

비소성 석탄회 인공 골재를 이용한 프리캐스트 제품 개발

Development of Pre-cast product using non-sintering Artificial Aggregate with Coal-Ash

조 병 완^{*} 김 영 진^{**} 박 종 빈^{**} 정범석^{***}
Jo, Byung-Wan Kim, Young-Jin Park, Jong-Bin Jung, Boem Suk

Abstract

Immense quantities of coal combustion by-products are produced every year, and only a small fraction of them are currently utilized. The purpose of this study is to investigate reused techniques of coal ash in the construction field, which may contribute to conservation of environment. Also problem of noise is caused to highly economic growth and expansion of country base industry. So, in this study, artificial aggregate was developed to recycle coal ash by non-sintering technique and crush method. And characteristic of developed artificial aggregate was examined. Also, noise barriers using developed artificial aggregate was made by link of development of ECO-construction product and is preparing sound absorption and transmission loss experiment.

Result of study was showed that artificial aggregate was more proper to use a noise barriers and this is expected to satisfy sound absorption standard in this study.

So, if shape and color considering surround and design technology is studied continuously, it can be expected to make ECO-precast product as well as maximize waste recycling.

1. 서 론

최근 고도의 경제성장 및 활발한 국가 기간 산업의 확충으로 파생된 산업폐기물 및 생활폐기물의 환경오염이 심각하다. 또한 해양투기 및 매립이 금지되어 폐기물의 처리 및 재활용 대책에 대한 연구가 국가적인 차원에서 시급한 실정이다. 그리고 천연골재가 고갈되어 해사의 사용이 이미 전체 레미콘 사용량의 60%를 초과하고, 석산 개발로 무차별 환경 파손이 자행되고 있는 상태이다. 또한 인구의 도시 집중과 산업의 발전 등으로 전력수요가 증가함에 따라 발전소의 증설과 함께 발전용량이 증가하여 발생하는 석탄회의 양도 1996년에 320만톤, 2000년도에는 443만톤으로 발생량이 증가하였으며, 2005년에는 572만톤이 발생될 것으로 추정된다.

이 중 2000년도의 경우 재활용으로 사용된 양은 242만톤으로 생산량의 약 55% 정도이다.(한전산업 개발, 2000) 플라이 애쉬는 폭넓은 연구가 세계각지에서 수행되면서, 기존의 시멘트 재료나, 매립재, 비료 등의 재활용 한계를 극복하기 위한 연구가 활발히 수행되고 있다. 그러나 플라이 애쉬의 경우에는 아직까지 재활용에 대한 연구가 미미한 실정이다. 또한 고도의 경제성장으로 인한 소음 공해가 심화되어지고 있다. 이를 위해 흡음벽이나 차단벽을 이용하여 발생음을 흡음이나 반사를 시켜 음의 소멸

* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수
** 정회원, 한양대학교 대학원 박사과정
** 정회원, 한양대학교 대학원 박사과정
***정회원, 한양대학교 대학원 석사과정

하고 있다. 하지만 흡음형 방음벽의 재료로 널리 이용되고 있는 유리면과 압면은 흡음효과는 양호하지만, 발암물질을 함유하는 등 인체의 유해성 문제가 야기되고 있다. 환경부 고시 “방음벽의 성능 및 설치기준⁽³⁾에서 흡음형 방음판은 인체에 유해한 물질을 함유하지 않고 내구성이 있어야하며 평균 흡음률이 70% 이상을 기준으로 한다.⁽²⁾

이에 본 연구에서는 천연 자원의 채취와 고갈 및 폐기물로 인한 환경오염을 줄이고, 환경친화적인 2차 건설소재의 개발을 목적으로 석탄회 인공 골재를 이용한 프리캐스트 제품(방음벽)을 개발하였다.

2. 실험재료

2.1 시멘트

강도증진제로 사용한 시멘트는 KS F 5201에 규정된 규격을 만족하는 S사의 보통 포틀랜드 시멘트로서 비중은 3.15, 분말도는 3,184 cm³/g인 제품을 사용하였으며 그 물리적·화학적 특성은 다음과 같다.

