

第 112 回 碩士學位論文

指導教授 李 彦 求

도시특성에 따른 태양에너지시스템

적용에 관한 연구

A Study on the Application of Solar 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

李 敏 熙

2010年 2月

도시특성에 따른 태양에너지시스템 적용에 관한 연구

A Study on the Application of Solar Energy
Systems based on Urban Characteristics

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함.

2010年 2月

中央大學校 大學院
建築學科 建築環境 및 設備專攻
李 敏 熙

李敏熙의 碩士學位論文으로 認定함.

審査委員長

박진철



審査委員

권영철



審査委員

이연구



中央大學校 大學院

2010年 2月

목 차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위 및 방법	4
제 2 장 도시의 태양에너지시스템 적용에 관한 이론적 고찰	6
2.1 태양에너지시스템(Solar Energy System)	6
2.1.1 태양광발전 시스템	7
2.1.2 태양열 시스템	15
2.2 도시차원의 태양에너지시스템 적용 사례	21
2.2.1 태양광발전 시스템 적용사례	21
2.2.2 태양열 시스템 적용사례	25
2.3 소결	28
제 3 장 도시특성을 고려한 태양에너지시스템 적용프로세스 정립	29
3.1 태양에너지시스템 적용을 위한 도시특성 고려요소	29
3.1.1 지리적 요소	30
3.1.2 도시 물리적 요소	31
3.2 도시의 에너지 소비 특성	35
3.2.1 도시의 에너지 소비특성 현황	35
3.2.2 건물 용도별 에너지 소비 특성	36
3.3 태양에너지 시스템 적용 프로세스 정립	41
3.3.1 기존 도시특성을 반영한 기준모델 설정	42
3.3.2 도시특성에 따른 태양에너지 잠재성 평가	45
3.3.3 도시의 에너지 소비량 산정	48
3.3.4 도시특성에 따른 태양에너지 시스템 적용계획	48

제 4 장 도시유형에 따른 사례 연구.....	50
4.1 대상지 선정 및 지리적 특성 분석.....	50
4.1.1 저층 단독주택단지.....	51
4.1.2 공동주택단지.....	52
4.1.3 상업단지.....	53
4.1.4 대상지의 지리적 특성.....	54
4.2 태양에너지시스템 적용을 위한 예비조사 분석.....	56
4.2.1 대상지의 태양에너지 잠재성 평가.....	56
4.2.2 대상지의 에너지 수요량 예측.....	61
4.3. 도시특성에 따른 태양에너지시스템 적용계획안 제시.....	72
4.3.1. 저층 단독주택단지.....	72
4.3.2. 공동주택단지.....	80
4.3.3. 상업단지.....	85
4.4. 소결.....	90
제 5 장 결 론.....	92
참 고 문 헌	95
국 문 초 록	98
ABSTRACT	100

표 목 차

<표 2.1> 신재생에너지의 분류	7
<표 2.2> 태양전지의 효율 및 특성	10
<표 2.3> 태양광발전시스템 건축물 적용 유형 분류	15
<표 2.4> 평판형·진공관형 집열기의 정의 및 특성	17
<표 2.5> 적용 온도와 시스템 특성에 따른 시스템의 분류	19
<표 2.6> Nieuwland 세부 프로젝트 설치사양 및 적용모습	23
<표 2.7> Solarthermie 2000의 세부 프로젝트 설치사양 및 적용모습	27
<표 2.8> 태양에너지시스템의 적용 형태별 도시차원의 적용가능성	29
<표 3.1> 도시 밀도의 유형별 정의	33
<표 3.2> 서울 지역의 건축 밀도 기준	43
<표 3.3> 도시특성을 반영한 기준 설정	44
<표 3.4> 각 유형별 기준모델의 세부 정보	45
<표 3.5> 시스템별 적용가능 연간 총 일사량 기준	47
<표 3.6> 기준모델의 일사활용가능성(Solar Potential)	48
<표 3.7> 시스템 적용 대안 평가 기준	50
<표 4.1> 저층 단독주택단지 개요	52
<표 4.2> 공동주택단지 개요	53
<표 4.3> 상업단지 개요	54
<표 4.4> 대상지 지형의 고도차	55
<표 4.5> 전국 주요 도시의 월별 연평균 1일 수평면 일사량(1982~2004) ...	56
<표 4.6> 저층 단독주택단지의 일사활용가능성	58
<표 4.7> 공동주택단지의 일사활용가능성	59
<표 4.8> 상업단지의 일사활용가능성	61
<표 4.9> 공동주택의 연면적당 에너지 소비량	63
<표 4.10> 공동주택의 월별 에너지 사용비율 및 월별 면적당사용량	63
<표 4.11> 주거건물의 열에너지 사용부문별 연간 사용비율	64
<표 4.12> 주거건물의 전기에너지 사용부문별 연간 사용비율	64
<표 4.13> 상업건물의 연면적당 에너지 소비량	65
<표 4.14> 상업건물의 월별 에너지 사용비율 및 월별 면적당사용량	66
<표 4.15> 상업건물의 에너지 사용부문별 연간 사용비율	66

<표 4.16> 업무건물의 연면적당 에너지 소비량	68
<표 4.17> 업무건물의 월별 에너지 사용비율 및 월별 면적당사용량	68
<표 4.18> 업무건물의 에너지 사용부문별 연간 사용비율.....	69
<표 4.19> 단지별 연간 에너지 소비량	70
<표 4.20> 단지유형별 월별 에너지 소비량 및 소비비율.....	71
<표 4.21> 최대적용안의 시스템 적용구성	73
<표 4.22> 태양광 발전 대표 시스템의 설치 사양.....	74
<표 4.23> 태양열 대표 시스템의 설치 사양.....	74
<표 4.24> 저층단독주택단지의 최대 적용안 성능평가	77
<표 4.25> 저층 단독주택단지의 시스템별 에너지 생산 계획.....	78
<표 4.26> 캐노피형 태양광 발전 대표 시스템의 설치 사양.....	79
<표 4.27> 저층 단독주택단지 계획안의 에너지 성능 결과.....	79
<표 4.28> 공동주택단지의 최대 적용안 성능평가	82
<표 4.29> 공동주택단지의 적용부분별 시스템 설치 규모	84
<표 4.30> 창호적용 BIPV 시스템의 사양.....	84
<표 4.31> 공동주택단지 계획안의 에너지 성능 결과	85
<표 4.32> 상업단지의 최대 적용안 성능평가	87
<표 4.33> 상업단지의 시스템별 배치방법	88
<표 4.34> 상업단지의 적용부분별 시스템 설치 규모	89
<표 4.35> 수평차양형 BIPV 시스템의 사양.....	89
<표 4.36> 상업단지 계획안의 에너지 성능 결과.....	90

그림 목차

(그림 1.1) 연구 흐름	5
(그림 2.1) 태양전지의 기본 구조 및 작동원리	7
(그림 2.2) 태양광 발전 시스템의 구성	8
(그림 2.3) 태양전지의 모듈성	8
(그림 2.4) 독립형 시스템의 계통구조	10
(그림 2.5) 계통연계형 시스템의 계통구조	11
(그림 2.6) 하이브리드형 시스템의 계통구조	11
(그림 2.7) 셀표면의 일사량과 PV 셀의 전기생산량의 관계	12
(그림 2.8) 춘분(3.20), 하지(6.21), 추분(9.23), 동지(12.22)의 수평면 일사량	13
(그림 2.9) 태양열 시스템 구성요소	15
(그림 2.10) 태양열 급탕시스템	19
(그림 2.11) 태양열 난방시스템	19
(그림 2.12) Nieuwland의 전경	21
(그림 2.13) Stad van de Zon의 마스터플랜	23
(그림 2.14) Stad van de Zon의 다양한 태양광발전시스템 적용사례	24
(그림 2.15) DLSC의 구성도	27
(그림 2.16) DLSC 전경	27
(그림 3.1) 태양에너지시스템 적용을 위한 도시특성 고려요소	29
(그림 3.2) 지역별 월평균 일사량	30
(그림 3.3) 가로에 면하는 방위에 따른 태양에너지 접근 가능율(Solar Access)	31
(그림 3.4) 요철도(凹凸度, Roughness)의 개념도	33
(그림 3.5) 전국 각 도시의 부문별 에너지 소비비율	35
(그림 3.6) 건물의 에너지 요소	37
(그림 3.7) 주거건물의 시간별 부하율	38
(그림 3.8) 주거건물의 운영 스케줄	38
(그림 3.9) 상업건물의 시간별 부하율	39
(그림 3.10) 상업건물의 운영스케줄	39
(그림 3.11) 업무건물의 시간별 부하율	39
(그림 3.12) 업무건물의 운영스케줄	39

(그림 3.13) 병원건물의 시간별 부하율	40
(그림 3.14) 병원건물의 운영스케줄	40
(그림 3.15) 숙박건물의 시간별 부하율	40
(그림 3.16) 숙박건물의 운영스케줄	40
(그림 3.17) 도시특성을 고려한 태양에너지 시스템 적용 프로세스	41
(그림 3.18) Autodesk Ecotect Analysis 2010을 이용한 일사활용가능성 시뮬레이션 모습	46
(그림 4.1) 용도지역을 기초로 한 단지 유형 및 대표 건물 유형 선정	50
(그림 4.2) 저층 단독주택단지의 향별 일사활용가능면적 비율(입면)	56
(그림 4.3) 상업단지의 향별 일사활용가능 면적 비율(입면)	59
(그림 4.4) 대상지의 건축물 에너지 소비량 예측 방법	61
(그림 4.5) 주거건물의 대표일간 에너지소비원단위	64
(그림 4.6) 상업건물의 대표일간 에너지소비원단위	66
(그림 4.7) 업무건물의 대표일간 에너지소비원단위	68
(그림 4.8) 각 단지의 대표일간 에너지소비량	71
(그림 4.9) 태양열시스템 집열기의 이격거리	74
(그림 4.10) 저층 단독주택단지의 시스템 최대 적용 시 옥상면 시스템 배치 ..	75
(그림 4.11) 저층 단독주택단지의 대표일간 에너지 생산량-소비량	79
(그림 4.12) 공동주택단지의 시스템 최대 적용 시 옥상면 시스템 배치 ...	80
(그림 4.13) 공동주택단지의 대표일간 에너지 생산량-소비량	84
(그림 4.14) 상업단지의 시스템 최대 적용 시 옥상면 시스템 배치	85
(그림 4.15) 상업단지의 대표일간 에너지 생산량-소비량	90

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

전 세계는 현재 기후변화와 화석에너지원의 고갈이라는 두 난제에 직면해 있으며, 이 문제들은 인간의 생존을 위협하고 있다. 자본주의 문명에 따른 산업 활동의 부산물로 발생한 CO₂배출량의 증가로 1970년대부터 지구온도가 가파르게 상승하고 있다. 2007년 11월 발표된 기후변화정부간협의체(Inter-governmental Panel on Climate Change: IPCC)의 제 4차 보고서¹⁾에 따르면, 지구 온난화의 지표인 지구표면온도는 1906년부터 2005년까지 $0.74 \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ 상승하였고, 이러한 상승 패턴은 지난 1,000년간 유래가 없는 높은 상승폭이라고 밝히고 있다. 또한 이들은 현재와 같이 지속적으로 화석연료를 사용할 경우, 21세기 말까지 지구 평균기온이 최대 6.4°C 상승할 것으로 예측하고 있다.

또한, 주요 화석연료의 예상 매장량은 2006년 12월 기준 석유 12,082억 bbl, 석탄 9,091억 ton, 천연가스 6,406조 ft^3 으로 현재와 같은 속도로 사용한다면 각각 41년, 147년, 63년 후에 모두 고갈될 것으로 예측되고 있다²⁾. 하지만 인구증가와 함께 오히려 에너지 사용량은 점차 증가하고 있으며, 대부분의 에너지를 화석연료에서 얻고 있으므로 이에 대한 대책이 시급하다.

이를 해결하기 위한 움직임으로 국제 사회는 기후변화의 주요 원인인 온실가스(GHG, Green House Gas)³⁾의 구속력 있는 감축을 위해 1997년 12월 제3차 당사국총회에서 교토의정서(Kyoto Protocol)를 채택하고 2005년 2월 공식 발효하였다. 교토의정서는 온실가스 배출의 역사적 책임이 있는 선진국(38개국)을 대상으로 온실가스 감축 목표량을 1990년 대비 평균 5.2%로 정하고 있다. 우리나라는 협상과정에서 개발도상국으로 분류되어 의무대상국에서 제외되었으나, 2013년부터 시작되는 2차 이행기간에는 의무대상국으로 분류될 가능성이 높다.

1) IPCC, Climate Change 2007: Synthesis Report, 2007.11

2) BP, BP Statistical Review of World Energy, 2007.06

3) 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소화불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆)의 6가지를 온실가스로 구분함

이러한 국제적인 정세와 더불어 국내에서도 2008년부터 ‘저탄소 녹색성장’을 새로운 국가 발전의 패러다임으로 제시하였다. 저탄소 녹색성장기본법(안)을 따르면 ‘저탄소’라 함은 화석연료에 대한 의존도를 낮추고 청정에너지의 사용 및 보급을 확대하며 녹색기술 연구개발, 탄소 흡수원 확충 등을 통하여 온실가스를 적정수준 이하로 줄이는 것을 말한다. 또한 ‘녹색성장’이란 에너지·자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 기후변화와 환경훼손을 줄이고 청정에너지와 녹색기술의 연구개발을 통하여 새로운 성장 동력을 확보하며 새로운 일자리를 창출해 나가는 등 경제와 환경이 조화를 이루는 성장을 말한다⁴⁾. 이러한 저탄소 녹색성장의 패러다임에서 환경으로의 영향이 적은 신재생에너지의 개발 및 보급이 매우 중요하다.

또한 우리나라는 2009년 7월 9일, 이탈리아 중부 도시 라퀼라에서 개막한 G8(선진 8개국) 확대정상회의의 기후변화(MEF) 세션에서 7대 전환적 기술의 하나인 스마트 그리드(Smart Grid) 기술⁵⁾의 선도 국가로 선정되었다. 따라서, 분산전원⁶⁾으로 활용할 수 있는 신재생에너지시스템의 중요성이 더욱 증대될 것이다.

건축분야에서는 저탄소 녹색성장의 움직임 이전부터 “지속가능한 개발(Sustainable Development)”과 “친환경 건축물(Green Building)”에 대한 관심이 증가하고 있었으며, 에너지 사용량을 감축시키는 저에너지 기술과 청정에너지 생성 기술인 신재생에너지시스템의 건축물 적용에 대한 연구가 시행되고 있다. 하지만 대부분의 신재생에너지 시스템이 자연조건, 기후조건에 따라 에너지 생산의 변동이 크기 때문에, 개별건축물의 시스템 적용은 에너지 공급의 불안정성이라는 단점을 가지고 있다. 따라서 안정적인 에너지 공급을 위해서는 개별 건축물이 아닌 도시단위로 시스템이 적용되어야 한다.

태양에너지시스템의 경우 일사가 도달하는 모든 곳에서 에너지 생산이 가능하므로, 별도의 시스템 설치공간이 부족한 도시환경에서 건축물의 외피에 부착하거나 일체화하는 방식으로 도시적용이 가능하다. 또한, 태양광발전시스템의 경우 최종적인 생산에너지의 형태가 전력이므로 분산형 에너지공급 시스템에서 분산전원으로 활용할 수 있는 가능성이 크다. 하지만 도시차원의

4) 저탄소 녹색성장 기본법(안) 제1장 총칙 제2조, 2009.01

5) 스마트 그리드는 분산형 에너지 공급 시스템에서 더 나아가 전력망에 정보기술(IT)을 접목하여, 전력공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환, 에너지효율을 최적화하며 새로운 부가가치를 창출하는 차세대 전력망. 자료: 지식경제부, 한미, 미래 성장동력 스마트 그리드 산업의 러닝메이트로, 2009.06

6) 최종 수요지 부근(On-site) 또는 배전선로 지원용으로 설치되는 엔진, 소규모 가스터빈, 연료전지, 태양광 및 풍력을 포함하는 발전시설로 전력계통과 연계 또는 독립전원으로 사용되는 모든 발전 설비를 총칭함, 전력저장설비 포함. 자료: IEA, International Energy Agency

태양에너지시스템 적용에 있어서 도시특성⁷⁾은 에너지 생산에 영향을 끼치며, 다양한 패턴의 에너지 소비특성을 야기한다. 따라서 효율적인 도시차원의 시스템적용을 위해서는 도시특성을 반영한 태양에너지의 정량적인 잠재성을 분석한 후 시스템을 적용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

따라서 본 연구는 도시차원의 효율적인 태양에너지시스템의 적용을 위해 기존 도시의 특성을 반영하여 태양에너지원의 잠재성을 평가하며, 도시의 에너지 수요량을 예측한다. 그리고 분석 결과를 토대로 도시특성을 반영한 적용 프로세스를 제시한다. 또한 사례연구로서 다양한 도시유형을 대표하는 표본 도시모델을 대상으로 제안된 태양에너지시스템 적용 프로세스를 실시하여 각 유형에 적합한 태양에너지시스템 계획안을 제안한다. 본 연구의 결과는 신축·기존 도시의 태양에너지시스템 적용 가능성을 고양시킬 수 있을 것이며, 궁극적으로 건축분야의 CO₂ 발생량을 감소시킬 수 있을 것이다.

7) 본 연구에서는 도시특성을 지리적 특성(지형, 기후), 물리적 특성(도시의 형태, 도시의 규모, 도시의 용도)로 제한하여 진행함.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 효율적인 도시단위의 태양에너지시스템 적용을 위해 고려해야할 도시특성을 파악한 후, 그에 따른 적용가능성을 판단하기 위해 기존 도시의 구성 건물을 대상으로 하는 태양에너지 잠재성 평가방법을 제시한다. 그리고 잠재성 평가결과와 도시의 에너지 수요 예측치를 근거로 하여 도시특성을 고려한 태양에너지시스템 적용 프로세스를 제안한다.

본 연구의 진행 방법을 요약하면 다음과 같다.

(1) 도시의 태양에너지시스템 적용을 위한 이론적 고찰

도시특성을 반영한 태양에너지시스템 적용 프로세스 제시를 위한 기초조사로서, 태양에너지시스템에 해당하는 태양광발전시스템과 태양열시스템의 원리, 에너지 생산특성, 건축물 적용 방법을 조사한다. 또한 실제 도시규모의 시스템 적용 사례를 조사하여 도시의 시스템 적용 형태를 파악한다.

(2) 태양에너지시스템 적용을 위한 도시특성요소 조사 및 도시의 에너지 소비 특성 조사

태양에너지시스템 적용 프로세스 정립을 위한 기초 자료로서, 태양에너지 시스템 적용을 위해 고려해야할 도시특성요소를 조사한다. 이때 해당하는 도시특성은 지리적 특성과 물리적 특성으로, 각 도시특성 요소와 태양에너지 시스템 적용간의 상관관계를 파악한다. 또한 적용 프로세스 정립을 위해 도시의 에너지 소비 특성을 조사한다. 본 연구에서는 도시의 에너지 소비를 건축물을 통한 에너지 소비로 한정하여, 도시를 구성하는 건축물의 용도별 에너지 소비패턴을 조사한다.

(3) 태양에너지시스템 적용 프로세스 정립

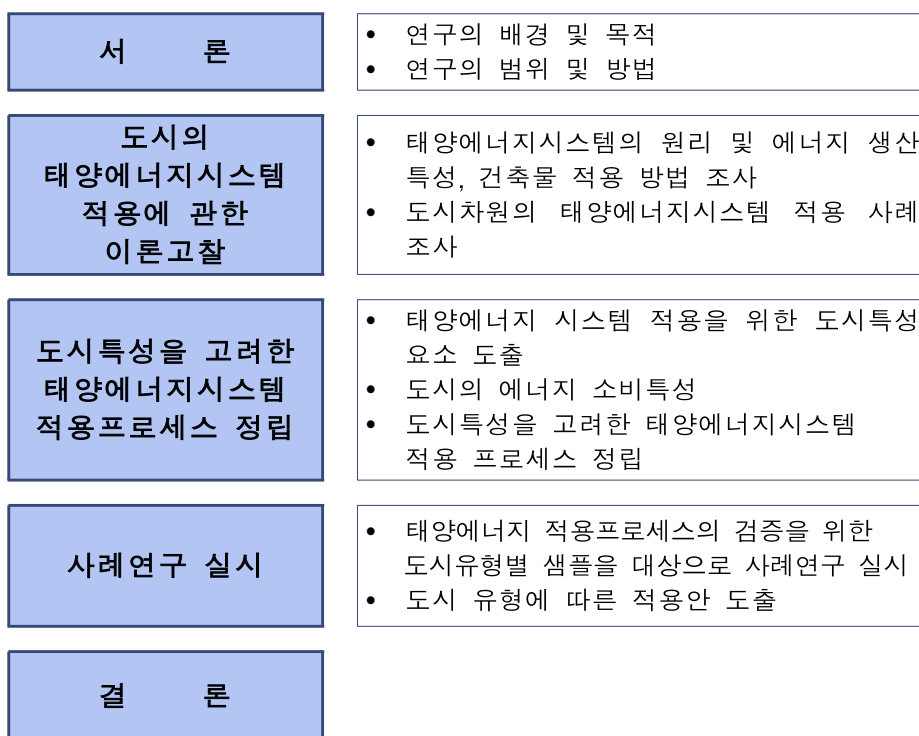
태양에너지시스템 적용 프로세스 정립을 위해 도시의 특성에 따른 태양에너지 잠재성 평가를 제시한다. 태양에너지의 잠재성 평가는 도시의 형태(건물 규모, 건축 밀도, 요철도), 규모, 용도, 기후, 지형을 포함하는 도시특성을 반영하여 시행된다. 또한 도시 환경하의 태양에너지의 잠재성을 판단하기 위한 평가 요소인 일사활용가능성(Solar Potential)을 제안하고, 평가 기준을 정립한다.

제안한 태양에너지원의 잠재성평가를 기초로 도시특성에 따른 태양에너지 시스템 적용 프로세스를 정립한다. 프로세스는 도시의 에너지 수요량 예측과 잠재성 평가를 포함하는 예비조사 단계, 예비조사 과정을 통해 산출된 시스템 설치 가능 용량을 정량적으로 검토 한 후 시스템을 배치하여 대안을 설정하는 계획단계, 대안을 평가하여 최적안을 도출하는 평가단계로 구성된다.

(4) 사례연구를 통한 도시유형별 태양에너지시스템 적용안 도출

태양에너지 적용 프로세스를 검증하기 위해 다양한 유형의 기존 도시 샘플을 대상으로 사례연구를 실시한다. 또한 각 유형에 따른 적용 프로세스를 실시하여, 각 도시유형별 태양에너지시스템 계획안을 제시한다.

본 연구의 흐름은 다음 (그림 1.1)과 같다.



(그림 1.1) 연구 흐름

제 2 장 도시의 태양에너지시스템 적용에 관한 이론적 고찰

2.1 태양에너지시스템(Solar Energy System)

신재생에너지란 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛, 물, 지열, 강수, 생물유기체 등을 포함하여 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지⁸⁾로서, 다음 <표 2.1>과 같이 재생에너지 8개 분야와 신에너지 3개 분야로 구분된다.

<표 2.1> 신재생에너지의 분류

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

신재생에너지는 자연 에너지를 기반으로 하기 때문에 환경 친화형 청정에너지라고 할 수 있으며, 기존 에너지 생산 시스템과 비교했을 때 CO₂ 발생이 적다. 또한 무한한 자연의 에너지를 에너지원으로 하기 때문에 고갈될 위험성이 없어 국제적 난제인 지구온난화를 해결할 수 있는 지속가능한 대응방법으로 제시되고 있다.

하지만 신재생에너지 시스템의 생산에너지 형태와 에너지 생산패턴 및 시스템 적용방법은 신재생에너지 종류에 따라 다양하며, 도시환경에 적용할 수 있는 시스템은 한정적이다. 특히 도시환경은 시스템을 설치할 별도의 면적이 협소하기 때문에, 시스템을 건축물에 통합하는 방법이 유용하다. 특히 태양에너지시스템의 경우, 태양에너지가 도달할 수 있는 모든 부분에 다양한 형태로 적용할 수 있으며 건축물의 외피와 일체화할 수 있다.

하지만 태양에너지시스템 또한 외부 기후환경에 의해 간헐적으로 에너지를 생산하는 특성을 나타내며, 도시의 조건에 의해 적용방법에 영향을 받는다. 그러므로 효율적인 도시 적용을 위해서는 시스템에 대한 기초조사가 필요하다. 따라서 본 장에서는 각 시스템의 원리 및 에너지 생산특성, 건축물 적용방법을 조사한 후, 실제 도시규모로 태양에너지시스템이 적용된 사례를 조사하여 효율적인 시스템 적용을 위한 기초조사를 수행하였다.

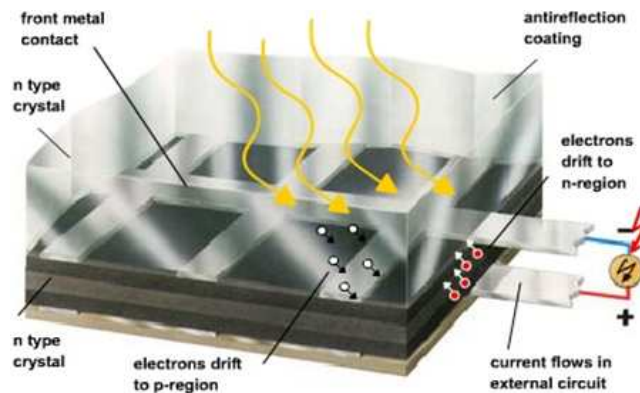
8) 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제 2조

2.1.1 태양광발전 시스템

(1) 시스템 개요 및 발전원리

태양광 발전 시스템은 깨끗하고 무한한 태양에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술이며, 열을 이용하는 태양열발전과는 달리 태양빛을 받아 반도체 물질로 이루어진 태양전지에서 바로 전기를 생산한다. 태양광발전시스템은 에너지 변환과정에서 기계적, 화학적 작용이 없으므로 시스템의 구조가 단순하여 유지보수가 거의 필요 없고, 수명이 20~30년 정도로 길며 안전하고 환경 친화적이다. 또한 발전 규모를 주택용에서부터 대규모 발전용까지 다양하게 적용할 수 있다⁹⁾.

태양광 발전 시스템은 빛의 광기전력효과(光起電力效果, photoelectric effect)를 발전원리로 한다. 광기전력효과란 복사 에너지가 직접 전기 에너지로 변환되는 현상으로 빛을 받아 기전력이 발생하는 현상이다¹⁰⁾. 태양광 발전 시스템의 기본 구성요소인 태양전지는 p(positive)형과 n(negative)형 반도체의 접합으로 구성되어 있으며('p-n 접합'), 반도체의 앞 뒤 표면에 금속전극을 붙여 제작된다. 빛이 반도체에 흡수되면 전자와 정공 쌍이 생성되고 전자와 정공은 p-n 접합부에 존재하는 전기장의 영향으로 서로 반대 방향으로 흘러가므로, 연결된 외부 회로에 전기가 발생하게 된다(그림 2.1).



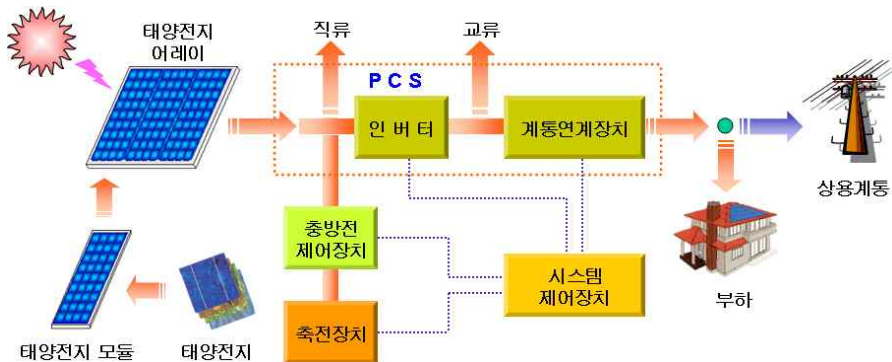
(그림 2.1) 태양전지의 기본 구조 및 작동원리

9) 에너지관리공단 산·재생 에너지 센터, 신재생에너지 백서 2008, 2008.12, p.280

10) 산업자원부, 태양광발전 용어집, 2007, p.1

(2) 태양광발전 시스템 구성요소

태양광 발전 시스템의 구성 요소는 (그림 2.2)와 같이 태양에너지를 전기에너지로 변환시켜주는 태양전지 및 모듈 이외에도 생산된 전기를 수요에 맞도록 교류로 변환시키고 계통에 연결시켜주는 부분인 PCS 시스템, 생산된 전기를 일시적·장기간 저장하는 축전장치로 구성된다.



(그림 2.2) 태양광 발전 시스템의 구성

가) 태양전지

태양광 발전 시스템의 핵심적 요소인 태양전지의 제조과정은 원료 가공공정, 기판 제조공정, 셀 제작공정, 모듈 조립 고정공정을 거치며, 이러한 공정을 통해 하나의 태양전지 패널이 만들어진다. 이러한 태양전지 패널은 태양광 발전 시스템의 기본구성 단위가 되며, 태양전지의 모듈성에 의해 시스템 용량을 자유롭게 조절할 수 있다(그림 2.3).



(그림 2.3) 태양전지의 모듈성

또한 태양전지의 효율은 시스템전체의 효율에 크게 영향을 끼치며, 이러한 태양전지의 효율은 태양전지의 원료 및 형식에 따라 달라진다. 태양전지분류는 결정질 실리콘, 실리콘 박막, 화합물 반도체, 유기 태양전지 등으로 분류되며, 결정질 실리콘류의 단결정(Single Crystalline Si)형, 다결정 (Poly-Crystalline Si)형, 박막형(Poly-Crystalline Si Thin Film)의 형태가 일반적으로 사용된다. <표 2.2>는 일반적으로 사용되는 태양전지의 효율 및 특성을 나타낸 것이다.

