

# 전기철도 전자기환경과 공항 전자기환경의 상호 간섭에 대한 영향평가 연구

A study for estimation for electromagnetic interference between the electrical train and the airport

김민철\*                      이장무\*\*                      한문섭\*\*                      김주락\*\*                      신명철\*  
Kim, Min-Cheol      Lee, Jang-Mu      Han, Moon-Soeb      Kim, Ju-rak,      Shin, Myung-cheol

---

## ABSTRACT

The airport needs fast and reliable transporter to transfer goods from airport to other cities. In the past, a highway was a main transporter for those function of the airport but recently, electrical train becomes main part of transporter due to its high efficiency, convenience and advantage of auto-pilot. However electrical train produce electromagnetic field and many kinds of radio communication system are existing in the airport. So, some electromagnetic interference can be existed between the railway system installed nearby the airport and the radio-communication systems of the airport. Therefore, effects of electromagnetic interference between them need to be estimated by actual field test.

---

### 1.서론

현대의 공항은 물류 및 인력의 중요한 운송요충지로서 각 도시와의 원활하면서도 빠른 수송수단을 절대적으로 필요로 한다. 과거에는 도로망에 주로 의존하였으나 현재는 전기철도의 높은 효율성과 무인운전의 가능으로 그 의존도가 높아지고 있다. 그러나 전기철도는 시스템의 특성으로 인하여 다양한 주파수대역에서 전자기잡음을 방출하며, 이것은 인근의 무선통신 시스템 등에 영향을 줄 수 있는 가능성을 가지고 있다. 공항은 항공기의 원활한 교통통제를 위하여 다양한 주파수대역의 무선통신기기를 사용하고 있으므로 공항 내에 또는 공항 인근에 설치된 전기철도에서 발생한 전자파에 의하여 영향을 받을 수 있다. 또한 반대로 공항의 무선통신기기의 강한 신호에 의하여 전기철도의 제어시스템 등이 영향을 받을 수 있다. 그러므로 실제 운용 환경에서 전자파간섭 시험을 통하여 전자파 환경을 평가함으로써 간섭에 의한 상호 영향을 평가할 필요가 있다. 해외의 공항에서는 공항 내에서 운용하는 트램카(Tram car)를 비롯하여 공항에서 도심으로 연결되는 전기철도가 설치되어 운용되는 곳이 다수 있으며, 점점 많은 공항이 전기철도를 운송수단으로서 도입하는 사례가 증가하고 있는 추세이다.

과거 국내 전기철도 시스템에서는 이러한 전자기환경의 인식 및 고려가 부족하여, 시스템 도입 시에 전자기환경에서의 정상적인 동작과 안전성을 입증할 수 있는 전자기적합성(EMC : Electromagnetic Compatibility)에 관한 고려 및 검증을 위한 명확한 시험규정이나 그 적용이 불분명하였다. 그러나 안전에 대한 인식이 높아지고 전자기환경의 영향에 대한 관심이 높아짐에 따라 국내 전기철도에서도 기본적인 전자기환경에 대한 영향평가를 실시하고 있으며 선진철도의 기준에 맞도록 연구가 수행되고 있다.

---

\* 책임저자 : 성균관대학교 대학원 석사과정, 학생회원

\*\*한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

전기철도에서의 전자파환경에 대한 기준은 IEC의 국제기준에 준하여 평가를 할 수 있으나, 공항에서 활용되는 무선통신기기에 대하여 전기철도의 전자파환경을 평가할 수 있는 기준은 아직 미비하다. 그러므로 본 논문에서는 전기철도에서 발생한 전자파환경이 공항의 무선통신기기의 전자파환경에 주는 영향을 평가할 수 있는 시험 및 평가 방법에 대하여 제시하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 전기철도의 전자파환경

