

전력계통 안정을 위한 공급예비력 적정수준에 대한 연구

(A research of optimum supply reserve levels for stability of power system)

안대훈* · 권석기 · 주행로 · 신중선

(Dae-Hoon Ahn · Seok-Kee Kwon · Haeng-Ro Joo · Jung-Sun Shin)

Abstract

Because of the high increasing rate of load demand, these days the necessity of deciding what optimum reserve level is appropriate to most stably supply electricity is being emphasized. This research studies the downward tendency of reerve ratio by analyzing the trend of change of the network scale, reserve, and reserve ratio while optimum reserve has been increased as the network system scale grow up. This means, at this moment 6,000MW is optimum level for short term prospect of power supply and demand. And also, it has been analyzed that, as the annual peak load exceeded 50,000MW, confirming the amount of optimum reserve level is more stable than keeping 10 to 12% reserve ratio.

1. 서 론

전력시장운영규칙 [별표3] 전력계통 운영기준에 의거 예비력은 주파수조정예비력, 대기·대체예비력으로 발전설비 불시정지 및 수요예측 오차 등에 대비하여 120분 이내 확보할 수 있는 운영예비력은 400만kW기준으로 운영하고 있다. 그러나 불시 정지된 발전기의 정비를 위한 장시간 소요와 연간 계획된 발전기 정지일정 착수에 따라 익일 최대전력 발생시간대에는 예비력부족으로 수급불안이 예상된다.

최근 전력수요의 높은 증가율에 따라 “현 시점에서 예비력은 얼마만큼 가져야 할 것인가?” 하는 재검토 필요성과 지구온난화 등 기후변화에 따른 이상기온 발생시를 대비할 등·하절기 전력수급 안정과 발전기 정지계획의 합리화 수립을 위한 공급예비력 적정수준 확립이 요구되고 있다[4].

이는 전력사업의 목적은 값싼 전기를 중단 없이 안정적으로 공급하는 것이다. 즉, 신뢰성과 경제성 그리고 안정성의 3요소를 갖추어야 한다. 신뢰성만을 생각한다면 전력회사는 가능한 많은 설비를 확보하면 되지만 이 결과는 과도한 투자로 필연적으로 전기 요금의 상승을 가져오고, 반대로 경제성만 고려한다면 설비 투자 기피로 고객이 원하는 전력을 충분히 공급 할 수 없게 된다. 따라서 신뢰성과 경제성을 고려하고 안정적으로 전력을 공급하기 위해서는 적절한 예비력을 보유하여야 한다.

또한, 2007년 8월 최대전력수요가 6,229만kW를 기록하면서 예비력과 예비율의 혼재사용에 의한 혼란을 방지하기 위한 용어의 정립이 요구되고 있는데 현재까지 우리나라는 전력을 안정적으로 공급할 수 있는 여

유 능력을 주로 예비율로 표시하여 왔다. 예비력 또는 예비율은 둘 다 여유 능력을 표현하는데 예비력은 전력수요 증가에 따라 요구되는 예비력도 증가하지만 예비율은 이와는 반대로 수요가 증가하면 적정 예비율은 낮아지는 경향을 보인다. 예를 들어 전력수요가 1,000만kW일 때 적정 예비율이 20%이면 200만kW의 예비전력이 필요하지만 수요가 5,000만kW일 때의 적정예비율은 12% 전·후로 예비전력은 600만kW가 된다.

이에 따라 전력계통 안정을 위한 적정수준 공급예비력은 얼마만큼 가져야 할 것인가? 에 대한 적정수준 공급예비력 산출과 계통규모 증가와 함께 예비력 및 예비율 추이분석을 통하여 사용용어 통일안 필요성이 요청되고 있다.

본 연구에서는 계통규모에 있어 예비력 변화 추이를 분석해보고 장·단기 및 실시간 운영 전력수급계획에 적용되는 예비력 근거 제시와 최대전력과 예비력(율) 실적 분석을 통한 공급예비력 적정수준을 산출하여 전력계통을 안정적으로 운영하는 방안을 제시하는데 있다.

