第 114 回 碩士學位論文

指導敎授 李 彦 求

도시특성에 따른 신재생에너지시스템 복합 적용 방안에 관한 연구

A Study on the Application of Integrated Renewable Energy Systems based on Urban Characteristics

中央大學校 大學院

建築學科 建築環境 및 設備專攻

정 아 름

2011年 2月

도시특성에 따른 신재생에너지시스템 복합 적용 방안에 관한 연구

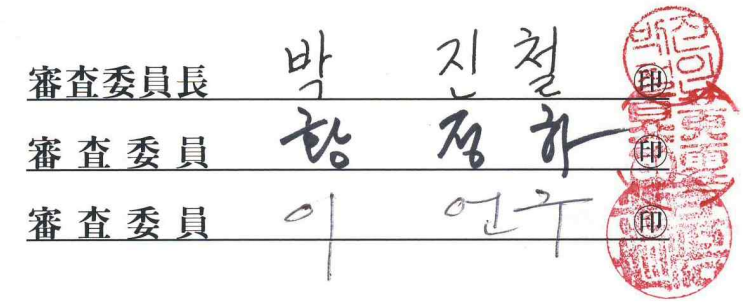
A Study on the Application of
Integrated Renewable Energy Systems
based on Urban Characteristics

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
정 아 름

정아름의 碩士學位論文으로 認定함.



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 도시의 신재생에너지 복합 적용의 개념 및 활용 ····· 5

2.1 도시의 신재생에너지 복합 적용의 의미 ····· 5
2.1.1 신재생에너지의 개요 ····· 5
2.1.2 도시의 신재생에너지 복합 적용의 필요성 ····· 6
2.1.3 도시의 신재생에너지 복합 적용의 개념 ····· 7
2.2 도시 에너지 공급원으로서 신재생에너지의 활용 가능성 ····· 9
2.2.1 분산형 에너지 공급시스템 ····· 10
2.2.2 마이크로그리드 ····· 12
2.2.3 스마트그리드 ····· 13
2.3 소결 ····· 15

제 3 장 도시의 신재생에너지시스템 복합 적용을 위한 기초 조사 ····· 16

3.1 신재생에너지시스템의 개요 및 특성 ····· 16
3.1.1 태양광발전 시스템 ····· 16
3.1.2 태양열 시스템 ····· 19
3.1.3 소형풍력발전 시스템 ····· 22
3.1.4 지열 시스템 ····· 26
3.2 도시의 신재생에너지시스템 도입 시 고려사항 ····· 30
3.2.1 태양에너지 시스템 ····· 30
3.2.2 소형풍력발전 시스템 ····· 32
3.2.3 지열 시스템 ····· 34
3.3 신재생에너지시스템의 건축물 적용 방법 ····· 36

3.3.1 태양광발전 시스템 ····· 36
3.3.2 태양열 시스템 ····· 37
3.3.3 소형풍력발전 시스템 ····· 38
3.3.4 지열 시스템 ····· 39
3.4 소결 ····· 40

제 4 장 도시 특성에 따른 신재생에너지 적용가능성 평가 ····· 41

4.1 도시의 신재생에너지 적용가능성 평가 개요 ····· 41
4.1.1 도시의 신재생에너지시스템 복합 적용을 위한 프로세스 ····· 41
4.2 도시 특성에 따른 도시 유형화 및 기준모델 설정 ····· 44
4.2.1 도시 특성에 따른 도시 유형 분류 ····· 44
4.2.2 도시 유형별 기준모델 설정 ····· 49
4.3 도시 유형별 에너지 수요 분석 ····· 56
4.3.1 건물 용도별 에너지 소비 특성 분석 및 에너지원단위 산정 ····· 56
4.3.2 도시 유형별 에너지 수요 예측 ····· 67
4.4 도시 유형별 신재생에너지 잠재성 평가 ····· 69
4.4.1 태양에너지 잠재성 평가 ····· 69
4.4.2 풍력에너지 잠재성 평가 ····· 75
4.4.3 지열에너지 잠재성 평가 ····· 83
4.5 소결 ····· 86

제 5 장 도시 특성에 따른 신재생에너지시스템 복합 적용안 제시 ····· 88

5.1 도시의 신재생에너지시스템 적용 계획을 위한 방법 제안 ····· 88
5.1.1 도시의 신재생에너지시스템 적용을 위한 기존의 접근방법 ····· 89
5.1.2 도시의 신재생에너지시스템 적용 계획을 위한 방법 제안 ····· 92
5.2 도시 유형별 신재생에너지시스템 복합 적용 계획 ····· 94
5.2.1 도시 유형별 적용안 도출을 위한 방법론의 활용 ····· 94
5.2.2 도시 유형별 신재생에너지시스템 복합 적용안 제시 ····· 97
5.3 도시 유형별 신재생에너지시스템 복합 적용안 평가 ····· 105
5.3.1 복합 적용안 성능 평가 방법 ····· 105
5.3.2 도시 유형별 복합 적용안 평가 ····· 106
5.4 소결 ····· 114

제 6 장 결 론 ····· 116

참 고 문 헌 ····· 119

국 문 초 록 ····· 123

ABSTRACT ····· 125

표 목 차

<표 2.1> 신재생에너지의 분류 ····· 5
<표 2.2> 스마트그리드의 구성 기술요소 ····· 14
<표 2.3> 신재생에너지 복합 적용의 의미 ····· 15
<표 3.1> 태양광발전 시스템의 구성요소별 기능 ····· 17
<표 3.2> 태양광발전 시스템의 분류 ····· 18
<표 3.3> 태양열 시스템의 구성요소 ····· 20
<표 3.4> 풍력발전 시스템의 용량에 따른 분류 ····· 23
<표 3.5> 풍력발전 시스템의 분류 ····· 24
<표 3.6> 지열 열펌프 시스템의 분류 ····· 28
<표 3.7> 서울지역의 지중온도 ····· 29
<표 3.8> 태양광발전 시스템의 건축물 적용 유형 ····· 36
<표 3.9> 태양열 시스템의 건축물 적용 유형 ····· 37
<표 3.10> 소형풍력발전 시스템의 건축물 적용 사례 ····· 38
<표 3.11> 도시차원의 신재생에너지시스템 적용가능성 ····· 40
<표 4.1> 블록의 규모별 구분 ····· 45
<표 4.2> 용도지역의 주거지역 및 상업지역의 건축밀도 분류 ····· 48
<표 4.3> 단지 유형별 샘플도시 선정 사례 ····· 49
<표 4.4> 저층 주거단지의 샘플도시 조사 결과 ····· 50
<표 4.5> 고층 집합주거단지의 샘플도시 조사 결과 ····· 51
<표 4.6> 복합단지의 샘플도시 조사 결과 ····· 51
<표 4.7> 업무단지의 샘플도시 조사 결과 ····· 52
<표 4.8> 샘플도시의 표본건물 분류 예시(복합단지) ····· 53
<표 4.9> 저층 주거단지의 기준모델 설정 개요 ····· 53
<표 4.10> 고층 집합주거단지의 기준모델 설정 개요 ····· 54
<표 4.11> 복합단지의 기준모델 설정 개요 ····· 54
<표 4.12> 업무단지의 기준모델 설정 개요 ····· 54
<표 4.13> 도시 유형별 단지모델 프로토타입 ····· 55
<표 4.14> 단독주택의 개요 및 시뮬레이션 입력 값 ····· 57
<표 4.15> 단독주택의 월별 에너지소비 원단위 ····· 58
<표 4.16> 단독주택의 부문별 에너지소비 원단위 ····· 58

<표 4.17> 공동주택의 개요 및 시뮬레이션 입력 값 ····· 60
<표 4.18> 공동주택의 월별 에너지소비 원단위 ····· 61
<표 4.19> 공동주택의 부문별 에너지소비 원단위 ····· 61
<표 4.20> 상업용 건물의 개요 및 시뮬레이션 입력 값 ····· 62
<표 4.21> 상업용 건물의 월별 에너지소비 원단위 ····· 63
<표 4.22> 상업용 건물의 부문별 에너지소비 원단위 ····· 63
<표 4.23> 업무용 건물의 개요 및 시뮬레이션 입력 값 ····· 64
<표 4.24> 업무용 건물의 월별 에너지소비 원단위 ····· 65
<표 4.25> 업무용 건물의 부문별 에너지소비 원단위 ····· 66
<표 4.26> 도시 유형별 연간 에너지 소비량 및 소비비율 ····· 67
<표 4.27> 태양에너지시스템의 적용가능한 연간 총 일사량 기준 ····· 69
<표 4.28> 도시 유형별 태양에너지시스템 잠재성 평가결과 ····· 73
<표 4.29> 거칠기 정도와 주변 지형의 관계 ····· 77
<표 4.30> 서울지역의 월별 평균풍속 ····· 77
<표 4.31> 높이별 풍속보정 결과 ····· 78
<표 4.32> 소형 풍력발전시스템 사양 ····· 79
<표 4.33> 도시 유형별 풍력에너지 1차 적용가능성 ····· 79
<표 4.34> CFD 시뮬레이션 설정조건 ····· 80
<표 4.35> 도시 유형별 풍력에너지시스템 잠재성 평가결과 ····· 81
<표 4.36> 도시 유형별 지열에너지 잠재성 평가 결과 ····· 84
<표 4.37> 도시 특성에 따른 신재생에너지 적용가능성 평가 결과 ····· 86
<표 5.1> 도시의 신재생에너지시스템 적용을 위한 기존연구 방법 ····· 92
<표 5.2> Map of Heat Energy ····· 95
<표 5.3> Map of Electricity Energy ····· 96
<표 5.4> 저층 주거단지의 시스템별 설치 규모 ····· 98
<표 5.5> 고층 집합주거단지의 시스템별 설치 규모 ····· 100
<표 5.6> 복합단지의 시스템별 설치 규모 ····· 102
<표 5.7> 업무단지의 시스템별 설치 규모 ····· 104
<표 5.8> 도시 유형별 적용 시스템 ····· 106
<표 5.9> 태양광발전 시스템의 설치 사양 ····· 107
<표 5.10> 태양열 시스템의 설치 사양 ····· 107
<표 5.11> 풍력발전시스템의 설치 사양 ····· 107
<표 5.12> 지열 히트펌프 시스템의 설치 사양 ····· 107
<표 5.13> 저층 주거단지 계획안의 연간 에너지 성능 결과 ····· 108

<표 5.14> 저층 주거단지 계획안의 월별 에너지 성능 결과 ····· 108
<표 5.15> 고층 집합주거단지 계획안의 연간 에너지 성능 결과 ····· 109
<표 5.16> 고층 집합주거단지 계획안의 월별 에너지 성능 결과 ····· 110
<표 5.17> 복합단지 계획안의 연간 에너지 성능 결과 ····· 111
<표 5.18> 복합단지 계획안의 월별 에너지 성능 결과 ····· 111
<표 5.19> 업무단지 계획안의 연간 에너지 성능 결과 ····· 113
<표 5.20> 업무단지 계획안의 월별 에너지 성능 결과 ····· 113

그림 목차

(그림 1.1) 연구 흐름도 ····· 4
(그림 2.1) 도시의 신재생에너지 복합 적용의 개념 ····· 8
(그림 2.2) 신재생에너지 복합 적용의 에너지 공급시스템의 개념 ····· 8
(그림 2.3) 분산형 에너지 공급시스템의 개념 ····· 10
(그림 2.4) 태양열 시스템을 이용한 분산형 에너지 공급시스템(계간축열방식) ·· 11
(그림 2.5) 마이크로그리드의 개념 ····· 12
(그림 2.6) 스마트그리드의 개념 ····· 13
(그림 3.1) 태양광발전 시스템의 구성 ····· 17
(그림 3.2) 서울지역의 연간 일평균 수평면 총 일사량 ····· 19
(그림 3.3) 서울지역의 대표일 수평면 일사량 패턴 ····· 19
(그림 3.4) 태양열 급탕 시스템의 구성 ····· 21
(그림 3.5) 태양열 난방 시스템의 구성 ····· 22
(그림 3.6) 소형풍력발전 시스템의 구성 ····· 23
(그림 3.7) 풍력발전기의 풍속 증가에 따른 출력곡선 ····· 24
(그림 3.8) 서울지역의 연간 일평균 풍속 ····· 25
(그림 3.9) 서울지역의 대표일 풍속 패턴 ····· 25
(그림 3.10) 지열 열펌프 시스템 ····· 27
(그림 3.11) 연중외기온도 및 지중온도의 변화 ····· 29
(그림 3.12) 서울지역의 연간 일평균 지중온도 ····· 29
(그림 3.13) PV 어레이와 구조물의 적정거리(D=2*H) ····· 31
(그림 3.14) 태양열시스템 집열기의 이격거리 ····· 32
(그림 3.15) 도시지역(上)과 교외지역(下)의 건물 기류패턴 ····· 33
(그림 3.16) 지표면 거칠기에 따른 풍속의 변화 ····· 34
(그림 4.1) 도시의 신재생에너지시스템 복합 적용 프로세스 ····· 43
(그림 4.2) 도시 유형 분류 및 기준모델 설정 ····· 44
(그림 4.3) 도시 건물 요철도(UBR)의 개념 ····· 46
(그림 4.4) 서울시 용도지역에 따른 단지 유형 분류 ····· 48
(그림 4.5) 샘플도시의 표본건물 설정 예시(복합단지) ····· 52
(그림 4.6) eQuest 모델링 예시 ····· 57
(그림 4.7) 단독주택의 월별 에너지 소비량 ····· 58

(그림 4.8) 단독주택의 대표일간 에너지소비원단위 ····· 59
(그림 4.9) 공동주택의 월별 에너지 소비량 ····· 61
(그림 4.10) 공동주택의 대표일간 에너지소비원단위 ····· 61
(그림 4.11) 상업용 건물의 월별 에너지 소비량 ····· 63
(그림 4.12) 상업용 건물의 대표일간 에너지소비원단위 ····· 64
(그림 4.13) 업무용 건물의 월별 에너지 소비량 ····· 65
(그림 4.14) 업무용 건물의 대표일간 에너지소비원단위 ····· 66
(그림 4.15) 도시 유형별 월별 에너지 소비량 및 패턴 ····· 68
(그림 4.16) 단지 구성건물의 연간 총 일사량 예측 모습 ····· 70
(그림 4.17) 저층 주거단지의 일사량 분포 ····· 71
(그림 4.18) 고층 집합주거단지의 일사량 분포 ····· 71
(그림 4.19) 복합단지의 일사량 분포 ····· 72
(그림 4.20) 업무단지의 일사량 분포 ····· 73
(그림 4.21) 풍력에너지 잠재성 평가 방법 ····· 75
(그림 4.22) 단지의 기류분석 예시 ····· 80
(그림 4.23) 지중열교환기의 보어홀 설치간격 ····· 84
(그림 5.1) 시스템 적용 계획 방법론의 활용 ····· 89
(그림 5.2) Reinhard Madlener 연구의 신재생에너지 시나리오 도출 방법 ·· 90
(그림 5.3) REC 분석 알고리즘 ····· 91
(그림 5.4) Map overlay for spatial planning ····· 93
(그림 5.5) 저층 주거단지의 시스템 배치 ····· 99
(그림 5.6) 고층 집합주거단지의 시스템 배치 ····· 101
(그림 5.7) 복합단지의 시스템 배치 ····· 103
(그림 5.8) 업무단지의 시스템 배치 ····· 104
(그림 5.9) Merit 프로그램의 구성 ····· 106
(그림 5.10) 도시 유형별 계획안의 신재생에너지시스템 에너지 생산 비율 ·· 114

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 기후변화(Climate Change)의 문제는 오늘날 우리 사회가 직면한 가장 큰 문제 중의 하나이며, 20세기 중반 이후 인간의 산업 활동으로 발생된 CO_2 배출 증가에 의한 지구 온난화(Global Warming)가 주된 원인이다. 기후변화정부간협의체(Inter-governmental Panel on Climate Change: IPCC)의 제 4차 보고서는 21세기 말에 지구표면온도는 1.1~6.4℃ 증가하고 해수면은 0.18~0.59m 상승할 것으로 전망하면서, 지구 온난화가 인류의 생존을 위협할 수 있다고 경고하고 있다.[1)]

이러한 범지구적인 환경문제를 해결하기 위한 국제적인 노력으로서 세계 주요 국가들은 1992년 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change)을 체결하고, 최근 2009년 12월 덴마크 코펜하겐에서 열린 제15차 기후변화협약 당사국총회(COP15)에 이르기까지 세계 각국의 기후변화 문제에 대한 대책 마련의 중요성을 강조하고 있다.

국제에너지기구(International Energy Agency: IEA)[2)]에 따르면 기후변화의 주요 원인인 세계 CO_2 배출량의 약 83%가 화석연료 사용으로 인한 에너지 소비에 기인하고 있어, 에너지 소비는 지구 온난화에 직결되는 문제라고 볼 수 있다. 그러나 최근 들어 불안정한 국제정세 및 원유의 수급 불균형에 따라 고유가가 지속되고 있고, 주요 에너지 소비원인 화석연료의 고갈화가 가속화되고 있는 반면에 에너지 소비 수준은 지속적으로 증가하고 있다. 우리나라의 경우 에너지 수입의존도가 2008년 기준 96.4%[3)]로 자원의 높은 해외의존도와 에너지 소비의 증가는 국가 에너지안보에 위협을 주고 있다.

세계 에너지소비의 약 3분의 2에 해당하는 7,900백만 toe 정도가 전체 인구의 절반이 살고 있는 도시에서 소비되었으며, 2030년에는 도시화 증가로 도시의 에너지 사용량은 세계 에너지 소비의 약 73%를 차지할 것으로 전망하고 있다.[4)] 따라서 도시의 에너지 사용은 에너지 안보와 세계 온실가스 배

1) IPCC, Climate Change 2007: Synthesis Report, 2007.11, pp.30
2) IEA, CO_2 Emissions From Fuel Combustion: IEA Statistics, 2009, pp.8
3) 국가에너지통계종합정보시스템, http://www.kesis.net
4) IEA, World Energy Outlook, 2008

출 면에서 중요한 부분을 차지하며, 기존의 화석연료를 이용한 에너지 공급 방식의 변화가 요구된다.

새로운 에너지 공급 방식으로 세계 주요 국가들은 분산형 에너지 공급시스템을 활용한 지역 규모의 에너지 공급시스템 계획을 마련하고 있다. 이에 따라 분산전원으로서 신재생에너지 활용의 중요성이 높아지고 있다. 도시 에너지 공급원으로서 신재생에너지는 CO_2 배출을 줄이면서 에너지의 외부 의존도를 줄일 수 있는 환경 친화적인 에너지 자원이다. 또한 신재생에너지는 국제환경규제에 대비할 수 있는 청정에너지이자 지속가능한 발전(Sustainable Development)의 기술로 활용될 수 있는 에너지원이다. 신재생에너지원의 활용은 에너지 수요처에서 생산 및 공급함으로써 에너지의 자립도를 높이고 수요측면의 에너지 관리를 가능하게 하는 이점이 있다.

기존의 신재생에너지 활용은 대규모의 시스템 단지나 건물 단위의 적용이 대부분이다. 건물 단위의 적용은 신재생에너지시스템이 자연적, 지역적 조건 등 외부 환경에 따라 에너지 생산의 변동성이 크기 때문에 안정적인 에너지 공급이 어렵다는 문제가 있다. 따라서 한 가지 신재생에너지원을 사용하기보다는 시스템의 간헐적 생산특성을 상호 보완할 수 있도록 여러 시스템을 복합적으로 활용하여 보다 안정적으로 에너지를 공급할 필요가 있으며, 특히 이러한 시스템의 복합 적용은 도시 차원에서 적용하는 것이 에너지 효율적이다. 그러므로 안정적인 에너지 공급을 위한 신재생에너지시스템의 효율적인 활용을 위해서는 도시 단위의 시스템 복합 적용이 이루어져야 한다.

도시차원의 신재생에너지시스템 적용에 있어 도시 특성은 신재생에너지의 잠재량 및 에너지 생산에 영향을 끼치며, 다양한 도시 에너지 소비특성을 야기한다. 그러므로 효율적인 도시 단위의 시스템 적용을 위해서는 도시 특성을 반영한 시스템의 적용가능성을 분석한 뒤, 도시 특성에 따른 각 시스템의 배치 및 공급 계획이 이루어져야 한다. 따라서 도시의 신재생에너지시스템 적용은 기존의 개별건물 적용과는 다른 접근방법이 필요하다.

본 연구는 도시의 효율적인 신재생에너지 복합 적용을 위하여, 방법론을 제안하고 이를 토대로 적용안을 도출하고자 한다. 이를 위해, 도시 유형별 특성을 반영한 기준모델을 설정한 뒤, 신재생에너지의 정량적인 잠재성 분석과 도시 에너지 수요 예측을 통하여 유형별 기준모델에 대한 신재생에너지시스템의 적용가능성을 평가한다. 그리고 도시의 시스템 적용 계획을 위한 방법론을 제안하고, 이를 바탕으로 각 도시 특성에 따른 신재생에너지시스템 복합 적용안을 제시하고자 한다. 본 연구의 도시 규모의 시스템 계획 접근은 초기 도시에너지계획의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 도시 특성에 따른 신재생에너지시스템 복합 적용안을 제시하고자 도시 특성을 반영한 도시 유형별 기준모델을 수립한 뒤, 에너지 소비 특성 및 신재생에너지의 잠재성을 정량적으로 분석하여 신재생에너지시스템의 적용가능성을 평가하였다. 또한 도시 차원의 효율적인 신재생에너지시스템 적용 계획을 위한 방법론을 제안하고, 이를 바탕으로 도시 유형별 특성에 따른 시스템의 복합 적용 방안을 제시하고자 한다.

본 연구의 내용 및 방법을 요약하면 다음과 같다.

(1) 도시의 신재생에너지시스템 복합 적용을 위한 이론적 고찰

도시 단위의 신재생에너지시스템 적용을 위한 기초조사로서 신재생에너지시스템 복합 적용의 개념을 정립하고, 도시 규모의 에너지 공급 및 분배시스템을 조사하여, 도시 에너지 공급원으로서 신재생에너지의 활용가능성을 모색한다. 또한 도시에 적용가능한 시스템을 선정한 뒤, 시스템별 에너지 생산 특성 및 고려요소, 건축물 적용 방법 등의 기초자료를 조사하여 도시의 시스템 적용 가능성을 파악한다.

(2) 도시의 신재생에너지시스템 적용을 위한 도시 유형 분류 및 기준모델 설정

도시의 신재생에너지시스템 적용을 위하여 실제도시의 특성을 분석한 뒤, 신재생에너지시스템 적용 시 고려되어야 할 도시 특성요소를 파악하고, 유형모델 설정을 위한 기준을 정립한다. 본 연구에서는 도시 특성에 따른 복합 적용안 제시를 위하여 용도지역의 종세분화를 기준으로 샘플 도시를 선정하고, 형태적 특성을 분석한 뒤, 단지 유형을 분류하여 각 유형별 도시 특성을 반영한 기준모델을 수립한다.

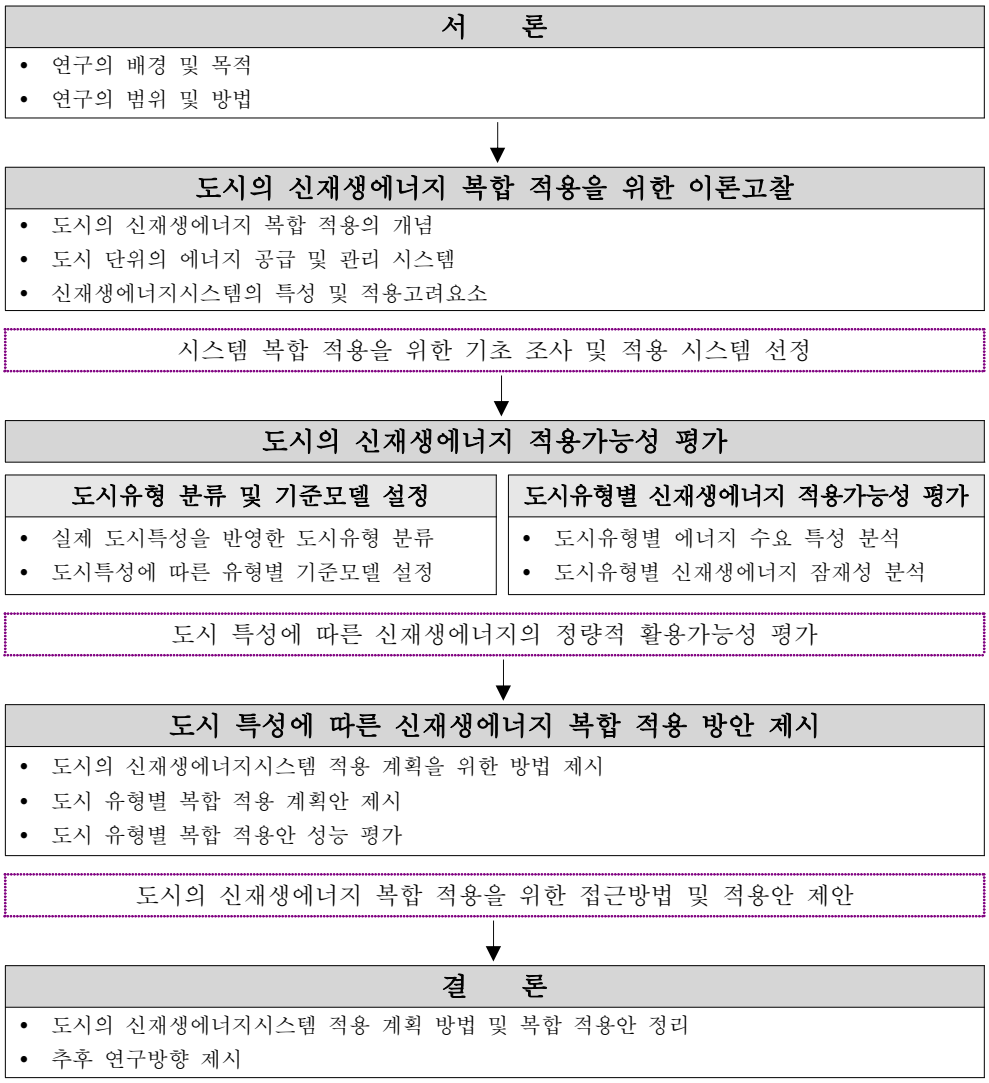
(3) 도시의 신재생에너지 적용가능성 평가

도시 유형별 복합 적용안을 도출하기 위한 예비분석단계로서, 건물용도별 에너지 수요패턴 분석을 통한 도시 에너지 수요 예측과 신재생에너지의 정량적인 잠재성 평가를 통하여 도시 특성에 따른 신재생에너지의 적용가능성을 평가한다.

(4) 도시의 신재생에너지시스템 복합 적용 방안 제시

도시의 효율적인 신재생에너지시스템 활용을 위한 접근 방법을 제안하고, 도시 에너지 수요 분석과 신재생에너지 잠재성 평가를 바탕으로 도시 유형별 시스템 배치 계획을 수립하여, 도시 특성에 따른 복합 적용안을 제시한다. 이와 함께 에너지 수요/공급 패턴 일치 정도를 평가기준으로 설정하여, 도시 유형별 계획안에 대한 적용성을 평가한다.

본 연구의 흐름은 다음 (그림 1.1)과 같다.



(그림 1.1) 연구 흐름도

제 2 장 도시의 신재생에너지 복합 적용의 개념 및 활용

2.1 도시의 신재생에너지 복합 적용의 의미

2.1.1 신재생에너지의 개요

국내에서는 「신에너지 및 재생에너지 개발.이용.보급 촉진법」 제2조의 규정에 의거하여 신재생에너지를 “기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛, 물, 지열, 강수, 생물유기체 등을 포함하여 재생가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지”로 정의하고 아래 <표 2.1>과 같이 11개 분야로 구분하고 있다.

<표 2.1> 신재생에너지의 분류

신 · 재생 에너지	재생에너지 (8개 분야)	태양광, 태양열, 바이오, 풍력, 수력, 해양, 폐기물, 지열
	신에너지 (3개 분야)	연료전지, 석탄액화가스화 및 중질잔사유가스화[5], 수소에너지

신재생에너지는 무공해, 무한정의 다양한 자연에너지의 특성과 이용기술을 활용하여 화석연료를 대체할 수 있는 재생가능한 에너지이다. 또한 기존 에너지 생산시스템보다 CO_2 배출이 적은 청정에너지로서, 에너지의 자립도를 높이고 기후변화에 대응하기 위한 대안으로 평가되고 있다.

기존의 신재생에너지 활용 방식은 건물 단위의 설치를 통한 개별 에너지 공급시스템이 대부분이었으나, 최근 에너지 공급의 다양화 및 분산화가 요구됨에 따라 도시 규모의 시스템 적용이 요구되고 있다. 또한 한 가지 시스템의 활용은 에너지 수요 공급의 한계가 있으므로 다양한 시스템을 복합적으로 사용하는 것이 에너지 공급 측면에서 바람직하다.

따라서 본 장에서는 도시 규모의 효율적인 신재생에너지 적용을 위하여 신재생에너지 복합 적용의 개념을 정립하고, 도시 에너지 공급원으로서의 신재생에너지의 활용가능성을 모색하였다.

---

5) 가스화 복합발전기술이라고도 하며 석탄, 중질잔사유(원유를 정제하고 남은 최종 잔재물) 등의 저급원료를 고온·고압의 가스화기에서 수증기와 함께 한정된 산소로 불완전연소 및 가스화시켜 일산화탄소와 수소가 주성분인 합성가스를 만들어 정제공정을 거친 후 가스터빈 및 증기터빈 등을 구동하는 신발전기술. 자료: 에너지관리공단, 신재생에너지의 이해, 2008

2.1.2 도시의 신재생에너지 복합 적용의 필요성

(1) 신재생에너지의 에너지 생산 특성

신재생에너지 중 태양광, 태양열, 풍력, 지열 등은 건축물에 적용가능한 시스템으로 적용 지역의 지리적·물리적 환경 등에 많은 영향을 받는 에너지원이다. 지열에너지는 그 지역의 지반특성에 따라 적용가능성이 결정되지만 지중온도는 연중 일정하기 때문에 연속적인 에너지 생산이 가능하다. 반면 태양광, 태양열, 풍력 등은 외부 환경적 조건에 의해 에너지의 생산 패턴이 불규칙한 간헐적(intermittent) 생산 특성을 갖는다. 태양에너지시스템은 그 지역의 위도와 날씨에 따른 천공상태에 영향을 받으며, 풍력발전 시스템의 경우 그 지역의 풍속에 따라 발전량이 결정된다. 또한 풍력발전으로부터의 에너지 생산량은 계절별, 시간별로 많은 차이가 나타나므로 풍력발전에서 생산되는 에너지가 신뢰적으로 전달되지 못하고 그 양을 완전히 예측할 수 없다.[6] 그러므로 이러한 신재생에너지 시스템의 간헐적인 생산패턴을 고려하여 에너지 공급의 안정성을 확보할 수 있도록 시스템 간의 연계가 필요하다.

(2) 신재생에너지의 에너지 생산 특성과 건물 에너지 수요 특성

에너지 수요 특성은 건물의 용도에 따라 다르게 나타나며, 에너지 수요 패턴과 시스템의 에너지 공급 패턴이 일치하지 않을 경우에는 시스템 이용의 효율성이 낮아지게 된다. 신재생에너지시스템의 에너지 생산패턴과 생산량은 시스템의 종류에 따라 다르므로, 시스템 이용의 효율성을 높일 수 있는 시스템 간의 복합 적용은 건물 에너지 소비패턴과 시스템 생산 패턴의 시간적 차이를 보완할 수 있다.

신재생에너지시스템의 최종 생산에너지 형태는 시스템의 종류에 따라 다르게 나타나며, 건물에 적용할 수 있는 시스템은 한정적이다. 건물에서 사용되는 에너지의 부문별 소비 비율은 건물 특성에 따라 차이가 있지만 사용되는 에너지의 형태는 크게 열에너지와 전기에너지로 구분된다. 신재생에너지시스템의 최종 생산에너지의 형태는 열과 전기이므로, 수요 특성에 따라 전기 생산시스템과 열 생산시스템을 적절히 조합하여 활용하는 것이 바람직하다.

---

6) Amy H.I. Lee 외 2, Multi-objective optimization of a mixed renewable system with demand-side management, Renewable energy, Vol. 34, 2010

(3) 신재생에너지의 단위건물 적용 한계와 도시 규모 적용의 필요성

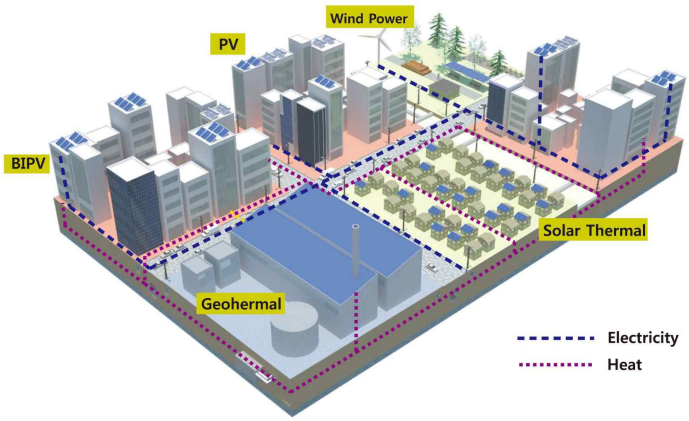
건물 단위의 시스템 활용은 대지와 건물의 제약조건으로 별도의 설치면적이 부족하며, 특히 기존 건물에 적용 시 시스템의 설치가능한 면적 및 위치가 매우 제한적이다. 단위 건물의 시스템 적용 한계로 신재생에너지원으로부터 생산된 에너지량이 필요한 에너지량에 미치지 못할 수 있으며, 다양한 신재생에너지원의 확보가 어렵다. 또한, 개별건물에서 시스템을 대규모로 적용할 경우 높은 설치비용으로 경제성이 매우 낮아지게 된다.

반면에, 일정 규모의 도시 차원에서 신재생에너지를 공급하는 경우, 개별건물에 적용하는 것보다 신재생에너지의 불규칙적인 공급의 한계를 보완할 수 있다. 또한, 도시 차원의 적용은 단일 세대가 아닌 여러 세대를 대상으로 하기 때문에 시스템의 이용 효율성을 높일 수 있다. 신재생에너지의 생산 에너지에 대한 수요가 발생하지 않으면 잉여 에너지가 발생하므로, 이 에너지를 같은 시간에 수요가 발생한 다른 곳에 공급하는 것은 에너지의 공급 효율을 향상시키게 된다. 또한 도시 규모의 적용은 시스템의 설치면적이 증대되고, 유지관리가 용이하며, 경제성 향상 등 신재생에너지의 활용가능성이 높아지는 장점을 가지게 된다.

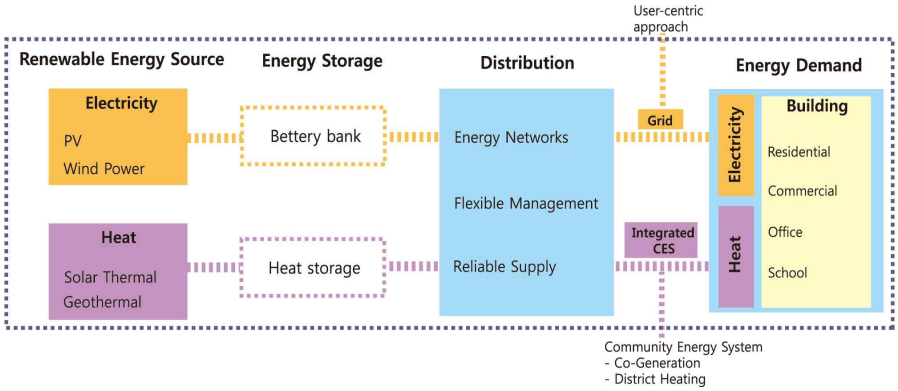
2.1.3 도시의 신재생에너지 복합 적용의 개념

신재생에너지시스템의 에너지 생산패턴 및 시스템 적용방법은 신재생에너지 종류에 따라 다양하며, 특히 도시환경에 적용할 수 있는 시스템은 한정적이다. 또한 신재생에너지시스템의 에너지 공급 형태와 에너지 수요 패턴은 크게 전기와 열로 구분되므로 도시 규모의 적용 시 전기 에너지 공급시스템과 열 에너지 공급시스템을 구분하여 적용해야 한다. 본 연구에서 정립한 도시의 신재생에너지 복합 적용의 개념은 다음과 같다.

도시의 신재생에너지 복합 적용(Integrated Renewable Energy)이란 일정 규모이상의 지역에 복수의 신재생에너지시스템을 설치·분배하여 신재생에너지의 상호보완적 에너지 공급시스템을 통해 생산된 에너지를 지역 내 건물 및 기반시설 등의 도시 에너지 공급원으로 활용하는 것을 말한다. 기존의 하이브리드 시스템(Hybrid Renewable Energy System)은 개별적인 고효율 장치들을 통합함으로써 전체 효율을 향상시키는 개념인 반면에 복합 적용(Integrated Renewable Energy)은 에너지 수요에 안정적으로 공급하고 각 시스템의 이용 효율성을 높이기 위한 최적의 시스템 분배를 의미한다.



(그림 2.1) 도시의 신재생에너지 복합 적용의 개념



(그림 2.2) 신재생에너지 복합 적용의 에너지 공급시스템의 개념

신재생에너지 복합 적용은 전기 생산 시스템과 열 생산시스템 각각에 해당하는 시스템의 적절한 조합을 통해 신재생에너지의 활용도를 최대화하기 위한 것이라 할 수 있으며, 다양한 신재생에너지원의 이용과 더불어 통합된 에너지 저장 기술로 에너지 공급의 신뢰성 향상을 도모한다. 각 시스템을 개별적으로 설치하여 공급하는 것보다 통합하여 공급함으로써 에너지 공급의 효율을 향상시키고, 경제적 이익의 극대화를 기대할 수 있다. 일정 규모 이상의 지역 단위로 복합 적용할 경우, 개별건물 단위보다 더욱 다양한 시스템을 적용할 수 있으므로 시스템 조합 및 통합 에너지 저장의 가능성이 더욱 증대된다. 도시의 효율적인 신재생에너지 활용은 도시규모에서 각 시스템의 공간적 분배를 고려함으로써 유연하고 안정적인 에너지 공급을 도모할 수 있다.

2.2 도시 에너지 공급원으로서 신재생에너지의 활용 가능성

도시의 에너지원으로 신재생에너지를 활용하기 위해서는 수요지에서 에너지를 생산 및 공급하는 분산전원 방식이 적합하며, 이를 효율적으로 활용하기 위해서는 공급원과 수요처를 서로 연결하여 관리하는 양방향 시스템(Two-way Flow Network)[7]이 수반되어야 한다. 범지구적인 환경 위기와 자원문제는 신재생에너지 보급 확대와 더불어 기존의 에너지 공급방식의 변화를 요구하고 있다. 이러한 변화를 대처하기 위한 방안으로 미국 및 유럽 등 세계 주요 국가들은 스마트그리드를 차세대 전력망으로 선정하여 관련정책들을 추진 중에 있다. 우리나라는 2009년 7월 이탈리아에서 열린 G8 기후변화회의에서 스마트그리드 개발 선도국가로 지정되었으며, 2010년 1월 '스마트그리드 국가로드맵' 을 수립하였다. 따라서 분산전원으로 활용할 수 있는 신재생에너지시스템의 중요성이 더욱 증대될 것이다.

신재생에너지를 이용한 분산형 에너지 공급시스템은 에너지 생산을 수요지에 가깝게 하여 공급의 효율을 높이고, 잉여전력을 계통에 공급함으로써 다양한 에너지원의 효율적인 활용이 가능해진다. 마이크로그리드는 다양한 분산전원을 서로 연계하여 지역 단위의 에너지 저장 및 관리를 효율적으로 하기 위한 개념이며, 스마트그리드는 이러한 마이크로그리드에서 확장된 개념으로 IT 기술을 이용한 도시 · 국가 단위의 전력시스템이라 할 수 있다.

이러한 차세대 에너지 수요 · 공급 시스템으로 각광받고 있는 분산전원 기반의 마이크로그리드, 스마트그리드는 에너지 안보뿐만 아니라 궁극적으로 에너지를 절약하고 탄소배출 저감에 기여할 수 있다. 특히 우리나라와 같이 에너지 수요가 도시에 집중된 경우 도시의 에너지 공급시설 부족으로 송전혼잡이 발생할 가능성이 크기 때문에 도시 단위의 에너지 공급시스템은 이를 완화할 수 있을 것이다.

효율적인 도시차원의 신재생에너지 적용을 위해서는 도시 규모의 에너지 인프라 아래 에너지의 분배 · 저장 · 공급 방안에 대한 고려가 필요하며, 특히 분산전원으로서 수요처에서 에너지 생산이 이루어질 수 있도록 에너지 수요 특성에 맞는 효율적인 시스템의 분배가 필요하다. 따라서 본 절에서는 도시 차원의 효율적인 신재생에너지 적용을 위한 기초조사로 분산형 에너지 공급

---

7) 기존의 전력 공급방식은 중앙발전소로부터 최종 소비지까지 단방향(Flow in One Direction)으로 송전·판매 되었으나, 양방향 시스템은 공급자(Supplier)와 소비자(User)가 실시간 정보교환을 함으로써 소비자의 참여를 유도하여 전력공급을 유연하게 하고자 하는 운영 방식이다. 자료: European Commission, European 'SmartGrids' Technology Platform, 2006, pp.15~16

시스템, 마이크로그리드, 스마트그리드를 고찰하고, 신재생에너지시스템의 활용가능성을 모색하였다.

2.2.1 분산형 에너지 공급시스템(Distributed Energy Supply System)

기존의 에너지 공급 방식은 중앙집중에너지공급시스템[8]으로 주요 전력생산지와 소비지를 이분화하고 있으며, 에너지 손실률도 크다. 현재 세계 주요 국가에서는 지역이나 국가의 에너지 소비 행태가 중앙집중에너지공급시스템을 통한 공급 의존도를 줄이는 대신, 독립적인 분산형 에너지 공급시스템을 구축하려는 움직임이 활발하다. DOE(Department Of Energy: 미국에너지부)에서는 분산형 에너지 공급시스템을 "최종 사용자 부근에 위치한 모듈형 발전 또는 전력시스템으로 주택지나 도시지구 내에 일정한 양의 전기나 열을 공급하는 시스템"으로 정의하며, EPRI(Electric Power Research Institute: 미국전력연구소)에서는 "수요지 또는 수요지 근처에 설치되어 있는 소형발전설비(30MW 이내)로 기존의 전력계통에 연결되거나 독립적으로 운용되어 수요자 요구에 맞는 전기나 열을 경제적으로 운전하는 발전시스템"으로 정의하고 있다.

