

고강도 콘크리트 배합설계 프로그램 및 초고강도 레미콘 제조기술 개발

유 승 엽 (동양메이저(주) 기술연구소, 연구원)
이 상 래 (동양메이저(주) 기술연구소, 선임연구원)
구 자 술 (동양메이저(주) 기술연구소, 책임연구원)
강 석 화 (동양메이저(주) 기술연구소, 소장, 공학박사)

1. 서 론

콘크리트는 건설현장에서 매우 유용한 재료로 널리 사용되고 있는데, 국내외 건축구조물은 지속적으로 대형화, 복합화 및 초고층화 되고 있으며, 토목구조물의 고품질화 경향 등에 따라 고강도 및 초고강도 콘크리트의 수요가 증가하고 있으며, 향후 그 수요는 더욱 증가할 것으로 예상된다.

또한, 2006년 12월 산업자원부 기술표준원에서는 레디믹스트 콘크리트의 규격(KS F 4009)을 기존 보통, 경량 2종류에서 <표-1>과 같이 보통, 포장, 고강도의 4종류로 구분하였고, 고강도 콘크리트의 경우 기존의 압축강도 40MPa, 45MPa, 50MPa 이외에 55MPa, 60MPa를 신규로 추가하여 개정되어, 이에 대응할 수 있는 레디믹스트 콘크리트 배합설계의 최적화가 요구된다.

콘크리트는 시멘트, 물, 골재 및 혼화재료 등의 다양한 재료로 구성된 복합체의 일종으로 원재료의 물성 및 구성 재료간의 조합비율이 콘크리트의 물성에 큰 영향을 미치므로 구성 재료 및 배합이 중요한데, 고강도 및 초고강도 콘크리트의 경우에는 낮은 W/

C로 인하여 약간의 재료적인 변화에도 매우 민감한 변화를 일으키기 때문에 더욱 중요하다.

그러나 레디믹스트 콘크리트에서 고강도 및 초고강도 콘크리트의 제조와 품질관리기술이 체계적으로 확립되지 않아 실무에서 그 적용 및 활용이 일부 지역과 특수 구조물에만 국한되고 있어 국내 건설현장의 여건에 적합한 고강도 및 초고강도 콘크리트의 제조와 품질관리기술의 체계적 확립이 필요하다.

따라서, 본 연구는 고강도 콘크리트 배합설계 프로그램 및 초고강도 레미콘 제조기술을 개발함으로써 레디믹스트 콘크리트의 품질, 시공성 향상은 물론 건설현장의 공기단축 및 내구성을 향상시키고, 고강도 및 초고강도 콘크리트의 안전성, 신뢰성을 확보할 수 있도록 하는 것을 목적으로 한다.

2. 고강도 콘크리트 배합설정 실험

가. 실험계획

고강도 콘크리트의 배합기준 설정을 위한 실험으로 배합강도는 40MPa, 50MPa 및 60MPa 3수준으

〈표-1〉 레디믹스트 콘크리트의 종류

콘크리트의 종류	굵은골재의 최대 치수 (mm)	슬럼프 또는 슬럼프 플로 (mm)	호칭강도 MPa(=N/mm ²) ¹⁾													
			18	21	24	27	30	35	40	45	50	55	60	휨 4.0 ²⁾	휨 4.5 ²⁾	
보통 콘크리트	20, 25	80, 120, 150, 180	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-
		210	-	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-
		500*, 600*	-	-	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	50, 80, 120, 150	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-
경량 콘크리트	15, 20	80, 120, 150, 180, 210	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-
포장 콘크리트	20, 25, 40	25, 65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○
고강도 콘크리트	15, 20, 25	120, 150, 180, 210	-	-	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	-	-
		500*, 600*, 700*	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	-	-	-

※ 슬럼프 플로 값을 의미한다.

주 1) 종래 단위의 시험기를 사용하여 시험할 경우 국제 단위계(SI)에 따른 수치의 환산은 1kgf=9.8N으로 환산한다.

즉, 1MPa=10.2kgf/cm²가 된다.

2) 휨 4.0, 휨 4.5는 포장용 콘크리트에서의 휨 호칭 강도를 의미한다.