2. 년도별 최대전력과 예비력 변화에 대한 고찰

2.1 예비력의 종류와 특성

예비력은 크게 나누어 설비예비력과 공급예비력 또는 운영예비력으로 나눌 수 있고 운영예비력은 다시 운전예비력, 대기예비력 또는 10분 예비력, 30분 예비력 등 국가에 따라 다소 분류하는 방법에 차이가 있다. 일반적으로 예비력은 <그림1>와 같이 분류할 수 있다.

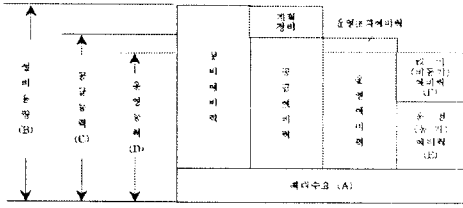


그림 1. 예비력의 분류

Fig 1. Reserve classification

가. 설비예비력(Installed Reserve) : 연간 최대수요를 초과하여 보유하고 있는 설비용량으로 장기전력수급계획에 사용한다[3].

$$\begin{aligned} \text{설비예비력(MW)} &= \text{설비용량(B)} - \text{최대수요(A)} \\ \text{설비예비율(\%)} &= \text{설비예비력} \div \text{최대수요} \times 100 \end{aligned}$$

나. 공급예비력(Supply Reserve) : 총 설비용량에서 발전기 정비 등 예측 가능한 출력 감소분을 제외한 공급가능용량과 최대수요와의 차이로 공급예비력은 단기수요예측 오차, 발전기 고장, 계통의 주파수 조정 및 부하의 순시 변동 등의 발생시에도 원활한 전력공급을 하기 위하여 향후 1일~2년간 단기전력수급계획에 사용한다.

$$\begin{aligned} \text{공급예비력(MW)} &= \text{공급능력(C)} - \text{최대수요(A)} \\ \text{공급예비율(\%)} &= \text{공급예비력} \div \text{최대수요} \times 100 \end{aligned}$$

다. 운영예비력(Operating Reserve) : 운영예비력은 실질적인 계통운영에 필요한 예비력으로 공급예비력에서 운영예비초과로 정지(급전정지)중인 발전기의 용량을 뺀 값이다. 운영예비력은 계획 이외의 예상치 못한 전력수급의 상황에서도 안정된 전력공급을 위하여 확보하는 것이다, 운영예비력은 운전상태의 여력인 주파수조정예비력과 수력이나 가스터빈 같이 정지상태이나 언제든지 기동이 가능한 대기예비력 및 120분 이내에 기동가능한 대체예비력으로 구분할 수 있다[2].

$$\begin{aligned} \text{운영예비력(MW)} &= \text{운영능력(C)} - \text{최대수요(A)} \\ \text{운영예비율(\%)} &= \text{운영예비력} \div \text{최대수요} \times 100 \end{aligned}$$

라. 전력시장에서의 운영예비력 운영기준

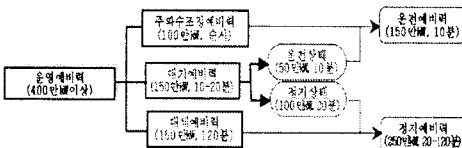


그림 2. 전력시장에서의 운영예비력 운영기준
Fig 2. Operational reserve standards in power market

2.2 계통규모와 예비력(율) 변화 동향

장기 계획상 계통규모와 예비율 수준 변화를 보면 계통규모가 증가할수록 적정예비력은 증가하고 있는 반면에 예비율은 하락하는 추세를 나타내고 있다.

2001년 이전은 예비력 보다는 예비율 위주로 운영되었으나, 이후 발전경쟁 시장에서 운영예비력 400만kW 도입으로 예비력과 예비율을 병행하여 사용되어 왔다.