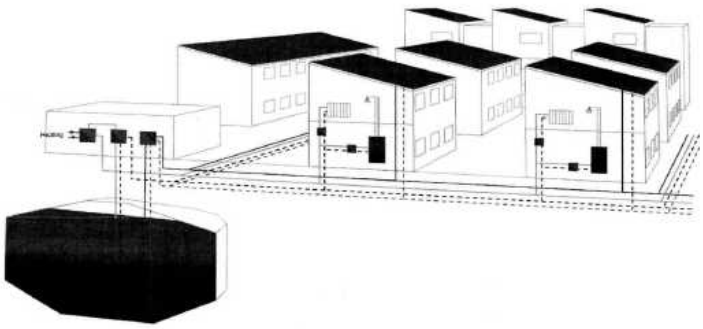
(그림 2.3) 분산형 에너지 공급시스템의 개념

이전부터 분산 에너지원(Distributed Energy Resource: DER)으로 소형 가스터빈을 이용하여 비상용 전원 혹은 열병합 전원 등으로 활용하여 왔으며, 최근에는 연료전지(Fuel Cell), 마이크로터빈 등을 이용한 신발전 방식과

8) 발전에 사용하는 연료나 기술형태에 상관없이 비교적 대규모 발전을 통하여 에너지를 생산하여 에너지를 필요로 하는 원거리 수요지로 송배전망을 통하여 전력을 송배전하는 에너지공급방식 자료: 이강국, 홍원화, 도시지역 분산형 에너지 공급시스템 도입에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), 제23권 제1호, 2007.01, pp.240

태양광, 풍력발전 등을 이용한 재생에너지원의 활용이 증가하고 있다. 분산형 에너지 공급시스템은 이러한 발전시설뿐만 아니라 전력저장설비까지 포함하며, 계통 연계하여 이용하거나 독립적으로 사용되어 부지의 에너지 공급의 안정성을 높일 수 있기 때문에 앞으로 활용가능성이 더욱 증대될 것이다.

분산형 에너지 공급시스템에서 열에너지 공급 방법 중 대표적인 예가 지역난방이라고 할 수 있다. 지역난방은 각 건물에 열원장치를 설치할 필요가 없고 기기의 운전 및 관리인의 수를 줄일 수 있는 장점이 있다.[9] 현재 지역난방은 폐기물이나 화석연료를 사용하기 때문에 온실가스 배출 문제가 발생하므로 열원으로 신재생에너지를 이용하는 시스템의 도입이 필요하다. (그림 2.4)와 같이 태양에너지를 이용한 분산형 에너지 공급시스템의 경우 계간축열방식을 통해 열원을 저장하고 사용할 수 있다.



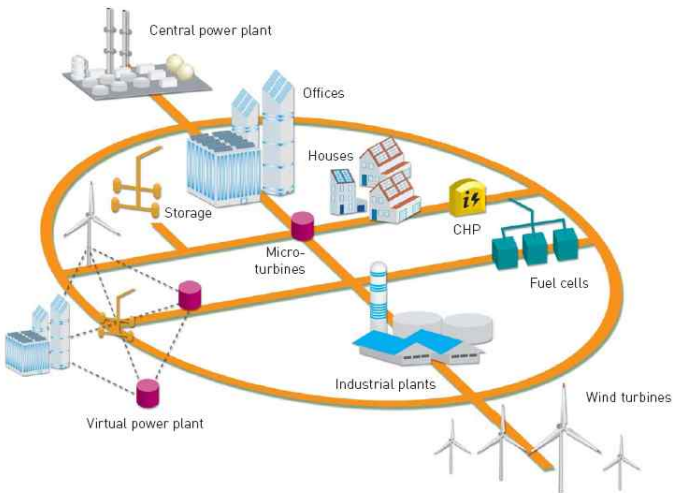
(그림 2.4) 태양열 시스템을 이용한 분산형 에너지 공급시스템(계간축열방식)

분산형 에너지 공급시스템은 에너지 절약 및 온실가스 저감, 친환경적 에너지 생산 등의 환경적 측면과 함께 전력수급의 지역 간 불균형 해소와 같은 다양한 효과를 기대할 수 있는 시스템으로 평가되고 있다. 도시의 효율적인 신재생에너지 적용을 위해서는 분산형 에너지 공급시스템으로서 활용되어야 하며, 따라서 에너지 수요에 맞는 에너지 공급을 구현할 수 있도록 수요지에 가깝게 설치하도록 해야 한다. 그러나 도시환경에서는 별도의 시스템 설치공간이 부족하고 시스템별 에너지 생산지와 수요지가 일치하지 않을 수 있으므로, 시스템 분배 시 이에 대한 고려가 필요하다.

9) 곽희열, 분산형 에너지시스템의 태양열 계간축열 기술, 조명·전기설비학회지 제23권 제2호, 2009.04, pp.43

2.2.2 마이크로그리드(Micro Grid)

마이크로그리드는 분산형 전원과 부하를 갖는 소규모 전력계통에서 복수의 전원 및 열원이 IT 관련 기술을 사용하여 일괄제어 및 관리되어 기존 전력계통으로부터 독립되어 운전할 수 있는 on-site형 전력 공급시스템이다.[10] 즉, 마이크로그리드는 다양한 분산전원을 연계하여 효율적으로 운전하기 위한 시스템으로서 에너지저장시설, 제어장치 및 안전장치 등을 포함하고 부하들이 서로 연계되어 있으며, 전기에너지뿐만 아니라 열에너지의 연계로도 확장되는 개념이다.



(그림 2.5) 마이크로그리드의 개념

신재생에너지를 분산전원으로 이용할 경우 에너지의 간헐적 생산 특성으로 인한 에너지 공급의 안정성 확보가 필요하다. 마이크로그리드는 시스템의 에너지 생산을 상호 보완하여 부하변동에 효율적으로 대응할 수 있다. 그러므로 신재생에너지의 복합 적용은 마이크로그리드 시스템의 에너지 인프라를 통해 이용 효율이 증대될 수 있다.

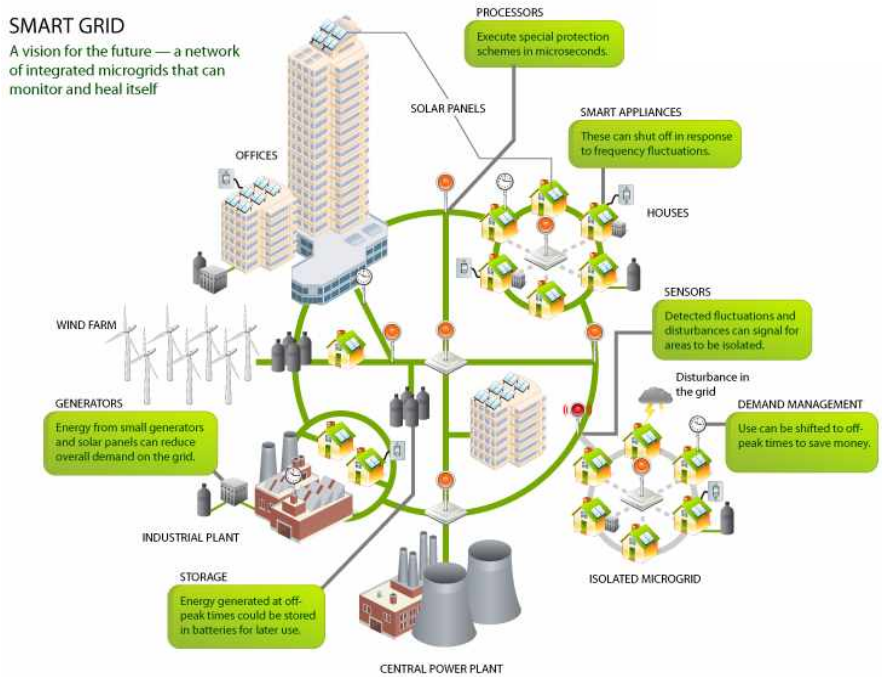
본 연구의 도시 신재생에너지시스템 복합 적용은 시스템의 생산 에너지를 생산지 가까이에서 소비하는 분산형 에너지 공급시스템의 개념과 함께 복수의 시스템을 일정 규모 이상의 지역 단위로 효율적으로 활용하기 위한 마이크로그리드 시스템의 개념이라고 할 수 있다.

---

10) 조휘창, 마이크로그리드 설계 및 평가 프로그램 개발, 충남대학교 석사학위논문, 2010,02, pp.2

2.2.3 스마트그리드(Smart Grid)

스마트그리드(Smart Grid)란 전력망(Grid)에 ICT(Information & Communication Technology) 기술을 접목하여, 전력공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환, 에너지효율을 최적화하며 새로운 부가가치를 창출하는 차세대 전력망을 말한다.[11] 스마트그리드 시스템은 IT 기술의 발전과 함께 가능해졌으며, 기존 전력공급의 에너지 효율 향상 및 신재생에너지의 활성화에 중점을 둔 시스템으로 미국 및 유럽에서 차세대 전력망으로 주목받고 있다.



(그림 2.6) 스마트그리드의 개념

미국은 2003년 에너지부(DOE)를 중심으로 국가적 통합 스마트그리드 구축 계획으로 Grid 2030을 제시하였다. 10년씩 3단계로 이루어진 이 프로젝트는 2030년까지 모든 수요자의 에너지 사용을 모니터하고 관리하는 전력네트워크를 자동화하여 전국 어디서나 저탄소 청정에너지의 사용이 가능하도

11) 한국스마트그리드사업단, http://www.smartgrid.or.kr

록 하는 것을 목표로 하고 있다.[12] 유럽 각국은 신재생에너지 중심의 분산전원의 보급 확대, EU 국가 간의 전력 거래에 중점을 두고 스마트그리드를 추진하고 있다.

스마트그리드의 구성 기술요소는 크게 에너지 발전, 전력망, 사용자 부분으로 나눌 수 있으며, 각 구성 요소의 세부 기술은 <표 2.2>[13]와 같다.

<표 2.3> 스마트그리드의 구성 기술요소

에너지 발전	• 분산전원(Distributed Resource) • 전력저장기술(Energy Storage Integration)
전력망	• 실시간 감시(Real-time Monitoring) • 송배전자동화(Transmission/Distribution Automation) • 수요응답(Demand Response) • 통신네트워크(Communication Networks)
사용자	• 스마트 미터(Smart Meter) • 스마트 빌딩(Smart Building) • 스마트 가전제품(Smart Appliance) • 수요자 전압 조절(Consumer Voltage Regulation)

스마트그리드는 지능형 전력망에 의해 자동 송배전을 하면서 실시간 부하상태와 전력망 상태를 감시하여 신재생에너지를 이용한 분산발전의 기술을 보급하고 분산발전 시설을 전력망과 연계, 근거리 송전을 가능하게 하여 송전손실을 줄인다. 또한 통합 에너지 저장시스템을 통해 피크부하에 대응하며, 전력 공급자와 수요자 사이의 양방향 통신을 통해 전력망의 상태에 따라 수요자 측에서 유연하게 전력 사용량을 조절할 수 있다. 그러므로 수요지에 가까운 분산형 에너지 공급시스템의 가능성이 커지게 된다. 또한 에너지 생산이 불규칙한 신재생에너지원의 이용은 스마트그리드의 컨트롤 시스템을 통해 에너지 공급의 신뢰성 및 안정성을 갖추게 된다.

도시의 신재생에너지 적용은 스마트그리드의 에너지 공급관리 기술을 통해 보다 효율적으로 활용할 수 있으며, 특히 시스템 복합 적용 시 시스템별 생산 에너지의 상호보완성을 더욱 높이게 된다. 미래의 에너지 공급시스템에서 신재생에너지는 지역 분배망(Local Energy Distribution Network)에 연결된 발전단위(Generation Units)로서의 활용이 증대될 것이다.

12) United States Department of Energy, “GRID 2030” A National Vision for Electricity’s Second 100 years, 2003.07, pp.23

13) 이경민 외 4, 차세대 친환경 전력시스템 ‘스마트그리드’, LG Global Challenger 보고서, 2007, pp.9

2.3 소결

본 장에서는 도시 규모의 효율적인 신재생에너지 적용을 위한 기초조사로 신재생에너지 복합 적용의 개념을 정립하고 도시 에너지 공급원으로서의 신재생에너지의 활용가능성을 고찰하였다. 신재생에너지 중 건축물에 적용 가능한 태양광, 태양열, 풍력, 지열 등의 시스템들은 외부 환경적 조건에 따라 에너지 생산이 영향을 받는다는 특징을 가지며, 특히 태양광, 태양열, 풍력 등은 간헐적인 에너지 생산 패턴을 가지므로 단일 시스템 적용은 안정적인 에너지 공급에 한계가 있다. 그러나 각 시스템의 생산변동성은 동시에(같은 시기, 시간대에) 일어나는 것이 아니므로 전체 생산 측면에서 시스템 간의 부분적인 상호보완이 가능할 수 있다. 따라서, 효율적으로 신재생에너지를 활용하기 위해서는 도시 차원에서 여러 시스템을 조합하여 적용하는 것이 바람직하다. 본 장에서 제시한 신재생에너지 복합 적용의 개념은 다음과 같이 정리할 수 있다.

<표 2.4> 신재생에너지 복합 적용의 의미

신재생에너지의 상호보완성(相互補完性, Complementarity of Renewable Energy)
서로 다른 시스템의 상이한 에너지 생산패턴이 부분적으로 간헐적 에너지 생산을 서로 보완할 수 있는 가능성.
신재생에너지의 복합 적용(Integrated Renewable Energy)
일정 규모이상의 지역에 에너지 상호보완적 특성을 갖는 복수의 신재생에너지시스템을 조합·분배하여 생산된 에너지를 지역 내 건물 및 기반시설 등의 도시 에너지 공급원으로 활용하는 것.

미래의 도시 에너지 공급 체계는 도시의 구성건물들이 단순히 에너지를 소비하는 역할만 하는 것이 아니라 에너지를 자체 생산하는 공급기능의 역할을 함께 하고, 이들을 서로 연계하여 운영하는 도시 차원의 공급 체계가 구현될 것이다. 효율적인 에너지의 수요·공급이 이루어질 수 있는 도시의 에너지 공급시스템 방안으로 분산형 에너지 공급시스템, 마이크로그리드, 스마트그리드 등이 주목받고 있다. 이러한 방식들은 신재생에너지를 이용한 소규모 에너지 공급원과 수요지를 서로 연결하여 종합적으로 에너지를 관리하는 개념이라 할 수 있다.

따라서 신재생에너지는 도시 에너지 공급원으로서의 역할이 더욱 증대될 것이며, 신재생에너지의 복합 적용은 도시의 효과적인 에너지 공급 방안이 될 것으로 판단된다.

제 3 장 도시의 신재생에너지시스템 복합 적용을 위한 기초 조사

도시 에너지원으로서 신재생에너지의 활용은 도시환경에서 별도의 설치 부지 확보가 어려우므로 바로 에너지를 생산하여 사용할 수 있도록 건물에 적용하는 것이 바람직하다. 현재 태양광, 태양열은 건축물에 일체화되어 활용된 경우가 많으며, 풍력의 경우 소형풍력발전 시스템으로 건축물에 적용될 수 있다. 본 연구에서는 건축물에 적용가능하며 전력을 생산하는 태양광발전, 소형풍력발전 시스템을 선정하고 열을 생산하는 태양열, 지열 시스템을 선정하여 연구를 진행하였다. 본 장에서는 선정된 각 시스템의 특징, 건축물 적용방법 및 고려요소를 조사하고, 각 시스템의 에너지 생산 특성을 분석하여 도시 차원의 효율적인 시스템 복합 적용을 위한 기초조사를 수행하였다.

3.1 신재생에너지시스템의 개요 및 특성

3.1.1 태양광발전 시스템

(1) 태양광발전 시스템의 개요

태양광발전 시스템은 태양에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 발전방식으로 태양의 빛 에너지를 반도체 물질인 태양전지의 광전효과(Photoelectric Effect)[14]에 의해 전기에너지로 변환하는 기술이다. 태양전지는 전기적 성질이 다른 N(negative)형의 반도체와 P(positive)형의 반도체를 접합시킨 구조물로, 2개의 반도체 경계부분을 p-n 접합이라 일컫는다. 태양전지에 빛이 흡수되면 반도체내에서 정공(+)과 전자(-)의 전기를 갖는 입자가 발생하여 p-n 접합부에 존재하는 전기장의 영향으로 서로 반대방향으로 흘러가게 됨으로써 도선으로 연결된 외부 회로에 전기가 발생되는 원리이다.

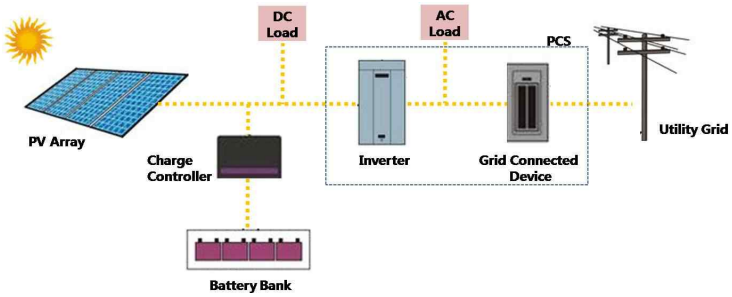
태양전지의 최소단위는 셀(cell)이며, 다수의 셀을 직렬로 연결하여 소정의

14) 일반적으로 물질이 빛을 흡수하여 자유로이 움직일 수 있는 전자, 즉 광전자(光電子)를 방출하는 현상

전압·출력을 얻을 수 있도록 제작한 것을 모듈(module)이라 한다. 어레이(array)는 모듈을 직렬 및 병렬로 조합한 것으로 배선 및 지지구조물까지 포함한다. 현재 태양전지의 종류 중 단결정(Mono-Crystalline Si)과 다결정(Poly-Crystalline Si)의 결정질 실리콘 태양전지가 95%이상을 차지하고 있으며, 박막형(Thin Film) 태양전지가 개발되어 상용화되고 있다.

(2) 태양광발전 시스템의 구성

태양광발전 시스템은 빛을 받아 전기를 생산하는 태양전지와 생산된 전기를 저장하는 축전장치(Storage Battery), 전기를 직류에서 교류로 변환하고 이를 전력계통에 연결시키는 등의 기능을 담당하는 전력변환장치(Power Conditioning System)로 구성된다.[15]



(그림 3.1) 태양광발전 시스템의 구성

<표 3.1> 태양광발전 시스템의 구성요소별 기능

구성요소		기능
태양전지		• 태양에너지를 전기에너지로 변환시키는 반도체 소자
축전장치		• 전력이 부족하거나 또는 야간에 전력 부하를 담당할 수 있도록 태양전지에서 발생되는 전기에너지를 저장하는 장치
전력변환장치(PCS)	인버터	• 태양전지에서 생성되는 직류전기를 교류전기로 변환하여 전력계통에 공급하는 장치
	전력제어장치	• 모듈에서 최대 출력을 얻고 직류, 교류 측의 전기적인 감시·보호 등의 역할을 함

(3) 태양광발전 시스템의 분류

태양광발전 시스템은 시스템 구성이나 부하의 종류에 따라 독립형

15) 에너지관리공단 신·재생에너지 센터, 신재생에너지백서, 2008.12, pp.280

(Off-grid System), 계통연계형(Grid-connected System), 하이브리드형(Hybrid System)으로 분류할 수 있다.

<표 3.2> 태양광발전 시스템의 분류

분류	각 시스템의 개요 및 특성[16]
독립형 (Off-grid System)	• 전력계통과 분리되어 태양광발전 시스템의 발전전력만으로 부하에 전력을 공급하는 시스템 • 축전지와 인버터를 통해 직류 전력을 바로 사용하거나 교류로 바꾸어 사용 • 계통선이 공급되지 않는 산간벽지, 도서지역 등의 전력공급용이나 통신, 양수펌프 등 소규모 전력공급용으로 사용됨
계통연계형 (Grid-connected System)	• 전력계통과 직접 연계되어 시스템에서 발전된 전력을 공급하고 야간 혹은 우천 시에는 부족한 전력을 상용계통으로부터 공급받는 시스템
하이브리드형 (Hybrid System)	• 태양광발전 시스템에 풍력발전, 열병합발전, 디젤발전 등의 타에너지원의 발전시스템과 결합하여 전력을 저장, 부하 혹은 상용계통에 전력을 공급하는 시스템

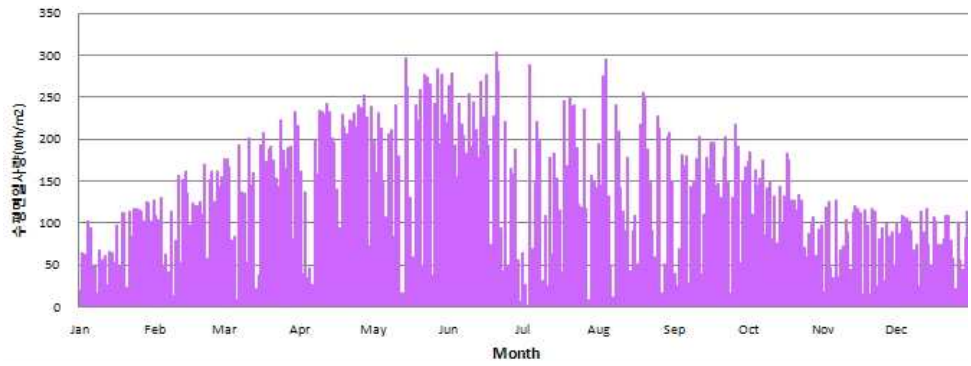
(4) 태양광발전 시스템의 에너지 생산 특성

태양광발전 시스템은 일사량에 따라 에너지 생산량이 결정되므로 주간에만 생산이 가능하며, 시스템의 에너지 생산패턴은 일사량 패턴과 유사하게 나타난다. 따라서 태양광발전 시스템의 출력량을 최대로 하기 위해서는 가능한 많은 일사량 획득이 필요하다. 태양광발전 시스템의 이용가능성 평가는 대상지역의 일사량을 기준으로 하며, 일사값은 그 지역의 수평면 평균 일간 총복사(average daily total radiation) 또는 전천복사(global radiation)를 이용한다. 일사량은 시스템이 설치되는 위치의 위도와 경도에 따라 변화하며, 계절 및 시간에 따라 그 값의 차이가 나타난다. 특히 도시는 대기의 오염으로 대기 청명도(Clearness Index)가 낮으며 도시의 다양한 물리적 환경은 태양에너지 접근성에 영향을 미친다.

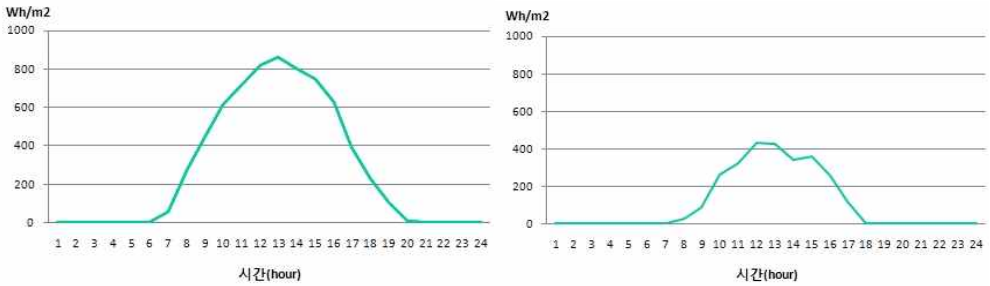
다음 (그림 3.2)은 서울지역의 일평균 수평면 총 일사량 패턴[17]을 나타낸다. 일평균 최대 일사량은 6월이 가장 높으며, 5~9월 사이가 일사량이 높고 11~3월까지 일사량이 낮은 것을 알 수 있다. (그림 3.3)은 서울지역의 하지, 동지의 일일 수평면 일사량 패턴을 나타낸다. 하지의 경우 주간의 일사량이 매우 높게 나타나며 동지의 경우 주간의 일사량이 적게 나타나는 반면에,

16) 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030[태양광], 2007.11, pp.12~13
17) 한국태양에너지학회 홈페이지, http://www.kses.re.kr/

일간 일사량 패턴이 서로 유사한 것을 확인할 수 있다. 이러한 연간·일간 일사량 패턴은 시스템의 발전량을 예측할 수 있으므로 적용가능성 판단의 기초가 된다.



(그림 3.2) 서울지역의 연간 일평균 수평면 총 일사량



(a) 하지(6.21)의 수평면 일사량 (b) 동지(12.22)의 수평면 일사량

(그림 3.3) 서울지역의 대표일 수평면 일사량 패턴

3.1.2 태양열 시스템

(1) 태양열 시스템의 개요

태양열 시스템은 태양열 집열기를 이용하여 태양복사에너지를 흡수, 열에너지로 변환하고 변환된 열에너지를 직접 이용하거나 별도의 축열장치에 저장하여 건물의 냉난방 및 급탕 등에 활용하는 기술이다. 태양열 시스템 중 급탕 시스템은 저온을 사용하고 설치가 단순하여 다른 태양열시스템보다 경

제성이 높다. 특히, 평균 집열온도(40~60℃)가 낮기 때문에 집열효과가 높다는 특징이 있어 냉난방 분야보다 많이 활용되고 있는 시스템이다.

(2) 태양열 시스템의 구성

태양열 시스템은 태양에너지를 집열하여 열로 변환하는 집열부와 집열된 열을 저장하여 필요시 사용하는 축열부, 그리고 저장된 에너지를 공급, 사용하는 이용부로 구성된다. 태양열에너지는 에너지밀도가 낮고(최대 1100W/㎡ 이하) 계절별, 시간별 변화가 심하므로 집열과 축열부 계획이 가장 중요하다.

<표 3.3> 태양열 시스템의 구성요소

구성요소		특성	
집열부 18)	평판형 집열기	• 집열면이 평면을 이루면서 태양에너지 흡수면적이 태양에너지의 입사면적과 동일한 집열기 • 투명덮개(transparent cover), 흡열판(absorber plate), 집열 매체 도관, 단열재 및 집열기 외장박스로 구성 • 직달 및 분산 일사 성분 모두를 이용할 수 있는 장점을 가짐	
	진공관형 집열기	• 집열체가 내부를 진공으로 한 유리관 내에 유지된 형태의 집열기 • 집열기의 대류열 손실을 줄이고 설치면적을 줄일 수 있으며, 집열효율이 높음 • 태양빛의 입사각에 상관없이 모든 방향에서 빛을 흡수할 수 있음	
축열부	축열조	• 집열기에서 집열된 태양열을 필요한 시간에 수요측에 공급하기 위해 열에너지를 저장하였다가 공급하는 장치 • 물, 자갈 등의 물질을 온도상승하여 열을 저장하는 현열축열방법과 상변화물질을 이용하는 잠열축열 방법이 있음	
이용부	보조열원	• 야간이나 우천 시 시스템 운전이 어려울 경우 필요한 에너지 공급을 위해 축열조에 열을 공급하는 장치	
	제어장치	• 태양열을 효율적으로 집열, 축열, 공급하기 위한 조정장치 • 집열 및 축열 펌프의 ON-OFF를 제어하는 차온제어 방법과 순환 열매체의 유량을 제어하는 비례제어 방법이 있음	

(3) 태양열 시스템의 분류

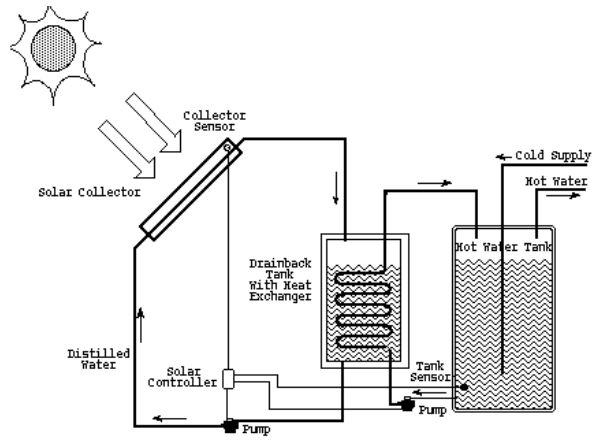
태양열 시스템은 집열온도에 따라서 건물의 냉난방 및 급탕으로 활용되는 저온 분야와 산업공정열 및 열발전 등에 이용되는 중고온 분야로 분류되며,

18) 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030[태양열], 2007.11, pp.21~22

적용 방법에 따라 자연형과 설비형으로 분류된다. 본 연구에서는 건축물에 주로 적용되는 설비형 시스템을 대상으로 태양열 급탕 시스템, 태양열 난방 시스템, 태양열 냉방 시스템을 조사하였다.

가) 태양열 급탕 시스템[19)]

태양열 급탕 시스템은 패키지화된 하나의 제품으로 간단한 설치로 사용할 수 있는 가정용 태양열 온수기를 의미한다. 태양열 급탕 시스템은 태양열 집열판과 축열조로 구성되어 있으며, 축열조 내부에 열교환기와 보조열원인 심야전기 히터가 내장되어 있는 것도 있다. 집열판에서 가열된 집열매체가 펌프 없이 축열조와 자연순환에 의해서 축열조의 물을 가열시킨다. 즉, 집열기에서 가열된 열매체(부동액)는 밀도가 낮아져 상단부인 축열조 내부로 올라가 온수탱크 내부의 온수를 가열하고 다시 온도가 낮아져서 집열기 하단부로 들어가서 가열되면서 상단부로 올라가게 되는 과정으로 시스템이 작동된다.

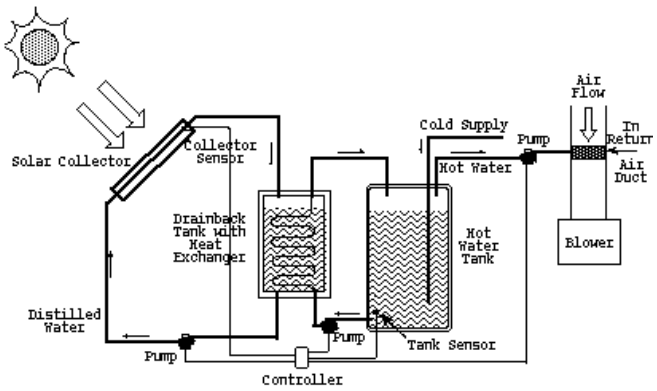


(그림 3.4) 태양열 급탕 시스템의 구성

나) 태양열 난방 시스템

물 또는 공기를 열매체로 하여 집열기로 태양열을 집열하고 이 열을 직접 실내 공기 가열에 사용하는 시스템으로 집열 매체에 따라 액체식(물 또는 부동액)과 공기식(공기)로 구분된다. 태양열 급탕 시스템과 집열부는 동일하나 축열조로부터 난방부로 공급되는 것과 보조 보일러와의 연결이 약간 다르다.

19) 에너지관리공단 신·재생에너지 센터, 신재생에너지 백서, 2008.12, pp.368~369



(그림 3.5) 태양열 난방 시스템의 구성

다) 태양열 냉방 시스템

태양열 냉방 시스템은 난방 및 급탕부하가 적은 하절기에 일사량이 많은 태양열을 냉방에 사용함으로써 난방 시스템과 함께 활용할 수 있다는 특징을 가진다. 하지만 열에 의해 구동되는 냉방 시스템은 난방이나 급탕에 비해 높은 온도의 열을 필요로 하므로 집열온도가 높아져 시스템 효율이 크게 저하되고 고가의 비용이 들어 아직까지 널리 상용화되지 않은 시스템이다.

(4) 태양열 시스템의 에너지 생산 특성

태양열 시스템은 태양광발전 시스템과 마찬가지로 태양에너지를 이용하기 때문에 일사량 패턴과 에너지 생산 패턴이 같다. 또한 태양열시스템의 주요 에너지원은 태양복사선으로 지표에 도달되는 형태에 따라 직달일사와 산란일사로 구분되는데, 산란일사는 직접 집열하기가 어려우므로 시스템에서 고온의 열에너지를 얻기 위해서는 직달일사의 집광이 필요하다.

3.1.3 소형풍력발전 시스템

(1) 소형풍력발전 시스템의 개요

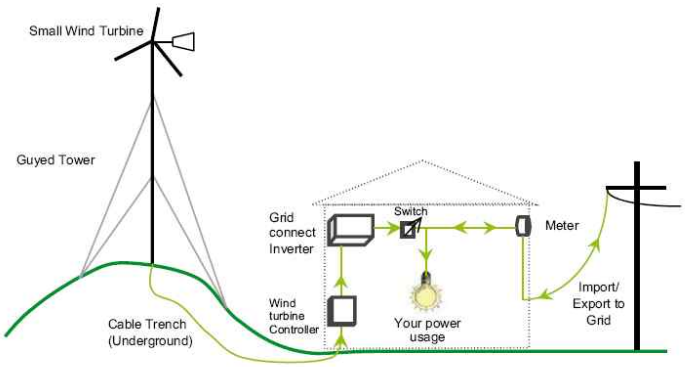
풍력발전 시스템은 공기의 유동이 가진 운동에너지의 공기역학적(aerodynamic) 특성을 이용하여 회전자(rotor)를 회전시켜 기계적 에너지로 변환시키고, 이 기계적 에너지로 전기를 얻는 시스템이다.[20] 풍력발전 시스

템은 로터지름과 정격출력량에 따라 시스템 규모가 구분되며 소형풍력발전 시스템은 주로 10kW급 이하의 시스템으로 분류된다. 다음 <표 3.4>은 미국 NREL(National Renewable Energy Laboratory)에서 제시하고 있는 소형 풍력발전 시스템의 정의이다.

<표 3.4> 풍력발전 시스템의 용량에 따른 분류

	소형풍력발전 시스템	중형풍력발전 시스템	대형풍력발전 시스템
용량	10kW 이하	10~250kW	250kW~2MW
적용범위	주택, 농장(양수) 등에 주로 독립형으로 적용	지역 단위의 전력 공급	중앙전력분배 방식의 대형풍력단지

기존에는 산간·해안 지역에 대형단지 위주로 적용되어 왔으나 최근에 분산전원으로 건축물에 활용할 수 있는 소형풍력발전 시스템의 활용이 증가하고 있다. 10kW 이하의 발전기는 축전지에 충전하는 시스템을 갖출 경우 광범위하게 적용이 가능한 독립전원이 된다. 소형풍력발전 시스템은 발전기 본체와 타워, 축전지, 충전 제어기로 이루어지며 기존 전력망과 계통연계하여 사용될 수 있다. 소형풍력발전 시스템은 블레이드 유형, 설치방식, 형태 등에 따라 매우 다양한 방식으로 건축물의 의장적·기능적 요소로 활용할 수 있으므로 도시환경에서의 적용이 적합한 시스템이다.



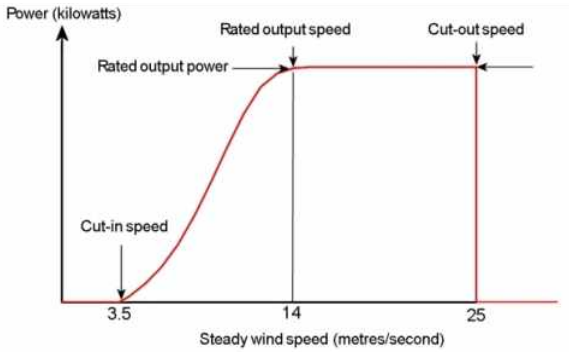
(그림 3.6) 소형풍력발전 시스템의 구성

(2) 풍력발전기의 출력곡선

풍력발전기는 전력을 생산하기 위한 최소풍속(cut-in speed: 시동풍속)이

20) 한국과학기술정보연구원, 풍력발전, 2002.12, pp.18

필요하며, 최소풍속으로 가동된 후 발전기의 생산전력은 풍속이 증가함에 따라 급속히 증가하고 정격풍속(rated speed)에서 최대전력을 생산하게 된다. 풍력발전기는 정지풍속(cut-out speed)에 도달하면 과회전 방지를 위해 정격출력의 30~70% 정도 유지되도록 출력이 제한된다.[21]

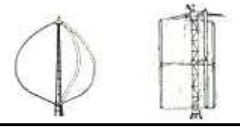


(그림 3.7) 풍력발전기의 풍속 증가에 따른 출력곡선

(3) 소형풍력발전 시스템의 분류

풍력발전 시스템은 회전자 축의 방향에 따라 크게 수평축 풍력발전 시스템(Horizontal Axis Wind Turbine)과 수직축 풍력발전 시스템(Vertical Axis Wind Turbine)으로 분류된다.

<표 3.5> 풍력발전 시스템의 분류

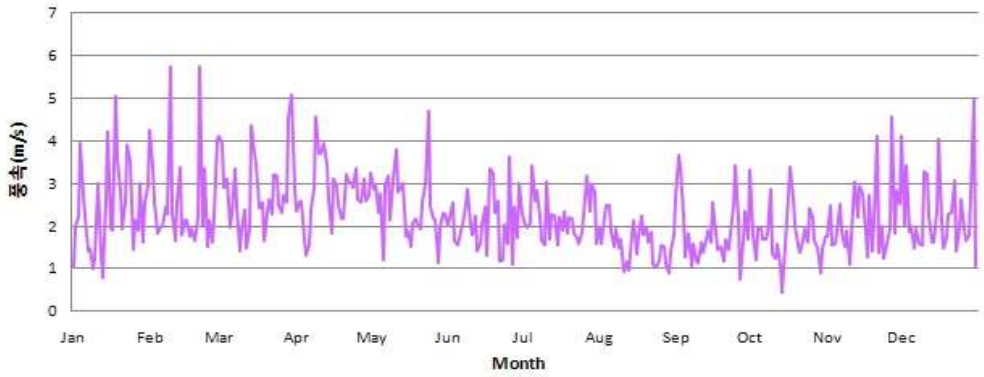
분류	시스템 개요	시스템 예시
수평축 풍력 시스템	• 회전축이 지면에 대해 수평으로 설치 • 간단한 구조, 안정적이며 효율이 높음 • 주로 중·대형급에서 사용	
수직축 풍력 시스템	• 회전축이 바람의 방향에 대해 수직으로 설치 • 바람의 방향에 관계없이 운전가능 • 수평축에 비해 효율이 떨어짐 • 도심지 건물에 일체화하여 사용가능	

21) 강소연, 공동주택단지내 풍력발전시스템의 적용방안에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 2002.06, pp.47

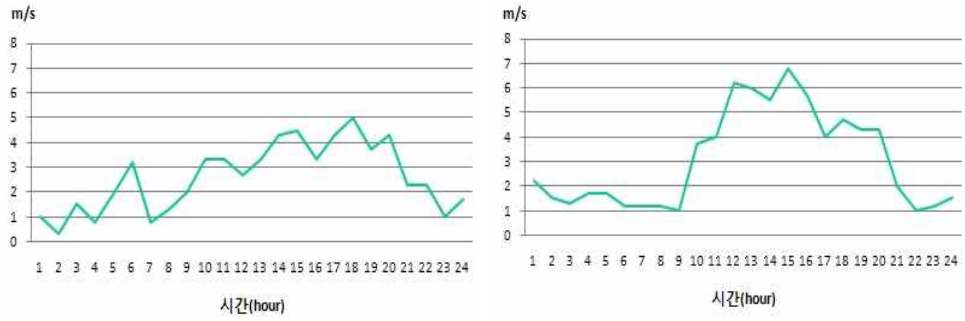
(4) 소형풍력발전 시스템의 에너지 생산 특성

풍속은 풍력발전 시스템의 생산량을 결정짓는 요소로서 시스템의 발전량은 풍속에 비례한다. 그러나 풍속은 불규칙적인 기상학적 특성에 의해 결정되므로 풍력발전으로부터의 전력 공급은 확률적이며, 생산량 예측이 어렵다는 특징이 있다. 특히 도시는 산간·해안지역보다 상대적으로 풍속이 낮고 또한 풍속의 가변성이 심하기 때문에 시스템 적용 위치의 한계가 있다. 그러므로 대상지역의 풍속을 예측하여 자원의 정량적인 잠재성 평가가 필요하며, 지역의 풍속 예측은 일반적으로 연간 일일평균풍속자료를 활용할 수 있다.

다음 (그림 3.8)은 서울지역의 연간 일평균 풍속을 나타낸 것으로 패턴이 매우 불규칙한 것을 알 수 있다. (그림 3.9)는 하지와 동지의 대표일 풍속 패턴을 나타낸다. 동지의 경우 최고풍속을 나타내지만, 하지와 동지 모두 패턴이 불규칙하고 서로 다르게 변화하는 것을 볼 수 있다.



(그림 3.8) 서울지역의 연간 일평균 풍속



(a) 하지(6.21)의 풍속 (b) 동지(12.22)의 풍속

(그림 3.9) 서울지역의 대표일 풍속 패턴

3.1.4 지열 시스템

(1) 지열 시스템의 개요

지열 에너지란 지중(토양, 지하수, 지표수 등)이 태양 복사 에너지나 지구 내부의 마그마 열에 의해 보유하고 있는 에너지를 의미하며, 지표면으로부터의 깊이에 따라 천부지열(Shallow Geothermal)과 심부지열(Deep Geothermal)로 구분된다.[22] 현재 지열 시스템은 천부지열(10℃~20℃)을 열펌프(Heat Pump)의 열원으로 공급하여 건물을 냉난방하거나 온수를 공급하는 지열 열펌프 시스템(Geothermal Heat Pump System)으로 가장 많이 활용되고 있다.

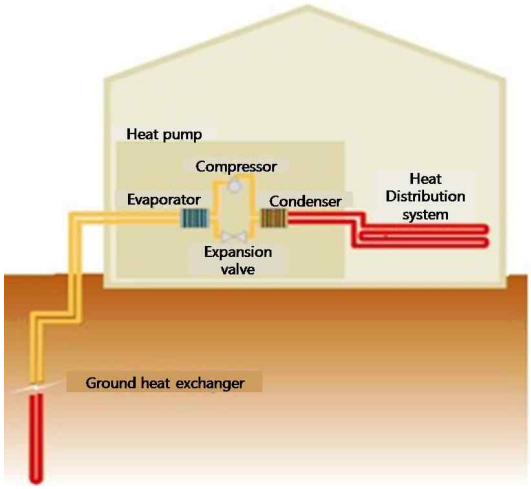
(2) 지열 열펌프 시스템(Geothermal Heat Pump System)

지열 열펌프 시스템은 크게 지중열교환기(ground heat exchanger)와 열펌프로 구성된 냉난방 겸용 시스템이다. 지중 온도는 연중 안정적이기 때문에 냉열원(heat sink)과 온열원(heat source)의 역할을 하여 하나의 시스템으로 공간 냉난방과 온수급탕을 동시에 구현할 수 있다.[23] 지열 시스템은 다른 신재생에너지에 비해 우수한 경제성을 갖으며, 에너지 효율이 높다.

---

22) 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030[지열], 2007.11, pp.3

23) 냉방 시에는 실내에서 흡수한 열을 지중 열교환기를 통해 지중으로 방출하고, 난방 시에는 지중 열교환기가 지중의 열을 흡수하여 실내로 공급한다.



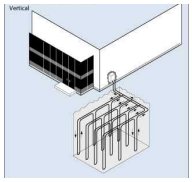
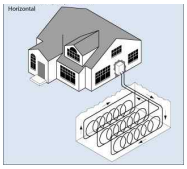
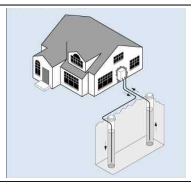
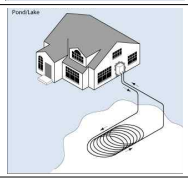
(그림 3.10) 지열 열펌프 시스템

지열 시스템을 적용할 경우 대상 건물의 냉난방 부하를 정확하게 계산하고 필요 부지 확보는 물론 대상 지역의 토양 성질, 지중열교환기 간격 등을 고려해야 한다. 또한 지중열교환기의 장기간 운전에 따른 지중온도 변화와 순환수(부동액) 누설이 지중 환경에 미치는 영향 등을 고려해야 한다.

