

철강 슬래그를 사용한 도로용 긴급보수 모르타르에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Rapid Repairing Mortar for Road with Steel Slag

정 의 인¹

김 봉 주^{2*}

김 진 만²

곽 은 구³

Jung, Ui-In¹

Kim, Bong-Joo^{2*}

Kim, Jin-Man²

Kwak, Eun-Gu³

Researcher, Research Institute (Attached), JoongAng ALTEC, Seo-Gu, DaeJeon, 35213, Korea ¹
Professor, Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Seobuk-Gu, Chungnam,
31080, Korea ²
CEO, ECM Tech, Saeromnamro, Sejong, 30126, Korea ³

Abstract

The purpose of this study is to recycle steel slag generated from the iron producing process and to use steel slag as a construction material which is currently landfilled. Steel slag is subjected to aging treatment due to the problem of expansion and collapse when it reacts with water. The Slag Atomizing Technology (SAT) method developed to solve these problems of expanding collapse of steel slag. In this study, experimental study on the emergency repair mortar using the reducing slag, electric arc furnace slag and silicon manganese slag manufactured by the SAT method is presented. Reduced slag was shown an accelerated hydration when it was replaced with rapidly-setting cement, and the rate of substitution was equivalent to 15%. It is shown that the electric furnace oxide slag is equivalent to 100% of the natural aggregate, and it can be replaced by 15-30% when the silicon manganic slag is substituted for the electric furnace oxide slag. With the above formulation, it was possible to design the rapidly repair mortar for road use. These recycling slags can contribute on achieving sustainability of construction industry by reducing the use of cement and natural aggregates and by reducing the generation of carbon dioxide and recycling waste slag.

Keywords : steel slag, SAT method, electric arc furnace reduction slag, electric arc furnace oxidizing slag, silicon manganic slag, rapidly repair mortar

1. 서 론

1.1 연구의 목적

지속적인 건설 및 산업의 증가로 철 사용량은 증가하고 그로 인한 부산물인 철강 슬래그도 증가하고 있다. 철강 슬래그는 크게 고로슬래그와 제강슬래그로 분류되며 고로슬래

그는 고부가 가치의 콘크리트용 혼화재로 재활용되고 제강 슬래그는 상대적으로 저부가 가치의 보조 기층재, 노반재로 재활용되고 있다. 제강슬래그는 슬래그 내부에 존재하는 유리 석회나 유리 마그네슘이 물과 반응하여 일어나는 팽창 붕괴성으로 재활용이 낮다. 팽창 붕괴성을 방지하기 위해 용융된 슬래그를 고속의 공기로 냉각시켜 유리 석회나 유리 마그네슘의 결합구조를 변경하여 구조적 안정성을 제공하는 기술이 실용화되고 있다. 이런 기술이 적용된 전기로 산화 슬래그와 실리콘 망간슬래그는 구형의 입자로 높은 실적률을 가지며 환원슬래그는 화학 성분이 시멘트와 유사하고 분말화 할 경우 급결이 발생되는 것으로 보고되고 있다. 그러

Received : February 5, 2018

Revision received : March 12, 2018

Accepted : September 13, 2018

* Corresponding author : Kim, Bong-Joo

[Tel: 82-41-521-9334, E-mail: bingma@kongju.ac.kr]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

나 슬래그 중 환원슬래그와 실리콘 망간 슬래그는 이런 기술이 적용되었으나 사회의 부정적 시선에 의해 재활용이 미흡하다[1].

국내 콘크리트 및 아스팔트 포장 도로는 중차량, 동절기 제설제, 집중호우 등 환경적 요인에 의해 도로 기능 및 성능이 저하된다. 저하된 도로는 차량 이동에 의해 부분적인 파손이 발생되고 이용자의 안전에 영향을 미치므로 파손 직후 긴급 보수를 실시한다. 포장도로 파손은 공용 초기에 작은 조각에서 균열 및 박리가 발생되며 점차 면적으로 확대된다. 도로 파손이 면적으로 확대 된 후 파손부를 중심으로 일정 면적 이상을 절삭 및 제거한 후 재포장을 실시한다. 도로의 재포장은 공사 기간 차량 통제, 차량의 안전과 같은 사회적, 경제적 손실이 발생되기에 초기 파손 후 파손 조각에 대한 긴급 보수를 실시한다. 긴급 보수재는 초기 강도 발현을 위해 속경성 시멘트와 건조된 단입도를 갖는 10mm이하의 굵은 골재, 잔 골재를 혼합시킨 후 신속하게 균열 부위에 타설한다[2]. 이런 긴급 보수재에 사용되는 재료인 초속경 시멘트는 일반 시멘트에 비해 10배이상 고가이며 건조 골재는 천연자원으로 환경 파괴 및 수급에 대한 어려움이 있고 제조 공정 중 이산화탄소를 발생시켜 이를 대체하는 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 고속의 공기로 냉각된 제강 슬래그를 원료로 사용하여 속경성 시멘트에는 전기로 환원슬래그 분말을, 골재로는 전기로 산화슬래그 잔골재와 실리콘 망간슬

래그를 사용하여 저부가 가치로 재활용되는 제강슬래그를 도로보수재로 활용하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 급속 냉각한 제강 슬래그 중 전기로 산화 및 환원슬래그, 실리콘 망간 슬래그를 활용하여 도로 긴급보수재료의 배합설계를 실시하고 이에 대한 기초적인 성능을 검토하였다. 전기로 환원슬래그를 급냉할 경우 급결성을 갖는 광물인 $C_{12}A_7$ 이 존재하는 것으로 보고되어 이를 선택하였으며, 골재에는 굵은 골재로 재활용률이 낮은 실리콘 망간 슬래그 골재를 선택하였고 잔골재로는 구형율이 높은 전기로 산화슬래그를 사용하여 실적률을 향상시켰다. 또한 속경성 및 강도에 영향을 미치는 혼화재료인 라텍스에 대하여 고형분에 따라 실험을 실시하였다.

