

2 외단열 열교 차단 기술 동향

글 전현도 \ 건축기술팀 과장 \ 전화 02-3433-7985 \ E-mail jhdo@ssyenc.com

1. 머리말

국토교통부에서는 2020년 공공부문 건축물 제로에너지 의무화, 2025년 민간부문까지 제로에너지 건축물을 의무화하는 제로에너지건축물 로드맵을 발표하였다.

이에 대한 정책 방향으로 에너지절약설계기준의 단열 성능 기준을 지속적으로 강화하고 있고 에너지절약형친환경주택에 의한 에너지 절감률을 최대 60% 강화하여 작년 12월부터 시행해 오고 있다.

이러한 제로에너지 건축물 구현을 위해서는 내단열에 비하여 열교 현상을 줄여 열교에 의한 에너지 손실량을 최소화하고 축열효과까지 기대할 수 있는 외단열 공법 적용이 무엇보다 중요한 설계 요소로 대두되고 있다.

그러나 외단열 공법에서도 마감재의 설치 공법에 따라 화스너와 같은 고정장치에 따른 열교, 프레임에서 발생하는 열교, 그 외 단열재 단면축소 부위 등에서의 열교가 발생하여 이에 대한 다양한 기술이 개발되고 현장에 적용되고 있다.

따라서 본 고에서는 현재 외단열의 공법의 정의 및 열교에 대한 이론적인 내용을 소개하고 단열재 설치 후 적용되는 외단열의 마감재 설치 공법 및 열교를 줄이기 위한 외단열 열교차단 기술에 대해 살펴봄으로써, 향후 외단열 적용 방안을 위한 기초자료로 활용될 수 있기를 기대해 본다.

2. 열교와 외단열

2-1. 열교의 이론적 고찰

열교는 건물 외피에서 구성 재료가 달라지거나 두께 변화 혹은 실내외 면적 차이 등이 발생하여 균일하던 열 저항에 변화가 생기는 부분을 말한다.

열교 발생 부위는 주변 부위에 비해 상대적인 열 저항이 작기 때문에 외부의 찬 기운이 침투하여 동계에는 [그림 1]에서와 같이 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 접합부뿐만 아니라 기초, 창문, 발코니 등에서도 열교 현상이 발생하게 된다.

그래서 2017년부터 국토교통부에서는 열교에 대한 대책방안으로 건축물의 에너지절약설계기준에 '외피의 모서리 부분은 열교가 발생하지 않도록 단열재를 연속적으로 설치하고, 기타 열교 부위는 외피 열교부위별 선형 열관류율 기준에 따라 충분히 단열되도록 한다'라는 권장사항을 추가하였고, 에너지성능지표 4번 항목 '외피 열교부위의 단열 성능'에서 구조체의 선형 열관류율 계산 값에 따라 배점을 부여하도록 법규를 개정하였지만 신청자의 선택에 따라 배점을 받지 않아도 되기 때문에 현재 국내의 열교에 대한 고려는 기초적인 수준에 그치고 있는 것으로 판단된다.



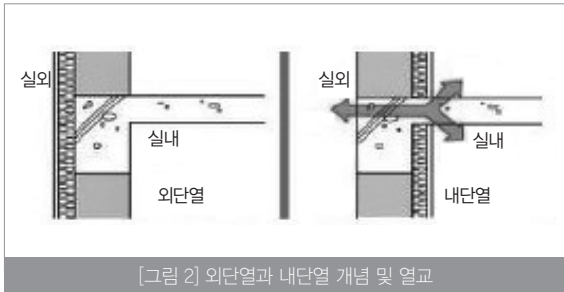
[그림 1] 열교 부위 예시

2-2. 외단열의 이론적 고찰

내단열은 [그림 2]에서와 같이 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.

