

포졸란제 혼입율에 따른 3성분계 콘크리트의 물리적 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Physical Properties of Ternary Concrete according to Replacement Ratio of Pozzolanic Admixtures

권 해 원* 이 진 우** 배 연 기*** 이 재 삼****
Kwon, Hae Won Lee, Jin Woo Bae, Yeoun Ki Lee, Jae Sam

ABSTRACT

This experimental study is the fundamental report to use the ternary concrete. This study performed to know physical properties of ternary concrete according to replacement ratio of pozzolanic admixtures and curing temperature conjugation.

To investigate Strength development properties of according to replacement ratio of pozzolanic admixtures, both fly ash replaced on portland cement in 5, 10 and 15% weight ratios and blast furnace slag replaced on the portland cement in 5, 15, 20, 30 and 40% weight ratios was used. Also this is studied fresh and hardened concrete properties in condition of curing temperature 10°C and 20°C.

The followings are the summary of which concluded in this study. Considering the concrete cured over 28 days compressive strength, most replacement ratios of pozzolanic admixtures were higher than plain concrete that. Compressive strength development properties of ternary concrete according to curing temperature conjugation were similar except for early age.

1. 서론

현재, 국내외에서 플라이애시나 고로슬래그 미분말을 단일 함유한 콘크리트에 대한 시공사례나 관련 연구는 상당하지만, 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 복합 함유한 3성분계 콘크리트에 대한 연구는 많지 않은 것으로 나타나고 있다. 3성분계 콘크리트는 국내외에서 일부 적용되고 있는 것으로 보고되고 있지만, 기초적 자료가 부족하여 적극적인 활용이 제한되고 있다.

이에, 본 연구에서는 플라이애시와 고로슬래그의 혼입율을 변화시킨 3성분계 콘크리트의 물리적 특성을 고찰하여, 적정 혼화제 혼입비율의 수준을 알아보며, 현재 국내외적으로 부족한 3성분계 콘크리트의 기초적 자료를 축적하고 고품질의 콘크리트 생산에 적용하고자 한다.

*정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 사원
**정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 대리
***정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 과장
****정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 팀장

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험계획

혼화재료의 다량 혼입시 대두되는 문제가 온도차에 의한 조기강도 특성이므로 3성분계 콘크리트의 경우도 플라이애시 및 고로슬래그 미분말의 혼입비율에 따라 조기강도에 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 3성분계 콘크리트의 혼입비율에 따른 조기 및 중·장기재령의 압축강도 특성을 알아봄으로서, 적정 혼입비율의 수준을 알아보기 위해 다음과 같이 실험하였다.

실험계획은 표 1과 같이 설정하여, 물결합재비 44%와 50%의 2수준에 목표 슬럼프 및 공기량은 $15.0 \pm 2.5\text{cm}$ 와 $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하도록 하였으며, 표준기와 동절기를 고려하여 양생온도를 20°C 및 10°C 의 2수준으로 계획하였다. 또한, 혼화재료량의 변수로는 표 1과 같이 결합재비율 7:1:2의 대표적인 3성분계 콘크리트의 혼입비율을 사용한 콘크리트를 플레인으로 설정하고 플라이애시 혼입비율을 5, 10, 15, 18(%)로, 고로슬래그 혼입비율을 5, 15, 20, 30, 40(%)로 하여, 시멘트중량에 대한 최대 혼입비율을 50%까지로 정하고 혼입비율을 변화시켜 총 13배치로 결정하였다.

2.2 실험 방법

3성분계 콘크리트는 혼화재료의 시멘트 대체율이 높으므로 슬럼프 특성, 응결 특성 등 굳지않은 콘크리트 상태와 경화콘크리트 상태에 대해서 여러 가지 시험과 측정을 통해 검토할 사항들이 있다. 본 연구에서는 3성분계 콘크리트의 실용성을 검토하기 위하여 국내·외 규준에 따라 시험하여 사용재료 및 콘크리트의 물성을 평가하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 물리적 특성

표 1 실험 요인 및 수준

실험 요인		실험 수준				
배 합 사 랑	물결합재비(%)	2	44, 50			
	목표슬럼프 (cm)	1	15.0±2.5			
	목표 공기량 (%)	1	4.5±1.5			
	양생온도 (°C)	2	10, 20			
	혼입비율변화 (%)	13	구분 및 결합재비			
			시험채명	C	F/A	B/S
			P	70	10	20
			I	80		15
			II	65	5	30
			III	55		40
			IV	75		15
			V	60	10	30
			VI	50		40
VII			80		5	
VIII			70	15	15	
IX			65		20	
X	77		5			
XI	67	18	15			
XII	62		20			
실험 사항	굳지않은 콘크리트	4	슬럼프, 공기량, 응결시간, 불리딩량			
	경화 콘크리트	1	재령별 압축강도 (2, 3, 7, 28, 56일)			

