

콘크리트용 혼화재의 특성에 관한 실험적연구

An Experimental Study on the Characteristics of Admixtures for Concrete

이준구* 윤상대** 최광선*** 김명원*
Lee, Joon Gu Youn, Sang Dai Choi, Kwang Sun Kim, Mounng Won

Abstract

This Study was performed to investigate the characteristics of workability and strength of the concrete containing admixtures such as silica fume, fly ash, 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 optimum replacement ratio of them to plain concrete were obtained for each admixture.

1. 서 론

콘크리트가 인류 문명의 발전에 대단한 기여를 해옴은 어느 누구도 부인할 수 없다. 1824년 Josef Aspdin이 포틀랜드 시멘트를 발명하고, 1867년 Josef Monier에 의하여 철근콘크리트 부재가 탄생된 이후 철근콘크리트 구조는 크게 발전하여 현대 구조물의 주류를 형성하게 되었고 1960년대에 들어 고강도 콘크리트를 사용한 철근콘크리트 구조물이 나타났으며, 북미의 경우 1960년대에 군사적 필요성에 의해 약 500~700kgf/cm² 강도의 콘크리트를 지하 군용 시설물, 미사일 격납구조물, 활주로 등에 사용하였고, 1970년 이후부터는 건물기둥, 교량상부구조, 댐 여수토 방수로, 해양구조물, 폐기물 저장 시설 등에 고강도 콘크리트를 사용하고 있다. 근래에는 프리캐스트제품에도 고강도 콘크리트를 적용하고 있으며, 독일에서는 고속전철교량의 상부구조에 800kgf/cm²의 초고강도 콘크리트의 적용을 계획

* 농어촌진흥공사 농공기술연구소 연구원
** 농어촌진흥공사 농공기술연구소 수석연구원
*** 농어촌진흥공사 농공기술연구소 책임연구원

하고 있다.

이와 같이 콘크리트가 고강도화 추세로 되어 감에 따라 혼화재료의 사용이 필수적이며, 이들에 대한 활발한 연구의 필요성이 대두되고 있다. 한편 경제성만을 중요시한 종래의 콘크리트 배합개념이 사회 의식 및 여건 변화에 따라 변화되어 기계화 시공에 적절한 시공성을 가진 고품질 콘크리트의 제조를 위한 배합개념으로 점차 바뀌어 가는 추세에 있다.

따라서 이같은 사회적 변화요구에 부응하는 고품질 콘크리트를 제조키 위해서는 혼화재료의 사용이 필수적임은 물론 그 대상구조물에 따라 다르게 마련인 목표강도, 목표시공성, 목표내구성에 적합한 콘크리트를 경제적으로 축조하는 것이 기본이라 할 수 있다.

이를 위하여 본 연구에서는 콘크리트의 성능개선을 위한 혼화재료 중 강도증진 및 수화열 저감목적으로 많이 사용되고 있는 실리카흙, 플라이애쉬, 고로슬래그분말 및 농업부산물인 왕겨재를 혼입한 콘크리트에 대하여, 단위결합재량별(300kg/m³, 400kg/m³, 500kg/m³, 600kg/m³)로 이들 각각의 혼입율에 따라 시공성 및 강도특성을 비교분석하였다. 그 결과 본 연구에 사용된 각각의 혼화재는 단위결합재량별로 시공성 및 강도특성이 가장 우수한 최적혼입율이 혼화재별로 존재함을 알아냈다.

2. 시험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

시멘트는 시중에서 구입한 보통 포틀랜드 시멘트(A사 제품)를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 1과 같다.

2.1.2 골재

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

2.1.3 혼화재료

1) 혼화제

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

2) 혼화재

본 연구에 사용된 혼화재의 품질특성은 표 5와 같다.