(3) 지열 열펌프 시스템의 분류

지열 열펌프 시스템의 종류는 열원에 따라 토양열원 열펌프 시스템(Ground-Coupled Heat Pump System), 지하수열원 열펌프 시스템(Ground Water Heat Pump System), 지표수열원 열펌프 시스템(Surface Water Heat Pump System), 그리고 하이브리드 지열 열펌프 시스템(Hybrid Geothermal Heat Pump System)으로 구분된다. 지열 열펌프 시스템의 종류 및 특징은 다음 <표 3.6>과 같다.

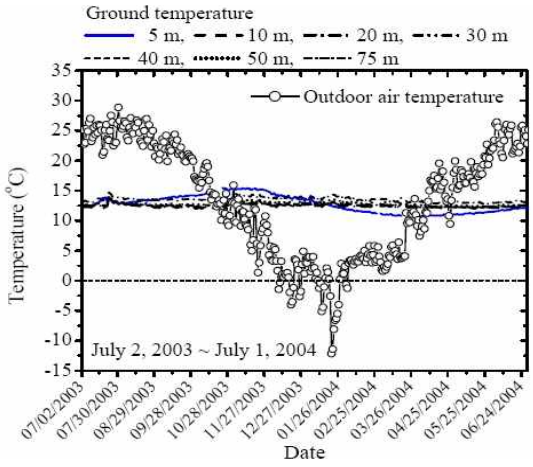
<표 3.6> 지열 열펌프 시스템의 분류

종류		시스템 특징	
토양열원 열펌프 시스템	수직 밀폐형		• 열교환기를 토양 속에 수직으로 매설 • 직경 150~200mm, 깊이 150~200m의 보어홀을 지면에서 천공(drilling)한 후 U자관 파이프를 삽입하는 기술 • 필요부지의 제약이 적고 효율이 높음 • 열교환기를 냉난방 용량과 부지조건에 따라 다양한 깊이로 매설할 수 있음
	수평 밀폐형		• 지중 열교환기가 지면에 수평으로 매설 • 지면에서 1.5~3m 깊이로 굴착된 골(trench)에 매설되는 방식. • 수직형에 비해 저렴하나 효율이 낮음 • 넓은 설치면적 필요
지하수열원 열펌프 시스템			• 지하수가 풍부하고 수질이 우수한 경우, 지하수를 열원이나 히트싱크로 활용하는 기술 • 효율이 가장 우수하나 물속의 오염물질이 배관 및 열교환기에 파울링(fouling) 또는 스케일(scale)을 야기할 수 있음
지표수열원 열펌프 시스템			• 자연 또는 인공연못, 호수, 저수지 등을 냉·온열원으로 활용하는 시스템 • 나선(spiral) 형상의 지중 열교환기를 사용 • 물속에서 부력에 의해 뜰 수 있으므로 설치에 주의가 필요함
하이브리드 지열 열펌프 시스템	태양열 보조 열원 이용 시스템		• 태양열 집열판을 지중열교환기에 연결하여 보조 온열원으로 활용하는 기술 • 설정 부하를 넘어서는 부하에 대해 태양열 집열판을 사용하는 것으로 지중열교환기 개수나 길이 등이 줄어들 수 있음

(4) 지열 시스템의 에너지 생산 특성

지열 시스템은 지중에 분포하는 열을 이용하는 시스템으로 냉열원과 온열원의 역할을 하는 지중온도가 연중 일정하므로 시스템의 에너지 생산 또한 일정하다. (그림 3.11)은 연중 외기온도와 지중온도의 변화를 나타낸다. 외기온도는 연중 변동이 큰 반면에, 지중온도는 연중 일정한 분포를 나타내는 것을 알 수 있다. 일반적으로 지표면에서 약 5~10m까지는 외기온도의 변화에 따른 영향을 받지만 10m 이하의 깊이에서는 연중 약 13~15℃ 정도로 일정온도를 유지한다. 따라서 지열 시스템은 연중 안정적인 에너지 공급이 가능하며, 태양에너지 시스템 및 풍력에너지 시스템에 비해 시스템 효율이

상대적으로 높다.



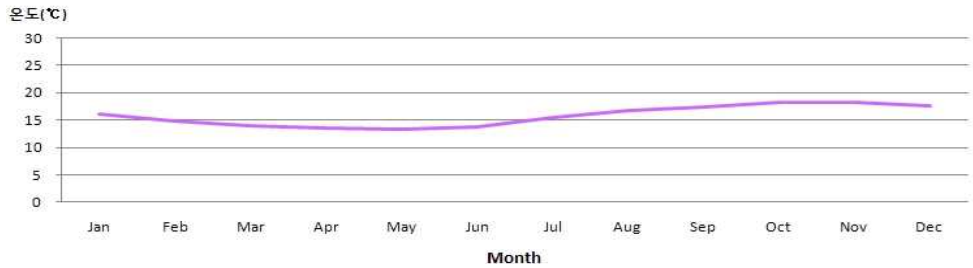
(그림 3.11) 연중외기온도 및 지중온도의 변화

태양 및 풍력에너지원이 지역에 따라 부존량이 다른 반면, 지열은 지역적 편차가 적기 때문에 에너지원에 대한 제한이 거의 없다. 서울지역의 경우, 지하 5m의 평균지중온도는 연중 약 4.5℃정도 변화하며 지하 10m의 평균지중온도는 연중 약 1℃정도 변화하는 것으로 나타나 안정적이라고 할 수 있다.

<표 3.7> 서울지역의 지중온도[24)]

	지하 5m 평균	지하 10m 평균
지중온도 범위	11.4~16.8℃	13.7~14.7℃

(그림 3.12)은 기상청에서 제공하는 서울지역의 지하 5m에서 측정한 연간 지중온도 자료이다. 최고온도는 외기온도가 가장 높은 8월이 아닌 10~11월에 나타나며, 최저온도는 4~5월에 나타나고 있다.



(그림 3.12) 서울지역의 연간 일평균 지중온도

24) 산업자원부, 지열냉난방 시스템 성능평가 및 엔지니어링 기술 확보, 2005.05, pp.28

3.2 도시의 신재생에너지시스템 도입 시 고려사항

도시의 신재생에너지 적용 시, 각 시스템의 효율적인 설치를 위한 고려요소를 고찰하여 도시환경에서 적용가능한 범위 및 한계점을 분석할 필요가 있다. 시스템의 적용가능성은 우선적으로 에너지원에 대한 잠재성 판단이 중요하며, 도시환경에서 시스템의 적용은 도시의 물리적 조건에 의한 영향으로 적용의 한계가 발생하므로 이에 대한 고려가 필요하다. 본 절에서는 도시의 효율적인 신재생에너지시스템 적용을 위한 기초조사로서, 도시환경에서 건축물에 적용을 위해 우선적으로 고려되어야 할 평가요소들을 고찰하였다.

3.2.1 태양에너지 시스템

(1) 태양에너지 자원(Solar Resource)

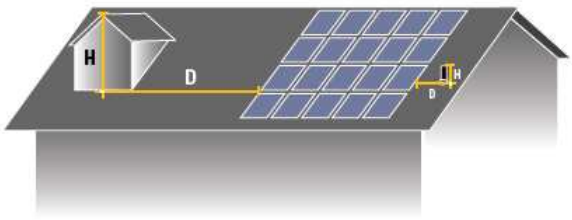
도시의 태양에너지 시스템을 도입하기 위해서는 우선적으로 대상지역에 대한 태양에너지자원의 잠재량을 검토하는 것이 가장 중요하다. 도시에서 일사량은 외부환경적 요인에 의해 표면에 도달하는 양의 차이가 발생하기 때문에 같은 도시 내에서라도 적용지역에 따라 시스템의 적용가능성이 달라질 수 있다. 특히, 도시에서 밀도, 규모 등의 형태적 특성은 태양에너지 잠재량에 결정적인 영향을 미치는 요소로서 형태적 특성에 따라 시스템의 적용가능성이 달라진다. 그러므로 도시에 태양에너지시스템을 적용하기 위해서는 도시의 형태적 특성을 반영한 정량적인 잠재성 평가가 이루어져야 한다.

(2) 음영(Shading)

음영은 태양에너지 시스템의 전체효율에 가장 큰 영향을 미치는 요소로서, 특히 태양광 시스템은 어레이 표면에 작은 음영이라도 전체 출력에 매우 큰 영향을 미칠 수 있다. 음영 발생요인으로는 주변건물, 식재 등에 의한 외부요인이 있으며 배관, 굴뚝, 캐노피 등 건물에 의한 요인과 시스템 구조물 자체에 의한 요인도 있다. 이러한 직접적인 음영(direct shading)은 시스템의 효율을 크게 저하하며, 구조물로부터 태양에너지 시스템은 최소 구조물 높이의 2배되는 거리에 위치해야 음영발생으로부터 영향을 받지 않는다.[25]

---

25) U.S. Department Of Energy, High-Performance Home Technologies: Solar Thermal & Photovoltaic Systems, 2007.06, pp.71



(그림 3.13) PV 어레이와 구조물의
적정거리(D=2*H)

(3) 설치각도(Azimuth and Tilt)

일사량은 위도에 따라 변화하므로 최대 획득량은 시스템의 방위각 및 경사각에 의해 결정된다. 태양에너지 시스템의 방위각은 일사량을 최대로 획득할 수 있는 남향이 가장 바람직하며, 건축계획 시 시스템을 적용할 수 있는 건물외피면적이 최대한 남향에 면하도록 한다. 시스템의 설치각도는 그 지역의 위도에 따라 결정되는데, 태양광 모듈은 태양광선과 직각일 때 가장 효율이 좋으며 지역의 위도에 ±15° 로 설치하는 것이 적합하다. 우리나라의 경우 설치각도 30° 가 적합하며, BIPV 시스템은 적용 위치에 따라 설치각도가 달라진다. 태양열 집열기 경사각은 우리나라의 경우, 겨울철에 많은 집열량을 확보하기 위해 온수급탕용은 35~45° , 난방용은 45~55° 가 적합하다.[26]

(4) 시스템의 이격거리(Separation Distance)

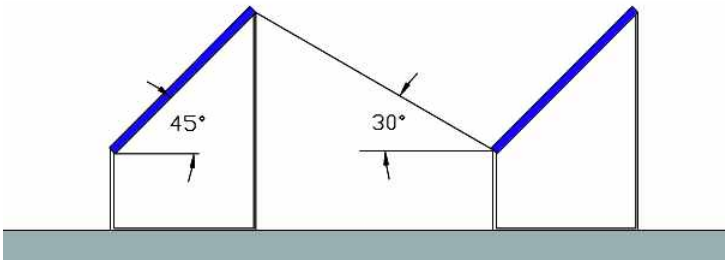
태양에너지 시스템은 음영 발생을 억제할 수 있도록 최소 이격거리를 확보하여 배치해야 한다. 태양광발전 시스템의 경우 최소 이격거리를 다음 (수식 3.1)[27]을 이용하여 산출할 수 있다.

$$d = b \times \frac{\sin(180° - \beta - \gamma)}{\sin\gamma} \qquad \text{(수식 3.1)}$$

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

26) 한국에너지기술연구원, 태양열설비 시스템 표준화, 지식경제부, 2008.06, pp. 29
27) The German Energy Society, "Planning & Installing Photovoltaic Systems", Earthscan, 2009, pp.145

태양열시스템의 이격거리는 (그림 3.14)과 같이 대상 집열기 최하단부와 정남방향의 집열기의 최상단부와의 각도가 30° 이하가 되어야 한다.



(그림 3.14) 태양열시스템 집열기의 이격거리

3.2.2 소형풍력발전 시스템

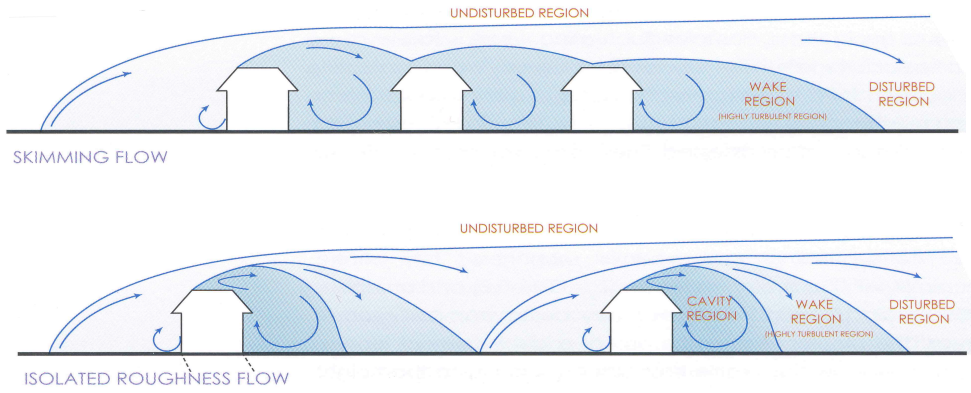
(1) 풍력에너지 자원(Wind Resource)

풍력발전 시스템의 적용가능성을 판단하기 위해서는 가장 우선적으로 해당 지역의 풍속을 예측하여 자원의 정량적인 잠재성 평가가 필요하며, 일반적으로 기상청의 실측자료를 활용하여 예측할 수 있다. 기상청의 지역별 풍속 값은 관측소의 일정 높이(10~20m)에서 측정된 자료이므로, 시스템이 설치되는 높이에서의 실제 풍속 값과 차이가 발생할 수 있다. 따라서 기상청의 실측자료를 이용하여 높이 증가에 따른 풍속 보정(extrapolation)을 실시하여 실제 설치 높이에 대한 풍속을 예측함으로써, 대상지의 풍속자원의 잠재성을 평가하여야 한다. 또한 풍향은 풍력에너지 시스템을 건물에 배치함에 있어 중요한 조건으로 대상지역의 주 풍향(prevailing wind direction)을 고려하여 최대의 풍속을 얻을 수 있도록 해야 한다.

(2) 기류패턴(Air Flow Pattern)

도시환경에서 기류패턴은 도시의 형태적 특성에 따라 다르게 나타난다. 난류(亂流, turbulent flow)가 발생하면 일정한 풍속을 얻기 어려우며, 도시는 구성건물의 밀도가 높고 식재 등의 장애물이 많으므로 난류 발생가능성이 높다. 풍력발전 시스템은 난류를 피하여 설치해야 터빈의 수명이 길어지고 보다 빠른 속도를 얻을 수 있으므로 기류패턴 분석을 통해 안정적인 풍속을 얻

을 수 있는 시스템의 설치 위치를 선정해야 한다.[28] (그림 3.15)와 같이 건물의 배치 간격이 좁을수록 난류발생으로 인한 불규칙적인 기류패턴이 다양하게 발생되는 것을 알 수 있다. 도시환경에서 풍력발전시스템의 설치는 이러한 'disturbed flow zone'을 피하여 배치하여야 하며, 지층부보다 상대적으로 안정적인 풍속을 얻을 수 있는 건물 상층부에 설치하는 것이 적합할 것으로 판단된다.



(그림 3.15) 도시지역(上)과 교외지역(下)의 건물 기류패턴

(3) 표면 거칠기(Surface Roughness)

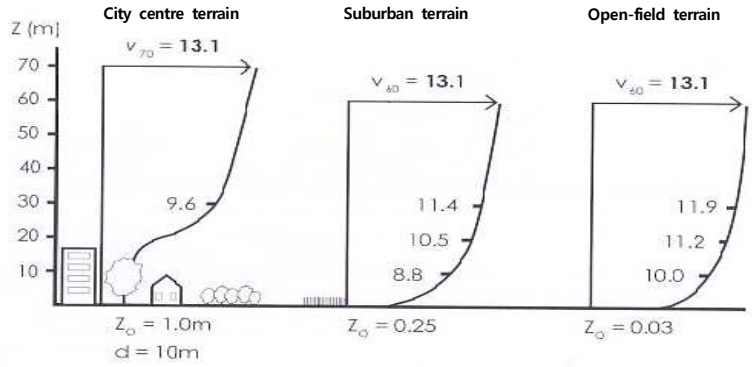
표면 거칠기는 도시 표면의 불규칙적인 요철(凹凸)을 의미하며, 거칠기가 클수록 풍속의 변화가 크다. (그림 3.16)[29]는 거칠기에 따라 도시지역 (Z_0>0.7), 교외지역(Z_0=0.25-0.3), 그리고 open field(0.01-0.03)로 구분하여 높이증가에 따른 풍속의 변화를 보여준다. 같은 풍속이더라도 도시지역이 다른 지역보다 더 높은 높이에 도달해야 얻을 수 있으며, 거칠기에 따라 풍력발전기를 적용할 수 있는 높이가 달라짐을 확인할 수 있다. 도시의 표면 거칠기는 도시의 형태적 특성에 따라 다양하므로 일반화하기 어려운 특성이 있다. 따라서 풍력발전시스템 적용 시, 도시의 구성건물 밀도에 의한 도시 건물 요철도(凹凸度, Urban Building Roughness)[30]의 분석이 필요하다.

---

28) American Wind Energy Association, How and Why to Permit for Small Wind Systems, 2008.09, pp.14

29) Sinisa Stankovic, Neil Campbell, Alan Harries, "Urban Wind Energy", Earthscan, 2009, pp.78

30) 본 연구에서는 「도시 건물 요철도」를 '하천, 그린공원 등 공지를 제외한 건물이 건축된 대지의 균질하지 않은 건물지형의 높이 차이'라고 정의하였다.



(그림 3.16) 지표면 거칠기에 따른 풍속의 변화

(4) 환경문제(Noise and Visual Impact)

현재 소형풍력 발전기의 소음 수준은 일상생활에서 발생하는 주변소음의 수준이지만, 터빈의 회전속도가 빠를 경우 일정 소음이 발생할 수 있다.[31] 또한, 시스템의 규모가 클수록 터빈 회전으로 인한 시각적 불쾌감을 느낄 수 있으므로, 소음과 시각적 효과 등의 환경문제를 고려하여 시스템의 이격거리, 타워 높이 등을 결정하고 건축적으로 활용하는 방안을 모색하는 것이 바람직하다.

3.2.3 지열 시스템

(1) 지열에너지 자원(Geothermal Resource)

지열원은 토양이 있는 곳에서는 항상 존재하므로 어디서나 개발이 가능하다는 이점이 있다. 우리나라의 경우, 지표면으로부터 약 200m까지의 지중온도는 연평균 13~15℃로 연중 안정적이며 지역의 큰 차이 없이 일정한 에너지를 얻을 수 있다. 지열은 온도레벨이 낮아 직접 이용이 어렵기 때문에 열펌프 기술과 접목하여야 유용한 에너지를 얻을 수 있다.

31) American Wind Energy Association, How and Why to Permit for Small Wind Systems, 2008.09, pp.11

(2) 지반특성(Soil Properties)

지중 열교환기의 길이와 개수, 설치깊이는 지반의 열적 특성에 크게 좌우된다. 열전도율이 큰 지반일수록 지중 열교환기 내의 열 흡수 및 소산이 효과적으로 이루어져 지열교환기의 길이도 상대적으로 짧아질 수 있다.[32]

(3) 설치 가능 면적(Applicable Installation Area)

지중 열교환기는 대지형태 및 면적, 그리고 지하 매설물 여부에 따라 적용가능성이 달라지므로 도시에 지열시스템 적용 시, 설치면적을 확보하는 것이 가장 중요하다. 기존 건물에 적용할 경우, 설치 공간을 확보하기 어렵기 때문에 주차장이나 학교 운동장 등의 넓은 부지를 활용하여 집단에너지로 공급하는 것이 시스템 효율적이다. 지열 시스템에서 보어홀(Borehole)의 설치간격은 설치면적 및 시스템 용량을 결정짓는 요인으로, 열교환기 간의 열간섭을 방지하기 위하여 반드시 여유간격을 두고 설치해야 한다. 기존문헌[33]에서는 보어홀의 간격을 4m~6m로 제시하고 있다. 따라서 설치 가능한 면적을 산출한 뒤, 보어홀의 간격을 고려하여 지중 열교환기의 개수를 산정해야 한다.

32) 김주영, 신재생에너지시스템 건축물 적용을 위한 가이드라인 개발, 경북대 박사학위논문, 2008.06, pp.154
33) 산업자원부, 지열냉난방 시스템 성능평가 및 엔지니어링 기술 확보, 2005.05, pp.81

3.3 신재생에너지시스템의 건축물 적용 방법

3.3.1 태양광발전 시스템

태양광발전 시스템은 일사획득이 가능한 건물 외피에 다양한 활용이 가능하며, 특히 건축물과 일체화하여 외피를 대신하는 건물통합형(Building Integrated Photovoltaic: BIPV)시스템의 활용이 증가하고 있다. 태양광발전 시스템은 태양전지의 모듈성으로 자유롭게 용량을 조절하여 건물에 부착할 수 있기 때문에 건축물의 디자인적 요소로서의 활용가능성이 비교적 크다. 이러한 건물통합형 적용은 전력발전장치로서의 기능적 측면과 건물외장재로서의 디자인 측면의 이중효과를 기대할 수 있다. 태양광발전 시스템의 건축물 적용 방법은 크게 지붕과 입면의 적용위치에 따라 분류할 수 있으며, 기존문헌[34)35)]을 참고하여 적용유형을 다음 <표 3.8>과 같이 분류하였다.

<표 3.8> 태양광발전 시스템의 건축물 적용 유형

적용위치	적용방법	특징	적용사례
지붕	독립형	• 건물외피와 별도로 독립된 구조물로 설치 • 기존건물에 적용이 용이함 • 최적의 경사각으로 설치가능 • 시스템 간의 이격거리를 고려해야 함	
	부착형	• 건물 지붕에 PV 패널을 덧붙이는 방식 • 쉽게 건축자재화 하여 시공이 간편함 • PV 패널의 표준화로 인해 건축디자인으로의 활용가능성이 적음	
	일체형	• 외피마감형으로 건축디자인으로서 다양하게 활용가능함 • 아트리움에 적용 시, 자연채광 효과를 얻을 수 있음	
입면	부착형	• 건물 외피 벽면에 덧붙이는 방식 • PV모듈 온도상승으로 인한 변환효율 감소를 고려하여 적용이 필요함 • 수직으로 설치되어 발전 효율이 떨어짐	
	글래스형	• 건물 입면 유리창에 일체화하여 적용 • 음영의 영향을 받을 가능성이 큼 • 건축디자인으로의 활용과 외피 비용 절감을 기대할 수 있음	
	차양형	• PV모듈을 차양장치에 일체화시켜 전력발전 및 차양기능을 동시에 얻는 방식 • 기존건물·신축건물에 상관없이 적용가능 • 가변형으로 적용 시, 최적 발전효율을 얻을 수 있는 각도 유지 가능	

34) 이응직, 김회서, PV의 건축물 적용기법에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.22, No.2, 2002
35) 조 한, 건물 통합형 태양광 시스템의 건축 디자인 적용 방법 연구, 대한건축학회 논문집, 제22권, 제8호, 2006.08

3.3.2 태양열 시스템

태양열 시스템은 집열기 단위로 건물에 설치하기 때문에 모듈로 적용될 수 있는 태양광발전 시스템보다 건축적 활용 측면에서 사용면적의 제약을 받는다. 태양열 시스템은 집열기를 건물의 지붕에 설치하거나 입면에 부착하는 방식으로 주로 적용되고 있으며, 발코니에 진공관형 시스템으로 적용되는 방식도 있다. 그러나 건물 입면에 부착할 경우, 태양열 시스템이 열매체로 부동액, 물 등의 액체를 사용하기 때문에 설치의 제약이 발생하므로 이에 대한 고려가 필요하다.

최근에 건물통합형 태양열 시스템(Building Integrated Solar Thermal: BIST)의 개발로 기존의 단순 부착 방식에서 건물 외피에 집열기를 일체화하여 활용할 수 있는 가능성이 높아지고 있다.[36] 적용 유형은 다음 <표 3.9>과 같이 일체화 정도에 따라 크게 3가지 유형으로 분류할 수 있다.

<표 3.9> 태양열 시스템의 건축물 적용 유형

적용유형	특징	적용사례
독립형	• 건물외피와 별도로 집열기를 독립된 구조로 설치하는 방식 • 기존건물에 적용이 가능 • 향, 경사각의 조절이 가능 • 시스템의 이격거리를 고려해야 하므로 지붕과 같이 한정된 면적의 적용이 제한적임 • 건축 디자인으로의 활용가능성이 적음	
부착형	• 집열기를 건물외피에 덧붙이는 방식 • 주로 입면보다는 지붕에 부착하는 경우가 많음 • 건축자재화 하여 시공이 간편함 • 건축 디자인으로의 활용가능성이 적음	
일체형	• 지붕외피에 일체화거나 발코니(진공관형)에 일체화하는 경우가 있음 • 건축물의 의장적 요소로의 활용가능성이 높음 • 건물외피 비용 절감 효과를 얻을 수 있음 • 집열기 자체의 열손실이 감소하여 건물과 집열기 사이의 열적 분리가 없음 • 건물외피에 통합됨으로써 건물의 단열성능을 향상시킬 수 있음	

36) www.renewableenergyworld.com

3.3.3 소형풍력발전 시스템

풍력발전 시스템은 그동안 중대형 위주로 적용 정책이 이루어졌기 때문에 국내에서는 건물에 소형풍력발전 시스템이 적용된 사례를 찾기 어렵다. 최근 정부 주도로 그린홈 100만호 보급 사업에 소형풍력발전 시스템을 추가하여 보급 활성화에 나서고 있으며, “도시형” 풍력발전기술로서 소형풍력발전의 기술 개발이 활발히 진행되고 있어, 건물의 소형풍력발전 시스템 적용이 증대될 것으로 판단된다. 국외 사례에서 소형풍력발전 시스템의 건축물 적용은 대지 내 풍속이 높은 건물 옥상에 주로 설치되고 있으며 최근에는 발전기의 형태, 설치방법에 따라 적용방식이 다양화되고 있다. 건물설치형 풍력발전 시스템(Building Mounted Wind Turbine)은 건물일체형 태양광발전 시스템이나 태양열 시스템과 같이 모듈화, 소형화하여 건물의 외벽이나 또는 옥상에 배치하여 의장적 요소와 기능적 요소를 동시에 구현할 수 있는 설치방법이다.[37] 소형풍력발전 시스템은 다음 <표 3.10>과 같이 적용된 사례[38]를 통해 건축물로의 활용가능성을 판단할 수 있다.

<표 3.10> 소형풍력발전 시스템의 건축물 적용 사례

사례	적용 모습	특징
Architectural Wind, SystemAero Vironoment		• 단위모듈의 높이는 1.8m, 폭 2.6m, 무게 27kg이며 날개의 직경 1.2m • 정격출력 400W, 최소풍속 3.1m/s • 건물 파라펫에 위치시키는 방식 • 소형 모듈형식으로 필요에 따라 용량을 자유롭게 조합가능, 소음 최소화 • 건물의 의장적 요소로 활용가능
Mercy Housing, Chicago		• 1.5kW 용량의 8대의 단위모듈을 수평으로 연결하여 옥상에 설치 • 터빈의 진동과 소음을 최소화 • 발전전력을 곧바로 건물에 공급하여 단위세대 부하에 충당 • 연간 16,000kWh의 전력을 생산함
Mixed-used Tower in Portland		• 미국 포틀랜드 시내에 있는 주상복합 건물옥상에 4대의 소형풍력발전기 설치 • ‘urban rooftop wind farming’ 개념으로 설계 • 건물 22층, 타워높이 13m • 건물 전체전력 수요에 1% 분담

37) 전현도, 초고층 건물의 풍력발전시스템 적용방안에 관한 연구, 중앙대 석사학위논문, 2010.02, pp.19
38) 윤종호, 건물일체형 풍력발전[BiWP] 기술현황, 한국건축친환경설비학회 논문집, Vol. 2, No. 1, 2008

3.3.4 지열 시스템

지열 시스템은 다른 시스템이 건축물의 의장적 요소로 활용할 수 있는 것과는 달리, 건물 지하에 매설하는 방식으로 적용되고 있다. 지열 시스템의 적용은 건물 냉난방 부하와 부지조건에 따라 다양한 깊이로 시공할 수 있으며, 크게 수직형과 수평형의 방식에 따라 매설 형태 및 범위가 달라진다.

지열 시스템은 지중 열교환기를 제외한 나머지 구성기기 등이 건물 내부에 설치되기 때문에 외기에 영향을 받지 않고 파손의 우려가 없으며, 지중 열교환기 파이프는 지중에 매설되어 있기 때문에 이에 대한 유지관리가 거의 필요 없다.

지열 시스템은 신축 건물은 물론 기존 건물에도 적용가능하며, 특히 신축 건물에 적용 시 바닥 난방과 같은 저온 공조시스템으로 활용하는 것이 매우 효율적이다.[39] 기존 건물에 적용할 경우, 장비설치에 필요한 공간이 적게 소요되기 때문에 기계실의 크기를 줄일 수 있으며 기존 기계실의 여유 공간을 유용하게 활용할 수 있는 장점이 있다.[40]

---

39) UK Ground Source Heat Pump Association, Domestic Ground Source Heat Pumps: Design and installation of closed-loop systems, 2004, pp.3

40) 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030[지열], 2007.11, pp.19

3.4 소결

본 장에서는 도시의 효율적인 신재생에너지 복합 적용을 위한 기초조사로서 각 시스템의 개요 및 구성, 에너지 생산 특성, 고려사항, 건축물 적용 방법 등을 분석하여 도시차원에서 신재생에너지시스템의 적용가능성을 고찰하였으며, <표 3.11>과 같이 정리할 수 있다. 각 시스템의 에너지 생산 특성을 고려하였을 때, 도시에 신재생에너지시스템을 적용하기 위해서는 에너지원의 잠재량이 가장 우선적으로 고려되어야 할 것으로 판단된다. 또한 에너지 생산 유형에 따라 태양광발전 시스템과 소형풍력발전 시스템, 태양열 시스템과 지열 시스템의 에너지 상호보완적 가능성이 큰 것으로 예상할 수 있다.

도시의 건축물에 신재생에너지시스템 적용을 위한 각 시스템의 주요 고려사항은 도시의 외부환경에 따른 영향을 고려하여 도출하였으며, 이러한 고려요소들은 궁극적으로 시스템의 에너지생산의 효율성 및 실제 적용가능성을 결정짓는다고 볼 수 있다. 도시환경에서 건축물의 시스템 적용은 적용 범위가 제한적이며, 기존건물에 적용 시 신축건물에 적용하는 경우보다 건축물과의 일체화가 어렵다는 단점이 있다. 태양광발전 시스템의 경우 건축물의 옥상면과 입면 모두 활용가능성이 높으며, 태양열 시스템과 소형풍력발전 시스템의 경우 건물 옥상면에 적용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 신축건물일 경우, 시스템을 일체화하여 적용하는 것이 시스템의 기능성과 의장성면에서 바람직하다고 볼 수 있다.

<표 3.11> 도시차원의 신재생에너지시스템 적용가능성

	태양광	태양열	풍력	지열
생산에너지 유형	전기	열	전기	열
담당부하	전력	급탕	전력	냉난방
에너지원	일사량	일사량	풍속	지중열
에너지생산 특성	• 기상조건에 영향 • 계절에 따라 다름 • 주간에만 생산	• 기상조건에 영향 • 계절에 따라 다름 • 주간에만 생산	• 기상조건에 영향 • 주간, 야간 모두 생산 가능	• 연속적인 에너지 생산 가능
주요 고려요소	• 음영 방지 • 설치 방위각 및 경사각 • 어레이 이격거리	• 음영 방지 • 설치 방위각 및 경사각 • 집열기 이격거리	• 높은 풍속 확보 • 난류발생 여부 • 시스템 설치간격 • 소음 및 진동	• 부지면적 • 파이프 설치간격 • 시공의 접근성
건축물 적용 위치	• 옥상면 • 입면	• 옥상면 • 입면	• 옥상면	–
건축물 일체화 정도	• 매우 높음	• 높음	• 보통	–

제 4 장 도시 특성에 따른 신재생에너지 적용가능성 평가

4.1 도시의 신재생에너지 적용가능성 평가 개요

도시의 신재생에너지시스템 적용을 위해서는 우선적으로 도시 특성에 대한 고려가 필요하다. 도시의 지리적 특성으로서 도시의 위치 및 기후조건은 신재생에너지의 잠재량(Potential)을 결정하며, 도시의 물리적 특성으로서 도시의 규모, 밀도 등의 형태적 특성은 시스템 적용의 실제가능성에 영향을 미친다. 또한 구성건물의 용도에 따라 도시 에너지 수요 특성이 다르게 나타나며 적용 시스템이 달라진다. 그러므로 도시에 신재생에너지시스템 적용을 위해서는 도시 특성을 고려한 적용 계획이 필요하다.

본 장에서는 도시 특성에 따른 신재생에너지 복합 적용 방안을 수립하기 위한 선행연구로서, 도시의 신재생에너지시스템 복합 적용을 위한 프로세스를 정립하고 이에 따라 신재생에너지 적용가능성을 평가하였다. 적용가능성 평가를 위하여 실제도시의 특성을 반영한 유형별 기준모델을 설정하고, 유형별 도시 에너지 수요 특성 및 신재생에너지의 잠재성을 평가하였다.

4.1.1 도시의 신재생에너지시스템 복합 적용을 위한 프로세스

도시 특성을 반영한 신재생에너지시스템의 복합 적용 프로세스를 정립하기 위하여 기존의 연구에서 제시한 신재생에너지시스템 적용 프로세스를 고찰하였다. 김성은의 연구(2009)[41]에서는 건축물의 신재생에너지 복합 활용을 위한 프로세스를 제시하였다. 이 프로세스는 설계단계로 구분하여 건물에너지 성능에 따른 시스템 적용안 도출 과정을 나타내었으나, 건축물로 한정되어 있고 시스템을 복합적으로 활용하기 위한 고려는 반영되어 있지 않다. 이민희의 연구(2010)[42]에서는 도시의 태양에너지시스템 적용을 위한 프로세스를 제시하였으며, 도시 특성에 따른 태양에너지시스템 적용안 도출을 위한

41) 김성은, 건축물의 신재생에너지 복합 활용 계획에 관한 연구, 중앙대 석사학위논문, 2009.08, pp.43~45

42) 이민희, 도시특성에 따른 태양에너지시스템 적용에 관한 연구, 중앙대 석사학위논문, 2010.02, pp.41~42

방법을 제시하였다. 이와 같은 기존의 연구는 신재생에너지시스템의 적용 범위가 다르지만, 궁극적으로 에너지 소비 특성에 따라 적용안을 계획하고 대안을 평가하여 최적안을 도출하는 과정을 다루고 있다. 그러나 도시의 신재생에너지시스템 적용은 에너지 소비 특성뿐만 아니라 신재생에너지의 잠재성에 따른 시스템의 활용가능성을 분석하여 시스템의 우선순위 및 적용성에 대한 평가가 필요하다. 따라서, 도시 특성을 반영한 신재생에너지시스템의 복합적용을 위해서는 에너지 수요 분석과 함께 신재생에너지의 정량적 잠재성에 대한 평가가 우선적으로 이루어져야 한다.

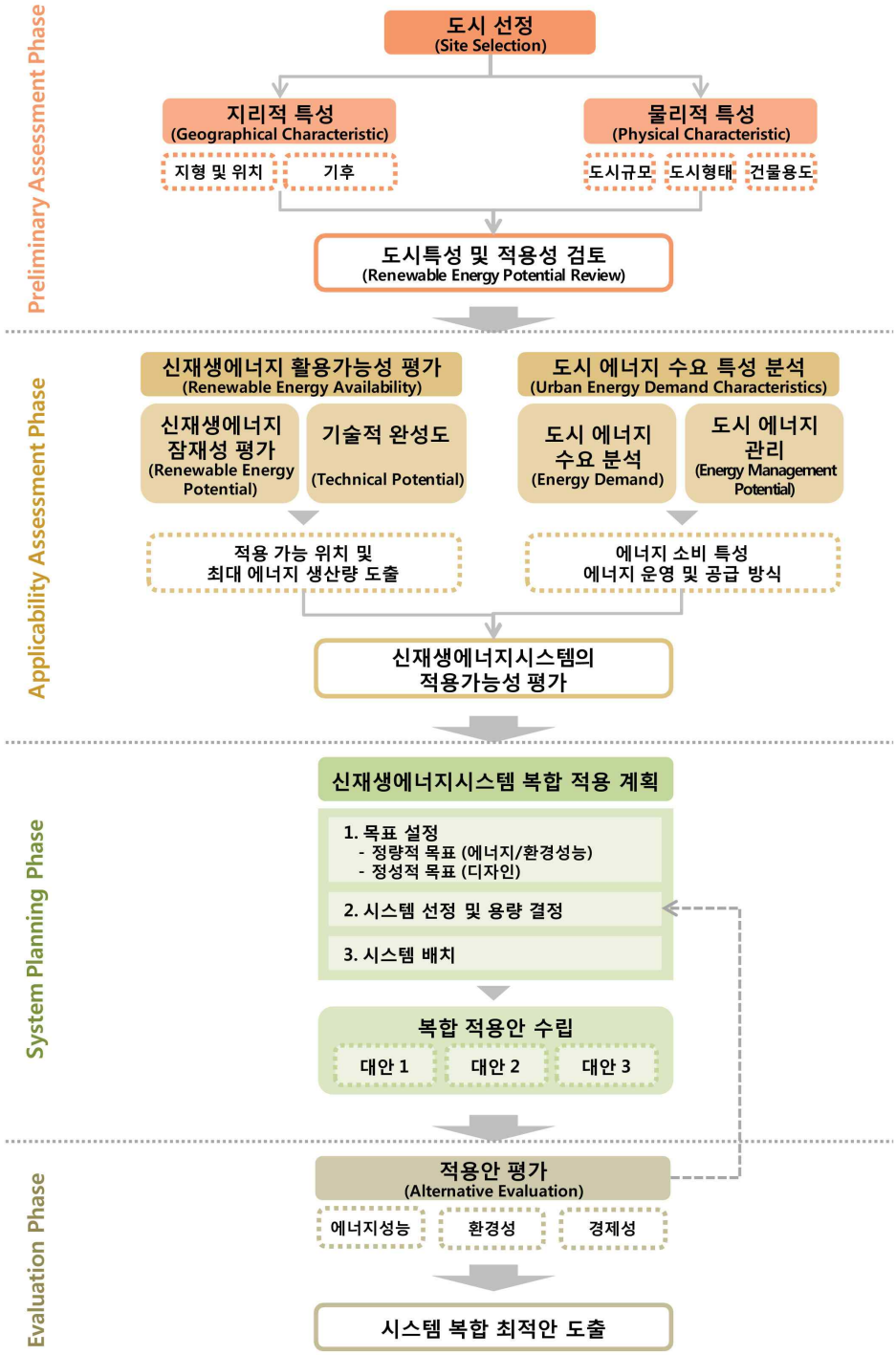
도시 특성을 고려한 신재생에너지시스템 복합 적용 프로세스는 (그림 5.1)과 같이 크게 예비분석단계, 적용가능성 분석단계, 계획단계, 평가단계로 구분할 수 있으며, 이러한 과정을 통해 최적안을 도출할 수 있다.

예비분석단계는 도시특성을 반영한 시스템 복합 적용을 위해 대상도시의 지리적 특성과 물리적 특성을 분석함으로써 대상도시의 신재생에너지의 잠재량 및 적용성을 검토하는 단계이다. 지리적 특성으로는 지형 및 위치, 기후 등이 있으며, 이러한 요소들은 일사량, 풍속, 지중열 등의 신재생에너지원을 결정하므로 시스템의 생산량에 영향을 미친다. 물리적 특성은 크게 규모, 형태, 구성건물 용도 등으로 구분할 수 있으며, 도시의 에너지 소비량 및 시스템 설치에 결정적인 요소로 작용한다.

적용가능성 분석단계는 대상지의 신재생에너지 잠재성 평가를 통하여 시스템별 적용가능 위치 및 최대 에너지 생산량을 도출하고, 각 시스템의 기술수준을 고려하여 도시에 적용가능한 시스템을 구분한다. 그리고 에너지 수요분석과 도시 에너지 관리의 가능성을 검토함으로써, 에너지 운영 및 공급 방식을 결정한다. 이와 같은 시스템별 적용가능성 평가 결과와 에너지 수요 분석 결과를 비교분석하여 적용 시스템을 선정하고 우선순위를 결정한다.

계획단계는 적용가능성 분석단계의 결과를 토대로 적용안을 수립하는 단계로서, 시스템의 에너지 생산량 및 에너지 소비 특성을 비교하여 시스템의 적용목표를 설정한다. 이 때, 적용목표는 크게 에너지 성능 목표와 디자인 목표로 나눌 수 있으며 설정된 목표에 따라 시스템의 용량을 결정하고 시스템을 배치하여 대안을 수립한다.

평가단계는 계획단계에서 수립한 적용안에 대하여 에너지 성능과 환경성능, 그리고 디자인 성취도를 평가하여 목표에 부합하는 복합 최적안을 도출한다. 에너지 성능평가는 부하분담율 산정 및 실제 수요 대응 공급량을 평가하여 최적의 시스템 구성과 규모를 결정하고, 환경성능평가는 기존대비 CO_2 배출 절감량을 산정하여 대안을 평가한다.



(그림 4.1) 도시의 신재생에너지시스템 복합 적용 프로세스

4.2 도시 특성에 따른 도시 유형화 및 기준모델 설정

본 연구는 실제도시 특성을 반영한 대표 유형 모델을 수립하여, 각 도시 유형의 특성에 따른 신재생에너지 복합 적용의 프로토타입을 제시하고자 한다. 이를 위하여 도시의 신재생에너지시스템 적용 시 고려해야할 도시 특성 요소를 도출하고 도시 유형을 분류한 뒤, 실제 샘플도시에 대한 분석을 바탕으로 기준모델을 설정하였다. 도시 유형 분류 및 기준모델 설정을 위한 연구 방법은 (그림 4.2)와 같다.

(그림 4.2) 도시 유형 분류 및 기준모델 설정

4.2.1 도시 특성에 따른 도시 유형 분류

(1) 도시 유형 분류를 위한 도시 특성 고려요소

도시는 지리적 위치 및 물리적 구성요소, 그리고 역사 및 문화 등에 따라 그 특성이 매우 다양하게 나타나기 때문에 모든 도시의 특성을 반영하여 유형화하기는 어렵다. 이러한 도시의 다양한 특성 중, 도시의 형태(Urban Form)는 신재생에너지의 잠재성(Potential) 및 적용가능성(Availability)을 결정짓는 요소로서 도시의 물리적 구성요소에 따른 형태적인 동질성을 통해 특정 유형으로 분류할 수 있다. 도시의 물리적 구성요소는 블록(block), 가로

(Street), 필지(lot), 건물(building), 공지(open space) 등의 도시조직(Urban Fabric) 단위로 나타낼 수 있으며, 이러한 형태요소들은 서로 상관관계를 갖는다. 본 연구는 이러한 도시조직 단위를 바탕으로 형태적인 동질성을 갖는 도시의 대표유형을 분류하고 기준모델을 수립하고자 한다. 이를 위해 우선적으로 고려해야 할 도시 특성 요소는 크게 도시 규모, 도시 형태, 구성건물의 용도 등의 세 가지로 구분할 수 있다.

