



건물일체형 태양광(BIPV) 발전형 커튼월의 신뢰성 검증을 위한 실험적 성능 평가에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Performance Evaluation of Building Integrated Photovoltaic (BIPV) Generated Curtain-Wall for Reliability Verification

류의환* · 박종호** · 이승준***

Eui-Hwan Ryu* · Jong-Ho Park** · Seung-Joon Lee***

* Outdoor Demonstration Test Center, Korea Conformity Laboratories, Jincheon, Korea(redfacereh@kcl.re.kr)

** Coauthor, Outdoor Demonstration Test Center, Korea Conformity Laboratories, Jincheon, Korea(pjh1086@kcl.re.kr)

*** Corresponding author, Outdoor Demonstration Test Center, Korea Conformity Laboratories, Jincheon, Korea(seungjoon2.lee@kcl.re.kr)

ABSTRACT

Purpose: The Building Integrated Photovoltaic (BIPV) module is a module that applied building as curtain-wall and acts as a building exterior while simultaneously producing electricity. BIPV modules can be used in various forms (curtain wall, roofing material, etc.). Among them, the BIPV curtain wall is an actively being developed building material that can effectively receive sunlight by replacing the building envelope. BIPV Curtain wall should simultaneously have reliability as both building material and PV module because the BIPV curtain walls are directly exposed to the harsh environment and cause building exterior damaged. **Method:** Through the analysis of domestic and international standards, the BIPV curtain wall full scale evaluation method is derived, and the method is verified by practical full scale evaluation. **Result:** The BIPV curtain wall performance evaluation method was developed and in order to verify the validity, we built BIPV Mock-up which simulated actual construction. Structural performance was evaluated through air infiltration and exfiltration test, water penetration test, wind pressure test and structural deformation test. Electrical continuity test and insulation test were performed to evaluate the electrical performance. In addition, performance of the module applied to the mock-up was evaluated by comparing power generation before and after each tests.

KEYWORD

건물일체형 태양광 발전
커튼월
BIPV 커튼월
실험적 평가

Building Integrated Photovoltaics
Curtain Wall
BIPV Curtain-Wall
Full-scale Test

ACCEPTANCE INFO

Received Mar 4, 2019
Final revision received Mar 20, 2019
Accepted Mar 25, 2019

© 2019 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

태양광 발전시스템은 기존의 화력, 수력, 원자력 등의 발전시스템을 대체하는 신재생에너지 발전시스템 중에 하나로, 2016년 기준 전 세계적으로 75[GW]가 설치되었으며 누적 설치량이 약 303[GW]가 설치되어 다른 신재생에너지에 비해 활발하게 보급되고 있다. 또한 정부의 에너지 3020정책에 의해 17년 재생에너지 발전량 총 15.1[GW]의 38%인 5.7[GW]에서 30년 목표 총 63.8[GW]의 57%인 36.5[GW]까지 태양광의 규모와 비중을 늘릴 계획을 발표했다 [1]. 건물, 도로, 농지, 철도 등의 시스템과 통합시스템으로 적용할 수 있다는 장점을 가지고 있으며, 특히 BIPV(Building Integrated PhotoVoltaics) 시스템은 기존 건축시스템에 태양광 발전시스템이 통합되어 건축물 기능과 태양광 발전기능을 만족시키는 대표적인 통합시스템이라고 할 수 있다. BIPV 시스템은 건물의 지붕 및 입면에 외벽마감재를 PV 모듈로 대체 하는 시스템으로 전기에너지 생산 이외의 건축물의 외장재로 사용될 수 있으며, 신축건물은 물론 기존

건물에도 쉽게 적용할 수 있으며 유지보수가 쉬운 장점이 있다. 또한 나대지가 부족하고 고층건물이 많은 국내 환경에 가장 적합한 시스템으로 각광받고 있다[2].

커튼월(Curtain Wall)은 건축형태의 한가지로, 하중을 지지하지 않는 건축 외장용 벽체로, 기둥, 보, 바닥판으로 형성되는 구조부(Frame)의 외부에 유리, 금속재 또는 무기질의 재료를 사용하여 건식으로 제작, 설치되는 비내력벽을 총칭하는데 여기서 구조부의 외부에 접합유리를 사용한 태양광 모듈로 설치하여 발전하는 BIPV 커튼월 방식은 신재생에너지 활성화 정책과 건축의 트렌드가 건축물의 외관을 중요시하는 방향으로 형성되는 것과 맞물려 수요가 급격하게 증가하고 있다[3].

