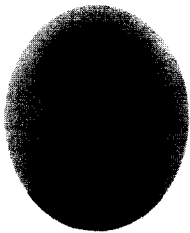
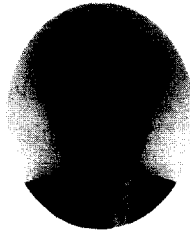

콘크리트용 혼화재의 특성에 관한 실험적 연구

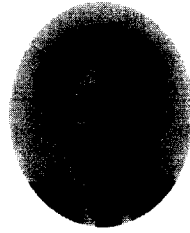
An Experimental Study on the Properties of Admixtures for Concrete



배수호*
Bae, Su-Ho



정영수**
Chung, Young-Soo



박광수***
Park, Kwang-Su



이준구****
Lee, Joon-Gu

ABSTRACT

The purpose of this experimental research is to investigate the properties of workability and strength of the concrete containing admixtures such as silica fume, fly ash, ground granulated blast-furnace slag, and rice husk ash.

For this purpose, the workability and the strength of the concrete containing each admixture were tested and analyzed according to the unit weight of binder and the replacement ratio of each admixture.

As a result, considering their workability and strength, the existence of minimum binder weight and optimum replacement ratio of concrete containing admixture to plain concrete were obtained for each admixture.

Keywords : admixtures, silica fume, fly ash, ground granulated blast-furnace slag, rice husk ash, minimum binder weight, optimum replacement ratio

* 정회원, 안동대학교 토목환경공학과 조교수

** 정회원, 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수

*** 정회원, 농어촌진흥공사 구조지반연구실 수석연구원

**** 정회원, 농어촌진흥공사 구조지반연구실 주임연구원

·본 논문에 대한 토의를 1999년 8월 30일까지 학회로 보내 주시면 1999년 10월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근 구조물이 대형화, 특수화 및 고층화되어 감에 따라 보다 합리적이고 경제적인 구조시스템의 개발이 요구되며, 건설공사의 질적 내용이 고도화, 복잡화되어 감에 따라 콘크리트 성능에 대한 요구가 다양화되고 있다. 또한 사회의식 및 여건변화에 따라 경제성만을 중요시한 종래의 콘크리트 배합개념이 기계화 시공에 적절한 시공성을 가진 고품질 콘크리트의 제조를 위한 배합개념으로 점차 바뀌어 가는 추세에 있다.

따라서 이같은 다양한 요구에 부응키 위해서는 혼화재료의 사용이 필수적인데, 이 혼화재료는 그 특성을 알고 적절히 사용한 경우는 기존의 많은 실적으로부터 그 효과가 명확히 밝혀져 있지만, 그것을 오용하면 오히려 콘크리트에 악영향을 미치는 성질을 갖고 있는 것도 있으므로 혼화재료의 선정 및 사용에 있어서는 각각의 품질이나 효과를 충분히 확인한 후 적절히 사용하여야 할 것이다.

이를 위하여 본 연구에서는 콘크리트의 성능개선을 위한 혼화재료 중 강도증진 및 수화열 저감 목적으로 많이 사용되고 있는 실리카흙, 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말 및 농업부산물인 왕겨재⁽¹⁾를 혼입한 콘크리트에 대해서, 단위결합재량별(300kg/m³, 400kg/m³, 500kg/m³, 600kg/m³)로 이들 각각의 혼입률에 따라서 시공성 및 강도 특성을 분석한 후 각 혼화재의 성능을 발휘할 수 있는 최소 단위결합재량과 콘크리트의 시공성 및 강도특성이 가장 우수한 최적 혼입률 등을 도출하여 이들 혼화재의 활용법에 관한 기본 자료를 제시하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 시중에서 구입한

보통 포틀랜드 시멘트(A사 제품)를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 Physical properties of cement

Specific gravity	Setting time		Fineness (cm/g)	Compressive strength (kgf/cm ²)		
	Initial(min)	Final(h)		σ_3	σ_7	σ_{28}
3.12	228	6-15	3.338	194	219	308

2.1.2 골재

본 연구에 사용된 골재시료로서 잔골재는 남한강(경기 여주)산, 굵은골재는 안성(경기)산을 이용하였으며, 이들의 물리적 성질은 각각 Table 2 및 Table 3과 같다.

Table 2 Physical properties of fine aggregate

Specimen	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (tf/m ³)	Weight of passing No. 200 sieve(%)	F.M.
River sand (Yeojoo)	2.55	1.08	1.558	1.8	2.69

Table 3 Physical properties of coarse aggregate

Specimen	G _{max} (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (tf/m ³)	F.M.	Abra-sion (%)
Crushed stone (Ansung)	20	2.71	0.6	1.551	6.57	28.5

2.1.3 혼화재료

1) 혼화제

본 연구에 사용된 혼화제는 고강도 및 유동화 콘크리트용으로 사용되고 있는 나프탈렌계의 고성능 감수제(표준형, K사)로서 그 품질특성은 Table 4와 같다.

Table 4 Quality properties of chemical admixture

Specific gravity	pH	Solid content (%)	Quantity(%) (Cement weight)	Main component	Re-marks
1.21	8	41	0.2~2.0	Sodium salt of a sulfonate naphthalene	Liquid

2) 혼화재

본 연구에 사용된 혼화재는 강도증진 및 수화열 저감목적으로 많이 사용되고 있는 실리카흙(SF), 플라이애쉬(FA) 및 고로슬래그 미분말(BFS)과 최근 국내에서도 연구가 진행되고 있는 농업부산물인 왕겨재(RHA)로서, 이들의 품질특성은 Table 5와 같다.

