

# 저 직경 카본섬유를 사용한 전자기 펄스 차폐 시멘트 개발에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Development of Electro Magnetic Pulse Shielding Cement Using Milled Carbon Fiber

민태범<sup>1\*</sup>Tae-Beom Min<sup>1\*</sup>

(Received September 28, 2020 / Revised October 20, 2020 / Accepted October 22, 2020)

In this study, physical properties and EMP shielding performance evaluation of cement paste according to the amount of milled carbon fiber was conducted to develop EMP shielding cement using carbon fiber. The length of the milled carbon fiber used was 100 $\mu$ m, and it was used as a cement admixture because it showed a powdery form to the naked eye. As a result of the experiment, when 5% of the amount of cement was used, the milled carbon fiber was effective in compressive strength and EMP shielding, and the shielding effect did not increase when used beyond that. As a result of examining the EMP shielding performance according to the thickness of the specimen, the plain without milled carbon fiber had no effect of increasing the shielding rate according to the thickness. The shielding performance of the specimens using the milled carbon fiber increased as the thickness increased. Therefore, in order to increase the EMP shielding rate when comparing and evaluating the performance according to the amount of milled carbon fiber used and the thickness of the specimen, 5% of the milled carbon fiber used is optimal. In addition, the method of increasing the thickness is considered to be effective.

**키워드** : 시멘트, EMP 차폐, 카본섬유, 콘크리트**Keywords** : Cement, EMP shielding, Milled carbon fiber, Concrete

### 1. 서론

현재 대한민국은 세계유일의 분단국가이며 상대국은 핵무기를 보유중인 것으로 보고되고 있다. 북한은 2006년 1차 핵실험을 시작한 이후 현재까지 총 5차례 이상의 핵실험을 실시하였으며 이러한 국가 안보적 문제는 전 세계적으로 주목되고 있다(Chun et al. 2016). 일반적인 핵무기는 공중에서 폭발하며 피해요인으로는 열, 폭발, 방사능이지만 최근 북한에서 개발 중인 핵무기는 변형된 핵무기로써 고고도 전자기파(High-altitude Electromagnetic Pulse: HEMP)를 발생 시킨다. 이는 EMP(Electro Magnetic Pulse) 공격을 통한 전력망, 통신망, 전자장비등 국가기반 시설들의 마비를 시킬 목적으로 예측되고 있다(Lee et al. 2013).

이에 대비하고자 국가중요 시설물은 EMP 차폐실을 구축하고

있거나 구축 중에 있다. 기존 차폐실은 Fig. 1과 같이 구조물 내부에 밀폐된 도체의 격실로 구성하고 있으며(Kim et al. 2013) 이 중 차폐 판의 경우 도전성이 우수한 금속판을 사용하여 가공 후 조립이나 용접을 통해 결합하고 있는 실정 이다(Kim et al. 2013; Chung et al. 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.

이에 본 연구에서는 서론에서 언급한 문제를 해결하게 위해 건설현장에서 가장 많이 사용되는 재료 중 시멘트에 EMP차폐 성능을 부여하고자 일반 OPC(Ordinary Portland cement)와 저 직경

\* Corresponding author E-mail: [tmin@sscem.com](mailto:tmin@sscem.com)<sup>1</sup>성신양회(주) 기술연구소 연구원 (R & D Center, Sungshin Cement, Bugang-Myun, Sejong Special Self-Governing City 30074, Korea)

