

소각회 인공골재 개발 및 품질 성능

Development of Artificial Aggregate using of Ash and Quality Properties

문 경 주* 박 찬 길** 백 명 종*** 소 양 섭****

Mun, Gyong-Ju Park, Chan-Gyil Baeg, Myung-Jong Soh, Yang-Seob

Abstract

This studies regarding development of product system on artificial aggregate using of Paper Sludge Ash that waste production at paper-making mill. expecially this paper discribes development of product system using centrifugal mixer plant. The skills of this product system on artificial aggregate using of Ash can be spread Fly-Ash, powder and fine aggregate(under 5mm) of waste concrete reuse.

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

본 연구는 각종 소각회(플라이 애쉬, 소각로 배출 소각회, 제지 슬러지 소각회) 등의 재활용 방안에 관한 것으로서, 소각회를 인공경량골재 혹은 일반골재의 일부로 활용하기 위한 것이다.

소각회를 인공골재분야에 활용하는 연구는 주로 경량인공골재분야에 국한되어 왔다. 점토 등을 혼합한 소각회에 1,200℃ 이상의 고온으로 소성시켜 발포·팽창 등의 공정을 거치게 되면 단위용적중량 2.0t/m³ 이하의 인공경량골재가 형성되기 때문이다. 국내에서의 인공경량골재의 제조에 관한 기술적인 진보는 많은 성과가 있어 전문업체가 생겨 실용화단계에 이르렀으나, 경량골재에 대한 인식부족과 높은 가격으로 인한 경쟁력의 저하로 가동이 중단되기도 하였다.

본 연구에서는 이러한 시장여건 및 환경을 고려하여 인공골재의 개발시 경제적인 측면을 중요시하여 제조설비와 사용재료선정에 주의를 기울였다. 성능면에서는 일반 및 경량 콘크리트용 골재생산을 목표로 연구를 시작하였다. 수행결과중 골재제조공정개발 및 소각회의 기초적인 특성에 대해 검토한 결과는 이미 보고한 바 있다.¹⁾

- * 정희원, 전북대학교 건축공학과 석사과정
- ** 정호원, 전북대학교 산업기술대학원 석사과정
- *** 정희원, (주)대우건설기술연구소 기술지원팀 대리
- ****정희원, 전북대학교 건축공학과 교수, 공·박

1) "제지 슬러지 소각회를 이용한 인공골재 생산공정개발", 한국 콘크리트 학회, 1997년도 가을 학술논문발표회 논문집, Vol.9, No.2, 1997.11, pp.69~75

본 논문에서는 이미 확립되어 있는 상온 인공골재제조기술을 이용하여 생산된 인공골재의 품질특성을 시험하고자 하였다. 따라서 본 논문의 목적은 소각회 골재의 품질특성을 규명하고 지속적인 성능향상을 위한 기초자료를 제공하기 위한 것이다.

2. 본 론

2.1 각종 소각회 배출현황 조사

현재 국내에서의 각종 소각회의 배출현황을 조사한 결과를 표 1에 나타내었다. 플라이 애쉬의 경우 '94년 이후 소각회의 배출량은 매년 평균 12%정도 증가하는 것으로 나타났고, 2000년대에 이르러서는 약 450만톤에 이를 것으로 보고되고 있다.²⁾

소각장에서 배출되는 소각회의 배출량은 자료가 빈약하여 통계를 구하기 어려웠으나, 97년도 국정감사를 계기로 전국에 산재한 소각로의 관리실태와 소각재의 유해중금속 함유량이 사회문제화되면서 대대적인 조사가 이루어지게 되어 비교적 최근의 조사자료가 발표되었다.³⁾ 전국적으로 소형소각로를 제외하고도 연간 209,000톤 정도의 소각재가 배출되는 것으로 조사되었다.

표 1 각종 소각회 및 유사 슬러지의 배출현황 조사 결과 (단위 : 천톤)

연 도	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	2000 (추정치)	비고
플라이 애쉬	-	-	-	-	2,475	2,684	3,127	3,500	4,419	한전자료
소각장 소각회	-	-	-	-	-	-	209	240	365	97년도 국감자료
제지 슬러지 소각회	117	127	142	150	167	178.1	196	234	394	본 연구조사
소 계	-	-	-	-	-	-	3,532	3,974	5,178	-

한편, 제지 슬러지 소각회의 경우 연간 종이생산량은 '97년도를 기준으로 할 때 약 900만톤에 이르고 있다. 이 가운데 슬러지로 배출되는 양은 종이생산량의 13~15%에 이르는 126만톤(97년도 기준) 정도로 추정되고 있으며, 소각회의 배출량은 슬러지 배출량의 17~20%에 이르는 22.3만톤(97년도 기준)로 조사되었다. 이와 같은 소각회의 배출량은 종이생산량의 2.6%에 해당하는 것으로서 연간 제지업체가 부담하는 처리비용은 약 110억원정도로 추정되고 있다.

