

시변 고장률을 이용한 배전계통 유지보수 우선순위 결정

論 文

55A-11-5

Deciding the Maintenance Priority of Power Distribution System using Time-varying Failure Rate

李 義 泰* · 文 鍾 必** · 金 載 哲†
(Hee-Tae Lee · Jong-Fil Moon · Jae-Chul Kim)

Abstract - The failure prediction and preventive maintenance for the equipment of nuclear power plant area using reliability-centered maintenance have been grown. On the other hand, the maintenance for power distribution system consists of time-based maintenance mainly. In this paper, the new maintenance algorithms for power distribution system are developed considering reliability indices. First of all, Time-varying failure rates are extracted from data accumulated at KEPCO using exponential distribution function and weibull distribution function. Next, based on the extracted failure rate, reliability for real power distribution system is evaluated for applying the effective maintenance algorithm which is the analytic method deciding the maintenance point of time and searching the feeder affecting the specific customer. Also the algorithm deciding the maintenance priority order are presented based on sensitivity analysis and equipment investment plan are analyzed through the presented algorithm at real power distribution system.

Key Words : Time-varying Failure Rate, Reliability, Maintenance Priority, Sensitivity Analysis

1. 서 론

매년 배전계통의 전력서비스 목표치는 결정되고 있으나 전사적이고 일률적인 값을 적용하고 있고, 전력서비스 수준 향상을 위해 필수적인 투자 대 성능 모델이 정립되어 있지 못하기 때문에 신뢰도 측면에서 효율적인 배전보수 계획 수립이 이루어지지 못하고 있다.

배전계통의 신뢰도와 적절한 유지보수는 설비의 가용성(Availability)과 고장복구시간, 수용가의 만족도 등에 많은 영향을 준다. 이러한 신뢰도를 향상시키기 위한 방법으로는 크게 계통의 구조 변경이나 구성설비 자체의 신뢰성향상으로 나눌 수 있다. 여기서 계통 구조 변경의 문제는 선로 신설 시에는 계획단계부터 적용할 수 있으나, 이미 구성된 계통구조를 변경하는 일은 매우 어려운 일이 된다. 따라서 기존에 설치되어 운용중인 계통의 신뢰도를 유지하기 위해서는 설비의 교체나 유지보수를 통한 방법이 최선책이 될 것이다.

국내 배전자산에 대한 설비교체에 대한 평가는 전력회사의 우선순위 평가항목에 근거하여 계획을 세우지만 공급신뢰도를 고려하지 않기 때문에 이를 보완하기 위해 신뢰도 지수를 이용하여 개선된 설비 교체 우선순위 평가한 연구결과가 있다[1].

하지만 신뢰도 평가를 위한 가장 기본적인 변수인 고장률(Failure rate)은 시간의 변화에 상관없이 일정한 값을 갖는 값으로 정량화 하여 사용하고 있다[2-5]. 그러나 이 고장률은 축적된 고장데이터를 이용하여 추출 시 여러 분포함수를 이용하여 시간에 따라 증가하는 시변고장률로 추출할 수 있다. 여기서는 배전설비의 10년간의 고장데이터를 분석하여 그 원인을 임의고장과 열화고장으로 분류하여 시변고장률을 추출하였다[6].

본 논문에서는 설비 유지보수의 영향평가를 위해 국내 배전설비의 고장자료를 바탕으로 추출된 시변고장률을 이용하여 실 계통의 신뢰도 평가 및 배전계통의 전력공급 적정 신뢰도 유지와 시스템 관리를 목적으로 한 배전계통 설비관리에 초점을 맞추어 배전설비기기의 유지보수 우선순위를 결정하였다.

유지보수계획을 위해 누적된 10년간의 고장데이터를 근거로 고장률 추출을 통해 신뢰도 평가에 이용하였고, 시스템 신뢰도 지수와 고장률, 보수비용의 민감도 분석을 통해 영향 분석을 하였다. 제시된 알고리즘을 이용하여 설비 유지보수 계획 순위를 실계통에 사례연구를 하였다.

2. 주요 배전 설비의 고장률 평가

2.1 배전설비 고장률 평가

시변 고장률 분석을 위해 배전기기의 고장 데이터를 분석하였다. 설비의 고장 유형을 임의고장(Random failure)과 열화고장(Aging failure)의 2가지로 분류하였다. 즉, 수집된 고장 자료에는 고장 원인이 다양하게 기록되어 있지만 크게 수명이 다하여 고장난 열화고장과 수명과 관계가 없는 발생

† 교신저자, 正會員 : 崇實大 工大 電氣工學部 教授 · 工博

E-mail : jckim@ssu.ac.kr

* 正會員 : 崇實大 工大 電氣工學部 博士修了

** 正會員 : 基礎電力研究員 電力시스템研究室 先任研究員

接受日字 : 2006年 8月 10日

最終完了 : 2006年 9月 14日

하는 임의고장으로 분류하였다.

다음으로 고장률 추출을 위해 어떠한 확률분포를 사용하느냐에 따라 서로 다른 특성을 지니지만, 본 논문에서는 고장데이터의 고장형태를 통해 임의에 의한 고장에는 지수분포를 열화에 의한 고장은 와이블 분포를 사용하였다.

