

# 전기로산화슬래그 골재를 사용한 EMP차폐 콘크리트 개발에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Development of EMP Shielding Concrete Using Electric Furnace Oxidized Slag Aggregate

민태범<sup>1</sup> · 조형규<sup>2\*</sup>Tae-Beom Min<sup>1</sup> · Hyeong-Kyu Cho<sup>2\*</sup>

(Received October 24, 2021 / Revised October 27, 2021 / Accepted October 28, 2021)

In this study, EMP shielding performance was evaluated using electric furnace oxidized slag to give EMP shielding performance to concrete among the most used materials in construction sites. As a result of the evaluation, the component of the electric furnace oxidation slag was found to have an  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content of 34%, and it was also found to contain an MgO component of about 4.8%. In addition, as a result of conducting an aggregate stability evaluation due to concerns about expansion due to MgO components, it is considered to be suitable for the KS standard. EMP shielding performance evaluation result showed that there was no correlation in EMP shielding performance according to compressive strength, and that general aggregates did not have EMP shielding. However, it was found that the aggregate using the furnace oxidized slag had excellent EMP shielding performance, and the shielding performance improved as the thickness increased. As a result of the durability evaluation, it was found that the EMP shielding concrete has the durability of abortion compared to the general concrete. Through this, it is thought that it will be good to improve the shielding rate if concrete is manufactured using electric furnace oxide slag when constructing EMP shielding structures in the future.

**키워드** : 산업부산물, 콘크리트, EMP 차폐, 전기로산화슬래그 골재

**Keywords** : Recycled resources, Concrete, EMP shielding, Electric furnace oxidized slag

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

전자파(EMP: Electro Magnetic Pulse, 이하 EMP) 피해에 대한 가능성은 1950년대 처음 거론되기 시작하였으며, 1960년대 초 미국에서 전자파에 대한 피해가 처음 발견되면서 이에 대한 연구가 본격적으로 이루어졌다. 전자파 공격이 발생할 경우 주위의 전자통신 시스템뿐만 아니라 수백 km 떨어진 지역까지 라디오, TV 등 전자기 기들이 고장 나는 피해가 발생하기 때문에 사회, 경제적으로 대혼란을 야기하게 되며, 복구에도 막대한 시간과 비용이 필요하다(Shurenkov and Pershenkov 2016).

국내의 경우 2017년 기준으로 전자파 방호성능을 갖춘 시설물

은 12개에 불과하며, 주요 정보통신 기반 시설물은 400여 개 중 2개에 불과한 것으로 보고된 바 있다(Lee et al. 2019) 또한 국가중요 시설물은 EMP 차폐실을 구축하고 있거나 구축 중에 있다. 기존 차폐실은 Fig. 1과 같이 구조물 내부에 밀폐된 도체의 격실로 구성하고 있으며(Kim 2013) 이 중 차폐 판의 경우 도전성이 우수한 금속판을 사용하여 가공 후 조립이나 용접을 통해 결합하고 있는 실정 이다(Kim 2013; Chung 2001). 그러나 이와 같은 방법은 시공 비용이 높아 경제성이 낮으며 가공의 어려움과 용접 및 볼트 체결 부위에서 EMP의 유입가능성 문제점을 가지고 있다(Chen et al. 2004; Dai et al. 2010). 따라서 이를 해결하기 위한 추가 연구가 필요한 실정이나 차폐공법이나 차폐재 개발을 위한 연구는 아직까지 부족한 실정이다.

국외 건설 분야의 전자파 차폐 관련 연구는 주로 카본계 물질

\* Corresponding author E-mail: hkcho@kicet.re.kr

<sup>1</sup>성신양회 기술연구소 연구원 (Sungshin Cement, Bugang-Myeon, Sejong, 30074, Korea)

<sup>2</sup>한국세라믹기술원 선임연구원 (Energy and Environmental Division, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, Jinju, Korea)

