

왕겨재를 혼입한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Characteristics of Concrete Containing Rice Husk Ash

배수호*
Bae, Su Ho

윤상대**
Youn, Sang Dai

박광수***
Park, Kwang Su

신의균****
Shin, Eui Kyoun

Abstract

The purpose of this study is to investigate workability and strength of concrete containing rice husk ash. For this purpose, concrete with and without rice husk ash were tested and analyzed on the workability and the characteristics of their strength such as compressive, tensile and flexural strength according to unit weight of binder.

Also, performances of rice husk ash as an admixture of concrete were compared with those of silica hume being widely used for high-strength concrete.

As a result, workability and strength of rice husk ash as an admixture of concrete were analogous to those of silica hume.

1. 서 론

콘크리트의 성능을 개선키 위한 광물질 혼화재로서 실리카흙, 플라이애쉬, 고로슬래그분말, 석회석 분말 등을 들 수 있는데, 이들 중 강도증진 및 수화열 저감목적으로는 실리카흙이 매스콘크리트 등의 수화열 저감목적으로는 플라이애쉬, 고로슬래그분말 등이 이용되고 있다.

고강도 콘크리트 제조용 혼화재로서 실리카흙의 성능은 탁월하나 그 값이 고가이고, 전량을 수입에 의존하고 있기 때문에 아직 국내에서 범용화하기에는 경제성있는 재료라 할 수 없으며, 플라이애쉬는 시공성 및 수화열 저감효과는 양호하나 품질의 불균일성, 초·중기강도의 저하현상이 문제점으로 남

* 농어촌진흥공사 농공기술연구소 주임연구원

** 농어촌진흥공사 농공기술연구소 수석연구원

*** 농어촌진흥공사 농공기술연구소 책임연구원

아 있고, 고로슬래그분말은 수화열 저감 및 강도증진 효과 등이 있어 최근 연구대상으로 각광받고 있으나 초기강도(σ_3 , σ_7)가 플레인 콘크리트에 비해 저하되기 때문에 조기에 고강도를 요구하는 콘크리트 구조물에는 사용할 수 없는 단점이 있다.

따라서 금후 콘크리트의 성능을 개선키 위한 혼화제는 강도증진 및 수화열 저감측면을 동시에 만족시키면서 국내생산이 가능하고 경제성있는 재료가 실용적이라 판단된다.

한편, 농산부산물인 왕겨는 부식되기 어렵고, 영양소가 적어 퇴비나 축산사료로서 이용가치가 적어 대부분 폐기되고 있으나 이것을 소각, 분쇄한 왕겨재는 실리카흙의 성분과 거의 유사한 특징을 갖고 있다.

또한 왕겨는 재생가능하고 쌀의 생산을 계속하는 한 매년 얻을 수 있는 무한자원이기 때문에 농업부산물의 유효이용 및 환경보호 측면에서도 이것의 활용법에 관한 연구가 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 농산부산물로 폐기되고 있으나 그 성분이 실리카흙과 유사한 왕겨를 소각, 분쇄하여 왕겨재를 조제후, 그것을 혼입한 콘크리트의 시공성 및 강도특성을 실험·분석하여 콘크리트용 혼화재로서의 성능을 분석하였다.

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 표 2 및 표 3과 같다.

2.1.3 혼화재료

1) 혼화제

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

2) 혼화재

본 연구에 사용된 혼화재로서 왕겨재 및 실리카흙의 품질특성은 표 5와 같다.

표 1 시멘트의 물리적 성질

시멘트 종류	비중	응결시간 (min)		분말도 ($\mu\text{m/g}$)	압축강도 (kgf/cm^2)		
		유결	종결		σ_3	σ_7	σ_{28}
보통 포틀랜드 시멘트	3.12	228	615	3.338	194	219	308

표 2 잔골재의 물리적 성질

항목 시료	비중	흡수율 (%)	단위용적중량 (tf/m^3)	200번채 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)	조립율	마모율 (%)
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	비 중	분말도(cm ³ /g)	비 고
왕 거 재	2.06	평균입경(D50): 21.6 μ m	동진벼 왕겨를 연소로에 의해 고온(600 $^{\circ}$ C) 소각후 분쇄한 것임.
실리카흙	2.20	200,000	북아메리카산

