

# 전력선통신의 전자파 적합성

정삼영 · 공성식 · 최중현

전파연구소

## I. 서 론

전력선통신은 기존의 전력선 망 인프라를 이용하여 광대역 네트워크 서비스를 제공하기 위한 새로운 기술로써, 전력선로의 열악한 통신 채널 특성으로 인해 과거에는 450 kHz 이하 저주파 대역을 이용하여 송·배전망의 감시 및 제어, 송·변전소간의 통신, 원격검침 등 저속 통신에 이용하였지만, 최근에는 신호처리 및 반도체 기술의 발전으로 2~30 MHz 대역을 이용하여 10 Mbps급 이상의 전송속도를 구현하고, 초고속 가입자망, 홈 네트워킹, 다양한 멀티미디어 서비스 등 고속 통신을 이용할 수 있는 기술 수준으로 발전하였다.

전력선통신은 차폐되지 않은 전력선로를 이용하여 광대역 통신을 하기 때문에 외부로 방사되는 불요 전자파의 발생은 피할 수 없게 되며, 이에 따라 주파수 30 MHz 이하의 단파 대역에서 사용하고 있는 무선 통신에 장애를 유발 시킬 수 있는 문제를 가지고 있다.

본 고에서는 전력선통신에 대한 국내 산업의 활성화와 동일 주파수 대역에서 이용되는 무선 통신 서비스의 보호, 두 가지 기능을 조화롭게 만족시킬 수 있는 전자파 방해 방지 기술 기준을 마련하기 위한 기초 작업으로 금년 수행된 조사 결과를 일부 수록하였으며, 계속된 연구 수행과 관련 분야 이해 당사자 및 각계 전문가로 구성된 위원회 검토를 통하여 국내 환경에 적합한 기술기준이 설정되도록 추진할 것이다.

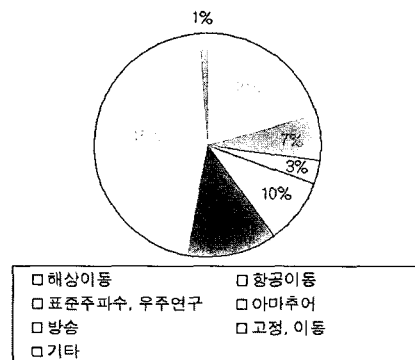
## II. HF 대역의 무선 통신 서비스 현황

전력선통신으로 발생하는 복사성 노이즈 스펙트럼의 주파수 대역은 약 1 MHz~30 MHz이며, 이 주파수 대역에서 장애를 받을 수 있는 단파 대역의 주파수 현황은 [그림 1]에서와 같이 대부분 고정, 이동 및 해상이동, 항공이동 무선 통신 서비스 등이다.

조난 및 호출 주파수 대역은 총 7개 대역으로 2.091 MHz, 4.1175 MHz, 4.215 MHz, 4.2075 MHz, 4.555 MHz, 5.68 MHz, 27.821 MHz이며, 표준 주파수 시보용 대역은 9개 대역으로 2.5 MHz, 4.0 MHz, 5.0 MHz, 8.0 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 16 MHz, 20 MHz, 25 MHz이다. 아마추어 무선 통신 주파수는 총 10개 대역으로 사용되고 있으며, <표 1>은 우리나라와 ITU(International Telecommunication Union) 할당 주파수 대역과 대역폭이며, 아마추어 무선통신을 보호하기 위해 요구되는 전력선통신의 운용 금지 대역에 대해 설명하고 있다.

## III. 전력선통신 EMI 표준화 동향

1.6 MHz ~ 30 MHz 범위의 주파수 사용현황



[그림 1] HF 대역의 주파수 할당현황

<표 1> 아마추어 통신 주파수 및 대역폭

우리나라 지정 주파수	ITU 주파수 대역 [MHz]	ITU 할당 대역폭 [kHz]	PLC notch 대역폭 [kHz]
1.8125	1.8~2.0	200	200
3.525	3.5~4.0	500	500
3.795			
7.050	7.0~7.3	300	300
10.125	10.1~10.15	50	50
14.175	14.0~14.350	350	350
18.118	18.068~18.168	100	100
21.225	21.0~21.450	450	450
24.940	24.890~24.990	100	100
28.850	28.0~29.7	1700	1700

전력선통신에 적용 가능한 EMC 표준으로 FCC Part 15, 독일 Reg. TP에서 발간한 NB 30, ITU-T의 K.60 규격 등이 있으며, 국제 전파장해 특별위원회인 CISPR에서 정보기기 전자파 장애기술기준인 CISPR 22의 통신단자 전도성 노이즈 허용기준을 적용하기 위한 규격화 작업이 최근 진행되고 있다.

