

석탄회를 이용한 비소성 고강도골재의 제조

Preparation of Non-Sintering High Strength Aggregate using Coal ash

김도수* 박대영** 문정호** 노재성***

Kim, Do Su Park, Dae Young Moon, Jeong Ho, Rho, Jae Seong

ABSTRACT

For substitution for crushed sand, high strength aggregate for cement and concrete using coal ash as a main material was prepared and then compared its physical properties with those of crushed sand. Effect of mix proportion change of raw materials on the property of aggregate was checked. On the basis of these experimental results, we are going to comprehend the reutilization of coal ash and utilize a basic data for judging possibility the substitution of crushed sand

1. 서론

유럽과 일본등 선진국에서는 30여년 이상 계속적인 석탄회에 대한 이용기술개발과 함께 이를 각종 산업분야에 이용하여 최근에는 재활용률이 60%이상 되고 있다. 그러나 국내에서는 97년에 320만톤의 석탄회가 발생하여 약 87만톤을 재활용하고 있으나 약 27%의 재활용율에 그치고 있으며 대부분이 시멘트·레미콘 분야에 90%이상 활용하고 있다. 이와같이 국내 석탄회의 이용률이 외국에 비하여 현저히 낮고 매립되어 폐기되는 양이 많아 매립지 확보를 위한 경제적 부담뿐만 아니라 매립시 발생하는 분진에 의한 대기오염 및 토양, 수질오염 등의 간과할 수 없는 환경공해를 유발하는 문제점을 동시에 갖고 있다.

이러한 실정에서 우리나라는 주요 선진국의 자원화 이용추세와 더불어 석탄회의 단순한 매립방식에서 벗어나 국내 특수성에 부합하는 이용기술을 개발할 필요성이 더욱 증대되고 있다.

석탄회의 재활용 기술분야로는 시멘트 분야이외에 골재분야, 건축재료분야, 토목분야, 농업수산분야 등에 널리 이용되고 있다. 이중 골재분야에서 석탄회를 이용한 인공경량골재의 경우 천연골재의 고갈과 환경문제의 부각으로 인해 골재의 수급이 점차 어려워지고 일부에서는 파쇄시킨 골재를 쓰고 있는 형편이며 천연골재의 단가도 계속 상승함에 따라 개발기술의 필요성이 더욱 가중되고 있다. 그러나 이러한 인공경량골재는 경량화에 따른 콘크리트 부재단면의 축소에 따른 기초비 절감효과, 단열성능등의 향상에 따른 에너지 절약효과등에 기여하는 구조용 콘크리트에 사용되는 15mm이상의 조골재의 대체를 위하여 개발되고 있는 실정이며 콘크리트용 세골재로서 모래대신에 이용하는 연구가 관련업계에서 실시한 바 있으며

* 충남대학교 대학원 박사과정

** 충남대학교 대학원 석사과정

*** 정희원, 충남대학교 정밀공업화학과 교수

일본의 경우 모래를 50% 대체하여도 강도상의 문제점 없으나 현시점에서 실용화하기는 어렵다고 하였다.

본 연구에서는 이를 배경으로 석탄회를 주재로 활용하여 실질적으로 부순모래, 쇠석등의 세골재로의 대체가 가능한 골재를 개발하고자 시멘트, 강도증진제 등을 부배합하고 이를 성형한 뒤 소성공정을 거치지 않지 않고 상압증기양생으로 제조한 비소성 골재를 제조하고 이를 세골재용으로 사용하는 부순모래를 대상으로 흡수율, 비중, 파쇄율등의 골재의 물리적특성을 비교함으로써 대체 가능성을 검토하고자 하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료의 특성

시멘트는 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 이용하였고 골재제조시 주재인 석탄회는 보령화력발전소에서 부생되는 것을 사용하였으며 화학조성은 표. 1과 같다.

표 1. 석탄회의 화학조성

화학조성.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Ig-loss	기타	합계
함량(wt%)	63.50	25.52	2.73	1.51	0.20	0.19	0.85	0.15	2.48	2.87	100

표 2 부순모래의 물리적 특성

구분	표건비중	흡수율(%)	최대치수(mm)	조립율(%)	실적율(%)	단위용적중량(kg/ℓ)
특성값	2.58	1.38	5.0	2.87	64.1	1.60

표 3 비소성 골재의 제조를 위한 주·부재료의 배합설계표

골재 구분	시료명	재료배합 (시멘트량에 대한 상대적 wt%)						
		시멘트	강도증진 조제	석탄회	모래	기공형성 조제*		물/고형분**
						AE유동화제	Al분말	
경량골재	NSL-1	100	10	200	-	1.0	-	28
	NSL-2	100	10	150	50	1.0	-	23
	NSL-3	100	10	200	-	-	0.1	30
	NSL-4	100	20	100	20	1.0	-	21
	NSL-5	100	20	100	20	-	0.1	27
고강도 골재	NSH-1	100	30	100	20	-	-	26
	NSH-2	100	25	150	20	-	-	26
	NSH-3	100	35	150	20	-	-	26
	NSH-4	100	30	200	20	-	-	26
	NSH-5	100	40	200	20	-	-	26

