

PCB 선로에서 복사되는 불요전자파를 억제하기 위한 기술

The EMI Suppression Technology for Radiated Emissions from PCB Traces

박이섭* · 이종근**

Yi-Seob Park* · Joong-Geun Rhee**

요 약

PCB에서의 불요전자파 복사를 줄이기 위하여 많은 방법들이 이용되고 있으나, 본 논문에서는 영상평면을 적용하여 불요 전자파 복사를 줄이는 방법을 제시하였다. PCB에서의 영상평면 효과를 해석하기 위한 모델을 제시하였으며, FEM(Finite Element Method)으로 시뮬레이션을 한 후, 전계 프로브를 사용하여 불요 전자파의 세기를 측정하였다. 그 결과 PCB에서 복사되는 불요전자파의 세기는 영상평면의 폭과 간격에 따라 다르게 나타나며 측정된 결과와 시뮬레이션 결과가 유사한 것을 알 수 있었다. 그러므로 PCB에서 복사되는 불요전자파를 억제하기 위하여 영상평면을 적절히 사용한다면 EMI 저감 대책면에서 효과적이라는 것을 알 수 있었다.

Abstract

Among many EMI suppression techniques for radiated emissions from PCB traces, image technique is adapted in this paper. A model for the analysis of the effect of image plane on the radiation of a microstrip trace is presented. After a simulation was carried out by using the FEM(Finite Element Method), field strength was measured with electric probe. The radiated emission levels were measured for various image plane width, separation distances, and their results show that the measured data are very close to those of simulation result. It proves that a proper use of image planes on the PCBs is very effective means of reducing EMI emissions on the PCBs.

I. 서 론

전자제품이나 통신기기에서 사용되는 주파수가 급격히 높아짐에 따라서 회로에서 발생하는 전자파는 다른 기기에 오동작을 일으키는 원인이 된다. 따라서 PCB 회로의 전자파 장해를 줄이기 위해서는 PCB 선로의 배치나 선로의 폭을 고려하여 설계해야 하며 불요전자파를 줄이기 위한 이론들을 적용하여 설계해야 한다. 그리고 PCB 선로 배치를 해석

하기 위해서는 모멘트법(Moment of Methods), 유한요소법(Finite Element Method) 등의 수치 해석법이 통상 사용된다.

본 논문에서는 영상평면을 사용하여 영상평면의 폭과 신호선로와의 간격을 변화시키면서 PCB 선로에서 복사되는 전자파의 분포와 세기를 HFSS (High Frequency Structure Simulator)를 통하여 시뮬레이션 한 후 실제 PCB를 제작하여 PCB 선로에서 복사되는 전자파의 세기를 측정하였다.

* LG정보통신 차세대통신연구소 (IMT-2000 TERMINAL)

** 한양대학교 전자공학과 (Dept. of Electronic Engineering, Hanyang University)

· 논문 번호 : 20000113-004

· 수정완료일자 : 2000년 7월 7일

II. 본 론

2-1 PCB 회로에서 전자파를 줄이는 방법

2-1-1 영상(Image)이론

그림 1과 같이 PCB에 하나의 선로가 있을 때 선로는 y축 방향으로 있고 선로의 높이는 z축 방향일 때 전류 I_y 는 y축 방향으로 흐르게 된다.

여기서 선로 위쪽에서의 자계는

$$H_{x1} = -\frac{I_y}{2} \quad (z > 0) \quad (1)$$

이고, 선로의 아래쪽에서의 자계는

$$H_{x2} = -\frac{I_y}{2} \quad (z < 0) \quad (2)$$

이다.

그러므로 선로에서의 자계는 서로 상쇄가 된다^[1].

위와 같은 원리에 의해 PCB의 신호선로에서 복사되는 불요파를 줄이기 위한 방법으로 영상평면을 사용하게 되는데, 신호가 흐르는 도체 옆에 다른 도체를 평행하게 놓으면 신호선로에서 전자계가 형성되고 영상이론에 의해 옆의 도체에서도 마찬가지로 전자계가 형성된다. 각각, 도체 안쪽에서의 전자계의 크기는 서로 같게 되고 방향은 반대가 되어 복사되는 전자계는 서로 상쇄가 되어 불요전자파가 감소하는 효과를 볼 수 있다.

