

경사형 이중외피시스템

■ 최창호 / 편집이사, 광운대학교 건축공학과, choi1967@kw.ac.kr

건물에서 이중외피와 BIPV를 동시적용하는 시스템 개요, 적용가능성, 건물부하 저감효과를 소개한다.

서론

최근들어 건물외피에 적용이 가능한 시스템중에서 대표적인 이중외피와 BIPV를 동시에 적용하는 가능성에 대하여 그 시스템의 최적화된 구성 및 제어를 통한 적용가능성, 건물부하 저감효과를 소개한다.

본론

시스템 개요

시스템은 경사형 이중외피로 전면에 태양의 열적, 전력적 이용이 가능한 투명PV를 부착된 형태이다. 그리고 동계 태양에너지의 입사량의 증가와 하절기 일사의 실내유입의 막음을 통한 냉난방부하의 절감을 위해 수회의 시뮬레이션으로 도출된 결과를 토대로, 그림 1의 경사각의 중공층 형태이다. 또한 재실자의 개별 환경조절이 용이한 박스형

이중외피를 기본으로 하며, 급배기구는 상하층의 오염물의 실내 유입을 막기 위해 모듈의 하부와 상부에 급배기구가 대칭으로 위치한다.

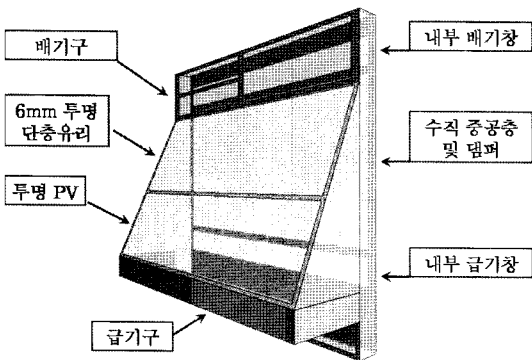
이중외피 시스템은 다층구조로서 바깥쪽외피와 중공층, 내측외피로 이루어지며 공간내 공기의 흐름은 일사에 의한 공기의 밀도차이에 의한 연돌효과(Stack effect)와 바람의 역할에 의해 발생한다.

이중외피는 기존의 건물외피의 열적성능을 향상시켜주며 열적, 음적, 시환경 측면에서 효과가 있음이 많은 사례를 통해 증명되었다. 반면 BIPV적용시 건물의 남면에 수직으로 적용됨에 따른 적용면적의 제약과 경사형에 비해 효율이 저하되는 문제를 가지고 있다.

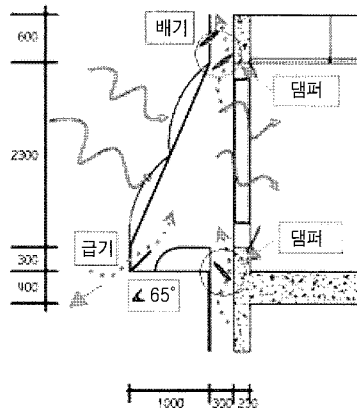
따라서 여기에서는 건물의 개보수시 적용성과 시공의 용이성 및 호환성을 위하여 그림 1, 2와 같은 형태를 제시한다.

• PV 설치각도별 일사량

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



[그림 1] 시스템의 단위모듈 구성



[그림 2] 시스템의 단위모듈 단면

표 1에서 우리나라 지역별 설치각도별 일사량의 변화를 알 수 있으며, 외피부에 당 시스템을 적용 시 태양고도의 상승에 따라 PV발전이 있어서 문제점인 그림자가 드리워지기 때문에 돌출길, 창크기, 음영 등을 고려하여 가장 최적의 각도가 65°임을 알았고 90° 대비 30% 많음을 알 수 있다(표 1의 음영부분).

• 음영분석

음영은 건물에 있어서는 일사차단을 PV에 있어서는 효율저하와 관계한다.

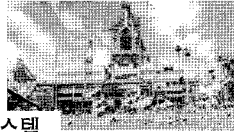
건물의 남측면 음영의 경우, 표 2의 시스템 미적용 경우 수직창의 일반건물에 의하면, 4월 ~ 8월 사이의 태양이 건물후면으로 넘어가는 오후 5시 이후의 늦은 시간을 제외하고 연중 음영발생이 거

<표 1> 각도별 일사량 변화(kWh/m²/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 ²)	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 2> 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



의 없는 것을 볼 수 있다(표 2의 음영부분).

