

## 電氣爐 酸化슬래그 잔골재를 이용한 橋面鋪裝 시 單位質量 增大에 따른 슬래브 斷面力 檢討

\*鄭元京 · 全範駿 · 吉龍洙

(株)三友아이엠씨 技術研究所\*

### Investigation of Sectional Force on Increasing of Dead Load with Bridge Deck Overlay using Electric Arc Furnace Slag Sand

\*Won-Kyong Jung, Beom Jun Chon and Yong-Soo Gil

Department of Research Center, SAMWOO IMC

#### 요 약

전기로 산화슬래그를 콘크리트용 잔골재로 사용하기 위해서는 제철소에서 제강과정에서 불안정한 용융상태의 제강슬래그를 에이징처리하여 안정된 구조로 변환시켜 이온이나 전자의 이동을 억제, 슬래그의 화학적·물리적 저항성을 증대시켜 사용하여야 한다. 우리나라에서는 전기로 산화슬래그 잔골재를 콘크리트용 잔골재로 활용하기 위한 제도적 기반으로서 KS F 4571이 제정되어 부산물의 자원화 시스템 기반이 마련되었다. 본 연구에서는, 전기로 산화슬래그 잔골재를 PMC(Polymer Modified Concrete) 포장공법에 잔골재로 치환하였을 경우, 콘크리트의 고정하중 증가에 따른 교량 상부에 미치는 영향에 대하여 연구하고자 하였다. 본 연구에서는 선정된 4가지 형식의 교량(RC 슬래브교, RC 라멘교, PSC Beam교, Steel Box girder교) 포장의 단위질량이 상향 적용시, 포장하중 증가에 따른 전체 고정하중은 약 1~2% 이내로 증가하고, 하중조합에 의한 부재력(설계모멘트)은 약 2% 이내로 증가하였다. 그리고 포장하중 증가에 따른 대상 구조물의 단면검토를 수행한 결과, 단면 안전율이 약 3% 이내로 감소하였다. 따라서, 포장의 단위질량 증가로 인해 구조물의 구조적 안전성에는 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

주제어 : 전기로 산화슬래그, PMC, 교면포장, 고정하중

#### Abstract

Electric arc furnace slag is made in ironworks during steel refining, it is been increasing chemical and physical resistibility using ageing method of unstable state of melting steel slag for using concrete's fine aggregates. Which is been changing stable molecular structure of aggregates, it restrains moving of ion and molecule. In Korea, KS F 4571 has been prepared for using the electric arc furnace slag to concrete aggregates. In this study, Electric arc furnace slag is used in the PMC(Polymer Modified Concrete) which is applied a bridge pavement of rehabilitation, largely. In that case, this study evaluates the structural safety about increasing the specific weight. The 4-type bridges(RC slab bridge, RC rigid-frame bridge, PSC Beam bridge, Steel box girder bridge) pavement's increasing the total dead load is in 1 ~ 2%. Design moments in a load combination are increased less than 2%. safety factor is decreased less than 3%. Therefore, the structural safety has no problem for applying the electric arc furnace slag within PMC in bridge.

**Key words** : Electric arc furnace, PMC, Bridge deck pavement, Dead load

\* Received : November 20, 2012 · 1st Revised : January 4, 2013 · 2nd Revised : January 30, 2013 · Accepted : February 8, 2013

\*Corresponding Author : Won-kyong Jung (E-mail: wonkyong@hanmail.net)

Department of research center, SAMWOO IMC CO.,LTD, 33-8 Ogeum-dong, Songpa-gu, Seoul, 138-855, Korea

Tel : +82-2-3400-8781 / Fax : +82-2-3400-8769

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서 론

전기로 산화슬래그란 철의 제조 공정 중 크게 제선, 제강, 압연 공정 중 제강공정에서 얻어지는 제강슬래그로써 제선공정에서 발생하는 부산물인 고로슬래그와는 구분되며, 제강슬래그는 로(爐)에 따라 전로 슬래그와 전기로 슬래그로 분류된다. 일반적으로 제강슬래그는 불안정한 용융상태에서 얻어지므로 콘크리트용 골재로 사용되기 위해서는 구조적 안정성 확보를 위하여 안정화 처리(에이징)를 시행한 후 콘크리트 골재로 사용되게 된다.<sup>1,2)</sup> 이러한 전기로 산화슬래그의 안정화 처리는 시간과 비용 측면에서 불리하여 현재 국내의 전기로 슬래그의 재활용 용도는 도로용 및 성토용이 약 85% 정도로 발생량의 대부분을 차지하며, 콘크리트용 골재 등 실제 건설현장에서 요구되고 있는 골재로서의 활용은 미미한 실정이다. 그러나 우리나라에서 2011년 발생한 고로슬래그와 제강슬래그는 각각 1,359만 톤과 1,033만 톤으로 전체적으로 약 2,400만 톤 정도 생산되고 있으며, 제강슬래그 중 전기로 슬래그의 발생량은 364만톤, 전로슬래그는 약 668만 톤 정도이며 슬래그의 재활용률을 살펴보면, 고로 슬래그와 제강 슬래그 모두 100%에 근접하고 있으나 제강 슬래그는 아직까지 부가가치가 낮은 분야에 한정적으로 사용이 되고 있어, 부가가치를 높일 수 있는 분야에 대한 연구가 매우 필요한 실정이다.<sup>3,4)</sup>

