

전력기기의 감시진단기술

하

김 광 화
한국전기연구소 전력기기연구부 절연진단연구팀장

4. 전력기기의 감시진단법

본고에서는 전력기기중 가장 중심이 되는 변압기와 차단기에 대하여 논하는 것으로 한정한다.

가. 변압기의 진단방법

현재 변전기기에 이용되는 고압 변압기는 유입변압기이며, 유입변압기의 수명은 열적인 열화와 절연재료가 뇌서지 및 개폐서지 등의 이상전압 또는 외부단락 등의 전기적, 기계적 스트레스에 의한 열화로 결정되고, 파괴할 위험도가 증대할 시점에 대한 열화문제를 고려하는 것이 예방보수 차원에서 매우 중요하다. 유입변압기는 각종의 재료가 이용되고 있지만 전기적 성능면에서 절연유, 절연지, 프레소보드 등의 절연재료 열화가 주요한 문제가 되므로, 이들 절연재료의 열화형태와 최근 진단기술에 대하여 기술한다.

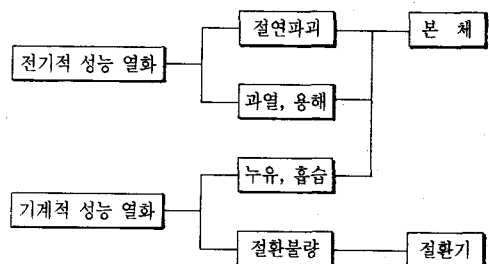
(1) 열화요인과 형태

절연유를 이용한 전력기기에서 발생하는 열화요인으로는 고온 운전에 따른 열적열화, 외부단락에

기계적 손상 및 부분방전열화가 대표적이며 이로 인하여 전기적 성능과 기계적 성능이 저하하게 된다. 이러한 열화에 의하여 이들 전력기기에서는 기계적 강도 저하, 진동 증가, 가연성 가스 발생 등이 나타나고 절연파괴로 진전된다.

이러한 열화요인 외에 산화, 흡습, 기계적 응력 및 환경적 요인에 의하여 복합적으로 열화가 진행되어 이상이 발생하고 사용수명에 도달하게 된다. 그림 13은 열화에 따른 주요 장해 관계를 나타낸 것이다.

표 2는 유입변압기 부위별 이상현상 및 이상원인을 나타내었으며, 표 3에서는 유입변압기의 각 구성부위 및 사용재료에 있어서 열화현상중 탱크 내



<그림 13> 유입변압기의 열화와 장해의 관계

부에서의 열화현상을 나타내었다. 이러한 내용중 절연재료 열화의 지표로는 유중 용존가스의 변화, 절연유의 특성변화, 중합도의 저하, 진동 및 소음의 증가, 부분방전량의 증가가 있다.

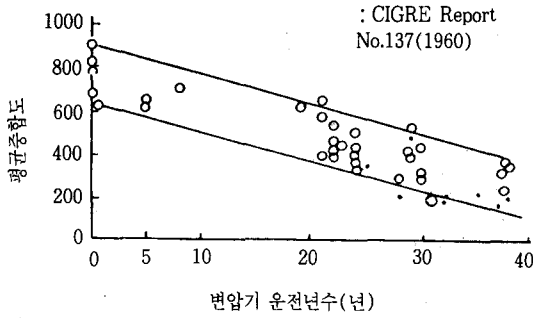
절연재료중 절연지의 열화도는 셀룰로즈 분자를 만들고 있는 글루코스의 수(평균중합도)로 나타낼 수 있다. 열화가 진행되면 셀룰로즈 분자는 저분자량화되며, 이것은 평균중합도 저하로 나타나고 인

<표 2> 유입변압기의 이상현상 및 이상원인

부 위		이 상 현 상	이 상 원 인
내 부	철 심	과 열	냉각불량, 누설자속, 조임의 느슨함
		진동증가	조임의 느슨함
	코 일	과 열	냉각불량
		방 전	절연불량, 이상전압
		변 형	단락 기계력
	리드선	과 열	냉각불량, 접속부 조임 불량
방 전		절연불량	
절연물	방 전	경년열화, 이물혼입	
	과 손	경년열화	
절연유	방 전	경년열화, 수분혼입	
외 부	탱 크	누 유	용접불량, 외부상처
	배 관	과 손	지진 등의 외력
	가스킷	누 유	경년열화, 조임 불량
	애 관	과 손	지진 등의 외력
부속기기	냉각장치	누 유	용접불량, 외부상처, 부식
		냉각능력 저하	팬 고장, 펌프 모터 고장
	보호장치	오동작, 불동작, 지시불량	흡습에 의한 절연저하, 단락, 피로에 인한 파손, 기계적 불량 등
	부하시 탭 절환장치	오동작, 불동작, 이상차단	조작기구의 전기적 불량, 조작기구의 기계적 불량

