

한전의 장기 송전계통 공급신뢰도 평가에 관한 연구

주진부* · 문기승** · 신상균** · 이기선**
 한전기술연구원* · 한전전원계획처**

A Study on the Reliability Evaluation of KEPCO Long-term Transmission System

Jin-Boo Chu* · Ki-Seung Moon** · Sang-Gyoun Sin** · Ki-Seon Lee
 KEPCO Research Center* · KEPCO Power Planning Dep.**

ABSTRACT

The purpose of the facility investment planning for bulk power system is to appropriately configure the power system network to supply the load, which has the supply capability satisfying the probabilistically changing load on the desired reliability level. In order to achieve this purpose, this paper represents the reliability evaluation of the KEPCO's real system with using the MEXICO model, and builds the data base of the power system operation in order to effectively handle the computer model.

1. 서론

전력사업자가 장기설비투자 계획을 수립하는 과정에서 해결하여야 할 가장 중요한 문제중의 하나는 "확률적으로 변화하는 부하를 만족시키기 위하여 어느정도 공급능력을 보유하여야 하며, 이와 병행하여 적절한 신뢰도 수준으로 부하까지 전력을 수송하기 위하여 개통방을 어떻게 구성하여야 할 것인가"이다. 이러한 문제는 전력수요 증가와 더불어 전진 개발의 사회적 제약조건이 날로 엄격해 짐에 따라 더욱 중요도가 높아질 것이다.

지금까지 국내에서는 송전계통 신뢰도 평가를 위하여 Monte Carlo 시뮬레이션을 이용한 프랑스 MEXICO 모형을 도입한 바 있다. 본 논문에서는 대전력계통의 신뢰도 평가를 위해 개발된 MEXICO 모형의 활용을 통한 한전의 장기 송전계통에 대해 공급신뢰도 분석결과와 MEXICO 모형의 입력자료로 사용되는 비가용을 산출을 위한 DB 구축연구에 대해 기술하였다.

2. 송전 계통의 공급신뢰도 DATA BASE 구성 및 개발

발전설비를 포함한 계통의 신뢰도를 평가 하는 데는 발전 및 계통에 대한 각종 설비 및 운전자료, 비용, 경제지표등이 사용된다. 이러한 자료는 분량이 많고 지속적으로 자료를 수집, 저장, 처리, 변환하여야 하므로 체계적인 자료를 처리할 수 있는 Data Base가 필요하다.

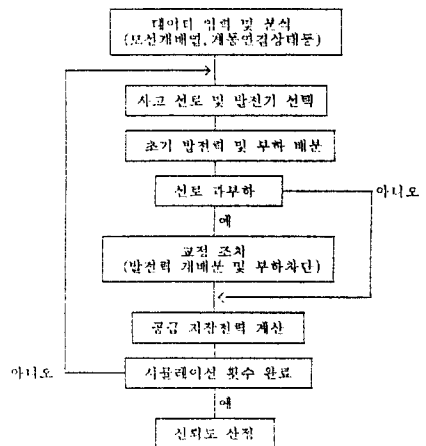
2.1 MEXICO 모형의 개요 및 구성

가. MEXICO 모형은 개통계획에 있어서 계통이 만족할 만한 신뢰도 및 운전상태 수준에 있는가를 판단 하기위한 계통의 공급능력 진단 프로그램이다. MEXICO 모형의 결과는 계통 계획자에게 다음의 유의한 지표를 제시한다.

- 연간 결과 : 발전기 및 계통의 용량 부족에 의한 공급지장전력 기대치 계산,
- 최대부하시점 결과 :
 - o 모션별 결과 : 화력발전, 수력발전의 기대 발전전력, 모션별 부하차단량, 빈도
 - o 선로별 결과 : 평균 조류흐름, 선로용량 증설에 따른 한계이득 계산.

- 나. 개통희망에대한 타당성 및 추가적인 개통희망 위치지적.
- 선로용량 1MW 증설에 따른 공급지장 전력량의 연간 감소분을 계산.