2-1-2 표피효과(Skin effect)

표피 효과란 도체에 높은 주파수의 전류가 흐를 수록 외부 도체의 인덕턴스가 줄어들게 되어 전류

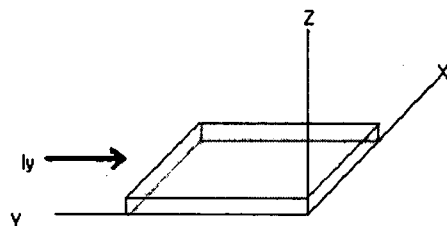


그림 1. 무한한 길이의 선로
Fig. 1. Infinite trace.

는 도체의 표면에 집중되는 것을 말하며 다음의 식으로 정의할 수 있다^[2].

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \nu \sigma}} \quad m \quad (3)$$

ν : 투자율

σ : 도전율

일반적으로 신호선로에 높은 주파수의 전류가 흐른다면, 전류는 도체 내부로는 거의 흐르지 않고 도체의벽으로 흐르게 되며 도체 주위에는 전자계가 형성된다. 그리고 다른 선로에 좋지 않은 영향을 줄 수 있다. 이렇게 신호선로에서 복사되는 불요전자파를 줄이는 방법이 필요한데 여기서는 영상이론을 적용하였다.

2-1-3 영상평면에서의 전류 분포

신호선로에서 복사되는 불요전자파를 줄이기 위하여 신호선로 양쪽에 영상평면을 위치시킨다. 근사적으로 영상 전류는 실제 전류와 같은 거리만큼 떨어진 위치에서 발생되는데 일반적으로 영상 전류의 방향은 신호선로에서의 전류 방향과 반대이고 크기는 신호선로의 전류 크기와 같다.

그림 2는 신호선로와 영상평면의 전류분포를 보여주는데, 신호의 주파수가 증가하면 표피효과에 의하여 전류는 신호선로 양 옆에 분포를 한다. 또한 신호선로에서 복사되는 전자계는 낮은 임피던스 경로를 갖는 영상평면으로 집중이 되고 그 결과 외부로 복사되는 불요전자파는 줄어들게 된다. 유한 크기의 영상 평면일 경우 복사되는 불요전자파는 약 10 dB 정도 감소하게 된다^[3]. 일반적으로 신호선로의 양 옆과 아래쪽으로 전류가 분포를 하므로 신호

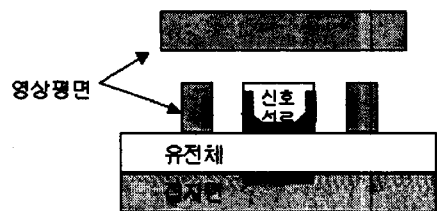


그림 2. 신호선로, 영상평면, 접지면에서의 전류 분포
Fig. 2. The distribution of current at signal trace, image plane and ground plane.

선로 위쪽의 영상평면보다 양쪽에 위치시킨 영상평면의 역할이 EMI측면에서 더 중요하다^{[4],[5]}.

2-2 수치적 모델링

PCB에서의 전자파를 해석하기 위하여 여러 가지 시뮬레이션 툴이 있는데 여기서는 HFSS (High Frequency Structure Simulator) V5.0을 사용하여 시뮬레이션 하였다.

그림 3은 PCB 선로에서의 전자계 분포를 관측하기 위한 모델이다. 시뮬레이션을 위한 유전체는 유전율 4.4인 양면 Glass-Epoxy를 사용하였고 유전체의 두께는 1 mm, 유전체의 길이는 100 mm × 100 mm로 하였다. 또한, 신호선로의 폭은 0.5 mm로 설정하고 신호선로와 영상평면과의 간격은 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm로 변화시키면서 전계 분포를 시뮬레이션 하였다.

2-3 시뮬레이션 결과

신호선로 옆에 영상평면을 놓고 불요전자파의 분포 및 세기를 시뮬레이션 하였고 신호선로의 폭은 0.5 mm로 하고 영상평면과의 간격은 0.5 mm로 하였다. 그림 4는 영상평면을 접지시키고 그림 5는 영상평면을 접지시키지 않은 후의 시뮬레이션 결과이다.