표 1 보통 포틀랜드 시멘트의 물리적 특성

비중	분말도 (cm ³ /g)	강열감량 (%)	단위수량비 (%)
3.15	3,184	0.9	0.56

표 2 보통 포틀랜드 시멘트의 화학성분

unit weight (%)					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
20.4	5.4	3.5	64.5	2.1	1.9

2.2 석탄회

본 연구에서는 석탄회는 당진화력 발전소에서 발생하는 유연탄 플라이 애쉬, 플라이 애쉬를 사용하였다. 플라이 애쉬는 CaO 함량이 6% 미만이고 강열감량이 12% 미만인 KS L 5405 규정에 적합한 F급 플라이 애쉬를 사용하였다. 플라이 애쉬는 No.8체를 통과하고 No.200체에 남도록 체가름하여 미연탄소분을 제거하여 사용하였다. 플라이 애쉬 및 플라이 애쉬에 대한 물리적 또는 화학적 특성은 다음과 같다.

표 3 플라이 애쉬의 화학성분

unit weight (%)					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
57.09	24.66	10.50	2.58	1.37	0.94

표 4 플라이 애쉬의 화학성분

unit weight (%)						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
49.91	22.54	11.37	5.84	1.25	0.87	0.39

표 5 플라이 애쉬의 물리적 특성

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

2.3 혼화제

첨가제로는 이산화망간, 보통포 틀랜드 시멘트, 수산화나트륨, 그리고 몰유리 등을 사용하였다. 수산화나트륨은 플라이 애쉬와 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 반응성을 증가시키고 플라이 애쉬에서 실리카의 용해속도를 증가시키기 위한 첨가제로 사용되었다. 그리고 MnO_2 를 이 반응의 촉매제로 사용을 하였다. 또한 몰유리는 자체경화 및 플라이 애쉬 반응성 증가를 통한 강도증진을 유도하였다.

3. 실험 방법

선행연구에서 제작된 방음벽에 대한 실험 결과 흡음 계수(NRC)가 기준을 만족하지 못하였다. 따라서 이번 연구에서는 선행 연구결과를 보완한 방음벽을 개발하였으며, 예비실험으로부터 도출된 실험 배합비를 기준으로 석탄회와 여러 가지 첨가물 등의 성능개선제를 사용하여 석탄회로 제작한 인공 골재를 제작하고, 흡음판을 제작하여 잔향실법에 의한 흡음측정 및 투과손실 실험을 수행하였다.

3.1 인공 골재

석탄회를 이용한 인공 골재는 비소성 방법을 이용하여 예비실험에서 도출된 배합으로 제작되었으며, 파쇄법을 이용하였다. 석탄회, 시멘트를 혼합기를 이용하여 2분간 건비밀 후 혼화제 및 물을 첨가하여 3분간 혼합하였고, $10 \times 10 \times 40(\text{cm})$ 각주 공시체를 이용하여 성형하였다. 또한 양생은 탈형 후, 24시간 90°C 로 건조양생 후, 공기 중(25°C)에서 7일간 양생하였다. 이후 분쇄기를 이용하여 파쇄하였다. 제작된 인공 골재의 비중, 흡수율등의 기본적인 물성 특성을 알아보았다.

3.2 방음실험

연속공극이 형성된 방음판의 특성을 파악하기 위하여 파쇄법을 통해 얻은 인공 골재를 이용하여 제작한 방음벽을 가지고 방음성능 시험을 하였다. 방음실험으로 잔향실법에 의한 흡음률 실험(KS F 2805)과 투과손실 실험(KS F 2808)을 수행하였다. 흡음률 실험은 방음벽의 흡음성능을 나타내는 것으로 흡음형 방음벽의 경우 여러 시방서에서 일반적으로 250, 500, 1000, 2000Hz의 각 주파수대역 흡음률을 산술 평균한 흡음계수값(NRC)이 0.7 이상의 성능을 요구하고 있다. 125~4kHz까지 잡음신호를 발생 후 잔향실 내의 시료를 넣은 상태와 넣지 않은 상태에서의 잔향시간을 측정하여 흡음률을 계산한다. 또한 투과손실 실험은 방음벽에 입사하는 음향파위레벨과 투과하는 음향파위레벨의 차를 나타내는 것으로서, 일반적으로 500Hz에서는 25dB이상, 1kHz에서는 30dB이상의 성능을 요구한다. 흡음률 및 투과손실 실험을 위한 시료의 면적은 10m^2 으로 제작하였다.