* 기공형성조제 첨가량은 고형분량에 대한 wt%

** 물/고형분에서 고형분량은 석탄회, 시멘트와 강도증진조제의 총량

골재 제조시 강도증진을 위한 조제로는 부생 II형 무수석고, 수쇄슬래 등을 일정비율 혼합한 건조 분말을 사용하였으며 이 때 조제의 분말도 및 비중은 각각 $7,300\text{cm}^2/\text{g}$, 2.82 이었다.

또한 고강도 골재외에 경량화를 위한 기포조제로서 국내 J사의 AE유동화제(시멘트대비 0.5wt% 첨가시 10% air 함량 기준) 혹은 ALA 제조시 보조원료로 활용되는 Al분말을 일정비율 첨가하였다.

비소성 골재 제조를 위한 각 주·부재료의 배합비는 표. 2와 같으며 물/고형분비는 적절한 성형성을 확보할 수 있는 범위내에서 조정하였다. 비교대상으로 한 부순모래의 물리적 특성은 표. 3과 같다

2.2 비소성 골재의 제조

그림 1은 석탄회를 활용한 고강도 골재의 제조공정도를 나타낸 것으로 주·부재료 건식혼합, 습식 혼합 공정을 거친 슬러리를 Extruder에 의해 골재형상으로 성형하고 습윤함에서 약 10시간 정치시켰다. 상압증기양생은 $20^\circ\text{C}/\text{시간}$ 으로 승온하고 80°C 에서 4시간동안 양생한 뒤 12시간동안 방냉하였다.

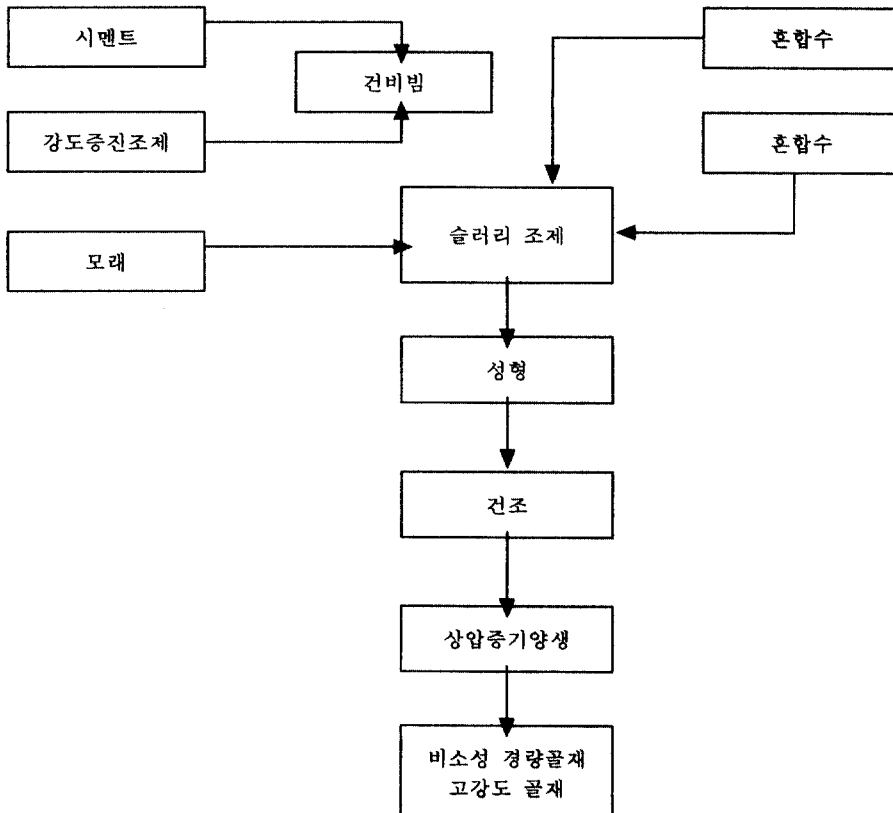


그림 1 비소성 경량골재 및 고강도 골재의 제조공정

2.3 물리적 특성값 측정

제조원료의 배합별로 상압증기양생에 의하여 제조한 비소성 골재의 흡수율 및 비중은 KS F 2529에 따라 측정하였으며 골재의 파쇄율은 KS F 2541에 따라 10~13mm의 크기의 골재를 대상으로 40ton 압축시험기를 이용하여 10분동안 재하한 후 No. 8체를 통과한 파쇄 세립치의 무게를 측정하여 결정하였다. 비소성 골재의 수화물 정성 및 파단면의 조직관찰을 위해 XRD 및 SEM을 이용하여 파악하였다.