표 1 시멘트의 물리적 성질

시멘트 종류	비중	응결시간		분말도 (cm, g)	압축강도 (kgf/cm ²)		
		초결 (min)	종결 (hr)		σ_5	σ_7	σ_{28}
보통 포틀랜드	3.12	228	6.15	3.338	194	219	308

표 2 잔골재의 물리적 성질

항목 시료	비중	흡수율 (%)	단위용 적중량 (t/m ³)	200번 체 통과량 (%)	조립율
하천사 (여주)	2.55	1.08	1.558	1.8	2.69

표 3 굵은골재의 물리적 성질

항목 시료	굵은골재 최대치수 (mm)	비중	흡수율 (%)	단위용 적중량 (t/m ³)	조립 율	마모 율 (%)
부순돌 (안성)	19	2.71	0.6	1.551	6.57	28.5

표 4 화학혼화제의 품질특성

비중	PH	고형분 (%)	표준사용량 (%) (시멘트중량비)	주성분	비고
1.21	8	41	0.2~2.0	Sodium salt of a sulfonate naphthalene	액상

표 5 혼화제의 품질특성

혼화제 종류	비중	분말도(cm ² /g)	비 고
실리카흙	2.20	200,000	북아메리카산
플라이애쉬	2.17	3,200	보령화력발전소산
고로슬래그분말	2.93	4,500	광양쌍용고로슬래그공장
왕겨재	2.06	21.6* (*D50:유효입경)	동진벼 왕겨를 연소로에 의해 고온(600℃)소각 후, 분쇄

2.2 시험방법

2.2.1 공시체 제작

콘크리트용 혼화제로서 실리카흙, 플라이애쉬, 고로슬래그 분말 및 왕겨재가 갖는 강도특성 및 시공성을 규명하고 단위결합재량별 최적혼입율을 규명하기 위하여 배합시험을 하였는데, 단위시멘트량에 따른 최적잔골재율은 예비시험에 의하여 결정한 후 그것을 본 배합시험에 이용하였으며, 단위결합재량 300kg/m³, 400kg/m³, 500kg/m³, 600kg/m³ 각각에 대한 플레인 콘크리트의 물-결합재비는 목표슬럼프 21±2cm를 얻기 위한 고성능감수제 첨가량 및 단위수량을 구하여 결정하였다.

한편, 각 혼화제를 혼입한 콘크리트의 시공성은 물-결합재비를 플레인 콘크리트와 동일하게 하여 목표슬럼프 21±2cm를 얻기 위한 고성능감수제 첨가량에 따라 평가하였다.

혼화제를 혼입한 콘크리트의 단위결합재량별 최적혼입율을 결정하기 위한 콘크리트 공시체(10×20cm)는 KS F 2403(콘크리트의 강도시험용 공시체 제작 방법)에 따라 제작하였으며, 성형후 24시간 경과하여 몰드를 제거하고 시험전까지 20±3℃의 온도로 습윤양생하였다.

표 6.은 각 혼화제를 혼입한 콘크리트의 배합표를 나타낸 것이다.

2.2.2 시험방법

각 혼화제를 혼입한 콘크리트의 강도특성을 분석키 위한 압축강도 시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 따라 각 재령별($\sigma_3, \sigma_7, \sigma_{28}, \sigma_{91}$)로 하였다.