<표 3> 유입변압기의 내부 열화 현상

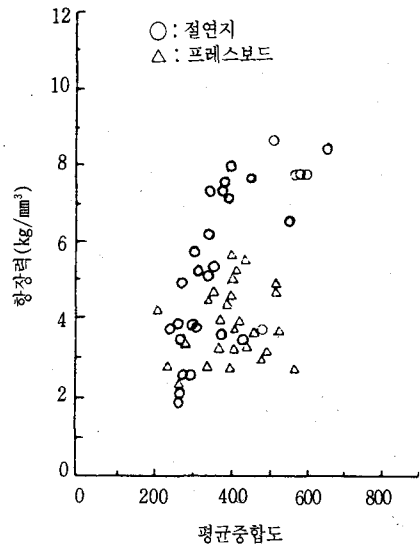
구 성 부 위			열 화 현 상			
	구 성 부 품	재 료	종 류	영 향	지 표	
내	철 심	철심절연	마닐라지, 프레스보드	열열화	기계적강도저하 진동증가	잡음 및 진동의 변화
		도체절연	크라프트지	열열화	절연물 열분해 1. 기계적강도 저하 [절연파괴 진동증가 2. 가연성 가스 발생	1. 유중용존가스의 변화 2. 절연지의 중합도 저하 3. 절연지의 기계적 강도 저하
	권 선	권선절연	크라프트지, 프레스보드			
		코일지지물	목재, 프레스보드			
	리드선	도체절연	크라프트지	부분방전 열화		
리드지지물		목재, 프레스보드				
부	절 연 유		전기절연유	열열화, 부분방전 열화 흡습	절연내력저하 [부분방전발생 →가연성가스발생 →절연파괴	1. 절연파괴전압 2. 유중가스변화 3. 유중수분증가
	부하시 탭 절환기	절 연 유	전기절연유			
		접 촉 자	동, 동합금			



<그림 14> 운전년수와 평균중합도의 관계

장력 세기(항장력)의 저하를 가져온다. 예를 들면 약 30년 운전한 유입변압기 권선에 사용된 절연지의 평균중합도는 일반적으로 초기치의 40~60%로 저하되어 간다. 그림 14에 운전년수와 평균중합도와의 관계를 나타내었다. 그림 15는 장기간 운전한 유입변압기에서 채집한 절연지 및 프레스보드의 평균중합도와 항장력의 관계를 표시한 것이다. 이리

한 시험결과에서 절연지는 경년 열화에 의해서 평균중합도 및 항장력은 저하하지만 절연파괴전압은



<그림 15> 평균중합도와 항장력의 관계

<표 4> 변압기에서 적용되는 진단기술

원 인	진 단 기 술	기기의 운전조건	진단기술의 상태	진단기술의 유효성
기 계 적	1. 여자전류	OFF-S	A	M
	2. Low Voltage Impulse	OFF-S	A	L
	3. Frequency Response Analysis	OFF-S	B	L
	4. Leakage Inductance Measurement	OFF-S	A	M/H
	5. Fourier Analysis	ON	C	?
열 적	유증가스분석			
	6. Gas Chromatography	ON	A	H
	7. Equivalent Hydrogen Method	ON	A	M
	절연지 열화			
유 전 적	8. Liquid Chromatography-DP Method	ON	B	L/H
	HOT SPOT DETECTION			
	9. Invasive Sensor	ON	B	L
유 전 적	절연유분석			
	10. Moisture, Electric Strength, Resistivity, etc.	ON	A	M
	11. Turn Ratio	OFF-S	A	L
	부분방전 측정			
	12. Ultra Sonic Method	ON	B	M/H
유 전 적	13. Electric Method	ON	B	M/H
	14. Loss Angle Measurement	OFF-S	A	M

주) OFF-S: 현장에서 운전중지중 ON: 운전중 B: 개발중 상태 H: 유효성 높음 L: 유효성 낮음
 OFF-L: 실험실에서 운전중지중 A: 일반화된 것 C: 연구단계 M: 유효성 중간 ?: 유효성 의문

거의 저하하지 않는다는 것으로 밝혀졌다.

(2) 진단기술

변압기에 사용되는 진단기술은 다음 표 4와 같이 대표적으로 나타나며, 이 표에서는 적용분야, 현재의 상태 및 효과에 관하여 나타났다. 이중 대표적인 진단기술에 대하여 다음에서 설명하고자 한다.

(가) 유증가스 분석에 의한 진단

변압기 내부에 국부적인 가열 및 부분방전이 발생하면 절연유 및 절연지가 분해되어 여러 종류의 가스가 발생한다. 이 분해가스는 절연유에 용해되므로, 유증 용존가스를 Gas Chromatography로 분석하여 가스성분, 발생량, 경시변화를 파악하여 변압기의 열화진전상태를 판단할 수 있다.

일본의 전기협동연구 36-1에서는 변압기의 이상 종류와 발생가스의 관계, 가스분석 결과의 판정방법을 3종류(① 각 성분 가스에 의한 판정, ② 가연성 가스 총량 및 각 가스량에 의한 판정, ③ 가연성 가스 총량의 증가경향에 의한 판정)로 나타내었다. 가스분석결과를 이용한 진단방법으로는 ① 가스 패턴에 의한 진단방법, ② 조성비에 의한 진단방법, ③ 특정가스에 의한 진단방법에서 유효성이 높은 것으로 되어 있다. 변압기 이상에 따른 발생가스 성분을 표 5에 나타내었다. 유증가스 분석 진단장치에는 Gas Chromatography 외에도 수소가스 상시감시장치와 다종류가스 자동분석장치 등이 있다.

(나) 부분방전 측정에 의한 진단

부분방전에 의하여 절연물이 열화하면, 절연이 파괴될 위험성이 높은 시점의 수명을 고려해야 한

다. 부분방전에서 절연물 수명의 관계는 그 크기와 절연구조 및 전계 값에 의한 영향을 받기 때문에 이를 고려해야 한다.

