

운영예비력 확보용량 기준 개선에 대한 연구 : 계시별 부하정수를 반영한 가변주파수조정예비력 산정 방안

김 선 교, 문 승 필, 서 인 용 / 한국전력공사

1. 서 론

전력산업은 전통적으로 정부 규제 하의 수직 통합 형태의 독점 기업 혹은 공공기관이 운영하는 것이 보편적이였다. 그러나 1980년대 이후 미국, 영국을 필두로 하여 세계 여러 국가에서는 전력산업에 경쟁을 도입하여 탈규제화, 구조개편을 추진해왔다. 이러한 변화과정 속에서, 과거 수직통합구조의 단일 기업에서 공급하던 계통운영 보조 서비스는 새롭게 전력시장의 상품으로서 거래되기 시작했다. 과거 계통운영의 안정성을 주로 고려되며, 계통 운영의 일상적인 기능으로 간주되었던 보조서비스는 경쟁 시장의 출현에 따라 경제적 측면을 이전보다 더 중요하게 고려하게 되었다.

예비력은 보조서비스의 하나로서, 수요와 공급을 상시 일치시켜 계통 주파수를 유지하는 것을 목적으로 한다. 즉, 예비력은 수요변동의 불확실성, 수요예측 실패, 발전 및 송전 설비의 예측하지 못한 고장 등의 상황에 대처하기 위한 공급의 여유용량을 의미한다. 우리나라 전력수요는 다른 선진국과 다르게 급증하는 반면 환경제약, 여론수렴의 문제, 이해관계자간 대립 등의 이유로 증가하는 전력수요에 전력공급 능력이 충분히 확보되지 못해 전력계통 운영의 안정성에 우려의 목소리가 커지고 있다. 또한 신재생에너지원의 확산에 따른 공급불안정에 대한 우려가 가시화됨에 따라 '예비력을 얼마나 확보하여 운영해야하는

지'에 대한 문제는 매우 중요해지고 있다.

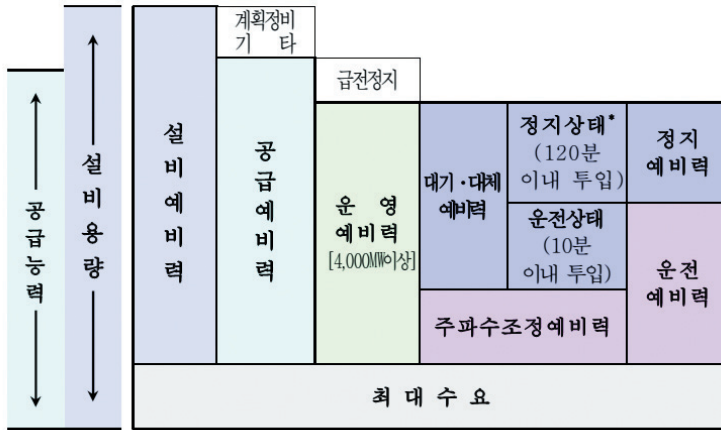
단순히 안정적인 측면을 고려해서 많은 예비력을 확보하여 운영한다면 계통 불안정성 문제는 해소시킬 수 있으나 전력생산비의 증가로 경제적 측면에서 지나친 낭비를 초래할 수 있다. 따라서 예비력의 확보용량은 안정성뿐만 아니라 경제성도 고려해야한다.

2. 예비력 개요

예비력은 전력수요 초과 발전력으로 정의되며, '전력시장운영규칙'에서는 "예측수요의 오차, 발전기 불시고장 등으로 인하여 전력수급의 균형을 유지하지 못할 경우를 대비하여 전력수요를 초과하여 보유하는 발전력으로 공급예비력과 운영예비력으로 구분한다.

표 1 전력시장운영규칙 상의 예비력의 정의

항목	정 의
예비력	예측수요의 오차, 발전기 불시고장 등으로 인하여 전력수급의 균형을 유지하지 못할 경우를 대비하여 전력수요를 초과하여 보유하는 발전력으로 공급예비력과 운영예비력으로 구분한다.
공급예비력	우선적으로 확보해야 하는 운영예비력과 이를 초과하여 급전정지 중인 발전력을 말한다.
운영예비력	전력계통의 신뢰도 확보를 위하여 주파수조정 예비력과 전력거래소의 급전지시 후 120분 이내(동·하계전력수급대책 기간은 20분 이내)에 확보 및 이용이 가능한 대기·대체예비력을 말한다.
운전예비력	주파수조정예비력과 대기·대체예비력 중 운전상태를 말한다.



