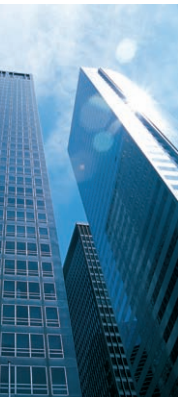


04

고단열 복합PC 외벽 시스템 개발 연구

Development of Exterior Thermal Insulation Composite System for PC-Wall

이왕희 Wanghee Lee
현대산업개발
기술연구소 소장

정문영 Moonyoung Jeong
현대산업개발
기술연구소 부장

이용화 Yonghwa Lee
현대산업개발
기술연구소 과장

최지혜 Jihye Choi
현대산업개발
기술연구소 대리

김영훈 Younghun Kim
현대산업개발
기술연구소 사원

1. 머리말

최근 국내의 건물 에너지 성능기준이 강화됨에 따라 공동주택 부문에서 강화된 단열기준의 충족 및 에너지 절감 목표를 달성하기 위하여 고단열 외피의 시스템의 적용이 필수적인 요소로 제시되고 있다. 정부는 2025년에 제로에너지주택을 공급하기로 계획하고 있으며, 이를 실현하기 위해서는 패시브하우스 수준의 단열 성능이 필요하고 벽체의 단열방식도 현재 주로 적용하고 있는 내단열 방식에서 외단열 방식으로 전환되어야 할 것으로 예상된다.

벽체의 단열성능 및 결로 방지 성능을 개선하기 위한 외단열 방식은 습식, 건식, 반건식 등으로 다양한 공법이 있으며, 시공성과 내구성에 대한 연구가 진행되고 있으나 아직까지 고층건축물에 적용하기에 한계가 있다. 외단열 공사의 단점은 시공 시 날씨의 영향을 받는다는 점과 골조 공사 후에 시공하는 방식을 취할 수밖에 없어 외부 가설이 필수적이나 이로 인한 시공성 저하, 공사비용 증가 및 안전성 등의 문제가 해결해야 할 숙제로 남아있다.

한편 공동주택의 골조형식의 변화를 볼 때, 현재와 같은 벽식 구조 중심에서 라멘 및 무량판 구조의 비율이 증가하고 있으며, 모듈러주택과 같은 조립식 공법에 대한 관심도 증가하고 있다. 따라서 PC벽체에 대한 관심도 다시 증가하고 있어 앞으로 고단열 성능을 가지고 있는 조립식 벽체가 필요할 것으로 생각한다. 본 연구에서는 기존의 외단열 공법의 문제점을 해결하고 조립식 외측 벽체에 적합한 대안으로 기존의 내단열 또는 중단열 PC 벽체가 아닌 외단열 시스템을 접목한 고단열 PC를 개발하고, 이 제품에 적합한 공법을 제시하고자 한다.

2. 본 연구의 검토 배경

2.1 건축물의 단열기준 강화

건축물의 사용 에너지를 줄이는 가장 기본적인 방향은 외기와 접하는 벽체와 창호로 구성된 외피의 단열성능을 증가시키는 것이다. 최근 정부의 고단열 기준 강화 정책에 따라 에너지절약설계기준과 친환경 건축물 건설기준이 수차례 개정되면서 단열성능을 강화하고 있다. 〈표 1〉은 외기에 직접 면하는 중부지방 공동주택 측벽의 단열성능의 변화를 이해하기 쉽게 정리한 것이다. 〈표 1〉에서 보는 바와 같이 단열기준 강화에 따라 단열재의 두께는 거북스러울 정도로 증가하게 되고 이를 내단열로 실내측에만 시공한다면 지나치게 많은 공간의 손실을 가져오게 된다. 이에 대한 대안으로 외단열을

표 1. 연도별 단열기준과 단열재의 두께 변화

구분 \ 년도	2009	2010	2013	2017	2025	비고
열관류율(W/m²K)	0.47	0.36	0.27	0.19	0.12	–
단열재 최소두께(mm)	70	85	120	180	300	'가' 등급

꼽을 수 있으며, 외단열은 열교차단, 구조체 보호 등 유리한 점이 있어 정부의 정책도 점차 외단열 방식을 권장하는 방향으로 변화하고 있다.

