

배전용 개폐기 수명 및 위험도 평가 프로그램 개발

이도훈*, 이용희*, 강원종*, 함성식*, 이정준*, 이진*, 권태호**, 김동명**
 LS산전(주) 전력연구소*, 전력연구원**

Development of Life & RISK Estimation Program for MV Switchgear

Do-Hoon Lee*, Yong-Hee Lee*, Won-Jong Kang*, Sung-Sik Ham*, Jung-Jun Lee*, Jin Lee*, Tae-Ho Kwon**, Dong-Myung Kim**
 LSIS*, KEPRI**

Abstract - 본 연구에서는 국내 배전용 개폐기의 교체주기를 설정하기 위하여, 제조사별 열화 가중치 및 최대 운영수명을 산출하였으며, 운영중인 개폐기에 대한 위험도 평가 알고리즘을 제안하였다. 또한 국내 배전용 개폐기의 교체주기를 설정 알고리즘을 현장에서 쉽게 사용하고, 측정 및 분석 데이터를 저장 및 상태추이 분석이 가능한 개폐기 수명평가 프로그램을 개발하였다.

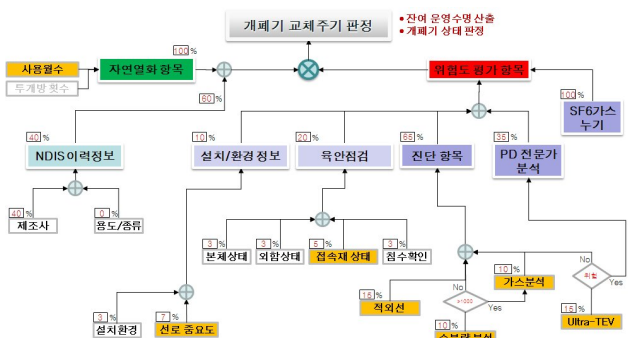
1. 서 론

전력수요가 증가함에 따라 개폐기의 사용은 증가하고 있으며 이와 더불어 노후화된 기자재의 안전성능 및 품질확보가 요구되고 있다. 최근 조사에 의하면 배전용 개폐기 고장의 50% 이상이 자연열화에 의해 발생하고 있으나 개폐기에 대한 교체기준이 확보되어 있지 않기 때문에 회계 상의 내용년수로 획일적으로 교체되고 있어 보수관리가 취약한 실정이다. 따라서 국민 생활환경 내 설치되는 배전기기의 공중안전성 확보 및 전력품질 유지를 위한 과학적인 정비·보수 개념의 도입이 요구되고 있다.

특히 지상개폐기는 인구밀집지역인 도로상에 설치 운전되고 있으나 최근 내부고장에 의한 폭발로 인명위험이 내재하고 있어 고장 원인별 패턴분석 후 국산 배전용 개폐기에 대한 수명평가 및 적절한 교체주기를 설정함으로써 기자재의 신뢰도 검증 및 계통운전의 안정을 도모할 필요가 있다. 또한 내용년수 이전에 고장이 발생하는 국내 배전기기자재의 운전환경을 고려하면 장기적 품질유지를 위한 과학적 정비·보수 개념 도입이 요구되며, 종래의 TBM(Time Based Maintenance)에서 CBM(Condition Based Maintenance) 및 수명판정 기법의 구축이 필요하고 상태기준 정비체계 구현 및 전력기기의 신뢰도 향상을 위해서는 설비의 상태를 평가할 수 있는 신뢰도 지표를 개발하여 설비의 종류 및 운영특성에 따른 노후경향을 분석할 수 있는 시스템의 개발이 필요하다.

2. 본 론

2.1 국내 배전용 개폐기 교체주기 판정 알고리즘



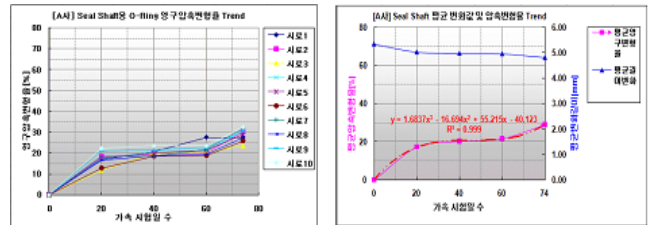
<그림 1> 배전용 개폐기 교체주기 판정 알고리즘

<그림 1>에 보인바와 같이 국내 배전용 개폐기 교체주기 판정 알고리즘은 크게 잔여수명 평가 부분과 위험도 평가 항목으로 구분된다. 잔여수명 평가부분은 국내 개폐기 신뢰성(수명) 평가 시험을 통해 산출한 기준수명 B₁₀ 20년을 기준으로 하고 개폐기 사용년수와 국내 개폐기 운영데이터 분석을 통해 산출한 각 제조사별 열화가중치를 통해 잔여수명을 산출한다. 위험도 평가부분은 크게 설치/환경 정보 항목과 진단항목으로 구분된다.

