

Zn-Al 합금 선재를 이용한 금속용사 공법 적용 콘크리트의 전자파 차폐 성능 평가에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Evaluation of EMP Shielding Performance of Concrete Applied with ATMSM Using Zn-Al Alloy Wire

최 현 준¹ 박 진 호¹ 민 태 범² 장 현 오³ 이 한 승^{4*}

Choi, Hyun-Jun¹ Park, Jin-Ho¹ Min, Tae-Beom² Jang, Hyun-O³ Lee, Han-Seung^{4*}

Researcher, Durabi Center, Hanyang University, Sangnok-Gu, Kyeonggi-do, 15588, Korea¹

Assistant Manager, R&D Center, Sungshin Cement, Bugang-Myun, Sejong Special Self-Governing City, 30074, Korea²

Researcher, Korea Conformity Laboratories (KCL), Geumcheon-Gu, Seoul, 08503, Korea³

Professor, Department of Architecture, Hanyang University, Sangnok-Gu, Kyeonggi-do, 15588, Korea⁴

Abstract

EMP (Electromagnetic Pulse) usually means High Power Electromagnetic Wave (HPEM). In the case of the shielding plate against the EMP, there is a possibility of deterioration of the electromagnetic wave shielding performance due to the skill of the constructor, bad construction, deformation of the shielding plate at the connection portion (joint portion). The inefficient use of space due to the separation distance is also pointed out as a problem. Therefore, this study aims to derive the optimum electromagnetic shielding condition by applying ATMSM to concrete as a part of securing electromagnetic wave shielding performance with reflection loss against concrete wall. Experimental parameters included concrete wall thickness and application of Zn-Al ATMSM. For the concrete wall, the wall thickness was 100 to 300mm, which is generally applied, and experimental parameters were set for the application of Zn-Al metal spraying method to evaluate electromagnetic shielding performance. Experimental results showed that as the thickness increases, the electromagnetic shielding performance increases due to the increase of absorption loss. In addition, after the application of Zn-Al ATMSM, the average shielding performance increased by 56.68 dB on average, which is considered to be increased by the reflection loss of the ATMSM. In addition, it is considered that the shielding performance will be better than that when the conductive mixed material and the ATMSM are simultaneously applied.

Keywords : electromagnetic pulse (EMP), shielding performance, concrete, arc thermal metal spraying method (ATMSM)

1. 서 론

1.1 EMP(Electro Magnetic Pulse)

EMP는 통상적으로 고출력 전자기파 (High Power

Electromagnetic waves: HPEM)를 의미한다. 핵폭발로 인해 발생하는 NEMP (nuclear EMP)는 전자폭탄이나 고출력 전자파 발생기에 의해 직접적으로 전자파를 발생시키는 NNEMP (non-nuclear EMP) 또는 IEMI (international electromagnetic interference), 그리고 낙뢰와 같은 자연 현상에 의해 발생하는 LEMP (lightening EMP)로 구분할 수 있다[1]. 이러한 EMP는 선진국을 중심으로 EMP탄 및 특수한 목적 등으로 개발되었으며, 통제범위를 초과하는 EMP는 통신 및 IT 기반의 사회 인프라 시설을 무력화시킬 수 있는 가능성이 있으며, 더 나아가 2차적으로 인명피해를

Received : February 19, 2019

Revision received : March 26, 2019

Accepted : May 2, 2019

* Corresponding author : Lee, Han-Seung

[Tel: 82-31-400-5181, E-mail: ercleehs@hanyang.ac.kr]

©2019 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

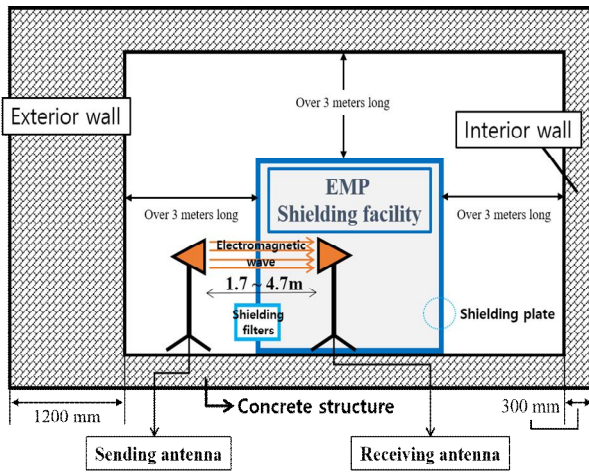


Figure 1. Floor plan of a conventional EMP shielding facility(9)

초래하게 된다. 이에, EMP 방호시설을 중심으로 전자파 차폐에 관한 기술개발이 활발히 이루어지고 있는 실정이다 [2-5]. 특히, 차폐 판의 경우, 일반적으로 금속판(아연 도금 판, 구리판, 강판 등)을 제작 및 가공하여 용접이나 볼트 조립을 통해 적용된다. 이에 관한 규정인 미국 국방성 MIL-STD-188-125-1 및 IEEE-299를 살펴보면, Figure 1과 같이 콘크리트 구조물 시공 후 그 내부에 벽체로부터 최소 2.05m 이상 이격시켜야 하며, 금속판 사이 연결부(접합부)는 용접 및 납땜 또는 기계적인 고정으로 압력을 가한 상태에서 금속 간의 결합을 실시할 것을 권장하고 있다. 그러나 현장 적용 시, 용접 및 볼트의 연결부(접합부)에서 시공자의 숙련도 및 불량시공, 차폐판의 변형 등으로 인한 전자파 차폐성능 저하의 가능성을 유발하고 있으며, 또한 벽체로부터 이격거리로 인한 비효율적인 공간 활용이 문제점으로 지적 되고 있다[6,7].