일반적으로 커튼월은 건자재로서 내구성, 항기후성 관련 ASTM, AAMA 표준을 준용하여 신뢰성을 검증하고 있으며, 태양광 모듈은 IEC, KS 표준을 준용하여 전기적 성능과 안전성 평가를 통해 신뢰성을 검증하고 있다. BIPV 커튼월은 건자재와 태양광 모듈로써의 특징을 모두 가지고 있는 형태지만 현재 신뢰성 평가 기법 연구가 부족한 상황이다. 따라서 본 논문에서는 BIPV 커튼월의 신뢰성을 검증할 수 있는 통합 실험 평가 방법을 정립하고 이를 바탕으로 실험적 평가를 진행함으로써, BIPV 커튼월 산업의 발전에 이바지 하고자 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

BIPV 커튼월은 두가지 측면에서 볼 수 있다. 첫 번째로는 에너지 공급원으로서, 두 번째로는 건자재 커튼월로서 볼 수 있다. 각 관점에서 국내의 표준을 수집 및 분석을 통해 BIPV 커튼월 통합 실험 평가 방법을 제시하였다. 이를 바탕으로 BIPV 커튼월 실험 평가 모델을 설계 및 제작하여, 정립한 BIPV 표준을 커튼월 실험 평가를 통해 검증하였다. 아래 Fig. 1.에 연구의 방법과 범위의 흐름도를 나타낸다.

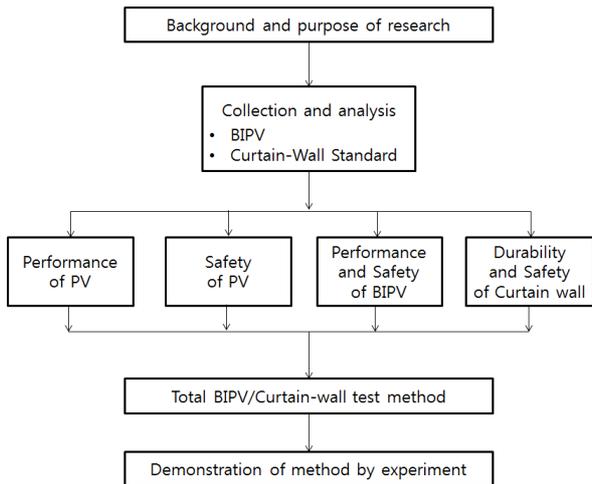


Fig. 1. Scope and method of research

2. 관련 연구 분석

2.1. 관련 표준 분석

1) 태양광 모듈 관련 표준 분석

국내 BIPV의 품질 및 성능평가, 안전을 위한 표준으로 4가지가 있으며, 아래 Table 1.에 정리하였다.

Table 1. Standard on Photovoltaics

Division		Standard
PV module Performance	c-si PV module	KS C 8561 ^[4]
	a-si PV module	KS C 8562 ^[5]
Safety of PV module		KS C 8563 ^[6]
Performance and Safety of BIPV		KS C 8577 ^[7]

Table 1.에서 보는 바와 같이 태양광 모듈은 일반 PV 모듈과 BIPV 모듈로 나누어 볼 수 있다. 상용화 되고 있는 실리콘 PV 모듈은 결정형과 박막형이 있으며, 효율은 결정형이 약 15%, 박막형이 약 8% 정도이고, 가격은 박막형이 결정형에 비해 저렴하지만 결정형 생산 기술의 발전으로 그 차이가 좁혀지고 있는 추세이다[8]. 결정형 실리콘 PV 모듈의 성능은 국내표준인 KS C 8561의 19 항목의 시험방법 및 품질기준을 통해 인증을 받을 수 있으며, 박막 PV 모듈은 KS C 8562의 20가지 항목의 시험 항목과 품질기준을 통해 인증을 받을 수 있다[9]. 두 시험은 공통적으로 육안을 통해 모듈의 외관을 검사하는 육안검사부터 일정 조건에서의 발전 정격용량을 보는 최대출력결정 등의 시험은 IEC 61215와 IEC 61646을 준용하고 있

으며, KS 표준의 특이점으로 3면이 바다로 둘러싸여 있는 국내 현황에 맞춘 소금기 있는 수분에 대한 영향을 보는 염수 분무시험 등을 추가 한 점이다.

BIPV의 경우 KS C 8577의 13가지 전기 성능평가 항목과 2가지 구조적 성능평가 항목, 7가지 안전 성능평가 항목을 통해 인증을 받을 수 있으며, 앞에서 언급한 IEC의 PV 모듈 시험방법과 IEC 61730을 준용하고 있고, PV 모듈과의 차이점으로는 BIPV모듈의 경우 PV 모듈에 비해 사람과의 거리가 아주 가까운 곳에 설치되며 건축자재의 역할을 하므로 모듈파괴시험을 통해 물리적 충격에 의한 파편 튕을, 내화·내열 시험을 통해 화재 등에 의한 인적피해를 방지하기 위한 목적의 시험들이 추가되어 있다[10].

2) 커튼월 관련 표준 분석

국내에는 창호 관련 표준은 존재하지만 커튼월에 대한 표준은 존재하지 않는다. 국토해양부의 건축공사 표준시방서에도 커튼월에 대한 표준은 ASTM과 AAMA의 표준을 따른다. 국외 표준으로는 미국, 유럽, 중국, 일본의 표준이 대표적이며 가장 범용적으로 이용되는 것은 미국의 ASTM과 AAMA의 표준이다. 유럽의 경우 비내력벽으로서 건물외피의 역할인 보호, 안전 등의 조건을 구체적으로 명시해 놓았으며 중국, 일본 등과 비슷하다. 특이점으로 중국의 상해시공정건설규범에서 태양광이 설치된 커튼월에 대한 설계기준이 있다는 점이다. 아래 Table 2.에 국내에서 가장 범용적으로 사용되고 있는 미국의 커튼월 표준을 정리하였다.