* 정지상태의 경우, 동·하계 전력수급대책기간에는 20분 이내 이용 가능

그림 1 예비력의 개념

표 2 운영예비력 확보기준

개정 전		개정 후			확보시간
예비력	확보량(400만kW)	예비력	기간	확보량(400만kW)	
주파수 조정	1,000MW	주파수 조정		1,500MW	수초(sec)
대기	· 운전상태 : 500MW	대기	동·하계 수급기간	· 운전상태 : 1,500MW	10분
	· 정지상태 : 1,000MW			· 정지상태 : 1,000MW	20분
대체	1,500MW	대체	일반기간	· 운전상태 : 1,000MW	10분
				· 정지상태 : 1,500MW	120분

표 3 주파수조정예비력의 구성

구성	의미 및 용량 산정 기준
주파수 유지 예비력 (1차 응답)	주파수 변동 초기에 응동하는 주파수 조정용량으로서 주파수 변동 시 10초 이내에 발전력이 응동하여 30초이상 출력유지가 가능한 발전력으로 G,F(Governor Free)에 의해 응답되는 주파수 조정량
	계통주파수가 ±0.2Hz 변동 시, 응동가능용량 기준으로 산정
주파수 복구 예비력 (2차 응답)	1차 응답후 정상 주파수 유지범위로 회복시키기 위한 발전력으로서 30초 이내에 발전력이 응동하여 30분간 지속 가능한 발전력으로 AGC 보유예비력 및 출력 증발에 의한 주파수 조정량
	자동발전제어서비스(AGC)는 5분 동안 제공 가능한 용량으로 산정

대비하여 전력수요를 초과하여 보유하는 발전력"을 의미하며 크게 공급예비력과 운영예비력으로 구분할 수 있다. 현재의 예비력 기준은 지난 2011년 9월 15일 순환 정전사고 이후 개정된 것을 사용하고 있다. 개정 이후의 예비력의 정의는 다음과 같다.

9.15 순환단전 후, 예비력 중 일간 계통운영의 안정성을 위해 확보해야하는 운영예비력의 중요성이 다시 환기되었다. 이에 따라 운영예비력 중 빠른 응동특성을 가지는 예비력의 필요용량이 증가 되었다.

주파수조정예비력은 계통에 병입하여 운전하는 발전기의 주파수추종(Governor Free)과 자동발전제어(AGC)의 운전에 따라 30초 이내에 자동으로 응동할 수 있는 예비력으로 주로 미수요변화 및 원활한 주파수 유지를 목적으로 한다. 현재 전력시장운영규칙에서 주파수조정예비력은 주파수유지예비력과 주파수복구예비력으로 구분된다.

위 표 3에서와 같이, 주파수조정예비력은 30초 이내 응동하여 5분 내의 짧은 기간 동안에 증가시킬 수 있는 출력을 의미한다. 정지 상태의 발전기가 수 분 이내에 계통에 투입되어 원하는 출력만큼 확보하는 것은 일반적으로 어렵기 때문에 기력, 복합, 수력 및 양수 중 석탄화력을 제외한 발전기의 입찰공급용량의 95%를 발전기 기준출력 상한치로 설정하여, 주파수조정예비력 용량을 확보한다.

3. 현행 운영예비력 확보 용량 기준의 문제

우리나라 계통규모가 증가하고, 발전기 단위기 용량 또한 커졌으므로 신뢰도 유지를 위해서는 운영예비력 확보용량이 커질 필요가 있다는 시각이 일부 존재한다. 그러나 계통규모의 확대에 따라 단위 발전기의 탈락이 주파수 변화에 미치는 영향은 감소하고,

부하 예측기술의 발전으로 예측오차가 낮아질 수 있기 때문에 운영예비력 확보용량 증가가 필요 없다는 견해도 상존한다.

여기서 더욱 중요하게 고려해야하는 사실은 운영예비력에서 '어떤 예비력을 감소시키고, 증가해야하는지'를 원인에 따라 분류해야한다는 것이다. 앞서 2장에서 설명한 것처럼 운영예비력은 그 목적에 따라 주파수조정예비력과 대기·대체예비력으로 분류되어 있다. 각 예비력의 목적이 상이한 측면이 있기 때문에, 각 예비력이 담당하는

표 4 주파수조정예비력의 확보용량 변경과 산정이유

기준	확보용량	용량 산정 이유
2011.12 개정 이전	1,000MW	전력수요 순시변동 실적을 고려한 필요량(500MW)과 계통 주파수의 원활한 조정에 필요한 전력수요의 1~2% 수준을 고려한 필요량(500MW)을 합한 1,000MW 이상을 확보
2011.12 개정 이후	1,500MW	전력수요 순시변동을 고려한 필요량(1,000MW)과 계통 주파수의 원활한 조정 필요량(500MW)을 합한 1,000MW 이상을 확보