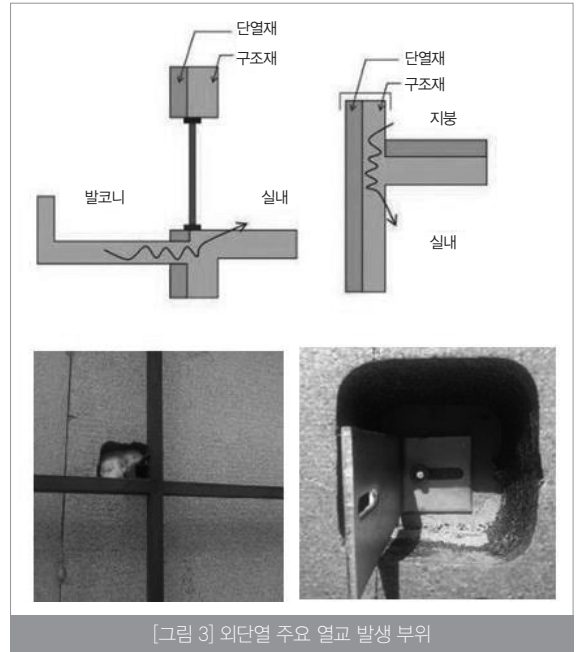
외단열 시스템의 경우 구조체 외측에 단열재가 설치되기 때문에 벽-슬라브, 벽-벽 접합부 등에서도 단열재가 연속되므로 열교를 근원적으로 차단할 수 있고 콘크리트 등과 같이 열용량이 큰 축열재가 단열재로부터 실내측에 위치하므로 공간 내 열용량이 증가하여 열 쾌적성 및 에너지 절감 측면에서 내단열보다는 뛰어난 효과가 있다.



[그림 2] 외단열과 내단열 개념 및 열교

그러나 외단열 공법도 열교가 전혀 발생하지 않는 것은 아니다.

[그림 3]은 외단열 공법에서 발생하는 주요 열교부위를 나타낸 그림으로 발코니, 지붕에서 단열재의 끊김 부분으로 인해 열교가 발생한다. 특히 외부 마감재 설치 시 건물 구조에 고정하기 위하여 설치하는 프레임과 외장재 고정 유닛(앵커, 브라켓, 너트 등)이 구조적인 안정성을 이유로 금속재로 제작 설치되기 때문에 프레임과 외장재 고정 유닛을 통한 열 손실이 발생하여 외기가 내부로 유입되거나 실내의 열이 외부로 빠져나감에 따라 열손실이 발생하고 결로와 곰팡이가 발생하는 근본적인 문제점을 제공한다.



[그림 3] 외단열 주요 열교 발생 부위

2-3. 외단열 마감 공법

앞서 살펴보았듯이 외단열 공법의 열교 발생부위 중 외장 마감 공법에 따라 열교가 발생하며, 현재 국내에서 주로 적용되고 있는 외단열 건축물의 외장 마감 공법 현황 조사를 통해 공법별 열교 발생 원인을 살펴보고자 하겠다.

1) 외단열 미장공법

외단열 미장공법은 바탕면에 단열재를 붙이는 방법에 따라 습식공법과 건식공법이 있으며, [그림 4]에서와 같이 단열재 위에 수지 몰탈로 미장한 후 최종 마감재를 도장 또는 미장하여 건축물의 외장을 처리하는 공법이다.

이 공법은 강풍에 의하여 탈락을 방지하기 위하여 사용되는 화스너의 재질에 따라 열교의 양에 차이가 있으나 외단열 공법 중 열교가 적은 시스템 중의 하나이기 때문에 패시브하우스나 유럽의 주택 등에 주로 적용되고 있는 공법이다.

그러나 화재 위험, 가설발판, 강풍에 의한 탈락우려, 화스너의 수량 증가 등의 이유로 고층 건물에 적용하기 힘든 단점이 있다.



[그림 4] 외단열 미장 공법

2) 단열재 본드 부착 후 트러스 하지 설치

구조물공사 완료 후 단열재를 접착 본드로 붙이고 트러스 하지를 설치 한 후 외장재를 설치하는 공법이다.

