

# 전기로제강 분진의 복합안정화 처리를 통한 에코인공경량골재의 개발 및 콘크리트 적용 연구

## A Study on the Development of the Artificial Eco Light-Weight Aggregate using EAF-Dust and Application of the Concrete

이진우\* 김경민\* 정철희\* 배연기\*\* 이재삼\*\*\*  
Lee, Jin Woo Kim, Kyung Min, Jung, Chul Hee, Bae, Yeoun Ki Lee, Jae Sam

### ABSTRACT

To make artificial light-weight aggregate with EAF-dust and estimate ability to apply to concrete, characteristics of the aggregate were considered in density, weight of unit volume, fineness modulus and so on. And then it was executed to experiments of the concrete mixed with the light-weight aggregate. As it was results that artificial light-weight aggregate with EAF-dust was heavier and more watertight than with only clay, concrete weight of unit volume was heavier than with expended clay aggregate. But it was regarded that concrete with EAF-dust artificial aggregate was able to field application as light-weight concrete because concrete of the weight of unit volume was lighter and compress strength and workability were similar to normal concrete.

### 1. 서론

현대산업사회가 발전하면서 발생하는 문제로써 이용 가능한 천연자원의 고갈과 이로 인한 각종 환경파괴 및 오염과 산업부산물의 처리문제가 갈수록 심각해져 가고 있다. 우리나라의 급속한 성장에 따라 건설산업에서도 이와 같은 문제가 심화되고 있으며 특히 천연골재의 부족과 이로 인한 환경문제의 해결이 시급하다. 또한 최근 급격히 증가하고 있는 유해폐기물의 하나인 제철소 전기로제강 분진인 EAF DUST(Electric Arc Furnace DUST)의 처리방안으로 여러 연구가 진행되고 있다. EAF DUST는 제철소에서 생기는 전기로 제강집진 분진으로써 고철을 주원료로 하여 강을 생산하는 전기로 제강법에서 용융공정중 장입 고철의 약 1~2wt% 정도가 분진으로 발생하는데 이는 여러 종류의 산화물과 페라이트 광물질로 구성되어있고 물리적, 화학적으로는 복잡하고 미세한 입자들이 응집된 폐기분진이며 다량의 중금속을 함유하고 있다.

이에 본 연구에서는 이러한 전기로 분진의 안정화 처리를 실시하는 동시에 자원재활용의 방안으로 인공경량골재를 제작하여 이를 콘크리트에 적용 및 실용화 하고자 친환경인공경량골재의 특성을 파악하고 호칭강도별 콘크리트 배합 실험을 통하여 공기량, 슬럼프 등의 기초적인 물성테스트를 통하여 에코인공경량골재 콘크리트의 적용성을 검토하고자 하였다.

\* 정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 연구원

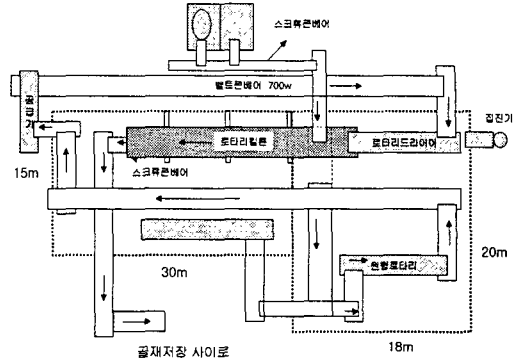
\*\* 정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 선임연구원

\*\*\* 정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 팀장

## 2. 전기로제강 분진을 이용한 에코인공경량골재 제작

### 2.1 전기로 분진의 처리

전기로제강 분진은 다량의 중금속을 함유한 지정 폐기물로서 이를 재활용 하는 방안으로는 정련과정을 거쳐 아연과 같은 유용한 중금속을 추출하거나 매립 또는 봉입, 저장하여 폐기하는 경우가 많다. 미국의 경우 1980년부터 RCRA(The Resource Conservation and Recovery Act)에 의거 1.5%이상의 Pb를 함유하고 있는 전기로 분진을 유해성 물질로 규정하고 이의 처리를 규정화 하였다. 지금까지의 경우 EAF-Dust의 화학적 안정·고정화처리에 대한 연구가 선행되었으나 고정화에 따른 분진처리시 매립에 의한 2차문제가 발생하여 최근 안정화 및 자원 전기로 분진의 자원화를 위한 노력이 수행되고 있다.



