

고속철도시스템의 전자파적합성에 대한
국내 표준화 동향

전강희* · 최도민* · 정민주* ·
이승우** · 김 남*

*충북대학교 · **한국전력공사

I. 서 론

최근 정보통신기술, 무선통신기술, IoT 기술 등의 발전과 전기·전자기기의 다양화는 현대인의 정보 전달 능력을 향상시키고, 과거와는 다른 새로운 패러다임을 개발하고 있다. 특히, 무선전력전송 기술은 소출력의 휴대전화 무선충전 장치에서 부터 고출력의 무선충전 자동차 등과 같이 다양한 분야에 적용되고 있다. 무선전력전송 방식은 정보 전달 능력이 유한적인 유선 전력 방식에 비해 시간 및 장소에 구애받지 않고 간편하게 전력을 사용할 수 있다는 것이 큰 장점이다^{[1][2]}.

한국철도기술연구원에서는 무선전력전송 기술을 사용하여 경전철 및 철도에 전력을 공급하는 장치를 개발하고 있다. 개발 중인 철도용 무선급전장치는 60 kHz를 사용하며, 고주파 전력을 자기장으로 변환하여 열차의 바닥에 전기를 공급하는 방식으로 차량을 움직인다. 높은 전력을 사용하기 때문에 차량 및 시설물에 대한 안전을 유지하기 위해서 EMI (Electro Magnetic Interference; 전자기 간섭) 규제가 필수적인 요소로서 대두되고 있다.

국내 철도에 적용하고 있는 EMC(Electro Magnetic Compatibility; 전자기 적합성) 관련 표준은 KS C IEC 62236 시리즈 (철도용 전자파 적합성)가 있다^[3]. IEC 표준은 국제표준화 기구인 국제전기표준회의(International Electrotechnical Commission)에서 정한 표준이며, 전기, 전자제품 및 이와 관련한 사항들을 표준화하여 제품에 대한 품질과 안전성을 확보하고, 국제유통을 원활히 하고자 제정되었다. IEC 62236 시리즈 표준에서는 일반사항과 전체 철도 시스템에서 외부로 나가는 방사, 열차 및 공차, 철도 차량-장치, 신호처리 및 통신 장치의 방사 및 내성, 고정 전력공급 설비와 장치의 방사 및

내성에 대한 EMC 표준을 제공한다^[4].

하지만 기존 국내 철도의 표준을 무선전력전송 고속철도에 그대로 적용하는 것은 전력공급 형태나 전자파 노출량, 사용 주파수 등의 차이가 있어 적합하지 않기 때문에 앞으로 무선전력전송 고속철도의 EMC 표준 마련을 위한 연구와 적합한 표준이 정립되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 새로운 표준마련을 위해 현행 표준의 내용을 검토하고 기술하고자 한다.

II. 고속철도시스템의 기준 및 측정방법

IEC 62236 문서는 철도시스템에 대한 전반적인 내용을 다룬다. 표준에서는 철도 제품 및 철도 설비에 대한 전자파 방사 및 내성 요구 사항을 규정하고 있다. 문서에서 제외된 현상은 핵전자파 펄스, 비정상 동작 조건, 직접적인 낙뢰의 유도효과이며, 철도 경계에서 방사 한계값은 철도 경계 내의 의도성 송신기에 적용하지 않고 있다. <표 1>은 IEC 62236 문서의 전체 구성을 보여준다^[5].

IEC 62236-2에서는 도심지에서 이용하는 도시 차량 등

<표 1> IEC62236 시리즈 표준 내용

IEC 표준	표준 내용
IEC 62236-1	일반사항
IEC 62236-2	전체 철도 시스템에서 외부로 나가는 방사
IEC 62236-3-1	열차 및 공차
IEC 62236-3-2	철도 차량-장치
IEC 62236-4	신호처리 및 통신장치의 방사 및 내성
IEC 62236-5	고정 전력공급 설비와 장치의 방사 및 내성

본 연구는 국토교통부 철도기술연구개발사업의 연구비 지원(과제번호 16RTRP-B118749-02)에 의해 수행되었습니다.

