

第 114 回 碩士學位論文

指導教授 李 彦 求

신재생에너지의 도시 복합 적용을 위한
성능평가 프로그램 개발에 관한 연구

**A Study on the Development of Performance
Evaluation Program for the Urban Hybrid Application
of Renewable Energy Systems**

中央大學校 大學院

建築學科 建築環境 및 設備專攻

卞 受 永

2011年 2月

신재생에너지의 도시 복합 적용을 위한 성능평가 프로그램 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Performance
Evaluation Program for the Urban Hybrid Application
of Renewable Energy Systems

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함.

2011年 2月

中央大學校 大學院

建築學科 建築環境 및 設備專攻

卞 受 永

卞受永의 碩士學位論文으로 認定함

審査委員長	朴 辰 哲	
審査委員	한 정 하	
審査委員	이 연 구	

中央大學校 大學院

2011年 2月

목 차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위 및 방법	3
제 2 장 연구의 이론적 배경	6
2.1 신재생에너지의 도시 복합적용의 개념 및 필요성	7
2.1.1 신재생에너지의 도시 복합적용의 개념	7
2.1.2 신재생에너지의 도시 복합 적용의 필요성	9
2.2 신재생에너지 복합적용 대상 시스템에 관한 연구	12
2.2.1 태양광 발전 시스템	14
2.2.2 태양열 시스템	19
2.2.3 풍력 발전 시스템	21
2.2.4 지열 시스템	24
2.3 신재생에너지 성능평가 프로그램의 필요성 및 기존 프로그램의 특징	27
2.3.1 신재생에너지 성능평가 프로그램의 필요성	27
2.3.2 기존 프로그램의 특징	27
2.3.3 프로그램간의 비교검토	33
2.4 소결	35
제 3 장 신재생에너지 복합적용 성능 평가 모형	37
3.1 도시 에너지 소비패턴 및 소비량 분석	38
3.1.1 건물용도별 표준건물의 선정	39
3.1.2 표준건물용도별 시뮬레이션 입력데이터	44
3.1.3 표준건물의 에너지 성능 분석 결과	45
3.2 신재생에너지시스템의 성능예측	51
3.2.1 신재생에너지시스템의 성능예측을 위한 기후 데이터	51
3.2.2 태양광시스템의 성능예측	52

3.2.3 태양열시스템의 성능예측.....	57
3.2.4 풍력발전시스템의 성능예측.....	58
3.2.5 지열시스템의 성능예측.....	61
3.3 소결.....	72
제 4 장 신재생에너지 복합 적용을 위한 성능평가 프로그램 개발.....	73
4.1 프로그램의 로직 및 알고리즘.....	73
4.1.1 프로젝트 생성.....	74
4.1.2 대상단지 모델링 및 에너지 분석.....	76
4.1.3 시스템 선정 및 적정 대안제시 과정.....	77
4.1.4 성능평가.....	86
4.2 프로그램의 구성 및 특징.....	86
4.2.1 프로그램의 구성.....	86
4.2.2 프로그램의 특징.....	87
4.3 소결.....	91
제 5 장 사례연구를 통한 프로그램의 적용성 평가.....	94
5.1 사례연구 개요.....	94
5.1.1 단독주택단지.....	94
5.1.2 공동주택단지.....	95
5.1.3 업무단지.....	96
5.1.4 상업단지.....	97
5.2 도시 유형별 적용성 평가.....	98
5.2.1 단독주택단지.....	99
5.2.2 공동주택단지.....	101
5.2.3 업무단지.....	104
5.2.4 상업단지.....	106
5.3 소결.....	109
제 6 장 결 론.....	111

참 고 문 헌	114
부 록 1	118
부 록 2	124
국 문 초 록	125
ABSTRACT	127

표 목 차

<표 2.1> 신재생에너지의 분류	6
<표 2.2> 신재생에너지 시스템별 도시 적용성	13
<표 2.3> 활용온도와 시스템 특성에 따른 태양열 시스템의 분류	20
<표 2.4> 기존 프로그램의 평가항목별 비교	34
<표 2.5> 기존 프로그램의 특징	34
<표 3.1> 국내외 건물 용도별 구분	39
<표 3.2> 단독주택의 개요	40
<표 3.3> 공동주택 개요	40
<표 3.4> 업무시설 개요	41
<표 3.5> 상업시설의 개요	42
<표 3.6> 학교시설 개요	43
<표 3.7> 입력 데이터	44
<표 3.8> 지역별 단독주택의 에너지 소비량(MWh)	45
<표 3.9> 지역별 단독주택의 단위면적당 에너지 소비량(kWh/m ²)	45
<표 3.10> 지역별 공동주택의 에너지 소비량(MWh)	46
<표 3.11> 지역별 공동주택의 단위면적당 에너지 소비량(kWh/m ²)	46
<표 3.12> 지역별 업무시설의 에너지 소비량(MWh)	47
<표 3.13> 지역별 업무시설의 단위면적당 에너지 소비량(kWh/m ²)	47
<표 3.14> 지역별 상업시설의 에너지 소비량(MWh)	47
<표 3.15> 지역별 상업시설의 단위면적당 에너지 소비량(kWh/m ²)	48
<표 3.16> 지역별 학교건물의 에너지 소비량(MWh)	48
<표 3.17> 지역별 학교건물의 단위면적당 에너지 소비량(kWh/m ²)	48
<표 3.18> 표준건물의 단위면적당 에너지 소비량 비교	49
<표 3.19> 지역별 연평균 외기 조건	51
<표 3.20> 통산일 및 일적위 계산	53
<표 3.21> 표준 기술에서 PV모듈 특성	56
<표 3.22> 일반적인 집열효율수정계수와 집열기열손실계수	58
<표 3.23> 지역별 평균 지중온도 및 열확산율	63
<표 3.24> 지열히트펌프 냉방 및 난방 시 COP 및 용량 상관계수	66
<표 3.25> 난류가 되기 위한 지중 순환회로의 관경별 최소유량	70
<표 3.26> 표준건물용도별 단위면적당 에너지 소비량(단위 : kWh/m ²) ..	72

<표 4.1> 시스템 선정을 위한 영향요인별 중요도 평가결과.....	76
<표 4.2> 도사에서 소비되는 에너지 형태와 부하별 담당 시스템.....	78
<표 4.3> 지역별 풍속 5m/s 이상이 되는 지점의 높이.....	80
<표 4.4> 태양광 발전 대표 시스템의 설치 사양 및 배치 모습.....	82
<표 4.5> 태양열 대표 시스템의 설치 사양.....	83
<표 4.6> 풍력 발전기의 대표 사항과 평행배치.....	85
<표 4.7> 각 시스템별 적용부위 및 최대 설치 가능성 기준.....	91
<표 4.8> 시스템별 최소 설치면적과 단위면적당 에너지 생산량.....	92
<표 5.1> 단독주택 단지의 개요.....	95
<표 5.2> 공동주택단지의 개요.....	96
<표 5.3> 업무단지의 개요.....	97
<표 5.4> 업무단지의 개요.....	98
<표 5.5> 단독주택 단지의 부분별 연간 에너지 소비량(MWh).....	99
<표 5.6> 단독주택의 대안제시 결과	100
<표 5.7> 단독주택 단지의 배치안 및 생산량 분석	100
<표 5.8> 공동주택 단지의 부분별 연간 에너지 소비량(MWh).....	101
<표 5.9> 공동주택의 대안제시 결과	102
<표 5.10> 공동주택 단지의 배치안 및 생산량 분석	103
<표 5.11> 업무단지의 부분별 연간 에너지 소비량(MWh).....	104
<표 5.12> 업무단지의 대안제시 결과	105
<표 5.13> 업무단지의 배치안 및 생산량 분석	106
<표 5.14> 업무단지의 부분별 연간 에너지 소비량(MWh).....	107
<표 5.15> 상업단지의 대안제시 결과	107
<표 5.16> 업무단지의 배치안 및 생산량 분석	108
<표 5.17> 단지유형별 프로그램 대안의 적용성 검토 결과	110

그림 목차

(그림 1.1) 연구 흐름도	5
(그림 2.1) 분산형 에너지 공급시스템의 개념도	8
(그림 2.2) 시간별 풍속 실측 데이터(단위 : m/s)	10
(그림 2.3) 도시의 에너지 소비와 신재생에너지원의 에너지 생산 유형 ..	11
(그림 2.4) 주거건물의 채실 스케줄	12
(그림 2.5) 태양전지의 구조 및 원리	14
(그림 2.6) 태양광 발전 시스템의 구성	15
(그림 2.7) 태양전지의 모듈성	15
(그림 2.8) 독립전원형 시스템	17
(그림 2.9) 계통연계형 시스템	17
(그림 2.10) 하이브리드형 시스템	17
(그림 2.11) 지역별 춘분, 하지, 추분, 동지의 일간 수평면 일사량	19
(그림 2.12) 태양열 시스템의 구성	20
(그림 2.13) 풍력 발전 시스템 구성	22
(그림 2.14) 수평축형과 수직축형	22
(그림 2.15) 지역별 춘분, 하지, 추분, 동지의 풍속	24
(그림 2.16) 연중 외기 온도 및 지중온도의 변화	25
(그림 2.17) RETScreen의 신재생에너지 성능평가 모듈 분석과정	29
(그림 2.18) HOMER의 개관	30
(그림 2.19) Hybrid2의 구성요소와 sub-system의 개략도	32
(그림 2.20) MERIT의 평가체계	33
(그림 3.1) 신재생에너지 복합적용 성능평가를 위한 기본평가모형	37
(그림 3.2) 부분별 단위면적당 에너지 소비량	49
(그림 3.3) 태양광발전시스템 계산체계	52
(그림 3.4) 태양열시스템의 계산체계	57
(그림 3.5) 풍력발전 시스템의 발전량 계산체계	59
(그림 3.6) 파이프 및 토양 열저항 값	69
(그림 4.1) 프로그램의 진행 순서 및 전체구조	73
(그림 4.2) 신재생에너지시스템 우선순위 평가체계	75
(그림 4.3) 건물의 형태	77
(그림 4.4) 대안설정 과정	78

(그림 4.5) 시스템별 부하분담률 선정	79
(그림 4.6) 태양열 시스템의 이격거리 및 배치	83
(그림 4.7) 프로그램의 구성	87
(그림 4.8) 프로그램 흐름도	89
(그림 4.9) 프로그램의 전체 프로세스	93
(그림 5.1) 단독주택단지의 에너지 소비	99
(그림 5.2) 공동주택단지의 에너지 소비	101
(그림 5.3) 상업단지의 에너지 소비	104
(그림 5.4) 상업단지의 에너지 소비	107

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

세계적으로 기후변화의 문제는 국가적 차원의 문제가 아닌 범지구적인 문제로 받아들여지고 있다. 2007년 11월 발표된 유엔 기후변화정부간협의체(Inter-governmental Panel on Climate Change : IPCC)의 제 4차보고서에 따르면 지구 평균 기온의 선형 추세는 100년간 0.74°C ($0.56-0.92$) 상승하여 제 3차 평가 보고서(Third Assessment Report; TAR)의 해당 추세인 0.6°C ($0.4-0.8$)보다 더 많이 상승하였으며, 이러한 기온상승의 추이는 더욱 가속화되고 있다고 한다. 이러한 기후변화의 주된 원인은 문명의 발달로 인한 지구 온실가스 배출량의 증가라 할 수 있다¹⁾. 또한 기후변화와 함께 인류가 직면한 큰 난제는 한정된 화석연료 매장량으로 인한 에너지원의 수급 불안이며 이러한 에너지 문제의 심각성은 최근 불안한 국제 유가 상황에서 여실히 나타나고 있다. 국가 에너지의 97%이상을 해외에 의존²⁾하고 있는 우리나라의 경우 그 심각성은 매우 크다.

따라서 기후변화와 같은 ‘환경’ 문제와 고유가 상황에서 ‘자원’의 문제는 다각적인 해결방안을 모색하는 것이 중요하며, 현 시점에서 거론되고 있는 해결방안으로 가장 주목받고 있는 것이 바로 신재생에너지원의 이용이다. 신재생에너지원은 지속가능한 에너지 공급체계를 위한 미래에너지원으로 에너지문제 및 기후변화에 따른 국제 환경규제의 강화로 인해 향후 도시의 주요 에너지원으로 부상될 전망이다³⁾. 또한 현행의 중앙 공급식 에너지 수급 구조의 문제점을 개선시키고 지역경제의 활성화에 기여할 수 있는 새로운 에너지 공급시스템이다⁴⁾. 이에 정부에서도 신재생에너지의 공급비중을 높이기 위해 관련제도를 정비하고, 3,000m² 이상의 공공기관의 신축건물 계획 시, 총공사비의 5%를 신재생에너지를 의무 설치하도록 하는 등 신재생에너지 보급에 총력을 다 하고 있다.

이에 따라 국가 전체 에너지 사용량의 20%이상을 차지하고 있는 건축분야

1) IPCC, Climate Change 2007 Synthesis Report, 2007. 11

2) 에너지관리공단, 신재생에너지백서 2008

3) 황인석, 교토의정서와 한국의 대응체제에 관한 연구, 울산대학교 석사학위논문, 2005

에서의 신재생에너지 적용은 점차 증대되고 있다. 하지만 신재생에너지를 개별건축에 적용하는데 있어서 가장 큰 문제점은 자연조건 및 기후조건에 따라 에너지 생산량의 변동이 크기 때문에 에너지 공급의 불안정에 따른 신뢰성이 부족하다는 점이다. 그로인해 신재생에너지를 개별건축물에 적용하는 것은 에너지 공급의 불안정이라는 단점을 가지고 있다. 따라서 신재생에너지를 통한 안정적인 에너지 공급을 위해서는 개별 건축물이 아닌 단지 및 도시 단위의 신재생에너지 시스템 계획 및 적용이 필요하다⁵⁾. 도시차원에서 신재생에너지를 복합 적용할 경우, 시스템간의 상호 보완적 관계 속에서 안정적으로 에너지 공급이 가능할 뿐만 아니라, 보다 효율적으로 에너지를 이용할 수 있다. 또한 현재의 도시의 자원 및 에너지는 수요처로부터 멀리 떨어져 있는 원격지에 대부분 대규모의 공급 및 플랜트를 건설하여 공급하고 있다. 이 때문에 자원이나 폐기물 및 에너지의 장거리 수송으로 각종 손실이 증가하고 있고, 지역적, 계절적, 시간적인 각종 부하변동과 비상시를 대비할 수 있는 에너지의 적절한 운용이 어려운 실정이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 지역의 부하특성과 에너지 사정을 고려한 신재생에너지의 복합 적용이 도시차원에서 적극적으로 도입되어야 한다⁶⁾.

하지만 신재생에너지의 도시 복합적용은 도시의 에너지 소비특성 및 소비량 분석의 어려움, 신재생에너지시스템의 성능예측의 어려움, 시스템의 사용목적의 다양성 등과 같은 이유로 적정 시스템을 선정하고 적용하는데 어려움이 따른다⁷⁾. 따라서 도시차원에서 신재생에너지시스템을 효과적으로 적용하기 위해서는 도시계획단계 초기에 신재생에너지의 복합적용 도입에 따른 시스템 계획 및 성능예측이 가능한 프로그램이 필요하다. 기존 신재생에너지 관련 프로그램의 경우, 단일 건축물에 대한 신재생에너지 적용의 평가 및 계획에 대한 적정성 검토가 가능하나 이를 위해서는 시스템 및 프로그램에 관한 전문성이 요구되며 프로그램의 숙달을 위해서는 많은 어려움이 따른다.

따라서 계획 초기단계에서 신재생에너지 시스템의 도입의 타당성을 평가하고 적정 시스템 선정 및 계획을 위해서는 신재생에너지시스템 도입을 위한 사전검토 및 계획에 대한 평가가 용이한 프로그램이 요구된다.

본 연구는 도시의 에너지 수요에 부합하며 적정 시스템 선정의 과정 및 시스템별 적정 용량 산정 방법에 의해 효율적으로 신재생에너지시스템을 복

5) 이민희, 도시특성에 따른 태양에너지시스템 적용에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위 논문, 2010
 6) 안수환 외 2명, 도시지역의 토지이용계획에 따른 신재생에너지 적용방안에 관한 연구, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집, Vol 30. No.1. 2010
 7) 김중헌, 친환경 건축물을 위한 신재생에너지 최적화 시뮬레이션 프로그램 개발 및 적용, 한양대학교 석사학위 논문, 2010

합 적용할 수 있는 적용대안을 제시하고, 그에 따른 성능예측이 가능한 도구를 개발하는데 목적이 있다. 이를 위해 도시를 구성하고 있는 건물용도에 따른 표준건물의 에너지 수요를 산출하여 도시의 에너지 소비량 예측이 가능하게 하고, 시스템별 에너지 생산량을 예측할 수 있는 예측식을 도출한다. 이러한 데이터를 기반으로 신재생에너지시스템 선정 및 대안제시를 위한 방법을 개발한다.

따라서 본 연구는 에너지 수요와 공급에 대한 예측과 시스템 선정 및 시스템별 적정 용량 선정 방법에 의해 프로그램을 개발하고 프로그램의 타당성을 검증하기 위한 사례연구를 실시한다. 사례연구를 통해 프로그램의 타당성을 검증하고, 프로그램의 추후진행 사항 및 개선방안에 대해 검토하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

신재생에너지시스템의 도시차원 복합적용의 중요성이 날로 부각됨에 따라 보다 쉽고 간편하게 신재생에너지시스템의 계획 및 성능평가를 위한 프로그램이 필요한 시점이다. 도시수준에서 신재생에너지시스템을 계획하기 위해서는 기존의 도시를 구성하고 있는 건물에 대한 용도별 표준건물을 조사하고 표준건물에 대한 에너지 소비특성분석을 통해 도시의 에너지 소비분석이 가능하도록 한다. 그리고 각각의 도시별 에너지 소비특성에 맞는 시스템 선정 및 신재생에너지시스템의 설계를 위한 대안설정 과정을 제시한다.

본 연구의 진행 방법을 요약하면 다음과 같다.

(1) 신재생에너지의 도시 복합적용의 개념 및 프로그램의 필요성

신재생에너지의 복합적용을 위한 기초조사로, 복합적용의 개념 및 필요성, 그리고 복합적용 대상 시스템에 관한 기초조사를 실시한다. 또한 신재생에너지의 도시 복합 적용을 위한 성능평가 프로그램의 필요성에 대해 조사한다.

(2) 기존 프로그램의 특징 및 비교분석

신재생에너지의 성능예측 및 평가 프로그램에 관한 기초연구조사로, 기존의 신재생에너지시스템의 성능예측 및 평가 프로그램의 종류 및 특징에 대해 조사하고, 프로그램간의 차별성을 조사한다.

(3) 프로그램을 위한 평가 모델의 데이터베이스와 알고리즘

신재생에너지 복합 적용을 위한 성능평가 모형은 도시 에너지 소비량 분석 및 에너지 소비패턴 분석과 신재생에너지시스템의 성능예측 즉, 신재생에너지 시스템 에너지 생산량 예측으로 구축된다. 따라서 도시의 에너지 소비량 예측을 위해 도시를 구성하고 있는 건물에 대한 용도별 표준건물을 설정하고 표준건물에 대한 에너지 소비특성을 분석한다. 또한 표준건물에 대한 에너지 소비량을 바탕으로 표준건물의 용도에 따른 단위면적당 에너지 소비량을 도출해 이를 프로그램에 적용할 수 있도록 한다. 또한 복합 적용대상 시스템인 태양광, 태양열, 풍력, 지열 시스템에 대한 성능예측방정식을 통한 성능예측이 가능하도록 한다.

그리고 평가 모형을 통해 도출된 데이터베이스를 기반으로 복합 적용시, 신재생에너지시스템 선정 및 대안제시를 위한 방법을 개발한다.

(4) 사례연구를 통한 프로그램의 적용성 검토

신재생에너지 복합적용 성능평가 프로그램을 검증하기 위해 기존 도시를 대상으로 사례연구를 통해 적용성을 검토한다. 이를 통해 프로그램의 적정성에 대한 검증을 한다.

본 연구의 흐름은 다음 (그림 1.1)과 같다.

서론		- 연구의 배경 및 목적 - 연구의 범위 및 방법
이론적 고찰	신재생에너지의 도시 복합적용	- 신재생에너지 도시 복합적용의 개념 - 신재생에너지 도시 복합적용의 필요성
	신재생에너지 복합적용 대상 시스템	복합적용 대상 시스템(태양광, 태양열, 지열, 풍력)의 이론적 고찰
	기존 프로그램과의 특징 및 비교	- 신재생에너지 성능평가 프로그램의 필요성 - 기존 프로그램(RETScreen, HOMER, Hybrid2, MERIT)의 종류 및 특징 비교
신재생에너지 복합적용 성능평가 모형		- 도시 에너지 소비패턴 및 소비량 분석 - 신재생에너지 시스템의 성능예측
신재생에너지 복합적용을 위한 성능평가 프로그램의 개발		- 프로그램의 로직 및 알고리즘 - 프로그램의 구성 및 특징
사례연구를 통한 프로그램의 적용성 평가		- 사례연구 개요 - 도시 유형별 적용성 평가
결론		

(그림 1.1) 연구 흐름도

제 2 장 연구의 이론적 배경

최근 국토해양부가 대통령 직속 녹색성장위원회에 보고한 ‘녹색도시 건축물 활성화 방안’ 보고⁸⁾에서 국가 온실가스 배출량의 25%이상을 차지하는 도시, 특히 건축물 분야의 역할이 매우 중요하다고 강조하고 있다. 이러한 상황에서 신재생에너지는 최근 대두되고 있는 온실가스 감축과 화석연료 고갈에 따른 에너지 문제를 동시에 해결하기 위한 가장 적극적이고 근본적인 대책이다. 신재생에너지란 “기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛, 물, 지열, 강수, 생물유기체 등을 포함하여 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지”로, 우리나라는 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제 2조의 규정에 의거 다음 <표 2.1>과 같이 각각 재생에너지 8개 분야와 신에너지 3개 분야로 구분하고 있다.

<표 2.1> 신재생에너지의 분류

재생에너지	태양광, 태양열, 바이오, 풍력, 수력, 해양, 폐기물, 지열
신에너지	연료전지, 석탄액화가스화 및 중질잔사유가스화, 수소에너지

세계 주요 국가들은 신재생에너지에 대한 투자 확대 정책을 통하여 건축물의 신재생에너지 도입을 적극 추진하고 있다. 우리나라도 2020년까지 국가 온실가스 감축 목표를 배출전망대비(BAU) 30%감축 목표를 세우고 건물·교통 등 비 산업 분야를 중심으로 감축노력을 강화하기 위해 공공건물뿐만 아니라 민간건물을 대상으로 2010년부터 신재생에너지 건축물 인증 제도를 도입하는 등 보급사업 확대를 강화하고 있다⁹⁾. 이처럼 도시의 신재생에너지 적용은 신재생에너지를 도시의 에너지원으로 활용 가능하도록 적용함으로써 저탄소 녹색성장 및 지구온난화 등 기후변화에 적극 대응하고 지속가능한 도시 및 도시환경을 구현 가능하도록 한다.

따라서 본 장에서는 신재생에너지의 도시 복합적용의 개념 및 필요성에 대해 알아보고 신재생에너지의 도시 복합적용 시, 도시차원에 적용가능한 신재생에너지원에 대한 기초조사를 수행하였다. 또한 신재생에너지 복합적용 프로그램개발을 위해 기존의 신재생에너지 성능평가 프로그램의 종류 및 특징에 대해서 알아보고 프로그램간의 비교·평가를 실시하였다.

8) 국토해양부, 교육과학기술부, 행정안전부, 지식경제부, 환경부, 산림청, 녹색도시·건축물 활성화 방안, 2009

9) 전현도, 초고층 건물의 풍력발전시스템 적용방안에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 2010

2.1 신재생에너지의 도시 복합적용의 개념 및 필요성

2.1.1 신재생에너지의 도시 복합적용의 개념

신재생에너지는 자연의 에너지를 기반으로 하는 청정에너지이며 기존의 에너지 생산 시스템과 비교했을 때, 온실가스 즉 CO₂의 발생이 적다. 또한 자연에너지 즉, 태양 및 풍력에너지는 무한정의 에너지이기 때문에 고갈의 위험이 없어 지속가능한 에너지로 활용가능하다.

하지만 신재생에너지시스템을 통해 생산되는 에너지 형태와 시스템별 에너지 생산패턴 및 시스템의 적용방법은 신재생에너지시스템의 종류에 따라 다양하기 때문에 실제 도시에 적용할 수 있는 시스템은 한정적이다. 하지만 이러한 시스템들을 도시의 특성 및 각 시스템의 특성에 맞게 효율적으로 활용한다면 도시의 에너지원으로 활용하는데 있어 효과적일 수 있다.

따라서 신재생에너지를 도시의 에너지원으로 활용하기 위해서는 시스템간의 복합 적용이 불가피하다. 신재생에너지의 복합적용이라는 의미는 하이브리드 시스템 및 분산형 에너지공급의 한 형태라고 할 수 있다.

분산형 에너지 공급시스템은 DOE¹⁰⁾에서 “최종 사용자 부근에 위치한 모듈형 발전 또는 전력시스템으로 주택지나 도시지구 내에 일정한 양의 전기나 열을 공급하는 시스템”으로 정의하며, EPRI¹¹⁾에서는 “수요지 또는 수요지 근처에 설치되어 있는 소형발전설비(30MW 이내)로 기존의 전력계통에 연결되거나 독립적으로 운용되어 수요자요구에 맞는 전기나 열을 경제적으로 운전하는 발전시스템”으로 정의하고 있다. 현재 각국에서는 기술과 과학의 발전으로 지역이나 국가의 에너지 소비형태가 중앙집중형 에너지공급시스템¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾을 통한 공급 의존도를 줄이는 대신, 독립적인 분산형 에너지공급시스템을 구축하려는 움직임이 활발하다. 이에 따라 에너지의 자율 선택과 자급자족 형태는 선진국에서 더욱 확산·보급되고 있지만 현재 우리나라의 분산형 에너지 공급시스템 도입에 대한 연구는 초기단계에 머무르고 있다¹⁵⁾.

10) Department of Energy(DOE) : 미국에너지부

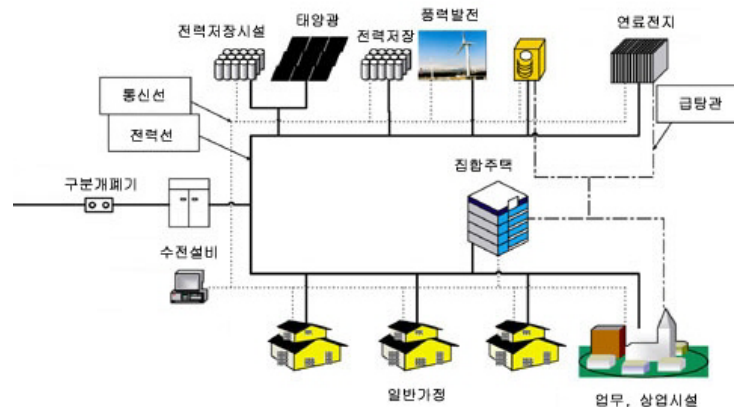
11) Electirc Power Research Institute(EPRI) : 미국전력연구소

12) 발전을 사용하는 연료나 기술형태에 상관없이 비교적 대규모발전을 통하여 에너지를 생산하여 에너지를 필요로 하는 원거리 수요지로 송배전망을 통하여 전력을 송배전하는 에너지공급방식

13) 일본전기신문, 차세대 분산형 에너지 시스템 개발, 2002

14) 월간전기설비, 중앙집중형에너지에서 분산형 에너지로, 2005

15) 이강국 외 1명, 도시지역 분산형 에너지 공급시스템 도입에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제 23권 제 1호, 2007



(그림 2.1) 분산형 에너지 공급시스템의 개념도

현재와 같은 대규모 에너지공급시스템을 소규모 분산형 시스템으로 변경하면 평균 부하율 및 설비 가동률을 높이고, 배열이용량을 증가시킨다면, 에너지 절약 및 환경개선효과와 더불어 경제성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다¹⁶⁾. 분산형 에너지 공급시스템의 형태는 기술, 설비형태, 이용형태 및 기술발전 유무에 따라 여러 가지 형태로 나눌 수 있으며, 에너지 공급자 혹은 수요자 측면에서 이전부터 내연기관, 소형가스터빈 등을 비상용 전원 혹은 열병합 전원으로 활용되어 왔다. 최근에는 기술의 진보에 따라 새로운 분산형 에너지 공급시스템으로 연료전지, 마이크로터빈 등 신발전방식과 태양광발전, 풍력발전 등 대체 에너지 공급시스템이 활발하게 보급되고 있으며, 이용형태에 따라 발전전용, 열병합용, 예비전원 전용 등으로 구분되며, 계통과 연계여부에 따라 연계형, 단독운전형 등으로 구분된다¹⁷⁾.

하이브리드 시스템이란 에너지 복합 시스템의 의미로 해외에서 사용되고 있는 용어이다. 하이브리드 시스템은 에너지 공급 밸런스 향상 및 시스템의 효율성 향상을 위해 두 개 이상의 에너지 변환장치나 두 개 이상의 에너지원으로 구성된 시스템을 의미한다. 하이브리드의 대표적인 시스템으로는 풍력터빈과 디젤 발전기 복합시스템, 풍력 터빈과 태양광 패널 복합 시스템 등이 있다. 하이브리드는 주로 분산형 발전 시스템에 적용되므로 신재생에너지의 사용을 최대화 하여 계획하나, 주로 전력 시스템을 대상으로 하고 있으며 신재생에너지 간의 복합뿐만 아니라 기존의 화석연료를 활용한 시스템과의 복합을 포함하는 광의(廣義)적인 개념이라고 할 수 있다. 이러한 복합 시스템

16) 김용기, 이태원, 부하에 따른 도시기반 에너지 공급시스템의 최적 설계기법에 관한 연구, 한국 건설기술연구원, 대한설비공학회 2004 동계학술발표대회 논문집, p 410~415

17) Ibid

의 장점은 각각이 갖는 본래의 한계를 극복할 수 있다는 점이다. “전체는 부분의 합보다 크다”라는 전제하에 각 시스템의 복합을 통해 상호(相助)작용을 통해 이익을 극대화한다. 하이브리드 시스템은 신재생에너지 기술의 진보와 석유의 가격 상승으로 인해 에너지 공급망의 설치가 어렵거나 경제성이 낮은 도서지역에 적용되는 분산형 에너지 시스템으로 각광받고 있다. 하지만 현재는 도서지역뿐만 아니라 단지 및 도시지역 안에서 에너지의 효율성 극대화 및 에너지의 자급자족을 위해 분산형 에너지 공급시스템으로서 하이브리드 시스템을 적극 이용하고 있는 추세이다.

따라서 본 논문에서 제시하는 신재생에너지의 복합 적용이란 앞서 언급했듯이 단지 및 도시 차원에서 신재생에너지를 적용할 경우, 한 가지 종류의 신재생에너지시스템을 적용하는 것이 아니라, 도시 내에서 도시의 물리적, 환경적 특성을 최대한 이용할 수 있는 신재생에너지를 모두 적용하는 것이다. 또한 화석연료를 에너지원으로 하는 시스템의 이용은 제외하는 기존의 하이브리드 시스템보다 좁은 범위라고 할 수 있으며, 단일 건축물뿐만 아니라 단지 및 도시차원에서 신재생에너지 시스템 간의 복합적인 적용을 통한 활용을 의미한다¹⁸⁾. 이와 같은 신재생에너지의 도시 복합 적용은 분산형 에너지 공급시스템의 한 형태로 2가지 이상의 신재생에너지시스템을 복합 적용하여 도시에 에너지를 효율적으로 공급하는 방식이라 할 수 있다.

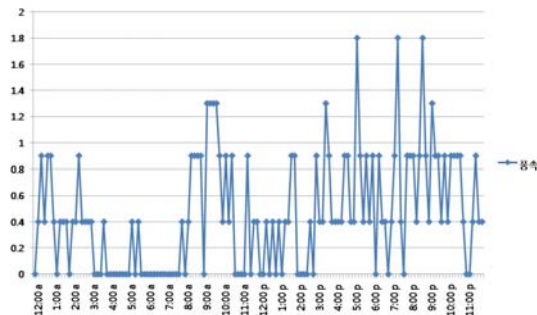
2.1.2 신재생에너지의 도시 복합 적용의 필요성

(1) 신재생에너지 생산의 간헐성

신재생에너지 시스템 중에는 태양광, 태양열, 풍력과 같이 자연환경에 의한 영향이 커 연속적으로 에너지의 생산과 중단을 반복하는 간헐적(intermittent) 특성을 갖는 자원과 수력이나 바이오매스와 같이 연속적으로 에너지를 생산할 수 있는 자원이 있다. 특히, 도시에 적용가능성이 높은 태양광, 태양열, 풍력 및 지열 등은 시스템 적용 지역의 자연환경과 대지환경 및 주변 환경에 의해 많은 영향을 받는 에너지원이다. 태양광 및 태양열의 경우 그 지역의 위도와 날씨에 따른 천공상태에 영향을 받으며, 지열의 경우 지반 특성에 영향을 받는다. 풍속의 경우, 지표면으로부터 200m~2km 상공에는 기압차에 의해 유도되는 지균풍(Geostrophic Wind)이 불고 있으나 지표면으

18) 김성은, 건축물의 신재생에너지 복합 활용 계획에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 2009

로 내려올수록 지형·지물에 의해 마찰력이 커져 상대적으로 풍속은 감소하여 지표면에서의 풍속은 0이 된다. 이러한 풍속의 연직구조를 대기경계층(Boundary Layers)이라고 하며 이러한 특성으로 인해 도심지역의 풍속은 개방된 지역에 비해 30%정도 감소된다. 따라서 도심지역에서는 지표면으로 내려올수록 풍속 변화가 심해 (그림 2.2)¹⁹⁾와 같이 그 변화의 불규칙성이 매우 크다²⁰⁾.



(그림 2.2) 시간별 풍속 실측 데이터(단위 : m/s)

일반적으로 신재생에너지를 적용할 경우, 추가적인 에너지 공급 시스템을 통해 공급을 하거나 저장장치(축전지, 축열탱크 등)를 이용해 생산된 에너지의 일부를 저장하여 사용한다. 그러나 외부 에너지 공급망으로부터 전달되는 에너지는 공급과정에서 많은 양의 에너지가 손실되므로 에너지의 소비처에서 생산과 소비가 함께 이루어지는 형태가 가장 효율적이다.

따라서 단지 및 도시수준에서 기존 건축물에 적용하는 수준이상으로 신재생에너지를 적용할 경우, 간헐적인 특성을 갖는 시스템과 연속적인 에너지 공급이 가능한 시스템 간의 복합적인 연계를 통해 안정적인 에너지 공급이 가능하도록 복합 적용하는 것이 필요하다.

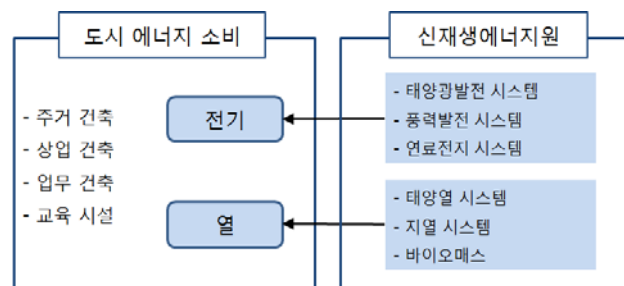
(2) 신재생에너지의 생산 에너지 유형

도시에서 소비되는 에너지의 형태는 도시를 구성하고 있는 건물에서 소비는 열과 전기에너지로 크게 구분된다. 도시의 열과 전기 에너지의 소비 비중은 도시를 구성하고 있는 건물군의 용도특성과 규모에 의해 차이가 있지만

19) 도시 신재생에너지 복합 적용기술 개발, 도시재생 사업단 Mock-up 실험 결과 data

20) 전현도, op. cit.

대부분 열과 전기를 모두 필요로 한다. 그러나 신재생에너지 시스템은 시스템별로 열과 전기를 개별적으로 각각 생산한다. 즉, 한가지의 시스템은 한 가지 형태의 에너지를 생산한다²¹⁾. 따라서 도시에서 신재생에너지의 활용도를 높이기 위해서는 전기를 생산하는 시스템과 열을 생산하는 시스템을 도시의 에너지 소비패턴 및 시스템 우선순위에 의해 적절히 조합하여 활용하는 것이 바람직하다. 또한 도시계획 시, 신재생에너지를 효율적으로 적용 및 이용하기 위해서는 현재와 같이 에너지공급대상 지역 내에 주거용 건물 등 한 가지 종류의 시설이 집중 배치되는 것을 지양하고 주거용 건물과 상업용 건물 및 업무용 건물 등이 에너지 소비 절약적 관점에서 에너지부하의 균형이 유지될 수 있도록 검토 및 계획하는 것이 중요하다²²⁾.



