

Bluetooth 환경을 고려한 방사내성시험 분석

김 남* · 신국선* ·

박성욱** · 주은정**

*충북대학교 정보통신공학과

**전파연구소

I. 서 론

산업사회의 발달로 인하여 전기·전자제품의 이용은 날로 급증하고 이에 따른 전파환경의 보호는 세계 각 국의 중요한 문제점으로 부각되고 있다. 각 국은 전파통신의 보호와 스펙트럼의 관리, 그리고 기기 상호간의 간섭에 의한 장애현상을 방지하고자 EMI에 대한 규제를 '80년도 초부터 강력하게 시행하고 있으나 전자파 내성의 경우 공급자와 구매자 사이의 제품의 신뢰성과 품질에 관계된 문제로써 규제의 대상이 되어오지 않았다. 그러나 최근 시간이 지날수록 악화되는 전자파 환경으로부터 제품의 신뢰성 보장뿐만 아니라 기기의 오동작으로 인해 발생하는 인명안전의 문제도 심각히 고려하지 않을 수 없게 되었다.

대부분의 전자 장비는 어떤 식으로든 전자파 방출의 영향을 받는다. 이러한 방출은 다음과 같은 소스에 의해 빈번히 발생된다. 즉 운전자, 유지 보수요원 및 안전요원들이 사용하는 휴대용 전파 송수신기, 고정된 라디오 및 TV 송신기, 운송(용)기기 및 여러 가지 목적의 산업용 전파 발생원 등이다. 최근에 0.8 GHz~3 GHz 대역의 주파수에서 작동하는 무선 전화기와 무선 송신기의 사용이 현저히 증가하였다. 이런 서비스들의 대부분은 일정치 않는 포락선을 갖는 변조기법을 사용한다. 전자파 환경은 전자장의 세기에 의해 결정된다. 이 전자장은 복잡한 장비 없이는 쉽게 측정할 수 없고, 고전적 방법으로도 쉽게 계산할 수도 없다. 그 이유는 주위 환

경 구조의 영향 또는 전자파를 왜곡하거나 또는 반사시키는 장비의 근처에서의 영향 때문이다.

허가 없이 사용이 가능한 ISM(Industrial Scientific Medicine) 대역(2.4 GHz대)에서 사용하는 장치의 개발과 사용이 날로 다양해지고 있다. ISM 대역에서 사용되는 장치들에 의한 무선신호에 의한 전자파 장애의 가능성이 있으므로 적절한 전자파 방사내성규격 제정의 필요성을 조사하기 위해 이 대역을 이용하는 대표적인 제품 중 하나가 될 것으로 전망되는 블루투스 제품의 무선 통신용 RF가 다른 전기, 전자기기에 미치는 영향을 시험하고자 하며, 시험의 준비 단계로 블루투스 제품의 통신 방식과 출력 등 일반적인 RF 특성을 조사하여 범용 계측기를 이용한 유사 RF 신호를 발생시키는 방법을 찾고, R/S Test를 이용한 Simulation할 수 있는 방법을 연구하여 블루투스 제품의 RF 신호가 다른 기기에 어느 정도의 영향을 주는지를 조사하고자 한다.

II. ISM 밴드의 디지털 펄스 변조에 따른 방사내성시험

2-1 Bluetooth

원래 Bluetooth는 10세기 스칸디나비아 반도의 덴마크 및 노르웨이를 통일한 바이킹 헤랄드 블루투스(Harald Bluetooth : 910~985)의 이름에서 유래가 되었다. 헤랄드 블루투스가 스칸디나비아 반도를 통일한 것처럼 다른 통신 장치 기기들 간의 연결을

통일하자는 의미로 Project명으로 사용하던 것이 지금은 Brand 이름으로까지 확정이 된 상태이다. 사실 Bluetooth 로고도 있었으나 바이킹을 상징한다는 의견이 대두가 되어 지금은 블루투스라는 이름만 사용하고 있다.

