

變電機器의 豫測保全

(4)

受變電用 開閉機器의 진단기술

1. 머리말

受變電用 開閉機器는 전력수용가에 대한 電力供給設備로서 중요한 역할을 담당하고 있다. 근년, 콤팩트化·不燃化 등의 니즈에 따라 해당기기로서는 眞空遮斷器(VCB) 등이 많이 적용되고 있으며 氣中絶緣 스위치 기어에서의 VCB 多段積形이 일반화되고 있는 것과 아울러 가스絶緣開閉裝置의 채용이 확대되고 있다.

이와 같은 차단기의 多段積化라든가 가스絶緣에 의한 密封化는 종래부터 실시되어 온 外部點檢으로는 기기의 건전성을 충분히 확인하기가 어려워지고 있다. 한편, 電力의 安定供給은 더욱 중요하게 되었고 機器의 진단에 관해서도 단시간의 停電이나 운전상태하에서 精度 높은 진단을 하는 것이 요망되고 있다.

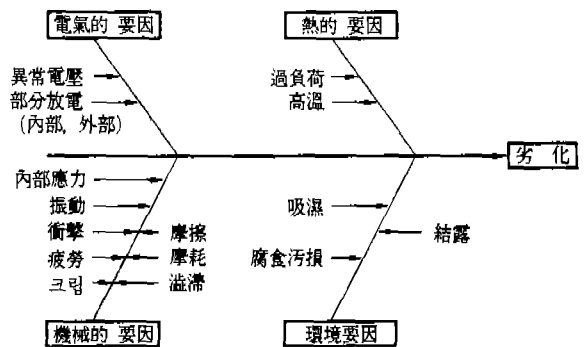
본고에서는 상기한 것들을 근거로 受變電用 開閉機器로서 자리잡고 있는 定格電壓 3.6~36kV의 遮斷器와 스위치 기어에 관하여 劣化와 故障形態, 診斷技術의 현실태와 동향을 이하에 소개한다.

2. 劣化要因과 故障形態

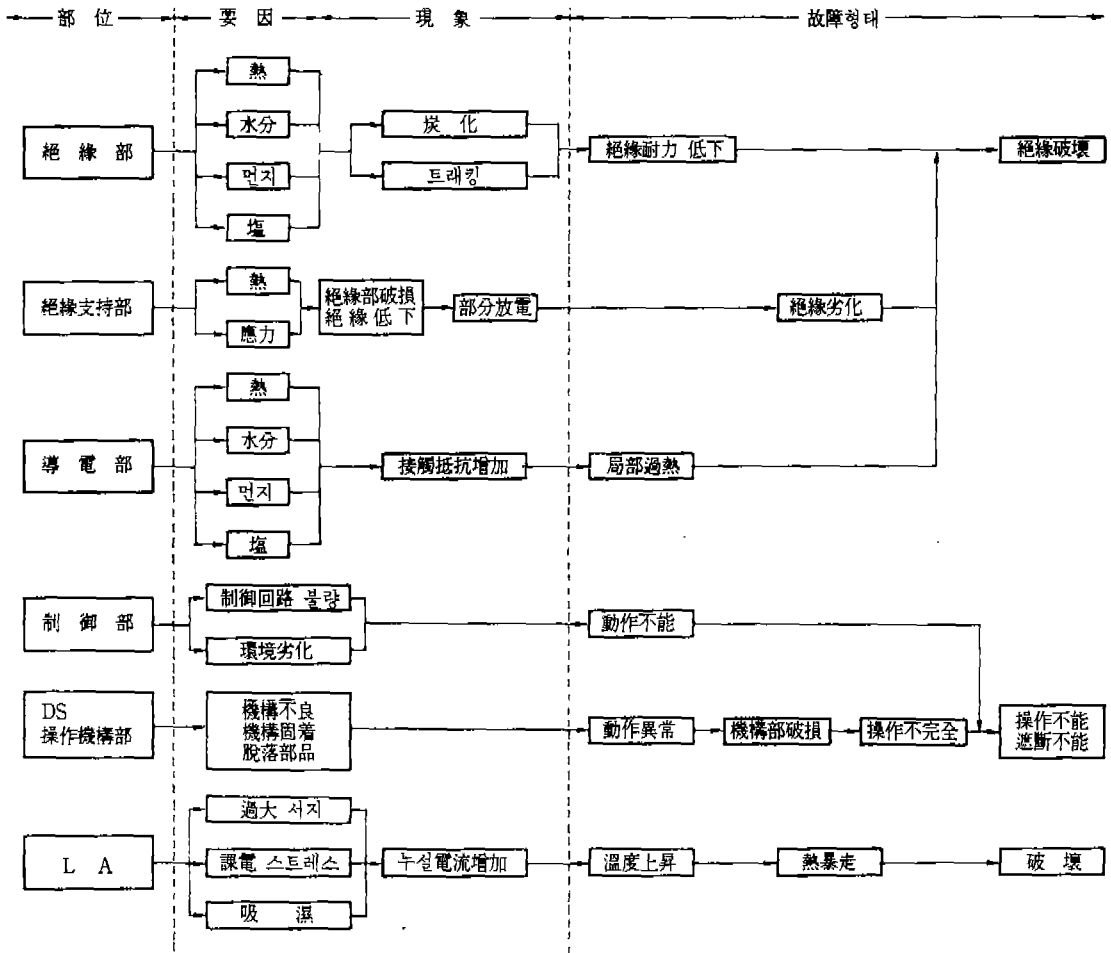
受變電用 開閉機器는 정기적으로 유지보수를

하면 기기의 수명을 연장할 수는 있지만 絶緣物·機構部品 등에서 각종 요인에 기인한 스트레스에 의하여 劣化가 수반된다.