1.2 기존문헌 고찰

전자파 차폐는 Figure 2와 같이 일반적으로 반사손실, 투과손실, 다중 반사 손실 세 가지 원리에 의해 이루어진다.

첫 번째로 재료의 표면에서 공기층과 전파가 통과하는 차폐재의 임피던스 차이에 의하여 발생하는 반사 손실(Reflection-loss)이며, 두 번째는 주로 탄소계, 자성계 재료를 대상으로 전자파가 차폐재를 통과하면서 저항성 손실(Ohmic loss)에 의해 열로 변환되어 손실되는 흡수 손실(Absorption loss)이다. 마지막으로 세 번째는 차폐재 내부로의 재반사, 전자파 산란 등에 의해 투과하지 못하고

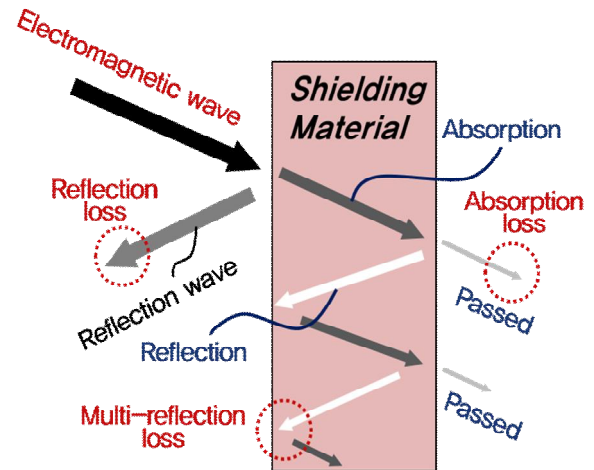


Figure 2. Mechanism of EMP shielding

재료를 타고 전혀 다른 방향으로 전자파가 전달되며 발생하는 다중 반사 손실(Multi-reflection loss)이다.

일반적으로 금속의 전체적인 차폐 효과는 흡수손실 (A), 반사손실 (R), 다중반사 손실(B) 의 총 합으로 표현이 가능하며, 이는 식 (1)과 같다.

$$SE = A + R + B \quad [dB] \quad \text{-----} \quad (1)$$

위 식에서 모든 항은 dB로 표현되며, 다중반사 손실(B)는 흡수 손실(A)가 9dB보다 클 경우 무시될 수 있다.

일반적으로, 콘크리트는 약간의 전도성으로 인해 200 mm 두께에서 10 dB 내외의 차폐성능이 있다고 보고되고 있으며, 금속에서 흡수손실의 경우 다음 식 (2)과 같이 표현 가능하다.

$$A = 131.4t \sqrt{f\mu_r\sigma_r} \quad [dB] \quad \text{-----} \quad (2)$$

여기에서 t는 차폐재의 두께 (mm), f는 주파수 (MHz), μ_r 은 상대 투자율, σ_r 는 상대 전도율을 나타낸다. 식 (2)에서 나타낸 바와 같이 흡수손실은 차폐재의 두께에 비례하며, 또한, 금속에서의 반사손실은 다음 식 (3)과 같이 표현 가능하다.

$$R = 108.1 - 10\log\left(\frac{\mu_r f}{\sigma_r}\right) \quad [dB] \quad \text{-----} \quad (3)$$

위 식 (1)~(3)은 일반적으로 차폐 재료가 금속일 경우에 적용되는 차폐 효과 식으로 알려져 있으며, 콘크리트를 포함하는 금속 차폐 재료에 관한 식은 연구되어있지 않다[8].

이에 따른 현장적용 및 실용화 측면에서의 전자파 차폐 성능에 관한 기존연구를 살펴보면, 시공적 측면(반사손실)과 재료적 측면(투과손실, 다중반사손실)으로 구분할 수 있다. Lee et al.[9]는 시공적 측면을 고려하여 철판과 구리판 그리고 전도성이 높은 금속인 구리와 아연 알루미늄을 이용한 금속용사 공법의 비교에 따라 전자파 차폐에 효과적인 선재 Zn-Al를 도출하였다. 또한, 금속용사 피막의 두께 증가에 따라 100 μ m, 300 μ m, 500 μ m, 700 μ m 의 두께를 가진 금속용사 피막의 전자파 차폐 성능을 비교하였으며, 두께가 증가함에 따라 차폐율이 증가하는 경향을 보이지만 오히려 감소하는 구간도 있음을 확인하였다. 하지만 두께에 관계 없이 모두 차폐 성능 이상을 만족함을 확인하였으며, 최소 시공 두께인 100 μ m 만으로도 기존 차폐 성능 이상의 성능을 낼 수 있음을 확인하였다.

