

계통계획을 위한 송전망 성능기준

오태규*, 국경수*, 김태현*, 김호용*, 방민재**
 *한국전기연구원, **한국전력공사

Performance criteria for transmission system planning in Korea

Taekyoo. Oh*, Kyung-soo. Kook*, Tai-Hyun Kim*, Min-Jae Bang**
 *KERI, **KEPCO

Abstract - This paper describes a proposal for performance criteria for transmission system planning. Performance criteria of transmission system is expected to be a guideline for investment into transmission network.

1. 서 론

전력계통의 설비투자에 대한 의사결정에 기본 원칙을 제공하는 전력계통 계획기준의 객관화 및 명문화에 대한 필요성이 인식되어 왔다. 특히, 계획기준에서 다루어질 송전망의 성능기준은 송전망에 요구되는 최소한의 기술적 요구조건으로써 계통계획에서 이를 만족시켜야 할 뿐만 아니라 송전망의 확장이나 보강에 대한 요청과 계통의 운영, 그리고 전력망 사용자들과의 접속 등 향후 경쟁적 전력시장에서 예상되는 다양한 상황에서 객관적인 기술 기준으로 적용될 것이다.

해외의 경우, 이러한 성능기준을 명문 규정화하고 있으며, 소비자들에 대한 설문조사와 계통운영과의 협조를 통해 제 개정 및 유지 보완하고, 이와 같은 작업이 소그룹(또는 위원회)을 통해 체계적으로 이루어지고 있다.

한편, 우리나라의 경우에는 그동안 계통계획에 있어서 송전망의 성능에 대한 기술적 평가작업이 전력회사 내부적으로 이루어져 왔으나, 향후 경쟁적 전력시장체제에 적합한 객관적인 성능기준의 수립이 요구되고 있다.

본 논문에서는 해외의 송전망 성능기준을 분석하고 우리나라 계통계획에 대한 한전의 실무경험과 연구보고 등을 통해 우리나라 송전망의 특성을 충분히 반영하여 우리나라 송전망의 계통계획을 위한 송전망 성능기준을 이론적 배경과 함께 제안한다. 이를 위해 상정고장시의 허용범위에 따라 성능수준을 정의하고 각 성능수준별로 상정고장을 분류한 후 이에 대한 성능기준을 과도전압강하, 최소과도 주파수, 계통제동, 고장 후 전압변동, 과부하율에 대해 설정하였다.

2. 송전망 성능기준의 이론적 배경

2.1 송전망성능기준의 수립

송전망 성능기준은 송전망이 어느 정도의 심각한 외란에 대해서까지 부하에 대한 공급을 지속적으로 계속 할 수 있는가를 기준으로 하여 결정된다. 이때 이러한 전력공급의 중단, 즉 부하의 탈락은 공급되는 전기의 품질저하에 의해 발생되거나 계통운영자의 송전망 운영전략에 의해서 일어날 수도 있으므로 송전망의 성능기준은 이를 모두 고려하여 결정되어야 한다.

우리나라의 경우 송전망은 어떠한 상정고장 조건(345kV 선로 1루트 고장까지를 고려)에 대해서도 부하에 대한 공급지장을 허용하지 않는 매우 신뢰성이 높은 수준으로 운영되고 있다. 따라서 본 논문의 송전망 성능기준은 이를 보장할 수 있는 수준으로 설정되었다.

하지만 송전망의 이러한 높은 수준의 성능수준은 그동안 우리나라의 전력계통 운영에 우선적으로 요구되어 왔

던 공익성의 추구에 따른 충분한 투자의 결과였다고 할 수 있을 것이며 향후 예상되는 경쟁적 전력시장에서는 이러한 송전망에 대한 투자비용이 소비자들을 포함한 서로 다른 각 전력시장 참여자들에 의해 분담이 되게 되는 만큼 송전망 투에 대한 기술기준이 되는 송전망 성능수준은 전력시장 참여자들의 기대수준과 국가의 경제적인 여건 변화를 적절히 반영해야 할 것이다. 즉, 송전망 성능수준은 송전망 투자에 대한 사회적 합의가 반영되어야 할 것이며 이러한 과정에서는 해외 사례에서와 같이 어느 정도의 부하탈락까지를 허용하는 송전망 성능기준의 도입도 고려되어야 할 것으로 생각된다.

