

아토마이징 전기로 산화슬래그 잔골재의 물리·화학적 특성

Physical and Chemical Properties of Atomizing EFOS as Fine Aggregate for Concrete

김범수¹ · 최선미² · 신상철² · 박선규³ · 김진만^{4*}

Beom-Soo Kim¹ · Sun-Mi Choi² · Sang-Chul Shin² · Sun-Gyu Park³ · Jin-Man Kim^{4*}

(Received February 2, 2023 / Revised March 6, 2023 / Accepted March 7, 2023)

Blast furnace slag, a by-product of the steel industry, is mostly recycled as concrete admixture, but electric arc furnace slag has not been recycled to date. In particular, since electric arc furnace slag partially contains free lime (free-CaO) in the discharge, it is necessary to review this in order to recycle for construction materials. Recently an atomizing process which is a method of rapidly cooling electric arc furnace slag has been developed and applied. Therefore, in order to use the fine aggregate of oxidized slag from electric furnace restored by this method as an aggregate for concrete, physical damage and chemical reviewing are required. In this study, a physical and chemical review was conducted on the fine aggregate of Electric Arc Furnace Oxidizing Slag (EFOS) as a by-product of the steel manufacturing process with atomizing process. In this experimental study, EFOS was experimentally examined about whether it can be used as concrete fine aggregate. Also, we intend to provide basic data for the future use of the EFOS fine aggregate. As a result of the experimental study, it was found that the fine aggregate of the EFOS satisfied the quality standards of the fine aggregate for concrete in most items specified by Korean Standard.

키워드 : 전기로 산화슬래그 골재, 잔골재, 재활용, 아토마이징, 공기 급냉

Keywords : Electric arc furnace oxidizing slag(EFOS), Fine aggregate, Recycling, Atomizing, Rapid cooling by air

1. 서론

우리나라의 철강산업은 세계 철강산업 역사상 유례를 찾아볼 수 없을 정도로 놀라운 발전을 이룩하였으며, 현재 국내 조강생산 능력은 연간 약 7,000만톤 수준인 것으로 알려져 있다. 이러한 철강산업은 다량의 원료와 에너지를 소비하는 대표적인 산업으로 철강 생산 과정에서 복잡한 공정을 거치면서 다량의 부산물을 배출하게 된다. 2021년 기준 이러한 배출물 중에서 고로슬래그는 16,098천톤이 발생하며 제강슬래그는 10,471천톤이 발생하고 있다. 고로슬래그는 대부분이 콘크리트 혼화재 등으로 재활용되고 있지만, 제강슬래그는 아직까지 뚜렷한 재활용 용도가 마련되지 않고 있다. 따라서 세계 각국은 제강슬래그의 재활용 용도 개발에

많은 노력을 기울이고 있으며, 우리나라도 국토에 비하여 조강 생산 규모가 매우 크므로 다른 나라에 비하여 상대적으로 제강슬래그의 재활용 용도 개발이 시급한 국가로 분류할 수 있다.

전기로 산화슬래그의 주성분은 석회(CaO) 및 실리카(SiO₂)로서 이는 천연 암석의 구성 성분과도 같다. 전기로 산화슬래그의 경우에는 이미 전기로 산화슬래그 골재를 콘크리트용 골재로서 사용하고 있는 일본의 경우와 비교해 보면 석회의 함유량이 적고, 철 성분의 함유량이 많은 특징을 보이고 있어 콘크리트용 골재로서 사용하기 위해서는 이에 대한 검토가 필요하다. 특히 제강슬래그는 배출과정에 있어서 다량의 유리석회(free-CaO)를 함유하고 있어 유리석회에 의한 팽창 붕괴성을 가지고 있기 때문에 콘크리트용 골재로 재활용하기 위해서는 이에 대한 검토가 필요한 실정이다. 즉,

* Corresponding author E-mail: jmkim@kongju.ac.kr

¹씨에스엠테크 연구원 (CSM Tech, Chungnam, 31080, Korea)

²공주대학교 그린스마트건축공학과 연구교수 (Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Chungnam, 31080, Korea)

³목원대학교 건축학과 교수 (Department of Architectural, Mokwon University, Daejeon, 35349, Korea)

⁴공주대학교 그린스마트건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Chungnam, 31080, Korea)

제강슬래그는 종류에 따라 유리석회(free-CaO)를 0.1%~20%까지 광범위하게 함유하고 있으므로 건설재료로 사용하기 위해서는 에이징(aging) 처리를 해야 한다. 또한 연구문헌에 따르면 산화마그네슘(MgO) 함량에 따른 팽창부괴성도 존재한다. MgO는 수화반응 후 Mg(OH)₂로 분화되어 비중 및 입자크기가 감소한다. 생성된 Mg(OH)₂가 공극을 채우고 다른 Mg(OH)₂를 밀어내기 때문에 팽창압과 팽창량이 급격히 증가하는 양상을 보인다. 하지만 연구에 사용된 제강슬래그에는 낮은 함량의 MgO가 존재하기 때문에 팽창부괴 가능성은 낮다고 판단된다.