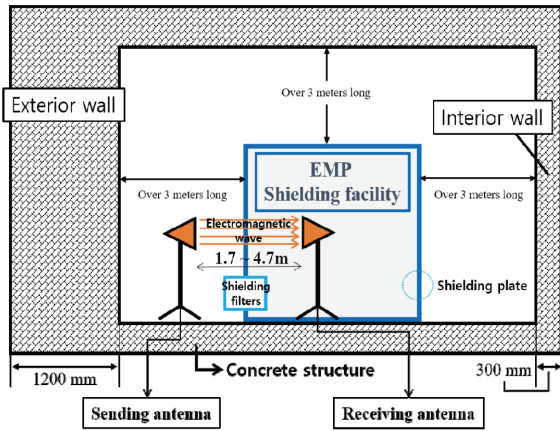


Fig. 1. Concept of existing EMP shielding room

카본섬유(이하 MCF로 칭함)를 사용하여 EMP차폐 성능평가를 실시하였다. MCF는 통상 특수재질의 플라스틱이나 고강도의 플라스틱을 사용하는 재료이나 MCF성분 특성상 탄소계열이다. EMP 차폐에서는 금속물질로 차폐를 하는 방법과 탄소계를 이용하여 차폐 하는 방법이 있으나 금속재료의 경우 비중이 높거나 부식이 위험이 있어 시멘트 혼입재료로 사용하기에는 부적합 하다. 따라서 본 연구에서는 MCF를 시멘트 혼입재료로 선정 하였으며 이를 통하여 EMP차폐 건축구조물 구축시 구조체 자체로서 EMP차폐 성능을 발현하는 시멘트를 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 대상으로 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 손실 중 가장 효과 적인 것은 세 번째 다중반사 손실이며 이는 재료내 전도성 물질의 함량이 증가 할수록 EMP 차폐 효과는 증가한다(Jin et al. 2014; Kim et al. 2015; Choi et al. 2019). 또한 EMP 차폐에서 사용하는 ‘dB’의 단위를 사용하며 차폐성능을 나타내는 지표로 사

Table 1. Measurement items

Item	Factor		
Compressive strength, EMP shielding Performance Evaluation	W/C : 40%		
	Series 1	MCF mixing amount(%)	1, 5, 10, 20
		thickness(mm)	100
	Series 2	MCF mixing amount(%)	5
thickness(mm)		100, 200, 300	

Table 2. Mixing design of cement paste

Specimen	W/C (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )		
		Water	Cement	MCF (%)
Plain	40%	720	1800	0
MCF 1				1
MCF 5				5
MCF 10				10
MCF 15				15
MCF 20				20

용된다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트 재료 중 가장 기본적이고 흔히 사용되는 시멘트를 대상으로 EMP 차폐 효과를 부여 하고자 카본계열의 섬유를 사용하여 EMP 차폐 성능을 평가하고자 한다.

Table 1은 실험 인자 및 수준을 나타낸 표이다. 실험체 제작은 시멘트의 고유한 성능을 평가하고자 시멘트 페이스트 제작하였다. 또한 저 직경 카본섬유 및 EMP 차폐 성능을 평가하고자 섬유 혼입량은 시멘트 사용량 대비 1, 5, 10, 20%를 추가 혼입하여 사용하였으며 최적의 카본 섬유를 혼입량을 찾고자 하였다. 또한 최적의 MCF 혼입량을 두께 100mm에서 EMP차폐 성능을 간이 성능평가로 검토 후 최적 혼입량 가지는 배합을 대상으로 두께별 EMP 차폐 성능을 확인하고자 하였으며 두께는 100, 200, 300mm를 기준으로 Dual shielded room에서 차폐 성능 평가를 실시하였다. Table 2는 실험에 사용된 페이스트 배합을 나타낸 표이다.

### 2.2 사용재료 및 실험체 제작

본 연구에 사용된 시멘트는 KS L 5201에 적합한 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 카본섬유는 평균 길이 100μm를 가지는 미세한 입자형태의 섬유를 사용하였다. 이는 카본 섬유를 최대한 분쇄 할 수 있는 크기가 100μm이며 시멘트와 분체 혼합을 하였을 시 혼합 성능이 가장 우수할 것으로 판단되어 100μm길이를 가

