태양열 및 태양광 시스템의 효율적 적용방안

윤 종 호
한밭대학교
건축공학과
교 수

Ⅰ. 서론

올해 중반 발표된 향후 20년간의 중장기 국가에너지기본계획에 따르면 저탄소 녹색성장 기반 하에 신재생 에너지의 비중을 2020년까지 현재의 2.4%보다 4.6배 확대된 11%로 증가시키겠다고 선언했다. 이를 위해 다양한 추진방안이 제시되었지만 그중에서도 주거건물과 관련해서는 그린홈(Green Home) 100만호 보급사업이 가장 핵심전략이라 할 수 있다. 태양열, 태양광, 지열, 연료전지 등의 신재생 에너지를 통해 2020년까지 100만호의 주택을 그린홈으로 조성하겠다는 계획이다. 에너지원별로 보면 태양광, 태양열을 비롯해 지열, 가정용 연료전지, 바이오 우드펠렛, 소형풍력 등이 포함되어 있다. 이 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 역시 태양광과 태양열로써 총 65만호, 즉 65%를 태양에너지로 공급할 계획이다. 대상은 신축주택, 기존주택은 물론 공동주택도 포함될 것이다.

공동주택은 단독주택과 달리 고층의 인접 건물간 밀도가 높기 때문에 근본적으로 태양에너지 시스템을 적용하는데 많은 제약사항이 따른다. 즉 공동주택은 단지 내 인동간격 및 배치형태, 방위에 따른 단위세대내의 음영영향이 크게 변화되며, 이는 태양열 및 태양광 시스템 적용시 매우 큰 영향요소가 된다. 따라서 본 고에서는 아파트 배치형태에 따른 주동 외피의 연간 적산 일사수 열량 분석과 위치에 따른 등급화 및 패턴분석을 통해 공동주택 단지의 종합적인 태양 접근성을 평가하고, 단지내 전기 및 열부하 분석을 통해 에너지의 수요량과 태양광 및 태양열 시스템을 통한 공급 가능량을 평가함으로써 공동주택 단지에서 적용 가능한 태양열 및 태양광 시스템의 규모를 예측해 보고자 한다.

태양광 및 태양열 시스템을 공동주택 단위주동의 남측 수직벽면과 지붕면에 적용하기 위해 먼저 공동주택 단위세대를 기준으로 하는 전기 및 열부하를 분석하였다. 이를 토대로 정남측 지붕과 수직벽면에 태양광 및 태양열 시스템을 각각 적용하였을 경우 생산된 전력과 열에너지가 공동주택의 전기 및 열부하를 분담할 수 있는 비율이 어느 정도인지를 나타내는 신재생 분담률을 분석하였다.

즉, 주거단지에서 재생에너지의 분담은 난방 및 급탕에 의한 요구와 조명 및 기타 전기기구 사용을 위한 전력이 필요할 것이다. 본 고에서는 국내 공동주택의 현실적 여건을 고려해 열부하의 경우 급탕 및 난방+급탕 부하를 대상으로 태양열 시스템을 적용하는 것으로 한정하였으며, 전기부하의 경우 결정계 태양광 PV 모듈만을 통해 부하분담을 하는 것으로 가정하였다. 또한 기존의 설비시스템으로 분담하고 있는 단위세대 및 동단위의 총부하에 대하여 난방, 급탕과 같은 열부하를 분담할 수 있는 태양열 시스템과 전기부하를 분담할 수 있는 태양광 시스템을 선행연구에서 분석된 일사량 및 일사수열 면적을

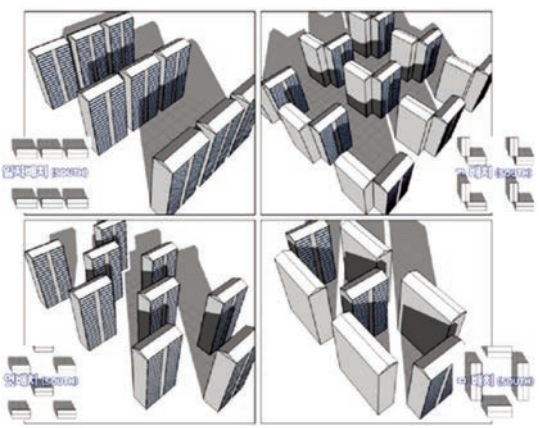
토대로 정남측 지붕과 수직벽면의 음영등급 A등급과 B등급에 각각 적용하였을 경우의 에너지 공급량 및 부하분담률을 고찰하였다.

Ⅱ. 공동주택의 배치 형태에 따른 태양 접근성

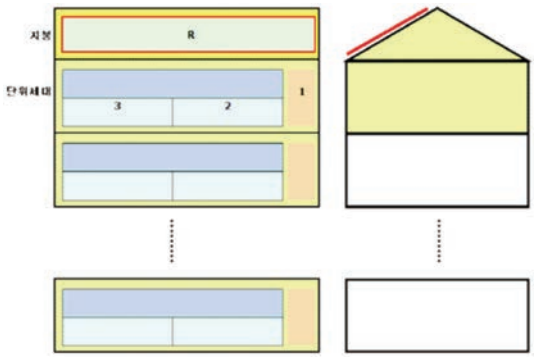
2.1 공동주택의 배치 유형

공동주택에서 태양에너지 장치의 설치 가능부분은 지붕, 외벽, 공용부지 등이다. 이러한 장소에 태양열 및 태양광 이용장치를 설치할 경우 그 효율은 공동주택의 단지형태 및 향에 따라서 차이가 발생하게 된다. 따라서 연간 일사수열영역의 등급화가 필요하다. 공동주택에서 태양에너지 장치를 설치할 경우 차이가 발생할 수 있는 요인은 건물의 배치형태와 건물의 방위에 관계된다. 건물의 배치가 일자배치, 엇배치, ㄱ형 배치, ㅁ형 배치로 생각할 수 있으며, 향에 따른 여러 가지 경우가 발생할 수 있다. 이 중 본 고에서는 향에 따른 배치는 남향, 30도 남동향, 60도 남동향으로 나누어 고려하였다. 따라서 이들 조합에 따른 경우의 수는 12개의 경우의 수가 생긴다.

2.2 공동주택의 태양에너지 이용 설치 가능 면적 산출



[그림 1] 아파트 동의 배치 형태에 따른 4가지 유형

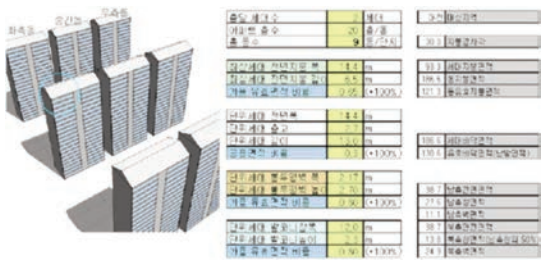


[그림 2] 아파트 동단위로 본 태양에너지 시스템 적용 가능 부위 개념도

[그림 2]는 1개층 단위세대 및 최상부의 지붕면을 대상으로 태양에너지 시스템을 적용할 수 있는 가능면적을 구분한 개념도이다. 기존의 아파트 도면분석을 통해 가장 일반적 형태의 입면을 대상으로 [그림 2]와 같이 분할하였다. 우선 박공형태의 남측 지붕면(R영역)이 적용 가능 첫 번째 부위가 될 것이다. 수직 외벽의 경우 불투명 외벽부위(1영역)를 고려해 볼 수 있으며, 발코니 창호의 하단부도 적용이 가능할 것이다. 이 경우 적용 현실성을 고려한다면, 창호 전면적의 1/4에 해당하는 면적(2영역)과 1/2에 해당하는 면적(2+3영역)으로 구분해 볼 수 있다.

