

고로슬래그의 유용성

고로슬래그는 철광석에서 철을 추출해내는 조강공정에서 생성되는 부산물이다. 고로에서 철광석과 코크스, 석회석을 함께 넣고 가열하면 1,500℃의 고온에서 철광석 중의 광물질, 코크스의 연소재, 석회석이 용융하며 고로슬래그가 발생된다. 조강 1톤 생산시 약300kg의 슬래그가 생성되며 콘크리트용으로 사용할 수 있는 수쇄슬래그는 연간 640만톤 규모다.

고로슬래그는 냉각방법에 따라 공기중에서 서서히 식힌 괴상의 서냉슬래그와 물로 급냉시킨 수쇄슬래그로 나뉘는데 콘크리트용 혼화재로 사용되는 미분말은 수쇄슬래그를 처리한 것이다.

이 고로슬래그가 미분말로의 정제처리 과정을 거쳐 건설현장에서 유용하게 사용되고 있다. 콘크리트의 강도를 증진시키고 균열을 방지하며 구조물의 노후화 속도를 저감하는 등의 역할을 효과적으로 수행하기 때문이다.

표1. 고로슬래그 종류 및 특성

종류	특성	용도	비고
서냉슬래그	비활성/저알칼리, 비로성분	도로용 노반재, 콘크리트용 굵은 골재, 트클링커원료(점토대체), 암면 원료, 규산질 비료	포스코의 수쇄화비율은 약 80%
급냉슬래그 (수쇄슬래그)	잠재수경성/저알칼리, 비로성분	콘크리트용 혼화재(고로슬래그 미달분), 슬래그시멘트 원료, 콘크리트용 잔골재, 규산질 비료	급냉슬래그의 발생량은 연간 640만톤 규모

외국에서 광범위하게 건설공사에 사용되기 시작한 고로슬래그는 이제 국내에서도 서서히 사용이 확대되고 있다.

△ 특성

고로슬래그는 조강과정에서 발생하지만 폐기물이 아니다. 선진국에서도 100% 재활용되는 또 하나의 자원으로 인식되고 있으며 92년 바젤협약에서는 인체에 전혀 해가 없고 친환경적인 제품으로 인정돼 국가간 교역에서도 전혀 제한을 두지 않는 품목으로 지정됐다. 유럽과 미주지역에서는 부산물의 합리적인 이용과 이를 통한 천연자원 고갈을 경감할 수 있는 제품으로 판단, 인간의 생활환경에 악영향을 줄 수 있는 카드뮴과 수은, 6가크롬, 납 등 중금속 용출이 전혀없고 콘크리트의 내구성 향상과 구조물의 수명연장을 위한 획기적 방안으로 채택하고 있다. 이는 고로슬래그의 유용성이 그만큼 크다는 것을 의미한다.

국내의 잇단 연구결과들도 이를 잘 보여준다. 레디믹스트 콘크리트의 KS규격을 개정하는 과정에서 연세대학교 건설공학연구소

가 연구한 결과, 고로슬래그 미분말은 콘크리트의 강도와 시공성 등 제품 품질을 향상 시키는 물론 사회환경적으로도 의미가 크다고 지적했다.

표2. 실외 폭로 중성화시험 결과

구분	26주		1년	
	중성화깊이 (mm)	비율	중성화깊이 (mm)	비율
보통콘크리트	0.92	1.00	1.28	1.00
고로슬래그계 콘크리트	0.48	0.52	0.41	0.32
플라이애쉬계 콘크리트	1.00	1.09	1.38	1.08

우선 고로슬래그는 분말도가 클수록 콘크리트의 점성 및 유동성을 현저히 개선시킬 뿐만아니라 블리딩도 감소시키는 특성이 있다.

이로 인해 고유동 콘크리트의 혼화재로 사용되는 경우도 많아 다짐이 곤란한 부재의 품질 및 시공성 향상에 기여한다.