受變電用 開閉機器의 劣化는 그림 1의 開閉機器의 劣化特性要因에서 표시한 것처럼 部分放電으로 대표되는 전기적 요인, 과부하·과열로 대표되는 열적 요인, 應力·振動·衝擊·疲勞로 대표되는 기계적 요인, 吸濕·汚損·結露로 대표되는 환경적 요인 등 4대요인으로 분류된다. 이들 각 요인은 단독으로 일어나는 경우는 적고 상호연관된 複合劣化의 형태로 진행되는 경우가 많다. 그 예로서 그림 2에서는 스위치 기어의 경우, 그림 3



<그림 1> 開閉機器의 劣化特性要因



<그림 2> 스위치 기어의 劣化 프로세스

에서는 眞空遮斷器의 경우의 劣化 프로세스와 故障 形態를 표시하였다.

受變電用 開閉機器의 主機器인 차단기는 가스 絶縁 스위치 기어용과 氣中絶縁 스위치 기어용으로 대별된다. 氣中絶縁 스위치 기어로서 사용되는 차단기는 引出構造를 채용하는 경우가 많은데, 引出構造로 된 차단기는 일반적으로 부품의 교환과 수리로 期待壽命을 다하는 修理系部品과 기본적으로 교환과 수리를 할 수 없는 非修理系部品으로 구성된다.

消弧方式의 차이에 따른 차단기의 종류는 油入

遮斷器(OCB), 磁氣遮斷器(MBB), 眞空遮斷器(VCB), SF₆ 가스 遮斷器(GCB) 등이 있으나 그 消弧方式의 차이에 따라서 수명을 정하는 요인도 크게 달라진다.

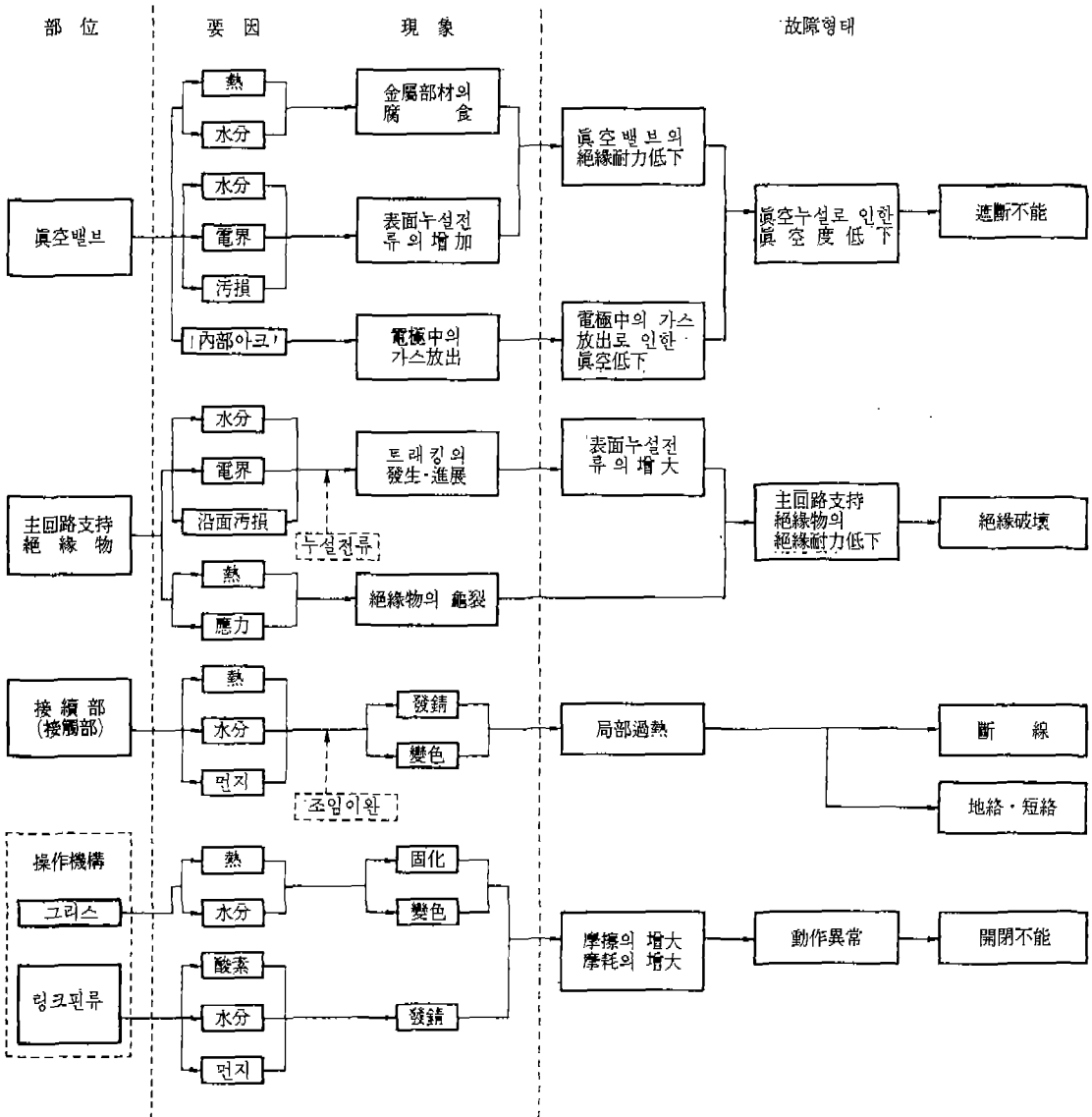
표 1에 각종 차단기의 劣化部位·劣化要因·劣化形態·障害現象 및 修理/非修理系區分을 표시한다.

