

전자파 차폐 건설 재료의 개발

Development of Electromagnetic Wave Absorbing/Shielding Construction Materials



김형기*
Hyeong-Gie Kim



이행기**
Haeng-Ki Lee

1. 서론

최근 빠른 속도로 고성능의 전자파 기기 개발 및 사용이 증가하고 있으나 한편으로 이에 따른 크고 작은 사회적 문제들도 나타나고 있다. 전자파의 간섭(electromagnetic interference, EMI)에 의한 전자파 기기 오작동 문제, 통신 보안 문제, 인체에 전자파에 장시간 노출 될 시에 발생하는 유산, 백내장 등이 그러한 전자파 문제의 대표적인 예라고 할 수 있다. 대표적으로 1991년 5월 일본 시가현 시가라키 고원 철도에서 전자파 간섭에 의해 발생한 열차충돌 사건에서 42명이 숨지고 4백 54명이 부상을 당하였다는 보고가 있다.¹⁾ 뿐만 아니라, 1988년 서울 강남의 아파트에서 발생한 엘리베이터 추락에 의해 탑승해 있던 어린이가 사망한 사고에서도 아파트 부근 상공을 지나던 고압선에서 방출된 전자파가 오작동의 원인인 것으로 보고되었다.²⁾ 따라서 전자파 문제 해결 기술의 개발은 이제 더 이상 선택적 문제가 아닌 필수적 문제가 되었다고 해도 과언이 아니다.

이러한 문제를 해결하기 위한 전자파 환경 개선기술은 크게 두 가지로 분류할 수 있다.³⁾ 첫 번째 방법은 전자파 기기 자체에 전자파 기능을 부여하여 내부회로에 불필요한 전자파가 들어오지 못하게 하는 것이다. 이를 위하여 여러 기업체와 연구기관에 의해 복합재료(composite materials)를 이용한, 얇고 효과적인 전자파 재료의 개발이 진행되고 있다. 다른 하나는 건물의 벽체나 바닥을 전자파 차폐 건설재료로 시공하는 방법이다. 전자파 차폐용 건설재료를 시공할 경우 구조물의 내·외부에서 발생하는 전자파에 의한 간섭을 감소시켜 정보 보안과 기기오작동 문제를 해결할 수 있으며, 인체에 악영향을 미치는 과도한 전자파 노출을 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 뿐만 아니라 벽체나 바닥면에 의한 전자파 차폐로 인하여 주파수 재사용 효율을 높일 수 있기

때문에 동일한 자원을 사용하게 될 경우 건물 내부에서 더 높은 전송 효율을 가지게 할 수 있다.⁴⁾ 일본을 중심으로 한 국외에서는 이와 관련된 연구가 꾸준히 진행되어 왔으며, 이에 대한 실제적 결과물로서 관련 재료의 시공이 이루어지고 있는 추세임에 비해, 국내에서는 아직 이에 대한 연구가 미비한 상황이다.

본고에서는 향후 전자파 관련 건설재료에 대한 인식을 재고하고 이에 따른 기술 개발 방향을 모색하기 위하여, 기존 기술에 대한 동향을 조사하였다.

2. 전자파에 의한 문제의 종류

앞에서도 언급 한 것 같이 불필요한 전자파에 의해 발생하는 문제는 크게 세 가지로 나누어 볼 수 있다.

- 1) 전자파 간섭 등으로 인한 기기 오작동 문제
- 2) 무선 도청 등에 의한 정보 보안문제
- 3) 전자파 노출에 의한 인체 내 유해성 문제

이 중 3)의 경우는 아직 그 유해성 여부에 대해 논의가 진행 중에 있다. 유해하다고 주장하는 측에서는 핸드폰 사용에 의한 뇌내(腦內) 온도 상승, 장시간 모니터 사용에 의한 안구 장애 발생 등을 그 이유로 들고 있으며 이에 대한 여러 증거들을 제시한다. 이러한 전자파 유해성 논란이 제기됨에 따라 전 세계적으로 통일된 전자파 인체 노출 기준의 필요성이 제기되었으며, 이러한 결과로 IEEE ICES(International Committee on Electromagnetic Safety) 산하 TC95에서 제정한 IEEE C95.1 표준과 ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)에서 제정한 ICNIRP guideline 등이 제안되었다.⁵⁾ 이와 같은 문제는 대개 전자파 발생기 내에서 전자파 차폐를 통하여 해결이 가능하며 이를 위한 여러 기능성 재료들이 연구되고 있다.