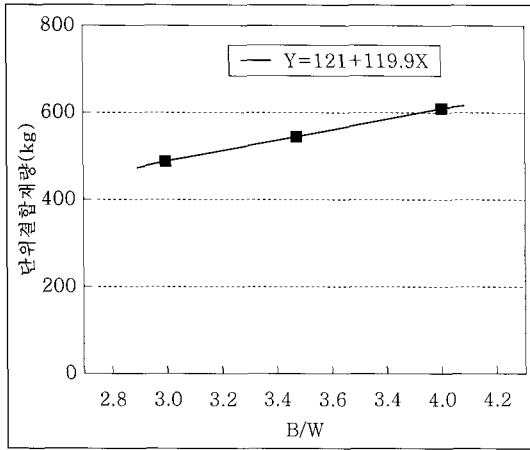
로 하였고, 목표 슬럼프 플로는 500mm, 목표 공기량은 3.5%로 정하였다. 혼화제는 플라이 애시 및 고로슬래그 미분말을 사용하였으며, 각각의 배합강도에 따라 혼화재 치환율을 〈표-2〉와 같이 정하여 실험을 실시하였다. 이때 단위결합재량은 실무현장에

서 사용된 고강도 레디믹스트 콘크리트의 배합자료를 분석하고 1차 실험을 실시하여 〈그림-1〉과 같이 단위결합재량과 C/W(B/W)의 관계식 (1)을 도출하여 구하였다.

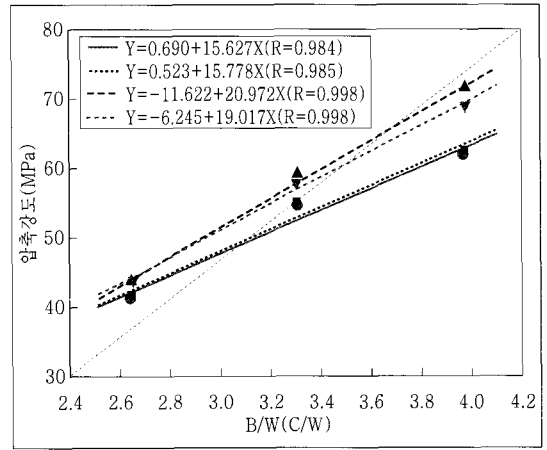
$$Y = 121 + 119.9X \dots\dots\dots (1)$$

〈표-2〉 고강도 콘크리트의 배합설정을 위한 실험계획

배합강도 (MPa)	W/B (%)	W (kg)	B (kg)	결 합 재		목표 슬럼프 플로(mm)	목표 공기량 (%)	실 험 사 항	
				구분	치환율 (%)			굳지 않은 콘크리트	굳은 콘크리트
40	37.8	165.5	438	OPC	100	500	3.5	슬럼프 플로 공기량 (0, 60분)	압축강도 (3, 7, 28일)
				FA	10				
				BS	20				
				BS+FA	20+10				
50	30.2	156.5	518	OPC	100	500	3.5	슬럼프 플로 공기량 (0, 60분)	압축강도 (3, 7, 28일)
				FA	10				
				BS	30				
				BS+FA	30+10				
60	25.1	150.0	598	OPC	100	500	3.5	슬럼프 플로 공기량 (0, 60분)	압축강도 (3, 7, 28일)
				FA	10				
				BS	40				
				BS+FA	40+10				



〈그림-1〉 B/W와 단위결합재량과의 관계



〈그림-2〉 B/W(C/W)와 압축강도와의 관계

여기서, X: C/W or B/W

Y: 단위결합재량(kg)

굳지 않는 콘크리트 및 굳은 콘크리트의 실험사항은 〈표-2〉와 같다.

나. 실험 결과 및 분석

고강도 콘크리트 배합설정을 위한 실험 결과는

〈표-3〉과 같다.

