

우리나라 중장기 전력계통 운영방안

김진이·유현수·이조련·황경식·김태훈·배주천
한국전력거래소 전력계획처

Long-term Strategies of Power System in Korea

Jin-Yi Kim, Jo-Lyun Lee, Joo-Cheon Bae, Kyung-Sik Hwang, Tae-Hoon Kim, Heon-Su Ryu
Korea Power Exchange

Abstract - 본 논문은 제2차 전력수급기본계획을 토대로 2006년부터 2017년도까지 중장기 전력계통의 운영 전망을 분석하였다. 주요 내용으로는 2006년, 2008년, 2010년, 2012년, 2017년도에 대한 지역별 전력수급전망, 송전망 조류추이, 고장용량 분석, 조상설비 필요량, 계통전압안정도, 수도권 유통전력한계, 과도안정도 분석 등을 다루고 있으며 본 전력계통 운영전망에 관한 검토내용은 향후 전력계통 운영 및 제3차 전력수급기본계획(발전 및 송전설비계획 부분)수립에 활용될 예정이다.

1. 서 론

우리나라의 전력소비는 경제성장 및 국민 생활수준 향상에 따라 지속적으로 증가해왔다. 1990년 이후 2002년까지 경제성장률은 연평균 5.9% 증가하였고 전력수요는 연평균 9.4% 증가하였다. 2004년 하계최대 수요는 51,264MW를 기록하였으며, 2006년에는 54,618MW 2015년에는 66,604MW에 이를 것으로 전망된다.[1] 전력수요가 지속적으로 증가함에 따라 전력설비도 중장기적으로 확장되어 나갈 계획이다. 2017년까지 발전설비는 총 139기 44,953MW가 건설될 예정이며, 송변전 설비는 총 길이 9,365C-km의 선로와 286개의 변전소가 신규 건설될 예정이다.[2] 이와 같이 전력설비가 확충되면 계통은 더욱 조밀하게 되어 전력설비고장 발생시 고장전류가 증가하게 될 것이며, 또한 수도권 전력수요 집중과 전원단기 편중 현상은 계통을 불안정하게 만드는 요소가 될 수 있다. 따라서 계통운영자는 미래계통에 대한 안전성을 확보하고 계통 신뢰도를 유지하기 위하여 미래 전력계통을 사전에 모의하여 전력계통 구성이나 운영상 나타날 수 있는 위험요소를 도출하고, 그 문제점을 해결하기 위한 해소방안을 파악하여야 한다. 본 논문은 제2차 전력수급기본계획에 따라 2006-2017년도 전력계통 운영전망 및 위험요소 해결방안에 대하여 기술하였다. 주요 내용으로는 2006년, 2008년, 2010년, 2012년, 2017년도에 대한 지역별 전력수급전망, 송전망 조류추이, 고장용량 분석, 조상설비 필요량, 계통전압안정도, 수도권 유통전력한계, 과도안정도 분석 등을 다루고 있으며 본 전력계통 운영전망에 관한 검토내용은 전력계통 운영 및 제3차 전력수급기본계획(발전 및 송전설비계획 부분)수립에 활용될 예정이다.

2. 중장기 전력계통 운영전망

2.1 전력수급 전망

전력수급을 연도별 설비용량, 공급능력, 최대수요, 예비율로 알아보았다. 연도별 최대수요는 제2차 전력수급기본계획의 하계피크 기준으로 상정되었으며, 공급능력은 하절기 외기온도에 의한 복합발전기 공급능력 감소(설비용량의 10%)분을 고려하여 설정하였고 설비용량은

해당년도 하계피크인 8월 이전 준공분을 운영가능 설비로 하였다. 표1은 2004년도 실적 및 2006-2017년도의 연도별 우리나라 전력수급 전망을 나타내고 있다.

표1. 중장기 연도별 전력수급 전망 [MW]

연도	설비용량	공급능력	최대수요	예비율(%)
2004	59,129	58,538	51,264	14.2
2006	64,213	63,571	54,618	16.4
2008	71,649	70,929	57,847	22.6
2010	76,781	76,010	60,643	25.3
2012	85,057	84,206	63,148	33.3
2015	86,338	85,744	66,604	28.7
2017	88,038	87,158	68,737	26.8

