

## 전력선통신을 위한 커플러 내장형 변압기 개발

김영현\*, 명노길\*, 최인지\*, 박병석\*, 이상진\*\*  
 한전 전력연구원 전략기술연구소\*, 한국전력공사\*\*

### Development of Transformer with a built-in coupler for Powerline Communication

Younghyun Kim\*, Nogil Myoung\*, Inji Choi\*, Byungseok Park\*, Sangjin Lee\*\*  
 Strategic Technology Lab., KEPRI\*, KEPCO\*\*

**Abstract** - 전력을 공급하는 전력선을 이용, 통신을 수행하는 전력선 통신 기술은 기존 전력시스템을 지능적이고 탄력적인 에너지 공급시스템으로 개선하기 위해 필요한 통신인프라로서 가장 효과적인 방식으로 논의되고 있다. 그러나 고주파 신호 특성을 갖고 있는 전력선통신기술은 변압기를 통과하지 못하며, 이로 인해 고압과 저압이 분리되어 운영되며, 용량제한 등으로 상용화에 많은 어려움을 겪고 있다. 이에 본 논문에서는 상기와 같은 문제점을 해결하고자 전력선통신용 커플러를 내장한 변압기를 개발하고자 한다. 본 개발품을 통해 변압기는 전력선통신 신호를 통과하게 함으로써 손쉽게 저압과 고압 연동이 가능하게 하며 이를 토대로 전력통신 시스템의 용량을 획기적으로 증가시킬수 있게 하였다.

#### 1. 서 론

21세기 지능형 전력시스템 구축을 위한 방안으로서 논의되고 있는 전력설비와 IT 기술의 결합, 즉 전기에너지 및 관련설비의 효율적 이용 관리를 위해 전력기기를 통해 취득된 전력정보를 통신 인프라를 통해 전송할 수 있는 시스템 개발은 기존 단순 전력공급 시스템에서 벗어나 지능적이고 탄력적인 에너지 공급 시스템으로 나아가기 위해 반드시 개발되어야 할 핵심 기술이다.[1]

특히 양방향 통신 및 안정되고 신뢰성 있는 데이터 전송능력, 구축 용이성 등이 전력망에 적용할 수 있는 통신인프라 구축의 필수요소이며, 이를 만족시키는 통신기술로는 전력선을 이용하여 통신을 수행하는 전력선통신 기술이 전력IT용 네트워크를 구축하는데 가장 효과적인 방식으로 논의되고 있다.

전력선통신은 전기가 공급되는 어느 곳에서든지 통신이 가능하며, 별도의 통신인프라가 필요하지 않다는 장점에도 불구하고 실 환경 적용시 변압기를 통과하지 못하는 전력선통신 신호 특성으로 수용가들과 통신 회선 구축시 통신용량이 하나의 변대주에 국한되어 기술의 장점에 비해 경제성 및 구축 편의성이 낮다는 평가를 받아 왔다.

이에 본 논문에서는 이를 해결하기 위한 방안으로 변압기 내부에 전력선통신 신호를 처리할 수 있는 커플러를 내장함으로써 상기와 같은 문제를 해결하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 전력선통신 기술에 관한 소개 및 기존 시스템의 구성방식, 문제점을 분석하고, 3장에서는 이를 해결하기 위한 방안으로 커플러 내장형 변압기를 개발한다. 4장에서는 개발된 시스템을 실제 환경에 적용하여 통신성능시험을 수행하며, 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

#### 2. 전력선통신 기술

##### 2.1 전력선통신 기술 개요

전력선통신 기술은 별도의 통신 케이블 없이 전국 어디서나 설치되어 있는 전력선을 이용하여 통신 서비스를 제공할 수 있는 기술이며, 원리는 다음과 같다.

전력을 공급하는 전력선의 전압과형(60Hz)에 수십kHz ~ 수십MHz의 고주파 통신신호를 함께 실어서 전송하는 방식으로 컴퓨터 신호를 전력선 통신 신호로 변환하거나 전력선통신 신호를 컴퓨터 신호로 변환하는 역할을 수행하는 전력선통신 모델과 전력선에 고주파의 통신신호를 삽입 또는 추출하는 역할을 하는 커플러로 구성된다.

