

# 석탄회 및 폐플라스틱을 이용한 인공경량합성골재의 개발

## Development of lightweight Fly ash-Plastic Aggregate

조병완\*                      박승국\*\*                      박종빈\*\*                      Daniel C. Jansen\*\*\*  
Jo, Byung Wan              Park, Seung Kook              Park, Jong Bin              Daniel C. Jansen

### Abstract

The coarse and fine aggregates that make up the majority of concrete are resources. But, the raw materials that make up concrete are our earth's resources and there is not a replenishable stock. Also industrial waste and life waste leaped into a pollution source. Therefore, as construction continues, quarries are exhausted and new sources must be discovered.

The purpose of this paper is to investigate an application of recycled coal ash plastics in the construction field. The study examined the physical and mechanical properties of recycled coal ash plastic aggregate. In the results, although the absorption and specific gravity of SLAs increases slightly as the fly ash content increases, the compressive strength and modulus of elasticity of concrete made with SLAs remains relatively constant when mortar type and volume fraction are also held constant. These values are always lower than natural-weight aggregate concretes.

### 1. 서론

최근 고층화, 대형화 구조물의 건설로 인하여 경량골재의 수요가 증가하고 있다. 또한 국·내외적으로 폐기물 관리법이 제정되어 폐기물의 매립 등에 대한 규제가 강화되어지면서, 폐기물의 재활용방안에 대한 연구가 절실히 필요하게 되었다. 석탄회의 재활용 방안 연구는 활발히 진행되었지만, 정제된 플라이애쉬를 사용하고, 고온소성법을 이용하여 높은 생산단가, 낮은 강도, 품질관리의 어려움 등의 단점이 있다. 한편 폐플라스틱의 경우, 1970년대 이후 그 사용량이 점차 증대되어지면서 그에 따른 폐기물도 다량으로 발생되어 폐플라스틱을 이용한 신 건설 재료로서 많은 연구자들에 의해 그 특성이 연구되어 오고 있으나 일부 영세기업에서 조잡한 단순 재활용품 및 일부 소비용 자재를 생산하고 있는 수준으로 재활용 방안이 시급한 실정이다. 본 연구에서는 석탄회와 폐플라스틱의 재활용 방안으로써 경제성을 고려하여 선별작업, 세척 등의 중간과정을 거치지 않은 혼합 폐플라스틱과 미정제의 미연탄소분이 고풍유된 플라이애쉬를 이용한 인공경량합성골재 (Synthetic lightweight aggregate, SLA)를 개발하였고, 개발된 인공골재의 물리적·역학적 특성을 고찰하여 토목 및 건축 구조물등의 건설소재로의 활용 가능 여부를 예측하여 보았다.

### 2. 실험

본 연구에서는 플라이애쉬와 폐플라스틱을 이용한 인공경량합성골재의 물리적 특성을 알아보고, 이를 기존의

\* 정희원 · 한양대학교 토목공학과 교수

\*\* 정희원 · 한양대학교 토목공학과 박사과정

\*\*\* California Polytechnic State University, Professor

표 1 플라이애쉬의 화학적 조성

(unit : %)

Compound	SiO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
content	25~42	15~21	5~10	17~32	4~12.5	0.8~6.0	0.3~1.6	0.4~2.5	<1.0

표 2 골재의 물리적 특성

종 류	최대치수(mm)	비 중	흡 수 율(%)	조립률(F.M)
잔골재	-	2.6	0.94	2.9
굵은골재	13	2.69	1.02	6.2

일반 골재 및 인공골재와 비교하였다. 또한 본 연구에서 개발된 인공경량합성골재를 이용한 콘크리트의 압축강도 및 탄성계수 등의 물성을 측정하여 건설분야로의 사용 가능성을 알아보았다.

### 2.1 실험재료

페플라스틱은 선별작업을 거치지 않은 혼합 페플라스틱을 이용하였으며, 석탄회는 화력 발전소에서 발생하는 CaO 함량이 17~32%인 유연탄 Fly ash를 사용하였다. 또한 잔골재는 조립률 2.9이고, 굵은 골재는 최대치수 13mm인 쇄석을 사용하였다.