전기철도의 전자파환경은 주로 전력이 공급되는 전차선 및 전동차에 의하여 발생하게 된다. 전차선에는 넓은 주파수대역에서의 고조파성분을 포함한 수천 암페어의 전류 및 수천 볼트의 전압이 흐르므로 다양한 전자파환경을 만들어낸다. 전동차는 전철변전소로부터 전차선을 통하여 공급되는 전력을 받아 전력스위칭 소자의 스위칭 동작을 이용한 전력변환을 통하여 동력을 공급하고, 동시에 전동차에 설치된 다양한 고압의 전기기기가 동작하므로 다양한 주파수대역에서 전자파환경을 발생시킨다. 또한 집전장치 가 전동차의 고속운동 중 전차선과의 접촉이 순간 떨어짐으로 인하여 발생하는 아크현상으로 인하여 높은 주파수대에 강한 전자파가 발생하기도 한다.

전기철도의 전자파환경은 IEC-62236 규격에 의거하여 측정을 통하여 평가가 이루어지며, 주변 전자파환경과의 적합성을 갖추기 위하여 적정 규제치 이하로 제한된다. 그러나 IEC 규격에 제시된 규제치는 공항의 무선통신장비와 같은 특수한 경우를 심도 있게 고려한 것이 아니라, 누적된 실험 데이터를 바탕으로 전동차가 운행되는 일반적인 환경에서 활용 가능한 수치이다. 그러므로 IEC규격에서 제시된 규제치를 공항과 같은 특수 환경에 곧바로 활용하기에는 한계가 있다.

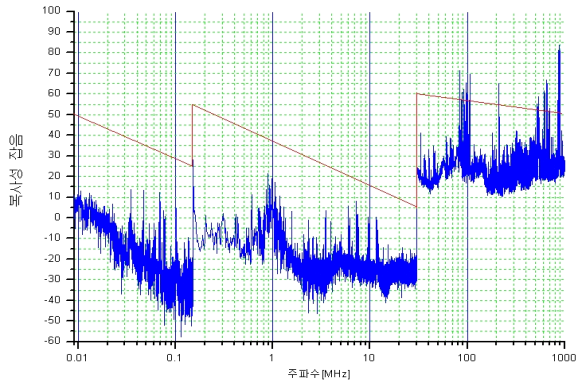


그림 1 전기철도 전자파세기의 측정 예

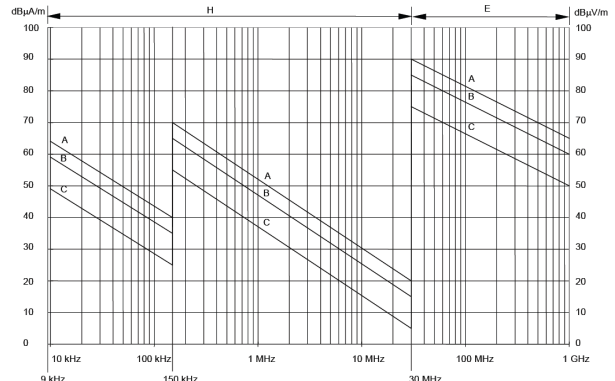


그림 2. 전기철도 전자파 환경 평가기준 예

### 2.2 공항의 무선통신기기

공항에서는 항공기의 유도, 이륙 및 착륙, 교통통제 등을 위하여 다양한 대역에서 무선통신 시스템을 활용하고 있다. 대부분의 항공기는 공중에서 운행되므로 무선통신 시스템은 높은 고도의 항공기를 향하여 지향성 또는 무지향성으로 강한 전자파를 송출한다. 그러므로 지상에서 운용되는 전기철도의 시설물이나 전기철도에 의한 전자파에 의하여 고고도에서 운용중인 항공기가 영향을 받을 확률은 적다고 할 수 있다. 그러나 이륙 또는 착륙을 위하여 저고도 비행하는 항공기를 유도 또는 통제하기 위한 무선통신기기는 전기철도 시스템이 그 인근에 있을 경우 전기철도에서 발생한 전자파 및 구조물에 의하여 영향을 받을 가능성이 있다. 이러한 무선통신기기는 각 민간공항별로 약간의 차이가 있을 수 있으나 일반적으로 가장 영향을 받기가 쉬운 것으로 계기착륙시설(ILS : Instrument Landing System)을 들 수 있다. ILS는 항공기가 활주로에 정확한 방향, 고도 및 속도를 유지하여 안전하게 착륙할 수 있도록 유도하는 시스템으로, 활공각장비(ILS Glide Path), 방위각장비(ILS Localizer) 및 마커비콘(Marker Beacon)을 표준으로 들 수 있다.

