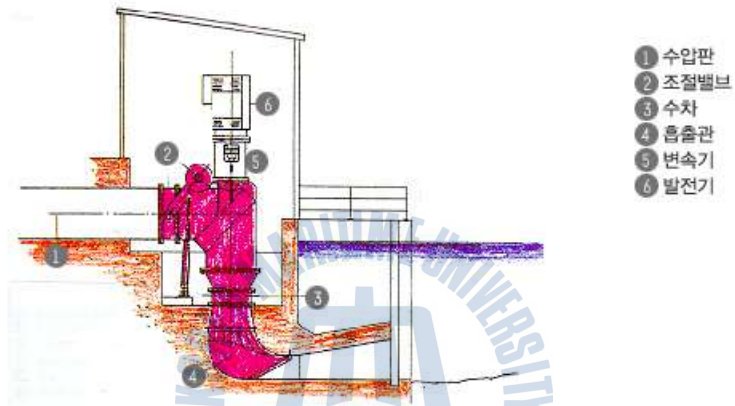
### 3.2.3 소수력<sup>25)</sup>

물은 중력의 영향을 받아 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐른다. 그 흐름을 수로로 끌어들이어 수차발전기를 회전시켜 전기에너지를 발생시키는 것이 수력발전(hydropower generation)이다. 즉 수력발전은 높은 위치에 있는 하천이나 저수지 물의 위치에너지인 낙차를 이용하여 수차에 회전력을 발생시키고, 수차와 직결되어 있는 발전기에 의해서 전기에너지로 변환시키는 것을 말한다. 수차를 회전시키는 물의 유량이 많고, 낙차가 클수록 발전설비의 용량이 커지고 전력량도 그 만큼 많아진다. 이러한 수력발전의 구조와 에너지 흐름은 그림

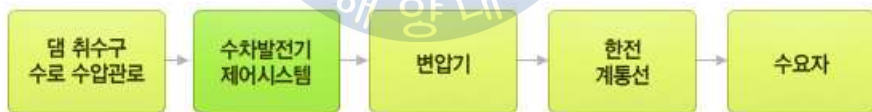
25) 박중용, 김석완 저(2010), 『에너지학 개론』, 동화기술, pp117-121

3.8, 그림 3.9와 같다.

국내에서는 이러한 수력을 신·재생에너지로서 2005년도 이전에는 설비용량 10,000kw 이하의 수력발전을 기준으로 소수력(small hydropower)과 수력(hydropower)으로 구분하였으나, 2005년도에 개정된 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급·시행규칙에서는 설비용량이 삭제되어 ‘물의 유동에너지를 변환시켜 전기를 생산하는 설비’로 일원화 하였다.



[그림 3.8] 수력발전의 구조 (출처: 한국 신·재생에너지협회)



[그림 3.9] 수력발전의 에너지 흐름 (출처: 에너지관리공단)

국내 소수력발전은 '82년 이후 정부의 지원으로 현재까지 40개 지역(시설용량 약 53,408kW)에 설치되었으며, 연간 전력생산량은 약 1억 kWh에 달하고 있다. 특히 소수력발전은 전력 생산 외에 농업용 저수지, 농업용 보, 하수처리장, 정수장, 다목적댐의 용수로 등에도 적용할 수 있는 점을 감안할 때 국내의 개발 잠재량은 풍부하며, 또한 청정자원으로서 개발할 가치가 큰 부존자원으로 평가받고 있다.

소수력 발전의 경우에는 소규모 하천의 물을 인공적으로 유도하여 저낙차 터빈을 이용한 발전방식으로 설비용량, 낙차 및 발전방식에 따라 분류한다.

[표 3.2] 소수력 발전의 분류 (출처: 에너지관리공단)

분류		비고
설비용량	-Micro hydropower -Mini hydropower -Small hydropower	-100kW 미만 -100~1,000kW -1,000~10,000kW
낙차	-저낙차(Low head) -중낙차(Medium head) -고낙차(High head)	-2~20m -20~150m -150m 이상
발전방식	수로식(run-of-river type)	하천경사가 급한 중·상류지역
	댐식(Storage type)	하천경사가 작고 유량이 큰 지점
	터널식(Tunnel type)	하천의 형태가 오메가(Ω)인 지점

소수력의 발전 잠재력은 우리나라의 경우 연평균 강수량이 1,245mm로서 강수량이 풍부하고 전국토의 2/3가 산지로 구성되어 있어 지형에 맞는 치수사업으로 댐이나 저수지를 건설하여 생활용수나 공업용수, 관개용수, 하천유지용수, 수력발전 등으로 이용하고 있으며, 일반하천의 낙차이용, 다목적댐 및 양수발전소의 수위 조절을 위한 낙차이용, 농업용 저수지의 낮차이용, 하수종말처리장의 방류수 이용, 수도관로의 관압이용, 화력발전소의 온배수 이용, 양어장의 순환수 이용, 공장의 냉각수 이용, 방조제 수문 이용 등 각 지역에 산재한 미활용 소수력 자원이 많이 존재하고 있어 앞으로 이를 활용한 에너지원의 개발이 요구되고 있다. 이러한 개발되지 않은 부존자원을 활용하는 경우 소수력의 잠재 생산량이 150만 kW가 되는 것으로 파악되고 있다.

[표 3.3] 우리나라의 소수력 발전 잠재력에 대한 평가

구분	지점수	개발가능용량 (kW)	연간에너지 잠재력(MWh)	비고
농업용 저수지	180	30,064	92,176	
농업용 보	232	46,843	164,137	고무댐 3m 이용 가정
대댐의 이용	20	15,800	55,363	
양식장 이용	129	8,442	66,558	유효낙차 6m 가정
정수장 이용	70	17,641	131,360	유효낙차 10m 가정
하수처리장 이용	59	8,385	62,437	가동률 60% 가정
화력발전소 냉각수 이용	6	24,122	126,785	
합계	691	151,297	698,814	

### 3.2.4 바이오에너지<sup>26)</sup>

바이오에너지(Bio-energy)란 바이오매스(biomass)를 연료로 하여 얻어지는 에너지로 직접연소·메테인발효·알코올발효 등을 통해 액체상, 가스상, 고체상 연료나 전기와 열에너지 형태로 얻어져 이용하는 것이다. 바이오매스란 생태학 용어로 생물량 또는 생체량이라고도 하며 태양에너지를 받은 미생물과 식물이 광합성에 의해 생성되는 식물체·균체와 이를 먹고 살아가는 동물체를 포함하는 생물 유기체를 통틀어 일컫는다. 이러한 바이오매스에서 얻어지는 자원은 곡물과 감자류를 포함한 전분질계의 자원과 초본과 임목, 볏짚, 왕겨와 같은 농수산물을 포함하는 셀룰로오스계의 자원과 사탕수수, 사탕무과 같은 당질계의 자원은 물론 가축의 분뇨, 사체와 미생물의 균체를 포함하는 단백질계의 자원까지를 포함하는 다양한 성상을 지니고, 이들 자원으로부터 파생되는 종이, 음식찌꺼기 등의 유기성폐기물도 포함된다.

바이오에너지의 가장 큰 장점은 풍부한 자원과 큰 파급효과를 기대할 수 있고, 환경 친화적 생산시스템으로 온실가스등의 환경오염을 저감 시킬 수 있으

26) 박종웅, 김석완 저(2010), 『에너지학 개론』, 동화기술, pp106-108



며, 생성에너지의 형태가 다양하다는 점이다. 하지만 자원의 수집과 수송이 불편하고, 다양한 자원에 따른 이용기술의 다양성과 개발이 어려운 점이 있으며, 과도한 이용시에 환경파괴의 가능성을 가지고 있으며, 단위 공정의 대규모의 설비투자가 필요하다는 단점이 있다.



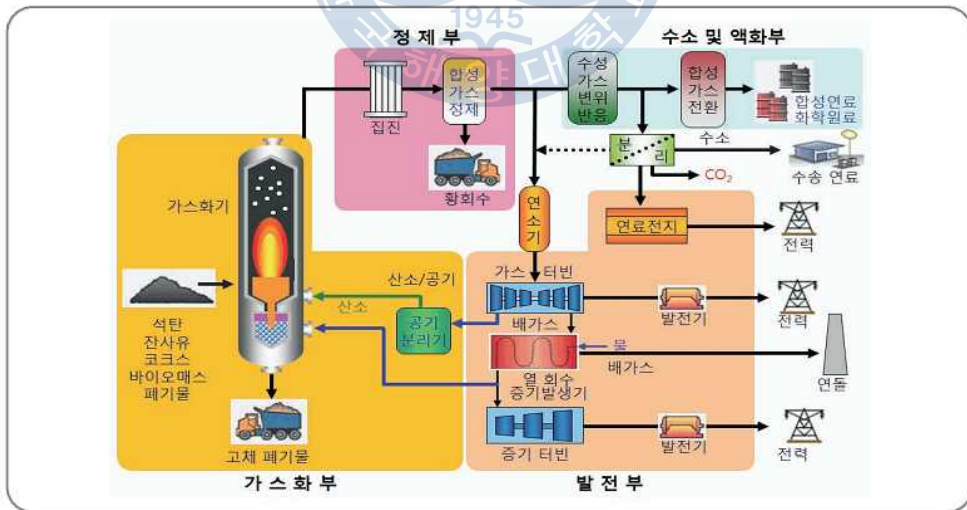
[그림 3.10] 바이오에너지 생산과정(출처: 한국신·재생에너지 협회)

[표 3.4] 바이오에너지 생산기술의 종류

대분류	중분류	내용
바이오 액체연료 생산기술	-연료용 바이오 에탄올 생산기술 -바이오디젤 생산기술 -바이오메스 액화기술(열적전환)	-당질계, 전분질계, 목질계 -바이오디젤 전환 및 엔진적용기술 -바이오메스 액화, 연소, 엔진이용기술
바이오메스 가스화기술	-혐기소화에 의한 메탄가스화 기술(열적전환) -바이오 수소 생산기술	-유기성 폐수의 메탄가스화 기술 및 매립지 가스시용 기술(LFG) -바이오메스 열분해, 가스화, 가스화발전 기술 -생물학적 바이오 수소 생산기술
바이오메스 생산, 가공 기술	-에너지 작물 기술 -생물학적 CO2 고정화 기술 -바이오 고품연료 생산, 이용기술	-에너지 작물 재배, 육종, 수집, 운반, 가공 기술 -바이오메스 재배, 산림녹화, 미세종류 배양기술(왕겨탄, 칩, RDF(폐기물연료) 등)

### 3.2.5. 석탄가스화 복합발전(IGCC)27)

석탄가스화 복합발전( IGCC : Integrated Gasification Combined Cycle) 기술은 그림 3.11에서 보는 것과 같이 석탄을 고온, 고압에서 가스화시켜 일산화탄소 및 수소가 주성분인 가스를 제조, 정제한 후 가스터빈을 구동하고 가스화기 및 가스터빈의 배가스 열로 증기터빈을 구동하는 미래 친환경 발전기술이다. 향후 상당기간은 재생에너지 발전분야의 특성(낮은 에너지 밀도, 낮은 이용률, 비효율적인 송전망과 송전기술)으로 인하여 특별한 일이 없는 한 아무리 탄소비용이 올라간다 하여도 재생에너지의 시장점유율은 20% 이상을 차지하기 어려울 것으로 예측된다. 유엔의 IPCC(기후변화에 관한 정부간 패널) 보고서에서도 21세기 말에 태양력, 풍력 등의 재생에너지가 전체 에너지 중 차지하는 비중은 12% 정도인 반면 청정석탄 에너지는 약 50%정도를 차지할 것으로 예측하고 있다.



[그림 3.11] 석탄가스화 복합발전의 구성도

27) 한국에너지기술평가원, 그린에너지 전략 로드맵 : 녹색성장 실현을 위한 R&D 이정표 : IGCC, 한국에너지기술평가원

CCS(이산화탄소 포집 및 저장) 기술과 결합된 IGCC 발전방식은 청정하고 안정적이며 풍부하고 저렴한 기저부하를 제공함으로써 태양열이나 풍력 같은 재생에너지 발전방식을 보완할 수 있다. 즉, 재생 에너지가 공급하지 못하는 부분에 대한 기저부하로서의 역할뿐만 아니라, 현재 개발 단계에 있는 재생에너지 기술의 발전 속도가 늦어지거나 늘어나는 에너지 수요 및 기후변화 규제 요건을 만족하지 못할 때, 이를 가장 적은 비용으로 해결할 수 있다. 보다 장기적인 관점에서 보면 IGCC 기술의 핵심인 석탄가스화 기술은 지속가능한 수소경제로 진입하기 위한 중간단계의 핵심기술로 수소제조 공정과 CCS 공정을 결합하면 이산화탄소 배출 없이 전력과 대량의 수소를 저렴하게 공급할 수 있다. 실제로 이탈리아의 IGCC 플랜트들은 발전과 수소생산을 동시에 하고 생산된 수소는 발전용, 주거용, 수송용 연료전지 혹은 수소터빈, 정유공장의 공정원료로 사용 가능하다.

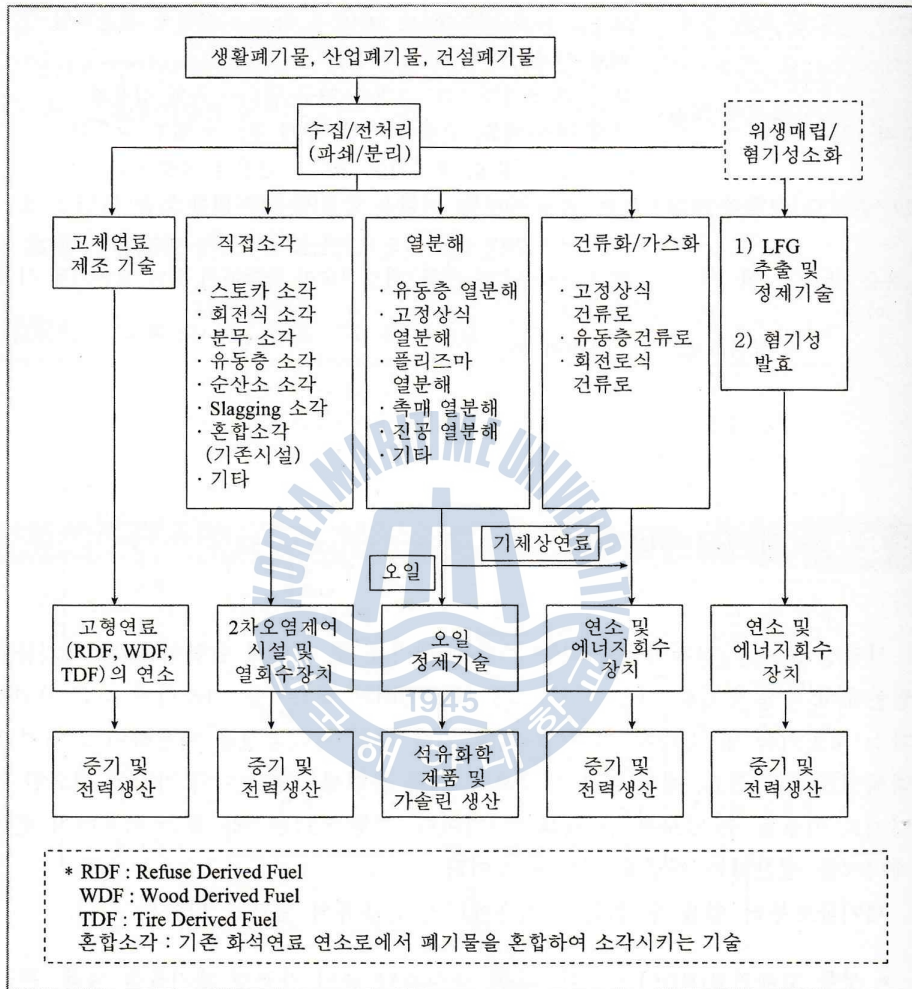
IGCC는 현재 고위발열량과 송전단 기준으로 39 ~ 43%의 높은 발전효율을 가지고 있고, 고성능 GT사용 시 발전효율이 46%까지 가능하다. 탈 황율 99.9%, NOx 25ppm로 환경 친화적이며, 기존 화력발전 대비 15% 이산화탄소 저감효과와 CCS 장착시에는 90%이상 저감이 가능하며, 석탄, 바이오매스, 폐기물 등 다양한 연료를 사용할 수 있다.

또한 IGCC의 근간을 이루는 가스화 기술은 석탄액화(CTL), 수소생산, 합성 천연가스(SNG) 생산, 각종 화학원료 생산 및 석탄가스화 연료전지(IGFC) 기술 등과 연계가 가능한 핵심기술이다.

### 3.2.6 폐기물 에너지

사업장 또는 가정에서 발생하는 가연성 폐기물 중 에너지 함량이 높은 폐기물을 열분해에 의한 오일화 기술, 성형고체연료의 제조기술, 가스화에 의한 가연성 가스 제조기술 및 소각에 의한 열회수 기술등의 가공·처리 방법을 통해

고체 연료, 액체 연료, 가스 연료, 폐열 등을 생산하고, 이를 산업 생산활동에 필요한 에너지로 이용될 수 있도록 한 재생에너지이다.<sup>28)</sup> 폐기물의 에너지화 과정은 그림 3.12와 같다.



[그림 3.12] 폐기물의 에너지화 체계도(출처: 에너지학개론)

150여 년 전부터 폐기물로부터 직접에너지를 회수하는 방법인 재래식 소각 시스템이 현재 가장 널리 이용되고 있지만 다이옥신의 배출우려, 낮은 열 회수율, 시설의 초대형화 소각재의 2차 처리 요구 등의 단점이나 문제가 발생되

28) 한국 신·재생에너지 협회 <http://www.knrea.or.kr/energy/energy09.asp>

었다. 그러나 현재에는 이들 문제를 해결할 수 있는 대기오염제어 장치가 설치되고 에너지 회수율을 높인 열 회수 이용장치가 장착된 소각시스템이 보급되고 있으며, 특히 소각기술을 대체할 수 있는 열분해/가스화 용융시스템의 개발 보급이 2000년 이후부터 증가하고 있다.<sup>29)</sup>

결과적으로 폐기물의 에너지화는 비교적 단기간 내에 상용화가 가능하고, 다른 신·재생에너지에 비하여 경제성이 매우 높고 조기에 보급이 가능하다는 장점을 갖고 있으면서, 폐기물의 청정 처리 및 자원으로의 재활용 효과가 크기 때문에 폐기물의 적극적인 대체에너지자원으로의 활용이 이루어지고 있다.

이러한 폐기물의 신·재생에너지의 종류는 표 3.5에서 확인할 수 있다.

