

전기로 산화슬래그의 국내외 이용 사례

The Present Situation of Production and It's Utilization of Electronic Arc Furnace Oxidizing Slag in Korea and Other Countries



김길희*
Kil-Hee Kim



임지영**
Ji-Young Lim



류득현***
Deug-Hyun Ryu



최성우****
Sung-Woo Choi

1. 전기로슬래그란?

철강 산업은 그 제조 공정의 특성상 다량의 원료와 에너지를 사용할 뿐만 아니라 다양한 종류의 부산물과 폐기물을 필연적으로 발생시키고 있다. 즉 제철 공정은 원료, 제선, 제강, 압연 및 스테인레스 등 복잡한 공정의 연결 생산 체제를 거치면서 수많은 종류의 부산물 및 폐기물을 다량으로 발생시키고 있다. 그 중에서 가장 많은 양을 차지하는 부산물이 슬래그이다. 제강슬래그는 철, 탄소, 석회석 등 재활용이 가능한 유효한 자원을 다량 함유하고 있어 귀중한 자원으로서의 활용 가치가 높으며, 유가물의 회수 후에 남은 슬러지의 경우에도 건설용 자재로서의 활용 가치가 매우 높다.

제철슬래그는 철광석, 코크스, 석회석을 원료로하여 고로에서 선철을 만들어 내는 소결 및 제선 공정에서 발생하는 고로슬래그와 전로에서 철강을 제조하는 제강 공정에서 발생하는 전로슬래그, 그리고 고철을 주원료로 사용하는 전기로에서 발생하는 전기로슬래그의 세 가지로 나눌 수 있다.

고로슬래그의 경우 다양한 용도로 토목 및 건축 현장에서 활용되고 있으며, 시멘트 원료 및 도로용 골재 등으로의 이용이 확대되어 이미 고부가가치로 재활용 되고 있다. 그러나 전기로 및 전로슬래그는 Free CaO, free MgO에 의해 그 자신이 가지고 있는 팽창붕괴의 불안정성 때문에 콘크리트용 골재로 사용하지 못할 뿐만 아니라 성토한 경우에도 성토 지반의 불균일한 팽창에 의해 안정한 지반을 형성하지 못하는 문제점 등으로 인하여 리사이클링에 한계를 보여주고 있다.

현대의 전기로 제강법에서 생산성과 용강 품질의 향상을 목

적으로 공정의 분화가 이루어진 결과 산화슬래그와 환원슬래그를 구분하는 것이 가능하게 되었다. 그 결과 Free CaO, free MgO에 의한 팽창붕괴의 불안정성 문제가 어느 정도 해결된 산화슬래그의 콘크리트용 골재로의 활용 기술에 대한 연구 개발이 전기로 제강업체를 중심으로 진행되었지만 아직 팽창 문제에 대한 미해결 문제가 남아 있어 아직은 도로용 기층제로 활용되고 있는 실정이다.

본고에서는 전기로슬래그의 제조 공정 및 제조 방법의 다양한 접근 방법, 국내외 이용 사례를 살펴보고 팽창 문제의 해결 방안에 대한 고찰과 함께 해외에서의 중량콘크리트에의 적용 사례를 소개하고 향후 직면하게 될 골재 부족뿐만 아니라 지구 환경문제 해결에도 좋은 대안으로 사료되는 보다 고부가가치인 콘크리트용 골재로의 활용 기술 개발을 위한 향후 방안 및 과제에 대해 고찰해 보고자 한다.

2. 국내 전기로슬래그 발생 현황 및 재활용 현황

국내 조강 생산량의 변화와 슬래그 발생량의 분포는 <그림 1, 2>에 나타난 것과 같다. 국내의 조강 생산능력은 꾸준히 증가하여 1997년 4,000만 톤을 넘어 2006년 기준 약 4,843만

