J Rec Const Resources 9(4)478-482(2021)
https://doi.org/10.14190/JRCR.2021.9.4.478

Print ISSN : 2288-3320
Online ISSN : 2288-369X

전기로산화슬래그를 활용한 콘크리트의 차폐효과 측정 방법의 유효성 검증 연구

A Study on Validation of the Shielding Effectiveness Measurement Method of the Concrete Containing Electric Arc Furnace Oxidizing Slag

장홍제[1*] · 이한희[2] · 최효식[3] · 송태승[4] · 조원서[5]
Hong-Je Jang[1*] · Han-Hee Lee[2] · Hyo-Sik Choi[3] · Tae-Seung Song[4] · Won-Seo Cho[5]

(Received October 15, 2021 / Revised October 29, 2021 / Accepted October 29, 2021)

In this paper, methods for manufacturing shielding concrete by recycling steelmaking slag discarded as industrial waste and measuring the shielding effectiveness of the shielding concrete were studied. By comparing the result of shielding effectiveness measurement of this concrete block with shielding effectiveness measurement of the structure constructed with this concrete, the measurement system for measuring shielding effectiveness of the concrete block was verified. The size of the concrete structure is 2.9 x 2.9 x 3.4m and the concrete block is 0.3 x 0.3 x 0.2m. The frequency band used for mesurement is 600MHz - 2GHz, the types of concrete used to measure the shielding effectiveness are general concrete and concrete containing electric arc furnace oxidizing slag. In the case of the concrete structure, reinforcing rebars are installed at intervals of 15cm for structural safety, as the frequency increase, the electromagnetic wave properties of rebars gradually decreased, there was a slight difference in the measurement results. In conclusion, the measurement result of shielding effectiveness of the concrete block is similar to the result of the concrete structure. It is thought that it can be sufficiently utilized for electromagnetic wave engineering design, and the concrete shielding effectiveness measurement system using standard specimens was verified.

키워드 : 콘크리트, 차폐 콘크리트, 전기로산화슬래그, EMP 차폐

Keywords : Concrete, Shielding concrete, Electric arc furnace oxidizing slag, EMP shielding

1. 서 론

최근 정보통신기반보호법에 따라 주요정보통신기반시설 내의 서버실, 정보통신실 등의 핵심 장비 및 시설을 보호하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 일반적으로 주요정보통신기반시설은 강한 전자기파로부터 차폐실, 차폐 필터 그리고 차폐 렉(Rack) 등을 사용하여 보호되고 있다. 그러나 이와 같은 전자기파 방호시설은 추가적인 설치 비용 발생과 공간적 제한 등과 같은 비효율적 문제점이 발생하여, 민간 분야뿐만 아니라 국방 분야에서도 이와 같은 쟁점이 대두되고 있다.

이와 같은 문제점을 해결하고자 건축자재의 물성에 전자기파 차폐특성을 부여하고 차폐성능 측정 관련 연구와 함께(Jang et al. 2018; Jang et al. 2019; Jang et al. 2020), 차폐성능을 보유한 건축자재로 건축 후 발생하는 추가적인 차폐효과를 통해 주요정보통신기반시설을 강한 전자기파로부터 보호하는 방법으로 활용하기 위한 연구가 진행되고 있다(National Intelligence Service, Ministry of Science and ICT 2020). 이러한 연구는 콘크리트 건축물이나 구조물이 갖는 차폐효과를 계산 및 예측할 수 있는 가능성을 제시하며, 이를 통해 효율적인 방호시설을 구축할 수 있을 것이다.

* Corresponding author E-mail: jahoje@ktl.re.kr
[1]한국산업기술시험원 디지털산업본부 주임연구원 (The S.M.A.R.T Industry Division, KTL, Gyeongsangnam-do, 52852, Korea)
[2]한국산업기술시험원 디지털산업본부 연구원 (The S.M.A.R.T Industry Division, KTL, Gyeongsangnam-do, 52852, Korea)
[3]한국산업기술시험원 디지털산업본부 책임연구원 (The S.M.A.R.T Industry Division, KTL, Gyeongsangnam-do, 52852, Korea)
[4]한국산업기술시험원 디지털산업본부 수석연구원 (The S.M.A.R.T Industry Division, KTL, Gyeongsangnam-do, 52852, Korea)
[5]한국산업기술시험원 디지털산업본부 수석연구원 (The S.M.A.R.T Industry Division, KTL, Gyeongsangnam-do, 52852, Korea)

