

第 111 回 碩士學位論文

指導教授 李 彦 求

건축물의 신재생에너지

복합 활용 계획에 관한 연구

**A Study on the Application of Hybrid Renewable
Energy Systems to the Building**

中央大學校 大學院

建築學科 建築環境 및 設備專攻

金 成 垠

2009年 8月

건축물의 신재생에너지
복합 활용 계획에 관한 연구

A Study on the Application of Hybrid Renewable
Energy Systems to the Building

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함.

2009年 8月

中央大學校 大學院
建築學科 建築環境 및 設備專攻
金 成 垠

金成垠의 碩士學位論文으로 認定함.

審査委員長

朴 辰 哲



審査委員

權 寧 喆



審査委員

李 彦 求



中央大學校 大學院

2009年 8月

목 차

제 1 장 서 론	1
1.1. 연구의 배경 및 목적	1
1.2. 연구의 범위 및 방법	3
1.3. 선행 연구 고찰	5
제 2 장 신재생에너지 복합 활용의 필요성 및 적용현황 분석	7
2.1. 신재생에너지의 복합 활용의 필요성	7
2.1.1. 신재생에너지의 건물 적용과 한계	7
2.1.2. 신재생에너지 복합 활용의 개념	10
2.1.3. 신재생에너지 복합 활용의 필요성	11
2.2. 국내외 신재생에너지 복합 활용 현황	13
2.2.1. 국내외 신재생에너지 적용 현황	13
2.2.2. 국내외 복합 활용 계획	14
2.3. 소결	18
제 3 장 신재생에너지 복합 활용 계획 프로세스	20
3.1. 신재생에너지 시스템의 특성	20
3.1.1. 태양광 발전 시스템	20
3.1.2. 태양열 시스템	25
3.1.3. 풍력 발전 시스템	28
3.1.4. 지열	32
3.1.5. 소결	35
3.2. 건물의 에너지 소비 특성	36
3.2.1. 주거건물	37
3.2.2. 업무용 및 상업용 건물	38
3.2.3. 기타 건물	39

3.3. 신재생에너지 복합 활용 계획 프로세스	40
3.3.1. 신재생에너지 시스템 복합 활용 방안	40
3.3.2. 신재생에너지 복합 활용 계획 프로세스	43
제 4 장 신재생에너지 시스템 복합 활용 사례 연구	46
4.1. 개요	46
4.2. 신재생에너지 적용 가능성 분석	47
4.3. 신재생에너지 복합 활용	48
4.3.1. 신재생에너지 적용 목표 설정 및 시스템 선정	48
4.3.2. 에너지 소비량 조사	48
4.3.3. 에너지 소비패턴 및 신재생에너지 생산패턴 분석	54
4.3.4. 신재생에너지 시스템의 계획 시 적용 가능한 요소	56
4.4. 신재생에너지 복합 활용안 분석	59
4.4.1. 공동주택	59
4.4.2. 근린상가	64
4.5. 소결	67
제 5 장 결 론	70
참 고 문 헌	73
국 문 초 록	77
ABSTRACT	80

표 목 차

<표 2.1> 부문별 최종에너지 연평균 소비증가율	8
<표 2.2> 건물에 적용 가능한 신재생에너지원	10
<표 2.3> 녹색성장 3대 요소와 내용	16
<표 3.1> 태양광 시스템의 장·단점	25
<표 3.2> 태양열 이용기술의 분류	26
<표 3.3> 태양열 시스템의 장·단점	28
<표 3.4> 풍력 발전 시스템의 장·단점	31
<표 3.5> 지열 시스템의 장·단점	34
<표 3.6> 건물에 적용 가능한 신재생에너지 시스템별 특성	35
<표 3.7> 건물의 전기에너지 소비 및 신재생에너지 시스템 에너지 생산 ...	41
<표 3.8> 건물의 열에너지 소비 및 신재생에너지 시스템 에너지 생산 ...	42
<표 4.1> 대상 샘플도시의 구성(좌)과 배치도(우)	46
<표 4.2> 대상 건물 개요	46
<표 4.3> 전국 주요 도시의 월별 연평균 1일 수평면 일사량(1982~2004) ...	47
<표 4.4> 인천지역 월별 일평균 풍속(기상청 30년 평년값)	48
<표 4.5> 서울 및 수도권, 인천 지역에서의 단위 난방부하	49
<표 4.6> 공동주택 및 근린상가 난방부하	49
<표 4.7> 월별 급탕 부하율	50
<표 4.8> 시간대별 급탕 사용율	50
<표 4.9> 서울 및 수도권, 인천 지역에서의 단위 급탕부하	50
<표 4.10> 공동주택 및 근린상가 급탕부하	51
<표 4.11> 건물별 표준 부하 밀도	52
<표 4.12> 공동주택 및 근린상가 전력부하	52
<표 4.13> 근린상가 냉방부하	53
<표 4.14> 연간 에너지 부하	53
<표 4.15> 공동주택의 시간당 에너지 부하량 예측 결과값	55
<표 4.16> 근린상가의 시간당 에너지 부하량 예측 결과값	55
<표 4.17> 태양열 시스템의 설치 사양	60
<표 4.18> 지열 시스템의 설치 사양	61
<표 4.19> 태양광 발전 시스템의 설치 사양	61

<표 4.20> 풍력 발전 시스템의 설치 사양	62
<표 4.21> 신재생에너지 시스템의 난방 및 급탕 에너지 생산량	62
<표 4.22> 태양광 발전 시스템의 설치 사양	65
<표 4.23> 지열 시스템의 설치 사양	65
<표 4.24> 신재생에너지 시스템의 난방 및 급탕 에너지 생산량	66
<표 4.25> 신재생에너지 시스템 적용가능성 및 복합 활용 가능성	68

그림 목차

(그림 1.1) 연구 흐름	4
(그림 2.1) GDP와 에너지 소비	7
(그림 2.2) 에너지 소비량 비교	7
(그림 2.3) 2007년 부문별 소비	8
(그림 2.4) 부문별 최종에너지 소비 추이	8
(그림 2.5) Smart Grid 개념도	15
(그림 2.6) 녹색성장 선순환구조	16
(그림 2.7) 녹색도시의 에너지공급 시스템	18
(그림 3.1) 태양광 발전 시스템의 구성 요소	20
(그림 3.2) 태양전지의 기본 구조 및 작동 원리	21
(그림 3.3) 독립형 태양광 발전 시스템	22
(그림 3.4) 계통연계형 태양광 발전 시스템	22
(그림 3.5) 하이브리드형 태양광 발전 시스템	22
(그림 3.6) 서울의 수평면 일사량	24
(그림 3.7) 춘분(3.20) 수평면 일사량	24
(그림 3.8) 하지(6.21) 수평면 일사량	24
(그림 3.9) 추분(9.23) 수평면 일사량	24
(그림 3.10) 동지(12.22) 수평면 일사량	24
(그림 3.11) 태양열 시스템의 구성	25
(그림 3.12) 태양열 온수기	27
(그림 3.13) 태양열 난방시스템	27
(그림 3.14) 풍력 발전 시스템 구성	29
(그림 3.15) 수평축형과 수직축형	29
(그림 3.16) 서울의 풍속	31

(그림 3.17) 춘분(3.20) 풍속	31
(그림 3.18) 하지(6.21) 풍속	31
(그림 3.19) 추분(9.23) 풍속	31
(그림 3.20) 동지(12.22) 풍속	31
(그림 3.21) 지열 시스템 - 냉방	32
(그림 3.22) 지열 시스템 - 난방	32
(그림 3.23) 지열 시스템의 종류	33
(그림 3.24) 에너지 요소	36
(그림 3.25) 주거건물의 시간별 에너지부하량	37
(그림 3.26) 주거건물의 운영 스케줄	37
(그림 3.27) 기기 스케줄 보정	38
(그림 3.28) 업무건물의 시간별 에너지부하량	39
(그림 3.29) 상업건물의 시간별 에너지부하량	39
(그림 3.30) 업무 및 상업 건물의 운영스케줄	39
(그림 3.31) 병원 건물의 시간별 에너지부하량	39
(그림 3.32) 숙박용 건물의 시간별 에너지부하량	39
(그림 3.33) 신재생에너지 복합 활용 계획 프로세스	45
(그림 4.1) 공동주택 운영스케줄에 따른 에너지 부하율	54
(그림 4.2) 근린상가 운영스케줄에 따른 에너지 부하율	54
(그림 4.3) 공동주택의 에너지 소비량 예측결과	54
(그림 4.4) 근린상가의 에너지 소비량 예측결과	54
(그림 4.5) 연평균 수평면 일사량	56
(그림 4.6) 태양 에너지 생산율	56
(그림 4.7) 연평균 풍속	56
(그림 4.8) 풍력 에너지 생산율	56
(그림 4.9) 공동주택의 열에너지 소비 및 생산 개념도	58
(그림 4.10) 공동주택의 전기에너지 소비 및 생산 개념도	58
(그림 4.11) 근린상가의 열에너지 소비 및 생산 개념도	59
(그림 4.12) 근린상가의 전기에너지 소비 및 생산 개념도	59
(그림 4.13) 열에너지 소비량 및 생산량 비교	63
(그림 4.14) 전기에너지 소비량 및 생산량 비교	63
(그림 4.15) 열에너지 소비량 및 생산량 비교	67
(그림 4.16) 전기에너지 소비량 및 생산량 비교	67

제 1 장 서 론

1.1. 연구의 배경 및 목적

기후변화의 문제는 과거 가능성의 차원에서 제기되던 것이 현재는 지구상 동식물의 생존자체를 위협하는 가장 큰 문제로 받아들여지고 있다. 특히, 2007년 11월 발표된 유엔 기후변화정부간협의체(Inter-governmental Panel on Climate Change: IPCC)의 제 4차 보고서에 따르면, 현재의 기후변화를 일으키는 원인의 90%이상이 인간에게 있다고 한다.¹⁾ 이러한 범지구적인 환경문제를 해결하고자 1992년 UN환경개발회의에서 기후변화에 관한 국제연합 기본협약(UNFCCC)이 채택되었으며, 온실가스의 실질적인 감축 이행을 위한 교토의정서(Kyoto Protocol)를 1997년 채택, 2005년 2월 공식 발효되었다. 이에 따라 호주, 캐나다, 일본, 유럽연합 등 37개 의무이행 대상국들은 제1차 공약기간인 2008~2012년 사이 온실가스 총배출량을 1990년도 배출량 대비 평균 5.2% 감축하여야 한다. 우리나라의 경우 현재 온실가스 배출량은 세계 9위²⁾, 1990년 이후 온실가스 배출량 증가는 85.4%로 세계 최고의 증가세를 기록하고 있기 때문에 2차 의무대상국으로 분류될 가능성이 높다. 이에 대해 정부는 종합대책을 수립하여 분야별 실천계획을 추진하고 있다.

기후변화의 주요 원인은 생활수준 향상에 따른 화석연료의 사용량 증가에 있다. 산업혁명 이후 인류의 생활은 과거와 비교할 수 없을 정도로 풍요롭고 쾌적한 생활을 향유할 수 있게 되었으며, 이를 위해 많은 에너지를 소비하고 있다. 그러나 현재 주로 소비되는 에너지 자원은 화석연료로, 한정된 자원량으로 인해 공급 능력의 한계에 가까워지고 있다. 세계 각국에서는 현재 에너지자원 확보에 심혈을 기울이고 있으며, 국가별 에너지 자원 확보경쟁이 심화되고 있다. 특히, 약 97%의 에너지를 해외에 의존³⁾하는 우리나라의 경우 산유국의 정세 불안과 에너지 수급 불안에 따른 고유가상태의 지속으로 안정적인 에너지 공급에 큰 영향을 받고 있다.

전세계는 현재 기후변화로 상징되는 ‘환경’위기와 고유가로 대표되는 ‘자원’ 위기에 직면해 있다. 이를 현명하게 대응할 수 있는 방안으로써 주목받고 있

1) IPCC, Climate Change 2007 Synthesis Report, 2007.11

2) IEA 2004, CO₂ 배출량

3) 에너지관리공단, 신재생에너지백서 2008

는 것이 바로 신재생에너지이다. 신재생에너지원은 CO₂ 배출량을 줄이면서 한정된 자원인 화석연료를 대체할 수 있는 친환경적이고 무한한 에너지 자원이다. 또한 에너지의 외부 의존도를 줄이고, 국내 에너지 수급 안정화를 꾀할 수 있다.

최근 우리나라 정부는 새로운 국가비전으로 기후변화 대응 및 국가 경쟁력 확보를 위한 ‘저탄소 녹색성장(Low Carbon, Green Growth)’을 제시하고 있다. 녹색성장은 환경(Green)과 경제(Growth)의 선순환 구조를 통해 양자의 시너지를 극대화하고 이를 새로운 국가발전 동력으로 삼는 것⁴⁾으로써 신재생에너지의 개발 및 보급의 중요성을 강조하고 있다.

신재생에너지 시스템은 자연에너지를 직접 변환하여 전기 및 열에너지를 생산하며, 각각의 시스템별로 생산되는 에너지의 형태가 다르다. 건물에 사용되는 에너지는 열 및 전기에너지로 대표된다. 난방에너지의 경우 주로 도시가스, 등유 등의 화석연료를 소비하는 보일러를 통해 얻어지고 있으며, 냉방 및 필요한 전기 에너지의 경우 외부 전력 공급망으로부터 제공받고 있다. 특히 전기에너지의 대표적인 1차에너지원은 석탄, 석유, 천연가스 등의 화석연료⁵⁾ 생산에서 공급까지 가스나 등유보다 높은 내재에너지(Embodied Energy)를 갖는다. 환경친화적인 에너지인 신재생에너지원을 활용하여 건물에 필요한 열과 전기에너지를 모두 공급하기 위해서는 각 신재생에너지 시스템의 복합적인 활용이 필요하다.

또한 건축물 및 도시에 필요한 에너지 공급을 위해 신재생에너지를 활용할 경우, 외부 환경 변화에 의존을 많이 하는 에너지원이라는 특징을 고려했을 때 연속적이고, 안정적인 에너지 공급이 어렵다는 문제가 있다. 따라서 한 가지 신재생에너지원을 사용하기보다는 여러 가지를 복합적으로 활용함으로써 서로 상호 보완적 관계 속에서 안정적으로 에너지를 공급할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 신재생에너지 시스템의 복합 활용 계획을 위하여 국내외 현황을 파악하고, 특히 신재생에너지 특성 및 건물의 에너지 소비 패턴을 분석함으로써 신재생 에너지의 복합 활용 계획 프로세스를 제안하였다. 또한, 복합 활용 계획 프로세스를 적용하기 위하여 공동주택과 근린상가를 대상으로 사례연구를 실시함으로써 건물에서 신재생에너지의 복합 활용 가능성을 확인하였다. 본 연구는 궁극적으로 저탄소 녹색성장 시대에 온실가스 저감의 기초적 자료로 활용될 것이다.

4) 녹색성장 홈페이지, <http://www.greengrowth.go.kr/>

5) 2007년 에너지 통계에 의하면, 전기 발전 설비의 구성비가 화석연료 63.3%, 원자력 26%, 수력 8%, 집단 2%, 대체 0.5%으로 화석연료의 구성비가 가장 크다. 자료 : <http://www.kepco.co.kr/>

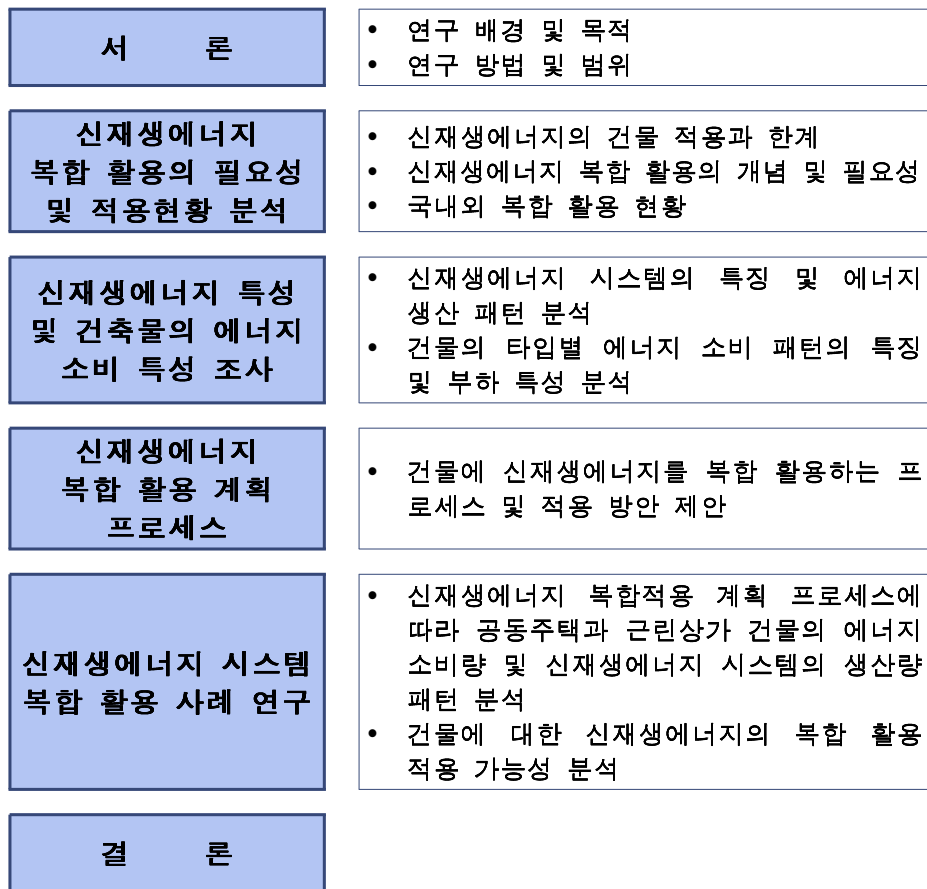
1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 각 신재생에너지 시스템을 건물에 효율적으로 복합 활용하기 위한 기초자료를 제공하고자, 태양열, 태양광, 소형 풍력, 지열 시스템 각각의 특징을 분석하고, 실제 건물에서의 에너지 소비 패턴을 조사하였다. 또한, 신재생에너지의 복합적용에 대한 필요성 및 소비 패턴과 에너지 생산특성에 따른 복합적용의 활용 계획프로세스를 제안하였으며, 이에 따른 건물의 에너지 소비 패턴 및 신재생에너지 복합 활용의 기대효과를 분석하였다.

본 연구의 내용 및 방법은 다음과 같다.

- (1) 신재생에너지 복합 활용의 필요성 및 적용현황 분석
 - 신재생에너지 복합 활용의 개념을 정의하고 그 필요성 및 국내외 이용현황을 알아본다.
- (2) 신재생에너지의 특성 및 건축물의 에너지 소비 특성 조사
 - 건물 적용가능성이 높은 태양열, 태양광, 지열, 풍력시스템에 대한 각 시스템별 특징 및 에너지 생산 패턴을 분석한다.
 - 건물의 타입별 에너지 소비 패턴의 특징 및 부하 특성을 분석한다.
- (3) 신재생에너지 복합 활용 계획 프로세스
 - 에너지 소비 패턴 및 신재생에너지 시스템의 특성 분석을 바탕으로 건물에서 신재생에너지를 복합 활용하는 경우 적용 프로세스 및 적용 방안을 제안한다.
- (4) 신재생에너지 시스템 복합 활용 사례 연구
 - 신재생에너지 복합적용 계획 프로세스에 따라 공동주택과 근린상가 건물을 대상으로 사례연구를 실시하여 에너지 소비량 및 신재생에너지 시스템의 생산량 패턴을 분석한다.
 - 사례연구결과 분석을 통하여 건물에 대한 신재생에너지 복합 활용의 적용 가능성을 분석한다.

본 연구의 흐름은 (그림 1.1)과 같다.



(그림 1.1) 연구 흐름

1.3. 선행 연구 고찰

기존의 신재생에너지 복합 활용에 관한 연구는 전력계통망의 설치가 어렵거나 경제성이 없는 고립된 지역에 적용되는 분산형 발전 시스템과 관련하여 연구되어 왔다. 분산형 발전 시스템의 안정성 향상을 위한 측면에서 에너지 시스템들 간의 복합이 고려되었으며, 이와 같은 복합 시스템을 하이브리드 시스템(Hybrid System)이라고 한다. 하이브리드 시스템과 관련하여 화석연료와 신재생에너지의 복합과 두 가지 이상의 신재생에너지를 복합하는 기술에 대해 연구되고 있다.

하이브리드 시스템에서 신재생에너지 시스템들 간의 복합 활용에 관한 선행연구 중 M.A. Elhadidy⁶⁾의 연구는 사우디아라비아의 다란(Dhahran)지역의 전기에너지 자립을 위해 하이브리드 에너지 시스템(태양광, 풍력, 디젤)의 적용 가능성을 분석하였다. 지역의 기후 분석 및 태양광 어레이 면적, 풍력발전기 대수, 배터리 용량 등 주요 시스템 변수의 영향을 분석하였으며, 사례연구를 통해 하이브리드 에너지 시스템의 적용 가능성에 대해 연구하였다.

S. Ashok⁷⁾의 연구는 하이브리드 시스템 기반의 커뮤니티에서 적용된 다양한 시스템 요소와 LCC(Life Cycle Cost)를 최소화할 수 있는 에너지 요소들 간 최적 조합을 찾기 위한 표준 모델을 제시하였다.

M. Muralikrishna⁸⁾의 연구에서는 PV-Wind 하이브리드 시스템의 전력생산량, 에너지 부하율, PV와 풍력 에너지의 비율, 시스템의 크기와 성능 분석 및 각 시스템을 독립적으로 사용한 경우와 하이브리드 시스템을 사용한 경우에 대한 LCC 분석을 통해 하이브리드 시스템이 독립형 시스템보다 LCC 비용이 더 적다는 결론을 도출하였다.

국내의 신재생에너지 복합 적용에 관한 연구는 주로 시스템의 효율 향상 측면에 관한 논문으로 건물에 하이브리드 시스템을 설치할 경우 적용 가능성, 경제성, 에너지 절감량 등에 대한 연구는 미미하다. 그러나 최근 스마트 그리드 및 녹색성장과 관련하여 신재생에너지의 복합에 관한 연구가 진행되고 있으나 아직 초기단계이다.

6) M.A. Elhadidy, S.M. Shaahid, Parametric study of hybrid (wind+ solar+ diesel) power generating systems, Renewable energy, 2000

7) S. Ashok, Optimised model for community-based hybrid energy system, Renewable Energy, 2007

8) M. Muralikrishna, V. Lakshminarayana, Hybrid (solar and wind) energy systems for rural electrification, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, VOL. 3, NO. 5, 2008. 10

이와 같은 선행연구들은 전체 하이브리드 시스템의 적용가능성을 분석하고자 시스템 효율에 영향을 주는 요소 및 각 시스템간의 최적 조합, LCC에 관한 연구 등으로 전반적으로 연간 전체 에너지 생산량 및 소비량을 비교하는 접근방법을 이용하였다. 본 연구에서는 신재생에너지 복합 적용의 가능성 분석을 위해 에너지의 소비 특성 및 신재생에너지 시스템의 생산 특성이 시간에 따라 달라지는 점을 고려하여 건물 종류별 시간별 패턴의 변화를 중심으로 연구하고자 하였다.

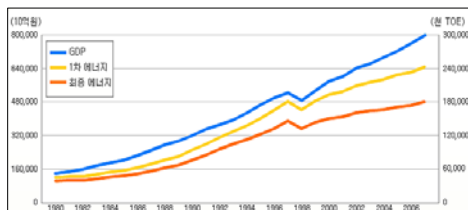
제 2 장 신재생에너지 복합 활용의 필요성 및 적용현황 분석

2.1. 신재생에너지의 복합 활용의 필요성

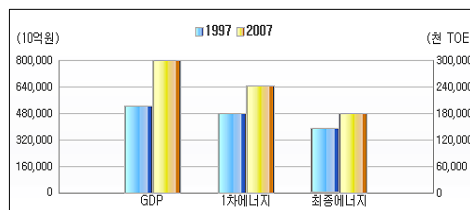
2.1.1. 신재생에너지의 건물 적용과 한계

1) 에너지 소비 및 신재생에너지

2008년 세계에너지기구(IEA)는 각국 정부가 2008년 중반까지 행하였거나 채택한 에너지정책들의 효과를 반영한 세계 에너지전망을 발표하였다. 이에 따르면 전망기간(2006~2030)동안 1차 에너지 수요는 2030년까지 연평균 1.6% 증가하여 2006년의 117억toe⁹⁾ 대비 45%가 증가한 170억toe에 도달될 것으로 전망된다.¹⁰⁾ 이러한 에너지 소비 추이는 경제성장 및 생활수준 향상과 밀접한 관계를 갖는다. (그림 2.1)과 (그림 2.2)¹¹⁾는 국내 에너지 소비가 GDP 및 생활수준의 향상에 따라 지속적으로 증가하고 있음을 보여준다.



