

건축물에 의한 TV주파수대 전자파장해의 평가 및 대책에 관한 연구

박재석* · 김동일** · 박연준* · 이창우*

A Study on the Evaluation and Countermeasure of Electromagnetic Interference due to Buildings in TV Frequency Band

Jae-Suck Park · Dong Il Kim** · Youn-Jun Park* · Chang-Woo Lee**

1. 서론	2. 수치 해석	2.1 수치해석 좌표계	2.2 수치 해석 결과	3. 건축물에 의한 전자파장해의 평가	
차)	3.1 고스트의 장해의 평가 요소	3.2 고스트의 평가	3.3 DU비 계산 결과	3.4 고찰	4. 결론

요 약

본 논문에서는 TV주파수에 있어서 건조물에 의해 발생하는 전자파장해를 평가하기 위해 건축물 주위의 산란전자계를 수치계산하였다. 건축물 외벽에 전파흡수체를 부분적으로 부착한 경우 콘크리트면의 노출 면적과 반사전계강도와의 관계를 조사하였다. 계산된 산란 전자계로부터 DU비를 구해 TV 고스트 방지를 위하여 건축물 외벽에 부착할 전파흡수체에 요구되는 반사 감쇠량을 구하였다.

Abstract

In this paper, we have performed a numerical calculation of the scattered electromagnetic field around the building to evaluate electromagnetic interference caused by the building in the TV frequency band. The relations between the exposed concrete area of a building wall and the magnitude of the reflected wave have been examined in the case that the electroagnetic wave absorbers partially cover the building

* 한국해양대학교 전자통신공학과(Dept. of Electronics & Communication Eng., Korea Maritime Univ.)

** 한국해양대학교 전파공학과(Dept. of Radio Sciences & Eng., Korea Maritime Univ.)

(본 연구는 1997년도 정보통신연구관리단 대학기초연구지원사업(과제번호 : AB-97-B-0319)에 의하여 이루어졌음)

wall. From the obtained scattered electromagnetic field, we have calculated the DU ratio and the required reflection loss of the electromagnetic wave absorbers which attached on the building wall to protect TV ghost.

1. 서 론

도시에서 텔레비전 방송의 수신점이 고층건물이 밀집한 주위에 있을 때는 송신 안테나에서 온 직접파와 건축물에 의해 반사 되어 온 반사파로 인해 텔레비전에서는 고스트 현상이 생긴다. 특히, 건조물이 고층일수록 고스트 현상이 나타나는 범위는 넓어지는 경향이 있다.

건축물에 의한 고스트 방지 대책으로서 건축물에 있어서 건축물의 설계시 크기, 방향 배치 등의 조정에 의한 방법과 건축물 외벽에 전파흡수체를 부착하는 방법이 있다. 수신점에 있어서는 수신 안테나의 위치 조정등에 의해 고스트 현상을 억제할 수 있다. 그러나, 밀집한 고층 빌딩으로 부터 다양하게 반사되어 발생하는 복잡한 반사장해인 경우에는 장해의 발생 원인이 되는 건축물의 벽면에 전파흡수체를 부착해서 반사파를 억제하는 것이 텔레비전 수신 환경을 개선하는 가장 바람직한 대책 중의 하나라고 할 수 있다[1],[2].

본 연구에서는 TV주파수에 있어서 건축물에 의한 전자파장해를 평가하기 위해 건축물 주위의 산란전계를 물리광학근사법을 이용해 계산했고, 계산된 산란 전자계로 부터 DU비를 구해 건축물 외벽에 부착하는 전파흡수체의 요구 반사감쇠량을 평가했다.

2. 수치 해석

2.1 수치해석 좌표계

전자계의 계산에는 물리광학근사라고 불리는 방법을 이용했다. 이 방법은 산란체 표면에 유도된 전류를 기하광학적으로 근사하고, 이것을 방사적분하는 것에 의해서 임의의 형상의 도체에 의한 산란전자계를 임의의 위치에 있어서 계산하는 방법이다 [3],[4].