4. 선행연구⁽¹⁾

4.1 인공 골재 특성

비소성 인공 골재를 제작은 표 6과 같이 배합하여 파쇄법을 이용하여 제조하였다. 양생은 건조로에

서 24시간 60℃로 건조한 뒤, 공기 중에서 7일간 양생 후 파쇄하였다. 인공 골재의 절건비중은 1.66 g/cm³이었다.

표 6 배합표

unit weight (kg/m ³)					
플라이 애쉬	Cement	Water	SiO ₂	NaOH	MnO ₂
820	82	205	82	123	41

4.2 방음 시험

그림 1에서 보는 바와 같이 개발하는 방음벽은 다공질의 석탄회 인공 골재를 이용하여 음파가 통과할 때 주위벽과의 마찰과 점성저항에 의하여 음에너지가 열에너지로 변하는 특성을 이용한 방음벽이다. 선행연구 결과는 그림 2에서 보는 바와 같이 인공 골재를 이용하여 만든 방음벽의 흡음 결과는 고주파수일수록 좋아지는 현상을 볼 수 있었다. 그러나 흡음계수(NRC)는 b/0.63으로 측정되어 흡음 기준을 만족하지 못하였다. 이는 골재 입자의 크기가 크게 성형이 되어짐에 따라 방음판 내부 공극이 조밀하지 못하고, 또한 골재 자체의 내부 공극도 적어 흡음의 효과를 얻지 못한 것으로 판단되었다. 따라서 석탄회 인공 골재의 크기를 작게 하여 내부 공극을 치밀하게 하고, 또한 기존의 석탄회 인공 골재를 좀 더 다공질화 한다면 충분히 흡음 기준을 만족할 것으로 판단된다.

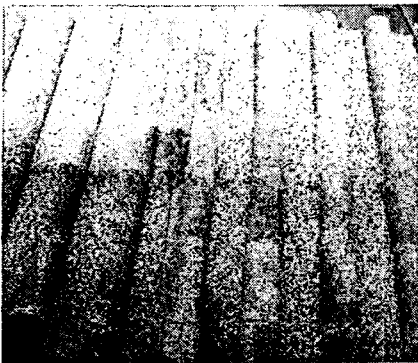


그림 1 선행연구 방음판

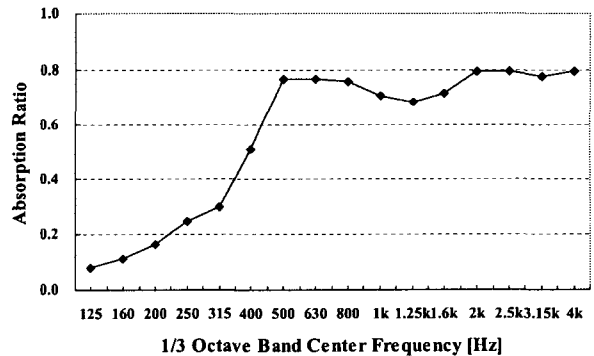


그림 2 주파수에 따른 흡음계수의 값

5. 실험

5.1 인공 골재의 성형

본 연구에서는 흡음에 대한 골재의 성능을 최대도 하기 위해 플라이 애쉬를 첨가하여 내부 공극의 비율을 늘렸으며, 또한 비중을 낮추었다. 비소성 인공 골재 제작은 아래의 표 7과 같이 배합하여 파쇄법을 이용하여 제조하였다. 양생은 타설 후 24시간 뒤에 탈형하여, 건조로에서 24시간 90℃로 건조한 뒤, 공기 중(25℃)에서 7일간 양생하였다. 양생이 완료된 후, 분쇄기를 이용한 파쇄를 하였고, 최대 골재 크기는 13mm로 하였다.

표 7 배합표

unit weight (단위 : kg/m ³)							
플라이 애쉬	플라이 애쉬	Cement	Water	SiO ₂	NaOH	MnO ₂	CaO
606	404	61	272.7	48.5	60	30.3	30.3

5.2 방음판 제작

본 연구에서는 선행연구의 문제점을 보완하여, 최대치수 13mm 크기의 석탄회 인공 골재를 사용하였다. 또한 방음판의 성능을 높이고, 자중을 줄이고자 방음판의 두께를 증가시키고, 콘크리트 지지판의 두께를 대폭 줄여서 제작하였다. 방음판 및 콘크리트 지지판의 두께는 각 15cm, 3cm으로 총 두께는 18cm로 제작되었다. 제작 공정은 준비되어진 몰드에 인공 골재를 시멘트 모르타르와 믹싱하여 타설 후, 콘크리트를 그 위에 타설하였다. 모든 타설이 끝난 후 24시간 뒤에 탈형하여 공기 중 양생하였다.

