

경량기포 콘크리트를 이용한 석재패널 부착 고강도 RC 기둥의 내화 및 폭렬특성

Properties of the Spalling and Fire Resistance on the High Strength RC Column attached with the Stone Panel Using Lightweight Foamed Concrete

이 동 규* 백 대 현* 김 원 기** 조 용 백*** 한 민 철**** 한 천 구*****
Lee, Dong-Gyu Beak, Dea-Hyun Kim, Won-Ki Jo, Yong-Beak Han, Min-Choel Han, Choen-Goo

Abstract

This study discussed the prevention of the spalling and improvement of the fire resistance performance how to fill up lightweight foamed concrete on high strength RC column attached with the stone panel. The destructive spalling extremely occur caused by sudden high temperature and increased vapor pressure corresponding to falling the stone panel at all RC column, and the steel bar is exposed. The stone panel fall off about 30 minutes and spalling occur about 70 minutes on Plain RC column, fire endurance paint, and fire endurance mortar, so it can be confirmed that fire endurance paint and mortar, which is used as fire endurance material, are not effective. In the other side, it can be protected from fire about 120~140 minutes when the lightweight foamed concrete is used as fire endurance material. For the weight loss after the fire test, plain is 33, fire endurance paint is 37%, and fire endurance mortar is 40.7%. And W/B 60%-3 is 53.4%, 60%-1.5 is 40.1%, 65%-3 is 39.4%, and 65%-1.5 is 47.1. Overall, the weight loss of the plain is lower than that of the lightweight foamed concrete.

키 워 드 : 경량기포 콘크리트, 내화, 폭렬, 석재패널, 고강도 콘크리트

Keywords : Lightweight Foamed Concrete, Fire Resistance, Spalling, Stone Panel, High Strength Concrete

1. 서 론

최근 도심재개발 및 신도시 개발 등에 의한 초고층 주상복합건물 및 고층 아파트 등의 건설이 증가하고 있으며, 이러한 초고층 건축물의 내력 확보를 위한 고강도 콘크리트의 사용 및 마감재의 고급화를 위한 석재패널의 사용이 보편화 되어가고 있는 추세이다.

하지만, 이러한 고강도 콘크리트가 사용된 건축물의 경우 화재시 고온에 콘크리트가 노출되어 급격한 온도상승에 의한 표면 탈락이 발생하게 되고, 내력저하로 인해 심할 경우 붕괴를 초래할 수 있는 폭렬이 발생하여 구조물의 안전성을 심각하게 위협하고 있는 실정이다.

특히 고급마감재로서 석재패널이 고강도 콘크리트에 마감될 경우 화재시 석재패널 탈락에 의한 급격한 고온에 노출로 폭렬 현상이 더욱 심하게 되는바, 이 경우 폭렬방지를 위한 효율적인 공법의 개발이 요구되고 있다.

이에 본 연구팀에서는 우수한 단열성, 경량성 및 시공성을 지닌 경량기포 콘크리트를 석재패널과 콘크리트 구체 사이에

충전하여 폭렬을 방지하는 공법을 개발 중에 있는데, 경량기포 콘크리트의 타설 시의 소포에 의한 체적감소, 과도한 균열 발생과 같은 문제점을 해결한 내화공법용 경량기포 콘크리트의 최적배합비를 결정한다.

따라서, 본 연구에서는 석재패널이 부착된 고강도 콘크리트를 사용한 RC 기둥에 기존 연구를 통해 개발된 경량기포 콘크리트를 충전하여 내화시험을 실시한 후 폭렬성상 및 질량감소율 등을 검토함으로써, 석재패널로 마감된 고강도 RC 기둥의 폭렬방지 및 내화성능 향상방안을 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 내화시험용으로 제작한 모체 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다. 또한 충전재로 사용한 경량기포 콘크리트의 배합은 표 3과 같다.