표 6 콘크리트의 배합표

단 위 결 합 재 량 (kg/m ³)	물-결 합재비 (%)	혼화제 종 류	슬러프 (cm)	잔골 재율 (%)	단위량(kg/m ³)					
					물	시멘트	혼화제	잔골재	굵은 골재	고성능 감수제 (B\%)
400	41.7	플레인	21	40	167	400	0	697	1086	2.0
		왕겨재	19	40	167	360	40	690	1076	3.0
		실리카흙	20	40	167	320	80	686	1069	2.5
500	31.3	플레인	20	40	156.5	500	0	674	1049	2.0
		왕겨재	21	40	156.5	450	50	665	1036	3.5
		실리카흙	20	40	156.5	450	50	667	1038	2.9
600	27.8	플레인	20	35	167	600	0	635	990	1.5
		왕겨재	21	35	167	570	30	630	982	2.6
		실리카흙	23	35	167	540	60	627	976	2.0

2.2 시험방법

2.2.1 공시체 제작

왕겨재를 혼입한 콘크리트의 시공성 및 강도특성을 파악하고 또한 콘크리트용 혼화재로서 그것의 성능을 실리카흙과 비교·분석키 위하여 예비실험에 의하여 단위결합재량별로 왕겨재 및 실리카흙의 최적 혼입율을 결정하였으며, 단위결합재량 400kg/m³, 500/m³, 600kg/m³ 각각에 대한 플레인 콘크리트의 물-결합재비는 목표슬러프 21 \pm 2cm를 얻기 위한 고성능감수제 첨가량 및 단위수량을 구하여 결정하였다.

왕겨재 및 실리카흙을 혼입한 콘크리트의 시공성은 물-결합재비를 플레인 콘크리트와 동일하게 하여 목표슬러프 21 \pm 2cm를 얻기 위한 고성능감수제 첨가량 정도에 따라 평가하였다.

왕겨재 및 실리카흙을 혼입한 콘크리트의 강도특성을 분석키 위한 콘크리트 공시체(압축, 인장강도 시험용: ϕ 10 \times 20cm, 휨강도 시험용: 15 \times 15 \times 53cm)는 KS F 2403(콘크리트의 강도시험용 공시체 제작 방법)에 따라 제작하였으며, 성형후 24시간 경과하여 물드를 제거하고 시험전까지 20 \pm 3 $^{\circ}$ C의 온도로 습윤양생하였다.

표 6은 왕겨재 및 실리카흙을 혼입한 콘크리트의 배합표를 나타낸 것이다.

2.2.2 시험방법

왕겨재를 혼입한 콘크리트의 강도특성을 분석키 위하여 압축강도 시험은 KS F 2405(콘크리트의

압축강도 시험방법)에 따라 각 재령별($\sigma_3, \sigma_7, \sigma_{28}$)로 하였으며, 인장 및 휨강도 시험은 KS F 2423(콘크리트의 인장강도 시험방법)과 KS F 2405(콘크리트의 휨강도 시험방법(단순보의 중앙점 하중법))에 따라 재령28일의 강도를 시험하였다.

3. 결과분석 및 고찰

3.1 왕겨재를 혼입한 콘크리트의 특성

3.1.1 시공성

콘크리트의 시공성은 강도특성과 함께 콘크리트의 중요한 특성중의 하나이기 때문에 왕겨재를 혼입한 콘크리트의 시공성을 평가하기 위하여 먼저 플레인 콘크리트의 배합은 단위결합재량 400kg/m³, 500kg/m³, 600kg/m³ 각각에 대하여 목표슬럼프 21±2cm를 얻기 위한 고성능감수제 첨가량 및 단위수량을 구한 후 물-결합재를 결정하였으며, 왕겨재 및 실리카흙을 혼입한 콘크리트의 배합은 플레인 콘크리트와 동일하게 하여 목표슬럼프값을 고성능감수제 첨가량으로 조정하였다.

표 7은 왕겨재 및 실리카흙을 혼입한 콘크리트의 고성능감수제 첨가량을 나타낸 것으로, 콘크리트의 시공성 측면에서는 왕겨재나 실리카흙이 플레인 콘크리트에 비하여 다소 불리하며, 특히 콘크리트용 혼화재로서 왕겨재는 실리카흙보다도 시공성이 약간 저하되는데, 이것은 실리카흙은 비표면적이 200,000(cm²/g)정도로 정제된 것인데 반해, 왕겨재는 실험실 연소로에서 소각후 로스엔젤스 마모시험기로 60분 분쇄된 비정제품으로, 그것의 순도나 입자상태가 실리카흙과 다르기 때문인 것으로 판단된다.