최근에는 고온의 액상 제강슬래그를 고압의 압축공기로 분무하여 슬래그를 매우 작은 크기의 입자로 공기 중에 노출 시킴으로써 급냉하는 방식인 아토마이징 공정이 개발되어 적용되고 있다. 따라서 이러한 방법으로 배출되는 전기로 산화슬래그 잔골재를 콘크리트용 골재로 사용하기 위해서는 충분한 물리·화학적 검토가 필요하다.

본 연구에서는 국내 슬래그 처리업체 'E'에서 철강제조 공정의 부산물로 배출되는 전기로 산화슬래그 잔골재를 대상으로 물리·화학적 검토를 실시하였다. 즉, E사의 C 공장과 K 공장에서 아토마이징 공정을 통해 배출되는 전기로 산화슬래그 잔골재의 콘크리트용 골재로서 사용 가능성을 실험적으로 검토함으로써 향후 전기로 산화슬래그 잔골재의 활용에 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

본 연구에서는 아토마이징 공법에 의하여 배출되는 전기로 산화슬래그 잔골재의 콘크리트용 골재로 활용 가능성에 대한 물리·화학적 특성을 평가하기 위하여 Table 1과 같은 실험을 계획하였다. 아토마이징 전기로 산화슬래그 잔골재의 물리적 특성에서는 입도분포, 절건밀도, 단위용적중량, 흡수율 및 실적률을 평가하였으며, 화학적 특성은 산화물 조성(XRF, EDS) 분석을 실시하였다.

2.1 사용재료

본 실험에 사용된 전기로 산화슬래그는 국내 슬래그 처리업체인 E사의 C공장과 K공장에서 아토마이징 공법에 의하여 배출되는 전기로 산화슬래그를 대상으로 하였다. 전기로 산화슬래그 잔골재

의 품질은 원료 및 전기로 내의 산화되는 과정이 동일할 수 없다는 특성을 감안하여 2년 동안 15회 이상에 걸쳐 샘플을 수집하였다. 2년 동안 각 공장에서 배출되는 전기로 산화슬래그 잔골재를 대상으로 동일한 조건에서 물리·화학적 시험을 실시하였다.

2.2 물리적 특성 시험 방법

아토마이징 공법에 의하여 배출되는 전기로 산화슬래그 잔골재의 입도분포는 KS F 2502 「굵은 골재 및 잔골재의 체가름 시험방법」에 준하여 측정하였다. 절건밀도는 KS F 2504 「잔골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법」에 준하여 실시하였으며, 절건상태의 슬래그 잔골재 500g과 플라스크를 사용하여 잔골재의 절건밀도를 계산하였다. 마지막으로 단위용적중량과 실적률은 KS F 2505 「골재의 단위용적 중량 및 실적률 시험 방법」에 준하여 측정하였으며, 절건 시료를 25회 3층 다짐을 실시하여 용기의 윗면을 고른 후 단위용적중량을 측정하였다.

2.3 화학적 특성 시험 방법

아토마이징 공법에 의하여 배출된 전기로 산화슬래그 잔골재의 화학적 특성을 검토하기 위하여 Fig. 1과 같은 형광엑스선 성분분석기(XRF, X-ray Fluorescence Spectrometer : SEA2220A)를 이용하였다. 형광엑스선 성분분석기는 X-ray를 시료에 조사하여 시료로부터 방출되는 특성에너지를 분석하는 방법으로 액상, 고체상, 파우더 형태의 시료 구성원소의 조성을 정량·정성적 평가를 할 수 있다. 또한 XRF 분석과 함께 EDS(Scanning Electron Microscopy)를 통한 산화물 조성 분석시험도 실시하였다.



Fig. 1. X-ray fluorescence spectrometer machine

Table 1. Experimental plan

Factor	Level	Measurement items
Slag types	K Factory	• Particle size distribution of fine aggregate • Dry density • Unit weight, volume percentage • Oxide analysis (XRF, EDS)
	C Factory	
	(more than 15 times)	

