

콘크리트용 골재 자원으로써 고로슬래그의 활용 현황

The Prospect for Utilization of Blast Furnace Slag as Concrete's Aggregate



류득현*
Deug Hyun Ryu



최성우**
Sung Woo Choi

1. 서론

최근 강우, 폭설, 폭염 등 이상 기후가 빈번히 발생하고 있으며, 이러한 기상 이변은 지구 온난화의 현상으로 사회적으로 환경 문제에 대한 인식이 갈수록 증대되고 있다. 따라서 환경 보호에 대한 사회적 요구가 점차 증가하고 있는 추세로서, 지구환경보전 및 천연자원의 보존에 대한 중요성과 더불어 자연 환경의 보존을 위한 환경 규제가 날로 강화되고 있는 실정이다.

한편, 우리나라는 경제성장에 따른 건설물량의 급격한 증가와 차수사업 등으로 인해 골재부존자원이 급격히 감소되어 이미 강자갈이나, 강모래는 거의 고갈되어 있는 실정이며, 이의 대체 자원으로 채석에 의한 부순골재, 바다모래의 채취, 수입 모래 등을 사용하고 있으나, 이러한 골재 자원마저도 부존량의 한계 수준에 다다르고 있으며, 석산 개발에 따른 산림 훼손 및 바다모래 채취에 따른 바다생태계 파괴 등으로 인해 개발 인허가의 제한 등 환경 규제 강화로 생산 및 공급에 어려움이 가중되고 있다.

따라서, 이러한 천연자원의 개발의 한계를 극복하고, 또한 환경오염을 감소시키기 위해 산업부산물 또는 산업폐기물의 골재 자원화에 대한 사회적 관심이 급격히 증가하고 있는 실정이다. 건설폐기물을 재활용하여 콘크리트용

* 유진기업(주) 기술연구소장
Eugene cooperation R&D Center
E-mail : lionyu@eugenec.co.kr

** 유진기업(주) 기술연구소 연구원
Eugene cooperation R&D Center



사회 | '5년간 채석으로 여의도 13배 산림훼손' [연합]

가사 나도 한마디 (0) 2007.10.22 11:36 입력

최근 5년간 채석으로 여의도 면적의 13배에 달하는 산림이 훼손됐지만 사후관리가 엉망이라 복구사업장은 극소수에 불과한 것으로 드러났다.

22일 유역 및 지방환경청이 국회 환경노동위원회 정진섭 의원에 제출한 국정감사 자료에 따르면 2002~2006년 산림의 채석허가 면적은 3천931ha로 여의도 면적(298ha)의 13배에 달하는 것으로 나타났다.

정 의원은 "골재 채취사업장 중 사전환경성검토 대상은 372곳, 환경영향평가 대상은 96곳인데 지난 2년간 환경당국이 협의내용 이행 여부를 한 번도 점검하지 않은 곳이 각각 225곳, 18곳으로 조사됐다"며 "이렇게 수수방관하거나 산림이 무작위로 파괴되고 있는 것"이라고 지적했다.

석산의 골재를 채취할 때는 개발 후 복구를 위해 절개면의 수직높이는 15m 이하, 소단(수직으로 채취하다 계단처럼 만드는 평탄한 장소)폭은 5m 이상, 사면각은 평균 75도 이하로 채취토록 '산지관리법'에 규정돼 있는데 정 의원은 양주, 파주, 포천에서 현장조사 결과 이 같은 기준을 준수하는 작업장이 없었다.

그림 1. 채석에 따른 환경 문제 관련 (중앙일보)

골재로 사용할 수 있는 순환골재의 제조, 철강산업에서 발생하는 산업부산물인 철강슬래그의 골재 자원화 등에 대한 연구와 기술 개발이 지속적으로 진행되고 있으며, 향후 이러한 유효자원화 기술에 대한 부가가치는 매우 증대될 것으로 전망된다.

본고에서는 이러한 사회적 분위기를 고려하여 주요 건설자재인 골재자원에 대한 산업부산물의 활용현황에 대해 검토한 것으로 특히 철강산업에서 발생하는 철강슬래그 중 고로슬래그 골재에 대한 현황을 소개하고자 한다.

