[redacted]

전력분야 광전자응용 기술개발 현황 및 방향

조 용 근*, 박 병 석*, 김 영 주**
(*전력연구원 정보통신그룹, **조당산업대 공대 전자공학과)

1. 머리말

우리 나라의 산업규모가 점차 대형화되어 감에 따라 전력공급 중단이 야기할 수 있는 사회적 손실은 점차 커지고 있고, 특히 사전에 예고되지 않은 전력 고장에 의한 피해는 사회전반에 걸쳐 큰 파장을 불러올 수도 있다. 따라서 전력의 안정적 공급은 그 중요성이 점차 증가되고 있으며, 이에 대한 요구에 부응하기 위하여 전력산업 분야에 있어서도 신뢰성이 높은 광전자 기술에 대한 관심이 높아져 가고 있다.

광전자 기술은 최근 비약적인 발전을 거듭해 광통신 분야에서뿐만 아니라 계측, 제어 분야에도 다양하게 이용되고 있고 적용분야가 광범위해지고 있는 실정이다. 광섬유는 그 자체가 센서의 기능을 가질 수 있을 뿐만 아니라 데이터의 전송에 있어서도 탁월한 특성을 가지고 있기 때문에 전력사업의 많은 분야에 활용할 필요가 있다. 이를 위한 연구개발로서, 종래의 인력순시에 의존하던 송전선로의 효과적인 감시 방식을 개선하여 각종 센서와 화상 정보를 광섬유 복합 가공지선을 이용하여 전송함으로써, 송전설비의 기상재해나 산불 등 각종 위험 요소를 조기에 감지하고 고장의 사전 예방 또는 전기적으로 파급 될 수 있는 사고를 단순한 기계적 고장으로 국한시킬 수 있는 송전선로 감시시스템 개발사례에 대하여도 소개하였다.

또한 광센서는 기존 센서에 비해 전자파 간섭을 받지 않고 전기 절연성, 내부식성 등의 장점이 있어 전기적으로 열악한 환경의 전력설비 현장에 특히 적합하다고 할 수 있다.

Bulk optics 센서나 광섬유 센서로 대부분의 물리량 측정이 가능하지만 측정 대상 및 활용 범위에 따라서 광의 세기, 위상, 산란, 흡수와 같은 빛의 성질이 이용되고 있다. 광섬유 센서는 기존 센서에 비해 감도가 우수하고 한 대의 계측 시스템에 여러 개의 센서를 연결하여 다지점의 변화를 동시에 측정하는 다중 계측 및 측정 대상을 연속적으로 계측할 수 있는 분포형 계측이 가능하다. 분포형 계측 기술은 산업 분야의 응용에 많은 가능성을 갖고 있으며 대형 중요 구조물내의 공간적이고 시간적인 변형의 분포를 연속적으로 감시할 수 있어서 각종 전력 설비, 항공 분야, 빌딩 등과 같은 곳에서의 온도 분포를 결정하여 열의 흐름을 계산하는 것도 가능하다.

여기서는 지금까지 전력산업 분야에 광전자 기술을 적용하기 위한 일련의 연구사례와 개발현황에 대해 소개하고, 앞으로 전력분야에서의 광전자 기술 개발이 이루어져야 할 주요방향에 대해 기술하였다.

2. 전력분야 광응용 연구사례

2.1 광 변성기

광을 응용한 계측 시스템은 전계 노이즈에 영향을 받지 않는 특징이 장점으로 부각되어 선진외국에서도 각종 계측 분야에 걸쳐 활발하게 연구하고 있다. 특히 송전전압의 대형화에 따른 절연비용의 상승과 철심형 변성기의 포화특성에 의한 파형 왜곡 및 고조파 공진에의한 측정 정도 저하, 전자기적 유도장해 등의 원인으로 계측 신뢰성 향상이 필요하게 되었으며 광전자 기술의 성숙에 따라 광을 이용한 변성기 기술 개발 필요성이 증대하게 되었다.