[표 3.5] 폐기물 신·재생에너지의 종류(출처: 한국 신·재생에너지 협회)

성형고체연료	- 종이, 나무, 플라스틱 등의 가연성 고체폐기물을 파쇄, 분리, 건조, 성형 등의 공정을 거쳐 제조된 고체연료
폐유 정제유	자동차 폐윤활유 등의 폐유를 이온정제법, 열분해 정제법, 감압증류법 등의 공정으로 정제하여 생산된 재생유
플라스틱 열분해 연료유	- 플라스틱, 합성수지, 고무, 타이어 등의 고분자 폐기물을 열분해하여 생산되는 청정 연료유
폐기물 소각열	- 가연성 폐기물 소각열 회수에 의한 스팀생산 및 발전, 시멘트킬른 및 철광석소성로 등의 열원으로의 이용 등

### 3.2.7 열병합발전 시스템<sup>30)</sup>

열병합발전(CHP, Combined Heat and Power generation) 시스템은 하나의 에너지원으로부터 전기와 열을 동시에 발생시키는 종합에너지시스템으로 발전 시 부수적으로 발생하는 배열을 회수하여 사용함으로써 에너지의 종합이용 효

29) 박종웅, 김석완 저(2010), 『에너지학 개론』, 동화기술, pp134~136

30) 구자훈, 가스엔진 열병합발전의 계절별 열전비 조정, 한국플랜트학회, THE PLANT JOURNAL, Vol.7 No.1 March 2011, pp 4~12

율을 높이는 것으로 단독 생산 시 대비 30 ~ 40%의 에너지 절약효과를 얻을 수 있는 고효율 에너지 이용방식이다. 그러나 열과 전기의 수요패턴의 불일치에 따른 손실 발생가능성이 있으므로 열병합 발전시스템 적용 시에는 충분한 검토를 요한다.

## 가. 열병합발전의 분류

집단에너지사업은 열병합발전시스템, 보일러 및 자원회수시설 등 1개소 이상의 집중된 에너지 생산시설에서 생산된 열 또는 열과 전기를 다수 사용자에게 일괄 공급하는 사업으로 지역냉난방사업, 구역형 집단에너지사업 그리고 사업단지 집단에너지사업으로 구분할 수 있으며, 그 외에 자가 소비용 열병합이나 또는 아파트나 업무용 빌딩등 특정 사용처에 적용하는 소형열병합이 있다. 지역냉난방사업은 집중된 열생산시설에서 일정지역 내에 있는 주택과 상가 등의 건물을 대상으로 냉난방용 및 급탕용 열 또는 열과 전기를 공급하는 방식이다. 구역형 집단에너지사업(CES, Community Energy System)은 제2차 집단에너지기본계획에서 도입되었으며 특정한 공급대상 지역에 별도의 단독 열원을 설치하여 열과 전기를 생산하는 집단에너지사업으로 제3차 집단에너지기본계획에서는 기존 지역냉난방사업에 통합되어 구별이 없어졌고 전기사업법에서는 구역전기사업으로 규정되어 발전, 배전 및 구역 내 전기직판사업이 가능하다. 산업단지 입주업체를 대상으로 공정용 열 또는 열과 전기를 공급하는 방식이다.

열병합발전시스템은 원동기를 기준으로 엔진발전시스템과 가스터빈발전시스템으로 구분할 수 있다. 원동기의 특성은 표 3.6<sup>31)</sup>에 나타내었다.

엔진발전시스템에는 디젤엔진과 가스엔진발전시스템이 있는데 디젤엔진은 비상용 발전기에 주로 사용된다. 집단에너지시스템에서는 주로 가스엔진과 가

31) 이영재, 「소형가스 열병합발전의 국내외 시장 및 기술동향-특집원고」, 한국설비기술협회-설비/공조·냉동·위생 제22권 제2호 통권245호 (2005. 2), pp.34-41

스터빈을 이용한 발전시스템이 사용되며, 표 3.6에 디젤엔진, 가스엔진, 가스터빈의 적용규모, 발전효율 및 시동시간 등의 특성을 나타내었다. 가스엔진발전시스템은 시동시간이 15초 이내로 짧고 부하조정이 용이한 특성을 가지고 있지만 NO<sub>x</sub> 배출량이 가스터빈보다 다소 많다. 가스터빈 발전시스템은 시동시간이 가스엔진발전시스템보다 길고 외기온도에 따라 출력에 영향을 받으며 부하조정이 다소 어렵지만 NO<sub>x</sub> 배출량이 적고 중규모 이상의 발전규모에 사용될 수 있다. 또한, 발전효율은 가스엔진발전시스템이 28 ~ 42%로 21 ~ 40%보다 높지만 종합효율은 가스터빈발전시스템이 70 ~ 80%로 65 ~ 80%로 조금 더 높다.

[표 3.6] 열병합발전용 원동기의 특성 비교

구 분		디젤 엔진	가스 엔진	가스 터빈
적용규모(kW)		15~10,000	1~5,000	30~100,000
발전효율(%)		36 ~ 43	28 ~ 42	21 ~ 40
종합효율(%)		60 ~ 75	65 ~ 80	70 ~ 80
연 료		등유, 경유, A중유	가스	등유, 경유, A중유, 가스
시동시간		10초 이내(비상용)	15초 이내	40초 이내(비상용)
배열온도(℃)		배가스 400 ~ 500 냉각수 70 ~ 80	배가스 350 ~ 700 냉각수 80 ~ 90	배가스 450 ~ 600
가 격	발전기 세트 (USD/kW)	125 ~ 300	250 ~ 600	300~600 (일반) 500~700 (마이크로)
	터키 기준 (USD/kW)	350 ~ 500	600 ~ 1000	650~900 (일반) 1000~1300 (마이크로)
	열회수기 (USD/kW)	125 ~ 300	250 ~ 600	300~600 (일반) 500~700 (마이크로)
유지보수비 (USD/kW)		5 ~ 10	7 ~ 15	3 ~ 8 (일반) 5 ~ 10 (마이크로)
CO <sub>2</sub> 배출 (kg/MWh)		650	500 ~ 620	580 ~ 680 (일반) 720 (마이크로)
NO <sub>x</sub> 배출 (kg/MWh)		10	0.2 ~ 10	0.3 ~ 0.5 (일반) 0.1 (마이크로)
소음 (dB)		110 (저주파)	100 (저주파)	110(고주파)

## 나. 열병합발전의 구성

열병합발전시스템은 열병합발전설비와 보일러 및 축열조(accumulator) 등의 지역난방계통설비로 구성되며 구역형 집단에너지사업의 경우 배전망시설을 보유한다. 열과 전기를 생산하는 열병합 발전설비는 가스엔진과 가스터빈 등의 원동기 및 발전기로 구성되어 있으며 기저부하를 담당한다. 보일러는 그 기능에 따라 첨두부하보일러(PLB, Peak Load Boiler) 또는 열전용보일러(HOB, Heat Only Boiler) 등의 용어로 지칭된다. 연소열로 지역난방수를 직접 가열하여 지역난방열을 공급하는 열원설비로 보일러 본체, 절단기, 연료공급 및 연소설비, 배기가스 배출장치 그리고 전기 및 제어설비 등으로 이루어진다. 축열조는 열부하가 낮거나 전력판매가격이 높은 시간에 생산된 잉여열을 저장하였다가 열부하가 높은 시간에 저장열을 방출함으로써 일일 첨두부하를 담당하는 열저장 탱크로서 열원공급설비의 부하를 일부 경감하고 배관망에서의 온수의 비등 방지를 위한 일정한 압력을 유지하며 온도 변화에 따른 난방수의 체적변화를 흡수하는 역할을 한다. 지역난방 설비로는 지역난방펌프, 축열조펌프 그리고 열배관망이 있으며 발전소에서 생산된 열을 수요처로 이송하여 공급한다. 그 밖에 구역형 집단에너지사업의 경우에는 공급구역 내 전기를 공급하기 위한 배전망 시설을 갖춘다.

## 다. 열병합발전 조건

열병합발전소의 가동을 위한 발전조건과 관련하여 공급구역의 열 및 전기 수요와 설비의 용량과 같이 발전량을 결정하는 요인들이 있으며 집단에너지사업의 제도적 측면의 제약 조건들도 실제 운전에 영향을 미치게 된다. 열



및 전기 수요는 절기별로 부하패턴이 다르며 열병합발전의 경우 주로 열수요에 추종하여 발전량을 변화시키게 된다. 발전기와 보일러 설비의 출력상한 및 하한값, 연료조건, 축열조의 최대용량 그리고 시간당 축방열 능력에 따라 공급능력이 결정된다. 설비별 부하 비중은 공급능력에 따라 정해지며 원가계산을 통해 설비의 가동시간과 생산량 계획이 수립된다.

## 라. 소형열병합발전<sup>32)</sup>

현재 국내 소형 열병합발전기의 발전량은 국내 총 발전용량의 0.2%를 차지하고 있으며, 정부는 에너지 절약효과가 뛰어난 이 소형 열병합발전시설을 오는 2013년까지 총 발전용량의 3.5% 수준인 2백70만kW까지 보급하겠다고 밝힌 바 있다.

이는 원자력발전소 3기에 해당하는 용량으로 원자력발전소의 건설로 소요되는 비용문제와 지역이기주의에 의해 야기될 수 있는 민원 및 원자력폐기물처리시설 문제 해소 등 여러가지 국가의 경제적 이익을 위한 계획이기도 하다.

소형 열병합발전소를 국내 총 발전용량의 3.5% 수준까지 보급시 연간 약 8천억원의 에너지비용 절감이 예상되며 이때까지 투자되는 총 비용은 약 8조7천억원이 소요될 것으로 전망하고 있다.

EU의 경우 수십 년 전부터 이러한 시설을 도입하여 사용해 온 결과 지난 2001년도 기준으로 총 발전용량의 약 9%에 해당하는 분량을 소형 열병합발전 같은 분산형 전원장치로부터 얻고 있으며, 2010년까지 총 발전용량의 18%를 분산형 전원에서 확보할 계획이다.

미국의 소형 열병합발전량은 지난 2000년 기준으로 총 발전용량의 약 7%를 차지하고 있으며, 오는 2010년까지 총 발전용량의 20%를 소형 가스열병합시

32) 아파트관리신문, 소형 열병합 발전 시스템의 도입과 운영 ⑥ - 열병합발전, 국가 경제적 이익 위해서도 필요, 블로그 - 나의 인생도전 그리고 꿈의실현  
(<http://blog.naver.com/muckangkim?Redirect=Log&logNo=100030354322>)

설로부터 얻을 계획이다.

일본도 현재 2백44만kW 규모의 소형 가스열병합발전이 보급되어 있으며 오는 2010년까지 4백64만kW까지 보급해 나갈 계획이다.

전 세계적으로 소형 가스열병합발전시설이 확대되고 있는 이유는 에너지 절감뿐만 아니라 여러 가지 장점이 많기 때문이다.

첫째는 해마다 늘어나는 자연재해로 인한 전력전송시설의 파손으로 정전사태가 일어나는 것을 방지하기 위해 소규모 단위로 분산형 전원장치를 설치, 그 피해를 최소화하고자 함이다.

둘째는 늘어나는 전력수요를 충족하기 위한 발전소 건설을 계획할 때 지역이기주의로 인한 부지확보의 애로사항 해소와 발전소 건설비용의 절약 효과에 있다.

셋째는 하절기에 남아도는 가스를 이용해 소형 가스열병합발전기를 가동해 전기를 공급하면 여름철 전력 부하를 충당할 수 있어서 전기와 가스의 계절별 수요관리를 개선할 수 있기 때문이다.

전력 수요가 많은 하절기의 피크치에 맞추어 발전소를 건설하다 보면 동절기에는 발전소 시설이 남아돌게 되므로 무조건 여름철 전력수요에 맞추어 발전소를 건설할 수 없다. 반면에 천연가스는 겨울철에 그 수요가 많고 여름철에는 남아돌게 되는데 천연가스는 연간 수입량이 일정해 수요에 상관없이 연중 일정한 양을 수입해야 하고 여름철에는 그 저장시설의 확충과 저장비용의 증가로 어려움을 겪고 있는 실정이다.

넷째는 기후변화협약 등 국제적 환경규제에 대응할 수 있는 방안이기 때문이다. CO<sub>2</sub> 배출권거래제 등 국제환경규제가 경제문제로까지 대두되고 있는 가운데 CO<sub>2</sub>의 배출 감소효과가 기존 방식에 비해 30 ~ 40% 가량인 청정연료 LNG를 소형 가스열병합발전의 주 연료로 사용함으로써 에너지이용효율 향상은 물론 배기가스 배출 감소효과로 국제환경기준을 충족시킬 수 있다.

### 3.2.8 지역난방(지열, 하천)

#### 가. 지열에너지<sup>33)</sup>

지열이란 지구내부에서 표면을 거쳐 외부로 나오는 열을 말한다. 지구는 지구대기권으로 들어오는 전체 태양 복사에너지 중 약 50%가 지표면을 통해 흡수된다.

지열에너지를 이용하면 무공해 청정자원으로 공해물질 배출이 없다는 장점이 있어, 화석연료(석탄, 석유 등)를 대신하여 향후 자원고갈에 대응이 가능하다. 또한 가동률이 높으며 잉여열을 지역에너지(난방, 냉방)로 이용할 수 있다. 반면 지열의 온도가 지경에 따라 다르므로 지역이 한정되어 있고, 땅의 침전이 있을 수 있으며 지중상황에 대한 파악이 어렵다는 단점이 있다.

지열에너지는 지열온도에 따라 이용 분야가 다양한데 중저온성(25 ~ 100℃)인 경우는 직접 이용 가능한 온천 등의 관광자원, 온실, 식수원 또는 난방 열원 등으로 이용되고, 100℃ 이상인 고온성인 경우는 지역난방 및 전력생산으로 간접 이용될 수 있다.

토양에 저장되는 에너지는 지표면으로부터 깊이에 따라 천부지열과 심부지열로 구분된다. 천부지열은 지표로부터 150 ~ 200m까지에 저장된 지열로 땅속의 온도는 지형 및 지역에 따라 다르지만 약 10 ~ 20℃정도로 일년내내 유지되고, 심부지열은 지하 200m 이하부터 존재하는 지열에너지를 말하며, 40 ~ 150℃ 사이의 온도를 유지하고 있다.

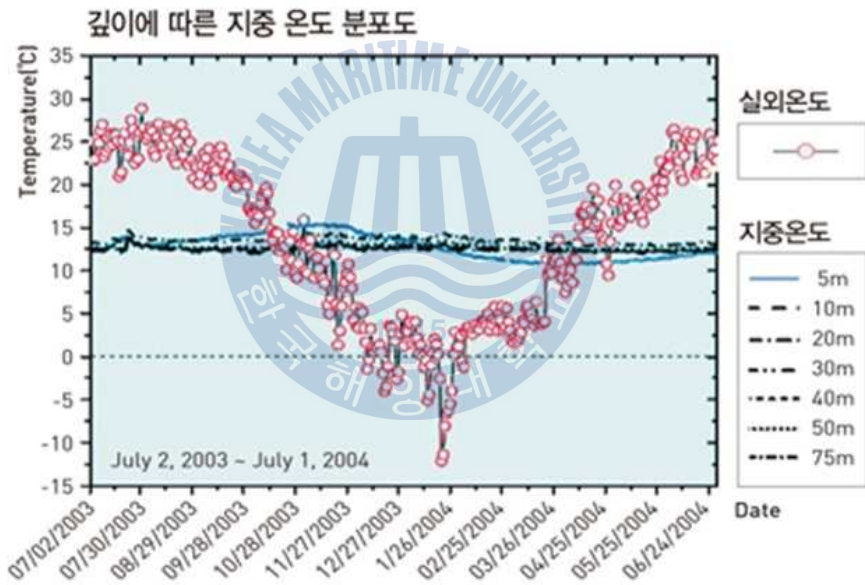
일반적으로 땅의 온도는 심도가 100m 증가할 때 평균 2 ~ 3℃씩 증가한다.

---

33)이훈, 무공해 청정자원 지열에너지 해외현황(독일 중심으로), 한국지역난방협회, 집단에너지 1, pp42~47

지표면의 평균온도를 15℃라 하면 지하 2km에서의 온도는 대략 65℃, 지하 3km일 경우는 90℃에 이른다. 그러나 이러한 것은 평균적인 것이어서 예를 들면 오스트리아의 Altheim 지열플랜트의 경우 지하 2,300m 깊이에서 지열온도가 106℃까지 이르지만 비슷한 깊이의 독일 Erding 지열플랜트는 지열수 온도가 65℃정도이므로 이러한 지열온도는 지역 및 지형에 따라 많은 차이가 있다.

국내의 토양은 암석이 주를 이루어 지열 이용에 좋은 조건을 가지고 있다. 특히 지표면으로부터 지중 10m 이하부터는 연중 일정한 온도 (15±5℃)를 유지하여 열원 활용에 효율적이다.



[그림 3.13] 연중 외기 온도 및 지중 온도 변화(2003~2004)  
(출처: [www.segigb.com](http://www.segigb.com) )

#### 나. 지열히트펌프<sup>34)</sup>

34) 지열에너지, 지열 히트펌프 시스템, (<http://blog.daum.net/hankook0510/72>)

열역학 제2법칙에 의해 열은 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하는데 가역적으로 낮은 곳에서 높은 곳으로 끌어올리도록 고안된 기계장치를 히트펌프라고 한다. 급수펌프가 물을 낮은 곳에서 높은 곳으로 끌어 올리는 것처럼 열을 저온에서 고온으로 끌어올린다 하여 히트펌프라고 부른다.

히트펌프는 폐쇄회로 내에서 냉매를 압축, 응축, 증발시킨다는 점에서 일반 냉동기나 에어컨, 냉장고와 동일한 작용 메카니즘을 갖지만 이들 기기가 냉매의 증발과정에서 발생하는 냉열만을 이용하는데 비해 히트펌프는 냉열뿐만 아니라 응축과정에서의 온열도 이용한다는 점만 다르다.

기존의 히트펌프 냉난방기는 증발과정에서 외부공기로부터 열을 흡수하거나 외부로 배출하여 냉열 또는 온열을 생산하는 방식인데 난방중에는 외기의 온도가 낮고 반대로 냉방중에는 외기온도가 너무 높아 열의 흡수와 배출에 많은 에너지가 소비되었으나 지열히트펌프는 외기온도에 의한 영향을 받지 않는 지중의 열을 이용하므로 공기열원식 히트펌프보다 2배 이상의 높은 효율을 가진다. 지열 히트펌프 시스템은 열원에 따라 토양 열원 히트펌프, 지하수 열원 히트펌프 시스템 등으로 구분된다.<sup>35)</sup>

### 1) 토양 열원 히트펌프 시스템<sup>36)</sup>

토양 열원 히트펌프 시스템은 지중 열교환기의 형상에 따라 수직형과 수평형으로 구분된다.

