정보통신설비 학술대회 논문집, 2007. 8.24-25

고속전력선통신과 무선통신간의 간섭 회피 방법에 대한 연구

A Study on Methods of Interference Avoidance between Power Line Communications and Radio Communications

장 동 원*, 이 영 환
(Dong-Won Jang and Young-Hwan Lee)

Abstract : This paper first outlines the technology used in Power Line Communications(PLC) systems, and the political support being offered to the technology, from the point of view of its effect on electromagnetic compatibility (EMC). The radio spectrum needs protection from other interferers, and there is a regime in place to provide this interference avoidance/mitigation. Nevertheless, PLC has several features that mean that it is capable of creating such interference. These features are discussed, and some published field trial results are reviewed. Difficulties in achieving compatibility between the requirements for radio protection and the requirements for operation of the PLC system mean that there is no consensus as yet as to how PLC system components can be made compliant with EMC requirements. It is concluded that there is little prospect of an accommodation between the competing demands, so that if PLC is to become widespread it will be at the expense of the radio environment.

Keywords: PLC, power line communications, BPL, broadband over power lines, capacity, channel characteristics, interference, avoidance, mitigation, low voltage (LV) line, medium voltage (MV) line, noise

I. 서론

본 논문에서는 전력선통신모뎀에서 방사되는 전계강도가 부근에 있는 무선통신 시스템에 주는 유해 간섭(harmful interference)에 대해 기술하였다. 최근에 전력선통신 기술은 매우 발전되어서 200Mbps 정도의 고속통신을 할 수 있게 되었다. 그러나 전력선통신에 이용되는 전력선은 기본적으로 60Hz 의 전력을 전송하도록 설계되었으므로 이보다 높은 신호를 보내면 표피효과로 인하여 전파가 방사되어 부근의 무선통신 시스템에 영향을 주게 된다. 그러므로 현재 전력선통신에서 사용하는 HF 주파수대역(80MHz 이하)의 일차 이용자(ITU-R 에서 국제적으로 할당)인 안전/조난, 방송, 아마추어무선 등은 간섭에 대한 우려 때문에 전력선통신의 활성화를 반대하고 있다.

이미 옥내에서 사용하는 전력선통신은 건물 차폐 등에 의해서 간섭 우려가 적기 때문에 전세계적으로 널리 이용되고 있으나 간섭을 방지하기 위한 방법이 없는 옥외에서는 사용이 제한되고 있다. 그러나 고속 인터넷 사용에 대한 욕구가 크기 때문에 DSL, 동축케이블, 광케이블 등으로 서비스를 제공하고 있으나 시설비 등 경제적인 제한이 있으므로 널리 보급되지는 않고 있다. 전력선은 이미 전세계적으로 60% 이상의 주거지에 전개되어 있으므로 고속 인터넷을 요구하는 대다수에게 경제적으로 제공할 수 있는 유일한 방법이다. 그러므로 전력선통신이 기존 무선통신 서비스에 유해 간섭을 줄 우려가 높지만 계속해서 이를 극복하기 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.

ITU 에서는 이미 80MHz 까지 전력선통신을 사용하기 위한 관련 권고 작성이 진행 중이며 IEEE, OPERA(Open PLC European Research Alliance)와 같은 표준화 기관에서는 국제적인 전력선통신 표준화 작업을 수행하고 있다. 또한 미국이나 유럽 등 세계 여러 국가에서는 기존 무선통신 서비스에 간섭 영향을 최소화할 수 있는 기술 기준을 제정해서 전력선통신과 주파수 대역을 공유해서 사용할 수 있도록 하고 있다.

본 논문에서는 전세계적으로 채택되어 사용되고 있는 간섭 보호 및 완화 기술들을 분석하고, 실험을 통하여 검증된 방법을 국내에도 기술기준 등에 적용할 수 있도록 기술하였다.