그러나 현재시점에서는 예비력과 예비율의 혼재사용에 의한 혼란을 방지하기 위하여 통일(안) 정립이 요구되고 있다. 예를 들어 최대전력이 1,000만kW일 때 적정 예비율이 20%이면 200만kW의 예비력이 필요하지만, 최대전력이 5,000만kW일 때의 적정예비율은 12%전후로 600만kW가 된다. 표는 예비력 변화 동향을 나타낸 것이다.

구분\년도		1991	1995	2001	2005	2007
계통규모		2,111	3,218	4,975	6,173	6,720
최대전력		1,912	2,988	4,313	5,463	6,229
예비율 수준	설비	20~23 (400)	18~20 (550)	16~18 (700)	15~17 (850)	15~17 (850)
	공급	14~15 (250)	13~14 (350)	17~19 (300)	10~12 (550)	10~12 (650)
운영예비력기준		-	-	400	400	400

표 1. 계통규모와 예비력(율) 변화 동향
Table 1. The trend of change of the network scale and reserve(reserve ratio)

2.3 천만kW단계별 돌파년도 최대전력과 예비력(율) 실적 변화

80년대 중반까지는 수요증가 둔화로 인해 예비력 과다로 발전소 건설계획이 연기 또는 취소되는 현상이 발생되었으며 1988년 올림픽 이후 수요급증으로 1990년초 예비력이 부족하여 발전소 긴급 건설 등 비상체제 운영에 돌입하였다. 이 시기인 1994년 최대전력은 2,670만kW에 예비력은 73.5만kW(2.8%)로 가장 낮은 최저예비율을 나타내었고, 올림픽 이전 1986년 최대전력은 992만kW에 예비력은 607만kW(61.2%)로 가장 높은 최대예비율을 기록되었다.

2000년이후 천만kW단계별 증가하는 최대전력 경신은 5년에서 2년으로 속도를 가세하고 있는 실정이다.

구분\수요수준 (년도)	1,000 ('87)	2,000 ('92)	3,000 ('96)	4,000 (2000)	5,000 ('04)	6,000 ('07)
설비용량	1,902	2,343	3,572	4,788	5,913	6,720
공급능력	1,672	2,174	3,429	4,608	5,752	6,678
최대전력	1,104	2,044	3,228	4,101	5,126	6,229
예비력	568	130	201	507	826	449
예비율	51.5	6.4	6.2	12.4	12.2	7.2

표 2. 천만kW단계별 최대전력 및 예비율 변화
Table 2. The change of peak load and reserve according to 10,000MW unit

2.4 최근 5년간 전력수급실적 및 전망
최근 5년간 최대전력 증가율은 경제성장과 더불어

6.4%의 높은 증가율을 나타내고 있다. 그러나 늘어나는 전력수요와 함께 발전설비 건설은 장기간 소요되는 공정으로 갑작스런 전력수요에 대처하지 못하는 사례가 90년대 초반에 있었고 향후에도 이 같은 상황은 나타날 것으로 예상된다. 예를 들어 '07년 전력수급 전망 시 최대전력은 6,150만kW, 공급예비력은 604만kW(9.8%)로 운영되었는데 계획 대비 전력수요는 79만kW 증가와 화력 및 복합화력 발전기 불시 정지로 76만kW 감소를 나타내었으며 이때의 공급예비력은 449만kW(7.2%)로 '97년 이후 가장 낮은 예비력을 기록하였다.

