

스팬드럴 부분 BIPV창호 적용 및 후면마감재 구성에 따른 온도특성 분석 연구

김동수*, 오명환**, 윤종호***

*한밭대학교 대학원 건축공학과(aamgood@naver.com), **한밭대학교 대학원 건축공학과(bigomh@nate.com),
***한밭대학교 건축공학과 교수(jhyoon@hanbat.ac.kr)

The Evaluation of the Temperature Characteristics at the Spandrels of Curtain wall with a-Si BIPV Window System

Kim, Dong-Su*, Oh, Myung-Hwan**, Yoon, Jongl-Ho***

*Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, Hanbat University(aamgood@naver.com),
**Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, Hanbat University(bigomh@nate.com),
***Dept. of Architectural Engineering, School, Hanbat University(jhyoon@hanbat.ac.kr)

Abstract

This study aims to analyze the characteristics of temperature variation of Spandrels. According to the change of SHGC of Window system, air space, insulation performance and absorption factor of inner surface at the Spandrels, It was firstly estimated by using simulation. Secondly, measured to minimize the temperature-rise of inner surface temperature and the intermediate air temperature by using Full-scale Mock-up based on the result of simulation analysis. As a result, it turns out that low SHGC window system such as BIPV system had an advantage of reducing the window surface temperature, and the surface temperature of clear window system was all higher than BIPV system on simulation results. In the experiment results, it had some advantages of increasing the Spandrels volume, decreasing insulation performance and lower absorption factor.

Keywords : 커튼월(Curtain wall), 스펠드럴(Spandrel Zone), 아몰포스형 박막태양전지(a-Si PV), 표면온도(Surface temperature), 일사획득계수(SHGC ; Solar Heat Gain Coefficient)

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

유리를 외장재로 활용하는 커튼월의 구조는 크게 재실자의 공간에 대한 영역과 아치

와 상부의 수평재로 둘러싸인 스펠드럴 영역으로 구분 된다. 스펠드럴(Spandrel) 부위란, 다층구조의 건물에서 임의 층의 창호 상단부에서 상부층의 창호 하단부 까지의 범위로 정의된다.[1] 일반적으로 스펠드럴 영역에 내

부 마감은 유리 후면부에 석고보드 및 철판 등을 적용하여 건축물의 불투명 단열기준에 맞춰 마감이 취해지고 있는 실정이다. 하지만 이렇게 유리 후면부에 마감이 행해질 경우 스펀드럴 영역의 창호사이와 후면 마감재에 밀폐된 공기층이 생성되며, 이는 전면 유리를 통해 유입된 일사의 영향으로 밀폐공간의 공기온도를 상승시켜 유리 표면온도에 큰 영향을 미치게 된다.[2]

따라서 본 연구는 시뮬레이션을 이용하여 스펀드럴 영역에 창호의 일사획득계수(SHGC, Solar Heat Gain Coefficient) 변화 및 후면 마감재의 적용 형태에 따른 유리표면온도 특성을 검토하고, 예측된 시뮬레이션의 결과를 바탕으로 실측실험을 통하여 온도상승을 최소화할 수 있는 방안을 도출하는데 목적이 있다.

1.2 연구의 방법

본 연구에서는 스펀드럴 영역의 온도상승을 최소화 할 수 있는 방안을 모색하기 위해 다음 그림 1과 같이 연구를 진행하였다.

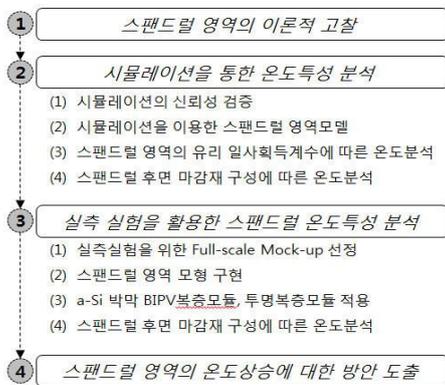


그림 1 연구의 흐름도

스펀드럴 영역에 대한 이론적 고찰 이후 변수에 따른 유리 표면온도 특성을 예측하기 위해 동적에너지 해석 프로그램인 EnergyPlus를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 해석에 앞서 시뮬레이션 프로그램의 신뢰성을