(그림 2.3) 도시의 에너지 소비와 신재생에너지원의 에너지 생산 유형

(3) 신재생에너지 시스템의 에너지 생산과 도시 에너지 소비 패턴

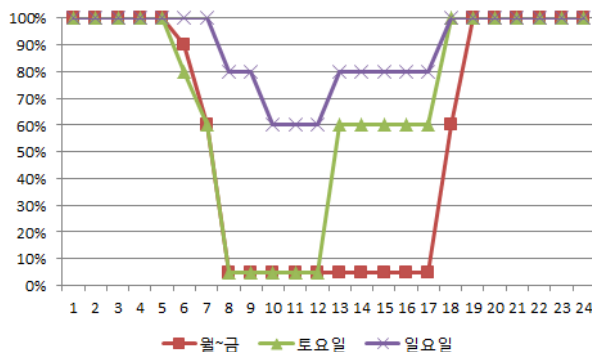
도시의 에너지 소비패턴은 앞서 언급한 바와 같이 기본적으로 도시를 구성하고 있는 건물의 용도 및 규모의 영향을 많이 받는다. 또한 도시는 다양한 용도의 건물이 군집해 있기 때문에 건물의 용도별 에너지 소비특성과 같이 도시별 에너지 소비특성을 구분하기도 어렵다. 도시를 구성하고 있는 건물군의 특징, 건물군의 용도 및 규모 그리고 도시의 특성에 따라 그 성격이 다르게 나타나기 때문이다. 특히 건물의 용도 특성 및 거주자의 생활패턴 등은 건물의 에너지 사용에 많은 영향을 끼치는 영향요소이다. 개별 건축의 예를 들어보면 주거건물의 경우, (그림2.4)²³⁾와 같이 채실율이 낮은 낮 시간보다 아침과 저녁 시간에 전기 및 열에너지의 소비량이 많아지게 된다. 이러한 주

21) PV와 태양열 복합 시스템과 같이 두 가지 이상의 에너지 변환장치 또는 두 가지 이상의 에너지원으로 이루어진 시스템은 제외함.

22) 안수환 외 2명, op., cit.

23) 정민희, 도시 신재생에너지 복합적용 현황, 한국 그린빌딩협의회지 v.10 n.3 p 35-44

거 건축에 태양광 및 태양열을 적용할 경우, 일사량이 많은 낮 동안 많은 양의 에너지를 생산하게 되지만 실제 에너지 소비는 낮 시간동안 거의 발생하지 않아 에너지 생산과 소비가 효율적으로 이루어지지 않는 경우가 많다.



(그림 2.4) 주거건물의 재실 스케줄

이처럼 건물의 에너지 소비 패턴과 신재생에너지 시스템의 에너지 생산 패턴은 시간적으로 차이가 발생할 수 있으므로 한 가지의 시스템의 적용은 에너지 공급의 불안정을 야기할 가능성이 높다. 따라서 생산 패턴이 다른 2가지 이상의 신재생에너지 시스템을 도시 복합적용 하는 경우, 도시의 다양한 건물용도에 의해 에너지의 생산과 소비가 동시에 이루어져 보다 효율적으로 활용 가능하다고 판단된다.

2.2 신재생에너지 복합적용 대상 시스템에 관한 연구

신재생에너지의 종류는 앞서 언급한 바와 같이 태양에너지, 바이오에너지, 풍력, 수력, 연료전지, 석탄가스화 액화 등 그 종류가 매우 다양하다. 하지만 도시에서는 신재생에너지를 적용할 때에는 도시의 특성 및 시스템의 특성에 의한 여러 제약조건이 존재하기 때문에, 모든 신재생에너지 시스템이 적용 가능한 것은 아니다. 다음의 <표 2.2>는 주요 신재생에너지 시스템의 특징과 도시차원에서의 적용가능성을 나타냈다²⁴⁾.

24) 이민희 외 3명, 도시차원의 신재생에너지시스템 적용가능성 평가에 관한 연구, 한국건축친환경설비학회 춘계학술발표대회 논문집, 2009.03

<표 2.2> 신재생에너지 시스템별 도시 적용성

시스템	장점	단점	적용성
태양광	-무공해, 무제한 청정 에너지원 -필요한 장소에서 발전가능 -비교적 장수명(20년 이상) -신축·기존 건물 적용가능	-음영 발생 시 시스템 효율 저하 -초기투자비·발전단가 높음	높음
태양열	-무공해, 무제한 청정 에너지원 -유지보수비 적음 -신축·기존 건물 적용가능	-계절에 따른 성능변동 큼 -유가변동에 따른 영향 큼	높음
풍력	-무공해, 무제한 청정 에너지원 -고층에 설치가능	-일정 풍속이상 필요 -소음 및 진동발생 -에너지 밀도가 낮음	보통
바이오 에너지	-온실가스 저감 -생성된 에너지의 형태가 다양함	-원료의 운송이 필요 -별도 기반 시설 필요 -산림 고갈의 우려 -생물학적 공정 복잡	낮음
연료전지	-설치제약을 받지 않음 -높은 효율	-초기 투자비가 큼 -상용화가 힘들	낮음
지열	-좁은 지역에 설치 가능 -발전비용 비교적 저렴	-적격 지가 한정됨 -지중 상황파악 곤란	높음
수력	-발전원가 저렴 -무공해	-자원의 지역적 편재 -수몰 보상	낮음
석탄 가스화액체	-가격 저렴 -부존량 풍부 -편재성 석유보다 적음	-공해 발생, 취급불편, 별도 시설 필요 -재의 처리문제	낮음
폐기물	-에너지회수의 경제성이 비교적 높음 -쓰레기의 양을 줄임	-별도 시설 필요 -에너지화 과정에서 오염 물질발생 -문화나 산업의 특성에 따른 처리기술 필요	낮음
수소에너지	-청정에너지원 -높은 효율 -다양한 형태로 저장	-별도의 인프라 필요 -높은 생산단가 -저장의 문제	낮음

신재생에너지 중 건물 및 도시에 적용 가능한 신재생에너지원은 시스템의 입지 및 규모에 영향을 받지 않는 태양광발전 시스템과 태양열 시스템, 풍력 발전시스템, 지열시스템, 연료전지가 있다. 태양광, 태양열, 지열의 경우, 건물 및 도시에 적용이 용이하며 풍력의 경우 최근 개발되고 있는 소형 풍력발전 시스템의 적용이 가능하다. 연료전지의 경우 아직 기술개발 단계지만 추후 경제성 및 기술력이 확보되면 적용 가능할 것으로 예상된다. 따라서 신재생에너지원 중 태양광, 태양열, 지열, 풍력 이 4가지 시스템이 건물 및 도시에 적용 가능한 것으로 판단된다²⁵⁾.

따라서 2.2 에서는 도시에 적용가능성이 높은 태양광, 태양열, 풍력, 지열

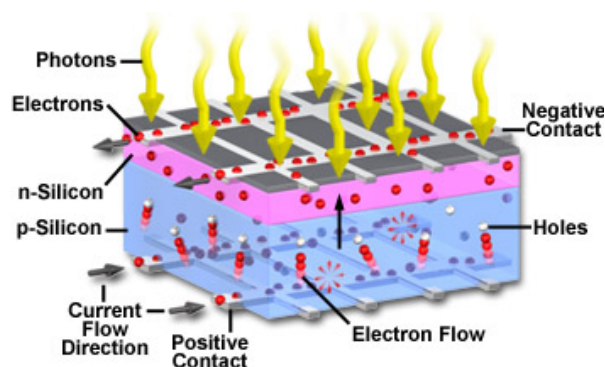
시스템에 대한 각각의 시스템의 원리 및 에너지 생산특성에 대한 기초조사를 수행하였다.

2.2.1 태양광 발전 시스템

(1) 태양광 시스템의 개요 및 원리

태양광 발전 시스템은 청정하고 재생가능하며 무한한 에너지원인 태양에너지를 직접 전기로 변환시키는 기술이다. 에너지 변환 과정에서 기계적, 화학적 작용이 없으므로 시스템의 구조가 단순하여 유지 보수가 거의 요구되지 않고 수명이 20~30년 정도로 길며 안전하고 환경 친화적이다. 또한 발전 규모를 주택에서부터 대규모 발전용까지 다양하게 할 수 있다²⁶⁾.

태양광 발전 시스템은 광기전력효과(光起電力效果, Photovoltaic Effect)에 의한 것으로, 광기전력효과란 복사 에너지가 직접 전기 에너지로 변환되는 현상으로 빛을 받아 기전력이 발생하는 현상이다²⁷⁾. 태양광 발전 시스템의 가장 기본적인 구성요소인 태양전지는 전기적 성질이 다른 p(positive)형과 n(negative)형의 반도체의 접합(‘p-n 접합’)과 전극 순으로 구성되어 있다. 태양광이 반도체 접합부에 입사하면 접합부 전계에 끌려 음전하(-)는 n측으로, 양전하(+)는 p측으로 새로운 흐름이 생기며 접합부 양단의 전위차가 작아진다. 이때 태양전지의 상하 부분에 금속을 연결하여 전류가 외부로 흐를 수 있게 함으로써 전기가 발생하게 된다.



(그림 2.5) 태양전지의 구조 및 원리

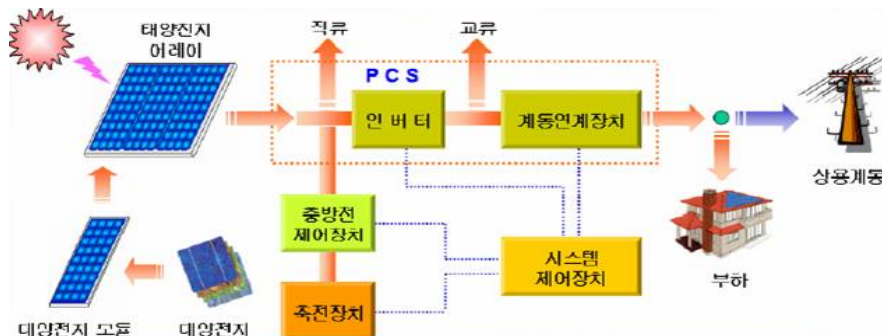
25) 김성은, op. cit.

26) 에너지관리공단 신·재생에너지 센터, 신재생에너지 백서 2008, p 280

27) 산업자원부, 태양광발전 용어집, 2007

(2) 태양광 발전 시스템의 구성요소

태양광발전 시스템의 주요 구성요소는 태양에너지를 전기에너지로 변환시켜주는 태양전지 및 모듈, 생산된 전기를 교류로 바꾸는 변환장치와 계통에 연결시켜주는 부분인 PCS 시스템, 생산된 전기를 저장하기 위한 축전장치와 제어장치, 연계장치로 구성된다.



(그림 2.6) 태양광 발전 시스템의 구성

가) 태양전지

태양광 발전 시스템의 핵심요소인 태양전지의 제조과정은 원료 가공공정, 기관 제조공정, 셀(Cell) 제작공정, 모듈(Modules) 조립 공정과정을 거치며, 이러한 공정을 통해 태양전지 패널이 완성된다. 이러한 태양전지 패널은 태양광 발전시스템의 기본구성 단위로 태양전지 모듈성에 의해 시스템 용량을 자유롭게 조절할 수 있다. 그로 인해 단지 및 도시차원에서 태양광 시스템을 적용할 경우, 건물의 옥상이나 입면의 설치 가능한 면적에 따라 용량을 다양하게 적용할 수 있다.



(그림 2.7) 태양전지의 모듈성

또한 태양전지의 효율은 시스템전체의 효율에 크게 영향을 끼치며, 이러한 태양전지의 효율은 태양전지의 원료 및 형태에 따라 달라진다. 태양전지분류

는 결정질 실리콘, 실리콘 박막, 화합물 반도체, 유기 태양전지 등으로 분류되며, 결정질 실리콘류의 단결정(Single Crystalline Si)형, 다결정(Poly-Crystalline Si)형, 박막형(Poly-Crystalline Si Thin Film)의 형태가 일반적으로 사용된다.

나) 전력변환제어장치

전력변환제어장치는 크게 인버터 부분과 전력제어장치 부분으로 구성된다. 인버터는 태양전지에서 생성되는 직류전기를 교류전기로 변환하여 전력계통에 공급하는 역할을 한다. 전력제어장치 부분은 태양광 모듈에서 최대 출력을 얻고 직류, 교류 측의 전기적인 감시·보호 기능을 수행한다. 전력변환제어장치는 태양전지 본체를 제외한 주변장치 중 가장 큰 비중을 차지한다²⁸⁾.

다) 축전장치

축전장치는 시스템에서 생산된 전력을 일시적·장기적으로 저장하여 일사량이 적을 때나 심야 등의 시간대에 발생하는 전력 부하량을 담당할 수 있도록 하는 장치이다. 또한 축전지는 재해 시의 백업 전력의 공급(방재시스템의 전력으로 사용)이나 그 외 발전 전력 급변 시의 완충 및 피크 전력의 억제 등에 활용할 수 있다.

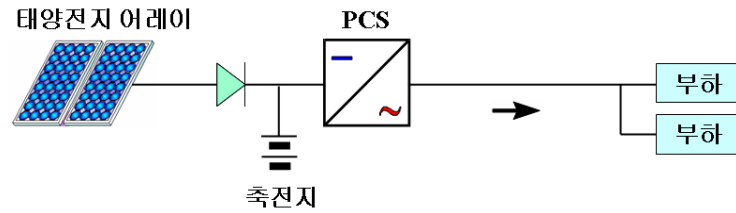
(3) 태양광 발전 시스템의 종류

태양광 발전 시스템의 종류는 적용 형태에 따라 독립전원형(Off-Grid System)과 계통연계형(Grid Connected System), 하이브리드형(Hybrid System)으로 분류할 수 있다.

가) 독립전원형 시스템(Off-Grid System)

전력계통으로부터 전력을 공급받지 못하는 낙도나 산간벽지, 무인등대, 무인중계소, 인공위성 등에 축전지나 인버터를 이용하여 DC 부하 또는 AC 부하에 전력을 공급한다.

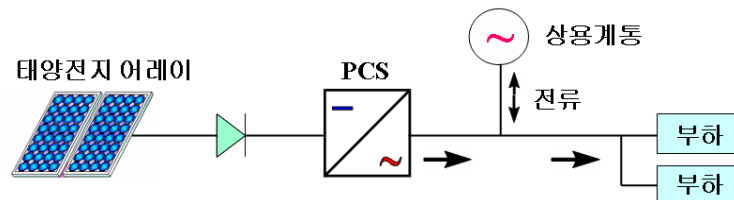
28) 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030[태양광], 2007.11, p 5



(그림 2.8) 독립전원형 시스템

나) 계통연계형 시스템(Grid Connected System)

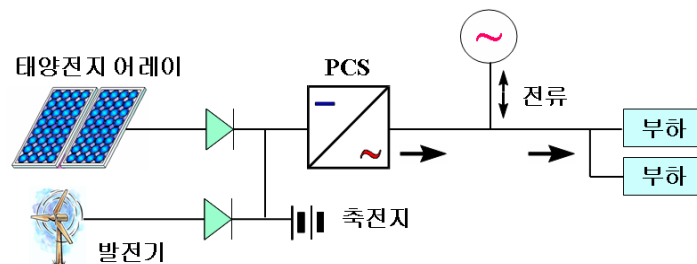
주택용 전원 등에 이용하는 시스템으로 계통선 연계형 인버터를 직접 태양 전지와 연결하여 PV모듈로부터 발생된 출력이 필요로 하는 전력보다 클 경우 잉여전력은 계통선으로 역송전하게 되며, 부하가 필요로 하는 전력보다 적을 경우 부족한 전력은 계통선에서 공급된다.



(그림 2.9) 계통연계형 시스템

다) 하이브리드형 시스템(Hybrid System)

하이브리드형은 태양광발전 시스템에 풍력발전, 열병합발전, 디젤발전 등의 타 에너지원의 발전시스템과 결합하여 전력을 저장하거나, 부하 혹은 상용계통에 전력을 공급하는 시스템이다. 하이브리드 시스템은 시스템 구성 및 부하 종류에 따라 계통연계형 및 독립형 시스템에 모두 적용 가능하며, 이러한 하이브리드 시스템은 주로 태양광발전의 간헐적인 생산패턴을 보완하기 위해 사용된다.



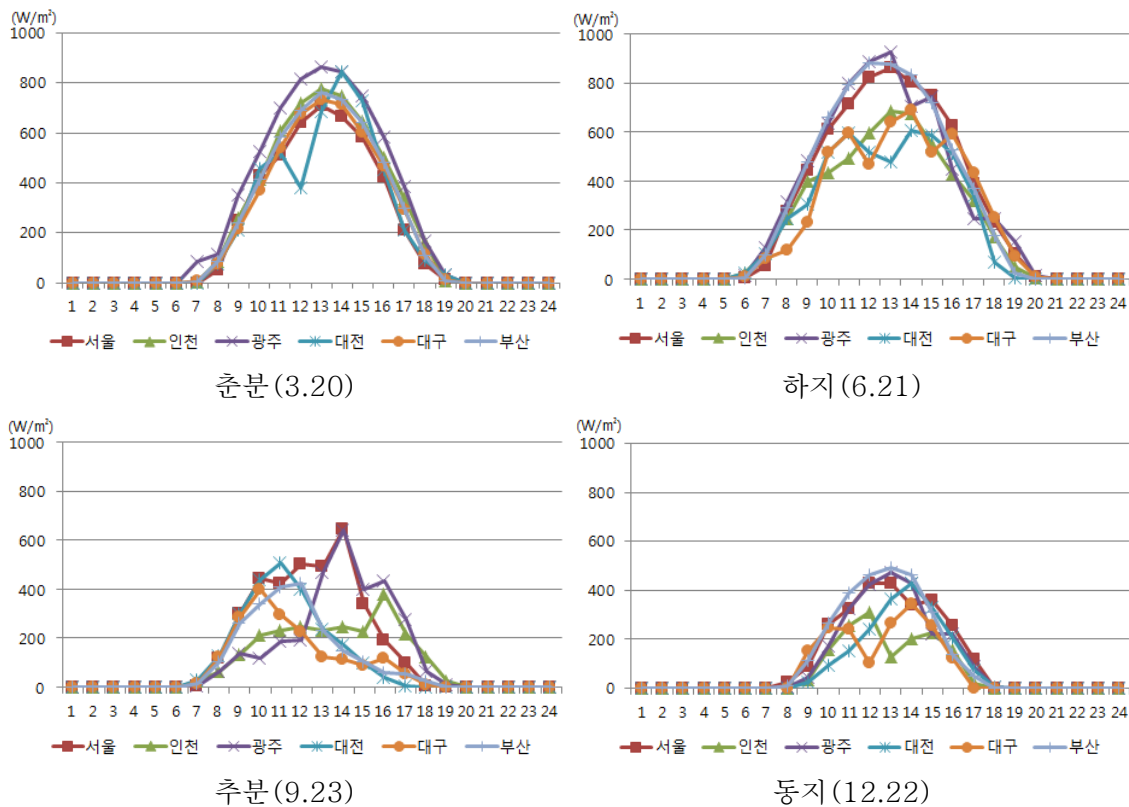
(그림 2.10) 하이브리드형 시스템

(4) 태양광 발전 시스템의 에너지 생산 특성

태양광 발전 시스템은 태양에너지에 포함된 빛의 광기전력효과의 원리로 전기에너지를 생산하므로, 태양전지에 도달하는 태양광량의 영향을 받는다. 이러한 태양광량은 일사(Insolation)또는 입사 태양복사(incident solar radiation)로 알려져 있다. 그러나 기상청의 측정 자료로는 특정 부지의 일사량을 확인하기 어렵기 때문에 가장 일반적으로 수평면의 평균 일간 총 복사(average daily total radiation)또는 전천복사(global radiation)를 이용한다²⁹⁾. 그러므로 태양광 발전 시스템의 발전 패턴은 일사량과 유사한 패턴을 나타내게 된다. 태양 복사에너지는 위도에 따라 받는 양이 달라지며, 적도지방이 다른 지방보다 더 많은 태양복사에너지를 받는다. 또한 계절에 따라 달라지며, 특정 지역의 낮 시간 동안의 기후(특히, 운량) 및 공기오염수준에 따라 달라진다. 이러한 기후요소는 태양광 발전 시스템의 에너지 생산 양에 전적으로 영향을 준다. 즉, 태양광 발전 시스템은 같은 규격이라도 설치 위치에 따라 성능에 차이가 있으며, 같은 위치라 하더라도 외부환경변화에 따라 차이가 발생한다. 다음 (그림 2.11)³⁰⁾은 지역별 춘분, 하지, 추분, 동지의 수평면 일사량을 나타낸 것이다. 일간 수평면 일사량은 하지의 경우 가장 크게 나타나며, 춘분, 추분, 동지의 순서로 일사량이 적어진다. 하지만 시간별 일사량 패턴은 거의 모든 절기에서 오후 2시경에 가장 높은 일사량을 나타내는 것을 알 수 있다.

29) 김성은, op. cit., p 23

30) 한국태양에너지학회, 대한민국 표준기상데이터.



(그림 2.11) 지역별 춘분, 하지, 추분, 동지의 일간 수평면 일사량

2.2.2 태양열 시스템

(1) 태양열 시스템의 개요 및 원리

지표면에 도달되는 태양에너지는 저밀도의 에너지(최대 $1,100 W/m^2$ 이하)로 주간에만 존재하며, 시간에 따라 변화가 크다³¹⁾. 태양열 시스템은 태양광선의 파동성질을 이용하는 태양에너지 광열학적 이용분야로 흡수·저장·열변환 등을 통하여 건물의 냉난방 및 급탕 등에 활용하는 기술이다³²⁾.

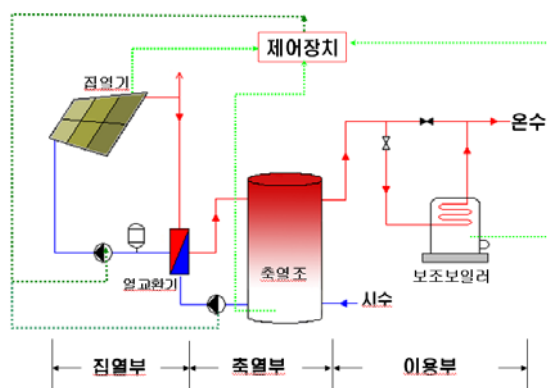
(2) 태양열 시스템의 구성요소

태양열 시스템은 (그림 2.12)과 같이 태양으로부터 에너지를 모아서 열로 변환하는 집열부, 모아진 열을 저장했다가 필요시 사용하기 위한 축열부, 그

31) 에너지관리공단, 신재생에너지 RD&D 전략 2030. 태양열. p 3

32) 신재생에너지센터, www.energy.or.kr

리고 저장된 태양열을 효과적으로 공급하고 사용량 부족 시 보조열원(보일러 등)에 의해 공급하는 이용부로 구성되어 있다³³⁾.



(그림 2.12) 태양열 시스템의 구성

(3) 태양열 시스템의 종류

태양열 에너지는 집열온도에 따라서 저온분야와 중고온분야로 분류하여 저온분야는 주로 건물의 냉난방 및 급탕과 대규모 온수급탕 시설이 포함되고, 중고온분야는 산업공정열 및 열발전과 기타 특수분야에 이용된다. 또한 열구동장치 유무에 따라 자연형(Passive) 시스템과 설비형(Active) 시스템으로 구분하기도 한다. 건축물에 주로 적용되는 태양열 시스템은 설비형 태양열 시스템 중 건물의 급탕 및 냉·난방용으로 많이 보급되어 있다. <표 2.3>은 태양열 시스템의 활용온도와 시스템 특성에 따라 태양열 시스템을 분류한 표이다.

<표 2.3> 활용온도와 시스템 특성에 따른 태양열 시스템의 분류

구분	자연형	설비형		
		저온형	중온용	고온용
활용온도	60℃ 이하	100℃ 이하	300℃ 이하	300℃ 이상
집열부	자연형 시스템	평판형 집열기	진공관형 집열기 PTC형 집열기 CPC형 집열기	Dish형 집열기 Power Tower 태양로
축열부	공기, Tromb Wall	저온축열	중온축열	고온축열
적용분야	건물난방, 온실	건물난방 및 급탕, 농수산분야	건물냉난방, 산업공정열, 폐수처리	열발전, 태양화학 우주용

33) 에너지관리공단, op. cit., p 16

(4) 태양열 시스템의 에너지 생산 특성

태양열 시스템에서 이용되는 태양에너지는 태양광과 마찬가지로 낮 시간 동안만 이용할 수 있는 에너지로 시간에 따른 변화가 크다. 또한 태양복사선은 지표에 도달되는 형태에 따라 직달 일사와 산란 일사로 구분되는데, 그 지역의 천공상태에 따라 달라진다. 지표면에 도달하는 과정상 구름이나 먼지에 의해 산란되어 도달하는 산란 일사는 산란과정 없이 직접 도달하는 직달 일사와 달리 집광하기 어려우며, 시스템에서 고온의 열에너지를 얻기 위해서는 직달 일사의 집광이 필요하다. 에너지 생산이 간헐적이어서 지속적인 수요에 안정적인 공급이 어렵다는 단점이 있다.

2.2.3 풍력 발전 시스템

(1) 풍력 시스템의 개요 및 원리

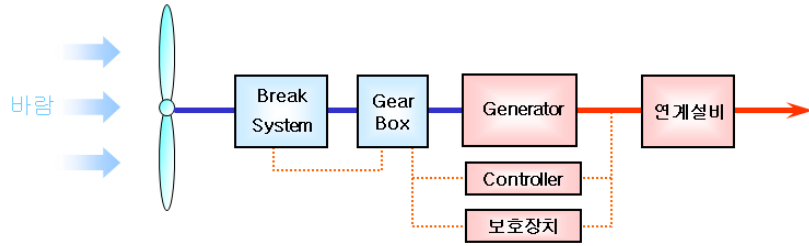
풍력발전이란 공기가 익형 위를 지날 때 양력과 항력이 발생하는 공기역학적(aero dynamic) 특성을 이용하여 회전자(rotor)를 회전시켜 기계적 에너지로 변환시키고 이 기계적 에너지로 발생하는 유도전기를 전력계통이나 수요자에게 공급하는 기술이다³⁴⁾. 바람에너지를 날개를 이용해서 전기에너지로 바꾸는 베츠의 한계이론에 따르면 바람에너지 중 59.3%만이 전기에너지로 바뀔 수 있는데 이것도 날개의 형상에 따른 효율, 기계적인 마찰, 발전기의 효율 등을 고려하면 실제적으로 20~40%만이 전기에너지로 이용 가능하다³⁵⁾.

(2) 풍력 시스템의 구성요소

풍력 발전 시스템은 (그림 2.13)와 같이 풍력이 가진 에너지를 흡수, 변환하는 운동량변환장치, 동력전달장치, 동력변환장치, 제어장치 등으로 구성되어 있으며 각 구성요소들은 독립적으로 그 기능을 발휘하지 못하며 상호 연관된 전체적인 시스템으로서의 기능을 수행한다.

34) 에너지관리공단, 신재생에너지 RD&D 전략 2030. 풍력. p 3.

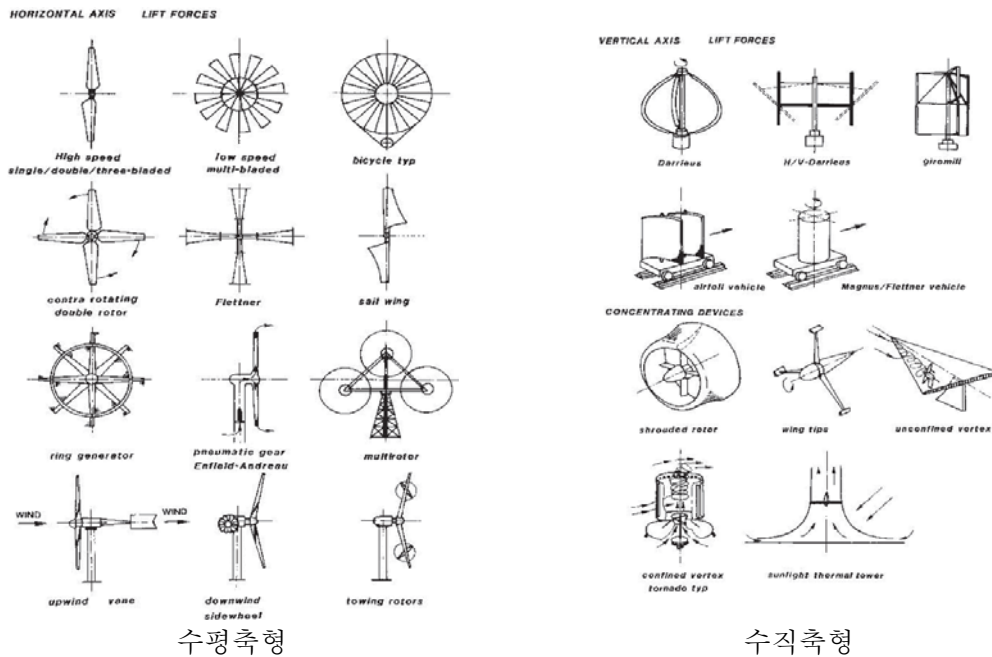
35) 에너지관리공단, op. cit.



(그림 2.13) 풍력 발전 시스템 구성

(3) 풍력 시스템의 종류

풍력 발전기는 (그림 2.14)와 같이 지면에 대한 회전축의 방향에 따라 수평형 및 수직형으로 분류된다.



(그림 2.14) 수평축형과 수직축형

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

수평축 풍력 발전기는 회전축이 바람이 불어오는 방향에 수평인 풍력 발전 시스템으로서 현재 가장 안정적인 고효율 풍력 발전 시스템으로 인정되고 있다.

수평축 풍력 발전기로는 바람을 맞이하는 방식에 따라 맞바람 형식 (Upwind Type)과 뒷바람 형식 (Downwind Type)으로 나눌 수 있다. 맞바

람 형식은 바람이 블레이드를 먼저 만나게 되어있는 형태로서 타워에 의한 풍속의 손실이 없고, 풍속 변동에 의한 피로 하중/소음이 뒷바람 형식보다 적지만 바람의 방향이 바뀌었을 때 효율을 증가시키기 위해 로터 회전면과 바람방향이 수직이 되도록 하는 요잉 시스템이 필요하게 되어 시스템 구성이 복잡해지게 되고 로터와 타워의 충돌을 고려하여 설계를 해야 하는 단점이 있다. 뒷바람 형식은 바람이 타워와 나셀을 먼저 만나고 그 다음 블레이드를 만나게 되는 형태로서 자체 요잉 모멘트 발생으로 요잉 시스템이 불필요하게 되며 타워와 로터의 충돌을 피할 수 있지만, 타워와 나셀에 의한 풍속의 손실이 발생하게 되며 주기적인 풍속의 변동으로 인한 피로하중 및 소음이 증가하게 되며 자유요잉으로 인해 전력선이 꼬일 수 있다는 단점이 있다.

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

회전축이 지면에 수직한 수직형 풍력 터빈은 회전축이 바람의 방향에 대해 수직이며, 현재 실용화된 대형 시스템은 없는 실정이다. 바람의 방향에 관계 없이 운전이 가능하며(요잉 시스템 불필요) 증속기 및 발전기가 지상에 설치되어 있어서 유지/보수/점검이 용이하다. 하지만 지표면으로부터 고도가 증가함에 따라 속도가 증가하는 경계층 효과로 인해 시스템이 불균일한 풍속을 맞이하게 되는데, 이로 인해 시스템이 불안정해져 시스템의 종합 효율이 낮아질 수 있다.

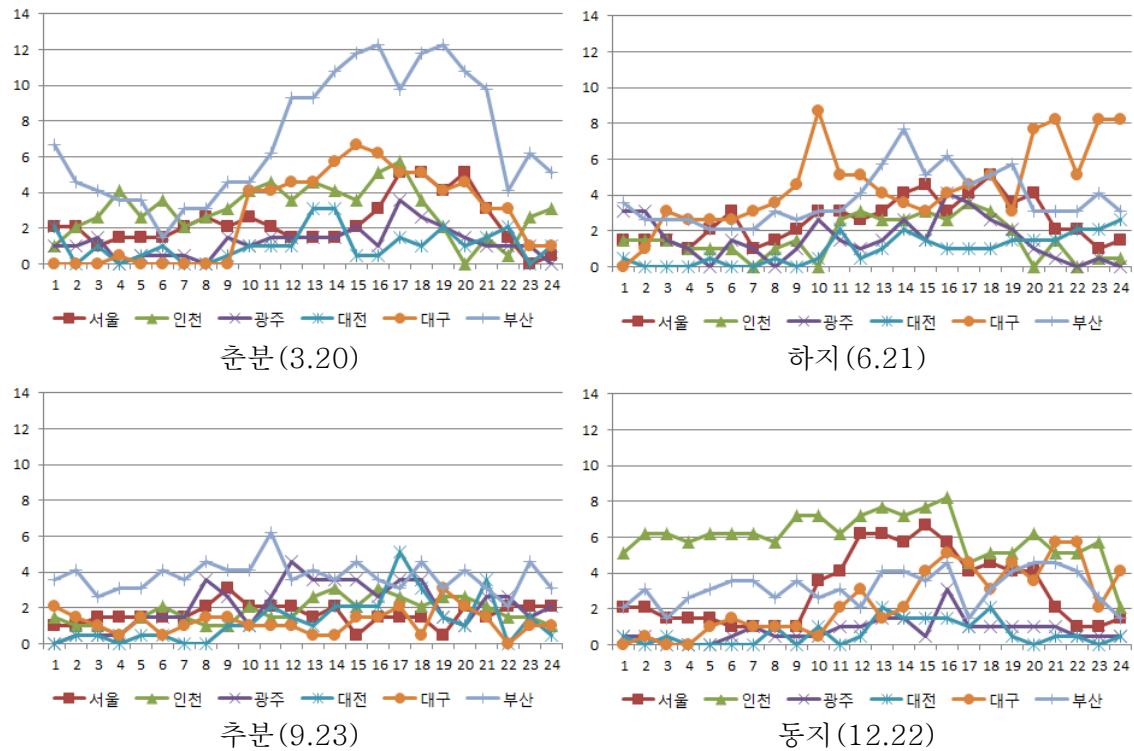
(4) 풍력 발전 시스템의 에너지 생산 특성

풍력 에너지는 태양에너지와 마찬가지로 자원고갈의 염려가 없는 무공해 에너지원이다. 풍력발전 기술은 오랜 기술적 축적으로 기술성숙도가 높고, 대형 풍력발전의 경우 발전단가가 다른 신재생에너지 기술 중 가장 낮아 가격 경쟁력이 높으므로 신재생에너지 산업 중 빠르게 성장하고 있는 분야이다.

풍력 발전의 경우, 풍속에 따라 시스템의 효율이 달라지는데, 풍속의 경우 그 값과 빈도를 예측하기가 어려운 것이 사실이다. (그림 2.15)³⁶⁾과 같이 풍속의 경우, 풍력 발전이 가능한 cut-in speed 이상의 풍속 패턴이 일정치 않고 매우 불규칙하다. 따라서 시스템 계획 시, 비교적 많은 양의 풍력에너지를 확보할 수 있는 입지의 중요성이 매우 크다. 또한 일정 이상의 바람이 확보되지 않을 때 그것을 보완하기 위한 방법으로 태양광을 함께 이용한 복합

36) 한국태양에너지학회, 대한민국 표준기상데이터.

발전 시스템이 필요하다고 할 수 있다.



(그림 2.15) 지역별 춘분, 하지, 추분, 동지의 풍속

2.2.4 지열 시스템

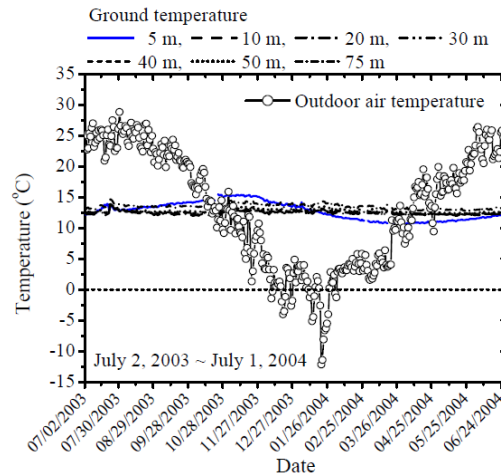
(1) 지열 시스템의 개요 및 원리

일반적으로 지열 에너지(지열)란 지중(토양, 지하수, 지표수 등)이 태양 복사 에너지나 지구내부의 마그마 열에 의해 보유하고 있는 에너지를 의미한다. 태양 복사열은 지구에 도달하는 전체 복사에너지 중 약 47%를 차지하며, 대체로 특정 깊이의 지중 열은 (그림 2.16)³⁷⁾와 같이 연중 일정한 온도를 유지하고 있다. 이러한 지열 에너지는 지표면으로부터의 깊이에 따라 천부지열(shallow geothermal)과 심부지열(deep geothermal)로 구분된다. 천부지열의 온도는 지형과 지역에 따라 다소 차이가 있지만 대략 10~20℃ 정도이며, 심부지열은 40~150℃ 이상의 온도를 보인다.

현재 국내에서 지열 기술이라고 하면, 주로 천부지열을 이용하여 건물을 냉난방하거나 온수를 공급하는 지열 열펌프 시스템(geothermal heat pump

37) 산업자원부, GSHP의 지중열교환기 설계 및 시공기술 개발, 2006

system) 기술로 한정하는 경향이 있다.