수화열에 의한 온도상승을 억제, 콘크리트의 균열을 방지하는 기능도 있다. 분말도 4천 $\mu\text{m}^2/\text{g}$ 급의 고로슬래그 미분말을 50%이상 치환해 사용하면 충분한 온도상승 억제효과를 거둘 수 있는 것으로 확인됐으며 이로 인해 대규모 매스콘크리트의 건축물 기초, 지하구조물 및 원자력발전소, 격납용기 등의 콘크리트 공사에 적용할 수 있다. 콘크리트의 고강도화는 구조물의 내구성을 높이는 결과로 작용한다. 고로슬래그 미분말을 일정량 혼입할 경우 콘크리트를 친 14일 이후부터는 강도가 증가, 28일에서는 120% 이상, 91일 이후에는 140% 이상의 강도발현이 나타났다.

고로슬래그 미분말은 시멘트의 수화과정에서 발생한 알칼리와 반응, 치밀한 구조의 경화체를 형성, 수밀성이 높아지기 때문에 수

표3. 일본의 고로슬래그 미분말 응용제품 조달실적 (2002년)

해당부처	적용제품명	사용실적	적용비율(%)
국도교통성	레미콘	6,717,248 m^3	82.2
농림수산성	슬래그시멘트	20,997톤	
일본도로공단	레미콘	1,131,400 m^3	
수도고속도로공단	레미콘	160,967 m^3	
수자원개발공단	레미콘	36,229 m^3	96.1
일본철도건설공단	레미콘	9,828 m^3	20
도시기반정비공단	레미콘	955,538 m^3	13.4
제도고속도로공단	레미콘	3,721 m^3	100
문부과학성 공공공사	슬래그시멘트	1,996톤	
총무성 공공공사	슬래그시멘트	1,909톤	
지역진흥정비공단	레미콘	2,953 m^3	

분 및 화학물질의 이동이나 확산이 억제될 수 있다

따라서 온천 및 해안에 인접한 건축물과 약품을 취급하는 화학 공장 등의 건축물에 적용할 수 있다.

또한 수중이나 해수와 접해 건설되는 구조물도 적합하며 환경적으로 문제시되고 있는 산성비에 대한 대책으로도 효과가 있다. 최근 연세대 사회환경시스템공학부 변근주 교수팀이 발표한 고로슬래그 미분말 콘크리트의 염화물 침투 저항성에 관한 연구에서도 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트에 비해 내염해성이 우수한 것으로 평가했으며 미분말 치환율 70%인 경우 보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트에 침투된 자유 염화물 농도의 25~40% 수준이라고 평가했다.

알칼리 성분이 비교적 높은 국내 시멘트가 골재의 실리카 성분과 반응, 콘크리트의 균열을 일으키는 현상을 억제할 수 있는 방안으로 고로슬래그 미분말의 사용도 유용한 방법으로 분석됐다.

특히 고로슬래그 미분말을 사용할 경우 중성화 속도가 시멘트만 사용한 콘크리트보다 빠른 것으로 알려져 있지만 실제로 구조물을 대상으로한 연구결과에서는 고로슬래그 미분말이 시멘트와 반응, 치밀한 수화물을 형성하기 때문에 중성화 저항성이 증가하는 것으로 나타났다.

표4. 고로슬래그 미분말의 치환에 따른 용도

치환량(%)	용도
5~30	일반 토목/건축분야
30~45	매스콘크리트, 물과 접하는 구조물, 해안구조물, 지하구조물, 내약품성 구조물, 프리캐스트 등 토목 일반
45~60	댐, 대형 매스콘크리트 구조물
60~70	대형 매스콘크리트 구조물, 해양구조물

이같은 콘크리트의 품질제고 효과 외에 고로슬래그는 사회환경적으로도 의미를 가진다. 시멘트 1톤을 제조할 때 석회석이 1.4톤 소비되기 때문에 시멘트의 일정량을 대체해 고로슬래그를 사용하면 석회석 자원을 그만큼 절약할 수 있다.