* 한국과학기술원 건설및환경공학과 석사과정
hyeongki@kaist.ac.kr

** 정회원, 한국과학기술원 건설및환경공학과 부교수

1)과 2)의 경우, 여러 조사에 의해 사실여부가 증명되고 있으며 이에 관련된 대책들 역시 여러 가지 방법으로 모색되고 있다. <표 1>에서와 같이 1)의 경우는 상황에 따라서는 인명피과도 직결되는 문제가 발생할 수 있으며 이미 관련된 사건에 의해 사상이 다수 발생하였다. 또한 2)와 같은 무선 도청 문제는 기업 내의 기밀정보 유출 등과 관련되어 사용자에게 큰 경제적 손실을 일으킬 수 있다. 특히, 컴퓨터 모니터 등에서 발생하는 전자파를 해킹하여 도청할 수 있는 TEMPEST 기술은 유럽의 정보기관에서 처음 사용되기 시작한 것으로서, 서버의 오작동 등을 일으키기도 한다.⁶⁾ 이러한 문제를 제어하기 위한 방법으로는 상술(上)한 기능성 재료 이용과 함께, 전기회로 내 누설전자파 감소기술이 주로 이용되고 있다.⁷⁾ 그러나 이와 함께 무선통신 기기에서 발생하는 전자파가 공간 내에 무작위로 전파되는 것을 고려할 때, 전자파를 제어하기 위한 가장 효과적인 방법은 구조물 내에서 공간을 전자파 차폐화 하는 것이라 할 수 있다. 따라서 이와 같은 전자파 차폐용 건설재료에 대한 지속적인 연구개발의 필요성이 지적되고 있다.

3. 전자파 차폐 메커니즘

전자파 차폐는 어느 한 공간에서 발생한 전자파가 다른 공간에 전파되지 못하도록 능/수동적 방법을 이용하는 것이다. 그러므로 <그림 1>과 같이 수동적인 차폐체를 이용할 경우, 그 재료의 전자파 차폐성능은 이하의 요소들의 합으로 표현된다.⁸⁾

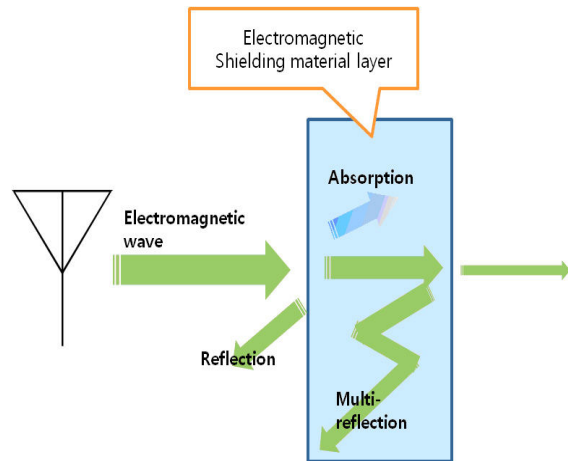


그림 1. 전자파 차폐 메커니즘

1) 전자파 반사(electromagnetic reflection): 재료의 표면에서 전파가 통과하는 매질간의 임피던스 차이에 의해 발생하며, 주로 금속계 재료에서 일어난다.

2) 전자파 흡수(electromagnetic absorbing): 재료 내에서 여러 손실 메커니즘(예: 도전 손실(conductive loss), 유전손실(dielectric loss), 자성손실(magnetic loss) 등)에 의해 전자파가 열에너지로 변환되어 소실된다. 탄소계 재료, 자성계 재료에서 주로 발생한다.