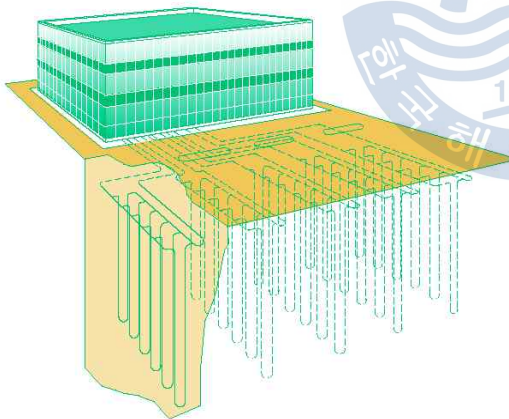
수직형 토양 열원 히트펌프의 지중 열교환기는 토양 속에 수직으로 매설된다. 타 시스템에 비해 이 시스템의 지중 열교환기는 매설에 필요한 부지를 적게 필요로 한다. 또한 지중 열교환기를 냉, 난방 용량에 따라 다양한 깊이로 매설할 수 있다. 전체 토양 열원 히트펌프시스템 중 배관 및 부동액 이송동력

35) 산업자원부, 시설원예용 수평형 지열히트펌프 시스템 실증연구, 2007.12.29

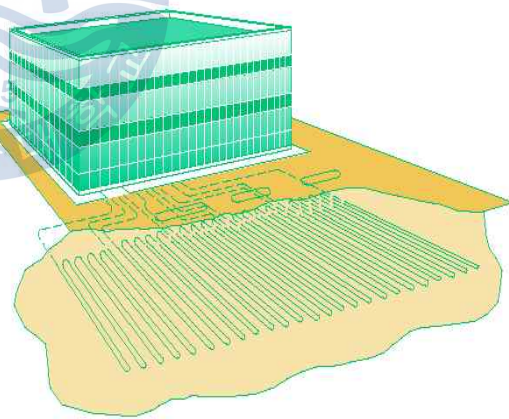
36) 지열전문위원회, 신·재생에너지 지열분야 - 기술 및 시장 동향분석 보고서, 2007.10

이 적게 소요되기 때문에 가장 효율이 높은 시스템이다. 일반적으로 수직형 지중 열교환기는 직경 100mm~150mm, 깊이 100m~300m의 보어홀을 지면에서 천공한 후 내경 20mm~40mm의 고밀도 폴리에틸렌 파이프를 U자 관으로 삽입하고 이 파이프와 보어홀 사이의 빈 공간을 적절한 재료로 채움으로써 완성된다.

지중 열교환기 파이프가 지면에 수평으로 매설되는 수평형 토양 열원 히트펌프시스템의 시공비용은 수직형에 비해 저렴하다. 학교 또는 공공기관 등에서 운동장이나 주차장과 같이 지중 열교환기 파이프를 매설할 수 있는 부지가 충분할 경우 경제적인 시스템이다. 반면에 지중 열교환기 파이프가 지면에서 0.5m~1.8m의 깊이로 굴착된 트렌치에 매설되기 때문에 효율은 수직형 지열원 히트펌프 시스템의 효율보다 낮다. 이는 수평형 지중 열교환기 파이프가 매설되는 위치에서 지중온도 및 지중 열 물성치 등은 계절 및 연간 강우 등에 영향을 받기 때문이다.



[그림 3.14] 수직형 지중 열교환기

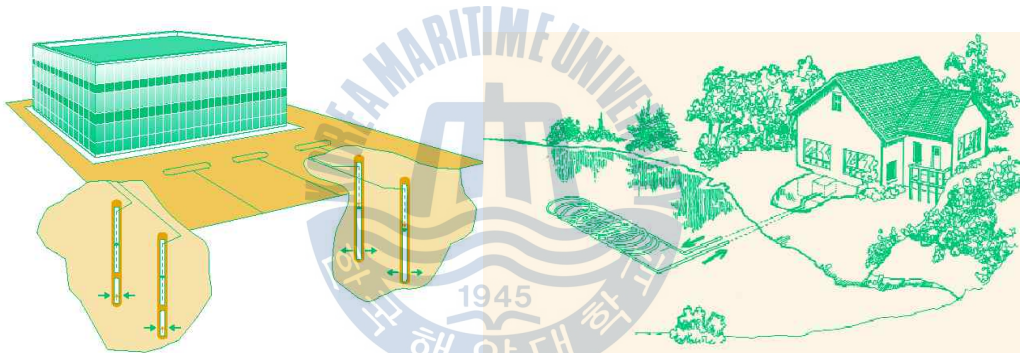


[그림 3.15] 수평형 지중 열교환기

## 2) 지하수 열원 히트펌프 시스템(Ground Water Heat Pump System)

지하수 이용 히트펌프 시스템은 지열원 히트펌프 시스템 중 가장 오래 전부터 사용되어진 시스템 중 하나이다. 그러나 이 시스템은 외형적으로는 단순해 보이나 효율적이고 신뢰성 있는 시스템 구축을 위해 지하수정의 설계, 지하수 유량, 지하수 처리 등에 대한 심도 있는 검토가 필요하다.

지하수 이용 히트펌프 시스템은 양질의 지하수가 풍부할 때 이를 이용한 시스템이다. 지하수 이용 히트펌프 시스템은 효율이 우수하지만 물속의 슬러리나 오염물질로 인해 배관 및 열교환기에 스케일을 야기할 수 있다. 이 스케일은 주기적인 세척에 의해 제거할 수 있으나 유지 보수비용을 필요로 한다. 따라서 지하수의 수질과 수량이 우수하다고 판명되었을 때 이 시스템을 적용할 수 있다.



[그림 3.16] 지하수열원 열펌프 시스템 [그림 3.17] 지표수열원 열펌프 시스템

### 3) 지표수 열원 히트펌프 시스템(Surface Water Heat Pump)

지표수 열원 히트펌프 시스템은 자연 또는 인공연못 그리고 호수 등을 열원 또는 히트싱크로 활용한다. 지중 열교환기 순환유체는 펌프에 의해 물속에 잠긴 지중 열교환기와 열펌프의 열교환기 내를 순환한다. 일반적으로 밀폐형 지표수 열원 히트펌프 시스템의 지중 열교환기는 물속에서 부력에 의해 뜰 수 있기 때문에 설치에 주의를 기울여야 한다. 열원이나 히트싱크로 사용되는 연

못 또는 호수의 크기가 작은 경우, 외기온도의 변화에 영향을 받아 효율이 다소 감소할 수 있다.

### 3.2.9 연료전지<sup>37)</sup>

연료전지란 연료의 화학에너지를 전기화학반응에 의해 전기에너지로 직접 변환하는 발전장치로서 연료전지 스택, 연료변환장치, BOP 및 제어기술을 포함하는 통합기술이다.<sup>38)</sup>



[그림 3.18] 연료전지의 발전방식

또한, 연료전지는 수소와 산소의 화학반응으로 생기는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술로 생성물이 전기와 순수(純水)인 발전효율 30 ~ 40%, 열효율 40% 이상으로 총 70 ~ 80%의 효율을 갖는 신기술이다.

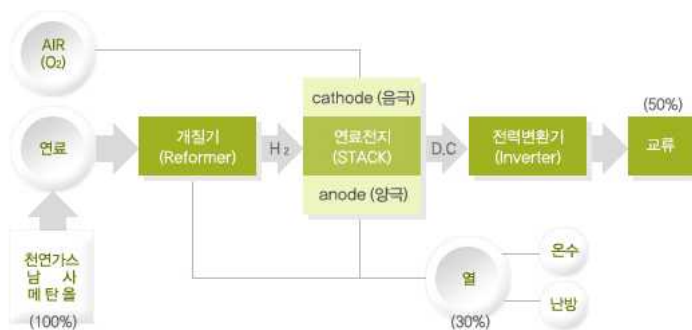
연료전지의 발전원리는 연료중 수소와 공기 중 산소가 전기 화학 반응에 의해 직접 발전하는 것으로 먼저 연료극에 공급된 수소는 수소이온과 전자로 분리되고 수소이온은 전해질층을 통해 공기극으로 이동, 전자는 외부회로를 통

37) 에너지관리공단 신·재생에너지센터 (<http://www.energy.or.kr>)

38) 원장목 외, 그린에너지 전략로드맵, 녹색성장 실현을 위한 R&D 이정표, 한국에너지기술평가원,



해 공기극으로 이동하여 공기극 쪽에서 산소이온과 수소이온이 만나 반응생성물(물)을 생성한다. 최종적인 반응은 수소와 산소가 결합하여 전기, 물 및 열을 생성하여 열병합 발전에도 사용된다.



[그림 3.19] 연료전지 발전시스템 구성도(출처: 에너지관리공단)

그림 3.19는 연료전지의 발전시스템의 구성으로 개질기(Reformer)는 화석연료(천연가스, 메탄올, 석유 등)로부터 수소를 발생시키는 장치이고, 스택(Stack)은 원하는 전기출력을 얻기 위해 단위전지를 수십장, 수백장 직렬로 쌓아 올린 본체이며, 전력변환기(Inverter)는 연료전지에서 나오는 직류전기(DC)를 우리가 사용하는 교류(AC)로 변환시키는 장치이다. 주변보조기기(BOP: Balance of Plant)는 연료, 공기, 열회수 등을 위한 펌프류, Blower, 센서 등을 말하며, 연료전지에 특성에 맞는 기술이 미비한 실정이다.

### 3.2.10 부생가스

부생가스는 석유화학산업단지 등에서 산업부산물로 발생하는 것으로 메탄가스 등 종류가 다양하다. 보통 자가발전 및 자체공장 연료로 재활용되고 있는데 잉여 부생가스를 산업용 연료로 전환하는 사업모델이 증가할 것으로 예상된다.<sup>39)</sup>

부생가스 이용의 중요한 이유는 산업공정에서 발생하는 폐가스(waste gas)는 매우 많은 양의 일산화탄소, 이산화탄소, 수소, 황, 질소 산화물들을 포함하고 있다. 이들 중 일산화탄소, 수소등은 유용한 에너지원임에도 그냥 버려지고 있어 경제적인 손실이 될 뿐아니라 대기 환경에도 악영향을 미치고 있다. 특히 제철소에서 발생하는 COG(코오크스로 가스), BFG(고로가스), LDG(전로가스), carbon black 제조시 발생하는 폐가스등은 일산화탄소와 이산화탄소를 다량 함유하는데 이렇게 발생하는 폐가스의 양은 포항, 광양제철소에서만 1년에  $3 \times 10^{10} \text{m}^3$ 에 이른다.

### 가. 부생가스 배출량<sup>40)</sup>

[표 3.7] 포항, 광양제철소의 부생가스 배출량(1991년)

구분	COGK (백만 Nm <sup>3</sup> /년)	BFG (백만 Nm <sup>3</sup> /년)	LDG (백만 Nm <sup>3</sup> /년)	열량계 (조kcal/년)
포항제철소	2,107	14,534	712	21.6
광양제철소	1,183	9,763	497	13.5
계	3,290	24,297	1,209	35.1

이들 중 BFG와 CDG 경우에는 폐가스중 CO의 구성 비율이 20%, 70%로서 매우 높은 편이다. 또한 Carbon black 제조시 발생하는 폐가스는 13% 가량의 CO를 포함하고 있다.

이들 국가기간 산업인 제철소의 부생가스 경우 재활용 실적이 부진하여 극히 일부만 회수되고 나머지는 모두 폐기되고 있는 실정이다. 특히 제철소 부생가스 중 BFG나 LDG중 20 ~ 70%를 차지하는 일산화탄소는 에너지원으로 활용될 수 있는 귀중한 자원임에도 불구하고 회수나 재활용이 거의 되지 않고

39) 부생가스 도시가스 전환사업 '관심 집중', 투데이에너지, 2007년04월12일

40) 산업자원부, 산업체 부생가스로부터 유용한 에너지원의 생물학적 생산기술 개발, 2001

버려지는 실정이다

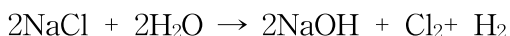
## 나. 부생가스 분포<sup>41)</sup>

현재 수소의 이용은 에너지원보다는 화학제품의 원료 및 화학공장의 공정가스로 널리 사용되고 있다. 국내 석유화학 공장에서는 Naphtha cracking을 이용하여 수소를 제조하고 있으며 울산, 여천, 대산 등의 대규모 석유화학 단지에서 상당량이 생산되고 있다. 이러한 석유화학 단지의 생산 수소는 자체 공정 이용을 위한 것이므로, 공급량이 수요량에 맞추어져 있으므로 부생가스로 구분하기는 어렵다. 부생 가스로서 수소가 대량으로 발생하는 공장으로는 가성소다 업체, 스티렌모노머 공장이며 제철소의 경우 COG(Coke oven Gas)로 불리는 수소를 포함한 가스가 대량 생산 된다.

## 다. 수소

### 1) 가성 소다 공업

식염 전해법을 이용하는 가성소다를 제조하면 양극에서는 염소가스가 발생하고 음극에서는 가성소다와 수소가스가 동시에 발생한다.



위의 반응식에 의하면 가성소다 1톤 생산 시 수소 280m<sup>3</sup>이 발생한다. 수소는 수분 외에 불순물이 거의 없고 순도가 99.9% 이상이므로 압축 수소로 시판 가능하다. 국내 가성소다 생산업체의 생산량은 백광산업 10만톤, 동양화학 4.5만톤, 삼성정밀화학 16만톤, 한화종합화학 62만톤, LG화학 18만톤 정도이다.

41) 산업자원부, 파워파크(Power park) 조성을 위한 기획연구사업, 2005

국내 가성소다 생산량은 2000년 기준 1,135천톤 규모 이므로 연간 2.8만톤 정도의 부생수소가 발생하는 것으로 계산 된다. 현재 발생수소의 대부분은 석유 화학공장이나 합성염산 제조공정에 재투입 되고 있으며 상당량은 보일러 열원으로 이용되고 있다.

## 2) 스티렌모노머제조(styrene monomer)

스티렌모노머는 플라스틱의 원료로서 90% 이상이 에틸벤젠의 탈수소화로 생산된다. 해당 반응은 흡열반응으로 부산물로 수소가 발생한다. 반응식은 다음과 같다



2000년 기준 국내 스티렌모노머 생산량은 2,466천톤 정도이고 SM 1톤당 19kg의 수소가 발생한다면 3.8만톤의 수소가 발생하는 것으로 계산된다.

## 라. COG

가성소다 공정, 스타이렌모노머 공정 외에 대량의 부생수소가 발생하는 곳은 제철소의 COG(Coke Oven Gas) 가스이다. 이들 부생가스 및 기타 부생가스 발생원과 생성 수소의 농도를 표 3.8에 정리하였다. 수소농도가 50% 이상인 경우가 대부분이며 PSA(pressure swing adsorption) 등의 공정을 이용하여 고순도 수소를 얻을 수 있다.

[표 3.8] 부생수소의 발생원과 생성 가스 내 수소 농도

Feed source	H2 %
Steam reforming	64-96
Ethylene off-gas	35-98
Catalytic reformer off-gas	75-90
chlorine off-gas	98
Dissociated ammonia	75
H <sub>2</sub> CO cold box	94-99.5
EB-styrene off-gas	80-85
Methanol loop purge	68-84
Butadiene off-gas	79
Ammonia loop purge	60
Toluene HDA H <sub>2</sub> Purge	57
Cyclohexane H <sub>2</sub> purge	42
LPG dehydrogenation	58

## 바. 메탄

에너지원으로 사용되는 천연가스외의 메탄 발생은 주로 농축산 산업과 폐기물 매립, 하폐수 처리과정에서 발생한다. 이러한 메탄은 대기 중에 방출될 경우 지구온난화를 야기하며 온실가스 효과는 CO<sub>2</sub> 의 20배에 해당하는 것으로 알려져 있다. 국내 메탄의 발생량은 농경지 감소 및 폐기물 감축대책 추진 등으로 1990년 이후 감소추세에 있다. 환경부 보고서에 의하면 배출 부분별 온실가스 배출비중 전망은 다음 표 3.9와 같다. 이산화탄소 배출비중은 1990년 77%에서 2000년 86.6%로 증가하였고 메탄은 농경지 감소 및 폐기물 감축대책 추진 등으로 1990년 20.8%에서 2000년 6.8%로 크게 감소하였다.

다른 부생수소와 달리 메탄은 개질 공정 등을 이용한 수소 전환 공정이 필요한 특징이 있다. 또한 발생원이 분산되어 있어 대규모 처리 공정을 도입하기에 어렵고 발생량이 일정하지 않으므로 분산 처리, 이용 시설이 필요하다.

[표 3.9] 온실가스 종류별 배출현황(단위: 백만 TC)

온실가스	1990	1995	2000	1990~2000연평균 증가율(%)
CO2	63.9	103.6	116.8	6.2
CH4	17.3	10.9	9.2	-6.1
N2O	1.8	2.6	3.7	7.4
HFC	N.A.	0.7	1.4	-
PFC	N.A.	N.A.	0.6	-
SF6	N.A.	1.7	3.2	-



### 3.3 에너지 통합 운영 알고리즘 제안

도시차원의 에너지 통합 운영시스템은 신·재생에너지를 이용한 에너지 플랜트를 도시 내에 배치하고 에너지의 정확한 수요예측과 에너지 사용량을 사용하여 실시간 모니터링을 통해 에너지의 과공급 또는 공급미달방지 등 에너지 공급의 효율을 높임으로써 도시의 에너지 사용량과 탄소발생량을 저감하고자 하는 시스템이다. 이러한 에너지 통합 운영시스템의 알고리즘을 제안하고자 한다.

알고리즘에서 사용되는 열전비의 정의는 다음과 같다.