### 2.2 실험방법

인공경량합성골재는 혼합 페플라스틱과 C급 플라이애쉬를 이용하여 성형하였다. 플라이애쉬는 강열감량에 따라 질량의 25~35%의 탄소를 함유한 플라이애쉬를 사용하였다. 인공경량합성골재는 표 3에서 보이는 바와 같이 플라이애쉬와 페플라스틱의 비가 0 : 100 부터 80 : 20 까지 배합하였다. Fly ash 및 페플라스틱을 이용한 인공경량합성골재의 생산은 twin-screw compounding extruder를 이용하여 제작하였으며, 페플라스틱 용융시키기 위해 HDPE의 용융온도(200~260℃)보다 조금 높은 온도를 사용하였다. 페플라스틱의 합성 및 냉각 후 Extruder를 이용하여 인공경량합성골재를 생산하였다. 본 일련의 과정은 그림 1과 같다.

## 3. 실험결과

본 연구 결과물은 그림 2와 같으며, 위쪽은 플라이애쉬가 80%, 아래쪽은 50% 첨가되어진 인공경량합성골재이다.

### 3.1 경량인공골재

#### 3.1.1 잔골재

인공경량합성골재의 물리적 특성을 측정하기 위해 Bulk specific gravity(BSG), 흡수율, 비중, 함수율 등을 ASTM C128에 의

표 3 배합

Aggregate	Mixed plastic(%)	Fly ash(%)
00/MP	100	00
28/MP	72	28
43/MP	57	43
53/MP	47	53
58/MP	42	58
64/MP	36	64
70/MP	30	70
72/MP	28	72
73/MP	27	73

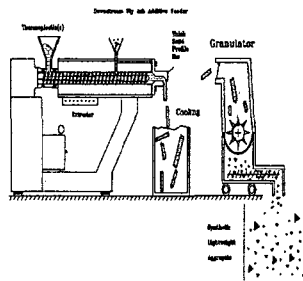


그림 1 제조과정

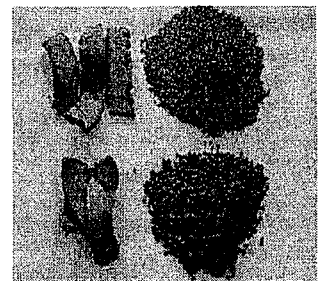


그림 2 개발된 경량합성인공골재

거하여 측정하였다. 실험결과, 잔골재의 물리적 성질은 흡수율은 0.9 %, 절대건조상태에서의 BSG는 2.47로 나타났다.

### 3.1.2 굵은골재

ASTM C128에 따라 각 배합에 따른 실험 결과, 흡수율은 플라이애쉬의 양이 증가와 큰 관계가 없는 것으로 보였으며, 혼합페플라스틱(MP)으로만으로 성형되어진 골재의 경우에는 흡수율이 0%로 측정되어졌다. 따라서 만일 흡수율이 골재의 공극과 직접적인 관계가 있다고 가정한다면, 이는 골재가 플라이애쉬의 양과 관계없이 공극비에 의한 것으로 볼 수 있을 것이다. 플라이애쉬의 양이 많을수록 초기의 중량이 무겁다. 이는 질량에 따라 같은 퍼센트로 증가하도록 하는 것이 전체 규모에 더 많은 흡착수를 섭취함을 의미한다. 모든 골재에 대하여 그림 3에서 보는 바와 같이 흡수가 발생함에 따라 재령이 지날수록 비중도 증가함을 볼 수 있었다. 플라이애쉬의 함유가 많은 골재일수록 비중(BSG, ASG) 급격히 증가하였음을 볼 수 있었다.