(그림 2.16) 연중 외기 온도 및 지중온도의 변화

(2) 지열 열펌프 시스템의 구성요소

지열 열펌프 시스템은 크게 지중열교환기(ground heat exchanger 또는 borehole heat exchanger)와 열펌프로 구성된 냉난방 겸용 시스템이다. 즉, 냉방 시에는 건물 내의 열을 지중으로 방출하고, 난방 시에는 지중의 열을 실내에 공급함으로써 하나의 시스템으로 공간 냉난방을 가능하도록 한다. 냉방과 난방 모드에서 각각 냉열원(heat sink)과 온열원(heat source)의 역할을 하는 지중 온도는 연중 안정적이기 때문에 지열 열펌프 시스템은 높은 효율과 우수한 성능을 갖는다. 따라서 기존 냉난방 설비나 공기열원 열펌프 시스템과 비교했을 때, 효율이 높고 성능이 우수한 시스템으로 알려져 있다.

(3) 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 일반적이다.

가) 밀폐형 시스템(closed-loop system)

① 수평형(Horizontal)

수평형 시스템은 일반적으로 주거용 건물에 설치하기에 가장 비용효율적인 시스템으로, 특히 충분한 부지면적을 갖춘 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 트렌칭할 수 없거나 기존 환경에 대한 파괴를 최소한으로 해야 되는 장소에 사용된다. 수직형 시스템은 약 6m 간격으로 약 30~120m 깊이로 천공된 보어 홀에 U자관을 삽입하고, U자 관 내의 열매체에 의해 열교환이 이루어진다.

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 물속의 슬러리나 오염물질로 인한 시스템에 스케일을 형성시키는 문제가 발생할 수 있다.

(4) 지열 시스템의 에너지 생산 특성

지중 온도는 (그림 2.16)을 보면 알 수 있듯이 약 15m내외 깊이까지는 외부환경에 대한 영향을 받으나, 그 이하 약 200m 정도까지는 연중 약 13~15℃를 유지한다. 따라서 변화가 거의 없는 안정적인 온도를 유지하므로

기존 냉난방 설비나 공기열원 열펌프 시스템보다 효율이 높다. 또한 전국도의 모든 곳에서 큰 차이가 없이 일정한 에너지를 얻을 수 있다.

2.3 신재생에너지 성능평가 프로그램의 필요성 및 기존 프로그램의 특징

2.3.1 신재생에너지 성능평가 프로그램의 필요성

신재생에너지가 도시의 에너지공급원으로 점차 확대됨에 따라 건물 및 도시의 건설 및 계획 시, 신재생에너지 시스템의 계획의 빈도가 점차 늘어나고 있다. 하지만 단일 건물의 단일 시스템에 대한 성능평가 프로그램은 많은데 비해 도시차원의 신재생에너지시스템의 계획에 대한 프로그램은 거의 없다. 도시 수준에서 신재생에너지 시스템의 계획을 하는 프로그램이 있다고 하더라도 전기 위주의 시스템에 대해서만 평가할 수 있다거나 열에 관한 부분만을 평가하는 등 도시에서 소비되는 에너지의 전반에 걸친 신재생에너지의 계획이나 평가를 다루는 프로그램은 거의 없다. 따라서 도시에서 소비되는 대표적인 에너지 유형인 열과 전기에 대해 이를 대체할 신재생에너지 시스템 계획 시, 신재생에너지의 복합 적용을 통한 성능평가가 가능한 프로그램이 필요한 실정이다.

2.3.2 기존 프로그램의 특징

기존 신재생에너지시스템의 성능평가를 위한 프로그램으로는 RETScreen과 HOMER, Hybrid2 그리고 MERIT이 있다. 이러한 프로그램은 모두 신재생에너지의 성능평가를 위해 개발되었지만, 각각의 프로그램마다 평가 가능한 범위와 항목이 다르다. 따라서 2.3.2에서는 기존의 신재생에너지 성능예측을 위한 평가 프로그램의 종류와 특징에 대해서 알아보았다.

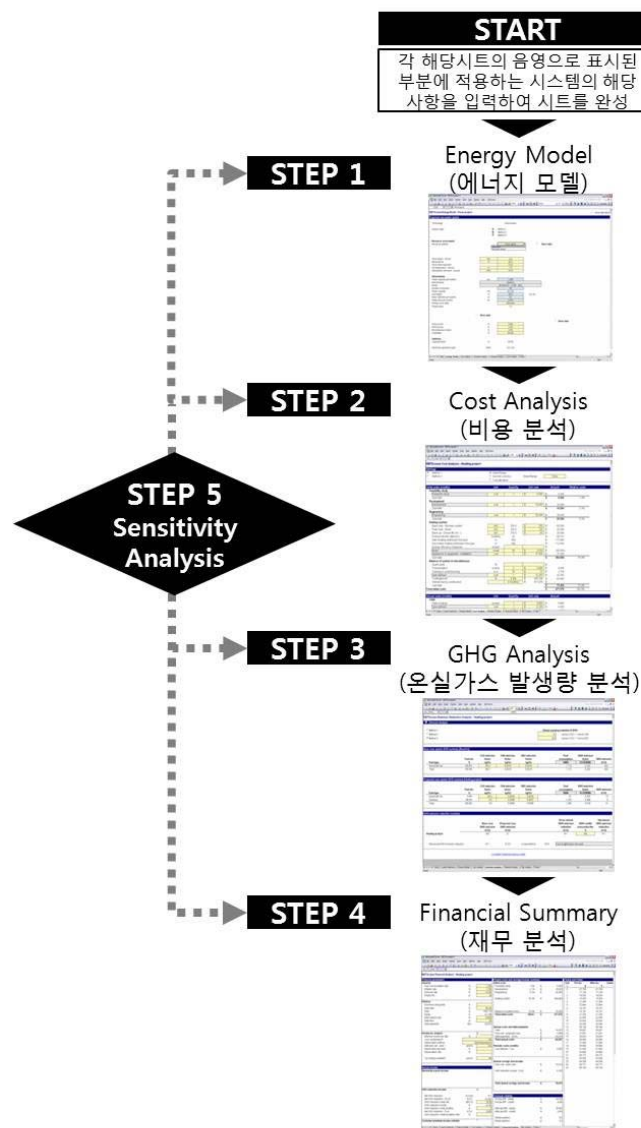
(1) RETScreen³⁸⁾

RETScreen은 캐나다에서 개발된 프로그램으로 지속가능한 에너지기술

38) www.retscreen.net

(RET : Renewable Energy Technology) 프로젝트나 대체에너지를 에너지원으로 하는 특정 요소기술 설비의 시행 타당성 분석을 위한 시장조사, 정책 분석을 통한 사업 예비 가능성 평가를 주목적으로 사업 타당성이 확보된 요소설비 시스템의 정보공유에서부터 판촉 및 서비스와 관련된 프로젝트의 연구개발 목적으로 배포되어 사용되는 시스템 평가도구이다. RETScreen은 캐나다 정부기관과 해당 관련 산업체의 전문가들로 구성된 CEDRL(CANMET Energy Diversification Research Laboratory)에 의해 개발되었으며, 다양한 대체에너지 이용 요소기술 설비 개발 및 보급 프로젝트를 통하여 검증된 프로그램으로써, 대체에너지관련 프로젝트의 표준 통합 분석용 도구라 할 수 있다. 현재 (1)풍력(Wind Energy), (2)소수력(Small Hydro), (3)태양광(Photovoltaics), (4)태양열 공기난방(Solar Air Heating), (5)바이오매스(Bio Mass Heating), (6)태양열 급탕(Solar Water Heating), (7)패시브 솔라히팅(Passive Solar Heating), (8)지중열을 이용한 히트펌프(Ground-Source Heat Pumps)에 관련된 8개의 모듈이 이미 개발된 상태이며, (1)바이오 가스 발전(Biogas Electricity Generation), (2)고효율 조명(High Efficiency Lighting), (3)고효율 모터(High Efficiency Motors), (4)열병합발전(Combined Heat and Power Systems), (5)지역난방(District Heating), (6)고효율 나무난로(High Efficiency Wood-stove for heating), (7)지중열 발전(Geothermal Electricity Generation), (8)태양열 발전(Solar Thermal Electricity Generation)에 관련된 8개의 모듈이 현재 개발 중에 있다.

이렇게 구성된 RETScreen 프로그램은 Excel 프로그램을 기초로 제작되어 있으며 시스템 성능평가과정은 크게 다섯 단계로 구분하여 진행되도록 구성되어있는데 각 단계마다 독립적인 Worksheet로 이루어져 있다. 또한 각각의 단계 마다 성능평가에 필요한 변수들의 입력으로 해당 단계에서 평가할 수 있는 내용에 대한 결과를 얻을 수 있으나, 각 Worksheet가 독립적으로 평가되기보다는 매크로로 연결되어 다음단계, 또는 그 다음 단계의 결과를 도출하는데 변인으로 작용하도록 구성되어 있다.



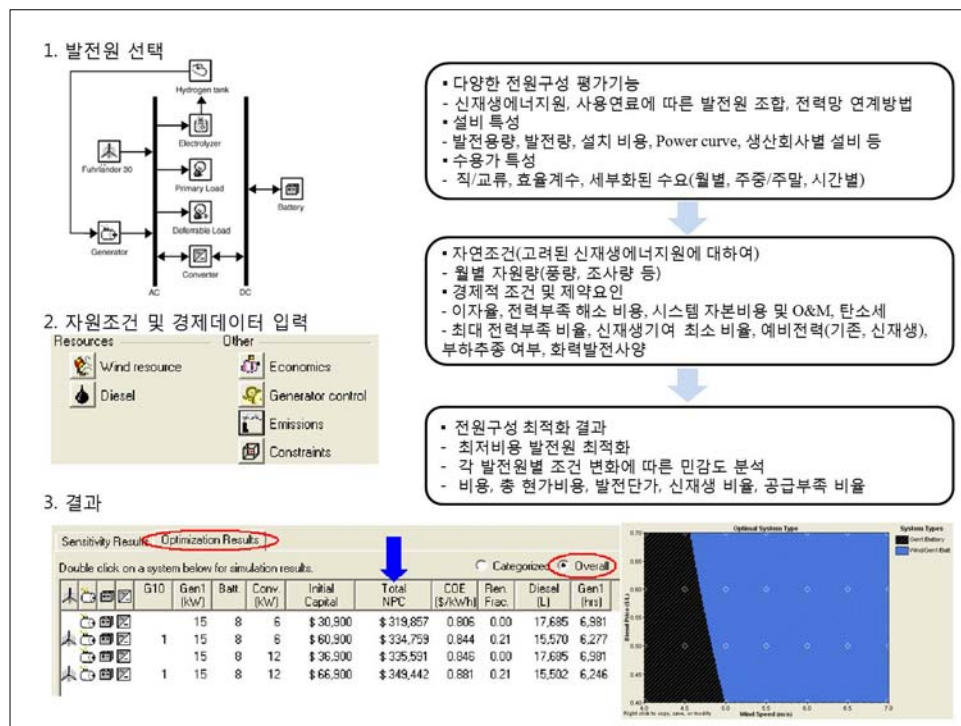
(그림 2.17) RETScreen의 신재생에너지 성능평가
모듈 분석과정

(그림 2.17)은 RETScreen을 통한 시스템 성능평가 과정을 보여주는 flow-chart이다. 그림에서 보는 바와 같이 시스템 성능 평가를 위해 이용자가 각 단계별로 지원되는 worksheet에 평가하고자 하는 시스템의 상세 내용을 입력하면 그에 따른 결과가 도출된다. 또한 각 단계마다 worksheet 내에는 파란색 글씨로 하이퍼링크된 부분을 찾아볼 수 있는데, 이는 각 단계마다 부가적으로 요구되는 sub-worksheet라든지 시스템의 상세한 내용, 또는 정확하게 판단할 수 없는 내용에 대해서 필요한 참고자료를 찾아볼 수 있도록

프로그램 자체 내에 data-base를 포함하고 있다.

(2) HOMER

미국 National Renewable Energy Laboratory(NREL)에 의해 개발된 HOMER는 신재생에너지 시스템(태양광, 풍력, 수력 등)의 성능을 NPC(Net Present Cost)를 기반으로 분석하기 위한 최적화 소프트웨어이다. HOMER는 도서지역 등에서 단독으로 운영되는 Hybrid Power System의 최적 설계 및 운영을 위한 Simulation 프로그램으로, 재생에너지 복합적용(PV+Wind+Diesel Generator 등)에 따른 각 대안의 시스템 구성요소 간의 생산결과를 시뮬레이션하여 NPC에 의해 분류된 적합한 시스템의 구성의 목록을 통해 각 시스템 구성의 경제적, 기술적 이점을 평가한다.



(그림 2.18) HOMER의 개관

즉, RESTScreen이 특정 신재생에너지원을 이용하는 시스템에 대한 평가라고 한다면, HOMER는 여러 신재생에너지원과 화석연료, 기타 관련 설비들을 함께 이용하는 시스템을 평가하고, 그 중 가장 비용이 최소화되는 시스템을 골라내어 준다고 할 수 있다. 또한 시스템의 전기 공급에 대한 시계열 분

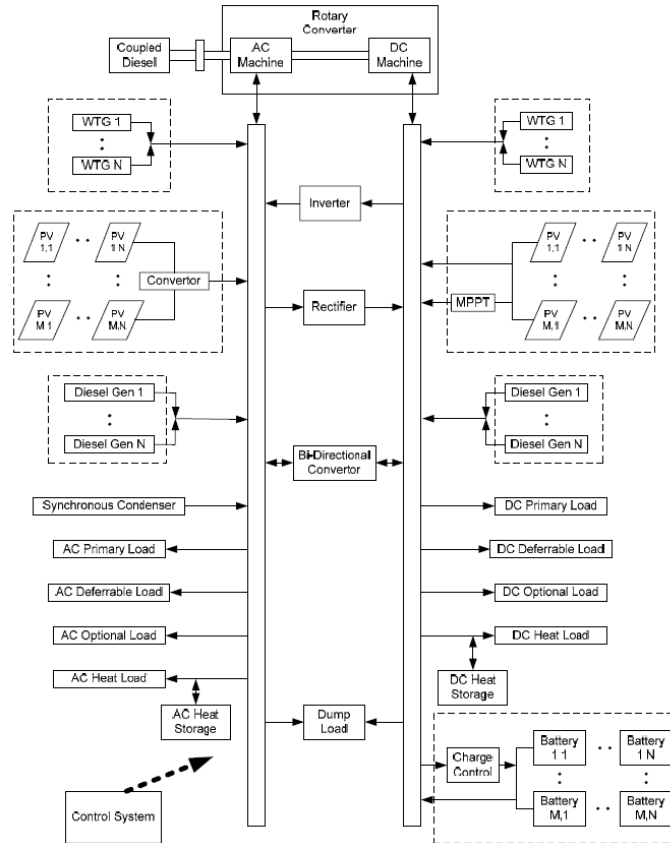
석이 가능하며 각 시스템 구성에 대한 Energy Balance가 가능하고 시스템 성능 변수에 대한 민감도 분석도 가능하다. HOMER는 신재생에너지로 구성된 하이브리드 전기 시스템을 평가하기에는 효과적이지만 건축물의 냉난방부하와 같은 열에너지에 대한 분석이 불가능하며, 비용최소화의 측면만을 고려하여 설비구성을 제시하기 때문에 수입과 비용이라는 양 측면을 동시에 고려하지 못한다는 단점이 있다³⁹⁾. 비용 산출기간 또한 일 년 단위로 산출하기 때문에 다른 발전원보다 초기 건설비가 비싼 신재생에너지원의 경우 비용 산출시 사용되는 초기건설비와 운영비 중에서 초기건설비가 높은 발전원은 발전원 최적조합에서 거의 제외되는 결과가 산출되는 결점을 가지고 있다⁴⁰⁾.

(3) Hybrid2

미국 Renewable Energy Research Laboratory(RERL)에 의해 개발된 프로그램으로 넓은 범주의 Hybrid Power System의 장기간 성능과 경제성을 분석하는 프로그램이다. 확률적 시계열 모델로서, 부하, 풍속, 일사량, 온도의 시계열 자료와 사용자가 디자인한 발전 시스템을 사용하여 상세한 성능평가가 가능하다. 또한 평가 가능한 Hybrid 발전 시스템의 범위가 여러 종류의 다중 재생에너지 발전 시스템, 세분화된 전력부하, 디젤발전기, 배터리, 전력변환 장치 등의 복합 활용 등으로 매우 넓다.

39) 김종헌 외 1명, 친환경 건축물을 위한 신재생에너지 시스템 최적화 시뮬레이션 개발 및 검증, 한국건축친환경설비학회 춘계학술발표대회논문

40) 조휘창, 마이크로그리드 설계 및 평가 프로그램 개발, 충남대학교 석사학위논문, 2010

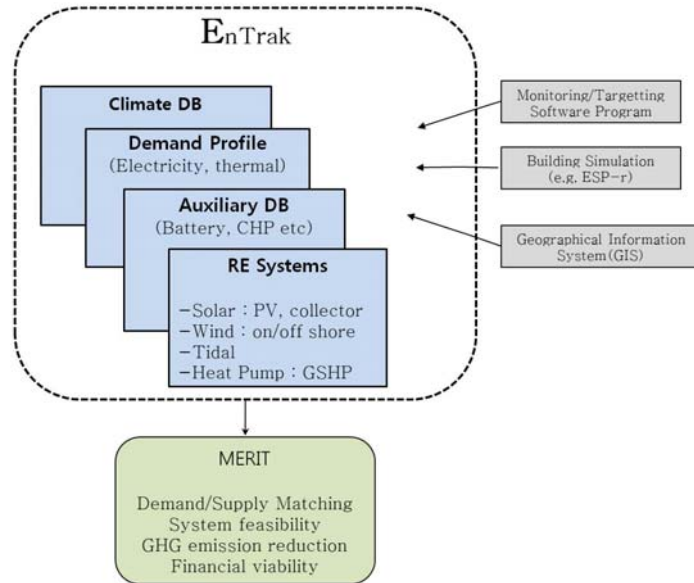


(그림 2.19) Hybrid2의 구성요소와 sub-system의 개략도

(4) MERIT

영국의 Energy System Research Unit(ESRU)에 의해 개발된 프로그램으로 건물, 커뮤니티 규모의 성공적인 통합 재생에너지(태양광, 태양열, 풍력, 조력, 지열 등) 전기와 열에너지에 대한 공급-수요 매칭을 정량적으로 평가하는 프로그램이다. 평가 항목은 공급-수요 매칭, 적용 시스템 특징, GHG 방출량 감소, 경제성을 평가하며, 매 30분마다 수요 개요(전류, 난방과 온수)를 산출하기 위한 방법을 제공하고 데이터, 통계상의 데이터 또는 가상 수요 개요를 모니터링 하는 특징이 있다⁴¹⁾.

41) Energy System Research Unit, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, U. K., Merit Overview, Dynamic demand/supply matching-design tool for renewable energy systems



(그림 2.20) MERIT의 평가체계

2.3.3 프로그램간의 비교검토

기존에 신재생에너지 평가에 관한 프로그램은 다양한 측면에서 개발되어 왔으나, 주로 경제성, 환경성, 에너지 성능에 대한 평가가 주로 이루어졌다. 하지만 이러한 프로그램은 도시의 특성 즉, 도시의 유형 및 특성에 따른 신재생에너지시스템의 계획 및 평가는 이루어지지 않고 있으며 몇몇 프로그램의 경우, 기후데이터에 의한 시스템별 에너지 생산량의 시계열 분석이 불가능하고 월별, 또는 연간 생산량 분석만이 가능하다. 그리고 기존의 프로그램은 프로그램을 실행하는데 있어서 그에 대한 전문적인 지식을 요하는 경우가 많아 그에 따른 어려움이 있다. 또한 기존의 프로그램들은 신재생에너지 시스템 적용 시 시스템에 대한 설계가 이루어진 후 그에 대한 평가를 할 수 있도록 지원하는 경우가 많다. 그래서 단지 및 도시차원의 계획에 있어서 신재생에너지시스템의 계획 시, 초기단계에서의 합리적이고 효율적인 시스템 설계가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서 보다 쉽게 이용 가능하기 위해 도시의 모델링을 통한 신재생에너지 적용에 대한 이해력을 높여 전문가뿐만 아니라 도시를 계획하는 단계에서 쉽게 활용할 수 있는 프로그램이 필요하다. 신재생에너지를 도시 에너지원으로 복합 적용하기 위해서는 기존의 신재생에너지 시스템의 에너지 성능평가 및 경제성, 환경성을 평가하는 것만으로 도시의 적용성을 평가하는데 한계가 있다. 따라서 신재생에너지의 도시 복합 적용성을 평가하기 위해서 도시의 특성 반영여부, 복합 적용시의 성능

평가 가능 여부, 시계열 분석 가능여부, 분석 가능한 에너지의 형태(열 및 전기) 등과 같은 항목을 통해 비교하였다.

<표 2.4> 기존 프로그램의 평가항목별 비교

	도시 특성 반영 여부	복합 적용 평가 가능 여부	시계열 분석 가능 여부	평가 가능한 에너지 형태
RETScreen	×	×	×	열, 전기
HOMER	×	○	○	전기
Hybird2	×	○	○	열, 전기
MERIT	×	○	○	열, 전기

이러한 평가 항목을 통해 신재생에너지의 도시 복합적용을 위한 평가에는 가장 기본적으로 한 가지 시스템(특정 신재생에너지시스템)에 대한 평가뿐만 아니라 다양한 신재생에너지시스템간의 복합적용에 대한 평가가 가능해야 하며 도시의 특성을 반영할 수 있는 요소가 필요하다. 그리고 에너지의 생산과 수요가 효율적으로 이루어지고 있는지를 평가하기 위해 시계열분석이 가능해야 한다는 사실을 알 수 있었다. 또한 기존의 평가 프로그램의 경우, 도시에 서 소비되는 모든 에너지에 대한 평가가 불가능하였으나, 신재생에너지 복합 적용에 대한 성능평가를 위해서는 도시에서 소비되는 전기 및 열에너지 전반에 대한 성능평가가 가능하도록 하여야 한다.

<표 2.5> 기존 프로그램의 특징

기존 프로그램	특징
RETScreen	- 개별시스템의 에너지 성능평가를 실시함으로 도시 전체의 복합 적용에 대한 성능 평가가 어려움 - 도시의 특성을 반영하지 못함
HOMER	- 신재생에너지 시스템 중, 전기를 생산하는 시스템에 대한 경제성 분석을 통한 최적의 시스템 구성 대안을 도출하기 위한 프로그램으로 열 에너지에 대한 분석은 이루어지지 않음. - 도시지역에서 단독으로 운영되는 시스템에 대한 설계 프로그램 임.
Hybird2	- Hybrid 2는 단기간의 시스템 변동을 고려하지 않으며 장기간의 분석이 가능함 - 도시 적용 시, 설치 용량에 의거한 평가틀로 도시 유형 및 형태에 따른 적용성 평가가 불가능
MERIT	도시 적용 시 설치 용량과 광역적 기후 정보에 의거한 평가 틀로, 도시 특성(도시 규모, 구성건물군의 용도특성 등)에 따른 적용성 평가가 불가능함

2.4 소결

본 장에서는 신재생에너지의 도시 복합 적용을 프로그램 개발을 위한 기초 조사로서, 신재생에너지의 도시 복합 적용의 개념과 필요성에 대한 이론고찰을 하였다. 또한 신재생에너지 복합적용에 대한 평가가 가능한 분석 프로그램으로 RETScreen과 HOMER, Hybrid2 그리고 MERIT에 대해서 비교분석하였다. 그리고 신재생에너지 복합 적용 시 필요한 평가 항목에 대한 기존의 프로그램의 평가가능성 여부를 비교하였다.

신재생에너지의 도시 복합 적용은 신재생에너지시스템을 도시의 에너지 공급원으로 안정적이며 효율적으로 이용하기 위한 방법으로, 신재생에너지시스템이 가지는 단점을 극복하고 도시의 에너지 수요패턴에 부합하며 도시 안에서 에너지의 소비와 공급이 가장 효율적으로 이루어질 수 있도록 이용하는 분산형 에너지 공급시스템의 한 형식이다. 도시의 에너지원으로서 신재생에너지를 효율적으로 이용하기 위해서는 신재생에너지원간의 복합 적용이 필요하다. 도시의 건물에서 소비되는 에너지는 크게 열과 전기에너지의 형태로 구분되며 신재생에너지시스템은 시스템별로 생산되는 에너지의 형태가 다르기 때문에 도시에서 신재생에너지를 효율적으로 적용하기 위해서는 한가지의 시스템이 아닌 열과 전기를 모두 공급할 수 있는 복합 적용이 필요하다. 또한 신재생에너지시스템은 자연의 에너지(태양 및 바람에너지)를 기반으로 생성되기 때문에 기후 및 천공상태, 운량에 의한 에너지 생산의 간헐성이 매우 크다. 따라서 도시를 구성하는 건물의 용도별 에너지 소비에 따라 에너지 생성의 공급과 수요의 에너지 밸런스를 맞추기 위해서는 한 가지의 시스템에 의한 공급이 아니라 여러 시스템의 복합 적용을 통한 에너지 공급의 신뢰성을 확보하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

또한 본 연구에서는 도시에 적용 가능성이 높은 시스템으로 태양광, 태양열, 지열, 풍력 시스템인 것으로 나타났으며, 신재생에너지원의 에너지 생산 특성과 도시의 물리적 특성 그리고 에너지 소비유형에 맞는 시스템의 효율적인 복합 적용을 통해 신재생에너지 시스템의 효율을 극대화해야한다는 사실을 알 수 있었다. 또한 이러한 신재생에너지시스템의 계획은 도시 및 설계의 초기단계에서부터 고려되어야 한다는 것을 알 수 있었다.

신재생에너지의 복합 적용은 도시의 초기계획단계에서 이루어져야 한다. 그러기 위해서는 계획단계에서 효율적으로 복합적용계획을 지원하는 프로그램이 필요하다. 하지만 기존의 프로그램은 계획 초기단계에서 사용할 수 있는 것이 아니라 계획 후, 계획안에 대한 검토를 위해 사용되는 경우가 대부

분이다. 또한 신재생에너지의 복합 적용에 대한 전반적인 평가를 하기에는 프로그램의 분석 대상 시스템이 한정적인 경우도 있으며, 도시 전반적인 에너지의 분석을 지원하는 프로그램도 거의 없기 때문에 도시차원의 복합적용을 위한 프로그램 개발이 필요하다고 판단되었다. 또한 프로그램 개발을 위해 기존의 프로그램을 비교분석한 결과, 신재생에너지의 도시 복합 적용을 위한 성능평가 프로그램은 한 가지 시스템(특정 신재생에너지 시스템)에 대한 평가뿐만 아니라 다양한 신재생에너지 시스템간의 복합적용에 대한 평가가 가능해야 하며, 도시의 특성을 반영할 수 있는 요소가 필요하다는 사실을 알 수 있었다. 그리고 도시의 에너지 생산과 수요가 효율적으로 이루어지고 있는지를 분석하기 위해서는 시계열 분석이 가능해야 하며, 기존의 평가 프로그램의 경우, 도시에서 소비되는 모든 에너지에 대한 평가가 불가능하였으나, 신재생에너지 도시 복합적용에 대한 성능평가를 위해서는 도시에서 소비되는 전기 및 열에너지 전반에 대한 성능평가가 가능해야 함을 알 수 있었다.

따라서 3장에서는 도시의 에너지 소비량 분석과 에너지 소비 패턴분석 그리고 신재생에너지 시스템의 성능예측을 통해 신재생에너지 복합 적용 성능평가 모형의 기본 데이터를 확보하고자 하였다.

제 3 장 신재생에너지 복합적용 성능 평가 모형

신재생에너지 복합 적용을 위한 성능평가 모형은 도시 에너지 소비량 분석 및 에너지 소비패턴 분석과 신재생에너지시스템의 성능예측 즉, 신재생에너지 시스템 에너지 생산량 예측으로 구축된다. 도시의 에너지 소비패턴 및 소비량 분석은 도시를 구성하고 있는 건물군의 종류에 따라 크게 달라지며, 구성 건물의 용도는 도시 전체의 에너지 수요량을 결정하는데 중요하다⁴²⁾. 또한 신재생에너지시스템의 성능예측은 지역의 기후 및 시스템의 특성에 의해 평가된다.

따라서 도시의 에너지 소비패턴 및 소비량 분석과 신재생에너지시스템별 에너지 생산량 평가를 통해 도시의 에너지 소비부문에 따라 시스템의 부하분담률을 산정할 수 있다. 또한 도시의 신재생에너지 복합적용 성능평가를 위한 시스템별 부하분담률 산정을 위해서는 기본적으로 도시의 에너지 소비패턴 및 소비량 분석과 그에 맞는 시스템에 대한 성능예측을 통해 에너지 생산량을 분석하는 것이 기본이다.

따라서 본 장에서는 도시의 에너지 소비량 예측을 위해 도시를 구성하고 있는 건물에 대한 용도별 표준건물을 선정하고 표준건물의 에너지 소비량 및 소비패턴을 분석하였다. 또한 신재생에너지 시스템별 성능예측식을 통한 시스템별 에너지 생산량을 예측하고자 하였다.



(그림 3.1) 신재생에너지 복합적용 성능평가를 위한 기본평가모형

42) 이민희, op.cit., p.34

3.1 도시 에너지 소비패턴 및 소비량 분석

도시는 다양한 건물들로 이루어져 있으며 건물의 사용용도 및 에너지 사용 용도별로 다른 형태의 에너지 프로파일을 가진다. 또한 도시의 에너지 소비량 분석은 도시를 구성하고 있는 모든 건물에 대한 에너지 분석이 필요하지만 모든 건물에 대한 에너지 시뮬레이션을 통한 분석에는 어려움이 따른다. 따라서 도시의 에너지 소비패턴 및 소비량 분석을 위해서는 도시를 구성하고 있는 건물용도별 에너지 소비패턴 및 소비량 분석이 필요하다. 이를 위해 도시를 구성하고 있는 건물용도별 표준건물을 선정하여 단위면적당 에너지 프로파일을 통해 표준건물의 에너지 소비패턴 및 소비량을 시계열로 분석하였다.

도시의 에너지 소비 패턴 및 소비량 분석을 위한 표준건물의 에너지 분석은 에너지 시뮬레이션 프로그램을 통해 분석하였다. 에너지 시뮬레이션 프로그램은 건물의 구조, 형태, 외피, 공조시스템 등의 구체적인 건물정보를 반영하고, 이를 유사한 모델링 작업을 통하여 그 건물의 에너지 사용형태와 패턴을 가상으로 분석하는 기법을 말한다. 따라서 본 연구에서는 건물에너지 해석 프로그램인 DOE 2.0을 기반으로 하는 e-QUEST를 활용하였다.

또한 도시의 에너지 소비는 기후환경에 영향을 많이 받는다. 따라서 지역에 의한 에너지 소비량의 차이가 있다. 따라서 본 연구에서는 프로그램에서 선택 가능한 대상지역을 서울, 인천, 대전, 대구, 광주, 부산까지 총 6지역으로 선정하고, 지역별 그리고 표준건물의 용도별 에너지 소비량을 분석하였다.

표준건물의 에너지 소비량은 건물에서 소비되는 에너지를 크게 난방, 냉방, 급탕, 전력으로 구분하고 이를 각각 난방부하⁴³⁾, 냉방부하⁴⁴⁾, 급탕부하⁴⁵⁾ 및 전력부하⁴⁶⁾로 표현하였다. 또한 표준건물의 에너지 소비량을 건물용도별 에너지원단위량과 비교하여 건물의 에너지 DB로 활용가능한지를 검증하였다.

43) 난방부하는 건물의 난방에 필요한 열원 및 전력 에너지

44) 냉방부하는 건물의 냉방에 필요한 열원 및 전력 에너지

45) 급탕부하는 가스, 석유, 전기 등 열원으로 물을 가열하는데 필요한 에너지

46) 난방기기 및 냉방기기의 전원으로 사용되는 전력을 제외한 일반 기기와 조명에 사용되는 에너지

3.1.1 건물용도별 표준건물의 선정

도시를 구성하고 있는 건물의 용도는 각 기준 및 세분화정도에 차이가 있겠지만, 국내외 건축물 용도별 구분 기준을 기반으로 구분하였다⁴⁷⁾. 아래 <표 3.1>과 같이 도시를 구성하고 있는 건물의 용도는 주거, 상업, 호텔, 교육, 의료로 분류할 수 있다. 도시를 구성하고 있는 건물용도 중 본 연구에서는 주거(단독주택, 공동주택), 상업, 업무, 교육용 건물에 대한 에너지 분석을 실시하였다.

<표 3.1> 국내외 건물 용도별 구분

국내		국외			
에너지 사용계획 합의서	에너지 총조사 보고서	EPBD ⁴⁸⁾	CBECS ⁴⁹⁾	NS ⁵⁰⁾ 3031	Statistics Norway
주거	주거	주거	—	주거	주거
상업	상업	상업	상업	상업	상업
—	호텔	호텔	호텔	호텔	호텔
교육	교육	교육	교육	교육	교육
의료	의료	의료	의료	의료	의료

또한 표준건물의 에너지 소비량에 대한 검증을 위해 『에너지총조사보고서』 및 기존의 문헌과 비교하여 도출된 에너지 소비량이 건물의 에너지 데이터로 활용가능한지를 검증하고자 하였다.

(1) 단독주택

단독주택 표준건물의 건축면적은 155.54m²의 철근콘크리트조이며 건물의 천장고는 2.3m이고 층수는 2층이며, 창호의 면적은 전체 벽체 면적의 약 10.7%이다. 단독주택 표준건물의 개요는 다음 <표 3.2>와 같다.

47) 이선구, 부하예측기반 도심지역 재생에너지 복합시스템 적용성 평가, 서울시립대학교 석사학위 논문, 2010

48) Energy Performance of Buildings Directive, www.rics.org

49) Commercial Buildings Energy Consumption Survey(1999). Energy Information Administration

50) Norway Standard 3032, Energy and power budgets for buildings

		단독주택
건축면적 (㎡)	156	
연면적 (㎡)	241	
층수	2	
층고 (m)	3	
천정고 (m)	2.3	

공동주택⁵¹⁾의 표준건물은 건축면적 536.88㎡, 층수는 15층이며, 창호의 면적은 전체 벽체 면적의 약 48%이며, 공동주택은 공조 공간, 발코니, 코어 부분으로 나누어 에너지 해석을 실시하였다.

공동주택	
건축면적 (㎡)	537
연면적 (㎡)	8,053
층수	15
층고 (m)	3
천정고 (m)	2.3

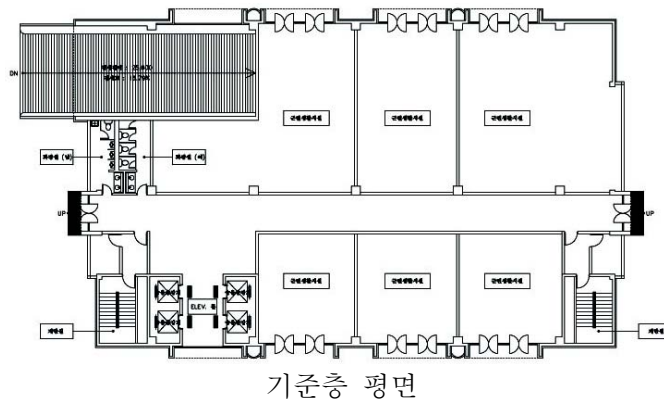
– 40 –

(3) 업무시설

업무시설의 표준건물은 건축면적 7,533㎡, 층수는 지하 2층, 지상 7층이며, 창호의 면적은 전체 벽체 면적의 약 36.3%이다. 건물의 운영 스케줄은 주말을 제외한 월요일~금요일 그리고 토요일 오전으로 설정하였다.

<표 3.4> 업무시설 개요

업무시설	
건축면적(㎡)	7,533
연면적(㎡)	30,071
층수	지상7, 지하2
층고(m)	4.0
천정고(m)	2.7

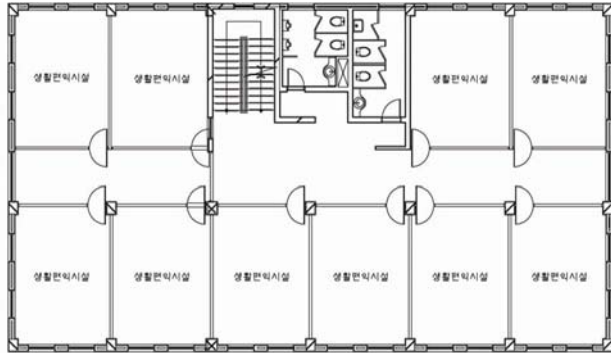


(4) 상업시설

상업시설의 표준건물은 건축면적 397㎡, 층수는 지상 2층이다. 건물의 운영 스케줄은 주말을 제외한 월요일~일요일로 설정하였다.

<표 3.5> 상업시설의 개요

상업시설	
건축면적 (㎡)	397
연면적 (㎡)	795
층수	지상2
층고 (m)	4.5
천정고 (m)	3.3



기준층 평면

(5) 학교

학교는 표준건물은 바닥면적 3,452㎡의 철근콘크리트조이며, 건물의 층고는 3.6m 천정고는 2.7m이다. 창면적비는 20.2%이고 층수는 지상 5층이다.

<표 3.6> 학교시설 개요

학교시설	
건축면적 (㎡)	3,556
연면적 (㎡)	16,116
층수	5
층고 (m)	3.6
천장고 (m)	2.7



기준층 평면

3.1.2 표준건물용도별 시뮬레이션 입력데이터

표준건물의 건물 용도별 입력데이터는 다음 <표 3.7>과 같다. 입력변수 중 외피성능은 건축법에서 지역에 따라 단열의 적용기준이 다르기 때문에 중부(서울, 인천)와 남부(대전, 대구, 광주, 부산)지역으로 나누어 설정하였다.