그러나 왕겨재는 그 구조나 성분이 실리카흙과 거의 유사하기 때문에 이들이 동일조건인 시료일 때 콘크리트의 시공성은 거의 유사하리라 판단된다.

표 7 콘크리트의 강도시험 결과

단위 결합재 량 (kg/m ³)	물-결 합재비 (%)	혼화 재류	고성능 감수제 (B×%)	압축강도(kgf/cm ²)			인장강도 (kgf/cm ²)	휨강도 (kgf/cm ²)
				σ_3	σ_7	σ_{28}	σ_{28}	σ_{28}
400	41.7	플레인	2.0	259	272	367	30	62
		왕겨재	3.0	286	326	433	34	70
		실리카흙	2.5	300	360	442	35	72
500	31.3	플레인	2.0	297	325	444	38	74
		왕겨재	3.5	333	396	494	40	81
		실리카흙	2.9	362	390	490	40	82
600	27.8	플레인	1.5	355	377	485	43	81
		왕겨재	2.6	382	407	545	45	88
		실리카흙	2.0	378	434	556	46	91

3.1.2 강도특성

1) 압축강도

그림2~그림4는 단위결합재량 400kg/m³, 500kg/m³, 600kg/m³ 각각에 대하여 콘크리트의 각 재령별 압축강도를 나타낸 것으로, 단위결합재량이 400kg/m³(물-결합재비 : 41.7%)일 때 왕겨재 및 실리카흙을 혼입한 콘크리트의 압축강도(σ_{28})는 각각 플레인 콘크리트의 1.18배, 1.20배로 나타났으며, 단위결합재량이 500kg/m³(물-결합재비 : 31.3%)일 때 전자는 1.11배, 후자는 1.10배, 단위결합재량이 600kg/m³(물-결합재비 : 27.8%)일 때 전자는 1.12배, 후자는 1.15배로 나타났다.

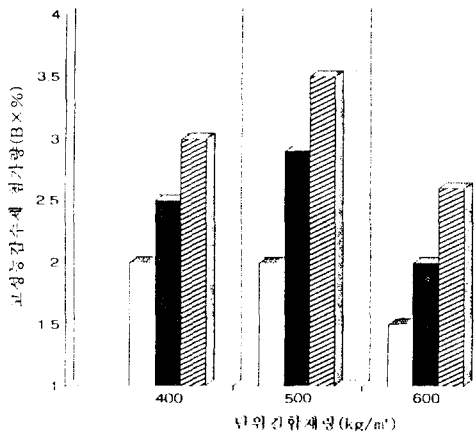


그림 1 혼화재 종류별 고성능감수제 첨가량

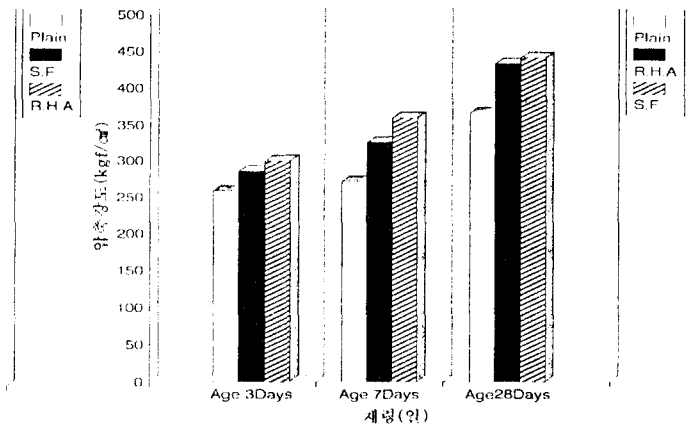


그림 2 혼화재 종류별 압축강도 (W/B=41.7%, B=400kg/m³)

따라서 본 연구에 사용된 왕겨재 혼입 콘크리트는 플레인 콘크리트의 약 10~20% 정도의 압축강도 증진현상을 나타냈으며, 또한 왕겨재 혼입 콘크리트는 콘크리트용 혼화재로서 성능이 뛰어난 실리카흙 혼입 콘크리트의 압축강도와 거의 동일한 값을 나타내어 압축강도 측면에서 왕겨재는 실리카흙과 거의 동등한 혼화재인 것으로 나타났다.

한편, 왕겨재를 혼입한 콘크리트는 초기강도(σ_1 , σ_7)도 플레인 콘크리트의 약 10% 이상의 증진을 나타내기 때문에 실리카흙과 같이 고품질 콘크리트 제조용으로 충분히 활용될 수 있으리라 판단된다.