그림 4, 5의 시뮬레이션 결과 영상평면을 접지면과 접지시키지 않았을 때, 신호선로에서 복사되는 전자파의 세기는 상대적으로 강하게 [붉은색을 띠] 나타나는 것을 알 수 있다. 즉, 영상평면은 접지면과 접지를 시켰을 때 EMI 측면에서 효과가 좋다.

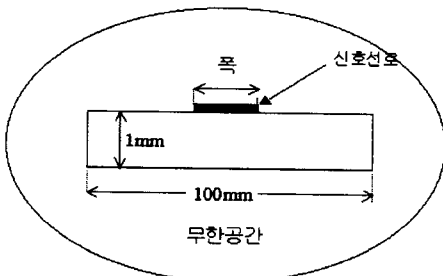


그림 3. 시뮬레이션을 위한 모델링
Fig. 3. Simulation modeling.

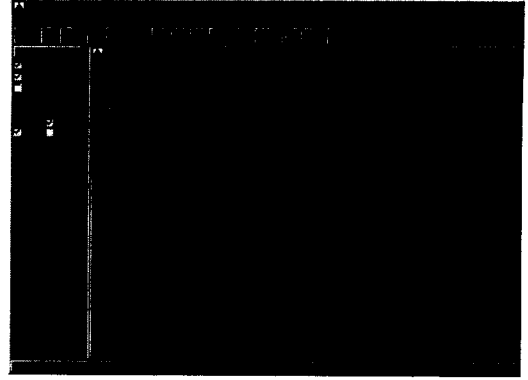


그림 4. 영상평면을 접지시켰을 때의 전계 분포 및 전계세기

Fig. 4. Field distribution and strength (image plane was grounded).

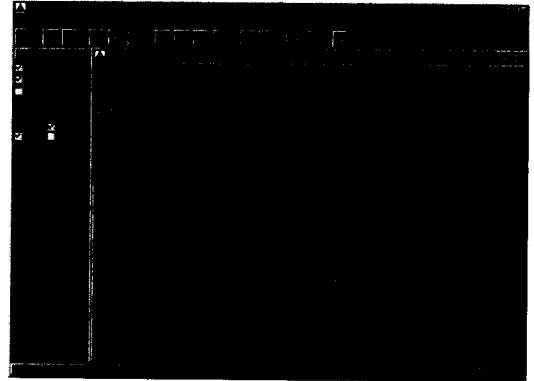


그림 5. 영상평면을 접지시키지 않았을 때의 전계 분포 및 전계세기

Fig. 5. Field distribution and strength (image plane was ungrounded).

다음은 영상평면과 신호선로와의 간격에 따라 전자파 세기가 어떻게 변하는지를 시뮬레이션 하였다. 그림 6, 7은 폭 0.5 mm의 신호선로 한쪽에만 폭 0.5 mm의 영상평면을 놓았고 신호선로와 영상평면의 간격만을 다르게 하여 시뮬레이션 한 결과이다.

그림 6, 7에서 보여주는 것처럼 신호선로와 영상평면의 간격이 5 mm일 때 보다 10 mm일 때 신호선로에서 복사되는 전계의 분포는 불 균일하고 전계의 세기는 약간 크다는 것을 알 수 있다

이번에는 신호선로 양 옆에 영상평면을 하나씩 놓고, 역시 간격에 따라 전계의 세기가 어떻게 차이

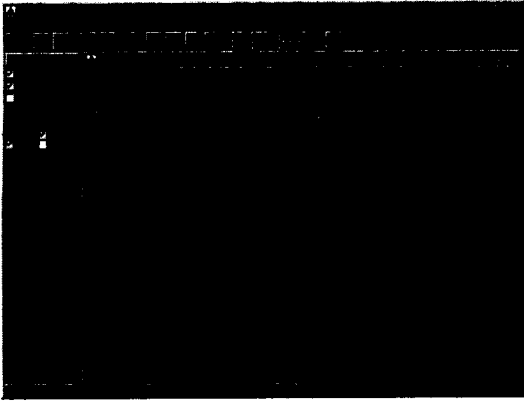


그림 6. 신호선로와 영상평면의 간격이 5 mm일 때 전계 분포 및 전계세기

Fig. 6. Field distribution and strength (the gap of signal line and image plane is 5 mm).

