

전력기기 디지털화를 위한 전자식 CT·PT 기술동향

장용무 / 한양대학교 퓨전전기기술응용연구센터

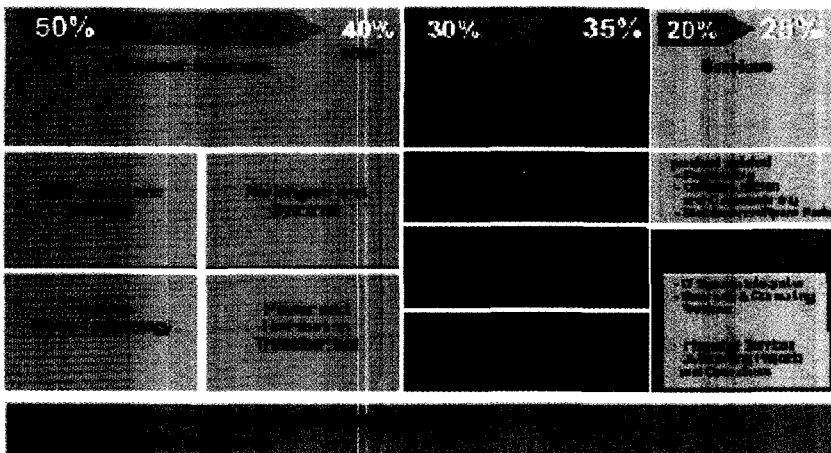
서론

세계적인 전력설비분야의 미래의 발전 추이는 그림 1과 같이 전체적인 중전기 산업분야에서 기존의 전력기기생산비율은 감소하지만 디지털 계전 및 보호기술과 같은 IT기술이 접목된 기기 생산부분을 비롯하여 예방진단분야와 같은 관리, 운용 및 서비스분야가 중전기산업에서 차지하는 비율은 더욱더 상승될 것이라

는 점을 전망되고 있다. 이는 제16회 한·중·일 전기기술교류회에서도 주장된 '전력시장이 민영화되면 신규설비에 대한 투자가 줄어들기 때문에 설비의 잔여수명과 손상정도를 평가할 수 있는 열화진단기술분야가 될 것이다' 라는 의견과도 일치 되는 것을 알 수 있다.

그러나 현재 운영되고 있는 전력설비의 감시 및 보호를 위하여 설치된 기존의 전압 및 전류측정 장치인 철심형 변성기(iron-core PT 및 CT)는 측정전압, 전류가 증가될수록 전기적 절연설계가 어렵고 외형 부피가 매우 커질 뿐만 아니라, 측정의 정확도, CT 철심의 자속포화로 인한 사고전류측정의 어려움 등과 GIS 등의 전력설비에서 큰 용적을 차지하는 것과 같은 여러 가지 문제점들을 발생시키고 있다. 또한, 측정오차로 인하여 전력품질을 평가하는데도 큰 문제를 발생시킬 수 있고 진단결과의 신뢰성을 낮추는 결과를 초래하여 앞으로 활성화될 전력거래소의 전력시장에서 전력거래에 요구되는 정밀한 주계량

Strategic Portfolio Transition



Power Transformer and Distribution

그림 1 전력설비에 관련된 발전 추이



설비와 정밀급 비교계량설비의 설치규정을 만족시키는 문제에서도 어려움을 내포하고 있다.

이러한 문제점이나 단점의 해결과 세계적으로 부각되고 있는 전기품질의 중요성으로 감시 보호제어 및 진단기능을 강화시키기 위하여 새로운 센서기술, 광기술, IT 등의 새로운 디지털기술을 접목시킨 융합형 전력기기 개발을 위하여 선진 외국 및 국내 관련업체의 개발투자를 집중시키고 있다. 디지털 IT 전력기기의 진단기술에 핵심인 전압 전류 측정시스템에서는, 기존 기기의 설계변형이 거의 필요하지 않으면서 다양한 외형 디자인 변형이 가능한 용량성(capacitive) 또는 저항성(resistive) 전압센서와 피측정 전류에 대한 자속포화나 전자기적 절연의 문제가 없고 외형을 손쉽게 바꿀 수 있는 Rogowski coil, Low-power CT 등의 전자식 전류센서 등이 최근에 상용화되어 주요 선진외국업체에서 상용화 출시되고 있으며, 국내벤처업체에서도 시범적으로 상용화 단계에 있다.