<표 2.2> 태양전지의 효율 및 특성

분류	결정질 실리콘 형		박막형
	단결정형	다결정형	
제작 과정	- 광석(규석, 모래)을 정제하여 폴리실리콘 제조 - 폴리실리콘을 주조하여 잉곳 제조 후, 잉곳을 절단하여 단결정 실리콘 웨이퍼 완성 - 웨이퍼 표면 에칭 후 PN 접합 형성 후 전극 형성	- 다결정 실리콘을 주조하여 잉곳 제조 후, 잉곳을 절단하여 다결정 실리콘 웨이퍼 완성 - 웨이퍼 표면 에칭 후 PN 접합 형성 후 전극 형성	유리, 스테인리스 강 또는 플라스틱과 같은 저가의 기판에 반도체 막(膜)을 수 마이크로 두께로 코팅하여 제작
최대 효율	17%	14%	10%
장점	- 변환 효율이 가장 높음 - 반도체 산업에서 이미 개발된 기술 및 장비를 동일하게 활용	- 단결정형에 비해 변환 효율이 낮지만 가격이 낮음 - 반도체산업에서 이미 개발된 기술 및 장비를 동일하게 활용	- 결정질 실리콘 전지에 비해 소재 적게 사용 - 자동화 통해 모듈 공정까지 일관화 가능

나) 전력변환제어장치

전력변환제어장치는 크게 인버터 부분과 전력제어장치 부분으로 구성된다. 인버터는 태양전지에서 생성되는 직류전기를 교류전기로 변환하여 전력계통에 공급하는 역할을 한다. 전력제어장치 부분은 태양광 모듈에서 최대 출력을 얻고 직류, 교류 측의 전기적인 감시·보호 기능을 수행한다. 전력변환제어장치는 태양전지 본체를 제외한 주변장치 중 가장 큰 비중을 차지한다¹¹⁾.

다) 축전장치(Storage Battery)

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

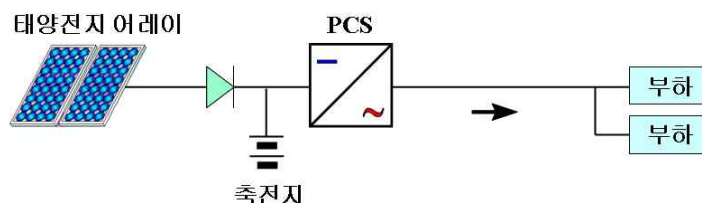
11) 산업자원부, 산·재생에너지 RD&D 전략 2030[태양광], 2007.11, p.5

(3) 태양광발전 시스템의 종류

태양광 발전 시스템의 종류는 적용 형태에 따라 크게 독립 전원형(off-grid system)과 계통연계형(grid connected system), 하이브리드형(hybrid system)시스템으로 분류 할 수 있다.

가) 독립 전원형(Off-Grid System)

독립 전원형은 전력계통으로부터 전력을 공급받지 못하는 낙도나 산간벽지, 무인등대, 무인중계소 등에 축전지와 인버터를 이용하여 직류 부하 또는 교류 부하에 전력을 공급한다.

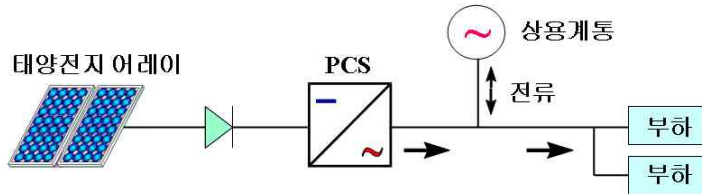


(그림 2.4) 독립형 시스템의 계통구조

나) 계통연계형(Grid Connected System)

계통연계형 시스템은 상용계통과 직접 연계되어 시스템에서 발전된 전력을 부하에 공급하고 야간 혹은 우천 시에는 부족한 전력을 상용계통으로부터 공급받는 시스템이다¹²⁾. 계통 연계형은 크게 단방향 연결형과 양방향 연결형으로 구분된다. 단방향 연결방식은 주택용, 공장용 전원으로 많이 이용되는 시스템으로서 부하측에 전력을 공급하며, 축전지를 사용하고 상용계통에서 부족한 전력만 조달하는 시스템이다. 양방향 연결방식은 전력부하가 없을 시에 생산전력을 상용계통에 역 송전하는 시스템이다. 일반적으로 계통연계형은 축전시설이 필요 없으며, 도시 기반시설을 통해 생산된 에너지를 총체적으로 관리하므로 도시차원의 태양광 발전시스템 적용에 핵심적인 요소라고 할 수 있다.

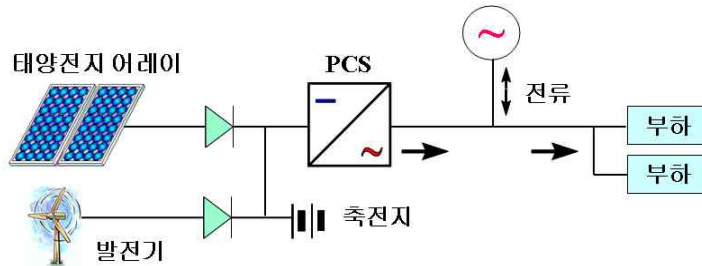
12) 산업자원부, op. cit, 2007.11, p.12



(그림 2.5) 계통연계형 시스템의 계통구조

다) 하이브리드형(Hybrid System)

하이브리드형은 태양광발전 시스템에 풍력발전, 열병합발전, 디젤발전 등의 타 에너지원의 발전시스템과 결합하여 전력을 저장하거나, 부하 혹은 상용계통에 전력을 공급하는 시스템이다. 하이브리드형은 주로 태양광발전의 간헐적인 생산패턴을 보완하기 위해 사용된다.



(그림 2.6) 하이브리드형 시스템의 계통구조

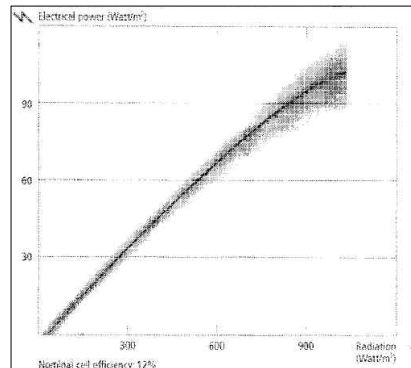
(4) 태양광발전 시스템의 에너지 생산 특성

태양광발전 시스템은 태양에너지에 포함된 빛의 광기전력효과의 원리로 전기에너지를 생산하므로, 태양전지에 도달하는 태양광량의 영향을 받는다. 이러한 태양광량은 일사(Insolation) 또는 입사 태양복사(incident solar radiation)로 알려져 있다. 그러나 기상청의 측정 자료로는 특정 부지의 일사량을 확인하기 어렵기 때문에 가장 일반적으로 수평면의 평균 일간 총 복사(average daily total radiation) 또는 전천복사(global radiation)를 이용한다¹³⁾. 그러므로 태양광 발전 시스템의 발전 패턴은 일사량과 유사한 패턴을 나타내게 된다. (그림 2.7)¹⁴⁾은 일사량과 PV 시스템의 출력 값의 관계를 나

13) 김성은, 건축물의 신재생에너지 복합 활용 계획에 관한 연구, 중앙대 석사학위논문, 2009.02, p.23

14) O. Humm.외, Photovoltaics in Architecture, Basel, Birkhauser Verlag, 1993, p.98

타내며, PV 시스템의 출력 값을 최대화하기 위해서는 많은 일사량을 획득하는 것이 무엇보다 중요하다는 것을 보여준다.



(그림 2.7) 셀표면의 일사량과
PV 셀의 전기생산량의 관계

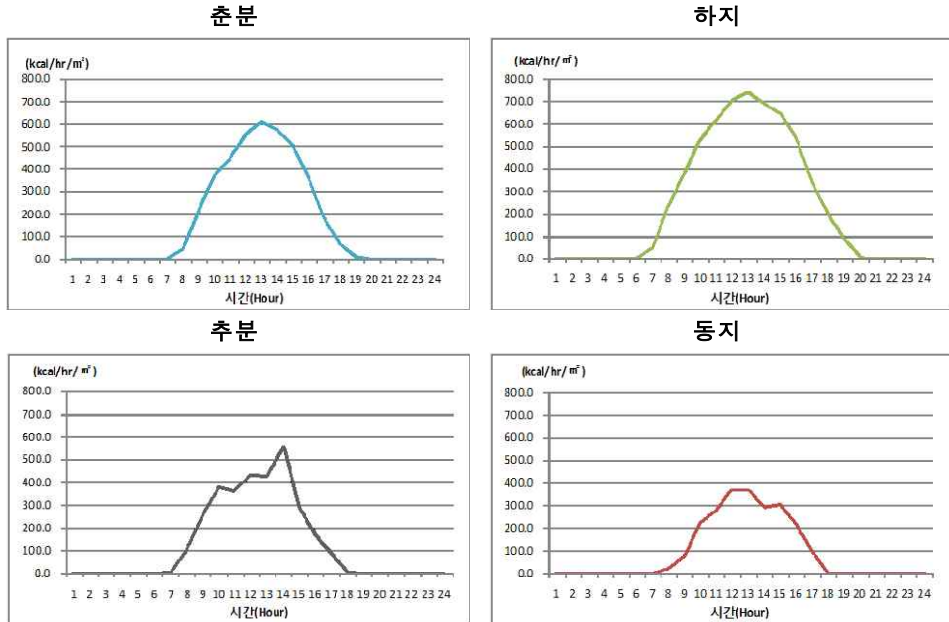
따라서 태양광 발전 시스템의 에너지 생산량은 일사량에 영향을 주는 모든 요인에 의해 변동할 수 있다. 일사는 대기권내의 여러 가지 작용을 거쳐 지표면에 도달하게 되므로, 대기권 밖의 일사량 값은 지표면에 입사하는 수평면 전일사량에 비해 현저한 차이를 보이게 된다. 그러므로 청명한 날이나 대기상태가 오염되지 않은 조건일 때 도달하는 일사량이 상대적으로 크며, 흐린 날이나 오염된 대기에서는 대기권내에서 흡수되는 일사량이 증가하여 상대적으로 지표면에 도달하는 일사량은 감소한다¹⁵⁾. 즉 대기의 청명도 (clearness index)¹⁶⁾에 따라 태양광발전시스템의 효율이 바뀔 수 있다. 또한 일사량은 태양광발전시스템이 설치되는 위치, 즉 위도와 경도에 따라 변화하며 태양고도의 변화로 각 절기마다 다른 값을 나타낸다. 다음 (그림 2.8)은 서울지역의 춘분, 추분, 동지, 하지의 수평면 일사량¹⁷⁾을 나타낸다. 일간 수평면일사량은 하지의 경우 가장 크게 나타나며, 춘분, 추분, 동지의 순서로 일사량이 적어진다. 하지만 시간별 일사량 패턴은 모든 절기에서 14시에 가장 높은 일사량을 나타내는 유사한 형태임을 알 수 있다.

15) 김현일, 공동주택을 위한 태양광발전 시스템의 적용성에 관한 연구, 인하대 석사학위논문, p 23, 2004.02

16) 청명도(Clearness Index)는 청명한 날에 측정된 수평면 전일사량을 대기권 밖의 일사량으로

나눈 값, $\overline{K_T} = \frac{\overline{H}}{\overline{H_0}}$ ($\overline{K_T}$: 청명도, $\overline{H}$: 수평면 전일사량, $\overline{H_0}$: 대기권밖 일사량)

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



(그림 2.8) 춘분(3.20), 하지(6.21), 추분(9.23), 동지(12.22)의 수평면 일사량

(5) 태양광발전 시스템의 건축물 적용방법

태양광발전 시스템은 일사 획득이 가능한 모든 부분에서 에너지 생산이 가능하므로 건축물로의 적용 가능성이 비교적 큰 시스템이다. 또한 태양광발전 시스템의 요소인 태양전지자체가 판의 형태로 생산되어 적용되기 때문에, 이를 건물에 부착하거나 건물 일체형 태양광 시스템(Building Integrated Photovoltaic, BIPV)의 형태로 건축물의 외피를 대신하여 사용할 수 있다. 특히 이러한 건물 일체형 태양광 시스템은 전력생산이라는 본래의 기능에, 벽면, 차양, 채광창 등의 건물 외피재료로서의 새로운 기능을 추가하기 때문에 건축물의 구조 및 재료비용을 절감하는 이중효과를 기대할 수 있다.

태양광 발전 시스템의 건축물 적용유형은 일체화정도와 건물외피의 적용위치에 따라 분류할 수 있다. 각 적용 분류 및 특징은 다음 <표 2.3>과 같다.

<표 2.3> 태양광발전시스템 건축물 적용 유형 분류

분류기준		특징	적용모습
일체화 정도	독립형	- 기존 건물의 외피와 별도로 새롭게 설치된 구조물에 부착되는 형태 - 최적 향·경사각 유지 가능 - 시각적으로 좋지 않을 수 있음 - 추가비용 필요	
	부착형	- 건물 외피와 평평하게 덧붙이는 방식 - 시각적효과가 독립형보다 좋음 - 건물외피 비용 절약 어려움	
	일체형	- 외피마감형, 차양장치형이 해당 - 외피마감형은 건축물 외장재료 대체를 통해 건축적 기능성을 가짐 - 차양장치형은 전기생산과 자연채광의 효과를 가짐 - 건물외피 비용 절약	
건물외피의 적용위치	입면형	- 건물의 입면에 PV를 부착, 일체화하는 방식 - 일반적으로 수직벽은 지붕에 비해 태양광에 대한 최적의 향과 경사각을 이루기가 어려우며 음영의 영향을 받을 가능성이 큼 - 라미넡글래스, 스펠드릴 글래스, 커튼월 글레이징 시스템으로 일체화 가능	
	지붕형	- 건물의 지붕에 PV를 부착, 일체화하는 방식 - 다른 유형에 비해 효율이 좋으며 건물과의 미학적, 기능적 일체화에 유리함 - 구조적인 문제와 외부 환경적 요인에 대한 내구성 필요 - BIPV 성글, 메탈 루핑, 내부단열루핑의 시스템으로 일체화가능	
	차양형	- PV모듈을 차양장치에 적용시켜 에너지 생산과 동시에 내부에 간접광을 유입시킴 - 크게 수직, 수평형과 고정, 가변형으로 분류할 수 있음	

2.1.2 태양열 시스템

(1) 시스템 개요 및 에너지 생산 원리

태양에너지는 무공해·무한정의 에너지원으로, 태양열시스템에서 이용할 수 있는 지표면에 도달한 태양에너지의 크기는 저밀도의 에너지(최대 1100W/m² 이하)로 주간에만 존재하며, 시간에 따른 변화가 크다¹⁸⁾. 태양열 에너지 시스템은 태양열 에너지의 파동성질을 이용하는 태양에너지 광열학적 이용분야로 태양열의 흡수·저장·열변환 등을 통해 건물의 난방 및 급탕 등에 활용하는 기술을 의미한다. 또한 태양열시스템은 흐린 날이 계속될 경우나 혹은 열이 충분하지 않을 경우를 대비해 보조 열원을 설치해야 한다.

(그림 2.9)와 같이 태양열 시스템은 기본적으로 태양으로부터 얻은 에너지를 열로 변환하는 집열부, 모아진 열을 저장하였다가 필요시 사용하기 위한 축열부, 그리고 저장된 에너지를 공급, 사용하는 이용부로 나누어진다. 집열부는 빛을 받아들이는 부분으로 최대한 빛을 잘 흡수할 수 있도록 색 또는 집열형태가 계획된다. 축열부는 열교환되어 이용처에 활용될 매체(난방용 온수 등)를 저장하는 기능을 가지고 있다¹⁹⁾. 태양에너지는 계절, 시간에 따라 변화가 크므로 열을 저장해놓았다가 필요시 사용할 수 있도록 하는 축열부의 계획은 매우 중요하다.



(그림 2.9) 태양열 시스템 구성요소

18) 에너지관리공단 신·재생 에너지 센터, op. cit, 2008.12, p.364

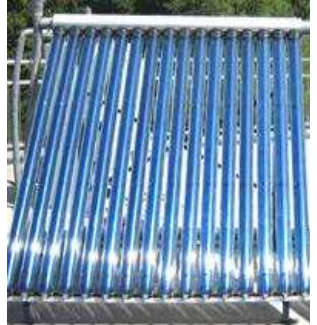
19) 산업자원부, 신재생에너지 이용의무화를 위한 적용모델개발연구, 2004

(2) 태양열시스템 구성요소

가) 집열부

태양열 집열기는 태양 복사 에너지가 입사되는 것을 보통 가열된 공기나 액체 형태의 유용한 에너지로 전환해 주는 기기이다. 집열기는 여러 가지 형태가 있으나 태양열 난방 및 급탕 시스템 등 저온분야에는 평판형 집열기와 진공관형 집열기가 주로 사용된다. 각 집열기의 정의 및 특성은 다음 <표 2.4>와 같다.

<표 2.4> 평판형·진공관형 집열기의 정의 및 특성

구분		내용	적용 모습
평판형 집열기	정의	• 집열면이 평면을 이루면서 태양에너지 흡수면적이 태양에너지의 입사면적과 동일한 집열기 • 태양열 난방 및 급탕 시스템 등 저온 이용분야(100℃이하)에 사용	
	장점	• 전 일사량(직달 및 분산 일사 성분)을 모두 이용할 수 있음 • 태양광을 추적하지 않아도 발전 가능	
	구성	• 투명덮개(transparent cover) • 흡열판(absorber plate) • 집열 매체 도관(riser) • 단열재(thermal insulation) • 집열기 외장박스(housing)	
진공관형 집열기	정의	• 집열체가 내부를 진공으로 한 유리관 내에 유지된 형태의 집열기	
	종류	• 단일진공 유리관형 • 이중진공 유리관형	
	장점	• 진공기술을 사용하여 집열면의 대류열 손실 감소 • 설치면적 감소 • 중온 활용에서도 고효율 유지 • 경량, 설치 용이 • 기존 건물의 외관과 친화적 • 유리관 파손시 파손된 유리관만을 교체 사용 • 태양빛의 입사각에 상관없이 모든 방향에서 빛을 흡수할 수 있는 구조	

나) 축열부

열을 생산하는 열원과 그 열을 이용하는 열기기 사이에는 대체로 공간적, 시간적인 거리가 있다. 공간적인 거리를 극복하기 위해서는 열을 이동시킬 수 있는 열 교환기와 배관이 필요하며, 시간적인 거리를 극복하기 위해 축열이 필요하다²⁰⁾. 특히 태양 일사의 일간 패턴이 주기적이나 비연속적이며, 기 후 또는 일시적인 기상현상에 의해 간헐적으로 에너지를 생산하게 된다. 따라서 집열된 열을 에너지를 사용하고자 하는 시점에 에너지를 사용하기 위해 사용하고 남은 잉여 열에너지를 축열부에 저장한다.

다) 순환 장치

집열기 및 축열장치로부터 공급된 에너지를 건물 내 각 소비처로 분배하는 장치로서, 덕트나 파이프 등 온풍이나 온수를 이동시키는 장치를 말한다. 또한 집열기와 저장조를 통해 흐르는 열매체의 양을 조절한다. 순환 장치는 펌프, 밸브, 배관 등으로 구성된다.

라) 보조열원장치

보조 열원 장치는 태양열시스템을 운전할 수 없는 기간, 혹은 흐린 날씨에 의해 집열 온도가 건물의 난방이나 냉방부하를 만족시킬 수 없을 때 사용한다.

마) 제어장치

태양열 시스템의 제어방법에는 단순히 집열 및 축열 펌프의 ON-OFF를 제어하는 차온제어(Differential Temperature Control Scheme) 방법과 태양열시스템을 순환하는 열매체의 유량까지 제어하는 비례제어(Proportional Control)방법이 있다. 전자는 열매체 펌프가 작동될 경우에는 항상 동일한 유량이 순환되며, 후자는 일사량에 따라서 적당한 유량이 흐르도록 유량제어가 되는 변유량 제어방법이다. 따라서 후자의 경우 펌프의 ON/OFF는 차온제어에 의해 이루어지며, 펌프가 켜진 상태에서는 적정하게 유량이 제어된다.

20) 정선미, 공동주택단지에서의 신재생에너지 시스템 적용에 관한 연구, 중앙대 석사학위 논문, 2008.12, p.29

(3) 태양열시스템의 분류

태양열 에너지는 <표 2.5>와 같이 집열온도에 따라 저온분야, 중·고온분야로 분류되며 시스템의 적용 특성에 따라 자연형과 설비형으로 분류된다. 본 연구에서는 설비형 태양열시스템을 대상으로 하므로, 건축물에 주로 적용되는 태양열 급탕시스템, 태양열 난방시스템, 태양열 냉방시스템으로 분류하기로 한다.

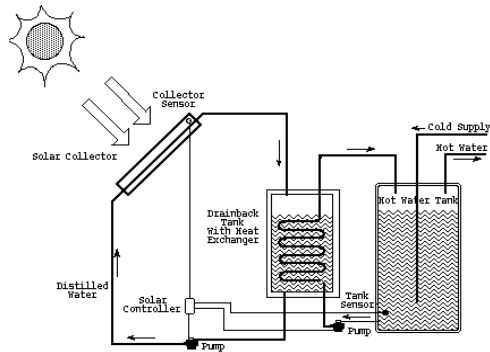
<표 2.5> 적용 온도와 시스템 특성에 따른 시스템의 분류

구분	자연형	설비형		
		저온용	중온용	고온용
활용온도	60℃이하	100℃이하	300℃이하	300℃이상
집열부	자연형시스템	평판형집열기	진공관형 집열기 PTC형 집열기 CPC형 집열기	Dish형 집열기 Power Tower 태양로
축열부	공기, Tromb Wall	저온 축열	중온 축열	고온 축열
적용분야	건물 난방, 온실	건물난방 및 급탕, 농수산분야	건물냉·난방, 산업공정열, 폐수 처리	열발전, 우주용 수소생산 등 화학이용

가) 태양열 급탕 시스템

태양열 급탕 시스템은 일반적으로 현장에서 간단한 설치로 사용할 수 있는 가정용 태양열 온수기를 의미한다. 태양열 급탕시스템은 크게 태양열 집열판과 축열조로 구성되어 있으며, 축열조 내부에 열교환기와 보조열원인 심야전기 히터가 내장되어 있는 것도 있다. 이 시스템은 (그림 2.10)과 같이 집열판에서 가열된 집열매체가 펌프없이 축열조와 자연 순환에 의해서 축열조의 물을 가열시킨다. 즉 집열기에서 가열된 열매체(부동액)는 밀도가 낮아져 상단부인 축열조 내부로 올라가서 온수탱크 내부의 온수를 가열 하고 다시 온도가 낮아져서 집열기 하단부로 들어가서 가열되면서 상단부로 올라가게 된다²¹⁾. 이러한 과정을 반복함으로써 태양열 급탕시스템이 작동된다.

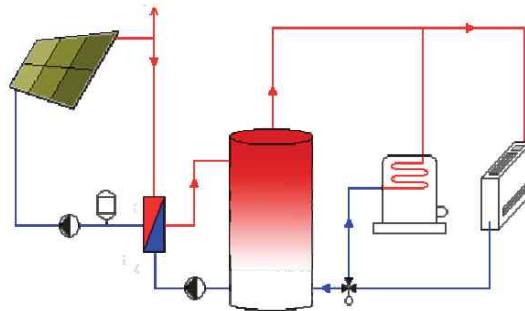
21) 에너지관리공단, op. cit, 2008.12, pp.368-369



(그림 2.10) 태양열 급탕시스템

나) 태양열 난방 시스템

태양열 난방 시스템은 온수급탕시스템과 집열부와 열매체 순환의 원리는 동일하지만 축열된 열이 난방부로 공급되는 점과 보조 보일러와 연결된다는 점에서 차이가 있다. 태양열 난방 시스템의 종류는 집열매체에 따라 액체식과 공기식이 있다. 액체식은 집열 매체를 물이나 부동액을 사용하며, 공기식은 공기를 집열매체로 사용한다.



(그림 2.11) 태양열 난방시스템

다) 태양열 냉방 시스템

태양열 냉방 시스템은 난방부하와 급탕부하가 적은 하절기의 잉여 태양열을 냉방에 이용하는 시스템으로, 기존의 냉방시스템 중 열에 의해서 구동되는 부분을 태양열로 대체한 시스템이다. 하지만 기존의 시스템에 비하여 복잡하고 고가이며, 여러 가지 기술개발의 미흡으로 인해 태양열 급탕 시스템처럼 상용화되지 않은 시스템이다.

(4) 태양열시스템의 에너지 생산 특성

태양열 시스템은 태양광 발전 시스템과 마찬가지로 태양에너지를 에너지원으로 하기 때문에 주간에만 에너지 생산이 가능하며, 일간 일사량 패턴과 에너지 생산 패턴이 같다.

또한 태양열시스템의 주요 에너지원인 태양복사선은 지표에 도달되는 형태에 따라 직달일사와 산란일사로 구분되는데 이는 대기의 청정도에 따라 달라진다. 태양열 시스템에서 산란일사는 직접 집열하기가 어려우므로 고온의 열에너지를 얻기 위해서는 직달일사의 집광이 필요하다.

(5) 태양열시스템의 건축물 적용방법

태양열 시스템은 태양광 발전 시스템과 마찬가지로 집열기를 건물의 입면에 부착하거나 옥상에 설치하는 방법으로 건축물에 적용된다. 하지만 태양열 시스템은 열매체로 비열이 높은 부동액, 또는 물 등의 액체를 사용하기 때문에 건물의 입면 설치 시 사용 면적이 한정적일 수 있다. 또한 기존 건축물에 설치할 경우 입면의 설치는 건축적으로 일체화시키기 어렵다는 단점이 있다. 최근에는 BiST(Building integrated Solar Thermal)기법의 개발로 집열기와 건물의 외피를 일체화하는 기법이 개발되어 신축건물에 대한 태양열시스템 적용방법이 다양해지는 추세이다.

2.2 도시차원의 태양에너지시스템 적용 사례

2.2.1 태양광발전 시스템 적용사례

(1) Nieuwland (Amersfoort, Netherlands)²²⁾

Nieuwland 단지는 신도시 지역에 태양광발전시스템을 대규모로 적용한 실험적 프로젝트이다. 본 프로젝트는 Utrecht 지역전기회사인 REMU이 태양광 에너지의 전문적 기술성뿐만 아니라 경제적 유용성을 실제로 검증하기 위해 1MWp 규모의 계통연계형 태양광 발전 시스템을 Amersfoort시의 신도시인 Nieuwland에 설치함으로써 실현되었다.

프로젝트 진행기간은 1995년부터 1999년이며, 5000여 가구의 주택과 70ha의 산업용부지를 대상으로 실시되었다. (그림 2.12)는 Nieuwland의 전경이다.



(그림 2.12) Nieuwland의 전경

특히 본 프로젝트는 상이한 주거 이용의 유형이 태양에너지의 이용에 어떤 영향을 주는지 분석하기 위해 주거를 임대주택, 자가 소유 주택, 그리고 비주

22) Schoen.T, Building-Integrated PV installation in the Netherlands: examples and operational experiences, Solar Energy, Vol 70, No 6, 2001, pp. 467~477

거용 건물 등으로 구분하였다. 본 프로젝트는 크게 저에너지 초등학교, 일반 주거를 대상으로 하는 MW PV 프로젝트, 50가구의 임대주택, 개인소유의 PV 주택, 두 가구가 이웃한 형태인 Balanced Energy House 등 5개의 세부 프로젝트로 진행되었다. 다음 <표 2.6>은 세부 프로젝트의 설치사양 및 적용모습이다.

<표 2.6> Nieuwland 세부 프로젝트 설치사양 및 적용모습

구분	설치 사양	적용모습
저에너지 초등학교	적용범위	신도시 내 초등학교 2개
	적용 규모	192개 PV 패널/124개 AC PV 모듈
	적용 방법	BIPV 지붕일체형
	에너지생산량	연간 약 8000kWh
	특성	PV 생산량 디스플레이 장치 설치
MW PV 프로젝트	적용범위	주거건물 500가구
	적용 규모	가구당 평균 20m ²
	적용 방법	BIPV 입면일체형, 지붕일체형
	에너지생산량	m ² 당 100W로 1MW가 목표임
	특성	PV 성능을 보장하는 성능조절 제도(GRS-PV)를 개발, PV 공급자는 연간 최소 성능을 보장해야 함
임대주택	적용범위	50가구의 임대 집합주택
	적용 규모	각 주호 당 22.5m ²
	적용 방법	지붕 부착형(계통연계형)
	에너지생산량	82,500kWh
	특성	태양열 시스템(각 호당 5.6m ²)을 적용하여 각 가정에서 개별적으로 온수사용
자가 소유 PV주택	적용범위	19가구
	적용 규모	9kWp급
	적용 방법	BIPV 지붕일체형
	에너지생산량	—
	특성	—
Balanced Energy House	적용범위	2가구
	적용 규모	90m ²
	적용 방법	경사 지붕 부착형
	에너지생산량	가구당 7,500kWh
	특성	두가구가 이웃한 연립형태로 태양광발전 시스템 외 14m ² 의 태양열 온수 집열기를 통해 급탕 난방에 이용 (계간축열)



(2) Stad van de Zon(Heerhugowaard, Netherlands)²³⁾

Stad van de Zon은 태양의 도시(City of Sun)라는 의미로 암스테르담 북쪽에 위치한 히어후고바르트(Heerhugowaard) 주택단지에 실시된 프로젝트로서, 대상 면적이 119만여㎡로 세계에서 가장 큰 규모의 태양광 주택단지이다.



(그림 2.13) Stad van de Zon의 마스터플랜

Stad van de Zon 프로젝트의 이행기간은 2002년부터 2008년 9월이었지만 실제적인 계획은 1992년부터 HAL-location 프로젝트의 일부로 실시되었으며, 기본계획 당시부터 net zero CO₂ emission 지역을 목표로 한 태양에너지 기반 도시로 계획되었다.

본 프로젝트에 적용된 태양광발전시스템의 총 용량은 5MW로 (그림 2.14)와 같이 총 3,500가구의 옥상면에 독립형, 부착형, 경사지붕형, 캐노피형 등으로 적용되었다. 단위 주거 당 태양광발전시스템 설치 용량은 1.45kW로 전력계통에 계통연계형으로 연결되어 있다. 도시에 적용된 태양광발전 시스템을 통한 연간 총 생산량은 3,750MWh로 추정된다.

23)PV Database 홈페이지, <http://www.pvdatabase.org>

연립 주택에 설치된 독립형 PV



경사지붕을 이용한 BIPV 적용



주택의 경사지붕 일체형 BIPV적용과
평지붕에 적용된 캐노피형 PV



수변의 주택에 적용된 캐노피형 BIPV



(그림 2.14) Stad van de Zon의 다양한 태양광발전시스템 적용사례

2.2.2 태양열 시스템 적용사례

(1) Solarthermie 2000 (German)²⁴⁾²⁵⁾

Solarthermie 2000 프로젝트는 지역난방에 태양열에너지시스템을 적용한 대표적인 사례로서, 1993년에 착수되어 2003년까지 7개의 대규모 태양열 지역난방 시스템이 시범 적용되었다. 또한 약 10년간에 걸친 운전 결과 보급 효과가 우수하여 “Solarthermie 2000 Plus” 라는 프로젝트로 사업을 지속적으로 연장하여, R&D 및 보급 사업을 현재까지 수행하고 있다.

