

# BIPV시스템 시공 및 프레임 성능저하를 고려한 배선처리방안 제시에 관한 연구

오민석 · 김기철<sup>†</sup>

단국대학교 건축공학과

## A Study on the Wiring Plan Considering Construction and Frame Performance Degradation of BIPV System

Oh Min-Seok · Kim Gi-Cheol<sup>†</sup>

Department of Architectural Engineering, Dankook University

<sup>†</sup>Corresponding author: [kgc0602@daum.net](mailto:kgc0602@daum.net)

### Abstract

In the application of the BIPV system, it is expected that the workability is lowered due to the difficulty in securing the space for wiring in the frame and the performance of the frame due to the wiring hole processing is lowered. Therefore, In this study, we propose a method to improve the wiring of the inner space of the BIPV frame, and through the simulation evaluation process, the thermal and condensation performance are secured by complementing the problems caused by the hole machining, and the time and effort required for BIPV construction are reduced. For this purpose, a wiring treatment method using a flange insertion tube was proposed, and the thermal and condensation performance was evaluated through simulation analysis.

**Keywords:** 건물일체형태양광발전시스템(BIPV), 시공성(Constructability), 결로(Dew Condensation), 배선(Electrical wiring-handling)

### 기호설명

U-Factor : 열관류율 ( $W/m^2 \cdot K$ )

Temp : 건구온도 ( $^{\circ}C$ )

### 1. 서론

건축물 외피 시스템에 태양광 모듈을 일체화 시키는 BIPV (Building Integrated Photovoltaic) 기술은 기존의 외피가 갖고 있는 성능에 부가하여 전기 생산을 할 수 있다는 장점이 있어 저에너지 건축물의 핵심 적용 기술로 각광을 받고 있다. 그러나 현장에서의



Journal of the Korean Solar Energy Society  
Vol.38, No.4, pp.33-42, August 2018  
<https://doi.org/10.7836/kses.2018.38.4.033>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 08 May 2018

Revised: 23 July 2018

Accepted: 06 August 2018

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

BIPV 시스템의 설계와 시공 기술은 발전량 위주의 설계에 머물러 있어 시공 및 유지관리 방법 등에서 그 기대와 주목에 미치지 못하고 있다.

BIPV의 경우 일반 창호에 비해 배선처리 공간 확보로 인한 시공 및 유지관리 문제의 발생과 함께 프레임의 단열 및 결로 방지 성능저하의 문제가 발생할 수 있다.

본 연구에서는 BIPV 시공 난이도를 줄일 수 있는 새로운 개념의 연결 디테일을 3D모델링과 3D프린터를 활용하여 제시하고 시뮬레이션을 통한 프레임 성능수준을 확인해보고자 하였다.

## 2. BIPV 배선처리방안의 제시

BIPV의 경우 미려한 창호 내외관 이미지 연출을 위해 일반창호에 비해 프레임내 배선처리 공간 확보가 필수적인데, 배선처리 공간 확보를 위한 프레임 홀 가공 기술은 프레임 자체의 단열성능저하와 시공난이도 상승에 따른 공사기간증가 등 복잡한 문제가 발생할 가능성이 크다.

현재까지는 이와 같은 부분의 문제 해결을 위한 합리적 시공기술의 제시가 없어 현장상황에 맞는 임기응변적 대처가 있었을 뿐이다. 특히, 기존에 제안된 홀에 파이프 삽입 후 실리콘 마감 기술은(Fig. 1) 시공정밀도 혹은 노후화 손상에 대한 합리적 대응방안이 없으며 이와 같은 문제 발생 시 성능저하수준이 어느 정도인지조차 확인되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 BIPV 프레임의 시공 및 유지관리 성능을 보완한 배선처리 방안을 토대로 합리적 시공 프로세스를 제시하였으며, BIPV 성능 저하를 고려한 보다 효과적 배선연결 방안을 제시하고자한다.