근거리 무선통신 규격인 Bluetooth는 휴대폰 및 노트북에 우선적으로 적용이 된다. 휴대폰으로 생각할 수 있는 응용분야는 무선헤드셋, 인터넷 접속, 인터콤/무선전화/휴대폰의 복합 기능을 갖는 전화를 들 수 있다. 복합 기능의 경우 집에서는 무선전화기 모드로 자동 전환이 되며, 사무실 등에서는 사설 교환망과 연결이 되어 인터콤으로 사용할 수 있게 된다. 무선헤드셋의 경우, 휴대폰을 꺼내지 않고도 전화를 걸거나 받을 수 있다는 장점 때문에 각광을 받을 것이다. 또한 휴대폰을 이용한 전자상거래를 들 수 있다. 자판기를 이용하거나 지하철 승차시 요금이 자동적으로 지불되는 형태로 발전할 것이다.

노트북의 경우, 휴대폰을 통한 인터넷 접속을 들 수 있다. 또한 휴대폰과 노트북내의 주소록 등의 데이터의 동기화, 노트북끼리의 네트워크 구성 등을 통한 데이터의 교환이 가능해진다. PCMCIA 카드나 USB Dongle 형태의 제품으로 보급이 되거나 신규 출시되는 노트북의 경우에는 본체 내에 내장이 될 것으로 보인다. 이외에도 Bluetooth는 자동차, 컴퓨터 주변기기, 가전 제품 등에게까지도 점차 적용이 예상된다.

2-2 Bluetooth의 RF 특성

블루투스 사용 주파수는 허가 없이 운용이 가능

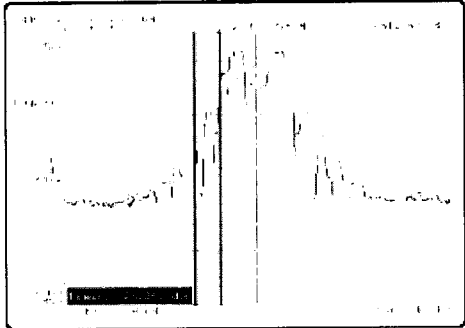
한 ISM(Industrial Scientific Medicine) 대역(2.4 GHz 대)에서 운용되며 미국, 유럽, 한국을 비롯한 대부분의 나라에서 2400~2483.5 MHz에서 주파수 도약방식의 전파를 이용한다. 출력은 안테나 콘넥터에서의 전력으로 표시하며 아래의 <표 1>과 같이 3개의 출력 준(power class)으로 분류하며 그 출력의 범위는 최대 20 dBm(100 mW)부터 0 dBm(1 mW) 범위이다.

블루투스 송수신기는 BT=0.5±1%인 GFSK (gaussian frequency shift keying) 변조방식을 사용하며, 이 대역이 1 MHz 간격의 채널로 나뉘어진다. ISM 대역이 80 MHz 이상인 대부분의 나라에서는 79개의 채널을 사용하고, 프랑스, 스페인과 같은 나라에서는 23개의 채널을 사용한다. 간섭과 페이딩의 영향을 줄이기 위해 FHSS(frequency hopping spread spectrum) 방식을 사용한다. 변조인덱스는 0.32±1%이다. 2진에서 1은 (+) 주파수 편이이고 0은 (-) 주파수 편이이다.

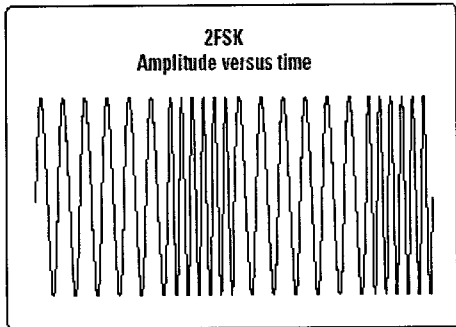
주파수 편이는 각 송신 채널에서 1010 sequence의 최소 주파수편이 (Fmin ≤ Fmin+, Fmin-)는 00001111 sequence 주파수편이(fd)의 80%보다 적어야 한다. 최소편이는 115 kHz 이상이어야 한다. 블루투스의 변조는 FSK로 이것은 변조된 반송파 주파수가 1과 0에 대 2개 주파수 사이로 shift되는 디지털변조의 형식이다. 결과적으로 2FSK는 심볼당 1비트의 데이터를 제공한다. 아래의 [그림 1]과 [그림 2]는 2FSK 변조의 이산된 두 개의 주파수의 예를 보여주는 그림이다. 기본적으로 2FSK 신호이며 그 특성은 [그림 1]과 [그림 2]로 나타내어진다. 블루투스의 대역폭은 [그림 3]과 같이 FCC의 20 dB

<표 1> 블루투스 제품의 RF 출력.