또한 재료적인 측면에서 Nam et al.[10]은 카본 나노튜브를 혼입한 시멘트 복합체에 실리카 폼을 혼입하여 실리카 폼의 전자파 차폐 성능에 관한 상관관계를 도출하였다[11]. Khushnood et al.[12] 및 Cao and Chung[13]은 탄소 나노튜브, 그래파이트, 탄소 섬유와 같은 전자파 차폐 흡수 목적으로 전도성 재료를 시멘트 복합체에 혼입하여 그 전자파 차폐 성능을 확인한 바 있다[14-17]. 강섬유를 혼입한 시멘트 모르타르의 전자파 차폐 성능에 관한 연구는 Kim et al.[18] 및 Chung et al.[19]의 연구에서 확인할 수 있다. 하지만 이러한 기존연구는 대부분 골재를 포함하지 않은 시멘트 페이스트를 대상으로 수행된 기초적 연구에 해당된다. 또한 전자파 차폐 성능에 영향이 있는 시험체의 두께를 고려하지 않았으며, 측정 주파수의 범위가 상이하여 상대적 비교가 불가능함에 따라 전자파 차폐 성능평가에 한계점으로 나타나고 있는 실정이다.

1.3 연구 목적

따라서, 본 연구는 금속에서의 전자파 차폐 성능 식을 참조하여 기존 차폐 시설의 금속판을 대체할 수 있는 콘크리트에 최소 시공 두께인 100 μ m로 시공된 금속용사 피막의 전자파 차폐 성능을 평가하고자 하였으며, 또한 콘크리트 벽체를 모사한 시험체에 금속용사 공법을 적용하여 금속용사 피막을 포함한 하이브리드형 콘크리트 전자파 차폐재에

대한 최적의 전자파 차폐 조건을 도출하고자 하였다.

2. 실험 계획

2.1 실험 개요

본 연구는 콘크리트 벽체를 대상으로 전자파 차폐성능 평가를 실시하기 위하여 Table 1과 같이 실험변수를 설정하였다. 실험변수로는 콘크리트 벽체 두께, Zn-Al 금속용사 적용 유무이다. 콘크리트 벽체의 경우, 일반적으로 적용되어지고 있는 벽체 두께인 100~300mm이며, 또한 전자파 차폐 성능에 관한 Zn-Al 금속용사 공법의 실효성을 평가하기 위해 적용 유무로 구분하여 실험변수를 설정하였다.

또한 압축강도는 28일 재령의 시편을 KS F 2405를 이용하여 3번씩 시험하여 평균값을 내었다[20]. 슬럼프의 경우 150 \pm 25mm를 목표치로 설정하였다. 시험체 명의 경우, 콘크리트 시험체의 두께, 금속용사 적용 유무로 구분하였다. 시험체 이름을 정하는 규칙은 Figure 3과 같다.

Table 1. Experimental variables

Name of Specimens	Thickness of specimens (mm)	Application of Zn-Al ATMSM
100-N	100	X
100-A	100	O
200-N	200	X
200-A	200	O
300-N	300	X
300-A	300	O

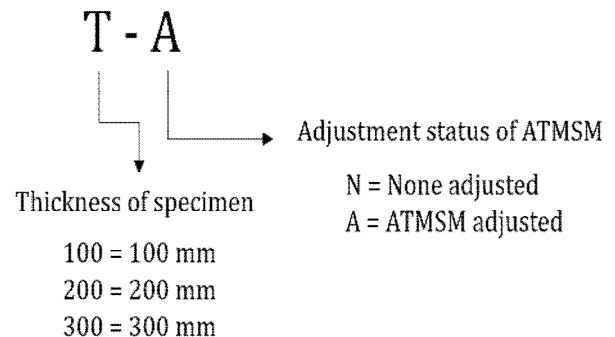


Figure 3. Specification of the name of specimens

Table 2. Mix proportion of concrete

Division	W/C (%)	Unit weight (kg/m ³)			Admixture (%)	
		Water	Cement	Sand		Gravel
OPC	49.5	175	350	873	929	1.5

2.2 사용재료 및 콘크리트 배합

시멘트는 KS L 5201에 의거, 밀도 3.15g/cm³, 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다[21]. 굵은 골재의 경우, 최대치수는 25mm, 잔골재의 경우, 5mm 부순돌을 사용하였다. 또한 워커빌리티 확보를 목적으로 폴리칼본산계 (polycarboxylic) 고성능 감수제(superplasticizer: SP)를 1.5% 사용하였다. 물시멘트비는 49.5%로 하였으며, 본 연구에서 실시한 콘크리트 배합은 Table 2와 같다.

2.3 시험체 제작 및 양생방법

콘크리트 압축강도용 시험체는 KS F 2403에 준하여, Ø100×200mm의 원형 공시체를 제작하였다[22]. 이에 관한 양생방법은 항온항습기 챔버를 이용하여 온도 20±2℃, 상대습도 60±2% 조건하에 약 28일간 기건양생을 실시하였다.

Figure 4의 (a)는 전자파 차폐 성능 평가를 위한 콘크리트용 몰드이며, Figure 4의 (b)는 콘크리트를 채워 넣은 모습이다. 몰드 단면의 크기는 210mm×110mm이며, 전자파 차폐용 콘크리트의 벽체 두께에 따른 적용성을 판단하기 위해 시험체의 두께는 100mm, 200mm, 300mm의 3가지로 설정하였다.

아크식 금속 용사 방법은 Figure 5와 같이 아크 점에서 용융된 금속 선재가 압축공기를 내뿜는 용사 건의 노즐에 의해 운반되어 피복 대상의 표면에 분산·냉각되면서 용사 대상에 도달해 급랭되어 고화, 적층된다. 이는 피복재 표면에 대해서 극단적인 열 영향을 주지 않으며 견고하고 안정한 피막을 형성하게 되고, 또한 종이나 목재에도 금속 용사 피막을 형성시키는 것이 가능하다[23].

