

EAF-dust, 점토를 이용한 인공 경량 골재 콘크리트 개발 연구

A Study for development of Artificial Light-Weight Aggregate Concrete using EAF Dust, Clay.

최영준^{*} 장봉석^{**} 김조웅^{***} 김유태^{****} 김화중^{*****}
Choi, Young Jun Jang, Bong Seok Kim, Jo Woong Kim, Yoo Taek Kim, Wha Jung

ABSTRACT

This study performed to develop the concrete using artificial lightweight aggregate(LWA) which contains stabilized heavy metal from EAF-dust. LWA is very effective to stabilize the heavy metal EAF-dust satisfied the general physical properties of aggregate except a absorptivity. The thermal conductivity and the dry shrinkage of LWAC were excellent compared with plain concrete and the strength was little fallen to.

1. 서 론

구조물의 고층화에 따른 콘크리트의 경량화, 기존 골재의 수급난 해소 등의 이유로 인공 경량 골재의 필요성은 꾸준히 제기되어 오고 있다. 실제로 미국, 일본 및 유럽등지에서는 팽창혈암등의 원료를 이용하여 소성·발포한 인공 골재를 초고층 빌딩 및 콘크리트 2차제품 등 경량성·단열성이 요구되는 곳에 널리 적용하고 있으나, 국내에서는 일반 콘크리트에 비해 역학적 성능이 뒤떨어지고 경제성의 이유로 적용된 사례가 드문 실정이지만, 많은 연구자들의 지속적인 연구가 진행되고 있기 때문에 인공 경량 골재 콘크리트의 보급이 점차 확대될 전망이다.

한편, 제철소에서 발생하는 제강분진은 중금속을 함유하고 있어 관리형 매립을 하도록 되어 있는 지정폐기물로서 연간 30만톤씩 배출되며, 석분 및 플라이애쉬도 연간 500만톤이상 발생하는 대표적인 폐분진으로서 이들을 안전하게 재활용하는 기술은 21세기의 해결과제이기도 하다.

본 연구에서는 제철소에 발생하는 지정폐기물 EAF-Dust에 포함된 중금속을 안정화시켜 제조한 인공 골재의 기본 물성을 파악하고, 인공 경량 골재 콘크리트로의 활용가능성을 모색하고자 한다.

* 정회원, 한국건자재시험연구원 내후성시험평가센터 연구원

** 정회원, 한국건자재시험연구원 내후성시험평가센터 선임연구원, 공학박사

*** 한국건자재시험연구원 기술본부장, 공학박사

*** 경기대학교 신소재공학부 교수, 공학박사

*** 정회원, 경북대학교 건축공학부 교수, 공학박사

2. 실험개요

2.1 사용재료

시멘트는 비중 3.15인 D사의 보통 포틀랜드 시멘트, 굵은 골재는 최대 치수가 20mm인 쇄석(이하 NA), 잔 골재는 세척사를 사용하였다. 인공 경량 골재는 제철소에서 발생하는 EAF-Dust, 화력발전소에서 발생하는 석탄회, 석분슬러지, 점토 등의 원료를 이용하여 2.2의 방법으로 제조하였으며, 프리웨팅(Pre-wetting)시켜 콘크리트 배합에 사용하였다. 인공 경량 골재 원료의 화학적 조성은 표 1과 같다.

표 1 인공 경량 골재 원료의 화학조성(wt%)

성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	PbO	ZnO	Ig-loss
EAF-Dust	5.6	1.02	49.42	6	1.57	0.12	2.57	0.09	0.23	0.22	1.97	2	14.5	14.69
석분슬러지	66.74	14.89	2.30	1.96	1.05	3.81	5.22	0.28	0.11	-	-	-	-	3.57
석탄회	65.87	23.3	3.21	1	0.7	0.24	1.01	1.11	0.24	-	-	-	-	3.32
Clay	61.67	22.74	3.49	0.61	0.48	0.42	1.57	0.29	0.05	-	-	-	-	8.68