임의고장은 우연적인 현상에 의해 발생한 고장이기 때문에 기기의 가동연수에 관계없이 항상 일정한 값을 갖으며, 열화고장은 기기의 가동기간이 길어짐에 따라 증가하게 된다. 각 설비의 시변고장률은 열화고장에 의한 시변고장률에 임의고장에 의한 고장률이 일정한 부분만큼 더해지는 형태로 구할 수 있다.

2.1.1 임의고장(Random failure)

임의고장에 의한 고장률은 일정한 상수로 구하여 진다. 시변 고장률 분석에서 고장률이 상수인 경우에 사용되는 분포는 지수분포이며, 지수분포는 무기억성(Memoryless property)을 갖는 유일한 확률분포다.

예를 들면, 이 부품은 노후가 되지 않는다는 가정을 할 수 있다. 따라서 아무리 오래 사용했다 하더라도 작동하고 있으면 앞으로의 수명은 새로운 부품으로 교체한 경우와 동일하기 때문에 이러한 부품을 예방차원에서 고장나기 이전에 미리 교체할 필요가 없다.

이러한 특성을 지닌 지수분포의 확률밀도함수 및 관련 모수들의 값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{평균 고장률이 } \lambda \text{인 경우,} \\ f(t) &= \lambda e^{-\lambda t} & (1) \\ F(t) &= 1 - e^{-\lambda t} & (2) \\ R(t) &= e^{-\lambda t} & (3) \end{aligned}$$

여기서 $f(t)$ 는 확률밀도함수, $F(t)$ 는 확률분포함수, $R(t)$ 는 신뢰성 함수를 나타낸다.

지수분포의 경우 고장률의 추정식은 다음과 같다.

$$\lambda_R = \frac{\text{고장개수}}{\text{기기의 총가동시간}} \times 8760 \quad [\text{frequency / year}] \quad (4)$$

2.1.2 열화고장(Aging failure)

가동시간에 비례하여 고장률이 변하는 열화고장은 와이블 분포를 이용하여 분석하였다. 와이블 분포는 열화고장의 분석에 가장 널리 쓰이는 확률분포이며, 시간의 함수로 나타내어진다. 와이블분포의 확률밀도함수 및 관련 모수들의 값은 다음과 같다.

$$f(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right] \quad (5)$$

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right] \quad (6)$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right] \quad (7)$$

$$\lambda(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} \quad (8)$$

여기서 $f(t)$ 는 확률밀도함수, $F(t)$ 는 확률분포함수, $R(t)$ 는 신뢰성 함수, η 는 척도모수(scale parameter), m 은 형상모수(shape parameter)를 나타낸다. 열화고장에 의한 고장률 추출 절차는 그림 1과 같다.

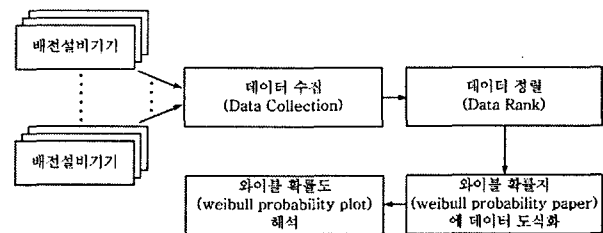


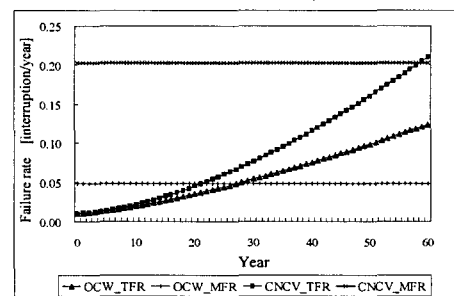
그림 1. 열화고장 해석을 위한 분석 절차
Fig. 1. Analysis flow for aging failure analysis

2.1.3 배전설비 고장률

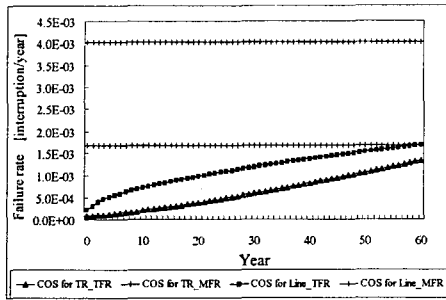
배전 설비의 시변고장률은 연도별 기대 고장 회수를 의미하고 배전 설비의 연도별 기대 고장 회수는 고장률 함수를 원하는 기간에 대하여 적분을 통해 추정할 수 있다. 최종적인 배전 설비의 시변고장률은 임의고장률과 열화고장률의 합으로 식 (9)와 같이 표현하였다.

$$\lambda(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} + \lambda_0 \quad (9)$$

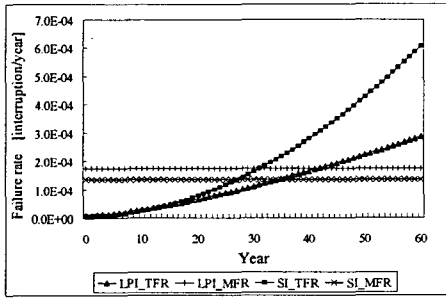
다음 그림 2는 주요 배전설비에 대한 시변고장률의 추출 결과이다. 여기서 MFR은 단순하게 고장발생횟수로 고장기간을 나눈 평균고장률을, TFR은 시변고장률을 의미한다.