아크 금속 용사는 시험체의 양 면 중 한 면에만 실시를 하였으며 이는 실제 구조체의 역할을 할 경우 시공 상 아크 금속 용사를 구조체 외부보다는 내부에 실시하는 것이 효율적이므로 이 상황을 가정한 것이다. 본 실험에서 적용한 Zn-Al 금속용사의 경우 최소 시공 가능 두께인 100µm로 적용하였다.

Figure 6의 (a)~(d)는 시공 과정을 나타내며, 금속용사

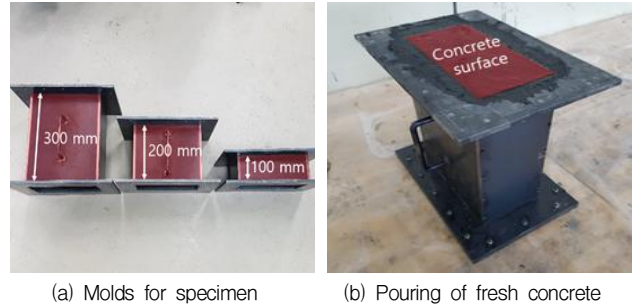


Figure 4. Specimens of EMP shielding concrete

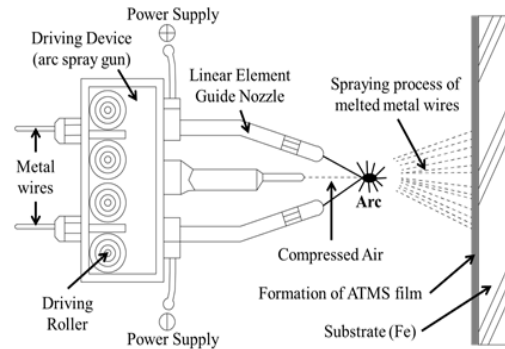


Figure 5. Diagram of ATMSM[23]

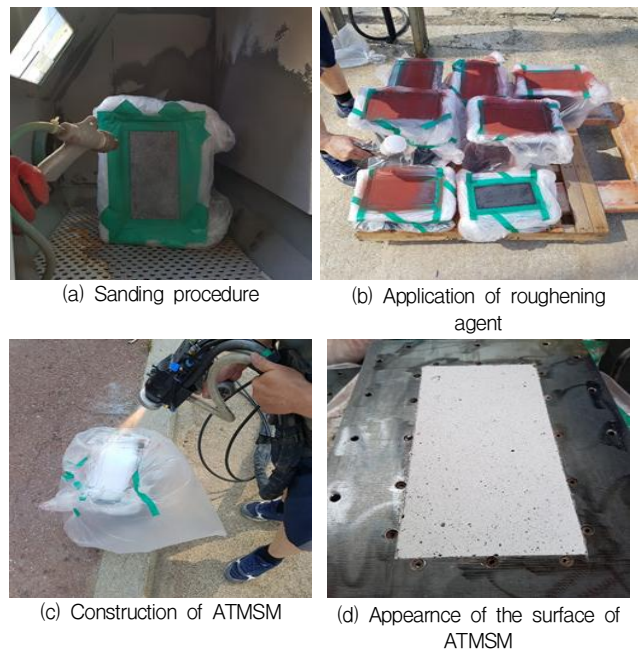


Figure 6. ATMSM procedure using Zn-Al wire

피막의 부착성을 위해 (a) 콘크리트 표면 샌딩, (b) 조면 형성제 도포 과정 후 (c) 금속 용사 시공을 하게 된다. (d)는 콘크리트 위에 금속용사 피막이 씌워진 모습이다.

2.4 도파관을 이용한 전자파 차폐 성능 평가

EMP 방호시설의 전자파 차폐 성능 평가 방법은 대표적으로 MIL-STD-188-125-1 및 IEEE-STD-299로 알려져 있다[6, 7]. 하지만 안테나의 종류, 증폭기, 안테나와 시험체와의 거리 등을 주파수 대역 별로 바꾸어야 하는 측정상의 어려움이 있다.

또한, ASTM D 4935-10의 경우, 단일 동축선 케이블을 이용한 평가방법이지만, 시험편의 크기가 지름 33mm의 원형으로 고정되어 있어, 콘크리트 벽체 적용 가능성을 평가하는데 한계점으로 작용하게 된다[24].

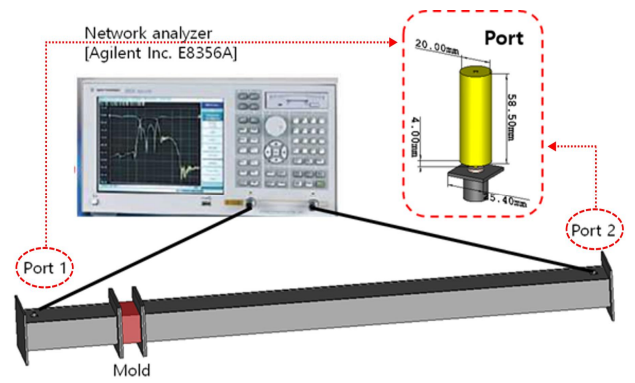
따라서 본 연구에서는 콘크리트 벽체의 EMP 차폐 성능을 확인하기 위한 측정 치수로 도파관을 이용한 전자파 차폐 평가 방법을 선정하였으며, Figure 7의 (a)는 전자파 차폐특성을 측정하기 위한 장비 셋업을 나타내며, Figure 7의 (b)~(d)는 두께 변화에 따른 실험 장비 변화를 나타낸다.