이 공법은 [그림 5]에서와 같이 트러스 하지를 구조물 벽에 단열재를 부분적으로 따내고 화스너나 석재용 앵글을 설치한 후 따낸 부위는 우레탄폼 등으로 보안을 하지만 근본적으로 고정 철물에 의한 열교 발생을 피할 수 없다는 단점이 있다.



[그림 5] 단열재 본드 부착 후 트러스 하지 설치

3) Unit Type Panel 공법

본 공법은 [그림 6]에서와 같이 단열재와 마감재를 결합하여 Unit 타입 형태의 패널로 제작하고 화스너나 앵글 등을 이용하여 구조물에 고정하는 방식이다.

Unit 타입 형태의 패널들은 패널과 패널이 접속되는 조인트를 통한 열교 발생에 대한 고려가 필요하고 타 공법에 비해 고가의 공사비, 외장재 선택의 한계, 패널 고정을 위해 별도의 트러스 하지가 필요하다는 단점이 있다.



[그림 6] Unit Type Panel 공법

이상과 같이 다양한 외단열 마감 공법이 있지만 고층 건물의 적용 한계, 화재 위험, 거푸집 전용 철물에 의한 열교 발생, 공사 중 단열재 손실, 시공 오차에 의한 단열재 파손, 고정 철물에 의한 열교 발생 등 각각의 공법에 따라 보완해야 될 부분이 존재하는 것이 사실이다.

그리고 열교 방지 및 에너지 성능과 더불어 부산 해운대골드스위트 화재, 의정부 대봉 그린빌 화재, 제천스포츠허스 화재 등과 같이 대형 화재로 인하여 6층 이상의 건축물에는 비드법 보온판 압출법 보온판 등과 같은 유기질계 단열재를 적용할 수 없기 때문에 그라스울, 미네랄울과 같이 무기질계 단열재를 이용하여 화재 안전성능을 확보할 수 있는 건식 외단열 공법 적용이 중요한 이슈가 될 전망이다.

결론적으로 구조적 안정성을 통한 내진성능 확보, 화재 피해 방지를 위한 내화성능 확보, 열교 차단을 통한 하자방지 및 단열성능 확보 이 세 가지를 충족할 수 있는 시스템 적용이 앞으로 확대될 것으로 생각된다.

3. 열교 차단 기술 개발 동향

본 장에서는 외단열 외장 마감 공법에서 발생하는 열교 현상을 줄이기 위해 시장에서 개발 적용되고 있는 기술들에 대해 살펴보겠다. 외단열 마감 중 미장 마감의 경우 열교 현상을 최소화 할 수 있는 장점이 있지만 획일화된 마감으로 인한 건축물의 입면 디자인 제약, 화재 시 불길 확산 등의 단점이 있기 때문에 다양한 외장재가 설치 가능하고 열교 현상도 최소화 할 수 있는 기술들이 개발되고 있다.

열교는 크게 점형 열교(Point Thermal Bridges)와 선형 열교(Linear Thermal Bridges)로 구분할 수 있는데 점형 열교는 열교의 형태가 점형으로 나타나는 열교로 금속 프라켓, 단열재 고정핀 등에서 나타나는 열교가 대표적이다.

선형 열교는 열교의 형태가 선형으로 나타나는 열교를 말하며 대표적으로 옥상 파라펫, 외장재 시공 시 설치하는 프레임, 창호 주변에서 발생하는 열교가 해당한다.

1) 외장재 고정장치 열교 차단 기술

점형 열교를 줄이기 위한 대표적인 기술을 살펴보면 ㈜이비엘리더에서 개발한 건설 신기술로 '열교현상 저감 기술이 있는 고정장치를 사용하는 외단열 건축물의 외장재 설치공법'이 있다.