전체 철도 시스템에서 발생하는 방사 한계값과 측정 방법에 대해 다루고 있다. 전자파 방사측정은 철도 궤도의 중심으로부터 10 m 떨어진 지점과 변전소의 경계 울타리에서 10 m 떨어진 지점에서 측정한다. 열차와 변전소에서 측정할 경우, 한계값은 준피크값을 사용하며, 주파수 별 대역폭 및 측정안테나는 <표 2>에 정리하였다⁶⁾.

<표 2> 주파수 범위별 대역폭과 측정안테나

주파수 범위	대역폭	측정 안테나
9~150 kHz	200 Hz	루프안테나 (Loop antenna)
0.15~30 MHz	9 kHz	
30~300 MHz	120 kHz	쌍뿔 다이폴 안테나 (Biconical dipole antenna)
300 MHz~1 GHz	120 kHz	대수주기 안테나 (Log periodic antenna)

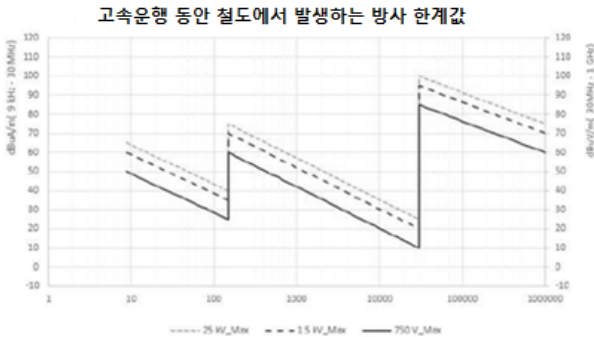
2.1 방사 한계값

도시에서 운행하는 차량의 경우, 750 V DC의 제3레일에 대해 [그림 1]에서 보여주는 방사 한계값을 초과하지 않아야 한다.

고속철도에 전원을 공급하기 위해서는 변전소가 필요하며, 변전소에서 외부환경으로 나가는 무선 주파수 잡음 방사는 [그림 2]의 한계값을 만족해야 한다⁶⁾.

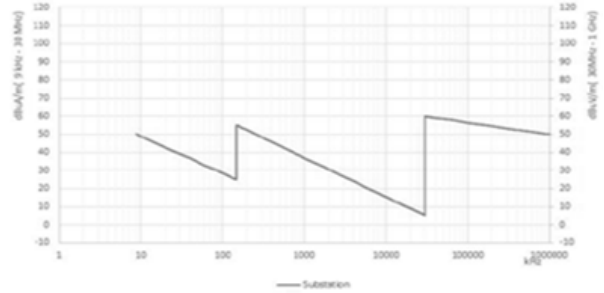
2.2 측정 방법

선로에서 운행 중인 철도 차량에서 발생한 전자기장은 주



[그림 1] 고속운행 철도에서 발생하는 방사 한계값

변전소에서의 방사 한계값



[그림 2] 변전소의 방사 한계값

파수에 적합한 계측기를 사용하여 측정해야 한다. 궤도로부터 발생하는 전기장 및 자기장의 수평 또는 수직 성분을 측정한다. 측정은 전체 측정 시간동안의 최댓값을 측정하고, 선택한 특정주파수에서 측정시간은 최소 50 ms이며, -6 dB에서 측정에 사용되는 주파수 대역폭 대역폭은 앞의 <표 2>를 참고한다. 차량이 움직이는 궤도의 중심에서부터 측정안테나까지의 표준 거리는 10 m이다. 대수주기 안테나의 경우, 안테나의 중심까지를 10 m로 한다.