당 시스템의 돌출길이는 하부의 PV발전효율에 저하되지 않으며 여름철 높은 태양고도에 따른 일사차단과 겨울철 낮은 태양고도의 태양광입사에 지장이 없도록 1 m 돌출과 65° 경사이고(그림 2), 이에 따른 음영비율의 변화는 표 3과 같다.

표 3의 음영분석에 의하면 모듈면 8.4 m²중 PV가 적용된 4 m²(그림 1, 2의 PV부분)는 연중 음영이 거의 발생하지 않으므로 그림자에 의한 발전효율 저하가 적으며 표 4의 PV적용부 이외의 4.4 m²(그림 2의 단층유리부분)는 모듈의 돌출에 의한 음영

의 제공을 통하여 여름철 냉방부하 저감에도 효과가 있다.

시뮬레이션 개요

당 시스템의 열적성능 검증과 최적화된 운영스케줄 도출을 위해 냉·난방부하가 큰 국내 중규모 오피스건물을 기본모델로 부하성능을 확인한다.

• 개방스케줄

개구부의 개방을 통한 외기의 유입은 외기보상제어와 자연환기, 중공층내 열류의 제거가 가능하다.

<표 3> 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 4> 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

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.

• 시뮬레이션 방법

시뮬레이션은 동절기 일사에 의한 중공층(그림 1, 2)의 온도상승을 통한 난방부하 절감을 꾀하고, 중간기 외기보상제어, 하절기 중공층내 열류의 제거에 의한 전도로 냉방부하의 유입을 막는다. 표 5에서 시스템 적용시 효과와 개방시점의 중공층 온도에 따른 효과를 확인하기 위해 중공층 개방온도 1 간격으로 민감도 분석을 한다. 중공층내의 열류를 제거하기 위해서는 시스템의 상·하부에 위치한 외측개구부와 수직댐퍼를 개방하여 환기한다(그림 2).

시뮬레이션 결과

• 개방설정온도에 따른 부하변화

시스템의 운영방법에 따른 부하의 변동을 분석한 결과 난방부하측면에서 표 6 case 2와 같이 개구

부의 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 6의 case 3).

냉방기에는 중공층내 온도가 일사에 의해 상승하게 되므로 환기를 통한 열류를 제거해야만 냉방부하를 저감할 수 있으며(표 6의 case 4) 난방기에는 중공층을 개방하지 않는 것이 난방부하 저감에 효과적이다(표 6의 case 2).

그림 3은 중공층내 환기를 실시하지 않을 경우(댐퍼차단 a, b)와 실시한 경우(댐퍼개방 c, d)의 온도변화를 나타낸다.

그림 3의 Line 1은 중공층내의 온도를, Line 2는 외기온을 나타내며 Line 3은 중공층내 환기량을 나타내는 것으로써 b)의 미개방시 중공층내의 침기량만 존재한다. d)의 개방시(○시점) 중공층내 환기량은 중공층내 온도가 24℃ 이상에서 급기구 개방시 외부풍속에 의해 모듈의 급기구를 통해 유입되는 외기량과 관계하며 중공층내 온도는 외기온의 영향을 받게 되며 개방이후의 Line 1과 Line 2가 근접한 것을 통해 알 수 있다.

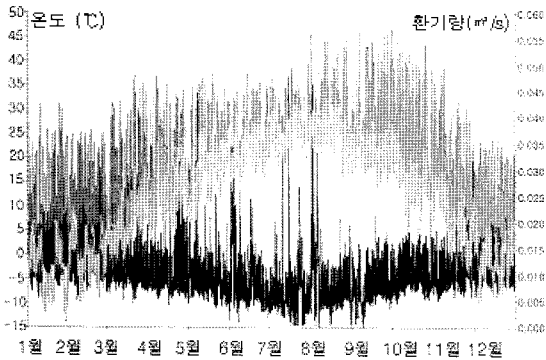
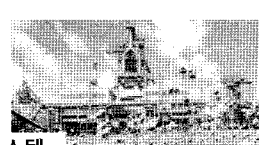
중공층내 환기를 실시하지 않을 경우 중공층내 온도는 b)에서 최고 47℃까지 상승하며(○부분) 환기를 시행할 경우 중공층내 온도는 d)에서 외기온과 같은 온도로 하강하면서 열류를 제거하게 된다. 또한 PV의 특성상 태양에너지의 열적효과에 의해 PV온도가 상승할수록 효율이 떨어지는 문제가 있으나 중공층내 환기를 통한 PV후면의 냉각효과에