3) 전자파 다중반사(electromagnetic multi-reflection): 재료가 불균일하거나 두께가 두꺼운 경우, 재료 내에서 전자파 산란 등에 의해 재료를 투과하지 못하고 재료를 타고 전혀 다른 방향으로 전자파 전달되며 발생한다.

차폐체가 우수한 차폐성능을 나타내기 위해서는, 재료가 우수한 유전율(permittivity), 투자율(permeability), 혹은 전도도(conductivity)를 가져야 한다. 물론 이들 변수는 입사되는 전자파의 주파수에 의존하는 경우가 있다. 하지만 본고에서는 여러 건설재료에 관한 소개를 주로 다루고 있으므로 이와 관련한 자세한 설명은 생략하기로 한다.

4. 기존 전자파 차폐 기술

일반적으로 콘크리트는 200 mm 두께에서 10dB(90%) 수준의 전자파 차폐 성능을 보유하고 있으며, 석고보드에 의한 내장재와 중간층, 단열재 등을 시공한다고 가정하였을 때 기존 재료에 약 5~10 dB(주파수 대역 2~3 GHz 기준)의 차폐성능이 추가적으로 발생 한다는 연구결과가 있다.⁹⁾ 이 외의 건물 내 공간을 구성하는 여러 구성물의 전자파 성능은 <표 2>에 나타내었다. 이러한 기본적인 전자파 차폐 성능에도 불구하고, 전자파 문

표1. 전자파 오작동에 대한 사건 예

발생 년도	발생 국가	내용
1967	미국	미 해군 로켓포 발사시스템 이상 유발
1982	일본	로봇 오작동으로 인한 선반공 사망
1984, 1991	일본	컴퓨터 오작동으로 인한 열차 충돌
1984	독일	전투기 추락사고
1988	한국	엘리베이터 추락 사고
1996	일본	청량음료 자판기에서 발생한 전자파에 의해 수술 중 혈액 공급 펌프에 이상 발생
1998	한국	방송사 전파의 영향으로 민방위 경보 사이렌 작동
2003	일본	전자유도가열식 전기밥솥에서 발생한 전자파에 의해 60대 여성의 심장 페이스메이커에 오작동 발생
2007	미국	iPod에서 발생한 전자파에 의해 심장 페이스메이커에 오작동 발생

※ 이외, 이식형 의료기기, 고속열차 운행 지연, 자동변속차량 및 전동 휠체어의 급발진, 노트북 내 무선통신 칩셋의 전자파에 의한 항공기 충돌방지/착륙시스템 문제

표2. 건물 내 공간을 구성하는 여러 구성물의 전자파 성능(차폐 손실량)¹⁰⁾

		Drywall	Office whiteboard	Clear glass	Mesh glass	Clutter
Material thickness (cm)		2.5	1.9	0.3	0.3	-
2.5 GHz	평균 감소량 (dB)	5.4	0.5	6.4	7.7	2.5
	두께당 감소량 (dB/cm)	2.1	0.3	20.0	24.1	-
60 GHz	평균 감소량 (dB)	6.0	9.6	3.6	10.2	1.2
	두께당 감소량 (dB/cm)	2.4	5.0	11.3	31.9	-

제는 끊임없이 발생하고 있으며 이에 대처하기 위한 전자파 차폐 방법들이 여러 분야에 걸쳐서 제안되고 있다.

그 중에서도 건물에서 전자파를 차폐하는 것은 크게 두 가지 단위에서 생각할 수 있다. 전자파 차폐 성능을 갖는 기본 재료들(electromagnetic shielding materials)과, 그 재료로 제조된 구조부재(electromagnetic shielding members)이다. 이때 구조부재라고 하는 것은 구조적 하중을 지지하는 개념이 아닌 공간을 이루는 모든 부재, 즉 유리창, 바닥판, 벽체, 내·외장재, 공조용 덕트 등을 의미한다.

