

**배전계통 적정 신뢰도 유지를 위한 설비교체 순위 평가**

이희태, 김재철, 문종필, 추철민  
 숭실대학교

**Component Replacement Ordering Evaluation for Proper Reliability Maintenance in Power Distribution System**

Lee Hee Tae, Kim Jae Chul, Moon Jong Fil, Chu Cheol Min  
 Soongsil Univ.

**Abstract** - New environment change of electric power system focused in consumer's energy supply and demand.

But electric power reliability preservation and reliability improvement countermeasure also need for long-term.

It is need that change equipments that is composing electric power system in well-timed time and by maintaining, prevent breakdown beforehand and prevent consumer's power interruption by equipment fail.

However, as only quantitative estimation is available by reliability estimation method that is presented in existing, it is no to use in dictionary fault prevention.

Therefore, applied optimum reliability preservation through existent equipment fault data analysis of electric power system in equipment replace side, and this when maintain equipment replace of electric power system for reliability preservation using responsiveness analysis to base ordering evaluate .

In existing about main equipment plain that this paper is power system the valued failure rate use this by score and precedence of electric power system equipment for replace of system considered expense .

**1. 서 론**

배전계통은 수용가와 밀접한 관계가 있어 수용가와 정전과의 관계는 떼어놓고 생각할 수 없는 특수성을 지니고 있다.

수용가의 정전의 정도를 평가할 수 있는 배전 신뢰도는 하나의 도구로써 이용할 수 있지만 기존에 제시된 신뢰도 평가방법으로는 정량적인 평가만이 가능하여 구성 설비의 노화에 따른 반영은 고려하기 어렵다. [1-3].

그래서 노화 및 열화의 반영을 위해 고장확률분포 가운데 지수분포 및 와이블 분포를 이용한 새로운 설비고장률을 분석하였다.

제시된 고장률 결과를 이용한 신뢰도 평가와 이를 기반으로 신뢰도 지수와 고장률의 민감도 분석을 하였다.

그리고 설비교체 비용을 고려하여 배전설비의 교체시 비용대비 신뢰도 향상에 기여하는 설비를 우선순위로 순위를 나타내었다.

**2. 주요 배전설비의 고장률**

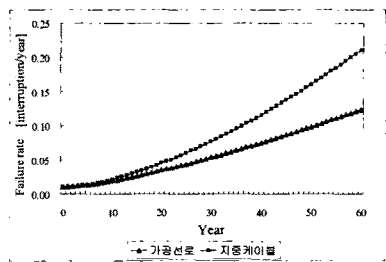
고장확률분포를 이용한 배전설비별 고장데이터 분석은 국외뿐만 아니라 국내 연구에서도 그 결과를 제시하고 있다. 이러한 연구를 토대로 한 배전계통 신뢰도 평가는 다양한 방법으로 유용하게 이용될 수 있다[4-5].

다수의 신뢰도 평가 시 이용되는 기본 파라미터인 고장률은 연간 고장률을 제시하여 경년에 의한 고장률의 증가를 반영하지 못하는 평균적인 값을 사용하지만 본 논문에서 적용되는 고장률은 연간 열화 및 노화에 의해 증가되는 고장률을 반영하여 배전계통의 설비교체에 변수로써 이용하였다.

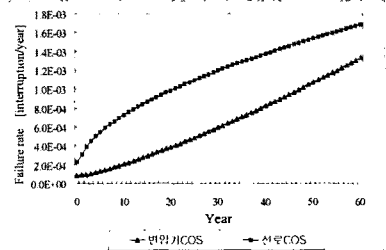
고장의 형태를 보면 크게 임의의 사고로 인한 고장과 설비의 수명을 다해 나타나는 고장으로 나눌 수 있다. 전자의 분석을 위해서는 지수분포가 적합하며, 후자의 경우에는 와이블 분포가 가장 적합한 분석으로 알려져 있다[6].