검증하였다. 신뢰성 검증을 마친 후, 사무소 건물을 대상으로 스펀드럴 영역을 구현하여 후면 마감재 특성에 따른 유리의 표면온도 특성을 분석하여 스펀드럴 영역의 온도상승에 대한 방안을 예측하였다. 다음 단계로 투명복층창과 a-Si BIPV가 적용된 Full-Scale Mock-up을 선정하여 스펀드럴 영역을 구현하였으며, 후면 마감재 특성에 따른 표면온도 및 후면 중공층 온도특성 실험을 실행하였다.

2. 커튼월 구조의 스펀드럴

2.1 스펀드럴 부분의 온도상승에 따른 변수
다음 그림 2는 커튼월 구조 입면도 및 단면도를 나타낸 것이다.

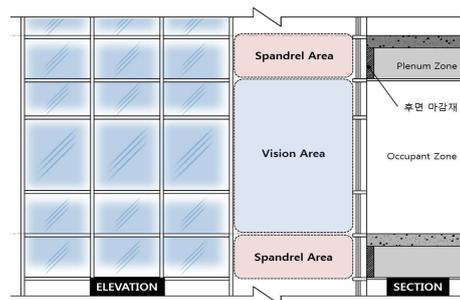


그림 2 커튼월 구조의 스펀드럴 부분의 구성도

스펀드럴 공간의 열 축적에 따른 온도 상승의 변수는 창호유리를 통한 일사에 의한 열의 유입으로 유리의 일사획득계수에 따라 유리 내부로 유입되는 열의 양이 변화되어 내부 온도에 영향을 미치게 되며, 또한 스펀드럴 후면에 마감된 재료의 특성과 밀폐공간의 체적에 따른 수용열량이 변함에 따라 스펀드럴 영역의 온도상승에 영향을 미친다. 유리의 열과손은 중심부와 주변부의 온도차에 의해 저온부분 인장응력(열응력)이 발생하여 야기되며, 열응력은 유리 중심부와 주변부분의 온도차에 비례하고, 유리의 모서리강도를 초과하는 인장응력이 발생하면 열과손이 발생한다.[4] 또한 스펀드럴 영역에 판유리를

적용할 경우 온도상승으로 인한 휨내력 성능 저하 및 허용변위저감으로 인한 취성파괴가 발생할 수 있다. 반면 접합유리는 판유리와 달리 최대 변형도에 도달하여 1차 파괴 된 후, 접합된 후면유리가 추가적인 휨저항 성능을 발휘하여 급격한 취성파괴에 이르지 않는 것으로 나타났다.[3]

3. 시뮬레이션을 통한 스펠드럴 영역의 온도특성 분석

3.1 시뮬레이션의 신뢰성 검증

Full -Scale Mock-up 실험시설을 이용해 BIPV모듈과 일반창호의 표면 온도를 실측하고, 측정결과에 근거하여 시뮬레이션 해석모델을 보정하는 방법으로 다음 그림 3과 같이 신뢰성을 검증하였다. 다음 표1은 실측온도와 해석온도의 온도차를 분석한 것으로 평균 편차는 2.4℃~2.7℃ 범위로 나타났다.

표 1. 표면온도 오차 분석

	투명 복층모듈		BIPV 복층모듈	
	외부(℃)	내부(℃)	외부(℃)	내부(℃)
평균	2.7	2.4	2.5	2.4
최대	11.0	6.5	8.8	6.1
최소	0.0	0.0	0.1	0.1