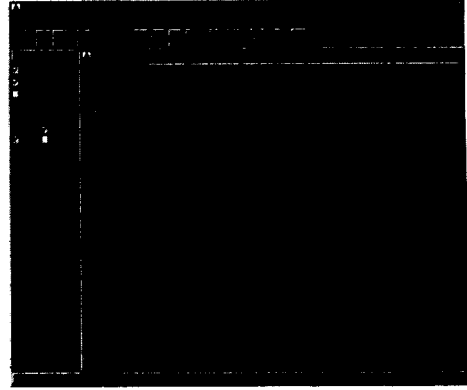


그림 8. 신호선로와 양 옆에 5 mm 간격으로 영상 평면을 놓았을 때 전계 분포 및 전계세기

Fig. 8. Field distribution and strength (the gap of signal line and both image planes is 5 mm).

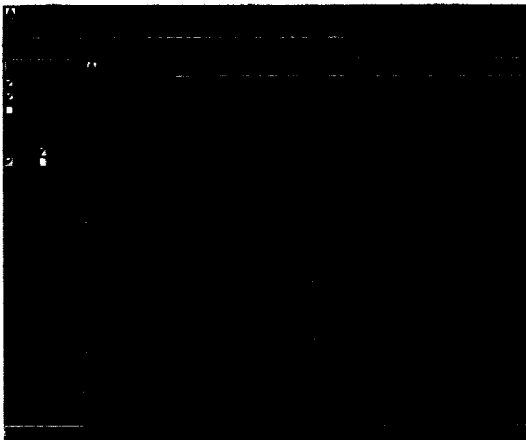


그림 7. 신호선로와 영상평면의 간격이 10 mm일 때 전계 분포 및 전계 세기

Fig. 7. Field distribution and strength (the gap of signal line and image plane is 10 mm).

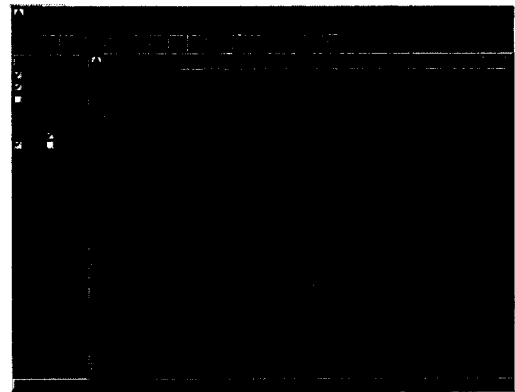


그림 9. 신호선로와 양 옆에 15 mm 간격으로 영상 평면을 놓았을 때 전계 분포 및 전계 세기

Fig. 9. Field distribution and strength (the gap of signal line and both image planes is 15 mm).

가 나는지를 시뮬레이션 하였다. 그림 8, 9에서 보여주는 것처럼 신호선로와 양쪽 영상평면의 간격이 15 mm보다 5 mm 일 때가 전자파의 세기가 현저하게 낮다는 것을 알 수 있다. 그러므로 신호선로와 영상평면과의 간격이 가까울수록 신호선로에서 복사되는 전자파의 세기는 상대적으로 줄어드는 것을 알 수 있다.

다음은 신호선로에서 복사되는 전계의 세기는 영상평면의 폭에 따라 어떻게 변하는지를 시뮬레이션 하였다.

그림 10, 11은 신호선로와 영상평면의 간격을 5 mm로 똑같이 하고 영상평면의 폭만 다르게 하여 신호선로에서의 복사되는 전자파의 분포와 세기를 보여주고 있다.

그림 10, 11에서 처럼 신호선로에서 복사되는 전계의 분포와 세기가 확연히 차이가 나는 것은 아니지만, 영상평면의 폭이 크면 신호선로에서 복사되는 전자파의 세기가 상대적으로 더 작은 것을 알 수 있다.

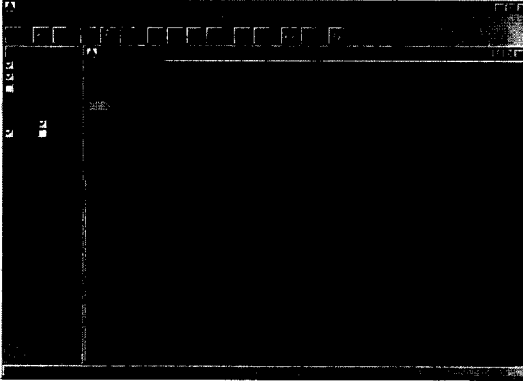


그림 10. 영상평면의 폭이 1.0 mm일 때 전계 분포 및 전계 세기
 Fig. 10. Field distribution and strength (width of image plane is 1.0 mm).

