

전력설비분야의 새로운 센싱 기술 동향

이창환, 여운동, 김재우, 배상진
한국과학기술정보연구원

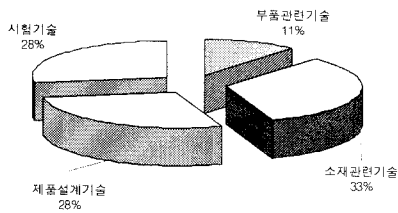
New Sensing Technology Trends in Electric Power Equipment

Chang Hoan Lee, Woon Dong Yeo, Jae Woo Kim, Sang Jin Bae
Korea Institute of Science and Technology Information

Abstract - 세계적으로 전기수요와 전기품질의 중요성의 증대로 전력설비의 감시 및 보호를 위한 센싱기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 기존의 전압 및 전류측정 장치인 철심형 변성기는 측정전압이나 전류가 증가될수록 전기적 절연설계가 어렵고 외형 부피가 커질 뿐만 아니라, 측정의 정확도, CT 철심의 자속포화로 인한 사고전류측정의 어려움 등의 문제점이나 단점을 가지고 있어서, 이를 해결하기 위해 센싱기술의 개발이 진행되고 있다. 따라서 본 논문에서는 전력설비분야에서의 새로운 센싱기술에 대한 연구개발 동향 및 상용화동향을 분석하고, 이를 통해 국가 과학기술정보의 확산 및 국가 경쟁력 증대에 작으나마 도움이 되고자 한다.

1. 서 론

우리나라는 1970년대~80년대의 고도의 산업성장과 더불어 중전기 투자 자유화 추진 및 초고압 중전기기의 국내 성능평가 수준을 거쳐 90년대부터 정부의 집중 지원으로 선진국 수준의 초고압(800kV급) 전자기기 생산국으로 발돋움하였으나, <그림 1>의 한국전기산업진흥회 "2003년 중전기 기술통계 조사 보고서" 통계에서 보는 바와 같이 제품설계기술 및 원소재 관련과 같은 국내 원천설계기술의 대부족한 상황이다.



<그림 1> 국내 중전기산업의 취약기술분야

그래서 본 연구에서는 선진국에 뒤지고 있는 10%~20%의 기술격차를 극복하기 위한 방안으로서, 선진국도 개발단계에 있는 디지털 IT 전자기기 개발에 핵심적인 새로운 센싱기술에 대하여 소개하고자 한다. 한국이 IT 분야에서는 이미 세계적으로 최고의 수준으로 인정받고 있으므로, 이를 바탕으로 전자식 또는 광섬유 및 광용융 센서를 전자기기에 접목할 수 있는 기술을 선진국에 앞서 개발 및 적용하기 위하여 최근에 선진국에서 개발되어 상용화되었거나, 상용화 연구단계에 있는 전력설비분야의 전자식 전압·전류 변성기를 비롯하여 광기술 및 광섬유가 응용된 각종 센서기술에 대한 국내외 기술동향을 소개함으로써 국내외의 연구투자 및 상용적인 활용을 도모

하기 위한 기술적인 이해를 돕고자 한다.

2. 본 론

2.1 새로운 센싱기술의 개요

2.1.1 광전압 및 광전류센서

1960년 레이저가 개발된 이후, 눈부신 발전으로 현재는 과학 및 공학 분야뿐만 아니라 산업계에서도 레이저는 다양하게 응용되고 있다. 최근에는 계통 및 전력설비들의 초고압, 대용량화로 인하여 안정적이고 신뢰성이 확보될 수 있는 계통운전을 위하여 레이저를 응용하는 여러 가지 기술들을 전기공학분야에 실용화하기 위한 연구 및 개발투자가 활발하다. 특히 레이저응용 진단기술은 전력설비의 신뢰성 확보 차원에서 사고 예방을 위한 상시진단 분야에 우수한 장점을 지니고 있어 장래의 계기용 및 보호용 계측장치로 발전이 확실시되고 있다.