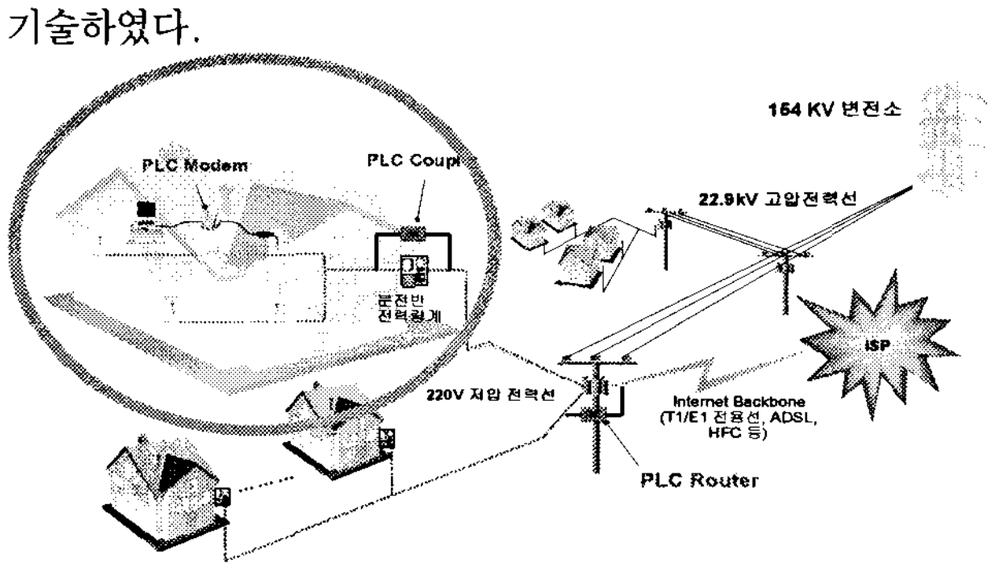

그림 1. 전력선통신망 구성도
Fig. 1. Power Line Communication Network Configuration

II. 간섭 회피 및 완화 기술

간섭을 회피하거나 완화하기 위해서 아래와 같은 여러 가지 방법이 제안되었다.

- 간섭 회피(최소화)
  - 중압(Medium Voltage)전력선 사용 제한
  - 간섭을 방지하기 위한 방사 제한
  - 측정 표준 제정
  - 민감한 주파수 대역에서 노치(notch) 필터링
  - 전력선 장비의 인증
- 간섭 완화
  - 지역적인 주파수대역 보호
  - 출력전력 최소화
  - 간섭 발생시 전력선통신망 Power-off
- 간섭 관리
  - 잠재적인 간섭 원인에 대한 데이터베이스 구축 관리
  - 간섭 발생시 신속한 조치
  - 위반자에 대한 처벌

EMC 란 전기 또는 전자 장비가 원하는 환경에서 운용될 수 있는 상태에 있음을 의미한다. 즉 장비가 제 위치에서 적정하게 동작할 수 있는 상태를 말한다. 이러한 상태에서 장비 또는 시스템의 성능에 장해를 주는 원치 않는 전압 또는 전류가 존재할 때 이를 전자파 간섭(EMI; Electromagnetic Interference)이라고 한다. 그러므로 전자파 간섭 제어를 통해서 전자파 양립성을 얻게 되는데 이는 장비의

설계를 변경하거나 신호 또는 잡음을 조절해서 가능하다.

차폐의 목적은 특정 영역에 방사 에너지를 가둬 두거나 특정 영역으로 방사 에너지가 들어 오는 것을 방지하기 위한 것이다. 가장 효율적인 차폐는 주파수가 100kHz이하인 경우에는 철과 같은 투자율이 높은 금속으로 밀봉하는 것이 최선이며 그 이상의 주파수에서는 어떠한 금속을 사용해도 효과적이다. 그러나 고체 차폐를 사용하는 경우에는 빛, 공기, 습기 등이 완전히 밀봉되므로 이를 개선하기 위해서 철망, 구멍 뚫린 금속판, 전도성 유리 등이 사용되기도 한다. 또한 박막 필름을 이용한 플라스틱 봉합 차폐가 많이 활용되고 있다. 그러나 전력선은 이러한 차폐가 곤란하다. 통신선인 경우에는 차폐 등이 가능하지만 이미 설치되어 있는 전력선에 이러한 차폐를 하는 것은 거의 불가능하다. 그러므로 각국에서는 나름대로 전력선으로부터 방사되는 유해 간섭 신호를 방지하기 위한 연구가 수행되고 있다.