2. 기존연구의 고찰

2.1 급냉 제강 슬래그에 관한 연구

급냉한 제강 슬래그의 재활용에 관한 연구는 2000년 이후 지속적으로 추진되었으며, 일부 실용화로 콘크리트 제품인 보도블록, 관거 등에 사용되고 있다. 그러나 제강 슬래그의 부정적 인식으로 인하여 연구에 비해 실용화가 부족한 실정이다.

Table 1. The physical properties of aggregate of KS F 2527

No		Density(g/cm ³)	Absorption (%)	Stability (%)	Abrasivity (%)	Ratio of absolute volume(%)	Unit Volume weight(kg/ℓ)	Expansibility (%)
Natural	Coarse	2.5 ↑	3.0 ↓	12 ↓	40 ↓			
	Fine	2.5 ↑	3.0 ↓	10 ↓				
Crushed	Coarse	2.5 ↑	3.0 ↓	12 ↓	40 ↓	55 ↑		
	Fine	2.5 ↑	3.0 ↓	10 ↓		53 ↑		
Blast furnace slag	Coarse	N	2.2 ↑	6.0 ↓			1.25 ↑	
		H	2.4 ↑	4.0 ↓			1.35 ↑	
	Fine	2.5 ↑	3.5 ↓			1.45 ↑		
Electric arc furnace oxidizing slag	Coarse	N	3.1 ↑ 4.0 ▽	2.0 ↓			1.60 ↑	
		H	4.0 ↑ 4.5 ▽	2.0 ↓			2.00 ↑	
	Fine	N	3.1 ↑ 4.0 ▽	2.0 ↓			1.80 ↑	
		H	4.0 ↑ 4.5 ▽	2.0 ↓			2.20 ↑	
Copper slag concrete	Fine	3.2 ↑	2.0 ↓			1.80 ↑		
Zinc slag	Fine	3.2 ↑	2.0 ↓			1.70 ↑		
Ferronickel slag	Fine	2.7 ↑	3.0 ↓			1.50 ↑		
Molden slag	Coarse	2.5 ↑	3.0 ↓	12 ↓		55 ↑		2 ↓
	Fine	2.5 ↑	3.0 ↓	10 ↓		53 ↑		2 ↓

↑: Over ↓: Under ▽: Less than

2.1.1 슬래그 관련 연구

구지술 등은 전기로 환원슬래그의 SAT 공법(용융 상태의 슬래그를 공기 중으로 비산시켜 입자를 급속 냉각하는 기술)에 의해 처리될 경우 유리질 구형으로 유리 석회나 유리 마그네슘이 존재하지 않으며, 또한 환원슬래그의 주성분이 $C_{12}A_7$ 와 $\beta-C_2S$ 이며, $C_{12}A_7$ 은 물과 접촉 시 초기에 육각판상의 박편으로 C-A-H를 다량으로 석출하면서 초속경성과 급결성을 갖는 것으로 보고하고 있다[3]. 따라서 급냉한 환원슬래그를 입자별로 분급하고 시멘트와 유사한 분말 공정을 진행할 경우 초속경 시멘트로 사용이 가능한 것으로 나타났다. 오상윤 등은 전기로 산화 슬래그를 SAT 공법에 의해 처리될 경우 구형의 슬래그 잔골재를 얻을 수 있으며 기존 에이징 처리 기간이 필요 없이 체적 안정성을 갖는 것으로 보고하고 있다[4]. 또한 급냉한 전기로 산화 슬래그 잔골재는 KS에서 제시하고 있는 콘크리트용 골재기준을 만족하고 구형의 입자로 높은 실적률을 가지는 것으로 보고하고 있다. 박형규 등은 실리콘 망간 슬래그의 Mn 성분과 Cu, Ni, Co, Mo와 같은 금속 성분이 줄고 SiO_2 와 Al_2O_3 가 상대적으로 증가하여 안정성을 갖는 것으로 보고하고 있다. 또한 Mn 슬래그는 페슬래그로 취급받고 있으며 대부분 노반재나 기층재로 사용되며 일부에서는 시멘트 제조 공정 중에 시멘트의 원료로 사용되는 것으로 보고되고 있다[5].

2.1.2 슬래그 관련 규격

국내 슬래그 관련 규격은 KS에 콘크리트용 골재, 시멘트의 원료, 노반재 등으로 제시되어 있다. KS F 2527의 콘크리트 골재에 관한 기준으로 천연 골재, 부순 골재, 고로슬래그, 전기로 산화슬래그, 동 슬래그, 연 슬래그, 페로니켈 슬래그 및 용융 슬래그에 규격이 제시되어 있다. 이런 기준 중 전기로 산화 슬래그에 관련한 잔골재와 굵은 골재는 밀도로 보통 밀도와 높은 밀도로 분류하고 있다. 이런 분류는 슬래그 내에 존재하는 철 성분의 함유량에 의한 것이다. 또한 슬래그에 대한 안전성으로 CaO/SiO_2 의 비로 팽창에 대한 안정성을 제시하고 있다[6].

