

부하시점에서의 확률론적 공급능력 평가

문승필 장병훈 김기일
한국전력공사

Probabilistic Arrival Power Evaluation at Each Load Point

Moon Seung-Pil Chang Byung-Hoon Kim Gi-il
Korea Electric Power Corporation

Abstract - 전력시장의 환경변화와 전력소비자들의 다양성 그리고 전력소비자들의 다양한 요구를 수용하기 위해서 확률론적 전력공급 신뢰도 평가에 대한 사회적 요구가 커지고 있다. 과거 전력계통의 신뢰도 평가는 발전계통만을 대상으로 하는 HLI에서의 신뢰도평가였으나 최근 송전망을 포함한 복합전력계통의 신뢰도 평가에 대한 관심과 연구가 진행되고 있다. 복합전력계통의 신뢰도 평가에서는 일반적으로 각 부하시점별 공급지장 가능성 등을 시뮬레이션을 통해 산정한다. 본 연구에서는 각 부하시점에서의 공급가능용량을 확률론적으로 평가하는 방법을 보인다.

신뢰도평가에는 두 가지 방법으로 크게 구분할 수 있다. 첫 번째는 결정론적 신뢰도 평가방법이고 두 번째는 확률론적 신뢰도 평가방법이다. 전력시장의 환경변화와 더불어 결정론적 신뢰도평가의 중요성과 확률론적 신뢰도 평가의 필요성이 부각되고 있다. 결정론적 신뢰도평가는 안정적인 전력공급을 목적으로 평가되는 것이다. 반면 확률론적 신뢰도평가는 합리적인 전력공급을 목적으로 평가되는 것이라 할 것이다.

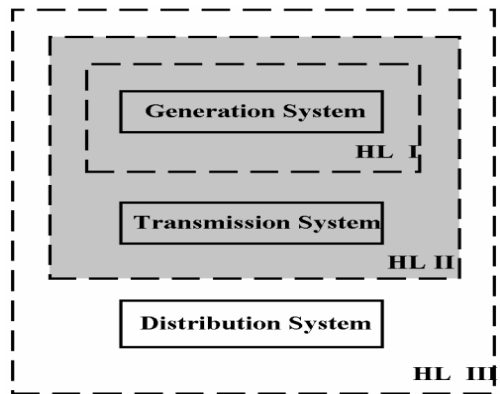
전력계통의 신뢰성과 경제성은 그림 1에서 보인바와 같이 상호 배타적인 성격을 가지고 있다[2]고 알려져 있다. 신뢰도를 높이기 위해서는 막대한 투자비와 운용비가 필요하고 신뢰도가 높으면 전력소비자 측면에서 발생하는 공급지장비용과 공급지장 대처 비용이 낮아진다. 신뢰도가 낮으면 공급자 측면의 비용은 낮아지는 반면 소비자측면의 비용은 급격히 높아지게 된다. 그러므로 전력계통의 신뢰도와 경제성은 항상 trade-off 되어야하며 그 적정 신뢰도를 유지하도록 계통을 계획하고 운영함으로써 사회적 비용을 최소화하고 사회적 이득을 극대화할 수 있다.

1. 서 론

일반적으로 전력계통의 신뢰도 평가에서는 FOR(Forced Outage Rate) 등과 같은 사고율관련 데이터, MTBF(Mean Time Between Failure) 등과 같은 사고 지속시간 데이터 등을 입력데이터로 한다. 그리고 전력계통 신뢰도 평가의 결과로 공급지장시간, 공급지장 빈도, 공급지장 전력량 등을 얻게 된다. 전력계통을 계획하고 운영함에 있어 소비자들에게 전력을 완전하게 공급하기는 불가능하다. 그러므로 전력계통의 우발적 사고를 고려하여 공급지장이 발생할 확률에 대한 연구와 대책을 수립하는 것은 중요한 일이다. 전력소비자 측면에서는 공급지장 발생 확률을 예측하고 그에 대한 적절한 조치를 취함으로써 전력소비자들이 겪게 될 공급지장비용을 최소화할 수 있다. 반면 공급자 측면에서는 각 부하시점에서의 확률론적 전력공급능력을 평가할 수 있다면 전력계통의 계획과 운영에 있어 중요한 정보를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 각 부하시점에서의 전력공급능력을 평가할 수 있는 방법을 제시한다. 제시된 방법은 전압안정도를 평가하는 방법을 이용하고 있으며 이에 확률론적인 접근 방법을 포함한다.