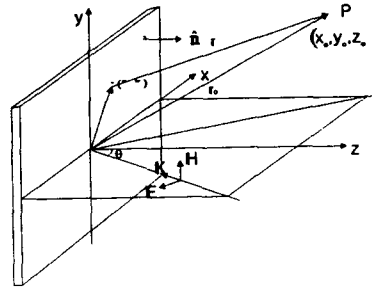


그림 1. 산란전자계의 좌표계

진행 방향이 x, z면내에서 z축에 대해 각도 θ 로 TM파가 비스듬히 입사하는 경우를 생각한다. 입사파의 전자계를 $\mathbf{E}^i, \mathbf{H}^i$ 로 하면, 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\mathbf{E}^i = -E_0 (\cos \theta \hat{\mathbf{x}} + \sin \theta \hat{\mathbf{z}}) e^{-jk(\sin \theta x - \cos \theta z)} \dots\dots\dots (1)$$

$$\mathbf{H}^i = H_0 \hat{\mathbf{y}} e^{jk(\sin \theta x - \cos \theta z)} \dots\dots\dots (2)$$

이 때, 관측점에 있어서 전자계는 다음과 같다.

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}^i - j\omega\mu\mathbf{A} - j\frac{\nabla\nabla\cdot\mathbf{A}}{\omega\epsilon} - \nabla\times\mathbf{B} \dots\dots (3)$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}^i - j\omega\epsilon\mathbf{B} - j\frac{\nabla\nabla\cdot\mathbf{B}}{\omega\mu} + \nabla\times\mathbf{A} \dots\dots (4)$$

$$\mathbf{A} = \frac{1}{4\pi} \int_s \mathbf{J} \frac{e^{-jkr}}{r} dS, \quad \mathbf{B} = \frac{1}{4\pi} \int_s \mathbf{M} \frac{e^{-jkr}}{r} dS \dots\dots\dots (5)$$

여기서, $\mathbf{E}^s, \mathbf{H}^s$ 는 산란(반사)전자계를 나타낸다. S는 산란체, 즉 건축물 외벽의 표면을 의미하고, r은 산란체 표면상의 점에서부터 관측점까지의 거리를 나타낸다.

해석의 대상으로 하는 외벽이 유한의 크기를 가

진 사각형 평면이라고 가정하고, 그림 1에 나타난 좌표계에서 산란(반사)전자계를 생각한다.

