

전자파 차폐성능 향상을 위한 건축용 블록의 형상 연구

임계재*

A Study of Block Structures for Improving the Electromagnetic Shielding Properties

Gye-Jae Lim*

요 약

본 연구에서는 콘크리트로 제조된 블록이나 타일의 형상을 변형하여 이동통신 및 ETC 주파수 대역에서 우수한 전자파 차폐 성능을 최대화할 수 있는 방안을 제안하였다.

측정 결과, 최적 설계된 블록의 형상은 약 30 dB의 차폐 성능을 나타내어 전자파 인체 안전성이나 전자파 간섭 문제의 대책 제품으로 사용 가능할 것이다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed the modified block structures with enhanced electromagnetic shielding properties for mobile communications and ETC frequency bands.

As the result of measurement, this block structure with optimized design has the shielding properties of 30 dB, and can be used for electromagnetic safety and EMI.

Keywords: Electromagnetic shielding, FDTD, Concrete Block, EM Safety, EMF

1. 서론

셀룰라(0.9 GHz 대역) 및 PCS(1.7GHz 대역) 시스템의 이동통신이 활성화되고, ETC(2.3 GHz 대역) 시스템, ISM(2.4 GHz 대역) 기기들의 사용 증대에 따라 생활 주변에는 각종 기지국과 중계기들이 산재해 있어 일상생활에서 인체에의 전자파 유해성 문제가 대두되고 있으며, 더구나 전자통신기기들 사이의 간섭 및 장애 문제도 중요한 주제가 되고 있다.

건축물의 전자파 차폐 문제에 있어서 가장 많은 논란이 되고 있는 경우는 이동통신 기지국 인접 건물 및 아파트에서의 전자파 세기와 차폐 여부에

대한 문제이다. 기지국을 신설하는 경우에는 전파법에 따라 충분한 인체 영향을 고려하여 주변 건물과의 거리 및 전자파 복사 전력과 빔 방향을 조절하여 안전성을 확보하고 있으나, 기존의 기지국 인접에 건축물을 신설하는 경우에는 전자파에 대한 영향평가를 정확하게 수행하지 않는 경향이 있으며, 후에 기지국의 영향을 염려하여 전자파 대책을 수립하고 있다.

이에 따라 눈에 보이지 않는 전자파로 인한 안전성 대책을 위해 전자파차폐 쉬트, 벽지, 유리, 페인트, 콘크리트 혼합재, 타일 등의 건축재료에서의 상용화 연구가 점차적으로 증가하고 있다.

특히, 기존의 일반 콘크리트는 이동통신 주파수

* 교신저자 : 관동대학교 전자정보통신공학부 (gylim@kd.ac.kr)

접수일자 : 2012년 11월 2일, 수정일자 : 2012년 11월 30일, 심사완료일자 : 2012년 12월 2일

대역에서 전기적 특성으로 5 에서 10 정도의 상대 유전율과 약 0.01에서 0.2 S/m 의 도전율 특성을 갖고 있기 때문에 어느 정도의 전자파 차폐 특성을 가지고 있다. 따라서 일반 건축물의 25에서 30 cm 두께의 콘크리트 벽은 약 12 dB 의 전자파 차폐 능력을 기본적으로 보유하고 있고, 콘크리트 블록은 약 10 dB 의 전자파 차폐 능력을 보유하고 있다. 그러나 이들 건물 벽 인접에 고출력 이동통신 기지국이 위치하는 경우에는 충분한 차폐가 어렵기 때문에 전자파 차폐 성능의 보강이 요구된다.

본 연구에서는 이동통신 및 ETC 주파수 대역에서 우수한 전자파 차폐 특성을 갖는 제품을 개발하기 위해 고가의 어떠한 전자파 차폐 또는 흡수 혼합재를 사용하지 않고, 기존의 콘크리트로 제조된 블록이나 타일의 표면 형상을 변형하여 차폐 성능을 최대화할 수 있는 방안을 제안하였다.

