

MEXICO 전산모형을 이용한 우리나라 장기 전력계통 공급신뢰도 전망

김진이·유현수·김태훈·이조련·박만근·조강욱
한국전력거래소

A Study on the Reliability Evaluation of Long-Term Power System using MEXICO model

Jin-Yi Kim, Heon-Su Ryu, Tae-Hoon Kim, Jo-Lyeon Lee, Marn-Geun Park, Kang-Wook Cho
Korea Power Exchange

Abstract - 본 논문은 제3차 전력수급기본계획을 토대로 2010년부터 2020년도까지 우리나라 장기전력계통의 공급신뢰도를 MEXICO 모형을 이용해 전망한 결과를 분석한 것이다. 지금까지 전력계통 신뢰도에 대한 연구들은 주로 발전계통을 대상으로 한 결정론적 신뢰도 산정을 다루었던 반면 MEXICO 모형을 이용한 분석은 발전설비와 송전선로의 불확실성까지 고려한 복합 전력계통을 대상으로 실질적인 신뢰도 평가를 수행하였다는 점에서 의미가 있다. 주요 검토 내용으로는 2010년, 2012년, 2014년, 2020년도에 대한 공급지장에너지 및 공급지장비용분석 등을 다루고 있으며 이번 논문에서 사용된 신뢰도 평가방법은 향후 전력설비(발전 및 송전 설비계획의 복합 부분)의 확충계획 수립에 활용이 가능할 것이다

공급지장비용은 각 국가마다 상정하는 행태가 다르며, 외국 사례를 보면 국민총생산을 전력판매량으로 나누었으므로 보거나, 가스터빈 연료비의 25-30배 정도로 보는 등 다양하게 산출되고 있어[1] 공급신뢰도를 평가하기 위한 공급지장 단위비용은 다음 표1과 같이 2006년 실적 을 기준으로 두개안에 대하여 분석하였다.

표1. 공급지장단위비용 산정

안 별	1안	2안
기 준	국내총생산 총발전량	가스복합연료비 원가의 30배
단 가 [원/kWh]	2,094 (2006년 기준)	2,530 (2006년 기준)
의 미	단위 발전량당 부가까지 생산량의 개념	정전회피를 위한 추가 발전력 투입비용

1. 서 론

현재 전력계통계획은 하계 침두부하 시현이라는 한 시점에 대한 기술적 안전도(Security) 평가 위주로 수립되고 있다. 하지만 전력계통의 신뢰도(Reliability)를 평가한다는 것은 외란에 대한 계통의 안전도(Security) 측면과 전력계통의 적정도(Adequacy) 측면을 포괄적으로 평가한다는 개념으로 송전망 계획 시 지금까지 이 적정도(Adequacy) 측면의 고려가 없어 일년 즉 8,760시간에 대한 연속적인 공급신뢰도 측면을 고려하지 못하고 있다. 또한 신뢰도 평가 시 발전설비의 경우 LOLP(일년에 몇 시간 공급지장이 발생할지의 확률을 기준으로 계획이 이루어지고, 송전계통의 경우 상정고장시 전압이 몇kV 범위를 유지하는지 송전선로의 용량이 몇% 이내로 운전이 가능한지를 평가 기준으로 하고 있어, 발전자원계획과 송전자원계획이 동일한 잣대로 평가되지 않아 한쪽 설비에 대한 과소투자 혹은 과대투자 가능성이 상존하고 있다. 예를 들어 공장은 크게 지었는데 물류를 담당하는 고속도로가 1차선으로 과소 건설되거나 10차선으로 과대 건설되는 경우와 같이 대응량의 발전설비를 건설하였으나 이를 수송할 송전선로 계획이 적정하지 못할 개연성이 예상된다는 것이다. 이런 경우를 대비하기 위하여 송전망까지 고려한 복합 전력계통에 대한 통합적 신뢰도 분석이 필요하며 이러한 시도를 통해 수요자에게 양질의 전기에너지를 가능한 경제적이고 수용가능한 수준의 신뢰도로 공급할 수 있을 것으로 기대한다. 본 논문은 전력계통 신뢰도 분석 전산모형인 MEXICO 모형을 이용하여 정부의 제3차 전력수급기본계획(2006-2020년)의 발전 및 송전 부분에 대한 공급신뢰도를 분석하였고, 향후 제4차 전력수급기본계획 수립시 발송전 통합 자원에 대한 공급신뢰도 분석기법으로 활용할 예정이다.

발전기 운전비용은 2006년도 분기별 연료비 원가를 적용하였으며 발전기 비가용율 및 부하지속곡선은 제3차 수급기본계획의 입력 자료를 토대로 검토되었다. 송전선로 비가용율의 경우 고장정전과 작업정전에 대한 자료 축적이 미미한 관계로 이번 분석시는 1988년 WSCC의 조사 결과[3]인 0.0071을 일률적으로 적용하였으며 345kV 이상 계통으로 축약한 송전망을 이용하여 검토를 수행하였다.

