

확률론적 공급신뢰도 평가를 위한 전압레벨별 데이터베이스 구축방안

문승필*, 신태우*, 장병훈*, 진동훈*, 곽희섭*, 한경남*, 최재석**
한국전력공사*, 경상대**

Construction of Database for Reliability Evaluation of the Large Power System

S.P.Moon*, T.W.Shin*, B.H.Jang*, D.H.Jeon*, H.S.Kwak*, G.N.Han*, J.S.Choi**
KEPCO*, GSNU**

Abstract - The reliability evaluation methods for the bulk power system have been studied by several electric utilities. The evaluation methods based on the probability theory and the computer packages are being developed or already practicalized. But without correct probabilistic data, accurate result couldn't be expected. In this point, the construction of database is needed. Some of probabilistic data for evaluation of bulk power system are shown in this paper.

1. 서 론

전력시장의 환경변화에 따라 전원개발 및 수요예측의 불확실성이 증가하고 있다. 전력계통의 안정적 운영을 위해서는 전력시장 참여자간의 공평성을 유지하고 이해관계에 따른 대립 해소 그리고 송변전설비 투자의 사회적 공감대를 형성할 필요가 있다. 송전계통의 확률론적 공급신뢰도 평가를 통하여 송변전 설비 투자의 필요성 및 객관성을 분석할 수 있다. 한편의 송변전설비의 설계는 공칭전압별로 안전율을 별도로 정하고 있어 전압별 사고율과 사고지속시간 등의 Database관리가 필요하다. 본 연구에서는 공급신뢰도평가에 필수적인 입력데이터 중의 일부인 사고빈도와 사고지속시간을 전압수준별로 관리할 수 있는 Database 구축에 대해 논한다.

2. 본 론

2.1 신뢰도평가를 위한 필요자료

발전설비를 포함한 계통의 신뢰도 평가를 위해서는 발전 및 계통에 대한 각종 설비 및 운전자료, 그리고 비용 등 경제지표등이 사용된다. 그리고 이러한 자료는 분량이 많고 지속적으로 자료를 수집, 저장, 처리, 변환하여야 하므로 체계적인 자료를 처리할 수 있는 database가 필요하다. 이러한 데이터의 유형을 크게 나누면 다음과 같다.

- 송전 계통의 비가용 관련자료
 - : 송전계통 비가용 관련 자료는 신뢰도 평가와 관련된 자료중 가장 많은 자료로서, 과거의 모든 송전계통의 고장 또는 보수작업의 필요에 의해, 통가동이 중단된 실적을 수집, 관리하는 분야다.
- 발전 및 송전 계통의 구성 및 설비 관련 자료
 - : 발전설비 및 송전계통 구성에 관련된 선로, 모선위치, 설비용량, 선로정수, 모선별 부하 등 각종 설비 및 부하 관련자료는 계통 신뢰도 분석에 필수적인 자료다.
- 발전설비 운전 및 부하 관련 자료
 - : 신뢰도 분석에 필요한 자료 중 위의 비가용 자료와 계통특성 자료외에 발전설비 운전에 관한 일부 자료가 필요하다. 발전기별 비용자료, 발전기 보수, 시스템 전체 부하지속곡선 등이 있다.
- 기타 자료

2.2 자료수집

전력계통 계획을 수립하는 데 있어서 경제성과 함께 신뢰성이 매우 중요한 의사결정 기준이 된다. 그러나 아직 많은 전력회사에서는 경제성 평가에 비해 신뢰도평가가 비교적 단순히 취급되고 있는 것이 사실이다. 이는 신뢰도 평가에 있어서 필요한 명확한 평가방법이 보편화되어 있지 않은 점과, 신뢰도에 관련된 자료의 불충분 내지 불명확성에 있다고 볼 수 있다. 이러한 정량적인 신뢰도 평가를 위해서는 정확한 자료가 필요하고, 정확하게 알 수 없는 자료는 가능하면 많은 자료를 취득하여 통계적으로 근사한 값을 찾도록 노력해야 할 것이다. 따라서 신뢰도 평가가 실질적으로 이루어지기 위해서는 앞으로 필요시를 대비한 자료의 수집과 축적은 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

자료를 수집할 때 주의할 점은 사용 가능성이 있는 가능한 한 많은 유형의 자료를 수집하고, 필요한 형태로 일관되게 수집하는 것이 중요하다. 또한 앞으로 활용하게 될 전산모형이나, 평가방법을 고려하는 것이 중요한 것이다.