먼저, 모체 콘크리트의 배합사항으로 W/B 25%의 1수준에 대해 시멘트에 대한 질량비로 FA 20%, SF 10%로 치환하였으며, 목표 슬럼프 700±100mm, 목표 공기량 3.0±1.0%를 만족하도록 배합설계 하였다.

한편, 내화용 충전재로 사용할 경량기포 콘크리트는 선행연

* 청주대학교 대학원 석사과정, 정회원

** 청주대학교 대학원 박사과정, 정회원

*** (주)건양기술공사 건축사사무소 이사, 정회원

**** 청주대학교 건축공학과 전임강사, 정회원

***** 청주대학교 건축공학과 교수, 정회원

구에서 최적배합(W/B 60~65%, 단위용적질량-450kg/m³, OPC:CKD:극세사=73:18:9)으로 도출된 것을 사용했다.

표 1. 실험계획

구분	실험요인			석재패널 부착방법
	W/C (%)	목 표 슬럼프 (mm)	목 표 공기량 (%)	
모체 콘크리트	25	700±100	3.0±1.0	<ul style="list-style-type: none"> 건식공법(Plain) 건식공법+내화페인트 건식공법+내화모르타 건식공법+경량기포 콘크리트그라우트 (W/B변화 2수준, 충전두께 2수준)
실험사항	<ul style="list-style-type: none"> 폭렬유무 질량감소율 온도이력 			

표 2. 고강도 콘크리트의 배합사항

W/B (%)	단위수량 (kg/m ³)	S/a (%)	AE제 (%)	SP제 (%)	질량배합(kg/m ³)				
					C	FA	SF	S	G
25	160	45	0.04	1.3	448	128	64	660	810

표 3. 경량기포 콘크리트의 배합사항

단위용적질량 (kg/m ³)	유동화제 (%)	증점제/W (%)	W/B (%)	기포율 (%)	질량배합 (kg/m ³)		
					C	CKD	LSP
450	0.05	0.002	60	63.5	194	48	24
			65	65.5	189	47	23

