

2. 외피 단열, 열교와 에너지 손실 Insulation, Thermal Bridge and Energy Loss

송승영 / 이화여자대학교 공과대학 건축학부 교수
by Song, Seung-yeong

건물 에너지 절약을 위해서는 여러 가지 사항이 고려되어야 할 것이나 이 중에서도 가장 기본적이고 필수적인 것이 외피 단열이다. 건물에서 외피라 함은 인체의 피부와 같은 역할을 하며 실외와 실내를 구분하는 경계로서, 고온이거나 혹은 저온이어서 냉난방을 유발하는 실외와 쾌적하게 유지되어야 하는 실내간의 열전달 경로가 되므로, 외피 단열이 중요한 이 유가 바로 여기에 있게 된다.

여러 유형의 건물 중 특히 주거용 건물은 인체, 조명, 기기 등에 의한 내부발열(Internal Load)이 적은 외피부하 지배형 건물(Envelope Load Dominated Building)로서, 난방부하의 비중이 매우 클 뿐만 아니라, 에너지 절약 측면에서 외피 단열이 가장 중요한 유형의 건물이다. 국내에서 가장 대표적 주거용 건물인 공동주택에는 거의 대부분 외벽 구조체 내측에 단열재를 설치하는 내단열 시스템이 적용되고 있으며, 이로 인해 벽-슬라브, 벽-벽 접합부에서는 단열재가 불연속될 수밖에 없어, 외피 단열 시 반드시 방지되어야 하는 열교(Thermal Bridge) 부위가 필연적으로 다수 발생하게 된다. 특히 국내 공동주택에는 난방용 온수배관이 바닥에 설치되므로 구조체를 통한 실외로의 열손실 방지가 매우 중요함에도 불구하고, 벽-슬라브 접합부 열교부위를 통해 매우 큰 열손실이 발생하고 있는 실정이다.

반면, 외단열 시스템을 적용하게 되면 구조체 외측에 단열재가 설치되므로 벽-슬라브, 벽-벽 접합부 등에서도 단열재가 연속되고 열교 발생을 근원적으로 차단할 수 있어, 에너지 절약 효과가 클 뿐만 아니라 국내 공동주택 하자 원인의 상당 부분을 차지하는 결로 발생을 줄여준다는 장점이 있다. 또한 콘크리트 벽체 등의 축열재가 단열재 실내 측에 위치하므로 난방열 축열에 의한 난방효율 향상이 가능하며, 실외에서 단열 시공이 진행되므로 신축뿐만 아니라 리모델링 시에도 공정 수립 및 공기 단축 등에 큰 이점이 있게 된다.(이상 <그림 1> 참조)

이에 본 원고에서는 열교 관련 국내외 기준 및 규정 현황, 국내외 주요

외단열 시스템과 적용사례 현황을 살펴보고, 실제 내/외단열 공동주택의 에너지성능 평가 결과를 보임으로써, 열교로 인한 에너지 손실의 심각성에 대한 인식을 높이고 외단열 시스템에 대한 이해를 돕고자 한다.

