

초고층 건축공사 고강도 콘크리트 골조의 내화 및 폭렬 방지성능 중요도 선정

Decision of the priority of Fire Endurance and Spalling Prevention Efficiency in High Strength Concrete at High Rise Building Work

백 대 현* 한 민 철** 한 천 구***
Baek, Dae-Hyun Han, Min-Cheol Han, Cheon-Goo

요 약

최근 건축 구조물의 초고층화 대형화로 인해 고강도화 되는 콘크리트는 치밀한 조직으로 인해 화재시 폭렬에 취약하고, 내화성이 저하되는 문제점을 지니고 있다. 이로 인해 국내에서도 내화의 문제점을 인식하고 방한제도를 마련하고 있으며, 많은 연구진에 의해 고강도 콘크리트의 내화공법이 소개되고 있다. 이에 본 연구에서는 고강도 콘크리트의 내화공법 선정시 중요도를 관련 전문가의 설문조사를 기반으로 AHP 기법을 이용하여 분석하였다. 설문조사를 통한 분석 결과 상위 평가항목의 화재성능과 상시성능 중 내화공법 선정시에는 화재성능이 가장 중요시 되는 것으로 나타났다. 화재성능에 대한 하위 항목에서는 인명보호가 중요한 요소로 선정되었고, 인명보호에 대한 하위 항목에서의 설문분석 결과 유해가스 발생억제가 중요한 요소로 선정되었다.

키워드: 고강도 콘크리트, 내화공법, AHP

1. 서 론

최근 건설 구조물은 초고층화 및 대형화와 함께 콘크리트의 고강도화도 꾸준히 이루어져 왔는데, 이러한 고강도 콘크리트는 조직이 치밀하여 강도가 크고, 내구성이 우수한 반면, 화재시 폭렬에 취약하고, 내화성이 크게 저하되는 문제점을 지니고 있다. 특히, 기존의 연구결과에 따르면 압축강도 40 MPa 이상 고강도 콘크리트의 화재시 폭렬발생에 대한 검토를 신중히 제기하고, 설계단계에서 내화성능을 반드시 확보해야 한다는 것을 문제점으로 지적하고 있다.¹⁾

이러한 고강도 콘크리트에 폭렬이 발생할 경우 콘크리트 구조체의 부재표면이 심한 폭음과 함께 박리·탈락하고 이로 인한 피복 콘크리트의 결손으로 구조체 내부까지 고온이 전달되며, 또한 철근이 노출되어 고온을 받게 되면, 철근의 강도저하로 구조부재는 치명적인 내력저하를 초래하여 결국에는 붕괴를 일으킬 수 있는 원인이 되기도 한다.

이에 따라, 국내에서도 근래에 이러한 고강도 콘크리트의 내화문제에 대하여 인지하기 시작하여 2008년 7월 국토해양부에서는 “고강도 콘크리트 기둥/보의 내화성능 관리 기준”을 고시하여 50 MPa 이상의 고강도 콘크리트는 현장 적용할 경우 반드시 내화인증을 받도록 법률로서 규제하고 있는 상황이고, 국내의 다수의 연구자들이 고강도 콘크리트의 화재시 단면손실을 최소화하여 내화성능을 확보할 수

있는 각종 폭렬방지 기술을 소개하고 있다.²⁾

따라서, 본 연구에서는 이러한 고강도 콘크리트의 내화 성능에 미치는 제반 영향요인들의 중요도를 계층적으로 조사하고 이를 분석함으로써 향후 고강도 콘크리트의 효과적인 내화공법 선정에 참고자료를 제시하고자 한다.

2 고강도 콘크리트의 폭렬방지 공법

2.1 고강도 콘크리트의 폭렬발생 요인

고강도 콘크리트의 폭렬은 일반적으로 구조부재의 압축영역에서 발생하고, 콘크리트의 내화성과는 다른 특성을 나타내고 있는데, 화재시 발생하는 폭렬현상의 원인은 급격한 고온, 높은 함수율 및 낮은 물시멘트비로 알려져 있다.

결국 현재까지 폭렬의 원인으로서는 제기될 수 있는 이론으로는 열응력설, 수증기압설, 열응력과 수증기압의 복합작용 및 골재의 광물조성 등으로 귀결될 수 있다.

