2004년 하계 첨두부하 시 계통운영 실적 분석

송태용 황봉환
한국전력거래소

The Analysis of 2004 Summer Peak Load in Korea Power system

Song, Tae Yong Hwang, Bong-Hwan
Korea Power Exchange (KPX)

Abstract - This year korea power system had recorded highest peak load for 6 times and finally it made new peak load 51,264MW at July 29th 3:00 PM. The new peak load is increased 8.2% from the last year peak load 47,385MW and korea power system entered 50,000MW load era. The Korea Power Exchange (KPX) snapped power system data at the peak load time using state estimation function in the EMS. And authors converted the power system data at peak load to PSS/E power flow format. Using this PSS/E peak load power flow data, this paper explains demand analysis result, shun capacitor operation, voltage distribution at the peak load. And the paper shows the simulation result of 2 contingency analysis using the snapped PSS/E peak load data.

1. 서 론

우리나라는 전력계통은 1998년 외환위기를 제외하고 꾸준한 성장을 보이며 금년 최대수요 51,264MW를 기록하였다. 이와 같은 첨두부하 시의 상태를 파악하고 그 특징과 계통운영 현황, 상정고장 시 대책방안 등을 분석하여 향후 전력계통을 전망하고 대비책을 준비하는 것이 전력계통 운영 및 계획에 있어 반드시 필요하다고 할 수 잇다. 이에 한국전력거래소에서는 하계 첨두부하 시 상태추정을[1] 통해 계통 현황을 PSS/E 파일로 변환하여 계통 DB를 작성하였다[2]. 본 논문에서는 이 계통 DB를 사용하여 첨두부하 시 한국 전력계통의 특징과 그 운영 현황 등에 대해 기술하도록 한다.

2. 본 론

2.1 주요설비 변경사항

2004년 발전설비는 7월까지 산업자원부 공고인 "제1차 전력수급 기본계획"[3]에 따라 울진원자력 5호기 및 영흥화력 1호기 등 총 3,028MW가 증설되었고 송변전설비는 "2004년 하계기준 한전 송변전 설비 신증설 계획"에 따라 345kV 신시흥 개폐소 및 관련 선로, 신영일, 신수원 변전소 및 관련 선로가 신설되었으며 그 자세한 사항은 [표1]과 같다.

[표1] 2004년 주요 신설 설비 [단위:MW, MVAr]

구분	설 비 명	용 량	준 공
발전설비	울진원자력 #5	1000	'04.6
	영흥화력 #1	800	'04.6
	부산복합 #3,4	450×2	'04.3
	율촌복합 #1,2G/T	164×2	'04.6
송전설비	345kV 신시흥 개폐소 및 관련T/L 정비	-	'04.1
	345kV 신영일 변전소 및 분기T/L	500×2	'04.6
	345kV 신수원 변전소 및 신수원T/L	500×2	'04.6
	전압 보상설비(S.C) 신설	2,080	'04.6

2.2 전력 수급 현황

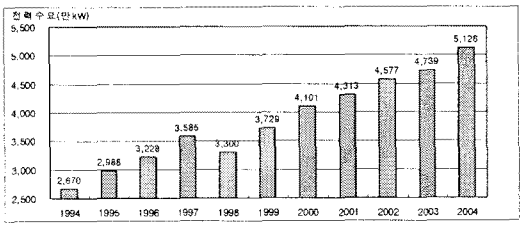
정부, 전력거래소, 한전, 발전회사는 첨두부하 발생기간 동안 최대공급능력 확보와 수요관리를 위해 노력하였다. 그 결과 최대수요 발생 시 공급능력 57,530MW을 확보하여 6,260MW의 예비력을 갖추어 계통의 안정운영에 충분한 예비력(예비율 12.2%)을 확보하였다.