식 (3), (4)으로부터 산란전자계의 각 성분은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 (E^s)_x &= \int_s \frac{e^{jk(r+X\sin\theta)}}{r} \left(j \frac{1+\alpha}{4\pi} \right) k E_o dS \\
 &+ \int_s \frac{e^{jk(r+X\sin\theta)}}{r} \left(j \frac{1+\alpha}{4\pi} \right) \cdot \\
 &\frac{E_o}{k} \left(-\frac{jk}{r} - \frac{1+k^2x^2}{r^2} + \frac{j3kx^2}{r^3} + \frac{3x^2}{r^4} \right) dS \\
 &+ \int_s \frac{e^{jk(r+X\sin\theta)}}{r} \left(\frac{\alpha-1}{4\pi} \right) E_o \cos\theta \left(\frac{jkz}{r} + \frac{z}{r^2} \right) dS
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 (E^s)_y &= \int_s \frac{e^{jk(r+X\sin\theta)}}{r} \left(j \frac{1+\alpha}{4\pi} \right) \frac{E_o}{k} \cdot \\
 &\left(-\frac{k^2xy}{r^2} + \frac{j3kxy}{r^3} + \frac{3xy}{r^4} \right) dS
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 (E^s)_z &= \int_s \frac{e^{jk(r+X\sin\theta)}}{r} \left(j \frac{1+\alpha}{4\pi} \right) \frac{E_o}{k} \cdot \\
 &\left(-\frac{k^2xy}{r^2} + \frac{j3kxy}{r^3} + \frac{3xy}{r^4} \right) dS \\
 &+ \int_s \frac{e^{-jkr}}{r} \left(\frac{\alpha-1}{4\pi} \right) E_o \cos\theta \left(j \frac{kx}{r} + \frac{x}{r^2} \right) dS
 \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
 (H^s)_x &= \int_s \frac{e^{jk(r+X\sin\theta)}}{r} \left(j \frac{\alpha-1}{4\pi} \right) \cdot \\
 &E_o \frac{\cos\theta}{\omega\mu} \left(-\frac{k^2xy}{r^2} + \frac{j3kxy}{r^3} + \frac{3xy}{r^4} \right) dS
 \end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
 (H^s)_y &= \int_s \frac{e^{jk(r+X\sin\theta)}}{r} \left(j \frac{\alpha-1}{4\pi} \right) \omega\epsilon E_o \cos\theta dS \\
 &+ \int_s \frac{e^{jk(r+X\sin\theta)}}{r} \left(j \frac{\alpha-1}{4\pi} \right) \frac{E_o \cos\theta}{\omega\mu} \cdot \\
 &\left(-\frac{jk}{r} - \frac{1+k^2y^2}{r^2} + \frac{j3ky^2}{r^3} + \frac{3y^2}{r^4} \right) dS \\
 &+ \int_s \frac{e^{jk(r+X\sin\theta)}}{r} \left(\frac{1+\alpha}{4\pi} \right) E_o \left(\frac{jkz}{r} + \frac{z}{r^2} \right) dS
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
 (H^s)_z &= \int_s \frac{e^{jkr}}{r} \left(j \frac{1-\alpha}{4\pi} \right) \frac{E_o \cos\theta}{\omega\mu} \cdot \\
 &\left(-\frac{k^2yz}{r^2} + \frac{j3kyz}{r^3} + \frac{3yz}{r^4} \right) dS \\
 &+ \int_s \frac{e^{-jkr}}{r} \left(-\frac{1+\alpha}{4\pi} \right) E_o \left(-\frac{jky}{r} - \frac{y}{r^2} \right) dS
 \end{aligned} \tag{11}$$

2.2 수치 해석 결과

입사파는 TV파를 가정하고, 주파수는 100 MHz, 200 MHz, 600 MHz의 3가지로 했다. 해석 대상 벽면의 크기는 30 m × 30 m으로 했다. 전파흡수체로 덮여 있지 않은 부분이 두께 100 mm의 콘크리트가 도체판 앞에 붙어 있을 때, 해석 대상 주파수의 반사계수는 <표 1>과 같다.

<표 1> 주파수의 변화에 따른 도체면상의 콘크리트의 반사계수

주파수 [MHz]	반사계수
100	-0.90 + j 0.43
200	-0.46 + j 0.89
600	-0.95 + j 0.30

이 때, 콘크리트의 유전율은 $\epsilon_r = 5.0$ 로 가정하고 계산하였다.

2.2.1 관측위치의 의존성

반사전자계의 크기는 관측위치에 따라 다르다. 표면의 반사계수가 -0.90 + j 0.43의 콘크리트로 일정하게 뒤덮여 있을 때, 관측위치의 변화에 따른 상대 반사전계강도의 변화를 알아본다. 이때 주파수는 100 MHz이고, 입사각은 0도이다. 관측점 P의 위치에서 관측되어진 반사파 전계와 입사파 전계의 크기의 비 즉, |반사전계/입사전계|를 상대 반사전계강도라 부르고 |R|로 나타내고, 대표적인 위치에서 상대 반사전계강도를 계산한 결과를 그림 2에