2.3 송전계통 확률 DATA BASE 구성 및 기능

<표 1> Sub. DB

구분	Sub. DB	기능	설명
Main	고장 Data	자료입력	선로유형, 고장일시, 고장내용, 원인 등 비가용 자료항목
		자료수정	
		자료분석	자료 Sorting, 통계,고장률, 비가용률 계산 및 출력
	유지보수 Data	자료입력	선로유형, 고장일시, 고장내용, 원인 등 비가용 자료항목
		자료수정	
		자료분석	자료 Sorting, 통계,고장률, 비가용률 계산 및 출력
	선로 Data	자료입력	선로명, 선로유형, 전압, 길이, 제원, 고장률 등 자료항목
		자료수정	
		자료분석	자료 Sorting, 출력
	지장비용 Data	비가용률	비가용률 계산
		자료입력	공급지장 단위비용, 총고장지장비용, 정전지역등 자료항목
		자료수정	
계통 Data	자료분석	자료 Sorting, 통계, 자료출력	
	자료입력	PSS/E Data 변환 고장자료 입력	
	자료수정	사고시 Data 입력 및 수정	

가. 고장 Data
송전계통의 비가용률 분석을 위하여 사고에 의한 자료와 작업을 위한 비가용 자료로 나눌 수 있다. 보다 정밀한 분석을 위해서는 작업에 의한 비가용 자료를 원인으로 검토하여 정기적인 보수를 위한 자료와 설비의 고장 또는 계획에 의하지 않은 작업과 같이 강제정지 자료를 골라내는 작업이 필요하다.

나. 유지보수 Data
송전선로의 비가용률은 사고 또는 고장에 의한 정전에 의한 송전설비 비가용뿐만 아니라 보수 등 작업에 의한 송전설비 비가용도 고려되어야 한다. 그러나 작업에 의한 송전 선로의 비가용 시간은 그 자료의 양이 방대하다.

다. 선로 Data
고장 또는 작업에 관한 자료는 고장/작업 발생 건수별로 기록되어 있는 자료를 송전선로의 비가용률 통계 처리하는 과정이 필요하다. 그리고 선로 Data는 전압수준별, 선로유형(지중/가공), 회선 또는 루트고장 등의 단위 전압 수준별, 선로유형별, 지역별, 회선/루트별 통계처리 항목은 다음과 같다.

- 총 고장/작업 회수(회)
 - 총 고장/작업 지속시간(분)
 - 평균 고장/작업 지속시간(분/회)
 - 총 공급지장 전력량(MWh)
 - 평균 공급지장 전력량(MWh/회)
 - 정전회수(회)
 - 평균 정전회수(회/회)
 - 자료기간(개월)
 - 고장률(회/년)
 - 비가용률
- 단, 고장률 = (총 고장/작업회수) / (선로수 × 자료기간(개월)/12)
 비가용률 = (총 비가용시간) / (8760×60×자료기간(12))
 = (고장률 × 평균 비가용시간) / (8760×60)

라. 저장비용 Data

선로비가용에 따른 공급지장비용을 조사하여 입력하기 위한 자료이다. 현재는 비용으로 환산된 자료가 없으므로 공급지장량에 대한 데이터를 입력한다.