가) 도시 규모

도시 규모는 도시의 형태 및 구성건물의 구성비를 결정짓는 요소로서, 도시 규모에 따라 신재생에너지의 잠재량 및 도시 에너지 수요 특성이 달라진다. 또한, 도시 규모는 신재생에너지시스템의 복합 활용의 가능성 및 방법을 결정할 수 있는 기준이 될 수 있으므로 도시의 신재생에너지 적용 시, 도시 규모에 따른 형태적 특성과 구성건물의 비를 고려해야 한다. 본 연구는 도시의 신재생에너지시스템 복합 적용 프로토타입 제시를 위한 도시 규모 설정을 위하여 블록의 개념을 활용하였다.

블록(block)은 도로에 의하여 하나 혹은 수 개의 획지가 일정한 패턴을 이루면서 집합된 일단의 대지를 의미하며, 도시구조를 형성하는 요소인 동시에 기본적인 공간단위로서의 의미를 가진다. 그러므로 블록은 도시의 신재생에너지시스템 적용의 최소기본단위로 사용될 수 있다. 따라서 블록을 도시 형태모델 설정의 범위로 하였으며, 블록의 규모는 「도시계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙」에 명시된 도로 배치 간격 및 도로 폭을 기준으로 <표 4.1>과 같이 구분할 수 있다.

<표 4.1> 블록의 규모별 구분

	대블록	중블록	소블록
블록 한 변의 길이	500m 내외	250m 내외	150m 이하
면하는 도로의 규모	광로	대로·중로	소로

나) 도시 형태

① 도시 가로(Urban Street)

건축물의 방위(orientation)는 건축물이 접하는 가로의 방향에 따라 결정된다. 가로에 면하는 건축물의 높이와 가로 폭의 비율은 태양에너지의 접근성(Solar Access)과 도시의 미시적 범위에서 풍향 및 기류패턴에 영향을 줄 수 있다. 고밀도의 도시환경에서 가로에 면하는 건물의 입면은 상대적으로

다른 입면보다 태양에너지의 접근성이 높고, 특히 가로 폭이 넓을수록 태양에너지의 접근성이 높아진다. 따라서 가로의 방향(orientation)과 폭(wide)은 도시의 구조를 형성하는 요소인 동시에 신재생에너지의 잠재량에 영향을 끼치는 중요한 요소이다.

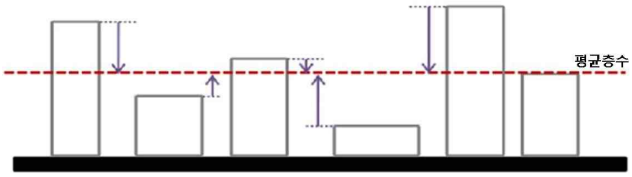
② 건축밀도와 높이(Density and Height)

도시를 구성하는 건축물에 대한 밀도를 나타내는 지표로서 건축밀도(용적률, 건폐율)는 도시 형태를 결정짓는 요소로 건축물 높이와 상호 상관관계를 맺는다. 용적률은 건축면적에 대한 연면적의 비율로써 연면적의 산정에 따라 값이 산정된다. 또한, 연면적은 건축물이 층별로 같은 면적을 갖는다고 가정하면 건축면적을 층수만큼 곱한 것이 된다. 따라서 용적률과 건폐율은 상호 밀접한 관계를 가지며, 이 둘을 매개하는 매개체로써 건축물의 층수가 존재하게 된다.[43]

건축밀도와 높이는 도시 형태와 더불어 건축물의 규모를 결정하므로 건축물의 신재생에너지 적용 잠재량을 결정한다. 건축밀도가 낮을수록 주변건물에 의한 영향이 적어지므로 태양에너지의 접근성(Solar Access)이 높아지며, 건축물의 높이가 높을수록 풍속 획득에 유리하다. 또한 건물밀도에 따라 대지 내 공지 및 건물 간의 이격거리 확보가 달라지므로, 건축밀도와 높이는 신재생에너지의 잠재성 평가와 도시 유형 분류의 중요한 지표로 활용된다.

③ 도시 건물 요철도(Urban Building Roughness)

도시 건물 요철도(UBR, Urban Building Roughness)란 하천, 그린공원 등 공지를 제외한 건물이 건축된 대지의 균질하지 않은 건물지형의 높이 차이를 말한다(그림 4.3). 도시 건물 요철도는 평지에 있다고 가정하며, 단지의 평균층수와 건물높이 비율을 산출함으로써 도시 형태를 나타내는 지표로 활용될 수 있다.



(그림 4.3) 도시 건물 요철도(UBR)의 개념

43) 김홍배, 도심 단독주택지의 주거 건축 유형변화에 따른 공간 구조 및 밀도 특성에 관한 연구: 강남구 1종 일반주거지역을 중심으로, 홍익대 박사학위논문, 2009.02, pp.58

면적이 큰 건물이 주변건물에 비해 높이편차가 클 경우 면적이 작은 건물과 비교하여 주변건물에 미치는 영향력이 더 크므로 단순 높이 비교만으로는 평가할 수 없다. 도시 건물 요철도는 건물의 평균 높이 차이에 해당하는 체적을 구함으로서 건물의 규모에 따른 영향력을 함께 평가할 수 있으며, 도시 건물 요철도는 (수식 4.1)과 같이 산출할 수 있다.

$$\text{도시건물 요철도}(UBR) = \frac{\sum(|\text{건물의 높이} - \text{평균 높이}| \times \text{건물의 면적})}{\text{단지의 총 면적}} \qquad \text{(수식 4.1)}$$

도시의 태양에너지 및 풍력에너지 잠재성은 건축물의 높이편차 정도에 따라 해당건물의 적용 잠재성이 변동되므로 요철도에 따라 실제적용가능성을 평가할 수 있다.

다) 구성건물의 용도

구성건물의 용도 특성은 건물의 규모와 형태, 그리고 에너지 수요특성 등을 결정짓는 요인으로 도시 유형 분류 시 매우 중요한 기준이 된다. 건물의 용도는 주거용, 상업용, 업무용, 공공건물, 병원건물, 숙박용 건물 등으로 분류할 수 있으며 도시의 에너지 수요 특성은 이러한 구성건물의 용도에 따라 다르게 나타난다. 건물의 에너지 사용 패턴 및 부하비율은 용도 특성에 따라 다양하게 나타나며, 이에 따라 신재생에너지시스템의 유형 및 배치가 다르게 적용된다. 따라서 도시의 구성건물의 용도에 따른 에너지 수요량을 파악하여 에너지 수요 특성을 고려한 신재생에너지시스템의 복합 적용 및 시스템 분배가 이루어져야 한다.

(2) 도시 유형 분류

우리나라는 「국토의계획및이용에관한법률」[44]에 의한 「용도지역」을 기준으로 도시 지역의 토지이용 및 건축물의 밀도를 규제하고 있다.「용도지역」은 전국토를 대상으로 토지에 용도를 부여하고 이에 따라 건축물의 용도, 건폐율, 용적률, 높이 등을 달리 규제함으로써 토지의 이용 및 건축물의 밀도를 규정하고 있는 도시관리계획법이다.[45] 용도지역은 도시의 형태적 요

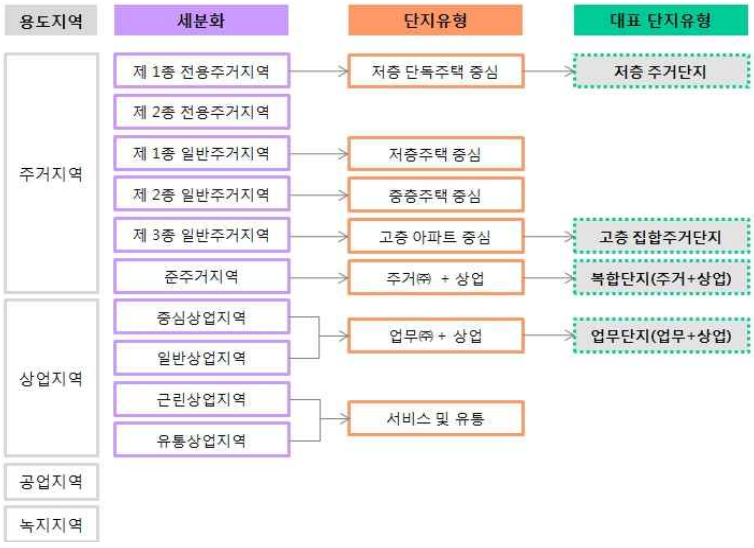
44) 국토의 이용 및 개발과 보전을 위한 계획수립 및 집행 등에 관한 사항을 규정한 법으로 토지의 이용실태와 특성, 장래의 토지이용 방향 등을 고려하여 국토를 용도지역과 용도지구로 지정한 상위법이다. 이 법과 시행령에 의하여 다양한 용도지역과 용도지구로 세분되고 각각의 건축제한, 용적률 제한, 건폐율 제한 등의 용도규제를 받게 된다.

소를 내포하고 있으므로 도시의 형태적 특성은 용도지역에 따라 그 특징을 구분할 수 있다. 용도지역은 크게 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역 등으로 구분하고 있으며 종세분화하여 건축밀도를 차등 적용하고 있다. 용도지역 중 주거지역과 상업지역의 건축밀도 규제는 <표 4.2>와 같다.

<표 4.2> 용도지역의 주거지역 및 상업지역의 건축밀도 분류

구분	세분화	국토계획법		서울시도시계획조례	
		건폐율(%)	용적률(%)	건폐율(%)	용적률(%)
주거지역	제1종 전용주거	50	50-100	50	100
	제2종 전용주거	50	100-150	40	120
	제1종 일반주거	60	100-200	60	150
	제2종 일반주거	60	150-250	60	200
	제3종 일반주거	50	200-300	50	250
	준주거	70	200-500	60	400
상업지역	중심상업	90	400-1500	60	1000
	일반상업	80	300-1300	60	800
	근린상업	70	200-900	60	600
	유통상업	80	200-1100	60	600

본 연구에서는 서울시 용도지역의 종세분화를 기준으로 건축밀도와 용도에 따라 공업지역과 녹지지역을 제외한 주거지역과 상업지역을 대상으로 도시유형을 (그림 4.4)와 같이 분류하여 대표 단지유형을 선정하였다.



(그림 4.4) 서울시 용도지역에 따른 단지 유형 분류

45) 정태용, 『국토계획법』, 한국법제연구원, 2005, pp.213

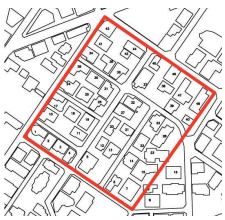
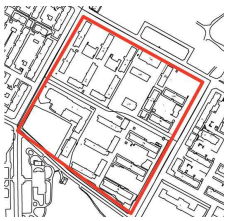
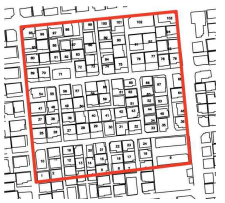
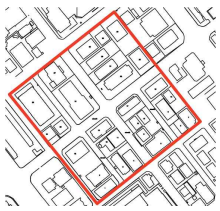
서울시의 녹지지역을 제외한 면적 중 주거지역의 비율은 85%[46]로 매우 높은 비율을 차지하고 있으므로 주거지역에 대한 다양한 형태모델이 필요하다. 따라서 주거지역을 종세분화별 건축밀도 및 용도특성에 따라 3가지 유형으로 세분화하였으며, 상업지역은 업무단지를 대표 유형으로 선정하였다. 저층 주거단지는 저밀도의 단독주택지이며, 고층 집합주거단지는 아파트가 대표 건물 유형으로 주로 단지로 형성된다. 복합단지는 구성건물의 용도가 주거와 상업이 혼재된 단지로 저층고밀의 특성을 갖는다. 그리고 업무단지 유형은 도심지의 대표적인 고층고밀의 성격을 갖는 업무건물 중심의 단지유형으로 분류할 수 있다.

4.2.2 도시 유형별 기준모델 설정

(1) 샘플도시 선정

실제 도시특성을 반영하기 위하여 위에서 분류한 저층 주거단지, 고층 집합주거단지, 복합단지, 업무단지에 해당하는 각 5개 지역의 샘플도시를 임의로 선정하여 실제 건물의 밀도 및 규모를 조사하였다. 샘플도시의 선정 범위는 <표 4.1>에서 제시한 블록의 규모를 참고하여 주거단지는 소블록규모인 150m×150m, 업무단지는 중블록 규모인 250m×250m로 설정하였으며, 고층 집합주거단지의 경우 아파트단지의 규모로 조사하였다. 서울시 도시계획과 용도지역 통계자료(2008)와 GIS를 바탕으로 단지 유형별 각 5개의 샘플도시를 선정하였으며, 지형 및 고도차는 고려대상에서 제외하였다.

<표 4.3> 단지 유형별 샘플도시 선정 사례

저층 주거단지	고층 집합주거단지	복합단지	업무단지
			

46) 서울시 통계자료, www.seoul.go.kr

(2) 샘플도시의 형태적 특성

가) 저층 주거단지

저층 주거단지는 건물의 대지면적이 넓은 반면, 건폐율이 낮아 대지 내 공지면적이 넓고 건물 간의 이격거리가 넓은 특징을 갖는다. 또한 구성건물의 층수는 최소 1층, 최대 4층으로 80%이상의 건물이 2층이며, 높이편차가 매우 적고 UBR 값이 낮다. 저층 주거단지는 저층저밀의 형태적 특성을 갖는 유형으로, 신재생에너지시스템 적용 시 건물 간의 영향이 적기 때문에 건물 옥상면과 대지 내 공지의 활용가능성이 높을 것으로 판단된다.

<표 4.4> 저층 주거단지의 샘플도시 조사 결과

샘플 도시	총 건물수	평균 대지 면적(㎡)	평균 건폐율(%)	평균 용적률(%)	평균 연면적(㎡)	평균 층수	높이 편차	UBR
연희동	58	332.4	44.7	66.6	206.1	2.0	0.8	0.1
성북동	39	579.2	38.3	46.3	256.1	1.9	0.6	0.1
역삼동	45	348.4	44.8	74.9	249.1	1.9	0.7	0.2
이태원동	24	685.5	36.8	67.3	410.0	2.2	1.8	0.5
평창동	39	469.6	40.9	60.5	269.0	1.9	0.9	0.2
평균	**41**	**483.0**	**41.1**	**63.1**	**278.1**	**2.0**	**1.0**	**0.2**

나) 고층 집합주거단지

고층 집합주거단지는 아파트 단지의 특성을 대표하는 유형으로, 본 연구에서는 우리나라에서 가장 많이 적용되고 있는 일자형[47] 아파트를 대상으로 조사하였다. 고층 집합주거단지는 건폐율이 매우 낮고 용적률이 높은 밀도특성을 가지며, 구성건물의 층수가 매우 높다. 높이편차는 부대시설(평균층수: 2.4층)의 영향으로 매우 높게 산출되었지만, 규모가 주동건물에 비해 매우 작으므로 주변건물에 영향이 적어 요철도의 값이 높이편차에 비해 상대적으로 매우 낮게 산출되었다. 고층 집합주거단지는 고층저밀의 단지로서 단위건물의 연면적이 넓은 특성을 가지며, 입면적의 비율이 매우 높으므로 신재생에너지시스템의 입면 활용가능성이 높고 집단에너지로의 적용성이 높은 특징을 갖는다.

47) 우리나라 95개 아파트 단지를 대상으로 조사한 결과 판상형은 82.74%로 가장 큰 비중을 차지하고 있고, 이 중 일자형은 61.58%로 가장 높은 비율을 나타내고 있다. 자료: 이석문, 공동주택 주거동 형태 및 배치유형에 따른 개방성 비교분석 연구, 서울산업대 석사학위논문, 2005.02

<표 4.5> 고층 집합주거단지의 샘플도시 조사 결과

샘플 도시	주동 수 (부대시설)	총 단지 면적(㎡)	평균 단지 건폐율(%)	주동 장단변비	평균 용적률(%)	평균 연면적(㎡)	평균 층수	높이 편차	UBR
신내동	16(3)	57,572.0	20.7	0.2	180.1 (112.3)	6,859.6 (1,153.4)	11.3 (2.0)	9.6	1.5
이촌동	17(3)	57,016.5	23.7	0.2	358.0 (358.2)	10,842.3 (832.1)	21.8 (3.0)	18.0	2.1
중계동1	21(4)	88,939.0	21.8	0.2	208.4 (204.6)	8,611.1 (3,872.7)	14.7 (2.3)	12.5	1.9
중계동2	17(3)	57,100.0	19.3	0.3	219.9 (165.8)	10,631.2 (976.6)	14.8 (2.3)	12.0	1.6
대방동	14(4)	70,957.4	19.3	0.2	271.5 (89.1)	12,898.6 (724.1)	18.9 (2.3)	19.0	6.1
평균 (부대시설)	**17(3)**	**66,317.0**	**20.9**	**0.2**	**247.6 (186.0)**	**9,968.6 (1,511.8)**	**16.3 (2.4)**	**14.2**	**2.63**

다) 복합단지

복합단지는 주거건물 위주에 일부 상업건물이 위치한 지역을 대표하는 유형으로서, 블록 내 구성건물의 수가 많은 고밀도의 특성을 갖는다. 주거단지 유형 중 건폐율이 가장 높게 나타났으며, 일부 건물을 제외하고 1-5층 사이에 층수의 분포가 고르게 나타나 건물의 규모에 비해 높이편차가 높게 나타났다. 복합단지는 저층고밀의 특성을 갖는 단지로 구성건물 간의 영향을 크게 받으며, 연면적에 비해 건축면적이 작아 시스템의 설치가능한 공간이 적을 것으로 판단된다.

<표 4.6> 복합단지의 샘플도시 조사 결과

샘플도시	총 건물수	평균 대지 면적(㎡)	평균 건폐율(%)	평균 용적률(%)	평균 연면적(㎡)	평균 층수	높이 편차	UBR
응암동	106	192.5	57.9	204.3	394.3	4.0	4.5	1.9
역촌동	102	194.7	58.6	173.4	380.2	3.1	4.2	2.3
상봉동	117	169.8	57.3	144.7	310.8	2.5	3.4	2.3
영등포동4가	103	167.5	57.8	142.1	251.3	2.6	3.6	2.0
영등포동5가	82	197.9	56.8	189.4	448.1	2.7	4.9	2.7
평균	**102**	**184.5**	**57.7**	**170.8**	**357.0**	**3.0**	**4.1**	**2.2**

라) 업무단지

업무단지는 구성건물의 수가 적고 건물 대지면적이 넓으며, 용적률이 매우 높은 특성을 나타낸다. 또한 도시 유형 중, 가장 높은 높이편차와 요철도 값을 나타내어 구성건물 간의 규모 편차가 큰 것을 알 수 있다. 각 샘플도시는

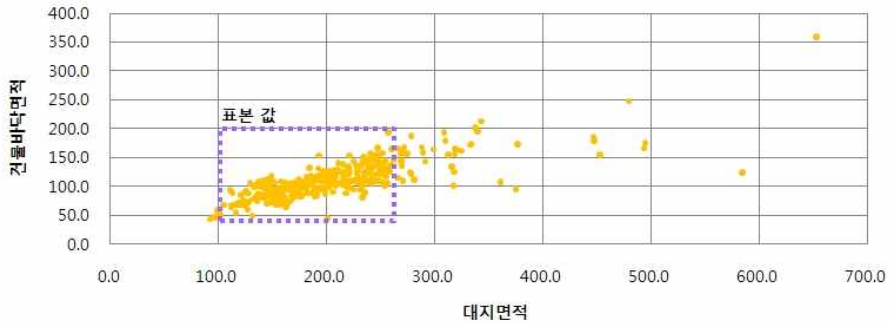
구성건물의 층수가 모두 높은 경우 높이편차와 요철도가 작게 나타났지만, 구성건물의 층수가 고르게 나타난 단지는 매우 높게 나타났다. 업무단지는 개별건물의 규모가 매우 크기 때문에 높이편차가 클수록 구성건물 간의 영향을 크게 받으며, 도심지의 고층고밀의 형태적 특성을 대표하는 유형이라 할 수 있다. 또한 업무단지는 대로변에 높은 층수의 규모가 큰 건물이 위치하며, 블록 중심에는 규모가 작은 상업건물이 위치하는 특성을 나타낸다.

<표 4.7> 업무단지의 샘플도시 조사 결과

샘플도시	총 건물수	평균 대지 면적(㎡)	평균 건폐율(%)	평균 용적률(%)	평균 연면적(㎡)	평균 층수	높이 편차	UBR
여의도동1	42	1,406.1	50.9	516.0	7,375.8	10.8	8.0	2.2
역삼동	55	1,170.8	50.6	556.2	7,958.3	11.3	25.7	16.3
여의도동2	29	2,073.8	54.3	525.5	10,701.3	11.8	9.3	3.7
서초동	68	1,330.0	54.0	447.0	8,993.7	10.3	36.3	37.5
다동	24	1,614.9	54.1	586.9	9,165.2	12.0	19.1	6.4
평균	**44**	**1,519.1**	**52.8**	**526.3**	**8,838.8**	**11.3**	**19.7**	**13.2**

(3) 도시 유형별 기준모델 정립

실제도시의 특성을 반영한 기준모델을 수립하기 위하여, 도시 유형별 샘플도시에서 가장 많은 분포를 나타내는 건물대지면적을 기준으로 해당 범위의 건물들을 단지의 표본 값으로 적용하였다(그림 4.5). 각 대지면적 범위에 해당되는 건폐율을 적용하여 건물바닥면적을 산출하였으며, 이에 따라 건물용도별 최소, 평균, 최대값을 갖는 세 가지의 건물모델 타입을 설정하였다.



(그림 4.5) 샘플도시의 표본건물 설정 예시(복합단지)

대지면적 분포에 해당하는 건물의 비율에 따라 타입별 적용 건물의 수를

산정하였으며, 도시 유형별 실제 층수분포를 기준으로 건물의 층수를 적용하여 모델링하였다<표 4.8>. 단지 내 도로는 각 유형별 샘플도시의 평균 도로폭을 적용하였으며 복합단지, 고층 집합주거단지, 업무단지의 주거건물과 상업건물의 비율은 실제샘플도시의 비율을 토대로 적용하였다.

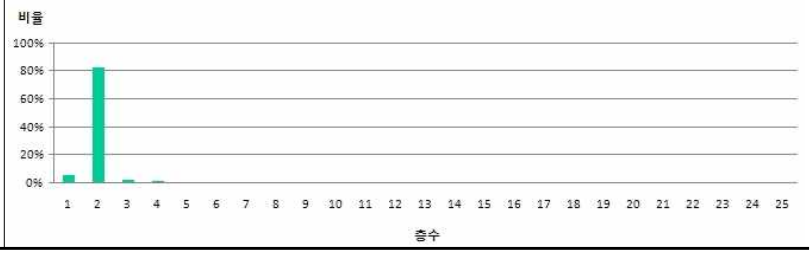
<표 4.8> 샘플도시의 표본건물 분류 예시(복합단지)

대지면적 분포	건물 수	비율	평균대지면적	평균건폐율	해당 평균층수
100㎡ 이하	23	6%	90.3	57.2	2.1
100-150㎡	154	39%	124.1	58.7	2.7
150-200㎡	110	28%	177.2	57.5	3.6
200-250㎡	64	16%	220.8	57.1	3.9
250-300㎡	27	7%	270.8	57.8	3.6
300㎡ 이상	27	7%	496.5	54.9	4.3

고층 집합주거단지는 서울시 건축조례를 기준으로 인동거리 1.0h, 측벽간거리 8m를 적용하여 주동을 배치하였다.[48] 업무단지는 20m 도로로 분할한 뒤 6m 도로를 가지는 소블록을 구성하고, 중심도로변에는 고층의 업무건물을 배치하였다.

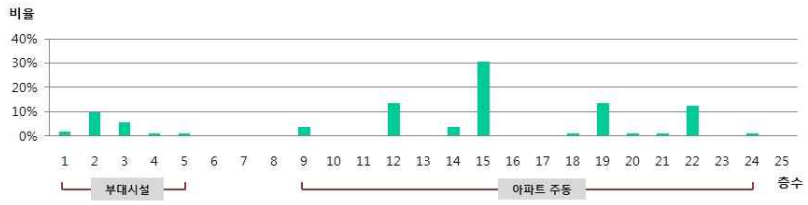
각 유형별 기준모델 설정 방법은 <표 4.9~4.12>와 같으며, 이를 바탕으로 수립된 도시 유형별 기준모델 프로토타입은 <표 4.13>과 같다.

<표 4.9> 저층 주거단지의 기준모델 설정 개요

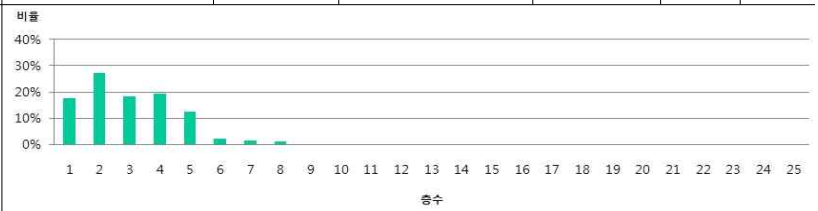
		대지면적(㎡)	건폐율	건축면적(㎡)	적용비율	건물수(48)
주거	Type1	196(14*14)	45%	81(9.5*9.5)	33%	16
	Type2	400(20*20)	44%	169(13*13)	50%	24
	Type3	676(26*26)	42%	289(17*17)	17%	8
층수분포						

48) 장용호, 공동주택 단지배치계획의 분석 및 방법에 관한 연구, 중앙대 건설대학원 석사학위논문, 2005.12, pp.46

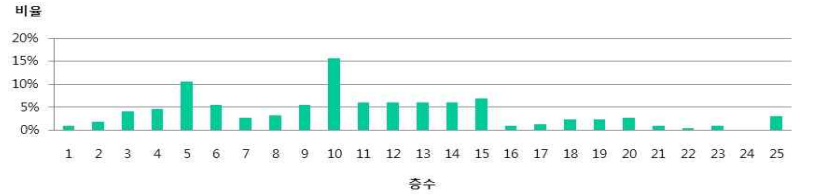
<표 4.10> 고층 집합주거단지의 기준모델 설정 개요

		단지면적(㎡)	건폐율	건축면적(㎡)	장단변비	적용비율	건물수(20)	
주거 (85%)	Type1	58,300 (265*220)	20%	510(42.5*12)	0.3	27%	17	5
	Type2			696(58*12)	0.2	60%		10
	Type3			832(64*13)	0.2	13%		2
부대시설 (15%)	Type1			400(20*20)	-	67%	3	2
	Type2			342(18.5*18.5)	-	33%		1
층수분포								

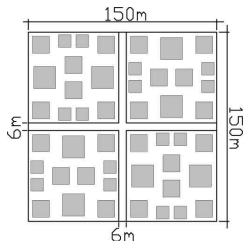
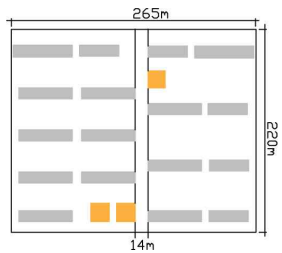
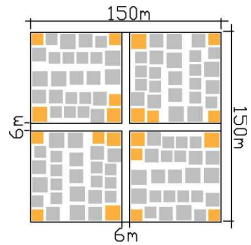
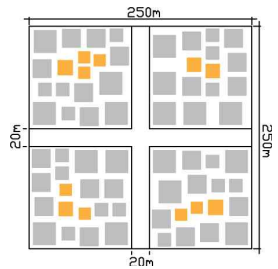
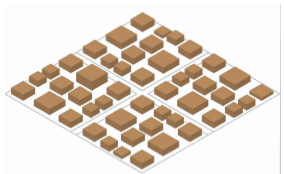
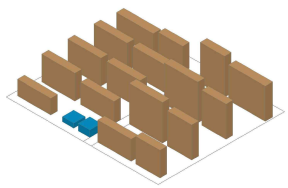
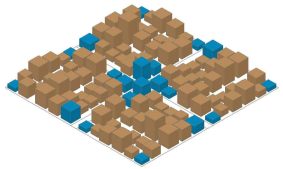
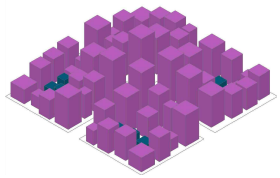
<표 4.11> 복합단지의 기준모델 설정 개요

		대지면적(㎡)	건폐율	건축면적(㎡)	적용비율	건물수(116)	
주거 (82%)	Type1	122(11*11)	58%	71(8.4*8.4)	47%	96	45
	Type2	177(13.3*13.3)		100(10*10)	34%		32
	Type3	219(14.8*14.8)		125(11.2*11.2)	20%		19
상업 (18%)	Type1	122(11*11)	58%	71(8.4*8.4)	45%	20	9
	Type2	169(13*13)		98(9.9*9.9)	28%		6
	Type3	210(14.5*14.5)		121(11*11)	28%		6
층수분포							

<표 4.12> 업무단지의 기준모델 설정 개요

		대지면적(㎡)	건폐율	건축면적(㎡)	적용비율	건물수(68)	
업무 (84%)	Type1	400(20*20)	51%	196(14*14)	27%	56	16
	Type2	756(27*27)	52%	400(20*20)	40%		23
	Type3	1,156(34*34)	52%	600(24.5*24.5)	33%		17
상업 (16%)	Type1	306(17.5*17.5)	51%	156(12.5*12.5)	63%	12	7
	Type2	462(21.5*21.5)	50%	225(15*15)	21%		3
	Type3	625(25*25)	40%	256(16*16)	17%		2
층수분포							

<표 4.13> 도시 유형별 단지모델 프로토타입

		저층 주거단지	고층 집합주거단지	복합단지	업무단지
건물배치					
모델링					
도시특성	단지면적	22,500㎡	58,300㎡	22,500㎡	62,500㎡
	건물용도	단독주택	아파트	주거(85%)+상업(15%)	업무(84%)+상업(16%)
	밀도	저층저밀	고층저밀	저층고밀	고층고밀
	건물 수	48	20	116	68
	총 건축면적	7,664.0㎡	12,316.3㎡	10,552.0㎡	24,815.0㎡
	총 건물 연면적	15,286.0㎡	179,659.6㎡	33,310.0㎡	264,769.0㎡
	기준층수	2	14	3	9
	높이편차	0.8	16.5	4.1	16.7
	UBR	1.9	8.5	4.3	16.0

4.3 도시 유형별 에너지 수요 분석

도시의 에너지 소비는 크게 산업, 가정상업, 수송, 공공기타부문으로 나눌 수 있다. 2007 지역에너지통계연보에 따르면, 전국의 부문별 에너지 소비 비율은 산업부문이 57.0%로 가장 높은 비율을 차지하고 있으며, 수송부문은 20.8%, 가정상업부문은 19.9%, 공공기타부문에 2.3%의 에너지가 사용되고 있다.[49] 그러나 주요 도시의 부문별 에너지 소비 추이를 살펴보면, 가정상업부문의 에너지소비비율이 점차 증가하고 있어 도시를 구성하는 건물의 에너지 사용 패턴은 도시의 에너지 소비 특성을 결정하는 중요한 요인이 될 것이다. 본 연구는 신재생에너지시스템의 활용 범위를 도시의 건축물 적용으로 설정하였으므로, 도시의 에너지 소비 특성 분석에 있어서 그 범위를 가정상업 부문으로 한정하여, 도시의 구성건물 용도별 에너지 소비 특성 분석을 통해 단지유형별 에너지 소비특성을 예측하고자 한다.

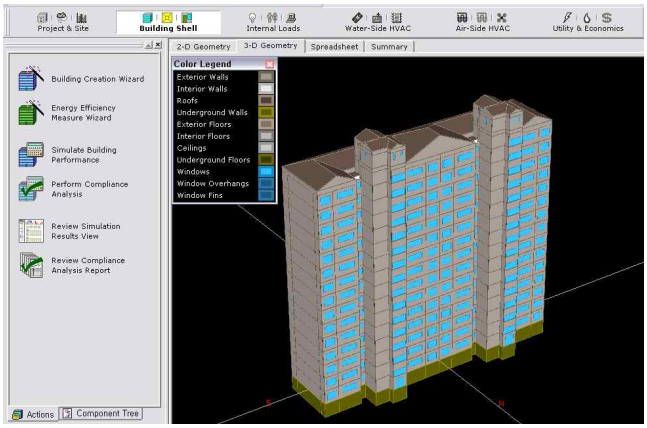
본 연구에서는 도시 차원의 에너지 소비량을 예측하기 위해, 건물 용도별 에너지원단위의 개념을 사용하여 도시 유형별 에너지 수요량을 예측하였다. 건물의 에너지원단위는 건물의 용도에 따른 바닥단위 면적(공조면적, 연면적)당 에너지소비량을 나타낸다.[50] 그러므로 건물 용도별 연면적당 에너지원단위를 산정한 후, 단지의 건물 용도별 연면적을 곱하여 해당단지의 총 에너지 소비량을 산출하였다.

4.3.1 건물 용도별 에너지 소비 특성 분석 및 에너지원단위 산정

건물 용도별 에너지 소비량을 예측하기 위해 앞서 설정한 도시 유형에 해당하는 건물용도(주거, 상업, 업무)의 4가지 유형의 표준건물을 선정하여, 건물 에너지 해석 프로그램인 eQuest를 사용하여 각 건물의 에너지 사용량 및 에너지 소비 원단위를 산출하였다. eQuest는 DOE-2의 엔진을 이용하고 미국 에너지부(DOE)에서 인정하고 널리 사용되고 있는 에너지 해석프로그램으로 건물의 월별, 연간에너지 사용량, 요소별 부하량 및 피크부하량 등을 분석할 수 있는 프로그램이다.[51] 표준건물은 단독주택, 공동주택, 상업용, 업무용 건물을 선정하였으며, 기후데이터는 서울의 기상데이터를 사용하였다. 시뮬레이션 분석을 통해 건물 용도별 연간 에너지소비량, 월별 에너지소비량,

49) 지식경제부, 2007 지역에너지통계연보, 2008.12, pp.42
50) 산업자원부, 건물의 에너지원단위 기준(안) 연구, 1999, pp.94
51) eQuest Introductory Tutorial, Ver 3.63, James J. Hirsch & Associates, 2009, pp.3~4

일간 시계열 패턴, 에너지소비원단위를 산출하였다.



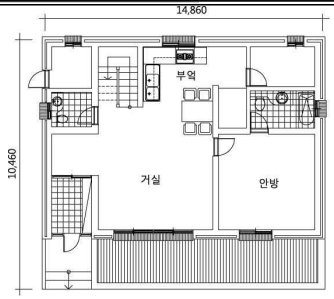
(그림 4.6) eQuest 모델링 예시

(1) 단독주택

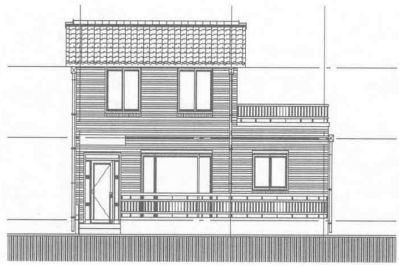
단독주택의 표준건물 개요 및 시뮬레이션 설정 값은 <표 4.14>[52]와 같으며, 동일한 문헌에서 제시하고 있는 주거건물의 운영 스케쥴을 적용하였다.

<표 4.14> 단독주택의 개요 및 시뮬레이션 입력 값

건축면적	155.6㎡	조명부하		4W/㎡
연면적	241.3㎡	기기부하		14W/㎡
층수	지상 2층	재실밀도		22.4㎡/인
층고	2.8m	설정온도	냉방온도	26℃
천정고	2.4m		난방온도	22℃
창면적비	10.7%	공조기간	냉방기간	6/11~9/10
			난방기간	11/01~3/31



<기준층 평면도>



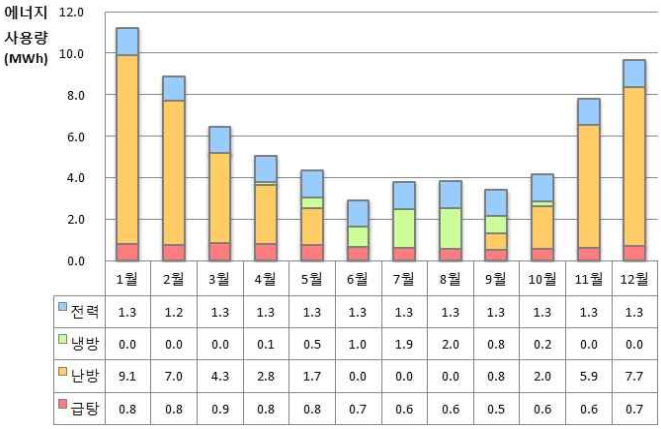
<단독주택 입면도>

52) 산업자원부, 에너지·자원기술개발 중·대형사업 최종보고서, 2007.06, p.578~579, pp.593

단독주택의 연간 총 에너지 소비량은 71.5MWh/yr로 산출되었으며, 난방에너지 소비량은 41.4.4MWh/yr, 냉방에너지 소비량은 6.5MWh/yr, 급탕에너지 소비량은 8.3MWh/yr, 전력에너지 소비량은 15.3MWh/yr로 산출되었다. 난방부하가 크게 나타나는 11월과 2월 사이에 에너지 소비량이 상대적으로 크게 발생하며, 7월과 8월에는 냉방에너지의 비율이 높게 나타나는 패턴을 보인다. 전력과 급탕의 경우, 월별 에너지 소비량이 큰 변화 없이 일정한 패턴으로 발생하는 것으로 나타났다.

<표 4.15> 단독주택의 월별 에너지소비 원단위

월	총 에너지 소비량 (MWh)	에너지소비 원단위 (Mcal/㎡)
1월	11.2	40.0
2월	8.9	31.7
3월	6.5	23.1
4월	5.0	18.0
5월	4.4	15.5
6월	2.9	10.3
7월	3.8	13.5
8월	3.8	13.7
9월	3.4	12.1
10월	4.2	14.8
11월	7.8	27.7
12월	9.7	34.5
합계	71.5	255.1



(그림 4.7) 단독주택의 월별 에너지 소비량

단독주택의 총 에너지소비원단위는 255.1Mcal/㎡ · yr로 산출되었으며, 난방용은 147.7Mcal/㎡ · yr로 전체 에너지소비에서 57.9%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한 에너지소비원단위의 열에너지(난방+급탕)와 전력(냉방+일반전력)의 소비비율은 열에너지가 69.5%, 전력이 30.5%로 열에너지의 사용이 매우 우세한 것으로 나타났다.

<표 4.16> 단독주택의 부문별 에너지소비 원단위

(단위: Mcal/㎡ · y)

	난방	냉방	급탕	일반전력	total
에너지소비원단위	147.7	23.3	29.5	54.6	255.1
비율(%)	57.9	9.1	11.6	21.4	100.0

단독주택의 일간 에너지소비패턴은 (그림 4.8)과 같다. 1월의 일간 에너지소비패턴은 거주자가 활동을 시작하는 6시~9시 사이에 난방에너지소비가 크게 발생하며, 9시~17시 사이에 감소하는 경향을 보이고 17시 이후 다시 에너지소비가 증가한다. 8월의 일간 에너지소비패턴에서 전력에너지 소비는 6시 이후 증가하다 17~18시에 최대 소비량이 발생하며 이후 점차 감소하는 패턴을 보인다. 급탕의 경우 전반적으로 유사한 패턴을 나타난다.

<1월의 일간 에너지소비원단위>

<8월의 일간 에너지소비원단위>

(그림 4.8) 단독주택의 대표일간 에너지소비원단위

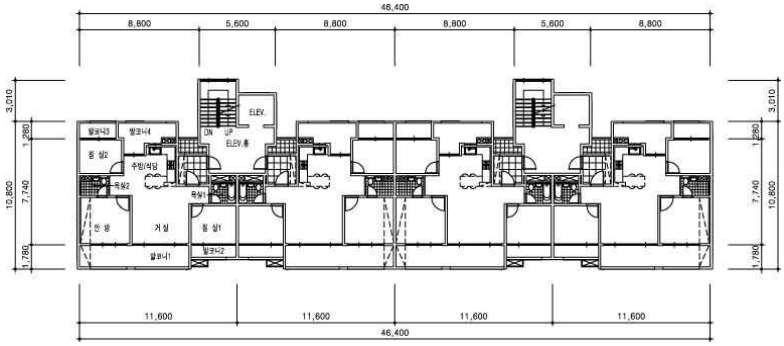
(2) 공동주택

공동주택의 표준건물 개요 및 시뮬레이션 설정 값은 <표 4.17>[53]과 같으며, 운영 스케쥴은 단독주택과 동일하게 적용하였다.

53) 산업자원부, op. cit, 2007.06, pp.577, pp.593

<표 4.17> 공동주택의 개요 및 시뮬레이션 입력 값

건축면적	4,406.0㎡	조명부하		4W/㎡
연면적	7,671.0㎡	기기부하		14W/㎡
평형	32py, 4호 조합	재실밀도		22.4㎡/인
층수	지상 15층(60세대)	설정온도	냉방온도	26℃
층고	2.8m		난방온도	22℃
천정고	2.4m	공조기간 54)	냉방기간	6/11~9/10
창면적비	33.9%		난방기간	11/01~3/31



<기준층 평면도>

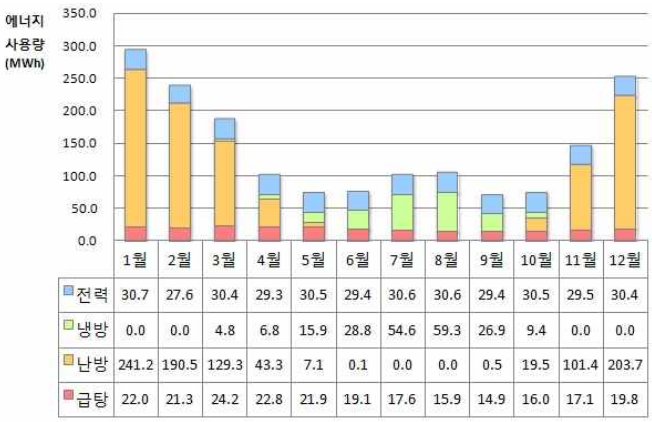
공동주택의 연간 총 에너지 소비량은 1,734.6MWh/yr로 산출되었으며, 난방에너지 소비량은 936.8MWh/yr, 냉방에너지 소비량은 206.3MWh/yr, 급탕에너지 소비량은 232.7MWh/yr, 전력에너지 소비량은 358.8MWh/yr로 산출되었다. 단독주택과 마찬가지로 난방부하가 크게 나타나는 11월과 3월 사이에 에너지 소비량이 상대적으로 크게 발생하며, 7월과 8월에는 냉방에너지의 비율이 높게 나타난다.

연간 에너지소비원단위는 194.4Mcal/㎡ · yr인 것으로 나타났으며, 난방용이 105.0Mcal/㎡ · yr로 전체 에너지소비 중 53.4%를 차지하는 것으로 나타났다. 열에너지와 전력의 소비비율은 각각 66.7%, 33.3%로 열에너지의 사용이 우세한 것을 알 수 있다.