3. 현재의 診斷技術

受變電用 開閉機器의 성능을 지속적으로 유지

하기 위해서는 적절한 整備·點檢이 필요하다. 표 2에 현재의 遮斷器 維持補修基準를 표시하였다. 일반적으로는 제조자가 규정한 巡視點檢項目 및 普通點檢項目, 細密點檢項目에 따라서 부품의 파손·변형·損耗 등을 점검하고 劣化된 부품은 교환함으로써 劣化의 방지와 수명연장이 가능하다. 그러나 이와 같은 維持補修·點檢으로는 사고

의 미연방지나 설비·기기·부품의 열화 정도, 殘余壽命豫測까지는 충분히 파악할 수가 없을 경우도 있다. 따라서 診斷技術도 이러한 배경하에 급속하게 진보하여 왔으며 특히 설비를 정지시켜 놓고 실시하는 진단에는 수많은 診斷裝置가 개발되어 실용화되고 있다. 표 3에 現地 또는 工場에서 실시하는 경우의



<그림 3> 眞空遮斷器의 劣化 프로세스

遮斷器診斷項目과 진단방법을 표시한다. 이들 診斷項目의 대부분은 설비의 정지를 필요로 하며 많은 診斷計測項目, 많은 診斷對象部位에 대한 진

단시간과 노력은 매우 큰 것이다.

일반적으로 설비의 진단은 외부점검과 분해점검으로 분류됨과 동시에 순회점검·보통점검 및

<표 1> 遮斷器의 劣化形態

遮斷器의 種 類	劣 化 部 位	劣 化 要 因	劣 化 形 態	障 害 現 象	修 理 系 非修理系	
OCB	절 연 유	환 경	흡습·산화	내전압 저하 → 차단성능 저하	修	
		전 류 개 폐	열분해·오손			
	패 킹	경 년	영구변화·열화	누 유		
	消 弧 板	전 류 개 폐	가스분출구 소모	차단성능 저하		
MBB	아 크 接 觸 子	전 류 개 폐	열용손·오손	차단성능 저하	非	
	탱 크 · 配 管	환 경	부 식		누 유	
VCB	眞 空 밸 브	환 경	진공누설	내전압 저하 → 차단성능 저하	非	
		전 류 개 폐	籠極中の 가스방출로 진공도 저하			
GCB	탱 크 · 配 管	환 경	부 식	가스누설	修	
	SF ₆ 가 스	환 경	가스 누설	내전압 저하 → 차단성능 저하		
	接 點	전 류 개 폐	接地에 의한 劣化生成	개폐동작성능 저하		
	노 즐	전 류 개 폐	가스분출구 소모	차단성능 저하		
全機種共通	操 作 機 構	링 · 핀	개 폐 동 작	연결부 마모·변형	개폐불량 동작속도 저하	非
		랫치結合部	환 경	먼지 부착·발청		
			경 년	그리스 윤유·변형·파손		
	機 構	조 임 부	개 폐 진 동	노손해점에 의한 정정치·위치 어긋남	개폐불량	非
		기타동작부	개 폐 동 작	먼지·변형·파손		
	通 電 接 觸 部 (氣 中 露 出 部)		환 경	부식·먼지·이물·부착·그리스 변질	접촉불량 → 과열	非
			개 폐 진 동	노손해점		
	부 싱		환 경	오손·飛來物에 의한 손상	절연저하	非
				시멘트 바른 부분 파손	누기·누가스·지지기능 저하	
	절 연 물	환 경	오손·흡습·변형크랙	절연저하	非	
	달 피	經 年	영구변화·열화	누유·누기	非	
	操 作 制 御 部	코 일 모 터	환 경	흡습·부식	절연저하·단선	修
		制 御 릴 레 이 터	환 경	접점오손·부식	접촉불량·개폐불량	
		큰 덴 서	經 年	열열화·용량저하	개폐불능·제어시간 변화	
퓨 즈		전 류 통 전 · 經 年	열화·용단	개폐 불능		
보 조 스위치		환 경	접점오손·부식	접촉불량·개폐불량		
배 선		經 年	열 화	절연저하	非	
配線接續部		개 폐 진 동	단 선	개폐불능		
	개 폐 진 동	조임부 헐거움	개폐불량			

세밀점검으로 분류되는데 이들 상호간의 관련사항은 표 4 와 같다.