본고에서는, 세계 중전기 산업을 주도하는 선진외국의 거대기업이 추구하는 고부가가치의 디지털기술, IT 기술, 전력전자기술 등 신기술의 접목으로 기능의 복잡화, 응용범위의 다양화, 디지털화된 시스템 개발에 적용할 수 있는 전자식 전압·전류 변성기의 기술동향을 소개함으로써 국내의 연구투자 및 상용적인 활용을 도모하기 위한 기술적인 이해를 돕고자 한다.

전자식 변성기(Electronic Instrument Transformer)

최근에 들어 차단기, GIS, 보호계전기 등의 전력설비 분야에서 전자식 변성기의 적용이 활성화될 가장 큰 이유는, 전자식 변성기가 철심코어 권선형 변성기에 비하여 경량, 저비용으로 외형을 자유롭게 변화시킬 수 있으며 소형화가 가능하기 때문이다. 그러므로 급증되는 전력수요를 충족

하기 위하여 대규모로 설계 제작되는 전력설비를 설치할 부지확보 문제나, 배전반의 크기 등에 대한 경제적인 비용을 절감시킬 수 있다. 또한, 전력기기의 전자화로 인하여 종래의 아날로그 계기나 보호계전기 등에서 요구되던 변성기의 출력 전력이 필요 없게 되었으며, 변전소 종합자동화 및 배전자동화 등에서 요구되는 신호 통신기술의 발달로 인하여 전자식 변성기의 2차측 신호 전송방식이 잘 부합되기 때문이다.

전자식 변성기(electronic instrument)는 종래의 철심코어 권선형 변성기와 상대적인 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 출력신호로 제작된다. 철심코어 변성기의 부담은 변성기가 출력할 수 있는 피상전력을 의미하지만 전자식 변성기의 저항 부담은 전자식 변성기의 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 얻

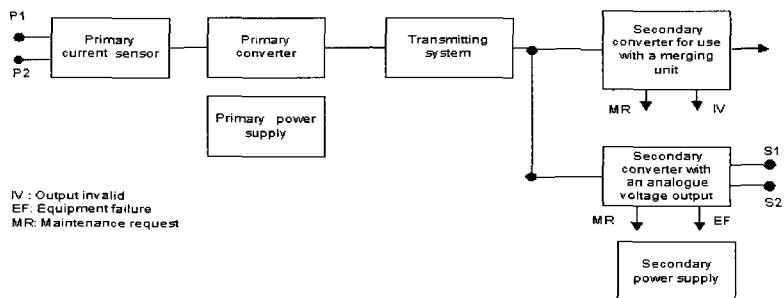


그림 2 2상 전자식 변성기의 개략도

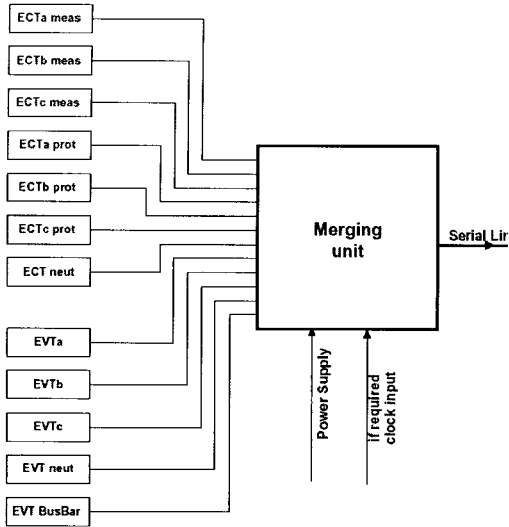


그림 3 전자식 변성기의 디지털 인터페이스 개략도

기 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. 그림 2는 단상 전자식 변성기의 개략도를 나타내고, 그림 3은 전자식 변성기의 2차 회로인 통합시스템의 블록선도를 나타낸다.

기존의 철심코어 권선형 변성기는 철심코어의 자속포화문제로 계기용과 보호용을 별도로 사용해야 하며 중량 및 제품크기가 클 뿐 아니라 1대의 변성기에 전력기기가 1대만 대응되어야 하는 단점이 있다. 그러나 권선형 변성기에 비하여 경향 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 마이크로프로세스를 사용하는 전자식 전력기기에 적합하게 설계되어 있으며, 디지털 보호계전기는 보통 1.0 [VA]이하의 작은 부담을 가지므로 전자식 변성기의 적용이 용이하다. 일반적으로