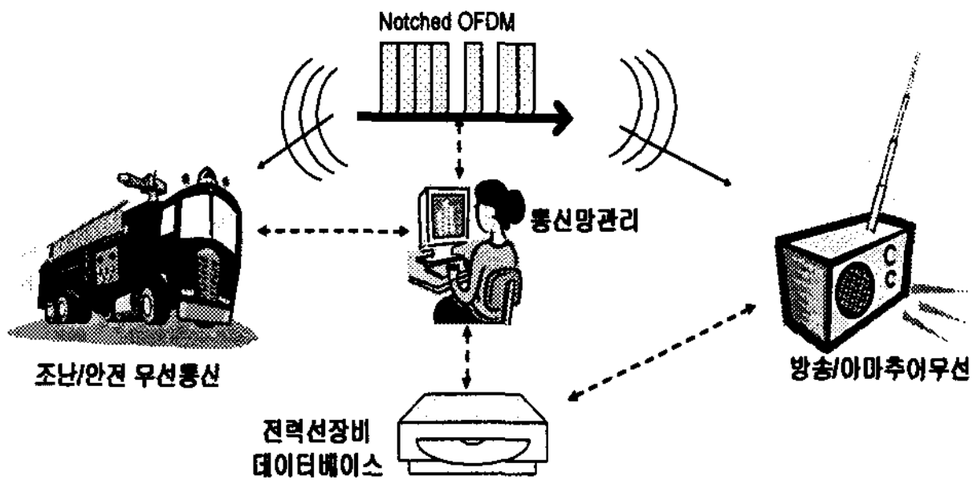

그림 2. 간섭 제어를 위한 관리방법

Fig. 2. A Management of Interference Control

영국에서는 1990년대 후반에 전력선을 이용한 통신 방법에 대해 지속적인 연구를 수행해 왔다. 이 결과에 따르면 영국의 경우에는 현재 전력선의 80%이상이 지하화되어 있어서 -10dB에서 -6dB정도 방사를 줄일 수 있으며 각 가정에 필터를 사용해서 이웃집으로 신호가 누설되는 것을 막을 수 있었다. 또한 이를 통하여 주파수 재사용이 가능해서 보다 향상된 서비스를 제공할 수 있다. 이 이외에도 스펙트럼 관리를 통해서 기존의 긴급/조난, 방송, 아마추어무선 등과 대역을 공유하기 때문에 가까운 거리에 이러한 무선국이 위치하면 간섭 영향을 줄 수 있으므로 전력선통신을 이러한 무선국 부근에서 사용하지 못하도록 금지 대역(Exclusion Zone)을 설정할 필요가 있으며 국가적인 긴급 상황시 무선 통신망 확보를 위해서 전력선통신을 사용하지 못하도록 전원 차단 장치를 설치해서 간섭의 피해를 줄이도록 제안하였다. 이외에도 전력 제어를 통해서 시간에 따라서 변동되는 통신 트래픽에 따라서 전력을 제어할 수 있도록 해서 통신량이 적은 경우에는 인가되는 전력을 줄여서 간섭을 줄이는 방법을 제안하였다. 또한 중계기를 사용해서 액세스망에서 인가 전력을 줄이는 방법도 제한하였다. 기술적으로는 노치를 사용해서 특정 무선통신 서비스 대역으로 전력선 신호가 출력되지 않도록 하는 것이다. 최근에는 대부분의 전력선통신에서 OFDM방식을 사용하므로 보다 경제적으로 이러한 기능을 구현해서 간섭을 방지하고 있다. 그러나 독일과 같은 일부 국가에서는 노치에 대하여 강제화하지 말 것을 주장하고 있다. 이미 노치는 DSL에서 표준으로 채택되어 있으며 HomePlug 1.0에도 채택되어 있다. 또한 ETSI에서도 노치를 사용해서 간섭을 줄이는 방법을 표준화하고 있으며 유럽 방송 연합의 강력한 요구로 단파방송 대역에 대한 동적 노치를 표준화하고 있다.

III. 전력선 특성

전력선통신 모뎀은 전화선 모뎀, ADSL, VDSL, 케이블 모뎀등과 같은 정보통신기기이다. 그러나 전력선통신 모뎀은 기존에 전력을 전송하기 위해 설치된 전력선을 이용한다.

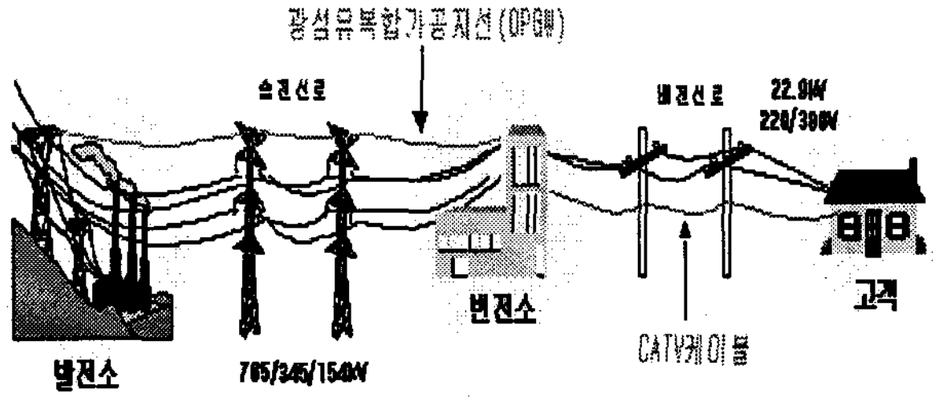

그림 3. 국내 전력선 구성도

Fig. 3. Power Supply Network Structure

전력선통신 모뎀은 오래 전부터 대부분의 국가에서 저속주파수대역(450kHz 이하)에서 사용하고 있었다. 그러나 인터넷 통신의 활성화로 다양한 액세스망이 개발되었다.