Solarthermie 2000는 총 7개 단지에 대규모 중앙집중식 태양열 시스템을 적용한 7개의 세부 프로젝트로 구성되어있으며, 단지 조성단계에서부터 태양열 시스템이 고려되어 설계되었다. 따라서 대부분의 건물 옥상이나 주차장 등 집열기 설치가 가능한 공간에 집열기가 설치되어 통합 운전되고 있다. 특히 Rostock 프로젝트의 경우 집열기를 지붕과 일체화시킴으로써 태양열시스템의 건축적 활용의 가능성을 보여주고 있다.

대상 단지는 주로 다세대주택, 사무실, 호텔 및 단독주택 단지, 복합단지로 구성되어있다. 각 세부 프로젝트별 설치사양 및 적용모습은 다음 <표 2.8>과 같다. 생산된 에너지는 모두 해당지역의 난방 및 온수급탕의 용도로 사용된다. 또한 본 프로젝트의 시스템은 대규모 지역난방 태양열시스템이므로 부하가 없는 하절기의 태양열을 효과적으로 활용하기 위해 계간축열²⁶⁾ 방식을 사용한다. 따라서, 축열조는 설치 비용이 적게 드는 지중 축열이나 대수층 축열 등의 다양한 형태의 대규모 축열조가 개발되어 사용되고 있다.

태양의존율²⁷⁾은 용도가 난방 및 온수급탕임을 감안하여, 태양 의존율은 일반적으로 적합한 50%가 되도록 시스템 용량을 선정하였다.

24) <http://www.tu-chemnitz.de/mb/SolTherm/ST2000/auswahl.htm>

25) 산업자원부, 대규모 태양열 지역난방 및 급탕 시스템 개발 및 적용연구, p.10~, 2007.05

26) 일사량이 풍부한 하절기에 태양열을 집열하여 적절한 저장공간에 장기간 저장하였다 동절기의 난방열원으로 사용하는 것

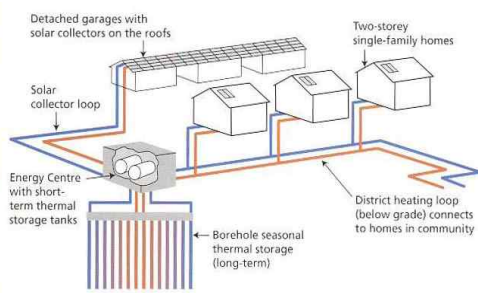
27) 전체부하 중 태양열로 공급되는 비율

<표 2.7> Solarthermie 2000의 세부 프로젝트 설치사양 및 적용모습

구분			적용모습
Hamburg	적용규모(세대수)	단독주택(124)	
	난방면적(m²)	14,800	
	열부하(MWh/yr)	1,610	
	집열면적(m²)	3,000	
	축열조용적(m³)	4,500 온수축열조	
	태양열이용량(MWh/yr)	789	
Friedrichsfen	태양열의존율(%)	49	
	적용규모(세대수)	다세대주택(570)	
	난방면적(m²)	39,500	
	열부하(MWh/yr)	4,106	
	집열면적(m²)	5,600	
	축열조 용적(m³)	12,000 온수축열조	
Nechasulum (2단계)	태양열이용량(MWh/yr)	1,915	
	태양열의존율(%)	47	
	적용규모(세대수)	다세대, 학교, 상가	
	난방면적(m²)	49,000	
	열부하(MWh/yr)	3,900	
	집열면적(m²)	6,500	
Chemnitz (2단계)	축열조 용적(m³)	63,360 duct축열조	
	태양열이용량(MWh/yr)	1,950	
	태양열의존율(%)	50	
	적용규모(세대수)	오피스, 호텔, 창고	
	난방면적(m²)	4,680	
	열부하(MWh/yr)	1층:573	
Steinfurt	집열면적(m²)	540, 진공관	
	축열조 용적(m³)	8,000 자갈-물	
	태양열이용량(MWh/yr)	1층:169	
	태양열의존율(%)	1층:30	
	적용규모(세대수)	주택(22), 다세대주택(42)	
	난방면적(m²)	3,800	
Rostock	열부하(MWh/yr)	325	
	집열면적(m²)	510	
	축열조 용적(m³)	1,500 자갈-물	
	태양열이용량(MWh/yr)	110	
	태양열의존율(%)	34	
	적용규모(세대수)	다세대주택(108)	
Hannover	난방면적(m²)	9,100	
	열부하(MWh/yr)	497	
	집열면적(m²)	980	
	축열조 용적(m³)	20,000 aquifer	
	태양열이용량(MWh/yr)	307	
	태양열의존율(%)	48	
Hannover	적용규모(세대수)	다세대 주택(106)	
	난방면적(m²)	7,365	
	열부하(MWh/yr)	694	
	집열면적(m²)	1,350	
	축열조 용적(m³)	2,750 온수축열조	
	태양열이용량(MWh/yr)	269	
Hannover	태양열의존율(%)	39	

(2) Drake Landing Solar Community (DLSC, Alverta, Canada)²⁸⁾

Drake Landing Solar Community(DLSC)는 2007년 6월 21일부터 시범 실시된 북 아메리카 지역의 첫 번째 태양열 분산형 열에너지공급 시스템 단지로서, 태양에너지를 통해 난방 및 온수급탕을 공급받는 52세대의 주택으로 구성되어 있다. 다음 (그림 2.15)과 (그림 2.16)은 DLSC에 적용된 태양열 시스템 구성도와 단지 전경을 나타낸다.



(그림 2.15) DLSC의 구성도



(그림 2.16) DLSC 전경

위의 구성도에서 볼 수 있듯이, DLSC단지는 여름철의 잉여 태양열을 활용하기 위해 BTES(borehole thermal energy storage) 축열방식을 이용하여, 지중에 열원을 저장하여 겨울철에 사용하는 계간축열 방식으로 설계되었다.

DLSC 단지의 52가구 주택은 매장형 배관을 통해 열에너지를 공급 받으며 각각의 가정에서 생산된 열에너지는 “Energy Centre”를 거쳐 BTES에 저장된다. Energy Centre는 지름 0.762m, 길이 10.67m, 120m³의 축열 탱크 2개로 구성되어 있으며, 각 가정에서 단기간에 필요한 열에너지를 Energy Centre에 있는 단기축열탱크에 저장한 후, 잉여열원을 BTES에 공급한다.

DLSC 단지에 사용된 태양열 집열기는 800개로 약 2,300m²의 평판형 태양열 집열기가 단독주택의 경사지붕과 차고의 옥상에 적용되었으며, 태양열 집열기를 통해 여름철에는 평균 1.5MW/day의 열에너지를 생산한다.

DLSC 단지의 태양의존율은 현재까지의 에너지 저장량 및 사용량의 분석 및 연구를 통해 5년 이내에 90%이상을 달성할 수 있을 것으로 전망되고 있다.

28) 박희열, 분산형 에너지시스템의 태양열 계간축열 기술, 조명·전기학회지 제 23권 제 2호, 2009.04

2.3 소결

본 장에서는 태양에너지시스템의 효과적인 도시규모의 적용을 위한 기초조사로서, 시스템의 개요 및 에너지 생산특성, 적용방법 및 적용사례를 분석하였다. 이러한 시스템 특성 및 사례분석을 기초로 하였을 때, 도시의 건축물에 태양에너지시스템을 적용하기 위해 주로 고려되어야 할 사항은 “건축물과의 일체화 정도” 및 “에너지 생산효율”인 것으로 판단된다. 또한 본 장에서 다루었던 사례는 모두 신축건물을 대상으로 하였지만, 태양에너지시스템이 보편화 되면 기존도시에 적용하는 경우가 많을 것으로 예상되므로 “기존 건축물의 적용성” 또한 신중히 고려되어야 할 것으로 판단된다.

본 장을 통해 정리한 태양에너지시스템의 건축물 적용 형태는 다음 <표 2.8>과 같이 정리할 수 있다.

<표 2.8> 태양에너지시스템의 적용 형태별 도시차원의 적용가능성

구분	건축물 적용위치 및 형태		
태양광 발전 시스템	옥상면		독립형
			부착형
		일체형	루핑형(경사 지붕)
			캐노피형
	입면		독립형
			부착형
		일체형	스팬드럴형
			커튼월 글레이징 차양장치형
태양열 시스템	옥상면		독립형
			부착형
			일체형(BiST)
	입면		발코니형
			일체형(BiST)

시스템 설치 시 건축물과의 일체화정도를 반영하였을 때, 두 시스템 적용 위치에 관계없이 일체형방식의 적용이 바람직하겠지만, 이러한 일체형방식은 신축 및 재보수시에 적용가능하다는 단점을 지니고 있다. 따라서 대상도시의 상황 및 적용 목표에 따라 최적의 시스템 적용형태는 다르게 나타난다. 일반적으로 위의 고려요소를 기준으로 하였을 때, 태양광 발전시스템은 옥상면의 부착형 및 캐노피형, 입면형의 일체형이 유리할 것으로 판단된다. 또한 태양열시스템은 옥상면의 부착형이 적용가능성면에서 우수할 것으로 사료된다.

제 3 장 도시특성을 고려한 태양에너지시스템 적용프로세스 정립

3.1 태양에너지시스템 적용을 위한 도시특성 고려요소

태양에너지시스템 적용을 위해 고려해야 할 도시특성요소는 (그림 3.1)과 같이 지리적 요소, 도시 물리적 요소, 사회적 요소로 분류할 수 있다. 각각의 특성요소는 상호적으로 작용하여 도시의 태양에너지 이용가능성을 결정하기 때문에 도시차원의 시스템 적용을 위해 필수적으로 고려해야 한다.

도시의 지리적 요소에 해당하는 위치 및 지형은 태양에너지의 양을 결정하는 요소로서, 대상 도시가 선정되는 동시에 결정된다. 이는 도시계획과정, 또는 시스템 계획 과정에서 변경할 수 없는 요소이므로, 시스템 적용 시 물리적 요소와 사회적 요소를 고려한 계획을 통해 최대의 효율로 태양에너지를 활용하는 것이 바람직하다.

도시 물리적 요소는 도시의 형태와 규모, 구성건물의 용도특성 등이 해당되며, 특히 도시의 형태는 태양에너지의 1차적 잠재성을 결정하므로 중요하다. 사회적 요소는 도시의 신축계획, 역사적·문화적 보존가치, 신재생에너지시스템 관련 정책 등 시스템의 수용성을 결정한다.

본 연구는 도시의 지리적 특성과 물리적 특성에 따른 태양에너지 시스템 적용을 연구 범위로 하므로, 사회적 요소에 대한 고찰은 제외하기로 한다.

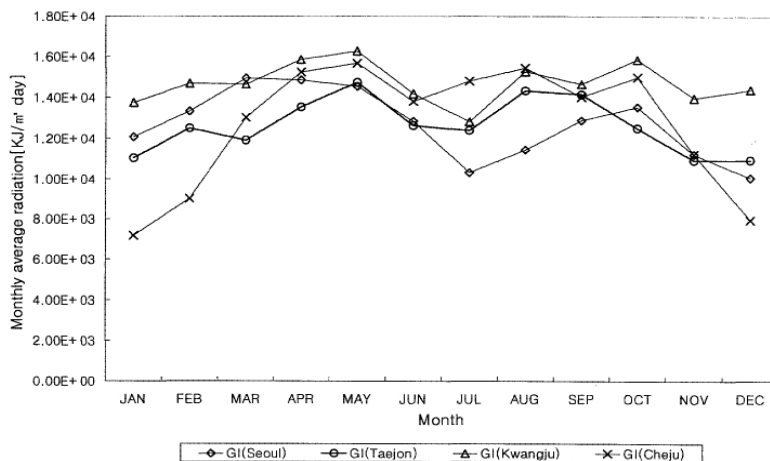


(그림 3.1) 태양에너지시스템 적용을 위한 도시특성 고려요소

3.1.1 지리적 요소

(1) 도시 위치 및 지형

태양에너지시스템의 에너지 생산에 있어서 가장 중요한 요소인 일사량은 도시의 위치 및 지형에 의해 결정된다. 특히 태양복사량은 위도에 따라 변화하기 때문에, 최대의 일사량을 획득하기 위한 시스템의 경사각은 도시의 위치에 따라 달라진다. 다음 (그림 3.2)²⁹⁾는 지역별 월평균 일사량을 나타낸다. 대부분의 지역에서 5월과 10월에 최대 일사량의 패턴을 보이지만, 일사량의 크기는 도시에 따라 다양하게 나타난다.



(그림 3.2) 지역별 월평균 일사량

또한 지형에 의한 음영은 태양에너지시스템의 에너지 생산량에 영향을 줄 수 있다. 김영득 외(2008)의 연구³⁰⁾에 따르면 지형고도각³¹⁾이 클수록 일사량의 손실이 크게 나타난다. 따라서 도시에 태양에너지시스템을 적용함에 있어 지형에 의한 일사량 손실을 고려한 후 시스템을 배치해야 한다.

29) 산업자원부, 태양열온수급탕시스템 성능 표준화Ⅲ, 1999, p.104

30) 김영득 외, 태양광입지선정을 위한 지형분석방법 소개 및 영향분석, 신재생에너지 v.4 no.4, 2008.12

31) 지형의 정점과 지형 중심점과의 각도

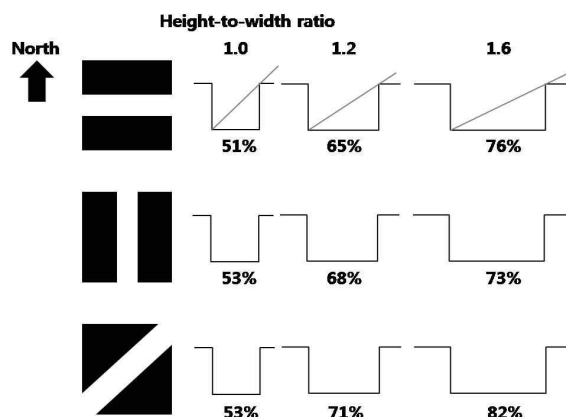
3.1.2 도시 물리적 요소

태양에너지 시스템 적용에 영향을 끼치는 도시 물리적 요소는 크게 도시의 형태, 도시의 규모, 구성건물의 용도로 구분된다. 도시의 형태와 도시의 규모는 태양에너지적용가능면적을 산출하는 중요한 지표가 될 수 있다. 또한 도시의 규모와 구성건물의 용도는 도시의 건축부문의 에너지 소비량을 예측하는데 있어 결정적인 요소로 작용한다.

(1) 도시의 형태

가) 도시의 구조

도시의 태양에너지시스템 적용에 있어 도시의 정확한 방위(precise orientation)는 크게 영향을 끼치지 않지만 건축물이 가로에 접하는 방향은 입면이 획득하는 태양에너지의 양에 영향을 끼친다. 건축물의 서쪽 또는 동쪽으로 가로가 접하는 경우, 남쪽에 가로를 면하는 경우에 비해 적은 양의 일사를 획득한다. 또한 사선 형태의(남향으로부터 45°) 가로와 접하는 경우에는 다른 경우보다 많은 일사량을 이용할 수 있게 된다. 다음 (그림 3.3)³²⁾은 북위 44° 에 위치한 건축물의 가로에 면하는 방위에 따른 태양에너지 접근 가능율을 나타낸다.



(그림 3.3) 가로에 면하는 방위에 따른 태양에너지 접근 가능율 (Solar Access)

32) EC, Solar Electricity Guide, 2001, p.28

나) 건축 밀도

도시의 밀도 유형은 크게 인구밀도와 호수밀도를 포함하는 거주밀도와 용적률(법상용적률, 사업용적률), 건폐율 등을 의미하는 건축 밀도로 나누어 볼 수 있다. 각각의 유형별 내용은 <표 3.1>³³⁾과 같다.

<표 3.1> 도시 밀도의 유형별 정의

구분			정의	적용 및 활용
밀도의 유형	거주 밀도	인구밀도 (인/ha)	단위면적당 거주하는 인구수의 평균	상·하수도 시설 등의 용량을 산정하는 자료로 활용
		호수밀도 (호/ha)	단위면적당 입지하고 있는 세대수의 평균	교육, 상업시설 등의 규모를 산정하는 자료로 활용
		호당부지 (㎡/호)	일정지역의 1호당 평균 부지 면적	용지이용률, 용지처분가격 등을 산정하는 자료로 활용
	건축 밀도	용적률 (%)	일정구역의 건축연면적 합계의 부지면적의 합계에 대한 비율	입체적인 토지이용 상태로 본 주택단지의 구성지표
		건폐율 (%)	일정구역의 건축면적 합계의 부지면적 합계에 대한 비율	평면적인 토지이용 상태로 본 주택단지의 구성지표

도시의 밀도 유형 중 도시를 구성하는 건축물에 대한 밀도를 나타내는 지표는 건축 밀도로서, 건축물의 높이와 상호관계를 맺으며 도시 형태의 결정에 중요한 역할을 한다. 용적률은 건축면적에 대한 연면적의 비율로서 연면적의 산정에 따라 값이 산정된다. 모든 층이 같은 면적인 건축물을 가정하였을 때, 연면적은 건축면적과 층수의 곱이 된다. 따라서 용적률과 건폐율은 건축물의 층수를 매개체로 하여 상호 밀접한 관계를 가진다. 즉, 층수 개념이 없이는 용적률과 건폐율은 완전히 독립적인 지표가 되어, 용적률만으로 건폐율의 수준을 예측할 수 없으며, 역으로 건폐율만으로 용적률 수준을 예측할 수 없다³⁴⁾.

따라서 건축 밀도인 건폐율과 용적률은 건물의 층수와 함께 구성건물과의 이격거리, 건축물의 높이를 결정하는 요소가 되기 때문에 도시의 형태를 나타내는 결정적인 지표가 된다. 건축 밀도는 『국토의 계획 및 이용에 관한 법률』

33) 김철수, *단지계획*, 기문당, 2003, p.167

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

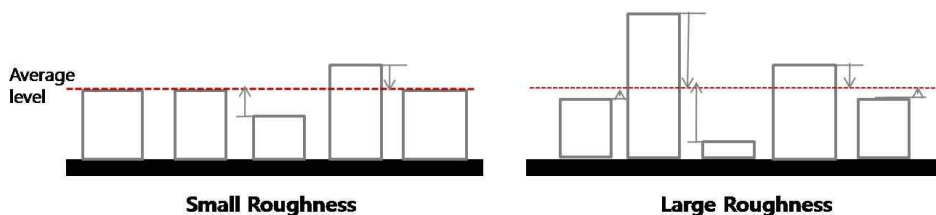
의 용도지역에 따라 밀도기준이 지정되어 있으므로 도시의 각 용도지역에 따른 도시의 형태를 유추할 수 있다. 일반적으로 건폐율이 낮을수록 건물간의 충분한 이격거리가 확보되기 때문에, 건축물 입면에 태양에너지를 획득할 가능성이 높아지며 옥상면 또한 주변 건물의 영향이 적어지므로 태양에너지의 활용이 유리해진다.

다) 높이

도시를 구성하는 건축물의 높이는 앞에서 기술한 건축 밀도와 밀접한 관계를 가지며, 건물의 높이가 높아질수록 지상에 위치한 여러 장애물(수목, 도시 구조물 등)에 의한 영향을 받는 입면 면적의 비율이 작아지기 때문에 태양에너지를 획득하는데 유리해진다. 또한 도시환경에서는 무분별한 개발과 스카이라인의 보호를 위해 건축물의 높이제한을 실시하고 있다. 이러한 높이제한 시 옥상면이 받는 주변건물의 영향이 적어지기 때문에, 시스템적용에 유리하다³⁵⁾.

라) 도시의 요철도

본 연구에서는 도시의 요철도(凹凸度, Roughness)를 도시의 구성건물간의 상대적인 높이 차이에 의해 발생하는 도시 요철의 정도를 나타내는 개념으로 사용하였으며, (그림 3.4)와 같이 도시의 형태적 특성에 있어 평균건물 층수와 구성 건물간의 층수 차이와 비율개념으로 정의하였다. 따라서 이는 도시의 특성에 따라 상대적으로 적용될 수 있다. 요철도가 커질 경우 상대적으로 높이가 낮은 건물의 입면과 옥상면의 태양에너지 시스템의 적용에 영향을 끼칠 수 있으므로, 시스템 적용 시 이를 고려한 시스템별 잠재성 평가를 선행한 후 시스템을 적용하여야 한다.



(그림 3.4) 요철도(凹凸度, Roughness)의 개념도

35) EC, op.cit, p.29

(2) 도시 규모

도시 규모는 도시의 형태 특성과 함께 도시의 유형을 결정하며, 도시의 에너지소비량을 결정하는 요소가 된다. 도시 규모에 따라 대상 도시는 크게 대도시와 중소도시로 구분되며, 구성건물의 규모와 구성비가 달라진다. 따라서, 도시 규모에 따른 도시 구성건물 비는 태양에너지시스템의 효율적인 적용을 위해 고려되어야 한다. 또한 도시의 규모는 집단에너지로의 활용가능성을 결정하는 기준이 될 수 있다. 대상 도시가 일정한 도시 규모에 만족하게 되면 집단에너지로 활용할 수 있다. 단일 세대의 시스템 적용 시, 생산한 에너지의 수요가 발생하지 않으면 잉여에너지를 저장하기 위해 별도의 축전, 축열 시스템이 필요하게 된다. 이와 대조적으로 일정 규모이상의 도시 적용 시 같은 시간에 다른 수요가 발생할 확률이 크므로 시스템의 이용효율성이 높아진다. 이 밖에도 집단 에너지의 적용은 설치면적의 증대, 유지관리의 용이성, 경제성 향상, 집약적 보급 효과 등 많은 장점을 가지고 있다³⁶⁾.

(3) 구성건물의 용도

구성 건물의 용도는 도시 전체의 에너지 수요량을 결정하는데 중요하다. 건물의 용도는 크게 주거용 건물, 상업용 건물, 업무용 건물, 공공건물, 병원 건물, 숙박용 건물 등으로 분류되며, 이러한 용도차이에 의해 재실 시간(operation time)과 내부 재실자의 행동이 변화하게 된다. 따라서 각 용도의 건물은 에너지를 사용하는 시간과 각각의 부하 패턴이 다양하게 나타나게 된다. 이때, 태양열 시스템의 경우 최종 에너지의 형태가 열의 형태이며, 이는 급탕과 난방의 용도로 사용되는 것이 바람직하다. 또한 태양광발전 시스템은 최종 생성 에너지의 형태가 전기이므로 이를 기기부하 또는 냉방부하에 사용하여야 한다. 그러므로 효율적인 시스템 적용을 위해 대상 도시의 건물 용도를 파악하여 도시의 에너지 수요량을 파악한 후, 각 부하종류에 따른 에너지 수요량을 고려하여 태양열, 태양광 시스템을 배치 및 적용하는 것이 바람직하다.

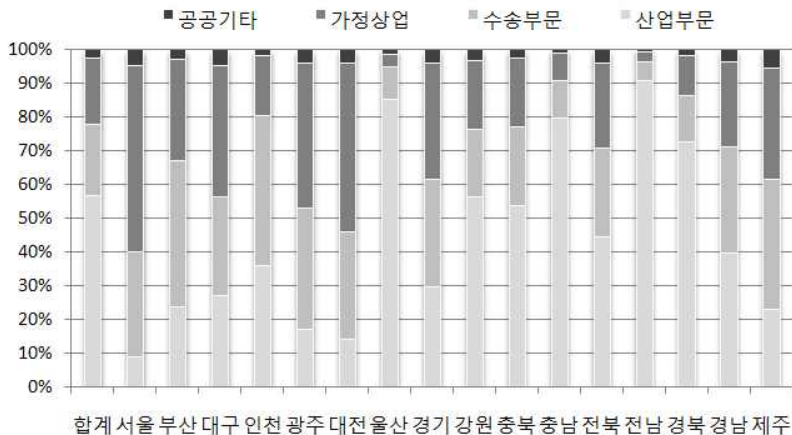
36) 윤종호, [녹색성장, 세계는 지금 ⑫] 에너지 절약도시 사례, 대한민국 정책 포털, 2008.11

3.2 도시의 에너지 소비 특성

3.2.1 도시의 에너지 소비특성 현황

도시는 인간, 건축물, 기반시설(Infrastructure), 자연환경 등의 물리적 요소로 구성되어 있으며, 이러한 요소들은 도시를 유지하고 작동시키기 위해 에너지를 소비한다. 따라서 도시의 에너지 소비 특성은 이러한 에너지 소비 요소의 비율, 도시의 규모 등 도시특성에 따라 다양하게 나타나게 된다.

다음 (그림 3.5)는 2007년 전국의 특별시, 광역시와 각 도의 부문별 에너지 소비량³⁷⁾을 근거로 산출한 에너지 소비 비율을 나타낸 것이다.



(그림 3.5) 전국 각 도시의 부문별 에너지 소비비율

전국의 부문별 에너지 소비 비율을 살펴보면, 산업부문이 57.0%로 가장 높은 비율을 차지하고 있으며, 수송부문은 20.8%, 가정상업부문은 19.9%, 공공기타부문에 2.3%의 에너지가 사용되고 있다. 하지만 주요 특별시, 광역시의 에너지 소비 비율을 살펴보면 울산시를 제외하고는 전체적으로 산업부문에 사용되는 에너지 총량은 감소하는 반면, 가정상업부문과 수송부문에 사용되는 에너지소비비율은 평균 75.0%로 높은 비율을 차지함을 알 수 있다.

이러한 가정상업부문과 수송부문의 소비 비율이 대도시일수록 높게 나타나는 현상과 대부분 지역의 도시화가 가속화되고 있다는 현황을 고려했을 때,

37) 지식경제부, 2008 지역에너지통계연보, 2008.12, p57

두 부분의 에너지 사용 패턴은 도시의 에너지 소비 특성을 결정하는 중요한 요인으로 작용할 것이다.

도시에너지소비의 구성요소인 수송부문, 즉 도로 교통량에 의한 에너지 소비는 연구대상지역의 정확한 교통량 조사에 근거하여 산정하여야한다³⁸⁾. 이러한 도시의 교통량은 도시의 구조 및 도시의 특성에 따라 크게 변동하므로, 에너지 사용량을 정량적으로 예측하기 어렵다. 또한 신재생에너지시스템에서 생산되는 에너지는 에너지 밀도가 비교적 낮으며, 이러한 생산 에너지를 이용하는 수송 장치의 상용화가 아직 이루어지지 않았기 때문에, 수송부분으로의 신재생에너지시스템을 통한 에너지 공급은 적합하지 않을 것으로 예상된다.

따라서 본 연구는 도시의 에너지 소비특성 분석에 있어서 그 범위를 가정 및 상업 부문으로 한정하여 도시를 구성하는 건물 용도별 에너지 소비 특성을 통해 도시의 총 에너지 사용량과 시계열 소비특성을 분석하고자 한다.

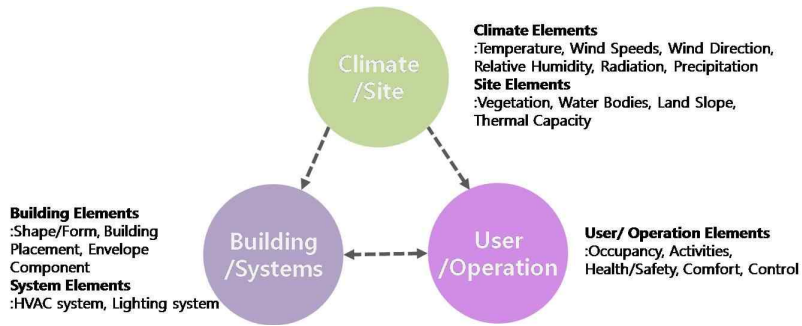
3.2.2 건물 용도별 에너지 소비 특성

건물부문은 건물의 건축에서부터 건물의 운영은 물론, 건물의 철거에 이르기까지 건물의 전생애주기에 걸쳐 에너지를 소비한다. 이 중 건물부문의 에너지소비에 가장 큰 비중을 차지하는 것은 건물 운영단계의 에너지사용이다. 또한 건물에 적용한 신재생에너지시스템을 통해 생산된 에너지는 주로 건물의 운영단계에서 사용될 수 있으므로, 건물의 에너지 소비 특성을 분석하기 위해 건물 운영단계의 에너지 소비특성을 분석하는 것이 중요하다.

건물의 운영에 따른 에너지 소비는 (그림 3.6)과 같이 기후 및 대지(Climate/Site), 건물 및 설비(Building/System), 거주자 및 건물운영(User/Operation)의 세 가지 요소와 이들 간의 상호작용에 의해 결정된다³⁹⁾. 또한 건물 운영단계의 에너지 사용은 주로 냉방, 난방, 조명, 전기·전자 기기 사용, 급탕, 급수, 조리 등 쾌적한 실내 환경 유지와 채실행위에 의하여 발생하게 된다.

38) 이강국, 홍원화, 도시에너지 소비의 공간·시간적 특성 분석, 대한건축학회논문집(계획계) 22권 9호, 2006.09, p 292

39) 박경석, 건물 에너지 성능 평가를 위한 건물 총량 에너지 기준 제시에 관한 연구, 광운대 석사 학위논문, 2006.02



(그림 3.6) 건물의 에너지 요소

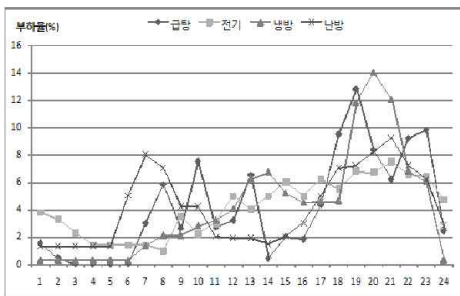
이러한 내부 재실자의 행동과 거주특성은 건물 용도에 따라 특정 패턴으로 나타나므로 건물 용도별 에너지 소비 예측을 위해서는 용도에 따른 건물의 사용 스케줄과 시계열 부하율 분석 및 유형화가 필요하다. 이러한 건물의 에너지 소비의 유형화는 도시의 일간 에너지 소비 패턴을 예측할 수 있는 자료로 사용될 수 있다. 본 연구에서는 도시를 구성하는 건물의 유형을 크게 주거건물과 업무용건물, 상업용 건물, 기타 건물로 분류하였다. 건물 유형별 시간당 에너지 부하율은 실제 각 건물 용도별 에너지 소비량 실측 자료를 바탕으로 연구된 이강국, 홍원화(2006)의 연구⁴⁰⁾를 인용하였다.

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

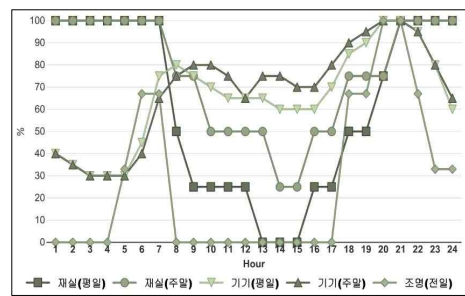
(1) 주거건물

(그림 3.7)은 주거건물의 일간 부하율을 나타낸다. 부하패턴을 살펴보면, 주거건물의 경우 오전 7~9시 사이, 18~22시 사이의 저녁 시간대에 각 부하 종류의 부하율이 큰 특징을 나타내며, 20시에 첨두부하를 나타낸다. 한편, 주거건물의 경우 하절기 냉방용 에너지는 전력에서 상당 부분을 부담하고 있는 것으로 나타났다.