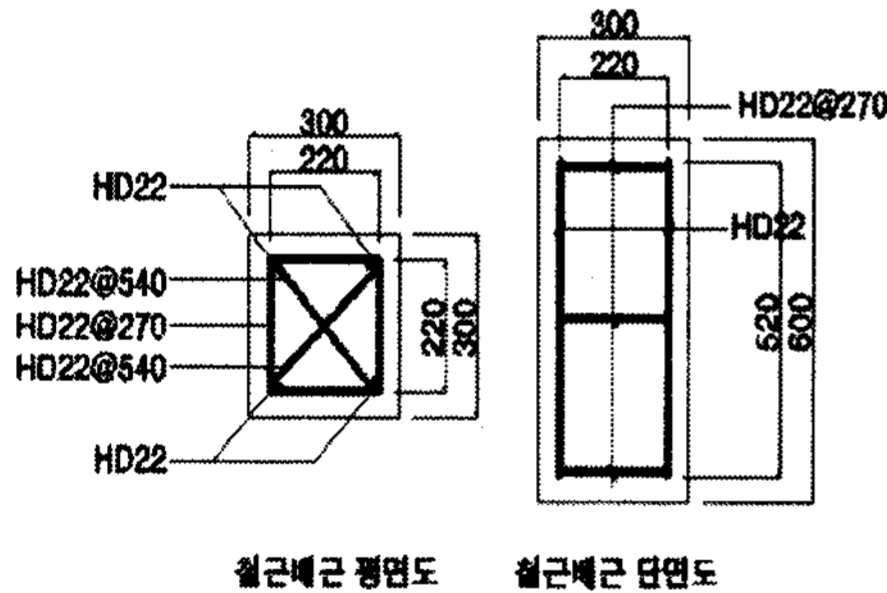


그림 1. RC 기둥부재의 철근 배근도

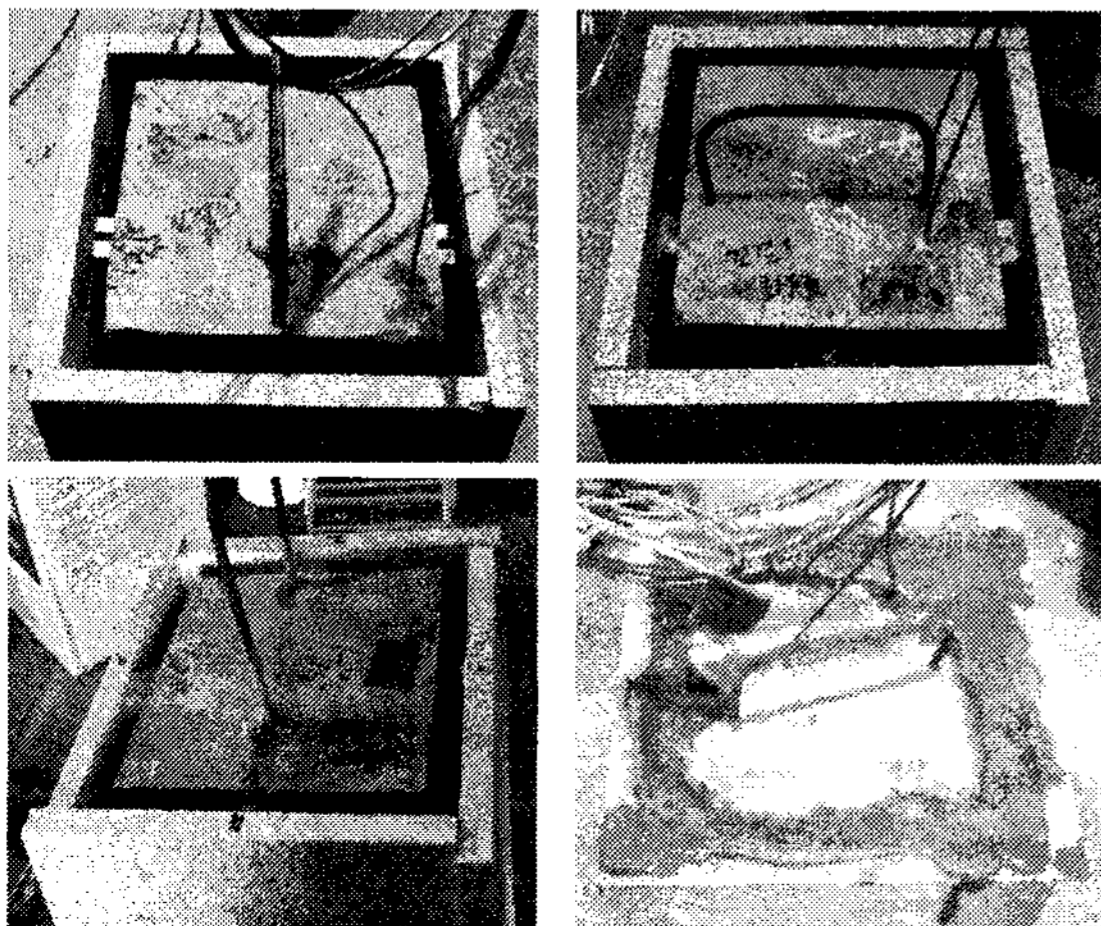


사진 1. RC 기둥부재

실험변수로 석재패널 부착방법은 기존에 일반적으로 사용되는 건식공법, 건식공법으로 마감한 후 연결철물에 내화페인트 도포 방식, 내화모르타르 피복 방식으로 하며, 선행연구에서 개발된 내화용 경량기포 콘크리트로 충전하는 방식에서 두께 변화 2수준(3, 1.5cm), W/B 변화 2수준(60, 65%)의 총 7수준을 실험계획 하였다.

실험사항으로는 내화시험 후의 폭렬유무, 질량감소율, 온도 이력 등을 측정하도록 하였다.

