

계통기여도를 반영한 주파수추종운전 성능 평가에 관한 연구

변성현*, 신중선*, 여현근*, 전영환**
한국전력거래소*, 홍익대**

Research of Governor free Respose calculated by power system contribution

Sung-hyun Byun*, Jung-sun Sin*, Hyun-keun Rju*, Young-hwan Jeon**
Korea Power Exchange*, Hongik University**

Abstract - 현 CBP(Cost Based Pool)에서 주파수조정은 전기 품질유지와 전력계통 안정성 확보에 절대적으로 필요한 계통운영보조서비스의 항목이다. 이는 해외 전력계통에서도 예외없이 채택하여 적용하고 있으며 적극적인 참여를 유도하기 위하여 다양한 비용보상 방안을 시행하고 있다. 순시 주파수조정은 발전기 조속기 특성에 따라 다양한 출력응동특성을 가지고 있으며 이에 따라 계통에 기여하는 바도 달라지게 된다. 따라서 주파수조정에 참여하는 발전기의 계통기여도에 따른 주파수추종운전 능력에 대한 평가를 계량화할 수 있는 방법이 요구된다.

1. 서 론

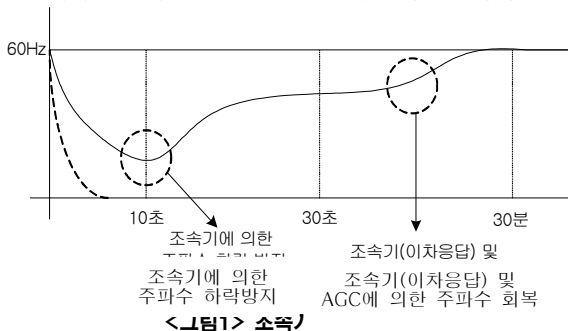
최근 전력산업은 소비자의 사회참여가 확산되고 양질의 전력 서비스에 대한 욕구 증가함에 따라 주파수조정, 예비력 등의 계통운영보조서비스에 대한 중요성이 점차 부각되고 있다. 이 중 주파수조정서비스는 실시간 전기품질 유지와 전력계통 안정성을 확보하는데 있어 중대한 영향을 미치므로 상시 필요자원을 확보해야 한다.[1] 따라서, 전력계통 운영자는 발전기에서 제공하는 주파수추종 능력에 대한 평가방법을 계량화하고 이에 상응한 비용을 보상함으로써 경쟁적 전력시장 환경에서 안정적인 주파수 조정 자원을 확보해야 할 필요성이 있다.[2]. 그러나, 아직까지는 선진 해외전력사에서도 계통에 실제 기여한 능력에 따라 발전기의 주파수추종운전 능력을 평가하는 방법이 없는 실정이다.

본 논문에서는 전력계통에 기여도를 측정하여 주파수추종운전 성능을 평가하는 원리, 방법 및 영향에 대해 설명하고자 한다.

2. 본 론

2.1 계통주파수와 조속기(Governor)의 관계

부하변동 또는 전력설비 고장 등으로 발생하는 전력수요와 공급의 불일치는 주파수 변동으로 나타난다. 이러한 주파수 변동을 제어하기 위해서는 발전기 출력이나 부하를 조정해야한다. 일반적으로 직접적인 부하제어는 많은 제약이 따르므로 순시 주파수 변동을 최소화하여 안정적인 주파수를 유지하기 위해서는 주로 발전기의 조속기(Governor)로 발전력을 자동 조정하게 된다.



