

고성능 시멘트 복합체의 전기전도도 및 전자파 특성 시험 평가

이남곤¹, 박기준², 박정준¹, 김성욱^{3*}

A Study on the Electrical Conductivity and Electromagnetic Shielding of High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites(HPFRCC)

Nam-Kon Lee¹, Gi-Joon Park², Jung-Jun Park¹, Sung-Wook Kim^{3*}

Abstract: This study investigated electrical conductivity, electromagnetic shielding effectiveness, and mechanical property to improve electromagnetic shielding performance of high performance fiber reinforced cementitious composites (HPFRCC). Steel fiber, steel slag and carbon black as a conductive material were incorporated into the HPFRCC mixes. In addition, 2% CNT solution which was produced by dispersing multi-wall carbon nanotube (MWCNT) into water was used as a conductive material. In the test results, electrical conductivity of HPFRCC specimens was very low except for the specimen incorporating 1% carbon black. Micro structure of cement matrix was changed as the curing time increased, which negatively affected the conductive network of HPFRCC. In case of HC1 specimen showing a conductive network (0.083 S/cm), the electrical conductivity of the specimen after being dried at 60 °C for 72 hours to exclude the effect of water on electrical conductivity was significantly reduced to 0.0003 S/cm. The most important parameter of electromagnetic shielding effect was found to be a steel fiber while the effect of carbon black and steel slag was very few. The correlation between electrical conductivity and electromagnetic shielding effect does not seem to be clear.

Keywords: Electromagnetic Shielding, Electrical Conductivity, Steel Fiber, HPFRCC

1. 서 론

과학기술정보통신부에 따르면 2017년 기준으로 국내에 EMP (Electromagnetic Pulse) 방호시설을 갖춘 시설은 12개이며, 400여 개 주요 정보통신기반시설 중 2개에 불과하며, 그마저도 명확한 설치기준이 없는 상태로 나타났다. 특히, 민간통신망, 발전소, 대통령이 지휘하는 국가지도통신망등 주요 국가 시설전방에 걸쳐 EMP 방호 시스템은 구축되지 않은 것으로 드러났다 (Song, 2018; Digitaltimes, 2018).

EMP 공격이 발생할 경우 그 피해 규모는 매우 크지만 민간에서는 아직 인식이 낮으며, 특히 시설 관점에서 EMP 방호 방식에 대한 인식은 매우 낮은 것이 현실이다. 따라서 EMP 위협에 대비하기 위해서는 시설물 건설 관점의 소재/재료 기술개발, 성능평가, 설계 및 시공 기술을 개발할 필요 있다.

HPFRCC는 일반 콘크리트에 비하여 높은 연성을 지닌 섬유보강 고성능 시멘트 복합체로서 일반적으로 10 MPa 이상의 인장강도, 100 MPa 이상의 압축강도 및 우수한 내구성능 확보하는 재료로 알려져 있다 (Richard & Cheyreyz, 1995). HPFRCC의 인장성능은 혼입된 강섬유효과에 의해 주로 발현되며, 압축강도는 낮은 물/시멘트 비와 최적의 입도분포에 의한 높은 유동성과 미세구조의 치밀화에 의해 높은 강도가 확보된다.

일반적으로 시멘트, 모래, 자갈, 물로 이루어진 콘크리트는 높은 저항을 가지므로 전기전도성이 매우 낮으며, 전자파 차폐 효과도 거의 없을 것으로 예상된다. 반면, HPFRCC에 혼입되는 강섬유는 전도성 재료이므로 전자파 차폐성능에 효과적일 것으로 기대된다. 따라서 이 연구에서는 강섬유와 전도성 재료를 시멘트에 혼입한 HPFRCC의 전자파 차폐 효과를 알아보고자 한다. 콘크리트 구조체 관점에서 실험을 수행하기 위하여 MIL-STD-188-125 기준 (MIL-STD-188-125-1, 2005)에 근거하여 설계된 차폐실험실을 활용하였다.

일반적으로 시멘트, 모래, 자갈, 물로 이루어진 콘크리트는 높은 저항을 가지므로 전기전도성이 매우 낮으며, 전자파 차폐 효과도 거의 없을 것으로 예상된다. 반면, HPFRCC에 혼입되는 강섬유는 전도성 재료이므로 전자파 차폐성능에 효과적일 것으로 기대된다. 따라서 이 연구에서는 강섬유와 전도성 재료를 시멘트에 혼입한 HPFRCC의 전자파 차폐 효과를 알아보고자 한다. 콘크리트 구조체 관점에서 실험을 수행하기 위하여 MIL-STD-188-125 기준 (MIL-STD-188-125-1, 2005)에 근거하여 설계된 차폐실험실을 활용하였다.