본 기술은 열교 현상 저감 기능이 있는 외장재 고정장치를 사용하여 외단열 건축물의 외장재(석재, 금속, 고밀도 목재 등) 설치 시 외장재 고정장치 때문에 발생하는 열교 현상을 저감시킬 수 있는 기술이다.

본 기술은 외장재의 종류나 건축물 외장재가 설치되는 건축물의 구조적 특성에 따라 [그림 7]과 같이 3가지 타입의 외장재 고정장치로 구성이 되어 있으며 시공 순서는 [그림 8]과 같다.

		Basic	Econo	Utility
T.B. Fastener	트윈앵커 타입			
	싱글앵커 타입			
	턴캡 타입			

[그림 7] 외장재 고정장치 종류



본 기술의 성능을 살펴보면 KS F 2277:2002(건축용 구성재의 단열 성능 측정 방법)에 의거한 단열성능 시험 결과 기존 L형 화스너의 열관류율은 $0.57W/m^2K$ 인 반면 트윈 앵커 타입은 $0.27W/m^2K$, 싱글 앵커 타입은 $0.23W/m^2K$, 턴캡 타입은 $0.26W/m^2K$ 으로 나타났다. 결로성능의 경우 향온실 $20^{\circ}C$, 저온실 $-8^{\circ}C$ 의 조건에서 실험체의 향손실과 저온실의 표면 온도 변화를 관찰하여 결로성능을 평가한 결과 외장재 고정 유닛이 적용되지 않은 경우 TDR 값은 0.34, 열교 차단 기능이 적용된 외장재 고정 유닛의 경우는 0.17로 나타났다.

2) 창호 주변 열교 차단 기술

선형 열교를 줄이기 위한 대표적인 기술로는 (주)스타빌엔지니어링에서 개발한 창호 주변 열교차단 기술과 (주)티푸스코리아에서 개발하고 녹색기술인증을 획득한 '열교차단재를 이용한 건식 외단열 시스템'이 있다.

창호 주변 열교 차단 기술은 [그림 9]와 같이 열손실이 벽체에 비하여 높고 열교에 따른 결로 및 곰팡이 발생 하자 빈도가 큰 부유인 창호 주변의 열교 발생을 줄이기 위하여 개발된 기술이다.

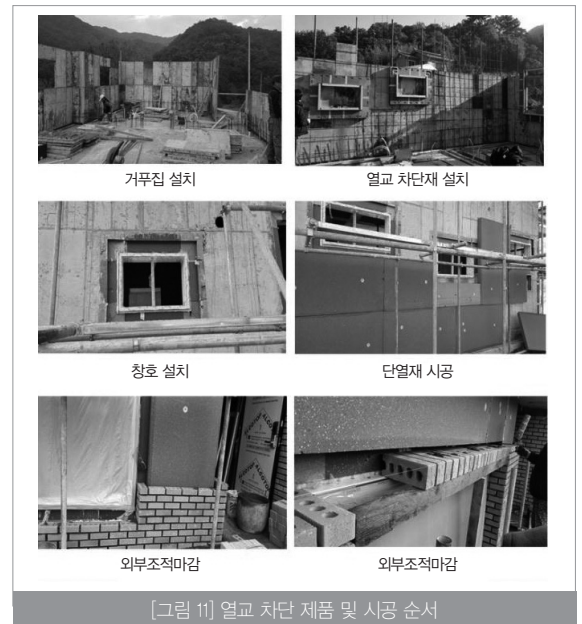


세부적인 내용을 살펴보면 [그림 10]과 같이 비드법 2종 2호 단열재를 이용하여 크기에 맞게 재단한 열교 차단재를 벽체 콘크리트 타설 전에 창호 주변에 사전 부착하여 외벽 단열재와 창호 주변까지

단열재가 끊김 없이 연속적으로 이어주어서 열교 현상을 방지할 수 있는 기술이다.



