

# 절연재에 따른 TEM 안테나의 방사패턴 및 이득 변화

## The Antenna Radiating Pattern and Gain's changes according to Insulating Material

이 예 나\* · 최 순 호\* · 허 창 수† · 최 진 수\*\* · 박 우 철\*\*\*  
(Ye-Na Lee · Sun-Ho Choi · Chang-Su Huh · Jin-Su Choi · Woo-Chul Park)

**Abstract** - TEM Horn antenna is typically used in HPEM area. It is necessary to apply a high voltage of the antenna for radiating HPEM. Then, it is necessary to insulate essentially of applying a high voltage to the antenna. At this time, radiation pattern and gain of the TEM Antenna is changed. For this reason, it is necessary to analyze changing characteristics by using simulation. In this paper, I analyzed the radiation pattern of the antenna in accordance with the lens and insulating material. As a result, it was observed that the value of the gain is changed in accordance with the frequency. The lens is used for the antenna, the gain characteristic is improved.

**Key Words** : TEM horn antenna, TEM antenna insulation, Far-field pattern

### 1. 서 론

전자기펄스(EMP: Electromagnetic Pulse)는 시간적 압축으로 모인 에너지를 순간적으로 방출함으로써 엄청난 에너지를 통해 전자 장비를 파괴할 수 있는 전기장과 자기장을 가진 순간적인 충격파이다.[1] 이런 특성을 적용하여 다양한 무기체계를 만들 수 있으며, 고출력 마이크로파(HPM: High Power Microwave)를 무기로 사용할 경우 일정하게 방사하여 적의 전자 장비를 교란이나 마비, 영구적인 사용불능 상태로 만들 수 있다. 전자기펄스는 일반적으로 주파수의 대역폭에 따라서 크게 협대역(narrow band)과 광대역(wide band)으로 나눌 수 있다. 이와 마찬가지로 고출력 마이크로파를 방사시키기 위한 안테나 또한 대역폭의 종류에 따라 혼 안테나와 같은 협대역 HPM 안테나와 TEM 혼 안테나, Log-periodic 안테나, 반사형 IRA 안테나(Impulse Radiating Antenna)와 같은 광대역 HPM 안테나로 나눈다. 광대역 펄스 발생장치에 사용되는 협대역에 비해 구조적으로는 간단하지만, 안테나 기술은 더 복잡한 특징을 지닌다. [2] 광대역 안테나의 종류 중 비교적 높은 이득, 광대역 특성을 가지고 단일방향 방사특성을 가지는 TEM 혼(Transverse electromagnetic Horn)안테나가 특별히 주목받고 있으며 많은 연구가 진행 중에 있다. TEM 혼 안테나는 최소 주파수에서 10배의 주파수까지 사용이 가능한 특성을 가지며, 높은 지향성과 고효율을 지닌 대표적인 광대역 안테나이다. 일반적으로 EMC 측정 시스템은 단일 안테나로서 넓은 주파수

대역을 갖는 안테나가 필요한데, 주로 임펄스 파의 세기 측정과 방사용, 또한 챔버의 차폐 성능 평가용으로 많은 TEM 안테나가 사용되고 있다. TEM 안테나는 광대역과 비분산적 특성을 갖는데 비반사 다이폴의 안테나의 특성을 유지하면서 임펄스 형태의 전자파로 감지할 수 있는 센서로 개발된 것이다.[3] 또한 이 TEM 안테나를 광대역 HPEM (High Power Electromagnetic wave)를 발생시키는 방사장치로 사용하게 될 경우, TEM 안테나에 kV 대역의 높은 전압을 급전해야 한다. 하지만 이처럼 고전압을 급전하게 될 경우 TEM 안테나의 두 금속판 사이에 절연 설계가 추가되어야 한다. 안테나에 고체 절연물을 끼워 넣을 경우, 방사 패턴 및 안테나의 이득과 S-Parameter의 변화가 일어난다. 이 때문에 절연물 때문에 떨어지는 안테나 이득의 보안을 위해 개구부에 같은 재질로 된 렌즈 역할을 할 절연물을 추가로 끼워 넣게 된다. 결과적으로 이득 보안을 유도할 수 있으며 안테나의 변화되는 이득을 시뮬레이션을 통해 재질에 따른 성능의 변화 정도를 알아볼 수 있다.[4]

본 논문은 TEM 혼 안테나의 두 도체 사이에서 적용되는 고체 절연물의 종류에 따라 변화되는 안테나 특성을 분석하기 위해 안테나 특성변화를 관찰할 수 있는 CST사의 Microwave Studio(MWS)을 활용하여 시뮬레이션 하였으며, 그 결과를 비교·분석하였다.