### 2.1 기존 BIPV 배선처리 방법

홀 가공 및 배선연결 작업이 대부분 현장에서 이루어지는 기존 BIPV 배선연결방법을 도출한 사례는 Han et al.<sup>1)</sup> 및 Kim et al.<sup>2)</sup>의 연구를 들 수 있다. BIPV 시스템의 적용에 있어 기존의 배선연결 방법은 Fig. 1과 같이 파이프 삽입과 실리콘 마감을 전제로 하고 있으며 시공현장에서 홀 가공 및 배선연결 작업이 이루어지고 있어 고

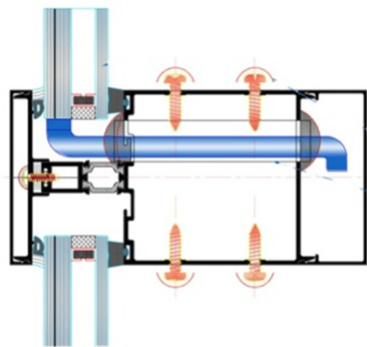


Fig. 1 Wiring hole processing example

층건축물 같이 외부작업이 어려운 경우 시공 시간과 난이도가 증대되는 문제가 생기게 된다. 특히, Fig. 1과 같은 기존배선연결 방법은 실리콘 마감재의 시공정밀도 혹은 노후화 손상에 대한 합리적 대응방안이 없으며 이와 같은 문제 발생 시 성능저하수준이 어느 정도인지 조차 확인되지 않았다.

## 2.2 시공을 고려한 BIPV 배선처리 방안의 제시

본 연구에서는 이론적 고찰을 통해 프레임의 시공시 배선처리기술 개발의 필요성을 인식하였다. 따라서 BIPV 프레임의 배선용 홀 가공부분을 보완할 배선처리 방안으로 플랜지 형태의 삽입관을 프레임 공장 제작시 사전 설치하는 방안을 제시하고자 한다. 제시한 플랜지 삽입관의 형태는 Figs. 2, 3, 4와 같으며 결합구조가 간편하고 설치 환경에 맞추어 길이 및 구경을 다양하게 시공 및 제작하는 것이 용이하여 범용적이며 다양한 형상의 프레임에 적용이 가능하다.

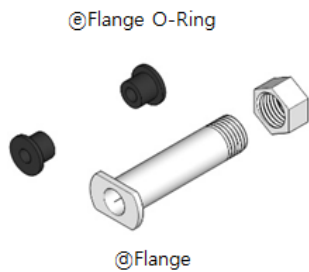


Fig. 2 Flange

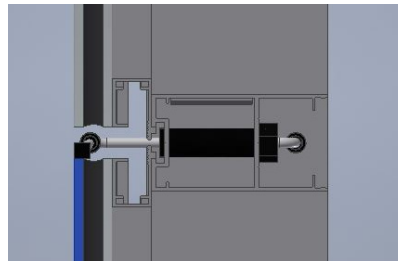


Fig. 3 Mounting of flange

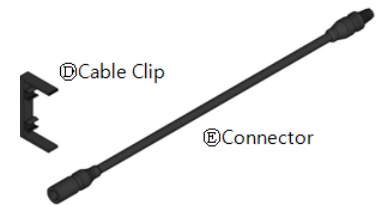


Fig. 4 Parts inside the frame

### (1) 공장제작

BIPV 프레임은 종래와 같이 현장작업을 통한 프레임의 홀 가공 방식은 홀의 가공 크기와 위치가 정확하지 못하고 불필요한 단면결손과 시공성 저하를 초래할 가능성이 크다. 따라서, 프레임의 공장제작시 배선처리를 위한 홀 가공 및 내부 부속을 사전에 설치하도록 제작하여 현장작업을 간소화하고 홀 가공 부분과 배선처리 작업의 신뢰성을 높일 수 있다. 본 연구에서 제시한 Fig. 2의 플랜지 삽입관은 Fig. 3 및 Fig. 5와 같이 프레임 맞은편