그림 3. 년도별 최대전력 실적 및 전망

Fig 3. The records and prospects for the peak load by year

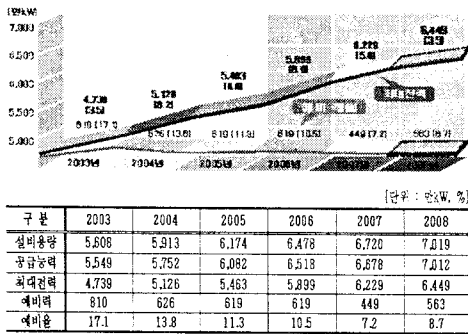


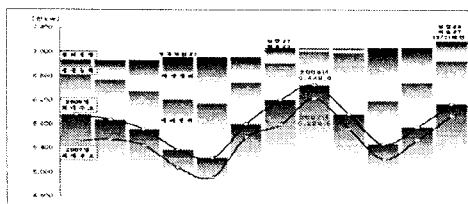
표 3. 년도별 최대전력 실적 및 전망

2.5 2008년도 월별 전력수급전망

연중 전력수요와 공급의 균형유지를 위하여 원자력 발전기의 핵연료 교체주기를 고려하고 범정검사가 예정되어 있는 발전기의 정지일정 최대반영과 월별 공급 능력 확보를 위해 발전기 예방정비 일정 분산 조정으로 공급예비력은 563~1,028만kW, 예비율은 8.7~17.2%를 확보하여 운영중에 있다. 특히 여름철 최대전력 피크가 예상되는 8월의 공급예비력(율)은 563만kW(8.7%)로 운영예비력보다는 다소 높은 편이나 발전기 불시고장 및 이상기온시를 대비하여 37만kW 정도의 확보 대책이 요구되고 있다[5].

그림 4. 2008년도 월별 전력수급전망

Fig 4. Monthly power supply and demand in 2008



구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
설비용량	6,630.6	6,946.6	6,852.2	6,910.0	6,910.0	7,093.3	7,093.3	7,093.3	7,093.3	7,093.3	7,093.3	7,093.3
공급능력	6,076.9	6,531.9	6,382.2	6,244.5	6,373.8	6,485.9	6,810.4	7,012.0	6,983.1	6,186.5	6,460.5	6,646.5
최대전력	5,875.5	5,883.3	5,713.9	5,972.0	5,265.5	5,904.5	6,204.4	6,480.0	5,950.9	5,483.5	5,742.6	6,131.8
(증가율)	62.9	65.9	65.0	65.9	66.5	64.0	71.1	73.9	64.2	64.7	63.9	63.2
예비전력	648.4	665.6	628.3	622.5	922.3	681.4	636.0	563.0	1,028.2	720.0	727.9	714.7
예비율	10.9	11.3	11.0	10.5	14.2	11.7	9.8	8.7	14.2	13.2	12.7	11.7

표 4. 2008년도 월별 전력수급전망

Table 4. Monthly power supply and demand in 2008

3. 공급예비력 적정수준 산정

3.1 전력공급 부족시 조치 기준

전력시장운영규칙 제5.1.4조(전력공급 부족시 조치)에 의거 전력계통에서는 공급부족시 조치 기준이 관심-주의(경보3급)-경계(경보2급)-심각(경보1급)순으로 4 단계 운영되고 있다[1].

예상수요에 대한 중앙급전발전기 부급가능 용량 여유(만kW)	부족한 공급가능 용량 정보수준	필요조치사항
300~400	관심(Blue) -	○ 비상전력수급대책 기구 구성 준비 ○ 추가 공급가능용량 확보(Cold 상태에서의 가동시 정지시간 초요되는 발전기 가동작사)
200~300미만	주의(Yellow) 3급	○ 비상전력수급대책 기구 구성 운영 ○ 수요조절 준비 ○ 추가 공급가능용량 확보(비중앙급전발전기 포함)
100~200미만	경계(Orange) 2급	○ 수요조절 시행 ○ 계획된 발전정지계획의 변경을 포함한 발전기 공급가능 용량 유지 또는 향상
0~100미만	심각(Red) 1급	○ 긴급 무하조치 - 계통주파수 및 전압조정에 의한 무하조절 - 필요시 무하작전

표 5. 전력공급 부족시 조치 기준

Table 5. Measures in an electric power shortage

3.2 단기 전력수급을 운영예비력으로 운영시

운영예비력을 년·월간 발전기 정지계획 수립을 위한 단기 전력수급에 적용할 경우 원자력 및 기력발전기 불시정지 및 수요예측 오차 발생시 전력공급 부족으로 수급경보가 발령된다. 또한 100만kW 발전기가 고장으로 장시간 정비를 요할 시에는 대체예비력으로 공급이 가능하지만 이후에는 예비력을 확보할 수 없어 발전기 정비완료시까지 전력수급 불안은 지속될 것이며 운영예비력이란 실시간 계통운영용이다.