또한, 보다 높은 차폐 및 흡수 성능을 얻기 위해 돌기형 구조에 더하여 벽 내부에 공진 공동을 갖는 구조를 제안하여 2.4 GHz 대역에서 우수한 특성을 얻을 수 있는 방법을 제안하였으며, 또한 충분한 전자파 차폐 성능을 갖는 차폐 블록 및 타일의 형상을 변형하여 FDTD (Finite Difference Time Domain) 수치해석 시뮬레이션을 통해 설계하였으며, 제조된 시편의 차폐 특성을 측정하여 설계의 타당성을 확인하고 제안된 형상의 타일의 우수성을 입증하였다.

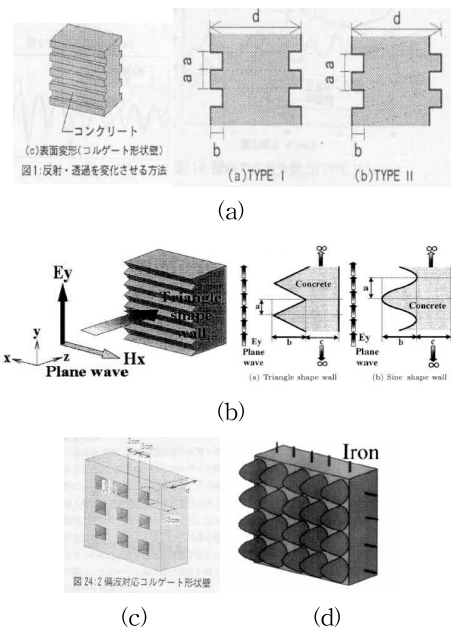
부수적으로 제안 구조의 해석을 위해 FDTD 법을 이용한 수치해석 프로그램을 개발하고 제작된 시편의 측정을 위해 전자파 차폐 성능 측정시스템의 구축과 제어 프로그램을 개발하였다.

측정 결과, 일반 콘크리트 벽은 콘크리트 벽이 없는 자유공간 상의 전자파 세기에 비해 약 12dB 차폐 성능을 갖는 것이다. 설계된 차폐 타일은 그 자체 만으로 약 18dB의 차폐 성능을 갖고 있기 때문에 기존 콘크리트 벽체에 본 연구에서 개발된 차폐 타일을 보강하였을 때는 $12 + 18 \text{ dB} = 30 \text{ dB}$ 의 차폐 성능을 나타내어 전자파 인체 안전성이나 전자파 간섭 문제에 대한 충분한 대책이 될 수 있을 것이다.

II. 블록 형상에 따른 차폐특성

건축물 벽에서의 전자파 차폐/흡수 성능에 대한 연구는 건축물 벽을 구성하는 블록 및 타일, 콘크리트 벽체 및 형상, 철근 함입 및 금속망의 사용 등에 따라 여러 가지 방법으로 진행되어 왔다. 따라서 각각의 경우에 대한 국내외 연구 결과 및 보고들을 수집, 분석하여 본 연구에서의 차폐/흡수 성능 및 연구 방향을 결정하고자 한다.

일본 Musashi 기술연구소와 Tokyu 건설회사에서 수행한 연구[6]과 일본 동경대학과 Mitsubishi 전기의 연구 [11,12,13] 는 각종 돌기 구조를 갖는 콘크리트 벽에 대한 FDTD 해석을 통해 2.5 GHz 의 WLAN 주파수에서 차폐 및 흡수, 투과 성능을 연구하였으며, 콘크리트 벽 표면에 코어게이트 구조(<그림 1> (a), (b)) 와 볼록형 및 오목형 돌기 구조(<그림 1> (c), (d))에 대해 연구하였다.



<그림 1> 각종 전자파 차폐용 콘크리트 구조의 기존 연구 종류

건축 재료로 이용되고 있는 콘크리트 재료는 그 혼합비와 함수율, 주파수에 따라 전기적 특성인 상대 복소유전율과 전도도의 차이가 있으나 통상적으로 건조상태에서 2.5 GHz 대역에서 사용되는 상

대 복소유전율은 <표 1>에서와 같이 5에서 10 정도의 범위를 갖고, 전도도는 0.01에서 0.2 정도의 범위를 갖는다.