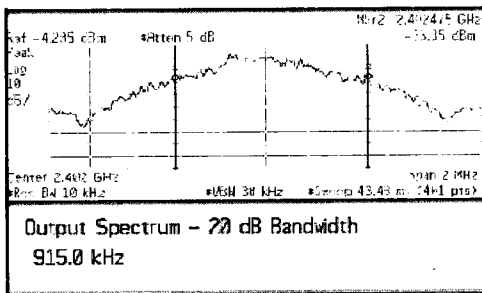
Power Class	최대출력(Pmax)	보통출력	최소출력
1	100 mW (20 dBm)	N/A	1 mW (0 dBm)
2	2.5 mW (4 dBm)	1 mW (0 dBm)	0.25 mW (-6 dBm)
3	1 mW (0 dBm)	N/A	N/A



[그림 1] 2FSK 변조 파형(시간축).



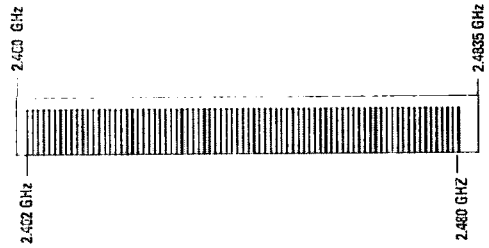
[그림 2] 2FSK 변조 파형(주파수축).



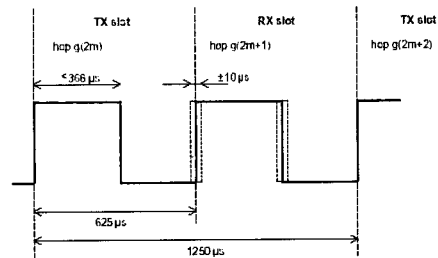
[그림 3] 블루투스 신호의 20 dB 대역폭.

대역폭 정의에 적합하여야 하며 Frequency offset ± 500 kHz일 때 -20 dBc 이하이어야 한다.

2-3 RF 신호의 분석



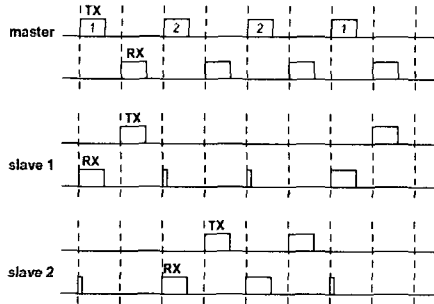
[그림 4] ISM 대역의 블루투스 채널.



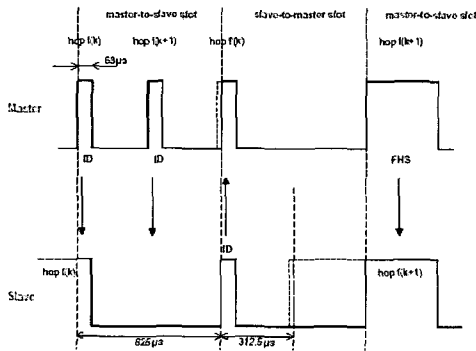
[그림 5] 단일 slot normal mode에서의 송, 수신 주기.

2,400~2,483.5 MHz의 매우 넓은 주파수 범위에서 시스템의 특성에 따라 79개 또는 23개의 채널로 Hopping 하면서 사용한다. 각 슬롯은 서로 다른 도약 주파수를 사용하며, 송수신 주파수는 일반적으로 슬롯이 바뀔 때마다 특정한 도약 순서에 따라 한 주파수에서 다른 주파수로 차례차례 도약한다. 이 결과로 수신기는 간섭에 면역성을 가진다. [그림 4]는 ISM 대역의 블루투스 채널을 나타내었다. 또 TDD (Time Division Duplex) 방식을 사용하며 도약 주파수에서 하나의 Packet을 송신하는 단일의 slot을 이용하는 Normal Mode의 경우 [그림 5]와 같이 Tx slot의 길이는 $625 \mu s$ 이다.

Normal Mode의 Timing 구성에 의하면 $625 \mu s$ 의 주기(1,600 Hz)에 duty cycle은 58.6 %이며 호핑 속도는 1,600 hops/s 이다. 따라서 79 hop 시스템에서 각 채널을 같은 확률로 호핑하는 것으로 가정하면 하나의 주파수에서 $1600/79 = 20$ Hz에 해당한다.



