고속철도 전자파장해 기준 연구

육재림 · 윤현보*
전파연구소 전파환경연구과,
*동국대학교 전자공학과

Ⅰ. 서 론

우리나라는 국가기간교통망건설계획에 따라 2004년 4월부터 서울-부산 및 서울-목포 구간에서 고속철도의 운행 목표로 건설 중에 있으며 이미 일본(1964년), 프랑스(1981년), 독일(1981년), 스페인(1992년), 러시아(1996년), 이탈리아(1996년) 등이 고속철도를 운행 중이고 벨기에, 미국, 중국, 대만 등에서도 건설을 추진에 있다.

우리나라 고속철도의 운행 목표는 시속 300 km/h로서 철도차량에 전력을 공급하기 위해 25 kV 전력을 공급하는 전기철도 시스템으로 철도변전소와 급전시스템이 궤도와 함께 설치되어 차량에 전력을 공급하기 위한 급전장치(trolly pentograph)가 고속으로 급전선과 접촉하면서 이동중 접촉저항 변화로 발생하는 arc 발생으로 고강도의 임펄스성 전자파가 방출되어 전기철도 차량과 급전선 및 변전시설로부터 방사되는 불요전자파가 주변지역의 전파통신과 방송수신에 영향을 미치는 전자파장해(EMI)요인이 예상되고 또한 전기철도 시스템의 각종 전기 · 전자 및 제어시스템과 통신시스템의 정상 운용에 오작동을 발생할 수 있어 전기철도의 운행 안전을 위하여 전자파내성(EMS)이 문제가 된다. 이에 따라 국내 전자파의 환경보호와 장해방지 및 안전운행을 위해 2002년 전파연구소에서 구성 운용중인 EMC 기술기준연구위원회에서 국내 고속철도에 대한 전자파장해기준 연구를 위한 특별연구위원회를 조직 운영하고 관련 기준에 관한 조사 연구를 수행하였기에 소개한다.

Ⅱ. 전기철도에 관한 기준과 동향

고속철도에 관한 EMI/EMS에 관한 기준은 1970년 국제전기기술위원회(IEC)에서 처음 논의하였고 1989년 IEC 특별위원회인 국제무선방송수신장해특별위원회(CISPR) SC-B(Special committee-B)에서 심의를 재개하여 1993년 각국의 전기철도 운용 실태를 파악하고 2003년 4월 IEC-62236 기준으로 확정하였다. EU에서는 유럽전기기술표준위원회(CENELEC) TC9X (Technical committee-9X)에서 1993년 CISPR가 작성한 기준을 기초로 하여 유럽에서 운행중인 직 · 교류 전기철도에 대한 시스템 전체와 급전설비, 신호 및 통신장치 등에 대한 EMI 및 EMS, 유도방해 등 기준 초안을 작성하고 2000년 9월 EN50121의 최종 기준을 확정하여 2001년 4월부터 EU 국가 전체에서 기준을 통일하고 2003년 4월부터 시행하였다. 일본은 전파법(제82조와 제101조)에서 철도에서 사용되는 기기의 단체별 기준을 제정하고 전기철도 전체에 대한 기준은 기술기준과 고시로서 측정 방법과 한도를 정하였지만 전기철도 차량과 운행에 관한 총괄적인 전자파장해 문제를 규정하지 않고 있다.

우리나라는 1989년 정부에서 경부고속철도건설계획을 결정하고 건설교통부가 주관하는 한국형고속철도기술개발사업(KTX)을 추진하면서 1999년 한국전기연구원과 한국철도기술연구원에서 KTX 고속전철의 EMC를 위한 전체시스템의 방사강도 측정을 하였으나 기준의 연구는 하지 않았다. 따라서 늦은 감이 있으나 정보통신부는 고속철도의 운행에 따른 전자파장해 문제를 해결하기 위해 2002년 전파연구

