

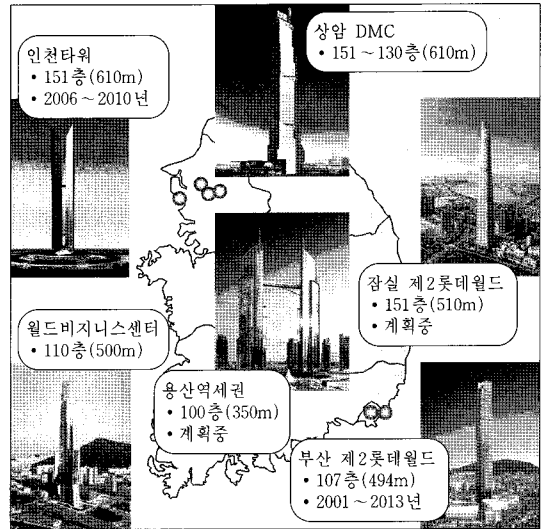
초고강도 콘크리트의 재료기술 및 현장적용 사례

박 철 (쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 연구원)
 김 동 석 (쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 책임연구원)
 이 종 열 (쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장)
 엄 태 선 (쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장)

1. 서 언

최근 도심지 건축의 양상은 인구집중 및 산업 집중화에 따라 주거, 상업 및 주상복합 건축물의 밀집화가 더욱 가중화 되고 있으며 건축물의 고층화를 통한 토지 및 공간의 효율적 이용이 더욱 절실해지고 있는 실정이다. 따라서 효율적인 공간활용을 목적으로 하는 건축물의 고층화 현상은 향후 지속적으로 증가될 전망이다. 이를 가능하게 해주는 구조시스템, 재료의 개발에 대한 많은 노력이 요구되고 있다.

초고층 건축물의 구조시스템으로서 고강도 RC구조는 수직변위를 지탱하는 압축강도 확보와 수평변위를 지탱하는 휨 성능 증가에 의한 구조적 안전성의 확보, 진동 및 소음개선을 통한 주거성능의 개선 등과 같은 사용자 요구를 만족시키며 현존하는 구조재료 중 가장 경제적이라는 장점을 갖는다. 또한 고강도 RC구조는 기둥단면 축소 및 장경간화가 가능하게 하여 내부 사용공간의 극대화가 가능한 장점을 갖고 있어 경제성이라는 공급자 요구를 동시에 만족시킬 수 있다. 이처럼 고강도 RC구조는 많은 장점을 갖고 있기 때문에 저층에서 고층 건축물에 이르



〈그림-1〉 국내 초고층 건축물 시공현황 및 계획

기까지 현재 가장 폭넓게 사용되고 있는 구조 시스템이라 할 수 있다. 또한 콘크리트의 고강도화는 건축물의 내구연한과 직접적으로 관계되는 내구성 향상이라는 효과를 동반하기 때문에 향후 그 활용은 더욱 증가될 전망이다. (〈그림-1〉)

미국 및 일본 등 건설기술 선진국에서는 도심 상

〈표-1〉 주요 도시별 주거건축물의 층수분포

도시	층수							
	40~45	46~50	51~55	56~60	61~65	66~70	71층 이상	합 계
방콕	27	6	1			2		36
부산	14	5	9		2			30
시카고	30	28	8	14	7	4	4	95
두바이	57	18	17	4	4	2	10	112
홍콩	631	142	82	40	16	6	3	920
호놀룰루	25	3						28
자카르타	1	12	3		1			17
라스베가스	6	5	2	1			1	15
멜버른	9	4			2	1	1	17
마이애미	24	12	10	8	4	1	2	61
모스크바	6	3	1	3	1	1	1	16
뉴욕	55	26	15	8		1	2	107
서울	19	13	4	3	1	2	2	44
상하이	9	4	5					18
싱가포르	23	9			1	1		34
도쿄	22	10	3	5				40
토론토	14	6	4	1	1	1		27
기타	270	70	44	9	7	5	6	411
합계 (%)	1242 (61)	376 (19)	208 (10)	96 (5)	47 (2)	27 (1)	32 (2)	2028 (100)

업지구를 중심으로 초고층 건물의 시공을 위한 초고강도 콘크리트의 설계 및 실용화가 오래전부터 이루어져 왔다. 미국의 경우 1980년대 시카고에 위치한 웨이커 드라이브 빌딩에 이미 117MPa의 초고강도 콘크리트가 적용되었으며, 일본의 경우 New RC Project의 일환으로 고강도 콘크리트에 대한 연구가 지속적으로 이루어져 90년대 중반부터는 동경을 중심으로 이미 100MPa 수준의 압축강도를 갖는 콘크리트가 고층주택을 중심으로 실용화되었다.〈표-1〉

이처럼 미국과 일본을 중심으로 발전해온 초고층 건물의 시공이 최근에는 국가이미지 제고 및 랜드마크적 효과를 얻기 위해 아시아의 신흥 개발도상국 및 중국을 중심으로한 아시아권으로 확대되고 있다. 국내에서도 초고층 건축물의 사업계획 및 시공이 활

발하게 이루어지고 있어 100층 이상의 초고층 건축물 등장이 가시화 되고 있는 실정이다.〈표-2〉

국내 초고층 건축기술 분야 중 초고강도 콘크리트 기술분야는 많은 연구가 활발하게 이루어지고 있지만 실제 구조설계상의 반영은 아직 기초적인 단계라 할 수 있다.

