

전기로 환원 슬래그 미분말의 콘크리트용 혼화제 적용성에 관한 실험적 연구

최재석¹, 장필성^{*}, 조영진¹
¹한국건설생활환경시험연구원

Experimental Study on the Application of Concrete Admixture using the EAF Reduction Slag

Jae-Seok Choi¹, Pil-Sung Jang^{1*}, Young-Jin Jo¹
¹Korea Conformity Laboratories

요 약 본 전기로 환원슬래그는 팽창성 물질이 함유되어 불안정한 상태이므로 건설용 재료로 그대로 사용하기에는 다소 무리가 있다. 그러나 전기로 환원슬래그에는 $11\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{CaF}_2$ 와 $\beta\text{-C}_2\text{S}$ (calcium aluminate compounds) 물질이 함유되어 있으므로 적절한 성분 보조제를 혼합하여 사용하면 콘크리트용 혼화제로서 사용이 가능할 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 콘크리트 혼화제로서 전기로 환원슬래그 미분말의 사용 가능성을 검토하고자 한다. 전기로 환원슬래그 미분말의 치환율별 모르타르 강도특성과 응결특성을 검토 결과, 최적 치환율은 30% 수준으로 나타났다. 최적 치환율에 석고 첨가에 따른 응결시간 및 강도특성을 파악한 결과, 전기로 환원슬래그 미분말 치환율 30%인 배합에 이수석고를 8% 혼입하였을 경우 압축강도 발현 정상 및 응결특성이 OPC와 유사한 결과를 나타내었다.

Abstract EAF reduction slag has unstable properties of expansion and destruction. Therefore, it cannot be used as a construction material. The purpose of this study was to use EAF reduction slag as a concrete admixture. EAF reduction slag contains $11\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{CaF}_2$ and $\beta\text{-C}_2\text{S}$ (calcium aluminate compounds). To confirm the properties of EAF reduction slag as a concrete admixture, the condensation, compressive strength and activity factor due to substitution rate of EAF reduction slag were measured. Originally, EAF reduction slag was cured rapidly because of its chemical composition ($11\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{CaF}_2$). On the other hand, when 8% gypsum was added, its properties of condensation and compressive strength were similar to the plain specimen. When 6% gypsum was added, the quality of the KS F 2536 standards (quality standard number 3) were met in terms of activity factor. Overall, 8% gypsum addition is the most appropriate by considering the activity factor in the long-term compressive strength.

Key Words : Activity factor, Concrete admixture, EAF reduction slag, Free-CaO

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

철강슬래그는 철광석, 코크스, 석회석을 원료로 하여 고로에서 선철을 만들어내는 소결 및 제선공정에서 발생하는 고로슬래그와 철강을 제조하는 제강공정에서 발생

하는 전로슬래그, 그리고 철스크랩 등 고철을 주원료로 하여 전기로에서 발생하는 전기로 슬래그의 세 가지로 나눌 수 있다. 이중 전기로 슬래그는 전기로 제강법에서 생산성과 용강품질의 향상을 목적으로 공정의 분화가 이루어진 결과 산화슬래그와 환원슬래그로 다시 구분하고 있다.

본 논문은 국토교통부 국토해양기술연구개발사업의 연구비 지원(12지역기술혁신B01)에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Pil-Sung Jang(Korea Conformity Laboratories)

Tel: +82-2-2102-2728 email: psjang@kcl.re.kr

Received September 23, 2014 Revised November 5, 2014 Accepted November 6, 2014

최근 전기로 산화슬래그의 경우 국내외 다양한 연구와 제도적 뒷받침으로 콘크리트용 골재로서 사용이 가능해지고 있으며, 또한, 산화슬래그와 환원슬래그의 분리배출로 인해 팽창성에 대한 우려를 불식시키므로써, 그 용도가 더욱 커지고 있다. 그러나, 이에 비하여 전기로 환원슬래그의 경우 free-CaO의 존재와 Ca(OH)₂로의 변화에 따른 팽창붕괴의 특성 및 급결성 등으로 콘크리트용으로서의 사용이 어렵기 때문에 토양개량제 등 부가가치가 낮은 상태로 재활용되고 있어 고부가가치화를 위한 연구가 시급한 실정이다.