Table 2. Standard on curtain-wall

Division		Standard
Air leakage test		ASTM E 283-04 ^[11]
Water leakage test	Static pressure	ASTM E 331-00 ^[12]
	Dynamic pressure	AAMA 501.1-05 ^[13]
Structure performance test		ASTM E 330-02 ^[14]
Level displacement test		AAMA 501.4-00 ^[15]
Thermal circulation test		AAMA 501.5-07 ^[16]

기밀 성능 시험의 경우 시료에 일정 압력을 유지한 뒤 새어나오는 공기량을 측정하는 시험으로 판별기준은 새어나온 공기의 양을 일정 기압, 온도, 밀도의 상태로 환산하여 판별한다. 수밀성능 시험의 경우 시료에 일정량의 물을 살수하여 누수 발생 여부로 판별한다. 구조성능시험의 경우 일정 압력의 바람을 가해 주었을 때 각 지점의 최대 변위량을 측정하며, 재질에 따라 허용치가 다 다르다. 층간 변위 시험은 지진을 가정하여 시험하며 일정량의 층간 변위량을 인위적으로 유발한 후 시험 전의 상태와 비교하여 내진성능을 검토 한다. 열순환 시험은 별도의 챔버를 통해 시료를 고온과 저온을 반복한 뒤 기밀, 수밀 시험의 반복을 통해 열에 의한 창호의 영향을 판단하는 시험이다.

3) 문제정의

BIPV 커튼월은 외부 환경에 직접적으로 노출됨으로써 사용 환경에 의한 파손 확률이 높다. 건자재로써 여름과 겨울철 실내외의 온도 차이로 인해 유리 와 프레임의 접착면에 응력이 작용하여 파손되는

경우가 발생하기도 하며, 바람에 의한 지속적인 스트레스로 파손되는 경우도 많다. 또한 발전원으로써 발전의 지속성과 전기적 안전이 보장되어야 하지만 외부 환경에 의한 영향과 전류의 흐름으로 발생하는 힘의 영향으로 모듈 자체가 파손되어 발전량의 저하가 발생할 수 있으며, 커넥터가 파손되거나 피복의 벗겨져 지락에 의한 누전 및 감전사고, 선간단락으로 인한 화재사고 등이 발생 할 수 있기 때문에 BIPV 커튼월은 건축자재 측면과 에너지 공급원 측면 모두에서 신뢰성(구조적 안정성, 수밀성, 기밀성, 전기안전성)을 확보 할 필요성이 있다. 따라서 본 논문에서는 에너지원으로써의 평가는 BIPV 모듈 성능 평가 표준인 KS 표준을 준용하고 건축자재측면에서의 평가는 Table 2.와 같이 AAMA, ASTM을 준용하여 BIPV 커튼월의 통합 실험 방법을 정립하고자 한다.

2.2. 통합 실험 평가 모델의 설계

1) 통합 실험 평가 방법에 대한 모델링

BIPV 커튼월은 전기를 생산하는 발전 시스템이면서 외부 환경에 직접 노출되는 외장재적 역할을 수행하고 있다. 그러므로 BIPV 커튼월의 신뢰성을 평가하기 위해서는 두가지 관점을 모두 고려하여 평가를 하여야 한다. 건축물의 외장재적 관점에서 보면 태풍에 의한 풍하중, 온도차에 의한 파손 등이 신뢰성 저하의 원인이 되고 있으며 발전 시스템 관점에서 보면 태풍, 지진에 의한 성능 저하 및 배선 손상으로 인한 전류 누설로 치명적인 인명피해를 받을 수 있다. 따라서 본 통합 실험 평가 방법에 대한 모델링에서는 BIPV 커튼월의 발전시스템과 외장재로써의 신뢰성 검증을 위하여 Fig. 2.와 통합 실험 평가 모델을 설계하였다. BIPV 커튼월이 외장재로써 태풍, 지진, 바람, 온도차에 영향성을 판단하기 위하여 기밀, 수밀, 내풍압, 층간변위, 열순환 등과 같은 구조적 평가를 구성하였다. 발전시스템으로써 신뢰성을 검증하기 위하여 절연내성, 접지연속성 실험과 같은 전기 안전성 평가를 구성하였다. 또한 전후에 최대출력을 비교 분석함으로써 BIPV 커튼월이 외적 스트레스에 받는 성능 저하를 평가하였다.