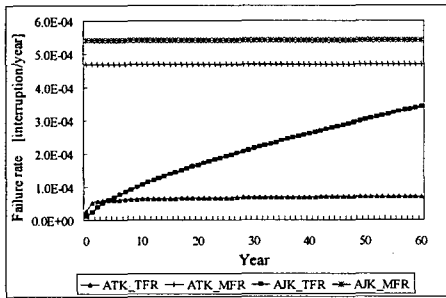
(a) 가공선로(OCW) 및 지중선로(CNCV)



(b) 변압기 및 선로용 COS



(c) 라인포스트 애자(LPI) 및 현수애자(SI)



(d) 직선접속재(ATK) 및 종단접속재(AJK)

그림 2 주요 배전설비 고장률 결과

Fig. 2 The results of failure rate for main power distribution system equipment

3. 배전신뢰도를 이용한 유지보수 계획

일반적으로 전력설비는 가동기간이 증가함에 따라 열화하는 특성을 가지므로 이에 따라 신뢰도 또한 감소하게 된다. 이런 현상을 방지하기 위해서는 시스템에 대한 주기적인 예방보수가 필요하다. 배전설비의 보수는 크게 검사(Inspection), 수리(Repair), 교체(Replacement) 등으로 분류할 수 있다. 설비의 수명 연한이 다하여 완전히 새로운 기기로 교체하는 방법(교체)은 그 기기의 상태를 처음의 상태로 되돌린다(As good as new). 그러나 본 논문에서는 수리 후 상태가 고장직전의 상태와 차이가 없는(As bad as old) 보수 유형의 모델인 최소수리 모델을 이용하였다. 즉 기기에 고장 발생시 시스템을 작동하기 위한 최소한의 조치만을 취하는 것으로, 고장률 측면에서는 고장 직전 고장률(1년 전 값)을 사용하였다.

3.1 배전계통 신뢰도

신뢰도에 대한 정량화의 관점에서 전력회사 입장은 제한된 자원의 효율적인 활용으로 최대효과를 얻는 것이고, 수용가의 입장에 보면, 적절한 수준의 전력 신뢰도를 보장 받는 것일 것이다. 이러한 요구에 대한 기본적인 신뢰도 지수는 식 (10)-(12)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda_{si} = \sum_{j \in F(i)} \lambda_{sj} \quad (10)$$

$$U_i = \sum_{j \in F(i)} \lambda_{sj} r_j \quad (11)$$

$$r_i = \frac{U_i}{\lambda_{si}} \quad (12)$$

식 (10)-(12)에서 λ_{si} 는 연간 j 구간의 평균 고장률을 의미하고, $j \in F(i)$ 의 의미는 부하점(load point) i 에 대해 발생한 모든 j 구간의 고장을 의미하며, r_i , U_i 는 j 구간의 고장시간과 연 평균 고장시간을 나타낸다.

그러나 기본지수는 계통 수용가 지점의 신뢰도를 나타내는 가장 기본적인 지수이지만, 이 지수만을 이용하여 실제로 이용하기에는 부하점에 연결되어 있는 수용가의 비교나 신설된 부하의 증가에 대해 반영되지 못하는 단점이 있기 때문에 본 논문에서는 시스템과 관련된 식 (13)-(14)와 같은 추가적인 신뢰도 지수를 사용하였다.

시스템 평균 정전횟수 지수(SAIFI : System Average Interruption Frequency Index)

$$SAIFI = \frac{\text{Total frequency of Customer Sustained Interruptions}}{\text{Total Number of Customer Served}} \quad (13)$$

시스템 평균 정전 지속시간 지수(SAIDI : System Average Interruption Duration Index)

$$SAIDI = \frac{\text{Total Duration of Customer Sustained Interruptions}}{\text{Total Number of Customer Served}} \quad (14)$$

평균고장률을 이용한 신뢰도 평가는 현존하는 수용가나 신설된 부하의 증가에 대한 인식이 불가능하다.

만약 시변고장률을 이용하여 미래에 대한 예측 신뢰도 평가가 이루어진다면, 수용가에 대한 신뢰도영향을 알 수 있고, 신뢰도 지수 목표치의 변화를 알고 사전에 조절할 수 있으며 계통의 운용기간에 따른 신뢰도 지수의 변화를 예상할 수 있으므로 보다 효율적인 유지보수 계획을 세울 수 있을 것이다.

3.2 설비유지보수 순위 결정 알고리즘[7]

배전설비 유지보수 우선순위 선정을 위한 기본적인 알고리즘을 그림 3에 나타내었다.

첫째, 시스템 입장에서의 목표 신뢰도 지수를 고려해야 하므로 SAIFI와 SAIDI를 기준으로 목표치를 산정한다. 계통의 신뢰도 지수 분석결과 실제 지수가 선정된 목표값보다 작은 경우는 지역별 고장률 분석을 수행하고 만일 그 반대이면 그 피더의 신뢰도는 적정 수준을 유지하고 있으므로 유지보수 할 필요가 없다.