Table 3. Characteristics of milled carbon fiber

Characteristic	MCF 100 $\mu$ m
Filament diameter( $\mu$ m)	7
Bulk density(g/ml)	0.22~0.28
Tensile strength(MPa)	3,150
Youngs modulus(GPa)	210
Elongation at break(%)	1.1~1.4
Carbon content(%)	>90
Sizing content(%)	0.5~1
Mean fiber length( $\mu$ m)	100

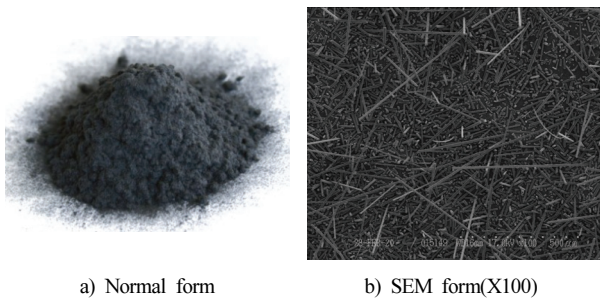


Fig. 2. Shape of milled carbon fiber

지는 MCF를 사용하였다. Table 3은 MCF의 특성을 나타낸 표이며 Fig. 2는 MCF 육안형태의 사진과 SEM 분석장비를 통하여 100배 확대한 사진을 나타낸 그림이다. 사용된 섬유는 평균 길이가 100  $\mu$ m 임으로 육안으로 일반 분말형태로 보이며 SEM 분석 장비로 확대 하였을 경우 섬유 형태가 관찰되었다.

실험체 제작에 사용된 몰드는 Fig. 3과 같으며 두께별 차폐율 측정을 위해 300mm×300mm×(100mm~300mm)의 주물형 몰드를 사용하여 시멘트 페이스트로 제작 하였다.

W/C 40%의 시멘트를 페이스트를 콘크리트 믹서로 혼합 후 주물형 몰드형 타설하였으며 타설 2시간 후 Fig. 4와 같이 가열온도 곡선에 따라 7일간 증기양생을 실시하였다. 증기양생 이후는 60 $^{\circ}$ C의 건조기에서 2주간 건조를 실시하였다. 증기양생과 건조를 실시한 이유는 실험체내 수분은 EMP차폐성능에 많은 영향을 미치기 때문에 최대한 수분에 의한 영향을 배제하기 위해 위와 같이 양생을 실시하였다.

EMP 차폐 측정은 미군 시방서 MIL-STD-188-125-1의 실험방법을 준용하여 실시하였다. Fig. 2는 EMP차폐 시험기기 배치개념도를 나타낸 것이며 Fig. 3은 측정주파수에 따른 안테나를 나타낸 것이다. EMP차폐 측정시 주파수에 따라 교체해서 사용해야 한다. 이는 안테나의 측정 범위 주파수가 있기 때문이다. 주로 3가지의



Fig. 3. Mold used in production

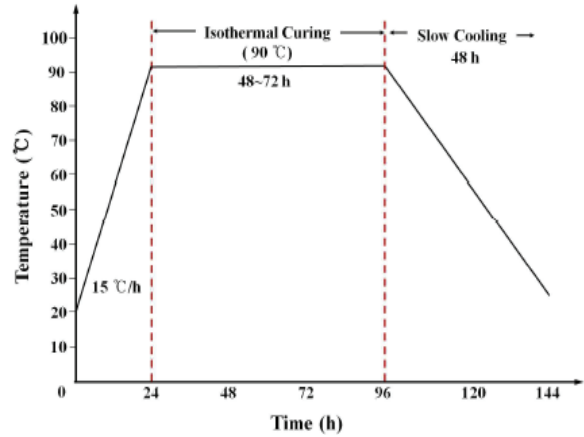
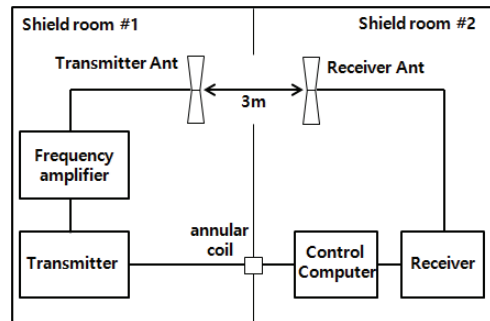
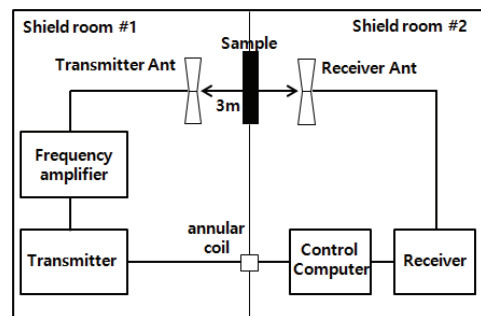