본 연구에서는 태양열 또는 태양광의 적용 가능 부위를 아래와 같이 4개 영역으로 구분하고 이들 부위에 대한 설치 가능 면적을 단위세대, 동 및 단지규모로 평가해 보았다.

[그림 3]은 본 연구에서 설정한 해석대상 단지 중 일자배치 형태의 모형을 나타난 것이며, 우측에 기본 단위세대 및 동, 단지규모의 세대부, 층수, 동수



[그림 3] 해석대상 공동주택단지의 단위세대, 동의 치수 가정조건

와 지붕, 외벽, 창호 등의 부위별 가정 치수를 나타낸 것이다. 1동은 층별로 2개 세대가 위치하는 20층 규모로 가정하였으며 총 9개의 동이 1개 단지를 구성하는 것으로 가정하였다. 지붕은 30도 경사각의 박공형태를 가정하였다. 단위세대의 바닥면적은 186㎡이며, 공용면적을 제외한 유효바닥면적은 130㎡로 이를 난방면적으로 간주하였다. 단위세대 전면 외벽에 대한 전면 발코니 창호의 창면적비는 71% 수준이다. 북측창의 경우는 남측창면적의 1/2을 가정하였다. 한편 적용 가능면적의 산출시 실제 조건을 고려해 가용 유효면적의 개념을 적용해 실제 도출면적의 일정 수준의 면적에만 시스템을 적용할 수 있는 것으로 가정하였다. 예를 들면 불투명벽 적용 가능면적 및 발코니창 면적의 산출시 가용 유효면적 비율을 80% 수준으로 적용하였다. 본 연구에서 가정한 단지 및 단위세대, 동의 부위별 치수는 기존 공동주택의 다양한 도면분석을 통해 가장 일반적으로 통용될 수 있는 수치를 결정하여 적용하였다.

[그림 4]는 위의 가정조건에 따라 실제 태양열 또는 태양광 시스템을 설치할 경우 적용 가능한 면적을 산출한 결과로서 단위세대 및 1개동, 전체 단지의 총 설치 가능면적으로 구분 작성하였다.

지붕의 경우(면적옵션 R) 전체 지붕면적 중 실제로 설치 가능한 가용면적비를 65%로 가정하여 1개동 지붕에 121㎡의 설치면적을 확보할 수 있고, 전체 단지규모로는 1091㎡를 설치할 수 있는 것으로 산출되었다.

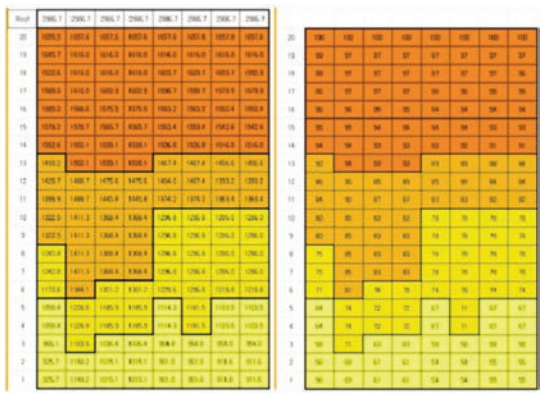
불투명 외벽의 적용부위인 면적옵션 1의 경우 단위세대당 4.7㎡씩 확보할 수 있으며 1개 동 규모로는 187㎡ 정도를 확보할 수 있는 것으로 산출되었다. 물론 이 면적은 음영의 영향을 고려하지 않고 남측 전면 전체를 대상으로 할 경우의 결과이다. 실제 최종 부하매칭 단계에서는 음영수준별로 설치 가능 영역을 세분화하여 고려하였다.

창호부위의 설치 가능 면적은 전면 창면적의 1/4인 5.5㎡로 산출되었다. 창호에 태양열 또는 태양광을 설치할 경우 항상 불투명 외벽 부위에 시스템을 먼저 적용한 후에 추가로 창호부위에 설치를 고려할 것으로 가정하여 면적옵션 2는 불투명 외벽 부위와 창호의 1/4에 시스템을 적용할 경우의 면적으로 세대당 10.2㎡, 1개동 규모로는 408㎡를 확보할 수 있는 것으로 평가되었다. 불투명 외벽 부위와 창호의 하부 1/2에 시스템을 적용할 경우의 면적인 면적옵션 3의 경우 총 15.7㎡를 단위세대에서 확보할 수 있으며 동규모로는 629㎡의 설치 면적으로 계산되었다.

[그림 4] 적용 가능 부위별 면적 산출결과

2.3 태양 접근성 및 음영면적 등급화 평가 결과

[그림 5]는 일자배치 정남향 좌측동에 대한 연간 적산일사량 평가결과를 예시한 것이다. 각 층별로 2세대가 위치하므로 한 세대를 4개의 세부 그리드로 구분하여 적산일사량을 평가한 결과이다. [그림 6]의 좌측은 전면 위치별로 적산일사량(kWh/㎡)값의 형태로 도식한 것이며, 우측은 전면 외벽부위 중 가장 큰 값을 나타낸 지점을 100으로 하여 상대적 비율값



[그림 5] 1개동을 대상으로 한 전면 외벽의 연간 적산일사량 해석결과

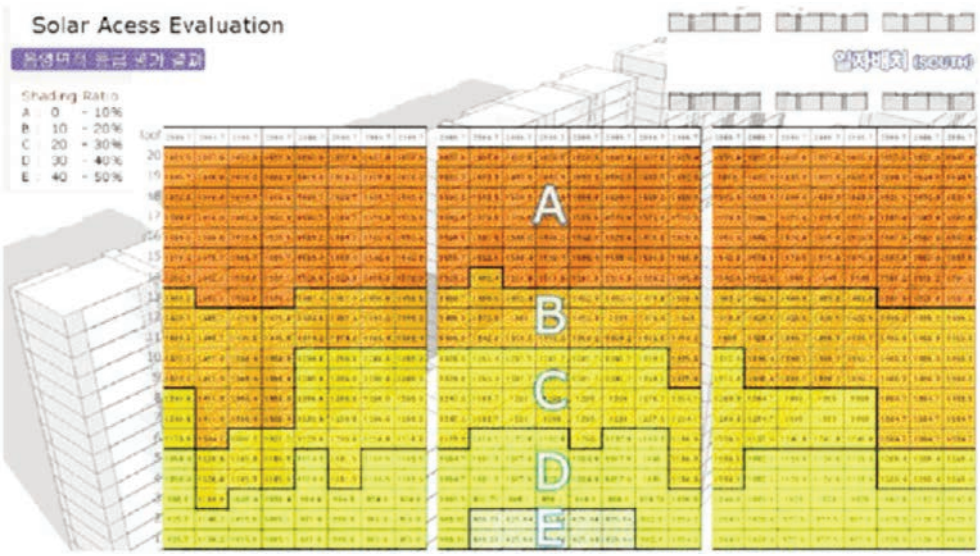
으로 도식한 것이다. 상대적 비율값은 인접 동의 음영영향에 의해 일사수열량이 감소된 것이므로 100에서 각 수치를 뺄 경우 연간 평균음영 계수값으로 활용할 수 있을 것이다.