표 5 국내 및 ERCOT 운영예비력 기준 비교

주파수 제어	국내 기준		ERCOT 기준	
	명칭	소요량 (MW)	명칭	소요량 (MW)
AGC	주파수제어	≥ 1,500	주파수조정	800
GF	예비력		응답 예비력	600
3차	대기예비력	순동 ≥ 1,500 정지 ≥ 1,000	비순동 예비력	1,710
	대체예비력		대체예비력	내부적 산정
운영 예비력	≥ 4,000		3,110	

기능을 고려해야 해당 용량을 결정해야한다.

9.15 순환정전 이후 개정된 운영예비력 확보기준에서 주요한 변화 중에 하나는 주파수조정예비력의 용량이 1,000MW에서 1,500MW로 상향조정되었다는 것이다. 2001년부터 2011년까지 유지되었던 주파수조정예비력의 용량 산정 기준과 2012년 이후 현재까지의 용량 산정 기준은 다음의 표 4와 같다.

9.15 순환정전 이후, 순시변동을 고려한 필요량을 과거 5,00MW에서 1,000MW로 상향조정하였는데, 전력 최대수요가 2000년에 41,000MW에서 2013년 76,522MW로 증가하였다는 사실을 고려하면 타당한 사유로 해석될 수 있다. 그러나 우리나라와 규모가 비슷하지만 변동성을 더 크게 야기하는 풍력용량이 22배 정도 큰 미국 텍사스 ERCOT의 주파수조정예비력 용량이 1,400MW라는 사실을 고려한다면, 주파수조정용량이 과도하게 산정되었다고 볼 수 있는 측면이 있다.

4. 주파수조정예비력 확보용량 산정 개선 방향

과거 및 현재 주파수조정예비력 용량 산정 기준에서는 부하의 주파수특성이 고려되지 않았다. 즉, 전동기(motor) 부하가 주파수 변동을 스스로 억제하려는 성질로 부하의

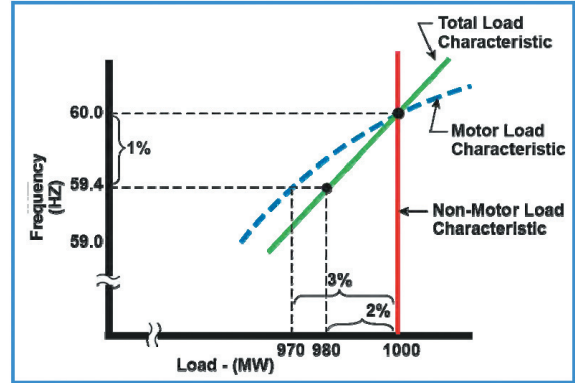


그림 2 주파수 저하에 따른 부하 자연감소 특성, EPRI

성질 및 구성 종류에 따라 값이 결정된다. 이러한 부하의 주파수특성은 부하정수로 계량화되며 일반적으로 주파수가 1% 하락하면 부하는 약 2% 감소된다.

부하의 주파수특성에 따른 자연 감소하는 부하의 크기는 전동기 부하의 비중 및 크기에 따라 상이하다. 오전 11시~오후 2시 부하의 크기가 높은 피크부하 기간 중에 전동기 부하 비중과 크기 역시 높기 때문에, 역설적으로 필요한 주파수조정예비력의 용량은 낮을 수 있다. 즉, 계절과 시간에 따라 상이한 부하정수의 특성을 반영하여 주파수조정예비력 용량을 가변적으로 적용한다면 계통의 안정성은 그대로 유지하면서 경제성은 향상시킬 수 있다.

5. 가변 주파수조정예비력에 따른 경제적 효과

주파수조정예비력은 운영예비력에서 가장 응동능력이 뛰어난 예비력이며, 추가적인 발전비용을 야기한다. 주파수조정예비력 용량 감소로 얻게 되는 경제적 효과를 설명하기 위해 변동비가 싼 원자력 및 석탄은 최대출력만큼 출력이 할당되고 상대적으로 변동비가 비싼 LNG 발전기가 SMP를 결정하고 있는 상황을 가정하였다.