2.2 골재 생산

2.2.1 상온 골재생산 공정

소각회를 이용한 상온 골재생산 공정기술개발은 소각회의 재활용을 위해서 사용되는 에너지의 투입량을 최소화하는데 그 목적이 있다. 기존의 외국의 소각회 골재생산 공정은 고에너지 투입이 문제가 되고 있으며 그에 따른 환경오염도 적지 않다고 지적되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 소각회의 특성에 적합한 결합재의 선정과 구상의 형상을 갖는 골재의 상온제조공정을 개발하였다.

(1) 골재제조공정의 소개

2) 오성원, "석탄회 처리 현황과 대책", 월간폐기물, '97.6월호, pp.90~101

3) 97년도 국정감사자료, 월간폐기물 '97.11월호, pp.68~79

상은 경화 원심력식 골재생산공정은 총 4개의 공정을 거치게 되는데, 이러한 골재의 제조공정을 그림 1에 나타냈다. 골재제조에 사용된 기계는 가경식 콘크리트 믹서를 본 연구목적에 적합하게 개량한 골재제조기계를 사용하였다. 이렇게 생산된 골재의 단면구조 및 외관은 그림 2 및 사진 1에 나타내었다.

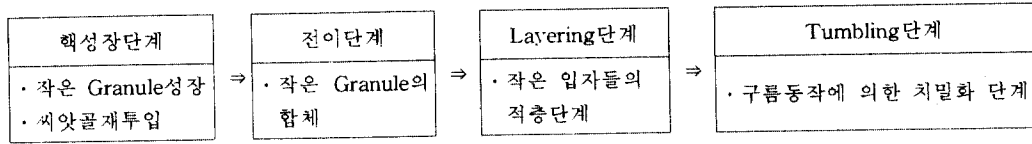


그림 1 골재 제조 Process

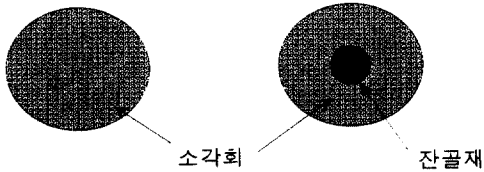


그림 2. 씨앗골재의 역할과 인공골재의 단면

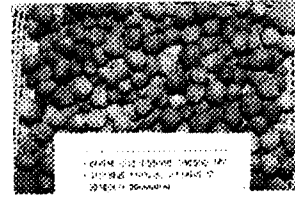


사진 1. 개발골재의 외관

2.3 골재성능 실험계획

2.3.1 사용재료 및 특성

(1) 제지 슬러지 소각회

골재제조에 필요한 주재료인 제지 슬러지 소각회의 물리·화학적 특성을 표 1에, 화학적 구성성분을 표 2에 나타내었다.

표 1. 물리적 특성

특성	Particle Size (μm)	Particle Type	Crystal Structure	Relative Specific Area(cm^2/g)	Specific Gravity Ture:2.46 Bulk:0.51	Melting Point($^{\circ}\text{C}$)
제지 슬러지 소각회	19.61 ± 0.2	Plate Whisker	Quartz Rutile	3,370		1,318

표 2. 화학적 특성

소각회 성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Ig.Loss	비고
제지슬러지 소각회	45.82	28.23	1.10	11.70	9.57	0.42	0.66	1.60	0.75	인쇄지

(2) 시멘트

결합재로서 보통 포틀랜드 시멘트를 사용했다.

(3) 멜라민 수지

표 3에 멜라민 수지의 특성을 나타내었다.

표 3. 멜라민 수지의 특성

pH	외관	Non-Volatile (%)	Viscosity (CPS)	비중 (at 20℃)	Water Tolarance
8.0	무색투명 점조색	52.3	32	1.22	2배

2.3.2 배합수준결정

골재를 제조하기 위한 배합수준의 결정을 표 4에 나타내었다.