전자파 차폐 성능은 Port 1에서 송신되어 Port 2에서 수신받는 신호로서, 도파관 사이에 위치한 시험편을 투과한 신호의 세기를 의미한다. 이는 식 (4)와 같이 표현 가능하며, P_1 은 재료를 통과한 수신 신호의 전력, P_2 는 송신 신호의 전력을 의미한다[25].

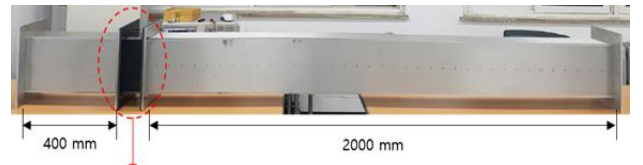
$$SE = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad [dB] \quad \text{-----} \quad (4)$$

사용 장비는 Agilent사의 E8356A network analyzer와 제작된 도파관을 이용하였다. 해당 도파관은 본 연구의 측정 범위인 0.85GHz~1.0GHz 범위의 차단주파수 (Cutoff frequency)를 고려하여 표준 도파관 규격 WR-975 (247.65×123.83)을 이용하여 설계되었다.

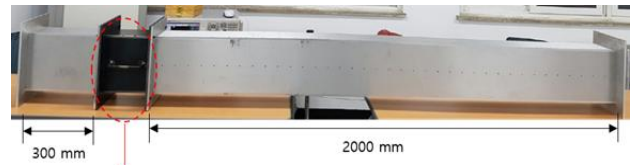
Port 1과 Port 2 사이에 시험체를 위치시킨 다음 볼트로 도파관과 시험체를 결합 후 측정을 하게 된다. 이 때, Port 1에 해당하는 도파관은 몰드의 두께에 따라 바뀌며 측정하였다. EMP 방호시설의 전자파 차폐에 요구되는 최소 차폐 기준은 목표 주파수 대역에서 80dB 이상을 만족하여야 하는데, 이 때 Network analyzer에서 투과계수는



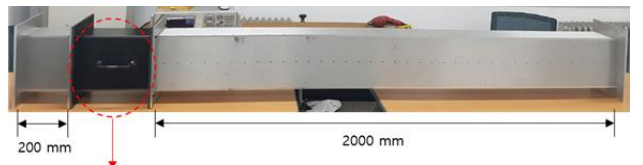
(a) Diagram of experimental equipment



(b) Equipment set up for 100 mm specimen



(c) Equipment set up for 200 mm specimen



(d) Equipment set up for 300 mm specimen

Figure 7. Set up of experimental specimen

80dB 이상으로 측정되어야 한다[6].

이에 따라 Zn-Al 금속용사 피막 적용 콘크리트의 전자파 차폐 성능은 콘크리트 재령 30일을 기준으로 0.85 GHz, 0.925 GHz, 1.000 GHz에서 측정하여 평균값을 내었다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 콘크리트 재료특성

28일 압축강도의 평균 값은 35.9MPa, 굵지 않은 콘크리트의 슬럼프 값은 152.5mm 로 나타났으며, Table 3에 결과값을 나타내었다.

Table 3. Physical properties of total specimens

	1st	2nd	3rd	Mean value
Compressive strength	35.8	36.2	35.7	35.9
Slump	152.4	151.9	153.1	152.5

3.2 전자파 차폐 성능 평가

3.2.1 콘크리트의 전자파 차폐 성능 평가

콘크리트 두께에 따른 전자파 차폐 성능 비교 분석을 위해 Table 4와 Figure 8에 Zn-Al 금속용사 적용 전의 두께에 따른 전자파 차폐 성능을 나타내었다.

Figure 8에서 100-N의 전자파 차폐 성능은 9.02dB로, 목표치인 80dB의 30% 이하의 결과를 나타내었다. 100mm에서 200mm로 두께가 증가하였을 때 전자파 차폐 성능은 9.66dB 증가한 18.68dB로 나타났다. 100mm에서 300mm로 두께가 증가하였을 경우 차폐 성능의 증가량은 13.84dB로, 22.86dB의 차폐 성능을 나타내었다.

이는 식 (2)에 나타난 바와 같이 흡수 손실의 원리에 의해서 콘크리트의 두께가 증가함에 따라 전자파 차폐 성능이 증가하게 된 것으로 판단된다. 그러나 전자파 차폐 성능을 높이기 위하여 콘크리트 벽체 두께를 무한히 증가시키는 것은 경제성 및 시공성과 같은 문제로 인하여 제한점으로 작용하게 될 것으로 판단된다.

이에 경제성 및 시공성과 같은 요소를 고려함과 동시에 콘크리트의 전자파 차폐 성능을 확보하기 위해서는 콘크리트의 두께 이외에 전도성 재료의 혼입 또는 치밀한 조직을 가진 고강도 콘크리트와 같은 추가적인 요소가 고려되어야 할 것으로 판단되며, 전도성 재료 혼입 시 식 (3)에서 나타난 바와 같이 강섬유, 금속 분말, 탄소나노튜브와 같은 전도성이 상대적으로 높은 재료를 혼입할 경우 전자파 차폐 성능 향상에 효과가 있을 것으로 판단된다.