부분방전 검출법은 변압기 외함벽에 부착한 초음파 마이크를 이용한 음향법, 부분방전에서 발생된 전류펄스를 중성점 접지선에 취부한 Rogoski Coil 및 Bushing Tap으로부터 검출한 전류법을 병행한 자동감시 진단장치가 개발되어 있다. 이것은 운전 중의 변압기에 있어서는 외부잡음이 많아서 음향법이나 전류법 단독으로는 변압기의 부분방전검출이 곤란하기 때문에 두가지 방법을 조합하여 내부방전을 판단하는 기능을 갖도록 한 진단장치이다.

(다) % Z 변화측정에 의한 진단

변압기에 2차 단락이 일어날 경우에는 단락전류에 의해 코일이 변형되어 코일간 Gap의 증가현상에 의해 리액턴스가 증가하게 된다. 그러므로 변압기의 % Z를 측정하여 그 변화량을 관측하면 코일의 상태가 추정되므로 변압기의 이상을 진단할 수 있다.

(라) 진단결과에 의한 변압기의 평가

앞에서 기술된 진단방법에 의해 얻어진 결과를 정리하면 절연지의 중합도와 열화의 관계로부터 다음과 같이 정리된다.

(i) 평균중합도 및 항장력은 40년 동안에 50% 저하한다.

(ii) 약 30년 동안 운전된 초고압 유입변압기에 있어서 프레스보드의 평균중합도는 조사결과 200~600 정도이다.

(iii) 일반적으로 평균중합도(평균중합도의 초기치에 대한 값)가 40~50%된 경우를 수명으로 판단한다.

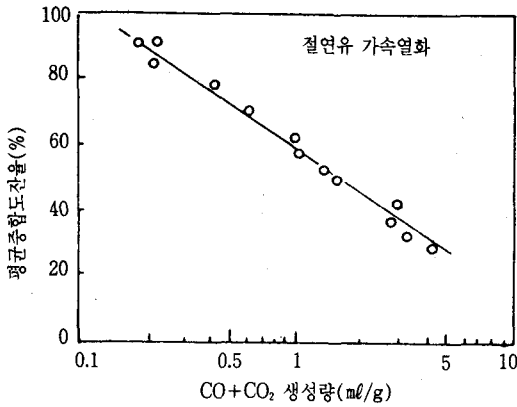
(iv) 1g당의 (CO₂+CO)가스 생성량이 0.42~1.7 ml/g으로 되면 절연지의 사용 수명한계에 이른 것으로 고려한다(그림 16 참조).

그리고 변압기의 절연유에 대한 평가방법은 가스 분석, 전산가 및 절연내력으로 평가하며, 앞에서 설명되지 않은 전산가 및 절연내력의 평가기준은 다

<표 5> 유입변압기 이상에 따른 발생가스 성분

이상의 종류	주요 발생 가스
절연유의 과열	H ₂ , *CH ₄ , *C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , *C ₃ H ₆ , C ₃ H ₈
유침 고체절연물의 과열	*CO, *CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , *C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , *C ₃ H ₆ , C ₃ H ₈
절연유 중의 방전	*H ₂ , CH ₄ , *C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₆
유침 고체절연물의 방전	*CO, *CO ₂ , *H ₂ , CH ₄ , *C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₆

주) *표시는 특정발생가스임.



<그림 16> (CO₂+CO)가스 생성량과 평균중합도 잔율의 관계

<표 6> 전산기에 의한 판정

신 유	0.02 미만
초고압 변압기유	0.2 미만이면 양호
33kV 이하의 변압기유	0.3 미만이면 양호
얼마 안 있어서 재생 또는 교환을 요하는 유	0.3~0.5
긴급히 재생 또는 교환을 요하는 유	0.5 초과

<표 7> 절연 파괴 전압

66kV 이상 변압기로 유와 공기가 직접 접촉 접촉하지 않는 것	35kV 초과
그 이외의 것	30kV 초과

음 표 6 및 표 7과 같다.

나. 차단기의 감시진단방법

전기계통에는 각종의 전기설비 및 기기가 접속되어 있고, 이것을 제어하여 각 방면에 널리 이용하고 있다. 차단기는 전력계통에 있어서 전기설비와 직접 접속되어 차단작용·개폐작용·통전작용으로 사용되므로 차단기의 고장은 전기설비의 제어불능 및 정지를 의미하며, 또한 전기설비의 고장시에는 고장범위를 차단하여 전력계통에 악영향을 막아주는 중요한 기기이다.

차단기는 구조 및 동작원리에 따라 많은 종류가 있지만, 사용되는 소호방식 및 소호매체에 따라 대

별하고 있다. 현재 사용되고 있는 차단기에는 SF₆ 가스차단기(GCB), 공기차단기(ABB), 유입차단기(OCB), 진공차단기(VCB), 자기차단기(MBB) 등이 있지만, 154kV급 이상에는 GCB, OCB 및 ABB가 주류를 이루고 있으며, 그중 GCB의 사용이 증가되고 있고 22kV급 이하에는 진공차단기가 많이 이용되고 있다.