¹정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

²정회원, 한국건설기술연구원 전임연구원

³정회원, 한국건설기술연구원 선임연구위원

*Corresponding author: swkim@kict.re.kr

Department of Infrastructure safety research, Korea Institute of Civil engineering and Building Technology, Gyeonggi-Do, 10223, Korea)

•본 논문에 대한 토의를 2019년 3월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

2. 실험방법

2.1 사용재료

본 실험에는 결합재로는 1종 포틀랜드 시멘트(성신양회)가

사용되었으며, 시멘트, 실리카폼, 플라이애시의 물리·화학적 성질은 Table 1과 같다. 또한, HPFRCC 제조를 위하여 silica powder(평균 입도 14 μm), 규사(6호, 7호)가 사용되었다.

전도성 재료로는 강섬유, 제강슬래그(현대제철), 카본블랙(OCI, N351)이 혼입되었다. 또한, 탄소나노튜브(Multi-wall Carbon nano tube, MWCNT)를 수용액에서 분산시켜 제조한 CNT 용액이 사용되었다. CNT용액의 농도는 2%로 제조하였다.

Table 1 Chemical properties of materials

Composition % (mass)	Ordinary	Silica fume	Fly ash	Steel slag
	Portland Cement			
CaO	60.74	0.21	22.78	28.6
Al ₂ O ₃	4.98	0.10	14.54	7.7
SiO ₂	20.57	95.31	38.07	20.9
Fe ₂ O ₃	3.39	0.35	5.42	37.8
MgO	2.64	0.80	2.67	5.7
TiO ₂	0.27	-	-	-
P ₂ O ₅	0.11	0.03	0.37	-
Na ₂ O	0.15	0.19	0.86	-
SO ₃	2.38	0.55	5.45	0.6
Loss ignition (%)	3.67	2.02	7.9	2.8

Table 2 Physical properties of steel fiber

Type of fiber	Density (kg/cm ³)	Tensile strength (MPa)	Length (mm)	l _r /d _r (*) (mm/mm)
Straight	7.8	2,500	13	65

2.2 배합표 및 제조 방법

배합표는 Table 3과 같다. H는 기존의 전형적인 100 MPa HPFRCC 배합비이며, UH는 180 MPa HPFRCC 배합비이다. HC1과 HC2에는 carbon black이 각각 시멘트 중량의 1%, 2% 첨가되었다. H_S20, HC1_S20, HC1_S20에서는 제강슬래그가 플라이애쉬를 100% 치환하였으므로, 시멘트 중량의 20% 첨가되었다. H_N0.3와 HC1_N0.3에는 배합수의 30%를

MWCNT 용액으로 치환되었으며, UHC1에는 carbon black이 시멘트 중량의 1% 첨가되었다.

제조 방법은 다음과 같다. 우선, 시멘트와 실리카폼, 플라이애쉬, 실리카파우더, 규사를 10분 동안 믹싱한다. 물과 고성능 감수제를 투입하고 3분 동안 믹싱한다. HPFRCC가 충분한 유동성을 나타낸 후에, 강섬유를 투입하고 추가적으로 2분 동안 믹싱을 한다.

전도성 재료의 경우, carbon black과 제강슬래그는 시멘트와 함께 혼입하였고, MWCNT 용액은 물을 투입할 때 같이 혼입하였다.

2.3 실험방법

압축강도는 KS F 2405에 따라 $\phi 100 \times 200$ mm인 원주형 공시체를 변수별로 제작하고, 최대용량 5,000 kN의 만능재료시험기(Universal Testing Machine, UTM)을 이용하여 1.2 mm/min의 재하속도에서 측정하였다.

전자파 차폐실험법은 Table 4에 나타나 있다. 기존의 MIL-STD-188-125 기준을 최대한 참고하되, 콘크리트 시편 크기 (30×30×10cm)를 고려하여 안테나 거리를 적절하게 수정하였고, 듀얼룸 환경에서 측정 가능한 SE 한계치(60dB)를 실험을 통하여 설정하였다.

전기전도도 측정 방식에는 Four probe method, Four point probe method (2가지 측정 방식이 유사함), Two wire method, Four wire method가 있다.

Four probe method와 Four point probe method는 기본적으로 바깥쪽에 한 쌍의 전극(electrode) 안쪽에 한 쌍의 전극, 즉 두 쌍의 전극이 있다. 그리고 바깥쪽 한 쌍의 전극에 일정한 전류를 흘려보내주고 안쪽 한 쌍의 전극에서 전류공급으로 인해 발생한 전압의 차이를 측정한다는 점에서 동일하다. 이 연구에서는 시멘트 복합체의 전기전도도 측정방법으로 Four probe method를 선택하였다.