(그림 2.1) GDP와 에너지 소비



(그림 2.2) 에너지 소비량 비교

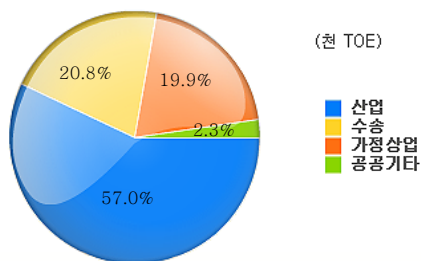
에너지 소비 부문은 크게 산업부문, 수송부문, 가정 및 상업 부문, 공공기타 부문으로 나눌 수 있으며, 이중 건물에서 소비되는 에너지는 가정 및 상업 부문에서 소비되는 에너지로 예상할 수 있다. 가정 및 상업 부문의 에너지 소비는 (그림 2.3)¹²⁾과 같이 전체 에너지 소비의 약 20%로 적지 않은

9) 석유환산톤(Ton of Oil Equivalent(toe)) : kl, t, m³, kWh 등 여러가지 단위로 표시되는 각종 에너지원들을 원유 1톤이 발열하는 칼로리(Cal)를 기준으로 표준화한 단위

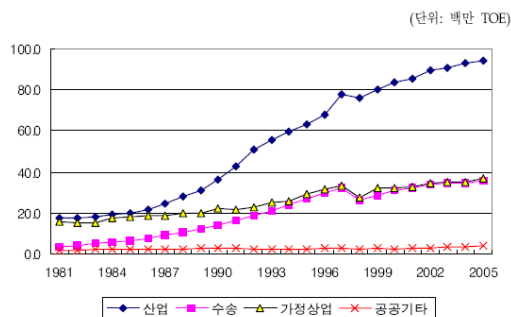
10) 에너지관리공단, 신재생에너지백서 2008

11) 국가에너지통계종합정보시스템 홈페이지, <http://www.kesis.net/>

비율을 차지하며, 그 소비 또한 (그림 2.4), <표 2.1>¹³⁾과 같이 외환위기로 인한 일시적 기간 동안 감소한 경우를 제외하고는 지속적인 증가세를 보여왔다. 따라서 건물부문에서 효율적인 에너지 소비의 중요성이 강조되며, 새로운 대체 에너지 개발을 위한 노력이 필요하다. 이러한 노력의 일환으로 신재생에너지는 더 이상 화석연료에 의지하지 않고, 증가하는 에너지 소비를 담당하기 위한 대안으로 제안되고 있다.



(그림 2.3) 2007년 부문별 소비



(그림 2.4) 부문별 최종에너지 소비 추이

<표 2.1> 부문별 최종에너지 연평균 소비증가율

	산업	수송	가정상업	공공기타	최종계
1981~1990	8.4	16.0	3.7	4.5	7.6
1991~2000	7.7	7.5	4.4	-0.8	6.7
(1991~1997)	(10.4)	(12.1)	(7.1)	-(0.6)	(9.7)
2001~2005	2.6	2.7	2.9	8.0	2.8

신재생에너지에 대한 국내 정책은 1987년 처음 기술개발 위주의 「대체에너지개발촉진법」이 제정(법률 제3990호)되었으며, 1997년 보급사업을 추가하여 「대체에너지개발및이용·보급촉진법」(법률 제5446호)으로 법명을 변경하여 제정되었다. 이후, 2004년 법의제명을 「대체에너지개발및이용·보급촉진법」에서 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법」(법률 제7284호)으로 변경하고, 신·재생에너지기술의 사업화 지원 및 신·재생에너지설비

12) ibid.

13) 박광수, 최도영, 가정상업부문의 에너지원간 대체관계 분석, 에너지경제연구원, 2006

설치전문기업 등록제의 신설 등을 통하여 신·재생에너지에 대한 관리 및 지원 등을 강화하는 제도를 도입 신설 하였다.

신재생에너지는 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제2조에 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛·물·지열·강수·생물유기체 등을 포함하는 재생가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지로 정의된다. 해당하는 항목은 다음과 같다.

- | | |
|---------------------|------------------|
| • 태양에너지 | • 해양에너지 |
| • 바이오에너지 | • 폐기물에너지 |
| • 풍력 | • 지열에너지 |
| • 수력 | • 수소에너지 |
| • 연료전지 | • 그 밖에 석유·석탄·원자력 |
| • 석탄 액화·가스화 및 중질잔사유 | 또는 천연가스가 아닌 에너지 |
| (중질잔사유) 가스화 에너지 | |

2) 신재생에너지의 건물 적용

신재생에너지에 해당하는 항목 중 건물에 적용 가능한 신재생에너지원은 시스템의 입지 및 규모에 영향을 받지 않는 태양광, 태양열, 지열, 풍력, 연료전지가 있다. 태양광, 태양열, 지열의 경우 건물에 소규모로 적용이 가능하며, 풍력의 경우 최근 개발되고 있는 소형 풍력 발전 시스템의 적용이 가능하다. 연료전지의 경우 아직 기술개발 단계로 앞으로 적용될 것으로 기대되지만, 현재 상용화가 어렵다. 따라서 신재생에너지원 중 태양광, 태양열, 지열, 풍력 4가지가 건물에 적용이 가능한 것으로 보인다. 현재 태양광, 태양열, 지열 시스템은 건축물에 많이 보급되고 있다. 소형풍력 발전의 경우 대형에 비해 경제성이 낮아 적용예가 적으나, 최근 국내외적으로 일반적인 적용 및 건물 통합형 풍력발전 사례를 찾아볼 수 있다.

건물에 적용 가능한 4가지 신재생에너지원은 지열을 제외하고 외부 기후환경변화에 영향을 많이 받는 에너지원이다. 태양광 및 태양열은 그 지방의 위도 및 천공상태에 영향을 받으며, 풍력의 경우 그 지역, 그 날의 풍속에 영향을 받는다. 외부 환경의 변화는 각 시스템의 에너지 생산량에 영향을 주므로 건물에 신재생에너지 시스템을 적용할 때, 부하 부담률에 대한 신중한 고려가 필요하다. <표 2.2>¹⁴⁾는 건물에 적용 가능한 신재생에너지원의 각 특징을 보여준다.

<표 2.2> 건물에 적용 가능한 신재생에너지원

구분	에너지 용도	장점	단점	권장 지역
태양광	전력	확보 가능지가 매우 풍부	기후 영향 받음	일조량이 많은 지역
태양열	급탕	확보 가능지가 매우 풍부	기후 영향 받음	일조량이 많은 지역
지열	냉난방, 급탕	연중 온도 변화가 적어 에너지원으로써의 활용가치가 높음	기존 건물의 적용 어려움	
풍력	전력	일정 풍속 이상의 풍량 확보시 유망한 에너지원	기동풍속 제한 (2m/s 이하)	바람이 세고 많은 교외지역에 적합, 고도제한, 기타 규제가 없는 지역

2.1.2. 신재생에너지 복합 활용의 개념

해외 선진국에서는 에너지 복합 시스템의 의미로 하이브리드 시스템(Hybrid System)이라는 용어를 사용하고 있다. 하이브리드 시스템은 에너지 공급 밸런스 향상 및 시스템의 효율성 향상을 위해 두 개 이상의 에너지 변환장치 또는 두 개 이상의 에너지원으로 이루어진 시스템을 말한다.

시스템의 복합은 각각이 갖는 본래의 한계를 극복할 수 있다. 하이브리드 시스템은 “전체는 부분의 합보다 크다”라는 전제하에 각 시스템의 복합을 통해 상호작용(相助作用)을 통한 이익을 추구한다. 각 시스템을 독립적으로 설치하는 것보다 통합함으로써 이익을 더욱 극대화한다. 하이브리드 시스템은 신재생에너지 기술의 진보와 석유의 가격 상승으로 인하여 에너지 공급망이 설치가 어렵거나 경제성이 낮은 도서지역에 적용되는 분산형 에너지 시스템(Distributed Energy System)으로서 각광받고 있다. 이러한 시스템은 건물에 독립적으로 적용되거나, 도서지역에 소형 전력망(Mini-Grid)에 적용된다.

하이브리드 시스템은 높은 효율성과 신뢰성을 갖으며, 온실가스 방출저감 효과와 경제성을 갖는다는 점에서 가치가 있다. 앞서 언급했듯이 하이브리드 시스템은 개별적인 고효율 장치들을 통합함으로써 각각의 기술을 개별적으로 사용했을 때와 비교해 전체의 효율성을 향상시키고 에너지를 절약할 수 있

14) 김주영, 신재생에너지 시스템의 건축물 적용을 위한 가이드라인 개발, 경북대학교 박사학위논문, 2008

다. 또한 에너지 공급의 신뢰성 향상은 다양한 시스템 기술이나 에너지 저장 기술로 가능한데, 하이브리드 시스템은 이러한 기술을 이용하여 에너지 공급의 질과 유용성을 향상시킨다. 온실가스 방출 저감면에서는 하이브리드 시스템이 신재생에너지의 사용을 최대로 하여 설계되므로 결과적으로 일반적인 화석연료 시스템에 비해 온실가스 방출량이 적다. 경제성면에서는 하이브리드 시스템의 적용이 각 시스템을 독립적으로 적용했을 때보다 높은 경제성을 갖는다고 한다.

대표적인 하이브리드 시스템으로는 풍력 터빈과 디젤 발전기 복합시스템, 풍력 터빈과 태양광 패널 복합 시스템이 있다. 하이브리드 시스템은 주로 분산형 발전 시스템에 적용되므로 신재생에너지의 사용을 최대로 하여 계획되나, 주로 전력 시스템을 말하며, 신재생에너지 간의 복합뿐만 아니라 기존의 화석연료를 활용한 시스템과의 복합을 포함한 광의(廣義)의 개념이다.

본 논문에서 제시하는 신재생에너지 복합 활용의 개념은 전력뿐만 아니라 열 생산 시스템을 포함한다. 또한 화석연료를 에너지원으로 하는 시스템의 이용을 제외하여 기존의 하이브리드 시스템보다 좁은 범위로, 건축물에 이용하기 위한 신재생에너지 시스템들 간의 복합적인 활용을 의미한다.

2.1.3. 신재생에너지 복합 활용의 필요성

1) 신재생에너지 생산의 간헐성

신재생에너지 시스템 중에는 태양광, 태양열, 풍력과 같이 자연환경에 의해 연속적으로 에너지의 생산과 중단을 반복하는 간헐적(intermittent) 특성을 갖는 자원이 있으며, 반면 수력이나 바이오매스와 같이 연속적으로 에너지를 생산할 수 있는 자원이 있다. 특히, 신재생에너지 시스템 중 건축물에 적용 가능한 태양광, 태양열, 풍력, 지열 등은 시스템 적용 지역의 자연환경과 대지환경 등에 많은 영향을 받는 에너지원이다. 태양광 및 태양열의 경우 그 지방의 위도와 날씨에 따른 천공상태에 영향을 받으며, 지열은 그 지방의 지반특성에 영향을 받는다. 풍력의 경우 크게 그 지역의 주된 풍속에 영향을 받는데, 풍속의 경우 그 변화의 불규칙성이 매우 크다.

일반적으로 신재생에너지를 적용하는 경우에는 외부로부터 추가적으로 에너지를 공급받거나 저장장치(축전지, 축열탱크 등)를 이용하여 생산된 에너지의 일부를 저장하여 사용한다. 그러나 외부 에너지 공급망으로부터 전달되는 에너지는 공급과정에서 많은 양의 에너지가 손실되므로 에너지의 소비처

에서 생산과 소비가 일어나는 형태가 가장 효율적이라고 할 수 있다.

만약 신재생에너지원으로부터 생산된 에너지량이 필요한 에너지량에 미치지 못한다면, 다른 시스템들과의 통합 사용을 고려할 수 있다. 건물에는 입지와 시설규모에 제한을 받는 수력이나 바이오매스를 적용하는 데 어려움이 있다. 도시차원에서 대규모로 신재생에너지를 적용할 경우 간헐적인 특성을 갖는 에너지원(태양열, 태양광, 풍력)과 연속적 특성을 갖는 에너지(지열, 수력, 바이오매스 등)를 복합 연계하여 안정적인 에너지 공급이 가능할 수 있다. 그러나 건물단위에서 신재생에너지 시스템을 활용하는 경우에는 대지와 건물의 제약조건으로 인해 개별적인 신재생에너지 시스템의 적용이 매우 제한적이므로 다양한 시스템의 복합 적용을 통한 에너지 공급을 고려해야 한다.

2) 신재생에너지 생산과 건물 에너지 소비 패턴

에너지의 소비 패턴은 건물의 용도 특성 및 거주자의 생활패턴에 따라 달라진다. 예를 들어 4인가족의 일반적인 주거공간의 경우 사람이 없는 낮시간보다 아침과 저녁 시간에 전기 및 열에너지 소비량이 많아지게 된다. 주거건물의 경우 태양열 및 태양광을 사용하는 경우, 에너지의 생산 패턴과 소비 패턴이 정반대가 된다. 반면, 사무소 건물의 경우 아침과 저녁시간의 에너지 소비량보다 낮동안의 에너지 소비량이 크게 된다. 또한 이때의 소비되는 에너지는 건물의 용도에 따라 열에너지보다 전기에너지 소비가 더 크다. 이와 같이 건물의 에너지 소비 패턴과 신재생에너지 시스템의 생산 패턴은 시간적으로 차이가 발생할 수 있으므로 생산 패턴이 서로 다른 2가지 이상의 신재생에너지 시스템을 복합적용 하는 경우 에너지 생산의 효율성을 기대할 수 있다.

3) 신재생에너지의 생산 에너지 유형

건물에서 사용되는 에너지의 형태는 크게 열과 전기로 구분된다. 각 건물에 따라 열에너지 및 전기 에너지의 소비 비중에 차이가 있지만 두 가지 형태의 에너지를 모두 필요로 한다. 그러나 신재생에너지 시스템은 특성상 대부분이 열과 전기를 개별적으로 생산한다. 따라서 건물에서 신재생에너지의 활용도를 높이기 위해서는 신재생에너지 시스템 중 전기를 생산하는 시스템과 열을 생산하는 시스템을 적절히 조합하여 활용하는 것이 바람직하다.

2.2. 국내외 신재생에너지 복합 활용 현황

2.2.1. 국내외 신재생에너지 적용 현황

신재생에너지는 에너지 위기 및 지속가능한 발전을 위해 제안된 대체에너지로서 1970년대 석유파동 이후부터 그에 대한 연구 개발이 적극적으로 추진되었다. 당시의 신·재생에너지 기술개발 및 보급 대상은 주로 대수력과 바이오에너지, 지열발전이었다. 그러나 1990년대에 들어와서 이러한 제1세대 신재생에너지 기술은 점차 성장세가 둔화되고 제2세대 신재생에너지원인 태양광발전과 풍력 등이 새롭게 등장하여 주력 신·재생에너지원으로 각광을 받으며 보급이 확대되기 시작하였다. 1980년대와 1990년대 초반만하더라도 신재생에너지 기술개발과 보급을 위한 정책을 펴고, 관련 법·제도를 마련한 국가는 몇몇 선진국에 한정되었었다. 그러나 1990년대 후반과 2000년대에 들어와서는 개도국을 포함하여 더욱 많은 국가들이 신재생에너지 기술개발과 보급에 관심을 갖기 시작하고, 지원정책을 전개하기 시작하였다.¹⁵⁾

국내의 경우도 1987년에 대체에너지개발촉진법이 제정되면서 연구가 시작되었지만, 신재생에너지에 대한 관심과 연구가 급진적으로 증가하기 시작한 것은 2000년대 들어서면서 부터이다. 우리나라의 신재생에너지에 대한 본격적인 연구는 선진국보다 10년 정도 뒤쳐져 있다.

기존의 신재생에너지 관련 연구는 신재생에너지 각각의 성능향상이나 경제성 향상에 대해서 연구되어왔다. 그러나 최근에는 태양열-태양광 복합 시스템, 풍력-태양광 시스템과 같이 두 가지 신재생에너지원을 이용하여 기계시스템적인 통합에 관한 연구가 진행되고 있다. 또한 외국의 경우 분산된 에너지 생산 시스템 즉, 대부분이 신재생에너지 시스템인 개별 생산된 전기를 전체의 전력망과 통합 연계하는 스마트 그리드에 관한 연구도 진행되고 있다. 국내에서는 최근의 녹색성장 정책의 일환으로 관련연구가 진행 중이다.

15) 에너지관리공단, 신재생에너지백서 2008

2.2.2. 국내외 복합 활용 계획

1) 미국 및 유럽 - Smart Grid

신재생에너지의 복합 활용에 대해서는 이미 1990년대 초반부터 그 잠재성에 대해 거론되어 왔다. 그 중 스마트그리드(Smart Grid) 시스템은 IT 기술의 발전과 함께 가능해졌으며, 기존 전력공급의 에너지 효율 향상 및 신재생에너지의 활성화에 중점을 준 시스템으로 미국 및 유럽에서 차세대 전력망으로 주목받고 있다. 미국, 호주 등 8개국이 지능형 전력망 개발을 추진하고 있으며, 미국은 최근 오바마 행정부가 들어서면서 녹색뉴딜정책 차원에서 종합개발계획을 마련하고 있다.

스마트그리드의 적용은 발전, 송신, 분배 그리고 소비를 포함하는 모든 전력시스템의 요소를 향상시킬 것이다. 또한 스마트그리드는 전력이 요구되는 시간이나 전력량과 같은 전력 사용의 패턴을 거주자가 직접 제어할 수 있는 초기단계의 유틸리티를 장려한다. 그러므로 전력이 서비스되는 지역과의 거리가 가까운 분산형 발전(distributed generation)¹⁶⁾의 가능성이 커진다. 에너지 생산에서 소비까지의 거리가 점점 짧아질수록 더욱 효율적이고 경제적이며, 친환경적이라고 할 수 있다.¹⁷⁾

분산형 시스템은 주로 신재생에너지원을 이용하는데, 이러한 신재생에너지의 이용 활성화는 기존의 화석연료 사용저감을 통해 온실가스 방출량을 저감한다. 그러나 불안정하고 간헐적인 에너지 생산 특성으로 인한 전기 부족량이 발생하게 되고, 스마트그리드 시스템을 통해 이러한 전력 시스템이 신뢰성 및 안정성을 갖추게 된다. 즉, 스마트그리드 시스템은 에너지 효율 향상, 신재생에너지 생산 및 에너지 낭비 감소를 통해 에너지 수입 의존도 및 온실가스 방출량을 줄여 지속가능한 성장을 가능하게 한다.

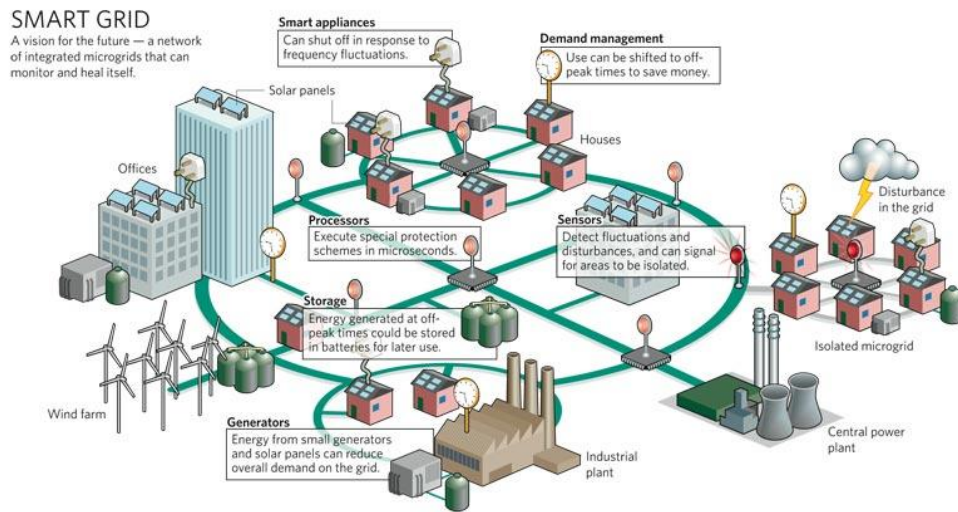
스마트그리드는 (그림 2.5)¹⁸⁾와 같이 각 건물 및 지역에 설치된 PV발전 시스템이나 풍력 발전 시스템과 같은 분산형 시스템에서 발생된 전력량을 미리 예상하여 IT기술을 이용한 컨트롤 시스템을 통해 중앙의 발전소에 출력을 조정한다. 양방향 통신이 기본이기 때문에 스마트그리드를 활용하면 전력회사는 각 가정의 전력 수요를 실시간으로 파악할 수 있다. 전체 에너지 사용

16) 분산형 발전(distributed generation) : 부하가 소비되는 곳에서 가까운 곳에 위치한 소규모의 전력 발전 기술을 말한다. 이것은 비용 저감, 신뢰성 향상, 에미션(emission) 저감 등이 가능하다. 주로 신재생에너지 시스템을 이용한다.

17) U.S. Department of Energy, the SMART GRID: an introduction, 2009

18) http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid/

의 피크에 대응하기 위해 발전소 용량을 높여야만 했던 과거에 비해 발전소 용량 및 화석연료의 사용을 줄일 수 있다.



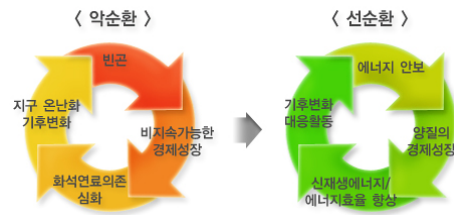
(그림 2.5) Smart Grid 개념도

2) 국내 - 녹색성장, 미래 도시에너지 공급 시스템

가) 개요

온실가스 저감과 더불어 경제성장을 위한 향후 60년의 새로운 국가비전으로 현재 정부는 ‘저탄소 녹색성장’을 제시하고 있다. 녹색성장(Green Growth)’이란 단어는 ‘환경(Green)’과 ‘성장(Growth)’ 두 가지 가치를 다 포괄하고 있다. 이 두 개념의 결합은 기존의 경제성장 패러다임을 ‘환경친화적’으로 전환하는 과정 중 파생되는 에너지·환경 관련 기술·산업에서 미래 유망품목과 신기술을 발굴해내고, 기존 산업과의 상호융합도 시도해 새 성장동력과 새 일자리를 창출하고 있는 것이다. 녹색성장의 핵심은 경제성장을 추구하되 자원이용과 환경오염을 최소화하고, 이를 다시 경제성장의 동력으로 활용하는 ‘선순환구조’에 있다.¹⁹⁾ (그림 2.6)은 녹색성장을 통한 선순환 구조를 보여주고 있다.

19) 대한민국 정책포털 홈페이지, <http://green.korea.kr/>



(그림 2.6) 녹색성장 선순환구조

녹색성장의 선순환구조는 기존 ‘요소투입’ 위주의 성장모델을 ‘친환경적 성장모델’로 전환함으로써, 자원이용의 효율성은 최대화하고 환경오염을 최소화하는 생태효율성을 높이겠다는 것이다. <표 2.3>²⁰⁾과 같이 녹색성장을 위해서는 에너지 및 자원의 최소화, CO₂ 배출 최소화를 위한 노력뿐만 아니라 녹색기술 및 신재생에너지 산업이 중요한 요소로 작용하고 있다.

<표 2.3> 녹색성장 3대 요소와 내용

3대 요소	내용
견실한 성장을 하되, 에너지·자원 사용량은 최소화	- 에너지 저소비형 산업구조 개편 (제조업 중심 → 지식서비스업 중심) - 에너지 소비절약/사용 효율화 - 생태효율성 제고 정책
동일한 에너지·자원을 사용하되, CO ₂ 배출 등 환경 부하 최소화	- 신재생에너지 보급확대 - 원자력 등 청정에너지 개발 - CO₂ 배출 규제 - 저탄소·친환경 인프라 구축 - 소비자 녹색제품 구매 활성화
신성장동력으로 개발	- 녹색기술에 대한 R&D 투자 - 신재생에너지 등 녹색산업 육성 및 수출 산업화 - 세계시장 선점 지원

녹색성장과 관련하여 기존 도시의 관리와 재생, 신도시 개발은 콤팩트 시티형 저탄소 공간구조를 지향하며, 기존 에너지 소비량의 40~55%를 덜 쓰고도 쾌적한 그린홈·그린빌딩의 확대 보급에도 노력하고 있다. 또한 도시의 에너지 공급 시스템은 신재생에너지를 이용한 분산형 에너지 공급 시스템으로의 전환과 함께 해외의 스마트그리드 시스템과 같은 에너지 복합 공급망을 계획 중이다. 녹색성장에서 지향하는 미래 도시에너지 공급 시스템은 다양한

20) 대한민국 정책포털 홈페이지, <http://green.korea.kr/>

신재생에너지의 복합활용을 통해 에너지 해외 의존도 및 온실가스 발생량을 줄이고 안정적으로 에너지를 공급한다.

나) 미래 도시에너지 공급 시스템의 구성²¹⁾

도시에 열과 전기를 공급하는 방식은 크게 광역, 지역, 단지, 개별 규모의 에너지 공급방식으로 분류할 수 있다. 광역 규모의 에너지 공급이란 전국에 위치한 한전 발전소에서 광역권별로 전기를 공급하고 지역난방 방식이나 중앙, 개별난방 방식으로 열을 공급하는 방식으로 정의한다. 지역 규모의 에너지 공급이란 지역에 설치된 열병합발전 시스템에 의해 열과 전기를 공급받는 시스템으로 정의한다. 또한, 단지 규모의 에너지 공급이란 단지에 설치된 중앙보일러에서 열을 공급하고 한전에서 전기를 공급하거나, 소형 열병합발전 시스템과 중앙보일러에 의해 열과 전기를 공급하는 시스템으로 정의한다. 개별 규모의 공급이란 한전에서 개별세대에 전기를 공급하고 개별보일러로 열을 공급하는 시스템으로 정의한다.