[그림 1] 인공경량골재 제조공정 및 시스템

표 1. EAF-Dust의 화학 조성

구 분	성 분 (%)								
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	ZnO
EAF Dust	0.68	3.14	2.1	3.16	2.00	8.56	42.1	0.08	26.78

### 2.2 인공경량골재의 제작

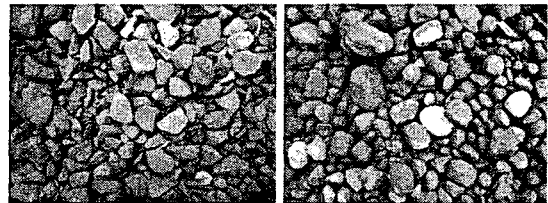
전통적인 세라믹 제품의 원료성분은 물과 혼합시 가소성을 주는 점토계 광물, 성형시 비가소성 충전제(filler)와 소성시 액상을 형성하는 장석, 그리고 용융되지 않고 충전제로 작용하여 망목구조를 형성함으로써 소성과정에서 연화를 막는 역할을 하는 실리카의 3 성분으로 구분할 수 있다. 산업부산물 중 플라이애시는 주된 결정상이 몰라이트와 크리스토팔라이트로서 높은 내화도를 지녀 소성과정에서 공융반응시 녹지 않고 망목구조를 형성는 실리카와 같은 역할을 하며, 장석의 역할로서 EAF Dust를 RO/R<sub>2</sub>O(여기서, R은 알카리금속 또는 알카리토금속) 군으로 분류하고 도자기 3성분계에서의 실리카의 역할을 하는 플라이애시 및 폐주물사 등을 플라이애시 성분으로 분류하는 것이 가능하다. 따라서 전통적인 요업원료의 3성분인 장석-점토-실리카 계를 RO/R<sub>2</sub>O-점토-F/A 계로 대체할 수 있으며, 이를 기준으로 폐기물을 적절히 조합하여 동시에 처리함으로써 전통적인 요업원료의 대체가 가능하다.

이와 같이 본 실험의 인공경량골재는 전기로 분진과 점토 및 플라이애시를 주성분으로 원료의 습식 혼합과 이온교환에 의한 1차 안정화 처리한 후 압출성형을 통한 골재의 성형과 이의 소성을 통한 중금속 이온의 2차 안정화 과정을 통하여 제작하였다.

## 3. 실험개요

### 3.1 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 국내 H사의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며 혼화제로써 보령산 플라이애시, 잔골재로써 인천산 세척해사를 사용하였고 굵은골재는 최대크기 25mm의 부순자갈을 사용하였다.



LW-1

LW-2

[그림 2] 인공경량골재

### 3.2 실험방법

에코인공경량골재의 특성을 검토하기 위하여 골재의 기초적인 물성시험을 실시하고 이를 근거로 현재 시판되고 있는 팽창점으로 제작한 인공경량골재 및 부순자갈을 이용한 보통콘크리트와 비교실험을 실시하였다. 배합인자로 일반강도 및 고강도 경량콘크리트 배합을 선정하였으며 굳지 않은 콘크리트의 특성으로 경시에 따른 슬럼프와 슬럼프 플로우, 단위용적질량을 검토하였으며 굳은 콘크리트의 특성으로 기건 단위용적중량 및 압축강도를 측정하였다.