(1) 열화요인과 열화기구

차단기의 고장실태 조사결과(전기협동연구, 제42권, 제3호, “가스차단기의 부위별 고장건수”)에 의하면, 차단기 고장의 약 60%가 조작기구에 집중되어 투입불량·개방불량·개폐 부조합 등의 동작불량이 그 주원인으로 나타났고, 그 다음으로 애관, 외부, 차단부, 기타의 순으로 나타났다.

차단기의 열화요인은 차단기 혹은 그 구성품 등이 다른 전력기기들과 같이 전기적, 열적, 기계적 스트레스 및 환경적 요인의 영향을 복합적으로 받아 그 화학적 혹은 물리적 성질의 변화를 가져오므로 차단기의 특성 및 성능이 저하하는 것으로, 그중 전기적 요인에 의한 고장피해가 가장 많다. 차단기 접점에서의 열화요인을 살펴보면, 접촉불량에 의하여 접촉저항의 증대로 인한 발열현상, 발열량이 증대되어 접촉부의 아크 발호현상 및 접촉자의 용착현상, 용착된 접촉자가 기기의 진동에 의해 접촉저항 발생으로 재아크 발호현상, 반복된 아크 발호에 따른 접촉불량부의 응용 확대 및 연속발호 발생으로 진행되어 지락이 발생된다.

열열화는 물질에 열에너지가 가해진 결과 물질내 부분자레벨의 구조가 불가역적인 화학적 또는 물리적 변화를 일으켜 특성이 저하하는 현상으로, 아크열에 의한 차단기 접점부의 소모와 고무제 패킹부위의 열화가 여기에 속한다.

전기적 열화는 전계 및 전계의 집중으로부터 재료가 열화하는 현상으로, 일반적으로 절연물의 파전현상(V-t) 특성으로 표시한다.

기계적 열화는 기계적 스트레스(응력)으로부터 재료가 경시적으로 변형하거나, 응력집중으로부터 국부적 결함이 진전되는 현상으로 재료면에서 보면

크리프와 피로가 있고 부품의 상호작용 측면에서 보면 마모와 이완 등이 여기에 속한다.

환경적 열화는 어떤 환경하에 놓여 있는 부품이 높은 에너지선, 화학반응, 용해 및 팽창 등으로부터 그 성질이 저하하는 것이며, 고온하에 있는 절연물이 크리프 가속과 산화반응의 가속과 같이 열열화와 기계적 열화의 복합 혹은 열열화와 환경적 열화의 복합형태와 같이 나타난다.

이러한 열화형태를 지닌 차단기의 열화는 크게 절연성능 및 통전성능 등의 전기적 성능 열화와 동작특성 등의 기계적 성능 열화로 대별되며, 이들 열화에 의해 차단기에서는 절연과파 · 과열 · 차단불능 · 동작불능 등의 사고가 발생된다. 그림 17은 열화에 따른 장애 관계를 나타낸 것이며, 표 8은 현재 많이 이용되고 있는 차단기의 열화특성을 비교하여 나타낸 것이다.

(가) 접촉자의 소모열화

차단기의 열화특성 중 접촉자의 소모특성에 대해 보고된 연구결과에 따르면 접촉자의 소모량특성은 다음과 같이 차단전류, 차단횟수 및 전극재료 등에

의하여 결정된다. 차단전류와 접촉자의 소모량 관계는 다음 식 (11)으로 나타낼 수 있다. 또한 차단횟수와 소모량의 관계는 꼭 비례하지 않고, 횟수가 많아지면 완만한 변화 경향을 나타내는 시험결과도 나와 있으므로 비례에 대한 고려시에는 안전한 결과를 이용한다.