3. 결과분석 및 고찰

3.1 각 혼화제 혼입율에 따른 강도특성

각 혼화제 혼입율에 따른 압축강도시험결과는 표 7과 같고, 단위결합재량별로 플레인 콘크리트에

표 6 각 혼화재를 혼입한 콘크리트의 배합표

단위결합재량 (kg/m ³)	물-결합재 비(%)	혼화재혼입 율(%)	슬럼프 (cm)	잔골재율 (%)	단위량(kg/m ³)						
					물	시멘트	혼화재	잔골재	굵은골재	감수제(BX%)	
기 준 배 합	300	61.1	0	11.0	40	183.3	300	0	719	1120	1.24
	400	41.7	0	18.0	40	166.8	400	0	697	1086	1.24
	500	31.3	0	19.0	40	156.5	500	0	674	1049	1.24
	600	27.8	0	22.5	35	166.8	600	0	635	990	1.24
실 리 카 흙	400	41.7	10	21.0	40	166.8	360	40	692	1078	2.66
	400	41.7	15	19.5	40	166.8	340	60	689	1073	3.41
	500	31.3	5	19.5	40	156.5	475	25	670	1045	2.06
	500	31.3	10	19.0	40	156.5	450	50	667	1038	2.73
	600	27.8	5	23.5	35	166.8	570	30	631	983	1.88
	600	27.8	10	21.8	35	166.8	540	60	627	976	2.77
플 라 이 애 쉬	400	41.7	5	17.0	40	166.8	380	20	694	1082	3.75
	400	41.7	10	18.0	40	166.8	360	40	692	1077	4.16
	400	41.7	15	21.0	40	166.8	340	60	689	1073	5.00
	500	31.3	10	21.0	40	156.5	450	50	666	1038	2.00
	500	31.3	15	22.0	40	156.5	425	75	663	1032	2.33
	600	27.8	5	22.0	35	166.8	570	30	631	983	1.38
고 로 슬 래 그	400	41.7	10	21.0	35	166.8	540	60	627	976	1.38
	400	41.7	10	19.0	40	166.8	360	40	696	1085	2.50
	400	41.7	20	19.0	40	166.8	320	80	696	1083	3.33
	500	31.3	10	23.0	40	156.5	450	50	672	1048	1.33
	500	31.3	20	22.0	40	156.5	400	100	671	1046	1.33
	600	27.8	10	23.0	35	166.8	540	60	634	987	1.38
양 겨 재	600	27.8	20	22.0	35	166.8	480	120	633	985	1.27
	600	27.8	30	22.0	35	166.8	420	180	631	983	1.27
	400	41.7	5	18.5	40	166.8	380	20	694	1081	1.83
	400	41.7	10	18.0	40	166.8	360	40	690	1076	2.32
	500	31.3	5	21.0	40	156.5	475	25	669	1043	1.74
	500	31.3	10	17.5	40	156.5	450	50	665	1046	3.33
600	27.8	5	19.5	35	166.8	570	30	630	982	2.27	
	27.8	10	16.0	35	166.8	540	60	625	973	5.00	

대한 각각의 혼화재를 혼입한 콘크리트의 혼입율별 강도비는 그림 1과 같다.

3.1.1 실리카흙

실리카흙을 혼입한 콘크리트는 단위결합재량이 300kg/m³일때는 오히려 플레인 콘크리트보다 강도가 저하되며, 그것이 400kg/m³, 500kg/m³, 600kg/m³에서 최대압축강도를 발휘시키는 실리카흙의 혼입율은 각각 10%, 5%, 10%로 나타났고, 이때의 강도는 플레인 콘크리트의 약 1.2배로 되었다.

3.1.2 플라이애쉬

플라이애쉬를 혼입한 콘크리트는 단위결합재량에 관계없이 재령28일의 강도는 기존의 연구결과와 같이 플레인콘크리트보다 저하되나, 단위결합재량이 600kg/m³일 때 그 혼입율이 5%인경우는 플레인 콘크리트의 강도를 초과한 것으로 나타났는데 이는 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트는 초·중기 강도 저하된다는 기존의 연구결과와 상반되므로 급후 확인실험이 필요한 것으로 판단된다.