2.2 전력계통의 계층구조

전력계통의 신뢰도평가를 위한 계층구조는 그림 2와 같이 발전계통만을 대상으로 하는 발전계통(HLI), 발전계통과 송전계통을 포함한 복합전력계통(HLII) 그리고 배전계통까지 모두 포함한 총괄계통(HLIII)로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 복합전력계통(HLII)를 대상으로 한다.



〈그림 2〉 전력계통 신뢰도평가의 계층구조

2. 본 론

2.1 확률론적 공급신뢰도 평가의 필요성

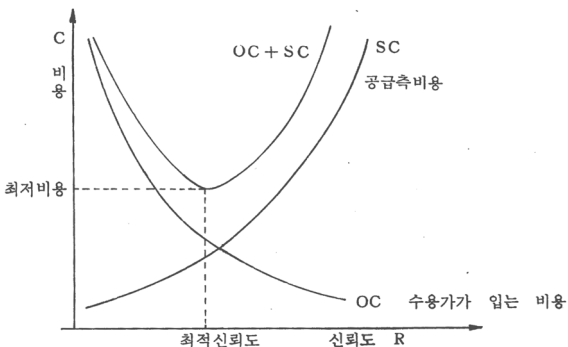
전력계통을 계획하고 운영하는 목표는 양질의 전력을 끊임없이 저렴하게 공급하는데 있다[1]. 그러나 전력계통은 항상 우발적 사고에 노출되어 있어 전력계통의 계획과 운영에 있어 우발적인 사고를 배제할 수 없다. 전력계통의 신뢰도평가를 통해 우발적 사고에 대한 적절한 조치를 전력공급자와 전력소비자가 취할 수 있다.

2.3 각 부하시점별 도달전력 산정

2.3.1 도달전력 산정 개념

HLI(Hierarchical Level I, 발전계통)에서의 전력계통 신뢰도평가는 그림 3에서 보인바와 같이 발전용량이 C_i 이고 사고율이 q_i 인 발전기들과 부하 x_L 이 존재한다는 것은 사고율이 0(zero)이고 발전용량이 C_i 인 발전기들과 부하 x_L , 그리고 발생확률이 q_i 이고 부하량이 C_i 인 가상부하들이 존재하는 것으로 등가화 해서 신뢰도를 평가하고 있다.

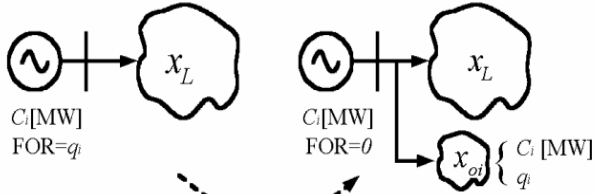
송전망의 공급능력과 불확실성을 고려한 복합전력계통(HLII)의 신뢰도 평가를 위해서는 전력계통의 불확실성을 고려한 상정고장 리스트를 만들고 각 상정고장별 시뮬레이션을 통하여 각 부하시점에서의 공급지장 전력을 구한다. 구해진 공급지장 전력과 상정고장별 확률을 이용하여



〈그림 1〉 전력계통 신뢰도와 경제성

각 부하지점별 전력공급신뢰도를 평가한다.

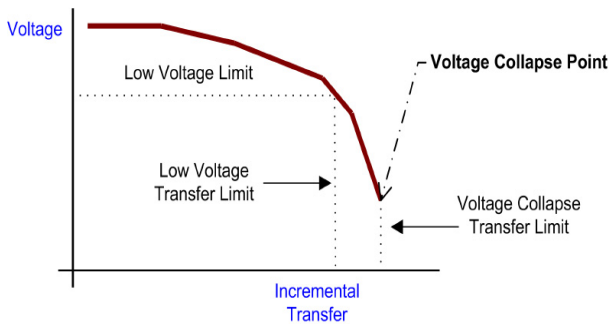
HLII에서 각 부하지점별 공급가능 전력량과 전력량별 확률분포를 산출할 수 있다면 각 부하지점에서의 발전량과 확률분포를 가진 발전기로 증가화 할 수 있다. 여기서 각 부하지점에서의 발전량과 사고율은 정적 출력과 사고 상태의 2 States 가 아닌 단계별 출력감소용량과 출력감소 확률을 가진 발전기로 증가화 된다. 그리고 각 단계별 출력감소용량과 출력감소확률은 각 부하지점의 부하출현량과 부하출현확률로 증가화 된다.



<그림 3> HLII의 신뢰도 평가 개념

2.3.2 전압안정도를 고려한 도달전력 산정

본 연구에서는 전압안정도 해석을 위한 P-V 해석을 통한 도달전력산정 방법을 제안한다. P-V 해석은 발전력을 점점 증가시킴과 동시에 부하를 점점 증가시켜 전압 불안정점까지 증가를 시킨다. 전력증가분과 전압과의 상관관계는 그림 4에 보인다. 상정고장상태에서의 P-V 해석과 상정고장상태의 상태확률을 조합하면 각 부하지점에서의 단위용량별 도달 전력량과 확률을 구할 수 있다.