### 3-1 국제 전파장해 특별위원회

전력선통신에 대한 EMI 기준은 CISPR 22에 포함되어있는 통신 단자에 대한 전도성 허용기준을 적용하며, 전도성 노이즈의 측정을 위하여 전력선통신의 임피던스와 정합되는 T형 ISN(Impedance Stabilization Network)을 사용하도록 규정하며, 현재 차동모드 임피던스와 공통모드 임피던스 변환시 발생하는 종변환손실(LCL: Longitudinal Conversion Loss)값을 설정하는데 많은 시간이 소요되고 있다.

CISPR 22에 추가되는 내용으로 PLC 단자에 대한 정의와 PLC 단자에서 측정 절차 등이 있으며, PLC 단자에서 전도노이즈 측정시 PLC 통신의 활성

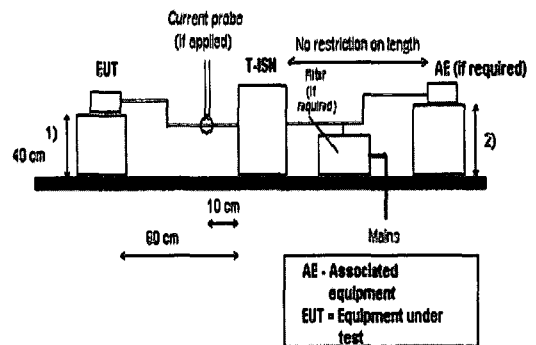
(Active) 및 비활성(Inactive)상태에 따라 전압을 측정하기 위해 각각 AMN(Artificial Main Network)을 사용하여 전원단자의 허용기준을 적용하고 T-ISN의 사용으로 통신단자에 대한 허용기준을 적용하는 2회의 측정 방식이 제안되었다. PLC 전도성 노이즈 시험을 위한 셋업 방식은 [그림 2]와 같으며, PLC 모델과 통신 보조장비를 연결하고 모델과 T-ISN의 거리는 80 cm로 하여 전도성 전류를 측정하기 위해 전류 프로브(Current Probe)를 사용하게 된다.

2004년 상하이에서 개최된 CISPR 회의에서 다른 규격의 정상적인 규격 작업 절차와는 달리 PAS (Publicly Available Specification) 규격 작업으로 진행되었으며, 1차 Draft PAS에 대해 투표결과 반대표가 많아 규격 제정이 부결되었으며 작업반을 통해 보완된 2차 Draft PAS가 작성 되는대로 각국 위원회의 투표로 규격화가 가능한 상태로 결정되었다.

### 3-2 유럽

유럽의 국가 중 PLC에서 발생하는 불요파에 대해 적용할 수 있는 규격으로는 독일의 NB 30과 영국의 MPT 1570이 있다.

이들 규격은 [그림 3]에서의 같이 미국 FCC 규격



[그림 2] PLC 적합성 평가를 위한 CISPR 제안 셋업 도면도

과 국내 미약전파기준에 비해 상당히 엄격하며, 국내 전파환경의 배경 잡음 레벨보다 낮은 수준으로 PLC 산업 활성화 측면에서 적용하기가 어렵다.

현재 새로운 규격을 작성하기 위해 CENELEC과 ETSI의 공동 작업반 WG 3에서 PLC를 포함한 전기통신 설비의 방사 및 전도 불요파 허용 기준치와 측정방법에 관한 표준화 작업을 진행하고 있으며, CISPR 표준화 작업을 예의 주시하고 있다[그림 3].

