

방화석고보드의 두께 및 접착방식 변화에 따른 고강도 콘크리트의 내화특성

Fire Resistance of High Strength Concrete followed by Thickness of Fireproof Plaster Board and Change of Adhesive Method

장기현* 김원기** 김호림*** 이진우**** 양성환***** 한천구*****
Jang, Ki-Hyun Kim, Won-Ki Jin, Hu-Lin Lee, Jin-Woo Yang, Seong-Hwan Han, Cheon-Goo

Abstract

The study analyzed on fire resistance of high strength concrete followed by thickness of fireproof plaster board and change of adhesive method. In spalling characteristics after fire resistance test, all four-side covering concretes were left out of testing screens. Thus, serious spalling was happened by exposing their internal reinforcing rods, in partial testing screens, spalling was happened till the internal concrete of main reinforcing rod. Only, temperature history didn't have special differences among changes of adhesive method. However, thickness of fireproof plaster board is very important. Namely, mock member reinforcing 25mm general adhesive + Bending was 583℃ in the highest temperature of surface part and 479℃ in the highest temperature of the main reinforcing rod, which was relatively good temperature history.

키 워 드 : 고강도 콘크리트, 폭렬, 방화석고보드
Keywords : High Strength Concrete, Spalling, fireproof plaster board

1. 서 론

최근에는 도시인구 과밀화 및 시설집중화로 인하여 구조물이 점차 고층화, 대형화되어 가고 있다. 특히 고층화에 부응하는 고강도 콘크리트는 부재 크기를 축소 시킬 수 있고, 새로운 건축공간을 창출해 낼 수 있는 등 이점을 가지고 있어 현대 구조물에 많이 사용되어지고 있는 추세이다.¹⁾

그러나 이러한 고강도 콘크리트의 경우는 만에 하나 바래할 수 있는 화재 시 고열을 받게 되면 폭렬이 발생하는 등 심각한 경우에는 구조물의 붕괴까지도 이를 수 있는 큰 피해를 입게 되는 것으로 보고되고 있다. 폭렬에 대한 저감 방안은 크게 세 가지로 나누어 볼 수 있는데, 콘크리트 배합 시 폭렬을 저감할 수 있는 PP섬유 등 유기섬유 재료를 미리 혼합하는 방식과 팽창압을 횡구속력으로 저장토록하는 방법 및 마감재로 감싸주어 고온이 되지 않게 하는 방법이

다. 특히, 이 중에서 내화를 고려하지 않고 이미 고강도 콘크리트로 지어진 초고층 건축물인 경우는 마감재로 감싸주어 고온이 되지않게 하는 방법이 가장 효과적일 것으로 사료된다.²⁾⁻⁶⁾

그러므로 본 연구에서는 기존에 이미 지어진 건물에 대한 내화대책으로 실구조체의 기둥을 상정한 모의부재를 제작하여 방화석고보드의 두께 및 접착방식을 변화시켜 내화시험함으로써 고강도 콘크리트의 내화안정성을 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다. 즉, 실험요인으로 W/B 25% 1수준에 대해, 시멘트에 대한 질량비로 플라이애시 20%와 실리카 폼 10%를 동시에 치환한 것을 플레인 배합으로 하고, 실험변수로서 실구조체를 상정한 모의부재에 실무에서 일반적으로 사용되어지고 있는 방화석고보드 19mm와 25mm에 대해 접착방식의 변화로써 일반접착을 한 것과 일반접착 후 Bending보강한 것

* 청주대학교 건축공학과 석사과정, 정희원
** 청주대학교 건축공학과 박사과정, 정희원
*** (주)한성종합기술단건축사사무소 기술연구소 연구원, 정희원
**** 두산건설(주) 기술연구소 대리, 정희원
***** 인천전문대학 건축과 교수, 공학박사, 정희원
***** 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사, 정희원

및 M-bar를 이용해 나사접착방식을 한 것으로 하여 총 4수준에 대하여 실험계획 하였다. 이때 배합사항으로 플레인 콘크리트는 목표 슬럼프플로우 600±100 mm, 목표 공기량은 3.0±1.0%를 만족하도록 배합설계 하였다.