Copyright ⓒ 2021 by Korean Recycled Construction Resources Institute

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

철강 제작 시 부산물로 발생하여 버려지는 전기로산화슬래그가 보유한 좋은 전기전도성 특성을 활용하여 일반 콘크리트의 골재로 사용되어 차폐특성을 보유할 수 있도록 하는 연구가 진행되고 있다(Choi et al. 2019). 전기로산화슬래그를 차폐용 콘크리트 골재로 활용하기 위해서는 전기로산화슬래그가 콘크리트에 배합되었을 때의 차폐특성을 정확히 알아야만 하기에 측정방법에 대연 유효성 검증 연구가 반드시 필요하다. 본 논문에서는 일반 콘크리트와 전기로산화슬래그 골재가 포함된 콘크리트의 차폐효과를 측정하고 결과를 비교하였다. 평면 재료 및 차폐 함체의 차폐효과 측정에 대표적으로 사용되는 표준인 ASTM-D4953와 MIL-STD-188-125 를 준용하여 차폐효과 측정하였다. 앞의 표준을 준용하였지만 해당 표준 조건에서 시험방법을 수행할 수 없는 문제가 있어, 일반 콘크리트 및 전기로산화슬래그가 포함된 콘크리트의 차폐효과 측정에 적용하기 위한 많은 검증 방법이 필요로 하다. 지금까지는 구조적인 한계와 물리적 한계로 인하여, 콘크리트 블록을 활용하여 ASTM-4935와 MIL-STD-188-125의 차폐효과 측정 결과를 비교하여 두 방법이 유사한 결과가 나타난다는 것을 확인할 수 있었다(Jang et al. 2020). 이를 통하여 콘크리트 블록을 활용한 차폐효과 측정방법의 유효성이 검증되었지만, 해당 콘크리트와 같은 제조 및 배합 방식으로 지어진 콘크리트 건축물에서도 기존의 방법과 유사한 차폐효과를 보유할 것인지에 대한 의문이 남아있었다.

이와 같은 문제를 본 논문에서는 실험적으로 확인하고자 하였다. 콘크리트 블록(0.3 x 0.3 x 0.2m)과 비교 대상이 되는 콘크리트 건축물은 2.9 x 2.9 x 3.4m의 크기로 제작되었고, 구조적 안전성을 위하여 철근이 15cm 간격으로 배치되어 있다. 또한, 콘크리트 블록의 경우에는 측정 시스템에 존재하는 개구의 크기에 의하여 발생하는 컷-오프 영향으로 인하여 특정 주파수 이하에서 구조적인 차폐효과가 발생하기 때문에 차폐효과 측정 주파수 대역은 600MHz - 2GHz로 설정하였다.

2. 콘크리트의 차폐효과 측정방법

콘크리트의 차폐효과를 측정하기 위해서는 Fig. 1과 같이 차폐함체의 차폐효과를 측정하는 표준인 MIL-STD-188-125가 주로 사용되지만, 이는 기존의 금속으로 이루어진 구조체를 측정하는 방법이므로 본 논문에서는 해당 표준을 준용한 차폐효과 측정 방법을 활용하였으며, 차폐효과 측정에 대한 식은 다음과 같다. 여기서, $SE(dB)$는 차폐효과(Shielding Effectiveness, SE)로 단위는 dB(데시벨)이다. $Signal_{REF}$는 기준이 되는 신호이며, 측정을 위한 송신과 수신안테나 사이에 빈 공간으로 측정한 신호의 세기이다. $Signal_{MEA}$는 차폐대상을 송신과 수신안테나 사이에 놓고 측정한 신호의 세기이다. 측정 대상이 되는 콘크리트에 대한 정보는 Table 1과 같다.