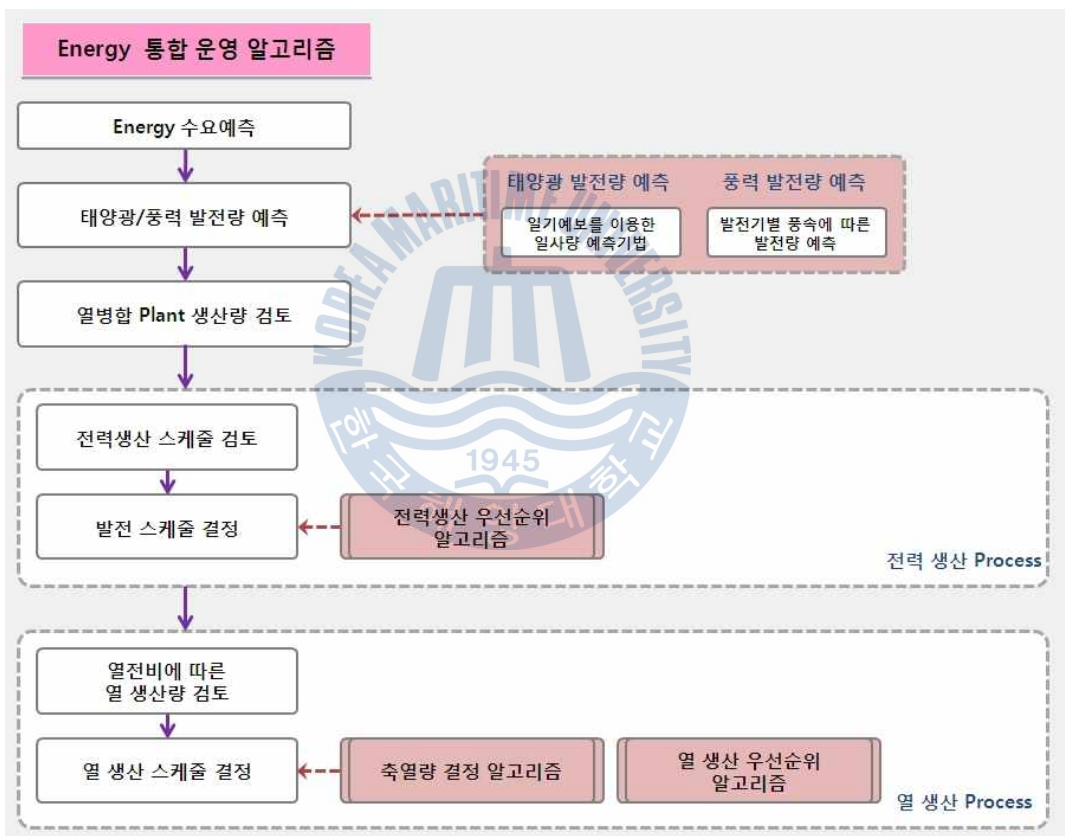
$$\text{열전비} = \frac{\text{열생산 용량(Gcal/h, Heat)}}{\text{전기생산 용량(Gcal/h, Elec.)}}$$

#### 3.3.1 에너지 통합 운영 알고리즘

에너지 통합 운영 알고리즘은 그림 3.20와 같다. 이 알고리즘은 에너지의 수요가 예측된 자료를 가지고, 날씨에 의해서 생산량이 변동되는 태양광과 풍력의 발전량을 먼저 예측하여 더 생산해야 하는 양을 예측한다. 태양광발전은 "일기예보를 이용한 일사량 예측기법"을 사용하여 발전량을 예측하고, 풍력발전은 발전기 풍속에 따른 발전량을 예측한다. 이에 대한 자세한 내용은 다음 장에서 설명한다. 발전량 예측을 하고 난 뒤 열병합 플랜트의 생산량을 검토한다. 열병합 플랜트는 열과 전기가 함께 생산 되는 것으로 연관성이 있다. 본 연구에서는 열과 전력 중에서 전력을 우선적으로 생산하고자 하므로 전력생산

스케줄을 먼저 검토를 한다. 검토 후에 발전 스케줄을 결정하는데, 이때 전력 생산 우선순위 알고리즘을 사용하여 결정한다.

이러한 발전 스케줄이 확정이 되면, 열전비에 따른 열 생산량을 검토한다. 검토 후에 열 생산 스케줄을 결정하는데, 전력생산과 동일하게 열 생산 우선 순위 알고리즘을 사용한다. 그러나 열의 경우 생산된 열을 저장 하거나 저장된 열을 사용하는 축열량 결정 알고리즘이 더 필요하며, 이 내용은 다음 장에서 설명한다.



[그림 3.20] Energy 통합 운영 알고리즘

이와 같이 발전과 열 생산 스케줄이 결정되면 발전과 열을 생산하게 된다.

다음 장에서 이 알고리즘에서 사용되는 전력생산 우선순위 알고리즘, 열 생



산 우선순위 알고리즘과 태양광발전, 풍력발전량 예측방법을 자세하게 설명할 것이고, 마지막으로 축열량을 결정하는 알고리즘과 그에 따른 축열 스케줄을 나타낼 것이다.



## 제4장 에너지 통합 운영 알고리즘 개발

### 4.1 에너지 통합 운영 알고리즘의 요소

에너지 통합 운영 알고리즘 개발을 위해서 본 논문에서는 세가지 사항을 고려하여 진행하였다.

첫 번째, 도시차원에서 에너지를 사용하기 위해서는 에너지가 생산되어야 하고 생산된 에너지를 공급하여야 한다. 여기서 생산을 할 때 아무 기준 없이 하는 것이 아니라 정해진 플랜트 중에서 가장 효율적으로 생산 할 수 있도록 에너지의 생산 우선순위가 필요하다. 에너지의 생산 우선순위를 설정을 함으로 인해 상황에 따라서 가장 적절한 에너지를 먼저 사용할 수 있게 된다.

두 번째, 태양광, 풍력의 발전량 추정은 다른 에너지들은 필요한 발전 에너지를 입력하면 그 에너지를 생산할 수 있지만 태양광, 풍력 발전은 날씨환경에 따라 그 값이 변하므로 에너지의 수요와 공급의 오차를 줄이기 위해 필요하다.

세 번째, 본 논문에서 전기와 열의 생산을 따로 분리 되어있는 시스템이 아니라 함께 생산되는 열병합 발전을 사용하고 있으므로 전기나 열 둘 중에 어느 쪽의 수요가 많아지면 더 생산하게 된다. 이 때 전기는 축전을 하기 어려우나, 열은 축열을 할 수 있기 때문에 전기가 부족하고 열이 충분한 경우 전기의 생산에 따른 열의 생산량에서는 축열을 할 수 있도록 한다. 그러나 무조건 축열을 계속 할 수 있는 것이 아니므로 하루의 축열량을 미리 결정하여 준비하고자 한다.

에너지 사용에 있어서 가장 먼저 사용할 에너지를 정하는 에너지 생산 우선

순위를 결정하고, 날씨의 영향을 받기 때문에 발전량이 일정하지 않아 사용하기 어려운 태양광과 풍력의 발전량 추정, 생산의 따른 변동을 유연하게 대처하는 축열량 결정의 순서로 정리 하였다.



## 4.2 에너지 생산 우선순위

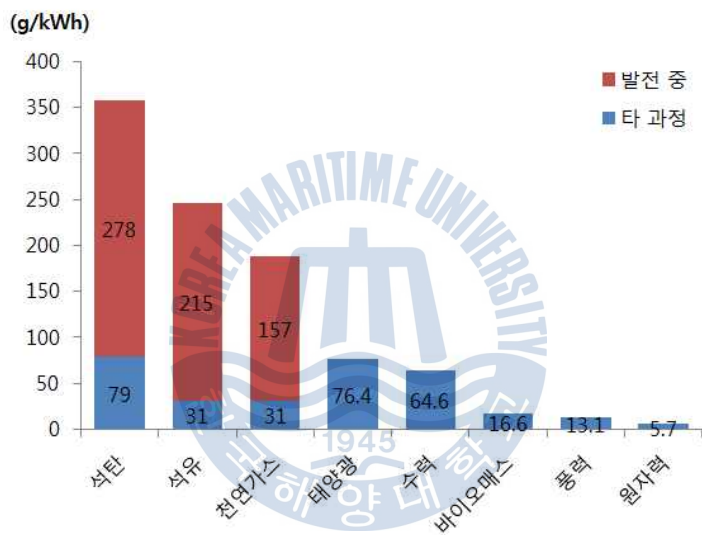
도시의 에너지를 생산, 공급할 때 에너지의 수요에 따라 알맞게 생산, 공급하는 것이 가장 효율적이다. 이러한 에너지의 수요가 많고, 적음에 따라 먼저 사용할 플랜트와 나중에 사용할 플랜트 선택해서 사용하여야 한다.

우선순위결정의 평가항목은 대두되고 있는 환경 문제를 고려하여 생산하므로 대표적인 온실가스인 CO<sub>2</sub> 를 배출하지 않거나 최소화하는 에너지를 사용하여 기후변화시대에 맞추어 나가하고자 한다. 이따므로 생산되는 플랜트도 CO<sub>2</sub> 를 배출하지 않거나 최소화하는 에너지의 플랜트가 우선적으로 사용되어야 한다. 그러나 플랜트의 발전에 있어서 운영 시 비용에 대해 생각 안 할 수 없으므로 경제성에 대해서도 고려하여 생산한다. 이러한 이유로 CO<sub>2</sub> 를 배출하지 않거나 최소화하고, 발전단가가 낮은 에너지를 순위를 선정하여 생산순위를 결정하여 우선적으로 사용하고자 한다.

도시의 에너지의 생산할 때 생기는 CO<sub>2</sub> 발생량은 그림 4.1과 같이 발전 중과 타 과정으로 나눌 수가 있다. 그림에서 보는 것과 같이 석유, 석탄 등 기존에 사용하던 에너지원 보다 신·재생에너지가 CO<sub>2</sub> 발생량이 적음을 알 수 있다. 하지만 이러한 통계에서 발전 할 때 신·재생에너지원의 CO<sub>2</sub> 발생량은 모두 없는 것으로 나타내고, 현재 국내의 신·재생에너지의 탄소발생량에 대한 기준이 없다. 또, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 42)의 연료에 따른 탄소배출계수만으로 차세대 에너지의 탄소배출에 대한 정확한 데이터를 구할 수 없으므로 본 연구에서 CO<sub>2</sub> 발생량은 생산되는 과정 중에서 CO<sub>2</sub> 를 배출하지 않거나 최소화하는 에너지 플랜트를 먼저 사용한다. 가장 먼저 청정에너지(자연에너지)를 사용하여, 연료가 사용되지 않으며, 에너지를 만들

42) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): 기후 변화와 관련된 전 지구적 위험을 평가하고 국제적 대책을 마련하기 위해 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 공동으로 설립한 유엔 산하 국제 협의체이다.

기 위해 동력이나 연소반응 등이 필요하지 않으므로 운영 중 CO<sub>2</sub> 발생량이 없을 것으로 판단되는 에너지 플랜트를 먼저 사용한다. 다음은 발전/생산과정 중에 연료를 사용하나 이용 중 연소나 동력이 필요 없는 에너지 플랜트를 그 다음으로 사용하고, 연소는 없으나 동력이 필요한 에너지 플랜트를 다음으로 사용하며, 연소하면서 동력도 필요하여 오염물질을 많이 배출하는 에너지 플랜트의 경우는 발생하는 CO<sub>2</sub>의 양이 많을 것으로 예상하여 가장 나중에 사용한다.



[그림 4.1] 발전원별 CO<sub>2</sub> 배출량

(출처: 에너지관리공단 신·재생에너지센터, 태양광, 북스힐, 2008)

현재 신·재생에너지에 대한 발전단가의 가격은 국내와 국외가 조금씩 다르며, 연구소에 따라, 적용한 년도에 따라 조금씩 다르다. 이것은 발전기가 사용되는 환경에 따라 성능이 달라지는 것이 있고, 사용하는 발전기의 효율이 다르므로 사용하는 발전기의 성능 따라 다르다. 그리고 발전기의 기술이 향상되고, 많은 보급으로 인해 가격형성에 있어서 저렴해 지기도 한다. 본 연구에서 발전단가는 표 4.1에 나온 것으로 기준으로 하였다.

[표 4.1] 발전원별 발전단가

구분	발전단가(원/kWh)	구분	발전단가(원/kWh)
복합 GT	120.7 <sup>1)</sup>	태양광	125.6 <sup>3)</sup>
LNG	113.2 <sup>1)</sup>	풍력	123 <sup>3)</sup>
유류	95.13 <sup>1)</sup>	바이오매스	72.7 <sup>3)</sup>
국내탄	60.67 <sup>1)</sup>	폐기물	114.1 <sup>3)</sup>
석탄	60.3 <sup>1)</sup>	연료전지	114.5 <sup>3)</sup>
원자력	41.4 <sup>1)</sup>	석탄가스화	56.6 <sup>3)</sup>
열병합	92.97 <sup>2)</sup>	소수력	115.8 <sup>3)</sup>
지열	61 <sup>4)</sup>	부생가스	87.6 <sup>3)</sup>

- 주) 1) 전력거래소, 전력수급기본계획, 2010  
 2) 에너지설비관리, 소형열병합발전 배열활용냉방설비 설치운용사례, 2007.8  
 3) 전력통계정보시스템-EPSSIS : 신·재생에너지원 정산 단가 자료, 2010  
 4) 한국지구시스템공학회, GETEM 모델을 이용한 석모도 지역 지열발전 경제성 평가, Vol.47 No.3 2010, pp. 267-276

앞의 방법들을 고려하여 전력과 열의 생산 우선순위를 결정하였다.

본 연구에서 전력과 열원의 통합 운영을 목적으로 하고 있으나 따로 우선순위가 나타나야 하므로 전력의 생산 우선순위와 열원의 생산 우선순위로 구분하여 선정하였다.

#### 4.2.1 전력 생산 우선순위

전력의 생산 에너지 종류는 태양광, 풍력, 바이오매스, 폐기물, 연료전지, 부생가스, 석탄가스화, 소수력 총 8가지이다. 이 에너지들의 생산 우선순위를 나타낸 것이 표 4.2이다.

[표 4.2] 전력 플랜트 생산 우선순위

순위	에너지 종류	CO <sub>2</sub> 발생량	발전단가(원/kWh)
1	풍력	자연에너지	123
2	태양광	자연에너지	125.6
3	소수력	자연에너지	115.8
4	바이오매스	자연에너지(연료有)	72.7
5	연료전지	연소 없음(연료有)	114.5
6	부생가스	연소 없음(연료有)	87.6
7	석탄가스화	연소 있음(연료有)	56.6
8	폐기물	연소 있음(연료有)	114.1

전력의 에너지원에서 소수력, 풍력, 태양광 발전은 한번 설치하면 운영할 때 연료가 필요 없는 자연에너지로 CO<sub>2</sub> 발생량이 없으므로 가장 먼저 생산한다. 모두 자연에너지를 사용하므로 소수력의 발전단가가 가장 낮아서 1순위로 사용되어야 하지만 외부환경조건과 기상에 따라 발전의 변동량이 있는 풍력과 태양광의 생산량이 정해져야 하므로 가장먼저 생산한다. 그 중에 풍력발전은 바람의 힘을 회전력으로 전환하여 발생하는 유도전기를 사용하므로 CO<sub>2</sub> 발생량이 없고 생산단가 123원/kWh로 생산 1순위로 정한다. 다음은 태양광 발전으로 태양의 빛에너지를 직접 전기에너지로 변환시켜 사용하므로 CO<sub>2</sub> 발생량이 없는 것은 앞의 풍력과 같지만 생산단가가 125.6원/kWh로 자연에너지 중에 가장 높지만 2순위로 정한다. 소수력발전은 물의 낙차를 이용한 위치에너지를 전기에너지로 사용하여 CO<sub>2</sub> 발생량이 없고 생산단가가 115.8원/kWh로 생산 1순위로 정해져야 하지만 앞에서 말한 것과 같이 풍력과 태양광의 경우 먼저 생산되므로 소수력발전을 3순위로 생산한다.

바이오매스는 녹색식물을 사용하므로 이용 중에 CO<sub>2</sub> 를 배출한다고 하더라도 식물이 또 광합성을 하여 대기상의 전체 CO<sub>2</sub> 의 양의 증가는 없는 것으로 생각하여 CO<sub>2</sub> 발생량이 없지만 연료의 사용은 필요하므로 생산단가 72.7원

/kWh으로 생산 4순위로 정한다.

연료전지는 연소과정이나 기계적 일이 필요 없는 직접변환 방식으로 변환에 필요한 연료만 필요로 하여 CO<sub>2</sub> 발생량이 적으므로 생산단가 114.5원/kWh으로 생산 5순위로 정한다. 다음은 부생가스로 연소과정이나 기계적 일이 필요 없고, 대부분 열처리 방법으로 수소만 사용할 수 있도록 한다. 이러한 과정에서 고온을 필요로 하므로, 생산단가는 87.6원/kWh으로 낮은 편이지만 연료전지보다 후 순위로 정하였다. 부생가스는 생산 6순위가 된다.

석탄가스화 복합발전(IGCC, Integrated Gasification Combined Cycle)은 석탄을 합성가스로 만들고 유해물질을 제거하여 천연가스와 유사한 수준으로 정제하여 발전하므로 앞의 에너지원들과 비교하였을 때 외부 에너지원이 필요하고 그 과정에서 CO<sub>2</sub>가 발생한다. 생산단가는 56.6원/kWh로 에너지원 중 가장 낮지만 생산 7순위로 정한다.

폐기물에너지는 폐기물을 변환시켜 성형고체연료, 플라스틱 열분해 연료유, 폐유정제유 등의 연료로 가공시키는 과정에서 사용되는 연료와 연소과정의 CO<sub>2</sub>가 발생하므로 생산단가가 114.1원/kWh로 생산 8순위로 정한다.

#### 4.2.2 열원 생산 우선순위

열원의 생산 에너지 종류는 바이오매스, 연료전지, 부생가스, 지열, 폐기물 총 5가지이다. 이 에너지들의 생산 우선순위를 나타낸 것이 표 4.3이다.

열원은 먼저 전기에서 말한 것과 같이 CO<sub>2</sub> 발생량을 제로로 취급하지만 연료가 필요한 바이오매스가 1순위이고, 연료전지가 화학에너지를 발생하여 열을 생산하는 방식으로 연료가 필요하지만 연소가 없으므로 CO<sub>2</sub> 발생량이 적어 2순위로 정한다. 부생가스도 앞에서 말한 바와 같이 열처리 방식을 사용하므로 연소는 없지만 연료전지보다는 CO<sub>2</sub> 발생량이 있을 것으로 판단하여 3순위로 정하였다. 지열은 저온의 열원에서 열에너지를 추출하여 이것을 고온의



이용하기 쉬운 열에너지로 바꾸기 위해 히트펌프를 가동하는 발전에 의한 CO<sub>2</sub> 발생이 있으므로 4순위로 정한다. 폐기물 사용은 연료가 필요하고, 소각 중에 연소가 있으며, 이때 발생하는 대기오염의 제어장치가 필요하기 때문에 그로 인한 다른 에너지원이 더 필요하다. 이러한 과정들로 인해 CO<sub>2</sub> 발생량이 다른 에너지원보다 더 있을 것이라 생각되어 5순위로 정한다.

