

配電用 機資材의 劣化特性 考察

장 정 태^o 고 인 석^{*} 홍 순 학^{**}
한전 기술연구원 배전연구실

Researches on The Aging Characteristics in Distribution Facilities

Jang, Jeong Tae, Koh, In Seok, Hong, Soon Hak
Power Distribution Dept. of KEPCO Research Center

ABSTRACT

The distribution facilities fault has been annually shown about 13% all of the total distribution faults.

Therefore, to prevent the distribution facilities we have to manage them properly during their life time and enhance their quality and advance preventible maintenance, that is predictive maintenance or condition based maintenance.

This paper presents the aging characteristics and the degenerating factors.

Accordingly, improving the enhanced quality of distribution facilities is expected to contribute the electric power operation constantly.

1. 序 論

현재 사용중인 배전설비용 국산기자재는 내용연수 이전에 불량되는 사고가 전체 배전설비 사고의 약 13%를 점유하는 실정이다.

항시 사용상태에 있는 배전기자재가 불량되면 기자재 자체는 물론, 관련된 모든 기기설비가 일시에 기능이 정지되는 중대사고로 파급되기도 한다. 이와 같은 사고를 사전에 방지하기 위해서는 기기 자체의 신뢰도를 높이는 것과 항상 안정된 상태로 사용할 수 있는 적절한 보수점검이 요구된다.

본고에서는 이와 같은 예방보전(Preventible Maintenance)을 위해 주요 기자재의 열화 Mode 및 형성 과정을 설명하고 주요 평가내용을 제시한다.

2. 劣化와 壽命

전력설비 기기는 사용중 점차 열화되므로 장기간 사용되는 설비는 보수 점검등의 유지관리로 열화의

정도를 판단하여 사전에 수리, 교환등으로 전기설비의 수명을 연장시키기 위한 대책을 세울 필요가 있다.
가. 열화의 종류

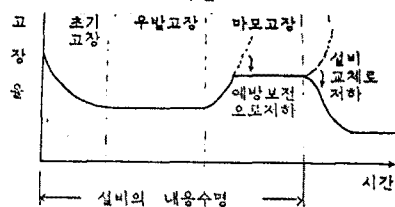
전기기기의 사용중에 일어나는 열화의 종류를 분류하면 다음 4 가지로 대별된다.

- o 사용환경에 의한 열화: 마모, 흡습, 오손에 의한 절연열화와 부식, 전압가압에 의한 트래킹의 발생
- o 경년열화: 진동, 열, 온도변화에 의한 절연물 열화 급속, 고무, 페킹류의 탄성열화

- o 잠재적인 열화: 재료나 기기의 제조상의 원인으로 선천적으로 지니고 있는 교유의 결함

- o 재해등에 의한 열화: 지진, 화재, 침수
나. 열화고장 모델

전기기기 설비의 수명과 고장과의 관계는 일반적으로 그림 1과 같은 육조곡선으로 나타내는데 이것을 '열화고장 모델 곡선' 이라 한다



(그림 1) 열화고장 모델곡선

- o 초기고장과 우발고장 영역에서는 고장율이 적어 열화수명을 생각할 필요가 없으나 고장발생을 감시하여 발생건수의 증가와 그 고장현상을 파악, 마모고장의 시작여부를 판단하는 것이 중요하다.
- o 마모고장은 자기 그 설비에 따라 상이하니, 빠른 시기에 교환, 대응함이 좋으며 고장율 증가로 비용이 증가하면 적절한 시기에 설비를 갱신하여야

o 한전기술연구원 배전연구실 선임연구원
* " " " 실장
** " " " 책임연구원

한다.

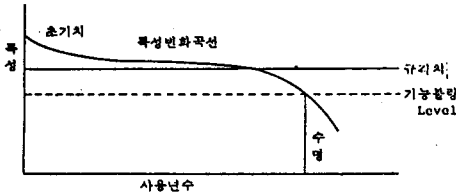
- 우발고장 영역에서는 사후보전과 정기점검에 의한 예방보전이 추가되나, 마모기가 되면 설비의 교환 등 적극적인 예방보전이 필요하다.

다. 수명의 판정

전기기기는 사용년수와 더불어 기기의 특성이 열화되어 기기 특성이 규격치 이하로 열화 하여도 바로 기능 불량이 되지않는 것이 일반적이다.