ILS Glide Path는 활주로로 접근중인 항공기가 착륙 진입각도 및 수평유지를 위한 장치로 보통 약 2~4도의 착륙활공각 정보를 제공한다. 일반적으로 328.6MHz에서 335.4MHz의 주파수대역을 사용하며

활주로 진입지점으로부터 230 ~ 380m 내외에 그리고 중심선에서 약 122 ~ 183m 옆으로 떨어진 거리에 설치되어 항공기를 향해 전파를 송출한다. 이때 정상진입각도 3도를 기준으로 상부는 150Hz, 하부는 90Hz로 변조되는 신호를 지향성으로 송출한다. 방위각장비(ILS Localizer)는 활주로에 접근하는 항공기가 착륙하고자 하는 활주로의 중앙에 정확히 정렬할 수 있도록 유도하는 장치로서 활주로 진입부의 반대편의 활주로 중심선상에 위치하며 활주로로부터 약 300m이상 떨어진 곳에 설치된다. 일반적으로 108MHz에서 112MHz의 주파수대역을 사용하며 지상에서 항공기가 진입하는 방향 및 반대방향의 양방향으로 지향성 전파를 송출한다. 활주로 중앙을 기준으로 우측은 150Hz, 좌측은 90Hz로 변조되는 신호가 담당하여 항공기가 중앙에 정렬할 수 있도록 한다. 마커비콘(Marker Beacon)은 공중을 향한 수직방향으로 역원추형의 VHF신호를 송출하여 항공기의 활주로 진입을 위한 위치정보를 제공한다. Beacon은 설치 위치에 따라 활주로에 가장 근접한 순서대로 내방표시기(Inner Marker), 중방표시기(Middle Marker), 외방표시기(Outer Marker)로 구분한다. 근래에는 내방표시기를 잘 사용하지 않으나 Category II로 운용되는 공항에는 활용되고 있다.



그림 3. Glide Path



그림 4. Marker Beacon



그림 5. Localizer

### 2.3 측정 및 평가

측정에 의한 평가를 위하여 1500V 직류 전력을 사용하는 전기철도가 공항의 인근에 설치되어 있음을 가정하였다. 전기철도는 활주로의 항공기의 진입부와 중방표시기 중간을 통과하도록 설치되어 있다. 가정에 의한 각 ILS 시스템 및 전기철도는 그림 6과 같다.

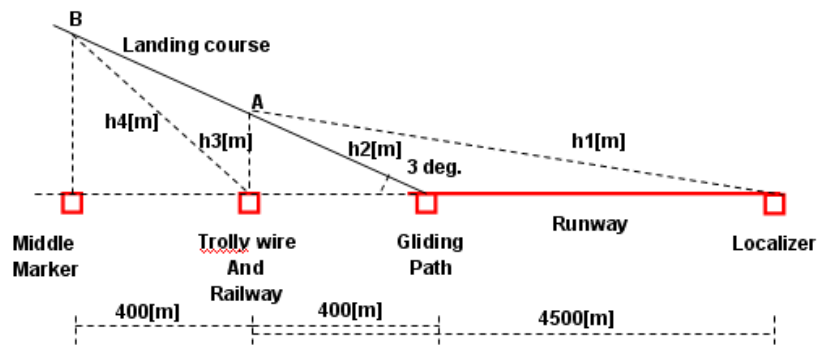


그림 6 각 시스템 별 위치 및 설정된 거리

상호 전자파 환경에 의한 간섭현상은 전기철도에 의하여 발생하는 전자파가 공항의 무선통신시스템에 영향을 주는 잡음요소로 작용하며 이때 공항에 설치된 ILS 시스템이 전기철도에서 발생한 전자파에 영향을 받는 피해요소로 작용한다. 그러므로 시험은 일반 전자파환경에서의 전기철도에서 전동차의 정상 운용 중에 발생하는 전자파의 세기를 측정하고, 그 결과를 항공기의 진입높이에서의 전자파세기로 환산하여 이를 각 ILS 시스템별로 제시된 기준치와 비교하여 평가하는 방법을 사용한다.