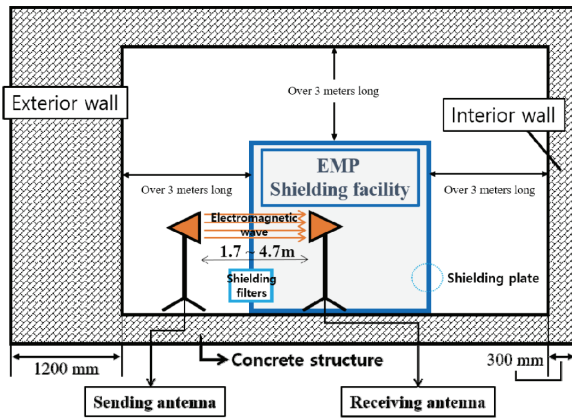


Fig. 1. Concept of existing EMP shielding room

(Carbon fiber, Graphite 등)과 반사성이 큰 금속계 물질(Metal fiber, Metal powder, silver 등)을 사용하여 그 특성을 실험적으로 검증한 바 있다(Xu and Hao 2014; Dou et al. 2007). 그러나 이와 같은 연구는 고가의 신소재를 사용한 연구임으로 상용화 측면에서 무리가 있는 것으로 판단된다. 또한 콘크리트부재에 대한 실험이 아니라 모르타르에 적용한 연구임으로 실제 콘크리트 구조물에 적용하기에는 어려움이 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 건설현장에서 가장 많이 사용되는 재료 중 콘크리트에 EMP차폐 성능을 부여하고자 하였으며 EMP차폐 건축구조물 구축시 구조체 자체로서 EMP차폐성능을 발현하는 콘크리트를 개발하기 위한 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

## 2. 실험개요 및 방법

### 2.1 실험개요

EMP 차폐는 일반적으로 반사손실, 투과손실, 다중반사 손실의 세 가지 원리에 의해 이루어진다. 첫 번째로 재료의 표면 공기층에서 전파가 통과하는 차폐재의 임피던스 차이에 의하여 발생하는 반사손실이며, 두 번째는 주로 탄소계 또는 자성계 재료를 대상으

로 전자파가 차폐재를 통과하면서 저항성 손실에 의해 열로 변환되어 손실되는 흡수손실이 있다. 세 번째는 차폐재 내부로의 재반사와 EMP 산란 등에 의해 투과하지 못하고 전도성 재료를 타고 다른 방향으로 발생하는 다중반사 손실이 있다. 이 세 가지 손실중 가장 효과 적인 것은 세 번째 다중반사 손실이며 이는 재료내 전도성 물질의 함량이 증가 할수록 EMP 차폐 효과는 증가한다(Jin et al. 2013; Kim and Yi 2015; Choi et al. 2019).

따라서 본 연구에서는 세 번째 방법인 다중 반사손실의 원리를 이용하여 건설 재료중 가장 범용적으로 많이 사용되는 콘크리트를 대상으로 금속계열의 골재를 사용하여 EMP차폐 콘크리트를 개발 하고자 하였다. 콘크리트에는 반사손실을 적용하기 위해 다량의 금속성분을 포함하는 전기로산화슬래그 골재를 적용하고 적용된 콘크리트에 대해 Table 1과 같이 성능 평가를 진행 하였다. Table 1은 실험 인자 및 수준을 나타낸 표이다. 콘크리트의 평가항목은 전기로산화슬래그 특성, 콘크리트의 물리적 특성, EMP 차폐율 평가, 내구성 평가를 실시하였다.

Table 2는 본 실험에서 사용한 콘크리트 배합을 나타낸 것이다. 콘크리트배합은 강도에 따른 EMP 차폐율 분석을 위해 일반콘크리트와 고강도 콘크리트로 구분하였으며 Plain배합에서 골재만 전기

Table 1. Experimental items

Item	Experiment	Standard method
Characteristics of electric furnace oxidized slag aggregate	XRF	-
	Safety evaluation	KS F 2507
	Free-CaO	ASTM STP 985
Analysis of physical properties	Flow test	KS F 2402
	Air content test	KS F 2449
	Compressive strength	KS F 2405
EMP shielding performance evaluation	EMP shielding test	MIL-STD-188-125-1
Durability assessment	Rapid carbonation	KS F 2596
	Freeze-thaw	KS F 2456
	Drying shrinkage	KS F 2595

Table 2. Mixing design of cement paste

Specimen	W/C (%)	S/a (%)	W	C	S	G	EOSS	EOSG	AD
27-Plain	46	49	170	370	853	915	-	-	0.8
27-EOS	46	54	170	370	-	-	1,327	1,130	0.8
40-Plain	35	47	170	486	774	900	-	-	1.0
40-EOS	35	52	170	486	-	-	1,209	1,116	1.0

