

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 24, No. 4, 2004

# 냉난방부하 절감을 위한 경사형 이중외피시스템의 성능연구

안형준\*, 김영탁\*\*, 최창호\*\*\*, 이현우\*\*\*

\*광운대학교 대학원 건축공학과, \*\* (株)山内설계실, \*\*\*광운대학교 건축공학과 교수

## A study on the efficiency of sloped type Double-skin System for the Curtailment of Heating/Cooling Load

An, Hyung-Jun\*, Kim, Young-Tag\*\*, Choi, Chang-Ho\*\*\*, Lee, Hyn-Woo\*\*\*

\*Dept. of Architecture, Graduate School, Kwang woon University(nikkonf4@kw.ac.kr), \*\*kim@yp-i.co.jp

\*\*\*Professor, Dept. of Architecture, Kwang woon University(hwlee@kw.ac.kr; choi1967@kw.ac.kr)

### Abstract

BIPV or double skin applied to the surface of the building, power and thermal load cannot both be increased. In the case of BIPV, because it is applied to the facade, incident solar energy decreases and efficiency drops off. The system in this paper complements these disadvantages and aims to decrease the heating & cooling load by transforming solar energy to electronic and thermal energy. The research in this paper is about the applicability of the clear PV attached double-skin system. And the PV electronic generation and the factors that affect the heating & cooling load such as the daily radiation, sun shading ratio, heating & cooling load, daylight luminance and glare distributions in the building are simulated

**Keywords** : PV(Photovoltaic), BIPV(Building Intergrated PV), 이중외피 (Double skin), 에너지절약(Energy conservation), IES-VE, RETscreen

### 1. 서 론

#### 1.1 연구의 목적

전체 에너지 소비량 중에서 건물이 차지하는 비율은 약 25%에 이르며 특히 건물의 운영기간동

안 가장 많은 에너지 소비와 화석연료, 전력의 사용을 통한 공해문제가 심각한 환경문제로 대두되고 있다. 이를 해결하기 위한 다양한 기술이 연구 개발되고 있으나, 적용이 가능한 시스템중에서 대표적인 이중외피와 BIPV의 경우, 건물의 남측입

면이라는 한정된 공간에 동시적용이 어려운 문제를 가지고 있다. 본 연구는 이에 대한 대안으로써 현재 활발히 연구중인 투과율 50%의 투명PV와 이중외피시스템을 이용한 시스템의 최적화된 구성 및 제어를 통한 시스템의 개발과 건물의 적용가능성, 건물부하 저감효과를 연구한다.

위와 같은 배경으로 본 연구는 태양의 열적, 빛적, 전력이용이 가능한 최적화된 시스템의 개발을 목적으로 한다.

### 1.2 연구의 방법

시스템의 물성에 따른 부하변동을 통한 최적 구성과 냉난방부하 절감을 위한 내, 외 급기구와 중공층내 댐퍼의 최적 개방스케줄의 도출, 시스템적용에 따른 냉난방부하의 절감량 및 투명PV발전에 영향을 주는 음영분석, 실내조도의 변화와 실내 시뮬레이션도 향상 성능에 관한 분석을 수행하였다.

## 2. 시스템 개요

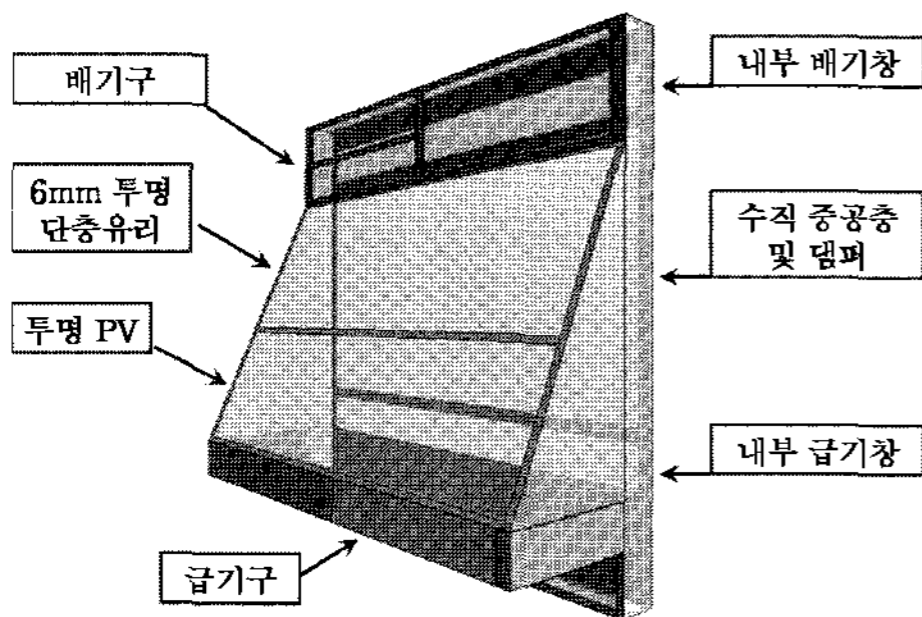


그림 1. 시스템의 단위모듈 구성

시스템은 경사형 이중외피로 전면에 태양의 열적, 전력적 이용이 가능한 투명PV를 부착하였다. 그리고 동계 태양에너지의 입사량의 증가와 하절기 일사의 실내유입의 막음을 통한 냉난방부하의 절감을 위해 수회의 시뮬레이션으로 도출된 결과를 토대로, 그림 1의 경사각 65도, 수직중공층폭

30cm, 모듈측 60.4m<sup>2</sup>의 중공층 형태로 결정하였다. 또한 재실자의 개별 환경조절이 용이한 박스형 이중외피를 기본으로 하며, 급배기구는 상하층의 오염물의 실내 유입을 막기위해 모듈의 하부와 상부에 가로 1.5m × 세로 0.3m의 급배기구가 대칭으로 위치하도록 설치하였다. PV에서 생산된 전력에 의해 중공층내 온도에 따라 급배기구의 개폐를 통한 외기유입과 차단을 통한 냉난방부하의 저감이 이루어지며 모든 작동은 PV측에서 생산된 전력에 의해 이루어진다.

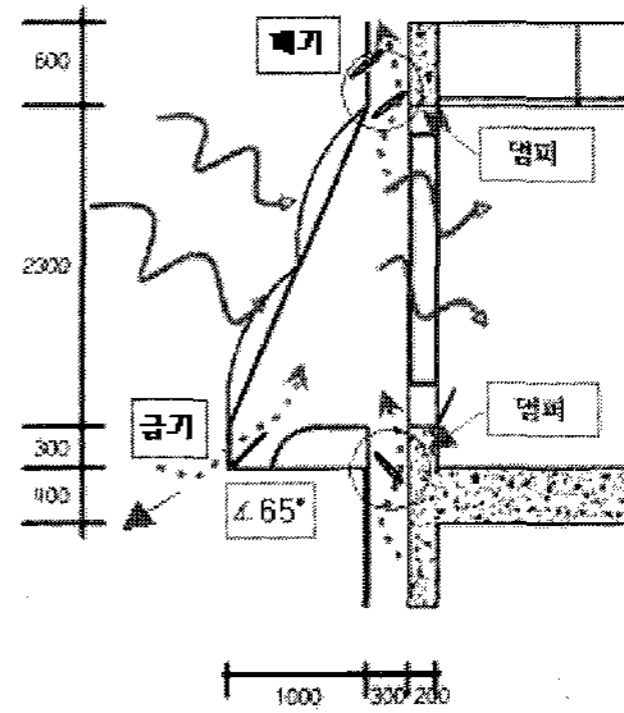


그림 2. 시스템의 단위모듈 단면

### 2.1 이중외피의 개념 및 원리

이중외피 시스템은 다층구조로서 바깥쪽외피와 중공층, 내측외피로 이루어지며 공간내 공기의 흐름은 일사에 의한 공기의 밀도차이에 의한 연돌효과 (Stack effect)와 바람의 역할에 의해 발생한다.1) 기존연구에 의하면 우리나라 기후에서 이중외피적용시 냉·난방부하의 경우 최대 여름철 20%, 겨울철 25% 절감이 가능한 것으로 보고되었다.