만약 안테나가 궤도 중심에서 10 m 떨어지지 않은 경우를 제외하고 표준을 충족하는 모든 현장에서 시험하는 경우, 결과는 다음의 공식을 이용하여 10 m에 해당하는 값으로 변환할 수 있다. 식에서 n 값은 <표 3>의 주파수별 n 의 계수를 참고한다. 10 m 거리에서 측정한 값은 [그림 1]의 한계값을 초과하지 않아야 한다.

$$E_{10} = E_x + n \log_{10}(D/10)$$

여기에서 E_{10} : 10 m에서의 값

E_x : D m에서 측정한 값

n : <표 3>에서 선택한 계수

주파수 대역별로 측정하는 안테나는 상이하므로 안테나 중심의 레일면 위의 높이는 루프 안테나의 경우 1~2 m 이내, 다이폴 또는 대수주기 안테나의 경우 2.5~3.5 m 이내의 범위에 있어야 한다. 측정 시 9 kHz~30 MHz 범위는 루프 안테나를 사용하여 자기장을 측정하며, 30 MHz 이상의 주파수는 바이코니컬 또는 대수주기 안테나를 사용하여 전기장

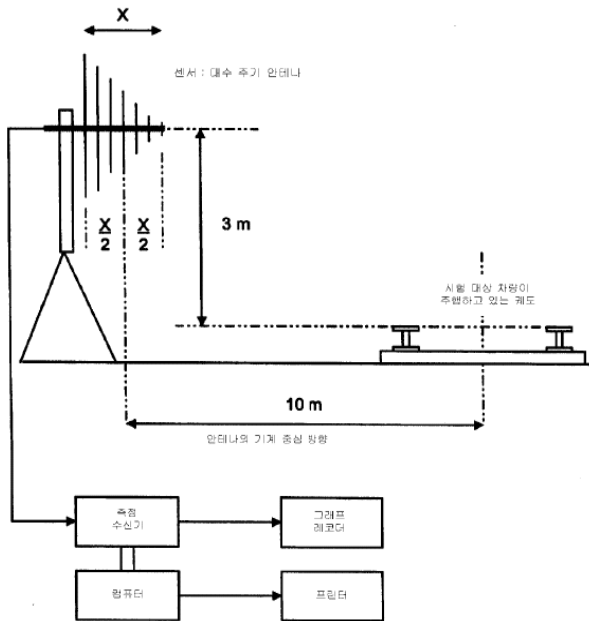
<표 3> 계산식에서 사용한 n 의 계수

주파수 범위(MHz)	n
0.15~0.4	1.80
0.4~1.6	1.65
1.6~110	1.20
110~1,000	1.00

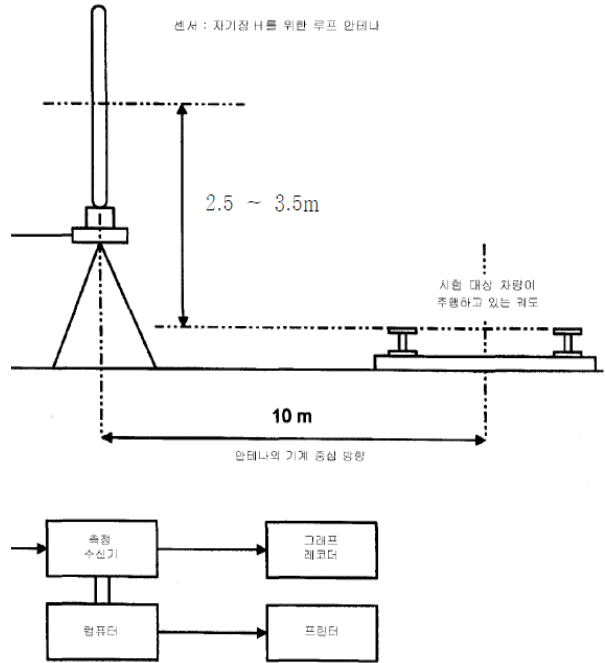
을 측정한다. [그림 3]~[그림 5]는 안테나의 위치와 수직 정렬을 나타낸다.