또한, 국내의 조강생산능력은 꾸준히 증가하여 1997년에 4,000만 톤이었으나, 2006년에는 약 4,843만 톤에 이르고 있으며, 이 중 전기로 슬래그는 2,214만톤으로 절반에 가까운 비율을 차지하고 있다. 전기로슬래그는 전로 용강 1톤당 약 110kg이 생성되고 있어, 산화슬래그와 환원슬래그의 배출비율이 7:3인 경우 전로 용강 1톤당 약 30kg이상의 환원슬래그가 발생하고 있는 실정이다.

따라서, 전기로 산화슬래그와 달리 팽창 붕괴성이 높고, 건설용 재료로서의 안정성이 확보되지 않은 전기로 환원슬래그 미분말을 콘크리트용 혼화제로 사용시 안정화할 수 있는 처리기술 개발로 환원슬래그의 고부가가치화를 꾀하고자 하며, 철강산업의 그린프로세스 산업체제로의 전환의 기초 자료를 확보하고자 한다.

1.2 연구내용 및 범위

전기로 산화슬래그와 혼합하여 처리해온 전기로환원슬래그는 전기로 산화슬래그에 비하여 free-CaO가 다량 존재하고 있으며, 이러한 free-CaO에 따른 전기로 슬래그의 팽창성으로 인해 콘크리트용 재료로의 사용시 많은 제약조건이 되어왔다.

최근 들어 전기로 산화슬래그의 콘크리트용 골재 등으로의 고부가가치화 연구가 이루어지고 있으며, 이에 따라 전기로 산화슬래그와 환원슬래그가 공정상 분리 배출되어 각각의 특성을 활용한 용도개발이 이루어지고 있다[1]. 이중 환원슬래그는 CAF(CaO - Al₂O₃ - Fe₂O₃) 및 free-CaO의 존재로, 급결 특성과 팽창 특성을 가지고 있으며, 이러한 환원슬래그 미분말에 성분 보조제를 적정량 혼합하여 할 경우, 고로슬래그미분말과 같은 기능성 혼화제로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 전기로 슬래그의 분리배출에 따른 환원슬래그 미분말의 화학적 특성을 분석하고 기존

OPC와 환원슬래그 미분말의 치환율에 따른 응결특성 및 압축강도 특성을 파악하였다.

전기로 환원슬래그 미분말 치환율별 압축강도 변화량, 치환량에 따른 경계성 등을 고려하여 최적 치환율을 제시하고, 이수 석고 첨가에 따른 응결지연시간 및 압축강도 특성을 검토하여 OPC와 유사한 응결특성을 보이는 이수석고 최적 혼입량을 도출하였다.

2. 전기로 환원 슬래그 미분말의 수화반응 이론

2.1 환원 슬래그 미분말의 주요성분

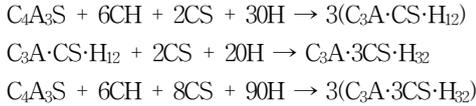
환원슬래그의 구성성분은 CaO함유량이 가장 많고, Fe₂O₃, Al₂O₃, SiO₂, MgO의 순으로 나타난다. 환원슬래그의 성분조성은 보통포틀랜드시멘트의 성분과 비교적 비슷하고, 시멘트의 대체재로서 용도가 기대된다[2].

환원슬래그는 고철을 전기로에서 정련할 때 환원공정으로부터 발생하는 산업부산물이며, 공정상 용제로서 칼슘, 환원제로서 알루미늄 등을 첨가하기 때문에 환원슬래그에도 상기 성분이 다량 함유되어있다. 환원슬래그에는 상기 성분이 칼슘실리케이트계의 화합물인 3CaO·SiO₂·CaF₂, 3CaO·SiO₂로서, 칼슘알루미늄에이트계의 화합물인 11CaO·7Al₂O₃·CaF₂로 존재하는 것으로 알려져 있다. 이중 11CaO·7Al₂O₃·CaF₂는 초속경시멘트와 같이 초속경성을 나타내는 성분으로서, 비교적 단시간 내에 높은 강도발현을 나타내는 특성을 지니고 있다[3].