소에서 운용중인 EMC기술기준연구위원회에서 고속철도의 EMC관련 11개 기관의 전문가 14명으로 구성한 고속철도기준연구특별위원회(위원장 : 윤현보 교수)를 구성하여 국내 고속철도 운행에 대비한 EMI 기준 조사연구를 수행하고 EU 기준과 한국전기연구원의 연구결과 비교 분석과 고속철도 시험구간에서의 EMI 강도 실측 및 EU 기준을 토대로 EMI 기준 연구를 하였으며, 2003년에는 EMI 기준 보완과 EMS 기준 조사연구를 추진하여 새로운 IEC 및 EU 기준 비교 분석과 적용 여부를 조사 연구하고 고속철도 시험운행 구간에서 운행시 발생하는 전자파에 의한 전파통신 및 방송장해 여부를 조사하여 국내 EMI/EMS 기준 및 시험방법 등 기준을 마련하였다.

Ⅲ. 국제기준 검토와 국내기준 적용

3-1 전기철도에 관한 국제기준<표 1>

1) 국내 전기철도에 대한 EMI 및 EMS 기준을 제정하기 위해서 IEC62236과 EN50121 기준을 비교한 결과 두 기준의 내용이 거의 같았다.

2) 국내 기준 적용대상과 측정범위 등 공통사항

- 적용대상 : 철로를 이용하는 철도와 도시철도 차량을 포함한다.
- 측정주파수 : DC부터 2,000 MHz까지를 범위로 한다.
  - EMI의 경우 : 9 kHz에서 1,000 MHz까지를 측정한다.
  - EMS의 경우 : DC부터 2,000 MHz까지를 측정한다.
- 주파수대역폭 : 측정을 위한 주파수 대역폭은 <표 2>와 같다.
- 측정지점 : 철도궤도의 중심점으로부터 외측 10 m 또는 변전소 울타리로부터 3 m 떨어진 수직평면의 점을 측정점으로 한다.

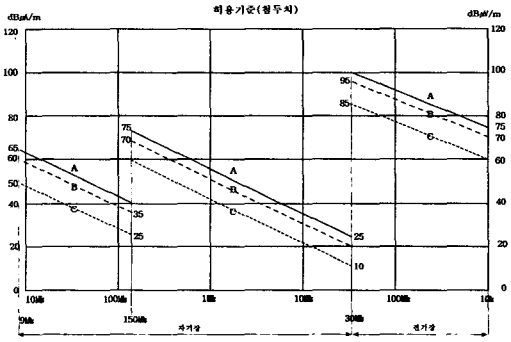
<표 2> 측정주파수별 대역폭

측정주파수	측정대역폭
150 kH 이하의 주파수	200 Hz
150 kHz부터 30 MHz	9 kHz
30 MHz 이상의 주파수	120 kHz

3-2 전기철도에서 방사되는 전자파장해방지기준

1) 전체 철도시스템

- 개활지 철도노선으로부터의 방사기준<표 3>



[그림 1] 전기철도의 EMI 방사기준

<표 1> 전기철도에 관한 IEC 기준과 EN 기준 내용

IEC 기준	EN 기준	기준 내용
IEC62236-1	EN 50121-1	1장. 총 론
IEC62236-2	EN 50121-2	2장. 전체철도시스템에서의 외부로의 방사
IEC62236-3-1	EN 50121-3-1	3장. 열차와 완성차량
IEC62236-3-2	EN 50121-3-2	4장. 차량내 기기장치
IEC62236-4	EN 50121-4	5장. 신호와 통신장치의 방사와 내성
IEC62236-5	EN 50121-5	6장. 고정전력 변전설비 및 기기