그러나 대형건설사, 레미콘사 및 시멘트사를 중심으로 공동연구를 통한 재료개발과 현장적용이 활발하게 이루어지고 있어 향후 초고층 건설기술의 핵심 요소인 초고강도 콘크리트 기술분야에 밑바탕이 되고 있다. 따라서 본고에서는 초고강도 콘크리트의 재료특성에 대한 이론적 고찰과 당사에서 그동안 추진한 초고강도 콘크리트의 개발 및 현장적용까지의 과정을 간단하게 소개하고자 한다.

〈표-2〉 국내 초고층 건축물 현황

공사명	소재지	층수	높이	사업주	비고
잠실 제2롯데월드	서울	112	555m	롯데	심의중
부산 제2롯데월드	부산	107	494m	롯데	공사중
상암동 IBC Center	서울	130	580m	서울시	예정
인천타워	인천	151	610m	포트만 컨소시엄	계약체결
스마트타워	천안	103	473m	천안시	예정
송도 금융센터	인천	105	480m	대우자판	예정

2. 초고강도 콘크리트에 관한 이론적 고찰

가. 정의

국내에서 고강도 콘크리트는 건축공사표준시방서, 콘크리트 표준시방서에서 표준양생을 한 콘크리트 공시체의 28일 강도를 표준으로 일반적으로 40MPa 이상으로 규정하고 있으며 KS F 4009(레디믹스트 콘크리트, 2006.12 개정) 규격에서는 40MPa~60MPa까지 5MPa 단위별 규격제품을 규정하고 있다. 초고강도 콘크리트라는 용어는 특별히 정의되어 있지 않으나, 일본 문헌에서는 60MPa 이상을 초고강도 콘크리트라 규정하였으며, 국내의 경우 80MPa 이상의 콘크리트를 초고강도 콘크리트라 부르는 경우가 많다.

고강도 콘크리트의 압축강도와 관련한 국내외 관련규정은 〈표-3, 4〉와 같다.

나. 초고강도 콘크리트 특성

초고강도 콘크리트는 일반적인 고강도 콘크리트보다 매우 낮은 물시멘트비를 갖기 때문에 시멘트 페이스트의 점성이 높게 되어 재료분리가 적은 균일한 콘크리트를 얻을 수 있다. 그러나 물시멘트비 30% 이하의 고강도 콘크리트에서는 블리딩이 없기 때문에 마감이 어렵게 되고 콘크리트 표면의 플라스틱 수축균열에 대한 우려가 있으므로 주의가 필요하다. 또한 고성능감수제가 다양으로 첨가되기 때문에, 응결지연 및 경시변화에 대한 신중한 고려가 필요하다. 이처럼 초고강도 콘크리트는 보통강도 영역의 콘크리트와 비교하여 굳지 않은 콘크리트의 특성 차이가 매우 크게 나타나기 때문에 실제 시공에 있어서 제조방법, 운반, 타설 방법 및 다짐방법, 양생방법에 관하여 사전에 충분한 검토가 필요하다.

초고강도 콘크리트의 굳은 콘크리트 특성 중 가장 중요한 압축강도는 물시멘트비, 시멘트, 골재, 혼화

〈표-3〉 건축분야에 있어서 고강도 콘크리트 정의의 변천(국내)

구분	시방서	연도	정의
국내	건축공사표준시방서	1994	보통 : 30MPa 이상 경량 : 27MPa 이상
		1999	보통 : 40MPa 이상 경량 : 27MPa 이상
	콘크리트표준시방서	1996	없음
		2003	보통 : 27~36MPa 경량 : 24~30MPa

〈표-4〉 건축분야에 있어서 고강도 콘크리트 정의의 변천(국외)

구 분	시 방 서	연 도	정 의
미 국	ACI 363	1992	보통 : 41MPa 이상
일 본	JASS 5	1969	고강도 콘크리트 정의 없음
	JASS 5	1975	보통 : 27~36MPa 경량 : 24~30MPa
	고강도 철근콘크리트조 설계시공 지침안	1976	보통 : 27~36MPa 경량 : 24~30MPa
	JASS 5	1986	보통 : 27~36MPa 경량 : 24~30MPa
	NewRC	1993	36~60MPa(경량은 포함하지 않음)
	JASS 5	1997	36~60MPa(경량은 포함하지 않음)
	JASS 5	2003	36~60MPa(경량은 포함하지 않음)

재, 혼화제의 종류, 공기량, 재령, 양생조건, 온도이력조건 및 시험방법 등 매우 많은 조건에 영향을 받는다. 탄성계수의 경우는 압축강도와 더불어 증가하나, 고강도화 될수록 그 증대의 정도는 감소하고 사용골재 및 양생조건에 따라 결과값의 차이가 현저하게 나타나기 때문에 유의할 필요가 있다. 이처럼 초고강도 콘크리트의 역학적 특성은 사용되는 재료에 의한 영향이 매우 크게 작용하므로 요구성능 확보를 위해서는 반드시 사전검토가 필요하다.