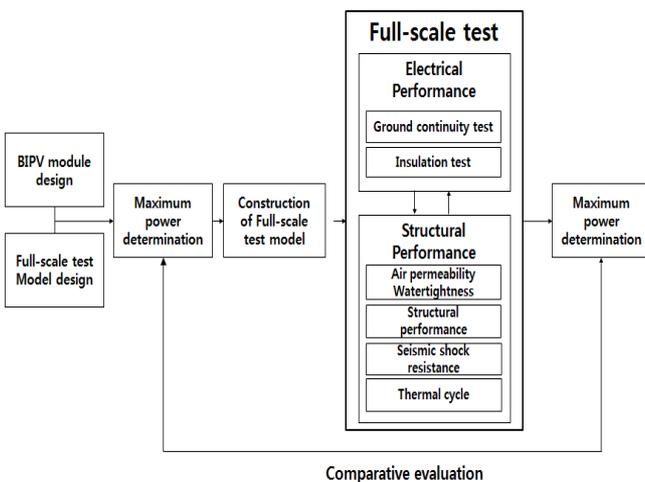


Fig. 2. Modeling on Evaluation method

2) BIPV 태양광 모듈 구성

BIPV 커튼월 실험 평가 모델에 적용될 모듈 선정은 범용적으로 사용하고 있는 결정질 실리콘(c-Si) 모듈과 박막 실리콘(a-Si) 모듈

및 컬러 구현이 가능한 염료감응형(DSC) 태양광 모듈로 한정하였다. Table 3.과 같이 결정질 실리콘 태양광 모듈 3장, 비정질실리콘 박막 태양광 모듈 투과율 0%, 10% 각각 3장, 염료감응형 태양광 모듈 3장으로 구성하였다.

Table 3. BIPV module construction

PV module	type	Transmissivity	Area(m ²)	Quantity
a-Si	GtoG Type	10 %	1.1x1.3	3
c-Si		10 %	1.1x1.3	3
c-Si		1 %	1.1x1.3	3
DSC		-	1.1x1.3	3

3) BIPV 커튼월 실험 평가 모델 설계 및 제작

BIPV 커튼월은 각 건물의 설계 시 건축적인 조건과 외부 환경, 구조적 성능, 내구성, 디자인 등의 다양한 범위에서 고려되어 설계되며, 이러한 이유로 각 건물의 커튼월 프레임간의 디테일 또한 다르게 설계될 수밖에 없다. 따라서 커튼월의 표준안 및 대표 모델의 선정은 불가능 하며, 기본적으로 커튼월 프레임의 요구조건에 충족한 최적의 프레임을 기준으로 본 BIPV 커튼월의 실험 평가 모델을 설계하여야 할 필요가 있다. 커튼월의 프레임은 음영부분을 고려하여 SSG 타입으로 적용하였으며, 배선은 프레임 내부로 통하도록 설계하였다. 테스트에 적용되는 모듈은 결정질, 박막, DSC 모듈의 GtoG 타입으로 구성하였다. 자세한 사양은 아래 Table 4.와 같다.

Table 4. Specification on Full-scale test model

Division		Contents
Area		3 986 mm(W) × 4 506 mm(H)
Finish	Aluminium Frame	Exposed → PVDF Coat Non-Exposed → Milled
	Steel Anchor	Galv
PV Module		c-Si (3ea), a-Si (6ea), DSC (3ea) → 1 100 mm(W) x 1 300mm(H) x 1 ea → 12 ea
Glazing Material	inside	Structural Sealant with Norton Tape
	outside	Weather Silicon Sealant on Back-Up Rod
Back Panel of Spandrel Glass		THK. 0.8T Galv Sheet + 75T Glass Wool

설치 과정은 먼저 알루미늄 커튼월이 앵커링 되는 콘크리트 슬래브 높이에 맞게 구조용 H-Shape 형강(200x200x8x12 & 250x250x9x14)을 사용하여 총 1 개층 분량의 스틸 챔버 제작하였다. 그리고 스틸 챔버에 Steel Anchor를 용접하여 Aluminum Frame 이 설치되는 위치를 잡고 하부 Aluminum Frame부터 Steel Anchor 에 Bolt와 Nut로 체결하여 총 12개층 분량의 프레임을 설치하였다. 이후, 시험체와 챔버 사이의 공간을 50 [mm] Steel 각판과 3×6 합판을 사용하여 챔버를 마감하였으며, 최종적인 코킹작업으로 합판과 합판사이, 그리고 합판과 챔버 사이의 틈새를 밀폐하여 챔버의 기밀성을 확보하여 평가를 원활히 진행할 수 있도록 하였다. 설치된 BIPV 커튼월 실험 평가 모델은 Fig. 3.과 같다.

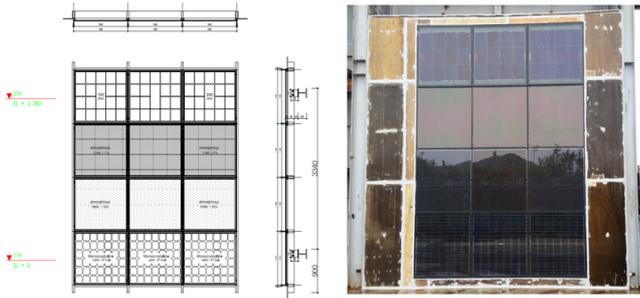


Fig. 3. Full-scale test model

3. BIPV 실험형 성능평가 실험 및 결과

3.1. 통합 실험 조건 및 방법

현재 국내에서 사용하고 있는 태양전지모듈 성능/안전 기준과 커튼월 평가 기준을 아래 Table 5.에 정리하였다. 실험형 평가는 미국의 AAMA 표준과 국제규격 IEC 표준을 사용하여 BIPV 커튼월 실험형 평가를 하였다.