<표 5> Case별 비교

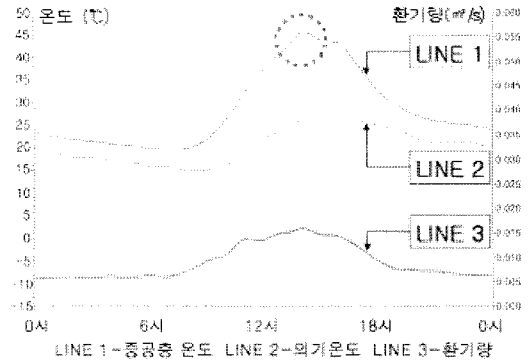
	설정변수
Case 1	시스템 비적용시
Case 2	시스템 적용시 (비개방)
Case 3	시스템 적용시 (중공층온도 23℃ 이상시 개방)
Case 4	시스템 적용시 (중공층온도 24℃ 이상시 개방)
Case 5	시스템 적용시 (중공층온도 25℃ 이상시 개방)
Case 6	시스템 적용시 (중공층온도 26℃ 이상시 개방)
Case 7	시스템 적용시 (중공층온도 27℃ 이상시 개방)
Case 8	시스템 적용시 (중공층내 댐퍼개방)
Case 9	시스템 적용시 (블라인드 적용시)

<표 6> 개방설정온도에 따른 부하변화

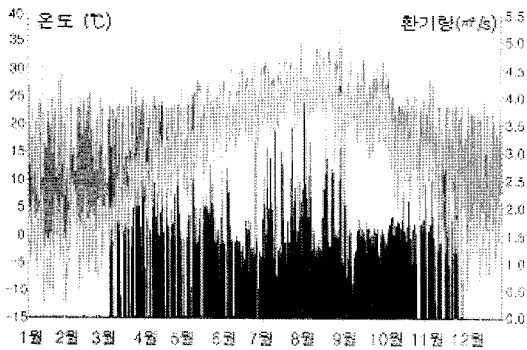
	냉·난방부하 (Mwh)		비고
	난방부하	냉방부하	
Case 1	26.816	146.959	일반건물
Case 2	22.705	143.079	비개방
Case 3	23.141	136.158	23℃ 개방
Case 4	23.158	136.064	24℃ 개방
Case 5	23.066	136.402	25℃ 개방
Case 6	23.035	136.595	26℃ 개방
Case 7	23.003	136.794	27℃ 개방



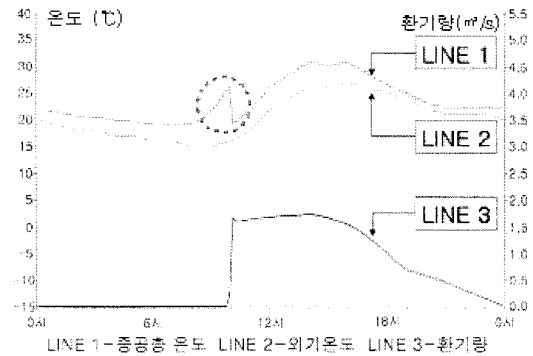
a) 비개방시 중공층내 연중변화



b) 비개방시 중공층내 일간변화



c) 개방시 중공층내 연중변화



d) 개방시 중공층내 일간변화

[그림 3] 개방전후 중공층내 변화

의해 온도상승에 따른 PV 효율감소가 적어진다.

• 댐퍼의 개방을 통한 부하감소

냉방기에는 실내로 외기를 유입할 경우에 냉방부하의 증가가 나타날 수 있으므로 24°C 이상의 경우에 내부 개구부는 닫고 외부 개구부를 개방함으로써 중공층내 열류를 배출시키고 중공층의 수직 댐퍼를 개방함으로써 연돌효과를 이용한 배기를 촉진시키게 되며 Case 4의 24°C 개방시에 비하여 냉방부하는 1,719 kWh(표 7의 음영부분)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 차양 장치가 필요하다.

<표 7> 댐퍼개방시 부하변화

	냉방부하 (Mwh)			비고
	Case 4	Case 8	절감량	
1층	21.222	21.164	58	Case 4 : 24°C 이상시 중공층 개방 Case 8 : 24°C 이상시 중공층, 수직 댐퍼 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	

• 시스템의 형태구성과 중공층내 블라인드 적용시 일사 축열량의 변화

표 8의 시스템 적용시 일반 수직형에 비해 전체 일사축열량은 모듈의 경사에 의한 증가와 음영의

가감에 의한 변화를 통해 시스템 미적용시에 비해 36%의 일사 축열량의 증가가 발생한다. 일반건물의 경우 실내 블라인드는 과도한 현회의 저감에는 도움이 되나 블라인드에 축열된 일사가 대류, 복사 형태로 실내 냉방부하로 변하게 된다. 따라서 블라인드는 열적측면에서 외부설치가 바람직하나 외부풍속에 의한 파손, 오염 등 유지보수 문제측면에서 실내에 위치하게 된다.

