

고주파 전력선통신을 위한 신호결합장치와 신호손실에 영향을 주는 인자

변우봉\* · 김현식\*\* · 광귀일\*\*\* · 주성호\*\*\*  
 \*한국전기연구원 · \*\*(주)매트론 · \*\*\*한국전력연구원

Coupling unit for high frequency PLC and factors influencing signal attenuation

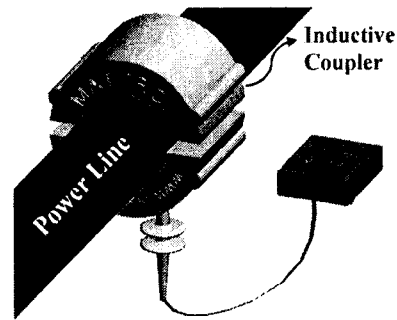
Woo-Bong Byun\* · Hyun-Sik Kim\*\* · Kwi-Yil Gwak\*\*\* · Sung-Ho Ju\*\*\*  
 \*KERI · \*\*matrone Co. Ltd. · \*\*\*KEPCO

**Abstract** - 중, 저압 배전 시스템을 통신망으로 사용하는 전력선 통신(PLC, Power Line Communication)에서 신호결합은 하드웨어 측면에서 매우 중요하다. 본 논문에서는 2-40MHz의 통신 신호를 수백 A의 전류가 흐르는 배전선으로 보내고 추출하는 유도성 신호결합장치와 통신신호 손실에 대하여 조사하였다.

포화되는 것로부터 막아주는 역할을 하지만, gap의 길이가 크면 클수록 결합계수 k는 작아져 결합 효율은 감소된다. 이러한 두 가지 효과를 감안하여 코아의 gap을 포함한 형태의 최적화 설계가 필요하다. 즉, 유도성 신호결합장치의 결합 효과는 자기 코아의 자기 특성, 형태, gap의 길이와 배전선의 특성 임피던스와 같은 인자들에 의해 변한다. 이것은 유도성 결합장치가 설치되는 배전선의 특성과 조화를 이루어야 한다는 것을 의미한다.

1. 서 론

광역 통신은 세계를 정보통신 사회의 기본 골격 안에 두었으며, 현재 광역 통신으로는 케이블 TV(CATV), ADSL 또는 고속(고주파) PLC 등이 사용되어지고 있다. 이 중에 고속 PLC 기술은 현존하는 전력선을 사용하여 새로운 통신선의 설치 필요성을 없애는 동시에 증가 추세의 광역 통신망의 대안으로 떠오르고 있다. 통신수단으로서의 전력선 통신은 전력선의 특성이 잘 알려져 있지 않고, 전력기와 가전제품들이 전력선에 연결될 때 전력선의 특성이 변하기 때문에 아직까지 전력선 통신 시스템은 광범위하게 사용되고 있지 않다. 그러나 이러한 문제점이 있음에도 불구하고 고속 전력선 통신은 아날로그 회로기술, 디지털 신호처리 기술 및 대규모 집적화(LSI) 기술의 발전에 따라 경제적으로 가치가 있는 것으로 전망된다.