[표 4.3] 열원 플랜트 생산 우선순위

순위	에너지 종류	CO <sub>2</sub> 발생량	발전단가(원/kWh)
1	바이오매스	자연에너지(연료有)	72.7
2	연료전지	연소 없음(연료有)	114.5
3	부생가스	연소 없음(연료有)	87.6
4	지열	동력 사용(연료有)	61
5	폐기물	연소 있음(연료有)	114.1

#### 4.2.3 생산 우선순위 알고리즘

앞의 전력과 열의 생산 우선순위를 통해서 알고리즘을 나타내었다. 여기서 사용되는 에너지 플랜트는 태양광발전, 연료전지, IGCC는 전력만 생산하고, 열병합 플랜트에 바이오가스, 부생가스, 도시가스를 사용한다. 3장에서 제안한 알고리즘에서 보는 것과 같이 태양광 발전량을 예측하여 나타낸다. 태양광 발전량이 일정하지 않기 때문에 태양광 발전량을 제외하고 수요량에 100% 공급할 수 있도록 용량 산정을 한다. 태양광 발전량이 없다면 산정된 용량대로 공급이 되면 되지만 태양광 발전량이 생산되면, 다른 발전을 줄이거나 멈춰야 한다. 그러나 멈추게 될 경우에는 다시 가동하는 시간에 대한 제약이 있기 때문에 줄이는 방법만 사용하도록 한다.

전력 생산 우선순위는 바이오가스, 부생가스, 도시가스 순이다. 그러므로 줄여야 한다면 가장 먼저 도시가스를 줄여야 하는 것이다. 그래서 처음으로 태양광 발전량이 있으면 도시가스의 발전량과 비교를 하고 나타내는 값을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{도시가스 발전량} \geq \text{태양광 발전량} \quad A$$

$$\rightarrow (\text{도시가스 발전량} - \text{태양광 발전량}) = \text{도시가스 발전량}$$

$$\text{도시가스 발전량} < \text{태양광 발전량} \quad B$$

$$\rightarrow (\text{태양광 발전량} - \text{도시가스 발전량 } 80\%) = \text{줄어든 1 태양광 발전량}$$

A의 경우 바로 발전량이 결정되는 반면에 B의 경우에 남은 발전량만큼 다른 발전을 줄여야 한다. 다음으로 줄여야 하는 에너지는 IGCC이며, 방법은 위와 동일하다.

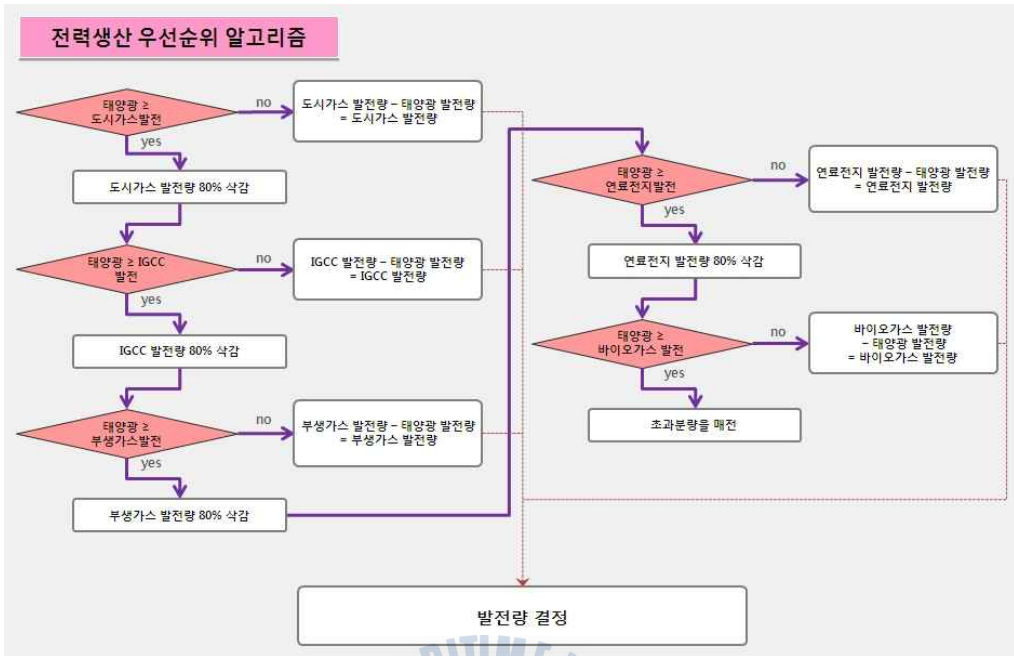
$$\text{IGCC 발전량} \geq \text{남은 태양광 발전량} \quad A$$

$$\rightarrow (\text{도시가스 발전량} - \text{태양광 발전량}) = \text{IGCC 발전량}$$

$$\text{IGCC 발전량} < \text{남은 태양광 발전량} \quad B$$

$$\rightarrow (\text{태양광 발전량} - \text{IGCC 발전량 } 80\%) = \text{줄어든 2 태양광 발전량}$$

위와 같은 방법으로 계속 B의 경우가 생기면, 다음은 부생가스, 연료전지, 바이오가스를 줄여나가고 다 줄였음에도 불구하고 태양광 발전량이 클 경우 매전을 하도록 한다. 위의 방법으로 만들어진 알고리즘은 그림 4.2로 나타내었다.



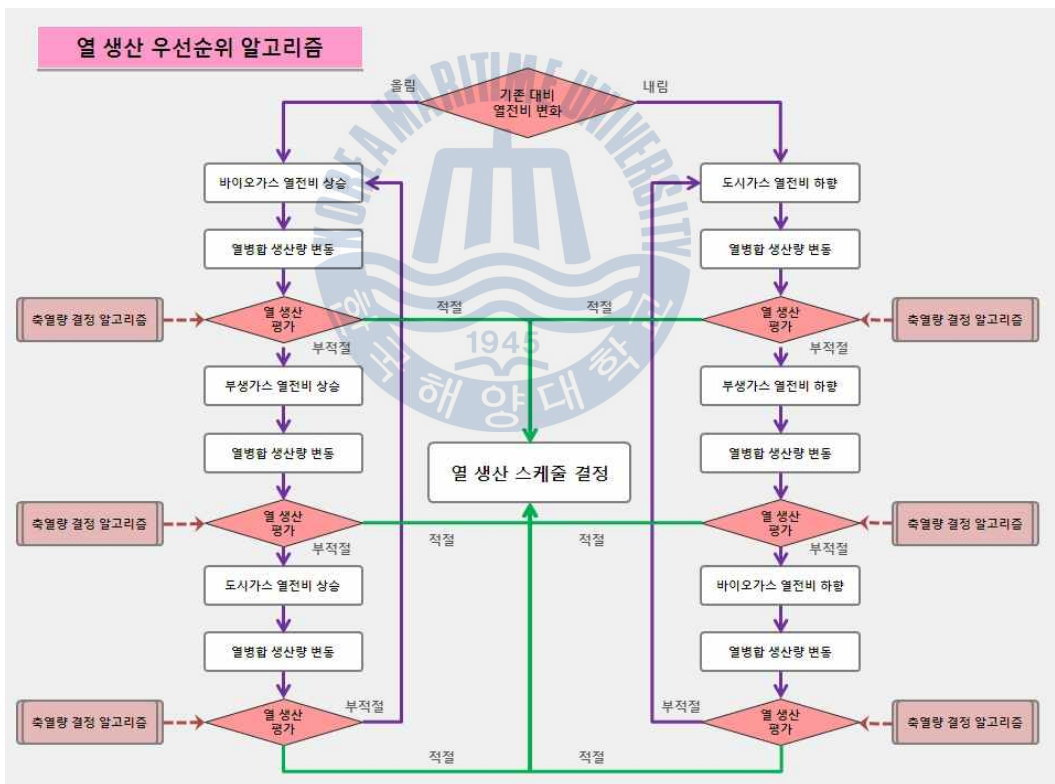
[그림 4.2] 전력 생산 우선순위 알고리즘

열 생산 우선순위 알고리즘을 나타내기 위해서는 열전비가 가장 중요한 요소이다. 열전비는 열 생산 용량을 전기 생산 용량으로 나눈 값이다. 열병합시스템 중에 가스엔진시스템의 열전비는 1.7이고, 가스터빈시스템은 2.0이다.<sup>43)</sup> 그러나 열전비는 입력 값에 따라 변경이 가능하다. 10년 전에는 열전비의 비율을 법으로 정하여 열의 생산을 도모하였지만 현재 전력 생산이 더 부족하므로 상황에 맞게 열전비를 수정할 수 있다.

그림 4.3은 열 생산 우선순위 알고리즘을 나타낸 것이다. 순서는 다음과 같다. 가장 먼저 기준 되는 열전비를 가스엔진시스템의 1.7을 사용한다. 이렇게 정해진 열전비를 통해서 생산된 열생산량을 확인을 한다. 확인 후 열전비를 통해 생산되는 열의 양이 부족하면 열전비를 올려서 부족하지 않도록 하고, 또한 양이 넘치게 되면 열전비를 내려서 적절한 값을 찾는다. 여기서 열의 생산 우선순위를 사용하는데, 사용되는 에너지 생산 우선순위는 다음과 같다. 열

43) 네이버 카페 'the goods', <http://cafe.naver.com/cetech2003/8724>

전비를 올리는 경우 먼저 열 생산량의 에너지 우선순위는 바이오가스가 1위, 부생가스가 2위 도시가스가 3위로 생산하고, 줄여야 하는 경우 방금 말한 순위의 반대로 도시가스부터 줄여나간다. 열 생산 우선순위는 바이오를 가장 먼저 열전비를 올렸을 때 다시 열병합 발전 생산량이 변동이 되고, 이에 따른 열 생산을 평가 한다. 이 평가하는 과정에서 축열량 결정 알고리즘을 사용하여 열 생산을 평가한다. 본 알고리즘은 바이오가스, 부생가스, 도시가스까지 열전비를 다 올렸음에도 불구하고 에너지가 부족하면 다시 바이오가스에서부터 도시가스까지 열전비를 올리게 된다. 이러한 반복 속에서 적절한 값이 나오면 열 생산 스케줄을 결정한다.



[그림 4.3] 열 생산 우선순위 알고리즘

## 4.3 태양광, 풍력 발전량 추정

앞에서 에너지 플랜트별 생산 우선순위를 선정하였다. 하지만 생산 우선순위에서 평가 항목의 기준으로만 보았을 때, 태양광발전과 풍력발전이 생산이 먼저 되면 안 되지만 먼저 생산되는 플랜트로 정해졌다. 그 이유는 앞에서도 간단히 말했지만, 태양광발전과 풍력발전은 기상조건에 따라 시간대별 생산량의 변동이 있기 때문이다. 태양광과 풍력으로 생산해야 하는 에너지를 발전을 1순위로 하여 부족할 경우 타 플랜트의 생산량도 조정을 하여 수요에 맞게 공급을 할 수 있다. 이러한 이유로 발전량 추정은 태양광발전과 풍력발전만을 대상으로 하였다.

앞에서 언급한 것과 같이 날씨의 영향에 따라 시간대별 생산의 차이가 발생하지만 선행연구에서는 날씨의 영향이나 환경을 고려하지 못하고 설치 용량에 따라 연간 발전량이나 월간 발전량 정도만 제공하고 있어서 효율적으로 사용하는데 어려움이 있다. 그래서 본 논문에서는 연간 발전량이나 월간 발전량이 아닌 일별, 시간별로 추정하여 에너지 생산스케줄을 계획한다. 24시간 전에 계획한 시간별 생산스케줄과 날씨의 변화로 인해 달라질 수 있으므로 실시간 모니터링을 통하여 생산을 제어 하고자 한다. 그 이유는 발전기의 on/off에는 시간이 소요되므로 생산과 공급의 문제가 없도록 하기 위해 예측을 하는 것이다.

### 4.3.1 태양광 발전량 추정

태양광발전은 지역적 조건이 적어 비교적 다수의 발전기 설치가 가능하며, 태양에너지를 사용하므로 무공해 자원으로 많은 보급을 장려하는 발전이지만,

태양에너지를 에너지원으로 발전하는 방식으로 날씨의 영향을 받아 발전용량과 발전량의 차이가 있고 발전량의 조절이 쉽지 않음으로 안정적으로 공급하는 것은 어려움이 있는 차세대 에너지원이다.

태양광 발전은 햇빛을 받으면 광전효과에 의해 전기를 발생하는 태양전지를 이용하여 태양빛을 바로 에너지의 한 형태인 전기를 직접 생산하는 기술로 태양전지의 사양은 표 4.4와 같다. 표에서 미리넷 모델을 제외하고는 모듈이 하나만 있는 것이 아니라 묶여져 있다. 형식은 다결정의 태양전지만 모아보았다. 비교했을 때, 출력이 가장 좋은 다결정 형식의 미리넷으로 사용하기로 했다.

[표 4.4] 태양전지 사양

모델명	형식	넓이 (mm)	높이 (mm)	둘레(mm)	출력(watt)
SLSM-190DS	다결정	1488	998	50	190
SLSM-170DS	다결정	1317	992	50	170
SLSM-165DS	다결정	1317	992	50	165
미리넷	다결정	156	156		4.02
235PNO	다결정	1620	980	50	235
230PNO	다결정	1620	980	50	230
225PNO	다결정	1620	980	50	225
220PNO	다결정	1620	980	50	220
215PNO	다결정	1620	980	50	215
210PNO	다결정	1460	980	50	210
205PNO	다결정	1460	980	50	205
200PNO	다결정	1460	980	50	200
195PNO	다결정	1460	980	50	195
SP60-36B	다결정	980	510	35	60
SP100-72A	다결정	670	1172	35	100

태양광발전량은 앞에서 말한 바와 같이 변동이 있으므로 이를 효과적으로 사용하기 위해 (식-4.1)의 태양광 발전량 계산식을 통하여 발전량을 추정 한다.

$$\text{발전량}[\text{kWh}/\text{m}^2] = K \times \text{PAS} \times H \times 10^6 \times 2.7778 \times 10^{(-7)} / \text{GS} \quad (\text{식-4.1})$$

여기서, K : 월별 종합설계 계수 = K' x KPT

K': 기본설계 계수 = 0.76

KPT : 설치지역에 따른 온도보정계수

(영향이 적으므로 온도보정계수를 1로 설정)

H : 일사량

PAS : array 출력[kW] = PMS x n

PMS : 태양전지 module의 출력[kW]

GS : 표준시험체의 일사강도 = 1

이 (식-1)을 통하여 앞에서 태양광 발전량은 태양전지의 모듈의 출력과 개수, 일사량의 영향을 받는 것을 알 수 있다. 그러나 일기예보에서도 일사량의 정보를 제공하는 곳이 없으므로 일사량을 예측하는 과정이 필요하다. (식-4.2)는 일사량의 계산식을 나타낸다.

$$I_{ND} = I_0 P^{1/\sinh}, \quad I_{HS} = \frac{1}{2} I_0 \sinh \frac{1 - P^{1/\sinh}}{1 - 1.4 \log_e P} \quad (\text{식-4.2})$$

$$= \sinh(I_0 - I_{ND}) \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(1 - 1.4 \log_e P)}$$

단  $I_{ND}$ : 법선면직달일사량( $MJ/m^2h$ )

$I_{HS}$ : 수평면천공일사량( $MJ/m^2h$ )

$I_0$ : 대기권의 일사량(태양상수;  $4.932MJ/m^2h$ )

$P$ : 대기투과율

$h$ : 태양고도( $^\circ$ )

일사량이라는 항목은 계산식이 있음에도 태양고도 및 대기의 상황에 따라

변동되는 양이 커서 이를 예측하기는 힘들다. 또한 예측의 신뢰도를 높이기 위해 객관적인 요소를 바탕으로 예측하는 방법이 필요하여 이를 위해 본 논문에서 제시하는 방법은 일기예보의 날씨를 이용하여 일사량을 예측하는 방법이다.

일기예보에서 날씨의 운량과 일사량 계산식에 필요한 대기투과율의 관계를 과거 관측 데이터를 통해 분석하여 보고자 한다. 일기예보에서 날씨는 그림 4.4에서 나타난 것처럼 맑음, 구름조금, 구름많음, 흐림 총 네 단계로 구분하고 있다. 이 날씨를 운량과의 관계를 살펴본다면 표 4.5와 같다.

[표 4.5] 날씨와 운량과의 관계

날씨	맑음	구름조금	구름많음	흐림
운량	0~2	3~5	6~8	9~10

번호	아이콘	설명	번호	아이콘	설명
1		맑음	10		맑음 (밤)
2		구름조금 (낮)	11		구름조금 (밤)
3		구름많음 (낮)	12		구름많음 (밤)
4		흐림	13		천둥번개
5		소나기	14		안개
6		비	15		박무 (얇은 안개)
7		눈	16		황사
8		비 또는 눈	17		연무
9		눈 또는 비			

[그림 4.4] 일기예보에서 나타내는 날씨정보

운량이란 구름이 하늘을 덮고 있는 정도를 나타내는 지표로써 이를 통해 일



사량을 예측하는 연구<sup>44)</sup>가 진행 되었다. 하지만 구름의 특성(두께, 짙은 정도)을 예측할 수 없기 때문에 정확한 일사량 예측이 힘들다. 이를 보완하기 위해 선행으로 연구되었던 “일기예보를 이용한 일사량 예측기법 개발”<sup>45)</sup>에서 제안된 대기투과율이라는 변수를 고려한 기법을 본 연구에서는 사용하였다.

그럼 위의 방법으로 실제 발전량을 예측하여 사용하는 것을 나타내고자 한다. 먼저 앞에서 말한 태양전지의 모듈 출력과 개수를 산정한다. 모델은 미리 넷으로 출력 4.02W이고, 개수는 10,000,000개로 산정한 값을 나타내면 다음과 같다.

$$PAS = 4.02W \times 10,000,000 = 40,200kw$$

이 값을 발전량 (식-4.1)에 대입하면

$$\text{발전량}[kWh/m^2] = 0.76 \times 40,200kw \times H \times 10^6 \times 2.7778 \times 10^{(-7)} \times 1$$

일사량만 남게 된다. 일사량은 앞에서 말한 것과 같이 2009년 7월의 전일사량 9시의 값을 사용하여 표 4.6으로 나타내었다.

[표 4.6] 2009년 7월의 전일사량

9시		현재구름		
		얇음	짙음	매우짙음
기상예보의 날씨	맑음(운량0~2)	154.082	106.345	76.509
	구름조금(3~5)	155.786	108.984	73.662
	구름많음(6~8)	107.508	68.840	40.542
	흐림(9~10)	109.024	66.043	25.950

44) 유호천, 이관호, 강현구(2009), “표준기상데이터의 운량과 일사량 데이터 비교분석”, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집 vol.2009 No.11월, pp. 330~335

45) 원종민, 도근영, 허나리(2011), “일기예보를 이용한 일사량 예측기법개발”, 한국향해항만학회지 vol.35 No.5, pp. 387~392

표 4.6의 일사량을 사용하여 나온 발전량은 다음의 표 4.7과 같다.