그림 1과 사진 1은 석재패널이 부착된 고강도 RC 기둥부재를 가정하여 제작한 300×300×600mm 모의 구조체의 철근 배근도와 석재패널 부착 고강도 RC 기둥부재의 모습을 나타낸 것이다.

2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트(밀도: 3.15g/cm³, 분말도: 3,302cm³/g)를 사용하였고, 잔골재는 천연모래와 부순모래를 1:1로 혼합한 혼합모래(밀도: 2.61g/cm³, 조립률: 2.7)를 사용하였으며, 굵은골재는 충북 옥산산 20mm 부순 굵은골재(밀도: 2.66g/cm³, 조립률: 6.56)를 사용하였다.

혼화제로써 분체혼화제는 국내 A사산 플라이애시(이하 FA, 밀도: 2.21g/cm³, 분말도: 3,368cm³/g)와 노르웨이산 실리카 흙(이하 SF, 밀도: 2.20g/cm³, 분말도: 200,000cm³/g)을 사용하였으며, 고성능 감수제는 E사의 폴리칼본산계(색상:연황색, 밀도:1.05g/cm³)를 사용하였고 AE제는 음이온계를 사용하였다.

석재패널의 경우 국내산 두께 30mm 화강암 석재패널을 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프 플로우는 KS F 2594, 단위용적질량과 공기량은 KS F 2421 및 KS F 2409 규정에 의거 측정하였다.

그림 2는 ISO 834에 규정된 표준 온도가열곡선을 나타낸 것이다.

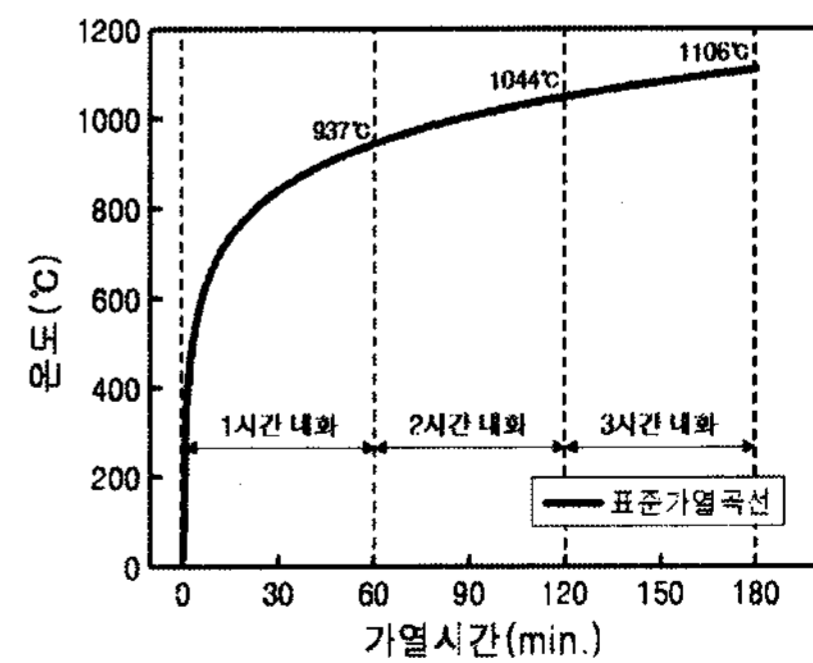


그림 2. ISO 표준가열곡선

내화실험은 한국건설기술연구원의 바닥가열로 내에 모의 구조체를 설치한 후 ISO 834에서 규정된 표준가열곡선으로 3시간 비가력 조건으로 가열을 실시하였다. 이때, RC 기둥의 온도 이력을 미리 매립한 열전대를 이용해 1분 간격으로 측정하였