Table 4. Shielding effectiveness of non-ATMSM specimens

Specimen name	Shielding Effectiveness (dB)			Mean Value (dB)
	0.850 GHz	0.925 GHz	1.000 GHz	
100-N	10.92	8.58	7.56	9.02
200-N	19.17	18.93	17.94	18.68
300-N	23.60	22.26	22.73	22.86

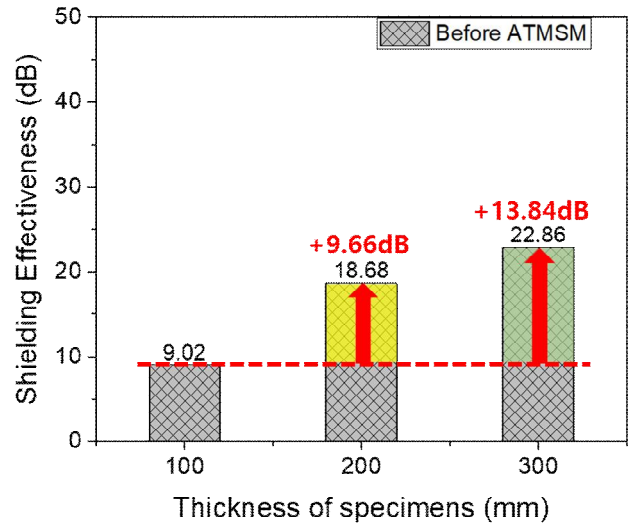


Figure 8. Results of total specimens

3.2.2 Zn-Al 금속용사 적용에 따른 전자파 차폐 성능 평가

Table 5에 금속용사 적용 유·무 및 두께에 따른 시험체의 전자파 차폐 성능을 나타내었다. 가장 낮은 결과값은 100-N 시험체의 9.02dB로 나타났으며 가장 높은 결과값은 300-A 시험체의 76.40dB로 나타났다.

Table 5. Shielding effectiveness of total specimens

Specimen name	Shielding Effectiveness (dB)			Mean Value (dB)
	0.850 GHz	0.925 GHz	1.000 GHz	
100-N	10.92	8.58	7.56	9.02
100-A	68.11	66.40	64.35	66.29
200-N	19.17	18.93	17.94	18.68
200-A	73.68	71.96	69.92	71.85
300-N	23.60	22.26	22.73	22.86
300-A	78.22	76.51	74.46	76.40

Table 6에 Zn-Al 금속용사 피막에 의한 전자파 차폐 성능 증가분을 나타내었고, Figure 9에 두께별 증가한 차폐 성능 증가분을 %로 나타내었다. Table 6에 나타난 바와 같이 Zn-Al 금속용사 적용 전과 후를 비교했을 경우 금속용사 적용 후에 평균 54.66dB의 상당한 차폐 성능 증가를 보였으며, 이는 금속용사 피막의 반사 손실에 의하여 증가된 것으로 판단된다.

Table 6. The increment of SE by ATMSM

Specimen	100	200	300	Mean Value (dB)
Increment of SE by ATMSM (dB)	57.27	53.17	53.54	54.66

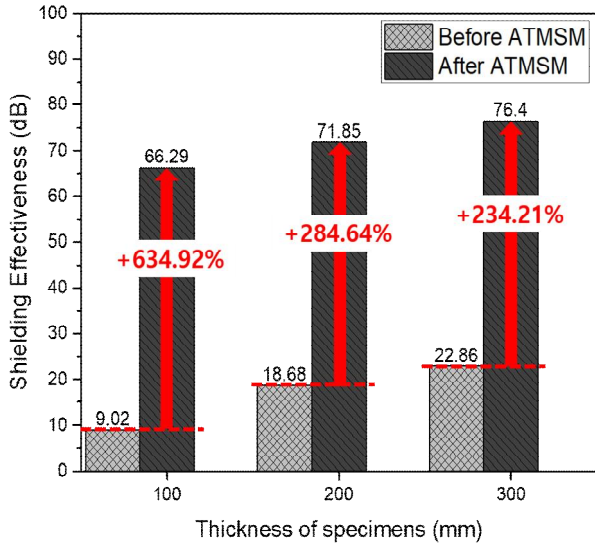


Figure 9. The increment of SE by ATMSM

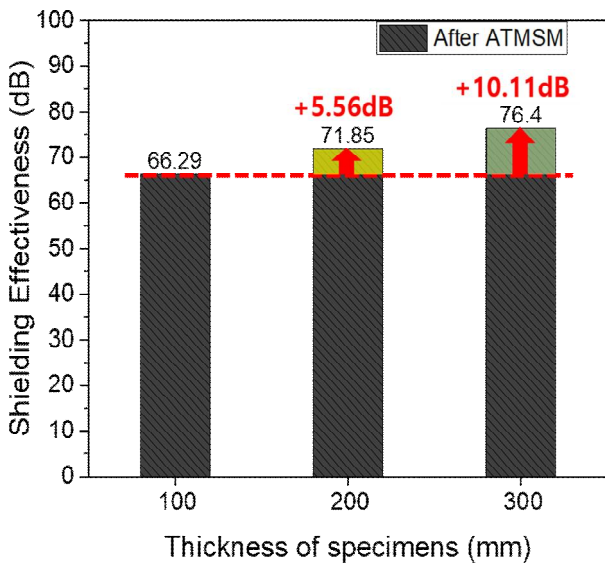


Figure 10. Shielding effectiveness of ATMSM specimens

다시 말해, 콘크리트에 100 μ m Zn-Al 금속용사 피막을 적용할 경우 0.85GHz~1.0GHz 범위에서 약 54.66dB의 차폐성능이 확보되며, EMP 방호 시설을 위한 80dB의 전자파 차폐 성능을 확보하기 위해서는 전도성 재료를 혼입한 콘크리트의 사용이 불가피하다고 판단된다.