표 2 굳지않은 콘크리트의 물성 결과

구분 규격 및 항목	W/B 44%								W/B 50%							
	Slump (cm)	Air (%)	응결(h)				블리딩		Slump (cm)	Air (%)	응결(h)				블리딩	
			20℃		10℃		블리딩량 (cm/cm)	블리딩율 (%)			20℃		10℃		블리딩량 (cm/cm)	블리딩율 (%)
			초결	중결	초결	중결					초결	중결	초결	중결		
P (10+20)	14.5	4.3	7.0	9.3	12.4	15.5	0.29	6.7	16.0	4.6	9.0	12.9	14.5	19.1	0.45	11.0
I (5+15)	14.5	3.8	6.2	9.5	11.5	15.5	0.30	6.9	17.0	5.9	8.5	11.7	14.4	17.7	0.44	10.8
II (5+30)	14.5	3.8	6.6	10.3	-	-	0.38	8.8	16.0	5.9	8.8	11.4	-	-	0.42	10.1
III (5+40)	14.0	4.2	8.5	11.6	12.4	16.1	0.39	9.0	14.0	6.0	9.6	13.1	14.8	18.9	0.68	14.2
IV(10+15)	14.0	3.2	6.2	8.6	-	-	0.32	7.1	15.0	5.9	8.3	11.0	-	-	0.40	9.3
V(10+30)	14.5	3.6	7.5	10.5	13.0	16.5	0.41	9.3	14.0	5.7	9.8	12.9	14.6	18.6	0.61	13.7
VI(10+40)	14.0	3.2	7.0	9.5	-	-	0.43	9.5	14.0	5.3	9.3	12.2	-	-	0.58	13.3
VII(15+ 5)	15.0	3.7	6.0	8.4	-	-	0.28	6.4	15.5	5.0	7.5	9.3	-	-	0.37	8.5
VIII(15+15)	14.0	3.7	7.3	10.0	-	-	0.34	7.5	15.5	5.7	7.4	10.6	-	-	0.39	9.2
IX(15+20)	14.0	3.6	7.4	10.2	13.0	16.4	0.35	8.2	15.0	5.0	9.2	11.8	14.6	19.3	0.57	12.6
X(18+ 5)	16.0	3.8	7.0	9.4	-	-	0.32	7.1	16.0	5.5	7.5	10.3	-	-	0.36	8.5
XI(18+15)	15.5	3.5	6.6	9.5	13.0	16.4	0.39	9.0	16.5	5.4	8.9	12.2	13.8	18.8	0.60	13.4
XII(18+20)	15.5	3.9	7.0	10.2	-	-	0.40	9.2	16.5	5.4	8.8	11.5	-	-	0.45	10.2

표 2는 3성분계 콘크리트의 혼입을 변화에 따른 굳지않은 콘크리트의 물성 시험결과를 나타낸 것이다.

3.1.1 슬럼프

W/B 44%와 50%의 배합 모두 슬럼프 14~17cm 수준을 보여 목표슬럼프 15±2.5cm의 범위를 만족하였고, 적절한 점성이 있어 재료분리가 발생하지 않을 것으로 판단된다.

3.1.2 공기량

공기량은 W/B 44%의 경우 목표 공기량 범위인 4.5±1.5%에 속하기는 하나, 3.2~4.3%의 수준을 보여 전반적으로 낮게 나타나 혼화제의 혼입을 등을 조정하여 공기량을 확보할 필요가 있을 것으로 판단된다. W/B 50%의 경우는 4.6~6.0%의 범위로 다소 높거나 적절한 것으로 판단된다.

3.1.3 응결 및 블리딩

초·중결은 결합재의 양이 많을수록, 양생온도가 높을수록, 혼화제혼입율이 낮을수록 빨리 나타났으며, 블리딩량과 블리딩율은 결합재량이 적을수록, 혼화제혼입율이 높을수록 높게 나타났다.

3성분계 콘크리트의 굳지않은 상태의 물성은 기존 문헌과 유사한 결과를 나타내었으며, 혼입을 40%이상의 대량혼입 콘크리트의 경우, 초결과 중결이 다소 늦게 나타나는 결과를 보였다.

3.2 3성분계 콘크리트의 압축강도 특성

표 3은 압축강도 시험결과를 나타낸 것이다. W/B 44%의 경우 재령 2, 3일의 조기강도를 보면 혼화제 혼입을 20%수준의 배합이 높은 강도를 보이며, 재령 7일에서는 20~35%의 혼입율이, 재령 28, 56일의 중장기 재령에서는 혼입을 30~38%의 배합이 높은 강도를 보이고 있다. 살펴본 각 재령의 압축강도 특성에서 포졸란 반응은 재령 7일 이후부터 활성화 된다는 기존 문헌과 동일한 특성을 보이고 있다.

* 양생온도 10℃의 경우 7배치만 실시함.