2.2 중금속의 안정화 처리 및 인공 경량 골재의 제조

폐기물에 함유된 중금속은 EAF-Dust, 석탄회, 점토의 원료를 습식혼합하여 점토의 이온교환에 의해 일차 안정시킨 후, 점토표면에 흡착된 중금속이온을 소성공정에서 안정화시키는 방법을 적용하였다. 인공 경량 골재의 제조는 폐기물, 점토의 습식혼합물을 잘 혼합될 수 있도록 1시간동안 볼밀링을 한 후 425 μ m 표준망체를 통과시킨 현탁액을 1시간동안 교반시켰다, 그리고, 필터지를 사용하여 필터링 한 후 첨가제를 첨가하여 제작한 구형시편을 100℃의 건조기에서 48시간동안 건조한 다음 전기로에서 일정 소성온도로 10분간 소성 과정을 거친 후 공기 중에 냉각시켰다. 인공 경량 골재의 조성 및 물리적 성질은 표 2와 같고, 인공 경량 골재의 형상은 그림 1과 같다.

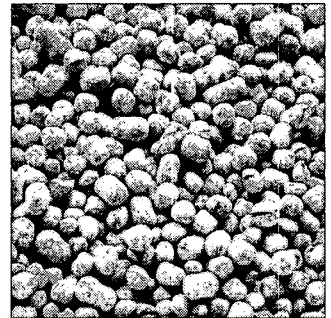


그림 1 인공 경량 골재(LW-1)

표 2 인공 경량 골재의 조성 및 물리적 성질

구분	제조 조건					물리적 성질								
	원료 조성					소성 온도	표건 비중	절건 비중	흡수율 (%)	단위용적 중량(kg/m ³)	공극률 (%)	실적률 (%)	파쇄율 (%)	10%파쇄 하중(ton)
	EAF Dust	석탄회	석분 슬러지	폐백토	적점토									
NS	-	-	-	-	-	-	2.69	2.64	1.5	1,589	42.0	58.0	20.3	-
LW-1	5	-	40	5	50	1075	1.56	1.35	15.6	784	41.8	58.2	30.5	12.59
LW-2	10	60	-	-	30	1025	1.43	1.25	14.7	787	36.8	63.2	32.5	12.15
LW-3	10	60	-	-	30	1015	1.56	1.38	13.0	829	39.8	60.2	34.5	11.70

2.2 실험방법

인공 경량 골재의 유해물질 용출시험은 폐기물공정시험법에 따라 ICP분석을 실시하였고, 알칼리잠재반응 시험법은 ASTM C 1260의 모르타르 촉진법에 따랐으며, 기본 품질시험은 KS에 제시된 방법에 따랐다.

콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하였으며, 압축강도는 \varnothing 10 \times 20cm 원주 공시체를 제작하여 20 \pm 1 $^{\circ}$ C 표준양생한 후 재령 28일후에 KS F 2405에 따라 실시하였다. 길이변화시험은 10 \times 10 \times 40cm의 각주 공시체를 제작하여 KS F 2424에 따라 9주동안 측정하였고, 동결융해저항성시험은 KS F 2456의 B방법에 따라 실시하였다. 콘크리트의 열전도율은 열선법(Hot Wire Method)으로 측정하였다.

2.3 콘크리트 배합

인공 경량 골재 콘크리트의 배합계획 및 실험결과는 표 3와 같다.

표 3 콘크리트 배합계획

배합 조건			단위재료량(kg/m ³)				실험결과				
골재 종류	S/A (%)	W/C (%)	물	시멘트	강모래	굵은 골재	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)	기건단위용적중량 (kg/m ³)	열전도율 (W/mk)
NA	43	0.50	175	350	781	969	13	5.5	252	2,259	1.899
LW-1						590	17	6.5	226	1,770	1.172
LW-2						541	18	7.0	232	1,795	1.175
LW-3						590	17.5	7.0	223	1,716	1.409

표 4 인공 경량 골재의 유해물질 용출 시험결과

분류	유해물질 용출량(ppm)								
	Pb	Cd	Cr	Cu	Zn	Ni	Mn	As	Hg
LW-1	-	-	-	0.09	0.20	-	0.08	-	-
LW-2	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-
LW-3	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-