54) 이종식, 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가에 관한 연구, 중앙대 석사학위논문, 2008. pp.43

<표 4.18> 공동주택의 월별 에너지소비 원단위

월	총 에너지 소비량 (MWh)	에너지소비 원단위 (Mcal/㎡)
1월	293.9	32.9
2월	239.5	26.8
3월	188.7	21.2
4월	102.1	11.4
5월	75.4	8.5
6월	77.4	8.7
7월	102.8	11.5
8월	105.7	11.9
9월	71.7	8.0
10월	75.4	8.4
11월	148.0	16.6
12월	254.0	28.5
합계	1,734.6	194.4



	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
전력	30.7	27.6	30.4	29.3	30.5	29.4	30.6	30.6	29.4	30.5	29.5	30.4
냉방	0.0	0.0	4.8	6.8	15.9	28.8	54.6	59.3	26.9	9.4	0.0	0.0
난방	241.2	190.5	129.3	43.3	7.1	0.1	0.0	0.0	0.5	19.5	101.4	203.7
급탕	22.0	21.3	24.2	22.8	21.9	19.1	17.6	15.9	14.9	16.0	17.1	19.8

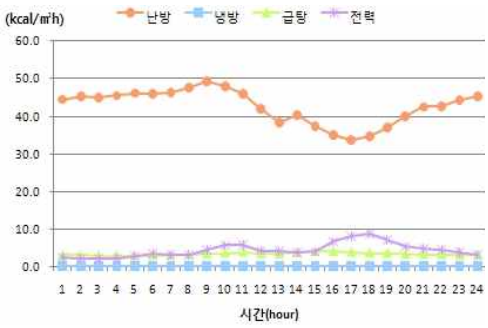
(그림 4.9) 공동주택의 월별 에너지 소비량

<표 4.19> 공동주택의 부문별 에너지소비 원단위

(단위: Mcal/㎡ · yr)

	난방	냉방	급탕	일반전력	total
에너지소비원단위	105.0	23.1	26.1	40.2	194.4
비율(%)	53.4	11.8	13.3	20.5	100.0

공동주택의 1월 일간 에너지소비패턴은 8시~9시에 최대 난방에너지가 발생하며, 17시 이후에 다시 증가하는 패턴을 보인다. 8월의 일간 에너지소비패턴에서 전력은 17시~18시에 가장 높게 나타나며, 13시~15시 사이에 최대 냉방에너지 소비가 발생하고 이후 감소하는 패턴을 보이고 있다.



<1월의 일간 에너지소비원단위>

<8월의 일간 에너지소비원단위>

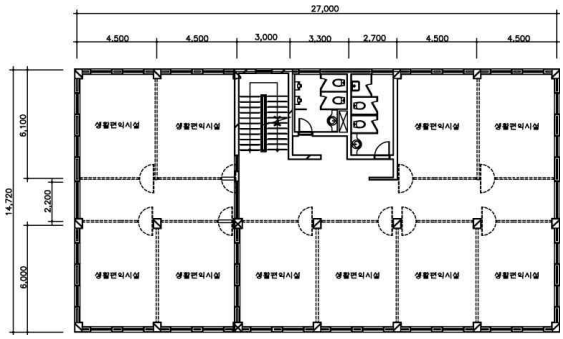
(그림 4.10) 공동주택의 대표일간 에너지소비원단위

(3) 상업용 건물

상업용 건물은 업종에 따라 판매시설, 음식점, 숙박시설, 공공서비스 등으로 분류되며, 2008 에너지총조사 보고서[55]에 따르면 판매시설이 20.6%, 음식점이 19.5%, 숙박시설이 11.0%의 비중을 차지하고 있다. 도시 내에서는 다양한 업종의 상업용 건물이 혼재되어 있으나, 특수 사례인 백화점을 제외하고 일반적으로 건물의 운영스케쥴이 일정하므로 에너지 소비량은 비슷한 패턴을 보이게 된다. 본 연구에서는 판매시설을 대표건물로 설정하여 에너지 소비량을 산출하였으며, 표준건물의 개요 및 시뮬레이션 설정 값은 <표 4.20>과 같다.

<표 4.20> 상업용 건물의 개요 및 시뮬레이션 입력 값

건축면적	397.0㎡	조명부하		39W/㎡
연면적	795.0㎡	기기부하		8W/㎡
층수	지상 2층	재실밀도		8.7㎡/인
층고	3.8m	설정온도	냉방온도	26℃
천정고	2.6m		난방온도	20℃
창면적비	33.4%	공조기간	냉방기간	6/11~9/10
			난방기간	11/01~3/31



<기준층 평면도>

상업용 건물의 연간 총 에너지 소비량은 368.3MWh/yr로 산출되었으며, 난방에너지 소비량은 48.6MWh/yr, 냉방에너지 소비량은 70.9MWh/yr, 급탕에너지 소비량은 12.1MWh/yr, 전력에너지 소비량은 236.7MWh/yr로 산출되었다. 월별 에너지 소비량을 살펴보면, 상업용 건물은 조명 및 기기 등의 사용으로 내부발열이 크기 때문에 연중 전력에너지의 사용비율이 가장 높게

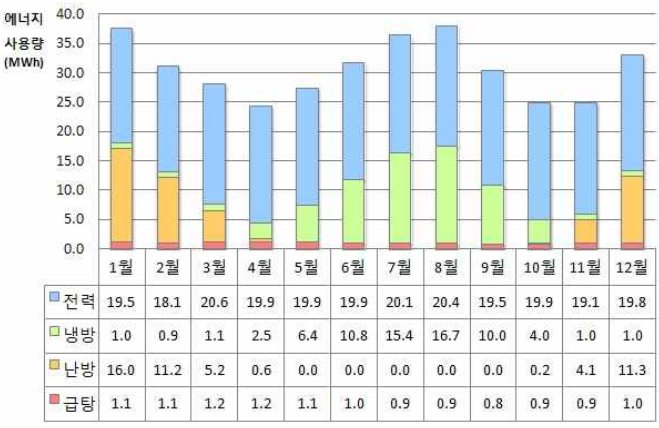
55) 지식경제부, 2008 에너지총조사 보고서, 2009. pp.128

나타나며, 난방부하와 냉방부하가 크게 나타나는 1월과 8월의 에너지소비량이 가장 높게 나타났다.

상업용 건물의 총 에너지소비원단위는 398.3Mcal/㎡ · yr로 산출되었으며, 높은 내부발열량으로 인해 난방에너지보다 냉방에너지의 소비량이 크게 나타나 냉방부하가 높은 8월에 에너지소비원단위가 가장 크게 산출되었다.

<표 4.21> 상업용 건물의 월별 에너지소비 원단위

월	총 에너지 소비량 (MWh)	에너지소비 원단위 (Mcal/㎡)
1월	37.5	39.5
2월	31.2	32.8
3월	28.2	30.5
4월	24.3	26.0
5월	27.4	29.7
6월	31.8	34.4
7월	36.4	39.4
8월	38.0	41.1
9월	30.3	32.8
10월	24.9	27.0
11월	25.0	26.0
12월	33.1	34.7
합계	368.3	398.3



	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
전력	19.5	18.1	20.6	19.9	19.9	19.9	20.1	20.4	19.5	19.9	19.1	19.8
냉방	1.0	0.9	1.1	2.5	6.4	10.8	15.4	16.7	10.0	4.0	1.0	1.0
난방	16.0	11.2	5.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	4.1	11.3
급탕	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0

(그림 4.11) 상업용 건물의 월별 에너지 소비량

부문별 에너지소비원단위에서 전력용이 256.0Mcal/㎡ · yr로 가장 높게 나타났으며 냉방, 난방, 급탕용의 순으로 높게 나타났다. 열에너지와 전력의 소비 비율은 각각 16.5%, 83.6%로 상업건물에서는 전력의 소비 비중이 월등히 높은 것을 알 수 있다.

<표 4.22> 상업용 건물의 부문별 에너지소비 원단위

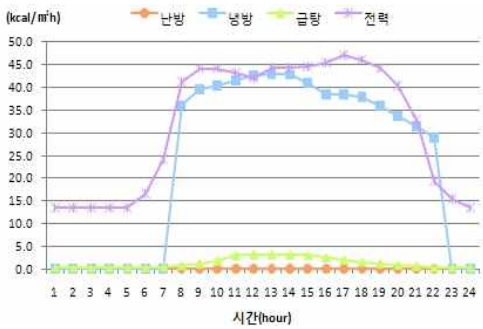
(단위: Mcal/㎡ · yr)

	난방	냉방	급탕	일반전력	total
에너지소비원단위	52.5	76.7	13.1	256.0	398.3
비율(%)	13.2	19.3	3.3	64.3	100.0

상업건물의 1월과 8월의 대표일간 에너지소비원단위는 (그림 4.12)와 같다. 1월과 8월 모두 운영 스케쥴에 크게 영향을 받으며, 특히 내부발열량이 크기 때문에 냉방에너지가 상대적으로 크게 나타난다. 1월의 일간 에너지소비패턴은 거주자가 활동을 시작하는 8시와 9시 사이에 최대 난방에너지가

발생하며, 8월의 일간 에너지소비패턴에서는 8시와 20시까지 건물의 운영시간 동안 전력과 냉방에너지가 고르게 발생하고 있다.

<1월의 일간 에너지소비원단위>



<8월의 일간 에너지소비원단위>

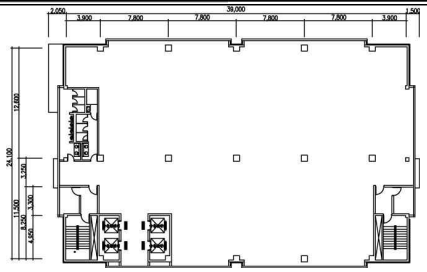
(그림 4.12) 상업용 건물의 대표일간 에너지소비원단위

(4) 업무용 건물

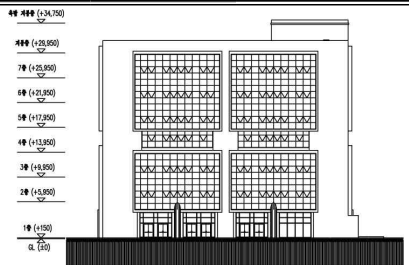
업무용 건물의 표준건물 개요 및 시뮬레이션 설정 값은 <표 4.23>[56)57)]과 같으며, 운영 스케쥴은 동일한 문헌을 참고하여 적용하였다.

<표 4.23> 업무용 건물의 개요 및 시뮬레이션 입력 값

건축면적	1,015.5㎡	조명부하		25W/㎡
연면적	9,357.9㎡	기기부하		15W/㎡
층수	지하 2층, 지상 6층	재실밀도		5㎡/인
층고	3.8m	설정온도 58)	냉방온도	26℃
천정고	2.6m		난방온도	20℃
창면적비	36.3%	공조기간	냉방기간	6/11~9/10
			난방기간	11/01~3/31



<기준층 평면도>



<사무소 입면도>

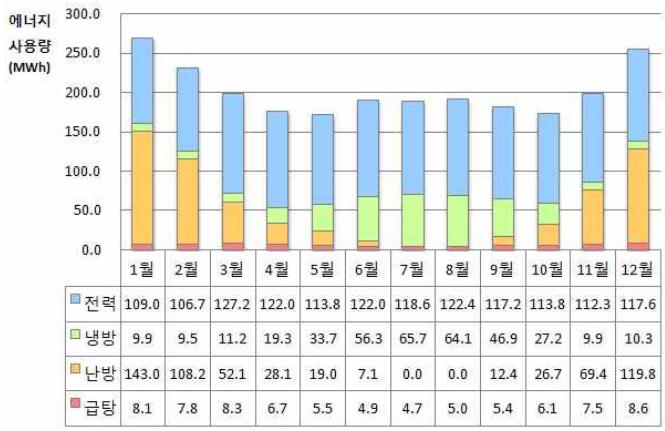
56) 산업자원부, op. cit, 2007.06, pp.581~582, pp.593
57) 산업자원부, 건물의 에너지효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구, 2007. pp.252~254

업무용 건물의 연간 총 에너지 소비량은 2,430.7MWh/yr로 산출되었으며, 난방에너지 소비량은 585.6MWh/yr, 냉방에너지 소비량은 364.0MWh/yr, 급탕에너지 소비량은 78.5MWh/yr, 전력에너지 소비량은 1402.5MWh/yr로 산출되었다. 월별 에너지 소비량을 살펴보면, 업무건물은 조명과 기기의 고정사용으로 연중 전력사용량이 크게 나타나며 6~8월의 냉방부하가 높은 기간에는 냉방에 사용되는 전력으로 인해 전력소비량이 가장 크게 나타난다.

업무용 건물의 총 에너지소비원단위는 223.4Mcal/㎡·yr으로 산출되었으며, 난방부하가 높은 12월과 1월에 에너지소비원단위가 가장 높게 나타났다. 3개 기관에서 조사된 실측자료[59]를 토대로 분석한 업무건물의 에너지소비원단위는 연면적 기준으로 210~297Mcal/㎡·yr의 범위를 나타낸다.

<표 4.24> 업무용 건물의 월별 에너지소비 원단위

월	총 에너지 소비량 (MWh)	에너지소비 원단위 (Mcal/㎡)
1월	270.0	24.8
2월	232.2	21.3
3월	198.8	18.3
4월	176.1	16.2
5월	172.0	15.8
6월	190.2	17.5
7월	189.0	17.4
8월	191.4	17.6
9월	181.8	16.7
10월	173.8	16.0
11월	199.2	18.3
12월	256.3	23.5
합계	2,430.7	223.4



	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
전력	109.0	106.7	127.2	122.0	113.8	122.0	118.6	122.4	117.2	113.8	112.3	117.6
냉방	9.9	9.5	11.2	19.3	33.7	56.3	65.7	64.1	46.9	27.2	9.9	10.3
난방	143.0	108.2	52.1	28.1	19.0	7.1	0.0	0.0	12.4	26.7	69.4	119.8
급탕	8.1	7.8	8.3	6.7	5.5	4.9	4.7	5.0	5.4	6.1	7.5	8.6

(그림 4.13) 업무용 건물의 월별 에너지 소비량

업무건물의 부문별 에너지소비원단위는 다음 <표 4.25>와 같이 일반전력이 57.7%로 전체 에너지소비 중 전력의 소비비율이 가장 크게 나타났다. 홍성희(2002)의 연구[60]에서 실측자료를 통한 중부지방의 부하별 에너지원단위의 비율은 일반전력이 57%, 난방용(급탕 포함)이 30%, 그리고 냉방용이

58) 석호태, 사무소 건물의 설계변수 열성능 평가 및 부하예측방정식 개발, 설비공학논문집 제13권 제9호, 2001.09, pp.916
59) 산업자원부, op. cit, 2007. pp.308
60) 홍성희 외, 사무소건물의 에너지소비원단위 설정 연구, 대한건축학회논문집 계획계 18권 9호, 2008.09, pp.238

13%를 차지하는 것으로 나타났으며, 시뮬레이션을 통해 예측된 에너지소비원단위는 이와 유사한 비율을 보이고 있다. 에너지소비원단위의 열에너지와 전력의 소비비율은 열에너지가 27.3%, 전력이 72.7%로 전력의 사용이 매우 우세하다.

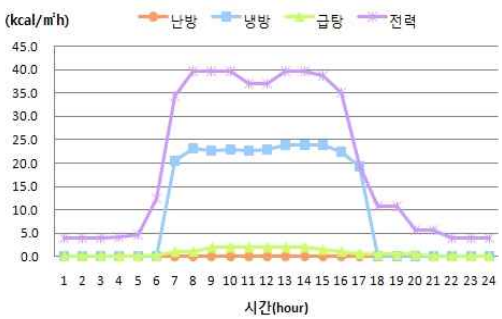
<표 4.25> 업무용 건물의 부문별 에너지소비 원단위

(단위: Mcal/㎡ · yr)

	난방	냉방	급탕	일반전력	total
에너지소비원단위	53.8	33.5	7.2	128.9	223.4
비율(%)	24.1	15.0	3.2	57.7	100.0

업무건물의 1월과 8월의 대표일간 에너지소비원단위는 (그림 4.14)와 같이 나타난다. 1월과 8월 모두 운영 스케쥴과 비슷한 패턴으로 에너지가 사용되고 있으며, 7시에서 19시에 걸쳐 에너지소비가 집중적으로 일어난다. 1월의 일간 에너지소비패턴은 7시와 8시 사이에 난방에너지가 최대로 발생하며, 전력에너지는 8시에서 17시 사이에 고르게 발생하고 있다. 8월의 일간 에너지소비패턴은 운영 스케쥴에 따라 12시에서 13시 사이를 제외하고 고르게 나타나며, 냉방에너지와 전력의 사용이 상대적으로 크게 발생하고 있다.

<1월의 일간 에너지소비원단위>



<8월의 일간 에너지소비원단위>

(그림 4.14) 업무용 건물의 대표일간 에너지소비원단위

4.3.2 도시 유형별 에너지 수요 예측

4.3.1절에서 산출한 건물 용도별 에너지소비원단위를 기초로 하여 각 도시 유형의 에너지 수요량을 예측하였다. 도시의 에너지 수요예측은 크게 열에너지(난방, 급탕)와 전력(냉방, 일반전력)의 소비량으로 구분하였으며, 단지 구성건물의 연면적을 에너지소비원단위에 곱하여 전체 에너지소비량을 산정하였다. 저층 주거단지는 단독주택 건물의 에너지소비량을 적용하였고, 고층 집합주거단지의 경우 구성건물의 용도에 따라 공동주택과 상업용 건물의 에너지소비량을 적용하였다. 복합단지 또한 건물의 용도에 따라 단독주택과 상업용 건물의 에너지 소비량을 적용하였다. <표 4.26>은 도시 유형별 연간 에너지 소비량 및 에너지 사용비율을 예측한 결과이다.

<표 4.26> 도시 유형별 연간 에너지 소비량 및 소비비율

	연간 에너지 소비량(Gcal)		
	열에너지	전력	총량
저층 주거단지	2,708.7 (69.5%)	1,190.8 (30.5%)	3,899.5 (100.0%)
고층 집합주거단지	23,377.4 (65.9%)	12,095.6 (34.1%)	35,473.0 (100.0%)
복합단지	5,517.4 (61.4%)	3,474.2 (38.6%)	8,991.6 (100.0%)
업무단지	16,183.1 (26.8%)	44,191.4 (73.2%)	60,374.6 (100.0%)

도시 유형별 열에너지와 전력의 소비비율은 신재생에너지시스템의 적용 우선순위를 결정하는 조건이 될 수 있다. 저층 주거단지와 고층 집합주거단지는 열에너지와 전력의 소비가 약 7:3의 비율로 열에너지의 소비가 우세하므로, 태양열시스템 및 지열시스템을 우선적으로 적용하는 것이 유리하다. 또한, 복합단지의 경우 열에너지와 전력의 소비가 약 6:4의 비율로 열에너지의 소비가 우세한 것으로 나타났으며, 열 생산 시스템을 우선적으로 배치하되 전력 수요를 고려하여 전체적인 에너지 생산량과 사용량의 균형을 유지해야 한다. 업무단지의 경우, 열에너지와 전력의 소비비율이 약 3:7로 전력의 소비비율이 우세하므로, 태양광발전시스템 및 소형풍력발전시스템을 우선적으로 배치해야 한다.

에너지원별 연간 사용량뿐만 아니라 시스템의 적용 비율을 결정하기 위해서는 월별 소비량 및 비율에 대한 고려가 필요하다. 도시 유형별 열에너지와

전력의 월별 소비량 및 패턴은 (그림 4.15)와 같다.

<저층 주거단지>

<고층 집합주거단지>

<복합단지>

<업무단지>

(그림 4.15) 도시 유형별 월별 에너지 소비량 및 패턴

일반적으로 주거중심의 단지에서는 열에너지의 사용이 우세하게 나타나며, 5~9월 사이에는 열에너지보다 전력의 사용량이 높게 나타나는 특징을 보인다. 상업건물을 포함하는 복합단지의 경우, 저층 주거단지와 사용패턴은 유사하나 냉방기간의 전력사용량이 더 높게 나타났다. 전력의 소비가 큰 업무용 건물과 상업용 건물로만 구성된 업무단지의 경우, 3~11월 사이의 전력 사용이 열에너지보다 매우 우세한 것으로 나타났다.

4.4 도시 유형별 신재생에너지 잠재성 평가

4.4.1 태양에너지 잠재성 평가(Solar Energy Potential Evaluation)

(1) 태양에너지 잠재성 평가 방법

도시의 태양에너지 적용가능성(Urban Solar System Availability)은 태양에너지의 잠재성(Solar Energy Potential) 평가를 통해 도시에서의 시스템 활용가능성을 예측함으로써 판단할 수 있다. 본 연구의 태양에너지 잠재성 평가는 도시환경(도시의 형태적 특성)에서의 태양에너지의 정량적인 잠재량(quantitative potential)을 분석함으로써, 도시 특성에 따른 태양에너지시스템의 적용가능성을 평가하고자하기 위함이다. 도시환경에서는 시스템 설치를 위한 부지 확보가 어려우며, 태양광 및 태양열시스템의 경우 건물 외피에 적용가능성이 높으므로 도시를 구성하는 건물외피에 시스템을 설치하는 것이 적합하다. 또한 태양에너지시스템의 에너지 생산량은 전일사량에 의해 결정되므로 구성건물 외피가 받는 전일사량을 예측해야 한다.

도시의 태양에너지 잠재성(Solar Energy Potential)은 일정 기준 이상의 일사량을 받는 건물 외피면적의 비율로서, 도시를 구성하는 각 건물의 입면과 옥상면이 받는 연간 총일사량을 기준으로 태양에너지시스템을 적용할 수 있는 면적의 비율로 나타낸다. 태양에너지시스템의 적용가능한 연간 총일사량 기준은 R. Compagnon(2004)의 연구[61]에서 제시한 기준을 이용하였다. 이 기준은 현재 태양에너지시스템의 효율 및 운영조건을 반영한 것으로 다음의 <표 4.27>과 같이 제시하고 있다.

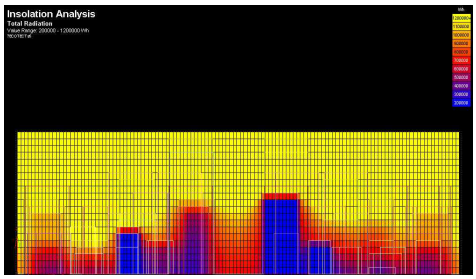
<표 4.27> 태양에너지시스템의 적용가능한 연간 총 일사량 기준

	태양광발전 시스템	태양열시스템
입면	800kWh/㎡	400kWh/㎡
옥상면	1000kWh/㎡	600kWh/㎡

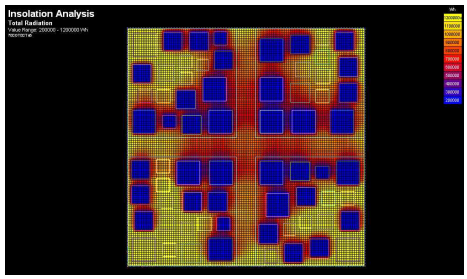
본 연구에서는 도시 유형별 태양에너지의 잠재성을 평가하기 위하여 Autodesk Ecotect Analysis 2010 프로그램을 활용하여 구성건물의 단위면적당 연간 총 일사량을 산출하였다. 건물 외피(입면, 옥상면)가 받는 연간

61) R. Compagnon, Solar and Daylight Availability in the Urban Fabric, Energy and Building 36, 2004, pp.321~328

총 일사량을 예측함으로써, 도시의 정량적 잠재성 및 시스템의 적합한 적용 위치를 판단할 수 있다. 단지 구성건물의 예측된 일사량과 <표 4.27>의 기준을 토대로 도시 유형별 태양에너지의 적용가능성을 평가하였다. 기후데이터는 서울시의 기후자료를 사용하였고, 분석일자는 1월 1일~12월 31일 06시부터 19시를 대상으로 하였다. 분석 단위는 2m×2.8m로 설정하였으며, (그림 4.16)은 각 건물의 연간 총 일사량을 예측한 모습이다.



<업무단지의 입면 일사량 예측>



<업무단지의 옥상면 일사량 예측>

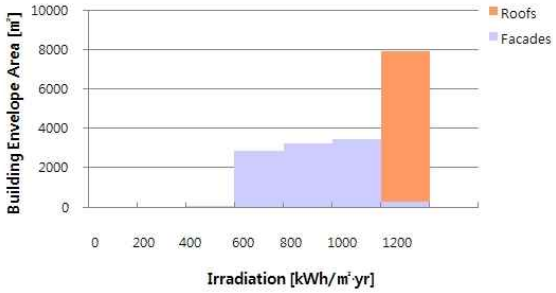
(그림 4.16) 단지 구성건물의 연간 총 일사량 예측 모습

(2) 도시 유형별 태양에너지 잠재성 평가 결과

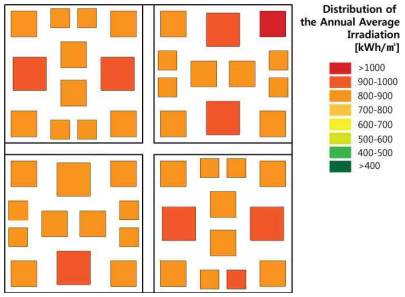
가) 도시 유형별 일사량 분포

도시차원의 태양에너지 적용가능성을 평가하기 위하여, 시뮬레이션을 통해 예측된 결과를 토대로 도시 유형별 구성건물의 전체 일사량 분포도를 작성하였다. 도시 규모의 시스템 적용가능성을 평가하기 위해서는 단지의 총량평가뿐만 아니라, 단지 차원에서 각 구성건물의 잠재성 분포에 대한 분석이 필요하다.

저층 주거단지는 (그림 4.17)과 같이 구성건물 모두 연간 600kWh/㎡ 이상의 일사량을 얻을 수 있으며, 옥상면의 경우 모든 건물이 1,200kWh/㎡ 이상의 높은 태양에너지 획득이 가능한 것으로 나타났다. 단지 구성건물의 연평균 일사량의 분포를 보면 대부분의 건물이 고르게 일사량을 획득하고 있으며, 규모가 상대적으로 큰 건물이 주변 건물에 비해 보다 많은 일사량을 획득한다. 저층 주거단지의 경우, 구성건물의 층수가 낮고 건물 간의 이격거리가 넓으므로 일사량을 고르게 획득하며, 입면과 옥상면 모두 시스템의 적용가능성이 높고 연중 안정적인 태양에너지 획득이 가능할 것으로 판단된다.



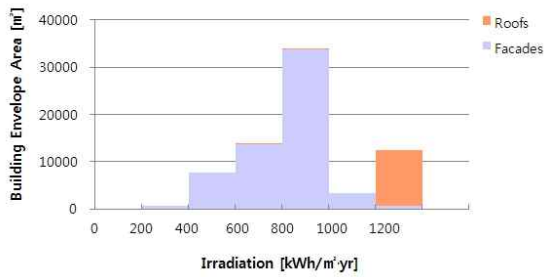
<Distribution of annual irradiation on the building facades and roofs>



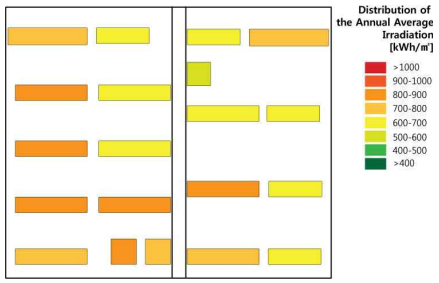
<Distribution of annual average irradiation of the buildings>

(그림 4.17) 저층 주거단지의 일사량 분포

고층 집합주거단지의 연간 일사량 분포는 (그림 4.18)과 같다. 입면의 경우 800~1000kWh/㎡ 사이가 42.5%로 가장 많은 면적이 분포하고 있으며, 저층주거단지에 비해 입면의 일사량 분포 변화가 크게 나타났다. 옥상면의 경우 상가건물을 제외한 모든 건물이 1,200kWh/㎡ 이상의 높은 일사량을 획득하는 것으로 나타나, 태양광 및 태양열시스템 모두 옥상면의 적용가능성이 높을 것으로 판단된다. 단지 구성건물의 연평균 일사량의 분포를 보면, 층수에 따라 구성건물의 일사량 획득이 다르게 나타나며, 저층부의 음영정도에 따라 구성건물 간의 차이가 발생한다.



<Distribution of annual irradiation on the building facades and roofs>

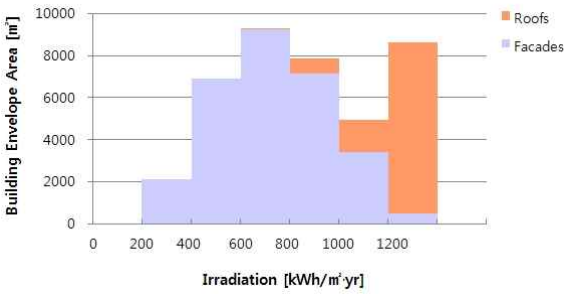


<Distribution of annual average irradiation of the buildings>

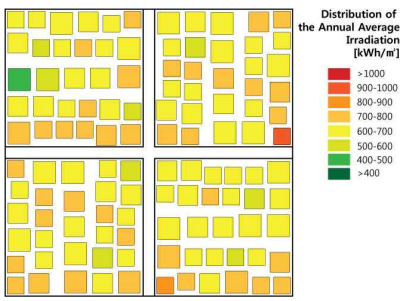
(그림 4.18) 고층 집합주거단지의 일사량 분포

복합단지의 연간 일사량 분포는 (그림 4.19)와 같다. 고밀도 특성을 갖는 단지로서, 입면의 경우 400~1000kWh/㎡ 사이에 가장 많은 면적이 분포하고 있으며, 1,200kWh/㎡ 이상의 일사량에 해당하는 면적이 가장 낮게 산출

되었다. 입면의 경우 적용가능면적이 개별건물에 분산되어 있고 구성건물 간 이격거리가 작기 때문에, 구성건물 수에 비해 안정적인 일사획득이 가능한 면적이 적을 것으로 판단된다. 단지 구성건물의 연평균 일사량의 분포를 보면, 층수가 낮은 건물들은 600kWh/㎡ 이하의 낮은 일사량 분포를 보이며, 저층저밀의 저층주거단지에 비해 전체적으로 연평균일사량이 상대적으로 낮고 구성건물 간 태양에너지 획득의 차이가 큰 것으로 나타났다.



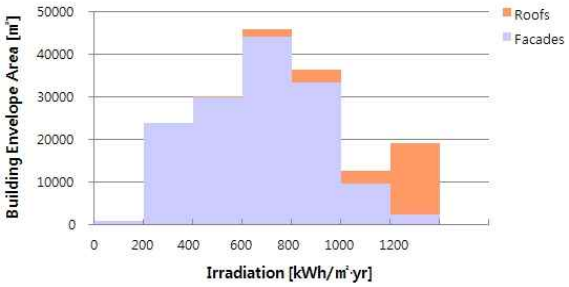
<Distribution of annual irradiation on the building facades and roofs>



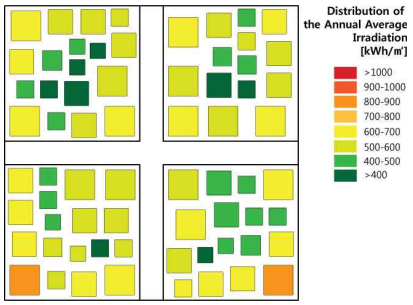
<Distribution of annual average irradiation of the buildings>

(그림 4.19) 복합단지의 일사량 분포

업무단지의 연간 일사량 분포는 (그림 4.20)과 같이 도시 유형 중 200~400kWh/㎡의 낮은 일사량 범위의 비율이 가장 높고, 1,000kWh/㎡ 이상의 높은 일사량 획득의 비율이 가장 적은 것으로 나타났다. 이는 단지의 구성건물 높이편차가 크고 건물의 규모가 크기 때문에, 주변건물에 의한 음영으로 입면의 태양에너지 획득이 적은 것으로 판단된다. 단지 구성건물의 연평균 일사량 분포를 보면, 전체적으로 단지의 연평균일사량이 도시 유형 중 가장 낮게 분포하고 있으며 구성건물 간의 태양에너지 획득의 차이가 크게 나타나고 있다. 블록 내 저층건물의 경우 연평균일사량이 매우 낮게 나타난 반면, 상대적으로 고층의 대로변에 위치한 건물의 경우 높게 나타났다. 업무단지의 경우 그림과 같이 안정적인 태양에너지를 획득할 수 있는 건물이 매우 제한적임을 알 수 있다.



<Distribution of annual irradiation on the building facades and roofs>



<Distribution of annual average irradiation of the buildings>

(그림 4.20) 업무단지의 일사량 분포

나) 도시 유형별 태양에너지시스템 적용가능성(Solar System Availability)

도시 유형별 태양에너지시스템의 적용가능성을 평가하기 위하여, 태양에너지시스템의 적용가능한 연간 총 일사량을 기준으로 이에 해당하는 구성건물의 외피 면적비율을 분석하여 다음 <표 4.28>과 같이 나타내었다.

<표 4.28> 도시 유형별 태양에너지시스템 잠재성 평가결과

(단위: ㎡)

	태양광발전 시스템		태양열시스템	
	입면	옥상면	입면	옥상면
저층 주거단지	6,920.2 (52.8%)	7,664.0 (100.0%)	9,828.0 (75.0%)	7,664.0 (100.0%)
고층 집합주거단지	37,700.6 (47.4%)	11,974.0 (97.2%)	58,981.2 (74.2%)	12,316.3 (100.0%)
복합단지	11,042.2 (28.3%)	9,669.3 (91.6%)	27,162.8 (69.7%)	10,425.0 (98.3%)
업무단지	45,131.4 (23.6%)	19,799.0 (79.8%)	119,042.7 (62.2%)	24,579.0 (99.0%)

저층 주거단지는 구성건물의 수가 48개이며 평균층수 2층으로 요철도가 낮은 특징을 갖는다. 단지 전체의 입면 활용가능성은 태양광, 태양열 각각 52.8%, 100%로 적용가능면적이 개별건물에 고르게 분포하고 있다. 옥상면의 경우 태양광, 태양열 모두 적용가능성이 100%로 나타났으며, 구성건물 모두 옥상면의 안정적인 태양에너지 획득이 가능하므로 옥상면을 활용한 시스템의 배치가 효율적이다.

고층 집합주거단지는 저층고밀의 구성건물의 층수가 높은 유형으로서 입면의 태양광발전 시스템의 적용가능성은 47.4%로 낮게 산출되었지만, 실제 적용가능 면적은 37,700.6㎡로 저층 주거단지보다 적용가능 면적이 크게 산출되었다. 옥상면의 경우 태양광은 97.2%, 태양열은 100%로 상가건물을 제외한 모든 건물에서 100%의 적용가능성을 나타냈다. 고층 집합주거단지는 건물의 이격거리가 크기 때문에 옥상면의 안정적인 태양에너지 획득이 가능하며, 건축면적에 비해 입면의 비율이 높으므로 저층부를 제외한 입면의 시스템 적용이 바람직할 것으로 판단된다.

복합단지는 총 116개의 건물로 구성되어 있으며, 평균층수 3층, 요철도 4.3의 저층고밀의 특징을 갖는다. 복합단지의 입면 적용가능성은 태양광의 경우 28.3%, 태양열은 69.7%로 건물 수에 비해 적용가능성이 낮게 산출되었다. 또한 건물 규모가 작고 적용가능면적이 개별건물에 분산되어 있으며, 저층부의 음영발생 가능성이 크므로 입면 상부와 옥상면을 활용한 시스템의 배치가 효과적이다.

업무단지는 높이편차 16.7, 요철도가 16.0으로 구성건물의 영향을 크게 받기 때문에 도시유형 중 입면의 적용가능성이 가장 낮게 산출되었으나, 건물의 규모가 크므로 적용가능면적은 가장 높게 산출되었다. 또한 입면의 경우, 적용가능면적이 고층건물 상층부에 집중 분포가 하고 있어 안정적인 태양에너지 획득이 가능하므로 태양광발전 시스템의 적용이 적합할 것으로 판단된다. 옥상면의 경우 태양열이 99%로 적용가능성이 높게 나타났으며, 태양광은 79.8%로 도시 유형 중 가장 낮게 산출되었으나 적용가능면적은 가장 크게 산출되었다. 시스템 적용 시, 안정적인 태양에너지 획득을 위하여 최고층수 건물 위주의 시스템 배치가 이루어져야 한다.

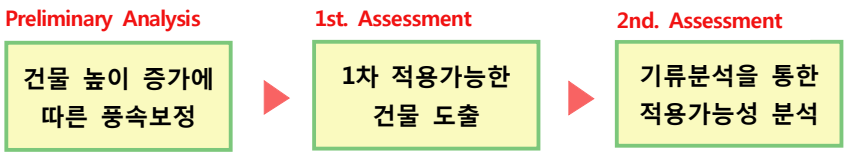
도시 유형별 태양에너지 잠재성 평가 결과, 저밀도 유형이 고밀도보다 적용가능성이 큰 것으로 나타났으며, 저층단지의 경우 적용가능면적이 개별 건물에 분산되어 있는 반면, 고층단지의 경우 건물 상층부와 상대적으로 높이가 높은 건물에 집중 위치하고 있는 것으로 나타났다. 또한 높이편차와 요철도가 클수록 입면과 옥상면의 적용가능성이 감소하는 것으로 나타나, 태양에너지의 잠재성은 도시의 요철도에 크게 관계가 있음을 알 수 있다. 따라서 도시 유형에 따른 태양에너지시스템 배치 시, 고층고밀의 유형은 안정적인 태양에너지 획득이 가능한 일부 건물에 우선적으로 적용하는 것이 효과적이며, 저밀도 유형의 경우 시스템의 분산배치가 효율적일 것으로 판단된다.

4.4.2 풍력에너지 잠재성 평가(Wind Energy Potential Evaluation)

(1) 풍력에너지 잠재성 평가 방법

풍력에너지시스템의 에너지생산량은 풍속에 의해 결정되므로, 도시 풍환경 변화에 따른 해당 지역의 풍속을 예측함으로써 자원의 정량적 잠재성 평가가 이루어져야 한다. 도시환경에서 구성건물에 대한 풍속 예측은 우선적으로 건물 높이 증가에 따른 풍속 증가량에 대한 분석이 필요하다. 그러나 단순 높이 보정에 따른 예측은 풍환경 변화에 따른 영향을 반영하지 못하기 때문에 실제 적용가능성과 큰 차이가 발생할 수 있다. 도시 내 풍속은 지형 · 지물에 영향을 받으며, 특히 도시는 구성건물의 밀도가 높기 때문에 도시 형태적 특성에 따라 풍환경이 다양해진다. 따라서 이러한 도시 풍환경 변화를 반영하여 이에 따른 적용가능성을 분석함으로써, 높은 풍속을 획득하고 난류에 의한 영향을 가장 적게 받을 수 있는 시스템 설치의 가장 적합한 위치를 도출해야 한다.

풍력에너지 잠재성 평가는 단지 내 건물 최고층 높이 증가에 따른 기준풍속 이상의 건물외피(옥상면) 면적 비율로 나타내었다. 풍력에너지의 정량적 잠재성 평가 방법은 가장 먼저, 높이 증가에 따른 풍속 보정을 실시한 뒤, 기준 풍속에 해당하는 높이를 가지는 건물을 구분하여 1차 적용가능성을 평가한다. 그리고 도출된 해당건물의 기류분석을 통해 풍속변화를 예측하여 설치가능면적의 비율로써 2차 적용가능성을 평가하였으며, 평가방법은 (그림 4.21)과 같다. 본 연구에서는 도시 내 풍속이 가장 높고 난류 발생이 적을 것으로 예상되는 옥상면에 시스템이 설치되는 것으로 적용 위치를 제한하였다. 지층부의 녹지지대, 공지 등 또한 풍력발전시스템 적용에 효과적일 것으로 예측되나 도시 내 물리적 환경에 따른 바람의 불확실성과 기류분포로 인하여 일반화하기 어렵다.



(그림 4.21) 풍력에너지 잠재성 평가 방법

가) 높이 증가에 따른 풍속보정

기상청의 실제 풍속측정 높이는 터빈허브의 설치 높이와 상이하므로 이에 대한 보정이 필요하다. 본 연구에서는 건물에 시스템이 적용되는 것으로 설정하였으므로 단지 내 구성건물 높이 증가에 따라 풍속 보정(extrapolation)을 수행하였다. 보정식은 여러 가지가 있지만 일반적으로 가장 오차가 적고 비교적 보정이 용이한 Deacon식[62]이 주로 이용된다.

$$\frac{U(Z)}{U(Z_a)} = \left(\frac{Z}{Z_a}\right)^{\alpha} \qquad \text{(수식 4.2)}$$

U, Z : 보정된 고도의 풍속과 고도

U_a, Z_a : 실측된 풍속계의 풍속과 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(기하학적 평균고도) $= \sqrt{Z \times Z_a}$,

Z_0 : 주변 지형의 거칠기 길이

Z_0는 주변 지형의 거칠기 정도(roughness length, m)를 타나내는 주변 지형변화 요소이며, 각 지형 조건에 따른 Z_0의 값을 활용하여 보정하게 된다. 거칠기 정도에 따른 등급은 <표 4.29>[63]과 같다. 이와 같이 거칠기 정도 Z_0, 실측높이, 그리고 보정하고자하는 높이를 이용하면 건물 높이에서의 풍속에 대한 추정이 가능하여 적용 잠재성을 평가할 수 있다.

62) 지식경제부, 풍력발전단지 건설을 위한 지침서 및 지역 수용성 제고방안 연구, 2006, pp.115
63) DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION, http://www.windpower.org

<표 4.29> 거칠기 정도와 주변 지형의 관계

Roughness class	Roughness Length, m	Energy Index(%)	Landscape Type
0.0	0.0002	100	Water Space
0.5	0.0024	73	Completely open terrian with a smooth surface, e.g.concrete runways in aiports, mowed grass, etc
1.0	0.030	52	Open agricultural area without fences and hedgerows and very scattered building. Only softly rounded hills.
1.5	0.055	45	Agricultural land with some house and 8 metre tall sheltering hedgerows with a distance of approx. 1250 metres
2.0	0.1	39	Agricultural land with some house and 8 metre tall sheltering hedgerows with a distance of approx. 500 metres
2.5	0.2	31	Agricultural land with some house, shrubs and plants, or 8 metre tall sheltering hedgerows with a distance of approx. 250 metres
3.0	0.4	24	Villages, small towns, agricultural land with many or tall sheltering hedgerows, forests and very rough and uneven terrian
3.5	0.8	18	Larger cities with tall buildings
4.0	1.6	13	Very large cities with tall building and skyscrapers.

높이별 풍속 보정을 위하여 1999~2008년 서울지역의 매시평균풍속자료[64]를 활용하였다. 평균 풍속은 일일 24시간 측정한 데이터를 기반으로 풍정에서 구한 일평균 풍속 값을 월 평균하여 구한 값으로, 이를 바탕으로 서울지역의 평균 풍속을 산출하였다. 서울지역의 월별 평균 풍속은 다음의 <표 4.30>과 같으며, 서울지역의 10년 평균 풍속은 2.2m/s로 나타났다.