W/B 50%의 경우, 재령과 혼입율과의 관계는 W/B 44%의 경우와 유사하게 나타났다. 특이한 것은 배합 IX의 경우, W/B 44%에서는 중장기재령에서 높은 압축강도를 나타냈으나, W/B 50%에서는 상대적으로 낮은 압축강도를 나타냈다. W/B 44%에서는 초기재령의 경우에도 다소 높은 압축강도를 보인 것으로 보아 시멘트 수화반응이 활발해져서 강알칼리환경을 조성함으로써, 잠재수경성인 슬래그 미분말을 활성화 시킨 것으로 판단되며, W/B 50%에서는 매우 낮은 압축강도를 보인 것으로 보아 강알칼리 환경의 조성이 다소 늦어짐에 따라 낮은 압축강도를 보인 것으로 판단된다.

표 3 혼입율 변화 및 양생온도에 따른 압축강도 결과 (MPa)

규격 및 배합 구분	W/B 44%										W/B 50%									
	양생온도 20℃					양생온도 10℃					양생온도 20℃					양생온도 10℃				
	2일	3일	7일	28일	56일	2일	3일	7일	28일	56일	2일	3일	7일	28일	56일	2일	3일	7일	28일	56일
P (10+20)	16.5	20.5	28.0	38.5	40.6	11.6	17.8	28.3	39.8	43.4	6.3	8.2	25.2	31.7	34.0	6.4	9.6	13.4	28.8	35.9
I (5+15)	18.6	21.4	25.3	33.0	36.8	-	-	-	-	-	10.9	14.2	18.0	28.8	34.7	-	-	-	-	-
II (5+30)	17.6	20.2	26.2	37.4	40.2	-	-	-	-	-	10.2	13.1	17.4	31.6	38.3	-	-	-	-	-
III (5+40)	16.0	19.4	27.4	38.5	43.3	10.6	16.6	28.1	40.4	44.2	7.6	9.3	23.1	31.9	36.4	5.3	8.7	12.3	27.2	34.7
IV(10+15)	18.5	21.0	26.5	35.4	38.7	-	-	-	-	-	10.5	13.3	17.5	28.9	34.9	-	-	-	-	-
V (10+30)	15.4	19.4	26.2	35.9	41.8	10.4	17.3	27.6	40.0	44.5	7.7	9.8	22.0	31.4	36.2	5.9	9.2	12.8	27.1	33.7
VI(10+40)	16.0	18.4	25.6	36.5	40.6	-	-	-	-	-	8.6	11.0	15.8	31.6	38.8	-	-	-	-	-
VII(15+ 5)	19.0	23.8	30.2	37.8	41.5	10.8	17.6	27.9	40.2	44.2	10.4	12.4	25.5	32.7	38.1	7.0	11.3	15.7	30.2	34.9
VIII(15+15)	17.7	20.8	29.3	40.2	43.2	-	-	-	-	-	9.9	12.7	18.1	35.5	41.8	-	-	-	-	-
IX(15+20)	14.5	18.6	28.9	41.5	45.7	6.9	13.1	24.1	41.3	47.1	6.8	7.7	24.6	30.7	34.5	5.3	7.6	11.1	30.0	40.1
X(18+ 5)	19.5	21.7	27.7	38.6	41.1	-	-	-	-	-	10.4	13.8	19.1	33.7	37.1	-	-	-	-	-
XI(18+15)	15.5	19.6	28.4	41.1	45.0	7.9	14.3	24.0	39.3	43.9	7.8	8.8	25.1	35.4	40.4	6.7	9.1	12.8	30.1	40.1
XII(18+20)	13.8	16.8	26.0	41.1	44.3	-	-	-	-	-	7.3	9.7	14.9	37.2	41.2	-	-	-	-	-

양생온도변화에 따른 특성은 W/B비 변화와 혼입율에 따른 큰 변화는 없었으며 장기재령의 강도측면에서는 양생온도가 낮은 것이 유리한 것으로 나타나 기존문헌과 유사하게 났으며, 혼입율이 높은 배합의 경우 초기강도가 다소 낮게 나타나 양생에 특별한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 배합 IX와 VIII은 특정 W/B에서만 가장 높은 압축강도를 보인 반면, 배합 XI과 XII는 W/B 2수준의 재령 28일과 56일에서 모두 높은 압축강도를 보여 안정적인 강도특성을 보였으며, 전 재령의 압축강도 특성을 고려한다면 배합 VIII이 전반적으로 높게 나타나 사용성이 뛰어난 것으로 판단된다.

3성분계 콘크리트는 각각 다른 특성의 혼화재료들이 혼입되기 때문에 각각의 특성을 정확히 분석하고 혼입비율을 적절히 조절함으로써, 친환경적이며 고품질의 콘크리트를 제조할 수 있을 것이다. 향후 혼화재료의 다량 혼입에 따른 콘크리트의 알칼리성 저하에 따른 중성화 축진이 예상되므로 이와 관련한 내구성 실험이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Kae-Long Lin, "The influence of municipal solid waste incinerator fly ash slag blended in cement pastes", Cement and Concrete Research, Volume 35, Issue 5, May 2005, pp. 979-986
2. 광미숙, 김영수, "3성분계 모르타르의 포졸란계 혼입율이 황산염침식에 미치는 영향" 대한건축학회 논문집(구조계) v.21 n.5(2005-05), pp. 89-96