3. 실험결과

3.1 입도분포 및 조립률

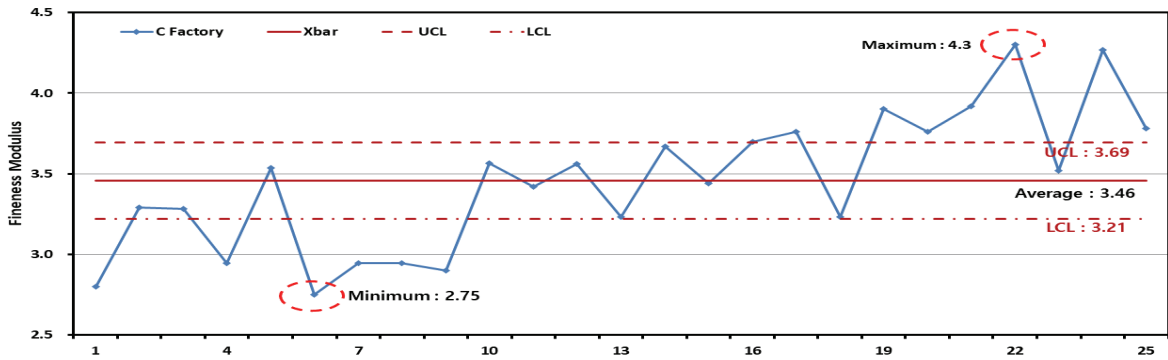
Fig. 2는 C Factory와 K Factory 공정 배출 아토마이징 전기로 산화슬래그 잔골재의 조립률의 분포를 나타낸 것이다. Fig.2에서 알 수 있는 바와 같이 C Factory에서 배출된 전기로 산화슬래그 잔골재의 조립률은 지속적으로 상승하는 경향을 보였으며, 최소값 2.75와 최대값 4.3을 나타냈다. 또한 상한 및 하한한계선인 3.69와 3.21의 범위 밖에 위치한 점들이 다수 있는데, 제어를 벗어난 점들은 그 공정이 통계적으로 제어가 불가능하며 그 원인을 해결하기 위한 조치가 필요하다는 것을 의미한다. K Factory의 경우에는 조립률이 뚜렷한 경향성을 보이지는 않았으나, 최대값 5.47과 최소값 3.31로 C Factory보다 높은 2.16의 범위를 보이고 있으며, 상한 및 하한한계선을 벗어나 분포하는 점들이 많은 것으로 나타났다.

Table 2는 조립률의 통계적 분석데이터를 나타낸 것이다. C Factory의 경우, 평균값과 중위수의 값의 차이가 작아서 조립률이 안정적으로 관리가 되고 있으며, 최대값은 4.3, 최소값은 2.75로서 1.55의 범위를 나타냈고, 평균 조립률은 3.45로 나타났다. K

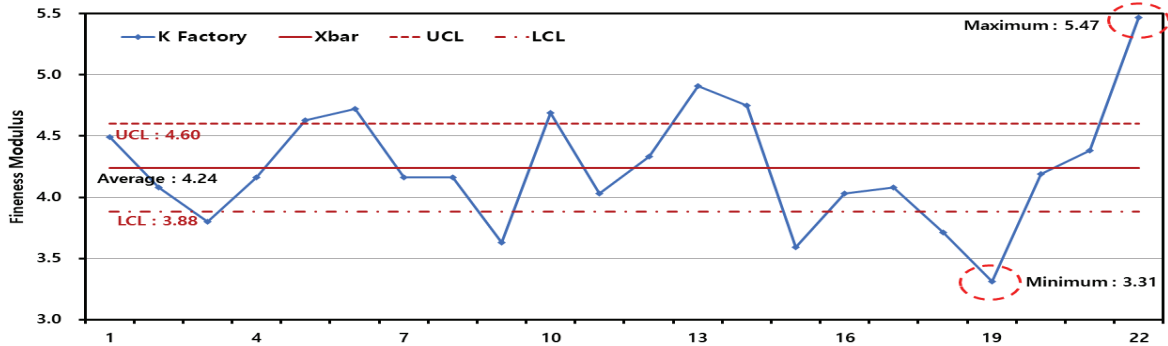
Factory는 평균값과 중위수의 차이가 작아서 조립률이 안정적으로 관리가 되고 있으며, 최대값은 5.47, 최소값은 3.31로서 2.16의 범위를 나타냈으며, 평균 조립률은 4.24인 것을 알 수 있다.

Table 2. Statistical analysis of EFOS sand F.M

Classification	C Factory	K Factory
A-square	0.29	0.26
P-value	0.57	0.68
Average	3.46	4.24
Standard deviation	0.43	0.50
N	25	22
Minimum value	2.75	3.31
1 Quartile	3.04	3.97
Median	3.52	4.16
3 Quartile	3.76	4.64
Maximum value	4.30	5.47