마. 계통 Data

계통자료는 계통을 해석하고자 하는 년도에 따라 달라지며, 각 년도별로 계통의 신뢰도를 구하기 위해서는 년도별로 추가되는 계통설비를 고려하여야 한다. 따라서 기존 수백개의 선로 및 모선자료와 추가되는 선로, 모선자료를 프로그램으로 수행시 마다 작성하는 것은 쉽지 않다. 그러나 계통신뢰도 분석의 완성도를 높이기 위해서는 각종 상정고장에 따른 고장지역 예측 등의 분석이 필요하다. 계통 Data는 우리나라에서 널리 사용되고 있는 전력계통해석 프로그램인 PSS/E의 자료를 DB화 하여 DataBase로 입력한다. PSS/E 자료는 년도별로 입력하고 각 고장과 공급지장모선과 공급지장 등을 관리하는 Sub. DB가 필요하다.

2.4 전압수준별 비가용률 등 선로Data

전력계통의 신뢰도를 산정하는 각종 전산 패키지는 대부분 각 송전선로 마다의 비가용률의 입력을 요구한다. 이러한 비 가용률 자료는 국가마다, 지역마다 그 특성이 다를 수 있고, 계통의 구성 설비의 제원에 따라 차이가 있을 수 있다. 따라서 보다 정확한 신뢰도 지수를 구하기 위해서는 각 송전선로의 여건을 감안한 비가용률 자료를 구하고 프로그램 또한 이를 활용할 수 있도록 구성되어야 한다. 송전 선로별 특성을 전압, 선로길이, 철탑구수, 경과지, 루트수, 선로구성, 지중/가공, 도체종류, 부하상태, 기상상태, 계선, 유지보수시간 등으로 분류하여 자료를 분석한 결과로 비가용률을 구하여 프로그램에 적용하는 것이 바람직하다. 그러나 이러한 자료를 선로 특성별로 모두 분석하여 별도로 구한다는 것은 매우 어려운 일이며, 많은 경우 자료의 부족에 마주치게 된다. 따라서 우리나라의 경우 송전선로 비가용률 계산방법은 선로를 전압, 선로 종류별로 대별하여 선로길이에 비례한 항과 상수인 항을 합하여 연간 고장률을 구하고 여기에 평균 고장복구시간을 곱하여 비가용률을 구하는 방법을 사용할 수 있다. Main DB에서 수집된 고장자료들과 유지보수자료들은 통계분석을 통하여 일정한 형태로 분류되어야 한다. 필요한 자료는 고장지속시간, 고장률 등이 필요하며 분석의 결과는 전압별, 선로 유형별, 사업소별, 지역별, 년도별, 월별, 계절별 자료가 필요하다.

식(1)은 신뢰도 평가에서 일반적으로 사용되는 FOR(Forced Outage Rate)을 보인 것이다.

$$Unavailability (FOR) = U = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{r}{m + r} = \frac{r}{T} = \frac{f}{\mu} \quad (1)$$

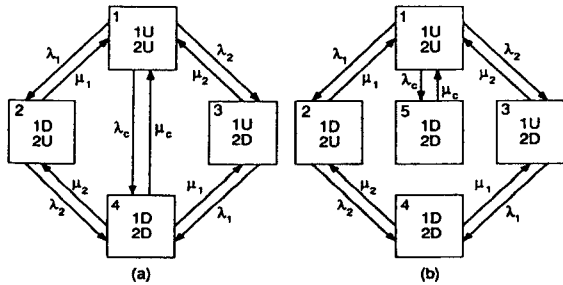
$$= \frac{\sum[up\ time]}{\sum[down\ time] + \sum[up\ time]}$$

단, λ : expected failure rate

μ : expected repair rate

m : mean time to failure = MTTF = $1/\lambda$

r : mean time to repair = MTTR = $1/\mu$



<그림 1> Common Mode Model

우리나라의 가공송전선로는 대부분 하나의 철탑에 2회선을 운용하고 있다. 그림 1의 (a)는 독립적인 2회선의 동시고장을 보인 것이고 그림 1의 (b)는 2회선 동시고장을 일으키는 특효요소가 있는 경우의 상태도를 보인 것이다. 그림 1의 (a)에서 각각은 상호 독립적이므로 복구시간 μ_c 는 zero(0)이고 그림 1의 (b)에서의 μ_c 는 zero가 아니다.