2. 철강슬래그 발생 현황 및 구분

2.1 철강슬래그 발생 현황

우리나라는 1960년대 이후 경제발전이 지속적으로 진행되어 왔으며, 그 중에서도 제철 및 제강산업은 눈부신 발전을 거듭해왔다. 철강협회의 자료에 의하면 국내의 조강 생산 능력은 1998년 IMF 시기에 다소 주춤하였으나, 매년 꾸준히 증가를 하여 2008년에는 약 53,322천 톤의 조강생산량으로 세계 6위의 생산량을 기록하였으며, 이는 1998년에 비해 생산량이 약 1.3 배 증가된 생산량이다.¹⁾

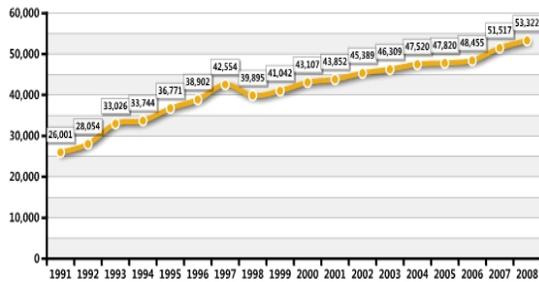


그림 2. 국내 조강 생산량의 변화

철강 산업은 다량의 원료와 다량의 에너지를 소비하는 대표적인 업종으로 제선, 제강, 압연 등의 복잡한 일련의 생산 공정이 수반된다. 특히 제철에 사용되는 용광로에는 선철을 만들어내는 고로와, 제강을 만들어내는 전로와 전기로가 있으며, 각각의 제철 공정에서는 사용되는 원재료도 다르다. 고로의 경우 철광석, 코크스 등을 원료로 사용하고 있으나, 전로의 경우에는 선철을, 전기로의 경우에는 고철을 사용하고 있다.

이와 같은 제철 공정에서는 다량의 원료가 사용되어 복잡한 일련의 생산 공정을 거치는데, 이러한 생산 공정에

수반하여 부산물인 슬래그를 발생시키고 있다. 슬래그는 사용되는 용광로의 종류에 따라 고로슬래그와 제강슬래그로 분류되며, 제강슬래그에서는 다시 전로슬래그와 전기로슬래그로 분류되고, 전기로슬래그는 전기로산화슬래그와 전기로환원슬래그로 분류된다.

철강슬래그의 발생량은 2005년에 16,831천 톤, 2008년엔 19,452천 톤으로 매년 조강 생산량이 약 100만 톤 정도씩 증가하고 있으며, 특히 포스코 파이넥스 설비 가동, 당진 현대제철 열연공장의 가동 등으로 철강슬래그의 발생량은 지속적인 증가세를 나타내고 있다.

철강슬래그는 제철과정에 따라 슬래그 발생량이 다르다. 고로슬래그는 용강 1ton 생산에 따라 슬래그는 약 300kg 내외, 제강슬래그의 경우에는 용강 1ton 생산에 따라 약 150kg 내외가 발생한다. 철강슬래그 종류에 따른 발생량 추이를 살펴보면, 2005년에는 고로슬래그가 8,852천 톤, 전로슬래그가 4,891천 톤, 전기로슬래그는 3,203천 톤으로 전로와 전기로에 의한 제강공정에서 발생하는 제강슬래그는 약 8,094천 톤이 발생하였으며, 2008년에는 고로슬래그가 10,228천 톤, 전로 및 전기로슬래그를 포함한 제강슬래그는 약 8,990천 톤이 발생하였다. 고로슬래그 발생량의 경우 매년 5% 내외의 증가율을 나타내고 있으나, 제강슬래그의 경우에는 거의 증가가 없는 것으로 나타나고 있다.¹⁾