전기철도시스템에서 발생하는 전자파의 세기는 국제규격인 IEC-62236에 제시된 방법에 의하여 측정되었다. 전동차는 60km/h 이상의 속도로 정상 운행하여 측정개소를 통과한다. 측정개소에는 9kHz에서 30MHz까지의 주파수대역의 측정을 담당하는 루프(Loop)안테나와 30MHz에서 1GHz까지의 주파수대역의 측정을 담당하는 로그바이코니컬(Log-Biconical) 안테나가 설치되었다. 각 안테나는 전철선로의 중심으로부터 약 10m 떨어진 거리에 위치하며 EMI Receiver 장치에 의하여 전자파의 세기가 측정되었다.

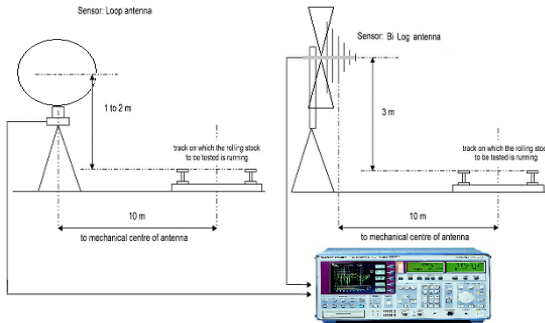


그림 7. 전자파 측정 배치도



그림 8. Field Test

측정을 통하여 얻은 전자파의 세기는 전기철도 시스템으로부터 10[m] 떨어진 거리에서 측정된 값이므로 이 결과를 지상부에서 송출한 전파를 받는 수신부가 되는 항공기의 진입코스(Landing course)에서의 값으로 환산하여야 한다. 송신측 안테나에서의 전파의 세기가  $E_i[dB]$ 라 할 때 송신측에서 직선거리  $h[m]$ 까지 떨어진 곳에서의 전파의 세기는 식 1)과 같이  $E_N[dB]$ 로 나타낼 수 있다. 전기철도시스템으로부터 10[m] 떨어진 곳에서 측정된 전자파의 세기가  $E_i[dB]$ 라고 할 때 항공기가 통과하여 유해전파로부터 방해를 받을 수 있는 전기철도로부터의 직선거리를  $h[m]$ 라 하면 각 지점에서의 전자파의 세기는 식 1)로부터  $E_{NT}[dB]$ 라 쓸 수 있다.

$$E_{NT}[dB] = E_i[dB] - 20 \text{Log} \left( \frac{h[m]}{10} \right) \quad (1)$$

피해원이 되는 지점에서의 간섭원의 전자파세기를 구하였으므로 이를 비교하여 평가하기 위한 기준치가 필요하다. 무선통신기기에는 반송파 대 평균잡음비(CNR : Carrier to Noise Ratio)를 사용한다. CNR은 ILS의 각 시스템별로 공히 20[dB]이상을 준수하도록 규정되어 있다. 각 ILS신호시스템의 송신단의 송출전파의 세기가  $P[W]$ 이고 직선거리로  $h[km]$  떨어진 곳에서의 전파세기를  $E_{NA}[dB]$ 라 하면  $E_{NA}[dB]$ 는 식 2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{NA}[dB] = 74.77 + 10 \text{Log}(P[W])[dBW] - 20 \text{Log}(h[km]) \quad (2)$$