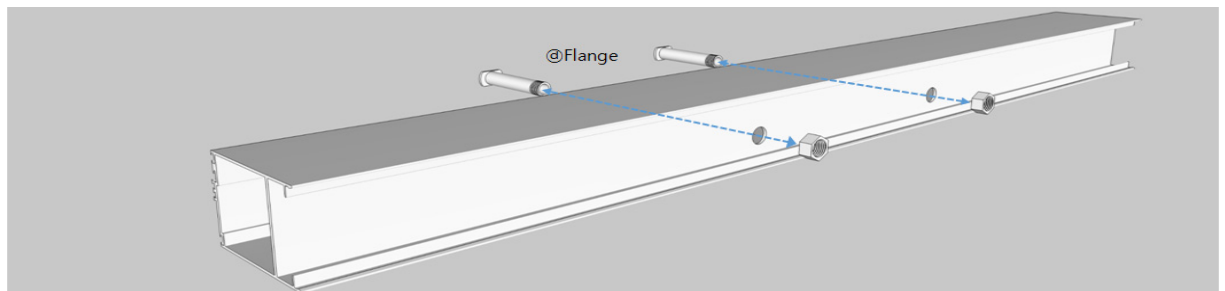


Fig. 5 Hole machining and flange mounting through factory work

으로 돌출되어 외경을 고리형태의 너트로 결합하여 배선작업 후 플랜지 링을 활용하여 입출구를 기밀하게 마감하는 방식으로 탈부착이 용이하고 배선처리 공간을 확보할 수 있다.

BIPV 프레임은 배선처리를 위하여 공장제작시 Fig. 4의 케이블 및 커넥터 등을 Fig. 6과 같이 프레임 내부에 미리 장착하는 방식을 채택함으로써 프레임의 현장설치 작업 시 사전 설치된 케이블과 커넥터를 활용하여 배선 및 결합작업을 간소화 할 수 있으며, 이후 배선자재의 교체가 용이하여 유지관리에 유용하다.

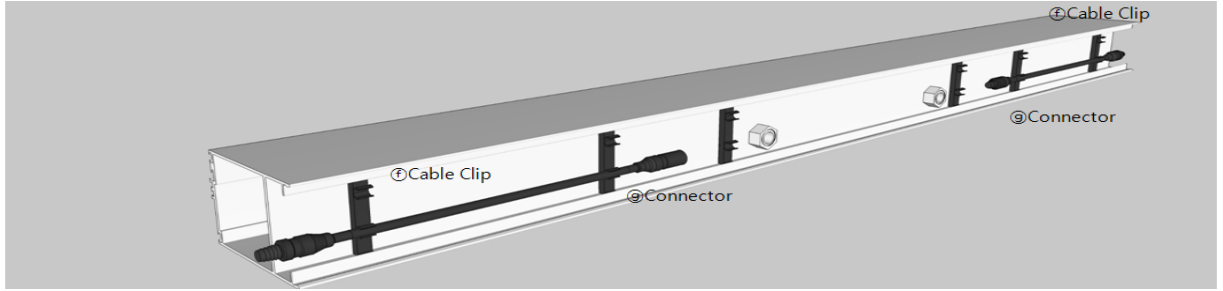


Fig. 6 Pre-installation of the frame by factory operation

(2) 현장작업

공장제작을 통하여 제작된 프레임의 현장설치 작업 시 Fig. 7과 같이 프레임 내부에 공장제작을 통하여 사전 설치된 플랜지 및 케이블과 커넥터 등 시공을 보완할 부속을 활용하여 배선 및 결합작업을 간소화 할 수 있다.

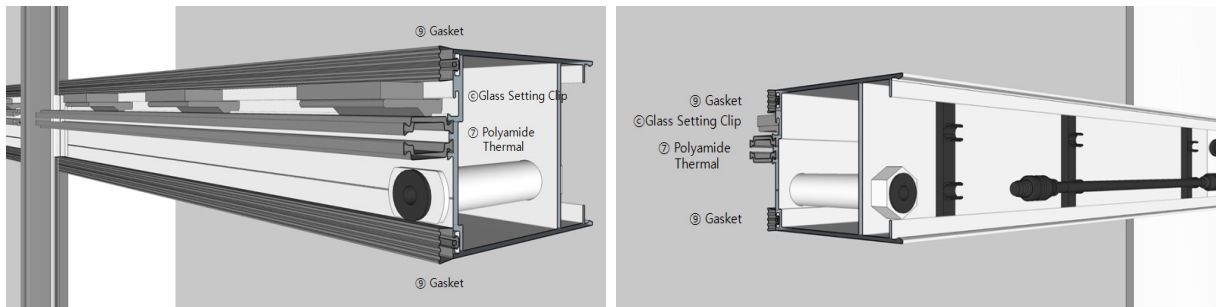


Fig. 7 Pre-installation of the frame by factory operation

프레임의 현장설치 작업과정에서 유리나 모듈을 설치 후 Fig. 8과 같이 모듈에 연결된 케이블을 프레임에 공장제작시 설치된 플랜지를 활용하여 통과시킨 후 프레임 내부에 공장제작시 설치된 커넥터에 연결하여 간편하게 결합할 수 있으며, 이때 태양전지모듈에 연결된 케이블과 커넥터를 프레임 내부의 플랜지에 삽입-통과시킨 후 플랜지 입출구를 플랜지 링을 이용한 마감처리를 통하여 현장 배선작업과 홀 가공부 마감을 간소화할 수 있다. 태양전지모듈과 프레임 내부의 커넥터의 연결 후, Fig. 9와 같이 압력판과 탈부착이 가능한 캡을 덮어 배선