둘째, 만약 목표값 보다 실제값이 작을 경우 SAIFI와 SAIDI에 최악의 영향을 주는 설비기기를 분석하기 위해 두 가지의 민감도를 분석하고 그 감도의 크기를 순서대로 나열한다.

셋째, 선정기기 수명 확인을 위해 평균수명보다 기기 수명이 오래 됐을 경우 유지보수를 결정하게 된다. 선정된 유지보수를 하고 신뢰도 지수를 재평가한다.

넷째, 재평가된 신뢰도 지수가 실제값보다 작으면 위의 과정을 반복하고 만약 그 값이 목표값 보다 클 경우는 종료하게 된다.

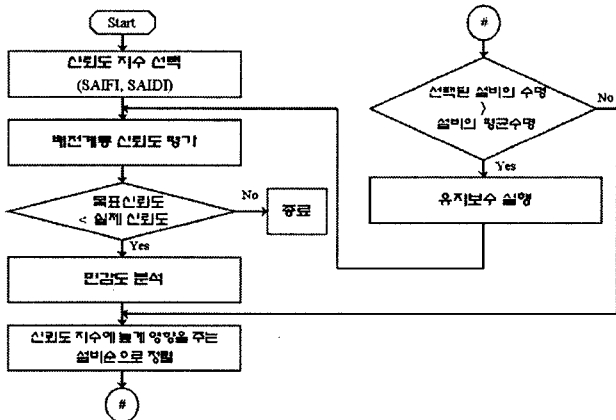


그림 3 유지보수 알고리즘
Fig. 3 Maintenance Algorithm

구성설비의 신뢰도 향상을 위해서는 고장률 분석이 반드시 이루어져 하고, 이는 2장에서 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
Table 1 Average life of power distribution system equipment

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

3.2.1 민감도 분석

신뢰도 지수의 민감도 분석은 어느 기기를 먼저 유지보수 하는 것이 신뢰도 지수에 가장 큰 영향을 미치는 지를 결정

하기 위한 과정이다. 이 민감도 분석을 통하여 신뢰도 지수에 미치는 영향의 정도에 따라 순위를 결정할 수 있다.

신뢰도 민감도란, 다른 모든 기기들의 고장률을 고정할 채, 원하는 기기(선로, 변압기, COS 등)의 고장률 값을 변화시켜가며 그림 3의 알고리즘의 목표신뢰도 지수인 SAIDI, SAIFI값의 변화에 대한 영향의 정도를 나타내는 값으로 정의할 수 있다.

구해진 민감도 곡선에서, 원하는 시점에서의 $\Delta SAIFI(\text{or } SAIDI) / \Delta \lambda$ 가 원하는 시점에서의 민감도 지수가 된다. 즉, SAIFI(or SAIDI)에 대한 설치한지 j년된 k기기의 민감도 α 는 다음 식 (15)와 같이 표현할 수 있다.

$$\alpha = \left[\frac{\Delta SAIFI(\Delta SAIDI)}{\lambda_{jk} - \lambda_{(j-1)k}} \right]_T \quad (15)$$

여기서 T는 설비교체 계획년도, j는 설치년도, k는 설비기기, λ 는 설비기기의 시변고장률을 의미한다.

α 값에 의해 신뢰도 이득의 극대화가 가능하지만 단위설비당 유지보수 혹은 교체시 비용이 상이하기 때문에 최종적인 순위는 단위비용당 신뢰도의 이득의 값을 통해 식 (16)을 이용하여 순위를 정렬하였다.

$$\beta = \frac{\alpha}{\text{유지보수 및 교체비용}} \quad (16)$$

유지보수비용을 고려한 순위는 표 2와 같은 한국전력공사의 평균 교체 및 유지보수 비용을 적용하였다.

현재 가공선로나 지중선로에 대한 유지보수를 하지 않고, 교체를 통한 관리를 하고 있으며 그 외 설비들은 교체시 비용과 유지보수 비용이 나뉘져 있다.

선로를 제외한 나머지 설비는 유지보수 비용을 적용하였으며, 가공선로는 일반교체비용으로, 지중선로는 관로구에 해당하는 교체비용을 적용하였다.

표 2 유지보수 및 교체비용
Table 2 Maintenance and replacement cost

설비기기	유지보수비용	
	교체 비용	유지보수비용
가공선로 [일반(사선)시]	22,562 천원/km	X
가공선로 [무정전공사시]	38,934 천원/km	X
지중선로[관로구]	94,591 천원/km	X
지중선로[전력구]	122,867 천원/km	X
개폐기	1,900천원/개당 수동[활선]	15,050 원/개당
	4,500천원/개당 자동[활선]	
Cut Off Switch	95,337원/개당[사선]	15,050 원/개당
	208,086원/개당[활선]	15,050 원/개당