한편 인접동의 음영에 영향받는 부위를 일정 수준으로 그룹화할 경우 추후 태양열 또는 태양광 시스템 적용시 경제성 및 설치 가능 면적 조건에 따른 적용 가능 등급과 구분영역 자료로 활용할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 적산일사량 감소율 90~100% 영역(평균음영계수로는 0-10%)을 A등급, 80~90% 영역을 B등급, 70~80% 영역을 C등급, 60~70% 영역을 D등급, 50~60% 영역을 E등급으로 총 5개 등급으로 구분하였다. [그림 6]에서 색상 농도로 구분된 굵은선이 각 등급의 경계선을 나타내는 것이다. 예를 들어 태양열 시스템을 건물 전면에 적용할 경우 시스템의 효율을 고려하여 최소한 연간 그림자의 영향이 10% 이내인 영역에만 적용하고 싶을 경우, A영역에만 적용하면 될 것이다.

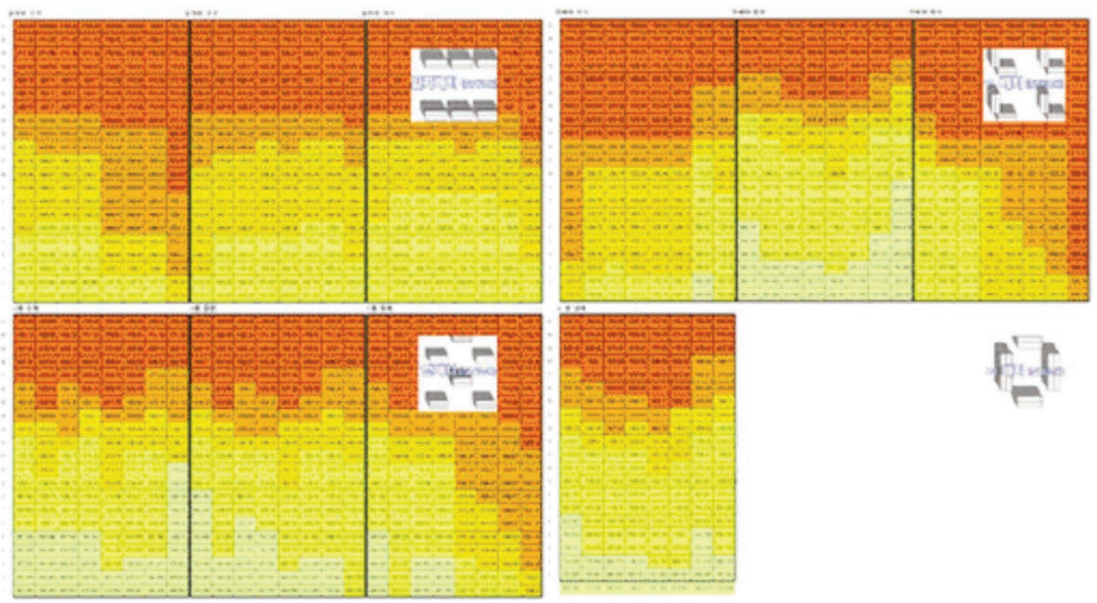
[그림 5]는 1개동에 대한 해석결과이며, 이러한 해석을 동의 위치 즉 좌측, 중간, 우측동에 대해 해석해야 한다. [그림 6]은 일자배치 형태 정남향의 경우를 대상으로 좌측동, 중간동, 우측동을 대상으로 태양 접근성 평가결과를 도식한 것이다. 여기서 음영면적등급은 앞서 기술한 바와 같이 A등급의 경우 그림자 비율이 0~10%, B등급의 경우 10~20%, C등급의 경우 20~30%, D등급의 경우 30~40%, E등급의 경우 40~50%의 수준으로 구분한 것이다. 3개동의 연간 일사수열량 수준 또는 인접동에 의해 영향받는 음영 등급을 한눈에 종합적으로 구분해 볼 수 있으며, 이러한 자료를 통해 태양열, 태양광 시스템의 적정 설치위치를 손쉽게 판정할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 이러한 결과를 배치유형별, 방위별로 작성하여 제시하였으며, 부하매칭 해석단계에 음영영향에 대한 고려방법으로 본 결과를 적용하였다. 음영에 의한 생산량 감소를 산출하기 위한 음영계수로 적용시 각 등급의 중간값으로 적용하여 A등급은 100%, B등급은 85%, C등급은 75%, D등급은 65%, E등급은 55%를 적용하였다.

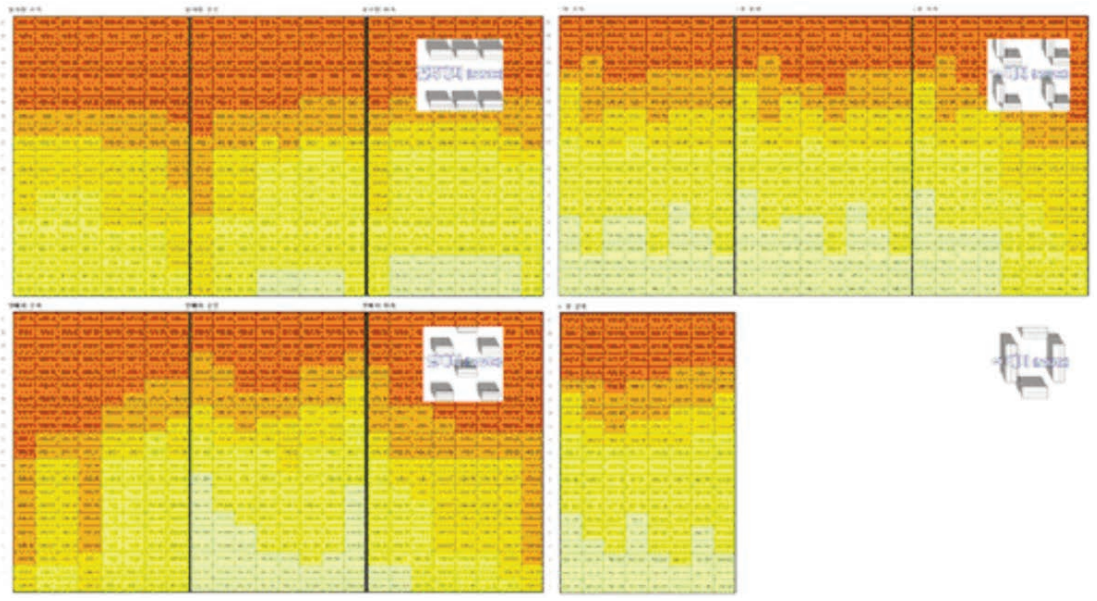
[그림 7]은 방위가 동남 30도인 경우의 배치 유형별 해석결과이며, [그림 8]은 동남 60도인 경우의 결과를 나타낸 것이다. [그림 9]는 정남향을 대상으로 4개 배칭형태에 대한 해석결과를 상대 비교하기 위해 한꺼번에 도식한 결과이다. 그림에 도식된 바와 같이 일자형 배치의 경우 주동의 상층부에서 그림자



