

## Development of Signal Coupler for Power Line Communication over Medium Voltage Distribution Line

李在祚<sup>†</sup> · 朴永鎭<sup>\*</sup> · 吳輝明<sup>\*\*</sup> · 金觀鎬<sup>\*\*\*</sup> · 李大寧<sup>§</sup>

(Jae-Jo Lee · Young-Jin Park · Hui-Myoung Oh · Kwan-Ho Kim · Dae-Young Lee)

**Abstract** - For broadband high-data-rate power line communication with the allocated frequency bandwidth from 2 to 30 MHz on medium voltage (MV) distribution power lines, a signal coupling unit is developed. The coupling unit is composed of a coupling capacitor for coupling communication signal, a drain coil, and an impedance matching part. The coupling capacitor made of ceramic capacitor is designed for transmission property of better than 1 dB in the frequency range. The drain coil is used for preventing low frequency high voltage from junction of medium voltage power line in case that a coupling capacitor is not working properly any more. Also, using ferrite core, a novel broadband impedance matching transformer is developed. A complete coupling unit with a coupling capacitor, a drain coil, and a matching transformer is housed by polymer for good isolation and distinguishing from high voltage electric facilities. Each is fabricated and its frequency behavior is tested. Finally, complete signal couplers are equipped in a MV PLC test bed and their performance are measured. The measurement shows that the coupling capacitor works excellently.

**Key Words** : 전력선통신(Power line communication:PLC), 고압 배전선로 (Medium voltage distribution network), 신호결합장치 (Signal coupling unit)

### 1. 서 론

최근 전력선 통신 기술은 모뎀 기술과 네트워크 기술의 발달로 차세대 유비쿼터스 네트워크를 구축하기 위한 가장 효과적인 기술로 대두되고 있다. 이는 전기 에너지 즉 전력을 공급하기 위해 사용하는 전력선이 전기 문명이 있는 곳에는 어디든지 이미 설치되어 인간 생활에 근접되어 있으며, 일반 통신망보다도 더 광범위하게 분포하고 네트워크화가 되어 있기 때문이다. 이러한 장점으로 인해 최근 몇 년간 전력선 통신 기술은 전력선 통신 모뎀과 네트워크 기술에 대해 치열한 개발 경쟁이 있었고, 현재에도 초고속의 모뎀 개발 및 응용 네트워크 개발에 많은 연구 개발이 진행되고 있다.

1990년대 이전의 전력선 통신 기술은 450kHz이하의 저주파 대역에서 주로 저속 데이터 서비스에 해당하는 전력회사의 원격검침, 배전자동화 및 변전소간 음성서비스를 목적으로 사용되었으나, 1995년 영국의 NorWeb사에서 2-30MHz 고주파 대역을 사용하는 DPLC (Digital Power Line

Communications) 개념의 1Mbps급 전력선 통신 모뎀 개발을 시초로 하여 현재는 고속 디지털 신호 처리 및 통신 기술을 바탕으로 한 100Mbps급 모뎀 칩셋 개발이 추진되고 있다. 국내에서는 한국전기연구원과 칩셋 개발 업체인 젤라인, 그리고 전력회사 및 관련 산업체의 협력을 통해 홈네트워크, 음성(VoIP) 및 인터넷 서비스, 전력설비용 전력통신망 혁신 등의 최적 솔루션으로서 기술개발 및 상용화가 이루어지고 있다.

전력선 통신 모뎀은 전력신호의 유입에 대해 회로를 보호하고 고주파에 해당하는 통신 신호만을 효과적으로 전달하기 위해 적절한 신호결합장치를 필요로 한다[1]. 이는 kV급의 고전압 전력신호가 존재하는 배전선로를 통해 통신할 경우, 이에 대해 특성화된 신호결합장치의 설계가 필요하게 된다.

신호결합장치는 주파수 대역별로 구분되는데 저주파 대역(450kHz)의 신호결합장치는 주로 필름 커패시터를 사용하고, 고주파 대역(2-30MHz)에서는 용량성(Capacitive) 및 유도성(Inductive) 방식을 모두 실제 상황에 맞게 제작하여 사용한다. 보통 용량성 신호결합장치는 배전선로와 물리적인 접촉을 하여 사용하므로 접촉식 신호결합장치, 유도성 신호결합장치는 배전선로에 물리적인 접촉이 없는 클램프형으로 부착되어 비접촉식 신호결합장치로 명명된다. 일반적으로 접촉식 신호결합장치는 가공지선용으로, 비접촉식 신호결합장치는 지중케이블용으로 사용된다.

유럽 국가들은 대부분 배전선로가 지중화 되어 있어 지중케이블용 비접촉식 신호결합장치에 대한 연구[9]가 활발하며, 상용화 제품이 독일과 스페인에서 판매중이다. 미국의

† 교신저자, 正 會 員 : 韓國電氣研究院 前任研究員

E-mail : jjlee@keri.re.kr

\* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 前任研究員

\*\* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 研究員

\*\*\* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 責任研究員

§ 正 會 員 : 慶熙大學校 正教授

接受日字 : 2005年 1月 31日

最終完了 : 2005年 4月 12日

경우 가공 배전선로에 대한 비접촉식 신호결합장치[10] 및 접촉식 신호결합장치에 대한 연구[11][12]가 많으며 비접촉식 신호결합장치에 대한 제품이 몇 개 회사를 중심으로 사용 중이다. 그러나 가공 배전선로에 대한 비접촉식 신호결합장치는 신호결합손실이 10dB 이상을 가지므로 장거리 신호 전송용으로는 부적합하고, 가공 배전선로에 대한 임피던스 정합이 어려운 신호 결합 손실이 더욱 커지는 단점이 있다. 다만 지중케이블용으로는 비접촉식 신호결합장치가 협소한 지중 배전반의 합체 내부에 쉽게 실장 될 수 있고, 낮은 임피던스(20옴)에 대한 정합이 용이한 이유로 주로 사용되고 있다.