(Source) W: water, C: cement, S: sand, G: coarse aggregate, EOSS: electric arc furnace oxidized slag sand, EOSG: electric arc furnace oxidized slag aggregate

로산화슬래그 골재로 치환하는 방식으로 골재종류에 따른 콘크리트의 성능평가를 하고자 하였다. 물리적 특성 목표치로는 콘크리트 물성을 기준으로  $220 \pm 20\text{mm}$ , 공기량  $4.5 \pm 1\%$ 로 하였다. 또한 압축강도에 의한 EMP차폐성능은 기존문헌이나 연구들은 없는 실정이다. 따라서 일반콘크리트와 고강도콘크리트를 배합변수로 설정하고 강도에 다른 EMP 차폐 성능을 평가 하였다.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 전기로산화슬래그의 특성 분석

전기로산화슬래그의 성분분석은 XRF장비를 활용하여 성분 분석을 하였으며 및 안정성 평가는 KS F 2507에 의하여 무수황산나트륨( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )를 사용하여 실시하였다. Free-CaO 함량분석 실험 방법은 ASTM STP 985에 따라 Ethylene glycol, Brom cresol green, N/10-HCl 용액을 사용하여 실시하였다.

### 2.2.2 콘크리트 물성평가 및 제조 방법

콘크리트의 기본 물성측정은 유동성 평가, 공기량 측정, 압축강도 측정을 실시하였으며 실험은 KS기준에 따라 실시하였다. EMP 차폐율 평가는 콘크리트내 수분이 EMP 차폐에 영향을 미치기 때문에 최대한 콘크리트내 수분을 제거하기 위해 타설 2시간 후 Fig. 2와 같이 가열온도 곡선에 따라 7일간 증기양생을 실시하였다. 증기양생 이후는  $60^\circ\text{C}$ 의 건조기에서 2주간 건조를 실시하였다. 증기양생과 건조를 실시한 이유는 실험체내 수분은 EMP차폐성능에 많은 영향을 미치기 때문에 최대한 수분에 의한 영향을 배제하기 위해 위와 같이 양생 하였다.

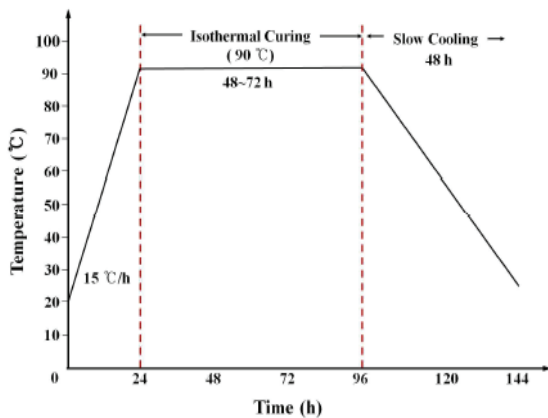
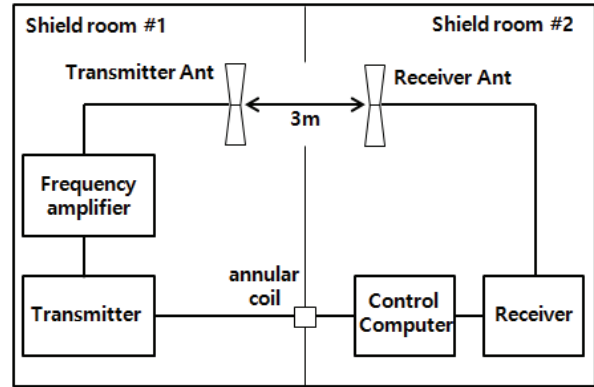


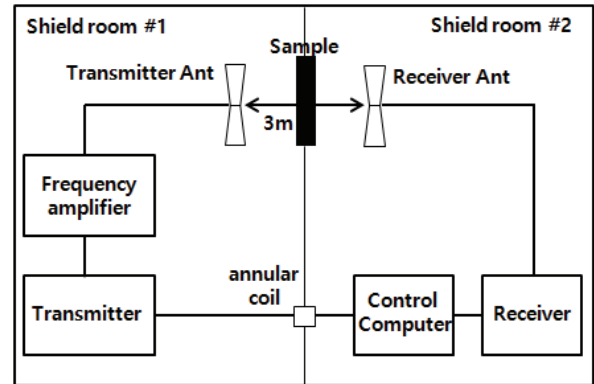
Fig. 2. Curing temperature and time

### 2.2.3 EMP 차폐율 평가

미군 시방서 MIL-STD-188-125-1의 실험방법을 준용하여 실시하였으며 두께별 실험체를 제작하여 두께에 따른 EMP차폐율 평가를 실시하였다. 그림 Fig. 3은 EMP차폐 시험기기 배치개념도를 나타낸 것이며 Fig. 4는 측정주파수에 따른 안테나를 나타낸 것이다. EMP차폐 측정시 주파수에 따라 교체해서 사용해야 한다.