[표2] 최대수요 발생 시 최대수요 실적 및 예비율 [MW]

구 분	'03년 실적	'04년 실적	증감
공급능력	55,488	**57,530**	2,042
최대수요	47,385	**51,264**	3,879
예비전력 (예비율)	8,103 (17.1%)	**6,266 (12.2%)**	- 1,837 (-4.9p)

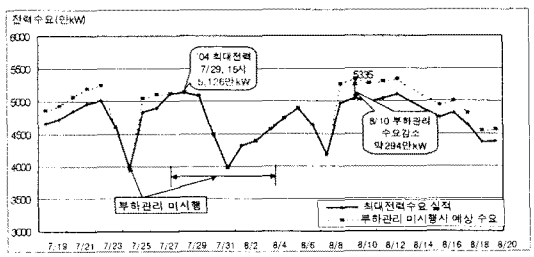
2.3 최대수요 시 수요 분석

그림1에서와 같이 우리나라 전력계통은 1994년 26,700MW의 최대수요를 기록한 이후 매년 3.5% ~ 13%의 꾸준한 성장을 이룬 결과 마침내 2004년 7월 29일 금년도 최대수요인 51,264MW를 기록하여 10년 만에 약 2배의 성장을 이루었다.



[그림1] 1994년 이후 10년간 최대수요 실적

2004년 수요 실적을 분석해 보면 7월 중순 장마가 끝난 이후 7월 20일 전년도 최대수요를 경신하였다. 그 후 6회에 걸친 최대수요 경신 후 7월 29일 15시 51,264MW의 최대수요를 기록하였다. 이는 2003년 대비 3,879MW가 증가된 것으로 약 8.2%의 증가를 보였다. 2004년 최대수요는 8월 2째 주 또는 3째 주에 발생할 것으로 전망되었으나 8월 태풍 "메기"의 영향에 따른 기온저하로 7월에 발생하게 되었다. 최대수요 발생일의 냉방기기 가동에 의한 냉방용 전력사용량은 12,500MW로 추정되며 이는 전체 전력 수요의 약 24%를 차지하는 양이다.



[그림2] 최대수요 기간 부하관리 시행/미시행 시 수요곡선

이때 최대수요 기간 중 자율절전 및 휴가 보수 지급 등의 부하관리 시행을 통해 약 1,700MW~2,900MW의 최대수요 억제 효과를 거두었으며 부하관리를 실시하지 않았을 경우 예상되는 최대수요는 53,350MW(8월 10일 15시)으로 예비율이 약 7.7%까지 감소하였을 것으로 추정된다.

2.4 계통 운영 현황

전력거래소에서는 "2004년도 하절기 첨두부하 시 전력계통 안정운영 방안"[4]를 2004년 상반기에 마련하여 하절기 계통운영을 준비하였다. 이 운영방안에 따라 하절기 전력계통을 운영하였고 이에 따른 계통 분리, 조상설비 운전, 융통전력, 전압 등의 운전 현황은 다음과 같다.

2.4.1 계통 분리 현황

계통을 분리하는 주 목적은 모선 차단기의 차단용량 한계를 넘지 않도록 억제하고 상정고장 시 설비 과부하를 방지하기 위해서이다. 주로 선로를 분리하거나 모선을 분리하는 방법으로 계통을 분리하게 된다. 2004년 하절기 계통운영 시 총 345kV 19개소, 154kV 74개소 등 총 93개소에 걸쳐 계통을 분리하였고 지역으로 보면 특히 수도권에서 모선 및 선로 분리개소의 56%를 차지하고 있다. 계통분리 중 고장용량의 초과에 의한 계분리가 86%로서 대부분을 차지하고 있다. 이와 같이 계통 분리 개소가 많아지면 계통운영 측면에서 공급신뢰도가 저하되므로 계통 분리를 최소화하기 위해선 차단기의 차단 용량을 증대시켜야 하겠으나 그럴 경우 예산 증가를 수반하게 되며 또한 인근 변전소의 차단 전류를 증대시켜 그 변전소의 차단용량 한계를 초과시킬 수 있으므로 이에 대한 근본적인 대책이 강구되어야 할 것으로 생각된다.