#### IV. 전력선통신 방사 전자파 조사

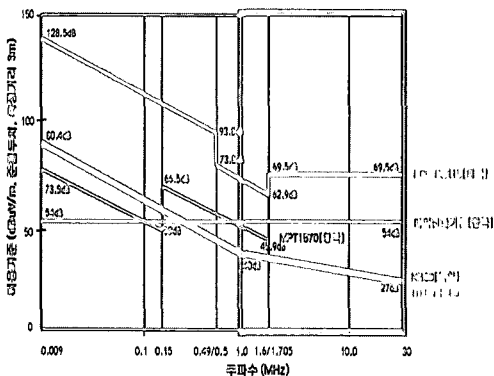
국내 구축되어 있는 전력선통신 시범 지역(Test Bed)에서 전력선통신의 운용으로 방사되는 불요 전자파의 스펙트럼 분포와 단파 대역에서 사용하고 있는 무선통신의 영향 평가를 수행하였다.

PLC Test Bed가 아파트 단지 내에 구축된 제주지역과 상가 및 단독 주택 밀집 지역에 설치된 대전지역에서 수행된 조사 결과를 평가하였다.

##### 4-1 현장 측정 방법

PLC Test Bed 현장 측정을 위한 측정기기 조건과 측정 내용은 각각 <표 2> 및 <표 3>과 같다.

전력선통신 모뎀이 설치된 실내의 측정 환경과



[그림 3] 방사 노이즈의 허용기준

<표 2> 현장 측정을 위한 수신기 조건

측정 주파수	1 MHz~30 MHz
대역폭	10 kHz
안테나	루프 안테나
검파기	첨두치 검파기

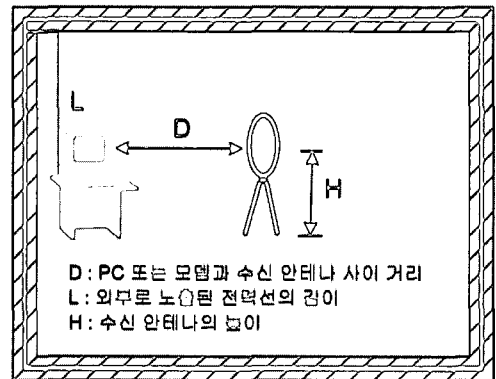
<표 3> 현장 측정내용

구분	측정내용	
	복사전계측정 위치	무선통신 영향평가
실내측정	방, 거실, 배전반	단파방송
실외측정	100 m 이상 거리	단파방송 아마추어통신 군용통신

외부 측정환경은 각각 [그림 4] 및 [그림 5]와 같다.

실내에서 모뎀과 전력선으로부터 발생되는 노이즈를 측정하는데 일반적으로 적용되는 3 m 방사 측정거리를 확보하기가 쉽지 않아 실내 중앙 지점에 수신 안테나를 위치시켜 측정하였다. 실외의 경우 노출된 전력선의 최외각 선으로부터 수신 안테나까지의 거리를 기준으로 정하였다.

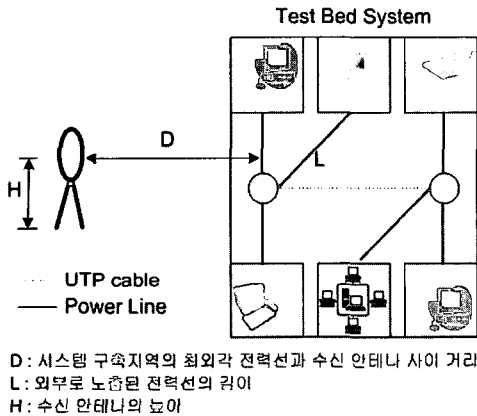
##### 4-2 제주 전력선통신 시범지역



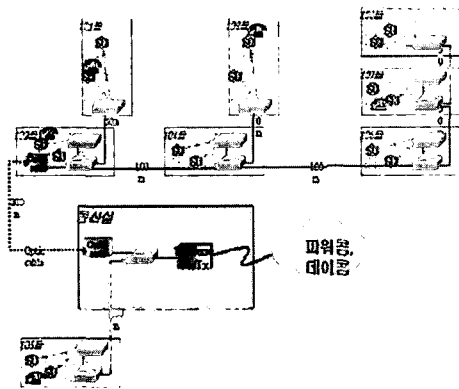
[그림 4] 실내 측정 구성도

제주 시범지역은 아파트 단지 내에서 전력선통신 시스템을 운용하고 있으며, 광케이블 백본 망이 아파트 내부 통신실까지 연결되어 있는 환경이다. 아파트의 각동은 광케이블이나 UTP(Unshielded Twisted Pair) 케이블로 연결되어 있으며, 실외의 노출되는 전력선통신 기능은 없다. [그림 6]과 같이 총 8개동 96개 가구에서 전력선통신을 이용하고 있다.

