

혼화제를 혼입한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Characteristics of Concrete Containing Admixtures

○ 배수호* 윤상대** 박광수*** 신의균***
 Bae, Su Ho Youn, Sang Dai Park, Kwang Su Shin, Eui Kyoun

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the workability and strength of concrete containing admixtures. For this purpose, four kinds of admixtures such as silica fume, fly ash, ground granulated blast-furnace, rice husk ash are selected and tested on the workability and strength according to the replacement ratio of them.

As a result, considering their workability and strength, the optimum replacement ratio of them were obtained for each concrete containing admixtures.

1. 서론

가장 일반적인 콘크리트의 고강도화 방법은 단위 시멘트량을 증가시켜 물-시멘트비를 감소시키는 것인데, 그에 따른 시공성 저하가 문제로 대두된다.

이에 따라 콘크리트용 혼화제로서 고성능 감수제나 고유동화제를 사용하면 시공성 저하문제는 해결할 수 있으나 단위시멘트량만의 증가로는 강도증진의 어느 한계가 나타나게 되고, 또한 과도한 단위시멘트량의 사용은 콘크리트의 높은 수화열을 유발하여 콘크리트의 강도는 물론 사용성에도 악영향을 미치게 된다.

따라서 콘크리트의 강도를 증진시키고 수화열을 저감시키기 위해서는 콘크리트용 혼화제를 시멘트량의 일부로 대체하는데, 본 연구에서는 이들 중 강도증진 및 수화열 저감목적으로 많이 사용되고 있는 실리카흙, 플라이애쉬, 고로슬래그분말을 사용하여 이들 각각의 혼입율에 따라서 콘크리트의 시공성 및 강도특성을 분석하였다.

한편, 고강도 콘크리트 제조용 혼화제로 실리카흙이 많이 이용되고 있으나 그 값이 고가이고 전량을 수입에 의존하고 있기 때문에 아직 국내에서 범용화 하기에는 경제성있는 재료라 할 수는 없을 것이다. 따라서 본 연구에서는 농산부산물로 폐기되고 있으나 그 성분이 실리카흙과 유사한 왕겨를 소각, 분쇄하여 왕겨재를 조제후, 그것을 혼입한 콘크리트의 시공성 및 강도특성을 시험하여 콘크리트용 혼화제로서의 성능을 분석하였다.

* 농어촌진흥공사 농공기술연구소 주임연구원
 ** 농어촌진흥공사 농공기술연구소 수석연구원
 *** 농어촌진흥공사 농공기술연구소 책임연구원

2. 시험개요

2.1 사용-재료

2.1.1 시멘트

시멘트는 시중에서 구입한 보통 포틀랜드 시멘트(A사 제품)를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표1과 같다.

표 1. 시멘트의 물리적 성질

시멘트 종 류	비중	응결시간		분말도 (cm ² /g)	압축강도 (kgf/cm ²)		
		초결 (min)	종결 (hr)		σ ₃	σ ₇	σ ₂₈
보통포 틀랜드	3.14	228	6.15	3.338	194	219	308

2.1.2 골재

본 시험에 사용된 골재시료로서 잔골재는 남한강산(경기 여주군)하천사, 굵은골재는 안성산(경기)부순돌을 이용하였으며, 이들의 물리적 성질은 각각 표2 및 표3과 같다.

표 2. 잔골재의 물리적 성질

항목 시료	비중	흡수율 (%)	단위용 적중량 (tf/m ³)	200번체 통과량 (%)	조립율
하천사 (여주)	2.59	1.08	1.588	1.8	2.69

표 3. 굵은골재의 물리적 성질

항목 시료	굵은골재 최대치수 (mm)	비 중	흡수 율 (%)	단위용 적중량 (tf/m ³)	조 립 율	마모 율 (%)
부순돌 (안성)	19	2.70	0.6	1.551	6.57	28.5

2.1.3 혼화제료

1) 혼화제

본 연구에 사용된 혼화제는 고강도 및 유동화콘크리트용으로 사용되고 있는 나프탈렌계인 고성능 감수제(표준형, K사)로서, 그 품질특성은 표4와 같다.