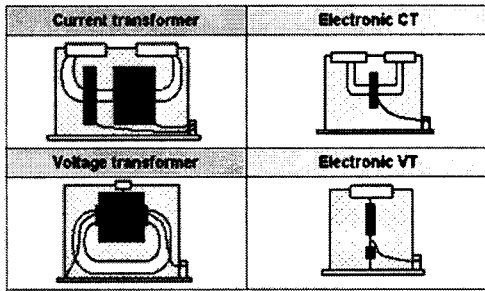
계측기기에 레이저를 응용하게 되면 다음과 같은 장점을 가진다. 첫째, 전기적인 절연 및 전자파장애(EMI)로부터 자유롭고, 둘째, 비접촉식이며 비파괴적인 계측이 가능하고, 셋째, 공간과 시간적인 측정분해능 및 정밀도가 높으며, 넷째, 소형, 경량의 센서제작과 원격 조정이 가능하여, 마지막으로 잠재적으로 경제성을 확보할 수 있다. 그러나 설비진단용 광 CT 및 광 PT는 측정된 신호로 다양한 전력설비를 제어 및 운전해야 하기 때문에 주변 온도 및 진동 등의 외부영향에서도 요구되는 측정 정밀도가 확보되어야 할뿐 아니라, 진단 시스템의 성능을 좌우하는 감도, 동작범위, 고속 응답 등에서 고성능 및 고 신뢰도가 요구된다. 상용 광 CT 및 광 PT의 특성은 확도(Accuracy)는 기존의 정밀 계기용 및 보호용의 등급보다 우수하며, 측정 대역은 특정한 정격의 제한 없이 넓은 뿐 아니라 주파수대역도 저주파에서 고주파까지 선형성을 유지할 수 있다. 그리고 기존의 아날로그를 비롯하여 디지털 계기기와도 인터페이스가 용이하며, 현재로서는 송변전급에서 설치 및 유지보수 비용면의 경제성에서 경쟁력을 갖지만, 향후에는 배전급까지 잠재적인 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

2.1.2 전자식 변성기

전자식 변성기는 종래의 철심코어 권선형 변성기와 상대적으로 개념으로 부담(Burden)과 출력 신호면에서 크게 차이가 있다. 종래의 전류변성기의 출력은 일반적으로 5 [A] 또는 1[A]의 전류신호로 부담은 15 [VA] 또는 40 [VA]이며, 전압변성기는 보통 110 [V] 또는 63.5 [V]의 출력에 100 [VA] 또는 200 [VA]의 부담으로 제작되지만 전자식 변성기의 부담은 VA 단위 대신에 저항 [Ω] 단위로 표시된다. 그리고 전자식 전류변성기의 출력신호는 전압단위로 22.5 [mV], 150 [mV], 200 [mV], 225 [mV] 및 4 [v]가 표준이며, 전자식 전압변성기는 대표적으로 1.625 [V], 2 [V], 3.25 [V], 4 [V] 및 6 [V]의 출력

신호로 제작된다. 철심코어 변성기의 부담은 변성기가 출력할 수 있는 피상전력을 의미하지만 전자식 변류기의 저항 부담은 전자식 변류기의 연결될 기기의 최저 임피던스를 나타낸다. 또한, 전자식 변성기는 아날로그 또는 디지털 출력이 모두 설정 가능하고, 아날로그 출력의 경우는 별도의 변환 장치가 필요로 하지 않는다. 디지털 출력을 얻기 위해서는 전자식 변성기의 2차 측에 별도의 전자회로를 구성하여 전자식배전반 또는 SCADA 등의 필요한 기기로 신호를 전송할 수 있다.

전자식 변성기의 정보는 IEC규격에 정해진 통신 프로토콜을 이용하여 전력기기로 전송할 수 있다. 기존의 철심코어 권선형 변성기는 철심코어의 자속포화문제에 계기용과 보호용을 별도로 사용해야 하며 중량 및 제품크기가 클 뿐 아니라 1대의 변성기에 전력기기가 1대만 대응되어야 하는 단점이 있다. 그러나 권선형 변성기에 비하여 경량 소형화로 외형변경이 용이한 전자식 변성기는 철심코어가 없어 자속포화에 대한 문제가 발생되지 않아 넓은 주파수 대역을 가질 뿐 아니라, 넓은 측정범위에 대하여 선형성이 우수하여 1대의 변성기로 계기용과 보호용의 기능을 동시에 수행할 수 있는 장점이 있다. 전자식 변성기는 마이크로프로세서를 사용하는 전자식 전력기기에 적합하게 설계되어 별도의 적분기 없이 소프트웨어적으로 적분기능을 용이하게 구현할 수 있다.



