

## 중전압 차단 개폐장치의 기술동향과 진단기술

이현동, 이석원, 신양섭, 김영근  
LS산전 전력연구소

### MV Switchgear Technology Trend and Diagnosis Technology

H.D LEE, S.W. LEE, Y.S. SIN, Y.G. KIM  
LS Industrial Systems, Electrotechnology R&D Center

**Abstract** - This paper describes MV switchgear technology trends and diagnosis technology. MV switchgear has been rapidly changed into compact, reliability and safety situation. And suggested road-map to implement condition assessment or condition based maintenance. On-line diagnosis technology, life evaluation technology and system technology are suggested.

#### 1. 서 론

- 21세기 지식 정보화 사회로의 전환에 의한 정보 네트워크의 정비·확대, 도시 Life-style 변화 등에 의해 전력의 안정공급, 고품질화, 고신뢰성에 대한 요구가 절실하고, 웰빙의 시대에 주변 환경의 간섭 영향을 배제하거나 자연 재해나 불의의 사고에 대한 생명의 보호를 중시.
  - 전력설비에서 신뢰성이 있는 운전과 경제성이 있는 유지 보수를 위하여 운전중인 전력기기의 절연, 통전 등의 상태를 진단하기 위한 고감도 지능형 센서 또는 일체형 Smart 센서, 디지털 측정 기술 및 인공 지능형 분석기술의 개발로 진단성의 평가 기술이 요구.
  - 지중형 부하개폐기의 설비 보수의 방법은 시민의 안전 보호 대책과 비용 억제의 관점으로 정기적으로 보수하는 TBM(Time Based Maintenance)을 실시하고 있는 상황에서 설비의 상태를 예측하여 보수하는 CBM(Condition Based Maintenance)으로 발전하는 모습을 보이고 있으며, 향후 신뢰성 공학을 통해 가장 효율적이고 경제적인 유지보수 방안을 전략적으로 운영, 관리할 수 있는 첨단 신뢰성 기반의 예방 진단인 RCM(Reliability Centered Maintenance) 기술이 제안될 것으로 전망.
  - 기 설치된 지중용 25.8 kV 가스절연 부하개폐기의 수량은 3만 여대로 국내 배전선로의 구분 및 분기용으로 사용되는 중요한 개폐기로서 유지보수의 과학화, 전력의 공급 신뢰도 향상 및 사고로 인한 불시정전에 따른 정전비용 절감을 위해 설치된 설비의 품질 평가를 통한 설비교체 주기 및 축적된 Data를 통한 합리적 수명예측 필요성이 강력하게 제기.
  - IT기술을 접목한 자기 진단형 전력기기에 대응한 진단 기술이 필수 기술로서의 역할 기대되고 있는 실정.
- 중전압 개폐장치에 요구되는 것은 다양하지만 정리하면 대략 다음과 같다.
1. 고품질 안정 전력공급 2. 컴팩트화 3. Low cost화 4. 사용의 편리성 5. 에너지 저감 6. 유지보수 비용 저감 7. 예방보전 8. 환경조화성 9. 데이터 수집의 자동화 10. 중앙 감시 11. 고장진단 및 복구지원 12. 고장원인의 해석과 단시간 구명, 13. 설비관리의 자동화 등의 다양한 요구는 중전압 스위치기어에 대한 기대가 크고 또한 시스템의 중요한 요소로서의 자리매김을 하고 있다고 할 수

있다. 본 논문에서는 중전압 개폐장치의 복합 시스템화에 대한 기술방향과 진단기술에 대한 발전방향을 모색하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 운전 현황

국내 22.9class 배전 계통에 설치 운영되고 있는 차단기, 개폐기는 2003년 1월을 기준으로 보호기기 약 8만대, 지중선로용 개폐기 2만 여대로 104,353대이며, 전체 개폐장치의 87.2%를 SF6가스절연방식인 Gas switch와 지중개폐기가 점유하고 있다. 표 1은 국내의 배전선로 보호장치 및 개폐기 설치현황을 나타내고 있다.