표 4. 화학적 혼화제의 품질특성

비중	pH	고 형 분	표준사용 량(%) (시멘트 중량비)	주 성 분	비고
1.21	8	41	0.2~ 2.0	Sodium Salt of a Sulfonate Naphthalene	액상

2) 혼화제

콘크리트의 강도증진 및 수화열 저감목적으로 많이 사용되고 있는 콘크리트용 혼화제의 시공성 및 강도특성을 파악키 위한 성능시험에 사용된 실리카흙, 플라이애쉬, 고로슬래그분말 및 왕겨재의 품질특성은 표5와 같다.

표 5. 혼화제의 품질특성

혼화제 종류	비 중	분말도 (cm ² /g)	비 고
실리카 카흙	2.20	200,000	북아메리카산
플라이 애쉬	2.17	3,200	보령화력발전소산
고로슬 래그 분말	2.93	4,500	광양쌍용고로슬래그공장
왕겨재	2.06	-	동진벼 왕겨를 연소로에 의해 고온(600℃)소각후, L.A 마모시험기로 60분 분쇄

2.2 시험방법

2.2.1 최적잔골재율 시험

잔골재와 굵은골재가 주어진 경우, 소요의 워커빌리티를 얻을 수 있고, 또한 단위수량이 최소가 되는 잔골재율이 존재하는데, 이와 같은 잔골재율은 잔골재 입도, 콘크리트의 공기량, 단위시멘트량, 혼화제료의 종류 등에 따라 다르게 된다. 따라서 본 연구에서는 단위시멘트량을 일정하게 한 후, 각 혼

화제의 혼입율에 따라서 콘크리트의 특성을 파악하였기 때문에 단위시멘트량에 따라 소요의 워커빌리티를 얻을 수 있고 단위수량이 최소가 되는 잔골재율 즉, 최적잔골재율을 구하기 위한 시험을 하였다.

1) 공시체 제작

콘크리트의 단위시멘트량별(300~700kg/m³)로 최적잔골재율을 결정기 위한 콘크리트 공시체(φ10×20cm)는 KS F 2403(콘크리트의 강도시험용 공시체 제작 방법)에 따라 제작하였으며, 성형후 24시간 경과하여 몰드를 제거하고 시험전까지 20±3℃의 온도로 습윤양생하였다.

표6은 단위시멘트량별로 잔골재율을 변수로 한 콘크리트의 배합표를 나타낸 것이다.

표 6. 콘크리트의 배합표(하천사+부순돌)

단위시 멘트량 (kg/m ³)	잔 골 재 율 (%)	물- 시멘 트비 (%)	슬립 프 (cm)	단위량(kg/m ³)				고성 능감 수제 (C× %)
				물	시 멘 트	잔 골 재	굵은 골재	
300	30	62.7	13.0	188	300	552	1,339	2.0
	35	63.7	10.0	191	300	642	1245	2.0
	40	61.7	10.0	185	300	736	1148	2.0
	45	63.3	9.0	190	300	826	1053	2.0
	50	66.7	9.0	200	300	919	956	2.0
400	30	48.2	18.0	193	400	541	1315	2.5
	35	48.0	19.0	192	400	632	1220	2.5
	40	47.5	19.0	190	400	720	1129	2.5
	45	49.5	18.5	198	400	811	1034	2.5
	50	50.0	18.0	200	400	901	940	2.5
500	30	33.0	19.5	165	500	515	1250	3.0
	35	33.2	20.5	166	500	601	1161	3.0
	40	33.6	20.0	168	500	686	1072	3.0
	45	35.2	21.5	176	500	772	983	3.0
	50	37.2	21.5	186	500	857	894	3.0
600	30	30.0	22.0	180	600	484	1180	3.0
	35	30.5	21.5	183	600	565	1096	3.0
	40	31.5	22.0	189	600	728	926	3.0
	45	31.7	22.5	190	600	648	1010	3.0
	50	32.0	23.5	192	600	808	842	3.0
700	30	26.9	25.0	188	700	448	1091	3.5
	35	27.1	23.0	190	700	532	1013	3.5
	40	29.0	23.5	203	700	598	934	3.5
	45	29.0	25.0	203	700	673	856	3.5
	50	29.0	25.0	203	700	749	778	3.5

2) 시험방법

콘크리트의 압축강도 시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 따라 각 재령별(σ₃, σ₇, σ₂₈)로 하였다.