<그림 2> ABB의 전자식변성기와 철심형 변성기의 내부 구조비교

2.1.3 광섬유 온도 센서

전력설비의 안정적 운용과 사고 예방을 위하여 예측되어 분석해야 할 온도는 중요한 감시 파라미터 중의 하나이다. 그러나 변압기와 같은 설비는 비정상적인 온도가 발생하여도 바로 사고로 이어지지 않기 때문에 온도측정은 사고를 예측하는 데는 어려움이 있으나, 과부하 등으로 인한 기기 내부의 과열을 조기에 발견하기 위한 수단으로 적용되고 있다. 일반적으로 금속은 온도에 거의 비례하여 전기저항이 증가하는 이른바 정(+)의 온도 계수를 가지고 있으며, 금속선의 저항치가 온도에 따라 변화하는 특성을 이용하여 온도를 측정하는 방식의 온도센서를 측온저항체(Resistance Temperature Detectors)라고 하며, 열전대(Thermometer)나 서미스터(Thermister) 등이 보편화되어 있다. 산업적으로 자동제어 또는 내환경성, 편리성 등과 온도 크기를 직접적으로 전기신호로 변환하는 열전대가 손쉽게 현장에서 적용되고 있는 실정이다.

온도센서는 측정하는 위치의 차이로부터 측정하고자 하는 부위에 센서를 설치하는 접촉형과 물체로부터 열복사를 이용하는 비접촉식으로 크게 구분된다. 광학적인 방법에 의한 온도측정은 기존의 온도센서에 비하여 여러 면에서 많은 장점을 가지고 있으며, 또한 최근에는 광섬유의 발달로 다양하게 응용된 광온도 센서가 연구 개발되거나 실용화 되어 있다. 광섬유 온도센서는 레이저광 측정방법이 갖는 우수한 대부분의 특성을 가지고 있지만, 가격 경쟁력이 떨어지고 신생기술이라는 두 가지 단

점으로 인하여 아직까지는 보편화되지 않았지만, 기존의 온도센서와 비교되는 다음과 같은 장점을 활용하여 응용된다면 가까운 장래에는 전력기기의 온도 센서로 일반화 될 것으로 기대된다.

광섬유 온도센서도 측정 방법에 따라 접촉식과 비접촉식이 있으며, 광섬유 자체의 온도특성을 이용하여 광섬유가 센서가 되는 방법과 별도의 광온도센서와 결합시켜 광섬유를 광을 전송만하는 방법이 있다. 또 다른 구분은 공간적으로 측정하고자하는 범위에 따라 분포형 센서(Distributed Sensor)와 국부형 센서(Point Sensor)로 나누어진다. 분포형 센서는 광섬유 자체를 센서로 이용하는 광섬유 기능형 센서에서만 가능한 방법으로 분포형 광섬유 온도센서와 같은 방법이 대표적으로 실용화된 방법이다. 국소형 센서는 반도체의 발광특성, 형광물질의 온도 의존특성, 흑체복사 등을 이용하는 방법들이 보편화되어 있다.

2.2 새로운 센싱기술의 상용화동향

세계 중전기기 시장은 1998년도에 약 4,900억불에서 2000년에는 약 7,250억불 규모로 연 평균 12%의 높은 증가율로 성장하여 2010년에는 약 11,000천억불 규모가 될 것으로 전망된다. 또한, 세계 중전기기 산업을 주도하는 ABB, Siemens, GEC, Alstom 등과 같은 선진국의 유수기업은 고부가가치의 디지털기술, IT 기술, 전력전자기술 등 신기술의 접목으로 기능의 복합화, 응용범위의 다양화, 디지털화된 시스템 개발에 역점을 두고 있으며, 초고압 대용량의 전력기기, 전력변환장치 등 세계 최고?최대의 중전기기 개발에 대한 과감한 투자가 이루어지고 있다.