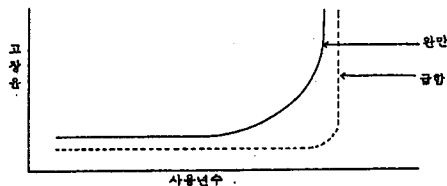
그러므로 특성이 규격치를 벗어났다고 해서 수명이 다 되었다고 하는 것은 실용적이 아니므로 기능불량 정도를 생각하는 것이 좋으며 신뢰성을 중요시 할때에는 예외일 수 있다.

그러나 일반적으로 특성이 기능불량 정도에 도달했을때를 수명으로 정하는 경우가 많으며 사용조건이 특성변화에 대하여 여유가 많수록 수명은 길다. 다음 그림 2는 사용년수와 열화특성 및 수명관계 결정을 나타낸 것이다.



(그림 2) 사용년수와 열화특성
라. 수명의 분포

장기간 사용에 따른 특성변화(수명)의 폭은 기기에 따라 다르며, 그 폭이 작을때 사용하는 입장에서는 예측할 수 없으며, 어느날 돌연 다발고장을 일으켜, 예방보전을 할 수 없게 한다. 그러나 그 폭이 크면 고장을 증가의 시점을 잡아 예방보전 계획을 세워 실시할 수 있다. (그림 3 참조)



(그림 3) 고장특성곡선

마. 내용년수

일반적으로 마모고장기에 누적고장이 전체의 10%에 도달하는 시간으로 할때가 많으며, 이 10%에 도달할때 까지의 시간을 내용년수라 한다. 그러나 신뢰성을 중시할 때에는 마모고장의 초기에 해당된다

고 보아야 하며, 설비의 성격에 따라 더 엄격한 값 (5~10%)으로 할 필요도 있다.

바. 열화의 요인

모든 기기는 사용환경이나 경년등에 의하여 열화하며 언젠가는 수명이 다하게 되지만 대표적인 열화요인의 예를 들면,

- 기계적 동작마모
- 기밀성 불량
- 절연물 열화
- 동전, 열에 의한 마모
- 흡습, 부식성 기스에 의한 열화

등을 들 수 있다.

이상과 같은 기기의 열화요인에 의한 수명의 판정은 사용조건, 환경조건 등의 영향을 크게 받음으로 명확하지는 않다.

사. 열화의 정도와 보전성 평가

기기의 열화와 수명을 판단하는 것은 전술한 바와 같이 외적조건도 고려하여야 되므로 곤란하지만 기기의 열화정도와 보전의 난이도를 분류하여 참고할 수가 있다.

3. 豫 防 保 全

설비가 오래되면 고장을 일으키기 쉬움은 당연한 일 이므로 이를 방지하기 위하여 설비상태를 잘 조사하고 적절한 방법을 취하여야 한다.

보수상 필요한 점검항목이나 점검주기는 기지재의 중요성, 기기의 종류등에 따라 다양하고 돌발사고의 발생과 보전경비의 투입에 따라 결정된다.

가. 예방보전의 구분

일반적으로 다음 세가지로 분류한다.

- 일상점검: 점검주기 3개월 정도까지 단시간의 점검과 수시 행하는 순회점검에 따라 주로 육안, 청각, 후각, 촉각으로 가동중인 설비의 정상동작 여부를 확인
 - 일시점검: 사고, 재해등에 의하여 기기가 이상생성의 우려가 있을때 수행
 - 정기점검: 정기적으로 설비기능을 정지하고 오픈과 전검기구를 사용하여 이상유무를 판정한다. 일상 점검기록, 사고기록등을 참고로 하면 더욱 효과적이다.
- 주기는 기기에 따라 다르나 3개월~10수년의 범

위에 걸친다.

-정기 보통점검: 설비를 세밀하게 분리하여 이상 유무를 조사 (주기; 1~3년 정도)

-정기 상세점검: 설비를 세밀하게 분리하여 이상 유무를 조사 (주기; 2~10수년 정도)

나. 예방보전과 수명

예방보전없이 사후보전만으로는 규정한 내용년수를 지키기 어려우며 예방보전을 하므로써 사후보전에 비해 1.5~2 배의 내용년수를 확보할 수 있다. 그러나 엄밀한 의미에서 불매 전기설비기기의 내용년수를 명확히 구별짓기는 어렵고 앞에 설명한 전기기기의 점검도, 기기의 종류, 중요성, 사회환경등에 따라 보수의 정도나 점검주기에 따라서도 다양하다.

