

A study on the ecological lightweight aggregates made of bottom ashes and dredged soils

Jeon Hyejin[†] and Yootaek Kim

Department of Materials Engineering, Kyonggi University, Suwon 442-760, Korea

(Received March 30, 2007)

(Accepted June 5, 2007)

Abstract Ecological lightweight aggregates were made in order to recycle the dredged soils from the seaside construction area and the bottom ashes from the power plant. Various physical and chemical analysis were performed on them to identify their possibility for applying lightweight concrete fields. Lightweight aggregates were made of bottom ashes and dredged soils from Yongheung Island which is located 20km west away from Seoul, and all the raw materials were milled before mixing. The physical and chemical properties such as density, absorption rate, stability, alkali latency reaction, heavy metal leaching of the lightweight aggregates were tested and analysed by following the KS standard procedures. From the size analysis, the coarse aggregates showed a suitable fit on standard particle ranges; however, the fine aggregates showed a large deviation from the standard. The absorption rates were increased with decreasing weight of the aggregates. All the aggregates were turned out to be safe by the stability and heavy metal leaching test; however, some of the aggregates were confirmed on the border of harmless and possibly harmful region through the alkali latency reactivity test.

Key words Ecological lightweight aggregates, Bottom ashes, Dredged soils, Lightweight concrete

저회 및 준설토를 이용한 에코인공경량골재의 제조에 관한 연구

전혜진^{*}, 김유탉

경기대학교 재료공학과, 수원, 442-760

(2007년 3월 30일 접수)

(2007년 6월 5일 심사완료)

요 약 화력발전소에서 발생하는 저회와 준설토를 이용하여 인공경량골재를 만들어 경량콘크리트에 적용 가능한지 물리·화학적 분석을 진행하였다. 서울에서 20 km 서쪽에 위치해 있는 영흥도에서 발생한 저회와 준설토를 이용하여 인공경량골재를 제조하였으며, 모든 원료는 혼합 전 분쇄하여 사용되었다. 제조된 골재는 KS에 의거하여 입도시험, 표면밀도와 흡수율 시험, 안정성, 알칼리 잠재반응, 중금속 용출 시험을 진행하였다. 입도분석에서 굵은 골재는 적정 조립을 값을 나타내었고, 잔골재는 조립범위의 범위를 벗어났다. 경량화 될수록 흡수율이 증가하는 사실을 알 수 있었다. 안정성 및 중금속 용출 시험 결과 무해한 것으로 판단되었으나, 알칼리 잠재 반응성 확인 결과 몇몇 조성을 제외하고 무해한 골재로 판정되었다.

1. 서 론

국내 화력발전소에서 약 500여만 톤의 석탄회가 발생되고 있으며, 그 중 15~20%를 차지하는 저회의 경우, 약 120만 톤이 넘게 발생하는 것으로 추정된다[1, 2]. 저회는 비산회와는 다르게 물리·화학적 성질이 일정하지 않아 현재 대부분이 인근 연안에 매립 폐기되고 있어 해양환경 파괴를 초래함과 동시에 매립지의 포화상태를 가

져와 새로운 매립지의 확보 또는 자원 활용 방안이 시급한 실정이다[3, 4].

준설토 역시 현재 오염퇴적물로서 폐기물로 분류되어 무조건 해상투기나 육상매립을 하고 있는데, 오염정도에 따라 자원으로 재활용하는 방안을 적극 검토하여야 한다. 준설토의 처리는 다른 육상폐기물의 처리에 대한 심각성에 비해 매우 미미하고, 오염정도에 따른 분류기준도 마련되어 있지 않은 상태이다[5].

본 실험에서는 화력발전소에서 발생하는 저회를 재활용하기 위해 인공경량골재를 만들었으며, 준설토는 일반 점토보다 가소성이 더 좋아, 골재 성형 시 유리하기 때문에 결합제로 사용하여 자원화 하고자 하였다.