### 2. 설계방법 및 실험재료

#### 2.1 TEM Horn Antenna Design

TEM 안테나의 기본 구조는 2개의 금속판으로 구성하고 있으며, 선형 금속평판을 떼어놓고 급전시킨다. 급전 후에는 평행 두 도체판의 급전 부분으로부터 전파가 발생하여 안테나의 개구부를 통하여 공기 중으로 방사하는 원리로 동작하게 된다. 동축선을 통하여 흐르던 전류는 급전 부분에서 동축선의 내부 도체와 안테나의 도체판의 임피던스 부정합으

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, INHA University, Korea  
E-mail : cshuh@inha.ac.kr

\* Dept. of Electrical Engineering, INHA University, Korea

\*\* Agency for Defense Development

\*\*\* Korea Testing & Research Institute, (KTR)

Received : December 10, 2013; Accepted : March 31, 2014

로 인해 대부분 전파에너지로 변환된다. 이때 발생한 전파는 두 도체판 사이를 진행하면서 두 도체판에 흐르는 전류와 전압차에 의해 TEM 특성을 갖게 되는 형태이다. TEM 안테나는 광대역 특성이 있어 상대적으로 높은 전력범위에서도 사용할 수 있으며 far-field 내에서도 적은 위상변화를 갖는 특성이 있다. 또한, 크기가 작은 편이며 복사 중에 왜곡이 없고 높은 효율과 낮은 반사 특성을 지닌다. TEM Horn 안테나의 특성 임피던스를 구하는 식은 식 1과 같다.

$$Z = \frac{h}{w} \cdot 120 \pi \quad (1)$$

여기에서,  $120\pi$ 는 자유공간 임피던스  $377\Omega$ 으로 변환하기 위한 수치이다. TEM 안테나에 급전을 위해서는 일반적으로  $50\Omega$ 의 동축선을 사용하기 때문에 시뮬레이션을 진행하기 위해서 TEM 안테나의 입력 임피던스도  $50\Omega$ 으로 설계하였다. 또한, 자유공간에서의 평면파 파동 임피던스는  $377\Omega$ 이기 때문에 입력 임피던스에서 평행도체의 판을 조절하여 임피던스를 변화시킨다. TEM 안테나를 설계하는 데 있어 안테나의 길이, 급전방법 등과 같이 많은 설계 변수가 작용한다. 이런 이유로 특정 시뮬레이션을 진행하려면 적절한 설계 수치를 결정하여야 하며, 설계 수치의 값은 표 1과 같고 각각의 수치 예시는 그림 1과 같다. 안테나의 입력부 높이  $H1$ 은  $13.6\text{mm}$ 이고, 폭  $W1$ 은  $12.2\text{mm}$ 이다. 입력부의 설계는 입력 임피던스를  $50\Omega$ 으로 맞추기 위함이며, 다음과 같이 설계된 안테나의 사용가능 주파수는  $1\text{GHz} - 22\text{GHz}$ 로써 광대역 특성을 나타내고 있다. 또한, TEM 도체 판은  $1\text{mm}$ 의 두께를 가진 완전전기도체(PEC: Perfect Electric Conductor) 성분의 금속판으로 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다. 이후 그림 2와 같이 TEM 안테나의 급전부에 절연물을  $1\text{mm}$  두께로 삽입하였고, 추가로 이득 보안을 위해 TEM 안테나

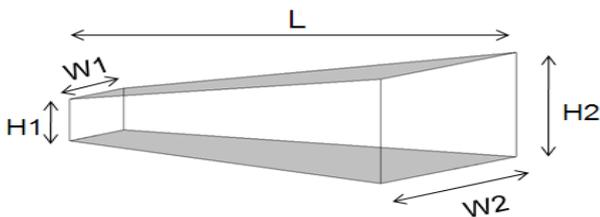


그림 3 안테나의 설계 변수  
Fig. 1 Antenna Design Parameter

표 1 TEM Antenna 설계 수치  
Table 1 TEM Antenna Design Parameter

Variables	Value
Input Impedance [ $\Omega$ ]	50
Frequency [GHz]	3
L [mm]	320
W1 [mm]	12.2
W2 [mm]	198
H1 [mm]	13.6
H2 [mm]	112

의 개구부에 렌즈 역할을 할 수 있는  $2.5\text{mm}$ 의 두께의 절연물을 삽입하였다. 설계된 안테나의 총 길이는 약  $320\text{mm}$ 이며, 개구부의 높이는  $112\text{mm}$ 이며 너비는  $198\text{mm}$ 이다.