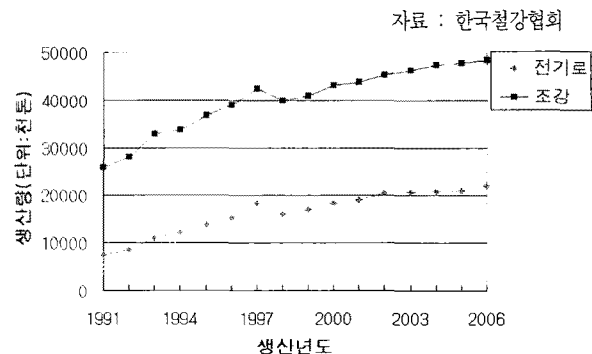


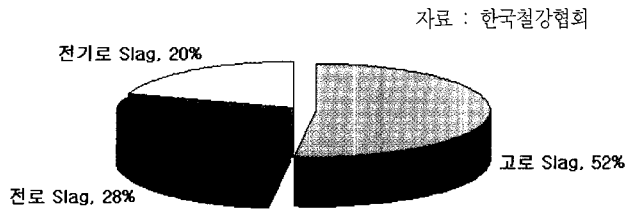
그림 1. 국내 조강 생산량의 변화

* 공주대학교 건축공학부 건축공학전공 교수
kimkh@kongju.ac.kr

** 공주대학교 건축공학부 건축공학전공 석사과정

*** 유진기업 기술연구소 소장

**** 유진기업 기술연구소 연구원



'05년도 슬래그 발생 합계 : 1,681만톤

그림 2. 슬래그 발생량 분포

톤에 이르고 있으며, 이 중 전기로슬래그는 2,214만 톤으로 절반에 가까운 비율을 차지하고 있다. 전기로 제강법에서는 전기로에서의 철강 생산량의 약 5~7%의 전기로슬래그가 발생하고 있으며 이는 전체 슬래그 발생량의 약 20%에 해당한다.

국내의 전기로슬래그 발생 현황 및 지역을 살펴보면 <표 1>

표 1. 국내 전기로슬래그 발생 현황(2005)

철강회사	공 장	발생량(ton)	비율(%)
현대제철 (39%)	인천	645,136	20.1
	당진	248,760	7.8
	포항	239,588	7.5
포스코 (20%)	포항	364,962	11.4
	광양	273,254	8.5
동국제강 (14%)	인천	239,687	7.5
	포항	222,427	6.9
한국철강	창원	216,000	6.7
세아베스틸	군산	165,584	5.2
창원특수강	창원	140,096	4.4
YK스틸	부산	104,900	3.3
한국제강	함안	86,573	2.7
환영철강	전주	78,000	2.4
대한제강	부산	67,360	2.1
합계		3,203,678	100

과 <그림 3>에 나타난 것과 같다. 표에서 알 수 있듯이 국내 전기로슬래그는 2005년 기준 약 320만 톤 발생하고 있으며 현대제철, 포스코 및 동국제강에서 발생하는 슬래그가 대부분을 차지하고 있다.

3. 국내 전기로슬래그 재활용 현황

국내 전기로 생산업체의 하나인 한국철강에서 발생하는 전기로슬래그의 화학 성분의 예를 <표 2>에 나타낸다. 전기로슬래그의 주성분은 석회(CaO) 및 실리카(SiO₂)로서 이는 천연 암석의 구성 성분과도 같다. 하지만 환원슬래그의 경우 팽창붕괴 물질인 Free-CaO, MgO의 함유율이 높아 콘크리트용 골재로서 사용할 수 없다. 산화슬래그의 경우에는 이미 전기로 산화슬래그 골재를 콘크리트용 골재로서 사용하고 있는 일본의 경우와 비교해보면 석회의 함유율이 적고, 철 성분의 함유율이 많은 특징을 보이고 있어 콘크리트용 골재로서 사용하기 위해