로그스키코일형 전자식 전류변성기의 출력신호는 피측정 전류의 미분형의 전압으로 얻어지기 때문에 피측정전류와 동일한 파형을 얻기 위하여 적분기가 필요하지만, 마이크로프로세스를 사용하는 경우에는 별도의 적분기 없이 소프트웨어적으로 적분기능을 용이하게 구현할 수 있다. 그리고 전자식 변성기의 출력신호 크기가 최대 4 [V] 또는 6 [V] 이하의 소신호로 A/D 변환기에 직접적으로 입력이 가능하다. 아날로그 및 디지털 출력에 대한 시스템 오차를 비교에 대한 개략도를 표시한 그림 4에 보는 바와 같이 아날로그 출력을 이용하는 경우에 225 [mV]의 출력을 갖는 ECT에서 사고시 정격의 40배의 전류가 흘러도 ECT의 출력은 9 [V]이하로 일반적인 IC의 입력에 충분한 것을 알 수 있다. 그러나 아날로그 출력의 경우는 그림 4에서 볼 수 있듯이 케이블의 전송오차 및 A/D의 회로오차가 발생되어 계기의 출력오차가 다소 커지는 반면, ECT 및 EVT의 디지털 출력신호는 직접 소프트웨어적으로 처리하기 때문에 케이블의 전송오차 등이 발생되지 않으므로 최종적인 계기의 출력오차도 ECT 및 EVT의 오차이상으로 증가되지 않는다. 전자식 변성기의 출력이 전압신호이므로 신호 전송시 EMI 영향이 고려되어야 한다. 그러므로 IEC 규격에서는 EMC 평가항목을 여러 가지로 규정하고 있으며, EMC시 환경 평가조건에서도 요구하는 오차를 유지할 수 있어야 한다.

선진 국외에서의 전자식 변성기의 활용 동향은 주로 전력회사를 위주로 적용하고 있거나 준비 중에 있다.

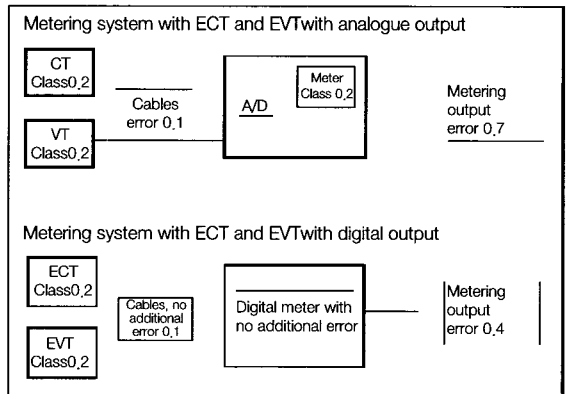


그림 4 아날로그 및 디지털 출력의 전자식 변성기시스템의 오차 비교

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 형식시험을 위한 과도전류를 측정할 수 있는 로고스키코일 ECT를 개발하여 시판하고 있는 실정이다.

국내에서는 일부 대학에서 로고스키코일에 대한 기초적인 원리 등은 연구된 바 있으나 전력기기에 적용할 수 있는 ECT로서의 조건을 만족하는 연구는 거의 없으나 일부 개발업체에서 로고스키 코일 ECT 및 EVT 등을 순수 국내 기술로 상용 개발하여 시판하고 있으며, 중전기분야의 주요 대기업에서도 현장 적용 가능성을 시험하고 있는 실정이다.

전자식 전압변성기

(EVT : Electronic Voltage Transformer)

용량성 및 저항성 분압원리를 갖는 EVT의 개략도를

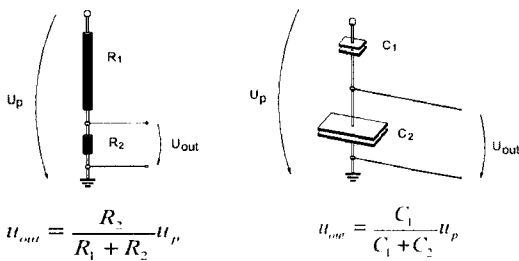


그림 5 EVT의 원리

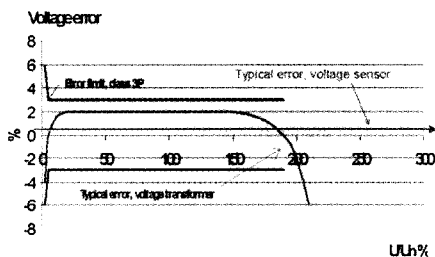


그림 6 기존의 PT와 전압센서 EVT의 측정오차 특성 비교

그림 5에 나타내었다. 그림의 좌측과 같은 저항성 EVT는 고전압부의 고저항과 임의의 분압비에 의한 저전압부의 저항이 직렬 연결되어 있으나 그림에서와 같은 소자 양단간의 피할 수 없는 표류용량이 형성된다. 그러므로 측정 신호를 왜곡 없이 전달하기 위해서는 저전압부의 표류용량과 동축선의 용량을 함께 고려한 위상정합이 이루어져야한다.