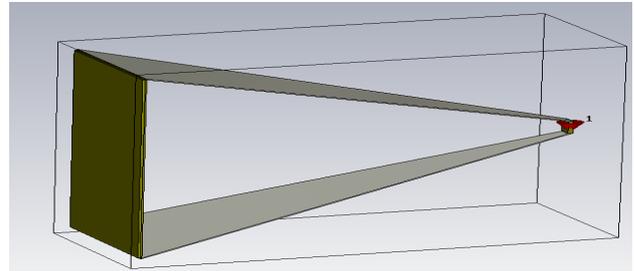


그림 2 절연물이 삽입된 TEM Antenna의 형태  
Fig. 2 TEM Antenna With Insulation, lens

### 2.2 TEM Antenna Insulation

사용한 절연물은 TEM 안테나의 개구부에 사용되어 절연 내력(dielectric strength)과 유전율(permittivity) 값이 커야 한다. 본 연구에 사용된 절연물은 에폭시 레진(Epoxy Resin)과 테플론(Teflon)을 사용하여 시뮬레이션을 진행했으며, 적용된 절연체의 특성은 표 2와 같다. 유전율은 부도체의 전기적 특성을 나타내는 값으로 전자기파의 특성과 직접적인 연관성이 존재한다. 유전율이 높을수록 부도체 조건에서 절연물 내부의 전자기파 진행이 가능하도록 한다. 공기의 유전율은 1이고 적용하려는 에폭시 레진이 4, 테플론이 2.1이면 상대적으로 유전율이 높다는 것을 알 수 있다. 또한, 각각의 절연체는 절연내력이 존재하여 일정한 임계치를 초과하게 되면 분자들로부터 전자들이 완전히 자유롭게 움직여 스파크가 일어나는 현상이 발생하고 이것을 절연과피(dielectric breakdown)라 부른다. TEM 안테나의 상부와 하부를 전기적으로 절연하여야 하므로 절연과피가 발생하면 안 되고 일반적으로 알려진 공기의 절연내력인  $3\text{kV/mm}$  보다 높은 수준을 유지해야 한다. 절연내력 측면을 생각한다면 에폭시 레진과 테플론은 상대적으로 안정적인 수준의 절연내력을 특성을 보인다. 이런 측면을 고려하였을 때, 유리는  $4.5 \sim 10$ 의 유전율을 보이고,  $25 \sim 40 \text{ kV/mm}$ 의 절연내력 특성을 가진다. 수치적으로는 유리가 에폭시 레진과 테플론에 비해 개구부 절연체에는 더욱 뛰어난 성능을 예상할 수 있는 절연체이지만 TEM 안테나의 제작 및 사용 시 충격에 대한 특성 부분을 고려한다면 에폭시 레진과 테플론이 상대적으로 유리하기 때문에 사용상에 한계를 파악하여 관련 장치를 설계할 때 절연체를 선택할 필요가 있다.

표 2에서 나타난 아크 저항(Arc Resistance)은 ASTM - D495(Standard Test Method for High-voltage, Low-current, Dry Arc Resistance of Solid Electrical Insulation) 재료 표면상에 고전압, 저전압을 인가시켰을 경우 변화하는 저항치를 말하며, 아크가 발생한 상황에서 재료의 표면에 전도성 경로가 형성되었을 때에 요구되는 전체소요시간에 대해 등급으로 표현한 것이다. 그 등급에 따른 분류는 표 3과 같다.