### 2.2 적용된 PV의 물성치와 특징

태양광 에너지는 폭넓은 파장으로 분석되고 있

1) 석호태, 이중외피 커튼월 시스템의 특성 및 적용타당성, 건축, 2003. 9

고 대략 자외광이 6%, 가시광이 50%, 적외광이 44%의 분포로 나타나고 있다. 통상적으로 모든 파장의 광 에너지를 이용하는 것이 어려우므로 태양전지의 발전효율은 20%미만이다.

표 1. 투명PV의 물성

| 투과율 (%) | 비 고              |
|---------|------------------|
| 가시광     | 50<br>조명에 이용     |
| 자외광     | 0<br>자외선을 발전에 이용 |
| 적외광     | 70<br>실온제어에 이용   |
| 발전효율    | 3%               |

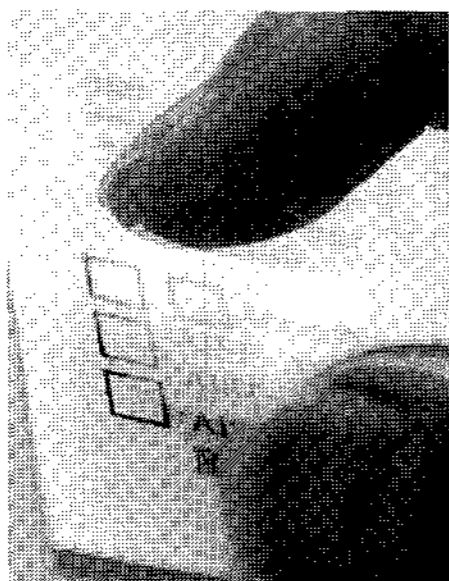


그림 3. 투명 PV

당 시스템에 적용되는 PV[그림 3]<sup>2)</sup>는 일본 A연구소에서 연구 개발중인 투명PV로써 자외광으로 발전, ITO 투명전도막, 동 알루미늄 산화물반도체(p형), 산화아연반도체(n형), 고 도전성 산화아연막으로 이루어지며 적외·가시·자외광 모두를 이용이 가능한 것으로 변환효율이 3%로 높지 않으나 자외광을 이용한 발전과 더불어 가시광을 조명으로 이용할 수 있으며 적외광(열선)에 의한 실온제어를 병행시키면 태양광의 50%이상을 이용하는 것이 가능해진다.

### 2.3 모듈화

이중외피는 기존의 건물외피의 열적성능을 향상시켜주며 열적, 음적, 시환경 측면에서 효과가 있

음이 많은 사례를 통해 증명되었다. 반면 BIPV적용시 건물의 남면에 수직으로 적용됨에 따른 적용면적의 제약과 경사형에 비해 효율이 저하되는 문제를 가지고 있다. 또한 건물의 개보수시 적용성과 시공의 용이성 및 호환성을 위한 모듈화가 필요하다. 따라서 당 연구의 이중외피모듈은 이러한 문제를 해결하기 위해 가로3.5m × 세로2.6m의 기본모듈을 기본으로 건물의 층고에 맞게 수직 중공층부의 조립을 통한 조절이 가능하도록 하였다.[그림 1][그림 2]

### 2.4 PV 설치각도별 일사량

일사량은 입사면의 각도에 따라서 큰 차이를 나타내며 이는 PV에 입사되는 에너지량과 효율의 변화를 가져오게 된다.

표 2는 캐나다의 CEDRL에서 개발한 자연에너지를 이용한 시스템 설계와 경제성 평가프로그램인 RETScreen<sup>3)</sup>을 이용하여 서울지방 각도별 연평균일사량을 산출한 값으로써 Transys를 통한 서울지방 10년간의 각도별 평균값과는 약 3.4% 정도의 차이를 보인다.<sup>4)</sup>

우리나라 지역별 설치각도별 일사량의 변화를 알 수 있으며, 특히 90°에서 가장 적은 일사취득량을 재확인하였고, 이는 수직벽에 설치하게 되는 BIPV의 실효율이 낮다는 것을 보여준다. 반면 외피부에 당 시스템을 적용시 태양고도의 상승에 따라 PV발전이 있어서 문제점인 그림자가 드리워지기 때문에 돌출길이, 창크기, 음영 등을 고려하여 가장 최적의 각도를 시뮬레이션 한 결과 65°가 가장 적당한 것으로 나타났으며 90° 대비 30% 많음을 알 수 있다.[표 2의 ■부분]

시뮬레이션 결과를 바탕으로 경사각 65도, 시스템 전면부 8.4m<sup>2</sup>중 음영이 지지 않는 4m<sup>2</sup>에 투명PV를 적용하였다.

3) <http://www.retscreen.net/>

4) 시뮬레이션에 의한 PV시스템 설치방식의 최적설계에 관한 연구, 최주엽외, 태양학회지 23호, 2003.03

2) 産業技術總合研究所(2003). 투명태양전지의 개발

표 2. 각도별 일사량 변화 (kWh/m<sup>2</sup>/d)

| 각도별에너지                   | 0°     | 30°    | 45°    | 60°    | 65°    | 70°    | 90°   |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 1월                       | 1.92   | 2.77   | 3.03   | 3.14   | 3.15   | 3.14   | 2.94  |
| 2월                       | 2.72   | 3.52   | 3.68   | 3.66   | 3.61   | 3.54   | 3.09  |
| 3월                       | 3.33   | 3.75   | 3.70   | 3.48   | 3.37   | 3.24   | 2.59  |
| 4월                       | 4.42   | 4.55   | 4.31   | 3.87   | 3.68   | 3.48   | 2.56  |
| 5월                       | 4.81   | 4.62   | 4.22   | 3.66   | 3.45   | 3.23   | 2.25  |
| 6월                       | 4.47   | 4.18   | 3.79   | 3.26   | 3.07   | 2.86   | 2.00  |
| 7월                       | 3.11   | 2.95   | 2.70   | 2.36   | 2.23   | 2.10   | 1.52  |
| 8월                       | 3.78   | 3.75   | 3.49   | 3.10   | 2.95   | 2.78   | 2.04  |
| 9월                       | 3.64   | 3.94   | 3.82   | 3.53   | 3.40   | 3.25   | 2.52  |
| 10월                      | 3.08   | 3.81   | 3.90   | 3.79   | 3.71   | 3.61   | 3.03  |
| 11월                      | 1.94   | 2.61   | 2.77   | 2.77   | 2.75   | 2.70   | 2.38  |
| 12월                      | 1.50   | 2.09   | 2.24   | 2.28   | 2.27   | 2.24   | 2.02  |
| 일평균                      | 3.23   | 3.55   | 3.47   | 3.24   | 3.14   | 3.02   | 2.41  |
| 연합계(kWh/m <sup>2</sup> ) | 1177.7 | 1294.0 | 1266.7 | 1183.5 | 1144.7 | 1100.6 | 880.4 |
| 90°대비(%)                 | 133.8  | 147.0  | 143.9  | 134.4  | 130.0  | 125.0  | 100.0 |

표 3. 시스템 미적용시 음영(%)

|       | 1월 | 2월 | 3월 | 4월  | 5월  | 6월  | 7월  | 8월  | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 |
|-------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|
| 09:00 | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 10:00 | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 11:00 | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 12:00 | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 13:00 | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 14:00 | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 15:00 | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 16:00 | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 17:00 | 0  | 0  | 0  | 0   | 100 | 100 | 100 | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 18:00 |    | 0  | 0  | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 0  |     |     |     |
| 평균    | 0  | 0  | 0  | 10  | 20  | 20  | 20  | 10  | 0  | 0   | 0   | 0   |

### 3. 음영분석

음영은 건물에 있어서는 일사차단을 PV에 있어서는 효율저하와 관계한다. 따라서 음영분석은 일반건물의 남측면과 모듈의 남측 PV적용면, PV 미적용면에 대한 음영비율을 분석을 수행하였으며 분석도구로써 IES-VE의 Sun-cast를 이용하였다.

