
콘크리트용 골재로서 전기로슬래그의 적용성에 대한 연구

A Study on the Application of the Electric Arc Furnace Slag Aggregate in Concrete



문한영*
Moon, Han-Young



유정훈**
Yoo, Jung-Hoon

ABSTRACT

Compared with the BF slag, the EAF slag has expansion due to the reaction with water and free CaO. Therefore it is specified in Concrete Specification that the EAF slag aggregate must not be used in concrete. Because of this reason it is unusual to use the EAF slag aggregate in concrete.

The EAF slag aggregate treated with accelerated and water aging was comparatively satisfied with fundamental properties, which are specific gravity, unit weight, abrasion and immersion expansion ratio, as concrete aggregate. Therefore when we measured the compressive strength till 28 days, we found that the mortar and concrete replacing the natural aggregate with the EAF slag aggregate by 4 steps had better results than the concrete using the natural aggregate in a view of the compressive strength. But at 91 days, concrete using the EAF slag aggregate had no difference with it using the natural aggregate.

Keywords : electric arc furnace slag aggregate, free CaO, aging, expansion, immersion expansion ratio,

* 정회원 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수
** 정회원 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

·본 논문에 대한 토의를 1999년 10월 30일까지 학회로 보내 주시면 1999년 12월호에 토의회답을 게재하겠습니다

1. 서 론

철강산업의 부산물인 슬래그는 크게 고로슬래그와 제강슬래그로 분류하며, 제강슬래그는 전로슬래그(轉爐, Converter slag)와 전기로슬래그(電氣爐, Electric Arc Furnace slag, 이하 EAF slag로 약함)로 구분되며, 1998년도 우리나라에서 발생한 고로슬래그와 제강슬래그는 각각 약 815만 톤과 약 604만 톤으로 합계 약 1,419만 톤 정도이다.⁽¹⁾

제강슬래그 중 전기로슬래그의 발생량은 연간 214만 톤 정도이며, 그 중 약 208만 톤 정도는 재활용되어 96.8%의 재활용율을 보이고 있으나, 우리나라는 고로 방식에 의한 일관제철소 건설이 많은 제약의 받음으로써 전기로 방식에 의한 설비확장으로 인하여 전기로슬래그의 발생량이 당분간 계속 증가될 것으로 전망된다.⁽²⁾

그런데 고로슬래그는 발생량이 많을 뿐만 아니라 시멘트 원료 및 콘크리트용 골재로 사용할 수 있도록 한국산업규격에 제정되어 있는 등 재활용의 범위가 매우 광범위한 반면, 전기로슬래그는 거의 자원화하지 못하고 도로포장의 보조기층재, 매립재 등 재활용의 용도가 매우 한정되고 있는 실정이다.

더구나 전기로슬래그는 고로슬래그와 비교하여 실리카분과 석회분이 적고 철분이 많지만 유리석회에 의한 팽창붕괴성을 나타내는 경향이 있어 건설교통부 제정 콘크리트 표준시방서에 의하면⁽³⁾ 콘크리트용 골재로 사용해서는 안 된다고 규정하는 등의 제약을 받고 있다. 그러므로 전기로슬래그를 콘크리트용 골재로 사용한 연구성과나 사용실적이 많지 않으나 '전기로슬래그를 혼합한

시멘트 가공제품에 관한 연구' 내용이 대한토목학회에서 수행된 바 있으며,⁽⁴⁾ 이를 기초로 하여 전기로슬래그를 콘크리트용 잔골재로 사용하기 위한 연구내용을 정리하여 학회논문집에 발표하였다.^(5,6) 한편, 한국산업규격에서는 1997년 4월에 KS F 2535 '도로용 철강슬래그'를 제정하였으며, '製鋼슬래그를 사용한 아스팔트鋪裝 設計施工指針'⁽⁷⁾ 및 '전기로슬래그를 사용한 도로포장설계·시공지침'⁽²⁾을 각각 1985년과 1997년에 대한토목학회에서 제정한 바 있다.

본 연구에서는 국내 제철소에서 산업부산물로 발생하는 전기로슬래그를 콘크리트용 잔골재 및 굵은골재로 재활용하기 위한 연구의 일환으로 에이징처리 방법을 달리하여 안정화시킨 전기로슬래그를 콘크리트용 골재로서의 적용 여부를 공학적으로 평가하기 위하여 골재의 기초적 성질을 중점적으로 측정, 고찰하였다. 또한 에이징처리한 전기로슬래그 잔, 굵은골재를 천연골재와 대체하여 제조한 모르타 및 콘크리트의 강도에 대하여도 고찰하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트

K 회사의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

(2) 골재

전기로슬래그 골재, 부순돌 및 한강산 강모래와 강자갈을 사용하였으며, 전기로슬래그 골재 2

Table 1 Chemical composition and physical properties of cement

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Ig.loss (%)	Specific gravity	Specific area (cm ² /g)
20.3	6.2	3.2	62.4	3.0	2.0	1.9	3.14	3,265

Table 2 Chemical composition of EAF slag aggregate (%)

Items Kinds	SiO ₂	Al ₂ O ₃	T·Fe	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Mn ₂ O ₃	P ₂ O ₅
EAF slag A	20.85	9.22	17.49	25.82	7.50	0.17	0.24	0.00	1.80	8.50	0.30
EAF slag B	14.95	7.70	28.73	20.45	5.99	1.10	0.08	0.13	1.17	6.87	0.23

Table 3 Physical properties of fine aggregate

Items Kinds	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	Percentage of solids (%)
River sand	2.61	0.86	1.646	63.0
EAF slag A	3.21	3.96	1.982	62.0
EAF slag B	3.42	2.72	2.257	65.8

종류를 5mm체로 체분석하여 각각 잔골재와 굵은골재로 분류하였으며, 이때 전기로슬래그는 동일 제철소에서 발생된 것으로서 채취시기가 다르므로 화학성분이 Table 2와 같이 상이하였다.(전기로슬래그 잔골재 및 굵은골재는 안정화 처리하지 않은 시료임.) 이때 잔골재 및 굵은골재의 물리적 성질은 Table 3 및 4와 같다.