$$V = \alpha \cdot I^\beta \cdot t \dots\dots\dots (11)$$

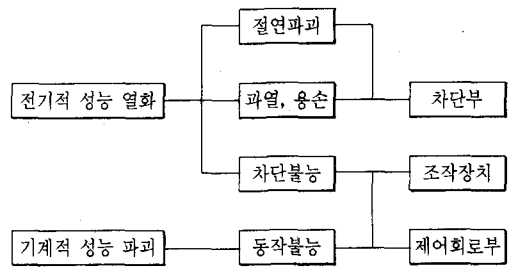
여기서, V : 소모량

I : 차단전류

t : 아크시간

α, β : 접촉자 재료에 의하여 결정되는 정수

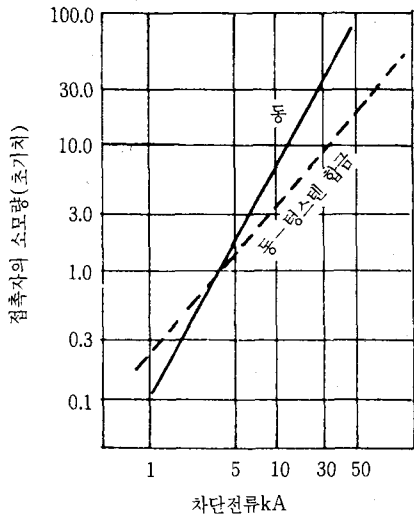
그림 18에는 가스차단기의 차단전류와 소모량의



<그림 17> 차단기의 열화와 장애의 관계

<표 8> 주요 차단기의 열화 특성 비교

종류	접촉자		절연물		가스킷, 패킹		조작 기구 부분			
	재료	정격전류 차단횟수	재료	수명이 되는 연수	재료	수명이 되는 인장강도 혹은 압축변형률수명	부품	수명이 되는 연수	수명이 되는 조작횟수	
GCB	내 소호 메탈	4kA 이상 정격전류 : 500회 그외 : 2,000회	10회		부분방전, 수분, 보이드가 없으면 문제없음	고무	사용온도 50℃ 및 압축변형률 80%에서 20년 수명	절연조작봉, 피스톤, 밸브, 실린더, 기계적연결부, 스프링	조작횟수에 의해 결정	10,000회 이상
								윤활재		
ABB	내 소호 메탈	수백회~2,000회 정도	3~10회 정도	애자, 압축공기, 절연조작봉	부분방전, 수분, 보이드가 없으면 문제없음	고무	교체년수 12년	피스톤, 밸브, 실린더, 기계적연결부, 스프링	마모품은 6~12년	10,000회
								윤활재		
OCB	내 소호 메탈	500회~1,000회 정도	4회	절연유 애자	절연유의 산화가 0.2~0.5 : 요주의 0.5 이상 : 불량	고무	교체년수 6년	절연조작봉, 피스톤, 밸브, 실린더, 기계적연결부, 스프링	마모품은 6년	
								윤활재		



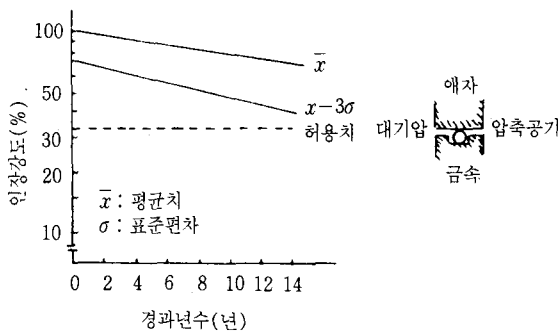
50kA Cu전극의 소모량을 100으로 둔 경우

<그림 18> 차단전류와 소모량의 관계

관계 예를 나타내었다.

(나) 패키징의 열화

차단기류에 사용되는 패키징의 열화특성은 일반적으로 운전온도와 시간적 관계인 것으로 알려져 있다. 공기차단기는 5~30kg/cm² 정도의 고압 압축공기가 사용되고 있으므로, 지지애자부의 Seal은 그림 19와 같이 애자단면과 금속 플랜지가 접촉되지 않는 구조로 되어 있다. 따라서 Seal로 사용되는 패키징의 고압기밀 효과는 내압에 의해 압착되어 넓혀지는 것에 대하여는 패키징의 인장강도에 의해 유지되는 것으로 볼 수 있다. 패키징의 인장강도와 시



<그림 19> 패키징의 인장강도와 수명 특성

간과의 관계는 온도가 일정한 경우 일반적으로 다음 식 (12)로 나타났다.

$$S = S_0 \cdot e^{-kt} \dots\dots\dots (12)$$

여기서, S : t년 후의 인장강도

S₀ : 초기의 인장강도

t : 경년년수

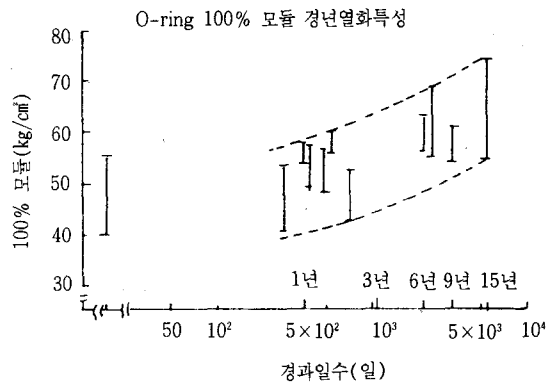
k : 정수

인장강도와 수명과의 관계례를 그림 19에 나타냈다.

가스차단기에서의 SF₆가스 중에서는 산소에 의한 열화가 없기 때문에 고무재료로 되어 있는 패키징 및 가스키트의 열화는 공기중에서보다 적다. 15년간 사용된 가스차단기의 O-ring을 포함한 다수의 시료에 대하여 기밀성의 지표가 되는 압축영구 변형률을 측정할 결과의 예를 그림 20에 나타내었다.

15년간 사용된 O-ring의 압축영구 변형률은 40% 정도로 아직 기밀성을 유지하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 압축영구 변형률의 변화경향은 실험실 Data와도 잘 일치하고 있다. 그리고 경도 및 100% 모듈계수에 있어서도 열화가 진행되고 있는 것이 명확하므로 고온 사용의 경우에는 특히 주의가 필요하다.

유입차단기의 조작장치는 압축공기 조작방식이 많고 고무제 밸브 및 O-ring 등의 기밀용 부품이 사용되고 있다. 이것은 경년열화에 따른 강도저하, 영구변형의 증가, 경도의 상승 때문에 기밀성이 열화되고 개폐동작 불량 등의 원인이 된다. 일반적으로 정밀점검시에 신품으로 교체하는 것이 좋다.



<그림 20> O-ring의 경년열화 특성

이상과 같이 차단기에 공통으로 나타나는 특성에 대하여 여기서 논하였지만, 개개의 차단기 특성에 따른 개별적인 부분의 열화에 대하여서는 여기서 생략하기로 한다.