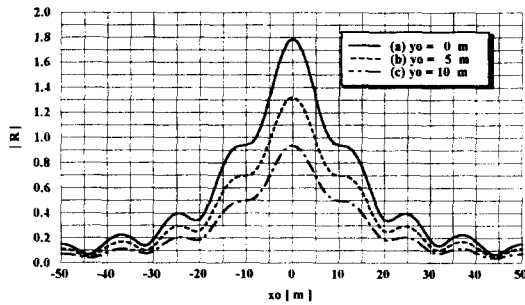


그림 2. 반사 전계강도의 횡방향 분포

나타낸다. 파라메타 y_0 는 벽면에 따른 수직 방향의 위치, 횡축 x_0 는 수평 방향의 위치를 나타낸다. 즉, 관측점의 벽면으로부터의 거리 z_0 는 100 m로 일정하다. 그림 2로 부터 벽면의 중심에 세운 법선상에서 반사파의 크기가 최대로 되는 것을 알 수 있다.

2.2.2 벽면으로부터의 거리의 의존성

벽면으로부터의 거리의 변화에 따라 반사파의 크기가 어떻게 변화하는가를 조사한다. 벽면의 중심 $x_0=0$ m, $y_0=0$ m에 세운 법선상에서 벽면으로부터의 거리 z_0 에 대한 상대 반사전계강도의 변화를 그림 3에 나타낸다.

단, 주파수는 100 MHz, 수평편파의 입사각은 0도 이고, 벽면 전체가 같은 반사감쇠량(전력반사계수) 0 dB, 15 dB, 20 dB, 25 dB을 가지는 경우에 관해 나타내고 있다. 파라메타는 벽면의 반사감쇠량이다. $z_0 < 100$ m에서는 z_0 에 대해 $|R|$ 이 진동적인 변화를 나타내지만, $z_0 > 100$ m의 영역에서는 z_0 의 증가와 함께 $|R|$ 은 단조하게 감소한다.

2.2.3 입사각에 대한 의존성

TM파의 입사각에 따라 상대 반사전계강도의 횡방향분포가 어떻게 변화하는가를 조사한다. x방향의 변화에 대한 관측점 $y_0=0$ m, $z_0=100$ m 선상에서 상대 반사전계강도의 변화를 그림 4에 나타낸다. 단, 주파수는 100 MHz이다. 벽면 전체의 반사계수는 $-0.90 + j 0.43$ (콘크리트)의 경우에 관해 나타내고 있다. 그림 4에서 TM파가 비스듬히 입사하

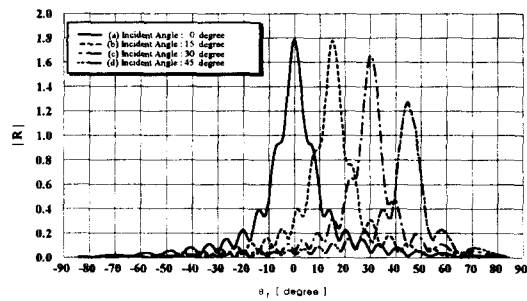


그림 3. 입사각의 변화에 따른 반사 전계강도의 횡방향 분포

는 경우 반사의 법칙을 만족하는 방향에서 반사파의 크기가 최대로 되는 것을 알 수 있다. 또, 그 최대치는 입사각의 증대와 함께 감소한다.

2.2.4 콘크리트 노출 면적에 대한 의존성

벽면 전체에 대해 콘크리트 벽면이 차지하는 비율을 변화시켰을 때 상대 반사전계강도의 크기가 어떻게 변화하는가를 조사한다. 이하에 있어서 전파흡수체가 벽면을 덮은 면적을 S_a , 콘크리트 벽이 차지하는 면적을 S_c 라고 한다. 계산의 모델은 콘크리트 벽면이 분할 되어져 있을 때(그림 5(a))와 한곳에 집중되어 있을 때(그림 5(b))이다. 이때 상대 반사전계강도의 변화를 조사한다. 그림 6(a)에 나타낸 것과 같이 벽면을 x-y평면상에서 균등히 36개의 영역으로 나누고, 각각의 영역의 중심과 콘크리트 벽면의 중심을 일치시키면서 콘크리트 벽면의 크기를 변화시킨다. 콘크리트 벽면이 차지하는 비율에 따라 상대 반사전계강도는 그림 6의 곡선(a)