Fig. 4. Curing temperature and time

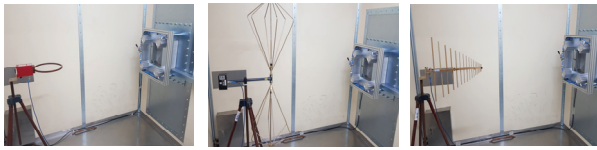


a) Reference measurement diagram



b) Sample shielding measured configuration

Fig. 5. EMP shield tester layout concept



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

Fig. 6. EMP Shield test equipment layout conceptual diagram

안테나를 사용하며 LOOP 안테나의 경우 10kHz~20MHz 까지 측정하며 Bi-Conical 안테나의 측정 범위는20MHz~300MHz이다. 또한 Log Periodic 안테나는 300MHz~2GHz까지의 범위로 측정한다.

### 3. 시험결과 및 고찰

#### 3.1 시멘트 페이스트의 물리적 성능평가 결과

Fig. 7은 유동성을 나타낸 그림이다. 유동성 측정은 KS L 5111에 따라서 실시하였다. 유동성 측정 결과 MCF 혼입량 10%까지는 유동성의 변화가 크게 나타나지 않았다. 그러나 MCF 15%이상의 혼입량에서는 급격한 유동성 감소가 나타났다. 이는 MCF의 크기가 100 $\mu$ m이하로서 미세한 입자로 되어 있으며 미세한 입자의 MCF가 배합수와 흠착으로 인해 유동성이 저하되는 것으로 판단된다.

Fig. 8은 압축강도 결과를 나타낸 그림이다. 압축강도 측정결과 MCF가 혼입됨에 따라 강도발현은 높게 나타났다. 압축강도 측면에서 MCF혼입량 5%를 혼입한 MCF-5의 실험체가 가장 높은 압축강도를 발현하였다. 그러나 5%이상 사용한 MCF-10, MCF-15, MCF-20은 Plain보다는 높지만 MCF-5 보다는 낮은 압축강도를 나타냈었다. 이는 미세한 MCF가 시멘트 페이스트 수화물간의 조직을 연결하여 더욱 견고하게 유지하기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 MCF 혼입량이 10%에서는 5%사용한 실험체 비해 압축강도가 감소하는 경향이 나타났다. 시멘트 페이스트 대비 MCF혼입량이 많아 강도발현이 MCF-5 보다 낮게 발현하는 것으로 사료된다.

Fig. 9는 SEM분석 장비로 수화물 조직간 MCF의 분포를 확인하기 위하여 MCF-5실험체와 혼입되지 않은 Plain실험체의 형상을 나타낸 그림이다. Plain 실험체의 경우 실험체에서 MCF의 섬유가 발견되지 않았으며 MCF-5의 실험체에서는 카본 섬유가 시멘트 페이스트 조직을 연결하듯 수화물 사이에 배치하고 있는 모습을 나타냈다. 따라서 시멘트 수화물 조직간 혼입된 MCF의 영향으로 압축강도가 증가 하였으며 인장강도 또한 증가 할 것으로 사료된다.