[†]Corresponding author

Tel: +82-31-249-9774

Fax: +82-31-244-6300

E-mail: bliss31@kgu.ac.kr

Table 1
Chemical compositions of bottom ashes (wt%)

	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	ZrO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	C
B/A	4.07	45.54	18.59	8.07	2.17	0.78	0.18	0.51	1.33	0.33	0.24	0.01	0.05	18.05

2. 원료 및 실험방법

화력발전소에서 발생한 저회와 준설통사 시 발생하는 준설통사가 예코 인공경량골재의 원료로 사용되었다. 저회에 포함된 조립의 석탄과 슬래그의 경우 분쇄, 성형, 소성 공정의 생산성을 저하시키고 최종 제품의 물성에 안 좋은 영향을 미칠 수 있어 강열감량이 약 37%에 달하는 미연탄소함량이 높은 3.35 mm 이상의 저회를 체가름을 통해 제거하여 인공경량골재의 원료로 사용하였다. 준설통사는 저회의 인공경량골재 활용을 극대화하고, 골재의 물성을 향상시키기 위하여 결합제로 사용하였다.

건조된 저회는 roller mill을 이용하여 1 mm 이하로 1차분쇄하고 pin mill을 통해 100 µm 이하로 2차 분쇄하였다. 결합제인 준설통사도 3 mm 이하의 크기로 1차 분쇄 하였으며 1 mm 이하의 크기로 2차 분쇄하였다. 분쇄된 원료들을 스크류 타입 혼련기에서 혼련하였다. 혼련된 원료는 압출성형기와 조립기를 통해 함수율 19~21%로 성형되었으며, 로터리 건조기에서 20분간 건조하였다. 압출성형기와 조립기를 이용한 2가지의 성형 방법은 골재 생산량과 생산 제품의 물성에 적합한 성형 방법을 판단하기 위해 진행되었다.

골재의 소성은 로터리킬른을 이용하였다. 경량골재를 제조하기 위한 최적의 내부가스 발생온도와 표면 액상 생성 온도를 제어하기 위하여 1050~1100°C 사이에서 골재를 소성하였다.

저회의 인공경량골재 사용을 위한 물리·화학적 분석 방법으로 화학 조성분석(XRF), 결정상 분석(XRD), 열시차/중량분석(DTA/TG), 입도 분석(습식체가름)을 수행하였다.

인공경량골재의 물리·화학적 분석 방법으로는 KS에 의거하여 골재의 입도 시험[6], 표건밀도와 흡수율 시험[7, 8], 안정성[9], 알칼리 잠재반응[10], 중금속 용출 시험을 진행하였다.

조립율은 골재의 입도를 표시하는 계수로서 75 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm, 5 mm, 2.5 mm, 1.2mm, 0.6 mm, 0.3 mm, 0.15 mm 체 등 10개의 표준체를 1조로 하여 체가름 시험을 했을 때, 각 체에 남은 누계량의 전체 시료에 대한 질량 백분율의 합을 100으로 나눈 값이다[11].

표건밀도는 표면 건조 포화 상태의 밀도를 뜻하는 것으로 골재의 표면수는 없고 골재알 속의 빈 틈이 물로 차있는 상태에서 골재알의 밀도를 말한다[11]. 표면 건

Table 2
Particle size distribution of coal bottom ashes (wet sieving)

	Particle size	Distribution rate (%)	Ignition loss (%)
1	90 µm under	9.3	16.176
2	90~180 µm	8.3	16.234
3	180~425 µm	10.5	12.553
4	425~850 µm	10.0	12.291
5	850 µm~1 mm	2.0	12.406
6	1~2 mm	14.3	14.333
7	2~3.35 mm	13.8	18.750
8	3.35 mm over	24.3	37.554
9	Loss	7.5	

조 포화 상태 시료의 질량/(표면 건조 포화 상태 시료의 질량 - 시료의 수증 질량)으로 구할 수 있다[7, 8]. 절건 밀도는 절대 건조 상태의 밀도를 뜻하는 것으로 골재 내부의 빈 틈에 포함되어 있는 물이 전부 제거된 상태의 골재알의 밀도를 말한다[11]. 절대 건조 상태의 질량/(표면 건조 포화 상태 시료의 질량 - 시료의 수증 질량)으로 구할 수 있다[7, 8].