실험 결과를 바탕으로 결합재 종류에 따라 C/W (B/W)와 압축강도와의 관계를 분석한 결과는 〈그림-2〉와 같고, 다음과 같은 관계식을 도출하였다.

$$Y = 0.690 + 15.627X \text{ (OPC)} \dots\dots\dots (2)$$

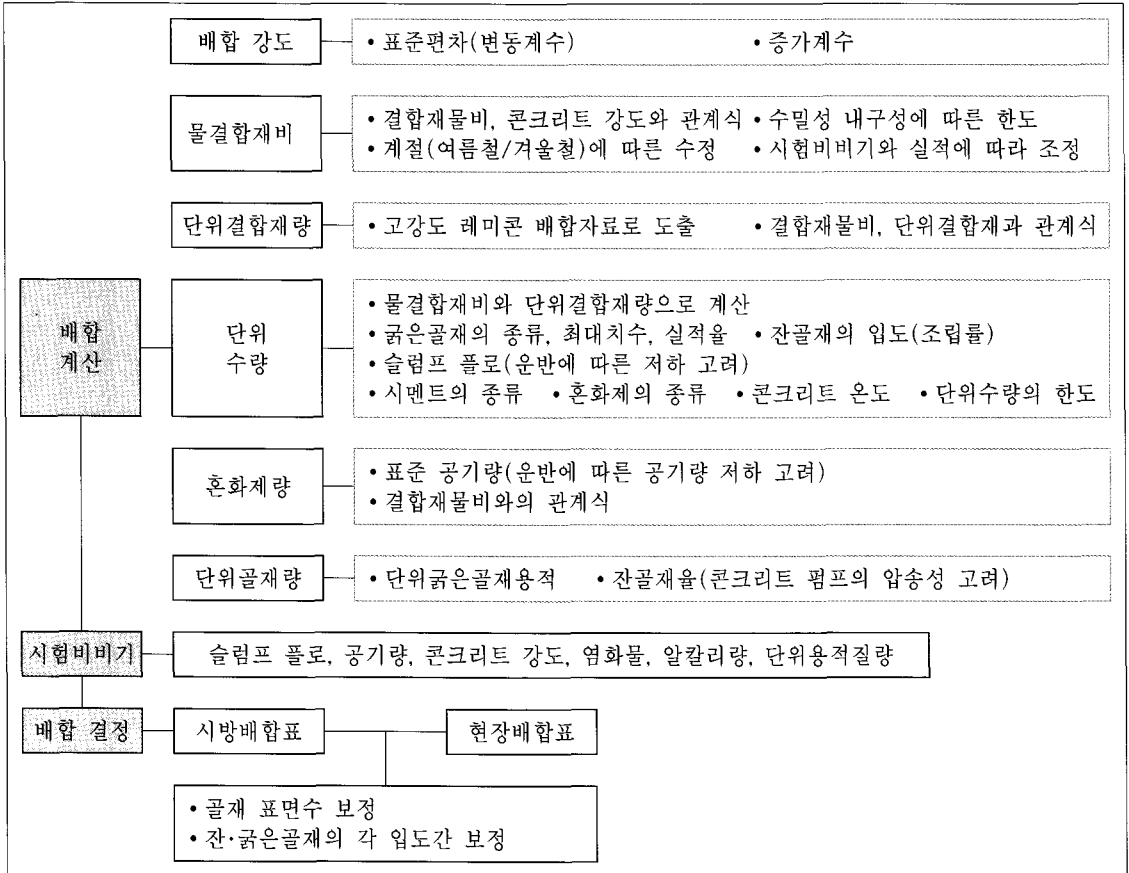
$$Y = 0.523 + 15.778X \text{ (OPC+FA)} \dots\dots\dots (3)$$

$$Y = -11.622 + 20.972X \text{ (OPC+BS)} \dots\dots\dots (4)$$

$$Y = -6.245 + 19.017X \text{ (OPC+FA+BS)} \dots\dots\dots (5)$$

〈표-3〉 굳지 않는 콘크리트 및 경화 콘크리트 실험 결과

구 분	W/B (%)	B (kg)	AD (B%)	AE제 (AD%)	슬럼프 플로 (mm)	공기량 (%)	압축강도(MPa)		
							3일	7일	28일
40-OPC	37.8	438	0.90	0.15	475	4.0	33.3	36.1	41.0
40-FA10			0.90	0.40	490	3.5	33.1	35.8	41.3
40-BS20			0.80	0.15	490	3.2	28.5	34.4	43.5
40-2010			0.80	0.25	543	4.0	28.4	33.4	43.7
50-OPC	30.2	518	1.10	0.25	550	2.5	41.8	46.5	54.6
50-FA10			1.00	0.80	540	2.9	43.2	46.0	54.8
50-BS30			0.85	0.30	565	3.4	39.0	47.0	58.7
50-3010			0.75	0.30	468	2.4	35.9	43.0	57.6
60-OPC	25.1	598	1.30	0.50	440	2.5	50.2	53.9	61.8
60-FA10			1.10	1.30	475	2.4	51.4	57.3	62.3
60-BS40			0.85	0.70	565	2.3	50.3	58.7	71.4
60-4010			0.80	0.80	533	2.0	43.1	51.6	69.0