4. 事故現況

'89년도 전력설비의 총 전기사고는 1,762건으로 '88년도의 1,916건보다는 154건 (8.0%)이 감소되었다. 각 설비별 사고현황을 살펴보면 이래 (표 1)과 같다.

표 1 설비별 사고현황

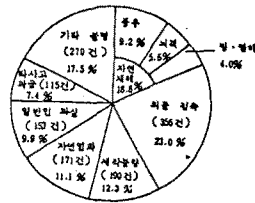
구분 설비별	'88년 (건)	'89년 (건)	점유율 (%)
변전설비	79	57	3.3
변전설비	65	62	3.5
송전설비	67	96	5.4
배전설비	1,705	1,545	87.8
계	1,916건	1,762건	100%

전기사고의 주요원인을 보면 다음과 같은 비중이다

- ① 외물접촉: 22.30%
- ② 제작불량: 12.32%
- ③ 자연열화: 10.73%
- ④ 일반인과실: 8.68%
- ⑤ 풍우: 8.29%
- ⑥ 타사고파급: 6.92%
- ⑦ 뇌격: 6.53%

한편 배전설비사고는 69년도 ('61~'69) 경우 연간 7,000여건이었으나 부단한 예방활동으로 70년대는 5,000여건, 80년대는 2,900여건의 급격한 감소를 보이고 있다. 특히 87년부터는 2,000건 이하로 현저히 감소하여 선로공장 100km에 대한 사고율은 '81

년 3.54%에서 '89년에는 0.73%로 약 5배가 줄어든 셈이다.



(그림 4) '90년 배전설비사고



(그림 5) '81~'89년 배전설비 사고

5. 劣化狀態의 評價

기자재별로 생각할 수 있는 열화상태 (Mode)를 추출하여 열화진전 원인과 구성부품의 성능저하 영향을 검토하고 사고발생빈도, 가속도, 위험검출도 등을 평가하여 위험우선도가 높은 것을 열화상태가 제일 심한 것으로 선정하는 FMEA (Failure Mode and Effect Analysis : 고장모드와 영향대책) 기법이 있다.

이 방법은 설계단계부터 내재적 고장상태를 발견하여 신뢰성을 평가하기 위한 기법으로 기자재의 수명 특성을 임의의 단계로 적용하여 개보수, 부적정의 사전파악등에 활용하는 합리적인 방법이다. 이 방법은 미국이 유명한 아폴로 우주계획을 실시할때 신뢰성과 안정성 평가에 성과를 올린 방법이기도 하다. 이 FMEA 기법의 평가기준은 다음과 같다.

위험 검출도의 기준

기 준	점수
검출가능 (준해결검역 요망)	5
사전에서 계속기 사용 검출가능	4
발전에서 계속기 사용 검출가능	3
주상, 변중중에서 눈으로 검출가능	2
리상에서 눈으로 검출가능	1

발생빈도의 기준

기 준	점수
차주 발생하는 고장	5
중용 발생하는 고장	4
보통 발생하는 고장	3
적게 발생하는 고장	2
거의 발생치 않는 고장	1

가속도의 기준

기 준	점수
치명적 (인명손실, 기능 완전손실)	4
중대 (기능 중대부분의 不遂)	3
경미 (기능 경미부분의 不遂)	2
미소 (거의 영향없음)	1

가. COS와 기중개폐기의 열화 Mode와 열화형성

(1) 접촉시의 과열열화

접촉날은 대기중에 노출되어 있으므로, 비, 진해, 부식성가스 등의 영향으로, 표면의 도금과 도재 동전부가 산화부식하여 접촉저항이 증대한다. 접촉저항