受變電用 開閉機器의 狀態評價를 위하여 이들 점검은 어느 것이나 불가결한 것이지만 정전을 좀체로 할 수 없는 최근의 실정(1991년 일본전기

공업회(JEMA)의 設問調査報告에 의하면 停電可能時間이 8시간 이하인 사업소가 약 70%를 점하고 있다)과 숙련된 유지보수 기술자가 점차 감소하고 있는 현상을 생각할 때에 외부점검·분해점검항목을 가급적 줄일 것과 異常現象의 조짐을

<표 2> 현재의 遮斷器 維持補修基準

點檢項目	點檢內容(方法)	巡視	普通點檢	細密點檢
외부일반	開閉표시기·開閉표시등의 표시	○	○	
	異音·異臭 등의 발생유무	○	○	
	端子部の 과열변색 유무	○	○	
	부식·配管의 균열, 파손 유무 및 오손상황	○	○	
	設置케이스, 架臺 등의 도장상황, 발청손상 유무	○	○	
	溫度의 이상 유무(온도계)	○	○	
	부식단자의 조임상태(기계적 체크)	○	○	
	스톱밸브의 狀態異常	○	○	
操作裝置 및 制御盤	압력계의 指示(공기·기름·가스압계)	○	○	○
	動作回數計의 指示(조작장치·기름펌프·가스컴프레서)		○	○
	操作函 및 盤內의 濕潤, 물 고임, 발청유무 및 오손상황		○	
	급유, 청소		○	○
	저압회로 배선의 조임상태	○	○	
	開閉표시의 상태 확인		○	○
	操作前後의 壓力計 읽기(공기·기름·가스압)		○	○
	漏氣, 漏油 유무		○	○
	동작계의 동작 확인		○	○
	스프링의 발청, 변형, 손상 유무(손질)	○	○	○
	스트로크 係合部の 점검(조정)	○	○	○
	각 조임부 핀류의 이상 유무		○	○
보조 개폐기의 점검(손질)		○	○	
측정 및 시험	절연저항 측정		○	○
	접촉저항 측정			○
	히터 斷線 유무		○	○
	제전기 작동시험		○	○
	개폐특성시험(投入·開極時間·3상不整然 측정 및 시험)		○	○
	최저동작압력, 전압측정		○	○
	트립자유시험		○	○
	압력개폐기의 시험(공기·기름·가스)		○	○
	압력계 체크(계기·오차·시험)		○	○
	공기·기름·가스의 소비량 측정		○	○
	어큐뮬레이터 용량 측정		○	○
漏氣試驗			○	

< 표 3 > 현재의 遮斷器診斷項目과 診斷方法

診 斷 項 目	診 斷 方 法	1차진단 (현 지)	2차진단 (공 장)
1 絶緣抵抗測定	●絶緣物에 직류전압을 인가하였을 때의 (1) 絶緣저항(1분간 값) (2) 絶緣저항의 시간특성(1분간 값과 10분간 값의 비교) (3) 絶緣저항의 전압특성을 측정한다.	○	○
2 開閉動作特性試驗	●시간측정 또는 오실로그래프에 의한 投入時間, 開極時間 측정	○	○
3 接觸抵抗測定	●더블 브리지에 의한 저항측정(이상이 있으면 분해점검)	○	○
4 接觸部の 溫度監視	●서모테이프, 서미스터, 赤外線 溫度計 등으로 通電部의 온도를 환상상태에서 감시한다.	○	×
5 分解點檢	●細密點檢이나 事故電流 遮斷時에 가능한 범위에서 분해점검 ●接觸子 등 소모부품의 손질 또는 교환, 패킹 교환, 그리스업 등	△	○
6 消弧媒體特性調査 (SF ₆ 가스, 絶緣유 등)	●SF ₆ 가스의 水分측정, 純度측정(필요시에 흡착제 교환 등) ●絶緣유의 파괴전압측정(필요시에 絶緣유 교환 등)	△	○
7 制御回路試驗	●制御電源을 살려서 ON-OFF制御, 自動遮斷 트립 프리動作의 확인	○	○
8 漏洩電流 측정	●직류전압을 인가하였을 때의 漏洩電流를 측정하고 絶緣物의 吸濕狀態를 체크한다.	△	○
備考	(1) ○:可能, △:現地에서는 불가능한 事項도 있다, ×:不可能 (2) 1次診斷(現地)은 現地에서의 검사, 측정(세밀점검 레벨)을 말한다. 2次診斷(工場)은 工場搬入 분해점검, 측정을 말한다.		