<그림1> 조속기

그림1은 계통주파수 변화시 조속기에 의한 주파수 회복 과정을 보여준다. 조속기는 원동기의 회전수 변화를 감지하여 부동대(Dead Band)보다 큰 속도편차가 있을 경우, 원동기 입력제어장치(Throttle Valve, Steam Control Valve, Wicket Gate 등)를 제어함으로써 일정한 회전수를 유지하는 장치이다.[3] 5초에서 10초 이내에 응동하는 발전기 조속기는 일정시간동안 증발된 출력을 유지하면서 1차적인 주파수조정을 담당하게 된다. 그 이후에는 자동발전제어 또는 급전지시를 통해 출력을 증감발하므로써

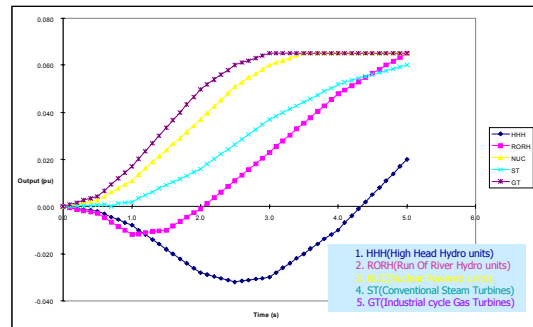
정상상태로 복귀하기 위한 2차적인 주파수 조정이 이루어진다.

2.2 발전기 속도조정을 특성

주파수추종운전을 담당하는 조속기의 응동특성은 식(1)과 같은 속도조정률로 정의할 수 있다. 속도조정률은 정격출력, 정격속도에서 발전기출력을 순간적으로 무부하로 변화시킬 경우, 속도변화 비율을 나타낸다.

$$\delta = \frac{\Delta F}{\Delta P} \times 100 = \frac{F_1 - F_2}{\frac{P_2 - P_1}{P_N}} \times 100 \dots\dots(1)$$

그림2는 계통주파수의 0.5Hz 스텝강하시 표준화된 발전원별 출력응답특성이다. 속도조정률이 동일한 경우에도 발전기 구조에 따라 출력이 응답하는 특성은 달라진다. 그러므로, 발전원별 속도조정률 현황을 분석하여 계통운영에 적용해야 할 필요가 있다.



<그림2> 조속기에 의한 발전기 출력 응답특성

2.3 국내 발전설비의 속도조정률 현황

2006년말 기준으로 국내 전력계통에서 운영되고 있는 중앙급 전발전기(원자력, 스팀터빈 제외) 중 주파수추종운전이 가능한 발전기는 210대이며 단위용량으로 환산한 평균 속도조정률은 5.56%이다. 이들 발전기의 운전실적으로 환산하면 전체 발전량의 53.8%를 점유하고 있으나 석탄화력발전기 출력상향운전과 발전 제약 등으로 실제 주파수추종운전 참여하는 발전기의 비율은 40%내외로 추정된다.

	대수	용량(MW)	평균SD(%)	발전량(%)
수력	51	5479.4	4.03	1.3
복합	90	10331	4.44	12.1
기력	54	23007	6.27	40.4
기타	15	1545.7	7.80	
합계	210	40363.1	5.56	53.8

<표1> 2006년도 중앙급전발전기 속도조정률 현황

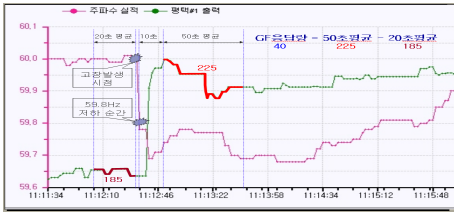
2.4 주파수추종운전 성능 평가 원리

일반적으로 발전기의 주파수추종 능력은 보일러, 터빈등의 물리적인 특성에 의하여 속도조정률에 따라 비례적으로 변화되지 않는다. 주파수변동이 적은 구간에 있어서는 비교적 주파수추종 능력이 우수하나 주파수 편차가 커질수록 출력응답특성은 둔감해진다. 따라서, 실제적인 주파수추종 능력을 평가하기 위하여