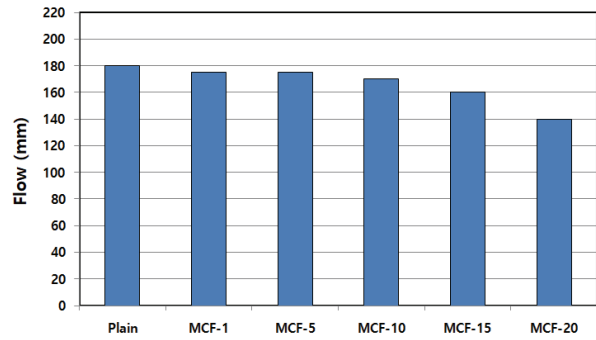


Fig. 7. Result of experiment on flow test

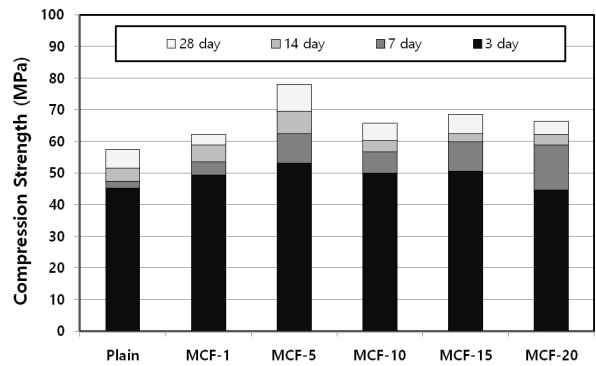
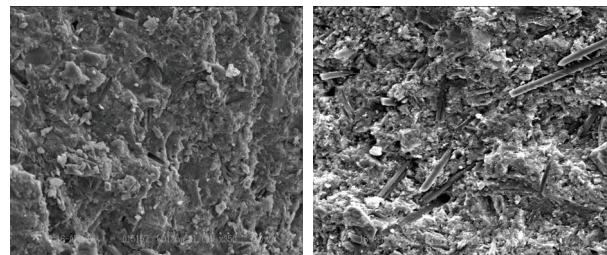


Fig. 8. Result of compressive strength



a) Plain(X350) b) MCF(X350)

Fig. 9. Result of sem analysis

#### 3.2 EMP 차폐 성능 평가 결과

Fig. 10은 미군 시방서 MIL-STD-188-125-1의 실험방법을 준용하여 0.75GHz~2.0GHz 주파수 영역범위에서 MCF 혼입률에 따른 주파수 영역별 차폐성능 간에 평가 결과를 나타낸 그림이다. 차폐성능 실험결과 Plain 실험체는 평균 20dB 이하의 차폐 성능을 나타냈으며 이는 기준 문헌과 비교한 결과 차폐 되지 않는 것으로 나타났다. 또한 MCF가 혼입된 MCF-5, MCF-10, MCF-15, MCF-20은 측정 주파수 범위에서 50dB이상의 차폐 성능을 나타