건물의 남측면 음영의 경우, 표 3의 시스템 미적용 경우 수직창의 일반건물에 의하면, 4월~8월 사이의 태양이 건물후면으로 넘어가는 오후5시 이후의 늦은 시간을 제외하고 연중 음영발생이 거의 없는 것을 볼 수 있다. [표 3의 ■부분]

당 시스템의 돌출길이는 하부의 PV발전효율에 저하되지 않으며 여름철 높은 태양고도에 따른 일사차단과 겨울철 낮은 태양고도의 태양광입사에 지장이 없도록 1m 돌출과 65도 경사로 하였으며 [그림 2], 이에 따른 음영비율의 변화는 표 4와 같다.

표 4의 음영분석에 의하면 모듈면 8.4m<sup>2</sup>중 PV가 적용된 4m<sup>2</sup> [그림 1, 2의 clear PV부분]는 연중

음영이 거의 발생하지 않으므로 그림자에 의한 발전효율 저하가 적으며 표 5의 PV적용부 이외의 4.4m<sup>2</sup> [그림 2의 단층유리부분]는 모듈의 돌출에 의한 음영의 제공을 통하여 여름철 냉방부하 저감에도 효과가 있다.

표 4. PV적용면 음영(%)

|       | 1월 | 2월 | 3월 | 4월   | 5월   | 6월   | 7월   | 8월 | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 |
|-------|----|----|----|------|------|------|------|----|----|-----|-----|-----|
| 09:00 | 0  | 0  | 0  | 0    | 30.1 | 70.6 | 39.8 | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 10:00 | 0  | 0  | 0  | 0    | 0    | 15.0 | 0    | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 11:00 | 0  | 0  | 0  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 12:00 | 0  | 0  | 0  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 13:00 | 0  | 0  | 0  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 14:00 | 0  | 0  | 0  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 15:00 | 0  | 0  | 0  | 0    | 0    | 10.2 | 0    | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 16:00 | 0  | 0  | 0  | 0    | 31.2 | 55.0 | 22.2 | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 17:00 | 0  | 0  | 0  | 6.9  | 58.7 | 73.8 | 68.9 | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 18:00 |    | 0  | 0  | 0.3  | 100  | 100  | 100  | 0  | 0  |     |     |     |
| 평균    | 0  | 0  | 0  | 0.72 | 22.0 | 32.5 | 23.1 | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |

표 5. PV 미적용면 음영(%)

|       | 1월 | 2월 | 3월  | 4월   | 5월   | 6월   | 7월   | 8월   | 9월  | 10월 | 11월 | 12월 |
|-------|----|----|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| 09:00 | 0  | 0  | 5.9 | 59.2 | 93.1 | 100  | 94.9 | 57.9 | 3.6 | 0   | 0   | 0   |
| 10:00 | 0  | 0  | 5.9 | 43.0 | 81.6 | 88.0 | 84.9 | 41.6 | 4.1 | 0   | 0   | 0   |
| 11:00 | 0  | 0  | 5.9 | 36.0 | 67.1 | 82.9 | 68.2 | 34.7 | 4.4 | 0   | 0   | 0   |
| 12:00 | 0  | 0  | 5.9 | 33.2 | 61.3 | 74.3 | 61.3 | 31.7 | 4.4 | 0   | 0   | 0   |
| 13:00 | 0  | 0  | 5.9 | 33.3 | 62.1 | 74.4 | 60.7 | 31.6 | 4.4 | 0   | 0   | 0   |
| 14:00 | 0  | 0  | 5.9 | 36.2 | 67.9 | 81.7 | 66.1 | 34.3 | 4.3 | 0   | 0   | 0   |
| 15:00 | 0  | 0  | 5.9 | 42.5 | 81.7 | 86.8 | 78.3 | 39.9 | 4.0 | 0   | 0   | 0   |
| 16:00 | 0  | 0  | 5.9 | 55.9 | 90.8 | 97.4 | 88.4 | 51.8 | 3.4 | 0   | 0   | 0   |
| 17:00 | 0  | 0  | 5.9 | 84.2 | 97.6 | 99.9 | 95.0 | 82.1 | 1.6 | 0   | 0   | 0   |
| 18:00 |    | 0  | 0.0 | 77.6 | 100  | 100  | 100  | 53.4 | 0.0 |     |     |     |
| 평균    | 0  | 0  | 5.3 | 50.1 | 80.3 | 88.5 | 79.8 | 45.9 | 3.4 | 0   | 0   | 0   |

#### 4. 시뮬레이션 개요

당 시스템의 열적성능 검증과 최적화된 운영스케줄 도출을 위해 냉·난방부하가 큰 국내 중규모 오피스건물을 기본모델로 정하였으며 국내에 적합한 장단면비인(aspect ratio) 1:1.5를 적용하였다. 이외의 계산에 필요한 조건들은 [표 6]과 같이 하였다.

표 6. 시뮬레이션 설정변수

| 개요   |                     | 실내 설정                     |         |         |
|------|---------------------|---------------------------|---------|---------|
| 위치   | 서울, 한국              |                           | 최대 (°C) | 최소 (°C) |
| 위도   | 37° 57'             | 냉방 설정                     | 26      | 24      |
| 경도   | 126° 97'            | 난방 설정                     | 24      | 21      |
| 층수   | 6층                  | 습도 (%)                    | 60      | 50      |
| 건축면적 | 580.6m <sup>2</sup> | 내부 발열                     |         |         |
| 연면적  | 3476m <sup>2</sup>  | 재실자 발열 (W/p)              | 현열: 71  | 잠열: 58  |
| 층고   | 3.6m                | 조명 발열 (W/m <sup>2</sup> ) | 12      |         |
|      |                     | 기기 발열 (W/m <sup>2</sup> ) | 12      |         |
|      |                     | 열관류율(W/m <sup>2</sup> °C) | 0.35 이하 |         |
|      |                     | 재실 밀도 (m <sup>2</sup> /인) | 16      |         |

#### 4.1 개방스케줄

개구부의 개방을 통한 외기의 유입은 외기보상 제어와 자연환기, 중공층내 열류의 제거가 가능하다. 이에 반하여 적정온도에서 개방을 하지 않을 경우 내외온도차에 의한 냉난방 부하 상승이 발생할 수 있으므로 최적의 개방 온도의 설정이 필요하며 수직중공층과 수직중공층내 댐퍼의 개방을 통해 박스형 이중외피 및 박스·샤프트형 이중외피로 운영이 되므로 각각의 급·배기구 및 댐퍼의 개방스케줄의 설정이 필요하다. 당 연구에서는 중공층내 온도를 기준으로 개폐를 통한 냉난방 부하의 변화량을 비교하여 최적화된 시스템의 개방방법과 개방스케줄을 도출한다.

