

# 초고층구조물에 적용하기 위한 고강도콘크리트 및 매스콘크리트의 최적배합선정 및 민감도특성에 관한 연구

## A Study on the Choice of Optimal Mixtures and Sensibility Properties of High Strength Concrete and Mass Concrete to apply the High Rising Building

이 상 수\*  
Lee, Sang-Soo

송 하 영\*\*  
Song, Ha-Young

김 을 용\*\*  
Kim, Eul-Yong

### ABSTRACT

This study is to choose the optimal mixture and to analyze the sensibility properties of High strength concrete and mass concrete to apply the high rising building. The main experimental variables were water/binder ratio 31%, 33%, 35% and 37%, replacement ratio of fly ash 5%, 10% and 15%, in the high strength concrete and water/binder ratio 39%, 41% and 43%, replacement ratio of fly ash 10%, 20% and 30%, in the mass concrete.

According to the test results, the principal conclusions are summarized as follows.

- 1) The slump(or slump flow) and air content of fresh concrete were found to be the highest in the elapsed time 30 minutes.
- 2) The optimal mixture conditions are W/B 40%, FA 25% in the mass concrete and W/B 33.4%, FA 15% in the high strength concrete.
- 3) The ranges of sensibility are satisfied in the moisture content  $\pm 1\%$  and S/a  $\pm 2\%$

키워드 : 최적배합, 민감도, 표면수율, 경과시간, 치환율

Keywords : optimal mixture, sensibility, moisture content, elapsed time, replacement ratio

## 1. 서 론

최근 국제 경쟁력 제고를 위해 국가기반 시설의 확충을 위해 고속도로, 신항만, 원자력발전소, LNG 저장시설 등과 같은 사회간접자본에 대한 투자가 활발해지고 있으며, 이에 따라 구조물 특성이 점차 장대화 및 대량화되고 있다. 또한 사회적인 환경측면에서도 도시집중화 경향과 용적률의 확대를 위해 초고층의 주상복합구조물 건설이 활발히 시도되고 있으며, 국내 건축물에 대한 초고층화 요구가 증대되고 있는 실정이다. 이러한 건물의 초고층화를 위해서는 지금까지의 일반강도콘크리트 수준과는 달리 고강도콘크리트의 사용이 불가결한 요건이나 이웃 일본이나 동남아시아에서도 활발히 적용되고 있는 철근콘크리트 구조물의 초고층건물 시공이 아직까지 국내에서는 시공경험과 연구부족, 품질 및 시공관리에 대한 불확실성 등으로 인해 고강도콘크리트의 사용을 회피하고 있는 실정이다.<sup>1),2),3)</sup>

국내에서는 1990년부터 40~50N/mm<sup>2</sup>의 고강도콘크리트를 중

심으로 부분적인 시험시공이 시작되어 최근에는 초고층 주상복합구조물에 일반적으로 적용되고 있는 실정이나 아직까지도 이를 뒷받침할 만한 각종 법령 등 구조설계와 표준, 제조 및 시공지침서 등이 마련되고 있지 않은 실정이다. 그러나 앞으로는 건축물의 초고층화 추세에 따라 고강도콘크리트의 사용이 증가될 것으로 판단된다.<sup>3),4)</sup> 따라서, 본 연구에서는 초고층구조물에 적용되는 고강도콘크리트 및 매스콘크리트의 배합설계를 정립하기 위한 일환으로 굳지않은 콘크리트 및 굳은 콘크리트의 공학적 특성을 중심으로 비교 검토·분석하고, 특히 레미콘의 품질에 가장 영향을 미치는 입도 및 표면수율에 의한 변동을 알아보기 위한 민감도특성에 대하여 실험실증적으로 검토·분석함으로써 초고층구조물에 적합한 품질을 확보하기 위한 기초자료 제시를 목적으로 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

초고층구조물에 적용하기 위한 콘크리트의 배합설계 정립을 위한 각종 공학적 특성을 알아보기 위한 본 연구의 실험계획 및 콘크리트의 요구성능은 표 1 및 표 2에 나타난 바와 같다.

\* 한밭대학교 건축공학과 전임강사, 공학박사

\*\* 한밭대학교 건축공학과 교수, 공학박사

이 연구는 2005년도 한국과학재단의 연구비 지원으로 연구되었음.

과제번호 : R01-2005-000-10546-0

표 1. 실험계획

항 목		조 건
물-결합재비 (W/B:%)	고강도콘크리트	31.0, 33.0, 35.0, 37.0
	매스콘크리트	39.0, 41.0, 43.0
플라이애쉬 치환율(%)	고강도콘크리트	0, 5, 10, 15
	매스콘크리트	0, 10, 20, 30
시험 항목	굳지않은 콘크리트	슬럼프플로우, 슬럼프, 공기량
	굳은 콘크리트	압축강도(3, 7, 14, 28일)

표 2. 콘크리트의 요구성능

항 목		목 표 치	비 고
설계기준 강도(N/mm <sup>2</sup> )	고강도콘크리트	40	KS F 2403, KS F 2405 (φ100×200mm 공시체)
	매스콘크리트	30	
배합강도 (N/mm <sup>2</sup> )	고강도콘크리트	48	할증계수 1.2 고려
	매스콘크리트	36	
유동성 (cm)	슬럼프플로우	50±10	고강도콘크리트
	슬럼프	18±2.5	매스콘크리트
공기량(%)	고강도콘크리트	3.0±1.5	-
	매스콘크리트	4.5±1.5	
염화물함유량(kg/m <sup>3</sup> )		0.3이하	KS F 4009 부속서 1

즉, 고강도콘크리트의 경우, 물-결합재비는 31, 33, 35, 37(%)의 4수준, 플라이애쉬의 치환율은 0, 5, 10, 15(%)의 4수준을 선정하였고 콘크리트의 충전성능을 확보하기 위해 목표 슬럼프플로우치는 50±10cm로 설정하였다. 또한, 매스콘크리트의 경우, 물-결합재비는 39.0, 41.0, 43.0(%)의 3수준, 플라이애쉬의 치환율은 0, 10, 20, 30(%)의 4수준을 선정하고 목표 슬럼프치는 18±2.5cm로 설정하였다.

