

백 플레인의 개구를 통과하는 길이가 다른 전송 선로의 삽입 손실 특성

Characteristics of Insertion Loss of Transmission Line with Different Line Length Crossing a Rectangular Aperture in a Backplane

정 성 우 · 김 기 채

Sung-Woo Jung · Ki-Chai Kim

요 약

본 논문에서는 무한히 넓은 백 플레인의 사각형 개구를 관통하는 길이가 다른 평행 2선 전송 선로에 대하여 백 플레인의 존재가 전송 선로에 미치는 영향을 검토하였다. 이론 해석에는 FDTD법을 사용하였으며, 길이가 다른 구조를 가지게 하는 부가 선로의 길이와 전송 선로의 간격 변화에 따른 반사 손실 및 삽입 손실 특성을 계산하여 백 플레인이 전송 선로에 미치는 영향을 고찰하였다. 그 결과, 전송 선로의 간격이 좁은 경우에는 부하 측의 전송 선로가 안테나처럼 동작하여 삽입 이득 특성이 나타나고, 부가 선로의 길이가 길어지면 백 플레인에 의한 삽입 손실 특성이 현저히 나타남을 확인할 수 있었다. 반사 손실을 측정하고 수치 계산 결과와 비교하여 이론 해석의 타당성도 확인하였다.

Abstract

This paper presents the backplane effects for two-wire transmission line with different line length crossing the rectangular aperture in an infinite ground backplane. The FDTD method is used to determine the characteristics of the backplane insertion loss and return loss of the transmission line in accordance with the transmission line spacing and additional wire lengths. The results show that the insertion gain is obtained for the narrow spacing of the transmission line and the insertion loss is appeared for the transmission line with the additional wire. The measurements of return loss are performed to verify the theoretical analysis.

Key words : Transmission Line, Insertion Loss, Backplane

I. 서 론

최근 사용이 급증하고 있는 전기, 전자, 정보처리 기기는 디지털화, 소형화, 저전력화 되어 가고 있으며, 이러한 디지털 기기들의 사용 증가에 따라 각 국에서는 장해 전자파의 규제가 강화되고 있다. 기기 내부에는 PCB(Printed Circuit Board)가 내장되어 있

으며, PCB의 배선으로부터 방사되는 전자파가 잡음 원인으로 작용하여 다른 기기에 오작동을 유발하는 등 많은 문제를 야기시킬 수 있다. 기기 내부에서 발생한 전자계는 기기의 케이스에 설치된 여러 가지 형태의 구멍과 기기에 연결된 I/O 케이블을 통하여 외부로 방사되거나 전달된다. 따라서, 기기 내부에서 발생하는 전자계의 크기를 예측하고 이를 감소시키

「본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구 결과로 수행되었음(IITA-2007-(C1090-0701-0034)).」

영남대학교 전기공학과(Department of Electrical Engineering, Yeungnam University)

· 논문 번호 : 20071130-20S

· 수정완료일자 : 2008년 1월 23일

는 연구 및 기기에 설치된 통풍용 구멍 및 I/O 케이블 접속용 개구 등을 통과하는 전송 선로에 관한 연구가 필요하다. 무한히 넓은 백 플레인의 개구를 통과하는 선로에 관한 연구는 많은 연구자들에 의해 연구되었다^{[1]~[4]}. 그러나, 평행 2선 선로가 통과하는 백 플레인의 문제에 대해서는 검토되어 있지 않다.

본 논문에서는 백 플레인의 개구를 통과하는 평행 2선 전송 선로에 대하여 길이가 다른 구조를 구성하기 위해 전송 선로의 한 쪽 선로에 연결한 부가 선로의 길이 및 전송 선로의 간격 변화에 따른 반사 손실과 삽입 손실 특성을 계산하여 전송 선로에 미치는 영향을 검토하였다. 이론 해석에는 FDTD(Finite Difference Time Domain) 법을 사용하였으며, 백 플레인이 존재할 때와 존재하지 않을 때의 부하단 전류(또는 전압)로부터 삽입 손실을 정의하여 백 플레인이 전송 선로의 부하단에 미치는 영향을 고찰하였다. 수치계산 결과의 타당성을 검증하기 위해 반사 손실을 측정하고 수치계산 결과와 비교하여 이론 해석의 타당성도 확인하였다.