국내에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 전기로 산화슬래그(Electric Arc Furnace Slag 이하 EFS)를 콘크리트용 잔골재로 활용하기 위한 제도적 기반으로 KS F 4571(콘크리트용 전기로 산화슬래그 골재, 2011. 5)이 제정되었고 부산물의 자원화 시스템 기반이 마련되어 콘크리트 잔골재 치환에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있으나,<sup>5)</sup> 현재까지 전기로 산화슬래그 골재는 실용화 단계에는 도달하지 못하였으며, 콘크리트용 잔골재로서 활용 가능성을 평가하기 위한 전기로 산화슬래그 잔골재의 치환율에 따른 콘크리트의 굳지 않은 성상, 역학적 성능 및 염해, 탄산화, 동결융해 등의 내구성능 평가에 대하여 연구하고 있는 단계였으나<sup>2,6)</sup>

최근 전기로 산화슬래그 잔골재를 100% 치환하여 성능 개선과 적용성을 확인한 속경성 라텍스개질 고성능 콘크리트가 개발되어 적용되고 있다.<sup>7)</sup>

그러나, 전기로 산화슬래그를 이용한 콘크리트 제조시 지적되는 문제점 중 하나가 전기로 산화슬래그 자체의 높은 밀도 및 단위질량으로 인한 콘크리트의 단위질량 증, 고정하중 증대의 문제점을 가진다는 것이다. 이러한 고정하중 증대는 기존 구조물의 단면력과 구조적 안전성에 영향을 미치게 되므로 사전에 이에 대한 평가가 이루어져야 할 것이며 그 영향의 정도를 면밀히 분석하여야 한다. 그러나 콘크리트 단위질량 증가에 영향을 받지 않는 도로 보수재의 경우 그 사용성에 제한을 받지 않게 된다. 그러나 교량의 교면포장재로 적용할 경우에는 기존의 콘크리트에 또는 아스팔트계열과 달리 고정하중이 증가하게 되므로 이에 대한 평가가 선행되어야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트포장 단면보수와 교면재포장 재료로 개발된 전기로 산화슬래그 잔골재 치환 콘크리트(Electric Arc Furnace Slag Concrete 이하 EFS-Con)에 대하여 기본적인 재료물성 평가 후 교량형식에 따라 기존 교면포장재료와 EFS-Con 적용시 고정하중 증가에 따른 교량 상부슬래브에 미치는 영향에 대하여 구조해석을 실시하였다. 이를 통해 산업부산물인 전기로 산화슬래그 잔골재를 콘크리트에 사용시 단위질량 증대 크기와 그에 따른 구조물 거동 및 단면력의 변화를 고찰, 향후 전기로 산화슬래그 잔골재를 콘크리트에 활용하기 위한 기초자료로 제시하고자 하였다.

## 2. 사용재료 및 배합산정

### 2.1. 사용재료

#### 2.1.1. 초속경시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 초속경성계열의 시멘트로 국내에서 SB라텍스 개질 콘크리트 생산전용 시멘트로 개발, 생산된 것으로 전기로 산화슬래그 잔골재 치환 콘크리트에 사용 중인 시멘트로서 주요 시멘트의 화학적 성분은 Table 1과 같다.

