

저에너지 석탄회고형화기술을 이용한 인공경량골재 개발에 관한 연구

조 병 완 · 김 영 진 · 황 의 민 · 안 제 상
한양대학교 토목공학과

I. 서 론

최근 국가경제 및 산업의 발전으로 전력수요가 크게 증가하면서 발전소의 증설과 함께 화력발전소에서 발생하는 석탄회도 날로 증가하고 있는 실정이다. 선진국에서는 30여년전부터 지속적인 석탄회 폐기물에 대한 이용기술 개발과 함께 이를 각종산업분야에 이용하여 최근에는 재활용률이 60%이상 되고 있으나 국내의 경우 재활용률이 아직까지는 선진국에 미치지 못하고 있어 이의 효과적인 처리가 중요한 문제로 대두되고 있다. 현재 석탄회 재활용 기술분야로는 시멘트, 레미콘 분야이외에 골재분야, 건축재료분야, 토목분야, 농업수산분야등에 이용되고 있다. 이중 골재 및 건축재료분야의 경우 석탄회를 대량으로 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있으며 또한 천연골재의 고갈과 쇄석채취에 따른 환경문제의 부각으로 인하여 향후골재 수급이 점차 어려워지고, 천연골재의 단가도 계속 상승함에 따라 천연골재를 대체할 인공골재의 개발이 시급하다고 할 수 있다. 또한 건설구조물이 대형화, 고급화 되어감에 따라 구조부재의 경량화가 중요한 문제로 되어 석영이나 점토질의 고급재료를 사용하여 고비용의 인공경량골재를 제조하였고 국내에서도 석탄회, 제지슬러지 및 슬래그 등을 이용한 콘크리트 혼화재와 인공경량 골재에 대한 다수의 연구가 수행되었으나, 고온소성으로 인한 생산단가의 상승, 상대적으로 낮은 강도, 품질관리의 어려움 및 생산된 골재를 이용한 상품개발의 부진 등으로 인하여 선진외국과 비교하여 사용량이 저조한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 산업폐기물인 석탄회를 이용하여 고비용의 고온소성방법을 대신하여 비소성 방법에 의해 석탄회를 이용한 인공경량골재를 개발하여 골재특성실험 및 강도실험을 수행하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험개요

국내에서 연구되어 개발된 인공경량골재 제조기술의 경우 거의 대다수가 고온소성에 의한 방법에 한정되어 있다. 고온소성에 의한 방법의 경우 상대적으로 골재의 강도에는 장점을 가지고 있으나 높은 생산비용과 흡수율등의 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 1단계로 비소성방법에 의한 석탄회의 고형화실험을 진행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

표 1 석탄회고형화실험 배합표 (단위: Fly ash함량에 대한 백분율)

Fly ash	결합재	점결재	시멘트	금속산화물
100	10	10	10	5

[연락처] 조병완 (우) 133-070 서울시 성동구 행당동 18 한양대학교 토목공학과 조병완교수연구실
Tel : 02-2290-0327, Fax : 02-2291-0321, E-mail : jojojo333@hanmail.net

표 1의 배합비에 따라 공시체(5×5×5cm)를 제작, 1일후 탈형하여 24시간 건조후 상온에서 양생하였다. 7일 양생한 공시체의 압축강도가 300kg/cm² 이상임을 확인할 수 있었다. 비소성방법에 의한 석단회 고형화 실험결과를 바탕으로 골재의 성형 및 특성실험을 진행하였다.

2. 실험재료

실험에 사용된 재료는 보령화력발전소에서 발생하는 유연탄 Fly ash(FA으로 약칭)를 사용하였으며 첨가제로는 점결제, 결합제, 시멘트, 금속산화물을 이용하였다. 실험에 사용된 FA의 성분표는 다음과 같다.