<표 3.7> 입력 데이터

입력변수		주거용 건축		업무시설	상업시설	학교
		단독 주택	공동 주택			
외피 성능	외벽(중부)	열전도율 0.47W/m²K(건축법 단열기준-중부지역)				
	지붕(중부)	열전도율 0.29W/m²K(건축법 단열기준-중부지역)				
	외벽(남부)	열전도율 0.58W/m²K(건축법 단열기준-남부지역)				
	지붕(남부)	열전도율 0.35W/m²K(건축법 단열기준-남부지역)				
재실 스케줄	월-금	24시간	24시간	9am~5pm	9am~10pm	8am~7pm 방학기간 (7.15~8.20, 12.25~1.31)
	토	24시간	24시간	9am~2pm	9am~10pm	8am~1pm
	일	24시간	24시간	closed	9am~6pm	일요일 제외 방학기간 제외
냉난방 설정 온도	난방온도(℃)	22	22	22	21	22
	냉방온도(℃)	26	26	26	26	26
냉난방 기간	난방	1.1~3.31, 11.1~12.31		10.20 ~ 3.31		10.20~12.20 2.4~2.21 3.2~3.31
	냉방	6.11 ~ 9.10		5.21 ~ 9.15		5.21~7.24 8.26~9.15
유리	U factor (W/m²K)	3.30				
	SHGC	0.74				
	가시광선 투과율	0.66				
환기량(ACH)		1.0	1.0	1.0	0.5	0.6
재실밀도m²/인		22.4		8	8	2.7
창면적비(%)		10.7	48.0	36.3	33.4	20.2
조명밀도(W/m²)		4	4	25	39.4	19
기기밀도(W/m²)		14	14	15	8.75	5

3.1.3 표준건물의 에너지 성능 분석 결과

표준건물의 에너지 성능은 지역별 그리고 건물용도별로 난방, 냉방, 급탕, 전력에 사용되는 에너지 소비량을 분석하였다. 그리고 건물용도별 에너지 소비량에 대해 단위면적당 에너지 소비량을 구해 기존의 연구결과와 비교하여 도출된 결과 값을 기본 데이터베이스로 활용가능한지 평가하였다.

(1) 단독주택

단독주택의 단위면적당 에너지 소비량은 <표 3.9>와 같이 지역평균 난방은 140.1 kWh/m², 냉방은 19.4 kWh/m², 급탕은 27.2 kWh/m² 그리고 전력은 52.8 kWh/m²로 나타났다. 따라서 연간 단위면적당 에너지 소비량은 239.6 kWh/m²로 나타났다. 지역에 따라 에너지 소비량의 차이가 나타났지만 대부분의 단독주택의 에너지 소비는 난방이 단독주택의 전체 에너지 소비량의 58%정도인 것으로 나타났다.

<표 3.8> 지역별 단독주택의 에너지 소비량(MWh)

	서울	인천	대전	대구	광주	부산	평균
소비량	59.3	59.1	60.5	50.8	58.4	58.4	57.8

<표 3.9> 지역별 단독주택의 단위면적당 에너지 소비량(kWh/m²)

	서울	인천	대전	대구	광주	부산	평균
난방	142.6	145.6	147.1	123.2	141.3	140.8	140.1
냉방	21.2	16.5	21.2	17.8	19.5	20.4	19.4
급탕	28.0	29.1	28.4	23.4	27.6	26.9	27.2
전력	54.1	54.1	54.1	46.2	54.1	54.1	52.8
합계	245.9	245.3	250.9	210.6	242.5	242.2	239.6

(2) 공동주택

우리나라의 경우, 건물에서 사용되는 대부분의 에너지가 겨울철 난방에 소비되고 있으며, 그 중 주거건축에서의 난방에너지 소비 비중은 매우 높다. 따라서 공동주택의 에너지 소비 역시 단독주택과 비슷하게 나타나 겨울철 난방에 소비되는 에너지가 전체 에너지 소비량의 많은 부분을(48%) 차지하고 있

음을 알 수 있다.

공동주택의 단위면적당 에너지 소비량은 <표 3.10>과 같이 지역평균 난방은 95.8 kWh/m², 냉방은 26.8 kWh/m², 급탕은 28.8 kWh/m² 그리고 전력은 46.8 kWh/m²로 나타났다. 따라서 연간 단위면적당 에너지 소비량은 198.2 kWh/m²로 나타났다. 공동주택의 에너지 소비량은 단독주택의 에너지 소비량에 비해 다소 적은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 이성근의 연구⁵²⁾와 비슷한 결과로, 주거 특성이 에너지소비에 미치는 효과로 인해 단독주택에 거주하는 가구는 공동주택에 거주하는 가구보다 다른 조건이 동일할 경우, 약 15.4%나 에너지소비를 더 많이 소비한다고 한다. 본 연구에서의 단독주택과 공동주택의 단위면적당 에너지 소비량을 비교한 결과, 단독주택의 단위면적당 에너지 소비량이 공동주택에 비해 약 20% 정도 많은 것으로 나타났다.

<표 3.10> 지역별 공동주택의 에너지 소비량(MWh)

	서울	인천	대전	대구	광주	부산	평균
소비량	1,713.8	1,694.4	1,517.2	1,440.5	1,419.7	1,332.6	1,519.7

<표 3.11> 지역별 공동주택의 단위면적당 에너지 소비량(kWh/m²)

	서울	인천	대전	대구	광주	부산	평균
난방	120.8	119.5	92.8	87.2	81.5	72.7	95.8
냉방	25.5	24.4	28.7	25.4	28.6	27.9	26.8
급탕	30.3	30.2	29.5	28.5	28.1	26.4	28.8
전력	46.8	46.8	46.8	46.8	46.8	46.8	46.8
합계	223.4	220.9	197.8	187.9	185.1	173.7	198.2

(3) 업무시설

업무시설의 단위면적당 에너지 소비량은 지역평균 난방은 51.2 kWh/m², 냉방은 32.8 kWh/m², 급탕은 8.4 kWh/m² 그리고 전력은 179.9 kWh/m²로 나타났으며 연간 단위면적당 에너지 소비량은 272.3 kWh/m²로 나타났다. 따라서 업무시설의 에너지 소비는 전력이 전체 에너지의 약 66% 정도를 소비하고 있는 것으로 나타났는데 이는 업무건물의 경우, 밀폐된 건물이 많

52) 이성근 외, 표본조사자료를 이용한 가구의 에너지소비행태분석, 에너지경제연구 제 4권 제 1호, 에너지경제연구원, 2005

아 냉방부하가 다른 업종에 비해 상대적으로 많고, 조명과 컴퓨터와 같은 OA 기기의 사용량 증가로 전기 사용비율이 많이 증가되었기 때문이라 판단되었다.

<표 3.12> 지역별 업무시설의 에너지 소비량(MWh)

	서울	인천	대전	대구	광주	부산	평균
소비량	2,653.7	2,706.4	2,557.1	2,477.2	2,472.0	2,423.3	2,548.3

<표 3.13> 지역별 업무시설의 단위면적당 에너지 소비량(kWh/m²)

	서울	인천	대전	대구	광주	부산	평균
난방	61.8	69.5	52.9	44.1	42.1	36.8	51.2
냉방	33.5	31.1	31.9	32.4	33.9	34.1	32.8
급탕	8.4	8.7	8.5	8.3	8.3	8.2	8.4
전력	179.9	179.9	179.9	179.9	179.9	179.9	179.9
합계	283.6	289.2	273.3	264.7	264.2	259.0	272.3

(4) 상업시설

상업시설의 단위면적당 에너지 소비량은 <표 3.14>와 같이 난방 45.8 kWh/m², 냉방 91.2 kWh/m², 급탕 14.7 kWh/m² 그리고 전력 297.8 kWh/m²로 나타났다. 따라서 연간 단위면적당 에너지 소비량은 449.5 kWh/m²로 나타났다. 상업시설의 경우, 전력의 에너지 소비량이 전체 에너지 소비량의 65%를 차지하고 있는데, 이는 상업건물의 상품 전시 및 입간판 등과 같이 판매와 관련된 전력 사용량이 다른 용도의 건물에 비해 매우 많기 때문인 것으로 판단된다.

<표 3.14> 지역별 상업시설의 에너지 소비량(MWh)

	서울	인천	대전	대구	광주	부산	평균
소비량	363.0	358.5	362.0	357.7	358.5	343.5	357.2

<표 3.15> 지역별 상업시설의 단위면적당 에너지 소비량(kWh/m²)

	서울	인천	대전	대구	광주	부산	평균
난방	60.8	56.5	51.3	38.5	40.2	27.5	45.8
냉방	84.3	81.5	91.4	99.2	98.4	92.5	91.2
급탕	15.2	15.1	14.9	14.5	14.5	14.2	14.7
전력	297.8	297.8	297.8	297.8	297.8	297.8	297.8
합계	458.0	450.9	455.3	449.9	450.9	432.0	449.5

(5) 학교

학교의 단위면적당 에너지 소비량은 난방은 64.4 kWh/m², 냉방은 18.2 kWh/m², 급탕은 13.4 kWh/m² 그리고 전력은 45.9 kWh/m²로 나타났다. 따라서 연간 단위면적당 에너지 소비량은 141.9 kWh/m²로 나타났다. 학교 건물의 에너지 소비량은 학교의 재실자 스케줄에 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있다. 학교는 일년내내 운영되는 시설이 아니라 학기 중 그리고 하루 중에서도 주로 낮 동안에만 운영되는 건물이기 때문에 다른 용도의 건물에 비해 단위면적당 에너지 소비가 적었다.

<표 3.16> 지역별 학교건물의 에너지 소비량(MWh)

	서울	인천	대전	대구	광주	부산	평균
소비량	2,609.0	2,384.5	2,345.3	2,194.2	2,172.1	2,011.7	2,286.1

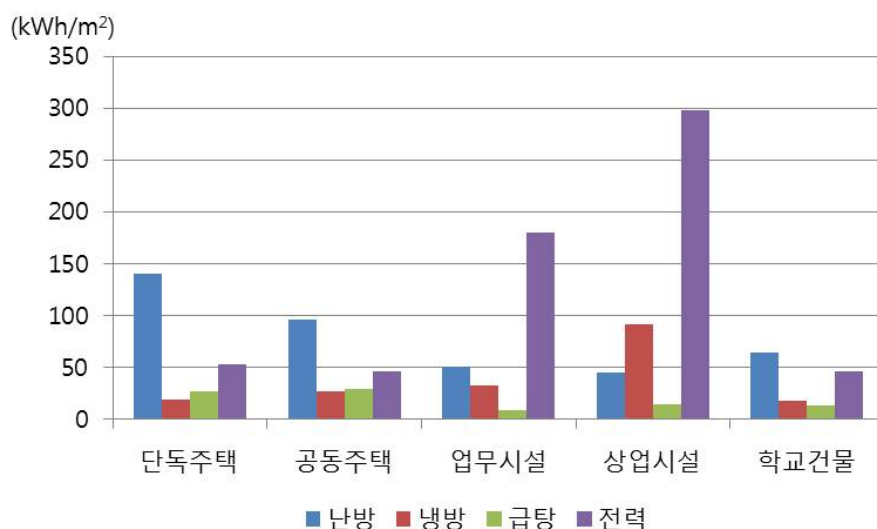
<표 3.17> 지역별 학교건물의 단위면적당 에너지 소비량(kWh/m²)

	서울	인천	대전	대구	광주	부산	평균
난방	84.0	72.5	65.9	58.0	57.4	48.4	64.4
냉방	18.2	15.8	20.1	19.1	18.2	17.6	18.2
급탕	13.8	13.8	13.5	13.1	13.2	12.9	13.4
전력	45.9	45.9	45.9	45.9	45.9	45.9	45.9
합계	161.9	148.0	145.5	136.2	134.8	124.8	141.9

(6) 표준건물의 건물용도별 에너지 소비량 비교

3.1.3의 용도별 표준건물의 에너지 성능 분석 결과를 기존 연구문헌 및 에너지총조사보고서의 건물용도별 에너지원단위량과 비교하여 도시의 에너지 소비패턴 및 소비량 분석을 위한 데이터베이스로 활용가능한지를 검토하였

다. 아래 (그림 3.2)는 표준건물의 단위면적당 부분별 에너지 소비량(지역 평균치)으로 표준건물의 용도 특성에 따라 부분별 단위면적당 에너지 소비량이 다를 수 있다. 단독주택과 공동주택 같은 주거건축의 경우, 겨울철 난방에 사용되는 에너지량이 많음을 알 수 있으며, 업무시설과 상업시설은 다른 용도에 비해 전력에 소비되는 에너지가 많음을 알 수 있다. 이처럼 건물의 에너지 소비는 지역의 기후 및 건물의 용도에 따른 운영스케줄에 의해 에너지 소비 패턴 및 특징을 가진다.



(그림 3.2) 부분별 단위면적당 에너지 소비량

표준건물의 용도별 단위면적당 에너지 소비량(지역평균치)과 기존연구의 건물 용도별 에너지원단위 결과를 비교하여 에너지 데이터베이스로 활용가능한지를 검토하였다.

<표 3.18> 표준건물의 단위면적당 에너지 소비량 비교

	단위면적당 에너지 소비량 (kWh/m ² ·년)	기존연구 결과 (kWh/m ² ·년)	비교
단독주택	239.6	203.0 ⁵³⁾	18.0%
공동주택	198.2	203.0	-2.4%
업무시설	259.0	281.4 ⁵⁴⁾	-8.0%
상업시설	449.5	414.0 ⁵⁵⁾	8.6%
학교건물	141.9	142.7 ⁵⁶⁾	-0.6%

53) 이의준, 저에너지 친환경 공동주택 개발 기술전문가 교육 세미나 자료, 2008

위의 수치는 주거건물의 에너지소비원단위를 평가한 결과로 단독주택과 공동주택 모두 적용하여 비교하였음.

표준건물의 용도별 단위면적당 에너지 소비량을 기준으로 기존연구 결과와 비교한 결과, 단독주택을 제외한 공동주택, 업무, 상업, 학교건물의 에너지 소비량은 기존연구 결과와 10% 이내의 차이를 보였다. 단독주택의 경우, 약 18%의 차이가 있는 것으로 나타났으나, 이는 공동주택과 단독주택에 대한 비교 값에 같은 연구결과(주거건축)를 적용하였기 때문이라고 판단된다. 즉, 단독주택의 경우, 주거 특성이 에너지소비에 미치는 효과로 인해 단독주택이 공동주택보다 다른 조건이 동일할 경우, 약 15.4%나 에너지소비를 더 많이 소비하는 특징을 가지기 때문에 약 18%의 차이는 단독주택의 주거특성에 기인한 결과라 생각된다. 따라서 본 연구에서 도출된 표준건물의 건물용도별 에너지 소비량의 결과는 도시의 에너지 소비량 예측을 위한 에너지 데이터베이스로 활용가능하다고 판단하였다.

54) 에너지경제연구원, 2008 에너지총조사보고서, 2008

55) Ibid.

56) 조일진, 제로 에너지·생태학교 모형 개발연구, 한국교육개발원, 2009

3.2 신재생에너지시스템의 성능예측

신재생에너지시스템의 성능예측의 기존의 프로그램이나 문헌연구에서 사용하고 있는 신재생에너지시스템별 에너지 생산량 예측식을 이용하였다. 또한 신재생에너지 시스템별 대표 유형에 대한 성능예측이 가능하도록 하였다.

3.2.1 신재생에너지시스템의 성능예측을 위한 기후 데이터

각각의 시스템별 성능예측에 필요한 기후데이터는 한국태양에너지학회에서 제공하는 대한민국 표준기상데이터를 참고하여 서울⁵⁷⁾, 인천⁵⁸⁾, 대전⁵⁹⁾, 광주⁶⁰⁾, 대구⁶¹⁾, 부산⁶²⁾ 등 총 6개 지역을 대상으로 적용하였다.

지역별 조건은 신재생에너지 시스템의 성능평가에 영향을 미치는 요인으로, 외기 온도, 대기압, 수평면 일사량, 직달일사량, 확산일사량, 풍속, 대기청정도⁶³⁾, 지중온도⁶⁴⁾(지하1m) 등 8개 조건을 선정하였다. 이러한 지역별 8개의 기후 조건에 대한 데이터를 시계열로 제공하고 있어 이를 통해 신재생에너지시스템을 통해 생산되는 생산 에너지에 대한 시계열 분석이 가능하도록 하였다.

<표 3.19> 지역별 연평균 외기 조건

지역	온도 (℃)	대기압 (kPa)	수평면 일사량 (W/m ²)	직달 일사량 (W/m ²)	확산 일사량 (W/m ²)	풍속 (m/s)	대기 청정도 (%)	지중 온도 (℃)
서울	12.9	100.5	134.2	116.1	69.0	2.2	57	14.5
인천	12.2	100.7	148.7	136.6	71.6	2.8	57	14.2
대전	13.1	100.7	151.6	145.7	68.7	1.7	63	14.5
광주	14.1	100.7	155.4	143.3	72.2	2.1	62	15.8
대구	14.3	100.7	148.8	137.6	71.3	2.6	60	15.9
부산	15.0	100.6	143.5	131.0	67.6	3.6	62	16.1

57) 한국태양에너지학회, 대한민국 표준기상데이터 등록번호, 서울 2010-Seoul-R-006

58) 한국태양에너지학회, 대한민국 표준기상데이터 등록번호, 인천 2010-Incheon-R-005

59) 한국태양에너지학회, 대한민국 표준기상데이터 등록번호, 대전 2010-Daejeon-R-004

60) 한국태양에너지학회, 대한민국 표준기상데이터 등록번호, 광주 2010-Gwangju-R-004

61) 한국태양에너지학회, 대한민국 표준기상데이터 등록번호, 대구 2010-Daegu-R-005

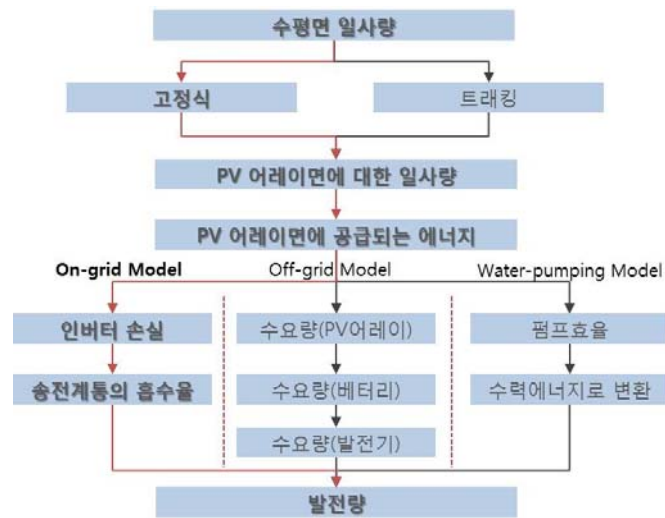
62) 한국태양에너지학회, 대한민국 표준기상데이터 등록번호, 부산-Busan-R-004

63) 조덕기, 강용혁, 태양에너지 측정을 통한 우리나라 주요 도시의 Global Dimming 현상 분석에 관한 연구, 한국태양에너지 학회 논문집, vol.27, No.2, 2007, p 49

64) 김승옥, 우리나라 지중온도의 관측현황 및 기후학적 특성, 공주대학교 석사학위 논문, 2004.02, p 47~52

3.2.2 태양광시스템의 성능예측

태양광 발전 시스템의 경우, 도시에 적용가능성이 낮은 추적식을 제외한 고정식 태양광발전시스템으로 한정하였으며, 적용범위의 규모는 도시이므로 태양광발전시스템의 적용형태는 계통 연계형으로 하였다. 태양광발전 시스템의 성능예측을 위한 계산체계는 (그림 3.3)과 같다.



(그림 3.3) 태양광발전시스템 계산체계

(1) 태양에너지 일반

가) 일적위(δ , declination)

일적위란 정오에 지구의 적도면과 태양이 이루는 각(the angular position)으로서 지구의 축이 23.45° 기울어졌기 때문에 나타나는 현상이다. 따라서 춘/추분에는 0° , 동지에는 -23.45° , 하지에는 $+23.45^\circ$ 가 된다.

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) \quad (\text{수식 3.1})$$

여기서, δ : 1년의 시간대별 일적위

n : 통산일의 시간

참고로, 월별 평균일에 따른 통산일 및 일적위 값은 <표 3.20>⁶⁵⁾⁶⁶⁾와 같다.

<표 3.20> 통산일 및 일적위 계산

월	통산일 계산	일적위 계산		
		평균일(i)	통산일(n)	일적위(δ)
1월	i	17	17	-20.9
2월	31+i	16	47	-13.0
3월	59+i	16	75	-2.4
4월	90+i	15	105	9.4
5월	120+i	15	135	18.8
6월	151+i	11	162	23.1
7월	181+i	17	198	21.2
8월	212+i	16	228	13.5
9월	243+i	15	258	2.2
10월	273+i	15	288	-9.6
11월	304+i	14	318	-18.9
12월	334+i	10	334	-23.0

나) 태양시간각⁶⁷⁾(ω , solar hour angle)과 일몰시간각(ω_s)

태양시간각은 특정지역의 자오선과 태양이 이루는 각으로 오전에는 음수(-), 오후에는 양수(+)를 나타내며, 정오의 0을 기준으로 시간당 15° 씩 변화한다.

$$\omega = \frac{24 - T}{24} \times 360 = 15(12 - T) \quad (\text{수식 3.2})$$

여기서, T : 시간

일몰시간각은 일몰시의 태양시간각으로 다음 (수식 3.3)으로 표현된다.

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta \quad (\text{수식 3.3})$$

여기서, ϕ :위도(°)

대기권 밖 일사량과 대기청명도는 수평면의 일간 대기권 밖 일사량(H_o)은 n일에 대해 다음 (수식 3.4)으로 계산된다.

65) Duffie J. A., Beckman W. A., Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, Inc., 1991

66) 윤년일 경우 3월부터 통산일에 1을 더해줌

67) 김민수, 실리콘(Si)계의 태양전지(solar cell) 발전 시스템 최적 설계 연구, 영남대학교 석사학위논문, 2006.6, p.14

$$H_o = \frac{86400 G_{cs}}{\pi} (1 + 0.033 \cos(2\pi \frac{n}{365})) (\cos\phi \cos\delta \sin\omega_s + \omega_s \sin\phi \sin\delta) \quad (\text{수식 3.4})$$

여기서, G_{sc} : 태양상수 ($1,353 \text{ W/m}^2$)

(2) 경사면의 일사량

수평면 일사량은 일반적으로 기상청에서 제공되는 수평면 일사량을 이용하고 있으며, 대한민국 표준기상데이터에서 제공하는 값이 적용되었다.

PV 어레이의 시간당 일사량의 계산은 등방형 모델에 의해 계산되는데, 가장 정확한 값은 아니지만 사전 타당성 검토 단계에서는 충분히 사용 가능하다⁶⁸⁾.

$$H_t = H_b R_b + H_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + H\rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (\text{수식 3.5})$$

여기서, H_b : 직달 일사량 (W/m^2)

R_b : 수평면에 대한 경사면에서의 일사량 비

H_d : 확산 일사량 (W/m^2)

H : 수평면에서의 일사량 (W/m^2)

β : 경사각 ($^\circ$)

ρ : 지표면 반사율(알베도)

여기서 반사율 ρ 는 평균 월의 온도가 0°C 이상이면 0.2, -5°C 이하이면 0.7, 그리고 그 사이에는 내삽법에 의해 정해진다.

: 수평면에 대한 경사면의 일사량 비 (R_b)

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (\text{수식 3.6})$$

여기서, θ : 입사각⁶⁹⁾

68) RETScreen, Photovoltaics project analysis, 2003 p.17~23

69) Murat Kacira et. al, Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey, Renewable Energy 29,2004, p.1265~1275

$$\begin{aligned}\theta = & \cos^{-1}([\sin(\delta)\sin(\phi)\cos(\theta_z)] - \sin(\delta)\cos(\phi)\sin(\theta_z)\cos(\gamma) \\ & + [\cos(\delta)\cos(\phi)\cos(\theta_z)\cos(\omega)] + [\cos(\delta)\sin(\phi)\sin(\theta_z)\cos(\gamma)\cos(\omega)] \\ & + [\cos(\delta)\sin(\theta_z)\sin(\gamma)\sin(\omega)])\end{aligned}$$

(수식 3.7)

$$\begin{aligned}\theta_z : & \text{천정각} (^{\circ}) \\ \theta_z = & \cos^{-1}([\cos(\phi)\cos(\delta)\cos(\omega)] + \sin(\phi)\sin(\delta))\end{aligned}$$

(수식 3.8)

$$\gamma : \text{PV면의 방위} (^{\circ})$$

(3) PV어레이의 효율과 손실

PV어레이의 평균효율(η_p)은 평균 모듈온도(T_c)의 함수이다.

$$\eta_p = \eta_r [1 - \beta_p (T_c - T_r)]$$

(수식 3.9)

여기서, η_p : 평균효율(average efficiency)

η_r : 기준온도(25℃)에서의 PV모듈 효율

β_p : 모듈의 효율에 대한 온도계수

T_c : 평균 모듈온도(℃)

T_r : 기준온도 25℃

평균모듈온도는 대기압에서의 평균 온도 T_a 와 관계가 있다.

$$T_c = (219 + 832\overline{K_t}) \frac{NOCT - 20}{800} + T_a$$

(수식 3.10)

여기서, T_a : 평균온도

K_t : 대기청명도

η_r 는 사용자에게 의해 결정되며, NOCT, β_p 는 PV모듈 형태에 따라 <표 3.21>의 주어진 값을 이용하였다.

<표 3.21> 표준 기술에서 PV모듈 특성

PV module type	η_r (%)	NOCT (°C)	β_p (%/°C)
Mono-Si	13.0	45	0.40
Poly-Si	11.0	45	0.40
a-Si	5.0	50	0.11
CdTe	7.0	46	0.24
CIS	7.5	47	0.46

(4) PV를 통해 생산된 에너지

PV 어레이에 의해 공급되는 에너지 E_p 와 기타 손실에 의해 보정된 E_a 는 다음 (수식 3.11)에 의해 계산된다.

$$E_p = S\eta_p H_t \quad (\text{수식 3.11})$$

여기서, S:모듈 면적

$$E_a = E_p(1 - \lambda_p)(1 - \lambda_c) \quad (\text{수식 3.12})$$

여기서, E_a :사용 가능 에너지

λ_p : PV어레이 손실률(%)

λ_c : 기타 손실률(%)

계통 연계의 발전량(E_{grid})은 송전계통에 공급되는 에너지는 인버터 손실을 고려하여 어레이에 의해 생산되는 에너지이다.

$$E_{grid} = E_A \eta_{inv} \quad (\text{수식 3.13})$$

여기서, η_{inv} : 인버터 효율

따라서 최종 사용가능한 발전량(E_{dvd})은 이러한 에너지가 모두 송전계통에 의해 흡수되는 것은 아니며, 송전계통의 형태에 따라 달라질 수 있다.

$$E_{dlvd} = E_{grid} \eta_{abs}$$

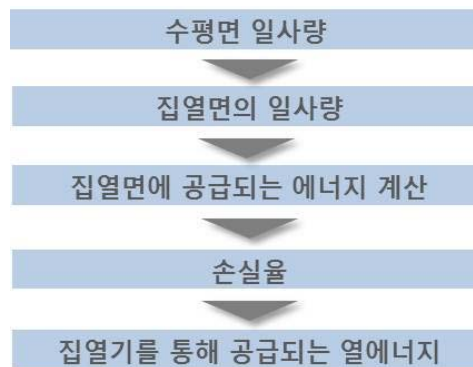
(수식 3.14)

여기서, E_{dlvd} : 최종 사용 가능 에너지

η_{abs} : PV에너지 흡수율

3.2.3 태양열시스템의 성능예측

적용된 태양열 시스템의 태양열 집열기는 평판형 및 진공관형 집열기를 대상으로 하였으며, 집열기에서 생산된 열에너지는 모두 도시 내에서 소비되는 것으로 가정하였다. 태양열 시스템의 적용범위도 태양광과 마찬가지로 건물의 옥상면으로 한정하였다. 태양열시스템의 계산체계는 (그림 3.4)와 같다.



(그림 3.4) 태양열시스템의
계산체계

(1) 경사면의 일사량

태양열시스템의 경사면 일사량은 앞 절의 태양광발전시스템과 동일한 방법으로 계산하였다.

(2) 원수온도(cold water temperature)

태양열시스템의 난방에 사용되는 원수의 온도는 2월 및 8월에 각각 최소 및 최대가 되며, 다음식과 같이 월별로 계산하였다.

$$T_i = \frac{T_{\min} + T_{\max}}{2} - \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \cos\left(2\pi \frac{n-2}{12}\right)$$

(수식 3.15)

여기서, T_i : 원수온도(집열기 입구 열매체 온도) (K)

$T_{\max}$: 원수의 최대온도

$T_{\min}$: 원수의 최소온 n : 월 수

(3) 집열기에서 생성되는 열에너지

$$Q_u = F_R(\tau\alpha)G_{eff} - F_RU_L\Delta T$$

(수식 3.16)

여기서, Q_u : 집열기에서 생산되는 집열량(W)

$F_R(\tau\alpha)$: 집열효율수정계수(collector heat removal factor)

F_RU_L : 집열기 열손실 계수(W/m²°C)

G_{eff} : 유효 일사량(W/m²)

ΔT : 외기와 작동유체간 온도차(°C)

<표 3.22> 일반적인 집열효율수정계수와 집열기열손실계수

구분	$F_R(\tau\alpha)$	F_RU_L ((W/m ²)/°C)
유창형 집열기	0.68	4.90
진공관형 집열기	0.58	0.70

(4) 배관 등에서의 열손실

배관 및 온수저장 탱크 등에서 발생하는 열 손실을 반영하며 일반적으로 약 1~10%정도이다.

$$Q_{dvd} = Q_u(1 - f_{los})$$

(수식 3.17)

3.2.4 풍력발전시스템의 성능예측

풍력발전시스템은 도시 내에서 건물위에 적용 가능한 높이의 풍속을 보정한 후 시간별 에너지 생산량을 계산하며 송전 손실률을 감안하여 최종 발전량을 산출한다.(그림 3.5)

적용되는 풍속은 표준기상데이터의 풍속을 활용하여 지열별 풍속 값을 적용하였으며, 소형풍력발전기를 대상으로 건물의 옥상면에 설치하는 것으로 한정하였다.



(그림 3.5) 풍력발전
시스템의 발전량 계산체계

(1) 높이 h 에서의 풍속 V_h

터빈허브에서의 풍속은 실제 풍속측정 높이와 터빈허브의 설치 높이가 상이하므로, 이에 대한 보정이 필요하며, 보정식은 여러 가지가 있지만 일반적으로 가장 오차가 적고 비교적 보정이 용이한 Deacon식⁷⁰⁾이 주로 이용된다.

$$V_h = \left(\frac{Z}{Z_a} \right)^\alpha \times U(Z_a) \quad (\text{수식 3.18})$$

여기서, Z : 발전기 설치 높이(건물높이+발전기 높이)

U_a : 실측된 풍속

Z_a : 실측된 고도(10m)

$$\alpha = a + b \ln [U(Z_a)]$$

$$a = \frac{1}{\ln(Z_g/Z_0)} + \frac{0.088}{1 - 0.088 \ln(Z_a/10)}$$

$$b = - \frac{0.088}{1 - 0.088 \ln(Z_a/10)}$$

$$Z_g (\text{기하학적 평균높이}) = \sqrt{Z \times Z_a}$$

Z_0 : 주변 지형의 거칠기 길이⁷¹⁾ (단독주택 지역: 0.4, 일반 지역:0.8)

70) 이동일 외, 풍력자원지도 개발 연구보고서, 기상청자료관리서비스팀, 2007.09

71) 지식경제부, 풍력발전단지 건설을 위한 지침서 및 지역 수용성 제고방안 연구, 2006

(2) 풍력 터빈의 발전량⁷²⁾

풍력터빈은 풍속에 따른 출력 에너지가 다르므로 풍력터빈 설치 높이에 따라 보정된 시간별 풍속 V_h 로 생산에너지 계산하며, 풍력터빈의 시동속도, 정격속도, 정지속도에 따라 다음과 같이 구분하여 계산한다.

i) V_h 의 풍속이 시동속도 이하인 경우

$$E=0$$

ii) V_h 의 풍속이 시동속도 이상 정격속도 이하인 경우

$$E = P_v = P_R \frac{(V_h^n - V_I^n)}{(V_R^n - V_I^n)}$$

(수식 3.19)

여기서, P_v : 풍속 x 에서의 터빈 출력(kW)

V_I : 시동속도 (m/s)

V_R : 정격속도 (m/s)

n : velocity power proportionality ($n=3$)

iii) V_h 의 풍속이 정격속도 이상 정지속도 미만인 경우

$$E = \text{정격출력}$$

iv) V_h 의 풍속이 정지속도 이상인 경우

$$E=0$$

(3) 발전량 실제 생산되는 연간 전력량

풍력발전기는 공기밀도에 따라 풍력 터빈의 생산량에 영향을 미치므로 이를 보정하며 터빈 배열 손실률은 풍력터빈이 1기 이상 운영될 때 상호작용으로 인하여 모든 터빈이 동일한 풍력을 이용할 수 있는 것이 아니며 이로 인한 손실률(보통 0~20%의 범위)로, 1기만 운영된다면 0, 8기 이하로 터빈

72) Sathyajith mathew, Wind Energy, Springer, 2006, p.146~p.148

배치가 잘 되었다면 손실률은 5%가 된다.

또한 터빈 날개에 결빙 또는 분진 흡착으로 인한 손실률은 별레, 얼음 등이 터빈 날개에 흡착되어 누적되면 터빈의 성능에 영향을 미칠 것이고 이는 세척 작업 및 heating 작업으로 개선할 수 있다.(0~10% 범위)

기기 보수 등으로 인한 정지 손실률은 정기 예방 점검 및 보수 등의 계획에 따른 풍력터빈 미가동 요인을 반영(2~7% 범위)하였으며, 기타 손실률은 위 항목 이외의 손실률로 풍력 터빈 기동 및 정지 손실, 돌풍의 고폭속으로 인한 터빈정지, 풍력터빈 현장에서 배전망까지의 송전 손실 반영하였다.(2~6% 범위)

따라서 위의 손실률들을 반영한 최종 생산 에너지는 다음 식으로 계산된다.

$$E_{re} = E \frac{P_m}{P_s} \frac{T_s}{T_m} (1 - \lambda_a)(1 - \lambda_i)(1 - \lambda_d)(1 - \lambda_m)$$

(수식 3.20)

여기서, P_m : 설비운영지점의 년 평균 대기압(kPa)

P_s : 표준 대기압(101.3 kPa)

T_m : 설비운영지점의 년 평균 절대온도(° k)

T_s : 표준절대 온도(288.1° k)

λ_a : 터빈 배열 손실률

λ_i : 터빈 날개에 결빙 또는 분진 흡착으로 인한 손실률(0~10%)

λ_d : 설비보수 등으로 인한 정지 손실률(2~7%)

λ_m : 터빈의 기동 시 발생하는 손실 등의 기타 손실률(2~6%)

3.2.5 지열시스템의 성능예측

지열시스템의 성능예측은 지중온도와 지열히트펌프의 입구온도, 시스템의 성능, 시스템의 부분부하율과 지중열교환기의 길이, 그리고 수평형 지중열교환기 설치면적과 같은 계산식을 통해 예측 가능하다.

(1) 지중 온도 계산

지열히트펌프의 성능 및 지중열교환기의 길이를 계산하기 위해서는 지중

깊이에서의 온도가 필요하며, 이는 IGSHPA(1998)에 의해 교란되지 않은 안정된 토양에 대해 다음 식에 의해 계산할 수 있다. 천부지열에너지를 이용하는 수평형 및 수직형 지중열교환기에 있어 지중 깊이는 평균깊이에 해당하며 특히, 수직형 지중열교환기의 경우 지표면 아래의 지중온도는 Kavanaugh and Rafferty(1997)⁷³⁾에 의하면 변화가 크지 않기 때문에 지중온도는 연평균 지표면 온도와 같은 것으로 계산될 수 있다.

$$T(X_s, t) = T_M - A_S \times \exp\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \times \cos\left\{\frac{2\pi}{365}\left(t - t_o - \frac{X_s}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}}\right)\right\}$$

(수식 3.21)

여기서, T_m : 연간 평균 지표면온도(℃)

A_S : 연간 지표면온도 변화폭(℃)

X_s : 지중 깊이(m)

α : 지중 열확산계수(m²/day)

t : 날짜 지연

t_o : 날짜

또한, 지중 깊이에서의 연간 최저 및 최고 지중 온도는 다음 식에 의해 계산할 수 있다.

$$T_L = T_M - A_S \times \exp\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \quad (\text{수식 3.22})$$

$$T_H = T_M + A_S \times \exp\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \quad (\text{수식 3.23})$$

여기서, T_L : 지중 깊이 X_s 에서의 연간 최저 토양온도(℃)

T_H : 지중 깊이 X_s 에서의 연간 최고 토양온도(℃)

본 연구에서 지열히트펌프시스템의 성능 및 지중열교환기의 길이 계산을

73) Kavanaugh, P.K. and Rafferty, K., Ground-source Heat Pumps - Design of Geothermal Systems For Commercial and Institutional Buildings, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA, USA, 1997

위해 이용한 평균 지중온도 및 열확산율은 다음 <표 3.23>⁷⁴⁾과 같으며, 인천과 광주 지역의 값은 기상조건 및 지리적 위치상 가장 비슷한 지역으로 판단되는 서울과 대전의 값을 각각 적용하였다.