4.1. 전자파 차폐 재료

전자파 차폐(흡수) 재료는 탄소계, 금속계, 자성계 그리고 전도성 고분자계 등이 있으며 위에서 설명된 메커니즘에 의해 전자파를 차폐(흡수)한다. 구체적인 종류는 다음과 같다.

- 탄소 섬유/필라멘트/분말(carbon fiber/filament/powder): 대표적인 탄소계 재료로서 탄소 필라멘트의 경우 두께의 직경이 0.1 μm 이하, 탄소 섬유는 직경 0.1 μm 이상의 섬유를 나타낸다.¹¹⁾ 탄소 필라멘트는 상대적으로 전자파 흡수 성능이 매우 우수하지만 재료의 보강효과는 작다. 그에 반하여 탄소 섬유는 필라멘트에 비하여 흡수 성능은 떨어지지만 재료의 보강효과는 우수하다. 가볍고, 강도가 좋으며, 또한 넓은 사용성과 높은 전도도를 가지고 있다. 하지만, 국내에서 생산이 어려움으로 재료의 수배가 어려워 건설재료로서 사용되는 일은 현재까지 많지 않다. 혼입재로 설계되어 다양한 매트릭스(matrix) 내에 고정되어 사용되고 있다.
- 니켈 섬유/필라멘트/분말/도금(nickel fiber/filament/powder/plating): 탄소계보다 더 높은 차폐 성능을 가지며 항산화성이 우수하다. 또한 안정적인 성질을 가지고 있다. 금속계이므로 도금하여 사용할 수 있는 특징이 있다.
- 강섬유/스틸 필라멘트(steel fiber/powder): 전형적인 전자파 반사체로서 높은 차폐율을 보인다. 하지만 다른 재료에 비해 무겁다. 다른 섬유재료와 같이 임계 부피비 이상 사용

하게 되면 뭉침현상(ball effect)이 발생하여 분산성이 급격히 떨어진다. 그러나 다른 재료에 비해 저가로 쉽게 구할 수 있으며 강도 증진 효과가 좋다.

- 카본 블랙(carbon black): 탄소 함유율이 99.5%에 이르는 고순도의 다공질성 물질로, 수용액화도 가능하며 여러 형태로 가공되어 판매되고 있으나, 고가이다. 모르타르 제조시 혼입하는 경우가 있으나, 유동성이 현저히 떨어진다.
 - 그래파이트(graphite): 일반적으로 두 가지 종류의 그래파이트가 사용되는데 콜로이드상 그래파이트(colloid graphite)는 그래파이트 미분말(fine graphite powder)을 물이나 알코올에 넣어 복합재 제조 후 증발시키며 가요성 그래파이트(flexible graphite)는 박리된 그래파이트 박편(exfoliated graphite flake)을 압축시켜 제조한다.¹²⁾ 안정성이 낮아서 전도성 재료로 사용된 지 오래 되지 일반적으로 분말 혼입재의 형태로 사용된다. 그러나 시중에서 구입이 어렵고, 탄소 그래파이트의 경우 제품의 제조 부산물로서 소량 입수할 수 있다.
 - 페라이트(ferrite): 철에 합금원소가 녹아서 된 고용체(solid solution)며, 자화(magnetization)하였을 시, 강한 전자파 자성손실을 일으키는 소재이다. 콘크리트에 함유할 경우에는 자화 하는 것이 어렵다. Ferrite를 이용하여 N사에서는 radio wave 흡수 소재 BMDM(building material to depress multi-path)을 개발하여 시판하였으며 Russian Concrete Research Institute에서는 conductive cement material을 제조하고 있다. 입수가 쉽지 않으며, 콘크리트 커튼 월로서 쓰이는 사례도 있다.
 - 발포 알루미늄(foam aluminum): 금속 분말을 소결하는 과정에서 발포제를 첨가하여 형성하며 전도성이 우수하다.
- 이 외에도, 콘크리트의 혼화물, 골재 대체물로 사용되는 플라이애쉬 등을 전자파 차폐재료 사용되기도 한다. 이들 재료는 특유의 전자기적 성질(유전성, 전도성, 자성)을 가지고 여러 형태로 가공되어 사용된다.