(2) 차단기의 진단기술

차단기는 회전기와 달리 상시운전 사용상태에서도 일반적으로 정지되어 있어, 자동감시 진단을 위해 센서를 취부하는 경우에 통상 고전압이 인가되어 있는 상태이며 공간이 협소하기 때문에 취부에 제한을 받는 경우가 많다. 열화를 진단하는 방법으로는 일상순시 및 운전감시 등의 일반적인 일

상점검 외에, 정기점검시에는 육안검사 외에 세부의 분해점검 및 각종 계측기기를 사용한 이상진단을 행하게 된다. 최근에는 자동진단기능을 갖춘 장치를 차단기에 첨가하고 있다.

차단기의 진단기술 중 Off-line에서 행하는 정기점검시의 진단은 종래부터 하고 있는 일반적인 기술이며, 최근에는 Off-line 상태에서 기기의 상황을 연속적으로 감시하는 진단기술이 주목받고 있으며, 그 일례로서 차단기의 개폐특성을 연속감시하는 진단기술로 차단기의 투입시간과 개극시간을 측정하여 기구부의 상황을 판단하는 것이다. 현재 적용하고 있는 차단기에 대한 일반적인 진단방법은

<표 9> 차단기의 진단기술

원 인	진 단 기 술	기기의 운전조건	진단기술의 상태	진단기술의 유효성
절연물결함	측 정			
	1. 가스밀도	ON	A	H
	2. 커패시터법 부분방전	ON	B	M/H
	3. HF Current Probe	ON	B	M
	4. HF Capacitive Probe	ON	B	M
	5. 초음파법	ON	B	M/H
유전가스의 질	SF ₆ Gas Control			
	6. Dielectric Check	ON	B	L
	7. 가스분석			
	- Gas Chromatography	ON	C	L
	- Infra Red Spectroscopy	ON	C	L
	- Air Contents	ON	A	L
	- Moisture Contents	ON	A	L
	- Color Detector	ON	B	L
차단기의 마모	측 정			
	8. 축 위치	OFF-S	B	L
	9. 접촉자 마모	ON	A	M
	10. Dust & Powder Contents	ON	B	L
비정상적 기계적 작동	측 정			
	11. At Potentiometer on moving Contact	OFF-S	A	H
	12. Optical Markers on Moving Part	OFF-S	A	H
	13. Friction of Driving Elements	OFF-S	A	H
	14. Tripping Time	ON	A	H
과 열	측 정			
	15. 적외선 카메라법	ON	B	L/M
	16. 접촉저항	OFF-S	A	M

주) OFF-S: 현장에서 운전중지중 ON: 운전중 B: 개발중 상태 H: 유효성 높음 L: 유효성 낮음
 OFF-L: 실험실에서 운전중지중 A: 일반화된 것 C: 연구단계 M: 유효성 중간 ?: 유효성 의문

다음의 표 9와 같다.

표 10은 SF₆가스차단기 및 공기차단기의 외부진단기술의 기초가 되는 차단기의 정후와 검출기술을 나타낸 것이지만 아직 실용화 수준은 아니다. 진공차단기는 진공밸브의 장기수명 및 유지보수가 필요

<표 10> SF₆가스차단기 및 공기차단기의 정후와 검출기술

고장항목	정 후	검 출 기 술
절연성능에 관계되는 것	<ul style="list-style-type: none"> 코로나 방전 이상음 가스압력 저하 가스중 수분 증가 가스 분해 절연저항 저하 	<ul style="list-style-type: none"> 코로나 검출기 초음파 검출기 압력 센서 Bicycle Meter 자동가스 분석장치, 가스검지관 절연저항계
통전성능에 관계되는 것	<ul style="list-style-type: none"> 온도상승 증대 주회로 저항 증대 가스압력 증대 전극마모 증대 	<ul style="list-style-type: none"> 온도 센서, 적외선 센서 주회로 저항계 압력 센서 X선 진단법
기계적성능에 관계되는 것	<ul style="list-style-type: none"> 개폐시간 증대 전극마모 증대 동작횟수 초과 구동계의 마찰력 증대 구조변형 	<ul style="list-style-type: none"> 저속구동법, 개폐특성 센서 저속구동법 동작횟수 저속구동법, 개폐특성 센서 X선 진단법

없는 것이 특징으로, 진공밸브 기밀의 고신뢰성 유지를 위한 진공도의 상시감시 실용화는 이루지 못한 실정이다.