변전소에서 방사하는 전자파를 측정하는 방법은 철도와 접하는 면이 가장 가까운 철도 궤도의 중심에서 30 m 이상 떨어져 있지 않다면 해당 면을 제외한 나머지 3면의 중간점에서 변전소 바깥쪽 울타리의 10 m 거리에서 측정한다. 이 경우에 4면을 모두 측정해야 하고, 각 측정 위치에서 측정하는 방법은 다음과 같다^{[6][7]}.

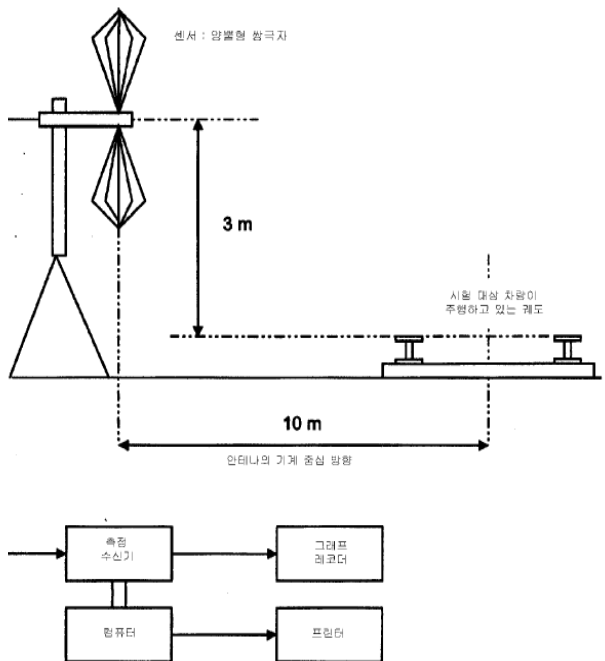
- ① 1 MHz 부근의 주파수: 루프안테나를 사용하며, 변전소의 부하는 정격 부하의 최소 30%, 루프안테나의 기저부는 지표면 위 1~1.5 m 사이



[그림 3] 9 kHz~30 MHz의 경우



[그림 4] 30~300 MHz의 경우



[그림 5] 300~1,000 MHz의 경우

- ② 9 kHz~30 MHz 주파수 범위: 최대 방향에서 루프 안

테나로 측정하고, 변전소의 부하는 정격 부하의 최소 30 %

- ③ 30~300 MHz 주파수 범위: 수직 다이폴 또는 수직 바이코니컬 안테나로 무선 방사를 측정하고, 변전소의 부하는 정격 부하의 최소 15 %, 안테나의 중심은 지표면에서 3 m 위에 위치
- ④ 350 MHz 부근의 주파수: 수직 편파 대수주기 안테나로 최대 방사를 측정하고, 변전소의 부하는 정격 부하의 최소 15 %, 안테나의 중심은 지표면에서 3 m 위에 위치
- ⑤ 300~1,000 MHz 주파수 범위: 앞서 언급한 최대 방향 위치에서 대수주기 안테나로 무선 방사를 측정하고, 변전소의 부하는 정격 부하의 최소 15 %, 안테나의 중심은 지표면에서 3 m 위에 위치

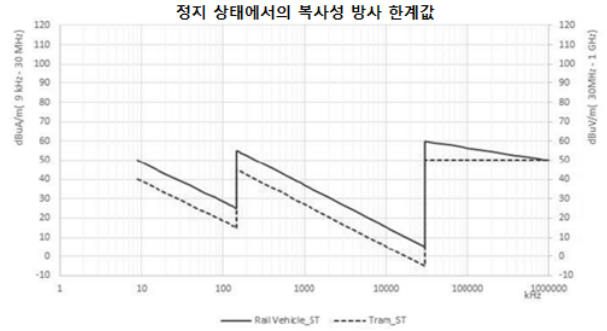
III. 저속철도시스템의 기준 및 측정방법

저속으로 운행하는 철도 차량에 대한 방사 및 내성의 요구 사항을 IEC 62236-3에서 규정하고 있다. 규정에서는 동력 전차 및 도로에서 운행하는 노면차량 등을 포함한다. 주파수 범위는 DC부터 400 GHz이며, 적용 범위는 각 에너지의 입·출력 및 차량 인터페이스이다^[8].

