

고강도콘크리트 내화성능을 확보한 건식화 PFB 공법 개발에 관한 연구

A Study on the Development of a Dry PFB Method with High Fire Resistance

김 우 재* 정 상 진**
Kim, Woo-Jae Jung, Sang-Jin

Abstract

The present study was to develop a dry PFB method similar to the existing gypsum board construction method in order to apply the existing wet PFB method that uses fire-resistant adhesive. It was found that the existing wet method can produce concrete compressive strength of 80MPa and fire resistance of 3 hours with 30mm PF boards. The goal of development in this study was fire resistance of 3 hours through dry construction of 15mm fire-resistant boards.

1. Improved PF board was prepared by adding inorganic fiber to existing board and using aggregate with grain size of 3mm or less. Molding was done at temperature higher than that for existing PF board molding. While wet curing is used for existing PF boards, this study used dry curing in order to enhance heat insulation performance.
2. According to the results of fire resistance test, when the dry PF method was applied, the temperature of the main reinforcing bar was 116°C in 15mm, 103.8°C in 20mm, and 94°C in 25mm, and these results satisfied the current standards for fire resistance control presented by the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. When a 3-hour fire resistance test was performed and the external properties of the specimen were examined, the outermost gypsum board hardly remained and internal PF board maintained its form without thermal strain.

키워드 : PF보드, 내화성능
Keywords : POSCO E&C Fire Board, fire resistance test

1. 서 론

국내 초고층 프로젝트의 증가에 따라 필연적으로 고강도 콘크리트의 사용이 증가되고 있다. 콘크리트의 강도가 증가됨에 따라 화재시 단면결손을 유발하는 폭렬의 경향성이 커지고, 콘크리트부재 내부의 온도를 현저하게 증가시키며 심각한 구조적 손상을 유발할 수 있다는 문제점이 대두되었고, 정부에서도 2008년 7월부터 고강도 콘크리트의 내화성능 관리기준을 시행하고 있다. 이에 국내 각 건설사들은 50MPa 이상의 고강도 콘크리트에 대하여 폭렬방지 대책을 수립 중에 있다. 본 연구소에서는 신축공사 및 리모델링공사에도 적용이 가능한 고강도 콘크리트 폭렬방지 공법인 PFB (Posco E&C Fire Board) 공법을 개발하여 지속적인 공법 개선에 노력하고 있다. 본 연구는 고강도 콘크리트 폭렬방지 대책으로 개발한 PFB 공법을 기존의 습식공법에서 현장적용성 및 경제성이 우수한 건식화 공법으로 개발하기 위한 기초 연구로 PF보드의 기초물성 평

가, 3시간 내화시험 및 현장 적용을 위한 실시 상세 설계를 실시하여 당사 초고층 현장에 적용하기 위한 기본 자료로 활용하고자 하였다.

2. PF 보드 기초 성능평가

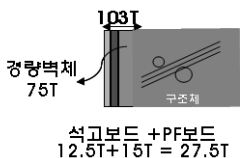
본 연구는 기존 PFB 공법에서 내화 접착제를 사용하여 현장에 시공하는 습식공법을 기존 석고보드의 시공과 동일한 시공법으로 현장에 적용하기 위한 건식화 시공법을 개발하는 연구이다.

표 1은 기존의 습식 PFB 공법과 개발 예정인 건식화 PFB 공법의 개념도이다. 기존의 습식공법의 경우 30mm PF보드로 콘크리트 압축강도 80MPa까지 3시간 내화성능을 확보하는 것으로 조사되었다. 본 연구의 개발목표는 15mm 내화보드를 건식화 시공을 하여 3시간 내화성능을 확보하는 것을 목표로 한다.

* 포스코건설 R&D CENTER 기술연구소, 과장

** 단국대학교 건축공학과, 교수

표 1. PFB 공법 비교

구분	습식공법	건식공법
보드두께	30mm 이상	15mm 이상
접착방법	내화접착제	나사 못
공법 개념도		

2.1 PF보드 성능 개선

PF보드는 알루미늄 실리케이트계 무기물과 알칼리 실리케이트 경화제를 이용하여 Al-Si 무기 폴리머 구조를 형성하는 결합제에 단열골재, 내화골재 및 기능성첨가제를 혼합하여 구성되는 조성물로 가압성형 후 보드형태로 보드를 제작한다. 개선 PF보드는 기존의 보드에 무기섬유를 혼합하고 골재의 입도 조절을 실시하여 3mm 이하의 골재를 사용하였고 기존 PF보드 성형보다 높은 온도에서 성형을 실시하였다. PF보드의 양생은 기존에서는 습윤 양생을 실시하였으나, 본 연구에서는 건조 양생을 실시하여 열의 차단성능을 향상시켰다.