<표 3.23> 지역별 평균 지중온도 및 열확산율

지명	경도	위도	평균 지중온도	열확산율
서울	126.97	37.57	15.62	0.0731
인천	126.63	37.48	15.62	0.0731
대전	127.37	36.37	16.09	0.0809
광주	126.88	35.17	16.09	0.0809
대구	128.62	35.88	15.23	0.0546
부산	129.03	35.10	16.11	0.0368

(2) 지열히트펌프 입구온도⁷⁵⁾

지열히트펌프의 성능은 지열히트펌프로 유입되는 순환유체의 온도와와 함수로서 나타낼 수 있으며, 냉방 및 난방시의 순환유체의 온도는 외기온도와 관계에 따라 다음 식과 같이 계산된다.

$$T_{ewt,h} = T_{ewt,min} + \left(\frac{T_{ewt,mean} - T_{ewt,min}}{TA_{mean} - TA_{min}} \right) (TA - TA_{min}) \quad (\text{수식 3.24})$$

$$T_{ewt,c} = T_{ewt,max} + \left(\frac{T_{ewt,max} - T_{ewt,mean}}{TA_{max} - TA_{mean}} \right) (TA - TA_{mean}) \quad (\text{수식 3.25})$$

여기서, $T_{ewt,h}$: 난방시 지열히트펌프 입구온도(℃)

$T_{ewt,c}$: 냉방시 지열히트펌프 입구온도(℃)

$T_{ewt,max}$: 하절기 지열히트펌프 최고 유입온도(℃)

$T_{ewt,min}$: 동절기 지열히트펌프 최저 유입온도(℃)

$T_{ewt,mean}$: 평균 지열히트펌프 유입온도(℃)

74) 산업자원부, GSHP의 지중열교환기 설계 및 시공기술 개발, 2006 p.24

75) IGSHPA, Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump Systems - Installation Guide, International Ground-source Heat Pump Association, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma, USA, 1988

$TA_{\max}$: 하절기 최고 외기온도(℃)

$TA_{\min}$: 동절기 최저 외기온도(℃)

TA_{mean} : 평균 외기온도(℃)

여기서 지중열교환기 출구에서의 순환유체의 최고 및 최저온도는 특별한 설계를 제외하고는 합리적인 범위를 갖으며, ASHRAE(1995)⁷⁶⁾ 및 Kavanaugh와 Rafferty(1997), IGSHPA(1998) 등에 의하면 다음 (수식 3.26~3.27)과 같은 순환유체 최저 및 최고온도를 제시하고 있다.

$$T_{ewt,\min} = T_L - 8.33^{\circ}\text{C} \quad (\text{수식 3.26})$$

$$T_{ewt,\max} = \min(T_H + 11.1^{\circ}\text{C}, 43^{\circ}\text{C}) \quad (\text{수식 3.27})$$

(3) 지열히트펌프 시스템 성능⁷⁷⁾

지열히트펌프 시스템의 COP(Coefficient Of Performance)는 히트펌프 입구측 순환유체의 온도에 관한 함수이며, 본 연구에서는 Tarnawski(1990)에 의해 개발된 순환유체 온도에 따른 히트펌프의 COP 상관식을 이용하였으며, 히트펌프 입구측에서의 순환유체 온도에 대한 함수로써 히트펌프의 용량 및 COP를 모델링하기 위해서 2차의 상관관계식을 사용하였으며, 냉방과 난방에 있어 히트펌프의 용량 및 COP의 상관식은 다음 식과 같다.

$$Q_c = \chi(\lambda_0 + \lambda_1 T_{ewt} + \lambda_2 T_{ewt}^2) \quad (\text{수식 3.28})$$

$$Q_h = \chi(\lambda_0 + \lambda_1 T_{ewt} + \lambda_2 T_{ewt}^2) \quad (\text{수식 3.29})$$

$$COP_{C, actual} = COP_{C, standard}(k_0 + k_1 T_{ewt} + k_2 T_{ewt}^2) \quad (\text{수식 3.30})$$

76) ASHRAE, Commercial/Institutional Ground-Source Heat Pump Engineering Manual, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA, USA, 1995

77) RETScreen, Ground-Source Heat Pump Project Analysis, 2005 p.55~56

$$COP_{H,actual} = COP_{H,standard}(k_0 + k_1 T_{ewt} + k_2 T_{ewt}^2) \quad (\text{수식 3.31})$$

여기서, χ : Capacity multiplier

$COP_{C,standard}$: 지열히트펌프 표준 냉방 COP
(Standard Rating Condition: 25℃ for Cooling)

$COP_{H,standard}$: 지열히트펌프 표준 난방 COP
(Standard Rating Condition: 0℃ for heating)

$COP_{C,actual}$: 지열히트펌프 작동시 냉방 COP

$COP_{H,actual}$: 지열히트펌프 작동시 난방 COP

위 수식을 χ 에 대해 정리하면 냉방 및 난방에 있어 각각 다음 식과 같으며, (수식 3.32~3.33)을 (수식 3.28~3.29)을 이용하여 정리하면 다음 식과 같다.

$$\chi = \frac{Q_{c,design}}{\lambda_0 + \lambda_1 T_{ewt,max} + \lambda_2 T_{ewt,max}^2} \quad (\text{수식 3.32})$$

$$\chi = \frac{Q_{h,design}}{\lambda_0 + \lambda_1 T_{ewt,min} + \lambda_2 T_{ewt,min}^2} \quad (\text{수식 3.33})$$

$$Q_c = \frac{Q_{c,design}(\lambda_0 + \lambda_1 T_{ewt} + \lambda_2 T_{ewt}^2)}{\lambda_0 + \lambda_1 T_{ewt,max} + \lambda_2 T_{ewt,max}^2} \quad (\text{수식 3.34})$$

$$Q_h = \frac{Q_{h,design}(\lambda_0 + \lambda_1 T_{ewt} + \lambda_2 T_{ewt}^2)}{\lambda_0 + \lambda_1 T_{ewt,min} + \lambda_2 T_{ewt,min}^2} \quad (\text{수식 3.35})$$

여기서, Q_c : 지열히트펌프 냉방 용량(kW)

Q_h : 지열히트펌프 난방 용량(kW)

$Q_{c,design}$: 지열히트펌프 설계 냉방 용량(kW)

$Q_{h,design}$: 지열히트펌프 설계 난방 용량(kW)

여기서 상관계수 k_0, k_1, k_2 와 $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ 는 아래 <표 3.24>를 통해 알 수 있다.

<표 3.24> 지열히트펌프 냉방 및 난방 시 COP 및 용량 상관관계수

상관 계수		냉방	난방
COP	k_0	1.53105836E+00	1.00000000E+00
	k_1	-2.29609500E-02	1.55970900E-02
	k_2	6.87440000E-05	-1.59310000E-04
Capacity	λ_0	1.41186164E+00	6.67872140E-01
	λ_1	-2.56202000E-03	2.79889800E-02
	λ_2	-7.24820000E-05	-1.06360000E-04

지열히트펌프의 유효 용량과 지중열교환기의 부하와의 관계는 다음 식에 의해 계산할 수 있다.

$$Q_{he,c} = Q_c \frac{(COP_{C,actual} + 1)}{COP_{C,actual}} \quad (\text{수식 3.36})$$

$$Q_{he,h} = Q_h \frac{(COP_{H,actual} - 1)}{COP_{H,actual}} \quad (\text{수식 3.37})$$

여기서, $Q_{he,c}$: 지열히트펌프 지중 열방출량(kW)

$Q_{he,h}$: 지열히트펌프 지중 열흡열량(kW)

또한 지열히트펌프 시스템의 냉방과 난방작동 시, 소비한 에너지량은 각각 다음 식에 의해 계산할 수 있다.

$$Power_C = \frac{Q_c}{COP_{C,actual}} \quad (\text{수식 3.38})$$

$$Power_H = \frac{Q_h}{COP_{H,actual}} \quad (\text{수식 3.39})$$

여기서, $Power_C$: 지열히트펌프 냉방시 소비전력(kW)

$Power_H$: 지열히트펌프 난방시 소비전력(kW)

(4) 지열히트펌프 시스템의 부분부하율⁷⁸⁾

지열히트펌프시스템의 시계열을 통한 에너지생산량을 예측하기 위해서는 부분부하 상태에서의 시스템의 에너지 사용 예측이 필요하며, 상관관계는 각 시간에 대한 부분부하비율(PLR)에 대한 함수로서 다음 식과 같이 표현된다.

$$PLR = \frac{Hourly\ Load}{Available\ Capacity} \quad (\text{수식 3.40})$$

시스템의 부분부하 성능을 예측하는 선형 C_d 법은 PLR이 “0”에 접근함에 따라 부분부하 효율은 “0”으로 접근하지 않는 문제가 있기 때문에 Bonne은 낮은 부하상태에서도 부분부하 효율을 효과적으로 나타낼 수 있는 수정된 PLF식을 적용하였다.

$$PLF' = \frac{PLR}{\left\{ \frac{PLR}{PLF} + \left(1 - \frac{PLR}{PLF} \right) pr \right\}} \quad (\text{수식 3.41})$$

여기서, PLR : 부분부하비율(Part load ratio)

PLF' : 부분부하효율(Part load factor)

pr : 작동 시 전력 비율

본 연구에서는 지열히트펌프 시스템의 부분부하 성능을 예측하기 위해 수정된 PLF' 를 이용하여 계산된 일반적인 히트펌프의 EIR(Energy input ratio)에 대한 상관식을 이용하여 부분부하 효율을 예측하였으며 상관식은 다음 식과 같다.

$$EIR = 0.00988125 + 1.08033PLR - 0.105276PLR^2 + 0.0151403PLR^3 \quad (\text{수식 3.42})$$

여기서, EIR : 부분부하비율(Part load ratio)

78) Hugh Henderson, Yu Joe Huang, Danny Parker, Residential Equipment Part Load Curves for use in DOE-2, 1999

(5) 지중열교환기 길이⁷⁹⁾

지중열교환기의 길이를 계산하기 위해 IGSHPA(The International Ground Source Heat Pump Association ; 1988)에 의해 채택되어 광범위하게 사용되고 있는 방식을 이용하였으며, 냉방과 난방에 있어 지중열교환기의 길이를 계산하는 방법은 다음 식과 같다.

$$L_C = \frac{Capacity_C \left\{ \frac{(COP_{C,standard} + 3.412)}{COP_{C,standard}} \right\} \times (R_P + R_S \times F_C)}{(T_{ewt,max} - T_H)} \quad (\text{수식 3.43})$$

$$L_H = \frac{Capacity_H \left\{ \frac{(COP_{H,standard} - 1)}{COP_{H,standard}} \right\} \times (R_P + R_S \times F_H)}{(T_L - T_{ewt,min})} \quad (\text{수식 3.44})$$

여기서, R_p : 파이프 열저항(h·m℃/kcal)

R_s : 토양 열저항(h·m℃/kcal)

F_C : 하계 기준 부분부하율

F_H : 동계 기준 부분부하율

지중열교환기 길이 산출식에서 하계 기준 부분부하율 F_C 와 동계 기준 부분부하율 F_H 는 다음 식을 통해 계산할 수 있다.

$$F_H = \frac{\overline{q_{jan}}}{q_{max,jan}} \quad (\text{수식 3.45})$$

$$F_C = \frac{\overline{q_{aug}}}{q_{max,aug}} \quad (\text{수식 3.46})$$

여기서, $\overline{q_{jan}}$: 1월 평균 난방부하(kWh)

$\overline{q_{aug}}$: 8월 평균 냉방부하(kWh)

79) RETScreen, Ground-Source Heat Pump Project Analysis, 2005 p.49~50

$q_{\max, jan}$: 1월 최대 난방부하(kWh)

$q_{\max, aug}$: 8월 최대 냉방부하(kWh)

또한 지중열교환기의 파이프 및 토양 열저항인 R_p 와 R_s 는 다음 (그림 3.6)⁸⁰⁾을 사용하여 구할 수 있다.

PIPE SIZE		R_p				R_s (HEAVY SOIL - DAMP)										R_s (ROCK)
		R_{pe}				R_s (HEAVY SOIL - DRY OR LIGHT SOIL - DAMP)										R_s (HS-DAMP)
		PE SCH 40	PE SDR-11	PB SDR-17	PB SDR-13.5	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4	5
3/4		.17 .116	↑	↑	↑	1.02 1.38	1.06 1.44	1.09 1.47	1.11 1.49	1.31 1.77	1.37 1.84	2.05 2.75	2.15 2.86	2.11 2.85	1.88 2.53	0.60 1.06
1		.159 .109				0.97 1.32	1.02 1.37	1.04 1.40	1.06 1.42	1.26 1.70	1.32 1.77	2.00 2.68	2.10 2.79	2.07 2.78	1.84 2.47	0.57 1.01
1 1/4		.130 .089	.141 .096	.16 .11	.20 .14	0.92 1.25	0.97 1.31	0.99 1.34	1.01 1.36	1.22 1.63	1.27 1.70	1.96 2.61	2.05 2.72	2.02 2.71	1.79 2.40	0.54 0.96
1 1/2		.117 .080				0.89 1.21	0.94 1.27	0.97 1.30	0.98 1.32	1.19 1.59	1.25 1.66	1.92 2.57	2.02 2.68	1.99 2.67	1.76 2.36	0.53 0.94
2		.098 .068	↓	↓	↓	0.85 1.15	0.89 1.20	0.92 1.24	0.94 1.26	1.14 1.53	1.20 1.60	1.88 2.51	1.98 2.62	1.94 2.61	1.71 2.29	0.50 0.89

T = 1500 hours

(그림 3.6) 파이프 및 토양 열저항 값

(6) 수평형 지중열교환기 설치 면적

수평형 지중열교환기의 설치면적은 트렌치 길이와 수 및 이격 거리를 이용하여 산정하며, 트렌치 길이는 (수식 3.43~3.44), 트렌치 수는 (수식 3.47)에 의해 계산되며, 일반적인 이격 거리는 2.1m이다.

또한 지중열교환기를 순환하는 유체의 유량은 지중열교환기 부하인 (수식 3.36)와 (수식 3.37)를 통해 계산된 결과와 순환유체의 온도차(일반적으로 냉방시 5℃, 난방시 3℃)를 이용하여 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{트렌치 수} = \text{순환유체 유량} \div \text{순환유체 설계 유량} \quad (\text{수식 3.47})$$

지중열교환기를 순환하는 유체의 유량은 다음 식에 의해 계산한다.

80) IGSHPA, Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump Systems - Installation Guide, International Ground-source Heat Pump Association, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma, USA, 1988

$$\dot{m} = Q \div \Delta T \times 16.67 \quad (\text{수식 3.48})$$

여기서, $\dot{m}$: 지중열교환기 순환유체 유량(lpm)

Q : 지중열교환기 부하

if $L_c > L_h$, $Q = Q_{he,c}$, $L_c < L_h$, $Q = Q_{he,h}$

ΔT : 지중열교환기 순환유체 온도차(°C)

순환유체의 설계유량은 <표 3.25>⁸¹⁾의 지중열교환기 순환유체의 관경별 최소유량의 표를 참고하여 난류가 되기 위한 적정 지중 순환회로의 관경별 최소유량을 산정한다.

<표 3.25> 난류가 되기 위한 지중 순환회로의 관경별 최소유량

호칭직경 (mm)	물(4℃) (lpm)	Calcium Chloride 20%(-4℃)	Propylene Glycol 20%(-4℃)	Methanol 20%
PE(SDR-11) 20 (3/4")	4.16	8.69	12.85	9.07
PE(SDR-11) 25 (1")	4.91	10.96	16.64	11.72
PE(SDR-11) 32 (1 1/4")	6.43	13.61	20.80	14.75
PE(SDR-11) 40 (1 1/2")	7.82	15.50	23.82	16.64
PE(SDR-11) 50 (2")	7.07	19.66	29.87	20.80
PE(SCH 40) 20 (3/4")	3.78	8.32	12.48	8.69
PE(SCH 40) 25 (1")	4.91	10.58	15.88	11.34
PE(SCH 40) 32 (1 1/4")	6.43	13.99	21.17	14.75
PE(SCH 40) 40 (1 1/2")	7.56	16.26	24.57	17.39
PE(SCH 40) 50 (2")	9.45	20.80	31.75	22.30
PB(SDR-17,IPS) 40 (1 1/2")	7.94	17.01	25.71	18.14
PB(SDR-17,IPS) 50 (2")	9.83	21.17	32.13	22.30
PB(SDR-13.5,CTS) 25 (1")	4.54	9.45	14.75	10.21
PB(SDR-13.5,CTS) 32 (1 1/4")	5.29	11.72	17.76	18.52
PB(SDR-13.5,CTS) 40 (1 1/2")	6.43	13.99	21.17	14.75
PB(SDR-13.5,CTS) 50 (2")	8.32	18.15	27.60	19.28

트렌치의 1개당 길이는 앞서 산정된 지중열교환기의 길이를 (수식 3.43~3.44)에서 산정된 트렌치의 수로 나누어 계산되며, 수평형 지중열교환기의 설치면적은 계산된 트렌치 1개장 길이와 트렌치의 수 이격거리를 곱하

81) 산업자원부, GSHP의 지중열교환기 설계 및 시공기술 개발, 2006 p.48

여 계산한다.

$$\text{수평형 지중열교환기 설치면적}(m^2) = \text{트렌치 길이}(m) \times \text{트렌치 수} \times \text{이격거리}(m)$$

(수식 3.49)

(7) 수직형 지중열교환기 설치 면적

수직형 지중열교환기의 설치면적은 보어홀의 수와 이격거리에 의해 개략적인 계산결과를 산출할 수 있으며, 보어홀의 개수는 앞서 계산된 지중열교환기의 길이를 보어홀의 길이로 나누어 계산되며, 보어홀의 이격 거리는 일반적으로 4, 5, 6m이다.

$$\text{수직형 지중열교환기 설치면적}(m^2) = \text{보어홀 개수} \times (\text{이격거리})^2$$

(수식 3.50)

3.3 소결

본 장에서는 도시 신재생에너지 복합 적용을 위한 성능평가를 위해 도시의 에너지 소비량 예측 및 소비패턴을 분석하고, 도시에 적용성이 높은 대상 시스템인 태양광, 태양열, 풍력, 지열 시스템에 대한 성능 예측식을 도출하였다. 도시의 신재생에너지 복합 적용을 위한 기본은 도시에서 소비되는 에너지의 부분별 소비량을 파악하고 부분별 적용 가능한 신재생에너지 시스템의 성능 예측 식을 통해 시스템별 부하분담률을 산정하는 것이 가장 기본이라고 할 수 있다.

따라서 도시에 에너지 소비량 분석을 위해 도시를 구성하고 있는 대표건물을 용도별로 선정하여 시뮬레이션을 통해 분석하고 건물용도별 에너지 소비량을 기존의 연구 및 에너지총조사보고서의 값과 비교하였다. 표준건물용도별 단위면적당 에너지 소비량은 <표 3.26>과 같으며, 기존의 관련연구와 에너지총조사보고서의 값과 비교 검토한 결과, 시뮬레이션을 통해 도출한 표준건물의 에너지 소비량이 도시의 에너지 소비량 예측을 위한 기본 데이터로 활용가능하다고 판단하였다.

<표 3.26> 표준건물용도별 단위면적당 에너지 소비량(단위 : kWh/m²)

	단독주택	공동주택	업무시설	상업시설	학교건물
난방	140.1	95.8	51.2	45.8	64.4
냉방	19.4	26.8	32.8	91.2	18.2
급탕	27.2	28.8	8.4	14.7	13.4
전력	52.8	46.8	179.9	297.8	45.9
Total	239.6	198.2	259.0	449.5	141.9

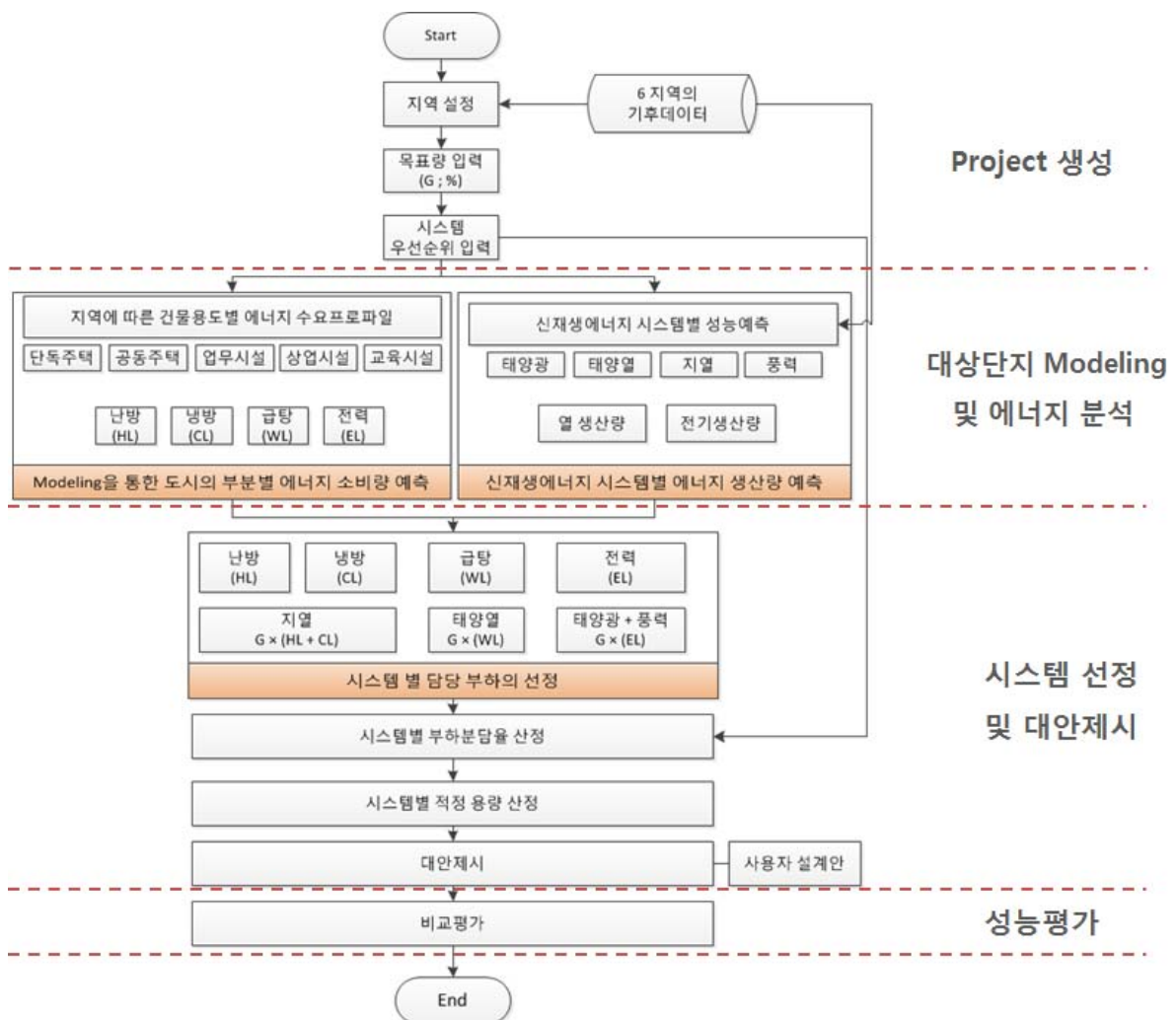
또한 신재생에너지 시스템별 성능예측은 기존의 신재생에너지 성능평가 프로그램 내의 신재생에너지 시스템별 에너지 생산량 예측식을 이용하여 평가하였다.

따라서 4장에서는 3장에서 도출된 데이터베이스를 기반으로 하는 프로그램의 개발을 위한 로직 및 방법을 도출하고자 한다. 프로그램의 로직 및 알고리즘은 프로그램의 진행 순서를 토대로 도출하고자 한다.

제 4 장 신재생에너지 복합 적용을 위한 성능평가 프로그램 개발

4.1 프로그램의 로직 및 알고리즘

프로그램의 로직 및 알고리즘은 프로그램의 진행 순서에 맞게 관련 데이터 베이스를 이용하여 전산화하였다. 프로그램의 진행 순서 및 전체 구조는 다음 (그림 4.1)과 같이 프로젝트 생성 - 대상 단지 모델링 - 시스템 선정 및 대안제시 - 성능평가의 순으로 이루어진다.



(그림 4.1) 프로그램의 진행 순서 및 전체구조

4.1.1 프로젝트 생성

프로젝트 생성단계에서는 프로젝트 명을 입력하고, 대상지역을 선택하여 대상지역에 맞는 기후데이터가 적용될 수 있도록 한다. 그리고 도시 전체 에너지 소비량에 대한 신재생에너지 공급량을 목표량으로 선정하고, 시스템 우선순위를 설정한 후, 마지막으로 분석 대상지역의 규모를 설정한다.

(1) 지역설정

프로젝트에서 선정할 수 있는 지역은 6지역으로 서울, 인천, 대전, 대구, 광주, 부산으로 설정하였다. 지역에 따라 도시의 에너지 소비량과 신재생에너지 시스템을 통한 에너지 생산량에 차이가 발생하므로, 초기에 지역을 설정하는 것은 매우 중요한 입력 요소 중 하나이다.

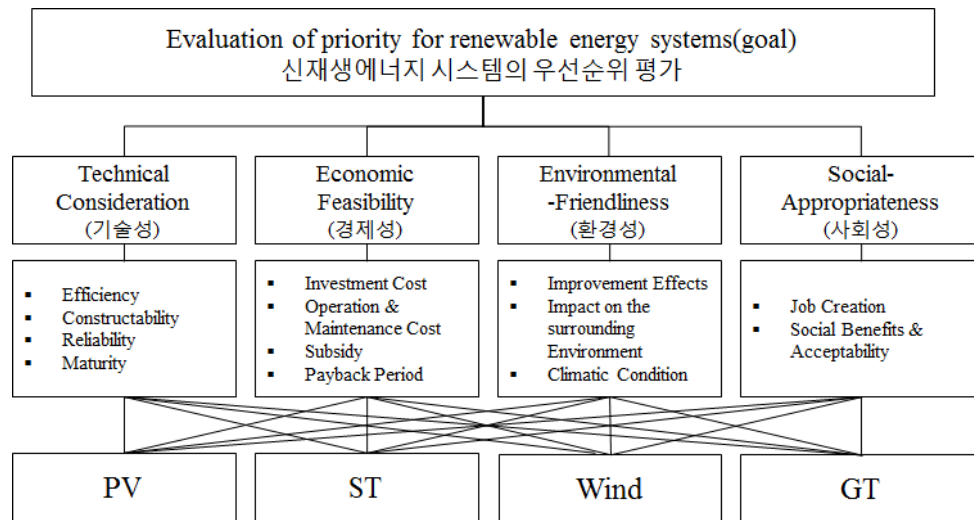
(2) 목표량 입력

도시에서 소비되는 전체 에너지 소비량에 대한 신재생에너지 시스템을 통해 공급할 에너지량을 설정하는 단계이다. 초기의 목표량 설정은 시스템의 용량 산정에 영향을 끼치므로 중요하다. 따라서 도시의 신재생에너지 복합 적용을 위해서는 초기에 신재생에너지 시스템을 통해 공급할 최종 목표량을 선정하고 계획하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

(3) 시스템 우선순위 입력

도시에 신재생에너지를 적용하는데 있어서 기존까지는 도시에 에너지 소비에 가장 부합하는 시스템을 우선적으로 선정하여 도입하는 경우가 많았다. 하지만 신재생에너지의 복합 적용 시, 적용 시스템에 대한 기술성, 경제성과 같은 정량적인 평가 기준이외에도 환경성, 사회성 등 정성적인 평가기준까지 평가하여 도입하는 것이 보다 합리적이라 판단된다. 이러한 다양한 평가기준을 통한 객관적 시스템의 평가는 도시 신재생에너지 복합 적용을 위한 시스템 선정 시, 시스템 선정의 적정성 평가를 위한 자료로 활용가능하다. 따라서 신재생에너지의 복합 적용 시 시스템 선정에 직·간접적으로 영향을 끼칠 수 있는 모든 요인을 도출하고, 각각의 도출된 영향요인에 대한 중요도를 평가

하고, 그에 따른 시스템별 우선순위를 도출하여 최종적인 시스템 우선순위를 도출하는 것이 중요하다고 판단된다.



(그림 4.2) 신재생에너지시스템 우선순위 평가체계

시스템 선정에 영향을 미치는 요인은 기존의 문헌연구를 통해 도출하였으며, 문헌연구 결과 기술성, 경제성, 환경성, 사회성이 영향요인으로 도출되었고 영향요인별 총 13개의 하위항목으로 분류하여 평가하였다. 영향요인에 대한 중요도 평가결과, 경제성 > 환경성 > 기술성 > 사회성 순으로 높은 가중치를 가지는 것으로 나타났으며, 각각의 중요도 평가 결과는 다음 <표 4.1>과 같다. 또한 위의 (그림 4.2)와 같이 시스템 우선순위 평가체계에 따라 총 13개의 항목에 대한 시스템 우선순위를 비교·평가한 결과, 지열 > 태양열 > 태양광 > 풍력 순으로 시스템 적용 우선순위가 높은 것으로 평가되었다⁸²⁾. 이러한 시스템 우선순위 평가 결과를 프로그램에 Default 값으로 기본적으로 반영하였으며 동시에 사용자가 직접 시스템 우선순위를 입력 할 수 있도록 하였다.

82) 변수영 외 3명, 신재생에너지시스템의 복합 적용을 위한 시스템 우선순위 평가, 2010 대한건축학회 추계학술발표대회(계획계)

<표 4.1> 시스템 선정을 위한 영향요인별 중요도 평가결과

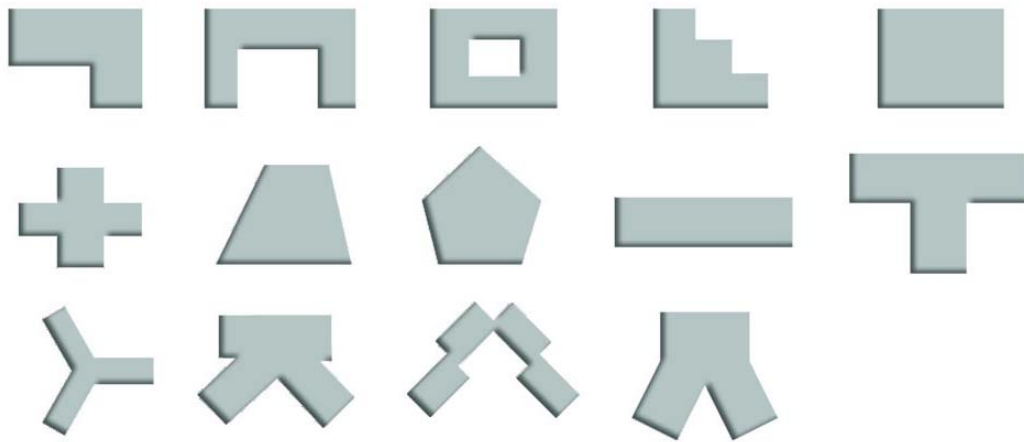
상위항목	하위항목	하위항목중요도
기술성 (0.256)	시스템의 효율성	6.2
	시공의 용이성	5.2
	에너지공급의 신뢰성	5.9
	기술성숙도	5.4
경제성 (0.329)	초기투자비	5.4
	유지관리비	5.9
	보조금지원	5.5
	투자회수기간	5.7
환경성 (0.284)	환경개선효과	6.0
	주변 환경에 미치는 영향	5.5
	기후조건	5.7
사회성 (0.131)	시스템도입에 따른 일자리창출	4.9
	사회적 인식 및 수용	5.5

4.1.2 대상단지 모델링 및 에너지 분석

대상 도시의 건물 모델링을 통해 적용 대상지의 에너지 특성을 분석하는 단계로, 이를 통해 도시의 에너지 수요를 분석하고 그에 따른 신재생에너지 시스템의 적용안 계획을 위해 필요한 단계이다.

(1) 모델링을 통한 에너지 소비량의 도출

모델링은 대상단지를 구성하고 있는 건물의 용도, 층수, 기준층 면적, 층고, 건물형태 등을 기존의 도시와 유사하게 모델링 할 수 있도록 구성하였다. 건물의 용도별로 3장에서 제시된 단독주택, 공동주택, 상업시설, 업무시설, 학교건물에 대한 에너지 소비패턴 및 소비량을 제공하고 있으며, 층수, 기준층 면적, 층고 등은 건물의 특성에 맞게 입력 가능하도록 구성되어 있다. 건물의 형태는 아래의 (그림 4.3)과 같이 기존건물의 다양한 형태를 반영하였다.



(그림 4.3) 건물의 형태

(2) 신재생에너지 시스템의 생산량 예측

지역에 따른 신재생에너지 시스템의 생산량 예측은 3장에서 제시된 신재생에너지 시스템의 생산량에 영향을 미치는 기후조건 8개와 각 시스템별 성능 예측식을 통해 도출된다.

4.1.3 시스템 선정 및 적정 대안제시 과정

시스템 선정 방법은 앞선 4.1.1에서 설명한 두 가지 방법에 의해 선정된다. 하나는 복합적용 대상 시스템간의 객관적인 평가를 통한 결과를 바탕으로 프로그램 상에서 제시하는 시스템 우선순위에 의한 선정과 다른 하나는 사용자의 우선순위 선정에 의한 것이다. 따라서 프로그램 상의 대안 제시는 도시의 에너지 소비특성과 시스템의 우선순위에 의한 에너지 소비 부분별 시스템 부하분담률에 의해 제시된다.

신재생에너지 복합적용을 위한 대안선정은 도시의 부분별 에너지 소비율과 시스템 우선순위에 의해 시스템별 부하분담률을 산정한다. 그리고 대상 도시에 대한 신재생에너지원별 최대 적용 가능성을 평가한 뒤, 시스템별 최소 설치면적과 최대 적용 가능성을 비교하여 시스템의 설치가능여부를 판단한다. 그리고 목표량에 따른 시스템별 최대 설치 가능용량을 평가한 뒤, 최종 시스템별 적정 설치 용량을 산정하게 된다. 아래 (그림 4.4)는 대안설정 과정을 나타내고 있다.



(그림 4.4) 대안설정 과정

(1) 시스템별 담당부하의 선정

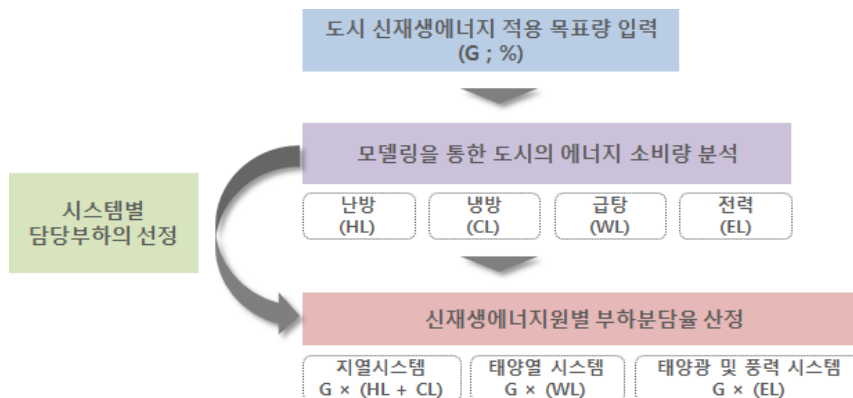
도시에서 사용되는 에너지는 크게 열과 전기의 형태로 구분된다. 그리고 열과 전기는 각각의 에너지 소비처의 용도에 맞게 사용된다. 열에너지는 도시의 냉난방에너지와 급탕에너지로 이용가능하고, 전기에너지는 일반전력으로 사용된다. 본 연구에서는 도시에서 소비되는 에너지 형태와 부하별 담당 시스템을 설정하여 각각의 신재생에너지 시스템이 도시의 에너지 소비 부하별로 담당할 수 있도록 설정하였다. 지열 시스템은 도시의 냉난방에너지를 생산하는데 활용 가능하지만, 우리나라의 지열원을 고려했을 때, 지열히트펌프 시스템으로 제한하고 이를 이용하여 건물의 난방 및 냉방에 필요한 예열(豫熱) 및 예냉(豫冷)의 효과만을 이용하는 것으로 한정하였다. 태양열 시스템은 그 사용 용도에 따라 난방 및 급탕에 모두 이용 가능하지만, 본 연구에서는 시스템의 효율을 고려하여 태양열 온수 급탕 시스템을 대상으로 하였다. 태양광과 풍력 시스템은 도시에서 소비되는 일반전력에 대한 에너지를 담당하며 풍력 시스템의 경우, 도시에 적용가능성이 높은 중·소형 풍력발전기를 대상으로 하였다.