실험사항으로, 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적질량을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령 28일에 압축강도를 측정하였으며, 내화시험 후 내부온도이력과 질량변화 및 폭렬유무를 측정하는 것으로 하였다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/B(%)	1	25
	목표슬럼프플로우(mm)	1	600±100
	목표공기량(%)	1	3.0±1.0
	마감재 변화	4	<ul style="list-style-type: none"> · 19mm방화석고보드+일반접착제 · 19mm방화석고보드+일반접착제+Bending보강 · 25mm방화석고보드+일반접착제+Bending보강 · 19mm방화석고보드+M-bar나사접착
	혼화재 종류	1	FA(20%)+SF(10%)
실험사항	굳지 않은 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> · 슬럼프플로우 · 공기량 · 단위용적질량 · 압축강도(28일) 	
	경화 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> · 내화시험 - 내부온도이력 - 질량변화 - 폭렬유무 	

표 2. 콘크리트의 배합표

W/B (%)	단위수량 (kg/m³)	S/a (%)	AE제 (%)	SP제 (%)	질량배합 (kg/m³)				
					C	FA	SF	S	G
25	160	45	0.04	1.30	448	128	64	660	810

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 골재는 충북 조치원산의 부순 굵은골재 및 잔골재를 사용하였고, 부순 잔골재 및 강모래를 6:4의 비율로 혼합한 혼합골재를 사용하였는데, 사용전 밀도와 흡수율(KS F 2504), 조립률(KS F 2502), 단위용적질량 등을 확인하였는데, 그 물리적 성질은 표 4와 같다. 혼화제로써 플라이애시는 국내 H사산, 실리카 폼은

노르웨이산을 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 5, 6과 같다. 본 실험에서 사용한 고성능 감수제와 AE제는 국내 E사의 폴리칼본산계 및 음이온계를 각각 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 7과 같다.

또한 방화석고보드는 국내 K사에서 제공한 제품을 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 8과 같다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
		초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,302	208	351	20.4	29.4	38.7

표 4. 골재의 물리적 성질

구분		밀도 (g/cm³)	조립률	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m³)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	강 모래	2.60	2.21	0.46	1,518	0.30
	부순 모래	2.60	3.26	0.46	1,684	0.32
굵은 골재	화강암	2.61	6.55	0.58	1,564	0.40

표 5. 플라이애시의 물리·화학적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	lg-loss (%)	SiO₂	습분(%)
2.21	4,061	3.5	51.2	0.0

표 6. 실리카폼의 물리·화학적 성질

분말도 (cm²/g)	밀도 (g/cm³)	lg.loss (%)	화학적 성분(%)				
			SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO
200,000	2.20	1.50	96.40	0.25	0.12	0.38	0.10

표 7. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	밀도 (g/cm³)
고성능 감수제	폴리카본산계	액상	암갈색	1.05
AE제	음이온계	액상	연한암갈색	1.04

표 8. 방화석고보드의 물리적 성질

두께 (mm)	휨 파괴 하중(N)		연소성능	흡수율 (%)	열저항 (m²K/W)
	길이방향	나비방향			
19	650이상	220이상	불연성	3이하	0.069이상
25	1000이상	380이상			0.095이상

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였고, 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프플로우는 KS F 2594, 공기량 및 단위용적질량은 KS F 2421의 규정에 의거 실시하였다.

경화콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405 규정에 의거 실시하였고, 내화시험은 한국건설기술연구원 바닥용 내화시험 가열로 내에 일정간격으로 배치하여 KS F 2257-1에서 규정하는 표준온도가열곡선으로 3시간 가열을 실시하였다. 또한 내화시험 후 시험체에 미리 매설한 열전대를 이용하여 내부온도이력을 측정하였고, 폭발유무를 육안으로 관찰하였으며, 내화시험 전·후의 질량변화를 측정하였다.