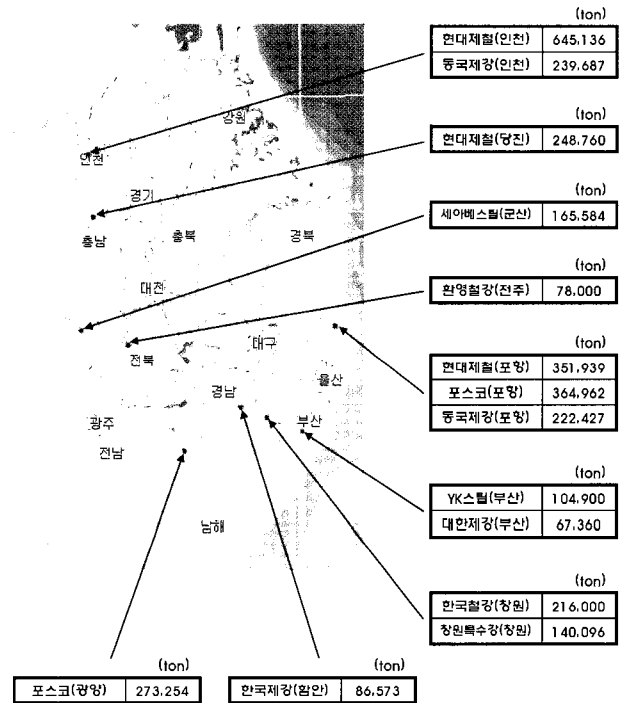


그림 3. 국내 전기로슬래그 발생 지역

표 2. 전기로슬래그의 화학조성

구 분	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	SO ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O
고로슬래그	0.3	43.50	33.60	5.20	14.50	0.50	1.40	-	-	-
한국철강산화슬래그	46.99	13.85	17.57	5.15	7.45	4.64	0.08	0.18	0.52	0.22
한국철강환원슬래그	2.15	44.96	23.21	9.90	12.98	0.50	1.11	0.03	0.35	0.06
일본산화슬래그	21.20	26.70	17.70	5.30	12.20	7.90	-	-	-	-
독일BSW(산화)	44.10	21.25	12.61	2.42	9.23	4.43	0.21	0.45	0.07	0.01

표 3. 제강슬래그의 재활용 현황

용도	고로		전로		전기로	
	사용량(ton)	비율(%)	사용량(ton)	비율(%)	사용량(ton)	비율(%)
시멘트	5,909,733	69.3	83,189	1.7	4,816	0.1
도로용	2,043,389	24.0	1,958,144	40.0	589,558	17.4
성토용	20,710	0.2	1,505,700	30.8	2,215,732	65.3
비료	484,957	5.7			106,016	3.1
잡석용					155,628	4.8
재사용			1,271,283	26.0	88,201	2.6
벽돌용					31,627	0.9
기타	67,143	0.8	72,816	1.5	202,518	6.0
합계	8,525,937	100	4,891,192	100	3,394,096	100

한국철강협회(2005)

서는 이에 대한 검토가 필요함을 알 수 있다.

다음으로 국내 전기로슬래그의 재활용 현황을 <표 3>에 나타낸다. 현재 국내의 전기로산화슬래그의 주요 재활용 용도는 도로용 및 성토용이 82.3%로 거의 대부분을 차지하고 있으며 그 외 용도로의 사용은 매우 적다. 이는 국내 전기로 생산 업체의 슬래그 발생 공정에서 산화슬래그와 환원슬래그를 구분하여 반출하는 것이 불명확하여 팽창 붕괴 유도 물질의 함유 가능성이 인하여 콘크리트용 골재로 사용하기에는 부적합하기 때문이다. 전기로 생산 업체에서도 전기로슬래그의 고부가가치 재활용 용도인 콘크리트용 골재로서의 사용을 위한 필요성은 인식하고 있으나 아직 이를 위한 규격이나 기준이 마련되어 있지 않아 그 활용실적이 미미한 실정이나 조만간 규격이 제정되어 공표된다면 이에 대한 적극적 연구 개발을 통해 활용 실적 또한 증대되리라 예상된다.

4. 전기로슬래그 활용 기술의 국내 현황

4.1 한국산업규격

전기로슬래그에 대한 KS규격은 갖추어져 있지 않지만, 철강 협회를 중심으로 규격 제정을 위한 문헌 조사 단계를 거쳐 KS 규격 제정을 위한 준비가 진행되고 있다.

4.2 콘크리트표준시방서

현재 국내의 콘크리트표준시방서에는 전기로 산화슬래그의 콘크리트용 골재로서의 사용에 관한 사항은 마련되어 있지 않으며, 전기로산화슬래그 골재의 사용을 금지하는 이유를 다음

과 같이 설명하고 있다.