[표 4.7] 2009년 7월의 예측에 의한 발전량

9시		현재구름		
		열음	질음	매우질음
기상예보의 날씨	맑음(운량0~2)	1,307,650	902,523	649,311
	구름조금(3~5)	1,322,112	924,920	625,150
	구름많음(6~8)	912,391	584,225	344,066
	흐림(9~10)	925,261	560,492	220,230

여기서 운영상에서 현재 기상예보의 날씨가 맑음(운량 0~2)이고, 현재의 구름이 열음이라면 발전량예측 값은 1,307,650kWh/m<sup>2</sup>이 되는 것이다. 이러한 방법으로 발전량을 예측하여 사용한다.

#### 4.3.2 풍력 발전량 추정

풍력발전은 바람의 운동에너지가 터빈을 돌려 발전하는 시스템으로 크기는 회전자의 직경과 발전기용량으로 크기를 분류한다. 회전자의 직경이 10m이내를 소형, 10m ~ 50m를 중형, 50m 이상을 대형으로 나눈다.<sup>46)</sup> 발전기용량은 10kW 이하는 소형, 10kW ~ 250kW는 중형, 250kW ~ 3MW는 대형, 3MW 이상은 초대형으로 분류한다.<sup>47)</sup>

20KW이하는 소형, 20KW ~ 500KW는 중소형, 500KW ~ 600KW는 중형, 750KW ~ 1MW는 중대형, 1MW ~ 3MW는 대형, 3MW 이상은 초대형으로 분류하고 있다. 일본의 경우 2000년에만 하여도 750KW 정도면 대형으로 분류했으나 지금은 중형이라 부르며, 현재는 1.5MW ~ 2MW급이 주류를 이루고

46) 한국풍공학회, 풍력발전기의 개발 동향 및 경제성, 제4권 2호, 2000, pp127~133

47) 데이코산업연구소, 녹색성장을 위한 풍력산업 실태와 전망, 진한엠엔비, 2009

있다.

[표 4.8] 풍력발전기의 크기

	회전자 직경	발전기용량
소형	10m 이내	10kW이하
중형	10m ~ 50m	10kW ~ 250kW
대형	50m 이상	250kW ~ 3MW
초대형	-	3MW이상

또한, 모든 풍력발전기는 출력성능곡선을 가지고 있다. 그림 4.5에서처럼 풍력의 발전량은 총 4구간으로 나눌 수 있고, 구간별 풍력 발전량은 표 4.9와 같다. 여기서 Cut in 풍속부터 정격풍속까지의 구간은 성능곡선에 의한 발전량 추정이 필요한데 이는 설치하려는 발전기 마다 고유의 특성을 가지고 있으므로 이에 대한 고려가 필요하다. 이러한 성능곡선을 이용하여 발전량 추정식을 작성할 수 있고, 본 연구에서 성능곡선에 대한 추정식을 사용하여 발전량을 예측한다.



[그림 4.5] 풍력발전기의 출력성능곡선  
(출처: 태창엔이티 <http://www.tc-net.co.kr>)

[표 4.9] 풍력발전기의 풍속별 발전량

풍속	Cut in 풍속 미만	Cut in 풍속 ~ 정격풍속	정격풍속 ~ Cut out 풍속	Cut out 풍속 초과
발전량	발전량 없음	성능곡선에 의한 발전량 추정	정격출력	발전량 없음

풍력의 발전량은 풍속에 따라 달라짐으로 발전량을 추정하기 위해서는 대기의 풍속을 예측하는 것이 필요하다.

풍속의 경우 일정한 패턴이 존재하지 않고 연속성도 가지지 않기 때문에 그 양을 예측하기가 힘들다. 이를 위해 본 연구에서는 기상청에서 제공하는 일기예보의 풍속을 토대로 발전량을 예측하려 한다.

일기예보는 그림4.6에서 보는 것 같이 날씨, 강수확률, 강수량, 최저/최고 온도, 기온, 풍향 및 풍속, 습도를 시각별로 나타내고 있다.



[그림 4.6] 2011년 11월 19일의 일기예보 (출처 : 기상청 제공)

일기예보에서 제공하는 풍속을 바탕으로 풍력발전량을 예측하기 위해서는 별도의 풍속보정 작업이 필요하다.

일기예보에서 제공하는 풍속의 경우 지상에서 10m를 기준으로 풍속을 측정하여 제공하는 것으로 이를 풍력발전을 위한 풍속으로 삼을 수 없다. 본 시스

템에서 제안하는 풍력발전의 형태의 경우 소형의 풍력발전기를 건물에 배치하여 소량의 풍력발전을 하는 형태가 아니라 풍력발전 플랜트를 도시에 설치하여 대용량의 풍력발전을 하는 형태로 그림4.7과 같은 대용량 풍력발전기의 경우 블레이드가 지상에서 수십m 상공에 위치하므로 이를 위해 높이에 따른 풍속데이터의 보정이 필요하고 이는 (식-4.3)을 통해 계산할 수 있다.



[그림 4.7] 600kw 대형 풍력발전기  
(출처: Suzlon Energy <http://www.suzlon.com>)

$$U_z = U_r \left( \frac{Z}{Z_r} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (\text{식-4.3})$$

여기서,  $U_z$  : 대상지의 풍속

$U_r$  : 기준지의 풍속

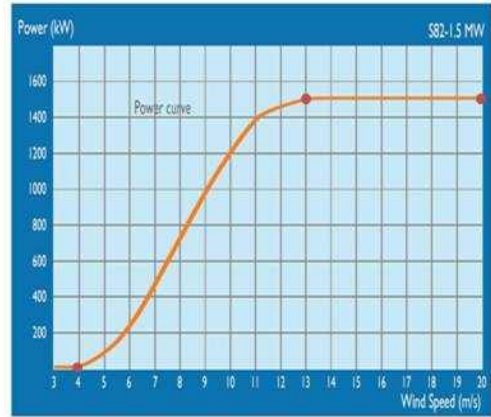
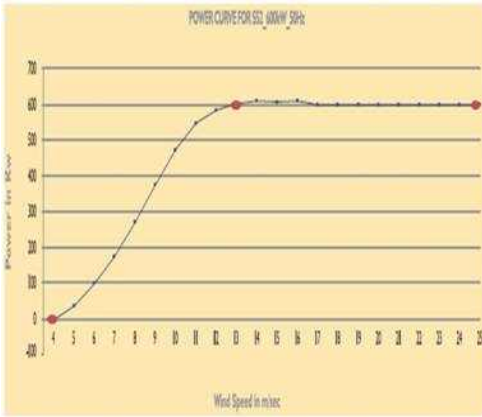
$Z$  : 대상지의 높이(발전기높이)

$Z_r$  : 기준풍속측정높이(10m)

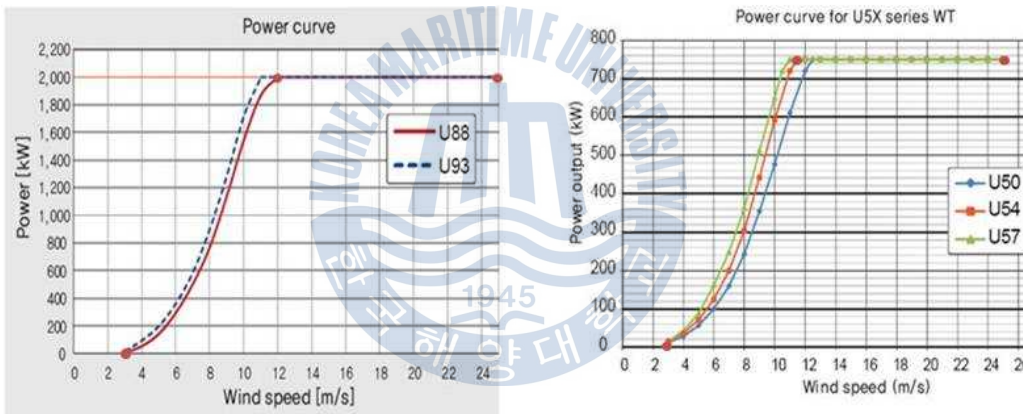
$n$  : 지역 상수

(평야 7, 주택지 5, 시가지 4, 대도시 3)

풍속보정을 하여 발전량을 알아보기 위해 크기가 다른 풍력발전기의 종류별로 준비하였고, 발전기별 성능곡선과 특성은 다음과 같다.



[그림 4.8] 출력성능곡선(S52-0.6, S82-1.5)  
(출처: Suzlon Energy <http://www.suzlon.com>)



[그림 4.9] 출력성능곡선(U88-2.0, U54-0.75)  
(출처: 유니슨 <http://www.unison.co.kr>)

[표 4.10] 풍력발전기 제원

제품명	정격출력	Cut in	정격풍속	Cut out	높이
S52-0.6	600,000w	4m/s	13m/s	25m/s	52m
S82-1.5	1,500,000w	4m/s	13m/s	20m/s	82m
U88	2,000,000w	3m/s	12m/s	25m/s	80m
U54	750,000w	3m/s	11.5m/s	25m/s	60m

표 4.10에서 알 수 있는 풍력발전기의 제원을 토대로 풍력발전기의 블레이드가 위치하는 상공의 풍속을 기상청에서 관측한 서울의 2009년 07월 05일의 풍속을 대입하여 S52-0.6MW, U88-2MW를 계산한 결과는 표 4.11과 같다.

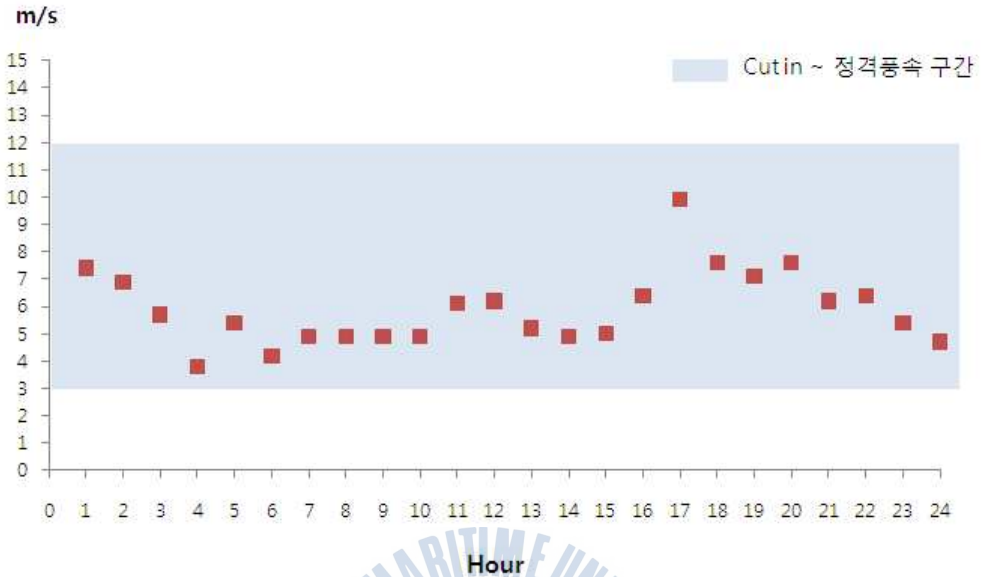
[표 4.11] 600kw급, 2MW급 대형 발전기의 블레이드 높이에서의 측정풍속과 보정풍속

관측 시간	측정풍속(m/s)	보정풍속(m/s)	
		S52-0.6MW	U88-2MW
1시	4.30	7.4	8.6
2시	4.00	6.9	8
3시	3.30	5.7	6.6
4시	2.20	3.8	4.4
5시	3.10	5.4	6.2
6시	2.40	4.2	4.8
7시	2.80	4.9	5.6
8시	2.80	4.9	5.6
9시	2.80	4.9	5.6
10시	2.80	4.9	5.6
11시	3.50	6.1	7.0
12시	3.60	6.2	7.2
13시	3.00	5.2	6.0
14시	2.80	4.9	5.6
15시	2.90	5.0	5.8
16시	3.70	6.4	7.4
17시	5.70	9.9	11.4
18시	4.40	7.6	8.8
19시	4.10	7.1	8.2
20시	4.40	7.6	8.8
21시	3.60	6.2	7.2
22시	3.70	6.4	7.4
23시	3.10	5.4	6.2
24시	2.70	4.7	5.4

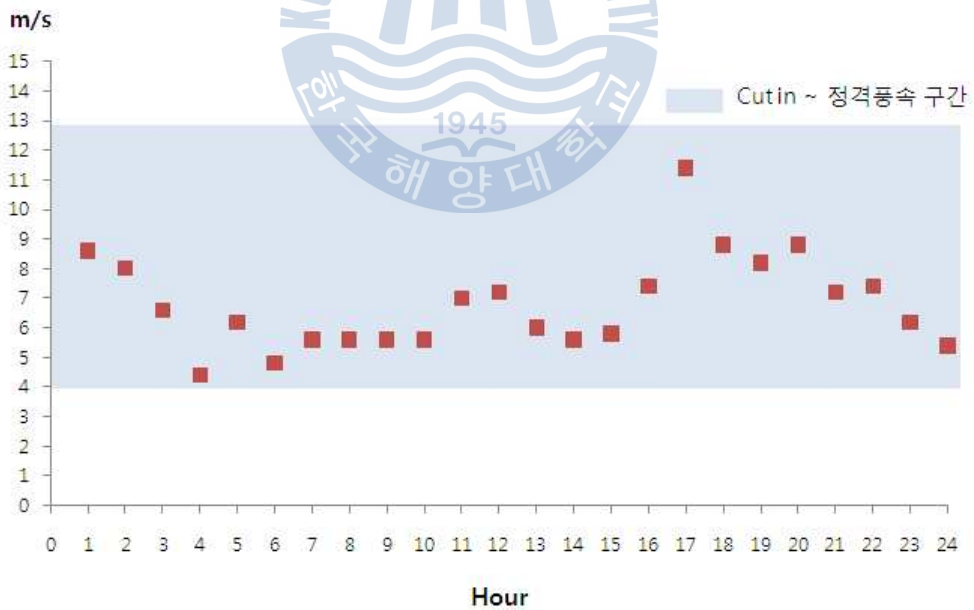
주) 지역상수는 대도시 기준  $n=3$

이를 통해 보정된 풍속은 그림 4.10, 그림 4.11에서 볼 수 있다. 그림 4.10은 S52-0.6MW의 보정풍속을 나타낸 것으로 성능곡선의 범위인 3m/s ~ 12m/s의 구간을 표시하였다. 그림 4.11도 U88-2MW의 보정풍속을 나타낸 것으로 동일하게 성능곡선의 범위인 4m/s ~ 13m/s의 구간을 표시하였다. 그림에서 보는 것

과 같이 풍력발전기의 풍속이 성능곡선구간에 거의 해당되는 볼 수 있다.



[그림 4.10] S52-0.6MW의 보정풍속

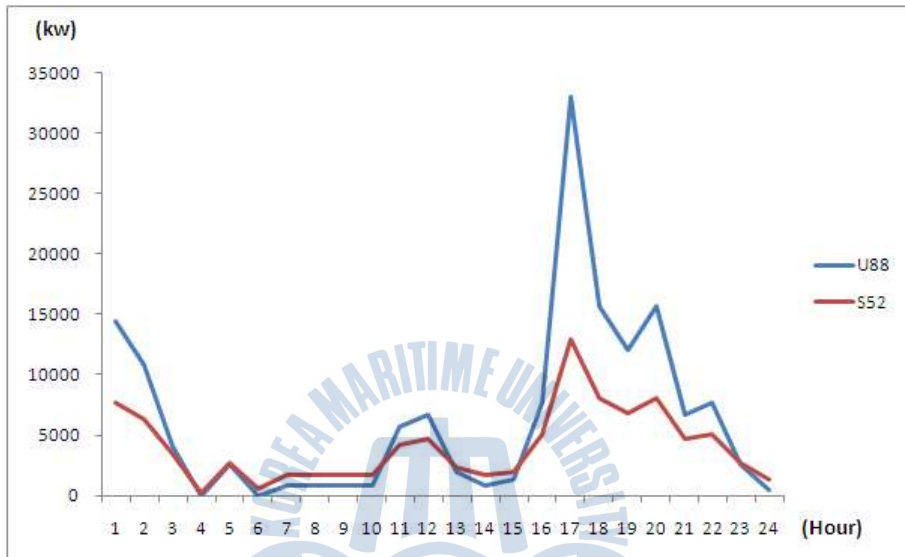


[그림 4.11] U88-2MW의 보정풍속



그러므로 풍력발전기의 발전량을 구하기 위해서는 성능곡선을 통한 추정식이 매우 필요하다는 것을 알 수 있다.

두 풍력발전기의 보정풍속으로 곡선구간의 추정식을 사용하여 2009년 07월 05일의 발전량은 그림 4.12에 나타내었다.



[그림 4.12] 2009년 07월 05일의 U88, S52의 발전량

이렇게 위치하는 구간에 따라 해당지역의 발전량을 예측한다면 일기예보를 이용하여 해당지역의 발전량 예측이 가능하다.

## 4.4 축열량 결정

에너지를 효율적으로 사용하기 위하여 생산되는 열과 전기에 대한 축열과 축전에 대한 연구들이 많이 진행되어 왔다. 축전의 경우는 축열에 비해 기술적으로 많은 어려움이 있으며 현재 소용량의 축전은 사용하기 시작하였으나, 일반적으로 대용량을 사용하기에는 많은 어려움이 있어 본 연구에서 축열만 사용한다.

선행 연구들에서 축열의 경우 부하의 피크를 줄이고자 사용하였다. 부하의 1일 변화를 보게 되면, 최대부하의 지속시간은 짧고, 대부분이 부분부하이다. 최대부하에 맞춰서 기기용량을 선정하면, 그 평균부하율이 낮아져 운전효율도 떨어지게 되므로, 축열조 등을 설치하여, 소용량의 기기를 고효율의 연속운전을 한다. 이러한 부하에 대한 피크 컷이 많이 사용되고 있으며, 야간 전력을 이용하는 방법도 사용되고 있다. 그러나 본 연구에서는 여러 에너지원을 사용하기 때문에 피크 컷의 개념보다 운영시스템의 효율성을 높이기 위해 사용하고자 한다.

축열 스케줄을 결정하기 위해서는 축열조의 용량 산정이 필요하다. 축열조의 용량 산정방법에는 3가지 방법이 있는데 첫번째는 축열조의 실제 사용, 설계되고 있는 것으로 용량을 열원 설비 총 용량의 약 17%를 사용하고 있다. 두번째는 선행 연구 자료에서 최적의 용량은 10%로 산정되었고<sup>48)</sup>, 세번째는 한국지역난방공사에서 총 열원의 시간당 필요량의 3배 정도로써 발전설비의 고장으로 인해 비상 열원의 의미로 사용하는 곳도 있다. 본 연구에서는 두번째 방법을 사용하여 나타내고자 한다.