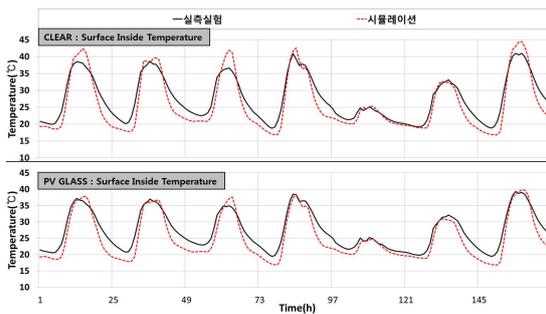


그림 3 투명 복층창호 및 PV복층모듈의 내부표면온도

3.2 시뮬레이션 해석모델의 개요

해석모델의 구성은 그림 4과 같이 스펠드럴공간, 플레넘공간, 재실공간의 3개 Zone으로 구분하였고, 규모는 너비 3m, 깊이 6m, 재실 공간 높이 2.7m, 스펠드럴 공간의 높이

0.6m 이며, 커튼월 창호를 제외한 벽은 단열 경계조건화 하여, 같은 층의 양쪽 실간 열의 전달이 없다는 가정 하에 해석을 수행했다.

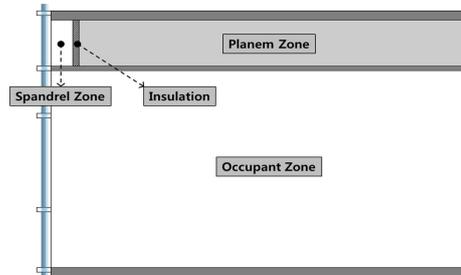


그림 4 표면온도 분석을 위한 시뮬레이션 모델

기상데이터는 인천지역 표준기상데이터를 활용하였고, 재실자의 재실밀도는 0.2인/m², 조명밀도는 20.0W/m², 기기밀도는 22.0W/m²로 가정하였으며,[8] 실내 설정온도는 난방의 경우 20℃, 냉방은 25℃를 적용하였다.

3.3 시뮬레이션을 이용한 SHGC 및 후면마감재 구성에 따른 표면온도 특성 분석

창면의 SHGC를 0.1에서 0.9까지 변화에 따른 스펠드럴 복층창호의 표면온도는 그림 5과 같이 나타났다. 분석한 결과 SHGC 증가에 따라 실내외 표면온도차가 급격히 증가하는 것으로 나타났으며, 실외 측 대비 실내 측의 표면온도는 급격한 증가율을 보였다.

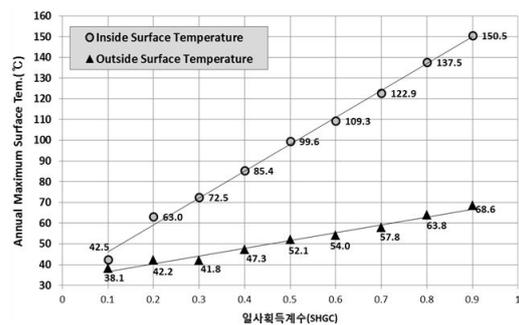


그림 5 SHGC 변화에 따른 연중 내·외측 최고온도

후면 마감재의 구성에 따른 표면온도특성 분석은 내부흡수율, 후면 단열재의 적용간격,

단열성능 총 24 조건에 따라서 분석을 실시하였다. 분석 결과는 다음 표 2에 나타냈다.

후면마감재 구성에 따라 표면온도의 상승 효과는 매우 큰 것으로 나타났으며, 각 조건에 따른 최고온도를 분석한 결과, 전체적으로 BIPV복층 모듈 대비 투명복층모듈의 온도상승은 높게 나타났다. 투명복층모듈의 가장 높은 온도는 외측이 71.2℃, 내측이 164.3℃로 흡수율 0.9, 열저항 2.5m²/W℃의 조건으로 분석되었으며, 투명복층모듈의 가장 낮은 온도는 외측이 44.3℃, 내측이 64.6℃로 흡수율 0.1, 열저항 0.115m²/W℃로 분석되었다. 다음 표 2에 도출된 부위별 표면온도는 다양한 조건 별로 분석하기 위해 검증된 해석이론을 포함하는 시뮬레이션도구를 활용한 결과로서 흡수율과 간격 이외의 해석조건과 실제조건이 부합하지 않을 경우 온도가 상이할 수 있다.

