

보호배전반 교체기준 설정에 관한 연구

송인준\*, 이청학\*, 장병태\*, 이상복\*\*  
한국전력공사\*, 서경대학교 산업공학과\*\*

Study of Establishment of Substitution Cycle to the Equipments of Protection and Control

In-Jun Song\*, Chong-hak Lee\*, Byung-Tae Jang\*, Sang-Bok Ree\*\*  
KEPCO\*, Dept.of Industrial Engineering Seokyeong University\*\*

**Abstract** - 본 논문은 보호배전반의 교체기준 설정에 관한 연구이다. 보호배전반의 기능을 최대한 활용하기 위하여 교체를 적절하게 해야 한다. 본 논문에서는 보호배전반의 최적 교체주기를 찾기 위하여 다양한 시도를 하였다. 고장데이터로 고장 분포함수를 이용한 이론적인 수명주기 활용, 현장 전문가 의견, 제작사 전문가 경험 등을 종합하여 새로운 최적 교체주기를 제안하였다.

• 표준편차(척도모수):  $\sigma = 570.8$   
평균사용시간(MTTF)은 3,644일(9년 11개월 29일)이다. 이는 모든 제품이 한 번씩 고장 나는 시간이다. 위의 누적 생존확률을 95%로 유추해 보면 약 1,818일(4년 11개월 28일)에서 2,109일(5년 9개월 14일) 정도이다. 이 기간부터 고장 나기 시작한다고 할 수 있다.

1. 서 론

한전에서는 전력계통 보호를 위해 다양한 보호설비를 적용하고 있으며, 계통보호의 신뢰도 확보를 위한 디지털 보호설비 사용이 증가 추세에 있다. 그러나 계통보호 설비의 교체기준은 전자기계형 계전기 기반의 기준으로 운영되고 있어 다양한 보호설비의 특성을 반영하지 못할 뿐만 아니라, 디지털 보호계전기기술의 급격한 발달에 따른 구식화 소요기간 및 부품의 수명 단축 현상 등을 반영하지 않아 노후 및 진부화 판정기준 적용에 많은 애로가 있다. 그리고 보호설비 제작사는 일정시간이 지나면 보호설비의 부품을 생산되지 않기 때문에 보호설비가 고장이 났을 경우 부품 조달에 어려움이 있어 현 기준에 맞추어 교체하는 것은 현실적으로 어려움이 있다. 따라서 진부화 소요기간, 부품의 수명 단축 및 수리 부품의 조기 단종 현상 등을 고려하고, 전자기계형, 디지털형 등 설비 특성을 반영한 교체기준 정립이 필요하게 되었다.

현재 한전에서는 16,471면의 보호배전반을 설치 운영하고 있으며, 보호배전반 교체는 내부규정에 따라 시행하고 있다.

본 논문에서는 보호배전반의 합리적인 교체주기 수립을 위하여 다양한 방법을 연구하였다. 보호배전반의 수명예측은 현장 고장데이터를 이용한 고장분포해석과 이론적 수명결정 결과로 산정하였으며, 기술의 진부화, 예비품 재고정책, 현장 전문가 의견, 제작사 전문가 경험 등을 종합하여 새로운 최적 교체주기를 제안하였다. 이론적 수명은 전자부품에 관한 수명평가 자료, 조달청 제시 부품들의 수명, 전자제품의 수명평가 자료 등을 활용하여 추정하였다. 고장분포 해석은 통계패키지인 Minitab 프로그램을 사용하여 분석하였다.

2. 본 론

2.1 고장 데이터를 이용한 수명분포 함수 추정

현장에서 취합한 고장데이터를 이용하여 수명분포 함수를 추정하고 그 결과로서 보호배전반의 수명을 예측한다. 보호배전반은 전압의 크기 및 제작사에 따라 다양하게 분류하여 수명을 예측할 수 있지만, 본 논문에서는 154kV T/L 보호배전반의 경우만 살펴본다.