2.2 검토방법

프랑스전력공사(EDF)가 송변전설비계획의 투자결정을 지원하기 위해 개발한 MEXICO 모형을 활용하여 전력계통에 대한 공급신뢰도를 공급지장에너지를 형태로 계산하였다. 즉, 송전계통에 의하여 수용가에게 제공되는 공급신뢰도를 산정하기 위하여 Monte Carlo 시뮬레이션 기법을 이용하여 발전설비 및 송전설비의 사고율과 불확실성을 고려한 분기별 미공급 에너지의 수학적 기대치를 계산한다. 선로 및 발전설비의 비가용율을 바탕으로 무작위 표본 추출을 시행, 그 결과로부터 얻어진 5,000가지의 계통상태에 대하여 식1과 같이 운전비와 공급지장비용이 최소가 되도록 선형계획법을 적용한다. 목적함수의 제약조건으로는 DC 조류계산과 송전선로 전송능력 한계, 발전기 출력한계 등이 고려된다.

2. 장기전력계통 공급신뢰도 전망

2.1 검토절차

$$\text{목적함수} : M\bar{n}\phi(g, h, c, p) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \beta_{ij} g_{ij} + \mu \sum_{i=1}^n h_i + \delta \sum_{i=1}^n (c_i^0 - c_i) - \rho \sum_{i=1}^n p_i$$

$$\text{제약조건} : \sum_{i \in N} (g_i + h_i) = \sum_{i \in A} (c_i + p_i)$$

$$g^0 \leq g \leq g^1$$

식1. MEXICO 모형 산식

- g_{ij} : 모선 i에 연결된 j 발전기의 발전량
- h_i : 모선 i에 연결된 수력발전의 발전량
- h_i^* : 수력발전 중 침투부하에 사용되는 출력량
- c_i^0 : 모선 i에 연결되어 계획 부하량
- c_i : 모선 i에 연결되어 전력을 공급받는 부하량
- p_i : 모선 i에 연결된 양수펌프 부하
- β_{ij} : 모선 i에 연결된 j 발전기의 발전 연료비
- μ : 침투부하용 수력발전 비용
- δ : 공급지장 단위비용
- ρ : 양수발전의 펌프가동 기준비용

MEXICO 모형의 수행과정은 그림1과 같다. 우선 입력된 자료를 분석하여 오류가 있는지 확인한 후 모선 및 선로를 재배열한다. 모선어드미턴스 행렬을 LDLt 형으로 구성하고 역행렬을 계산한다. 이때 고장선로 및 고장발전기를 랜덤샘플로 선택한다. 선로를 고려하지 않은 상태에서 가용발전력에 따라 발전력 부족에 의한 공급지장전력을 계산하고 초기부하를 배분한다. 부하지속곡선상의 부하수준별로 선형계획기법에 의한 전체 공급지장전력을 계산한다. 선형계획기법 계산결과에 따라 발전력 부족에 의한 공급지장전력, 선로의 사고 및 용량부족에 의한 공급지장전력에 대한 분포를 계산한다. LDC의 부하수준별 공급지장전력 분포에 따라서 년간 공급지장전력량을 부하수준별 공급지장전력, 년간공급지장전력, 선로중설에 대한 한계이득 등으로 계산하고 누적한다.

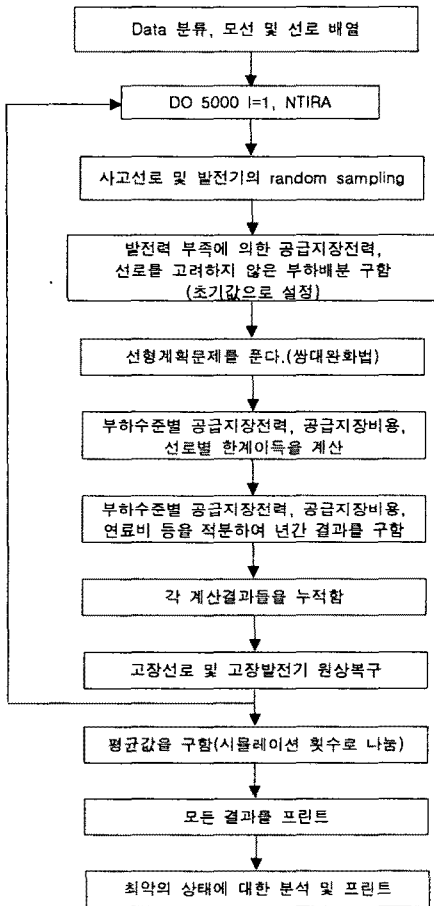


그림1. MEXICO 모형의 상세 실행과정

주어진 부하수준(주로 최대부하)에 대하여 상세한 분석을 수행하여 계산결과를 선로별 한계이득, 모선별 공급지장전력 등으로 결과를 누적한다. 모든 고장선로, 고장발전기를 원상복구하고 고장선로 및 고장발전기 랜덤 샘플 과정으로 돌아가 정해진 시뮬레이션 횟수만큼 같은 과정을 반복한다. 누적된 계산결과를 평균하여 공급지장 에너지량을 구한다.