$$SE = Signal_{REF} - Signal_{MEA} \ (\mathrm{dB}) \tag{1}$$

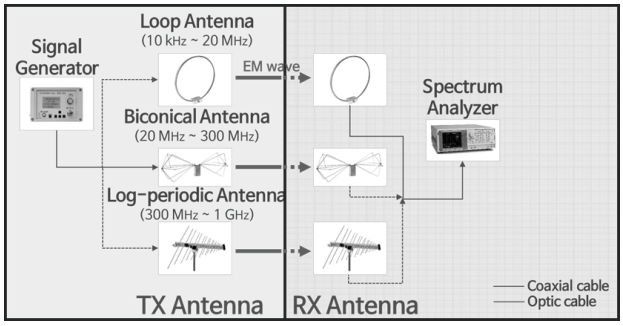

Fig. 1. Configuration of SE measurement system in MIL-STD-188-125

Table 1. Concrete specification

	Size	Concrete type
Block	0.3×0.3×0.2m	Normal(plain)
		Electric arc furnace oxidizing slag
Sturcture	2.9×3.4×2.9m	Normal(plain)
		Electric arc furnace oxidizing slag

2.1 콘크리트 블록

콘크리트 블록에 대한 차폐효과 측정방법은 앞서 언급된 것과 같이 기존의 표준을 활용할 수 없기에 특수하게 제작된 측정 지그를 활용하여 차폐효과를 측정하였다. 콘크리트 블록의 크기에 따라 정사각형 개구를 차폐실 벽면에 뚫고 콘크리트 블록을 고정한 뒤 차폐효과 측정을 수행하였다. 이때, 개구에 의해 발생하는 컷-오프(Cut-off) 주파수는 식 (2)를 통해 계산될 수 있다(Paul 2006).

$$Frequency_{cut-off} = \frac{c}{2L} \ (\mathrm{MHz}) \tag{2}$$

여기서, c는 빛의 속도이며, L은 개구의 한 변의 길이이다. 콘크리트 블록의 고정을 위하여 사용되는 두께인 6cm를 제외한 개구의 크기는 24cm이므로, 위의 식을 사용하면 625MHz의 컷-오프 주파수를 계산할 수 있고, 측정의 편의성을 위하여 600MHz부터 차폐효과 측정을 수행하였다.

차폐효과 측정을 위한 시스템 구성은 Fig. 2와 같이 구성되며, 송수신 안테나의 거리는 시편의 두께를 제외하고 3.05m이다. 그

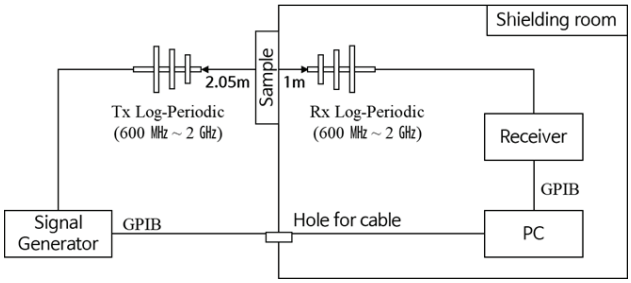

Fig. 2. Configuration of SE measurement system with concrete block

Fig. 3. SE test environment of concrete block

리고 시편을 비운 뒤에 측정한 신호를 기준($Signal_{REF}$)으로 하고 시편에 콘크리트 블록을 위치시킨 뒤 측정한 신호($Signal_{MEA}$)를 식 (1)을 활용하여 차폐효과를 측정한다. 실제 측정한 환경은 Fig. 3과 같으며, 콘크리트 블록을 금속 틀과 구리테이프를 사용하여 측면을 밀봉하여 고정지그에 올린 뒤에 차폐효과 측정을 수행하였다(Jang et al. 2020).

2.2 콘크리트 구조물

콘크리트 구조물은 차폐함체와 두께를 제외한다면 함체와 동일한 구조이므로 MIL-STD-188-125의 기준을 적용하여 차폐효과를 측정하였다.

차폐효과 측정을 위한 시스템 구성은 Fig. 4와 같이 구성되며, 기준신호($Signal_{REF}$)는 무반사실에서 동일한 거리를 두고 측정하였으며, 콘크리트 구조물에 측정 시스템을 위치 시킨 뒤 측정한 신호($Signal_{MEA}$)를 식 (1)을 활용하여 차폐효과를 측정한다. 측정 주파수 대역은 600MHz - 2GHz이다.