4. 사례연구

4.1 실 배전계통 모델

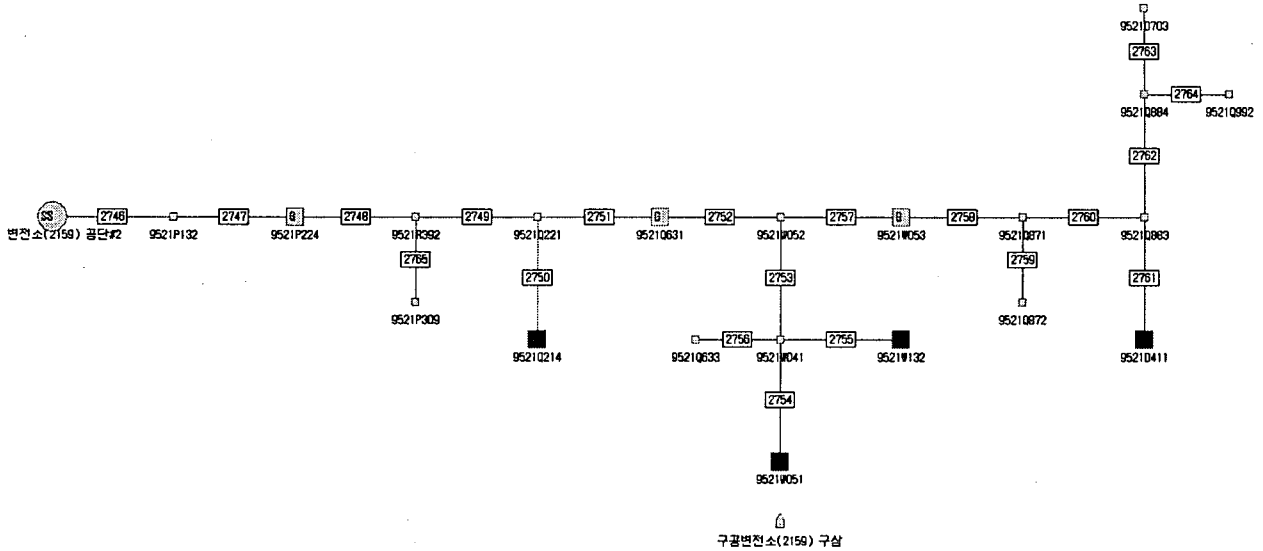


그림 4 샘플 실 배전계통 단선도
Fig. 4 Sample real power distribution system one-line-diagram

그림 4는 배전계통 정보 프로그램인 New Distribution Information System (NDIS) 상에 나타나는 한국전력공사의 임의 변전소의 한 피더를 나타낸다.

전산화번호로 관리되고 있는 프로그램의 설비데이터를 통해 시변고장률을 사용하여, SAIFI와 SAIDI에 대해 향후 10년간 신뢰도 지수값을 예측하여 평가하였다.

변압기의 경우 간이수리 및 중수리 등 TBM(Time Based Maintenance)으로 관리하고 있기 때문에 설비교체 우선순위를 위한 설비에서 제외 하였고, 모든 설비는 직렬구조로 신뢰도 평가를 하였다. 여기서 샘플계통의 신뢰도가 현재(2003년)를 기준으로 신뢰도 지수 악화율이 현재 대비 15%를 넘지 않는 상한을 기준으로 이를 유지하기 위한 유지보수가 이루어져야 한다고 가정하였다.

4.2 샘플계통의 신뢰도 평가

NIDS에서 추출한 데이터는 크게 계통을 구성하고 있는 설비기기의 종류와 종류에 해당하는 설치개수, 수용가 정보 등이 있으며, 각 설비별 설치연월일은 존재하지 않았다. 그래서 신뢰도 분석을 수행하기 위해 설치년도는 가정하였다.

그림 4의 단선도는 총 24의 부하점으로 구성되어 있으며, 고압 수용가는 하나의 수용가로 계산하였고, 저압 수용가의 경우는 변압기 말단에 위치한 수용가의 수를 계산하였다.

표 3~4는 각각의 Load point별로 설치된 배전설비기기에 대한 정보를 나타내는 것으로 설치된 모든 기기는 추출된 데이터에 근거하였고, 설치년도는 가정하였다.

표 3 샘플 계통의 구성설비 및 길이(개수)
Table 3 The number of equipment and length of Fig. 4

구성설비	길이 및 개수
가공선로	2 km
지중선로	0.4 Km
변압기	7
변압기COS	7
선로COS	14

표 4 설치기기 위치와 설치년도
Table 4 Set-up equipment position and set-up year

설치위치	설치기기	설치년도
LP1	변압기, 변압기COS	1995, 1997
LP2	변압기, 변압기COS	1995, 1997
LP3	선로용COS	1994
LP5	변압기, 변압기COS	1997, 1990
LP6~LP7	LP별 선로용COS	1997
LP9	변압기, 변압기COS	1998, 1998
LP10	선로용COS	1999
LP11	변압기, 변압기COS	1999, 1999
LP12	선로용COS	1999
LP14	선로용COS	1999
LP15	선로용COS	2002
LP16	선로용COS	1999
LP18	선로용COS	1999
LP19	선로용COS	2000
LP20	선로용COS	2001
LP21	변압기, 변압기COS	1998
LP22	선로용COS	1997
LP23	선로용COS	1996
LP24	선로용COS	2000

표 5는 고장복구시간 산정에 대한 내용으로 고장 발생시 고장이 복구되기까지 걸리는 시간을 세분화 하여 서로 다른 고장복구시간을 적용하였고, 상정사고에 의해 고장이 완전히 제거되기 까지 걸리는 고장복구시간은 고장구간 탐색시간과 고장점 탐색시간, 부하절체조작순서작성시간, 부하절체시간, 차단기 투입시간, 각 설비별 고장복구시간의 합으로 계산하였다[8].