3. 실험결과 및 고찰

골재의 흡수율 및 표면비중(surface gravity, S.G), 절건비중(absolute dry gravity, D.G)은 extruder 성형시 골재입도를 3~5mm, 3mm 이하로 구분하여 측정하였으며 측정결과는 표 4와 같다.

표 4 각 골재의 흡수율 및 비중 측정결과

골재 구분	시료명	24시간 흡수율(%)	표면비중(S.G)	절건비중(D.G)
부순모래	ST	1.2	2.57	2.54
경량골재	NSL-1-35*	22.26	1.71	1.35
	NSL-1-3**	18.28	1.70	1.33
	NSL-2-35	22.89	1.85	1.50
	NSL-2-3	21.12	1.83	1.51
	NSL-3-35	30.53	1.81	1.39
	NSL-3-3	31.10	1.78	1.36
	NSL-4-35	25.48	1.74	1.39
	NSL-4-3	26.18	1.74	1.38
	NSL-5-35	26.49	1.70	1.34
고강도 골재	NSL-5-3	24.92	1.61	1.29
	NSH-1-35	19.48	2.0	1.67
	NSH-1-3	19.41	2.0	1.67
	NSH-2-35	21.45	1.96	1.61
	NSH-2-3	21.01	1.91	1.58
	NSH-3-35	22.54	1.93	1.57
	NSH-3-3	20.95	1.96	1.62
	NSH-4-35	22.29	1.93	1.57
	NSH-4-3	25.57	1.87	1.49
NSH-5-35	25.28	1.90	1.52	
NSH-5-3	23.61	1.89	1.53	

* NSL-1-35 : NSL-1골재 입경 3-5mm 시료

** NSL-1-3 : NSL-1골재 입경 3mm이하 시료

표 4와 같이 비소성 경량골재의 흡수율은 18-31%로 이는 미국, 일본 등지에서 흡수율이 10-30%의

높은 경량골재의 규격에 기공형성 조제로 AI 분말을 첨가와 혼합수량의 증가로 인해 30%이상의 흡수율을 보인 NSL-3을 제외하곤 대부분 만족하는 값을 나타냈으나 AE 유동화제를 첨가한 경우보다 AI 분말이 첨가된 경량골재의 경우 다소 높은 흡수율을 나타냈다. 또한 일반적인 경량골재의 흡수율인 10-20%보다 큰 값을 보여 과도한 AE유동화제 및 AI 분말의 사용 혹은 성형 혼합수량의 조절 등을 통하여 흡수율을 저감하기 위한 원료배합상의 조정일 필요하리라 판단된다. 그러나 모래 첨가량을 달리한 NSL-2의 흡수율 및 비중은 표면흡수율이 낮고 비중이 큰 모래 첨가량의 증가로 흡수율이 다소 감소하고 비중이 상승하는 경향을 보여 성형에 문제가 없는 범위에서 모래 첨가량의 증감이 골재의 물성변화에 미치는 요인이 되리라 생각된다.