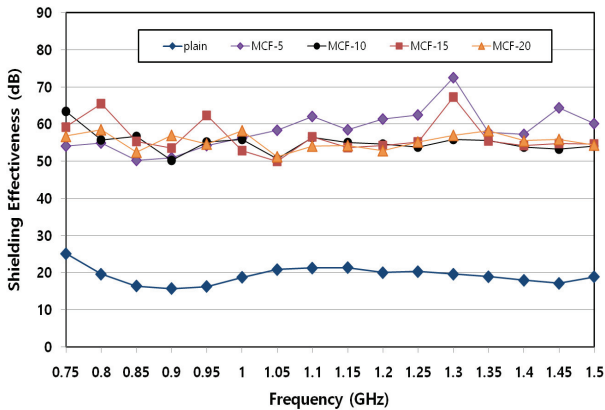


Fig. 10. EMP shielding performance evaluation result according to MCF mixing

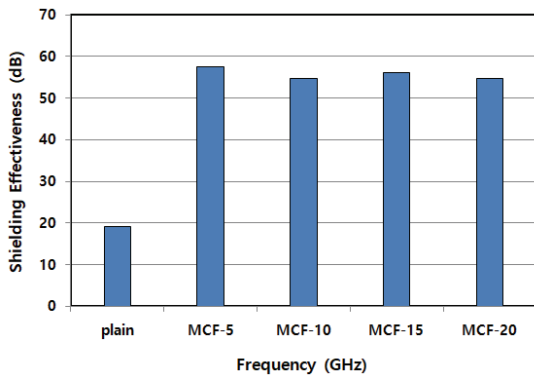


Fig. 11. Average EMP shielding performance

냈으며 MCF-5의 실험체가 주파수 1.3GHz에서 70dB의 범위의 가장 높은 차폐율을 나타냈다. Plain과 MCF가 혼합된 실험체의 차폐 효과는 약 30dB이상의 차폐 성능 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

Fig. 11은 MCF의 혼입량에 따른 0.75GHz~2.0GHz의 평균 차폐율을 나타낸 그림이다. 평균 차폐율 분석결과 MCF의 혼입량 5~20% 까지의 차폐율 측정결과 혼입율에 따른 주파수별 차폐효과 차이는 크게 발생하지 않았다.

따라서 MCF의 혼입량에 따라 EMP 차폐 성능을 평가한 결과 MCF의 적정 사용량은 5%가 최적이라 판단되며 추후 혼입량 1~5%의 변수를 통해 차폐성능 분석이 필요할 것으로 사료된다.

Fig. 12는 Plain실험체와 MCF-5의 두께별 EMP차폐 성능을 나타낸 그림이다. Plain실험체의 경우 두께와 상관없이 차폐효과가 낮게 나타났다. 이로서 차폐 재료가 혼입되지 않은 시멘트는 두께가 증가하더라도 차폐성능에 영향을 못 미치는 것으로 판단된다. 그러나 MCF-5의 실험체는 두께 100mm에서는 40~60dB의 차폐

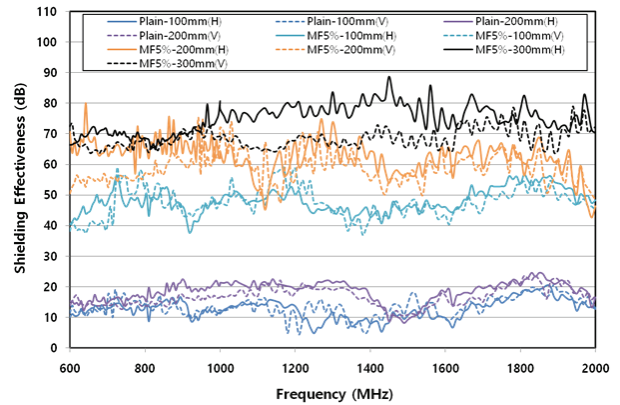


Fig. 12. EMP shielding performance evaluation according to thickness

율을 나타내었고 두께 200mm에서는 50~75dB, 300mm는 65~85dB의 차폐율이 나타났으며 두께가 증가 할수록 차폐율은 증가하는 것으로 나타났다. 이는 두께가 증가됨에 MCF의 혼입량의 증가와 두께증가에 따라 EMP 스펙트럼이 투과 되는 시간과 범위가 증감함에 차폐율 또한 증가하는 것으로 판단된다. 또한 EMP스펙트럼을 수평(시험체 명 뒤 H로 표기), 수직(시험체 명 뒤 V로 표기)으로 발생시켜 EMP의 침투 방향성에 대하여 차폐성능을 분석한 결과 MCF-5-100mm, MCF-5-300mm, Plain의 시험체는 EMP스펙트럼의 방향에 따른 차폐 경향성은 나타나지 않았다. 그러나 MCF-5-300mm의 시험체는 수평의 스펙트럼이 차폐 효과가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 시편의 균질성이나 EMP차폐 스펙트럼을 발생시키는 안테나의 방향에 따른 실험적 오차라 판단된다.