공간을 마감하여 설치 완료함으로써 사후 캡을 개폐하여 케이블의 교체가 간편하여 배선처리 공간을 유지관리하기 용이하다.

본 연구를 통해 제시하는 배선처리 방안은 대부분의 제작이 공장작업을 통해 이루어지는 프레임 제작시 프레임 내부 배선이 동시에 작업되어 케이블 및 커넥터를 미리 장착하고 홀 가공부에 플랜지와 링을 적용하여 배선 및 마감처리에 활용하여 현장에서 이루어지는 복잡한 배선작업과 결선작업을 최소화하여 시공성 향상 효과를 기대하고자 한다.

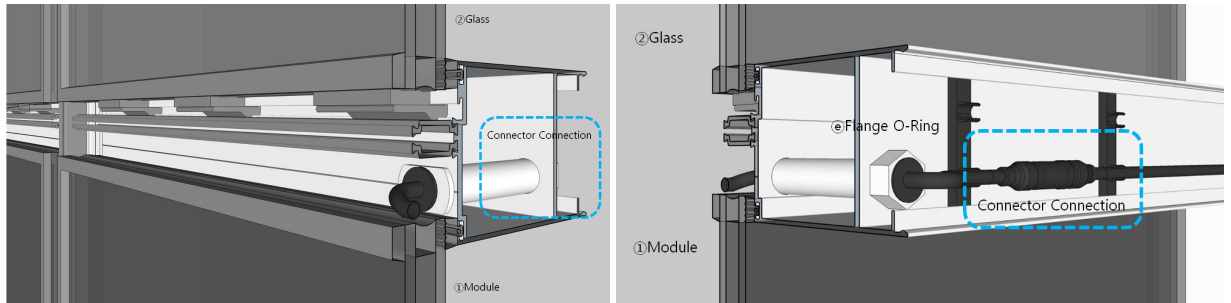


Fig. 8 Combination of cable with pre-installed flange and connector inside frame

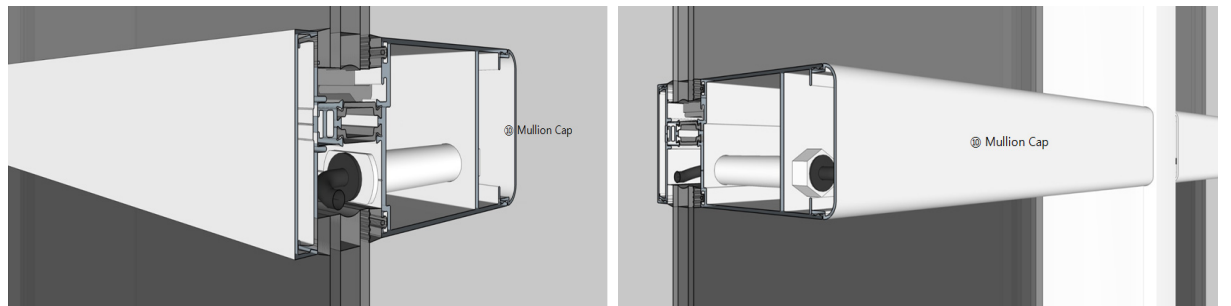


Fig. 9 Finish the wiring space with Cab

### (3) 3D프린터를 활용한 시공프로세서의 검증

3D 프린팅 기술의 적용으로 사전모형 제작 등에 사용할 경우 비용 및 시간절감 효과가 있으며 보다 정확한 사전 데이터를 얻을 수 있다. 이에 따라, 설계 시 문제점을 사전에 인지하여 문제를 극복함으로써 정밀 시공이 가능할 것으로 기대된다. 따라서 본 연구에서도 3D 프린팅 기술을 활용한 모형제작을 통하여 사전 검토에 활용하였다. 본 연구에서 제시한 플랜지 삽입관은 3D 프린팅 기법을 이용하여 Fig. 10과 같이 플랜지 삽입관과 케이블 클립을 사전 모형에 제작 및 설치하여 태양광 모듈에 실제 사용되고 있는 케이블과 커넥터의 적용 가능성과 탈부착이 용이함을 확인하였다.