<표 1> 참고문헌[1-8]에서 인용된 콘크리트의 복소유전율과 도전율

참고문헌	해석/측정	주파수	유전율	도전율 [S/m]	비고	
[1]	측정	MF	25 - 32	0.3 - 0.5	콘크리트 막장후 140시간 건조후	
[2]		5.8 GHz	2.84-4.33 avg. 3.58	0.11	brick wall	
[3]			1.723 2.0 2.6	6.11 5.64 5.10	0.133 0.153 0.146	콘크리트
[4]			1.723 2.0 2.6 3.23 8.2 12.0	4.62 4.5 4.26 4.4 4.45 4.4	0.0174 0.0173 0.0197 0.00324 0.0225 0.0502	brick
[5]	해석 해석	2.5 ?	6-j0.2 8-j0.8	0.0278 0.287	콘크리트 건조상태	
[6]	측정	6.0 10	6.9-j0.72 6.8-j0.89		콘크리트 건조상태	
[7]	측정	6.0 10	7.2-j0.78 7.2-j0.82		콘크리트 건조상태	
[8]	해석	1.8	3		brick	

III. 블록 형상의 전자파 시뮬레이션

기존의 콘크리트 재료에 다른 혼화재를 첨가하지 않고 전자파 차폐 성능을 높이는 방안은 콘크리트 벽의 형상을 변형시킴으로써 가능하다. 콘크리트 벽의 형상 구조는 시설성 및 성능에 따라 <표 2>와 같은 구조가 연구되어 왔다. 따라서 본 연구에서는 이들의 장단점을 분석하고 새로운 구조를 제안하여 최적 특성을 시뮬레이션하였다.

<표 2> 콘크리트 벽의 형상 구조

a. 콘크리트 단독 벽체
b. 수직 철근 강화 콘크리트 벽체
c. 금속망 내장 콘크리트 벽체
d. 콘크리트 블록
e. 단방향 코리케이트 구조
f. 원추형 돌기 구조
g. 원추형 공동구조

전체적으로 콘크리트 외벽의 형상을 코리케이트 또는 돌기인 경우에는 기존 벽면에 부가적으로 공간의 낭비를 초래하고 시간 경과에 따라 파손의 우려, 미관상의 문제 등의 단점이 있다. 특히 원추형 돌기형은 다른 구조에 비해 전자파 차폐 성능이나 흡수 특성이 우수한 것으로 보고되어 있기

때문에 본 연구에서는 이 구조의 장점을 살리고 외형상의 공간 낭비를 보상하기 위해 돌기형 공동을 콘크리트 내부에 형성시켜 전자파 차폐 및 흡수 성능을 향상시키는 방안을 제안한다.

콘크리트 내부 공동구조를 FDTD 수치해석 프로그램 개발로 최적화하여, <표 2>의 각종 형상에 대한 전자파 차폐 성능을 동일한 조건하에서 해석하였다. 동일한 해석 조건은 다음과 같다.

■ 콘크리트 벽체의 크기 :

가로X세로X높이 = 547.8 X 300 X 215.8 mm³

샘플의 상하, 좌우 면에 주기경계조건 부여

■ 콘크리트 전기적 특성 :

상대유전율 = 3, 도전율 = 0.02 S/m

■ 대상 주파수 : PCS 주파수 1.8 GHz

ETC 및 WLAN 주파수 2.4 GHz

■ 해석 방법 : FDTD 법 수치해석

■ 해석 결과 : 벽체를 통과한 전달파의 진폭 및 분포 특성 비교

<표 3>에 각종 형상에 대한 해석 결과를 비교하여 보였으며, 전자파 차폐 재료로서 이용 가능성에 대하여도 비교에 서술하였다.