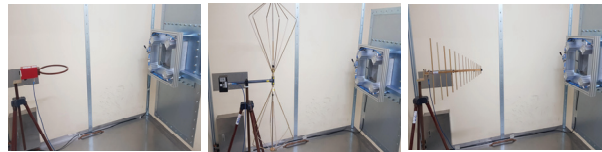


a) Reference measurement diagram



b) Sample shielding measured configuration

Fig. 3. EMP shield tester layout concept



a) LOOP antenna b) Bi-conical antenna c) Log periodic antenna

Fig. 4. EMP Shield test equipment layout conceptual diagram

이는 안테나의 측정 범위 주파수가 있기 때문이다. 주로 3가지의 안테나를 사용하며 LOOP 안테나의 경우 10kHz~20MHz 까지 측정하며 Bi-Conical 안테나의 측정 범위는 20MHz~300MHz이다. 또한 Log Periodic 안테나는 300MHz~2GHz까지의 범위로 측정한다.

### 3. 시험결과 및 고찰

#### 3.1 전기로산화슬래그 골재 분석 및 안정도 평가

본 연구에서 사용한 전기로산화슬래그를 골재로 사용하기 전 성분 분석 및 Again 30일 이후 안정성 평가를 진행하였다.

골재의 성분분석은 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량에 따라 차폐율이 상이함으로 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량 위주로 성분 분석을 실시하였으며 분석결과는 Table 3과 같다.

전기로산화 슬래그골재의 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량은 34.63%로 나타났다. 높은 금속 성분 함량이 있는 것으로 나타났다.

Table 4는 골재 안정성 실험결과를 나타낸 것이며 5회에 걸쳐 평균값을 나타내었다. 또한 비교대상이 필요하므로 일반 굵은골재와 일반 잔골재의 안정성 또한 동일한 조건으로 실험하여 결과를 나타내었다. 실험결과 전기로 산화슬래그를 제외한 모든 골재는 KS F 2526에서 정의하는 안정성 범위에 만족하는 것으로 나타났으나 전기로 산화슬래그 골재는 KS F 2526의 굵은골재 안정성 기준인 12% 범위에는 만족하는 것으로 나타났다. 잔골재의 안정성 기준인 10% 이하에는 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 EMP차폐 콘크리트 제조시 전기로 산화슬래그를 굵은골재와 잔골재를 모두 사용하는 것은 가능할 것으로 사료된다. 추후 전기로 산화슬래그의 정확한 안정성 검토를 위해 Again 기간에 따른 골재 안정성 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

Table 3. Chemical composition of industrial by-product aggregates

Specimen	Chemical composition(wt.%)						
	lg-loss	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
EOS	2.71	17.08	13.19	34.63	21.44	4.84	0

Table 4. Evaluation result of stability of industrial by-product aggregate

Specimen	Stability of aggregates(%)					
	1st	2nd	3rd	4th	5th	Average
Coarse aggregate	3.4	3.5	3.6	3.5	3.5	3.5
Fine aggregate	5.0	4.7	4.7	4.7	4.9	4.8
EOS	8.2	9.4	8.7	8.6	8.9	8.76

Table 5. Free-CaO analysis of industrial by-product aggregate

Specimen	Free-CaO(%)
EOS	0.13
Fine aggregate	0.14
Coarse aggregate	0.11

Table 5는 산업부산물 골재의 Free-CaO 함량분석 결과를 나타낸 것이다. Free-CaO 함량 분석 결과 전기로 산화슬래그의 Free-CaO의 함량은 극소량으로 나타났다. Free-CaO 함량이 높으면 골재의 팽창으로 인해 균열을 야기시킬 수 있다. 하지만 전기로 산화슬래그는 Free-CaO 함량이 극소량임으로 팽창에 의한 균열은 없을 것으로 판단된다. Free-CaO 함량이 1%이상일 경우 팽창에 의한 균열이 발생할 수는 있지만 현재까지는 명확한 기준은 없다. 따라서 Free-CaO 함량과 팽창균열과의 상관관계를 분석하기 위해서는 길이변화시험, 건조수축시험등과 같은 비교 분석 연구가 필요하다.