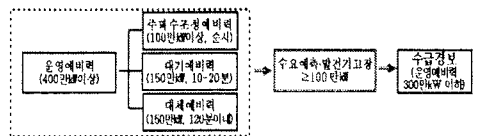


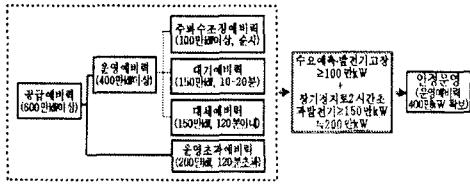
그림 5. 운영예비력으로 운영시

Fig 5. Operating in accordance with Operational reserve

3.3 단기 전력수급을 공급예비력으로 운영시

공급예비력을 년·월간 발전기 정지계획 수립을 위한 단기 전력수급에 적용할 경우 원자력발전기 2기 동시 정지 또는 최근 10년간 여름철 정상기온은 32.5°C 대비 2°C(100만kW증가/°C) 높은 이상기온 시에도 운영예비력을 확보할 수 있어 전력수급 안정운영을 기할 수 있다.

또한 최근 지구온난화 등 기후변화에 따른 이상기는 발생시를 대비할 등-하절기 전력수급 안정과 발전기 정지계획의 합리화 수립을 위해 공급예비력 적정수준을 산출하여 운영할 필요가 요구된다[4].



※ 운영예비초과 예비력으로는 장기정지 발전기가 포함 (서울, 인천화력 등 : 200만kW)

그림 6. 공급예비력으로 운영시

Fig 6. Operating in accordance with supply reserve

3.4 공급예비력 확보량 산출

공급예비력은 운영예비력에 운영초과예비력을 합친 예비력으로 단기 전력수급 및 발전기 정지 계획 수립에 없어서는 안 될 가장 중요한 필수요소이다.

이러한 예비력 확보가 불가능 하다면 전력공급 지장은 물론이요 주파수 및 전압의 전기품질 또한 저하하는 사례가 발생할 우려가 있다. 이를 대비하기 위한 운영초과예비력 확보량을 최근 5년간의 실적분석을 통해 약 175만kW가 적정수준이라는 결과를 확인할 수 있었다.

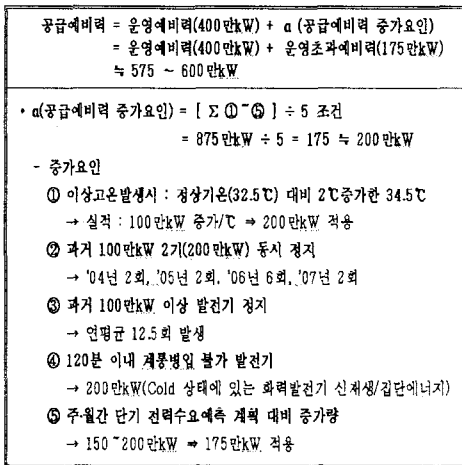


그림 7. 공급예비력 확보량 산출

Fig 7. Calculation of the confirmed amount of supply reserve

3.5 공급예비력 600만kW로 운영한 실적 분석

'07년 단기 전력수급 전망에서 년·월간 공급예비력 600만kW로 운영한 결과 발전기 불시정지 및 전력수요

증가로 인하여 예비력 600만kW 미만의 일수가 12회 발생 되었다. 또한 년중 최소 공급예비력은 429만kW로 운영예비력보 약간 상회하여 전력계통에 안정적 운영을 기하였으며 <그림8>에서와 같이 예비력 1200~2400만kW가 표시된 곳은 주말 또는 특수경부하 기간(구정, 추석)의 전력수요가 낮은 부분을 나타낸 것이다.