시공 순서는 [그림 11]과 같이 거푸집 설치→열교 차단재 설치→벽체 콘크리트 타설→거푸집 제거→외벽 단열재 시공→외부 마감 순으로 이루어지는데 열교 차단재는 벽체 콘크리트 타설 전 제품을 고정한 뒤 타설하기 때문에 별도의 보강 작업이 필요 없다는 장점이 있다.



본 기술의 성능에 대해 살펴보면 KS F 2278:2014(창호의 단열성 시험방법)에 의거하여 시험한 결과 창호 열교 차단재 설치 전의 열관류율은 $1.847W/m^2K$, 설치 후의 열관류율은 $0.665W/m^2K$ 으로 나타났다.

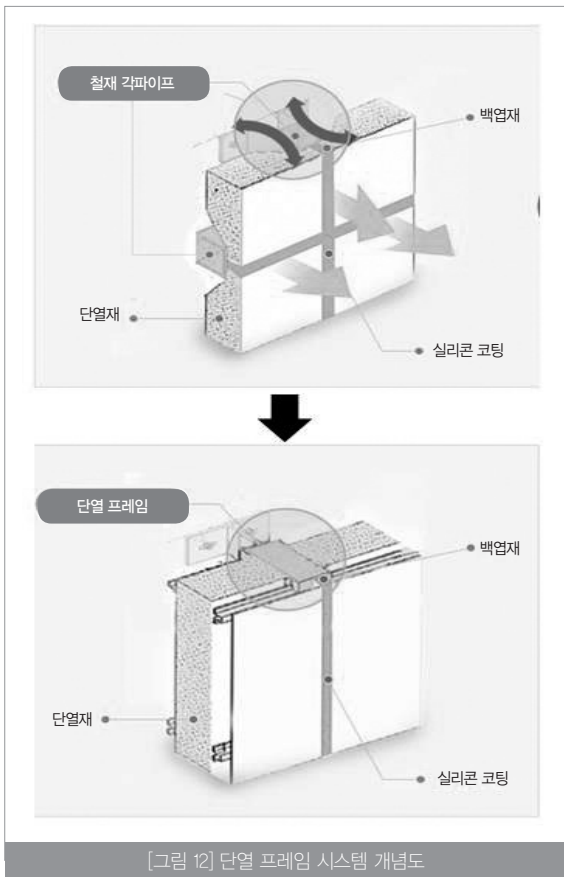
결로 대응성의 경우 열교 차단재 설치 전 벽체 TDR 값은 0.37, 창틀은 0.26인 반면 열교 차단재 설치 후는 벽체 0.13, 창틀은 0.15의 TDR 값을 나타내어 공동주택 결로방지 설계기준의 법적 TDR 값 이하로 확인되었다.

구조적 안정성의 경우 KS F 2296:1999(창호의 내풍압 시험방법)에

의거하여 시험을 한 결과 값을 확인한 결과 정압 1300Pa에서 열교 차단재 설치 전 1/73, 설치 후 1/72를 나타내었고, 부압 700Pa에서 설치 전 1/98, 설치 후는 1/93으로 횡량의 변화는 큰 차이가 없으므로 확인되었다.

3) 프레임 열교 차단 기술

'열교 차단재를 이용한 건식 외단열 시스템'은 일반적으로 건축물에서 외장재를 부착하기 위해 설치하는 철재 각파이프는 [그림 12]에서와 같이 단열을 해도 열교가 심하여 에너지 손실이 많이 발생하는데 이러한 단점을 보완하기 위하여 철재 각파이프 구조를 트러스 단열 프레임으로 대체하여 단열재의 단절을 방지, 열교를 차단하여 결로를 예방하고 열 손실을 줄일 수 있는 시스템이다.