#### 3.2 콘크리트의 물리적 성능평가 결과

Fig. 5는 유동성 및 공기량측정 결과를 나타낸 그림이다. 유동성 측정 결과 일반골재를 사용한 콘크리트와 전기로산화슬래그 골재를 사용한 콘크리트의 유동성은 유사한 것으로 나타났다. 그러나 전기로 산화슬래그골재를 사용한 콘크리트는 전기로산화슬래그 골재의 높은 비중으로 인하여 무너지는 경향이 있었다. 따라서 추후 배합에서는 S/a조정을 통해 보완해야할 필요성이 있다.

공기량 실험결과 전기로산화슬래그 골재를 사용한 콘크리트는 Plain의 비해 공기량이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 산업부산물 잔골재의 제조공정이 부순모래의 제조공정과 흡사한 파쇄·분쇄 및 분급공정에 의해 제조되기 때문에 공기량이 감소되는 것으로 사료된다.

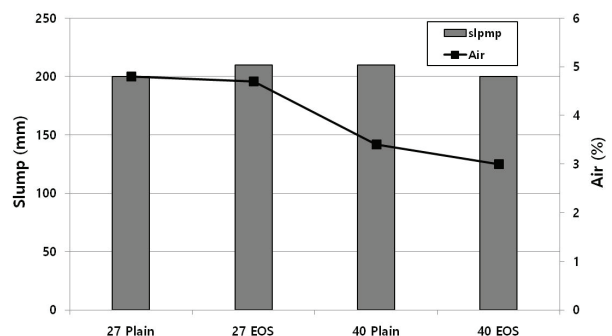


Fig. 5. Result of experiment on slump test and air content

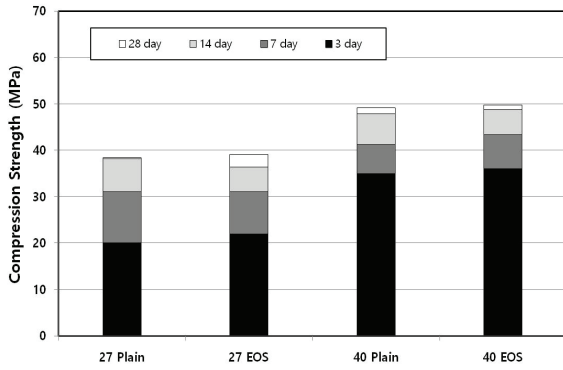


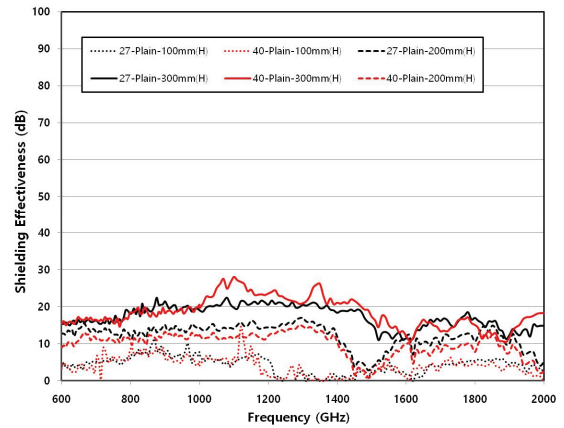
Fig. 6. Result of compressive strength

Fig. 6은 콘크리트의 압축강도 결과를 나타낸 그림이다. 압축강도 측정결과 모든 실험체는 배합설계 강도기준에 만족하는 것으로 나타났다. 전기로산화슬래그 골재를 사용한 실험체는 일반 Plain 시험체 보다 높은 강도를 나타냈다. 이는 전기로 산화슬래그의 잔 골재는 골재의 입형이 부순모래의 특성을 가지고 있음으로 인해 골재의 부착강도 증진 효과이외에도 골재 밀도가 세척사에 비해 높기 때문에 Plain보다 압축강도가 높게 발현되는 것으로 사료된다. 또한 전기로 산화슬래그 굵은골재의 입형이 다공성에 의해 굵은골재와 시멘트 페이스트의 부착면이 거칠어짐에 따라 강도 증진 효과가 나타나는 것으로 사료된다.