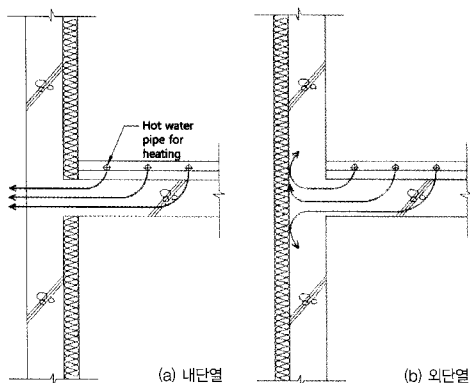
열교 관련 국내외 기준 및 규정 현황

국외

일반부위의 단열성능 지표인 열관류율처럼 열교부위의 단열성능 지표가 되는 선형 열관류율(Linear Thermal Transmittance)의 계산방법과 열교 부위를 통한 전열량 및 표면온도 계산방법(ISO 10211: 2007), 전형적인 열교 유형별 선형 열관류율 값(ISO14683: 1999) 등이 이미 국제 표준으로 제정된 바 있다. 이를 토대로 영국에서는, 주거용 건물의 에너지성능 평가를 위한 국가 기준인 SAP2005(The Government's Standard Assessment Procedure for Energy Rating of Dwellings)에서 주요 열교부위별로 허용 가능한 최대 선형 열관류율 값을 규정하고, 열교부위를 통한 손실열량을 반드시 포함하여 건물 에너지 소비량을 산출하도록 함으로써 열교 제거를 적극 유도하고 있다. 또한 유럽의 초 에너지 절약형 공동주택 프로젝트인 Passive House에서는 선형 열관류율을 이용, 열교부위를 통한 손실열량을 반드시 포함하여 건물 에너지 소비량을 산출하도록 하고 있을 뿐만 아니라, 열교부위 선형 열관류율은 반드시 0.01W/mK 이하가 되도록 규정함으로써 열교 제거(Thermal Bridge-free Construction)를 필수사항으로 하고 있고, 외단열 적용을 당연시 하고 있기도 하다.

국내

건축물의 에너지절약 설계기준에서 외단열 적용을 권장사항으로 하고 있으며, 외단열을 적용한 경우 면적비율에 따라 에너지성능지표(EPI, Energy Performance Index) 계산시 가점을 부여하고 있다. 그러나 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙에서 모든 외피부위의 단열성능을 열관류율(열교가 아닌 일반부위에만 적용 가능함)로만 규정함으로써 아직까지 열교부위에 대한 제도적 규제를 하고 있지는 않다. 하지만 이에 대한 보완을 위해 현재 열교부위 단열성능 지표로서 선형 열관류율의 계산방법 등을 규정한 ISO10211: 2007의 국내 표준화(KS F ISO10211: 2009) 작업이 진행 중이며, 추후 유럽 수준의 관련 규정 마련을 계획 중인 것으로 보고된 바 있다.



<그림 1> 벽-슬라브 접합부에서의 열류 경로

국내외 주요 외단열 시스템과 적용사례 현황

외단열 시스템 구성 및 시장 현황

외단열 시스템은 크게 습식, 건식, 통기식으로 구분되며, 주요 특징은 <표 1>과 같다.

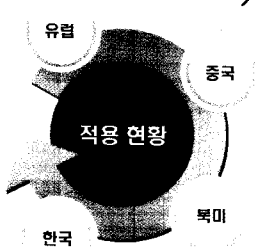
한편 외단열 시장 규모는 유럽이 가장 크며, 최근 중국에서 급속히 확산 중이다. <그림 2>는 국내외 외단열 시장 현황을 나타낸 것이다.

<표 1> 외단열 시스템 구분

구분	습식	건식	통기식
개념도			
구성	구조체-접착제(①)-단열재(②)-보강메쉬 합침 베이스코팅재(③)-마감재(④)	구조체-접착제(①) 및 트랙(②)-단열재(③)-보강메쉬 합침 베이스코팅재(④)-마감재(⑤)	구조체-메탈프레임(①)-단열재(②)-통기층-마감재(③)
특징	• 접착제로 단열재 습식고정	• 트랙(금속 혹은 PVC)과 일 부 접착제로 단열재 기계식 고정	• 메탈프레임 등으로 단열재 고정, 단열재와 마감재 사이에 통기층 형성 • 석재, 금속패널 등 다양한 마감재 적용 가능

50~60백만m²/년

- 주거용을 비롯한 다양한 용도 건물에 외단열 적용 일반화됨
- 습식, 건식, 통기식 등 다양한 외단열 시스템 적용



40~50백만m²/년

- 유럽의 기술, 제도 도입
- 2008년 올림픽 개최 및 에너지 정책 차원에서 외단열 적용 적극 유도

1~2백만m²/년

- 숙박, 상업시설 등에 일부 적용
- 대부분 습식 외단열 시스템 적용

9~10백만m²/년

- 주로 주거용 건물에 적용
- 습식 외단열 시스템 적용이 많음

<그림 2> 외단열 시장 현황(2004년 시장 추정 자료)

국내외 주요 외단열 시스템 및 외단열 공동주택 사례

국내외 주요 외단열 시스템 현황은 <표 2>와 같고, 외단열 공동주택 사례는 <표 3>과 같다.