2.2 칼슘플루오르 알루미늄에이트에 의한 수화반응

환원슬래그미분말내에 존재하는 주요성분중 칼슘플루오르알루미늄에이트(11CaO·7Al₂O₃·CaF₂)는 가장 활성이 크기 때문에 물과 접촉하면 11CaO·7Al₂O₃·CaF₂는 곧바로 용해되어 칼슘실리케이트상(C₃S(3CaO·SiO₂), C₂S(2CaO·SiO₂))에서 용해된 수산화칼슘(Ca(OH)₂), 무수석고(CaSO₄) 및 탄산나트륨(Na₂CO₃) 등과 반응하여 Al(OH)₃F, CAH₁₀(CaO·Al₂O₃·10H₂O), C₂AH₃(2CaO·Al₂O₃·8H₂O), C₃AH₆(3CaO·Al₂O₃·6H₂O), C₄AH₁₉(4CaO·Al₂O₃·19H₂O)등 칼슘알루미늄에이트 수화물을 생성한다. 이 수화물은 별도로 용해된 CaSO₄와 신속하게 반응하여 칼슘알루미늄 모노설페이트(calcium aluminum monosulfate)

수화물(C₃A·CS·H₁₂)이나, 에트링자이트(3CaO·Al₂O₃·3CaSO₄·32H₂O)를 생성하여 미소공극을 충전시켜 조직을 치밀화 시킴으로서, 수 분후에는 경화가 시작되고 초기에 높은 강도를 발현한다.⁴⁾ 그리고, C-S-H 수화물이 생성되어 안정적으로 후기강도가 증진된다. 이러한 화학반응은 아래와 같은 화학식으로 나타낼 수 있으며, 수화과정을 개략적으로 도식화하면 아래와 같다.



그리고 칼슘실리케이트(calcium silicate)상의 수화반응에 의해 에트링자이트 수화물의 골격사이에 C-S-H 수화물이 생성되어 지속적으로 장기강도가 증진된다. 이러한 수화반응이 일어나는 시기는 CaSO₄ 농도 및 용해속도와 밀접한 관련이 있기 때문에 경화체의 강도 발현속도를 적절히 조절하고 팽창 등의 이상 현상이 발생하지 않도록 하기 위해서 CaSO₄/Al₂O₃가 최적의 몰(mole)비가 되도록 석고를 첨가한다.

환원슬래그미분말은 최초로 물과 접촉한 시점부터 매우 급속하게 발생하여 응결이 끝나면 즉시 경화가 시작되는 특성을 지니고 있다. 경화시간은 대략 2분에서 40분 정도로 다른 시멘트에 비해 초결은 15~20분, 종결은 20~30분 정도로 매우 빠르게 강도를 발현한다. 따라서 가사시간이 매우 중요한 요소로 작용되며, 경우에 따라 응결시간의 연장이 필요할 경우가 발생하게 된다. 이런 경우에 초속경시멘트에 응결지연제(setting retarder)를 첨가하여 가사시간을 확보해야만 한다. 응결지연제를 적당한 범위에서 사용할 경우 가사시간을 조절할 수 있고 강도발현에 큰 영향을 미치지 않지만 일정 범위를 벗어나 과다한 양을 사용하게 되면, 응결이 상당히 지연되고 초기강도가 설계강도 이하를 나타낼 수 있어 각별한 주의가 필요하다.

환원슬래그미분말은 양생온도에 따라 응결시간 및 강도발현에 많은 영향을 받는다. 온도가 증가할수록 응결시간이 빨라지므로 현장타설시 온도를 측정하고 적절한 응결지연제량을 결정하여 원하는 가사시간을 확보하는 것이 중요하다. 또한 환원슬래그미분말은 온도에 매우 민감하게 반응하기 때문에 양생온도가 매우 높을 경우 콘크리트 표면의 온도차에 의해 균열이 발생할 수 있기

때문에 초기에 높은 압축강도 발현을 위해 콘크리트 타설 초기 양생에 주의해야 한다[4].

3. 전기로 환원 슬래그 미분말의 혼화재 성능평가 실험

3.1 실험 개요

전기로 환원 슬래그 미분말의 콘크리트용 혼화재로서의 적용성에 대하여 평가하기 위하여 시멘트 치환율에 따른 응결특성을 알아보고 압축강도 시험을 실시하였다.

3.2 사용 재료

3.2.1 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 국내 S사의 제1종 포틀랜드 시멘트(보통포틀랜드시멘트, OPC)를 사용하여 실험을 진행하였다.