2.2 슬래그의 재활용

슬래그의 재활용은 고로슬래그의 경우 재활용에 대한 다양한 연구가 진행되어 현재에는 슬래그 발생량의 약 80% 수준이 시멘트 원료, 콘크리트용 혼화재·골재, 비료 등으로 사용되고 있으며, 슬래그 자원의 부가가치가 점차 높아지고 있는 추세이다. 반면, 제강슬래그의 경우, 제강슬래그의 재활용에 대한 연구가 아직은 활발히 진행되지 않

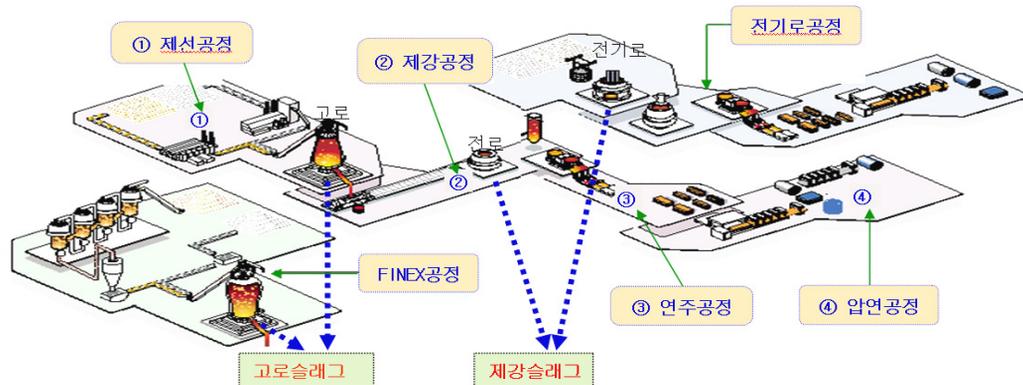


그림 3. 주요 제철 공정

표 1. 철강슬래그 발생 및 재활용 현황1)

단위 : 천 톤, %

	2006년			2007년			2008년		
	고로	제강 ^{*1}	계	고로	제강	계	고로	제강	계
발생량	8,843	8,689	17,532	9,502	9,164	18,666	10,228	8,991	19,219
재활용량	8,843	8,689	17,532	9,502	9,104	18,606	10,228	9,039	19,267
재활용율	100.0	100.0	100.0	100.0	99.3	99.7	100.0	100.5	100.2

주1) 제강 : 전로 및 전기로슬래그 발생량 합계

은 상태이며, 특히 제강슬래그는 고로슬래그에 비해 생산 공정에 의한 슬래그 화학조성에 있어서 화학적으로 팽창 반응성이 높은 유리석회 등을 함유하고 있기 때문에 도로용 노반재 이외의 내구성이 요구되는 콘크리트용 골재 등의 부가가치가 높은 원자재로서 재활용은 현재 거의 진행되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 향후 제강슬래그의 재활용에 대한 다양한 연구와 기술개발이 필요하다.

2.3 각종 슬래그 골재의 품질

각종 슬래그 골재의 품질 및 화학 조성을 표 2에 나타내었다. 슬래그의 품질 수준은 제철과정에서 사용되는 원재료뿐만 아니라 용융 온도, 냉각 방법에 따라 품질 특성에 차이가 발생하고 있으며, 제강슬래그와 같이 함유하고 있는 광물 조성에 따라 콘크리트용 골재로서 활용할 수 없는 것도 있다.²⁾

3. 고로슬래그의 특성

3.1 고로슬래그의 발생

고로(Blast Furnace)는 철광석과 원료탄인 유연탄을 높

이 약 100m의 고로에 넣은 뒤 1,200℃ 정도의 뜨거운 바람을 불어 넣으면 원료탄이 타면서 나오는 열에 의해 철광석이 녹아 쇳물 즉 용선을 만드는 용광로이다.

고로슬래그는 선철의 원료가 되는 철광석과 석회석 중 철 이외의 성분이 용해되어 밀도 차에 의해 용선과 분리·부유된 부산물로서, 선철 1 ton을 생산할 경우 약 300~330 kg의 슬래그가 생산된다. 국내의 경우 고로슬래그는 이제까지 포항제철과 광양제철에서 주로 발생되었으나, 최근 당진에 위치한 현대제철에서도 고로슬래그가 발생되고 있어서 향후 고로슬래그의 재활용은 확대될 것으로 예상된다.