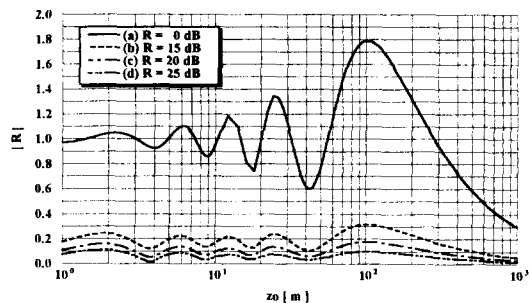


그림 4. 반사 전계강도의 전파방향 분포

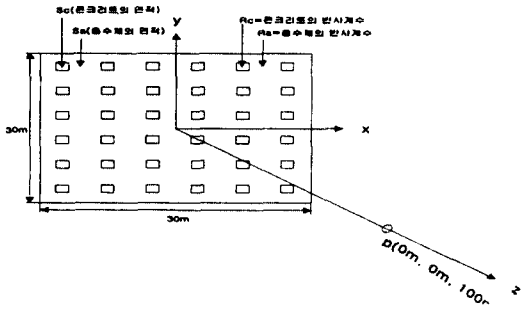


그림 5(a). 분할 되어진 콘크리트 벽면

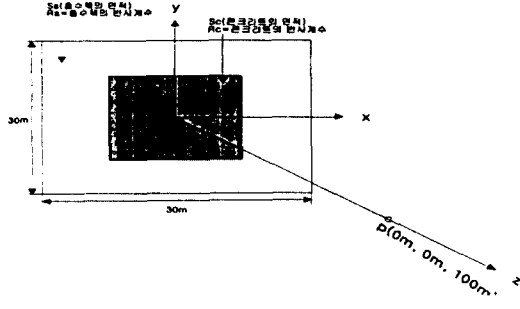


그림 5(b). 집중되어 콘크리트 벽면

과 같이 변화한다. 이때 입사각은 0도 이고, 주파수는 100 MHz이다. 30 m × 30 m의 벽면의 중심에 콘크리트 벽면을 집중되어 있을 때, 상대 반사전계 강도는 곡선 (b)와 같이 변화한다. 단, 전파흡수체의 반사감쇠량은 20 dB이고, 콘크리트 벽면의 반사감쇠량은 0 dB이다.

콘크리트 벽면이 분산되어 있을 때와 집중되어 있을 때 조금의 차이가 확인되어지고 있다. 즉, 같은 조건에서 분산되어져 있는 것과 집중되어져 있는 것을 비교하면, 분산시킨 쪽이 상대반사강도는 작다. 또, 전파흡수체로 벽면을 완전히 덮은 경우와 벽면 전체가 콘크리트면으로 되어 있는 양극단 이외에서 상대 반사전계강도는 단순히 면적비에 비례해 변화하는 것은 아니고 콘크리트면의 면적비 0.1의 부근에서 최소치를 취한다. 면적비 0.1 ~ 1의 범위에서는 상대 반사전계강도는 콘크리트면의 면적비에 대해 거의 직선적으로 증가한다.