표 2. PFB 보드 성능개선 방법

구분	기존 PF보드	개선 PF보드
조성	- 무기섬유 없음 골재 입도(5mm under)	Al:Si mol ratio 조정 무기섬유 일부 적용 골재 입도 조정(3mm under)
성형	80~100℃	140~160℃
양생	80℃ 습윤양생	80℃ 건조양생

2.2 PF보드 성능 검토

기존의 PF보드와 개선 PF보드의 성능을 간이 내화시험 (1,000℃ 3시간)과 물리적 성능평가를 표 3과 같이 실시하였다. 내화시험결과 열적내구성과 열변형이 감소하는 것으로 조사되었다. 이것은 무기섬유가 열적변형을 감소 시키는 것으로 사료되며, 열차단 성능이 15% 이상 향상되는 것으로 조사되었다. 이것은 Al:Si mol ratio 조정에 따른 PF보드의 내부조성의 변화, 고온성형 및 건조양생에 따라 차열성능이 향상된 것으로 판단된다.

기존 PF보드와 개선 PF보드의 물리적 성능 중 휨강도는 2.8MPa에서 5.4MPa로 휨강도의 성능이 향상되는 것으로 조사되었다. 이것은 개선 PF 보드의 경우 섬유 및 골재의 입도를 3mm 이하로 제조하여 조직의 치밀성 및 휨 성능을 향상시킨 것으로 판단된다.(그림1 참고) 현장 시공 후 중량물 설치시

표 3. PF 보드 성능개선 시험결과

항목		기존 PF 보드	개선 PF 보드
간이내화성능 (1000℃,3시간)		-	열적 내구성 증가(변형 등 감소) 동일 두께 대비 열차단 성능 향상 (이면 온도 : 약 10~15% 수준 저감)
물리적 성능	휨강도(MPa) (KS L 5114)	2.8	5.4
	부피 비중 (KS L 5114)	1.0	1.0
	나사못 유지력(N) (KS F 3200)	187	198
	열전도율(w/mk) (KS L 9016)	0.285	0.148

하자발생을 사전에 방지하기 위한 방안으로 나사못 유지력 시험을 실시한 결과 기존 PF보드는 187N 개선 PF보드는 198N으로 조사되어 나사못 지지력 성능도 향상되는 것으로 조사되었다.(그림2 참고)

부피비중은 기존 PF보드와 개선 PF보드가 차이가 없는 것으로 조사되었다. 차열성능의 주요한 평가항목인 열전도율 시험을 실시한 결과 기존 PF보드의 경우 0.285w/mk로 조사되었으며, 개선 PF보드의 경우 0.148 w/mk로 조사되어 50% 이상의 차열성능이 가능 한 것으로 판단된다.(그림3 참고)

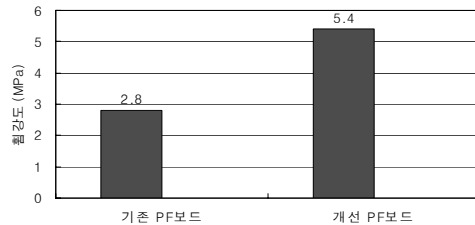


그림 1. 휨강도 시험 결과

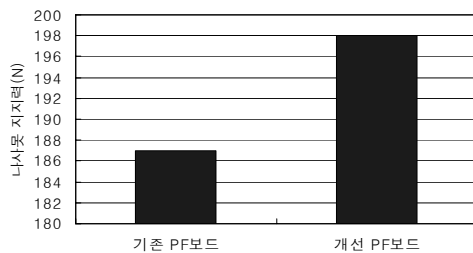


그림 2. 나사못 지지력 시험 결과

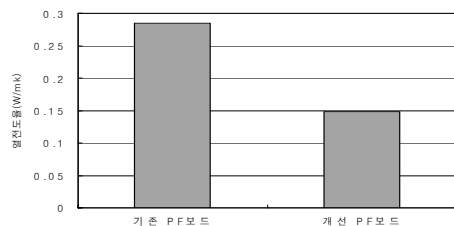


그림 3. 열전도율 시험 결과

기존의 습식공법인 PFB공법의 건식화를 위해 PF보드의 성능을 개선 한 결과 열전도율 50% 저감 및 간이 내화 성능평가로 이면온도 15% 저감효과를 볼 수 있는 것으로 조사되었다. 따라서 상기 개선 PF보드로 실부재 내화성을 검증하여 건식화 PFB 공법의 적용 가능성을 검토 하였다.

