

고강도콘크리트 내화성능확인 현황 및 기술 소개

방내화팀 김 대 회

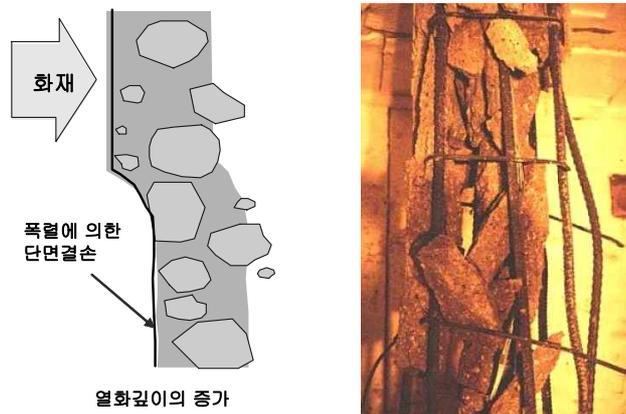
1. 서론

건축물이 고층화, 대형화됨에 따라 고성능 건설자재의 활용이 급격히 증가하고 있으며, 고강도콘크리트는 그 대표적인 예로 모든 국가에서 경쟁적으로 개발이 이루어지고 있다.

그러나, 기존의 보통강도 콘크리트가 화재에 강한 재료였음에 반해 콘크리트가 고강도화 됨에 따라 조적이 치밀해져 콘크리트 내부의 수분이 고온에 노출시 증기화되어 콘크리트내 압력으로 작용하여 콘크리트가 표면부터 탈락되는 폭렬현상이 발생하였다.

폭렬현상에 의해 화재시 고강도콘크리트 부재는 단면손실로 인한 내력저하 현상이 나타나 고강도콘크리트 사용을 위해 우선 해결되어야할 문제로 인식되었다.

이에 국토해양부에서는 2008년 7월 21일 국토해양부고시 제 2008-334호 [고강도콘크리트 기둥·보의 내화성능관리기준]을 고시하고 기존의 일정 단면크기이상이면 내화구조로 인정되었던 콘크리트부재에 대하여 압축강도 50 MPa 이상일 경우 고시에 따른 내화성능확인을 의무화하여 고강도콘크리트의 화재안전성을 확보하고자 하였다.



[그림 1] 폭렬현상 발생 및 시험예

본 고에서는 고시가 발효되고 1년 6개월이 경과된 시점에서 고강도콘크리트의 내

화성능 확인 현황¹⁾과 2009년 한국콘크리트학회 추계학술발표대회시 내화콘크리트위원회에서 발표된 건설사별 고강도콘크리트 내화성능확보기술을 소개함으로써 국내 기술현황을 살펴보고자 하였다.

2. 고강도콘크리트 성능확인 현황 및 분석

현재 고강도콘크리트에 대한 내화성능확인 은 방재시험연구원과 한국건설기술연구원 2개 기관에서 시행되고 있으며, 성능시험에 확인된 구조를 양 기관의 홈페이지에 게시하고 있다.

본 고에서는 양기관에서 공개된 50개 구조에 대한 성능확인 현황자료를 이용하여 국내 성능확인현황을 이해하기 쉽도록 정리·분석하였다.

2.1 기술주체에 따른 현황

국토해양부고시 2008-334호에 의해 공동성능확인을 포함하여 <표 1>과 같이 12개 건설사, 8개 콘크리트제조사, 3개 내화물 생산기업, 2개 대학에서 총 50개 구조에 대하여 내화성능확인을 받았다.

<표 1> 성능확인 기관 현황

분 류	건설사	콘크리트제조사	내화물생산기업	대학
기 관 명	두산건설	렉스콘	인트캠	충남대학교
	현대산업개발	유진기업	라파즈코리아석고	청주대학교
	현대건설	한라콘크리트	대기	
	GS건설	삼표		
	대한주택공사	쌍용레미콘		
	풍림산업	한일시멘트		
	엠코	쌍용양회		
	롯데건설	우림콘크리트공업		
	코오롱건설			
	포스코건설			
	대우건설			
	삼성물산			
기 관 수	12	8	3	2

1) 본 고의 내화성능확인현황은 방재시험연구원(2010년 1월)과 한국건설기술연구원(2009년 9월)의 자료를 취합하여 정리한 것으로 3시간 내화성능을 확인 받은 것에 한함.