실내(방) 측정에서 PLC 모뎀과 수신 안테나 사이의 측정거리는 1.5 m이며 측정결과는 [그림 7]과 같다. 배경잡음 레벨과 비교하여 약 10 dB 이상 레벨



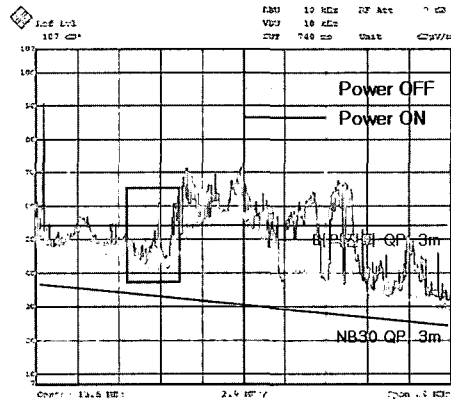
[그림 5] 실외 측정 구성도



[그림 6] 제주 PLC 시범지역 시스템 구성도

이 증가된 것을 확인할 수 있다.

아파트 단지 외부에서 측정 지점 이동에 따른 스펙트럼 비교 결과는 [그림 8]과 같으며, 배경잡음 레벨과 비교하여 차이가 거의 없다.

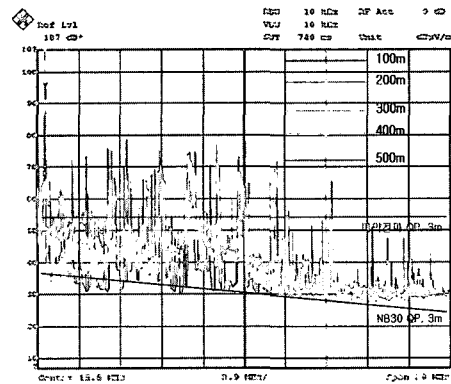


신호레벨 : 62 dB $\mu$ V/m<sup>2</sup>

잡음레벨 : 50 dB $\mu$ V/m<sup>2</sup>

잡음레벨 : 42 dB $\mu$ V/m<sup>2</sup>

[그림 7] 실내(방)의 측정 노이즈 레벨



[그림 8] 거리별 측정 노이즈 레벨 비교

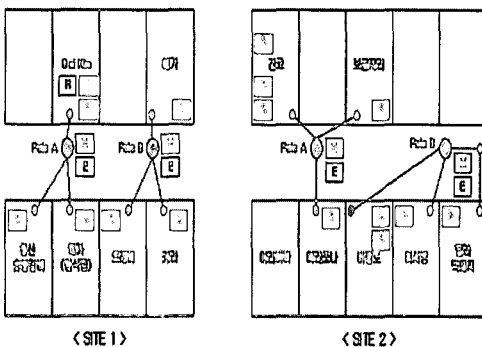
전력선통신 모뎀이 설치된 실내의 경우 전력선이 외부로 유출되어 있고, 방 안의 복잡한 전력선 배치로 비교적 높은 노이즈 레벨 분포와 단파방송 수신에 다소 장애가 있었으며, 전력선통신의 주입단자인 배전반에서도 단파 방송 수신에 장애를 발생시켰다.

실외측정에서는 건물 콘크리트 벽의 차폐 효과로 노이즈 레벨이 감쇄되었으며, 10 m 이상의 거리에서는 PLC에 의한 스펙트럼 변화 현상은 발생되지 않았으며, 단파 방송 수신에 전혀 장애가 발생하지 않았다.

### 4.3 대전 전력선통신 시범지역

대전 시범지역은 단독 주택에 전력선통신 서비스를 제공하는 형태로써, 제주 지역과는 달리 외부로 전력선이 노출되어 있는 환경이다. [그림 9]와 같이 두 개의 지역에 4개의 마스터(Master) 모뎀과 16개 슬레이브(Slave) 모뎀이 설치되어 있으며, 각각의 마스터 모뎀 사이는 UTP 케이블로 연결되어 있다. [그림 10]에서 마스터 모뎀은 붉은색 원으로 표시하였으며 마스터 모뎀 사이의 거리는 26 m이다.