표 5 고장복구시간

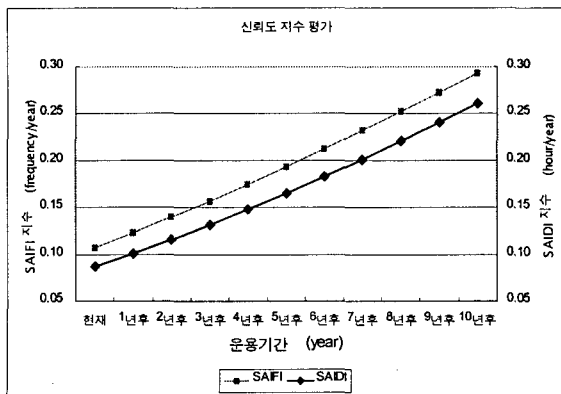
Table 5 Repair time

구분	복구시간
고장구간탐색	1분/건
고장점탐색	3분/km
부하절체조작순서작성	2분
부하절체	1분
차단기 투입	5분
고장복구시간	
변압기	2시간
변압기용 COS / 선로용 COS	2시간 / 3시간
가공선로 / 지중선로	1시간 / 2시간
개폐기	3시간

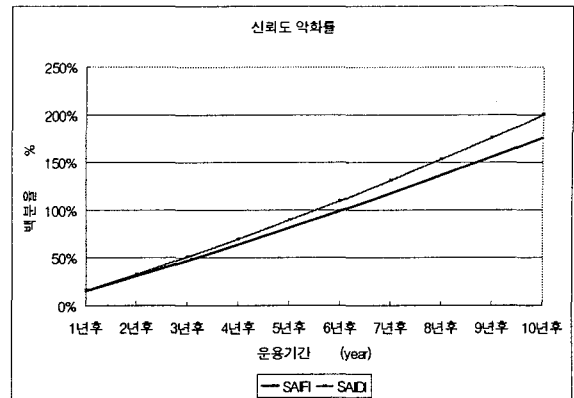
고장 데이터는 2002년 12월을 기준으로 분석한 사례이기 때문에 현재를 2003년을 기준으로 향후 10년간 SAIFI와 SAIDI의 변화의 정도를 그래프와 2003년을 기준으로 이 퍼더에 대한 투자가 이루어지지 않았을 경우 나타나게 되는 신뢰도의 악화의 정도를 백분율로 그림 5에 나타내었다.

이 계통에 대해 신설투자나 유지보수 혹은 부하증가에 대한 대처가 이루어지지 않는다면 약 5~6년 후에는 현재의 신뢰도 지수가 2배로 악화되었다고 해석할 수 있다. 이러한 증가는 곧바로 수용가의 고장복구시간의 증대로 이어지게 되고, 결국에는 수용가의 불만을 야기를 초래할 수 있다.

추출된 고장률을 이용한 실 계통의 신뢰도 평가는 그림 5(a)와 같고, 그림 5(b)는 운용기간이 지날수록 그 값은 고장률의 증가로 인해 지수가 높아짐을 나타낸다.



(a) 10년간 SAIFI와 SAIDI의 변화도



(b) 신뢰도 지수의 악화율

그림 5 샘플계통의 신뢰도 평가결과

Fig. 5 The results of sample system reliability evaluation

그림 5(b)에서 3년 후의 신뢰도 지수의 악화율이 2003년 대비 15%를 벗어나므로 2005년에 신뢰도 상한을 넘기지 않기 위한 설비 유지보수 순위를 1~20 순위까지 표 5에 나타내었다. 해당 설비에 대한 교체 후 향상된 SAIFI값과 설비 정보와 표 2에서 제시된 비용 중 일반사선공사를 기준으로 하여 계산된 총비용, 비용대비 SAIFI의 이득의 값을 가지고 그 순위를 나타내었다.

4.3 민감도 분석을 통한 유지보수 순위평가

계통을 구성하고 있는 모든 설비에 대한 유지보수 공사비를 적용하였을 경우 비용대비 신뢰도 향상을 그림 6에 나타냈으며, 이 그래프는 유지보수나 설비교체비용을 고려하여 향상하고자 하는 신뢰도 지수의 순위에 따라 누적된 유지보수를 시행하였을 경우 유지보수비용 대비 신뢰도 향상과 3년 후의 신뢰도 예상수치를 나타낸다.

변압기를 제외한 설치년도가 상이한 총 44개의 설비로 구성된 이 퍼더에 대한 유지보수 비용 대비 신뢰도 향상을 20순위까지 나열하였고, 이렇게 나열된 순위를 가지고 누적된 유지보수 계획 시 신뢰도의 영향을 분석하였다.

표 6은 유지보수에 따른 비용을 고려하여 실 계통의 유지보수를 위한 순위를 나타낸다. 추출된 고장률을 변화에 따른 신뢰도 변화와 제시된 식 (15)를 이용한 민감도 값과 유지보수 비용을 이용하여 단위비용당 신뢰도 지수에 민감한 설비를 순위별로 나타내었다.