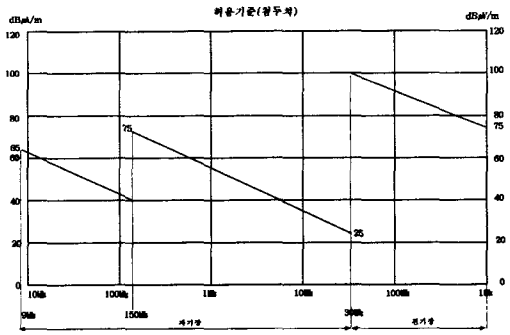
〈표 3〉 개활지에서의 철도노선으로부터의 방사기준

주파수	기준값		국내적용여부
	IEC 기준	EN 기준	
9 kHz~ 150 kHz	A : 65~40 dBμ A/m B : 60~35 C : 50~25	좌동	적용
150 kHz~ 30 MHz	A : 75~25 dBμ A/m B : 70~20 C : 60~10	좌동	
30 MHz~1,000 MHz	A : 100~75 dBμ V/m B : 95~ 70 C : 85~60	좌동	
측정방법	측정모드 : Peak 측정거리 : 10 m	좌동	적용
사용전압	A : 20/25 kV a.c B : 15 kV ac, 3 kV dc, 1.5 kV dc C : 750 V dc	좌동	25 kV a.c
기타 사항	통계적 처리 80/80 % 삭제	통계적 처리 80/80 %	IEC 기준을 적용

〈표 4〉 철도변전소로부터의 방사기준

주파수	기준값		적용 여부
	IEC 기준	EN 기준	
9 kHz ~ 150 kHz	50~25 dBμ A/m	65~40 dBμ A/m	풀 부하 상태에서 측정후 결정 (보류)
150 kHz ~ 30 MHz	55~ 5 dBμ A/m	75~25 dBμ A/m	
30 MHz ~ 1,000 MHz	60~50 dBμ V/m	100~75 dBμ V/m	
측정방법	측정모드 : Q-Peak 측정거리 : 10 m	측정모드 : Peak 측정거리 : 3 m	상동

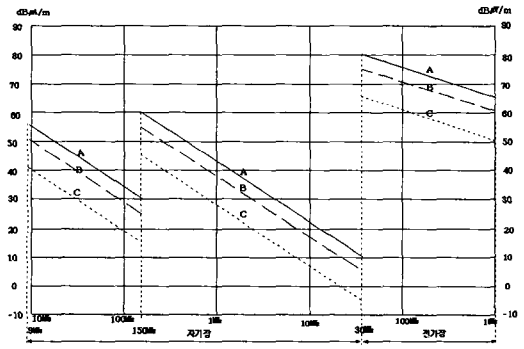
- 철도변전소로부터의 방사기준〈표 4〉
- 변전소로부터의 전원주파수와 9 kHz까지의 자기장 방사기준
  - 허용기준 : 정격부하시 50 A/m, 과부하 및 고장시 500 A/m
  - 측정거리 및 높이 : 울타리로부터 3 m, 지면에서 1 m
- 전기철도 급전선으로부터의 전자파 방사기준 : 〈표 4〉와 동일



[그림 2] 철도변전소로부터의 방사기준

〈표 5〉 정지상태에서의 허용기준

주파수	기준값		국내적용여부
	IEC 기준	EN 기준	
9 kHz ~ 150 kHz	50~25 dBμ A/m	A : 55~30 dBμ A/m B : 50~25 C : 40~15	풀 부하 상태에서 측정후 결정 (보류)
150 kHz ~ 30 MHz	55~ 5 dBμ A/m	A : 60~10 dBμ A/m B : 55~ 5 C : 45~ 5	
30 MHz ~ 1,000 MHz	60~50 dBμ V/m	A : 80~65 dBμ V/m B : 75~60 C : 65~50	
측정방법	측정모드 : Q-Peak 측정거리 : 10 m	측정모드 : Peak 측정거리 : 10 m	상동
사용전압	A : 20/25 kV a.c B : 15 kV ac, 3 kV dc, 1.5 kV dc C : 750 V dc	좌동	25 kV a.c
기타 사항	시작주파수 10 kHz	시작주파수 9 kHz	EN기준 적용