[그림 2] 성능확인 기관 분류

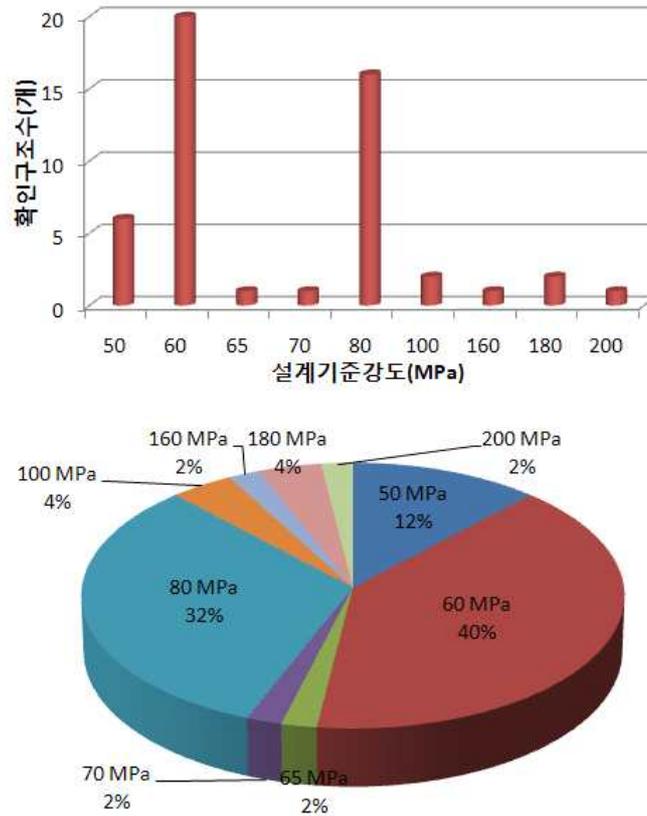
성능확인을 신청하는 기관은 콘크리트를 사용하는 대형건설사의 주도하에 콘크리트를 제조·납품하는 레미콘사와 피복재 제조회사 및 기술개발에 참여한 대학 등이 공동기술주체로 참여하고 있는 양상을 보이고 있다.

2.2 설계기준강도에 따른 현황

성능확인을 받아야하는 콘크리트의 설계기준강도는 50 MPa 이상으로써 성능확인을 받은 구조의 설계기준강도는 50 ~ 200 MPa로 매우 광범위한 분포를 보이고 있으며, 동일 압축강도에서도 시공성, 경제성 등을 고려한 다양한 내화대책이 수립되어지고 있다. 각 건설사별 확인구조수 및 설계기준강도는 <표 2>와 같다.

<표 2> 건설사별 고강도콘크리트 성능확인 현황

건설사명	확인 구조수	설계기준강도(MPa)	기술개요
두산건설	1	60	섬유혼입
현대산업개발	4	60	섬유혼입
현대건설	3	50, 60	섬유혼입
GS건설	8	50, 60, 80	섬유혼입
대한주택공사	3	80	섬유혼입
풍림산업	1	160	섬유혼입
엠코	3	50, 60, 80	섬유혼입
롯데건설	3	80	섬유혼입, 보드피복
코오롱건설	3	50, 60	섬유혼입
포스코건설	7	50, 65, 70, 80, 100, 200	섬유혼입
대우건설	2	60, 80	섬유혼입
삼성물산	2	180	섬유혼입



[그림 3] 성능확인구조의 설계기준강도 분포

고강도콘크리트 내화성능확인을 받은 구조의 콘크리트 설계기준강도는 법정 최소 강도범위인 50 MPa에서 최대 200 MPa까지의 분포를 나타내며, 건설현장에서 사용 빈도가 높은 60 MPa와 80 MPa가 40%, 32%로 가장 높은 비중을 나타냄을 알 수 있다.

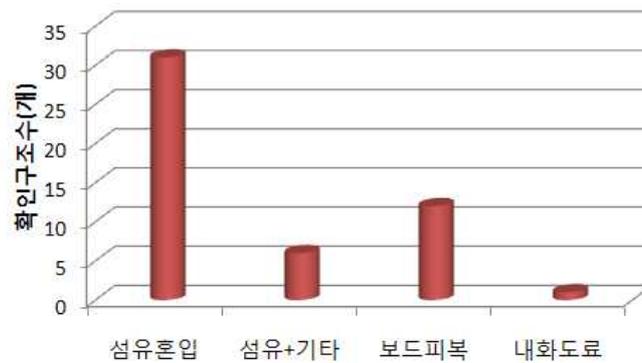
이는 건설현장에서 현재 시공중이거나 계획중인 고강도콘크리트를 대상으로 내화 성능 확보가 이루어지고 있는 단계임을 확인 할수 있으며, 현재는 소수이나 미래를 대비한 100~200 MPa의 초고강도 영역에 대한 내화성능확보기술도 연구되고 있음을 볼 수 있다.