2.2.2 혼화재의 성능시험

1) 공시체 제작

콘크리트용 혼화재의 성능을 파악키 위하여 단위 결합재량 550kg/m³, 물결합재비 40%로 고정시켰을 때, 각 혼화재의 혼입율(실리카흙, 플라이애쉬, 왕겨재 : 0~30%, 고로슬래그분말 : 0~60%)에 따라 목 슬럼프 21±2cm를 얻기 위한 고성능감수재 첨가량을 결정한 후 그것의 첨가량 정도에 따라 콘크리트의 시공성을 평가하였고, 혼화재 혼입율에 따른 강도특성을 분석키 위한 콘크리트 공시체(φ10×20cm)는 KS F 2403(콘크리트의 강도시험용 공시체 제작 방법)에 따라 제작하였으며, 성형후 24시간 경과 하여 몰드를 제거하고 시험전까지 20±3℃의 온도로 습윤양생하였다.

표7, 표8은 각각 실리카흙, 플라이애쉬, 고로슬래그분말, 왕겨재를 혼입한 콘크리트의 배합표를 나타낸 것이다.

표 7. 실리카흙을 혼입한 콘크리트의 배합표

단위 결합재량 (kg/m ³)	물결합재비 (%)	혼화재 혼입율 (%)	슬럼프 cm	잔골재율 (%)	단위량(kg/m ³)					고성능감수재 (C\%)
					물	시멘트	실리카흙	잔골재	굵은골재	
550	40	0	21.0	40	220	550	0	611	956	1.0
550	40	5	21.5	40	220	522.5	27.5	606	950	1.4
550	40	10	19.0	40	220	495.0	55.0	603	942	1.7
550	40	15	19.8	40	220	467.5	82.5	601	937	2.0
550	40	20	22.0	40	220	440.0	110	596	932	2.4
550	40	25	22.2	40	220	412.5	137.5	591	926	3.7
550	40	30	22.0	40	220	385.0	165.0	588	918	4.4

표 8. 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트의 배합표

단위 결합재량 (kg/m ³)	물결합재비 (%)	혼화재 혼입율 (%)	슬럼프 cm	잔골재율 (%)	단위량(kg/m ³)					고성능감수재 (C\%)
					물	시멘트	플라이애쉬	잔골재	굵은골재	
550	40	0	21.0	40	220	550	0	611	956	1.0
550	40	5	22.0	40	220	522.5	27.5	606	950	0.9
550	40	10	21.3	40	220	495.0	55.0	603	942	0.8
550	40	15	20.0	40	220	467.5	82.5	601	937	0.7
550	40	20	20.4	40	220	440.0	110	596	932	0.9
550	40	25	22.0	40	220	412.5	137.5	591	926	1.0
550	40	30	20.0	40	220	385.0	165.0	588	918	1.0

표 9. 고로슬래그 분말을 혼입한 콘크리트의 배합표

단위 결합재량 (kg/m ³)	물결합재비 (%)	혼화재 혼입율 (%)	슬럼프 cm	잔골재율 (%)	단위량(kg/m ³)					고성능감수재 (C\%)
					물	시멘트	고로슬래그분말	잔골재	굵은골재	
550	40	0	21.0	40	220	550	0	611	956	1.0
550	40	10	20.4	40	220	495	55	611	953	0.8
550	40	20	19.8	40	220	440	110	609	950	0.7
550	40	30	21.0	40	220	385	165	606	950	0.7
550	40	40	19.4	40	220	330	220	606	948	0.6
550	40	50	22.0	40	220	275	275	603	948	0.6
550	40	60	20.2	40	220	220	330	603	942	0.5