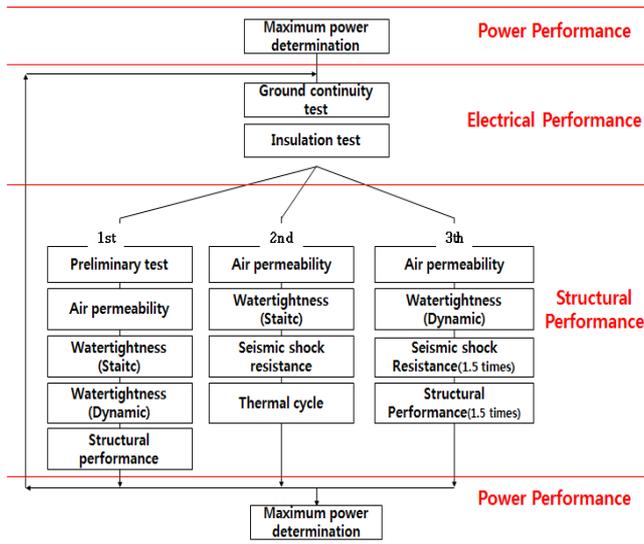


Fig. 4. Full-scale test model

실험형 평가는 AAMA 501.1-05에서 제시한 조건으로 1,2,3차로 나누어 평가를 진행하였으며 구조적 평가 전후로 전기적 안전성을 평가 하였다. 또한 BIPV 태양전지 모듈의 실험형 평가에 의한 영향을 분석하기 위하여 실험형 Mock-up 현장에서 실험형 평가 전후에 발전량을 비교 평가 하였다. 발전량 결정은 IEC 60904 조건을 만족하는 AAA등급의 솔라시뮬레이터를 사용 하였으며, STC 조건 (AM 1.5, 방사조도 1 000 W/m², 온도 25 °C)에서 측정하였다. 자세한 조건은 다음 페이지의 Table 5.에서 볼 수 있으며, 평가 절차는 Fig. 4.와 같다.

3.2. BIPV 커튼월 실험형 평가

1) 전기 안전 평가

BIPV 커튼월의 전기적 안전성을 평가하기 위하여 절연내성평가 및 접지연속성을 평가하였다. 실험형 평가 전후 3차레에 걸쳐 평가

를 진행하였다. 실험형 평가 모델이 설치 된 후 평가하여 최초 설계가 적합하게 되었는지를 확인하였으며 기밀·수밀, 내풍압, 층간변위, 열순환 등의 외장재로서의 스트레스를 받은 후 각각 2차레에 걸쳐 평가하여 전기적 영향성을 확인하였다. 절연 내성 평가 결과, Table 6.에 보이는 바와 같이 3차레 모두 절연 저항값이 500 MΩ 이상(장비 측정 범위: 1~500MΩ) 측정되어 허용치인 0.4 MΩ 이상 조건을 만족하였다.

Table 6. Evaluation result of insulation resistance

Division	Frame 1	Frame 2	Frame 3
First test	> 500 MΩ	> 500 MΩ	> 500 MΩ
Second test	> 500 MΩ	> 500 MΩ	> 500 MΩ
Third test	> 500 MΩ	> 500 MΩ	> 500 MΩ

접지연속성 측정 결과, Table 7.에 보이는 바와 같이 3차레 모두 접지 저항 값이 0.002 ~ 0.003 [Ω]으로 측정되어 허용치인 0.1 [Ω] 이하 조건을 만족하였다.

Table 7. Evaluation result of ground resistance

Division	Frame 1	Frame 2	Frame 3
First test	0.002 Ω	0.003 Ω	0.002 Ω
Second test	0.003 Ω	0.003 Ω	0.002 Ω
Third test	0.003 Ω	0.003 Ω	0.003 Ω

실험형 평가 모델의 경우 설계 과정부터 용량과 시공을 고려하여 설계하였기에 기준 조건에 부합하였지만, BIPV 모듈은 건물에 접합 될 때 프레임을 통해 단자가 정리되므로 도선과 프레임, 건물을 하나의 노드로 볼 수 있다. 그렇기 때문에 발전 용량이 고려되지 않았거나 노후화 된 도선 또는 단자를 사용하게 되면 커튼월의 구조적 시험(구조성능, 열순환 등)으로 발생하는 스트레스로 인해 도선의 피복 벗겨짐 또는 자기 공진에 의한 절연체 파괴로 인한 지락 및 순간단락 사고가 발생하게 된다. 지락의 경우 프레임을 통해 접지로 흐르는 전류에 의해 감전사고가 발생할 수 있으며, 순간 단락으로 인해 내부 저항의 온도가 올라가게 되면 화재가 발생하여 사람이 위협에 노출될 수 있다.

2) 구조적 평가

구조적 평가는 ASTM, AAMA 표준을 준용하여 구조성능, 층간 변위, 열순환 평가 전후로 기밀·수밀을 하여 실험형 평가 모델의 구조적 성능을 평가하였다.