[그림 6] 좌/중간/우측동 동 전면적의 연간 적산일사량 평가결과 및 음영면적 등급 구분 결과



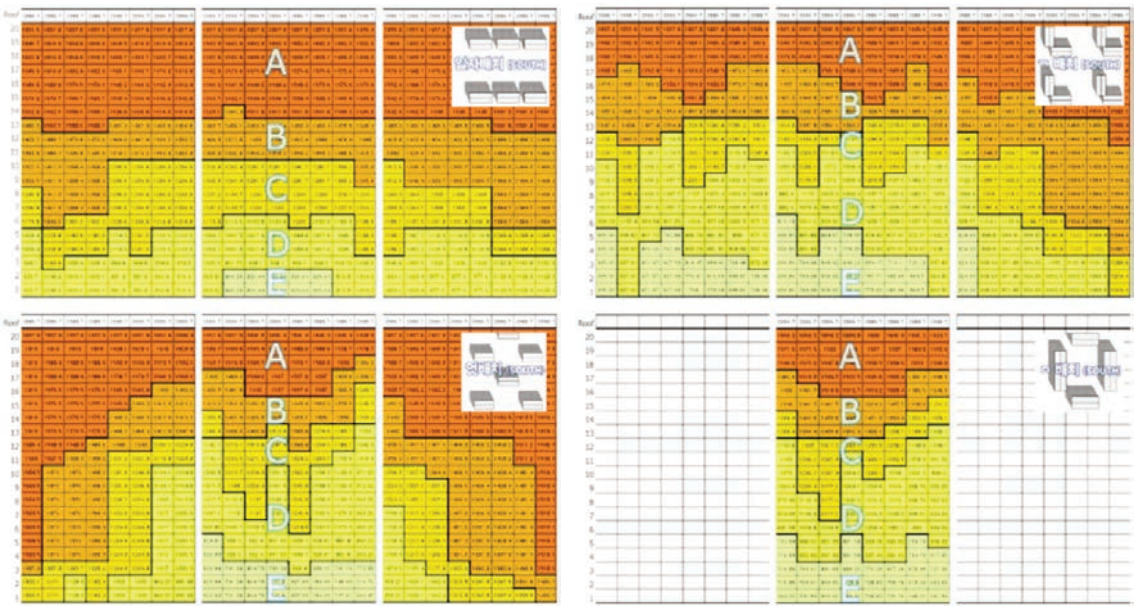
[그림 7] 남동 30도 각 배치별 음영면적비의 등급 평가결과



[그림 8] 남동 60도 각 배치별 음영면적비의 등급 평가결과

가 많이 발생하지 않으므로 대체로 좋은 효율을 보이고 있다. ㄱ자형 배치와 엇 배치에서는 같은 하나의 동, 층이라 하여도 태양열 수급에 있어서 차이를 보이고 있었다. 가장 효율이 떨어지는 것은 ㅁ자형 배치로 E등급을 나타내는 면적의 비율과 A등급을 나타내는 비율이 유사하게 나타나서 가장 효율이 떨어지는 것으로 나타났다. 일자형 배치>엇 배치>ㄴ자형 배치>ㅁ자형 배치의 순서로 동단위 규모에서 음영의 영향을 덜 받는 것으로 평가되었다.

한편 태양 접근성의 평가결과는 태양열, 태양광



[그림 9] 정남향의 배치유형별 해석결과 종합

시스템의 적정 설치위치를 결정하는 목적 외에 각 단위세대의 위치에 따라 연간 일사를 확보할 수 있는 능력 또는 일조권의 상대적 우열 위치, 태양 접근성 측면에서 공동주택의 적정 배치형태 등에 대한 종합적 판단자료로도 매우 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

Ⅲ. 단지 내 태양열·태양광 시스템의 가용 공급량 평가

3.1 부하패턴과 기상조건

주거단지에서 재생에너지의 분담은 난방 및 급탕에 의한 요구와 조명 및 기타 전기기구 사용을 위한 전기의 요구가 있다. 열에너지는 태양열 에너지 시스템과 지열 및 연료전지, 열병합발전 등을 이용하여 해결할 수 있고 전기에너지는 PV 패널, 풍력, 연료전지 및 열병합 등을 통해 공급 가능하다. 이들 시스템은 단일 종류로도 적용 가능하며, 여러 시스템을 조합해서 공급하는 것도 가능하다.

본 연구에서는 국내 공동주택의 현실적 여건을 고려해 열부하의 경우 급탕 및 난방+급탕 부하를 대상으로 태양열 시스템을 적용하는 것으로 한정하였으며, 전기부하의 경우 결정계 PV 모듈만을 통해 부하 분담을 하는 것으로 가정하였다. 앞서 태양 접근성 평가 연구결과를 통해 적용 가능한 부위 및 면적과 음영영향에 대한 계수가 도출되었기 때문에 본 단계 연구에서는 다양한 가능성으로 태양열 및 태양광 시스템을 적용했을 때 과연 어느 정도의 열생산 및 전기생산이 가능한지의 여부와 전체 단지의 총부하 대비 몇 %를 신재생 에너지로 충당 가능한지의 여부를 평가한다. 이를 위한 첫 번째 단계는 단위세대, 동 및 전체 단지의 급탕, 난방 및 전기부하 변동 프로파일이 결정되어야 한다. 물론 시간별 패턴으로 결정되어야만 매시간 일사량 및 외기조건 등에 따라 열 전기 생산량을 산출할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 시간별 연간 부하변동 프로파일을 결정하기 위해 기존의 단지규모 실측자료 및 선행연구결과 등을 중심으로 광범위한 자료수집을 수행하였다. 실측자료를 통한 프로파일의 결정이 가장 바람직할 것으로 판단되나 여러 현실적 문제로 최종적으로는 시뮬레이션을 통한 시간별 난방부하 변화를 도출하였으며, 급탕의 경우 선행조사 연구결과에

기반하여 1년간의 시간별 급탕부하 변동 프로파일을 작성하였다. 전기부하의 경우 각각의 가전기기 사용 패턴에 대한 선행연구 결과를 취합하여 연간 전기부하 프로파일을 작성하였다.