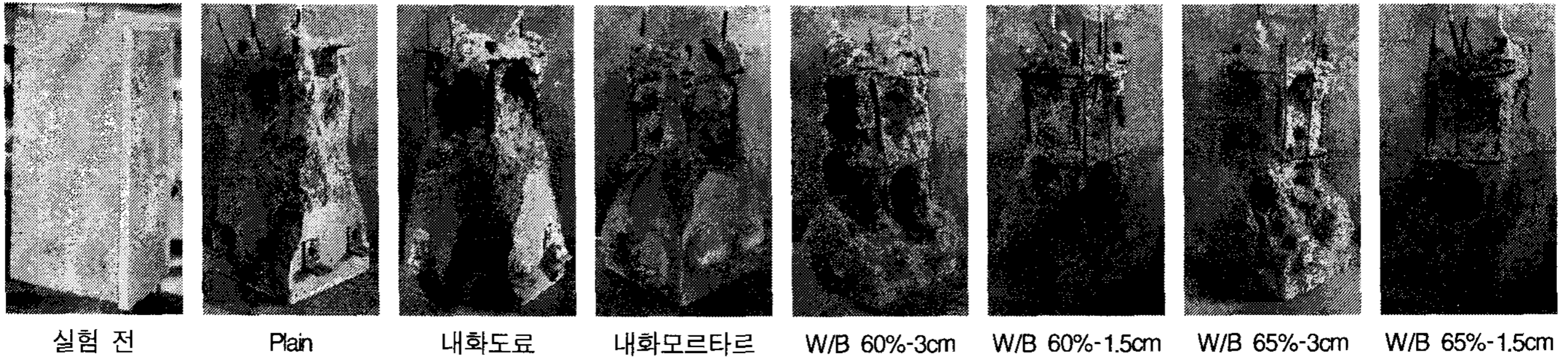


사진 2. 내화실험 전, 후의 RC 기둥 모습

으며, 내화시험 후 폭렬여부를 육안으로 관찰하였고, 폭렬발생 정도에 따른 질량감소율을 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 폭렬 특성

사진 2는 내화실험 전후의 RC기둥의 모습을 나타낸 것이다.

3시간 내화실험 후 각 시험체는 정도의 차이는 있지만 모두 폭렬이 발생하였다. 이는 기존에 알려진대로 부착된 석재패널이 초기에는 열을 차단시켜주지만, 이후 온도가 상승함에 따라 내화성이 작은 화강암 석재가 붕괴 탈락되면서 콘크리트가 급격한 고온에 노출됨에 따라 심각한 폭렬이 발생한 것으로 사료된다. 단, 급격한 고온에 노출된 경우도 내화마감이나 기타 보강재로 콘크리트 표면을 감싼 경우 목표로 한 3시간까지는 아니더라도 어느 정도 시간까지는 폭렬에 대한 저항성을 갖는 것으로 나타났으나, 이후 내화마감재의 성능에 따라 비례적으로 폭렬이 발생하는 것으로 나타났다. 특히 본 연구에서 적용한 콘크리트의 경우 압축강도 80MPa급의 고강도 콘크리트로서 고온에 의한 폭렬발생이 더욱 심각하다는 점도 3시간 내화 성능확인에 어려움으로 작용한 것으로 사료된다.

내화공법의 변화에 따른 폭렬성상은 경량기포 콘크리트를 충전한 경우가 Plain과 긴결철물에 내화도료와 내화모르타르를 사용한 경우보다 폭렬정도가 심하게 발생하였는데, 이는 Plain이나 내화도료 및 내화모르타르의 경우 석재패널이 고온을 견디지 못하고 초기에 탈락되었지만, 경량기포 콘크리트를 충전한 경우는 긴결철물과 경량기포 콘크리트의 부착강도에 의해 가열 후 2시간까지 견디다가 탈락하였기 때문에 더 극심한 고온에 노출됨에 따라 오히려 Plain보다 심한 파괴폭렬이 발생한 것으로 사료된다. 또한, 경량기포 두께 및 배합별로는 두께 3cm의 경우가 1.5cm보다 폭렬이 크게 나타나는 것으로 나타났다.