본 연구에서 도시차원의 에너지를 24시간 전 예측한 값에 의한 생산 스케줄

48) 김용기·이태원, 에너지부하를 고려한 지역난방 축열조의 최적설계에 관한 연구, 대한설비공학회 2004하계학술발표대회 논문집, pp.513~518

을 사용하고, 이러한 생산 스케줄대로 생산을 하면서 실시간 모니터링을 하였을 때 상황의 변화에 따라 융통성 있게 반응하여, 최소한으로 에너지의 낭비를 줄이기 위해 축열이 필요하다.

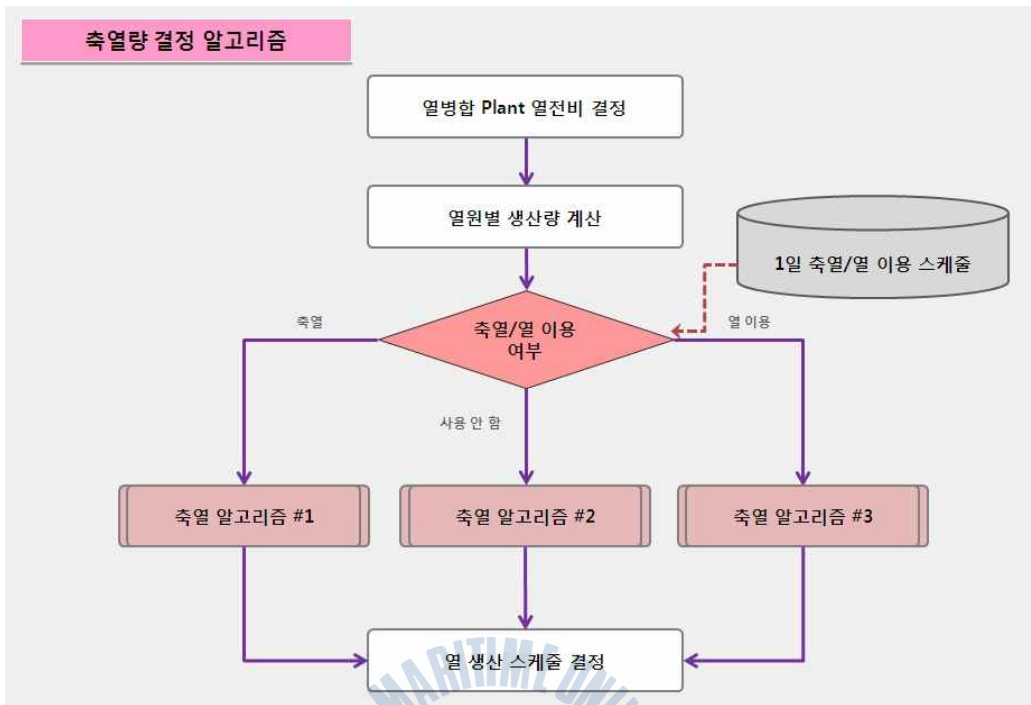
#### 4.3.1 축열량 결정 알고리즘

축열시스템은 24시간 동안 열을 축열하고 축열된 열을 이용하는 시스템이다. 축열조의 용량은 앞에서 말한 것과 같이 열원 설비 총 용량의 10%를 사용한다. 열원 용량 산정은 앞에서 언급 한 것과 같이 최대 피크치를 감당 할 수 있도록 산정하고, 이것의 10%가 축열조의 용량이 된다. 이 축열조의 1시간 축·방열량은 하루 축열조 저장량의 10%로 정한다.

축열시스템은 24시간을 기준으로 사용하기 때문에 24시간동안 축열의 패턴을 알아야 한다. 패턴은 수요예측량을 사용하여, 열과 전력량의 비율을 비교하여 정한다. 이 패턴은 여러 케이스를 종합하여서 평균적인 데이터를 사용하고, 이 패턴을 통해 축열/열 이용 스케줄을 정한다.

축열량 결정 스케줄을 나타내기 위해서는 이에 따른 알고리즘이 필요하다. 축열량 결정 알고리즘은 먼저 열병합 플랜트에서 기준이 되는 열전비를 정하고, 그에 따라 열원별 생산량을 계산한다. 계산된 생산량으로 축열/열 이용 여부를 판단하는데 이것은 미리 정해놓은 축열/열 이용 스케줄을 사용한다. 축열/열 이용 여부를 판단하여 축열을 하는 경우에 축열 알고리즘 1번을 사용하고, 사용안할 때에는 축열 알고리즘 2번을 사용하며, 열 이용을 하는 경우에는 축열 알고리즘 3번을 사용한다. 이러한 축열 알고리즘을 통해서 열 생산 스케줄을 결정한다.

앞에서 설명한 축열량 결정 알고리즘은 그림 4.13 과 같다.



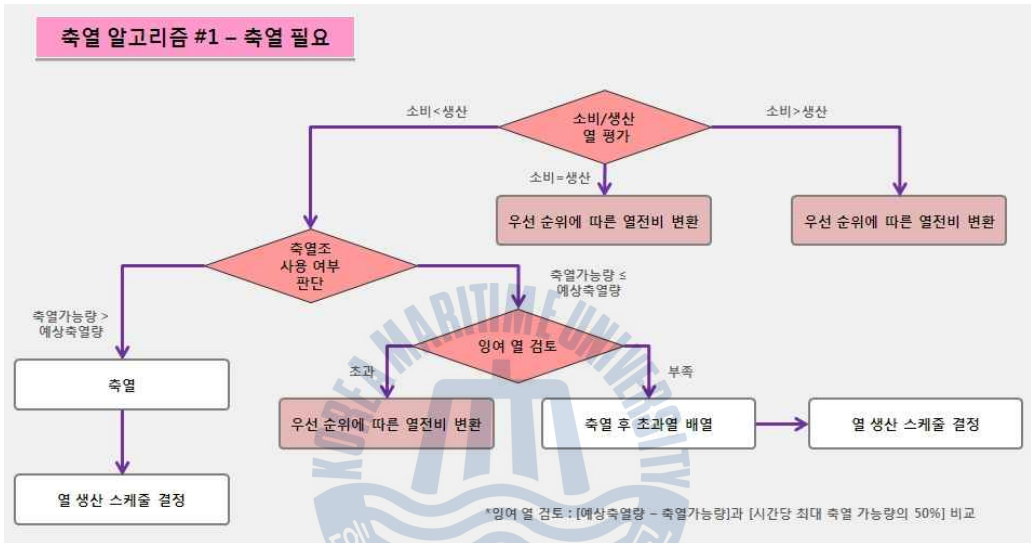
[그림 4.13] 축열량 결정 알고리즘

다음은 축열/열 이용 스케줄에 따라서 운영되어지는 축열 알고리즘을 나타냈다.

### 가. 축열을 하는 경우

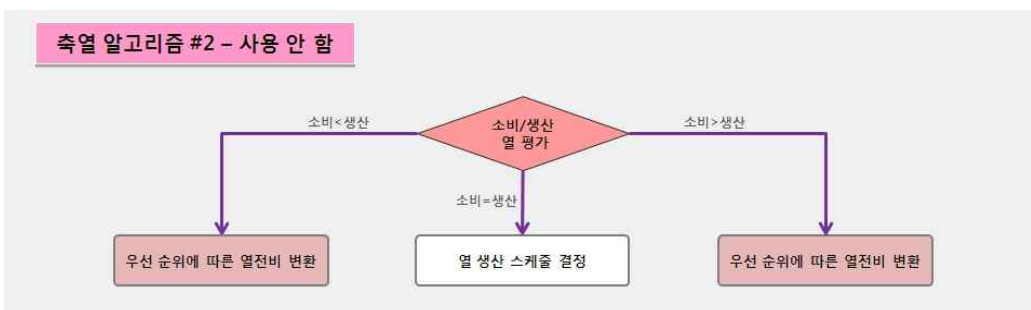
이것은 축열/열 이용 스케줄을 통해 축열을 하는 것으로 정해진 경우이다. 소비량과 생산량에 대해 평가를 한다. 소비량이 생산량 보다 크거나 같으면 우선순위에 따른 열전비를 변환시켜야 하고, 소비량보다 생산량이 클 경우 축열을 할 수 있는 축열조 용량이 여유가 있는지 판단을 한다. 축열이 가능한 양이 축열을 할 양 보다 큰 경우는 축열을 한 뒤 열 생산 스케줄을 결정한다. 그러나 축열이 가능한 양이 축열을 할 양 보다 작거나 같으면 잉여 열을 검

토하여 판단한다. 잉여 열의 검토는 [예상축열량 - 축열가능량]과 [시간당 최대 축열 가능량의 50%]를 비교하여 앞의 값과 비교 값이 많으면, 우선순위에 따라 열전비를 변환하고, 작을 경우는 축열을 하고 남은 열은 배열을 한다. 배열 한 뒤에 열 생산 스케줄을 결정한다. 이 알고리즘은 그림 4.14 에 나타냈다.



[그림 4.14] 축열 알고리즘 1

## 나. 사용 안하는 경우

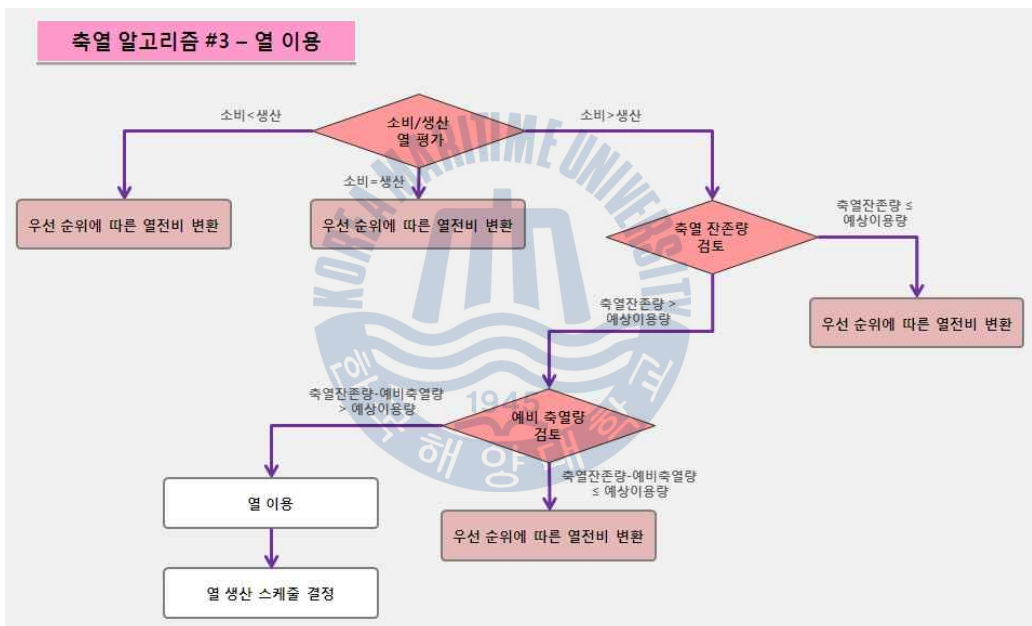


[그림 4.15] 축열 알고리즘 2

이 경우는 그림 4.15 와 같이 소비량과 생산량이 같을 경우 바로 열 생산 스케줄을 결정하고, 크거나 작을 경우는 우선순위에 따라 열전비를 변환시킨다.

### 다. 열 이용하는 경우

열을 이용하는 경우에는 그림 4.16 과 같다.



[그림 4.16] 축열 알고리즘 3

생산량이 소비량보다 크거나 같은 경우는 우선순위에 따른 열전비 변환이 필요하다. 그러나 생산량이 적을 경우에 축열 되어있는 열을 사용해야 하므로 축열 되어있는지 검토를 한다. 이때, 저장 되어있는 열의 양이 이용하고자 하는 양보다 적거나 같을 경우 우선순위에 따른 열전비 변환을 한다. 적을 경우엔 당연히 다시 열전비 변환을 해야 하지만 같은 경우는 그냥 써도 된다고 생

각 할 수 있으나, 사용하는 시간에만 생각하는 것이 아니라 24시간 운영되는 것이기 때문에 예비 축열량을 확보하기 위해서 저장된 열을 다 사용하는 경우는 없는 것으로 한다.

이어서 저장 되어있는 열의 양이 이용하고자 하는 양보다 많은 경우 사용할 수 있으나, 위에서 말한 예비 축열량을 확보하기 위해서 예비 축열량의 확보가 안되는 경우는 열전비 변환을 하고, 예비 축열량이 확보가 되는 경우는 열을 이용하고, 열 생산 스케줄을 결정한다.

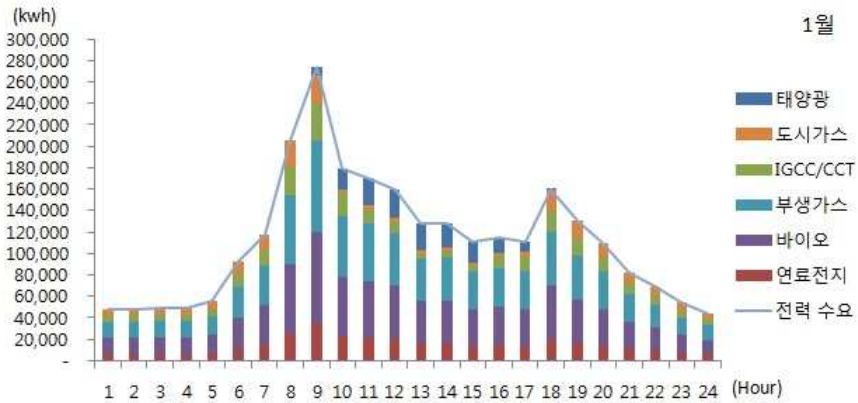
#### 4.3.2 축열 스케줄 결정

본 연구에서 축열 스케줄은 사계절에 맞추어 겨울은 1월, 봄은 4월, 여름은 7월, 가을은 11월의 모습을 각각 보여주고자 한다.

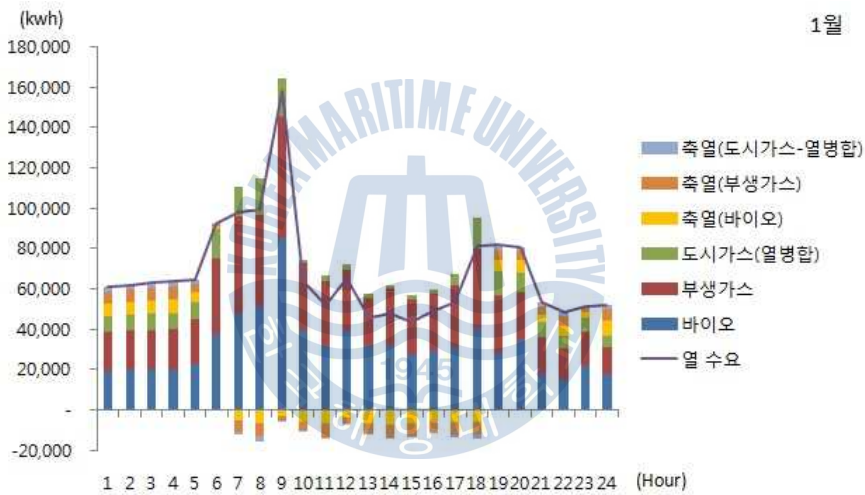
축열 스케줄을 보여주기 위해서 앞에서 제시한 모든 알고리즘을 사용하여 진행되었다.

전력 생산 스케줄과 열의 생산 스케줄을 그래프로 나타내었다. 축열 스케줄은 따로 축열부분만 따로 분리하지 않고 열 생산 스케줄에서 전체적으로 변동되는 것을 나타냈다. 그리고 전력과 열의 단위는 비교하기 쉽게 kwh로 통일하였다.

다음은 겨울의 전력과 열의 생산 스케줄이다. 1월의 스케줄은 전력과 열의 수요가 함께 많은 겨울의 스케줄의 대표가 될 수가 있다. 축열의 모습은 낮시간에 더 많은 전력을 생산함으로 인해 열의 생산이 많아지고, 그 열을 축열했다가 밤에 전력이 많이 필요하지 않을 때 발전을 적게 돌리고 필요 열은 저장되었던 열을 사용하는 패턴을 가지고 있다. 그리고 축열의 경우 어느 플랜트에서 열이 더 남아서 축열이 되는 것 까지 알 수 있다.



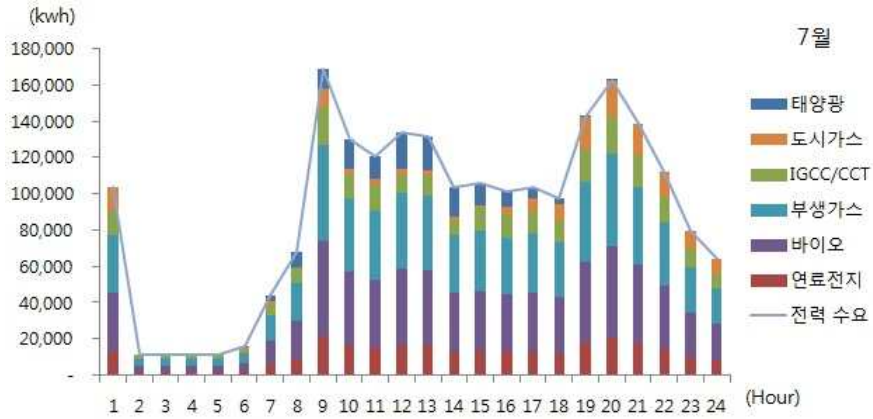
[그림 4.17] 1월의 전력 생산 스케줄



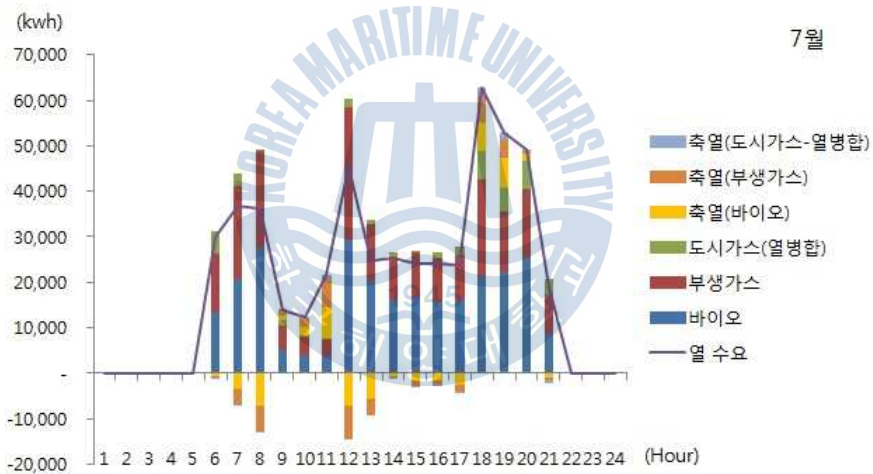
[그림 4.18] 1월의 열 생산 스케줄

다음은 겨울과 대조 되는 여름의 전력과 열의 생산 스케줄이다. 여름은 전력은 많이 쓰고 열은 필요로 하지 않는 계절로 다른 계절들과 다르게 밤과 새벽에는 열 생산을 하지 않고 수요도 없다. 그러므로 매우 소량의 필요한 열이 있다면 축열조에 저장 되어있는 열을 쓰고, 따로 생산은 하지 않는다. 또한, 많은 전력을 필요로 하므로 낮 시간에 생산되는 전력과 함께 열을 생산하여, 저장하는 모습을 볼 수 있다.