3. 실험결과 및 고찰

3.1 인공 경량 골재의 품질

표 3에 의하면 인공 경량 골재는 절건비중 1.25~1.35, 단위용적중량 784~829kg/m³로 NA(쇄석)에 비해 약 50% 정도 경량화되었음을 알 수 있다. 골재의 경량화로 인해 파쇄율은 NA 20.3%에 비해 10~14.5%정도 높은 30.5~34.5%를 보여 골재의 강도는 다소 낮았으며, 흡수율이 10%를 넘어 흡수율의 개선이 필요한 것으로 나타났다. 골재의 유해물질 용출량은 표 4와 같이 미소량이 검출됨으로써, 폐기물 중금속의 안정화가 이루어져 무해한 골재의 제조가 이루어졌음을 알 수 있다. ASTM C 1260에 따라 행한 골재의 알칼리반응성(모르타르 바 촉진법)은 그림 2와 같이 14일에서 0.03%이하로서 규정값인 0.2%를 크게 밑돌아 알칼리반응에 따른 팽창성은 무해한 것으로 판정되었다.

3.2 인공 경량 골재 콘크리트의 특성

물-시멘트비 50%, 잔골재율 43%의 조건에서 굵은 골재

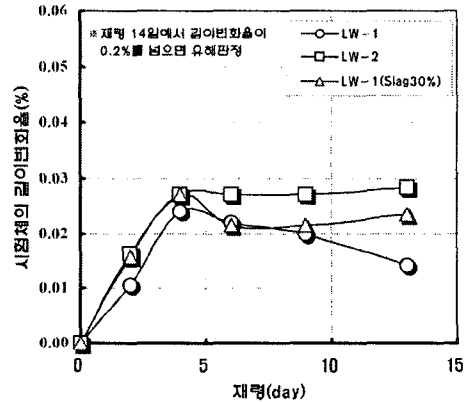


그림 2 인공 경량 골재 모르타르 바의 팽창률(%)

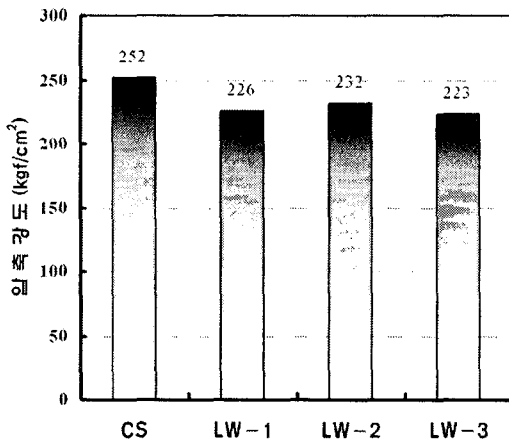


그림 3 콘크리트의 압축강도(28일)

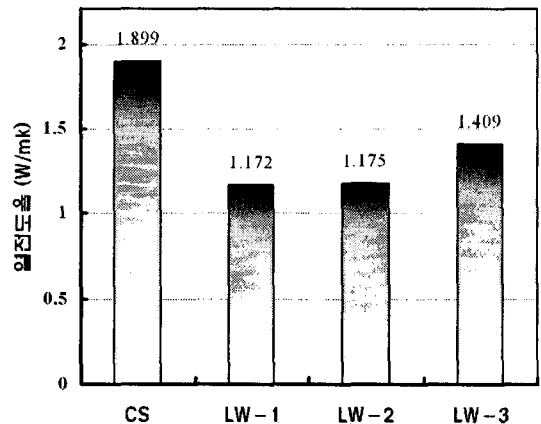


그림 4 콘크리트의 열전도율

량의 100%를 인공 경량 골재로 사용한 콘크리트의 실험결과는 다음과 같다. 슬럼프는 NA에 비해 약 3~4cm정도 증가되었으며 이는 인공 경량 골재의 둥근입형과 공기량의 증가로 인해 작업성이 개선된 것으로 볼 수도 있으나, 콘크리트 혼합과정에서 골재 내부의 프리웨팅된 물이 유출되어 단위수량의 변화가 발생한 것도 요인으로 추정되므로, 인공 경량 골재의 흡수율 개선이 필요하다고 판단되었다.