표 2 후면마감재 구성에 따른 내·외측 유리표면온도

창호 분류	후면마감재 분류			외측유리(℃)	내측유리(℃)
	흡수율	간격(cm)	단열성능(m ² /W℃)		
BIPV 복층 모듈	0.1	50	0.115	37.4	42.8
			2.5	38.1	45.9
		25	0.115	38.2	46.5
			2.5	39.9	55.6
		5	0.115	39.2	45.4
			2.5	41.1	57.2
SHG C=0.1 86	0.9	50	0.115	37.4	42.7
			2.5	38.2	46.4
		25	0.115	38	46
			2.5	40	56.8
		5	0.115	39.1	45.4
			2.5	41.6	62.1
투명 복층 모듈	0.1	50	0.115	44.3	64.6
			2.5	47.4	77.9
		25	0.115	46.9	71.3
			2.5	55.1	99.7
		5	0.115	46.6	62
			2.5	54.5	92.2
SHG C=0.8 23	0.9	50	0.115	44.3	66.2
			2.5	48.6	87.5
		25	0.115	47.2	79.1
			2.5	61.9	132.6
		5	0.115	48.9	83.2
			2.5	71.2	164.3

4. 스펠드릴 조건에 따른 측정 실험

본 장은 이론적 해석을 통하여 스펠드릴 부위에 마감 구성에 따른 내·외측 유리의 표면온도 특성을 분석하고, 이를 바탕으로 Full-scale Mock-up 모델을 선정하여 다음과 같은 실측 실험을 진행 하였다.

4.1 a-Si 박막 BIPV복층모듈 및 실험개요

다음 그림 3은 실험에 활용된 Mock-up 구성도이며, 남측면 a-Si BIPV복층모듈과 일반 투명복층모듈이 함께 적용되어있다.



그림 3 실험체가 적용된 Mock-up 구성도

본 실험에 적용된 BIPV복층모듈은 투광성을 가지도록 레이저-스크라이핑된 아몰포스계열 실리콘 박막태양전지(a-si PV) 단판모듈을 복층화한 BIPV복층모듈과 일반적인 투명복층모듈을 사용하였다. BIPV복층모듈은 10mmPV유리 + 12mmAir + 5mm투명유리로 구성되었으며, 열관류율 2.668W/m²℃, 일사획득계수 0.186, 가시광선투과율 7.6% 이다. 투명복층모듈은 5mm투명유리 + 12Air + 5mm투명유리로 구성되었으며, 열관류율 2.707W/m²℃, 일사획득계수 0.823, 가시광선투과율 83.5% 이다.

4.2 측정 방법

2011년 7월 ~ 2011년 11월까지 5개월 동안 남측 수직벽에 적용된 a-Si BIPV복층모듈과 일반투명모듈의 내·외부표면온도를 다음 그림 4와 같이 측정 5 지점, 중공층 공기온도 1 지점을 매 1분간의 평균값 데이터를 측정하여 분석을 수행하였다.



그림 4 데이터 측정 방법 및 적용된 실험체

실험에는 SHGC가 각기 다른 투명복층모듈과 a-Si BIPV복층모듈에 대한 비교를 기본 조건으로 선정하고, 다음 표 3과 같은 조건으로 실험을 실행 하였다.

Case 1은 투명복층모듈과 마감재(단열재)의 간격을 5cm, 내부 흡수율 0.17(흰색 마감재)를 기준으로 중공층 간격에 변화를 두어 측정하였으며, Case 2는 Case 1의 대안에 기준으로 후면 단열성능에 따라 측정하였다. Case 3 또한 Case 1과 동일한 조건하에 내부마감 흡수율에 따라 실험하였으며, 이에 따른 내부 표면온도 및 중공층 공기온도의 변화를 측정하였다.