2.2 외단열공법의 개선방향

외단열방식이 우수함에도 중층규모 이상의 건축물에 적용된 사례를 발견하기 쉽지 않다. 국내의 상황에서 외단열방식의 약점을 요약하면 경제성과 내구성으로 압축할 수 있다. 경제성은 시공방법에 기인하는 것으로 중층이건, 고층이건 현재로선 비계를 이용하여 단열재를 시공하고 마감작업을 하므로 공사비가 증가하게 되고 안전 가설 등의 부대비용도 증가한다. 내구성은 올바른 시공을 지키지 않는 것이 문제이기는 하지만 저층의 건물임에도 단열재의 변형, 탈락, 낙하 등의 문제가 자주 발견된다. 업계의 노력으로 많은 부분 개선되었으나 아직 고층건물이나 대규모 공사의 설계에 적용하기에는 신뢰가 부족한 듯하다〈사진 1 ~ 2〉.

3. 외단열 PC 벽체의 개발

3.1 목표물성

단열성능의 지표인 열관류율은 유럽 패시브하우스의 벽체 열관류율을 참고하였다. 현재는 비드법, 압출법 보온재를 주로 검토하고 있으며, 향후 단열재의 두께를 줄이거나 단열성능을 높이는 방법으로 진공단열재의 사용도 검토할 예정이다. 압축강도 24 MPa의 보통콘크리트를 기준으로 시험을 진행하고 있다. PC의 중량은

사진 1. 비계 이용 외단열 시공

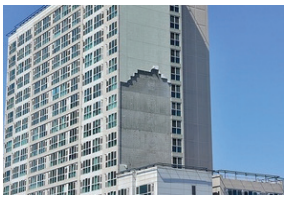


사진 2. 단열재 탈락 및 변형

표 2. 고단열 PC의 목표 성능표

구분	현재 성능(RC조 벽체)	목표 성능(고단열 PC)
열관류율(벽체)	0.27 W/m²K	0.15 W/m²K 이하
단열방식	내단열	외단열
중량	360 kg/m²	120 kg/m² 이하
부재두께	420 mm	300 mm 이하
내풍압, 기밀 등	KS 또는 AAMA 기준	동일성능
내화, 차음	국내 법규	동일성능

생산, 시공 등에 큰 영향을 미치는 요소이므로 콘크리트의 단면을 줄이거나 소재를 경량화할 수 있는 방법을 계속 연구해야 할 것으로 생각한다〈표 2〉.

3.2 프로토타입 검토

열관류율을 만족하기 위하여 최소 220 mm 이상의 단열재가 필요하고, 구조물의 하중 및 운송 · 양중부하 저감을 위해서는 PC 벽체의 경량화가 중요하다.

기존의 일반 PC 부재의 경우 일반적으로 콘크리트의 두께가 120 mm 이상으로 양중장비의 양중능력에 따라 PC 유닛수가 증가하여 부재간 조인트가 증가하는 문제가 발생한다. 이러한 조인트 증가는 누수 발생 위험과 수송 및 양중량 증가로 비용이 상승하고, 생산성 저하로 인한 공기 증가가 예상되므로 경량화를 할 수 있는 콘크리트 부재의 형상을 비교 검토하였다〈표 3〉.

3.3 단열재간 접착강도

외단열에서 골조면과 단열재간의 접착 강도는 매우 중요한 품질 기준이 된다. 기존 외단열 습식공법은 전용 모르타르를 이용하여 떠붙임 방식으로 시공하는 것과 달리 본 개발방법은 단열재에 콘크리트를 타설하여 일체화시키는 방법이므로 전면접착으로 일체화하게 된

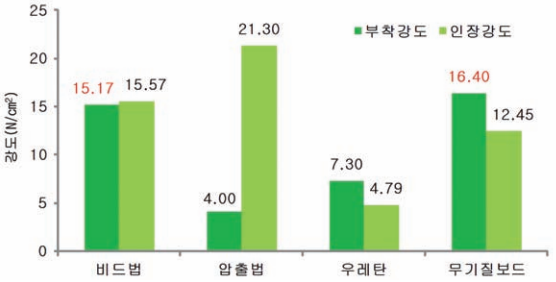
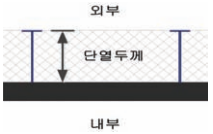
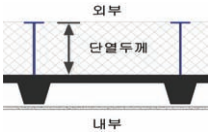
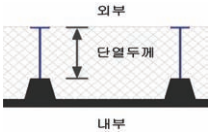
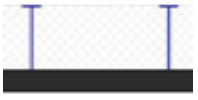


그림 1. 콘크리트와 단열재간 접착강도

표 3. PC와 단열재의 구성방법과 마감 재료의 검토

구분	Alt #1(내단열 방식)	Alt #2	Alt #3	Alt #4	Alt #5
구성	GYPSUM BOARD + 단열재(EPS) + PC	PC + 단열재(EPS)	PC(실내측RIB) + 단열재(EPS)	PC(외측 RIB) + 단열재 (EPS, 미네랄울)	GFRC(외측 RIB) + EPS + GFRC
설치 상세					
부재 단면					
마감	수성페인트	드라이비트	석재 뿜칠	석재 시트	GFRC 수성

다. 콘크리트와 접착 모르타르 간의 부착성 비교한 결과를 〈그림 1〉에 정리하였다.