2.2 고강도 콘크리트의 각종 폭렬방지 대책

현재까지 알려진 폭렬방지 대책에는 콘크리트의 자체의 내화성을 향상시키는 방법, 내화피복에 의하여 부재의 온도상승을 억제하는 방법, 콘크리트의 비산을 방지하는 방법 등을 들 수 있는데, 이를 정리하면 다음과 같다.

- ① 함수율 및 W/C를 낮추는 방법
- ② 내화피복을 실시하여 고온을 차단하는 방법
- ③ 횡구속을 실시하여 내부에서 발생하는 횡변위에 저항하는 방법

* 일반회원, 청주대학교 건축공학과 박사과정
** 일반회원, 청주대학교 건축공학과 조교수, 공학박사
*** 일반회원, 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

④ 섬유를 혼입하여 수증기압을 외부로 배출시키는 방법
 이와 관련하여 대한건축학회의 고강도 콘크리트 구조내
 화설계 지침서(안)에서 제시된 고강도 콘크리트의 폭렬저
 감억제 대책을 표 1에 나타내었다.

2.2.1 콘크리트 자체의 내화성을 향상시키는 방법

콘크리트 자체의 폭렬 저항성을 높이는 방법으로는 주로
 다음과 같은 3가지가 있다.

- ① 콘크리트에 사용되는 골재의 선정
- ② 유기섬유 혼입
- ③ 원심성형에 의한 콘크리트 타설 방법

먼저, ①의 경우 콘크리트에 사용되는 골재의 선정에서
 는 고온에 시멘트 페이스트는 수축하는 성질이 있기 때문
 에 굵은 골재의 팽창량과 모르타르의 팽창량에 큰 차이가
 생기면 균열이 발생되면서 박락이 원인이 되기도 한다.

②의 경우 콘크리트 믹싱 단계에서 폴리프로필렌, 폴리
 비닐 알콜 및 셀룰로스 섬유 등 내열성이 작은 유기질 섬
 유를 혼입하여 수증기압을 배출시키는 방법이다. 콘크리트
 의 폭렬방지를 위해 혼입되는 유기 섬유는 고온에 노출된
 콘크리트 조직 내에서 녹아 공극을 형성하고 기존에 존재
 하는 수많은 모세관 공극, 겔 공극, 열 공극 등과 네트워크
 를 형성하여 콘크리트 조직 내에서 발생하는 수증기 압력
 에 대해 완충작용을 하고, 수증기를 외부로 배출 시키는 통
 로 역할을 수행하게 된다.(사진 1참조)

③의 경우 원심 성형한 경우에는 원심성형에 의하여 잉
 여수가 밖으로 방출되어 수증기압에 기인한 폭렬이 방지된
 것으로 사료된다.

2.2.2 부재를 피복하여 열의 침입을 차단시키는 방법

콘크리트 부재를 피복하여 열의 침입을 차단시켜 폭렬저
 항성을 높이는 방법으로 주로 다음과 같은 2가지 방법이
 있다.(사진 2참조)

- 1) 모르터 피복
- 2) 보드부착

2.2.3 콘크리트의 비산을 방지하는 방법

폭렬은 고온시 내부에서 발생한 수증기 압력이 콘크리트
 의 인장력을 초과할 때 콘크리트가 급격하게 항복하면서
 발생하게 된다. 이때 강철판 및 메탈라스 등을 이용하여 콘
 크리트의 측면에 강한 인성을 부여할 경우 콘크리트 구조
 체는 내부수증기 압력에 의해 발생하는 횡변위에 대한 저

항성을 갖게 된다.