4.2. 전자파 차폐 구조

구조물 내 전자파 차폐 방법을 알기 위해서는 우선 전자파의 발생원과 함께 발생된 전자파가 구조 내에 침입하는 경로에 대해 고려해야 한다.

지금까지의 전자파 발생원은 일반적으로 고압 전류선, 전자레인지와 같은 전자기기, 휴대폰과 무선 LAN 등이며, 최근에 들어서는 sensor networking에 의한 유비쿼터스(ubiquitous) 건물환경에 대한 수요가 늘어남에 따라 이 때 사용되는 sensor node, sink node 역시 주된 전자파 발생원의 하나가 되어가고 있다(이에 대한 자세한 설명은 본고에서 생략한다). <표 3>은 여러 장비에서 발생하는 전자파의 종류와 주파수를 나타내고 있다. 이러한 전자파 발생원이 건물의 외부인 경우, 전자파에 가장 취약한 부분은 창문과 개스킷 부분이라고 할 수 있다. 두께가 가장 얇으며 필요에 따라 개방되는 경우 전자파를 전혀 막을 수 없기 때문이다. 또한 전자파 발생원이 내부인 경우, 공조시설과 문, 띄운 바닥판 구조 등을 통해 전자파가 다른 공간에 침입하게 된다. 따라서 기존의 연구들에서는 이러한 부분에 대한 전자파 차폐 방법이 주로 다루어져 왔으며, 이러한 연구에 따른 여러 결과물이 도출되었다. 그 외에도 벽을 투과/반사하는 전자파에 대한 대책들 역시 여러 분야에 걸쳐 연구되어 왔다.

일반적으로, 전자 기기 설계의 경우 전자파 반사성능과 함께 전자파 흡수성능을 요구 하는 경우가 많은 것에 반해 건설재료의 경우 흡수성능은 크게 요구되지 않는다. 특히, 전자파 흡수용으로 사용될 수 있는 자성재료(예: 페라이트), 탄소계 재료(예: 탄소섬유, 그래파이트)의 경우 입수가 어렵고 가격이 고가인 경우가 많으므로, 건설용 재료로서는 사용이 제한되었다. 따라서 철판과 알루미늄합금과 같은 금속재료를 이용한 전자파 차폐 시공이 일반적이며, 병원의 MRI실, 군사용 레이더기지, 전자파 차폐

실(EM shielding room)과 같은 초고성능의 전자파 차폐가 필요한 경우 외에는 아래와 같은 방법에 의해 전자파 차폐 구조가 구성된다.¹³⁾ 이러한 전자파 차폐 방법은 주파수에 따라 5~70 dB까지 다양한 범위의 전자파 차폐율을 나타내며 이에 대한 자세한 성능은 본고에서 생략한다.

- 합판/파티클 보드 패널과 도금된 합판의 복합체
- 다양한 두께의 철판을 용접한 철 지지체 구조: 가장 단순한 차폐 방법 중 하나로서 차폐효과는 매우 우수한 반면 중량이다.
- 합판으로 이루어진 벽에 도금된 금속 설치
- 금속으로 이루어진 허니컴(honey comb) 구조
- 전자파 차폐용 도료, 보드, 모르타르: 금속, 탄소계 재료 사용
- 위의 방법의 복합적 사용