2.1.1 지역별 전력수급 전망

지역별 전력수급 전망을 살펴보면 표2와 같다. 송전망 제약운전을 고려한 수도권 지역의 전력공급 예비율은 2010년까지 15%이상을 유지할 전망이다. 노후 발전기 폐지(서울화력등 8대)로 2015년 이후 예비율이 10% 이하로 감소될 우려가 있다. 영동지역 공급예비력은 2010년 4,770MW(119%)에서 2015년 울진원자력 후속기 증설로 6,948MW(154%)까지 증가될 전망이다. 중부권의 경우 전력공급예비력은 석탄화력 발전기의 신규건설 지속으로 2006년도에 8,191MW(189%)였던 예비력이 2010년 11,798MW(232%)로 증가하는 등 자체 전력수요에 비해 공급초과가 타 지역보다 심화 될 전망이다. 호남지역은 2006년에 예비율이 28.7%에서 2015년 0.3%로 지역내 전력수급 균형을 찾아가는 경향이 있으며 영남의 경우 신규 원자력 준공으로 예비율이 40%까지 상승할 것으로 전망된다. 살펴본바와 같이 수도권 지역의 공급능력은 감소하고 영동권 및 중부권에 발전력 집중현상이 심화되어 지역별 전력수급 균형을 잡기위한 노력이 있어야 할 것으로 보인다.

표2. 지역별 전력수급 전망

연도	지역	수도권	영동권	중부권	호남권	영남권
		예비력(MW)/(%)				
2006	수도권	3,823 (17.1)	4,977 (138)	8,191 (189)	1,755 (28.7)	2,067 (12.5)
	영동권	3,545 (14.4)	4,765 (125)	10,727 (226)	1,729 (26.4)	3,162 (18.3)
2010	수도권	5,111 (19.7)	4,770 (119)	11,798 (232)	1,341 (19.3)	3,106 (17.4)
	영동권	2,606 (9.2)	6,948 (154)	11,124 (200)	22 (0.3)	8,743 (44.9)
2017	수도권	2,342 (8.0)	6,826 (148)	10,946 (191)	693 (8.6)	8,093 (40.3)
	영동권					

* 수도권은 유통전력을 포함하였음

2.2 지역별 송전망 조류

정상운전 조건하에서 전력설비의 과부하를 검토한 결과 과부하(정격대비 100% 초과)는 계통구성변경으로 해소할 수 있는 것으로 분석되어 정상계통에서는 문제점이 없는 것으로 나타났다. 그림1은 2010년도 지역별 전력수급 및 송전전력을 나타내고 있다.

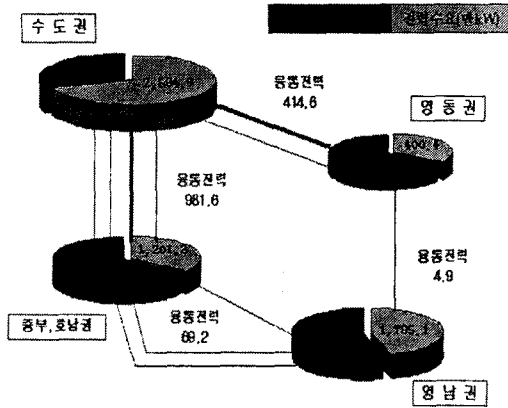


그림1. 2010년도 송전망 조류

2.3 모선의 단락 고장전류

모선의 단락 고장전류 추이를 살펴보기 위하여 발전기 가 전부 가동된 상태에서 3상 단락고장을 상정하였다. 표3의 고장용량 검토결과에서 보여주는 것처럼 송변전설비와 발전설비가 밀집되어 있는 경인 및 영남 지역의 고장용량이 타지역보다 차단기 정격 초과개소가 많이 나타나며 초과개소 증가추이가 가속화됨을 알 수 있다.

표3. 차단기 정격용량 초과개소

년도	수도권	영동권	중부권	호남권	영남권	합계
2006	9	-	1	1	7	18
2008	12	-	3	2	9	26
2010	16	-	4	2	9	31
2015	17	-	4	2	17	40
2017	17	-	4	2	17	40

2.3.1 고장용량 해소방안

전력계통의 고장용량에 대한 대책으로는 고용량 차단기 교체, 345kV 변전소 모선구성변경, 직렬리액터 설치, 모선(계통)분리 등 여러가지 방법이 있다. 이중 차단기 교체, 모선구성변경, 직렬리액터 설치를 통한 해결 방안은 전력수급기본계획에 반영되어야 하며, 모선(계통)분리의 방법은 적절한 투자가 이루어지지 않았을 때 운영방법상 취할 수 있다. 전자의 계통보강대책은 투자비 소요 및 건설기간이 필요하지만 전력계통의 안정적 운전에는 효과적이며, 후자의 모선(계통)분리 방법은 전력설비가 적기에 투입되지 못했을 때 취할 수 있는 방법으로 계통안정도를 악화시킬 수도 있다. 따라서 장기계통을 고려하여 취약한 개소부터 적절한 계통보강(차단기 교체) 기준을 마련하여야 할 것이다. 또한 154kV 계통은 차단기 교체 및 345kV 권역별 분리 운전하여 계통의 고장용량을 억제시키는 방안도 고려하였다.