2.2.4 복합방법

1) 메탈라스와 섬유복합 모르터의 뽀칠 복합 방법

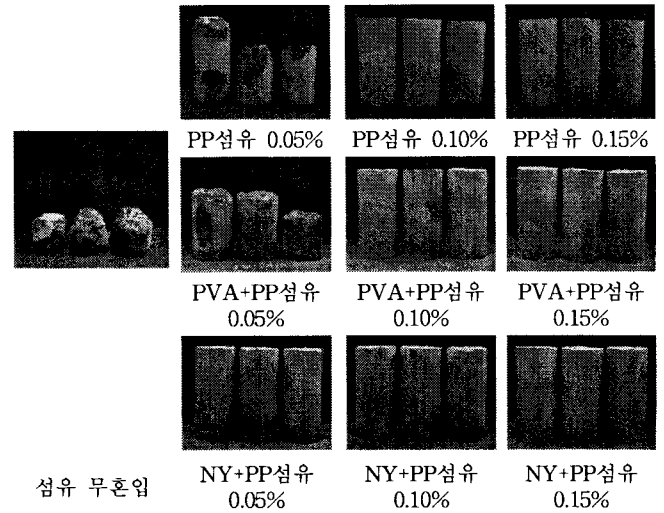


사진 1. 복합유기섬유의 조합별 섬유 혼입율 변화에 따른 공시체의 폭렬모습

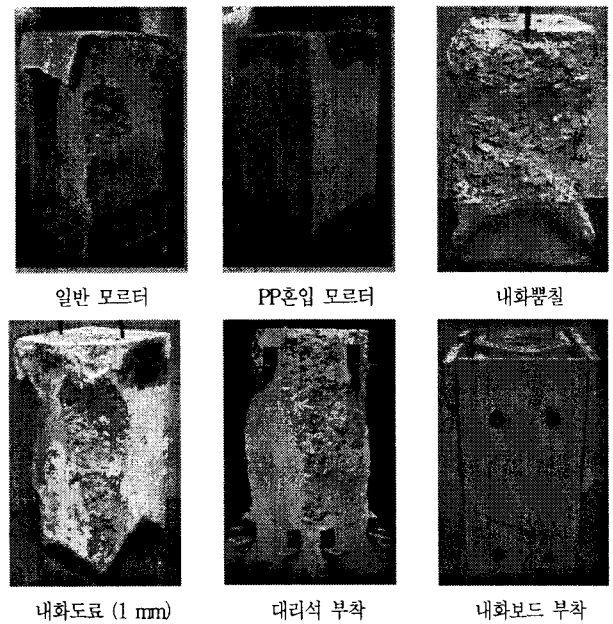


사진 2. 부재 피복에 의한 폭렬 방지공법

표 1. 고강도 콘크리트의 폭렬저감억제 대책 (고강도 콘크리트 구조내화설계 지침서(안))

폭렬대책 방안				콘크리트 설계기준 압축강도별								
개념에 의한 분류	사용재료별 분류	공정	시공 방식	60MPa이하			60~80MPa			80MPa 이상		
				시공성	내폭렬성	유지관리	시공성	내폭렬성	유지관리	시공성	내폭렬성	유지관리
표층부의 온도상승, 온도구배 저감	내화모르터	마감	습식	○	◎	◎	○	◎	◎	○	◎	◎
	내화보드	미장	건식	○	◎	○	○	○	○	○	△	○
	내화도료	마감	습식	○	△	○	-	-	-	-	-	-
수증기압 저감 수분이동 용이	합성 유기섬유	타설	습식	△	○	◎	△	○	◎	△	△	◎
폭렬에 의한 콘크리트 비산방지	메탈라스 보강	미장	습식	○	△	◎	○	△	◎	○	△	◎
폭렬억제형 피복 콘크리트 이용	압출성형 영구거푸집	타설	건습식	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎

이 방법은 콘크리트의 비산을 방지하기 위해 사용하는 메탈라스를 이용하여 콘크리트를 횡구속한 후 표면에 유기 섬유를 혼입한 모르터를 뿔칠하여 피복층을 형성하는 방법이다.

2) 내화보드와 경량기포 모르터의 복합 방법

이 방법은 건식패널 접착부위에 단열능력이 우수한 경량기포 모르터를 충전하여 우수한 폭발방지성능을 발휘하는 것으로 보고되고 있다.

3) 비탈형 거푸집을 이용하는 방법

이 방법은 부재의 코어부분은 고강도 콘크리트를 사용하고 피복부분 혹은 거푸집 역할을 하는 부분을 폭발이 발생하지 않는 동일강도 이상의 재료를 사용하여 콘크리트의 온도상승을 억제하고 폭발을 방지하는 방법이다.

3. 고강도콘크리트의 내화성능 중요도 선정

3.1 고강도 콘크리트의 내화성능 평가기준

본 연구에서는 AHP를 이용한 분석을 하기 위해서 기존의 제반 연구 자료를 토대로 내화성능에 미치는 영향요인을 계층별로 구분하였는데, 화재성능, 상시성능의 2가지 평가기준을 LEVEL 1 평가항목으로 하고, 표 1과 같이 LEVEL 2 평가항목 4가지, LEVEL 3 평가항목 12가지로 세분화하였다.