부착강도는 시멘트 페이스트가 잘 결합할 수 있는 단열재의 흡수성과 관계가 깊은데 비드법 단열재와 무기질 보드가 좋은 것으로 나타났다. 단위면적당 접착성능 비교한 결과 기존의 외단열 습식공법은 접착 모르타르의 도포면적은 전체 단열재의 약 32% 수준에서 접착강도가 10.84 N/cm^2 정도이고 본 공법의 경우는 단열재 전면이 콘크리트에 접착되어 대등하거나 더 우수한 접착강도를 나타내어 약 2배 정도 우수한 것으로 평가된다.

3.4 열전달 해석

3.4.1 분석 항목 및 조건

기존 PC-Wall 공법의 단열성능을 개선 및 보완하기 위해서는 부재 조인트, 패스너 및 단열재 고정핀 등의 열교를 제어하는 것이 매우 중요하다. 중량, 작업성, 시공성 등을 고려하여 〈표 4〉의 단면을 기본 모델로 정하고, 열교 현상에 영향을 미치는 항목에 대하여 열적 성능을 검토 하였다.

열전달 성능은 전열해석 프로그램인 Physibel Trisco Ver.12W와 Physibel Bisco Ver.9W를 이용하였다. 실내외 설정온도는 건축물 에너지절약 설계기준(국토해양부 고시 제 2008-652) 서울지역 설계 외기온도를 적용하였으며, 실내외 표면 열전달저항은 BS EN ISO6946:1997을 활용하였다.

3.4.2 PC 슬래브 접합부

일반적으로 내단열 방식에 있어 Wall-슬래브 접합부는 단열에 취약한 부분이다. PC-wall의 경우 내단열과 외단열 방식으로 시공하였을 때의 성능차이를 분석하였다. 〈표 5〉와 같이 3가지 경우 모두 벽체의 평균열관류율(W/m^{2}K)은 동일하나 외단열 방식을 적용했을 때 접합부의 선형열관류율이 최대 약 67%까지 낮아져 손실열량이 크게 줄어드는 것을 알 수 있었다. case 2와 같이 내단열로 접합부 단열재를 100 mm로 시공한 경우도 외단열 공법으로 단열재를 50 mm를 적용하는 것에 성능이 미치지 못하는 것으로 나타나 외단열이 PC-슬래브의 열교를 방지하는 것에 효과적인 것으로 분석되었다.

3.4.3 지지핀 재료 및 간격

콘크리트와 단열재가 일체화된 PC를 제작하기 위해 콘크리트와 단열재의 접착성도 중요하지만 최종적으로 단열재가 일체화된 시스템을 위해서는 고정핀을 사용해야 한다고 생각한다. 고정핀의 재질은 열전도율이 커서 불리하지만 강성이 우수한 강재 고정핀과 열전도율은 낮아

표 4. PC와 단열재의 구성방법과 마감 재료 검토

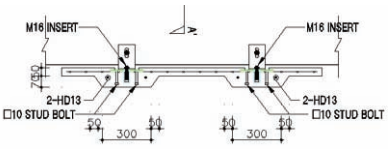
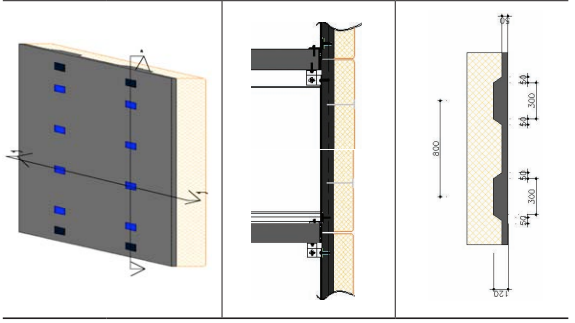
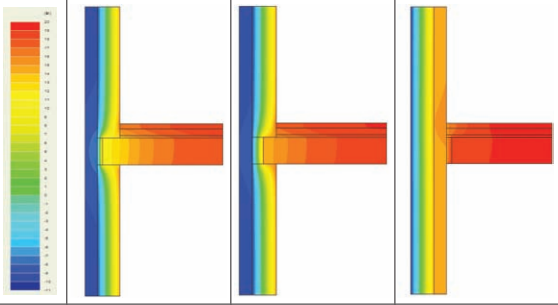
재료	단면 디테일
콘크리트	
	