이들의 공급방식 중 일부는 시스템이 서로 유기적으로 연결되어 있지 않고 각각이 독립적인 기능을 수행하면서 도시에 에너지를 공급하기 때문에 어느 에너지 공급시설에서는 남는 에너지를 버려야 하는 현상이 발생한다.

미래의 도시에너지 공급시스템은 도시와 먼 곳에 있는 대형 플랜트에서 열과 전기를 공급하던 기존의 방식과는 다르게, 다양한 소형의 에너지 공급 플랜트들이 서로 유기적으로 연계되어 수요처에 공급함으로써 도시에너지 전체를 효율적이고 합리적으로 사용토록 하는 ‘분산형 에너지공급시스템’으로 변화되어야 한다. 분산형 에너지 공급 시스템은 화석연료에 의존하여 에너지를 중앙에서 일괄적으로 공급하던 기존의 방식과 달리 곳곳에 설치된 신재생 에너지를 비롯한 그린에너지 플랜트들을 효율적으로 활용한다. 이에 따라 환경오염이 적고, 운전효율이 높으며, 신뢰도와 안전도가 높다는 특징이 있다.

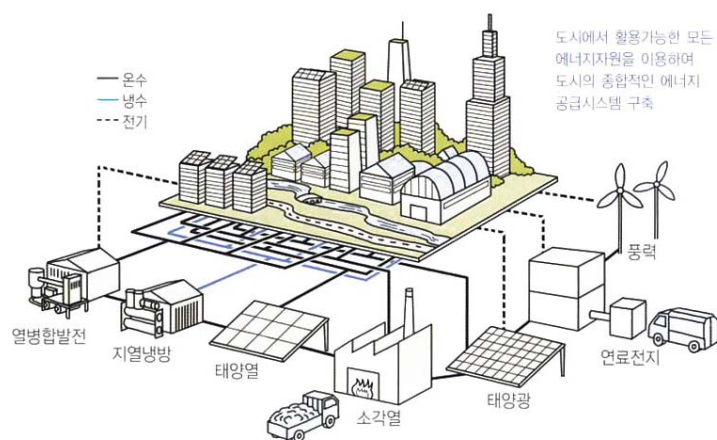
미래도시에서는 도시의 에너지를 효율적으로 운영하기 위해서 공급시스템을 분산공급시스템으로 바꾸고 이들을 서로 연계시켜 운전함으로써 에너지의 전송에서 발생하는 손실과 운전에서 발생하는 비효율성을 줄여야 한다. 또한 이러한 에너지의 분산공급시스템은 집중된 에너지공급시스템의 고장에서 발생될 수 있는 큰 혼란상태를 방지할 수 있으므로 에너지의 안보측면에서도 바람직하도록 할 수 있다.²²⁾

21) 대한주택공사, 미래를 여는 저탄소 녹색성장 이야기, 2009

22) 이기홍, 오정익, 김길태, 현경학, 미래주택 및 도시에서의 에너지자원 적용 방안 연구, 주택도시연구원, 2007

도시에서 필요한 에너지를 공급하는 시스템은 현재의 기술과 효율성을 고려해서 다음과 같이 구성해 볼 수 있다. 열에너지는 도시가스 및 음식물 쓰레기로부터 추출된 메탄가스를 열원으로 하는 열병합발전 시스템과 연료전지, 태양에너지를 이용한 태양열 시스템, 가연성 폐기물을 연소하는 소각로에서 생산된다. 전기에너지는 열병합발전 시스템, 연료전지, 태양에너지와 풍력발전에 의해 생산되어 각 수요처에서 원하는 형태의 질 좋은 전력으로 공급된다. 전기를 생산할 때 발생하는 열에너지는 수요자가 난방, 급탕, 냉방에 사용할 수 있도록 온수와 냉수를 만들어 공급한다.

도시에서 필요한 에너지를 공급하기 위해 자연에너지와 쓰레기, 화석에너지를 이용하는 시스템들이 서로 유기적으로 구성되어 수요처에 에너지를 공급하는 미래의 도시 에너지 공급망은 (그림 2.7)과 같다.



(그림 2.7) 녹색도시의 에너지공급 시스템

2.3. 소결

건물 부문의 에너지 소비는 전체 에너지 부문의 약 20%를 차지하며, 생활 수준의 향상과 함께 지속적으로 증가하고 있다. 에너지 소비 절감을 위해 효율적인 에너지 소비 및 새로운 대체 에너지로서의 신재생에너지에 대한 필요성이 강조되고 있다. 그러나 건물에 신재생에너지를 적용할 경우, 신재생에너지의 외부 기후 환경 변화로 인한 간헐적인 에너지 생산 특성으로 인하여 에너지 공급의 신뢰성이 낮고, 거주자의 사용 패턴과 생산 패턴의 차이에 따라 에너지를 적시에 공급하기 어렵다. 또한, 시스템에서는 각 시스템별로 생산되

는 에너지가 열과 전기로 구분되나 건물에서는 열과 전기에너지 모두 필요로 하게 된다. 따라서 필요한 에너지의 공급을 위해서는 한 가지 신재생에너지 시스템을 적용하는 것보다 다양한 신재생에너지 시스템을 복합적으로 사용하는 것을 고려할 필요가 있다.

신재생에너지의 복합적인 사용은 이미 오래전부터 그 가능성에 대해 거론되어 왔으며, 해외 선진국 및 국내에서도 복합 활용에 대한 관심이 증가하고 있다. 미국 및 유럽국가에서 제안된 스마트그리드는 각 신재생에너지 시스템으로부터 얻은 에너지를 각 건물에서 직접 소비하고, 중앙 시스템을 통해 모자란 에너지를 공급받는다. 스마트그리드 시스템은 PV와 풍력과 같은 신재생에너지의 이용이 전제되어 있으며, 복합 활용 측면에서는 단지 및 도시 차원의 전력공급 시스템으로써 전력계통에 한정되어 있다.

국내의 복합 적용 현황은 최근 녹색성장의 일환으로 구상되고 있는 미래 에너지공급 시스템이다. 스마트그리드와 마찬가지로 도시차원에서의 에너지 공급시스템이지만, 전력계통에만 한정된 것이 아니라 냉온수와 같은 열에너지 공급 계통도 포함한다. 이 에너지공급 시스템은 도시내 종합적인 에너지 공급시스템을 구축하여 각 신재생에너지 시스템으로부터 생산된 에너지를 각 필요한 요소에 공급한다. 이 시스템은 복합 활용 측면에서 스마트그리드보다 좀 더 적극적으로 신재생에너지를 이용하고 있다.

신재생에너지는 생산의 간헐성, 생산 패턴, 생산에너지 유형을 갖기 때문에 효율적인 활용을 위해서는 적절한 복합 계획에 대한 고려가 필요하다. 복합 적용을 위해서는 앞서와 같이 대규모의 적용 사례가 있지만, 도시를 이루는 개별적인 건축물에서부터 신재생에너지 시스템의 에너지 생산 특성 및 각 건물의 에너지 사용 패턴을 종합적으로 고려함으로써, 효율적인 신재생에너지 복합에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

제 3 장 신재생에너지 복합 활용 계획 프로세스

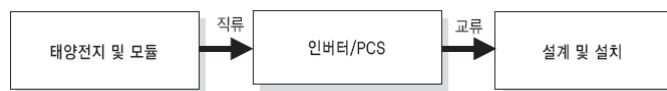
3.1. 신재생에너지 시스템의 특성

3.1.1. 태양광 발전 시스템

1) 태양광 발전 시스템의 개요

태양광 발전 시스템은 태양 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 시스템을 말한다. 에너지 변환 과정에 기계적, 화학적 작용이 없으므로 시스템의 구조가 단순하여 유지 보수가 거의 요구되지 않고 수명이 20~30년 정도로 길며 안전하고 환경친화적이다. 또한 발전 규모를 주택용에서부터 대규모 발전용까지 다양하게 할 수 있다.

태양광 발전 시스템은 기본적으로 (그림 3.1)²³⁾과 같이 빛을 받아 전기를 생산하는 태양전지, 생산된 전기를 저장하는 배터리, 전기를 직류에서 교류로 변환하고 이를 전력계통에 연결시키는 등의 기능을 담당하는 인버터 PCS (Power Conditioning System) 으로 구성된다. 이 중 태양전지는 태양에너지 시스템을 이루는 가장 핵심적인 요소로서 약 0.5~0.6V의 전압을 발생시키는 최소 단위인 셀을 직렬로 연결하여 수V에서 수백V의 전압을 얻을 수 있는 모듈(Photovoltaic Module)로 제작하여 이용한다. 이 모듈을 실제 사용부하에 맞추어 설치하게 되는데 이것을 어레이(Photovoltaic Array)라고 한다.

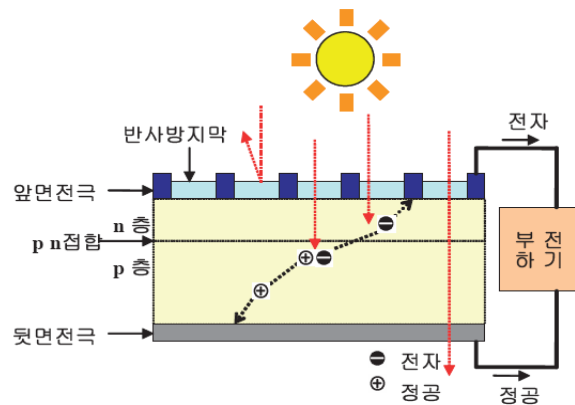


(그림 3.1) 태양광 발전 시스템의 구성 요소

이 중 태양전지는 태양광 발전 시스템을 이루는 가장 핵심적인 요소로서 (그림 3.2)와 같이 전기적 성질이 다른 N(negative)형, P(positive)형 반도체

23) 에너지관리공단, 신재생에너지백서 2008, 2008

체를 접합시킨 구조를 하고 있다. 태양광이 태양전지에 흡수되면 반도체에 정공(+)과 자유전자(-)를 생성시켜 자유전자는 n-형 반도체(+) 쪽으로, 정공(+)은 P형 반도체 쪽으로 모이게 된다. 이 때, 양쪽의 전극을 연결하면 전류가 흐르게 된다. 태양 전지는 에너지 변환 효율을 높이기 위해 최대한 많은 빛을 흡수하고, 빛에 의해 생성된 전자와 정공 쌍이 소멸되지 않고 외부 회로까지 전달되도록 하며, p-n 접합부에 큰 전기장이 생기도록 소재 및 공정을 설계해야 한다.



(그림 3.2) 태양전지의 기본 구조 및 작동 원리

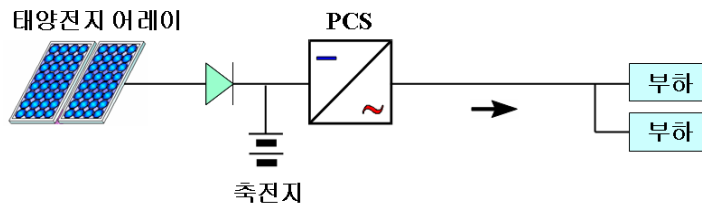
2) 태양광 발전 시스템의 종류²⁴⁾

태양광 발전 시스템은 태양빛이 공급되는 낮에만 발전할 수 있고 밤에는 발전할 수 없는 단점이 있어 시스템 구성에 따라서 독립형, 계통연계형과 하이브리드 시스템으로 분류한다.

가) 독립형 시스템 (off-grid, 또는 stand-alone system)

상용계통과 직접 연계되지 않고 태양광 발전 시스템의 발전전력만으로 부하에 전력을 공급하는 시스템이다. 야간 혹은 우천 시에 태양광 발전 시스템의 발전을 기대할 수 없는 경우에 발전된 전력을 저장할 수 있는 축전장치를 접속하여 부족한 전력을 공급할 수 있는 시스템이다. 독립형 시스템은 소형 가전, 오지, 도서지역의 전력 공급용이나 통신, 양수펌프, 백신용의약품냉동보관, 안전표지, 제어 및 항해 보조도구 등 소규모 전력공급용으로 사용된다.

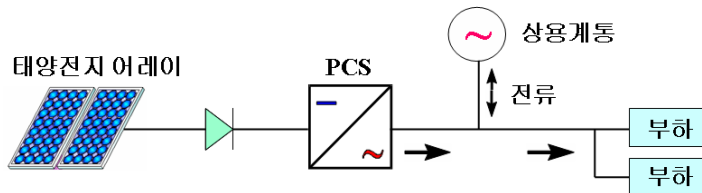
24) 신재생에너지센터, 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030-태양광, 2007



(그림 3.3) 독립형 태양광 발전 시스템

나) 계통연계형 시스템 (grid-connected system)

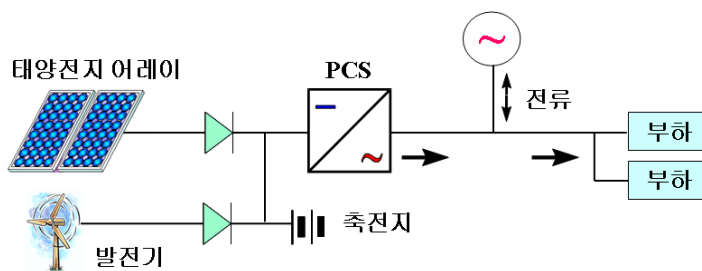
주택용 및 공공 산업용 태양광발전의 가장 일반적인 형태이며 상용계통과 직접 연계되어 시스템에서 발전된 전력을 부하에 공급하고 야간 혹은 우천 시에는 부족한 전력을 상용계통으로부터 공급받는 시스템이다.



(그림 3.4) 계통연계형 태양광 발전 시스템

다) 하이브리드형 시스템 (hybrid system)

하이브리드 시스템은 태양광 발전 시스템에 풍력발전, 열병합발전, 디젤발전 등의 타에너지원의 발전시스템과 결합하여 전력저장, 부하 혹은 상용계통에 전력을 공급하는 시스템이다. 하이브리드 시스템은 시스템 구성 및 부하 종류에 따라 계통연계형 및 독립형 시스템에 모두 적용가능하다.



(그림 3.5) 하이브리드형 태양광 발전 시스템

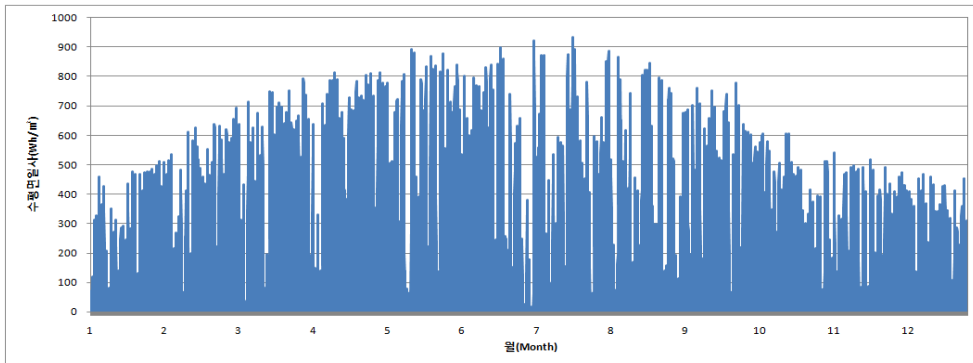
3) 태양광 시스템의 특성 및 에너지 생산 패턴

태양광 시스템은 태양으로부터 특정지역에 도달하는 실제 태양광량의 영향을 받는다. 이것은 일사(Insolation) 또는 “입사 태양복사(incident solar radiation)”로 알려져 있다. 그러나 기상청의 측정 자료로는 특정 부지의 일사값을 확인하기 어렵기 때문에 가장 일반적으로 수평면의 평균 일간 총 복사(average daily total radiation) 또는 전천복사(global radiation)를 이용한다. 태양복사 에너지는 위도에 따라 받는 양이 달라지며, 적도지방이 다른 지방보다 더 많은 태양복사 에너지를 받는다. 또한 계절에 따라 달라지며, 특정지역의 낮시간 동안의 기후(특히, 운량) 및 공기오염수준에 따라 달라진다. 이러한 기후요소는 PV시스템에 적용가능한 태양에너지의 양에 전적으로 영향을 준다. 즉, 태양광 발전 시스템은 같은 규격이라도 설치 위치에 따라 성능에 차이가 있으며, 같은 위치라 하더라도 외부환경변화에 따라 차이가 발생한다.

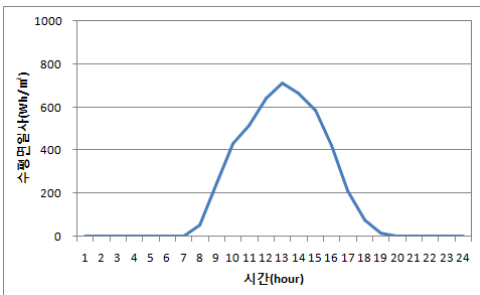
태양광 발전 시스템의 발전량은 앞서 말한 요소들의 영향을 받게 되는데, 이 중 하루 일사량은 시스템의 발전량에 가장 큰 영향을 미치는 요소이다. 일반적으로 태양광 발전 시스템의 가능성을 평가하기 위해서는 그 지역의 일사량을 기준으로 한다. 따라서 태양광 발전 시스템의 발전 패턴 또한 일사량의 영향을 주로 받게 되므로 일사량 패턴과 유사하게 된다. 즉, 태양광 발전 시스템의 맑은 날 일반적인 생산 패턴은 기상데이터와 마찬가지로 태양의 고도에 따른 수평면 일사량 증가·감소 패턴과 같다.

(그림 3.6)은 서울지역의 수평면 일사량 패턴이며, (그림 3.7)~(그림 3.10)은 태양의 고도에 따른 하루 동안의 일사량 패턴이다. 사용된 기후 데이터는 한국태양에너지학회와 한국건축친환경설비학회에서 제공한 서울의 대한민국 표준 기상데이터²⁵⁾를 이용하였다.

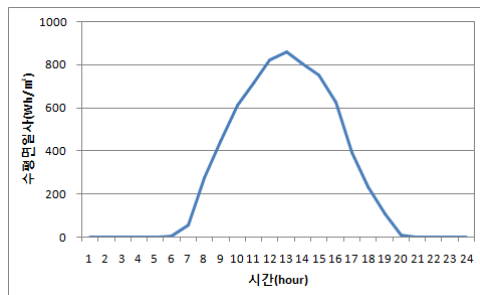
25) 한국태양에너지학회 홈페이지, <http://www.kses.re.kr/>



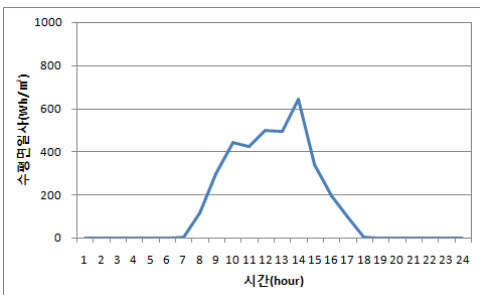
(그림 3.6) 서울의 수평면 일사량



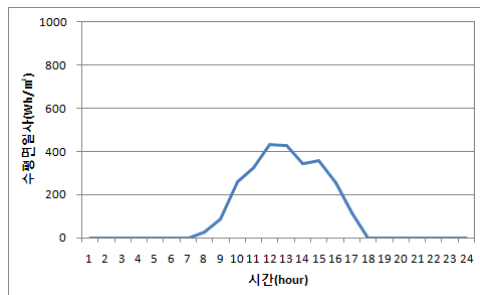
(그림 3.7) 춘분(3.20) 수평면 일사량



(그림 3.8) 하지(6.21) 수평면 일사량



(그림 3.9) 추분(9.23) 수평면 일사량



(그림 3.10) 동지(12.22) 수평면 일사량

태양광 발전 시스템이 갖는 장단점은 <표 3.3>²⁶⁾과 같다.

26) 신재생에너지센터 홈페이지, <http://www.energy.or.kr>

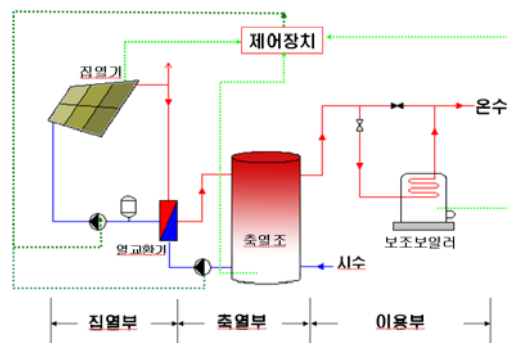
<표 3.1> 태양광 시스템의 장·단점

장 점	단 점
• 에너지원이 청정·무제한 • 필요한 장소에서 필요량 발전가능 • 유지보수가 용이, 무인화 가능 • 장수명(20년 이상)	• 전력생산량이 지역별 일사량, 운량 등 기후변화에 의존 • 에너지밀도가 낮아 큰 설치면적 필요 • 설치장소가 한정적, 시스템 비용이 고가 • 초기투자비와 발전단가 높음

3.1.2. 태양열 시스템

1) 태양열 시스템의 개요

태양열 시스템은 태양에너지를 건물의 난방 혹은 냉방에 이용하는 방법이다. 태양열 시스템에서 이용되는 태양에너지는 주간에만 존재하는 저밀도 에너지(최대 1100W/m^2 이하)로서, 이 에너지를 직접이용하거나 저장하였다가 필요시 이용한다. 시스템은 (그림 3.11)과 같이 태양열을 흡수하는 집열부와 집열된 열을 저장하는 축열부 및 축열된 열을 이용하는 이용부로 구성된다. 구성요소간 열전달 방식에 따라 펌프나 송풍기와 같은 기계를 사용하는 열전달 방식을 이용한 설비형 태양열 시스템(active solar system)과 전도, 대류와 같은 자연적인 열전달 방식을 이용한 자연형 태양열 시스템(passive solar system)으로 구분한다. 설비형 태양열 시스템의 세부 구성은 태양열을 집열하는 집열기, 집열된 열을 저장할 수 있는 축열조, 태양열이 없거나 부족할 경우 열을 공급하는 보조열원장치(보일러), 이용부와 이를 총괄적으로 제어하는 제어장치로 구성된다.



(그림 3.11) 태양열 시스템의 구성

2) 태양열 시스템의 종류

태양열 이용 기술은 <표 3.2>와 같이 적용분야 및 활용온도에 따라 구분하고 일반적으로 자연형, 설비형시스템(저온용, 중·고온용)으로 구분한다.²⁷⁾ 설비형 태양열 시스템 중 평판형집열기를 이용한 방식은 일반적인 건물에 주로 온수급탕용이나 난방용으로 많이 보급되어 있다.

<표 3.2> 태양열 이용기술의 분류

구 분	자 연 형	설 비 형		
	저온용		중온용	고온용
활용온도	60℃이하	100℃이하	300℃이하	300℃이상
집열부	자연형시스템 공기식집열기	평판형집열기	PTC형집열기 CPC형집열기 진공관형집열기	Dish형집열기 Power Tower, 태양로
축열부	Tromb Wall (자갈, 현열)	저온축열 (현열, 잠열)	중온축열 (잠열, 화학)	고온축열 (화학)
이용분야	건물공간난방	냉난방·급탕, 농수산 (건조, 난방)	건물 및 농수산분야 냉·난방, 담수화, 산업공정열, 열발전	산업공정열, 열발전, 우주용, 광촉매폐수처리 광화학, 신물질제조

가) 태양열 온수기

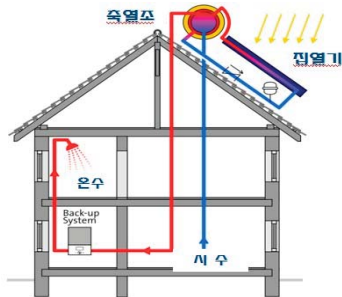
태양열 온수기라고 하면 일반적으로 패키지화된 하나의 제품으로 현장에서 간단한 설치로 사용할 수 있는 가정용 태양열 온수기를 의미한다. 이 제품은 국내에 약 18만대 이상이 보급된 제품이다. 태양열 온수기는 태양열 집열판과 축열조로 구성되어 있으며, 축열조 내부에 열교환기와 보조열원인 심야전기 히터가 내장되어 있는 것도 있다. 온수기는 집열판에서 가열된 집열매체가 펌프 없이 축열조와 자연순환에 의해서 축열조의 물을 가열시킨다. 즉, 집열기에서 가열된 열매체(부동액)는 밀도가 낮아져 상단부인 축열조 내부(열교환기나 2 중탱크 사이)로 올라가서 온수탱크 내부의 온수를 가열하고 다시 온도가 낮아져서 집열기 하단부로 들어가서 가열되면서 상단부로 올라가게 된다.²⁸⁾

27) 신재생에너지센터, 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030-태양열, 2007

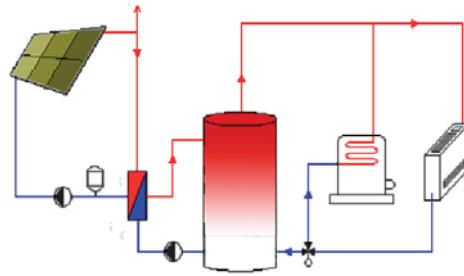
28) 에너지관리공단, 신재생에너지백서 2008, 2008

나) 태양열 난방시스템

태양열난방시스템은 집열부는 온수급탕시스템과 집열부는 동일하지만, 축열조부터 난방부로 공급되는 사이에 보조 보일러가 연결된 점에 차이가 있다.