<표 4.30> 서울지역의 월별 평균풍속

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전년
1999	2.6	2.8	2.5	2.6	2.2	1.8	2.1	1.2	1.3	1.1	1.3	1.2	1.9
2000	2.6	2.7	3.0	2.9	2.3	1.9	2.1	1.7	1.7	1.5	1.8	2.2	2.2
2001	2.2	2.1	2.8	2.5	2.1	1.6	1.4	1.0	1.1	1.3	1.7	2.1	1.8
2002	2.3	2.0	2.1	2.3	2.3	2.0	2.1	2.0	1.6	2.0	2.4	2.2	2.1
2003	2.5	2.2	2.3	2.5	1.8	2.0	1.8	1.4	1.1	2.0	2.0	2.4	2.0
2004	2.1	2.9	2.7	2.7	2.6	2.1	2.3	2.4	2.2	2.0	2.0	2.2	2.4
2005	2.4	2.8	2.9	3.0	2.4	2.4	2.2	2.6	2.3	1.7	2.2	2.5	2.5
2006	2.1	2.6	2.9	3.0	2.5	2.2	2.3	2.1	2.1	2.0	2.4	2.1	2.4
2007	2.0	2.3	2.7	2.8	2.6	2.3	2.4	2.6	2.5	2.1	2.2	2.4	2.4
2008	2.3	2.7	2.6	2.7	2.7	2.7	2.4	2.5	1.9	2.0	2.2	2.5	2.4
평균	**2.3**	**2.5**	**2.7**	**2.7**	**2.4**	**2.1**	**2.1**	**2.0**	**1.8**	**18**	**2.0**	**2.2**	**2.2**

64) 기상청, 기상연보(1999-2008)

단지의 건물 높이 증가에 따른 풍속보정을 위하여 서울지역 표준관측고도 10m를 적용하여 저층 주거단지의 거칠기 정도 0.4, 고층 집합주거단지, 복합단지, 업무단지는 거칠기 정도 0.8을 적용하여 분석하였으며 높이별 풍속 보정 결과는 다음 <표 4.31>과 같다. 일반적으로 거칠기가 높을수록 저층지대의 풍속이 빠르게 나타나는 것을 알 수 있다.

<표 4.31> 높이별 풍속보정 결과

보정된 고도(m)	보정된 풍속(m/s)	
	Z_0=0.4	Z_0=0.8
5	1.7	1.6
10	2.2	2.2
15	2.5	2.6
20	2.7	2.8
25	2.9	3.0
30	3.0	3.2
35	3.1	3.4
40	3.2	3.5
45	3.3	3.6
50	3.4	3.7
55	3.5	3.8
60	3.5	3.8
65	3.6	3.9
70	3.6	4.0
75	3.7	4.0
80	3.7	4.1
85	3.8	4.2
90	3.8	4.2
95	3.9	4.3
100	3.9	4.3

나) 1차 적용가능성 평가(Application Possibility Evaluation)

풍력에너지의 잠재성 평가는 시스템이 설치되는 터빈허브 높이에서의 풍속을 고려해야 하므로 기준풍속에 해당하는 높이를 산출한 뒤, 이에 해당하는 높이를 가지는 건물을 구분해야 한다. 기준풍속을 설정하기 위하여 도시에 적용가능한 소형풍력발전 시스템 중 현재 상용화 된 시스템에 대해 고찰하였다. 주요 소형풍력발전 시스템의 사양은 <표 4.32>와 같다. 1.5kW급 이하의 수평축과 수직축시스템의 시동풍속은 3~3.1m/s로 나타났으며, 특히 수직축의 경우 수평축에 비해 낮은 풍속에서도 가동이 되는 것으로 나타났다.

최근 도심지에 풍력발전시스템을 도입하는 사례가 늘면서 효율성과 의장성을 고려하여, 소음과 진동이 적은 수직축 풍력발전시스템의 개발이 점차 늘

어나고 있다. 또한 수직축의 경우, 수평축에 비해 풍향의 변동에 영향을 적게 받기 때문에 풍향의 변화가 심한 도심지에 적용성이 더 높을 것으로 판단되므로 수직축 풍력발전시스템을 잠재성 평가 기준모델로 선정하였다.

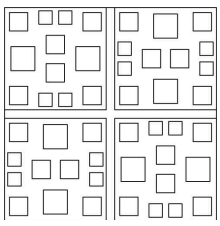
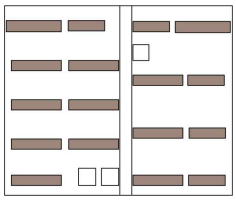
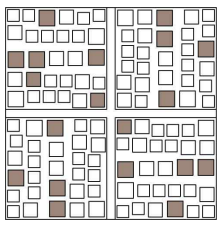
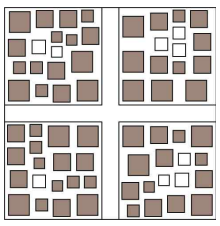
<표 4.32> 소형 풍력발전시스템 사양

구분	수평축 풍력발전시스템			수직축 풍력발전시스템		
Model	KET-600	Whisper 200	KET-3000	DS300	DS1500	qr5
정격출력	0.6kW	1kW	3kW	0.4kW	1.5kW	5kW
정격풍속	10.5m/s	12.5m/s	11m/s	15m/s	12m/s	14m/s
시동풍속	3m/s	3.1m/s	3.5m/s	3m/s	3m/s	4.5m/s
로터지름	1.8m	2.7m	4.2m	1.06m	2.8m	3.1m
타워높이	6m	-	12m	Min. 2m	Min. 2m	-
중량	27kg	30kg	60kg	30kg	300kg	305kg

풍력발전시스템의 전력생산을 위한 최소풍속인 시동풍속을 기준으로 도시 유형별 풍력에너지의 잠재성을 분석하였다. 0.4kW급과 1.5kW급의 시동풍속 3m/s, 최소타워높이 2m를 기준으로 앞서 분석된 풍속보정결과를 토대로 도시 유형별 구성건물의 적용가능성을 평가하였다. <표 4.32>의 분석된 풍속보정 결과를 보면, 3m/s의 풍속을 얻기 위해서는 각각 30m, 24m 이상의 높이를 확보해야 한다. 따라서 구성건물의 2m를 포함한 높이에서의 풍속을 예측한 뒤, 기준풍속에 해당하는 높이를 가지는 건물을 구분함으로써 각 구성건물의 1차 적용가능성을 평가하였으며, 평가결과는 <표 4.33>과 같다.

<표 4.33> 도시 유형별 풍력에너지 1차 적용가능성

(적용가능면적(적용가능비율))

저층 주거단지	고층 집합주거단지	복합단지	업무단지
			
0㎡(0%)	11,174㎡(91%)	2,296㎡(22%)	22,924㎡(92%)

1차 적용가능성 평가 결과, 저층 주거단지는 구성건물의 최고층수가 4층으로 기준풍속을 만족하는 높이를 가지는 건물이 없기 때문에 적용가능성이 매우 어려운 것으로 나타났으며, 풍력발전기의 타워 높이를 높게 하더라도 높

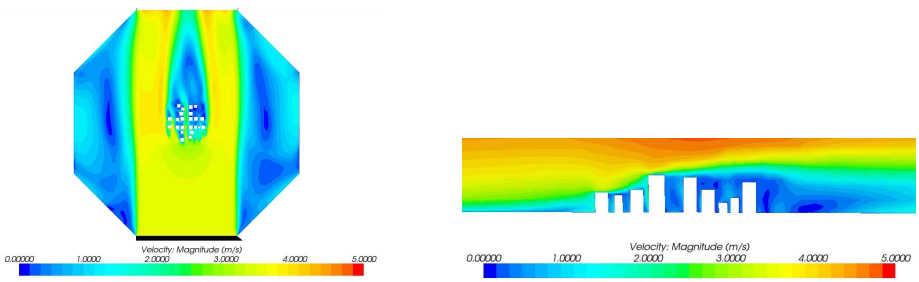
은 풍속의 안정적인 획득은 어려울 것으로 판단된다. 고층 집합주거단지는 상가건물을 제외한 모든 건물에서 3m/s 이상의 높은 풍속을 얻을 수 있는 것으로 나타났으며, 건물 높이가 높고 건물 간 이격거리가 넓기 때문에 안정적인 높은 풍속 획득이 가능할 것으로 판단된다. 복합단지의 경우 단지 전체 옥상면적 중 약 22%가 적용가능한 것으로 나타났으며, 건물 수에 비해 적용가능한 건물이 적은 것으로 나타났다. 업무단지의 경우, 평균 층수가 9층으로 구성건물 대부분이 높은 층수를 갖기 때문에 92%로 높게 나타났으나 단지 내 높이편차 및 요철도가 높기 때문에 단지 풍환경에 의한 실제적용가능성이 감소할 것으로 판단된다.

다) 2차 적용가능성 평가(Air Flow Pattern Analysis)

1차 적용가능성 평가는 일반적인 이론에 따른 평가방법이며, 도시 형태적 특성에 따른 풍환경의 영향을 반영하지 못하므로 정확하고 효율적인 풍력발전시스템의 적용 위치를 찾기 위해서는 CFD 또는 풍동실험을 통하여 기류흐름을 파악해야 한다. 각 단지의 기류패턴 분석을 통한 2차 적용가능성 평가는 전산유체역학 CFD(Computational Fluid Dynamics) 방법을 사용하였으며, CFD 해석을 위해 상용프로그램인 STAR-CCM+ 4.02를 활용하여 단지 내 외부 풍환경을 분석하였다. 1차 적용가능성을 가지는 해당건물 옥상면의 기류패턴을 분석하여 건물의 적용가능한 면적 및 위치를 분석하였다. 풍속 입력 값은 <표 4.31>을 활용하여 5m 단위로 나눈 평균값을 적용하였다.

<표 4.34> CFD 시뮬레이션 설정조건

Space	Three Dimensional	Motion	Stationary
Material	Gas	Flow	Segregated Flow
Equation of state	Constant Density	Time	Steady
Viscous Regime	Turbulent	Velocity	1.6~4.9m/s
Equations	$K-\varepsilon$ Turbulence		

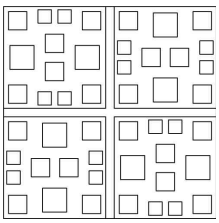
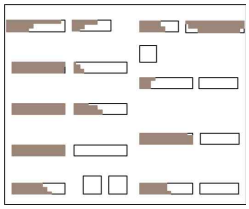
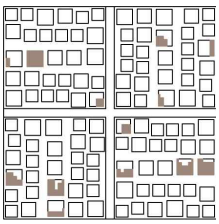
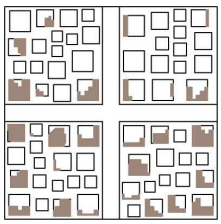


(그림 4.22) 단지의 기류분석 예시

(2) 도시 유형별 풍력에너지 잠재성 평가 결과

CFD 시뮬레이션 분석을 통한 도시 유형별 풍력에너지의 적용가능성은 다음 <표 4.35>과 같으며, 구성건물 옥상면의 기준풍속(3m/s) 이상의 풍속이 발생하는 면적을 산출하여 단지 전체 적용가능면적 및 옥상면적 대비 적용가능 비율을 제시하였다.

<표 4.35> 도시 유형별 풍력에너지시스템 잠재성 평가결과

도시 유형	풍력에너지 잠재성분포	1차 적용 가능성	2차 적용 가능성	도시 유형	풍력에너지 잠재성분포	1차 적용 가능성	2차 적용 가능성
저층 주거 단지		0㎡ (0%)	0㎡ (0%)	고층 집합 주거 단지		11,174㎡ (91%)	5,831㎡ (47%)
복합 단지		2,296㎡ (22%)	567㎡ (5%)	업무 단지		22,924㎡ (92%)	4,781㎡ (19%)

저층 주거단지는 기준풍속 이상의 높이를 가지는 건물이 없으므로 적용가능성이 매우 어려운 것으로 나타났다. 복합단지의 경우, 기류분석 결과 2차 적용가능성은 5%로 산출되었으며 이는 1차 적용가능성에서 약 25%에 해당한다. 복합단지는 평균층수 3층으로 중저층 건물로 주로 구성되어 있어 다른 유형에 비해 외부 풍환경의 변화가 적으나, 기준풍속을 만족하는 건물이 적으므로 단지면적에 비해 적용가능성이 매우 낮게 산출되었으며, 일부 고층건물에 집중된 것으로 나타났다. 고층 집합주거단지는 47%로 도시 유형 중 적용가능성이 가장 높은 것으로 나타났으며, 1차 적용가능한 면적 중 약 52%가 실제 적용가능한 것으로 나타났다. 고층 집합주거단지의 경우, 구성건물간의 이격거리가 넓고 고층건물이 대부분이기 때문에 풍력에너지의 적용가능성이 높은 것으로 나타났으며, 시스템 적용 시 도시 유형 중 가장 안정적인 풍속을 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 업무단지는 2차 적용가능성이 19%로

산출되었으며, 이는 1차 적용가능성은 92%였으나 구성건물의 높이편차와 요철도가 높아 기류패턴의 영향을 크게 받아 기준풍속에 해당하는 높이이상의 건물이더라도 실제적용가능성이 크게 감소함을 알 수 있다.

도시 유형별 풍력에너지 잠재성 평가 결과, 고층집합 주거단지>업무단지>복합단지>저층 주거단지의 순으로 적용가능성이 높게 나타났다. 이는 고층건물의 구성비율이 높은 유형일수록 풍력에너지의 적용가능성 또한 높게 나타난 것으로, 시스템 적용에 있어 건물 높이가 우선 고려되어야 함을 알 수 있다. 그러나 업무단지와 같이 고층건물의 비율이 높더라도 구성건물 간 높이와 규모 차이에 의해 요철도가 높은 경우, 외부 풍환경 변화가 크기 때문에 실제적용가능성이 크게 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 그림에서와 같이 건물 후면으로 갈수록 난류가 증가하여 바람정체구간이 발생하는 반면, 건물 상부 가장자리와 측면의 경우 가장 높은 풍속이 발생하는 것으로 나타나 시스템 배치 시 이를 고려하여 적용해야 한다.

4.4.3 지열에너지 잠재성 평가(Geothermal Potential Evaluation)

(1) 지열에너지 잠재성 평가 방법

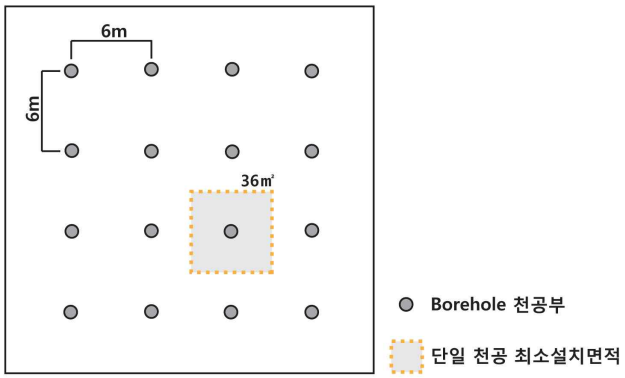
도시의 지열에너지 적용가능성(Urban Geothermal System Availability)을 판단하기 위해서는 지중열교환기를 설치할 수 있는 부지면적의 활용가능성을 평가하여야 한다. 지중열교환기는 수직밀폐형, 수평밀폐형, 지하수형, 지표수형 등 다양한 방식이 있으나 이중에서 가장 일반적으로 사용되며, 설치면적 확보가 어려운 도심지에 적합한 수직밀폐형 지중열교환기를 설치할 때를 가정하여 필요한 대지면적을 기준으로 적용가능성을 평가하였다. 일반적으로 수직형 지중열교환기는 직경 150mm~200mm, 깊이 100~200m의 보어홀(Borehole)을 지면에서 천공한 후, 외경 25A~40A의 폴리에틸렌 또는 폴리부틸렌 파이프를 U자관으로 형성하여 삽입한다.[65] 지열 시스템에서 보어홀의 설치간격은 시스템의 설치면적 및 용량을 결정하는 요소로 보어홀의 간격을 고려하여 지중열교환기의 개수를 산정해야 한다. 수직형 지중열교환기의 설치면적은 보어홀의 수와 이격거리에 의해 예측할 수 있으며, 계산식은 다음과 같다.

수직형 지중열교환기 총 설치면적(㎡)=보어홀 개수×(이격거리)^2 (수식 4.3)

보어홀의 이격거리는 일반적으로 3m[66], 4m[67], 5m[68], 6m[69]로 제시되고 있으며 설치 공간이 좁은 국내의 경우, 보다 조밀한 천공 배치가 요구된다. 그러나 이러한 경우, 천공 간 열적인 간섭이 심화되어 성능의 변화에 영향을 미치게 되므로 여유간격을 두어 설치하여야 한다. 천공간의 배치거리가 증대될수록 천공표면의 온도증가는 큰 폭으로 감소되며, 최외각 천공인 경우 단일천공과 유사한 증가 추세를 나타낸다. 따라서 본 연구에서는 천공간의 열간섭 방지를 고려하여 보어홀의 간격을 6m로 설정하여 단일 천공의 최소설치면적인 36㎡을 기준으로 평가하였다.[70] 평가방법은 구성건물의 건축면적

65) 산업자원부, GSHP의 지중열교환기 설계 및 시공기술 개발(최종보고서), 2006.10, pp.4
66) 산업자원부, 부하추종형 고효율 지열히트펌프 시스템 개발에 관한 연구, 2006.10, pp.36
67) 산업자원부, 지열냉난방 시스템 성능평가 및 엔지니어링 기술 확보, 2005.05, pp.81
68) ibid, 2005.05, pp.122
69) 산업자원부, 한국형 지중열교환기 최적설계 패키지 개발, 2007.12 pp.90
70) 상용 소프트웨어(TEMP/W)를 이용하여 보어홀 간의 열간섭 현상을 모사한 연구결과, 최소 5m 이상의 간격 유지가 필요한 것으로 나타났다(자료1). 수치해석을 통한 borehole field의 온도분포를 계산한 연구결과, 천공간의 간격이 6m 수준으로 넓어지면 단일천공의 경우와 비슷한 수준

을 제외한 대지면적에 대하여 지중열교환기의 최대설치가능면적을 분석하여 설치 가능한 천공 개수를 산정하여 잠재성을 평가하였다. 대지 경계부에 1m 여유 공간을 두어 산출하였으며, 고층 집합주거단지의 경우, 1개동 건물의 인동간격을 포함한 경계부를 기준으로 분석하였다.



(그림 4.23) 지중열교환기의 보어홀 설치간격

(2) 도시 유형별 지열에너지 잠재성 평가 결과

도시 유형별 지열에너지 잠재성 평가를 통한 단지의 최대 적용가능한 지중열교환기 개수는 <표 4.36>과 같다.

<표 4.36> 도시 유형별 지열에너지 잠재성 평가 결과

	설치가능한 천공개소(개)		설치가능 면적(㎡) (대지의 시스템 활용가능성)
	전체	건물평균	
저층 주거단지	329	7	11,574(53%)
고층 집합주거단지	786	40	28,296(57%)
복합단지	126	2	4,570(25%)
업무단지	534	8	19,224(36%)

저층 주거단지는 도시 유형 중 건폐율이 가장 작고 건물 간의 이격거리가 넓은 단지로, 총 설치가능한 천공개소는 329개이며 건물평균 7개가 설치가능한 것으로 나타나, 건물의 용도가 단독주택임을 고려할 때, 지열시스템의

의 토양 온도 상승 현상을 보이는 것으로 나타났다(자료2). 자료1: 산업자원부, 지열 이용 열펌프 시스템의 성능평가 기법 및 기술기준(안) 구축, 2005, pp.56~57, 자료2: 산업자원부, 한국형 지중열교환기 최적설계 패키지 개발, 2007. pp.89~90

활용가능성이 매우 높은 것으로 나타났다. 또한 대지의 시스템 설치활용가능성이 53%로, 단지의 지열시스템의 적용성이 우수할 것으로 판단된다.

고층 집합주거단지의 경우, 총 설치가능한 지중열교환기 개수는 786개로 단지규모가 크고 건물규모에 비해 건축면적이 작기 때문에 지열시스템의 실제 활용가능성이 다른 단지유형에 비해 매우 유리할 것으로 판단된다. 또한, 넓은 부지에 지중열교환기를 대규모로 적용가능하므로 집단에너지로의 활용가능성이 높다.

복합단지의 설치가능한 천공개소는 126개로 도시 유형 중, 적용가능성이 가장 낮은 것으로 나타났다. 복합단지의 경우, 구성건물의 밀도가 높고 건물의 수가 많기 때문에 대지의 시스템 활용가능성이 25%로 나타나, 도시 유형 중 지열시스템의 적용성이 가장 낮은 것으로 분석되었다. 복합단지는 지열시스템을 설치하기 위한 부지확보가 어려우며, 구성건물 간의 이격거리가 짧기 때문에 지중열교환기 설치 시 주변건물에 대한 고려가 필요하다.

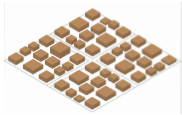
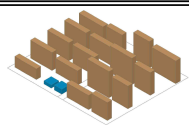
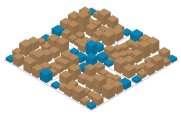
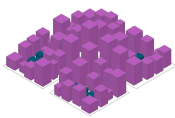
업무단지의 지열시스템 적용가능성은 총 534개의 지중열교환기가 설치가능한 것으로 나타났으며, 단위건물의 규모가 크기 때문에 건물평균 8개가 설치가능한 것으로 나타났다. 업무단지의 경우, 고층고밀의 특성을 갖기 때문에 시스템의 설치면적 비율이 36%로 낮게 산출되었으나, 건물의 대지면적이 넓어 개별건물에 대한 시스템의 활용가능성이 복합단지에 비해 높은 것으로 분석되었다.

본 절의 지열에너지 잠재성 평가방법은 도시환경에서 시스템의 설치가능성을 예비분석단계에서 정량적으로 판단하기 위함으로, 추후 시스템 분배 및 용량 결정의 평가지표로 활용할 수 있다.

4.5 소결

본 장에서는 도시 특성에 따른 신재생에너지시스템 복합 적용안을 도출하기 위한 예비분석단계로, 실제도시 특성을 반영한 도시 유형 분류 및 기준모델 설정, 그리고 도시유형별 에너지 수요 분석 및 신재생에너지 잠재성 평가를 통하여 도시차원의 신재생에너지시스템의 적용가능성을 분석하였다. 도시특성에 따른 신재생에너지의 적용가능성 분석 결과는 <표 4.37>과 같으며, 이와 같은 시스템의 정량적 분석을 통해 도시특성에 따른 각 시스템의 활용성을 평가할 수 있었다.

<표 4.37> 도시 특성에 따른 신재생에너지 적용가능성 평가 결과

		저층 주거단지	고층 집합주거단지	복합단지	업무단지
도시유형					
도시 특성	건물용도	주거	주거	주거+상업	업무+상업
	밀도 (건폐율)	저층저밀 (44%)	고층저밀 (20%)	저층고밀 (58%)	고층고밀 (50%)
	요철도	1.9	8.5	4.3	16.0
에너지 수요 특성	열에너지	70%	66%	61%	27%
	전력	30%	34%	39%	73%
신재생 에너지 잠재성	태양광	70%	54%	42%	30%
	태양열	80%	78%	76%	66%
	풍력	0%	47%	5%	19%
	지열	329개소	786개소	126개소	534개소

* 태양광 및 태양열, 풍력의 경우 구성건물의 전체외피면적대비 시스템 설치가능면적의 비율임.
* 태양광 및 태양열, 풍력의 잠재성은 중복설치 고려를 배제한 시스템 개별평가 결과임.

저층 주거단지는 저층저밀의 도시 형태적 특성을 갖으며, 에너지 소비비율이 7:3으로 열에너지의 소비가 상대적으로 매우 우세하다. 단지의 에너지소비 특성과 잠재성평가 결과를 고려했을 때, 활용성이 높은 태양열시스템과 지열시스템을 우선적으로 적용하는 것이 에너지 효율측면에서 효과적일 것으로 판단된다.

고층 집합주거단지는 고층저밀의 아파트단지를 대표하는 유형으로 구성건물의 층수가 모두 높고 개별건물의 규모가 큰 도시특성을 갖으며, 열에너지 소비가 우세한 에너지 수요 특성을 갖는다. 고층 집합주거단지의 경우, 적용

성이 높은 태양열시스템과 지열시스템을 우선적으로 배치하되 전력수요를 고려하여 활용가능성이 높은 풍력발전 시스템의 적용을 함께 고려해야 한다.

복합단지는 밀도가 매우 높은 저층고밀의 형태적 특성을 나타내며, 열에너지와 전력의 소비비율이 6:4의 에너지 수요 특성을 갖는다. 신재생에너지시스템 적용 시, 안정적인 태양에너지를 획득할 수 있는 옥상면에 태양열시스템을 우선 배치하고, 건물 상층부에 태양광발전시스템을 설치하여 전체적인 에너지 생산량과 수요량의 균형을 유지하도록 해야 한다. 또한 지열시스템을 활용하여 주거건물의 열에너지 수요에 안정적인 에너지 공급이 가능하도록 하며, 상업건물의 경우 태양광발전 시스템과 풍력발전 시스템을 우선 활용하는 것이 바람직하다.

업무단지는 도심지에 위치한 고층고밀의 유형으로서 건물 규모 편차가 큰 도시 형태적 특성을 나타내며, 전력의 소비비율이 매우 우세한 에너지 소비 특성을 갖는다. 업무단지의 경우, 전력 수요를 고려하여 건물 입면에 태양광발전 시스템을 적용하고 활용가능성이 높은 최고층수 건물에 풍력발전시스템을 우선적으로 배치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

본 연구의 신재생에너지 잠재성 평가방법은 도시 유형별 적용가능성을 비교 평가함으로써 도시 특성에 따른 신재생에너지의 활용가능성을 판단하고, 시스템의 우선순위를 결정하는데 활용할 수 있다. 또한 도시 규모의 정량적 평가는 시스템의 적용 위치 및 적용 방법, 그리고 시스템의 조합 등을 결정하는데 활용할 수 있다.

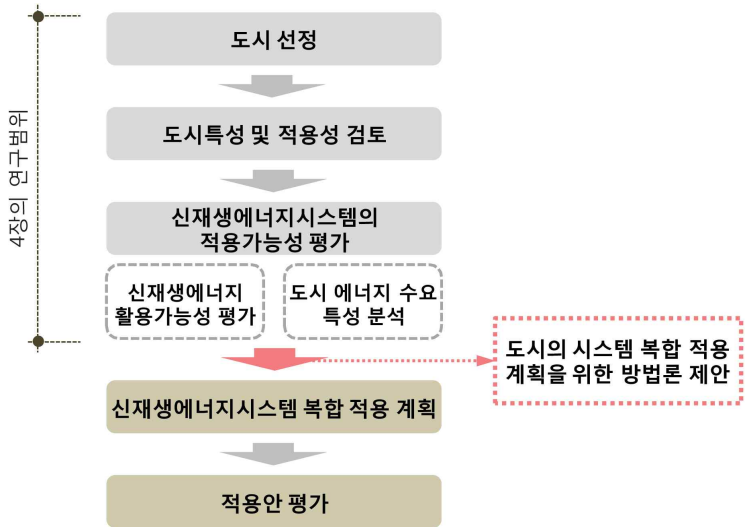
제 5 장 도시 특성에 따른 신재생에너지시스템 복합 적용안 제시

5.1 도시의 신재생에너지시스템 적용 계획을 위한 방법 제안

4.1절의 복합 적용 프로세스에서 「계획단계」는 신재생에너지 활용가능성 평가와 도시 에너지 수요 특성 분석을 토대로 시스템의 배치 및 용량을 결정하는 단계이다. 이 때, 도시차원의 시스템 적용은 단순한 시스템 용량 산출에 그치는 것이 아니라, 적용가능한 시스템의 규모 및 조합에 따라 어디에 시스템을 배치하고, 어떻게 각 시스템을 공급할 것인가에 대한 계획이 중요하다.

기존의 단순 에너지 소비량 및 시스템 생산량 산출 방식을 통한 적용 계획은 도시 단위의 시스템 분배 및 에너지 공급을 고려하지 않기 때문에 시스템을 활용하는데 있어 개별단위로 제한될 수밖에 없다. 도시차원에서 시스템을 분배하기 위해서는 에너지 수요의 밀도와 신재생에너지 잠재량의 밀도를 비교·분석하여 시스템의 적정 위치를 판단하는 것이 필요하다.

따라서 시스템의 효율적인 적용 계획을 위하여 「적용가능성 분석단계」에서의 신재생에너지 잠재성 평가결과와 에너지 수요 분석결과를 효과적으로 활용하여 적용안을 도출할 수 있는 방법이 필요하다. 이에 본 장에서는 적용가능성 평가 결과를 토대로 도시의 신재생에너지시스템 적용 계획을 수립하기 위한 접근 방법을 제안하고, 이를 활용하여 도시 특성에 따른 복합 적용 계획안을 제시하고자 한다.



(그림 5.1) 시스템 적용 계획 방법론의 활용

5.1.1 도시의 신재생에너지시스템 적용을 위한 기존의 접근방법

도시의 신재생에너지시스템 적용 계획 방법을 정립하고자, 도시규모의 신재생에너지 적용을 위한 기존연구의 방법론을 고찰하였다. 신재생에너지의 잠재성을 단순 평가하는 단계에서 현재는 신재생에너지를 도시에서 활용하기 위한 GIS 기반의 지원지도 구축과 시스템 복합 방법론을 중심으로 연구가 이루어지고 있다.

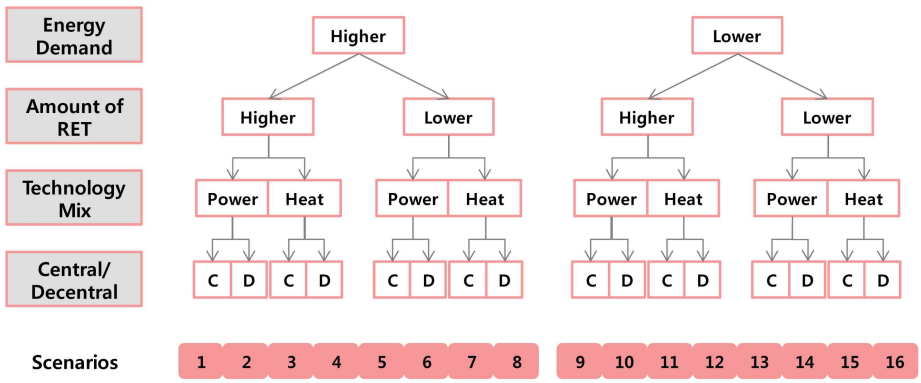
도시의 PV 시스템 잠재성을 지도화한 J. Hofierka의 연구[71]에서는 GIS를 기반으로 3D 도시모델을 만든 후 r.sun model 프로그램을 사용하여 일사량을 평가·지도화하며, 최종적으로 PVGIS를 통해 PV의 전기생산량을 에측한다. r.sun model은 GRASS GIS(Geographic Resources Analysis Support System)을 기반으로 하며, 이것은 지도상에 일사량을 컴퓨터를 통해 정보화한 것으로 사용자 지정 시간대의 일일 총 일사량을 확인할 수 있다. 실제 도시의 지리적 특성과 건물형태 등을 반영하여 PV 전기 생산량을 예측함으로써 태양에너지 잠재성을 나타내었다.

Reinhard Madlener[72]의 연구에서는 도시의 신재생에너지 적용 시나리오

71) Jaroalv Jofierka, Jan Kanuk, Assessment of Photovoltaic Potential in Urban Areas Using Open-source Solar Radiation Tools, Renewable Energy, 2009

72) Reinhard Madlener, Katharina Kowalski, Sigrid Stagl, New ways for the Integrated

를 도출하기 위하여 에너지 수요량(total energy demand), 시스템 설치용량(installed capacity of renewable energy technologies), 생산에너지 형태(technology mix: electricity vs. heat generating technologies), 에너지 공급 시스템(centralised vs. decentralised technology options) 등의 네 가지 parameter를 설정하여 (그림 5.2)와 같은 방법으로 시나리오를 수립한다. 신재생에너지시스템의 용량은 경제·사회적 조건을 반영하여 2020년까지의 변화량을 산출하며, 시스템의 복합 요소에서는 열과 전기로 구분하여 기술별 다양한 조합을 도출하고 조합별 에너지 분담율을 분석한다. 최종단계에서는 에너지 공급시스템의 분산화 정도를 결정하며, 시스템의 에너지 생산량이 100kW 미만일 때를 분산형, 그 이상일 때를 중앙집중형으로 에너지 공급 방식을 결정한다.



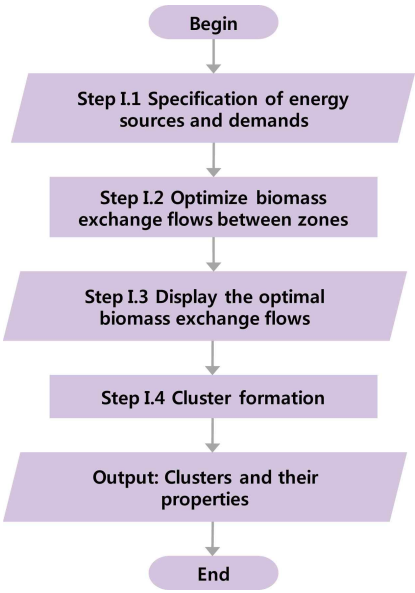
(그림 5.2) Reinhard Madlener 연구의 신재생에너지 시나리오 도출 방법

Hon Loong Lam의 연구[73]는 Regional Energy Clustering(REC)과 Regional resources Management Composite curve(RMC)의 두 가지 방법을 사용하여 지역적 에너지 공급 및 이용에 관한 방법론을 제안하였다. REC는 신재생에너지원과 에너지 수요 특성을 바탕으로 지역을 zone으로 분할하고, 여러 개의 zone을 하나의 클러스터로 결합하여 신재생에너지의 흐름을 최적화하기 위한 것으로 분석방법은 (그림 5.3)과 같다. 즉, REC는 구획된 zone에 대하여 에너지 공급의 과잉 및 부족을 분석하여 에너지 공급의

Appraisal of National Energy Scenarios: The Case of Renewable Energy Use in Austria, Energy Policy, Vol. 35, 2007

73) Hon Loong Lam, Petar Sabev Varbanov, Jiri Jaromir Klemes, Regional Renewable Energy and Resource Planning, Applied Energy, 2010

불균형을 최소화할 수 있도록 zone 사이의 에너지 공급망을 형성하기 위한 것이다. RMC는 시스템의 대지이용과 에너지의 생산 및 수요 사이의 관계를 그래프로 나타낸 것으로, REC에서 형성된 클러스터에 대한 평가기준이 된다. RMC는 대지의 에너지 사용률(energy land use rate)로 계산되며, 이는 zone의 면적을 (공급에너지-수요에너지)로 나눈 값이다. 이 연구는 바이오매스에 한정하여, 지역차원에서 효율적으로 에너지를 공급하고 대지를 이용할 수 있는 방안에 대하여 모색하였다.



(그림 5.3) REC 분석 알고리즘

Vettorato Daniele의 연구[74]에서는 지역적 차원에서 신재생에너지의 잠재성과 건물 에너지 수요를 공간적으로 비교하는 방법론을 제시하고 있다. 신재생에너지 잠재성의 공간적 분포를 지도화하는 방법을 사용하였으며, 특히 태양에너지의 경우 대지 형태와 도시환경에 의한 음영조건을 반영하여, 건물 옥상면에 설치가능한 잠재성을 분석하여 지역의 일사량 분포를 제시하였다. 지열에너지의 경우, 지열시스템의 잠재성과 대상지의 지하수원의 위치를 함께 나타냄으로써 실제 적용가능성의 밀도를 공간적으로 제시하였다. 에너지 수요는 Geocode[75]를 이용하여 주거, 상업, 산업 등의 건물 용도별 열과 전

74) Vettorato Daniele, Zambelli Pietro, Estimation of Energy Sustainability at Local Scale, 45th ISOCARP Congress, 2009

75) Geocode: 주소정보를 수집하여 DB화해 이를 위경도 좌표 값으로 변환해주는 것.

기에너지 소비의 공간적 밀도를 나타내었다. 또한 신재생에너지의 잠재성과 에너지 수요의 공간적 일치와 경제성 평가, 정책·환경적 영향, 그리고 기술적 완성도 등의 시나리오 평가를 위한 다기준(multi-criteria)을 제시하였다.

도시규모의 신재생에너지시스템 적용을 위한 기존연구는 에너지 생산량과 수요량을 기준으로 시스템의 에너지 분담률 및 에너지 공급 측면의 적용방안을 도출하기 위한 다양한 방법론을 제시하고 있다. 이러한 거시적 접근의 시스템 활용계획은 효율적인 시스템의 분배와 에너지 공급을 위하여 신재생에너지의 잠재성과 에너지 수요를 공간적으로 비교·분석하는 것이 요구된다.

<표 5.1> 도시의 신재생에너지시스템 적용을 위한 기존연구 방법

	J. Hofierka	R. Madlener	H. Loong Lam	V. Daniele
분석 시스템	PV	태양열, 바이오매스, 풍력	바이오매스	PV, 태양열, 바이오매스, 지열
접근 방법	3-D city model	Scenarios	REC, RMC	Mapping
평가기준	일사량	에너지수요, 시스템 용량, 에너지공급시스템	대지의 에너지 이용율	수요-공급의 공간적 일치, 경제성, 환경성, 기술성
분석규모	regional level	national level	regional level	regional level

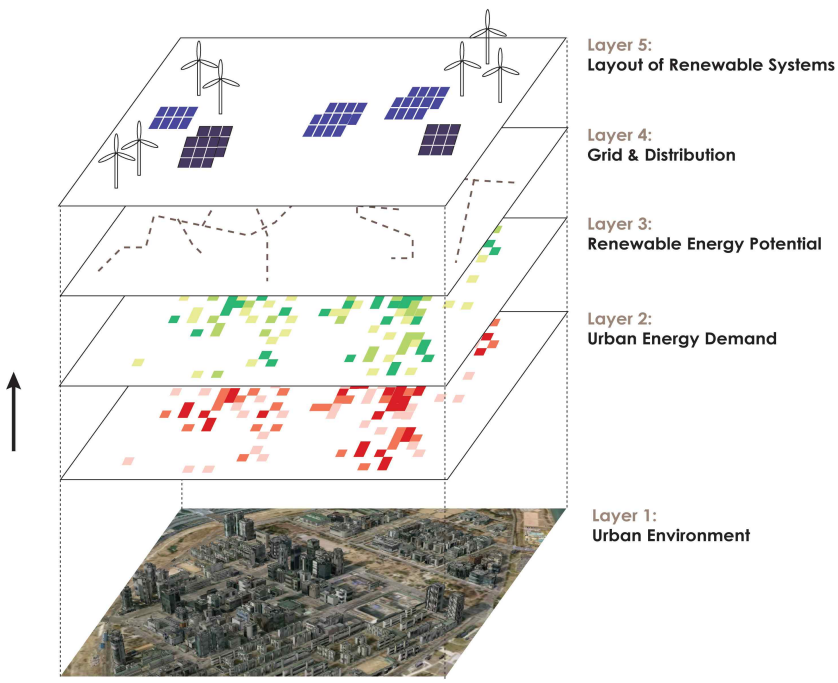
5.1.2 도시의 신재생에너지시스템 적용 계획을 위한 방법 제안

도시의 신재생에너지 이용의 효율성은 도시 특성(규모, 형태, 건물용도)에 의해 실제 건물에서의 이용가능성이 크게 달라진다. 따라서 도시의 신재생에너지원의 잠재성을 예측하고, 그것을 최대한 활용할 수 있는 방안을 수립하는 것이 매우 중요하다. 시스템의 실제적인 활용가능성을 분석하고, 도시 특성을 반영한 시스템의 배치 및 공급 계획을 위해서는 거시적 차원의 공간적 분석이 이루어져야 한다.

따라서 본 연구는 복합 적용 프로세스의 「계획단계」에서 효과적인 신재생에너지 적용 계획 수립을 위하여 공간적 분석(spatial planning approach)의 Map Overlay 방법을 제안하고자 한다. Map Overlay 방법은 (그림 5.4)와 같이 ①도시의 지리적·물리적 환경 ②에너지 수요 ③신재생에너지 잠재량 ④에너지 공급 방식 ⑤시스템 배치 등의 map을 작성하여 시나리오를 작성하는 것으로, 에너지 수요와 신재생에너지 잠재성의 공간적 일치성을 판단함으로써 실제 효율적으로 활용할 수 있는 정도를 평가하는 것이다.

에너지 수요의 발생 정도(density)와 신재생에너지를 활용할 수 있는 정도는 공간적으로 서로 다르게 나타날 수 있기 때문에, 대상지의 정량적인 에너지 수요량과 신재생에너지 잠재량을 mapping하여 공간적으로 비교(overlay)함으로써, 도시 차원에서 시스템의 적합한 설치위치 및 분배를 결정 할 수 있다. 에너지 수요량과 시스템 잠재량에 대한 밀도는 도시·지역적 차원의 에너지 공급 시스템을 결정하는데 활용되며, 에너지 공급망이 형성되면 최종적으로 시스템의 배치가 결정된다.

이러한 공간적 접근 방식은 시스템의 적용 우선순위 결정 및 에너지 공급 목표, 시스템 분배를 결정하는데 평가지표로 활용할 수 있다. 또한, 이러한 거시적 차원의 접근은 도시의 효율적인 에너지 수요 및 공급관리 계획 수립을 위한 기초자료로 활용할 수 있으며, 초기 도시계획단계에서 신재생에너지 이용가능성 검토와 적합한 시스템 유형 및 용량 결정의 정량적 지표가 될 수 있다. 그러므로 이를 활용하여 도시 에너지 수요량과 신재생에너지 잠재량을 정보화함으로써, 에너지 공급의 불균형을 최소화하여 안정적인 에너지공급 측면의 시스템 배치가 이루어지도록 해야 한다.



(그림 5.4) Map overlay for spatial planning

5.2 도시 유형별 신재생에너지시스템 복합 적용 계획

5.2.1 도시 유형별 적용안 도출을 위한 방법론의 활용

도시 유형별 신재생에너지의 복합 적용 계획을 수립하기 위하여, 4장의 적용가능성 평가단계에서 분석된 에너지 수요 특성 및 잠재성 평가 결과를 토대로 5.1.2에서 제시한 방법을 활용하여 적용안을 도출하였다.

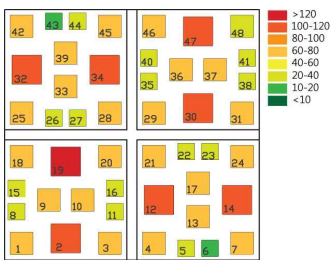
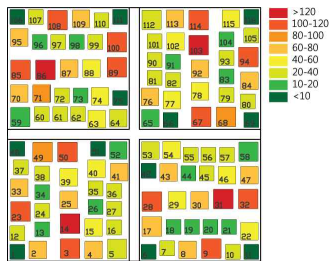
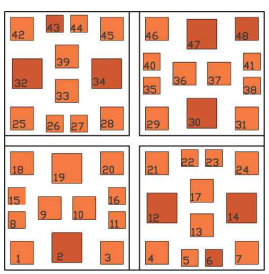
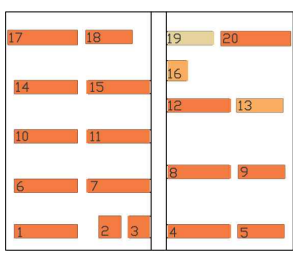
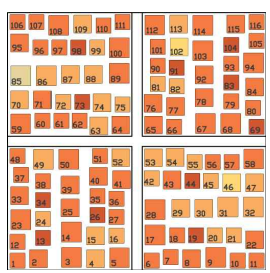
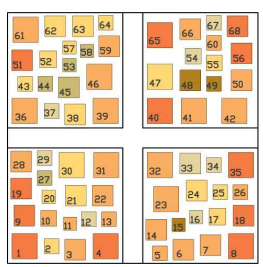
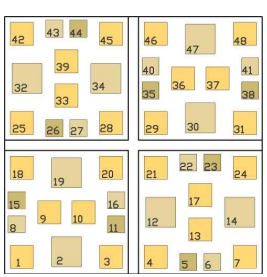
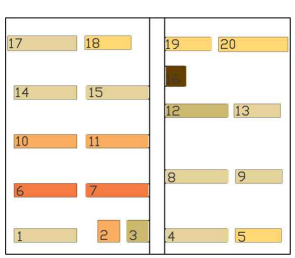
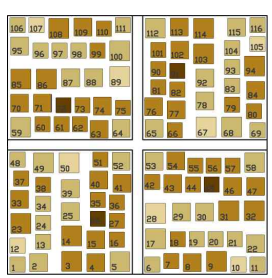
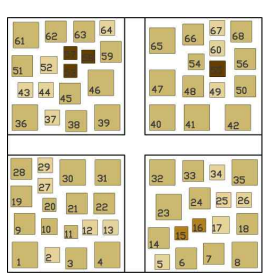
이를 위하여 도시 유형별 구성건물의 에너지 수요량 및 태양에너지, 풍력에너지, 지열에너지의 잠재량을 각각 mapping하여 <표 5.2~5.3>과 같이 나타내었다. 본 연구에서는 에너지 수요 및 공급 형태를 열과 전기에너지로 구분하여 에너지 소비량 및 시스템 잠재성 분포를 제시하였으며, 구성건물 간의 상대적인 적용가능성과 공간적 비교를 통해 시스템의 적용 위치 및 우선순위를 결정하였다.