다. MEXICO 모형의 개략적인 흐름도



2.2 설비 사고율과 비가용률 산정방법

송전선로의 비가용률 계산에는 흔히 사용되는 다음의 방식을 기본으로 하고, 전압과 선로형태에 따라 약간의 차이를 두어 계산하였다.

$$\text{고장률(회/년)} = \frac{\text{선로당} \quad \text{총고장발생회수/총선로수}}{\text{년간고장발생 회수} \quad \text{자료기간}}$$

$$\text{비가용률} = \frac{\text{비가용시간}}{\text{총시간}} = \frac{\text{고장률} \times \text{고장지속시간}}{\text{총 시간}}$$

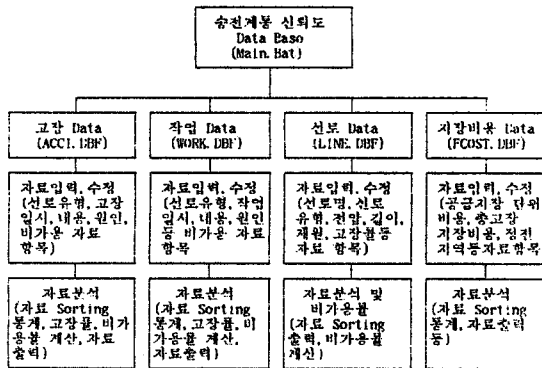
그리고 송전선로 비가용의 유형은 계통을 구성하고 있는 변전 설비와 송전선로 자체에 대한 고장에 의한 비가용 또는 보수작업 등 계획에 의한 비가용으로 나누어 합산하였으며, 고장에 의한 비가용률 계산에는 거리에 의한 차이를 반영하였다.

2.3 송전계통신뢰도 Data Base 구성

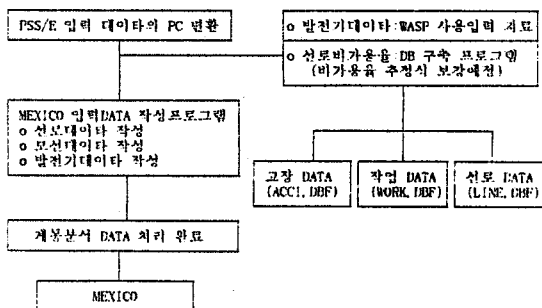
전력계통 공급신뢰도 산정 전산모형에서 필요로 하는 자료중, 송전계통 비가용 관련 자료에는 각선로에 대한 비가용을 들어 포함되며 실제 자료에는 발전기 자료, 모선자료, 송전선로 자료 등이 포함된다. 이 자료들 중 가장 분량이 많은 자료가 비가용률에 관한 자료이며 그중에서도 송전선로 비가용률 자료는 지금까지 전산화 되어 신뢰도 계산에 활용된 예가 없다. 발전기 비가용률에 대한 자료는 전원 개발 계획시 흔히 사용되며, 자료의 양도 많다.

본절에서는 송전계통에 대한 비가용 자료의 관리 및 분석이 용이하도록 구축한 Data Base의 구성에 대해 기술하였다.

가. 송전계통신뢰도 Data Base의 구성



나. PC용 컴퓨터에서의 자료 변환



2.4 한전의 송전계통 비가용률 분석

송전계통 비가용률이란 송전선로가 운전되지 않은 화물을 의미하며 이는 계통의 신뢰도를 파악하는데 결정적인 자료중의 하나이다. 본절에서는 현재 가용한 자료와 앞절에서 기술한 Data

Base를 활용하여 고장률(Outage rate)을 계산하고 고장지속시간(Outage Duration)을 구하여 송전계통의 비가용률(Unavailability)을 구하고 분석한 결과를 기술하였다.