(그림 3.12) 태양열 온수기



(그림 3.13) 태양열 난방시스템

다) 태양열 냉방시스템

태양열 냉방은 기존 열을 이용한 냉방시스템의 열원으로 태양열을 이용한 방식이다. 일사량이 많지만 난방 및 온수부하가 적어 태양열에너지가 많이 남는 하절기에 적용가능하다. 현재 태양열 냉방시스템으로 개발된 시스템은 1중효용 흡수식 냉동기, 제습냉방 시스템, 흡착식 냉방시스템이 있다.

3) 태양열 시스템의 특징 및 에너지 생산 패턴

태양열 시스템에서 이용되는 태양에너지는 낮시간 동안만 이용할 수 있는 에너지로 시간에 따른 변화가 크다. 또한 태양복사선은 지표에 도달되는 형태에 따라 직달일사와 산란일사로 구분되는데, 그 지역의 천공상태에 따라 달라진다. 지표면에 도달하는 과정상 구름이나 먼지에 의해 산란되어 도달하는 산란일사는 산란과정 없이 직접 도달하는 직달일사와 달리 집광하기 어려우며, 시스템에서 고온의 열에너지를 얻기 위해서는 직달일사의 집광이 필요하다. 에너지 생산이 간헐적이어서 지속적인 수요에 안정적인 공급이 어렵다는 단점이 있다.

태양열 급탕에서 요구되는 적정온도의 수준은 40~60℃ 정도이다. 저온을 사용하므로 집열 장치의 가격이 비교적 저가이고 단순하여 생산 및 설치에 경제성이 높으므로 다른 태양열 이용 분야보다 급탕 분야가 보급에 앞서 있

다. 연중 내내 급탕부하를 담당할 수 있고, 설치 및 조작이 단순하기 때문에 다른 태양열 시스템보다 경제성이 높다. 특히, 저온을 사용하므로 평균 집열 온도가 낮기 때문에 집열효과가 높아지므로 냉난방의 경우와 달리 흐린날이나 겨울철에도 그만큼의 에너지절약을 할 수 있다는 장점이 있다.²⁹⁾

태양열 시스템의 에너지 생산 패턴 역시 태양광 발전 시스템의 에너지 생산 패턴과 마찬가지로 하루 동안의 일사량 패턴과 같다. <표 3.3>은 기타 태양열 시스템의 장단점을 보여준다.

<표 3.3> 태양열 시스템의 장·단점

장점	단점
- 에너지원이 청정·무제한 - 미래의 에너지 산업에서 잠재력 큼 - 발전용량에 신축성이 있고, 발전시설의 유동성이 있음 - 연료구입에 대한 비용소비가 없음	- 전력생산량이 지역별 일사량, 운량 등 기후변화에 의존 - 에너지 밀도가 낮음

3.1.3. 풍력 발전 시스템

1) 풍력 발전 시스템의 개요

풍력 발전 시스템은 바람의 운동에너지를 전기 에너지로 변환하는 에너지 변환기술이다. 공기가 익형 위를 지날 때 양력과 항력이 발생하는 공기역학적(aerodynamic) 특성을 통해 회전자(rotor)가 회전하게 되는데 이때 발생하는 기계적 회전 에너지가 발전기를 통해 전기 에너지로 변환되게 된다.³⁰⁾ 바람에너지를 날개를 이용해서 전기에너지로 바꾸는데 이 때, 베츠의 한계이론에 따르면 바람에너지 중 59.3%만이 전기에너지로 바뀔 수 있는데 이것도 날개의 형상에 따른 효율, 기계적인 마찰, 발전기의 효율 등을 고려하면 실제적으로 20~40%만이 전기에너지로 이용 가능하다.³¹⁾

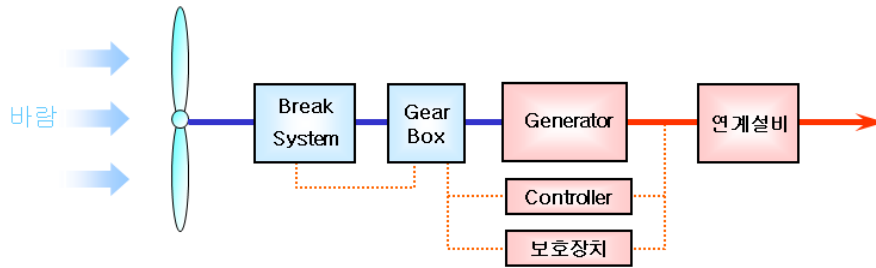
풍력 발전 시스템은 (그림 3.14)와 같이 풍력이 가진 에너지를 흡수, 변환하는 운동량변환장치, 동력전달장치, 동력변환장치, 제어장치 등으로 구성되

29) 강용혁, 제로에너지건물을 위한 태양열 이용 기술, 한국그린빌딩협회의지, v.5 n.1, 2004. 03.

30) 에너지관리공단, 신재생에너지백서 2008

31) 신재생에너지센터, 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030-풍력, 2007

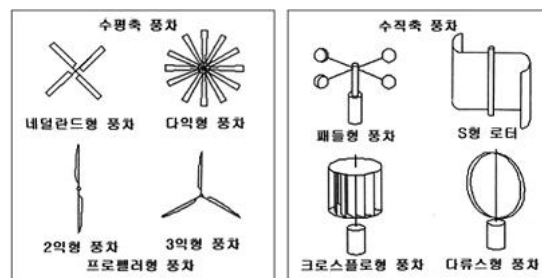
어 있으며 각 구성요소들은 독립적으로 그 기능을 발휘하지 못하며 상호 연관된 전체적인 시스템으로서의 기능을 수행한다.



(그림 3.14) 풍력 발전 시스템 구성

2) 풍력 발전 시스템의 종류

풍력 발전기는 (그림 3.15)과 같이 회전축이 바람에 대해 수평으로 마주하는 수평축 풍력 발전 시스템과 수직으로 마주하는 수직축 풍력 발전 시스템으로 분류된다.



(그림 3.15) 수평축형과 수직축형

가) 수평축 풍력 발전기(HAWT, Horizontal-Axis Wind Turbine)

수평축 풍력 발전기는 회전축이 바람이 불어오는 방향에 수평인 시스템으로 가장 일반적으로 상용화된 형태이다. 수평축형은 현재 가장 안정적인 고효율 풍력 발전 시스템으로 인정된다.

수평축 풍력 발전기는 다시 바람을 맞이하는 방식에 따라 맞바람 형식 (Upwind Type)과 뒷바람 형식 (Downwind Type)으로 나뉜다. 맞바람 형식은 바람이 블레이드를 먼저 접하는 형태로서 타워에 의한 풍속의 손실이 없고, 풍속 변동에 의한 피로 하중/소음이 비교적 적지만 바람의 방향에 따라

수직으로 마주하게 하는 요잉 시스템이 필요하여 시스템 구성이 복잡해진다. 중형급 이상의 풍력 발전기에서는 대부분 맞바람 형식의 3-Blade형이 사용되고 있다. 맞바람 형식은 바람이 타워와 나셀, 다음 블레이드를 접하게 되는 형태로서 요잉 시스템이 불필요하며, 비교적 소음이 크다. 저렴한 가격으로 인해 주로 소형 풍력발전기에서 사용된다.

나) 수직축 풍력 발전기(VAWT, Vertical-Axis Wind Turbine)

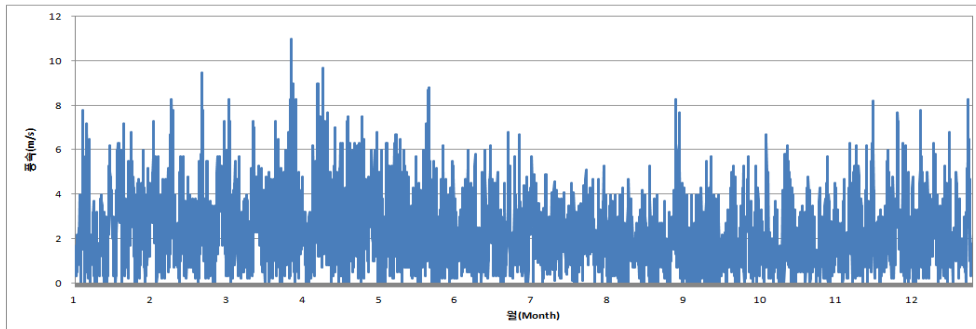
수직축 풍력 발전기는 회전축이 바람의 방향에 대해 수직인 시스템으로 현재 실용화된 대형 시스템은 없으나, 연구용이나 소형 풍력 발전용으로 사용되고 있다. 수직축형은 바람의 방향에 관계없이 운전이 가능하며, 지상에 증속기 및 발전기가 설치되므로 유지보수 및 점검이 용이하다. 그러나 수직축형은 지표면으로부터 고도가 증가할수록 속도가 증가하므로 시스템에 불균일한 풍속을 맞이하게 되어 시스템이 불안정해질 수 있다.

3) 풍력 발전 시스템의 특징 및 에너지 생산 패턴

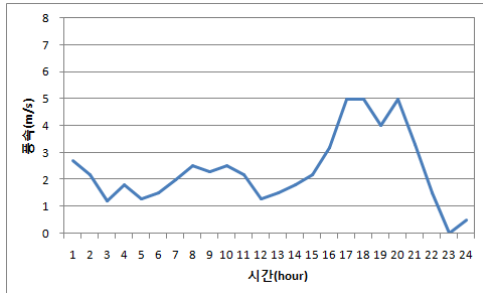
풍력에너지는 태양에너지와 마찬가지로 자원고갈의 염려가 없는 무공해 에너지원이다. 풍력발전 기술은 오랜 기술력 축적으로 기술성숙도가 높고, 대형 풍력발전의 경우 발전단가가 다른 신재생에너지 시스템 중 가장 낮아 가격경쟁력을 가지고 있으므로 신재생에너지 산업 중 빠르게 성장하고 있는 분야이다. 소형풍력발전의 경우 대형에 비해 가격측면에서 불리하여 보급이 미미한 실정이다.

풍력발전의 경우 풍속에 따라 시스템의 효율이 달라지는데, 풍속의 경우 그 값을 예상하기 어렵다. (그림 3.16)~(그림 3.20)과 같이 풍속의 경우 수평면 일사량과 달리 그 패턴이 매우 불규칙한 것을 볼 수 있다.

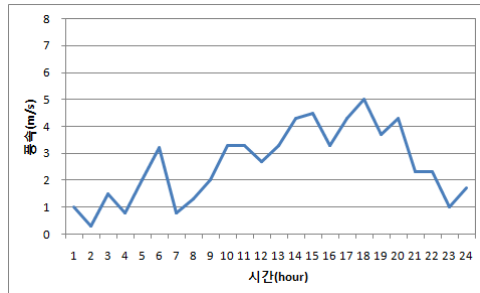
따라서 시스템을 계획할 때, 비교적 많은 양의 풍력에너지를 얻을 수 있는 입지의 중요성이 크다. 또한, 바람이 없을 때 그것을 보완하기 위해 태양광을 함께 이용한 복합 발전 시스템에 대한 연구가 진행되고 있다.



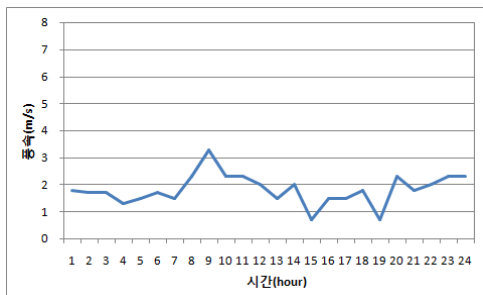
(그림 3.16) 서울의 풍속



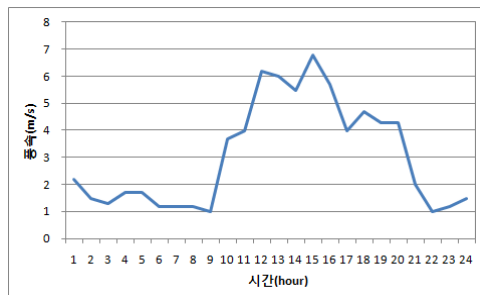
(그림 3.17) 춘분(3.20) 풍속



(그림 3.18) 하지(6.21) 풍속



(그림 3.19) 추분(9.23) 풍속



(그림 3.20) 동지(12.22) 풍속

풍력 발전 시스템의 장단점을 정리하면 <표 3.4>와 같다.

<표 3.4> 풍력 발전 시스템의 장·단점

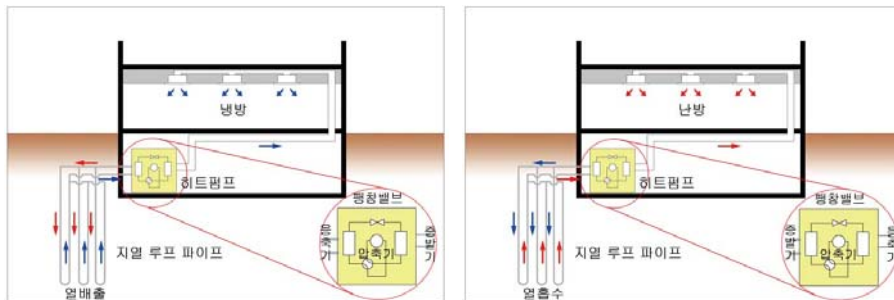
장점	단점
- 에너지원이 청정·무제한 - 낮은 유지비용 - 발전설비 면적이 적어 부지 이용이 효율적	- 입지 조건에 제약 - 풍속 변화에 따른 에너지 공급원의 불안정 - 풍속특성이 발전단가에 큰 영향 - 소음 문제

3.1.4. 지열

1) 지열 시스템의 개요

지열 에너지는 토양, 지하수, 지표수 등이 지구 내부 마그마 열이나 태양복사에너지에 의해 보유하고 있는 에너지를 의미한다. 지열 에너지는 지표면으로부터의 깊이에 따라 150~350m 깊이에 저장된 천부지열(shallow geothermal)과 그 이상의 깊이에 저장된 심부지열(deep geothermal)로 구분된다. 천부지열은 약 15~30℃, 심부지열은 약 40~400℃의 온도 범위를 보이며, 중·저온의 천부지열은 지역난방이나 건물의 난방 및 온수 공급, 각종 건조사업 또는 영농시설 등에 직접 이용되고 고온의 심부지열은 대개 지열 발전에 이용된다.

일반적으로 건물 등에 이용되는 지열에너지는 중·저온의 에너지로 열펌프(heat pump)나 냉동기의 열원으로 공급되며, 지열 열펌프 시스템의 사용이 대부분이다. 지열 열펌프 시스템은 크게 지중열교환기(ground heat exchanger)와 열펌프(heat pump)로 구성된다. 지열 열펌프 시스템은 냉방과 난방이 모두 가능하다. 냉방 시에는 (그림 3.11)과 같이 건물 내 열은 지중으로 방출하고, 난방시에는 (그림 3.12)와 같이 지중의 열을 흡수하여 실내로 공급한다. 냉열원(heat sink)과 온열원(heat source)의 역할을 하는 지중 온도는 연중 안정적이기 때문에 시스템의 효율과 성능이 우수하며, 냉난방 겸용으로 기존 설비나 다른 신재생 시스템에 비해 우수한 경제성을 갖는다. 실제로 공기 열원 열펌프에 비해 44%까지 그리고 에어컨과 전열기에 비해 72%까지 에너지 소비를 절감할 수 있다고 한다(EPA(1993)).³²⁾

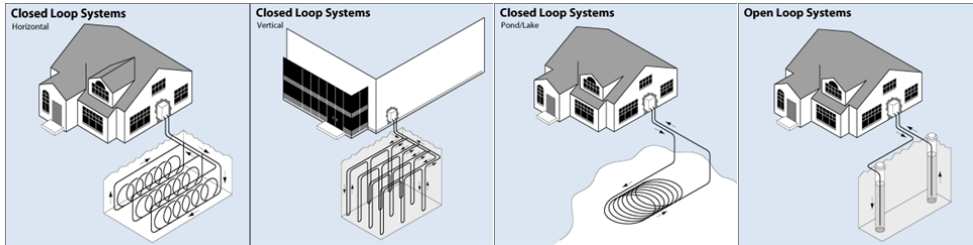


(그림 3.21) 지열 시스템 - 냉방 (그림 3.22) 지열 시스템 - 난방

32) Environmental Protection Agency, Space Conditioning: The Next Frontier, U.S. Energy Protection Agency, Office of Air and Radiation 430-R-93-004 (4/93), 1993

2) 지열 시스템의 종류

지열 시스템은 대표적으로 지중 열교환기가 매설된 형태에 따라 밀폐형 시스템(closed-loop system)과 개방형 시스템(open-loop system)으로 분류된다. 지열 시스템 중 토양(ground) 에너지를 이용한 밀폐형 시스템이 주로 사용된다. (그림 3.23)³³⁾은 지열 시스템의 종류를 보여준다.



(그림 3.23) 지열 시스템의 종류

가) 밀폐형 시스템(closed-loop system)

① 수평형(Horizontal)

수평형 시스템은 일반적으로 주거용 건물에 설치하기에 가장 비용효율적인 시스템으로, 특히 충분한 부지면적을 갖은 신축건물인 경우 적절하다. 이 시스템은 최소 1.2m 이상의 깊이로 굴착된 골(trench)에 설치되어야 하며, 가장 일반적인 파이프의 배열은 2개의 파이프를 하나는 1.8m 깊이에, 다른 하나는 1.2m 깊이에 매설한 타입이나 2개의 파이프를 1.5m 깊이에 나란히 설치하는 타입이다. 슬린키(Slinky) 타입의 방법은 골(trench)의 길이가 같은 다른 타입에 비해 더 많은 파이프를 매설할 수 있다.

② 수직형(Vertical)

수직형 시스템은 수평형을 설치하는 데 필요한 부지 면적을 갖지 못하는 대규모 상업 건물과 학교에서 주로 이용되는 시스템이다. 또한 흙이 너무 얇아 트랜칭할 수 없거나 기존 환경에 대한 파괴를 최소한으로 해야 되는 장소에 사용된다. 수직형 시스템은 약 6m 간격으로 약 30~120m 깊이로 천공된 보어홀에 U자 관을 삽입하고, U자 관 내의 열매체에 의해 열교환이 이루어진다.

33) U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable energy 홈페이지, http://www.energysavers.gov/your_home/space_heating_cooling/index.cfm/mytopic=12650

③ 연못형(Pond/Lake)

부지 근처에 수원이 있는 경우, 저렴한 비용으로 설치가 가능한 시스템이다. 건물에서 물이 있는 곳까지 지하에 공급 파이프를 매설하고, 얼지 않도록 2.5m 이상 깊이에 원형의 코일을 설치한다. 단, 코일은 수원의 규모, 깊이, 수질 기준 등에 영향을 미치지 않는 적합한 장소에 설치되어야 한다.

나) 개방형 시스템(open-loop system)

열교환 매체로 지하수나 지표수를 사용한 방법으로, 직접 지열히트펌프 시스템에 공급된다. 그러므로 지하수나 지표수를 직접 순환시키기 때문에 효율은 높지만, 지하수나 토양 오염문제를 야기할 수 있으며, 반대로 물 속의 슬러리나 오염물질로 인한 시스템에 스케일을 형성시키는 문제가 발생할 수 있다.

3) 지열 시스템의 특징 및 에너지 생산 패턴

지중 온도는 약 15m내외 깊이까지는 외부환경에 대한 영향을 받으나, 그 이하 약 200m 정도까지는 연중 약 13~15℃를 유지한다. 변화가 거의 없는 안정적인 온도를 유지하므로 기존 냉난방 설비나 공기열원 열펌프 시스템보다 효율이 높다. 또한 전국토의 모든 곳에서 큰 차이가 없이 일정한 에너지를 얻을 수 있다. 지열 시스템은 주로 열펌프를 이용한 시스템을 사용하므로 냉방과 난방에 모두 이용 가능하다. 그러나 타 시스템에 비해 초기 투자비가 크다.

지열 시스템의 장단점을 정리하면 <표 3.5>와 같다.

<표 3.5> 지열 시스템의 장·단점

장점	단점
- 에너지원이 청정·무제한 - 연중 변화가 거의 없는 안정한 에너지 - 전국토 모든 곳에서 일정한 에너지 획득이 가능 - 온실가스 발생 없음 - 냉난방에 모두 이용 가능 - 유지관리비용이 낮음	- 초기투자비가 높음 - 지중열교환기 설치면적이 넓음 - 지하 매설물이나 지중 조건에 의해 시공이 어려운 장소가 있음

3.1.5. 소결

건물에 적용 가능한 신재생에너지원은 태양광, 태양열, 풍력, 지열이 대표적이다. 각 신재생에너지 시스템은 각 에너지원의 특성에 따라 외부 환경에 많은 영향을 받는다.

태양광 및 태양열 시스템은 무한한 태양에너지원을 이용하며, 태양빛이 비추는 곳이면 어느 곳에서든지 설치가 가능하다. 그러나 태양이 비추는 시간은 낮으로 한정되며, 시간에 따라 변하는 태양의 고도에 따라 시스템의 효율에도 영향을 미친다. 또한, 외부 기상변화에 따라 운량이 많거나 우천시에는 효율이 떨어진다.

풍력 발전 시스템은 에너지원이 풍부하고 오염원이 전혀 배출되지 않으며, 대형 풍력 발전의 경우 발전 단가가 비교적 낮아 앞으로의 발전 전망이 큰 시스템이다. 그러나 풍력 발전 시스템이 풍속에 따라 시스템의 효율에 많은 영향을 받는데, 그 값의 변화가 커 발전량 또한 변화가 크다.

태양에너지나 풍력을 이용한 시스템은 이와 같은 에너지 생산의 간헐적인 특성으로 인하여 현재 보조 에너지원 수준으로 이용되고 있다. 그러나 지열 에너지의 경우 비교적 안정적인 에너지원을 갖는다. 지열에너지원은 전국토의 어느 곳에서든 얻을 수 있으며, 일반적으로 사용되는 열펌프 시스템은 냉방과 난방 모두 가능하다.

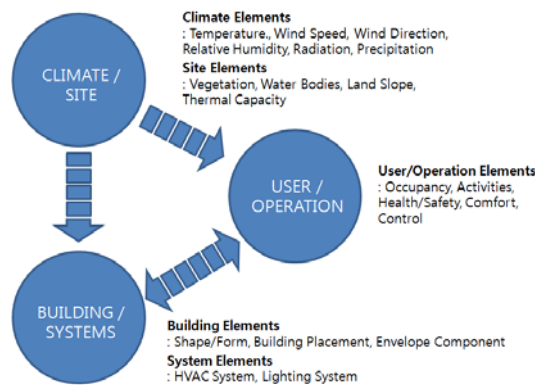
<표 3.6>은 건물에 적용 가능한 신재생에너지의 특성을 정리한 것이다.

<표 3.6> 건물에 적용 가능한 신재생에너지 시스템별 특성

신재생 에너지시스템	생산 에너지 유형	생산 조건	에너지 생산 패턴 변화 요인	적용지역
태양광	전기	일광시	- 시간(태양고도) - 계절 - 밤에 에너지 생산 불가능	일조량이 많은 지역
태양열	열	일광시	- 시간(태양고도) - 계절 - 밤에 에너지 생산 불가능	일조량이 많은 지역
풍력	전기	바람이 불 때	풍속의 변화가 큼	바람이 많은 지역
지열	열	언제나 가능	안정적인 에너지원	제약이 거의 없음

3.2. 건물의 에너지 소비 특성

건물의 에너지 소비에 영향을 미치는 에너지 요소는 (그림 3.24)와 같이 크게 기후/대지 요소(Climate/Site), 건물/시스템 요소(Building/System), 사용자/운영 요소(User/Operation)로 구분될 수 있다. 각 건물은 3가지 에너지 요소의 결합에 따라 에너지 소비량이 결정되며, 다양한 에너지 소비 패턴을 갖는다. 기후/대지 요소는 건물의 초기 계획 시 고려되며, 건물/시스템 요소는 사용자/운영 요소보다 건물 에너지 성능에 미치는 영향에 대해 비교적 정확하게 분석이 가능하므로 건물의 에너지 성능 향상을 위한 설계에서는 기본적으로 건물/시스템 요소가 먼저 고려된다. 그러나 실제 생활에 있어서의 쾌적함을 향상시키고 효율적으로 에너지 성능을 향상시키기 위해서는 사용자/운영 요소에 대한 고려가 필요하다.