3. 실험결과 및 고찰

저회의 화학 조성 분석결과를 Table 1에 나타내었다. SiO₂, Al₂O₃가 각각 45.54%와 18.59%로 주성분을 이루고 있으며, 약 18%의 미연탄소를 함유하고 있다. 저회의 화학조성은 점토질과 유사하며 내부에 존재하는 다량의 미연탄소 성분은 골재 소성 시 가스 발생을 통한 골재의 경량화에 유리하게 작용할 것으로 판단되었다.

습식 체가름을 이용한 입도분석 결과(Table 2) 저회는 넓은 범위의 입도분포를 나타내고 있으며, 1 mm 이상의 굵은 입자들도 약 50% 이상 차지하고 있었다. 3.35 mm 이상의 저회는 발전 과정 중에 남은 미연탄의 존재로 높은 강열감량을 나타내고 있다. 저회를 인공경량 골재의 원료로 사용하기 위해서는 불균일한 입도와 굵은 미연탄의 존재가 제품의 성형과 물성에 나쁜 영향을 미칠 수 있으므로 분쇄기를 통한 미분쇄가 필수적인 것으로 판단되었다.

저회의 결정상 분석 결과, 저회의 주성분인 SiO₂의 quartz 결정상과 석탄의 연소과정 중에 SiO₂ 성분과 Al₂O₃ 성분의 반응에 의한 mullite상이 관찰되었다(Fig. 1). Fig. 2는 TG/DTA를 이용한 저회의 열적특성을 분석

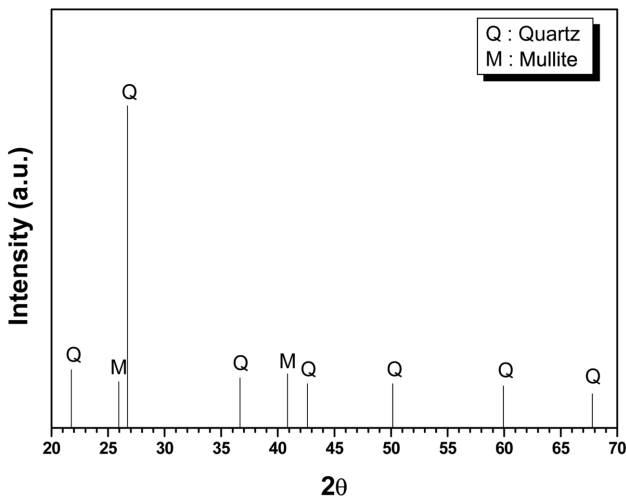


Fig. 1. X-ray diffraction(XRD) patterns of coal bottom ashes.

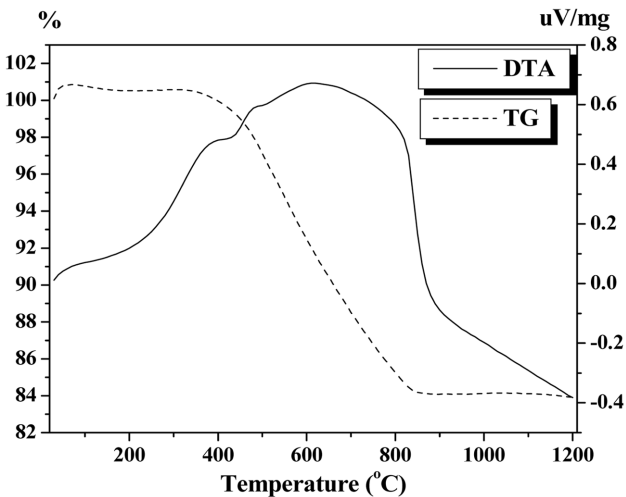


Fig. 2. TG/DTA analysis of coal bottom ashes.

한 결과인데 400~800°C 범위에서 발열피크와 함께 급격한 중량감소를 나타내고 있다. 이는 석탄에 존재하는 C 성분의 연소로 인한 결과로 판단된다.

저희를 이용하여 제조한 인공경량골재의 조성은 Table 3에 나타내었다. 저희 10~70 wt%, 준설토 15~60 wt%, 적점토 15~90 wt%로 변화시켜 실험하였다.