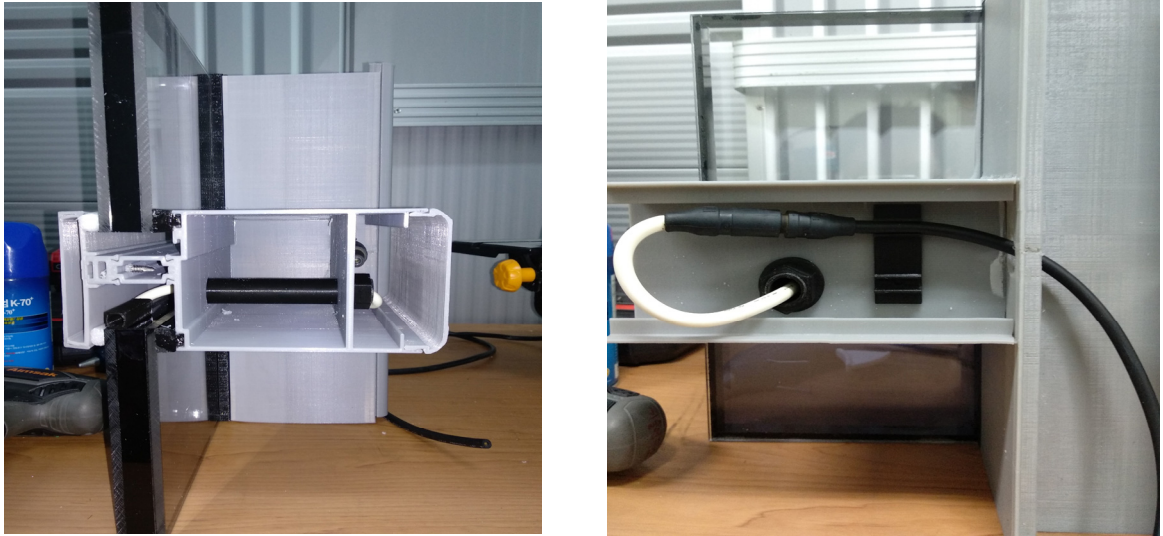


Fig. 10 Flange-mounted 3D printing model

### 3. 단열 및 결로 성능 예측

#### 3.1 BIPV 프레임의 선정

본 연구에서 선정한 Fig. 11의 프레임은 배선처리 공간을 확보하고 마감용 캡의 개폐가 가능하여 사후 유지관리가 가능하며, 기존 적용 사례에서 기밀성과 열관류율 시험을 통하여 에너지관리공단의 에너지 소비효율등급 2등급을 충족하는 성능의 프레임으로 2장에서 제시된 플랜지와 플랜지 링 마감을 이용하여 개선된 홀가공 및 배선 시스템을 적용하여 다양한 조건에서의 단열 결로 시뮬레이션을 통해 성능저하 정도 사항을 파악하고자 하였다.

태양광 모듈을 적용하기 위해서, Fig. 11의 프레임(REFERENCE) 내부에 홀을 가공하여야 하며, 가공한 홀을 통하여 플랜지관을 삽입(ALT.1)하였다. 플랜지관은 내부에 면한 프레임까지 연결하여 배선을 처리하고 입출구는 플랜지 링을 활용한 마감 효과를 적용하기 위하여 실리콘으로 마감처리(ALT.2)를 하도록 가정하여 계획하였다.