< 표 4 > 設備診斷의 분류

	巡視點檢	普通點檢	細密點檢
外部點檢	○	○	○
分解點檢	-	○	○

주: ○표는 實施를 의미한다.

4. 診斷技術의 동향

受變電用 開閉機器의 診斷技術로서는 다음 두 가지의 動向을 들 수 있다.

(1) 情報化의 흐름에 적합한 診斷의 시스템化 및 省力化

停電診斷에서 취득한 데이터 처리방식의 고도화를 도모하기 위한 시스템化라든가 診斷을 위한 各種計測項目의 自動化 등을 들 수 있다.

(2) 常時監視에 의한 診斷의 高度化 및 省力化

정전진단으로 스포트 데이터의 취득관리에서부터 가동중인 機器의 상태를 常時計測하여 리얼타임의 데이터를 취득함으로써 스포트로는 잡을 수 없는 고장의 징조를 檢出하여 診斷의 高度化 및 省力化를 도모할 수 있음을 들 수 있다.

사전에 파악하는 것이 중요한 포인트가 되고 있다.

이와 같은 배경에서 오늘날의 設備診斷技術은 크게는 다음 두 가지 니즈에 따라 급격히 진보하고 있다.

- ① 유지보수의 省力化 추진
- ② 事故의 未然防止 도모

사고의 未然防止는 조기발견이 기본이며 그의 구체화 방법은 센서기술 등을 응용한 常時監視方式과 종래부터 설비를 정지시켜 실시하고 있는 各種診斷 데이터에 근거한 진단기술의 향상을 들 수 있다.

이하, 상기한 두 가지의 動向에 대한 개요를 기술한다.

4·1 情報化의 흐름에 적합한 診斷의 시스템化 및 省力化

受變電設備의 停電點檢에 관해서는 전술한 바와 같이 각종 診斷裝置가 整備化되어 현재 활용되고 있으나, 취득한 데이터 등은 당해설비를 위해 策定된 設備診斷基準 등에 의하여 判定 처리되고 있다. 또 진단장치는 진단대상인 각 기기와 회로에 순차적으로 설치·설정하는데에 많은 시간과 노력이 필요한 것이다(말을 바꾸면 開閉制御 시스템과는 별개로 이용하는 것이 대부분이다).

그러나 최근의 情報化·시스템化의 동향과 때를 같이 해서 診斷技術에 있어서도 다음 두 가지의 시스템化의 동향이 예측된다.

(1) 廣域의 受變電用 開閉機器診斷 데이터의 데이터 뱅크化

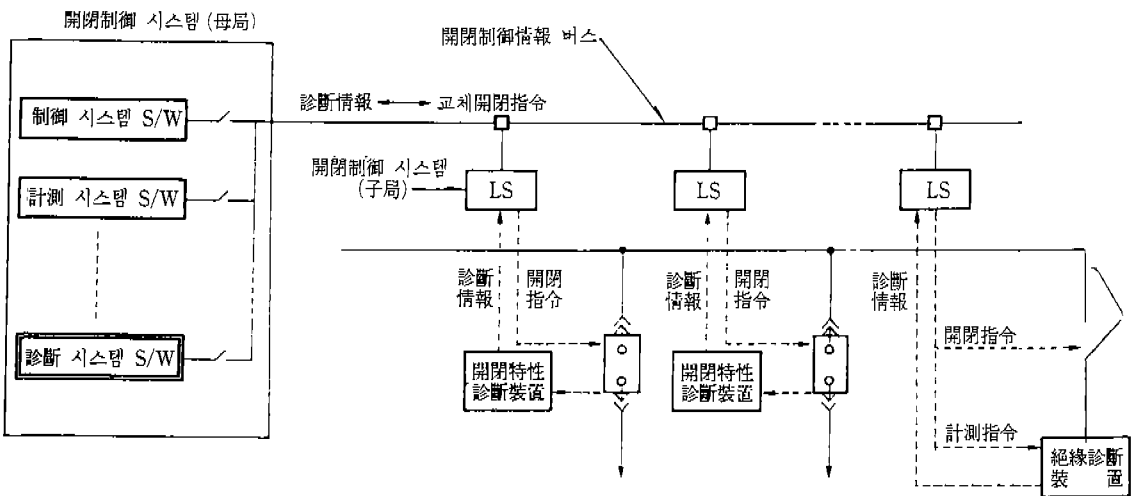
各需用家對應에 적용되는 受變電用 開閉機器의

진단은 전술한 바와 같이 各設備對應 데이터와 그 判定기준하에 운용되고 있으므로 진단 데이터의 공용은 별로 고려하고 있지 않다.

따라서 앞으로 電話回線 등의 廣域通信網下에서는 각 수용가 대응의 진단 데이터를 集中化하여 데이터 뱅크로서의 이들의 풍부한 데이터를 기초로 향상된 診斷레벨에서 設備를 관리하는 廣域 시스템化가 예측된다.