미래의 SAIFI값과 SAIDI를 향상하고자 할 때, 유지보수 후 예상되는 유지보수비용 대비 신뢰도 향상을 보면, 같은 투자비용을 사용하여 이득을 얻고자 하는 목표지수가 SAIFI를 기준으로 했을 때, 낮은 비용으로 이득을 최대화할 수 있는 것을 볼 수 있다. 표 7은 민감도 분석을 통해 정렬된 순위에 대한 설비에 대해 1순위부터 20순위까지의 설비를 누적적으로 유지보수후 예상되는 신뢰도의 3년 후의 지수값과 이에 해당되는 비용을 나타낸다. 즉 예상되는 3년 후의 각각의 신뢰도 지수와 유지보수나 교체 시 유지보수비용을 나타낸다.

표 6 β 를 고려한 유지보수 순위

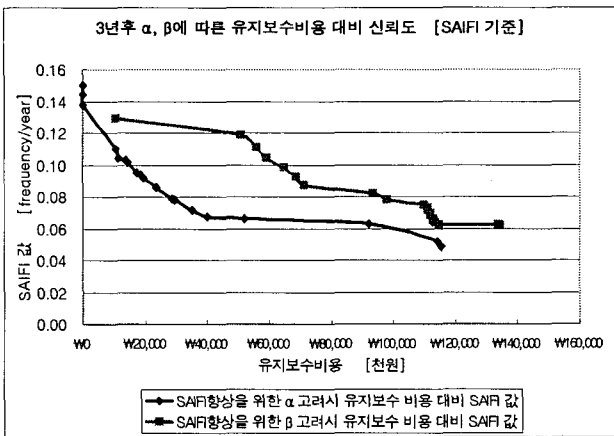
Table 6 Maintenance Ordering considering β

SAIFI 비용 고려시			SAIDI 비용 고려시		
순위	설비	β	순위	설비	β
1	47개 폐기	1.6097434560E-07	1	47개 폐기	8.0487172802E-08
2	57개 폐기	1.6075843686E-07	2	57개 폐기	8.0379218429E-08
3	51개 폐기	1.5931061520E-07	3	51개 폐기	7.9655307598E-08
4	2749선로	2.6076865254E-09	4	2749선로	2.7124505412E-10
5	2753선로	2.3765445960E-09	5	2748선로	2.4225446400E-10
6	2763선로	2.3765445960E-09	6	2753선로	1.1367814911E-10
7	2757선로	2.1491882978E-09	7	2763선로	1.1367814911E-10
8	2758선로	1.9258775379E-09	8	2757선로	1.1165537995E-10
9	2747선로	1.7069164691E-09	9	2758선로	1.0948053441E-10
10	2760선로	1.4926664891E-09	10	2747선로	1.0712499002E-10
11	2748선로	1.4926664891E-09	11	2756선로	1.0455071598E-10
12	2756선로	1.4926664891E-09	12	2760선로	1.0455071598E-10
13	2759선로	1.2835650571E-09	13	2759선로	1.0170549101E-10
14	2762선로	1.2835650571E-09	14	2762선로	1.0170549101E-10
15	2761선로	1.0801540751E-09	15	2761선로	9.8514551625E-11
16	2752선로	8.8312497182E-10	16	2750선로	9.7686389221E-11
17	2746선로	2.6914233268E-10	17	2752선로	9.4864822160E-11
18	2750선로	2.6914233268E-10	18	2751선로	8.8929855769E-11
19	2751선로	2.23751666568E-10	19	61선COS2	6.68078E-11
20	2764선로	8.8312497182E-11	20	61선COS3	6.68078E-11

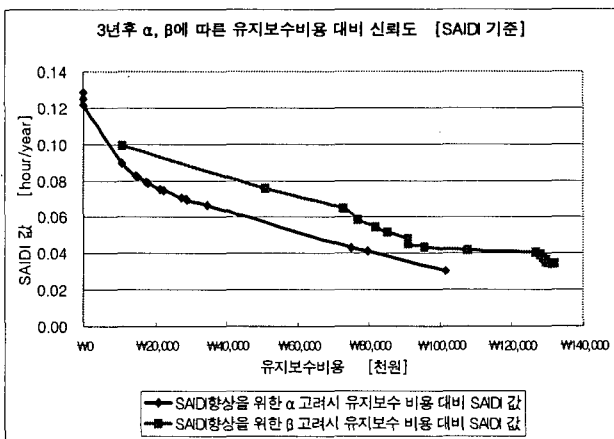
표 7 β 를 고려한 누적된 유지보수 시 유지보수비용 과 신뢰도지수(SAIFI, SAIDI)