전력선통신도 이러한 액세스망 중 하나로 부상하였으며 주파수 대역을 30MHz까지 이용해서 20-30Mbps정도의 속도를 처리할 수 있는 유력한 고속 액세스망으로 부상하였다. 최근에는 80MHz까지 이용해서 200Mbps까지 속도를 향상시킨 고속 전력선통신 모뎀이 실용화 단계에 있다.

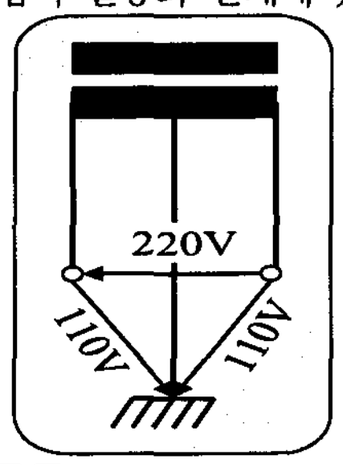

그림 4. 전력 공급

Fig. 4. Power Supply

전력선은 그림 4와 같이 3선으로 전력을 공급하며 한 선은 접지로 사용된다. 일반적으로 가정 부근에 변압기에서 저압으로 낮춰서 여러 가정에 220/110V를 공급한다.

일반적으로 전력선에 전류가 흐르면 그림 5와 같이 전계가 발생된다. 전력선이 완전 평형이면 차분 전류(differential current)에 의한 전계가 동일한 크기로 방향이 서로 반대이므로 그림 5와 같이 상쇄되어 0가 된다. 그러나 전력선이 불평형이면 공통전류(common current)에 의한 전계가 생성되어 부근의 무선통신에 영향을 주게 된다.

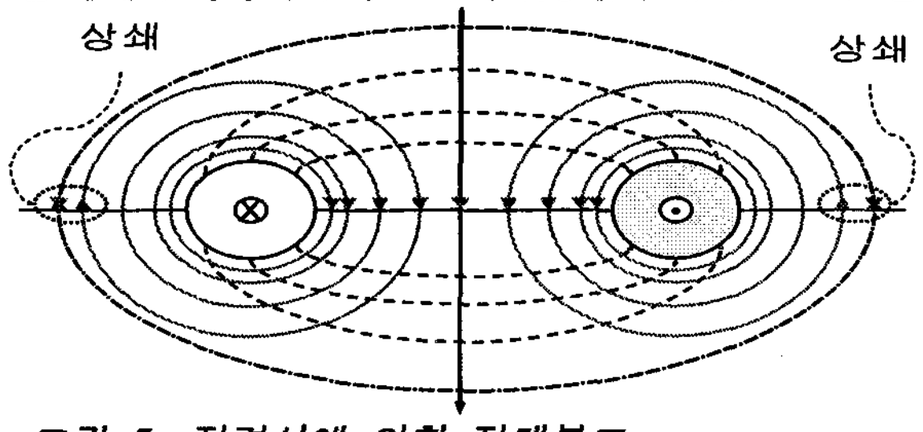

그림 5. 전력선에 의한 전계분포

Fig. 5. Electromagnetic Field Distribution near Power line

전력선을 통해서 높은 주파수의 신호를 전송하면 표피 효과에 의해서 주파수가 높을수록 감쇄가 커진다. 그러므로 모뎀의 출력을 높이거나 중계기를 사용해서 신호를 증폭시켜야 한다. 그러나 출력 전력을 높이면 방사가 커지므로 간섭을 줄이기 위해서는 적정 거리에 중계기를 사용하는 것이 효과적이다.