다. 제조방법

일본 및 미국을 중심으로한 건설기술 선진국에서의 초고강도 제조 및 그의 시공 실례가 문헌을 통하여 많이 소개되고 있고, 국내에서도 학회나 문헌을 통해 초고강도 콘크리트 제조관련 정보가 공개되고 있다. 그러나 대부분 핵심 재료기술, 생산 및 시공기술이 각 제조회사의 기밀로 되어 있고, 특허출원 등으로 보호받고 있어 기술 저변화에는 제한이 따르고 있다.

이에 따라 국외 기술도입 및 국내 기술공유에는 제한조건이 따르며, 국외 기술이 도입되더라도 국내에서 사용되고 있는 시멘트, 골재, 혼화제 등의 재료 품질차이로 동일한 결과를 얻기는 힘들다. 국내에서

도 이의 필요성에 따라 일부대학과 건설기술연구소 등에서 고강도 콘크리트에 관한 연구를 꾸준히 해왔고, 이에 관한 제조 및 시방지침서가 발간되고 있으나, 미국이나 일본에서와 같은 표준제조와 시공규준이 아직 제정되어 있지 않은 실정이기 때문에 제조시 세심한 주의가 필요하다.

초고강도 콘크리트의 제조방법 중 사용재료의 선택은 그 중요도가 가장 높다 할 수 있다. 일반적인 고강도 콘크리트의 경우 물시멘트비 및 단위수량 조정에 의해 강도영역의 변경 및 조정이 가능하지만, 초고강도 콘크리트의 경우 사용재료, 특히 결합재 및 골재조건에 의해 요구성능의 달성이 좌우된다 할 수 있다. 따라서 초고강도 콘크리트 제조시에는 요구성능을 확보를 위해 최적 조건의 재료선택이 가장 중요한 요인이 된다.〈표-5〉)

3. 초고강도 콘크리트 재료특성

초고강도 콘크리트는 기본적으로 콘크리트 1m³를 제조하는데 단위시멘트량이 1,000kg 이상 사용되기 때문에, 일반강도 영역의 콘크리트에 비해 수화열이 매우 높고, 높은 분체량을 갖는 콘크리트의 유동성 확보를 위해 다량의 혼화제가 사용된다. 따라서 콘크리트의 점성이 매우 높다는 특징을 갖는다. 또한

〈표-5〉 설계기준강도별 배합 및 사용재료 현황

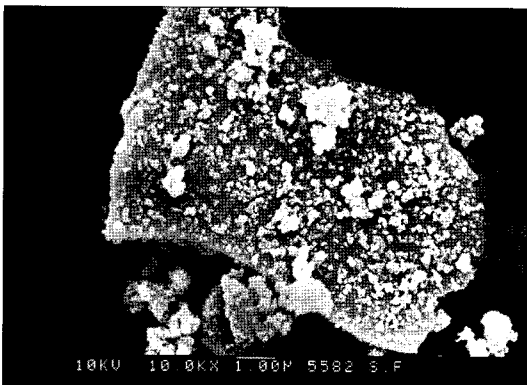
구분	Fck	W/B(%)	혼화재료	혼화제	Gmax(mm)
보통	21MPa	57	FA, SG	유동화제 AE제 AE감수제	25 이하
	24MPa	55			
	27MPa	45			
	30MPa	42			
	35MPa	37			
고강도	40MPa	34	FA, SG	고성능 AE감수제	25 이하
	50MPa	30			
	60MPa	27			
초고강도	80MPa	20~25	SF, SF+FA SF+SG+초고강도용 혼화제 SF+SG+FA+초고강도용 혼화제	고성능 감수제	20 이하
	100MPa	16~20			
	120MPa	14~18			

FA:플라이애쉬, SG:고로슬래그 미분말, SF:실리카폼

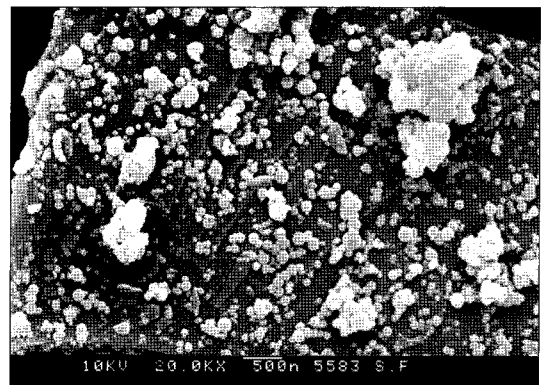
높은 분체량은 콘크리트의 자기수축을 크게 하여 구조물의 안전성을 저해하는 문제점을 가진다.〈그림-2〉 이와 같은 초고강도 콘크리트의 문제점을 개선하기 위해 결합재 측면에서는 기본적인 시멘트 재료로서 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하기 보다는 수화열, 수축, 유동성 측면에서 우수한 저열 포틀랜드 시멘트의 사용이 필요하며, 콘크리트 물성향상을 위한 광물질 혼화재가 혼입된 타입의 시멘트가 요구된다. 일본의 경우, 현재 초고강도 콘크리트를 제조하기

위한 시멘트로서 실리카폼, 고로슬래그미분말, 석고 등을 시멘트와 사용전에 미리 혼합한 프리믹스 타입의 제품들이 SFPC(TCC사), VKC100(DC사) 등의 상품명으로 시판되고 있다.