○ 계통보강 방법(345kV)

- 고장용량 63.0kA 이상개소 : 계통분리(모선구분 및 인출변경 등)시행
- 고장용량 50.0 63.0kA 미만개소 : 차단기 정격 63.0kA 설치
- 고장용량 40.0 50.0kA 미만개소 : 차단기 정격 50.0kA 설치

2.4 조상설비의 확보

전력수요 증가, 송전망 송전전력 증가에 따라 계통의 무효전력 공급설비가 적기에 확충되지 않으면 계통전압 불안이 발생할 우려가 있으므로 이를 막기 위한 조상설비(SC) 필요량을 살펴보면 표4와 같다. 각 연도별 조상설비 확보량은 계통전압 유지목표인 353.0kV, 156-164kV[3]를 유지하도록 조정하였다. 조상설비 필요량은 2017년까지 지속적으로 증가하는 추세를 보인다.

표4. 조상설비(SC) 소요량 [MVar]

년도	수도권	영동권	중부권	호남권	영남권	합계
기 설	5,925	2,035	1,340	1,920	3,470	14,690
2006	6,715	2,275	1,470	2,130	4,690	17,280
2008	7,275	2,115	1,770	2,260	5,390	18,810
2010	7,055	2,325	1,730	2,480	5,700	19,290
2015	8,705	2,325	1,840	2,990	6,670	22,530
2017	9,300	2,580	1,950	3,490	6,870	24,200

2.5 전압안정도

2.5.1 계통 전압안정도

계통의 전압안정도 특성을 알아보기 위하여 VSAT을 이용하여 345kV 이상 송전선로에 병행2회선 동시고장 발생을 모의하였다. 표5는 전압안정도 모의결과 불안정 개소를 나타낸다.

○ 검토기준

- 계통전압 유지 : 정상시 공칭전압의 1.023~1.05pu
- 상정고장시 공칭전압의 0.95pu 이하 방지
- 송전망운영: 154kV 345kV S/S 권역별 계통분리
- 조상설비: 표4의 조상설비 소요량 적용

표5. 전압안정도 불안정 개소

년도	765kV 1회선 고장	345kV 2회선 고장
2006	-	신인천CC-양주-서인천-신덕은, 신옥천-정원, 영광-신김제, 영광-신광주
2008	-	신인천-신파주-서인천, 영광-신김제
2010	-	신인천-신파주-서인천, 영광-신김제
2015	신태백-신가평, 신고리-북경남	신인천-신파주-서인천, 영광-신김제, 영광-신광주, 신광주-신화순
2017	신태백-신가평, 신고리-북경남	신인천-신파주-서인천, 신계천-신충주, 신광주-신화순

2015년 이후에는 765kV 송전망 1회선 고장시에도 전압불안정 현상이 발생하며, 345kV 신인천 양주 2회선

선로 고장시 수도권 북부지역에 전압불안정 현상이 발생

한다. 대책으로 765kV 대용량 전력유통시에는 이에 적합한 전압안정도 측면의 사전 Defence System 개발이 필요하다. 그 외 345kV 2회선 고장을 대비하여 수도권 북부지역의 순동무효전력 확보, 중부권에 집중적으로 들어서는 발전기의 효과적 인 수도권 유통을 위한 HVDC 연계 방안 등을 검토할 시점이 되었다.

2.5.2 수도권 유통전력특성

수도권 지역은 우리나라 전체 전력수요의 42.5%를 점유하고 있지만 수도권의 발전력은 수요의 56%로 매우 부족하다. 그 부족분은 인접지역으로부터 수도권 연계선로를 통해 공급되고 있다. 따라서 수도권 연계선로 중 일부가 고장 나는 경우 전력공급 불안정을 초래할 우려가 있다. 765kV 선로 1회선 또는 345kV 선로 병행2회선 고장시에도 안정적으로 전력전송이 가능한 유통전력한계를 구해보면 아래 표6과 같다. 분석결과 유통전력 한계를 결정짓는 고장선로는 아산T/L이었으며 아산T/L 고장시 유통전력 한계를 제약 유통전력이라 하고 송전선 고장을 고려하지 않고 발전력을 merit order로 배분한 경우의 수도권유입전력을 비계약 유통전력으로 정의하였다.