또한 미국에서 개발된 접촉식 신호결합장치[11]는 임피던스 정합회로가 없는 이유로 해서 통과손실이 20dB 이상인 것으로 알려져 있다. 물론 신호결합장치 외부에 임피던스 정합회로를 부가한다면 신호 결합 이득이 커지겠지만 가공 배전선로의 환경에서는 부적합한 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 3상 4선식 가공 배전선로를 사용하는 우리나라에 적합한 고주파 전력선 통신 신호 결합장치 [13]를 개발하였으며, 이는 신호결합을 위한 커패시터부, 회로 보호를 위한 드레인 코일부 및 최적 신호 전달을 위한 임피던스 정합부로 구성되어 있다. 본 논문의 2절에서는 신호결합장치의 요구기능과 고압 신호결합방식을 설명하고, 신호결합장치의 구조와 세부사양 및 각 부위의 물리적 특성을 설명한다. 특히 신호결합장치에 내장할 수 있는 임피던스 정합회로인 임피던스 매칭 트랜스포머를 설명한다. 그리고 개발된 신호결합장치의 최종 신호투과 특성으로 고주파 대역(2-30MHz)에서의  $S_{21}$  특성 그래프를 나타낸다. 3절에서는 실제 구현 제작된 고압용 신호결합 장치의 실증시험 방법과 임피던스 정합에 의한 신호 반사 특성 및 임피던스 정합의 효과를 설명한다. 마지막 4절에 본 논문의 결론 및 앞으로의 개발 방향을 제시하고자 한다.

## 2. 고압 배전선로용 신호결합장치

### 2.1 고압 배전선로용 신호결합장치 기능

고압 배전선로용 고주파(2-30MHz) 전력선 통신 신호결합장치는 주상변압기와 같은 각종 신호 손실 요소를 우회(bypass)하여 변압기 2차측 모뎀의 신호를 1차측 고압배전선에 주입하거나 고압배전선상의 신호를 변압기 2차측에 전달하는 용도로 사용된다. 일반적으로 주상변압기는 신호전달측면에서 볼 때 100kHz 이하 주파수 신호만을 통과시키는 특성을 나타내며 따라서 저주파 패스필터(LPF)로 볼 수 있다. 그러므로 1MHz 이상의 신호를 전송하는 고주파 광대역 전력선 통신이 가능하기 위해서는 주상변압기를 경유하지 않고 신호전송이 가능하도록 신호의 우회가 필요하다. 이러한 우회로에 해당하는 신호결합장치는 신호결합장치로서의 기본적인 신호결합 특성과 함께 고압 배전선로에 적용되기 위해 특별히 고안된 기능을 통해 최적화 되어야 한다.

본 논문에서 소개하는 고주파 전력선 통신 신호(2MHz~30MHz)를 위한 고압 배전선로용 신호결합장치의 특징은 아래와 같다.

- 배전급 22.9kV 적용을 위한 절연 내력 설계
- 고주파 신호 전달 특성을 위한 고내압 커패시터

- 서지 및 유입전류 제거용 드레인 코일 및 접지
- 최대 신호 전달 조건을 위한 임피던스 정합 트랜스포머

이러한 전력선로용 부가 장치는 전기부품과 전자통신부품의 양면성을 가지므로 다양한 측면의 시험이 필요하다. 특히 전기적 특성 시험은 안전을 위하여 장기간에 걸쳐 시행되어야 한다. 실험실 수준에서의 특성시험은 규정치를 만족하더라도 실제 필드에서는 다양한 외부 환경에 의하여 원하는 신뢰성을 확보하지 못하는 경우가 많다. 따라서 일정기간이상의 필드내구성 시험을 거친 제품만을 실선로에 설치하여 전체 전력선 통신망의 통신신뢰성을 확보하여야 한다.

### 2.2 고압배전선로 신호결합방식

고압 배전선로용 신호결합 방법은 크게 대지귀로방식(Wire-To-Ground)과 금속귀로방식(Wire-To-Wire)으로 구분된다. 대지귀로방식은 한 개의 배전선로와 대지(Earth) 또는 중성선(Neutral Line)을 통신신호 송수신용 회로로 구성하는 방식이며, 금속귀로방식은 3상의 배전선로 중에서 2개 이상의 실 선로를 통신신호 송수신에 사용하는 방식이다.

그림 1은 신호결합장치와 대지귀로방식의 설치 구성도를 나타낸 것이다. 신호결합장치의 상단부는 고압 배전선로와 직접연결이 가능하나 본 연구에서는 설치안전성 및 편리성을 위하여 COS(Cut-Off-Switch)를 경유하도록 하였다. COS는 파괴형 휴즈가 내장되어 있어 제한 용량 보다 높은 전류가 흐를 때 절단되어 고압 배전선로와의 연결을 기계적으로 단절시킨다. 따라서 본 신호결합장치를 위한 COS의 휴즈 용량은 현재 사용중인 용량 중 가장 낮은 1A급을 사용하여 고압 배전선로용 신호결합장치의 커플링 커패시터부 파괴시 전력선통신장치와 고압 배전선로를 분리하여 보호할 수 있도록 하였다. 이는 고압배전선로를 이용한 신호전송 특성을 측정하기 위하여 여러 가지 시험을 수행할 경우, 필요시 용이하게 신호결합장치와 배전선로를 연결하고 분리하기 위한 용도로도 매우 필수적인 시스템 구성이다.