표 3 실험 변수에 따른 Case 분류 (BIPV복층모듈과 투명복층모듈)

Case	내부 마감재변수조건	창면으로부터 이격거리
Case 1	내부흡수율(백색_0.17)	5cm
		50cm
Case 2	A_단열재(열저항 1.66 $m^2/W^{\circ}C$)	5cm
	B_폼보드(열저항 0.2 $m^2/W^{\circ}C$)	
Case 3	내부 흡수율(검정색_0.93)	5cm
	내부 흡수율(백색_0.17)	

4.3 실측 실험을 통한 온도특성 분석

(1) 단열재 이격거리에 따른 온도특성

BIPV복층모듈과 투명복층모듈을 대상으로 CASE 1의 조건에 따라서 각 온도변화특성을 고찰하였다. 표 4는 실험 대표일(2011년 10월 27일)에 대하여 Case 1에 대한 분석결과, 내부표면온도의 경우 가장 높은 온도를 나타낸 조건은 투명복층모듈이 적용된 이격거리 5cm로 82.1 $^{\circ}C$ 를 보였고, 이격거리 50cm에서는 76.0 $^{\circ}C$ 로 나타났다. BIPV복층모듈이

적용된 조건은 이격거리 5cm에서 61.4 $^{\circ}C$, 50cm에서는 55.9 $^{\circ}C$ 로 투명복층모듈대비 낮은 온도가 유지되는 것으로 분석되었다. 중공층 공기온도를 분석한 결과, 투명복층모듈의 경우 이격거리 50mm는 94.2 $^{\circ}C$, 500mm는 84.7 $^{\circ}C$ 로 나타났으며, BIPV복층모듈은 50mm, 500mm에서 각각 60.3 $^{\circ}C$, 53.1 $^{\circ}C$ 를 보였다.

표 4 Case 1에 따른 내부표면·중공층 온도

창호	측정 지점	간격(cm)	최소	최고	평균
BIPV 복층 모듈	내부표면	5	2.1	61.4	42.7
		50	3.4	55.7	39.8
	중공층	5	2.7	60.3	42.0
		50	4.2	53.1	37.3
투명 복층 모듈	내부표면	5	3.2	82.1	57.4
		50	4.1	76.0	54.2
	중공층	5	4.5	94.2	66.0
		50	5.9	84.7	60.8

일사량이 100W/m²을 넘는 시간 때의 측정값

(2) 후면마감재 단열성능에 따른 온도특성 투명복층모듈에 A를 적용하였을 때 78.9 $^{\circ}C$ 로 가장 높게 나타났으며, B의 경우 17.2% 감소한 65.3 $^{\circ}C$ 로 나타났다. BIPV복층모듈은 A와 B가 각각 54.6 $^{\circ}C$, 47.9 $^{\circ}C$ 로 분석되었고, 중공층 온도를 분석한 결과, 투명복층 모듈에 A, B를 적용하였을 때 각각 93.6 $^{\circ}C$, 72.7 $^{\circ}C$ 로 나타났으며, BIPV복층모듈에서는 각각 54.0 $^{\circ}C$, 44.2 $^{\circ}C$ 로 4.1에서의 결과와 동일하게 BIPV모듈을 적용하는 것이 온도상승 저감효과가 있으며, 또한 단열성능이 저하될수록 침기 및 전도 손실 등의 영향으로 온도가 크게 상승하지 않는 것으로 분석되었다.

표 5 Case 2에 따른 내부표면·중공층 온도

창호	측정지점	단열상태	최소	최고	평균
BIPV 복층 모듈	내부표면	A_단열재	3.5	54.6	39.3
		B_폼보드	5.0	47.9	35.4
	중공층	A_단열재	4.0	54.0	39.1
		B_폼보드	5.5	44.2	33.0
투명 복층 모듈	내부표면	A_단열재	4.5	78.9	57.9
		B_폼보드	5.6	65.3	49.5
	중공층	A_단열재	5.1	93.6	65.7
		B_폼보드	6.3	72.7	55.3

일사량이 100W/m²을 넘는 시간대의 값

(3) 내부마감재 흡수율 따른 온도특성
투명복층모듈의 경우 검정색 마감재 적용했을 때 108.9℃, 백색 마감재는 88.7℃로 흑색 대비 18.5% 낮게 나타났으며, BIPV복층모듈을 적용한 조건은 검정색이 68.2℃, 백색은 66.0℃로 분석되었다. 중공층 온도는 투명복층모듈의 검정색마감 조건은 121.6℃, 백색마감 조건은 105.7℃로 13%의 감소율을 보였고, BIPV복층모듈의 검정색 조건은 68.6℃, 백색 마감재는 64.9℃로 5.3%의 감소율을 나타냈다.