2.2 실험방법

(1) 전기로슬래그 골재의 에이징처리 방법

전기로슬래그 골재를 보통에이징처리 방법 중 공기중에이징 및 살수에이징으로 실시하였으며, 축진에이징처리 방법 중 온수중에이징으로 실시하였다. 이때 공기중에이징은 전기로슬래그를 대기 중에 3개월 이상 야적·방치하는 방법이며, 살수에이징은 대기 중에 야적·방치하면서 매일 16kg의 물을 1개월간 살수하는 방법이고, 온수중에이징은 80±3℃의 온수에 전기로슬래그를 24시간 침지시킨 후 7일 이상 야적·방치하는 방법이다.

(2) 전기로슬래그 골재의 물성시험

에이징처리 유, 무에 따라 전기로슬래그 골재를 잔골재와 굵은골재로 분류하여 비중, 흡수율, 단위용적중량, 실적률, 마모감량 및 KS F 2535 '도로용 철강슬래그' 중 철강슬래그의 수침팽창 시험방법에 따라 측정하였다.

(3) 전기로슬래그의 화학성분 및 pH시험

전기로슬래그의 화학성분을 측정하기 위하여 X선 형광분광법(XRF)을 사용하였다. 안정화 처리 유무에 따른 전기로슬래그의 pH값을 알아보기 위하여 KS M 0011 '수용액의 pH측정방법'에 따라 측정하였다.

(4) 모르터 및 콘크리트의 압축강도시험

모르터 및 콘크리트의 압축강도는 각각 KS L 5105 및 KS F 2405에 따라 재령별로 측정하였다.

2.3 모르터 및 콘크리트의 배합

(1) 모르터의 배합

강모래를 사용한 모르터의 표준배합은 KS L 5105에 의하였으며, 전기로슬래그 잔골재를 25, 50, 75 및 100%로 대체하여 제조한 모르터의 경우에는 비중을 고려하여 용적배합으로 실시하였다.

(2) 콘크리트의 배합

전기로슬래그 굵은골재를 안정화 처리한 후 부순돌과 4단계로 대체하여 사용하였으며, 콘크리트의 배합은 Table 5와 같다.

Table 4 Physical properties of coarse aggregate

Items Kinds	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	Percentage of solids (%)	Abrasion (%)
Gravel	2.65	0.90	1,734	64.7	27.5
Crushed stone	2.63	0.78	1,741	65.4	28.9
EAF slag A	3.09	2.01	1,911	61.9	26.8
EAF slag B	3.30	1.64	2,006	60.8	25.9

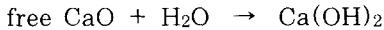
Table 5 Mix proportion of concrete using EAF slag aggregate

Items Kinds	Gmax (mm)	Slump (cm)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)					Aging method
					W	C	S	G	G _{EAF}	
Crushed stone	20	11.0	55	40	193	350	706	1075	-	Control
EAF slag	20	11.0	55	40	193	350	706	806	332	Accelerated
"	"	13.2	"	"	"	"	"	538	665	"
"	"	11.5	"	"	"	"	"	269	998	"
"	"	11.0	"	"	"	"	"	-	1330	"
"	20	12.7	55	40	193	350	706	806	338	Air
"	"	12.5	"	"	"	"	"	538	677	"
"	"	11.6	"	"	"	"	"	269	1017	"
"	"	11.8	"	"	"	"	"	-	1355	"

3. 전기로슬래그의 팽창안정성

3.1 팽창붕괴 메커니즘

선철, 고철과 같은 제강원료의 정련에 부원료로서 사용되는 생석회는 슬래그화가 충분히 되지 않으면 불안정한 상태로 종종 슬래그 중에 잔존한다. 이 석회분을 보통 유리석회(free CaO)라 부르며, 물과 접촉하면 다음과 같은 반응으로 체적이 약 2배로 되어 슬래그의 팽창붕괴를 가져온다.^(8~10)



반응성이 높은 유리석회는 빗갈, 형상이 갈색으로 쌀입자와 같은 형태로 육안으로도 식별된다.(이하 갈색입자라 함) 이러한 전기로슬래그는 대기 중의 수분 등과 같은 물과 접촉하여 팽창붕괴를 반복하며 안정화된다. Fig. 1에서 나타난 것과 같이 갈색입자의 존재상태에 따라 전기로슬래그의 안정화(팽창붕괴)메커니즘은 상이하다.

Fig. 1의 (a)는 갈색입자가 적을 뿐만 아니라 전기로슬래그에 충분히 둘러싸여 있어 대기중의

수분과 접하지 못하기 때문에 안정상태이다. (b)는 갈색입자는 적지만 그 일부가 대기와 접하고 있기 때문에 균열 또는 조개진 후 안정화된다. (c)는 갈색입자가 많기 때문에 점차 팽창붕괴하여 안정화된다.

전기로슬래그의 팽창안정성을 확인하는 방법으로서 수침상태로의 팽창비를 측정하는 수침팽창시험과 공시체의 균열상태를 관찰하는 성형건조시험의 2가지가 있다. 본 연구에서는 80℃ 수침팽창시험방법을 사용하였다.