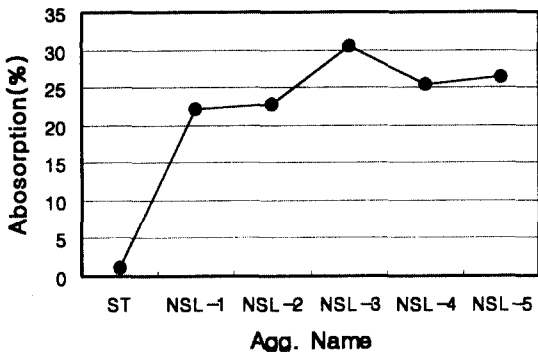


그림 2 비소성 경량골재(입경:3-5mm)의 24시간 흡수율

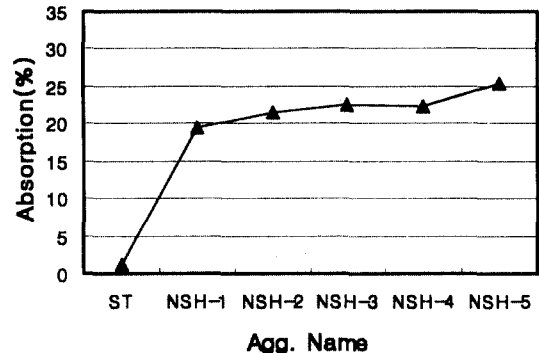


그림 3 비소성 고강도골재(입경:3-5mm)의 24시간 흡수율

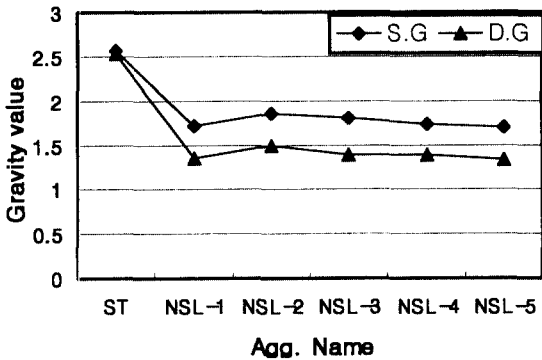


그림 4 비소성 경량골재(입경:3-5mm)의 비중

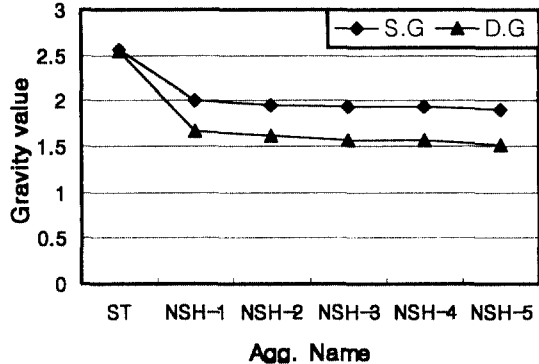


그림 5 비소성 고강도골재(입경:3-5mm)의 비중

(S.G : surface gravity, D.G : absolute dry gravity)

골재의 표건비중에 있어서는 기공형성 조제가 첨가된 경량골재의 경우 1.7전후의 값으로 경량골재로서 적합한 특성을 보였으며 절건비중은 JIS A 5002에서 구분한 잔골재 M (절건비중 1.3-1.8)의 규격에 충족하는 값을 나타냈다. 이는 AE 유동화제 및 AI 분말이 골재의 경량화를 위한 조제로서의 타당

성을 뒷받침하는 결과이나 흡수율 및 파쇄율시험(인공경량골재의 파쇄율, 35-40%)등의 시험을 통한 검토가 아울러 요구된다. 고강도 골재의 경우 기공형성 조제의 배제로 인해 흡수율은 다소 감소하였으나 비중은 증가하는 경향을 보였다. 이는 강도증진 조제의 주성분인 II형 무수석고개 증기양생시 시멘트 수화반응을 촉진시킨 결과 수화물량이 증가하고 이로인한 체적증가로 골재내 기공이 감소된 결과로 판단된다. 본 논문에서는 실험관계상 표기되지 않았으나 파쇄율시험, 단위용적중량시험 등에 의한 골재의 기초물성과 SEM, XRD를 통한 골재의 morphology, 수화물조성 및 조직관찰 등의 실험결과를 비소성 고강도 골재의 제조를 위한 원료 배합비의 도출과 제조공정의 확립을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

4. 결 론

주재로 석탄회를 활용하고 부재로 시멘트, 기공형성 조제, 강도증진 조제, 모래 등을 사용하여 원료 배합비별로 상압증기양생에 의하여 제조한 비소성 경량 및 고강도 골재에 대한 흡수율과 비중을 측정 한 현재까지의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 기공형성 조제의 첨가로 대부분 경량골재의 흡수율 및 비중 규격을 충족하는 골재를 제조하는 것이 가능하였으나 조제로 AI 분말의 첨가 및 성형 혼합수량이 증가하는 골재의 경우 흡수율이 다소 상승하고 비중이 감소하는 경향을 보였다.
- 2) II형 무수석고개 강도증진 조제의 첨가량을 조정하여 제조한 비소성 고강도 골재의 흡수율 및 비중은 II형 무수석고개로 인한 시멘트 수화반응의 촉진 및 수화물의 체적증가로 기공이 감소되어 흡수율이 감소하고 비중이 상승하는 경향을 보였다.
- 3) 고강도 골재 제조시 강도증진 조제 및 석탄회의 배합량이 증가됨에 따라 흡수율이 다소 증가하고 비중이 감소되는 역현상이 관찰되어 이에 대한 조정일 필요하리라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 '98 공업기반기술개발사업(연구과제명 : 산업부산물을 이용한 구조용 인공경량골재의 개발)의 일환으로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

5. 참고문헌

- 1) JIS A 5002, "Light Weight Aggregate for Structural Concrete"
- 2) 신성우, 최명신, "구조용 경량콘크리트의 적용사례 및 전망", 콘크리트학회지 제 10권 4호, 1998.
- 3) 臧木 英一, "輕量骨材", 콘크리트工学, Vol. 34, No. 7, 1996.
- 4) 河野 俊夫, 光田 正産, "蒸氣養生のいらぬ超早強性コンクリートの開發", セメント・コンクリート, No. 616, 1998.
- 5) "石炭灰の有効利用状況について", 九州電力柱式會社