3.2.2 잔골재

본 실험에서 사용된 잔골재는 KS L ISO 679에서 규정하고 있는 표준사를 사용하였으며, 잔골재의 물리적 특성을 Table 1에 나타내었다.

[Table 1] Physical properties of fine aggregate

Maximum Sizes (mm)	Surface dried specific gravity	Solid volume percentage (%)	Fineness modulus	Absorption ratio (%)	Unit weight (kg/m ³)
5.0	2.6	61.2	2.87	1.02	1,590

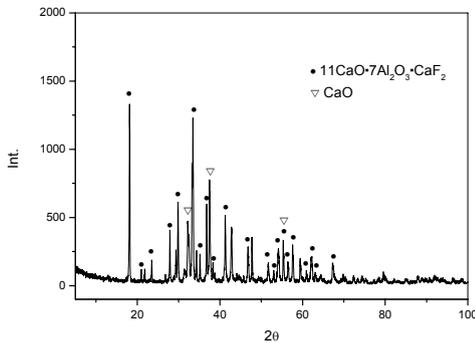
3.2.3 전기로 환원 슬래그 미분말

본 실험에서 사용된 전기로 환원 슬래그 미분말은 당진 H사에서 배출되는 괴상의 슬래그로서, 입자크기 150 μm이하로 분쇄하여 사용하였으며, 이에 대하여 입도분석, XRF, XRD, TG-DTA 등을 통하여 물성을 파악하였다.

[Table 2] Chemical compositions of EAF reducing slag(XRF ; Rigaku ZSX Primus-2)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	K ₂ O
5.59	12.99	17.39	52.57	0.53	0.07
MgO	Na ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	MnO	Ig.loss
5.05	0.10	0.63	0.63	0.63	0.06

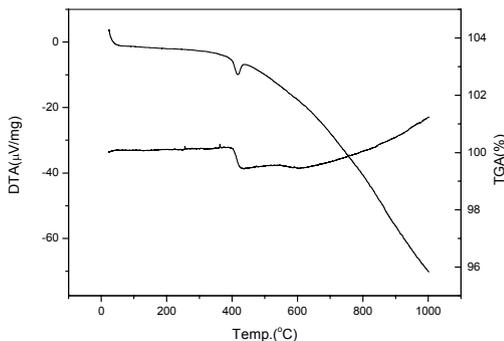
Table 2에서와 같이 XRF측정결과 환원슬래그 미분말의 특성상 CaO성분이 가장 높게 나타났으며, 이러한 환원슬래그의 특성상 배출직후 대기중의 수분에 의해 분화(粉化)되는 특징이 있다. 또한 Fig. 1에서와 같이 주된 화합물은 일부 β - C_2S 가 나타나기도 하지만, $11CaO \cdot 7Al_2O_3 \cdot CaF_2$ 와 CaO의 형태로 구성되어 있으며, 이들 화합물로 인하여 시멘트와의 반응에서 급결 현상이 나타나는 것을 알 수 있다.



[Fig. 1] XRD pattern of EAF reducing slag

Fig. 2는 사용된 환원슬래그미분말의 TG-DTA 분석 결과이며, 결과에서 보는 바와 같이 450°C 부근에서 함유되어있는 $Ca(OH)_2$ 의 분해과정이 나타나고 있음을 알 수 있으며, 이는 배출직후 환원슬래그 중 CaO가 대기 중의 수분에 의해 분화되어 $Ca(OH)_2$ 로 변화되었음을 나타내며, 그에 따른 질량감소율이 약 1%정도 인 것으로 나타났다.

따라서, 고온의 환원슬래그미분말의 배출직후 대기 중의 수분에 의해 수화($CaO \rightarrow Ca(OH)_2$) 되는 시간을 최대한 주지 않는 것이 시멘트 혼화재로 활용시 반응성을 더욱 활발히 할 수 있을 것으로 판단된다.



[Fig. 2] TG-DTA curves of EAF reducing slag

3.2.4 이수석고

본 실험에서 사용된 이수석고는 특급시약을 사용하였으며, 전기로 환원슬래그미분말의 양에 대하여 외율로 첨가하여 응결시간의 변화를 파악하였다.