<표 2> 국내외 주요 외단열 시스템 현황

	StoTherm Classic	StoTherm Mineral	StoVentec
독일 Sto사 (국내 KoSto사에서 공급)			
	• 습식 및 건식 • EPS 단열재 적용	• 습식 및 건식 • 암면 단열재 적용	• 통기식 • 암면 단열재 적용
일본	Nittobo사	Mag사	Asahi사
	• 습식, 건식, 통기식	• 통기식 • 유리면 단열재 적용	• Reisa 공법 • Ash-lock 단열재 적용
		Nozawa사	Fukko Japan사
		• Hi-part공법 • Ash-lock 공법	• RC조 공법 • 철골조 공법 • 보드 공법
			Suzuki사
			• 통기식 • 유리면 단열재 적용

	Dryvit사(미국)	효성이노테크사(한국)
미국, 한국	 • 건식, 습식, 통기식 • EPS 단열재 적용	 • 습식 • 미국 Dryvit사와 기술 제휴 • EPS 단열재 적용, 변형 및 뒤트림 방지 위해 단열재 속성
한국 KCC사 (시장 출시 작전, 시착품 제작 완료)	습식(암면) 	건식(암면)
		통기식(유리면)

<표 3> 국내외 외단열 공동주택 사례

독일 Berlin	독일 Zwickau	영국 London	영국 Cardiff	미국
캐나다	중국 1	중국 2	한국 김포	한국 성남

내/외단열 공동주택의 에너지 성능평가

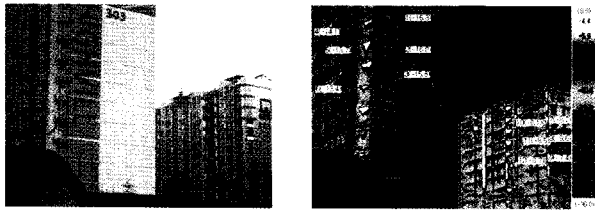
동계 난방시 열화상 촬영 결과 비교

외단열 시스템 공급업체(KoSto사, 효성이노테크사)를 통한 시장조사 결과, 건물 전체에 외단열 시스템이 적용된 공동주택으로는 경기도 김포 시 소재 A공동주택, 경기도 성남시 소재 C공동주택이 있는 것으로 나타났다.

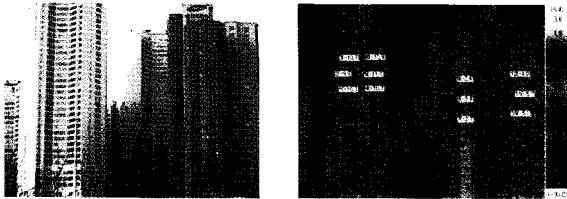
동계 새벽에 열화상 장치를 이용, 해당 공동주택과 기존 내단열 시스템이 적용된 인근 B, D공동주택의 외표면 온도 분포를 동시에 촬영한 결과는 <그림 3>과 같다.

<그림 3>에 표시한 주요 지점 온도 값을 기준으로 비교해보면, 외단열 A 공동주택의 벽체 외표면 온도는 내단열 B공동주택에 비해 전면 외벽에서는 평균 5.3℃ 낮고, 측벽에서는 무려 평균 7.6℃나 낮게 나타났다.

C 및 D공동주택의 경우도 앞에서와 마찬가지로 외단열 C공동주택의 벽체 외표면 온도는 내단열 D공동주택에 비해 전면 외벽에서는 평균 5.2℃ 낮으며, 측벽에서는 평균 7.8℃나 낮게 나타났다. 5.2~7.8℃의 외표면 온도 차이는 엄청난 것으로, 기존 내단열 공동주택에서 동계 난방시 열교로 인한 에너지 손실이 매우 크며, 외단열 적용시 상당한 에너지 절약이 가능함을 확인할 수 있다.