Table 5 Quality properties of admixtures

Specimens	Specific gravity	Fineness (cm/g)	Place of production
SF	2.20	200.000	North America
FA	2.17	3.200	ChungNam, Boryung
BFS	2.93	4.500	ChonNam, Kwangyang
RHA	2.06	Mean grain size(D50): 21.6 μ m	Rice at Dongjin were burned by high temperature of 600 $^{\circ}$ C and then milled

2.2 실험방법

콘크리트용 혼화재로서 실리카흙, 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말 및 왕겨재가 갖는 시공성 및 강도특성을 규명하고 단위결합재량별 최적 혼입률을 규명하기 위하여 배합시험을 하였는데, 단위결합재량에 따른 최적 잔골재율은 예비시험에 의하여 결정한 후 그것을 본 배합시험에 이용하였으며, 단위결합재량 300kg/m³, 400kg/m³, 500kg/m³ 및 600kg/m³ 각각에 대한 플레인 콘크리트의 물-결합재비는 목표 슬럼프 21 \pm 2cm를 얻기 위한 단위수량 및 고성능 감수제 첨가량을 구하여 결정하였다. 그러나 단위결합재량 300kg/m³인 경우는 결합재량의 과소로 인한 점성 저하로 목표 슬럼프 21 \pm 2cm를 얻을 수 없기 때문에 그것을 12 \pm 2cm로 하였다.

또한, 예비시험 결과 공기연행 효과가 없는 고성능 감수제를 사용한 콘크리트의 공기량은 2~3% 정도로 나타났기 때문에, 목표 공기량은 2.5 \pm 0.5%로 보고 각 재료량을 계산하였으며, 공기연행 효과가 없는 고성능 감수제는 콘크리트 배합비에 따른 공기량의 변화가 그다지 크지 않다

는 것을 예비시험으로 입증했기 때문에, 배합시험 시 공기량 시험은 수행하지 않았다.

혼화재별 혼입률의 범위는 예비시험을 거쳐 결정하였는데, 즉 실리카흙 및 플라이애쉬는 그것을 0~30%까지 5%씩 변화시켰으며, 왕겨재는 다량 혼입시 시공성의 악화 및 강도 감소로 그것을 0~20%까지 5%씩 변화시켰고, 고로슬래그 미분말은 0~60%까지 10%씩 변화시켰다.

한편, 각 혼화재를 혼입한 콘크리트의 시공성은 물-결합재비를 플레인 콘크리트와 동일하게 하여 목표 슬럼프 21 \pm 2cm를 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량에 따라 평가하였다.

혼화재를 혼입한 콘크리트의 단위결합재량별 최적 혼입률을 결정기 위한 콘크리트 공시체 (ϕ 10 \times 20cm)는 KS F 2403(콘크리트의 강도시험용 공시체 제작 방법)에 따라 제작하였으며, 성형 후 24시간 경과하여 몰드를 제거하고 시험 전까지 20 \pm 3 $^{\circ}$ C의 온도로 습윤양생하였다.

혼화재별 최적 혼입률을 도출시키기 위한 콘크리트의 강도시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 따라 각 재령별($\sigma_3, \sigma_7, \sigma_{28}, \sigma_{91}$)로 하였다.

Table 6~9는 각 혼화재에 대해서 단위결합재량별로 그 혼입률을 변화시킨 콘크리트의 배합표를 나타낸 것이다.

3. 결과분석 및 고찰

3.1 각 혼화재의 시공성

각 혼화재의 시공성을 평가하기 위하여 목표 슬럼프 21 \pm 2cm(단위결합재량 300kg/m³인 경우는 12 \pm 2cm)를 얻기 위한 플레인 콘크리트의 단위수량 및 고성능 감수제 첨가량을 미리 구한 후 그것의 물-결합재비를 결정하였으며, 혼화재를 혼입한 콘크리트는 플레인 콘크리트와 동일배합으로 하여 목표 슬럼프를 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량을 구하여 시공성을 평가하였는데, 그 결과는 Fig.1~4와 같다.