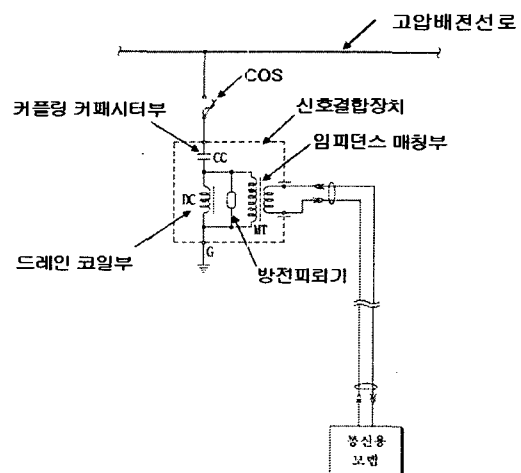


그림 1. 대지귀로방식 및 신호결합장치 구성도

Fig. 1. Illustration of arrangement of wire-to-ground (WTG) and a coupling unit.

일반적으로 금속귀로방식은 대지귀로방식에 비하여 전송 손실이 적어 장거리 전송 및 고속 전력선통신을 위한 백본 망에 적용되고 있다. 그림 2는 금속귀로방식에 의한 신호결합 장치의 시스템 구성도를 나타낸 것으로 고압 배전선로의 A상과 B상을 신호경로로 사용한 예이다. 고압 배전선로가 3상으로 가설된 경우 금속귀로방식이 적합하며, 단상선로가 많은 지선에서는 대지귀로방식이 불가피하게 적용된다. 또한 중성선이 없는 3상 3선식을 채택한 나라에서는 금속귀로방식이 당연 적용되며 이때에는 반드시 접지문제를 해결한 후 배전선로용 신호결합장치를 설치하여야 한다.

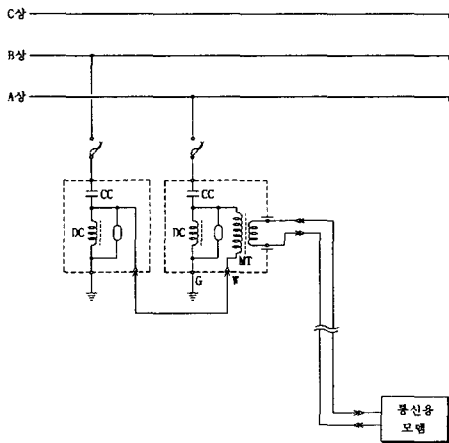
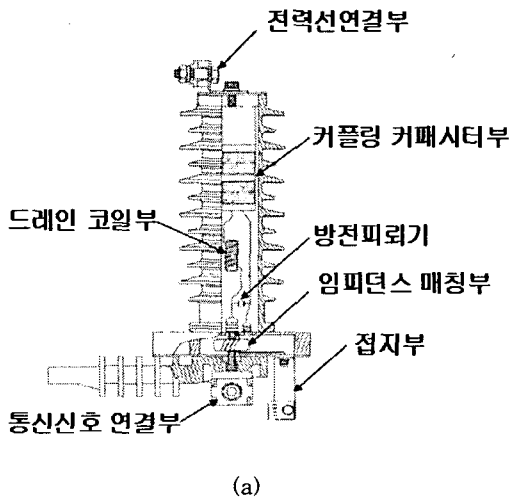


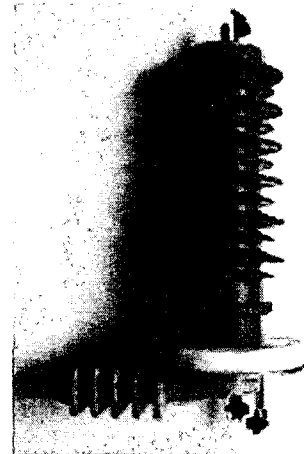
그림 2. 금속귀로방식 및 신호결합장치 구성도  
 Fig. 2. Illustration of arrangement of wire-to-wire (WTW) and a coupling unit.

2.3 고압 배전선로용 신호결합장치 구조

고압 고주파 신호결합장치의 내부구조는 그림 3에서 보는 바와 같이 전력선 연결부인 전력선연결부와 통신신호 대역의 커플링을 담당하는 커플링 커패시터부, 전력신호를 포함한 저주파대역을 통과시키는 드레인 코일부, 통과된 신호에 대하여 접지로 연결시켜주는 접지부, 고압배전선로와 전력선 모델신호의 임피던스 매칭을 위한 임피던스 매칭부, 선별된 통신신호를 다음 트랜스포머로 연결시켜주는 통신신호 연결부로 구성되어진다.



(a)



(b)

그림 3. 신호결합장치 내부구조 및 결합장치 사진.  
 Fig. 3 Schematic structure (a) and photograph (b) of a signal coupling unit

개발하고자 하는 신호결합장치는 고압 배전선로용이므로 무엇보다도 절연내력이 중요한 설계요인이 되며 또한 외관은 기존의 배전선로용 피뢰기나 애자류 등과 확연히 구분되어야 한다. 이는 전력공급을 위한 배전선로의 유지보수가 전기 설비 기능공에 의하여 이루어지기 때문에 충분한 교육과 설명이 있어야 하겠지만, 실제 필드에서 문제가 발생할 소지를 사전에 방지하기 위함이다. 이를 위하여 본 연구에서는 신호결합장치의 외관을 폴리머 하우징으로 실제 내압보다 약 25%정도 설계치를 높게 설정하여 제작하였다.