(a) C Factory



(b) K Factory

Fig. 2. Fineness modulus of EFOS fine aggregate

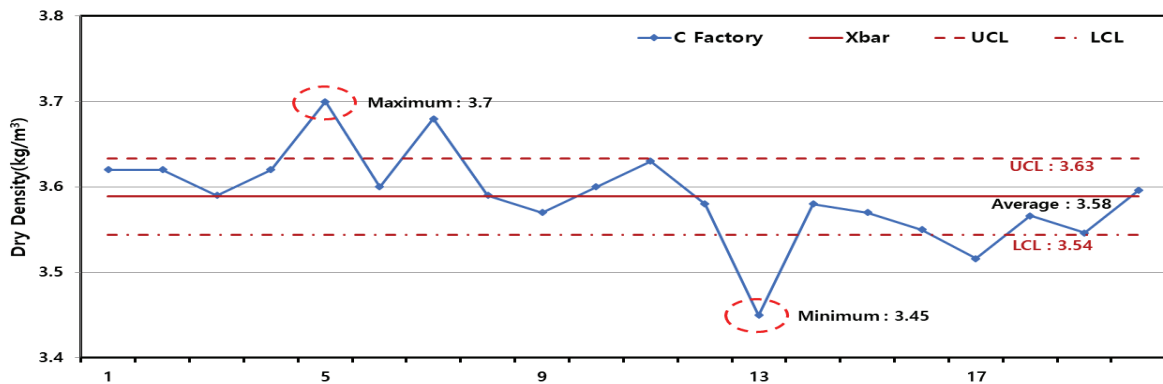
3.2 절건밀도

Fig. 3은 아토마이징 전기로 산화슬래그 잔골재의 절건밀도의 분포도를 나타낸 것이다. 전기로 산화슬래그는 KS F 2527에서 규정하는 콘크리트용 전기로 슬래그 골재의 기준 밀도인 3.1 이상을 모두 만족하는 결과값을 보였다. 즉 C Factory와 K Factory에서 배출되는 전기로 산화슬래그 잔골재는 3.59 내외의 절건밀도를 나타냈으며, 콘크리트용 잔골재로 사용하기 적합한 절건밀도와 품질 경향을 만족하는 것으로 나타났다.

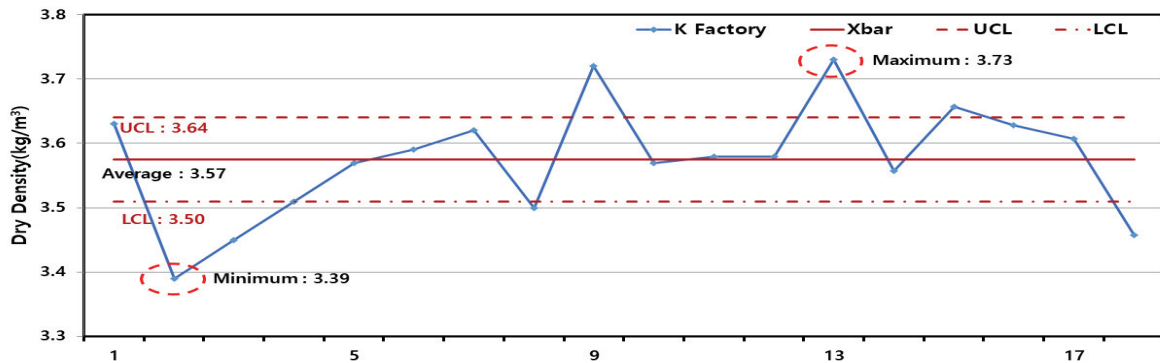
Table 3은 절건밀도의 통계적 분석데이터를 나타낸 것이다. C Factory의 경우는 평균값과 중위수의 값이 거의 일치하는 수준으로 절건밀도가 안정적으로 관리가 되고 있고, 절건밀도의 최대값은 3.7, 최소값은 3.45로서 0.25의 범위를 나타냈으며, 평균 절건밀도는 3.59로 나타났다. K Factory의 경우는 평균값과 중위수의 차이가 크지 않고 절건밀도의 최대값은 3.73, 최소값은 3.39로서 0.34의 범위를 나타냈으며, 평균 절건밀도는 3.57인 것을 알 수 있다.

Table 3. Statistical analysis of EFOS sand dry density

Classification	C Factory	K Factory
A-square	0.49	0.28
P-value	0.20	0.60
Average	3.59	3.57
Standard deviation	0.05	0.04
N	20	18
Minimum value	3.45	3.39
1 Quartile	3.57	3.52
Median	3.59	3.58
3 Quartile	3.62	3.63
Maximum value	3.70	3.73



(a) C Factory



(b) K Factory

Fig. 3. Dry density of EFOS fine aggregate

3.3 단위용적중량 및 실적을

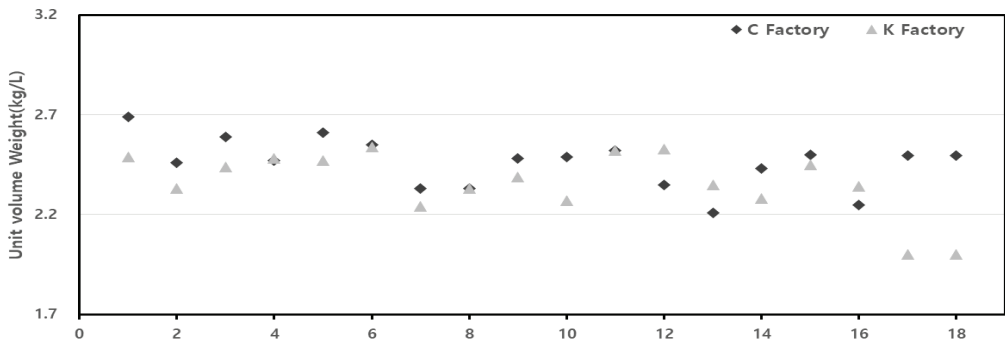
Fig. 4는 아토마이징 전기로 산화슬래그 잔골재의 단위용적 중량 및 실적을 나타낸 것이다. 전기로 산화슬래그 잔골재는 높은 구형율에 기인하여 두 공장 모두에서 60 % 이상의 높은 실적을 값을 보이고 있다. 또한 높은 절건 밀도와 실적률에 의해서 단위용적중량 또한 2.3~2.5까지 높은 값을 나타냈다. 입도별로는 큰 입자일수록 구형율이 낮기 때문에 다소 낮은 값을 보이지만, 입자가 작아질수록 실적률 및 그에 따른 단위용적중량 값도 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 즉 모든 슬래그가 Bulk 상태의 경우 KS F 2527 기준인 1.8 kg/L를 만족하는 것으로 나타났다