전력선통신기술은 속도 및 사용 주파수를 기준으로 100kHz ~ 450kHz

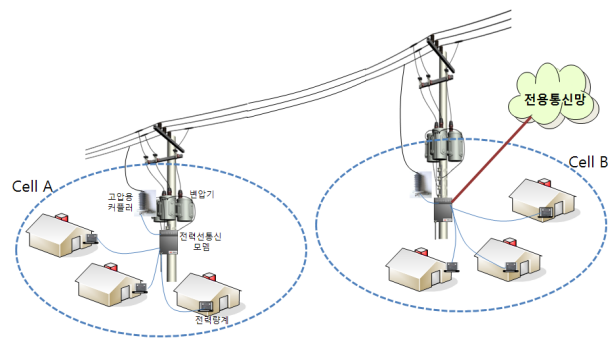
주파수 대역을 사용하는 저속 전력선통신과 1MHz ~ 30MHz 주파수 대역을 사용하는 고속전력선통신으로 구분된다. 또한 사용하는 전압에 따라 고압 전력선통신 기술과 저압 전력선통신 기술로도 구분될 수 있는데, 가정 및 사무실에서 사용하는 110V, 220V 및 380V 등을 저압 전력선통신 기술이라 하며, 10kV 이상의 전압에서 사용되는 전력선통신기술을 고압 전력선통신기술이라 한다.

전력선통신은 기존에 구축된 전력선을 통해서 통신을 하기 때문에 구축 비용이 저렴하고 확장이 용이하다. 특히 타 유선 네트워크 방식과 달리 추가 배선 공사가 필요 없으며, 전력선통신 모델을 이용하여 전기 소켓에 꼽기만 하면 Plug & Play로 네트워크를 구성할 수 있다. 이러한 장점을 토대로 안정된 전력공급을 제공하기 위해 전력설비의 관리 및 감시 시스템 구축을 위한 통신망으로서, 수용가의 원격점검 및 전력서비스를 제공하기 위한 통신망으로서 현재 활용되고 있다.

##### 2.2 전력선통신 기술 단점

전력선통신 기술은 위에서 언급하였듯이 설치용이성, 접근성, 속도 및 비용부분에서 경쟁기술에 비하여 여러 장점을 가지고 있는 반면 다음과 같은 단점을 가지고 있다.

고주파의 특성을 갖고 있는 전력선통신신호는 60Hz의 전원 주파수에 적합하게 제작된 선로인 전력선에 데이터를 실어서 전송하기 때문에 전력선에서 발생하는 다양한 현상들에 노출된다. 특히 전송거리에 따른 신호감쇄, 전기부하기에 의한 잡음영향, 채널 페이딩 현상 등은 전력선 통신 성능이 일정치 않게 하는 원인을 제공한다.



<그림 1> 기존 전력선통신 시스템

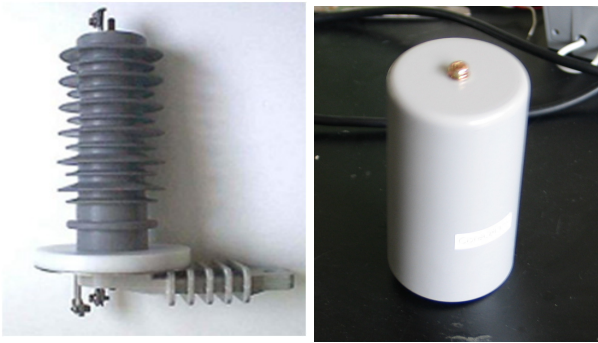
또한 고주파의 특성을 가지고 있는 전력선통신 신호는 변압기 통과시 신호가 흡수·산란되어 변압기를 통과하지 못하는 특성을 갖고 있다. 이로 인해 변압기 하단의 수용가들의 전기사용 데이터를 원격에서 관리하게 하는 원격점검 시스템의 경우 전력선통신을 통해 취득된 검침데이터를 전력회사에 전송하기 위해서는 각 변대주마다 전용통신망을 구축(Cell B)하여야 하며 이는 호당 구축비용 및 운영비 증가를 야기하여 전력선통신 상용화에 걸림돌로 작용하고 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 고압전력선을 이용 인접 변대주의 셀과 통신을 수행하는 방법(Cell A to Cell B)이 제안되었으나 이를 위해서는 고압망에 별도의 고압 커플러 설치가 필요하다. 그러나 상기와 같이 고압 커플러 설치에는 설치공간 부족, 고압공사의 어려움 등으로 인해 근본적인 해결책을 제공하지 못하고 있는 것이 현실적이다.