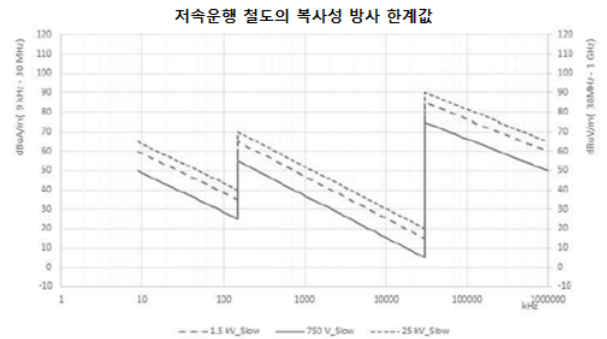
3-1 방사 한계값

저속으로 운행하거나 정차되어 있는 철도 차량의 방사 시험 및 한계값은 차량 주변의 일반 설비에 장애를 발생시키지 않아야 한다. 시험 중인 철도 시스템과 차량의 영향을 완전히 분리하는 것은 불가능하기 때문에 운영자 및 설계자는 통신 시스템과의 호환성 및 통신 선로 간섭에 대한 시험 조건을 규정해야 한다.

[그림 6]은 정지 상태와 방사 한계값을 나타내며, [그림 7]은 저속 운행 상태에서의 방사 한계값을 나타낸다. 이 값은 준피크값으로 정의된다. 측정거리는 고속운행과 동일한 10 m이며, 도시 차량의 경우 한계값은 아직 미적용 중이다. 따라서 [그림 6]과 [그림 7]의 한계값을 따르며, 디젤 전기 기관차 및 전동차는 [그림 6] 및 [그림 7]의 750 V의 한계값을 적용한다^[8].



[그림 6] 정지 상태에서의 복사성 방사 한계값



[그림 7] 저속운행 철도의 복사성 방사 한계값

3-2 측정 방법

시험은 방사성 장애를 생성할 수 있는 모든 철도 시스템의 동작에 적용되며, 정지 상태 및 저속 이동 속도에서 시험해야 한다. 또한, 정지상태의 경우 보조 변환기는 작동되고, 견인 변환기는 전압은 공급되지만 미작동되어야 한다. 방사 측정 시 시험 현장의 외부 환경과 철도 차량은 <표 4>의 거리 기준을 만족해야 한다.

저속 운행 시험의 경우, 속도는 측선 접점의 아킹(Arching)이나 바운싱(Bouncing) 현상을 피하기 위해서는 충분히 느

<표 4> 측정 시 외부 환경과 철도 차량의 거리

구분	도시 차량	간선 차량
나무, 벽, 터널, 교량	10 m	30 m
가공선/제3레일	500 m	3 km
다른 철도 차량	2 km	20 km

려야 하며, 전기적 제동은 빨라야 한다. 측정 시 권장 속도 범위는 도시 차량의 경우에는 (20±5) km/h이고, 간선 차량의 경우에는 (50±10) km/h이다. 정지 시험시 안테나를 통과할 때, 이 차량은 주어진 속도 범위 내에서 최대 견인력의 1/3 수준에서 차량을 운행하여 대체할 수 있다. 저속 시험의 견인력을 이용한 정지 시험으로 대체한 경우, 저속 운행의 한계값을 적용해야 한다. 측정 시 주파수별 대역폭 및 측정 안테나는 <표 2>를 따른다^{[7][8]}.

