

석탄회를 이용한 환경친화적 인공골재 개발 (I)

The Study on the ECO Artificial Aggregate using Coal-ash (I)

조 병 완* 김 영 진** 안 제 상**
Jo, Byoung Wan Kim, Young Jin An, Je Sang

ABSTRACT

From a practical perspective, sustainable development requires the optimization of current natural resources and the minimization of derived wastes. A major concern with respect to sustainable infrastructure development is the continued depletion of easily-available natural resources and environmental matters are more serious, the concerned about waste materials which are inevitably produced in the manufacturing of the product is getting worse. These wastes must be handled and properly disposed, and many times, although this waste may be environmentally inert, it has been discarded in landfills. But current disposal methods of these by-products create not only a loss of profit for the power industry, but also environmental concerns that breed negative public opinion. therefore, this study evaluates the ECO artificial aggregate and bricks were designed and tested for the end use of fly ash

1. 서론

최근 인구의 도시집중과 산업의 발전등으로 전력수요가 증가함에 따라 발전소의 증설과 함께 발전용량이 증가하고 있으며 이에 따라 화력발전소에서 발생하는 석탄회도 날로 증가하고 있는 실정이다. 선진국에서는 30여년전부터 계속적인 석탄회 폐기물에 대한 이용기술 개발과 함께 이를 각종산업분야에 이용하여 최근에는 재활용률이 60%이상 되고 있다¹⁾. 그러나 국내의 경우, 약 27%의 재활용률에 그치고 있으며 지금까지 대부분 매립에 의존하고 있으므로 이의 효과적인 처리가 중요한 문제로 대두되고 있다. 현재 석탄회 재활용 기술분야로는 시멘트, 레미콘 분야이외에 골재분야, 건축재료분야, 토목분야, 농업수산분야등에 널리 이용되고 있다. 이중 골재 분야에서 석탄회 폐기물을 이용한 경량골재의 개발은 천연골재의 고갈과 환경문제의 부각으로 인해 향후골재 수급이 점차 어려워지고 천연골재의 단가도 계속 상승함에 따라 필요성이 더욱 가중되고 있다.

이에 본연구에서는 국내 화력발전소에 대량 발생하는 석탄회 폐기물의 재활용률을 높이기 위한 일환으로 비소성공정에 의한 인공경량골재와 벽돌의 제조가능성을 실험을 통하여 검토하였다.

* 정희원, 한양대학교 토목공학과 교수

** 정희원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

*** 정희원, 한양대학교 토목공학과 석사과정

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본연구의 실험계획은 그림 1과 같다. 석탄회를 이용하여 비소성방법으로 건자재를 만들기 위해서 가장 필요한 것은 Fly ash(이하 FA으로 약칭)의 고품화기술이다. 이를 위해 기존의 FA의 활용에 관련된 논문²⁾들을 참고하여 FA의 고품화 실험을 표 1 과 같이 진행하였다. 또한 고품화 실험결과를 토대로 Bottom ash(이하 BA으로 약칭)를 이용한 벽돌 제조실험을 표 2 와 같이 실시하였으며 인공경량 골재를 제작하였다.

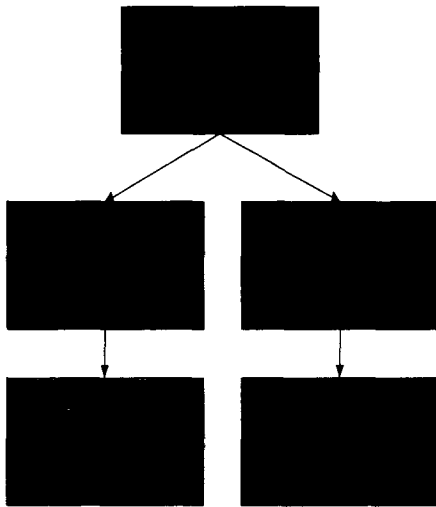


그림 1 실험흐름도

표1 FA 고품화실험 배합표

| 공시체번호 | FA | 강도 증진제 | 결합제 | 점결제 |
|------------|-----|-----------|-----|-----|
| F-C1-N1-S1 | 100 | 5 | 5 | 10 |
| F-C1-N1-S2 | | | 10 | 15 |
| F-C1-N2-S1 | | | 5 | 10 |
| F-C1-N2-S2 | | | 10 | 15 |
| F-C2-N1-S1 | | 10 | 5 | 10 |
| F-C2-N1-S2 | | | 10 | 15 |
| F-C2-N2-S1 | | | 5 | 10 |
| F-C2-N2-S2 | | | 10 | 15 |