표 1. 가공배전용 개폐장치 설치현황

사용 전압	Interrupter	가스절연 부하개폐기	지중 개폐기	보호기기	기타	계
8.8kV	0	79	149	0	175	397
22.9kV	4,025	68,421	22,151	5,395	3,537	103,529
22.0kV	157	5	259	0	6	427
대수	4,182	68,499	22,559	5,395	3,718	104,353
점유율 (%)	4.0	65.6	21.6	5.2	3.6	100

##### 2.2 FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

전력시스템의 고장가능성으로부터 신뢰도를 평가하는 수법으로 FTA, FMEA, ETA, RCA 등이 있다. 이중 FMEA는 시스템의 모든 고장모드가 다른 구성요소에 미치는 영향을 조사하여 예상고장원인, 고장의 영향, 고장발생확률 및 대책을 수립하여 시스템이 받는 손상을 줄이는 안전성 평가방법이다. 이 방법은 고장의 원인으로 부터 시스템 고장측에 수반될 문제점인 고장을 정성적으로 고찰하는 것으로, 하위사상에서부터 상위사상에 도달한다고 하여 Bottom up방식이라 하며, 다음과 같은 추진 단계로 이행된다.

- 1단계 : 기능 및 구조 전개
- 2단계 : 해석 Level 결정
- 3단계 : Item 및 기능 열거
- 4단계 : 고장 모드 예측
- 5단계 : 영향 해석
- 6단계 : 원인 해석
- 7단계 : 중요도 평가

가스절연 개폐장치의 성능평가 방법 및 고장모드는 표 2와 같다

표 2. 가스개폐기의 고장 메커니즘과 시험 방법

시험 항목	내전압 시험	내방출 시험	부식 시험	형상 시험	가속시험 방법		주요 고장 유형
					열적	진동	
가동 성능	○			●			
절연력	●		○		△	●	
조작 정확		●					
절연		○	●				●
유해 가스	●		●				

2.3 MV SWGR 기술 전망

MV급 전력이기 분야에서 스위치기어는 빠른 변화 속도를 가지며, 지금까지의 이미지와는 다른 형태로 변화한 중전압 스위치기어를 「차세대 스위치기어」라고 호칭하면, 절연이나 차단기능을 주체라고 한 하드 복합화 기술에 다양한 주도 기술을 접목한 고기능화의 모습으로의 변모가 예상된다.

고기능화, 인텔리전트화는 먼저 기능구조의 복합화로부터 시작되며, 예측보전, 분산제어를 포함하여 진일보할 것으로 생각된다. 이 동향을 표 3에 나타내었다.

표 3. MV class 스위치기어 기술 동향

Trend & Key-word	과거 동향		현재 진행 동향		차세대 예상	
	기술도입, 국산화	기술도입, 국산화	Oilless, Compact화 전단, 감시기능 추가화	Oilless, Compact화 전단, 감시기능 추가화	Integrated형(복합화), Intelligent형(예측보전)	Integrated형(복합화), Intelligent형(예측보전)
Switchgear 동향	Mono, 개폐력 성능	개폐력 성능	다단형 Switchgear	다단형 Switchgear	복합 Switchgear	복합 Switchgear
차단기	ACB, OCB, VCB	ACB, OCB, VCB	VCB, GCB	VCB, GCB	VCB, GCB	VCB, GCB
주최로 절연	Air, Porcelain 등	Air, Porcelain 등	복합절연, SF6절연, Mold 절연 등	복합절연, SF6절연, Mold 절연 등	복합절연, 고체절연, 신절연소재 등	복합절연, 고체절연, 신절연소재 등
보호	유도형 (단기능)	유도형 (단기능)	Analog + Digital합성	Analog + Digital합성	Digital Integrated 형 Sub-system 분산제어	Digital Integrated 형 Sub-system 분산제어
감시	Analog Meter	Analog Meter	Digital 표시, LCD Display	Digital 표시, LCD Display	Digital Integrated 형 Sub-system 분산제어	Digital Integrated 형 Sub-system 분산제어
제어	전자식, Hard-wired logic	전자식, Hard-wired logic	전자식 Analog Relay, Digital 집합식, 복합기능화	전자식 Analog Relay, Digital 집합식, 복합기능화	Digital Integrated 형 Sub-system 분산제어	Digital Integrated 형 Sub-system 분산제어
규격	국제규격, User구대시행	국제규격, User구대시행	국제규격, 구대시행, 복합 SWGR 규격	국제규격, 구대시행, 복합 SWGR 규격	국제규격, 구대시행, 복합 SWGR 규격	국제규격, 구대시행, 복합 SWGR 규격