(2) 開閉制御 시스템에의 통합화

受變電設備의 인텔리전트 開閉制御 시스템의 베이스가 되는 소프트웨어(S/W)를 개재시킨 시어리얼 傳送·디지털 開閉制御 시스템으로 진단은 S/W(시스템) 메뉴의 하나로서 구성되는 것을 생각할 수 있다. 그에 대한 개념을 그림 4에 표시했는 바 開閉制御 시스템 버스를 이용하여 기존의 진단장치와의 인터페이스로 순차적으로 複数の 診斷計測項目을 계측하고, 또한 계측대상이 되는 각 회선을 순차 자동적으로 교체하여 이들 다수의 진단 데이터를 시스템의 母局에서 일괄적으로 데이터를 유지하는 진단 시스템이다. 이와 같은 시스템은 금후 受變電用 開閉制御 시스템의



<그림 4> 受變電用 開閉機器의 自動診斷 시스템

<표 5> 受變電用 開閉機器의 監視項目과 診斷區分

監視目的	項	監視項目	通用技術(센서 등)	상시감시 방식	활 선 진 단 방 식	정 진 단 방 식
絶緣異常	1	眞空度低下	眞空밸브내의 부분방전을 C分壓으로 검출한다.	○	○	
			眞空체커로 체크			○
	2	가스壓低下	溫度센서와 壓力센서로 가스密度的 변화를 본다.	○	○	○
3	部分放電	部分放電試驗器로 체크				○
		전자파를 안테나로 검출한다.	○	○		
		초음파(AE) 센서로 체크	○	○		
通電異常	4	局部過熱	局部過熱에 의한 가스壓 상승을 검출	○	○	
			서모라벨+色檢出		○	○
			육안으로 變色 체크			○
5	接點消耗	CT 電流과 릴레이 동작횟수로 누적차단전류를 검출한다.	○			
		게이지에 의한 특정			○	
動作異常	6	開閉動作	遮斷器 開閉極時的 동작시간을 검출하여 정상시와 비교한다.	○		○
	7	트립코일線	트립코일에 미소전류를 통전하여 단선 유무를 검출한다.	○	○	
	8	制御回路異常	制御回路에 미소전류를 통전하여 회로의 이상 유무를 검출한다.	○		
			시퀀스 체크			○
9	動作回數	遮斷器 補助點檢의 신호에 의하여 동작횟수를 카운트한다.	○	○	○	
상 기 의 외 의 異 常	10	分解가스	分解가스 分析			○
	11	異音·異常振動	진동·가속도 센서	○	○	
12	異 臭	냄새센서로 發煙 以前の 거동으로서 樹脂類의 分解ガスを 검출한다.	○	○		

인텔리전트化的의 동향으로 보아서는 용이하게 구축할 수 있음으로써 診斷計測의 自動化·省力化가 이루어질 것으로 생각된다.

4·2 常時監視에 의한 診斷의 高度化 및 省力化

受變電用 開閉機器의 감시항목으로는 絶緣·通電 및 開閉機能의 3가지 중요기능을 들 수 있으며 각종 방식이 이미 제안되어 있는 바 그 일례를 표 5에 표시한다.

(1) 絶緣監視

受變電用 開閉機器의 絶緣監視는 機器 자체의

감시로서 절연지지물의 트래킹이나 部分放電 등을 들 수 있으며 受變電設備 전체로서 관련설비까지를 포함하면 케이블 등 고체절연물의 절연특성의 트렌드 감시도 포함한 감시가 필요하게 된다.

트래킹이나 部分放電과 같은 放電을 수반하는 절연이상 및 케이블의 절연감시에 관해서는 표 6에 표시하는 각종 검출법이 제안되어 있다.

표 6의 케이블을 주체로 한 絶緣特性監視중에서 tan δ법, 低周波 重疊法 등은 系統中性點에 고유의 전원을 인가·주입하여 出力電流値와 그 位相角에 의하여 그 절연특성을 제측하는 것인데 접지선을 통한 이와 같은 電源注入方式에 의한 受變電用 開閉機器의 절연특성 감시방식도 마찬가지로 제안되어 있다.

(2) 通電機能監視

통전기능감시는 도체의 접속 및 접촉부의 接觸抵抗增大에 따르는 당해부분의 이상과열을 검출하는 것인데 검출방식으로는 바이메탈·形狀記憶合金 등으로 대표되는 이상과열로 인한 물체의 변형을 이용한 것과 서모라벨 등으로 대표되는 물체의 변질을 이용한 것으로 대별된다.

그림 5는 物體의 變形을 이용한 이상과열 검출 방식의 예를 표시한 것인데, 이것은 이상온도가 되면 바이메탈이 변형되어 音發生裝置에서 고유 주파수에 音壓피크를 가지는 音이 발생하여 이 音을 受音部에서 검출·판정하여 점점출력되는 구성으로 되어 있다. 이상과열의 감시대상 부위에 전술한 音發生裝置를 설치하고, 이 부위와 격리된 장소에 수음장치를 설치하여 이 사이의 音을 信號媒體로 함으로써 고압충전 부분의 이상검출이 가능한 장치로 되어 있다. 같은 방식으로 光을 信號媒體로 하여 검출하는 방식도 여러 종류가 제안되어 있다.