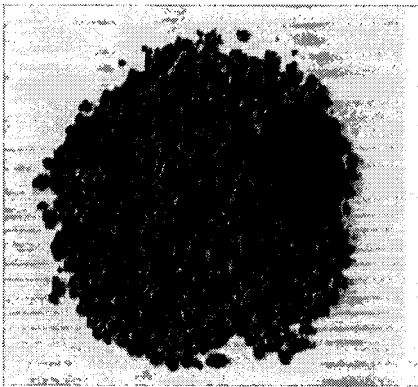


그림 3 석탄회를 이용한 비소성 인공 골재

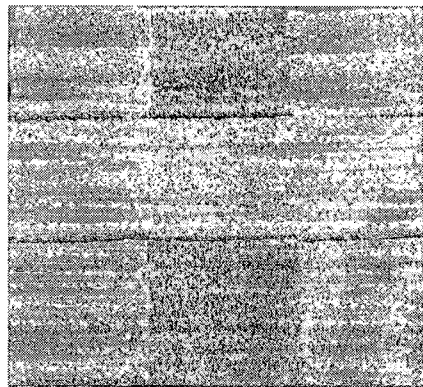


그림 4 방음판

6. 실험결과

본 연구에서는 석탄회를 이용한 친환경 프리캐스트 제품 개발을 목적으로 석탄회 비소성 인공 골재를 이용한 방음벽을 제작하였으며, 인공 골재의 특성 분석을 하였고, 흡음 및 차음 실험을 통하여 방음벽의 성능 실험을 할 예정이다. 지금까지 행한 실험의 결과는 다음과 같다.

1. 선행 연구의 흡음 실험 결과, 저주파수보다 고주파수에서 흡음의 정도가 좋았으나, 흡음계수(NRC)는 0.63으로써 기준인 0.7에 만족하지 못하였다. 이는 석탄회 인공 골재의 입자 크기가 크게 성형이 되어 내부 공극이 조밀하지 않고, 인공 골재의 내부 공극도 흡음의 효과를 얻기에는 부적합한 것으로 판단되었다. 따라서 인공 골재의 크기를 작게하고 인공 골재 자체의 다공화가 되어진다면 충분

히 방음의 성능이 높아질 것으로 판단되었다.

2. 석탄회를 이용한 비소성 인공 골재의 특성은 절건비중이 1.25, 표건비중은 1.49으로 나타났으며, 이는 플라이 애쉬 만으로 제작한 인공 골재보다 가볍고, 골재 내부 공극이 많은 것으로 나타났다. 따라서 흡음 성능을 향상시킬 것으로 판단되어진다.

이상의 연구를 통해 석탄회 인공 골재를 이용한 환경 친화적인 방음벽의 개발이 이루어질 것으로 예상되어지며, 앞으로 주변의 모든 조건을 파악하여 기능, 모양 및 색상등의 조화가 가능한 설계기술의 확립에 관한 연구가 계속 되어진다면, 폐기물의 재활용을 극대화할 수 있을 뿐만 아니라, 친환경 건설제품(방음벽)의 개발을 할 수 있을 것으로 판단되어진다.

7. 감사의 글

본 연구는 2002년도 과학기술부의 연구비 지원하에 수행중인 국가지정연구실 사업의 연구중 일부분임을 밝히며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 조병완, "석탄회 인공 골재를 이용한 방음판에 관한 연구", 대한토목학회 가을학술발표회, 2001.
2. 이승한, "연속공극을 갖는 기포콘크리트의 흡음특성에 관한 연구", 콘크리트학회 가을 학술발표회, 2000.
3. 환경부, 환경고시 제 1998-150호 방음벽의 성능 및 설치기준, 1999.
4. 조병완, "석탄회를 이용한 환경친화적 인공 골재 개발 (II)", 한국콘크리트학회 봄 학술발표회, 2001.
5. 박승범, "흡음콘크리트", 콘크리트 학회지 제12권 5호, 2000. 9.
6. 정성수, "초경량 콘크리트 흡음재의 음향특성에 관한 연구", 한국소음진동공학회 소음진동학술대회 논문집, pp594~599.