II. 길이가 다른 전송 선로의 구조와 삽입 손실

그림 1은 무한히 넓은 백 플레인에 크기가 $a \times b$ 인 직사각형의 개구가 설치되어 있고, 길이가 다른 평

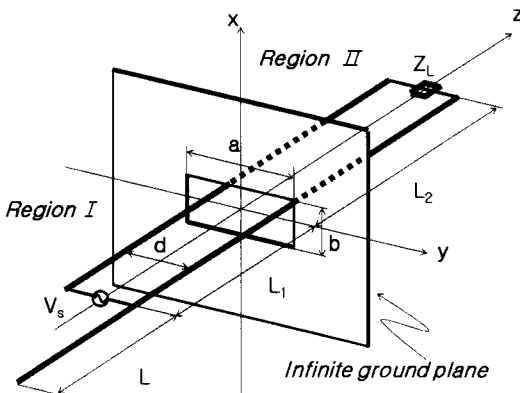


그림 1. 백 플레인의 개구를 통과하는 길이가 다른 전송 선로

Fig. 1. Two-wire transmission line with different length crossing a rectangular aperture in a backplane.

행 2선 전송 선로가 직사각형 개구를 관통하고 있다. 반경이 r 인 2개의 선로로 구성된 평행 2선 전송 선로의 간격은 d 이며, 전압 V_s 로 급전되는 영역 I의 전원측 한쪽 선로에는 길이가 L 인 부가 선로를 연결하여 길이가 다른 구조를 가지도록 하여 길이가 다른 평행 2선 전송 선로를 구성하고 있다. 백 플레인을 기준으로 전원이 있는 영역 I의 전송 선로 길이는 L_1 이며, 부하 임피던스 Z_L 이 있는 영역 II의 전송 선로 길이는 L_2 이다. 백 플레인 및 전송 선로는 모두 완전도체로 구성되어 있으며, 전송 선로에는 손실이 없다고 가정하고 있다.

영역 II의 부하 임피던스 Z_L 은 전송 선로의 특성 임피던스 Z_0 와 같게 하여 정합이 취해지도록 하였다. 전송 선로의 반경이 r 이고 선로의 간격이 d 인 평행 2선 전송 선로의 특성 임피던스는 다음 식으로 주어진다^[5].

$$Z_0 = \frac{120}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left[\frac{0.5d}{r} + \sqrt{\left(\frac{0.5d}{r} \right)^2 - 1} \right] \quad (1)$$

여기서, ϵ_r 은 전송 선로가 놓여 있는 공간의 비유전율이다. 선로의 간격에 따른 선로의 특성 임피던스를 계산하기 위해 위의 식 (1)을 사용하였으며, 앞에서 언급한 바와 같이 부하 임피던스는 주어진 선로 간격의 특성 임피던스에 정합이 취해지도록 하였다.

백 플레인이 있을 때 부가 선로의 길이 및 선로의 간격이 전송 선로의 부하단에 미치는 영향을 검토하기 위해 다음과 같은 삽입 손실을 정의한다^[4].

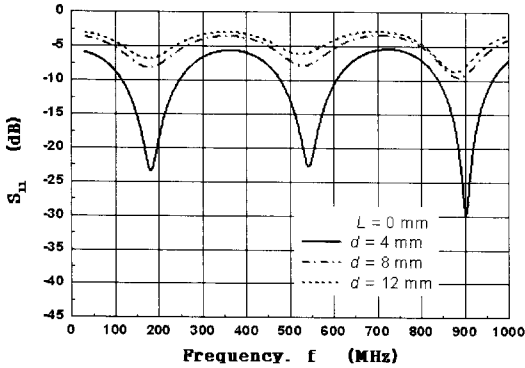
$$IL = 20 \log_{10} \left(\frac{I_{sv}}{I_L} \right) \quad (2)$$

여기서, I_L 은 백 플레인이 없을 때 부하단의 부하 임피던스 Z_L 에 흐르는 전류이며, I_{sv} 은 백 플레인이 있을 경우 부하 임피던스 Z_L 에 흐르는 전류이다.