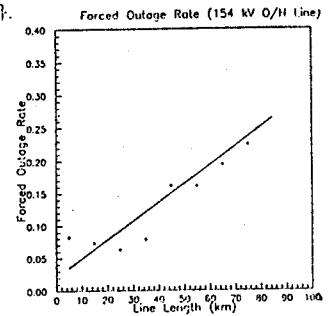
현재 전산 처리된 자료는 아래와 같고, 현재 90년도 이후의 자료는 계속 수집중에 있으며, 추가자료는 지속적으로 관리하고 수정 보완중에있다.

- 고장에 의한 선로 비가용 자료 : '84 - '90 (7년간)
- 작업에 의한 선로 비가용 자료 : '88 - '90 (3년간)

1) 154KV 가공선로의 비가용률

고장에 의한 비가용률 계산시, 거리와 고장률의 관계는 다음 그림에서 보는 바와 같이 고장률은 거리에 대해 어느정도 선형의 관계가 있음을 알수 있고 이를 회귀 분석해 보면 다음과 같은 관계식을 구할 수 있다.

- 고장률 (Y₁)
= 0.002883xL(선로길이)
+ 0.02031
- 평균고장지속시간 (D₁)
= $\frac{\text{총고장 시간의 합계}}{\text{총고장 횟수}}$
= 395,975/341
= 1161.2 (분/회)



- 비가용률 (U₁) = $\frac{\text{고장률} \times \text{평균고장지속시간}}{8760 \times 60}$
= $\frac{(0.002883L + 0.02031) \times 1161.2}{8760 \times 60}$

작업에 의한 고장률은 '88년부터 '90년까지의 3년간의 고장률 자료를 분석한 결과 거리와 무관하게 분산되어 있음을 알 수 있었다. 따라서, 여기서의 비가용률 계산은 단순히 평균값을 위하여 다음과 같이 산정한다.

- 평균고장률 (Y₂) = 3,858(회)/1,397(각해 선로수 합)
= 2,7616(회/년)
- 평균작업 지속시간(D₂) = 6,646,913(분)/3,858(회)
= 1,696,97(분/회)
- 평균비가용률 (U₂) = $\frac{2,7616 \times 1,696,97}{8760 \times 60}$
= 0.0089163

고장과 작업 두가지 요소를 모두 고려한 전체 비가용률은 위의 값을 합산하면 된다.

- 총 증가 비가용률(U) = $\frac{Y_1 \times D_1 + Y_2 \times D_2}{8760 \times 60}$
= U₁ + U₂
= 0.00637L + 0.896117(%)

- Y₁ = 고장률 (고장) U₁ = 비가용률(고장)
- D₁ = 평균고장 지속시간 U₂ = 비가용률(작업)
- Y₂ = 고장률(작업) U = 비가용률(전체)
- D₂ = 평균작업 지속시간

2) 345KV 가공선로의 비가용률

현재 345KV 선로의 경우 154KV 가공선로의 비가용률 구하는 절차와 같이 비가용률을 구하면 다음과 같다.

○ 고장률 (Y₁) = 0.000546L(선로길이) + 0.0183

○ 평균고장 지속시간 (D₁) = 184.624/60 = 3077.07(분/회)

○ 비가용률 (U₁) = $\frac{10.000546L + 0.0183 \times 3077.07}{8760 \times 60}$

○ 평균고장률 (Y₂) = 808(회)/208(라래의 선로수합) = 3.884615(회/년)

○ 평균작업지속시간 (D₂) = 1,719.690(분)/808(회)

○ 평균비가용률 (U₂) = $\frac{3.884615 \times 1218.33}{8760 \times 60} = 0.01573$

○ 총중가비용률 (U) = $\frac{Y_1 \times D_1 + Y_2 \times D_2}{8760 \times 60} = U_1 + U_2 = 0.00032L + 1.583713(\%)$

4) 비가용률 분석 결과

선로의 고장은 선로의 유형과 송전전압에 따라 차이가 있는 것으로 보고되고 있다. 이러한 차이는 다음 표에서 보는 바와 같이 전압이 높은 선로가 비교적 비가용률이 낮으며, 가공선로가 지중선로에 비해 고장 또는 사고가 원인이 된 비가용률이 비교적 낮은 것으로 나타났다. 이러한 차이는 외국의 예에서도 유사점을 발견할 수 있으나, 절대 수치에 있어서는 앞으로 보다 정밀 분석 해 볼 필요가 있을 것이다.