5. 전자파 차폐용 건설재료 기술의 개발 방향

전장에서 열거한 전자파 차폐용 건설재료는 크게 두 가지의 한계점을 가지고 있다. 첫째는 대부분 이차적인 시공을 통하여 차폐층을 시공한다는 것이다. 기본 구조물 시공 시 일반 콘크리트 표면에 전자파 도료 등을 도포하기 위해서는 부가적인 표면 처리 과정이 필요하다. 또한 전자파 차폐 건축 벽체를 시공할 경우 역시 전자파 성능을 갖는 파티션을 설치해야 하는 과정이 요구된다. 따라서 이러한 시공은 전자파 차폐가 특별히 요구되는 일부 구조물에 서만 수행되어 왔던 것이 지금까지의 흐름이다. 둘째, 전자파 차폐용 재료는 원자재의 특성으로 인하여 가격이 높고 물량의 확보가 어렵다. 일반적으로 탄소계 재료는 매우 고가이며 건설재료로서 사용하기 위한 공급량도 적다. 또한 군사용으로 사용되는 경우가 많기 때문에 국외에서 수입할 시 수입 절차가 매우 복잡하다. 자성 재료 역시 수매가 어려우며, 만약 콘크리트나 석고 보드 같은 곳에 사용할 경우 제조 및 사용에 큰 지장이 발생하게 될 소지가 있다. 실제로, 현재의 기술은 1m²당 100만원 수준의 시공비용이 소요되므로, 군사시설 및 의료시설과 같은 특수한 상황이 아닌 일반적 거주/사무 공간에서는 사용되는 예가 드물다.¹⁵⁾

따라서 향후의 전자파 차폐용 건설재료에 관한 연구가 이러한 문제들의 해결을 위한 기술을 중심으로 진행되어야 될 것으로 고려된다. 이러한 흐름과 더불어, 관련 기업과 학계를 중심으로 고성능의 도료 및 모르타르, 혹은 프리캐스트 콘크리트 패널 등을 이용하는 연구가 일부 진행되고 있는 추세이다. 또한 전자파 흡수 소재로서 사용될 수 있는 새로운 재료들에 대한 꾸준한 탐색 역시 강력히 요구 되고 있다. 건설재료에 이용될 경우 성능이 다소 떨어지더라도 저가에 다량으로 확보가 가능한 소재가 적합하므로 이를 위하여 전자파 차폐/흡수 성능을 갖는 산업 부산물, 폐기물에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 한다.

표3. 여러 전자파 발생 기기의 종류¹⁴⁾

적용대상	주파수 대역 (MHz)	최대 통신속도 (Mbps)	비고
무선 마이크	800	음속	
케이블 TV	50~750		
제 2세대 이동전화 서비스 (SK 텔레콤)	824~849		
간이 휴대전화(personal handy system, PHS)	1900	64	
무선 LAN	2400	11	IEEE 802.11b
		52	IEEE 802.11g
		6~54	IEEE 802.11a
Bluetooth	2400	1~10	

6. 맺음말

아직 국내에서는 전자파 문제에 대한 인식이 아직 낮으며, 이와 관련된 전자파 차폐용 건설재료의 연구 역시 기초적인 범위에 머무르고 있는 것이 실정이다. 또한 성능이 우수한 전자파 차폐용 건설재료가 개발된 사례는 있지만 이를 실제 건물에 시공한 사례는 극히 미미한 실정이다. 이에 반하여 일본의 경우 기업체를 중심으로 오랜 기간 관련 연구를 수행하여 왔으며, 이러한 연구의 결과물을 이용한 실제 건물의 시공사례가 다수 보고되고 있다.¹⁶⁾

국민의 안전권 보장과 국제적인 건설기술 경쟁력의 함양을 위하여, 국내에서도 기술의 상용화를 목표로 한 지속적인 연구개발과 함께, 수입이 어려운 전자파 재료에 대한 정부의 정책적인 조달이 필요하다고 판단된다. 나아가서, 본 기술은 국내에서 건설 IT 융합기술에 관한 연구를 더욱 활성화하기 위한 기폭제역할을 수행할 수 있는 가장 기초적인 기술 중 하나이므로 이를 위한 건설관련 학계, 정부기관, 업체의 긴밀한 협력이 요구되고 있다.