2.2 도로 긴급 보수재의 성능

도로 긴급 보수재는 국내 KS 기준이 제시되지 않았으며 도로공사표준시방서에서 기준이 제시되어 있다. 시방서에 제시된 내용은 도로 포장에 파손이 발생되었을 때 사용하며 운영 차량의 통행에 방해가 되지 않아야 한다. 성능 기준으

로 응결시간은 초결 40분 이내, 종결은 60분 이내로 규정하고 있다. 타설 후 2시간 이내에 압축강도 10MPa 이상으로 1일에 주변 도로에 비해 높은 강도를 발현해야 한다. 규정하고 있다[7]. 이 기준을 만족하기 위해 사용재료는 결합재로 속경성을 갖는 시멘트와 부착성 및 보수성을 갖는 라텍스, 건조 골재에 대해 제시하고 있다. 속경성을 갖는 시멘트는 초속경, 조강 시멘트로 한정하며 골재는 건조 골재가 사용된다. 라텍스는 고형분의 함유량에 따라 성능이 달라지기에 고형분의 함유량을 45%이하로 한정하고 있다. 라텍스고형분 함유량이 높을 경우 재료들의 혼합이 불균일하고 낮을 경우는 성능이 떨어진다. 이런 재료들은 현장에서 시멘트와 골재를 혼합하는 시간을 단축하기 위하여 시멘트와 골재를 혼합한 상태로 현장에서 물, 라텍스를 혼합하여 즉시 사용된다.

Table 2. The performance standard of repair materials

Classification		Unit	Standard value
Setting time	Initial set	min.	40 Within
	End set	min.	60 Within
Flow		mm	180 Over
2 hour Compressive strength		MPa	10 Over

3. 사용재료에 대한 물성검토

3.1 환원슬래그 분말

환원슬래그 분말은 국내 E사에서 생산되는 것으로 제철 공정에서 발생하는 환원슬래그를 SAT 공법을 적용하여 얻어진 것을 불밀을 이용하여 분쇄하였다. 환원슬래그의 산화물은 CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , MgO 로 순으로 나타났다. 이런 산화물 조성을 이용하여 시멘트와 초속경 시멘트에 대한 3성 분계 상태도에 대하여 분석하였다. 분석에는 환원슬래그 분말(CAC : Calcium Aluminate Composite), 초속경 시멘트(RSC : Regulated Set Cemnet), 시멘트(OPC : Ordinary Portland Cement), 고로슬래그(BS : Blast furnace Slag), 플라이애시(FA : Fly Ash)로 표기하였으며 분석 결과 속경성 시멘트에 근접하였다[8].

환원슬래그의 광물 분석은 Figure 3으로 C_2S 및 $C_{12}A_7$ 이 존재하는 것으로 나타났으며, 이것은 급냉할 경우 반응성이 높은 $C_{12}A_7$ 및 장기강도 발현특성을 갖는 $\beta-C_2S$ 로 생성이 가능한 것을 확인하였다.



Figure 1. The manufacture process of CAC

Table 3. The oxide formation of CAC

Oxide	Ratio(%)	Oxide	Ratio(%)
SiO ₂	10.9	SO ₃	1.7
CaO	44.5	MnO	0.6
Al ₂ O ₃	26.6	TiO ₂	0.4
FeO	4.3	ETC	4.4
MgO	6.6	SUM	100

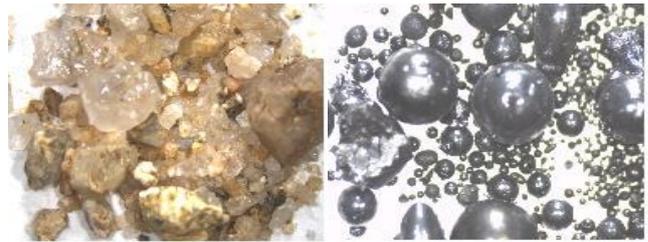


Figure 4. The shape of natural and EAFOS aggregate

생산되어진 슬래그를 5mm이하로 분급하였다. 전기로 산화 슬래그 골재의 물리적 특성은 밀도는 3.54g/cm³, 흡수율은 0.29%, 실적율은 70%을 갖는 것으로 확인되었다. 이런 높은 실적율은 높은 구형의 입형을 갖는 것으로 Figure 4와 같다[9]. (이후 전기로 산화슬래그(Electric arc furnace oxidizing slag)는 EAFOS로 표기)

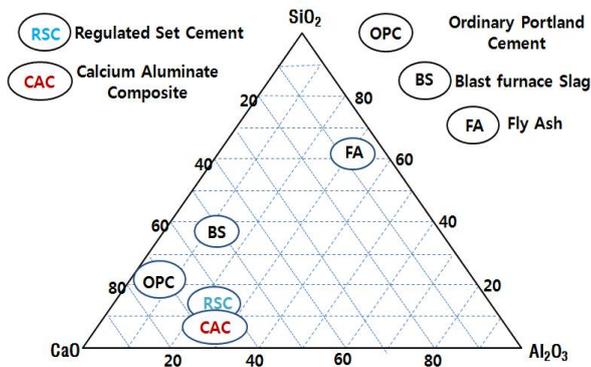


Figure 2. The constitution diagram of CAC

Table 4. The physical properties of EAFOS

NO	Max. grad size (mm)	Density (g/cm ³)	Water absorption ion (%)	Unit weight (kg/m ³)	Solid volume (%)	Percent age of particle (%)
EAFOS	5.0	3.54	0.29	2, 331	70.0	0.02
Natural aggregate	5.0	2.60	1.11	1,559	59.1	0.24