2) 인장강도

그림 5는 단위결합재량 400kg/m³, 500kg/m³, 600kg/m³ 각각에 대하여 왕겨재 및 실리카흙을 혼입한 콘크리트의 인장강도를 나타낸 것으로, 단위결합재량이 400kg/m³일 때 왕겨재 및 실리카흙을 혼입한 콘크리트의 인장강도(σ_{ts})는 각각 플레인 콘크리트의 1.13배, 1.16배로 나타났으나, 단위결합재량이 500kg/m³, 600kg/m³인 경우는 플레인 콘크리트보다 5%내외의 증진에 그쳤다.

따라서 왕겨재나 실리카흙을 혼입한 콘크리트의 플레인 콘크리트에 대한 인장강도 증진율은 압축강도 증진율에 비하여 훨씬 감소되는 경향을 나타냈다.

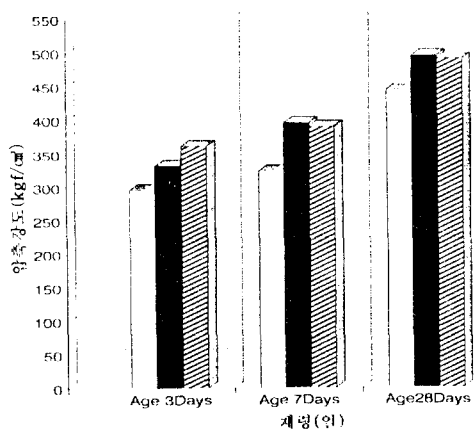


그림 3 혼화재 종류별 압축강도 (W/B=31.3%, B=500kg/m³)

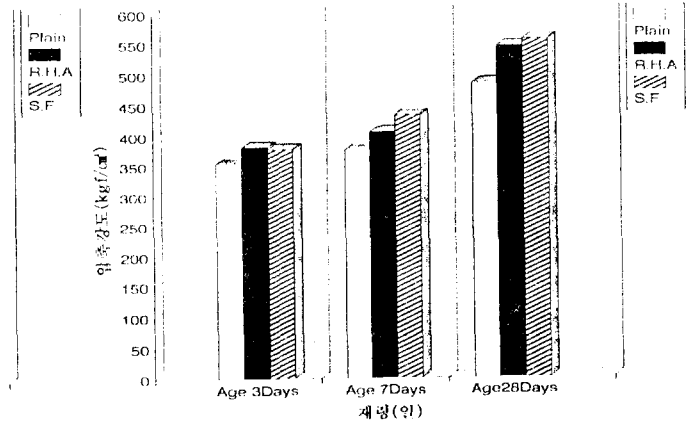


그림 4 혼화재 종류별 압축강도 (W/B=27.8%, B=600kg/m³)

한편, 왕겨재 및 실리카흙을 혼입한 콘크리트의 인장강도는 압축강도의 약 1/12로 나타났다.

3) 휨강도

그림6은 단위결합재량 400kg/m³, 500kg/m³, 600kg/m³각각에 대하여 왕겨재 및 실리카흙을 혼입한 콘크리트의 휨강도를 나타낸 것으로 단위결합재량별로 약간의 차이는 있으나 왕겨재나 실리카흙의 뚜렷한 구별없이 이들을 혼입한 콘크리트의 휨강도는 플레인 콘크리트의 10%내외의 증진현상을 나타냈다.

또한 왕겨재 및 실리카흙을 혼입한 콘크리트의 휨강도는 압축강도의 약 1/6로 나타났다.