[그림 3] 정지상태에서의 허용기준

2) 열차 및 완성차량
- 정지상태에서의 측정거리 10 m에서의 허용기준〈표 5〉
- 저속이동시 허용기준〈표 6〉

3) 전기철도 차량내의 기기에 대한 장해방지 기준
- 견인교류 및 직류전원단자의 전도기준〈표 7〉
- 보조교류 및 직류전원 단자의 전도기준〈표 8〉
- 건전지 기준 단자의 전도기준〈표 9〉
- 프로세스 측정 및 제어 단자의 전도기준 〈표 10〉

〈표 7〉 견인교류 및 직류전원단자의 전도기준

적용단자	주파수 범위	허용기준	비고
고전압 연결, 필터 앞 입력 측	신호 및 통신주파수	열차 및 완성차량에서의 장해방지기준과 동일	
	9 kHz~30 MHz	"	다른 주변장치와 함께 설치되는 기기에만 적용

〈표 6〉 저속이동시 허용기준

주파수	기준값		국내적용여부
	IEC 기준	EN 기준	
9 kHz~ 150 kHz	A : 65~40 dBμ A/m B : 60~35 C : 50~25	좌동	적용
150 kHz~ 30 MHz	A : 75~20 dBμ A/m B : 65~15 C : 55~5	좌동	
30 MHz~1,000 MHz	A : 90~65 dBμ V/m B : 85~60 C : 75~70	좌동	
측정방법	측정모드 : Peak 측정거리 : 10 m	좌동	적용
사용전압	A : 20/25 kV a.c B : 15 kV ac, 3kV dc, 1.5 kV dc C : 750 V dc	좌동	25 kV a.c
기타 사항	시작주파수 10 kHz	시작주파수 9 kHz	EN기준 적용

〈표 8〉 보조교류 및 직류전원 단자의 전도기준

적용단자	주파수 범위	허용기준(dBμV)	비고
보조공급 정현 교류 또는 직류전원단자	9~150 kHz	-	
	150~500 kHz	99 (준첨두치)	
	0.5~ 30 MHz	93 (준첨두치)	

〈표 9〉 건전지 기준 단자의 전도기준

적용단자	주파수 범위	허용기준(dBμV)	비고
건전지 전원 공급단자	9~150 kHz	-	
	150~500 kHz	99 (준첨두치)	
	0.5~ 30 MHz	93 (준첨두치)	

〈표 10〉 프로세스 측정 및 제어단자의 전도기준

적용단자	주파수 범위	허용기준(dBμV)	비고
전자식공급 정현교류 또는 직류단자	9~150 kHz	-	
	150~500 kHz	99 (준첨두치)	
	0.5~ 30 MHz	93 (준첨두치)	

〈표 11〉 표면단자의 방사기준

적용단자	주파수 범위(MHz)	허용기준(dBμV/m)	비고
표면단자	30~ 230	40 (준첨두치)	(1), (2)
	230~1,000	40 (준첨두치)	

〈표 12〉 건전지 기준 단자 및 보조 교류 입력 단자의 전자파 보호기준

내성 시험명	시험사양		국내적용여부
	IEC 기준		
전기적 빠른 과도현상/ 버스트	± 2 kV 5/50 ns (Tr/Th) 5 kHz 반복주파수	좌동	적용 (직접결합)
서지	1.8 kV 5/50 μ s (Tr/Th) 100 Ω 소스임피던스	좌동	적용
전자파 전도	10 Vrms (반송파전압) 150 kHz~80 MHz 1 kHz, 80 % AM 150 Ω 소스임피던스	3 Vrms (반송파전압) 좌동 좌동 좌동	EN 기준 적용
전압 변동	0.4~1.4V (공칭전압), 0.1 S	좌동	적용 (건전지전원용)
순시정전	100 % 감소, 10 m S	좌동	