3.2 에이징에 의한 안정화

전기로슬래그를 콘크리트용 골재 및 도로용 재료로 사용하기 위해서는 장기간에 걸쳐 악영향을 미치지 않을 만큼 충분히 안정화시켜 사용해야 한다. 현재 이러한 방법에는 용융상태의 전기로슬래그에 산소를 불어 넣는 등 유리석회를 충분히 슬래그화하여 안정한 광물(2CaO-SiO₂ 등)로 만드는 방법과 서냉한 전기로슬래그를 적절한 입도로 파쇄한 후 대기 중에 방치하여 충분한 수화반

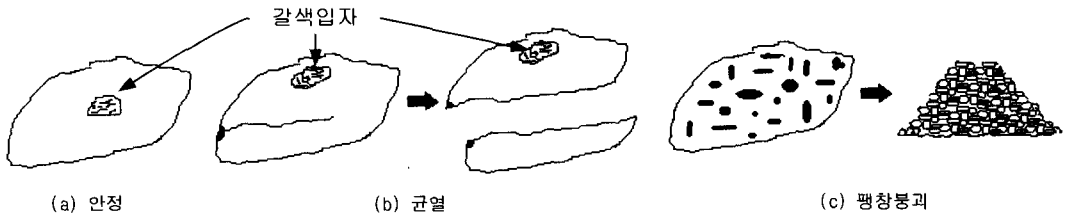


Fig. 1 Schema of stabilization in EAF slag aggregate

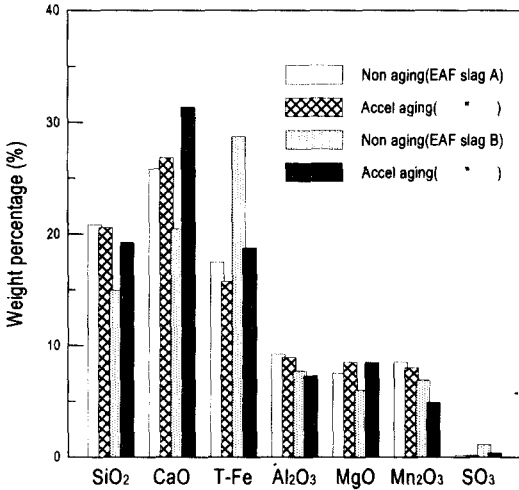


Fig. 2 Chemical composition of EAF slag aggregate

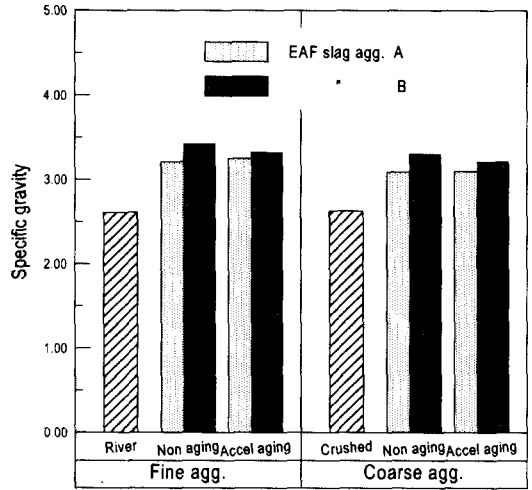


Fig. 3 Specific gravity of EAF slag aggregate

용으로 안정화시키는 방법이 있다. 전자를 개질처리, 후자를 에이징처리라고 부른다.

개질처리방법이란 전기로슬래그를 건설재료용으로 사용 가능하도록 안정화시키는 방법이며, 안정화 자체는 매우 신뢰성이 있지만, 처리량이 적고, 처리단가가 높아 실용화되지 못하고 연구단계에 있는 실정이므로 일반적으로 에이징처리가 널리 활용되고 있는 방법이다.

일반적으로 에이징처리 방법에는 크게 보통에이징과 촉진에이징으로 나눌 수 있다. 보통에이징 처리에는 살수에이징, 수중에이징 및 공기중에이징 등이 있고, 촉진에이징처리에는 온수중에이징, 증기에이징, autoclave에이징 등이 있다. 전기로슬래그를 건설재료용으로 사용하기 위해서는 이들 에이징처리 방법을 응용하여 전기로슬래그 골재 중에 내재하고 있는 불안정한 물질을 반드시 효과적으로 제거해야 한다.⁽¹¹⁻¹³⁾

4. 실험결과 및 고찰

4.1 전기로슬래그 골재의 품질에 대한 고찰

(1) 화학성분

두 종류의 전기로슬래그를 촉진에이징처리함에 따른 화학성분의 변화를 나타낸 것이 Fig. 2이다.

전기로슬래그 A의 화학성분은 촉진에이징처리

유, 무에 관계없이 큰 차이가 없으나, 전기로슬래그 B의 경우에는 촉진에이징처리함에 따라 화학성분비율이 크게 변화됨을 알 수 있다.

한편, 전기로슬래그 A 및 B를 에이징처리하지 않은 경우(이하 에이징미처리로 약함) 화학성분비율의 차이가 크게 나타났으나, 촉진에이징처리함에 따라 그 차이가 크게 줄어들었다.

특히, 전기로슬래그 B의 경우, T-Fe의 화학성분비율이 크게 줄어든 이유는 촉진에이징처리함에 따라 T-Fe가 산화되어 슬래그로부터 분리, 탈락되어 중량이 감소되는 만큼 CaO의 중량백분율이 증가되었다고 생각된다. 이때 전기로슬래그 A와 B 사이의 화학성분비율에는 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

(2) 비중 및 흡수율

전기로슬래그 골재 A 및 B를 각각 잔골재와 굵은골재로 분류한 후 촉진에이징 유, 무에 따른 비중 및 흡수율로 각각 정리한 것이 Fig. 3 및 4이다.

Fig. 3에서 알 수 있듯이 전기로슬래그 골재 A 및 B는 촉진에이징처리에 관계없이 비중이 강모래, 강자갈 및 부순돌보다 훨씬 큰 3.0 이상의 값을 나타내었다. 한편, Fig. 4에서 전기로슬래그 골재 A 및 B의 흡수율은 천연골재의 흡수율보다 훨씬 큰 값을 알 수 있다.