Table 3 Mix proportions of HPFRCC (ratio in weight)

Designation	W/B	Cement	SF	FA	Filler	Sand	Superplasticizer	Steel fiber	Carbon black	Steel slag	MW CNT
								(Volume fraction, V _f)			
H	0.3	1	0.1	0.2	0.30	1.20	0.005	2%	-	-	-
HC1	0.3	1	0.1	0.2	0.30	1.20	0.005	2%	0.01	-	-
HC2	0.3	1	0.1	0.2	0.30	1.20	0.005	2%	0.02	-	-
H_S20	0.3	1	0.1	-	0.30	1.20	0.005	2%	-	0.2	-
HC1_S20	0.3	1	0.1	-	0.30	1.20	0.005	2%	0.01	0.2	-
HC2-S20	0.3	1	0.1	-	0.30	1.20	0.005	2%	0.02	0.2	-
H_N0.3	0.3	1	0.1	0.2	0.30	1.20	0.005	2%	-	-	30%
HC1_N0.3	0.3	1	0.1	0.2	0.30	1.20	0.005	2%	0.01	-	30%
UH	0.2	1	0.25	0	0.30	1.10	0.02	2%	-	-	-
UHC1	0.2	1	0.25	0	0.30	1.10	0.02	2%	0.01	-	-

Table 4 International standard and new method suggested for concrete specimens

구분	MIL-STD-188-125	콘크리트 SE 측정 (제안)
시험 주파수	10 kHz ~ 2 GHz	좌동
송수신 안테나	Loop : 10 kHz ~ 20 MHz BC : 20 MHz ~ 300 MHz LP : 300 MHz ~ 1 GHz	좌동
송수신 안테나 거리	송신 안테나 : 2.05 m 수신 안테나 : 1.0 m	송신 안테나 : 1.6 m 수신 안테나 : 1.4 m
안테나 편파	수직 & 수평	수직 & 수평
SE 한계치	10 kHz ~ 10 MHz : 20log(f)-60 (dB) 10 MHz ~ 1 GHz : 80 (dB)	10 kHz ~ 10 MHz : 20log(f)-80 (dB) 10 MHz ~ 1 GHz : 60 (dB)
DR* 요구조건	SE 한계치 + 20 (dB)	좌동

* DR(Dynamic Range) : 동적영역으로 번역하며, 차폐체가 없는 상태에서 직접 수신한 기준신호(Reference)와 차폐체가 없고 비송신 상태에서의 수신신호(Ambient)의 비율을 의미함

디지털 멀티미터를 사용하여 4-probe method를 통해 직류 전압과 직류전류를 측정하여 저항을 계산한다. intrinsic property인 전기 비저항 (Electric resistivity)이란 특정 재료의 고유한 전기 저항값으로 재료의 치수에 따라 변하지 않는 고유한 값을 의미하며, 단위는 Ohm·m이며 ρ (rho) 로 표기한다. 비저항(ρ)을 구하는 법은 다음과 같다.

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (1)$$

여기서, R= 전기저항 (resistance, Ω), A= 재료와 전극이 접촉한 부분의 면적, m², L= 전극과 전극 사이의 간격, m) 이다.

전기 전도도는 비저항의 역수로 정의된다. σ로 표기하며, 단위는 S/m이다.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

전기전도도 단위의 S(siemens)는 저항(Ω)을 역수로 취할 때 상응하는 물리량의 단위로 여겨진다. 즉,

$$S = \frac{1}{\Omega} \quad (3)$$

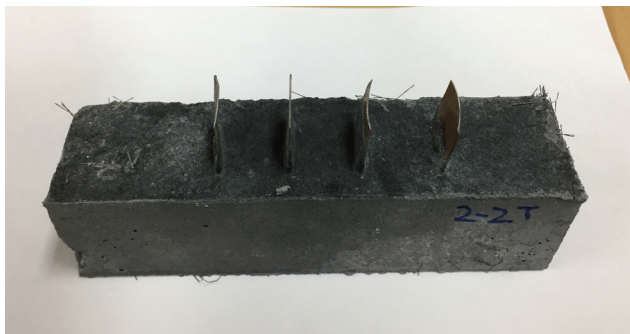


Fig. 1 4 Electrodes-incorporated specimen (4 probe method)

3. 실험결과

3.1 전기 전도도

전기전도도 측정결과는 Table 5~7에 나타나 있다. 전반적으로 카본블랙과 CNT 액상의 첨가는 전도도 향상에 큰 효과가 나타나지 않았다. 다만, 카본블랙이 1% 첨가된 HC1의 1번 실험체의 경우에는 양생 7일부터 0.0793 S/cm의 전도도를 나타냈다. 이는 매트릭스 내에 전도성 네트워크가 형성되었다는 것을 의미한다.