(그림 3.8)⁴¹⁾은 주거건물의 내부 발열 스케줄이다. 주거건물의 각 스케줄 중 시간별 에너지 부하율 패턴이 평일의 기기 발열 스케줄과 유사한 것을 볼 수 있다. 거주자가 활동을 시작하는 6~9시 사이 난방 및 급탕 부하가 증가·감소하는 패턴과 기기 발열량이 증가·감소하는 경향을 보인다. 또한 실내 거주자가 감소하는 9시부터 17시 사이, 다시 거주자가 증가하는 17시 이후, 거주자가 취침에 들어가는 23시 이후의 기기 사용의 증가·감소에 따른 발열량 패턴과 난방 패턴이 거의 유사하다.



(그림 3.7) 주거건물의 시간별 부하율



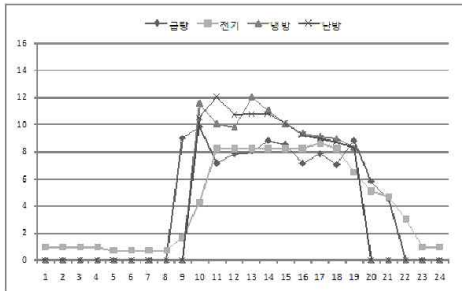
(그림 3.8) 주거건물의 운영 스케줄

급탕 패턴의 경우 점심시간인 13시경 사용량이 증가하는 것을 제외하고 전반적인 패턴이 거의 유사하였다. 전기에너지의 경우 오전 8시 이후 증가하다가 20시 이후 부터 다시 감소하는 패턴을 보인다. 이와 같은 패턴은 난방, 급탕 패턴과 달리 오전의 조명에너지 사용량이 적기 때문인 것으로 판단된다.

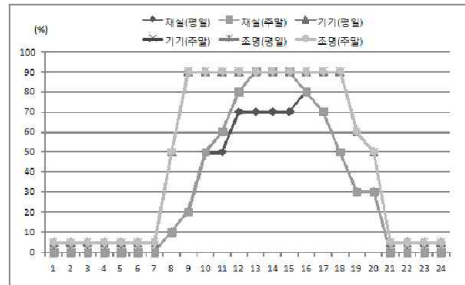
41) 이종식, 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가에 관한 연구, 중앙대 석사학위논문, 2008.12, p.50

(2) 상업건물

상업건물의 에너지 부하는 8시부터 20시까지 고르게 일어나고 있으며 오전 9시에서 10시 사이에 최대부하가 발생한다. 이는 상업건물의 특성상 영업 시간 내내 지속적인 에너지 사용을 보인다. 이와 같은 에너지 부하 패턴은 (그림 3.10)⁴²⁾의 상업건물의 운영스케줄과 유사하게 나타난다.



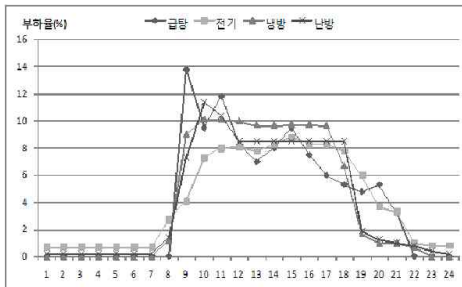
(그림 3.9) 상업건물의 시간별 부하율



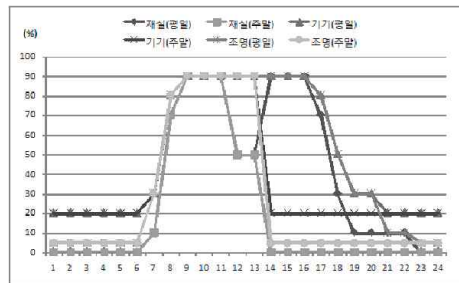
(그림 3.10) 상업건물의 운영스케줄

(3) 업무건물

업무건물의 에너지 부하는 7시부터 22시에 걸쳐서 집중적으로 일어나며, 오전 7시에서 8시 사이에 최대 부하가 발생한다.



(그림 3.11) 업무건물의 시간별 부하율



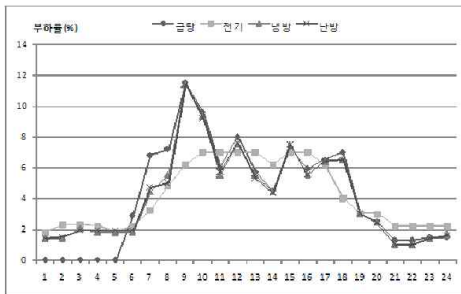
(그림 3.12) 업무건물의 운영스케줄

8시에 최대수치를 보이다가 점차 감소하며 냉방부하는 9시부터 18시까지 고르게 부하가 발생한다.

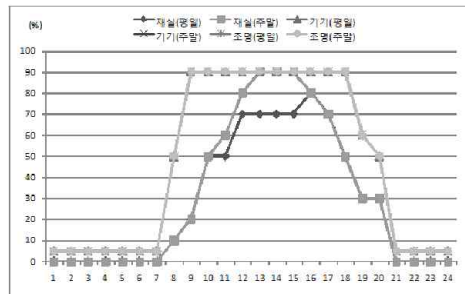
42) 산업자원부, 에너지 절약형건물의 성능인증기준·제도 및 보급촉진방안 연구, 2001

(4) 기타

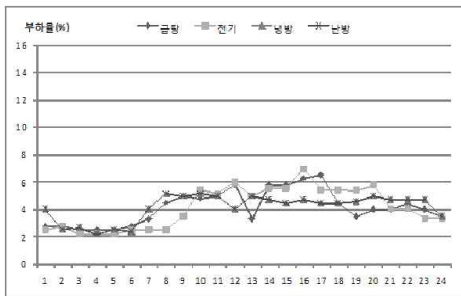
병원 건물의 부하율의 경우, 용도 특성상 야간에도 일정량의 에너지가 소비되며 난방부하는 오전 9시경 최대를 보이고 있음을 알 수 있다. 숙박건물의 경우 24시간 비교적 일정한 부하가 일어나고 있음을 알 수 있는데, 이는 재실자의 행위가 계속해서 일어나기 때문에 계속적으로 일정한 부하율을 보이고 있는 것으로 판단된다.



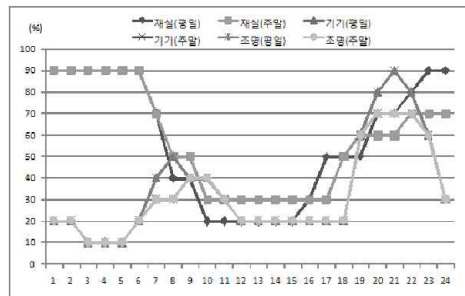
(그림 3.13) 병원건물의 시간별 부하율



(그림 3.14) 병원건물의 운영스케줄



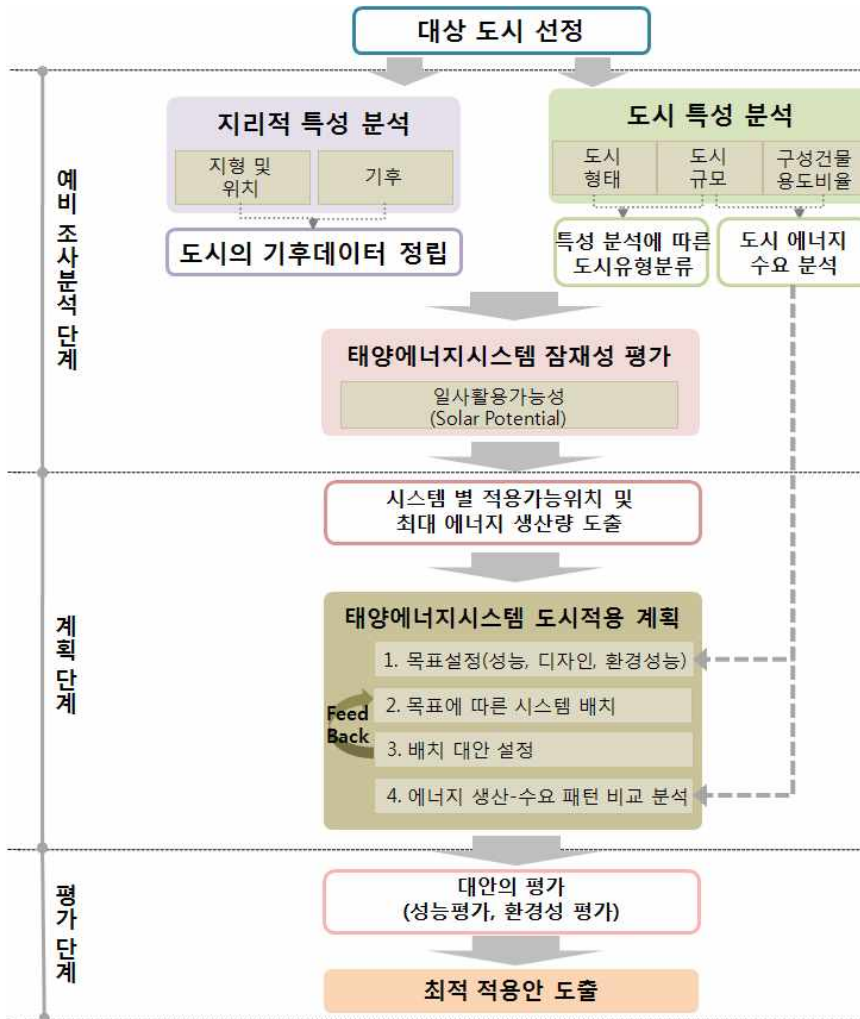
(그림 3.15) 숙박건물의 시간별 부하율



(그림 3.16) 숙박건물의 운영스케줄

3.3 태양에너지 시스템 적용 프로세스 정립

도시특성을 고려한 태양에너지시스템의 적용 프로세스는 (그림 3.17)과 같이 크게 예비조사분석 단계, 계획단계, 평가단계로 진행되며, 이러한 과정을 통해 도시적용 최적안을 도출할 수 있다.



(그림 3.17) 도시특성을 고려한 태양에너지 시스템 적용 프로세스

예비조사 분석단계에서는 대상 도시가 갖는 특성을 반영한 태양에너지시스템 적용을 위해 크게 지리적 특성과 도시특성을 분석하여 대상도시의 에너지

수요를 분석하고, 각 태양에너지시스템의 적용 잠재성을 평가한다. 본 연구에서는 구체적인 예비조사 분석단계 제시를 위해 기존 도시의 특성을 반영한 기존 도시 모델을 설정하여 도시유형별 잠재성 평가를 실시하였다.

계획 단계에서는 예비조사 분석단계의 결과분석을 토대로 시스템 별 적용 가능위치를 선정하고, 최대 에너지 생산량을 도출한다. 이러한 최대 에너지 생산량 및 도시 에너지 소비 특성을 비교하여 적용 시스템의 계획목표를 설정한다. 계획 목표가 설정되면 목표에 따른 시스템 배치를 실시하여 대안을 설정한다.

평가단계에서는 계획단계에서 설정한 대안별로 시스템 성능과 환경성능, 디자인 목표 성취도를 평가항목으로 평가한다. 이때 성능평가는 일간, 월간, 연간 부하분담율을 산정하여 평가하며, 환경성능평가는 기존 시스템 대비 CO₂ 배출 절감량을 산정하여 평가한다. 대안의 평가 결과를 토대로 최종적인 적용안을 도출하게 된다.

3.3.1 기존 도시특성을 반영한 기준모델 설정

(1) 기준 설정

기존 도시특성을 반영한 기준모델을 설정하기 위해 도시의 형태적 특징인 건물의 규모와 건축 밀도(용적률, 건폐율), 요철도(凹凸度, Roughness), 구성건물의 규모 및 용도를 분류 기준으로 설정하였다. 또한 기준의 설정에 있어서 실제적인 도시의 특성을 반영하기 위해, 다음 <표 3.2>와 같이 『국토의 계획 및 이용에 관한 법률』에 명시된 서울지역의 건축 밀도 기준을 사용하여 녹지지구를 제외한 용도지구별 건물의 평균층수를 산정하였다.

<표 3.2> 서울 지역의 건축 밀도 기준

구분		건폐율	용적률	층수	구분		건폐율	용적률	층수
주거지역	제 1종 전용주거	50%	100%	2	상업지역	중심상업	60%	1000%	17
	제 2종 전용주거	40%	120%	3		일반상업	60%	800%	14
						근린상업	60%	600%	10
	제 1종 일반주거	60%	150%	3	공업지역	유통상업	60%	600%	10
	제 2종 일반주거	60%	200%	3		전용공업	60%	200%	4
	제 3종 일반주거	50%	250%	5		일반공업	60%	200%	4
	준 주거	60%	400%	7		준 공업	60%	400%	7

조사 결과를 통해 도시의 유형을 크게 저층 고밀, 저층 저밀, 고층고밀, 고층 저밀의 4가지 유형을 결정하고 초고층 건물의 건설 추세를 반영하여 초고층 저밀, 초고층 고밀의 2가지 유형을 추가하였다. 저밀도와 고밀도의 기준은 건폐율 기준의 최소·최대값인 40%와 60%로 설정하였고, 저층과 고층에 대한 기준 층수는 각각 주거지역과 상업지역의 평균제한층수인 3층(최소 1층~최대 5층)과 13층(최소 10층~최대 17층)으로 설정하였으며, 초고층건물의 경우 서울에 위치한 8곳의 초고층건물 평균값인 45층의 단일 층수로 설정하였다. 그에 따른 구성 건물 규모의 산정에 있어, 저층건물과 고층건물, 초고층건물의 바닥면적을 각각 15m×15m, 20m×20m, 33.6m×33.6m으로 계획하였다. 또한 건물 규모에 따라 저층건물은 주거, 고층건물은 상업(5층 이하)과 업무(6층 이상), 초고층 건물은 상업(5층 이하)과 주거(6층 이상)의 용도로 설정하였다.

요철도의 설정은 기준모델별 최소층수, 기본층수, 최대층수의 건물수의 비율을 조정함으로써 3가지 모델(R1, R2, R3)로 분류 하였다. 자세한 기준모델 설정을 위한 기준은 다음 <표 3.3>과 같다.

<표 3.3> 도시특성을 반영한 기준 설정

건축밀도		구성건물 규모 및 용도				요철도	
구분	건폐율	구분	층수	바닥면적	용도	구분	최소/기본/최대
저밀	40%	저층	3(1~5)	15×15m	주거	R1	10%/80%/10%
		고층	13 (10~17)	20×20m	상업/ 업무	R2	25%/50%/25%
고밀	60%	초고층	45	33.6×33.6m	주거/ 상업	R3	40%/20%/40%

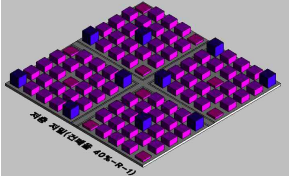
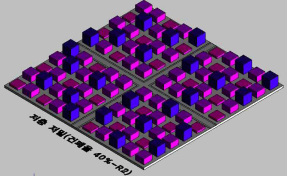
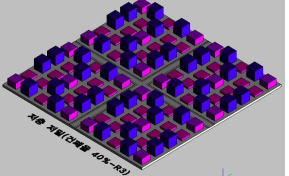
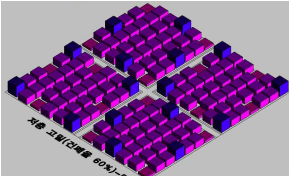
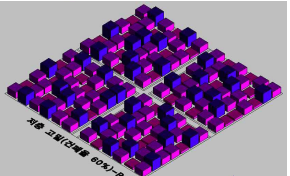
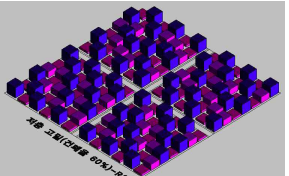
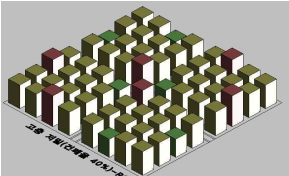
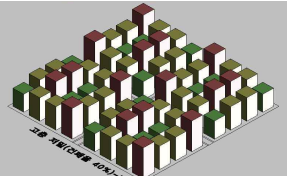
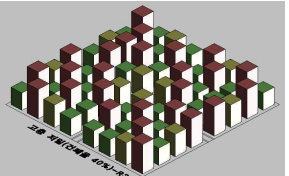
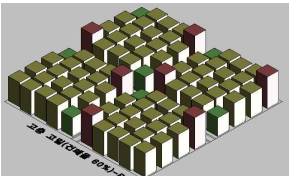
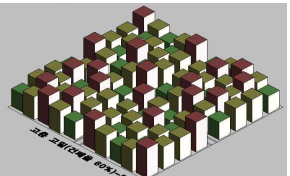
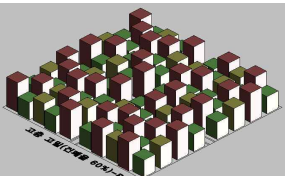
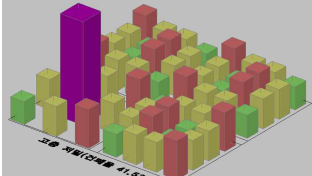
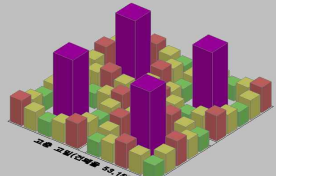
(2) 도시 유형별 기준 모델 계획

도시를 구성하는 특성을 갖는 최소의 단위는 블록이므로, 기준모델을 설정하기 위해 도시블록의 규모 기존 연구를 통해 중블록 규모인 250m×250m⁴³⁾로 설정하였다. 또한 블록의 중앙에 폭 12m의 도로를 북-남, 서-동 방향으로 배치하여 총 4개의 소블록으로 분류하였다.

각 유형별 도시모델은 총 14개로 모델의 세부 정보는 다음 <표3.4>와 같다.

43) 이수민, 보행 친화적 도시의 블록 적정규모 산정에 관한 연구, 홍익대 석사학위논문, 2007.02, p.10

<표 3.4> 각 유형별 기준모델의 세부 정보

저층저밀 R1			저층저밀 R2			저층저밀 R3		
								
건폐율	용적률	총건물수	건폐율	용적률	총건물수	건폐율	용적률	총건물수
40%	120%	100	40%	120%	100	40%	120%	100
저층 고밀 R1			저층 고밀 R2			저층 고밀 R3		
								
건폐율	용적률	총건물수	건폐율	용적률	총건물수	건폐율	용적률	총건물수
60%	180%	156	60%	180%	156	60%	180%	156
고층저밀 R1			고층저밀 R2			고층저밀 R3		
								
건폐율	용적률	총건물수	건폐율	용적률	총건물수	건폐율	용적률	총건물수
40%	598%	64	40%	598%	64	40%	598%	64
고층고밀 R1			고층고밀 R2			고층고밀 R3		
								
건폐율	용적률	총건물수	건폐율	용적률	총건물수	건폐율	용적률	총건물수
60%	823%	88	60%	823%	88	60%	823%	88
초고층 저밀			초고층 고밀					
								
건폐율	용적률	총건물수	건폐율	용적률	총건물수			
41.5%	613%	57	53.1%	957%	64			

3.3.2 도시특성에 따른 태양에너지 잠재성 평가

(1) 태양에너지 잠재성 평가 개요

태양광발전 시스템과 태양열시스템을 도시환경에서 효율적으로 적용시키기 위해 태양에너지의 정량적 판단이 필수적이다. 특히 도시환경에서는 별도의 에너지 생산 시설을 설치할 용지가 부족하다. 따라서 도시를 구성하는 건물 외피에 집열기와 태양전지를 설치하는 것이 바람직하다.

하지만 태양에너지시스템의 경우 에너지 생산량이 주변건물에 의한 음영의 영향에 의해 많은 차이를 나타내므로, 도시 전체의 형태적 특징을 반영할 수 있는 잠재성평가가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 일사 활용가능성(Solar Potential)을 도시의 태양에너지 잠재성 평가요소로 하여 기준모델에 대한 태양에너지 잠재성 평가를 실시하였다.

(2) 일사 활용가능성(Solar Potential)

태양광발전시스템과 태양열시스템의 에너지생산량은 전일사량에 따라 결정되므로, 도시의 형태적 특성에 따른 구성 건물 외피가 받는 전일사량의 예측을 통해 도시의 태양에너지 잠재성을 평가해야 한다.

일사 활용가능성(Solar Potential)이란 일정 기준 이상의 일사량을 받는 건물 외피면적의 비율로서, 도시를 구성하는 각 건물의 입면과 옥상면이 받는 연간 일사량의 총합을 기준으로 하여 태양에너지 시스템을 설치할 수 있는 적용가능한 면적의 비율로 잠재성을 나타낸다. 따라서 일사 활용 가능성의 평가를 통해 다양한 도시의 형태 특성을 모두 반영하여 정량적인 평가를 할 수 있다.

시스템별 적용가능 연간 총일사량기준은 Compagnon R(2000)의 연구⁴⁴⁾에서 다음의 <표 3.5>와 같이 제시하고 있다. 이 기준은 각 시스템의 현재 효율 수준을 반영한 것으로 본 연구에서는 동일한 기준을 사용하여 잠재성을 판단한다.

44) Compagnon. R., PRECis:Assessing the Potential for Renewable Energy in Cities. Annexe 3: Solar and Daylight availability in urban areas, Cambridge, 2000

<표 3.5> 시스템별 적용가능 연간 총 일사량 기준

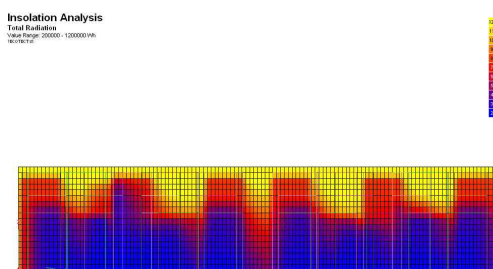
구분	입면	옥상면
태양광 발전 시스템	800kWh/m ² 이상	1000kWh/m ² 이상
태양열시스템	400kWh/m ² 이상	600kWh/m ² 이상

(3) 기준모델의 태양에너지 잠재성 평가

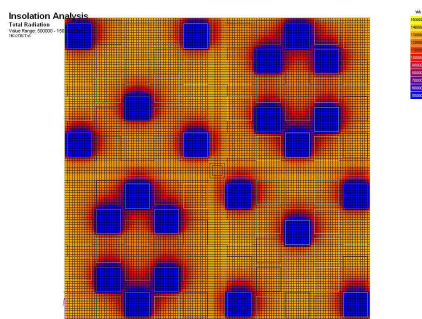
일사활용가능성으로 태양에너지 잠재성을 평가하기 위해서는 단위 면적당 연간 총 일사량을 산출해야 하므로 빗환경성능 예측 프로그램인 RADIANCE 또는 ECOTECT 프로그램을 이용하여 일사활용가능성을 산출한다.

본 연구에서는 기준모델의 일사활용가능성을 평가하기 위해 Autodesk Ecotect Analysis 2010 프로그램을 사용하였다. (그림 3.18)은 프로그램을 통해 각 건물의 외피(입면, 옥상면)가 받는 연간 일사 총량을 예측한 모습이다. 예측된 일사총량을 토대로 기준 모델의 일사활용가능성을 산출하였다. 기후데이터는 서울시의 기후자료를 사용하였으며, 분석 일자는 1월 1일~12월 31일 06시부터 19시를 대상으로 하였다. 분석 단위는 2m×3m로 설정하였고, Sky Subdivision은 5°×5°로 설정하였다. 각 도시 유형별 일사활용가능성은 다음 <표 3.6>과 같다.

고층고밀-R2의 입면 시뮬레이션



고층고밀-R2의 옥상면 시뮬레이션



(그림 3.18) Autodesk Ecotect Analysis 2010을 이용한 일사활용가능성 시뮬레이션 모습

<표 3.6> 기준모델의 일사활용가능성(Solar Potential)

기준 도시유형	일사활용가능성 (Solar Potential)			기준 도시유형	일사활용가능성 (Solar Potential)		
	태양광		태양열		태양광		태양열
	입면	옥상면	옥상면		입면	옥상면	옥상면
저층저밀 R1	29.4% 15,877㎡	100.0% 22,500㎡	100.0% 22,500㎡	저층고밀 R1	25.0% 21,061㎡	99.3% 34,844㎡	100.0% 35,100㎡
저층저밀 R2	34.3% 18,541㎡	100.0% 22,500㎡	100.0% 22,500㎡	저층고밀 R2	23.7% 19,999㎡	93.7% 32,822㎡	100.0% 35,100㎡
저층저밀 R3	33.8% 18,233㎡	100.0% 22,500㎡	100.0% 22,500㎡	저층고밀 R3	26.9% 22,637㎡	83.2% 29,201㎡	99.4% 34,875㎡
고층저밀 R1	13.6% 27,425㎡	100.0% 25,600㎡	100.0% 25,600㎡	고층고밀 R1	11.9% 32,985㎡	99.7% 35,000㎡	100.0% 35,200㎡
고층저밀 R2	14.5% 29,452㎡	100.0% 25,600㎡	100.0% 25,600㎡	고층고밀 R2	12.5% 34,843㎡	87.6% 30,851㎡	99.7% 35,200㎡
고층저밀 R3	13.3% 27,488㎡	82.7% 21,176㎡	100.0% 25,600㎡	고층고밀 R3	13.0% 36,753㎡	77.8% 27,395㎡	98.6% 34,694㎡
초고층 저밀	36.7% 72,129㎡	99.2% 23,348㎡	100.0% 23,528㎡	초고층 고밀	31.8% 87,715㎡	76.0% 22,880㎡	100.0% 30,111㎡

일사활용성 산출 결과를 살펴보면 각 도시유형별 일사활용가능성은 저층의 형태가 고층보다 높게 나타났고, 저밀도인 경우가 고밀도인 경우보다 높게 산출되었다. 하지만 입면의 일사활용가능성의 경우, 저층형태가 높게 산출되었지만 실제로 적용가능부분이 개별 건물에 분산되어 실제 적용에 있어서 이에 대한 고려가 필요함을 알 수 있다. 또한 저층형의 경우 입면의 태양광 발전 시스템 적용 시 저층부에는 부분음영의 발생 가능성이 크므로 옥상면·상층부를 활용한 태양에너지시스템의 배치가 효과적일 것으로 예측된다.

고층형은 상대적으로 일사활용가능성이 적게 산출되었지만, 적용가능 면적이 여러 건물에 분산되어 있지 않고 특정 건물(주로 최대층수 건물)에 집중되어 있어 BIPV 형태의 태양광발전 시스템 적용이 적합할 것으로 판단된다. 또한, 적용가능면적이 건물의 상부에 주로 위치하고 있어 안정적인 태양에너지 획득이 가능할 것으로 판단된다.

옥상면의 일사활용가능성은 일부 고층고밀 유형을 제외하고는 모두 높게 나타나 적용 가능성이 매우 큰 것으로 판단된다. 또한 고밀의 도시유형에서 요철도가 커질수록 태양광 적용 면적이 감소하는 것으로 나타났다. 특히 이러한 현상은 고층 고밀형에서 두드러질 것으로 예상되므로, 옥상면의 태양광 발전 시스템 적용 시 최고층수 건물 위주의 배치가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

3.3.3 도시의 에너지 소비량 산정

도시의 에너지 소비량을 산정하기 위해 에너지소비 원단위의 개념을 사용하여 건물 유형별 에너지 수요량을 산출 할 수 있다. 에너지소비 원단위란 건물용도별 단위면적의 단위시각별 부하량(난방부하, 급탕부하, 냉방부하, 전력부하, 증기부하, 가스부하 등)으로 정의된다.⁴⁵⁾ 이러한 에너지소비 원단위와 3.2절에서 살펴본 건물 용도별 에너지 소비특성을 참고하여, 도시의 구성 건물의 연면적을 통한 에너지 소비량을 산정할 수 있다. 이러한 산정과정을 세분화하면 도시의 건축부문에서 사용되는 에너지의 연간, 월간 사용량 및 일간 사용패턴을 분석할 수 있게 된다. 태양에너지시스템의 최종 에너지 생성형태는 크게 열과 전력으로 도시에서 사용하는 열에너지와 전기에너지로 대체 하여 사용할 수 있다. 따라서 도시 에너지 소비량 산출은 시스템 적용의 목표 설정 및 각 시스템의 용량 결정에 있어 중요하다.

3.3.4 도시특성에 따른 태양에너지 시스템 적용계획

(1) 목표 설정

도시에너지 수요량 예측 결과와 잠재성 평가를 통해 조사된 시스템별 적용 위치와 최대 에너지 생산량을 기초로 도시특성에 따른 태양에너지시스템의 적용 목표를 설정한다. 목표는 정량적 성능 목표인 에너지 분담율과 정성적 목표인 디자인 목표로 분류 될 수 있다. 또한 도시 차원의 CO₂ 배출량 저감을 위한 환경 성능 목표를 설정한다. 본 단계의 목표 설정은 도시의 형태와 용도, 가치관에 의해 다양하게 설정할 수 있다. 설정된 목표는 후에 시스템 적용안을 평가하는 기준이 된다.

(2) 태양에너지시스템 배치 및 대안 설정

설정 목표 달성을 위해 태양에너지시스템을 배치한다. 배치 시 각 시스템의 에너지 생산 특성과 부하특성 및 적용가능위치를 고려하여야 한다. 태양광 발전 시스템의 경우 최종 에너지 생산형태는 전력이므로, 전기에너지 수요(전력, 냉방부하)를 담당하게 된다. 또한 적용 위치는 입면과 옥상면으로

45) 이강국, 도시 열환경 분포 특성 분석과 열섬현상 완화방안 연구, 경북대 박사학위논문, 2007.6, p.47

입면의 경우 고층 건물의 상층부 위주의 배치가 필요하다. 옥상면의 경우는 태양열시스템과의 설치 용량관계와 음영을 고려하여 배치하여야 한다.

태양열시스템의 경우 에너지 수요 중 급탕, 난방 부하를 담당하며, 설치위치는 옥상면으로 태양광발전시스템과의 설치면적을 고려해야 한다.

(3) 에너지 생산-수요량 패턴 분석

시스템의 배치에 따른 대안들이 결정되면 그에 따른 도시 에너지 생산량과 도시의 에너지 수요량간의 관계를 비교 분석해야 한다. 분석 항목으로는 월별 에너지 소비·생산 패턴, 시스템 배치안의 총 성능을 파악할 수 있는 연간 에너지 소비·생산 가능량, 전기 에너지 소비와 열에너지 소비가 가장 크게 나타나는 1월과 8월의 대표일간 에너지 생산·소비의 시계열 패턴 등이다.