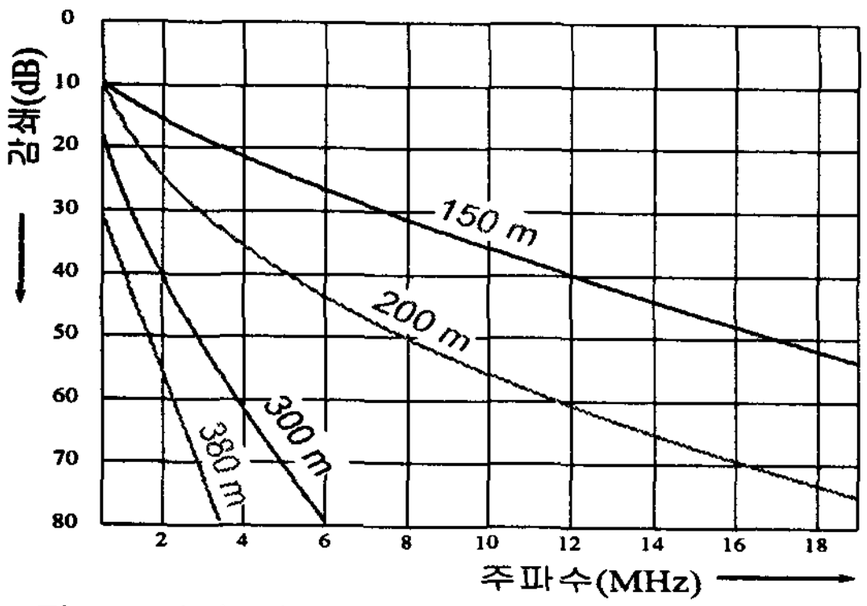

그림 6. 거리 및 주파수에 따른 신호 감쇄

Fig. 6. Attenuations according to Distance and Frequency

전력선에서는 이러한 신호 감쇄 이외에도 협대역 간섭, 배경 잡음, 전력선에 의한 주기적 펄스 잡음, 비동기에 의한 펄스성 잡음 등 매우 많은 통신 장해를 받게 된다. 그러므로 전력선 모뎀은 이러한 현상을 고려해서 설계되어야 한다.

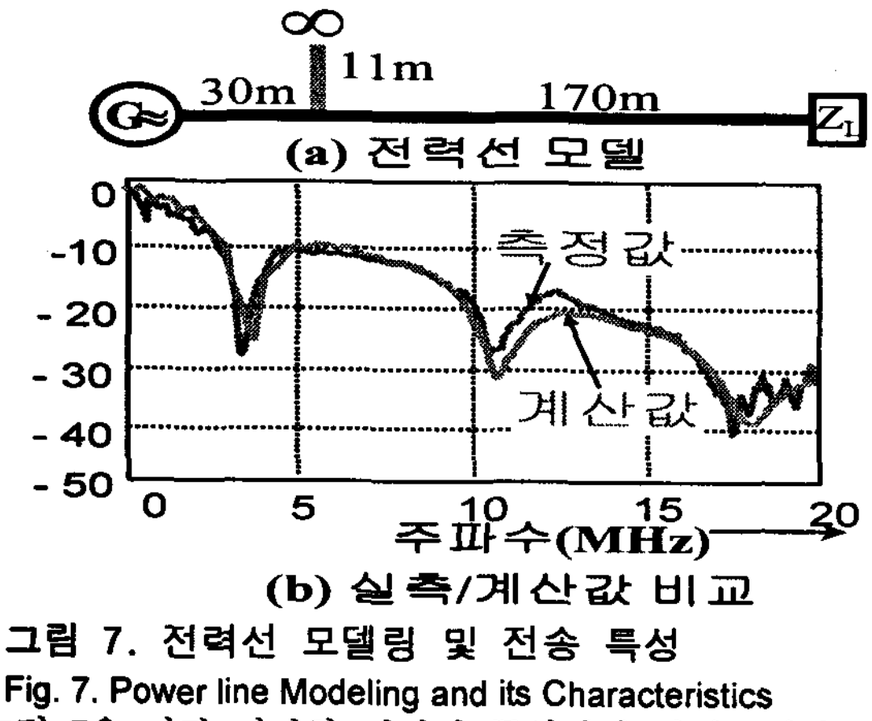

그림 7. 전력선 모델링 및 전송 특성

Fig. 7. Power line Modeling and its Characteristics

그림 7은 가장 간단한 전력선 구성에서 감쇄, 배경 잡음 등을 구현한 전력선 모델링에서 계산된 값과 실제 측정값을 비교하였다. 특정 주파수에서 신호가 많이 감쇄되는 주된 이유는 전력선에서 임피던스 매칭을 전혀 고려하지 않기 때문에 발생하는 반사파에 의해 발생된다. 그러므로 전력선의 구성이 더 복잡해질수록 특정 주파수에서의 부분적인 감쇄가 많이 발생할 것이다. 이러한 전력선의 전송 특성에서는 OFDM방식과 같은 다중 캐리어 변조방식이 매우 유리하다.

Ⅳ. 전력선 모뎀 특성

전력선통신 모뎀은 전화선 모뎀, ADSL, VDSL, 케이블 모뎀등과 같은 정보통신기기이다. 그러나 전력선통신 모뎀은 기존에 전력을 전송하기 위해 설치된 전력선을 이용한다.

전력선통신 모뎀은 오래 전부터 대부분의 국가에서 저속주파수대역(450kHz 이하)에서 사용하고 있었다. 그러나 인터넷 통신의 활성화로 다양한 액세스망이 개발되었다. 전력선통신도 이러한 액세스망 중 하나로 부상하였으며 주파수 대역을 30MHz까지 이용해서 20-30Mbps정도의 속도를 처리할 수 있는 유력한 고속 액세스망으로 부상하였다. 최근에는 80MHz까지 이용해서 200Mbps까지 속도를 향상시킨 고속 전력선통신 모뎀이 실용화 단계에 있다.