전기로슬래그 골재의 비중이 큰 이유는 Fig. 2

Table 6 Unit weight and percentage of solids of aggregate

Items Kinds	Sand	Gravel	Crushed stone	Non aging	Accel aging	Air aging	Water aging	Remarks
Fine agg.	1,646 (63.0)	-	-	1,982 (61.7)	2,036 (63.0)	-	-	EAF slag A
				2,257 (65.8)	2,134 (64.3)	1,997 (61.5)	2,038 (62.7)	" B
Coarse agg.	-	1,734 (64.7)	1,741 (65.4)	1,911 (61.9)	1,893 (61.1)	-	-	EAF slag A
				2,006 (60.8)	2,011 (62.6)	1,998 (60.8)	2,004 (61.9)	" B

()안은 골재의 실적률을 나타냄. 단위 : kg/m³ (%)

의 T·Fe의 화학성분비율에서 알 수 있듯이 제강과정에서 철의 일부가 슬래그에 유입되어 비중이 크게 나타났으며, 비중이 천연골재보다 큼에도 불구하고 흡수율이 큰 이유는 슬래그의 냉각과정에서 기포 등이 많이 생겨 전기로슬래그 골재 자체의 공극이 많은 구조로 형성되었기 때문이다. (14~16)

이번에는 전기로슬래그 골재의 흡수율이 천연골재보다 큰 점을 고려하여 축진에이징처리 유, 무에 따른 경과시간 24시간까지의 흡수율을 측정하여 비교, 정리한 것이 Fig. 5이다.

이 그림에서 전기로슬래그 골재 A의 축진에이징처리 유, 무에 따라 경과시간별 흡수율이 약간 상이하였으나, 경과시간 1시간에서의 흡수율이 24시간 흡수율의 약 75% 정도로 나타났으며 순간흡수율이 매우 큰 문제점을 지적할 수 있겠다.

따라서 전기로슬래그를 콘크리트용 골재로 사용하기 위해서는 경량골재와 마찬가지로 사용 전

에 살수하여 골재내부에 물을 흡수시키는 처리방법(pre-wetting)이 반드시 선행되어야 한다고 생각된다.

(3) 단위용적중량 및 실적률

천연골재 및 전기로슬래그 골재 2종류의 단위용적중량 및 실적률을 나타낸 것이 Table 6이다.

이 표에서 전기로슬래그 골재의 단위용적중량이 에이징처리 방법 및 전기로슬래그 골재 종류에 관계없이 천연골재의 단위용적중량보다 월등히 큼을 알 수 있다. 전기로슬래그 골재의 단위용적중량이 천연골재보다 큰 이유는 Table 3 및 4의 비중시험결과가 큰 점에서 기인되었다고 생각된다.

이번에는 전기로슬래그 골재 2종류의 실적률을 잔골재, 굵은골재 및 축진에이징처리 유, 무에 따라 정리한 것이 Fig. 6으로서, 이 그림에서 알 수 있듯이 전기로슬래그 잔골재, 굵은골재 및 에

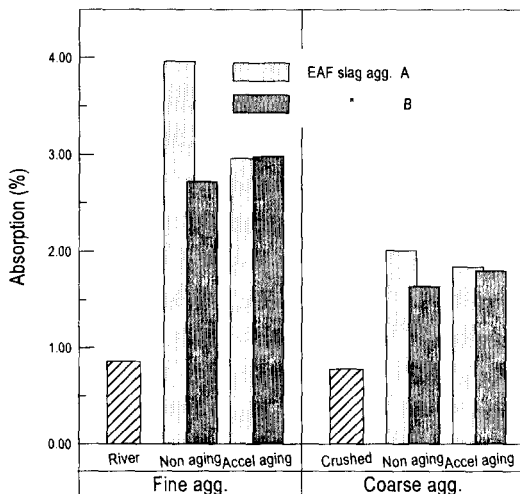


Fig. 4 Absorption of EAF slag aggregate

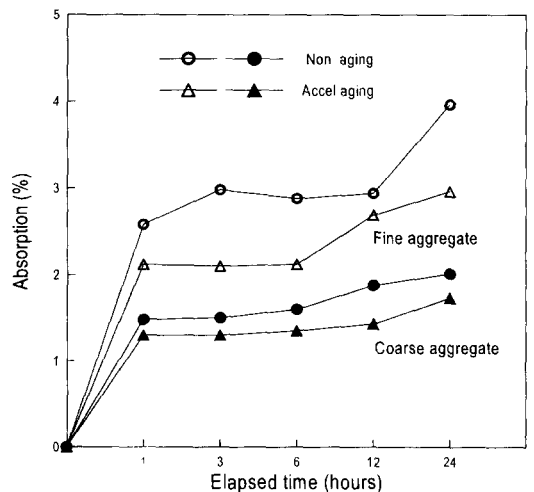


Fig. 5 Absorption of EAF slag aggregate A for elapsed time

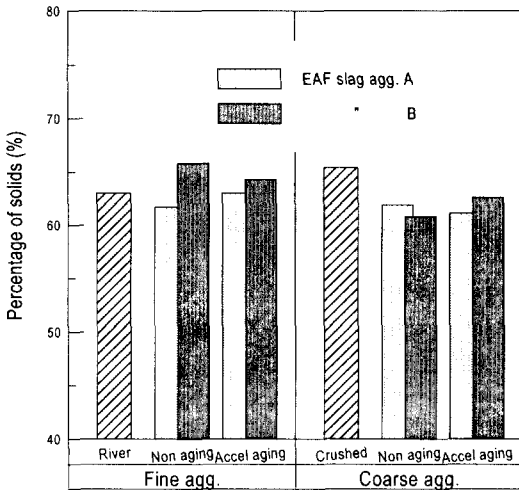


Fig. 6 Percentage of solids of EAF slag aggregate

이징처리 유, 무에 관계없이 천연골재의 실적률과 비슷한 60%를 상회하는 큰 값을 나타내었다.