2.3 내화대책에 따른 현황

고강도콘크리트의 대표적인 내화대책은 <표 3>과 같이 크게 4종류로 분류할 수 있으나 현재 국내에서는 이중 대표적인 두가지공법인 수증기압을 제거하는 섬유혼 입방법과 콘크리트자체의 온도를 낮게 하는 내화피복공법이 주로 연구되어지고 있다.

<표 3> 고강도콘크리트 폭렬억제기술

원 리	폭렬억제 방법
콘크리트 표층 온도상승 억제	<ul style="list-style-type: none"> 고강도콘크리트 표층에 내화성능의 재료 피복 표층에 내화층을 형성시켜 온도상승 및 온도구배 저감 내화모르타르 도포, 내화보드, 내화도료, 내화뿔칠 등
콘크리트 내부 수증기압 저감	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 제조시 합성섬유 혼입 화재시 합성섬유의 용융에 의한 수증기압 저감 및 수분이동 PP섬유, PVA섬유, 셀룰로오스 섬유, 나일론섬유 등
콘크리트 폭렬 비산 방지	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 표층부에 강판 및 메탈라스 등 보강재 적용 폭렬 억제보다는 폭렬에 의한 콘크리트 비산방지 강판, 메탈라스, 용접철망, 와이어매쉬
폭렬억제형 피복 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 피복을 폭렬억제형 재료로 치환 콘크리트 피복을 폭렬억제형 재료로 사용하여 단면증가방지 ECC영구거푸집 등



[그림 4] 성능확인구조의 내화대책 분포

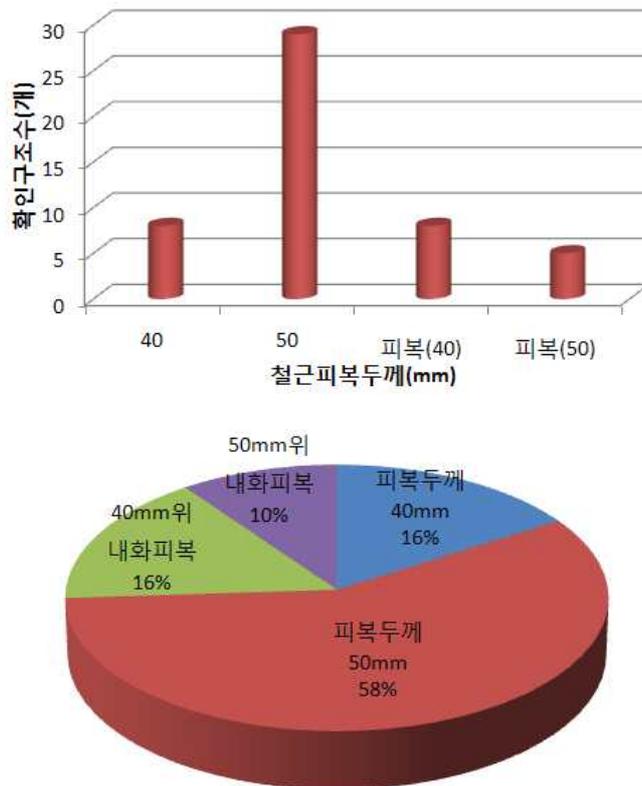
섬유의 종류는 폴리프로필렌섬유를 기본으로 하여, 폴리에스테르, 나일론섬유를 혼합하여 사용하는 방법과 강섬유, 고무분말, 폴리머분말 등이 혼합되어 사용되고 있으며, 내화피복공법으로는 내화보드, 방화석고보드, 내화도료 3종이 사용되었다.

고강도콘크리트 내화성능확보를 위한 성능확인구조의 비율은 섬유혼입공법 74%, 내화피복공법 26%를 나타내어 3:1의 비율로 두가지공법이 함께 사용되고 있는 것으로 판단될 수 있으나, 실제 건설현장에서는 내화피복공법의 부재단면 증가, 낮은 경제성, 공정의 증가 등을 들어 대부분 섬유혼입공법을 사용하고 있는 실정이다.

이는 제도도입 초기현상으로 가장 경제적이며 대응이 쉬운 공법의 선정에 따른 것으로 향후, 화재사례에 대한 공법별 장·단점의 비교 및 콘크리트의 내구성에 미치는 영향 등에 대한 연구가 진행되고 있어, 그 결과에 따라 공법의 개선 및 신공법의 개발이 이루어질 것이다.