전력연구원에서는 1990년 초 광자계센서의 소자에 인가되는 자계의 세기에 따라 입사된 선형편광면이 회전하는 파라데이효과(Faraday Effect)를 이용하는 광자계 센서로 BSO 소자를 사용한 전류센서를 제작하고 전력소 현장의 154kV 및 22.9kV 선로에 설치하여 필드시험을 수행하였으며, 비교적 저전류(0~50A) 부분을 제외하고는 선형성이 우수한 전류측정 시스템을 구현하였고, 같은 종류의 소자를 사용하여 Kerr 효과를 이용한 광전압 센서를 구성하여 23kV급의 분압을 통한 광전압 측정 시스템을 구현하였다. 그후 1차 연구에서 저전류 부분의 식별이 난해하였던 문제점을 해결하기 위해 파라데이 회전 특성(자계중의 매질이 갖는 선광성)이 큰 Bi 치환 희토류 철 garnet(RIG) 단결정 박막을 이용한 전류 센서를 그림 1과 같이 구성하여 저전류 부분에 대한 성능을 보완하고 그 특성을 시험한 후 이를 전력소 현장에 5년 이상 설치하여 관찰하므로써 경년변

화를 통한 신뢰성을 확인하였다. 그림 2는 154kV 변전소 실 선로에 설치한 광변성기 시스템이며 이 연구에서의 연구개발 내용 및 효과는 아래와 같다.

- ○ 파라데이효과를 이용한 광전류 센서 개발
- ○ Kerr 효과를 이용한 광전압 센서 개발
- ○ 광신호의 신호처리에 의한 미터링 기술개발
- ○ 23kV급 및 154kV급 CT, PT 시작품 개발 및 현장 설치 시험
- ○ 변성기의 소형화 및 절연 비용 절감
- ○ 광변성기 개발 및 미터링 기술 개발로 기존 변성기 대체 가능
- ○ 전력량 계측 및 보호계전분야에 광센서 기술적용 위한 기반 확보

2.2 광전자식 전력량 계측 시스템

배전선로의 고장 원인으로 가장 빈번히 등장하는 원인 중의 하나가 수용가측 계기용 변성기(MOF ; Metering

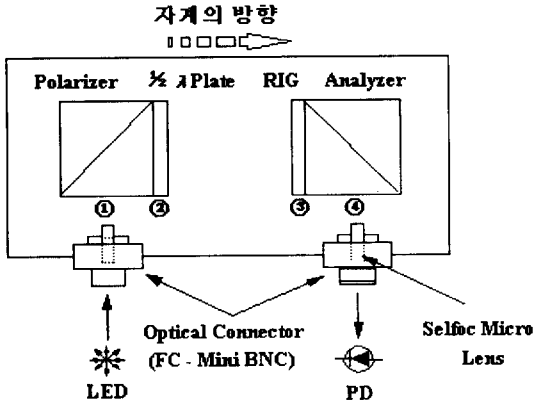


그림 1. 광자계(전류) 센서 구성

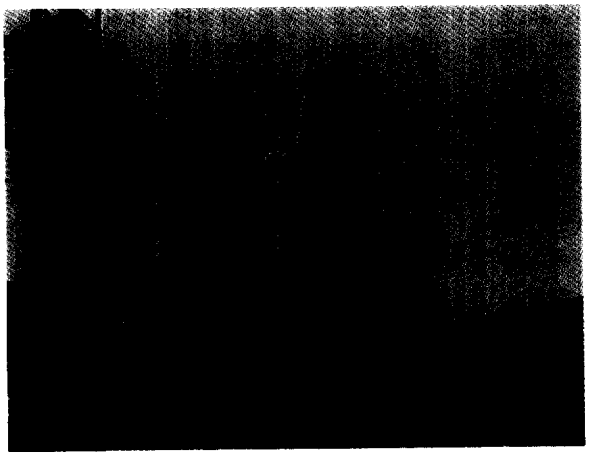


그림 2. 154kV 변전소의 22.9kV feeder에 설치한 광 CT, PT

OutFit)의 고장에 의한 파급으로 안정적인 전력계통의 운용과 양질의 전력 공급에 장애 요인이 되어왔다. 기존의 MOF는 구성 소재가 주물, 애자, 절연유, 철심, 권선 등으로 무겁고 부피가 커서 취급이 어려울 뿐만 아니라 주물의 부식, 절연 열화 등에 의하여 고장의 원인이 되는 경우가 많다. 또한 기존의 계기용 변성기의 경우는 철심을 이용하므로 때로는 자기포화 현상에 의하여 파형이 왜곡되고, 고조파 공진 현상에 의하여 측정오차가 크게 발생하기도 한다.