3.3 시험방법

3.3.1 응결특성시험

전기로 환원 슬래그 미분말의 응결특성을 평가하기 위하여 KS F 2436(관입 저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험방법)에 따라 실시하였다. 관입저항 시험시료는 굳지 않은 모르타르를 $\varnothing 15 \times 15cm$ 의 금속제 용기에 넣어 다짐대로 다진 후 시료위에 천을 덮어 시료의 수분 증발을 억제하였다. 6회 이상 시험을 실시하여 관입저항이 28MPa이 될 때까지 실험을 실시하였다.

3.3.2 압축강도시험

압축강도 시험체는 KS L 5105에 준하여 $5 \times 5 \times 5cm$ 규격의 강제몰드를 이용하여 제작하였으며, 1, 3, 7 및 28일에 측정을 실시하였다.

4. 실험결과 분석 및 고찰

4.1 환원 슬래그 미분말의 치환율에 따른 물성평가

전기로 환원 슬래그의 치환율에 따른 응결특성 및 압축강도를 확인하기 위해서 Table 3과 같이 0~50%로 시멘트와의 치환율을 변화시켜 관입저항시험에 따른 응결특성 및 압축강도 시험을 실시하였다.

[Table 3] Test specimens

specimen	Plain	RS-10	RS-20	RS-30	RS-40	RS-50
Replacement Ratio	0%	10%	20%	30%	40%	50%

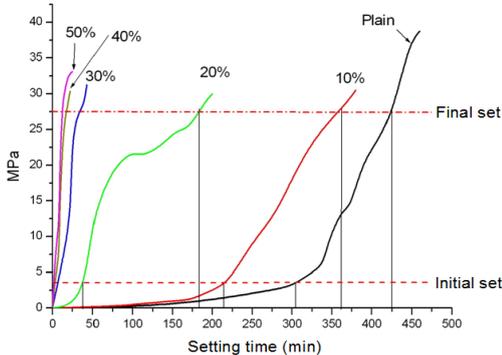
4.1.1 환원 슬래그 미분말의 치환율에 따른 응결특성

Plain 시험체의 경우 정상적으로 수화반응이 진행되어 300분경에 초결과 420분경에 종결을 보였다(Table 4 및 Fig.3 참조). 전기로 환원 슬래그로 시멘트의 일부가 치환된 RS-10, 20, 30, 40 및 50 시험체의 경우 치환율이 증

가함에 따라 점차 초결 및 종결 시간이 급격하게 빨라지는 것을 확인할 수 있었다. 특히 RS-30, 40, 50 시험체의 경우 10분 이내의 초결과 30분 이내의 종결을 보였다. 이는 전기로 환원 슬래그가 급결 특성을 가지는 $C_3A(3CaO \cdot Al_2O_3)$ 성분을 다량 함유하고 있는 것에 기인한 결과로 사료된다. 따라서, 작업시간의 확보와 전기로 환원 슬래그를 콘크리트용 혼화재로서 사용하기 위해서는 응결시간을 지연시켜 줄 수 있는 석고의 첨가가 필요할 것으로 판단된다.

[Table 4] Initial and final setting time of mortars according to replacement ratio of OPC by EAF reducing slag.

Replacement ratio	Replacement ratio					
	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Setting time(min)						
Initial setting time	305	220	35	10	5	3
Final setting time	425	360	180	30	18	12.5

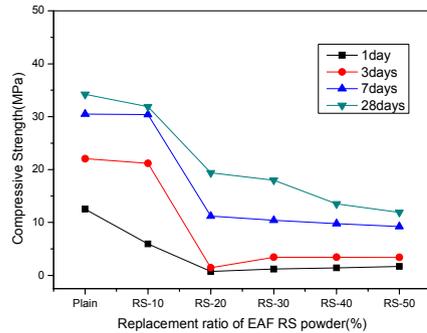


[Fig. 3] Setting time of mortars according to replacement ratio of OPC by EAF reducing slag

4.1.2 환원 슬래그 미분말의 치환율에 따른 압축강도 및 활성도지수

시멘트 수화반응에 있어서 C_3S 또는 C_2S 의 강도발현이 되기 전에 급결반응이 시작되면 작업성 저하는 물론 강도발현에 치명적인 문제가 발생하게 된다. Fig. 4는 전기로 환원 슬래그 미분말 치환율에 따른 압축강도의 변화 추이를 나타낸다. RS-50 시험체의 경우 Plain 시험체와 비교하여 28일 압축강도가 약 60% 저하하는 것을 확인할 수 있다. 치환율에 따른 압축강도 변화 추이를 살펴보면, 10%까지는 압축강도 저하가 다소 적게 나타나다가

20%부터 큰 폭으로 감소하는 것을 확인할 수 있다.