콘크리트 구조물의 실제 측정환경은 Fig. 5와 같으며, 구조물 내부 진입을 위하여 한 쪽 벽면에는 차폐도어가 설치되었다. 콘크리트 구조물의 차폐효과 성능측정에 영향을 주지 않도록 차폐효과 80dB 이상의 차폐도어가 설치되었으며, 콘크리트 구조물의 차폐효과 측정은 측면에서 실시하였다.

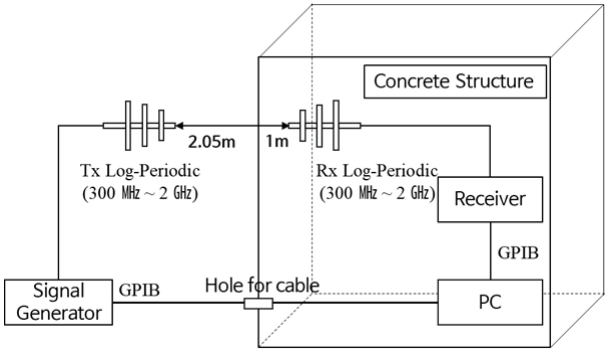

Fig. 4. Configuration of SE measurement system with concrete structure

Fig. 5. SE test environment of concrete block

3. 차폐효과 측정결과 비교분석

콘크리트 블록과 콘크리트 구조물의 차폐효과는 각각 일반 콘크리트와 전기로산화슬래그가 추가된 콘크리트로 제작하여, 두 가지 조건에서 차폐효과 성능측정을 수행하였다. 실험조건에서 측정 대상의 크기나 구조를 제외하고는 동일한 조건으로 측정한 결과를 분석하였다.

3.1 일반 콘크리트 차폐효과 비교

일반 콘크리트에 대한 차폐효과 측정결과는 Fig. 6, 7과 같이 나타난다. 측정결과가 대체로 유사한 경향을 보여주는 것을 본 결과를 통하여 확인할 수 있으며, 차폐효과가 가장 크게 차이나는 대역은 800MHz와 1.8GHz이다. 대체적으로 유사한 경향을 보여주지만 800MHz 대역에서 차이가 발생하는 것은 콘크리트 구조물이 포함한 철근에 의한 효과로 예상된다(Hyun et al. 2012). 콘크리트 내부에 철근은 메쉬형태로 설치되어 있으며, 이러한 철근의 형태 및 구조는 10kHz의 낮은 주파수에서 차폐효과가 높게 나타나다가 주파수가 상승할수록 차폐효과가 서서히 낮아지는 특성을 보유하고 있어 해당 특성이 나타나는 것으로 예상되며, 차폐효과가 낮을수록 철근의 특성에 대한 영향이 크게 나타나고 있다. 반면에 1.8GHz 대역에서 차폐효과 차이가 나는 것은 콘크리트 블록을 차폐실 벽면 설치하고 고정지그를 활용하여 측정하기 때문에 나타나는 현상으로 예상된다.

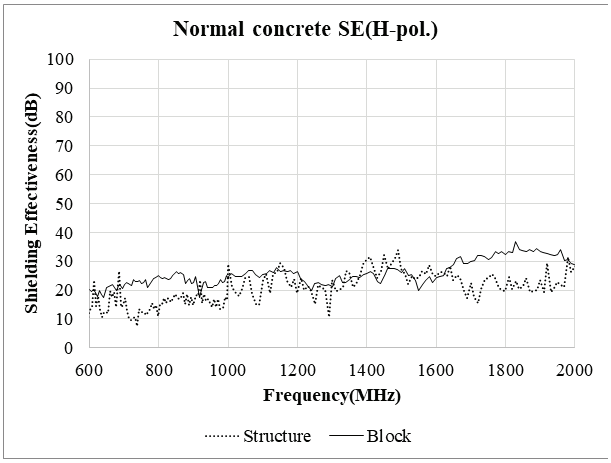

Fig. 6. Normal concrete test result with concrete block and structure(H-pol.)