국내 중전기기 시장은 2001년 약 12조원 규모로 제조업 전체 생산액(566조원)의 2.1%를 점유하고 있으며, 효성, 엘지산전, 엘지전선, 현대중공업, 일진 등 상위 5개사와 30여 개의 중전기업 및 3,000여개의 영세 중?소 기업군이 주도하고 있다. 그리고 국내 중전기기의 기술은 90년대 중반까지는 주요부품 국산화와 일부 설계변경 개발에 치중하였으나 최근에는 원천기술 분야인 전산해석 설계기술의 연구개발에 주력하고 있다. 또한, 국내의 중전기기 가공·조립 기술은 선진국 수준이나 극히 일부 주요부품을 제외한 대부분의 부품도 국내 조달이 가능하지만 설계기술, 절연기술?소재기술 및 시험기술 등과 같은 원천기술부분은 아직 미흡하다.

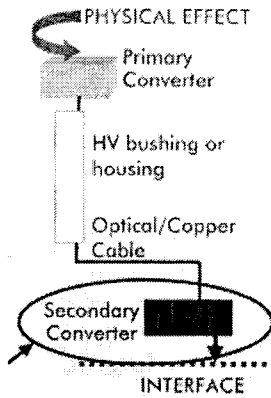
그러므로 국내외적으로 최근의 중전기기가 디지털기술, 신소재 및 초전도기술이 접목된 복합품·소형 경량화·시스템화, 신소재, 신기술 위주로 연구, 개발되고 있으므로, 이러한 신기술의 핵심인 다양하고 새로운 센서들에 대한 상용화 개발동향을 소개하고자 한다.

2.2.1 광전압 및 광전류센서

전력 분야에서 고전압 및 대전류를 효율적으로 측정하기 위한 광센서에 대한 연구는 80년대 초반부터 선진 외국을 중심으로 본격적인 개발이 연구투자가 이루어지고 있으며, 국내에서도 몇몇 기관에서 기초연구 및 일부 현상시험이 실시된바 있으나 실적용은 되지 않고 있다.

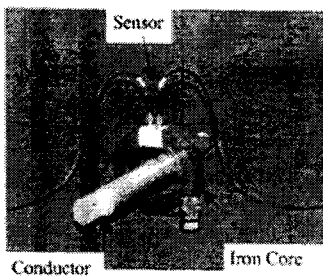
프랑스의 알스통사는 공기절연기기용으로 CTO, VTO, CMO, BMO가 사용화 되어 있으나, GIS용은 광 CT 및 광 PT를 대신하여 아직까지는 Rogowski 및 Capacitive EVT를 채택하고 있다. 알스통사의 NCIT의 기본적인 구조는 <그림 3>과 같이 피측정 대상(전압/전류)을 1차적으로 변성시키는 1차변환기와 출력을 변전반에서 수용할 수 있는 신호로 인터페이스시키는 2차변환기로 크게 나누어진다. 1차변환기는 전류측정용으로 CTO, BMO, 전압측정용으로 VTO 및 복합용의 CMO가 있고, 2차변환기는 저압 아날로그출력, 아날로그 계기를 위한 아날로그 표준출력(1A, 115V), IEC std 60044-8(2.5Mbits/s) 및 IEC61850-9-1 (Ethernet) 등의 단방향 실시간 디지털 신호와 저속의 쌍방향 디지털 신호전송도 가능하게 설계되

어 있다.



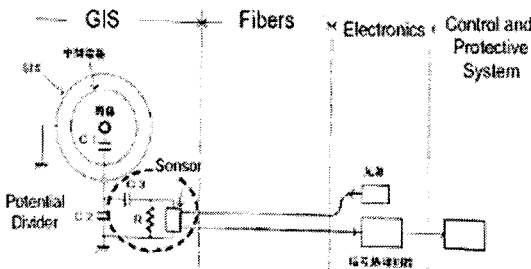
<그림 3> Alstom NCIT 개략도

일본의 히타치사는 80년대 후반부터 GIS용의 광 CT 및 광 PT를 개발하였다. <그림 4>는 초기의 개발 제품으로 전류의 자계를 집중시키기 위한 철 코어를 적용한 광전류센서이다. 그러나 최종적으로 히타치사에서 개발 완료된 광전류센서는 bulk glass를 이용한 GIS용 광 CT이다.