Table 1. Physical and chemical characteristics of rapid-set cement

Time of setting		Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Specific gravity	Cement compounds(%)						
Initial set	Final set			C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>4</sub> A <sub>3</sub> S	C <sub>4</sub> AF	C <sub>3</sub> A	CaSO <sub>4</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>
30min.	40min.	5,602	2.9	16.0	16.0	30.0	6.0	3.0	20.0	5.0

**Table 2.** Physical properties of fine aggregates

Items	Max size(mm)	Specific gravity	Water absorption(%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )	Solid volume(%)
Electric arc furnace oxidizing slag aggregate	5.00	3.70	0.41	2,554	70.0
KS F 4571*	5.00	3.10<	< 2.00	1,800<	-
Natural sand	5.00	2.60	1.11	1,559	60.0
KS F 2526**	5.00	2.50<	< 3.00	-	-

KS F 4571\* : electric arc furnace oxidizing slag aggregate for concrete

KS F 2526\*\* : aggregate for concrete

### 2.1.2. 전기로 산화슬래그 잔골재 및 굵은골재

본 실험에 사용된 잔골재용 전기로 산화슬래그는 크기가 5 mm 미만이고, 구상형의 입형을 특성으로 한다. 또한 전기로 산화슬래그에 대하여 급냉방식의 에이징처리를 하여 안정화된 분자구조로 변환시킨 골재를 사용하였다. 전기로 산화슬래그 잔골재는 천연잔골재와 비교하여, 매우 낮은 흡수율을 지니고 있어 골재의 품질 관리가 용이하며 실적율이 70%에 달해 콘크리트 제조 시 시멘트 저감, 건조수축 저감, 고밀도의 콘크리트 제조가 가능하게 된다.<sup>7)</sup> 본 연구에 사용된 잔골재의 물리적 특성은 관련 기준인 KS F 4571(콘크리트용 전기로 산화슬래그 골재)과 KS F 2526(콘크리트용 골재)에 제시되고 있는 기준을 만족시키는 것을 사용하였으며 그 내용은 Table 2와 같다. 또한 본 실험에 사용된 굵은골재는 교면포장의 덧씌우기 용도로 최대치수 19 mm 골재를 사용하였다.

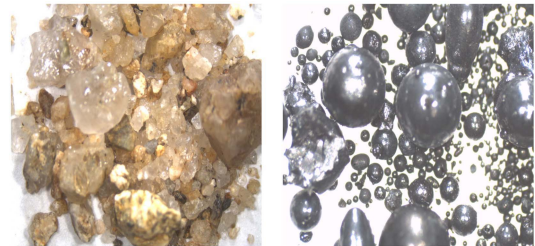
또한 본 연구에 사용된 전기로 산화슬래그 잔골재에 대한 체가름 시험 측정 결과, Table 3 및 Fig. 1과 같이 KS 규격에 적합한 결과를 보였으며 표준입도곡선 중 1.2 mm ~ 0.6 mm 범위의 골재가 가장 많은 구성을 하고 있다. 이는 전기로 산화슬래그가 공장제품으로 생산되어 균일한 입도를 가지는 특징을 알 수 있으며, 이를 통해 균질한 제품 생산에 따른 현장 품질관리에도 도움을 주고 있다.

### 2.1.3. 폴리머

본 실험에 사용된 라텍스는 국내 J사의 제품으로 성분은 스티렌·부타디엔 계열로 라텍스 고흥분 47%와 물 53%의 액상상태이다. 시멘트 모르타르와 콘크리트에 사용하도록 생산된 제품으로, 교면재포장과 콘크리트포장 보수용 라텍스개질 콘크리트에 널리 적용되고 있는 제품이다.

**Table 3.** EFS sieving separation results

Size number(mm)	Unit	Passing each sieve(%)	
		Result	Standard
10	%	100	100
5	%	100	90 ~ 100
2.5	%	100	80 ~ 100
1.2	%	90	50 ~ 90
0.6	%	51	25 ~ 65
0.3	%	17	10 ~ 35
0.15	%	6	2 ~ 15
F.M		2.36	



(a) natural sand

(b) electric arc furnace

**Fig. 1.** Shape of fine aggregates.

## 2.2. 배합산정

Table 4는 잔골재를 전기로 산화슬래그 잔골재로 100% 치환하여 산정한 기준 연구의 최적배합비<sup>7)</sup>와 기존의 교면재포장체인 폴리머 개질 콘크리트(Polymer Modified Concrete, 이하 PMC) 배합표를 비교한 것이다. 이를 살펴보면, EFS-Con은 PMC 배합 대비 단위 결합재량 60 kg/m<sup>3</sup>와 단위라텍스량 51 kg/m<sup>3</sup>을 절감한 특징을 가지고 있다. 이러한 단위결합재 및 라텍스 저

**Table 4.** Specific mix of the PMC and EFS-Con

	W/C	S/a	Unit mass(kg/m <sup>3</sup> )				
	%	%	W	C	Latex	S	G
PRCC	38	55	76	360	115	922	777
EFS-Con	38	47	89	300	51	1,212*	1,020