표 2 Epoxy Resin과 Teflon의 특성

Table 2 Characteristic of Epoxy Resin and Teflon

Characteristic	Epoxy Resin	Teflon
Permittivity	4	2.1
Dielectric constant [kV/mm]	17 ~ 20	16 ~ 24
Arc resistance [grade]	4	3
Deflection [mm]	2 ~ 3	3.5 ~ 6.3
Tensile Strength [N/mm <sup>2</sup> ]	60 ~ 80	30 ~ 40

표 3 아크 저항의 평균시간 (D495 range)

Table 3 Mean Time of Arc Resistance (D495 range)

in Sec	Assigned
420 and longer	0
360 through 419	1
300 through 359	2
240 through 299	3
180 through 239	4
120 through 179	5
60 through 119	6
Less than 60	7

### 3. 실험 결과

TEM 안테나의 두 도체판 사이의 급전부에는 1mm 두께로 유전체를 넣어 시뮬레이션을 진행하였으며, 개구부 부분에는 앞서 제시한 에폭시 레진과 테플론을 적용하여 TEM 안테나의 렌즈 역할을 수행할 수 있도록 2.5mm 두께로 배치하였다. 이런 TEM 안테나 설계조건으로 안테나의 주파수 변화에 따른 이득과 패턴의 변화를 관찰하였다. 우선하여 개구부에 유전체를 배치하지 않은 TEM 안테나의 3GHz의 경우에 2차원, 3차원의 방사패턴은 그림 3, 4와 같다.

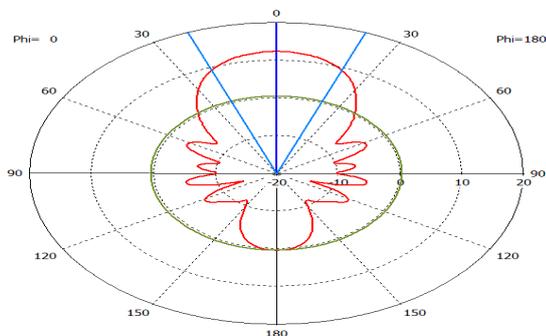


그림 3 TEM 혼 안테나의 방사 패턴 (Polar)

Fig. 3 Far-Field Pattern of TEM Horn Antenna(Polar)

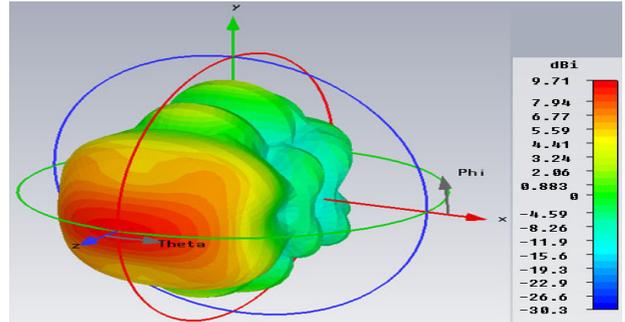


그림 4 TEM 혼 안테나의 방사 패턴(3D)

Fig. 4 Far-Field Pattern of TEM Horn Antenna(3D)

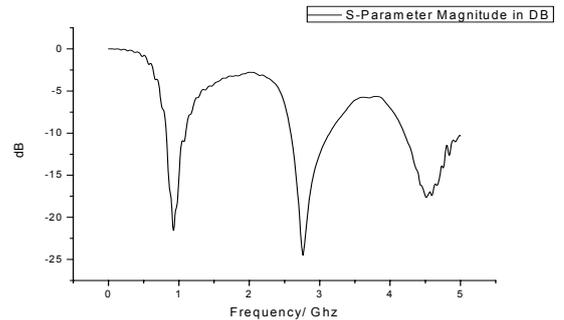


그림 5 DB에서의 S-파라미터

Fig. 5 S- Parameter Magnitude in DB

급전부만 절연한 안테나와 렌즈를 추가한 안테나의 방사 패턴의 형태는 기본적으로 유사한 형태의 패턴을 나타내었다. 다음은 각 조건에 따라 안테나의 Gain을 그래프로 나타낸 것이다.

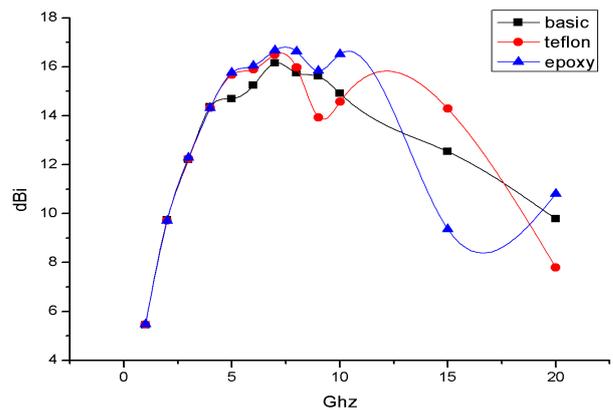


그림 6 안테나의 절연상태에 따른 이득

Fig. 6 Gain corresponding to the insulated antenna

그림 6의 결과는 렌즈가 없는 상태의 기본안테나와 테플론과 에폭시로 절연된 안테나의 이득을 비교한 결과이다. 6GHz까지는 비슷한 이득 수치를 가지지만 그 이상 범위에서는 주파수 범위에 따라 테플론과 에폭시의 높은 이득을 가지는 범위가 다르다는 것을 알 수 있다. 테플론과 에폭시를 사용할 경우에는 약 12GHz에서 이득이 감소하는 현상이