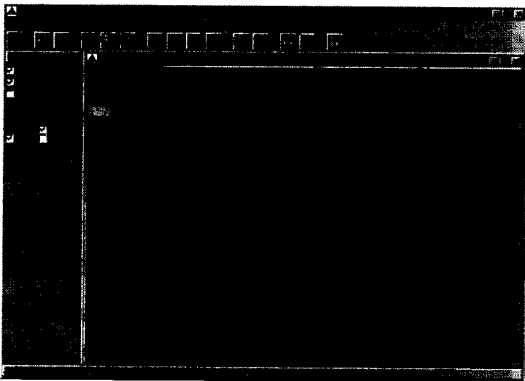


그림 11. 영상평면의 폭이 1.5 mm일 때 전계 분포 및 전계 세기
 Fig. 11. Field distribution and strength (width of image plane is 1.5 mm).

2-4 측정

2-4-1 측정에 사용한 PCB크기 및 프로브

가로 세로 10 cm × 10 cm로 PCB를 제작하였고 측정에 사용한 전계 프로브는 300 MHz에서 1 GHz 까지 측정 가능한 무지향성 전계 프로브를 사용하였다.

2-4-2 측정 위치

측정은 한 주파수대(500 MHz)에서의 전계 세기를 측정하였는데 측정 프로브의 위치는 그림 12와

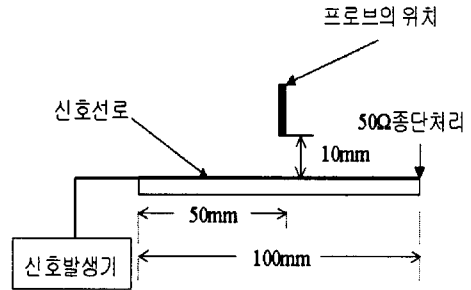


그림 12. 측정 위치
 Fig. 12. Measured position.

같이 PCB에서 1 cm 높이에서 일정하게 측정을 하였다.

2-4-3 측정 결과

그림 13은 신호선로만 있을 때의 세기를 측정한 그림인데 500 MHz에서 전계 세기가 약 -84.75 dBm임을 보여준다.

다음은 신호선로 옆에 영상평면을 놓았을 때 전계 세기가 어떻게 되는지를 측정하였다. 그림 14는 신호선로 한쪽에 영상평면을 놓고 측정을 한 결과이고, 그림 15는 신호선로 양쪽에 영상평면을 놓고 측정된 결과이다. 그림에서 보여주는 것처럼 신호선로 한쪽에 영상평면을 놓았을 때 전계의 세기는 -88 dBm이고 양쪽에 영상평면을 놓았을 때의 전계 세기는 -89.17 dBm 인 것을 알 수 있다. 이것으로 영상평면을 사용한 PCB에서 복사되는 전계의 세기는 신호선로만 있을 때보다 복사되는 전계의

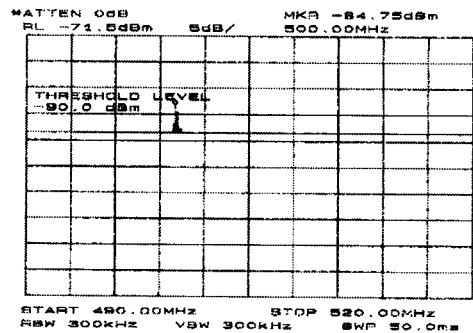


그림 13. 신호선로에서의 전계 세기
 Fig. 13. Field strength of signal line.

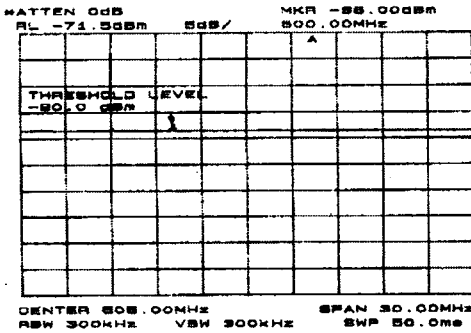


그림 14. 한쪽에만 영상평면을 놓고 측정한 전계 세기

Fig. 14. Field strength of signal line with image plane.