IV. 고속철도 차량 내에서 사용하는 전기·전자기기 기준

열차 차량 내에서 사용하도록 개발된 전기 및 전자 기기에 대한 전자파적합성 방사 및 내성 기준을 IEC 62236-3-2에서 다루며, 주파수 범위는 DC에서 400 GHz이다. 시험은 특정 기기와 장치의 구성, 포트, 기술 및 작동 조건에 따라 다르게 적용된다. 포트의 경우, 무선 통신을 위해 사용된다면 통신 주파수에서 전자파 방사 및 내성 한계값을 적용하지 않는다. 이 표준에 포함되는 기기에 대한 방사 시험 및 허용 표준은 [그림 8]에 제시된 포트 별로 제공되며, 차량 내의 개별 장비에 대한 방사 한계값은 자체에서 공급된 품목, 차량의 공급 및 재설계와는 별도로 사용되거나, 상용품목들에 대해서만 적용된다. 또한 시스템 운영자 재량에 따라 방사 한계값은 별도 품목으로서 제공되지 않는 장비 품목에 대해서도 적용될 수 있다. 측정은 각 유형의 교란에 대해서 명확히 정의되고 재현 가능한 조건에서 수행되어야 하며, 시험에 대한 해설 시험 방법 및 시험 배치 허용표준은 전자파장해방지 표준에 언급된 기본 표준에 제시되어 있다^[9].

마지막으로 전력 공급과 관련하여 고정 철도 설비에 사

용하도록 설계된 전기·전자 장치 및 시스템에 대한 전자파 방사 및 내성은 IEC 62236-5에서 다룬다. 장치로 공급되는 전원, 보호 제어 회로가 있는 장치 자체, 개폐소, 전원 단권 변압기, 부스트 변압기, 기타 다른 경도 및 로컬 전원으로의 변전소 스위치 기어 및 전원 스위치 기어와 같은 궤도 품목이 포함된다. 주파수 범위는 DC에서 400 GHz로 정해져 있으나, 현재는 2 GHz 이하 주파수에 대해서만 시험이 정의되어 있다. 방사 및 내성 한계값 적용 장치 품목으로는 전력을 철도에 전달하는 변전소 경계 내의 설비, 역률 보정 및 필터링을 포함하여 철도 전력 공급을 제어, 조절할 목적으로 궤도변에 있는 설비, 전력을 철도에 공급할 목적으로 궤도를 따라 전압이 철도 시스템 전압으로 저감되는 변전소에 공급하는 철도 경계 내에 있는 고전압 급전선 시스템이 포함된다. 보조 철도용으로는 전력 공급을 제어하거나 조절하기 위해 궤도변에 있는 설비, 조차 작업장과 유지 보수 차고에 대한 전력 공급과 철도 견인과 공유되는 철도원에서 기타 각종 비견인 전원 설비가 포함된다. 방사의 한계값은 다음과 같이 정의한다^{[7][9]}.

- ① 변전소에서 외부로 나가는 방사: 9 kHz~1 GHz 주파수 범위에 걸쳐 방사에 대한 한계값이 IEC 62236-2에 명시
- ② 1,000 V r.m.s. AC에서 동작하는 장치에 대한 방사 시험: 표준에 포함되며, 1,000 V r.m.s. 미만의 전압으로 전력을 공급받는 장치의 방사 한계값은 IEC 61000-6-4에서 정의^[10]
- ③ 변전소 경계 내에서 방사값: 변전소의 설계와 시공에 대한 선택권이 다양하기 때문에 변전소 경계 내부에 있는 일반 경계 내의 방사에 대한 한계값은 제시하지 않음^[11].