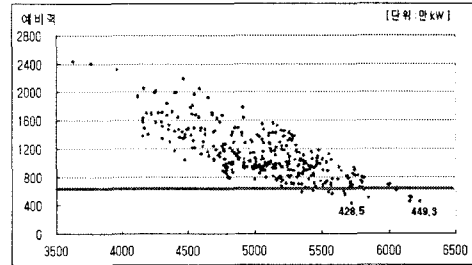


그림 8. 365일 최대전력과 공급예비력 운영 실적

Fig 8. The records of 365 days' peak load and supply reserve

3.6 계획 수립시 적용되는 예비력 종류 및 확보량 계통규모와 예비력(율) 변화 동향 분석 및 공급예비력 확보량 산출에 근거하여 단기 전력수급계획에 적용되는 공급예비력의 적정수준은 575~600만kW이라 여겨진다. 중·장기 전력수급계획에 적용되는 설비예비력 및 실시간 운영용인 운영예비력과 예비력 활용은 아래 표에 근거하여 운영되고 있다.

구분	중·장기계획	단기계획	실시간운영
적용예비력	설비예비력	공급예비력	운영예비력
예비율(율)	설비용량 15~20%수준	575~600만kW	400만kW
기간	2~15년	1일~2년	24시간
관련근거	○선자부담고 [제3차 전력수급기본계획]	○계통규모에 따라 탄력적 운영	○전력시장운영규칙 ○선자부고시 [전력계통 신뢰도 및 전기 품질 유지기준]
예비력활용	○연간 최대수요를 초과하여 보유하고 있는 설비용량 ○주월간 전력수급계획에 사용	○년·월간 최대수요를 초과하여 보유하고 있는 공금융량 ○월간기 정지계획 및 중·차 월기 전력수급계획에 사용	○일일 최대수요를 초과하여 보유하고 있는 운영용량 ○일일 전력수급계획 및 실시간 운영에 사용

표 6. 예비력의 종류 및 적정 예비력수준

Table 6. The classification of reserve and optimum reserve level

4. 결론

본 연구에서는 년도별 계통규모와 예비력(율)의 변화 동향 분석을 통하여 계통규모가 증가할수록 적정 예비력은 증가하고 있는 반면에 예비율은 하락하는 추세를 보이고 있는 것이 확인되었다. 그러나 계통규모

가 증가할수록 예비력도 계속 증가하는 것이 아니라 적정수준의 예비력이 확보된다면 전력계통을 안정적으로 운영할 수 있다는 것이 최근 5년간 실적분석을 통하여 입증되었으며 현재시점에서 단기 전력수급전망에 적용되는 공급예비력으로 산정한 600만kW는 적정수준이라 여겨진다.

또한 우리나라의 최대전력수요가 5,000만kW를 넘어 서면서 과거와 같이 예비율로 적용시 적정예비율인 10~12%로 계산하면 500~600만kW를 확보해야 하고 금년도 전망인 최대전력 6,449만kW라 한다면 650~770만kW의 예비력이 필요하다. 이와 관련하여 금년도 공급예비력은 563만kW에 불과해 예비율 수준으로는 턱없이 부족한 상태로 보이지만 공급예비력 확보량 산출을 통한 예비력 적정 수준에 근접하다는 것을 알 수 있다. 따라서 현재의 시점에서 예비율(%)보다는 예비력(만kW)으로 관리하는 것이 요구된다.

향후에도 증가하는 전력수요의 대책 강구를 위해서도 본 연구에서 사용된 공급예비력 산정 기준은 매우 중요하다고 여겨지며 이 자료를 근거로 체계적인 검토가 요구되며 계통관련 업무에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 전력시장운영규칙, 한국전력거래소, 2008. 1
- [2] 한국전력거래소, 적정운영예비력 확보기준 및 확보량 산정에 관한 연구, 2002. 10
- [3] 주행로, 전력산업 구조개편에 따른 적정 예비력 확보방안에 관한 연구, 서울대학교 한전경영자과정 논문, 2004. 12
- [4] 안대훈, 공급예비력 적정수준 검토 보고서, 한국전력거래소, 2007. 4
- [5] 안대훈, 2008~9년 전력수급전망 및 발전기정지계획 보고서, 한국전력거래소, 2007. 10