3.2 고로슬래그의 생산 방법에 따른 분류

고로에서 배출되는 슬래그는 약 1500℃ 내외의 고온의 용융상태로서 냉각에 따라 형상과 특성이 분리되며, 일반적으로 서냉슬래그와 급냉슬래그로 구분되고, 주요 특성 및 용도를 표 3에 나타내었다.

(1) 서냉슬래그

일명 피재슬래그(Air cooled slag)라고 불리는 것으로서,

표 2. 철강슬래그 종류에 따른 화학 조성 및 품질 특성 비교

		고로슬래그		전로슬래그	전기로산화 슬래그	포틀랜드 시멘트	안산암
		굵은골재	잔골재				
화학 조성 (%)	SiO ₂	33.8		13.8	17.7	22.0	59.6
	CaO	42.0		44.3	26.2	64.2	5.8
	Al ₂ O ₃	14.4		1.5	12.2	5.5	17.3
	T-Fe	0.3*		17.5	21.2	3.0**	3.1
	MgO	6.7		6.4	5.3	1.5	2.8
	SO ₃	0.84		0.07	0.1	2.0	-
	MnO	0.3		5.3	7.9	-	0.2
	TiO ₂	1.0		1.5	0.7	-	0.8
물리적 특성	절건밀도	2.45~2.57	2.55~2.70	3.25~3.55	3.20~4.10	-	2.55~2.65
	흡수율 (%)	2.4~3.3	0.4~1.5	0.7~3.2	0.6~3.0	-	0.6~1.5

주) * : FeO, ** : Fe₂O₃.



(a) 굵은골재



(b) 잔골재

그림 6. 고로슬래그 골재 형상

- 1981년 : KS F 2544 『콘크리트용 고로 슬래그 굵은골재』 제정
- 1983년 : “고로슬래그 굵은골재 콘크리트 설계 시공지침” 이 제정
KS F 2599 『콘크리트용 고로 슬래그 잔골재』 제정
- 1997년 : KS F 2544 『콘크리트용 고로 슬래그 골재』로 통합 제정 후 KS F 2599는 폐지
- 2002년 : KS F 2544 『콘크리트용 고로 슬래그 골재』 내용 개정

4.2 KS F 2544 콘크리트용 고로 슬래그 골재⁹⁾

(1) 고로슬래그 골재 구분

고로슬래그 골재의 화학조성은 표 2에 나타난 바와 같이, 산화칼슘, 이산화규소, 산화알루미늄이 주요 성분을 구성하고 있다. 고로슬래그 골재의 종류는 표 4에 나타난 바와 같이 고로슬래그 굵은골재는 서냉슬래그를 대상으로 하고 있으며, 고로슬래그잔골재는 급냉슬래그를 대상으로 하고 있다.

고로슬래그 굵은골재의 구분에 있어서는 절대건조밀도, 흡수율, 단위용적질량에 의해 구분이 되며, 표 5와 같이 구분하고 있다. B종에 해당하는 고로슬래그 굵은골재는 내부 조직이 비교적 밀실하여 흡수율이 작기 때문에 부순 자갈과 같이 일반 콘크리트용 골재로서의 사용이 가능하지만, A종에 해당하는 굵은골재는 조직이 다공질이어서

흡수율이 크기 때문에 내구성을 고려하지 않고 설계기준 강도가 21 MPa 이하의 콘크리트에만 한정시켜 사용하도록 규정하고 있다.⁴⁾ 고로슬래그 굵은골재의 입도 구분은 표 6과 같다.