본 연구에서는 굳지않은 콘크리트 및 굳은 콘크리트의 각종 공학적 특성을 비교 검토·분석하며, 특히 굳지않은 콘크리트에서의 경시변화에 따른 특성을 알아본 후에 최적배합을 선정하여 레미콘 생산시 품질변동요인인 입도 및 표면수율에 따른 영향에 대하여 실험·실증적으로 비교 검토·분석하였다.

## 2.2 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 국내 H사에서 제조된 KS L 5201규정의 보통 포틀랜드시멘트(I종)를 사용하였으며, 그의 물리·화학적 성질은 표 3과 같다.

표 3. 시멘트의 물리·화학적 성질

시멘트 종류	비 중	응결시간 (h:m)		강열 감량 (%)	안정 도 (%)	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )			주성분(%)					
		초결	종결			3일	7일	28일	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
OPC	3.15	3:20	6:10	1.6	0.09	227	285	389	22.6	5.8	3.2	61.9	2.7	2.2
KS L 5201	-	≥ 2,800	≥ 1h	≤ 10h	≤ 3.0	≥ 0.8	≥ 130	≥ 200	≥ 290	-	-	-	-	≤ 5

표 4. 플라이애쉬의 물리·화학적 성질

혼화재 종류	비 중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	강열 감량 (%)	습분 (%)	강도비 (%)	주성분(%)					
						28일	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
F급	2.20	3,681	3.6	0.1	83	54.0	22.7	8.9	2.3	1.2	0.9
KS F 5405	-	≥ 2,400	≤ 5.0	≤ 1.0	≥ 60	≥ 45	-	-	-	-	-

표 5. 골재의 물리적 성질

구분		최대 입경 (mm)	조립율 (F.M)	표준 비중	흡수율 (%)	젓기 손실량 (%)	실적율 (%)	단위용적 중량 (kg/ℓ)	비 고
잔골재	시험값	5	2.70	2.55	1.50	1.6	-	1,540	혼합사
	KS F 2526	5	-	≥2.50	≤3.0	≤3.0	-	-	
굵은골재	시험값	25	6.89	2.67	0.97	0.3	58.0	1,530	부순 차갈
	KS F 2527	25	-	≥2.50	≤3.0	≤1.0	-	-	

표 6. 고성능 감수제의 물리적 성질

혼화재 종류	물리적 성질				품질성능						
	색상	주성분	pH	비중	감수 율 (%)	블리딩 량비 (%)	응결시간차 (min)		압축강도비 (%)		
							초결	종결	3일	7일	28일
고성능 감수제 (표준형)	엷은 황색	폴리카르 본계 (고축합형)	7.0	1.10	23.0	18.0	30	50	139	129	120
KS F 2560	-	-	-	-	≥18	≤60	-30	+120	≥ 135	≥ 125	≥ 115

혼화제에 있어서 플라이애쉬는 삼천포산 F급을 사용하였다. 그의 물리·화학적 성질은 각각 표 4와 같다.

골재의 경우, 잔골재는 강모래와 부순모래를 50:50으로 혼합한 혼합사를 사용하였으며, 굵은골재는 경남 용원석산의 부순차갈을 사용하였다. 또한 고성능감수제의 경우 국내 E사의 폴리카르본산계 고성능감수제를 사용하였다. 그의 물리적 성질은 각각 표 5 및 표 6과 같다.

## 3. 실험방법 및 콘크리트의 배합

### 3.1 실험방법

콘크리트의 실내배합시험은 팬형의 강제식 믹서를 사용하였으며, 재료투입은 일반적으로 레미콘 공장에서 생산하고 있는 방법과 동일한 일괄투입방법을 사용하였지만 고강도콘크리트의 경우에는 재료의 균질성을 위하여 선모르타르방법을 사용하였다. 선모르타르방법의 비빔시간은 건비빔 30초, 선모르타르 비빔 60초, 콘크리트 비빔 150초로서 총 240초(4분)로 하였다. 고성능감수제의 사용량은 목표 슬럼프플로우값을 확보하기 위한 최소의 양을 사용하였다.

굳지않은 콘크리트에 대한 슬럼프플로우시험은 JASS 5T-503 및 JSCE-F 503, 슬럼프시험은 KS F 2402, 공기량시험은 KS F 2421의 시험방법에 따라서 실시하였다. 또한, 콘크리트의 재령별 압축강도를 측정하기 위하여 압축강도 측정용

φ10×20cm 공시체를 제작하였다. 24시간 후에 몰드를 탈형한 다음, 공시체는 소요의 재령까지 20±3℃의 수중에서 표준양생을 실시하였다.