EMS(Energy Management System)에서 2초마다 취득한 실계통 데이터를 사용한다. 이때, 자동발전제어와 조속기에 의한 출력 응답특성을 확실하게 분리할 수 있도록 주파수가 60±0.2Hz 이상 순간적으로 변동되는 계통현상만을 선별하여 적용한다. 식(2)와 그림 3은 취득된 실계통 데이터를 이용하여 기준출력과 변화출력을 계산하는 방식을 설명하고 있다. 기준출력은 주파수 변동 이전 20초간 평균출력이고 변화출력은 주파수 59.8Hz 시점에서 10초후부터 50초간 평균출력이다. 변화출력을 계산시, 10초간의 시간지연을 고려한 것은 발전기별로 조속기 응답시간이 다소 차이가 발생되기 때문이다.

$$GFRQ_i = \text{변화출력} - \text{기준출력}$$

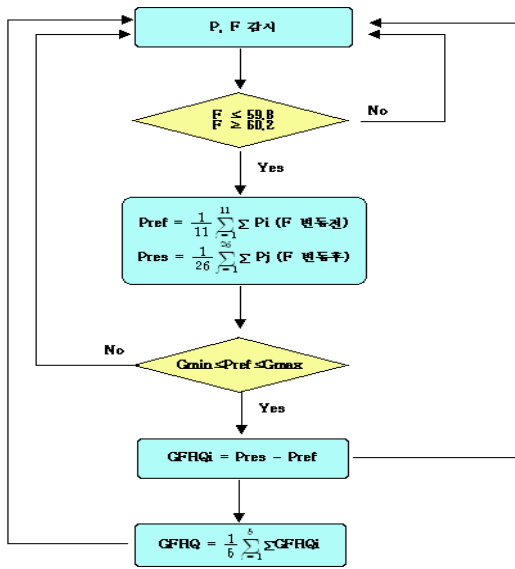
$$= \frac{1}{26} \left(\sum_{j=1}^{26} P_j \right) - \frac{1}{11} \left(\sum_{i=1}^{11} P_i \right) \dots\dots(2)$$



<그림3> 주파수추종운전 응답량 산출 예

2.5 주파수추종운전 응답량 측정 시스템

전력거래소에서는 발전기 출력과 계통주파수를 이용하여 발전기 주파수추종운전 능력을 평가할 수 있는 “발전기 운전실적 분석시스템”을 개발하였다. 이 시스템은 평상시 계통주파수의 이상 여부를 감시하며, 계통주파수가 60±0.2Hz 이상 변동시 변동전 3분 전부터 변동후 7분동안 총 10분데이터를 서버에 저장한다. 이때 계산된 발전기 기준출력값이 주파수추종 운전범위내에 있을 경우에 한하여 응답량을 산출한다. 그러나, 평가 case별로 계통조건이 상이하여 1회 측정값으로는 해당 발전기에 대한 정확한 평가가 어렵다. 따라서, 주파수추종운전 가능용량은 그림 4와 같은 처리과정으로 최근 5회 평균값으로 산출한다..



<그림4> 주파수추종운전 응답량 계산도

2.6 주파수추종 능력에 대한 정산

과거에는 계량된 발전량의 비율에 따라 주파수추종운전을 정산하였으나 실제 제공가능한 능력과는 상당한 차이가 있다. 따라서, 2006년 4/4분기부터는 주파수추종운전 응답량을 산출하여 기여도에 따라 정산하고 있다. 이때, 주파수추종운전 응답량만으로는 응답 속응성을 제대로 반영할 수 없으므로 신고된 속도조정률에 가중치를 부여하여 보정한다. 또한, 정상 운전상태에서 주파수조정 참여도가 높은 발전기를 차별화하기 위하여 부동대 가중치를 적용하고 있다.