일반적으로 고로슬래그 굵은골재는 다공성으로서 흡수율은 높고 마모감량도 높은 특성을 갖고 있어서 천연 골재에 비해 다소 약한 골재이며, 천연 부수 골재와의 품질 특성 예를 표 7에 나타내었다.⁵⁾

표 4. 고로슬래그 골재의 종류

종 류	적 요
굵은골재	용광로에서 선철과 동시에 생성되는 용융슬래그를 서랭하여 입도 조정된 것
잔골재	용광로에서 선철과 동시에 생성되는 용융슬래그를 물, 공기 등에 의해 급랭하여 입도 조정된 것

표 5. 고로슬래그 굵은골재의 구분

구분	절건밀도 (kg/m ³)	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/L)
A	2.2 이상	6.0 이상	1.25 이상
B	2.4 이상	4.0 이하	1.35 이상

표 6. 고로슬래그 굵은골재의 입도에 의한 구분

구 분	입자 크기의 범위 (mm)
고로 슬래그 굵은골재 467	40~ 5
고로 슬래그 굵은골재 4	40~20
고로 슬래그 굵은골재 57	25~ 5
고로 슬래그 굵은골재 67	20~ 5
고로 슬래그 굵은골재 7	15~ 5

표 7. 천연골재와 고로슬래그 골재 물성 비교 예

	고로슬래그	부순자갈
최대치수 (mm)	25	25
표건밀도 (kg/m ³)	2.63	2.66
흡수율 (%)	3.51	1.10
단위용적질량 (Kg/L)	1,500	1,580
실적율 (%)	57.0	60.0
마모감량 (%)	44.0	26.5

표 8. 고로슬래그 잔골재의 입도에 의한 구분

구분	입자 크기의 범위 (mm)
5 mm 고로 슬래그 잔골재	5 이하
2.5 mm 고로 슬래그 잔골재	2.5 이하
1.2 mm 고로 슬래그 잔골재	1.2 이하
5~0.3 mm 고로 슬래그 잔골재	5~0.3

고로슬래그 잔골재는 천연 잔골재의 입도를 조정하거나, 바다모래의 사용 시 염분 함유량의 저감을 목적으로 혼합사용이 가능하며, 표 8과 같이 KS F2544에서는 입도에 따라 4가지로 분류하고 있다.

표 9. 고로슬래그 골재의 물리·화학적 성질

항 목	굵은골재		잔골재
	A	B	
산화칼슘(CaO) %	45.0 이하		45.0 이하
황(S) %	2.0 이하		2.0 이하
삼산화황(SO ₃) %	0.5 이하		0.5 이하
철(FeO) %	3.0 이하		3.0 이하
절대건조밀도 kg/m ³	2.2 이상	2.4 이상	2.5 이상
흡수율 %	6.0 이상	4.0 이상	3.5 이상
단위용적질량 kg/L	1.25 이상	1.35 이상	1.45 이상

(2) 물리·화학적 성질

고로슬래그 골재의 물리·화학적 성질을 표 9에 나타내었다. 고로슬래그 잔골재의 경우 급냉슬래그로서 유리질의 결정질 특성을 갖고 있기 때문에 골재 입형이 매우 날카로운 특성이 있으므로 골재 사용시 주의해야 한다.

5. 고로슬래그 골재에 관련 연구 동향 및 활용 전망

5.1 도로용 골재 활용 현황

고로슬래그 골재에 대한 국내에서의 활용은 주로 도로용 골재로의 활용에 중점을 두고 있으며, 관련 KS 규격 제정은 다음과 같다.

- 1981년 : KS F 2535 『도로용 철강 슬래그』 제정
- 1986년 : 고로슬래그 기층 및 보조기층 설계시공지침 제정 (대한토목학회)
- 1989년 : 복합슬래그 기층 및 보조기층 설계시공지침 제정 (대한토목학회)
- 2007년 : KS F 2535 내용 개정

도로용 골재로서 활용을 위한 시방 및 KS 관리 기준은 고로슬래그 골재에 국한되어 있지 않고, 고로슬래그, 제강 슬래그 등 모든 슬래그 골재에 대해 적용 범위 및 관리 기준을 제시하고 있다.

5.2 콘크리트용 골재로서의 활용 현황

(1) 국내의 연구 현황

국내에서 고로슬래그의 콘크리트용 골재로 활용에 대한 연구는 1980년대에 진행되기 시작하였으며, 최근에는 고로 슬래그를 골재로 활용하기 보다는 미분말화하여 시멘트 및 콘크리트용 재료로 활용하는 연구가 활발히 진행되고 있는 추세이다.