### 3.2 콘크리트의 배합

초고층구조물에 적용하기 위한 콘크리트의 배합설계를 정립하기 위하여 고강도콘크리트 및 매스콘크리트의 배합표는 기존의 각종 참고 배합표를 기초로 하여 수차례 시험비밀을 행한 후 표 7과 같이 결정하였다.

표 7(a). 고강도콘크리트 배합표

물-결합재비 (%)	잔골재율 (%)	플라이애쉬 치환율 (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )					고성능감수제 (%)
				시멘트	플라이애쉬	강모래	부순모래	자갈	
31.0	46.5	0	165	532	0	379	379	931	1.1
		5		505	27	376	377	926	1.1
		10		479	53	375	375	921	1.1
		15		452	80	372	373	916	1.1
33.0	46.5	0	165	500	0	389	389	937	1.1
		5		475	25	387	387	933	1.1
		10		450	50	385	385	927	1.1
		15		425	75	383	383	923	1.1
35.0	46.5	0	165	471	0	394	395	950	1.0
		5		447	24	392	393	946	1.0
		10		424	47	390	391	941	1.0
		15		400	71	389	389	937	1.0
37.0	46.5	0	165	446	0	399	399	961	1.0
		5		424	22	397	397	957	1.0
		10		401	45	395	396	953	1.0
		15		379	67	393	394	948	1.0

표 7(b). 매스콘크리트 배합표

물-결합재비 (%)	잔골재율 (%)	플라이애쉬 치환율 (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )					고성능감수제 (%)
				시멘트	플라이애쉬	강모래	부순모래	자갈	
39.0	45.5	0	160	410	0	394	395	990	0.9
		10		369	41	391	391	981	0.9
		20		328	82	388	388	973	0.9
		30		287	123	384	385	965	0.9
41.0	46.0	0	160	390	0	402	403	989	0.9
		10		351	39	399	400	982	0.9
		20		312	78	396	396	973	0.9
		30		273	117	393	393	966	0.9
43.0	46.5	0	160	372	0	410	411	988	0.9
		10		335	37	407	408	981	0.9
		20		298	74	404	405	974	0.9
		30		260	112	401	402	967	0.9

먼저 소요강도를 확보하기 위한 물-결합재비는 매스콘크리트의 경우, 각각 39.0, 41.0, 43.0(%)의 3개 수준, 고강도콘크리트의 경우, 각각 31.0, 33.0, 35.0, 37.0(%)의 4개 수준을 계획하였고 콘크리트의 각종 성능을 개선하기 위한 플라이애쉬의 치환율은 매스콘크리트의 경우, 0, 10, 20, 30(%)의 4개 수준, 고강도콘크리트의 경우, 0, 5, 10, 15(%)의 4개 수준을 계

획하였다. 한편, 잔골재율 및 단위수량은 콘크리트의 유동성 및 내구성을 고려하여 적정하다고 판단되는 값을 선정하였다.

고강도콘크리트의 경우에는 수화열 제어 및 자기수축변형을 고려해서 가능한 한 낮은 단위결합재량 및 단위수량을 선정하도록 하였으며, 매스콘크리트의 경우에는 수화열 저감을 목적으로 혼화재의 사용량을 극대화시키도록 설정하였다. 특히, 고강도콘크리트의 경우에는 다짐시 콘크리트의 품질확보를 목적으로 슬럼프플로우값으로서 관리하도록 하여 콘크리트의 자기충진효과를 배합설계단계에서 구축하도록 하였다.

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 굳지않은 콘크리트 및 굳은 콘크리트의 특성

표 8은 소요강도, 충전성 및 유동성 등을 만족하는 최적의 배합조건을 선정할 목적으로 실시한 실내배합시험결과를 나타낸 것이다. 즉, 적정 설계기준강도를 만족하는 범위 내에서 물-결합재비 및 플라이애쉬 첨가량 등을 변화시켜 시험배합을 실시한 결과를 그림 1 및 그림 2에서 나타난 바와 같이, 굳지않은 상태에서는 전반적으로 소요 성능을 충족하기 위한 목표값을 고성능감수제의 첨가율 조절에 의해 만족시킬 수 있었으며, 플라이애쉬의 치환율에 따른 초기 유동성(슬럼프 및 슬럼프플로우)의 변화는 커다란 차이를 보이고 있지 않았지만 플라이애쉬의 치환율이 증가함에 따라 플라이애쉬의 볼베어링 작용에 의해 유동성이 향상된다는 기존의 연구보고<sup>6)</sup>와는 다소 일치하는 시험결과를 나타내고 있었다.

또한, 각 배합조건별 초기 공기량의 변화를 그림 3 및 그림 4에 나타난 바와 같이, 플라이애쉬의 치환율이 증가함에 따라 감소되는 경향을 나타내고 있다. 이는 플라이애쉬의 성분 중 미연소탄소분에 의해 콘크리트의 공기연행체인 AE제를 흡착함에 따른 영향으로 사료된다.

한편, 각 배합조건별 콘크리트의 경과시간에 따른 슬럼프(슬럼프 플로우) 변화는 경과시간 30분에서 가장 높은 유동성 개선효과를 나타내고 있었다. 특히, 고강도콘크리트의 경우에는 경과시간 90분까지도 비빔직후와 유사한 유동성을 나타내고 있었으나, 매스콘크리트의 경우에는 경과시간 60분이 지난 후에 유동성이 감소되는 경향을 보이고 있었다. 그러나 나프탈렌계 고성능감수제를 사용했던 기존의 슬럼프프로스현상보다는 그다지 크지 않은 것으로 나타내고 있어, 현장적용시 운반시간에 따른 콘크리트의 품질변화는 적을 것으로 판단된다. 이는 슬럼프(슬럼프플로우)의 유지성능을 개선시킨 폴리 카르본산계 고성능감수제를 사용한 결과로 기인한 것이라고 할 수 있다. 한편, 본 연구결과에서는 슬럼프플로우개념을 도입한 고강도콘크리트에서의 유동성 유지성능이 슬럼프개념의 매스콘크리트보다 우수한 결과를 보이고 있었다. 이는 고성능감수제의 사용량 및 초기 슬럼프값에 따른 영향으로 사료된다.