표 6 Case 3에 따른 내부표면·중공층 온도

창호	측정지점	흡수율	최소	최고	평균
BIPV 복층 모듈	내부표면	백 (0.17)	9.0	66.0	49.4
		검정 (0.98)	9.3	68.2	50.9
	중공층	백 (0.17)	9.4	64.9	48.7
		검정 (0.98)	9.6	68.6	51.4
투명 복층 모듈	내부표면	백 (0.17)	10.3	88.7	66.4
		검정 (0.98)	11.0	108.9	81.9
	중공층	백 (0.17)	11.4	105.7	77.3
		검정 (0.98)	12.0	121.6	90.0

일사량이 100W/m²를 넘는 시간대의 값

5. 결론

본 연구에서는 시뮬레이션을 통하여 커튼월구조의 스펠드럴 부위에 BIPV창호 적용 및 후면 마감재 구성에 따른 내·외측 유리의 표면온도특성을 분석하고, 이를 바탕으로 Full-scale Mock-up 모델을 선정하여 다음 표 3과 같이 유리내부표면온도 및 중공층 온도특성을 실측을 통하여 분석하였다. 도출된 결과는 다음과 같다.

- (1) 스펠드럴 부위의 복층창호 내외측 유리 표면온도는 창호의 SHGC에 따라 급격한 온도 상승이 나타났다.
- (2) 후면마감재 구성에 따른 분석 측면에서 BIPV복층모듈 대비 투명복층모듈의 온도 상승폭이 큰 것으로 분석되었으며, BIPV복층모듈 적용 측면에서 가장 높은 온도는 외측표면이 41.6℃, 내측표면이 62.1℃로 외측표면온도의 표준편차는 1.4, 내측표면온도의 표준편차는 6.6으로 나

타났다. 반면 투명복층모듈의 최고온도는 외측표면 71.2℃, 내측표면 164.3℃로 외측표면 온도의 표준편차는 8.1, 내측표면온도의 표준편차는 30.3으로 나타났다.

- (3) 실측실험을 통하여 스펠드럴 영역의 후면 마감재 구성에 따른 온도특성 분석 결과, 스펠드럴 부위의 후면 중공층 체적이 증가할수록, 후면 마감재의 단열 성능이 저하 될수록, 내부흡수율이 낮아질수록 창면의 내부표면온도 및 중공층 온도는 감소하는 것으로 나타났으며, 모든 조건에서 투명복층모듈 대비 BIPV복층모듈의 온도 상승 저감효과는 큰 것으로 분석되었다.

따라서 본 연구는 한정된 해석조건 하에 이론적 해석과 실측실험을 통하여 스펠드럴 영역의 온도 특성을 정량적으로 분석하고, 온도상승 저감방안에 대한 기초자료를 구축하였다. 향후 본 연구의 실측결과에 기준해 다양한 적용조건에 대한 BIPV발전성능과의 상관관계에 대한 추가연구를 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

1. <http://en.wikipedia.org/wiki/spandrel>
2. 윤종호 외, 커튼월 스펠드럴용 BIPV의 온도 및 열과괴 가능성 연구, 대한건축학회논문집, 2012. 1
3. 이문환 외, 접합유리의 분위기 온도에 따른 휨내력특성 연구, 대한건축학회논문집, 2009. 1
4. 김광만, 이인혁 저, 건축시공이야기, 2007
5. 윤종호 외, 주택 지붕일체형 PV시스템 후면환기에 따른 발전성능 변화 실험연구, 한국태양에너지학회 논문집, 2007. 3
6. 국토해양부, 2009 건축구조기준, 2009.12
7. 신치웅 외, SI단위 공기조화설비, 2008
8. EnergyPlus Engineering Reference, Lawrence Berkeley National Laboratory, Oct 2010
9. Frederick C. Winkelmann, Modeling Windows in EnergyPlus, IBPSA, Building Simulation, Sept 2011