전력량계에 의한 계측도 입력되는 아나로그량에 의해 좌우되기 때문에 계측 신뢰도 또한 변성기에 의존 될 수 밖에 없으며, 전자계의 영향에 의한 측정 오차를 고려한다면 정확도의 수준은 한정적 일 수 밖에 없다. 따라서 이러한 문제를 해결 할 수 있는 방안으로 자기 광학, 전기 광학 현상을 이용하여 도체의 전압, 전류를 검출함으로써 2차측이 1차측과 완전히 분리되는 새로운 방식의 광CT(Current Transducer) 와 광PT(Potential Transducer) 신호를 처리하여 연산과 적산, 운용이 편리한 전력량의 표현 및 무효전력량계와 타임스위치를 DM(Demand Meter)내에 포함한 안전하고 신뢰성 있는 광전력량 계측시스템을 개발하였다.

이 기술은 이제까지 사용되어 오던 철심, 권선, 절연유 수용 함체로 구성된 전력량 계측용 변성기 형태에서 탈피한 전혀 새로운 방식으로서, 광센서 및 신호처리 기술을 적용한 것으로, 전력연구원에서 지난 1992년에 개발한 광전압, 전류 변성기 기술을 기반으로 하여 1994년부터 약 2년간에 걸쳐 중소기업(태광전기) 및 전기연구소와 공동연구 끝에 현재 사용되고 있는 3종 전력량계의 기능을 수용하는 광전자식 전력량 계측 시스템을 개발한 것이다. 개발된 광전자식 전력량 계측 시스템은 전류, 전압의 변화를 광센서로 감지하는 광 MOF 부분과, 감지된 광신호를 전기 신호로 변환하고 이를 연산하여 사용 전력량, 유효 및 무효 전력, 시간대별 전력 사용량 등의 정보를 제공하는 기능을 가지는 DM 부분으로 구분되는데, 기존 변성기의 1/10 정도의 크기와 중량으로 구성이 가능하고 다양한 기능과 정밀도 측면에서 많은 장점을 갖도록 하였다. 또한 위 연구개발팀은 재래식 MOF와 전력량계가 현장에 이미 설치되어 많이 사용되고 있는 점을 감안하여 기존 형태의 장치들과 광전자식

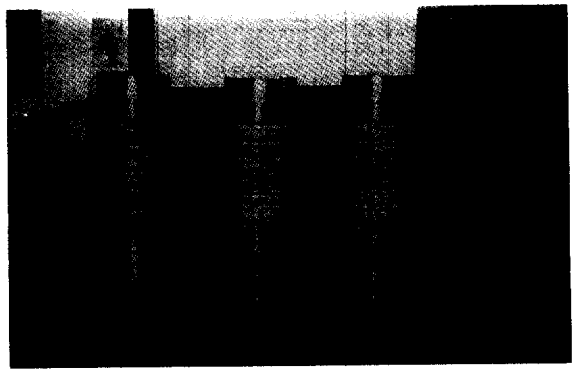


그림 3. 광전자식 전력량 계측 시스템

MOF 또는 광전자식 전력량계와 조합하여 사용할 수 있는 광/전 변환 어댑터를 최근에 새로이 개발하고 미소전력 측정에 관한 성능보강 등에 노력을 집중하고 있다.

그림 3은 개발된 광전자식 전력량 계측 시스템이며 이 연구에서의 연구개발 내용 및 효과는 아래와 같다.