3.2 온도이력

그림 3은 표인가열곡선과 가열로 내 실제온도 및 RC 기둥부재의 가열시간에 따른 온도이력을 나타낸 것이다.

본 연구에 사용된 RC 기둥은 전술한바와 같이 모든 수준에서 정도 및 발생 시기에 차이는 있지만, 폭렬이 발생하였으며, 실험변수에 따른 시험체 중심 및 주근 위치의 온도는 차이를 나

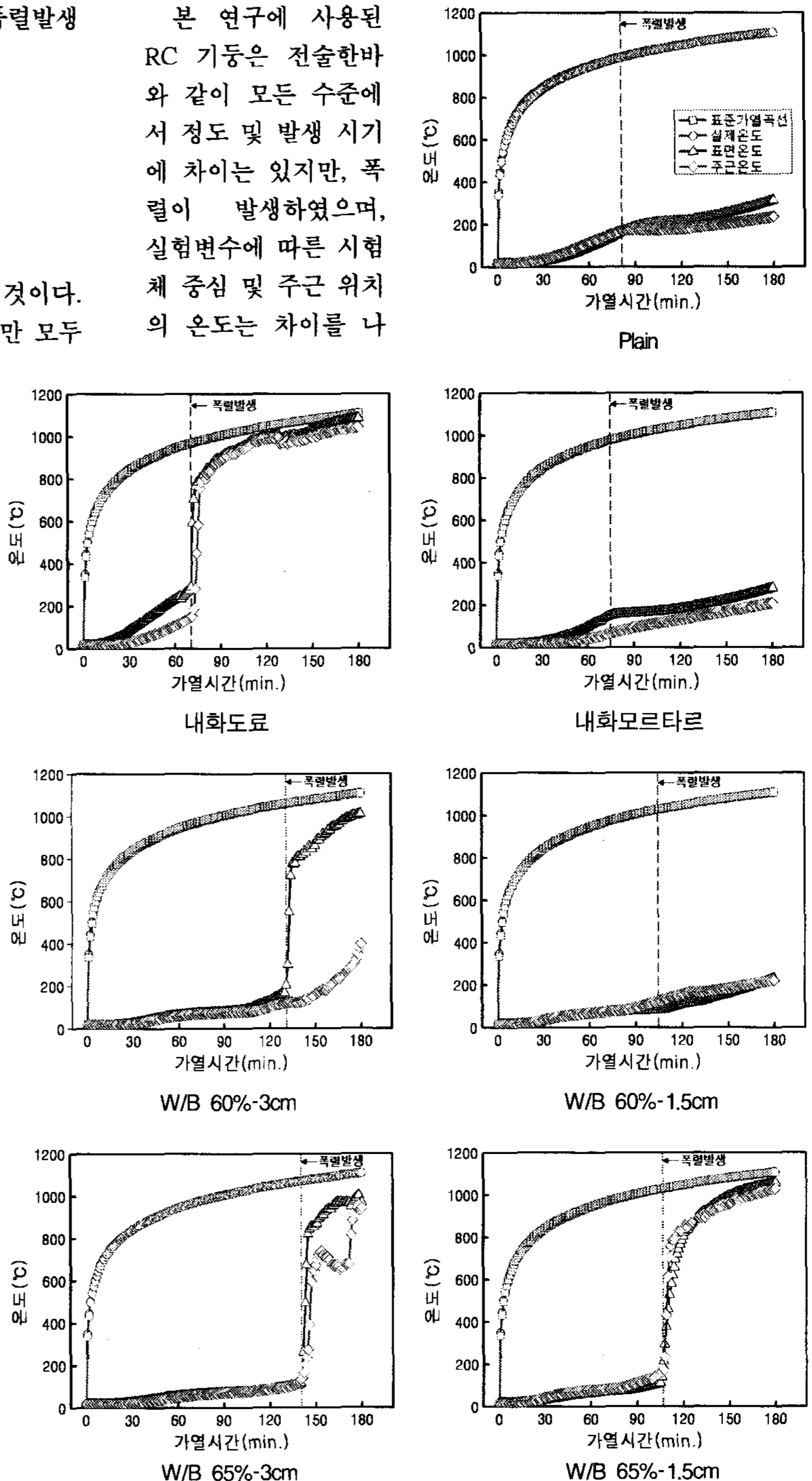


그림 3. 콘크리트 시험체의 온도이력

타냈다.