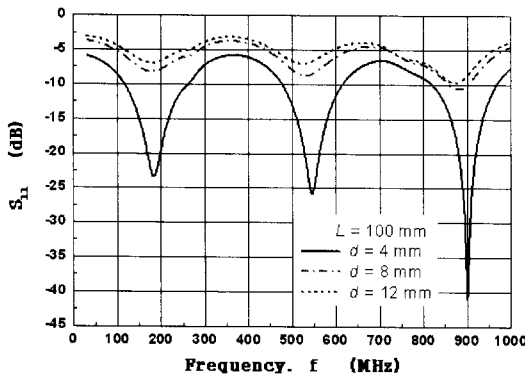
III. 수치 계산 결과 및 검토

수치 계산에 사용한 백 플레인은 무한히 큰 완전도체의 평판이며, 백 플레인에 설치된 개구의 크기는 $a=22$ mm, $b=10$ mm로 고정하였다. 또한, 전원측 전송 선로의 길이를 $L_1=200$ mm, 부하측 전송 선로의 길이를 $L_2=200$ mm로 고정하고 급전 전압은 1 V로 가정하였다.

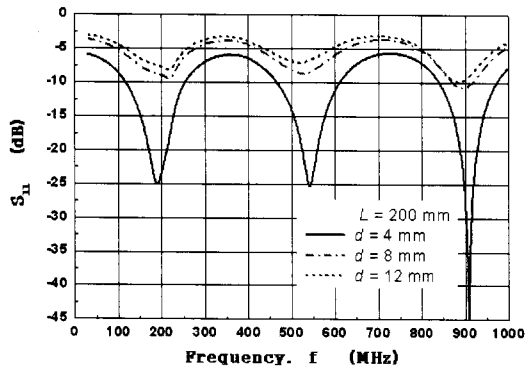
그림 2는 길이가 다른 구조를 가지도록 전원측의 한 쪽 선로에 연결한 부가 선로의 길이가 $L=0$ mm, $L=100$ mm, $L=200$ mm일 때, 전송 선로의 간격을 파라미터로 하여 계산한 반사 손실의 주파수 특성을



(a) $L=0$ mm



(b) $L=100$ mm



(c) $L=200$ mm

그림 2. 선로 간격을 파라미터로 했을 때 반사 손실의 주파수 특성

Fig. 2. Frequency characteristics of return loss as a parameter of the transmission line spacing.

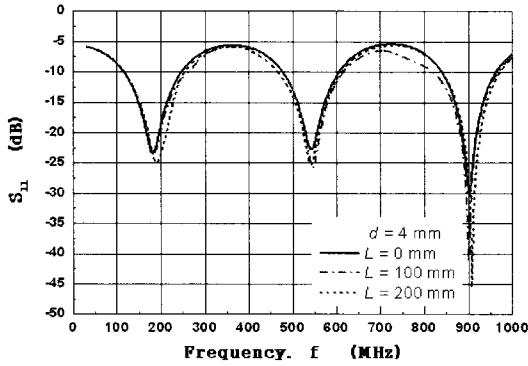
나타낸다. 그림 2(a)~(c)에서 알 수 있는 것처럼, 선로 간격이 좁으면($d=4$ mm인 경우) 전송 선로가 모노폴 안테나처럼 동작하여 특정 주파수에서 공진이 일어난다.

특히, 그림 2(c)에서 보는 것처럼, 부가 선로의 길이가 $L=200$ mm로 길어지면 900 MHz 부근에서 매우 양호한 안테나로 동작하며, 200 MHz 부근과 550 MHz 부근에서도 안테나로 동작함을 알 수 있다.