<표 4.2> 도시에서 소비되는 에너지 형태와 부하별 담당 시스템

에너지 형태	부하 ⁸³⁾	담당 신재생에너지시스템
열	냉·난방부하 ⁸⁴⁾	지열 시스템
	급탕부하 ⁸⁵⁾	태양열시스템
전기	일반전력 ⁸⁶⁾	태양광 시스템
		풍력 시스템

(2) 신재생에너지원별 부하분담률 선정

신재생에너지원별 부하분담률은 (그림 4.5)와 같이 모델링을 통해 도출된 도시의 에너지 부분별 소비량의 결과를 토대로 각각의 에너지 부분별 담당 신재생에너지 시스템에 부합하도록 선정한다. 각각의 시스템에 대한 부하분담률 선정은 앞선 시스템 우선순위와 도시의 에너지 소비량을 토대로 산정한 다. 도시 단위에서 신재생에너지 시스템 적용 시, 에너지 소비량 및 소비비율에 대한 고려가 반드시 필요하며 에너지원별 에너지 소비비율을 적용시스템의 우선순위를 부여해야 한다⁸⁷⁾.



(그림 4.5) 시스템별 부하분담률 선정

(3) 최대 적용 가능성 평가

도시에 신재생에너지 복합 적용을 위해서는 일단 각 시스템별 신재생에너지시스템의 최대 적용 가능성을 평가하여 최대 적용 가능한 범위 안에서 도시의 에너지 소비에 따른 부하분담률을 선정해야 한다. 따라서 적용 가능한 최대 적용 가능성 평가는 시스템 별로 평가하였다.

가) 태양광과 태양열 시스템

83) <표 4.2>에서의 부하는 도시에서 소비되는 에너지를 용도에 맞게 분류하기 위한 것으로 도시에서 소비되는 에너지는 냉난방, 급탕, 일반전력과 같은 용도로 크게 구분할 수 있다.

84) 건물의 냉난방에 소비되는 열에너지를 의미한다.

85) 건물의 급탕에 소비되는 열에너지를 의미한다.

86) 건물의 조명 및 기기 등에 소비되는 전기에너지를 의미한다.

87) 이민희, op.cit., p 94

태양광과 태양열은 도시 및 건물에서 적용할 수 있는 적용부위가 한정된다. 태양광과 태양열의 경우, 도시에 활용할 경우, 건물의 옥상면과 입면에 적용가능하다. 하지만 입면의 경우, 태양광과 태양열을 적용하기 위해서는 연간 일정기준 이상의 일사량이 확보되는 위치에 적용해야 하는데 본 프로그램은 도시의 GIS 정보를 통한 건물 입면에 대한 일사량 분석에 어려움이 있기 때문에 입면에 비해 상대적으로 적용 잠재성이 매우 높은 옥상⁸⁸⁾에 적용하는 것으로 한정하였다. 따라서 본 프로그램에서의 시스템 적용은 태양광과 태양열의 경우, 옥상면으로 한정하였다.

나) 풍력

풍력발전의 경우, 건물의 옥상면이나 도시 내의 공지 등에도 적용가능성이 높은 것으로 알려져 있다. 하지만 도시에 풍력을 적용할 경우, 옥상면에 적용하는 경우가 많고, 일정 이상의 풍속을 확보하기 위해서는 건물의 옥상에 설치하는 것이 유리하다고 판단하여, 옥상면에 설치하는 것으로 한정하였다. 따라서 풍력의 경우, 건물 최고 높이에서의 풍속이 기준풍속 5m/s 이상인 건물 기준층의 연면적 합으로 최대 적용 가능성을 평가하였다. 그 이유는 기존연구에 의하면 중소형 풍력발전기의 경우, 평균풍속 5.3~5.6m/s에서 사업 타당성을 가진다고 보고⁸⁹⁾되고 있기 때문에 평균풍속 값의 근사 값이 5m/s를 기준풍속으로 한정하였다. 따라서 기후데이터를 기반으로 풍속 보정식을 이용해 지역별 풍속 5m/s 이상이 되는 지점의 높이를 계산해본 결과 다음 <표 4.3>과 같았다.

<표 4.3> 지역별 풍속 5m/s 이상이 되는 지점의 높이

지역	높이 (m)	지역	높이 (m)
서울	69	광주	48
인천	38	대구	48
대전	130	부산	22

다) 지열

88) 이민희, op.cit., p.47

89) 하정우, 국내풍력발전의 경제성분석, 아주대학교 석사학위 논문, 2006
산업자원부, 소형 풍력발전기기 성능평가 사업, 2002

지열의 경우, 기존 건물에 적용하는데 한계가 있으나 신축건물이나 공지가 있는 건물의 경우에 적용 가능하다고 판단하였다. 지열의 경우, 건축물의 지하에 시스템을 적용하는 경우도 있으나, 도시에서는 건물의 지하를 주차장으로 사용되는 경우가 많아 실제 시스템을 적용하는데 한계가 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서의 지열에 대한 최대 적용 가능성 평가는 건축물을 제외한 대지 면적의 합이 80%를 시스템 적용 가능면적으로 한정하였다.

(4) 시스템별 최소 설치면적 및 생산량 산정

단지 및 도시의 시스템 최대 설치 가능면적과 시스템별 최소 설치면적을 비교하여 최소 설치 면적이 시스템 설치 가능면적보다 크면 시스템 설치가 불가능하다고 판단하였다. 따라서 각 시스템별 최소 설치면적을 산정하여 적용지의 최대 설치 가능면적과 비교하는 것은 시스템 설치 가능성을 판단하는 일차적인 기준으로 판단하였다. 또한 최소 설치면적과 함께 각 시스템별 최소설치면적당 에너지 생산량을 검토해 보았다.

가) 태양광

태양광 시스템의 최소 설치면적 산정을 위해 태양전지의 설치방법에 대해 알아보았다. 태양광 발전시스템의 최소 설치 면적은 태양광 시스템의 배치시, 에너지 생산에 있어 가장 중요한 요인인 음영 발생을 억제하도록 최소 이격거리를 확보하여 태양전지를 배치하여야 한다. 따라서 태양광발전시스템의 경우 최소 이격거리를 다음 (수식 4.1)⁹⁰⁾을 이용하여 산출할 수 있다.

$$d = b \times \frac{\sin(180^\circ - \beta - \gamma)}{\sin \gamma}$$

(수식 4.1)

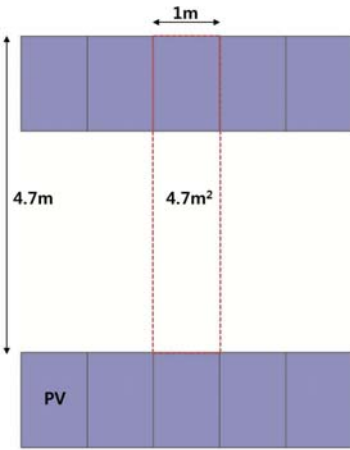
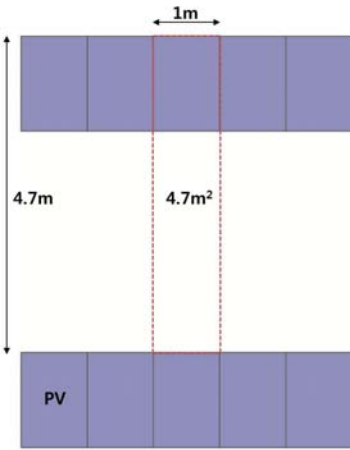
d : PV 모듈 간격 β : PV 경사각
 b : PV 모듈 높이 γ : 지역의 위도

옥상면의 경우 최대 발전량을 산출하고자 30°의 기울기, 정남(0°)향으로 설치하는 것으로 설정하였다. 위의 수식에 의해 산출된 태양광 대표 시스템

90) German Solar Energy Society, "Planning & Installing Photovoltaic Systems(second edition)", Earthscan, 2007, p.145

의 이격거리는 4.7m로, 최소 설치면적 산정을 위해 본 이격거리를 사용하여 산정하였다. 또한 <표 4.4>와 같이 태양광 시스템의 대표 사양을 설정하여, 태양광 시스템의 최소 설치 면적 대표사양을 통해 도출하였다. 이격거리인 4.7m와 태양전지의 가로길이인 0.98m를 약 1m 인 것으로 간주하여 시스템의 최소 설치면적이 4.7m²인 것으로 나타났다.

<표 4.4> 태양광 발전 대표 시스템의 설치 사양 및 배치 모습

구 분		옥상면 설치	배치 모습
PV Module	적용 형태	계통연계형	
	종류	POLY-SI	
	규격	982×1,636×53.7mm	
	발전 용량	240 Wp	
	적용 각도	90° /30°	
	효율	14.9%	
	기타 손실	3.0%	
Inverter	효율	95.5%	
	기타 손실	5.0%	

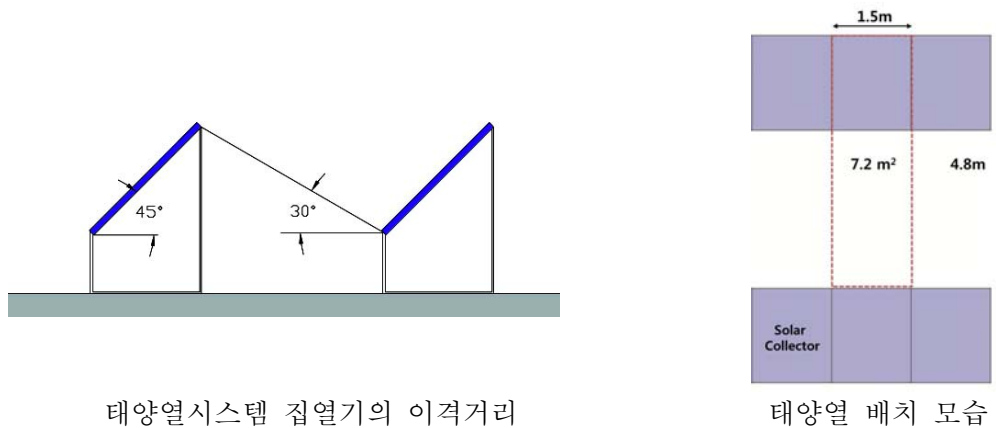
또한 태양광 발전시스템의 대표 설치사양의 최소 설치면적에 대한 에너지 생산량을 검토한 결과, 연간 1개의 모듈에서 생산되는 전기 에너지는 0.267MWh인 것으로 나타났다. 따라서 최소 설치면적인 4.7m²인 점을 반영하면 시스템 설치 시, 단위면적당 에너지 생산량은 0.056MWh/m²인 것으로 나타났다.

나) 태양열

태양열 시스템의 최소 설치면적 산정을 위해 태양열 집열기의 설치방법에 대해 알아보았다. 태양열 집열기의 설치 경사각은 연중 사용하는 경우와 하절기에 태양열을 많이 해야 할 분야에 대해서는 위도와 같게, 주로 동절기에 집열량을 많이 해야 할 분야에서는 위도보다 더 높은 경사각을 사용(위도 +15° 정도)한다.⁹¹⁾ 따라서 우리나라의 경우, 겨울철 태양 고도를 고려하여 경사각을 45° , 정남(0°)향으로 설치하는 것으로 설정하였다.

91) 한국에너지기술연구원, “태양열 시스템 설계지침”, 2004

또한 태양열시스템의 이격거리는 (그림 4.6)과 같이 집열기 최하단부와 정남방향의 집열기의 최상단부와와의 각도가 30° 이하가 되어야 한다⁹²⁾. 따라서 대표시스템의 규격인 <표 4.5>을 고려했을 때 4.8m의 이격거리가 최소한 확보되어야 한다. 따라서 시스템의 최소 설치면적은 이격거리인 4.8m과 대표 태양열 집열기 1대의 가로 길이 1.5m의 곱인 7.2m^2 인 것을 알 수 있다.



태양열시스템 집열기의 이격거리
(그림 4.6) 태양열 시스템의 이격거리 및 배치

<표 4.5> 태양열 대표 시스템의 설치 사양

태양열 시스템		축열조	
종류	유창형	집열면적 당 축열조 용량	60L/m ²
집열기 면적	3.75m ² (1500mm×2500mm)		
Fr(tan alpha) 계수	0.73	열교환기	
Fr UL 계수	5.00(W/m ²)/℃	열교환기 효율	70.0%
Fr UL에 대한 온도계수	0.01(W/m ²)/℃	손실율 (Miscellaneous Losses)	2.0%
에너지 손실율	3.0%	집열면적 당 펌프 출력	5.00W/m ²

또한 태양열 발전시스템의 대표 설치사양의 최소 설치면적에 대한 에너지 생산량을 검토한 결과, 연간 1개의 집열기에서 생산되는 열에너지는 1.638MWh인 것으로 나타났다. 따라서 최소 설치면적인 7.2m^2 인 점을 반영하면 시스템 설치 시, 단위면적당 에너지 생산량은 0.228MWh/m^2 인 것으로 나타났다.

92) 최장봉, 태양열 급탕시스템의 활용 방법과 적용사례, 에너지관리 v.148, 1988.4, p.128

다) 지열

지열 시스템의 최소 설치 면적은 지중열교환 pipe의 매설 간격으로 설정하였다. 보통 지중열교환 pipe의 매설 간격 즉, 보어홀의 이격거리는 4, 5, 6m 간격으로 매설하는 것이 일반적이라고 할 수 있다. 따라서 최소 설치 면적 산출시 보어홀 이격거리를 4m로 적용하여 1공의 설치면적을 16m^2 로 설정하였다.

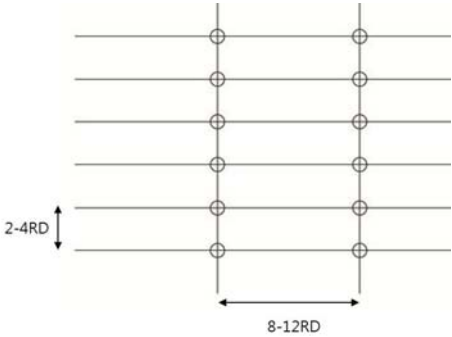
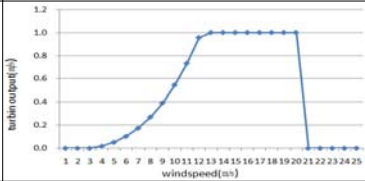
또한 지열 시스템의 최소 설치면적에 대한 에너지 생산량을 검토한 결과, 연간 1공의 지중열교환기에서 생산되는 열에너지는 27.01MWh 인 것으로 나타났다. 따라서 최소 설치면적이 16m^2 인 점을 반영하면 시스템 설치 시, 단위면적당 에너지 생산량은 1.688MWh/m^2 인 것으로 나타났다.

라) 풍력

풍력 시스템의 최소 설치면적 산정은 풍력 발전기의 배치 방법에 의해 결정된다. 풍력 발전기의 배치방법은 종열, 횡열로 평행하게 배치하는 평행배치와 엇배치가 있는데, 본 연구에서는 평행배치시의 이격거리를 산정하여 풍력 발전기 1기의 최소 설치 면적을 계산하였다. 풍력발전기의 평행배치시에는 주풍향에 대하여 종열로 로터지름의 8-12배 횡열로 로터지름의 2-4배가 최적이다⁹³⁾. <표 4.6>은 풍력 발전기의 대표 사항과 평행배치모습을 나타낸 것이다.

93) 강소연, 공동주택단지내 풍력발전시스템의 적용방안에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 2002

<표 4.6> 풍력 발전기의 대표 사항과 평행배치

설치위치 설치 시스템 사양	건물 옥상면	배치 모습
분류	수평축 시스템	 평행배치 모습
적용형태	계통 연계	
정격출력	1kW	
Cut in wind speed	3.2m/s	
Cut out wind speed	20m/s	
Rated in wind speed	12.2m/s	
Rotor diameter	2.4m	
Power Curve Data		

따라서 로터 지름 2.4m인 풍력 발전기에 대한 평행 배치 시, 가로와 세로의 이격거리를 계산한 결과, 1kW급 풍력발전기 1기의 최소 설치면적은 86.4m²인 것으로 나타났다.

또한 풍력 발전시스템의 대표 설치사양의 최소 설치면적에 대한 에너지 생산량을 검토한 결과, 연간 1기의 풍력발전기에서 생산되는 전기에너지는 1.429MWh인 것으로 나타났다. 따라서 최소 설치면적이 86.4m²인 점을 반영하면 시스템 설치 시, 단위면적당 에너지 생산량은 0.017MWh/m²임을 알 수 있다.

(5) 목표량에 따른 최대 설치 가능용량

최대 설치가능용량은 목표량과 에너지 소비비율에 의한 에너지 부하 분담률과 각 시스템별 설치 용량을 최대로 설치했을 때와 비교하여 작은 값으로 시스템 우선순위에 의해 설정한다. 또한 적용지가 같은 태양광과 태양열의 경우, 시스템 우선순위가 높은 순으로 적용하며, 우선순위가 낮은 시스템은 이후 나머지 공간에 설치하는 것으로 설정하였다.

또한 태양광과 풍력은 담당부하(전력)가 동일하므로 두 시스템 모두 설치할 경우, 전력부하에 대하여 두 시스템이 중복되어 설치되므로 설치 비율을 단위면적당 생산량의 비율로 설정하였다. 따라서 태양광과 풍력의 단위면적당 생산량의 비율에 의해 태양광 0.23 풍력은 0.77임을 알 수 있고 두 가지

의 시스템을 동시에 설치하는 경우, 각각의 비율에 의해 설치량을 산정하면 된다. 또한 목표량의 의한 설치량의 합계가 목표치보다 작을 경우, 시스템 우선순위와 부하분담률의 비율에 맞추어 추가적으로 설치하는 것으로 설정하였다.

따라서 최종 설치량에 대한 대안은 위의 추가설치량까지 고려하여 목표량에 대한 시스템별 목표생산량을 제시하고 그에 따른 각각의 시스템 수량 및 용량을 제시하게 된다.

4.1.4 성능평가

프로그램 상으로 제시된 대안과 사용자에 의해 계획된 대안에 대해 에너지 소비 및 수요패턴에 가장 부합되면서 효율적인 대안에 대해 최종적인 성능평가를 실시한다. 도시의 에너지 부분별 에너지 소비량과 시스템 우선순위 그리고 각 시스템별 성능예측 식을 통해 성능평가가 이루어진다. 성능평가의 결과는 월별, 일별, 시간별 데이터를 제공하고 있으며, 전체 에너지 소비량과 신재생에너지 시스템을 통해 생산된 에너지 생산량에 대한 정보를 시스템별 에너지 생산량에 대한 시계열 데이터를 제공한다.

4.2 프로그램의 구성 및 특징

도시 신재생에너지 복합 적용을 위한 성능평가 프로그램은 앞의 3장의 도시의 에너지 소비패턴 및 소비량분석과 신재생에너지시스템별 성능예측식(신재생에너지 생산특성)을 기반으로 성능예측을 실시한다. 평가 프로그램은 도시의 물리적 특성(도시를 구성하고 있는 건물의 규모 및 용도)과 에너지 소비 특성을 고려하여 신재생에너지 적용 목표량 설정에 따른 신재생에너지 시스템의 설계 대안을 제시하고 그에 대한 성능평가를 실시하는 도구이다.

4.2.1 프로그램의 구성

본 연구에서의 도시의 물리적 특성은 도시를 구성하고 있는 건물의 용도와 규모로 한정하며, 적용 목표량 설정에 따라 도시의 에너지 소비량과 에너지 생산량 그리고 시스템의 적용 우선순위에 의해서 시스템의 공급량이 제시된

다. 프로그램 상의 복합적용에 대한 적정대안에 대한 성능평가가 가능하며, 그 외에도 사용자에게 의해 시스템이 설계가능하며 사용자 설계안에 대한 성능평가까지 가능하도록 하였다. 이를 통해 프로그램 상의 대안과 사용자의 설계안의 비교가 가능하여 도시에 에너지 특성에 더 부합하는 대안으로 선정할 수 있다.



(그림 4.7) 프로그램의 구성

프로그램의 구성은 적용 대상지 분석 - 대상지 에너지 특성 분석 - 시스템 선정 및 대안 - 성능평가 및 비교평가로 구성된다. 적용 대상지 분석은 프로그램의 초기에 설정한 대상지에 대한 기후, 도시의 위치, 규모 등에 대한 정보를 제공하며, 대상지 에너지 특성 분석은 도시에서 소비되는 에너지와 신재생에너지를 통해 생성되는 에너지에 대한 전반적인 부분을 분석하게 된다. 그리고 시스템 선정 및 대안은 도시의 에너지 소비량과 시스템 선정의 우선순위에 의해 각 시스템별 적정 용량을 산정할 수 있도록 대안이 제시된다. 마지막으로 성능평가 및 비교평가는 프로그램 상에서 제시된 대안뿐만 아니라 사용자가 직접 설계한 대안에 대한 비교평가를 실시하여 최종 대안을 결정하는데 도움을 준다.

4.2.2 프로그램의 특징

복합 적용 대상 시스템은 2장의 이론연구에서 제시한 태양광, 태양열, 풍력, 지열시스템을 대상으로 설정하였으며, 대상단지의 모델링을 통한 시각적 구체화로 사용자의 이해력을 높였다. 또한 도시의 에너지 소비량 및 신재생

에너지 시스템에서 생산되는 열과 전기에너지의 시계열 분석이 가능하도록 하였다. 도시의 물리적 특성 및 에너지 부하 특성을 반영하여 설계 대안을 제시하고 평가 가능하도록 구성되었다.

(1) 프로그램 언어

도시 신재생에너지 복합 적용을 위한 성능예측 프로그램은 C-sharp(C#)이라고 하는 모든 것을 객체로 취급하는 컴포넌트 프로그래밍언어를 활용하였다. 2000년 6월 마이크로소프트가 닷넷(.NET) 플랫폼을 위해 개발하였으며 C⁺⁺(시플러스플러스)에 기본을 둔 언어로, 비주얼베이식이나 자바(Java)와도 비슷하다. 따라서 비주얼베이식과 자바·C⁺⁺ 등의 장점을 지닌다. 곧 비주얼 언어가 가진 사용자 친화성, C⁺⁺의 객체지향성, 자바의 분산 환경 처리에 적합한 다중성 등을 모두 지니는 컴포넌트 기반의 소프트웨어 개발 패러다임을 반영하였다. 또한 웹을 통해 정보와 서비스를 교환하고, 개발자들이 이식성(portability) 높은 응용프로그램들을 만들어 낼 수 있게 고안되었다. 즉, 이 프로그래밍언어를 사용하면 대대적인 개정 없이도 하나 이상의 OS(운영체제)에서 사용될 수 있는 응용프로그램들을 만들어낼 수가 있다. 따라서 프로그래머가 손쉽게 빠르게 프로그램을 공급할 수 있다는 장점이 있다⁹⁴⁾.

(2) 프로그램의 용이성

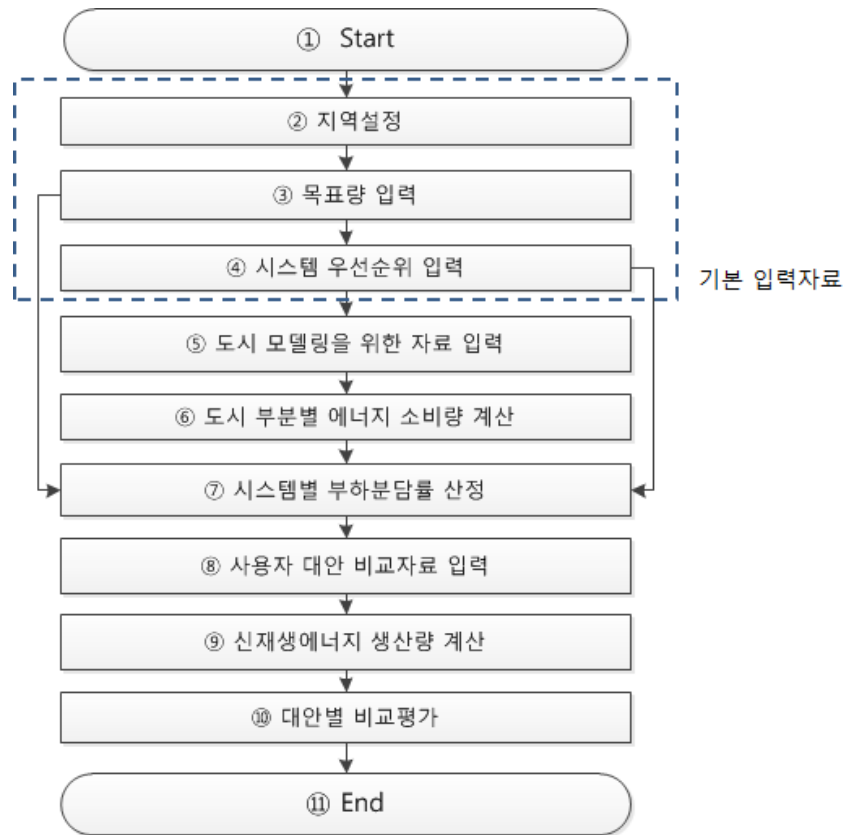
도시 신재생에너지 복합 적용을 위한 성능예측 프로그램은 기존의 신재생에너지 성능예측 평가 프로그램보다 쉽게 이용가능하다. 따라서 신재생에너지 시스템에 대한 일반적 기초 지식이 있는 사용자라면 누구나 사용할 수 있도록 인터페이스를 쉽게 구성하였다. 또한 도시의 간편한 모델링과 신재생에너지 공급 목표량만으로 복합 적용을 위한 대안설정 및 성능평가가 손쉽게 이루어진다.

(3) 프로그램의 흐름도

도시 신재생에너지 복합 적용을 위한 성능예측 프로그램은 앞선 3장의 기

94) 네이버 백과사전

본 데이터와 위의 4.1의 알고리즘에 의해 다음 (그림 4.8)과 같은 흐름으로 계산된다.



(그림 4.8) 프로그램 흐름도

또한 이러한 분석 및 평가 프로그램은 크게 자료입력, 계산 및 분석으로 나눌 수 있으며 세부 내용은 다음과 같다.

- ① 시작
 - 프로그램의 초기화 및 작업 명을 입력한다.
- ② 지역설정
 - 기후데이터 베이스와 연동될 수 있도록 지역을 선택한다.
- ③ 목표량 입력
 - 신재생에너지를 통해 생산되는 에너지에 대한 목표량을 입력한다.
- ④ 시스템 우선순위 입력
 - 프로그램 상에서 제공하는 기본 입력 값(Default 값)과 사용자 정의에 의한 입력 값(User 값)중 선택하여 입력한다.

- ⑤ 도시 모델링을 위한 자료 입력
 - 건물의 용도, 기준층면적, 층고, 건물의 형태에 맞게 도시를 모델링한다.
- ⑥ 도시 부분별 에너지 소비량 계산
 - 3장의 도시 에너지 소비량 예측을 위한 기본 데이터베이스를 통해 모델링된 도시에 대한 에너지 소비량이 예측된다.
- ⑦ 시스템별 부하분담률 산정
 - 시스템 우선순위와 도시의 부분별 에너지 소비량 그리고 공급 목표량에 의해 시스템별 부하분담률이 산정된다.
- ⑧ 사용자 대안 비교자료 입력
 - 각각의 신재생에너지 시스템의 용량을 입력하며 시스템의 디자인은 프로그램 상에 직접 모델링이 가능하다.
- ⑨ 신재생에너지 생산량 계산
 - 6지역의 시계열 기후데이터를 기반으로 프로그램상의 대안과 사용자 대안에 대한 신재생에너지 생산량을 계산한다.
- ⑩ 대안비교평가
 - 두 개의 대안에 대한 시계열 분석 데이터가 Microsoft Excel 프로그램으로 연동 가능하며 대안에 대한 비교평가의 결과를 시각적으로 이해하기 쉽게 제공한다.
- ⑪ 종료

4.3 소결

본 장에서는 신재생에너지 복합 적용을 위한 성능평가 프로그램의 구성 및 특징 프로그램 상의 적정 대안 설정 과정에 대해서 알아보았다.

프로그램의 구성은 프로젝트 생성 - 대상단지 모델링 - 시스템 선정 및 대안제시 - 성능평가 순으로 크게 4단계로 구성되어 있다. 이러한 4단계의 과정을 거치면 도시 신재생에너지 복합 적용을 위한 대안제시가 이루어지고 그에 따른 성능평가가 가능하다. 또한 프로그램 상의 대안 이외에도 사용자가 신재생에너지를 직접 설계를 하고 그에 대한 성능평가가 가능하도록 하고 기존의 대안과 설계안을 서로 비교평가 할 수 있도록 하였다. 프로그램은 C-sharp(C#)이라는 프로그램 언어를 통해 개발되어 보급 및 설치의 용이성을 가진다. 또한 프로그램을 사용하는데 있어 신재생에너지에 대한 전문가의 도움 없이도 도시의 간단한 모델링만으로도 복합 적용을 위한 적정 대안을 제시하도록 만들어져 누구나 쉽게 사용 가능하도록 만들어졌다.

프로그램상의 대안제시 알고리즘은 크게 4단계의 평가 과정을 통해 도출된다. 대안선정은 도시의 부분별 에너지 소비율과 시스템 우선순위에 의해 시스템별 부하분담률을 산정한다. 그리고 대상 도시에 대한 신재생에너지원별 최대 적용 가능성을 평가한 뒤, 시스템별 최소 설치면적과 최대 적용 가능성을 비교하여 시스템의 설치가능여부를 판단한다. 신재생에너지원별 최대 적용 가능성은 아래 <표 4.7>의 각 시스템별 적용부위의 면적으로 선정하였다. 또한 <표 4.8>와 같이 시스템별 최소 설치면적을 산정하여 최소설치 면적이 최대설치 가능면적보다 크면 설치가 불가능하다고 판단하였다. 그리고 목표량에 따른 시스템별 최대 설치 가능용량을 평가한 뒤, 최종 시스템별 적정 설치 용량을 산정하였다.

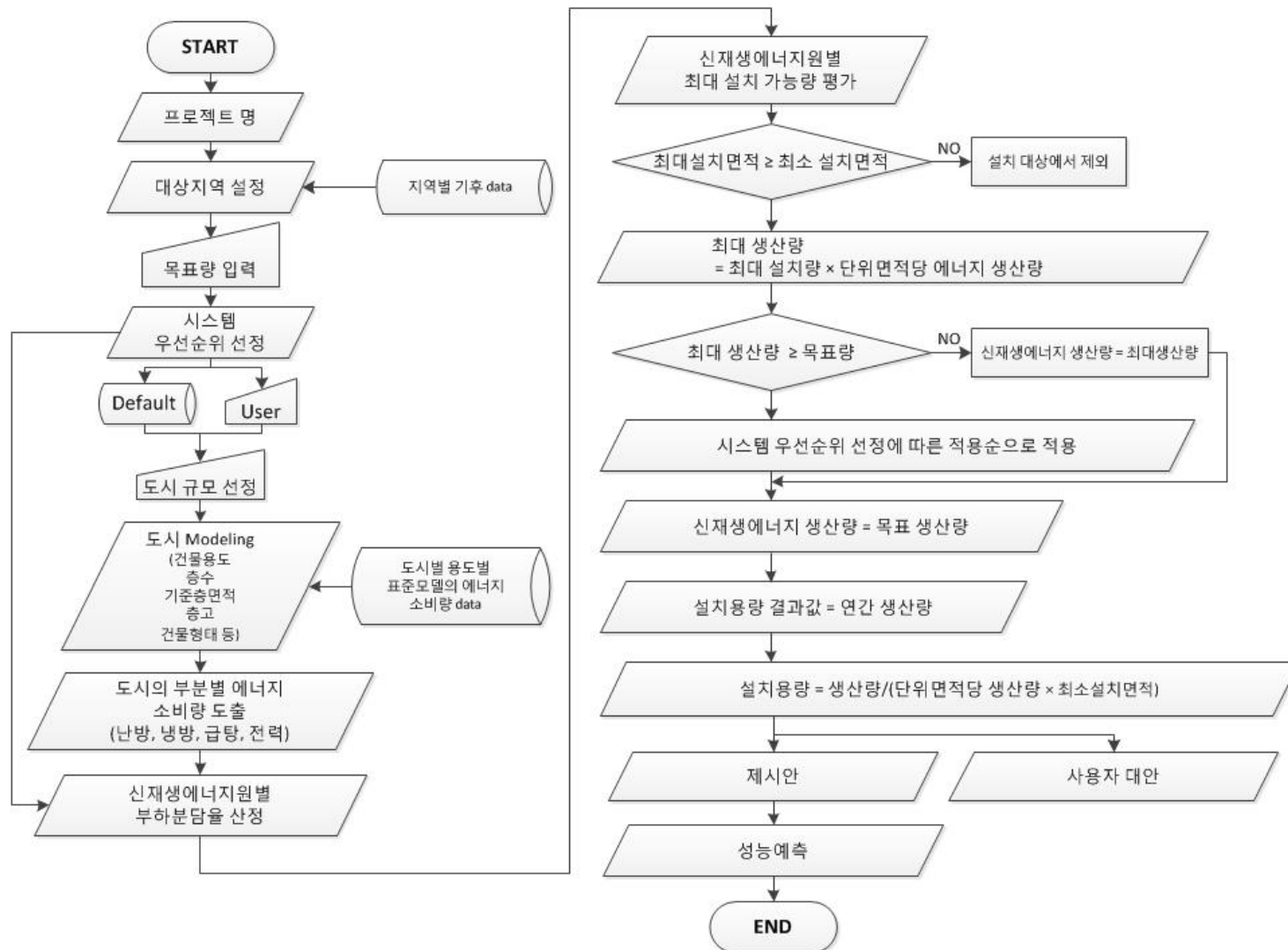
<표 4.7> 각 시스템별 적용부위 및 최대 설치 가능성 기준

시스템	적용부위
태양광	옥상면의 면적
태양열	옥상면의 면적
풍력	건물최고 높이에서의 기준풍속 5m/s이상인 건물기준층 면적의 합
지열	건축물을 제외한 대지 면적 합의 80%

<표 4.8> 시스템별 최소 설치면적과 단위면적당 에너지 생산량

시스템	최소 설치면적(m ²)	단위면적당 에너지생산량 (MWh/m ² ·년)	최소설치면적당 에너지생산량
태양광	4.7m ² /모듈1개(240Wp)	0.058	0.267MWh/모듈·년
태양열	7.18m ² /집열기1대	0.228	1.638MWh/1개·년
풍력	86.4m ² /1대(1kW급)	0.017	1.429MWh/1기·년
지열	16m ² /1공	1.688	27.01MWh/1공·년

따라서 프로그램의 상의 전체 프로세스는 (그림 4.9)와 같으며, 그림과 같은 순서로 도시의 복합 적용을 위한 신재생에너지원별 적정 적용 용량이 선정되고 그에 따른 대안이 제시된다. 또한 제시된 대안에 대한 1년 8,760 시간의 도시의 에너지 소비량 및 신재생에너지 시스템을 통한 에너지 생산량에 대한 정보를 제공한다.



(그림 4.9) 프로그램의 전체 프로세스

제 5 장 사례연구를 통한 프로그램의 적용성 평가

5.1 사례연구 개요

도시 신재생에너지 복합 적용을 위한 성능평가 프로그램에 대한 적용성 평가를 위해, 건물의 용도에 따른 『국토의 계획 및 이용에 관한 법률』에 제시된 용도지역을 대상으로 용도지역별 대상단지를 선정하였다.

용도지역은 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역으로 분류되나, 공업지역과 녹지지역은 본 연구에서 제외하였다. 또한 주거지역을 세분화하여 단독주택단지와 공동주택단지로 구분하였고, 상업지역을 상업우세지역과 업무우세지역으로 나누어 프로그램의 적용성 평가를 실시하였다.

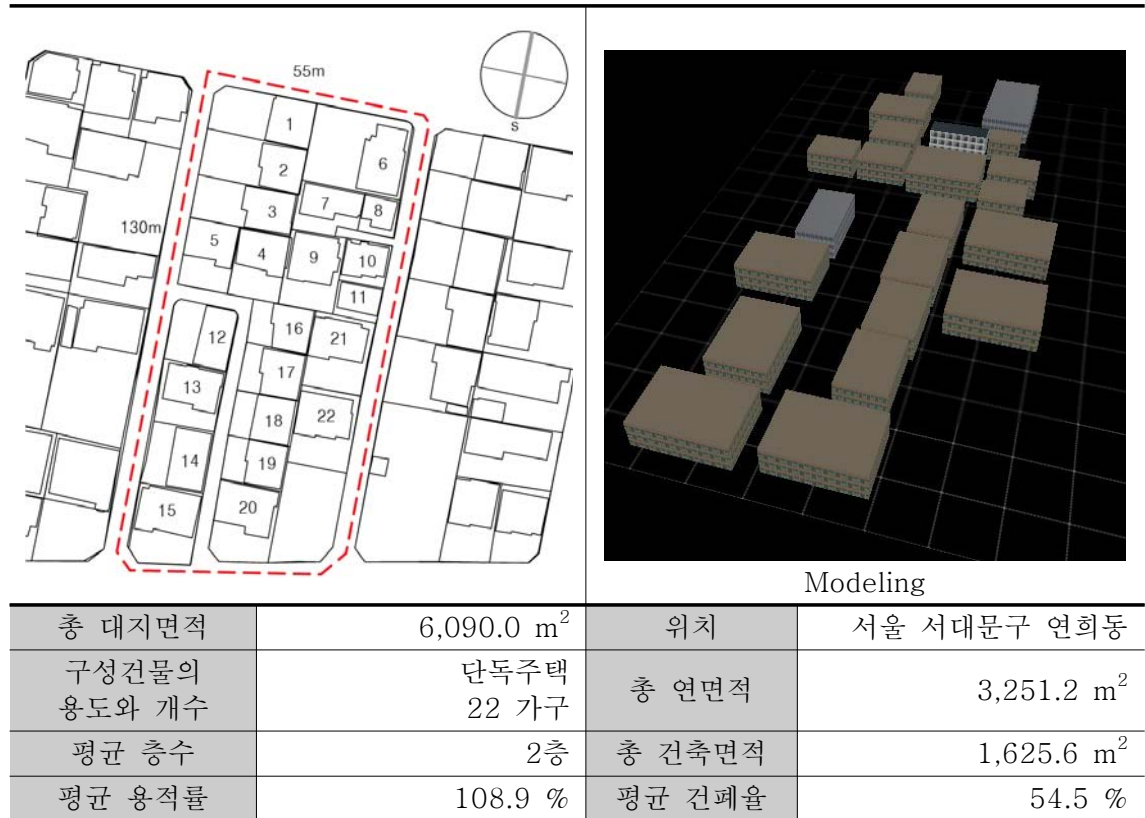
본 장에서는 4가지 대상단지를 바탕으로 서울지역에 해당하는 실제도시를 선정하였다. 선정한 도시샘플에 대해 프로그램을 통해 신재생에너지 복합적용 대안에 대한 성능평가를 실시하고, 그 결과를 다른 시뮬레이션(RETScreen)의 결과 값과 비교·평가하여 실제 프로그램의 적용성에 대한 평가를 실시하였다. RETScreen을 통해 프로그램을 통해 도출되는 신재생에너지의 생산량에 대한 적용성을 평가하고자 하였다. RETScreen은 도시의 특성 및 시계열 분석 그리고 모든 에너지에 대한 분석에는 어려움이 있지만 개별 신재생에너지시스템의 에너지 생산량 예측 측면에서는 정확성이 높기 때문에 시스템별 에너지 생산량에 대한 적용성 평가를 위해서 RETScreen을 활용하였다.