3.3 실리콘 망간 슬래그 골재

실리콘 망간 슬래그 골재는 국내 D사에서 발생되어지는 것을 SAT 공법을 적용한 후 최대 입자 크기는 8mm이하로 분급하였다. 실리콘 망간 슬래그 골재의 물리적 특성은 밀도는 2.80g/cm³, 흡수율은 0.30%, 실적율은 51%을 갖는 것으로 확인되었다. 실리콘 망간 슬래그 골재는 동일 SAT 공법을 실시한 전기로 산화슬래그 골재에 비해 낮은 구형율을 갖는 것으로 나타났다. 이런 낮은 구형율에 의해 실적률이 낮게 나타났다[10]. (이후 실리콘 망간 슬래그(Silicon Manganic slag) :SMS로 표기)

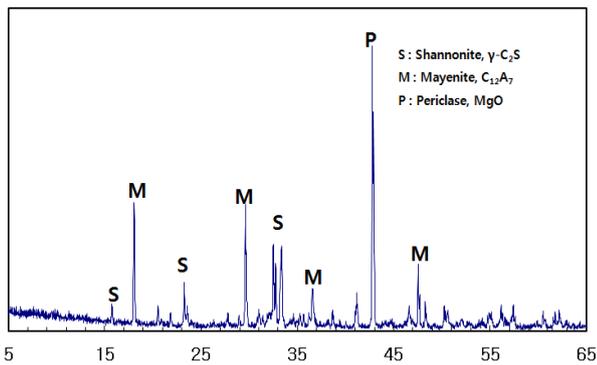


Figure 3. The mineral analysis of CAC

3.2 전기로 산화 슬래그 골재

전기로 산화슬래그 골재는 국내 S사에서 생산되어지는 것으로 환원슬래그 분말과 동일하게 SAT 공법을 적용하여

Table 5. The physical properties of SMS

NO	Max. grad size (mm)	Density (g/cm ³)	Water absorption ion (%)	Unit weight (kg/m ³)	Solid volume (%)	Percent age of particle (%)
SMS	10	2.80	0.30	2,001	51.0	0



Figure 5. The shape of SMS

Table 6. The oxide formation of SMS

NO	Al ₂ O ₃	MnO	SiO ₂	CaO	MgO	Total
Weight percent age (wt%)	23.10	14.60	35.90	12.82	6.70	93.02

4. 실험

도로용 긴급보수 모르타르의 배합은 속경성을 제공하는 것으로 급냉 환원슬래그를 사용하였으며, 골재에 대해 전기로 산화슬래그 및 실리콘 망간 슬래그를 사용하였다.

4.1 인자 및 수준

Table 7. Experimental plan

Factors	Level	Test item	
		Fresh	Harden
CAC (%)	6(0, 5, 10, 15, 20, 25)		
W/B (%)	2(45, 50)		
Latex solid content	6(0, 5, 10, 15, 20, 25)	Flow, Setting time	Compressive strength
EAFOFOS	6(0., 20, 40, 60, 80, 100)		
SMS	5(0, 15, 30, 45, 60)		

실험 인자로는 시멘트에 대해서는 환원 슬래그를 골재 중 잔골재로는 전기로 산화슬래그를, 굵은 골재로는 실리콘 망간슬래그를 사용하였다. 또한 강도에 영향을 미치는 것으로 라텍스 고형분과 물시멘트에 대하여 검토하였다. 측정항목으로는 굳지 않은 성상에서 플로우와 초결에 대한 응결시간(모든 시험체에서 초결 후 5분 이내 종결이 나타남), 경화 성상에서는 2시간 내의 압축강도를 측정하였다.

4.2 배합 설계

배합설계는 사용 골재의 밀도를 고려하여 용적배합에 의해 실시하였으며 실험은 KS L ISO 679 「시멘트의 강도시험 방법」에 준하여 실시하였다. KS에서는 시멘트와 골재의 비율을 1:3으로 제시하고 있으나 본 실험에서는 초기 강도 및 타설 후 2시간 이내의 강도 발현에 대한 예비시험 결과를 토대로 1: 2.5로 변경하여 실시하였다. 시험은 1차로 속경성 시멘트에 대하여 환원슬래그를 대체한 후 최적 대체율을 도출하고 2차로 물에 대해 라텍스 고형분 대체율로 실시하였다. 3차로 천연 잔골재에 대해서 전기로 산화슬래그 골재를 대체하였으며 4차로 전기로 산화슬래그 골재 대체율 100%에 대해서 실리콘 망간 슬래그 골재를 대체하여 실험을 실시하였다.