3. 실부재 내화성능 평가

3.1 콘크리트 물성

건식화 PFB공법의 3시간 내화성능평가를 위해 60MPa 고강도 콘크리트 단주 시험체를 제작하였다. 고강도콘크리트 관련 배합표는 아래 표 4와 같다. 시험체제작용 콘크리트의 기본 물성은 표 5와 같이 조사 되었다. 시험체 타설시 슬럼프 플로우는 695mm, 공기량 2.7%로 조사되었으며, 56일 압축강도를 조사한 결과 71MPa로 조사되어 내화시험 조건에는 문제가 없는 것으로 조사 되었다.

표 4. 고강도 콘크리트 시험체 배합표

시험체	Binder (kg/m ³)	W/B (%)	S/a (%)	AD (%)	단위재료량(Kg/m ³)					
					W	C	BS	S	G	AD
20-60-62	580	28.5	46	1.3	165	318	261	692	844	7.53

표 5. 고강도 콘크리트 시험체 시험결과

물성시험결과		압축강도시험결과 (MPa)
슬럼프플로우(mm)	공기량(%)	56일
690	2.7	71

3.2 콘크리트 시험체 제작

내화성능 시험을 위한 고강도 콘크리트 단주 시험체는 500*500*1500mm로 제작하여 56일 재령 경과 후 내화시험을 실시하였다.



시험체 몰드 철근 및 sensor 설치 콘크리트 타설

그림 4. 고강도 콘크리트 단주 시험체 제작과정

3.3 건식화 PFB 공법 적용 시험체 제작

건식 PFB공법 개발을 위한 내화시험체 제작은 단주 시험체



(a) 단주 시험체 (b) C-STUD 설치 (c) 단열재 설치



(d) PF보드설치 (e) 이음세보강 (f) 석고보드

그림 5. 내화 시험체 제작과정

에 경량 C-STUD(75*45*0.8mm)를 시공한 후 내부에 유리 섬유75mm를 시공하였다. 이후 3가지 두께(15,20,25 mm,)로 PF보드를 시공한 후 줄눈에 마감작업을 하고, 석고보드 12.5mm를 마감재로 시공하였다.

표 6. 시험체 종류 및 구성 내용

PF보드 두께	시험체 구성	콘크리트 강도
15mm	단열재	60 MPa
20mm		
25mm		

3.4 내화시험 실시 및 시험결과

내화시험은 KS F 2257-1(건축부재의 내화시험방법-일반요구사항)의 표준시간-가열온도곡선을 이용하여 3시간 내화성능 시험을 실시하였다.

내화성능시험을 실시한 결과 건식 PF 공법 적용시 15mm의 경우 주근 온도가 116℃ 로 조사되었고, 20mm,의 경우 103.8℃ 25 mm의 경우 94℃로 조사되어 현재 국토해양부에서 실시한 내화관리 기준을 만족하는 것으로 조사되었다. 3시간 내화시험 후 시험체 외부 성상을 조사한 결과 최종마감인 석고보드는 거의 남아있지 않고 내부 PF보드의 경우는 열변형 없이 형태를 유지하였다.

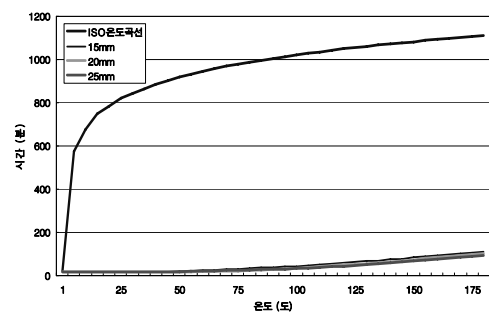


그림 6. 3시간 내화시험 결과

표 7. 3시간 내화시험 결과

시험체	내화시험 결과 (°C)	
	주철근온도 (min)	주철근온도 (MAX)
15 mm	69.8	111.8
20 mm	56.7	103.8
25 mm	59.4	92.5

4. 현장 적용성 검토

4.1 현장적용

건식화 PF 공법을 부산의 P현장에 반영하기 위해 기존의 습식공법으로 설계 반영되어 있는 것을 건식화 공법으로 재설계를 실시하였다. 적용부위 콘크리트 강도는 50MPa로 폭발방지 공법의 적용위치는 내부기둥이다. 적용위치는 지하 5층에서 지상 30층까지 5개동에 설계 반영하였다.