2.2 건전상태의 성능기준

건전상태란 계통의 전력수요를 공급하기 위해 정상적인 운전 절차에 의한 계통 재조정이 이루어져 계통내의 모든 설비가 투입되어 운전되는 상태로 계통설비의 계획되지 않은 고장이나 탈락이 발생되지 않은 경우를 말한다. 따라서 이러한 건전상태에서는 계통의 운영자가 적용하는 정상상태 운영기준을 만족하도록 한다.

2.3 계통외란시 성능기준

2.3.1 송전망 성능수준의 분류

송전망의 성능수준은 주어진 외란에 대해 송전망이 어느 정도의 전기품질을 유지하면서 부하에 대한 전력공급을 지속적으로 계속 할 수 있는가를 기준으로 결정되며 적용되는 외란의 가혹도에 따라 요구되는 성능의 수준도 달라지게 된다.

이에 대해 어떠한 상정고장 조건(345kV 선로 1루트 고장까지를 고려)에 대해서도 부하에 대한 공급지장을 허용하지 않도록 운영되고 있는 우리나라 송전망의 특성을 감안하여 우리나라 계통계획기준(안)에서의 송전망 성능수준은 임의의 고장상태에서도 성능수준을 만족시키기 위한 부하탈락이나 발전기의 계통분리를 허용하지 않는 것을 원칙으로 하여, 이로부터의 성능의 여유 정도와 외란에 대한 계통 영향의 정도에 따라 세분화된다.

이를 위해 계통검토시에 대표적인 상정고장으로 고려되는 345kV 선로의 1회선 고장에 대한 성능수준과 345kV 선로의 2회선(1루트) 고장에 대한 성능수준을 기준으로 성능수준을 크게 구분하고 이를 다시 상정고장의 계통영향에 대한 허용범위와 이에 대한 조치의 허용 범위에 따라 다시 PA1~PB3의 6단계로 분류하였다. 다음 표2는 이에 따른 성능수준의 분류를 나타낸다.

표 2 성능수준의 분류

성능수준 허용범위	PA-1	PA-2	PA-3	PB-1	PB-2	PB-3
	발전기 탈락	x	x	x	○	x
발전력 조정	x	○	-	x	○	○
일시부하 탈락 ^(주)	x	x	○	○	-	-
부하탈락	x	x	x	x	x	x

○ : 허용, x : 불허

(주) 일시 부하 탈락 : 설비 고장으로 정전이 발생하였을 경우 해당 설비의 복구가 완료되지 않은 상태에서 타변전소로 부하전력 등의 방법으로 단시간에 정전해소가 가능한 경우

2.3.2 성능수준별 상정고장의 분류

성능수준에 대응되는 상정고장의 분류를 위해 송전망을 전압수준과 함께 그 주요 기능에 따라 발전소 연결계통과 간선계통, 그리고 부하공급계통으로 구분하고 각 계통별 상정고장을 대응되는 성능수준별로 분류하였다. 이때 계통의 기능별 분류에 대한 정의는 다음과 같다.

- 발전소연계계통 : 발전소의 연계점에 연결된 송전용 전기설비
- 간선계통 : 발전소연계계통과 부하공급계통간을 연결하며 지역 간 유통전력을 수송하는 송전용 전기설비
- 부하공급계통 : 부하의 연계점에 연결된 송전용 전기설비

성능기준은 상정고장이 발생한 지역을 제외한 계통의 나머지 부분을 대상으로 적용되며 이때 해당 성능수준을 만족시키기 위한 가용조치의 범위가 정의된다. 가용조치에 의해 해당 성능수준이 만족되는 경우 송전망은 그 성능기준을 만족하는 것으로 간주된다.

표 3 상정고장의 조건별 분류

성능수준	발전소 연결계통 [kV]			간선 계통 [kV]			부하공급 계통 [kV]		M.Tr [kV]		
	154	345	765	154	345	765	154	345	154	345	765
PA-1	◎	◎	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎
PA-2	-	-	-	◎	◎	-	◎	◎	-	-	-
PA-3	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	-	-
PB-1	-	-	-	◎◎	-	-	◎◎	◎◎	-	-	-
PB-2	-	-	-	-	◎◎	◎	-	-	-	-	-
PB-3	◎◎	◎◎	◎	-	-	-	-	-	-	-	-

◎ : 선로 1 회선 고장, 변압기 1 뱅크 고장
◎◎ : 선로 1 루트(2회선) 고장

또한 765kV 선로의 경우에는 설비 설계시에 설비의 안전도 기준이 매우 높게 적용되고 있어 1루트 고장의 발생확률이 매우 낮을 것으로 예상되는 점을 고려하여 상정고장에서 고려하지 않는 것으로 하였다.