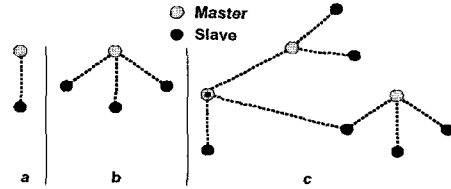
[그림 6] multi slave의 시간 구성.



[그림 7] ID 또는 FHSS Packet의 Timing.

[그림 6]은 Multi Slave인 경우 Master와 Slave 사이의 시간구성을 나타내었다.

그러나 ID Packet이나 FHSS Packet의 경우, [그림 7]과 같은 시간 구성이 이루어지며 이런 경우 79 hop 시스템은 312.5 μ s의 주기(반복 주파수 : 3,200 Hz) 이므로 $3200/79 = 40$ Hz의 반복주파수에 Duty cycle



[그림 8] 블루투스 운용 형태.

은 21.8 %이다.

블루투스 기기들 간의 네트워크는 고정된 제어 장치를 갖지 않으며, 각각의 이동 기기가 스스로 네트워크를 조직한다. 블루투스 시스템의 point to multi-point 연결에서는 몇 개의 블루투스 기기들이 채널을 공유하게 된다. 이렇게 두 개 이상의 기기들이 같은 채널을 공유하는 네트워크를 piconet이라고 부른다. [그림 8]에서 c의 경우처럼 다중의 master와 slave를 같은 공간에서 운용하는 전자파 상황을 고려한다면 이런 현상이 동시에 발생하게 되므로 펄스 반복 주파수가 Master의 개수에 해당하는 배수만큼 높아지는 효과가 있다. 따라서 호핑 시스템과 Packet의 형태, 운용상황 등을 고려하면 펄스 반복 주파수는 식 (1)에 의하여 구할 수 있고 duty cycle 은 두 가지의 경우가 있다.

$$\text{펄스 반복주파수} = \text{hop rate/hop ch 수} \times \text{Master개수} \quad (1)$$

이를 전체적으로 정리하면 <표 2>와 같다. Master

<표 2> 시스템과 Packet 형태에 따른 RF 특성.

Packet 형태	펄스 반복 주파수	Duty cycle
Normal Packet	$1600/\text{hop ch 수} \times \text{Master개수}$	58.6 %
ID Packet	$3200/\text{hop ch 수} \times \text{Master개수}$	21.8 %

hop rate : 1600 or 3200 hops/s.

hop ch 수 : 79 또는 23으로 시스템에 따라 약간씩 다를 수 있음.

Master 개수 : 실제의 이용 가능한 수를 고려.

〈표 3〉 GSM과 DECT의 펄스변조 조건.

통신방식	시험용 펄스변조 조건	
	Duty cycle	반복 주파수
GSM	1 : 8	200 Hz
DECT(기지국)	1 : 2	100 Hz
DECT(휴대국)	1 : 24	100 Hz

의 개수를 1개로 하고 Packet의 형태를 Normal Packet으로 가정한다면 펄스 반복 주파수는 $1600/79 \approx 20$ Hz와 $1600/23 \approx 70$ Hz이다. 그리고 ID Packet일 때의 펄스 반복 주파수는 $3200/79 \approx 40$ Hz와 $3200/23 \approx 140$ Hz이다.

2.4 방사내성시험을 위한 변조기법

2.4.1 이용 가능한 변조방법(현행 IEC/CISPR 61000-4.3 권고 사항)

1. AM 변조, 1 kHz의 사인파를 80 % 변조
2. AM 변조, 1 : 2의 Duty cycle, 200 Hz인 구형파를 100 % 변조
3. RF 펄스신호, 대상 시스템의 특성을 근사적으로 시뮬레이션
4. GSM과 DECT를 고려한 시험방법은 〈표 3〉에 나타내었다.