〈그림-3〉 배합설계 프로그램 흐름도

여기서, X:C/W or B/W, Y:W/C or W/B

가. 사용자 등록 및 권한설정

3. 고강도 콘크리트 배합설계 프로그램 개발

프로그램의 보안을 목적으로 설치시 관리자가 사용자를 등록해야 하며, 각각의 구성요소에 대한 권한을 지정할 수 있다.

프로그램은 Visual Basic, MS-SQL를 사용하여 개발하였고, 고강도 콘크리트의 배합설계 계산 기능, 데이터의 저장 및 출력기능, 서버를 통한 데이터의 공유기능 등을 갖추고 있으며, 고강도 콘크리트 배합설계 프로그램의 흐름도는 〈그림-3〉과 같다.

〈그림-4〉는 배합설계 프로그램의 구성 요소를 나타낸 것이다.

나. 실험 및 등록

배합설계는 다음 절차에 따라 실시한다.

(1) 콘크리트의 종류

콘크리트의 종류는 KS F 4009에 규정된 4가지 종류로 구분하여 추후 보통 콘크리트, 포장 콘크리

다믹스트 콘크리트의 배합자료를 분석하고 실험을 실시하여 도출한 식(1)을 사용하였다.

(6) 단위수량의 결정

단위수량은 (라)와 (마)에서 결정된 W/B 및 단 위결합재량을 사용하여 구하는 것으로 하였다.

(7) 잔골재율, 고성능감수제 및 공기연행제량 결정

잔골재율은 실험을 통하여 C/W(B/W)와의 관계를 1차식으로 구한 것을 사용하였고, 고성능감수제 및 공기연행제량은 실험을 통하여 C/W(B/W)와의 관계를 2차식으로 구한 것을 사용하였다.

(8) 배합설계의 계산

배합설계의 계산은 실험 및 등록(2)에 사용재료의 밀도, 치환율, 잔골재 및 굵은골재의 입도간 보정치, 표면수율, 1m³의 콘크리트 용적 및 실험배합의 용적을 넣고 계산 버튼을 사용하는 것으로 하였다.

다. 결과 조회 및 출력

조회창에서 기간을 설정한 후 배합을 조회하고 굳지 않은 콘크리트의 특성 및 경화 콘크리트의 특성을 입력 및 저장할 수 있도록 하여 고강도 콘크리트의 배합 및 실험 결과의 DATA베이스화가 가능하도록 하였다.

4. 초고강도 레미콘 제조기술 개발

가. 실험계획

초고강도 레미콘 제조기술 개발을 위한 실험계획 및 레미콘 배합사항은 <표-4> 및 <표-5>와 같다.

레미콘 규격 20-60-700, 20-70-700 및 20-80-700 3수준을 대상으로 <사진-1>의 공장 Batcher Plant를 이용하여 생산성능을 평가하였다.

<표-4> 초고강도 레미콘 제조기술 개발 실험계획

레미콘 규격	실험 사항		
	생산성능	굳지 않은 콘크리트	굳은 콘크리트
20-60-700	믹서 암페어	슬럼프 플로 공기량 (0, 60분)	압축강도 (3, 7, 28일)
20-70-700			
20-80-700			

<표-5> 배합사항

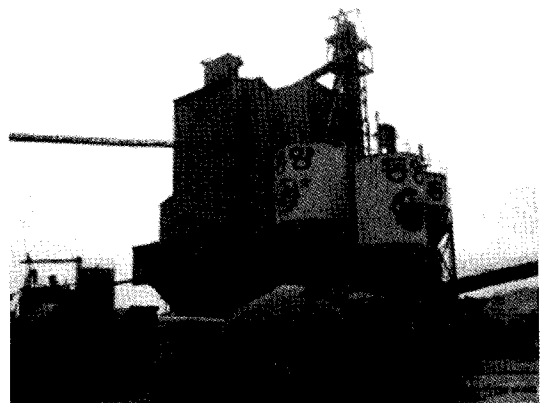
레미콘 규격	질량배합(kg/m ³)					
	W/B	S/a	W	B	S	G
20-60-700	27.5	47	160	582	764	875
20-70-700	25.0	46	155	620	738	879
20-80-700	22.5	43	152	676	671	903

실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서 슬럼프 플로 및 공기량을 굳은 콘크리트에서 압축강도를 <표-4>의 재령에 측정하는 것으로 하였다.