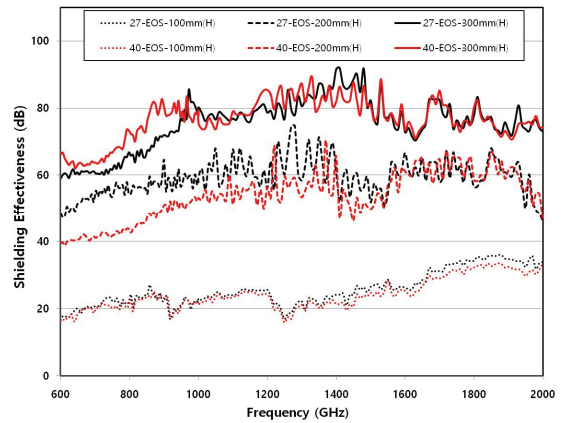
### 3.3 EMP 차폐 성능 평가 결과

Fig. 7은 미군 시방서 MIL-STD-188-125-1의 실험방법을 준용하여 600MHz~2000MHz 주파수 영역범위에서 골재의 종류에 따른 콘크리트의 주파수 영역별 차폐성능 결과를 나타낸 그림이다. 차폐 성능 평가결과 일반 콘크리트의 경우 차폐율이 평균 20dB이하로 매우 낮게 나타났으며 두께의 증가에도 불구하고 차폐율이 매우 낮게 나타났다. 그러나 전기로산화슬래그가 사용된 콘크리트의 경우 두께가 증가됨에 따라 높은 차폐성능을 나타냈다. 100mm의 실험체에서도 20dB이상의 차폐율을 나타냈으며 200mm로 두께가 상향되면 차폐효과는 크게 상향되는 것으로 나타났다. 또한 두께 300mm에서는 MIL-STD-188-125-1기준 차폐율 80dB를 만족하는 수치도 나타내기도 하였다.

전기로 산화슬래그를 사용한 콘크리트의 배합강도 27MPa, 40MPa의 강도에 따른 차폐율을 분석 하였을시 차폐율은 배합강도 27MPa의 콘크리트가 소량 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 콘크리트 배합에서 알 수 있듯이 콘크리트 1m<sup>3</sup> 배합시 27MPa의 콘크리트가 전기로산화슬래그 골재가 40MPa 콘크리트에 비해 많이



a) EMP shielding performance test results by plain concrete



b) EMP shielding performance test results by EMP concrete

Fig. 7. EMP shielding performance test results

사용되었기에 나타나는 현상으로 판단되며 향후 EMP 차폐율을 더욱 향상시키기 위해서는 전기로산화슬래그 골재 사용 비율을 증가시키는 방법이 유효 할 것으로 사료된다.

### 3.4 내구성 평가 결과

#### 3.4.1 동결융해 평가 결과

Fig. 8은 동결융해 평가 결과를 나타낸 그림이다. 동결융해 평가 결과 압축강도에 따른 동탄성 계수가 상이 하게 나타났다. 압축강도가 높을수록 상대동탄성 계수는 높게 나타났으며 압축강도가 낮으면 상대 동탄성 계수도 낮게 나타났다. 또한 전기로산화슬래그 골재와 일반 골재를 사용한 콘크리트의 상대 동탄성 계수는 유사하게 나타났으며 동결융해 300cycle까지 동탄성지수는 60% 이상 유지하는 것으로 나타남으로 전기로산화슬래그 골재를 사용한 콘크리트는 동결융해에 의한 내구성은 만족하는 것으로 판단된다.