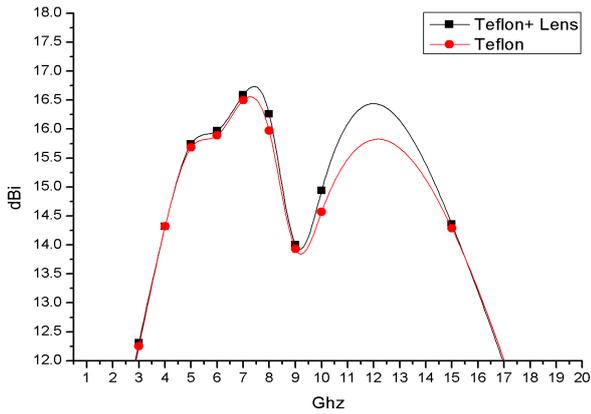


그림 7 렌즈 유무에 따른 이득 (테플론)

Fig. 7 Gain according to Presence or absence of the lens (Teflon)

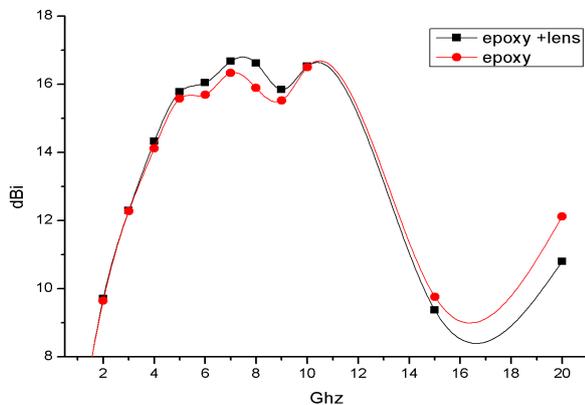


그림 8 렌즈 유무에 따른 이득 (에폭시)

Fig. 8 Gain according to Presence or absence of the lens (Epoxy)

관찰되는데, 에폭시의 경우에 더욱 급격하게 안테나의 이득이 낮아지는 것을 알 수 있다. 또한, 에폭시 절연체를 사용할 경우 특정주파수 대역에서 기본 안테나보다 더욱 낮은 이득 값을 가진다. 그림 7과 8은 테플론과 에폭시 절연체를 사용하고 렌즈(lens) 삽입 유·무에 따른 변화되는 이득 값을 알아보기 위해 그래프로 분석하였다. 렌즈의 유무에 따라 이득이 크게 증가하지는 않지만, 렌즈를 추가함에 따라 약간의 이득개선을 한다고 할 수 있다. 또한, 테플론과 에폭시 절연체에 렌즈를 삽입할 경우 특징적으로 관찰되는 점은 특정 주파수 대역에서 이득이 증가한다는 점이다. 테플론의 경우에는 렌즈 삽입 전·후가 거의 비슷하지만 약 10GHz ~ 15GHz에서 이득이 증가하고, 에폭시의 경우에는 약 5GHz ~ 10GHz 부분에서 이득이 증가하는 현상이 관찰된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서 에폭시와 테플론을 선정한 이유는 일반적으로 손쉽게 구할 수 있는 절연체로서 다양한 전기적 성질 중 안테나 방사에 영향을 미치는 인자인 유전율이 일정 수준

이상 차이가 나기 때문에 실험의 인자로 선정하였다.

1. TEM 혼 안테나의 시뮬레이션을 진행한 결과에서 방사 패턴을 분석하였을 때 렌즈를 추가할 시 방사 패턴의 변화는 크게 일어나지 않았고 대체로 비슷한 패턴의 방사 패턴을 나타내었다. 하지만 세부적인 이득을 비교하였을 경우, 대체적인 사용 주파수 영역에서는 이득이 약간 상승하는 효과가 관찰되었다. 이는 개구부에 추가 설치된 렌즈가 방사되는 전계를 모아주어 이득을 증가시키는 효과를 나타내는 것을 알 수 있다.