\*Electric arc furnace slag sand 100%

**Table 5.** Results of the strength test

Strengths	Specimens	Curing time(MPa)		
		4hrs.	1day	7days
Compressive	PMC	34.1	34.9	46.5
	EFS-Con	36.9	52.6	55.8
Flexural	PMC	6.0	7.4	8.1
	EFS-Con	7.6	10.1	10.7
Adhesive	PMC	1.5	2.0	2.8
	EFS-Con	1.5	2.7	2.7

**Table 6.** Change of unit weight

Specimens	# 1	# 2	# 3	Average	Remark
PMC	2.28	2.26	2.27	2.27t	100%
EFS-Con	2.68	2.69	2.66	2.67t	118%

감의 원인은 구상형 전기로 산화슬래그 잔골재로 천연잔골재를 치환함으로써 낮은 물-시멘트비 조건에서도 매우 높은 작업성을 나타내며, 잔골재의 높은 실적율에 의해 결합재량을 절감시킬 수 있었다고 보고되었다.<sup>7)</sup> 실내 배합순서는 먼저 전기로 산화슬래그 잔골재와 굵은골재를 믹서에 투입하여 30초간 비빈 후 시멘트를 넣고 다시 30초간 건비빔을 실시하였다. 그리고 라텍스와 물을 첨가한 후 최종 30초간 비빔을 실시하여 콘크리트를 배출하여 시험체를 제작하였으며 기건양생하였다.

### 3. 실내시험평가 결과

#### 3.1. 강도특성

PMC는 스티렌·부타디엔 계열 폴리머를 물 속에 고르게 분사시킨 SB라텍스와 조기강도 발현이 우수한 초속경계열 시멘트, 모래, 자갈 및 소량의 혼화제와 물을

적정비율 혼합하여 제조한 초속경 라텍스 개질 콘크리트이다. PMC의 강도에 대한 실내실험 결과, Table 5의 강도특성을 보였다. 압축강도의 경우 기준 21 MPa보다 4시간 강도에서 13 MPa 이상을, 7일 압축강도에서는 2배 이상을 상회하는 것으로 나타났다. 휨강도는 4시간 강도 6.0 MPa, 7일 8.1 MPa의 휨강도를 나타내는 특성을 보였다. 또한, 부착강도도 4시간 강도에서 1.5 MPa로 기준 1.4 MPa를 만족하는 결과를 얻었으며 7일 강도에서는 기준 대비 2배 이상의 강도발현 특성을 보였다. 잔골재를 전기로 산화슬래그로 치환한 콘크리트의 강도 측정결과, 4시간 압축강도는 기준 21 MPa보다 약 16 MPa, PMC 34.1 MPa보다 2.8 MPa 높은 36.9 MPa의 고강도를 나타냈다. 7일강도는 55.8 MPa 정도까지의 강도발현이 되는 것을 확인하였다. 휨강도는 4시간 때, 강도기준인 3.15 MPa의 2배 이상의 강도발현을 보였으며 7일 휨강도에서는 10.7 MPa까지 강도발현이 되는 특성을 보였다. 또한, 부착강도는 라텍스의 첨가량이 저감되었음에도 불구하고 PMC와 유사한 강도발현 특성을 보였다. 이러한 전기로 산화슬래그를 이용한 콘크리트의 높은 강도발현 이유는, 천연잔골재를 치환한 전기로 산화슬래그의 구형 입형에 의한 유동성 증진(볼베어링)에 의한 라텍스 첨가량 감소, 골재 자체의 높은 실적률에 의한 단위수량 및 단위결합재량 감소에도 불구하고 콘크리트 내부의 체적안전성 향상 및 밀도 증대에 따른 원인으로 판단된다.

#### 3.2. 단위질량

전기로 산화슬래그는 자체의 밀도가 약 3.6에 이르고 단위용적질량이 천연잔골재에 비하여 약 800 kg/m<sup>3</sup> 높아 콘크리트 배합 시 천연골재를 100% 치환할 경우 콘크리트 자체의 단위질량 증대를 가져온다. 이러한 단위질량 증대는 기존 구조물에 대한 보수보강 시 구조물의 단면력에 영향을 미치게 될 것이며 특히, 교량의 교면포장 시 고정하중의 증대에 따른 구조물 단면력에 변화를 나타내게 될 것으로 판단된다. 전기로 산화슬래그로 치환된 콘크리트의 단위질량 측정결과, Table 6과 같이 기존의 교면재포장 및 콘크리트포장 보수제인 PMC의 2.27 t/m<sup>3</sup>에 비하여 약 18% 증가된 2.67 t/m<sup>3</sup>로 측정되었다. 이러한 단위질량 증대는 콘크리트포장 및 보수 시에는 토공부에 하중이 작용하여 큰 문제가 없으나 교량과 같은 구조물의 경우 교량 슬래브 등에 영향을 미칠 것으로 판단되며, 그 영향의 정도가 얼마인지 평가하고자 하였다.