#### 4.2 시뮬레이션 방법

시뮬레이션은 동절기 일사에 의한 중공층[그림 1, 그림 2]의 온도상승을 통한 난방부하 절감을 꾀하고, 중간기 외기보상제어, 하절기 중공층내 열류의 제거에 의한 전도로 냉방부하의 유입을 막기로 하였다. 그리고 최상의 개방시점을 설정하기 위하여 중공층내 온도를 기준으로 개방스케줄을 설정하였다. 표 7에서 시스템 적용시 효과와 개방시점의 중공층 온도에 따른 효과를 확인하기 위해 중공층 개방온도 1°C 간격으로 민감도 분석을 하였다. 중공층내의 열류를 제거하기 위해서는 시스템의 상·하부에 위치한 외측개구부와 수직댐퍼를 개방하여 환기한다.[그림 2]

표 7. Case별 비교

|       | 설정변수                        |
|-------|-----------------------------|
| Case1 | 시스템 비적용시                    |
| Case2 | 시스템 적용시 (비개방)               |
| Case3 | 시스템 적용시 ( 중공층온도 23°C이상시 개방) |
| Case4 | 시스템 적용시 ( 중공층온도 24°C이상시 개방) |
| Case5 | 시스템 적용시 ( 중공층온도 25°C이상시 개방) |
| Case6 | 시스템 적용시 ( 중공층온도 26°C이상시 개방) |
| Case7 | 시스템 적용시 ( 중공층온도 27°C이상시 개방) |
| Case8 | 시스템 적용시 ( 중공층내 댐퍼개방)        |
| Case9 | 시스템 적용시 ( 블라인드 적용시)         |



## 5. 시뮬레이션 결과

### 5.1 개방설정온도에 따른 부하변화

시스템의 운영방법에 따른 부하의 변동을 분석한 결과 난방부하측면에서 표 8 case 2와 같이 개구부의 밀폐가 유리하며 냉방부하 측면에 있어서 개방을 통한 열류의 배출이 냉방부하 저감에 효과적임을 알 수 있다. 반면 낮은 외기온에서 개방시 오히려 장기간의 외기유입을 통한 전도에 의해 냉방부하가 상승하였다.[표 8의 case 3]

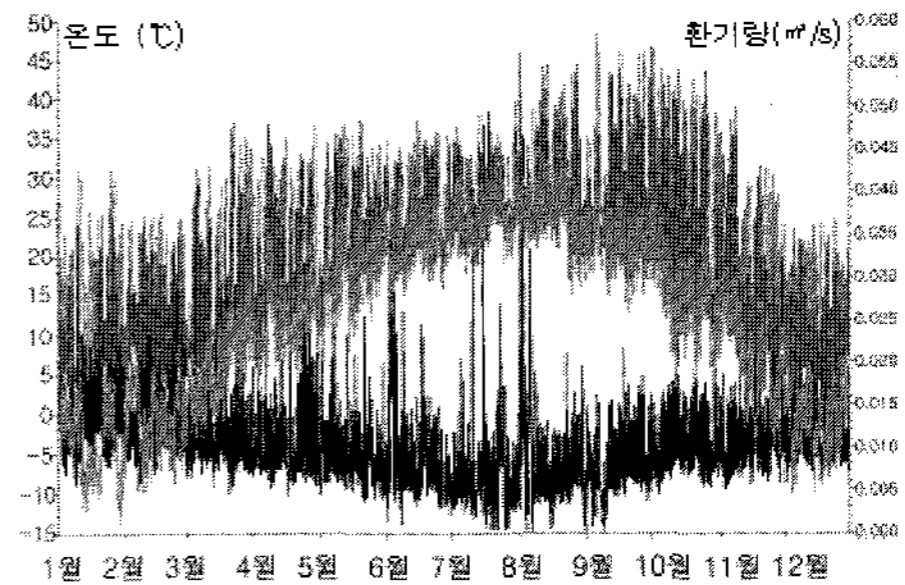
표 8. 개방설정온도에 따른 부하변화

|       | 냉·난방부하 (Mwh) |         | 비고    |
|-------|--------------|---------|-------|
|       | 난방부하         | 냉방부하    |       |
| Case1 | 26.816       | 146.959 | 일반건물  |
| Case2 | 22.705       | 143.079 | 비개방   |
| Case3 | 23.141       | 136.158 | 23℃개방 |
| Case4 | 23.158       | 136.064 | 24℃개방 |
| Case5 | 23.066       | 136.402 | 25℃개방 |
| Case6 | 23.035       | 136.595 | 26℃개방 |
| Case7 | 23.003       | 136.794 | 27℃개방 |

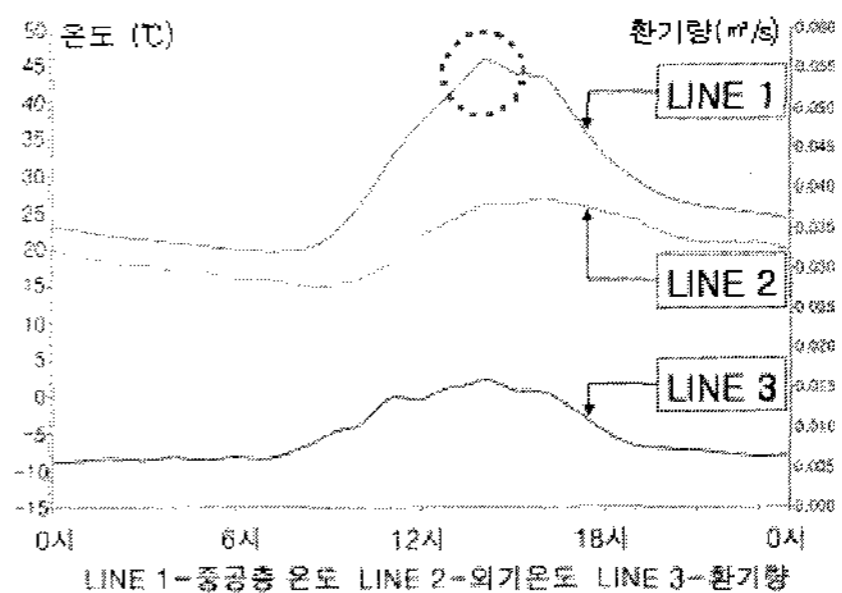
냉방기에는 중공층내 온도가 일사에 의해 상승하게 되므로 환기를 통한 열류를 제거해야만 냉방부하를 저감할 수 있는 것으로 나타났으며 [표 8의 case4] 난방기에는 중공층을 개방하지 않는 것이 난방부하 저감에 효과적인 것으로 나타났다.[표 8의 case2]

그림 4는 중공층내 환기를 실시하지 않을 경우(댐퍼차단[a])(b)와 실시한 경우(댐퍼개방[c])(d)의 온도변화를 나타낸다.

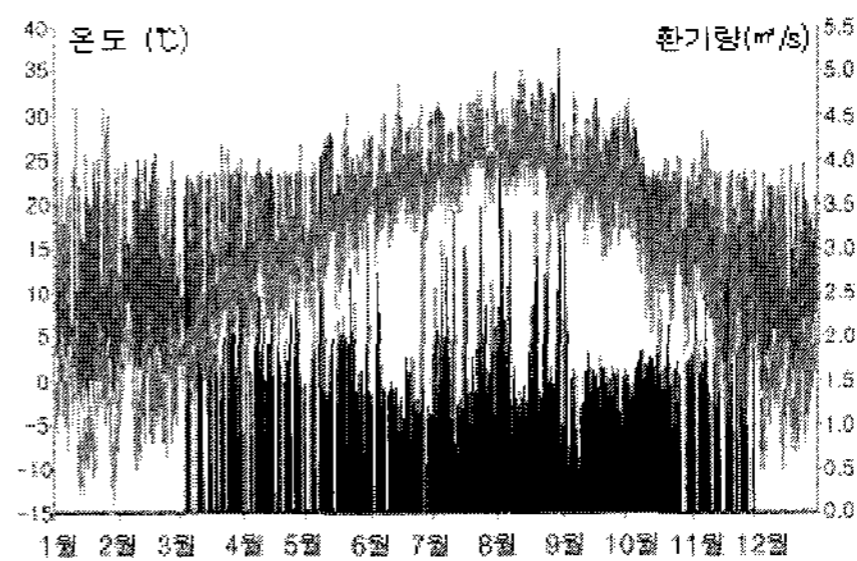
그림 4의 Line1은 중공층내의 온도를, Line2는 외기온을 나타내며 Line3은 중공층내 환기량을 나타내는 것으로써 (b)의 미개방시 중공층내는 침기량만 존재한다. (d)의 개방시(0시점) 중공층내 환기량은 중공층내 온도가 24℃이상에서 급기구 개방시 외부풍속에 의해 모듈의 급기구를 통해