Fig. 11에서는 일정한 두께에서 MCF의 혼입량이 증가하면 차폐율 향상이 뚜렷하게 나타나지 않았다. 그러나 Fig. 12에서는 두께가 증가에 따라 차폐율이 증가하는 현상이 나타났다. 따라서 MCF 사용으로 EMP차폐를 실시할 경우 혼입량을 증가시키는 방법보다 두께를 증가시키는 방법이 효과적일 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

MCF를 사용하여 EMP차폐 콘크리트개발을 위해 기초적인 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. MCF를 혼입한 시멘트의 유동성 측정결과 MCF 15%이상의 혼입량에서 유동성 감소가 나타났다. 이는 MCF와 배합수의 흡착으로 인해 유동성이 저하되는 것으로 판단된다.
2. MCF 사용량이 증가함에 따라 압축강도는 증가하는 것으로



나타났다. 이는 미세한 MCF가 시멘트 페이스트 수화물간의 조직을 연결하여 더욱 견고하게 유지하기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 MCF 혼입량이 5%이상 증가 시 압축강도는 감소하는 경향이 있으므로 MCF 최저혼입량은 5%인 것으로 판단된다.

3. MCF가 혼입된 MCF-5, MCF-10, MCF-15, MCF-20은 측정 주파수 범위에서 50dB이상의 차폐 성능을 나타냈으며 MCF-5의 실험체가 가장 높은 차폐율을 나타냈다
4. 두께별 EMP 차폐 성능을 분석한 결과 Plain 경우 두께가 증가함에도 EM차폐율 증가현상은 뚜렷하게 나타나지 않았으나 MCF가 혼입된 실험체는 두께가 증가함에 따라 차폐율도 증가하는 것으로 나타났다.
5. EMP 차폐율을 증가시키기 위해서 사용한 MCF의 혼입량은 최대 5%가 한계치이며 시험체 두께를 증가시켜 차폐율을 증가시키는 방법이 EMP차폐 측면에서는 효과적일 것으로 사료된다.

### Conflicts of interest

None.

### 감사의 글

본 논문은 국토교통부 건설기술연구사업(과제번호: 20SCIP-B146649-03)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, *The Proceedings of the Korea Electromagnetic Engineering Society*, **19(3)**, 209-218.

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*, **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. (2014). 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*, Sept; **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, W.G. (2013). EMP protecting measurements and required technology, *The Proceedings of the Korea Electromagnetic Engineering Society*, **24(1)**, 79-96 [in Korean].

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

### 저 직경 카본섬유를 사용한 전자기 펄스 차폐 시멘트 개발에 관한 실험적 연구

본 연구에서는 탄소계 섬유를 이용하여 EMP차폐 시멘트 개발을 위해 저 직경 카본섬유 사용량에 따른 시멘트 페이스트의 물리적 특성과 EMP차폐 성능평가를 실시하였다. 사용된 저 직경 카본섬유의 길이는 100 $\mu$ m의 크기로서 육안으로는 분말형태를 나타내기 때문에 시멘트 혼화재 개념으로 사용하였다. 실험결과 저 직경 카본섬유 시멘트 사용량 대비 5% 사용 하였을시 압축강도 및 EMP차폐에 효과가 있었으며 그 이상의 사용시에는 차폐효과는 증가 하지 않았다. 또한 실험체 두께에 따른 EMP차폐성능 검토 결과 저 직경 카본섬유가 사용되지 않은 Plain은 두께에 따른 차폐율 증가 효과가 없었으나 저 직경 카본섬유가 사용된 실험체들은 두께 증가에 따라 차폐성능이 증가 하였다. 따라서 저 직경 카본섬유 사용량과 실험체 두께에 따른 성능을 비교평가 하였을시 EMP차폐율 증가시키기 위해서는 저 직경 카본섬유 사용량은 5%가 최적이며 사용량을 증가시키는 것보다 두께를 증가시키는 방법이 효과적일 것으로 사료된다.