2.2 국내 개폐기의 잔여운영수명 평가

2.2.1 국내 개폐기의 신뢰성(수명) 시험

국내 배전용 개폐기의 신뢰성 및 수명에 대한 척도를 평가해 보기위한 시험으로서 가속 신뢰성(수명) 시험을 진행하였으며, 이를 국내 개폐기의 기준수명으로 활용하였다. 국내 개폐기 점유율을 조사하여 지상형 제조사 2개사 및 가공형 제조사 2개사를 시험 표본으로 선정하였다. 개폐기 고장/교체 이력데이터에 대한 통계적 분석과 개폐기 FMECA 및 FTA를 수행하여 개폐기에 대한 주요 고장모드를 선정 후 취약 부품을 선정하였으며, 선정된 부품에 대해 RS C 0031 방법에 의거해 수명을 평가하였다.



(a) 영구압축 변형률 (b) 평균 변형길이 및 압축 변형률
 <그림 2> 국내 A사의 Seal shaft용 O-ring 영구압축 변형 트렌드

<그림 2>에 국내 A사의 Seal shaft용 오링(O-ring)의 시험결과를 보였으며, 시험 결과 모든 시료의 영구압축 변형율이 인종조건인 80% 이하인 것을 확인 하였다. 즉, 기밀성능에 가장 영향을 많이 미치는 취약 부품으로 선정된 O-ring 부품에 대해 가속열화 시험을 수행한 결과 4개사 15종의 모든 시료가 영구 압축 변형률 80% 이내로 B₁₀ 52년 이상을 보증할 수 있는 것으로 나타났다.

또한 개폐기에 사용되는 절연물의 신뢰성을 평가하기 위하여 RS C 0031 규격에 따라 장기과동전 시험을 수행하였다. 장기 과동전 시험은 표본으로 선정된 4개 제조사에 대해 각 업체별 2대씩 총 8대에 대하여 시험을 실시하였다. 시험 결과 시험에 사용된 모든 개폐기가 RS C 0031 규격을 만족함으로써, 국내 배전용 개폐기의 B₁₀ 수명이 20년 이상임을 확인하였다.



<그림 3> 국내 A사/B사 개폐기의 장기과동전 시험 사진

2.2.2 이력데이터 분석을 이용한 제조사별 열화가중치 산출

국내 배전용 개폐기의 잔존수명을 평가하기 위해서 국내 127,940대에 대한 배전용 개폐기 운영데이터와 서울사업본부 개폐기 8,427대에 대한 교체이력 데이터를 이용하였다. 개폐기 운영

데이터로부터 개폐기 설치일부터 운영시간을 산출하였으며, 이를 각 제조사별로 분류하였다. 서울사업본부 개폐기 교체이력 데이터로부터 교체사유 항목을 노후로 한정하였고, 1,176대의 개폐기에 대해 각 제조사별로 분류한 후 설치일로부터 교체일까지의 교체수명을 산출하였다. 이와 같이 산출된 국내 배전용 개폐기의 운영시간과 교체수명을 이용하여 제조사별 개폐기 수명을 산출하기 위하여 Minitab 프로그램을 이용하였다. 이와 같은 분석 절차를 통하여 각 제조사별 B₁₀ 수명을 산출하였으며, 이 산출 결과를 이용하여 제조사별 열화 가중치를 산출하였다.

No.	제조사	MTTF [day]	B _{10L} Life [day]	B _{10L} Life [year]	B _{10L} /20year [%]	1-B _{10L} /20year [%]	B _{10M} Life [Year]
1	㈜ N	4820.62	3902.54	10.69	53.46	46.54	13.65
2	㈜ L	7878.01	6183.72	16.94	84.71	15.29	17.35
3	㈜ M	6684.71	4831.18	13.24	66.18	33.82	14.95
4	㈜ O	6558.35	4491.88	12.31	61.53	38.47	14.44
5	㈜ G	5148.29	4163.8	11.41	57.04	42.96	13.99
6	㈜ C	6733.95	5116.38	14.02	70.09	29.91	15.39
7	㈜ F	8129.35	5954.93	16.31	81.57	18.43	16.89
8	㈜ H	5757.29	5092.66	13.95	69.76	30.24	15.36
9	㈜ I	9372.89	5484.23	15.03	75.13	24.87	16.02
10	㈜ P	5520.01	1486.97	4.07	20.37	79.63	11.13
11	㈜ B	34818.4	7557.3	20.70	103.52	-3.52	20.73

〈그림 4〉 국내 개폐기 제조사별 잔여운영수명

위의 분석 결과에 따르면 국내 배전용 개폐기의 평균 운영수명은 약 15.45년으로 산출되었으며, 제조사에 따라 최대 약 1.86배(약 9.6년)의 운영수명의 차이가 나는 것으로 분석 되었다. 이는 제조사에 따라 개폐기의 수명의 편차가 매우 크다는 것을 의미하며, 이에 따라 현장에 운영중인 개폐기의 교체기준을 정의 할 때 제조사별 가중치 항목이 필요하다는 것을 의미한다.