이상, 현재 提案되고 있는 대표적인 예를 기술 하였으나 이밖에도 이미 제품화되어 있는 光서미

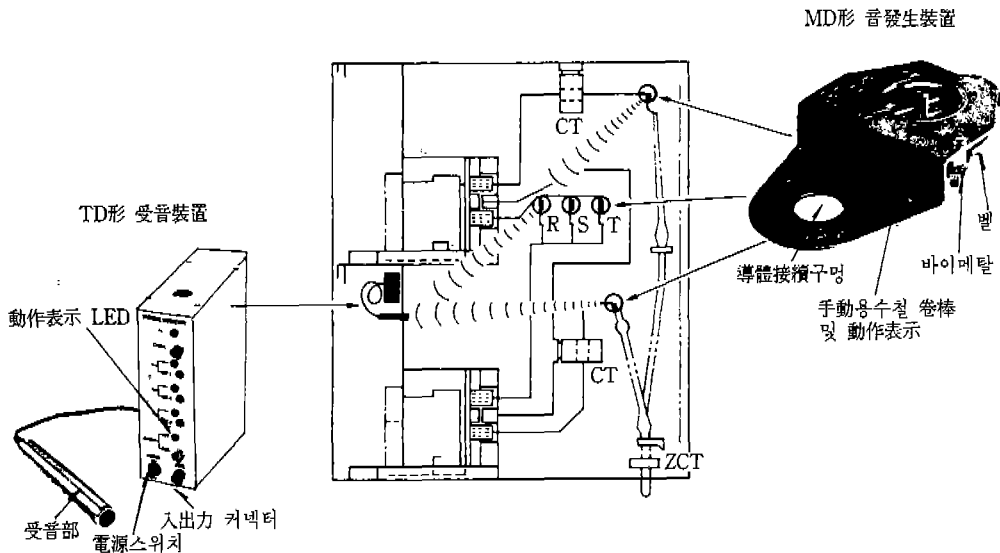
<표 6> 絶緣監視項目과 檢出法

絶緣監視項目	檢出法
放電	放射電磁波 檢出法
	超音波 檢出法
	部分放電 펄스 檢出法
	탱크(고주파) 電位振動檢出法
	放電光 檢출법
	分解가스 檢출법
固體絶緣特性	接地電流 檢출법(누설전류계측 포함)
	$\tan \delta$ 법
	直流成分法
	直流重疊法
	低周波重疊法

스터라든가 加熱物體의 온도와 放射電磁波 피크와의 관계를 이용한 單色形 放射溫度計測(서모그래피 등)의 응용 및 적용도 금후의 동향으로서 고려될 수 있다.

(3) 開閉機能監視

수변전용 개폐기기의 開閉機能監視는 당해 개



<그림 5> 異常過熱檢出裝置

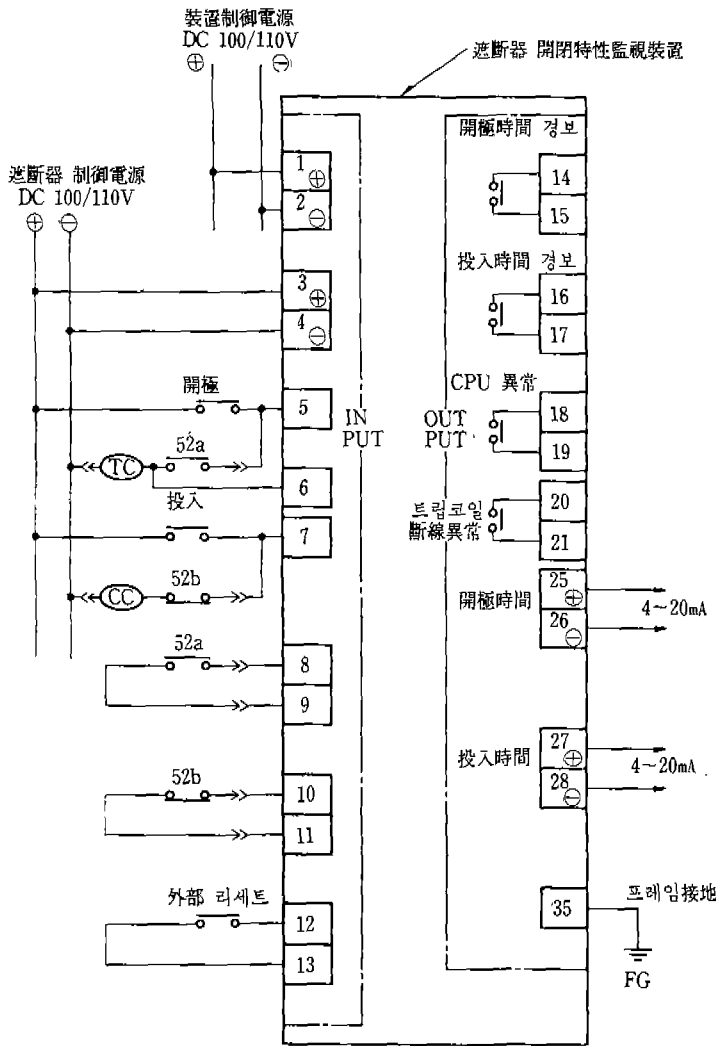
폐기의 동작의 건전성을 감시하는 것이며 감시항목으로는 주로 다음 두 가지를 들 수 있다.