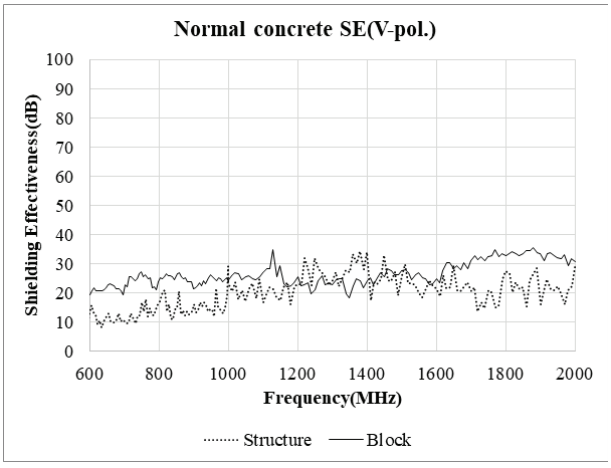

Fig. 7. Normal concrete test result with concrete block and structure(V-pol.)

측정된 환경의 차이로 인하여 발생하는 차이로 예상되지만, 차폐율의 차이가 약 5~10dB로 매우 근사하게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 두 측정 결과의 경향의 유사성을 통해 차폐용 콘크리트 개발과 적용에 활용할 수 있을 것으로 생각되며 특정 주파수 대역에서는 높은 신뢰도를 확보됨을 볼 수 있다.

3.2 전기로산화슬래그 콘크리트 차폐효과 비교

전기로산화슬래그를 추가한 콘크리트에 대한 차폐효과 측정결과는 Fig. 8, 9와 같이 나타난다. 측정 결과를 통하여, 일반 콘크리트에 비해 전기로산화슬래그가 포함된 콘크리트가 높은 차폐율을 보유하고 있다는 것을 확인할 수 있으며, 1.5GHz 이하의 대역에서 아주 유사한 측정결과가 나타남을 확인할 수 있다. 일반적인 콘크리트와 달리 800MHz에서도 유사한 결과가 나타난다. 반면 1.5GHz 이상의 대역에서의 차폐 특성은 일반 콘크리트와 동일하게 측정환경의 영향을 받은 것으로 판단된다.

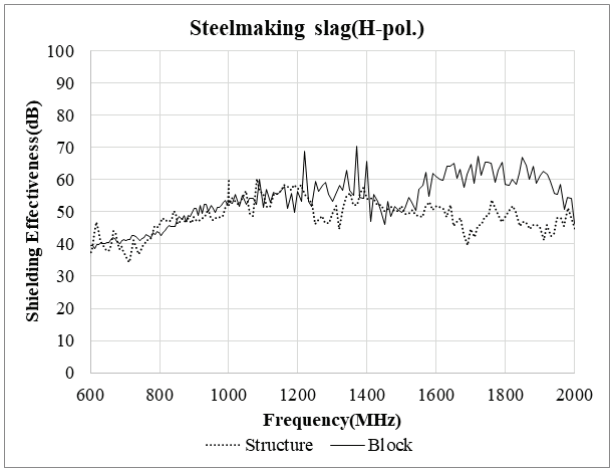

Fig. 8. Steelmaking slag concrete test result with concrete block and structure(H-pol.)

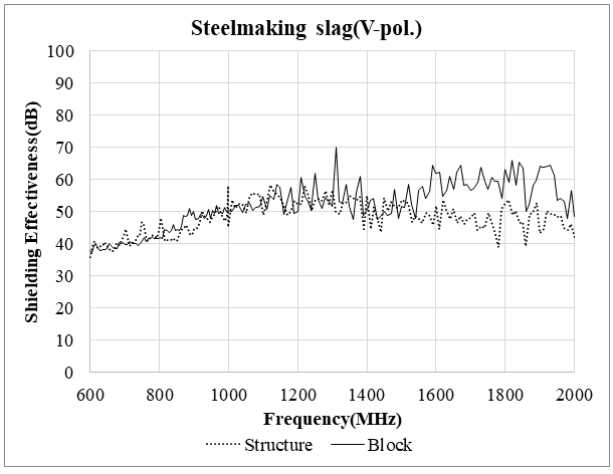

Fig. 9. Steelmaking slag concrete test result with concrete block and structure(V-pol.)