Table 8. Mix plan

Group	The replacement of factor (%)	W/B (%)	Volume ratio(%)					
			CAC	C	S	Latex	EAFOFOS SMS	
CAC	0		0.00	1.00	2.5	0	0	0
	5		0.05	0.95	2.5	0	0	0
	10		0.10	0.90	2.5	0	0	0
	15		0.15	0.85	2.5	0	0	0
	20		0.20	0.80	2.5	0	0	0
Latex solid content	25		0.25	0.75	2.5	0	0	0
	0	45, 50	0.15	0.85	2.5	0	0	0
	5		0.15	0.85	2.5	0.106	0	0
	10		0.15	0.85	2.5	0.213	0	0
	15		0.15	0.85	2.5	0.319	0	0
EAFOFOS	20		0.15	0.85	2.5	0.426	0	0
	25		0.15	0.85	2.5	0.532	0	0
	0		0.15	0.85	2.50	0.319	0.00	0
	20		0.15	0.85	2.00	0.319	0.50	0
	40		0.15	0.85	1.50	0.319	1.50	0
SMS	60		0.15	0.85	1.00	0.319	1.00	0
	80		0.15	0.85	0.50	0.319	0.50	0
	100		0.15	0.85	0.00	0.319	2.50	0
	0		0.15	0.85	0.00	0.319	0.25	0.00
	15		0.15	0.85	0.00	0.319	2.13	0.38

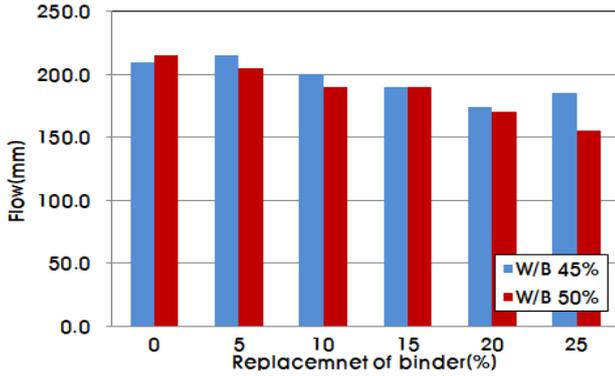


Figure 6. The flow of CAC

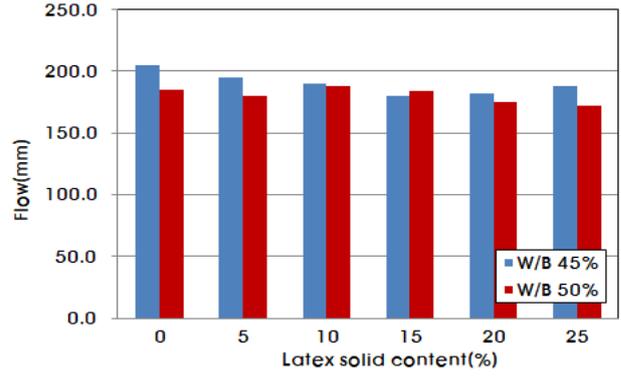


Figure 9. The flow of latex solid content

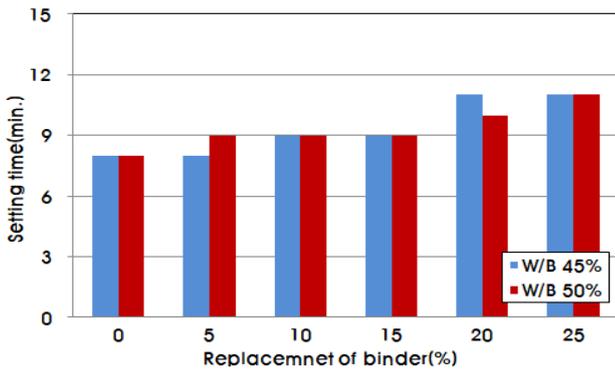


Figure 7. The setting time of CAC

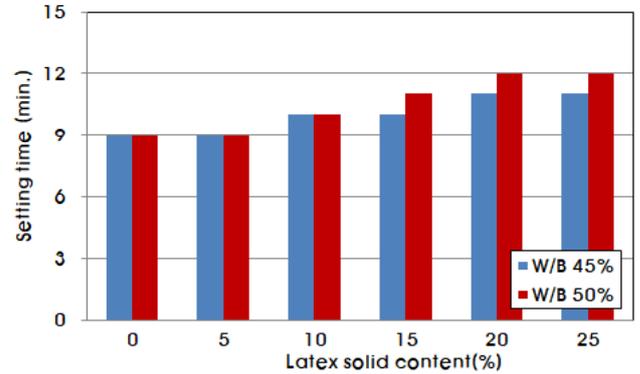


Figure 10. The setting time of latex solid content

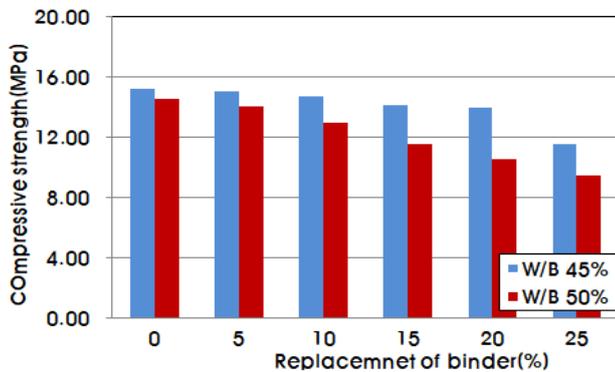


Figure 8. The compressive strength of CAC

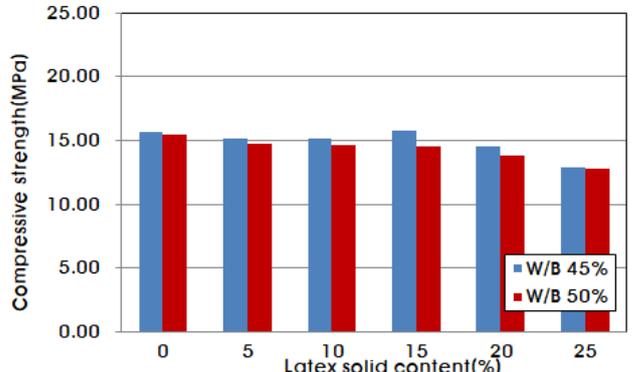


Figure 11. The compressive strength of latex solid content

5. 결과 및 분석

5.1 환원 슬래그 대체율에 따른 특성

초속경 시멘트에 대해 환원슬래그 대체율에 따른 플로우와 응결시간, 압축강도는 Figure 6, 7, 8에 나타냈다. Figure 6에서 보는 바와 같이 환원 슬래그 대체율이 증가함에 따라 플로우는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 환원슬래그의 분말이 시멘트에 비해 높기 때문으로 판단하였다. Figure 7의 응결시간은 환원슬래그 대체율이 증가함에 따라