<그림 4> 철코어를 적용한 광 CT 전경

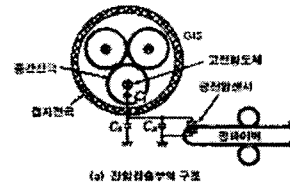
<그림 5>는 히타치사가 GIS에 적용시킨 광 PT에 대한 개략도로서 GIS 도체전압을 C1과 C2를 이용하여 1차 분압시킨 전압을 Pockels 센서에 인가하면 이를 통과하는 광신호가 변조되어 검출된 신호를 아날로그 및 디지털 신호로 전자식 배전반에 적절하게 변환시키는 구조이다.



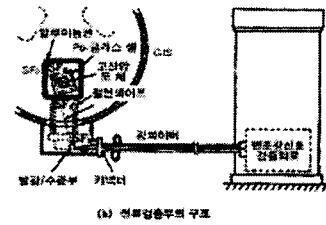
<그림 5> GIS용 광 PT의 개략도

Toshiba사에서는 80년대말부터 GIS용의 광 CT 및 광 PT 개발을 시작하여, 광 CT분야는 초기에 <그림 6>과 같은 Flint Glass Faraday 소자를 이용한 bulk형 센서를 사용하였으나 90년대부터는 광섬유 전류센서를 개발하기

시작하여 지금에 이르렀다. 여기서는 광센서 소자의 온도에 대한 영향을 해결하는데 상당한 비중을 두어 연구를 하였다. 그러나 최근에 Toshiba사는 광 PT의 온도변화에 따른 특성을 안정화해 상당히 좋은 연구결과를 얻어, 현재는 현장적용을 위한 상용화 제품으로도 만족할 만한 완성도를 얻어 GIS에 장착한 제품을 출시하였다. 현재 Toshiba사의 광 PT는 일본의 동경전력과 공동연구로 전력설비에 장착된 제품들이 실제 운전 중에 있으며, 광 CT 부분은 현재 저복굴절 광섬유를 이용하여 GIS용으로 만족할만한 개발 및 시험결과를 얻어 제품화 수준에 이르렀으나, 현재는 새로운 광섬유 및 간섭계형을 이용하여 업그레이드 개발 중이다.



(a) 전류집중부형 구조



(b) 전압검출부형 구조

<그림 6> Toshiba사 bulk형 광 CT 및 광 PT

NxtPhase사는 캐나다의 BC Hydro와 수년전부터 광센서에 대한 연구를 지속적으로 수행하고 있는데, 이는 500kV CT의 전압위상 측정을 위한 광센서 개발과제의 연장으로 광전압 및 광전류센서 개발 과제로 이어졌다. 개발된 광센서는 2000년 5월에 Ingledow 변전소에 230KV급 복합 광전류 및 광전압 센서를 설치하여 시험운전하고 있다. 이후, 현장 시험운전에서 성능이 확보된 제품에 대해서는 현재 상용화 제품으로 판매되고 있다.

국내의 광전압센서 및 전류센서 분야의 연구는 전기연구소 및 전력연구원에서 80년대 중반부터 연구가 진행되고 있으며, 대학에서도 80년대 중반부터 연구를 지속하고 있는 한양대학교를 비롯하여, KAIST에서도 연구가 되고 있으며, 90년대 후반에 들어 전북대, 청주대 등 일부 대학에서 광 CT에 대한 연구가 되고 있다.

기업의 경우는 엘지전선에서 90년대 중반에 KAIST와 공동으로 연구된 바가 있고 최근 들어 해도옵틱스라는 벤처회사에서 상용화 개발이 된 것으로 선전되고 있으며, 엘지산전 연구소에서도 내부적으로 기초적인 연구를 진행하고 있다. 전력연구원에서도 연구되어 현장 적용시험된, 국내 154KV급 변전소의 상시 전류를 계측하기 위한 광전류 센서는 파라데이 소자인 ZnSe, BSO를 사용하고 자속을 집중시키기 위한 철심 코어를 채용하여 광전류 센서를 일체화 시켰다. 센서의 특성을 확인하기 위한 온도 의존성 시험에서 비오차가 ±1% 이내가 됨을 확인할 수 있었다. 그리고 성능을 확인하기 위해서 변전소에 설치하여 1992년 5월부터 1년간 현장시험을 실시한 결과 설계 규격에서 제시한 측정오차 범위인 3% 이내를 만족하기 때문에 현장 적용이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