(그림 3.24) 에너지 요소

각각의 건물은 다양한 사용자/운영 요소에 의해 에너지 소비량에 차이가 발생하지만, 거주자의 사용 패턴에 있어서는 건물의 유형별로 유사한 특징을 갖는다. 거주자들의 유사한 사용패턴은 유사한 에너지 소비 형태를 가져오므로 건물 유형별 에너지의 소비 패턴을 조사하기 위해서는 건물의 사용스케줄에 따른 분석이 요구된다. 본 연구에서는 건물의 유형을 크게 주거건물과 업무용 및 상업용 건물, 기타 건물로 분류하였으며, 각 건물의 시간당 에너지 부하량은 실제 각 건물 용도별 에너지 소비량 실측 자료를 바탕으로 연구된 이강국, 홍원화(2006)의 연구³⁴⁾ 내용을 인용하였다.

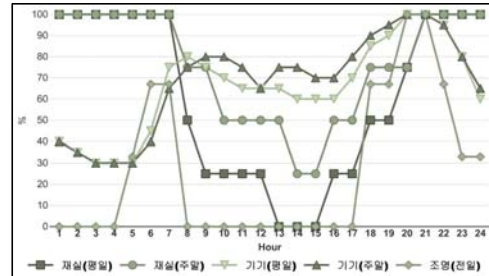
34) 이강국, 홍원화, Mesh Data를 활용한 도시 중심지역 에너지소비 유형분석, 대한건축학회 논문집(계획계), v.22 n.7, 2006.07.

3.2.1. 주거건물

주거건물의 경우 오전 7~9시 사이, 18~22시 사이의 저녁 시간대에 특징적인 에너지 부하 특성을 나타내고 있으며, 20시에 에너지 최대 부하를 보이고 있다. 한편, 하절기 냉방용 에너지의 경우 일반 전력에서 상당 부분을 부담하고 있는 것으로 나타났다.(그림 3.25)



(그림 3.25) 주거건물의 시간별 에너지부하량



(그림 3.26) 주거건물의 운영 스케줄

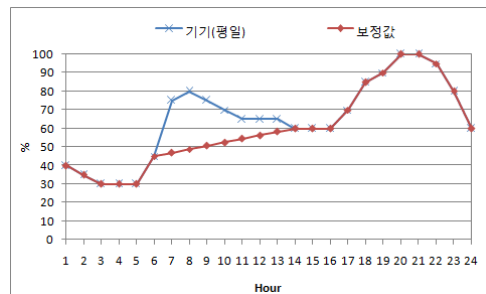
(그림 3.26)은 주거건물의 내부 발열 스케줄³⁵⁾³⁶⁾이다. 주거건물의 각 스케줄 중 시간별 에너지 부하량 패턴이 기기 발열 스케줄과 유사한 것을 볼 수 있다. 거주자가 잠에서 깨어나 활동을 시작하는 6~9시 사이 난방 및 급탕 부하가 증가·감소하는 패턴과 기기 발열량이 증가·감소하는 경향을 보인다. 또한 실내 거주자가 감소하는 9시부터 17시 사이, 다시 거주자가 증가하는 17시 이후, 거주자가 취침에 들어가는 23시 이후의 기기 사용의 증가·감소에 따른 발열량 패턴과 난방 패턴이 거의 유사하였다. 급탕 패턴의 경우 점심시간인 13시경 사용량이 증가하는 것을 제외하고 전반적인 패턴이 거의 유사하였다.

전기에너지의 경우 오전 8시 이후 증가하다가 20시 이후 부터 다시 감소하는 패턴을 보인다. 이와 같은 패턴은 난방, 급탕 패턴과 달리 오전에 조명 에너지의 사용과 같은 전기에너지의 사용량이 적기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 기기사용 스케줄에서 오전 시간대의 증감패턴에 대한 스케줄을 보정한다면 (그림 3.27)과 같은 패턴을 보이게 되고, 일반전기에너지 소비 패턴

35) 전력거래소, 가전기기보급률 및 가정용전력 소비행태 조사, 2006.12

36) 산업자원부, 건물의 에너지효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구, 2006

과 비교적 유사한 패턴을 보인다. 값의 보정은 조명기구의 사용이 거의 없고 에너지 소비량의 증감이 나타나는 오전 6시부터 14시 사이 6시와 14시 값을 이용하여 각 구간 사이의 평균 계산을 통하였다.



(그림 3.27) 기기 스케줄 보정

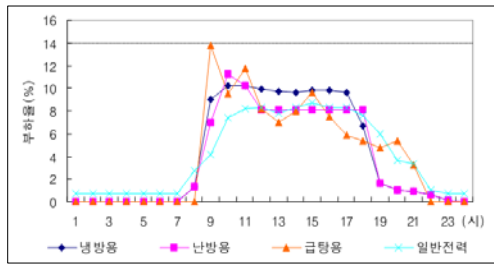
3.2.2. 업무용 및 상업용 건물

업무용 건물의 에너지 부하는 7시부터 22시에 걸쳐서 집중적으로 일어나고 있으며, 오전 7시에서 8시 사이에 최대 부하가 발생한다. 8시에 최대수치를 보이다가 점차 감소하며 냉방부하는 9시부터 18시까지 고르게 부하가 발생하고 있다.(그림 3.28)

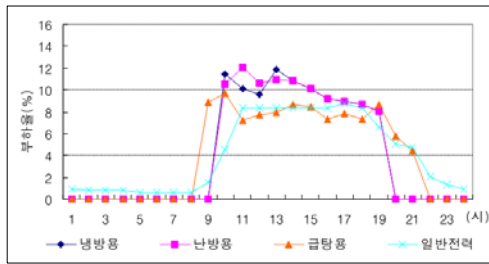
상업용 건물의 에너지 부하는 8시부터 20시까지 고르게 일어나고 있으며 오전 9시에서 10시 사이에 최대부하가 발생한다. 이는 상업용 건물의 특성상 영업시간내내 지속적인 에너지 사용을 보임을 알 수 있다.(그림 3.29)

이와 같은 에너지 부하 패턴은 (그림 3.30)³⁷⁾의 업무용 및 상업용 건물의 운영스케줄과 유사한 것을 알 수 있다.

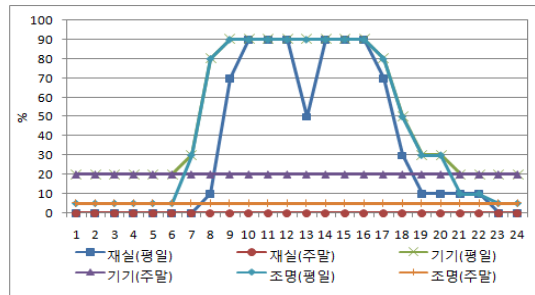
37) 산업자원부, 에너지 절약형건물의 성능인증기준·제도 및 보급촉진방안 연구, 2001



(그림 3.28) 업무건물의 시간별 에너지부하량



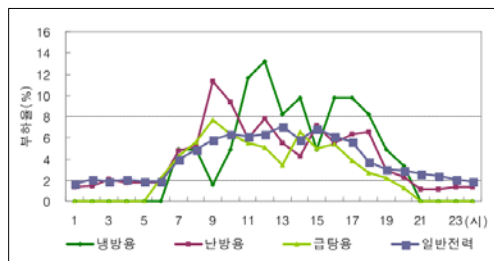
(그림 3.29) 상업건물의 시간별 에너지부하량



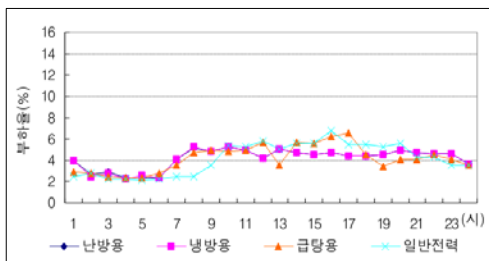
(그림 3.30) 업무 및 상업 건물의 운영스케줄

3.2.3. 기타 건물

병원 건물의 부하율의 경우, 용도 특성상 야간에도 일정량의 에너지가 소비되며 난방부하는 오전 9시경 최대를 보이고 있음을 알 수 있다. 숙박용 건물의 경우 24시간 비교적 일정한 부하가 일어나고 있음을 알 수 있는데, 이는 재실자의 행위가 계속해서 일어나기 때문에 계속적으로 일정한 부하율을 보이고 있는 것으로 판단된다.



(그림 3.31) 병원 건물의 시간별 에너지부하량



(그림 3.32) 숙박용 건물의 시간별 에너지부하량

3.3. 신재생에너지 복합 활용 계획 프로세스

3.3.1. 신재생에너지 시스템 복합 활용 방안

1) 전기에너지 생산 시스템의 복합

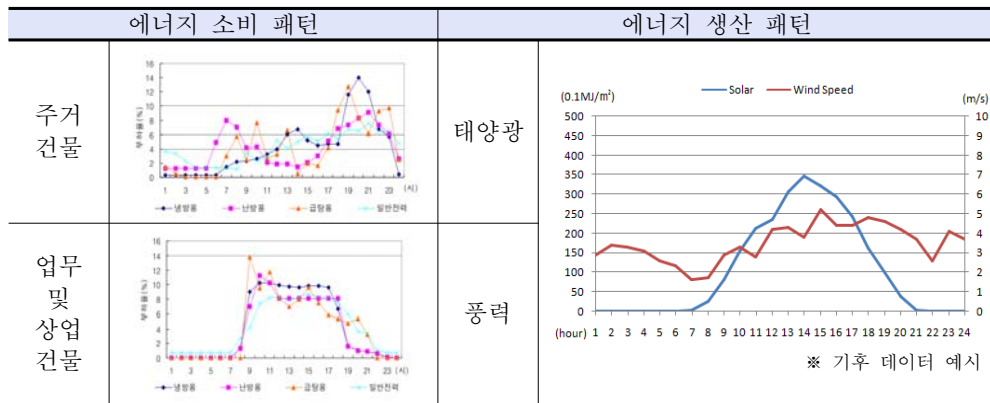
일반적으로 건물에 적용가능한 신재생에너지 시스템 중 전기에너지를 생산하는 신재생에너지 시스템은 태양광 발전 시스템과 풍력 발전 시스템이 있다. 태양광 발전 시스템은 태양광이 존재하는 청명한 날씨의 주간에만 에너지를 생산할 수 있으며, 야간이나 우천시에는 에너지를 생산할 수 없다. 반면에 풍력 발전 시스템의 경우, 시스템의 최소 시동 풍속 이상의 바람이 부는 동안만 에너지 생산이 가능하다. 바람의 특성 상 풍속의 변화가 심하고 예측이 어렵기 때문에 신재생에너지 시스템 중 간헐성이 가장 크다.

건물의 전기 에너지 소비 패턴은 주거건물의 경우 오전 7~8시부터 에너지 소비가 꾸준히 증가하여 오후 9시 경 가장 높은 소비량을 보이고 감소하는 패턴을 보인다. 업무 및 상업 건물의 경우는 전기 에너지 소비량이 오전 7~8시부터 급격히 증가하기 시작하여 오전 10시~오후 6시까지 일정하다가 그 이후 약 오후 10~11시경까지 감소한다.

건물의 에너지 소비 패턴과 신재생에너지 시스템의 발전량을 비교하면, 태양광의 경우 주간에 발전이 가능하므로 업무 및 상업 건물의 주간에 필요한 에너지 부하에 대한 대응이 가능하다. 그러나 전기부하가 많이 발생한다면, 낮은 에너지 밀도를 갖는 태양에너지 특성상 넓은 설치면적을 요구하고, 저녁시간 동안의 에너지 부하 및 오전과 오후의 낮은 태양고도로 인해 에너지 생산량이 건물의 그 시간대에 요구되는 부하에 미치지 못하는 경우가 발생할 수 있다.

풍력발전의 경우, 낮과 밤에 상관없이 기동 풍속 이상이면 발전이 가능하지만, 불규칙한 풍속의 영향으로 에너지 생산이 매우 간헐적이므로 전기에너지 주공급원으로 적용하기에는 무리가 있다. 따라서, 건물 내 전기에너지 부하에 대응하기 위한 신재생에너지 복합 활용을 위해서는 태양광 발전 시스템이 1차적인 시스템으로 적용하되, 풍력 발전 시스템을 보조발전 시스템으로 적용하는 것이 이상적이라고 할 수 있다. 두 가지 신재생에너지를 복합 활용하는 경우 태양광과 풍력에 의해 생산된 전기의 저장을 위한 저장장치의 용량을 축소할 수 있다.

<표 3.7> 건물의 전기에너지 소비 및 신재생에너지 시스템 에너지 생산



2) 열에너지 생산 시스템의 복합

열에너지를 생산하는 신재생에너지 시스템은 태양열 시스템과 지열 시스템이 있다. 태양열 시스템은 태양광 발전 시스템과 마찬가지로 주간에만 에너지를 생산할 수 있다. 그러나 지열 시스템의 경우 연중 일정한 온도를 유지하는 지중온도 특성으로 낮과 밤, 시간에 관계없이 일정한 에너지를 공급할 수 있다.

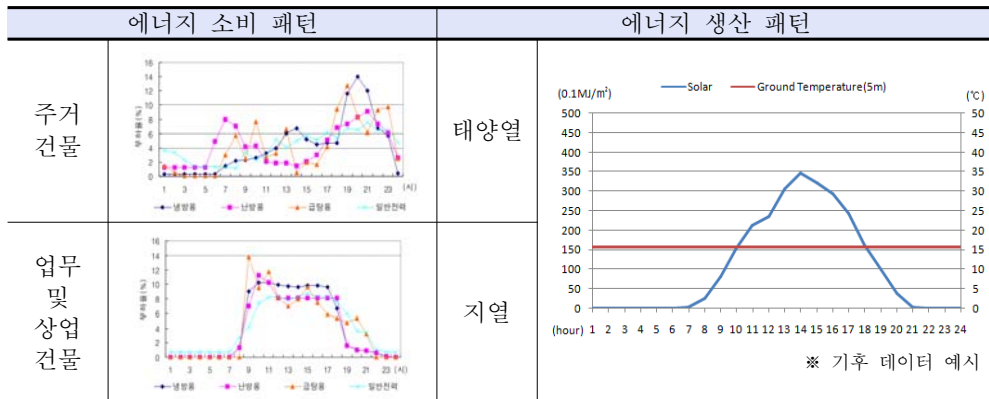
주거용 건물의 열에너지 소비 패턴은 냉방에너지의 경우 전기에너지와 유사한 패턴을 보이며, 난방에너지의 경우 오전과 저녁에 난방에너지 소비량이 많았다. 오전 5시부터 증가하다가 오전 7시부터 감소하며, 다시 오후 2시부터 증가하여 21시부터 다시 감소하였다. 업무 및 상업 건물의 난방에너지 소비 또한 전기 및 냉방에너지 소비량과 유사한 패턴을 보였으나 오전 9~10시에 조금 더 많은 에너지를 소비하였다.

건물의 에너지 소비 패턴과 신재생에너지 시스템의 에너지 생산량을 비교하면, 태양열 시스템의 경우 태양광 발전 시스템과 마찬가지로 주간의 에너지 소비가 큰 업무 및 상업 건물의 열에너지 부하에 대한 대응이 가능하지만, 낮은 에너지 밀도와 태양고도에 따른 에너지 생산량의 차이로 주거건물이나 기타 건물에 적용 시 요구되는 부하량에 미치지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 특히 겨울철 야간에 난방에너지를 필요로 하는 주거건물 등에서는 추가적인 보조 열원을 필요로 한다. 반면, 지열 시스템의 경우 시간에 관계없이 일정한 에너지를 공급할 수 있다. 또한 지열 시스템은 열펌프 시스템이 주로 사용되므로 냉방에너지의 공급도 가능하다. 그러나 지열 시스템을 에너

지의 피크시간에 맞추어 설계하게 된다면 나머지 시간에 소비되는 에너지량 보다 생산량이 초과하여, 전반적인 시스템의 용량이 과잉설계될 수 있다는 문제점이 있다.

건물 내 열에너지 부하에 대응하기 위한 신재생에너지 복합 활용을 위해서는 지열 시스템을 1차적인 시스템으로 냉방과 난방 부하를 기본적으로 담당 하면서 태양에너지 시스템을 이용하여 난방 및 급탕을 위한 보조 열원으로 사용하는 것이 적절하다.

<표 3.8> 건물의 열에너지 소비 및 신재생에너지 시스템 에너지 생산



3.3.2. 신재생에너지 복합 활용 계획 프로세스

친환경적인 건축물의 계획을 위해서는 계획 초기단계부터 여러 가지 환경친화 기법 및 에너지 성능향상에 대한 고려가 필요하며, 기존 설계 방법과 통합적으로 진행되어야 한다. 특히 신재생에너지의 적용은 초기 계획 단계에서부터 부지의 입지 조건, 건물의 에너지 부하량 및 시스템 용량 산정 등이 고려되어야 한다. 또한 시스템의 효율 향상을 위해서는 기본적으로 건물의 부하를 최소화하면서 각 신재생에너지 시스템의 에너지 간헐적이고 불안정한 생산특성을 서로 보완할 수 있는 신재생에너지 복합 활용 시스템에 대한 고려가 필요하다. 이와 같은 사항을 포함한 신재생에너지 복합 활용을 위한 계획 프로세스는 다음과 같다.

1) 목표설정 및 현황분석

건물의 목표 설정 및 현황 분석 단계에서는 사용자, 설계자, 시공자 간의 에너지 절약을 위한 건물의 목표를 설정 후 부지에 적합한 자연형(Passive) 및 설비형(Active) 기술, 신재생에너지 적용 기술의 통합을 위한 분석이 이루어진다. 특히, 신재생에너지의 적용 가능성에 대한 분석을 위해 대상 부지의 현황을 분석함에 있어서 지형 및 인접 건물 여부, 지하매설물 등 대상 부지의 특성 및 법적 규제 및 신재생에너지 지원제도에 대한 사항은 신재생에너지 시스템의 실제 설치 가능성을 판단할 수 있다. 또한 신재생에너지 시스템이 갖는 잠재성에 대해서는 각 시스템에 1차적으로 영향을 미치는 일사량, 운량, 일조시간, 풍속 등에 관한 기후 분석을 통해 알 수 있다. 좀 더 정확하고 신뢰성 있는 검토를 위해서는 프로그램을 통한 기후 및 지역의 특성 분석이나 기존 건물의 에너지 소비 특성을 상세하게 분석할 필요가 있다.

2) 기본 계획 및 설계

기본 계획 및 설계 단계에서는 에너지 절약적인 건축적 계획요소와 설비 시스템 계획을 수립하면서, 신재생에너지의 적용에 대한 구체적인 목표를 설정하는 것이 필요하다. 우선 건물의 에너지 절약을 위한 목표 설정 후 그에 따른 건축 계획요소를 고려해야 한다. 이 때 대상 건물에 적용이 가능한 신재생에너지 기술을 파악하고, 각 기술의 건축 적용시 미치는 계획적 요소들에 대한 종합적인 고려가 필요하다. 또한 각 신재생에너지 기술을 적용함에

있어 복합적으로 활용할지에 대한 여부를 고려해야한다.

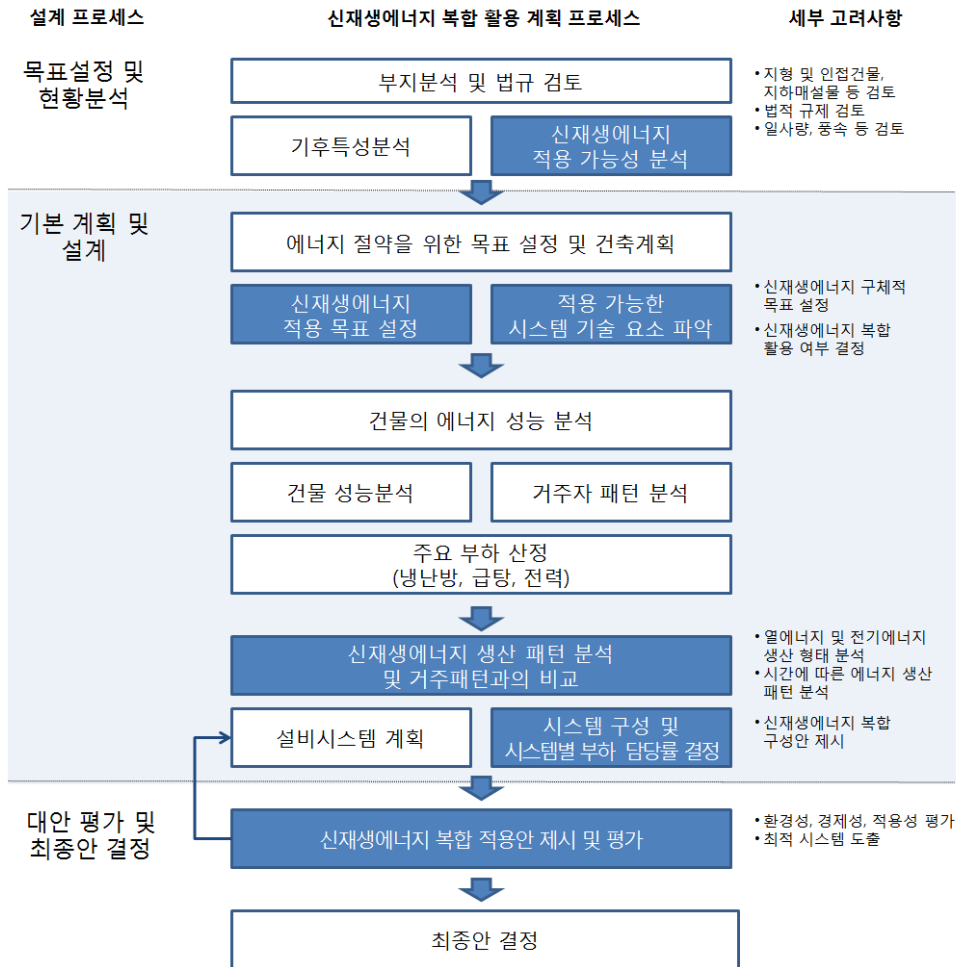
기본적인 계획안이 결정되면, 그 계획안에 대한 건물 자체의 에너지 성능 분석이 이루어지고, 건물 용도에 따른 거주자의 구성 및 전기, 열, 급탕 부하 변화가 어떻게 나타나는지 일, 주, 월, 년 간 데이터의 분석을 통한 설비 시스템 운영 스케줄이 결정된다. 이 과정에서 건물에서 발생하는 냉난방부하, 급탕부하, 전력부하가 결정된다.

일반적인 신재생에너지 시스템 적용계획에서는 냉난방부하 및 급탕부하, 전력부하의 결정 후, 일부 또는 전체 부하에 대한 시스템의 부담률의 결정 및 시스템의 용량을 산정하는 방식으로 이루어진다. 그러나 복합 활용을 위해서는 각 시스템의 에너지 생산 형태 및 특성에 대한 분석이 우선적으로 이루어져야 하며, 이러한 분석결과는 다시 거주자의 생활 패턴에 따른 에너지 부하 패턴과 함께 분석되어야 한다. 이때 각 변수들에 대한 분석은 시간에 따른 값으로 표현되어야 하며, 그 결과 값은 신재생에너지 복합 시스템의 구성, 규모, 성능, 시스템별 부하 담당률 및 기타 설비 시스템을 결정하는데 중요하다.

3) 대안 평가 및 최종안 결정

대안 평가 및 최종안 결정 단계에서는 이전의 단계에서 결정된 신재생에너지 복합 적용안에 대한 환경성, 적용성, 경제성 등에 대한 평가 및 피드백을 통해 최적안이 결정된다. 이 단계에서는 건축물의 전체적인 에너지 성능 및 시스템의 성능을 분석하기 위해서 에너지 해석을 위한 정밀 해석 프로그램이 필수적이며, 대표적으로 DOE-2, TRNSYS, ESP-r, EnergyPlus 등이 사용된다.

신재생에너지 복합 활용을 위한 계획 프로세스는 (그림 3.33)과 같다.



(그림 3.33) 신재생에너지 복합 활용 계획 프로세스

제 4 장 신재생에너지 시스템 복합 활용 사례 연구

4.1. 개요

앞서 제시된 계획 프로세스를 이용하여 신재생에너지 복합 활용의 가능성을 확인하기 위하여 인천 S지구(총 면적 113,370㎡)의 공동주택과 근린상가를 대상으로 신재생에너지의 복합적용 방안을 계획하였다. 대상 샘플 도시 구성은 <표 4.1>과 같다. 대상 건물은 <표 4.2>와 같이 공동주택은 한 층에 84㎡(약 25평)인 4세대로 구성된 남서, 남동향의 35층 건물이며, 근린상가는 바닥면적이 950㎡인 남서향의 12층 건물이다.