**2.1 주요 배전설비의 고장률 분포**

“정전관리 통합 시스템”에 의해 관리되고 있는 고장코드와 10년간(1993~2002)의 실 고장데이터를 이용하여 임의의 사고로 인한 고장은 지수분포를 이용하고, 경년과 열화에 의해 나타난 설비 고장은 와이블 분포를 이용하여 주요 배전설비의 고장률은 다음과 같은 결과를 보인다.



(a) 가공선로 및 케이블의 사용년도별 고장률 곡선



(b) 선로 및 변압기 COS의 사용년도별 고장률 곡선

그림 1. 주요배전설비의 사용년도별 고장률 곡선

배전계통 신뢰도평가는 마코프 이론을 가정하고 있다 [1]. 분석한 배전설비의 고장률은 지수분포와 와이블 분포를 사용하였기 때문에 고장곡선의 변환이 필요하다. 마코프 해석에서 고장률은 지수분포를 가정하고 있기 때

문에 고장률값을 상수값으로 변환하였고, 해당 년도별 고장률 증가분은 계단함수로 변환한 그래프를 이용하여 신뢰도 해석을 하였다. 위의 그림 1과 같은 연속된 곡선의 형태를 그림 2와 같이 나타내었다.

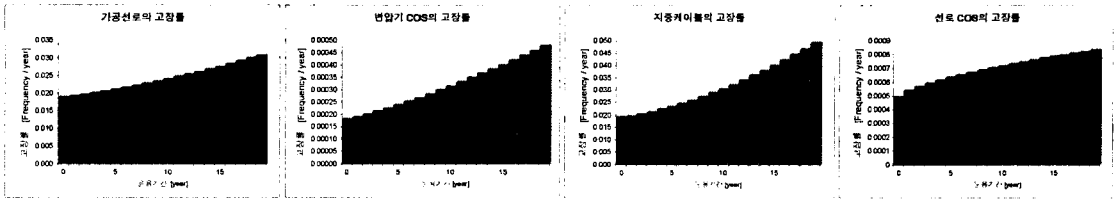


그림 2. 마코프 이론 적용을 위한 변환 고장률

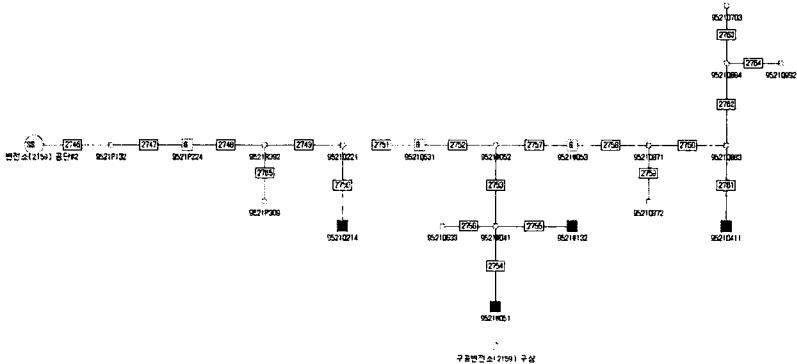


그림 4. 샘플 배전계통의 단선도

### 3. 설비교체 알고리즘

설비교체 알고리즘은 다음과 같은 그림 3의 순서도를 통해 제시하였다.

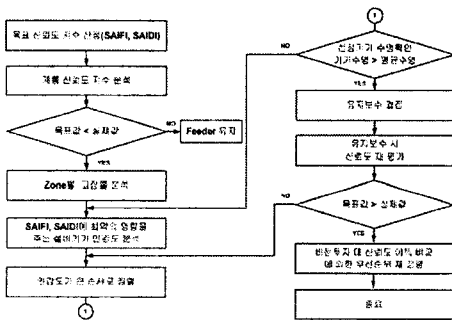


그림 3. 설비교체 순서도

구성설비의 신뢰도 향상을 위해서는 고장률 분석이 반드시 이루어져 하고, 이는 앞절에서 제시된 값을 이용하였다. 해당 지역의 설비 수명 평가가 이루어져야 하고, 이를 위해서는 해당 설비의 고장데이터를 근거로 산술평균값에 근거한 수명을 기준으로 활용하였다. 표 1은 주요 설비의 평균 수명을 나타낸다.