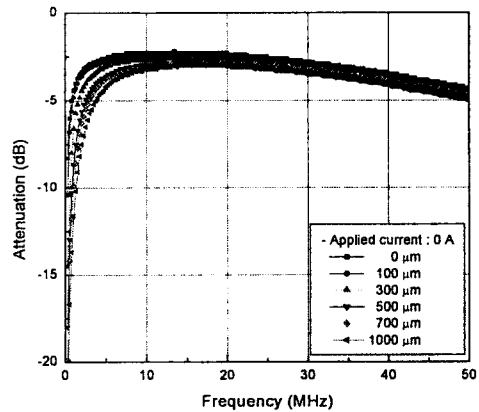


<그림 1> 유도성 결합장치의 구성도

고속 PLC 네트워크 시스템은 이미 존재하고 있는 MV와 LV 전력선을 사용하여 망 네트워크를 형성하도록 설계되어져 있고, 사용자에 인터넷 access(접근)와 인터넷 전화(VoIP)서비스를 제공해준다. PLC access 형태의 망 시스템은 중전압 접속점(백본 망 네트워크와 연결됨), 수용가 측내 장비(CPE), MV 분기점과 CPE 사이에 신호를 전달시키는 리피터(REPs)와 고주파 신호를 전력선에 결합하는 신호 결합장치 등으로 구성되어져 있다. 사용자는 고속 인터넷 access를 가질 수도 있고 컴퓨터를 Ethernet(RJ45) 또는 CPE의 USB에 연결시킴으로서 영상물을 download하거나 비디오 streaming과 같은 고속 디지털 서비스를 사용할 수도 있다. 동시에 아날로그 전화를 CPE의 전화에 연결함으로써 인터넷 전화 서비스를 받을 수도 있다. 이러한 고속 PLC의 응용분야로는 앞에서 언급한 고속 인터넷 서비스와 인터넷 전화 서비스 외에도 자동점침기(AMR, Automatic Meter Reading), 전력 시스템 누전 감지, 전력 손실 감지, 누설전류 감지, 홈 시큐리티뿐만 아니라 전력회사를 위한 전력 장비 관리, 온라인 게임, 홈 네트워크, 고객을 위한 선전 서비스 등이 있다.

그림 2은 고속 PLC용 유도성 커플러의 air gap의 변화와 주파수 변화에 따른 신호 감쇄율을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 동일 주파수에서 air gap이 0에서 1000 $\mu$ m로 증가함에 따라 손실은 미약하나마 커지고 있는 것을 나타내주고 있다. 그림 3은 Fe-Si-B-Nb-Cu 성분의 초미세 결정질 합금인 코아 소재로 만든 커플러로서 22.9KV 지중케이블용 유도성 커플러로서 1.7-30MHz의 주파수 범위에서 약 3dB의 감쇄율을 나타낸다.

고속 전력선 통신에서 핵심 구성 요소인 신호 결합장치는 2-30MHz의 주파수 대역의 통신 신호를 배전선으로 보내는 부품으로 PLC 시스템의 핵심이다. 이러한 신호 결합장치는 크게 용량성(capacitive) 신호 결합장치와 유도성(inductive) 신호결합 장치로 분류된다. 전자는 배전선에 직접 연결되어 사용하는 것으로 신호 감쇄(손실)는 적지만 설치의 위험성이 있으며 가공선에 사용되어진다. 반면 후자인 유도성 결합장치는 배전선과 직접적으로 접촉하지 않고 배전선에 신호를 결합시킬 수 있기 때문에 고 신뢰성과 작업이 용이하다는 장점이 있어 지중케이블에 사용되어진다.