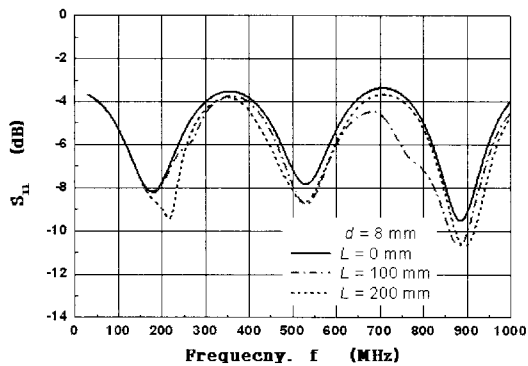
그러나, 선로 간격이 커지면($d=8$ mm, 12 mm인 경우) 부가 선로의 길이에 관계없이 반사 손실 특성은 크게 변하지 않을 뿐만 아니라 공진특성도 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다. 그림 2(a)~(c)에서 선로 간격이 좁을 경우($d=4$ mm인 경우), 양호한 공진 특성이 나타나고 안테나로 동작하는 구체적인 메커니즘에 대해서는 더 많은 연구가 필요하다.

그림 3은 전송 선로의 간격이 $d=4$ mm, $d=8$ mm, $d=12$ mm일 때, 부가 선로의 길이를 파라미터로 하여 계산한 반사 손실의 주파수 특성을 나타낸다. 그림 3에서 보는 것처럼, 부가 선로의 길이 변화에 따른 반사 손실 특성의 변화는 거의 없는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 3(a)로부터 알 수 있는 것처럼, 선로 간격이 좁으면 공진 특성이 현저히 나타나고 특정 주파수에서 안테나처럼 동작하지만, 그림 3(b) 및 (c)에서 보듯이, 선로 간격이 커지면 공진 특성이 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다.

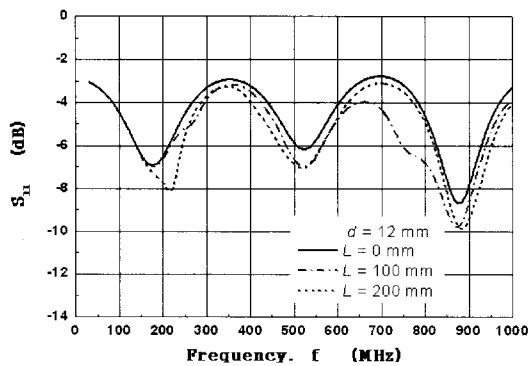
그림 4는 부가 선로의 길이가 $L=0$ mm, $L=100$ mm, $L=200$ mm일 때, 전송 선로의 간격을 파라미터로 하여 식 (2)로부터 계산한 삽입 손실의 주파수 특성을 나타낸다. 그림 4로부터 알 수 있는 것처럼, 부가 선로의 길이가 $L=0$ mm인 경우, 즉 대칭선로인 경우, 전송 선로의 간격 d 가 작으면 삽입 이득 특성이 나타나며, 선로의 간격이 커지면 삽입 손실 특성이 현저히 나타난다. 전송 선로의 간격이 작으면 백 플레인의 개구면에 여기되는 개구면 전계에 의해 간격이 좁은 전송 선로가 모노폴 안테나처럼 동작하여 특정 주파수 영역에서 공진이 일어나 삽입 이득 특성이 나타난다고 생각되며, 전송 선로의 간격이 커지면 백 플레인의 삽입에 의해 삽입 손실이 커짐을 알 수 있다. 특히, 그림 4(c)에서 보는 것처럼, 부가 선로의 길이가 $L=200$ mm에서 선로의 간격이 8 mm 일 때는 750 MHz 부근에서 삽입 이득 특성이 나타