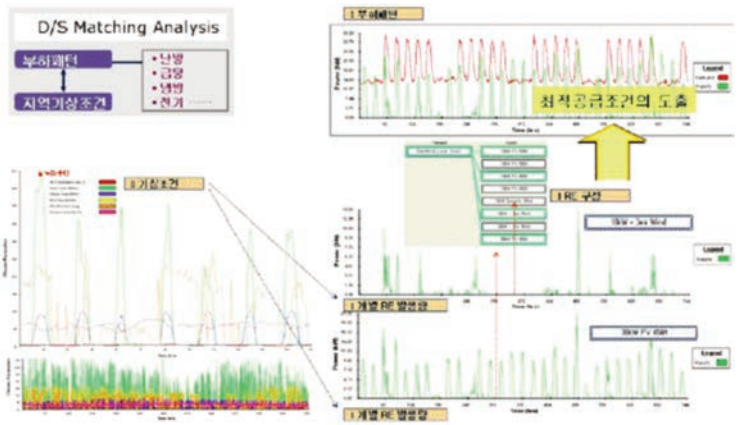
시뮬레이션을 위한 기상자료는 대전지역의 시간별 표준 기상자료를 적용하였다. 총부하 대비 신재생 에너지 생산량을 통한 부하매칭 해석은 PV 모듈을 통한 전기부하의 경우 스코틀랜드 strathclyde 대학 ESRU에서 개발한 MERIT 프로그램을 이용해 해석을 수행하였으며, 열부하의 경우는 미국 위스콘신 대학의 SEL에서 개발한 TRNSYS를 이용해 생산량을 도출한 후 스프레드쉬트 작업을 통해 부하매칭 해석을 수행하였다. [그림 10]은 본 연구에서 적용한 시간별 기상자료 및 공동주택 총부하, 재생에너지를 통한 부하대응 등 부하매칭의 과정 및 결과의 한 예를 예시한 것이다.

3.2 태양열 시스템 열부하 부하매칭 모델링 결과

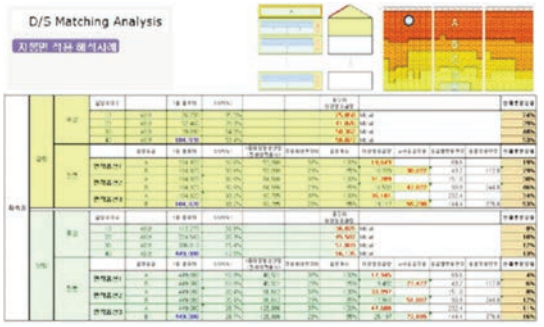
앞서 수립된 연구대상 공동주택 단지의 열부하 및 전기부하 총부하 패턴 프로파일을 대상으로 본 단계에서는 태양열 및 태양광 시스템을 면적옵션에 따라 적용했을 경우 기대할 수 있는 부하매칭 모델링을 수행하였다. 연구결과는 동 배치형태, 방위, 동의 단지내 위치, 태양열, 태양광 적용위치, 적용면적 범위, 음영영향, 음영등급별 적용범위 등 다양한 조합을 통해 신재생 에너지 시스템을 적용할 경우 예상되는 부하분담률의 형태로 작성 제시하였다.

모델링을 통한 검토대상 조합의 수는 매우 방대하다. [그림 11]은 단지내 동 위치가 좌측인 경우의 정남향, 일자형 배치에 해당하는 전체 면적옵션별 모델링 해석결과를 취합하여 제시한 종합결과표의 일례이다. 지붕과 외벽의 3개를 포함한 총 4개의 적용 가능 면적에 대해 진공관식 태양열 시스템을 적용할 경우의 생산량을 TRNSYS 시간별 시뮬레이션을 통해 결과를 도출하였으며, 이 결과를 바탕으로 동 위치에 따른 음영의 영향을 앞서 태양 접근성 평가단계에서 도출한 음영계수를 이용해 적용하였다. 이때 동 전면의 태양열 시스템 적용범위는 현실성을 고려해 A 및 B등급, 즉 연간 음영계수가 80% 이상인 경우만 적용하였다. 태양열 시스템을 통해 대응하는 부하의 종류는 급탕 및 난방+급탕의 2개 경우로 구분하여 해석하였다.

한편 1개동의 지붕면 전체에 설치하는 경우는 생산된 열을 몇 세대에 공급하느냐에 따라 시스템의 효율이 크게 변하게 된다. 따라서 본 연구에서는 옥상에 설치된 태양열 시스템을 통해 그 동내의 10, 20, 30, 40세대에 각기 공급할 경우의 조건을 가정하여 다양한 조건별 해석결과를 도출하였다. 수직 외벽면에 설치하는 경우는 태양열 집열기가 설치되는 해당



[그림 10] 기상자료 및 부하패턴을 통한 부하 매칭과정 결과 예



[그림 11] 정남향, 일자형 배치, 좌측동의 부하매칭 해석결과

세대에서 모든 부하를 소화하는 것으로 정의하였다. [그림 11]에서 급탕에 대한 해석결과를 보면 우선 1개동 40세대에서 발생하는 총 급탕부하량은 104,920 Mcal/yr이다. 지붕면 121㎡에 진공관식 태양열 집열기를 설치하고 이를 통해 생산된 열을 10개 세대의 급탕용으로 공급할 경우 연간 총 25,050Mcal/yr의 급탕열을 공급하게 되며, 이는 동 전체 40세대 급탕부하를 대상으로 신재생 분담률(태양절감률, SSF ; Solar Saving Fraction)이 24%에 해당하는 것으로 나타났다. 20세대에 공급할 경우는 39%, 30세대의 경우는 48%, 전체 세대인 40세대에 공급할 경우는 53%를 기여할 수 있는 것으로 평가되었다. 이는 지붕면과 같이 공동의 열생산 시스템을 적용할 경우, 가능한한 많은 세대에 급탕 열공급을 하는 것이 더 효율적임을 나타내는 결과로, 공급 세대수가 적을 경우 실제 생산된 태양열을 상당수가 부하에 활용되지 못하고 버려지는 양이 많기 때문이다.

전면 부위에 태양열 시스템을 적용하는 경우는 옥상 부위와 달리 설치 대상범위와 음영에 대한 영향을 추가로 고려해야 한다. 앞서 기술한 대로 본 연구에서는 연간 음영계수가 80% 이하인 저층부의 경우 투자 경제성 측면에서 비효율적이라고 판단하였기 때문에 그 이상의 음영조건, 즉 A그룹(음영계수 90~100%)과 B그룹(음영계수 80-90%)의 범위까지만 태양열 시스템을 적용하는 것으로 제한하였다. 면적옵션 1(세대전면 불투명벽 부위에 적용 경우)의 경우 동 전면 A등급 영역에 모두 태양열 시스템을 적용하면 총 집열면적 187㎡를 통해 생산되는 태양열은 연간 총 19,643Mcal/yr로 평가되었다. 이는 동 전체 급탕부하 대비 19%를 태양열로 충당할 수 있는 것으로 나타났다. 영역을 B등급까지 확대하여 A+B영역에 설치할 경우는 29%의 신재생 에너지 분담률을 나타내었다. 최대로 설치할 수 있는 조건인 면적옵션 3의 A+B등급 적용시는 동 전체 급탕부하의 53%를 기여할 수 있는 것으로 평가되었다.

하단부의 난방에 대한 해석결과는 난방+급탕 부하로 태양열을 공급한 경우의 해석결과이다. 1개동 전체의 난방+급탕 총부하는 449,080Mcal/yr이다. 옥상에 설치하고 40세대 전체에 공급할 경우 신재생 분담율은 13%로 나타났으며, 전면 설치의 경우 최대 설치조건인 면적옵션 3에 A+B영역 적용시 총 난방+급탕부하의 16%를 태양열로 충당할 수 있는 것으로 평가되었다.