에너지 수요량은 4.3절의 분석결과를 토대로 각 개별건물의 열과 전기에너지의 총 소비량을 등급화하여 나타내었다. 신재생에너지원별 잠재성은 4.4절의 분석결과를 토대로 각 개별건물의 시스템 설치가능 면적의 비율로 나타내었다. 보다 정확한 시스템 간의 비교를 위해서는 각 시스템의 생산량 산출을 통한 분석이 필요하지만, 본 연구에서는 초기계획단계의 적용가능성을 판단하고자 시스템의 이용가능율로서 나타내었으며, 신재생에너지시스템별 이용가능율은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 이러한 시스템별 이용가능율은 대상도시의 신재생에너지시스템별 적용가능성을 나타내는 지표임과 동시에 적용목표 설정의 근거가 된다.

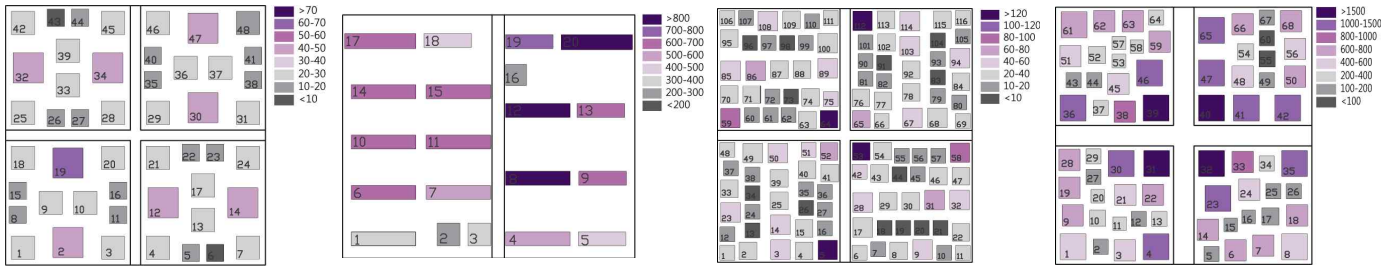
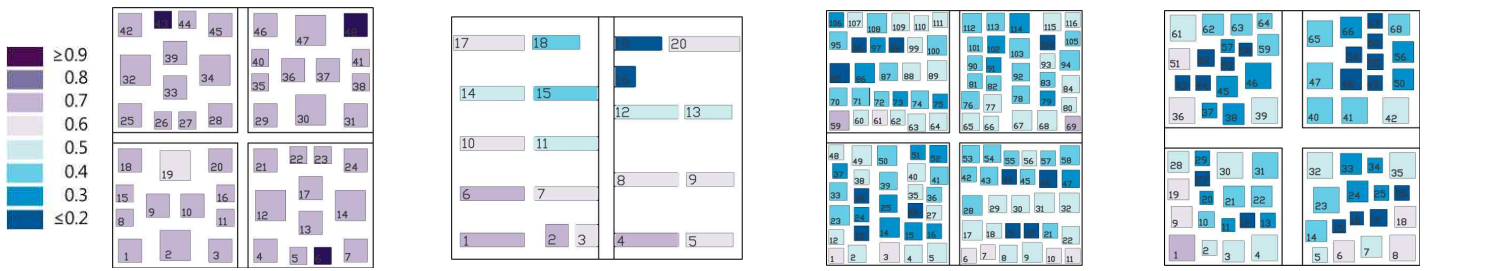
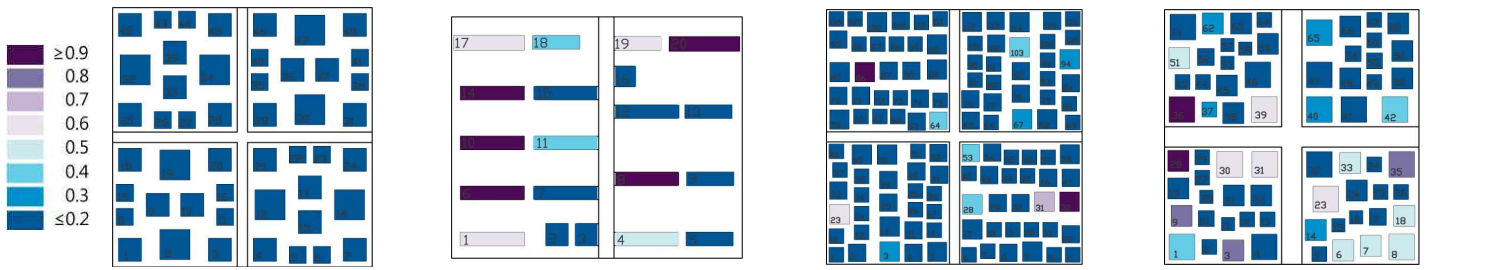
- 태양광발전 시스템의 이용가능율: Photovoltaic system Availability Factor[PAF]
- 태양열시스템의 이용가능율: Solar thermal system Availability Factor[SAF]
- 풍력발전 시스템의 이용가능율: Wind system Availability Factor[WAF]
- 지열시스템의 이용가능율: Geothermal system Availability Factor[GAF]

각 시스템별 이용가능율은 시스템의 최대에너지 생산의 가능성을 의미하며, 개별 시스템의 이용가능율을 나타낸 것이다. 예를 들어 태양광발전 시스템의 이용가능율 0.5와 풍력발전 시스템의 이용가능율 0.5는 서로 같은 양의 에너지를 생산한다고 볼 수 없는 것이다.

<표 5.2> Map of Heat Energy

map	저층주거단지	고층 집합주거단지	복합단지	업무단지
Heat Energy Demand [Gal]				
SAF				
GAF				

<표 5.3> Map of Electricity Energy

map	저층주거단지	고층 집합주거단지	복합단지	업무단지
Electricity Energy Demand [Gal]				
PAF				
WAF				

도시 유형별 map overly를 실시한 결과, 대부분의 건물이 에너지 수요와 시스템 이용가능율 간의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 예를 들어, 고층 집합주거단지의 경우, 2번 건물의 열에너지 수요는 매우 낮지만 지열시스템의 이용가능율이 높은 것으로 나타났으며, 저층 주거단지의 경우 6번과 43번 건물의 전기 에너지 수요는 낮으나 태양광발전 시스템의 이용가능율이 가장 높은 것으로 나타났다.

이와 같이 에너지 수요와 시스템의 이용가능율이 공간적으로 일치하지 않을 경우, 즉 에너지 소비량은 낮으나 이용가능율이 높을 때 시스템을 모두 설치할 경우 에너지 공급의 과잉이 발생할 수 있으며, 반대로 에너지 소비량이 높으나 이용가능율이 낮은 경우에는 에너지 공급이 부족할 수 있다. 그러므로 시스템의 생산에너지 이용의 효율성과 시스템의 설치를 최적화하기 위해서는 단지차원에서 에너지를 상호보완할 수 있는 시스템 배치를 고려해야 한다. 예를 들어, 업무단지의 경우 전기에너지 수요와 시스템의 이용가능율을 비교했을 때, 1번 건물은 적용성이 높은 태양광발전 시스템을 우선 설치하고, 30번과 31번 건물은 풍력발전 시스템을 우선 설치하는 것이 바람직하다.

5.2.2 도시 유형별 신재생에너지시스템 복합 적용안 제시

본 절에서는 신재생에너지시스템 적용가능성 평가와 map overlay 분석 결과를 토대로 단지의 시스템 배치 계획을 제안하고자 한다. 지열시스템을 제외한 나머지 시스템들은 건축물에 적용하기 때문에 시스템 설치 위치가 중복될 수 있으므로 에너지 소비특성을 고려한 시스템 배치가 이루어져야 한다. 열에너지의 경우 지열시스템은 연중 안정적인 에너지 생산이 가능하지만 태양열시스템은 주간에만 생산이 가능하고, 전기에너지의 경우 태양광발전 시스템은 주간에만 생산 가능하지만 풍력에너지 시스템은 야간에도 생산이 가능하다. 이러한 각 시스템의 에너지 상호보완성을 고려했을 때, 한 가지 시스템을 집중 설치하는 것보다 복합적으로 적용하는 것이 에너지 공급에 안정적이라 할 수 있으므로 이를 고려하여 시스템 배치를 계획하였다.

(1) 저층 주거단지

저층 주거단지는 열에너지의 소비비율이 69.5%로 열에너지 사용량의 저감이 우선시 되어야 하므로 열에너지 생산 시스템인 태양열시스템과 지열시스템을 우선 적용해야 한다. 따라서 적용가능성이 매우 낮은 풍력발전 시스템

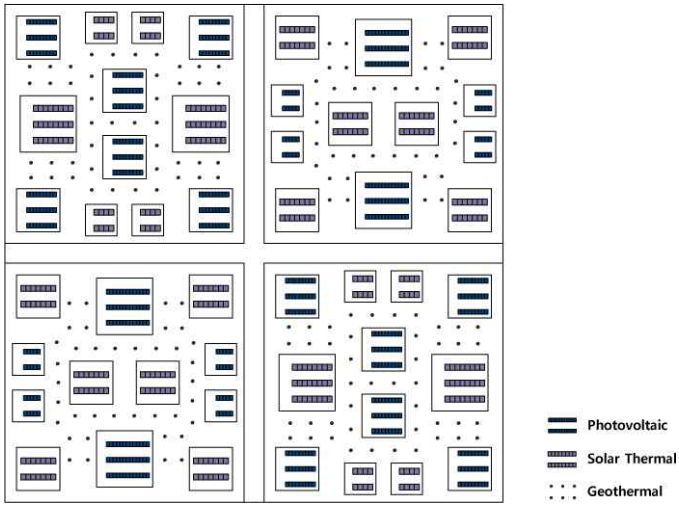
을 제외한 태양광, 태양열, 지열시스템을 선정하여 시스템 배치를 계획하였다. 저층 주거단지는 건축밀도가 낮고 연면적이 작으며, 신재생에너지 잠재성 평가결과 풍력발전시스템을 제외한 모든 시스템의 활용가능성이 매우 높은 것으로 나타났기 때문에 에너지 부하분담율이 크게 산출될 것으로 판단된다. 특히, 지열시스템의 경우 활용가능성이 매우 높기 때문에 태양열시스템과 함께 최대로 적용할 경우, 에너지의 과잉 공급의 우려가 있다. 그러므로 지열시스템을 주 에너지원으로 적용하되, 태양열시스템을 피크부하에 활용하는 것이 바람직하다. 지열 시스템은 구성건물 모두 설치가능성이 높기 때문에, 시스템 이용가능율이 0.6 이상 해당되는 건물에 설치하는 것으로 설정하여 단지 내 공지면적을 활용하는 것으로 계획하였다.

저층 주거단지는 입면의 활용가능성이 도시 유형 중 가장 높게 산출되었지만 실제 층수 분포가 낮아 음영에 의한 영향을 받을 위험이 있으며, 적용가능면적이 개별건물에 분산되어 있으므로 입면의 적용을 제외하는 것으로 하였다. 이에 따라 전기에너지를 생산하는 태양광발전 시스템의 적용가능 부분은 옥상면으로 한정되므로 이를 반영하여 옥상면의 50%를 태양광발전 시스템을 적용하였고, 나머지 면적을 태양열 시스템을 적용하는 것으로 설정하였다. 열에너지를 생산하는 지열시스템의 적용성이 높고, 태양열시스템은 피크부하를 담당하는 것으로 계획하였으므로 옥상면에 태양광발전 시스템과 태양열시스템을 함께 적용하는 것이 바람직하다고 판단하였다. 실제 옥상면의 적용은 옥상 구조물 등에 의해 제한적이므로 이를 고려하기 위해 4.2절의 샘플 도시 조사결과를 참고하여 옥상면적의 85%[76]에 적용하는 것으로 설정하였다. 3.3.1절에서 제시한 태양광 및 태양열 시스템의 이격거리 산출방식을 참고하여 대표시스템의 규격을 적용했을 때의 최소이격거리인 4.7m, 4.8m를 적용하였으며, 발전효율이 좋은 독립형으로 설치하였다. 저층 주거단지의 시스템별 계획안은 다음 <표 5.4>와 같으며, 배치안은 (그림 5.5)와 같다.

<표 5.4> 저층 주거단지의 시스템별 설치 규모

	태양광발전 시스템	태양열 시스템	지열 시스템
적용 위치	옥상면	옥상면	-
최대 적용안 면적(㎡)	7,664	7,664	9,574
총 설치 대수	560	328	48
총 설치면적(㎡)	896	1,230	1,728

76) 총 205개의 단독주택을 조사한 결과, 옥상면의 구조물을 제외한 실제활용가능면적은 평균 85.2%인 것으로 분석되었다.



(그림 5.5) 저층 주거단지의 시스템 배치

(2) 고층 집합주거단지

고층 집합주거단지는 저층 주거단지와 마찬가지로 구성건물의 용도가 주거건물이 대부분이기 때문에 열에너지의 사용비율이 65.9%로 큰 부하특성을 갖는다. 따라서 열에너지 공급 시스템인 태양열시스템과 지열시스템 위주의 적용 계획이 필요하다. 태양열시스템의 경우, 옥상면의 활용가능성이 100%이지만 공동주택은 건축면적이 작기 때문에 실제 설치면적은 단지의 열에너지 수요에 비해 매우 적다. 반면에, 단지의 공지면적이 크기 때문에 지열시스템의 활용가능성이 매우 크고 연중 일정한 에너지 생산이 가능하므로, 지열시스템을 주 에너지원으로 하고 태양열시스템을 피크부하에 활용하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 또한 풍력에너지의 이용가능율[WAF]은 일부 건물에 집중되어 있으므로 이를 반영하여 옥상면은 풍력발전 시스템과 태양열 시스템을 함께 적용하는 것으로 설정하였다. 태양열 시스템은 45° 각도로 발전효율이 좋은 독립형으로 배치하였으며, 풍력발전 시스템의 이격거리는 엇배치 시의 최소 이격거리인 5RD(종렬)와 3RD(횡렬)[77]를 적용하여 배치하였다. 지열시스템은 건물바닥면적을 제외한 인동간격에 해당하는 면적에 적용하는 것으로 설정하였다. 실제 옥상면의 적용은 옥상 구조물 등에 의해 제한적이므로, 이를 고려하기 위해 4.2절의 샘플도시 조사결과를 참고하여 옥상

77) 강소연, op. cit, 2002.06, pp.61~62

면적의 86[78]%에 적용하는 것으로 설정하였다.

고층 집합주거단지는 입면적이 넓기 때문에, 이를 활용하여 최대적용가능한 면적을 기준으로 태양광발전 시스템을 적용하는 것으로 설정하였다. 하지만 공동주택의 입면 적용 시, 전면발코니와 창면적비를 고려해야 한다. 본 연구에서는 실제 문헌조사를 통해 설정한 기존연구의 표준모델을 참고하여 전면 창면적비를 80%[79]로 가정하여, 창면적을 제외한 입면 20%에 시스템을 부착하는 것으로 설정하였다. 또한 창면적의 20%에 해당하는 창호 상부에 BIPV를 설치하여 건물과 일체화될 수 있는 적용계획을 설정하였다.

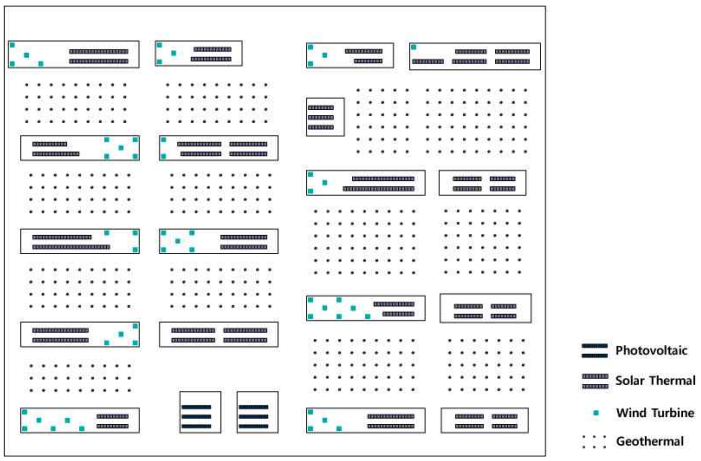
상가건물의 경우, 공동주택과 달리 전기에너지의 소비비율이 높으므로 옥상면에 태양광발전 시스템을 계획하였고, 16번 건물의 경우 잠재성 평가결과 태양광발전 시스템의 옥상면 활용가능성이 0%이므로 100%로 산출된 태양열시스템을 적용하는 것으로 계획하였다. 또한 주변건물이 고층인 반면에 상가건물은 층수가 낮아 음영에 의한 영향을 받을 수 있으므로 입면에 적용은 제외하였다. 고층 집합주거단지의 시스템별 계획안은 다음 <표 5.5>와 같으며, 배치안은 (그림 5.6)과 같다.

<표 5.5> 고층 집합주거단지의 시스템별 설치 규모

	태양광발전 시스템				태양열 시스템	풍력발전 시스템	지열 시스템
적용 위치	입면			옥상면	옥상면	옥상면	–
	남	동	서				
최대 적용안 면적(㎡)	34,574	1,137	1,989	11,974	12,316	5,831	30,700
창호 BIPV 설치면적	5,532	–	–	–	–	–	–
창면적 제외 PV 설치면적	6,915	–	–	–	–	–	–
총 설치 대수	–	–	–	84	613	50	520
총 설치면적(㎡)	12,447	1,137	1,989	134	2,299	–	18,720

78) 총 85개의 공동주택을 조사한 결과, 옥상면의 구조물을 제외한 실제활용가능면적은 평균 86.3%인 것으로 분석되었다.

79) 이종식, op. cit, 2008.12, pp.59



(그림 5.6) 고층 집합주거단지의 시스템 배치

(3) 복합단지

복합단지는 열에너지와 전기에너지의 소비비율이 각각 61.4%, 34.1%로 열에너지의 소비비율이 높으나, <표 5.3~5.4>에서 볼 수 있듯이 건물의 용도가 주거와 상업으로 복합되어 있어 열에너지와 전기에너지의 소비 분포가 다르게 나타나는 특징을 가진다. 복합단지의 각 시스템의 활용가능성은 도시유형 중 가장 낮게 산출되었으며, 구성건물의 수를 고려했을 때 에너지 소비량에 비해 매우 적은 에너지 분담율을 보일 수 있다. 따라서 네 가지 시스템을 모두 최대로 적용하는 것으로 설정하여 시스템 배치를 계획하였다.

옥상면의 경우, 시스템의 설치 위치가 중복되므로 각 시스템의 이용가능율을 고려하여 시스템을 분배하였다. 풍력발전 시스템은 적용가능면적이 일부 건물에 집중되어 있으므로 풍력발전 시스템의 이용가능율[WAF]이 상대적으로 높은 건물의 옥상면에 설치하는 것으로 설정하였으며, 태양광발전 시스템과 함께 적용하는 것으로 계획하였다. 상업건물은 전기에너지의 소비비율이 매우 높으므로 상업건물 옥상면에는 독립형 태양광발전 시스템을 배치하였다. 태양열시스템의 경우, 옥상면의 활용가능성이 98.3%로 적용가능성이 높으므로 풍력발전+태양광발전 시스템을 설치한 일부 건물과 상업건물을 제외한 주거건물 옥상면에 독립형 시스템을 배치하는 것으로 계획하였다. 그러나 잠재성 평가결과는 옥상면의 최대 설치가능면적을 기준으로 산출되었으므로 실제 옥상면의 활용가능면적을 고려하기 위하여, 4.2절의 샘플도시 조사결과

의 옥상구조물을 제외한 활용가능면적 비율을 참고하여 옥상면적의 85[80]%에 적용하는 것으로 설정하였다.

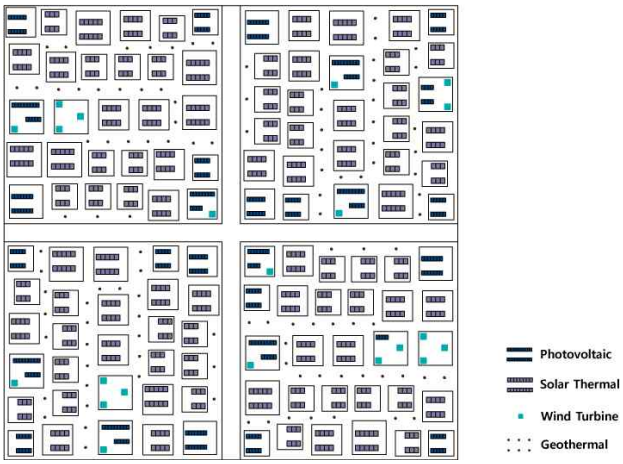
입면의 경우, 태양광발전 시스템의 최대 적용가능면적이 11,042㎡으로 산출되었으나 적용가능면적이 개별건물에 분산되어 있고, 구성건물 간의 편차가 크기 때문에 실제 시스템을 설치할 수 있는 면적이 제한적이다. 따라서 시스템의 이용효율성을 고려하여 태양광발전 시스템의 이용가능율[PAF]이 0.5 이상인 건물의 입면에만 태양광발전 시스템을 부착하는 것으로 설정하였다.

지열 시스템의 경우 최대 설치가능 면적이 4,570㎡로 산출되었으나, 건폐율이 높고 건물 간의 이격거리가 작기 때문에 실제 시스템 설치에 제약이 클 것으로 판단되어, 지열 시스템 이용가능율[GAF] 0.4 이상 해당되는 건물에 적용하는 것으로 설정하였다. 또한, 단지의 열에너지 소비 분포가 매우 다양하므로 각 구성건물의 열에너지 소비율에 따라 건물별 지중열교환기 설치 개수를 달리 하였다. 따라서 총 2,952㎡ 면적의 82개의 지중열교환기를 설치하는 것으로 하였으며, 한정된 부지면적을 고려하여 수직형 폐회로 시스템을 100m 깊이로 설치하는 것으로 계획하였다. 복합단지의 시스템별 설치 규모는 <표 5.6>과 같으며, 단지의 시스템 배치는 (그림 5.7)과 같다.

<표 5.6> 복합단지의 시스템별 설치 규모

	태양광발전 시스템				태양열 시스템	풍력발전 시스템	지열 시스템
적용 위치	입면			옥상면	옥상면	옥상면	–
	남	동	서				
최대 적용안 면적(㎡)	5,806	2,302	2,934	9,669	10,425	567	4,570
총 설치 대수	–	–	–	236	418	21	82
총 설치면적(㎡)	1,884	533	764	378	1,568	–	2,952

80) 총 510개의 건물을 조사한 결과, 옥상면의 구조물을 제외한 실제활용가능면적은 평균 85.4%인 것으로 분석되었다.



(그림 5.7) 복합단지의 시스템 배치

(4) 업무단지

업무단지는 전기에너지 소비비율이 73.2%로 매우 우세하므로 전기에너지 사용량 저감이 우선시 되어야 한다. 또한 업무단지는 업무건물과 상업건물로 구성되어 있기 때문에 에너지 소비량 자체가 크게 나타나며, 이러한 에너지 소비량에 있어 전력 사용량의 비중이 크므로 시스템 계획 시, 태양광 및 풍력발전 시스템을 우선적으로 적용하는 것이 바람직하다. 그러나 <표 5.3>의 태양광 및 풍력발전 시스템의 이용가능율을 살펴보면, 업무단지의 고밀도 특성으로 인하여 시스템의 활용가능성이 일부건물에 집중된 것을 알 수 있다.

특히, 저층의 상업건물의 경우 주변건물에 의한 음영의 영향을 크게 받아 시스템의 설치가능성이 매우 낮은 것으로 나타났다. 따라서 태양광 및 풍력발전 시스템을 최대설치가능면적을 기준으로 모두 적용하는 것으로 계획하였으며, 옥상구조물의 면적을 고려하기 위해 4.2절의 샘플도시 조사결과를 참고하여 옥상면적의 80[81]%에 적용하는 것으로 설정하였다.

옥상면의 경우, 시스템의 설치위치가 중복되므로 각 시스템의 이용가능율을 고려하여 시스템을 분배하였다. 풍력발전 시스템은 적용가능면적이 건물 옥상면 일부, 특히 가장자리에 위치하므로 실제 시스템을 설치할 수 있는 면적이 제한되어 있다. 따라서 이용가능율이 높은 건물에 풍력발전 시스템을 우선 배치한 뒤, 태양광발전 시스템을 함께 적용하는 것으로 계획하였다.

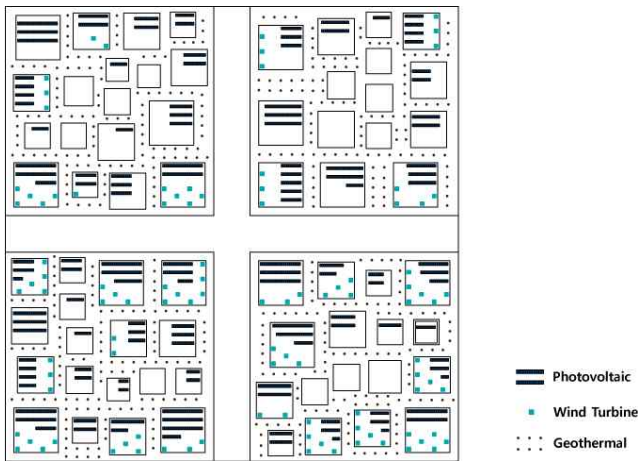
81) 총 218개의 업무 및 상업건물을 조사한 결과, 옥상면의 구조물을 제외한 실제활용가능면적은 평균 80.4%인 것으로 분석되었다.

입면의 경우, 업무건물이 사면에 모두 창이 위치하는 경우가 많고 신축일 경우 커튼월 등의 형식이 많기 때문에 도시 유형 중, BIPV로의 활용가능성이 가장 높다. 따라서 건축물과 일체화를 목표로 건물 입면에 BIPV 시스템을 적용하는 것으로 계획하였다. 지열 시스템의 경우 설치가능면적이 20,142㎡으로 시스템의 활용가능성이 높다. 반면에 태양열 시스템의 경우, 태양광발전 시스템과 설치 위치가 중복되고, 전기에너지를 생산하는 태양광발전 시스템을 우선적으로 배치해야 하므로 실제 시스템의 설치가능성이 낮을 것으로 판단된다. 또한 업무단지의 열에너지 소비비율이 26.8%임을 고려했을 때, 열에너지 공급시스템으로 활용가능성이 높은 지열 시스템을 우선 설치하는 것이 적합하다고 판단되어 태양열 시스템의 설치를 제외하였다. 지열 시스템은 이용가능율이 매우 낮은 일부 건물을 제외한 이용가능율이 0.4 이상의 건물에 적용하여 단지 내 공지면적을 활용하는 것으로 계획하였다.

업무단지의 시스템별 계획안은 다음 <표 5.7>과 같으며, 단지의 시스템 배치는 (그림 5.8)과 같다.

<표 5.7> 업무단지의 시스템별 설치 규모

	태양광발전 시스템				풍력발전 시스템	지열 시스템
적용 위치	입면			옥상면	옥상면	–
	남	동	서			
최대 적용안 면적(㎡)	22,495	8,181	14,456	19,799	4,781	20,142
총 설치 대수	–	–	–	1,771	103	352
총 설치면적(㎡)	22,495	8,181	14,456	2,834	–	12,672



(그림 5.8) 업무단지의 시스템 배치

5.3 도시 유형별 신재생에너지시스템 복합 적용안 평가

5.3.1 복합 적용안 성능 평가 방법

시스템 대안 평가는 각 대안이 설정한 목표에 어느 정도 도달하였는지를 성과지표로 나타내는 것으로, 그 기준으로는 에너지 부하분담율, 디자인 목표의 만족도, CO_2 배출 저감량 등이 있다. 특히, 시스템의 생산 에너지의 분담율 산출은 복합 적용의 효율성을 판단함과 동시에 에너지 공급의 안정성을 확보하기 위한 중요한 평가 항목이 된다. 신재생에너지시스템 계획에 있어 시스템의 투자회수기간 등에 따른 경제성 분석이 함께 고려되어야하지만, 본 연구에서는 시스템의 복합 활용의 가능성을 분석하고자 경제성을 제외한 시스템의 에너지 성능에 중점을 두어 진행하였다.

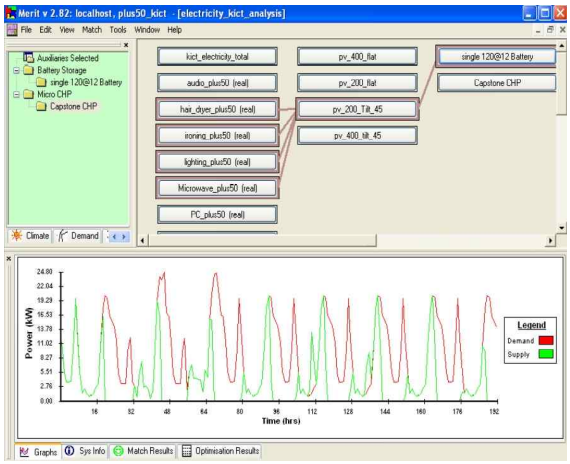
기존의 에너지 성능 분석방법은 신재생에너지시스템으로부터 생산되는 에너지 총량과 건물에서 요구되는 에너지 수요량을 단순 비교하여 평가하였다. 그러나 이러한 단순비교방식은 시간이나 계절에 따라 변하는 수요를 고려하지 않음에 따라 적절한 공급 시스템의 종류와 규모를 설정하는데 어려움이 있다. 또한 최대 부하량만을 기준으로 시스템의 규모를 설정할 경우, 실제 운전시의 시스템으로부터 생산된 에너지가 수요 측에 어느 정도 부합하는지를 판단하는데 한계가 있다.

따라서 효율적으로 시스템의 적용성을 평가하기 위해서는 에너지 수요가 발생하는 시점과 신재생에너지시스템으로부터의 에너지 공급 시점을 비교분석하여 최적의 시스템 설계가 가능하도록 해야 한다.

본 연구에서는 에너지 수요와 공급을 일치시켜 적용성을 평가하기 위해 효과적으로 사용할 수 있는 프로그램인 Merit을 활용하고자 한다. Merit은 스코틀랜드의 Strathclyde 대학 ESRU(Energy Systems Research Unit)에서 개발한 프로그램으로 에너지 수요량과 공급량을 매칭 분석하여 최적의 신재생에너지시스템 조합을 설계할 수 있는 정량적 도구이다. Merit 프로그램은 일정기간 동안 에너지 공급곡선이 수요곡선 패턴을 따라 얼마나 유사하게 증감을 하는지를 판별함으로써 에너지 수요의 패턴경향과 가장 유사한 에너지공급곡선 패턴을 가지는 시스템을 선정·조합할 수 있다.[82] 또한, 에너지 잉여량 및 부족량을 파악함으로써 에너지 저장 및 보조열원시스템을 산정하는데 활용할 수 있다.

---

82) 남현진 외 4, 학교 건물의 신재생에너지 적용을 위한 수요/공급 분석 및 평가에 관한 연구, 설비공학논문집 제 22 권 제 4호, 2010, pp. 198



(그림 5.9) Merit 프로그램의 구성

적용안의 에너지 성능을 분석하기 위한 평가항목은 다음과 같으며, 이를 활용하여 에너지 공급측면에서의 시스템 생산에너지의 효율성을 판단하였다.

- 매칭율 : 신재생에너지시스템의 에너지 생산 시점과 건물의 에너지 수요 발생 시점의 일치 정도
- 수요 대응 공급량 : 신재생에너지시스템에서 에너지가 생산된 시점과 건물의 에너지 수요가 발생한 시점이 일치한 부분의 량으로서 시스템에서 생산된 에너지를 바로 사용가능한 에너지양을 의미함.
- 잉여량 : 에너지 총 생산량에서 실제 수요 대응 공급량을 제외한 량으로서 시스템에서 에너지가 생산되고 있으나 수요가 발생되지 않아서 사용되지 않는 양을 의미함.

5.3.2 도시 유형별 복합 적용안 평가

복합 적용안을 평가하기 위하여 도시 유형별 연간 전기 및 열에너지 수요 프로파일을 작성하였으며, 시스템 적용계획을 토대로 수요/공급 매칭을 분석하였다. 시스템별 사양은 <표 5.8~5.12>와 같다.

<표 5.8> 도시 유형별 적용 시스템

도시유형 \ 적용위치	입면	옥상면	기타
저층 주거단지	–	PV, 태양열	지열
고층 집합주거단지	BIPV	PV, 태양열, 풍력	지열
복합단지	PV	PV, 태양열, 풍력	지열
업무단지	BIPV	PV, 풍력	지열

<표 5.9> 태양광발전 시스템의 설치 사양

옥상면 및 입면 적용 태양광발전 시스템 구성			창호적용 BIPV 시스템 구성	
PV Module	적용 형태	계통연계형	PV Cell	계통연계형
	종류	POLY-SI		POLY-SI
	규격	982×1,636×53.7mm		-
	발전 용량	150Wp		110W/㎡
	적용 각도	30°		90°
	효율	14.9%		13%
	기타 손실	3.0%		3.0%
Inverter	효율	95.5%	Inverter	95.5%
	기타 손실	5.0%		5.0%

<표 5.10> 태양열 시스템의 설치 사양

태양열 시스템		축열조	
종류	유창형	집열면적 당 축열조 용량	60L/㎡
집열기 면적	3.75㎡ (1500㎜×2500㎜)		
적용 각도	45°		
Fr(tan alpha) 계수	0.73	열교환기	
Fr UL 계수	5.00(W/㎡)/℃	열교환기 효율	70.0%
Fr UL에 대한 온도계수	0.01(W/㎡)/℃	손실율 (Miscellaneous Losses)	2.0%
에너지 손실율	3.0%	집열면적 당 펌프 출력	5.00W/㎡

<표 5.11> 풍력발전시스템의 설치 사양

구분	특징	구분	특징
유형	수직축 시스템	시동풍속	3m/s
Model	DS1500	로터지름	2.8m
정격출력	1.5kW	타워높이	Min. 2m
정격풍속	12m/s	중량	300kg

<표 5.12> 지열 히트펌프 시스템의 설치 사양

		저층 주거단지	고층 집합주거단지	복합단지	업무단지
난방 단위부하 (W/㎡)		67.8	49.9	63.4	23.4
히프 펌프	용량(kW)	337.6	3,656.9	576	2,475
	RT	96	1,040	164	704
	COP	3.5			
지중 열교 환기	타입	수직 밀폐형			
	보어홀 길이	100m			
	보어홀 반경	0.150m			

(1) 저층 주거단지

본 연구에서 제시한 저층 주거단지 계획안의 연간, 월별 에너지 성능 결과는 다음 <표 5.13~5.14>와 같다. 적용안의 시스템 총 부하분담율은 44.3%로 태양열 시스템과 지열시스템은 열에너지 소비량의 59.1%를 생산할 수 있으며, 태양광발전 시스템은 전기에너지 소비량의 10.4%를 생산할 수 있는 것으로 분석되었다. 에너지 수요에 대한 시스템 공급의 매칭율은 35.1%로 나타났으며, 시스템의 총 생산 에너지의 약 66%에 해당하는 1,452.7MWh가 실제 수요에 공급할 수 있는 것으로 나타났다.

<표 5.13> 저층 주거단지 계획안의 연간 에너지 성능 결과

(단위: MWh)

	에너지 수요량	에너지 생산량	총 부하 분담율(%)	매칭율 (%)	수요 대응 공급량	잉여량(잉여율)
열에너지	3,148.7	2,060.0	59.1	48.6	1,310.0	750.0(36%)
전기 에너지	1,383.8	143.5	10.4	21.6	142.7	0.8(0.6%)
Total	**4,532.5**	**2,203.5**	**44.3**	**35.1**	**1,452.7**	**750.8(34%)**

<표 5.14> 저층 주거단지 계획안의 월별 에너지 성능 결과

	에너지 수요량(MWh)		에너지 생산량(MWh)			부하 분담율(%)		
	열에너지	전기 에너지	태양열	지열	태양광	열에너지	전기 에너지	총 부하 분담율
1월	628.0	82.5	37.5	123.5	10.3	25.6	12.5	24.1
2월	489.4	74.4	55.2	113.5	11.7	34.5	15.7	32.0
3월	327.6	82.5	60.2	106.1	13.8	50.8	16.8	43.9
4월	231.6	87.8	61.4	103.4	14.9	71.1	17.0	56.3
5월	159.4	117.0	62.6	101.8	15.1	100.0	12.9	85.8
6월	43.0	140.3	65.7	104.6	12.9	100.0	9.2	66.3
7월	39.7	200.5	66.4	118.3	10.2	100.0	5.1	48.4
8월	35.8	207.8	61.5	127.9	11.4	100.0	5.5	44.6
9월	84.5	130.8	51.7	133.5	12.1	100.0	9.3	68.9
10월	165.2	98.2	40.9	139.2	12.6	100.0	12.8	83.0
11월	413.7	79.7	26.3	138.8	9.6	39.9	12.0	35.4
12월	531.0	82.3	25.4	134.5	9.0	30.1	10.9	27.5
연간	**3,148.7**	**1,383.8**	**614.8**	**1,445.2**	**143.5**	**59.1**	**10.4**	**44.3**

저층 주거단지의 경우, 연면적에 비해 시스템의 적용 면적이 크기 때문에 열에너지의 분담율이 높게 산출되었다. 그러나 열에너지의 경우, 연중 일정한 에너지를 생산하는 지열시스템으로 인하여 높은 부하분담율을 보였으며, 열

에너지의 총 생산량인 2,060MWh에서 1,310MWh가 실제 에너지 수요에 사용될 수 있는 것으로 나타났다. 태양열 시스템은 일사량이 큰 여름철에 에너지 생산이 큰 반면에 지열 시스템은 월별 생산량이 일정하며, 에너지 소비량은 난방기간인 겨울철에 크게 나타나고 여름철에는 매우 작게 나타나므로 월별 부하분담율의 변동이 큰 것으로 나타났다. 또한 본 연구에서 지열 시스템을 난방 위주로 활용하는 것으로 한정하였기 때문에, 에너지 수요가 가장 큰 1월의 경우 분담율이 25.6%로 나타났지만, 이에 비해 냉방기간의 에너지 분담율은 매우 높게 산출되었다. 따라서 계절별 불균형을 해결하기 위해 계간 축열과 같은 시스템 축열부에 대한 계획이 필요할 것으로 판단된다.

전기에너지의 경우, 수요 대응 공급량과 에너지 생산량의 차이가 적은 것으로 나타났으며, 시스템의 생산된 에너지를 바로 사용할 수 있으므로 잉여에너지가 적은 것으로 나타났다. 태양광발전 시스템의 월별 생산량의 차이는 크지 않으나 월별 분담율의 차이는 크게 나타나는데, 이는 냉방기간인 여름철에 에너지 소비량이 크게 나타나기 때문인 것으로 분석할 수 있다.

(2) 고층 집합주거단지

본 연구에서 제시한 고층 집합주거단지 계획안의 연간, 월별 에너지 성능 결과는 다음 <표 5.15~5.16>과 같다. 적용안의 시스템 총 부하분담율은 32.6%로, 태양열 시스템과 지열시스템은 열에너지 소비량의 41.8%를 생산할 수 있으며, 태양광발전 시스템과 풍력 발전시스템은 전기에너지 소비량의 14.9%를 생산할 수 있는 것으로 분석되었다. 에너지 수요에 대한 시스템 공급의 매칭율은 33.0%로 나타났으며, 시스템의 총 생산 에너지 중 11,028.0MWh가 실제 수요에 공급할 수 있는 것으로 나타났다.

<표 5.15> 고층 집합주거단지 계획안의 연간 에너지 성능 결과

(단위: MWh)

	에너지 수요량	에너지 생산량	총 부하 분담율(%)	매칭율 (%)	수요 대응 공급량	잉여량(잉여율)
열에너지	27,185.8	15,472.0	41.8	38.8	8,392.0	7,080.0(45%)
전기 에너지	14,062.6	2,681.9	14.9	27.1	2,636.0	45.9(2%)
Total	**41,248.3**	**18,153.9**	**32.6**	**33.0**	**11,028.0**	**7,125.9(39%)**

<표 5.16> 고층 집합주거단지 계획안의 월별 에너지 성능 결과

	에너지 수요량(MWh)		에너지 생산량(MWh)				부하 분담율(%)		
	열에너지	전기 에너지	태양열	지열	태양광	풍력	열 에너지	전기 에너지	총 부하 분담율
1월	6,130.0	773.9	70.1	1,224.3	146.3	4.1	21.1	19.4	20.9
2월	4,929.1	697.6	103.3	1,125.3	166.2	3.7	24.9	24.4	24.9
3월	3,563.7	885.4	112.7	1,051.3	196.8	4.0	32.7	22.7	30.7
4월	1,529.8	907.1	114.8	1,024.3	211.9	3.7	74.5	23.8	55.6
5월	674.1	1,158.6	117.0	1,009.3	214.3	3.8	100.0	18.8	55.1
6월	446.7	1,447.1	122.9	1,036.6	183.3	3.6	100.0	12.9	39.9
7월	410.1	2,084.7	124.3	1,172.5	144.8	3.7	100.0	7.1	27.4
8월	369.8	2,197.7	115.0	1,267.2	162.9	3.7	100.0	7.6	25.4
9월	359.0	1,396.7	96.7	1,322.6	172.8	3.6	100.0	12.6	36.0
10월	823.1	1,000.3	76.5	1,379.9	179.7	3.8	100.0	18.3	59.4
11월	2,750.7	744.6	49.2	1,375.8	136.3	3.8	51.8	18.8	44.8
12월	5,199.6	768.9	47.6	1,333.1	128.3	4.1	26.6	17.2	25.4
연간	**27,185.8**	**14,062.6**	**1,150.0**	**14,322.0**	**2,043.6**	**45.5**	**41.8**	**14.9**	**32.6**

고층 집합주거단지는 연면적에 비해 태양열 시스템의 적용 면적이 작지만, 지열 시스템의 적용규모가 크기 때문에 지열 시스템의 에너지 생산량에 의해 열에너지 분담율이 크게 나타났다. 그러나 저층 주거단지와 마찬가지로 총 열에너지 생산량 중, 약 54%인 8,392.0MWh만이 실제 에너지 수요가 발생하는 시점에 공급가능한 것으로 나타나 잉여량이 크게 산출되었다. 월별 분담율을 살펴보면 수요가 가장 적게 발생하는 냉방기간에는 수요량보다 생산량이 크게 나타나지만, 수요가 크게 발생하는 난방기간에는 21.1%의 에너지를 공급하는 것으로 나타났다.