응결시간이 지연되는 것으로 나타났다. 이는 환원슬래그의 대체율이 증가함에 따라 높은 분말에 시멘트에 비해 물과 반응이 빠르기 때문으로 판단된다. Figure 8은 환원슬래그 대체율에 따른 압축강도로 대체율이 증가함에 따라 강도 저하가 발생되었으며 이는 플로우와 응결시간의 지연과 같은 이유로 판단된다.

이상의 실험 결과로 플로우180mm, 응결시간40분 이내, 압축강도 10MPa를 만족하고 경제성을 고려하여 시멘트에 대해 환원슬래그 대체율 15% 적정할 것으로 판단된다.

5.2 라텍스 고흥분 함유량에 따른 특성

라텍스 고흥분 함유량에 따른 플로우와 응결시간, 압축강도는 Figure 9, 10, 11로 나타냈다. Figure 9는 라텍스 고흥분 함유량에 따른 플로우로 물바인더비 45%에서는 함유량이 증가할수록 플로우는 감소하는 것으로 나타났으며 50%에서는 고흥분 함유량 15%까지는 일정하게 플로우를 가지는 것으로 나타났다. 이는 라텍스의 고흥분이 증가할수록 고흥분에 의해 플로우가 저하된 것으로 판단된다. Figure 10은 응결시간으로 라텍스 고흥분 함유량이 증가함에 따라 응결시간이 지연되는 것으로 나타났으며 이는 라텍스 고흥분이 시멘트의 응결 반응을 지연시킨 것으로 판단된다. Figure 11은 압축강도로 라텍스 고흥분 함유량 15%까지는 일정한 압축강도를 유지하고 15% 이상에서 강도 저하가 나타났다. 이런 강도 저하는 고흥분의 함유가 높을수록 혼합이 불균일하게 이루어진 것으로 판단된다. 이상의 실험결과를 토대로 성능 기준에 준하여 플로우와 응결시간은 도달하고 강도가 0%에 비해 높은 라텍스 고흥분 함유량 15%를 고정하는 것으로 하였다.

5.3 전기로 산화 슬래그 골재 대체에 따른 특성

전기로 산화 슬래그 대체율에 따른 플로우와 응결시간, 압축강도에 대해 Figure 12, 13, 14에 나타냈다. Figure 12는 전기로 산화 슬래그 대체율이 증가함에도 대체율 0%와 플로우가 유사하게 나타났다. 이는 산화슬래그의 구형율이 플로우가 영향을 미치고 있기에 밀도가 증가하여도 플로우가 유사하게 나타난 것으로 판단한다. Figure 13는 응결시간으로 전기로 산화 슬래그 대체율이 증가함에 따라 응결시간이 지연되는 것으로 나타났다. 이는 전기로 슬래그의 밀도가 증가하여 전기로 슬래그의 침하로 하고 시멘트 페이스트가 상부에 치중된 것으로 판단된다. Figure 14의 압축강도는 전기로 산화 슬래그 대체율이 증가함에 따라 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 대체율이 증가함에 따라 실적률이 높아지기 때문으로 판단된다.

이상의 실험결과는 전기로 산화 슬래그 대체율이 증가함에 따라 플로우와 응결시간에 영향이 적으며 강도는 향상되는 것으로 나타났기에 전기로 산화 슬래그 대체율 100%로 대체가 가능하다. 이런 강도 증가는 전기로 산화슬래그의 실적률이 천연 골재에 비해 높기 때문에 강도에 영향을 미친 것으로 판단된다.