2.3.3 과도 전압 기준

2.3.3.1 과전압 기준

과전압의 문제는 전기품질에 대한 전기사용자들의 최소요구조건이 아닌 것으로 나타나며 일반적으로 국부적인 문제이기 때문에 이에 대한 기준은 별도로 권고하지 않는다.

2.3.3.2 저전압 기준

자동적인 부하탈락이 발생하는 것을 피하기 위해 과도 전압 강하기준을 정하며 이를 위한 기준치는 전압강하에 가장 민감한 부하인 컴퓨터와 같은 전자기기의 반응예측에 의해 선택된다. 북미신뢰도위원회 산하 WSCC의 경우 이를 위한 설문조사를 통해 부하민감도 곡선을 구성하여 전압강하와 부하탈락 사이의 관계를 다음 표와 같이 분석하였다.

표 4 전압강하와 부하탈락의 관계

단계	순간전압강하	20% 이상의 전압강하 최대 지속시간	부하탈락
A	25%	20[cycle]	없음
B	30%	20[cycle]	없음
C	30%	40[cycle]	한계점
D	30%	60[cycle]	있음

본 논문에서는 이를 고려하여 부하탈락이 일어나지 않는 A와 B의 수준을 적용하였다.

2.3.4 과도 주파수 기준

2.3.4.1 과주파수 기준

과주파수 문제는 대부분 발전기들과 관련되어 있으나 발전기들은 일반적으로 지역적 보호시스템을 갖추고 있어 과주파수에 대한 별도의 기준은 필요하지 않은 것으로 나타나고 있다.

2.3.4.2 저주파수 기준

저주파수에 대한 기준은 계통운영자가 적용하는 저주파수부하차단 전략과 협조되도록 선택된다. 저주파수부하차단은 계통의 연속운전을 보장하기 위한 것으로 이를 위한 계전기의 설정은 발전기의 저주파수 보호, 그리고 주파수 감소에 대한 수동이나 자동의 조치들과 협조된다. 따라서 계통의 부하차단을 특정 값 이상으로 설정한다면 이는 그보다 과도한 외란을 가져오는 외란에 대해서는 부하차단을 허용하는 것이 될 것이다.

따라서 본 논문에서는 주파수가 58.8Hz가 되면 자동적인 부하차단이 시작되도록 설정된 우리나라의 저주파수부하차단 전략을 고려하여 부하차단을 허용하지 않기 위한 최소과도주파수를 설정하였다.

2.3.5 과도 후 전압편차

과도 후 전압편차에 대한 기준은 고장 이후에 계통이 운전조건을 회복할 수 있는 어느 정도의 능력을 확보하기 위하여 설정된다. 또한 과도 후 전압은 전압안정도에 대해 그 자체가 충분한 기준이 되지 못하더라도 이를 통해 초기적인 전압붕괴는 감지할 수 있는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 과도 후는 계통외란이 발생한 후 1분에서 3분 후를 말하며 이는 가용한 자동적 전압공급 조치를 고려하고 운영자의 수동적인 조치는 고려하지 않는 시간이 된다.

3. 송전망 성능기준의 설정

3.1 송전망 성능의 평가분야

송전망 성능평가는 대상연도의 하계 peak와 off-

peak 부하상태를 기준으로 운전조건을 만족하는 정상상태의 계통에 일정한 외란이 가해진 경우를 가정하여 이에 대한 계통의 응답을 과도 상태와 과도 후 상태에 대해서 각각 평가하는데 구체적인 항목은 다음과 같다.

- (1) 정상상태
 - ① 모선 전압
 - ② 설비의 부하율
- (2) 과도 상태
 - ① 최소 과도 전압 강하
 - ② 최소 과도 주파수
 - ③ 계통의 계동
- (3) 과도 후 상태
 - ① 모선 전압의 변동율
 - ② 설비의 비상정격내의 부하율 유지

3.2 건전상태 성능기준

건전상태란 계통의 전력수요를 공급하기 위해 정상적인 운전 절차에 의한 계통 재조정이 이루어져 계통내의 모든 설비가 투입되어 운전되는 상태로 계통설비의 계획되지 않은 고장이나 탈락이 발생되지 않은 상태로서 이러한 경우 송전망은 다음과 같은 계통의 운영기준을 만족해야 한다.