표 8(a). 고강도콘크리트의 시험결과

W/B (%)	S/a (%)	FA (%)	시험결과											
			슬럼프플로우(cm)				공기량(%)				압축강도(N/mm <sup>2</sup> )			
			0m	30m	60m	90m	0m	30m	60m	90m	3d	7d	14d	28d
31.0	46.5	0	55	58	60	57	3.4	3.6	3.3	3.2	29.1	47.3	48.6	53.2
		5	57	59	59	60	3.1	3.4	3.2	2.9	26.6	45.2	48.1	53.1
		10	56	60	60	59	2.6	2.9	2.9	2.3	26.1	44.1	46.2	52.0
		15	58	62	62	61	2.2	2.6	2.6	2.5	25.4	42.1	45.2	51.4
33.0	46.5	0	57	58	57	57	3.3	3.6	3.6	3.1	26.6	44.5	47.9	52.3
		5	57	60	61	60	3.0	3.4	2.9	2.5	25.3	44.1	46.6	51.8
		10	58	60	60	59	2.2	2.4	2.2	2.3	24.9	41.8	43.9	51.1
		15	56	58	60	57	2.6	2.8	2.8	2.3	24.7	39.8	43.2	49.1
35.0	46.5	0	57	58	58	59	3.5	3.8	3.2	3.4	25.9	40.1	42.1	47.0
		5	58	60	62	60	3.2	3.5	3.2	2.9	23.3	39.1	40.9	45.9
		10	60	62	62	62	3.2	3.2	3.4	3.0	22.9	36.2	39.8	45.8
		15	59	61	60	60	2.6	2.6	2.3	2.5	20.8	34.2	39.1	44.1
37.0	46.5	0	59	62	63	60	3.4	3.9	3.8	3.2	23.9	35.4	39.6	43.8
		5	60	62	60	58	3.5	3.5	3.4	3.0	22.0	34.6	37.0	43.0
		10	62	62	59	60	3.1	3.3	3.3	2.6	21.1	31.2	36.2	42.1
		15	60	61	62	59	2.6	2.8	2.9	2.6	18.1	30.2	34.6	40.5

표 8(b). 매스콘크리트의 시험결과

W/B (%)	S/a (%)	FA (%)	시험결과											
			슬럼프(cm)				공기량(%)				압축강도(N/mm <sup>2</sup> )			
			0m	30m	60m	90m	0m	30m	60m	90m	3d	7d	14d	28d
39.0	45.5	0	21.5	21.5	21.0	18.0	4.8	4.9	4.5	4.4	18.8	31.1	34.2	42.9
		10	21.0	21.5	20.5	18.5	4.5	4.5	4.1	3.8	17.8	29.8	32.1	39.5
		20	21.5	22.0	21.0	18.0	4.2	4.4	3.8	3.4	16.3	28.3	30.5	37.1
		30	22.0	22.0	21.0	17.5	3.8	4.2	3.6	3.4	13.5	23.4	27.4	34.8
41.0	46.0	0	21.0	21.0	20.5	18.0	4.5	4.7	4.2	4.2	17.2	29.4	30.2	38.5
		10	21.5	21.5	21.0	17.5	4.5	4.6	4.3	3.9	16.0	27.9	28.9	35.6
		20	21.0	22.0	21.5	18.5	4.0	3.8	3.5	3.2	14.2	24.4	27.4	33.2
		30	22.0	22.0	20.5	17.5	3.8	3.8	3.5	3.2	12.4	23.6	25.2	31.2
43.0	46.5	0	21.5	21.0	21.0	17.5	4.4	4.6	4.2	4.0	15.1	24.8	28.6	35.1
		10	22.0	21.5	20.0	18.5	4.2	4.4	3.8	3.6	13.2	22.9	25.1	34.2
		20	22.0	22.0	22.0	18.5	4.0	4.2	3.4	3.4	10.9	20.1	24.1	31.0
		30	21.5	22.0	21.5	17.5	3.9	4.2	3.8	3.6	9.8	18.8	21.6	28.6

또한, 플라이애쉬를 사용한 콘크리트는 동일한 슬럼프값을 갖더라도 플라이애쉬의 치환율 변화에 따라 점성의 차이를 보이고 있어, 대량으로 사용되는 매스콘크리트의 경우에는 현장에서 시공성 및 작업성 측면에서 다소 어려움이 생길 수 있기 때문에 가능하면 높은 슬럼프값으로 현장에 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