또한 커패시터를 폴리머 하우징 내에 삽입시 진공 물딩 공정에서 철저한 품질관리가 필요하다. 약간의 공기층에 의해서도 실제 내압이 인가된 상황에서는 발전성 결함이 발생하여 일정시간 경과 후 신호결합장치 자체가 파괴되는 경우가 많았다.

고압 배전선로용 신호결합장치는 설계시 외부신호 연결 단자의 구조와 내부 연결선의 재질 및 특성 등이 주요 고려 대상이 된다. 또한 드레인 코일은 폴리머 애자형태의 외함에 삽입하여 일체화하였다. 이것은 신호결합시스템의 설치의 간편성과 전력선 통신망의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 중요한 구성 방안이다. 신호결합장치의 하우징 재질로는 그림 3에서 보는 바와 같이 기존의 라인 어레스터와의 외형상의 구분과 절연 내력의 신뢰성을 위하여 폴리머를 사용하였다. 이러한 하우징의 재질은 신호결합장치의 특성 및 절연 내압에 따라 변경도 가능하다. 하우징 표면은 연면방전을 감안한 주름을 주어 안전거리를 확보한 형태를 채택하였다. 이 방법은 그동안의 여러 전력용 부품의 외장에 채택된 방법이다.

드레인 코일은 접지선과 연결되어 있으며 저주파 전기신호(~60Hz)에 대하여 낮은 임피던스를 가진다. 따라서 커패시터와 드레인 코일의 전압 배분시 인가된 전압은 주로 커패시터에 걸리게 된다. 이것은 결합 회로를 구성하는 보호 회로와 임피던스 정합 트랜스포머 및 전력선 네트워크장치에 대한 최초의 보호장치가 된다. 보호 원리는, 커패시터의 절연 파괴 시 저주파 전기 신호에 대하여 낮은 임피던스를

가지는 드레인 코일 방향으로 전기 신호가 흐르게 되어 안정성을 유지하는 방식이다.

고주파 통신신호는 커패시터에서 감쇄 없이 통과되며, 고주파 신호에 대해 낮은 임피던스를 가지는 트랜스포머 방향으로 전달되게 된다. 커패시터의 재질상의 주요 사항으로서, 기존의 저주파용(450kHz이하)으로 많이 사용되는 필름 커패시터로는 고주파 신호(1-30MHz) 전달 특성이 좋지 못하여, 고주파 신호 전달 특성이 향상된 세라믹 재질을 이용한 고주파용 커플링 커패시터를 개발하였다.

2.4 신호결합장치 사양

고압배전선로용 신호결합장치는 전력선 모델의 신호를 고압 배전선에 전달하기 위한 것으로 주요 개발 사양으로서 내전압 특성과 신호전송을 위한 광대역 특성을 만족해야 한다. 고압 신호결합장치의 주요 특성은 표 1에 나타내었다.

표 1. 고압 배전선로용 신호결합 장치 사양

Table 1. Specification of a coupling unit for medium-voltage power line communications

No	항 목	특 성
1	주파수 범위 (Frequency Range)	2MHz~30MHz
2	감쇄율 (Attenuation Ratio)	-3dB 이내
3	정격전압 (Rating Voltage)	22.9kV (3상4선식 고압 배전선로용)
4	내전압 특성 (단자-단자간) (Testing Voltage, T-T)	10sec at 40000VAC (R.V*2)
5	내전압 특성 (단자-케이스간) (Testing Voltage, T-C)	10sec at 40000VAC (R.V*2)
6	드레인 코일(Inductance)	1mH, M급
7	RIV 특성(Radio Influence Voltage)	Below 250μV at 1MHz
8	밀폐성(Airtight Char.)	80℃에서 이상 없을 것

2.5 신호결합장치 특성

2.5.1 커플링 커패시터부

요구조건을 만족시키는 커플링 커패시터의 두 가지 시료(1nF급, 2nF급)에 대한 주파수 특성을 임피던스 분석기로 분석한 결과를 그림 4와 그림 5에 나타내었다. 각각에서 1kHz~5MHz 주파수 대역내의 1.37885nF와 2.3543nF의 정전용량을 확인하였다.

정전용량은 1.2nF~3.0nF 정도로 요구되는 신호결합 특성과 내전압 특성 등을 고려하여 조정되어진다. 참고적으로 신호결합용 세라믹 커패시터의 경우는 용량 값이 상승하면 동일한 감쇄율(-3dB)을 기준으로 했을 때 고주파와 저주파 대역의 범위가 확대된다.

이러한 방법을 통하여 현재 저주파 통신대역(100kHz~450kHz)을 포함한 고주파 통신대역까지도 하나의 제품으로 가능하도록 하기 위한 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 고

압용 고용량 세라믹 커패시터의 제조와 제조된 커패시터의 직·병렬 조합기술이 복합되어야 한다.