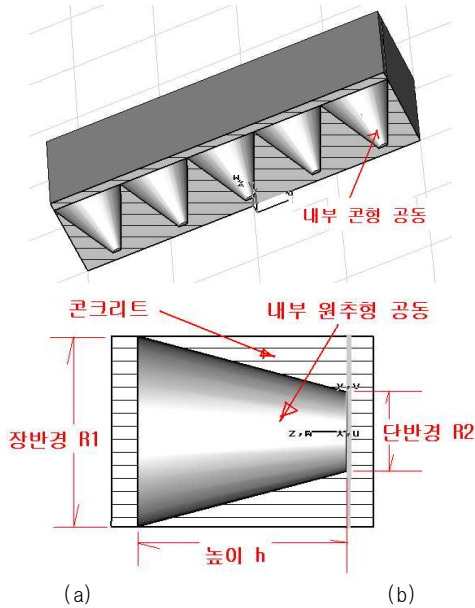
<표 3> 각종 형상에 대한 해석 결과 비교

형상	1.8GHz 차폐성능		2.4GHz 차폐성능		공간정제과형성(주)	비고
	[dB]	[%]	[dB]	[%]		
a.	-4.7	66	-4.9	69	×	불량
b.	-5.0	69	-5.3	72	×	불량
c.	-10 이하	90 이상	-10 이하	90 이상	×	양호, 고가
d.	-1.8	35	-2.3	40	○	불량
e.	-3.3	54	-5.3	72	○	불량
f.	-15 이하	96 이상	-20 이하	99 이상	×	양호, 공간증대
g.	-20 이하	99 이상	-20 이하	99 이상	×	우수, 공간절약

주 : 공간정제과형성에서 ○ 표시는 위치에 따라 전자파의 세기의 분포가 불규칙함을 나타내어 차폐용에는 적합하지 않음을 나타내며, × 표시는 위치에 따라 전자파의 세기의 분포가 균일함을 나타내어 차폐용에는 적합함을 나타낸다.

IV. 측정 및 결과분석

앞서 해석된 각종 형상에 있어서 가장 우수한 특성을 나타내는 그림 2와 같은 내부 공동형 모형을 제안하였으며, 그 타당성을 확인하기 위해 시편을 제작하였다. 시편의 크기는 30cm (중) X 20cm (횡) X 10cm (두께) 이며, 공동의 높이 h 와 장반경 $R1$ 은 각각 37mm 와 80mm 이다. 콘크리트의 상대유전율은 2.5 GHz 대역에서 3, 도전율은 0.03 S/m 사용하였으며, 상대유전율은 벽 내에서 일정한 것으로 계산하였다.

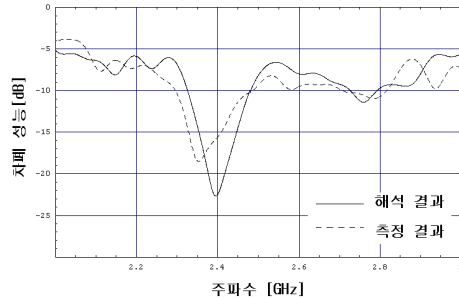


<그림 2> 콘크리트 내부에 원추형 공동을 갖는 구조

측정 결과와 계산치와의 비교를 <그림 3> 에 보였다. 유전율 측정에 이용한 소형 시편과 측정용 벽의 유전율 오차, 벽표면 및 내부에서의 유전율 차에 의해 계산치와 측정치는 주파수에서 다소의 차이가 보이지만 전체적으로 잘 일치하고 있으며, FDTD 법에 의한 해석의 유효성을 확인하였다.

전자파 흡수체로 구성된 전자파 차폐측정 시스템과 시스템 운용 SW 를 구축하여 측정에 활용하였고, 최적 설계된 시편을 제작하여 측정 결과,

ETS 및 ISM, WLAN, Bluetooth 주파수 대역에서 -18 dB 의 차폐 성능을 얻을 수 있었다.



<그림 3> 차폐효과 측정 결과

V. 결론

전자파의 활용이 증가함에 따라 반대 급부적으로 전자파의 차폐와 흡수가 요구되는 분야의 개발이 필요한 상황이 많아지고 있다. 따라서 저렴한 비용으로 기존 건축물에 적용하기 용이한 구조의 전자파 차폐 및 흡수 재료나 제품이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 이를 위해 내부 공동을 갖는 콘크리트 블록과 타일을 제안하여 전자파 차폐 및 흡수 성능을 시뮬레이션하여 최적 형상을 설계 한 후에, 이를 제작하고 측정하여 그 타당성을 검증하였다.