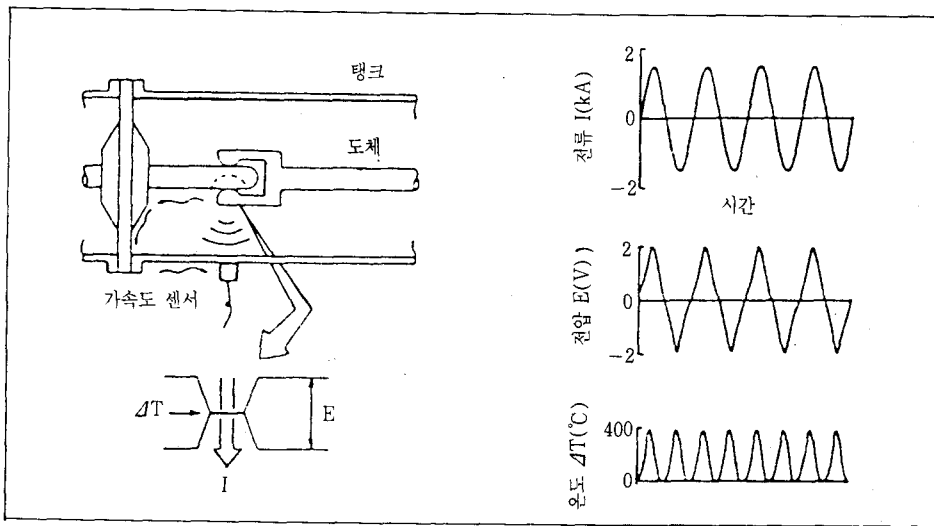
(가) 전극소모의 진단

각종 전극재료에 있어서 차단전류와 전극소모량의 관계는 앞서 검토되었으며, 그 결과 소모량은 식(11)과 같이 주어지므로 가스차단기의 경우 통상 접촉자 교환을 목적으로 한 누적차단전류 즉 정격차단전류에 대한 차단회수의 한도는 100% 정격차단전류 : 10회, 50% 정격차단전류 : 30회, 20% 정격차단전류 : 100회 정도이다.

이러한 접점소모 상태는 외부에서 X선을 이용한 직접 진단방법이 개발되어 있다. 이 경우에는 차단기를 해체할 때 진단하는 것은 가능하지만, 외관형상에서 판단 불가능한 접촉불량 등의 진단은 곤란하다.

(나) 전극 및 주회로 도체의 국부과열 진단

국부과열에 관한 진단은 종래 온도측정에 의해 행하고 있지만, 이는 이상의 초기단계검출에 문제가 있다. 최근에는 국부과열에 의하여 진동이 발생하는 것을 이용한 진단이 유효하다. 그림 21은 국부과열에 의한 진동발생 기구를 나타낸 것으로, 이



<그림 21> 통전이상 검출 원리

진동은 통전에 의한 미세한 접점부의 온도변화로부터 생긴다고 볼 수 있다. 통전전류 I 가 흐르면 접촉부의 저항에 의해 접점부에는 전압 E 의 변화가 생긴다. 이것은 상용주파 전압의 기본주파수와 동일하게 된다. 이 전압 및 전류에 의해 접점부에는 Joule 열이 발생하고, 상용주파의 2배 기본주파를 지닌 온도변화 ΔT 가 나타난다. 온도변화 ΔT 에 의해 접점부는 팽창 및 수축을 되풀이하는 진동원이 된다. 탱크에 전달된 진동원 음파를 가속도 센서로 받아들인 후 주파수 성분을 분석하여 이상발생시에 나타나는 고조파 성분을 감시하면 경미한 단계의 이상도 진단할 수 있다.

(다) 접촉저항 측정에 의한 유전특성 진단

종래부터 접촉저항값의 관리에 의해 접촉부 이상 진단을 행하고 있지만, 과열로부터 발호(發弧)에 이르는 열화상태 진단까지는 이르지 못한 실정이다. 그렇지만 최근 통전이상을 모의한 모델을 이용하여 접촉저항과 열화상태의 관계가 검토되었다. 그림 22는 이 검토결과와 한 예로서, 접촉저항과 통전전류 및 이상발생의 관계를 표시한 것이다.

발호에 이르는 전류와 접촉저항의 관계는 다음 식 (13)으로 나타내진다.

$$I = 600 \cdot R_0^{-0.5} \dots\dots\dots (13)$$

여기서, I : 발호에 이르는 전류(A)

R_0 : 접촉저항 값(mΩ)

5. 장래의 전력기기의 감시진단기술

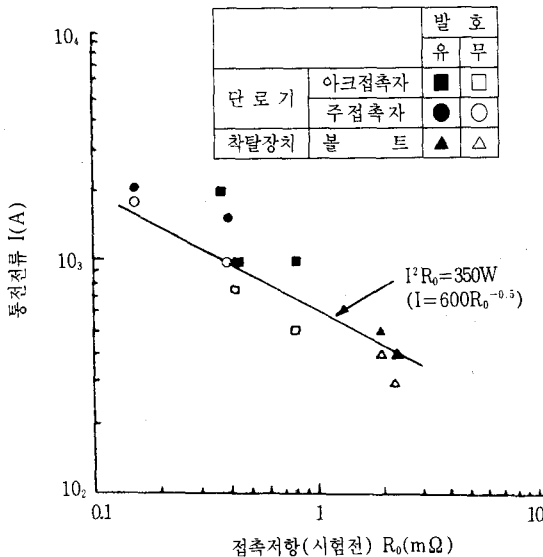
장래 새로운 전력기기의 개발은 경량축소화, 무보수화 그리고 인공지능을 이용한 감시진단 시스템이 구축된 것으로 개발되고 있다. 따라서 이와 같은 특성을 갖는 전력기기의 개발에 주력을 하고 있어 전력기기는 다음과 같은 특성이 있다.

가. 전 가스절연화 및 축소화

변전소는 도시 중심부, 특히 건물의 지하에 설치되는 것이 많게 되어 소요면적의 축소와 방재상에서 불연화가 요구된다.