구조성능(내풍압) 평가는 시험체 내부의 공기압을 설계 풍압력 조건으로 시뮬레이션하면서 커튼월 구조의 수직재 및 수평재, 유리 에 가해지는 압력에 따라 각 성분들의 힘을 측정하는 평가로서 일반적으로 건물의 외부 환경(바람의 방향, 지속시간, 지상에서의 높이, 건물 형태, 지역, 주변구조물 등)에 의해 BIPV 커튼월이 풍하중에 어떠한 영향을 미치는지 확인하는데 목적이 있다. 설계 풍압조건은 “국토해양부 건축구조기준에 고시된 건축용 커튼월의 표준설계 풍압산정”기준으로 ± 231 [kgf/m²]으로 Table 8.과 같이 산정하였다.

Table 8. Design wind pressure

Standard wind speed	30 m/s	
Area estimation	B area	C area
Building Estimation	High floor building	High floor building
Design wind pressure	203 kmf/m ²	259 kmf/m ²
	231 kmf/m ²	

평가 결과, BIPV 모듈 모두 Table 9.와 같이 Glass 허용치 범위인 25.4 [mm] 보다 적게 측정되었다. 이는 모듈과 프레임간의 접착이 적합하게 시공된 것으로 보이며, 구조성능 시험 후 수밀·기밀성 확인을 통하여 고층건축물을 모사한 시험체의 구조 설계가 커튼월 설계시 외피로서의 구조적 성능을 만족한 것으로 사료 된다.

층간변위 평가는 지진에 대한 영향성을 보는 평가로써, 구조체에 $\frac{L}{280}$ (12 [mm])의 변위를 가하여 외관상 적합성을 확인하였다. 평가 결과, Fig. 5.에 보이는 바와 같이 결정질, 박막, DSC 모듈에 이상이 없었으며, 평가 후 진행한 기밀·수밀 평가를 진행하였다. 기밀 성능 평가 결과, 단위 면적당 측정 누기량은 0.006 CFM/ft²으로 허용치 0.06 CFM/ft²보다 작게 측정하여 AAMA 501.1-05 허용기준에 만족했으며 수밀 성능 평가 결과, 누수 발생이 없어 기밀성, 수밀성 모두 적합한 것을 확인 할 수 있었다.

Table 9. Result on Structural performance test [Unit : mm]

Division	Positive		Negative	
	50%	100%	50%	100%
DSC module	1.40	3.62	3.73	5.68
a-Si module (10%)	1.99	3.86	2.48	4.98
a-Si module (1%)	2.17	4.20	2.50	5.07
c-Si module	2.23	4.66	4.96	6.12

Table 5. Evaluation methods and reference condition

Test	Evaluation methods	Reference condition
Maximum power determination	Measure using a reference cell under the condition AM 1.5, irradiance 1 000 W/m ² , temperature 25 °C	-
Insulation test	Measure insulation resistance between frame and array	Insulation resistance value more than 0.4 MΩ
Ground continuity test	Measure ground resistance between conductivity parts of module and another conductivity parts	Ground resistance value less than 0.1 Ω
Air permeability	Measure air leakage volume by difference of inside and outside pressure (test pressure : + 7.6 kgf/m2(+ 75 Pa))	Check air leakage volume
Watertightness (Staitc)	Sprinkle water of 204L/m ² h for 15 min	No internal leakage water
Watertightness (Dynamic)	Put in regulation wind using wind blowing machine and Sprinkle water of 204L/m ² h for 15 min	No internal leakage water
Structural performance (Wind Pressure)	Keep designed wind pressure for 10 sec and Measure max displacement of each point +50% → +100% → -50% → -100%	Flexual displacement value less than 25.4 mm
Seismic shock resistance	Give displacement of bi-directional $\frac{L}{280}$ (12 mm) to origin and -----	Check surface of things
Thermal cycle	Outer condition : Hot 180°F(Max.82°C)/Cold : 0°F(-18°C), Inner condition : 24°C(75°F)±3°C, Perform six turn(3 cycle) : hot→cord(vice versa)	Check surface of things

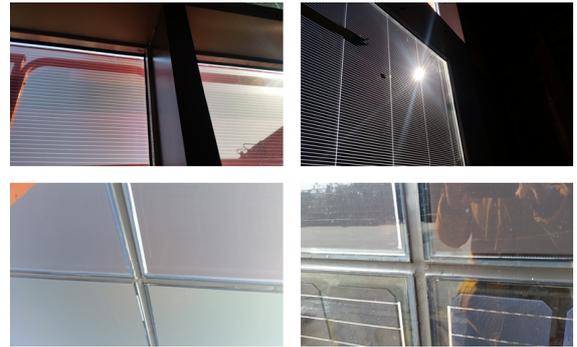


Fig. 5. Result on Seismic shock resistance test

열순환 평가는 시료 외부에 별도의 단열 챔버를 설치한 후 해당 공간의 온도조건을 Fig. 6.과 같이 3 사이클 열순환 하는 평가이다. 열순환시, 실대형 평가 모델의 내부 측정 포인트에서 표면온도를 측정하여 열에 대한 모듈표면의 열적 능력을 확인하였으며, 평가 후 기밀·수밀성능평가를 진행하여 시료의 열적 능력을 간접적으로 평가하였다.