Table 4는 단위용적중량의 통계적 분석데이터를 나타낸 것이다. C Factory는 평균값과 중위수의 값이 차이가 다소 나지만 안정적으로 관리가 되고 있고, 단위용적중량의 최대값은 2.69, 최소값은 2.21로서 0.48의 범위를 나타냈으며, 평균 단위용적중량은 2.45로 나타났다. K Factory는 평균값과 중위수의 차이가 거의 같고 단위용적중량의 최대값은 2.54, 최소값은 2.00로서 0.54의 범위를 나타냈으며, 평균 단위용적중량은 2.38을 알 수 있었다. 한편 실적률의 통계적 분석데이터에 있어서, C Factory와 K Factory 모두

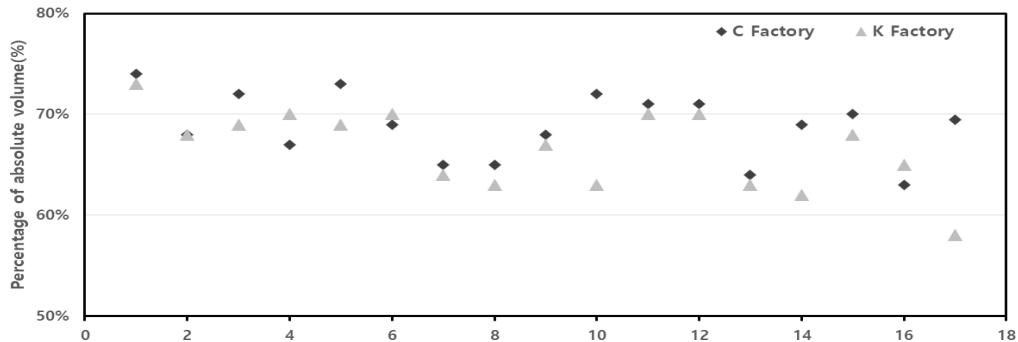
평균값과 중위수의 값 차이가 작아 안정적으로 품질관리가 이루어지고 있는 것을 알 수 있었다.

Table 4. Statistical analysis of EFOS unit weight

Classification	C Factory	K Factory
A-square	0.39	0.50
P-value	0.36	0.18
Average	2.45	2.38
Standard deviation	0.12	0.14
N	19	17
Minimum value	2.21	2.00
1 Quartile	2.33	2.31
Median	2.48	2.39
3 Quartile	2.52	2.49
Maximum value	2.69	2.54



(a) Unit volume weight



(b) Solid volume percentage

Fig. 4. Distribution unit weight and solid volume percentage of EFOS fine aggregate

3.4 XRF 분석 결과

Table 5는 KS F 2527 「콘크리트용 전기로 산화슬래그 잔골재」 규정을 나타낸 것으로, 화학성분 규정은 CaO, MgO, T.Fe의 함유량과 염기도에 대해 각각 40, 10, 50 %와 2로 제한하고 있다.

Table 5. Chemical composition regulations of EFOS fine aggregate in KS F 2527

CaO (wt.%)	MgO (wt.%)	T.Fe (wt.%)	CaO/SiO ₂
≤40	≤10	≤50	≤2

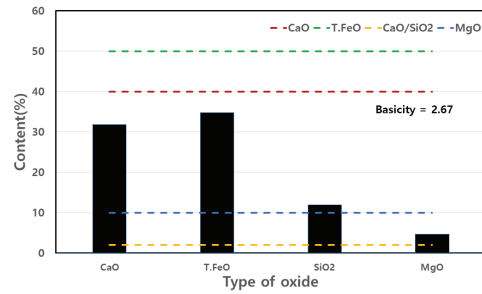
Table 6은 KS F 2527에 규정되어 있는 화학성분을 측정된 전기로 산화슬래그 잔골재의 산화물을 나타낸 것이다. Table 6에 나타난 바와 같이 C Factory와 K Factory 모두 CaO, T.Fe와 MgO의 함량이 KS 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 다만 K Factory의 경우가 C Factory에 비해 CaO가 높게 나타나고 있어 염기도를 고려해 볼 때 더 낮은 함량으로 관리가 필요할 것으로 판단된다.

또한 T.Fe 함량의 경우 C Factory에서는 T.Fe 함량이 증가하는 경향을 보였지만, K Factory에서는 T.Fe 함량이 감소하는 경향을 보이다가 높아지는 경향으로 변화하였다.

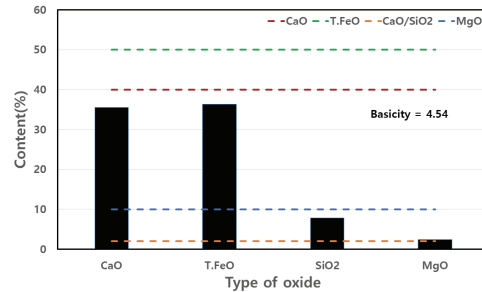
전기로 산화슬래그에서 CaO와 T.Fe의 차지하는 비율이 가장 높고 둘을 비교해보았을 때 반비례적 관계에 있다. 하지만 산화물 함량의 최대값과 최소값의 차이가 크게 나타나고 있어 품질관리 개선이 필요한 것으로 판단된다.