표 2 Fly ash의 물리적 특성

비중	분말도(cm ² /g)	습분(%)	강열감량(%)	단위수량비(%)	압축강도비
2.34	3,700	0.13	3.07	99	95

표 3 Fly ash의 화학적 특성

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO(%)	MgO(%)	SO ₃ (%)
57.09	24.66	10.5	2.58	1.37	0.94

3. 실험방법

1) 인공경량골재성형실험 및 특성실험

석단회의 고형화실험에서 얻은 배합비를 이용하여 인공경량골재를 제조하였다. 인공경량골재의 경우 여러 가지 성형방법이 소개되어 있으나 본 연구에서는 제조공정이 비교적 간단하고 대량생산이 가능한 압축과쇄에 의한 방법을 사용하여 골재를 성형하였으며 제조된 골재의 비중 및 흡수율 특성실험을 KS F 2503, 굵은 골재의 비중 및 흡수율시험방법, 단위중량시험을 KS F 2505, 굵은 골재의 단위중량시험에 따라서 측정하였으며, 독일, 일본 그리고 국내산 인공경량골재의 특성치와 비교고찰하였다.

2) 인공경량골재를 사용한 콘크리트의 강도시험

본 연구에서 제작된 인공경량골재와 국내외 기존의 인공경량골재, 천연골재를 사용하여 설계기준강도 240kg/cm²로 원주형 공시체(∅10×20cm)를 제작하여 7일 양생후 KS F 2403 규정에 압축강도를 측정하였다. 콘크리트 공시체 제작에 사용된 배합비는 표 4 과 같다.

표 4 콘크리트 원주형공시체 제작에 사용된 배합표

Gmax	Slump	Air	W/C	S/a	단위량 (kg/cm ³)			혼화제 (C × %)
					W	C	S	
16	8±2.5	4±1.5	44	46	155	352	838	0.2

III. 실험 결과 및 고찰

1. 인공경량골재성형 및 특성실험

석탄회 고휘화실험에서 도출한 배합비를 이용하여 인공경량골재를 제조하였다. 인공경량골재의 성형은 압축후 파쇄를 이용한 방법을 사용하였다. 제조된 골재를 독일,일본 그리고 국내에서 생산된 인공경량골재와 같이 특성시험을 진행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1) 비중 및 흡수율

국내외산 경량 굵은 골재에 대한 비중 및 흡수율 시험결과는 다음과 같다. 시험결과 일본산은 표건비중이 1.43, 절건비중이 1.32이고, 독일산은 표건비중이 1.25, 절건비중이 1.10로 나타났다. 국내산은 표건비중이 1.16, 절건비중이 1.00으로 외국산에 비해 비교적 낮은 비중값을 보이고 있다. 또한 절건비중과 흡수율과의 살펴보면 비중이 낮을수록 흡수율이 증가하는 양상을 보여주고 있다. 여기서 일본산 골재의 경우 독일산과 국내산에 비해 상당히 낮은 값을 나타내고 있다. 본 연구에서 제조된 골재의 경우 표건비중이 1.78, 절건비중이 1.59로 나타났다. 비소성방법으로 제조되었기 때문에 고온소성방법으로 제조된 골재보다는 내부의 공극이 적기 때문에 상대적으로 높은 비중이 나온 것으로 판단된다. 또한 흡수율의 경우, 고온소성방법으로 제조된 골재의 경우 소성과정에서 표면이 코팅처리되어 상대적으로 흡수율이 낮은 것으로 사료된다.

2) 단위용적중량 및 실적율

경량 굵은골재의 단위용적중량을 살펴보면 일본산은 0.789, 독일산은 0.678을 나타내고 있으며 국내산의 경우 0.595로 비교적 낮은 단위용적중량을 갖고 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서 제조된 골재의 경우 단위용적중량이 0.842으로 다른 골재보다 상대적으로 높았으나 KS F 2534의 규정값(0.88이하)보다는 낮게 나타났다.

표 5 인공경량골재 특성실험결과

골재종류	표건비중 (g/cm ³)	절건비중 (g/cm ³)	흡수율 (%)	단위용적중량 (g/cm ³)	실적율 (%)
JG	1.43	1.32	7.7	0.789	59.8
GG	1.25	1.10	13.3	0.678	61.6
KG	1.16	1.00	15.5	0.595	59.5
FG	1.78	1.59	18.5	0.842	58.3

주 : JG(일본산 골재), GG(독일산 골재), KG(국내산 골재) FG(본 연구에서 제조된 골재), NC (천연골재)