한편 상기의 결과는 단지 내 전면에 앞동이 존재하는 동들 중 위치가 좌측동의 해석결과이며, 중간동 및 우측동의 경우 음영 영향조건이 틀리기 때문에 별도로 결과를 도출하여야 한다. 위와 동일한 방식으로 중간에 위치한 동 및 우측에 위치한 동에 대한 해석도 수행하였으며 그 결과는 지면관계상 본고에서는 생략하였다. 좌측, 중간, 우측의 3개 동에 대한 해석결과가 도출되면 단지의 규모가 아무리 커지더라도 음영조건에 따라 해당 동수를 곱해주면 되므로 설계 초기단계의 단지규모 총부하 예측 및 신재생 에너지 분담률 산출시 간편하게 판정이 가능하다. 전면에 다른 동이 없는 최전방측 동의 경우 동 전면세대 모두 인접동에 의한 음영영향이 없기 때문에 좌, 중, 우의 위치 구분 없이 1개동의 사례에 대

[그림 12] 정남향, 일자형 배치, 최전방 1개동의 부하매칭 해석결과

[그림 13] 9개동 1개 단지를 대상으로 한 신재생 에너지 열부하 분담률 부하매칭 평가결과(정남형, 일자형 배치)

해서만 해석한 후 최전방측 동수의 수를 곱해주면 된다. [그림 12]는 단지 내에서 인접동에 의해 영향을 받지 않는 최전방에 위치하는 1개동에 대한 부하매칭 해석결과이다.

앞서 정의한 대로 본 연구에서는 9개의 동이 1개 단지를 구성하는 것으로 가정하였다. [그림 13]은 정남향 일자형 배치의 경우 9개동 1개 단지를 대상으로 한 각종 대안별 평가결과를 요약한 종합 결과표이다. 9개동 일자배치형 구조이므로 전면에 동이 위치하는 좌측동, 중앙동, 우측동의 유형이 각기 2개동씩이며, 음영의 영향을 받지 않는 최전방 동 유형이 3개동으로 구성된다. 전체 단지의 총 세대수는 360세대로 총 급탕부하는 944,280Mcal/yr, 총 열부하(난방+급탕)는 4,041,720Mcal/yr이다. 옥상층에만 진공관식 태양열 집열기를 설치하고, 생산된 열을 단지내 90세대, 즉 동마다 10세대씩만 공급하는 조건의 경우 전체 급탕부하의 24%를 태양열로 충당할 수 있는 것으로 나타났다. 난방+급탕으로 90세대를 공급하는 경우는 총 열부하의 8% SSF값을 나타내었다.

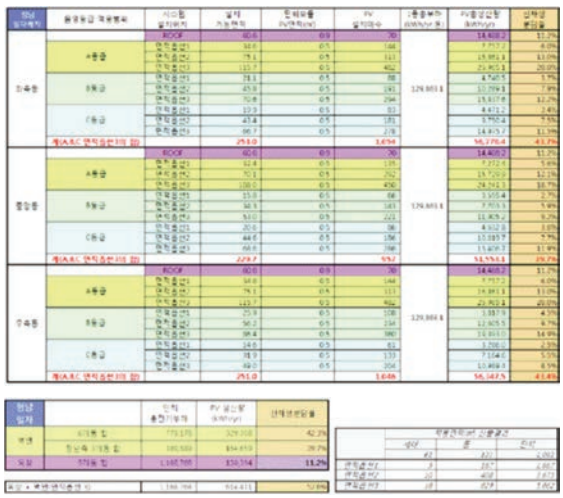
전면 단위세대별로 설치하는 경우 불투명 벽체에만 적용하는 면적옵션 1에, 음영그룹 A+B영역 세대에만 적용할 경우 급탕의 경우 총 급탕부하의 29%, 난방+급탕의 경우 총 열부하의 6%를 태양열로 공급 가능하다.

3.3 태양광 시스템 전기부하 부하매칭 모델링 결과

태양열 집열기의 경우와 동일한 방법으로 태양광 시스템을 적용했을 경우 기대할 수 있는 전기부하 충당 기여율에 대한 평가를 수행하였다. 태양열 시스템의 경우 난방 또는 급탕의 활용용도에 따라 시스템의 효율 및 유효 열생산량이 변화되기 때문에 시간별 시스템 해석 프로그램인 TRNSYS를 통해 열생산량 결과를 모델링하였다. 반면 태양광 시스템의 경우는 태양열에 비해 생산량의 산출이 매우 직관적이다. 발전량에 영향을 미치는 요소는 PV 모듈의 효율 및 온도보상, 설치각도 등에 의해 발전량이 변화된다. 또한 인접동에 의한 그림자의 변화도 매우 큰 영향요소로 작용한다.

본 연구에서는 설치 초기단계의 타당성 검토수준의 정밀도를 가정하여 설치각도, 방위, 온도보상 등의 영향을 종합적으로 고려하여 시간별 발전량을 산출하고 총전기부하 대비 부하매칭 분석이 가능한 영국 ESRU의 MERIT을 통해 PV 적용에 따른 전기생산량을 평가하였으며, 음영에 의한 영향은 MERIT의 평가결과에 본 연구의 태양 접근성 연구에서 수립한 음영계수를 반영하여 최종 태양광 발전량 및 총부하 대비 전기부하 분담률을 산출하였다.

적용 가능 부위의 면적옵션 및 음영등급은 태양열의 경우와 동일한 조건으로 적용하였다. [그림 14]는



[그림 14] 정남향, 일자형 배치, 태양광 시스템 적용조건에 따른 연간 태양광 발전 전력 생산량 및 신재생 에너지 분담률 산출 결과

정남향 일자배치형을 대상으로 좌, 중, 우측동에 대해 결정계 태양광 모듈을 적용할 경우 생산 가능한 발전량의 시뮬레이션 결과를 종합한 결과이다. 면적옵션은 지붕 및 옵션 1~옵션 3까지 변화시켰으며, 음영등급에 따른 적용세대의 범위도 A등급~C등급까지 변화시켜며 다양한 조건에 대해 해석을 수행하였다.

앞서 공동주택의 전기에너지 사용패턴 분석에 따른 1개동 전체의 총 전기 소비량값은 129,863kWh/yr로 단위세대당 연간소비량으로 환산할 경우 3,247 kWh/세대・yr에 해당하며, 일반적인 세대의 표준 전기에너지 소비량에서 크게 벗어나지 않는 값이다. Merit 시뮬레이션을 통해 도출된 각 조건별 PV 총발전량을 1개동의 총부하량으로 나누어 1개동의 전기부하에 대한 신재생 에너지 분담률을 산출하였다.

예들 들어 좌측동 A등급 영역 세대만을 대상으로 면적옵션 1 부위에 태양광 모듈을 적용할 경우 총 전기에너지 소비의 약 6%를 태양광으로 충당할 수 있는 것으로 평가되었다. 동일 조건에서 음영등급 B세대를 대상으로 면적옵션 1에 태양광 모듈을 부착할 경우는 3.7%, C등급 영역은 3.4% 정도를 기여할 수 있는 것으로 나타났다. 동위치에 따른 차이는 A등급 영역의 경우 좌우측동의 경우 6%를, 중앙동의 경우 5.6%를 나타내 큰 차이를 나타내지 않은 반면, 상대적으로 낮은 층에 위치하는 B 및 C등급의 경우는 동위치에 따라 다소 큰 편차를 나타내었다.