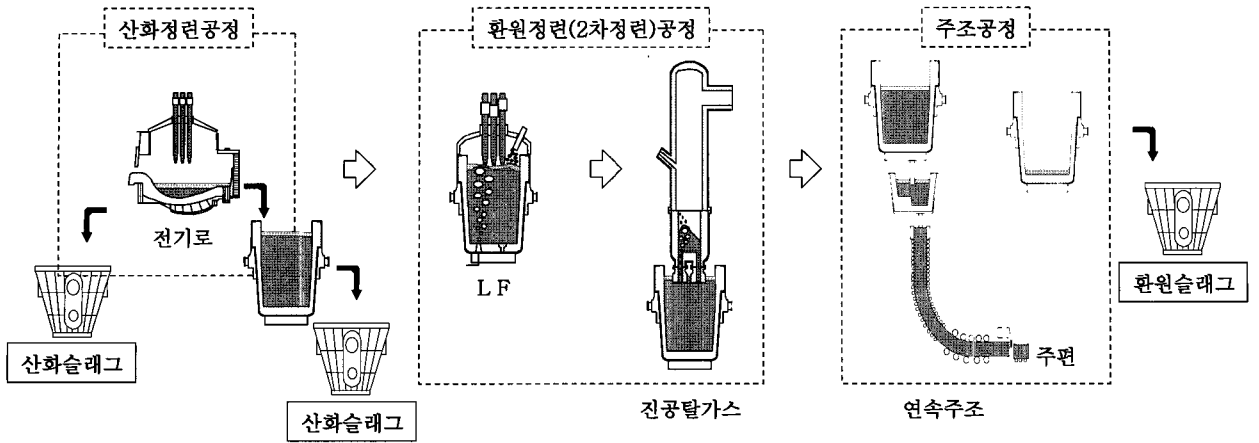
- 콘크리트용 골재로서는 불안정한 광물상으로 구성되어 있으므로 사용해서는 안 된다.
- 전기로슬래그나 전로 슬래그 굵은 골재는 고로슬래그 굵은 골재와는 달라서 불안정하므로 콘크리트용 골재로 사용하지 않아야 한다.

4.3 산화·환원슬래그 분별 기술

전기로 산화슬래그를 콘크리트용 골재로 활용하기 위해서 외국(일본)의 문헌(JIS, 전기로산화슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 설계 시공 지침(안), 전기로산화슬래그 골재를 사용한 콘크리트의 설계·시공 지침(안))을 참고로 살펴보면 팽창붕괴성을 갖고 있는 환원슬래그가 절대로 혼입되지 않아야 한다. 그러나 국내의 슬래그 발생 공정에서는 산화슬래그와 환원슬래그를 명확하게 분류하여 반출하는 것이 이루어지지 않아 도로용이나 성토용이 대부분을 차지하며 보다 고부가가치를 갖고 있는 콘크리트용 골재로서의 사용은 이루어지지 않고 있다. 이는 전기로 철강 생산 업체에서 그 필요성은 인식하고 있으나 아직 국내의 전기로슬래그 골재에 관한 규격이나 기준이 마련되어 있지 않기 때문으로 생각된다.

4.4 국내 연구 동향

제강슬래그에 대한 국내의 연구는 고로슬래그의 경우 활발하게 진행되어 현재 고로슬래그 사용에 관한 기준이 제정되어 있으며 시멘트 원료 및 도로용 골재 등 다양한 용도로 재활용되고 있다. 그러나 전기로슬래그 관련 연구는 다소 있으나 모르



진공탈가스 : 주로 특수강 제조 사업소에 설치되어 있다.

그림 4. 전기로 제강과정 및 산화슬래그·환원슬래그의 발생 공정

타르 및 슬러지에 관련된 연구이며 콘크리트용 골재로서의 사용에 대한 연구는 전무한 실정으로 KS규격 제정을 통해 기준을 마련하고 이를 근거로 한 연구 개발이 조속히 요구된다.

5. 국외 기술 현황 및 이용 사례

전기로슬래그 골재의 사용에 관한 연구가 가장 활발한 대표적인 나라가 일본으로 본 고에서는 일본의 전기로 산화슬래그 골재의 제조, 품질기준 및 적용 사례에 대해 살펴본다.