전력선통신 모뎀은 현대 통신에서 요구되는 고속 데이터전송기능 및 유비쿼터스 기능을 만족하고 있다. 그러나 주파수의 물리적인 특성상 고속의 신호가 유선 매체를 통과할 때 표피 효과에 의한 신호 방사가 발생해서 방사된 에너지가 다른 무선설비 등에 영향을 주게 된다. 특히 전력선통신 모뎀이 신호 전송을 위해 사용하는 전력선은 50-60Hz의 전력을 전송하기 위해서 설계된 전력망으로 주파수 증가에 따른 에너지 방사 증가는 전력선통신 모뎀의 활성화에 커다란 장애요인이다.

통신선을 사용하는 ADSL, VDSL 등은 통신선 자체가 다른선로에 영향을 최소화하기 위해서 차폐되거나 꼬임(twist)이 되어 있으며 완전 차폐를 위해서 동축 케이블을 사용하기도 한다. 그러므로 전력선에 비해서는 상대적으로 에너지 방사가 적다. 전력선통신에서는 대부분 전력선에서 방사가 문제이지만 높은 주파수를 사용하면 모뎀 자체 회로에 의해서도 전파 방사가 증가하며 시스템간의 정합(matching)에 의한 영향도 매우 민감해진다.

전력선에서 에너지 방사를 줄이기 위한 방법은 제한되어 있다. 차폐는 거의 불가능하며 유일한 방법은 모뎀의 출력을 제한하는 것이다. 그러나 이 경우에도 출력을 낮은 수준으로 제한하면 전송 거리가 짧아져서 중계기를 사용해야 하므로 경제성이 떨어지게 된다. 이를 극복하기 위해서 전력선통신 모뎀 제조업체들은 간섭에 강한 통신기술을 개발하고 채택하고 있다. 보편적으로 채택하고 있는 통신방식은 주파수 선택성에 의한 간섭 회피 기능이 있는 다중 캐리어 방식으로 DMT(Discrete Multi-Tone) 또는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)으로 알려진 것들이다. 일반적으로 두 방식은 유사한 방식이며 DMT방식은 ADSL, VDSL 등에 채택되었으며 OFDM방식은 무선LAN, 디지털방송 등에 채택되어 사용되고 있다. 이 두 방식의 기술적인 차이점은 각각 유선과 무선 환경에 적합하게 개발된 기술로 DMT의 경우에는 선로 상태가 급속히 변화하지 않기 때문에 선로 특성에 따라 채널 이득이 미리 정해지며, OFDM방식은 무선 환경에서 사용하기 위해 채널 특성이 나빠지면 그 채널을 사용하지 않도록 설계되어 있다. 최근에는 대부분 OFDM방식을 채택하고 있으며 이는 이미 사용주파수 대역에 할당된 무선 서비스를 보호 하기 위해서 노치 필터(notch filter)를 설계하는데 유리하기 때문이다.

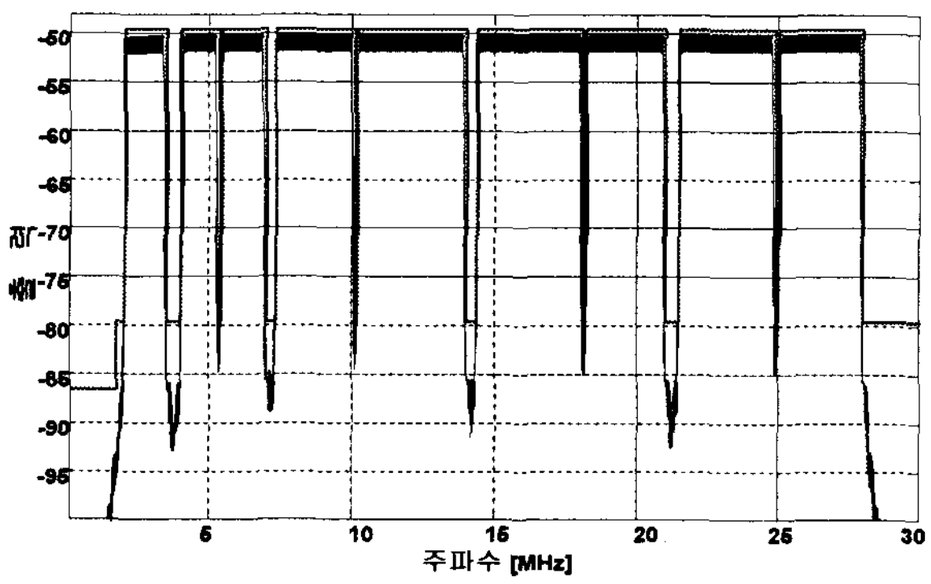

그림 8. 노치(아마추어대역)를 구현한 모뎀의 출력

Fig. 8. PLC Modem Spectrum Mask with Notchs in Amateur Band

V. 제외국 EMC 기술기준 비교

전력선통신 모뎀은 ADSL 서비스가 급격하게 보급되기 시작한 1990년대 말에 전세계 여러 국가에서 출현하여 2001년에는 미국의 전력선 협회인 HomePlug에서 고속 전력선통신 모뎀 표준을 발표하였다. 유럽에서도 ETSI와 CENELEC이 공동 협력하여 표준화 작업을 수행해 오고 있다. 일본 역시 2002년부터 정보통신 규제 완화 정책으로 고속 전력선통신 규제 완화 작업을 수행하였다. 우리나라에서도