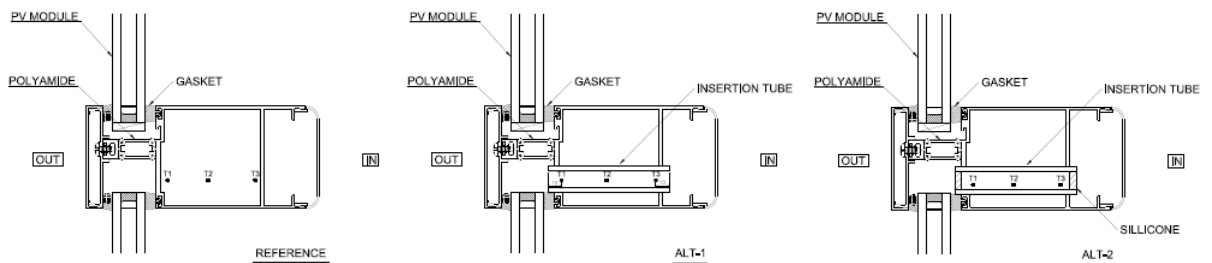


Fig. 11 Cross-sectional drawing of BIPV frame (REFERENCE, ALT.1, ALT.2)

상기 선정된 프레임에 적용할 BIPV 모듈은 두께 6 mm의 박막형 태양전지 뒷면에 단열성능 향상을 위해서 복층화하여 적용하였으며, 모듈의 구성은 Table 1과 같다. 한편 본 연구에서는 배선용 프레임 홀 가공으로 인한 영향을 사전 평가하기 위한 것으로 평가 대상은 단일 홀 가공 부위로 한정하였으며 모듈 및 창호의 규격은 단일 및 겹로에 대한 영향을 평가하기 위해 Table 1과 같이 각 복층의 두께를 기준으로 적용하였다.

**Table 1** BIPV module layer structure

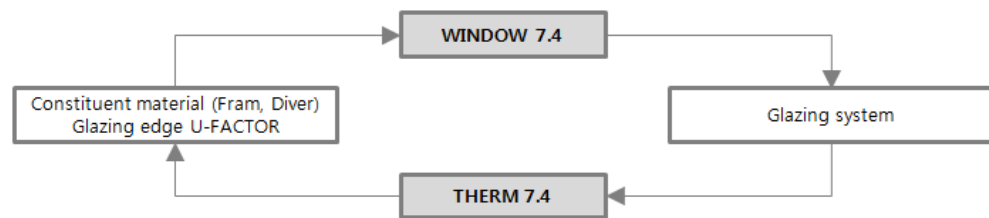
Category	BIPV module
PV module	6 mm
Air	12 mm
Glass	6 mm
Double layer thickness	24 mm

태양광 모듈을 프레임에 적용하기 위해서는 프레임 내부에 홀을 가공하여야 하며, 가공한 홀을 통하여 플랜지 삽입관을 설치하였다. 플랜지 삽입관의 내경은 태양광 모듈 커넥터의 설치를 고려하여 13 mm의 두께가 필요하며 이에 따라 프레임의 홀가공 크기는 20 mm 두께를 적용하였다.

### 3.2 시뮬레이션을 통한 성능평가

#### (1) 시뮬레이션의 개요

본 연구에서는 BIPV 프레임의 성능평가 및 분석을 위하여 미국 LBNL에서 건축물 열전달 및 창문의 물성 값을 해석하기 위해 개발한 WINDOW 및 THERM 프로그램<sup>3)</sup>을 사용하였다. Fig. 12는 WINDOW 및 THERM의 상호연관성을 나타낸 것이다.



**Fig. 12** Interrelationship of WINDOW & THERM

시뮬레이션 대상 프레임은 앞서 선정한 Fig. 11의 REFERENCE, ALT.1, ALT.2의 3가지 형태로 구분하였으며 알루미늄 재질로 구성하였다. 또한 BIPV시스템의 설치 후 사용에 따른 프레임 외부 마감재의 노후와 손상을 가정하여 프레임 성능저하에 대한 영향을 평가하였다.

(2) 시뮬레이션의 평가조건

본 연구에서 평가조건은 고효율에너지기자재인증제도/에너지소비효율등급표시제도와 동일한 KS F 2295 (창호의 결로 방지 성능 시험 방법<sup>4)</sup>)을 사용하였다. 또한 프로그램상의 환경 입력조건은 Table 2와 같이 설정하였다.