2.4 절연방식 및 절연 재료 전망

근래 지구 온난화 및 산업 폐기물처리 등의 환경문제가 부각되면서 중전압 스위치기어 분야에서도 대책이 필요해진다. 따라서 환경문제를 포함한 미래 절연기술 및 절연재료에 관하여 전망해 볼 필요가 있다. 중전압 스위치기어의 절연방식은 기중절연을 시작으로 하여, oil절연, 고체절연, 가스절연, 진공으로 발전해 왔다. 현재의 주류는 기중절연과 가스절연이고, 특히 교도의정서 발표로 SF6 가스절연의 동향이 주목되며, 복합절연 방식이 대두될 전망이다. 기중절연방식은 공기 가 절연주체이므로 온난화나 오존층 파괴는 없다. 또한 뛰어난 경제성으로부터 장래에 특히 7.2 kV 등급에서는 주도적인 절연방식이라고 생각된다. 그러나 다른 절연체재에 비하여 절연내력이 떨어지고, 또한 온도, 습도, 부식성 가스, 표고 등의 주위환경이 절연에 영향을 주기 때문에 밀폐화 등 절연 열화대책이 과제이다. 이 때문에 복합절연의 적용 확대나 압축 공기형·질소밀폐형 등의 방향성이 생각되지만, 전압개급에 대해서는 SF6 가스, N2 가스 등의 가스절연 스위치기어에 비하여 비용면에서의 우위성이 잃게 되는 경향이 있다.

가스절연방식은 중전압 분야 72~84kV의 정격범위에서는 주류를 유지할 수 있지만, 36kV 이하에서는 감소할 가능성이 높다고 생각된다. 환경대책으로서 복합절연의 적용 강화를 도모한 SF6 free 가스 절연기기의 개발이나, SF6에 공기나 질소를 혼합한 혼합가스절연기기, 또는 가스회수장치 등 리사이클 기술의 연구개발이 진행되어야 할 것으로 사료된다. 혼합가스의 혼합비에서의 내전압 레벨을 보면 정격 84kV에서는 SF6 단독, 33kV에서는 수 %의 혼합가스로, 22kV에서는 공기로 각각의 절연내력을 만족시키는 것이 가능하다.

이것은 각 전압 클래스의 스위치기어나 봉입한 절연체의 선정에 의하여 대응이 가능하며, SF6 free화 대책의 한가지 방법이라고 생각된다.

고체절연 스위치기어는 축소화에 최적이지만, 구성부품이 에폭시 수지 주형몰이 되기 때문에 회로변화에 대응하는 것이 커다란 비중을 차지하는 과제이다. 현재, 중기거점 과제를 중심으로 국내에서는 복합절연 차세대 스위치기어와 고전압화의 움직임을 보이고 있으며, 유럽에서도 환경대책으로서 연구를 활발히 진행하여 제품화하고 있는 실정이다. 절연재료로는 에폭시나 폴리에스테르 등 열경화성 수지가 많이 사용되고 있으나, 환경문제를 고려하여 친환경적인 열가소성 수지도 고성능화에 의하여 한층 적용이 확대될 것이라고 생각된다.

장래 절연재료의 폐기물 처리가 문제로 되고, 발생량의 저감, 처분량의 저감 등(리사이클, 감용, 감량화)의 대처가 필요하다. 이들은 절연재료의 소량화나 리사이클 재료·리사이클 방법의 개발 등의 방향으로 진행될 것이라고 생각된다.