2000년에 고속전력선통신 관련 규제 완화를 위해 관련 법규를 검토했다. 그러나 현재 고속 전력선통신 모뎀 표준은 미국의 HomePlug 가 잘 알려져 있으며 전세계적으로 실내 모뎀의 표준으로 활용되고 있다.

전세계적으로 전력선통신에 대한 각국의 기술기준 제정 접근 방법은 크게 두 가지로 분류된다. 첫번째는 미국, 캐나다, 호주, 한국 등에서 수행된 접근 방법으로 기존에 방사체(intentional radiator)에 대한 출력 전력에 대한 제한을 기준값으로 채택한 경우이다. 이 기준값은 일반 무선국에서 사용하는 출력 전력보다 매우 낮은 값으로 출력이 이 기준값 이하이면 면허없이 사용할 수 있는 소출력 기기가 이에 해당된다. 두 번째 접근 방법은 유럽, 일본 등이 현재 취하고 있는 방법으로 이들 국가들도 처음에는 첫번째 접근방법을 취하였으나 이에 대한 반발이 매우 거세고 해결 방법이 명확하지 않아서 기존 정보통신기기에 대한 EMC기준인 CISPR 22를 개정해서 자국의 기술기준으로 채택하려 하고 있다. 그러나 이에 대한 반발도 매우 크기 때문에 국제 표준을 통한 간섭 완화 및 회피 기술, 그리고 간섭 관리 방법을 조합해서 전력선통신을 활성화시키려고 노력하고 있다.

이미 HomePlug 1.0은 옥내 전력선 모뎀의 de-facto표준으로 전세계적으로 채택되고 있으며 IEEE P1901 Working Group에서도 2007년 6월에 200Mbps 전송 속도를 갖는 액세스 모뎀 표준을 제정했으며 OPERA 등과 국제적인 조화화에 노력하고 있다.

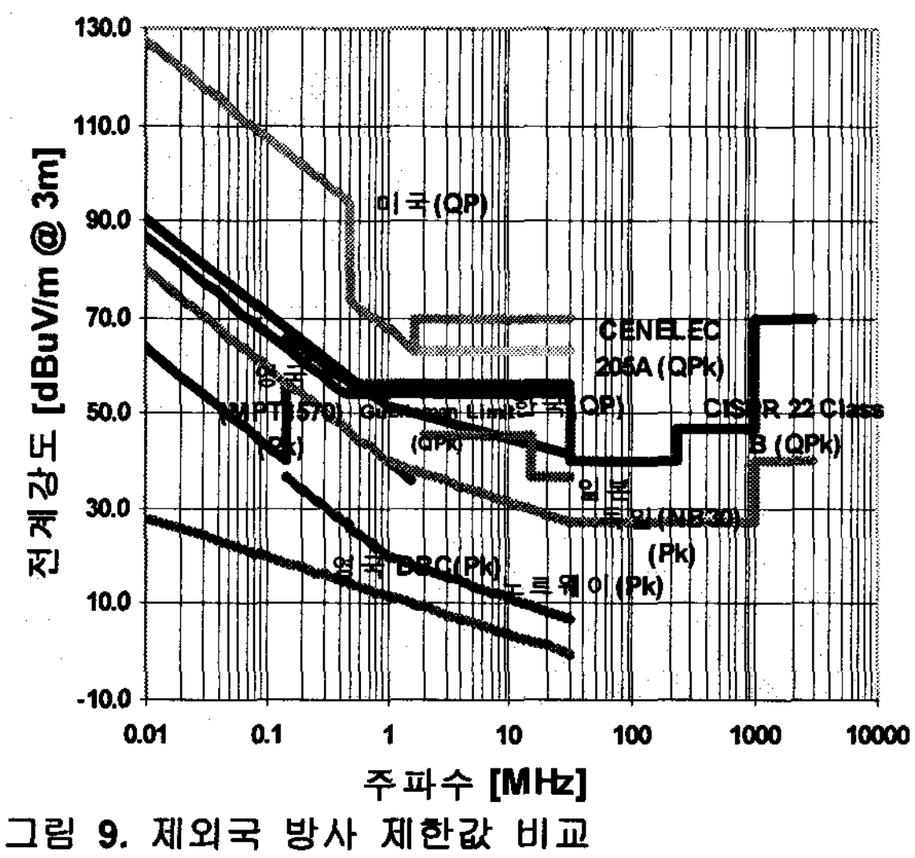

그림 9. 제외국 방사 제한값 비교

Fig. 9. Comparison for Field Strength by Some countries.