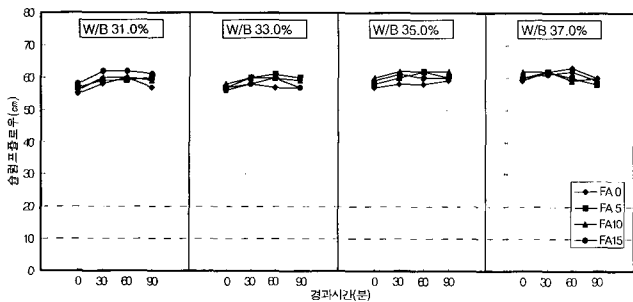


그림 1. 경과시간에 따른 고강도콘크리트 슬럼프플로우 시험결과

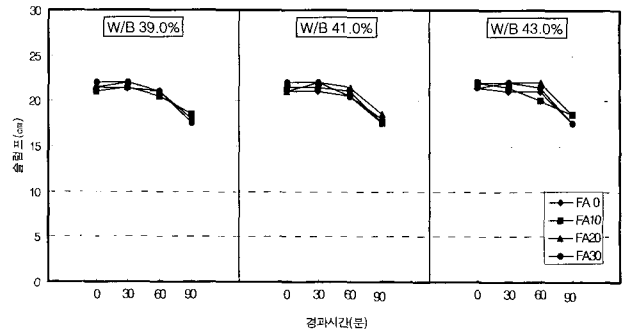


그림 2. 경과시간에 따른 매스콘크리트의 슬럼프 시험결과

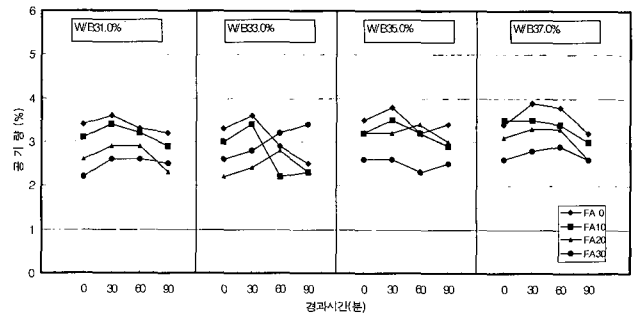


그림 3. 경과시간에 따른 고강도콘크리트의 공기량 시험결과

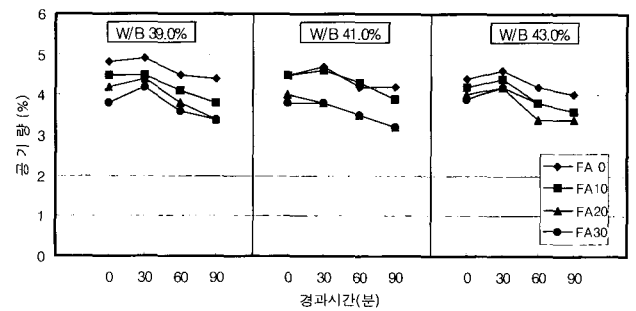


그림 4. 경과시간에 따른 매스콘크리트의 공기량 시험결과

또한, 경과시간에 따른 공기량의 변화를 그림 3 및 그림 4에 보는 바와 같이, 경과시간 30분을 전후에서 공기량이 증가하다가 감소하고 있는 것으로 나타났다. 이는 폴리카르보나이드 고성능감수제의 경과시간에 따른 분산성능 차이에 의해 나타난 결과로 판단된다.

그림 5 및 그림 6은 콘크리트 종류별 물-결합재비 및 플라이애쉬의 치환율 변화에 따른 재령별 압축강도 발현성상을 나타낸 것이다.

고강도콘크리트 및 매스콘크리트의 배합설계 요구조건으로는 굳지않은 상태에서의 양호한 초기성상, 충전성, 시공성 그리고, 설계기준강도[30N/mm<sup>2</sup>(배합강도 36N/mm<sup>2</sup>) 및 40N/mm<sup>2</sup>(배합강도 48N/mm<sup>2</sup>)] 등을 만족하는 것이다. 본 실내배합시험결과, 이를 만족하는 배합조건으로 설계기준강도 30N/mm<sup>2</sup>(배합강도 36N/mm<sup>2</sup>)의 경우는 물-결합재비 39.0%에서 플라이애쉬의 치환율 20~30%인 것으로 판단되었으며, 설계기준강도 40N/mm<sup>2</sup>(배

합강도 48N/mm<sup>2</sup>의 경우는 물-결합재비 33.0%에서 플라이애쉬의 치환율 15%인 경우가 최적에 가까운 것으로 판단되었다.