72시간 고온양생한 시편의 경우에는 모두 낮은 전기전도도를 나타냈으며, 고온양생여부와 상관없이 수분의 영향을 최소화하기 위하여 72시간동안 60도에서 건조시킨 후에 측정한 전기전도도 값도 매우 낮았다. 특히, HC1 ① 시편은 건조 전

Table 5 Electrical conductivity results of specimens cured at ambient temperature (S/cm)

Specimen	No.	Total curing time		
		2 days	7 days	14 days
H	①	2.71E-03	2.73E-04	3.25E-07
	②	3.96E-05	8.61E-05	5.74E-07
HC1	①	5.44E-03	7.93E-02	0.0831
	②	1.22E-03	1.85E-04	4.41E-05
HN0.6	①	9.29E-04	5.51E-05	1.04E-05
	②	2.64E-03	1.17E-04	2.38E-05

Table 6 Electrical conductivity results of specimens cured in 90°C water bath during 72 hours (S/cm)

Specimen	No.	Total curing time	
		7 day	14 days
H*	①	3.72E-06	4.34E-06
	②	3.86E-06	1.86E-08
HC1*	①	2.12E-05	7.50E-06
	②	3.27E-05	2.32E-05
HN0.6*	①	5.13E-05	7.69E-06
	②	7.61E-05	8.85E-06

Table 7 Electrical conductivity results of specimens oven-dried at 60 °C during 72 hours (S/cm)

Specimen	No.	Total curing time
		20 days
H	①	8.14E-06
H*	①	1.05E-05
HC1	①	0.0003
HC1*	①	1.34E-05
HN0.6	①	3.39E-07
HN0.6*	①	1.78E-05

에는 0.0831 S/cm이었으나, 건조후 0.0003 S/cm 으로 상당히 감소하였다. 따라서, 콘크리트의 양생 과정 중에는 수화물질의 생성 및 소멸, 시멘트 매트릭스내에 미세구조적 변화로 인하여 전도성 네트워크가 영향을 받는 것으로 보인다.

3.2 전자파 차폐 특성

Fig. 2~11은 전자파 차폐시험 결과를 나타낸다. 주파수 대역에 따라 차폐 효과가 나타나는데, 약 500MHz 이하부터 차폐 효과가 현저히 떨어지며 음의 값으로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 제한된 차폐실험 듀얼룸 환경에서는 시편크기와 안테나 거리의 실험적 한계로 인하여 저주파 대역에서의 차폐 데이터는 신뢰도가 낮다는 것을 의미한다. 따라서, 대푯값으로 1GHz에서의 차폐효과를 Table 8에 정리하였다.

Table 8에서 수직과 수평 안테나 방향에 따른 차폐효과결과를 보여준다. 일반적으로는 수직, 수평방향에 대하여 시편 자체 편향성이 없을 경우에는, 낮은 값을 재료의 차폐성능으로 여긴다. 추가적으로 전도성 물질이 혼입되지 않은 H 시편은 36.3dB를 보였다. 이는 혼입된 강섬유가 차폐효과에 기여한 것으로 판단되며, 강섬유 2% 혼입만으로도 차폐율 36.3dB (99.98%)를 확보할 수 있음을 확인하였다. 카본블랙 1%를 혼입한 HC1 시편은 43.6dB를 나타냈다. 카본블랙의 첨가가 차폐성능에 기여한 것으로 보인다. 그러나 카본블랙 2% 첨가된 HC2 시편은 오히려 35.6dB를 보이면서 차폐성능이 저하되었다. 그 이유는 유동성(flow) 결과와 깊은 관련이 있다. 카본블랙 2% 첨가에 따른 카본블랙 입자의 다량의 수분흡수로 인해 시멘트 복합체의 유동성이 감소하였고, 이는 카본블랙이 고성능 시멘트 복합체에서 충분히 분산되기가 어려웠다는 것을 의미한다. 카본블랙의 낮은 분산도는 차폐 성능 저하에 영향을 끼쳤을 것으로 보인다. 제강슬래그가 플라이애시를 치환한 HC20 시편은 H 시편에 비하여 차폐성능 향상이 이루어지지 않았다.

제강 슬래그와 카본블랙이 동시에 첨가된 HC1_S20 시편과 HC2_S20 시편은 각각 42.7, 46.0 dB의 차폐효과를 나타냈다. 카본블랙 1%에서는 제강슬래그 치환효과는 나타나지 않았으나, 카본블랙 2%에서는 제강슬래그 효과가 나타났다. 두 재료의 시너지 효과가 존재함을 확인하였다. 카본블랙 2%

에서의 낮은 분산도로 인한 차폐성능 저하는 추가적인 제강 슬래그 첨가로 인해 상호 보완됨으로써 성능이 향상되는 것으로 보인다.