2.1.1 적합한 분포 찾기

고장이 보고되지 않은 3,000여개의 설비에 대해서는 조사한 날까지 고장이 발생하지 않았다고 가정하고 운전날자를 계산하여 추정 확률 분포의 함수를 구하였다. 다양한 그림(실제는 11개 그려줌)중 가장 적합한 고장 분포함수를 찾고, 이를 수치로 분석한 내용을 살펴본다. 주어진 데이터가 각 분포에 얼마나 적합한지를 검증하는 적합도 검증자료를 <표 1>에 나타내었다.

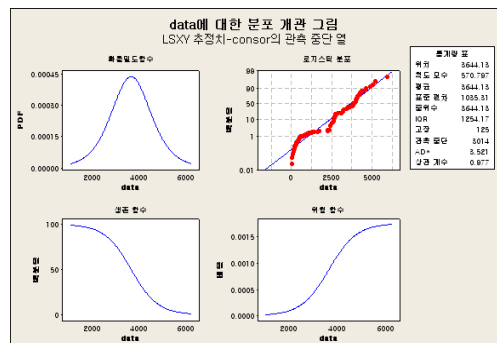
2.1.2 로지스틱 분포로 가정

Minitab을 이용하여 신뢰성 수명 분포 함수가 로지스틱 함수라 할 때, 생존함수, 위험함수 등을 구하면 <그림 1>과 같이 나온다. <그림 1>을 자세히 그리면 95% 확률로 고장날 확률과 생존확률을 그림으로 그릴 수 있다. 그림에서 95% 확률로 보면 2,000일 이전부터 고장 나기 시작함을 알 수 있다. 이와 관련된 데이터는 다음과 같다. 로지스틱 분포에서 수명 T의 함수는,  $T \sim \text{Logis}(\mu, \sigma)$ 로 나타낸다.

• 평균값(위치모수) :  $\mu = 3,644.13$

<표 1> 여러 추정 분포들의 상관계수 값

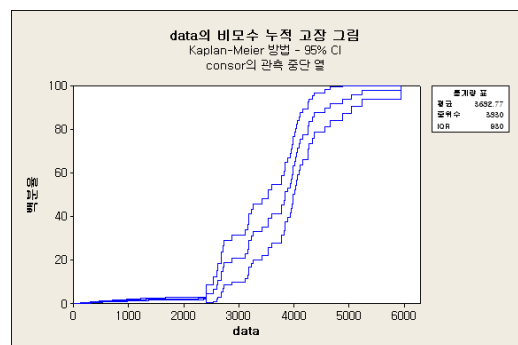
분 포	Anderson-Darling	상관 계수
Weibull 분포	23.106	0.891
로그 정규분포	19.76	0.805
지수 분포	65.096	*
로그 로지스틱 분포	17.362	0.861
3-모수 Weibull 분포	4.249	0.975
3-모수 로그 정규 분포	5.525	0.97
2-모수 지수 분포	65.016	*
3-모수 로지스틱 분포	3.723	0.976
최소극단값 분포	5.27	0.975
정규 분포	5.294	0.971
로지스틱 분포	3.521	0.977



<그림 1> 로지스틱 함수일 때, 개관 그림

2.1.3 비모수로 추정

적합한 함수가 없다는 가정하에서 비모수로 수명주기를 95% 추정하면 <그림 2>와 같다. 비모수에서 평균고장일은 3,683일(10년 1개월 3일)이다. 모수 누적 고장그림이나 생존그림을 볼 때, 2,534일(6년 11개월 14일)까지는 안전하고, 그 이후는 고장이 급증하는 것을 볼 수 있다.



<그림 2> 비모수 95% 추정할 때 누적고장 그림

## 2.2 디지털 보호계전기의 수명 예측

현재 한전에서 운용중에 있는 디지털 보호 계전기(Digital Distance Relay)와 구성모듈에 대한 고장률(Failure rate)과 평균수명(Mean Time between Failures, MTBF), 그리고 시간에 따른 신뢰도 분석을 하였다.

구성모듈의 MTBF 추정 결과 부품 모듈이 92,633시간(commercial), 216,076시간(mil-spec)시간으로 가장 짧은 것으로 확인되었다. 1,000시간 사용할 때 부품의 품질수준에 따라 신뢰도가 약 96%(commercial)와 99%(mil-spec)정도 되는 것으로 분석되었다.