본 실험에 사용된 전기로슬래그 골재의 실적률이 일반적인 콘크리트용 부순모래 및 부순돌의 실적률인 53% 및 58% 이상의 큰 값으로서 콘크리트용 골재로서 실적률과 단위용적중량을 충분히 만족시키는 것으로 생각된다.

(4) 마모율

전기로슬래그 굵은골재 2종류를 에이징미처리 및 4종류로 에이징처리한 시료와 강자갈 및 부순돌의 마모감량시험을 실시한 결과를 정리한 것이 Fig. 7이다.

이 그림에서 전기로슬래그 굵은골재 2종류의 마모율은 에이징처리 방법에 관계없이 강자갈 및 부순돌과 비교하여 오히려 작은 30% 이하의 값을 나타내었다.

콘크리트 표준시방서⁽³⁾에 의하면 마모작용을 심하게 받는 슬래브용 콘크리트에 쓰이는 굵은골재의 마모율을 35% 이하로 규정하고 있으므로 전기로슬래그 굵은골재의 마모율은 콘크리트용 골재로서 충분히 만족하는 값으로 생각된다.

(5) 수침팽창

전기로슬래그 골재를 콘크리트용 재료로 사용할 경우 가장 큰 문제점 중의 하나인 전기로슬래그 골재의 팽창성을 알아보기 위하여 KS F

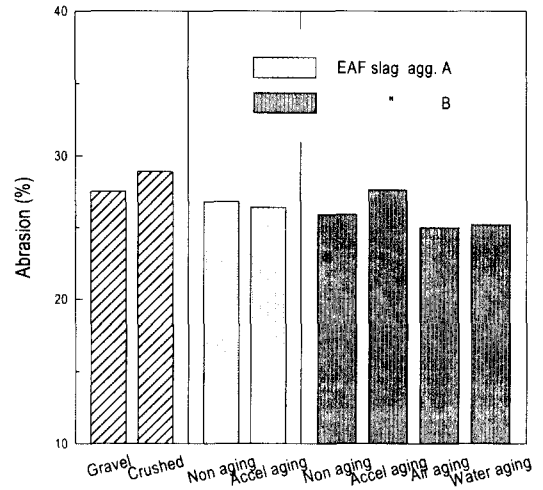


Fig. 7 Abrasion of gravel, crushed stone and EAF slag aggregate

2535의 규정에 따라 입도조정한 전기로슬래그 골재를 80℃ 수중에 침지하여 에이징처리 방법별로 수침팽창비를 측정하여 비교, 정리한 것이 Fig. 8이다.

이 그림에서 에이징미처리 전기로슬래그 골재의 수침팽창비가 축진에이징처리에 의해 안정화된 전기로슬래그 골재의 수침팽창비보다 10배 정도의 큰 값을 나타내었으며, 3종류의 에이징 방법 중 공기중에이징, 살수에이징, 축진에이징 순으로 수침팽창비가 작아지는 것을 알 수 있다.

이 실험결과에서 알 수 있듯이 에이징미처리

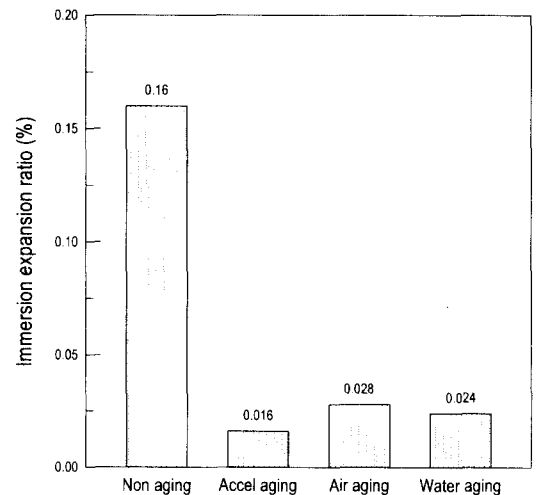


Fig. 8 Immersion expansion ratio of EAF slag aggregate B

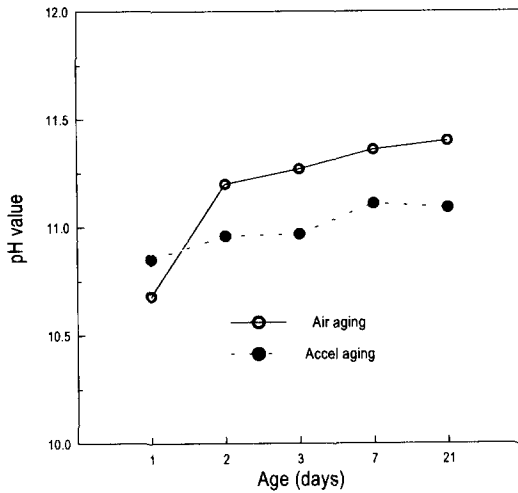


Fig. 9 pH value of EAF slag aggregate B

전기로슬래그 골재를 사용할 경우 골재의 팽창으로 인한 콘크리트의 품질저하가 크게 우려되므로 전기로슬래그 골재를 콘크리트용 골재로 사용하기 위해서는 충분한 에이징처리는 필요불가결하다고 생각된다.

(6) pH값 및 중금속

전기로슬래그 골재를 공기중에이징 및 축진에이징을 실시한 후 각각 입도조정하여 20℃의 중류수에 침지시켜 재령별 pH값을 측정하여 정리한 것이 Fig. 9이다.

