

## 시멘트 콘크리트의 전자파 차폐 기능



김창은\*



김기일\*\*

### 1. 서문

최근 대중매체가 본인도 모르게 원치않는 電磁波에 노출될 수 있다는 사실들을 알려주고 있다.

또한 전화기의 혼신, 컴퓨터의 오동작, 텔레비전의 화면 불안정 등을 우리는 경험을 통하여 이미 알고 있다. 예전에는 이러한 일들이 전자폭풍이나 태양방사같은 자연적인 현상에 의해서만 일어났으나 최근에는 인간이 의도적으로 일으킨 라디오, 텔레비전, 레이더 등을 위한 무선 주파수들 때문에 일어나고 있다. 그리고 이런 무선주파수에 대한 연구는 이미 어느정도 이루어져 있다.

특히 최근 트랜지스터 소자들이 등장하고 나서 작동 전압이 저하되어 오동작 가능성이 더욱 높아졌다. 이처럼 電磁波들은 통신장비 뿐만아니라 여러 가지

가전기기들에 의해서도 발생되고 다른 기기들에 영향을 미친다. 이때 옆의 기기들이 오동작을 일으킬 수 있는 가능성은 두가지 요인에 의해 결정된다. 첫번째는 발생된 電磁波의 세기이고, 둘째는 옆의 기기가 가지는 電磁波에 대한 내성 크기이다. 즉 장치가 電磁波를 발생시키지 않아야 하고 만일 電磁波가 발생하더라도 옆의 기기가 그에 대한 내성을 가지면 오동작은 나타나지 않게 되는 것이다. 하지만 電磁波를 발생시키는 발생원이 여러개 있을 수도 있고 강력한 발생원이 있을 수도 있으므로 電磁波에 대한 규제는 처음의 電磁波 발생 억제 쪽에 초점이 맞추어져 있다. 미국, 일본, 독일 등에서는 10KHz~1000KHz의 주파수를 발생시키는 전자기기에 대하여 일정한 遮閉능력을 갖도록 규제하고 있다. 우리나라에서도 電磁波 관련한 규격(표1 참조)이 두개 제정되어 운용되고 있다.

\* 연세대 세라믹공학과 교수

\*\* 산업기술정보원 책임연구원

표 1 KS에서의 電磁波 규제

규격	제목
KS C0262	전기·전자기기의 전자파 장애
KS C5844	개인용 컴퓨터 및 주변기기의 전자파 방해

그러나 여러 가지 규제에도 불구하고 각종 장치 등에서는 電磁波가 발생되고 있으며 그들로부터 독립되고 안정한 환경이 필요한 곳들이 나타나고 있다. 병원이나 연구소의 기기실이나 도청에 대한 염려를 해야하는 기밀시설 등이다. 특히 이러한 시설들에 대한 電磁波 遮閉설비는 대단히 중요하다. 이미 일본에서는 외부의 電磁波가 침투되지 않도록 설계하는 遮閉室이나 遮閉 빌딩도 나타나고 있다.

電磁波는 물질을 만나면 투과 또는 반사 혹은 흡수 되게 된다. 여기서 遮閉材의 電磁波 遮閉 능력은 그 물질의 電磁波에 대한 반사능력과 흡수능력의 합으로 나타내게 된다. 遮閉材의 遮閉효과는 저항으로 표시되는데 통상적으로  $10^4 \text{ohm}\cdot\text{cm}$  이하의 낮은 저항 즉 좋은 導電性을 가져야 遮閉材로서의 기능을 하게 된다고 알려져 있다.

↓ 부도체 ↓	$10^5$	plastic
↓ ↓	$10^{10}$	유리
↓ 반도체 ↓	$10^3$	전자파차폐용 복합체
↓ ↓	$10^0$	
↓ 도체 ↓	$10^{-3}$	흑연
↓ ↓	$10^{-6}$	금속

체적저항(ohm · cm)

그림 1 물질의 체적저항

가장 일반적인 遮閉방법은 導電性 재료들을 판의 형태로 사용하거나 導電材料를 코팅하여 막을 형성시켜 사용하거나 導電材料를 매트릭스에 분산시켜 사용하는 방법이다.