Table 6. Chemical composition of EFOS fine aggregate

Numbers	C Factory					K Factory				
	CaO	T.Fe	MgO	SiO ₂	CaO/SiO ₂	CaO	T.Fe	MgO	SiO ₂	CaO/SiO ₂
1	30.1	31.1	4.1	10.9	2.8	28.4	39	2.6	10.9	2.6
2	31.6	27.4	4.0	10.9	2.9	33.4	28.7	2.8	11.9	2.8
3	29.5	30.9	4.9	10.5	2.8	-	-	-	-	-
4	28.7	33.1	4.8	9.4	3.1	34.5	30.8	2.6	13.3	2.6
5	31.6	32.5	3.5	10.0	3.2	33.0	28.8	2.7	12.2	2.7
6	32.0	32.6	3.9	12.5	2.6	34.8	25.5	4.3	8.1	4.3
7	25.5	34.0	5.2	15.3	1.7	35.1	22.2	3.7	9.5	3.7
8	26.6	36.2	4.6	13.5	2.0	34.3	24.5	3.9	8.8	3.9
9	25.4	37.3	4.6	14.1	1.8	39.0	26.7	2.5	15.6	2.5
10	25.5	34.0	5.2	15.3	1.7	35.1	22.2	3.7	9.5	3.7
11	25.2	35.3	5.9	14.4	1.8	35.1	27.3	2.9	12.1	2.9
12	20.6	27.7	8.1	19.4	1.1	28.9	35.5	3.9	7.4	3.9
13	17.4	32.6	6.4	22.3	0.8	29.5	36.6	3.2	9.2	3.2
14	18.5	38.6	7.0	15.6	1.2	31.0	35.3	2.7	11.5	2.7
15	20.3	38.9	6.0	15.5	1.3	33.5	26.5	3.4	10.0	3.4



(a) C Factory



(b) K Factory

Fig. 5. Oxide composition of EFOS fine aggregate

3.5 EDS 분석 결과

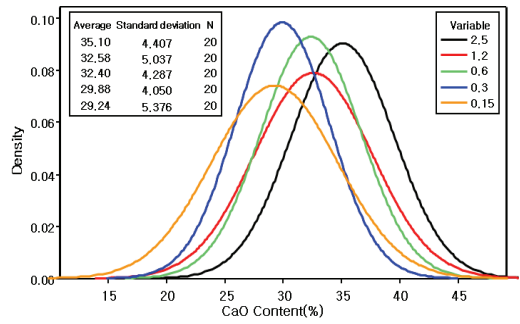
Fig. 5와 Fig. 6은 아토마이징 전기로 산화슬래그 잔골재의 EDS 분석결과를 나타낸 것이다. Fig. 5에서 알 수 있는 바와 같이 KS F 2527 「콘크리트용 전기로 산화슬래그 잔골재」 규정에 C Factory

와 K Factory의 CaO 함량이 SiO₂에 비하여 높아 염기도를 제외하고 모두 기준에 만족한다. 또한 Fig. 6 (a), (b)에 나타난 바와 같이 EDS에 의한 입도별 CaO 조성으로 비교해보았을 때 입도가 낮아질수록 함량이 낮은 왼쪽편으로 곡선이 이동하는 것을 알 수 있다. Fig. 6 (c), (d)에 나타난 바와 같이 EDS에 의한 입도별 T.Fe 조성에서도 볼 수 있듯이 T.Fe의 함량이 입도가 작아질수록 증가하는 것을 확인하여 입도별 산화물 조성에 미치는 영향이 있는 것을 검증하였다. 이러한 특성은 기존 연구문헌에 T.Fe 함량이 높아질수록 점성이 감소하며, 염기도(CaO/SiO₂) 함량이 커질수록 점성이 증가한다고 보고된 바 있다. 그와 같은 맥락으로 점성이 커질수록 입자크기는 커지고, 낮아질수록 입자크기는 작아지기 때문인 것으로 판단된다.

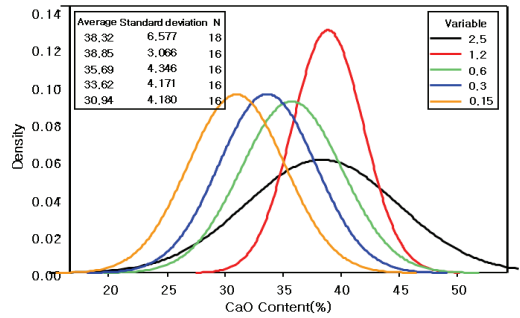
4. 결론

본 연구에서는 아토마이징 공법에 의하여 생산된 전기로 산화슬래그를 잔골재로서 적용 가능성 평가를 위하여 물리·화학적 특성에 대한 검토하였으며, 본 연구의 범위 내에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

