

금속패널지붕의 열교 방지를 위한 열교차단장치 개발 및 적용효과 분석

김선호*[#], 정채봉**, 이충식**, 김종민**, 김병철**

*동의대학교 기계자동차로봇부품공학부, ** (주)에이비엠

Study of Thermal Bridge Breaker to Prevent the Thermal Bridge Effect on Metal Panel Roofs

Sun Ho Kim*[#], Chae Bong Jung**, Chung Shik Lee**, Jong Min Kim**, Byung Chul Kim**

*School of Mechanical, Automobile and Robotics Engineering, DONGEUI UNIV., ** ABM Co.LTD.

(Received 08 December 2020; received in revised form 16 December 2020; accepted 22 December 2020)

ABSTRACT

To realize a zero-energy building, a technology that minimizes the energy loss due to thermal bridges by preventing their formation is emerging as an important design factor. In this study, we develop a thermal bridge breaker to prevent thermal bridging in a metal panel roof and attempt to analyze the effects of its application. To this end, we fabricated a thermal bridge breaker and analyzed it in terms of its strength and heat-transfer characteristics, in addition to conducting a load simulation. The thermal bridge prevention effect of the developed thermal bridge breaker improved the insulation performance of the metal panel roof, and the results of a cooling/heating peak load simulation performed by applying the heat transmission resistance test results to a building proved the existence of this effect.

Key Words : Zero-Energy Building(제로 에너지 빌딩), Thermal Bridge(열교), Thermal Bridge Breaker(TBB)(열교차단장치)

1. 서 론

사회적으로는 과도한 탄소 에너지 사용에 기인하는 지구온난화 문제 해결, 개인적으로는 냉난방비 절감을 위해 건물의 단열은 많은 관심사가 되고 있다. 이에 국가적으로는 신재생에너지 확대 보급 정책과 함께 단열기준을 높이는 정책을 추진

하고 있다. 단열기준을 높이는 정책으로 국토교통부에서는 2020년 공공부문 건축물 제로 에너지 의무화, 2025년 민간부문까지 제로 에너지 건축물을 의무화하는 제로 에너지 건축물 로드맵을 발표했다. 이러한 제로 에너지 건축물 구현을 위해서는 열교(thermal bridge)를 방지하여 열교에 의한 에너지 손실을 최소화하는 기술이 중요한 설계 요소로 대두되고 있다. 공학적 의미에서 열교는 주변 물체보다 상당히 높은 열전달을 갖는 물체의 영역을 의미하며, 건축물의 열교는 건축물의 어느

Corresponding Author : sunhokim@deu.ac.kr

Tel: +82-51-890-2259, Fax: +82-55-182-6901

한 부분의 단열이 약화 되거나 끊김으로 인해 외기가 실내로 들어오면서 발생하는 온도차를 의미한다.

열교는 건물 외부 마감재의 설치공법에 따라 파스너(fastener)와 같은 고정장치에 따른 열교, 프레임(frame)에서 발생하는 열교 그리고 단열재 단면 축소 부위 등에서 발생하는데 이를 억제하기 위한 다양한 기술이 개발되고 있다.

본 논문에서는 금속패널지붕의 열교 방지를 위한 열교차단장치(TBB, thermal bridge breaker)를 개발하고 그 적용 효과를 분석하고자 했다.

이를 위해 열교차단장치를 개발하고 강도 및 열전달 특성 측면에서 적용성을 분석하고 이를 바탕으로 부하 시뮬레이션을 수행했다.

2. 건축물에서의 열교

건축물의 단열은 Fig.1과 같이 내단열과 외단열로 나눌 수 있다. 열교는 건물 외피의 구성 재료가 달라지거나 두께 변화 혹은 실내외 면적 차이 등이 발생하여 균일하던 열 저항에 변화가 생기는 것을 말한다. 열교 발생 부위는 주변 부위에 비해 상대적인 열 저항이 작기 때문에 동계에는 외부의 찬 기운이 침투하여 열교 부위의 실내 측 표면 온도가 낮아지게 된다. 이런 현상에 의해 열교 부위의 표면 온도가 노점 온도보다 낮아지게 되면 그 부분에 결로가 발생하게 된다. 특히 우리나라 아파트는 대부분 내단열 시스템을 적용하고 있기 때문에 슬라브와 외벽 접합부, 외벽과 내벽 접합부 뿐만 아니라 기초, 창문, 발코니 등에서도 열교 현상이 발생하게 된다^[1].