### 3. 커플러 내장형 변압기 개발

본 연구에서는 상기 언급된 문제점을 해결하고 손쉽게 고압과 저압을 연동할 수 있게 한 커플러 내장형 변압기를 개발하고자 한다. 먼저 기존 고압용 커플러를 변압기에 내장하기 위해 커플러 코어를 개발하며, 개발된 커플러를 변압기에 내장하고자 한다.

#### 3.1 고속 전력선통신용 커플러 개발

기존 고압에 사용된 커플러는 고압 전력선으로부터 입력되는 전압이 수십 kV인 경우에도 사용이 가능하며, 전기적 안전성 확보를 위해 그림 2-A에서와 같이 세라믹 커플러 코어에 별도의 하우징을 하여 사용하였다.



〈그림 2-A〉 기존 고압 커플러      〈그림 2-B〉 개발된 커플러

그림 2-A에서 보는 바와 같이 하우징의 외부 형상은 연면섬락(전기절연체의 표면을 경유하여 방전하는 현상)을 방지하기 위하여 웨이브형으로 주름져 있으나 본 연구에서는 변압기 합체 내부에 커플러를 내장함으로써 하우징이 필요없는 커플러 코어 형태로 개발하였다.(그림 2-B)

커플러 코어는 고주파대역의 커플링 특성(2MHz ~ 30MHz범위에서 -3dB 이하의 삽입손실)을 만족할 수 있게끔 바륨티타네이트 물질을 통해 만들어진 세라믹 소재를 병렬로 연결하여 개발하였다. 또한 소재 외부에 에폭시를 이용하여 외형가공함으로써 전체적인 정전용량이 증가하여 수십 kV의 전압을 갖는 신호가 입력되더라도 견딜 수 있게 개발하였다.

#### 3.2 커플러 내장형 변압기 개발

상기 개발된 커플러 코어를 이용 전력선통신신호가 변압기내부를 통과할 수 있게끔 커플러 내장형 변압기를 그림 3-B와 같이 개발하였다. 이를 위해 기존 변압기의 고압 신호부에 개발된 커플러 코어를 병렬로 연결하고 커플러 코어 하단에 드레인 코일을 직렬로 연결하여 커플러 회로부를 구성하였다.



〈그림 3〉 개발된 커플러 내장형 변압기

상기와 같이 고압 전력선으로부터 입력되는 저주파 대역의 신호는 상기 세라믹 캐패시터와 드레인 코일을 거쳐 저주파접지부로 흐르지만, 고주파 신호는 드레인 코일을 통과하여 저주파 접지부로 흐르지 못한다. 즉, 고주파 신호에서 드레인 코일은 큰 임피던스를 보이기 때문에 전류를 쉽게 통과시키지 못하며 고주파 신호는 전류의 다른 패스인 통신신호 단자부를 통하여 흘러가게끔 설계하였다. 설계된 회로를 기반으로 커플러 코어를 변압기에 내장할 시에는 변압기의 충격시험 및 유도내전압에 견디도록 변압기 내부에는 절연지지 구조형태로 고정되게끔 제작

하였다.