콘크리트의 압축강도를 100MPa 이상 확보하기 위해서는 결합재 조건과 함께 사용되는 골재의 특성이 중요하다. 특히 골재의 강도가 시멘트 페이스트의 강도보다 적게 되면 골재 자체가 파괴되기 때문에 골재의 강도 확보는 초고강도 콘크리트 제조시



× 10,000



× 20,000

〈그림-2〉 초고강도용 시멘트 전자주사현미경(SEM) 관찰 사진

〈표-6〉 일본의 설계기준강도와 적용 시멘트의 종류

Fck(MPa)	적용 Cement(Binder)	공사건수	비 고
80~100	N+SG+SF	5	프리믹스(pre-mixed) 제품
	L+SF	1	프리믹스(pre-mixed) 제품
80~42	L	17	-
80~42	BB	7	-
80	M	1	-
60~39	N	18	-
50~42	BB	3	CFT, 지중보
42	BB+SF	1	CFT
합 계		53	-

N : 보통포틀랜드시멘트
 L : 저열포틀랜드시멘트
 M : 중용열포틀랜드시멘트

BB : 고벨라이트시멘트
 SG : 고로슬래그미분말
 SF : 실리카폼

매우 중요한 요인으로 작용한다. 또한 골재의 입형은 콘크리트내 골재와 페이스트의 부착강도와 직접적인 관련이 있기 때문에 사용하고자 하는 골재의 선택시 강도특성과 함께 입형 및 입도에 대한 세심한 고려가 필요하다.

골재는 암질, 생산지, 채취부위 등에 따라 특성의 차이가 많이 나기 때문에 초고강도 콘크리트 생산을 위한 골재 선택시에는 반드시 상기된 내용에 대한 재료선정 검토리스트를 작성 후 단계별 사전검토가 이루어져야 한다.

초고강도 콘크리트용 시멘트 제조시 시멘트와 함께 사용되는 광물질 혼화제에는 고로슬래그 미분말, 실리카폼, 플라이애쉬, 무수석고 등이 있다. 이들 각각의 재료들은 초고강도 콘크리트 제조시 콘크리트의 유동성(점성, 작업성), 강도, 내구성에 매우 큰 영향을 미치기 때문에 시멘트와 함께 혼입되는 최적의 비율 도출이 요구된다.

그러나 사용되는 혼화제 또한 각각의 품질, 성분 등에 따라 변동요인이 존재하기 때문에 사용되는 혼

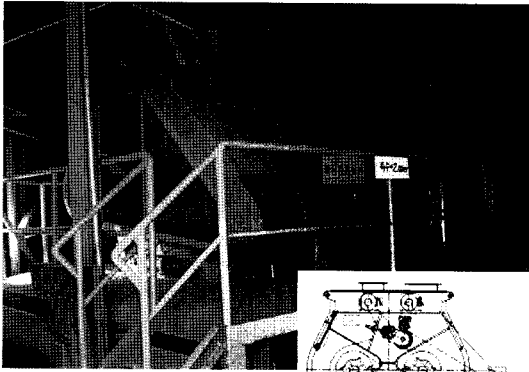
화제별 사전검토 및 평가를 통해 그 사용량 및 혼합 비율을 결정해야 한다.〈표-7〉)

4. 초고강도 콘크리트 제조 및 현장적용

앞서 언급했듯이 국내에서도 초고층 건축분야 기술의 경우 많은 연구가 활발하게 이루어지고 있는 가운데 재료분야 측면에서는 대형건설회사와 시멘트사 공동으로 초고층 건설기술의 핵심 요소인 초고강도 콘크리트재료에 대한 개발 및 시험적용이 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 국내외 여건속에서 당사와 대우자동차판매건설부문, 포스코건설과 공동으로 기존에 개발된 초고강도 콘크리트에 대한 재료적 단점을 보완 및 개선하고자 저열 포틀랜드 시멘트를 이용한 초고강도 콘크리트 개발연구를 통해, 2007년 4월 대우자동차판매(주) 건설부문이 시공중인 울산에 위치한 주상복합 건축현장에 목표강도 150MPa 초고강도 콘크리트를 적용하였으며, 2007년 11월 포스코건설에서 시공중인 경기 화성 동탄

〈표-7〉 시멘트 및 무기질 혼화제의 비표면적

종 류	실리카폼	플라이애쉬	고로슬래그미분말	보통포틀랜드시멘트
비표면적(cm ² m ² /g)	130,000~300,000	4,000~7,000	3,500~8,000	3,000~4,000



〈그림-3〉 S사 보유 초고강도 콘크리트용 시멘트 제조 무중력 혼합기

에 위치한 주상복합 건축현장에 200MPa 초고강도 콘크리트를 적용하였다.

본절에서는 초고강도 콘크리트용 시멘트 개발단계에서 초고강도 콘크리트 제조 및 현장적용까지의 과정을 간단하게 소개하고자 한다.