Figure 10에는 Zn-Al 금속용사 적용 후의 두께에 따른 전자파 차폐 성능을 나타내었다. 금속용사 적용 후에도 마찬가지로 Equation (2)에서 나타낸 바와 같이 흡수손실의 원리에 의해서 콘크리트의 두께가 증가함에 따라 전자파 차폐 성능이 증가하게 된 것으로 판단된다.

그러나 두께에 의한 전자파 차폐 성능의 증가분은 금속용사 전과 비교했을 때 금속용사 적용 후 200mm와 300mm에서 각각 4.1dB, 3.73dB 감소하였다. 이는 주사된 전자파가 일차적으로 금속용사 피막의 반사손실에 의해 손실되고, 그 후 이차적으로 콘크리트의 두께에 의해 손실되기 때문에 콘크리트의 두께에 의한 영향이 금속용사 적용 후에 감소된 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 콘크리트 벽체를 대상으로 반사손실 및 흡수손실에 대한 전자파 차폐성능을 확보하기 위한 일환으로서, 콘크리트에 금속용사 공법을 적용하여 최적의 전자파 차폐 조건을 도출하고자 100 μ m Zn-Al 금속용사 적용 전자파 차폐용 콘크리트 벽체의 적용성을 평가하였으며, 결론은 다음과 같다.

- 1) 100mm 에서 200mm 로 두께가 증가하였을 때 전자파 차폐성능은 9.66dB 증가한 18.68dB로 나타났다. 100mm 에서 300mm 로 두께가 증가하였을 경우 차폐성능의 증가량은 13.84dB로, 22.86dB의 차폐성능을 나타내었다. 이는 식 (2)에서 나타낸 바와 같이 콘크리트의 두께가 증가할수록 흡수손실에 의한 전자파 차폐 성능이 증가하는 것으로 판단된다.
- 2) Zn-Al 금속용사 적용 후 모든 시험체에서 평균 54.66 dB의 상당한 차폐성능 증가를 보였으며, 이는 금속용사 피막의 반사손실에 의하여 증가된 것으로 판단된다.
- 3) 금속용사 피막 적용 후에도 콘크리트 시험체의 두께에 의한 영향을 확인할 수 있었으며, 향후 콘크리트 내에 탄소나노튜브, 그래핀, 강섬유와 같은 전도성 물질을 포함한 전도성 콘크리트에의 금속용사 시공을 통한 하이브리드형 전자파 차폐용 벽체를 적용할 시에 전자파 차폐 성능은 더욱 증가할 것으로 판단된다.

요 약

EMP(Electromagnetic Pulse)는 통상적으로 고출력 전자기파 (High Power Electromagnetic: HPPEM)를 의미한다. EMP를 차폐하기 위한 차폐 판의 경우, 현장 적용 시, 용접 및 볼트의 연결부(접합부)에서 시공자의 숙련도 및 불량시공, 차폐판의 변형 등으로 인한 전자파 차폐성능 저하의 가능성을 유발하고 있으며, 또한 벽체로부터 이격 거리로 인한 비효율적인 공간 활용이 문제점으로 지적 되고 있다. 따라서, 본 연구는 콘크리트 벽체를 대상으로 반사손실에 대한 전자파 차폐성능을 확보하기 위한 일환으로서, 콘크리트에 금속용사 공법을 적용하여 최적의 전자파 차폐 조건을 도출하고자 한다. 실험변수로는 콘크리트 벽체 두께, Zn-Al 금속용사 적용 유무이다. 콘크리트 벽체의 경우, 일반적으로 적용되어지고 있는 벽체 두께인 100~300mm이며, 또한 전자파 차폐성능에 관한 Zn-Al 금속용사 공법의 실효성을 평가하기 위해 적용 유무로 구분하여 실험변수를 설정하였다. 실험 결과 두께가 증가할수록 흡수 손실의 증가로 인해 전자파 차폐성능이 증가하였다. 또한 Zn-Al 금속용사 적용 후 모든 시험체에서 평균 56.68 dB의 상당한 차폐성능 증가를 보였으며, 이는 금속용사 피막의 반사손실에 의하여 증가된 것으로 판단된다. 또한, 전도성 혼입재료와 금속 용사 피막을 동시에 적용할 경우 보다 우수한 차폐성능을 나타낼 것으로 판단된다.

키워드 : 전자기파, 차폐 성능, 콘크리트, 금속용사

Acknowledgement

This research was supported by a grant (18S CIP-B146646-01) from Construction Technology Research Project funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korea government.