국내에서는 생소한 oil절연방식이 변압기에서는 여전히 주류를 이루고 있지만, 중전압 스위치기어 분야에서는 현재 거의 제작되지 않는다. 환경 대책으로서 난연성 실리콘油 등이 장래 실용화의 가능성이 있다.

진공은 다른 절연에 비교하여 진공압력 측정이 곤란하다는 것이 제조상의 문제이지만, 가스를 대신한 것으로서 현재 C-GIS를 중심으로 CB부분에 실용장착되고 있는 실정이다. 그 밖에 계면절연이 있지만, 다른 주요 절연에 비하여 접속부 등의 부분절연방식으로 차후 확대되리라 생각된다.

표 4에 절연방식 및 절연재료의 동향을 정리하였다.

표 4. 절연방식 및 절연재료 동향

1. 기중 절연방식	· 전압 상승방식 (차단능력 및 유출률 감소와 관련된 절연 부분) · 경제성 (7.2kV급에서 주요 절연재료의 대체를 위한 연구) · 환경친화성의 진보 추세 (습도, 습도, 부식성 가스, 표고등 환경적 영향 고려) · 복합절연방식의 채택 추세 및 압축 공기형, 질소 밀폐형의 사용에 검토되고 있음.
2. Gas 절연방식	· 주요 절연방식으로 계속 적용 (MV급 중 72~84kV의 절연방식) · 차폐구조 개선 (환경친화적 및 복합절연의 적용가능성 인하여 25kV급 이하에서) · Gas 회수 장치 및 Recycling기술의 개발, 또는 복원가스의 사용방형 등에 대한 연구
3. 고체 절연방식	· 압축공기형 복합 절연방식 (인공, 절연재료의 대응에 의한 검토) · 새로운 고체절연재료 개발 움직임 (MV급 전압 이하의 소고압 제품으로 적용가능성 확인) · 고체절연에 따른 절연체재의 진보 (계면절연 발전) · 고체절연수지 기술의 발전에 따른 Recycling 요구된다 (절연회수수지의 적용 확대)
4. Oil 절연방식	· MV급 Switchgear 변압에서의 사용에 대한 검토. · 난연성 Silicon Oil 절연방식 등에 환경영향 연구에 대한 (환경/안전 문제)
5. Vacuum절연방식	· 진공압력 측정, 제조상의 어려움과 같은 문제 해결 등 개발 (다른 절연방식과 비교하여) · 부분적 진공 절연방식의 적용과 연구가 진행될 것으로 예상 (접속부 또는 기중부분)

2.5 기기의 복합기술 전망

기기의 컴팩트화는 절연체재의 변화에 따른 부분이 크다. 기기 자체를 개량하면, 기기의 기능이나 명확하게 되고, 다른 기기 등과의 복합화 등의 연구가 가능하다.

(1) 차단기의 전망

현재의 조건을 보면, 중전압급에서는 주력 차단기로서 진공차단기가 앞으로도 계속 확대된다고 생각된다. 그러나 기능은 남지만 현재보다 복합화되고, 차단기 단독으로는 있을 수 없는 즉, 중전압 스위치기어의 일부분이 되고, 진공차단기의 통전, 차단, 절연, 조작, 제어, 단로 등 각종 기능 중 조작, 제어는 복합 디지털형 보호계전기 또는 유사한 것과 복합화된다고 생각된다.

(2) 변류기(CT)의 전망

변류기는 저부담화에 의한 철심 코일의 축소화에 의하여 축소화나 비용 저감이 가능하기 때문에 로고스키(Rogowsky) 코일을 사용한 철심 코일의 소용량 wide-range 변류기로 대체될 것으로 생각된다.

(3) 계기용 변압기(VT)의 전망

계기용 변압기에 관해서는 계측용으로는 저부담화된 축소 권선형, 보호용으로는 저항 소자나 세라믹 콘덴서를 이용한 저항 분압형, 콘덴서 분압형이 된다고 생각된다. (4)피뢰기의 전망 고지항소자 ZnO를 외장 폴리머로 하여 축소한 것이 된다고 생각된다.

표 5에 기기의 복합기술에 대한 동향을 정리하였다.