[Fig. 4] Compressive strength of mortars with various replacement ratio of EAF reducing slag for OPC

Table 5는 KS F 2563 콘크리트용 고로슬래그미분말의 활성도 지수의 품질기준을 나타내고 있으며, $4,000 \sim 6,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 의 비표면적을 나타내고 있는 3종(Type III)의 경우 활성도 지수가 채령 7일에서 55%이상, 채령 28일에서 75% 이상을 나타내고 있다. 그러나, OPC를 10% 정도 치환한 경우에서만 기준에 적합하게 나타났으며, Table 6 및 Fig. 5에서와 같이 20%이상 치환한 모든 배합에서 3종 기준에도 적합하지 않은 것으로 나타났다.

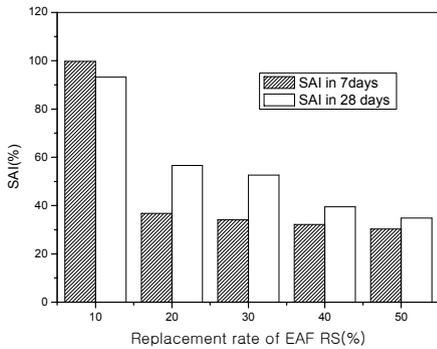
이는 응결 및 압축강도 특성에서와 마찬가지로, C_3A 에 의한 급결 특성에 따라, 치환율이 증가 할수록 강도증진에 필요한 시간적 여유가 확보되지 않은 채로 경화된 것으로 판단된다.

[Table 5] Quality standard for activity factor(KS F 2563 Ground granulated blast-furnace slag for use in concrete)

Type	Type I	Type II	Type III
Age			
7 days	above 95	above 75	above 55
28 days	above 105	above 95	above 75
91 days	above 105	above 105	above 95

[Table 6] Activity factor with various replacement ratio of EAF reducing slag for OPC

Type	10%	20%	30%	40%	50%
Age					
7 days	99.74	36.75	34.12	32.15	30.31
28 days	93.22	56.67	52.63	39.53	34.85



[Fig. 5] Activity factor with various replacement ratio of EAF reducing slag for OPC

4.2 이수석고 첨가에 따른 응결지연특성 및 강도특성

석고는 전기로 환원 슬래그의 C₃A 성분과 반응하여 에 트링가이트를 생성하고 응결시간을 조절함은 물론 미소 공극을 충전시켜 조직을 치밀화하는 역할을 한다. 이와 같은 원리로 전기로 환원 슬래그 혼화제 시멘트의 급결을 방지하기 위한 이수석고의 적정 첨가량을 찾기 위하여 석고 첨가량별 응결시험 및 압축강도 시험을 실시하였다. 슬래그 치환율별 압축강도 저하율, 치환량에 따른 경제성 등을 고려하여 최적 치환율인 30%(RS-30)를 기준으로 하고 이수석고 첨가량을 환원 슬래그 대비 0~8%로 달리하여 응결시간 및 압축강도를 측정하였다. Table 7은 각 시험배합의 이수석고 첨가량을 나타낸 것이다.

[Table 7] Test specimens

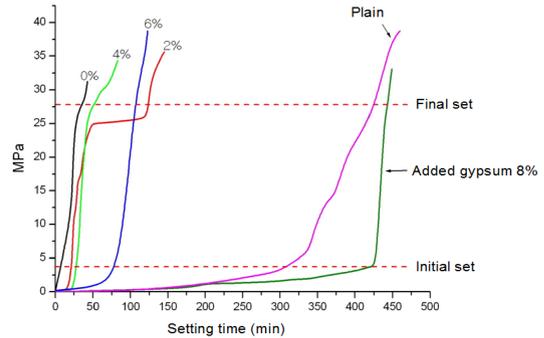
specimen	Plain	RG-0	RG-2	RG-4	RG-6	RG-8
Addition Ratio	-	0%	2%	4%	6%	8%

4.2.1 이수석고 첨가율에 따른 응결지연특성

Table 8 및 Fig. 6은 이수석고 첨가율에 따른 응결시간의 변화를 나타내는 그래프이다. 첨가율 6%까지는 응결시간 지연이 확연히 나타나지 않다가 첨가율 8%일 경우 초결 시간이 약 410분에 이르러 Plain 시험체와 유사한 결과를 보였다. 따라서 이수석고를 환원슬래그 대비 최소 8% 이상을 첨가하여야만 응결시간 지연의 효과를 볼 수 있을 것으로 사료된다.