만약 계통에 투입된 LNG발전기에서 확보할 수 있는 주파수조정예비력 용량이 1,000MW라면, 필요용량 1,500MW를 확보하기 위해 저렴한 석탄발전기는 500MW 감발하여야하고 수요를 감당하기위해 정지상태에 있던 LNG 발전기가 500MW만큼 추가 발전되어야한다. 석탄발전기의 출력 중 500MW가 더 비싼 LNG 발전기로 대체되었으므로 주파수조정예비력 확보이전 상태에 비해 총 발

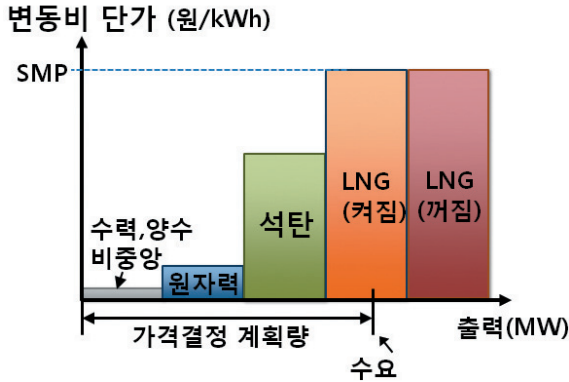


그림 3 주파수조정예비력 배제 시, 출력배분

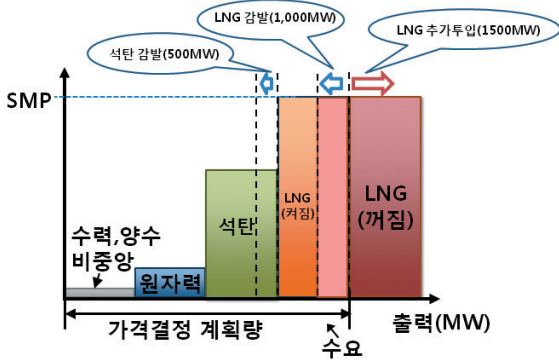


그림 4 주파수조정예비력 산정 시, 출력배분 변화

전비용은 $500,000\text{kW} \times (\text{LNG 변동비} - \text{석탄 변동비}) \times 8760\text{시간}$ 만큼 증가하게 된다. 물론 실제계통에서는 같은 종류의 연료를 사용하더라도 각 발전기의 변동비는 상이할 수 있기 때문에, 가스-가스 간 대체에 의해서도 추가적인 비용이 발생된다.

주파수조정예비력 산정 시 부하의 주파수특성을 고려한다면, 평균적으로 200MW에서 350MW 정도의 주파수조정예비력 필요용량을 감소시킬 수 있을 것으로 파악된다. 이 때 얻게 되는 경제적 효과는 석탄과 가스 발전기의 대체 시 발생하는 비용을 고려한다면 현재 기준 연간 1,500억 원에서 2,500억 원의 전력생산비를 감소시킬 수 있을 것으로 추정된다.

5. 결 론

운영에비력 기준의 변화와 원인을 분석하고, 경제성을 향상시킬 수 있는 주파수조정예비력 산정방안을 제시하였다. 계절과 시간별 상이한 부하정수를 주파수조정예비력 산정에 고려한다면, 현재의 안정성은 유지하면서 더욱더 합리적으로 전력계통을 운영할 수 있다. 특히 운영에비력 중, 주파수조정예비력은 가장 큰 비용을 유발시키기 때문에 효율적 운영이 필요하다. 향후 세부적 연구를 통해 부하정수의 산정, 계시별 적정 주파수조정예비력의 산정방안을 검토할 예정이다.

참고문헌

- [1] 지식경제부, “전력시장운영규칙”, 2013
- [2] 류성호, 이강완, 김광원, 황갑주, “전력시장에서의 적정 운영에비력 기준에 관한 연구”, 전기학회논문지 제52A권 제5호, 287-293, 2003
- [3] Y. Rebours, “A Comprehensive Assessment of Markets for Frequency and Voltage Control Ancillary services,” PhD. dissertation, School of Electrical and Electronic Engineering, University of Manchester, U.K., 2008.
- [4] UCTE OpHB-Team, UCTE Operation Handbook Policy 1: Load-Frequency Control and Performance, UCTE, 2004.
- [5] 지식경제부, “정전재발방지를 위한 단기제도 및 비상대응체계 개선연구(최종보고서)”, 2011
- [6] 류성호, “경쟁적인 전력시장에서의 보조서비스 운영방안에 관한 연구”, 한양대학교, 석사논문, 2000.6
- [7] 문승필, 채재용, 이재봉, 윤용범, “수요자원의 운영에비력 활용을 통한 에너지비용 절감방안, 2012대한전기학회 전력계통·전력경제연구회 공동 춘계학술대회 논문집, 2012