V. 결 론

본 논문에서는 무선전력전송 고속철도의 EMC 표준마련을 위해 검토가 필요한 현행 국내 철도의 IEC 62236 시리즈의 일반사항, 전체 철도시스템, 열차 및 공차, 철도 차량-장치, 고정 전력공급 설비에 대한 한계값과 그 측정방법을 중



[그림 8] 주요 EMC 관련 포트

심으로 검토하여 기술하였다. 한국철도기술연구원에서는 2015년도부터 무선전력전송기술을 경전철 등 도시철도에 도입하기 위한 실용화를 준비하였다. 고속철도의 경우, 이보다 좀 더 연구가 필요하여 약 2018년도 이후가 될 것으로 전망하고 있다. 이러한 실용화 과정에서 무선전력전송 전철의 EMC 문제가 야기되지 않도록 적합한 표준의 연구가 체계적으로 진행되어야 하며, 앞으로 무선전력전송 전철의 실용화가 될 때까지 전자파적합성 표준 정립이 완료되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 박찬배, 이병송, 이수길, "철도차량용 대용량 무선전력전송 기술 개발 동향 분석", 전기의 세계, 63(9), pp. 35-42, 2014년 9월.
- [2] 민병덕, "전기철도용 무선전력전송 기술동향 및 경제성 분석", 전력전자학회지, 18(4), pp. 52-57, 2013년 8월.
- [3] 명성호, 이재복, "고속철도의 EMC 표준동향", 한국전자과학회지 전자파기술, 14(1), pp. 15-27, 2003년 1월.
- [4] 김윤명, 주영준, "고속전철 시스템의 EMI 측정", 한국철도학회 학술발표대회논문집, pp. 1157-1162, 2008년 11월.
- [5] IEC 62236-1, "철도용 전기자기적합성 - 제1부: 일반사항", 2016년 12월.
- [6] IEC 62236-2, "철도용 전기자기적합성 - 제2부: 전체 철도 시스템에서 외부로 나가는 방사", 2016년 12월.
- [7] KN50, "전기철도기기류의 장해방지 시험방법", 2010년 12월.
- [8] IEC 62236-3-1, "철도용 전기자기적합성 - 제3-1부: 철도차량 - 열차 및 공차", 2016년 12월.
- [9] IEC 62236-3-2, "철도용 전기자기적합성 - 제3-2부: 철도차량 - 장치", 2016년 12월.
- [10] IEC 62236-4, "철도용 전기자기적합성 - 제4부: 신호처리 및 통신장치의 방사 및 내성", 2016년 12월.
- [11] IEC 62236-5, "철도용 전기자기적합성 - 제5부: 고정 전력공급 설비와 장치의 방사 및 내성", 2016년 12월.

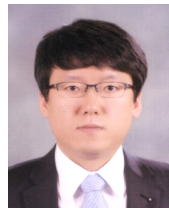
≡ 필자소개 ≡

전 강 희



2015년 2월: 충북대학교 정보통신공학부 (공학사)
2015년 3월~현재: 충북대학교 정보통신공학전
공 석사과정
[주 관심분야] 안테나 설계, 전자파 해석, EMC

이 승 우



2003년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)
2006년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학
석사)
2012년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학
박사)
2012년 7월~2015년 8월: 충북대학교 리서치 펠
로우

2015년 9월~2016년 9월: 충북대학교 전임연구원
2016년 10월~현재: 한국전력공사 전력연구원
[주 관심분야] 안테나 설계, EMI/EMC 및 전자파 인체영향, 무선전력
전송

최 도 민



2015년 2월: 충북대학교 정보통신공학부 (공학사)
2015년 3월~현재: 충북대학교 정보통신공학전
공 석사과정
[주 관심분야] 안테나 설계, 전자파 해석, EMC

김 남



1981년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1983년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1988년: 연세대학교 전자공학과(공학박사)
2011년~현재: 한국무선전력전송포럼 운영위원회
위원장
2013년~현재: 미래창조과학부 통신정책자문위원
회 위원

2014년~현재: BEMS 부회장, 회장
1989년~현재: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수
[주 관심분야] 이동통신 및 전파전파, 마이크로파 전송선로해석, EMC 및
전자파 인체보호 표준

정 민 주



2013년 2월: 조선대학교 전자공학과 (공학사)
2015년 3월: 부경대학교 LED융합공학전공 (공학
석사)
2016년 10월~현재: 충북대학교 홀로그래프융합기
술센터 연구원
[주 관심분야] 안테나 설계, 전자파 해석, EMC