2. 렌즈의 설치 유·무에 대한 이득을 관찰하였을 경우에 테플론의 경우 15GHz 이상에서는 거의 효과를 보이지 않고, 에폭시의 경우에 15GHz 이상 주파수 범위에서 이득이 낮아지는 특성을 확인하였다. 이런 문제를 해결하기 위해 개구부에 추가하는 렌즈의 포물선 형태의 추가하고, 추가적인 시뮬레이션 과정을 통해 적절한 보완 값을 찾을 수 있다.

3. TEM 안테나의 시뮬레이션은 설계에 대한 방사특성을 쉽게 알아볼 수 있다는 장점을 가지고 있다. 하지만 시뮬레이션 설정입력에서 완전전기도체와 같은 소재나, 실험 장비, 환경조건 등과 같은 다양한 인자에 의해서 영향을 미칠 수 있다, 이런 이유로 설계한 결과는 비교, 검토하기 위해서 실제적인 실험을 시행하여야, 실험 후 그 결과 값을 통해 설계를 개선과 같은 과정을 거쳐야 한다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 표준기술력향상사업 (프로젝트번호-10042466)의 지원을 받아 수행되었음.

#### References

- [1] J. S. Doo, S. M. Han, C. S. Huh and J. S. Choi, "Ultra fast Marx Generator of N<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub>, N<sub>2</sub>-SF<sub>6</sub> Mixture Gas based on Research Output Characteristics", Trans. KIEE, Vol. 59, No.10, pp.1850~1855.
- [2] 최진수, 임동우, "전자기펄스 발생과 응용", 물리학과 첨단기술, pp.36~41, 2006.
- [3] K. H. Chung, S. H. Pyun, S. Y. Chung and J. H. Choi, " Design of a TEM Horn Antenna for Impulse Response Measurement System", KIEES, Vol.14, No.7, pp.669~676, 2003.
- [4] Hradecky, Z. and Holub, A., "Broadband TEM horn antenna with dielectric lens for UWB measurement", EuCAP Antennas and Propagation, pp.3348~3351, 2009.
- [5] Lee, R. T. and Smith, G. S., "A design study for the basic TEM horn antenna", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol.46, No.1, pp.86-92, 2004.
- [6] Yarovoy, A. G., Schukin, A. D., Kaploun, I. V. and

Ligthart, L.P., "The dielectric wedge antenna", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.50, No.10, pp.1460~1472, 2002.

- [7] J. D. Taylor, "Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems", CRC Press, 1995.
- [8] Sabath, F., Mokole, E. L., Schenk, U., and Nitsch, D. "Ultra-Wideband, Short - Pulse Electromagnetics 7, Springer, 2007
- [9] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory : Analysis and Design, 3rd Edition, WILEY, 2005.

저 자 소 개



**최진수 (崔辰壽)**

1964년 5월 4일생. 1986년 연세대학교 물리학과 졸업, 1989년 동 대학원 물리학과 졸업(석사), 2001년 동 대학원 물리학과 졸업(이학박사), 1991년 ~ 현재 국방과학연구소 책임연구원



**박우철 (朴雨哲)**

1958년 4월26일생. 1987년 건국대학교 전자공학과 학사졸업. 1993년 고려대학원 전자통신공학과 졸업(석사). 2011년 아주대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사). 현 한국화학융합시험연구원 전자과연구소 EMP평가팀장



**이예나 (李睿娜)**

1985년 9월 30일생. 2009년 인하대학교 전기공학과 학사 졸업. 2010 ~ 2013년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2013년 ~ 현재 삼성중공업 전기전자사업부 재직  
Tel : 032-860-7408



**최순호 (崔淳豪)**

1984년 10월 12일생. 2010년 인하대학교 전기공학과 학사 졸업. 2010 ~ 2012년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2012년 ~ 현재 동 대학교 전기공학과 박사과정  
Tel : 032-860-7408  
E-mail : whitelily37@hanmail.net



**허창수 (許昌洙)**

1955년 1월 27일생. 1981년 인하대학교 전기공학과 학사졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1983 ~ 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사) 1983년~1993년 한국전기연구원기능재료 연구실장. 현 인하대학교 전기공학과 교수  
E-mail: cshuh@inha.ac.kr