3.1.3 고로슬래그 분말

고로슬래그분말을 혼입한 콘크리트는 단위결합재량이 300kg/m³일때는 플레인 콘크리트보다 강도

표 7 콘크리트의 강도시험 결과

	단위 결합재량 (kg/m ³)	혼화재 혼입율	고성능감수제 첨가량(B×%)	압축강도 (kgf/cm ²)			단위 결합재량 (kg/m ³)	혼화재 혼입율	고성능감수제 첨가량(B×%)	압축강도 (kgf/cm ²)		
				σ_3	σ_7	σ_{28}				σ_3	σ_7	σ_{28}
실리카흙	300	5	2.66	55	88	144	400	5	2.33	160	195	314
		10	5.00	59	102	183		10	2.66	259	295	375
		15	6.11	88	134	211		15	3.41	242	275	352
		20	6.33	64	102	177		20	3.91	234	275	331
		25	6.66	55	92	179		25	4.16	222	264	330
		30	7.00	50	91	175		30	6.25	173	226	321
	500	5	2.06	396	439	495	600	5	1.88	442	518	572
		10	2.73	393	431	462		10	2.77	452	547	616
		15	3.33	396	415	437		15	4.14	432	506	561
		20	4.33	306	371	436		20	6.05	376	457	527
		25	5.33	273	333	402		25	8.88	319	371	452
		30	6.33	231	326	341		30	11.3	252	315	422
플라이애쉬	300	5	3.33	89	101	176	400	5	3.75	130	189	297
		10	3.88	100	109	193		10	4.16	132	191	296
		15	4.44	91	98	177		15	5.00	145	212	305
		20	5.88	58	87	163		20	5.00	140	206	292
		25	6.11	46	66	121		25	5.00	130	188	262
		30	6.66	42	63	110		30	5.41	111	178	226
	500	5	1.86	264	298	405	600	5	1.38	431	495	567
		10	2.00	306	336	422		10	1.38	395	451	517
		15	2.33	283	318	411		15	1.61	351	437	501
		20	2.33	220	303	399		20	1.61	349	427	506
		25	2.33	201	290	392		25	1.61	323	385	411
		30	2.33	180	238	374		30	1.61	277	392	411
고로슬래그	300	10	2.22	87	106	163	400	10	2.50	183	265	321
		20	4.11	89	95	165		20	3.33	222	293	348
		30	4.44	109	133	182		30	4.58	220	273	312
		40	5.22	77	94	155		40	5.41	204	234	264
		50	5.55	63	96	142		50	5.83	198	249	262
		60	7.22	41	74	109		60	5.83	182	233	262
	500	10	1.33	336	354	490	600	10	1.38	460	523	611
		20	1.33	352	388	495		20	1.27	462	518	585
		30	1.33	364	392	484		30	1.27	451	526	587
		40	1.33	369	385	491		40	1.55	413	469	534
		50	1.33	326	376	462		50	1.55	395	451	520
		60	1.66	231	376	448		60	1.55	398	432	486
왕겨	300	0	1.24	97	165	264	400	0	1.24	149	187	308
		5	1.96	67	114	201		5	1.83	222	260	363
		10	2.46	81	107	209		10	2.32	233	264	370
		15	3.11	45	108	191		15	3.33	165	223	287
		20	3.42	35	76	194		20	5.00	134	187	278
	500	0	1.24	297	353	421	600	0	1.24	441	497	546
		5	1.74	293	366	433		5	2.27	431	549	607
		10	3.33	300	409	470		10	5.00	413	482	561
		15	6.00	231	290	385		15	7.77	344	441	510
		20	10.0	210	245	325		20	10.2	289	341	446

가 저하되나 그것이 400kg/m³일 때 그 혼입율이 20%인 경우는 플레인 콘크리트보다 1.17배의 강도 증진이 나타났으며, 그것이 500kg/m³인 경우는 그 혼입율이 60%까지도 플레인 콘크리트의 강도를 초과 하였고 이때의 최적혼입율은 40%전후로 나타났다. 단위결합재량 600kg/m³인 경우는 그 혼입

율이 30%까지 플레인콘크리트의 강도를 초과하는 것으로 나타났다.

3. 1. 4 왕겨재

왕겨재를 혼입한 콘크리트는 단위결합재량 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 일 때는 혼입율에 관계없이 플레인 콘크리트보다 강도가 저하되나, 단위결합재량 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 에서 그 혼입율 5%일 때 플레인 콘크리트보다 약 1.20배의 강도증진이 나타났으며, 단위결합재량 $500\text{kg}/\text{m}^3$, $600\text{kg}/\text{m}^3$ 인 경우는 모두 그 혼입율 5~10%에서 플레인 콘크리트의 강도를 초과하였으며, 그 값은 각각 플레인 콘크리트의 1.20배, 1.10배로 나타났다.