먼저, Plain의 경우 80분경에 폭렬이 발생하였는데, 콘크리트 내부 온도이력은 표면부에서 315℃, 주근부에서 238℃까지 상승하여 비교적 낮은 온도를 기록하였는데, 이는 열전대 매립위치의 반대부분에서 폭렬이 일어나고 폭렬에 의한 파편이 탈락된 석재와 콘크리트의 사이에 채워져 콘크리트면이 높은 온도에 직접 노출되는 것을 차단하였기 때문으로 판단된다.

석재패널의 전식접합에 사용되는 내화도료와 내화모르타르의 경우는 70분 전후에 폭렬이 발생하여 기존의 내화공법이 실질적으로 효과가 없다는 것을 확인할 수 있었다. 내화도료의 경우는 표면부에서 1087℃, 주근부에서 1044℃까지 상승하여 가열로 내의 온도와 거의 유사하였는데 이는 폭렬로 인해 열전대가 외부로 노출되었기 때문으로 판단된다. 내화모르타르의 경우는 표면부에서 315℃, 주근부에서 238℃까지 상승하여 낮은 온도를 기록하였는데 이는 Plain과 같은 원인으로 사료된다.

선행연구에서 개발된 내화용 경량기포 콘크리트를 충전한 시험체의 온도이력을 확인해 본 결과, W/B 60%에 충전두께 3cm의 경우는 130분경, 충전두께 1.5cm일 때는 105분경, 그리고 W/B 65%에 충전두께 3cm의 경우는 140분경, 충전두께 1.5cm일 때는 110분경에 주근위치의 온도가 급격히 상승하여 시험체에 폭렬이 발생한 것으로 추정된다. 또한, 경량기포 콘크리트를 충전한 경우는 모두 1000℃ 이상에서 폭렬이 발생하였는데, 이러한 고온에서의 폭렬이 다른 수준에 비해 심한 폭렬이 발생한 주된 원인으로 사료된다. 이 결과로 미루어볼 때 배합 및 충전두께에 따른 약간의 차이는 있었으나 경량기포 콘크리트를 내화용 충전재로써 사용하였을 시 약 120~140분의 내화성능을 확보할 수 있는 것으로 사료되며 경량기포 콘크리트의 충전두께에 따라 3시간의 내화성능도 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

3.3 질량감소율

그림 4는 내화실험 후 각 변수에 따른 질량감소율을 나타낸 것이다.