표 4. 배합수준의 결정 (함유율은 시료전제중량에 대한 비율)

결합재의 종류별	멜라민수지의 함유율(%)	W·B(%)	시멘트 혼합율(%)	잔골재 혼합율(%)	소각회 혼합율(%)
Type I (시멘트)	0	40~90	20~50	30	30
Type II (시멘트+멜라민)	0~30	30~70	0~25		
Type III (멜라민)	25~50	0	0		

2.3.3 실험 항목 및 방법

개발된 골재의 품질특성을 평가하기 위해 골재의 특성시험을 표 5와 같이 실시하였다.

표 5. 골재의 품질시험 항목 및 기준

시험목	입도시험	비중 및 흡수율 시험	단위중량시험	마모시험	형상시험
기준	KS F 2502 굵은골재의 체가름시험방법	KS F 2503 굵은골재의 비중 및 흡수량 시험방법	KS F 2505 굵은골재의 단위중량시험	KS F 2508 로스엔젤스 시험기에 의한 굵은골재의 닦음시험	BS 812-1975 굵은골재의 형상시험

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험결과

소각회골재의 품질특성시험결과를 콘크리트표준시방서의 골재규격 및 외국산 골재와의 품질성능⁴⁾을 비교하여 표 6에 나타내었다.

3.2 고찰

3.2.1 입도시험

소각회 골재의 입도시험결과와 체통과율과 그에 따르는 입도분포곡선을 그림 3에 나타냈다. 본 연구를 통해 개발된 골재의 최대크기는 19mm이고, 입도특성은 결합재의 종류에 관계없이 콘크리트 표준시방서에서 규정한 19~No.4골재(19mm골재), 그리고 무근, 철근, 포장 콘크리트에 사용되는 굵은 골재의 표준에는 67번 골재의 입도분포와 적합한 특성을 보이고 있는 것으로 나타났다. 결합재의 종류에 관계 없이 생산되는 골재의 입도가 균일한 입도분포를 보이는 것은 씨앗골재로 사용되는 골재의 크기가 5~10mm정도로 균일한 것과 결합재와 소각회를 비롯한 전체재료가 동일한 회전력에 의해 생산되기

4) “경량골재 개발 및 경량 콘크리트 실용화 연구”, 중간보고서, 현대건설기술연구소 외, 1996.4

때문인 것으로 판단된다.

표 6. 소각회골재의 품질특성시험결과 및 성능비교

성능		비중	흡수율 (%)	단위용적중량(t/m ³)	입도범위 (mm) (Min, Max)	형상	실적율 (%)	조립율 (%)	마모율 또는 파쇄강도 (% 혹은 kgf)
본 연구결과	Type 1	1.99	18.86	1.2	5~19	구형	63.39	6.85	45%
	Type 2	1.81	12	0.96		(Rounded)	64.21		55%
	Type 3	1.63	8	0.88			63.12		70%
콘크리트 표준시방서기준	일반골재	2.5이상	3%미만	1.5~1.85	표준입도	-	55이상	6~8	40%이하
	경량골재	-	-	1.04(최대)	표준입도	둥근 낱알	-	-	-
외국산(독일산 L제품)		0.94~1.45	15.6~31.5	-	0.15~20	구상	-	-	98~111kgf

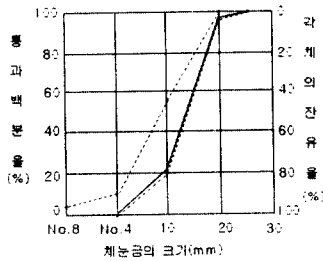


그림 3. 입도분포곡선

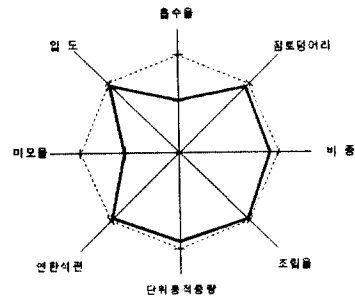


그림 4. 골재품질평가도

3.2.2 비중시험

결합재의 종류에 따라 비중은 1.63~1.99정도로 나타났다. 이 결과는 기존의 소각회를 이용한 골재가 대부분 경량골재이었던 것에 비하여 씨앗골재의 종류에 따라 일반 또는 경량골재의 특성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 따라서 씨앗골재의 종류에 따라 일반 및 경량골재의 조절이 가능한 것으로 판단된다.