표 5. 기기의 복합화 동향

1. 차단기의 전망	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vacuum 차단기가 지배적인 형태 적용 (MVA급에서)</li> <li>• 감전의 위험이 용인되는 방향 (중성, 차상, 불연, 조차, 제어 등)</li> <li>• Switchgear 일부 요소로서의 적용률 증가 시계의 저압성 축소</li> </ul>
2. 변류기 (CT) 전망	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 변류기 복합화, Cost의 축소로 진행</li> <li>• 축소형 및 디지털형 제품 (Digital Core) 사용률 증가로 Wide Range 변류기용 사용</li> <li>• Optical CT 제품도 발전 연구가 진행</li> </ul>
3. 변압기 (PT) 전망	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 계측용 변압기 제조업체를 통한 축소/개선용으로 진행</li> <li>• 보호용 변압기는 저전압시와 고전압시에서 동종한 제품개발, 관련사업협력을 통한</li> <li>• Optical PT 제품도 발전 연구가 진행</li> </ul>
4. 피뢰기 전망	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고지항소자 ZnO를 외장 폴리머로 하여 축소하는 진행</li> </ul>

앞으로의 중전압 스위치기어 개발의 방향성으로서는 환경오염 요인이 적고, 재이용하기 쉬운 재료의 선정, 소형화, 복합화에 의한 사용 재료의 저감, 부분 변경이 쉬운 설계 및 구조가 등이 고려되어야 할 것으로 생각된다.

## 2.6 진단 기술의 동향

지중형 부하개폐기의 설비 보수의 방법은 시민의 안전 보호 대책과 비용 억제에의 관점으로 정기적으로 보수하는 TBM(Time Based Maintenance)을 실시하고 있는 상황에서 설비의 상태를 예측하여 보수하는 CBM (Condition Based Maintenance)으로 발전하는 모습을 보이고 있으며, 향후 신뢰성 공학을 통해 가장 효율적이고 경제적인 유지보수 방안을 전략적으로 운영, 관리할 수 있는 첨단 신뢰성 기반의 예방진단인 RCM(Reliability Centered Maintenance) 기술이 제안될 것으로 전망된다.

현장에서의 전기적 기계적 화학적 및 환경적 열화에 대한 각종의 진단방식이 주류를 이룰 것으로 생각되며, 이중 절연사고에 대한 대비책으로 절연파괴의 전구현상인 부분방전에 초점을 맞추어 진단을 시행할 것으로 생각된다. 특히, 지중형 gas switch에 대한 운영상의 건전성 평가를 위해 부분방전 센서를 내장하거나, 기 설치 운전중인 시스템에 대하여는 외장형 센서를 취부하여 주기적으로 신호를 다운받아 분석하는 on-site형 진단시스템이 시행될 것으로 생각된다. 또한 가스의 상태를 파악하기 위하여 가스수분 및 가스의 열화를 파악하기 위한 가스분해 센서를 통한 진단도 주류를 이룰 것으로 생각된다.

표 6. 중전압 진단기술에 대한 Road-map

	2004년	2005년	2006년	2007년	2008-2012
진단 기술	□ 절연 열화 진단을 위한 센서 및 분석기술	□ 저 생성 및 디지털형 신호처리 기술 □ 감도 및 신뢰도 향상 기술	□ 진단 정확도 및 신뢰도 향상 기술	□ 진단 정확도 및 신뢰도 향상 기술	□ 진단 정확도 및 신뢰도 향상 기술
	□ 기계적 열화 진단을 위한 센서 및 분석기술	□ 가스분해 감도 향상 및 진단용 센서 기술	□ 진단 정확도 및 신뢰도 향상 기술	□ 진단 정확도 및 신뢰도 향상 기술	□ 진단 정확도 및 신뢰도 향상 기술
수명평가 기술	□ 절연체 열화 특성 분석을 통한 수명평가 기술	□ 절연체 열화 특성 분석을 통한 수명평가 기술	□ 절연체 열화 특성 분석을 통한 수명평가 기술	□ 절연체 열화 특성 분석을 통한 수명평가 기술	□ 절연체 열화 특성 분석을 통한 수명평가 기술
	□ 환경 문제를 고려한 리사이클링 기술	□ 환경 문제를 고려한 리사이클링 기술	□ 환경 문제를 고려한 리사이클링 기술	□ 환경 문제를 고려한 리사이클링 기술	□ 환경 문제를 고려한 리사이클링 기술
시스템 기술	□ 데이터 통신 및 취득 장치 기술	□ 데이터 통신 및 취득 장치 기술	□ 데이터 통신 및 취득 장치 기술	□ 데이터 통신 및 취득 장치 기술	□ 데이터 통신 및 취득 장치 기술
	□ 데이터 통신 및 취득 장치 기술	□ 데이터 통신 및 취득 장치 기술	□ 데이터 통신 및 취득 장치 기술	□ 데이터 통신 및 취득 장치 기술	□ 데이터 통신 및 취득 장치 기술