2.4 콘크리트부재의 변경 현황(피복두께)

고강도콘크리트의 내화성능 확인제도의 시행에 따라 기존 철근콘크리트부재와 달리 철근의 피복두께가 증가되는 현상이 나타났다.



[그림 5] 성능확인구조의 콘크리트 피복두께 분포

국내에서 시행하고 있는 고강도콘크리트의 내화성능평가방법은 콘크리트내 철근의 온도를 측정하여 내화성능을 판단하고 있어 철근의 피복두께는 중요한 변수중의 하나이다. 실제 최근까지의 성능확인을 위한 시험결과 대부분의 건설사가 섬유혼입에 의한 내화대책에서는 철근의 피복두께가 40 mm에서 50 mm 증가된 것을 확인할 수 있었다.

성능확인이 시행된 초기 기존 기둥부재의 철근피복두께인 40 mm를 유지하고 내화대책을 수립하였으나, 콘크리트에 폭발현상이 발생하지 않아도 섬유혼입에 따른 단열성의 저하현상 또는 얇은 피복두께로 인한 낮은 단열성능으로 인해 내화성능의 확보가 어려움이 확인되었다.

현재는 섬유혼입공법에 의한 철근콘크리트구조의 피복두께는 50 mm가 주로 선택되고 있으며, 기존의 피복두께인 40 mm를 그대로 유지하기 위해서는 피복공법을 선정하거나 섬유혼입공법과 구조적 보강을 병행하여 온도에 의한 평가가 아닌 재하가열시험에 의한 성능평가방법을 택하는 것이 현재의 기술추이로 생각된다.

3. 건설사별 기술개발 현황

내화성능확인을 받은 건설사는 12개 건설사가 있으며, 이중 한국콘크리트학회에서 연구결과를 발표한 5개사의 발표물을 정리하여 아래와 같이 현재 국내 건설사들이 고강도콘크리트 내화성능을 확보하기 위해 연구하고 있는 방향 및 현재의 수준등을 확인해보고자 한다.

3.1 대림건설

대림산업은 60 ~ 100 MPa급 고강도콘크리트에 대하여 현장적용이 용이하도록 섬유혼입공법과 피복공법으로 나누어 내화성능, 경제성, 시공성을 고려한 연구를 수행하여 <표 4>와 같은 결과를 나타냈으며, 향후 내화성능인증 및 내화기술적용 가이드라인을 작성계획중이다.

<표 4> 대림산업 내화성능확보기술 정리

분류	인자	수준	개발결과
섬유혼입	PP섬유 NY섬유 등 9종	투입량별	<ul style="list-style-type: none"> · NY섬유가 PP섬유에 비해 시공성이 우수함 · 혼입을 1.5 kg/m³ 이내에서 성능확보 · 피복두께 50 mm로 증가 필요
내화피복	내화보드 석고보드 내화뿔칠등	피복두께별	<ul style="list-style-type: none"> · 내화뿔칠, 방화석고보드 성능 확인 · 내부마감고려시 경제성, 시공성 확보가 가능한 것으로 판단됨.

3.2 롯데건설

롯데건설은 제2롯데월드 건설 등에 사용될 고강도콘크리트 제조기술을 개발중으로 타 건설사에 비해 시공성 특히 콘크리트의 펌프압송성이 확보된 60~80 MPa급 고강도콘크리트에 대한 기술개발이 이루어졌다.

롯데건설은 <표 5>와 같은 연구를 통해 폴리론섬유에 폴리머분말을 동시에 혼입함으로써 폴리머분말에 수증기를 모으고, 폴리론섬유가 용융되며 수증기압을 외부로 배출하는 방법의 기술을 개발하였다.

폴리머분말은 시공성에는 유리하나 수증기압이 배출되지 못하여 내화성능 측면에서는 불리한 소재였으나 폴리머분말과 기존 연구에 비해 소량의 섬유를 혼합 사용함으로써 3시간 내화성능을 확보하며, 상대적으로 시공성이 개선된 기술이라 하겠다.

<표 5> 롯데건설 내화성능확보기술 정리

분류	인자	수준	개발결과
섬유혼입	PP섬유 NY섬유 폴리머분말	섬유 및 분말간의 비율조정	· 섬유와 분말의 1:1 비율에서 최적배합도출 · 3시간 내화성능 확인성적서 확보 · 분말혼입에 따라 시공성이 개선됨

3.3 두산건설

두산건설은 PP섬유와 메탈라스를 이용하여 건설신기술을 획득하고, 국토해양부고시 시행 초기부터 기술개발을 실시한 기업으로 내화성능 적용 현장의 소개 및 기존에 확보된 기술(폴리론화이버 혼입)을 이용하여 <표 6>과 같이 60 MPa 급으로 부산해운대 신축공사현장에서 Mock-up test를 실시한 연구결과를 발표하였다.