#### 4. 교면포장 시 고정하중 증가에 따른 단면력 검토

##### 4.1. 적용대상 및 설계변수

전기로 산화슬래그를 치환한 교면재포장의 강도특성은 매우 우수한 것으로 평가되었으나, 단위질량이 기존 콘크리트 대비 약 18% 증대되는 것으로 측정되어 기존 구조물에 적용 시 구조적 거동에 영향유무에 대한 검토가 요구되는 것으로 평가되었다. 따라서, 본 연구에서는 단위질량 실측치를 이용하여 단위질량을 상향조정, 실제 교량의 교면재포장 적용 시 교량 상부 구조물에 미치는 영향을 가장 대표적으로 적용되고 있는 4가지 형식의 교량을 선정하여 검토하였다. 실제 원설계에 반영된 교량의 교면포장은 단위질량 23 kN/m<sup>3</sup>의 아스팔트콘크리트포장 재료였으며 이에 대한 구조해석자료와 교면재포장 시 기존 교량 상부 슬래브의 일부를 제거하고 재포설되는 PMC공법의 특성을 고려하여 포장두께를 원설계보다 20 mm 증가시킨 100 mm 조건과 전기로 산화슬래그로 치환시킬 경우 증가되는 단위질량 27 kN/m<sup>3</sup>에 대한 단면력 및 안전율 변화를 구조해석하였다.

##### 4.2. RC 슬래브교

Table 7은 12 m 단경간 RC 슬래브교의 설계내용으로, 포장두께를 80 mm에서 100 mm로 조정하고 포장단위질량은 PMC공법은 23 kN/m<sup>3</sup>, 잔골재를 전기로 산화슬래그로 치환한 경우 27 kN/m<sup>3</sup>으로 상향조정된 것을 비교 및 검토하였다. Table 8의 단면력 영향 검토를 살펴보면 포장하중, 고정하중 및 단면력이 포장두께 80 mm, 교면포장 단위질량 23 kN/m<sup>3</sup>인 원설계 대비하여 포장두께 100 mm로 증가된 PMC 교면포장의 경우 1.3%, 잔골재를 전기로 산화슬래그로 치환했을 경우 2.4% 증가함을 보인다. 또한, 설계 단면력을 검토한 결과, 설계하중 조합상 고정하중의 증가계수가 활하중 증가계수보다 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 따라서, 원설계와 설계안전율을 비교한 결과 Table 9와 같이 PMC 공법인 경우 1.0%, 잔골재를 전기로 산화슬래그로 치환했을 경우 1.7% 정도 안전율이 감소하는 것으로 해석되었다. 검토결과 기 설계된 교량에 주어진 조건으로 포장두께 및 단위질량이 약 18% 정도 상향조정 되더라도 교량의 안전율 감소량은 2% 미만이므로, 구조적으로 안전한 것으로 판단되었다.

Table 7. Specification of RC slab bridge

Marking	Length	Width	Rating	Curve	fc	fy
Bridge factors	12m	25.8m	1	0°	27 MPa	400 MPa
Cross section	<p>The diagram shows a cross-section of a bridge slab with a total width of 25.800m. It features two abutments labeled '상세1' and '상세2'. The slab has a 2% slope. Dimensions include 400mm, 2.500m, 450mm, 2.000m, 3.500m, 3.500m, 2.000m, 3.500m, 3.500m, 2.000m, 450mm, 2.500m, and 400mm. Vertical dimensions on the right include R150, 200, 500, 300, and 200. A 4800mm dimension is also shown near the bottom right.</p>					

Table 8. Results of the review on RC slab bridge with dead load and section force

Marking		Pavement load	Dead load	Moment at the section	Variation of moment at the section
Original design factors	t = 80 mm Wc = 23 kN/m <sup>3</sup>	36.9 kN/m	707.0 kN/m	525.8 kN-m	-
Structural analysis of PMC	t = 100 mm Wc = 23 kN/m <sup>3</sup>	46.2 kN/m	716.2 kN/m	532.7 kN-m	1.3%
Structural analysis of EFS-Con	t = 100 mm Wc = 27 kN/m <sup>3</sup>	54.2 kN/m	724.3 kN/m	538.7 kN-m	2.4%