2.2.2 전자식 변성기

전자식 변성기는 전자식 전압센서의 규격인 IEC 60044-7 규격이 1999년에 제정되고, 2002년에 제정된 IEC 60044-8의 전자식 전류센서의 규격이 완성되면서 선진 외국에서의 제품 출시가 본격화되고 있다. 선진 외국의 ABB, Alstom 등의 유명 중전기업체를 중심으로 중소기업에서도 제품출시가 이루어지고 있다. 특히 프랑스 전력회사가 대표적이며 고압차단기나 GIS 등의 전력기기 생산업체들에서 많은 제품을 생산하고 있다. 일본 전력회사에서도 이미 로고스키코일(ECT)을 활용한 전력용 보호계전기를 시판하고 있으며, 중국의 경우도 로고스키코일(ECT)을 활용한 제품에 대하여 기술 우위 점수를 주고 있고, 네델란드 KEMA에서는 전력기기의 형식 시험을 위한 과도전류를 측정할 수 있는 로고스키코일 ECT를 개발하여 시판하고 있는 실정이다.

국내에서는 한양대학교, 인하대학교 등 일부 대학에서 펄스전류 등을 측정하기 위한 로고스키코일을 개발하거나 기초적인 특성연구가 수행된바 있으며 한양대학교 퓨전전기기술응용연구센터는 엘지산전 등의 위탁과제로 ECT 개발에 참여한 바는 있으나, 대부분의 연구를 위한 로고스키 코일은 방전이나 고전압 실험과 같은 실험실용이므로 전력기기의 계기용이나 보호용으로 적용할 수 있는 특성을 갖는 상용목적의 전자식 변류기 개발연구가 수행된 바는 거의 없다.

국내기업으로는 엘지산전, 효성, 현대중공업 등의 주요 중전기업체 디지털 전자식 배전반을 위한 전자식 변성기 개발을 하고 있다. 엘지산전은 1999년부터 로고스키 CT 및 EVT에 관한 개발이 자체과제 및 산업자원부 과제를 통하여 수행되어 현재 양산준비단계에 있다. 또한 효성은 초고압 GIS용 EVT 및 로고스키 코일 전류센서 및 디지털 적분기를 개발 중에 있으며, 현대중공업은 20000-GIS용 콤팩트형 전자변성기를 협력업체를 통하여 개발 중인 것으로 알려져 있다. 대학창보센터의 벤처기업인 EMD사는 독자적으로 확보한 로고스키코일의 원천설계기술로 개발 완료한 75kA급 단락전류 측정용 로고스키 코일 전류계측기가 현재 전기연구소 및 엘지산전 시험센터에서 상용으로 운전되고 있다. 또한 독자기술로 개발된 3000A급의 핸드형 로고스키 전류미터는 마이크로프로세서로 측정전류크기에 따라 측정감도를 자동으로 선택하는 기능과 LCD 표시창에 측정된 전류크기가 표시되는 기능까지 포함시켜 오실로스코프나 DMM과 같은 별도의 표시장치가 필요 없는 일괄 집적화된 제품을 출시했다.

2.2.3 광섬유 온도 센서

전력설비등에 이용되는 온도센서의 기술 기준은 다음과 같다. 첫째, 온도측정용 열전대의 성능 요건을 규정하는 기술기준은 ANSI/ISA MC96.1-1982와 KS C 1602-1997를 참조하여 제정된 것으로서 열전대의 종류 및 재질, 열기전력 특성, 구조 및 명칭, 규정 사용 온도, 종류별 상한온도, 보상도선의 종류 및 교정 오차범위 등은 ANSI/ISA MC 96.1을 참조하여 작성하였으며, KS C 1602를 부분적으로 채택하여 보완하였다. 그리고 저항 온도감지기의 성능 요건을 규정하는 기술기준은 IEC 751-1995와 KS C 1603-1991을 참조하여 제정하였으나(용어정의 및 시험 부분은 KS 인용, 구조 부분은 IEC 인용), 구조 부분과 시험 부분의 용어 등이 상이하고, 시험상의 적용이 어려운 점 등의 요인이 제기됨에 따라, 2000년판에서는, 실제적으로 발전소에서 적용하고 있는 코드인 국제 규격 IEC 60751-1995에 따라 일원화하여 전면 개정하여 적용하고 있다.