선로형태별 비가용률 (고장)

가공/지중	전압 (KV)	선로수 -7년누계	고장회수 (회)	비가용 시간(분)	고장률 (회/년)	비가용률 (%)
가공	345	438	60	184624	0.13699	0.08020
	154	2963	341	395975	0.11509	0.02543
	소 계	3401	401	589599	0.11791	0.03248
지중	154	475	5	82553	0.01895	0.03307
계		3876	410	663152	0.10578	0.03255

3. MEXICO에 의한 계통계획 사례연구

본 연구에서는 송전계통 신뢰도 DB로부터 송전계통의 비가용률 분석결과를 이용하여 실계통에 적용한 신뢰도 분석결과를 수록하였다. 실계통은 '94년 계통상태를 기초로하여 '96년 발전력 및 부하용량을 충족하는 계통을 MEXICO를 이용하여 계획하는 사례를 연구하였다. 계통의 화장은 '94년 계통에서 부터, 신뢰도를 평가하여 한계이득이 가장 높은 선도에 대해 우선 보강하여 보강에 따르는 이득과 보강비용을 평가하여 보강에 대한 타당성을 검증하는 것으로 하였다.

년간 공급지장 전력량 기대치

구분	94년 분석	96년 분석				
	94년계통	94년계통	선로보강1	선로보강2	보강1,2	
년간전력량 (GWh)	154041.91	180067.45				
공급 지장 전력 량	발전부족 (MWh)	4053.62	2494.16	2494.16	2477.45	2494.16
	선로부족 (MWh)	11713.17	78836.26	59144.46	68917.44	49417.15
전 계 (MWh)	15766.79	81332.42	61638.62	71394.89	51911.31	
수확시간 (GWh시간)	2 33 48	4 28 06	4 09 20	4 10 48	3 10 25	

주) 발전기 유지보수 처리방법은 CASE1을 사용

최대부하 시점에서의 공급지장전력

구분	94년 분석	96년 분석				
	94년계통	94년계통	선로보강1	선로보강2	보강1,2	
최대부하 (MW)	24758	28608				
회전설비용량 (MW)	25975.5	30075.5				
수확설비용량 (MW)	2464.4	3064.4				
전 해	지장전력 (MW)	47.04	231.64	188.86	207.33	165.12
	표준편차 (MW)	3.94	4.64	4.77	4.71	4.85
	지장확률 (%)	72.45	100.00	100.00	100.00	98.20
발전 부족	지장전력 (MW)	33.68	21.90	21.90	21.78	21.90
	표준편차 (MW)	3.90	3.92	3.92	3.92	3.92
	지장확률 (%)	6.30	4.90	4.90	4.80	4.90
선로 용량 부족	지장전력 (MW)	13.36	209.74	166.96	185.55	143.23
	표준편차 (MW)	0.79	3.65	3.61	3.63	3.61
	지장확률 (%)	67.45	98.30	98.10	96.10	96.20

주) 선로보강 1 : '94년 계통에 선로 # 7에 150MW 선로보강
선로보강 2 : '94년 계통에 선로 #27에 150MW 선로보강
선로보강1,2 선로 #7 에 150MW, 선로 #27 에 150MW 선로보강
발전기 유지보수 처리방법은 CASE1을 사용

위의 선로 # 7, 선로 #27 의 선로를 동시에 확장할 경우에는 전체적으로 보면 선로에 의한 년간 공급지장전력량 변화가 78.838GWh에서 49.417GWh로 37%정도 감소됨을 알 수있다.