(a) $d=4$ mm



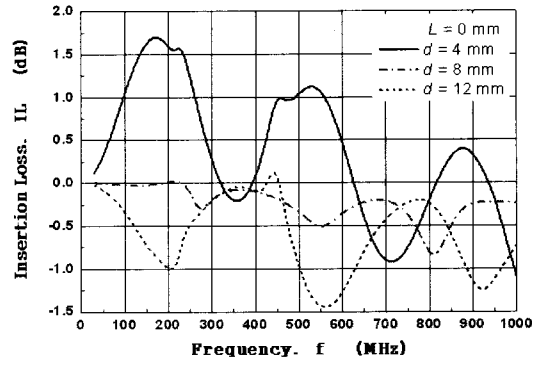
(b) $d=8$ mm



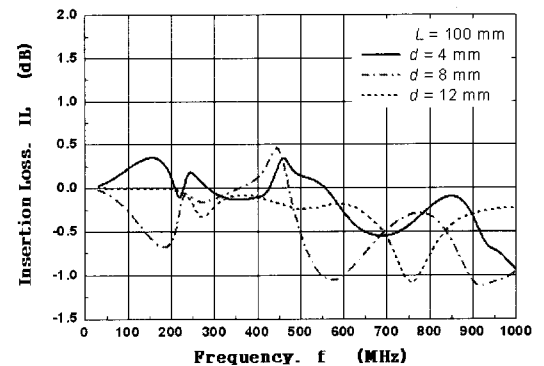
(c) $d=12$ mm

그림 3. 부가 선로의 길이를 파라미터로 했을 때 반사 손실의 주파수 특성
Fig. 3. Frequency characteristics of return loss as a parameter of the additional line length.

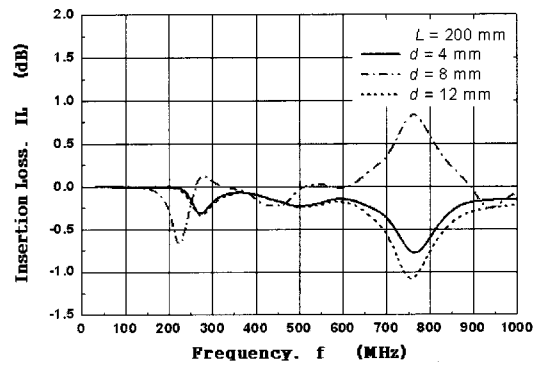
난다. 부하측의 전송 선로 길이 $L_2=200$ mm는 주파수 750 MHz에서 반파장 길이에 해당하는데, 이 주파수에서 삽입 이득 특성이 나타나는 메카니즘에 대한 연구는 남겨진 과제이다.



(a) $L=0$ mm



(b) $L=100$ mm



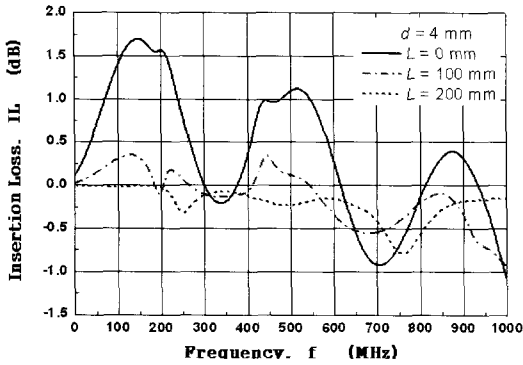
(c) $L=200$ mm

그림 4. 선로 간격을 파라미터로 했을 때 삽입 손실의 주파수 특성
Fig. 4. Frequency characteristics of insertion loss as a parameter of the transmission line spacing.

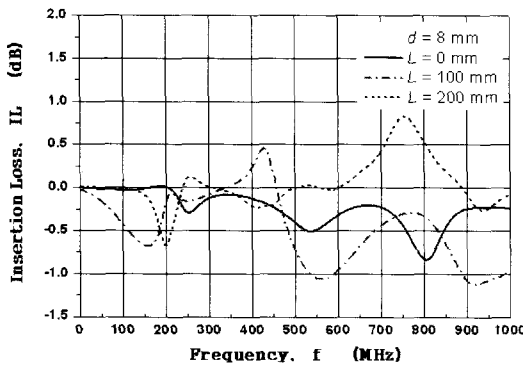
그림 5는 전송 선로의 간격이 $d=4$ mm, $d=8$ mm, $d=12$ mm일 때, 부가 선로의 길이를 파라미터로 하여 계산한 삽입 손실의 주파수 특성을 나타낸다.

그림 5로부터 알 수 있는 것처럼, 선로 간격이 d

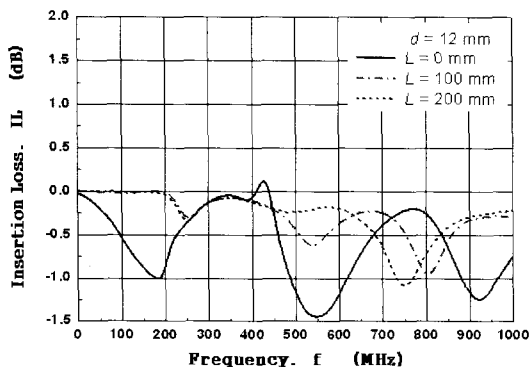
=4 mm인 경우, 대칭선로($L=0$ mm인 경우)에서는 삽입 이득 특성이 나타나며, 부가 선로로 인하여 길이가 다른 선로가 되면 삽입 손실이 나타나고 백 플레인의 영향을 무시할 수 없음을 알 수 있다.