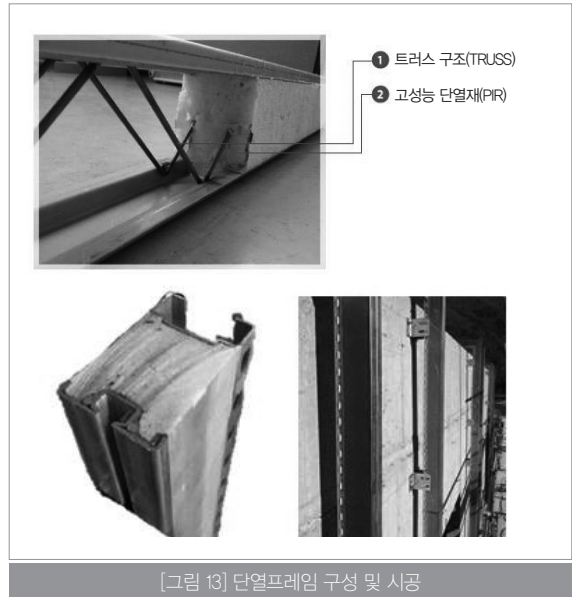


[그림 12] 단열 프레임 시스템 개념도

본 기술의 핵심인 단열 프레임은 [그림 13]에서와 같이 아연도금 철판과 스텐레스 강선을 이용한 트러스 형태의 제작을 하여 구조적 강성을 확보하고 내부에 고성능 단열재(PIR)를 충전하는 구조로 이루어져있다.

철판과 철판을 이어주는 철심은 스틸(강재, 열전도율 54W/mK) 대

신 스텐레스(열전도율 15W/mK)를 사용하여 열전도율을 1/3로 낮추었고, 프레임안에 삽입된 PIR(경질우레탄 단열재)은 열전도율 0.023~0.024W/mK의 단열재를 적용하여 단열 성능을 확보하였다. 이 트러스의 단열프레임은 외장재 부착용 구조틀로 사용이 되며, 규격에 맞게 공장에서 사전 제작되어 현장에서는 화스너와 단열프레임을 볼트와 너트만으로 조립하기 때문에 현장에서 용접이 불필요하여 화재 방지 및 감전 사고 등을 예방할 수 있는 장점이 있다.



[그림 13] 단열프레임 구성 및 시공

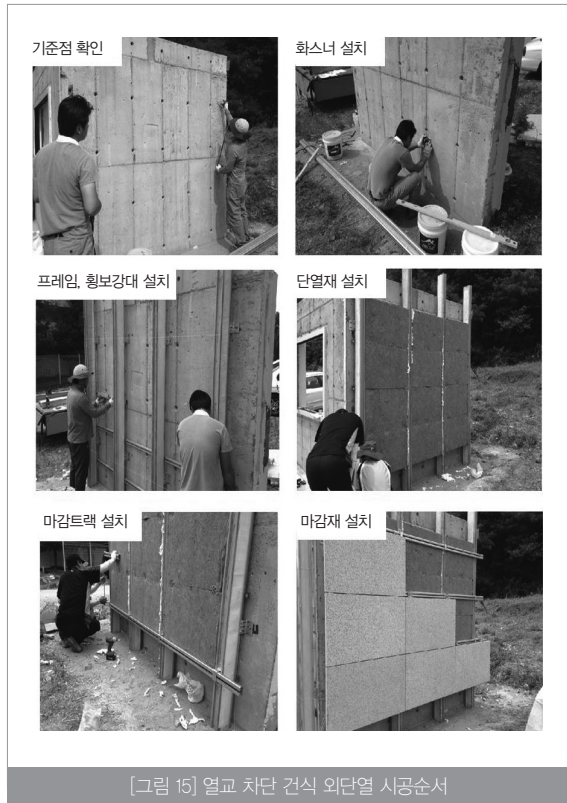
특히 본 기술에 적용되는 단열재의 경우 [그림 14]에서와 같이 불연 단열재인 발수 그라스울을 적용하여 화재 대응성을 강화하였으며, 최근 지속적으로 강화되고 있는 단열 법적 기준으로 인해 단열재 설치 두께가 두꺼워짐에 따라 화스너의 길이를 조정하여 단열 프레임 후면 및 전면에 각각 단열재를 나누어 설치 가능한 장점이 있다.