일본의 경우 전기로산화슬래그는 연간 약 200만 톤이 부산물로 발생되고 있으며 이들 자원의 유효이용을 위해 JIS A 5011-4(콘크리트용 슬래그 골재 - 제4부)로 규격화되어 2003년 6월에 공시되었다. 또한 일본건축학회 및 토목학회에서는 이 규격을 기초로 전기로산화슬래그 골재를 이용한 콘크리트의 설계 시공 지침(안)이 간행되어 전기로슬래그의 콘크리트용 골재로서의 사용 근거를 마련하여 실제 구조부재 및 건설 현장에서 사용하고 있는 것으로 파악되고 있다.

- 일본건축학회 - 전기로 산화슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 설계시공지침(안)·동해설
- 토목학회 - 전기로 산화슬래그 골재를 사용한 콘크리트의 설계·시공 지침(안)

5.1 전기로산화슬래그 골재의 제조

1980년대까지는 전기로 내에서 산화·환원의 두 정련이 이루어졌기에 산화/환원슬래그를 분리하는 것이 곤란하였으며, 환원슬래그에 포함된 유리석회 등이 콘크리트를 팽창붕괴 시키기 때문에 전기로슬래그를 콘크리트용 골재로서 이용하는 것은 불가능하였다. 그 후 정련 과정을 세분화하는 기술이 도입되어

(그림 4)와 같이 산화슬래그를 분리해서 배출 하는 것이 가능하게 되었다. 그 결과 전기로 산화슬래그를 콘크리트용 골재로서 이용할 수 있게 되었다.

전기로에서 배출되는 용융상태 슬래그의 냉각·응고 방법에 의해 전기로 산화슬래그는 서냉과 급냉으로 구분된다. 서냉은 용융한 산화슬래그를 바닥 또는 강재로 된 팬(그릇)에 방류한 후 산수(散水)냉각·공냉(空冷)에 의해 응고시킨 것이다. 거칠게 파쇄된 산화슬래그는 (그림 5)에 나타내는 것과 같은 플로우로 파쇄·분급되어 굵은골재 및 잔골재가 제조된다.

한편, 급냉처리에서는 용융된 산화슬래그를 바람 혹은 기계에 의해 비산시켜 물·에어미스트로 급냉 응고시켜 이를 분급하여 잔골재를 제조한다. 이 급냉슬래그에서 제조되는 전기로 산화슬래그 잔골재는 현재 제조양이 작지만 입형은 구형에 가까운 실적이 높은 것이 특징이어서 용도 개발을 통한 활용 실적의 증대가 예상된다.

콘크리트용 골재를 제조하는 경우 (그림 5)에 나타난 각각 파쇄과정 직전에서 자력에 의해 철을 선별하는 것을 실시하고 최종 단계에서도 600가우스 이상의 자력으로 금속철을 제거한다. 그 결과 골재 중의 금속철은 굵은골재에서 5% 이하, 잔골재에서 2% 이하로 유지

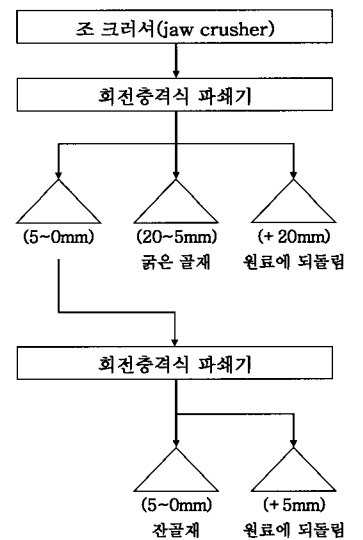


그림 5. 전기로 산화슬래그 파쇄 플로우

된다. 이러한 처리를 실시하여 제조한 골재를 이용한 콘크리트는 5년의 폭로기간을 경과하여도 금속철에 의한 얼룩이나 팽이웃이 확인되지 않는 것으로 보고되고 있다.