<표 6> 두산건설 Mock-up test 정리

분류	인자	수준	개발결과
섬유혼입	폴리론화이버 (PP섬유+ NY섬유)	혼입율 0.025%~ 0.075%	· 0.025% 폭발현상 발생 · 0.050% 이상부터 내화성능확보 · 경제성, 시공성 고려시 0.05%혼입이 우수

3.4 코오롱건설

타 건설사가 기존의 PP섬유, NY섬유, PVA섬유 등을 이용하여 폭발방지기술을 개발한 반면, 코오롱건설은 기존섬유가 잘 분산이 되지 않아 뭉치며, 소수성이라 부

착력이 저하되고 시공성 또한 저하되는 점에 착안하여 새로운 섬유개발을 통한 내화성능확보기술을 연구하였다.

코오롱건설에서 사용한 폴리아미드 섬유는 표면에 분산제를 코팅하고 원형의 단일 단면에 섬유끝 End Anchor를 형성함으로써 분산성과 정착력을 향상시켰다.

개발된 폴리아미드 섬유를 이용하여 초고강도급인 160 MPa에 대한 내화성능확인을 받았으며, 향후 실용강도에 대한 확대적용도 기대된다.

<표 7> 코오롱건설 내화성능확보기술 정리

분류	인자	수준	개발결과
섬유혼입	분산제코팅 폴리아미드 섬유(13 mm)	혼입율 2.5 kg/m ³	· 160 MPa급 고강도콘크리트 내화성능 확인 · 현장적용시 Flow 680, 강도 166 MPa 발현 등 시공성이 양호한 것으로 나타남.

3.5 현대산업개발

현대산업개발은 60, 80 MPa급 고강도콘크리트 내화성능확인을 받았으며, 해운대 IPARK 현장에 해당 콘크리트를 적용한 사례를 발표하였다.

현대산업개발은 바인더에 메타카울린, 미세균열 유도를 위해 고무분말, 수증기압 분산을 위한 PP섬유, 부재비산방지를 위한 강섬유를 사용하는 등 고강도콘크리트가 화재시 나타내는 문제점에 일대일 대응식 내화성능보강공법을 개발하여 사용하였다.

이와같이 개발된 기술의 현장적용을 위해 배합을 보완하였으며, 현장적용성 향상을 위해 내화보강제를 레미콘 1배치 당 투입량으로 소포장하여 제공하고 레미콘 송장과 함께 원료투입사진을 첨부토록 하는 등 품질관리까지 연구가 이루어졌다.

<표 7> 코오롱건설 내화성능확보기술 정리

분류	인자 (성분)	수준 (혼입율)	개발결과
섬유혼입 + 보강제	메타카울린 고무분말 PP섬유 강섬유	4~8%/시멘트 5~10%/모래 1.8 kg/m ³ 이내 38 kg/m ³ 이내	· 60~80 MPa급 고강도콘크리트 성능확인 · 현장시공을 위한 배합조정 연구 · 현장 품질관리를 위한 지침 마련

4. 결론

고강도콘크리트 내화성능 관리기준이 시행 된지 1년 6개월여가 경과된 시점에서 내화성능확인을 받은 50개 구조에 대해 정리해본 결과, 설계기준강도 50~80 MPa의 실용강도범위 주 연구대상이며 내화대책으로는 섬유혼입공법을 선호하고 건설사별로 섬유와 혼합물의 종류로 기술을 차별화 하고 있으며, 기존의 철근콘크리트 기둥 부재의 철근피복두께가 10 mm 증가된 50 mm로 설계되고 있음을 확인 하였다.

또한, 각 건설사별 기술개발현황을 살펴본 결과 대부분 섬유혼입공법을 이용하고, 시공성 개선을 통한 현장적용기술 및 품질관리기술의 개발단계에 이르러 즉시 사용이 가능한 수준에 도달해 있음을 확인할 수 있었다.

1년여의 짧은 기간에 많은 기술개발 및 연구가 이루어졌음은 주목할 만 하나, 짧은 기간으로 인해 종합적 검토보다는 즉각적인 대응위주의 연구가 이루어져 일부 아쉬운 점이 있으며, 향후 내구성평가, 신소재·신공법 개발 등을 통해 기술보완 및 개선과정이 이루어져야겠다.