Table 6 Mix proportions of concrete containing SF

Unit weight of binder (kg/m ³)	W/B (%)	Replacement ratio of SF (%)	S/a (%)	Slump (cm)	Targeted air content (%)	Unit weight(kg/m ³)					Super-plasticizer (B×%)
						W	C	SF	S	G	
300	61.1	0	40	11.0	2.5±0.5	183.3	300	0	719	1120	1.2
		5	40	11.0		183.3	285	15	717	1117	2.7
		10	40	12.0		183.3	270	30	715	1114	5.0
		15	40	14.5		183.3	255	45	713	1110	6.1
		20	40	11.5		183.3	240	60	711	1107	6.3
		25	40	11.5		183.3	225	75	709	1104	6.7
		30	40	12.0		183.3	210	90	706	1100	7.0
400	41.7	0	40	19.0	2.5±0.5	166.8	400	0	697	1086	1.2
		5	40	19.0		166.8	380	20	695	1082	2.3
		10	40	21.0		166.8	360	40	692	1078	2.7
		15	40	19.5		166.8	340	60	689	1073	3.4
		20	40	20.5		166.8	320	80	686	1069	3.9
		25	40	19.0		166.8	300	100	683	1064	4.2
		30	40	19.0		166.8	280	120	680	1060	6.0
500	31.3	0	40	19.0	2.5±0.5	156.5	500	0	674	1049	1.2
		5	40	19.5		156.5	475	25	670	1044	2.1
		10	40	19.0		156.5	450	50	667	1038	2.7
		15	40	20.5		156.5	425	75	663	1033	3.3
		20	40	20.0		156.5	400	100	660	1027	4.3
		25	40	19.5		156.5	375	125	656	1022	5.3
		30	40	20.5		156.5	350	150	652	1016	6.3
600	27.8	0	35	22.5	2.5±0.5	166.8	600	0	635	990	1.2
		5	35	23.5		166.8	570	30	631	983	1.9
		10	35	21.8		166.8	540	60	627	976	2.8
		15	35	22.0		166.8	510	90	623	970	4.1
		20	35	20.0		166.8	480	120	618	963	6.1
		25	35	20.0		166.8	450	150	614	957	8.9
		30	35	19.5		166.8	420	180	610	950	11.3

Table 7 Mix proportions of concrete containing FA

Unit weight of binder (kg/m ³)	W/B (%)	Replacement ratio of FA (%)	S/a (%)	Slump (cm)	Targeted air content (%)	Unit weight(kg/m ³)					Super-plasticizer (B×%)
						W	C	FA	S	G	
300	61.1	0	40	11.0	2.5±0.5	183.3	300	0	719	1120	1.2
		5	40	12.0		183.3	285	15	717	1117	3.3
		10	40	12.0		183.3	270	30	715	1113	3.9
		15	40	14.0		183.3	255	45	712	1110	4.4
		20	40	13.0		183.3	240	60	710	1106	5.9
		25	40	13.0		183.3	225	75	708	1103	6.1
		30	40	13.0		183.3	210	90	706	1099	6.7
400	41.7	0	40	19.0	2.5±0.5	166.8	400	0	697	1086	1.2
		5	40	19.0		166.8	380	20	694	1082	3.8
		10	40	19.1		166.8	360	40	692	1077	4.2
		15	40	21.0		166.8	340	60	689	1073	5.0
		20	40	20.0		166.8	320	80	686	1068	5.0
		25	40	21.0		166.8	300	100	683	1063	5.0
		30	40	21.0		166.8	280	120	680	1059	5.4
500	31.3	0	40	19.0	2.5±0.5	156.5	500	0	674	1049	1.2
		5	40	20.0		156.5	475	25	670	1044	1.9
		10	40	21.0		156.5	450	50	666	1038	2.0
		15	40	22.0		156.5	425	75	663	1032	2.3
		20	40	22.0		156.5	400	100	659	1026	2.3
		25	40	22.0		156.5	375	125	656	1021	2.3
		30	40	22.0		156.5	350	150	651	1015	2.3
600	27.8	0	35	22.5	2.5±0.5	166.8	600	0	635	990	1.2
		5	35	22.0		166.8	570	30	631	983	1.4
		10	35	21.0		166.8	540	60	627	976	1.4
		15	35	23.0		166.8	510	90	622	969	1.6
		20	35	23.5		166.8	480	120	618	962	1.6
		25	35	22.0		166.8	450	150	613	955	1.6
		30	35	22.0		166.8	420	180	609	948	1.6

Table 8 Mix proportions of concrete containing RHA

Unit weight of binder (kg/m ³)	W/B (%)	Replacement ratio of RHA (%)	S/a (%)	Slump (cm)	Targeted air content (%)	Unit weight(kg/m ³)					Super-plasticizer (B×%)
						W	C	RHA	S	G	
300	61.1	0	40	11.0	2.5±0.5	183.3	300	0	719	1120	1.2
		5	40	10.5		183.3	285	15	717	1116	2.0
		10	40	11.0		183.3	270	30	714	1112	2.5
		15	40	10.5		183.3	255	45	711	1108	3.1
		20	40	11.0		183.3	240	60	709	1104	3.4
400	41.7	0	40	19.0	2.5+0.5	166.8	400	0	697	1086	1.2
		5	40	19.5		166.8	380	20	694	1081	1.8
		10	40	19.0		166.8	360	40	690	1076	2.3
		15	40	19.0		166.8	340	60	687	1070	3.3
		20	40	19.0		166.8	320	80	684	1065	4.7
500	31.3	0	40	19.0	2.5+0.5	156.5	500	0	674	1049	1.2
		5	40	21.0		156.5	475	25	669	1043	1.7
		10	40	18.5		156.5	450	50	665	1036	3.3
		15	40	19.0		156.5	425	75	661	1029	6.0
		20	40	19.4		156.5	400	100	656	1022	10.0
600	27.8	0	35	22.5	2.5±0.5	166.8	600	0	635	990	1.2
		5	35	19.5		166.8	570	30	630	982	2.3
		10	35	19.0		166.8	540	60	625	973	5.0
		15	35	19.5		166.8	510	90	620	965	7.8
		20	35	19.5		166.8	480	120	615	957	10.2