보바닥 가열로 시험체 배치
 사진 1. 보바닥 가열로 외부 및 내부 시험체 전경

3. 실험결과 및 분석

3.1 콘크리트의 기초적 특성

표 9는 콘크리트의 기초적 특성의 실험결과를 나타낸 것이다. 먼저 굳지않은 콘크리트의 유동특성으로, 콘크리트는 목표 슬럼프플로우 600±100mm를 만족하는 것으로 나타났고, 공기량은 목표공기량인 3.0±1.0%의 범위를 만족하였다.

경화 콘크리트의 특성으로 플레인 콘크리트의 압축강도는 재령 28일에서 약 89.9 MPa로 고강도 범위를 나타내었다.

3.2 폭발 특성

사진 2는 3시간 동안 비가력 내화시험 후 방화석고보드 두께 및 접착방식 변화에 따른 폭발성상을 나타낸 것이다.

전반적으로 두께 및 접착방식 변화에 관계없이 심한 폭발현상이 발생되었고, 피복 콘크리트의 탈락으로 인해 기둥의4면 모두 내부 철근까지 노출되는 것으로 나타났다.

그림 1은 ISO 834표준 가열곡선과 각 시험체의 표면 및 주근의 온도이력을 나타낸 것이다.

구 분	내화시험 전	내화시험 후			
		정면	좌측면	우측면	배면
19mm 일반접착					
19mm 일반접착 + Bending 보강					
25mm 일반접착 + Bending 보강					
19mm M-bar + 나사접착					

사진 2. 두께 및 접착방식 변화에 따른 폭발 성상

표 9. 플레인 콘크리트의 실험 결과

구 분	섬유무혼입
슬럼프플로우(mm)	564
공기량(%)	2.7
단위용적질량(kg/m ³)	2339
압축강도(MPa)	89.9

전반적으로 경과 시간에 따라 모의부재 내부온도는 서서히 올라가는 것을 알 수 있었고, 19mm 일반접착+Bending 보강한 시험체 주근부분에서 가열시간 약 100분경 가장 먼저 급격한 온도 상승을 나타내었는데, 이 시점에서 모의기둥부재 콘크리트는 고온에 의해 심한 폭열이 일어나 내부에 매립된 열전대선이 외부에 노출된 것으로 분석된다. 또한 이때 표면보다 주근부에 위치한 곳의 온도가 급격히 상승한 것으로 볼 때 고온에 의해 2축면의 열응력이 모서리 부분으로 팽창하면서 가장 먼저 콘크리트가 탈락된 것으로 분석된다.

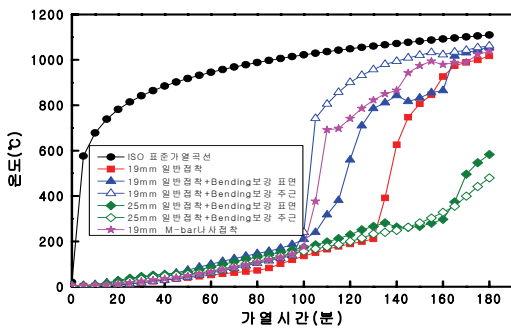


그림 1. 시험체 내부의 온도이력

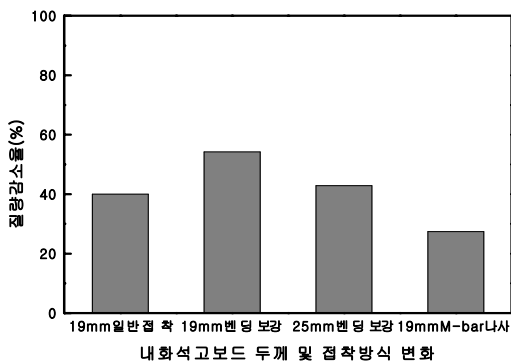


그림 2. 두께 및 접착방식 변화에 따른 질량감소율

19mm M-bar 나사접착을 한 경우 19mm 일반접착+Bending 보강한 시험체와 유사한 폭열성상을 나타내었고, 19mm 일반접착의 경우 약 130분경 급격한 온도상승을 나타내었는데, 이는 고온에 의한 방화석고보드 접착부분의 탈락과 동시에 폭열이 발생된 것으로 판단된다. 25mm 일반접착

+Bending보강한 시험체의 경우 다른 시험체와 마찬가지로 심한 폭열현상이 발생되었지만, 표면부와 주근부의 최고온도는 각각 583°C와 479°C로 가장 낮은 온도 분포를 나타내었다.