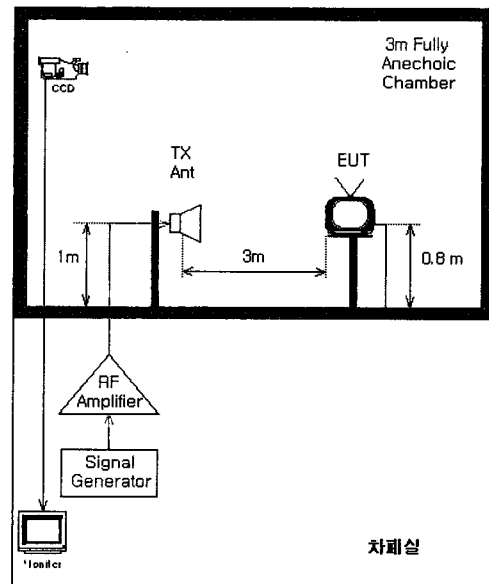
2.4.2 기타 고려사항(현행 IEC/CISPR 61000-4.3 권고 사항)

1. 디지털 통신에 이용되는 변조를 정확히 시뮬레이션 하려면 주변조의 시뮬레이션뿐만 아니라 나타날 수 있는 2차 변조의 효과를 고려하여야 한다.
2. 기본적으로 권고하는 AM 변조, 1 kHz의 사인파를 80 % 변조 방법은 다음과 같은 장점이 있는 것으로 알려져 있다.

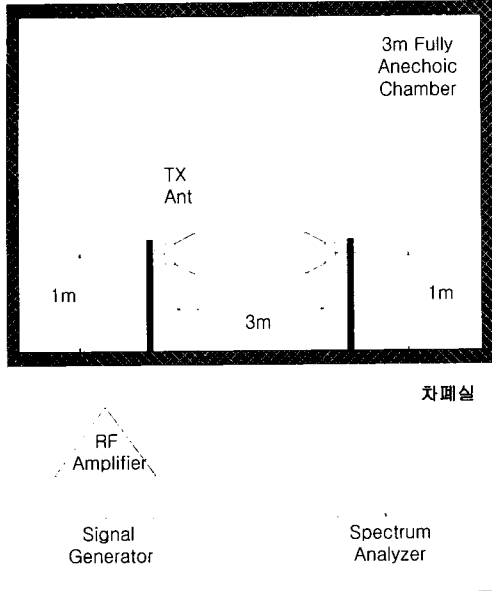
- i. 방해원의 작용을 시뮬레이션 할 필요가 없는 일반적 적용이 가능하다.
 - ii. 모든 주파수에서 같은 변조로 항상 적어도 펄스변조만큼 정확하다.
3. AM 변조, 1 kHz의 사인파를 80 %와 다른 형태의 변조방법이 필요하다면 제품위원회가 변조 방법을 바꾸는 것을 권고함.

2.5 시험 구성 (Test Configuration) 및 결과

[그림 9]에서 EUT는 VCR내장형 TV를 사용하였고 [그림 9]와 [그림 10]에서 전계를 읽기 위해 E-Field Probe를 사용해야 하나 국내의 여건상 Horn 안테나를 대신 사용한 것을 제외하고 일반적인 시험 조건은 KN 61000-4-3과 동일하다. [그림 9]에서 여러 가지 변조 조건에서의 EUT변화를 관찰하고 EUT에 장애가 발생할 때의 수신 전계강도는 [그림 10]과 같이 측정한다. 그리고 〈표 4〉는 시험 조건을 나타내었다.



[그림 9] EUT 변화 측정.



[그림 10] 시험 전계 확인 과정.

<표 4> 시험의 조건.

펄스 반복 주파수	Duty cycle
20, 70 Hz	58.6 %
40, 140 Hz	21.8 %

* 실제 시험에 있어서 Duty Cycle을 50 %로 시험.

2-5-1 시험결과

1. 무변조 상태에서 전계의 레벨 측정은 <표 5>와 같다.

<표 5> 무변조 상태에서 전계의 레벨.

EUT(V/m)	1	3	5	10
EUT (dBV/m)	120	130	134	140
Antenna Factor+Cable Loss+ Attenuator (10 dB)	54.1	54.1	54.1	54.1
실제 수신 전계 (dBV/m)	65.9	75.9	79.9	85.9

2. 무변조 상태에서 1~10 V까지 EUT의 변화가 없었음.