표 10. 왕겨재를 혼입한 콘크리트의 배합표

단위 결합재량 (kg/m ³)	물결합재비 (%)	혼화재 혼입율 (%)	슬럼프 cm	잔골재율 (%)	단위량(kg/m ³)					고성능감수재 (C\%)
					물	시멘트	왕겨재	잔골재	굵은골재	
550	40	0	21.0	40	220	550	0	611	956	1.0
550	40	5	21.6	40	220	522.5	27.5	606	948	1.3
550	40	10	20.5	40	220	495.0	55.0	601	940	1.5
550	40	15	21.6	40	220	467.5	82.5	596	932	2.2
550	40	20	22.6	40	220	440.0	110.0	591	923	4.3
550	40	25	16.3	40	220	412.5	137.5	585	915	6.6
550	40	30	5.0	40	220	385.0	165.0	580	907	8.1

2) 시험방법

콘크리트용 혼화재의 종류별로 성능을 파악하고 각 혼화재의 최적혼입량을 도출시키기 위한 콘크리트의 강도시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도시험방법)에 따라 각 재령별(σ₃, σ₇, σ₂₈, σ₉₁)로 하였다.

3. 결과분석 및 고찰

3.1 단위시멘트량에 따른 최적잔골재율

3.1.1 잔골재율에 따른 압축강도

그림1은 콘크리트의 슬럼프값을 21±2cm로 하였을 때 단위시멘트량별로 잔골재율에 따른 압축강도를 나타낸 것으로, 최대압축강도를 발현시키는 잔골재율 즉, 최적잔골재율은 단위시멘트량이 300~500kg/m³일 때는 40%, 600kg/m³일 때는 35%를 나타냈고, 그것이 700kg/m³일 때는 30%를 나타냈다.

따라서 동일한 재료로서 동일한 슬럼프를 확보하며, 동시에 최대압축강도를 발현시키는 최적잔골재

얇은 단위시멘트량의 증가함에 따라 감소되는 경향을 나타냈다.

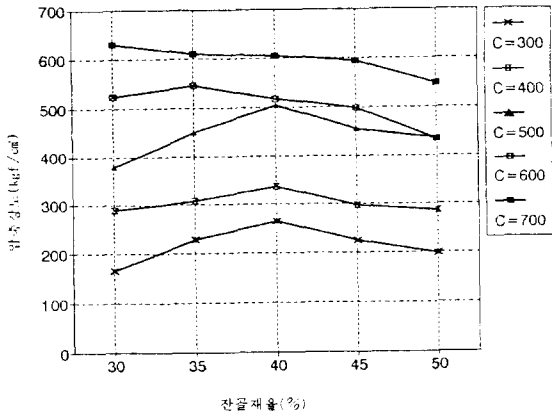


그림 1. 잔골재율에 따른 압축강도

3.1.2 잔골재율에 따른 물-시멘트비

그림2는 콘크리트의 슬럼프값을 21 ± 2 cm로 하였을 때 단위시멘트량별로 잔골재율에 따른 물-시멘트비를 나타낸 것으로, 잔골재와 굵은 골재가 주어진 경우 소요의 워커빌리티를 얻을 수 있고, 또한 단위수량의 최소가 되는 즉, 물-시멘트가 최소로 되는 잔골재율은 단위시멘트량 300~400kg/m³일 때는 40%, 500~600kg/m³일 때는 30~40%, 700kg/m³일 때는 30~50%로 나타났다. 따라서 본 시험결과로부터 단위시멘트량별로 최대 압축강도를 발휘시키는 잔골재율과 단위수량이 최소로 되는 잔골재율은 거의 일치하는 결과를 나타냈다.

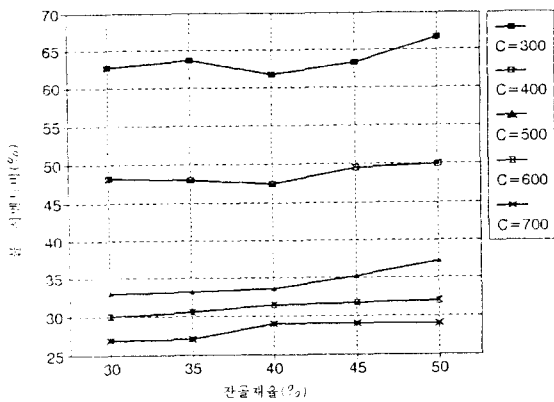


그림 2. 잔골재율에 따른 물-시멘트비

3.2 콘크리트용 혼화재의 성능분석

3.2.1 시공성

콘크리트의 시공성은 강도특성과 함께 콘크리트의 중요한 특성중의 하나이기 때문에 혼화재를 혼입한 콘크리트의 시공성을 평가하기 위하여 플레인 콘크리트의 배합은 단위결합재량 550kg/m³, 고성능감수제 첨가량 1.0%로 하여 목표 슬럼프값 21 ± 2 cm를