[Table 8] Setting time of mortars with addition ratio of gypsum dihydrate

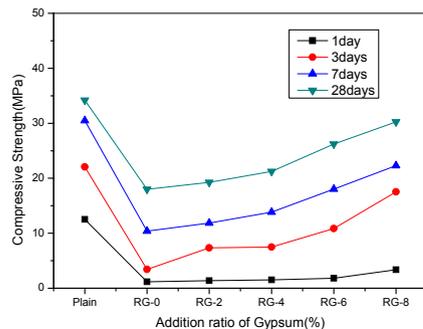
Addition Ratio	Plain	0%	2%	4%	6%	8%
Setting time(min)						
Initial setting time	305	10	21	27	87	410
Final setting time	425	30	125	56	105	444



[Fig. 6] Setting time of mortars with addition ratio of gypsum dihydrate

4.2.2 이수석고 첨가율에 따른 압축강도 및 활성화도지수

전기로 환원 슬래그 혼화제 시멘트에 이수석고를 첨가하면 응결시간 조절이 가능하지만 경제성과 효율성을 고려하여 최적의 첨가율을 찾아낼 필요성이 있다. 따라서 이수석고의 첨가율에 따른 압축강도 특성에 대해서 측정하였고 그 결과는 아래 Fig. 7과 같다.



[Fig. 7] Compressive strength of mortars with additional amount of gypsum dihydrate

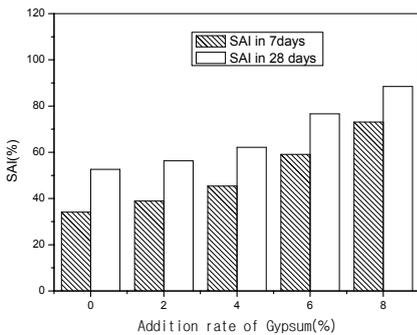
Fig. 7에서 보는 바와 같이 이수 석고를 첨가하지 않은 RG-0 시험체의 경우 압축강도의 급격한 감소를 보이고 있다. 반대로 이수석고 첨가량이 증가할수록 점차적으로

압축강도가 증가함을 확인할 수 있다. RG-8 시험체의 경우 28일 압축강도 기준 약 30MPa로서 Plain 시험체의 경우와 가장 유사한 결과를 보였다. 따라서, 경제성 및 효율성을 고려한 최적의 이수 석고 첨가율은 8% 내외가 가장 적절한 수준이라고 사료된다.

Table 9 및 Fig. 8은 이수석고 첨가에 따른 활성화 지수를 나타낸 것으로서, 이수석고를 첨가하지 않고 환원 슬래그만 30% 치환한 배합 및 이수석고를 4%이하 첨가한 배합에서는 KS F 2536 3종의 품질기준에 적합하지 않은 것으로 나타났으나, 이수석고 6%첨가 이상 부터는 3종 품질기준에 적합한 활성화지수를 나타내었다. 또한 이수석고 8%첨가배합의 28일 활성화 지수는 88.5% 수준을 기록하여 장기재령에서 우수한 압축강도 발현 현상을 보였다.