<표 4.1> 대상 샘플도시의 구성(좌)과 배치도(우)

구분	건축면적(㎡)	세대 수	단지 배치도
공동주택	39	126	
	59	313	
	67	131	
	84	692	
	117	127	
소계	—	1,389	
구분	연면적(㎡)	개소	
종교시설	2,459	2	
학교시설	6,804	1	
근린상가	43,805	11	

● 사례연구 대상 건물

<표 4.2> 대상 건물 개요

구분	층수	연면적(㎡)	건물향
공동주택	35(4세대/층)	11,760	남서, 남동향
근린상가	12	11,400	남서향

4.2. 신재생에너지 적용 가능성 분석

신재생에너지 적용 가능성 분석은 기본적으로 대상 지역의 기후특성 분석에서 시작된다. 각 에너지원의 특성이 곧 신재생에너지 시스템의 특성이 되기 때문이다. 태양광 및 태양열 시스템의 경우, 대상 부지의 일사특성 분석을 바탕으로 한다. <표 4.3>³⁸⁾은 한국에너지기술연구원에서 1982년부터 2004년까지 23년간 실측한 국내 주요 도시의 월별 평균 일사량에 대한 자료를 보여준다. 대상 건물이 위치한 인천지역의 일사량은 인근 지역인 서울지역의 일사량을 적용하였다. 일사량은 월 평균 2,780kcal/m²으로 타지역에 비해 낮은 일사량을 보이지만, 월 평균 일사량이 2,170kcal/m²인 유럽보다 태양열 및 태양광 에너지 활용에 대한 잠재성이 더 크다. 또한 일조시간은 기상청의 1971부터 2000년까지 30년간의 평년값 데이터를 바탕으로 연간 총 일조시간이 평균 2337.2시간으로 전국 평균인 2303.3보다 긴 것으로 나타났다.

<표 4.3> 전국 주요 도시의 월별 연평균 1일 수평면 일사량(1982~2004)

(단위 : kcal/m² day)

지역	월별												평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
서울	1,710	2,378	3,011	3,776	4,016	3,722	2,822	3,055	3,039	2,612	1,745	1,475	2,780
강릉	2,056	2,586	3,179	3,994	4,283	3,902	3,470	3,273	3,065	2,724	2,036	1,834	3,034
대전	1,951	2,641	3,305	4,148	4,314	3,980	3,602	3,627	3,277	2,887	2,028	1,752	3,126
광주	1,992	2,637	3,319	4,103	4,353	3,965	3,585	3,700	3,415	3,049	2,138	1,786	3,170
제주	1,245	1,996	2,844	3,855	4,262	4,034	4,202	3,878	3,227	2,834	1,914	1,300	2,966
대구	2,029	2,600	3,288	4,037	4,311	3,987	3,525	3,378	3,048	2,761	2,066	1,852	3,074
부산	2,212	2,763	3,226	3,901	4,219	3,916	3,636	3,702	3,105	2,928	2,296	2,026	3,161
평균	1,935	2,565	3,219	4,028	4,323	4,021	3,552	3,579	3,235	2,849	2,034	1,738	3,090

풍력 발전 시스템과 지열 시스템의 경우도 마찬가지로 각각 그 지역의 풍속 및 지중온도에 영향을 받는다. 대상 지역의 경우, 12월~3월은 서북서~북풍, 5월~8월은 남남동~서남서풍 우세하며, <표 4.4>와 같이 일평균 풍속은 3.3m/s으로 소형 풍력 발전 시스템의 시동풍속인 2.5~3.0m/s보다 높은 것으로 나타났다. 5m 깊이 지중온도의 평년값은 14.5℃로 나타났다.

38) 산업자원부, 한반도 태양에너지 자원의 분석, 평가 및 데이터 신뢰성 향상 연구, 2006.5

〈표 4.4〉 인천지역 월별 일평균 풍속(기상청 30년 평년값)

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
평균풍속(m/s)	3.7	4.0	4.0	3.9	3.4	2.7	3.0	2.7	2.5	2.8	3.6	3.7	3.3

기후 분석을 통한 신재생에너지 시스템의 적용성 분석 결과, 대상 지역에 태양광 발전 시스템, 태양열 급탕 시스템, 소형 풍력 발전 시스템, 지열 냉난방 시스템이 적용 가능한 것으로 나타났다.

4.3. 신재생에너지 복합 활용

4.3.1. 신재생에너지 적용 목표 설정 및 시스템 선정

앞의 4.2절에서 신재생에너지 적용 가능성 분석을 통하여 태양광, 태양열, 풍력, 지열 시스템이 대상 건물에서 적용 가능한 것으로 나타났다. 건물의 에너지 절약 및 효율성 향상을 위해 4가지 신재생에너지 시스템을 모두 적용하여 열에너지와 전력을 공급하는 것을 목표로 하였다. 또한, 신재생에너지 시스템의 효율성 향상을 위하여 각 시스템간의 복합 구성을 고려하였다.

4.3.2. 에너지 소비량 조사

건물의 에너지 소비량 예측을 위하여 다음과 같은 방법으로 난방 및 급탕 부하, 전력부하를 산정하였다.

1) 난방부하의 산정

난방부하는 수정 BIN법을 사용하여 아래 (수식 4.1)을 이용하여 계산하였다.

$$q_L = \sum \left[\frac{q_h \times A_h \times T_h(t_b - t'_o)}{(t_b - t'_o)} \right] \quad \dots\dots (수식 4.1)$$

q_L : 실제 난방부하(Gcal/년)	t_i : 설계 실내온도(℃)
q_h : 난방 단위 열 부하(kcal/m ² h)	t_o : 설계 외기온도(℃)
A_h : 난방 면적(m ²)	t'_o : 실제 실내온도(℃)
T_h : 난방시간(hr)	t_b : 평형점 온도(16℃)

난방부하는 각 세대별 면적에 따라 계산하였다. 기준 난방온도는 건축물의 에너지절약 설계기준³⁹⁾의 냉·난방장치의 용량계산을 위한 실내 온·습도 기준에 따라 20~22℃로 하였으며, 난방 면적율은 전체 면적의 80%로 가정하였다. 공동주택은 난방기간 동안 난방은 24시간 전일에 대하여 가동하고, 근린상가는 일요일을 제외한 주 6일에 대하여 각 12시간(9~21시)씩 가동한다고 가정하였다. <표 4.5>⁴⁰⁾는 건축물의 단위 난방부하를 보여준다.

<표 4.5> 서울 및 수도권, 인천 지역에서의 단위 난방부하

구 분	단위 난방부하 (kcal/m ² ·h)
공동주택(60m ² 초과인 경우)	49.0
근린생활시설	110.0

<표 4.6>은 각 세대별 면적 및 세대 수에 따른 난방부하 결과를 나타낸다. 연간 총 난방부하는 공동주택이 1,082.4Gcal, 근린상가는 679.8Gcal이며, 12~2월이 난방부하가 가장 큰 것으로 나타났다.

<표 4.6> 공동주택 및 근린상가 난방부하

(단위 : Gcal)

공동주택						
1월	2월	3월	4월	5월	6월	합계
237.2	190.9	159.9	82.1	25.5	－	1,082.4
7월	8월	9월	10월	11월	12월	
－	－	0.2	42.8	131.4	212.4	
근린상가						
1월	2월	3월	4월	5월	6월	합계
160.7	129.5	104	41.3	2.3	－	679.8
7월	8월	9월	10월	11월	12월	
－	－	－	14.6	85.7	141.9	

39) 건축물의 에너지절약설계 기준, 2008.11 개정

40) 에너지관리공단, 에너지사용계획협의제도 개선방안 연구용역보고서

2) 급탕부하의 산정

급탕부하는 아래 (수식 4.2)를 이용하여 계산하였다.

$$q_D = \sum (q_w \times A_w \times T_w \times \alpha \times \beta) \quad \dots\dots (수식 4.2)$$

q_D : 실제 급탕부하(Gcal/년) α : 월별 급탕 부하율(%)
 q_w : 단위 급탕부하(kcal/m² h) β : 시간대별 사용율(%)
 A_w : 급탕 면적(m²)
 T_w : 급탕시간(hr)

급탕 부하 계산을 위한 월별 급탕 부하율과 시간대별 급탕 사용율은 각각 <표 4.7>, <표 4.8>⁴¹⁾과 같다. <표 4.9>⁴²⁾는 건물의 단위 급탕부하를 보여 준다.

<표 4.7> 월별 급탕 부하율

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
부하율(%)	100	99	87	76	63	51	35	31	40	54	63	98

<표 4.8> 시간대별 급탕 사용율

(단위 : %)

구 분	0~3	3~6	6~9	9~12	12~18	18~21	21~24
공동주택	10	40	100	60	50	100	10
근린생활시설	0	0	0	50	100	50	0

<표 4.9> 서울 및 수도권, 인천 지역에서의 단위 급탕부하

구 분	단위 급탕부하(kcal/m ² h)
공동주택(60m ² 초과인 경우)	15.0
근린생활시설	5.0

위의 조건들을 토대로 계산한 급탕 부하는 다음 <표 4.10>과 같다. 연간 총 급탕부하는 공동주택이 430.0Gcal, 근린상가가 99.2Gcal이며, 난방부하와

41) 에너지관리공단, 에너지사용계획협의제도 개선방안 연구용역보고서

42) 법적 근거 : 에너지이용합리화법

마찬가지로 12~2월이 급탕부하가 가장 큰 것으로 나타났다.

<표 4.10> 공동주택 및 근린상가 급탕부하

(단위 : Gcal)

공동주택						
1월	2월	3월	4월	5월	6월	합계
55.1	49.3	47.9	40.5	34.7	27.2	430.0
7월	8월	9월	10월	11월	12월	
19.3	17.1	21.3	29.8	33.6	54.0	
근린상가						
1월	2월	3월	4월	5월	6월	합계
12.7	11.4	11.1	9.4	8	6.3	99.2
7월	8월	9월	10월	11월	12월	
4.5	3.9	4.9	6.9	7.8	12.5	

3) 전력부하의 산정

주거용 건물의 전력부하를 산정하는 공식은 다음 (수식 4.3), (수식 4.4)와 같다.

$$\begin{aligned} \text{주거용건물} &= [\text{건축물 연면적}(\text{m}^2) \times \text{전등표준부하}(VA/\text{m}^2) \\ &+ \text{가산부하}(VA/\text{호})] \times \text{수용율} \div \text{부등율} \quad \dots\dots (\text{수식 } 4.3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{비주거용건물} &= [\text{건축물 연면적}(\text{m}^2) \times \text{전등표준부하}(VA/\text{m}^2) \\ &+ \text{동력표준부하}(VA/\text{호})] \times \text{수용율} \div \text{부등율} \quad \dots\dots (\text{수식 } 4.4) \end{aligned}$$

건축물 용도별 표준 부하 밀도는 <표 4.11>⁴³⁾과 같다. 공동주택의 경우 가산부하⁴⁴⁾를 더해주어야 하는데, 대상 공동주택의 세대 면적은 84㎡이므로 66~130㎡인 경우의 가산부하인 2,000VA/호를 더해준다. 수용률⁴⁵⁾은 공동주택의 경우 35%, 근린상가의 경우 60%를 기준으로 한다.

43) 에너지관리공단, 에너지사용계획 협의제도 안내, 2006.6

44) 대한주택공사, 전기.정보통신설계지침서

45) Ibid.

<표 4.11> 건물별 표준 부하 밀도

구분	부하 밀도		
	전등	동력	소계
공동주택 (VA/호) (60~85㎡인 경우)	4,500	—	4,500
근린생활시설 (VA/㎡)	60	70	130

<표 4.12>는 공동주택 및 근린상가의 전력부하 산정 결과를 나타낸다. 공동주택의 연간 총 전력부하는 514.9MWh이며, 근린상가의 연간 총 전력부하는 2,743.7MWh로 나타났다.

<표 4.12> 공동주택 및 근린상가 전력부하

(단위 : MWh)

공동주택						
1월	2월	3월	4월	5월	6월	합계
46.4	44.9	41.0	42.0	39.5	40.6	514.9
7월	8월	9월	10월	11월	12월	
42.7	45.4	43.0	40.9	43.5	45.3	
근린상가						
1월	2월	3월	4월	5월	6월	합계
205.2	195.4	193.2	200	218.1	242.8	2,743.7
7월	8월	9월	10월	11월	12월	
281.2	285.6	273	226.1	207.7	215.4	

4) 냉방부하의 산정

공동주택은 냉방부하를 따로 산정하지 않기 때문에, 비주거용 건물만을 대상으로 아래 정리한 표에 따라 냉방부하를 계산하였다. 냉방부하는 수정 BIN 법을 사용하여 아래 (수식 4.5)를 이용하여 계산하였다.

$$q_c = \sum \left[\left\{ \frac{q_r \times 0.4 \times T_h(t'_o - t_b)}{(t_o - t_i)} + (q_r \times 0.6) \right\} \times A_c \times T_c \right] \quad \dots\dots (수식 4.5)$$

q_c : 실제 냉방부하(Gcal/년)	t_i : 설계 실내온도(℃)
q_r : 냉방 단위 열 부하(kcal/m ² h)	t_o : 설계 외기온도(℃)
A_c : 냉방 면적(m ²)	t'_o : 실제 실내온도(℃)
T_c : 냉방시간(hr)	t_b : 평형점 온도(26℃)

기준 냉방온도는 건축물의 에너지절약 설계기준⁴⁶⁾의 냉·난방장치의 용량 계산을 위한 실내 온·습도 기준에 따라 26~28℃로 하였으며, 냉방시간 및 냉방 일수⁴⁷⁾는 12시간(9~21시), 주 6일 냉방한다고 가정하였다. 근린상가의 단위 냉방부하⁴⁸⁾는 145.0kcal/m² h를 적용하였다.

<표 4.13>은 근린상가의 냉방부하 산정 결과를 나타낸다. 근린상가의 연간 총 전력부하는 320.9MWh로 나타났다.

<표 4.13> 근린상가 냉방부하

(단위 : MWh)

근린상가						
1월	2월	3월	4월	5월	6월	합계
-	-	-	-	-	12.9	320.9
7월	8월	9월	10월	11월	12월	
98.1	183.3	26.6	-	-	-	

공동주택의 연간 에너지 부하 예측 결과는 <표 4.14>와 같다. 공동주택의 경우 난방 부하량이 1,258.8MWh로 가장 컸으며, 전력 부하량의 약 2.4배 컸다. 근린상가의 경우 전력 부하량이 2,743.7MWh로 가장 컸으며, 난방 부하량의 약 3.5배 큰 것으로 예측되었다.

<표 4.14> 연간 에너지 부하

	공동주택	근린상가
난방 부하량	1,082.4 Gcal (1,258.8 MWh)	679.8 Gcal (790.6 MWh)
급탕 부하량	430.0 Gcal (500.1 MWh)	99.2 Gcal (115.4 MWh)
전력 부하량	514.9 MWh	2,743.7 MWh
냉방 부하량	-	320.9 MWh

46) 건축물의 에너지절약설계 기준, 2008.11 개정

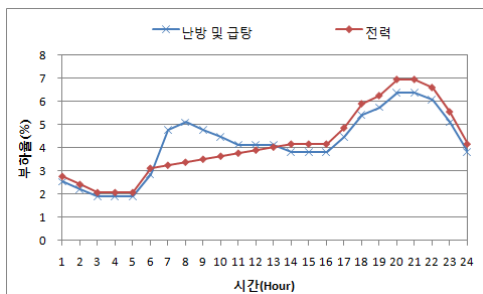
47) 에너지관리공단, 에너지사용계획협의제도 개선방안 연구용역보고서

48) 법적근거 : 에너지이용합리화법, 2008.2 개정

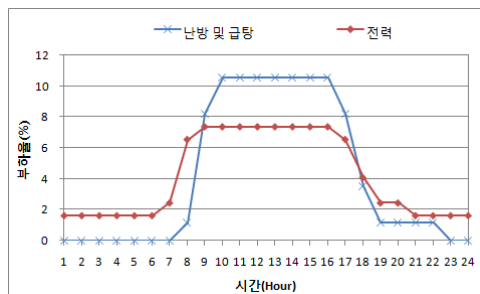
4.3.3. 에너지 소비패턴 및 신재생에너지 생산패턴 분석

1) 에너지 소비 패턴 분석

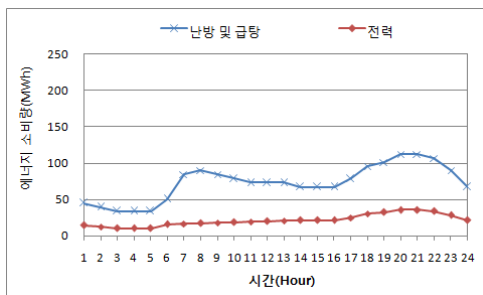
건물의 에너지 소비 패턴은 건물의 운영스케줄에 영향을 받으므로, 건물의 운영스케줄을 이용하여 건물의 에너지 소비 패턴 및 시간당 에너지 소비량을 예측할 수 있다. (그림 4.1)과 (그림 4.2)는 각 건물의 운영스케줄에 따른 에너지 부하율을 나타낸다. 건물의 부하율에 따라 <표 4.14>의 연간 총 난방 및 급탕 에너지, 전력 및 냉방 에너지 값을 이용하여 예측한 건물의 에너지 소비패턴은 (그림 4.3)과 (그림 4.4)와 같다. 예측한 에너지 소비 패턴을 보면 공동주택의 경우 전력 소비량에 비해 난방 및 급탕 에너지 소비량이 크며, 근린상가의 경우 난방 및 급탕 에너지 소비량에 비해 전력 소비량이 크다. 각 건물의 시간당 에너지 소비량은 <표 4.15>, <표 4.16>과 같다.



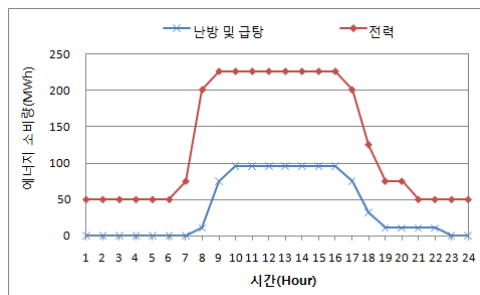
(그림 4.1) 공동주택 운영스케줄에 따른 에너지 부하율



(그림 4.2) 근린상가 운영스케줄에 따른 에너지 부하율



(그림 4.3) 공동주택의 에너지 소비량 예측결과



(그림 4.4) 근린상가의 에너지 소비량 예측결과

<표 4.15> 공동주택의 시간당 에너지 부하량 예측 결과값

(단위 : MWh)

	1시	2시	3시	4시	5시	6시	7시	8시
열에너지	45.0	39.3	33.7	33.7	33.7	50.6	84.3	89.9
전기에너지	14.3	12.5	10.7	10.7	10.7	16.1	16.8	17.5
	9시	10시	11시	12시	13시	14시	15시	16시
열에너지	84.3	78.7	73.1	73.1	73.1	67.4	67.4	67.4
전기에너지	18.1	18.8	19.5	20.1	20.8	21.5	21.5	21.5
	17시	18시	19시	20시	21시	22시	23시	24시
열에너지	78.7	95.5	101.2	112.4	112.4	106.8	89.9	67.4
전기에너지	25.1	30.4	32.2	35.8	35.8	34.0	28.7	21.5

<표 4.16> 근린상가의 시간당 에너지 부하량 예측 결과값

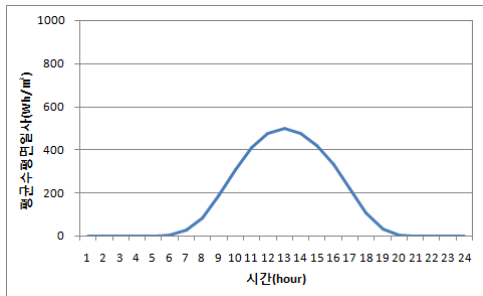
(단위 : MWh)

	1시	2시	3시	4시	5시	6시	7시	8시
열에너지	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.7
전기에너지	50.2	50.2	50.2	50.2	50.2	50.2	75.4	201.0
	9시	10시	11시	12시	13시	14시	15시	16시
열에너지	74.6	95.9	95.9	95.9	95.9	95.9	95.9	95.9
전기에너지	226.1	226.1	226.1	226.1	226.1	226.1	226.1	226.1
	17시	18시	19시	20시	21시	22시	23시	24시
열에너지	74.6	32.0	10.7	10.7	10.7	10.7	0.0	0.0
전기에너지	201.0	125.6	75.4	75.4	50.2	50.2	50.2	50.2

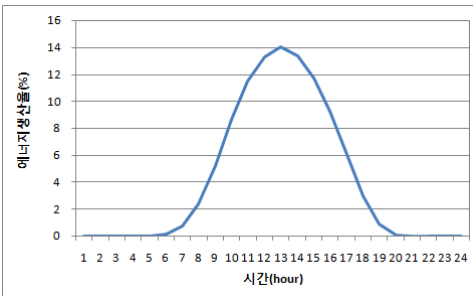
2) 신재생에너지 생산패턴 분석

네 가지 신재생에너지 시스템에 대한 에너지 생산 패턴은 각 신재생에너지 원별 기후 데이터 패턴으로 예상할 수 있다. 각 기상 패턴에 따른 시간당 에너지 생산율은 한국태양에너지학회와 한국건축친환경설비학회에서 제공한 인천지역의 대한민국 표준 기상데이터를 이용하여 예측하였다.

태양열 및 태양광 시스템의 에너지 생산 패턴 분석을 위한 인천지역의 시간당 연평균 수평면 일사량은 (그림 4.5)와 같다. 이를 바탕으로 계산된 에너지 생산율은 (그림 4.6)과 같다.

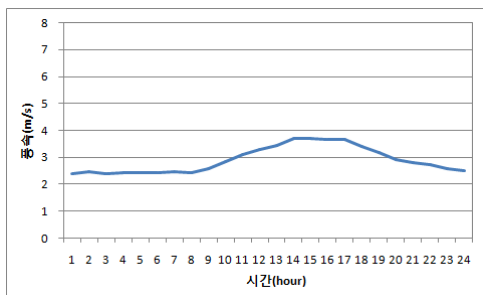


(그림 4.5) 연평균 수평면 일사량

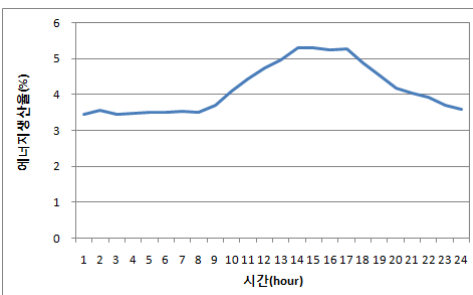


(그림 4.6) 태양 에너지 생산율

(그림 4.7)는 풍력 발전 시스템의 에너지 생산 분석을 위한 인천지역의 시간당 연평균 풍속이다. 평균 풍속이 소형 풍력 발전 시스템의 시동 풍속인 2.5m/s 보다 높은 것을 확인 할 수 있다. 이를 바탕으로 계산된 에너지 생산율은 (그림 4.8)과 같다.



(그림 4.7) 연평균 풍속



(그림 4.8) 풍력 에너지 생산율

지열 시스템에 대한 에너지 생산 패턴은 다른 신재생에너지원과 달리 일정한 에너지 생산 패턴을 보인다. 인천지역의 5m 깊이의 지중온도는 연평균 14.5℃로 거의 일정한 온도를 보여준다. 따라서 시간당 에너지 생산율 또한 거의 일정한 패턴을 보여준다.

4.3.4. 신재생에너지 시스템의 계획 시 적용 가능한 요소

각 건물은 건물의 유형에 따라 각기 다른 에너지 소비패턴을 갖으며, 신재생에너지의 생산패턴 또한 에너지원별로 다르다. 건물에 필요한 에너지를 신재생에너지를 이용하여 적절히 공급하기 위해서는 에너지의 소비패턴 뿐만 아니라 생산패턴도 함께 고려되어야 한다.

공동주택의 경우 난방 및 급탕 에너지 소비량이 전기 소비량에 비해 많은 열에너지 소비 위주의 건물이며, 근린상가의 경우 두 종류의 에너지 소비량 중 전기에너지 소비가 큰 건물이다. 따라서 건물에 신재생에너지를 적용하는 경우 공동주택은 열에너지를 생산하는 시스템에 더욱 중점을 두어야 하며, 근린상가의 경우 전기에너지를 생산하는 시스템에 중점을 두어야 한다. 또한 각각 에너지 생산을 위한 시스템의 계획에 있어 신재생에너지 시스템을 복합적으로 활용할 것인가에 대해 고려해야 한다.

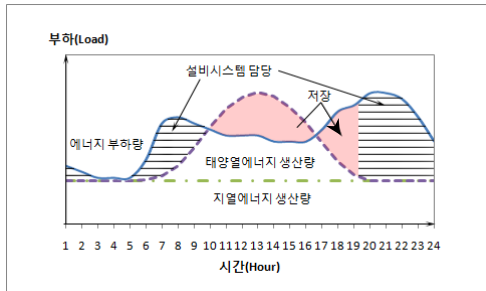
1) 공동주택

공동주택의 경우 열에너지의 소비가 큰 건물로, 전기에너지보다 열에너지 생산 시스템이 우선적으로 고려되어야 한다. 열에너지를 생산하는 신재생에너지 시스템으로는 태양열 시스템과 지열 시스템이 있다. 공동주택의 에너지 소비 패턴은 주로 거주자가 외출하기 전인 오전 7시경과 귀가 후인 21시를 기준으로 각각 난방 및 급탕 에너지 소비량이 증가·감소하였다. 낮 동안에는 거주자의 대부분이 외출하므로 난방 및 급탕 에너지 소비량이 적었으며, 거주자의 귀가후인 21시경 가장 많은 에너지를 소비하고 있었다. 에너지의 소비가 피크인 21시경은 저녁시간으로 태양열 시스템의 에너지 생산이 불가능한 시간이지만, 태양열 시스템은 축열조를 포함함으로써 주간에 에너지를 저장하였다가 오후에 사용하는 것이 가능하다. 지열 시스템의 경우 항상 일정한 온도를 유지하므로 시간에 관계없이 거의 일정한 에너지를 생산할 수 있으나, 에너지 생산량을 피크 부하량에 맞춰 설계 한다면 나머지 시간에는 에너지가 과잉 생산될 수 있다는 문제점이 있다. 따라서 열에너지 공급을 위한 신재생에너지 복합 활용을 위해서는 지열 시스템을 통해 평균 부하를 담당하고, 태양열 시스템을 통해 피크부하에 대응하는 것이 바람직할 것이다.