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

• 중공층내 환기 및 블라인드 가동시 실내일사 축열량과 건물부하 변화

표 9, 10에서 시스템적용의 경우 블라인드 가동시 실내 유입되는 일사량은 감소한 반면 중공층내 일사축열량은 170.702 Mwh로 블라인드 미가동시의 157.082 Mwh보다 13.620 Mwh 증가하는 것으로 나타난다.

<표 8> 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

<표 9> 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

로 나타난다. 블라인드에 축열된 일사는 중공층내의 환기과정에서 제거된다. 따라서 블라인드 가동시 중공층내 온도상승이 더 크므로 환기를 위한 개방설정온도 도달시간은 일반시스템 적용시보다 빨라지며 중공층내 환기량도 증가하게 된다.

실내의 경우 시스템 적용시 외피의 구성에 의한 일사투과율의 변화로 표 11에서 시스템 적용시 약 41.2%의 일사유입이 감소되며 중공층내 블라인드의 적용시 일사유입은 65.8% 감소된다. 이로 인하여 여름철 냉방부하의 절감이 가능하며 블라인드는 주간에 과도한 일사유입을 방지하게 되며 이에 따른 부하감소는 표 11과 같다.

각 Case별 냉방부하 절감성능을 분석한 결과 표 11에서 급배기구, 댐퍼 24℃ 이상 개방, 블라인드 가동인 Case 9가 가장 우수하다.

<표 10> 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 I(Mwh)	203.332	119.561	69.532
감소율 (%)	100.00	41.20	65.80

<표 11> 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℃ 개방	24℃ 개방, 댐퍼	24℃ 개방, 블라인드

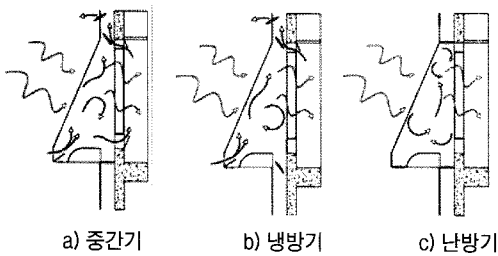


<표 12> 시스템의 부하별 운영방법

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

<표 13> 시스템 적용에 따른 냉난방부하 변화

	난방부하(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



[그림 4] 시스템의 부하별 운영방법

결론

• 시스템의 최적 운영스케줄

시뮬레이션을 통한 최적의 시스템 운영은 표 12에서 난방기에는 중공층 내의 개구부를 닫음으로써 중공층이 열적 버퍼역할을 하도록 한다. 중간기에는 실내 설정온도와 외기온과의 차이를 고려한 외기보상제어를 실시한다. 그리고 냉방기에는 중공층내 온도 24℃를 기준으로 내·외측의 개구부를 개폐하고 중공층의 블라인드를 작동하여 일사의 직접적인 실내유입을 최소화 한다. 블라인드내 축적된 열류는 case 9에서 외측개구부와 수직댐퍼의 개방을 통한 환기를 통한 제거가 가장 효과적이다.

• 시스템의 적용에 의한 냉난방부하 절감 효과

시스템 적용에 따른 난방부하는 시스템 적용시 표 13에서 최대 20.34%가 절감되며 냉방부하의 경우 시스템 적용시 외피구성과 상부 음영에 의한 차광효과로 인한 냉방부하의 절감이 발생한다. 이에 반하여 모듈의 경사에 의한 일사획득량의 증가가 나타나며 중공층내 블라인드 가동과 환기시 냉방부하는 중층의 경우 최대 24.31%의 절감이 있다.

이상으로 건물외피에 PV를 적용하고 수직벽의 형태를 변형한 창호시스템의 열적성능을 점검해보았다. 실제 상용화까지는 풀어야 할 숙제가 많으나 이상으로 그 가능성을 확인하는 것을 의의로 한다.

참고문헌

1. 석호태, 이중외피커튼월 시스템의 특성 및 적용타당성, 건축, 2003. 9
2. 産業技術總合研究所, 투명태양전지의 개발, 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