(4) 대안 평가

시스템 적용 최적안의 평가는 각 대안이 설정한 목표에 어느 정도 도달하였는지를 성과지표로 나타내어 평가하는 단계이다. <표 3.7>과 같이 평가 항목은 각 에너지 생산·소비량 분석을 통한 부하분담율, 디자인 목표의 만족도, CO₂ 배출 저감량을 통해 평가되는 환경성능이다. 특히 복합 적용의 효율성은 첨두부하를 나타내는 대표일의 시계열 부하분담율을 산출함으로써, 기존까지 신재생에너지가 가지고 있던 취약점인 에너지 공급의 안정성을 확보할 수 있는 항목으로 중요한 평가 항목이 될 수 있다.

<표 3.7> 시스템 적용 대안 평가 기준

평가 항목	평가 기준
부하분담율	연간 열에너지의 부하분담율, 전기에너지의 부하분담율
디자인 목표의 만족도	설정된 디자인 목표의 만족도 조사 (설계자, 거주자)
대표일 부하분담율	에너지부하가 가장 큰 1, 8월의 대표일을 대상으로 에너지 생산, 소비의 시계열 분석
환경성능	기존대비 CO ₂ 배출 저감량 산출

(5) 최적 적용안 도출

각 적용 대안별 평가를 통해 가장 높은 성과를 획득한 대안을 최적 적용안으로 제시한다.

제 4 장 도시유형에 따른 사례 연구

4.1 대상지 선정 및 지리적 특성 분석

도시특성을 고려한 태양에너지시스템 적용 프로세스를 검증하고, 도시 유형별 시스템 적용안을 도출하기 위해 (그림 4.1)과 같이 『국토의 계획 및 이용에 관한 법률』에 제시된 용도지역별로 단지유형을 선정하였다. 이러한 용도지역의 도시의 밀도 및 높이 특성을 내포하고 있기 때문에 본 연구의 도시 특성 범위에 적합하다고 판단하여 도시의 분류 기준으로 선정하였다.



(그림 4.1) 용도지역을 기초로 한 단지 유형 및 대표 건물 유형 선정

용도지역은 크게 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역으로 분류되며, 녹지지역의 경우 개발지를 대상으로 하지 않으므로 본 연구에서는 녹지지역을 제외하였다. 또한 주거지역과 상업지역을 세분화하여 각 용도지역의 대표유형을 조사하였고, 각 대표유형을 바탕으로 단지 유형을 저층 단독주택단지, 중고층 공동주택단지, 상업단지로 분류하였다. 또한 단지유형별로 대표 건물 유형을 결정하였다.

본 장에서는 유형화한 3가지 단지 유형을 바탕으로 서울지역에 해당하는 도시샘플을 선정하였다. 선정한 도시샘플을 대상으로 단지 유형별 태양에너지 잠재성 평가를 실시하고, 각 단지 유형의 에너지 수요량을 조사한 후 그에 따른 태양에너지시스템 적용안을 평가하고 제시한다.

4.1.1 저층 단독주택단지

저층 단독주택단지는 제1종 주거지역에 해당하는 서울시 서대문구 연희동 일대를 선정하였다. 이때 단독주택단지의 경우 비교적 건물의 배치가 일정하며 단위 블록의 규모가 작기 때문에, 적용 단지 범위를 100m×100m로 선정하였다.

대상 단지를 조사한 결과, 해당 건물은 총 31가구이며, 기준 층수는 2층으로 앞서 설정한 요철도 기준 중 R1에 해당하는 요철도 특성을 나타낸다. 또한 평균건폐율과 평균용적률은 각각 49.3%와 105.8%로 산정되어 기준모델 중 저층저밀 유형과 유사한 형태를 나타낸다. 자세한 저층 단독주택단지의 개요는 다음 <표 4.1>과 같다.

<표 4.1> 저층 단독주택단지 개요

총 대지면적		9,277.2㎡ (도로 제외)	위치	서울시 서대문구 연희동
구성건물의 용도		단독 주택	총 연면적	9,811.0㎡
층수	1층	4	총 건축면적	4,570.6㎡
	2층	24	총 입면면적	9,655.3㎡
	3층	1	평균 건폐율	49.2%
	4층	2	평균 용적률	105.8%
	합계	31	요철도 수준	R1

4.1.2 공동주택단지

공동 주택단지는 제3종 주거지역에 해당하는 서울시 용산구 이촌동 일대를 대상단지로 선정하였다. 공동주택단지의 경우 다른 유형에 비해 경계가 분명한 것이 특징이기 때문에, 정사각형의 형태로 범위를 제한하지 않고 하나의 공동주택단지를 적용대상으로 선정하는 방식을 사용하였다.

대상 단지를 조사한 결과, 공동주택단지는 공동주택 18동, 상가 2동으로 구성되어 있어 총 20동의 건축물로 이루어져 있다. 또한 평균 층수는 19층이며, 요철도는 앞서 설정한 기준과 비교했을 때 R3에 가까운 요철도의 특징을 보이고 있다. <표 4.2>와 같이 평균건폐율과 평균용적률은 17.1%와 337.5%로 3장에서 제안한 저밀의 기준모델보다 건축밀도가 낮은 특징을 보인다.

<표 4.2> 공동주택단지 개요



총 대지면적		75,416.2㎡	위치		서울시 용산구 이촌동
구성건물의 용도		공동주택, 상가(2)	총 연면적	공동주택	251,686.1㎡
층수	22	11		상업	2873.3㎡
	21	3	총 건축면적		12,880.7㎡
	20	3	총 입면면적		155,639.7㎡
	13	1	평균 건폐율		17.1%
	3	2	평균 용적률		337.5%
	합계	20	요철도 수준		R3

4.1.3 상업단지

상업단지는 일반상업지역에 해당하는 서울시 영등포구 여의도 일부를 대상 단지로 선정하였다. 일반 상업지역의 경우 단위 건축물의 규모가 주거부문에 비하여 크고, 단위 블록의 규모 또한 큰 특징을 나타내기 때문에 대상 단위의 규모를 250m×250m의 범위로 제한하여 지정하였다.

대상 단지의 용도 특징은 업무용 건물이 대다수를 차지하며, 근린생활시설 또는 상업시설이 건물의 저층부(대부분1~3층)에 위치하는 것이다. <표 4.3>의 용도별 총 연면적에서 볼 수 있듯이 업무용 면적이 전체연면적의 약 87%를 차지하고 있다. 본 단지의 평균층수는 8층으로 비교적 R3에 가까운 요철도의 특징을 보이며, 평균 건폐율과 용적률은 36.5%와 345.3%로 본 연구의 3장에서 제안한 고층 저밀의 건축밀도와 비슷한 수준을 나타낸다.

<표 4.3> 상업단지 개요

총 대지면적		58,854.8㎡	위치		서울 영등포구 여의도동
구성건물의 용도		업무, 상업	총 연면적	업무	178,499.0㎡
층수	1	6		상업	24,715.5㎡
	3	2	총 건축면적		21,531.7㎡
	9	2	총 입면면적		90,372.0㎡
	10	15	평균 건폐율		36.6%
	11	7	평균 용적률		345.3%
	합계	33	요철도 수준		R3

4.1.4 대상지의 지리적 특성

태양에너지시스템의 에너지 생산에 있어서 가장 중요한 요소인 일사량은 도시의 지리적 특성인 위치와 지형 및 기후조건 의해 결정되기 때문에, 도시 규모의 시스템 적용을 위해서는 위의 특성에 대한 사전 조사가 필수적이다. 따라서 본 절에서는 대상지로 선정된 도시 샘플 단지의 지리적 특성을 조사하고자 한다.

대상지의 위치는 모두 서울에 위치하고 있다. 각 대상지의 정확한 위도와 경도는 다르지만 일사량을 크게 변화시키지 않는 수준이기 때문에, 서울시의 대표 위도·경도를 대상지의 위치로 차용하기로 한다. 서울시의 대표 위도 및 경도는 북위 37° 33', 동경 127° 로 이는 최적의 집열기 각도 및 태양광시스템 설치각도를 산정하는데 활용된다.

또한 <표 4.4>와 같이 본 연구에서 선정한 대상지는 모두 지형고도의 차이가 2m이내인 평탄한 지형으로서, 지형이 일사량 자체에 미치는 영향력은 미미할 것으로 판단된다.

<표 4.4> 대상지 지형의 고도차

구분	저층 단독주택단지	공동주택단지	상업단지
최저고도	20.3m	14.5m	12.5m
최고고도	21.9m	15.0m	14.2m
고도차	1.6m	0.5m	1.7m

대상지의 기후적인 특징 중, 태양에너지시스템 적용에 있어서 가장 중요한 요소는 일사량이라 할 수 있다. <표 4.5>⁴⁶⁾은 한국에너지기술연구원에서 1982년부터 2004년까지 23년간 실측한 국내 주요 도시의 월별 연평균 1일 수평면 일사량을 나타낸다. 서울지역의 일사량을 살펴보면 월 평균 2,780kcal/m²으로 타 지역에 비해 낮은 일사량을 보이며, 이는 대기의 청정도 수준에 의한 영향일 것으로 추측된다. 하지만 이는 월 평균 일사량이 2,170kcal/m²인 유럽보다 큰 수치로 태양에너지시스템의 적용에 충분한 일사량을 보유한 것으로 판단할 수 있다.

46) 산업자원부, 한반도 태양에너지 자원의 분석, 평가 및 데이터 신뢰성 향상 연구, 2006.05

<표 4.5> 전국 주요 도시의 월별 연평균 1일 수평면 일사량(1982~2004)

(단위 : kcal/m² day)

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

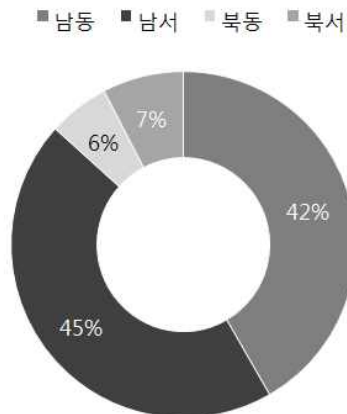
4.2 태양에너지시스템 적용을 위한 예비조사 분석

4.2.1 대상지의 태양에너지 잠재성 평가

각 도시 유형을 반영한 단지 별 태양에너지 잠재성 평가를 위해, 구성건물의 일사활용가능성 평가를 실시하였다. 일사총량의 예측도구는 Autodesk Ecotect Analysis 2010 프로그램이며, 각 단지를 구성하는 단위 건물별 예측 일사총량을 토대로 건물별 일사활용가능성을 산출하였다. 분석 일자는 1월 1일~12월 31일 06시부터 19시를 대상으로 하였으며, 분석 단위는 $2m \times 3m$ 로 설정하였다.

(1) 저층 단독주택단지

저층 단독주택단지는 총 31개의 대상 건물로 구성되어 있으며, 구성 층수가 1층부터 4층이며, 평균층수건물인 2층 건물이 24개로 상대적으로 요철도가 낮은 특징을 갖는다. 각 건물별 일사활용가능성 산출결과는 <표 4.6>과 같다. 단지 전체의 입면 일사활용가능성은 29.2%로 전체 $3,051m^2$ 의 면적이 이용 가능한 것으로 나타났다. 이를 각 입면의 방위별로 살펴 보면, (그림 4.2)와 같이 남서(45%), 남동(42%)향의 입면이 대부분을 차지함을 알 수 있으며, 북서(7%)와 북동(6%)향은 일사 영향이 적고 건물의 이격거리가 짧아 면적이 적게 산출되었음을 알 수 있다.



(그림 4.2) 저층 단독주택단지의
향별 일사활용가능면적 비율(입면)

<표 4.6> 저층 단독주택단지의 일사활용가능성

건물번호	일사활용가능성 [%,(㎡)]			건물번호	일사활용가능성 [%,(㎡)]		
	태양광		태양열		태양광		태양열
	입면	옥상면	옥상면		입면	옥상면	옥상면



14	30.9 (90.2)	100.0 (148.1)	100.0 (148.1)
15	42.5 (152.9)	100.0 (209.4)	100.0 (209.4)
16	31.2 (45.0)	100.0 (128.9)	100.0 (128.9)
17	23.4 (27.3)	94.3 (66.3)	93.4 (65.6)
18	42.0 (103.3)	100.0 (95.5)	100.0 (95.5)
19	42.3 (197.9)	100.0 (163.2)	100.0 (163.2)
20	48.6 (163.9)	100.0 (191.6)	100.0 (191.6)
21	32.3 (103.3)	100.0 (169.3)	100.0 (169.3)
22	38.3 (116.6)	100.0 (156.0)	100.0 (156.0)
23	51.7 (200.0)	100.0 (186.3)	100.0 (186.3)
24	38.7 (84.4)	100.0 (79.4)	100.0 (79.4)
25	30.3 (75.4)	100.0 (95.1)	100.0 (95.1)
26	15.7 (50.0)	100.0 (173.3)	100.0 (173.3)
27	40.0 (127.5)	100.0 (165.9)	100.0 (165.9)
28	11.5 (33.6)	100.0 (138.1)	100.0 (138.1)
29	39.5 (118.6)	100.0 (155.3)	100.0 (155.3)
30	31.4 (121.5)	100.0 (199.7)	100.0 (199.7)
31	18.8 (128.9)	100.0 (190.2)	100.0 (190.2)
합계	29.2 (3,050.1)	99.6 (4,551.9)	99.7 (4,555.0)

1	28.0 (83.5)	100.0 (148.4)	100.0 (148.4)
2	19.4 (57.1)	100.0 (149.0)	100.0 (149.0)
3	25.4 (79.7)	100.0 (170.5)	100.0 (170.5)
4	41.7 (291.7)	100.0 (211.8)	100.0 (211.8)
5	32.0 (104.8)	100.0 (180.7)	100.0 (180.7)
6	34.2 (105.9)	100.0 (161.7)	100.0 (161.7)
7	28.6 (88.7)	100.0 (164.5)	100.0 (164.5)
8	21.4 (64.1)	100.0 (124.1)	100.0 (124.1)
9	5.2 (13.5)	100.0 (104.0)	100.0 (104.0)
10	31.2 (101.2)	100.0 (182.4)	100.0 (182.4)
11	32.2 (98.4)	100.0 (159.8)	100.0 (159.8)
12	0.0 (0.0)	77.0 (49.5)	83.0 (53.3)
13	28.7 (21.1)	100.0 (34.1)	100.0 (34.1)

저층 단독주택단지의 옥상면의 일사활용가능성은 해당단지의 요철도가 낮아 태양광 및 태양열 시스템이 각각 99.6%, 99.7%로 산출되어, 12번, 17번 건물을 제외하고 모두 100%로 산출되었다. 특히 저층 단독주택단지의 경우, 용적률이 낮아 실제로 사용면적인 연면적이 건축면적에 비하여 작은 특징을 갖기 때문에 옥상면을 이용한 시스템 배치가 효율적일 것으로 판단된다.

(2) 공동주택단지

공동주택단지는 총 20개의 대상 건물(주동 18동, 상가 2동)로 구성되어 있으며, 17.1%의 비교적 낮은 평균건폐율과 평균 19층의 고층 건물로 구성되어 있는 것이 특징이다. 각 건물별 일사활용가능성 산출결과는 다음 <표 4.7>과 같다.

<표 4.7> 공동주택단지의 일사활용가능성

건물 번호	일사활용가능성 [%,(㎡)]			건물 번호	일사활용가능성 [%,(㎡)]		
	태양광		태양열		태양광		태양열
	입면	옥상면	옥상면		입면	옥상면	옥상면
				7	25.2 (3,116.0)	100.0 (1,052.8)	100.0 (1,052.8)
				8	6.7 (72.0)	5.8 (36.0)	100.0 (621.9)
				9	13.4 (868.3)	100.0 (412.7)	100.0 (412.7)
				10	21.4 (1,915.9)	100.0 (704.8)	100.0 (704.8)
				11	8.5 (568.0)	100.0 (495.0)	100.0 (495.0)
				12	20.9 (1,661.2)	100.0 (559.2)	100.0 (559.2)
				13	7.5 (559.3)	100.0 (527.2)	100.0 (527.2)
				14	16.3 (1,451.3)	100.0 (667.2)	100.0 (667.2)
				15	9 (861.7)	100.0 (705.2)	100.0 (705.2)
				16	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	100.0 (335.9)
				17	23.8 (1,912.6)	100.0 (594.5)	100.0 (594.5)
				18	2.1 (174.5)	100.0 (828.1)	100.0 (828.1)
				19	43.8 (4,339.6)	100.0 (725.1)	100.0 (725.1)
				20	42.9 (3,393.3)	100.0 (560.5)	100.0 (560.5)
1	46.5 (5,517.6)	100.0 (975.1)	100.0 (975.1)	합계	21.2 (33,066.3)	92.8 (11,959.0)	100.0 (12,880.7)
2	6.8 (360.0)	100.0 (696.9)	100.0 (696.9)				
3	4.3 (293.3)	100.0 (503.4)	100.0 (503.4)				
4	42.9 (3,832.3)	100.0 (698.3)	100.0 (698.3)				
5	6.2 (534.8)	100.0 (630.7)	100.0 (630.7)				
6	21.2 (1,634.5)	100.0 (586.2)	100.0 (586.2)				

단지 전체의 입면 일사활용가능성은 21.2%로 산출되었으나, 건물 외피 중 입면의 비율 단독주택보다 크므로, 실제 적용가능 면적은 33,066.3㎡로 단독주택형에 비해 실제 적용가능 면적이 크게 산출되었다. 또한 입면 활용에 있

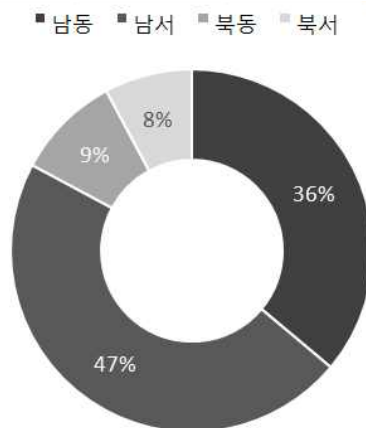
어서 주향이 남서(-21°)인 건물 군(1, 2, 4, 6, 7, 10, 12, 14, 17, 19, 20)은 남동(70°)인 건물 군(3, 5, 9, 11, 13, 15, 18)에 비해 입면의 일사 활용가능성이 큰 추세를 나타냈으며, 저층의 상가(8,16) 건물은 입면과 옥상면 모두 일사활용가능성이 취약한 것으로 나타났다. 또한 입면의 일사활용가능성은 적용가능 범위가 모두 고층부위에 분포하고 있는 것으로 나타났다.

옥상면의 경우 건물 간 이격거리가 크고, 건물 높이가 크게 차이를 보이지 않기 때문에 상가건물을 제외한 모든 건물에서 100%의 일사활용가능성을 나타냈다. 따라서 일사활용가능성 산출결과는 3곳의 대상지 중 가장 적지만, 3장에서 설정한 기준 모델의 일사활용가능성과 비교 했을 때 일사활용가능성이 상대적으로 높은 유형으로 생각된다.

(3) 상업단지

상업단지는 총 33개의 건물로 구성되어 있으며, 평균건폐율 36.58%, 용적률 345.23%, 평균 층수는 8층이다. 또한 요철도 기준은 R3에 가까운 특징을 가지고 있으며, 비교적 블록 간 도로의 넓이가 넓다. 각 구성건물별 일사 활용가능성 산출결과는 다음 <표 4.8>과 같다.

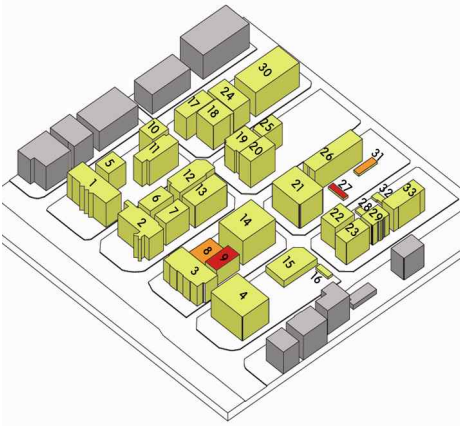
단지 입면의 일사활용가능성은 37.6%로 전체 37,505.1㎡의 면적이 이용 가능하다. 이는 건물의 규모가 크고 대부분의 건물이 대로와 접해있어 주변 건물의 영향이 적기 때문으로 판단된다. 각 향별 일사활용가능면적의 비율은 (그림 4.3)과 같이 남서(47%), 남동(36%), 북동(9%), 북서(8%)의 순서이며, 대부분의 일사활용가능면적이 남동과 남서향의 입면에 분포하고 있다.



(그림 4.3) 상업단지의 향별 일사활용가능 면적 비율(입면)

<표 4.8> 상업단지의 일사활용가능성

건물 번호	일사활용가능성 [%,(㎡)]			건물 번호	일사활용가능성 [%,(㎡)]		
	태양광		태양열		태양광		태양열
	입면	옥상면	옥상면		입면	옥상면	옥상면

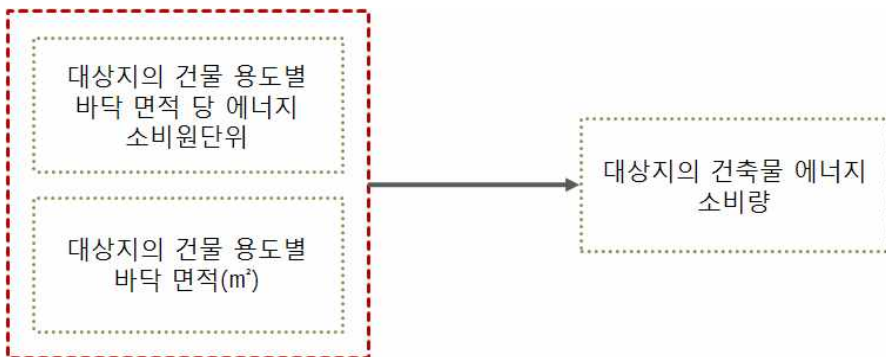


1	45.3 (2,161.2)	100.0 (1,029.7)	100.0 (1,029.7)	14	56.5 (2,760.2)	100.0 (1,354.2)	100.0 (1,354.2)
2	45.5 (1,662.2)	100.0 (783.0)	100.0 (783.0)	15	48.7 (585.0)	100.0 (1,046.3)	100.0 (1,046.3)
3	53.8 (2,091.4)	100.0 (1,141.2)	100.0 (1,141.2)	16	100.0 (134.9)	100.0 (98.8)	100.0 (98.8)
4	50.5 (2,578.6)	100.0 (1,475.5)	100.0 1475.46	17	50.0 (1,556.2)	100.0 (576.4)	100.0 (576.4)
5	31.0 (737.1)	100.0 (389.7)	100.0 (389.7)	18	29.7 (940.8)	100.0 (575.2)	100.0 (575.2)
6	36.9 (993.8)	100.0 (463.5)	100.0 (463.5)	19	43.9 (1,324.0)	100.0 (614.5)	100.0 (614.5)
7	16.8 (445.2)	100.0 (444.7)	100.0 (444.7)	20	31.7 (1,065.2)	100.0 (485.7)	100.0 (485.7)
8	36.5 (364.4)	55.3 (408.9)	100 (738.9)	21	56.4 (2,553.2)	100.0 (1161.5)	100.0 (1161.5)
9	0.0 (0.0)	16.0 (72.0)	70.6 (317.4)	22	45.4 (1,189.7)	100.0 (466.8)	100.0 (466.8)
10	46.9 (1,080.7)	100.0 (367.8)	100.0 (367.8)	23	50.0 (1,334.5)	100.0 (451.4)	100.0 (451.4)
11	32.3 (1,240.3)	100.0 (663.0)	100.0 (663.0)	24	21.7 (725.0)	100.0 (734.6)	100.0 (734.6)
12	47.2 (1,863.4)	100.0 (920.9)	100.0 (920.9)	25	22.3 (514.6)	100.0 (337.7)	100.0 (337.7)
13	16.8 (578.5)	100.0 (705.7)	100.0 (705.7)	26	47.8 (2,176.7)	100.0 (964.3)	100.0 (964.3)
				27	19.0 (30.4)	0.0 (0)	73.8 (92.9)
				28	83.2 (87.2)	100.0 (70.6)	100.0 (70.6)
				29	28.6 (580.4)	100.0 (346.7)	100.0 (346.7)
				30	42.5 (2,360.6)	100.0 (1,590.2)	100.0 (1,590.2)
				31	41.9 (77.5)	46.1 (78.0)	100.0 (169.1)
				32	89.6 (150.2)	88.5 (138.9)	100.0 (156.9)
				33	47.1 (1,562.2)	100.0 (632.3)	100.0 (632.3)
				합계	37.6 (37,505.1)	95.6 (20,589.3)	99.2 (21,366.7)

단지 옥상면의 일사활용가능성의 경우, 다른 유형과 비교하였을 때 적은 것으로 산출되었지만, 높은 건물의 후면에 위치한 8, 9, 27번 건물을 제외하고 모든 건물에서 100%로 산출되었다.

4.2.2 대상지의 에너지 수요량 예측

도시차원의 건축물 에너지 소비량을 예측하기 위해 본 연구에서는 에너지 소비 원단위의 개념을 사용하였다. 도시는 단일 용도의 건축물로 구성된 경우도 있지만, 일반적인 경우 두 가지 이상의 용도를 갖는 다양한 규모의 건축물로 구성된다. 따라서 (그림 4.4)와 같이 건물 용도별 바닥면적 당 에너지 소비원단위를 산정한 후 건물 용도별 바닥면적을 곱하여 단지의 총 건축물 에너지 소비량을 산정하였다.



(그림 4.4) 대상지의 건축물 에너지 소비량 예측 방법

대상단지의 에너지 소비량 산정을 위해 대상지의 구성건물의 용도인 주거 건물, 상업건물, 업무건물의 에너지소비원단위를 통계자료를 통해 조사하였다. 본 절에서 인용한 통계자료는 에너지 경제 연구원에서 조사한 『2008년도 에너지 총조사 보고서』로 본 보고서는 건물 용도에 따른 에너지원단위 및 월별 사용량 통계를 포함하고 있다. 이를 근거로 하여 연간 에너지원단위를 월별 에너지원단위로 보정하였다. 또한 보정을 거친 월별 에너지원단위와 3.2.2절에서 분석한 건물용도별 에너지 소비 특성을 기초로 에너지소비량이 가장 많은 1월과 8월의 일간 시계열 에너지소비원단위를 도출하였다.

도출한 에너지원단위와 각 단지별 용도면적정보를 토대로 대상단지의 연간 에너지소비량, 월별 에너지소비량, 단지별 대표일간 에너지소비량을 산정하였다.

(1) 건물 용도별 에너지원단위 조사

가) 주거건물

주거건물의 에너지원단위는 건물의 규모 및 창면적비, 단독주택-공동주택의 여부, 난방방식 등 다양한 변수에 의해 다양하게 산출될 수 있지만, 본 연구에서는 단위 건물이 아닌 도시단위의 에너지 소비량 산정을 목적으로 하기 때문에 공동주택에 대한 2007년 기준의 통계자료⁴⁷⁾를 이용하여 <표 4.9>와 같이 연료별 연면적당 에너지 소비량을 산정하였다.

<표 4.9> 공동주택의 연면적당 에너지 소비량

(단위: Mcal/m²)

구분	전력	석유	도시가스	지역난방	열에너지 총계
공동주택	34.4	9.5	60.0	35.4	104.9

또한 동일 문헌의 공동주택의 월별 에너지 소비량⁴⁸⁾을 통해 연료별 월별 사용비율을 산정하였고, 연면적당 에너지 소비량을 사용비율을 토대로 월별 면적당 에너지 소비량으로 보정하였다. 다음 <표 4.10>은 각 월별 에너지 사용비율과 사용비율을 통해 산출된 월별 면적당 에너지 소비량이다.

<표 4.10> 공동주택의 월별 에너지 사용비율 및 월별 면적당사용량

(사용비율:%, 사용량:Mcal/m²)

구분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
전력	사용비율	8.8	8.5	8.0	8.0	7.8	8.1	8.4	9.4	8.5	7.9	8.2	8.5	100.0
	사용량	3.0	2.9	2.8	2.8	2.7	2.8	2.9	3.2	2.9	2.7	2.8	2.9	34.4
석유	사용비율	17.5	14.2	13.5	9.5	4.3	2.3	1.7	1.1	2.8	6.5	11.2	15.4	100.0
	사용량	1.7	1.3	1.2	0.9	0.4	0.2	0.2	0.1	0.3	0.6	1.1	1.5	9.5
도시가스	사용비율	16.8	14.1	13.0	9.2	4.7	3.0	2.4	2.1	3.0	6.1	10.8	14.8	100.0
	사용량	10.2	8.5	7.9	5.6	2.9	1.9	1.6	1.3	1.5	3.7	6.5	8.4	60.0
지역난방	사용비율	17.5	13.8	13.0	8.7	4.3	2.3	2.1	1.8	2.5	6.0	11.8	16.2	100.0
	사용량	6.2	4.9	4.6	3.1	1.5	0.8	0.7	0.7	0.9	2.1	4.2	5.7	35.4
총 열에너지	사용비율	17.1	14.0	13.1	9.1	4.5	2.7	2.3	1.9	2.9	6.1	11.2	15.3	100.0
	사용량	17.9	14.7	13.7	9.5	4.7	2.8	2.4	2.0	3.0	6.4	11.7	16.0	104.8

47) 에너지 경제 연구원, 2008년도 에너지 총조사 보고서, 2009.04, p.631

48) ibid, 2009.04, pp.518~519

산출된 월별 에너지 사용량을 기초로 하여 대표일간 에너지원단위를 산출하였다. 대표일간 시계열 에너지원단위를 산정하기 위해서는 에너지원별 사용량을 난방, 급탕, 냉방, 일반전력의 에너지 사용부문별 에너지소비원단위로 세분화하여야 한다. 이러한 용도별 세분화를 위해 에너지경제연구원의 연구(2008)⁴⁹⁾를 참고하여 냉방 기간 동안의 사용열에너지를 모두 취사용으로 가정하는 방법으로 에너지 사용량 추정을 실시하였다. 이러한 추정을 위해 난방기간은 11월~4월로 설정하였고 냉방기간은 6월~8월로 설정하였다. 냉방기간인 6월부터 8월의 열에너지 소비는 모두 취사 부문에 사용된다고 가정하였으며, <표 4.11>⁵⁰⁾과 같이 열에너지 사용부문별 사용비율을 참고로 각 월의 일별 에너지소비원단위를 계산하였다.