○ 전력량 계측용 3상 광전자식 CT 및 PT 센서개발
○ 광센서를 이용한 MOF개발
○ 광신호처리에 의한 디멘드미터 개발
○ 계량용 변성기의 소형화 및 절연 비용 절감
○ 광MOF 적용으로 배전계통 고장 예방

2.3 광전자식 과전류보호계전 시스템

기존의 과전류 보호계전 시스템은 전력선에 설치된 전류변성 장치인 CT로부터 검출된 전류를 과전류 보호계전기 모듈에 입력하고, 내부의 트랜스포머에서 전류에 비례한 전압 값으로 변화시켜 각종 한시특성을 적용하여 고장을 판별하도록 하고 있다. 또한 개발된 광CT, PT 계측 시스템에서도 미터링 기능 위주로 신호처리가 설계되어 왔다. 따라서 변성기의 두 가지 기능 즉, 미터링과 보호계전을 위해서는 미터링에 국한된 신호처리 영역을 보완하여 전력계통 보호에 적용하기 위한 연구가 필요하게 되었다. 이에 대한 1단계로 전력연구원에서는 우선 계전기 중에서 구현이 가장 용이 할 것으로 예상되는 광 과전류 보호계전 시스템을 구현하고자 하는 연구를 1996년 말에 착수하였다.

이 연구에서의 의의는 기존의 보호계전시스템이 외부에서 유입되는 전자기의 유도나 써지에 의해 취약한 특성을 가지고 있는 반면 광전자식 보호계전시스템은 센싱방법이 무유도성이면서 일단 감지한 신호전송에도 광섬유를 사용함으로써 신뢰성이 우수한 보호계전 시스템을 구현할 수 있다는 장점을 가지는 것이다. 또한, 광자계센서는 응답특성이 빠르고 포화특성이 우수하며, 특히 0~20kA까지 넓은 영역에서 선형성을 유지하므로 적용 용량에 따라 별도의 제작이 필요 없이 하나의 광자계 센서로도 광범위한 분야에 걸쳐 사용이 가능하다는 것이다.

이러한 광학적 장점과 신뢰성을 최대한 확보하기 위하여 외부 환경 변화에 대한 광원의 출력 변동을 최소화하기 위한 보상용 피드백 회로를 설계하고 실험해본 결과 -20℃~60℃까지 ±1% 이내의 양호한 온도특성을 보였다.

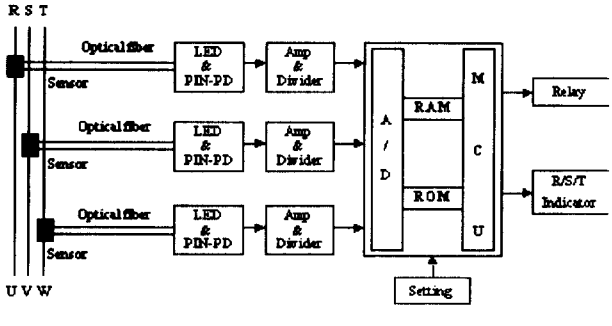


그림 4. 광전자식 보호계전시스템 구성도

광자계센서를 사용하여 구성한 보호계전 장치의 경우 그림 4에서와 같이 광신호처리 모듈의 LED에서 생성된 광신호를 광섬유를 통하여 전력선에 부착되는 광센서로 전달하고 광센서에서 변조된 광신호는 다시 광섬유를 통하여 광신호처리 모듈의 수신단에서 PD를 통해 전기신호로 감지되고 변조도를 추출하기 위해 전기소자에의해 처리되어진다. 광신호처리 모듈의 출력 값은 광센서의 자계에 대한 응답특성을 가지므로 기존의 정지형 계전기와의 연동을 위해 기존장치의 선형성과 일치하도록 변환해 주는 인터페이스 모듈을 구성하였다.

기존의 전력계통에서의 보호계전은 철심형 변류기를 이용하므로, 포화나 경년 변화에 의한 성능 저하 및 운용상의 문제점들을 가지고 있었는데, 이 연구에서의 광자계 센서를 이용한 과전류 보호계전 시험 모델의 경우, 고절연 특성 및 대전류 측정이 가능하여 기존의 보호계전기의 문제점을 해결할 수 있다. 이 연구는 현재 진행중이며 98년 말경에는 광센서를 이용하고 이를 신호처리하여 구현하는 과전류 보호계전 시스템의 출현이 가능할 것으로 보인다.