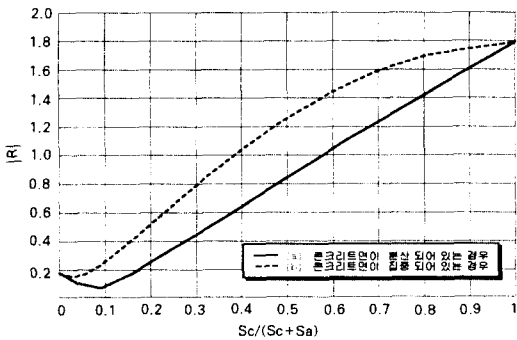


그림 6. 콘크리트면이 집중되어 있을 때와 분산되어 있을 때 면적비와 반사 전계 강도의 관계

2.2.5 입사면상의 반사 감쇠 특성
 그림 5(a)에 나타낸 것과 같은 x-y좌표축에서 36개의 사각형 모양으로 나눈 벽면에 의한 입사면상(x-y면, $y_0=0$ m)의 반사감쇠 특성을 조사한다. 그림 7는 주파수 100 MHz, 콘크리트 벽면이 차지하는 비율이 0, 0.36, 0.64, 1일 때 입사면상의 반사감쇠량이 20 dB로 되는 경계선을 나타내고 있다. 그림 8과 9는 각각 주파수가 200 MHz, 600 MHz일 때의 특성이다. 단, 전파흡수체의 반사감쇠량은 20 dB, 입사각은 0도 이다. 콘크리트의 면적비가 크짐에 따라 반사감쇠량이 20 dB인 범위가 넓어지는 것을 알 수 있다.

3. 건축물에 의한 전자파장해의 평가

고스트의 방해의 평가는 5단계 평가에 의해 텔레비전 수신 화상을 평가자가 주관적으로 시각적으로

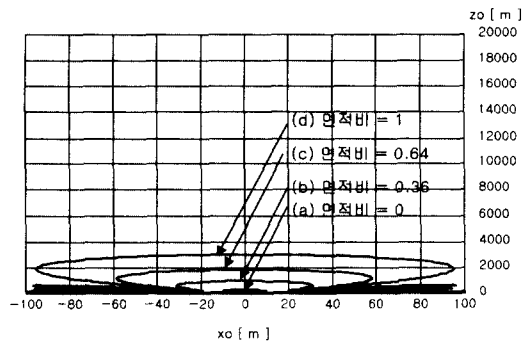


그림 7. 주파수 100 MHz일 때 면적비의 변화에 따른 반사감쇠특성

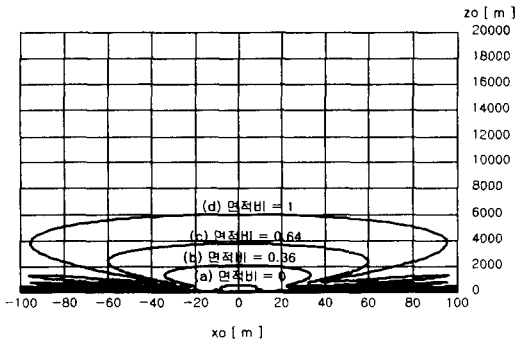


그림 8. 주파수 200 MHz일 때 면적비 변화에 따른 반사감쇠특성

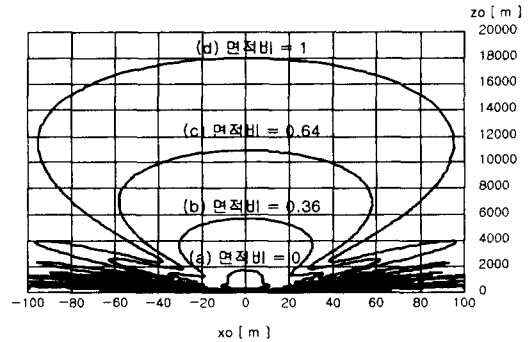


그림 9. 주파수 600 MHz일 때 면적비의 변화에 따른 반사감쇠특성

평가하는 방법을 이용 하였다.

3.1 고스트의 장애의 평가 요소

- (1) DU 비 : 회망파와 반사파의 강도의 비로서 DU비가 클수록 고스트는 약해진다.
- (2) 지연시간 (τ) : 직접파와 간접파의 시간차로서 같은 DU비에서도 지연시간이 짧은 고스트는 약해지고, 긴 고스트는 강해진다.
- (3) 고주파위상차 (ϕ) : 직접파에 대한 반사파의 위상차로서 같은 DU비에서도 고스트 위상차 180도 부근의 고스트는 강하고, 90도와 270도 부근의 고스트는 약하다.