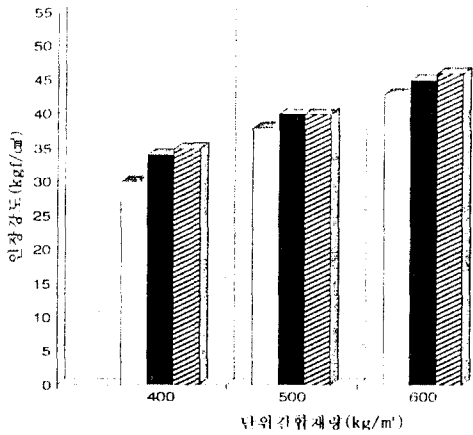


그림 5 혼화재 종류별 인장강도

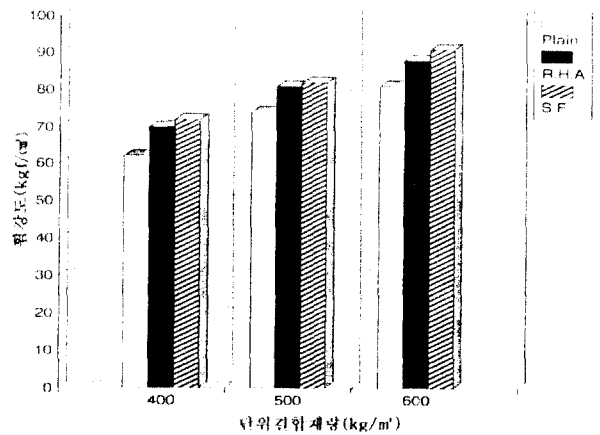


그림 6 혼화재 종류별 휨강도

4. 결 론

농산부산물로 폐기되고 있는 왕겨를 소각, 분쇄한 왕겨재를 혼입한 콘크리트의 특성에 관한 실험연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 왕겨재를 혼입한 콘크리트의 시공성은 동일배합의 플레인 콘크리트보다 다소 불리하며, 그 구조나 성분이 거의 유사한 실리카흙을 혼입한 콘크리트보다도 약간 저하되는데, 이것은 실리카흙은 비표면적이 200,000(cm²/g) 정도로 정제된 것인데 반해, 왕겨재는 실험실 연소로에서 소각후 로스엔젤스 마모시험기로 60분 분쇄된 비정제품으로, 그것의 순도나 입자상태가 실리카흙과 다르기 때문인 것으로 판단된다.
- 2) 왕겨재를 혼입한 콘크리트의 압축강도는 동일배합의 플레인 콘크리트보다 약 10~20% 정도의 증진현상을 나타냈으며, 또한 그것은 실리카흙을 혼입한 콘크리트의 강도와 거의 동일한 값을 나타내어 압축강도 측면에서 왕겨재는 실리카흙과 거의 동등한 혼화재인 것으로 나타났는데, 이것은 왕겨재의 구성성분이 SiO₂ 90%이상으로 실리카흙의 그것과 유사하기 때문인 것으로 판단된다.
- 3) 동일배합의 플레인 콘크리트의 대한 왕겨재 혼입 콘크리트의 인장강도 증진율은 5%내외로 압축강도 증진율에 비하여 훨씬 감소되었으며, 왕겨재를 혼입한 콘크리트의 인장강도는 압축강도의 약 1/12로 나타났다.
- 4) 동일배합의 플레인 콘크리트에 대한 왕겨재 혼입 콘크리트의 휨강도 증진율은 10%내외로 나타났으며, 왕겨재를 혼입한 콘크리트의 휨강도는 압축강도의 약 1/6로 나타났다.

- 5) 본 연구에 사용된 왕겨재는 대규모 상업화된 시스템이 아닌 실험실연소로(600℃)에 의해 소각후 분쇄된 것이나 이것을 혼입한 콘크리트의 성능은 실리카흙 혼입 콘크리트와 거의 대등하기 때문에, 금후 왕겨의 대규모 소각·분쇄시스템에 의하여 정제된 제품으로 조제된 왕겨재는 실리카흙에 뒤지지 않은 우수한 혼화재로 기대된다.
- 6) 농산부산물인 왕겨는 그 특성상 부식이 어렵고 영양소가 적어 퇴비나 축산사료로서 이용가치가 없어 대부분 폐기되고 있으므로, 자연환경 보호 및 매년 반복 생산되는 농업자원의 유효이용 측면에서 그것을 열원이나 콘크리트용 혼화재, 시설농업의 이산화탄소 공급원 등으로 이용하는 연구가 적극적으로 수행되어야 할 것이다.

● 참고문헌 ●

1. 윤상대 외 2인 : "콘크리트용 혼화재료로서 왕겨활용에 관한 연구(I)", 농어촌 진흥공사 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", 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제8권1호, 1996. 5, pp. 89~94
4. 杉田修一·庄谷征美 : "ボツラン材としてのモミがら灰の有効利用に関する基礎的研究", 土木學會論文集, 1995. 11, pp.43~52
5. 杉田修一 : "無駄から 値への轉換", セメント・コンクリト, No.550, 1992.12, pp.36~38
6. 杉田修一 外 2人 : "シラスおよびもみがら灰混入モルタルの基礎的性狀", セメント・コンクリト論文集, No.43, 1989, pp.150~155