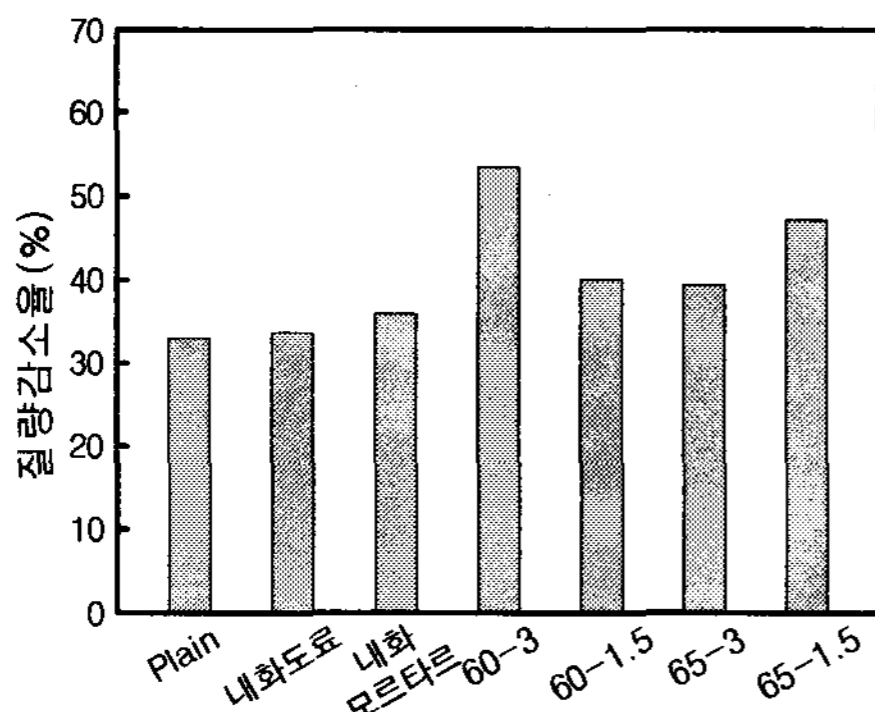


그림 4. 각 변수에 따른 질량감소율

내화시험 후의 질량감소율은 파괴폭렬로 인해 매우 높게 나타났는데, Plain RC 기둥부재의 경우 33%, 내화도료 33.6% 및 내화모르타르 38%로 유사하게 나타났는데 이는 초기에 폭렬이 발생하였기 때문으로 사료되며, 석재패널의 전식접합 후 W/B 60%의 경량기포 콘크리트의 경우는 충전두께 3cm일 때

53.4%, 1.5cm일 때 40.1%를 나타냈으며, W/B 60%의 경우는 충전두께 3cm일 때 39.4%, 1.5cm일 때 47.1%를 나타내어 모두 Plain보다 높게 나타났다. 이는 높은 W/B를 지닌 경량기포 콘크리트의 수분이 콘크리트의 내부 수증기압을 증가시킨 요인과 경량기포 콘크리트의 그라우팅에 의한 결과로써, 가열 중반까지는 견디다가 고열에 석재가 열화하면서 1000℃가 넘는 극심한 고온에 모체가 노출하게 되어 보다 심한 파괴폭렬이 나타난 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 석재패널이 부착된 고강도 RC 기둥에 경량기포 콘크리트를 충전시켜 폭렬방지 및 내화성능 향상방안을 제시하고자 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) RC 기둥은 모든 수준에서 석재의 탈락으로 인한 급격한 고온과 내부 수증기압으로 심한 파괴폭렬이 일어나 철근이 노출되었다.
- 2) Plain RC 기둥부재 및 내화도료와 내화모르타르의 경우 30분경에 석재패널이 탈락하였으며, 70분 전후에 폭렬이 발생하여 기존의 내화공법이 실질적으로 효과가 없다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 경량기포 콘크리트를 내화용 충전재로 사용 시는 충전두께에 따른 차이는 있으나 약 2시간정도의 내화성능은 확보되는 것으로 확인되었다.
- 3) 내화시험 후의 질량감소율은 Plain RC 기둥부재의 경우 33%, 내화도료 37%, 내화모르타르 40.7%이었으며, 석재패널의 전식접합 후 W/B 60%의 경량기포 콘크리트의 경우는 충전두께 3cm일 때 53.4%, 1.5cm일 때 40.1%, W/B 60%의 경우는 충전두께 3cm일 때 39.4%, 1.5cm일 때 47.1%로 Plain보다 높게 나타났다.

이상을 종합하면, 석재마감재가 부착된 고강도 RC 기둥의 폭렬방지 및 내화성능 향상을 위해서는 석재패널의 탈락을 방지하여 콘크리트면이 노출되는 것을 방지해야 하며, 요구한 3시간의 내화성능을 확인하기 위해 경량기포 콘크리트를 내화용 충전재로 하는 경우 적절한 두께의 확보가 필요하며, 이에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 컨소시엄 지원에 의해 수행되었으며 이에 깊은 감사의 뜻을 전합니다.