표 1. 배전설비의 평균수명

설비명	평균수명
가공선로	115개월
지중선로	153개월
변압기COS	114개월
선로COS	116개월

### 3.1 민감도 분석

실계통의 민감도 분석은 실 계통에 포함된 모든 설비들이 신뢰도 지수(SAIFI, SAIDI)에 얼마만큼 영향을 미치는지에 대한 것으로 기준이 되는 n년후 계통의 신뢰도 지수 민감도를 알아보기 위해 설비별 민감도의 차이로 분석하였다.

예를들어 n년후에 신뢰도 지수와의 차이가 크게 나타나는 설비일수록 해당 신뢰도 지수에 민감한 설비가 되고, 계통 구성설비의 교체 1순위가 된다.

수학적적인 표현은 다음과 같다.(신뢰도 지수가 SAIFI, SAIDI인 경우)

$$\alpha = \left[ \frac{\Delta SAIFI}{\lambda_k - \lambda_{k-1} \alpha} \right] \left[ \frac{\Delta SAIDI}{\lambda_k - \lambda_{k-1} \alpha} \right] \quad (1)$$

### 4. 사례연구

실 계통의 신뢰도 평가와 제시된 알고리즘을 이용하여 실 계통을 구성하고 있는 설비의 교체 우선순위를 평가하였다.

NDIS(New Distribution Information System)을 통해 구로변전소의 하나의 피더에 대한 단선도는 다음과 같으며, 전산화 번호를 통해 각 구간에 설치된 설비 위치, 수용가의 정보등 신뢰도 평가를 위한 기본적인 정보를 내포하고 있다. 변압기의 경우는 평균고장률값을 사용하였기 때문에 설비교체의 항목에서 제외시켰고, 신뢰도 지수는 SAIFI만을 고려하였다.

그림 4의 계통을 구성하고 있는 주요설비에 대한 정보는 다음과 같다.

표 2. 샘플계통의 구성설비 및 길이(개수)

구성설비	길이 및 개수
가공선로	1935m
지중선로	424.4m
변압기	7
변압기COS	7
선로COS	14

해당 계통의 최초 설치년도에 대한 정보가 미흡하여 그 값을 가정하였고, 설비의 복구시간 및 설비의 교체비용등은 한전 부산지사 및 충남지사의 자료를 바탕으로 다음 표 3~4에 나타내었다. 이 표2를 기준으로 배전 신뢰도 평가를 하였으며, 그 결과는 그림 5와 같다.

표 3. 배전설비의 교체비용

설비기기	교체 비용
가공선로[일반(사선)시]	22,562 천원/km
가공선로[무정전공사시]	38,934 천원/km
지중선로[관로구]	94,591 천원/km
지중선로[전력구]	122,867 천원/km
개폐기	1,900 천원/개당 수동[활선]
	4,500 천원/개당 자동[활선]
Cut Off Switch	95,337 원/개당[사선]
	208,086 원/개당[활선]

표 4. 배전설비의 고장복구시간

구분	복구시간	고장복구시간	
고장구간탐색	1분/건	변압기, 지중선로	2시간
고장점탐색	3분/km	변압기COS	2시간
부하절제조작순서작성	2분	선로용COS	3시간
부하절제	1분	가공선로	1시간
차단기 투입	5분	개폐기	3시간

LP는 수용가를 의미하며 고압수용가의 경우 선로용 COS를 통해 저압수용가의 경우 변압기COS를 통해 구성되어 있으며, 총 24의 Load Point로 구성되어 있다.