4. 결 론

본 연구에서는 전기로산화슬래그를 활용한 콘크리트에 대한 차폐효과 성능측정 방법에 대하여 연구하였다. 기존의 작은 콘크리트 블록의 차폐효과 측정 방법의 결과를 기반으로 실제 콘크리트 구조물을 만들어 차폐효과를 측정한 경우에도 유사한 차폐효과를 측정할 수 있는지 실험적으로 결과를 분석하였다. 각 측정방법과 각 일반 및 전기로산화슬래그 콘크리트의 차폐효과를 측정하여

다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 콘크리트 블록과 콘크리트 구조물의 차폐효과가 대체로 유사함을 확인하였으며, 1GHz 이하에서는 측정 대상의 차폐 성능이 우수할수록 차폐효과의 차이가 적었으며, 1.5GHz 이상에서는 측정 대상의 차폐 성능과 상관없이 차폐효과의 차이가 발생하였다.
2. 차폐효과의 차이가 발생하는 주파수 대역은 콘크리트 블록과 콘크리트 구조물이 동일한 환경에서 측정될 수 없다는 한계에 의해 발생한 것으로 예상되지만, 콘크리트 블록과 구조물의 차폐효과의 경향성이 유사하게 나타난다. 그러므로 상대적으로 콘크리트 제작 및 차폐효과 측정이 효율적인 차폐용 콘크리트 블록을 개발한 뒤 구조물에 적용할 수 있다는 결과를 얻을 수 있다.
3. 본 연구는 600MHz - 2GHz의 주파수대역에서 수행되었지만, 콘크리트 블록의 크기를 조절한다면 더 넓은 주파수 대역에서도 측정방법을 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

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

References

Choi, E., Yuan, T., Lee, J., Yoon, Y. (2019). Self-sensing properties of concrete with electric arc furnace slag and steel fiber, Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, **19(1)**, 265-274.

Hyun, S.Y., Lee, K.W., Kim, M.S., Yook, J.G. (2012). Electromagnetic modeling of shielding effectiveness of reinforced concrete walls, The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, **23(3)**, 384-391.

Jang, H.J., Choi, H.S., Song, T.S. (2019). Study on concrete block shielding effectiveness improvement method through resonance reduction and comparison with standard method, IEIE, **56(12)**, 9-14.

Jang, H.J., Choi, H.S., Song, T.S., Lee, H.H. (2020). Study on the Improved Test System for High Performance Shield Concrete Blocks, IEIE, **57(11)**, 57-63.

Jang, H.J., Song, T.S. (2018). Implementation of concrete block shielding effectiveness measurement system for RF shield, IEIE, **55(12)**, 85-91.

National Intelligence Service, Ministry of Science and ICT (2020). EMP Weakness Analysis Test Criteria for Major Information and Communication Infrastructure [in Korean].

Paul, C.R. (2006). Introduction to Electromagnetic Compatibility, 2nd Ed., Wiley Series in Microwave and Optical Engineering.

전기로산화슬래그를 활용한 콘크리트의 차폐효과 측정 방법의 유효성 검증 연구

본 논문에서는 버려지는 전기로산화슬래그를 재활용하여 차폐용 콘크리트를 제작하는데 있어 필요한 차폐효과 측정방법에 대하여 연구하였다. 차폐용 콘크리트 블록의 전자파 차폐효과를 측정하기 위한 시스템의 결과와 실제 콘크리트로 구축된 건축물의 차폐효과를 비교하여, 소형화된 콘크리트 블록의 전자파 차폐효과 측정 시스템의 유효성을 검증하였다. 콘크리트 건축물의 크기는 2.9 x 2.9 x 3.4m이고 콘크리트 블록은 0.3 x 0.3 x 0.2m로 차폐효과 측정 방법은 MIL-STD-188-125-1을 준용하였다. 비교하여 위하여 사용되는 주파수 대역은 600MHz – 2GHz이고 비교되는 콘크리트의 구성은 일반적인 콘크리트와 전기로산화슬래그가 포함된 콘크리트이다. 콘크리트 구조물의 경우에는 구조적 안전성을 위하여 철근이 15cm 간격으로 설치되어 있지만, 철근의 전자파 특성을 주파수가 증가할수록 차폐효과 특성이 점점 감소하기에 두 비교대상의 측정결과에서 약간의 차이가 발생하였다. 결론적으로는 콘크리트 블록을 통한 차폐효과 측정결과는 건축물을 만들었을 때의 결과와 유사하여, 전자파 엔지니어링 설계에 충분히 활용할 수 있을 것으로 생각되고 표준시편을 활용한 콘크리트의 차폐효과 측정 시스템이 유효함을 검증하였다.