5.1.1 단독주택단지

단독주택단지는 제 1종 주거지역에 해당하는 서울시 서대문구 연희동 일대로 선정하였다. 단독주택단지의 경우, 비교적 건물의 배치가 일정하며 단위블록의 규모가 다른 단지에 비해 작다는 특징이 있다. 대상단지는 약 55m × 130m의 범위로 선정하였다.

대상단지를 조사한 결과, 해당 건물은 총 22 가구이며, 층수는 모두 2층인 것으로 나타났다. 평균 건폐율은 54.5%, 평균 용적률은 108.9%로 나타났다.

<표 5.1> 단독주택 단지의 개요



5.1.2 공동주택단지

공동 주택단지는 제 3종 주거지역에 해당하는 서울시 노원구 중계동 일대를 대상단지로 선정하였다. 대상단지는 15층의 아파트 건물 8동과 초등학교 1개소, 그리고 상업건물 5개소로 이루어져 있으며, 대다수의 건물이 주거건축 중 공동주택이며 학교와 상업시설도 단지 내에 위치해 있다. 대상단지의 규모는 300 m×150 m의 범위로 제한하여 지정하였다.

대상단지를 조사한 결과, 평균층수는 11층, 평균 건폐율과 평균 용적률은 각각 25.9%와 267.2%인 것으로 나타났다.

<표 5.2> 공동주택단지의 개요

Modeling

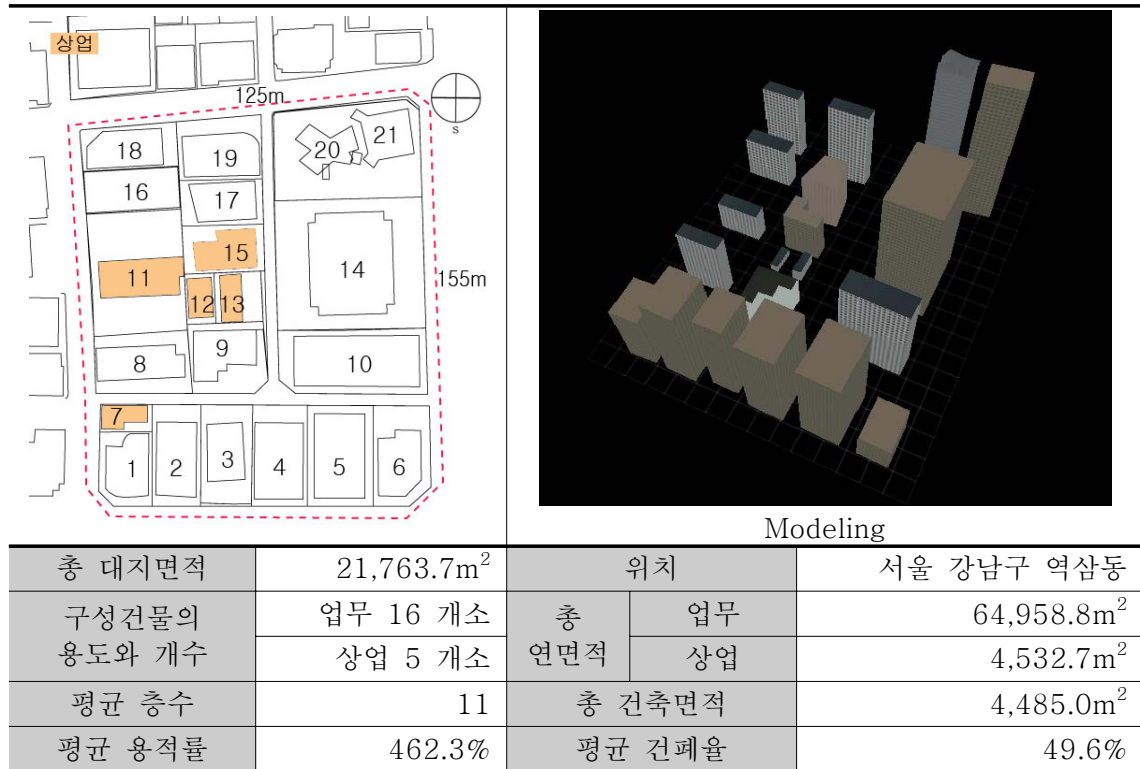
총 대지면적	36,482.1m ²	위치	서울 노원구 중계동
구성건물의 용도와 개수	아파트 8동	총 연면적	주거 78,942.2 m ²
	학교 1개소, 상업건물 5개소		상업 6,322.4 m ²
			학교 12,203.2 m ²
평균 층수	11 층	총 건축면적	9,437.7 m ²
평균 용적률	267.2 %	평균 건폐율	25.9 %

5.1.3 업무단지

업무단지는 대부분의 구성 건물이 업무용 건물이며, 업무우세지역에 해당하는 서울시 강남구 역삼동 일부를 대상 단지로 선정하였다. 일반 업무단지의 경우 단위 건축물의 규모가 주거부문에 비해 크지만 본 연구의 대상단지의 규모는 125m×155m의 범위로 제한하여 지정하였다.

대상 단지의 용도 특징은 업무용 건물이 대다수를 차지하며, 일부 몇몇의 건물은 상업용 건물로 이루어져 있다. 평균층수는 11층인 것으로 나타났으며, 업무용 면적이 전체면적의 약 93%이상을 차지하고 있고 평균 건폐율과 평균 용적률은 각각 49.6%와 462.3%인 것으로 나타났다.

<표 5.3> 업무단지의 개요

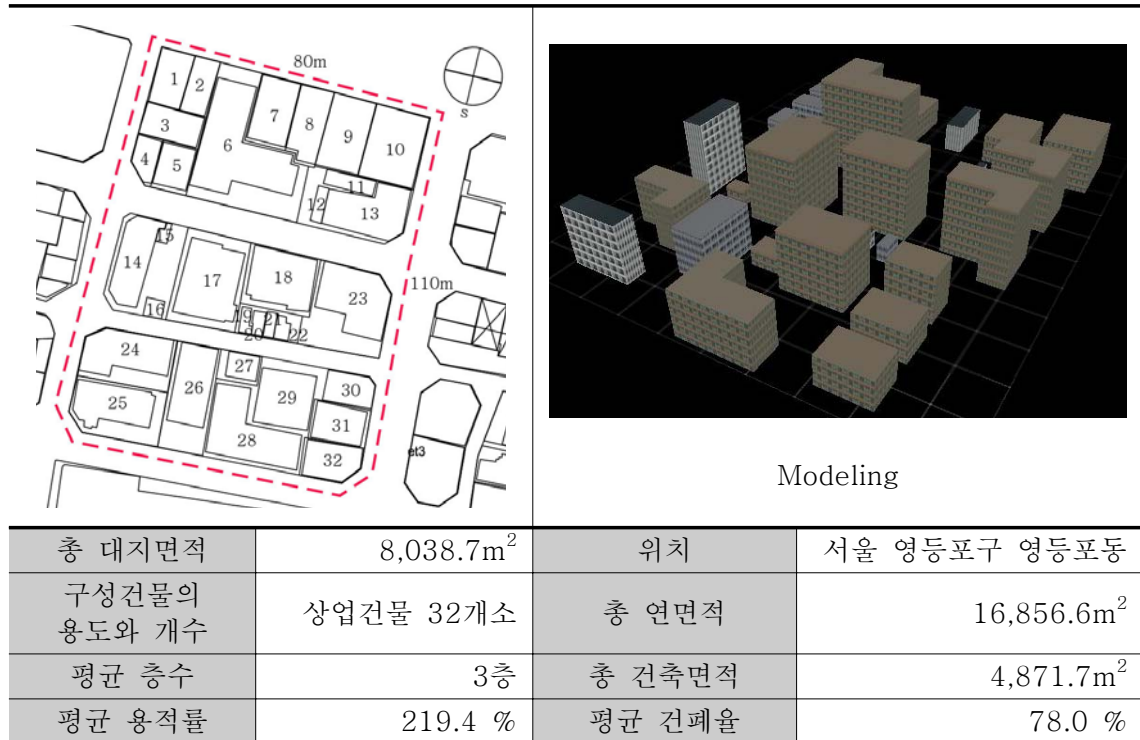


5.1.4 상업단지

상업단지는 일반상업지역에 해당하는 서울시 영등포구 영등포동 일부를 대상 단지로 선정하였다. 대상단지의 규모는 80 m×110 m의 범위로 선정하였다.

대상지를 조사한 결과, 모든 건물이 상업용 건물에 해당되었으며, 평균 층수는 3층인 것으로 나타났다. 평균 건폐율과 평균 용적률은 각각 78.0%와 219.4%인 것으로 나타났다.

<표 5.4> 업무단지의 개요



5.2 도시 유형별 적용성 평가

대상단지의 에너지 소비 분석은 프로그램의 모델링을 통해 실시하였다. 실제 도시의 물리적 규모 및 상황(건물용도, 건물의 층수, 건물의 형태, 기준층 연면적 등)을 프로그램 상에 반영하여 모델링하였기 때문에 실제 도시의 형상과 비슷하게 모델링 가능한 것을 볼 수 있었다. 또한 모델링을 통한 도시의 에너지 소비량 및 소비패턴을 프로그램을 통해 손쉽게 분석 가능하였다. 프로그램의 대안에 대한 적정성 평가를 위해 사례 단지 유형을 프로그램에 적용해 보았다.

- 신재생에너지 목표량 : 모두 11%⁹⁵⁾로 선정
- 시스템 우선순위 : 단지 유형별 에너지 소비율이 큰 부하를 담당하는 시스템을 우선적으로 적용

95) 국가에너지기본계획(2008~2030)의 신재생 에너지 목표 보급률(11%)을 참고하여 정함.

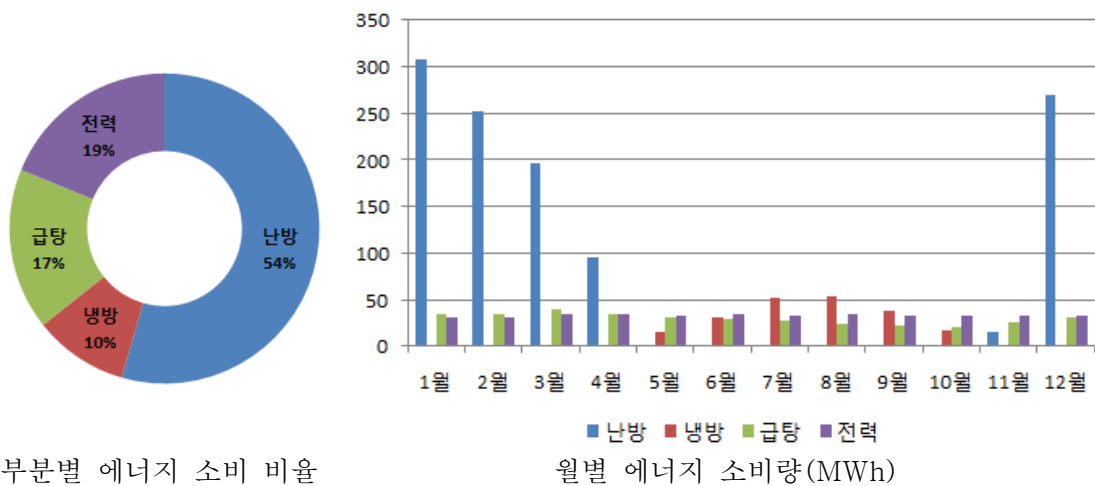
5.2.1 단독주택단지

(1) 단독주택 단지의 에너지 소비량

단독주택 단지의 에너지 소비량의 <표 5.5>와 같이 전체 에너지 소비량의 약 54%를 난방부분의 에너지로 사용하고 있는 것으로 나타났다.

<표 5.5> 단독주택 단지의 부분별 연간 에너지 소비량(MWh)

	난방	냉방	급탕	전력	합계
소비량	1,137	206	352	393	2,088



부분별 에너지 소비 비율

월별 에너지 소비량(MWh)

(그림 5.1) 단독주택단지의 에너지 소비

(2) 대안제시 결과

단독주택에 대한 시스템 우선순위는 지열-태양열-태양광-풍력의 순으로 적용하였다. 11%의 신재생에너지 목표량(245.9MWh)에 대한 신재생에너지 시스템별 적정 대안의 구성은 태양열(44.4%)-지열(33.3%)-태양광(22.3%)으로 나타났다.

<표 5.6> 단독주택의 대안제시 결과

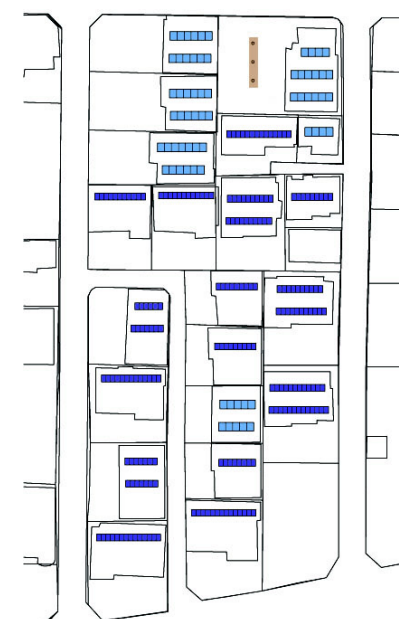
시스템	에너지 비율(%)	필요 에너지(MWh)	필요량
지열	33.3	81.7	3공
태양열	44.4	109.3	67매
태양광	22.3	54.8	206매
풍력	0	0	-
Total	100.0	245.9	

풍력의 경우, 프로그램 상에서 적용불가능하다고 판단되었기 때문에 적용 용량이 산출되지 않았다. 단독주택 단지의 경우, 구성 건물의 층수가 낮아 풍력발전기의 Cut-in speed를 만족하지 못하기 때문에 시스템 적용이 불가능한 것으로 나타났다. 즉, 발전 가능한 필요 풍속을 충족하지 못하기 때문에 적용 불가능하다고 프로그램 상에서 분석된 것이라 판단된다.

(3) 대안평가

위의 <표 5.6>에서 제시된 적정 대안을 바탕으로 대상 단독주택 단지에 대한 신재생에너지 시스템을 배치해 보았다. 또한 RETScreen을 통해 각각의 시스템별 성능예측을 실시해 보았다. 프로그램에서 제시하는 각 시스템별 적정 용량과 그에 따른 에너지 생산량을 비교하여 시스템의 적용성과 시스템의 생산량에 대한 적용성을 각각 비교하였다.

<표 5.7> 단독주택 단지의 배치안 및 생산량 분석

	시스템	대안제시 안	실제적용 안	비교
	지열	3공 (81.7MWh)	3공 (87.0MWh)	100%적용 (106.5%)
	태양열	67매 (109.3MWh)	67매 (139.9MWh)	100%적용 (128.0%)
	태양광	206매 (54.8MWh)	206매 (55.5 MWh)	100%적용 (101.3%)

프로그램 상에서 도출된 대안대로 각각의 시스템을 배치한 결과, 모든 시스템을 적용할 수 있는 것으로 나타났으며, 옥상면의 경우, 설치를 하고 여유 공간이 나타나는 것으로 보여 신재생에너지 시스템에 대한 목표량이 11% 이상으로 증가된다면 그에 맞게 태양열이나 태양광 시스템을 추가설치 할 수 있을 것으로 예상된다.

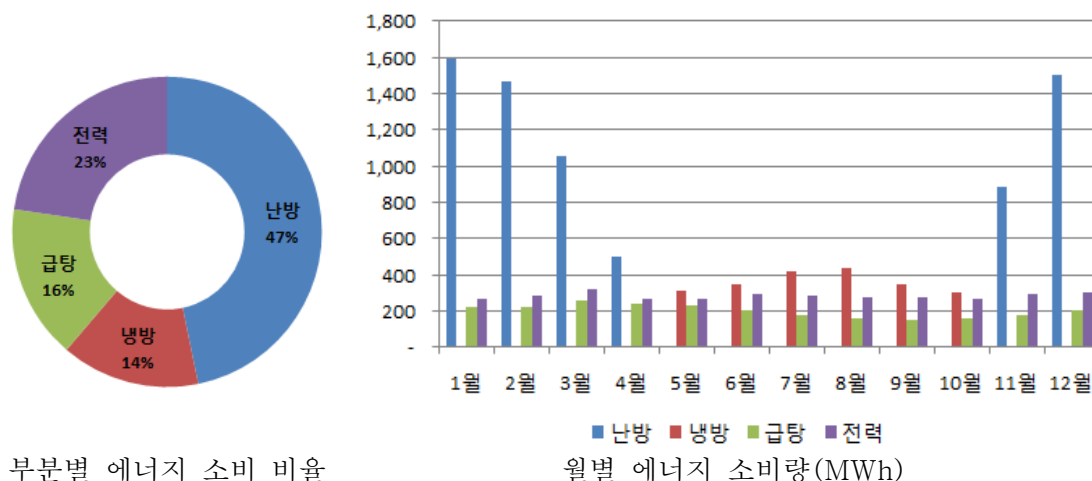
따라서 프로그램을 통해 도출된 단독주택 단지에 대한 대안은 시스템에 대한 적용성이 매우 높은 것으로 나타났다. 또한 각 시스템별 생산량에 대한 적용성 평가 결과, 지열과 태양광은 RETScreen의 값과 프로그램 상의 생산량이 비슷한 것으로 나타났으나, 태양열 시스템의 경우, 대안제시안과 실제 적용안을 비교한 결과, 에너지 생산량에서 약 28%의 오차가 발생하는 것으로 나타났다. 프로그램 상에서 태양열 시스템을 통한 에너지 생산량이 RETScreen을 통한 생산량보다 적은 것으로 나타났다.

5.2.2 공동주택단지

(1) 공동주택 단지의 에너지 소비량

<표 5.8> 공동주택 단지의 부분별 연간 에너지 소비량(MWh)

	난방	냉방	급탕	전력	합계
소비량	7,002.8	2,169.8	2,407.2	3,393.4	14,973.2



(그림 5.2) 공동주택단지의 에너지 소비

(2) 대안제시 결과

공동주택에 대한 시스템 우선순위는 단독주택과 마찬가지로 지열-태양열-태양광-풍력의 순으로 적용하였다. 11%의 신재생에너지 목표량(1,646.9MWh)에 대한 신재생에너지 시스템별 적정 대안의 구성은 <표 5.9>과 같다.

<표 5.9> 공동주택의 대안제시 결과

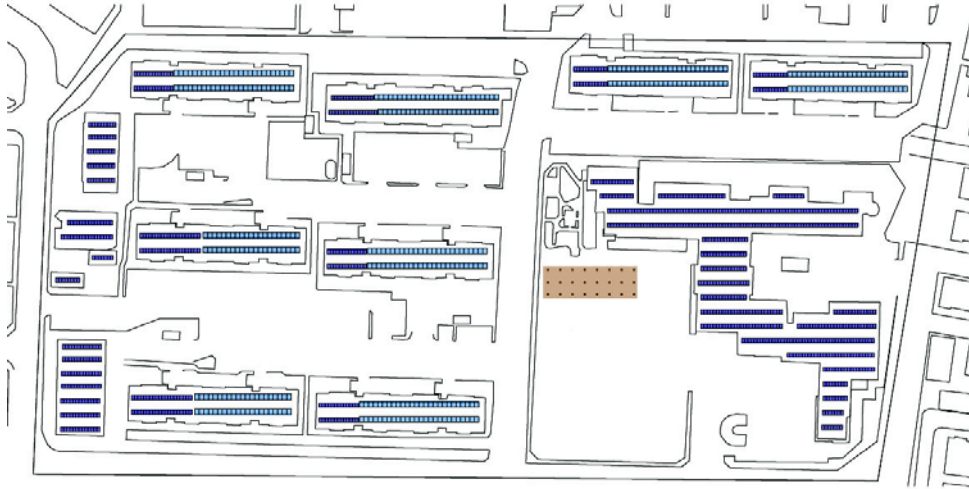
시스템	에너지 비율(%)	필요 에너지(MWh)	필요량
지열	38.1	628.2	24공
태양열	39.5	649.9	397매
태양광	22.4	368.8	1,382매
풍력	0	0	-
Total	100.0	1,646.9	

풍력의 경우, 대상 지역의 서울의 평균 풍속은 2.2m/s이고, 높이에 따른 보정 풍속을 보면 서울인 경우, 69m이상인 곳에서만 풍력 발전기를 통한 발전이 가능하다. 하지만 공동주택 단지 내의 아파트 층수를 15층이라고 했을 때, 일정 이상의 풍속 확보가 쉽지 않기 때문에 필요량이 도출되지 않았다.

(3) 대안평가

위에서 제시된 적정 대안을 바탕으로 대상 공동주택 단지에 대한 신재생에너지 시스템을 배치하고 RETScreen을 통해 각각의 시스템별 성능예측을 실시해 보았다.

<표 5.10> 공동주택 단지의 배치안 및 생산량 분석



시스템	대안제시 안	실제 적용안	비교
지열	24공 (628.2 MWh)	24공 (696.2 MWh)	100% 적용 (110.8%)
태양열	397매 (649.9 MWh)	397매 (828.9 MWh)	100% 적용 (127.5%)
태양광	1,382매 (368.8 MWh)	919매 (247.9 MWh)	66.5% 적용 (67.2%)

적정 대안에서 제시한 시스템별 용량을 토대로 공동주택 단지에 실제 배치 해본 결과, 태양열과 지열의 경우, 시스템 우선순위에 의해 모두 적용 가능한 것으로 나타났다. 그러나 태양광의 경우, 대안에서 제시한 1,382매 보다 적은 919매를 적용할 수 있는 것으로 나타났다. 이렇게 실제 적용 시, 적용가능성이 낮아지는 이유는 실제 시스템을 옥상면에 설치할 때 단순히 1매당 4.7m²의 면적이 필요한 것이 아니라 그 이상의 면적이 요구되기 때문이다. 즉, PV면에 음영 발생 가능성을 낮추어 배치하게 되면 옥상 외벽으로 인해 발생하는 음영에 대한 고려로 실제 태양광 시스템의 배치 시, 건물외곽으로부터 1m 이내에는 시스템을 설치하지 않는다. 따라서 시스템 상에서 제시하는 용량과 실제 배치 시 적용할 수 있는 용량과 차이가 발생한 것이라 판단된다.

대안별 에너지 생산량을 비교했을 때 태양열의 경우, 단독주택과 마찬가지로 약 27.5%의 오차가 발생하는 것으로 나타났으며, 태양광의 경우, 대안에서 제시한 용량만큼 실제 적용을 하지 못했기 때문에 그와 비슷한 비율로 에너지 생산량도 적은 것으로 나타났다. 지열은 단독주택과 마찬가지로 예측량과 RETScreen을 통한 결과 값이 거의 비슷한 것으로 나타났다.

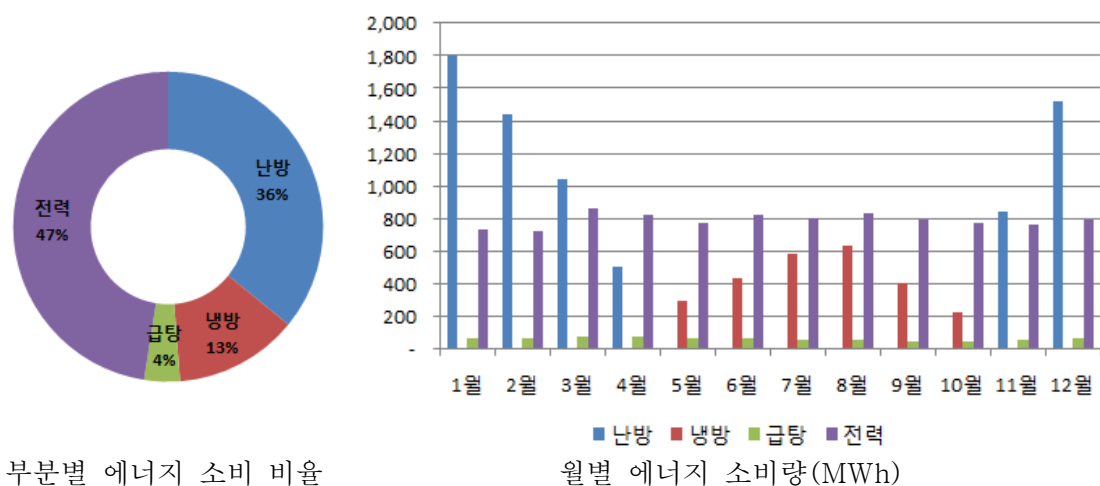
5.2.3 업무단지

(1) 업무단지의 에너지 소비량

대상 업무단지를 모델링 한 결과, <표 5.11>과 같은 에너지 소비량을 예측할 수 있었다. 업무단지의 에너지 소비는 전력에 많은 양의 에너지가 소비되고 있는 것을 알 수 있었다. 이는 업무용 표준건물의 에너지 소비 패턴과 유사함을 알 수 있다.

<표 5.11> 업무단지의 부분별 연간 에너지 소비량(MWh)

	난방	냉방	급탕	전력	합계
소비량	7,161	2,578	742	9,484	20,043



부분별 에너지 소비 비율

월별 에너지 소비량(MWh)

(그림 5.3) 상업단지의 에너지 소비

(2) 대안제시 결과

업무단지에 대한 시스템 우선순위는 업무단지의 에너지 소비량에서 많은 비중을 차지하는 에너지를 담당할 수 있는 시스템에 대해서 우선적으로 적용하는 것으로 설정하였다. 따라서 태양광-풍력-지열-태양열의 순으로 적용하였다. 11%의 신재생에너지 목표량(2195.9MWh)에 대한 신재생에너지 시스템별 적정 대안의 구성은 <표 5.12>와 같다.

<표 5.12> 업무단지의 대안제시 결과

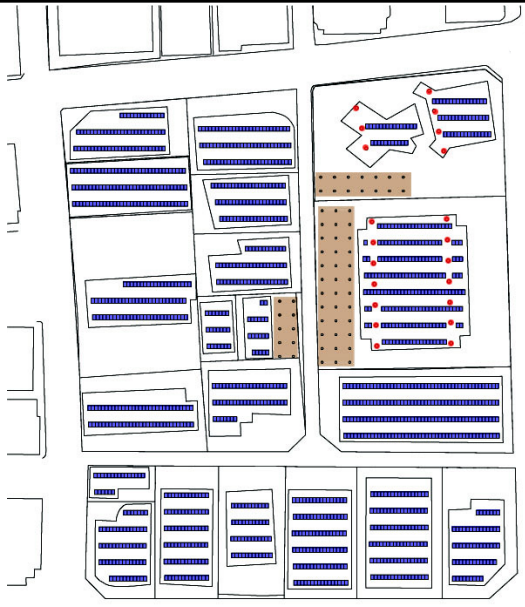
시스템	에너지 비율(%)	필요 에너지(MWh)	필요량
지열	76.0	1,670.4	62공
태양열	0	0	-
태양광	22.6	495.5	1,856매
풍력	1.4	30.0	21기
Total	100.0	2,195.9	

풍력의 경우, 대상 지역의 서울의 평균 풍속은 2.2m/s이고, 높이에 따른 보정 풍속이 서울의 경우, 69m이상인 곳에서만 풍력 발전기를 통한 발전이 가능하다. 따라서 건물의 높이가 69m이상인 건물 14, 20, 21번 건물의 옥상 면에 풍력발전기의 적용이 가능하다고 판단하였다. 태양열의 경우, 업무단지에서 시스템 우선순위가 낮고 도시의 에너지 소비량 비율에서 급탕에 소비되는 에너지 소비량이 낮아 적용 가능성이 낮아 대안에서 제시되지 못한 것으로 나타났다.

(3) 대안평가

위에서 제시된 적정 대안을 바탕으로 대상 업무단지에 대한 신재생에너지 시스템을 배치하고 RETScreen을 통해 성능예측을 실시하였다.

<표 5.13> 업무단지의 배치안 및 생산량 분석



시스템	대안제시 안	실제 적용안	비교
지열	62공 (1,670.4 MWh)	62공 (1,674.6 MWh)	100% 적용 (100.3%)
태양광	1,856매 (495.5 MWh)	1,238매 (333.5 MWh)	81.0% 적용 (67.3%)
풍력	21기 (30.0 MWh)	21기 (28.14MWh)	100% 적용 (93.8%)

지열과 풍력의 경우, 제시된 대안대로 실제 적용이 가능한 것으로 나타났다. 하지만 태양광의 경우, 공동주택에서와 마찬가지로 프로그램상의 적용가능한 면적보다 실제 적용가능면적이 적기 때문에 차이가 발생한 것으로 판단된다.

에너지 생산량을 비교했을 때 태양광의 경우, 실제 적용안이 대안제시안보다 적게 나왔기 때문에 생산량도 낮은 것으로 나타났으며, 지열은 다른 단지와 비슷하게 두 대안에 대한 생산량이 비슷한 것으로 나타났다. 풍력의 경우, 대안제시안에서 도출된 예측식보다 실제 발전량이 약 6.2% 적은 것으로 나타났다지만 두 대안에 대한 발전량이 거의 비슷함을 알 수 있었다.

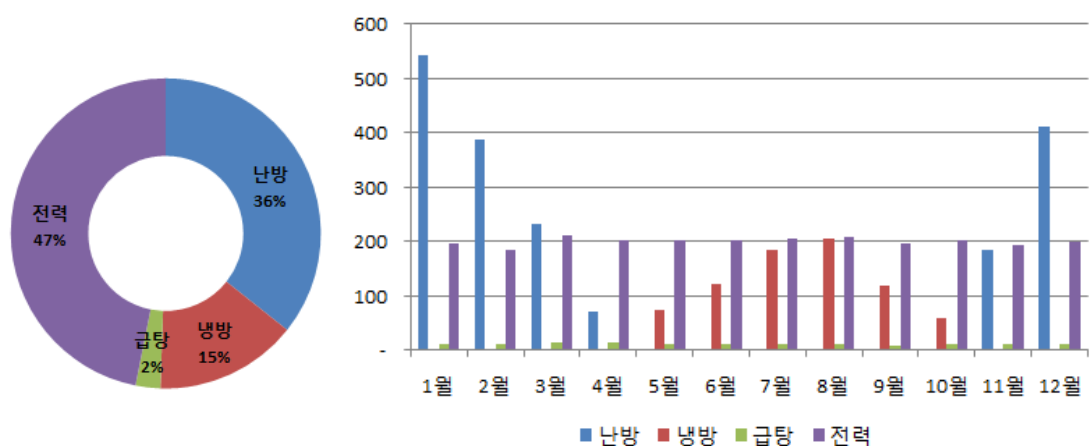
5.2.4 상업단지

(1) 상업단지의 에너지 소비량

대상 상업단지를 모델링 한 결과, <표 5.14>와 같이 대상도시의 에너지 소비량을 예측할 수 있었다. 상업단지의 에너지 소비는 앞선 업무시설의 에너지 특성과 비슷하게 전력에 많은 양의 에너지가 소비되고 있는 것을 알 수 있었다.

<표 5.14> 업무단지의 부분별 연간 에너지 소비량(MWh)

	난방	냉방	급탕	전력	합계
소비량	1,832.4	763.2	132.3	2,406.2	5,134.1



부분별 에너지 소비 비율

월별 에너지 소비량(MWh)

(그림 5.4) 상업단지의 에너지 소비

(2) 대안제시 결과

상업단지에 대한 시스템 우선순위는 업무단지와 동일하다. 따라서 태양광-풍력-지열-태양열의 순으로 적용하였다. 11%의 신재생에너지 목표량(564.6MWh)에 대한 신재생에너지 시스템별 적정 대안의 구성은 <표 5.15>과 같다.

<표 5.15> 상업단지의 대안제시 결과

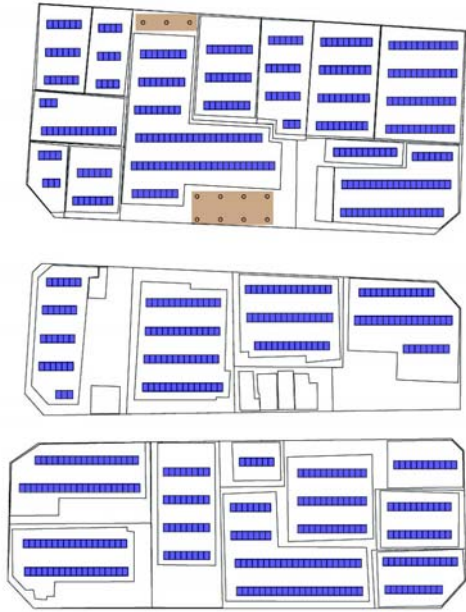
시스템	에너지 비율(%)	필요 에너지(MWh)	필요량
지열	51.7	291.8	11공
태양열	0	0	-
태양광	48.3	272.8	1,022매
풍력	0	0	-
Total	100.0	564.6	

상업단지의 적정 대안은 태양광과 지열시스템을 적용하는 것으로 나타났다. 풍력의 경우, 다른 대상지와 마찬가지로 일정 이상의 풍속이 확보되지 않으며, 도시를 구성하는 건물의 높이도 낮기 때문에 적용성이 없는 것으로 나타났다. 또한 태양열의 경우, 시스템 우선순위에서 가장 낮은 우선순위를 가지고 있고 상업단지의 부분별 에너지 소비량 역시 급탕부분이 가장 낮은 소비율을 가지기 때문에 우선순위와 에너지 소비율에 따른 시스템별 부하분담률에 의해 태양열에 대한 적용성이 나타나지 않은 것으로 판단된다.

(3) 대안평가

위에서 제시된 적정 대안을 바탕으로 대상 상업단지에 대한 신재생에너지 시스템을 배치해 보았다.

<표 5.16> 업무단지의 배치안 및 생산량 분석



시스템	대안제시 안	실제 적용안	비교
지열	11공 (291.8MWh)	11공 (297.1MWh)	100% 적용 (101.8%)
태양광	1,022매 (272.8MWh)	756매 (203.7MWh)	74.0% 적용 (74.3%)

지열은 제시된 대안대로 실제 적용이 가능한 것으로 나타났지만 태양광의 경우, 공동주택에서와 마찬가지로 프로그램상의 적용가능한 면적보다 실제

적용가능면적이 적기 때문에 차이가 발생한 것으로 판단된다.

에너지 생산량을 비교하면 태양광의 경우, 실제 적용안이 대안제시안보다 적게 나왔기 때문에 생산량도 낮은 것으로 나타났으며, 지열은 다른 단지와 비슷하게 두 대안에 대한 생산량이 비슷한 것으로 나타났다.

5.3 소결

본 장에서는 용도지역을 바탕으로 서울지역에 위치한 4가지 유형의 대상단지를 대상으로 개발된 프로그램을 이용하여 적용성 평가를 실시하였다. 용도지역에 의해 주거단지(단독주택 단지, 공동주택 단지)와 상업단지를 대상으로 하였으며, 상업단지는 다시 상업우세지역(상업단지)과 업무우세지역(업무단지)으로 분류하고 서울에 위치한 용도지역별 대상지를 선정하여 프로그램에 적용해 보았다.

프로그램은 모델링은 실제 도시의 물리적 규모 및 상황(구성건물의 용도, 층수, 형태, 기준층 연면적 등을 입력)을 반영할 수 있기 때문에 프로그램 상의 모델링이 실제 도시의 형상과 비슷하고, 모델링을 통해 손쉽게 도시의 에너지 소비량 및 소비특성을 분석할 수 있는 도구임을 확인할 수 있었다.

프로그램에서 제시하고 있는 단지 유형별 대안에 대해 실제 적용가능성을 토대로 적정성을 평가해 보았다. 적용성 평가는 도출된 대안대로 실제 대상단지에 신재생에너지 시스템을 배치하고 프로그램 상의 대안대로 실제 적용가능한지를 평가해 보았다.