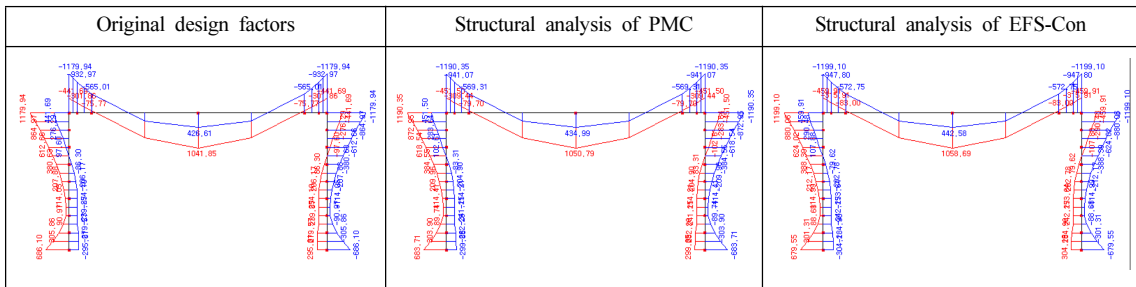
**Table 9.** Evaluate safety factor in RC slab bridge section force

Marking		Factored moment at the section( $M_u$ )	Nomina flexural resistance( $\Phi M_n$ )	Safety factor ( $\Phi M_n/M_u$ )	Decrease of safety factor
Original design factors	t=80 mm $W_c=23$ kN/	1337 kN·m/m	1959 kN·m/m	1.465	-
Structural analysis of PMC	t=100 mm $W_c=23$ kN/	1346 kN·m/m	1959 kN·m/m	1.455	1.0%
Structural analysis of EFS-Con	t=100 mm $W_c=27$ kN/	1353 kN·m/m	1959 kN·m/m	1.448	1.7%

**Table 10.** Specification of RC rigid-frame bridge

Marking	Length	Width	Rating	Curve	$f_c$	$f_y$
Bridge factors	15 m	10.7 m	1	0°	27 MPa	400 MPa
Cross section						

**Table 11.** Results of the section force diagram



### 4.3. RC 라멘교

Table 10은 15 m 단경간 RC 라멘교의 원설계 내용으로 포장두께를 100 mm로 조정하고 포장단위질량은 PMC 공법은 23 kN/m<sup>3</sup>, 잔골재를 전기로 산화슬래그로 치환한 경우 27 kN/m<sup>3</sup>으로 상향조정하여 구조해석을 실시하였다. 설계단면력을 원설계와의 단면력과 비교하여 안전율을 비교한 결과, Table 11의 단면력도와 Table 12의 안전율 검토와 같이 포장두께가 80 mm에서 100 mm로 증가되어 재포장되는 PMC의 경우 1.2%, 잔골재를 전기로 산화슬래그로 치환했을 경우 2.2% 정도 안전율이 감소하였다. 검토결과 기 설계된 교량에 주어

진 조건으로 포장두께 및 단위질량이 상향조정 되더라도 교량의 안전율은 약 2% 정도 감소되었으나, 전체적인 안전율 측면에서는 안전율 감소량이 매우 미소하여, 구조적으로 안전한 것으로 해석되었다.

### 4.4. PSC Beam교

Table 13은 PSC Beam교의 설계 내용으로 30 m PSC Beam교에 대한 포장두께 및 교면포장체 단위질량 증가에 따른 구조해석을 실시하기 위한 설계자료이며 Table 14의 단면력 영향검토를 살펴보면, 포장하중, 고정하중 및 단면력이 원설계 대비하여 PMC의 경우

**Table 12.** Evaluate safety factor in RC rigid-frame bridge

Marking		Factored moment at the section, $M_u$ (kN·m)		Nomina flexural resistance, $\Phi M_n$ (kN·m)		Safety factor ( $\Phi M_n/M_u$ )	Decrease of safety factor
		Edge	Center	Edge	Center		
Original design factors	t = 80 mm $W_c = 23 \text{ kN/m}^3$	1180	1042	1633	1564	1.384	-
Structural analysis of PMC	t = 100 mm $W_c = 23 \text{ kN/m}^3$	1190	1051	1633	1564	1.372	1.2%
Structural analysis of EFS-Con	t = 100 mm $W_c = 27 \text{ kN/m}^3$	1199	1059	1633	1564	1.362	2.2%

**Table 13.** Specification of PSC Beam Bridge

Marking	Length	Width	Rating	Curve	$f_c$	$f_y$
Bridge factors	30 m	12.6 m	1	0°	27 MPa	400 MPa
Cross section						