3. AM, 1 kHz, 80 % 변조의 조건일 때는 1~10 V까지 EUT의 변화가 없었음.

4. Pulse 변조

i. 펄스 반복주파수 20, 40 Hz이고 Duty cycle 50 % 조건으로 1~10 V까지 EUT의 변화가 없었음.

ii. 펄스 반복주파수 70 Hz이고 Duty cycle 50 % 조건으로 1~10 V까지 EUT의 변화가 없었음.

iii. 펄스 반복주파수 140 Hz Duty cycle 50 % 조건으로 시험한 경우 아래와 같은 장애가 발생 - 수신전계강도가 4.17 V/m 일 때 Audio 부분의 장애 발생.

$$78.3 + 54.1 = 132.4 \text{ dB}\mu\text{W/m}$$

$$10(132.4/20)*10 - 6 = 106.62*10 - 6 = 100.62 = 4.17 \text{ V/m}$$

- 수신전계강도가 8.61 V/m 일 때 Audio와 영상에 장애 발생.

$$84.6 + 54.1 = 138.7 \text{ dB}\mu\text{W/m}$$

$$10(138.7/20)*10 - 6 = 106.935*10 - 6 = 100.935 = 8.61 \text{ V/m}$$

Ⅲ. 결 론

ISM 대역을 이용하는 신호 중의 하나인 블루투스 제품의 RF 특성을 고려한 내성시험을 범용 계측기를 이용하여 구현하기 위해 조사한 결과 현행 국제규격에서 권고하고 있는 IEC/CISPR 61000-4-3에서 GSM이나 DECT를 고려한 시험방법과는 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 일반적인 시험의 환경은 국제권고를 기본으로 하고 변조 조건은 주파수 도약 시스템의 특성에 따라 달라질 수 있으며 블루투스만을 고려할 경우 식 (1)에 의하여 펄스반복 주파수를 정하고 Normal 모드의 20과 40 Hz 그리고

Packet과 ID Packet 모드의 70 Hz의 경우 아무런 변화가 없었다. 그러나 Packet과 ID Packet모드의 140 Hz의 경우 전계강도에 따라 Audio와 화면에 장애가 발생하였다. ISM Band의 이용 형태를 고려하여 Pulse 변조를 도입한 전자파 방사내성 규격제정이 필요함을 알 수 있다.

또한 본 문서에서는 블루투스 제품만을 고려하고, 보유 계측설비의 한계로 Duty cycle 50 %인 경우에 대하여만 시험하였으나 ISM 대역에 대한 보다 일반적인 방사내성 시험방법을 얻기 위해서는 이 대역을 이용하는 IEEE-802.11규약을 이용하는 무선 LAN 등 다른 제품에 대한 고려를 추가적으로 반영하여야 할 것으로 판단된다. 또한 다중 Master를 사용한 경우에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] IEC/CISPR 61000-4-3 : 1998-06.
- [2] Specification of Bluetooth System, Version 1.1, February 22, 2001.
- [3] Performing Bluetooth RF Measurements Today Application Note 1333 Agilent.
- [4] 황준식, 류충상, 여경진, 왕진원, "블루투스 기술기준과 발전방향," *한국전자과학회지*, vol. 12, no. 4, pp.3-11, 2001.
- [5] The Official Bluetooth Website (<http://www.bluetooth.com>).
- [6] C. Bisdikian, "An overview of the wireless technology," *IEEE Communications Magazine*, pp. 86-94, Dec. 2001.
- [7] KN61000-4-3.

≡ 필자소개 ≡

김 남



1981년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1983년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1988년: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1992년~1993년: 미 Stanford 대학 방문교수

2000년~2001년: 미 Caltech 연구교수

1989년~현재: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수

[주 관심분야] 전자파 해석, EMI/EMS, 전자파인체 영향, 전파, 디지털이동통신

신 국 선



2001년: 충주대학교 전자통신공학과 (공학사)
 2001년~현재: 충북대학교 정보통신공학과 석사과정
 [주 관심분야] 전자파인체 영향, 의료용 안테나, EMI/EMS

박 성 욱



1986년: 전남대학교 화학공학과 (공학학사)
2001년: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
1991년~현재: 전파연구소
[주 관심분야] EMI/EMS

주 은 정



1995년: 숙명여자대학교 물리학과 (이학사)
1997년: 숙명여자대학교 물리학과 (이학석사)
1997년~현재: 전파연구소
[주 관심분야] EMI/EMS