여기서는 세가지 형태 가운데 매트릭스에 분산시키는 방법을 살펴보기로 하고, 매트릭스로 사용되는 재료 역시 수지, 고무, 도료, 세라믹, 유리, 시멘트, 콘크리트, 유기·무기섬유, 입자, 플레이크, 무기·유기 바인더, 왁스, 발포제 등 여러가지가 있는데 시멘트 콘크리트를 중심으로 특별히 출원되어 있거나 문헌에 나타난 것을 참고로 하여 설명하였다.

## 2. 차폐재료 및 차폐방법

실제 시공시에 電磁波의 입사방향, 편파에 대한 電磁波 遮閉의 방향성, 遮閉성능 등의 문제점이 먼저 고려되어야 하고 시간에 따른 遮閉材의 특성 변화 및 내후성 또한 문제가 된다. 그리고 遮閉材로 들어가는 충전제가 반죽기, 교반기, 성형기 및 혼합기에 마모를 준다는 문제점도 나타난다. 여기서는 그러한 실질적인 시공상의 문제점은 제외하고 여러가지 遮閉材의 예들을 살펴보기로 한다.

### 2.1 遮閉材料

電磁波 遮閉에 사용되는 재료는 여러가지가 있는데 일반적으로 導電性材料로 보면 된다. 매트릭스 상에 분산시켜 遮閉性을 얻고자 할 때 충전제로서 導電材料가 가져야 좋은 특성을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 導電性 충전제의 첨가량과 전도성이 자유롭게 변화하며 혼련시 저항변화가 적어야 한다.
- ② 복합화시커도 시간에 따라 변화가 적어야 한다.
- ③ 복합화에 따라 강도, 유동성, 성형성이 조화를 이루어야 한다.
- ④ 복합화시켰을 때 안정성이 높아야 한다.
- ⑤ 가격이 낮아야 한다.

일반적으로 충전제로 사용되는 導電性 재료는 다음의 표에 나와 있다.<sup>1,2)</sup>

### 2.2 遮閉 방법

#### (1) 탄소 섬유를 이용한 遮閉

페라이트 이용방법과 함께 가장 흔히 나타나는 遮閉방법이다. 시멘트 콘크리트에 탄소섬유를 사용하는 목적은 고강도화와 導電性 두가지 측면이 있다. 콘크리트에 사용하는 섬유 보강재로서는 여러 가지가 있는데, 이들 중에서 석면은 발암 물질 문제가 있

표 2 電磁波 遮閉용 導電재료 및 그 특징

분류	종류	특징
카본 블랙	Acetylene Black	고순도, 분산성 양호
	Oil Furance Black	고전도성
	Thermal Black	저전도성, 낮은 비용
	Channel Black	저전도성, 착색용, 작은 입자크기
탄소섬유	Pan계	전도성 양호, 높은 비용, 가공성 불량
	Pitch계	Pan계에 비해 저전도성, 낮은 비용
흑연	천연 흑연	분말화가 곤란
	인공 흑연	
금속미분말	Ag, Cu, 합금	산화변질의 문제
금속산화물	ZnO, SnO <sub>2</sub> , In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CuI	다양한 색깔, 저전도성
금속플레이크	Al	가공시 변질 문제
금속섬유	Al, Ni, Stainless	
Glass bead	금속표면 coating	
Glass fiber		
Coating		

표 3 電磁波 遮閉용 導電재료의 첨가량 및 그 체적사항

도전성충진체	첨가량 wt%	체적저항 Ωcm	특징
Metal fiber	20~50	1~10 <sup>2</sup>	크기나 aspect ratio에 따라 첨가량 다르다.
Carbon fiber	15~35	10 <sup>1</sup> ~10 <sup>1</sup>	Pan계와 Pitch계가 다르며 단독사용시 비용이 높아진다.
플레이크상	40~60	10 <sup>2</sup> ~10 <sup>1</sup>	입경에 따라 전도도의 차이가 난다. 강도저하가 크다.
입자상	50~70	10 <sup>2</sup> ~10 <sup>1</sup>	첨가량이 많을 경우 전도도가 나타난다. 유동성 강도저하가 크다
Carbon black	6~45	10 <sup>3</sup> ~10 <sup>1</sup>	용용범위가 넓다. 유동성이 저하된다.

고 강섬유는 부식의 문제가 있으며 유리섬유는 시멘트의 알칼리 환경에서 용해되는 문제점이 있게 된다. 하지만 탄소섬유는 그러한 문제들이 없고 부수적으로 遮閉효과도 나타나게 된다. 이전에는 값이 비싸다는 단점이 있었지만 최근에는 피치에서 섬유를 뽑아 내면서 가격이 낮아져 콘크리트제품에는 이용이 점점 많아지고 있다.