[그림 11]은 마스터 모뎀 사이에서 측정한 전계 스펙트럼 분포로써 Power ON/OFF시 노이즈 레벨이 약 15 dB 정도 변화가 있었다.

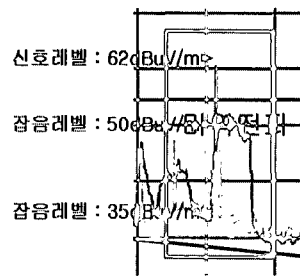
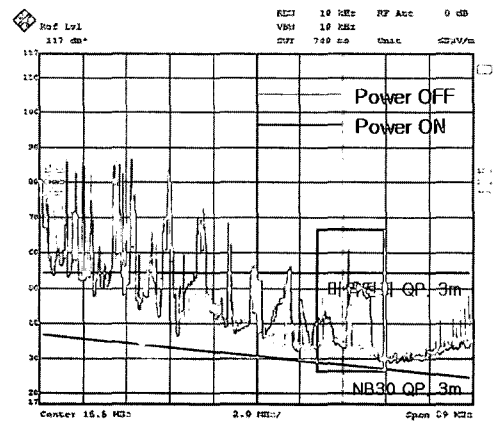


[그림 9] 대전 PLC 시범지역 시스템 구성도

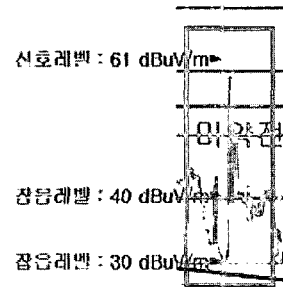
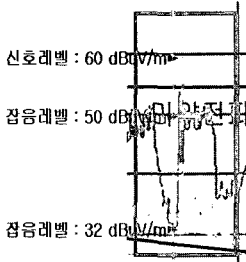
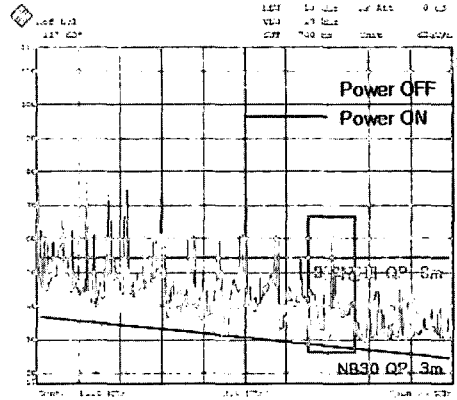
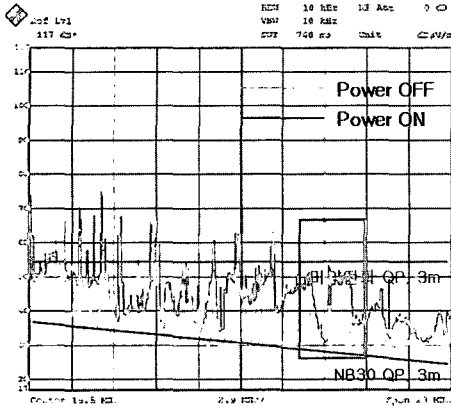
전력선 아래에서 전력선통신 운용 시 측정된 노이즈 레벨은 [그림 12]와 같으며, 노이즈 레벨이 약 50 dBuV/m으로 수신되었다. 측정된 지점에서 전력선의 높이는 약 3 m이다.



[그림 10] 대전 시범지역 전경



[그림 11] 마스터 모뎀 사이 노이즈 레벨



[그림 12] 전력선 아래 측정 노이즈 레벨

[그림 13] 전력선으로부터 3 m 이격된 지점에서 측정된 노이즈 레벨

[그림 13]은 전력선으로부터 거리 3 m 지점에서 측정한 결과로써, 전력선 아래보다 10 dB 정도 노이즈 레벨이 감소하였다.

대전지역 조사 결과 마스터 모뎀 사이로부터 약 5 m의 측정거리까지 전계 분포 레벨이 약 40~50 dBuV/m 정도의 세기를 보였으며, Power ON/OFF시 노이즈 레벨은 10 dB~20 dB 정도의 변화 폭을 가지고 있었다. 측정거리 10 m 이상에서는 전력선통신에 의한 스펙트럼 레벨 변화는 보이지 않았다.