표 2. 실험계획 및 인자

항목	설계강도 (MPa)	목표슬럼프 (cm)	인공경량골재의 종류
인자	21, 27, 35	18	부순자갈(NA), EAF-Dust(LW-1), 팽창점토(LW-2),
수준	3	1	3

표 3. 골재의 물성시험 결과

구분	입상	표건밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m <sup>3</sup> )	공극률 (%)	조립률
NA	과쇄형	2.60	0.88	1,515	36	6.59
LW-1	과쇄형	1.82	11.7	983	42	7.30
LW-2	구형	1.65	15.0	985	35	6.35

### 4. 실험결과 및 분석

전기로 분진을 이용한 에코인공경량골재를 제작하고 팽창점토를 이용한 인공경량골재 및 부순자갈과 골재 자체의 특성 및 콘크리트 배합시의 특성에 대한 실험결과는 <표 3>과 <표 4>에 나타낸 바와 같다.

표 4. 배합계획 및 실험결과

배합번호	W/B (%)	단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )			슬럼프(cm)			단위용적질량 (kg/m <sup>3</sup> )	기건단위용적질량 (kg/m <sup>3</sup> )	압축강도(MPa)		
		시멘트	잔골재	굵은골재	초기	30분	60분			3일	7일	28일
21-LW-1	49.4	354	717	739	23.0	20.0	18.0	1,923	1,816	15.9	22.4	32.8
21-LW-2				670	22.0	20.0	17.5	1,824	1,656	14.9	22.6	31.6
21-NA				1060	22.5	20.5	18.0	2,358	2,157	14.8	23.5	32.2
27-LW-1	41.8	419	699	713	24.0	20.0	18.0	1,900	1,808	17.5	25.0	40.3
27-LW-2				647	23.0	20.5	18.5	1,819	1,675	18.2	25.3	39.5
27-NA				1023	23.5	20.0	17.5	2,356	2,162	17.7	25.5	41.2
35-LW-1	34.5	507	645	701	24.0	23.0	23.0	1,977	1,820	37.5	41.8	50.2
35-LW-2				635	23.0	23.0	22.5	1,833	1,668	33.2	40.4	49.8
35-NA				1005	24.0	23.5	22.5	2,367	2,166	35.4	42.2	52.8

#### 4.1 인공경량골재의 물리적 성질

##### (1) 골재의 밀도 및 흡수율

KS F 2543의 규준에 따라 골재의 밀도 및 흡수율을 측정한 결과 LW-1은 1.82g/cm<sup>3</sup>, LW-2는 1.65g/cm<sup>3</sup>으로 EAF-Dust의 사용으로 약 0.2g/cm<sup>3</sup>의 밀도가 높아지는 결과를 나타내었다. 흡수율 또한 밀도가 큰 EAF-Dust 골재가 약 12%로써 팽창점토에 비하여 3%정도 낮은 값을 나타내었다.

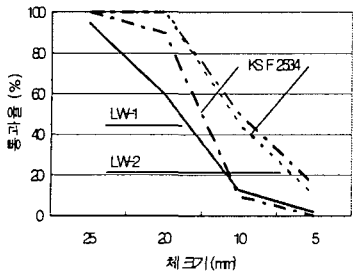
##### (2) 입도분포 및 단위용적질량

KS F 2533의 규준에 의거 입도분포와 단위용적질량을 측정한 결과 [그림 4]와 같이 KS 기준에는 다소 벗어난 형상을 나타내었고 따라서 공극률도 높게 나타났다.

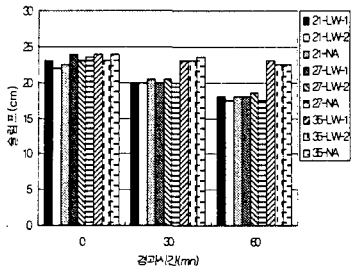
#### 4.2 인공경량골재콘크리트의 특성

##### (1) 슬럼프 경시변화

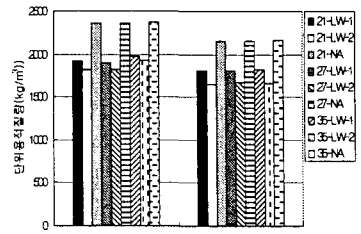
인공경량골재의 흡수율이 높아 콘크리트를 제작시 굳지 않은 콘크리트에 미치는 영향으로 초기의 슬럼프 값의 변화 및 경시에 따른 슬럼프 로스를 초기의 슬럼프를 20±2cm로 하여 60분 후의 슬럼프 값을 검토한 결과 [그림 5]에 나타난바와 같이 LW-1, LW-2를 사용한 경우 모두 부순자갈(NA)를 사