선로용량 1MW 증가시 년간 한계이득 (단위 MW/년)

구분	94년 분석	96년 분석			
	94년계통	94년계통	선로보강1	선로보강2	보강1,2
선로 # 1	-0.0387	-5.2402	-6.1613	-6.1827	-6.0824
선로 # 2	-1.0420	-31.2809	-32.1243	-31.3295	-32.1466
선로 # 3	-1.7159	-11.4088	-11.4156	-11.4008	-11.4074
선로 # 4	-1.4947	-20.2000	-20.4000	-19.4762	-19.6159
선로 # 5	-0.8812	-32.7417	-29.8430	-31.7015	-28.9065
선로 # 6	-1.8658	-8.5903	-8.5765	-8.5089	-8.5014
선로 # 7	-20.4615	-113.8315	-5.4128	-113.3174	-5.4198
선로 # 8	-2.5379	-8.7277	-8.7886	-8.4643	-8.5739
선로 # 9	-12.8586	-148.2849	-148.8200	-148.8065	-147.2832
선로 # 10	-0.0042	-74.0550	-52.2253	-70.6667	-49.8790
선로 # 11	-5.6244	-295.0322	-281.7330	-275.0386	-272.1066
선로 # 12	-27.0453	-33.4031	-32.2606	-33.4021	-34.2521
선로 # 13	-0.9837	-7.0113	-7.5559	-6.7906	-7.2617
선로 # 14	-0.5195	-26.8895	-26.9033	-25.5716	-25.5785
선로 # 15	-1.8484	-56.1384	-58.1224	-53.9637	-56.7633
선로 # 16	-4.5769	-208.8534	-205.8766	-199.4908	-197.8711
선로 # 17	-0.6918	-13.7740	-15.4953	-13.5783	-14.7642
선로 # 18	-1.8701	-39.3393	-41.6874	-39.7378	-33.6920
선로 # 19	-14.4704	-383.2655	-382.7995	-396.6721	-395.6429
선로 # 20	-0.0504	-31.0566	-33.2157	-28.9133	-31.1109
선로 # 21	-35.2181	-77.4272	-77.3622	-77.6154	-77.4782
선로 # 22	-0.0232	-11.0460	-11.0639	-10.0635	-10.1324
선로 # 23	-52.3346	-119.1612	-119.1531	-119.1832	-119.1695
선로 # 24	-0.0888	-58.7093	-59.6540	-36.9417	-36.7607
선로 # 25	-86.6796	-229.0080	-228.5815	-224.4451	-223.6786
선로 # 26	-8.4007	-42.2811	-42.3751	-34.5311	-34.4818
선로 # 27	-99.6097	-1097.6492	-1096.9298	-22.5361	-22.5340

주) 선로보강 1 : '94년 계통에 선로 # 7에 150MW 선로보강
선로보강 2 : '94년 계통에 선로 #27에 150MW 선로보강
선로보강1,2 선로 #7 에 150MW, 선로 #27 에 150MW 선로보강
발전기 유지보수 처리방법은 CASE1을 사용

4. 결론

대전력 계통의 공급신뢰도 평가는 계통계획의 입안과정에서 계통의 신뢰도를 보다 진보된 방법으로 감안하므로 앞으로의 바람직한 계통계획(안)을 도출하는데 유용한 기준기표를 도출하는데 그 목적이 있다. MEXICO 모형은 단기계통계획에 활용을 할 수 있으며 주요 활용분야는 중장기 계통설비 계획에 활용하는 것이고, 특히 주어진 계획에 대한 공급지장 전력 및 전력량용 계산하고 계통용량 증가에 따른 한계이득을 산출하여 계통보강 방안을 도출하는데 있다고 볼 수 있다. 정확한 신뢰도 평가는 입력자료의 정확성과 직결되므로 구축된 Data Base를 통해 자료를 지속적으로 유지, 발전기끼리 장기적으로 수립, 관리를 하는 것이 중요하다.