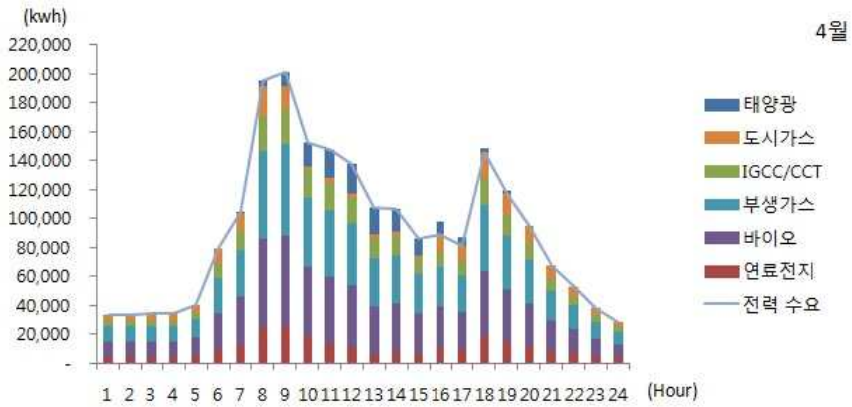


[그림 4.19] 7월의 전력 생산 스케줄

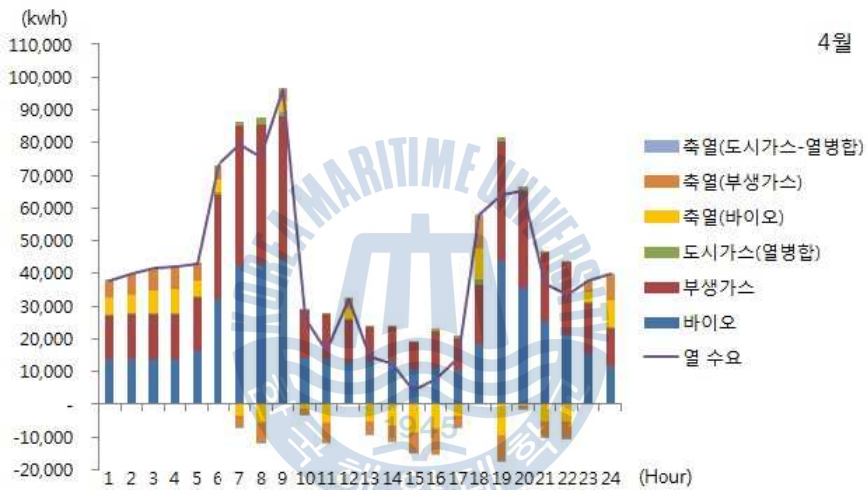


[그림 4.20] 7월의 열 생산 스케줄

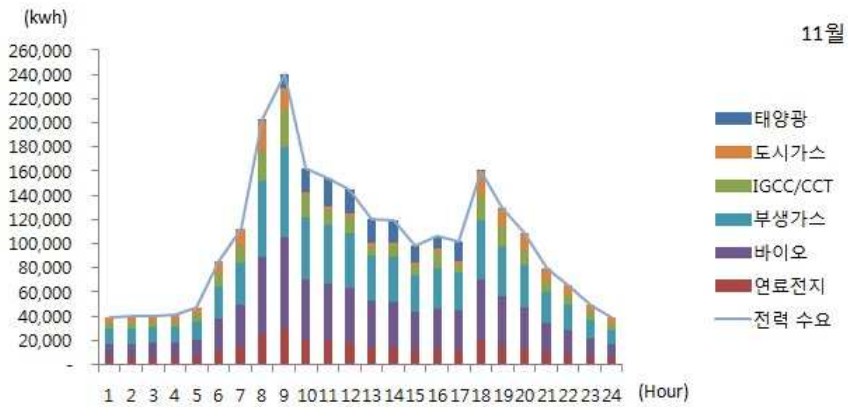
봄과 가을은 비슷한 패턴을 보이고 있으며, 열의 수요가 겨울만큼 많은 시기가 아니므로 열병합 도시가스의 사용을 최대한 줄여서 사용하는 모습을 나타낸다.



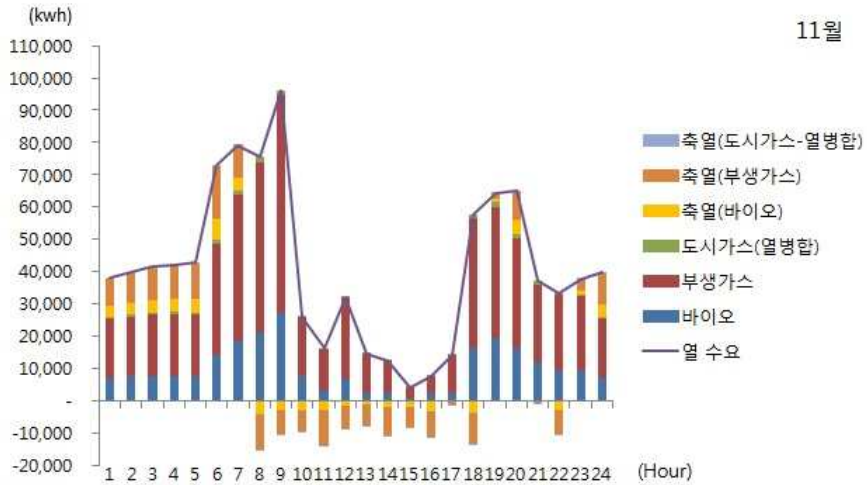
[그림 4.21] 4월의 전력 생산 스케줄



[그림 4.22] 4월의 열 생산 스케줄

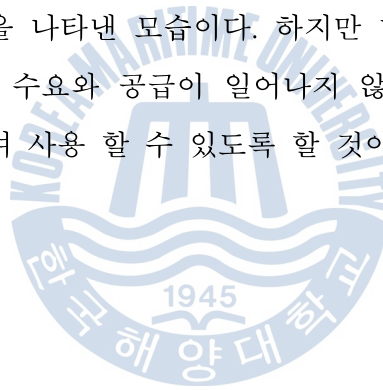


[그림 4.23] 11월의 전력 생산 스케줄



[그림 4.24] 11월의 열 생산 스케줄

각 월의 하루의 패턴을 나타낸 모습이다. 하지만 대표가 되는 한 날이 있다고 하더라도 매번 같은 수요와 공급이 일어나지 않음으로 향후 각 계절마다 더 많은 패턴을 분석하여 사용 할 수 있도록 할 것이다.



## 제5장 결 론

전 세계 적으로 에너지 사용량이 산업화가 진행되면서 꾸준한 증가 추세를 보이고 있다. 하지만 화석에너지 자원의 감소와 기후변화, 지구 온난화로 인한 문제점이 인식되면서 저탄소 녹색성장(green growth)이 새로운 화두로 등장하였고, 우리나라도 국가 뉴 비전으로 저탄소 녹색성장을 제시하였다.

본 연구에서는 저탄소 녹색성장을 위해 필요하고 도시에너지를 효율적으로 통합관리·운영하기 위해 도시차원의 차세대에너지의 시스템이 구축될 경우 도시차원의 차세대에너지 통합관리·운영을 효율적으로 하기 위한 알고리즘을 개발을 하였다.

본 연구를 통해 조사·개발 내용은 다음과 같다.

1) 마이크로그리드는 다수의 소규모 분산전원과 부하의 집합체로서 기존의 전력망과 연계 혹은 분리 운전될 수 있는 소규모 전력망이고, 이 스마트그리드는 전력 공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환함으로써 에너지 효율을 최적화하는 ‘지능형 전력망’이다. 지역냉난방발전은 분산형전원의 한 종류로 전기와 열을 동시에 생산하는 시스템이다. 본 연구에서는 지역냉난방발전의 전력과 열을 동시에 생산·공급하는 특징과 스마트그리드의 정보교환기술을 사용하여, 마이크로그리드의 소규모 전력망보다 조금 더 큰 도시차원의 에너지를 통합하여 운영하고자 한다.

2) 도시차원의 에너지 통합 운영시스템의 알고리즘은 에너지 수요예측량을 이용하고, 태양광발전과 풍력발전의 발전량을 먼저 예측한다. 다음으로 열병합 플랜트 생산량을 검토하는데, 먼저 전력생산 스케줄을 검토하고, 전력생산 우선순위 알고리즘에 따라 발전 스케줄을 결정한다. 발전 스케줄이 결정되면 열

전비에 따른 열 생산량을 검토하고 열 생산 스케줄은 축열량 결정 알고리즘과 열 생산 우선순위 알고리즘을 사용하여 결정한다. 3장에서 위에 설명한 에너지 통합 운영시스템을 제안하였다.

3) 에너지 통합 운영 알고리즘 개발을 위해서 본 논문에서는 세가지 사항을 고려하여 진행하였다.

① 생산우선순위의 평가항목을 CO<sub>2</sub> 발생량과 발전단가로 고려했을때, 전기 생산의 우선순위는 풍력, 태양광, 소수력, 바이오매스, 연료전지, 부생가스, 석탄가스화 복합발전, 폐기물 순으로 생산한다. 열의 생산 우선순위는 바이오매스, 연료전지, 부생가스, 지열, 폐기물의 순서로 생산한다. 이것을 토대로 생산 우선순위의 알고리즘을 개발하였다.

② 태양광의 발전량은 일사량의 예측방법으로 선행연구로 진행되었던 “일기예보를 이용한 일사량 예측기법 개발”을 적용하였고, 풍력발전량은 풍속보정과 출력성능곡선을 통해 발전량을 추정하였다.

③ 축열량 결정을 하기 위해 필요한 축열량 결정 알고리즘을 나타내었다. 그리고 에너지의 수요와 발전량이 계절에 따라 달라지므로 축열/열 이용의 스케줄도 다를 것으로 생각하여, 축열량은 우리나라의 특성에 맞게 4계절에 따라 스케줄을 결정하였다.

본 연구를 통하여 앞으로 탄소 발생 저감과 탄소 발생량 제로 도시를 만들 수 있는 도시차원의 에너지 통합 운영 알고리즘을 개발하였다.

하지만 아직 국내에 신·재생에너지에 대한 탄소발생량이 확실하게 산정되어 있지 않음으로 인해 저감되는 양을 알기가 어려움이 있다. 그리고 발전단가만 명시되어 있는 가운데 신·재생에너지의 건설단가, 운영단가가 나뉘어져서 비용

에 대해서도 명확한 자료들이 나와야 한다. 또한, 앞으로 신·재생에너지가 보급화가 되면 신·재생에너지 중에 연료가 매우 다양한 에너지의 경우가 있다. 이런 에너지는 연료에 따라 달라지는 탄소발생량, 운영단가에 대한 자료도 필요할 것이다.

축열 스케줄은 향후 더 많은 패턴을 분석하여, 어떠한 상황에도 무리 없이 사용할 수 있도록 여러 가지 스케줄이 필요하다.



## [참 고 문 헌]

### ▣ 단행본

1. 박종웅 외, 《에너지학개론》, 동화기술, 2010
2. 고동수, 《요국의 스마트그리드 추진 현황과 정책적 시사점》, 산업연구원, 2011
3. 손학식, 《열병합발전시스템》, 기다리, 2005
4. 강정길, 《공기조화설비설계》, 기문당, 1999
5. 에너지관리공단 신·재생에너지센터, 《태양광》, 북스힐, 2008
6. 데이코산업연구소, 《녹색성장을 위한 풍력산업 실태와 전망》, 진한엠엔비, 2009
7. 한국해양대학교 산학협력단, 《U-기반 차세대에너지 통합관리·운영시스템 기술 개발 2차년도 연구결과보고서》, 건설교통부 한국건설교통기술평가원, 2009.6.29
8. 한국지역난방공사·에너지경제연구원, 《지역난방 발전계획 수립에 관한 연구: 중간보고서》, 1996, pp.31~44.
9. 산업자원부, 시설원예용 수평형 지열히트펌프 시스템 실증연구, 2007.12.29
10. 지열전문위원회, 신·재생에너지 지열분야 - 기술 및 시장 동향분석 보고서, 2007.10
11. 한국해양대학교 산학협력단, 《U-기반 차세대에너지 통합관리·운영시스템 기술 개발 1단계 연구결과보고서》, 건설교통부 한국건설교통기술평가원, 2010.04.29

### ▣ 국내논문

1. 구자훈, 「가스엔진 열병합발전의 계절별 열전비 조정」, 한국플랜트학회,

Vol.7 No.1 March 2011, pp. 4~12

2. 이훈, 「무공해 청정자원 지열에너지 해외현황(독일 중심으로)」, 한국지역난방협회, pp. 42~47
3. 한국지구시스템공학회, 「GETEM 모델을 이용한 석모도 지역 지열발전 경제적 가능성 평가」, Vol.47 No.3 2010, pp. 267-276
4. 이영재, 「소형가스 열병합발전의 국내외 시장 및 기술동향-특집원고」, 한국설비기술협회-설비/공조·냉동·위생 제22권 제2호 통권245호 (2005. 2), pp.34~41
5. 유호천, 이관호, 강현구(2009), 「표준기상데이터의 운량과 일사량 데이터 비교분석」, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집 vol.2009 No.11, pp.330~335
6. 원종민, 도근영, 허나리(2011), 「일기예보를 이용한 일사량 예측기법개발」, 한국향해항만학회지 vol.35 No.5, pp.387~392
7. 이상무, 「풍력발전기의 개발 동향 및 경제성」, 한국풍공학회, 제4권 2호 (2000), pp126~133
8. 김용기·이태원, 「에너지부하를 고려한 지역난방 축열조의 최적설계에 관한 연구」, 대한설비공학회 2004하계학술발표대회 논문집, pp.513~518
9. 안종보, 「마이크로그리드 운영기술과 국내 연구 동향」, 전력전자학회, 제15권 2호 (2010 .4), pp25~29
10. 천영길, 「스마트그리드 구축을 위한 전력저장기술 및 제도적 개선방안 연구」, 한양대학교(석사논문), 2010. 2

#### ▣ 기타문헌

1. 산업자원부, '산업체 부생가스로부터 유용한 에너지원의 생물학적 생산기술 개발', 2001
2. 한국에너지기술평가원, '그린에너지 전략 로드맵 : 녹색성장 실현을 위한 R&D 이정표 : IGCC', 한국에너지기술평가원



3. 산업자원부, '파워파크(Power park) 조성을 위한 기획연구사업', 2005
4. 한국지역난방공사·한국과학기술원, '중장기 사용연료정책 연구', 2003, pp.126~127

#### ■ 웹사이트

1. 한국 신 재생에너지 협회, <http://www.knrea.or.kr>
2. 에너지관리공단 신·재생에너지센터, <http://www.energy.or.kr>
3. 인천공항에너지주식회사, <http://www.iae.co.kr/center/info.jsp>
4. 인터넷 카페 '삼성SDI', <http://blog.naver.com/sdibattery/60144936838>
5. 인터넷 카페 '나의 인생도전 그리고 꿈의실현, 소형 열병합 발전 시스템의 도입과 운영 ⑥', <http://blog.naver.com/muckangkim/100030354322>
6. 인터넷 카페, '지열에너지, 지열 히트펌프 시스템', <http://blog.daum.net/hankook0510/72>
7. 인터넷 카페, '태양광발전시스템 구성', <http://blog.naver.com/hjo0075/150097336249>
8. 태창엔이티 <http://www.tc-net.co.kr>
9. Suzlon Energy <http://www.suzlon.com>
10. 유니슨 <http://www.unison.co.kr>
11. 밀리넷솔라, <http://www.millinetsolar.com/product/product02.asp>
12. 세기센추리 <http://www.segigb.com>
13. 네이버 카페'the goods', <http://cafe.naver.com/cetech2003/8724>
14. 부생가스 도시가스 전환사업 '관심 집중', 투데이에너지, 2007년04월12일, <http://www.todayenergy.kr/news/articleView.html?idxno=29325>
15. 기상청 날씨 <http://www.kma.go.kr/weather/main.jsp>
16. 스마트 그리드 벽을 넘어라, 환경일보, 2009년 09월 25일, <http://www.hkbs.co.kr/hkbs/news.php?mid=1&r=view&treec=131&uid=160409>

## 감사의 글

본 논문이 완성되기까지 많은 지도와 배려를 아끼지 않으신 도근영 지도교수님께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 바쁘신 중에도 논문심사를 해주시고 항상 격려로 지도해 주신 송화철, 박동천 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한, 학부시절부터 건축에 대해 알게 해주신 이한석, 박수용, 이명권, 안웅희, 오광석 교수님께 감사드립니다.

대학원 생활을 하면서 제가 여기까지 올 수 있도록 힘이 되어주신 건축 환경 설비 연구실 임덕민님, 원종민님 외 후배님들께 감사의 마음을 전하며, 대학 4년, 대학원 2년동안 함께 공부하며 알게 된 선배, 후배님들과 주위 모든 사람들에게 고마운 마음을 전합니다.

개인적으로 지치고 힘든 일이 있을때, 언제나 힘이 되어주고 기도해주신 영안교회 청년부 공동체에도 감사의 마음을 전합니다. 특히 언제든지 연락하면 시간 내어주는 이종구, 최진호, 류준희, 이지원에게 고마운 마음을 전합니다. 그리고 항상 어려움과 힘듦은 1/2로, 기쁨은 2배로 함께 해주었던 사랑하는 친구 김다희, 송하희, 류영선, 한아름, 이은민, 서지광에게도 고마운 마음을 전합니다.

마지막으로 사랑으로 이때까지 아낌없는 나무가 되어주신 사랑하는 부모님, 든든한 조연자 오빠, 부모님의 마음으로 항상 지지해주는 큰이모와 작은이모, 항상 손녀를 위해 기도해주시고 아껴주시는 친할머니, 외할머니께 진심으로 감사의 마음을 전합니다.

앞으로도 내가 죽는 날까지, 그 이후에도 영원히 함께 하실 하나님을 잊지 않고 살아가길 바라며, 이 땅에 정말 필요한 사람으로 살아갈 수 있도록 계속 지켜봐 주시고 언제나 모든 분들의 가정에 건강과 행복이 함께 하시길 기원합니다.