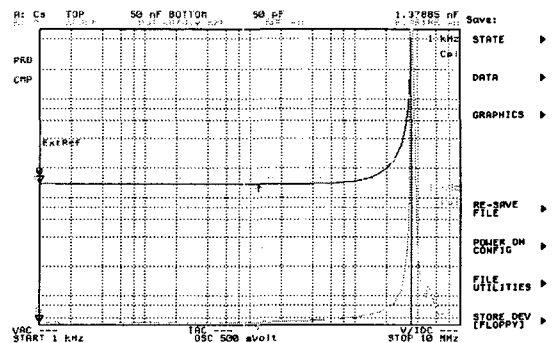


그림 4. 커패시터 특성(1nF급)

Fig. 4. Capacitance characteristics of coupling capacitor (1nF capacitance)

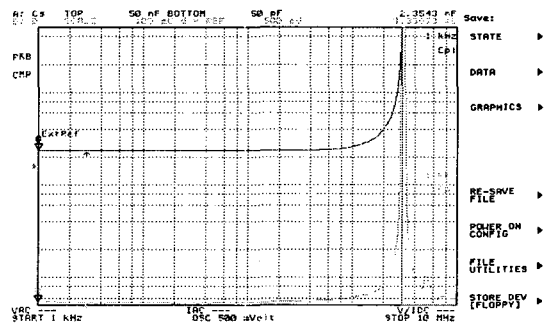


그림 5. 커패시터 특성(2nF급)

Fig. 5. Capacitance characteristics of coupling capacitor (2nF capacitance)

2.5.2 드레인 코일부

고압 고주파용 드레인 코일은 1mH로 하여 신호결합 장치 내에 삽입되며, 커플링 커패시터 하단부에서 위치한다. 드레인 코일의 인덕턴스는  $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$ 에 의하여 산출된 값이 되며, 이는 커패시터의 용량에 따라서 그림 6에서 보는 바와 같이 1mH 정도의 일정한 값을 유지하지만 고주파로 가면 변화가 있을 수 있다.

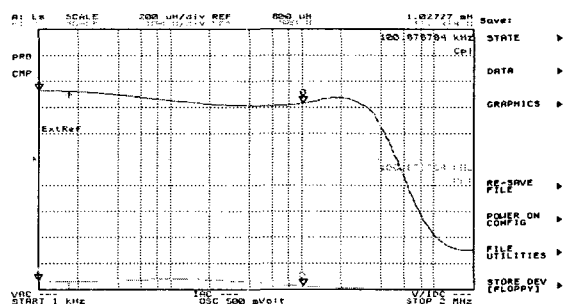


그림 6. 인덕턴스 특성

Fig. 6. Inductance characteristics of an drain coil

드레인 코일의 인덕턴스를 1mH로 하였을 때의 임피던스는 60Hz에서  $X_L$ 값( $2\pi fL$ )이  $0.38\Omega$ 로 아주 낮으며, 커패시터부 파괴 시 전력 주파수를 접지로 연결하는 보호회로 역할을 수행할 수 있다. 그림 7은 고주파 대역에서의 드레인 코일의 임피던스가 저주파 전력신호 대역에 비하여 높은 값( $1.2k\Omega$ )을 갖는다는 사실을 보여준다.

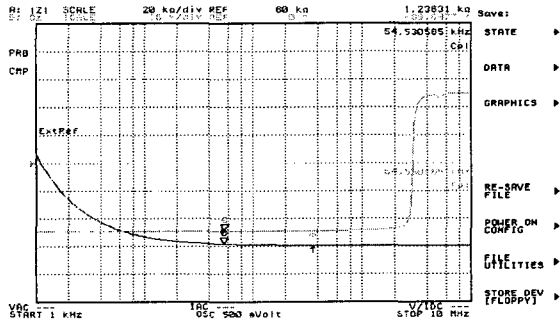


그림 7. 임피던스 특성  
Fig. 7. Impedance characteristics of an drain coil

### 2.5.3 임피던스 매칭부

임피던스 매칭부는 모델에서 출력되는 신호의 연결선과 커플링 커패시터부와의 부정합 손실을 줄이기 위한 부분이다. 고압배전선로와의 임피던스 부정합에 의한 반사손실은 커플링 커패시터의 신호투과특성이 양호하여도 절대적인 신호 주입(Insertion) 양이 적어지는 문제를 야기한다. 따라서 임피던스 매칭부의 성능은 고압 배전선로 전력선 통신망의 신호전송거리와 통신 속도에 직접적인 영향을 주게 된다.

국내의 배전선로는 3상 4선식을 채택하고 있으며 주로 강심 알루미늄 연선(ACSR : Aluminum Conductors, Steel Reinforced) 전선을 사용하고 있다. 강심 알루미늄 연선은 중심에 아연 도금강 강선을 넣고, 그 외층에 경 알루미늄선을 꼬아 붙여서 만든 전선으로 알루미늄의 높은 도전율과 강선의 쉘 인장강도를 이용하는 대표적 가공전선이다. 강심 알루미늄 연선은 단면적에 따라 사용구간이 달라지는데 주로  $58mm^2$ ,  $95mm^2$ ,  $160mm^2$  등이 지선에 사용되고 있다. 가공선로에는 전류용량에 따라 단면적이 결정되어 설치되고 중성선에는 설치된 선로보다 한 등급 아래의 선로가 선정되어 설치된다.

이러한 전선로의 특성임피던스는 선로자체의 R, L, G, C에 의하여 결정된다. 그러나 실제로 설치되는 선로가 이상적인 평행선로가 아닌 꺾은 선 형태의 선로이므로 계산에 의한 값과 실제 임피던스가 일치하기는 어려운 점이 있다. 따라서 본 연구에서는 금속커로방식에서의 두 선로 간 임피던스 및 대지커로방식에서의 선로와 대지간의 임피던스를 이론적으로 계산하여 그 평균치를 이용하여 임피던스 매칭 회로를 구성하였다.