제조된 인공경량골재에 대한 입도분포를 시험한 결과를 Table 4에 나타내었다. 제조한 인공경량골재의 최대 치수를 20 mm로 하였을 때 5 mm~20 mm 골재의 각체를 통과하는 중량 백분율을 보면, 일반적인 표준입도를 10 mm~20 mm 체의 통과중량을 약 50 %, 5 mm~10 mm 체의 통과중량을 약 50 %로 조정하는 것과 비교하여 보면 2, IV, V를 제외하고는 표준입도에서 크게 벗어나 있음을 알 수 있다.

입도가 균일한 골재를 사용한 콘크리트는 공극이 작아져 강도가 증가하나 입도가 균일하지 않은 골재를 사용

Table 3
Compositions of the light weight aggregates

Class	Compositions (wt%)			remarks
	B/A	R-clay*	Dust**	
1	10	90		B/A milling
2	45	45	10	B/A not milling
3	30	60	10	B/A not milling
Class	B/A	R-clay	D-clay***	remarks
I	70	15	15	coarse aggregate
II	60	20	20	coarse aggregate
III	70		30	coarse aggregate
IV	70		30	coarse aggregate
V	60		40	coarse aggregate
VI	50		50	coarse aggregate
VII	40		60	coarse aggregate
VIII	50		50	coarse aggregate
i	70	30		fine aggregate
ii	60	40		fine aggregate
ii	60		40	fine aggregate

*R-clay : Red clay
**Dust : Stone dust
***D-clay : Dredged clay

Table 4
Granularity data of light weight aggregates

Class	Granularity (%) (passing weight percent)				
	25 mm	20 mm	10 mm	5 mm	2.5 mm
1	100	100	35	2	-
2	100	95	54	8	-
3	100	100	78	17	-
I	100	100	92	16	1
II	100	100	99	38	2
III	100	100	100	36	2
IV	100	100	55	12	1
V	100	100	39	4	1
VI	100	99	22	2	1
VII	100	100	37	3	1
VIII	100	100	92	56	15

하면 workability가 나빠지고 재료분리의 증가 및 강도가 저하하며 비경제적인 콘크리트가 된다. 이러한 이유로, 향후 인공경량골재의 강도, 흡수율, 비중과 함께 경제적인 경량 콘크리트를 제조하기 위해서는 인공경량골재 입도분포를 정확하게 조정하는 것도 중요한 인자 중의 하나이다.

각각의 인공경량골재의 조립율을 시험한 결과(Fig. 3) 일부를 제외한 대부분의 조성들은 6.0~7.0 % 범위의 조립율 값을 나타냄으로써 콘크리트용 굵은 골재로서 조립율 품질을 만족한다. 반면에 잔골재의 경우 조립율이 4~5%의 조립율을 나타내어 콘크리트용 잔골재의 적정 조립율 2.3~3.1 % 값을 초과하여, 향후 입도관리가 필요할 것으로 나타났다.

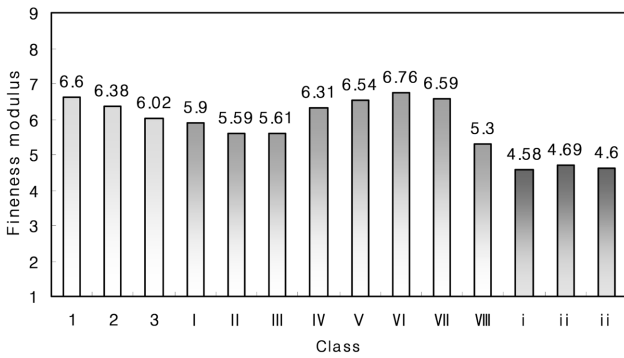


Fig. 3. Fineness modulus of light weight aggregates.

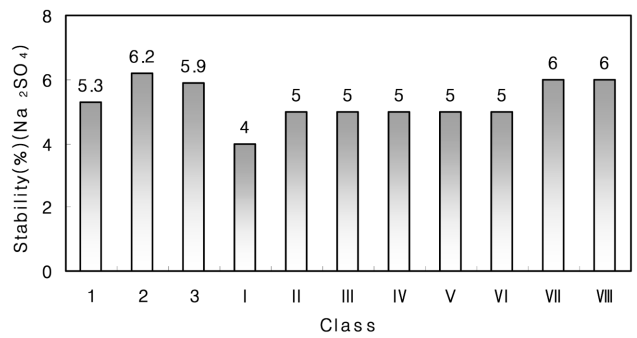


Fig. 6. Stabilities of light weight aggregates.