### 3.1.3 체분석

체분석은 ASTM C 136의 규정에 의거하여 실시하였으며, 체 분석시험은 거의 5분간 교반한 후, 각 체에 남은 재료의 양의 무게를 측정하였다. 그 결과 그림 4에서 보이는 바와 같이 각 배합별 시료 모두 매우 좋은 입도 분포를 보였다. 또한 플라이애쉬의 양이 증가함에 따라 잔골재의 양이 증가하는 경향을 보이고 있어서, 입도의 정도가 점차 나빠지는 것을 볼 수 있었다.

### 3.1.4 강열감량

이 시험의 목적은 각 배합에 정확한 플라이애쉬의 양을 결정하기 위함이며 골재에 있는 플라이애쉬의 강열감량과 골재에 있는 모든 페플라스틱이 플라이애쉬에 있는 탄소와 함께 모두 연소되어진다는 가정을 바탕으로 ASTM C 311의 규정에 의하여 행하여졌다. 강열감량 실험 결과 플라이애쉬 함량이 70%인 골재를 제외하고 각 배합은 기대되어진 플라이애쉬의 함량보다 실제적인 함량이 작음을 볼 수 있었다. 강열감량 시험은 플라이애쉬와 플라스틱의 정확한 배합비를 결정하는 것에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단되어졌다.

## 3.2 콘크리트 특성

### 3.2.1 배합설계

콘크리트 배합설계는 Kiggins(2001)에 의해 고안된 방법과 유사하며, 골재는 부피의 15% 또는 30%로 하였고, 슬럼프는 7.62cm, 물-시멘트 비는 50%로 배합하였다. 안공경량합성골재의 경우 부피의 30 또는 15%가 되는 체적비를 결정하였으며, 물 : 시멘트 : 잔골재의 중량비는 0.5 : 1 : 2.1로 하였다. 배합은 9개의 인공골재와 1개의 천연골재를 이용한  $\Phi 10 \times 20$ (cm) 원주형 몰드를 제작하였다.

### 3.2.2 압축강도 및 탄성계수

각 배합에 따른 압축강도 및 탄성계수는 재령 28일에 측정하였다. 압축강도 시험은 ASTM C39에 따라 각 배합별 3개의  $\Phi$

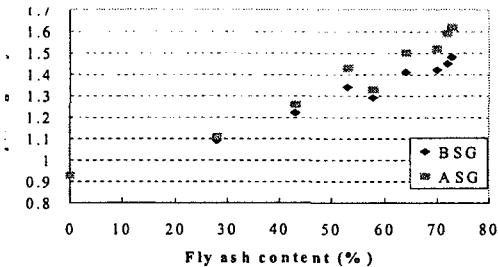


그림 3 Specific gravity(24hr) vs. Fly-ash(%)

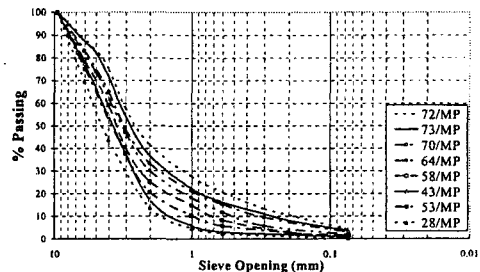


그림 4 Gradation of SLAs

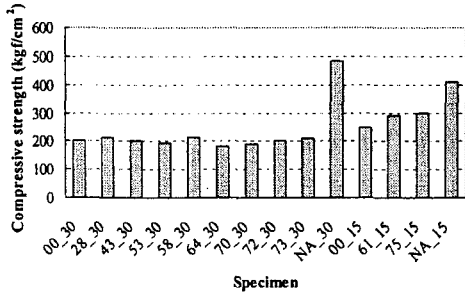


그림 5 압축강도

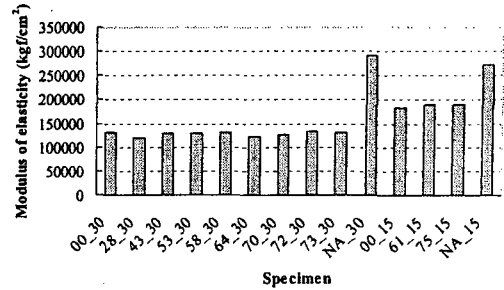


그림 6 탄성계수

10×20(cm) 원추형 공시체를 제작하여 실행하였다. 모든 공시체는 23℃, 상대습도 100%상에서 양생되어졌으며, 최대능력이 1.4MN인 Riehle screw-driven testing machine을 이용하여 행하여졌다. 탄성계수는 ASTM C469에 의해 계산되어졌다.