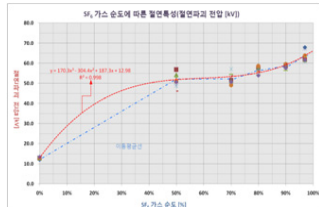
2.3 운영중인 개폐기에 대한 위험도 평가

실제 현장에서 운영중인 개폐기의 가장 이상적인 교체주기는 기기의 이상 또는 열화 상태를 진단하여 고장이 일어나기 직전에 교체하는 것이 신뢰성 및 경제적 측면에서 가장 이상적이라 할 수 있다. 이를 위해서는 개폐기의 사용환경 또는 제조품질 등에서 발생할 수 있는 여러 예측 불가능한 상황을 측정 및 진단 기법을 이용하여 상태를 파악하고 위험도를 평가할 필요가 있다. 기기의 열화는 전기적 요인, 기계적 요인, 열적 요인 등 여러 가지 요인이 복합하여 진행된다. 이러한 환경은 어느 일정시기가 경과하면 누적이 되어 고장률을 급격히 상승하는 요인으로 작용한다. 따라서 노후 상태를 사전에 파악하여 예방하는 것이 공급 신뢰도 측면에서 중요 요소이다. 국내·외 산업계 및 전력회사에서는 관련 수명인자를 정량적으로 계수화하여 종합적으로 전력기기의 노후도를 평가하고 있는데, 평가항목으로는 경과년수, 운전환경, 상태진단 등을 적용하고 있다.

본 연구에서 개폐기의 위험도를 평가하기 위한 항목으로는 크게 설치환경/육안정보 항목과 진단항목으로 구분하였다. 설치환경 및 육안정보 항목에서는 개폐기 이력상태와 부상, 조작기구의 파손, 가스압력등이 있으며, 진단항목은 부분방전(PD), 가스 수분량 및 순도, 열화상 분석으로 구성된다. 각 항목에는 그 항목의 상태에 따른 가중치가 부여되며, 위험도 평가 알고리즘에 의해 개폐기의 위험도를 판정하게 된다.

620MHz		1170MHz		1310MHz	
dBm	pC	dBm	pC	dBm	pC
0	231	-	-	20	288
-5	112	-5	336	-20	123
-6	97	-10	174	-25	103
-10	54	-14	102	-26	102
-15	26	-15	90	-30	53
-20	13	-20	47	-35	23
-25	6	-30	13	-40	10
-30	3	-40	3	-45	4
-35	1	-45	2	-50	2
-	-	-	-	-55	1

(a) PD 위험도 평가표



(b) 가스순도에 따른 위험도평가

〈그림 5〉 운영중인 개폐기에 대한 위험도 평가

2.4 국내 배전용 개폐기의 수명평가 프로그램 개발

본 연구의 결과물인 “배전용 개폐기 수명평가 프로그램”은 다음과 같이 기본화면(1차진단 입력), 2차진단 입력, 상태추이, 가중치 입력, 개폐기 인식 및 검색부분으로 크게 5개의 모듈로 구성되어 있다.

본 프로그램은 개폐기가 운전중인 현장에서 사용 시의 편의를 위하여 거의 모든 평가항목에 대해서 개폐기의 상태를 버튼 형식으로 선택(check)하는 방식으로 구현되었으며, 일부 상태추이 분석(trend analysis)을 필요로 하는 평가항목에 대해서는 측정

데이터를 직접 입력하는 방식을 사용하였다.



(a) 기본(1차 측정)화면



(b) 2차 진단 입력 화면



(c) Trend 분석 화면

〈그림 6〉 국내 배전용 개폐기 수명평가 프로그램

3. 결 론

본 연구에서는 국내 배전용 개폐기의 교체주기를 설정하기 위하여, 제조사별 열화 가중치 및 최대 운영수명을 산출하였으며, 운영중인 개폐기에 대한 위험도 평가 알고리즘을 제안하였다. 또한 국내 배전용 개폐기의 교체주기를 설정 알고리즘을 현장에서 쉽게 사용하고, 측정 및 분석 데이터를 저장 및 상태추이 분석이 가능한 개폐기 수명평가 프로그램을 개발하였다.

개폐기의 잔여수명 평가 및 위험도를 평가하기 위해서는 각 항목의 개폐기 상태에 대한 가중치가 부여되고, 부여된 가중치에 의해 개폐기의 교체여부를 판정하게 되므로 각 가중치에 대한 신뢰도가 상당히 중요하다. 본 연구에서는 기존의 국내 개폐기 이력데이터 분석 및 중요 고장모드에 대한 실험데이터를 바탕으로 가중치를 설정하기 위하여 노력하였다. 향후 현장적용을 통해 축적된 데이터를 바탕으로 꾸준히 가중치를 설정해 준다면 개폐기에 대한 보다 신뢰성있고 경제적인 교체주기가 설정될 것으로 기대된다.

[참고 문헌]

- [1] 일본 전기학회 기술 보고 제 290호, “차단기의 신뢰성 및 진단기술”
- [2] 일본 전기협동 연구 제33권 제4호, “SF₆ 가스절연기기 보수 기준집”
- [3] RS C 0031 : 고압 가스절연 부하개폐기 신뢰성 평가 기준