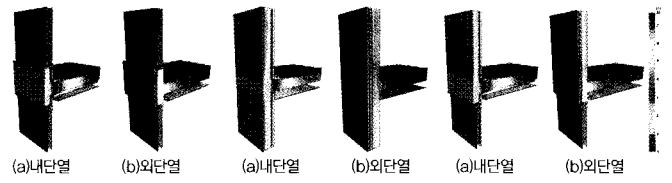


(a) 김포 A(외단열, 좌측 1개동), B(내단열, 우측 1개동) 공동주택



(b) 성남 C(외단열, 좌측 2개동), D(내단열, 우측 1개동) 공동주택

〈그림 3〉 김포 및 성남 내/외단열 공동주택의 동계 난방시 열화상 촬영 결과



(a)내단열 (b)외단열 (a)내단열 (b)외단열 (a)내단열 (b)외단열

〈그림 4〉 전면 외벽-슬라브 접합부

〈그림 5〉 측벽-슬라브 접합부

〈그림 6〉 후면 외벽-슬라브 접합부

〈표 4〉 설치 단열재 체적 및 연간 손실, 획득열량 비교

구분	전면 외벽-슬라브 접합부		측벽-슬라브 접합부		후면 외벽-슬라브 접합부		
	내단열	외단열	내단열	외단열	내단열	외단열	
설치단열재 체적(m ³)	0.159 (0.0%)	0.084 (-47.4%)	0.286 (0.0%)	0.300 (+4.9%)	0.255 (0.0%)	0.164 (-35.6%)	
난방 미실시 (MJ)	손실열량(난방 부하, 작을수록 우수)	1,800,555.4 (0.0%)	1,679,323.5 (-6.7%)	659,281.1 (0.0%)	415,102.2 (-37.0%)	1,304,719.1 (0.0%)	1,145,857.0 (-12.2%)
	획득열량(냉방 부하, 작을수록 우수)	30,100.8 (0.0%)	28,729.5 (-4.6%)	5,674.7 (0.0%)	3,069.2 (-45.9%)	19,587.9 (0.0%)	17,375.9 (-11.3%)
난방 실시 (MJ)	손실열량	1,459,789.6 (0.0%)	1,398,709.5 (-4.2%)	423,529.3 (0.0%)	299,337.0 (-29.3%)	994,442.6 (0.0%)	924,164.2 (-7.1%)
	획득열량 (쿨수족 우수)	868,472.2 (0.0%)	912,641.0 (+5.1%)	768,899.2 (0.0%)	855,801.1 (+11.3%)	1,006,103.1 (0.0%)	1,079,781.8 (+7.3%)

설치 단열재 체적 및 연간 손실, 획득열량 비교

내단열 시스템을 적용하여 최근 완공된 D사 공동주택의 기준층 전면 외벽-슬라브 접합부, 측벽-슬라브 접합부, 후면 외벽-슬라브 접합부(〈그림 4〉~〈그림 6〉 참조)에 대한 3차원 전열해석을 실시하여, 연중 난방을 하지 않은 경우와 실제 스케줄대로 난방을 실시한 경우 각각의 연간 손실, 획득열량을 산출하였다. 연중 난방을 하지 않은 경우의 손실, 획득열량은 각각 난방 및 냉방부하가 되며 두 값 모두 작을수록 단열성능이 우수한 것이고, 연중 실제 스케줄대로 난방을 실시한 경우의 손실, 획득열량은 실제 난방 운전시 효율이 되며 손실열량의 경우 작을수록, 획득열량의 경우 클수록 단열성능이 우수함을 의미한다.

설치 단열재 체적을 보면, 전면 및 후면 외벽-슬라브 접합부에서는 외단열 적용시 내단열에 비해 각각 47.4% 및 35.6% 감소하여 시공비용도 절감되는 것으로 나타났다. 이는 외단열의 경우 내단열 적용시 기준층 슬

라브 하부에 설치하는 열손실 방지용 보조 단열재를 설치하지 않아도 되기 때문이다.

연간 손실, 획득열량 평가 결과를 보면, 외단열 적용시 내단열에 비해 난방부하는 평균 18.6%, 냉방부하는 평균 20.6% 감소하며, 실제 난방시 손실열량은 평균 13.5% 감소하고 획득열량은 평균 7.9% 증가하여 에너지 절약 효과가 매우 큼을 확인할 수 있다.(이상 〈표 4〉 참조)

선진 외국의 경우 열교 제거를 각종 기준, 규정을 통해 이미 강제하고 있을 뿐만 아니라, 열교 제거형 외단열 시스템 적용이 일반화되어 있는 상태이다. 우리나라의 경우 2013년 이후 온실가스 감축 의무 부담과 함께 선진 외국과 유사한 방식, 수준으로의 단열 규정 보완이 예정되어 있고, 앞서의 내용에서와 같이 국내 공동주택에서 외단열 적용에 의한 열교 제거만으로도 상당한 에너지 절약이 가능한바, 국내 공동주택에 적합한 열교 제거형 외단열 기술 확보와 보급 확대는 시급한 과제라고 하겠다. ■