따라 각 지점에서 거리에 따라 환산된 전자파의 세기  $E_{NA}[dB]$ 를 구하여, 전기철도로부터 10[m]거리에 측정된 데이터를 식 1)에 따라 구한  $E_{NT}[dB]$ 와 비교 하였을 때  $E_{NT}[dB]$ 는  $E_{NA}[dB]$ 에 비하여 최소 20[dB]이상 낮아야 한다. 그러므로 평가 기준은 다음의 식 3)과 같이 표현할 수 있다.

$$E_{NA} - E_{NT} = E_{NB} > CNR > 20[dB] \quad (3)$$

그러므로 항공기의 수신안테나 지점에서의 전기철도시스템으로부터 발생한 전자파 신호세기는 공항의 무선통신 시스템별 최대 유해 잡음 허용기준치를 넘지 않아야 한다.

### 3. 시험을 통한 적용

실제 전기철도 시스템에서 발생하는 전자파가 공항의 무선통신기기에 영향을 줄 수 있을지를 실제 시험을 통하여 확인하였다. 시험은 직류 1500V 전압을 정격으로 사용하는 전기철도를 대상으로 하였으며 차종은 직류전동차로 제한하였다. 해당 노선에서 1일 운행 중인 전동차를 대상으로 전력변환시스템에 관계없이 발생하는 전자파세기를 준첨두치(Quasi-peak)로 측정된 값을 적용하였다. 각 ILS 시스템의 배치는 그림 6에서와 같이 설치되어 있다고 가정하였다. 그림 6에서 항공기가 정상적으로 3도의 활공각을 유지하여 착륙을 시도하고 있을 때 각 지점별 거리는 다음과 같이 구하여진다.

그림 6에서의 위치			직선거리 h[m]
ILS Localizer	->	A	4500.05
ILS Gliding Path	->	A	400.5
ILS Middle Marker	->	B	42
전기철도 시스템	->	A	21
전기철도 시스템	->	B	402.2

표 1 각 시스템 별 간섭 지점까지의 직선거리

각 ILS 시스템은 민간항공에 사용되는 기기를 대상으로 표준으로 사용되는 장비의 사양을 적용하였다.

시스템 명칭	주파수 대역	송신측 세기	캐리어주파수	CNR
Middle Marker	74.8 - 75.2 [MHz]	1[W]	75[MHz]	20[dB]
ILS Localizer	108 - 112 [MHz]	16[W]	108.5[MHz]	20[dB]
ILS Glide Path	328.6 - 335.4 [MHz]	5[W]	329.5[MHz]	20[dB]

표 2. ILS 시스템 적용 사양

전기철도 시스템으로부터 10[m]거리에서 IEC62236의 규정에 의하여 측정된 결과로부터 각 거리별 A 및 B지점에서의 전자파세기는 다음의 표 3과 같다.

시스템 명칭 (캐리어주파수별)	전기철도10[m] 측정결과( $E_i$ )	Middle Marker			ILS Localizer			ILS Glide Path		
		$E_{NT}$	$E_{NA}$	$E_{NB}$	$E_{NT}$	$E_{NA}$	$E_{NB}$	$E_{NT}$	$E_{NA}$	$E_{NB}$
Middle Marker	46.3	-5.8	102	107.8						
ILS Localizer	49.5				23	73.7	50.7			
ILS Glide Path	38.1							11.7	89.7	78