얻기 위한 단위수량을 구한 후 물-결합재비 40%를 결정하고, 혼화재를 혼입한 콘크리트의 배합은 플레인 콘크리트와 동일하게 하여 목표 슬럼프값을 고성능감수제 첨가량으로 조정하였다.

표 11은 각종 콘크리트용 혼화재의 성능시험결과를 나타낸 것이고, 그림3은 각종 혼화재의 혼입율에 따른 고성능감수제의 첨가량을 나타낸 것으로, 콘크리트의 시공성 측면에서는 실리카흄이나 왕겨재 보다는 고로슬래그분말과 플라이애쉬가 훨씬 유리함을 알 수가 있고, 특히 이들의 고성능감수제 첨가량은 플레인 콘크리트 이하로 되어 시공성측면에서는 양질의 혼화재로 판단되나, 콘크리트의 품질 평가시 시공성측면만으로는 평가하기 어렵기 때문에 시공성은 강도특성 및 내구성과 함께 평가되어야 할 것이다.

표 11 콘크리트용 혼화재의 성능시험 결과

단위결합재량 (kg/m ³)	물결합재비 (%)	혼화재종류	혼화재 혼입율 (%)	슬럼프 (cm)	고성능감수제 첨가량 (C×%)	압축강도 (kgf/cm ²)			
						σ ₃	σ ₇	σ ₂₈	σ ₉₁
550	40	실리카흄	0	21.0	1.0	186	342	431	
			5	21.5	1.4	194	378	491	
			10	19.0	1.7	209	391	512	
			15	19.8	2.0	164	315	463	
			20	22.0	2.4	155	275	446	
			25	22.2	3.7	147	271	432	
			30	22.0	4.4	116	239	420	
550	40	플라이애쉬	0	21.0	1.0	186	342	431	484
			5	22.0	0.9	174	287	382	488
			10	21.3	0.8	164	278	374	497
			15	20.0	0.7	157	271	372	508
			20	20.4	0.9	155	251	363	472
			25	22.0	1.0	142	245	346	419
			30	20.0	1.0	137	232	322	386
550	40	고로슬래그분말	0	21.0	1.0	186	342	431	
			10	20.4	0.8	183	312	377	
			20	19.8	0.7	170	291	476	
			30	21.0	0.7	170	291	511	
			40	19.4	0.6	136	259	474	
			50	22.0	0.6	134	255	439	
			60	20.2	0.5	111	223	388	
550	40	왕겨재	0	21.0	1.0	186	342	431	
			5	21.6	1.3	178	323	480	
			10	20.5	1.5	193	340	502	
			15	21.6	2.2	159	285	468	
			20	22.6	4.3	96	171	263	
			25	16.3	6.6	65	122	256	
			30	5.0	8.1	14	40	225	