MWCNT 수용액(2.0 wt. %)이 배합수에 대하여 30% 치환된 H_N0.3 시편은 26.3 dB를 나타냈다. MWCNT 용액의 사용은 오히려 H 시편의 비해 차폐 효과를 감소시켰다. 유동성(flow)은 170 mm로 H 시편의 유동성과 동일한 수준이었다. 차폐효과 감소의 원인은 MWCNT 수용액 사용에 의한 고성능 시멘트 복합체 내에 다량의 기포 발생으로 판단된다. H_N0.3 시편의 공기량은 약 7% 이상으로 일반적인 고성능 시멘트 복합체의 공기량인 2~4% 보다 매우 높은 수준이었다. MWCNT 수용액에 포함된 다량의 계면활성제가 믹싱 과정 중에 다량의 기포를 내부에 발생시킨 것으로 보인다. 내부 기포는 시멘트 복합체가 경화된 이후에도 공극으로 그대로 존재하므로, 차폐성능 저하에 주요한 원인이 된 것으로 판단된다.

카본블랙 1%와 MWCNT 용액이 치환된 HC1_N0.3 시편은 차폐성능이 소폭상승하여 31.5dB를 나타냈다. 이 결과는 카본블랙 1% 첨가에 의한 차폐성능 향상을 명백히 보여주는 것으로 카본블랙이 첨가된 다른 시편(HC1, HC1_S20)의 상승폭(5~7dB)과 매우 유사한 정도를 보였다.

압축강도 180 MPa 급의 배합설계로 제작된 UH 시편은 36.3 dB를 나타냈다. 이 수치는 압축강도 100 MPa 급의 배합설계로 제작된 H 시편과 동일한 값으로서, 전도성 재료가 아닌 시멘트, 골재, 실리카퓌름 등 기본적인 고성능 콘크리트 원료 등은 그 양이 변하여도 차폐성능에 거의 영향이 없다는 것을 의미한다. 이 결과는 차폐성능에 가장 중요한 인자는 강섬유라는 것을 뒷받침 한다. 카본블랙이 1% 첨가된 UHC1 시편에서는 오히려 34.2dB로 성능이 감소하였다. 이 시편의 유동성이 130 mm 인 것을 보면, UH 시편은 배합수량이 매우 적기 때문에 1%의 카본블랙 첨가만으로도 유동성이 감소한 것으로 보인다. 그 결과, 카본블랙의 분산도가 낮아지고, 차폐성능의 저하에도 영향을 끼쳤다고 판단된다.