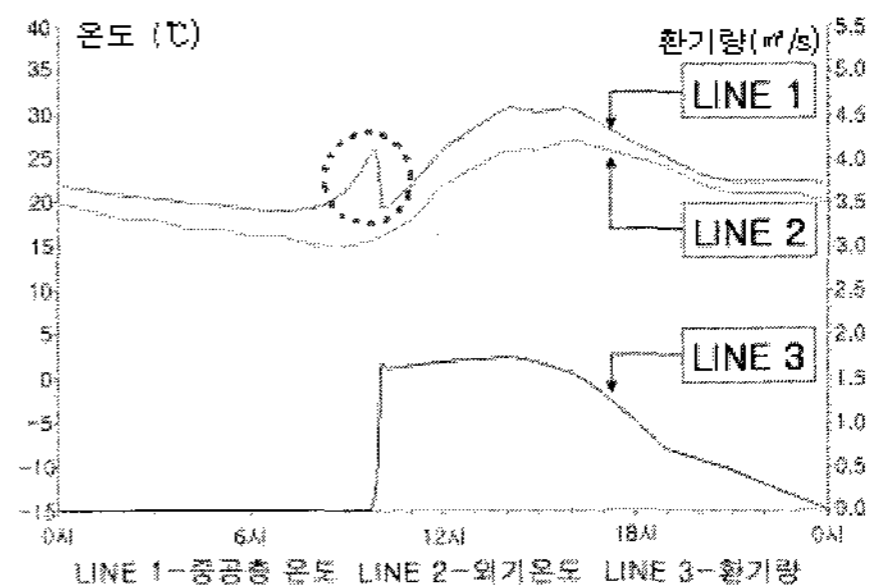
(a) 비개방시 중공층내 연중변화



(b) 비개방시 중공층내 일간변화



(c) 개방시 중공층내 연간변화



(d) 개방시 중공층내 일간변화

그림 4. 개방전후 중공층내 변화

유입되는 외기량과 관계하며 중공층내 온도는 외기온의 영향을 받게 되며 개방이후의 Line1과 Line2가 근접한 것을 통해 알 수 있다.

중공층내 환기를 실시하지 않을 경우 중공층내 온도는 (b)에서 최고 47℃까지 상승하며(○부분) 환기를 시행할 경우 중공층내 온도는 (d)에서 외기온과 같은 온도로 하강하면서 열류를 제거하게 된다. 또한 PV의 특성상 태양에너지의 열적효과에 의해 PV온도가 상승할수록 효율이 떨어지는 문제가 있으나 중공층내 환기를 통한 PV후면의 냉각효과에 의해 온도상승에 따른 PV 효율감소가 적어진다.

### 5.2 댐퍼의 개방을 통한 부하감소

냉방기에는 실내로 외기를 유입할 경우에 냉방부하의 증가가 나타날 수 있으므로 24℃ 이상의 경우에 내부 개구부는 닫고 외부 개구부를 개방함으로써 중공층내 열류를 배출시키고 중공층의 수직 댐퍼를 개방함으로써 연돌효과를 이용한 배기를 촉진시키게 되며 Case4의 24℃ 개방시에 비하여 냉방부하는 1719Kwh[표 9의■]의 절감이 가능해진다. 반면 최상층의 경우 온도구배가 가장 높게 되며 상부모듈에 의한 차광이 없으므로 하층에 비해 냉방부하의 감소폭이 둔화된다. 따라서 최상층의 경우 모듈 돌출정도의 루버 등의 차양장치가 필요하다.

표 9. 댐퍼개방시 부하변화

|    | 냉방부하 (Mwh) |         |      | 비고                                                         |
|----|------------|---------|------|------------------------------------------------------------|
|    | Case4      | Case8   | 절감량  |                                                            |
| 1층 | 21.222     | 21.164  | 58   | Case4:<br>24℃ 이상시 중공층 개방<br>Case8:<br>24℃ 이상시 중공층, 수직댐퍼 개방 |
| 2층 | 21.808     | 21.542  | 266  |                                                            |
| 3층 | 22.914     | 22.480  | 434  |                                                            |
| 4층 | 23.201     | 22.777  | 424  |                                                            |
| 5층 | 23.003     | 22.638  | 365  |                                                            |
| 6층 | 23.916     | 23.744  | 172  |                                                            |
| 합계 | 136.064    | 134.345 | 1719 |                                                            |

### 5.3 시스템의 형태구성과 중공층내 블라인드 적용시 일사 축열량의 변화

표 10의 시스템 적용시 일반 수직형에 비해 전체 일사축열량은 모듈의 경사에 의한 증가와 음영의 가감에 의한 변화를 통해 시스템 미적용시에 비해 36%의 일사 축열량의 증가가 발생하였다. 일반건물의 경우 실내 블라인드는 과도한 현외의 저감에는 도움이 되나 블라인드에 축열된 일사가 대류, 복사형태로 실내 냉방부하로 변하게 된다. 따라서 블라인드는 열적측면에서 외부설치가 바람직하나 외부풍속에 의한 파손, 오염등 유지보수 문제측면에서 실내에 위치하게 된다.5)

반면 이중외피의 경우 중공층내 블라인드가 위치함으로써 열적, 유지보수 측면에서 유리하다.

표 10. 일사 축열량의 변화

| 일사 축열량   | 미적용시    | 시스템     | 시스템&블라인드 |
|----------|---------|---------|----------|
| 1층       | 29.723  | 26.812  | 26.813   |
| 2층       | 34.722  | 47.731  | 40.627   |
| 3층       | 34.722  | 48.288  | 40.928   |
| 4층       | 34.722  | 48.302  | 40.937   |
| 5층       | 34.722  | 48.557  | 41.074   |
| 6층       | 34.721  | 56.953  | 49.855   |
| 합계 (Mwh) | 203.332 | 276.643 | 240.234  |
| 변화율 (%)  | 100.00  | 136.05  | 118.15   |

### 5.4 중공층내 환기 및 블라인드 가동시 실내일사 축열량과 건물부하 변화

표 11,12 에서 시스템적용의 경우 블라인드 가동시 실내 유입되는 일사량은 감소한 반면 중공층내 일사축열량은 170.702Mwh로 블라인드 미가동시의 157.082Mwh보다 13.620Mwh 증가하는 것으로 나타났다. 블라인드에 축열된 일사는 중공층내의 환기과정에서 제거된다. 따라서 블라인드 가동시 중공층내 온도상승이 더 크므로 환기를 위

5) 최동희, 블라인드가 이중외피의 열적 특성에 미치는 영향에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문, 2004. 2

한 개방설정온도 도달시간은 일반시스템 적용시보다 빨라지며 중공층내 환기량도 증가하게 된다.

실내의 경우 시스템 적용시 외피의 구성에 의한 일사투과율의 변화로 표 13에서 시스템 적용시 약 41.2%의 일사유입이 감소되었으며 중공층내 블라인드의 적용시 일사유입은 65.8%감소되었다. 이로 인하여 여름철 냉방부하의 절감이 가능하며 블라인드는 주간에 과도한 일사유입을 방지하게 되며 이에 따른 부하감소는 표 13과 같다.