이 그림에서 공기중에이징처리 전기로슬래그의 pH값이 축진에이징처리한 경우보다 초기에는 낮았으나 1일 이후 크게 나타났다. 그 이유는 공기중에이징처리 전기로슬래그 중의 free CaO가 충분히 반응하지 못하고 전기로슬래그 골재 내부에 잔존한 상태에서 물과 반응하여 Ca(OH)₂가 생성되기 때문에 pH값이 축진에이징처리한 시료보다 크다고 생각된다.

그러므로 전기로슬래그를 공기중에이징처리보다 축진에이징처리하는 것이 free CaO양을 줄이는데 유효함으로 pH값이 낮아지는 결과로 생각된다.

그런데 전기로슬래그는 산화철 및 석회를 주성분으로 하며 실리카, 산화마그네슘, 산화망간 등을 함유하고 있기 때문에 특유한 화학성분 및 물리적 성질을 나타내지만, 전기로슬래그의 용출시

험결과 환경오염에 문제가 되는 중금속 등의 유해물질은 침출수에 포함되어 있지 않다고 보고되고 있다.^(2,17)

4.2 전기로슬래그 잔골재 사용 모르터의 물성에 대한 고찰

(1) 모르터의 플로우

축진에이징처리 유, 무에 따라 전기로슬래그 잔골재의 대체율을 강모래와 0, 25, 50, 75 및 100%로 변화시키고, 물-시멘트비 50%인 모르터를 제조하여 플로우 값을 나타낸 것이 Fig. 10이다.

이 그림에서 축진에이징처리한 전기로슬래그 잔골재 대체율 50%까지는 강모래만을 사용한 모르터보다 플로우 값이 크게 나타났으나 대체율 75% 이후의 플로우 값은 오히려 크게 떨어졌다. 또한 에이징미처리 전기로슬래그 잔골재 사용 모르터는 대체율이 증가할수록 플로우 값이 크게 떨어지는 경향을 나타내었다.

(2) 모르터의 강도

축진에이징처리 및 미처리한 전기로슬래그 잔골재를 강모래와 0, 25, 50, 75 및 100%로 대체하고, 물-시멘트비 50%인 모르터를 제조하여 재령 7일 및 28일의 압축강도를 측정하여 정리한 것이 Fig. 11이다.

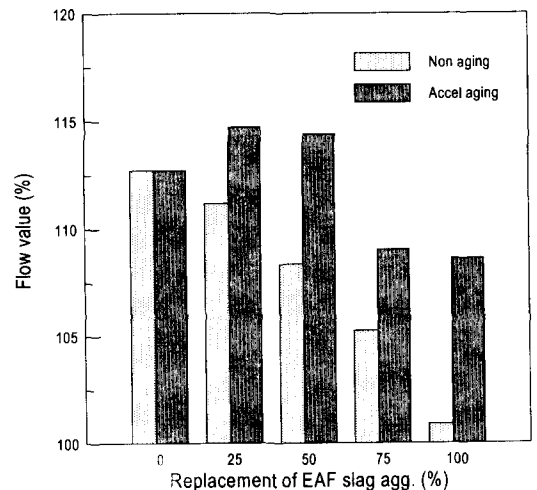


Fig. 10 Flow value of mortar using EAF slag aggregate B

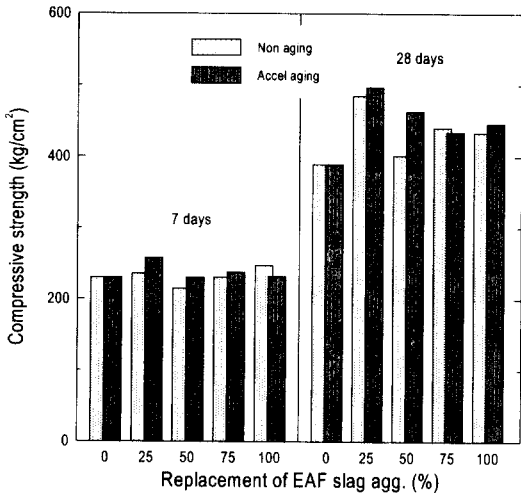


Fig. 11 Compressive strength of mortar using EAF slag aggregate B

이 그림에서 에이징처리 유, 무 및 전기로슬래그 잔골재의 대체율과 관계없이 강모래만으로 제조한 모르터의 재령 7일 압축강도와 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

그러나 재령 28일에서 모르터의 압축강도는 재령 7일과는 약간 상이하였으며, 전기로슬래그 잔골재를 대체하는데 따라 압축강도가 크게 증가되는 경향을 나타내었다.

특히, 전기로슬래그 잔골재 대체율 25%인 모르터의 압축강도가 가장 큰 값을 나타내었으나 재령 28일까지의 압축강도는 에이징처리 유, 무에 관계없이 큰 차이가 없는 경향을 나타냄을 알 수 있다.

4.3 전기로슬래그 굵은골재 사용 콘크리트의 강도에 대한 고찰

전기로슬래그 굵은골재를 촉진 및 공기중에이징처리한 후 부순돌과 0, 25, 50, 75 및 100%로 대체하여 동일한 입도를 가진 굵은골재로 제조한 콘크리트의 압축강도를 측정하여 재령별로 정리한 것이 Fig. 12 및 13이다.

Fig. 12에서 촉진에이징처리한 전기로슬래그 굵은골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 전기로슬래그 굵은골재의 대체율과 관계없이 재령이 증가함에 따라 증가하고 있음을 알 수 있다.

특히, 전기로슬래그 굵은골재 대체율 25%에서

재령 28일 압축강도의 최대값이 405kg/cm² 정도로서 부순돌만을 사용한 콘크리트(이하 보통콘크리트로 약함)보다 약 1.2배 정도의 큰 값을 나타내었다.

한편, 재령 91일에서는 전기로슬래그 굵은골재로 대체한 콘크리트의 압축강도의 증가율이 다소 둔화되어 보통콘크리트의 압축강도와와의 차이가 크게 좁혀지는 경향을 나타내었으며, 전기로슬래그 굵은골재만을 사용한(전기로슬래그 굵은골재 대체율 100%) 콘크리트의 경우 대체율 4단계 중에서 가장 작은 값을 나타내었다.