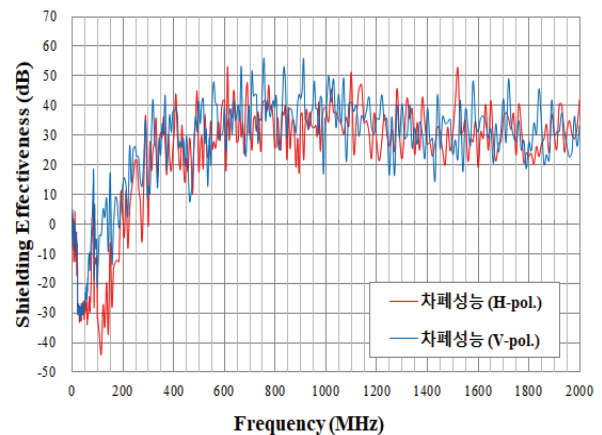


Fig. 2 SE results of H sample

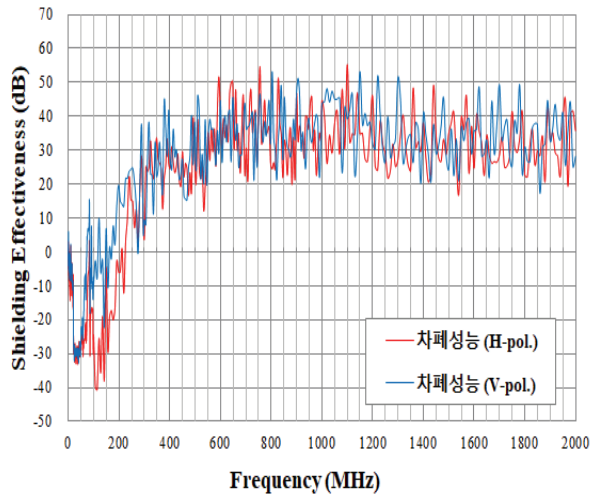


Fig. 3 SE results of HC1 sample

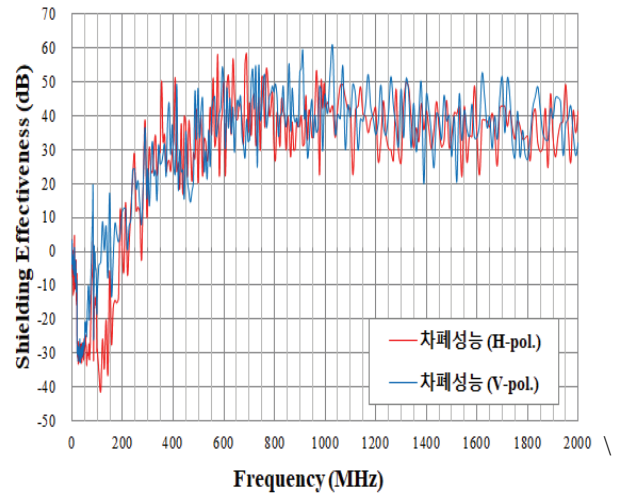


Fig. 6 SE results of HC1_S20 sample

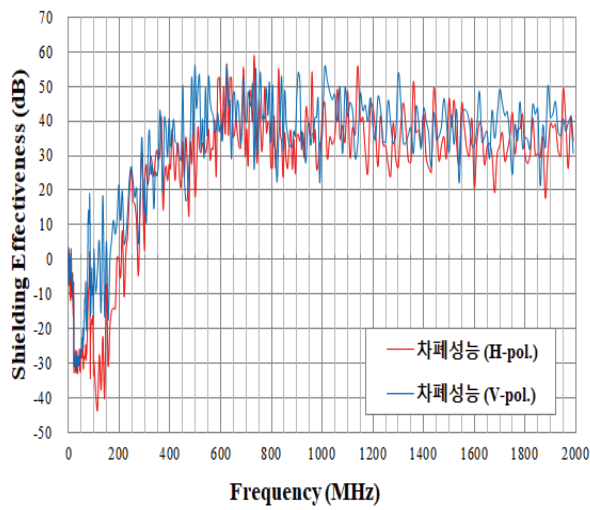


Fig. 4 SE results of HC2 sample

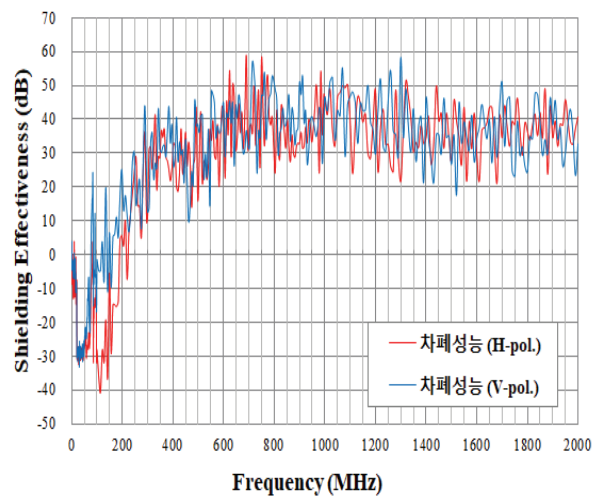


Fig. 7 SE results of HC2_S20 sample

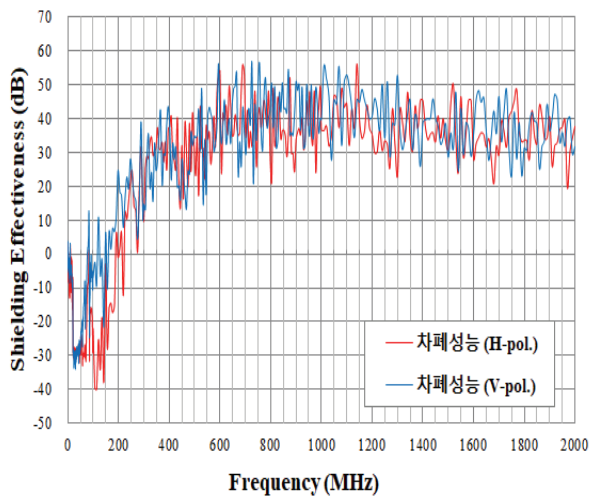


Fig. 5 SE results of H_S20 sample

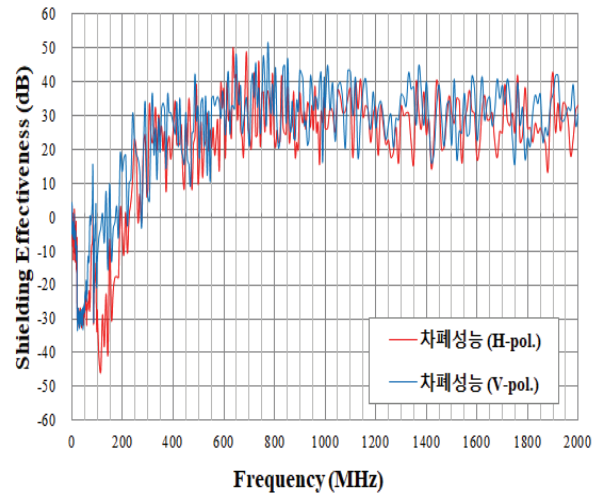


Fig. 8 SE results of H_N0.3 sample

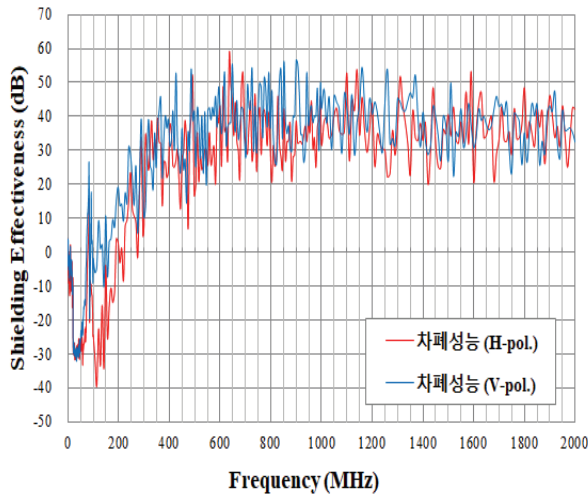