탄성계수는 Axial strain 측정용 Compressometer를 이용하여 계산되었다. Compressometer는 initial distance가 14cm 인 두 개의 ring으로 구성되어져 있다. 아래쪽의 ring은 공시체에 고정되어 있으며, 위쪽의 ring은 pivot으로 자유롭다. 또한 한쪽 면에는 14cm를 유지하기 위해 steel strut가 설치되어져 있고, 다른 한쪽 면에는 2.54mm의 LVDT가 설치하였다.

콘크리트 실험결과, 그림 5 및 그림 6과 같이 나타났다. 그림 5은 안공경량합성골재 type이 변화함에 따른 압축강도의 특별한 경향은 보이지 않고 있다. 하지만 모르타르의 양에 따른 SLA 또는 천연골재를 사용한 콘크리트의 경향은 볼 수 있었다.

안공경량합성골재의 경우, 모르타르의 양이 증가함에 따라 압축강도가 증가함을 볼 수 있었으며, 골재가 30%의 부피를 차지하는 경우를 15%의 부피를 차지하는 경우와 비교할 때 확연히 볼 수 있다. 하지만 천연골재의 경우에는 모르타르의 양이 증가함에 따라 압축강도가 감소함을 볼 수 있었다. 이는 모르타르의 탄성계수가 안공경량합성골재의 탄성계수보다는 크고, 천연골재의 탄성계수보다는 작기 때문에 일어나는 현상으로 판단되어진다.

#### 4. 결 론

산업폐기물인 석탄회와 페플라스틱의 재활용을 높이고, 천연자원의 고갈로 인한 문제점을 해결하기 위한 이번 연구의 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 안공경량합성골재(SLA)의 흡수율은 일반적으로 플라이애쉬의 함량이 증가함에 따라 증가되어지는 것으로 나타났다.
2. 안공경량합성골재의 비중은 Bulk specific gravity(BSG) 및 Absolute specific gravity(ASG) 모두 급격히 증가하였다
3. 각 배합별 시료 모두 매우 좋은 입도 분포를 보였으며, 플라이애쉬의 양이 증가함에 따라 잔골재의 양이 증가하는 경향을 보이고 있었다.
4. 플라이애쉬 함량이 70%인 골재를 제외한 각 배합은 기대된 플라이애쉬의 함량보다 실제적인 함량이 작음을 볼 수 있었다.
5. 안공경량합성골재를 이용한 콘크리트의 압축강도 및 탄성계수는 천연골재를 사용한 콘크리트보다 낮게 나왔으며 플라이애쉬의 양에 관계없이 일정한 값을 보이는 것으로 나타났다. 이는 콘크리트의 압축강도 및 탄성계수가 골재의 탄성계수에 큰 영향을 받는 것으로 가정할 때 안공경량합성골재가 천연골재에 비해 탄성계수가 낮음으로 인한 결과로 판단되어진다.

#### 참고문헌

1. Kashi M.G., Swan C., Holmstrom O., Malloy R. "Innovative, Lightweight Synthetic Aggregate Development from Coal Fly Ash", 13th International Symposium on Management and Use of Coal Combustion Products, Vol. 1, pp 5-1~ 5-14, Jan 1999
2. Swan C., Holmstrom O., "Geotechnical Properties of Innovative, Synthetic Lightweight Aggregate", 1998
3. Baykal G., Doven A.G., "Lightweight Concrete Production Using Unsintered Fly Ash Pellet Aggregate", ACAA 13th International symposium on Management and Use of Coal Combustion Products, Vol. 1, paper 3, 1999