변전소 부지의 주요 면적을 점하는 1차 개폐기군은 소형화의 구체적인 수단으로서 SF₆가스 절연 개폐장치(GIS)가 전면적으로 채용되고 있어 기술적인 축적은 이미 20년 이상 된다. 큐비클형 GIS를 포함하여 현재는 기기배치의 연구로 더욱 축소를 도모하고 있다. 그리고 변성기의 점유 면적을 축소할 목적과 신호 전송로에 광이 사용되는 것에서 광 PCT개발이 행하여지고 있지만, 축소율에 대해서는 아직 충분하지 않다. 다른 구성기기와 복합화된 형태로 보다 가일층 축소가 요망된다. 변압기는 가스절연변압기가 채용되고 있다. 변압기 본체의 크기는 유입변압기와 거의 같지만, 방화벽이 필요하지 않는 것과 GIS와 직결하는 것으로서 변전소 전체로서는 축소화된다.

또한 2차측 개폐기는 또한 공기절연방식의 Metal Clad 반이 주류를 이루고 있다. 이것은 장시간 사용된 실적이 있는 기술이지만, 특히 습도의 영향을 받기 쉽고 일상의 유지보수점점에 일하는 시간이 걸리는 것으로 되어 있다. 이의 해결을 위해서 절연열화가 거의 없고 점접주기 연장을 도모할 수 있는 가스절연 큐비클을 개발하고 있다.



<그림 22> 접촉저항과 전류의 관계

나. 고신뢰도 제어장치

감시제어장치의 디지털화가 진행되고 있으므로 개폐장치, 변압기가 SF₆가스절연으로 되어서 장수명화되어 가면 보조기기 조작기 주변의 보수 점검의 시간이 크게 된다. 기기의 조작 제어회로에 사용되고 있는 보조계전기 보조개폐기의 접점은 발청 등 때문에 문제를 일으키기 쉽고, 점검노력을 절감하는 것이 가능하게 된다. 이의 문제를 해결하기 위해 파워 디바이스를 사용한 무접점 제어장치를 개발하고 있으며, 이것은 전동기나 전자코일을 구동 가능한 전자스위치 회로가 완성되어 유압조작 방식의 가스차단기(GCB), 전자용수철 조작식 진공차단기(VCB), 변압기 부하시 탭절환기(OLTC) 등의 조작회로에 적용도 가능하다. 현재 GIS용 GCB, 가스절연 VCB, 가스절연변압기 OLTC에 채용하여 실용화하고 있다.

다. 고신뢰도 조작기구

기계적 조작기구도 윤활제 보급, 발청 조사 등 점검을 필요로 한다. 고압차단기의 조작기를 이미 오래전에 유압조작화하는 것으로 공압조작기와 같이 기계적 마모의 가능성이 있는 부품을 줄임으로써 점검주기의 연장이 가능한 것으로 나타나고 있다.

소요 부하 토크가 작은 기기에 적용되는 전동조작기, 전자 용수철 조작기에 대해서는 최근에 점검주기 연장의 연구에 착수한 정도이지만, 축수부 재료의 개질에 의해 무주유 무점검화하고 있다. 그의 성과를 VCB, OLTC, 큐비클용 단로기나 접지장치의 조작기에도 적용하고 있다.

라. 보수지원, 고장점 표정용 센서

전기설비의 유지보수업무를 합리화하면 종래순시 점검·정기점검으로 얻어지는 설비자료를 자동적으로 채취하고 판단하는 것이 필요하다. 이를 위해 각 기기에 각종센서를 취부하여 기기상태를 감시하는 것으로 한다.

마. 전송 Network의 표준화

기기에 취부되고 있는 각종센서에서 정보는 광전송로를 통해서 유지보수지원 운전지원 등의 자료처리장치에 전달된다. 이 이후 센서 샘플링 자료는 한층 정밀 대량으로 되는 것이 예상되므로 고속 대량전송이 가능한 Network가 필요하다고 고려된다. 또한 전송망은 보호, 제어, 표시감시 등의 기능이 다른 각종 제어장치가 접속되어가고, 다른 기업의 장치도 접속되어지므로 인터페이스 및 전송 프로토콜의 표준화 통일이 필요하게 된다. 따라서 관계업계에서는 표준화를 요망하고 있다.

바. 변전소 시스템의 인공지능화(AI)

현재 유지보수지원, 운전지원에 있어서 논리판단은 각센서 정보를 경험에 근거한 추론에 의존하여 시퀀스적인 처리가 행하여지지만, 최종적으로는 인간에 위임하고 있다. 시스템 감시 제어계의 복잡함으로 나타나는 조작실수 및 전문가의 필요에 대처하기 위해 지원레벨의 기능에서 계통 시스템의 자동 복구 기능이 필요하게 된다고 고려된다. 여기서 Expert 시스템과 신경망 네트워크 등의 AI기술이 도입되는 가능성이 나타나고 있다.

전력수요와 사회정세에서 보면 이 이후의 전력기술은 전력공급의 품질향상을 담당하는 전력기기의 고신뢰도화와 보수합리화 정도를 나타내는 절감화 효과 확대의 2개의 방향으로 진보하고 있다고 고려된다. 전 가스절연화 및 축소화, 제어장치 조작기구의 고신뢰도화, 보수지원, 고장점 표정에 관해서는 실용화가 시작되고 있고, 전송 Network의 표준화, 변전소 시스템의 인공지능화도 멀지 않은 장래에 실용화될 것으로 사료되지만, 아직은 많은 문제점을 포함하고 있다.

그러므로 장래에 전력기기들이 현재와는 크게 달라지므로 이 분야에 종사하는 사람들은 미리 이러한 변화에 대응할 수 있도록 준비가 되어야 할 것으로 사료된다.