3.2 고스트의 평가

텔레비전 화면상에 화면이 양호한지 어떤지를 평가하기 위한 기준이 되는 척도가 필요한데, 이것에는 주관평가와 객관평가가 있다. 고스트 방해의 평가는 <표 2>에 나타난 5단계 평가에 의해 텔레비

<표 2> 5단계 주관 평가의 예

평가	수신 상황	한계 값
5	방해로 느껴지지 않는다	← 탐지레벨
4	방해가 있지만, 신경 쓰이지 않는다	← 허용레벨
3	신경 쓰이지만, 방해는 되지 않는다	← 자만레벨
2	심한 방해로 되지 않는다	
1	방해 때문에 수신 불능	

전 수신 화상을 평가자가 주관적, 시각적으로 평가하는 방법이 넓게 채용되어지고 있다. 고스트의 평가에는 많은 요인이 있지만, 본 연구에서는 DU비와 5단계 평가 기준에 의해 전자파장애의 범위를 예측한다[5].

3.3 DU비 계산 결과

반사장애의 발생 범위의 설정은 건축물 전방의 임의의 거리에 있어서 수신 안테나 단자에서의 DU비를 구해, 그 DU비가 장애발생설정치 이하로 되는 지역을 발생 예측 범위로 하고 있다. 일반적으로 DU비는 다음과 같이 나타내어진다.

$$D/U = (D_2 - D_1) + (K_1 - K_2 - K_3) + D(\theta)_{ant} + 20 \log_{10} \left| \frac{E_D}{E_U} \right| \dots\dots\dots (12)$$

- 단, D_1 : 수신점 방향의 송신 안테나 지향성
- D_2 : 반사면 방향의 송신 안테나 지향성
- K_1 : 송신점에서 반사면까지의 전파경로의 도시 감쇠량
- K_2 : 반사파의 도시 감쇠량
- K_3 : 송신점에서 수신점까지의 전파 경로의 도시 감쇠량

$D(\theta)_{ANT}$: 수신 안테나의 반사 도래 방향의 지향성[dB]

DU비 계산에 D_1, D_2, K_1, K_2, K_3 을 고려하지 않았다. 그림 10, 11, 12은 지연시간 0.5, 1, 5, 10 μ s에

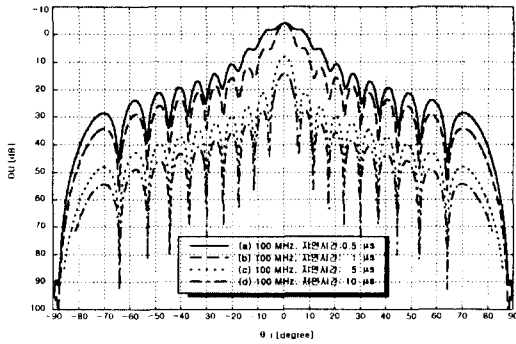


그림 10. 수직 입사 특성 (주파수 : 100 MHz)

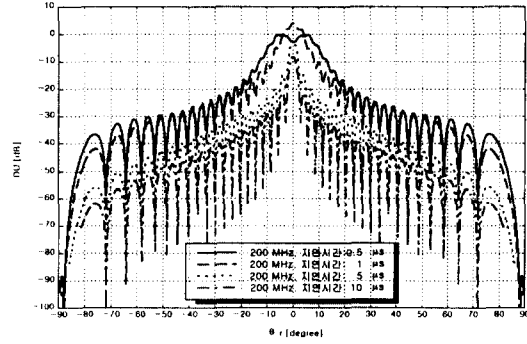


그림 11. 수직 입사 특성 (주파수 : 200 MHz)