표6. 수도권 유통전력 운영한계 [MW]

년도	전국 수요	수도권 수요	수도권발전력		수도권유통전력	
			비계약	계약	비계약	계약
2006	53,806	23,248	9,982	10,387	13,266	12,861
2008	57,012	24,612	8,496	11,031	16,116	13,581
2010	59,717	25,849	9,435	11,784	16,414	14,065
2015	65,604	38,341	7,235	12,902	21,106	15,439
2017	67,701	29,159	7,235	13,166	21,924	15,993

수도권 연계선로에 의해 13-16GW의 전력이 수도권으로 공급되는 특성 때문에 표4에서 보이는 것처럼 계통 전압 유지를 위한 노력과 무효전력 수급 문제가 더욱 중요해질 전망이다.

2.6 과도안정도

과도안정도는 부하의 급변, 차단기 개폐, 단락고장 등과 같은 외란 발생시 발전기가 안정상태를 유지하는 능력을 말한다.

표7. 발전단지 과도안정도 불안정 개소

년도	선로명	발생개소
2006	평택-화성, 울진-동해, 영광-신광주, 영광-신김제, 영광-신남원	5
2008	평택-화성, 울진-동해, 영광-신광주, 영광-신김제, 영광-신남원	5
2010	평택-화성, 울진-동해, 영광-신광주, 영광-신김제, 영광-신남원, 하동-의령	6
2015	평택-화성, 울진-동해, 영광-신광주, 영광-신김제, 영광-신남원, 하동-의령	6
2017	평택-화성, 울진-동해, 영광-신광주, 영광-신김제, 영광-신남원, 하동-의령	6

본 논문은 발전단 중 345kV 인출송전선로가 2개 이상으로 구성된 발전소의 인출송전선로 병행 2회선 동시 고장시 발전기의 과도안정도를 검토하였다. 표7은 연도별 불안정 개소를 보여준다. 발전소 과도안정도 불안정개소는 현재와 같이 평택, 영광, 울진 발전소이며 2009년 하동TP 7,8호기 증설 후 하동발전소도 과도불안정한 곳으로 나타났다. 과도안정도 확보를 위해서는 고장파급방지 장치의 설치 및 인출송전망을 보강하는 등의 노력이 뒤따라야 한다.

2.7 미소신호안정도

미소신호안정도란 미소외란 발생시 전력계통이 동기를 유지하는 능력을 말하며 본 논문은 계통의 저주파동요 여부에 관심을 두고 SSAT을 이용해 모의하였다. 전력계통 고유치 분석결과 연도별 장기계통의 미소신호 안정도(Lyapunov's first method)는 안정한 것으로 나타났으며 다만 표8과 같이 평택 및 울산 발전기는 제동비가 다소 약한 것으로 나타났다.

표8. 약제동 발전기(제동비 5%이하)

년도	주요원인 발전기	모드	계
2006	평택1,2,4, 울산5,6G	Plant	5
2008	평택1,2,3,4, 울산4,5, 영동2G	Plant	7
2010	평택1,2,3,4, 울산5,6G	Plant	6
2015	울산5,6G	Plant	2
2017	울산5,6G	Plant	2

3. 결 론

2006-2017년도 전력계통을 분석한 결과 장기적으로 큰 문제점은 없는 것으로 나타났다. 다만 수도권지역의 공급예비력이 2015년 이후 10%이하로 감소하므로 수도권 폐지발전소 부지에 대체발전기 건설이 필요한 것으로 전망된다. 또한, 수도권 발전기의 제약운전량이 증가(405MW 5,931MW)될 것이 예상되므로 이를 해소하기 위하여 HVDC, FACTS, HVDC/AC 계통 통합운영, 제어기술 등 전압안정도 및 전력전송 기술분야에 대한 연구가 지속적으로 진행되어야 한다. 안정도 측면에서 하동TP#7,8 증설로 과도불안정이 발생하고, 울진NP(#7,8) 및 신고리NP 건설로 765kV 신태백-신가평, 신고리-북경남T/L 1회선 고장 검토결과 전압불안정이 발생할 우려가 있으므로 신규 발전기에 고장파급 방지 장치설치방안이 고려되어야 한다.

본 논문은 제2차 전력수급기본계획에 따라 전력계통을 운영 할 경우 발생할 수 있는 주요 문제점 및 대책에 관하여 포괄적으로 기술하였으며, 본 논문과 관련된 세부 내용은 필요시 세미나, 워크숍 등을 통하여 설명할 준비가 되어있으며, 이러한 과정을 통하여 우리나라의 전력계통 기술발전에 보탬이 되기를 기대한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 산업자원부 고시, "제2차 전력수급기본계획(2004-2017년)", 산업 자원부 공고 제2004-285호, 2004년 12월
- [2] 계통계획실무소위, "장기 송전선 설비계획", 2004년 2월
- [3] 산업자원부 고시, "전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준" 산업 자원부 공고 제2005-11호, 2005년 1월