가. 초고강도 콘크리트용 시멘트 제조

개발된 초고강도 콘크리트용 시멘트는 기본재료로 저열 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 저열 포틀랜드 시멘트는 KS L 5201에 규정된 시멘트로서 콘크리트를 대량으로 타설할 때 시멘트 자체의 수화열에 의해 발생하는 온도균열을 방지하기 위해 사용되

며, 건설현장에서 사용되는 일반 시멘트와는 광물조성이 달라 시멘트의 수화 발열량이 낮고, 콘크리트 제조시 고유동성을 발휘하며, 건조수축 및 자기수축이 작다는 특징을 가진다. 이와 함께 강도증진, 초기 접성 저감, 수축보상 등 콘크리트 특성개선을 위해 무중력 혼합기를 사용, 분체물을 첨가하여 초고강도 콘크리트용 시멘트를 제조하였다.〈그림-3〉

제조된 시멘트를 이용한 초고강도 콘크리트의 목표강도의 확보와 현장에서 펌프카에 의한 타설이 가능한 작업성 확보를 위해서는 충분한 사전 검토절차가 필요하였으며, 이를 통해 결합재의 분말도와 입도분포가 최적인 결합재 혼합비를 도출하였다. 검토 결과를 바탕으로 실내 콘크리트 실험을 통해 굳지 않은 상태와 굳은 콘크리트의 물리 역학적 특성을 확인하였고 최종적으로 현장에 적용하기 위한 현장 실물모형실험(Mock-up Test)을 실시하였다.

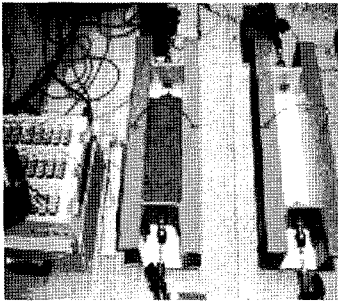
나. 초고강도 콘크리트 특성평가

초고강도 콘크리트의 사전평가에서는 굳지 않은 콘크리트의 유동성 및 발열특성을 평가하였으며 굳은 콘크리트에서는 자기수축 및 역학적 특성에 대한 평가를 실시하였다. 사전평가에서는 시멘트 특성비교를 위해 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 초고강도 콘크리트용 시멘트에 대한 평가도 병행하였다. 〈표-8〉은 초고강도 콘크리트 사전평가에서 실시한 평가

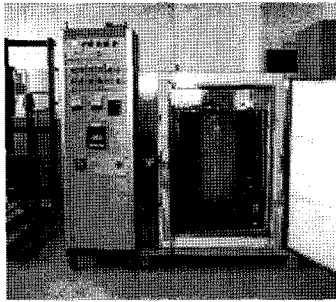
〈표-8〉 콘크리트 평가항목

구분	배합	특성평가		평가항목	평가기준
*OPC base & **LHC base	W/B:15% B:1000kg/m ³ AD:C×3.0%	굳지 않은 콘크리트	유동성	슬럼프 플로우	700 ± 50mm
				T-50cm	<10sec
			공기량	공기량	1.5 ± 0.5%
		굳은 콘크리트	발열특성	단열온도상승실험	K, α값 산출
			수축특성	자기수축	OPC, LHC 비교
			역학적특성	압축강도	>f _{ck} (91) = 150MPa
		탄성계수	-		

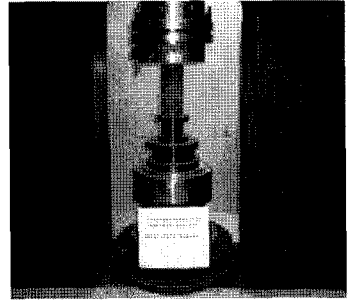
*OPC:보통포틀랜드시멘트, **LHC:저열포틀랜드시멘트



[수축특성]



[발열특성]



[역학특성]

<그림-4> 콘크리트 특성평가 시험장면

항목 및 기준을 나타낸다.

콘크리트 유동성 평가 결과 결합재 종류별 700 ± 50mm 범위안에 모두 만족하는 결과가 도출되었으나, LHC base 배합의 경우 시멘트 고유특성이 반영된 결과로 OPC base 배합에 대비하여 유동성 측면에서 유리한 것으로 나타났다. 점성 특성평가를 위한 50cm 도달시간 측정결과에서도 LHC base 배합의 성능이 우수한 것으로 평가되었다. 공기량은 결합재 종류에 관계없이 1.5 ± 0.5%를 모두 만족하였다.

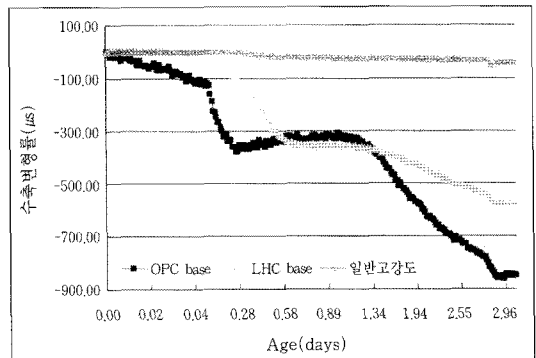
결합재량이 많은 고강도 콘크리트 배합의 경우 자기수축에 의한 구조물의 변형 및 균열이 문제되기 때문에 본 연구에서도 결합재 종류별 자기수축특성에 대한 평가를 실시하였다.<그림-4> 평가 결과 일반 고강도(40MPa) 배합에 비하여 상대적으로 분체량이 많은 초고강도 배합의 경우 자기수축량이 크게 나타나고 있음을 확인할 수 있었으나, 결합재간 비교에서는 저열 포틀랜드 시멘트 고유특성이 반영된 결과로 OPC base 배합에 비교하여, LHC base 배합의 자기수축량이 작게 평가되었다.