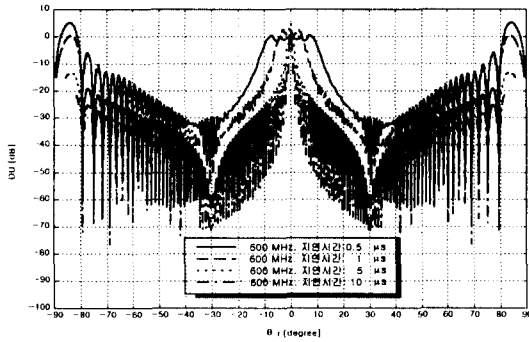


그림 12. 수직 입사 특성 (주파수 : 600 MHz)

있어서 주파수 변화에 따른 DU비를 나타낸다.

3.4 고찰

건축물 벽면에 부착하는 전파흡수체가 얼마의 반사 감쇠량을 가지면, 대표적인 지연시간에서 고스트 현상이 없어질 것인가. 그 예측에 관한 일례를 든다. 대표적인 지연시간에서의 「허용레벨」을 확보하기 위해 필요한 반사감쇠량이 얼마인가를 평가한 결과가 표 3에 나타나 있다. 단, 주파수는 100 MHz, 입사각은 0도, 반사파 방향의 안테나의 지향성은 10 dB 이다.

<표 3>으로 부터 12 dB정도의 반사감쇠량을 가진 전파흡수체를 건축물에 장착하면, 지연시간 0.5 μs, 1 μs, 5 μs의 위치에서는 고스트 장애가 해소되어지는 것을 알 수 있다.

<표 3> 전파흡수체에 요구되는 최소 반사감쇠량

지연시간	최소DU비	최소반사감쇠량(허용레벨 -최소DU비-안테나 지향성)
0.5 [μs]	-4 [dB]	4 [dB]
1 [μs]	-4 [dB]	12 [dB]
5 [μs]	8.2 [dB]	6.8 [dB]
10 [μs]	14.2 [dB]	※

(단, ※는 전파흡수체를 필요로 하지 않는다.)

4. 결 론

본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 건축물 외벽에 의한 산란전계의 반사감쇠특성을 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 정확하게 계산할 수 있는 방법을 제안하고, 콘크리트 벽면의 전부 또는 부분적으로 전파흡수체로 덮여 있는 경우의 반사감쇠 특성을 계산한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.
 - (1) 입사각에 대한 반사파의 크기(상대반사강도)는 벽면 전면이 전파흡수체로 덮인 경우와 콘크리트로 덮인 경우의 양극단에서 거의 면적비에 비례한 값을 취한다.
 - (2) 입사파가 경사입사하는 경우 상술 (1)의 경향은 관측점이 주반사 방향의 선상일 때는 같다.
- 2) 임의의 위치에서 고스트 현상을 없애기 위해 벽면에 부착하는 전파흡수체의 요구 반사감쇠

량을 계산할 수 있게 했다.

본 논문에 나타난 결과는 건축물 벽면 하나에 관한 계산 결과이지만 이것을 실제의 건축물에 적용할 때는 복수의 벽면에 관해 고려할 필요가 있다. 이것은 각 벽면에 의한 산란 전자계를 독립적으로 계산하고, 그 값을 중첩시키면 가능하기 때문에 본 계산법을 유용하게 활용할 수 있다.

참고 문헌

- [1] 太田青喜, “テレビゴースト障害対策(1)”, EMC (No. 75), pp. 39, 1994. 7.
- [2] 石野健, “電波吸収体の性能とその應用”, EMC (No. 79), pp. 61. 1994. 11.
- [3] 山下榮吉, “電磁波問題解析の實際”, 電磁情報通信學會, pp. 139-177, 1993.
- [4] C. H. Papas, “Theory of Electromagnetic Wave Propagation”, McGraw-Hill, New York, Sec. 1. 2, 1965.
- [5] テレビジョン學會, テレビジョン映像工學ハンドブック, オーム社, 1990.