3.2.3 흡수율 시험

결합재의 종류에 따라 흡수율의 차이가 큰 것으로 나타났다. 멜라민 수지를 결합재로 사용한 골재의 흡수특성이 8%로 가장 양호하였고, 시멘트를 사용한 골재의 흡수율이 18%정도로 가장 낮은 것으로 나타났다. 인공골재의 높은 흡수특성은 골재의 표면에서 내부에로의 수분경로를 형성하고 있는 것으로 판단되며 표면 코팅 처리로 흡수율을 저감시켜야 할 필요성이 있다. 일반적인 쇄석골재의 경우 흡수율이 3%미만, 경량골재의 경우 8~15%이상이면 부적당한 것으로 판정⁵⁾된다.

3.2.4 단위용적중량

결합재의 종류에 따라 단위용적중량의 차이가 있는 것으로 나타났다. 멜라민 수지를 결합재로 사용한 골재의 단위용적중량이 0.88정도로 가장 낮고, 시멘트를 사용한 골재의 단위용적 중량이 1.2정도로

5) 콘크리트 표준시방서, 건설교통부 제정, 1996도판

가장 높은 것으로 나타났다.

3.2.5 마모율시험

결합재의 종류에 따라 마모율에 차이가 있었는데, 마모율이 약 45~70%정도로 마모저항성이 비교적 낮게 나타났다. 일반채석에 요구되는 마모율인 40%이하를 훨씬 상회하고 있어 마모율향상방안을 강구해야 할 것으로 사료된다.

3.2.6 형상시험

형상시험결과 골재의 입형은 구형(Rounded)에 가까운 것으로 나타났다.

3.3 골재 품질종합평가

골재의 품질을 종합적으로 평가한 결과를 그림 4에 나타내었다. 단위용적중량, 비중, 입도특성에서는 일반골재용으로도 충분한 품질성능을 보이고 있으나, 마모율, 흡수율 특성면에서 일반골재특성보다는 50%정도 미달하는 것으로 나타나, 일반골재용으로 사용할 때 이 부분에 대한 보완이 필요한 것으로 보인다. 그러나, 경량골재특성에는 비교적 근접하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 제지 슬러지 소각회의 재활용 연구로서 인공골재를 제조하여 건설현장에 적용하기 위한 것이다. 지금까지의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

4.1 소각회의 배출현황

플라이 애쉬, 제지 슬러지 소각회, 소각장 배출 소각회등 각종 소각회의 연간 배출량은 약 400만톤 정도로 조사되었다. 소각회를 골재로서 재활용하기 위해서는 소각회의 유통경로, 재활용 방안등이 다 각도로 검토하여 플라이 애쉬등과 같이 건설산업에서의 흡수활용이 가능할 것으로 사료된다.

4.2 골재제조공정

개발된 골재의 제조공정은 상온에서 골재의 생산이 가능하며 소각회의 종류에 따라 다양하게 적용할 수 있는 범용성을 갖추고 있는 것으로 판단된다. 현재 실험실급 골재제조기계는 기존의 가경식 믹서를 개량한 것으로 판매가 실시되고 있다.

4.3 골재의 품질특성

개발된 골재의 품질시험을 실시한 결과 일반골재의 특성에는 다소 차이가 있는 것으로 나타났으나, 경량골재의 특성과 부합되는 것으로 나타났다. 비중, 단위용적중량, 흡수 성능면에서는 일반 골재와 동등한 성능을 보이고 있으나, 마모성능면에서는 인공골재의 한계를 보여주고 있는 것으로 나타났다.

따라서 일반골재로서의 이용을 위해서는 배합성능 및 양생방법을 조정하여 기준에 적합한 마모성능 및 흡수 성능을 지니는 골재생산방안에 대해 지속적인 연구를 실시해야 할 것으로 사료된다. 한편, 현재 정도의 특성을 가지고도 적용할 수 있다고 판단되는 경량골재분야의 활용처를 확대시키는 방안도 고려해야 할 것이다.

참고문헌

1. 백명중 외 3명, "제지 슬러지 소각회를 이용한 경량 탄소섬유보강 폴리머 시멘트 콘크리트에 관한 연구", 대한건축학회학술발표논문집, 제 13권 제 2호, '93.10, pp.603~606