계산된 이론적인 임피던스는  $200\Omega$ 에서  $800\Omega$ 사이의 값을 나타내며, 주로 사용하는 전선의 임피던스 및 선로간격 등을 고려하여  $460\Omega$ 을 평균 임피던스로 선정하여 매칭회로를 개발하였다[2][5]. 개발된 임피던스 매칭 트랜스포머는 페라이

트 토로이달(toroidal) 코어에 플랫폼케이블을 바이필라(bi-pillar)법으로 권선하여 제작하였으며 양호한 광대역 특성과 소형화가 가능하다. 본 연구에서 개발된 임피던스 매칭 트랜스포머는 권선 연결 방식에 의해  $50\Omega$ ,  $75\Omega$ ,  $200\Omega$ ,  $300\Omega$ ,  $460\Omega$ ,  $600\Omega$  및  $800\Omega$ 의 임피던스 매칭이 가능하며, 소형이기 때문에 신호결합장치 하단에 내장하여 외부에 별도의 정합장치가 불필요하다는 장점이 있다. 그림 8은 개발된 임피던스 매칭 트랜스포머의 권선 구성도이며 그림 9는 개발된 임피던스 매칭 트랜스포머의 외형이다.

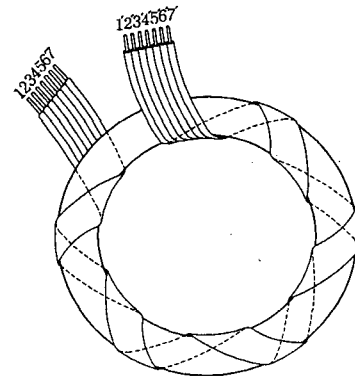


그림 8. 임피던스 매칭 트랜스포머 권선 구성도.  
Fig. 8. Configuration of impedance matching transformer.

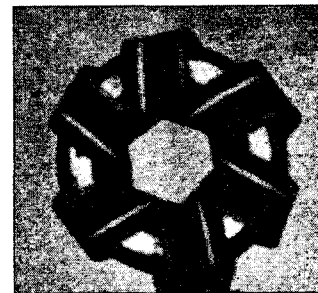


그림 9. 임피던스 매칭 트랜스포머 외형.  
Fig. 9. Photograph of impedance matching transformer.

### 2.5.4 신호결합장치 신호 투과 특성

고압 고주파 커플링 커패시터의 신호감쇄특성은 그림 10에 나타난 바와 같이 네트워크 분석기(5dB/Step)를 이용하여 측정된 결과로서 통신 주파수 대역(2MHz~30MHz) 내에서  $-1dB$  이하의 감쇄 특성을 보여 통과특성이 매우 우수한 것으로 나타났다. 세라믹 커플링 커패시터의 용량 값을 약  $15nF$ 까지 상향하면 저주파 통신대역인  $100kHz\sim 450kHz$ 를 포함하여 고주파대역( $\sim 60MHz$ 이상)까지 커플링할 수 있는 광대역 신호결합장치의 특성으로 확대할 수 있다.

고압 고주파 신호결합장치의 신호 감쇄측정을 위해서는 임피던스 매칭회로가 내장되어 있는 경우 결합장치를 쌍으로 연결한 후 감쇄량을 측정하고 그 값을 반분하여야 한다. 또한 매칭회로가 없는 경우에는 2차측 신호단자에 액티브 프로브를 이용하여 측정하는 방안도 적용할 수 있다.

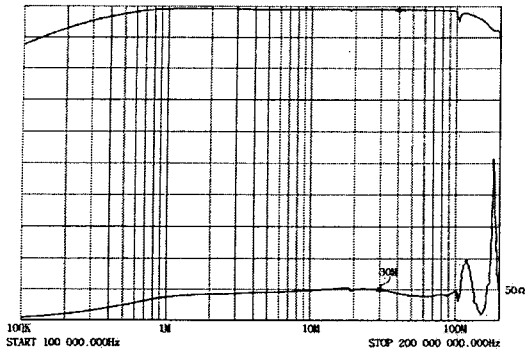


그림 10. 신호결합 장치 신호 투과 특성(S21)  
Fig. 10. Transmission property of a designed coupling unit.

3. 고압 배전선로용 신호결합장치 실증 시험

3.1 전력선 통신 실증시험장 신호 결합장치구성

본 연구에서는 개발된 고압 배전선로용 신호결합장치의 성능 및 신뢰성을 시험하기 위하여 실제 배전선로를 이용한 시험장을 구축하여 특성 시험을 수행하였다. 고압 배전선로 전력선통신 시험장은 청계산 부근 덕장지선의 약 5km구간을 이용하여 구축하였다[6].

구축된 고압 배전선로 시험장은 먼저 그림 11에서 보는 바와 같이 배전선로에 COS를 부착하고 하부에 신호결합장치를 연결하였다. 이러한 실증시험장을 이용하여 고압배전선로용 신호결합장치의 신호 전송시험과 신뢰성 시험을 수행할 수 있다. 실증시험장은 5개 지점에 신호 결합장치를 300m, 500m, 700m, 900m 거리를 두고 설치하여 전력선 통신 신호대역의 전송손실 및 임피던스 특성 시험 등을 수행하고, 전력선 통신 모델의 성능시험 및 망 구축기술을 확보하기 위한 다양한 기술을 적용 시험하고 있다.