콘크리트의 기건단위용적중량은 1,710~1,790kg/m³으로서 NA의 2,260kg/m³에 비해 약 20%가량 작았으며, 압축강도(그림 3)는 약 8~12%정도 저하되었으나, 콘크리트의 열전도율(그림 4)은 35~60% 향상됨으로서 압축강도의 저하폭에 비해 인공 골재 내부의 기공에 의한 열전도율이 크게 향상됨으로서 단열 성능이 우수한 것으로 나타났다.

콘크리트의 건조수축(그림 5)에 따른 길이변화는 NA가 가장 크게 나타났으며, LW-1 > LW-2 > LW-3의 순으로 작았다. 이는 인공 경량 골재의 프리웨팅된 함수량의 영향으로 NS에 비해 건조수축이 작은 것으로 사료된다. 현재 156사이클까지의 콘크리트의 동결융해저항성(그림 6)은 NS와 비슷한 수준을 나타내고 있다.

4. 결 론

중금속이 함유되어 있는 폐기물을 점토 등의 원료로 안정화시켜 제조한 인공 경량 골재를 이용하여 콘크리트에 적용해 본 결과, 단열성 및 건조수축특성에서 쇄석콘크리트에 비해 우수한 결과를 보였으며, 흡수율을 개선이 선행된다면 환경친화적인 인공 경량 골재 콘크리트의 개발이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 21세기 프론티어사업 연구개발사업의 산업폐기물재활용기술개발사업단 연구비로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 권용준, "고상폐기물을 재활용한 인공 경량 골재의 발포기구 및 중금속 안정화 기구", 석사학위논문, 경기대학교, 2002.
2. 박명식, "고상폐기물을 재활용한 건자재의 안정화기구 및 제조방법", 박사학위논문, 경기대학교, 2001.
3. 일본건축학회, "高強度人工輕量コンクリートを用いた建築物の設計と施工", 1992, pp.22~37.

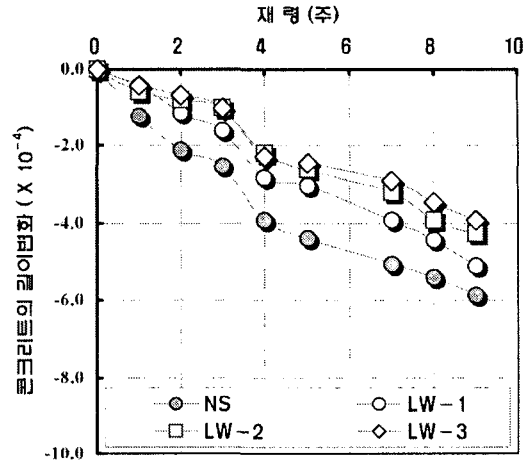


그림 5 콘크리트의 건조수축에 의한 길이변화

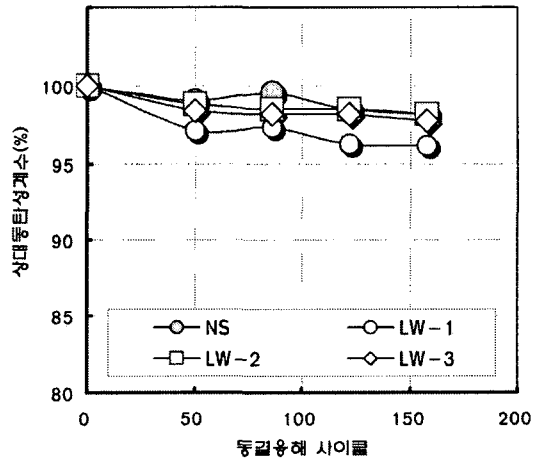


그림 6 콘크리트의 상대동탄성 계수