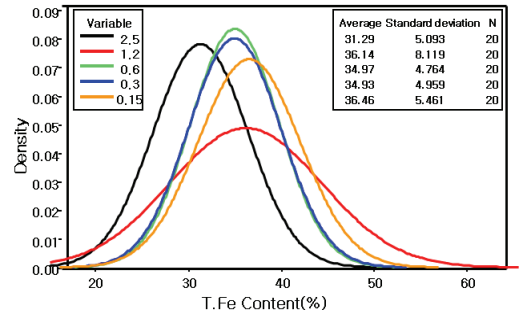
1. 전기로 산화슬래그의 공장별 조립률은 상한 한계선과 하한 한계선까지의 차이가 비교적 큰 값으로 변화하였고, 통계분석 결과에서도 C Factory의 최대값은 4.3, 최소값은 2.75, K Factory의 최대값은 5.47, 최소값은 3.31로 유의한 값이 나타나지 않았으며 편차가 큰 것으로 나타나 입도의 안정화 방안이 요구된다. 다만 K Factory 대비 C Factory 슬래그의 평균 조립률과 중위수의 차가 크지 않아 관리가 적절하며, 두 지점 모두 골재로의 활용을 위해서는 입도 조정이 요구된다.
2. 공장별 절건밀도는 C Factory의 최소값은 3.45, K Factory의 최소값은 3.39로 KS F 2527에서 규정하는 콘크리트용 전기로 슬래그 골재의 기준밀도인 3.10이상을 모두 만족하였다. 통계분석 결과에서 C Factory는 중위값과 평균값의 일치율이 높고, K Factory 또한 차이가 크지 않아 절건밀도는 안정적으로 관리되고 있으며, 품질관리와 규정을 만족하는 결과를 보였다.
3. 단위용적 및 실적률은 대부분 KS F 2527 기준인 1.8 kg/L을 만족하였으며, 구형에 기인된 높은 실적률로 60 % 이상의 값으로 안정적으로 관리되고 있다. 냐다.
4. 화학적 특성에서 XRF를 이용하여 CaO와 T.Fe의 함량을 비교해 본 결과, 모두 규정에 만족하였지만, CaO 함량이 상대적으로 높아 염기도 기준을 전반적으로 만족하지 못한다. C Factory의



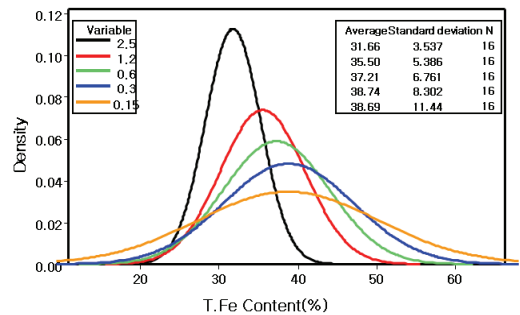
(a) C Factory



(b) K Factory



(c) C Factory



(d) K Factory

Fig. 6. EDS of EFOS fine aggregate

경우 일부 로트에서는 염기도 기준을 만족하나, K Factory는 생산 슬래그 모두 기준을 초과하여 골재로 사용을 위해서는 조

성관리가 필요하다고 판단된다.

5. EDS에 의한 산화물 조성 분석결과, CaO와 T.Fe의 함량 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 입도가 작아질수록 T.Fe는 높아지고 CaO 함량이 낮아지는 것으로 나타나 이는 점도에 의한 영향으로 판단된다.

이상의 연구결과를 바탕으로 전기로 산화슬래그를 콘크리트용 잔골재로 활용하기 위해서는 일부 물리적 특성에서는 관리를 통해 활용이 가능하다 평가되었다. 그러나 산화물 조성에서 C Factory는 관리를 통해 일부 활용이 가능한 반면, K Factory에서는 생산 슬래그 모두 기준을 만족하지 못하였다. 이에 잔골재로 활용을 위해서는 조성의 관리가 필수적으로 선행되어야 할것이라 판단된다. 따라서 아토마이징 공법에 의하여 생산된 전기로 산화슬래그를 콘크리트용 잔골재로 사용하기 위해서는 추후 지속적인 품질 DB의 확보를 통해 품질의 안정화와 골재로서의 활용을 위한 산화물 기준 만족 평가가 수행되어야 하며, 선별을 통해 적정 슬래그만을 골재로 활용하는 것이 가능하다고 판단된다.

Conflict of interest

None

감사의 글

본 논문은 한국연구재단의 이공분야기초연구사업 중 중견연구자지원사업(과제번호 2020R1A2C2013161) 및 창의도전연구기반지원(No. 2020R111A1A01074492)의 지원을 받아 수행한 연구로 이에 감사드립니다. 또한 본 논문은 현대제철의 '철강슬래그의 고부가가치적 활용 연구' 수행을 위한 원료 제공을 통해 진행된 연구로서 이에 감사드립니다.