현재 과학기술의 발전 속도를 감안할 때 가까운 미래의 통신기술은 무선화·복잡화 될 것이 분명하다. 하지만 이를 뒷받침하기 위한 국내의 IT 융합 건설기술 연구수준은 아직 부족한 부분이 많다고 판단된다. 특히 전자파 문제는 국민 생활 안전에 직접적인 연관을 갖는 문제이므로 하루빨리 본 기술에 대한 효과적 대안이 마련되어야 한다. 마지막으로, 이러한 이유로 필자의 연구팀에서는 복합재료와 탄소나노튜브(carbon nano tube, CNT) 등을 활용한 전자파 차폐용 건설재료에 대한 연구를 진행 중에 있으며 이를 통하여 국내의 IT 융합 건설기술개발에 있어서 미력하나마 도움이 되고자 노력하고 있다. □

참고문헌

1. <http://mybox.happy campus.com/woon1/658814/>.
2. <http://mybox.happy campus.com/woon1/658814/>.
3. Nakagawa, Y., Adachi, Y., Takahashi, M., Abe, M., and Kikuchi, A., *Reflection and Transmission Characteristics of Concrete Wall*, Technical Report of IEICE, 1997, A-P96-107, 9- 16.(in Japanese).
4. 石川敏行, 矢花吉治, 長田耕治, 高橋毅, 中村正武, “電波の有効利用からみた電磁シールドビルの効果: 建築電磁遮蔽 NO5,” 学術講演梗概集, Vol. 1992, pp. 1671 ~ 1672.
5. 변진규, 이애경, “전자파 인체 보호 기준의 국제 표준화 동향”, 전자파 기술, Vol. 17, Issue 4, 2006. 10.
6. KISTI, 글로벌 동향 브리핑, 2007년 3월 18일자.
7. 김종훈, 김정호, 저전자 패키징 기술과 EMC 대책전자파기술, 10권, 2호, 1999. 6 pp. 36~46.
8. 정재우, “전자파 흡수체의 이해,” 한국전자파학회, 전자파기술, 9권, 1호, 1998. 3. pp. 40~44.
9. Sato, K., Manabe, T., Ihara, T., Saito, H., Ito, S., Tanaka, T., Sugai, K., Ohmi, N., Murakami, Y., Shibayama, M., Konishi, Y., and Kimura, T., “Measurements of Reflection and Transmission Characteristics of Interior Structures of Office Building in the 60GHz Band,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 45, No. 12, 1997, pp. 1783 ~ 1792.
10. Anderson, C. R., Rappaport, T. S., Bae, K., Verstak, A., Ramakrishnan, N., Tranter, W. H., Shaffer, C. A., and Watson, L. T., “In-Building Wideband Multipath Characteristics at 2.5 and 60GHz,” *IEEE 56th Vehicular Technology Conference*, Proceedings. Vol. 1, 2002, pp. 97 ~ 101.
11. Luo, X. C. and Chung, D. D. L., “Electromagnetic Interference Shielding Using Continuous Carbon-Fiber Carbon-Matrix and Polymer-Matrix Composites,” *Composites Part B: Engineering*, Vol. 30 Issue 3, 1999, pp. 227 ~ 231.
12. Guan, H. T., Liu, S. H., Duan, Y. P., and Cheng, J., “Cemet Based EMS and Absorbing Building Materials,” *Cement and Concrete Composites*, Vol. 28, Issue 5, 2006, pp. 468 ~ 474.
13. Leland H. Hemming, *Architectural Electromagnetic Shielding Handbook-A Design and Specification Guide*, IEEE Press, 1992, pp. 13~34.
14. 鹿島技術研究所, 電磁シールド壁紙, KaTRIリーフレット, 2003.
15. 한국건설기술연구원, “미이용 자철광을 활용한 전자파 차폐 모르타르 제조 및 적용기술 개발,” 2004년 산업자원부 최종보고서, 2004.
16. KAJIMA, 2002년 07월 20일.

www.kci.or.kr