그림 5의 저항성 EVT에서 고전압 및 저전압부분의 표류 용량을 각각 C_1 , C_2 라고 하고, $R_1 C_1 = R_2 C_2$ 를 만족시킬 때, 센서의 출력은 주파수와 무관한 형태로 간략화 시킬 수 있다.

그림 6은 기존의 철심 변압기(PT)에 대한 측정범위에서 정격전압의 측정오차와 EVT의 측정오차를 비교한 것으로 기존의 PT는 class 3p의 규격에서 정격전압의 20~150%범위에서만 2%의 오차를 유지하지만, EVT는 정격전압과 무관하게 모든 전압범위에서 1%이하의 오차를 확보할 수 있는 고정밀 전압센서임을 알 수 있다.

Rogowski형 전류변성기(Electronic CT)

Rogowski coil은 1912년에 제안된 것으로, 그림 7에 보는 바와 같이 일정한 단면을 갖는 비자성체의 토로이달 코어("air" core)에 일정하게 권선된 코일에 시변 전류 I 가 관통되어 흐를 때, 그림의 식으로 표현되는 유도전압 신호가 발생되는 원리이다. 여기서, V 는 피 측정 전류에 의한 유도전압신호, N 은 권선비(turns/m), A 는 코어에 권선된 토로이달 코일의 단면적[m²], M 은 Rogowski coil의 감도[V/s/A]이다.

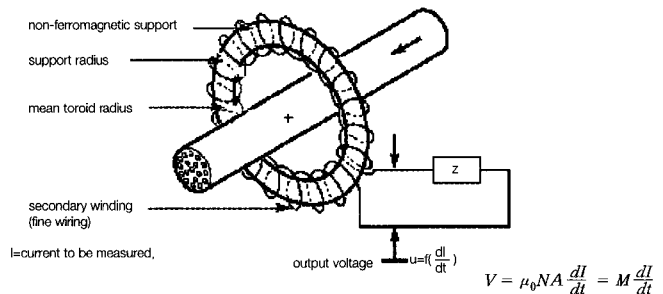


그림 7 Rogowski coil형 ECT의 원리

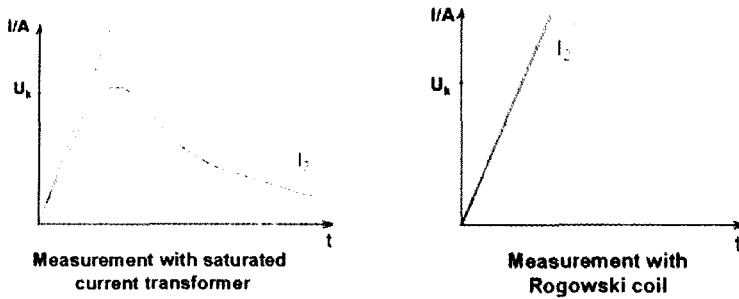


그림 8 정격 1차 전류에 대한 ECT와 기존 철심 CT의 측정선형성 비교

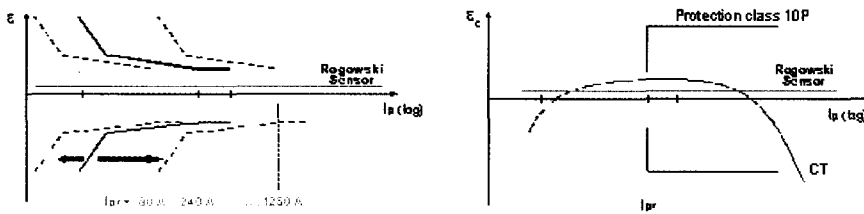


그림 9 Rogowski형 ECT와 철심 CT의 정격전류

그림 8에 보는 바와 같이 기존의 철심 CT는 자성체 코어가 측정전류 크기에 의한 자속포화 현상으로 측정 전류범위가 제한되지만, Rogowski형 ECT는 자성체코어가 없는 구조이므로 자속포화가 발생되지 않아 측정 전류의 크기에 대한 제한이 없을 뿐 아니라, 전체 측정 전류범위에서의 측정 선형성이 매우 우수한 것을 알 수 있다. 또한, 그림 9에서와 같이 철심 CT는 임의의 정격전류에 대하여 규격에 의한 측정 범위(accuracy limits)내에서만 측정오차가 만족되므로 정격 전류에 따라 다양한 CT가 설계, 개발되어야 한다. 그러나, Rogowski형 ECT는 정격전류에 무관하게 측정가능한 모든 전류에 대하여 측정의 선형성을 만족시키므로 단일 제품으로 계기용 및 보호용 계전기를 위한 전류센서로 사용이 가능하다.