2.4 OPGW 이용 송전선로 감시 시스템

정보화시대의 도래에 따라 전력설비의 운용에 있어서도 화상 및 데이터를 이용한 자동화, 무인화 운전의 중요성이 부각되고 있다. 특히 한전은 1985년부터 광섬유 복합가공지선이라는 정보고속도로를 철탑을 따라 설치함으로서 전국적인 광네트웍을 구성하였다. 따라서 이를 이용하는 정보통신 고유의 업무 외에도 이제까지 인력에 의존하기 때문에 제한적일 수 밖에 없었던 선로 순시 등 송전선로 감시업무에 있어서도 각종 센서를 사용하거나 카메라를 통하여 필요한 데이터와 화상 정보를 실시간으로 보다 정확하게 얻고자 하는 노력은 지극히 당연한 일이라 할 수 있다.

이 연구에서는 전력의 주요 공급 루트로 지상에 노출되어 있는 열악한 환경의 송전선에 대한 감시 및 제어를 첨단 기술을 이용하여 구현하고자 하였다. 특히 송전선로의 감시 제어를 위하여 광섬유 복합가공지선 내에 내장되어 있는 광섬유를 이용하였는데, 광섬유의 통신방식은 넓은 전송대역과 함께 써지나 전자계의 영향이 무시 될 수 있어 신뢰성이 가장 높은 통신방식 중의 하나라고 할 수 있다.

또한 이 연구에서는 송전선로 감시를 위한 ITV(Industrial TV)시스템용 광전송장비(화상,음성,데이타), 중앙처리장치 및 시스템 운영소프트웨어, 전원공급 및 보안 장치 등을 개발하였고, 전송선로의 절약 및 경제적인 구성을 위하여 파장이 서로 다른 광원을 합파·분파하는 기능을 갖는 파장분할다중화 소자를 사용하여 광섬유 1심에 송신과 수신 신호를 모두 수용함으로서 파장다중 전송방식의 실용화를 구현하였으며 이는 향후 전력 통신분야의 시범적인 사례가 될 것으로 보인다. 이 연구 개발의 결과로 송전선로의 여러 가지 상황을 원격제어용 카메라의 화상을 통하여 착설, 선로의 이도, 철탑 금구류의 상태, 산불이나 수목 접촉 등 송전

선로 주위 환경을 원격으로 관찰함으로써 인력과 경비, 시간의 절감 효과를 얻을 수 있으며 무엇보다 고장의 사전 예측 및 고장 위치의 정확한 확인, 고장 원인 분석과 같은 종합적인 감시시스템으로의 진화가 가능해졌다.

개발한 시스템을 북부산전력소 관내 현장에 적용하고 사후관리를 통하여 양호한 신뢰도를 확보하였고, 앞으로 송전선로들을 중심으로 지하 전력구 및 발·변전소의 감시시스템 등에도 적용이 가능하리라 예상되며, 연구결과에 대한 기능별 sub-system을 다양한 응용분야에 적용함으로써 발전 및 송전 계통의 종합적인 유지, 관리시스템으로의 확대 적용이 가능해졌다. 그림 5는 전력소내에 설치한 감시시스템이며, 이 연구에서 개발한 세부내용과 기대효과는 아래와 같다.

○ ITV용 화상전송 장치 개발
○ 파장분할다중화 소자이용 한 가닥 광섬유를 통한 송수신 기술 구현
○ 광통신 기술에 의한 카메라 제어 및 화상 전송기술
○ 솔라셀에 의한 급전 방식 실증
○ 설비고장 감소
  - 동계 습설에 의한 송전선로 위해요소 사전 감시로 고장 사전예방
  - 산불, 선로상태의 무인 감시로 고장원인 감지에 활용
○ 관련업무 개선 및 효율향상 ; 인력순시 불가능한 지역의 효과적 감시 가능

그림 5. ITV 감시시스템

3. 향후 과제

전력분야에 응용할 광전자 기술 개발에 있어서 특히 강조되어야 할 것은 철저히 현장 적용위주로 연구 개발이 진행되어야 한다는 것이다. 전력설비를 안정적으로 운용하는 데는 계측이나 감시할 설비의 운전 신뢰성을 높이는 것이 가장 중요하다고 할 수 있다. 이분야의 기술로 지금까지 논의 되고 있거나 개선 또는 개발이 필요한 기술을 열거하면 아래와 같다.