주요 검토항목으로 분기별 공급지장에너지, 공급지장비용, 선로보강우선순위가 있으며 우리나라 전력계통에 대한 공급신뢰도 산정 검토절차는 그림2와 같다.

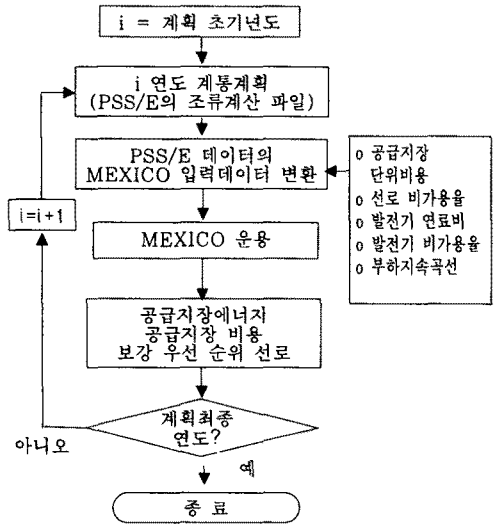


그림2. 검토절차

2.3 공급지장에너지 전망

그림3은 연도별 전력수요 전망치를 TWh 단위로 표시한 결과이다. 왼쪽 막대그래프는 제3차 전력수급기본계획상의 전국 전력수요 전망치이고 오른쪽 막대그래프는 MEXICO 모형의 부하지속곡선으로부터 계산된 수요 전망치로 기존의 예측모형과 MEXICO 결과가 매우 유사함을 알 수 있다.

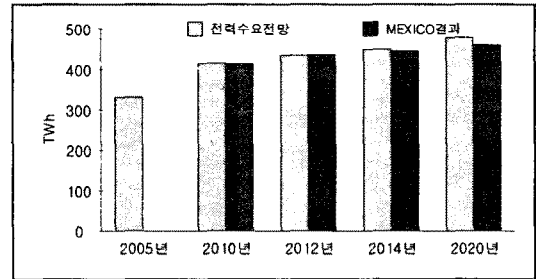


그림3. 연도별 전력수요전망

제3차 전력수급기본계획의 전력수요전망 및 발전과 송전부분 설비계획을 토대로 정전기대치 즉, 공급지장에너지를 시뮬레이션 한 결과는 아래 그림4와 같이 나타났으며 2010년의 경우 전력수요 대비 정전이 발생할 확률

은 0.02% 수준을 유지할 것으로 전망된다. 그림4.는 2020년까지의 공급지장에너지를 GWh 단위로 전망한 그래프로 왼쪽 그래프는 발전에 의한 공급지장에너지를 나타내며 중간 그래프는 송전에 의한 공급지장에너지 오른 쪽 그래프는 총 공급지장에너지를 나타낸다.

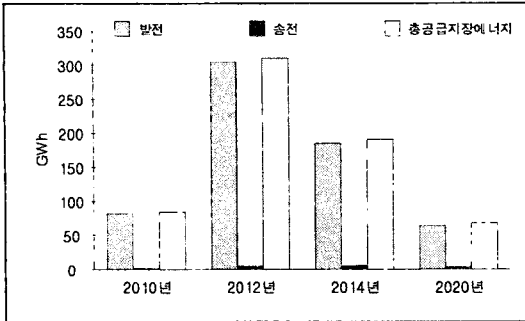


그림4. 공급지장에너지 전망

연도별 공급지장비용 기대치는 1,000~13,000억원 정도로 전망되며, 이는 발전운전비를 포함한 총 비용의 약 1~10% 수준이다. 표2는 연도별 공급지장비용을 전망한 억원 단위로 전망한 것으로 발전기 연료비용과 공급지장비용 기대치를 합하여 총비용을 계산하였다. 또한 검토 전제에서 제안한 공급지장비용 단위비용 2개안에 대하여 분류하여 공급지장비용을 전망하였다. 공급지장비용은 발전에 의한 공급지장비용과 송전에 의한 공급지장비용의 합이며 공급지장비용 항목의 괄호 속 퍼센트값은 총비용 대비 공급지장에너지 비용의 비율을 나타낸다. 2010년의 경우 공급지장 단위비용이 2,094원/kWh일때 공급지장비용은 전체 발전기운전비용의 1.76%에 해당하며 공급지장 단위비용이 2,530원/kWh일때 공급지장비용은 전체 발전비용의 2.12%에 해당한다. 여기서 연도별 운전비용의 기대치는 공급지장에너지를 제외한 수요를 공급하기 위한 발전기 운전비용의 합이다.