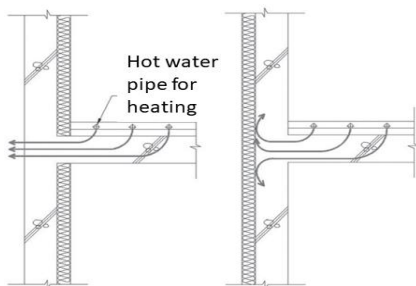


Fig. 1 Internal insulation vs external insulation^[1]

내단열은 단열재를 실내 측에 설치하기 때문에 구조상 단열의 끊김으로 인해 열교가 발생하여 에너지 손실 및 결로의 직접적인 원인이 되고 있다. 그래서 열교 방지 및 에너지 손실을 줄이기 위한 설계 요소로 외단열 시스템이 대두되고 있는 실정이다^[2].

열교차단재(Thermal bridge blocker)는 1980년대부터 유럽을 중심으로 개발되었다. 열교차단재는 열전도 특성이 우수한 단열재와 구조체에 작용하는 외력에 저항할 수 있는 응력 전달요소로 구성된다. 최근에는 다양한 제품이 개발되어 사용되고 있다. 국내에서는 벽과 벽, 벽과 슬래브 및 창호 연결 부위 등 구조체 연결부에서 단열재가 연속되지 않아 발생하는 열교를 외단열을 통해 해결하려는 사례가 많으며, 그 방법 및 기술이 다양화 되고 있는 추세이다^[3].

본 연구에서 대상으로 한 금속패널지붕은 형태 측면에서는 내단열 구조를 갖는다. 지붕의 층별 구조는 외부의 비와 눈을 막아주는 외부 마감재, 외부의 열이 대류, 전도, 복사에 의해 내부로 전달되는 것을 막기 위한 단열재 그리고 지붕의 하중을 견디기 위한 구조체로 구성된다. 외부 마감재는 0.5mm 내외의 철판을 길이 방향으로 성형을 한 후, 측면 시트와 시밍(seaming) 가공으로 연결을 한다. 단열재는 다양한 것이 사용되는데 지역에 따른 기준을 맞추어 두께를 결정한다. 구조체는 건물의 형태에 따라 다양한 형상과 두께를 가진다.

금속패널지붕의 내부구조는 Fig.2와 같이 Z 바 상부에 설치되는 외부 마감재와 베이스 패널 사이에 단열재가 들어가는데, 단열재 사이에는 외부 마감재와 베이스 패널을 연결하는 부재인 Z 바가 설치된다. 결과적으로 Z 바는 외부 마감재의 열을 베이스 패널로 이동시키는 열교 역할을 하게 되는 것이다.



Fig. 2 Internal structure of metal panel roof

3. 열교차단장치 개발

본 연구에서 개선 대상으로 한 Z 바는 아연도금강으로서 열전도율이 3W/m-k인 재료이다. Z 바는 외부 공기와 직접 접촉하는 외부 마감재인 금속지붕패널과 지붕 내장재인 베이스 패널을 연결해 주는 역할을 하는 부품이다. 이러한 연결 구조적 특성 때문에 열교가 발생한다. Z 바의 형상을 Fig.3에 나타내었다.

본 연구에서는 Z 바가 갖는 문제점을 해결하기 위해 Fig.4와 같은 열교차단장치를 개발했다. 열교차단장치는 상부 클립(upper clip), 열교차단재(thermal bridge blocker) 그리고 하부 클립(lower clip) 등 3개의 파트로 구성된다. 상부 클립은 Z 바를 대체한 L 바와 결합이 이루어지며, 열교차단