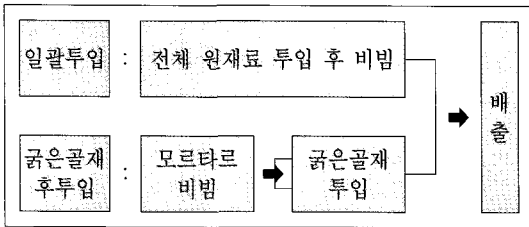
나. 실험결과 및 분석

(1) 생산성능

생산성능을 분석하기 위하여 레미콘 2m³를 <그림-5>의 방법으로 비빔하여 비교하였고, 20-80-700 배합에서 3m³를 후투입으로 비빔하여 비빔량에 따



<사진-1> 공장 Batcher Plant



〈그림-5〉 레미콘 비빔방법

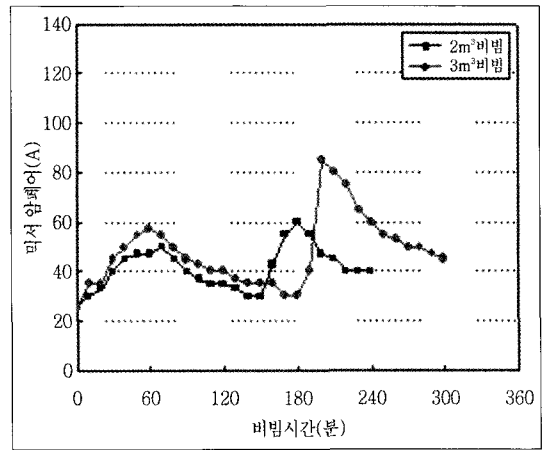
큰 생산성능을 검토하였다.

〈그림-6〉은 B/P에서 2m³ 생산시 비빔시간에 따른 믹서 암페어를 나타낸 것이고, 〈그림-7〉은 비빔량에 따른 믹서 암페어를 나타낸 것이다.

모르타르를 선비빔한 후 굵은골재를 투입하여 비빔하는 것이 원재료를 일괄투입하여 비빔하는 것보다 최고 믹서 암페어가 약 25% 적게 발생하는 것으로 나타났다.

또한, 비빔량에 따른 검토 결과 2m³로 비빔하는 것이 3m³로 비빔하는 것보다 비빔시간이 약 1분 정도 단축되는 것을 확인할 수 있었다.

〈그림-8〉은 비빔량에 따른 레미콘 1대 생산시간을 나타낸 것으로 3m³로 비빔하는 것이 2m³로 비빔하는 것보다 레미콘 1대 생산시간을 약 3분 단축시킬 수 있을 것으로 사료되어, 초고강도 레미콘 생산시 믹서의 부하저감과 현장에 원활한 물량 공급을



〈그림-7〉 비빔량에 따른 믹서 암페어

2m ³	계량	비빔	배출계량	비빔	배출계량	비빔	배출	16 분
	1분	4분	1분	4분	1분	4분	1분	
3m ³	계량	비빔	배출계량	비빔	배출	13 분		
	1분	5	1분	5	1분			

〈그림-8〉 비빔량에 따른 레미콘 생산시간

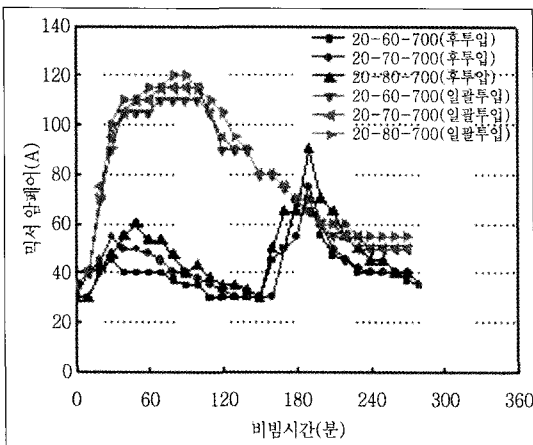
위해 3m³ 후투입으로 비빔하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

(2) 굳지않은 콘크리트

〈표-6〉은 굳지 않은 콘크리트의 실험 결과를 나타낸 것이다.