표2 벽돌제조실험 배합표

| 공시체번호 | FA | BA | 강도 증진제 | 결합제 | 점결제 |
|----------------|----|----|-----------|-----|-----|
| F6-B4-C1-N2-S1 | 60 | 40 | 5 | 10 | 10 |
| F6-B4-C1-N2-S2 | | | | | 15 |
| F5-B5-C1-N2-S1 | 50 | 50 | | | 10 |
| F5-B5-C1-N2-S2 | | | | | 15 |

2.2 실험재료

본 실험의 사용재료로 주재료인 FA와 BA는 보령화력발전소의 석탄회를 사용하였으며, CaO 함량이 6%미만이고 미분탄(LOI)가 3%이상인 F급 FA를 사용하였다. 첨가제로는 점결제, 강도증진제, 결합제를 이용하였다.

2.3 실험방법

본연구의 실험방법은 FA와 첨가제를 혼합하여 5×5×5 cm의 몰드에 1일 성형후 100℃ 건조로에서 24시간 건조후 7일간 상온양생하여 압축강도를 측정하였다. 벽돌제조가능성을 검토하기 위하여 FA-BA의 혼합물을 고품화 실험과 같은 방법으로 공시체를 만들어 압축강도를 측정하였다. 또한 인공경량골재는 FA와 첨가제를 혼합하여 펠레타이저로 성형후 100℃ 건조로에서 24시간 건조하여 상온에서 양생하는 방법으로 제작하였다. 이 골재를 보통골재와 비교하기 위해 설계기준강도 210kg/cm²의 배합설계로 보통골재와 인공경량골재를 이용하여 원주형 공시체(∅10×20cm)를 제작하여 7일양생후 KS F 2403 규정에 따라 UTM을 이용하여 압축강도를 측정하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 강도증진제의 함량에 따른 강도변화

기존 연구 결과로부터 알 수 있듯이 포졸란 반응은 매우 느리게 진행되므로, 결국 포졸란 반응을 유도하기 위해 필요한 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 제공하기 위해서 칼슘의 공급 원이 필요하다. 그러나 국내 FA는 칼슘함량이 매우 적은 편이므로 본 실험에서는 강도증진제를 FA에 첨가하여 실험하였다. 또한 강도증진제를 과다하게 사용할 경우 강도발현에 나쁜 영향을 미치므로 적절한 함량이 요구되어진다. 따라서 본 실험에서는 강도증진제의 함량을 5 ~ 10%로 설정하여 강도를 측정해 보았다. 그림 2에서 보여지는 바와 같이 강도증진제의 함량이 10%에서보다 5%에서 더 나은 압축강도를 보이는 것으로 나타나고 있다. 또한 5%이상 함량의 공시체의 파괴단면을 살펴보면 반응하지 않은 강도증진제의 모습을 볼 수 있다. 따라서 가장 적절한 강도증진제의 함량은 5%라고 할 수 있다.