문한영 등의 콘크리트용 잔골재로서 수쇄슬래그를 사용한 경우에 있어서 콘크리트의 품질 특성 연구 결과, 골재의 입형이 각지고 날카로워 유동성은 다소 저하하는 특성을 갖고 있으며, 강도 특성에 있어서는 초기 재령에서는 강도가 저하하지만 장기재령에서는 강도가 증가하는 것으로 보고하고 있으며, 탄성계수는 천연골재를 사용한 경우에 비해 다소 저하하는 것으로 보고하고 있다.⁵⁾

정상진 등의 모르터에 급냉슬래그 잔골재의 사용성 검토 결과, 문한영 등의 연구결과와 유사한 경향으로서 장기 재령에서 강도 증진이 진행되고 있으며, 작업성은 저하하며, 휨강도 발현 특성은 천연골재를 사용한 경우에 비해 양호한 것으로 보고하고 있다.⁷⁾

김용록 등의 고로슬래그 굵은골재를 사용한 콘크리트의 강도 특성을 검토 결과, 골재 표면 특성에 기인한 시멘트 페이스트와의 부착성능 개선에 의해 초기재령에서는 천연 부순자갈을 사용한 경우에 비해 압축강도가 증가하지만, 골재 자체의 강도가 천연골재에 비해 저하하기 때문에 장기재령에서는 압축강도가 상대적으로 저하하며, 인장강도 및 휨강도는 표면특성에 기인하여 천연골재에 비해 양호한 것으로 보고하고 있다.⁸⁾

박승범 등의 혼합 슬래그 골재를 사용한 투수콘크리트의 역학적 특성 검토 결과에 의하면, 고로슬래그 및 제강 슬래그를 혼합하여 제조한 혼합 슬래그 골재를 사용 시에는 혼합슬래그 골재 사용량이 증가할수록 투수콘크리트의

강도 특성, 내마모성 등의 성능은 저하하지만, 골재 대체율 50% 수준까지는 현장 적용시 품질상 문제가 발생되지는 않는 것으로 보고하고 있다.⁹⁾

(2) 일본의 연구 현황

山本 등의 고로슬래그 골재를 사용한 콘크리트의 알칼리반응에 대한 안정성 평가 결과, 고로슬래그 골재는 제강슬래그 골재와 달리 골재 자체의 화학적 팽창반응성이 없기 때문에 콘크리트용 골재로 사용하여도 화학적으로 안정하며, 골재의 알칼리성에 의한 알칼리골재반응이 발생할 우려도 없는 것으로 보고하고 있다.¹⁰⁾

下山 등의 장기간에 걸친 고로슬래그 골재를 사용한 콘크리트의 강도 특성을 평가한 결과에 있어서도, 골재 표면의 입형 특성 및 고로슬래그 화학조성에 기인하여 골재 표면과 시멘트 페이스트의 수화반응의 진행으로 인해 장기강도는 천연골재에 비해 증가하는 것으로 보고하고 있다.¹¹⁾

井上禎治 등의 고로슬래그 골재의 LNG지하 탱크 현장에 실적용 사례 보고에 의하면, 고로슬래그 굵은골재는 골재 자체의 다공성에 기인하여 흡수율이 높기 때문에 사전에 Pre-wetting을 실시하여야 콘크리트 제조시 유동성 품질 관리가 가능하며, 천연골재와 혼합사용 시에는 콘크리트의 양호한 품질관리가 가능한 것으로 보고하고 있다.¹²⁾

5.2 고로슬래그 골재를 사용한 콘크리트의 품질 특성

상기의 고로슬래그 골재를 콘크리트용 골재로 활용할 경우의 콘크리트 품질 특성을 요약하면 다음과 같다.