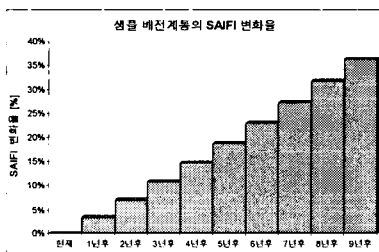


그림 5. 샘플계통의 현재대비 SAIIFI의 악화 백분율

그림 5와 같이 현재(2003년)를 기준으로 향후 9년간 설비의 교체가 이루어지지 않는다면 68%정도로 신뢰도(SAIFI)가 악화된다고 볼 수 있다. 이러한 결과를 가지고 다음과 같은 조건에서 설비의 교체를 신뢰도 민감도와 투자비용을 접목하여 다음과 같은 결과를 도출하였다. 샘플계통의 신뢰도가 현재를 기준으로 악화율이 15%를 넘지 않도록 설비의 교체가 이루어져야 한다고 했으며, 이를 위해서 제시된 알고리즘을 이용한 결과는 다음과 같다. 3년후의 SAIIFI의 악화율이 10%를 넘어 남으로 2005년에 신뢰도 상한을 넘기지 않기 위한 순위를 15순위까지 표5에 나타내었다. 해당 설비에 대한 교체 후 향상된 SAIIFI값과 설비정보와 표 3에서 제시된 비용 중 일반사선공사를 기준으로 하여 계산된 총비용, 비용대비 SAIIFI의 이득의 값을 가지고 그 순위를 나타내었다.

표 5. 샘플계통의 설비교체 우선순위 결과

순위	설비 및 위치	교체후 (SAIFI)	설비정보 (km,EA)	총 비용 (천원)	B/C
1	개폐기(2727)	7.98E-04	3	13,000	5.91E-09
2	가공(2763)	6.77E-04	0.105	2,369	2.86E-10
3	가공(2753)	1.93E-04	0.03	677	2.86E-10
4	가공(2757)	1.44E-04	0.025	564	2.55E-10
5	가공(2758)	7.37E-04	0.145	3,271	2.25E-10
6	가공(2747)	1.86E-04	0.042	948	1.97E-10
7	지중(2765)	3.01E-04	0.0202	1,911	1.58E-10
8	COS(2748)_2	1.84E-05	2	191	9.63E-11
9	가공(2764)	1.13E-04	0.054	1,218	9.26E-11
10	가공(2749)	8.69E-04	0.47	10,604	8.19E-11
11	COS(2749)_2	1.26E-05	2	191	6.59E-11
12	가공(2754)	3.74E-05	0.034	767	4.87E-11
13	COS(2748)_1	9.18E-06	2	191	4.82E-11
14	COS(49)_1	6.62E-06	3	286	2.32E-11
15	COS(63)_2	5.88E-06	3	286	2.05E-11

## 5. 결 론

배전계통 신뢰도 평가의 목적은 현 시스템의 신뢰도 수준 파악이며, 설비의 교체는 계통의 구성요소를 고려하여 잠재적인 사고요인을 적절한 수준으로 낮추는데 있다. 본 논문에서는 이러한 적정 수준 평가를 위해 시변 고장률을 도입하여 실 계통에 적용하였으며, 설치년도에 따라 다양하게 변화되는 고장률을 이용하여 예측할 수 있는 신뢰도 지수를 평가하고 해석적인 신뢰도 평가방법을 실 계통에 적용하였다.

설비투자비용과 신뢰도 지수를 민감도 분석을 통해 조합하여 비용대비 이득을 설비 교체에 순위를 평가하였다.

이 논문의 연구는 산업자원부 지정 '전력신뢰도/품질 연구센터'에서의 재정적인 지원을 받아 진행되었습니다. 본 센터에는 경상대, 서울대, 숭실대, 전북대, 한양대의 교수님들과 대학원생들이 연구원으로 참여하고 있습니다.

## [참 고 문 헌]

- [1] Richard E. Brown, "Electric Power Distribution Reliability, ABB INC, 2002
- [2] Billinton, R. Ronald N. Allen, "Reliability Evaluation of Power Systems", Plenum Press, 1984
- [3] R. Billinton and R. N. Allan, "Reliability Evaluation of Engineering Systems : Concepts and Techniques. New York", Plenum, 1992.
- [4] 日本電氣學會 編著, "電氣設備의 診斷技術", 대한전기학회, 1994
- [5] 한국전력공사, "배전계통 자산관리 시스템 개발 최종보고서", 2004
- [6] 임태진, "시스템 신뢰도 공학", 숭실대학교 출판부, 2005