무선 통신 영향 평가에서 군용 통신은 송신기의 출력 레벨에 따라 수신 감도의 차이는 나타났지만, 통신 시 전력선통신에 의한 영향이 없었으며, 단파 방송은 전력선통신 시스템이 구축된 지역(마스터 모뎀사이, 전력선 아래)에서 수신 장애가 있었으며, 10 m 이상의 거리에서는 영향이 없었다.

각각의 측정지점에서 PLC에 의한 주파수 21 MHz 대역의 단파 방송 수신 장애 정도를 <표 4>와 같이

<표 4> 각 측정지점에서 단파방송 영향 평가

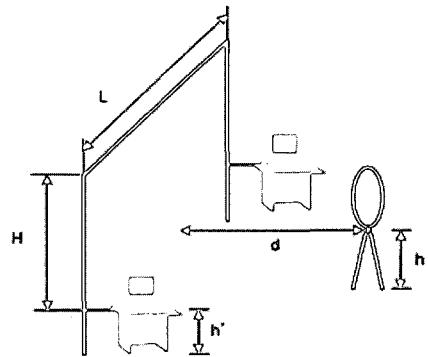
거리	신호 레벨 [dBuV/m]	노이즈 레벨 [dBuV/m]		SNR[dB]	
		OFF	ON	OFF	ON
마스터모뎀 사이[13 m]	62	35	50	27	12
전력선 아래	60	32	50	28	10
3 m	61	30	40	31	21
5 m	57	29	39	28	18
10 m	52	35	35	17	17

SNR(Signal to Noise Ratio) 비교 결과로 평가하였다. ITU-R의 방송수신을 위한 SNR 권고에 따르면 최소 34 dB 수준을 요구하고 있으나, 평가 결과 약 15 dB 이상의 경우 수신 감도에 영향이 없는 것으로 확인되었다.

#### 4.4 시험장 측정

전력선통신 시스템에서 발생하는 불요 전자파 세기 측정에 있어 재현성과 정확성을 확보하기 위해 지면 접지판이 설치된 야외시험장이 요구된다. 또한 PLC 방사 전계강도를 측정하기 위해 정규화 된 PLC 셋업 방식이 요구되는데 이는 셋업 방식에 따라 방사 레벨의 변화가 있으며, 시험시간 측정 오차를 줄이기 위해 반드시 요구된다. 따라서 정규화된 셋업 방식은 국내 실제 전력선 환경 조건에서 Worst case 를 고려하고 관련 국외 규격들을 참조하여 기술기준 제정 시 반영하게 될 것이다.

시험에 사용되는 수신기 및 PLC 셋업에 사용된 모델 및 전력선의 조건은 <표 5>와 같으며, 측정에 사용한 시험장 셋업 모델은 [그림 14]와 같이 구성하였다. 옥외 저 전압 전력선의 높이와 시험장 사이즈 등을 고려하여 모델링 하였으며, 유럽에서 표준화 작업이 진행 중인 CENELEC & ETSI Joint Working Group 셋업 조건을 참조하였다.



- 여기서, H : 수직 전력선의 길이
- L : 수평 전력선의 길이
- h : 수신 안테나의 높이
- h' : PC 및 전력선통신 모델이 설치된 높이
- d : 전력선과 수신 안테나 사이의 거리

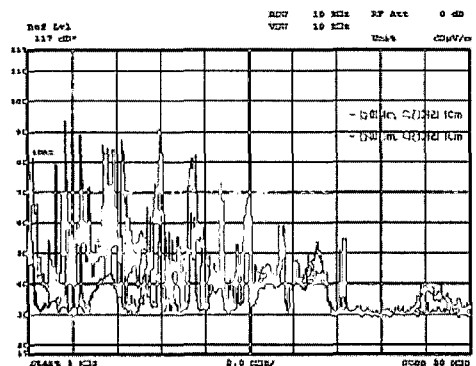
[그림 14] 시험장 측정 구성도

전력 스펙트럼 밀도 -50 dBm/Hz인 전력선통신 모델을 사용하여 전력선의 높이 변화와 측정거리의 변화에 따라 발생하는 방사 스펙트럼 레벨을 조사하였으며, 출력레벨 변화에 따른 방사 노이즈 레벨을 확인하기 위해 신호 발생기 출력레벨을 0 dBm에서 -60 dBm로 변화시켜 가며 방사 세기의 변화를 조사하였다.