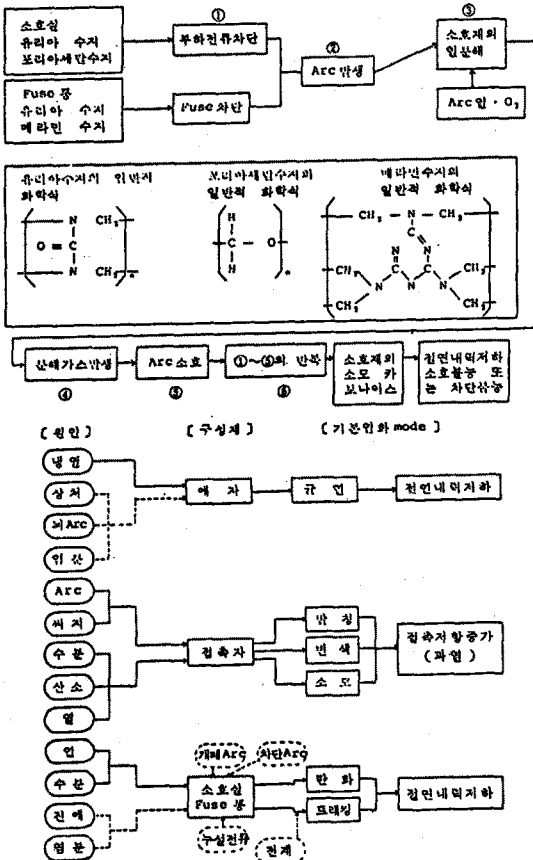
이 중대하면 동전에 의한 발열이 커지며, 과열열화에 이른다.

(2) 소호실과 퓨즈통의 절연열화

소호실과 Fuse통의 절연재료는 유리아수지 포리아셀수지, 메라민수지등의 합성수지가 사용되고 있다.

이 성분은 수소, 탄소, 산소, 질소 등으로 구성되고 있다. 소호원리는 전류 차단시에 발생하는 Arc 불 소멸시키는 것으로서 열분해에 의한 소모와 탄화에 의해 절연내력이 저하하여 소호불능 또는 차단불능에 도달할 경우가 있다.

아래 그림 6은 이의 열화진전 Mechanism 을 나타낸다.



(그림 6) COS 및 I/S 의 열화형성

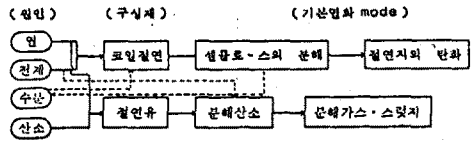
나. 주상변압기의 열화모드와 열화형성

코일을 절연지는 셀룰로스 분자구조로서 열과 산소에 의해 열화하면 셀룰로스의 저분자량화, 분 평균중합도가 저하하여 CO, CO₂ 및 H₂O 등이 생성된다 또한 절연유는 산소에 의하여 열화하며 기열 또는

동·철등의 금속과의 접촉에 의해 열화가 촉진되어 분해가스, 슬릿지 (Sludge) 등이 생성된다.

o 열화되면 생성되는 물질

- CO (일산화탄소) CO₂ (이산화탄소)
- H₂ (수 소) CH₄ (메 탄)
- C₂H₂ (아세틸린) C₂H₄ (에틸린)
- C₃H₈ (프로탄) C₃H₆ (프로비탄)
- C₂H₆ (에탄), 슬릿지, H₂O (물)



(그림 7) : P.Tr 열화형성

다. 애지의 열화 Mode와 열화형성

애지는 구조상 핀형 (Pin Type) 과 장간형 (Post Type) 으로 구분되는데 핀형애지는 특히 자기와 금구가 열화되기 쉽다.

열화의 종류는 전기적 절연내력저하, 기계적 강도 저하로 구분할 수 있는데 아래와 같이 그 원인을 생각할 수 있다.

(1) 자기의 상처

자기의 제조공정중 잔류한 내재결함은, 냉열 시험이나 내전압시험으로 제거된다. 그러나, 그러한 검출시험에서 기려내지 못한 자기의 미소균열은 냉열이 되풀이 되면서 진전하여, 자기의 균열을 발생시키는 경우가 있다.

내장애지와 같이, 상시 인장하중이 걸리는 애지는, 자기표면이나 내부의 미소균열등 취급 부주의로 입은 상처라 하더라도 그 상태에 따라서 자기열화의 원인이 된다.

(2) 시멘트의 경변팽창

자기의 금구를 접촉하는 시멘트는 양생이 끝나면 점차 건조 경화된다. 이때 시멘트가 수축하여 때로는 자기의 금구의 접촉부에 틈새가 생기는 원인이 되고 있다. 그러나 외기에 노출된 시멘트는 그 후 수분을 흡수하여 체적과 경도가 증가하여, 점차 자기에 응력을 가하게 된다.

즉, 자기의 내측에 시용한 시멘트가 이러한 팽창을 일으키면 그 크기에 따라서 자기에 균열을 일으키는

원인이 되기도 하여 Pin 애지의 열화는 이와 같은 시멘트의 경년팽창에 기인한다고 보고 있다.