4.2 상세설계

욕실 마감에 있어서는 기존의 습식공법의 경우 콘크리트 바탕면에 내화접착제(10mm) + PF보드(30mm) 시공 후, 스티드 시공(50mm) + 합판 시공(9mm, 1판) + CRC보드 시공(6mm) + 타일 시공(지정 마감) 을 실시한다. (그림7 참고)

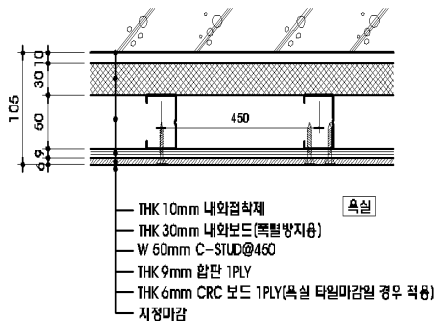


그림 7. 습식 PFB 공법 상세설계도

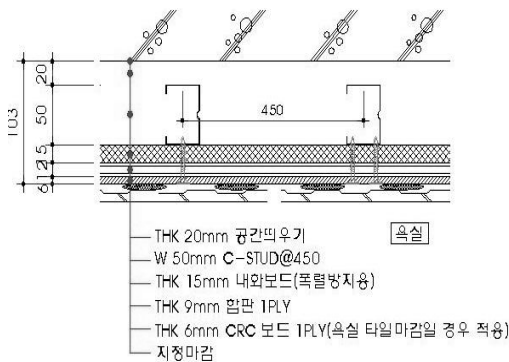


그림 8. 건식 PFB 공법 상세설계도

건식공법의 경우 스티드(50mm) + PF보드(15mm) + 합판

(9mm) + CRC보드시공(6mm) + 타일 시공(지정 마감)의 순서로 현장 시공이 가능 하다.(그림8 참고) 따라서 현장에서 고강도 콘크리트 폭발방지 공법 시공시 일반 석고보드 공사와 동시에 시공이 가능하며, 현장 품질관리가 용이한 장점이 있다.

5. 결 론

고강도 콘크리트 폭발방지 대책으로 개발한 건식화PFB 공법에 대한 보드 성능평가, 3시간내화성능 및 현장 상세 설계를 한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 기존 PF보드에 무기섬유 및 골재의 입도를 조절하며 고온 성형을 실시한 결과 열차단 성능이 15% 이상 향상 되는 것으로 조사되었다.
2. 개선 PF보드의 휨강도, 나사못 지지력 시험 및 열전도율이 기존 PF보드 보다 우수한 것으로 조사되었다.
3. 내화성능시험을 실시한 결과 건식 PF공법 적용시15mm의 경우 주근 온도가 116°C 로 조사되었고, 20mm,의 경우 103.8°C 25 mm의 경우 94°C로 조사되어 현재 국토해양부에서 실시한 내화관리 기준을 만족하는 것으로 조사되었다.
4. 습식 PFB 법을 건식화 PFB공법으로 설계변경 하면 현장시공성이 용이하고 경제성이 우수한 것으로 조사되었다. 추후 건식화 PFB공법의 강도별 최적화 연구 및 경제성 검토를 통한 현장 실용화에 대한 연구를 지속적으로 수행 할 예정이다.

참 고 문 헌

1. 김우재 외, PF보드 마감에 의한 고강도 콘크리트의 폭발방지 대책에 관한 연구, 콘크리트학회 학술발표대회논문. 2007.5
2. 김우재 외, 고강도 콘크리트 내화피복 특성연구, 콘크리트학회 학술발표대회논문집, 2006.1
3. 소양섭, 고성능 콘크리트의 내화성능, 콘크리트학회지 제14권 2호, 2002. 3
4. NISTIR 5934, Fire Performance of High-Strength Concrete : A Report of the State-of-the-Art, NIST, Dec., 1996
5. 1. 竹内博幸, 森達哉, 河野政典, 起橋孝徳, 被覆材料による高強度コンクリートの爆裂防止対策の研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28 , No.1, 2006