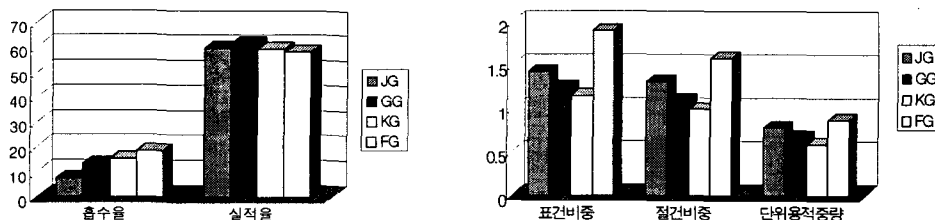


그림 1 인공경량골재 특성실험결과

2. 석탄회를 이용한 인공경량골재로 제작한 공시체의 압축강도

산업폐기물인 석탄회를 이용한 인공경량골재의 강도는 골재 내부의 공극의 영향으로 보통골재보다 작은 것이 일반적이다. 소성 경량골재의 경우 표면의 견고한 피막층에 의하여 다소 강도가 증가될 수 있으며 비소성 경량골재는 고온의 소성 과정을 거치지 않으므로 강도의 저하를 초래할 수 있다고 알려져있다. 본 연구에서도 보통골재를 사용한 공시체의 경우 7일강도가 평균 280kg/cm², 인공경량골재를 사용한 공시체의 경우 180kg/cm²으로 나타났다. 보통골재에 비해 30% 정도의 강도저하현상을 보이고 있으나 산업폐기물인 석탄회의 재활용성을 고려할 때 비구조용 인공경량골재로 사용가능성은 확인할 수 있었다.

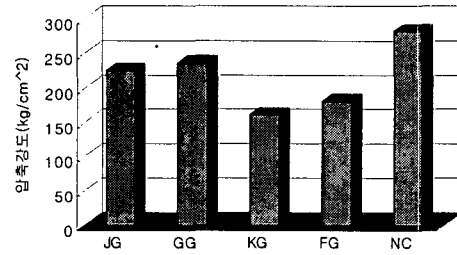


그림 2 콘크리트 공시체의 압축강도

IV. 결론

국내화력발전소에서 발전용으로 석탄을 연소시킬 때 발생하는 유연탄 석탄회를 이용하여 비소성방법으로 인공경량골재의 제조가능성에 대한 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 비소성방법으로 Fly ash의 고형화 실험결과, 점결제, 결합제, 금속산화물, 시멘트를 혼합하여 24시간 건조후 6일동안 상온양생하여 압축강도 300 kg/cm²이상의 공시체를 제작할 수 있었다. 또한 가장 경제적인 배합비는 Fly ash : 결합제 : 점결제 : 시멘트 : 금속산화물 = 100 : 10 : 10 : 10 : 5으로 압축강도 320 kg/cm² 내외의 강도를 얻을 수 있었다.
- (2) FA 고형화 실험에서 얻은 배합비를 이용하여 압축과쇄에 의한 방법으로 인공경량골재를 제조하여 골재의 특성 실험을 진행한 결과, 표건비중 1.78, 질건비중 1.59, 흡수율 18.5(%), 단위용적중량 0.842 (g/cm³), 실적율 58.3 (%)을 확인할 수 있었다.
- (3) FA를 이용한 인공경량골재를 굵은 골재로 사용하여 제작한 원주형공시체의 7일압축강도가 180kg/cm²로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2001년도 에너지관리공단에서 지원한 "석탄회를 이용한 환경친화 전자재개발" 과제수행 연구내용중 일부임을 밝히며 에너지관리공단과 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- 1) Sadayuki Shinozaki, "日本の 石炭灰 再活用 現況", International Workshop on Utilization of Fly Ash, pp.19. 1996.
- 2) John Cavill. "Process for Forming Solid Aggregate Including Shaped Articles". HOWLETT, 1992.
- 3) Joseph. R. P. And Gary T. R., "Aqueous Reaction of Fly Ash and Ca(OH)₂ to Produce Calcium Silicate Absorbent for Flue Gas Desulfurization", Environ. Sci Technol. 22, pp.1299~1304, 1988.
- 4) 이상경, "NaOH 용액으로 처리한 fly ash의 Cu(II), Pb(II)ion 收着能", 한양대학교 대학원, 석사논문, 1997
- 5) Min-hong Zhang et. al., "Characteristics of lightweight aggregates for high-strength concrete", ACI Materials Journal, No.88-M19, pp.150~158, 1991.
- 6) "International Ash Utilization Symposium", ACAA, 1993-1999.