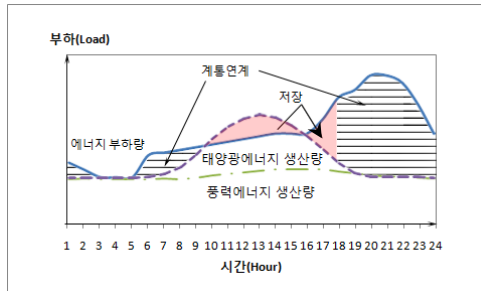
공동주택의 전력 소비 패턴은 21시를 전후로 꾸준히 증가하고 감소하는 패턴을 보인다. 태양광 발전 시스템을 이용하는 경우 태양열 시스템과 마찬가지로 에너지 소비량의 피크가 해가진 저녁시간에 발생하므로 오전에 생산된 에너지를 축전하였다가 사용해야 한다. 풍력 발전 시스템을 이용하는 경우 일정한 풍속의 바람이 지속적으로 불어준다면 주 에너지 생산시스템으로 적용 가능하지만, 실제 에너지 생산의 간헐성이 매우 크다.

태양열 시스템과 태양광시스템의 설치 장소는 주로 지붕면과 입면을 이용하게 된다. 그러나 두 시스템은 같은 에너지를 사용하므로 각각의 시스템을 설치하는데 있어 설치장소가 중복되는 문제점이 있다. PV/T(Combined

photovoltaic solar thermal systems)을 설치하지 않는 한, 두 시스템 중 소비되는 에너지의 형태에 대한 우선순위로 선택되어야 할 것이다. 따라서 공동주택의 경우 태양열 시스템이 우선적으로 설치되어야 한다.



(그림 4.9) 공동주택의 열에너지 소비 및 생산 개념도



(그림 4.10) 공동주택의 전기에너지 소비 및 생산 개념도

2) 근린상가

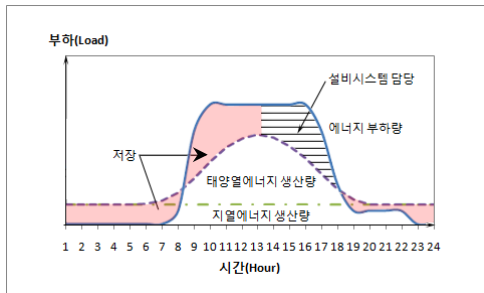
근린상가의 경우 전기에너지의 소비가 큰 건물로, 열에너지보다 전기에너지 생산 시스템이 우선적으로 고려되어야 한다. 전기를 생산하는 신재생에너지 시스템으로는 태양광 발전 시스템과 풍력 발전 시스템이 있다.

근린상가의 전기 및 열에너지 소비 패턴은 거의 유사하다. 항상 거주자가 상주하는 공동주택과 달리 근린상가 건물은 상업용 건물의 특성상 거주자가 상주하는 동안에만 에너지 사용량이 급격히 증가한다. 전기에너지 소비량은 6시부터 증가하여 21시까지 감소하며, 난방에너지 소비량은 7시부터 증가하여 20시까지 감소한다. 이와 같은 에너지소비량 패턴은 태양광 및 태양열 시스템의 에너지 생산패턴과 유사하다. 에너지소비량이 증가하는 낮동안 태양광 및 태양열 시스템은 에너지를 생산하므로, 생산된 에너지는 별도의 저장 과정을 거치지 않고 바로 소비가 가능하므로 에너지 저장에 따른 손실이 감소한다. 태양광 및 태양열 시스템은 공동주택보다 업무 및 상업용 건물에서의 적용이 더 적합한 것으로 생각된다.

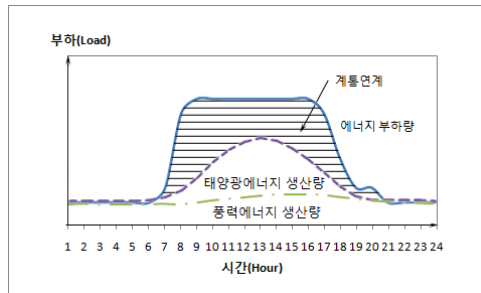
풍력 발전 시스템의 경우 에너지의 생산이 간헐적으로 전체 에너지부하를 담당하기에는 문제가 있다. 그러나 근린상가의 경우 야간에 기기사용 등으로 나타나는 주간에 비해 비교적 적은 에너지 소비를 담당하도록 계획할 수 있다. 또한 태양광 발전 시스템을 설치하는 경우 발전이 거의 되지 않는 야간이나 우천 시를 대비하여 풍력시스템을 함께 설치한다면 보다 안정적으로 에

너지를 공급할 수 있을 것이다.

태양광 및 태양열 시스템을 적용하는 데 있어서 적용 위치가 중복되게 되므로 적용함에 있어 공동주택과 달리 전기에너지소비량이 많은 근린상가의 경우 태양광 발전 시스템의 적용이 우선시 되어야 할 것이다. 따라서 근린상가건물의 열에너지 생산을 위한 신재생에너지 시스템은 태양열 시스템보다 지열 시스템의 적용이 더 적합할 것으로 판단된다.



(그림 4.11) 근린상가의 열에너지 소비 및 생산 개념도



(그림 4.12) 근린상가의 전기에너지 소비 및 생산 개념도

4.4. 신재생에너지 복합 활용안 분석

4.4.1. 공동주택

1) 적용 신재생에너지 시스템 선정

건물의 열에너지 및 전기에너지의 일부를 신재생에너지를 이용하여 공급하기 위해 4가지 신재생에너지 시스템을 모두 적용하였다. 열에너지 생산을 위해 태양열 시스템과 지열 시스템을 복합 활용하였으며, 전기에너지 생산을 위해 태양광 발전 시스템, 풍력 발전 시스템을 활용하였다. 태양광 발전 시스템은 설치위치가 태양열 시스템과 중복되므로 태양광발전시설보다 태양열 시스템을 우선 적용하였다.

2) 적용 계획 및 시스템 사양

건물에 신재생에너지 시스템 적용을 계획함에 있어 시스템의 투자회수기간

에 따른 경제성 분석이 고려되지 않은 최대로 설치 가능한 면적을 고려하였다. 경제성은 실제 시스템의 계획 및 적용에 있어서 필수적으로 고려되어야 하는 사항이지만, 본 사례연구에서는 신재생에너지의 복합 활용의 가능성을 타진하고자 경제성을 제외한 시스템적 에너지 부하요소에 중점을 두었다.

건물에 필요한 난방 및 급탕 에너지를 공급하기 위해 공동주택의 옥상면과 입면에 태양열 집열기를 설치하였다. 옥상에 태양열 집열기를 설치하는 경우 옥상 면적(578m²) 및 집열기 간의 이격거리를 고려하여 168.8m²(45장)를 설치하였다. 집열 면적은 전체 옥상 면적의 약 30%를 차지한다. 집열기의 경사각은 우리나라의 경우 난방의 비중이 더 큰 지역으로 겨울철 태양고도를 고려하여 경사각을 45°로 하였으며, 방위각은 정남향(0°)으로 계획하였다. 집열기를 입면에 설치하는 경우, 입면에 그림자가 발생할 가능성이 높은 저층부를 제외하고 중층과 고층부에 설치하였다. 남동 40°, 남서 50°로 면한 입면에 11층부터 25층까지 약 675m²(180장)를 설치하였다.

또한, 공동주택의 지하공간을 이용하여 지열시스템을 설치하였다. 한정된 부지면적을 고려하면 수직형 시스템이 적합하며, 바닥면적의 약 56%에 해당하는 325m² 면적에 깊이 100m로 지열 시스템을 설치하였다. 설치된 태양열 시스템과 지열 시스템의 사양은 <표 4.17>, <표 4.18>과 같다.

<표 4.17> 태양열 시스템의 설치 사양

태양열 시스템		축열조	
종류	유형	집열면적 당 축열조 용량	60L/m ²
집열기 면적	3.75m ² (1500mm×2500mm)	저장용량	300L*200EA
Fr(tan alpha) 계수	0.73	열교환기	
Fr UL 계수	5.00(W/m ²)/°C	열교환기 효율	70.0%
Fr UL에 대한 온도계수	5.00(W/m ²)/°C	손실율 (Miscellaneous Losses)	2.0%
에너지 손실율	3.0%	집열면적 당 펌프 출력	5.00W/m ²

<표 4.18> 지열 시스템의 설치 사양

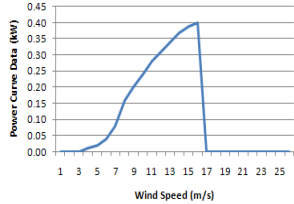
분 류		사 양			
타입		수직형 폐회로			
난방능력	kcal/h	190,464(221,470W)			
	RT	63.0			
냉방능력	kcal/h	171,447(199,357W)			
	RT	56.7			
소비전력(난방/냉방)	kW	난방	57.0	냉방	40.6
C.O.P(난방/냉방)		난방	3.9	냉방	4.9

전기에너지 공급을 위하여 건물 고층부인 26층~35층까지의 입면에 태양광 패널을 설치하였다. 창면적을 제외하고 설치 가능한 입면에 수직으로 태양광 패널(450m²)을 설치하였다. 패널의 방위각은 건물의 향과 동일한 남동 40°, 남서 50°이다. 풍력발전기의 경우 고도가 증가함에 따라 풍속도 증가하는 특성 이용하여 저층보다 옥상에 설치하였으며, 시동속도가 작은 수직축형 소형 풍력발전기를 설치하였다. 건물의 각 모서리에 400W 소형 풍력발전기 6대를 옥상에 설치하였다. 적용된 시스템의 사양은 <표 4.19>, <표 4.20>과 같다.

<표 4.19> 태양광 발전 시스템의 설치 사양

구 분		입면 설치
PV Module	적용 형태	계통연계형
	종류	POLY-SI
	발전 용량	150Wp
	적용 각도	90°
	효율	14.9%
	기타 손실	3.0%
Inverter	효율	95.5%
	기타 손실	5.0%

<표 4.20> 풍력 발전 시스템의 설치 사양

구 분		공동주택 상부	Power Curve Data
설치 시스템 사양	분류	수직축 시스템	
	적용형태	계통 연계	
	정격출력	400W	
	시동풍속	<3m/s	
	정지풍속	15.5m/s	
	정격풍속	15m/s	
	로터지름	1.06m/1m	

3) 건물 에너지 소비량 및 신재생에너지 생산량 비교·분석

공동주택에 적용된 신재생에너지 시스템은 태양열 시스템, 지열 시스템, 태양광 발전 시스템, 풍력 발전 시스템으로, 각 시스템의 에너지 생산량은 RETScreen 4.0 프로그램을 이용하여 산출하였으며 그 결과는 다음 <표 4.21>과 같다.

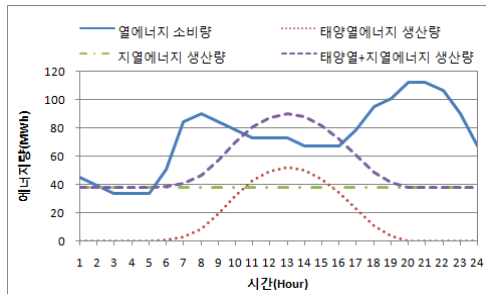
<표 4.21> 신재생에너지 시스템의 난방 및 급탕 에너지 생산량

	난방 및 급탕 에너지			전기 에너지		
	에너지 부하	태양열	지열	에너지 부하	태양광	풍력
생산량 (MWh)	1,758.9	372.4	1,164.7	514.9	67.9	6
부하 부담률(%)		21.2	66.2		13.2	1.2

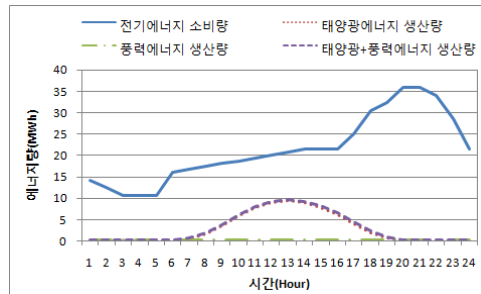
공동주택의 옥상과 건물 입면에 설치한 태양열 시스템은 <표 4.21>과 같이 전체 난방 및 급탕 에너지 소비량의 21.2%를 부담하고, 지열 시스템은 66.2%를 부담하여 총 88.4%를 부담할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 태양광 발전 시스템과 풍력 발전 시스템은 각각 총 전기에너지 소비량의 13.2%, 1.2%를 부담할 수 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 각 시스템의 시간당 에너지 생산량 및 패턴은 기후 패턴을 바탕으로 계산된 에너지 생산율을 통해 예측이 가능하며, 그 결과는 (그림 4.13) 및 (그림 4.14)와 같다.

태양열 시스템의 경우 생산되는 에너지량은 전체 에너지 소비량의 21.2% 정도로 지열 시스템에 비해 그 양이 적지만, 오전에 생산되는 에너지는 지열

시스템보다 많아지는 것을 볼 수 있다. (그림 4.13)과 같이 두 에너지의 총합을 시간당 에너지 소비량과 비교해보면 11시~16시 사이에 에너지 생산량이 소비량보다 많아진다. 이때의 에너지를 저장함으로써 오후 시간에 사용하면 피크 부하량을 줄여줄 것이다. 또한, 지열시스템은 야간에 소비량보다 많은 에너지를 생산하는데, 이 때 생산된 에너지를 저장하였다 오전에 사용할 수 있다. 따라서 두 시스템의 통합에서는 기본적으로 소비되는 에너지는 지열에너지를 사용하면서, 피크부하에 대해 태양열 시스템을 적용하는 것이 적합할 것으로 생각된다.



(그림 4.13) 열에너지 소비량 및 생산량 비교



(그림 4.14) 전기에너지 소비량 및 생산량 비교

태양광 및 풍력 발전 시스템의 에너지 생산패턴은 (그림 4.14)와 같다. 전기에너지 소비량이 오후시간에 피크가 발생하는 것에 비해 에너지 생산은 오후 12시를 전후로 가장 높은 생산율을 보인다. 따라서 태양광의 적용에 있어 오전 시간대의 에너지 생산량을 저장하기 위한 장치가 필요하다.

풍력 발전 시스템의 경우 설치된 시스템의 용량이 소형이고 적용가능한 위치 및 풍력발전기 대수에 제약이 있으므로, 생산되는 전기 에너지량은 전체 소비되는 에너지량의 단 1.2%로 나타났다. 이 경우 건물 하나만을 위해 풍력 발전 시스템을 설치하는 것은 비효율적이라고 할 수 있다. 따라서 풍력발전 시스템은 개별 건물의 차원에서가 아니라 단지 차원에서의 적용이 고려되어야 할 것이다.

4.4.2. 근린상가

1) 적용 신재생에너지 시스템 선정

공동주택과 마찬가지로 건물의 열에너지 및 전기에너지의 일부를 신재생에너지를 이용하여 공급하기 위해 4가지 신재생에너지 시스템을 모두 적용하였다. 그러나 공동주택과 달리 설치위치가 중복되는 태양광 및 태양열 시스템의 적용에 대해서는 태양열 시스템보다 태양광 발전 시스템을 우선하였다.

2) 적용 계획 및 시스템 사양

건물에 필요한 전기 에너지 공급을 위하여 태양광 발전 시스템과 풍력발전 시스템을 계획하였다. 태양광 모듈은 옥상과 입면을 이용하여 설치하였으며, 풍력발전기는 공동주택과 마찬가지로 수직축형 소형풍력발전기를 설치하였다.

태양광 모듈은 옥상에 설치하는 경우 어레이는 정남향(0°), 30°각도로 설치하고, 어레이간 이격 거리는 다음 (수식 4.6)⁴⁹⁾를 고려하여 4.1m로 계산하였다. 입면에 설치하는 경우 각 입면의 향과 동일한 남동 40°, 남서 50°에 수직으로 설치하였다. 태양광 모듈은 옥상에 전체 옥상 면적의 약 28%에 해당하는 268㎡를 설치하였으며, 남서·남동측 입면에 각각 입면 면적의 39%, 23%에 해당하는 476㎡, 392㎡를 설치하였다. 설치된 태양광 발전 시스템의 사양은 <표 4.22>와 같다.

$$d = b \times \frac{\sin(180^\circ - \beta - \gamma)}{\sin \gamma} \quad \dots\dots (\text{수식 4.6})$$

d : PV 모듈 간격 β : PV 경사각
 b : PV 모듈 높이 γ : 지역의 위도

49) German Solar Energy Society, Planning & Installing Photovoltaic Systems(second edition), Earthscan, 2007

<표 4.22> 태양광 발전 시스템의 설치 사양

구 분		입면 설치	옥상면 설치
PV Module	적용 형태	계통연계형	계통연계형
	종류	POLY-SI	POLY-SI
	발전 용량	150Wp	150Wp
	적용 각도	90°	30°
	효율	14.9%	14.9%
	기타 손실	3.0%	5.0%
Inverter	효율	95.5%	95.5%
	기타 손실	5.0%	5.0%

소형풍력발전기는 건물의 옥상에 공동주택 계획안과 같이 400W 소형 풍력 발전기를 옥상에 총 6대 설치하였다. 설치된 풍력 발전기의 사양은 공동주택 계획안의 사양과 같다.

열에너지 공급을 위한 신재생에너지 시스템으로는 지열 시스템을 활용하였으며, 태양열 시스템은 태양광 모듈의 설치를 우선하여 설치하지 않았다. 지열 시스템은 한정된 부지 면적을 고려하여 건물의 지하 공간을 이용하여 수직형 폐회로 시스템으로 설치하였다. 설치면적은 건축면적의 약 24%인 225㎡에 깊이 100m로 설치하였다. 설치된 지열 시스템의 사양은 <표 4.23>과 같다.

<표 4.23> 지열 시스템의 설치 사양

분 류		사양			
타입		수직형 폐회로			
난방능력	kcal/h	109,666.3(127,519W)			
	RT	36.3			
냉방능력	kcal/h	88,576.6(102,996W)			
	RT	29.3			
소비전력(난방/냉방)		kW	난방	32.1	냉방 22.9
C.O.P(난방/냉방)			난방	3.97	냉방 4.5

3) 건물 에너지 소비량 및 신재생에너지 생산량 비교·분석

적용된 신재생에너지 시스템은 <표 4.24>와 같이 지열 시스템, 태양광 발전 시스템, 풍력 발전 시스템이며, 각 시스템의 에너지 생산량은 RETScreen

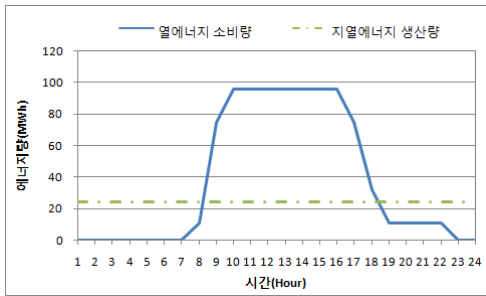
4.0 프로그램을 이용하여 산출하였다.

<표 4.24> 신재생에너지 시스템의 난방 및 급탕 에너지 생산량

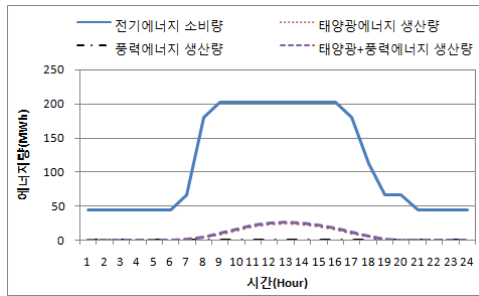
	난방 및 급탕 에너지			냉방에너지		전기 에너지		
	에너지 부하	태양열	지열	에너지 부하	지열	에너지 부하	태양광	풍력
생산량 (MWh)	906.0	—	590.5	320.9	317.4	2,743.7	185.7	6
부하 부담률 (%)		—	65.2		98.9		6.8	0.2

지열 시스템은 건물 전체 난방에너지 소비량의 약 65.2%를 담당할 수 있으며, 기후 패턴을 바탕으로 예측된 시간당 에너지 생산량 및 패턴은 (그림 4.15)와 같이 일정한 패턴을 보인다. 건물의 에너지 소비가 증가하는 주간에는 지열 시스템으로부터 생산된 에너지량이 소비량에 미치지 못하지만, 23시~7시까지 에너지 소비량이 거의 없는 시간에도 일정한 에너지를 생산한다. 따라서 에너지 소비량이 없는 야간에 생산된 에너지를 저장하였다가 주간에 에너지 피크 부하를 낮추도록 계획되어야 한다. 또한, 지열 시스템의 장점은 히트펌프를 이용하여 난방에너지 뿐만 아니라 냉방에너지 소비량 또한 부담할 수 있다.

건물의 옥상과 입면에 설치된 태양광 발전 시스템과 소형 풍력 발전 시스템은 각각 전체 전기 에너지 소비량의 6.0%, 0.2%를 담당할 수 있다. (그림 4.16)과 같이 에너지 생산량이 전체 소비량에 미치지 못한다. 에너지 생산 패턴을 보면 태양광 발전 시스템은 에너지 소비량 증가 패턴과 유사하므로 별도의 저장장치 없이도 생산된 에너지를 바로 소비할 수 있다. 태양광 발전 시스템의 경우 그 생산량이 소비량에 비해 매우 적지만 건물의 피크부하를 낮추는데 도움이 될 것이다. 또한 풍력 발전 시스템에 의해 생산된 에너지는 단 0.2%로 매우 적은 양이다. 풍력 발전 시스템은 풍력 발전기 간의 이격거리, 제한된 옥상 면적 등으로 설치 대수에 제약이 있다. 특히, 단지차원에서 적용이 가능하여 풍력 발전기 대수 및 규모 등을 조절할 수 있는 공동주택과 달리 근린상가의 경우 인접 건물 및 제한된 부지로 인해 시스템의 설치가 옥상 등으로 한정된다.



(그림 4.15) 열에너지 소비량 및 생산량 비교



(그림 4.16) 전기에너지 소비량 및 생산량 비교

4.5. 소결

본 장의 신재생에너지 복합 적용에 대한 사례 연구는 에너지 효율적인 건물을 설계하기 위해 기초 설계 단계에서 신재생에너지의 적용 및 복합 활용의 가능성을 분석하였다. 공동주택과 근린상가 건물을 대상으로 건물 에너지 소비 패턴과 태양광 발전 시스템, 태양열 급탕 시스템, 지열 시스템, 풍력 발전 시스템을 설치하였을 경우 생산되는 에너지 생산 패턴을 비교 분석하였다.

일반적으로 건물의 신재생에너지 적용 계획을 수립할 경우, 그 지역의 기후 분석을 기본으로 계절별 에너지 부하량을 산정하여 총량적인 분석을 실시하고, 시스템의 용량을 산정한다. 그러나 복합 적용을 위해서는 에너지의 총량적인 분석보다 시간당 에너지 부하에 대한 산정이 필요하다. 각 신재생에너지 시스템의 에너지 생산은 그 에너지원천이 되는 자연환경 요소의 특성에 따르므로, 각 에너지원의 변화는 하루동안의 변화 즉, 시간에 대한 에너지 부하의 분석이 필요하다.

사례를 통해 산정된 전체 에너지량을 건물의 운영스케줄을 참고로 시간별 에너지 부하량을 산정하고, 각 시스템은 기후 패턴을 바탕으로 시간별 에너지 생산량을 산정하였다. 이와 같이 산정된 시간별 에너지 부하량과 에너지 생산량을 비교 분석을 통하여 신재생에너지 복합 적용의 가능성을 분석하였다. 각 건물은 대상 건물의 에너지 소비 패턴 및 각 신재생에너지 시스템 특성에 따라 적합한 신재생 에너지 시스템을 선정할 수 있었다.

공동주택의 열에너지 공급을 위한 신재생에너지 시스템의 경우, 태양열 시스템과 지열 시스템을 적용할 수 있었다. 각 시스템의 특성상 지열 시스템을 하루동안 거의 일정한 에너지를 생산할 수 있으며, 태양열 시스템의 경우 오

전 중에만 에너지 생산이 가능하였다. 열에너지의 소비 패턴은 6시~10시, 17~24시 사이에 소비량이 크게 증가 감소하였다. 이러한 소비 패턴상 일정한 지열 에너지를 주요 에너지원으로 사용하고, 태양열 시스템의 경우 오전 중에 생산된 에너지를 저장하여, 오후 피크 부하에 대응하도록 설계하는 것이 적합할 것이다.