5.2 전기로산화슬래그의 품질

JIS-A 5011-4에 규정된 전기로 산화슬래그 골재의 화학성분 및 물리적 특성을 <표 4>에 나타낸다. 전기로 산화슬래그 골재의 화학성분은 고철의 용해·산화정련에 의해 발생하는 산화철(FeO), 산화망간(MnO), 이산화규소(SiO₂), 산화알루미늄(Al₂O₃)과 정련을 위해 첨가된 산화칼슘(CaO)을 주성분으로 하며, 전기로의 내화물을 기원으로 하는 산화마그네슘(MgO)를 소량 함유하고 있다.

규격에서는 골재의 화학적 안정성과 물리적 성질의 범위를 보증하기 위해 성분과 염기도를 규정하고 있다. 염기도를 2.0 이하로 하는 것에 의해 유리석회의 함유량을 미량으로 하여 콘크리트의 길이 변화율도 0.05% 이하로 하는 것이 가능하다. 또 MgO의 함유량을 10% 이하로 하는 것에 의해 유리마그네시아의 석출을 방지하여 이에 의한 팽창을 억제하는 것이 가능하다.

5.3 전기로 산화슬래그 골재의 콘크리트용 골재 이용 사례

일본의 경우 JIS 규격화 및 연구개발의 착실한 진행으로 다양한 구조물에 전기로 산화슬래그 골재가 활용되고 있다. 간략한 설명과 함께 적용 사례와 특징을 소개하고자 한다.

5.3.1 수냉 재파쇄 전기로 산화슬래그 골재를 이용한 중량콘크리트의 건축 구조물에의 대량타설 적용 예

SRC구조, 건축면적 11,900 m², 면진구조를 채용한 대규모 종합병원 신축공사이며 이 건물은 <그림 6>과 같이 면진층 위

에 고층부 9층과 저층부 4층의 두 개동이 놓인 형상으로 구성되어 있어 이 두개동의 중량 밸런스를 확보할 목적으로 설계상의 사양으로 저층부 지하주차장 슬래브에 약 1,000 m³라는 대량의 중량콘크리트 타설이 요구되었다.

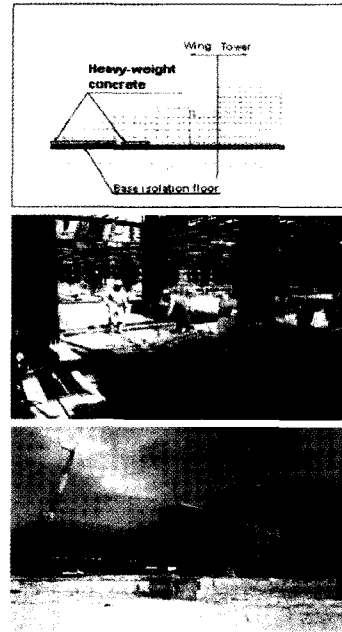


그림 6. 중량콘크리트로의 건축 구조물 적용 예 (아이치현 안조시 소재 종합병원)

5.3.2 카와사키 고속도로 종단선 부력방지 공사

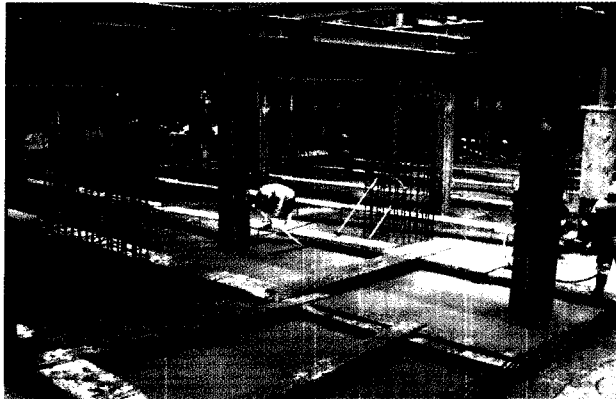


표 4. 화학성분 및 물리적 성질(JIS A 5011-4)