표2. 공급지장비용 전망 [억원]

분류	연도	2010년	2012년	2014년	2020년
		2010년	2012년	2014년	2020년
1안 2,094 (원/kWh)	운전비용	89,567	112,696	99,517	91,389
	공급지장비용	1,602 (1.76%)	6,098 (5.13%)	3,826 (3.70%)	1,299 (1.40%)
	총비용	91,169	118,794	103,343	92,688
2안 2,530 (원/kWh)	운전비용	89,567	112,058	99,517	91,389
	공급지장비용	1,936 (2.12%)	7,367 (6.14%)	4,412 (4.25%)	1,498 (1.61%)
	총비용	91,503	119,425	103,929	92,887

3. 결 론

전력계통의 확률론적 신뢰도평가 기법이 1960년대 말에 이미 개발되었음에도 불구하고 송전계통의 신뢰도평가에 대한 연구 및 그 응용이 많지 않은 실정이었다. 그 이유는 송전망을 고려한 복합전력계통의 신뢰도는 각 설비의 구성요소 및 각 설비의 연결과 복잡하게 관련되어 있어 그 해석이 쉽지 않기 때문이며 복합전력계통에 대한 다각적인 측면에서의 확률론적 신뢰도 평가방법에 대한 기존연구 부족과 고장통계자료 미비에서 비롯된다.

그러나 전 세계적으로 전력산업의 흐름은 발전계통 신뢰도 평가와 더불어 송전계통의 신뢰도 평가도 중요한 부분을 차지하는 쪽으로 진행되고 있으며 본 논문에서는 이러한 세계적 추세에 발맞추어 우리나라 실제 적용 가능성을 타진하고 실제 평가에 어떤 방식으로 활용할 것인지에 대해 다루었다.

본 논문은 제3차 전력수급기본계획에 대하여 발전과 송전 부문 각각에 대한 공급지장에너지와 공급지장비용을 산정하여 전망하였다. 또한 MEXICO 전산모형의 응용분야로서 연도별 송전선로 보강 우선순위를 산정하였으며 개별사업(발전소 및 송전선로 건설 등)의 투자비 대비 투자 효율을 공급지장비용으로 계량화하여 투자결정의 투명성을 제고하는 계기를 마련하였다. 전력계통 공급신뢰도라는 측면에서 계통계획은 지금까지 하계 침두부하 시점이라는 한 시점에 대한 기술적 안전도 평가 위주로 수립되고 있으나, 전력계통 공급신뢰도의 또 다른 요소인 연간(8,760시간) 전력계통 적정도(Adequacy)를 평가할 수 있는 방법을 제시하였으며, 이를 통해 안전도(Security)와 적정도(Adequacy)라는 전력계통 공급신뢰도의 두 요소를 동시에 평가할 수 있는 방안을 확보하였다는 점에서 의의가 있다. WASP 등의 전산모형을 통한 발전 자원에 대한 기존 공급신뢰도 평가와 더불어 송전 자원에 대한 공급신뢰도 평가의 계기를 마련하였으며 발전자원과 송전자원의 공급신뢰도 기여분을 동일한 차원에서 동시에 분석이 가능하다는 사실을 입증하였다.

급변 전력계통 공급신뢰도 전망은 MEXICO 모형의 활용 가능성을 평가하는 수준의 단계로 345kV 이상 전력계통을 대상으로 검토를 수행한 상태이다. 향후 제4차 전력수급계획 수립시는 154kV 송전설비까지 확대 적용할 예정이다. 또한 급변 검토시 송전선로의 비가용율을 WSCC 조사결과를 인용하여 적용하였으며 향후 확률론적 공급신뢰도 분석을 위해서는 송전선로 고장정점과 작업정점에 대한 체계적인 자료관리가 필요하며 통계자료 확보가 필요하다. 향후 발송전 통합자원에 대한 공급지장에너지를 계량화된 공급신뢰도 지수로 관리하여 전력계통의 공급신뢰도에 대한 국제적 수준 비교를 추진이 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] 기술연구원, "대전력계통 공급신뢰도 평가방안 및 Data Base 구축연구", 한국전력공사, 별책II, p.126, 1992
- [2] 신중린, 김문덕, "공부국의여행귀국보고서(송전계획모형 MEXICO/ORELIA도입 인수시험)", 한국전력공사 기술연구원, pp2 5-29, 1998
- [3] Probabilistic based reliability criteria, wscs RS-PMWG, p.10, 1998