VI. 결론

본 논문에서는 고속 전력선통신 전개에 가장 큰 걸림돌인 간섭을 회피하거나 완화하기 위한 방법을 분석했으며 이에 대한 정확한 이해를 위해서 전력선 특성, 전력선 모뎀 기술, 그리고 기술적 특성에 대한 제도적인 규제를 분석하였다.

전력선통신은 가장 경제적으로 각 가정에 광대역 통신서비스를 제공할 수 있다. 그러나 전력선을 통한 고주파 신호 방사가 이 주파수 대역에서 사용 중인 무선 서비스에 간섭을 주기 때문에 사용을 제한하고 있다.

이러한 간섭의 영향을 줄이기 위해서 각국은 전력선으로부터 방사되는 신호의 세기를 제한하는 기술기준을 제정하고 있으며 기술적으로 간섭을 줄이기 위한 간섭 완화 및 회피 기술을 개발해서 채택하고 있다. 이외에도 조난/안전통신, 해상/항공통신 등 인명과 관련된 중요 통신과 전파 천문, 아마추어무선, 방송 등과 같이 생활에 밀접한 무선 서비스에 간섭을 주지 않도록 사용 주파수 대역을 제한하거나 지역적으로 금지하도록 하고 있다. 또한 전력 공급을 위해 망을 운용하는 전력 사업자를 통신사업자를 선정해서 전력선에 따른 간섭 원인이 제거되지 않는 최악의 상황에 통신망 전력을 차단할 수 있도록 제도적인 장치를 검토하거나 운용(미국 등)하고 있다.

이러한 복잡한 제도를 피하기 위해서 기존의 정보통신기기처럼 EMC 기준(CISPR 22)을 보완해서 기술기준을 제정하려는 움직임도 있으나 아마추어무선이나 방송 등 기존 무선 서비스 운용자들의 반발이 매우 심하다.

특히 미국과 같은 경우에는 전력선을 통해서 모든 가정에 광대역 통신서비스를 보급하려는 정책 의지가 강해서 전국가적으로 전력선통신 연구를 지원하고 있다. 뿐 만 아니라 ITU-R Study Group 1에서도 전력선통신에 대한 연구를 강화하기로 결의하였다.

국내의 경우에 이미 옥내/외 전력선통신을 제도적으로 허용하고 있다. 그러나 전력선통신망 운용 등과 같은 관리의 보완이 필요하며, 현재 30MHz 이하로 제한되어 있으나 국제적으로는 80MHz정도까지 사용할 수 있도록 검토되고 있으므로 이에 대비한 국내 전파 환경 분석 및 광대역 통신 기술 연구 등이 필요하다.

참고문헌

[1] 장동원, "전력선통신모뎀의 전자계강도 측정방법 연구", 한국정보통신설비학회 하계학술대회 논문집, Aug. 2006.

[2] 장동원, 조평동, "고속전력선통신 기술 동향 및 기술기준 연구", 한국정보통신설비학회 하계학술대회 논문집, Aug. 2005.

[3] 장동원, 조평동, "국내 고속전력선통신 도입을 위한 기술기준 분석", 한국정보통신설비학회 하계학술대회 논문집, Aug. 2004.

[4] HomePlug, HomePlug 1.0 Specification, June 30, 2001.

[5] FCC, Part 15 Subpart G, 2005.

[6] CEPT, " Draft ECC report on PLT, DSL, cable communications(including cable TV), LANs and their effect on radio services", 18 Sep. 2002.

[7] 일본 총무성, "高速電力線搬送通信に関する研究会報告書", Dec., 2005.

[8] ITU-R, Annex 4 to TG 1/8 Chairman's Report, Preliminary Draft New Recommendation ITU-R SM.[UWB.MES], Measurement techniques of emissions from systems using ultra-wideband technology, June 15, 2005.

[9] CISPR/I/44/CD "EMC of Information technology, multimedia equipment and receivers", Dec., 2002.

장 동 원

1983년 한국항공대학교 통신공학과(학사) 졸업.
2002년 충남대학교 전파공학과(석사) 졸업.
2005년~현재 충남대학교 전파공학과 박사과정.
1989년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
관심분야는 통신시스템설계, 통신신호처리, 통신프로토콜 시험기술, 무선설비 기술기준, 전파전파 측정

이 영 환

현재 한국전자통신연구원 책임연구원