Table 9 Mix proportions of concrete containing BFS

Unit weight of binder (kg/m ³)	W/B (%)	Replacement ratio of BFS (%)	S/a (%)	Slump (cm)	Targeted air content (%)	Unit weight(kg/m ³)					Super-plasticizer (B×%)
						W	C	BFS	S	G	
300	61.1	0	40	11.0	2.5±0.5	183.3	300	0	719	1120	1.2
		10	40	13.5		183.3	270	30	718	1119	2.2
		20	40	14.0		183.3	240	60	718	1118	4.1
		30	40	12.0		183.3	210	90	717	1117	4.4
		40	40	12.0		183.3	180	120	716	1116	5.2
		50	40	12.5		183.3	150	150	716	1115	5.6
		60	40	12.5		183.3	120	180	715	1114	7.2
400	41.7	0	40	19.0	2.5±0.5	166.8	400	0	697	1086	1.2
		10	40	19.4		166.8	360	40	696	1085	2.5
		20	40	19.5		166.8	320	80	696	1083	3.3
		30	40	19.0		166.8	280	120	695	1082	4.6
		40	40	21.0		166.8	240	160	694	1080	5.4
		50	40	22.0		166.8	200	200	693	1079	5.8
		60	40	21.0		166.8	160	240	693	1078	5.8
500	31.3	0	40	19.0	2.5±0.5	156.5	500	0	674	1049	1.2
		10	40	23.0		156.5	450	50	672	1048	1.3
		20	40	22.0		156.5	400	100	671	1046	1.3
		30	40	23.0		156.5	350	150	670	1044	1.3
		40	40	22.0		156.5	300	200	669	1042	1.3
		50	40	22.0		156.5	250	250	668	1040	1.3
		60	40	21.0		156.5	200	300	667	1038	1.7
600	27.8	0	35	22.5	2.5±0.5	166.8	600	0	635	990	1.2
		10	35	23.0		166.8	540	60	634	987	1.4
		20	35	22.0		166.8	480	120	633	985	1.3
		30	35	22.0		166.8	420	180	631	983	1.3
		40	35	22.0		166.8	360	240	630	981	1.6
		50	35	23.0		166.8	300	300	628	979	1.6
		60	35	23.0		166.8	240	360	627	976	1.6

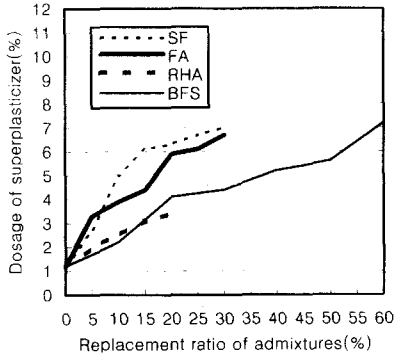


Fig.1 Dosage of superplasticizer with replacement ratio of admixtures($B=300\text{kg/m}^3$)

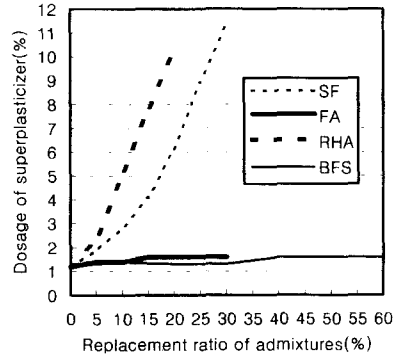


Fig.4 Dosage of superplasticizer with replacement ratio of admixtures($B=600\text{kg/m}^3$)

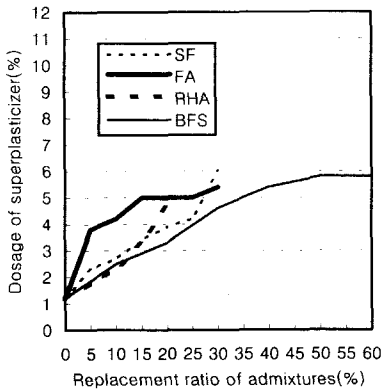


Fig.2 Dosage of superplasticizer with replacement ratio of admixtures($B=400\text{kg/m}^3$)

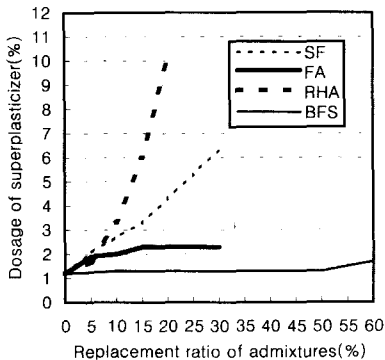


Fig.3 Dosage of superplasticizer with replacement ratio of admixtures($B=500\text{kg/m}^3$)

단위결합재량이 300kg/m^3 일 때 본 연구에 사용된 모든 혼화재는 그 혼입률이 증가할수록 시공성이 저하되었으며, 이때 왕겨재 및 고로슬래그 미분말을 혼입한 경우가 실리카흙 및 플라이애쉬를 혼입한 경우보다 시공성이 양호한 것으로 나타났다.

단위결합재량이 400kg/m^3 인 경우는 그것이 300kg/m^3 인 경우와 거의 동일한 경향의 시공성을 나타내었으나, 목표 슬럼프를 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량이 감소되어 시공성이 약간 개선되는 것으로 나타났다.