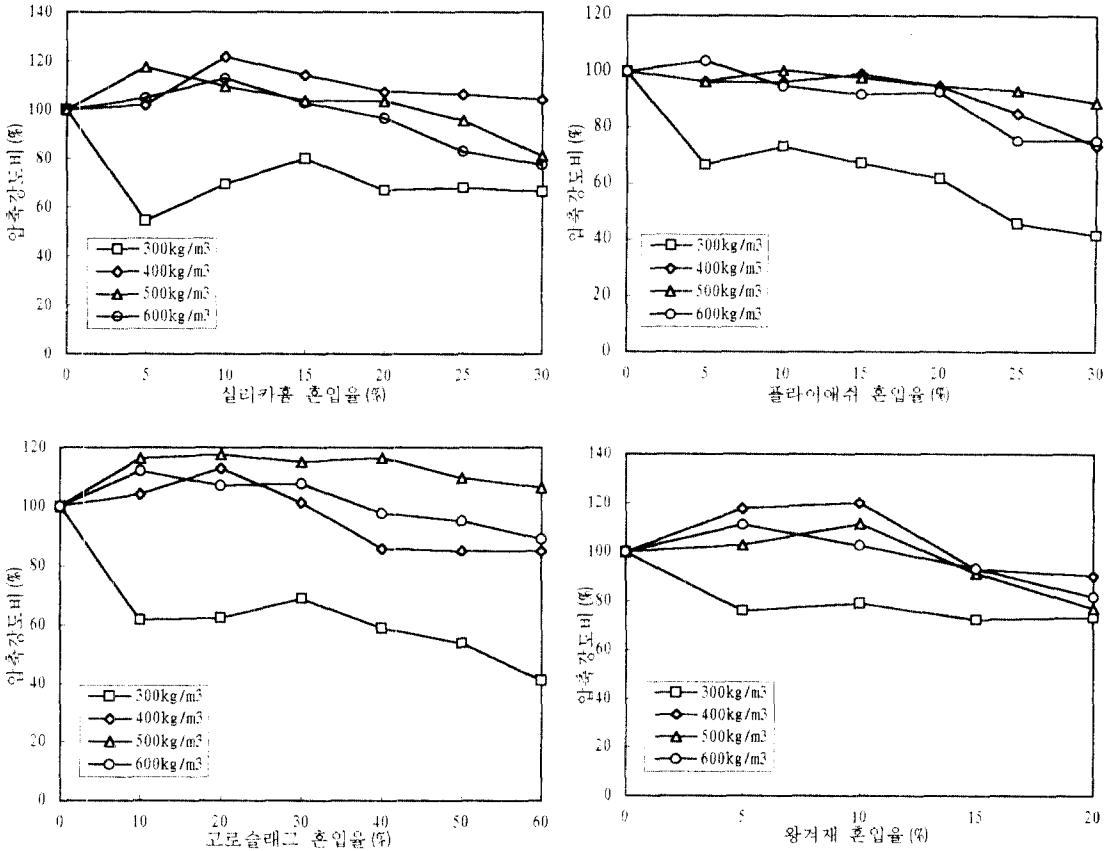


그림 1 단위결합재량에 따른 각 혼화재의 혼입율별 강도증가율

4. 결 론

고품질 콘크리트는 각 구조물에 요구되는 목표강도, 목표시공성, 목표내구성을 확보하여야 그 기능이 발휘된다. 최근 재료의 저품질화, 기계화시공성확보에 대한 환경의 악화, 구조물의 초대형화 등으로 인하여 고품질콘크리트의 제조는 재래적인 배합설계방법으로는 해결하기 어렵고 혼화재료의 사용에 의하여 가능하다. 일본의 다니가와는 시멘트에 의한 품질개선은 한계점에 도달하였고 혼화재료 특

히, 혼화제가 콘크리트의 품질을 향상시킬 수 있다」 하였다. 그러나 혼화제와 혼화제를 동시에 사용한 콘크리트의 품질개선이 더욱 효과적라 판단하여 실리카흙, 플라이애쉬, 고로슬래그 분말, 왕겨재와 고성능감수제를 사용한 실험결과로 부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 단위결합재량 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 이하에서 각각의 혼화제를 사용한 콘크리트는 플레인 콘크리트보다 강도 저하 현상을 나타내어 이 경우 혼화제 사용이 오히려 콘크리트의 품질을 저하시키는 것으로 나타났다.
- 2) 동일배합에서 최대압축강도를 발현시키는 각 혼화제의 최적혼입율은 단위결합재량별로 다르게 존재한 것으로 나타났다.
- 3) 본 연구에 사용된 단위결합재량 범위인 $300\text{kg}/\text{m}^3 \sim 600\text{kg}/\text{m}^3$ 인 경우 혼화제 혼입효과가 가장 큰 것은 $400\text{kg}/\text{m}^3$, $500\text{kg}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.
- 4) 실리카흙과 왕겨재는 최적혼입율을 초과하여 사용하면 급격하게 강도저하가 발생되고 시공성도도 저하된다.
- 5) 고로슬래그와 플라이애쉬의 혼입율이 최적혼입율보다 증가하여도 강도감소율이 완만하고 시공성은 비교적 양호하다.