또한 변압기 내부에는 변압기의 상태정보를 측정하기 위한 센서(전류, 전압, 온도)를 내장함으로써 전력선통신을 이용하여 손쉽게 변압기 상태정보를 전달할 수 있게 하였다. 내장된 모든 계기 및 센서의 단자는 센서정보를 처리하는 기기와의 연동을 위해 합체 외부에 단자함을 설치하였으며, 변압기 내부의 절연유가 외부로 누유되지 않게 하기 위해 변압기 외형구조를 그림 3-B와 같이 변형 제작하였다.

### 4. 커플러 내장형 변압기 성능 시험

개발된 커플러 내장형 변압기를 전력환경에 사용하기 위해서는 성능검증이 반드시 필요하다. 이를 위해 본 장에서는 변압기의 전기적 성능시험과 통신시험을 시행하였다.

#### 4.1 전기적 성능시험

전기적 성능시험으로는 무부하 전류, 무부하 손실, 전압변동률 등 KS C 4306에서 정의한 변압기 시험기준에 의거 성능시험을 수행하였으며, 결과는 다음과 같다.[2]

〈표 1〉 변압기 전기적 성능시험 결과

시험명	시험기준치	측정치	합격여부
무부하 전류	0.8 이하	0.59	합격
무부하 손실	120 이하	114.4	합격
전압변동율	1.4 이하	1.27	합격
효율	98.5 이상	98.56	합격

표 1에서 보는 바와 같이 개발된 커플러 내장형 변압기는 전기적 성능을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

#### 4.2 통신 성능시험

내장된 커플러가 통신신호를 주입하였을 때 적절히 동작하는 지를 확인하기 위해 다음과 같이 통신성능시험을 수행하였다. 시험은 고속 전력선통신 모델을 이용하여 고압 연결부에 통신신호를 주입하고 저압 연결부에 고속 전력선통신 모델을 연결하여 고압과 저압간 통신속도의 변화 추이를 측정하였으며, 변압기를 사용하지 않은 환경에서 측정한 실험 결과치와 비교를 수행하였다.[3]

〈표 2〉 변압기 통신 성능시험 결과

시험	변압기 미 사용 구간	고압 - 저압전송	저압 - 고압전송
속도	7Mbps	6.5Mbps	6.5Mbps

표 2에서 보는 바와 같이 변압기를 미 사용하는 구간에서는 약 7Mbps 속도를 얻을 수 있었으나 변압기를 통과하였을 경우 약 0.5Mbps 정도의 성능이 감쇄한 6.5Mbps 속도를 얻을 수 있었다. 이는 통신신호가 커플러를 통과함에 따라 커플러에서 발생하는 신호손실의 영향으로 성능이 감쇄된 것으로 확인할 수 있다. 그러나 기존 변압기에 통신신호를 삽입하였을 때 약 60%의 감쇄가 발생하는 것과 비교하였을 때 본 개발품은 실제 환경에서 유익하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.,

### 5. 결 론

전력선통신 상용화를 위해서는 현재 운영되고 있는 설비들과 손쉽게 연동이 되어야 한다. 지금까지 전력선통신 기술의 장점에도 불구하고 실 현장에 구축할 경우 시스템 용량 제한, 설치 어려움 등의 현실적인 문제에 막혀 상용화에 많은 걸림돌로 작용하였으나, 커플러 내장형 변압기를 개발함으로써 손쉽게 변압기 감시 및 원격점검 시스템을 구축할 수 있을 것으로 본다. 특히 본 발명을 통해 기존 전력선통신 신호가 변압기를 통과하지 못하는 특성을 해결할 수 있으며, 이를 통해 저압과 고압 전력선통신과의 손쉬운 연동을 제공할 수 있다. 지금까지 원격점검 시스템 구성시 각각의 변대주마다 기간망이 필요하였으나, 본 발명을 통해 각각의 변대주에서 수집된 원격점검 정보를 고압선을 이용하여 한 곳에 수집하여 보낼 수가 있기 때문에 통신망 임대료 및 운영비용에 혁신적인 성과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

#### 〔참 고 문 헌〕

- [1] <http://powerit.re.kr>
- [2] <http://www.standard.go.kr>
- [3] <http://www.xeline.com>