3.2 연구방법

3.2.1 평가기준의 계층화

AHP를 이용한 분석의 과정으로 평가요소의 가중치를 산정하기 위하여 표 2 및 그림 1과 같이 평가요소를 계층화하였다.

3.2.2 쌍대비교 평가

평가기준의 계층화를 통해 구성된 각 속성들을 쌍대비교하기 위해서 설문조사를 실시하였다. 설문은 30여명의 건설공사 관련분야 엔지니어 및 연구원등 전문가를 대상으로 하였다.

수집된 30여부의 설문을 EC(Expert Choice)11.5 프로그램을 사용하여 가중치를 산출하였다. 쌍대비교는 각각의 최종 가중치로 분석을 실시하여 중요도를 도출하였다.

3.3 분석결과

고강도 콘크리트의 내화성능에 대한 계층별 중요도 조사를 위해 AHP를 이용한 분석결과 표 3과 같은 각 계층의 중요도 가중치를 얻을 수 있었다.

먼저 화재성능과 상시성능에 대한 설문분석 결과 화재성능 0.768, 상시성능 0.232의 가중치가 산정되어 화재성능을 가장 중요한 요소로 평가하고 있는 것을 알 수 있었다.

이는 고강도 콘크리트 내화공법의 경우 건축물의 화재성능에 대한 요구와 중요성이 보다 크게 작용함을 나타내고 있다.

또한, 화재성능에 대한 2가지 항목의 설문분석 결과 구조적 안정성이 0.443, 인명보호에 0.557의 가중치가 산정되

표 2. 고강도 콘크리트의 내화공법 선정의 평가기준

LEVEL1	LEVEL2	LEVEL 3	평가기준
화재성능	구조적 안정	폭발방지	화재시 부재의 폭발이 일어나지 않을 것.
		잔존강도 저하방지	화재후 부재의 잔존강도가 저하되지 않을 것.
		주철근 온도 상승 방지	상정한 화재곡선에 대한 주철근이 허용온도를 넘지 말 것.
	인명 보호	유해가스 억제	화재시 인체에 유해한 가스가 발생하지 않을 것.
		화상방지	화재시 거주자의 화상피해가 없을 것.
		질식방지	화재시 거주자의 질식피해가 없을 것.
상시성능	시공전	시공성 우수	시공성능이 우수할 것.
		구득 용이성	재료의 구입사용이 용이할 것.
		공사기간 영향배제	건축공기에 영향을 주지 않을 것.
	시공후	유지 관리성	유지관리가 용이할 것.
		보수성	부분교환이 용이할 것.
		미관성	미관성을 가지고 있을 것.

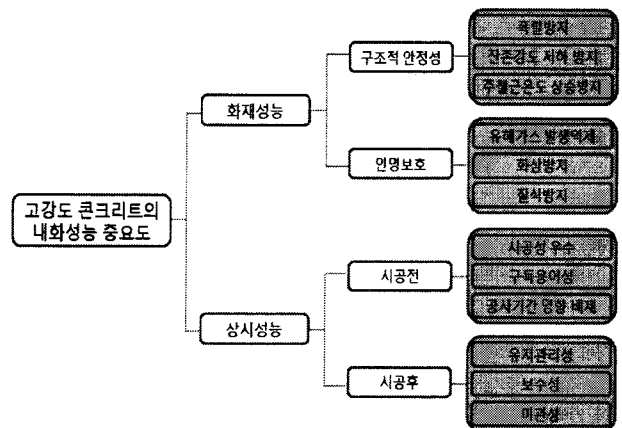


그림 1. 고강도 콘크리트의 내화공법 선정의 계층평가 구성도

어 건축물의 화재시 구조적 안정정보다는 인명피해의 방지 쪽이 중요하게 고려되어야 할 성능인 것으로 나타났다. 구조적 안정성에 대한 3가지 항목의 설문분석 결과 폭발방지 0.493, 잔존강도 저하방지 0.311, 주철근 온도 상승방지 0.196의 가중치로 산정되어 건축물의 화재시 발생하는 구조적인 문제의 근원인 폭발을 방지하는 것이 중요한 것임을 알 수 있었다.