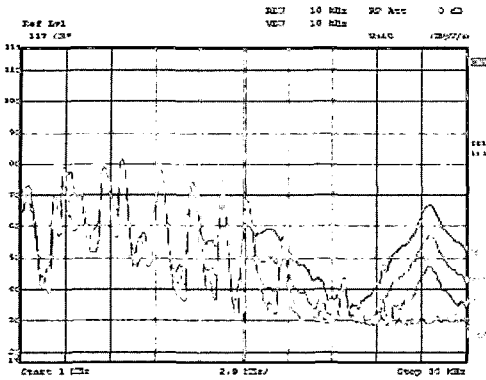
[그림 15]는 전력 스펙트럼 밀도가 -50 dBm/Hz

<표 5> 시험장 측정의 측정 장비 설정 조건

수신기 (R&S ESI)	대역폭	10 kHz
	RF ATT.	0 dB
	Unit	dBuV/m
	안테나	루프 안테나
신호 발생기	PLC 모델	XRD21
	PC	노트북 컴퓨터
	전력선	차폐되지 않은 구리선
기타	전력선의 지지를 위해 PVC (비유전율 2)재질 사용	



[그림 15] 전력선 높이 변화에 따른 방사 레벨 변화



[그림 16] PLC 송신전력 변화에 따른 방사 레벨 변화  
높이 4 m, 측정거리 10 m

인 전력선통신 모델을 사용하였을 때 전력선과 수신 안테나 거리를 10 m로 하고 전력선 높이를 1 m 와 4 m로 변화시켜 측정한 결과이다. 전력선 높이 변화에 따라 시험장에서 형성되는 루프의 면적이 달라지며 이에 따라 방사되는 전계 세기도 변화하게 됨을 확인할 수 있다.

[그림 16]은 신호 발생기를 사용하여 전력선에 주입되는 입력 레벨을 변화시킴으로써 전력선에 의한 방사 전계레벨을 측정한 결과이다. 입력 레벨의 변화에 따라 방사 전계 레벨이 전주파수 범위에 대해 규칙적으로 변화하고 있음을 알 수 있다. 입력 신호 레벨이 -10 dBm 일 때 환산된 전력 스펙트럼 밀도가 -50 dBm/Hz이며, 측정된 방사 전계 레벨은 국내

미약 전파 이용기기에 적용되는 기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다.

## V. 결 론

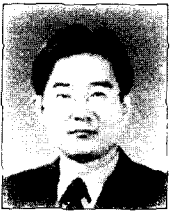
전력선통신 관련 전파법의 개정으로 시행령 개정과 기술기준의 개발이 금년내 완료될 예정이다. 국내 전력선통신 산업은 홈 네트워킹의 응용에 강점과 IT 수출 강국의 산업 활성화 차원에서 경쟁력 확보에 국가 차원의 지원이 필요로 하는 사업이다. 이용 주파수 대역에서 불필요한 방사 노이즈로 야기되는 단파 대역의 전자파 장애 문제는 보호 주파수에 대해 운용 금지 대역 설정으로 해결하고, 전력선 통신 모델 개발 등에 전자파 적합성 기술을 더욱 보강하여 전자파 장애 발생을 최소화 하는 지혜가 필요하다.

전력선 통신의 전자파 적합성 확보를 위해 요구되는 기술기준은 국제적으로 논의되고 가장 범용적으로 적용되는 CISPR의 표준에 따르는 것이 바람직하다고 판단되나 현재 CISPR 규격이 완결되지 않은 상태를 감안하여 현실적으로 적용 가능한 미약전파 기준을 고려해 볼 수 있으며, 방사 측정을 위한 시험장의 조건, 시험을 위한 셋업 방식의 설정 등이 보완되어 정확하고 재현성 있는 시험 결과를 얻을 수 있도록 해야 할 것이다.



≡ 필자소개 ≡

정 삼 영



현재: 전파연구소 공업연구관  
[주 관심분야] 전자파 측정기술, EMC 국  
내 및 국제표준, 전자파 적합성 대책  
기술

공 성 식



현재: 전파연구소 공업연구사  
[주 관심분야] EMC 국내표준 및 국제표  
준, 전자파 측정 및 수치해석

최 중 현



현재: 전파연구소 전송주사  
[주 관심분야] EMC 국내 표준, EMC 측  
정기술