(a) $d=4$ mm



(b) $d=8$ mm



(c) $d=12$ mm

그림 5. 부가 선로의 길이를 파라미터로 했을 때 삽입 손실의 주파수 특성

Fig. 5. Frequency characteristics of insertion loss as a parameter of the additional wire length.

즉, 선로의 간격이 작으면 삽입 이득 특성이 크게 나타나며(그림 5(a)), 선로의 간격이 커지면 삽입 손실 특성이 현저히 나타난다(그림 5 (b), (c)).

그림 5(a)에서 보는 것처럼, 선로 간격이 작은 경우에 나타나는 삽입 이득 특성은 선로가 안테나의 역할을 하여 특정 주파수에서 공진이 일어나기 때문으로 생각된다.

그림 5(c)에서 보는 것처럼, 선로 간격이 큰 $d=12$ mm인 경우에는 삽입 손실 특성이 나타나고 백 플레인의 영향이 더욱 현저해짐을 알 수 있다. 특히, 그림 5(b)의 $d=8$ mm에서 $L=200$ mm일 때는 앞서서도 언급한 바와 같이 750 MHz 부근에서 삽입 이득 특성이 나타나고 안테나의 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 이러한 삽입 이득 특성이 나타나는 메커니즘에 대해서는 더 많은 연구가 필요하며 남겨진 과제이다.

IV. 실험 결과 및 검토

수치 해석 결과의 타당성을 검증하기 위해 백 플레인과 전송 선로를 제작하여 영남대학교 전자파무향실에서 실험을 실시하였다. 반사 손실 및 삽입 손실 중에서 측정 오차도 줄일 수 있으며, 실험이 비교적 용이한 반사 손실의 주파수 특성을 측정하여 이론 계산치와 비교하였다.

실험에 사용한 백 플레인은 구리판을 사용하였으며, 백 플레인의 크기는 600×600 mm이고, 백 플레인의 중심에 22×10 mm의 크기를 가지는 개구를 설치하였다. 전송 선로는 반경 $r=1$ mm인 황동봉을 사용하였으며 선로의 간격은 $d=8$ mm로 선택하였다. 전원측의 선로 길이는 $L_1=200$ mm, 부하측의 선로 길이는 $L_2=200$ mm, 부가 선로의 길이는 $L=0$ mm(대칭선로에 해당)와 $L=100$ mm(비대칭 선로에 해당)의 두 가지 종류를 제작하여 백 플레인의 개구에 삽입하고 반사 손실의 주파수 특성을 측정하였다.

그림 6은 제작된 평행 2선 전송 선로를 백 플레인의 개구에 삽입한 상태를 나타낸 사진이다. 그림 7은 반사 손실의 측정치와 이론 계산치를 비교한 것이다.