- ① 압축강도 특성은 급냉슬래그 골재를 사용한 경우에는 초기 재령에서는 천연골재를 사용한 경우에 비해 저하하지만, 장기재령에서는 증가하는 특성이 있다. 서냉슬래그 골재를 사용한 경우에는 급냉슬래그의 특성과 상반되는 강도 특성을 발현한다.
- ② 인장강도 및 휨강도 발현 특성은 천연골재를 사용한 경우와 동등 이상의 강도 특성을 발현한다.
- ③ 탄성계수 특성에 있어서는 고로슬래그 골재를 사용한 경우가 천연골재를 사용한 경우에 비해 다소 낮은 특성을 나타낸다.
- ④ 건조수축 특성에 있어서는 골재 자체의 다공성에 의한 함수상태와, 시멘트페이스트와의 수화반응 진행 등으로 인해 천연골재를 사용한 경우에 비해 약 10~30% 수축의 감소 경향이 나타나고 있다.
- ⑤ 골재 내부의 세공구조로 인해 동결융해저항성은 부순골재를 사용한 경우에 비해 향상된다.

⑥ 골재 내부의 세공구조로 인해 부순골재에 비해 내열성이 우수하다.

⑦ 고로슬래그 잔골재는 잠재수경성이 있기 때문에 고온으로 장기간에 걸쳐 저장시킬 경우에는 골재가 고결할 가능성이 높기 때문에 보관 시일을 최대한 짧게 하거나, 천연 골재와 혼합 보관하는 것이 효과적이다.

5.3 골재 자원으로 고로슬래그의 활용 전망

현재 고로슬래그는 도로용 슬래그 및 콘크리트용 슬래그로 건설현장에서 판매·공급되고 있으며, 판매단가 사례를 표 10에 나타내었다.

국내 고로슬래그 골재의 자체 단가는 현재 천연골재에 비해서는 낮은 수준으로 비용 측면에서는 콘크리트용 골재로 활용성이 높지만, 골재로의 활용을 촉진시키기 위해서는 다음과 같은 조건에 대한 선행 검토가 진행되어야 한다.

(1) 골재 공급 지역 제약

고로슬래그는 제철소에서 발생하는 산업부산물로서, 제철소의 위치에 따라 고로슬래그 골재의 생산 공급이 가능 지역제 제한이 있다. 현재 고로슬래그 발생 지역은, 경북 포항(포항제철), 전남 광양(광양제철), 충남 당진(현대제철) 등에 국한되어 있으며, 만약 이러한 지역제 제약을 벗어나 공급하게 되면, 운반거리의 상승에 따라 골재의 가격 경쟁력을 상실하게 되기 때문에 전국적으로 고로슬래그 골재의 공급은 불가능하다.

(2) 골재의 품질 수준

고로슬래그 굵은 골재는 골재 자체가 다공질의 특성을 갖고 있기 때문에 현재 콘크리트용 골재로 사용되고 있는 천연부순자갈에 비해서 골재 강도 자체는 낮은 저품질의 골재가 일반적이다. 따라서, 보통강도 및 저강도 영역의 콘크리트와 같이 골재 품질의 영향을 거의 받지 않는 경

표 10. 고로슬래그 골재의 판매 예¹³⁾

	규격 (M/T 단위)	단가
도로용 슬래그	HMS-25 (0~25mm) 기층	4,240
	MS-40 (0~40mm) 보조기층	3,050
	HMS-25 (0~25mm) 기층	2,740
콘크리트 슬래그	#2505 (25~5mm)	4,230
	#4005 (40~5mm)	4,100
	CS20-70 (70~20mm)	4,010



그림 7. 고로슬래그 발생 지역

우에서만 고로슬래그 골재의 적용이 가능하며, 최근 수요가 증가하고 있는 고강도 고성능 콘크리트에의 적용에는 한계가 있다.

또한 고로슬래그는 고로에서 선철을 제조하는 과정에 의해 발생되기 때문에 고로에 투입되는 철광석 및 기타 원재료의 품질 변동 및 고로의 용융 온도에 따라 고로슬래그의 품질 특성에 차이가 발생하기 때문에 산지별 고로슬래그의 품질을 고려한 골재 활용 기술의 검토가 필요하다.