References

- Cho, B.S., Lee, H.H., Yang, S.K., Lee, W.J., Um, T.S. (2009). Appraisal of concrete performance and plan for stable use of EAF oxidizing slag as fine aggregate of concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **21(3)**, 367–375.
- Choi, S.W., Back, C.W., Ryu, D.H., Son, Y.S., Park, C.G., Kim, K.H. (2010). An experimental study on the basic properties of high strength concrete, using oxidized electric-furnace-slag aggregate, *Proceedings of the Korea Concrete Institute Conference*, **22(1)**, 251–252.
- Gajda, J. (2001). Absorption of Atmospheric Carbon Dioxide by Portland Cement, PCA, R&D, Chicago, USA.
- Han, S.I., Lee, W.Y., Park, H.J., Choi, H.G., Kwak, E.G., Kim, J.M. (2009). A fundamental study on the fluidity properties of normal concrete using fine aggregate with rapidly cooled electric arc furnace oxidizing slag, *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, **21(1)**, 333–334.
- Kim, J.H., Lee, M.J., Ra, J.M., Choi, S.M., Bae, K.S., Kim, J.M. (2011). Quality properties of fine aggregate from rapidly cooled EAF slag, *Proceedings of the Korea Concrete Institute Conference*, **23(1)**, 469–470.
- Kim, J.M., Kwak, E.G., Choi, S.M., Kim, J.H., Lee, W.Y., Oh, S.Y. (2012). Properties of mortar according to gradation change of electric arc furnace oxidizing slag fine aggregate made by rapidly cooled method, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **6(4)**, 112–118.
- Kim, K.H., Lim, J.Y., Ryu, D.H., Choi, S.W. (2007). The present situation of production and its utilization of electric arc furnace oxidizing slag in Korea and other countries, *Magazine of the Korea Concrete Institute*, **19(6)**, 51–57.
- Kim, K.S., Bae, I.K., Seo, J.B., Choi, J.S., Lee, Y.K., Kim, H.S. (2015). Properties of reformed electric arc furnace slag as cement admixtures, *Resources Recycling*, **24(6)**, 31–37.
- Korea Iron & Steel Association (2021). <https://www.kosa.or.kr/KS F 2502>, (2019). Method of Test for Sieve Analysis of Aggregates, Seoul, Korea.
- KS F 2504. (2020). Method for Density and Water Absorption Rate of Fine Aggregates, Seoul, Korea.
- KS F 2505. (2022). Method for Bulk Density and Solid Contents in Aggregates, Seoul, Korea.
- KS F 2527. (2022). Concrete Aggregate, Korean Standards Association, Seoul, Korea.
- Kwak, E.G., Kim, J.M. (2010). Evaluation of application for the concrete aggregate of electric arc furnace oxidizing slag treated by rapidly cooling method, *Journal of the Architectural Institute of Korea: Structure & Construction*, **26(2)**, 63–70.
- Lee, J., Yoon, B., Choo, H., Lee, W., Lee, C. (2020). Effect of hydration on swelling properties and shear strength behavior of MgO-sand mixture, *Journal of the Korean Geotechnical Society*, **36(11)**, 97–106.
- Lim, H.S., Lee, H.S. (2017). Study on performance evaluation of concrete using electric arc furnace oxidizing slag aggregate,

Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, **21(4)**, 97-103.

Ryu, D.H. (2009). The prospect for utilization of electronic arc furnace oxidizing slag as concrete's aggregate, Magazine of RCR, **4(1)**, 17-25.

Yoon, J.K., Sim, J.D. (2004). Introduction to Ferrous Metallurgy, DaeWoong, Korea.

아토마이징 전기로 산화슬래그 잔골재의 물리·화학적 특성

철강산업 부산물인 고로슬래그는 대부분이 콘크리트 혼화재 등으로 재활용되고 있지만, 제강슬래그는 아직까지 뚜렷한 재활용 용도가 마련되지 않고 있다. 특히 제강슬래그는 배출과정에 있어서 다량의 유리석회(Free CaO)를 함유하고 있어, 유리석회에 의한 팽창 붕괴성을 가지고 있기 때문에 콘크리트용 골재로 재활용하기 위해서는 이에 대한 검토가 필요한 실정이다. 최근에는 고온의 액상 제강슬래그를 고압의 압축공기로 분무하여 슬래그를 매우 작은 크기의 입자로 공기 중에 노출시킴으로써 급냉하는 방식인 아토마이징 공정이 개발되어 적용되고 있다. 따라서 이러한 방법으로 배출되는 전기로 산화슬래그 잔골재를 콘크리트용 골재로 사용하기 위해서는 충분한 물리·화학적 검토가 필요하다. 본 연구에서는 국내 E사에서 철강제조 공정의 부산물로 배출되는 전기로 산화슬래그 잔골재를 대상으로 물리·화학적 검토를 실시하였다. 즉, 아토마이징 공정을 통해 생산되는 전기로 산화슬래그 잔골재가 콘크리트용 골재로서 사용 가능한가에 대하여 실험적으로 검토함으로써 향후 전기로 산화슬래그 잔골재의 활용에 기초적인 자료를 제공하고자 한다. 실험결과, 전기로 산화슬래그 잔골재는 대부분의 항목에서 콘크리트용 잔골재의 품질규준을 만족하고 있는 것으로 나타났다.