이론 해석에 손실이 포함되지 않은 점과 선로의

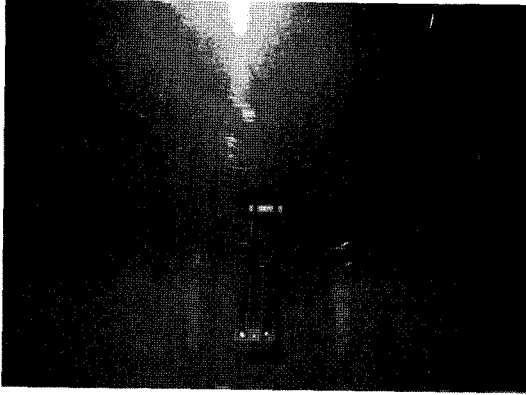
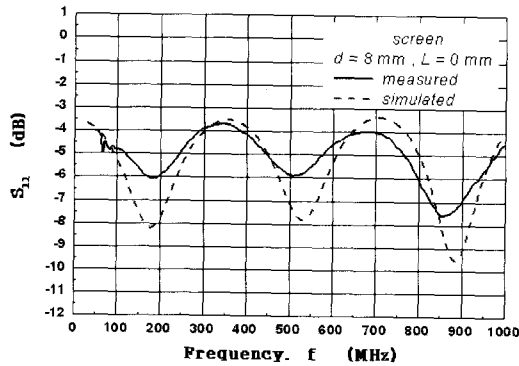
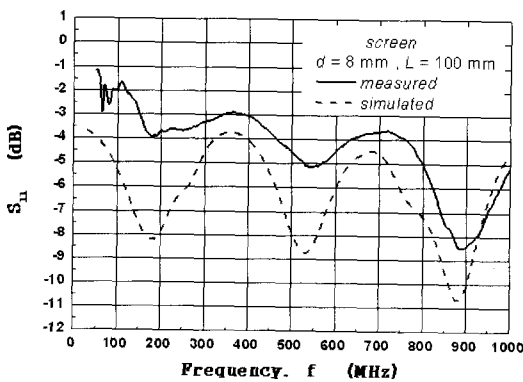


그림 6. 제작된 평행 2선 전송 선로와 백 플레인
Fig. 6. Picture of the two-wire parallel transmission line with the backplane.



(a) $L=0 \text{ mm}$



(b) $L=100 \text{ mm}$

그림 7. 반사 손실의 주파수 특성 측정치와 이론치
Fig. 7. Measured and theoretical return losses.

제작 오차 및 측정 오차 등을 고려하면 이론 계산치는 측정치와 비교적 그 경향이 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 백 플레인의 개구를 관통하는 비대칭 전송 선로에 대하여 백 플레인의 삽입 효과를 FDTD 법을 사용하여 검토하였다. 백 플레인의 개구 크기를 고정하였을 때, 대칭선로인 경우에는 선로 간격이 좁으면 삽입 이득 특성이 나타나며, 선로의 비대칭성을 부여하기 위한 부가 선로의 길이가 길어지면 백 플레인에 의한 삽입에 의해 삽입 손실이 현저히 나타나고 백 플레인의 영향을 무시할 수 없음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] R. Lee, D. G. Dudley, and K. F. Casey, "Electromagnetic coupling by a wire through a circular aperture in an infinite planar screen", *J. Electromag. Waves Appl.*, vol. 3, no. 4, pp. 281-305, 1989.
- [2] J. E. Schutt-Aine, R. Mittra, "Scattering parameter transient analysis of transmission lines loaded with nonlinear terminations", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 36, pp. 529-536, Mar. 1988.
- [3] F. G. Canavero, V. Daniele, and R. D. Graglia, "Spectral theory of transmission lines in presence of external electromagnetic sources", *Electromag., Special Issue on 'Electromagnetic Coupling to Transmission Lines.'* vol. 8, pp. 125-157, 1988.
- [4] V. Daniele, M. Gilli, and S. Pignari, "EMC prediction model of a single wire transmission line crossing a circular aperture in a planar screen", *IEEE Trans. on Electromagnetic Compt.*, vol. 38, no. 2, pp. 117-126, May 1996.
- [5] Carl T. A. Johnk, *Engineering Electromagnetic Fields and Waves*, 2nd Wiley, 1988.

정 성 우



2002년 2월: 영남대학교 전기공학과 (공학사)
2006년 9월~현재: 영남대학교 전기공학과 석사과정
[주 관심분야] EMC/EMI 및 REC-TENNA

김 기 채



1984년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)
1986년 3월: Keio University 전기공학과 (공학석사)
1989년 3월: Keio University 전기공학과 (공학박사)
1989년 4월~1993년 3월: 한국표준과학연구원 전자파연구실 선임연구원
1993년 4월~1995년 8월: 일본 후쿠오카 공업대학 정보공학과 조교수
1995년 9월~현재: 영남대학교 전기공학과 교수, 공과대학 부학장 역임
1988년 IEICE Japan, Young Scientist Awards.
1994년 IEE Japan, Paper Presentation Awards.
[주 관심분야] EMC/EMI 관련 안테나 및 전자파 차폐, 전자파 이론 및 응용