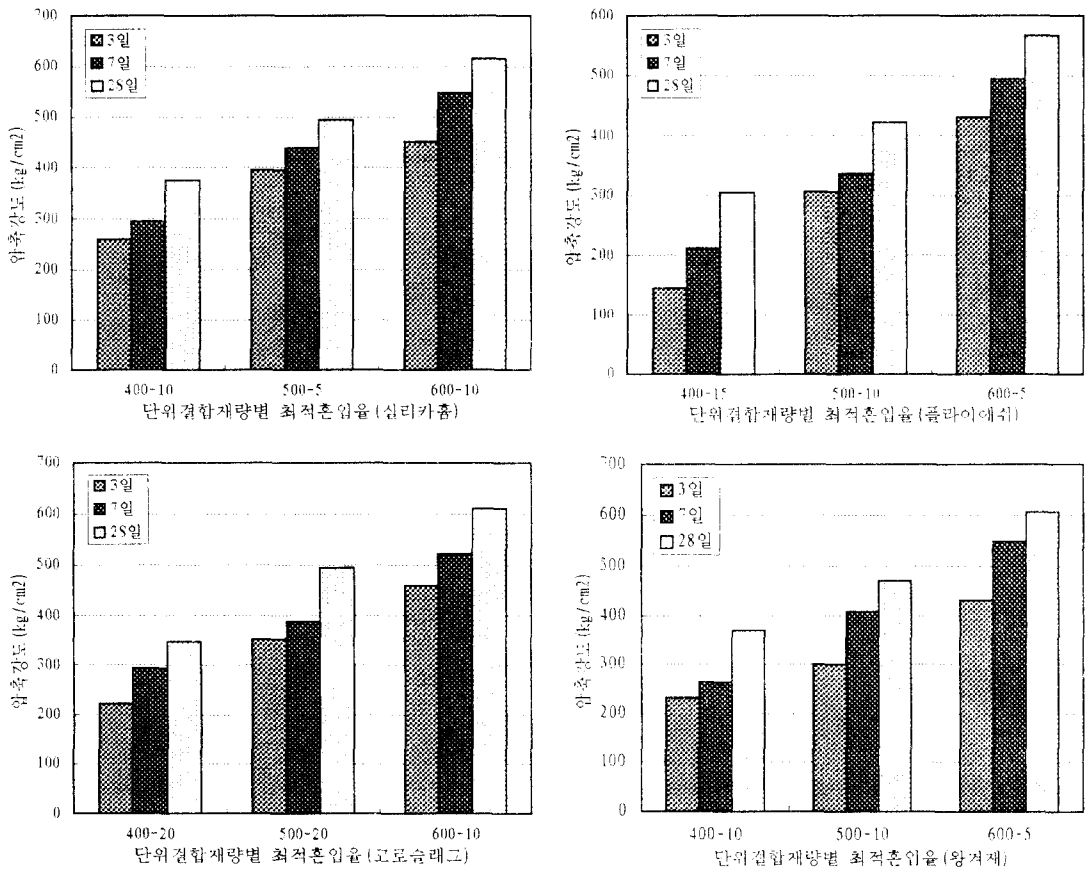


그림 2 각 혼화제의 단위결합재량별 최적혼입율의 압축강도

- 6) 최근 사용이 급격하게 증가된 고로슬래그는 단위결합재량이 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 이하에서는 혼입율이 30%를 초과하면 품질이 급격히 저하되므로 주의를 요한다.
- 7) 왕겨재는 혼입율이 비교적 적고 그 성능은 실리카흙과 유사하므로 집중연구가 요망된다. 이상은 기초적 실험결과이며, 각 단위결합재량별 시험을 지속·시행하여 통계처리까지 가능토록 시험을 할 계획이며, 특히 내구성시험이 반드시 이루어져야 할 것으로 판단된다. 연구자에 따라 고로슬래그시멘트는 중성화속도가 빠르다는 보고도 있어 내구성시험이 반드시 이루어져야 할 것으로 판단된다.

● 참고문헌 ●

1. 윤상대의 2인 : "콘크리트용 혼화재료로서 왕겨활용에 관한 연구(I)", 농어촌진흥공사 농어촌연구원, 1995. 11
2. 윤상대, 배수호 : "다짐이 필요없는 콘크리트 개발에 관한 연구(I)", 농어촌진흥공사 농어촌연구원, 95-05-22, 1995. 12
3. 배수호외 3인 : "혼화재를 혼입한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구(I)", 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제8권1호, 1996. 5, pp.89~94
4. 杉田修一·庄谷征美 : "ボゾラン材としてのモミカから灰の有効利用に關する基石的研究", 土木學會論文集, 1995. 11, pp.43~52
5. 杉田修一 : "無駄力から 가치入の轉換", セメント・コンクリート, No.550, 1992.12, pp.36~38