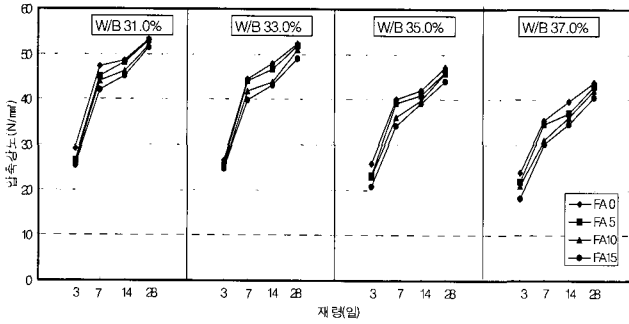


그림 5. 고강도콘크리트의 압축강도 시험결과

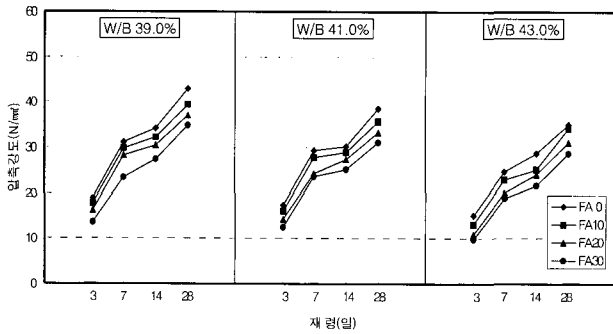


그림 6. 매스콘크리트의 압축강도 시험결과

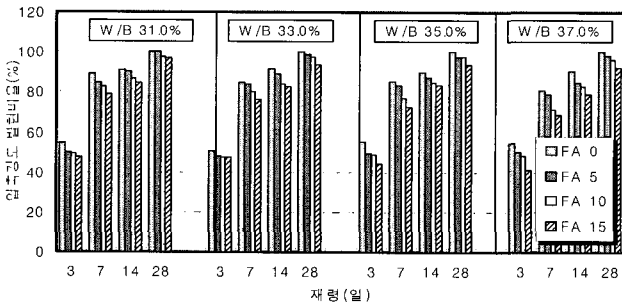


그림 7. 고강도콘크리트의 압축강도 발현비율

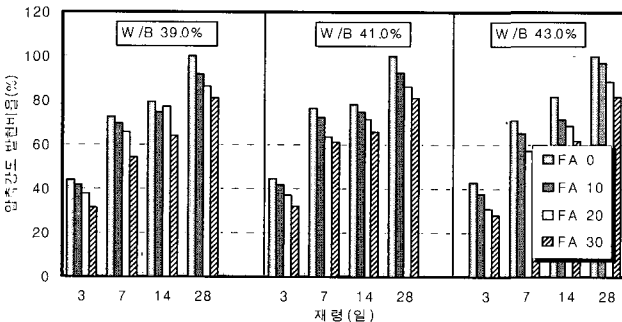


그림 8. 매스콘크리트의 압축강도 발현비율

따라서, 실내배합시험결과를 종합해서 얻은 최적배합은 매스콘크리트의 설계기준강도 30N/mm<sup>2</sup>(배합강도 36N/mm<sup>2</sup>)인 경

우, 물-결합재비 40.0%, 플라이애쉬 치환율 25%이고 고강도콘크리트의 설계기준강도 40N/mm<sup>2</sup>(배합강도 48N/mm<sup>2</sup>)인 경우, 물-결합재비 33.4%, 플라이애쉬의 치환율 15%인 것으로 나타나고 있어 이를 실내배합시험의 최적배합으로 선정하였다.

한편, 각 물-결합재비별 재령 28일 플레인콘크리트(플라이애쉬 0%를 사용한 콘크리트)에 대한 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 압축강도 발현비율을 그림 7 및 그림 8에 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 물-결합재비가 낮은 고강도콘크리트는 각 재령별 압축강도 발현비율이 일반강도인 매스콘크리트보다 높게 발현되고 있는 것을 알 수 있다. 고강도콘크리트의 경우가 재령 7일에서 강도발현비율이 80~90%로서 일반강도인 매스콘크리트보다 10% 정도 높게 발현되고 있는 것으로 나타났다. 플라이애쉬 치환율에 따른 강도발현비율은 플라이애쉬의 치환율이 증가함에 따라 강도발현율은 감소하는 것으로 나타났으나 후기재령에서는 플라이애쉬의 포졸란 반응에 의해 강도발현율이 증가할 것으로 여겨진다.

#### 4.2 표면수율 및 입도변화에 따른 민감도 특성

일반적으로 레미콘 제조 및 생산시 가장 중요한 품질관리 항목은 표면수 및 입도에 대한 보정이라고 할 수 있다. 시방 배합에서 현장배합으로 전환할 때 필요한 골재의 정확한 표면수 및 입도는 콘크리트의 유동성 및 강도에 미치는 영향이 크다고 할 수 있다. 이러한 표면수 및 입도가 본 최적배합에 있어서 어느 정도로 영향을 미치는 지를 알아보기 위한 민감도특성을 표 9에 나타내고 있다.

골재의 민감도 특성을 알아보기 위하여 표면수율은  $\pm 1$ ,  $\pm 2$ (%)로 하였고 입도는 잔골재율  $\pm 1$ ,  $\pm 2$ (%)로 변화시켜 검토하였다.

그림 9에서 나타난 바와 같이, 각종 표면수율 및 잔골재율의 변화에 따라 슬럼프값보다는 슬럼프플로우값의 변화폭이 크다는 것을 알 수 있다. 따라서, 이런 특성은 콘크리트의 점성의 영향으로 일반강도콘크리트보다는 고강도콘크리트에서 커다란 영향을 미치는 것으로 여겨지기 때문에 향후, 레미콘 생산시 품질에 대한 특별히 주의를 해야 할 필요가 있다.

콘크리트의 유동성에 미치는 표면수율 및 잔골재율의 변화에 따른 영향은 표면수율의 대소에 따라 가장 커다란 영향을 미치고 있는 것은 당연한 것이지만 잔골재율의 대소에 따라 서로 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있었다. 본 연구결과에 의해 나타난 품질관리범위에 적합한 표면수율 및 잔골재율은 표면수율  $\pm 1$ % 및 잔골재율  $\pm 2$ %의 범위로 나타났다. 따라서, 원재료에 대한 정확한 표면수 및 입도보정을 실시하는 것이 바람직하고 이를 위해서는 수시로 품질체크를 실시할 수 있도록 품질관리체계를 구축할 필요가 있다.