<그림 4> P-V 해석 개념도

2.4 사례연구

그림 5와 같은 계통에 대한 사례연구를 수행하였다. 사례연구를 위해 사용된 발전기 데이터와 부하 데이터는 각각 표 1, 표2에서 보였다. 발전기와 송전선로의 사고율은 각각 0.01, 0.001로 가정하였다. 사례연구에서 각 부하지점의 전압한계는 0.95~1.05[pu] 이내로 하였다.

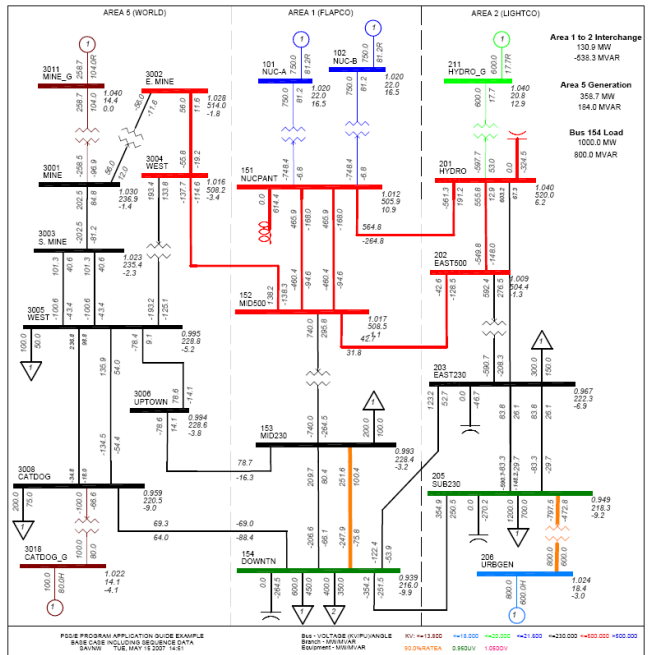
<표 1> 발전데이터

Bus Number	Bus Name	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Qmax (MVAR)	Qmin (MVAR)
101	NUC-A	810	0	600	-100
102	NUC-B	810	0	600	-100
206	URBGE	900	0	600	0
211	HYDRO	616	0	400	-100
3011	MINE	900	0	600	-100
3018	CATDO	117	0	80	0

<표 2> 부하데이터

Bus Number	Bus Name	Id	Pload (MW)	Qload (MVAR)
153	MID230	1	200	100
154	DOWNTN	1	600	450
154	DOWNTN	2	400	350
203	EAST230	1	300	150

205	SUB230	1	1200	700
3005	WEST	1	100	50
3007	RURAL	1	200	75
3008	CATDOG	1	200	75



<그림 5> 사례연구계통

표 3은 얻어진 결과를 보인 것이다. 예를 들어 모선 153에서 소비되는 유효부하는 200MW 이므로 200MW로 전력공급 할 수 있는 가능성은 0.9608이고 250MW로 공급할 수 있는 공급능력은 0.9590이다. 그리고 전압안정도 측면에서 모선 153에 공급할 수 있는 최대전력은 650[MW]이다.

<표 3> 최대부하 이상의 도달전력 가능성도

모선번호 용량[MW]	153	154	203	205	3005	3008
0	0.9608	0.9607	0.9617	0.9590	0.9608	0.9608
50	0.9590	0.9579	0.9608	0.9580	0.9590	0.9598
100	0.9589	0.9469	0.9598	0.9570	0.9589	0.9579
150	0.9386	0.9220	0.9395	0.9275	0.9386	0.9284
200	0.9386	0.0000	0.9275	0.9192	0.9385	0.9256
250	0.9256		0.9145	0.0000	0.9256	0.9109
300	0.9155		0.0000		0.9145	0.0000
350	0.9100				0.9100	
400	0.0000				0.0000	

3. 결 론

전력계통의 신뢰도평가의 결과는 일반적으로 부정적인 지수로 표현된다. 본 연구에서는 각 부하지점에서의 도달전력가능도를 확률론적으로 분석하였다. 각 부하지점에서의 최대부하 수준 이상의 전력을 공급할 수 있는 확률을 보임으로써 계통계획 및 운영에 중요한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 송길영, "신뢰 전력계통공학", 동일출판사, 2005.
- [2] Roy Billinton, "Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods", Plenum Press · New York and London, 1994.