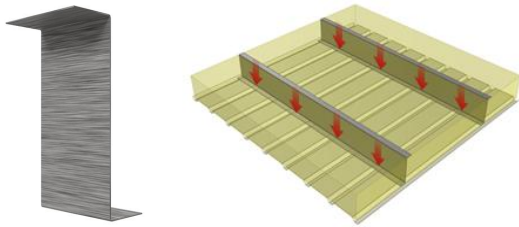
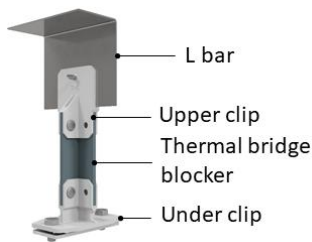
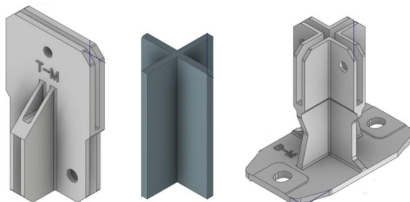


Fig. 3 Z bar feature and connecting mechanism



(a) TBB(Thermal bridge breaker)

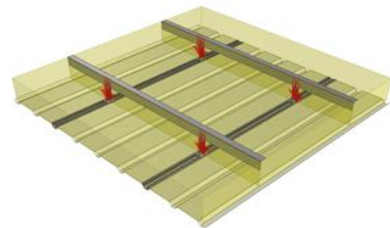


(b) Parts of TBB

Fig. 4 Assembly of TBB(a) and parts(b)



(a) Photograph of assembled TBB



(b) Connecting mechanism

Fig. 5 Thermal bridge breaker(a) and connecting mechanism

재는 외부의 열이 내부로 전달되는 것을 차단하는 역할을 하며, 하부 클립은 베이스 패널과 결합을 하는 역할을 한다.

상부 클립과 하부 클립은 합금 AL6063-T5로서 열전도율은 209 W/m-k를 갖는다. 열교차단재는 폴리 아미드 PA66 - GF25%로서 열전도율은 0.3 W/(m-K), 열변형 온도는 약 235 °C 그리고 난연성(UL94) V0 등급을 갖는다.

Fig.5 (a)는 개발된 열교차단장치를 나타내고, Fig.5 (b)는 연결구조를 나타낸다.

4. 시험 및 평가

개발된 열교차단장치의 적용성을 강도 및 열전달 특성 등 2가지 관점에서 평가를 했다. 시험은 KS B 0802(금속재료 인장시험 방법)를 인용했으며 시료 당 3회를 실시했다. Fig.6은 강도시험 장면을 보여 준다.

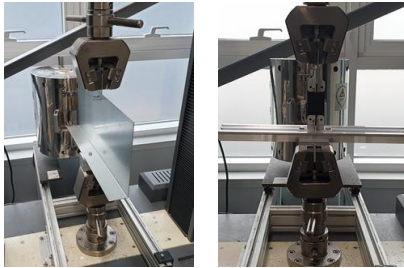


Fig. 6 Tensile strength test

인장강도는 Z 바의 경우에는 1회, 2회, 3회 각각 6,466N, 6,653N, 6,577N으로 나타났고, 열교차단장치의 경우에는 6,619N, 7,033N, 7,041N으로 나타났다. 인장강도는 Z 바에 비해 5% 정도 증가되었음을 알 수 있다.

굽힘강도는 Z 바의 경우에는 1회, 2회, 3회 각각 556N, 618N, 649N으로 나타났고, 열교차단장치의 경우에는 719N, 733N, 821N으로 나타났다. 굽힘강도는 Z 바에 비해 24.7% 정도 증가되었음을 알 수 있다. 실험결과를 Table 1, 2에 나타내었다.

개발된 열교차단장치의 열저항 성능을 평가하기 위해 80℃와 -15℃ 환경에서 시험을 수행하였다. Fig.7은 실험장치를 보여 주는데, 열원과 데이터 수집장치로 구성했다. 실험시간은 온도가 안정되는 시간을 고려하여 고온은 60분 그리고 저온은 50분으로 했다.

실험결과 고온에서는 Z 바와 비교하여 열교차단장치가 약 4℃가 낮았으며, 저온의 경우에는 Z 바와 비교하여 열교차단장치가 약 6℃가 높은 것으로 측정되었다. 실험결과를 Fig.8에 나타내었다.