표 9. 콘크리트의 민감도 시험결과

W/B (%)	S/a (%)	단위 수량 (kg/m <sup>3</sup> )	조합 조건	시험결과											
				슬럼프 [슬럼프플로우](cm)				공기량(%)				압축강도(N/mm <sup>2</sup> )			
				0m	30m	60m	90m	0m	30m	60m	90m	3d	7d	14d	28d
40.0	46.0	160	S/a+2%	19.0	18.5	17.0	16.5	5.1	5.0	4.9	4.8	14.8	24.9	26.0	33.5
			S/a+1%	21.0	19.5	18.5	17.0	4.8	4.2	4.2	4.1	15.0	25.0	27.4	34.6
			S/a-1%	22.0	21.5	21.5	21.0	4.1	4.0	3.8	3.9	13.9	23.8	29.0	37.1
			S/a-2%	21.0	21.0	20.0	19.5	3.8	3.5	3.5	3.3	12.4	23.6	28.7	37.2
			기본	21.0	20.0	19.0	18.5	4.6	4.3	4.1	4.1	14.5	25.1	28.4	36.2
			M+2%	24.0	24.0	24.0	23.5	3.1	3.2	3.4	3.6	10.9	19.1	21.8	31.2
			M+1%	23.0	22.0	22.0	21.5	4.0	3.8	3.8	3.8	12.5	22.6	25.0	34.0
			M-1%	18.5	17.0	16.5	15.0	4.5	4.2	4.3	4.3	16.2	28.0	31.2	37.8
			M-2%	15.0	14.0	10.5	8.5	4.1	4.0	4.0	3.9	19.0	31.2	33.0	39.6
36.0	46.5	165	S/a+2%	20.5	20.0	19.5	18.0	4.9	4.9	4.9	4.8	18.9	29.1	32.9	38.2
			S/a+1%	22.5	22.0	22.0	21.0	4.6	4.4	4.5	4.6	18.4	30.6	35.4	41.0
			S/a-1%	23.0	23.0	22.5	22.5	4.0	3.8	3.6	3.5	20.5	33.1	38.1	42.8
			S/a-2%	23.0	23.0	22.5	23.0	3.5	3.6	3.6	3.6	18.0	32.5	37.0	42.1
			기본	22.5	22.5	22.5	22.0	4.2	4.1	4.1	4.0	19.2	32.4	36.2	41.5
			M+2%	24.0	24.0	24.0	24.0	3.4	3.3	3.3	3.4	14.3	25.4	28.1	35.6
			M+1%	23.0	23.5	23.5	23.5	3.8	3.8	3.7	3.7	15.5	28.2	31.9	39.8
			M-1%	20.5	20.0	19.5	18.5	4.9	4.5	4.4	4.3	21.9	33.1	37.1	43.2
			M-2%	17.5	17.0	16.0	15.0	4.4	4.1	4.0	4.0	23.8	35.6	40.2	44.2
33.4	46.5	165	S/a+2%	45	43	35	30	4.5	4.3	4.2	4.2	20.2	36.2	39.1	44.9
			S/a+1%	53	50	50	48	3.8	3.6	3.4	3.5	21.9	36.2	41.0	46.1
			S/a-1%	56	56	56	55	2.4	2.2	2.1	2.0	23.8	37.3	42.7	48.6
			S/a-2%	57	58	58	57	2.1	2.0	2.0	1.9	22.6	36.1	40.8	48.0
			기본	55	54	52	52	3.0	2.8	2.6	2.7	23.8	37.6	42.1	47.6
			M+2%	70	71	70	70	2.8	2.2	2.0	1.6	18.2	28.7	34.6	41.8
			M+1%	62	62	60	59	3.5	3.1	3.0	2.8	20.1	33.9	39.2	45.9
			M-1%	48	47	43	42	3.0	2.5	2.4	2.4	25.1	38.3	43.9	48.2
			M-2%	35	30	31	30	2.1	2.2	2.3	2.2	27.3	42.9	47.1	50.3

또한, 콘크리트의 공기량에 미치는 표면수율 및 잔골재율의 변화에 따른 영향은 표면수율보다는 잔골재율의 대소에 따라 커다란 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있었다. 잔골재율이 증가함에 따라 공기량도 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 골재입자의 크기 및 양에 따라서 콘크리트내 공극수의 증가로 인해 나타난 결과로 사료된다.