<그림-5>는 결합재 종류간 초기재령의 자기수축 양상을 나타낸다.

콘크리트의 발열특성 평가를 위한 단일온도상승 실험 결과 결합재 종류간 최고온도값(K)은 LHC base 이 다소 유리하게 평가되었으나 온도균열 발생의 지배적인 요인으로 작용하는 온도 상승속도(α)

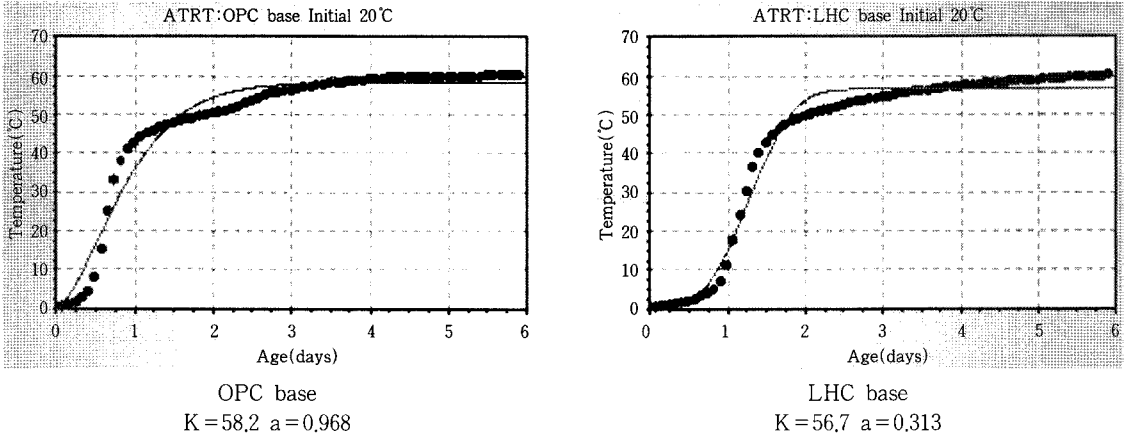
값의 경우 OPC base 배합은 LHC base 과 비교하여 3배 정도의 차이를 보이고 있어 온도균열 제어 측면에서는 LHC base 배합이 매우 유리한 것으로 검증되었다.<표-9>

따라서 결합재량이 극도로 높은 초고강도 콘크리트 배합의 온도균열제어 측면에서는 LHC base 배합의 적용의 타당성이 확보되었으며 콘크리트의 압축강도 결과는 150MPa 초고강도 콘크리트 배합의 경우 28일 재령에서 모두 목표강도를 확보할 수 있었으며 초기 재령에서는 결합재 종류별 수화속도에 의한 강도차이가 나타났지만 28일 이후 재령부터는 LHC base 배합의 압축강도가 더욱 증진되는 경향을 나타냈다. 콘크리트 제반특성 평가를 통해 현장 적용 배합은 LHC base 배합의 타당성이 입증되었으며 이를 바탕으로 현장 실험모형 실험 및 현장적



<그림-5> 결합재 종류별 자기수축 특성

〈표-9〉 결합재 종류별 단열온도상승실험 결과



적용식: $Q = K(1 - e^{-at})$

용을 실시하였다.

다. 현장 적용 및 결과

(1) 현장 개요

150MPa 초고강도 콘크리트 현장 적용은 2007년 4월 26일 울산 태화 강변에 위치한 iaan 태화강 엑소디움(Exordium)현장에서 실시되었다. 콘크리트 타설은 지하 1층 기둥 2개소를 대상으로 실시하였으며, 타설 물량은 총 15m³로 레미콘은 공급거리 7km(20분 소요)에 위치한 당사 레미콘 울산사업소에서 공급하였다. 200MPa 초고강도 콘크리트의 현장 적용은 2007년 11월 6일 경기 화성 동탄에 위치한 메타폴리스(Metapolis) 현장에서 실시 하였으며 지하 2층 기둥을 대상으로 적용되었다. 타설 물량은 총 9m³로 당사 레미콘 화성사업소에서 공급하였다.〈사진-1〉

(2) 레미콘 생산

현장에 적용할 초고강도 콘크리트 배합 및 품질관리 기준은 현장도착시 콘크리트 슬럼프 플로우 700 ± 50mm, 공기량 1.5 ± 1.0%, 50cm 도달시간 10초 이내로 관리하였다. 〈표-10〉은 초고강도 콘크리트

제조사 품질관리 기준을 나타낸다.