	굵은골재		잔골재		
	N	H	N	H	
화 학 성 분	산화칼슘(CaO로서)%	40.0 이하			
	산화마그네슘(CaO로서)%	10.0 이하			
	전철(FeO로서)%	50.0 이하			
	염기도(CaO/SiO ₂ 로서)	2.0 이하			
절 건 밀 도 (g/cm ³)	3.1이상	4.0이상	3.1이상	4.0이상	
	4.0미만	4.5미만	4.0미만	4.5미만	
흡수율(%)	2.0 이하				
단위용적질량(kg/l)	1.6 이상	2.0 이상	1.8 이상	2.2 이상	

슬래그 골재혼합률 (%)	굵은골재	100
	잔골재	100
설계강도(N/mm ²)		(18)
슬럼프(cm)		15
W/C(%)		44
물(kg/m)		155
시멘트(kg/m)		350
단위중량(kg/m)		3.120

5.3.3 나고야시 우시지마(Ushijima) 재개발공사 지하 변전실 매트콘크리트



슬래그 골재 혼합률 (%)	굵은골재	100
	잔골재	0
설계강도 (N/mm ²)		27
슬럼프 (cm)		15
W/C (%)		52
물 (kg/m ³)		177
시멘트 (kg/m ³)		341
단위중량 (kg/m ³)		2,640

5.3.5 제2동경-나고야 고속도로 나고야 IC 요금소 배수성 포장 (포러스 콘크리트)



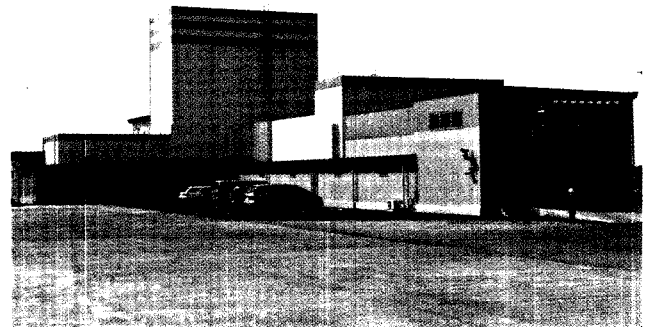
슬래그 골재 혼합률 (%)	굵은골재	100
	잔골재	0
휨강도 (N/mm ²)		4.97
W/C (%)		27.9
물 (kg/m ³)		83
시멘트 (kg/m ³)		297
단위중량 (kg/m ³)		2,630

5.3.4 후쿠이항 소파(消波) 블록



슬래그 골재 혼합률 (%)	굵은골재	100
	잔골재	0
설계강도 (N/mm ²)		27
슬럼프 (cm)		15
W/C (%)		52
물 (kg/m ³)		177
시멘트 (kg/m ³)		341
단위중량 (kg/m ³)		2,640

5.3.6 국제청 나고야 세관 토비시마지서 대형 화물 X선 검사장



슬래그 골재 혼합률 (%)	굵은골재	25
	잔골재	0
설계강도 (N/mm ²)		27
슬럼프 (cm)		15
W/C (%)		54
물 (kg/m ³)		172
시멘트 (kg/m ³)		320
단위중량 (kg/m ³)		2,370

6. 맺음말

전기로 산화슬래그 골재의 국내외 연구개발 현황 및 이용 사례에 대하여 간략하게 살펴보았다. 산화슬래그 골재의 활용기술 개발에 따른 콘크리트용 골재로의 활용에 따른 기대효과로는 1) 산업 폐기물을 고부가가치로 재활용하는 것으로 효율적 자원 재활용 효과, 2) 대부분의 전기로슬래그가 도로용이나 성토용으로 사용되던 것을 콘크리트용 골재로 사용할 수 있도록 하여 전기로슬래그의 사용 시장 확대, 3) 골재 자원에 대한 천연 자원의 고갈에 대응할 뿐만 아니라 천연 자원 개발에 따른 환경 파괴에 대한 환경부하저감형 원자재의 공급 기술 확보를 통한 지속적인 콘크리트용 골재 보급 방안 제시 등 다양한 효과를 기대할 수 있다. 이제 우리의 경우 KS 규격이 제정되려 하고 있으며 이를 기초로 본격적인 연구개발이 진행되리라 사료되지만 본고를 계기로 전기로 산화슬래그 골재의 활용에 대한 관심증대 및 연구개발이 확대되기를 기대한다. □