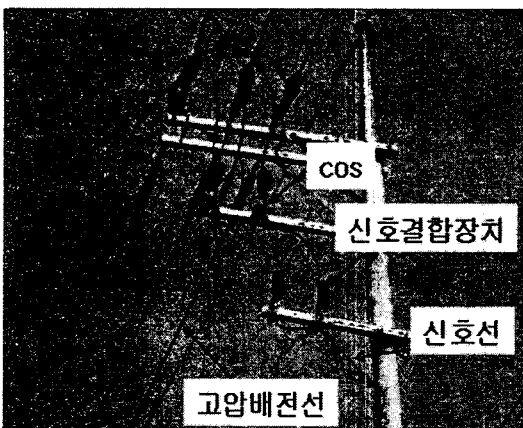


그림 11. 신호결합장치 설치 사진.  
Fig. 11. Photograph of a coupling unit equipped with 22.9 kV medium voltage power line in the test field.

3.2 신호결합기의 임피던스 및 신호 반사특성

설계된 신호결합장치의 특성 검증을 위해 벡터 회로망 분석기 HP8753D를 사용하여 모델 입력부에서(그림 1참조)

입력 임피던스와 반사특성을 측정하였다. 동축선을 통하여 신호결합기와 고전압 전력선에 대한 입력 임피던스를 계산하기 위해 우선 벡터 회로망 분석기를 사용하여 입력단에서의 반사 특성인 S<sub>11</sub>을 측정하여, 아래 식(1)을 사용하여 입력 임피던스를 구한다.

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1+S_{in}}{1-S_{in}}, \quad Z_0 = 50\Omega \quad (1)$$

그림 12에 벡터 회로망 분석기를 사용하여 측정한 반사 특성 결과를 나타낸다. 그래프에서처럼 임피던스 정합 장치를 사용하지 않을 경우, 입력 반사계수 증가와 주기적인 정재파 발생에 의해 반사 손실이 매우 높음을 알 수 있다.

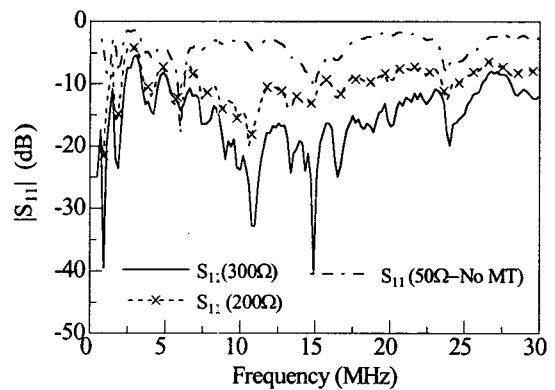


그림 12. 반사 특성 변화.  
Fig. 12. Investigation of reflection behavior with different matching transformers.

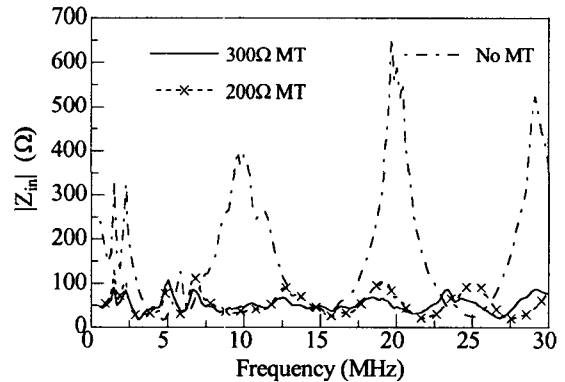


그림 13. 입력 임피던스의 변화.  
Fig. 13. Investigation of input impedance behavior with different matching transformers.

이러한 임피던스 비정합에 의한 손실을 최소화하기 위해 설계된 광대역 임피던스 정합 장치를 신호결합장치에 실장하여 입력 임피던스를 측정된 결과를 그림 13에 나타내었다. 결과적으로 200Ω 보다는 300Ω으로 정합시켰을 때 더 좋은 신호 전달 특성을 나타낸다.

위의 결과로부터 개발된 신호결합장치의 주파수 특성은 광대역 고속 전력선 통신 주파수 2~30MHz에서 적합한 성능을 가짐을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 고압 배전선로 전력선통신을 위한 신호결합장치의 개발에 관하여 설명하였다. 개발된 신호결합장치는 커플링 커패시터부와 드레인 코일부, 임피던스 매칭부 등의 주요 요소들로 구성되었으며, 종합적인 신호투과 특성 즉 신호 감쇄량은 1dB 이내의 양호한 결과를 얻었다.

신호결합장치내의 커플링 커패시터부는 세라믹 커패시터를 1.2-3.0nF 용량으로 설계하여 고속 전력선 통신 주파수 대역인 2- 30MHz 대역에 대한 1dB이하의 감쇄를 갖는 신호통과 특성을 가지도록 제작하였다. 또한 고압 배전선로의 임피던스를 고려하여 평균 임피던스 460Ω에 정합하는 매칭 트랜스포머를 개발하였다. 토로이달 코어에 플랫 케이블을 바이필라법으로 권선하여 원하는 임피던스 정합을 할 수 있을 뿐만 아니라, 권선의 단순한 연결에 의하여 다양한 임피던스 정합이 가능하도록 제작하여 경제성과 신호결합특성을 모두 만족할 수 있도록 하였다.