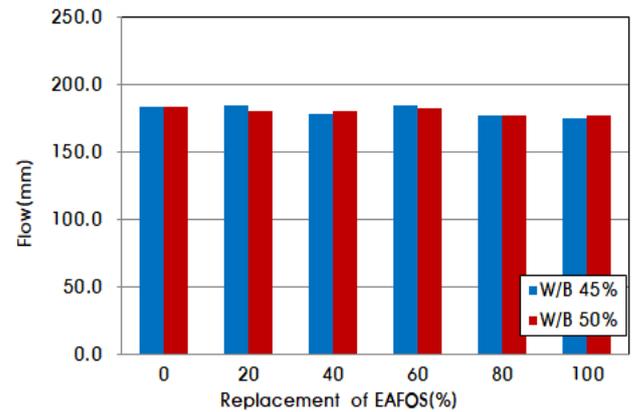


Figure 12. The flow of EAFOS

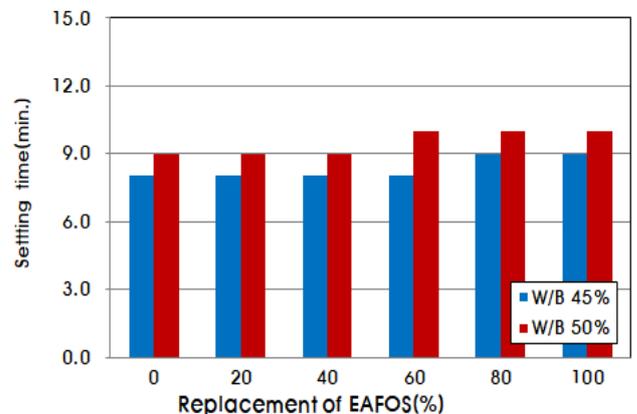


Figure 13. The setting time of EAFOS

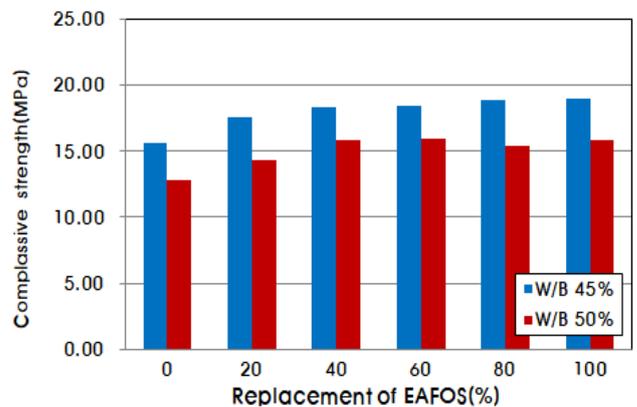


Figure 14. The compressive strength of EAFOS

5.4 실리콘 망간 슬래그 골재 대체에 따른 특성

전기로 산화슬래그 100%에 대해 실리콘 망간 슬래그 0, 15, 30, 45, 60%로 대체하여 플로우, 응결시간, 압축강도에 대해 Figure 15, 16, 17에 나타냈다. 플로우는 실리콘 망간 슬래그 대체율 30%까지는 0%에 비해 유사하나 대체율 30% 이상에서는 플로우가 저하되는 것으로 나타났다. 이런 플로우 저하는 실리콘 망간 슬래그의 입형이 거칠기 때문으

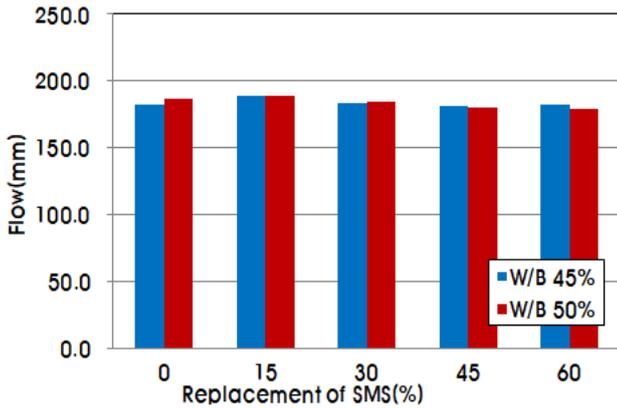


Figure 15. The flow of SMS

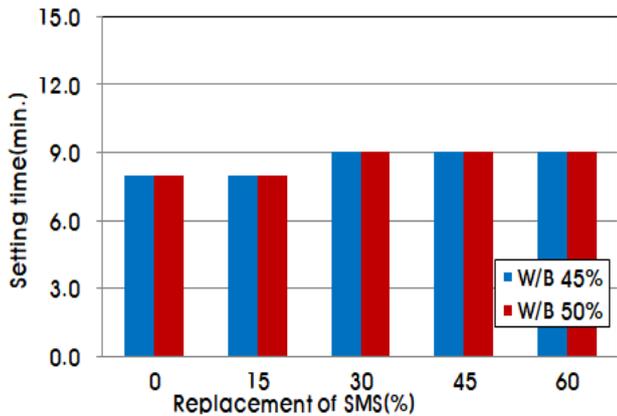


Figure 16. The setting time of SMS

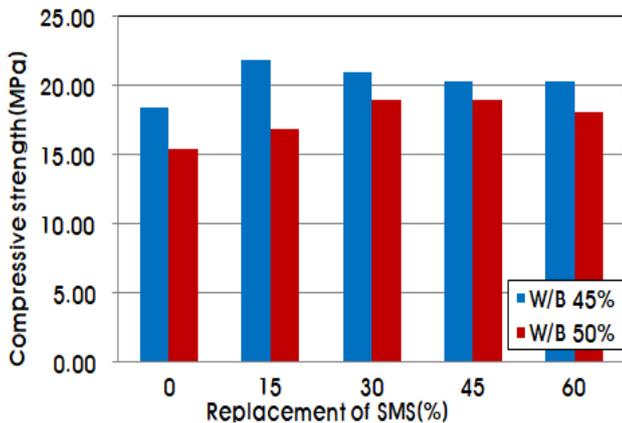


Figure 17. The compressive strength of SMS

로 판단된다. 응결시간은 실리콘 망간 슬래그 30%까지 응결 시간이 지연되는 것으로 나타났으며 압축강도는 물바인더비 45%에서는 실리콘 망간 슬래그 대체율 15%가, 물바인더비 50%에서는 실리콘 망간슬래그 대체율 30%가 가장 높게 나타났다.

이에 실리콘 망간슬래그 대체율 30%까지 골재로 사용이 가능할 것이다. 이상의 실험 결과를 토대로 하여 환원슬래그와 전기로 산화슬래그, 실리콘 망간 슬래그를 대체가 가능한 것으로 확인되었다.