[그림 3] 입도분포



[그림 4] 슬럼프 경시변화



[그림 5] 단위용적질량

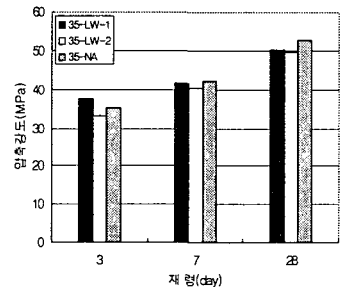
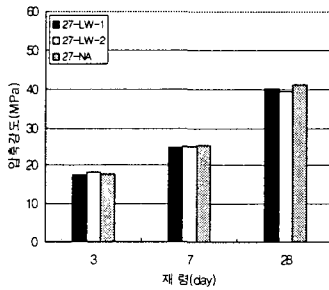
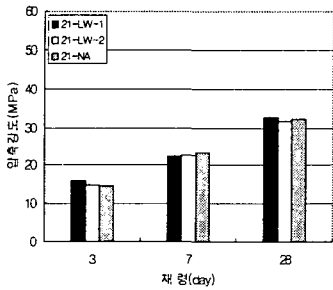
용한 경우와 유사하였으며 이는 충분한 프리웨팅 시 경량골재의 흡수 및 배수에 대한 문제는 없는 것으로 판단되었다.

### (2) 단위용적질량

굳지 않은 콘크리트의 단위용적질량 및 경화 후 기건상태의 단위용적질량을 측정된 결과 기건단위용적질량이 LW-1은 약 1,820kg/m<sup>3</sup>으로 2,170kg/m<sup>3</sup>인 보통콘크리트에 비하여 약 16%감소하였으나 LW-2(1,670kg/m<sup>3</sup>)에 비하여 9.0% 증가하였다. 굳지 않은 콘크리트의 경우도 유사한 값으로 나타났다.

### (3) 압축강도

압축강도 측정결과는 보통콘크리트와 유사한 경향을 나타내었으며 다만 배합강도가 커짐에 따라 부순자갈을 사용한 경우에 비하여 다소 저하하는 경향으로 골재강도의 영향으로 판단된다.



[그림 6] 재령별 압축강도

## 5. 결 론

지정폐기물인 EAF-Dust의 자원재활용 방안으로 인공경량골재의 제작 및 이의 콘크리트의 적용성을 검토한 결과 기존의 팽창점토만으로 제작한 인공경량골재에 비하여 다소 밀도가 높아 콘크리트의 기건단위용적질량의 증가를 나타내었으나 골재의 흡수율 및 압축강도 등 기타 성능은 콘크리트용 골재로써 사용에 큰 무리가 없는 것으로 판단되었다. 다만 밀도가 높고 최대골재의 크기 및 조립률 등 콘크리트용 인공경량골재로써 보완해야할 부분이 남아있으며 향후 실용화에 따른 중금속에 대한 안정화에 대한 검토에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다.

### □ 참고문헌

- 김강호, 김석호, 김성훈, 김동완, “전기로제강분진(EAF Dust)을 혼화재로 배합한 콘크리트 공시체의 재료특성”, 한국콘크리트학회, 가을 학술발표회, 2001.
- 최영준, 장봉석, 김조웅, 김유택, 김화중, “EAF-dust, 점토를 이용한 인공 경량 골재 콘크리트 개발 연구”, 한국콘크리트학회, 봄 학술발표회, 2003.