한편 국내 위도 여건상 연간 발전을 고려할 때 최적 설치각도라 할 수 있는 지붕에 PV 모듈을 설치할 경우는 약 11%를 태양광으로 충당할 수 있는 것으로 나타났다.

PV 모듈을 최대로 설치할 수 있는 조건인 면적옵션 3에 A, B, C 음영등급 세대 모두에 적용할 경우, 동 전면에 총 253㎡의 PV 모듈이 설치 가능하며 이때 신재생 에너지 분담률은 43.7%까지 담당할 수 있는 것으로 평가되었다.

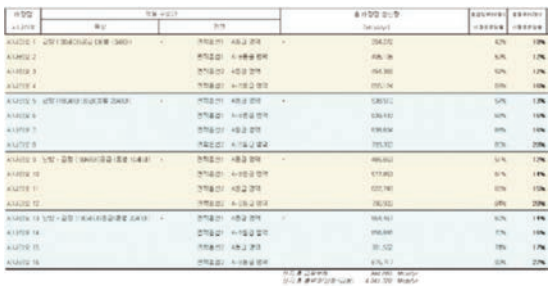
3.4 공동주택용 태양에너지 시스템 적용 시나리오에 따른 신재생 에너지 분담률 평가결과

[그림 15]는 3.2절의 태양열 적용시의 정량적 평가 결과를 바탕으로 실제 조건을 고려해 지붕 및 전면에 진공관식 태양열 시스템을 적용할 수 있는 시나리오를 수립하고, 그에 따른 단지내 총 태양열 생산량 및 신재생 분담률을 평가한 결과이다. 3.2절의 해석결과는 지붕(옥상) 및 동 전면의 태양열 시스템 적용효과를 독립적으로 해석한 결과이다. 따라서 지붕과 전면을 동시에 적용할 경우의 가능성을 조합하고 그에 따른 총 태양열 생산량 및 신재생 분담률에 대한 평가가 필요하다.

우선 건물 지붕에 태양열 시스템을 적용할 경우 공동으로 생산된 열을 동내의 몇 세대에 공급할 것인가의 문제를 고려해야 한다. 현실적으로 옥상에서 생산된 열과 세대 전면에서 생산된 열을 동시에 공급받아 부하를 충당한다는 것은 비합리적이며, 현실적으로도 적용 불가한 조합이다. 한편 건물 전면에 적용하는 경우는 태양열 시스템 효율 및 투자 경제성을 고려하여 음영그룹 A 또는 A+B그룹 정도 수준까지만 적용 가능할 것으로 판단된다.

앞서 음영 해석결과에 따르면 B그룹의 경계선 이상부 10개층 내외에서 형성되므로 동을 기준으로 대략 상부층 20세대 정도가 건물 전면을 통한 태양열 시스템의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

따라서 2개의 조건을 조합한다면 지붕에 설치된 태양열 시스템의 열생산량은 동내 저층부를 대상으로만 공급하며 이때 규모는 10세대 또는 최대 20세대까지가 공급 가능한 한계선이다. 10층 이상의 고



[그림 15] 공동주택 지붕(옥상) 및 전면부에 진공관식 태양열 시스템 적용 시나리오에 따른 신재생 분담률 평가결과(정남향, 일자배치)

층 세대에는 건물 전면에 단위세대별로 시스템을 적용하여 급탕, 난방용으로 세대내의 부하를 충당하는 것이 바람직할 것이다.

[그림 15]의 결과에 예시한 바와 같이 본 해석에서는 태양열 급탕 및 난방(난방+급탕)을 대상으로 지붕의 경우 동별 10세대 또는 20세대를 선별하고, 면적옵션은 전면 불투명벽 부위 또는 불투명벽+발코니 창면적의 1/4에 적용하는 면적옵션 1 및 면적옵션 2를, 음영영역으로 표현되는 고층부 대상 세대는 A 또는 A+B등급 영역으로 한정하여 구성할 수 있는 총 16개의 태양열 시스템 적용 가능 시나리오를 평가하였다.

이때 신재생 에너지 분담률은 총급탕부하 대비 태양열 급탕부하 기여율과 함께 단지내 총열부하(난방+급탕)에 대한 태양열 급탕 또는 난방+급탕 부하의 기여율을 같이 도출하였다. 이는 단지규모 차원에서 난방 급탕에 관계없이 적용된 전체 태양열 시스템을 통해 단지 내 총열부하를 몇 %까지 충당할 수 있는지의 지표가 더 합리적인 수치로 평가될 수 있기 때문이다.

평가결과 적용되는 태양열 시스템을 모두 급탕전용으로만 적용할 경우 면적옵션에 따라 최소 10%에서 최대 20% 범위의 신재생 에너지 분담율을 달성할 수 있는 것으로 나타났다. 난방+급탕용을 적용할 경우는 12~22%의 분담률을 나타내었다.

한편 본 연구에서는 공동주택의 열부하 및 전기부하를 균형적으로 분담하기 위해 태양열과 태양광의 동시 적용을 목표로 하고 있다. 따라서 현실적 여건을 고려하여 태양광 및 태양열 시스템의 효율을 최대화시킬 수 있는 방안의 조합을 구성하고, 거기에 따른 연간 열 및 전기생산량과 단지규모 신재생 에너지 분담률에 대한 평가를 수행하였다.

앞서 기술한 바와 같이 태양광 시스템의 경우 1년간 지속적으로 발전을 해야 하므로 수직면 보다는 지붕 경사면에 설치하는 것이 발전량 측면에서 매우 바람직하다. 특히 태양광 시스템의 특성상 부분음영에 취약하기 때문에 동 전면에 설치할 경우 여러 가지 제약사항과 효율의 저하를 감수해야 한다.

한편 태양열 시스템의 경우는 주로 태양고도가 낮은 동절기에만 대부분의 부하가 걸리며, 하절기에는 오히려 시스템의 과열문제를 고민해야 한다. 따라서 태양열 시스템의 경우는 설치각도를 90도로 동 전면에 부착할 경우 동절기 일사수열에 유리하고, 하절기에는 입사각이 큼에 따라 자연스럽게 과열문제를 해결할 수 있는 장점이 있다. 결론적으로 시스템 효율적 측면에서 바람직한 설치위치는 태양광의 경우 경사 지붕면에, 태양열의 경우 동 전면에 적용하는 것 두 시스템 모두에게 유리할 것이다. 이러한 배경에서 [그림 16]은 단지내 지붕의 경우 적용 가능한 모든 지붕 부위에 태양광 시스템을 적용하고, 동 전면의 경우 급탕 및 난방+급탕으로 구분하여 면적옵션 1 및 면적옵션 2 조건에 대해 단지 규모의 총 열생산량 및 전기생산량을 산출한 결과이다.

평가결과 전체 단지의 총전기에너지 소비량 중 9개동 지붕에 설치된 태양광 발전시스템을 통해 11.2%의 전기에너지를 충당할 수 있는 것으로 나타났다. 건물 전면에 설치된 진공관식 집열기를 통해 급탕에너지를 공급할 경우는 면적옵션 및 음영등급 적용대상 범위에 따라 총급탕 소비량의 18%~46%를 태양열로 공급 가능한 것으로 평가되었다. 난방+급탕의 열부하를 담당할 경우는 면적옵션 및 음영등급 적용대상 범위에 따라 총열에너지 소비량의 4%~12%를 태양열로 공급 가능한 것으로 평가되었다.