또한 공기중에이징처리한 전기로슬래그 굵은골재를 사용한 콘크리트의 대체율 및 재령별 압축강도를 나타낸 것이 Fig. 13이다.

이 그림에서 대체율 25%일 때 재령 28일의 압축강도가 385kg/cm² 정도로서 Fig. 12의 촉진에이징처리한 전기로슬래그 굵은골재를 사용한 콘크리트의 동일 재령 및 대체율의 압축강도에 약간 못 미치는 값을 나타내었다.

그러나 에이징처리한 전기로슬래그 굵은골재로 대체한 콘크리트의 에이징처리 방법 및 대체율에 관계없이 보통콘크리트의 재령 7일의 압축강도보다 큰 이유는 전기로슬래그 굵은골재가 파쇄골재이므로 부순돌과 마찬가지로 시멘트 페이스트와의 부착이 큰 점,⁽¹⁸⁾ 전기로슬래그를 냉각시킬 때 발생된 기포에 의해 다공질이 되어 전기로슬래그

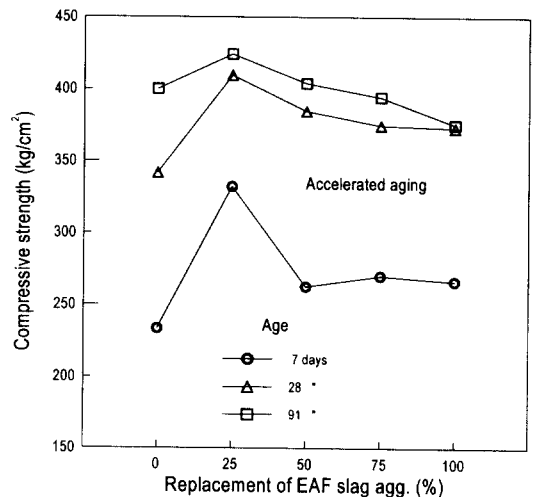


Fig. 12 Compressive strength of concrete using EAF slag coarse aggregate B with accelerated aging

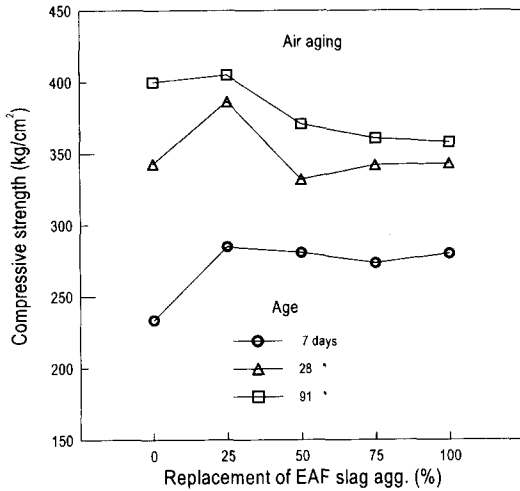


Fig. 13 Compressive strength of concrete using EAF slag coarse aggregate B with air aging

골재 표면의 공극에 의해 골재와 시멘트 페이스트와의 부착면적을 늘릴 뿐만 아니라 골재 계면에서의 맞물림 작용으로 압축강도가 증가되었다고 생각된다.

Neville에 의하면⁽¹⁹⁾ 골재 표면에 잔존하고 있는 free CaO가 물과 접촉하여 골재표면에 밀실한 Ca(OH)₂가 생성되므로 계면의 부착강도가 증가되었다는 연구성과도 본 연구의 결과를 뒷받침한다고 생각된다.

그러나 장기재령이 될수록, 전기로슬래그 굵은골재의 대체율이 커질수록, 전기로슬래그 굵은골재로 대체한 콘크리트의 압축강도가 감소되는 경향을 나타내는 이유는, 전기로슬래그 굵은골재의 맞물림 작용보다 내부에 미반응 상태로 존재하고 있던 일부의 free CaO가 재령이 증가함에 따라 콘크리트 내부에서 팽창붕괴를 일으키므로서 콘크리트의 강도발현에 유해한 요인으로 작용한 것으로 생각된다.

그러므로 전기로슬래그를 콘크리트용 골재로 사용하기 위해서 앞서서도 지적한 바와 같이 충분한 에이징처리를 거친 다음 안정화 상태의 전기로슬래그 골재를 사용해야 함이 필수적인 요건이라 하겠다.

이상의 실험결과를 종합해 보면 전기로슬래그를 충분히 에이징처리하여 안정화시킬 경우, 콘크리트용 골재로서의 기초적 성질을 만족시키는 결

과를 시사한다고 생각된다. 그러므로 본 연구실험 결과를 기초로 하여 에이징처리를 충분히 한 전기로슬래그 골재를 사용한 모르타 및 콘크리트의 기초물성, 역학적 성질 및 내구성 등에 대한 연구를 계속 수행 중에 있음을 밝혀둔다.