**Table 14.** Results of the review on PSC beam bridge with dead load and section force

Marking		Pavement load	Dead load	Moment at the section	Variation of moment at the section
Original design factors	t = 80 mm $W_c = 23 \text{ kN/m}^3$	0.920 kN/m	14.985 kN	9.277 kN·m	-
Structural analysis of PMC	t = 100 mm $W_c = 23 \text{ kN/m}^3$	1.150 kN/m	15.425 kN	9.484 kN·m	2.2%
Structural analysis of EFS-Con	t = 100 mm $W_c = 27 \text{ kN/m}^3$	1.350 kN/m	15.625 kN	9.534 kN·m	2.8%

2.2%, 잔골재를 전기로 산화슬래그로 치환했을 경우 2.8% 증가함을 보인다. 바닥판에 대한 설계단면력 변화를 원설계 단면력과 안전율을 비교한 결과, Table 15와 같이 PMC 공법의 경우 1.6%, 잔골재를 전기로 산화슬래그로 치환했을 경우 1.7%정도 안전율이 감소하나, 구조적으로 문제점은 없을 것으로 판단되었다.

**4.5. Steel Box Girder 교**

Table 16은 Steel Box girder교의 원설계 내용으로

2 × 45 = 90 m Steel Box Girder교의 포장두께를 100 mm로 조정하고, 포장단위질량을 PMC공법은 23 kN/m<sup>3</sup>, 잔골재를 전기로 산화슬래그로 치환한 경우 27 kN/m<sup>3</sup>으로 상향조정된 것을 비교 및 검토하였다. Table 17의 바닥판의 설계단면력을 원설계 단면력과 안전율을 비교한 결과 PMC 공법의 경우 1.2%, 잔골재를 전기로 산화슬래그로 치환했을 경우 1.4%정도 안전율이 감소하였다.

Table 18과 같이 주형 응력검토결과, PMC 공법의 경우 상연응력이 최대 2.5%, 하연응력이 최대 1.5%

**Table 15.** Evaluate safety factor in PSC Beam bridge

Marking	Factored moment at the section( $M_u$ )	Nomina flexural resistance( $\Phi M_n$ )	Safety factor ( $\Phi M_n/M_u$ )	Decrease of safety factor	
Original design factors	t = 80 mm $W_c = 23 \text{ kN/m}^3$	69.780	91.720	1.314	-
Structural analysis of PMC	t = 100 mm $W_c = 23 \text{ kN/m}^3$	70.655	91.720	1.298	1.6%
Structural analysis of EFS-Con	t = 100 mm $W_c = 27 \text{ kN/m}^3$	70.720	91.720	1.297	1.7%

**Table 16.** Specification of steel box girder bridge

Length	Width	Rating	Curve	$f_c$	$f_y$
90 m	12.455 m	1	0°	27 MPa	400 MPa

**Table 17.** Evaluate safety factor in steel box girder bridge

Marking		Factored moment at the section( $M_u$ )	Nomina flexural resistance( $\Phi M_n$ )	Safety factor ( $\Phi M_n/M_u$ )	Variation of safety factor
Original design factors	t = 80 mm $W_c = 23 \text{ kN/m}^3$	83.480	116.77	1.399	-
Structural analysis of PMC	t = 100 mm $W_c = 23 \text{ kN/m}^3$	84.196	116.77	1.387	1.2%
Structural analysis of EFS-Con	t = 100 mm $W_c = 27 \text{ kN/m}^3$	84.294	116.77	1.385	1.4%

**Table 18.** Evaluate principal stress in steel box girder bridge(maximum negative-flexure section)

Marking		Upper stress( MPa)				Lower stress( MPa)			
		Stress	Allowable stress	Safety factor ( $\Phi M_n/M_u$ )	Decrease of safety factor	Stress	Allowable stress	Safety factor ( $\Phi M_n/M_u$ )	Decrease of safety factor
Original design factors	t = 80 mm $W_c = 23 \text{ kN/m}^3$	138.8	190	1.369	-	172.1	218	1.267	-
Structural analysis of PMC	t = 100 mm $W_c = 23 \text{ kN/m}^3$	141.4	190	1.344	2.5%	174.1	218	1.252	1.5%
Structural analysis of EFS-Con	t = 100 mm $W_c = 27 \text{ kN/m}^3$	142.1	190	1.337	3.2%	174.9	218	1.246	2.1%

감소하였으며, 잔골재를 전기로 산화슬래그로 치환했을 경우 상연응력 최대 3.2%, 하연응력이 최대 2.1% 안전율이 감소하였다. 안전율 자체는 125% 이상을 확보하고 있으므로 구조적 문제점은 없는 것으로 해석되었다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 잔골재를 전기로 산화슬래그로 치환한 고강도 콘크리트 교면포장의 고정하중 증가에 대한 영