단위결합재량이 500kg/m^3 및 600kg/m^3 인 경우는 혼화재별 특성이 뚜렷히 나타났으며, 또한 이 경우는 결합재량에 관계없이 동일한 경향의 시공성을 나타냈는데, 즉 실리카흙 및 왕겨재의 경우는 이들의 혼입률이 증가할수록 시공성이 급격히 저하되었으며, 특히 왕겨재의 경우 그 정도가 더욱 심하게 나타났는데, 이것은 왕겨재의 입자구조⁽¹⁾가 모가 나있거나 각주형으로 되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말의 경우는 매우 양호한 시공성을 나타냈는데, 이것은 이들의 입자구조가 구형에 가깝기 때문인 것으로 판단되며, 고로슬래그 미분말의 경우는 목표 슬럼프를 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량이 거의 플레인 콘크리트와 동일하게 되어 본 연구에 사용된 혼화재 중 가장 시공성이

양호한 것으로 나타났다.

따라서 콘크리트의 시공성 측면에서는 단위결합재량 500kg/m³부터 혼화재별 차이가 뚜렷히 나타났다.

3.2 각 혼화재의 강도특성

3.2.1 각 혼화재의 단위결합재량별 압축강도

1) 실리카흙

Table 10은 단위결합재량별로 실리카흙을 혼입한 콘크리트의 재령별 압축강도를 나타낸 것으로, 단위결합재량이 300kg/m³일 때 플레인 콘크리트에 대한 실리카흙 혼입 콘크리트의 재령 28일 강도비는 0.55~0.80으로, 혼화재를 사용함으로써 오히려 강도가 감소되어 실리카흙 혼입효과가 전혀 없는 것으로 나타났다. 따라서 상업적 혼화재 중 강도증진 효과가 가장 우수한 실리카흙도 콘크리트의 강도증진에 기여할 수 있는 최소 단위결합재량(300~400kg/m³ 사이)이 존재하는 것으로 나타났다.

단위결합재량이 400kg/m³, 500kg/m³ 및 600kg/m³인 경우 플레인 콘크리트에 대한 실리카흙 혼입 콘크리트의 강도비는 각각 1.02~1.22, 0.81~1.18, 0.77~1.13으로 나타나, 실리카흙 혼입효과가 가장 높은 단위결합재량은 400kg/m³ 및 500kg/m³으로 나타났다.

2) 플라이애쉬

Table 11은 단위결합재량별로 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트의 재령별 압축강도를 나타낸 것인데, 콘크리트용 혼화재로서 플라이애쉬는 장기강도 개선에 효과적이기 때문에, 본 연구에서도 재령 91일의 장기강도를 분석하였다. 즉, 단위결합재량이 300kg/m³ 및 400kg/m³일 때 플레인 콘크리트에 대한 플라이애쉬 혼입 콘크리트의 강도비는 각각 0.49~0.72, 0.87~0.96으로 나타나, 플라이애쉬도 전술한 실리카흙의 경우와 마찬가지로 장기강도(재령 91일) 증진에 기여할 수 있는 최소 단위결합재량(400~500kg/m³ 사이)이 존재하는 것으로 나타났다.

또한 단위결합재량 500kg/m³ 및 600kg/m³인 경우는 플레인 콘크리트에 대한 강도비가 각각 0.97~1.35, 0.96~1.18로 나타나, 플라이애쉬는 단위결합재량 500kg/m³ 및 600kg/m³에서 장기강도 증진 효과가 매우 높은 것으로 나타났다.

3) 왕겨재

Table 12는 단위결합재량별로 왕겨재를 혼입한 콘크리트의 재령별 압축강도를 나타낸 것으로, 콘크리트용 혼화재로서 왕겨재의 특성은 실리카흙의 특성과 매우 유사한 것으로 나타났는데, 이것은 왕겨재의 화학성분⁽¹⁾ 중 SiO₂가 90% 이상으로 실리카흙의 화학성분과 유사하기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 단위결합재량이 300kg/m³일 때 플레인 콘크리트에 대한 왕겨재 혼입 콘크리트의 재령 28일의 강도비는 0.72~0.79로, 왕겨재도 강도증진 효과를 발휘할 수 있는 최소 단위결합재량(300~400kg/m³ 사이)이 존재하는 것으로 나타났다.

단위결합재량이 400kg/m³, 500kg/m³ 및 600kg/m³인 경우 플레인 콘크리트에 대한 왕겨재 혼입 콘크리트의 강도비는 각각 0.90~1.20, 0.77~1.12, 0.82~1.11로 나타나, 왕겨재의 혼입효과가 가장 높은 단위결합재량은 400kg/m³으로 나타났다.

4) 고로슬래그 미분말

Table 13은 단위결합재량별로 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 재령별 압축강도를 나타낸 것으로, 단위결합재량이 300kg/m³일 때 플레인 콘크리트에 대한 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 재령 28일 강도비는 0.41~0.69로, 강도가 크게 감소하기 때문에 고로슬래그 미분말의 경우도 강도증진 효과를 발휘할 수 있는 최소 단위결합재량(300~400kg/m³ 사이)이 존재하는 것으로 나타났다.