참고문헌

1. 건설교통부, 콘크리트표준시방서, 한국콘크리트학회, 1999.
2. 조성현, 급냉 제강슬래그 잔골재를 사용한 특수 모르타르 및 콘크리트의 개발과 실용화 방안, 박사학위논문, 2005.
3. 四谷 進ほか 1人, “電氣爐酸化スラグ骨材の概要”, 콘크리트工学, Vol.41, No.8, 2003, pp.3~7.
4. 電氣爐酸化スラグ細骨材を用いるコンクリートの設計施工指針(案)・同解説, 日本建築學會, 2005.
5. 電氣爐酸化スラグ骨材を用いたコンクリートの設計・施工指針(案), 土木學會, 2003.
6. JIS A 5011-4, 콘크리트용슬래그骨材 - 第4部: 電氣爐酸化スラグ骨材, 日本工業標準調査會 審議, 2003.

▶ 도서 구입은 학회 홈페이지(www.kci.or.kr)에서 구입 가능하며, 방문 또는 전화로도 구입하실 수 있습니다. 전화로 구입하시고자 하실 때에는 아래 계좌에 입금을 하시고 학회로 연락 주시기 바랍니다. 우송료는 착불입니다.

사이트은행 : 102-53655-255 (예금주 한국콘크리트학회)
(TEL 568-5985~7, FAX 568-1918)

콘크리트 기술 기본도서 안내

- 2007 콘크리트구조설계기준
· 회원 : 13,500원 · 비회원 : 17,000원
- 콘크리트표준시방서 해설 2003년 개정판
· 회원 : 28,500원 · 비회원 : 35,000원
- 콘크리트구조설계기준 해설 2003년 개정판
· 회원 : 22,500원 · 비회원 : 28,000원
- 콘크리트진단 및 유지관리
· 회원 : 20,000원 · 비회원 : 25,000원
- 현장 콘크리트의 품질관리
· 회원 : 17,500원 · 비회원 : 22,000원
- 콘크리트 건설 제요령
· 회원 : 22,500원 · 비회원 : 28,000원
- 콘크리트 혼화재료
· 회원 : 12,000원 · 비회원 : 15,000원
- 콘크리트의 제조·시공·품질관리 및 유지관리
· 회원 : 17,500원 · 비회원 : 22,000원 (기술강좌 교재)
- 한국의 콘크리트
· 회원 : 10,000원 · 비회원 : 12,000원
- 최신콘크리트공학
· 회원 : 30,500원 · 비회원 : 38,000원
- 특수콘크리트공학
· 회원 : 22,500원 · 비회원 : 28,000원
- 콘크리트 표준시방서 유지관리편 해설
· 회원 : 12,000원 · 비회원 : 15,000원

콘크리트 기술 전문도서 안내

- 합성구조 설계기법 및 최근 기술 기술강좌 교재
· 회원 : 21,500원 · 비회원 : 27,000원
- 콘크리트 구조물 거푸집(동바리)의 설계 및 시공
· 회원 : 20,000원 · 비회원 : 25,000원 (기술강좌 교재)
- 노출 콘크리트 제조, 설계, 시공기술 기술강좌 교재
· 회원 : 13,500원 · 비회원 : 17,000원
- 시설물의 리모델링의 이해와 실제 기술강좌 교재
· 회원 : 16,000원 · 비회원 : 20,000원
- 개정 콘크리트용어집
· 회원 : 9,500원 · 비회원 : 12,000원
- 21세기 콘크리트 기술
· 회원 : 9,500원 · 비회원 : 12,000원
- 레미콘 플랜트 설비와 콘크리트 품질 KCI SP1
· 회원 : 8,000원 · 비회원 : 10,000원
- 콘크리트의 재활용 KCI SP2
· 회원 : 11,200원 · 비회원 : 14,000원
- 유동화 콘크리트 KCI SP3
· 회원 : 8,800원 · 비회원 : 11,000원
- 철근콘크리트구조물의 내화특성 KCI SP4
· 회원 : 10,000원 · 비회원 : 12,000원
- 콘크리트의 미학 KCI SP5
· 회원 : 10,000원 · 비회원 : 12,000원