일반적으로 탄소섬유를 매트릭스에 분산시키는 경우 가늘고 길수록 導電효과는 좋아지게 된다.

하지만 그 경우 가격이 매우 높아지게 되고 혼련이 잘 안되어 시공성이 나빠지고 혼련중에 파괴되는율이 높아지게 된다. 일단 이러한 균질혼합 및 혼련시

파괴 문제를 해결하려는 시도를 살펴보면, 우선 코일상 섬유를 사용하는 기술이 있다. 일반적으로 판상이 아니라 섬유상이나 입자상으로 사용하면 혼입중에 전기저항성이 떨어지게 된다. 그렇지만 첨가량을 높이면 그 성능은 높아지지만 기계적 성능 등 다른 성능이 나빠지게 된다. 그래서 코일상의 섬유를 사용하게 되면 그러한 점들을 극복하게 된다.<sup>3)</sup> 구체적으로 보면 코일상의 탄소섬유를 고온에서 가스상으로 titanising 혹은 siliconising 하여 Ti carbide 나 Si carbide로 만들어 사용하는 것이다. 이때 탄소섬유의 지름은 0.1~1 μm이고 코일의 지름은 1~30 μm, 코일길이는 0.1~5 mm 그리고 그 양은 무게비로 본체의 20~60 % 이다. 이경우 좋은 기계적 강도, 내부식성 그리고 遮閉효과가 나타났다. 그리고 교반에 있어서 첨가제로 알카리금속 탄산염이나 탄산 수소염(NaHCO<sub>3</sub> 등)을 섞어주어 교반이 쉽게 이루어지도록 하는 기술이 있고, 탄소섬유와 함께 탄소 필름상을 플레이크상으로 분쇄하여 같이 섞어주어 섬유와 플레이크상이 상호작용하게 하여 교반이 쉽고 교반시 파괴가 적도록 하는 기술도 선보이고 있다.

그리고 導電性 탄소 몰타르 또한 인텔리전트 빌딩의 외벽과 바닥용으로 사용된다. 이 경우에는 무게비로 시멘트 100에 대하여, 금결제로 석고/알루미나 시멘트를 0.1~5비로 혼합한 양으로 20~300, 탄소섬유 0.01~100 그리고 폴리머 혼화제 5~200의 비로 혼합하여 금결성, 접착성 및 탄성이 우수한 재료를 얻게 된다.<sup>4)</sup>

또한 폐기되는 섬유를 이용하는 경우도 있다. 즉 폐기되는 FRP 같은 재료를 분쇄하여 분말화하여 모래 대신 사용하여 물과 시멘트와 혼련하여 필요한 강도를 얻고, 높은 遮閉효과를 얻으려는 기술도 시도되고 있다. 이경우 FRP의 분말화에 어느 정도의 비용이 들지만 폐기물의 처리와 遮閉용 導電材料의 획득이라는 이중의 효과를 얻게되는 것이다.<sup>5)</sup>

이상에서 탄소섬유를 이용하는 경우에는 적정 가격으로 필요한 성능을 가지는 탄소섬유를 확보하는 것이 중요하며 혼련시 섬유의 손상을 줄이고 필요한 기계적 성능을 얻어내는 것이 노후우라 할 수 있을 것이다.

(2) 페라이트를 이용한 遮閉

페라이트 또한 시멘트에 흔히 사용되는 遮閉材料

이다. 이 재료가 탄소섬유와 다른점은 탄소섬유의 경우 공장에서 제조된 것을 사용하여야 하나 이경우에는 일반적으로 다른 성분들과 함께 첨가되어 성능을 나타낸다는 것이다.