6. 결 론

본 연구는 철강 슬래그 중 SAT 공법에 의해 생산되어진 전기로 산화 및 환원슬래그, 실리콘 망간 슬래그를 활용하여 도로 긴급보수재료의 배합 설계를 실시하고 이에 대한 성능을 검토하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 제강 슬래그의 SAT 공법에 의해 생산되어진 슬래그는 환원슬래그는 속경성 시멘트로, 전기로 산화 슬래그와 실리콘 망간 슬래그는 골재로 사용이 가능한 것으로 나타났다.
- 2) 급냉한 환원슬래그 분말은 속경성 시멘트에 대해 15% 대체할 경우 동일한 강도 성상을 가지는 것으로 나타났으며, 전기로 산화슬래그 골재는 천연 골재에 대해 100% 대체가 가능하고 실리콘 망간 슬래그는 전기로 산화슬래그에 대해 15-30%까지 대체가 가능한 것으로 나타났다. 이런 대체율에 따라 산업부산물인 철강 슬래그를 사용할 경우 시멘트와 천연 골재의 사용량 감소가 가능할 것으로 예상된다.
- 3) 도로용 긴급 보수재의 성능에 대해 환원슬래그와 전기로 산화 슬래그 및 실리콘 망간 슬래그를 일부 대체하여도 만족하는 것으로 나타났다.

추후 연구를 통하여 도출된 배합에 의한 모르타르의 내구 성능을 평가하는 것으로 하며, 긴급보수 모르타르 외에 포장용 콘크리트로 사용이 가능한 배합을 도출하는 것으로 하고자 한다.

요 약

본 연구는 철 생산 공정 중에 발생하는 철강슬래그를 재활용하는 것으로 매립에 의존하는 철강 슬래그를 건설용 재료로 사용하는 것이다. 철강 슬래그는 물과 반응할 경우 팽창 붕괴되어지는 문제로 인하여 에이징 처리를 실시하고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 개발된 SAT 공법은 철강 슬래그의 팽창 붕괴에 대한 안전성을 갖는다. 이에 본 연구

에서는 SAT 공법에 의해 제조된 환원슬래그와 전기로 산화 슬래그, 실리콘 망간 슬래그를 사용하여 도로용 긴급 보수 모르타르에 관한 실험적 연구를 실시하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다. 환원슬래그는 초속경 시멘트에 대해 대체할 경우 속경성을 갖는 것으로 나타났으며, 대체율 15%까지는 동등하게 나타났다. 전기로 산화슬래그는 천연 골재에 대해 100% 대체하여도 동등한 특성을 갖는 것으로 나타났으며, 이런 전기로 산화슬래그에 대해서 실리콘 망간 슬래그를 대체할 경우 15-30%까지 대체가 가능한 것으로 나타났다. 이상의 배합으로 도로용 긴급 보수 모르타르의 배합 설계가 가능하였다. 이런 슬래그를 재활용은 시멘트와 천연 골재의 사용량을 저감시켜 이산화탄소 발생의 감소와 폐기물인 슬래그를 재활용으로 녹색 산업에 이바지가 가능하다.

키워드 : 철강 슬래그, SAT 공법, 전기로 환원슬래그, 전기로 산화슬래그, 실리콘 망간 슬래그, 긴급보수 모르타르

Acknowledgement

This research was supported by a grant(C0299036) from The first step in the study of mathematics by Small and Medium Business Administration.

References

1. Jung UI, Kim BJ, Kim JM. Physical suitability evaluation of silicon manganese slag as aggregate for concrete. Proceedings of the Korea Institute of Building Construction; 2015 Nov 14; Yonsei University, Seoul (Korea): The Korea Institute of Building Construction, p. 41-2.
2. Kim JM, Choi HB, Li M. Application properties for mortar of aggregate made by silicon manganese slag depending on cooling condition. Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2017 May 10-12; Phoenix Island, Jeju, (Korea): The Korea Concrete Institute, p. 79-80.
3. Koo JS, Yoo SY, Kim JM. Utilization status of calcium aluminate based ladle furnace slag powder. Magazine of RCR, 2016 Jun;11(2):35-9.
4. Oh SY, Kim JM. Properties of mortar according to gradation change of electric arc furnace oxidizing slag fine aggregate

- made by rapidly cooled method. Journal of Korean Recycled Construction Resources Institute. 2011 Dec;6(4):112-8.
5. Park HK, Nam CW, Kim D, Kim DW. Survey on the recycling of waste slag generated by smelting reduction of deep-sea manganese nodules. Journal of Korean Institute of Resources Recycling. 2014 Apr;23(4):69-74.
6. Korean Standard, KS F 2527 Concrete aggregate. 2016, p. 1~48
7. The Korea Expressway Corporation, Road Construction Standard Specification, 2016, p. 119-20.
8. Arena P, Caponetto R, Fortuna L, Xibilia MG. Genetic algorithm to select optimal neural network topology. In: Circuits and Systems, Proceedings of the 35th Midwest Symposium on Circuit and Systems; 1992 Aug 9-12; Washington, DC, (USA). 1992, p. 1381-3.
9. Ashworth A. Cost studies of buildings. 3rd ed. UK, Harlow: Addison Wesley Longman Ltd; 1999. 444 p.
10. Wilson AJ. Experiments in probabilistic cost modelling. In: Brandon PS, editor. Building Cost Techniques; New Direction, London: E&FN Spon; 1982. 169-80 p.