또 시멘트 1톤을 생산하기 위해 유연탄 110kg과 전력 110kWh가 소비되기 때문에 고로슬래그를 혼화재로 사용할 경우 연간 수백만톤의 유연탄과 엄청난 전력을 절약할 수 있고 유연탄과 같은 화석연료 사용감소에 따른 대기오염과 지구 온난화 방지, 수입에너지 감소 등의 부가효과까지 얻을 수 있다.

시멘트 생산시 유연탄의 연소 및 석회석의 열분해에 의해 발생하는 톤당 약 862kg의 이산화탄소도 고로슬래그 사용으로 저감될 수 있다.

온실가스 배출방지를 위한 교토의정서 발효를 앞둔 상황에서 시멘트를 일정량 대체해 이산화탄소를 저감할 수 있으며 고로슬래그

전량을 콘크리트 혼화재로 사용하면 국내 발생하는 연간 약4억톤의 2% 정도가 감소될 것으로 추정됐다.

이밖에도 고로슬래그는 인공어초에 혼입될 경우 일반 콘크리트로 만든 어초보다 해조류 부착이나 서식 플랑크톤 숫자에서 훨씬 효과가 있는 것으로 나타나 해양자원을 보호하는 기능도 탁월한 것으로 평가됐다.

△ 적용

고로슬래그는 콘크리트의 내구성 증진과 자원의 재활용 및 에너지 절감 등의 효과로 인해 세계적으로 널리 사용되고 있다.

보통 고로슬래그 미분말 형태로 시멘트와 혼합사용하거나 고로슬래그 시멘트의 형태로 사용된다.

영국을 비롯한 유럽의 경우 고로슬래그 미분말이 차지하는 비중은 시멘트 소비량의 10% 이상으로 알려져 있다.

일본에서도 고로슬래그 미분말이 작업성 향상과 중장기 강도증진, 내구성 향상 등의 콘크리트 물성 증진성능에 미치는 영향을 확인, 콘크리트 제조에 적극 사용하고 있다.

제철회사 및 고로슬래그 미분말 제조업체 등이 콘크리트 업체와 건설업체 등과 연계, 고로슬래그 이용확대에 노력하고 있으며 정부와 지자체에서도 클린구입법 등의 재활용제품 우선 구매제도를 통해 각종 공공 건설공사에 적용하고 있다.

표5. 국내 주요 건설현장의 고로슬래그 적용사례

적용 사례
인천 신공항 구조물 및 영종대교, 부산 평안대교, 광양 고로5기 공사, 광양 미니밀 1·2호기 공사, 광양 LNG발전소, 군산항만공사, 인천 LNG탱크, 울산 현대자동차 토목공사, 울산 현대중공업 토목공사, 포항 후포항 방파제 축조공사, 포항 신한만 공사현장 등

국내에서도 선진국의 추세에 맞춰 지난 95년 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 설계시공지침이 마련됐으며 97년에는 고로슬래그 미분말에 대한 KS규격을 제정했다. 또 전자재시험연구원과 도로공사, 주택공사, 대학교, 대형 건설업체 등 주요 기관에서 고로슬래그의 효과와 합리적인 사용방안에 대한 연구용역이 집중 시행됐다. 이어 올 4월에는 레드믹스트 콘크리트의 산업규격을 개정, 콘크리트 혼화재로 공식화했다. 이에따라 국내 건설현장에서도 사용이 점차 증가하고 있는데 건축구조물은 물론 해양과 대형 토목공사 등에서 그 효과를 입증하고 있다.

이는 그동안 건설업체들이 자체 연구소에서 수행한 연구결과에서 잘 나타나고 있으며 이로인해 건설현장 적용이 확대되고 있다.

※ 일간건설 2003년 7월 21일자에서 발췌