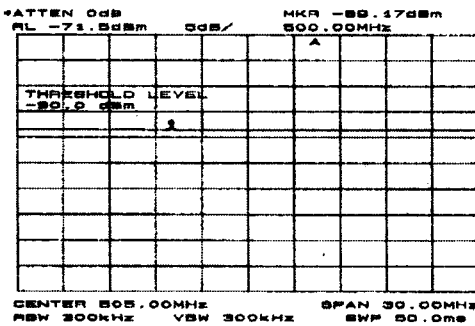


그림 15. 양쪽에 영상평면을 놓고 측정한 전계 세기

Fig. 15. Field strength of signal line with both image planes.

세기가 상대적으로 줄어드는 것을 알 수 있다.

III. 결 론

지금까지 영상평면을 사용하여 신호선로에서 복사되는 불요전자파의 세기를 시뮬레이션과 측정을 통하여 알아보았다. 그 결과 영상평면을 사용하면 PCB의 신호선로에서 복사되는 불요전자파는 상당히 줄어드는 것을 알 수 있고, 신호선로와 영상평면과의 간격이 가까울수록 전자파 장해 측면에서 더 효과적인 것을 알 수 있었다. 그러므로 불요전자파가 많이 발생하는 선로에 대해서는 영상평면을 사용함으로써 집적화 및 고주파화 되어가고 있는 PCB회로에서 발생하게 될 전자파장해 문제를 해결

할 수 있을 것으로 기대된다.

끝으로, 본 논문에서 수행한 시뮬레이션이나 측정의 목적은 신호선로에서 복사되는 불요전자파의 레벨을 수치적으로 정확히 알기 위한 것이 아니라 영상평면을 사용하였을 때는 상대적으로 어느 정도의 불요전자파의 세기가 줄어드는지를 알기 위한 것이다. 그러므로 어느 정도의 측정오차는 있을 수 있지만 모든 측정 내용에 있어 동일한 조건을 부여하였기 때문에 상대적인 비교가 가능하리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] P. Silvestor, "The Accurate Calculation of Skin Effect in Conductors of Complicated Shape" *IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-87, no. 3, March 1968.
- [2] Dheena Moongilan, "Skin-Effect Modeling of Radiated Emissions from Backplanes", *IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility*, pp. 332-337, 1996.
- [3] John T. Fessler, Keith W. Whites, and Clayton R. Paul, "The effectiveness of an image plane in reducing radiated emissions" *IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility.*, vol. 38, pp. 51-60, February, 1996.
- [4] Mark I Montros, "EMC and the Printed Circuit Board", *IEEE Press*, pp. 171-180, 1997.
- [5] Dheena, Moongilan, "Skin-Effect Modeling of Image Plane Techniques for Radiated Emissions from PCB Traces" *IEEE Symposium. Electromagnetic Compatibility*, pp. 308-313, 1997.
- [6] Jianming Jin, "The Finite Element Method in Electromagnetics", John Wiley & Sons, 1993.
- [7] Robert G. Kaires, "Radiated Emissions from Printed Circuit Board Traces Including the Effect of Vias, as a Function of Source, Termination and Board Characteristics", *IEEE Symposium, Electromagnetic Compatibility*, pp. 872-877, April, 1998.

박 이 섭



1998년 : 한양대학교 전자공학과
(공학사)

2000년 : 한양대학교 전자공학과
(공학석사)

2000년~현재 : LG정보통신 차세
대통신연구소 IMT 2000 단말실
연구원

[주 관심 분야] RF 회로 디자인, 초고주파공학 EMI/EMC

이 중 근



1967년 : 서울대학교 전기공학과
(공학사)

1973년 : Univ. of South Florida 전
자공학과(공학석사)

1979년 : Univ. of South Florida 전
자공학과(공학박사)

1990년 : 한국전자파학회 초대 회

장

1993년~1997년 : 한국 아마추어 무선연맹 이사장

1988년~현재 : 한양대학교 전자공학과 교수

[주 관심 분야] EMI/EMC, 전자파, 안테나 설계