<표 4.11> 주거건물의 열에너지 사용부문별 연간 사용비율

열에너지 사용부문	난방	급탕	취사
사용비율	57.2%	21.6%	21.1%

또한 전력에너지 사용량을 일반전력사용과 냉방용으로 분류하기 위해, 공동주택의 표준모델설정을 통해 연간전력소비량을 계산한 이종식의 연구(2008)⁵¹⁾에서 전기에너지의 사용비율을 인용하였다. 연간 일반전력사용과 냉방용의 사용비율은 다음 <표 4.12>와 같으며, 열에너지 추정방식과 동일하게 냉방기간인 6월부터 8월까지의 냉방에 사용된 에너지를 산정한 후, 다른 기간에 사용된 전기 에너지는 모두 일반 전력에 사용하였다고 가정하였다.

<표 4.12> 주거건물의 전기에너지 사용부문별 연간 사용비율

전기에너지 사용부문	일반전력	냉방
사용비율	76.2%	23.1%

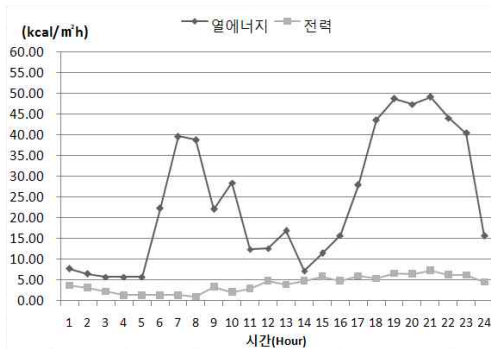
에너지 사용부문별 사용비율을 통해 산출된 일별 에너지소비원단위에 앞서 3.2.2절에서 제시한 주거건물의 시간별 부하율을 적용하여 에너지부하가 가장 큰 1월과 8월을 대표일로 하여 일간 전기에너지소비원단위와 열에너지소비원단위를 (그림 4.5)와 같이 산출하였다.

49) 에너지경제연구원, 가정·산업부문 에너지이용효율화 추이분석 기법 및 Tool 개발, 2008.02, p.23

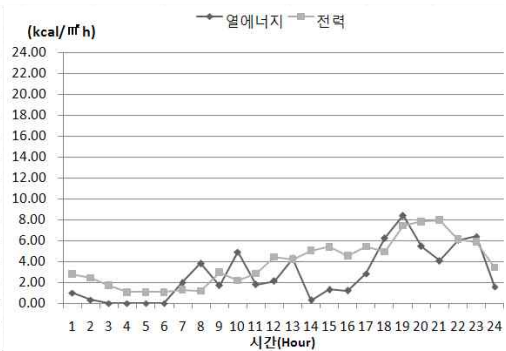
50) 에너지경제연구원, ibid, 2008.02

51) 이종식, op. cit, 2008.12, p.86

1월의 일간 에너지소비원단위



8월의 일간 에너지소비원단위



(그림 4.5) 주거건물의 대표일간 에너지소비원단위

주거건물의 대표일간 에너지소비원단위를 살펴보면 1월의 경우 운영 스케줄에 따라 열에너지의 소비량이 크게 증가함을 알 수 있다. 또한 8월의 에너지소비원단위를 살펴보면 전체 패턴은 운영 스케줄과 동일하게 나타나지만, 냉방에 전기에너지를 사용하기 때문에 전력소비량이 겨울에 비해 크게 산출되었음을 알 수 있다. 또한 전체적으로 전력소비량보다 열에너지의 소비량이 크게 나타남을 알 수 있다.

나) 상업건물

상업건물의 에너지소비량은 업종에 따라 일부 차이가 있지만, 기본적으로 건물의 운영스케줄이 일정하기 때문에 에너지소비량은 이와 비슷한 패턴을 보이게 된다. 상업건물의 연료별 연면적당 에너지 소비량은 주거건물과 마찬가지로 2007년 기준의 통계자료⁵²⁾를 사용하였고, 특수한 사례인 백화점을 제외한 상가부문의 연면적당 에너지 소비량을 조사하였다<표 4.13>.

<표 4.13> 상업건물의 연면적당 에너지 소비량

(단위: Mcal/m²)

구분	전력	석유	도시가스	지역난방	열에너지 총계
상업건물	245.5	3.1	107.9	5.0	116.0

52) 에너지 경제 연구원, op. cit, 2009.04, p.631

또한 주거건물과 마찬가지로 상가의 월별 에너지 소비량⁵³⁾을 이용하여 연료별 월별 사용비율을 산정하였고, 연면적당 에너지 소비량을 사용비율을 토대로 월별 면적당 에너지 소비량으로 보정하였다. 다음 <표 4.14>는 각 월별 에너지 사용비율과 사용비율을 통해 산출된 월별 면적당 에너지 소비량이다.

<표 4.14> 상업건물의 월별 에너지 사용비율 및 월별 면적당사용량

(사용비율:%, 사용량:Mcal/m²)

구분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
전력	사용비율	8.0	7.3	7.4	7.4	8.0	8.9	9.8	10.3	9.4	8.4	7.6	7.6	100.0
	사용량	19.6	18.0	18.1	18.1	19.7	21.8	24.1	25.3	23.2	20.5	18.5	18.7	245.5
석유	사용비율	9.4	9.7	13.0	6.7	15.1	7.2	7.9	4.7	4.6	7.8	8.4	5.5	100.0
	사용량	0.3	0.3	0.4	0.2	0.5	0.2	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	3.1
도시가스	사용비율	8.1	6.8	5.6	4.3	5.9	9.7	13.4	16.1	12.4	7.0	4.6	6.1	100.0
	사용량	8.7	7.4	6.0	4.6	6.4	10.5	14.4	17.3	13.4	7.5	5.0	6.6	107.9
지역난방	사용비율	10.2	9.8	6.8	5.0	5.3	7.0	10.8	14.5	14.0	8.2	2.8	5.7	100.0
	사용량	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.7	0.7	0.4	0.1	0.3	5.0
총 열에너지	사용비율	8.2	7.0	5.8	4.4	6.1	9.5	13.1	15.7	12.3	7.1	4.7	6.1	100.0
	사용량	9.5	8.2	6.8	5.1	7.1	11.0	15.2	18.2	14.2	8.2	5.4	7.0	116.0

산출된 월별 에너지 사용량을 기초로 대표일간의 에너지원단위를 산출하기 위해, 용도별 에너지 사용량의 세분화를 실시하였다 <표 4.15>. 용도별 에너지 사용량의 세분화를 위해 에너지 총조사 보고서의 도소매업, 도매 및 상품중개업, 소매업, 음식점 및 주점업의 용도별 에너지소비⁵⁴⁾를 통해 사용비율을 산정하였다. 본래 보고서의 에너지 소비 용도는 난방, 온수, 냉방, 조리, 설비, 자가발전, 조명·기타로 세분화되어 있다. 따라서 조리과 온수 부문은 급탕으로, 설비와 자가발전, 조명·기타부문의 에너지소비는 일반전력으로 가정하여 계산하였다. 또한 상업건물의 내부발열이 큰 특성을 반영하여 계산 시 냉방기간은 6월부터 9월로 설정하였으며, 냉방은 전력과 열에너지를 동시에 사용하는 경우가 많으므로 이를 반영하여 계산하였다.

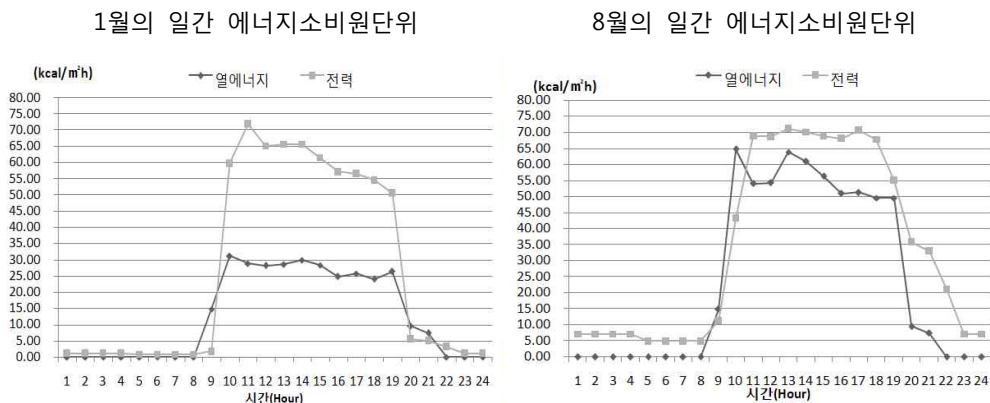
<표 4.15> 상업건물의 에너지 사용부문별 연간 사용비율

열에너지 사용부문	난방	급탕	냉방	일반전력
사용비율	26.3%	16.6%	18.3%	38.8%

53) 에너지경제연구원, op. cit, 2009.04, pp.656~657

54) ibid, pp. 467, 470~471

에너지 사용부문별 연간 사용비율의 계산을 통해 산출된 일별 에너지소비원단위에 앞서 3.2.2절에서 제시한 상업건물의 시간별 부하율을 적용하여 대표일간 전기에너지소비원단위와 열에너지소비원단위를 산출하였다. 산출된 대표일간 에너지소비원단위는 다음 (그림 4.6)과 같다.



(그림 4.6) 상업건물의 대표일간 에너지소비원단위

대표일간의 에너지소비원단위 패턴을 살펴보면 1월과 8월 모두 운영 스케줄에 의해 크게 영향을 받음을 알 수 있으며, 내부발열량이 큰 특징에 의해 냉방에 사용되는 에너지가 상대적으로 크게 나타나며 8월의 열에너지소비량이 크게 산출됨을 알 수 있다.

다) 업무건물

업무건물의 에너지 소비는 기본적으로 건물의 재실시간이 일정하며, 기기와 조명에 의한 에너지소비량이 크기 때문에 전력사용량이 크게 나타난다. 업무건물의 연료별 연면적당 에너지 소비량⁵⁵⁾은 다음 <표4.16>과 같이 전력과 열에너지가 약 2:1의 비율로 소비되고 있다.

<표 4.16> 업무건물의 연면적당 에너지 소비량

(단위: Mcal/m²)

구분	전력	석유	도시가스	지역난방	열에너지 총계
업무건물	181.1	1.1	82.6	6.5	90.2

업무 건물의 월별 에너지 소비량⁵⁶⁾을 이용하여 연료별 월별 사용비율을 산정하였고, 연면적당 에너지 소비량을 사용비율을 토대로 월별 면적당 에너지 소비량으로 보정한 결과는 <표 4.17>과 같다.

<표 4.17> 업무건물의 월별 에너지 사용비율 및 월별 면적당사용량

(사용비율:%, 사용량:Mcal/m²)

구분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
전력	사용비율	7.8	7.2	7.4	7.4	8.0	8.9	9.8	10.4	9.0	8.3	7.8	7.9	100.0
	사용량	14.1	13.0	13.4	13.5	14.5	16.2	17.7	18.9	16.4	15.1	14.2	14.3	181.1
석유	사용비율	9.9	9.5	9.7	8.2	7.7	6.6	7.9	8.2	6.9	6.8	8.1	10.6	100.0
	사용량	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.1
도시가스	사용비율	13.2	11.4	8.8	5.9	4.8	6.9	9.0	10.9	7.6	4.4	6.4	10.8	100.0
	사용량	10.9	9.4	7.3	4.9	4.0	5.7	7.4	9.0	6.2	3.6	5.3	8.9	82.6
지역난방	사용비율	23.2	18.7	13.9	6.6	2.3	0.9	1.3	1.0	1.2	3.3	10.1	17.7	100.0
	사용량	1.5	1.2	0.9	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.7	1.2	6.5
총 열에너지	사용비율	13.8	11.9	9.2	6.0	4.6	6.5	8.4	10.2	7.1	4.3	6.7	11.3	100.0
	사용량	12.5	10.7	8.3	5.4	4.2	5.8	7.6	9.2	6.4	3.9	6.0	10.2	90.2

업무건물의 대표일간 에너지소비원단위를 산출하기 위한 업무건물의 용도별에너지 비율은 홍성희의 연구(2002)에서 실측자료를 통하여 연구한 부하

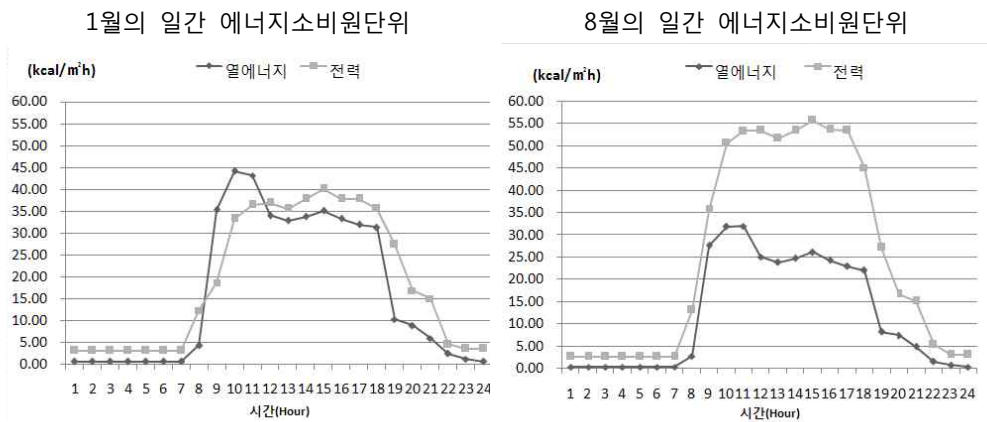
55) 에너지 경제 연구원, op. cit, 2009.04, p.631

56) ibid, pp.650~651

별 연간에너지소비량 비율을 참고하였다. 다음 <표4.18>⁵⁷⁾은 중부지방의 부하별 에너지소비량 비율을 나타내며 (그림4.7)은 이를 토대로 산정된 대표일간 에너지소비원단위를 나타낸다.

<표 4.18> 업무건물의 에너지 사용부문별 연간 사용비율

열에너지 사용부문	난방(급탕포함)	냉방	일반전력
사용비율	30%	13%	57%



(그림 4.7) 업무건물의 대표일간 에너지소비원단위

대표일간 에너지소비원단위를 살펴보면, 1월과 8월 모두 운영 스케줄과 비슷한 패턴으로 에너지가 사용되고 있음을 알 수 있으며, 8월의 전력소비량이 월등히 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 주로 냉방에 사용되는 전력소비량의 영향이며, 조명 및 기기의 고정사용으로 인해 내부발열량이 크기 때문으로 사료된다.

57) 홍성희 외, 사무소건물의 에너지소비원단위 설정 연구, 대한건축학회논문집 계획계 18권 9호, 2002.09, p.241

(2) 대상지의 에너지 수요량 예측

위에서 산정한 연간, 월별, 대표일간 에너지원단위를 기초로 하여 각 단지의 에너지수요량을 예측하였다. 예측 항목은 단지별 전력과 열에너지의 연간 사용량, 월별 사용량과 대표일간의 사용량 및 에너지 사용 패턴이며, 본 절에서 제시한 방법을 사용하여 용도별 면적을 에너지소비원단위에 곱하여 전체 에너지소비량을 산정하였다. <표 4.19>는 단지별 연간 에너지 소비량 및 에너지 사용비율을 산정한 결과이다.

<표 4.19> 단지별 연간 에너지 소비량

구분	연간 에너지 소비량 (Gcal)		
	열에너지	전력	총량
저층 단독주택단지	1,029.2 (75.3%)	337.5 (24.7%)	1,366.7 (100.0%)
공동주택단지	26,735.2 (74.1%)	9,363.4 (25.9%)	36,098.6 (100.0%)
상업단지	18,967.6 (33.1%)	38,393.8 (66.9%)	57,361.4 (100.0%)

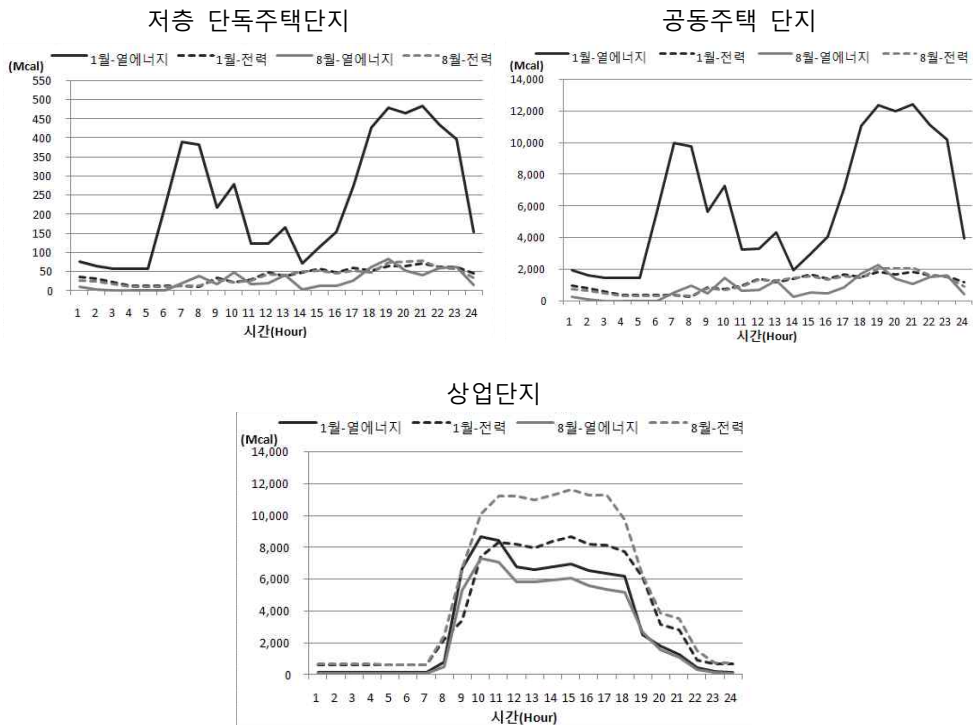
단지별로 모두 건물의 연면적 및 해당 대지범위의 규모가 다르기 때문에 에너지 소비량을 비교하는 것은 적합하지 않으나, 열에너지와 전력의 소비비율은 태양열시스템과 태양광발전시스템의 적용 시 우선순위를 결정하는 조건이 될 수 있다. 저층 단독주택단지와 공동주택단지의 경우 열에너지의 소비비율이 75.3%로 전력 소비에 비해 우세하므로, 태양열시스템을 우선 배치하는 것이 유리하다. 또한 상업단지의 경우 전력의 소비비율이 66.9%로 우세하여 옥상면의 시스템 배치 시 태양열시스템보다 태양광발전시스템을 우선적으로 배치하여 전체적인 에너지 생산량과 사용량의 균형을 유지해야 한다.

이러한 적용 시의 시스템별 우선순위뿐만 아니라 시스템의 적용 비율을 결정할 때에는 월별 에너지사용량 및 사용비율을 고려해야 한다. <표 4.20>은 각 단지유형의 월별 에너지사용량 및 사용비율을 나타낸다. 산출 결과에서 볼 수 있듯이 일반적으로 주택부문에서는 열에너지의 사용이 우세하지만, 냉방을 시행하는 6월~8월은 전력사용량이 크게 증가한다. 또한 모든 단지유형에서 냉방 기간의 전력사용량이 증가하는 추세를 나타낸다.

<표 4.20> 단지유형별 월별 에너지 소비량 및 소비비율

(단위: Gcal)

구분	저층 단독주택단지			공동주택단지			상업단지		
	열에너지	전력	총량	열에너지	전력	총량	열에너지	전력	총량
1월	175.6 (85.6%)	29.4 (14.4%)	205.0 (100.0%)	4,532.5 (84.8%)	811.4 (15.2%)	5,343.9 (100.0%)	2,466.0 (45.1%)	3,001.3 (54.9%)	5,467.3 (100.0%)
2월	144.2 (83.5%)	28.5 (16.5%)	172.7 (100.0%)	3,723.3 (82.7%)	781.6 (17.3%)	4,505.0 (100.0%)	2,112.6 (43.3%)	2,765.4 (56.7%)	4,878.0 (100.0%)
3월	134.4 (83.0%)	27.5 (17.0%)	161.9 (100.0%)	3,467.6 (82.1%)	756.7 (17.9%)	4,224.4 (100.0%)	1,649.6 (36.7%)	2,839.2 (63.3%)	4,488.8 (100.0%)
4월	93.2 (77.2%)	27.5 (22.8%)	120.7 (100.0%)	2,405.7 (76.1%)	756.7 (23.9%)	3,162.4 (100.0%)	1,089.9 (27.6%)	2,857.1 (72.4%)	3,947.0 (100.0%)
5월	46.1 (63.5%)	26.5 (36.5%)	72.6 (100.0%)	1,203.3 (62.0%)	736.2 (38.0%)	1,939.5 (100.0%)	925.2 (23.1%)	3,075.1 (76.9%)	4,000.3 (100.0%)
6월	27.5 (50.0%)	27.5 (50.0%)	54.9 (100.0%)	736.3 (49.0%)	767.4 (51.0%)	1,503.7 (100.0%)	1,307.2 (27.6%)	3,430.5 (72.4%)	4,737.6 (100.0%)
7월	23.5 (45.3%)	28.5 (54.7%)	52.0 (100.0%)	647.7 (44.8%)	799.1 (55.2%)	1,446.9 (100.0%)	1,732.3 (31.6%)	3,755.1 (68.4%)	5,487.3 (100.0%)
8월	19.6 (38.5%)	31.4 (61.5%)	51.0 (100.0%)	555.7 (38.8%)	878.1 (61.2%)	1,433.8 (100.0%)	2,092.0 (34.3%)	3,998.9 (65.7%)	6,090.9 (100.0%)
9월	29.4 (50.8%)	28.5 (49.2%)	57.9 (100.0%)	795.9 (50.0%)	796.6 (50.0%)	1,592.4 (100.0%)	1,493.4 (29.9%)	3,500.8 (70.1%)	4,994.1 (100.0%)
10월	62.8 (70.3%)	26.5 (29.7%)	89.3 (100.0%)	1,634.4 (68.9%)	738.5 (31.1%)	2,372.8 (100.0%)	898.8 (21.9%)	3,202.0 (78.1%)	4,100.8 (100.0%)
11월	114.8 (80.7%)	27.5 (19.3%)	142.3 (100.0%)	2,960.2 (79.6%)	757.9 (20.4%)	3,718.1 (100.0%)	1,204.5 (28.7%)	2,991.9 (71.3%)	4,196.4 (100.0%)
12월	157.0 (84.7%)	28.5 (15.3%)	185.4 (100.0%)	4,047.1 (83.8%)	783.6 (16.2%)	4,830.7 (100.0%)	1,993.7 (39.8%)	3,014.7 (60.2%)	5,008.4 (100.0%)



(그림 4.8) 대상 단지별 대표일간 에너지소비량

또한, 각 단지의 대표일간 에너지소비량 및 소비패턴은 (그림 4.8)과 같다. 각 단지별 특징을 살펴보면, 저층 단독주택단지와 공동주택 단지의 경우 1월의 열에너지 사용패턴은 주거건물의 난방에너지 부하율과 유사한 패턴을 보이며 8월에는 전력과 열에너지의 사용량과 패턴이 유사하게 나타남을 알 수 있다.

상업단지의 경우 1월과 8월 모두 전력 사용이 열에너지 사용보다 우세하게 나타남을 알 수 있으며, 패턴은 모두 업무건물의 운영스케줄과 유사하게 나타난다.

4.3. 도시특성에 따른 태양에너지시스템 적용계획안 제시

본 절에서는 위의 단지 유형별 태양에너지시스템 적용에 관한 예비조사 결과를 토대로 하여 실제적인 시스템 적용 계획을 제시한다. 본래 제시한 프로세스는 하나의 대상지를 대상으로 다양한 계획대안을 제시하여 대안별 평가를 통해 최적안을 도출하는 것이다. 하지만 본 사례연구의 목적은 프로세스 검증과 동시에 도시특성에 따른 도시 유형별 시스템의 적용 방법을 알아보기 위한 것이기 때문에, 잠재성 평가에 기초한 최대 적용안과 각 도시의 특성을 고려한 적용안을 제시하는 방법으로 진행하고자 한다. 각 계획안의 에너지 성능을 평가하기 위한 생산량 산출은 RETScreen 4.0 프로그램을 이용하였다.

4.3.1. 저층 단독주택단지

(1) 잠재성 평가를 통한 최대 에너지 생산량 및 적용 위치 선정

도시유형에서 시스템을 계획하기 위해 4.2.1절의 태양에너지 잠재성 평가를 통해 산출된 설치가능 면적을 중심으로 도시의 최대에너지 생산량 및 적용위치를 선정해야 한다. 이러한 최대에너지 생산량 및 적용 위치 선정은 도시 자체의 태양에너지 시스템 적용가능성을 나타내는 지표임과 동시에 적용 목표 설정의 근거가 된다.

입면의 경우 최대 에너지 생산량을 산출함에 있어 태양광발전시스템만을 대상 시스템으로 하기 때문에 시스템 배치에 문제가 발생하지 않으나, 옥상면의 경우 태양광발전시스템과 태양열시스템을 대상으로 하기 때문에 그에 따른 면적 분배여부에 따라 최대 에너지 생산량이 변동할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 최대 에너지 생산량 산출을 위해, 다음 <표 4.21>과 같이 최대 적용안을 PV+PV안과 PV+ST안의 두 가지 대안으로 나누어 진행하고자 한다. 이는 저층 단독주택단지 외 본 연구에서 대상으로 하는 모든 도시 유형에서 동일하게 진행하였다.

<표 4.21> 최대적용안의 시스템 적용구성

구분	PV+PV	PV+ST
입면	태양광발전시스템(100%)	태양광발전시스템(100%)
옥상면	태양광발전시스템(100%)	태양열 시스템(100%)

또한, 구체적인 에너지 생산량을 제시하기 위해 태양광발전시스템과 태양열시스템의 대표 시스템을 선정하였다. 선정된 시스템의 설치사양은 각각 <표 4.22>, <표 4.23>와 같다. 태양광 발전 시스템을 각 위치별로 적용함에 있어서 입면의 경우는 시스템을 벽면에 부착하여 적용각도를 90°로 설정하였고, 옥상면의 경우 최대 발전량을 산출하고자 30°의 기울기, 정남(0°)향의 독립형으로 계획하였다.

<표 4.22> 태양광 발전 대표 시스템의 설치 사양

구 분		입면·옥상면 설치
PV Module	적용 형태	계통연계형
	종류	POLY-SI
	규격	982×1,636×53.7mm
	발전 용량	150Wp
	적용 각도	90° /30°
	효율	14.9%
	기타 손실	3.0%
Inverter	효율	95.5%
	기타 손실	5.0%

또한 본 연구에서 태양열 시스템의 생산에너지 열은 난방과 급탕의 열에너지로 사용하는 것을 가정하였다. 그 이유는 실제로 본 연구에서 제안한 일사 활용가능성의 태양열에너지시스템의 적용가능성이 높게 산출되는데 비해, 일부 도시유형의 경우 급탕부하로 예측된 에너지사용량이 미미하기 때문이다. 따라서 태양열에너지시스템이 열에너지 부하를 모두 담당할 수 있도록 태양열난방시스템의 적용을 도시유형에 모두 동일하게 가정하였다.

<표 4.23> 태양열 대표 시스템의 설치 사양

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

집열기의 설치 경사각은 연중 사용하는 경우와 하절기에 태양열을 많이 해야 할 분야에 대해서는 위도와 같게, 주로 동절기에 집열량을 많이 해야 할 분야에서는 위도보다 더 높은 경사각을 사용(위도+15° 정도)한다.⁵⁸⁾ 우리나라

라의 경우 난방의 비중이 더 크기 때문에 겨울철 태양 고도를 고려하여 경사각을 45°, 정남(0°)향으로 계획하였다.

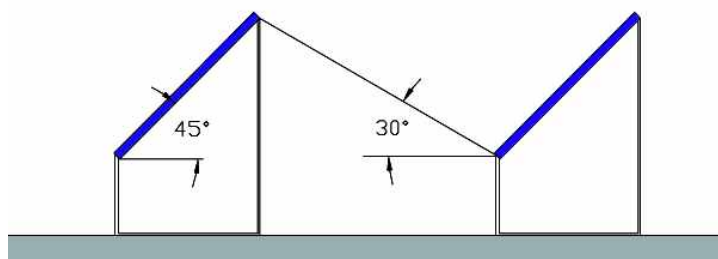
태양광 발전시스템과 태양열 시스템의 배치 및 에너지 생산에 있어 가장 중요한 요인이 음영 발생을 억제하는 것이기 때문에, 옥상면 배치 시 최소 이격거리를 확보하여 태양전지와 집열기를 배치하여야 한다. 태양광발전시스템의 경우 최소 이격거리를 다음 (수식 4.1)⁵⁹⁾을 이용하여 산출할 수 있다.

$$d = b \times \frac{\sin(180^\circ - \beta - \gamma)}{\sin \gamma} \quad \dots\dots (\text{수식 4.1})$$

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

위의 수식에 의해 산출된 태양광 대표 시스템의 이격거리는 4.7m로, 최대 적용안을 위해 본 이격거리를 사용하여 배치하였다.

태양열시스템의 이격거리는 (그림 4.9)와 같이 대상 집열기 최하단부와 정남방향의 집열기의 최상단부와의 각도가 30° 이하가 되어야 한다⁶⁰⁾. 따라서 대표시스템의 규격을 고려했을 때 4.8m의 이격거리가 최소한 확보되어야 하며, 최대 에너지 생산량을 도출하기 위해 본 이격거리를 적용하여 일사활용가능성을 만족하는 옥상면의 부위에 시스템을 배치하였다.



(그림 4.9) 태양열시스템 집열기의 이격거리

58) 한국에너지기술연구원, “태양열 시스템 설계지침”, 2004

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

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

다음 (그림 4.10)은 위의 최대 배치 시 고려사항을 반영한 저층 단독주택 단지의 옥상면 시스템 배치도이다. 이때, 적용 가능한 태양전지의 설치가능 면적은 $4,552\text{m}^2$ 이며 이에 적용가능한 태양전지($982\times 1,636\times 53.7\text{mm}$)의 개수는 총 537개다. 또한 태양열 집열기($1,500\text{mm}\times 2,500\text{mm}$)의 설치가능면적은 $4,555\text{m}^2$ 이며 적용가능한 집열기 설치대수는 332대이다.



(그림 4.10) 저층단독주택단지의 시스템 최대 적용 시 옥상면 시스템 배치

입면의 경우, 일사활용성 평가를 통해 도출된 면적을 모두 적용하는 것으로 설정하여, 총 $3,050.1\text{m}^2$ 의 면적에 태양광시스템을 적용하였다.

위와 같은 순서로 계획한 최대 적용안의 성능평가를 RETScreen 4.0 프로그램을 통해 실시하였다. PV+PV안과 PV+ST안의 연간 총에너지 생산량은 각각 395.8Gcal 와 740.0Gcal로 산출되었으며 각 대안별 총 부하분담율은 29.0%와 54.1%로 비교적 높은 부하분담율을 나타냈다. 자세한 대안별 연간 에너지 생산의 내용은 다음 <표 4.24>와 같다.