- 광전류, 전압 계측(신뢰성 향상, 광섬유 센서 개발, GIS 분야 적용)
- 광전자식 보호계전(비율차동보호계전, 과전압/과전류보호계전 등)
- 광섬유 이용 분포형 다지점 광계측(지하전력구 화재/지중선로감시, 전력설비 온도계측)
- 광센서/광섬유 이용 변압기 부분방전, 뇌(雷) 빈도, 뇌격전류 파형, 뇌 서지 관측
- 광섬유 이용 지중 송전선로 감시 시스템(고장구간, 케이블 감시)
- 광정보 전송에 의한 송전설비 감시 자동화
- 발변전소 광정보 전송로 구성기술(광데이타링크, 광다중화 전송)
- 광전자식 배전반 개발
- 레이저 유뢰 기술

7. 맺음말

광응용 기술의 비약적인 발전에 따라 전력분야에서도 이러한 기술을 응용하고자 하는 노력이 많이 이루어지고 있다. 특히 전기적인 환경이 열악한 전력사업의 현장에서는 써지, 노이즈 등의 전기적 간섭에 의한 기기의 오동작이나 신뢰성 저하에 대한 특별한 대책이 없었던 것이 사실이었으나 광기술을 적용하면 좋은 결과를 얻을 수 있음을 알게 되었다. 더구나 센싱에서 전송 및 신호처리에 이르기까지 광기술이 미치지 않는 곳이 없을 정도 이므로 EMI(Electromagnetic Interference) 문제에 있어서는 더 바랄 수 없는 환상적인 기술이라 할 수 있다. 이 글에서는 지금까지 한국전력의 전력연구원에서 수행해오던 연구활동 위주로 전력분야의 광전자 응용기술에 대하여 기술하였고 앞으로 관심을 가지고 수행하여야 할 연구분야에 대하여도 생각해 보았다. 광전자 기술은 그 응용분야가 예상을 넘을 정도로 방대하므로 체계적이고 실용성 위주로 연구가 이루어져야 할 필요가 있으며 그 어느분야 보다도 산학연의 긴밀한 협조가 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

[1] 조홍근, 김영수외 "광CT, PT 개발" 한전기술연구원 보고서 1992. 1
[2] 김영수, 조홍근외 "BSO를 이용한 광 CT, PT 개발" 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1265-1268, 1992
[3] 조홍근, 김영수외 "광센서를 이용한 전자 MOF와 DM 개발" 전력연구원 보고서 1995. 11
[4] 조홍근외 "송전선로 감시를 위한 ITV 시스템 개발" 전력연구원 보고서 1995. 10
[5] 박병석, 안성준, 조홍근 "광센서를 이용한 과전류 보호

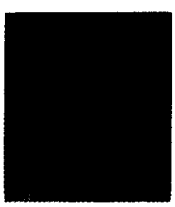
계전의 응답특성 연구" '97 한국자동제어 학술회의 논문집, pp. 1364-1366, 1997. 10

[6] 박해수, 김요희 "과전류 계측을 위한 광자계센서의 구현", 대한전기학회 하계학술회의, 1997. 7

저 자 소 개

조홍근(唐洪根)

1952년 10월 3일생. 1975년 한국항공대학 정보통신공학과 졸업. 1992년 충남대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1996년 전북대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공박). 1979년 한국전력입사. 1997년 현재 전력연구원 시스템통신연구소 책임연구원. 1989년 Canada Ontario Hydro Visiting Research Engineer.



박병석(朴炳晳)

1971년 5월 출생. 1993년 한남대 공대 전자공학과 졸업. 1995년 동대학원 전자공학과 졸업(석사). 1997년 현재 전력연구원 시스템통신연구소 정보통신그룹 연구원.

김영수(金永洙)

1959년 1월 4일생. 1982년 전북대학교 전자공학과(공학사). 1984년 전북대학교 대학원 전자공학과(석사). 1994년 전북대학교 대학원 전자공학과(공박). 1984년~1997년 한국전기연구소 선임연구원. 1997년~현재 초당산업대학교 전자공학과 전임강사.