[그림 16] 지붕에 태양광 발전시스템을, 외벽 전면부에 진공관식 태양열 시스템을 조합하는 시나리오에 따른 신재생 분담률 평가결과(정남향, 일자배치)

Ⅳ. 결언

태양열 및 태양광은 모두 태양에너지원을 활용해 열과 전기를 생산한다는 측면에서 매우 유사하지만, 태양광의 경우 연간 발전을 해야 하고 태양열은 동절기에만 활용해야 한다는 큰 차이점을 가지고 있다. 특히 태양열의 경우 하절기 과열부하에 대한 대책도 시스템 설치의 근본적 요구조건이라 할 수 있다. 공동주택은 밀도가 높기 때문에 태양열 및 태양광을 설치할 수 있는 가용면적의 확보가 매우 어려운 대상 중에 하나이다. 특히 제한된 가용면적을 대상으로 어느 부위에 어떠한 시스템을 어느 정도의 규모로 적용하는가의 문제는 영향 변수가 많기 때문에 매우 복잡한 문제이다.

이러한 배경에서 본 연구에서는 공동주택의 배치형태, 방위 등의 영향을 고려하여 태양광 및 태양열 시스템을 적용할 수 있는 총 가용면적의 평가, 각 세대 및 동별 위치에 따른 연간 음영률 평가 등의 태양 접근성 평가를 수행하고, 이를 근거로 실제 태양열 및 태양광 시스템을 적용할 경우 생산 가능한 열 및 전기량 도출과 총부하 대비 신재생 에너지 분담률에 대한 평가를 수행하였다. 연구결과는 동 배치형태, 방위, 동의 단지내 위치, 태양열, 태양광 적용위치, 적용 면적범위, 음영영향, 음영등급별 적용범위 등 다양한 조합을 통해 신재생 에너지 시스템을 적용할 경우 예상되는 부하분담률의 형태로 작성 제시하였다. 그리고 현실적으로 적용 가능한 조합을 선별하여 적용 시나리오를 구성하고 그에 따른 단지 규모의 총부하 대비 신재생 에너지 기여율을 평가하였다.

[그림 17]은 열에너지 및 전기에너지의 단위를 통일하고, 단지 내 연간 전체 에너지 소비량 대비 신재생 에너지 시스템을 통해 생산된 에너지의 기여비율을 평가한 결과이다. 우선 9개동 360세대 전체의 열 및 전기에너지 연간 소비량 산출결과는 5,896 MWh/yr로 원단위로 환산할 경우 124.8kWh/㎡・yr에 해당한다. 이때 전기에너지가 20%, 급탕이 19%이며,

부하종류	총부하 kWh/yr	총부하 kWh/m2 yr	구성비
전기	1,168,768	24.9	20%
급탕	1,090,198	23.4	19%
난방	3,602,323	76.6	61%
총부하	5,869,288	124.8	100%

난방면적	1356	m2/세대
총세대수	360	세대
총면적	47016	m2/단지

	옥상	전면			부하기여율	
조합 시나리오	태양광	대응 열부하 종류	시스템 적용면적	음영등급 적용범위	신재생 생산량 (kWh/yr)	신재생 분담율 (SSF)
1	옥상 태양광	급탕	면적옵션1	A등급	326,737	5.6%
2	옥상 태양광	급탕	면적옵션1	A+B등급	444,111	7.6%
3	옥상 태양광	급탕	면적옵션2	A등급	443,146	7.6%
4	옥상 태양광	급탕	면적옵션2	A+B등급	630,109	10.7%
5	옥상 태양광	난방급탕	면적옵션1	A등급	309,766	5.3%
6	옥상 태양광	난방급탕	면적옵션1	A+B등급	416,994	7.1%
7	옥상 태양광	난방급탕	면적옵션2	A등급	469,207	8.0%
8	옥상 태양광	난방급탕	면적옵션2	A+B등급	671,750	11.4%

[그림 17] 구성조합 시나리오에 따른 단지 내 총에너지 소비량 대비 기여 가능한 신재생 에너지(태양열, 태양광) 분담률

난방이 61%를 구성하고 있다. 전기 및 급탕의 원단위값은 기존의 선행 주택소비량 원단위 조사값의 결과와 큰 차이를 보이지 않는 반면 난방원단위는 다소간 작게 나타났다. 이는 순수 부하값만을 대상으로 소비량을 평가했기 때문이며 설비시스템의 효율, 배관 및 기타 손실을 고려할 경우 난방원단위 또한 조사값과 거의 동일한 값을 보이고 있다. 따라서 본 연구에서 수립한 공동주택 단지의 부하구성비 및 총에너지 소비량은 매우 합리적으로 설정되었음을 확인할 수 있으며, 수립된 시나리오별 신재생 에너지 분담률 평가결과도 현실성이 있는 자료로 인정될 수 있을 것으로 사료된다. 한편 경제성을 고려하여 최대의 효율을 얻을 수 있는 부위에만 최소한으로 설치하는 조건을 가정하여(시나리오 1) 옥상에 태양광을 동 전면에 급탕용으로 A 음영등급 세대들의 불투명 외벽인 면적옵션 1에만 적용할 경우 전체 단지에너지 소비량의 약 5.6%를 충당할 수 있는 것으로 최종 평가되었다. 태양열 시스템의 적용 부위를 확대하여 면적옵션 2 또는 음영등급 B 세대들까지 확대하여 적용할 경우 7%~10.7%까지도 기여할 수 있는 것으로 평가되었다.

한편 난방 및 급탕의 총열부하를 대응하는 시스템의 시나리오도 급탕만 대응하는 경우의 결과와 큰 차이를 나타내지 않았다. 따라서 시스템의 단순화 및 사용 목적상의 측면에서 태양열 시스템은 급탕 전용으로 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 일반적인 4개 배치유형의 공동주택 단지를 가정하고 대표적 신재생 에너지 시스템인 태양열 및 태양광 시스템을 대상으로 적용 가능한 면적의 산출, 음영영향에 따른 태양접근성의 평가, 설치 위치에 따른 태양광 및 태양열 시스템을 통한 전기 및 열생산 가능량을 평가하였으며, 상기의 상황을 모두 고려하여 시나리오별로 공동주택 단지에서 태양에너지 시스템의 적용을 통해 기대할 수 있는 최대의 신재생 에너지 부하 분담률을 평가해 보았다. 이상의 결과는 태양열 및 태양광 시스템의 공동주택 적용 계획시 사전 적용성 검토단계와 개략적인 용량의 추산과정, 적정 시스템의 선정과정, 적정 위치의 선정과정, 경제성 검토과정 등에 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 윤종호・박재성・진경일・신우철, 공동주택의 배치형태 및 방위변화와 일사수열량에 따른 주동 전면부의 태양 접근성 평가연구, 대한건축학회 논문집(계획계), 2008. 10.
2. 윤종호・박재성・신우철, 공동주택 단지 배치유형별 PV 시스템 최적 설치면적 및 전기부하 기여율 평가 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 2008. 6.

(집필자 연락처 : 042-821-1126)