〈표 13〉 신호 및 통신, 프로세스 측정 및 제어 단자의 전자파 보호기준

내성 시험명	시험사양		국내적용여부
	IEC 기준	EN 기준	
전기적 빠른 과도 현상 /버스트	±2 kV 5/5 0ns (Tr/Th) 5 kHz 반복주파수	좌동	적용
전자파 전도	10 Vrms (반송파전압) 150 kHz~80 MHz 1 kHz, 80 % AM 150 Ω 소스임피던스	3 Vrms (반송파전압) 좌동 좌동 좌동	EN 기준 적용

- 표면 단자의 방사기준〈표 11〉

· 10 m 거리에서 측정하며 3 m 거리에서 측정하는 경우에는 10 dB 증가된 허용 기준치를 적용

· 50 kVA를 넘는 견인 변환기 및 보조 변환기는 차량이 열차 및 완성차량에서의 장해방지기준에 따라 전체적으로 시험되는 경우를 제외하고는 개별적으로 시험되어서는 아니됨.

3-3 전기철도 기기류에 대한 전자파보호기준

1) 철도차량내 기기

〈표 14〉 표면단자의 전자파 보호기준

내성 시험명	시험사양		국내적용여부
	IEC 기준	EN 기준	
전자파방사	1. 일반환경 10 V/m rms (반송파전압) 80 MHz~1 GHz 1 kHz, 80 % AM	좌동	적용
	2. 디지털무선전화기 사용환경 20 V/m rms (반송파전압) 800 MHz~ 960 MHz 1,400 MHz~2,000 MHz 1 kHz, 80 % AM	없음	IEC기준적용
정전기 방전	±6 kV 접촉방전 ±8 kV 기중방전	좌동	적용

〈표 15〉 표면단자의 전자파 보호기준

내성시험명	시험사양		적용 여부
	IEC기준	EN기준	
전자파 방사	1. 일반환경 80~1,000 MHz 10 V/m(무변조, 실효치) 80 % AM(1 kHz)	좌동	적용
	2. 디지털무선전화기 사용환경 800~960 MHz 1,400~2,000 MHz 20 V/m(무변조, 실효치) 80 % AM(1 kHz)	900±5 MHz 20 V/m(펄스변조) 50 Duty cycle % 200 Hz Rep.	IEC기준 적용
전원주파수 자기장	60 Hz 16.7 Hz 0 Hz(d.c.) 100 A/m(실효치)	좌동	적용
정전기 방전	±6 kV(접촉방전) ±8 kV(기중방전)	좌동	적용
펄스 자기장	300 A/m	좌동	적용

- 건전지 기준 단자, 보조교류전력입력단자〈표 12〉
- 신호 및 통신, 프로세스 측정 및 제어 단자〈표 13〉
- 표면단자〈표 14〉

2) 신호 및 전기통신기기
- 표면 단자〈표 15〉
- 단자〈표 16〉

〈표 16〉 입·출력단자의 전자파 보호기준

내성시험명	시험사양		적용 여부
	IEC 기준	EN 기준	
전자파전도	0.15~80 MHz 10 V/m (실효치,무변조) 80 % AM (1 kHz) 150 Ω 소스 임피던스	좌동	적용
전기적 빠른 과도현상	2 kV (첨두치) 5/50 ns (Tr/Th) 5 kHz 반복주파수	좌동	적용
서지	1,2/50 μs (Tr/Th) ±2 kV(선-접지) ±1 kV(선-선) ±2 kV(불평형 시스템에서 선-선)	좌동	적용

〈표 17〉 직류전원단자의 전자파 보호기준

내성 시험명	시험사양		적용 여부
	IEC 기준	EN 기준	
전자파전도	0.15~80 MHz 10 V/m (무변조, 실효치) 80 % AM (1 kHz) 150 소스임피던스 Ω	좌동	적용
전기적 빠른 과도현상	± 2 kV (첨두치) 5/50 ns (Tr/Th) 5 kHz 반복주파수	좌동	적용
서지	1.2/50 μs (Tr/Th) ±2 kV(선-접지) ±1 kV(선-선) ±2 kV(불평형시스템에서 선-선)	좌동	적용