[Table 9] Activity factor with various replacement ratio of gypsum dihydrate for EAF reducing slag

Age \ Type	0%	2%	4%	6%	8%
7 days	34.12	38.91	45.41	59.12	73.1
28 days	52.63	56.32	62.13	76.64	88.48



[Fig. 8] Activity factor with various replacement ratio of gypsum dihydrate for EAF reducing slag

5. 결론

전기로 환원 슬래그의 콘크리트용 혼화제로서의 적용성을 검토하기 위한 선행연구로서 슬래그 치환율과 이수 석고 첨가율을 달리하여 모르타르의 응결시간 및 압축강도 시험을 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 전기로 환원 슬래그를 혼화제로 한 모르타르의 응결특성을 확인한 결과, 환원 슬래그의 C₃A 성분으로 인하여 급결성을 띄었으며, 슬래그 치환비율이 높아 질수록 응결시간은 더 짧아지는 것을 확인할 수 있었다.
- 2) 전기로 환원 슬래그 혼화제의 급결 특성으로 인해 강도발현이 되기 전에 모르타르가 경화되어 RS-50의 경우, 28일 압축강도가 일반 시멘트 모르타르에 비하여 약 60% 저하된 결과를 보였다.
- 3) KS F 2563 콘크리트용 고로슬래그미분말의 활성화 지수의 품질기준과 비교 시 이수석고의 첨가 없이 OPC를 10%정도 치환한 경우에서만 기준에 적합하게 나타났지만, 20%이상의 치환에서는 기준에 부적합한 것으로 나타났다.
이는 응결 및 압축강도 특성에서와 마찬가지로, C₃A에 의한 급결특성에 따라, 치환율이 증가할수록 강도증진에 필요한 시간적여유가 확보되지 않은 채로 경화된 것에 기인하는 것으로 판단된다.
- 4) 슬래그 치환율별 압축강도 저하율, 치환량에 따른 경제성 등을 고려하여 최적 치환율인 30%(RS-30)를 기준으로 하고, 전기로 환원 슬래그 혼화제의 급결을 막기 위해 이수석고를 첨가하여 응결시간을 측정된 결과, 첨가비율에 따라 점차 응결시간이 지연되는 것을 확인할 수 있었다. 특히 8%의 경우에는 일반 시멘트 모르타르의 응결시간과 유사한 결과를 보여 적정 첨가율은 8% 수준으로 판단된다.
- 5) 이수석고 첨가율에 따른 압축강도 결과에서도 첨가율 8%의 경우에 28일 기준 약 30MPa로서 일반 시멘트 모르타르의 결과와 가장 유사한 것으로 나타났다.
- 6) 환원슬래그를 시멘트의 30%를 치환한 배합의 결과, 이수석고 6% 첨가 이상에서 KS F 2536 3종의 품질기준에 적합한 활성화지수를 나타냈으며, 장기재령의 활성화 지수 및 응결특성을 종합적으로 고려할 경우 8% 이상의 이수석고 첨가량이 가장 적절할 것으로 판단된다.

References

[1] Choi J.S, Jang P.S, " Development of production technology of functional materials using molten steel slag",pp.3, KCL,

2013.

- [2] Ahmad Monshi "Producing portland cement from iron and steel slags and limestone" ,1999
- [3] Kong T.W, ", Enhanced durability performance of regulated set cement concrete" pp7~12, Konkuk Uni, 2005.
- [4] Lee S.H "Properties of Blast Furnace Slag Cement Modified with Electric Arc Furnace Slag" Journal of the Korean Ceramic Society, Vol.43, No. 7, pp.408~414, 2006
DOI: <http://dx.doi.org/10.4191/KCERS.2006.43.7.408>

조 영 진(Young-Jin Jo)

[정회원]



- 2003년 2월 : 경북대학교 토목공학과(공학석사)
- 2014년 8월 : 경북대학교 건축토목공학부(공학박사)
- 2003년 10월 ~ 현재 : 한국건설생활환경시험연구원 선임연구원

최 재 석(Jae-Seok Choi)

[정회원]



- 1997년 2월 : 인하대학교 자원공학과(공학석사)
- 2010년 10월 : 인하대학교 자원공학과(공학박사)
- 1997년 2월 ~ 현재 : 한국건설생활환경시험연구원 융합기술팀장

<관심분야>

자원 재활용, 융합소재 분야

<관심분야>

친환경 건설재료(콘크리트/아스콘 등), 산업부산물 재활용

장 필 성(Pil-Sung Jang)

[정회원]



- 2004년 8월 : 건국대학교 지역건설환경공학과(공학석사)
- 2005년 11월 ~ 2007년 4월 : 한국건설기술연구원 연구원
- 2007년 4월 ~ 현재 : 한국건설생활환경시험연구원 선임연구원

<관심분야>

기능성 전자재, 자원 재활용