Table 1 Tensile strength

	Unit [N]		
	1st	2nd	3rd
Z bar	6,466	6,653	6,577
TBB with TBB	6,619	7,033	7,041

Table 2 Flexural strength

	1st	2nd	3rd
Z bar	556	618	649
TBB with TBB	719	733	821

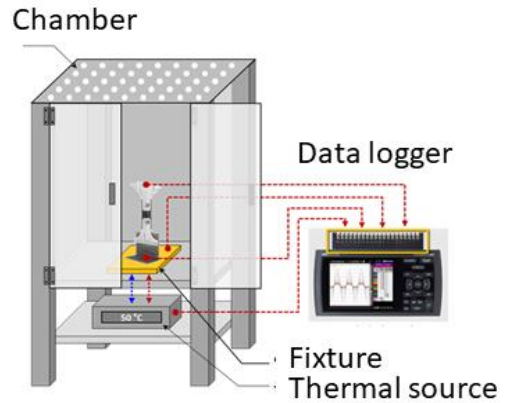
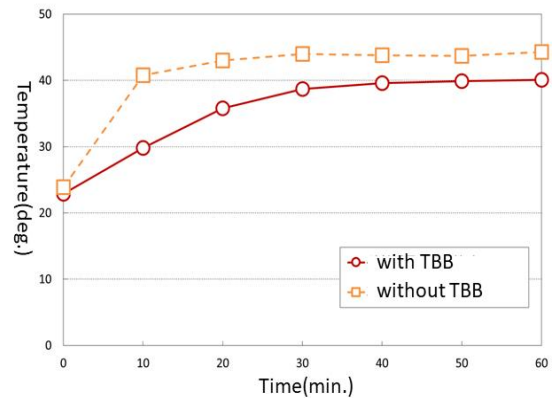
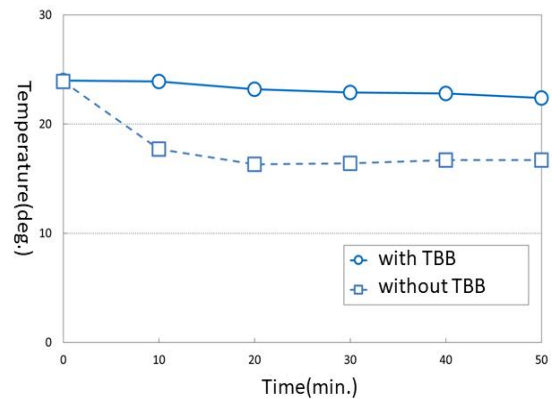


Fig. 7 Experimental equipment



(a) Heat testing



(a) Cold testing

Fig. 8 Test results of heat transmission resistance

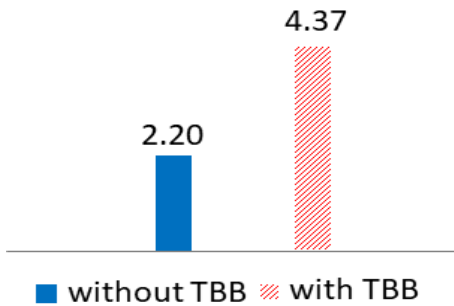


Fig. 9 Test results of overall heat transmission test

열교차단장치가 설치된 금속패널지붕의 단열 성능에 미치는 영향을 확인하기 위해 동일한 단열재를 적용하여 열관류 저항 시험을 수행한 결과, Z 바와 비교하여 열교차단장치의 단열 성능이 198% 향상된 것으로 평가되었다. 이를 Fig. 9에 나타내었다.