[표3] 2004년 첨두부하 시 계통분리 개소

구 분		분리개소 수	분리목적 (고장용량초과/과부하 예방)
345kV	모선 분리	19	19 / 0
154kV	모선 분리	45	37 / 6
	선로 분리	29	24 / 7
	소 계	74	61 / 13
합 계		93	80 / 13

2.4.2 조상설비 운전 현황

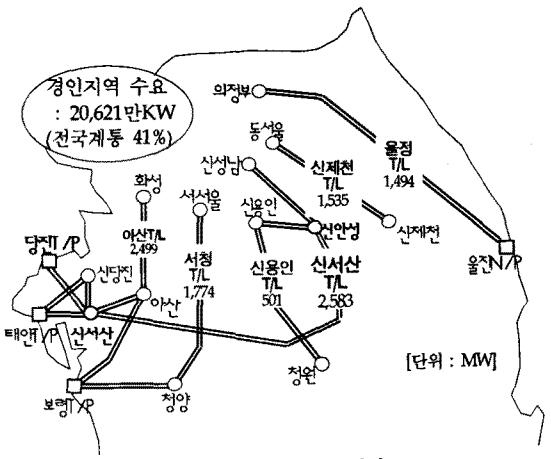
2004년 조상설비는 총 14,615MVAr이 계통에 설치되었다. 이는 2003년 6월에 비해 2,080MVAr이 증설된 것으로 각 관리처별 설비현황 및 첨두부하 시 운전현황은 다음과 같다. 대체로 모든 조상설비가 운전되었으나 수도권 지역에서 적은 양이 운전된 것을 알 수 있다. 이는 수도권 지역의 많은 선로가 지중화 되어 선로 충전용량 때문에 조상설비가 적게 운전된 것으로 분석된다.

[표4] 첨두부하 시 관리처별 조상설비 설치량 및 운전 실적

관리처 / 연도	서울	남서울	수원 인천	제천	대전 전주	광주	대구	부산	창원	합 계
'03년	1,560	1,130	2,890	1,165	1,760	940	2,125	640	325	12,535
'04년	1,560	1,280	3,140	1,915	2,290	970	2,495	640	325	14,615
설비증가	0	150	250	750	530	30	370	0	0	2,080
운전량	860	945	2,815	1,175	1,890	875	2,035	630	315	11,540

2.4.3 수도권 융통전력 현황

수도권은 금년 하계 첨두부하 시 전체 부하의 41%를 차지하고 있으나 발전력은 전체 발전량의 20% 정도만을 공급하고 있다. 또한 수도권의 발전기들은 연료비 단가가 비싼 발전기들이 대부분이므로 경제적인 계통 운영을 위해선 비수도권에 있는 값싼 원자력 또는 화력 발전소들



[그림3] 최대부하 시 북상 선로 조류 현황

이 발전한 전력을 수도권으로 수송할 필요가 있다. 그래서 우리나라에서는 비수도권의 발전력을 수송하기 위해 6개의 주요 선로(북상선로)를 통해 수도권에 발전력을 공급하고 있다. 따라서 이들 주요 선로의 1개 Route(병행2회선)가 정지하더라도 전압 불안정에 의한 계통 불안정 현상이 발생하지 않도록 북상조류의 한계를 정해 운영하고 있다. 금년 첨두부하 시 북상조류의 합계는 10,387MW로 하계 첨두부하 기간 운영 한계값 11,000MW를 넘지 않고 있다. 이때 모든 6개 Route에 각 병행2회선 선로 상정고장을 적용하더라도 계통 불안정 현상은 발생하지 않았다.

2.4.4 전압 운전 현황

첨두부하 시 전압 운전 현황을 살펴보면 345kV 계통 운전 목표 전압인 353kV에 근접하도록 대부분의 변전소가 운전된 것을 확인할 수 있다. 하지만 호남 지역과 영남 지역의 경우 다른 지역에 비해 대체로 전압이 낮게 (호남 평균 : 348.5kV, 영남 평균 : 350.1kV) 운전되었으며 특히 신김해에서 최저전압인 344.7kV가 발생하였다. 수도권의 경우 계통 전압이 대체로 높았는데 (평균 353.2kV) 이는 수도권에 지중선로가 많기 때문에 전압이 상승한 것으로 보인다.