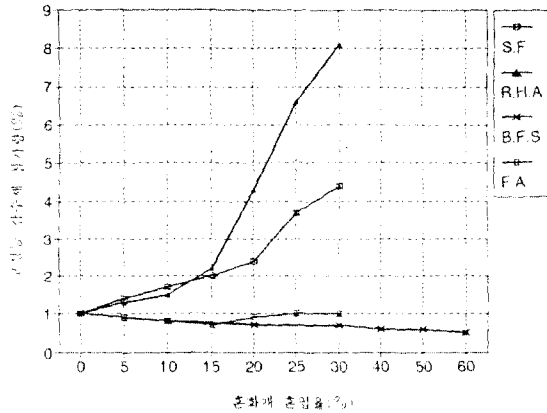


그림 3. 혼화제의 혼입율에 따른 고성능감수제 첨가량

3.2.2 강도특성

그림 4~그림6은 각종 콘크리트용 혼화제의 혼입율에 따른 재령별 강도를 나타낸 것으로, 실리카흄 및 왕겨재를 혼입한 콘크리트는 재령에 관계없이 그 혼입율이 5~10%에서 최대압축강도가 발현되었고, 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트의 재령28일의 압축강도는 그 혼입율이 20%이하일 때 플레인 콘크리트의 약 85~90%수준을 유지하고 그 혼입율이 25~30%일 때는 플레인 콘크리트의 약 75~80%로 저하되나 재령 91일의 강도는 그 혼입율이 15%이하일 때 플레인 콘크리트의 값을 초과하여 강도 역전현상이 나타나 플라이애쉬는 콘크리트의 장기강도 개선에 기여하는 것이 입증되었다. 또한 고로슬래그분말을 혼입한 콘크리트는 초기재령(3일, 7일)에서는 그것이 혼입율이 증가할 수록 강도 저하 현상이 뚜렷하였으나 콘크리트의 설계기준강도로 채택되는 재령 28일의 강도는 그 혼입율이 20~50%에서 플레인 콘크리트의 값을 초과하여 강도 역전현상이 나타났다. 따라서 재령 28일 강도를 기준으로 할 때, 고로슬래그분말의 최적혼입율은 20~40%로 나타났고, 특히 그것의 혼입율이 30%일 때의 강도는 플레인 콘크리트의 약 1.2배로, 재령28일부터 강도증진의 폭이 매우 크게 되는 것으로 나타났다. 한편, 고강도 콘크리트는 단위결합재량의 증가에 따라 수화열에 의한 문제가 발생되고, 장기재령에 따른 강도증진의 폭이 작은 점을 고려할 때, 그것의 제조시 고로슬래그분말을 이용하면 이 같은 문제점을 해결할 수 있기 때문에 앞으로 콘크리트용 재료 각광받을 것으로 판단된다.

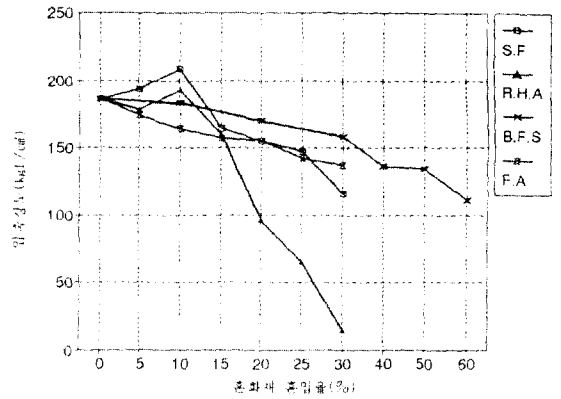


그림 4. 혼화제의 혼입율에 따른 콘크리트의 강도(재령 3일)

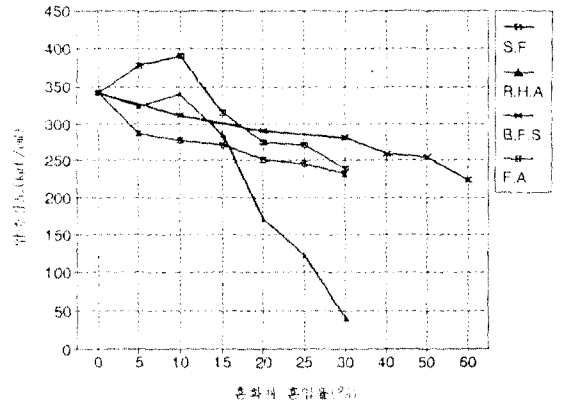


그림 5. 혼화제 혼입율에 따른 콘크리트의 강도(재령 7일)

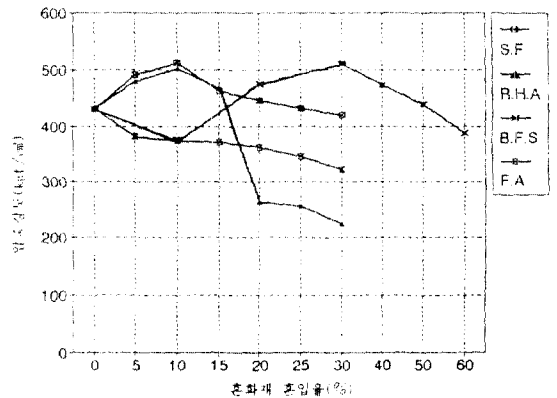


그림 6. 혼화제의 혼입율에 따른 콘크리트의 강도(재령 28일)