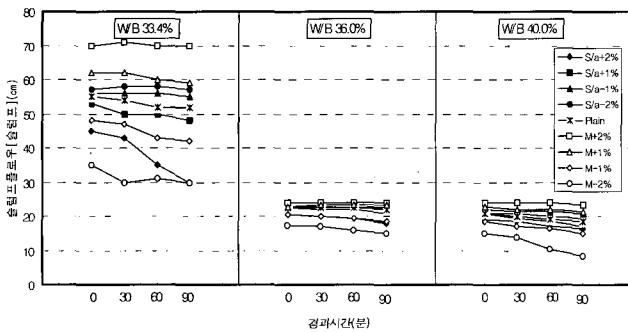


그림 9. 콘크리트의 유동성 시험결과

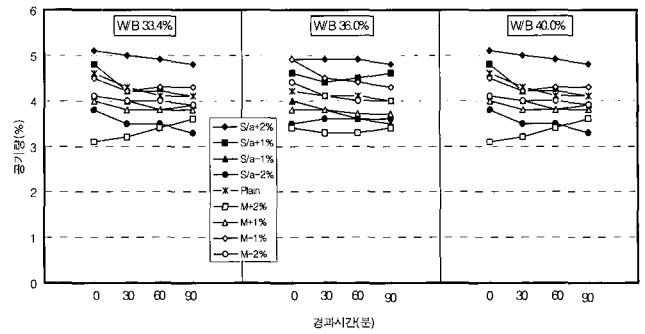


그림 10. 콘크리트의 공기량 시험결과

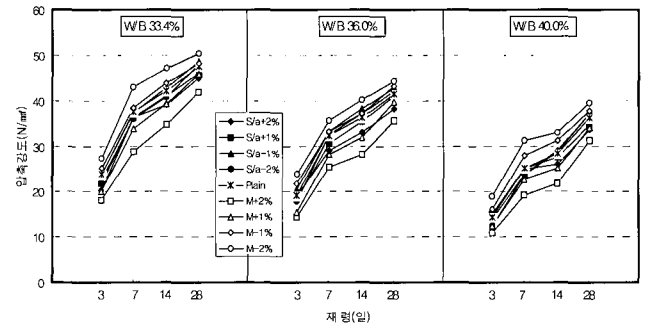


그림 11. 콘크리트의 압축강도 시험결과

각종 배합조건에 따른 압축강도의 변화는 그림 11에 나타난 바와 같이, 표면수율이 높을수록, 잔골재율이 작을수록 강도저하가 크다는 것을 알 수 있으며, 특히, 입도측면보다는 표면수율의 영향이 강도에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 따라서, 레미콘 생산시 콘크리트의 유동성 관리는 표면수율로서 관리하는 것보다는 고성능감수제의 첨가량에 의해 관리하는 것이 바람직하다.

본 연구결과, 연구범위 내에서는 배합강도 선정시 목표 설계기준강도를 확보하기 위한 할증계수 1.2 범위내의 품질변동안에 존재하고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

## 5. 결 론

본 연구는 고강도콘크리트 및 매스콘크리트를 초고층구조물에 적용하기 위한 기초적 실험으로서, 콘크리트의 최적배합 선정 및 이를 현장에 적용하기 위하여 레미콘 공장에서 계획 배합을 현장배합으로 보정하기 위한 표면수 및 입도에 관한 민감도특성을 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고강도콘크리트 및 매스콘크리트의 경과시간에 따른 슬럼프 플로우 및 슬럼프의 변화는 경과시간 30분에서 가장 높은 유동성 개선효과를 나타내고 있었으며, 특히, 고강도콘크리트에서는 경과시간 90분까지도 비빔직후와 유사한 유동성을 나타내고 있었다. 이는 폴리카르본산계 고성능감수제의 분산성능 및 유지성능에 따른 영향으로 판단된다.

- 2) 경과시간에 따른 공기량의 변화는 경과시간 30분을 전후에서 공기량이 증가하다가 감소하는 경향을 나타내고 있었다. 이는 폴리카르본산계 고성능감수제의 경과시간에 따른 분산성능 차이에 의해 나타난 결과로 판단된다.
- 3) 각종 배합조건별로 실시한 배합시험을 통해 나타난 최적배합은 매스콘크리트의 설계기준강도 30N/mm<sup>2</sup>(배합강도 36N/mm<sup>2</sup>)인 경우, 물-결합재비 40.0%, 플라이애쉬 치환율 25%이고 고강도콘크리트의 설계기준강도 40N/mm<sup>2</sup>(배합강도 48N/mm<sup>2</sup>)인 경우, 물-결합재비 33.4%, 플라이애쉬의 치환율 15%인 것으로 나타났다.
- 4) 재령 28일 플레인콘크리트(플라이애쉬 치환율 0%)을 기준으로 검토한 압축강도의 발현비율은 고강도콘크리트의 경우가 재령 7일에서 강도발현비율이 80~90%로 나타나고 있어 일반강도인 매스콘크리트보다 10% 정도 높게 발현되고 있는 것으로 나타났다.
- 5) 본 연구에서 규정한 품질기준내의 품질관리범위에 적합한 표면수율 및 잔골재율은 표면수율 ±1% 및 잔골재율 ±2%의 범위로 나타났다. 따라서, 원재료에 대한 정확한 표면수 및 입도보정을 실시하는 것이 바람직하고 이를 위해서는 수시로 품질체크를 실시할 수 있도록 품질관리체계를 구축할 필요가 있다.
- 6) 콘크리트의 민감도 특성을 검토한 결과, 콘크리트의 유동성 및 압축강도는 표면수율의 영향을 더욱 받는 것으로 나타났고 공기량은 잔골재율의 영향을 더욱 받는 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. 김을용외 4인., “광물질 혼화재 종류에 따른 초고강도 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 봄학술발표논문집 제17권1호(통권 제32집), 2005. 5, pp.29-32
2. 송하영외 3인., “초고강도 콘크리트의 특성에 미치는 시멘트 종류 및 혼화재 종류의 영향에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 추계학술발표 논문집 제24권2호(통권 제48집), 2004.10, pp.375-378
3. 이상수외 3인., “초고층아파트 시공을 위한 고강도 콘크리트의 배합 설계 및 품질관리”, 대한건축학회 추계학술발표 논문집 제20권2호, 2000. 10, pp.467-470
4. 日本建築學會., “高強度コンクリートの技術の現状”, 1991
5. 日本建築學會., “フライアッシュを使用するコンクリートの調査設計・施工指針(案)同解説”, 1999
6. K. Wesche., “Fly Ash in Concrete”, Report of Technical Committee 67-FAB, RILEM, 1991
7. Diamond Sydney, “On the Glass Present in Low-Calcium and High Calcium Fly Ash”, Cement and Concrete Research, Vol.13, NO.4, pp.459-464, July 1983