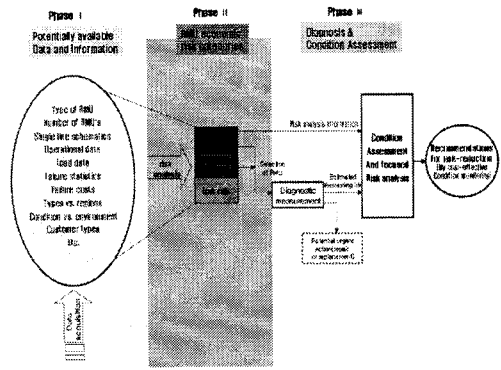


그림 1. On-site 진단 프로세스

표 6에 중전압 전력기기에 대한 기술 로드맵을 나타내었다. 중전압 전력기기에 대한 진단으로서의 진단기술과 건전성 평가 및 수명평가 기술의 확립이 요구되며, 이에 대한 시스템화 기술이 필수적이다. 향후 전력기기의 IT화를 위한 센서의 기술도 발전되리라 기대된다.

그림 1에 중전압 스위치기어에 대한 on-site 건전성 평가 프로세스를 나타내었다. 현장에서의 사용기기에 대한 견인력을 수집하고 연계된 계통의 이해를 바탕으로 위험도를 평가하여 진단방향을 설정하도록 제시하고 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 중전압 차단 개폐장치의 기술동향과 진단기술에 대하여 살펴보았다. 중전압 전력기기는 복합화, 시스템화 및 전력 IT화를 필두로 인텔리전트화의 방향으로 급속하게 발전하고 있다. 교토의 정서의 발효 후 절연가스에 대한 사용규제와 아울러 장래 절연재료의 폐기물 처리의 문제 대두로 절연재료의 소량화, 리사이클링 재료 및 리사이클링 방법의 개발 등이 현재의 당면과제이다. 또한 스위치기어 고장원인의 상당수가 절연가스에 기인하지만, 현재로서는 가스압력만을 확인할 뿐 장기 사용에 대한 성능평가 및 예방진단이 수행되고 있지 않는 실정이다. 중전압 전력기기의 신뢰성 확보와 국제 경쟁력 강화를 위해 장기적이고 지속적인 노력이 산업계, 학계, 연구계에서 공동의 힘을 모아야 할 것이다.

## [참고 문헌]

- [1] 중전압 개폐장치의 복합 시스템화 기술동향, 2000
- [2] G. Paoletti and M. Baier, "Failure Contributor of MV Electrical Equipment and Condition Assessment Program Development", Conference Record of Pulp and Paper Industry Technical Conference 2001, pp 37-47.
- [3] G. Balzer, O. Schmitt, M. Halfmann, and A. Hoble, "Maintenance and Refurbishment Strategies for M.V. Substations", 16th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, 2001. Volume 3, pp 6.
- [4] R. Schlabbach and T. Berka, "Reliability-Centered Maintenance of MV Circuit Breakers", Proceedings of the IEEE Power Tech Conference 2001[5] 김동명, 최선규, 권태호, "배전용 개폐기 고장분석 지원 및 성능 평가", 2005 전력기술개발 종합표회 논문집, 179~189, 2005