〈표-6〉 굳지 않은 콘크리트 실험 결과

레미콘 규격	AD (%)	슬럼프 플로(mm)		공기량(%)		비빔방법
		0분	60분	0분	60분	
20-60-700	1.7	685	740	1.9	1.6	일괄투입
	1.5	655	710	1.6	1.4	후투입
20-70-700	1.7	670	720	2.3	1.8	일괄투입
	1.6	665	710	2.1	1.6	후투입
20-80-700	1.8	680	750	1.9	1.6	일괄투입
	1.7	670	745	1.2	1.4	후투입
	1.7	685	750	1.6	1.7	3m ³ 후투입



〈그림-6〉 비빔시간에 따른 믹서 암페어

〈표-7〉 굳은 콘크리트 실험 결과

레미콘 규격	비빔방법	압축강도(MPa)		
		3일	7일	28일
20-60-700	일괄투입	46.8	69.7	85.1
	후투입	45.3	68.3	84.8
20-70-700	일괄투입	50.8	69.9	89.5
	후투입	51.5	71.6	88.7
20-80-700	일괄투입	53.8	73.7	94.6
	후투입	52.9	71.6	95.3
	3m ³ 후투입	53.4	70.5	93.7

비빔방법 및 비빔량에 따른 슬럼프 플로 및 공기량은 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 일괄투입시 동일 물성을 만족시키기 위한 고성능혼화제의 사용량은 0.1~0.2% 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 비빔시 굵은골재에 고성능감수제가 흡착되는 것에 기인한 결과로 사료된다.

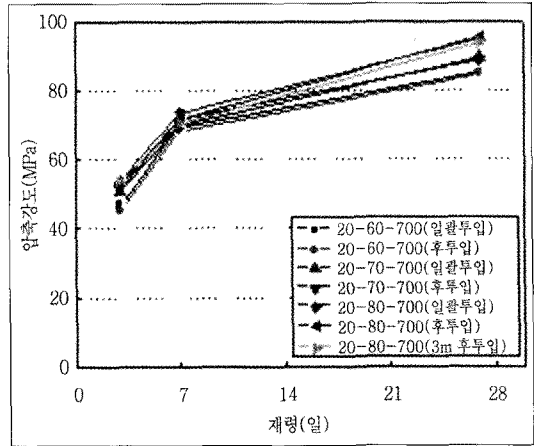
(3) 굳은 콘크리트

〈표-7〉은 굳은 콘크리트의 실험결과를 나타낸 것이다.

비빔방법 및 비빔량에 따른 굳은 콘크리트의 압축강도는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

5. 결론

본고에서는 고강도 및 초고강도 콘크리트의 품질 안전성 및 신뢰성을 확보할 수 있도록 고강도 콘크리트



〈그림-9〉 재령에 따른 압축강도

리트 배합설계 프로그램 및 초고강도 레미콘 제조기술을 개발한 것을 기술하였다.

실무현장에서 사용된 고강도 레디믹스트 콘크리트의 배합자료를 분석하고, 고강도 콘크리트 배합설정 실험을 통해 도출한 관계식을 사용하여 개발한 고강도 콘크리트 배합설계 프로그램은 고강도 레디믹스트 콘크리트 배합설계시 유용하게 활용될 수 있을 것이라 사료되며, 고강도 콘크리트 배합 및 결과의 DATA 베이스화를 가능하게 함으로써 고강도 레미콘의 제조 및 품질 안정성에 기여할 것으로 판단된다.

또한, 초고강도 레미콘 제조기술을 개발함으로써 초고강도 레미콘 생산시 믹서의 부하저감을 통한 생산성 향상 및 건설공사 현장에 원활하고 지속적인 물량공급이 가능할 것으로 사료된다. ▲