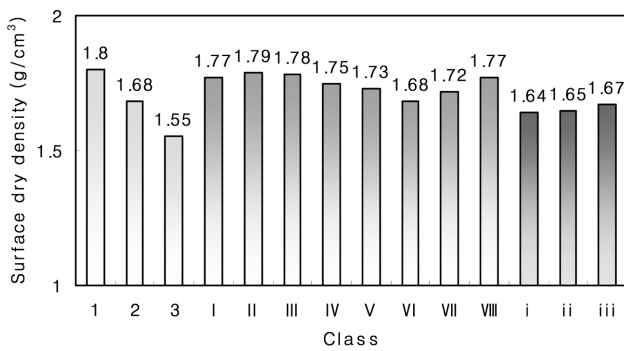


Fig. 4. Surface dry densities of light weight aggregates.

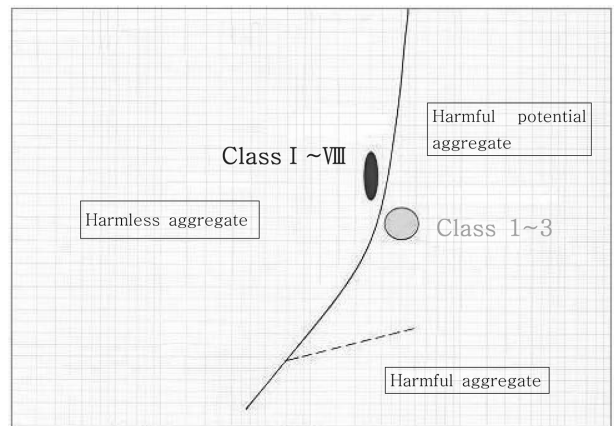


Fig. 7. Alkali potential reaction of light weight aggregates.

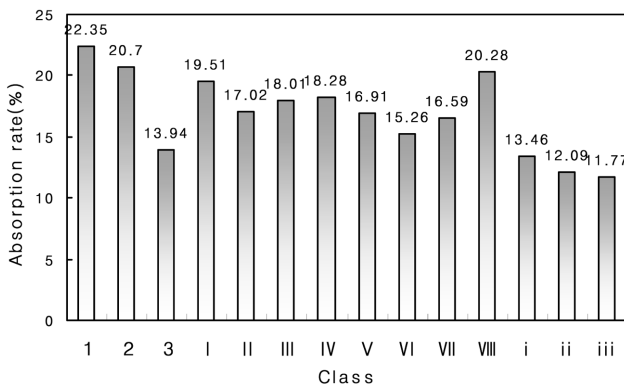


Fig. 5. Absorption rates of light weight aggregates.

Fig. 4에 나타난 결과와 같이 제조된 종류별 인공경량골재의 표건밀도 결과값을 기준으로 하여, 실험적으로 표건밀도와 절건밀도의 차이가 약 0.2~0.3 정도의 차이가 나타나는 것을 고려하여 절건밀도 값을 추정하여 보면, 대부분의 조성들이 절건밀도 1.3~1.5 범위의 값을 나타내고 있다. 이것으로 보아, 경량 콘크리트 제조에 있어서 필수적인 인공경량골재의 경량화를 달성한 것으로 보인다.

인공경량골재의 흡수율 시험 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 인공경량골재의 흡수율 범위는 13~23%의 범위 값을 나타내고 있다. 흡수율의 경우는 절건밀도와 반대

의 경향을 나타내고 있어, 경량화 될수록, 즉 절건밀도가 작아질수록 흡수율은 증가하고 있는 것으로 나타났다.

골재에 대한 안정성 시험 방법은 굵은 골재의 경우, 황산나트륨에 의한 경우 조작을 5번 반복했을 때 잔골재의 최대손실중량 백분율은 10%, 굵은 골재는 12% 이내이며, 황산마그네슘으로 했을 경우에는 잔골재는 15%, 굵은 골재는 18% 이내이어야 한다[9].

Fig. 6에 나타난 바와 같이 제조된 각 인공경량골재의 안정성 시험결과 4~6% 사이의 값을 나타내었으며, 이는 안정성에 대한 품질기준을 충분히 만족하고 있다.