단위결합재량이 400kg/m³, 500kg/m³ 및 600kg/m³인 경우 플레인 콘크리트에 대한 강도비는 각각 0.85~1.13, 1.06~1.18, 0.89~1.12로 나타나, 고로슬래그 미분말의 효과가 가장 높은

Table 10 Compressive strength of concrete containing SF

Unit weight of binder (kg/m ³)	W/B (%)	Replacement ratio of SF (%)	Compressive strength(kgf/cm ²)			
			σ_{33}	σ_7	σ_{28}	σ_{91}
300	61.1	0	97	165	264(1.00)	272
		5	55	88	144(0.55)	176
		10	59	102	183(0.69)	195
		15	88	134	211(0.80)	237
		20	64	102	177(0.67)	198
		25	55	92	179(0.68)	201
		30	50	91	175(0.66)	200
400	41.7	0	149	187	308(1.00)	325
		5	160	195	314(1.02)	315
		10	259	295	375(1.22)	433
		15	242	275	352(1.14)	354
		20	234	275	331(1.07)	385
		25	222	264	330(1.07)	386
		30	173	226	321(1.04)	387
500	31.3	0	297	353	421(1.00)	427
		5	396	439	495(1.18)	574
		10	393	431	462(1.10)	531
		15	396	415	437(1.04)	523
		20	306	371	436(1.04)	497
		25	273	333	402(0.95)	488
		30	231	326	341(0.81)	446
600	27.8	0	441	497	546(1.00)	552
		5	442	518	572(1.05)	643
		10	452	547	616(1.13)	640
		15	432	506	561(1.03)	562
		20	376	457	527(0.97)	529
		25	319	371	452(0.83)	517
		30	252	315	422(0.77)	525

() : Compressive strength ratio of concrete containing SF to plain concrete

Table 12 Compressive strength of concrete containing RHA

Unit weight of binder (kg/m ³)	W/B (%)	Replacement ratio of RHA (%)	Compressive strength(kgf/cm ²)			
			σ_{33}	σ_7	σ_{28}	σ_{91}
300	61.1	0	97	165	264(1.00)	272
		5	67	114	201(0.76)	220
		10	81	107	209(0.79)	231
		15	45	108	191(0.72)	205
		20	35	76	194(0.73)	198
		0	149	187	308(1.00)	325
		5	222	260	363(1.18)	370
400	41.7	10	233	264	370(1.20)	377
		15	165	223	287(0.93)	360
		20	134	187	278(0.90)	320
		0	297	353	427(1.00)	427
		5	293	366	433(1.03)	452
		10	300	409	470(1.12)	510
		15	231	290	385(0.91)	433
500	31.3	20	210	245	325(0.77)	343
		0	441	497	546(1.00)	552
		5	431	549	607(1.11)	740
		10	413	482	561(1.03)	590
		15	344	441	510(0.93)	562
		20	289	341	446(0.82)	449

() : Compressive strength ratio of concrete containing RHA to plain concrete

Table 11 Compressive strength of concrete containing FA

Unit weight of binder (kg/m ³)	W/B (%)	Replacement ratio of FA (%)	Compressive strength(kgf/cm ²)			
			σ_{33}	σ_7	σ_{28}	σ_{91}
300	61.1	0	97	165	264	272(1.00)
		5	89	101	176	182(0.67)
		10	100	109	193	196(0.72)
		15	91	98	177	192(0.71)
		20	58	87	163	170(0.63)
		25	46	66	121	135(0.50)
		30	42	63	110	134(0.49)
400	41.7	0	149	187	308	325(1.00)
		5	130	189	297	298(0.92)
		10	132	191	296	301(0.93)
		15	145	212	305	311(0.96)
		20	140	206	292	297(0.91)
		25	130	188	262	283(0.87)
		30	111	178	226	286(0.88)
500	31.3	0	297	353	421	427(1.00)
		5	264	298	405	469(1.10)
		10	306	336	422	575(1.35)
		15	283	318	411	512(1.20)
		20	220	303	399	469(1.10)
		25	201	290	392	420(0.98)
		30	180	238	374	416(0.97)
600	27.8	0	441	497	546	552(1.00)
		5	431	495	567	649(1.18)
		10	395	451	517	641(1.16)
		15	351	437	501	587(1.06)
		20	349	427	506	565(1.02)
		25	323	385	411	565(1.02)
		30	277	392	411	532(0.96)

() : Compressive strength ratio of concrete containing FA to plain concrete

Table 13 Compressive strength of concrete containing BFS

Unit weight of binder (kg/m ³)	W/B (%)	Replacement ratio of BFS (%)	Compressive strength(kgf/cm ²)			
			σ_{33}	σ_7	σ_{28}	σ_{91}
300	61.1	0	97	165	264(1.00)	272
		10	87	106	163(0.62)	192
		20	89	95	165(0.63)	204
		30	109	133	182(0.69)	231
		40	77	94	155(0.59)	203
		50	63	96	142(0.54)	159
		60	41	74	109(0.41)	156
400	41.7	0	149	187	308(1.00)	325
		10	183	265	321(1.04)	357
		20	222	293	348(1.13)	389
		30	220	273	312(1.01)	359
		40	204	234	264(0.86)	351
		50	198	249	262(0.85)	322
		60	182	233	262(0.85)	318
500	31.3	0	297	353	421(1.00)	427
		10	336	354	490(1.16)	492
		20	352	388	495(1.18)	543
		30	364	392	484(1.15)	552
		40	369	385	491(1.17)	530
		50	326	376	462(1.10)	471
		60	231	376	448(1.06)	462
600	27.8	0	441	497	546(1.00)	552
		10	460	523	611(1.12)	612
		20	462	518	585(1.07)	590
		30	451	526	587(1.08)	588
		40	413	469	534(0.98)	549
		50	395	451	520(0.95)	522
		60	398	432	486(0.89)	560

() : Compressive strength ratio of concrete containing BFS to plain concrete

단위결합재량은 500kg/m³으로 나타났다.