레미콘 생산은 혼합량 3m³/batch로 관리하였으며, 상차량 3m³/Truck로 20분거리 현장에 도착할 수 있도록 계획하였다. 콘크리트 혼합시간은 총 12분으로 건비빔 2분(시멘트+골재) 이후 배합수와 혼화제를 투입하여 10분간 혼합한 후 상차하였다. 〈사진-2〉

(3) 굳지 않는 콘크리트 특성 평가

공장에서 생산된 콘크리트는 생산 직후 물성시험을 통해 품질을 확인하였으며 현장도착 후에도 경시변화에 따른 물성변화 및 품질확인을 위한 시험을 실시하였다. 공장생산시 평균 슬럼프 플로우는 700 ± 50mm를 모두 만족하였으며 공기량은 1.0% 수준으로 측정되었다. 현장도착 후 측정된 슬럼프 플로우 값도 관리기준인 700 ± 50mm를 만족하여 경시변화에 의한 콘크리트 유동성 저하현상은 나타나

〈표-10〉 콘크리트 품질관리 기준

규격	품질관리 기준		
	SF	Air	fck(i)
10-150-70F	700 ± 50mm	1.5 ± 0.5%	i=91days
10-200-70F			



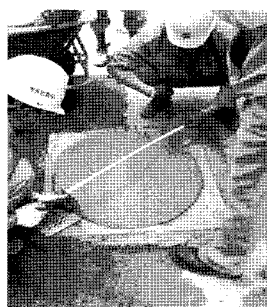
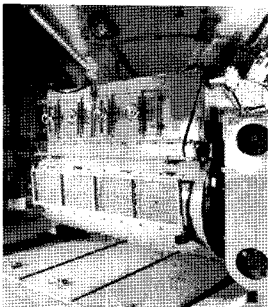
〈사진-1〉 초고강도 콘크리트 타설 현장 전경(좌:울산, 우:동탄)

지 않아 펌프카에 의한 콘크리트 펌핑타설이 원활하게 이루어졌다.〈사진-3〉

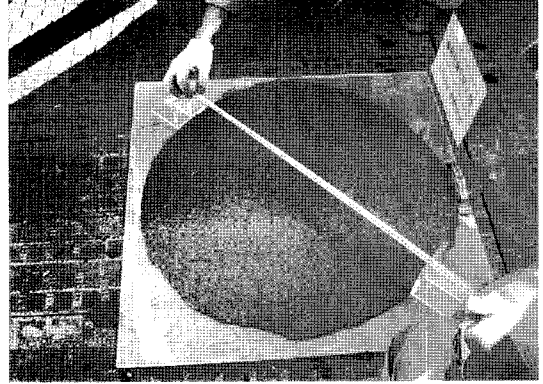
(4) 콘크리트 강도특성 평가

압축강도 측정결과를 다음 〈그림-6, 7〉에 나타낸다. 울산 엑소디움 현장에 적용된 150MPa 초고강

도 콘크리트의 경우 재령28일에서 계획된 목표강도가 확보되었으며, 강도관리 재령은 91일에서는 175MPa 수준의 압축강도가 확보되었다. 동탄 메타폴리스 현장에 적용된 200MPa 초고강도 콘크리트는 재령 28일에서 목표강도의 90%가 확보되었으며 목표강도 기준 재령인 91일 시점에서는 200MPa 이상



〈사진-2〉 초고강도 콘크리트 생산과정



〈사진-3〉 현장도착 후 콘크리트 유동성 측정

의 압축강도가 확보되어 모두 계획된 재령에서 목표 강도를 확보할 수 있었다.〈사진-4〉

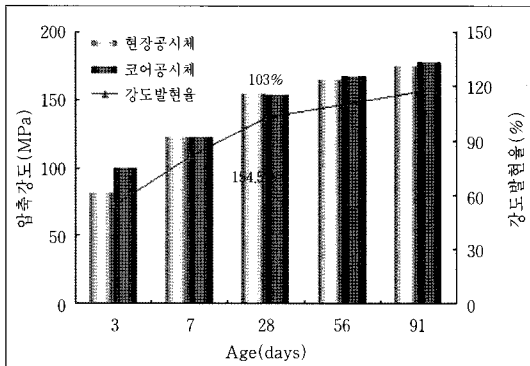
5. 맺 음 말

초고층 건축분야 기술의 활발한 개발과 연구활동이 이루어지고 있는 여건속에서 초고강도 콘크리트에 대한 재료적 단점을 보완 및 개선하고자 재료선정 및 배합실험, 실물모형실험을 통해 최적의 콘크리트개발을 이루어냈다.

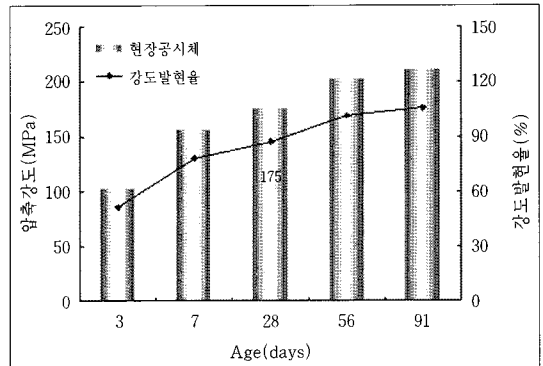
초고강도 콘크리트 개발에 있어 핵심적인 요소는 콘크리트 사용재료 및 배합이라 할 수 있다. 콘크리트 사용재료 중 시멘트는 강도발현을 위한 중요한

재료로서 본 연구에서는 기존 초고강도 콘크리트와 차별화하여 수화열저감, 유동성, 장기강도 증진, 자기수축 저감 효과가 높은 초고강도 콘크리트용 시멘트 개발에 기술적 가치를 확인하였다.