## 2.3 이론적 수명추정

### 2.3.1 전자부품에 관한 수명평가 자료

각 부품의 수명은 작업 시작점에서 고장으로 작업을 못하는 순간까지이다. 부품 교체에 수명에 대한 통계적 분석이 가능하기 위해서는 교체의 수명이 어떻게 분포하는지에 대한 지식이 필수적이다. 여기에서는 MIL-HDBK-217F를 이용한 기존의 수명추정결과를 제시한다. 계통보호 제어설비의 핵심부품 중 Transistor, Resistor, Microcircuit, Capacitor에 대하여 각각 살펴봤다.

〈표 2〉 중요 설비 부품의 추정수명

번호	부품명	95% 신뢰보장	99% 신뢰보장
1	Resistor	200	40
2	Capacitor	110	23
3	Transistor	175	40
4	Microcircuit	27	11

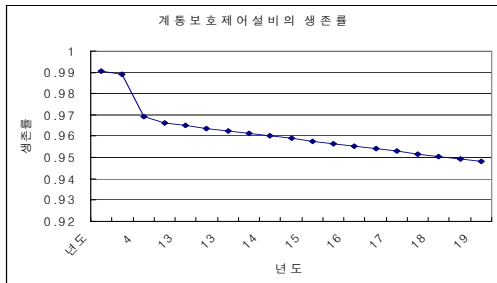
### 2.3.2 조달청 제시 부품들의 수명

국가기관에서 공통적으로 사용하는 주요물품에 대하여 물품의 경제적인 사용기간인 내용연수를 정하고 이를 적용하기 위한 기준을 정함으로써 국가물품을 효율적으로 관리하기 위해 사용연수를 제시하였다(물품관리법 시행규칙 제25조에 의거 조달청고시 제 200-1호 내용연수 참조). 이중 보호배전반에서 많이 사용되는 부품들의 수명은 대부분 10년으로 규정하고 있다.

### 2.3.3 전자제품에 관한 수명평가 자료

제품은 부품의 합으로 이루어져 있으므로 부품 수명으로 제품의 수명을 추정할 수 있다. 대부분의 설비는 많은 부품들의 결합으로 이루어졌으며, 부품들 중 하나라도 고장 나면 제품은 못쓰게 된다.

MIL-HDBK-217N에서 부품들이 직렬로 구성되어 있다고 보고 고장률을 계산할 때, 설계수명을 95% 보장하는 경우는 18년을 사용할 수 있고, 99% 보장하는 경우는 3년 사용할 수 있다. 이를 그래프로 그리면 <그림 3>과 같다.



〈그림 3〉 제품의 시간에 따른 생존률 그래프

## 2.4 보호배전반 수명 결정

위에서 조사한 보호배전반의 고장 데이터로 추정된 수명은 고장 자료 데이터가 적어 결과에 대한 신뢰도가 낮다. 고장 데이터로 수명을 추정하는 방법은 고장 데이터 수가 적을 경우 수명 추정에 한계가 있기 때문이다. 이러한 경우 기술의 진부화, 예비품 재고, 전문가 의견 등의 요소를 가미해서 수명을 결정한다.

### 2.4.1 기술진부화

계통보호 제어설비의 H/W가 10년 주기로 변화하고 있다. 큰 변화는 1980년대에 기계식에서 디지털형식으로 변환된 것이다. 그후 디지털 형식에서 기능이 확장되고, 다른 설비들 특히, 통신기능들과 통합되는 형식으로 발전하고 있다. 하지만 H/W적 변화는 기존의 설비와 새로운 설비간의 호환이 어렵게 하고 있다. S/W는 H/W에 관계없이 지속적으로 업그레이드되고 있다.

### 2.4.2 예비품 재고 정책

보호배전반의 설비가 고장 났을 때 부품이 없으면 해당 설비는 교체해야 한다. 보호배전반의 대부분 제작업체에선 지난 모델을 최대 1~2 SET 보관하고 있다. 만약 해당 모델이 없으면, 사용하지 않는 제품에서 활용할 수 있는 모듈을 추출하여 사용한다.