최대적용안 성능평가를 살펴보면 저층단독주택단지는 연면적이 적고, 태양 에너지 이용가능성이 높아 총 부하분담율이 높게 산출되었다. 또한 전력 사용량이 열에너지 사용량에 비하여 상대적으로 적어 태양열에너지시스템을 적용한 PV+ST안의 총 부하분담율이 PV+PV안에 비하여 상대적으로 높게 나타났다.

<표 4.24> 저층단독주택단지의 최대 적용안 성능평가

구분	적용 위치	열에너지 사용량 (Gcal)	전력 사용량 (Gcal)	에너지 생산량 (Gcal)	열부하 분담율 (%)	전력부하 분담율 (%)	총부하 분담율 (%)
PV+ PV	옥상면	1,029.2	337.5	123.3	—	36.6	29.0
	입면			272.5	—	80.7	
PV+ ST	옥상면	1,029.2	337.5	467.5	45.4	—	54.1
	입면			272.5	—	80.7	

(2) 태양에너지시스템 적용안 목표설정

저층 단독주택단지의 최대 적용안의 결과에서 고려해야 할 점은 단독주택 단지의 경우 건축밀도가 낮고 연면적이 작기 때문에 에너지 부하분담율이 크게 산출된다는 것이며, 열에너지의 사용량이 전력사용량의 약 3배에 달하기 때문에 열에너지사용량 저감이 우선시 되어야 한다는 것이다. 또한 기존의 최대적용안의 경우, 일사활용가능성만을 기초로 하여 시스템을 배치하였기 때문에, 건축적인 일체화 등 도시환경에서의 태양에너지 시스템 적용성을 고려하지 않았다. 이러한 고려사항을 반영한 실제 적용안의 목표는 크게 성능 목표와 디자인 목표로 구분되며 그 내용은 다음과 같다.

- 성능목표: 총 에너지 사용량의 11% 담당⁶¹⁾(열에너지 위주)
- 디자인 목표: 건물과의 일체화 가능성 모색 및 적용

(3) 시스템 배치

시스템의 배치는 크게 입면부의 태양광발전시스템과 옥상면부의 태양광발전시스템·태양열시스템으로 분류되어 적용된다.

저층 단독주택단지는 입면의 일사활용가능성이 상대적으로 높게 산출되었지만 실제로 층수 분포가 낮아 입면 계획 시 음영에 의한 영향을 받을 위험이 있다. 태양전지는 직사광선에 노출될 때 변환효율이 가장 좋고, PV Array의 경우 태양전지를 직렬로 연결하여 만들기 때문에 PV 표면의 일부에 음영이 발생하게 되면 전체 시스템의 발전효율이 저하된다. 특히 저층부

61) 국가에너지기본계획(2008~2030)의 신재생 에너지 목표 보급률(11%)을 참고하여 정한 수치임.

의 경우, 설치지역 주변의 수종 또는 주변 건물 등 음영을 유발할 수 있는 요소들이 많기 때문에 저층 단독주택단지에서의 입면 적용은 제외하는 것이 바람직하다고 판단하여 시스템 적용을 제한하였다.

옥상면의 태양광발전시스템과 태양열시스템의 배치에 있어서 중요한 결정 사항은 건물의 용도 특성에 따른 에너지 사용량에 대한 시스템별 분담율이다. 열에너지와 전기에너지의 분담율을 확정하고 나면 시스템의 설치규모가 결정되고 설치 비율 또한 결정되어진다. 본 연구의 4.2.2절에서 산출한 저층 단독주택단지의 열에너지와 전기에너지의 사용비율은 연간 75.3%, 24.7%로, 월별 에너지 사용비율을 참고하여도 7, 8월을 제외하고는 모두 열에너지의 사용비율이 높게 나타남을 알 수 있다. 따라서 <표 4.25>와 같이 총 에너지사용량의 11%인 150.3Gcal 중 75%에 해당하는 약 112.8Gcal를 태양열시스템으로 담당하는 것으로 설정하였으며, 약 37.5Gcal를 태양광발전시스템이 담당하는 것으로 계획하였다.

<표 4.25> 저층 단독주택단지의 시스템별 에너지 생산 계획

구분	담당 에너지량	담당 비율	설치필요면적	설치대수
태양열시스템	112.8 Gcal	75%	3,033.9m ²	집열기 94대
태양광발전시스템	37.5 Gcal	25%	1,518m ²	PV 411대
Total	150.3 Gcal	100%	4,551.9m ²	-

또한 시스템의 적용형태에 있어서 디자인 목표인 건물과의 일체화를 만족하기 위해 2.3절에서 검토한 시스템별 적용형태를 참고하였다. 태양열시스템의 배치 계획에서 건물과의 일체화를 달성하기 위해서는 신축의 도시 또는 경사형지붕일 경우 일체화가 가능하다. 하지만, 본 단지의 건축물은 기존 건축물을 대상으로 하며, 모두 평지붕 형태의 조건을 갖고 있어 태양열 시스템의 일체화 조건을 만족시키지 못한다. 따라서 태양열 시스템은 최대 적용안과 마찬가지로, 성능이 우수한 독립적인 형태의 시스템을 사용하는 것으로 계획하였다. 또한 목표 에너지 분담율을 만족시키기 위해 집열기 대수는 기존의 약 1/3 수준인 94대가 필요하기 때문에, 적용면적을 기존의 40%인 1,518m²가 되도록 각 가구 옥상에 적용하는 것으로 설정하였다. 태양광발전시스템의 경우, 평지붕의 형태에 있어 건축물과 일체화정도가 큰 캐노피형의 적용을 계획하였다. 특히 캐노피형의 적용은 재실자의 옥상공간의 이용이 가능하게 하므로, 주거건물의 활용가능성이 높은 형태라고 판단하였다. 캐노피형으로 적용된 태양광발전시스템의 설치사양 및 설치 대수는 다음 <표 4.26>과 같다.

<표 4.26> 캐노피형 태양광 발전 대표 시스템의 설치 사양

구 분		옥상면 설치	적용 예상모습
PV Module	적용 형태	계통연계형	
	종류	POLY-SI	
	규격	982×527×53.7mm	
	발전 용량	75Wp	
	적용 각도	30°	
	효율	14.9%	
	기타 손실	3.0%	
	단지 내 총 설치매수	411매	
Inverter	효율	95.5%	
	기타 손실	5.0%	

(4) 적용안 평가

태양에너지 적용안의 평가항목은 연간, 월별 부하분담율 및 에너지 부하가 가장 큰 대표일간의 에너지 생산량과 소비량을 통해 평가한다. 본 사례연구에서 제시한 저층단독주택단지의 연간, 월별 부하분담율은 다음 <표 4.27>과 같다.

<표 4.27> 저층 단독주택단지 계획안의 에너지 성능 결과

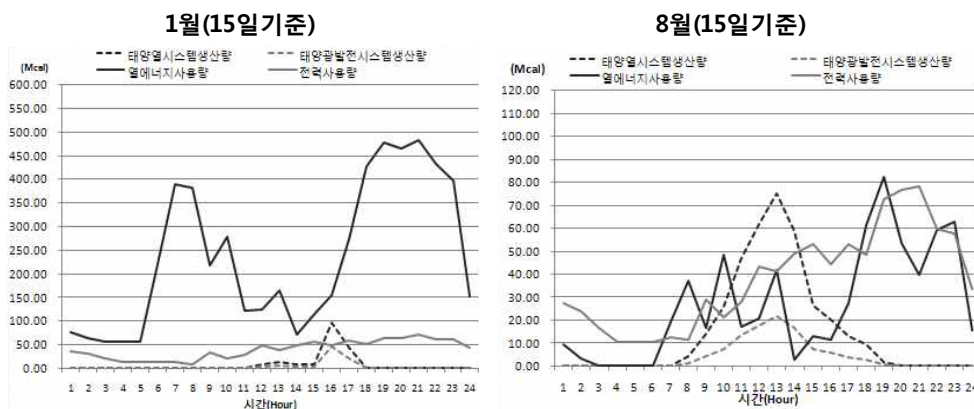
구분	에너지생산량(Gcal)			에너지사용량(Gcal)		부하분담율(%)		
	태양열 시스템	태양광 시스템	총 에너지 생산량	열 에너지	전기 에너지	태양열 시스템	태양광 시스템	총 부하 분담율
1월	5.6	2.7	8.3	175.6	25.3	3.2	10.5	4.1
2월	8.0	3.0	11.0	144.2	24.5	5.5	12.3	6.5
3월	9.8	3.5	13.3	134.4	23.6	7.3	14.7	8.4
4월	13.0	3.9	16.9	93.2	23.6	13.9	16.7	14.5
5월	14.1	4.0	18.2	46.1	22.8	30.7	17.8	26.4
6월	13.1	3.5	16.6	27.5	23.6	47.8	14.8	32.6
7월	9.1	2.6	11.7	23.5	24.5	38.9	10.4	24.4
8월	11.1	3.2	14.3	19.6	27.0	56.7	11.8	30.7
9월	10.7	3.3	14.0	29.4	24.5	36.4	13.5	26.0
10월	9.1	3.4	12.4	62.8	22.8	14.4	14.8	14.5
11월	5.7	2.3	8.0	114.8	23.6	5.0	9.9	5.8
12월	4.4	2.0	6.4	157.0	24.5	2.8	8.1	3.5
연간	113.8	37.4	151.2	1,028.1	290.2	11.1	12.9	11.5

적용안의 시스템은 연간 총 부하분담율은 11.5%로 목표로 설정한 11%를 만족하며, 태양열시스템과 태양광 발전 시스템은 각각 열에너지와 전기에너지 소비량의 11.1%, 12.9%를 생산할 수 있다.

월별 부하분담율의 패턴을 살펴보면, 태양광의 부하분담율의 월별 차이는 크지 않으나 태양열시스템의 월별 분담율 차이는 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 열에너지 생산량이 일사량이 큰 여름철에 큰 반면, 에너지 소비량은 난방기간인 겨울철에 크게 나타나기 때문으로 분석할 수 있다. 따라서 계절별 불균형을 해결하기 위해 계간 축열 등의 보완이 필요할 것으로 판단된다.

또한 (그림 4.11)과 같이 대표일간의 에너지 생산량과 에너지 소비량의 시계열 분석을 실시하였다. 이때 대표일은 1월15일과 8월 15일로 선정하였으며, RETScreen 프로그램은 일별 데이터를 제공하지 않기 때문에 월별 일간 평균 에너지 생산량을 시간별 일사율로 보정하여 시계열 생산량을 도출하였다. 분석 결과 1월의 경우 생산된 전기에너지와 열에너지 모두 소비량보다 적게 산출되었다. 특히 열에너지의 경우 일간 총사용량이 5,661.8Mcal 임에 비해, 에너지생산량은 182.1Mcal로 에너지생산량이 소비량의 불과 3.2%에 해당되는 것으로 나타났다. 또한 에너지 생산과 소비 패턴의 경우, 1월에는 에너지 수요가 가장 많은 시간이 7~8시와 19~21시임에 반해 에너지는 모두 10시~18시에 생산되는 것으로 나타났다.

8월의 경우 태양열시스템과 태양광발전시스템 모두 1월과 비교하여 높은 에너지 부하분담율을 보였다. 특히 태양열시스템의 경우, 11시경부터 17시까지 에너지소비량보다 많은 에너지를 생산하는 것으로 나타났다.



(그림 4.11) 저층 단독주택단지의 대표일간 에너지 생산량-소비량

4.3.2. 공동주택단지

(1) 잠재성 평가를 통한 최대 에너지 생산량 및 적용 위치 선정

공동주택단지의 일사활용가능성 평가를 통한 시스템 적용가능면적을 대상으로 최대적용안 계획 및 성능평가를 실시하였다. 이때, 시스템의 적용은 단독주택단지와 마찬가지로 건물의 입면 부위에 태양광 발전 시스템을 적용시키는 것으로 하였고, 옥상면의 경우 태양광 발전 시스템과 태양열시스템 모두를 적용하는 것으로 하였다. 옥상면의 경우 두 시스템의 설치면적에 따라 에너지 성능이 다르게 나타나므로, 최대적용안의 대안을 저층 단독주택단지와 마찬가지로 PV+PV안과 PV+ST안으로 설정하였다. 이때 적용 시스템 사양 및 이격거리의 조건은 저층 단독주택 유형과 동일하다. 다음 (그림 4.12)는 공동주택지의 옥상면의 태양전지, 태양열 집열기 최대 적용안의 일부를 나타낸다.



(그림 4.12) 공동주택단지의 시스템 최대 적용 시 옥상면 시스템 배치

공동주택단지의 최대 적용안은 입면의 33,066㎡ 면적의 태양광발전시스템, 옥상면의 12,880㎡의 면적에 태양열집열기 1,026대, 또는 11,959㎡의 면적에 태양전지 1,735대로 시스템적용면적 및 규모를 설정하였다. 다음 <표 4.28>은 공동주택단지의 PV+PV안과 PV+ST안의 성능평가 결과로서, 각각 3,620.7Gcal, 4,546.3Gcal의 에너지를 생산하는 것으로 산출되었으며, 총 부하분담율은 10%와 12.6%로 나타났다.

<표 4.28> 공동주택단지의 최대 적용안 성능평가

구분	적용 위치	열에너지 사용량 (Gcal)	전력 사용량 (Gcal)	에너지 생산량 (Gcal)	열부하 분담율 (%)	전력부하 분담율 (%)	총부하 분담율 (%)
PV+ PV	옥상면	26,735.2	9,363.4	398.5	—	4.3	10.0
	입면			3,222.2	—	34.4	
PV+ ST	옥상면	26,735.2	9,363.4	1,324.1	5.0	—	12.6
	입면			3,222.2	—	34.4	

공동주택단지의 경우, 연면적이 크고 상대적으로 건축면적의 비율이 작아, 열부하분담율이 최대적용안임에도 5%만을 담당하는 것으로 산출되었다. 전력 부하분담율은 입면의 해당면적이 넓어 상대적으로 높은 부하분담율을 보이는 것으로 나타났다.

(2) 태양에너지시스템 적용안 목표설정

최대 적용안의 결과에서 볼 수 있듯이, 공동주택은 건물 외피면적에 비해 건물의 연면적이 크기 때문에 최대적용안의 총 에너지 부하분담율이 단독주택단지와 비교하여 적게 산출되었다. 특히 태양열시스템의 경우 설치 가능 부위가 옥상면으로 한정되어있어 최대 에너지 부하분담율이 5%로 나타났다. 저층 단독주택단지와 마찬가지로 공동주택단지의 경우 주로 주거 건물로 구성되어 있으며, 열에너지의 사용비율은 총에너지 사용량 대비 74.5%이다. 따라서 공동주택단지의 태양에너지 시스템 계획 시 열에너지의 공급을 담당하는 태양열시스템이 우선시되어 계획되어야 한다. 또한 최대적용안의 입면에 적용한 태양광발전시스템은 일사활용가능면적만을 근거로 하여 시스템을 배

치하였기 때문에, 실제로 창면적비가 큰 공동주택의 입면 적용 면적이 크게 줄어들 수 있다. 따라서 실제 적용안의 성능 목표는 최대적용안의 에너지분담율 결과와 이러한 실제 적용 시 발생하는 시스템 적용가능 면적 감소를 고려하여 설정하였다. 공동주택단지의 성능 목표와 디자인 목표의 내용은 다음과 같다.

- 성능목표: 총 에너지 사용량의 5% 담당(열에너지 위주)
- 디자인 목표: 건물과의 일체화 가능성 모색 및 적용

(3) 시스템 배치

공동주택단지 또한 단독주택과 마찬가지로 구성건물의 용도가 대부분 주거 건물이기 때문에 열에너지의 사용비율이 전기에너지에 비하여 큰 에너지 부하 특성을 갖는다. 따라서 열을 생산하는 태양열시스템 위주의 적용이 필요하다. 하지만 공동주택단지의 경우 건축물의 총 연면적에 비해 건축면적이 크지 않아, 실제로 옥상부분에 적용되는 태양열 시스템의 생산량이 단지에서 사용되는 열에너지의 양에 비해 매우 적은 에너지 분담율을 보일 수 있다. 따라서, 최대적용안과 같이 해당 옥상면에 모두 태양열시스템을 적용하는 것으로 시스템 배치를 설정하였다.

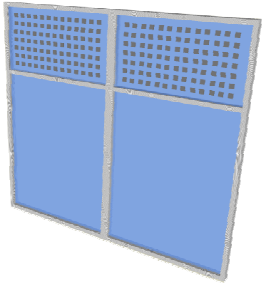
태양광발전시스템의 경우, 중고층 공동주택은 전기에너지 사용 비율에 비하여 상대적으로 넓은 입면 활용면적을 보유하고 있기 때문에 입면적용만으로 한정하였다. 하지만 공동주택의 적용 시, 일반적으로 주향을 향하는 전면 발코니와 창면적비를 고려해야한다. 이종식(2008)의 연구⁶²⁾에 따르면 실제 문헌조사를 통해 설정한 표준 모델의 전면 창면적비를 80%로 설정하고 있다. 따라서 본 연구에서는 공동주택의 전면 창면적비를 80%로 가정하여, 창면적을 제외한 20%만이 실제로 태양광발전시스템을 부착할 수 있는 면적으로 설정하였다. 이러한 적용면적의 감소를 보완하고 디자인 목표인 건물과의 일체화를 달성하기 위해, 창호의 일부에 창호형 BIPV를 설치하는 계획을 실시하였다. 창호형 BIPV는 재실자의 시야를 방해 하지 않도록 창호 상부에 창면적의 20%를 적용하는 것으로 설정하였다. 다음 <표 4.29>와 <표 4.30>은 창면적비와 향을 고려한 향별 태양광발전시스템의 적용 넓이 및 창호형 BIPV의 적용 넓이, 또한 창호에 적용된 BIPV의 설치사양을 나타낸다.

62) 이종식, op. cit, 2008.12, p.59

<표 4.29> 공동주택단지의 적용부분별 시스템 설치 규모

적용 부분	입면				옥상면
시스템	태양광발전시스템				태양열 시스템
	남서 (-21°)	북서 (-111°)	북동 (159°)	남동 (69°)	
최대적용안 면적(㎡)	29,860.5	1,019.4	0.0	2,186.3	3,847.5 (1,026매)
창면적비 고려면적(㎡)	7,988.9	0.0	0.0	1,419.1	-
창호 BIPV 설치면적(㎡)	4,374.3	0.0	0.0	153.4	-
총 설치면적(㎡)	12,363.2	0.0	0.0	1,572.5	3,847.5 (1,026매)

<표 4.30> 창호적용 BIPV 시스템의 사양

적용 위치		창호부분	적용예상모습 
PV Cell	적용 형태	계통연계형	
	종류	BIPV (POLY-SI셀 적용)	
	발전 용량	110W/㎡	
	적용 각도	90°	
	효율	13%	
	기타 손실	3.0%	
Inverter	효율	95.5%	
	기타 손실	5.0%	

(4) 적용안 평가

태양에너지 적용안은 연간, 월별 부하분담율 및 에너지 부하가 가장 큰 대표일간의 에너지 생산량과 소비량을 통해 평가한다. 본 사례연구에서 제시한 계획안의 연간, 월별 부하분담율은 다음 <표 4.31>과 같다.

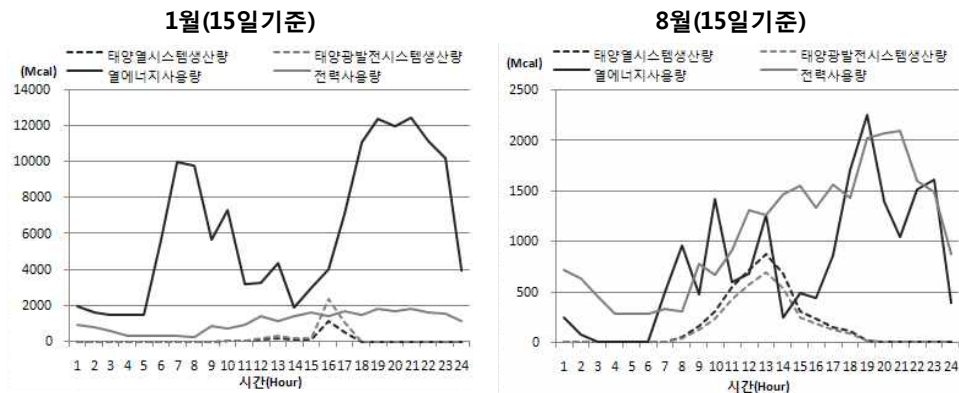
계획안은 연간 총 부하분담율은 7.3%로 목표로 설정한 5% 보다 많은 에너지를 생산하였다. 또한 태양열시스템과 태양광 발전 시스템은 각각 열에너지와 전기에너지 소비량의 5.0%, 13.9%의 부하분담율을 보였다.

월별 부하분담율의 패턴을 살펴보면, 단독주택단지의 경우와 마찬가지로 태양광의 월별 부하분담율의 차이는 크지 않으나 태양열시스템의 월별 분담율은 큰 변동이 있음을 알 수 있다. 총 부하 분담율 역시 열에너지소비량이 우세하기 때문에 태양열 시스템과 유사한 패턴의 부하분담율을 나타낸다.

<표 4.31> 공동주택단지 계획안의 에너지 성능 결과

구분	에너지생산량(Gcal)			에너지사용량(Gcal)		부하분담율(%)		
	태양열 시스템	태양광 시스템	총 에너지 생산량	열 에너지	전기 에너지	태양열 시스템	태양광 시스템	총 부하 분담율
1월	65.7	133.0	198.7	4,532.5	811.4	1.4	16.4	3.7
2월	93.0	126.2	219.2	3,723.3	781.6	2.5	16.1	4.9
3월	113.9	120.7	234.6	3,467.6	756.7	3.3	15.9	5.6
4월	151.1	119.8	271.0	2,405.7	756.7	6.3	15.8	8.6
5월	164.5	112.4	276.9	1,203.3	736.2	13.7	15.3	14.3
6월	152.9	95.9	248.8	736.3	767.4	20.8	12.5	16.5
7월	106.4	72.9	179.3	647.7	799.1	16.4	9.1	12.4
8월	129.3	95.3	224.5	555.7	878.1	23.3	10.9	15.7
9월	124.5	109.0	233.5	795.9	796.6	15.6	13.7	14.7
10월	105.3	130.7	236.0	1,634.4	738.5	6.4	17.7	9.9
11월	66.3	100.1	166.4	2,960.2	757.9	2.2	13.2	4.5
12월	51.3	90.2	141.5	4,047.1	783.6	1.3	11.5	2.9
연간	1324.1	1,306.2	2630.3	26,709.7	9,363.7	5.0	13.9	7.3

또한 (그림 4.13)과 같이 공동주택단지의 대표일간 에너지 생산량과 에너지 소비량의 시계열 분석을 실시하였다. 대표일은 에너지 소비량이 가장 크게 나타난 1월 15일과 8월 15일로 선정하였다. 분석 결과 1월의 경우 생산된 전기에너지와 열에너지 모두 소비량보다 적게 산출되었다. 특히 열에너지의 경우 일간 총사용량이 146,129.9Mcal 임에 비해, 에너지생산량은 2,118.0 Mcal로 에너지생산량이 소비량의 1.4%에 해당되어 단독주택단지보다 소비량과 생산량의 불균형이 극심한 것으로 나타났다. 8월의 경우 태양열 시스템과 태양광발전시스템 모두 1월과 비교하여 높은 부하분담율을 보였다.

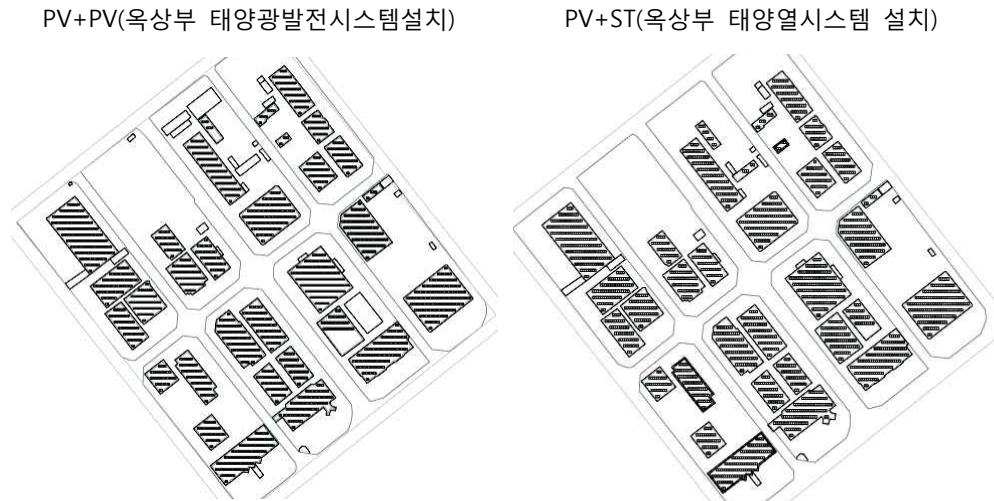


(그림 4.13) 공동주택 단지의 대표일간 에너지 생산량-소비량

4.3.3. 상업단지

(1) 잠재성 평가를 통한 최대 에너지 생산량 및 적용 위치 선정

상업단지의 일사활용가능성 평가를 통한 시스템 적용가능면적을 대상으로 최대적용안 계획 및 성능평가를 실시하였다. 이때 적용 시스템 사양 및 이격거리의 조건은 저층 단독주택유형과 동일하다. 아래 (그림 4.14)는 상업단지의 옥상면 태양전지 최대적용 배치계획과 태양열 집열기의 최대적용 배치계획을 보여준다.



(그림 4.14) 상업단지의 시스템 최대 적용 시 옥상면 시스템 배치 계획

상업단지의 최대 적용안은 일사활용결과를 토대로 입면부의 경우 35,792 m² 면적의 태양광발전시스템, 옥상면의 경우 총 21,366.7m²의 면적에 태양열 집열기 2,211대, 또는 20,589.3m²의 면적에 태양전지 3,362대를 적용할 수 있다. 다음 <표 4.32>는 상업단지의 PV+PV안과 PV+ST안의 성능평가 결과로서, 각각 4,119.3Gcal, 6,024Gcal의 에너지를 생산하는 것으로 산출되었으며, 총 부하분담율은 7.2%와 10.5%로 도시유형 중 가장 낮은 부하분담율을 나타냈다.

<표 4.32> 상업단지의 최대 적용안 성능평가

구분	적용 위치	열에너지 사용량 (Gcal)	전력 사용량 (Gcal)	에너지 생산량 (Gcal)	열부하 분담율 (%)	전력부하 분담율 (%)	총부하 분담율 (%)
PV+ PV	옥상면	18,967.6	38,393.8	772.3	—	2.0	7.2
	입면			3,347.0	—	8.7	
PV+ ST	옥상면	18,968.6	38,394.8	2,677.0	14.1	—	10.5
	입면			3,347.0	—	8.7	

상업단지의 경우, 용도 특성상 업무건물과 상업건물로 구성되어 있기 때문에 에너지 소비량 자체가 크게 나타나며, 열에너지 사용량과 전력사용량의 사용비율은 33.1%와 66.9%로 나타났다. 따라서, PV+PV안보다 PV+ST안의 총 부하분담율이 크게 산출되었다. 하지만 상업단지의 경우, 에너지 생산에 있어 전력생산을 우선순위로 두어야 하기 때문에 PV+PV안을 실제 배치의 목표 설정을 위한 기준으로 선정하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

(2) 태양에너지시스템 적용안 목표설정

최대 적용안의 결과에서 볼 수 있듯이, 상업단지는 용도 특성에 의해 총에너지 사용량이 많으며, 특히 이러한 에너지 소비량에 있어 전력 사용량의 비중이 크다. 따라서 상업단지의 태양에너지시스템 계획 시, 우선순위를 태양광 발전시스템에 두는 것이 바람직하다. 하지만 적용가능 면적이 큰 입면의 시스템 계획시 업무건물의 창호를 고려해야 한다. 특히 업무건물의 경우 사면에 모두 창이 위치하는 경우가 많아, 신축의 경우 커튼월 등의 형식으로 BIPV를 적용할 수 있다. 하지만 본 연구에서는 기존건물에 시스템을 적용하고자하므로, 입면의 일사활용가능 면적 중 창면적을 고려하여 해당 창면적을 시스템 적용면적에서 제외해야 한다. 이러한 창면적의 제외는 전체적인 에너지 생산량 감소를 야기할 수 있으므로, 상업단지의 태양에너지시스템의 적용안의 성능 목표는 PV+PV 최대적용안의 에너지 분담율 결과와 실제 적용시 발생하는 창면적으로 인한 에너지 감소를 감안하여 결정하였다.

- 성능목표: 총 에너지 사용량의 5% 담당(전기에너지 위주)
- 디자인 목표: 건물과의 일체화 가능성 모색 및 적용

(3) 시스템 배치

상업단지는 구성건물의 주요 용도가 업무와 상업이며, 대상단지의 경우 업무건물과 상업건물 연면적 비율이 87.8%와 12.2%로 구성되어 있어 업무의 에너지 소비패턴이 상업단지의 에너지소비특성을 결정하고 있음을 알 수 있다. 따라서 전력소비량이 많은 특성을 보이므로, 시스템 또한 태양광발전시스템 위주의 적용이 필요하다.

태양광발전시스템의 입면 적용 시, 일사활용가능성평가를 통해 산출된 면적에 시스템을 모두 적용하는 것으로 하였다. 하지만 상업단지 또한 공동주택단지와 마찬가지로 4면이 모두 동일하게 창호계획이 되어있는 경우가 많다. 따라서 일사활용가능성평가를 통해 산출된 각 방위의 해당면적에서 사무소 건물의 평균 창면적비를 제외한 면적에 시스템을 적용하여야 한다. 창면적비의 경우 서울의 122개 사무소 건물을 대상으로 조사한 건설부(1994)의 보고서⁶³⁾에서 제시한 48%를 평균 창면적비로 설정하였으며, 이를 제외한 면적에 시스템을 적용하는 것으로 한다. 또한 건축물과의 일체화의 목표 달성과 동시에 내부일사획득을 효과적으로 차단할 수 있는 수평차양형 BIPV의 적용이 단지의 특성에 적합하다고 판단하여 입면에 적용하도록 계획하였다.

옥상면의 경우, 태양광발전시스템과 태양열시스템의 규모산정을 위해 옥상면의 적용면적을 에너지사용비율인 33.1%와 66.9%로 산정하여 각각 태양열시스템과 태양광발전시스템 적용하는 것으로 하였다. 상세한 시스템의 배치방법을 정리하면 <표 4.33>과 같다.