**Table 2** Boundary Condition

Standard	KS F 2295: Test method of dew condensation for windows and doors
Tool	Window 7.4, Therm 7.4
Environmental condition	① Temperature - Exterior temp.: 0, -5, -10, -15, -20°C - Interior temp.: 20°C
	② Convection: fixed combined coefficient - Exterior Combined Coef.: 20 W/m <sup>2</sup> · K - Interior Combined Coef.: 9.09 W/m <sup>2</sup> · K
	③ Frame cavity model: NFRC 100

Air temperature 20°C, Relative humidity 50%, Dew point temperature 9.3°C

**3.3 프레임 성능 평가**

본 연구에서 프레임 성능평가를 위해 KS F 2295(창호의 결로 방지 성능 시험 방법<sup>4)</sup>)에 의거하여 결로 여부 평가 시뮬레이션을 수행하였으며, 홀 가공 전 프레임(REFERENCE), 홀 가공 후 플랜지 삽입(ALT.1) 및 삽입된 플랜지 입출구에 마감처리를 한 프레임(ALT.2)의 조건을 비교하여 수행하였다. 이때 프레임 외부 마감재의 손상에 대한 영향도 함께 고려하여 창호 외측 실리콘의 손상 유무에 따라 그 영향을 비교하여 수행하였다.

프레임의 성능평가 시뮬레이션 결과는 Tables 3 및 4와 같으며, 홀 가공전 프레임(REFERENCE)과 비교하여 홀 가공부 마감처리가 되지 않은 ALT. 1의 경우, 프레임의 홀 가공부위를 통해 외부의 냉기가 유입되어 프레임의 단열능력이 감소되었으며, 홀 가공부위 및 프레임 내부에 결로가 발생하는 것으로 나타난다. Table 4의 ALT. 1의 결과를 통해 홀 가공부와 그에 연결된 프레임 내부에 결로가 발생됨을 확인할 수 있다. 이는 배선용 홀 하나를 검토한 결과로, 프레임 수직부재에 연속적으로 홀 가공을 할 경우, 면적가중법에 의거 프레임의 취약부분의 증가가 예상된다.

반면 플랜지를 이용하여 입출구에 마감을 한 ALT.2의 경우 프레임 홀 가공부위를 통해 유입되는 냉기를 장착된 플랜지가 효과적으로 차단, 외기온도 -20°C, 실내온도 20°C, 상대습도 50%의 조건에서도 프레임 내부 공기온도가 노점온도(9.3°C) 이상을 유지하여 프레임 내부에 결로가 발생하지 않는 것으로 나타난다. Table 3의