일반 콘크리트 벽은 콘크리트 벽이 없는 자유공간 상의 전자파 세기에 비해 약 12 dB 차폐 성능을 갖는다. 본 연구에서 설계된 차폐 타일은 그 자체만으로 약 18 dB 의 차폐 성능을 갖고 있기 때문에 기존 콘크리트 벽체에 본 연구에서 개발된 차폐 타일을 보강하였을 때는 $12 + 18 \text{ dB} = 30 \text{ dB}$ 의 차폐 성능을 나타내어 전자파 인체 안전성이나 전자파 간섭 문제에 대한 충분한 대책이 될 수 있을 것이다.

본 연구결과는 이동통신 기지국으로부터 전자파 노출이 우려되는 일반 가구 및 아파트뿐만 아니라 CT, MRI 등 고 노출 전자파 응용 의료기기가 많은 병원건물, 보안을 필요로 하는 군사시설물, 이동통신 기지국건물, 방송 송신소 건물, 고압송전선

로 및 전기철도 인접 방호벽 등의 건축에 고부가가치 특수자재로 널리 적용될 수 있을 것이다.

또한 전자파차폐 성능뿐만 아니라 전자파흡수 성능을 보다 향상시켜 무선통신 연구 및 제조공장에 필수적으로 설치되는 고가의 전자파 차폐실이나 안테나 시험장 및 EMI/EMS 시험장의 건립에도 응용 가능할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Thad B. Gibson and David C. Jenn, "Prediction and Measurement of Wall Insertion Loss", IEEE Trans. on AP, Vol.47, No.1, pp.55-57, January 1999.

[2] Pei Hou: "Investigation of the Propagation Characteristics of Indoor Radio Channels in GHz Wavebands"; published by Cuvillier Verlag, Goettingen, 1997.

[3] 심종우 외, "전자파 흡수형 차폐 시멜트 모르타의 물리적 특성과 차폐효율", 대한건축학회 학술발표논문집 제22권 제1호, pp.325-328, 2002년 4월.

[4] Zhong Ji, "Analysis of the effects of walls on indoor wave propagation using the FDTD method", Microwave and Optical Technology Lett., Vol.29, No.1, pp.19-21, April 5 2001.

[5] Michael Dohler, "A propagation model for the outdoor-indoor interface of the mobile radio environment"

[6] 中川幸彦, "콘크리트벽의反射,透過特性", Technical Report of IEICE AP.96-107, pp.9-16, 1997-01.

[7] Y. Tang and H. Sobol, "Microwave propagation in multi-room buildings for PCS", IEEE Symp. on AP, pp.1232-1236, 1993.

[8] S.V.Savov and M.H.A.J. Herben, "Modal transmission-line calculation of shielding effectiveness of composite structure", Electronics Lett., Vol.37, No.8, pp.487-488,

12th April 2001.

[9] U.Jacobus, "Numerical method for the calculation of the shielding effectiveness of buildings"

[10] 이문보, 노정선, "건축물에서의 전자파 차폐를 위한 연구", 대한건축학회논문집 9권 8호 통권 58호, pp.193-199, 1993년 8월.

[11] Hiroshi Sato, "Reflection and Transmission control of Electromagnetic wave for Concrete walls", Electronics and Communications in Japan, Part2, Vol.83, No.11, pp. 12-21, 2000.

[12] Hiroshi Sato, "Absorption of Electromagnetic wave by dome-shaped concrete walls", Electronics and Communications in Japan, Part1, Vol.85, No.10, pp. 33-43, 2002.

[13] Hiroshi Sato, "Consideration on Electromagnetic waves shelter and Absorption by Permittivity in dome shape concrete wall", 電子情報通信學會論文誌, 2002/4 Vol. J85-B No.4, pp.568-572.

저자약력

임 계 재(Gye-Jae, Lim)

정회원



1983년 2월: 동국대학교 전자공학과 졸업
 1988년 8월: 동국대학교 전자공학과 석사
 1993년 2월: 동국대학교 전자공학과 박사
 1994년 2월 - 현재 : 관동대학교 전자정보통신공학부 교수

<관심분야> 전자장 및 전파전파, 무선통신공학, 위성통신 공학