Fig. 9 SE results of HC1_N0.3 sample

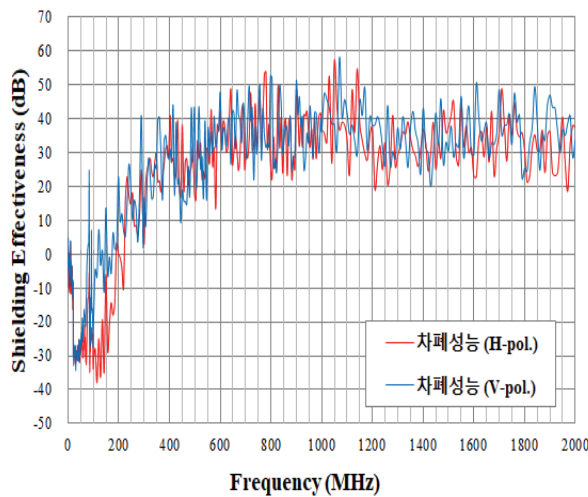


Fig. 10 SE results of UH sample

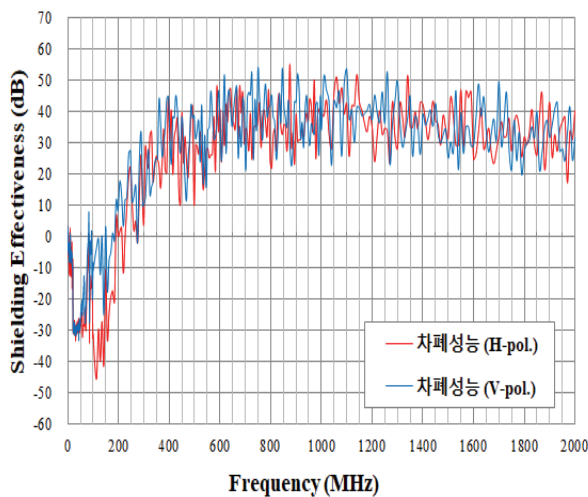


Fig. 11 SE results of UHC1 sample

이상의 결과에서 주목할 사항은 차폐 효과 값(dB)의 변동성이 같은 주파수대에서 최대 20dB 차이가 나는 것이 확인된다. 향후 연구에서는 이러한 변동폭을 최소화할 수 있는 새롭게 개선된 듀얼 차폐층 설계에 대한 연구가 필요할 것이다.

3.3 압축강도

압축강도 결과는 Table 8에 정리되었다. 카본블랙 1% 첨가된 시험체 HC1은 첨가되지 않은 시험체 H에 비하여 아주 소폭 강도 감소(0.4MPa)가 발생하였고, 2% 카본블랙 첨가시에는 약 10MPa 감소하였다. 카본블랙 1% 첨가된 UHC1 시편은 첨가되지 않은 UH 시편에 비하여 약 19MPa이 감소하였다. 고강도 콘크리트의 경우에는 공극이 압축강도에 지배적이다. 더 높은 강도의 콘크리트일수록 카본블랙 첨가로 인한 유동성 감소와 공극증가가 더욱 현저하게 일어나는 것으로 보인다.