표 3. 전기철도 시스템의 측정된 전자파 세기

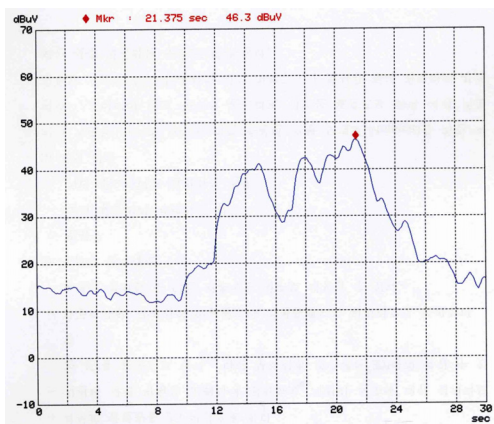


그림 9. 75[MHz]에서의 측정결과

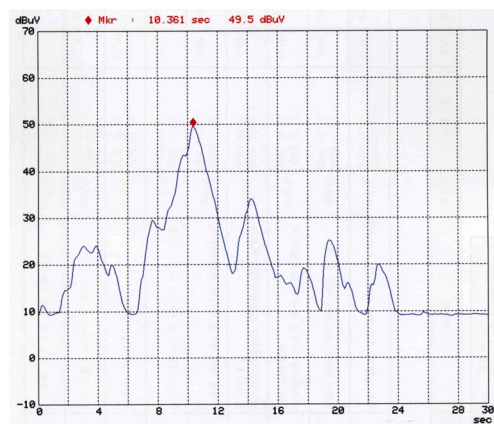


그림 10. 108.5[MHz]에서의 측정결과

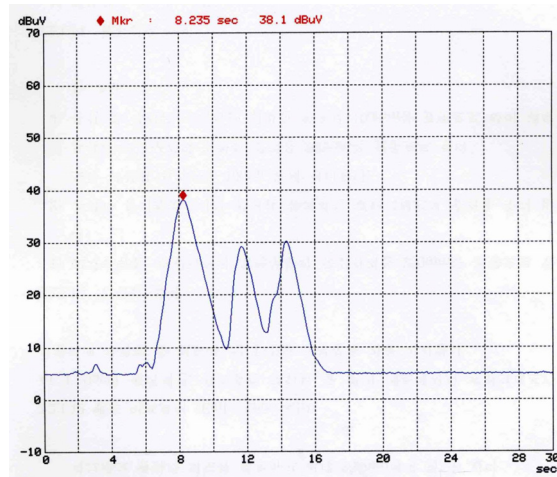


그림 11. 329.5[MHz]에서의 측정결과

결과에서 알 수 있듯이 전기철도시스템에서 발생한 전자파는 각 ILS 시스템의 최대 허용기준에 비하여 일반적으로 권고되는 최고 마진율 20[dB] 이상을 가지고 있음을 알 수 있다.

본문에서는 전기철도 시스템이 공항의 인근에 설치된 경우 실제 측정된 전기철도시스템의 전자파 세기를 바탕으로 공항 무선통신시스템에 대한 영향 평가방법에 대하여 제시하고 시험을 통하여 그 적용을 확인하였다. 본문에서는 공항에서 활용되는 다양한 무선통신기기 중 전기철도시스템의 전자파 영향을 가장 쉽게 받을 수 있는 계기착륙시설(ILS)에 대하여 적용하였으나 다른 주파수대역을 사용하는 공항의 무선통신기기에도 본문에서 제시한 것과 동일한 평가 방법을 적용할 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

1. 철도기술연구원, “전기차량의 신호시스템으로의 전자기간섭, 2004, 장동욱, 한문섭, 이장무
2. 철도기술연구원, “전동차 EMC 측정을 위한 시스템 구성 및 개발, 2004, 박영 외 5명
3. 로템, “EMC Type Test Report for DC Train”, 2004, 김민철, 공명상
4. 로템, “EMC Type Test Report for DV Train”, 2004, 김민철, 공명상
5. IEC62236-2 "Electromagnetic compatibility\_Emission of the whole railway system to the outside world", Norm
6. IEC62236-3-1 "Electromagnetic compatibility\_Train and Complete Vehicle", Norm
7. Northern Jiaotong University, "Prediction of RFI Effects of Electrified Railway on Aeronautical Radio Navigation Stations", Sha Fei, Jiang Zhongyong, Jiang Shouning,
8. GB6364-84, "Electromagnetic environment requirements for aeronautical radio navigation stations", Norm
9. RPG/ACP/NSP WP-32, "RPG Meeting for World Radio communication Conference 2007", ACP working Group B and F and NSP SSG