ORCID

Hyun-Jun Choi, <https://orcid.org/0000-0002-4507-5052>

Jin-Ho Park, <https://orcid.org/0000-0002-5630-2839>

Tae-Beom Min, <https://orcid.org/0000-0003-4690-4286>

Han-Seung Lee, <https://orcid.org/0000-0001-9776-5859>

Hyun-O Jang, <https://orcid.org/0000-0002-0846-7161>

References

1. IEC 61000-2-9. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2: Environment - Section 9: Description of HEMP environment - Radiated disturbance, International Electrotechnical Commission; 1996, 49 p.
2. Kim HS, Truth of EMP threat and development plan, Defence Tech, 2013 Aug;414:98-103.
3. Savage E, Gilbert J, Radasky W. The Early-Time (E1) High-Altitude Electromagnetic Pulse (HEMP) and Its Impact on the U.S. Power Grid, Goleta (CA): Metatech Corporation; 2010 Jan, 168 p. Report No.: Meta-R-320, Contract No.: 6400009137. Supported by Oak Ridge National Laboratory.
4. Gurevich V. Protection of substation critical equipment against intentional electromagnetic threats, London: Wiley; 2017, 240 p. <https://doi.org/10.1002/9781119271444>
5. Foster JS, Gjelde E, Graham WR, Hermann RJ, Kluepfel HM, Lawson RL, Soper GK, Wood LL, Woodard JB. Report of the commission to assess the threat to the United States from electromagnetic pulse (EMP) attack, Virginia: Electromagnetic Pulse(EMP) Commission; 2008, 208 p.
6. MIL-STD-188-125-1, High-altitude electromagnetic pulse (HEMP) protection for ground-based C4I facilities performing critical, time-urgent missions - part 1 fixed facilities, Department of Defense Interface Standard; 2005, 106 p.
7. IEEE-299, IEEE Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures, IEEE Standards Association; 2006, 50 p. <https://doi.org/10.1109/ieeestd.2007.323387>
8. Kim YS, Choi IK, Kim SS, Analysis of electromagnetic wave shielding effectiveness from electrical conductivity of metalized conductive sheets, Korean Journal of Materials Research, 1999 Aug;9(9):913-8.
9. Lee HS, Choe HB, Baek IY, Singh JK, Ismail MA, Study on the shielding effectiveness of an arc thermal metal spraying method against an electromagnetic pulse, Materials, 2017 Oct;10(10):1-14. <https://doi.org/10.3390/ma10101155>
10. Nam IW, Kim HK, Lee HK, Influence of silica fume additions on electromagnetic interference shielding effectiveness of multi-walled carbon nanotube/cement composites, Construction and Building Materials, 2012 May;30:480-7. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.025>

-
11. Kim HK, Nam IW, Lee HK, Enhanced effect of carbon nanotube on mechanical and electrical properties of cement composites by incorporation of silica fume, *Composite Structures*, 2014 Jan;107:60–9.
<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2013.07.042>
 12. Khushnood RA, Ahmad S, Savi P, Tulliani JM, Giorcelli M, Ferro GA, Improvement in electromagnetic interference shielding effectiveness of cement composites using carbonaceous nano/micro inerts, *Construction and Building Materials*, 2015 Jun;85:208–16.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.069>
 13. Cao J, Chung DDL, Colloidal graphite as an admixture in cement and as a coating on cement for electromagnetic interference shielding, *Cement and Concrete Research*, 2003 Nov;33(11):1737–40.
[https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(03\)00152-2](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(03)00152-2)
 14. Wu J, Chung DDL, Improving colloidal graphite for electromagnetic interference shielding using 0,1 μ m diameter carbon filaments, *Carbon*, 2003 Jan;41(6):1313–15.
[https://doi.org/10.1016/s0008-6223\(03\)00033-2](https://doi.org/10.1016/s0008-6223(03)00033-2)
 15. Chung DDL, Exfoliation of graphite, *Journal of Materials Science*, 1987 Dec;22(12):4190–8.
<https://doi.org/10.1007/bf01132008>
 16. Chung DDL, Review graphite, *Journal of Materials Science*, 2002 Apr;37(8):1475–89.
<https://doi.org/10.1023/a:1014915307738>
 17. Luo X, Chung DDL, Electromagnetic interference shielding reaching 130 dB using flexible graphite, *Carbon*, 1996 Jan;34(10):1293–4.
[https://doi.org/10.1016/0008-6223\(96\)82798-9](https://doi.org/10.1016/0008-6223(96)82798-9)
 18. Kim YJ, Yeman DM, Kim BJ, Yi CK, Effect of fiber geometry on the electromagnetic shielding performance of mortar, *Computers and Concrete*, 2016 Feb;17(2):281–94.
<https://doi.org/10.12989/cac.2016.17.2.281>
 19. Wen S, Chung DDL, Electromagnetic interference shielding reaching 70 dB in steel fiber cement, *Cement and Concrete Research*, 2004 Feb;34(2):329–32.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.08.014>
 20. KS F 2405, Standard test method for compressive strength of concrete, Seoul(Korea), Korea Standard; 2017, 12 p.
 21. KS L 5201, Portland cement, Seoul(Korea), Korea Standard; 2016, 16 p.
 22. KS F 2403, Standard test method for making and curing concrete specimens, Seoul(Korea), Korea Standard; 2014, 14 p.
 23. Lee HS, Park JH, Singh JK, Ismail MA, Protection of reinforced concrete structures of waste water treatment reservoirs with stainless steel coating using arc thermal spraying technique in acidified water, *Materials*, 2016 Apr;9(9):1–20.
<https://doi.org/10.3390/ma9090753>
 24. ASTM D 4935, Standard test method for measuring the electromagnetic shielding effectiveness of planar materials, PA: American Society of Testing Materials; 2010, 11 p.
<https://doi.org/10.1520/d4935-10>
 25. Chung YC, Kang TW, Chung NS, Electromagnetic shielding effectiveness of the composite materials in the far field region, *Electromagnetic Wave Technology*, 1994 Mar;5(1):31–9.