광섬유 센서는 광통신의 기술 및 광전소자기술의 획기적인 발전에 힘입어 구조물의 상태를 그물망 같은 신경망 형태로 점검할 수 있는 단계까지 발전하게 되었다. 광섬유 센서 시스템에 요구되는 대부분의 소자는 거의

모두 상용화되어 있고 가격 또한 실용화가 용이하도록 점점 낮아지고 있다. 아직까지는 초기 단계인 광섬유 센서의 시장은 급진적으로 확대되고 있다. 이러한 환경으로 인한 핵심소자의 가격하락으로 광섬유 센서가 온도를 비롯하여 전기장, 자기장, 회전, 가속, 압력, 탄성, 진동, 각변위, 스트레인, 습도, 접도 등에서 기존의 센서를 대체하는 단계에 이르렀다. 국내에서는 광섬유 온도센서를 이용한 화재감시시스템이 한국표준과학연구원(KRIS)와 KAIST 및 (주)세기엔지니어링과의 공동으로 개발되었다. 화재발생위치 탐지를 5m 이내의 정확성을 갖고, 분해능은 0.1℃, 최대길이를 40 km까지 확장할 수 있다. 이 개발품은 세계적으로 시제품이 3개밖에 나오지 않은 신기술로 국내의 기술이 세계적인 수준이 되었다는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 급증하는 전력소비를 충족시키기 위하여 초고압 대규모로 개발되는 전력설비의 안정적인 운영을 위하여 디지털 IT 전력기기에도 적용될 수 있는 차세대 신기술 진단 시스템에 적용될 수 있는 새로운 광전압센서, 광전류센서, 전자식변성기, 광섬유 온도센서 등에 대한 동작 원리를 소개하고, 선진 외국 및 국내의 제품개발 및 연구동향에 대한 주요 관련기업들의 제품소개 및 최신 연구결과 등을 소개함으로써 국내의 연구 및 투자욕을 도모하고 가까운 장래에 현실화가 될 디지털 IT 기술이 접목된 새로운 전력기기를 위한 세계시장판도에 빠른 대응을 할 수 있는 원천기술 확보에 도움을 주고자 하였다. 이를 바탕으로 미진했던 국내의 연구투자 및 검토가 이루어짐으로써 새롭게 연구·개발된 센서들의 국내 상용화 적용시기를 앞당길 뿐만 아니라 국제적으로도 선도적 역할을 할 수 있기를 기대한다.

[참 고 문 헌]

- [1] M.Takahashi, et al., "Optical Current Transformer for Gas Insulated Switchgear Using Silica Optical Fiber," IEE E Trans. on Power Delivery, vol.12, p.1422, 1997.
- [2] S. Kobayashi et. al., "Development and Field Test Evaluation of Optical Current and Voltage Transformers for Gas Insulated Switchgear," IEEE Trans. on Power Delivery, vol.7, p.815, 1992.
- [3] E.Harada, et al., "Application of Electronic Secondary Technologies to 1000kV Gas-insulated Switchgear and Transformer", IEEE Trans. on Power Delivery, vol.14, p.509, 1999.
- [4] A. M. Luciano and M. Savastano, " wide Band Transformer based on a Split-Conductor current Sensor and a Rogowski coil for High Current Measurement", IEEE Trans. Instr. Meas., vol.42, pp454-457, 1996.
- [5] W. Rogowski and W. Steinhilber, "Die messung der magnetischen spannung", Arch Electrotech, vol.1, pp.141- 150, 1912.
- [6] C.P.Yakymyshyn, et al., "Manufacturing challenges of optical current and voltage sensors for utility applications", SPIE vol.3201, p.2, 1997.
- [7] Development and Application of Optical CT, PT, Final Report KRC-89-J10, 1993.
- [8] S.Fukunaga, "Meeting Materials for Optical CT & PT, J-Power Sys. corp.", private communication, 2003.
- [9] Y. Hirata, "Optical Transformers in TMT&D Corporation", private communication, 2003.
- [10] D.Chatrefou, "Optical Sensors in HV substations, Alstom", private communication, 2003.