프로그램 적용 시, 신재생에너지를 통한 목표량은 국가에너지기본계획의 신재생에너지 목표 보급률인 11%를 적용하였으며, 시스템 우선순위는 단지 유형별 에너지 소비율이 큰 부하를 담당하는 시스템을 우선적으로 적용하였다.

단지유형별 프로그램의 대안에 대한 적용성 검토결과는 다음 <표 5.17>에 나타난 바와 같이, 모든 단지 유형에서 높은 적용성을 가지는 것으로 나타났다. 또한 단지유형별 대안제시안과 실제 대시안에 대한 시스템별 적용성을 살펴보면, 태양광을 제외한 나머지 시스템의 실제 적용성은 매우 높음을 알 수 있다. 태양광의 경우, 대안제시안과 실제 적용안에 다소 차이가 나타나는 것을 알 수 있는데, 이는 대안설정 과정 단계 중 태양광시스템별 최소 설치면적이 실제 설치면적보다 작은 것으로 평가되었기 때문이다. 태양광의 경우, 시스템 설치 시, 음영의 발생 가능성을 최소화하기 위해 건물의 옥상외벽 높

이를 고려하여 외벽으로부터 약 1m이내인 곳에는 실제 시스템을 설치하지 않는다. 따라서 태양광의 실제 적용 면적이 프로그램상의 최소 설치면적보다 크기 때문에 차이가 발생한 것으로 판단된다.

<표 5.17> 단지유형별 프로그램 대안의 적용성 검토 결과

		단독주택 단지	공동주택 단지	업무단지	상업단지
태양광	대안 목표량	206매	1,382매	1,856매	1,022매
	실제 적용량	206매	919매	1,238매	756매
	적용률(%)	100.0	66.5	81.0	74.0
태양열	대안 목표량	67매	397매	—	—
	실제 적용량	67매	397매	—	—
	적용률(%)	100.0	100.0	—	—
지열	대안 목표량	3공	24공	62공	11공
	실제 적용량	3공	24공	62공	11공
	적용률(%)	100.0	100.0	100.0	100.0
풍력	대안 목표량	—	—	21기	—
	실제 적용량	—	—	21기	—
	적용률(%)	—	—	100.0	—
비교	전체 적용률(%)	100.0%	88.8%	88.9%	87.0%

위의 표와 같이 대상도시에 프로그램을 적용하여 평가한 결과, 용도지역의 에너지 소비특성 및 소비량에 근거한 적정 대안이 제시되었고, 실제 도시에 제안된 대안대로 각각의 시스템을 적용해 본 결과, 매우 높은 적용성이 있는 것으로 나타났다.

따라서 본 프로그램은 도시의 신재생에너지 복합 적용을 위한 계획 초기단계에서 도시의 특성을 반영하여 프로그램을 활용하면 도시의 에너지 소비특성에 부합하는 각 시스템별 적정 용량 산출 및 계획이 가능하고, 그에 따른 성능예측이 가능하여 도시 신재생에너지 복합 적용을 위한 도구로 활용 가능할 것이라 판단된다.

제 6 장 결 론

신재생에너지의 도시 복합 적용은 신재생에너지시스템을 도시의 에너지 공급원으로 안정적이고 효율적으로 이용하기 위한 분산형 에너지 공급 시스템의 한 종류로 도시 안에서 에너지의 소비와 공급이 가장 효율적으로 이루어질 수 있도록 한다.

이러한 신재생에너지의 효율적인 복합 적용을 위해서는 시스템의 초기 계획단계에서 도시의 특성을 반영한 복합적용 계획 및 성능평가가 가능한 프로그램이 필요한 실정이다. 하지만 기존의 프로그램은 일반적으로 계획안의 검토를 위해 사용되는 경우가 대부분이며, 프로그램마다 평가항목의 범위가 다를 뿐 아니라 도시의 특성을 반영하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 신재생에너지 복합 적용을 위해서는 도시의 특성을 반영하여 도시 유형별 복합적용 대안 제시가 가능하고 그 결과에 대한 성능평가가 가능해야 한다.

따라서 본 연구는 신재생에너지의 도시 복합 적용을 위한 도시계획 초기 단계 및 신재생에너지의 적용계획 시, 신재생에너지에 대한 전문적인 지식이 없이도 간단한 프로그램을 통해 도시의 유형에 맞는 신재생에너지 복합 적용 대안을 제시하고 그에 따른 성능평가가 가능한 도구를 개발하는데 목적이 있다.

프로그램 개발을 위해 본 연구는 도시의 에너지 소비량 예측과 각 시스템별 성능 예측식을 기반으로 하는 평가모형을 통해 프로그램의 데이터베이스를 구축하고, 복합적용을 위한 대안제시 과정을 프로그램으로 전산화하였다. 또한 사례연구를 통해 개발된 프로그램의 적용성을 검토하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 신재생에너지의 도시 복합 적용을 위한 예비조사 결과, 태양광, 태양열, 풍력, 지열 시스템이 단지 및 도시에 적용성이 높은 것으로 나타나, 복합 적용을 위한 대상 시스템으로 선정하였다.

(2) 기존의 신재생에너지 성능예측 프로그램의 종류 및 특징을 분석하고 프로그램을 비교평가한 결과, 신재생에너지의 도시 복합 적용을 위한 프로그램 개발을 위한 요소로 도시의 특성 반영여부, 복합적용 평가 가능여부(2개 이상의 시스템에 대한), 시계열 분석의 가능여부 그리고 도시에서 소비되는 전체에너지 (열과 전기에너지)에 대한 분석 가능여부임을 알 수 있었다.

(3) 도시의 에너지 소비량 예측과 각 시스템별 예측을 통해 프로그램의 데이터 베이스로 활용하기 위해 도시를 구성하고 있는 건물용도별 표준모델을 설정하여 단위면적당 에너지 소비량을 에너지 소비 부분(난방, 냉방, 급탕, 전력)별로 8,760시간의 시계열 데이터로 도출하였다. 건물용도별 표준모델에 대한 단위면적당 에너지 소비량을 기존 연구 및 에너지총조사보고서의 에너지원단위 사용량과 비교한 결과, 본 연구의 결과 값이 프로그램의 도시 에너지 소비량 예측을 위한 데이터베이스로 활용가능한 것으로 나타났다.

(4) 프로그램의 적용성 평가를 위해 대상단지를 바탕으로 서울지역에 해당하는 실제도시를 용도지역별로 선정하여 프로그램에 적용한 결과, 프로그램이 실제 도시의 물리적 규모 및 상황(구성건물의 용도, 층수, 형태, 기준층연면적 등을 입력)을 반영하기 때문에 프로그램 상의 모델링 결과가 실제 도시의 형상과 비슷하고, 모델링을 통해 손쉽게 도시의 에너지 소비량 및 소비특성을 분석할 수 있는 도구임을 확인할 수 있었다.

(5) 단지유형별 프로그램의 대안에 대한 적용성 검토결과, 모든 단지 유형에서 87% 이상의 높은 적용성을 가지는 것으로 나타났다. 시스템별 적용성 검토결과, 태양광의 경우, 실제 적용면적이 최소 설치면적보다 커 적용성이 타 시스템에 비해 약 20-30% 낮은 것으로 나타났다. 또한 각 시스템별 도출된 생산량에 대해 RETScreen과 비교하여 적용성을 평가한 결과, 모든 시스템이 높은 적용성을 가지는 것으로 나타났다.

따라서, 본 연구에서 개발된 프로그램은 신재생에너지의 도시 복합 적용을 위한 계획 초기단계에서 프로그램을 활용하여 도시의 에너지 소비특성에 부합하는 각 시스템별 적정 용량 산출 및 계획이 가능하고, 그에 따른 성능예측이 가능하여 신재생에너지의 도시 복합적용을 위한 성능평가 도구로 활용가능할 것이라 판단된다.

본 연구의 한계점은 적정 대안제시 과정 중, 시스템별 최대 적용량 산정시, 태양광과 태양열 시스템에 대한 최대 적용량을 건물의 옥상면에 적용하는 것으로 한정하였다. 하지만 태양광과 태양열시스템의 경우, 건물의 옥상면뿐만 아니라 건물의 입면에도 활용가능한 시스템이다. 그러나 건물의 입면에 대한 적용성은 도시의 GIS(Geographic Information System)를 기반으로 하여, 적용하려는 입면에 대한 정확한 분석을 통해 적용성을 평가해야 하기

때문에 프로그램으로 분석 가능한 범위의 한계를 지닌다. 또한 프로그램 상의 결과로 도출된 대안은 신재생에너지 시스템의 적용가능성을 기반으로 도출되었기 때문에 최적화된 대안이라 할 수 없다. 따라서 향후 프로그램의 정확성 및 활용도를 높이기 위해서는 하나의 목적함수를 가지는 최적화 알고리즘에 의한 대안 도출이 필요하다. 최적화된 대안 도출을 위한 알고리즘 작성 시, 신재생에너지 시스템의 경제성 및 환경성을 고려한 최적화 선정에 대한 추후연구가 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

<국내문헌>

1. 강소연, 공동주택단지내 풍력발전시스템의 적용방안에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 2002
2. 국토해양부, 교육과학기술부, 행전안전부, 지식경제부, 환경부, 산림청, 녹색도시·건축물 활성화 방안, 2009
3. 기획재정부, 교육과학기술부, 외교통상부, 국가에너지기본계획(안) : 2008~2030, 2008
4. 김민수, 실리콘(Si) 계의 태양전지(solar cell) 발전 시스템 최적 설계 연구, 영남대학교 석사학위논문, 2006
5. 김성은, 건축물의 신재생에너지 복합 활용 계획에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 2009
6. 김승옥, 우리나라 지중온도의 관측현황 및 기후학적 특성, 공주대학교 석사학위 논문, 2004
7. 김용기, 이태원, 부하에 따른 도시기반 에너지 공급시스템의 최적 설계기법에 관한 연구, 한국건설기술연구원, 대한설비공학회 2004 동계학술발표대회 논문집
8. 김종헌 외, 친환경 건축물을 위한 신재생에너지 시스템 최적화 시뮬레이션 개발 및 검증, 한국건축친환경설비학회 춘계학술발표대회논문
9. 김종헌, 친환경 건축물을 위한 신재생에너지 최적화 시뮬레이션 프로그램 개발 및 적용, 한양대학교 석사학위 논문, 2010
10. 변수영 외, 신재생에너지시스템의 복합 적용을 위한 시스템 우선순위 평가, 2010 대한건축학회 추계학술발표대회(계획계)
11. 산업자원부, GSHP의 지중열교환기 설계 및 시공기술 개발, 2006
12. 산업자원부, 소형 풍력발전기기 성능평가 사업, 2002
13. 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030[지열], 2007
14. 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030[태양광], 2007
15. 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030[태양열], 2007
16. 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030[풍력], 2007
17. 산업자원부, 태양광발전 용어집, 2007

18. 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제 2조
19. 안수환 외, 도시지역의 토지이용계획에 따른 신재생에너지 적용방안에 관한 연구, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집, 2010
20. 에너지경제연구원, 2008 에너지총조사보고서, 2008
21. 에너지관리공단 신·재생 에너지 센터, 신재생에너지백서 2008, 2008
22. 월간전기설비, 중앙 집중형에너지에서 분산형 에너지로, 2005
23. 이강국 외, 도시지역 분산형 에너지 공급시스템 도입에 관한 연구, 대한 건축학회논문집, 제 23권 제 1호. 2007
24. 이관호, 건축물의 환경성능과 경제성을 고려한 평가프로그램 개발에 관한 연구, 중앙대학교 박사학위논문, 2002
25. 이동일 외, 풍력자원지도 개발 연구보고서, 기상청 자료 관리 서비스팀, 2007
26. 이민희 외, 도시차원의 신재생에너지시스템 적용가능성 평가에 관한 연구, 한국건축친환경설비학회 춘계학술발표대회 논문집, 2009
27. 이민희, 도시특성에 따른 태양에너지시스템 적용에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위 논문, 2010
28. 이선구, 부하예측기반 도심지역 재생에너지 복합시스템 적용성 평가, 서울시립대학교 석사학위 논문, 2010
29. 이성근 외, 표본조사자료를 이용한 가구의 에너지소비행태분석, 에너지경제연구 제 4권 제 1호, 에너지경제연구원, 2005
30. 이의준, 저에너지 친환경 공동주택 개발 기술전문가 교육 세미나 자료, 2008
31. 이종식, 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 2008
32. 전현도, 초고층 건물의 풍력발전시스템 적용방안에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 2010
33. 정민희, 도시 신재생에너지 복합적용 현황, 한국 그린빌딩협의회지 v.10 n.3
34. 조덕기, 강용혁, 태양에너지 측정을 통한 우리나라 주요 도시의 Global Dimming 현상 분석에 관한 연구, 한국태양에너지 학회 논문집, vol.27, No.2, 2007
35. 조일진, 제로 에너지·생태학교 모형 개발연구, 한국교육개발원, 2009
36. 조휘창, 마이크로그리드 설계 및 평가 프로그램 개발, 충남대학교 석사학위논문, 2010

37. 지식경제부, 풍력발전단지 건설을 위한 지침서 및 지역 수용성 제고방안 연구, 2006
38. 최장봉, 태양열 급탕시스템의 활용 방법과 적용사례, 에너지관리 v.148, 1988
39. 하정우, 국내풍력발전의 경제성분석, 아주대학교 석사학위 논문, 2006
40. 한국에너지기술연구원, “태양열 시스템 설계지침” , 2004
41. 황인석, 교토의정서와 한국의 대응체제에 관한 연구, 울산대학교 석사학위논문, 2005

<국외문헌>

1. ASHRAE, Commercial/Institutional Ground-Source Heat Pump Engineering Manual, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA, USA, 1995
2. Commercial Buildings Energy Consumption Survey(1999). Energy Information Administration
3. Duffie J. A., Beckman W. A., Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, Inc., 1991
4. Energy System Research Unit, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, U. K., Merit Overview, Dynamic demand/supply matching-design tool for renewable energy. systems
5. German Solar Energy Society, "Planning & Installing Photovoltaic Systems(second edition)", Earthscan, 2007, pp.145
6. Hugh Henderson, Yu Joe Huang, Danny Parker, Residential Equipment Part Load Curves for use in DOE-2, 1999
7. IGSHPA, Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump Systems - Installation Guide, International Ground-source Heat Pump Association, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma, USA, 1988
8. IPCC, Climate Change 2007 Synthesis Report, 2007. 11
9. Kavanaugh, P.K. and Rafferty, K., Ground-source Heat Pumps - Design of Geothermal Systems For Commercial and Institutional Buildings, American Society of Heating, Refrigerating and

Air-Conditioning Engineers, Inc., 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA, USA, 1997

10. Murat Kacira et. al, Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey, Renewable Energy 29,2004, pp.1265~1275
11. Norway Standard 3032, Energy and power budgets for buildings
12. RETScreen, Ground-Source Heat Pump Project Analysis, 2005, pp.55~56
13. RETScreen, Photovoltaics project analysis, 2003, pp.17~23
14. Sathyajith mathew, Wind Energy, Springer, 2006, pp.146~pp.148
15. 일본전기신문, 차세대 분산형 에너지 시스템 개발, 2002

<Web Site>

1. 네이버 백과사전
2. 신재생에너지센터 홈페이지, www.energy.or.kr
3. 한국태양에너지학회 홈페이지, <http://www.kses.re.kr>
4. Electirc Power Research Institute (EPRI) : 미국전력연구소, www.epri.com
5. Energy Performance of Buildings Directive, www.rics.org
6. RETScreen International, www.etscreen.net
7. United States Department of Energy, (DOE) : 미국에너지부, www.doe.gov

[부 록 1]

▣ HYRES(HYbrid Renewable Energy Systems Optimization Program of Urban Area) 프로그램의 사용 방법

1. HYRES 프로그램의 개요

본 프로그램은 도시계획 초기 단계 및 신재생에너지 시스템의 초기 계획단계에서 설계자가 신재생에너지 시스템에 대한 전문적인 지식이 없이 신재생에너지 시스템의 도시 복합 적용을 위한 대안설정 및 대안에 대한 성능평가가 가능하도록 지원하는 프로그램이다.

또한, 간단한 도시 모델링만으로 도시의 에너지 소비량예측이 가능하고 도시의 에너지 소비 유형에 맞는 복합 적용 대안을 제시함으로써 도시의 에너지 효율성을 향상시킬 수 있는 대안의 도출이 가능하다.

신재생에너지의 도시 복합적용을 위해 표준건물의 건물용도별 에너지 소비량을 8,760시간의 시계열 데이터로 확보하여, 도시 모델링 시, 적용될 수 있도록 하였으며 합리적인 대안설정 과정을 통해 시스템의 적정 대안 설정 과정을 구축하였다. 프로그램의 개발 도구는 C-sharp(C#)이라는 프로그래밍 언어를 사용하여 프로그램의 가시화를 극대화 하였고, 사용자 인터페이스가 간편하도록 하였다.

2. 프로그램의 단계 및 구성

프로그램은 4단계로 STEP 1 : 단지 모델링 - STEP 2 : 단지 분석(에너지 소비량 분석) - STEP 3 : 대안제시 - STEP 4 : 대안평가로 크게 구성되어 있다.

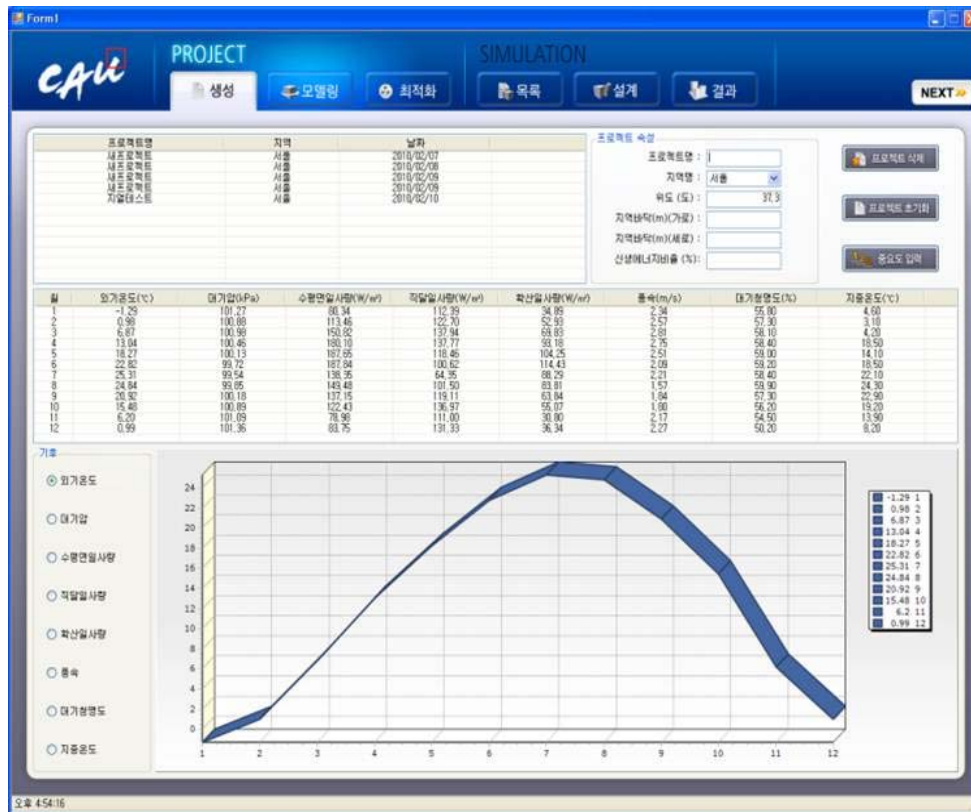
- STEP 1(단지 모델링) : 기후데이터 입력, 구성건물의 유형 및 규모 모델링, 시스템 선정 시 각 항목별 중요도 평가 및 시스템 우선순위 입력
- STEP 2(단지 에너지 분석) : 도시의 에너지 소비량 분석(난방, 냉방, 급탕, 일반전력 부문), 시계열 소비량 분석 가능
- STEP 3(대안 제시) : 신재생에너지 시스템 적용 우선순위에 의한 대안 제시, 단지 규모 및 유형에 따른 대안제시
- STEP 4(대안평가) : 대안에 대한 시스템 시계열 성능평가



(그림 1) 프로그램의 구성 및 초기화면

3. HYRES 프로그램의 이용방법

(그림 2)는 프로그램의 실행 후 나타나는 첫 화면이다. 이 화면은 프로그램의 실행 단계를 간단히 나타내고 있으며, 프로그램은 모델링, 최적화(대안 제시), 설계(사용자 대안 입력 창), 결과와 같이 4 단계로 나눌 수 있다.



(그림 2) 프로그램의 주 화면

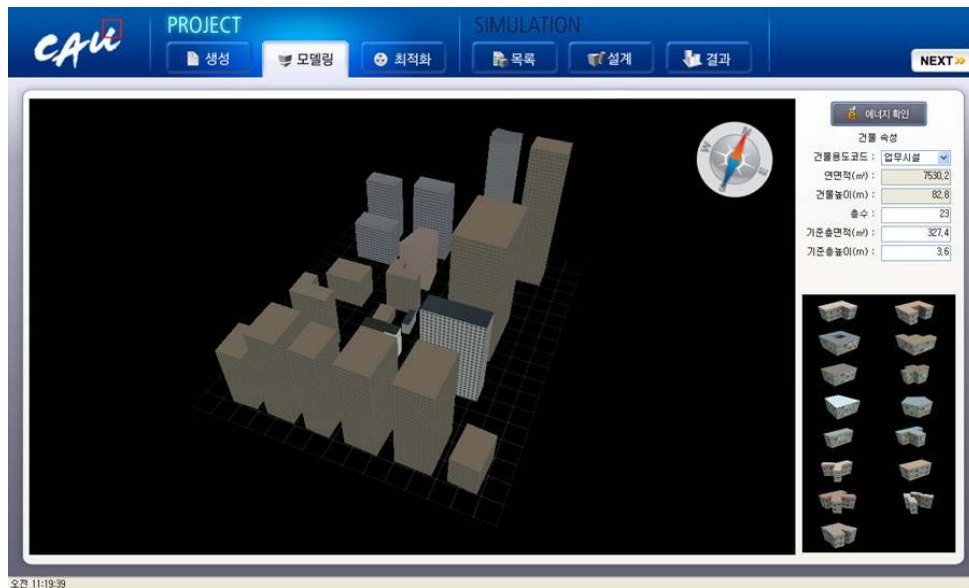
첫 번째 단계는 생성으로 프로젝트의 속성 및 중요도(그림 3)를 입력한다. 프로젝트 명, 지역 설정, 단지 및 도시 규모 설정, 신재생에너지 목표량을 입력한다. 아래 (그림 3)은 중요도 입력 창으로, 프로그램 상에서 제시하는 Default 값을 적용하는 방법과 User가 직접 입력 가능하도록 만들어졌다.

중요도 속성		중요도
초기 투자비	시스템의 효율성	10
	시공의 용이성	0
	에너지 공급의 신뢰성	0
	기술 성숙도	0
경제적 요소	기술적 요소	0
	유지 관리비	0
	보조금 지원	0
	투자회수기간	0
환경적 요소	환경개선효과(CO2 저감효과)	0
	주변환경에 미치는 영향	0
	기후조건	0
사회적 요소	일자리 창출	0
	사회적 인식 및 수용	0

중요도 우선순위
☒ 태양열 > 태양광 > 지열 > 풍력
☐ 사용자 우선순위
☐ 태양열 > 태양광 > 지열 > 풍력

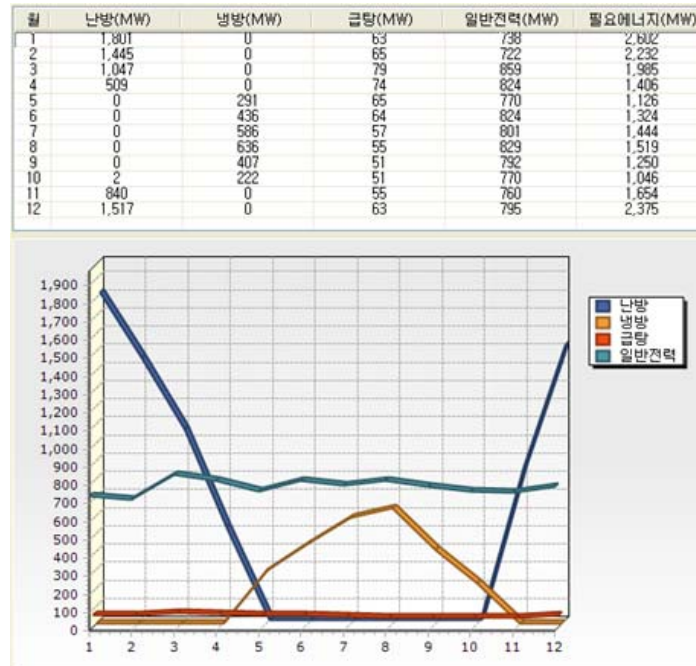
Default 확인 취소

(그림 3) 중요도 입력



(그림 4) 단지 모델링

두 번째 단계는 모델링 단계로, 건물의 형태, 건물의 용도, 연면적, 건물 층수, 기준층면적, 기준층 높이를 입력하면 기존 도시와 유사하게 모델링한다. 이러한 도시의 모델링을 통해 도시의 에너지 소비량이 도출된다.



(그림 5) 단지의 에너지 소비량 분석

세 번째로 도시의 형상과 유사하게 모델링을 하면 위의 (그림 5)와 같이 난방, 냉방, 급탕, 일반전력 부문에 대한 에너지 소비량이 8,760시간의 시계열 데이터로 도출되며, 월별로 부문별로 에너지 소비량이 도출된다. 또한 초기의 목표로 하는 신재생에너지 목표량에 대한 필요 에너지량이 도출된다.



(그림 6) 대안제시 결과

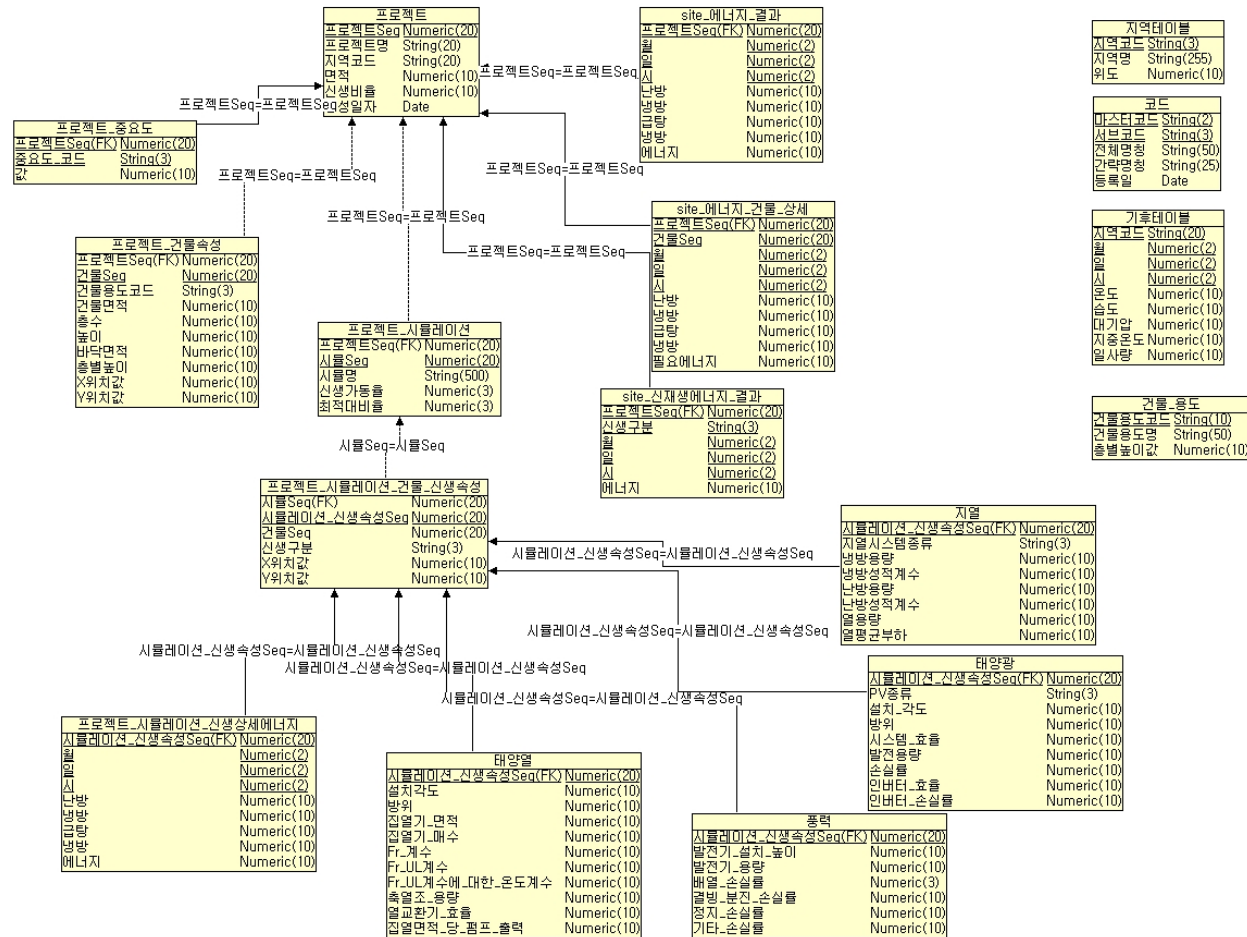
네 번째로, 목표량과 시스템 우선순위에 의한 알고리즘에 의해 대안제시가 이루어지며, 대안제시를 통해 생산되는 에너지량이 도출된다. 또한 제시된 대안에 대한 시스템 구성 비율을 시각화 하여 대안에 대한 시스템별 비율을 알 수 있도록 한다.



(그림 7) 대안평가

위의 설계 단계에서 사용자 설계안을 사용자가 입력하면 사용자 대안과 프로그램상의 대안에 대한 비교가 가능하도록 하고 있어 단지 및 도시 유형에 더욱 합리적인 대안에 대한 비교가 가능하게 한다.

[부 록 2]



HYRES의 프로그램 Table

국 문 초 록

신재생에너지의 도시 복합 적용을 위한 성능평가 프로그램 개발에 관한 연구

중앙대학교 대학원

건축학과 건축환경 및 설비전공

변 수 영

최근 기후변화와 같은 환경의 문제와 고유가 상황에서 자원의 문제를 동시에 해결할 수 있는 방안으로 주목받고 있는 것이 신재생에너지원의 이용이다. 특히, 신재생에너지의 도시 복합 적용은 신재생에너지시스템을 도시의 에너지 공급원으로 안정적이고 효율적으로 이용하기 위한 분산형 에너지 공급 시스템의 한 종류로 도시 안에서 에너지의 소비와 공급이 가장 효율적으로 가능토록 한다.

이러한 신재생에너지의 효율적인 복합 적용을 위해서는 시스템의 초기 계획단계에서 도시의 특성을 반영한 복합적용 계획 및 성능평가가 가능한 프로그램이 필요하다. 하지만 기존의 프로그램은 일반적으로 계획안의 검토를 위해 사용되는 경우가 대부분이며, 프로그램마다 평가항목의 범위가 다를 뿐 아니라 도시의 특성을 반영하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 신재생에너지 복합 적용을 위해서는 도시의 특성을 반영하여 도시 유형별 복합적용 대안 제시가 가능하고 그 결과에 대한 성능평가가 가능해야 한다.

따라서 본 연구는 신재생에너지의 도시 복합 적용을 위한 도시계획 초기 단계 및 신재생에너지의 적용계획 시, 간단한 프로그램을 통해 도시의 유형에 맞는 신재생에너지 복합 적용대안을 제시하고 그에 따른 성능평가가 가능한 도구를 개발하였다. 그리고 개발된 프로그램의 적용성을 검토하기 위해 실제 도시를 대상으로 도시 유형별 사례연구를 통해 적용성을 평가하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 프로그램 개발을 위해 기존의 성능예측 프로그램의 종류 및 특징을 분석하고 비교·평가한 결과, 신재생에너지의 도시 복합 적용을 위한 프로그램 개발

을 위한 고려요소는 도시의 특성 반영여부, 복합적용 평가 가능여부(2개 이상의 시스템), 시계열 분석의 가능여부 그리고 도시에서 소비되는 전체에너지(열 및 전기에너지)에 대한 분석 가능여부인 것으로 나타났다.

(3) 도시의 에너지 소비량 예측과 각 시스템별 성능예측식을 프로그램의 데이터베이스로 활용하고자 하였다. 따라서 도시를 구성하고 있는 건물용도별 표준모델을 설정하여 단위면적당 에너지 소비량을 에너지 소비 부분별로 8,760시간의 시계열 데이터로 도출하였으며, 도출된 건물용도별 표준모델에 대한 단위면적당 에너지 소비량을 기존 연구 및 에너지총조사보고서의 에너지원단위 사용량과 비교한 결과, 본 연구의 결과 값이 프로그램의 도시 에너지 소비량 예측을 위한 데이터베이스로 활용가능한 것으로 나타났다.

(4) 프로그램의 적용성 평가를 위해 대상단지를 바탕으로 서울지역에 해당하는 실제도시를 용도지역별로 선정하여 프로그램에 적용한 결과, 프로그램이 실제 도시의 물리적 규모 및 상황을 반영하기 때문에 프로그램 상의 모델링 결과가 실제 도시의 형상과 비슷하고, 모델링을 통해 손쉽게 도시의 에너지 소비량 및 소비특성을 분석할 수 있는 도구임을 확인할 수 있었다.

(5) 프로그램의 단지 유형별 적용성 평가결과, 모든 단지 유형에서 87% 이상의 높은 적용성을 가지는 것으로 나타났으며, 시스템별 적용성 평가결과, 모든 시스템이 높은 적용성을 가지는 것으로 나타났으나, 태양광은 실제 적용면적과 최소 설치면적의 차이로 인해 약 20-30% 정도 적용성이 낮은 것으로 나타났다. 또한 각 시스템별 도출된 생산량에 대한 적용성 평가 결과, 모든 시스템이 높은 적용성을 가지는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서 개발된 프로그램은 신재생에너지의 도시 복합 적용을 위한 계획 초기단계에서 프로그램을 활용하여 도시의 에너지 소비특성에 부합하는 각 시스템별 적정 용량 산출 및 계획이 가능하고, 그에 따른 성능예측이 가능하여 신재생에너지의 도시 복합적용을 위한 성능평가 도구로 활용 가능할 것이라 판단된다.

<ABSTRACT>

A Study on the Development of Performance Evaluation Program for the Urban Hybrid Application of Renewable Energy Systems

Byun, Soo Young

Major in Architectural Environmental & Systems

Dept. of Architecture

The graduate school of Chung-ang University

Currently, the use of renewable energy source is noticed to the solution for the problem of resource under the situation of environment issue as climate change.

Especially, the urban hybrid application of renewable energy makes possible the most efficient supply and consumption of energy in the urban that use the renewable energy system stably and efficiently to the energy supply in the urban as the sort of the distributed energy supply system.

For these efficient hybrid application of renewable energy, the hybrid application plan and evaluation of performance program that reflect the characteristic of urban is necessary in the initial plan state of system.

But the existing program has been almost used just for the investigation in the plan, and the range of evaluation item differs for the each program and it could not reflect the characteristic of urban.

Accordingly, the alternative suggestion for hybrid application by urban type and performance evaluation by that result should be possible through the reflection of characteristic of cities for the hybrid

application of renewable energy.

Therefore, in this study, we aim to suggest the alternative for the hybrid application of renewable energy that match to the type of urban through the simple program and to develop the instrument that is possible for the performance evaluation.

The result of this study is summarized as follows.

(1) As a result to compare and evaluate the characteristic and type of existing program performance forecast to develop the program, the consideration for the development of the urban hybrid application of renewable energy showed the possibilities of the reflection for the characteristic of the urban, complex application evaluation (more than 2 kinds system), time series analysis and analysis for the total energy consumed in the urban (thermal and electrical energy).

(2) We try to use the urban energy consumption forecast and performance forecast formula by each system to the program database. Accordingly we set up the standard model by building use composed of the urban and draw the energy consumption for unit area to the time series data of 8,760 hours, and as a result we compare the energy consumption for unit area for the drawn standard model by the building use with the consumption by energy source of existing study and energy total study report, it showed that the result value of this study is possible to use as the database for the forecast of urban energy consumption.

(3) As a result we select and apply the appropriate actual urban to the Seoul area based on the of survey sites to the program the by use district for evaluate the applicability of the program, the modeling result on the program is similar to the actual urban shape as the program reflects the status and physical scale of actual urban, and we can verify to analyze that it is the instrument for the consumption characteristics and energy consumption of urban through modeling easily.

(4) As a result of applicability evaluation of program by district type

it showed the high applicability over 87% in the all district types, and as a result of the evaluation of applicability by system, it showed the high applicability in all systems, but it showed the low applicability about 20–30% in the photovoltaic system because of the difference of the actual applied area and minimum installed area. In addition, as a result of the evaluation of the applicability for the drawn consumption by each system, it showed the high applicability in all system.

Therefore the program developed for the urban hybrid application of the renewable energy in this study is possible to plan and calculate appropriate capacity by each system that coincides to the energy consumption characteristic of urban through use of the program in the initial stage of plan, and we think it is possible to forecast the performance so it could be able to use as the performance evaluation instrument for the urban hybrid application of renewable energy.