[그림 14] 발수 그라스울 단열재 시공

시공 순서는 [그림 15]와 같이 본 시스템을 적용할 부분의 기준점을 확인하고 화스너를 설치하고, 단열프레임을 설치한 후에 단열재 두

께에 맞춰 단열재를 시공한다. 마지막으로 마감재를 설치하기 위한 마감트랙을 설치하고 마감재를 설치하는 순서로 이루어진다.



본 기술의 성능을 살펴보면 단열 프레임 적용 시 구조체의 열관류율은 0.16W/m²K로 단열성능이 없는 기존 각 파이프 적용 시 열관류율 0.286W/m²K에 비하여 단열성능이 약 56% 개선되는 것으로 나타났다.

구조성능의 경우 변위량은 5.98mm로 허용치인 20.57mm의 약 25% 수준으로 구조적인 안정성은 확보하는 것으로 나타났다.

그리고 층간 변위 시험의 경우 시험 기준인 AAMA 501.4에서 규정하고 있는 허용치가 해당 건물의 용도에 따라서 Essential Facility(병원, 학교, 소방서 등 중요 건물), High Occupancy Assembly(고밀도 인구가 거주하는 건물), Standard Occupancy(일반건물)로 3개의 그룹으로 나누어 다르게 적용하고 있는데 본 기술의 경우 AAMA에서 요구하는 최고 수준 등급인 Essential Facility의 허용치를 만족하는 것으로 나타났다.

결로의 경우 현재 공동주택 결로방지설계기준의 평가 기준인 TDR 값은 0.05로 벽체 접합부의 법적 기준(지역 I : 0.25 이하, 지역 II : 0.26 이하, 지역 III : 0.28 이하) 이하로 확인되었다.

그 이외의 세부적인 성능 결과는 아래 <표 1>과 같다.

표 1 성능 시험 결과

평가항목	단위	평가방법	평가결과
열관류율	W/m ² K	KS F 2277	0.16
기밀성능시험	m ³ /h㎡	ASTM E283-04	0.53
정압수밀 성능시험	m ³ /h㎡	ASTM E331-00	누수 없음
동압수밀 성능시험	m ³ /h㎡	AAMA 501.1-05	누수 없음
구조성능시험	mm	ASTM E330-02	5.98
층간변위시험	mm	AAMA 501.4-09	이상 없음
결로시험	-		결로 없음 (TDR=0.05)

4. 맺음말

본 고에서는 외단열의 마감재 설치 공법 현황 및 열교를 줄이기 위한 외단열 열교차단 기술에 대해서 살펴보았다.

외단열 시스템의 경우 현재까지는 대부분 내단열을 적용하는 공동주택에는 적용하기 어려운 부분이 있지만 앞으로 제로에너지건축물 의무화에 따른 외단열 건축물이 확대될 경우 중요한 설계 요소 중의 하나로 자리 매김 할 것으로 기대가 된다.

따라서 외단열 열교 차단 기술은 점차 시장에서 확대 적용될 것으로 예상되며 본 고에서 언급하지 못한 기술에 대해서도 지속적인 관심과 업계에서도 외단열 시공법 및 열교 차단에 대한 다양한 의견 교류와 기술 개발이 진행되기를 기대해본다. S

참고문헌

- 신동일(2014), '트러스 단열프레임 유닛 시스템 개발' 한국건축시공학회지 v14 n.3(통권 제 65 호)
- 남동균(2016), '열교현상 저감 기능이 있는 고정장치를 사용하는 외단열 건축물의 외장재 설치공법' 한국건축시공학회지 V16 n.3(통권 제73호)
- 김용희(2017), '건축물 에너지 효율 향상을 위한 창호 주위의 열교 저감 기술' 대한건축학회 학술발표대회 논문집 V37, n2