5. 결 론

- (1) 전기로슬래그 골재의 비중 및 흡수율은 에이징처리 유, 무에 관계없이 강모래, 강자갈보다 훨씬 큰 값을 나타내었으며, 전기로슬래그의 비중이 큰 이유는 제강과정에서 유입된 Fe 성분이 많이 함유되어 있기 때문이며, 흡수율은 전기로슬래그가 냉각과정에서 발생된 기포에 의한 공극 탓으로 생각되며, 순간흡수율이 매우 크기 때문에 콘크리트용 골재로 사용하기 위해서는 pre-wetting이 반드시 필요하다.
- (2) 전기로슬래그 굵은골재의 단위용적중량은 에이징처리 유, 무에 관계없이 천연골재보다 훨씬 크게 나타났으며, 실적률은 부순돌 및 부순모래의 입형판정 실적률의 규정값인 55% 및 53% 이상을 만족시키는 값을 나타내었다. 한편, 전기로슬래그 굵은골재의 마모율은 부순돌보다 약간 작은 값을 나타내었으며, 콘크리트 표준시방서에 규정된 굵은골재 마모율 35% 이하의 값을 만족하였다.
- (3) 전기로슬래그 골재의 80°C 수침팽창비는 축진 < 살수 < 공기중에이징처리한 시료의 순으로 크게 나타났으며, 축진에이징처리한 골재가 에이징미처리 골재보다 약 10배 정도 작게 나타났다. 한편, 축진에이징처리한 전기로슬래그 골재의 재령별 pH값이 공기중 에이징처리 골재보다 작은 값을 나타냄으로써 축진에이징처리가 전기로슬래그의 안정화에 가장 효과가 있음을 알 수 있다.
- (4) 축진에이징처리한 전기로슬래그 골재를 사용한 모르타 및 콘크리트의 압축강도는 전기로슬래그 골재의 대체율과 재령에 따라 크게 상이하였으나, 대체율 25%에서 재령에 관계없이 큰 값을 나타내었다. 그러나 전기로슬래그 골재의 대체율이 증가할수록 압축강

도는 오히려 약간 감소되는 경향을 나타내었으며, 재령 91일에서는 압축강도의 증가율이 다소 둔화되는 경향을 나타냄으로 보다 장기재령의 강도측정이 불가피하다고 생각된다.

참고문헌

1. "철강슬래그 재활용실적('98)", 한국철강협회, 1999.1
2. "電氣爐슬래그를 사용한 道路鋪裝 設計施工指針", 社團法人 大韓土木學會, 1997
3. "콘크리트표준시방서", 건설교통부, 1996
4. 文翰英, "電氣爐슬래그를 混合한 시멘트加工製品에 관한 研究", 社團法人 大韓土木學會, 株式會社 東進商社, 1987. 12
5. 文翰英·金靑文·崔然汪, "電氣爐슬래그를 콘크리트용 잔골재로 사용하기 위한 基礎的 研究", 1988年度 學術發表會 概要集, 社團法人 大韓土木學會, 1988.10
6. 文翰英·崔在眞·崔然汪, "電氣爐슬래그를 잔골재로 사용한 콘크리트에 관한 基礎的 研究", 社團法人 大韓土木學會 論文集, 제9권 제2호, 1989. 6
7. "製鋼슬래그를 사용한 아스팔트鋪裝 設計施工指針", 社團法人 大韓土木學會, 1985
8. 河內睦雄 外 2名, "電氣爐슬래그콘크리트의自然崩壞性について", セメント技術年報 33, 昭和54年
9. P. T. Sherwood, "Steel Slag", Alternative Materials in Road Construction, Thomas Telford, 1995
10. Coomarasamy, A.; Walzak, T.L., "Effects of Moisture on Surface Chemistry of Steel Slags and Steel Slag-Asphalt Paving Mixes", TRR No. 1492, TRB, 1995
11. 森野奎二 外 3名, "電氣爐酸化슬래그의 콘크리트用骨材としての適用性について", セメント・コンクリート工學論文集, No.48, 1994
12. 森野奎二 外 3名, "電氣爐酸化急冷および徐冷슬래그骨材を用いた 콘크리트의 諸性質", 資源・素材學會, 建設用原材料, Vol 4, No.1, 1994
13. 森野奎二 外 2名, "冷却方法の異なる各種電氣爐酸化슬래그의 콘크리트用骨材としての適用性", セメント・コンクリート工學論文集, No.49, 1995
14. 森野奎二 外 3名, "電氣爐酸化슬래그骨材を用いた 콘크리트의 諸性質", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol 16, No.1, 1994
15. 森野奎二 外 4名, "球狀化した電氣爐酸化슬래그의 콘크리트用細骨材としての適用性について", 資源・素材學會, 建設用原材料, Vol.3, No.2, 1993
16. 山崎竹博 外 2名, "球狀化した製鋼슬래그의 콘크리트用骨材としての利用に関する研究", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.15, No.1, 1993
17. "電氣爐슬래그를 道路用 골재로 使用하기 위한 研究 - 電氣爐슬래그를 道路용으로 使用時 環境에 미치는 影響", 社團法人 大韓土木學會, 1997
18. M.H.Ozkul, "Properties of Slag Aggregate Concrete", Concrete for Environment Enhancement and Protection, E&FN SPON, 1996
19. A.M.Neville, "Properties of Concrete", Longman, London, 1995

요 약

전기로슬래그를 콘크리트 표준시방서에서는 콘크리트용 골재로 사용해서는 안된다고 규정하고 있으므로 전기로슬래그 골재를 콘크리트용으로 사용한 실적은 찾아보기 힘든 실정이다. 본 연구에서는 전기로슬래그의 팽창성을 감소시키기 위한 목적으로 전기로슬래그 골재를 축진 및 살수에이징 처리한 후 골재의 기초적 물성인 비중, 단위용적중량, 마모율, pH값 및 수침팽창비를 측정하여 고찰한 결과 천연골재와 유사한 경향을 나타내었다. 한편, 축진에이징처리한 전기로슬래그 골재 사용 모르터 및 콘크리트의 압축강도는 전기로슬래그 골재의 대체율 25%에서 재령에 관계없이 가장 큰 값을 나타내었으나, 대체율이 증가할수록 압축강도는 오히려 약간 감소되는 경향을 나타내었다. 그러나 재령 91일에서는 압축강도의 증가율이 다소 둔화되는 경향을 나타냄으로 보다 장기재령의 강도측정이 불가피하다고 생각된다.

(접수일자 : 1999. 2. 8)