4. 결론

콘크리트의 강도증진 및 수화열 저감목적으로 사용되고 있는 실리카흄, 플라이애쉬, 고로슬래그분말 및 왕겨재를 혼입한 콘크리트의 특성에 관한 실험

연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 잔골재와 굵은골재가 주어진 경우, 단위시멘트량을 300~700kg/m³의 범위로 잔골재율을 30~50%까지 5%씩 변화시켰을 때, 최대압축강도를 발현시키는 최적잔골재율은 단위시멘트량이 300~500kg/m³일 때는 40%, 600kg/m³일 때는 35%, 700kg/m³일 때는 30%로 나타났다.

따라서 동일한 재료로서 동일한 슬럼프값을 확보하며 동시에 최대압축강도를 발현시키는 최적잔골재율은 단위시멘트량이 증가함에 따라 감소되는 경향을 나타냈다.

2) 콘크리트용 혼화재료로서 고로슬래그분말 및 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트는 플레인 콘크리트와 동일한 슬럼프값을 얻는데 소요되는 고성능 감수제의 첨가량이 플레인 콘크리트 이하로 되어 이들 혼화제의 시공성은 양호하나, 실리카흄이나 왕겨재를 혼입한 콘크리트는 이들의 혼입량이 증가할 수록 플레인 콘크리트와 동일한 슬럼프값을 얻는데 소요되는 고성능 감수제의 첨가량이 대폭 증가되기 때문에 시공성측면에서는 불리한 재료로 판단된다.

3) 실리카흄 및 왕겨재를 혼입한 콘크리트는 재령에 관계없이 그 혼입율이 5~10%에서 최대압축강도가 발현되었고, 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트의 강도는 재령28일까지 그것의 혼입율에 관계없이 플레인 콘크리트보다 저하되나 재령91일의 강도는 그 혼입율이 15%이하일 때 플레인 콘크리트의 값을 초과하여 콘크리트의 장기강도 개선에 기여하며, 또한 고로슬래그분말을 혼입한 콘크리트의 초기강도(σ_3, σ_7)는 그것의 혼입율이 증가할 수록 강도저하현상이 뚜렷하였으나 재령28일의 강도는 그 혼입율이 20~50%에서 플레인 콘크리트의 값을 초과하였으며 재령28일 강도를 기준으로 한 그것의 최적 혼입율은 20~40%로 나타났다.

참고문헌

1. 윤상대, 배수호 : "다짐이 필요없는 콘크리트 개발에 관한 연구(I)", 농어촌진흥공사 농어촌 연구원, 95-05-22, 1995.12
2. 飛板基夫 : "高性能(AE)減水劑を用いた 『高強度・高品質 コンクリート』の 諸性質", セメント・コンクリート, No. 548, pp. 9~18, 1992. 10
3. 飛板基夫 : "高性能(AE)減水劑を用いた 『高強度・高品質 コンクリート』の 諸性質", セメント・コンクリート, No. 548, pp. 9~18, 1992. 11
4. 内川 浩 : "優れた流動性を持つ高強度 コンクリートの キャラタリゼーションと材料設計(その1)", セメント・コンクリート, No. 573, pp. 62~68, 1994. 11
5. 内川 浩 : "優れた流動性を持つ高強度 콘크리트의 캐릭터리제이션과 재료설계(その2)", 세멘트·콘크리트, No. 574, pp. 53~61, 1994. 12
6. 内川 浩 : "優れた流動性を持つ高強度 콘크리트의 캐릭터리제이션과 재료설계(その3)", 세멘트·콘크리트, No. 575, pp. 56~65, 1995. 1
7. P.Kumar Mehta, Paulo J.M. Monteiro :

"CONCRETE", Prentice Hall, 1993.

8. 한국콘크리트학회 : "최신콘크리트공학", 기문당, 1992.