$$\lambda_{pp} = \lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2) + \lambda_c \quad (2)$$

$$r_{pp} = \frac{r_1 r_2 r_c}{r_1 r_2 + r_2 r_c + r_1 r_1} \quad (3)$$

단, $r_i = \frac{1}{\mu_i}$

만일, $\mu_{12} = 0$ 즉, 그림 1의 (a)이면

$$r_{pp} = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \quad (4)$$

만일, $\mu_{12} \neq 0$ 즉, 그림 1의 (b)이면

$$r_{pp} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 r_1 r_2 + \lambda_c r_c}{\lambda_{pp}} \quad (5)$$

그림 1의 (a)의 사고율과 고장시간은 식 (2)와 (4)와 같다. 그림 1의 (a)는 각각 독립적인 사고이므로 병렬로 구성된 사고율 및 사고시간과 같은 결과를 보이고 있다. 그림 1의 (b)는 지지물의 붕괴 등과 같은 사고로 2회선 동시탈락을 생각할 수 있으며 식 (2)와 (5)와 같다.

식 (1)을 송전선로의 길이가 길어짐에 따라 사고빈도(λ)는 거리에 비례한다고 할 수 있으나 복구율(μ)은 거리에 비례하다고 할 수 없다. 그러나 송전선로의 단위 길이를 10km이상으로 간주하면 복구율 역시 단위 길이에 비례하여 커지게 된다. 그러므로 고장에 의한 비가용은 전압별, 선로유형별로 식 (6)과 같이 선로길이에 비례하는 1차식으로 근사화해서 표현할 수 있다. 그림 1의 (b)에서 common mode 실패율은 거리에 비례하고 복구율은 거리에 비례한다고 할 수는 없다. 그러나 이 역시 단위 길이를 일정정도 이상으로 하면 복구율 역시 단위 길이에 비례한 결과를 얻을 수 있다. 그러므로 common mode의 사고율도 식 (6)과 같이 거리에 비례하는 1차식으로 표현할 수 있다.

$$y_1 = x_0 + x_1 L \nu \quad (6)$$

단, y_1 : 전압수준별, 선로유형별 고장빈도 (occ/yr)

x_0 : 전압수준별, 선로유형별 상수

x_1 : 전압수준별, 선로유형별 단위길이당 고장률

L : 선로길이(km)

ν : 전압수준별, 선로유형별 지역 factor

3. 결 론

전력계통의 신뢰도를 평가하기 발전설비를 포함한 송변전계통에 대한 각종 설비 및 운전자료 그리고 비용 등의 다양하고 방대한 자료가 수집, 저장, 처리, 변환되어야 한다. 송변전 설비는 그 수가 많고 비가용률을 계산하기 위한 데이터가 특히 방대하다. 각 선로의 회선고장과 루트고장에 대해 각각의 비가용률 자료를 처리하기 위해서는 선로별로 충분한 자료가 존재해야 하는데 현실적으로 가능하지 않다. 송변전 설비 특히 가공송전선로의 경우 노출되었기 때문에 기상조건에 많은 영향을 받고 전압 수준별 중요성과 계통과급효과가 다르기 때문에 전압 수준별로 설계조건부터 다르다. 그러므로 송변전설비의 비가용률을 신뢰도평가를 위한 자료로 입력하기 위한 기초자료로 활용하기 위해서는 전압수준별 지역별 factor를 수집된 자료를 활용하여 달리 계산할 필요가 있다.

[참 고 문 헌]

[1] Roy Billinton, Wnyuan Li, "Reliability Assessment of Electric Power S systems Using Monte Carlo Methods", Plenum Press, 1994
 [2] Roy Billinton, Ronald N Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems", Plenum Press, 1984
 [3] Roy billinton, "Power system Reliability Evaluation", Gordon and Breach, Science Pub., 1977
 [4] "송전계통의 신뢰도 산정기법에 관한 기초이론연구", 한전전력연구원 보고서, 1987