표 11. 중공층내 일사 축열량의 변화

| 일사 축열량   | 시스템     | 시스템&블라인드 | 변화량    |
|----------|---------|----------|--------|
| 1층       | 0       | 0        | 0      |
| 2층       | 29.854  | 32.506   | 2.652  |
| 3층       | 30.292  | 32.745   | 2.453  |
| 4층       | 30.303  | 32.752   | 2.449  |
| 5층       | 30.500  | 32.855   | 2.355  |
| 6층       | 36.133  | 39.844   | 3.711  |
| 합계 (Mwh) | 157.082 | 170.702  | 13.620 |
| 변화율(%)   | 100.00  | 108.67   | 8.67   |

표 12. 실내 일사 축열량의 변화

| 일사 축열량    | 미적용시    | 시스템     | 시스템&블라인드 |
|-----------|---------|---------|----------|
| 1층 실내     | 29.723  | 26.812  | 26.813   |
| 2층 실내     | 34.722  | 17.877  | 8.121    |
| 3층 실내     | 34.722  | 17.996  | 8.183    |
| 4층 실내     | 34.722  | 17.999  | 8.185    |
| 5층 실내     | 34.722  | 18.057  | 8.219    |
| 6층 실내     | 34.721  | 20.820  | 10.011   |
| 합계 1(Mwh) | 203.332 | 119.561 | 69.532   |
| 감소율(%)    | 100.00  | 41.20   | 65.80    |

표 13. 냉방부하

| 냉방부하(Mwh) | Case 1  | Case 4  | Case 8      | Case 9       |
|-----------|---------|---------|-------------|--------------|
| 1층        | 23.162  | 21.222  | 21.164      | 19.819       |
| 2층        | 24.091  | 21.808  | 21.542      | 18.611       |
| 3층        | 24.951  | 22.914  | 22.480      | 18.886       |
| 4층        | 25.036  | 23.201  | 22.777      | 18.968       |
| 5층        | 24.492  | 23.003  | 22.638      | 18.769       |
| 6층        | 25.227  | 23.916  | 23.744      | 19.539       |
| 합계 (Mwh)  | 146.959 | 136.064 | 134.345     | 114.592      |
| 감소율(%)    | 100.00  | 92.59   | 91.42       | 77.98        |
| 비고        | 미적용     | 24°C 개방 | 24°C 개방, 댐퍼 | 24°C개방, 블라인드 |

각Case별 냉방부하 절감성능을 분석한 결과 표 13에서 급배기구, 댐퍼 24°C이상 개방, 블라인드 가동인 Case9가 가장 우수한 것으로 나타났다.

## 6. 시뮬레이션결과를 통한 최적시스템의 부하절감

### 6.1 시뮬레이션을 통한 최적 운영스케줄

시뮬레이션을 통한 최적의 시스템 운영은 표 14에서 난방기에는 중공층 내외 개구부를 닫음으로써 중공층이 열적 버퍼역할을 하도록 한다. 중간기에는 실내 설정온과 외기온과의 차이를 고려한 외기보상제어를 실시한다. 그리고 냉방기에는 중공층내 온도 24°C를 기준으로 내·외측의 개구부를 폐쇄하고 중공층의 블라인드를 작동하여 일사의 직접적인 실내유입을 최소화 한다. 블라인드 내 축적된 열류는 5.4절 case9에서 외측개구부와 수직댐퍼의 개방을 통한 환기를 통한 제거가 가장 효과적인 것으로 나타났다.

표 14. 시스템의 부하별 운영방법

|     |                                                   |
|-----|---------------------------------------------------|
| 중간기 | 급기·배기 ON, 상부 댐퍼 OFF, 실내 On/Off 통한 외기보상제어, PV발전    |
| 냉방기 | 급기·배기 ON, 상부댐퍼 ON, 실내 Off 통한 열류 제거, 블라인드 On, PV발전 |
| 난방기 | 급기·배기, 상부 유동층 Off, 상부댐퍼 OFF, 실내 Off, PV발전         |

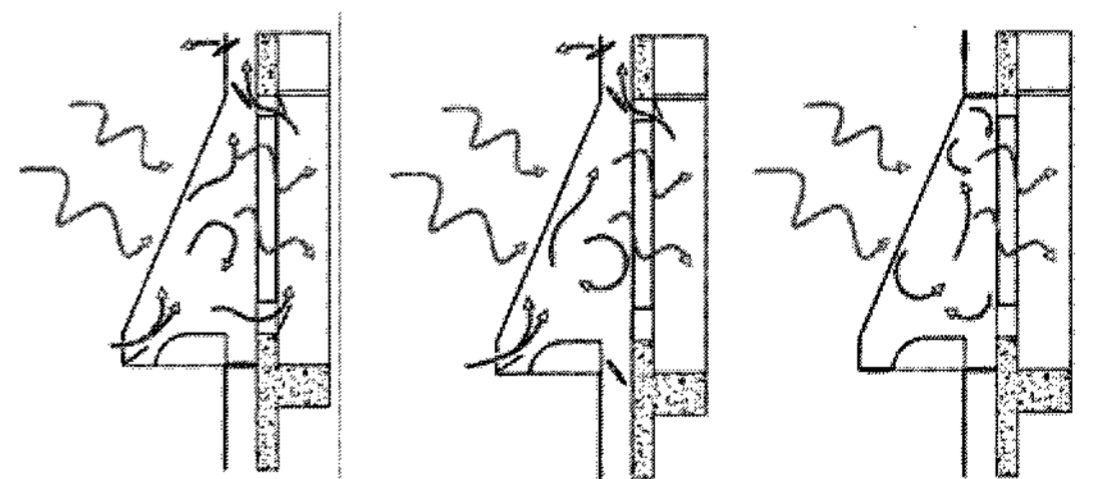


그림 5. 시스템의 부하별 운영방법

### 6.2 시스템의 적용에 의한 냉난방부하 절감 효과

시스템 적용에 따른 난방부하는 시스템 적용시 표 15에서 최대 20.34%가 절감되었으며 냉방부



하의 경우 시스템 적용시 외피구성과 상부 음영에 의한 차광효과로 인한 냉방부하의 절감이 발생하였다. 이에 반하여 모듈의 경사에 의한 일사확득량의 증가가 나타남에 따른 냉방부하의 절감은 8.58%로 나타났으며 중공층내 블라인드 가동과 환기시 냉방부하는 중층의 경우 최대 24.31%의 절감이 나타나는 것으로 분석되었다.

표 15. 시스템 적용에 따른 냉방부하 변화

|    | 냉방부하(Mwh) |       |       | 냉방부하(Mwh) |        |       |
|----|-----------|-------|-------|-----------|--------|-------|
|    | 비적용       | 적용후   | 절감율   | 비적용       | 적용후    | 절감율   |
| 1층 | 4.932     | 4.712 | 4.46  | 23.162    | 18.819 | 14.43 |
| 2층 | 4.598     | 3.993 | 13.16 | 24.091    | 18.611 | 22.75 |
| 3층 | 4.023     | 3.271 | 18.69 | 24.951    | 18.886 | 24.31 |
| 4층 | 4.031     | 3.211 | 20.34 | 25.036    | 18.968 | 24.24 |
| 5층 | 4.711     | 3.777 | 19.83 | 24.492    | 18.769 | 23.37 |
| 6층 | 4.521     | 3.741 | 17.25 | 25.227    | 19.539 | 22.55 |

### 7. 시스템 적용에 따른 실내조도변화

모듈의 적용에 따른 외피구성과 음영 변화로 실내 조도변화가 발생하게 되므로 그 변화정도를 동지와 하지를 기준으로 시스템 적용전후 실내 작업면 조도의 변화 정도를 시뮬레이션 하였으며 그 결과는 표 16과 같다. 이 계산에는 Radiance를 이용하였다.