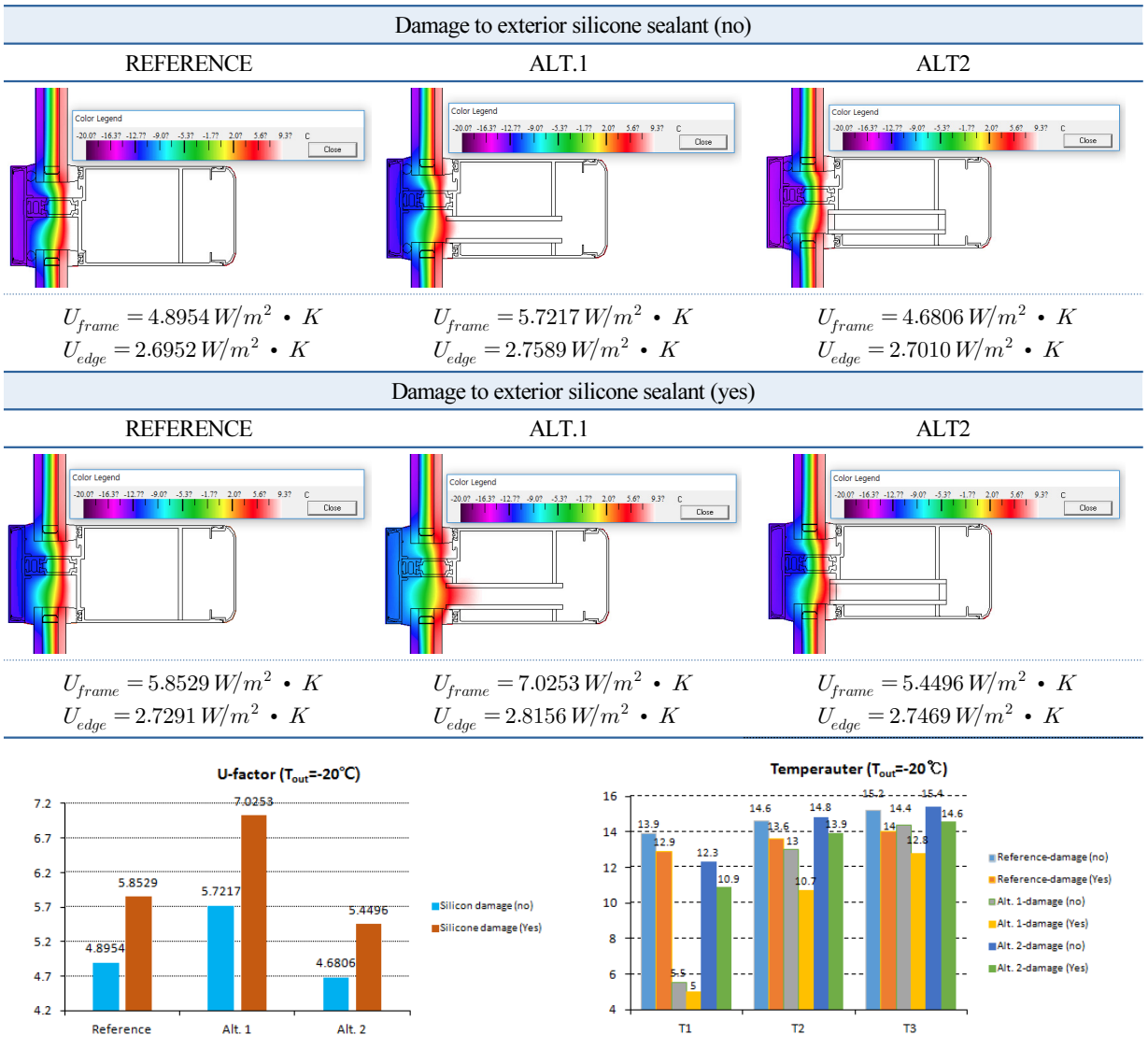


ALT. 2의 결과를 통해 플랜지 마감처리로 결로 방지 효과가 있음을 확인할 수 있다. 이는 플랜지를 이용해 흡기 공부위를 마감 처리할 경우 외부 냉기의 유입을 차단하는 기능이 유효한 것으로 예측할 수 있다.

**Table 3** Thermal evaluation table by configuration

Category	Thermal transmittance ( $W/m^2 \cdot K$ )		Increase / decrease rate
	External silicon damage (no)	External silicon damage (yes)	
REFERENCE	4.8954	5.8529	120%
ALT.1	5.7217	7.0253	123%
ALT.2	4.6806	5.4496	116%

**Table 4** Frame & Edge Modeling / Calculation (KS F 2295, Exterior Temp  $-20^{\circ}C$ )



## 4. 결론

본 연구에서는 BIPV 프레임의 내부공간에 시공성과 프레임의 성능저하를 보완하기 위해 배선처리 방안을 제시하고, 시뮬레이션 평가를 하여 비교·분석함으로써, 효과적인 배선처리 방안을 제시하고자 한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 3D 모델링 이미지를 통해 개선된 배선처리 방안을 계획 및 검토하여 플랜지 형태의 프레임의 홀 및 배선처리 방안을 제시하였다.
- (2) 3D 모델링 및 3D 프린팅 기법을 활용한 모형제작을 통하여 개선된 배선처리 방안을 활용한 시공방안을 검증하였다.
- (3) 프레임 성능평가 시뮬레이션을 통하여 홀 가공 및 배선처리로 인한 성능저하 및 유지관리에 따른 성능저하 정도를 비교하여 분석한바 본 연구에서 제시한 배선처리 방안이 결로 방지에 유리한 것으로 나타나, 시공성 향상은 물론 프레임의 성능저하를 최소화 할 수 있을 것으로 기대된다.

## 후기

본 연구는 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(과제번호: NRF-2017R1D1A1B03029273).

## REFERENCES

1. Han, M. J., Seo, Y. S., Oh, M. S., and Kim, H. S., The Design Method and Environmental Performance Evaluation for Unit Type BIPV in High Rise Buildings, Journal of KIAEBS, Vol. 5, No. 4, pp. 236-243, 2011.
2. Kim, J. S., Han, M. J., Oh, M. S., and Kim, H. S., A Study on an Construction Method by Simulations of Insulation and Condensation Performance of Inner Wiring Space in the BIPV System, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol. 26, No. 12, pp. 333-340, 2010.
3. LBNL, THERM 7 / WINDOW 7 NFRC Simulation Manual, 2015.
4. KATS, KS F 2295 Test Method of Dew Condensation for Windows and Doors, 2014.