<그림 2> Air gap에 따른 신호 감쇄율 특성

2. 본 론

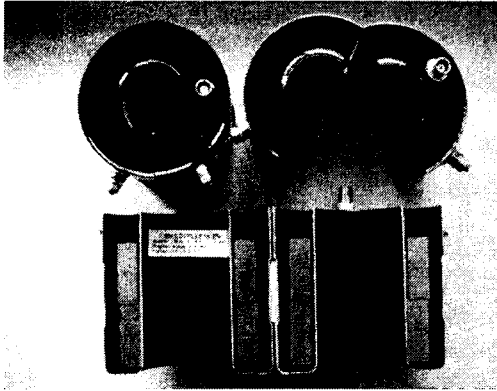
2.1 유도성 신호결합장치

유도성 신호결합장치는 구조적으로 gap을 가지고 있는 자기 코아, 배전선과 모뎀 출력 코일로 구성되어져 있으며(그림1), 배전선과 출력코일은 자기 코아 주위에 감겨져 있다. 배전선과 모뎀 출력선 사이에 상호 인덕턴스(inductance)에 의해 RF(Radio Frequency) 신호는 배전선에 결합되어져 있다. 자기 인덕턴스(self-inductance)에 대한 자기 코아 상호 인덕턴스의 비를 코아의 결합계수(k)라 하는데, 이러한 결합계수는 결합 효율과 직접적으로 관계가 있다. 1500nH에서의 자기 인덕턴스를 가지는 유도성 결합장치에서 계산된 결합계수(k=0.85, 0.9, 0.95)에서 주파수에 따른 결합 효율을 나타내보면, 결합계수가 크면 클수록 결합 효율은 더 좋아지며, 결합 효율은 10 MHz 이상의 주파수에서 유도성 결합 효율에 효과를 나타낸다. 그리고 자기 코아에 허용된 gap은 자기 코아가 배전선을 가로 질러 흐르는 전류에 의해

2.2 전력선 통신의 신호 손실

고속 전력선 통신에서 잡음(noise)은 전력선에 연결된 장비들에 의해 야기된다. 이것은 전력선을 통한 무선 주파수(radio frequency)의 신호전달은 시간과 마찬가지로 위치에 따라서도 변한다는 것이다. 주파수 대역의 관점

에서 전력선의 특성을 살펴보면, 2MHz 아래의 밴드는 잡음이 많고 낮은 임피던스(impedance) 때문에 고속 통신을 하기에 불리한 상태를 나타내며, 2-30MHz 범위에서는 이 범위에서 신호 전송이 손실을 초래함에도 불구하고 상대적으로 낮은 잡음을 가지고 있어 광대역 매체로 사용하는 것이 가능하다.



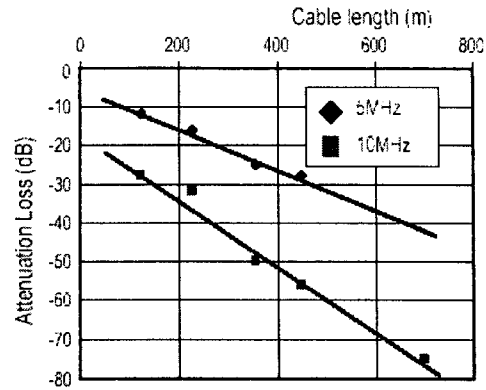
<그림 3> 22.9KV 지중케이블용 유도성 커플러

근본적으로 전력 공급을 목적으로 한 전력선이 통신용으로 사용되어질 때, 전송손실 특성, 임피던스 및 기타 등등이 크게 변하기 때문에 이런 전력선에 고속으로 고주파 신호를 전달하기 위해서는 높은 수준의 기술적 숙련이 요구된다. 전력선의 신호 전달 특성의 약화에 기여하는 인자들은 전력선 자체의 손실(고주파 손실), 전력선에 연결된 배전 기기로부터의 영향, 배전기기, 가전제품으로부터 발생하는 잡음(noise), 전력공급을 목적으로 설치된 분기선으로부터 발생하는 반사에 의한 multi-path(분기손실) 등이다. 따라서 고속 PLC 시스템의 개발을 위해서는 신뢰성과 고속의 전송 속도로 데이터, 음성, 영상과 비디오와 같은 여러 종류의 서비스를 제공하는 것이다. 더불어 높은 전압에서의 안정성 확보, 외부의 고온상태에서의 적용될 수 있는 사양 및 설치의 용이성 등이다. 그리고 기존에 있는 배전선은 통신 목적을 위해 사용되기 때문에 2-30MHz의 주파수 범위에서 PLC는 배전선의 단일 전송 특성에 의해 영향을 받는다. PLC 시스템을 설계하기 위해 그림 3에 나타난 단계를 거쳐야 한다. 배전선의 특성을 이해하고, 그것의 특성을 통신선으로서 평가하고, 적절한 전력시스템을 구성하여 모델링해서 이러한 모델을 분석하는 기술들은 모든 경우에서 필수적이다.