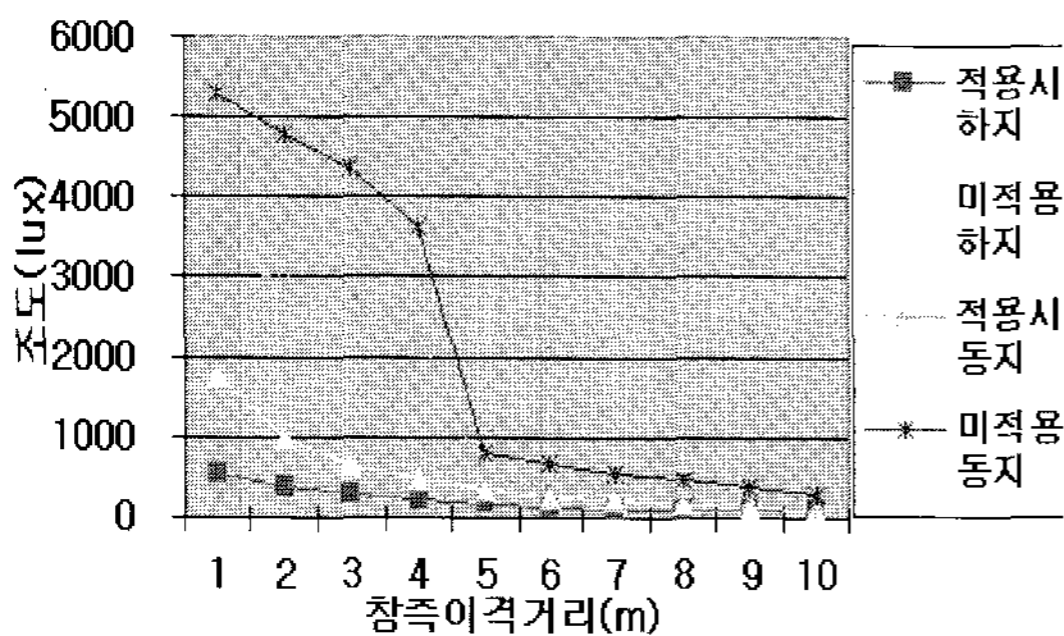


그림 6. 적용전·후 창측 이격거리별 조도변화

표 16. 시스템 적용전후 실내조도변화

| 창측이격거리 | 실내조도(하지)-Lux |         |       | 실내조도(동지)-Lux |         |       |
|--------|--------------|---------|-------|--------------|---------|-------|
|        | 적용시          | 미적용시    | (%)   | 적용시          | 비적용시    | (%)   |
| 1M     | 553.03       | 1744.05 | 31.71 | 3188.14      | 5286.05 | 60.31 |
| 2M     | 385.68       | 986.00  | 39.12 | 2956.32      | 4784.08 | 61.80 |
| 3M     | 272.22       | 633.81  | 42.95 | 2798.32      | 4378.57 | 63.91 |
| 4M     | 214.49       | 444.27  | 48.28 | 2344.65      | 3618.30 | 64.80 |
| 5M     | 170.05       | 330.49  | 51.46 | 472.30       | 787.89  | 59.94 |
| 6M     | 130.95       | 252.70  | 51.82 | 388.00       | 657.24  | 59.03 |
| 7M     | 101.38       | 195.86  | 51.76 | 317.38       | 539.27  | 58.85 |
| 8M     | 79.89        | 156.78  | 50.96 | 265.24       | 446.11  | 59.46 |
| 9M     | 64.32        | 124.73  | 51.57 | 220.11       | 378.24  | 58.19 |
| 10M    | 64.32        | 100.97  | 63.70 | 178.59       | 307.43  | 58.09 |
| 실평균    | 75.84        | 182.04  | 41.66 | 576.92       | 1076.71 | 53.58 |

시뮬레이션 결과 투과율의 변화와 상층모듈 돌출부의 차광에 의해 표 16에서 적용 전후의 하계 실내조도는 하계 58.34%, 동계 46.42% 감소되었으며 블라인드와 같은 실내 차양장치의 사용을 통한 조망을 차단하지 않으면서 적절한 차광이 가능한 것으로 나타났다.

### 8. 시스템 적용에 따른 실내 현휘변화

현휘란<sup>6)</sup> 시야내 과도한 휘도 또는 휘도대비로 인한 시 작업성적의 저하 또는 시각적 불편감을 말하며 관찰자의 시야 내의 평균 휘도에 대하여 대상물체의 휘도대비가 (10:1이상)일때 과도한 휘도대비로 인하여 불편현휘가 발생하며 시야 내 태양이나 광원 등이 직접 노출되어 휘도값이 25,000cd/m<sup>2</sup>을 넘었을 경우 과도한 빛의 양에 의해 현휘가 발생한다. 휘도에 의한 시적 쾌적도의 변화를 비교하기 위해 Radiance를 이용한 현휘값과 시적 쾌적도 분석을 수행하였으며 분석은 CIE 현휘 지수와 국제조명 위원회(CIE)에서 제안한 UGR(Unified Glare Rating), GUTH 시적 쾌적 만족율(%)을 현휘평가에 이용하였다. 이 값

6) www.ies4d.com

들은 초점 중앙에서 좌우측(일반적으로 좌측60도~우측60도 10도간격)으로 일정한 각도로 계산을 수행하였다.

표 17. UGR 값과 주관적 느낌과의 관계

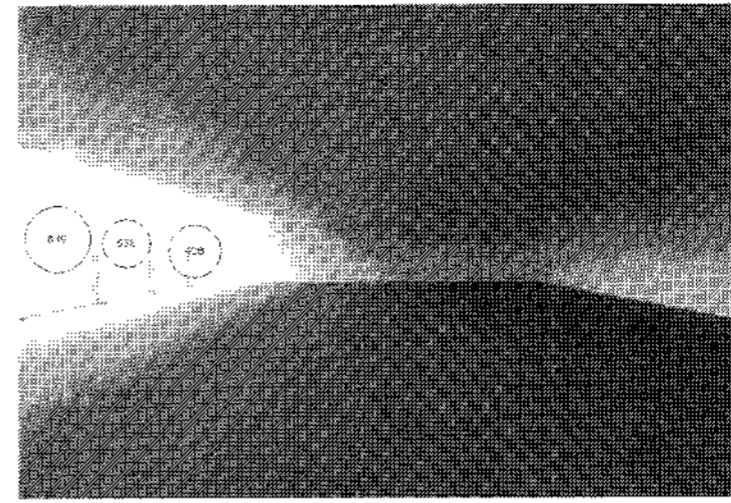
| UGR 값 | 주관적인 느낌          |
|-------|------------------|
| 10 이상 | 느끼기 시작한다         |
| 16 이상 | 신경이 쓰이기 시작한다     |
| 22 이상 | 불쾌감을 느끼기 시작한다    |
| 28 이상 | 너무 심하다고 느끼기 시작한다 |