〈표 19〉 접지단자의 전자파 보호기준

내성 시험명	시험사양		적용 여부
	IEC 기준	EN 기준	
전자파전도	0.15~80 MHz 10 V/m (실효치, 무변조) 80 % AM (1 kHz) 150 Ω 소스임피던스	좌동	적용
전기적 빠른 과도현상	1 kV (첨두치) 5/50 ns (Tr/Th) 5 kHz 반복주파수	좌동	적용

〈표 18〉 교류단자의 전자파 보호기준

내성 시험명	시험사양		적용 여부
	IEC 기준	EN 기준	
전자파전도	0.15~80 MHz 10 V/m (실효치, 무변조) 80 % AM (1 kHz) 150 Ω 소스임피던스	좌동	적용
전기적 빠른 과도현상	± 2 kV(첨두치) 5/50 ns (Tr/Th) 5 kHz 반복주파수	좌동	적용
서지	1.2/5 0 μs (Tr/Th) ±2 kV(공통 모드) ±1 kV(차동 모드) ±2 kV(불평형 시스템에서 차동모드)	좌동	적용

- 직류 전원단자〈표 17〉
- 교류 전원단자〈표 18〉
- 접지 단자〈표 19〉

Ⅳ. 결 론

우리나라의 고속철도 운행에 따른 전기철도에 의한 전자파의 장해 방지와 보호를 위해 2002년부터 IEC 및 EU 기준을 조사하고 연구하여 국내 기준을 작성하여 전파법에 의거 기준 제정단계에 있다. 다만 국내에서의 최대 부하시 EMI 방사레벨을 확인하여 시행하면 된다. 한편 전기철도에 대한 전자파장해방지 및 보호를 위한 주파수는 DC에서부터 2000 MHz까지 범위를 정하였기에 향후에도 보완해야 할 과제이다.

끝으로 국내 전기철도에 관한 전자파 장해방지 및 보호기준 연구를 위해 적극 참여해 주신 동국대 윤현보 부총장, 정통부 이용석 과장, 한용석 사무관, 건교부 이강식 사무관, 철도청 권영만 사무관, 고속철도공단 양덕규 팀장, 한국철도기술연구소 이종우 박사, 산업기술시험원 백수현 박사, 김희수 박사, 한국전기연구원 명성호 박사, ETRI 조광윤 박사, 서경대 정연춘 교수 그리고 전파연구소 전파환경연구과 직원 여러분 등의 헌신적인 노고에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

[1] *International Standard IEC 62236-1*, First edition, "Railway applications - Electromagnetic compatibility", International Electrotechnical Commission, Switzerland, April 2003.

[2] *European standard EN 50121-1*, "Railway applications - Electromagnetic compatibility", CENELEC (European Committee for Elctrotechnical Standardization), Brussels, Sep. 2000.

≡ 필자소개 ≡

육 재 림

1987년 8월: 연세대학교 산업대학원 (공학석사)
2000년 12월: 국방대학교 안전보장 대학원 정책과정 수료
1972년 3월~1993년 8월: 전파연구소 전파과 감시기술담당, 전파계장
1993년 9월~1995년 8월: 체신부 전파관리국 방송과 방송기술담당
1995년 9월~1999년 4월: 정보통신부 전파방송관리국 통신위성과 위성망 담당
1999년 5월~1999년 12월: 정보통신부 전파방송관리국주파수과 우주 담당
2000년 1월~2001년 3월: 국방대학교 안전보장대학원 안보정책과정
2001년 4월~현재: 전파연구소 전파환경연구과장
[주 관심분야] EMI/EMC, 이동통신 전파환경

윤 현 보

1979년~현재: 동국대학교 전자공학과 교수
[주 관심분야] EMI/EMC, 안테나설계 및 해석, 이동통신