우선 안료 공장에서 나오는 부산물을 원료로하여 페라이트 遮閉材를 만드는 방법이 있다. 즉 부산물로 나오는 석고 및 산화철을 함유한 슬러리를 건조시켜 분말화하여 모래로 쓰고 거기에 이론 수화양의 물만을 흡수시킨 흡수성 폴리머 및 시멘트를 추가하여 혼합 및 가압하여 경화시켜 導電性 遮閉材料를 만드는 방법이다. 더 구체적으로는 안료공장 부산물을 150℃ 30분간 소성시킨 후 분말로 만들어 중량비로 시멘트 100에 대하여 10~100%을 준비하고 시멘트와 부산물 분말에 대한 이론 수화양의 물을 미리 흡수시켜둔 흡수성 폴리머와 시멘트를 섞어 혼련한다. 이때 遮閉 효과를 좋게 하기 위해서는 시멘트에 대하여 중량비로 5~30 %의 자성, 導電性, 강유전성 재료 분말을 혼입하면 더욱 효과적이 된다.<sup>6)</sup>

또 다른 기술을 보면 중금속 이온이 들어 있는 폐수를 건조시켜 분쇄한 후 산화철 및 알칼을 섞어 성형하여 700℃에서 소결하여 페라이트화하여 이것을 시멘트 100, 페라이트화물 50의 비율로 섞어 고품화시켜 遮閉材料로 만드는 기술도 있다.<sup>7)</sup>

그리고 시멘트 콘크리트에 전파흡수성을 가지는 페라이트 등 세라믹스 분말을 첨가하여 다공성으로 콘크리트를 제조하여 보온재로서의 역할 및 電磁波 遮閉材 역할을 같이 하도록 하는 것도 보고되고 있다.<sup>8)</sup>

그 외로 무기질 벽재 표면에 페라이트 층을 형성시키는 방법도 있다. 점토질이나 시멘트, 규산칼슘, 탄산칼슘, 석면, 실리카, 유리섬유, 탄소섬유, 위스커 등의 혼합물인 무기질계 원료를 성형하여 여러가지 형태로 제조하여 양생 및 소성시켜 경질벽재로 만들어 벽체에 사용하는 방법이다.

이경우 경질벽재위에 페라이트 층을 형성시켜 遮閉기능이 생기게 한다. 형성방법은  $MO \cdot Fe_2O_3$  (M: 2가 금속이온) 즉 금속산화물과 철산화물 분말을 혼합하여 벽재를 성형하여 소성시키기 전에 그 표면에 이 층을 형성시켜 소성에 의해 두 층을 일체화시키는 방법이다.<sup>9)</sup>

페라이트의 경우 시멘트의 구성성분 가운데

$C_4AF(4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3)$ 이 있기 때문에 이 성분을 강화하여 導電性을 가지고 발열이 가능하도록 하는 기술이 주로 러시아를 중심으로 상당히 연구되어 있고 최근 일본에서도 연구하고 있다.

### (3) 그외 재료를 이용한 遮閉

#### 1) 산화아연 위스커를 이용한 遮閉

이 경우 사용되는 산화아연 위스커는 표면에 산화 피막을 지닌 금속아연 분말을 산소를 포함하는 분위기에서 열처리하여 얻어진다. 생산된 위스커를 사용할 때는 침상 결정부의 길이는 50 $\mu$ m 이상의 산화아연 위스커를 70 wt.% 이상 사용하는 것이 좋다. 콘크리트내에 탄소섬유같이 분산시켜 사용이 가능하며 매트릭스로 다른 재료들의 사용도 가능하다. 또한 페라이트 탄소 등의 導電性 材料의 입자나 섬유를 1~2 종류 이상 도입하면 더욱 효과가 커진다. 이경우 위스커의 테트라포드 구조가 電磁波의 방향성에 대하여 유리하게 작용하고 또한 금속산화물이어서 산화에 따른 열화가 적어 내후성이 적게 된다. 그리고 비교적 유연성을 갖는 위스커이기 때문에 성형기의 마모가 적고 혼련에서 파괴가 적어지게 된다.<sup>10)</sup>

#### 2) 아세틸렌 블랙을 이용한 遮閉

시멘트와 아세틸렌 블랙을 이용하여 導電性 바닥 재료를 만드는 것이다. 구체적으로보면 시멘트 100에 무게비로 아세틸렌 블랙을 1~200 넣어 전기비저항이 50 kg/cm<sup>2</sup>의 압력에서 0.3  $\Omega$ cm 이하가 되도록 하고 친수성이 5분이내가 되도록 만들어 주는 것이다. 사용되는 아세틸렌 블랙의 비표면적은 50~150 m<sup>2</sup>/g이다. 이경우 섬유와 같은 혼련에 따른 문제점들은 나타나지 않게 된다.<sup>11)</sup>