### 2.2.1 배전선 특성 분석

고속 전력선 통신은 통신망으로 중, 저압 배전선을 이용하기 때문에 배전선의 특성이 중요하다. 배전선 특성분석에 중요한 인자들은 배전선의 길이와 특성 임피던스는 물론 유효상대투자율(effective relative permmissibility)과 도체의 절연 표피에 의한 유전 손실율(dielectric dissipation factor)을 포함한다. 전달 손실의 원인은 전기 저항에 의한 전도손실, 도체를 감싸는 절연표피로부터의 유전손실과 신호가 다른 배전선의 경계를 관통할 때 특성 임피던스의 차이에 의해 일어나는 반사손실을 포함한다. 앞에서 언급한 손실 중에 전도 손실은 주어진 도체의 크기와 특성에 의해 결정되어지고, 반면 유전손실은 유전 손실율과 배전선의 절연표피의 구조에 의해 결정된다. 일반적으로 전도와 유전손실은 배전선 길이와 감쇄 상수에 대한 수치를 사용해서 계산되어질 수 있으며, 감쇄상수는 특성 임피던스, 저항과 전도도(conductance)의 집합체로 표시될 수 있다. 반면 배전선은 분포상수회로(distributed constant circuit)의 형태로 표시된다. 한편, 배전 저항은 전도체의 표면적과 전기전도도로 표시될 수 있다. PLC에서 사용되는 무선주파수(RF frequency)에서 전류는 표피(skin)효과에 의한 전도체의 표면을 통해 흐르고, 전류는 도체표면을 따라 흐른다고 생각할 때 전류 흐름에 기여하는 도체 표면으로부터의 깊이를 취하는 것이 필요하다. 배전선 전도도에 대한 수치는 배전선들 사이에 전기용량과 그들의 유전 손실율(dielectric dissipation factor)로 표시된다. 반사손실은 두 개의 이웃하는 배전선들 사이에 특정 임피던스 값들 사이에서 일어나고, 그들의 특성 임피던스 값에 의해 결정된다. 배전선의 특성 임피던스는 배전선의 구조와 도체를 감싸는 절연표피의 유효상대투자율(effective relative permmissibility)과 같은 값으로 결정된다. 그 값은 사용하는 전기선의 형태에 따라 의존하며 수직에서 수백 오옴( $\Omega$ )의 값을 갖는다. 따라서 위의 여러 가지 손실들을 계산함으로써 배전선에 의한 전달 손실을 계산하는 것이 가능하다. 즉, 신호의 출발점으로부터 사용자까지 노출되는 전달손실 값이다.

그리고 그림 4는 각각 5MHz와 10MHz의 주파수에서 케이블 길이에 따른 신호 감쇄를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 감쇄는 케이블 길이에 의존적이며, 감쇄 특성은 주파수가 높으면 높을수록 감쇄는 더 크게 나타난다. 반면 가공 배전선의 경우는 케이블의 경우와 달리 주파수 의존성이 명확히 나타나지 않는다.



<그림 4> 케이블의 신호 감쇄에 대한 주파수 특성

### 3. 결 론

본 논문은 1.7-30MHz의 주파수 대역의 고속 전력선 통신에서 핵심부품 중 하나인 신호결합장치와 배전선을 중심으로 한 신호 손실에 영향을 주는 인자들에 대하여 여러 가지 측면에서 알아보았다. 고속용 유도성 신호결합장치에 대해서는 자기결합계수를 높이고 적당한 air gap을 유지할 경우, Fe-Si-B-Nb-Cu 성분의 초미세 결정질 합금인 코아 소재를 사용한 지중케이블용 유도성 커플러에서 약 3dB의 신호 감쇄를 나타낸 특성을 보여주었고, 전력선 통신에 신호 손실을 일으키는 인자들에 대해서는 본 논문에서 제시한 각각의 특성을 고려한 모델링을 통한 평가 분석을 행할 시 전력선 특성이 개선될 수 있을 것으로 사료된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 저자명, "논문제목", 논문지명, 권호, 페이지, 출판년도
- [2] 저자명, "논문제목", 논문지명, 권호, 페이지, 출판년도
- [3] 저자명, "논문제목", 논문지명, 권호, 페이지, 출판년도