(3) 고로슬래그 자체의 경제성

현재 급냉(수쇄)슬래그 대부분은 시멘트 및 콘크리트용 원재료로서 고부가가치의 건설자재로 활용되고 있는데 비해, 서냉(괴재)슬래그는 노반재로 활용되고 있으며, 생산자인 제철소 업체 측면에서는 서냉슬래그의 현장 처리는 산업폐기물로서 처리하고 있기 때문에 급냉슬래그에 비해 경제성이 매우 낮은 산업부산물이다. 따라서 생산자 측면에서는 서냉슬래그의 시장 공급 보다는 급냉슬래그의 생산량을 증대시키는 방향으로 슬래그 관리를 추진하고 있으며, 향후 서냉슬래그의 시장 공급의 감소로 인한 고로슬래그 굵은골재의 시장 공급은 축소될 것으로 예상된다.

6. 결론

이상의 결과를 토대로 고로슬래그 골재는 골재 자체의 품질 특성을 고려할 경우 콘크리트용 골재로서 활용은 가능한 것으로 사료되지만, 공급지역의 제한, 고성능 콘크리

트 등의 콘크리트 적용 제품 제한 등, 물리적 및 사용상의 기술적 제약이 아직까지는 해결되지 못한 실정이다. 또한 고로슬래그는 현재 산업폐기물로 분류되어 있기 때문에 산업폐기물에 대한 사회적 인식으로 인해 범용화에도 제한을 받고 있는 실정이다.

따라서 산업폐기물의 재활용에 대한 사회적 인식의 전환과 함께 국외의 선진 슬래그 활용 기술에 대한 다양한 습득과 국내 적용 기술의 개발을 지속적으로 제고시킴으로써 다양한 건설자재로서 고로슬래그의 활용이 가능하도록 기술적 토대의 구축이 필요하다.

천연자원의 고갈 및 환경오염은 현재 우리가 당면한 가장 중요한 선결 과제이다. 고로슬래그와 같은 산업부산물의 재활용은 이러한 당면과제의 해답으로 제시할 수 있으며, 특히 고로슬래그의 특성을 활용한 특수 목적용 콘크리트 등에 활용한다면, 고로슬래그의 활용에 따른 사회적 부가가치는 매우 높을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 철강협회, 2009년 조강생산현황, 2010
- 2) 國府勝郎, “슬래그골재를 이용한 콘크리트”, 콘크리트工學, Vol.34, No.3, pp.88~93, 1996.
- 3) KSA, “KS F 2544 콘크리트용 고로 슬래그 골재”, 한국표준협회, 2002.
- 4) 대한토목학회, “고로 슬래그 굵은골재 콘크리트 설계 시공 지침”, 1983.
- 5) 문한영 외, “고로슬래그 골재”, 콘크리트학회지 제9권 6호, pp.18~22, 1997.12
- 6) 문한영 외, “콘크리트용 잔골재로서 고로수쇄슬래그의 물성에 대한 실험적 연구”, 대한토목학회논문집 제12권 제1호, pp.107~113, 1992.3
- 7) 정상진 외, “고로급냉슬래그를 잔골재로 사용한 모르타의 강도특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 14권 3호 통권113호, pp.327~333, 1998.3
- 8) 김용록 외, “고로슬래그를 굵은골재로 사용한 콘크리트의 역학적 특성”, 대한토목학회 정기학술대회 발표논문집, pp.1190~1193. 2005.
- 9) 박승범 외, “슬래그골재와 플라이애시를 이용한 강섬유 보강 포장용 투수콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구” 한국도로학회 논문집 제9권 4호, pp.93~104, 2007.12
- 10) 山本 等奎, “高爐슬래그골재알칼리反應에對する安定性”, 콘크리트工學年次講演會論文集,

Vol.8, pp.157~160, 1986.

- 11) 下山 ほか, “高爐スラグ細骨材コンクリートの10年試験結果”, セメント・コンクリート, No.584, pp.18~23, 1995.10.
- 12) 井上禎治 外, “高爐スラグ粗骨材を用いたLNG地下タンク底版コンクリートの施工”, コンクリート工學, Vol.38, No.8, pp.56~61, 2000.8.
- 13) <http://www.jajae.co.kr/>