향을 검토하기 위하여 현재 교면포장에서 널리 적용되고 있는 PMC 공법과 비교분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 콘크리트용 잔골재 기준에 맞는 전기로 산화슬래그를 이용하여 초속경 라텍스 개질 콘크리트를 제조할 경우, 슬래그로 인한 유동성 증가로 인한 물-시멘트비 저하, 높은 실적율과 밀도의 영향으로 시멘트량 저감 등의 효과를 얻을 수 있었다. 또한 강도특성에서도 기존의 초속경 콘크리트보다 압축강도, 휨강도, 부착강도 모두 우수한 강도발현을 나타내어 전기로 산화슬래그를



이용한 콘크리트 제도가 가능하여 전기로 산화슬래그 잔골재의 사용성을 확인하였다.

2. 전기로 산화슬래그로 잔골재를 100% 치환할 경우, 슬래그 자체의 높은 단위질량으로 인하여 일반 콘크리트에 비하여 18% 정도 단위질량이 증가하는 것으로 측정되었으며 이러한 콘크리트의 단위질량 증가에 대한 구조물 단면력 변화의 영향을 분석한 결과, 100 mm로 포설된 교면포장의 경우 포장하중 증가에 따른 전체 고정하중은 약 1~2% 이내로 증가하는 것으로 해석되었다.

3. 고정하중 증가에 따른 하중조합에 의한 부재력(설계모멘트)은 포장두께 100 mm 및 단위질량 27 kN/m<sup>3</sup> 조건에서 약 2% 이내로 증가되었으며 교면포장하중 증가에 따른 대상 구조물의 단면검토를 수행한 결과, 단면 안전율(허용응력/발생응력)이 약 3% 이내로 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 기 설계된 구조물이 충분한 설계 안전율을 확보하고 있는 상태이며, 포장하중 증가에 의해 단면 안전율 감소량이 매우 미소하여 전기로 산화슬래그를 이용한 보수재의 교면포장 적용 시 단위질량 증가로 인해 구조물의 구조적 안전성에는 영향을 미치지 않는 것으로 해석되어 산업부산물인 전기로 산화슬래그의 콘크리트용 잔골재로서의 사용성 및 활용성을 더욱 넓힐 수 있을 것으로 판단되었다.

### 감사의 글

본 연구는 2011년 국토해양부 건설교통R&D정책인프라 기술사업의 연구비 지원(과제번호 11TRPI-C057479-01)에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Son U. S et al., 2010 : The Shrinkage Characteristics of Concrete in Using Oxidized Electric-Furnace Slag Aggregate, Spring Conference of the Korea Concrete Institute, pp. 253-254.
2. Jo B. S et al., 2009 : Appraisal of Concrete Performance and Plan for Stable Use of EAF Oxidizing Slag as Fine Aggregate of Concrete, Journal of Korea Concrete Institute, **21**(3), pp. 367-375.
3. Lee H. H et al., 2008 : Utilization of Electric Arc Furnace Stainless Steel Oxidizing Slag as Fine Aggregate for Cement Concrete, RIST, **22**(1), pp. 60-68.
4. Kim S. M et al., 2008 : Study on Utilization of Electric Arc Furnace Oxidizing Slag as Fine Aggregates for Cement Concrete, Journal of Korea Civil Engineering, **28**(3A), pp. 407-415.
5. Moon H. Y et al., 2002 : Utilization of Electric Arc Furnace Slag and Converter Slag after Aging for Concrete Aggregate, Journal of Korea Concrete Institute, **14**(4), pp. 597-607.
6. Jung W. K et al., 2012 : Study of Polymer Rapid Setting Cement Concrete Using Electric Arc Furnace Oxidizing Slag Aggregate, Journal of the Korean Institute of Resources Recycling, **21**(1), pp. 30-40.
7. Korea Iron & Steel Association, 2012 : www.kosa.or.kr

### 감사의 글

본 연구는 2011년 국토해양부 건설교통R&D정책인프라 기술사업의 연구비 지원(과제번호 11TRPI-C057479-01)에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

#### 鄭元京



- 현재 (주)삼우IMC 기술연구소 선임연구원
- 당 학회지 제21권 1호 참조

#### 全範駿



- 강릉대학교 토목공학과 공학박사
- 현재 (주)삼우IMC 기술연구소 선임연구원

#### 吉龍洙



- 현재 (주)삼우IMC 기술연구소 선임연구원
- 당 학회지 제21권 1호 참조