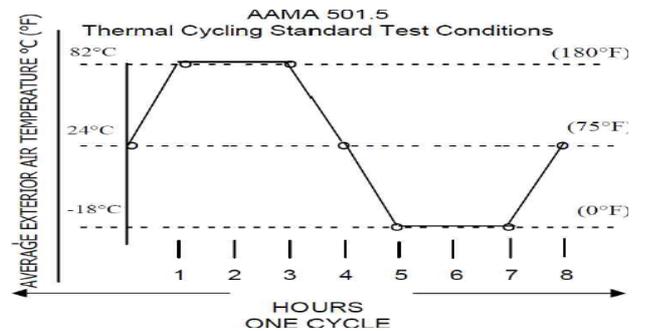


Fig. 6. Cycle on Thermal cycle test

열순환 평가 결과, Fig. 7.과 같이 측정되었다. DSC모듈의 표면이 가장 높게 측정 되었으며, 결정형 모듈의 표면이 가장 낮게 측정되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 열순환 평가 후, 기밀성은 누기량이 허용치 기준 0.06 CFM/ft²보다 작게 측정되었으며 수밀성은 누수 발

생이 없었으므로 기준에 만족한 것을 확인하여 시료의 열적 능력을 간접적으로 평가할 수 있었다.

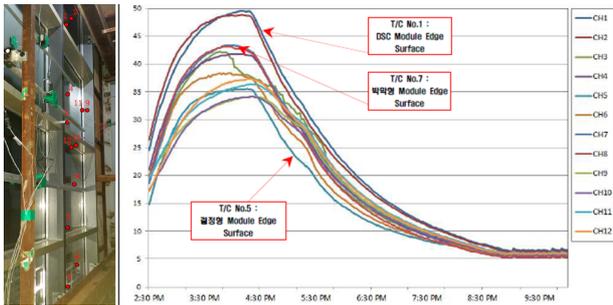


Fig. 7. Result on Thermal cycle test

3.3. 최대출력 비교 분석

실험형 평가 전후 최대출력을 측정하여 외적 스트레스에 대한 모듈 성능의 영향성을 분석하였다. 모듈별 대표군을 선정하여 측정하였으며 측정 값은 Table 10.에 정리하였다.

발전량의 변화율은 DSC > 박막(1%) > 결정질 > 박막(10%) 순으로 나타났으며 이는 DSC 모듈은 기존 BIPV 모듈과 달리 24T 유리(24 [mm])를 대신하여 16T 유리(16 [mm])를 사용함으로써 내부에 셀이 받는 외부 충격 및 기밀, 수밀성에 대한 강도가 기존 BIPV 모듈에 비하여 크게 작용한 것으로 판단된다.

Table 10. Comparison of determination power before/after

Sample No.	Before	After	Error Factor(%)
	Pmax(W)	Pmax(W)	
c-Si module	161.63	158.98	1.67
a-Si module (10%)	98.13	97.69	0.45
a-Si module (1%)	110.91	105.98	4.65
DSC module	11.29	10.65	6.01

4. 결론

본 논문에서는 국내의 BIPV 모듈의 표준과 커튼월의 표준 분석을 수행함으로 현재 이렇다할 기준이 없는 BIPV 커튼월의 표준을 제시하였으며, 실험형 Mock-up을 통해 제시한 표준의 시험을 수행해 봄으로써 향후 BIPV 커튼월 시험의 기반이 될 BIPV 모듈의 성능과 안전성/커튼월의 내구성 및 공기후성 데이터를 제공하였다.

1) 건물일체형 태양광(BIPV) 발전 커튼월의 통합 실험 평가 방법을 제시하기 위한 바탕연구로 PV모듈과 BIPV모듈의 국내표준인 KS C 8561, 8562, 8563, 8577과 커튼월의 국제표준인 ASTM과 AAMA의 표준을 분석하였다. 제시하고 있는 실험 평가 방법은 커튼월 시험 평가 방법을 기반으로 하여 커튼월에 대한 신뢰성을 기본으로 가져 갈 수 있으며, 모듈의 발전 능력을 보기위한 최대 출력결정을 실험의 최초와 최후에 수행함으로 발전 성능에 대한

신뢰성을 확보하고자 하였고, 절연저항과 접지저항을 3차에 걸쳐 진행되는 커튼월 시험의 말단에 수행하여 전기 안전에 대한 신뢰성 또한 확보하고자 하였다.