국내외 전자식 변성기 상용화 개발 동향

전자식 변성기는 전자식 전압센서의 규격인 IEC 60044-7 규격이 1999년에 제정되고, 2002년에 제정된

IEC 60044-8의 전자식 전류센서의 규격이 완성되면서 선진외국에서의 제품 출시가 본격화되고 있다. 선진 외국의 ABB, Alstom 등의 유명 중전기 업체를 중심으로 중소기업에서도 제품출시가 되고 있다. 이러한 전자식 변성기의 수요처는 주로 전력회사를 위주로 특히 프랑스 전력회사가 대표적이다. 일본 전력회사에서 이미 전자식 변류기(ECT)를 적용한 전력용 보호계전기를 시판하고 있으며, 중국의 경우도 ECT를 채택한 전력기기에 대하여 기술적 우위 점수를 주고 있고, 네델란드 KEMA에서는 전력기기의 형식시험을 위한 과도전류

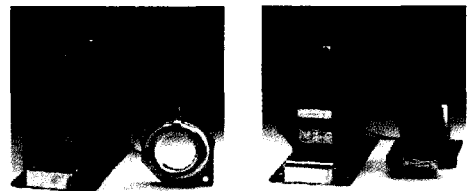


그림 10 ABB사의 배전급 ECT/EVT와 철심형 CT/PT의 비교

Current transformer	Electronic CT
Voltage transformer	Electronic VT

그림 11 ABB의 전자식변성기와 철심형 변성기의 내부 구조비교

를 측정할 수 있는 로고스키 코일을 적용한 시험용 계측기를 시판하고 있다.

그림 10은 ABB사의 배전급 ECT 및 EVT로 기존의 철심형 전류 및 전압 변성기와 비교한 것이다. 윗 그림의 우측 제품은 정격전류가 80~800A, 오차등급은 1.0급의 특성을 갖는 ECT 전류센서 KECA-A1로 기존의 철심형 CT와 비교하면 크기 및 중량, 측정오차, 정격전류 범위 등에서 훨씬 우수함을 알 수 있다. 그리고 아래사진의 우측제품은 GIS용 전압센서 KEVI-24A1로 24kV 정격으로 전압 분압비는 10,000/1V이며, 오차등급은 1/3P급으로 기존의 철심형 PT와 비교하면 소형 경량임을 알 수 있을 뿐 아니라, 성능 특성도 매우 우수하다.

ABB사의 전자식 변성기의 내부구조를 비교한 그림 11에 보는바와 같이 기존의 CT 및 PT의 복잡한 내부구조물로 인하여 외형 및 중량이 크고 무거울 수밖에 없으나 전자식 CT와 PT의 내부 구조물은 보는 바와 같이 매우 간단하고 변형이 용이하여 외형 및 중량이 작고 가벼워 설치와 유지보수가 용이하다.

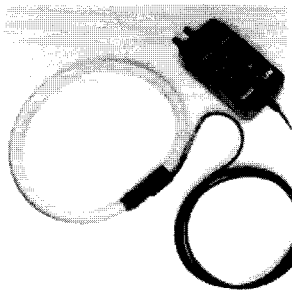


그림 12 LEM사 AC 전류 프루브 LEM-flex

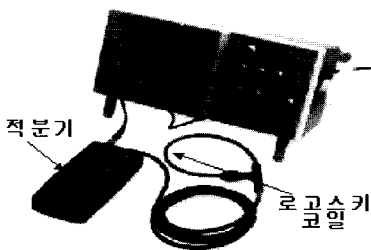


그림 13 영국 PEM사의 로고스키 코일 AC 전류프루브

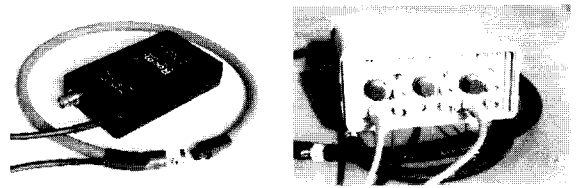


그림 14 영국 Rocoil사의 로고스키 코일 및 적분기

다국적 계측기 전문업체인 LEM사는 로고스키 코일을 이용한 flexible AC 전류 프루브인 LEM-flex인 그림 12의 제품은 측정전류범위가 30~10,000Arms, 정확도는 1%범위, -3dB 주파수 범위는 10Hz~50kHz로 위상 오차는 1°의 특성을 가지고 있으며 로고스키 코일과 적분기가 한조로 사용된다.