3.2.2 각 혼화제의 최적 혼입률

Fig.5~8은 실리카흙, 왕겨재 및 고로슬래그 미분말의 경우는 재령 28일의 강도를, 플라이애쉬의 경우는 그 특성상 재령 91일의 장기강도를 기준으로 하여, 이들 각각을 혼입한 콘크리트의 단위결합재량별 압축강도를 나타낸 것이다. 본 연구에 사용된 모든 혼화제는 단위결합재량 300 kg/m³일 때는 강도증진 효과가 없으므로 이를 무시하면, 실리카흙의 경우 최대 압축강도를 발휘하는 최적 혼입률은 5~10%로 나타났으며, 플라이애쉬의 경우 그것은 5~15%로 나타났다.

왕겨재의 경우 최대 압축강도를 발휘하는 최적 혼입률은 5~10%로 나타났으며, 고로슬래그 미분말의 경우 그것은 10~20%로 나타났는데, 특히 단위결합재량 500kg/m³인 경우는 각 혼입률 (10~60%)마다 플레인 콘크리트의 강도를 초과 하였으며, 또한 고로슬래그 미분말은 단위결합재량 400kg/m³, 500kg/m³ 및 600kg/m³인 경우 결합재량에 관계없이 그 혼입률이 60%일 때도 플레인 콘크리트에 대한 강도비가 최소 0.85 이상으로 매우 양호한 강도특성을 나타냈다. 따라서 금후 강도증진 및 수화열 저감목적의 혼화제 사용시 시공성, 강도특성 및 경제성 측면에서 고로슬래그 미분말이 각광받을 것으로 판단된다.

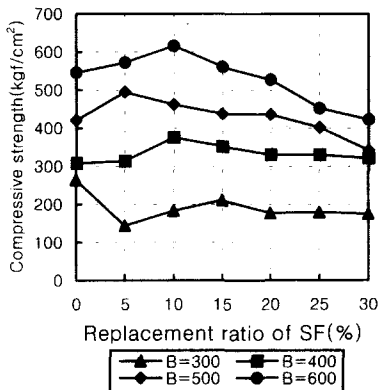


Fig.5 28-day compressive strength with replacement ratio of SF

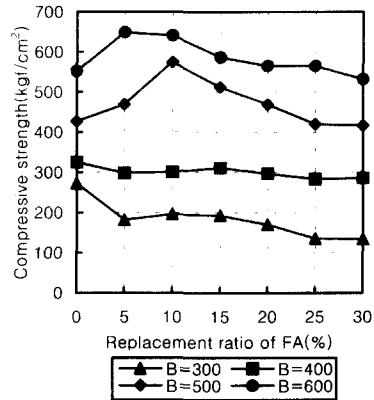


Fig.6 91-day compressive strength with replacement ratio of FA

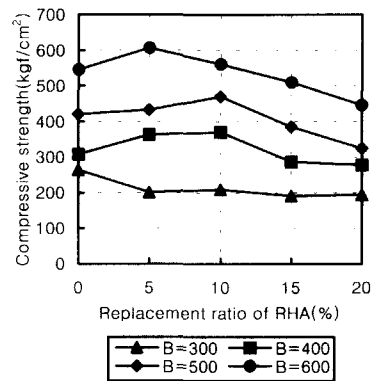


Fig.7 28-day compressive strength with replacement ratio of RHA

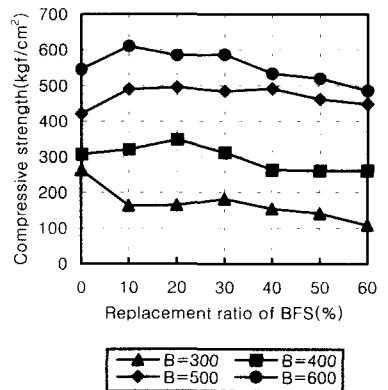


Fig.8 28-day compressive strength with replacement ratio of BFS

4. 결 론

콘크리트의 강도증진 및 수화열 저감목적을 위한 혼화제로서 실리카흙, 플라이애쉬, 왕겨재 및 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 시공성 및 강도특성에 관한 실험연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 단위결합재량이 300kg/m³ 및 400kg/m³인 경우 본 연구에 사용된 모든 혼화제는 그 혼입률이 증가할수록 시공성이 저하되었으며, 단위결합재량 400kg/m³인 경우가 300kg/m³인 경우보다 목표 슬럼프를 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량이 감소되어 시공성이 약간 개선되는 것으로 나타났다.

또한, 단위결합재량이 500kg/m³ 및 600kg/m³일 때, 실리카흙 및 왕겨재의 경우 이들의 혼입률이 증가할수록 시공성이 급격히 저하되었으며, 특히 왕겨재의 경우 그 정도가 더욱 심하게 나타났다. 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말의 경우는 매우 양호한 시공성을 나타냈는데, 특히 고로슬래그 미분말의 경우는 목표 슬럼프를 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량이 거의 플레인 콘크리트와 동일하게 되어, 본 연구에 사용된 혼화제 중 시공성이 가장 양호한 것으로 나타났다.