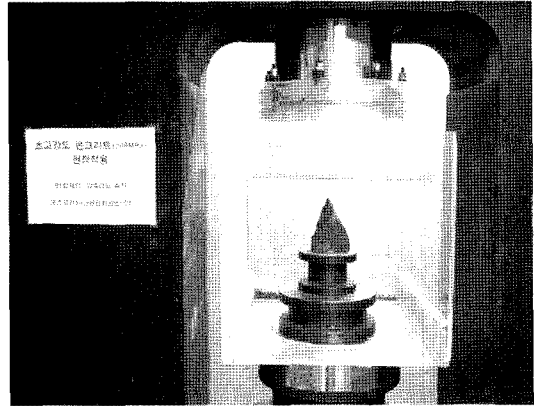
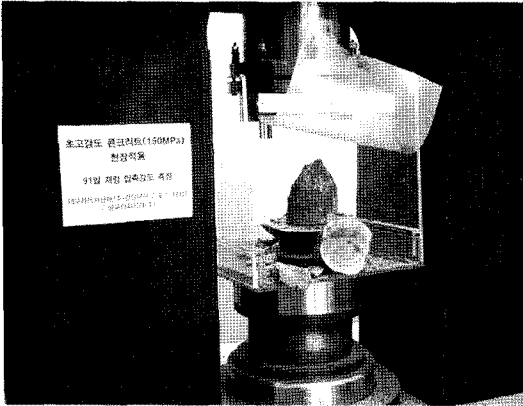
금번 개발을 통해 제조된 초고강도 콘크리트는 목표하는 품질관리 기준을 모두 만족하는 양호한 품질물성을 확보할 수 있었다. 특히 200MPa 초고강도 콘크리트의 펌핑타설은 국내 최초로 시도되었고 원활한 현장 시공이 이루어졌다. 특히 저열 포틀랜드 시멘트를 이용한 초고강도 콘크리트용 시멘트의 개발과 150MPa, 200MPa 초고강도 콘크리트의 현장 적용을 성공적으로 완료함으로써 초고층 건설기술 분야 발전에 이바지 할 수 있는 기회가 되었다.



〈그림-6〉 압축강도 측정결과(150MPa)



〈그림-7〉 압축강도 측정결과(200MPa)



〈사진-4〉 91일 재령 압축강도 측정 장면(좌:150MPa, 우:200MPa)

마지막으로 초고강도 콘크리트 관련 연구분야는 강도위주의 재료개발에서 탈피하여 압축강도 이외에 역학적 특성(수축, 내화성 등)에 대한 체계적인 기술정립이 과제로 남아 있다. 향후 실구조물에서 실용적 적용이 가시화 되고 있는 압축강도 60~100MPa급 수준의 고강도 콘크리트에 대한 생산기술 표준화가 이루어져야 할 것이다.

끝으로, 초고강도 콘크리트용 시멘트 재료개발과 150MPa, 200MPa급 초고강도 콘크리트 현장적용을 무사히 성공할 수 있도록 물심양면으로 지원을 아끼지 않아 주셨던 모든 분들에게 감사의 마음을

전합니다. 특히 성공적인 현장적용을 위해 현장관련 기술지원과 배려를 아끼지 않으셨던 대우자동차판매 건설부문 강연우 과장님과 울산 태화강 iaan Exordium 현장 이광열 소장님, 포스코 건설의 건축사업본부 박규연 과장님, 동탄 Metapolis 현장 고성현 소장님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 초고강도 콘크리트 배합 및 현장실물모형실험, 현장적용까지 모든 부분에서 중추적인 역할을 해주신 당사 기술영업 본부장님이신 성용환 상무님, 김상용 부장님, 강창운 부장님 그리고 레미콘 품질기술팀 모든 분들에게 깊은 감사를 드립니다. ▲

시사 용어 해설

▶ 스트레스 테스트(Stress Test)

스트레스 테스트(Stress Test)란, '금융시스템 스트레스 테스트'의 준말로 예외적이지만 발생할 수 있는 사건이 터졌을 때 금융시스템이 받게 되는 잠재적 손실을 측정하는 방법으로 그 결과는 금융기관이 경기침체에 경기 변동성에 대비하는데 유용하게 쓰인다. 스트레스 테스트는 현 시점에서 미래에 발생 가능한 예외적 사건이 일어나는 것을 가정하므로, 사건 발생 확률은 100%다. 당초 통계량의 변화를 시간의 움직임에 따라 계열화한 시계열(時系列, Time Series) 자료를 통해 추정되는 지표의 예측력 한계를 보완하기 위해 고안됐다. 제대로 된 결과 예측을 위해선 안정적인 지표 확보가 필수적이지만 최근 금융 환경은 금융변수들의 변동성이 심하고 불규칙해 과거자료를 통해 평균적 흐름을 추정하는 예측기법의 정확성이 떨어져 이를 극복하기 위해 고안된 방법이다.