표 5. 외벽PC-슬래브 조인트의 단열 공법에 따른 선형 열관류율

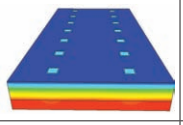
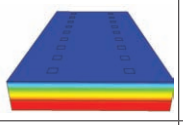
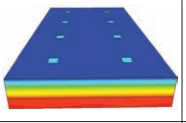
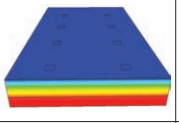
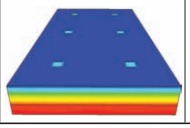
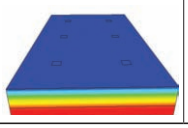
구분	내단열 공법		외단열 공법
	case 1	case 2	case 3
	층간단열재 50 mm 삽입	층간단열재 100 mm 삽입	층간단열재 50 mm 삽입
			
Ψ(W/mK)	0.13	0.086	0.044
%	(0.0)	(-34%)	(-67%)

서 열교방지에는 유리하나 강도가 낮은 PVC 고정핀을 비교하였다. 강재 고정핀의 경우 열전도율이 크므로 갯수에 따라 평균 열관류율에 미치는 영향이 크고 PVC 고정핀의 경우는 무시할 정도로 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 금속재 고정핀은 열손실의 영향이 크므로 가능하면 지양하고 목표물성에 도달하기 위해서 단열재의 두께나 성능을 약간 강화할 필요가 있는 것으로 나타났다〈표 6〉.

4. 맺음말

본 연구는 외단열공법의 문제를 해결할 수 있는 하나의 대안으로써 단열재 선부착 복합 PC 시스템을 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 총 3년 연구과제로 기초

표 6. 지지핀 간격에 따른 열 성능 분석

지지핀 간격	Steel		PVC	
	그림	Ueq (w/mK)	그림	Ueq (w/mK)
case 1 (300 mm)		0.324		0.167
case 2 (600 mm)		0.293		0.166
case 3 (900 mm)		0.236		0.166

연구와 검토를 끝내고 2차년도에는 시작품생산과 시공시험을 수행할 계획이다. 당사 여주 PC 공장에서 테스트베드를 만들어 놓고 다양한 시작품 생산을 시도하고 여러 시공방법을 검토하고 있다.

기본모듈설계기준, 시공 시 단열재의 파손, PC 부재의 조인트 처리, 창호의 결합 방법, 시공 후 구조적 성능 확인 등 아직 해결해야 할 숙제가 있으나 여러 분야의 전문가의 조언을 반영하여 연구단에서 추진하고 있는 Energy Efficiency House에 완성도 높은 제품을 적용하기 위해 노력하고 있다.

담당 편집위원 : 류동우(대진대학교) dwryu@daejin.ac.kr

이왕희 상무는 고려대학교 건축공학과를 졸업한 후 현대산업개발에 입사하여 구조설계팀장을 거쳐 현재 기술연구소장으로 있다. 우리 학회의 내진설계위원회, 정착이음위원회 위원으로 활동하고 있다.
myhome@hyundai-dvp.com

정문영 부장은 단국대학교 재료공학과에서 석사학위를 취득 후 현대산업개발 기술연구소에서 고강도콘크리트와 폭렬관련 연구를 수행하였으며, 현재 본 연구의 책임자로 있다.
myjeong@hyundai-dvp.com

이용화 과장은 충남대학교 건축공학과를 졸업한 후 1996년 현대산업개발 건축본부에 입사하여 현재 기술연구소에 재직하고 있다. 골조공기 및 시공관련기술을 연구하고 있다.
lyh700@hyundai-dvp.com

최지혜 대리는 건국대학교 건축공학과에서 석사학위를 취득 후 2008년 현대산업개발 기술연구소에 입사하여 현재 단열 및 결로관련 연구를 수행하고 있다.
jhchoi@hyundai-dvp.com

김영훈 사원은 건국대학교 건축공학과에서 석사학위를 취득 후 2013년 현대산업개발 기술연구소에 입사하여 현재 콘크리트 및 복합소재 연구를 수행하고 있다.
kimyh@hyundai-dvp.com