근린상가의 경우 열에너지 공급을 위한 신재생에너지 시스템으로 태양열 시스템을 적용할 경우 에너지 생산패턴이 소비패턴과 유사하여 에너지 소비가 필요할 때 적절히 에너지를 공급할 수 있다. 또한 지열 시스템의 경우 일정한 에너지가 생산되므로 에너지 소비가 없는 야간에 생산된 에너지를 저장하여 주간의 에너지 부하에 대응할 수 있다.

전기에너지 공급을 위한 신재생에너지 시스템의 경우, 태양광 발전 시스템과 풍력 발전 시스템을 적용할 수 있었다. 태양광 발전 시스템은 태양열 시스템과 마찬가지로 오전 중에만 에너지 생산이 가능하였으며, 풍력의 경우 바람이 발전 시스템의 시동풍속 이상인 경우면 언제라도 에너지 생산이 가능하다. 그러나 소형 풍력 발전 시스템의 경우 태양광 발전 시스템의 에너지 생산량보다 변화가 클 것으로 예상된다. 따라서, 태양광 발전 시스템을 주 에너지원으로 하여, 에너지 소비량이 적은 오전 중에 에너지를 저장하였다가 오후에 사용하고, 풍력 발전 시스템을 통하여 피크부하 대응 및 에너지 소비량이 적은 심야시간에 이용하도록 계획 하는 것이 적합할 것이다.

태양열 시스템과 태양광 발전 시스템은 건물에 설치되는 위치가 거의 같다. 따라서 두 시스템의 설치에 있어 어느 시스템을 우선적으로 적용할 것인지는 건물에 사용되는 에너지에 따라 달라진다. 공동주택의 경우 난방 및 급탕에너지 소비량이 많은 건물로 열에너지 공급을 위한 태양열 시스템이 우선적으로 고려되어야 하며, 근린상가의 경우 전력 소비량이 많은 건물로 태양광 발전 시스템이 우선적으로 고려되어야 한다.

다음 <표 4.25>는 공동주택과 근린상가에 신재생에너지 시스템의 적용가능성 및 복합 활용 가능성을 정리한 것이다.

<표 4.25> 신재생에너지 시스템 적용가능성 및 복합 활용 가능성

	전기에너지 생산 시스템			열에너지 생산 시스템		
	태양광	풍력	복합 활용	태양열	지열	복합 활용
공동주택	○	◎	▲	●	◎	●
근린상가	●	○	◎	○	◎	▲

● : 매우 높음, ◎ : 높음, ○ : 보통, ▲ : 낮음

* 두 가지 시스템 중 적용 가능성이 낮은 쪽을 보조 시스템으로 적용

본 사례 연구에서는 신재생에너지 시스템을 공동주택과 근린상가에 적용할 경우 건물 에너지의 소비 패턴 및 시스템 에너지 생산 패턴을 비교하여 그 적용성 및 복합 활용 가능성을 알아보았다. 본 연구에서는 시스템의 에너지 생산의 특성을 분석하여 복합 적용을 위한 기초 자료로 이용가능할 것으로 판단된다.

제 5 장 결 론

건물에 사용되는 에너지는 열 및 전기에너지로 대표된다. 이러한 에너지의 생산을 위한 신재생에너지 시스템은 자연에너지를 직접 변환하여 전기 및 열 에너지를 생산하며, 각각의 시스템별로 생산되는 에너지의 형태가 다르다. 또한 건축물 및 도시에 필요한 에너지 공급을 위해 신재생에너지를 활용할 경우, 외부 환경 변화에 의존을 많이 하는 에너지원인 만큼 연속적이고, 안정적인 에너지 공급이 어렵다는 문제가 있다. 건물에 신재생에너지원이 적용된다 하더라도 신재생에너지 시스템의 생산 특성과 에너지 소비 특성의 차이로 효율적인 에너지 사용을 위한 방안을 필요로 하게 된다.

따라서 본 연구에서는 신재생에너지 시스템의 특성 및 실제 에너지 소비 패턴을 조사 분석하고, 신재생 에너지의 복합 활용 계획 프로세스를 제안함으로써, 건물에 필요한 에너지를 효율적이고 안정적으로 공급하기 위한 복합 활용 방안을 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 신재생에너지 시스템의 간헐적인 에너지 생산 특성 및 에너지 생산 패턴, 각 시스템의 생산된 에너지 유형 측면을 고려한다면 한 가지 신재생에너지원을 사용하기보다 안정적이고 효율적인 에너지 공급을 위해 여러 가지 신재생에너지 시스템의 복합 활용이 고려되어야 한다.

(2) 건물에서의 신재생에너지 복합 적용을 위해서는 각 신재생에너지 시스템의 에너지 생산 패턴 및 실제 건물에서의 에너지 소비 패턴을 분석하여야 한다. 에너지 생산 패턴은 각 시스템이 에너지원인 자연환경 요소의 특성에 따르므로 에너지원이 변화되는 하루 동안의 변화 즉, 시간별 변화량에 따라 에너지 생산량에 차이가 발생한다. 건물의 에너지 소비 또한 시간별로 소비량에 차이가 발생한다. 따라서 시간별 에너지의 생산 및 소비 패턴의 분석이 요구된다.

(3) 에너지 소비량은 건물의 유형에 따른 거주 행태, 즉 이를 반영한 운영 스케줄을 통하여 시간별 에너지 소비량의 예측이 가능하다. 또한 신재생에너지

지 시스템의 에너지 생산량의 경우 각 에너지원이 되는 태양복사에너지, 풍속, 지중온도 등의 변화에 따라 예측이 가능하다. 이와 같은 생산 패턴 및 각 건물의 에너지 소비 패턴에 대한 비교 분석은 복합 시스템의 안정성 및 효율성을 향상시킬 수 있다.

(4) 건물 설계 시, 건물에 신재생에너지의 적용은 설계 초기 단계부터 기존 설계 방법과 통합적으로 고려되어야 한다. 또한 시스템의 효율 향상을 위해서는 기본적으로 건물의 부하를 최소화하면서 각 신재생에너지 시스템의 에너지 간헐적이고 불안정한 생산특성을 서로 보완할 수 있는 신재생에너지 복합 활용 시스템에 대한 고려가 필요하다. 앞에서 언급한 건물의 에너지 소비 패턴 및 신재생에너지 시스템의 에너지 특성을 고려하여 신재생에너지 복합 적용을 위한 프로세스를 제안하였다.

(5) 사례 연구 결과, 열에너지 공급을 위한 신재생에너지 시스템의 경우, 태양열 시스템과 지열 시스템을 적용할 수 있다. 지열 시스템은 거의 일정한 에너지를 생산할 수 있으며, 태양열 시스템의 경우 오전 중에만 에너지 생산이 가능하다. 공동주택의 경우 열에너지 소비 패턴은 6시~10시, 17~24시 사이에 소비량이 크게 증가 감소한다. 이러한 소비 패턴상 일정한 지열 에너지를 주요 에너지원으로 사용하고, 태양열 시스템의 경우 오전 중에 생산된 에너지를 저장하여, 오후 피크 부하에 대응하는 설계안이 고려된다. 근린상가의 경우 근무시간인 주간에만 에너지 소비량이 증가한다. 이와 같은 패턴은 태양열 시스템의 에너지 생산 패턴과 유사하며 따라서 주간에 필요한 에너지의 공급에 적합하다.

(6) 전기에너지 공급을 위한 신재생에너지 시스템의 경우, 태양광 발전 시스템과 풍력 발전 시스템을 적용할 수 있다. 태양광 발전 시스템은 오전 중에만 에너지 생산이 가능하였으며, 풍력의 경우 바람이 풍력 발전 시스템의 시동풍속 이상 부는 경우면 언제라도 에너지 생산이 가능하다. 그러나 풍력 발전 시스템의 경우 태양광 발전 시스템에 비해 간헐성이 커 생산량의 변화가 클 것으로 예상된다. 따라서 태양광 발전 시스템을 주 에너지원으로 하여, 에너지 소비량이 적은 오전 중에 에너지를 저장하였다가 오후에 사용하고, 풍력 발전 시스템을 통하여 피크부하 대응 및 에너지 소비량이 적은 심야시간에 이용하도록 고려되어야 한다.

본 연구에서는 신재생에너지 복합 시 안정적이고 효율적인 에너지 공급을 위한 기초자료를 제공하고자 에너지 소비량 및 생산량에 대해 시간별로 각각의 특성을 비교분석하였다. 또한 공동주택 사례를 통해 실제 에너지 소비량 및 신재생에너지 생산량을 예측할 수 있었다. 그러나 각 시스템의 적용 시 경제성을 고려하지 못했으며, 그럼에도 에너지의 소비량에 비해 생산량 매우 적어 신재생에너지 시스템의 복합 활용에 대한 각 시스템의 적정 용량 산정이 어려웠다. 따라서 추후 공동주택뿐만 아니라 각 건물 타입별 에너지의 소비 패턴의 조사 및 신재생에너지 복합 적용에 대해 용량 산정 및 저장장치 용량 산정 등 구체적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[국내문헌]

1. 강수연, Zero Emission Building의 디자인 프로세스에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 석사학위논문, 2007
2. 강용혁, 제로에너지건물을 위한 태양열 이용 기술, 한국그린빌딩협회의지, v.5 n.1, 2004. 03.
3. 건설교통부, 자원절약형 도시환경을 위한 환경순환시스템 구축방안 : 전략연구과제, 2006
4. 건축물의에너지절약설계기준, 건설교통부 고시 제2008-5호, 2008.01
5. 김주영, 신재생에너지 시스템의 건축물 적용을 위한 가이드라인 개발, 경북대학교 대학원 박사학위논문, 2008
6. 대한주택공사, 미래를 여는 저탄소 녹색성장 이야기, 2009
7. 대한주택공사, 전기. 정보통신설계지침서
8. 박광수, 최도영, 가정상업부문의 에너지원간 대체관계 분석, 에너지경제연구원, 2006.07
9. 박재성, 단지규모 태양광 및 태양열 시스템의 최적공급 방안 연구, 한밭대학교 산업대학원 석사학위논문, 2008. 02
10. 산업자원부, 건물의 에너지효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구, 2006
11. 산업자원부, 에너지 절약형건물의 성능인증기준·제도 및 보급촉진방안 연구, 2001
12. 산업자원부, 에너지 총조사 보고서 2005
13. 산업자원부, 한반도 태양에너지 자원의 분석, 평가 및 데이터 신뢰성 향상 연구, 2006.5
14. 신재생에너지센터, 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030-태양광, 2007
15. 신재생에너지센터, 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030-태양열, 2007
16. 신재생에너지센터, 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030-풍력, 2007

17. 에너지경제연구원, 2005년 에너지 총조사 보고서, 2005
18. 에너지관리공단, 신재생에너지백서, 2008
19. 에너지관리공단, 에너지사용계획협의제도 개선방안 연구용역보고서
20. 에너지관리공단, 에너지사용계획 협의제도 안내, 2006.6
21. 이강국, 홍원화, Mesh Data를 활용한 도시 중심지역 에너지소비 유형 분석, 대한건축학회 논문집(계획계), v.22 n.7, 2006.07.
22. 이기홍, 오정익, 김길태, 환경학, 미래주택 및 도시에서의 에너지자원 적용 방안 연구, 주택도시연구원, 2007
23. 이종식, 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 석사학위 논문, 2008
24. 전력거래소, 가전기기보급률 및 가정용전력 소비행태 조사, 2006.12
25. 정선미, 공동주택단지에서의 신재생에너지 시스템 적용에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 석사학위 논문, 2008
26. 최기환, 공동주택에서 적용 가능한 설비형 태양열시스템에 관한 연구, 수원대학교 대학원 박사학위논문, 2005.12
27. 최문학, 태양광발전시스템의 최적설계에 의한 효율개선에 관한 연구, 조선대학교 대학원 박사학위논문, 2007.02
28. 한국전력공사, 2006년 가전기기 보급률 및 가정용 전기소비행태 조사, 2006
29. 황인주, 우남섭, 이홍철, 지열-태양열원 복합시스템의 성능평가에 관한 연구, 설비공학논문집 Vol.18, No.3, 2006
30. 홍원화 외 3명, 1998, 집합주거 거주자의 생활형태에 따른 에너지 소비량에 관한 연구(대구광역시를 중심으로), 대한건축학회 논문집, Vol14. No.6

[국외문헌]

1. Ahmad Zahedi, "Energy, People, Environment" Development of an integrated renewable energy & energy storage system, an uninterruptable power supply for people and for better environment, IEEE international conference on systems man and cybernetics Vol.3, IEEE, 1994
2. Bent Sørensen, Renewable Energy, second edition, Academic Press, 2000

3. Environmental Protection Agency, Space Conditioning: The Next Frontier, U.S. Energy Protection Agency, Office of Air and Radiation 430-R-93-004 (4/93), 1993
4. European Commission, European Technology Platform 'SmartGrids' , 2006
5. Gabriel Blanco, James F. Manwell, Jon G. McGowan, A Feasibility Study for Wind/Hybrid Power System Applications for New England Islands, Renewable Energy Research Laboratory, University of Massachusetts, 2002
6. Godfrey Boyle, Renewable Energy ; Power for a sustainable future, second edition , Oxford University Press, 2004
7. German Solar Energy Society, Planning & Installing Photovoltaic Systems(second edition), Earthscan, 2007
8. IPCC, Climate Change 2007 Synthesis Report, 2007.11
9. J Byrne, B Shen, W Wallace, The economics of sustainable energy for rural development: A study of renewable energy in rural china, Energy policy, 1998
10. Juhari Ab. Razak, Kamaruzzaman Sopian, Yusoff Ali, Optimization of Renewable Energy Hybrid System by Minimizing Excess Capacity, International Journal Of Energy, Issue 3, Vol. 1, 2007
11. Kamaruzzaman Sopian, Azami Zaharim, Yusoff Ali, Zulkifli Mohd Nopiah, Juhari Ab. Razak, Nor Salim Muhammad, Design of Village Power and Micro-Grids for Rural Areas of Zimbabwe with Specific Attention to Voltage Regulation on Low Voltage Meshed Distribution Grids, WSEAS Transactions on Mathematics, Volume 7 , Issue 4, 2008.04
12. M.A. Elhadidy, S.M. Shaahid, Parametric study of hybrid (wind+solar+diesel) power generating systems, Renewable energy, 2000
13. M. Muralikrishna, V. Lakshminarayana, Hybrid (solar and wind) energy systems for rural electrification, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, VOL. 3, NO. 5, 2008. 10
14. N. Phuangpornpitak, S. Kumar, PV hybrid systems for rural electrification in Thailand, Renewable and Sustainable Energy

Reviews, 2007

15. S. Ashok, Optimised model for community-based hybrid energy system, Renewable Energy, 2007
16. U.S. Department of Energy, the SMART GRID: an introduction, 2009

[Web Site]

1. 에너지 관리공단 에너지 통계, http://www.kemco.or.kr/data/e_static/energy_chart/
2. 신재생에너지센터 홈페이지, <http://www.energy.or.kr/>
3. 한국전력공사 홈페이지, <http://www.kepco.co.kr/>
4. 녹색성장 홈페이지, <http://www.greengrowth.go.kr/>
5. 국가에너지통계종합정보시스템 홈페이지, <http://www.kesis.net/>
6. 대한민국 정책포털 홈페이지, <http://green.korea.kr/>
7. 한국태양에너지학회 홈페이지, <http://www.kses.re.kr/>
8. U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable energy, http://www.energysavers.gov/your_home/space_heating_cooling/index.cfm/mytopic=12650/

국 문 초 록

건축물의 신재생에너지 복합 활용 계획에 관한 연구

김 성 은

중앙대학교 대학원

건축학과 건축환경 및 설비전공

지도교수 이 언 구

전세계는 현재 기후변화로 상징되는 ‘환경’ 위기와 고유가로 대표되는 ‘자원’ 위기에 직면해 있다. 이를 현명하게 대응할 수 있는 방안으로써 주목받고 있는 것이 바로 신재생에너지이다. 신재생에너지원은 CO₂ 배출량을 줄이면서 한정된 자원인 화석연료를 대체할 수 있는 친환경적이고 무한한 에너지 자원이다. 또한 에너지의 외부 의존도를 줄이고, 국내 에너지 수급 안정화를 꾀할 수 있다.

이와 같은 신재생에너지 시스템은 자연환경 변화에 따라 에너지의 생산과 중단이 반복하는 간헐적(intermittent) 특성을 갖는다. 이로 인해 연속적이고, 안정적인 에너지 공급이 어렵다. 건물은 열과 전기 에너지를 모두 필요로 하는데, 신재생에너지 시스템은 각각의 시스템별로 생산되는 에너지의 형태가 다르다. 또한 신재생에너지 시스템의 생산 패턴은 건물의 에너지 소비 패턴과 시간적으로 차이가 발생한다. 따라서 신재생에너지 시스템의 안정성 및 효율성 향상을 위해서는 2가지 이상의 신재생에너지 시스템을 복합적으로 이용하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 신재생에너지 시스템의 복합 활용 계획을 위하여 국내외 현황을 파악하고, 특히 신재생에너지 특성 및 건물의 에너지 소비 패턴을 분석함으로써 신재생 에너지의 복합 활용 계획 프로세스를 제안하였다. 또한, 복합 활용 계획 프로세스를 적용하기 위하여 공동주택과 근린상가를 대상으로 사례연구를 실시함으로써 건물에서 신재생에너지의 복합 활용 가능성을 확인하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 신재생에너지 시스템의 간헐적인 에너지 생산 특성 및 에너지 생산 패턴, 각 시스템의 생산된 에너지 유형 측면을 고려한다면 한 가지 신재생에너지원을 사용하기보다 안정적이고 효율적인 에너지 공급을 위해 여러 가지 신재생에너지 시스템의 복합 활용이 고려되어야 한다.

(2) 건물에서의 신재생에너지 복합 적용을 위해서는 각 신재생에너지 시스템의 에너지 생산 패턴 및 실제 건물에서의 에너지 소비 패턴을 분석하여야 한다. 에너지 생산 패턴은 각 시스템이 에너지원인 자연환경 요소의 특성에 따르므로 에너지원이 변화되는 하루 동안의 변화 즉, 시간별 변화량에 따라 에너지 생산량에 차이가 발생한다. 건물의 에너지 소비 또한 시간별로 소비량에 차이가 발생한다. 따라서 시간별 에너지의 생산 및 소비 패턴의 분석이 요구된다.

(3) 에너지 소비량은 건물의 유형에 따른 거주 행태, 즉 이를 반영한 운영 스케줄을 통하여 시간별 에너지 소비량의 예측이 가능하다. 또한 신재생에너지 시스템의 에너지 생산량의 경우 각 에너지원이 되는 태양복사에너지, 풍속, 지중온도 등의 변화에 따라 예측이 가능하다. 이와 같은 생산 패턴 및 각 건물의 에너지 소비 패턴에 대한 비교 분석은 복합 시스템의 안정성 및 효율성을 향상시킬 수 있다.

(4) 건물 설계 시, 건물에 신재생에너지의 적용은 설계 초기 단계부터 기존 설계 방법과 통합적으로 고려되어야 한다. 또한 시스템의 효율 향상을 위해서는 기본적으로 건물의 부하를 최소화하면서 각 신재생에너지 시스템의 에너지 간헐적이고 불안정한 생산특성을 서로 보완할 수 있는 신재생에너지 복합 활용 시스템에 대한 고려가 필요하다. 앞에서 언급한 건물의 에너지 소비 패턴 및 신재생에너지 시스템의 에너지 특성을 고려하여 신재생에너지 복합 적용을 위한 프로세스를 제안하였다.

(5) 사례 연구 결과, 열에너지 공급을 위한 신재생에너지 시스템의 경우, 태양열 시스템과 지열 시스템을 적용할 수 있다. 지열 시스템은 거의 일정한 에너지를 생산할 수 있으며, 태양열 시스템의 경우 오전 중에만 에너지 생산이 가능하다. 공동주택의 경우 열에너지 소비 패턴은 6시~10시, 17~24시 사이에 소비량이 크게 증가 감소한다. 이러한 소비 패턴상 일정한 지열 에너지

지를 주요 에너지원으로 사용하고, 태양열 시스템의 경우 오전 중에 생산된 에너지를 저장하여, 오후 피크 부하에 대응하는 설계안이 고려된다. 근린상가의 경우 근무시간인 주간에만 에너지 소비량이 증가한다. 이와 같은 패턴은 태양열 시스템의 에너지 생산 패턴과 유사하며 따라서 주간에 필요한 에너지의 공급에 적합하다.

(6) 전기에너지 공급을 위한 신재생에너지 시스템의 경우, 태양광 발전 시스템과 풍력 발전 시스템을 적용할 수 있다. 태양광 발전 시스템은 오전 중에만 에너지 생산이 가능하였으며, 풍력의 경우 바람이 풍력 발전 시스템의 시동풍속 이상 부는 경우면 언제라도 에너지 생산이 가능하다. 그러나 풍력 발전 시스템의 경우 태양광 발전 시스템에 비해 간헐성이 커 생산량의 변화가 클 것으로 예상된다. 따라서 태양광 발전 시스템을 주 에너지원으로 하여, 에너지 소비량이 적은 오전 중에 에너지를 저장하였다가 오후에 사용하고, 풍력 발전 시스템을 통하여 피크부하 대응 및 에너지 소비량이 적은 심야시간에 이용하도록 고려되어야 한다.

본 연구에서는 신재생에너지 복합 시 안정적이고 효율적인 에너지 공급을 위한 기초자료를 제공하고자 에너지 소비량 및 생산량에 대해 시간별로 각각의 특성을 비교분석하였다. 또한 공동주택 사례를 통해 실제 에너지 소비량 및 신재생에너지 생산량을 예측할 수 있었다. 그러나 각 시스템의 적용 시 경제성을 고려하지 못했으며, 그럼에도 에너지의 소비량에 비해 생산량 매우 적어 신재생에너지 시스템의 복합 활용에 대한 각 시스템의 적정 용량 산정이 어려웠다. 따라서 추후 공동주택뿐만 아니라 각 건물 타입별 에너지의 소비 패턴의 조사 및 신재생에너지 복합 적용에 대해 용량 산정 및 저장장치 용량 산정 등 구체적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

ABSTRACT

A Study on the Application of Hybrid Renewable Energy Systems to the Building

Kim, Seong Eun

Department of Architecture

The Graduate School of Chung-Ang University

Advised by Prof. Eon Ku Rhee, Ph.D.

The world of today is facing Environmental Crisis described as climatic change and the Resource Crisis represented as high oil prices. Advisable solutions of these problems are just renewable energy. Renewable energy resources are possible to substitute for fossil fuel and to reduce the CO₂ emissions. And it does not merely reduce dependence on foreign oil but also stabilize national energy supply and economy.

Most of renewable energy sources are an intermittent nature such as solar energy and wind energy, which is hard to supply continuous and stability. The building consumes two types of energy, thermal and electric, but each renewable energy system produces different type of energy. There is the difference between pattern of renewable energy production and energy usage of building. Therefore, it would be appropriate to use more than one renewable energy system.

In this study, it is proposed a hybrid application process of renewable energy systems by surveying the current status of worldwide and by analyzing particularly the production feature of renewable energy and the pattern of energy consumption. Case study of the multi-family residential and the commercial building is also

conducted identify the potentiality of that application.

The study results are summarized as follows.

(1) It should be considered the hybrid application of renewable energy systems to supply the efficient and stable energy, because of features the system about intermittence, type of energy and difference of energy production and consumption patterns.

(2) It should be analyzed the pattern of renewable energy production as well as the energy consumption of real building for the hybrid application on the building. The patterns vary hourly, so it is demanded analysis of time.

(3) Energy consumption is able to estimate based on operating schedules of occupancy features by building type. And energy production of renewable energy systems is able to do from hourly change of resources. Analysis and comparing of those patterns should be possible to improve efficiency and stability of energy system.

(4) Application of renewable energy should be considered unitedly the building plan together from the early stage for design. Also, it is necessary to minimize demands of building load for improving system efficiency, and complex of renewable energy systems should be considered in respect that it complements intermittent features of renewable energy. Therefore, this study proposed the process of hybrid application of renewable energy which is considered features of energy consumption and production.

(5) There are solar thermal system and geothermal system for the supply of thermal energy. Thermal energy is generated all day continuous by geothermal energy system, but only several times of day by the solar thermal system. For the multi-family residential

building, pattern of thermal energy use is increase and decrease between 6~10 and 17~24. It would be appropriate to main energy system is geothermal and to subsystem is solar thermal system in this building. For the commercial building, it would be appropriate to solar thermal system because of similarity between the production and use.

(6) There are photovoltaic systems and wind power systems for the supply of electricity. Photovoltaic systems generate only several times of day and wind power systems do very intermittent. So, it would be appropriate to photovoltaic systems mainly and wind power systems use at night which is consumed energy smaller or prepare the peak load.

In this study, renewable energy production and energy usage of building were analyzed and compared by time, also estimated by the case study. But application of systems was not considered the economic assessment, and it was difficult to calculate the capacity of each system because it generated energy smaller than energy use. Therefore, this study would be used the foundation data when considering the application of renewable energy systems. Later, it should be followed studies on the analysis of energy pattern of other building types and the estimation of system capacity, storage equipment size, ect.