- (a) 開閉動作機構와 연계되는 電磁코일이 단선되어 있지 않은가를 감시한다.
- (b) 投入時間과 開極時間을 계측하여 그 트렌드를 파악함으로써 開閉動作機構의 건전성을 감시한다.

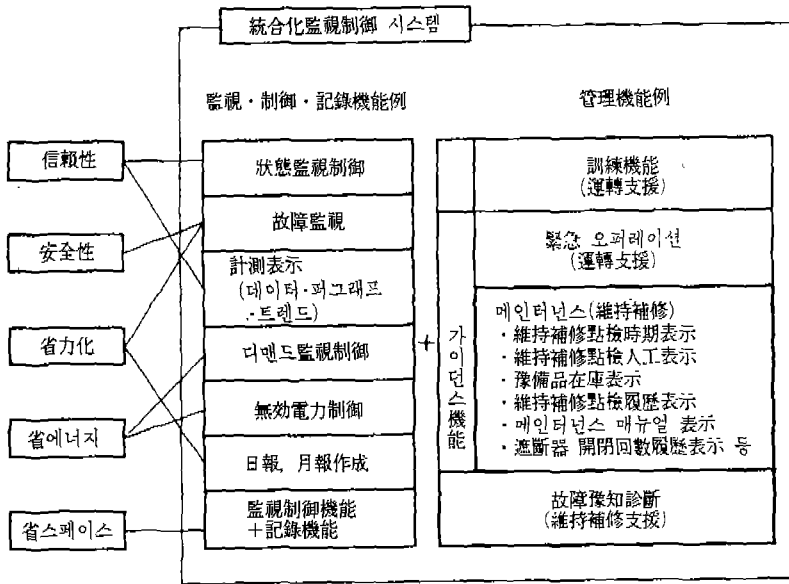
그림 6은 遮斷器 開閉特性監視裝置의 구성에 대한 예를 표시한 것이다. 그림 6에서와 같이 당

해장치는 트립용 코일에 미소한 電流를 주입하여 電流通電有無에 따라서 단선을 감시하고 개폐동작기구와 直結·連動하는 보조접점의 동작에서 開·閉極時間을 감시하는 장치로 되어 있으며 기설개폐기에도 制御回路配線의 일부변경으로 용이하게 적용할 수 있는 장치로 되어 있다.

또 出力仕様으로는 코일단선용의 점점출력과 미리 설정한 동작시간과의 비교로 開·閉動作時間 異常에 대한 점점출력 즉 3개의 점점출력과



<그림 6> 遮斷器 開閉特性監視裝置의 構成



<그림 7> 受變電用 開閉機器의 統合化監視制御 시스템의 概念

트렌드감시를 위한 데이터 출력으로서 동작시간에 대응한 計裝用 아날로그 출력(2점)이 출력가능한 장치로 되어 있다.

또 開閉機能의 감시에 대하여, 개폐기의 累積遮斷電流에 의한 接點消耗度의 예측이라든가 개폐기 동작기구의 직접적인 光位置檢出方式에 의하여 개폐특성을 예측하는 방식 등도 제안되어 있다.

4·3·금후의 동향

이상과 같이 開閉制御 시스템의 하나의 서브 시스템으로서, 구성되는 형태로의 展開와 상시감시방식의 展開는 더욱 진보하여 금후에는 그림 7에 표시한 바와 같이 이 양자를 합리적으로 融合한 통합화 시스템으로 승화되리라 생각된다.

5. 맺는말

受變電用 開閉機器에 대한 새로운 진단기술로

서 각종 센서를 이용한 진단 시스템이 개발되어 일부 적용되고는 있지만 이 진단 시스템은 금후 더욱 적용이 확대될 것으로 예상된다.

앞으로의 實用化를 위하여 필요한 검토항목으로는

- (1) 異常·劣化現象의 進展 프로세스에 대한 해명과 적용 센서의 결정
- (2) 異常·劣化現象과 센서 출력과의 關係 파악
- (3) 診斷 알고리즘의 확립과 AI·퍼지 등의 知識處理技術
- (4) 시스템 信賴度의 향상과 設計基準의 확립

등을 생각할 수 있다.

이러한 문제들을 해결함으로써 受變電用 開閉機器의 보다 정확한 진단이 가능하게 될 것이며 또한 高信賴度化, 維持保守點檢의 省力化·効率化가 실현될 것으로 생각한다.

本稿는 日本 三菱電氣(株)의 諒解下 에 번역한 것으로서, 著作權은 上記社에 있고 翻譯責任은 大韓電氣協會에 있습니다.