한편, 인명보호에 대한 3가지 항목의 설문분석 결과 유해가스 발생억제 0.558, 화상방지 0.122, 질식방지 0.320의 가중치로 산정되어 건축물의 화재시 화상에 의한 인명피해에 비해 유해가스에 의한 인명피해 방지가 중요한 것으로 분석되었다.

화재성능과 더불어 상시성능에 대한 중요도 평가를 위하여 2가지 항목의 설문분석 결과 시공전 0.583, 시공후 0.417

표 3. 고강도 콘크리트의 내화공법 선정의 중요도 가중치표

목적	LEVEL 1		LEVEL 2		LEVEL 3		일관성 (CI)	
	평가항목	가중치	평가항목	가중치	평가항목	가중치		
고강도 콘크리트의 내화성능 중요도 평가	화재성능	0.768	구조적 안정성	0.443	폭렬방지	0.493	0.05	
					잔존강도 저하방지	0.311		
					주철근 온도 상승방지	0.196		
	인명보호	0.557			유해가스 발생억제	0.558	0.02	
					화상방지	0.122		
					질식방지	0.320		
	상시성능	0.232	시공전	0.583	시공성 우수	0.674	0.08	
					구득 용이성	0.101		
					공사기간 영향 배제	0.225		
			시공후	0.417			유지관리성	0.691
보수성							0.218	
미관성							0.091	

의 가중치가 산정되어 내화공법 선정시 시공전의 요인에 대한 적절한 고려가 필요할 것으로 사료된다. 시공전에 대한 3가지 항목의 설문분석결과 시공성 우수 0.674, 구득용이성 0.101, 공사기간 영향 배제 0.225의 가중치가 산정되어 무엇보다도 시공의 용이성이 우선적으로 고려되어야 할 것으로 판단된다. 시공후의 성능에 대한 3가지 항목의 설문분석결과 유지관리성 0.691, 보수성 0.218, 미관성 0.091의 가중치가 산정되어 시공후 유지관리에 대한 중점적인 고려가 되어 있는 공법의 선정이 요구된다.

이상의 결과를 토대로 시공자는 고강도 콘크리트의 내화공법 선정시 중요도 가중치표를 이용하여 최적의 대안을 선택할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 고강도 콘크리트의 내화성능의 중요도에 대해 설문조사를 실시하고 AHP 기법을 활용하여 분석하였다. 연구결과 화재성능의 중요도가 높게 산정되어 고강도 콘크리트의 내화공법 선택시 화재성능이 가장 중요한 요소임을 알 수 있었고, 화재성능에서는 인명보호, 구조적 안정성 순으로 중요도가 큰 것으로 조사되었고, 구조적 안정성 차원에서는 폭렬방지가 가장 크게 고려되어야 할 것으로 판단되었다.

상시성능의 경우 시공성 우수에 대한 성능이 우선적으로 고려되어야 하며 시공후에 대한 항목에서는 유지관리성의 중요도가 높게 나타났다.

본 연구는 고강도 콘크리트의 내화공법 선정시 중요도에 대하여 편의적인 측면에서의 가중치 산정과 중요도를 조사하였으나, 추후에 비용적인 측면과 대안 공법의 적정성을 산정하는 연구가 필요할 것으로 사료되며, 이를 토대로 최적의 내화공법을 선정할 수 있는 참고자료를 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 '콘크리트 코리아 연구단'에서 주관하여 시행한 2006년도 건설핵심기술연구개발사업 「05건설핵심 D-11 고성능·다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술」 지원으로 수행되었으며, 이에 감사한다.

참고문헌

1. 콘크리트 코리아 연구단, 인명보호를 위한 내화성 고성능 콘크리트의 개발 및 실용화, 2007.10
2. 국토해양부, 내화구조의 인정 및 관리기준, 건설교통부 고시 제 2005-122호, 2008. 7.

Abstract

Recently, with the increase of high rise and huge scale building construction, the use of high strength concrete has been increasing. High strength concrete has dense pore structure, which is susceptible to be damaged due to fire attack. For this, many researchers provide proper fire endurance method. In this paper, to provide the priority for selecting fire endurance method in high strength concrete execution, AHP technique is applied based on expert questionnaire. Fire endurance performance efficiency and ordinary performance efficiency was selected for level 1. Fire endurance performance efficiency had larger weight than ordinary one.

Keywords : High-Strength Concrete, Fire-Resist Method, AHP