인공경량골재의 알칼리 골재 반응성을 확인한 결과는 다음의 Fig. 7과 같으며 1~3의 조성을 제외하고, 모두 무해한 골재로 판정되어 인공경량골재를 콘크리트용 골재로 사용하는 데에 있어서 알칼리 잠재반응에 대한 유해성은 없는 것으로 판단된다[10].

제조한 인공경량골재에 대한 중금속 용출시험을 폐기물공정시험방법에 따라 평가한 결과, 모든 조성에서 유해 중금속이 검출되지 않았다. 이는 초기 원료 내에 포함되어 있던 소량의 유해물질이 소성과정을 거치면서 배합원료들 간의 소결 및 유리화에 의한 고정화 효과, 용출억제 효과에 기인한 것으로 보인다[12].

4. 결 론

저회와 준설토를 이용한 골재의 물리·화학적 특성을 알아보고 콘크리트용 경량골재로 사용할 수 있는지 여부를 알아보기 위해 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 입도분석 결과, 조성 번호 2, IV, V를 제외하고는 표준입도에서 크게 벗어나 있었으며, 조립율을 시험한 결과 대부분의 조성들은 6.0~7.0 % 범위의 적정 조립율 값을 나타낸다. 하지만 잔골재의 경우 적정 조립율 값을 초과하여 입도관리가 필요한 것으로 나타났다

2) 표건 밀도 값으로 절건 밀도를 추정하여 보면, 대부분 1.3~1.5 범위의 값을 나타내고, 흡수율의 범위는 13~23 % 범위 값을 나타낸다. 흡수율의 경우, 절건밀도와 반대의 경향을 나타내 경량화 될수록, 흡수율은 증가하는 것을 알 수 있다.

3) 안정성 시험 결과, 4~6 % 사이의 값을 나타내어, 안정성에 대한 품질기준을 충분히 만족하고 있다. 알칼리 골재 반응성을 확인한 결과, 1~3 조성을 제외한 골재 모두 무해한 골재로 판정되었다. 인공경량골재의 중금속 용출 시험 결과, 모든 조성에서 유해 중금속이 검출되지 않았다.

4) 저회 70 wt%, 준설토 30 wt%, 총 85 wt%의 순환 자원을 활용한 에코 인공 경량 골재가 각종 물리·화학적 실험에 의해 안정하다는 것이 밝혀졌고, 따라서 경량 콘크리트 제조에 사용가능하다고 판단되었다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 경기대학교 학술연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] D. Kim, J.W. Lim and N.W. Linn, "A Study on the physical properties of cement mortar with use of bottom ash dumped at an ash pond of the electrical coal power station", Korean Society of Waste Management (2004) 69.
- [2] Information personally obtained from Korea Namdong Electrics in 2006.
- [3] M. Song, J.B. Jang, B.S. Cho, J.H. Kim, Y.R. Kim and M.H. Kim, "An experimental study on properties of mortar using bottom ash produced in power plant", Journal of the Architectural Institute of Korea 23 (2003) 203.
- [4] J.H. Lee, J.H. Shim, J.H. Kim, S.P. Kang, S. Choi and M.H. Kim, "A study on the strength properties of concrete containing bottom ash as a part of fine aggregate", Journal of the Architectural Institute of Korea 21 (2001) 359.
- [5] G.L. Yoon and H.Y. Jo, "Recycling strategies and case histories of dredged soils", Korean Geo-Environmental Society 3 (2002) 48.
- [6] KS F 2502 Sieving Test Method for Fine and Coarse Aggregates.
- [7] KS F 2503 Absorption Rate and Density Test Method for Fine Aggregates.
- [8] KS F 2504 Absorption Rate and Density Test Method for Fine Aggregates.
- [9] KS F 2507 Stability Test Method for Aggregates.
- [10] KS F 2545 Alkali Potential Reaction Test Method for Aggregates.
- [11] KS F 2523 Terms and Definition of Aggregates.
- [12] J. Lee, "Co-relation of leaching properties of heavy metals on nano particle with colloid/interface variables", (2006) master thesis, Kyonggi University Graduate School, pp. 35-39.