그림 2는 두께 및 접착방식 변화에 따른 질량감소율을 나타낸 것이다.

먼저, 19mm 일반접착에 Bending 보강한 시험체는 약 54%로 가장 많은 질량 감소율을 나타내었는데, 이는 마감재로 시공했던 방화석고보드가 모의부재와 분리되어지면서 발생한 것으로 판단된다. 또한 그 다음으로 25mm 일반접착 및 Bending 보강의 경우 약 42%, 19mm 일반접착의 경우 약 40%, 19mm M-bar의 경우 약 27% 순으로 질량 감소율을 나타내었다.

이상을 종합해 보면, 마감재의 탈락을 방지하기 위해 설치한 Bending 보강 및 접착방법으로 일반접착과 M-bar 나사접착간의 접착방식변화에는 별다른 차이점이 없는 것으로 시료되나 단, 방화석고보드의 두께 변화는 두께가 두꺼울수록 유리해지는 매우 중요한 요소임을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 방화석고보드의 두께 및 접착방식 변화에 따른 고강도 콘크리트의 내화특성에 대해 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로, 슬럼프플로우와 공기량 모두 각각의 목표 범위를 만족하는 것으로 나타났고, 경화 콘크리트의 특성으로 압축강도는 89.9 MPa로 고강도 범위를 나타내었다.
- 2) 내화시험 후 폭열특성으로 모든 시험체에서 4면의 피복콘크리트가 모두 탈락되어 내부 철근이 노출되는 심한 폭열이 발생되었고, 일부 시험체의 경우 주근 내부의 콘크리트까지 폭열이 발생하는 것으로 나타났다.
- 3) 내화특성으로 접착방식 변화간에는 별다른 차이가 없었으나 방화석고보드 두께는 매우 중요하여 즉, 25mm 일반접착+Bending보강한 모의부재의 경우 표면부 최고온도 583°C와 주근부 최고온도 479°C로써 폭열은 발생했지만 비교적 양호한 온도이력을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 ‘콘크리트 코리아 연구단’에서 주관하여 시행한 2006년도 건설핵심기술연구개발사

업 「05-CCT-D11, 고성능-다기능 콘크리트의 개발 및 활용 기술」 지원으로 수행되었으며, 이에 감사한다.

참 고 문 헌

1. 송훈, 추용식, 이종규; 고강도콘크리트의 고온에 의한 강도특성 변화, 대한건축학회, 제26권, 1호 2006.
2. 윤현도, 김규용, 한병찬; 고온을 받은 고강도 콘크리트의 강도특성, 콘크리트학회논문집, 제14권, 5호, 2002.
3. 장기현, 김호림, 김상식, 양성환, 김성수, 한천구; 골재 및 결합재종류 변화에 따른 고강도 콘크리트 모의부재의 폭렬특성, 구조물진단학회 가을학술발표논문집, 제11권 2호, pp.273~276. 2007,
4. 최은규, 신영수, 이차돈, 권영진, 서지민; 화재시 방화보드 부착에 따른 고강도 콘크리트 기둥의 역학적 거동, 대한건축학회 학술발표논문집, 제25권 제1호, pp.365~368. 2005,
5. 한천구, 양성환, 지식원, 김호림, 배장춘, 장기현; 나일론 및 폴리프로필렌섬유 복합혼입에 따른 고강도 콘크리트의 폭렬특성, 한국구조물진단학회, 제11권, 1호 2007.
6. Carlos Castillo, A. J. Durrani; Effect of Transient High Temperature on High-Strength Concrete, ACI Materials Journal, Vol. 87, No. 1, 1990.