2) 본 연구에 사용된 혼화제 중 실리카흙, 왕겨재 및 고로슬래그 미분말은 재령 28일 강도를, 플라이애쉬는 그 특성상 재령 91일의 장기강도를 기준으로 하였을 때, 강도증진 효과가 나타나는 최소 단위결합재량이 존재하였는데, 실리카흙, 왕겨재 및 고로슬래그 미분말의 경우 그것은 300~400kg/m³ 사이에, 플라이애쉬의 경우 그것은 400~500kg/m³ 사이에 있는 것으로 나타났다.

3) 단위결합재량이 300~600kg/m³인 경우 실리카흙, 왕겨재 및 고로슬래그 미분말은 재령 28일의 강도를, 플라이애쉬는 재령 91일의 장기강도를 기준으로 하였을 때, 강도증진 효과가 가장 높은 단위결합재량이 혼화제별로 다르게 나타

났는데, 실리카흙의 경우 그것은 400kg/m³ 및 500kg/m³, 플라이애쉬의 경우는 500kg/m³ 및 600kg/m³, 왕겨재의 경우는 400kg/m³, 고로슬래그 미분말의 경우는 500kg/m³으로 나타났다.

4) 단위결합재량이 300~600kg/m³의 경우 중, 300kg/m³인 경우는 강도증진 효과가 없으므로 이를 무시하면, 재령 28일의 강도를 기준으로 하였을 때, 최대 압축강도를 발휘하는 최적 혼입률은 실리카흙 및 왕겨재의 경우 5~10%로 나타났으며, 플라이애쉬의 경우 재령 91일의 장기강도를 기준으로 하였을 때, 그것은 5~15%로 나타났다.

한편, 고로슬래그 미분말의 경우 최대 압축강도를 발휘하는 최적 혼입률은 10~20%로 나타났으며, 또한 그것의 혼입률이 60%인 경우도 플레인 콘크리트에 대한 강도비가 최소 0.85이상으로 매우 양호한 강도특성을 나타내어, 금후 강도증진 및 수화열 저감목적의 혼화제 사용시 시공성, 강도특성 및 경제성 측면에서 고로슬래그 미분말이 각광받을 것으로 판단된다.

5) 본 연구실험은 콘크리트의 강도증진 및 수화열 저감목적으로 사용되는 각종 혼화제의 시공성 및 강도특성을 실험·분석한 것으로, 금후 이들 혼화제의 선정·사용시에 요구되는 유용한 자료를 제공키 위해서는 이들의 동결융해시험 및 중성화시험이 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 윤상대, 박광수, 이준구, “콘크리트용 혼화제로써 왕겨활용에 관한 연구(Ⅲ)”, 농어촌진흥공사, 농어촌연구원, 1997.11.
2. 윤상대, 박광수, 이준구, “다짐이 필요없는 콘크리트 개발에 관한 연구”, 농어촌진흥공사, 농어촌연구원, 1997.12.
3. 배수호, 윤상대, 박광수, 신의균, “혼화제를 혼입한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구”, 한

- 국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제8권 1호, 1996.5, pp.89-94
4. 배수호, 윤상대, 박광수, 신의균, “왕겨재를 혼입한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제8권 2호, 1996.11, pp.70-76
 5. 배수호, 윤상대, 정영수, 김영의, “고성능 감수제를 사용한 콘크리트의 품질특성에 관한 연구”, 한국콘크리트학회, Vol.6, No.6, 1994.12, pp.135-142
 6. 杉田修一・庄谷征美, “ポズラン材としてのもみから灰の有効利用に關する基礎的研究”, 土木學會論文集, 1995.11, pp.43-52
 7. 杉田修一, “無駄から價値への轉換”, セメント・コンクリート, No.550, 1992.12, pp.36-38
 8. 笠井芳夫, 小林正儿, “セメント・コンクリート用混和材料”, 1986, pp.17-126
 9. 한국콘크리트학회, “콘크리트 혼화재료”, 1997, pp.159-233
 10. 농어촌진흥공사, “농공기술”, No.55, 1997. 6, pp.41-59
 11. P.Kumar Metha, Paulo J.M. Monteiro, “CONCRETE”, Prentice Hall, 1993 pp.271 -289
 12. 한국콘크리트학회, “최신콘크리트공학”, 1992 pp.144-161
 13. 박승범, “최신토목재료학”, 1998, pp.92 -107
 14. 건설교통부, “콘크리트 표준시방서”, 1996.5.

요 약

콘크리트의 품질확보와 문제점 해결방안으로서 20세기 전반까지는 주로 시멘트의 종류를 달리하는 경우가 많았으나, 그 후반기부터는 각종 혼화재료를 사용하여 콘크리트의 결점을 보완하고 각종 요구성능에 부응하는 다양한 품질의 콘크리트를 제조하고 있다. 따라서 이같은 다양한 요구에 부응키 위해서는 혼화재료의 사용이 필수적이므로 본 연구에서는 강도증진 및 수화열 저감목적으로 많이 사용되고 있는 실리카흄, 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말 및 농업부산물인 왕겨재의 특성을 규명키 위하여 이들을 혼입한 콘크리트에 대해서 단위결합재량별(300~600kg/m³)로 이들 각각의 혼입률에 따라서 시공성 및 강도특성을 분석한 후 각 혼화제의 성능을 발휘할 수 있는 최소 결합재량과 시공성 및 강도특성이 가장 우수한 최적 혼입률 등을 도출하였다.

(접수일자 : 1998.9.14)