더욱이 신호결합장치는 설치 상단에 COS를 설치하는 방안과 일정한 성능의 방전피뢰기 등을 내장하는 방안 등을 적용하여 신호결합장치의 전기안전성에 대한 신뢰성을 확보하고자 하였다. 그리고 각각의 구성부품은 하나의 합체에 삽입되어 설치의 간편성 및 경제성을 모두 가지는 형태로 제작되어 앞으로 전력선 통신망 구축에 중요한 구성요소로 활용되기에 부족함이 없을 것으로 예상된다. 또한 실제 배전선로 시험장에서 수 년간의 시험을 바탕으로 확인된 신뢰성은 국내외 고압배전선로용 신호결합장치 시장에서 중요한 요소로 인정받을 것으로 기대된다. 앞으로 본 논문에서 제안한 신호결합장치를 바탕으로 고압 배전선로의 임피던스에 자동적으로 적용할 수 있는 기능 및 고압 배전선로에서의 장거리 신호전송이 가능한 신호결합 방법을 지속적으로 연구할 필요성이 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Jae-Jo Lee, Won-Tae Lee, Kwan-Ho Kim, Dae-Young Lee, "Development of PLC subscriber networks on the medium voltage power grid", *International Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, 2002.
- [2] David K. Cheng, *Field and Wave Electromagnetics*, Addison Wesley, p.164-166, p.444-446.
- [3] Jae-Jo Lee, Seung-Ji Choi, Hui-Myoung Oh, Won-Tae Lee, Kwan-Ho Kim, Dae-Young Lee, "Measurements of the Communication Environment in Medium Voltage Power Distribution Lines for Wide-Band Power Line Communications", *Proceedings of the 8th ISPLC*, 2004.
- [4] Hui-Myoung Oh, Jae-Jo Lee, Kwan-Ho Kim, Keum-Chan Whang, "Wideband channel impulse response measurement method using PN sequence for the medium voltage power distribution line channel", *Proceedings of the 8th ISPLC*, 2004.
- [5] 이재조, 유정훈, 홍충선, 이대영, "고압 전력선 통신을 위한 임피던스 측정 및 정합 방안 연구", *대한전기학회 논문집* 53D권 5호 pp.345-351, 2004.
- [6] M. Gebhardt, F. Weinmann, and K. Dostert, "Physical and regulatory constraints for communication over the power supply grid", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 41, No. 5, pp 84-90, 2003.
- [7] N. Pavlidou, A. Han Vinck, J. Yzadani, and B. Honary, "Power line communications : state of the art and future trends", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 41, No. 4, pp 34-40, 2003.
- [8] Dong-Wan Chun, *et al.*, "Input impedance calculation of the power line communication system", *The Journal of the Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 29, no. 9A, pp. 983-990, Sep. 2004.
- [9] Gerd Bumiller, "Using Inductive Coupling Units for Transmission over Shield in Contact with Earth MV Cables", *Proceedings of the 8th ISPLC*, 2004.
- [10] Paul A. Kline, "Method and Apparatus for providing Inductive Coupling and De-Coupling of High Frequency, High-Bandwidth Data Signals Directly on and off of a High voltage power Line", US Patent Pub. No.: US 2002/0110310.
- [11] Adrew Sugg, "Capacitive Couplers and Methods for Communicating over an Electrical Power Delivery System", US Patent Pub No. : US 2004/0183619.
- [12] Clifford A. Davidow, "Medium Voltage Signal Coupling Structure for Last LEG Power Grid High-Speed Data Network", US Patent Pub No. : US 2004/0056734.
- [13] Jae-Jo, Lee et al, "Signal Coupling Apparatus for Communication by Medium Voltage Power Line", US Patent Pub. No.: US 2004/0032307.

## 저 자 소 개



### 이 재 조(李在祚)

1968년 8월 12일생. 1990년 경희대학교 문리과대학 물리학과 졸업. 1992년 경희대학교 일반대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1992년-1997년 : 한국전기연구원 연구원. 2000년 - 2003년 : 경희대학교 전자공학과 박사과정 수료. 1997년 - 현재 : 한국전기연구원 선임연구원

Tel : 031-420-6177  
Fax : 031-420-6199  
E-mail : jjlee@keri.re.kr



### 박 영 진(朴永鎭)

1971년 1월 7일생. 1997년 중앙대 전자공학과 졸업. 1999년 한국과학기술원 전기전자과 졸업. 2002년 2월 University of Karlsruhe 졸업(공학박사). 2002년 11월~현재 : 한국전기연구원 근무.

Tel : 031-420-6183  
Fax : 031-420-6199  
E-mail : yjpark@keri.re.kr



### 오 휘 명(吳輝明)

1976년 1월 6일생. 1998년 연세대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(공학석사). 2000년~현재 동 대학원 전기전자공학과 박사과정. 2001년~현재 한국전기연구원 연구원.

Tel : 031-420-6178  
Fax : 031-420-6199  
E-mail : hmoh@keri.re.kr



### 김 관 호(金觀鎬)

1954년 6월 16일생. 1978년 숭실대학교 전자공학과 졸업. 1980년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1983년~현재 한국전기연구원 책임연구원.

Tel : 031-420-6171  
Fax : 031-420-6199  
E-mail : khkim@keri.re.kr



### 이 대 영(李大寧)

1940년 3월 18일생. 1964년 서울대학교 문리과대학 물리학과 졸업. 1971년 캘리포니아 주립대학원 컴퓨터학과 졸업. 1979년 연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정 졸업. 1971년 - 현재 : 경희대학교 전자공학과 교수. 1999년 한국 통신학회 회장. 1995년 - 1999년 한국통신학회 수석 부회장. 1990년 - 1993년 경희대학교 산업정보대학원 대학원장. 1990년 - 1993년 한국통신학회 편집이사. 1982년 - 1984년 경희대학교 공과대학 학장. 1978년 - 1980년 한국정보과학회 이사

Tel : 031-201-2527  
E-mail : dylee@khu.ac.kr