Table 8 SE results of the samples measured at 1GHz

Specimen	Vertical (dB)	Horizontal (dB)	Compressive strength (MPa)
H	36.3	39.4	111.2
HC1	43.6	44.5	110.8
HC2	35.6	41.6	101.9
H_S20	39.8	36.8	93.5
HC1_S20	46.3	42.7	99.9
HC2_S20	46.6	46	85.2
H_N0.3	32.4	26.3	99.8
HC1_N0.3	42.3	31.5	91.4
UH	36.3	37.1	176.8
UHC1	34.2	39.7	157.8

플라이애시에 대한 제강슬래그 치환으로 인하여 압축강도 저하도 발생하였으며, CNT 용액 치환에 의한 압축강도 감소도 발생하였다.

4. 결론

이 논문에서는 고성능 시멘트 복합체의 전자파 차폐 성능을 알아보기 위하여 전기전도성, 전자파 차폐실험, 역학적 성능을 검토하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 시멘트 복합체의 전기 전도도는 HC1 시편을 제외하고는 매우 낮은 값을 나타냈다. 시멘트 매트릭스는 양생시간이 증가함에 따라 미세 구조적 변화가 발생하여 전도성 네트워크에도 부정적 영향을 끼치는 것으로 보인다. 전도성 네트워크가 형성된 HC1 시편(0.083 S/cm)의 경우에는 수분의 영향을 배제하기 위하여 시편을 건조시킨 후에 측정된 전기전도도가 0.0003 S/cm으로 감소하

였다. 따라서, 0.01 S/cm 이상의 안정적인 전도성 네트워크 형성을 위해서는 카본블랙 첨가량 1% 이상의 추가적인 전도성 재료 혼입이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2) 강섬유는 전자파 차폐 성능에 가장 지배적인 요인으로 나타났으나, 전기전도성 향상에는 큰 영향을 끼치지 못하는 것으로 드러났다. 카본블랙과 제강슬래그의 혼입은 7dB 이하의 차폐 성능 증가를 가져온 것으로 나타났다. 실험 결과, 전자파 차폐 성능과 전기전도성이 높은 연관성을 보이지 않은 것으로 나타났다. 압축강도에서는 카본블랙과 제강슬래그, CNT 용액의 첨가가 강도의 저하를 가져온 것으로 나타났으며, 그 원인은 재료 첨가에 의한 유동성 감소와 그에 따른 공극 증가인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업 (과제번호:

18SCIP-B146646-01)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. Song, H.K. (2018), Policy forum to establish effective EMP protection measures, National Assembly Hall, 2018.03.09.
2. ROK army, Sets up EMP protection against North Korea attack, Digital times, http://www.dt.co.kr/contents.html?article_no=2018021302101460053002, 2018.02.13.
3. Richard, P. & Cheyrezy, M.H. (1995), Composition of reactive powder concrete, Cement and Concrete research, 25(7), 1501-1511.
4. MIL-STD-188-125-1, "High-altitude electromagnetic pulse (HEMP) protection for ground-based C41 facilities performing critical, time-urgent missions part 1 fixed facilities", Apr. 2005.

Received : 10/16/2018

Revised : 11/26/2018

Accepted : 11/28/2018

요 지 : 이 연구는 고성능 섬유보강 복합체(HPFRC)의 전자파 차폐 성능을 향상시키기 위한 목적으로 전기전도도, 전자파 차폐능, 역학적 강도를 조사하였다. 강섬유, 제강슬래그 미분말, 카본블랙이 전도성재료소 HPFRCC 배합에 첨가되었다. 또한, MWCNT를 수 분산 시켜 제조된 2% wt. CNT 용액을 사용하였다. 실험 결과, HPFRCC의 전기전도도는 1% 카본블랙이 첨가된 시편을 제외하고는 매우 낮은 특성을 보였다. 시멘트 매트릭스의 미세구조는 시간에 따라 변화하였고, 그로 인해 HPFRCC의 전기전도성 네트워크에 부정적인 영향을 끼쳤다. 0.083 S/cm의 전도도를 갖는 HC1 시편의 경우, 수분에 의한 효과를 배제하기 위하여 72시간 60도에서 건조 양생한 후에 측정된 전기전도도가 0.0003 S/cm로 상당히 감소하였다. 전자파 차폐 성능에 가장 중요한 인자는 강섬유인 것으로 나타났으며, 반면 카본블랙과 제강슬래그 미분말의 효과는 미미하였다. 전기전도도와 전자파 차폐능의 상관관계는 이 연구에서는 뚜렷한 경향성을 나타내지는 않았다.

핵심용어 : 전자파 차폐, 전기 전도도, 강섬유, 고성능섬유보강복합체