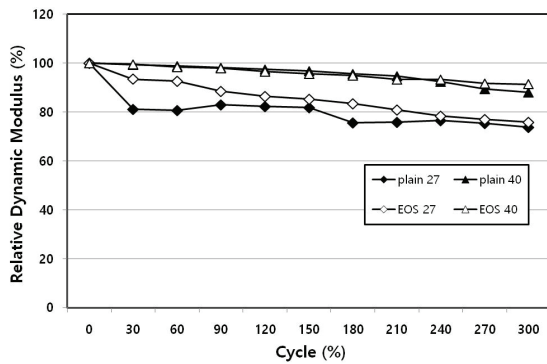


Fig. 8. Freeze-thawing performance test results

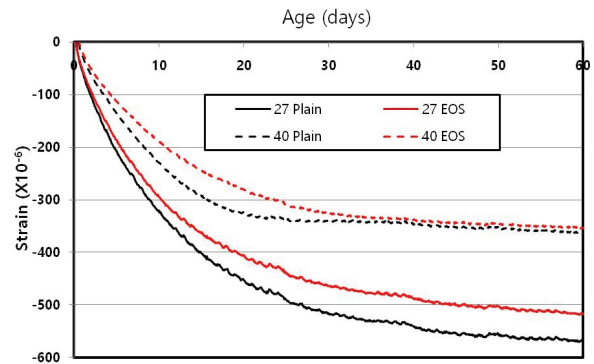


Fig. 10. Carbonation depth of penetration test results

### 3.4.2 탄산화 평가결과

Fig. 9는 탄산화 측정 결과를 나타낸 그림이다. 측정결과 압축 강도가 낮을수록 탄산화 저항성은 낮게 나타났다. 또한 전기산화 슬래그가 사용된 콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 탄산화 진행 속도가 빠른 것으로 나타났다. 이는 전기산화슬래그골재가 슬래그계열이며 SiO<sub>2</sub> 성분이 높고 알칼리 수치가 낮음으로 나타나는 현상으로 판단된다.

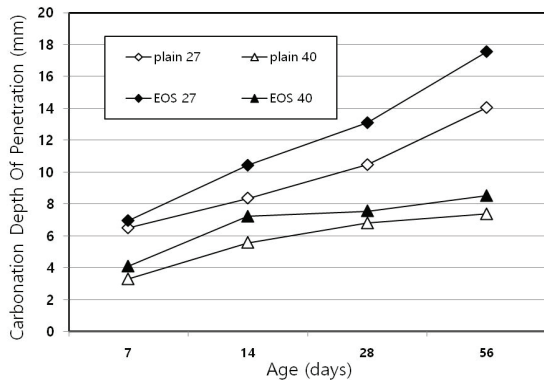


Fig. 9. Carbonation depth of penetration test results

### 3.4.3 건조수축 평가결과

Fig. 10은 건조수축 실험결과를 나타낸 그림이다. 건조수축 실험 결과 일반 콘크리트 및 전기산화슬래그를 사용한 콘크리트는 수축이 발생 하였다. 또한 물시멘트비가 높을수록 수축은 높게 발생 하였다. 전기산화슬래그를 사용한 콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 수축이 동등하거나 낮게 나타나는 현상을 나타냈다. 이는 전기산화슬래그 성분 중 팽창을 발생시키는 MgO 성분이 소량의 팽창이 진행되어 수축량이 감소하는 것으로 판단된다.

## 4. 결론

전기산화슬래그 골재를 사용하여 EMP차폐콘크리트 개발을 위해 기초적인 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 전기산화슬래그 골재의 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량 34%로 나타났으며 MgO 성분 또한 4.8%가량 포함하는 것으로 나타났다.
2. MgO 성분으로 인한 팽창우려로 골재안정성 평가를 실시한 결과 KS기준에 적합한 것으로 나타났다.
3. 유동성 결과 일반골재를 사용한 콘크리트와 전기산화슬래그 골재를 사용한 콘크리트의 유동성은 유사한 것으로 나타났으나 전기산화슬래그골재를 사용한 콘크리트는 전기산화슬래그 골재의 높은 비중으로 인하여 무너지는 경향이 있었다. 따라서 추후 배합에서는 S/a조정을 통해 보완해야할 필요성이 있다.
4. 공기량 실험결과 전기산화슬래그 골재를 사용한 콘크리트는 Plain의 비해 공기량이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 산업부산물 잔골재의 제조과정시 파쇄에 의해 나타나는 현상으로 판단된다.
5. EMP 차폐성능 평가결과 압축강도에 따른 EMP차폐성능은 상관성이 없었으며 일반골재는 EMP차폐가 되지않은 것으로 나타났다. 그러나 전기산화슬래그를 사용한 골재는 EMP 차폐 성능이 우수 했으며 두께가 증가할수록 차폐성능은 향상되는 것을 알 수 있었다.
6. 내구성 평가결과 전기산화 슬래그 골재를 사용한 콘크리트는 동결융해에 저항성이 강하게 나타났으며 건조수축은 일반 콘크리트보다 수축량이 낮게 나타났다.