[표5] 각 지역별 전압 운전 현황

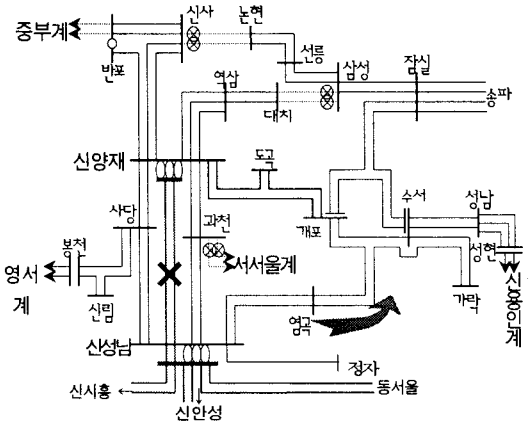
지역	최대전압	최소전압	평균값
수도권	357.7	349.3	353.2
영동	353.0	350.6	351.9
중부	355.3	349.1	351.9
호남	354.7	346.2	348.5
영남	354.3	344.7	350.1

2.5 상정고장 대비

계통에 고장이 발생하더라도 그 고장이 계통 전체에 파급되지 않도록 계통을 운영하는 것이 매우 중요하다. 따라서 중앙급전사령실을 운영하고 있는 거래소에서는 계통에서 발생할 수 있는 상정고장에 대비하여 안정적으로 전력계통을 운영하기 위해 여러 가지 상정고장에 대해 대비하고 있다. 상정고장 시 발생할 수 있는 문제로는 과부하, 전압 불안정, 과도 불안정 문제 등이 있고 이에 대비하여 위험한 상정 고장에 대해 부하 절체, 부하 차단 또는 계통 분리 등의 대책을 적용하고 있으며, 과도 불안정 현상을 보이는 상정고장에 대해서는 그 고장이 전 발전기로 파급되지 않도록 하는 고장파급방지 시스템을 설치하여 운영하고 있다. 이번 하계 최대부하 기간 동안 상정되었던 고장은 다행히 발생하지 않았다.

따라서 하계 첨두부하 시 상태추정을 통해 얻어진 계통을 이용하여 몇 가지 상정고장이 발생하였을 때와 해당 조치사항을 적용한 뒤의 계통 상황을 모의 하도록 한다.

2.5.1 과부하 대비 - 345kV 신양재-신성남T/L 고장



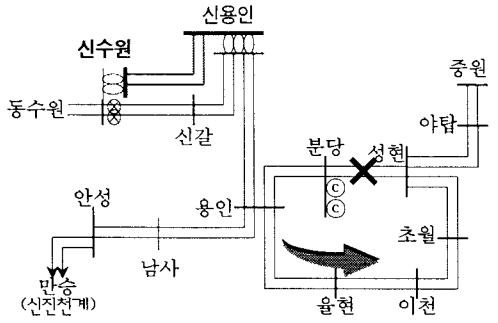
[그림4] 신성남, 신양재S/S 인근 계통도

첨두부하 시 345kV 신양재-신성남T/L에 고장이 발생하면 345kV 신양재S/S를 통해 공급되던 부하가 154kV 신성남S/S를 통해 공급되어 신성남S/S의 변압기가 용량의 104~115%로 과부하 되며 154kV 가락-염곡T/L은 105%로 과부하 된다. 따라서 이 경우 미리 마련된, 성현 모선을 통합하는 방안을 적용하여 신용인계로부터 신양재계 부하를 공급하게 되면 과부하가 발생하지 않는다.

[표6] 345kV 신양재-신성남T/L 고장 시 과부하 현황

설비 명	신양재T/L 고장 후	성현S/S 모선통합 후
345kV신성남S/S M.Tr	115%	97%
154kV 가락-염곡T/L	105%	58%
154kV 신성남-염곡T/L	97%	66%

2.5.2 전압불안정 대비 - 154kV 성현-분당T/L 고장



[그림5] 성현, 분당S/S 지역 계통도

상정고장 시 전압 불안정 현상을 보이는 곳은 다음과 같이 154kV 성현-분당T/L로서 2회선 고장시 77km의 장거리에 걸친 송전으로 성현, 야탑, 중원S/S에 전압불안정 현상이 발생하게 된다. 이 경우 성현-분당T/L에 영구 고장이 발생하고 성현과 야탑S/S의 전압이 0.95 p.u 까지 떨어지면 성현, 야탑S/S의 부하 중 1/2 수준인 110MW를 차단하여 전압불안정 현상을 방지할 수 있다.