- ① 모든 송전망 설비는 정상상태에서 각 설비의 정상시 열부하 정격 범위가 유지되도록 한다.
- ② 송전망의 주파수는 보통 60Hz이어야 하며, 예외적인 상황이 발생되지 않는 한 60±0.2Hz의 범위 내에서 조정되어야 한다.
- ③ 송전망의 전압은 전압단계별로 다음과 같이 유지되도록 한다.

표 5 건전상태 전압범위

전압단계	전압범위 [kV]	비고
154kV	156~164kV	peak
	152~160kV	off-peak
345kV	336~360kV	.
765kV	746~785kV	.

3.3 계통외란에 대한 성능기준

계통외란이란 계통설비에 대한 계획되지 않은 고장이나 탈락을 의미하여 이에 대한 송전망의 응답은 송전망 성능기준을 만족 해야한다.

표 6 송전망 성능 기준 (1/2)

성능 수준	과도전압 강하기준 (부하모선 측정)	최소과도 주파수 (부하모선 측정)
PA-1	고장제거 후 최대전압 강하 : 25% 20% 초과 최대지속 시간 : 20 Cycle	59.6 Hz 최소치 이하 최대지속 시간 : 6 Cycle
PA-2	상 동	상 동
PA-3	상 동	상 동
PB-1	고장제거 후 최대전압 강하 : 30% 20% 초과 최대지속 시간 : 20 Cycle	58.9 Hz 최소치 이하 최대지속 시간 : 6 Cycle
PB-2	상 동	상 동
PB-3	상 동	상 동

표 7 송전망 성능 기준 (2/2)

성능 수준	계통 계동	고장후 전압변동 (모든 모선)	과부하율
PA-1	正 계동	5%	과부하 불허 (공정 정격 기준)
PA-2	상 동	상 동	비상정격* 이내 유지
PA-3	상 동	상 동	상 동
PB-1	상 동	10%	상 동
PB-2	상 동	상 동	상 동
PB-3	상 동	상 동	상 동

* 송변전 설비 허용 용량표 참조

표 6과 7은 송전망의 성능에 관한 시험기준을 성능 수준별로 정리한 것이다.

4. 결 론

향후 경쟁적 전력시장제하에서는 송전망 설비부자의 적정수준에 대한 사회적 합의가 이루어지는 과정이 필요할 것이다. 본 논문에서는 현재까지의 계통성능을 반영하여 이론적 근거에 따라 송전망성능기준을 제안하였다. 그러나, 향후 전력시장에서 도출될 시장참여자들의 간의 합의나 전기품질에 대한 국민의 기대수준의 변화가 송전망 성능기준에 적절히 반영되어 나아가야 할 것으로 생각된다.

경쟁적 전력시장에서 송전망성능수준은 송전사업자가 공정한 송전망 투자계획을 수행하도록 하기 위한 기술기준이 되어 전력망에 대한 송전사업자의 의무를 명시함과 동시에 접속 및 분리 등 전력망에 대한 시장참여자들의 다양한 요구를 송전사업자가 공정하게 처리하기 위한 기준으로 적용되는 등 많은 부분에서 객관적인 기준으로 작용될 것이 예상되는 바 객관적이고 합리적인 송전망 성능기준의 유지 및 관리는 경쟁적 전력시장에서 매우 중요한 논점이 될 것이므로 이를 관리하기 위한 제도적 절차가 필요하다.

(참 고 문 헌)

- [1] Chowdhury AA, Koval DO. "Deregulated transmission system reliability planning criteria based on historical equipment performance data". IEEE Transactions on Industry Applications, V.37 N.1, 204-211, 2001.1.1
- [2] J.D. McCalley, "Reliability Criteria for transmission system operation & planning under restructuring". Proceedings of the 1999 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting - Vol. 1, 131-133, 1999.7.18
- [2] Mohammed J. Beshir, SM, "Probabilistic Based Transmission Planning and Operation Criteria Development for the Western Systems Coordinating Council". Proceedings of the 1999 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting - Volume 1, 134-139, 1999.7.18
- [3] "NERC Planning Standards", NERC, 1997
- [4] "WSCC Planning Standards", WSCC, 1999
- [5] '장기 송변전 설비계획 기준', 한전 계통계획실, 1999. 11.
- [6] 'Supporting Document for Reliability Criteria for Transmission system Planning', J. Kondragunta, SCE and WSCC Reliability Subcommittee, 1994.
- [7] 전력계통계획 수립기준에 관한 연구, 최종보고서, 한국전력공사/한국전기연구원, 2001. 8