#### 3) 물을 이용한 遮閉

시멘트 콘크리트에 물을 함유시켜 물의 導電性을 이용하여 遮閉하는 방법이다. 물을 함유시키는 방법은 유전성을 갖는 폴리머로 만들어진 30mm 이하의 캡슐에 물을 함유시켜 시멘트 콘크리트 매트릭스에 부피비로 15~45 % 분산시키고 그 매트릭스 양면에 물이 투과하지 않는 폴리머시트를 부착하는 것이다. 여기에 사용되는 물은 이온수이면 더욱 효과가 커지지만 수도물이어도 무방하다. 그리고 다른 경우와 마

찬가지로 탄소섬유나 분말의 추가에 의해 효과가 더 커진다.<sup>12)</sup>

#### 4) 흑연을 이용한 遮閉

흑연 및 고로시멘트 등을 원료로 하여 電磁波 遮閉用 코팅재를 만드는 기술이 나와 있다. 구성비를 보면 무게비로 고로시멘트 25%, 액상유기중합체수성 에멀전 (ex. acryl-modified styrene butadiene latex) 20% 그리고 수재(水滓) 55% 이다. 흑연은 수재 가운데 부피비로 수재의 25~50% 포함되어 있다. 이런 구성비로 제조되는 경우 내후성 및 내화학성이 그리고 작업성이 좋아진다. 그래서 탄소섬유와 같은 작업성 저하나 페라이트와 같은 電磁波 흡수 성능 문제나 비중의 문제도 나타나지 않게 된다.<sup>13)</sup>

### 3. 결론

이상에서 여러가지 방법으로 電磁波를 遮閉시키는 기술들을 살펴보았다. 실제적으로 적용하려면 일단 판상으로 사용하는 것이 더 효과적인지 복합재로 사용하는 것이 효과적인지 먼저 검토되어야 할 것이고 또한 금속에 대해서는 遮閉효과가 어느정도 연구가 진행되어 있지만 복합재료의 경우에는 여러가지 점들이 복합적으로 작용하므로 그 효과에 대한 검증 역시 지속적으로 검증하여 그 요인들과 비교 분석하여야 한다.

여기서 살펴본 바로는 탄소섬유와 페라이트를 이용한 복합체 구성이 가장 흔히 사용되고 있는 방법으로 나타났다. 그리고 다른 매트릭스 보다 시멘트 콘크리트가 유리한 점으로는 그 시공에 있어서 반죽으로 만들어 필요한 부분에 시공할 수 있다는 점, 그리고 특별한 숙련공이 아니어도 시공에 문제가 없다는 점이다. 반면 불리한 점으로는 시멘트 콘크리트의 경

우 반죽이 묽지 않기 때문에 혼련이 힘들고 또한 그렇기 때문에 균질 혼합이 어렵게 되고 포함된 導電성 충전재들의 변형 가능성이 높다는 점이다.

아직 국내에서는 건물에 대한 電磁波 遮閉의 수요는 많지 않다고 할 수 있다. 하지만 정보화사회가 도래하면서 무선 전화기의 보급 등 여러가지 방법으로 더욱 많은 정보들이 더 강력한 전파를 타고 더 멀리 날라다니게 될 것이고, 전자회로들은 더욱 경량화 소형화되고 구동전압은 더 낮아져 오동작 혹은 불안정은 더욱 늘어날 전망이다. 그렇게 되면 인텔리전트 빌딩으로 나타날 미래 건물의 電磁波 遮閉에 대한 연구는 그리 멀지 않은 미래에 우리의 연구과제가 될 것이다.

### 참고 문헌

1. 高木收一, Plastic Age, Oct., 113 (1988)
2. 清江輝雄, ibid, 118(1988)
3. 日特開 平5-21984 電磁波シールド 複合材料
4. 日特開 平4-74747 導電性 彈性 モルタル 組成物
5. 日特開 平3-275548 廢棄された 纖維入 強化プラスチック 粉末 ~ 硬化體
6. 日特開 平5-117001 セメント硬化體
7. 日特開 昭55-10785 高周波 加熱裝置の 電波吸收體
8. 日特開 平1-226962 建築用 壁體 ブロック
9. 日特開 平1-239245 硬質壁材
10. 日特開 平3-48500 電波吸收材
11. 日特開 平1-126248 導電性 セメント 組成物
12. US5146047 Electric-wave absorbing material for construction
13. 日特開 昭62-153155 電磁波
14. 日特開 平4-2637 導電性 セメント および 導電性 構造體 