### Conflicts of interest

None.

### 감사의 글

본 논문은 국토교통부 건설기술연구사업 (과제번호: 21SCIP-B146646-04)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### References

Chen, B., Wu, K., Yao, W. (2004). Conductivity of carbon fiber reinforced cement-based composites, *Cement and Concrete Composites*, **26(4)**, 291-297.

Choi, H.J., Park, J.H., Min, T.B., Jang, H.O., Lee, H.S. (2019). An experimental study on the evaluation of EMP shielding performance of concrete applied with ATMSM using Zn-Al alloy wire, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, **19(3)**, 209-217.

Chun, C.S. (2016). North Korean nuclear crisis after the fifth nuclear test and South Korea's future strategy, *The Journal of Strategic Studies*, **23(3)**, 7-38.

Chung, D.D.L. (2001). Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials, *Carbon*, **39(2)**, 279-285.

Dai, Y., Sun, M., Liu, C., Li, Z. (2010). Electromagnetic wave absorbing characteristics of carbon black cement-based composites, *Cement and Concrete Composites*, **32(7)**, 508-513.

Dou, Z., Wu, G., Huang, X., Sun, D., Jiang, L. (2007). Electromagnetic shielding effectiveness of aluminum ally-fly ash composites,

*Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **38(1)**, 186-191.

Jin, L., Haiyan, Z., Ping, L., Xijiang, Y., Guoxun, Z. (2013). The electromagnetic shielding effectiveness of a low-cost and transparent stainless steel fiber/silicone resin composite, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, **56(2)**, 328-334.

Kim, H.G., Lee, H.K. (2008). Development of electromagnetic wave absorbing/shielding construction materials, *Magazine of the Korea Concrete Institute*, **20(6)**, 70-74 [in Korean].

Kim, H.S. (2013). Reality and developmental methods of EMP threats, *Defense & Technology*, **414**, 98-103.

Kim, Y.J., Yi, C.K. (2015). The UHF wave shielding effectiveness of mortar with conductive inclusions, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, **31(4)**, 103-110.

Lee, N.K., Park, G.J., Park, J.J., Kim, S.W. (2019). A study on the electrical conductivity and electromagnetic shielding of high performance fiber reinforced cementitious composites (HPFRCC), *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, **23(2)**, 37-43.

Lee, W.G. (2013). EMP protecting measurements and required technology, *The Proceedings of the Korea Electromagnetic Engineering Society*, **24(1)**, 79-96 [in Korean].

Shurenkov, V.V., Pershenkov, V.S. (2016). Electromagnetic pulse effects and damage mechanism on the semiconductor electronics, *Facta Universitatis, Series: Electronics and Energetics*, **29(4)**, 621-629.

Xu, Z., Hao, H. (2014). Electromagnetic interference shielding effectiveness of aluminum foams with different porosity, *Journal of Alloys and Compounds*, **617(25)**, 207-213.

#### 전기로산화슬래그 골재를 사용한 EMP차폐 콘크리트 개발에 관한 실험적 연구

본 연구에서는 건설현장에서 가장 많이 사용되는 재료 중 콘크리트에 EMP차폐 성능을 부여하기 위해 전기로 산화슬래그를 사용하여 EMP차폐 성능 평가를 실시하였다. 평가 결과 전기로산화슬래그의 성분은 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량 34%로 나타났으며 MgO 성분 또한 4.8%가량 포함하는 것으로 나타났다. 또한 MgO 성분으로 인한 팽창우려로 골재안정성 평가를 실시한 결과 KS기준에 적합한 것으로 사료된다. EMP 차폐성능 평가결과 압축강도에 따른 EMP차폐성능은 상관성이 없었으며 일반골재는 EMP차폐가 되지 않은 것으로 나타났다. 그러나 전기로산화슬래그를 사용한 골재는 EMP 차폐성능이 우수 했으며 두께가 증가할수록 차폐성능은 향상되는 것을 알 수 있었다. 내구성 평가결과 EMP 차폐 콘크리트는 일반 콘크리트와 유사한 내구성을 보여주는 것으로 나타났다. 이를 통해 향후 EMP차폐 구조물 구축시 전기로 산화슬래그를 사용하여 콘크리트를 제조한다면 차폐율 향상에 좋을 것으로 사료된다.