표 18. 적용 전·후의 하지 실내 현휘변화

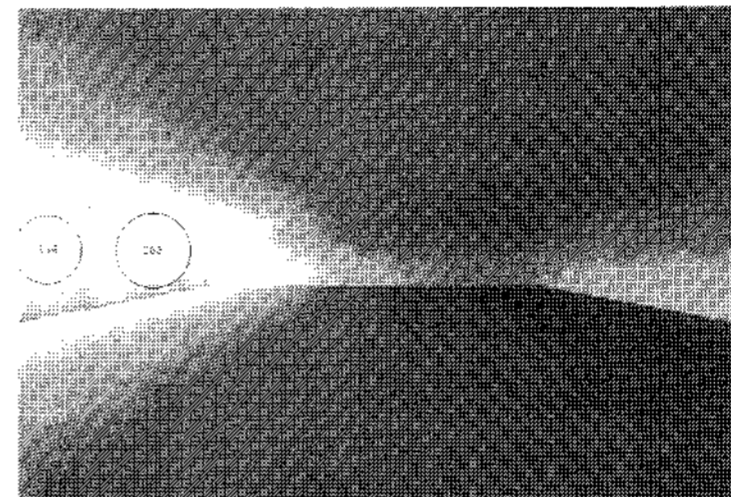
| 시야각 | 적용시 하지  |         |       | 미적용시 하지 |         |       | 시패적 향상율(%) |
|-----|---------|---------|-------|---------|---------|-------|------------|
|     | 시패적도(%) | CIE현휘지수 | UGR   | 시패적도(%) | CIE현휘지수 | UGR   |            |
| 60  | 49.68   | 21.99   | 25.22 | 36.92   | 23.79   | 26.21 | 12.76      |
| 50  | 52.64   | 21.52   | 24.44 | 39.29   | 23.39   | 25.59 | 13.35      |
| 40  | 57.48   | 20.91   | 23.49 | 43.30   | 22.84   | 24.79 | 14.18      |
| 30  | 63.94   | 20.19   | 22.41 | 49.10   | 22.17   | 23.84 | 14.84      |
| 20  | 71.64   | 19.35   | 21.14 | 56.89   | 21.37   | 22.72 | 14.75      |
| 10  | 79.56   | 18.47   | 19.74 | 66.03   | 20.52   | 21.46 | 13.53      |
| 0   | 82.54   | 17.44   | 18.17 | 69.18   | 19.52   | 20.02 | 13.36      |
| -10 | 89.45   | 16.46   | 16.57 | 77.03   | 18.55   | 18.52 | 12.42      |
| -20 | 91.94   | 15.10   | 14.66 | 81.69   | 17.24   | 16.76 | 10.25      |
| -30 | 95.41   | 13.62   | 12.47 | 87.71   | 15.77   | 14.69 | 7.70       |
| -40 | 97.92   | 12.28   | 10.62 | 93.77   | 14.55   | 12.99 | 4.15       |
| -50 | 99.38   | 10.58   | 8.28  | 97.29   | 12.88   | 10.71 | 2.09       |
| -60 | 99.93   | 8.27    | 5.28  | 99.74   | 9.14    | 6.28  | 0.19       |
| 평균  | 79.35   | 16.63   | 17.11 | 69.07   | 18.59   | 18.81 | 10.27      |

표 19. 적용 전·후의 동지 실내 현휘변화

| 시야각 | 적용시 동지  |         |       | 미적용시 동지 |         |       | 시패적 향상율(%) |
|-----|---------|---------|-------|---------|---------|-------|------------|
|     | 시패적도(%) | CIE현휘지수 | UGR   | 시패적도(%) | CIE현휘지수 | UGR   |            |
| 60  | 23.55   | 26.33   | 26.41 | 17.87   | 28.20   | 27.87 | 6.49       |
| 50  | 26.21   | 25.70   | 25.66 | 19.72   | 27.56   | 27.14 | 7.75       |
| 40  | 30.79   | 24.86   | 24.69 | 23.04   | 26.72   | 26.19 | 9.35       |
| 30  | 37.46   | 23.87   | 23.55 | 28.11   | 25.72   | 25.08 | 10.78      |
| 20  | 46.27   | 22.76   | 22.25 | 35.49   | 24.58   | 23.81 | 11.66      |
| 10  | 56.74   | 21.60   | 20.83 | 45.08   | 23.39   | 22.42 | 11.31      |
| 0   | 62.50   | 20.24   | 19.17 | 51.19   | 22.01   | 20.79 | 10.81      |
| -10 | 73.91   | 18.98   | 17.52 | 63.10   | 20.73   | 19.18 | 9.91       |
| -20 | 80.30   | 17.21   | 15.42 | 70.39   | 18.97   | 17.14 | 7.58       |
| -30 | 88.87   | 15.27   | 13.02 | 81.29   | 17.62   | 15.38 | 5.80       |
| -40 | 94.40   | 13.60   | 11.04 | 88.60   | 15.44   | 12.92 | 3.47       |
| -50 | 98.43   | 11.03   | 8.14  | 94.96   | 13.06   | 10.23 | 0.17       |
| -60 | 99.82   | 8.11    | 4.95  | 99.65   | 8.09    | 4.96  | 7.75       |
| 평균  | 63.02   | 19.20   | 17.90 | 55.27   | 20.93   | 19.47 | 7.91       |



(a). 시스템 미 적용시 하지



(b). 시스템 적용시 하지

그림 7. 시스템 적용 전·후 하지 현휘변화

표 18, 19에서 시스템 적용전후 하지와 동지를 시뮬레이션 한 결과 과도한 밝기차에 의한 실내 현휘의 발생이 감소하여 하계 평균 10.27% 동계 평균 7.91%의 시패적도가 향상되었으며 그림 7에서 현휘가 감소하는 것을 확인하였다.

## 9. 결론

당 연구는 PV를 통한 전력생산과 이중외피를 통한 냉난방부하 저감을 위한 시스템의 최적 구성과 운영방법에 관한 성능분석을 시뮬레이션을 통해 수행하였다. 당 연구는 실물제작의 전단계로서 시뮬레이션을 통한 시스템 적용시 PV측 입사량의 변화, 경사에 의한 음영의 발생량, 냉·난방부하 저감 정도와 실내 조도 및 시패적도 변화를 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 시스템의 운영은 난방기는 모듈의 급·배기구를 단음을 통해 중공층이 열적 버퍼역할을 한다. [5.1절 case2]

- 2) 중간기에는 중공층내 온도가 24°C기준으로 급배기구를 개폐하여 실내 열류의 제거 및 열손실을 방지하며 외기보상제어와 자연환기가 가능해진다. [5.2절]
- 3) 냉방기에는 온도가 높은 외기온의 실내 유입을 막으며 중공층내 급배기구와 댐퍼를 개방함으로써 환기효율을 향상시키며 중공층내 블라인드를 가동하여 실내 일사유입 저감을 통한 냉방부하를 저감한다. [5.4절]
- 4) 시뮬레이션을 통한 부하절감량은 난방부하는 시스템 적용시 최대 20.34%가 절감되었으며 냉방부하의 경우 시스템 적용시 최대 24.31% 절감효과가 나타났다. [6.2절]
- 5) 시스템의 적용을 통한 실내 조도변화는 하계 58.34%, 동계 46.42% 감소하는 것을 확인하였다. [7절 표 16, 그림 6]
- 6) 시스템의 적용을 통한 실내 시쾌적도 변화는 하계 평균 10.27% 동계 평균 7.91% 향상되는 것을 확인하였다. [8절 표 18, 표 19]

본 연구는 시스템의 건축물 적용을 위한 시스템의 운영방법 도출과 냉난방부하 절감량, 시스템의 음영과 일사량 분석을 통한 태양전지의 적용가능성 및 시환경 개선 효과에 대한 시뮬레이션을 통

한 검증을 수행하였다.

시공성, 경제성 및 태양전지를 통한 전력생산량에 대한 분석은 실측을 통한 검증을 수행하며 이는 추후의 과제로 한다.

## 후 기

본 연구는 2003년도 광운대학교 연구년지원 결과임.

## 참 고 문 헌

1. 석호태, 이중외피커튼월 시스템의 특성 및 적용타당성, 건축, 2003. 9
2. 産業技術總合研究所, 투명태양전지의개발, 2003
3. <http://www.retscreen.net/>
4. 최주엽, 시뮬레이션에 의한 PV시스템 설치방식의 최적설계에 관한 연구, 태양학회지 23호, 2003.03
5. 최동희, 블라인드가 이중외피의 열적 특성에 미치는 영향에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문, 2004. 2