$$GFPI_t = GFRQ_i \times SDWFi \times DBWFi \times GFHF \dots\dots(3)$$

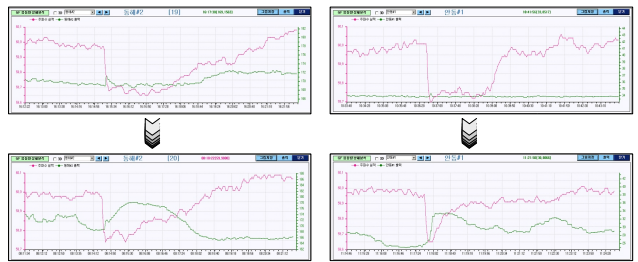
GFPI_t: 주파수추종서비스 정산금액
 GFRQ_{i,t}: 주파수추종서비스 응답가능용량
 SDWFi: 속도조정률에 따른 가중치
 DBWFi: 부동대에 따른 가중치
 GFHF: 주파수추종서비스 정산단가

속도조정율(%)	3이하	4이하	5이하	6이하	7이하	8이하	8초과
SDWF	1.05	1.025	1.0	0.95	0.9	0.85	0.8
부동대%	0.04이하	0.05이하	0.06이하	0.07이하	0.08이하	0.08초과	
DBWF	1.05	1.025	1.0	0.95	0.9	0.85	

<표2> 속도조정률 및 부동대 가중치

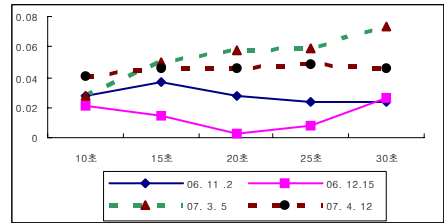
2.7 개선효과

계통기여도를 기반으로 주파수추종운전 응답량을 측정하고 정산에 적용함으로써 다수 발전기들의 주파수 응답특성이 개선되고 있다. 그림5는 대표적인 개선사례인 동해화력 2호기 및 안동수력 1호기의 출력응답특성을 나타낸다.



<그림5> 동해#2, 안동#1 개선 사례

발전기의 주파수추종 특성이 개선됨에 따라 대용량 발전기 탈락시 계통주파수 회복도 현저하게 개선되고 있다. 아래 그림6은 59.8Hz 이하로 저하된 고장을 대상으로 최저주파수 대비 주파수 변화 추이를 분석한 결과이다. 2006년과 비교하여 2007년에는 최소 0.01에서 최대 0.038Hz정도 주파수 회복특성이 개선되었다.



<그림6> 최저주파수 대비 변화추이

현재에도 여러 발전회사에서 주파수추종운전 응답특성을 개선하고 있는바, 주파수추종운전 성능평가 개선으로 인한 효과는 지속적으로 향상될 전망이다.

3. 결 론

발전기의 주파수추종운전은 계통주파수 순시 조정역할을 담당하고 있어 전기품질 확보에 중요한 요소이다. 따라서, 계통에 기여하는 능력을 정밀하게 평가할 수 있는 감시시스템 구축과 이를 반영한 정산을 시행함으로써 설비개선을 유도해 나가야한다.

본 논문에서는 안정적인 전력계통 운영을 위하여 계통기여도를 반영한 새로운 주파수추종운전 평가 방법을 제시하였다. 이와 같은 과정을 통해 다수의 발전기들의 주파수추종운전 능력이 향상되었으며 계통운영보조서비스에 대한 발전회사의 인식도 개선되고 있는 추세이다. 향후에는 주파수추종운전 평가를 주파수대별, 출력대별로 세분화하여 보다 정밀한 분석시스템을 개발할 예정이다. 이는 궁극적으로 전력계통 안정성을 향상시킬 것이며 공정하고 투명한 전력시장 운영환경을 조성할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국전기연구원, “CBP단계 보조서비스 비용지불 및 차기 경쟁시장(PBP 및 TWBP)대비 보조서비스 준비에 대한 연구”, 2001. 6
 [2] 한국개발연구원, “변동비반영시장 평가진단 및 개선연구”, 2005. 11
 [3] 한국발전교육원, “보일러/터빈제어”, 2006