첨두부하에서 2회선 상정고장을 일으켜 보면 야탑S/S에서 전압 불안정 현상이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 이때 성현, 야탑S/S의 부하 110MW를 차단하면 142.54kV(0.925 p.u)수준에서 안정해지는 것으로 분석되었다.

[표7] 154kV 분당-성현T/L 고장 시 인근계통 전압

변전소	154kV 분당-성현 2회선 고장	부하 110MW 차단 후
중원S/S	계통 불안정	142.4kV
야탑S/S		142.4kV
성현S/S		142.5kV
초월S/S		142.5kV

2.5.3 과도안정도 대비

대규모 발전단지 인출 송전선로에서 고장이 발생하면 발전단지 내 전 발전기가 가속되기 쉽다. 따라서 우리나라에서는 전 발전기에 고장이 파급되는 것을 방지하기 위해 송전선로 고장 시 발전단지 내 일부의 발전기를 자동으로 차단하여 고장이 파급되는 것을 방지하는 고장파급방지시스템(SPS)을 설치 운영하고 있다. 울진 원자력, 태안 화력 등 대용량 발전단지 총 7 개소에 이 고장파급방지 시스템이 설치되어 운영되고 있다. 각 선로 고장에 대해 차단하는 발전기는 [표8]과 같다.

[표8] 고장파급방지 시스템 설치 현황

고장 정지 선로	안정대책(발전기 차단대수)
345kV 평택#1,2T/L	평택T/P 4대 운전 시 2대 〃 3대 운전 시 1대
345kV 울동, 울영#1,2T/L 345kV 울정, 울진연락T/L	울진N/P 5대 운전 시 2대 〃 4대 운전 시 1대
765kV 신서산#1,2T/L	태안, 당진T/P 10대 운전 시 1대
345kV 신아산#1,2T/L	〃 8대 이상 운전 시 1대
345kV 보령#1,2T/L	보령T/P 6대 운전 시 2대 차단 〃 5대 운전 시 C/C 1block
345kV 영광#1,2T/L 345kV 영원#1,2T/L 345kV 영신#1,2T/L	영광N/P 6대 운전 시 2대 〃 5대 운전 시 1~2대
345kV 하령#1,2T/L	하동T/P 6대 운전 시 1대

3. 결 론

본 논문에서 금년 하계 첨두부하 시 우리나라 전력계통의 수급현황과 수요를 분석하였고 이를 통해 부하관리의 필요성을 보였다. 또한 계통운영 시 계통 분리 개소 및 조상설비 운전, 수도권 융통전력, 전압 분포 등과 같은 계통 운영 실적에 대해 설명하였고 마지막으로 상정고장에 대한 대책을 첨두부하 시 상태추정을 통해 얻은 PSS/E 데이터를 이용하여 모의하였다. 모의 결과 하계 대책 방안에서 마련된 결과가 실계통 자료에서도 유효한 것을 확인 할 수 있었다. 2004년 첨두부하 시 얻은 자료를 향후 2005년 계통 DB 작성과 실계통 검토에 반영하여 좀 더 실제에 가까운 계통검토가 이루어 질 수 있도록 노력 하여야 할 것이다. 금년 여름철 우리나라는 사상 최초로 50,000MW 수요를 넘게 되었다. 이를 순조롭게 넘을 수 있었던 것은 산업계와 학계 모두의 노력으로 이루어진 결과라 생각된다.

[참 고 문 헌]

[1] Alstom,"Network/Functional Design Specifications", Ver EMP 2.1.0, 1999

[2] PSS/E,"Program Application Guide",Ver29, 2003

[3] 산업자원부, 공고 20 2002-158호, "제1차 전력수급 기본계획(2002~2015년),2002.8.17

[4] 한국전력거래소, 계통운영처, 계통기술팀 "2004년도 하절기 첨두부하시 전력계통 안정운영 방안", 2004. 5