(3) 애자 각부의 열 팽창 차이

자기의 열팽창 계수는 $4 \sim 5 \times 10^{-6}$, 시멘트는 10×10^{-6} , 철은 11×10^{-6} 이다. 철과 시멘트는 자기의 약 2 배의 열팽창계수를 가지고 있으므로 애자가 냉열변화를 받으면 각부의 열팽창의 차이로 인하여 자기는 큰 응력을 받게 된다.

(4) 아아크 (Arc)

뇌격, 사고등 이상전압의 내습, 태풍시의 과다한 염분부착 또는 매연등으로 애자표면의 접연성이 저하 되면 표면삼락을 일으키며 속류 Arc 에 의하여 자기 부가 용융 또는 편열파괴하는 경우가 많다.

염분·진애등으로 극도로 오염된 애자는 그 표면에 극부 Arc 가 연속발생하여 때로는 자기부에 편열파괴를 일으킨다.

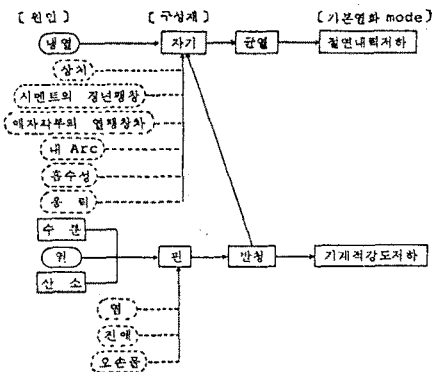
(5) 자기의 흡습성

자기의 흡습성은 원료조합의 부적합, 소성화도의 부족등으로 생성되며 그 성질은 소성원료와 동시에 결정되며 사용기간중에 성장하거나 진행되는 것이 아니므로 엄밀한 의미에서는 열화가 아니다.

(6) 용 력

자기에 내재결함이 있어 여기에 각종 응력이 가해지면 균열로 진전하는 경우가 있다.

Griffith의 이론에 따르면 자기와 같은 재료에서는 잠재 또는 완성후에 발생하는 미소균열은 최저응력 즉 임계파괴응력을 넘어서면 급속히 확대 진전하여 파괴를 초래한다고 설명하고 있다.



(그림 8) 애자 열회형성

6. 結 論

지금까지 전기설비의 사용에 따라 형성되는 경년열화의 생성요인과 고장모델 그리고 열화상태의 평가방법을 알아 보았다. 기자재의 고장을 사전에 방지하기 위해서는 기자재 자체의 신뢰도를 높이는 일과 적절한 운용유지기 중요하다.

그러나 신뢰도향상은 기업의 기술축적 수준, 경제력 등에 관련하여 일시적인 비약이 어려운 실적이므로 적절한 운용 유지, 곧 보전성을 높이는 노력이 강조 시 된다.

보전성을 높이기 위한 제반노력은 사고발생후 조치 하는 시후보전 (Breakdown Maintenance)에서 사전예방의 교정보전 (Corrective Maintenance), 나아가 설계 및 시공시의 보전예방 (Maintenance Prevention) 으로 발전 하였다. 특히 근래에 외국의 이같은 노력은 각종 센서를 이용하여 발생할 사고를 예측하여 대처하고 보수하는 예지보전 (Proditive Maintenance)과 상태기준형 보전 (Condition Based Maintenance)으로 까지 활발 연구가 되고있다.

따라서 우리의 경우도 열화상태의 신속한 평가와 보전성 향상에 대한 연구에 노력하여야 하겠다. **

참 고 문 헌

1. '설비진단 Automation', 전기서원, 1988
2. '애지의 품질향상과 양부판정', 전기현장기술, 1982. 4.
3. '불량애지의 테크닉', 전기계산, 1985. 11
4. '배전선 불량애지 검출', 전력, 1967. 3
5. '배전용 기자재의 진단기술', 기술연구원, 1989
6. '전력설비의 진단 기술개발', 기술연구원, 1989
7. '주상변압기 연구 요약집 (I, II)', 기술연구원, 1989
8. '배전 기제열화 진단기술', 전기협동연구 43권 2호, 1985. 10
9. '절연유 연구 자료집', 기술연구원, 1989
10. '변압기 사고 방지 자료집', 기술연구원, 1989
11. '배전용 변압기 절연진단 기술자료집', 기술연구원, 1989
12. '전기설비의 열회진단', 일본 전기학회 동해지부 1986. 11
13. '치단기의 고장예지', 일본전기와 판리, 1989. 2