<표 4.33> 상업단지의 시스템별 배치방법

구분		배치 방법
태양광 발전 시스템	입면	• 기존 일사활용가능면적에서 창면적을 제외한 입면 적용 • 건축적 일체화를 위한 수평차양형 BIPV 적용(남동, 남서) • 수평차양의 크기는 창면적비의 20%로 제한, 설치위치는 창호 상단부에 분리비 0으로 적용, 설치 기울기는 30° 로 설정
	옥상면	• 상업단지의 건물은 비교적 높이가 높아 옥상위의 시스템이 미관상 끼치는 영향이 적으므로 발전효율이 좋은 독립형태로 적용 • 설치면적은 옥상면 중 에너지 사용비율인 66.9%에 해당하는 면적을 대상으로 적용 • 기존 최대적용안과 마찬가지로 정남(0°)으로 30° 설치각도 유지
태양열 시스템	옥상면	• 설치면적은 옥상면 중 에너지 사용비율인 33.1%에 해당하는 면적을 대상으로 적용 • 기존 최대적용안과 마찬가지로 정남(0°)으로 45° 설치각도 유지

63) 건설부, 판매시설 및 사무소 건축물의 에너지 절약 설계 기준, 1994.

기존 건물의 창면적비와 수평차양형 BIPV 적용에 의한 각 방위별 입면의 태양광발전시스템 적용면적은 다음 <표 4.34>와 같으며, 수평차양형 BIPV의 설치사양은 다음 <표 4.35>와 같다.

<표 4.34> 상업단지의 적용부분별 시스템 설치 규모

적용 부분	입면				옥상면	
시스템	태양광발전시스템				태양열 시스템	태양광 발전 시스템
	남동 (38°)	남서 (-52°)	북동 (128°)	북서 (-142°)		
최대적용안 면적(㎡)	13,359.6	16,327.4	3,359.7	2,746.1	8,291.3 (2,211매)	5,401.2 (3,362매)
창면적비 고려면적(㎡)	7,040.8	9,112.0	0.0	0.0	-	-
창호 BIPV 설치면적(㎡)	1,299.8	1,682.2	0.0	0.0	-	-
총 설치면적(㎡)	8,340.6	10,794.3	0.0	0.0	2,763.8 (737매)	3,600.3 (2,241매)

<표 4.35> 수평차양형 BIPV 시스템의 사양

적용 위치		창호부분	적용예상모습 
PV Cell	적용 형태	계통연계형	
	종류	BIPV (POLY-SI셀 적용)	
	발전 용량	110W/㎡	
	적용 각도	90°	
	효율	13%	
	기타 손실	3.0%	
Inverter	효율	95.5%	
	기타 손실	5.0%	

(4) 적용안 평가

본 사례연구에서 제시한 적용안의 연간, 월별 부하분담율은 다음 <표 4.36>과 같다. 적용안은 연간 총 3,437.8Gcal의 에너지를 생산하며, 이중 전력과 열에너지의 비율은 69.9%와 30.1%로 에너지소비비율과 유사한 비율로 에너지를 생산함을 알 수 있다. 또한 적용안의 연간 총 부하분담율은 6.0%로 목표로 설정한 5% 보다 많은 에너지를 생산하였으며, 전력과 열에너지에 대한 시스템의 에너지 부하분담율은 각각 6.3%와 5.5%로 산출되었다.

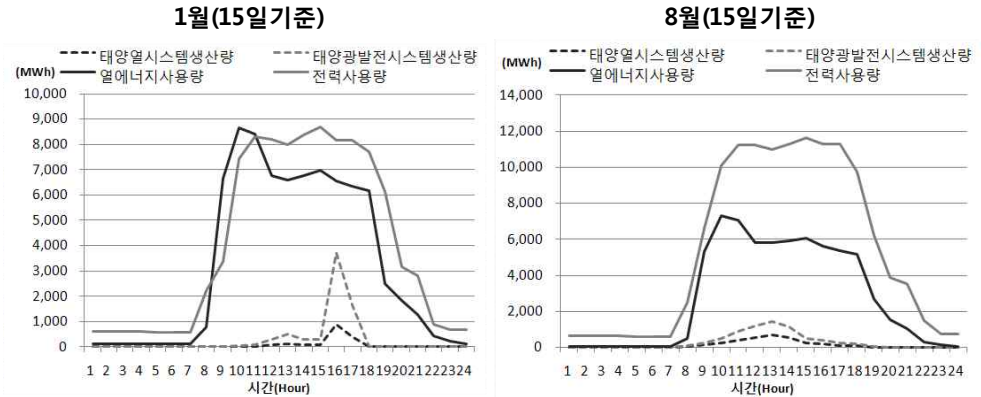
월별 태양열시스템의 부하분담율의 패턴을 살펴보면, 전력사용량이 많은 상업단지의 유형에서 연중 안정적인 전력을 생산하여 공급함을 알 수 있다. 하지만 태양열시스템의 경우, 태양광발전시스템에 비하여 난방기간의 부하분담율이 적게 산출되었다. 이러한 계절 간 부하분담율의 불균형은 태양열시스템의 한계이며, 이를 해결하기 위해 단지규모의 계간 축열 계획이 필요하다.

<표 4.36> 상업단지 계획안의 에너지 성능 결과

구분	에너지생산량(Gcal)			에너지사용량(Gcal)		부하분담율(%)		
	태양열 시스템	태양광 시스템	총 에너지 생산량	열 에너지	전기 에너지	태양열 시스템	태양광 시스템	총 부하 분담율
1월	51.3	202.8	254.1	2,466.0	3,001.3	2.1	6.8	4.6
2월	72.7	206.9	279.6	2,112.6	2,765.4	3.4	7.5	5.7
3월	89.0	221.0	309.9	1,649.6	2,839.2	5.4	7.8	6.9
4월	118.1	240.3	358.4	1,089.9	2,857.1	10.8	8.4	9.1
5월	128.5	243.1	371.6	925.2	3,075.1	13.9	7.9	9.3
6월	119.4	209.0	328.5	1,307.2	3,430.5	9.1	6.1	6.9
7월	83.1	153.4	236.5	1,732.3	3,755.1	4.8	4.1	4.3
8월	101.0	194.9	295.9	2,092.0	3,998.9	4.8	4.9	4.9
9월	97.3	206.6	303.9	1,493.4	3,500.8	6.5	5.9	6.1
10월	82.3	224.8	307.1	898.8	3,202.0	9.2	7.0	7.5
11월	51.8	159.8	211.6	1,204.5	2,991.9	4.3	5.3	5.0
12월	40.1	140.7	180.7	1,993.7	3,014.7	2.0	4.7	3.6
연간	1,034.5	2,403.3	3,437.8	18,965.1	38,432.0	5.5	6.3	6.0

또한 (그림 4.15)와 같이 상업단지의 대표일간 에너지 생산량과 에너지 소비량의 시계열 분석을 실시하였다. 분석 결과 1월과 8월 모두 에너지 생산패턴과 소비패턴이 유사하게 나타남을 알 수 있었다. 이는 태양에너지시스템의 에너지 생산패턴이 일사량패턴과 유사한 패턴을 보이며, 업무용 건물과 상업용건물 또한 주간에만 사용하는 건물이기 때문에 두 건물유형의 운영 스케줄이 일치하여 나타난 결과라고 할 수 있다.

일간 부하분담율을 살펴보면 1월의 경우 열에너지 소비량이 77.9Gcal임에 비하여 생산량은 1.7Gcal로 약 2.2%만을 담당하고 있으며, 태양광발전시스템은 총 97.1Gcal의 소비량 중 7.0Gcal를 담당하고 있어 7.2%의 일간 전력소비를 담당하고 있는 것으로 산출되었다. 8월의 경우 태양열시스템과 태양광발전시스템의 일간 부하 분담율은 각각 4.9%와 5.4%로 산출되었다. 이는 8월의 난방부하에 의한 전력소비 증가로 인한 결과로 판단된다.



(그림 4.15) 상업단지의 대표일간 에너지 생산량-소비량

4.4. 소결

본 장에서는 3장에서 제시한 도시특성을 고려한 태양에너지시스템 적용 프로세스를 검증하고, 도시유형별 특성에 따른 태양에너지시스템 적용방안을 도출하기 위해 사례연구를 실시하였다.

도시유형별 사례지를 선정하기 위해 본 연구에서 도시특성으로 제한한 도시 형태적 특성을 내포하고 있는 지구단위계획의 용도지역 기준을 근거로 유형을 분류하였다. 도시를 저층단독주택단지, 공동주택단지, 상업단지의 3가지 유형으로 분류하였고, 서울에 위치한 사례지를 선정하여 사례지를 대상으로 지리적 특성을 분석한 후 태양에너지잠재성평가와 에너지 소비량 예측을 실시하였다. 태양에너지잠재성평가는 3장에서 제시한 일사활용가능성(Solar potential)을 평가하는 방법으로 실시하였으며, 실시결과 상업단지, 저층단독주택단지, 공동주택단지의 순으로 일사활용가능성이 높음을 확인하였다.

또한 각 단지의 에너지 수요량을 예측하기 위해, 건물 용도별 에너지 원단위를 조사하여 용도에 따른 연간 에너지 수요량, 월별에너지 수요량, 대표일(1월15일, 8월 15일)의 에너지 수요 패턴을 조사하였다. 이러한 용도별 에너지 원단위 결과를 토대로 하여 단지유형에 따른 에너지 수요량을 예측하였다. 예측 결과, 저층 단독주택단지와 공동주택단지는 열에너지의 소비 비율이 약 75%로 나타나 열에너지의 소비가 우세한 것으로 나타났고, 이와 반대로 상업단지는 전기에너지의 소비 비율이 약 66%로 신재생에너지 시스템 적용 시 전기에너지를 생산하는 태양광발전시스템이 우선적으로 계획되어야 함을

알 수 있었다.

또한 각 도시 유형의 태양에너지시스템 적용계획안의 제시단계에서는, 단지 유형별 잠재성평가를 통해 산출된 적용가능면적에 시스템을 모두 적용한 최대적용안을 바탕으로 적용계획안의 목표를 설정하였다. 성능목표는 에너지 부하분담률로 설정하였고, 디자인목표는 건축물과의 일체화로 설정하여 각 도시유형별로 시스템을 적용하고 결과를 분석하였다.

저층단독주택단지의 경우, 열에너지의 소비비율이 높으므로 태양열에너지 시스템 위주로 옥상면에 적용하였다. 또한 옥상면의 공간활용과 건축물과의 일체화를 달성하기 위해, 캐노피형 태양광발전시스템을 채택하여 계획하였다. 본 계획안은 총 11.5%의 부하분담율을 달성하였다.

공동주택단지는 연면적에 비하여 건축면적이 작은 특징을 나타내기 때문에, 옥상면에는 모두 태양열시스템을 적용하는 것으로 설정하였고, 입면의 창호 부분의 일부를 창호형 BIPV로 계획하여 창면적비가 넓은 공동주택의 입면을 활용한 태양광발전시스템을 계획하였다. 본 적용안은 총 7.2%의 부하분담율을 달성하였다.

상업단지의 경우, 주거건물과 반대로 전기에너지에 대한 소비비율이 66%로 높은 수준을 나타낸다. 따라서 태양광발전시스템 위주의 시스템 배치를 실시하였다. 입면의 경우, 태양광발전시스템 적용가능 면적에 모두 태양전지를 부착하는 것으로 계획하였으며, 내부로의 일사획득을 막으면서 전력을 생산할 수 있는 수평차양형 BIPV시스템을 남동, 남서향에 설치하여 건축적 일체화의 목표를 달성하였다. 또한 적용안의 총 부하분담율은 6.5%로 산출되었으며, 전력에너지 부하분담율은 6.8%로 산출되어 비교적 안정적으로 전력을 공급할 수 있는 것으로 나타났다.

또한 모든 단지유형에서 나타난 에너지 생산-소비 간 패턴의 특성 중, 열에너지의 에너지 소비패턴과 태양열시스템의 생산 패턴이 일치하지 않는 결과가 나타났다. 따라서 실제 태양열시스템의 도시 적용 시 계간 축열 등의 생산-소비 간 시간차를 고려할 수 있는 축열부의 고려가 필요하다. 또한 실제로 태양에너지시스템을 통해 도시 부하의 큰 비율을 담당하는 것은 경제적, 효율성 측면에서 무리가 있다. 따라서 태양에너지시스템 외의 신재생에너지 시스템과 지역적인 에너지 생산시스템인 열병합발전시설 등과의 복합적인 활용에 대한 계획이 필요하다.

제 5 장 결 론

전 세계는 현재 기후변화와 화석에너지원의 고갈이라는 두 난제에 직면해 있어, 청정에너지시스템인 신재생에너지시스템의 중요성에 대한 인식이 날로 높아지고 있다. 또한 국내에서도 신재생에너지시스템 설치를 장려하기 위한 다양한 제도와 설치의무화 규정을 실시하고 있기 때문에, 신재생에너지시스템의 적용은 선택의 문제가 아닌 필수가 되고 있다.

전체적으로 에너지 소비가 많은 도시의 경우, 신재생에너지시스템을 발전 시설단위로 설치할 별도의 용지가 부족하기 때문에 건축물과 신재생에너지시스템을 통합하여 활용하는 방법을 강구해야 한다. 태양에너지시스템의 경우, 에너지생산 특성상 건축물의 외피에 활용이 가능하며 생산된 에너지를 건물 부문에서 즉시 이용할 수 있다는 특성을 가진다. 따라서 도시환경에서 태양열에너지시스템의 적용가능성은 매우 크지만, 이러한 적용가능성은 다양한 도시의 특성(지리적 특성, 물리적 특성)에 의해 영향을 받으므로 이를 고려한 시스템 적용 방법이 요구된다.

본 연구의 목적은 도시환경에서의 효율적인 태양에너지시스템 적용을 위해 적용프로세스를 제안하는 것이다. 이를 위해 도시특성을 반영한 태양에너지 잠재성을 평가할 수 있는 방법을 제시하고 이를 근거로 하여 도시의 태양에너지시스템 적용 프로세스를 제안하였다. 또한 도시특성에 따른 태양에너지시스템 적용안을 도출하기 위해 도시 유형을 크게 저층단독주택단지와 공동주택단지, 상업단지로 분류하여 각 기존 도시유형별 사례연구를 실시하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 도시특성을 반영한 태양에너지 적용을 위해 잠재성평가와 에너지소비량 예측결과를 기초로 하는 태양에너지시스템 적용 프로세스를 정립하였다. 프로세스는 예비조사분석 단계, 계획단계, 평가단계로 진행되며, 최종적으로 도시적용 최적안을 도출한다. 특히 예비조사분석 단계는 도시의 지리적 특성과 도시의 물리적 특성을 분석하여 대상도시의 에너지 수요를 분석하고, 일사활용가능성평가를 통해 태양에너지시스템의 정량적 잠재성을 평가한다. 이러한 예비조사분석은 해당 도시의 특성을 반영한 시스템 적용에 있어 필수적이다.

(2) 도시차원의 태양에너지시스템 적용을 위해, 도시의 형태특성을 반영하여 정량적으로 태양에너지 잠재성을 평가하는 방법을 제안하였다. 평가 요소는 일사활용가능성(Solar Potential)이며, 도시를 구성하는 각 건물의 입면과 옥상면이 받는 연간 일사량의 총합을 기준으로 태양에너지 시스템을 설치할 수 있는 면적의 비율로 잠재성을 나타낸다. 기준모델을 통한 평가 결과, 일반적으로 건축밀도(건폐율)가 낮을수록 입면의 일사활용가능성이 높게 산출되며, 도시 요철도가 작을수록 옥상면의 일사활용가능성이 높게 산출되었다. 또한 저층 모델의 경우 적용 가능한 면적이 여러 건물에 분산되는 반면, 고층 모델의 경우 상대적으로 높이가 높은 건물에 집중적으로 위치하고 있음을 알 수 있었다.

(3) 본 연구에서는 제시한 태양에너지시스템 적용 프로세스를 검증하기 위해, 단지유형별 기존 실제 도시를 대상으로 사례조사를 실시하였다. 적용 프로세스 진행과정에 있어서 일사활용가능성을 통한 잠재성 평가결과 상업단지, 저층단독주택단지, 공동주택단지의 순으로 산출되었으며, 최대적용안의 에너지 부하분담율은 저층 단독주택단지(총 부하의 54.1%), 공동주택단지(총 부하의 12.6%), 상업단지(총 부하의 10.5%)의 순으로 평가되었다.

(4) 저층 단독주택단지의 시스템 적용 시, 열에너지의 에너지사용비율은 약 75%로 열에너지의 사용이 우세하기 때문에 적용면적 비율을 조절하여 태양열에너지시스템 위주로 계획하였다. 또한 입면의 경우, 낮은 층수에 적용가능 면적이 분포하고 있기 때문에 식재 또는 주변요소에 의한 음영 발생 가능성이 크므로 옥상면에 시스템을 적용하였다. 적용결과, 전기에너지 부하의 12.9%, 열에너지 부하의 11.1%를 담당하여 총 사용 에너지량의 11.5%를 태양에너지시스템을 통해 공급할 수 있음을 알 수 있었다.

(5) 공동주택단지는 단독주택단지와 마찬가지로 열에너지의 에너지사용비율은 약 75%로 열에너지의 사용이 우세한 것으로 나타났다. 따라서 옥상면의 적용가능 부위에 모두 태양열에너지시스템을 적용하였으며, 입면의 벽(부착형)과 창호(BIPV)의 일부에 태양광발전시스템을 적용하였다. 적용결과, 전기에너지 부하의 13.9%, 열에너지 부하의 5%를 담당하여 총 7.3%의 부하분담율을 나타냈다.

(6) 상업단지는 전기에너지 소비비율이 66%로 우세하므로, 옥상면의 경우 적용가능면적의 66%를 태양광발전시스템을 배치하였으며 음영이 발생하기

쉬운 부위는 태양열시스템을 배치하였다. 입면은 벽과 차양의 형태로 태양광 발전시스템을 적용하였다. 적용결과, 전기에너지 부하의 6.3%, 열에너지 부하의 5.5%를 담당하여 총 6.0%의 부하분담율을 나타냈다.

(7) 도시단위의 태양에너지시스템 적용 시, 에너지 소비량 및 소비비율에 대한 고려가 반드시 필요하며 에너지원별 에너지소비비율을 통해 적용시스템의 우선순위를 부여해야 한다. 하지만 대부분의 단지에서 에너지사용패턴과 에너지생산패턴간의 차이가 발생하기 때문에, 이를 보완하기 위해 계간축열, 태양에너지시스템 외의 신재생에너지 시스템과의 복합활용계획, 지역적인 에너지 생산시스템인 열병합발전시설과의 연계에 대한 계획이 필요하다.

본 연구에서는 도시의 신재생에너지시스템적용에 있어 영향을 미치는 도시 특성을 분석하고, 이에 따른 신재생에너지시스템 적용 프로세스를 제시하였다. 하지만 본 연구에서 제시한 도시유형별 적용안의 경우 기존도시를 대상으로 하였기 때문에 신축도시의 계획 시 부가될 수 있는 추가적인 이점 및 잠재성에 대한 고려가 부족하다. 또한 도시단위로의 시스템적용을 실시하는 과정에서 구성건물의 정확한 정보 및 에너지 소비량, 시스템 규모가 계략적으로 산정되어 정확성이 부족한 한계가 있다. 따라서 신축 계획 시 태양에너지시스템 적용을 위해 고려되어야 할 도시 특성 및 프로세스의 보완이 필요하며, 정확성을 보완하기 위해 도시의 GPS시스템, 에너지소비량 정보 등의 데이터베이스를 구축하여 연구를 진행해야 할 것이다.

참 고 문 헌

[국내문헌]

1. 건설교통부, 판매시설 및 사무소 건축물의 에너지 절약 설계 기준, 1994
2. 박희열, 분산형 에너지시스템의 태양열 계간축열 기술, 조명·전기학회지 제 23권 제 2호, 2009
3. 김성은, 건축물의 신재생에너지 복합 활용 계획에 관한 연구, 중앙대 석사학위논문, 2009
4. 김영득, 태양광입지선정을 위한 지형분석방법 소개 및 영향분석, 신재생에너지 v.4 no.4, 2008
5. 김철수, *단지계획*, 기문당, 2003
6. 김현일, 공동주택을 위한 태양광발전 시스템의 적용성에 관한 연구, 인하대 석사학위논문, 2004
7. 김홍배, 도심 단독주택지의 주거 건축 유형변화에 따른 공간 구조 및 밀도 특성에 관한 연구: 강남구 1종 일반주거지역을 중심으로, 홍익대 박사학위논문, 2009
8. 남상엽 외, 신재생과 IT기반의 유비쿼터스 에너지, 상학당, 2009
9. 박경석, 건물 에너지 성능 평가를 위한 건물 총량 에너지 기준 제시에 관한 연구, 광운대 석사학위논문, 2006
10. 산업자원부, 대규모 태양열 지역냉난방 및 급탕 시스템 개발 및 적용연구, 2007
11. 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030[태양광], 2007
12. 산업자원부, 신재생에너지 이용의무화를 위한 적용모델개발연구, 2004
13. 산업자원부, 에너지 절약형건물의 성능인증기준·제도 및 보급촉진방안 연구, 2001
14. 산업자원부, 태양광발전 용어집, 2007
15. 산업자원부, 태양열온수급탕시스템 성능 표준화Ⅲ, 1999
16. 산업자원부, 한반도 태양에너지 자원의 분석, 평가 및 데이터 신뢰성 향상 연구, 2006
17. 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제 2조
18. 에너지관리공단 신·재생 에너지 센터, 신재생에너지 백서 2008, 2008

19. 에너지 경제 연구원, 2008년도 에너지 총조사 보고서, 2009
20. 에너지 경제 연구원, 가정·산업부문 에너지이용효율화 추이분석 기법 및 Tool 개발, 2008
21. 이강국, 도시 열환경 분포 특성 분석과 열섬현상 완화방안 연구, 경북대 박사학위논문, 2007
22. 이강국, 홍원화, 도시에너지 소비의 공간·시간적 특성 분석, 대한건축학회논문집(계획계) 22권 9호, 2006
23. 이강국, 홍원화, Mesh Data를 활용한 도시 중심지역 에너지소비 유형분석, 대한건축학회 논문집(계획계), v.22 n.7, 2006
24. 이수민, 보행 친화적 도시의 블록 적정규모 산정에 관한 연구, 홍익대 석사학위논문, 2007
25. 이종식, 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가에 관한 연구, 중앙대 석사학위논문, 2008
26. 저탄소 녹색성장 기본법(안) 제1장 총칙 제2조, 2009
27. 정선미, 공동주택단지에서의 신재생에너지 시스템 적용에 관한 연구, 중앙대 석사학위 논문, 2008
28. 지식경제부, 2008 지역에너지통계연보, 2008
29. 최장봉, 태양열 급탕시스템의 활용 방법과 적용사례, 에너지관리 v.148, 1988
30. 한국에너지기술연구원, “태양열 시스템 설계지침”, 2004
31. 홍성희 외, 사무소건물의 에너지소비원단위 설정 연구, 대한건축학회논문집 계획계 18권 9호, 2002

[국외문헌]

1. BP, BP Statistical Review of World Energy, 2007
2. Compagnon, R, Solar and daylight availability in the urban fabric. Energy and Buildings. 36, 2004
3. Compagnon. R, PRECis:Assessing the Potential for Renewable Energy in Cities. Annexe 3: Solar and Daylight availability in urban areas, Cambridge, 2000
4. EC, Solar Electricity Guide, 2001
5. German Solar Energy Society, "Planning & Installing Photovoltaic Systems(second edition)", Earthscan, 2007

6. IPCC, Climate Change 2007: Synthesis Report, 2007
7. M.Arboit 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, 2007
8. O. Humm.외, Photovoltaics in Architecture, Basel, Birkhauser Verlag, 1993
9. Paul Littlefair, Daylight, Sunlight and Solar Gain in the Urban Environment, Solar Energy Vol. 70, No. 3, 2001
10. Peter Droege, Renewable City, Wiley Academy, 2006
11. Ralph L. Knowles, The Solar Envelope: Its Meaing for Energy and Buildings, Energy and Buildings Vol.35, 2003
12. Schoen.T, Building-Integrated PV installation in the Netherlands: examples and operational experiences, Solar Energy, Vol 70, No 6, 2001
13. U.S. Department of Energy, the SMART GRID: an introduction, 2009
14. Vicky Cheng 외 3, Urban Form, Density and Solar Potential, PLEA2006-The 23th Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2006

[Web Site]

1. 한국태양에너지학회 홈페이지, <http://www.kses.re.kr>
2. PV database 홈페이지, <http://www.pvdatabase.org>
3. 에너지경제연구원, 에너지연별통계, <http://www.keei.re.kr>
4. 신재생에너지센터 홈페이지, <http://www.energy.or.kr/>
5. Solarthermie 2000프로젝트 홈페이지,
<http://www.tu-chemnitz.de/mb/SolTherm/ST2000/auswahl.htm>

국 문 초 록

도시특성에 따른 태양에너지시스템 적용에 관한 연구

이 민 희

중앙대학교 대학원

건축학과 건축환경 및 설비전공

지도교수 이 언 구

전 세계는 현재 기후변화와 화석에너지원의 고갈이라는 두 난제에 직면해 있어, 청정에너지시스템인 신재생에너지시스템의 중요성에대한 인식이 날로 높아지고 있다.

특히 도시의 경우 인구밀도가 높아 에너지소비량이 크며, 신재생에너지시스템을 발전시설단위로 설치할 별도의 용지가 부족하다. 따라서 건축물과 신재생에너지시스템을 통합하여 활용하는 방법을 모색해야 한다. 태양에너지시스템은 에너지생산 특성상 건축물의 외피에 활용이 가능하며 생산된 에너지를 건물부문에서 즉시 이용할 수 있다는 특성을 가진다. 따라서 도시환경에서 태양열에너지시스템의 적용가능성은 매우 크지만, 이러한 적용가능성은 다양한 도시의 특성(지리적 특성, 물리적 특성)에 의해 영향을 받으므로 이를 고려한 시스템 적용 방법이 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은 도시환경에서의 효율적인 태양에너지시스템 적용을 위해 적용프로세스를 제안하는 것이다. 이를 위해 도시특성을 반영한 태양에너지잠재성 평가 방법을 제시하고, 도시의 태양에너지시스템 적용 프로세스를 제안하였다. 또한 프로세스 검증을 위해 기존 도시유형별 사례연구를 실시하여 적용안을 제안하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 도시특성을 반영한 태양에너지 적용을 위해 잠재성평가와 에너지소비량 예측결과를 기초로 하는 태양에너지시스템 적용 프로세스를 정립하였다. 프로세스는 예비조사분석 단계, 계획단계, 평가단계로 진행되며, 최종적으로 도시적용 최적안을 도출한다. 특히 예비조사분석 단계는 도시의

지리적 특성과 도시의 물리적 특성을 반영하여, 에너지 수요 및 태양에너지 시스템의 정량적 잠재성을 평가한다.

(2) 도시단위의 태양에너지시스템 적용을 위해, 본 연구는 도시의 형태특성을 반영하는 정량적인 태양에너지잠재성 평가 방법을 제안하였다. 평가 요소는 일사활용가능성(Solar Potential)이며, 이는 도시를 구성하는 각 건물의 입면과 옥상면이 받는 연간 일사량의 총합을 기준으로 태양에너지 시스템을 설치할 수 있는 면적의 비율로 잠재성을 나타낸다. 따라서 본 평가방법은 도시의 형태특성을 반영한 정량적 잠재성평가가 가능하다.

(3) 본 연구에서 제시한 태양에너지시스템 적용 프로세스를 검증하기 위해, 도시유형별 기존 실제 사례를 대상으로 사례 연구를 실시하였다. 도시 유형별 시스템 적용 시, 각 유형의 에너지소비특성에 따라 시스템 우선순위를 선정하였다. 주거단지 유형의 경우, 열에너지사용비율이 크게 산출되어, 태양열에너지시스템을 우선적으로 계획하였다. 또한 상업단지 유형의 경우 전기 에너지소비량이 우세하기 때문에, 태양광발전시스템을 적극적으로 활용한 계획을 제시하였다.

본 연구는 기존 도시특성과 에너지소비특성을 고려하여 도시단위의 태양에너지시스템 적용프로세스 및 적용안을 제시하였다. 적용안의 평가 결과, 에너지사용패턴 예측치와 에너지생산패턴 및 생산량의 차이가 큰 것으로 나타났다. 따라서 이러한 차이를 보완하기 위해, 계간 축열, 다른 신재생에너지 시스템과의 복합활용계획, 지역 에너지 생산시스템인 열병합발전시설과의 연계에 대한 구체적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

ABSTRACT

A Study on the Application of Solar Energy Systems based on Urban Characteristics

Lee, Min Hee

Department of Architecture

The Graduate School of Chung-Ang University

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

The world is faced with two biggest problem known as climate change and near exhaustion of fossil fuel. Especially, large city's consumption of energy is great as density of population is high, and additional required site to install renewable energy system as plant facility is limited inside the city area. Therefore, city must search for methods to unify existing buildings with renewable energy system for utilization. By the energy production characteristic of solar energy system, it can be installed on the exterior of buildings and its produced energy can be directly used by partial building facilities.

Therefore, application perspective of solar energy system in urban environment is extremely high. However, these application perspective is effected by city's various characteristics (Geographical, physical), therefore the system application method must consider these characteristics. Objective of this research is to suggest application process for applying effective solar energy system in urban area. Evaluation method on potential solar energy reflecting the city's characteristic has been presented for this process, and city's solar energy system application process has been suggested. Also in order to verify the process, existing case study regarding city's type has been performed to propose the application design.

Summarization of this research's results are as followed.

(1) In order to apply solar energy's reflection to the city's characteristics, solar energy system application process based on the estimated result of potentiality evaluation and energy consumption has been established. The process will progress as preliminary investigation analysis stage, planing stage, and evaluation stage, and finally ideal design for application for city will be deducted. Especially in preliminary investigation analysis stage, the city's geographical characteristic and physical characteristic will be reflected to evaluate the potential quantitative of solar energy system and energy requirement.

(2) Quantitative solar energy potential evaluation method reflecting city's characteristic has been suggested in order to apply solar energy system for city unit. Solar Potential is the factor for evaluation. This is the possible rate of surface area to install solar energy system evaluated to standard. Therefore, this evaluation method can judge the quantitative solar energy potential reflecting the city's characteristic.

(3) In order to verify the solar energy system application process suggested by this research, case study has been carried out on presently existing cases. In applying the system by the city's characteristic, the system's order of priority has been selected by the energy consumption characteristic. In case of residential type, solar heat energy consumption has been yielded, therefore solar thermal system has been planned as priority. Also in case of commercial type, electric energy consumption is predominant, which has suggested plan to constructively utilize photovoltaic system.

In this research, city unit's solar energy system application process and application design has been suggested after considering city's energy consumption characteristics and existing characteristic of the

city. As the result of efficiency evaluation of application design, huge gap was found between energy consumption and energy production pattern(output). Thus, in order to supplement this gap, detail research on regarding seasonal energy storage technology, hybrid applicable plan with other renewable energy system, and lastly linkage to the regional energy production system's cogeneration plant facility must progress.