$$U = \frac{Q}{A(t_h - t_c)}$$

U: 열관류율 $W/(m^2 \cdot K)$

Q: 공급열량 W

A: 열류면적 m^2

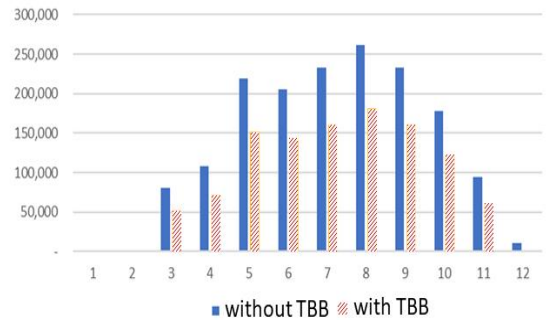
t_h : 가열 표면으로부터 공기 75mm 이상의 평균 온도 K

t_c : 저온 표면으로부터 공기 75mm 이상의 평균 온도 K

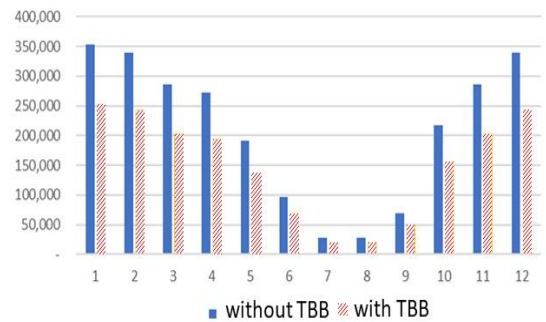
열교차단장치의 열관류 저항 시험결과를 동일 건물에 적용하여 월별 냉난방 피크 부하 시뮬레이션을 수행했다. 부하 분석 방법은 RTS(Radiant Time Series)법을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 분석에 사용된 BIM 프로그램(REVIT)에서는 ASHRAE2005 기반 RTS법에 의한 부하계산 방법을 적용하였다. Fig.10은 시뮬레이션 결과를 보여준다.

시뮬레이션 결과, 최대 냉방 부하는 열교차단장치를 적용한 경우에는 1,101,793 W/yr 그리고 Z 바를 적용한 경우에는 1,623,059 W/yr로 평가 되었다. 최대 난방 부하는 열교차단장치를 적용한 경우에는 1,792,531 W/yr 그리고 Z 바를 적용한 경우에는 2,507,393 W/yr로 평가 되었다.

동일 건물을 대상으로 연간 최대 냉·난방부하는 열교차단장치를 적용하였을 경우에는



(a) Maximum cooling load



(b) Maximum heating load

Fig. 10 Results of peak load analysis

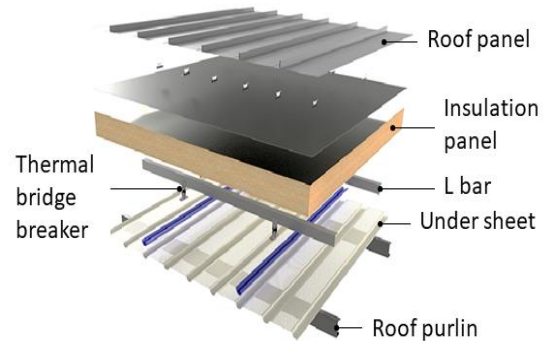


Fig. 11 Metal panel roof with TBB

2,894,324W, Z 바를 적용한 경우에는 4,130,452W으로 나타났으며, 이는 연간 최대 에너지가 약 30% 절감되는 것을 의미한다.

Fig.11는 열교차단장치가 적용된 금속패널지붕의 구조를 보여 준다.

5. 결 론

본 논문에서는 금속패널지붕의 열교 방지를 위한 열교차단장치를 개발하고 그 적용 효과를 분석하고자 했다. 이를 위해 열교차단장치를 제작하고 강도 및 열전달 특성 측면에서 분석하고, 이를 바탕으로 부하 시뮬레이션을 수행했다. 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 개발한 열교차단장치의 열교 차단 효과로 금속패널지붕의 단열성능이 개선되었다.
2. 개발한 열교차단장치의 열관류 저항 시험 결과를 건물에 적용하여 냉난방 피크 부하 시뮬레이션을 수행한 결과, 그 효과가 입증되었다.

후 기

“이 논문은 2019학년도 동의대학교 연구년 지원에 의하여 연구되었음”

REFERENCES

1. Song, S. Y., “Internal insulation vs external insulation, energy saving potentials of externally insulated apartment buildings,” Review of Architecture and Building Science, Vol. 58, No. 3, pp. 16-21, 2014.
2. Shin, D. H., Kim, Y. H., and Kim, H. J., “An Experimental Study on Structural Capacities of Thermal Bridge Breaker Systems Embedded in Cantilever Slabs,” Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 30 No. 9, pp. 31-40, 2014.
3. Kim, Y. H., Kim, H. J. and Lee, H. Y., “Investigation and analysis of patents for the thermal bridge breaker in green buildings”, Journal of The Korean Digital Architecture Interior Association, Vol. 13 No. 2, pp. 35-43, 2013.