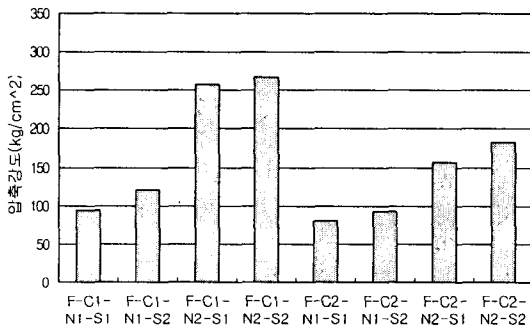


그림 2 FA공시체의 압축강도

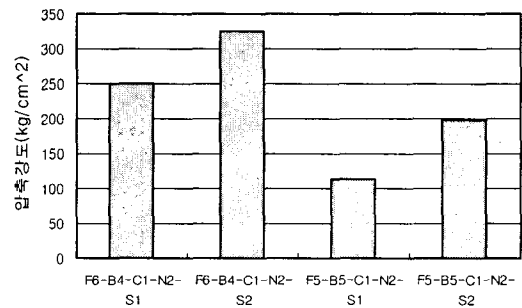


그림3 FA-BA 공시체의 압축강도

3.2 결합제의 함량에 따른 강도변화

FA는 고온에서 형성되기 때문에 화학적으로 안정한 물질이다. 따라서 FA와 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 반응성을 증가시키고 FA에서 실리카의 용해속도를 증가시키기 위한 첨가제가 필요하다고 할 수 있다. 이러한 FA의 화학반응성을 높이기 위해 결합제를 사용하였다. 결합제 역시 과다한 사용시 칼슘의 농도를 감소시켜 강도발현을 저해하는 것으로 알려져 있다. 따라서 슬러리에서 적절한 결합제의 함량이 존재함을 할 수 있다.^{3),4)} 본연구에서는 슬러리에서 적절한 결합제를 측정하기 위하여 결합제의 함량을 5% ~ 10%로 설정해 실험하였다. 그림 2를 살펴보면 결합제의 함량이 5%에서보다 10%에서 압축강도 증진효과가 큰 것을 알 수 있다.

3.3 점결제의 함량에 따른 강도변화

그림 2의 실험 결과에서도 알 수 있듯이 점결제의 함량이 증가할수록 압축강도가 늘어나는 것을 볼 수 있다. 그러나 점결제를 소량으로 사용한다면 입자들을 효과적으로 결합시키지 못하며, 다량으로 사용된다면 FA의 압축강도를 측정하려는 본래의 목적과는 상이하게 점결제의 강도를 측정하는 결과가 되기 때문에 적절한 함량이 존재함을 알 수 있다. 본 연구에서는 점결제의 함량을 10%~15%로 설정하여 강도를 측정해 보았다. 실험결과에서 보이는 것과 같이 점결제의 함량은 15%전후가 적절한 것으로 나타났다.

3.4 FA 와 BA를 이용한 공시체의 압축강도측정

FA의 고품화실험 결과에서 강도증진제 5%, 결합제 10%, 점결제 10%~15% 와 FA를 혼합하는 것이 가장 적절하다는 것을 알 수 있었다. 벽돌제조의 예비단계로 FA 혼합물로 시멘트를 대체하고 BA로 잔골재를 대체하여 공시체를 제작하였다. 또한 FA 고품화실험과 마찬가지로 1일 상온 양생 후 탈형하여 100℃의 건조로에서 24시간 양생하였다. 그림 3에서 알 수 있듯이 압축강도가 200 ~ 300 kg/cm² 정도 되는 것을 알 수 있다. 이는 벽돌의 압축강도를 충분히 만족하는 것으로 벽돌의 제조가능성을 확인 할 수 있었다.

3.5 FA를 이용한 인공경량골재로 제작한 공시체의 압축강도

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 소성과정을 거치지 않으므로 강도의 저하를 초래할 수 있다고 알려져있다.⁵⁾ 본 연구에서도 같은 결과를 보이고 있다. 보통골재를 사용한 공시체의 경우 7일강도가 평균 191kg/cm², 인공경량골재를 사용한 공시체의 경우 130kg/cm²으로 나타났다. 보통골재에 비해 30% 정도의 강도저하현상을 보이고 있으나 비구조용 인공경량골재로 사용가능성은 확인할 수 있었다.

4. 결 론

국내화력발전소에서 발전용으로 석탄을 연소시킬 때 발생되어 대부분 회처리장에 매립되고 있는 석탄회를 이용하여 비소성방법으로 벽돌과 인공경량골재의 제조가능성에 대한 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 비소성방법으로 FA를 고품화 시키기위해 사용된 강도증진제, 점결제, 결합제의 가장 적절한 혼합비는 강도증진제 5%, 결합제 10%, 점결제 10 ~ 15%로 나타났다.
- (2) FA 혼합물과 BA를 이용하여 제작한 공시체의 경우 FA : BA = 6 : 4 에서 압축강도가 300kg/cm² 정도를 나타내고 있다. 강도측면에서 벽돌제조가능성을 확인할 수 있었다.
- (3) FA를 이용한 인공경량골재를 굵은 골재로 사용하여 제작한 원주형공시체의 7일압축강도가 130kg/cm²로 나타났다.

참 고 문 헌

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.