### 2.4.3 전문가 및 현장 의견

제작사의 전문가들의 다양한 의견을 청취하였다. 몇 가지만 요약하면 다음과 같다.

- ① 디지털 보호배전반의 노후상태 판정기준으로 일본에서는 15-20년 정도로서 부품 교체를 하고 있다. 생산부품의 생산중단 등의 문제가 있다. 일본에서는 전력 회사마다 판정기준이 다르다.
- ② 디지털 보호배전반의 수명을 결정하는 부품의 수명주기가 다음과 같다. 전해 콘덴서는 94년 이전 제품은 10년, 95년 이후 제품은 15년, FUSE 15년, LCD 10년, LED 20년, Photo-Coupler 20년, Super Capacitor 15-20년, CPU 15년 정도로 설계되어 있다.
- ③ 디지털 제품은 기존 제품보다 수명이 짧다. 기존 기계식 제품이 15년 이라면 디지털 제품은 10년 이하가 적당할 것이다.
- ④ 교체주기는 10-12년이 적당하다. 이유는 발전설비의 수명주기가 10-12년이고, 민간에서 사용하는 UPS(보호설비와 비슷한 시스템)이 12-13년이다. 반도체 소자의 수명이 결정적인데 대체로 반도체 수명이 10년으로 본다.
- ⑤ 교체주기는 10년이 적당하다. 이유로 부품을 제공하는 미국의 SEL에서 무고장을 보장하는 기간이 10년이기 때문이다.
- ⑥ 교체주기는 10년이 적당하다. 이유로 H/W 주기가 10년이다. 모델 변화에 맞추는 것이 운영에 좋다. 현재 15년은 구식과 최신식을 같이 사용하여 매치되지 않는 것이 많다.

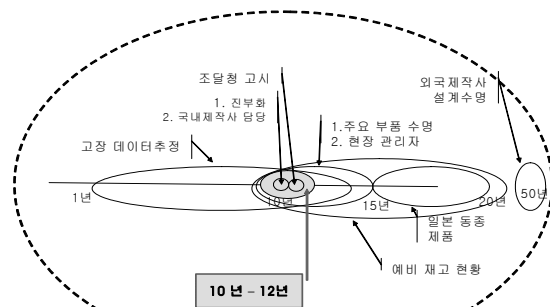
### 2.4.4 보호배전반의 수명 결정

위에서 살펴본 보호배전반의 수명에 관련된 내용을 정리하여 수명을 결정한다. 전체적으로 보면 아래 표와 같이 다양한 의견들을 종합하여 결정할 수 있다.

〈표 3〉 보호배전반 수명주기 결정 기준

순서	내용	수명주기
1	고장 데이터로 추정	1년 - 12년
2	주요 부품 추정	10년 - 15년
3	진부화	10년
4	예비 재고 현황	10년 - 30년
5	동종제품 일본	15년 - 20년
6	외국 제작사 설계수명	50년
7	국제 제작사	10년
8	현장 담당자	10 - 15년
9	조달청 고시	11년
종합		10년 - 12년

결론적으로 보호배전반의 수명은 10 -12년 사이가 적당한 것으로 판정된다. 이를 그림으로 표시하면 <그림 4>와 같다.



〈그림 4〉 보호배전반의 수명 그림

## 3. 결 론

본 논문에서는 보호배전반의 합리적인 교체기준 설정위해 현장의 고장 데이터를 이용한 수명추정 외에 현장 전문가 의견, 제작사 전문가 등의 경험, 그리고 부품별 수명, 가속 수명 데이터 등을 모두 종합하여 보호배전반의 수명을 산정하였다. 현재 한전에서 사용 확대되고 있는 디지털 보호배전반의 수명은 10~12년으로 추정되었다.

### [참고 문헌]

- (1) MIL-HDBK-217F, Reliability Prediction of Electronic Equipment, 1995.
- (2) 조달청, 물품관리법 시행규칙 제25조에 의거 조달청고시 제 200-1호, 2006.