- 2) 정립한 통합 실험 평가 방법을 위해 모델링 한 BIPV 실험형 평가는 구조적 평가와 전기 안전 평가로 나눌 수 있다. 구조적 평가에서는 기밀·수밀, 구조 성능, 열순환 평가 등을 통하여 고층건축물을 모사한 시험체의 구조 설계가 커튼월 설계시 외피로서의 구조적 성능에 만족하는 것을 확인 하였다. 내풍압 실험의 경우 규정 된 풍압을 지속적으로 가해 커튼월의 변형(휨)을 확인 한 결과 허용범위인 25.4[mm] 내의 변형을 보임으로 적합한 시공으로 판단 할 수 있었다. 전기 안전의 시험으로 절연저항과 접지저항을 측정 한 결과 선정 한 4가지 종류의 모듈 프레임의 절연저항이 모두 500[MΩ]이상으로 기준인 0.4 [MΩ] 이상으로 측정되어 이상없음 판정을 내릴 수 있었으며, 접지저항을 측정 한 결과 기준치인 0.1[Ω] 이하의 값 이하의 값을 확인하여 이상없음으로 판단 할 수 있었다. 또한 BIPV 커튼월의 외피로서의 특성에 의한 시험으로 풍하중에 의한 변형으로 인한 마이크로크랙과 같은 모듈 손상으로 발전량의 감소를 보일 수 있기 때문에 최초와 최후에 시행하는 최대출력결정을 통해 발전량을 측정 한 결과 결정질 실리콘 모듈이 1.67%, 박막형 실리콘 모듈이 0.45%에서 4.65%, DSC 모듈이 6.01% 감소하는 것을 확인 할 수 있었는데, 모듈 자체의 내구성과 접합되는 유리 두께를 가장 큰 원인으로 볼 수 있다.
- 3) 본 논문에서 제시하고 있는 통합 시험 평가 방법의 견고한 신뢰성 확보를 위해 다양한 시험체의 반복적인 시험으로 데이터를 누적 하는 추가 연구가 필요할 것으로 판단 된다.

Acknowledgement

본 연구는 2017년 산업통상자원부 에너지기술개발 사업의 “건자재형 BIPV 모듈·시스템 개발과 실증을 통한 옥외 성능평가 기술개발”(과제번호:20173010013420) 및 2018년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 기후변화대응기술개발사업(과제번호:NRF-2016M1A2A2940925)의 지원으로 이루어졌습니다.

Reference

- [1] 김진오, 재생에너지 3020 이행계획에 대한 이슈, 에너지 수급 브리프, 2018.02 KEEI // (Jin-Oh Kim, Issues on the Implementation Plan of 3020 of Renewable Energy, Energy Supply Brief, 2018.02, KEEI)
- [2] 이상문 외 1인, BIPV시스템의 건물적용 실증에 대한 구성요소별 발전 성능 분석, 한국태양에너지학회 논문집 제 36권 제2호, 2016.04 // (Sang-moon Lee et, A study on the performance of various BIPV modules applied in a real building demonstration, Journal of THE KOREAN SOLAR ENERGY SOCIETY, Vol.36, No.2, 04. 2016)
- [3] 이재승, 임현창, 김형준, 김홍열, 조봉호, 커튼월의 내화 성능에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집 구조계, 2011. 07 // (Jae-Sung Lee, Hyun-Chang Yim, Hyung-Jun Kim, Heung-Yeal Kim, Bong-Ho Cho. An Experimental Study on the Evaluation of Fire Resistance Performance of Curtain-Wall. JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Structure & Construction, Vol.27, No.7, 07. 2011, 141-148)
- [4] KS C 8561 "결정질 태양전지 모듈(성능)", 2016 // KS C 8561 "Crystalline silicon photovoltaic(PV) module(performance)"
- [5] KS C 8562 "박막 태양전지 모듈(성능)", 2015 // KS C 8562 "Thin

- film photovoltaic(PV) module(performance)"
- [6] KS C 8563 "태양광발전(PV) 모듈(안전)", 2015 // KS C 8563 "Photovoltaic(PV) module(safety qualification)"
 - [7] KS C 8577 "건물일체형 태양광 모듈(BIPV) - 성능평가 요구사항", 2015 // KS C 8577 "Building integrated photovoltaics(BIPV) modules - The requirement of performance evaluation"
 - [8] IEC 61646 "Thin-film terrestrial photovoltaic(PV) module-Design qualification and type approval", 2008
 - [9] IEC 61215 "Crystalline silicon terrestrial photovoltaic(PV) module-Design qualification and type approval", 2005
 - [10] 김동수, 신우철, 윤종호, 건물적용 태양광발전시스템의 국내 지역에 따른 설치각도별 연간 전력생산량 예측에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 제14권, 제1호 2014.02, 67-74 // (Dong-su, Kim, U-cheul Shin, Jong-ho Yoon, Annual energy yield presiction of building added PV system depending on the installation angle and the location in Korea, KIEAE journal, Vol.14, No.1, 02. 2014, 67-74
 - [11] ASTM E 283-04 "Test Method for Determining Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors Under Specified Pressure Differences Across the Specimen", 2012
 - [12] ASTM E 331-00 "Test Method for Water Penetration of Exterior Windows, Skylights, Doors, and Curtain Walls by Uniform Static Air Pressure Difference", 2009
 - [13] AAMA 501.1-05 "Standard Test Method for Water Penetration of Windows, Curtain Walls and Doors Using Dynamic Pressure", 2005
 - [14] ASTM E 330-02 "Test Method for Structural Performance of Exterior Windows, Doors, Skylights and Curtain Walls by Uniform Static Air Pressure Difference", 2010
 - [15] AAMA 501.4-00 "Recommended Static Testing Method for Evaluating Curtain Wall and Storefront Systems Subjected to Seismic and Wind Induced Interstory Drift", 2001
 - [16] AAMA 501.5-07 "Test Method for Thermal Cycling of Exterior Walls", 2005