그림 13은 영국의 PEM사의 로고스키 전류센서로서 로고스키 코일의 출력을 적분기를 통하여 피측정 전류와 동상의 파형으로 변환시킨 후 오실로스코프 또는 DMM을 이용하여 전류 측정값을 얻는다. 그림의 제품은 측정전류범위가 30A ~ 300kA까지 다양한 모델이 있으며, 1.0mV/A의 측정감도로 적분기의 출력전압을 최대 6 Vpeak로 제한하고 있다.

영국의 Rocoil사의 제품을 나타낸 그림 14의 제품은 Type 8000 트랜스듀스로 로고스키 코일과 적분기가 한조를 이루며 측정범위는 3000 A(감도 1000 A/V)까지, 주파수대역은 20 Hz~2 kHz로 1%의 정확도를 갖는다. 우측 그림은 3-채널 type7000 적분기로 5가지의 감도를 선택하는 기능과 과부하 표시기능이 포함된 제품이다.

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

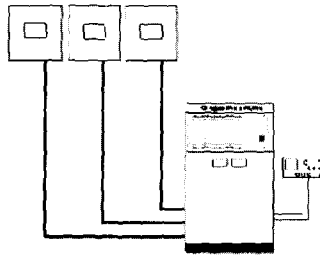
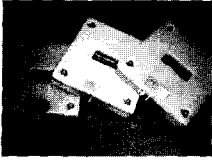


그림 15 단락전류 측정용 로고스키 코일 측정시스템(EMD사제품)

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 콤비형 전자변성기를 협력업체를 통하여 개발 중인 것으로 알려져 있다.

EMD사는 독자적으로 확보한 로고스키코일의 원천 설계기술로 개발 완료한 75kA급 단락전류 측정용 로고스키 코일 전류계측기(그림 15 참조)가 현재 전기연구소 및 엘지산전 시험센터에서 상용으로 운전되고 있다. 또한 독자기술로 개발된 3000A급의 핸디형 로고스키 전류미터는 마이크로프로세스로 측정전류크기에 따라 측정감도를 자동으로 선택하는 기능과 LCD 표시창에 측정된 전류크기가 표시되는 기능까지 포함시켜 오실로스코프나 DMM과 같은 별도의 표시장치가 필요 없는 일체화된 제품을 출시했다.

결 론

여기서는 초고압 대용량화로 개발되는 전력기기 및 계통의 안정적이고 신뢰성 있는 운영을 도모하고, 최근의 개발추세인 전력기기의 디지털 IT화에 적용될 수 있는 차세대의 신기술 진단 시스템에 적용될 수 있는 전자식변성기에 대한 원리와 선진 외국 및 국내의

제품개발 및 연구동향에 대한 주요 관련기업들의 제품 소개 및 최신 연구결과 등을 소개함으로써 국내의 연구 및 투자의욕을 도모하고 가까운 장래에 현실화가 될 전력설비 IT화를 위한 세계시장관도에 빠른 대응을 할 수 있는 원천기술 확보에 도움을 주고자 하였다.

참 고 문 헌

1. 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
2. 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
3. W. Rogowski and W. Steinhaus, "Die messung der magnetische spannung", Arch Electrotech, vol.1, pp.141- 150, 1912
4. John D. Ramboz, "Machineable Rogowski Coil, Design and Calibration", IEEE Trans. Instr. Meas., vol.42, pp329-334, 1996
5. W. F. Ray, "Wide bandwidth Rogowski Current Transducers", EPE Journal, vol.3, p.51 1993
6. <http://www.emdlab.com>
7. International Standard IEC 60044-8, INSTRUMENT TRANSFORMERS - Part 8: Electronic Current Transducers, 2002
8. International Standard IEC60044-7, INSTRUMENT TRANSFORMERS - Part7: Electronic Voltage Transformer,
9. TMT&D Corporation, private communication, 2003