고층 집합주거단지의 경우, 건물의 건폐율이 작아 단지 내 공지면적이 넓으므로, 다른 도시 유형보다 축열 시스템을 활용하여 집단에너지로 에너지 공급의 가능성이 높다. 따라서 계간축열 등을 계획하여 계절적 차이를 보완함으로써, 시스템의 생산된 에너지를 보다 효과적으로 활용하는 것이 필요하다.

전기 에너지의 경우, 풍력발전 시스템의 에너지 생산량이 적기 때문에 태양광발전 시스템의 생산 패턴에 따라 에너지 분담율이 영향을 받으며, 전기에너지 수요량이 가장 크게 나타나는 8월에는 7.6%의 에너지를 생산할 수 있는 것으로 나타났다. 월별 부하분담율의 패턴을 살펴보면, 저층 주거단지의 경우와 마찬가지로 열에너지 분담율과 전기에너지 분담율의 패턴이 계절 변화에 따라 크게 변동되며, 에너지 소비패턴에 따라 변화함을 알 수 있다.

(3) 복합단지

본 연구에서 제시한 복합단지 계획안의 연간, 월별 에너지 성능 결과는 다음 <표 5.17~5.18>과 같다. 적용안의 시스템 총 부하분담율은 32.1%로 태양열 시스템과 지열 시스템은 열에너지 소비량의 41.0%를 생산할 수 있으며, 태양광발전 시스템과 풍력발전 시스템은 전기에너지 소비량의 18.1%를 생산할 수 있는 것으로 분석되었다. 에너지 수요에 대한 시스템 공급의 매칭율은 35.4%로 나타났으며, 시스템의 총 생산 에너지의 약 72%에 해당하는 2,647.2MWh가 실제 수요에 공급할 수 있는 것으로 나타났다.

<표 5.17> 복합단지 계획안의 연간 에너지 성능 결과

(단위: MWh)

	에너지 수요량	에너지 생산량	총 부하 분담율(%)	매칭율 (%)	수요 대응 공급량	잉여량(잉여율)
열에너지	6,412.8	2,934.9	41.0	37.4	1,935.4	999.5(34%)
전기 에너지	4,021.5	726.9	18.1	33.4	711.8	15.1(2%)
Total	**10,434.2**	**3,661.8**	**32.1**	**35.4**	**2,647.2**	**1,013.4(28%)**

<표 5.18> 복합단지 계획안의 월별 에너지 성능 결과

	에너지 수요량(MWh)		에너지 생산량(MWh)				부하 분담율(%)		
	열에너지	전기 에너지	태양열	지열	태양광	풍력	열 에너지	전기 에너지	총 부하 분담율
1월	1,300.9	245.5	47.7	184.0	51.6	0.6	17.8	21.2	18.4
2월	1,009.0	223.8	70.3	169.1	58.6	0.5	23.7	26.4	24.2
3월	667.9	255.6	76.7	158.0	69.4	0.5	35.1	27.4	33.0
4월	459.1	269.0	78.1	153.9	74.7	0.5	50.5	28.0	42.2
5월	316.1	342.9	79.7	151.7	75.6	0.5	73.2	22.2	46.7
6월	88.3	407.5	83.7	155.8	64.6	0.5	100.0	16.0	61.4
7월	81.6	545.9	84.6	176.2	51.1	0.5	100.0	9.4	49.8
8월	73.8	567.1	78.3	190.4	57.4	0.5	100.0	10.2	51.0
9월	168.6	383.5	65.9	198.7	61.0	0.5	100.0	16.0	59.1
10월	327.1	295.6	52.0	207.4	63.4	0.5	79.3	21.6	51.9
11월	829.5	238.3	33.5	206.7	48.1	0.5	29.0	20.4	27.0
12월	1,090.8	246.6	32.4	200.3	45.3	0.6	21.3	18.6	20.8
연간	**6,412.8**	**4,021.5**	**782.8**	**2,152.1**	**720.7**	**6.2**	**41.0**	**18.1**	**32.1**

월별 부하분담율의 패턴을 살펴보면, 지열 시스템의 생산량은 거의 일정하기 때문에 태양열 시스템의 생산패턴에 따라 열에너지의 월별 부하 분담율의

변동이 크게 발생함을 알 수 있다. 총 부하분담율 역시, 열에너지 소비량이 우세하기 때문에 태양열 시스템과 유사한 패턴의 부하분담율을 보이고 있다.

열에너지의 경우, 생산 에너지 중 약 66%인 1,935.4MWh가 실제 에너지 수요가 발생하는 시점에 공급가능한 것으로 나타나 실제로는 부하분담율보다 낮은 공급 분담율을 보일 것으로 판단된다. 복합단지는 앞선 주거단지 유형과 마찬가지로, 시스템의 에너지 생산 시점과 소비 시점의 계절적 차이로 인하여 난방기간인 겨울철에는 열에너지 분담율이 낮게 나타났지만, 냉방기간인 여름철에는 분담율이 상대적으로 높게 나타난다. 특히, 일정한 에너지 생산 패턴을 갖는 지열 시스템으로 인하여 총 열에너지 분담율은 높게 산출되었으나, 열에너지 소비에 따른 월별 부하분담율의 차이가 큰 것으로 나타났다. 이러한 계절간 부하분담율의 불균형은 열 생산 시스템의 한계로, 이를 해결하기 위해 계간축열과 같은 시스템 축열부에 대한 계획이 필요하다.

전기 에너지의 경우, 에너지 생산량과 수요 대응 공급량의 차이가 작아 열에너지보다 잉여량이 적게 나타났으며, 전기에너지 수요가 크게 나타나는 냉방기간을 제외하고 월별 부하분담율 간의 차이가 적은 것으로 분석되었다. 총 전기 에너지 생산량 중, 풍력발전 시스템의 생산량의 비중은 매우 작기 때문에 전기 에너지의 월별 부하분담율은 태양광발전 시스템의 생산패턴에 따라 달라짐을 알 수 있다.

(4) 업무단지

본 연구에서 제시한 업무단지 계획안의 연간, 월별 에너지 성능 결과는 다음 <표 5.19~5.20>과 같다. 적용안의 총 부하분담율은 21.5%로 지열 시스템은 열에너지 소비량의 40.7%를 생산할 수 있으며, 태양광발전 시스템과 풍력발전 시스템은 전기에너지 소비량의 14.6%를 생산할 수 있는 것으로 분석되었다. 에너지 수요에 대한 시스템 공급의 매칭율은 24.1%로 나타났으며, 시스템의 총 생산 에너지 중 10.920.0MWh가 실제 수요에 공급할 수 있는 것으로 나타났다. 업무단지의 경우, 전기에너지 소비비율이 크게 차지하기 때문에 열에너지 분담율이 높게 산출되었으나, 상대적으로 낮은 전기 에너지 분담율로 인하여 총 부하분담율이 다른 유형에 비해 낮게 산출되었다.

업무단지는 업무용 건물과 상업용 건물로 구성되어 있어, 재실 스케쥴이 주로 주간에만 발생하기 때문에 에너지 수요와 생산의 매칭율이 도시유형 중 가장 낮은 것으로 나타났다. 주간에만 발생하는 재실스케쥴로 인하여 열에너지는 총 생산량의 약 41%인 4,110.0MWh만이 실제 수요에 공급 가능한 것

으로 나타났으며, 전기 에너지가 총 생산량의 약 90%에 해당하는 6,810.0MWh가 실제 수요에 공급가능한 것과 비교하면 열에너지의 잉여량이 매우 많은 것을 알 수 있다.

<표 5.19> 업무단지 계획안의 연간 에너지 성능 결과

(단위: MWh)

	에너지 수요량	에너지 생산량	총 부하 분담율(%)	매칭율 (%)	수요 대응 공급량	잉여량(잉여율)
열에너지	18,837.7	9,950.0	40.7	23.4	4,110.0	5,840.0(58%)
전기 에너지	51,755.2	7,531.2	14.6	24.8	6,810.0	721.2(9%)
Total	**70,592.9**	**18,910.5**	**21.5**	**24.1**	**10,920.0**	**6,561.2(34%)**

<표 5.20> 업무단지 계획안의 월별 에너지 성능 결과

	에너지 수요량(MWh)		에너지 생산량(MWh)			부하 분담율(%)		
	열에너지	전기 에너지	지열	태양광	풍력	열에너지	전기 에너지	총 부하 분담율
1월	4,323.9	3,472.3	850.5	672.8	9.4	19.7	19.6	19.7
2월	3,307.6	3,383.9	781.7	664.3	8.4	23.6	19.9	21.7
3월	1,723.4	4,031.8	730.3	705.5	9.1	42.4	17.7	25.1
4월	969.4	4,117.1	711.6	704.5	8.5	73.4	17.3	28.0
5월	681.3	4,331.9	701.2	699.0	8.6	100.0	16.3	27.7
6월	338.0	5,224.4	720.2	596.8	8.2	100.0	11.6	17.0
7월	138.7	5,444.2	814.6	480.2	8.3	100.0	9.0	11.2
8월	145.6	5,522.2	880.4	547.1	8.3	100.0	10.1	12.4
9월	494.7	4,820.2	918.8	601.3	8.2	100.0	12.6	20.8
10월	907.8	4,127.3	958.7	680.5	8.7	100.0	16.7	31.7
11월	2,158.7	3,559.0	955.8	540.3	8.7	44.3	15.4	26.3
12월	3,648.8	3,720.9	926.1	535.1	9.3	25.4	14.6	20.0
연간	**18,837.7**	**51,755.2**	**9,950.0**	**7,427.6**	**103.6**	**40.7**	**14.6**	**21.5**

열에너지의 월별 부하분담율을 살펴보면, 다른 유형과 마찬가지로 1월에는 19.7%로 가장 낮은 분담율을 보이고 열에너지 소비가 적은 냉방기간에 높은 분담율을 보이고 있다. 이러한 계절 간 분담율의 차이는 모든 도시 유형에서 공통적으로 나타나며, 업무단지 또한 축열시스템을 계획하여 에너지 공급의 계절적 차이를 보완할 수 있는 방안이 필요하다.

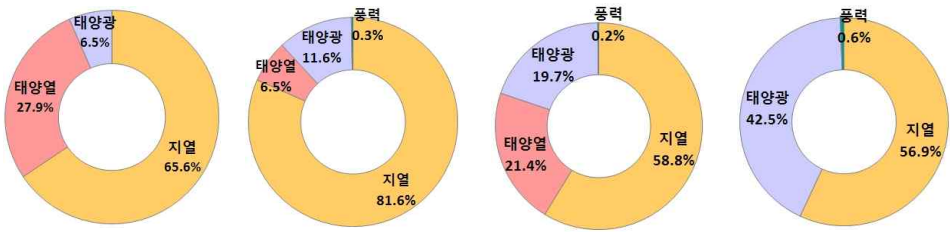
전기 에너지의 경우, 에너지 생산 패턴이 연중 일정하기 때문에 월별 부하분담율의 차이가 적게 나타나며, 태양광발전 시스템의 생산패턴에 따라 부하분담율이 달라진다. 또한 전기에너지 분담율 패턴에 따라 월별 총 부하분담율이 유사하게 나타나는데, 이는 업무단지의 전기에너지 소비 비율이 약 73%로 큰 비중을 차지하기 때문인 것으로 분석할 수 있다.

5.4 소결

본 장에서는 도시 특성에 따른 신재생에너지시스템 복합 적용안을 제시하고자, 도시의 신재생에너지시스템 적용 계획을 위한 방법론을 제안하고 이를 토대로 도시 유형별 특성에 따른 적용안을 수립한 뒤, 적용안에 대한 평가를 수행하였다. 도시의 효율적인 신재생에너지시스템 적용 계획을 위한 방법으로 본 연구에서는 Map Overlay을 통해 도시의 에너지 수요와 신재생에너지의 잠재성을 공간적으로 분석하는 방법을 제안하였다.

제안된 방법론을 활용하여 도시 유형별 적용안을 수립하고자, 4장에서 분석된 적용가능성 평가결과를 토대로 에너지 수요 및 신재생에너지 잠재성을 열과 전기에너지로 구분하여 mapping 하였으며, 단지의 구성건물을 단위로 하여 비교·분석하였다. 분석결과, 저층 주거단지는 구성건물의 시스템 이용가능율이 모두 고르게 분포하는 것으로 나타났으며, 고층 집합주거단지는 전기에너지 생산 시스템의 구성건물 간의 차이가 큰 것으로 나타났다. 복합단지와 업무단지의 경우, 구성건물의 에너지 소비 차이가 매우 큰 것으로 나타났으며 시스템의 이용가능율은 일부 건물에 집중되어 있는 것으로 분석되었다. 고밀도일수록 에너지 소비와 시스템 이용가능율 간의 차이가 큰 것으로 나타났으며, 분석결과를 고려했을 때 시스템 이용가능율에 따른 단지차원의 시스템 배치가 필요함을 알 수 있었다.

Map Overlay 분석 결과를 토대로 도시 유형별 특성에 따른 적용안을 계획하였으며, 적용안의 평가결과에 따른 시스템별 에너지 생산비율은 (그림 5.10)과 같다.



(그림 5.10) 도시 유형별 계획안의 신재생에너지시스템 에너지 생산 비율

저층 주거단지의 적용안 결과, 전체 생산량에서 각 시스템의 에너지 생산비율은 지열 65.6%, 태양열 27.9%, 태양광 6.5%로 나타났으며, 이 때 열에너지 59.1%, 전기에너지 10.4%의 분담율을 보여, 총 44.3%의 부하분담율

을 나타내었다.

고층 집합주거단지의 적용안 결과, 전체 에너지 생산량 중 지열이 81.6%로 가장 큰 비중을 차지하며, 태양광 11.6%, 태양열 6.5%, 풍력 0.3%의 비율을 나타냈다. 본 적용안은 열에너지 41.8%, 전기에너지 14.9%의 분담율을 보여, 총 32.6%의 부하분담율을 달성하였다.

복합단지의 경우, 시스템 전체 생산량에서 지열 58.8%, 태양열 21.4%, 태양광 19.7%, 풍력 0.2%의 생산비율을 나타내며, 열에너지 41.0%, 전기에너지 18.1%의 분담율을 보여, 총 32.1%의 에너지를 공급할 수 있는 것으로 나타났다.

업무단지의 적용안 결과, 시스템 전체 생산량은 지열 56.9%, 태양광 42.5%, 풍력 0.6%의 생산비율을 나타내며, 열에너지 40.7%, 전기에너지 14.6의 분담율을 보여, 총 21.5%의 에너지를 공급할 수 있는 것으로 나타났다.

에너지 수요/공급의 매칭 결과, 모든 도시 유형에서 전기에너지는 생산에너지의 대부분이 실제 수요에 공급가능한 것으로 나타났으며, 태양광발전 시스템의 생산 패턴에 따라 월별 부하분담율이 변동되는 것으로 나타났다. 열에너지의 경우, 연중 일정한 생산패턴을 갖는 지열 시스템으로 인하여 총 열에너지 분담율은 높게 산출되었으나 월별 부하분담율 간의 차이가 매우 크게 나타났고, 생산에너지 중 약 40~66%가 실제 수요에 공급되는 것으로 분석되었다. 이는 본 연구에서 지열시스템을 난방에 활용하는 것으로 한정하였기 때문에 여름철 냉방부하에 대한 지열시스템의 에너지 분담이 고려되지 않아 냉방기간의 잉여에너지가 크게 발생하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 지열 시스템의 여름철 냉방부하에 활용하는 방안과 함께 계간축열 등의 수요-생산 간의 시간차를 고려할 수 있는 축열부에 대한 계획이 필요하다.

제 6 장 결 론

전 세계적인 기후변화의 문제와 더불어 에너지 소비의 지속적인 증가로 인해, 기존의 화석에너지를 대체할 수 있는 청정에너지인 신재생에너지시스템 활용의 중요성이 높아지고 있다. 세계 에너지 소비의 절반 이상을 차지하고 있는 도시의 경우, 분산형 에너지 공급 시스템과 스마트 그리드 등의 도입으로, 도시 에너지원으로서의 신재생에너지 활용이 요구되고 있다. 그러나 신재생에너지시스템은 외부 환경적 조건에 따라 에너지 생산의 변동성을 가지므로, 전체 생산측면의 시스템 간의 상호보완성을 고려한 신재생에너지 복합 적용의 방법이 요구된다. 또한, 도시환경에서 신재생에너지시스템의 적용가능성은 다양한 도시의 특성에 의해 영향을 받으므로, 도시의 시스템 적용은 개별건물 적용과는 다른 접근 방법이 필요하다.

본 연구의 목적은 도시의 효율적인 신재생에너지 복합 적용을 위한 방법론을 제안하고, 이를 토대로 적용안을 도출하는 것이다. 이를 위해, 도시유형을 크게 저층 주거단지, 고층 집합주거단지, 복합단지, 업무단지로 분류하여 유형별 도시 특성을 반영한 기준모델을 설정하였다. 또한 도시 특성을 반영하여 신재생에너지의 잠재성을 평가할 수 있는 방법을 제시하고, 이를 활용하여 도시 유형별 신재생에너지의 적용가능성을 분석하였다. 이를 근거로, 도시의 신재생에너지시스템 적용 계획을 위한 방법을 제안하여, 도시 특성에 따른 신재생에너지 복합 적용안을 제시하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 도시 특성을 반영한 신재생에너지시스템 적용을 위하여, 실제 도시의 형태적 특성을 분석하여 도시 유형을 분류하고 유형별 특성에 따른 기준모델을 정립하였다. 도시 유형을 분류하기 위하여 도시규모, 도시형태, 구성건물의 용도를 기준으로 설정하고, 이에 따라 저층 주거단지, 고층 집합주거단지, 복합단지, 업무단지를 선정하여 형태모델을 수립하였다.

(2) 도시차원의 신재생에너지 적용가능성 평가를 위해, 건물용도별 에너지 소비원단위 산정 결과를 토대로 단지의 에너지 수요를 예측하고, 정량적으로 신재생에너지 잠재성을 평가하는 방법을 제안하였다. 신재생에너지의 잠재성은 각 시스템을 설치할 수 있는 면적의 비율로서 시스템의 활용가능성을 나

타낸다. 도시 유형별 평가결과, 건축밀도가 낮을수록 태양에너지 및 지열에너지의 적용가능성이 높게 산출되었으며, 고층건물의 구성비율이 높을수록 풍력에너지의 적용가능성이 높게 산출되었다. 또한 저층의 유형은 적용가능면적이 개별건물에 분산되어 있는 반면, 고층의 유형은 상대적으로 높이가 높은 건물에 집중적으로 위치하고 있는 것으로 나타났다.

(3) 도시차원의 신재생에너지 시스템 복합적용을 위해서는 각 시스템의 적용 효율성을 고려한 계획 방법이 요구되며, 이에 본 연구에서는 신재생에너지 잠재성과 에너지 수요 예측결과를 공간적으로 분석하는 방법으로 Map Overlay을 제안하였다. 이를 위해, 도시유형별 잠재성 평가결과를 시스템의 이용가능율(PAF, SAF, WAF, GAF)로서 각 시스템의 적용성을 평가하여, 도시 유형별 특성에 따른 복합 적용 계획을 수립하였다.

(4) 저층 주거단지는 저층저밀의 특성을 갖는 유형으로, 열에너지 소비비율이 약 70%로 매우 우세하고, 에너지 소비와 시스템 이용가능율이 고르게 분포하는 특징을 가진다. 이러한 단지 특성을 반영하여 태양열 시스템과 지열 시스템을 위주로 계획하였으며, 지열 시스템은 이용가능율 0.6 이상의 건물 공지면적에 적용하고, 건물 옥상면에 태양열 시스템과 태양광발전 시스템을 독립형으로 배치하였다. 적용결과, 열에너지의 59.1%, 전기에너지의 10.4%를 담당하여 총 44.3%의 부하분담율을 나타냈다.

(5) 고층 집합주거단지는 저층고밀의 건축면적이 작고 연면적이 큰 도시특성을 가지며, 열에너지 소비비율이 약 66%로 열에너지의 사용이 우세하다. 따라서 넓은 공지면적을 활용하여 지열 시스템을 적용하고, 옥상면에 태양열 시스템을 위주로 배치하되 적용성이 높은 일부 건물에 풍력발전 시스템을 배치하였다. 또한, 입면의 벽(부착형)과 창호(BIPV)의 일부에 태양광발전 시스템을 적용하였다. 적용결과, 열에너지의 41.8%, 전기에너지의 14.9%를 담당하여 총 32.6%의 부하분담율을 나타냈다.

(6) 복합단지는 건물용도가 주거와 상업으로 구성된 저층고밀의 도시 유형으로, 열에너지와 전기에너지의 소비비율이 각각 61%, 39%인 특성을 갖으며, 구성건물의 열에너지와 전기에너지의 소비밀도가 다르게 나타나는 특징을 갖는다. 이러한 단지 특성을 반영하여 적용가능한 일부 건물 옥상면에 풍력발전 시스템을 적용하였으며, 상업건물의 옥상면에는 태양광발전 시스템을

적용하고 주거건물의 옥상면에는 태양열 시스템을 배치하였다. 지열 시스템은 단지의 고밀도 특성으로 인한 적용제한을 고려하여 이용가능율 0.4 이상의 건물에 적용하였다. 적용결과, 열에너지의 41.0%, 전기에너지의 18.1%를 분담하여 총 에너지 사용량의 32.1%를 공급할 수 있는 것으로 나타났다.

(7) 업무단지는 건물용도가 업무와 상업으로 구성된 고층고밀의 도시 유형으로, 전기에너지 소비비율이 약 73%로 전기에너지의 사용이 매우 우세하다. 따라서 시스템별 이용가능율에 따라 옥상면에 태양광발전 시스템과 풍력발전 시스템을 계획하고, 입면에 BIPV를 적용하였다. 지열 시스템의 경우, 이용가능율 0.4 이상의 건물에 적용하여 단지 내 공지면적을 활용하였다. 적용결과, 열에너지의 40.7%, 전기에너지의 14.6%의 분담율을 보여, 총 21.5%의 부하분담율을 나타냈다.

(8) 도시유형별 에너지 수요-공급 매칭결과, 전기에너지는 생산에너지의 평균 약 97%가 실제 수요에 공급가능한 것으로 나타났으며, 태양광발전 시스템의 생산 패턴에 따라 월별 부하분담율이 변동됨을 알 수 있었다. 열에너지의 경우, 총 분담율은 높게 산출되었으나 열에너지 소비패턴에 따라 계절별 부하분담율의 차이가 큰 것으로 나타났으며, 평균 약 60%의 생산에너지가 실제 수요에 공급되는 것으로 분석되었다. 이는 여름철 냉방부하에 대한 지열시스템의 에너지 분담이 고려되지 않아, 냉방기간의 잉여에너지가 크게 발생하기 때문인 것으로, 계간축열 등을 활용하여 부하가 비교적 적은 하절기의 생산에너지를 연중 효과적으로 활용할 수 있는 방안을 강구해야 한다.

본 연구에서는 도시의 신재생에너지시스템 적용을 위한 도시특성을 분석하고, 이를 반영하여 신재생에너지의 적용가능성을 평가한 뒤, 도시 특성에 따른 복합 적용안을 제시하였다. 본 연구에서 에너지 소비량 산정은 최종에너지 사용형태인 전력과 열에너지로 분류하였으나, 냉방에 사용되는 에너지 형태는 전력과 열, 두 가지가 모두 해당되므로, 다양한 신재생에너지의 복합적용을 위해서는 에너지 소비원별 원단위에 대한 도시 단위의 모니터링 및 사용량 추정이 필요하다. 또한, 에너지소비량 및 신재생에너지 잠재량 등의 정보를 GIS 기반의 데이터베이스로 구축하여, 보다 정확한 시스템 계획이 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

<국내문헌>

1. 강소연, 공동주택단지내 풍력발전시스템의 적용방안에 관한 연구, 중앙대학교 대학원, 석사학위논문, 2002
2. 곽희열, 분산형 에너지시스템의 태양열 계간축열 기술, 조명 · 전기설비학회지 제23권 제2호, 2009
3. 기상청, 기상연보, 1999-2008
4. 김성은, 건축물의 신재생에너지 복합 활용 계획에 관한 연구, 중앙대학교 대학원, 석사학위논문, 2009
5. 김주영, 신재생에너지시스템 건축물 적용을 위한 가이드라인 개발, 경북대학교 대학원, 박사학위논문, 2008
6. 김홍배, 도심 단독주택지의 주거 건축 유형변화에 따른 공간 구조 및 밀도 특성에 관한 연구: 강남구 1종 일반주거지역을 중심으로, 홍익대학교 대학원, 박사학위논문, 2009
7. 남현진 외 4, 학교 건물의 신재생에너지 적용을 위한 수요/공급 분석 및 평가에 관한 연구, 설비공학논문집, 제22권 제4호, 2010
8. 산업자원부, 건물의 에너지원단위 기준(안) 연구, 1999
9. 산업자원부, 건물의 에너지효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구, 2007
10. 산업자원부, 부하추종형 고효율 지열히트펌프 시스템 개발에 관한 연구, 2006
11. 산업자원부, 신 · 재생에너지 RD&D 전략 2030[지열], 2007
12. 산업자원부, 신 · 재생에너지 RD&D 전략 2030[태양광], 2007
13. 산업자원부, 신 · 재생에너지 RD&D 전략 2030[태양열], 2007
14. 산업자원부, 에너지 · 자원기술개발 중 · 대형사업 최종보고서, 2007
15. 산업자원부, 지열 이용 열펌프 시스템의 성능평가 기법 및 기술기준(안) 구축, 2005
16. 산업자원부, 지열냉난방 시스템 성능평가 및 엔지니어링 기술 확보, 2005
17. 산업자원부, 한국형 지중열교환기 최적설계 패키지 개발, 2007

18. 산업자원부, GSHP의 지중열교환기 설계 및 시공기술 개발(최종보고서), 2006
19. 석호태, 사무소 건물의 설계변수 열성능 평가 및 부하예측방정식 개발, 설비공학논문집, 제13권 제9호, 2001
20. 에너지관리공단 신 · 재생에너지 센터, 신재생에너지 백서, 2008
21. 에너지관리공단, 신재생에너지의 이해, 2008
22. 윤종호, 건물일체형 풍력발전[BiWP] 기술현황, 한국건축친환경설비학회 논문집, Vol. 2 No. 1, 2008
23. 이강국, 홍원화, 도시지역 분산형 에너지 공급시스템 도입에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), 제23권 제1호, 2007
24. 이경민 외 4, 차세대 친환경 전력시스템 '스마트그리드', LG Global Challenger 보고서, 2007
25. 이민희, 도시특성에 따른 태양에너지시스템 적용에 관한 연구, 중앙대학교 대학원, 석사학위논문, 2010
26. 이석문, 공동주택 주거동 형태 및 배치유형에 따른 개방성 비교분석 연구, 서울산업대 대학원, 석사학위논문, 2005
27. 이종식, 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가에 관한 연구, 중앙대학교 대학원, 석사학위논문, 2008
28. 장용호, 공동주택 단지배치계획의 분석 및 방법에 관한 연구, 중앙대학교 건설대학원, 석사학위논문, 2005
29. 전현도, 초고층 건물의 풍력발전시스템 적용방안에 관한 연구, 중앙대학교 대학원, 석사학위논문, 2010
30. 정태용, 국토계획법, 한국법제연구원, 2005
31. 조 한, 건물 통합형 태양광 시스템의 건축 디자인 적용 방법 연구, 대한건축학회 논문집, 제22권 제8호, 2006
32. 조휘창, 마이크로그리드 설계 및 평가 프로그램 개발, 충남대학교 대학원, 석사학위논문, 2010
33. 지식경제부, 2007 지역에너지통계연보, 2008
34. 지식경제부, 2008 에너지총조사 보고서, 2009
35. 한국과학기술정보연구원, 풍력발전, 2002
36. 한국에너지기술연구원, 태양열설비 시스템 표준화, 지식경제부, 2008
37. 홍성희 외, 사무소건물의 에너지소비원단위 설정 연구, 대한건축학회논문집(계획계), 제18권 제9호, 2008

<국외문헌>

1. American Wind Energy Association, How and Why to Permit for Small Wind Systems, 2008
2. Amy H.I. Lee 외 2, Multi-objective Optimization of A Mixed Renewable System with Demand-side Management, Renewable Energy, Vol. 34, 2010
3. Arboit M 외 3, Assessing the Solar Potential of Low-density Urban Environments in Andean Cities with Desert Climates: The Case of the City of Mendoza in Argentina, Renewable Energy, Vol. 33, 2008
4. eQuest Introductory Tutorial, Ver 3.63, James J. Hirsch & Associates, 2009
5. European Commission, European 'SmartGrids' Technology Platform, 2006
6. Hon Loong Lam 외 2, Regional Renewable Energy and Resource Planning, Applied Energy, 2010
7. IEA, CO_2 Emissions From Fuel Combustion: IEA Statistics, 2009
8. IEA, World Energy Outlook, 2008
9. IPCC, Climate Change 2007: Synthesis Report, 2007
10. Jaroalv Jofierka, Jan Kanuk, Assessment of Photovoltaic Potential in Urban Areas Using Open-source Solar Radiation Tools, Renewable Energy, 2009
11. R. Compagnon, Solar and Daylight Availability in the Urban Fabric, Energy and Building 36, 2004
12. Reinhard Madlener, Katharina Kowalski, Sigrid Stagl, New ways for the Integrated Appraisal of National Energy Scenarios: The Case of Renewable Energy Use in Austria, Energy Policy, Vol. 35, 2007
13. Sinisa Stankovic, Neil Campbell, Alan Harries, "Urban Wind Energy", Earthscan, 2009
14. The German Energy Society, "Planning & Installing Photovoltaic Systems", Earthscan, 2009
15. U.S. Department Of Energy, High-Performance Home

Technologies: Solar Thermal & Photovoltaic Systems, 2007
16. UK Ground Source Heat Pump Association, Domestic Ground Source Heat Pumps: Design and Installation of Closed-loop Systems, 2004
17. United States Department of Energy, "GRID 2030" A National Vision for Electricity's Second 100 years, 2003
18. Vettorato Daniele, Zambelli Pietro, Estimation of Energy Sustainability at Local Scale, 45th ISOCARP Congress, 2009
19. Y. Yamaguchi, Proposal of a Modeling Approach Considering Urban Form for Evaluation of City Level Energy Management, Energy and Building, vol. 39, 2007

<Web Site>

1. 국가에너지통계종합정보시스템, http://www.kesis.net
2. 서울시 통계자료, www.seoul.go.kr
3. 한국스마트그리드사업단, http://www.smartgrid.or.kr
4. 한국태양에너지학회 홈페이지, http://www.kses.re.kr
5. American Wind Energy Association, http://www.awea.org
6. Danish Wind Industry Association, http://www.windpower.org
7. Renewable Energy World 홈페이지, www.renewableenergyworld.com

국 문 초 록

도시특성에 따른 신재생에너지시스템 복합 적용 방안에 관한 연구

중앙대학교 대학원
건축학과 건축환경 및 설비전공
정 아 름

전 세계적인 기후변화의 문제와 더불어 에너지 소비의 지속적인 증가로 인해, 기존의 화석에너지를 대체할 수 있는 청정에너지인 신재생에너지시스템 활용의 중요성이 높아지고 있다. 세계 에너지 소비의 절반 이상을 차지하고 있는 도시의 경우, 분산형 에너지 공급 시스템과 스마트 그리드 등의 도입으로 도시 에너지원으로서의 신재생에너지 활용이 요구되고 있다.

그러나 신재생에너지시스템은 외부 환경적 조건에 따라 에너지 생산의 변동성을 가지므로, 전체 생산측면의 시스템 간의 상호보완성을 고려한 신재생에너지 복합 적용의 방법이 요구된다. 또한 도시환경에서 신재생에너지시스템의 적용가능성은 다양한 도시의 특성에 의해 영향을 받으므로 이를 고려한 시스템 적용이 필요하다.

본 연구의 목적은 도시의 효율적인 신재생에너지 복합 적용을 위한 방법론을 제안하고, 이를 토대로 적용안을 도출하는 것이다. 이를 위해, 도시 특성을 반영한 신재생에너지 잠재성 평가 방법을 제시하고, 이를 활용하여 도시 특성에 따른 신재생에너지의 적용가능성을 분석하였다. 또한 도시의 신재생에너지시스템 적용 계획을 위한 방법을 제안하여, 도시 특성에 따른 신재생에너지 복합 적용안을 제시하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 도시 특성을 반영한 신재생에너지시스템 적용을 위하여 도시규모, 도시형태, 구성건물의 용도를 도시 특성 요소로 설정하고, 이에 따라 도

시 유형을 크게 저층 주거단지, 고층 집합주거단지, 복합단지, 업무단지로 분류한 뒤, 실제도시의 분석결과를 토대로 유형별 형태모델을 수립하였다.

(2) 도시차원의 신재생에너지 적용가능성 평가를 위해, 건물용도별 에너지소비 원단위 산정 결과를 토대로 각 단지의 에너지 수요를 예측하였으며, 도시의 형태적 특성을 반영한 정량적인 신재생에너지 잠재성 평가 방법을 제안하였다. 신재생에너지의 잠재성은 각 시스템을 설치할 수 있는 면적의 비율로서 시스템의 활용가능성을 나타내며, 본 평가방법은 도시 구성건물에 대한 정량적인 시스템 잠재성 평가가 가능하다.

(3) 본 연구는 신재생에너지 잠재성과 에너지 수요 예측결과를 공간적으로 분석하는 방법으로 Map Overlay을 제안하였다. 이 방법을 이용하여 도시 유형별 잠재성 평가결과를 시스템의 이용가능율로서 각 시스템의 적용성을 평가한 뒤, 도시 유형별 특성에 따른 복합 적용안을 계획하였다. 도시 유형별 시스템 복합계획 시, 각 유형의 에너지소비특성과 시스템별 이용가능율에 따라 시스템의 우선순위를 선정하였다.

(4) 도시 특성에 따른 복합 적용안의 평가 결과, 각 유형의 총 부하분담율은 저층 주거단지 44.3%, 고층 집합주거단지 32.6%, 복합단지 32.1%, 업무단지 21.5%로 나타났다. 에너지 수요-공급 매칭결과, 전기에너지는 태양광발전 시스템의 생산 패턴에 따라 월별 부하분담율이 변동되는 것으로 나타났으며, 열에너지의 경우 에너지 소비패턴에 따라 계절별 부하분담율의 차이가 큰 것으로 나타났다.

본 연구는 도시에너지소비특성과 신재생에너지잠재성을 바탕으로 도시특성을 고려한 신재생에너지시스템 적용 방법 및 복합 적용안을 제시하였다. 적용안의 평가 결과, 열에너지의 소비패턴과 생산패턴의 차이가 큰 것으로 나타났으며, 이를 보완하기 위해 생산에너지를 연중 활용하기 위한 지열 시스템의 냉방활용과 계간축열 등의 방안이 강구되어야 한다. 또한 다양한 신재생에너지의 복합적용을 위하여 에너지소비량 및 신재생에너지잠재량 등의 정보를 GIS 기반의 데이터베이스로 구축하여, 보다 구체적인 시스템 계획 연구가 진행되어야 할 것이다.

<ABSTRACT>

A Study on the Application of Integrated Renewable Energy Systems based on Urban Characteristics

Jung, A-Rum
Major in Architectural Environment & Systems
Dept. of Architecture
The graduate school Chung-ang University

As a result of the continued increase in energy consumption with worldwide problems of climate change, the importance of renewable energy systems to replace the existing fossil fuel is growing. Especially, the city accounts for more than half of the world's energy consumption. Recently, the introduction of distributed energy supply system and smart grid has greatly required the renewable energy system as urban energy sources.

However, the energy output of some renewable energies is highly variable depending on the external environment conditions, so the method for application of integrated renewable energy considering complementarity of systems in terms of overall supply is required. The availability of renewable energy system in urban environment is affected by city's various characteristics, therefore the system application must consider these characteristics.

Objective of this study is to suggest the methodology for effective application of integrated renewable energy systems in urban area and to propose the application design using this methodology. To achieve this, evaluation method of renewable energy potential reflecting the urban

characteristics was presented and applicability of renewable energy system was analyzed. Also the application methodology for renewable energy system in urban area was suggested and the application design of integrated renewable energy systems according as urban characteristics was proposed by using this methodology.

Summarization of this study's results are as followed.

(1) In order to apply renewable energy systems reflecting the urban characteristics, city size, urban form, building use were set as the criteria. The city types were divided into four including low-rise detached housing complex, high-rise apartment housing complex, mixed-used complex, business complex based on these criteria. Then the standard city model that reflects morphological characteristics of cities was established based on investigation results of the existing sample cities of each city type.

(2) To evaluate the applicability of renewable energy in urban scale, energy demands for each city type were estimated based on results of energy consumption unit according to building use at first. Secondly, the quantitative evaluation method for renewable energy potential was suggested in order to reflect morphological characteristics of cities. The renewable energy potential means the possible ratio of area where a system can be installed. Therefore, this evaluation method can judge the quantitative renewable energy potential of buildings in urban area.

(3) In this study, the methodology of Map Overlay was suggested in order that renewable energy potential and energy demand can be analyzed spatially. Using this methodology, application of renewable energy system of each city type was evaluated by exchanging renewable energy potential results for system availability factor. Then application designs of integrated renewable energy systems were presented according to characteristics of city types. In applying the system by the urban characteristics, the system's order of priority was selected by the energy demand and each renewable energy system availability factor of city types.

(4) As a results of application design of integrated renewable energy systems according to urban characteristics, the total output of renewable energy systems accounted for 44.3% of the total load in case of the low-rise detached housing complex. And high-rise apartment housing complex was 32.6%, mixed-used complex was 32.1%, and business complex was 21.5%. According to the results of energy demand-supply matching, monthly share ratio of the load of electricity energy was fluctuated depending on production patterns of photovoltaic system. In case of heat energy, the seasonal difference of share ratio of the load was large depending on energy demand patterns.

In this study, the methodology and application design of integrated renewable energy systems considering urban characteristics were suggested based on urban energy demand characteristics and renewable energy potential. As as result of application design, the difference of energy demand patterns and system's output patterns was large in case of heat energy. Thus, to supplement this difference, the utilization of geothermal system application to the cooling system and seasonal thermal storage method must be considered in order to use energy output all the year round. Also to apply integrated renewable energy systems in various ways, the concrete plans of renewable energy system must progress by establishing the information of urban energy demand and renewable energy potential as database based on GIS.

감사의 글

어느덧 2년의 대학원 생활의 마침표를 찍어야 할 시점에 오게 되었습니다. 지난 대학원의 생활은 짧은 시간이었지만 제 자신의 인생에서 한 걸음 더 나아갈 수 있는 밑거름이 되는 소중한 경험이었습니다. 최선을 다하지 못함에 많은 아쉬움이 남지만, 지난 짧은 시간동안의 대학원 생활은 저에게 그 이상의 값진 배움과 경험을 안겨주었습니다. 학문적 견문을 넓히는 것뿐만 아니라 어떤 일이든 제 자신이 임해야 할 자세를 새삼 깨우쳐준 한층 더 성장할 수 있었던 시간이었습니다. 이렇게 제가 많은 것을 배울 수 있도록 도와주시고 격려해주신 많은 분들께 감사의 마음을 전합니다.

먼저, 부족한 저를 애정 어린 가르침으로 학문의 길로 인도해주신 이언구 교수님께 진심으로 존경과 감사를 드립니다. 교수님은 학생들에게 언제나 무한한 관심으로 어디에서도 얻을 수 없는 많은 경험과 넓은 세상을 볼 수 있게 해주셨습니다. 교수님께서 선사해주신 학문적 가르침과 애정에 누가 되지 않도록 더욱 노력하는 제자가 되겠습니다.

언제나 따듯한 관심과 조언을 아끼지 않으신 박진철 교수님, 논문이 완성되기까지 세심한 지도와 격려로 이끌어주신 황정하 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 논문 심사 과정에서 아낌없는 지도와 충고로 가르침을 주신 권영철 교수님, 김남규 교수님께도 감사드립니다.

무엇보다도 2년 동안 연구실 생활을 동고동락해온 동기언니, 오빠들이 있었기에 연구실 생활이 좋은 추억으로 남을 것 같습니다. 힘든 일이 있을 때마다 엄마 같이 따듯하게 챙겨준 수영언니, 늘 성숙한 충고로 올바른 행동을 하게 도와주는 시내언니, 학부생활부터 늘 아낌없이 챙겨주고 이제는 막역한 친구이자 친오빠 같은 민수오빠와 동윤오빠, 항상 즐거운 홈런볼 선동오빠 모두 진심으로 감사합니다. 그리고 연구실 생활의 든든한 버팀목이 되어준 소중한 인연 우진오빠에게 고마움을 전합니다.

그동안 아낌없는 조언과 배움을 선사해준 선배님들, 후배님들의 도움으로 연구실 생활을 보다 뜻 깊게 보낼 수 있었습니다. 먼저, 언제나 한걸음 앞에서 후배들을 이끌어주시는 김기훈 선배님, 따뜻한 관심과 격려로 도움을 주신 박창봉 선배님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 항상 인간적으로 따듯하게 대해주는 미연언니, 매번 학문적으로 도움을 청할 때마다 성실하게 가르쳐준 성은언니, 타의

모범이 되는 근면성실한 종식오빠, 유쾌하면서도 진지한 진짜 선배같은 미시건 인연 현도오빠, 항상 조용하게 묵묵히 일하시는 정하오빠에게 감사의 마음을 전합니다. 그리고 동갑이지만 항상 싫은 내색 없이 모든 일 도맡아 하는 정말 배울 점이 많은 민희에게 각별한 고마움을 느끼지 않을 수 없습니다.

정말 귀여운 동생 호진이, 부지런한 승민이, 편안하고 따듯한 혜린언니, 알수록 반전을 거듭하는 수현이, 언제나 솔선수범하는 진우오빠, 정말 고생많은 광현오빠, 그리고 자신의 일처럼 기꺼이 도와준 반듯한 청년 석모와 영현이에게 정말 고맙다는 말을 전하고 싶습니다. 새로운 후배 보랑이랑 수진이도 앞으로 연구실 생활 잘 할 거라 믿습니다.

마지막으로, 항상 헌신적으로 사랑과 믿음을 주시는 부모님, 하나밖에 없는 내 동생 다워에게 감사의 마음을 전합니다. 저에게 베풀어주신 은혜, 글로 다 표현할 수 없지만 저에게 주신 사랑과 관심이 헛되이 되지 않도록 자랑스러운 딸이 되기 위해 더욱 노력하겠습니다.

연구실 생활은 저에게 학문적 습득은 물론 제 자신이 한결 성숙해지는 인생의 디딤돌이 되었습니다. CSBR에 소속된 것에 자부심을 갖고 누가 되지 않도록 더욱 성장하는 선배, 후배가 되도록 항상 노력하겠습니다.

2011년 2월 정 아 름