Table 7 Repair cost and SAIFI index when cumulated maintenance considering β

누적 유지보수 설비	SAIFI향상을 위한 유지보수시		SAIDI향상을 위한 유지보수시	
	3년 후 SAIFI 지수값	순차적 유지보수에 따른 누적비용 (천원)	3년 후 SAIDI 지수값	순차적 유지보수에 따른 누적비용 (천원)
1순위	0.155323	15	0.130680	15
1순위 ~ 2순위	0.153708	30	0.129872	30
1순위 ~ 3순위	0.152107	45	0.129072	45
1순위 ~ 4순위	0.124454	10,649	0.096622	10,649
1순위 ~ 5순위	0.122880	11,326	0.089950	14,507
1순위 ~ 6순위	0.117250	13,695	0.089146	15,184
1순위 ~ 7순위	0.116003	14,259	0.086331	17,553
1순위 ~ 8순위	0.109703	17,531	0.085725	18,117
1순위 ~ 9순위	0.108085	18,478	0.082574	21,389
1순위 ~ 10순위	0.106402	19,606	0.081766	22,336
1순위 ~ 11순위	0.100643	23,465	0.077926	27,481
1순위 ~ 12순위	0.092964	28,609	0.077084	28,609
1순위 ~ 13순위	0.092906	29,060	0.077055	28,654
1순위 ~ 14순위	0.092327	29,511	0.076766	29,105
1순위 ~ 15순위	0.086161	35,219	0.073683	34,813
1순위 ~ 16순위	0.082077	39,845	0.050397	75,014
1순위 ~ 17순위	0.078805	51,999	0.048355	79,640
1순위 ~ 18순위	0.067985	92,201	0.037686	101,698
1순위 ~ 19순위	0.063050	114,259	0.037685	101,713
1순위 ~ 20순위	0.061974	115,478	0.037684	101,728



(a) SAIFI향상을 목적으로 한 유지보수 시



(b) SAIDI향상을 목적으로 한 유지보수 시

그림 6 α 및 β에 따른 3년 후 유지보수비용 대비 신뢰도
Fig. 6 Repair cost vs reliability after 3 year follow α and β

5. 결 론

기존의 신뢰도 평가 및 분석에는 평균 고장률과 복구시간을 사용하여 계통 신뢰도지수를 평가하기 때문에 시스템 노화에 따라 향후 변화될 시스템의 신뢰도 지수 예측이 불가능한 단점이 있다.

본 논문에서는 계통신뢰도의 적정 수준 평가를 위해 시변 고장률을 도입하여 실 계통에 적용하였으며, 설치년도에 따라 다양하게 변화되는 고장률을 이용하여 예측 신뢰도 지수를 평가하였다. 신뢰도 분석 시 사용되는 변수인 고장률을 한전의 고장 통계 데이터를 토대로 지수분포와 와이블 분포를 이용하여 시간의 변화에 따른 설비기기의 노화를 고장률

함수로 표현하였다.

평가된 설비별 시변고장률을 기본으로, 민감도 분석을 통하여 신뢰도에 큰 영향을 주는 순서로 정렬하였다. 비용을 고려하지 않고 설비의 민감도 결과만을 나타낸 α계수를 이용한 결과와 최종적으로 보수비용을 고려하여 β계수를 이용하여 단위비용당 설비의 신뢰도 민감도가 큰 설비를 우선 순위별로 투자대비 이득이 큰 설비를 도출하였다. 또한 그에 따른 유지보수 비용 대비 신뢰도 향상 정도를 도출하였다.

배전계통은 수용가와 절대적인 관계에 있는 특수성 때문에 유지보수를 통해 수용가의 입장에서는 고장발생빈도 및 정전시간의 최소화로 전력품질 만족도의 향상이 가능하며 배전계통 운영자 입장에서는 시스템 안전 및 고장 발생 가능한 요소를 최소화 할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 기초전력연구원 주관으로 수행된 과제임

참 고 문 헌

- [1] 최정환, 박창호, 채우규, 장성일, 김광호, 김재철, 박종근, "배전계통 신뢰도를 고려한 전기설비투자 우선순위 결정 기법", 대한전기학회 논문지 제 54A권, 4호, 2005년 4월.
- [2] Richard E. Brown, "Electric Power Distribution Reliability, ABB INC, 2002
- [3] Billinton, R. Ronald N. Allen, "Reliability Evaluation of Power Systems", Plenum Press, 1984
- [4] R. Billinton and R. N. Allan, "Reliability Evaluation of Engineering Systems : Concepts and Techniques. New York ", Plenum, 1992.
- [5] H. Lee Willis. Gregory V. Welch. Randall R. Schriceber, "Aging Power Delivery Infrastructures", ABB Power T&D Company Inc, 2001
- [6] 문종필, 이희태, 김재철, 박창호, "배전계통 설비의 시변 고장률 추출", 대한전기학회 논문지 제 54A권, 11호, 2005년 11월.
- [7] 한국전력공사 전력연구원 "배전계통 자산관리 시스템 개발(최종보고서)", 한국전력공사, 2004년
- [8] 한국전력공사 전력연구원 "운전용량 상향에 의한 분할 / 연계를 고려한 경제성 프로그램 개발(중간보고서)", 한국전력공사, 2001년

저 자 소 개



이 희 태 (李 羲 泰)

1976년 4월 2일생. 2002년 숭실대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사수료.

Tel : 02-824-2416

Fax : 02-817-0780

E-mail : visir@ssu.ac.kr



문 중 필 (文 鐘 必)

1977년 5월 27일생. 2000년 숭실대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 박사 수료. 현재 기초전력연구원 전력시스템연구실 선임연구원.

Tel : 02-880-7587

Fax : 02-883-0827

E-mail : pichard@snu.ac.kr



김 재 철 (金 載 哲)

1955년 7월 12일 생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1987년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 숭실대 전기제어시스템공학부 교수.

Tel : 02-820-0647

Fax : 02-817-0780

E-mail : jckim@ssu.ac.kr