

전력계통 보조서비스 제공에 따른 수력발전소의 전수비 분석

정우진*, 이경배*, 임선택*, 김종겸**
한국수자원공사*, 강원원주대학교**

Analysis for Energy Production and Water Supply Ratio of Hydropower-Plant Through Providing Power System Ancillary Service

Woo-Jin Jung*, Gyeong-Bae Lee*, Sun-Taik Lim*, Jong-Gyeum Kim**
Korea Water Resource Corporation*, Gangneung-Wonju National University**

Abstract - 현대사회의 산업구조가 고도화 되고 IT 활용 기술이 발달함에 따라 전기품질에 대한 고급화가 요구되고 있다. 우리나라 전력계통을 운영하는 한국전력거래소는 급격한 부하변동에 대응하고 고품질의 전력을 공급하기 위해 출력의 증·감발 특성이 우수한 수력발전소의 보조서비스(주로 자동발전제어)를 활용하고 있다. 전력계통의 신뢰도 향상과 안정적인 운영 목적을 달성하기 위해 수력발전소가 계통보조서비스에 적극적으로 참여해야 하지만, 전력계통 보조서비스 제공으로 수력발전소의 전수비가 하락하는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해 수력발전소 전력계통 보조서비스 제공에 따른 전수비의 변화를 정량적으로 분석하고 검토하여 향후 수력발전소 운영 자료로 활용하고자 한다.

전력거래소는 자동발전제어 운전을 통해 실시간으로 변화되는 전력 수요에 신속하고 능동적으로 대응하여 전력계통을 안정적으로 운영할 수 있다.

2.2 발전설비 현황

한국수자원공사는 '73년 10월 소양강 수력발전소가 최초로 상업발전을 개시한 이래 일반수력 9개소(1,001MW), 소수력 및 태양광 25개소(21MW) 등 총 34개소(1,022MW)의 발전소를 운영하고 있으며, 2010년도에는 1,947백만kWh의 청정에너지를 생산하여 정부의 신재생에너지 공급목표달성에 기여하고 있다. 전체 일반 수력발전소(양수발전소 제외) 1,530MW 중 한국수자원공사는 1,001MW로 65.4%를 점유하고 있으며, 중앙급전 발전설비 현황은 <표 1>과 같다.

1. 서 론

'01년 04월 전력시장의 도입으로 발전사업의 외부환경이 변화하면서 한국수자원공사 수력발전소의 운영에도 많은 변화가 있었다. '01년 소양강 수력발전소가 전력시장에 참여하였고, '06년 5월에는 20MW이상(중앙급전 발전기)의 7개 수력발전소가 모두 전력시장에 참여하고 있다. 전력계통의 신뢰도 향상 및 원활한 전력시장 운영을 위해 계통운영 보조서비스(AS, Ancillary Service)를 도입하였으나, 수력발전소의 경우 발전출력 제어 등으로 발전소 전수비의 변화를 조래하기도 하였다. 댐 저수량의 확보에 따른 고낙차 정격출력운전이 가능함에도 불구하고 계통의 상황에 따른 저출력 운영이 발생되고 있다. 본 논문에서는 수력발전소의 계통운영 보조서비스 제공에 따른 전수비의 변화를 정량적으로 분석하여 향후 수력발전소 운영 자료로 활용하고자 한다.

<표 1> 중앙급전 발전설비 현황

구분	소양강	충주	대청	안동	합천	임하	주암	용담
정격용량(MW)	200 100×2	400 100×4	90 45×2	90 45×2	100 50×2	50 25×2	22.5 11.25×2	22.1 11.05×2
사용수량(m ³ /s)	251	788	264	161	118.8	119.2	34	16.92
정격낙차(m)	90	57.5	38.7	57	95.5	48.4	69.2	147.13
자동발전제어	○	○	○	○	○	○	○	×
준공년도	'73.10	'85.05	'80.11	'76.10	'78.12	'92.12	'91.04	'01.09

* 용담수력은 하류의 생공용수 공급에 따라 일정하게 방류하므로 자동발전제어 운전을 실시하지 않음

2. 본 론

2.1 자동발전제어(AGC) 운전 시스템

자동발전제어 운전(AGC, Automatic Generation Control)은 계통주파수 및 조류를 제어하기 위한 목적으로 이용되며, 주파수제어 보조서비스 중의 하나에 해당하는 중요한 기능을 갖고 있다. 전력시장을 총괄하는 중앙처리시스템(MOS, Market Operating System)은 급전자동화시스템(EMS, Energy Management System)과 연계하여 각종 기능을 수행하며, 자동발전제어 운전은 급전자동화시스템이 각 발전소에 지령을 내려 발전기가 이에 응동함으로써 이루어진다[1][2].

수력발전소는 급전자동화시스템을 각 발전소(8개댐 : 소양강댐, 안동댐, 대청댐, 충주댐, 합천댐, 주암댐, 임하댐, 용담댐)에 설치하여 한국전력거래소(KPX, Korea Power Exchange)와 전용선(주회선, 예비회선)을 통해 데이터 송·수신을 한다. 전력거래소의 급전자동화시스템으로부터 지시되는 제어명령(AGC 목표값)을 개별 수력발전소의 EMS 서버가 수신 받아 발전소 RTU에 목표값을 적용하고 환류(Feedback)받아 발전기가 자동발전제어 운전 범위 내에서 운전되도록 시스템을 구성하였다[3].

2.3 발전소별 평균 전수비 현황

전수비(kWh/m³)는 발전사용수량 1m³당 생산할 수 있는 전력량(kWh)을 의미한다. 전수비에 영향을 미치는 주요인자는 낙차(m), 발전사용수량(m³/s), 설비효율(%) 등이 있다. 전수비는 발전소 운영효율을 측정하는 주요한 지표로 사용될 수 있으며, 발전설비의 최적 운영점에서 전수비가 극대화 된다.

최근 5년간('06~'10년) 발전소별 평균 전수비 실적을 분석한 자료는 <표 2>와 같다[4][5]. 5개의 발전소중 합천수력의 전수비(0.2334kWh/m³)가 가장 높은 것으로 분석되었다. 이는 정격낙차(95.5m)가 전수비에 가장 많은 영향을 미치기 때문이다. 최근 5년간 발전소 평균 전수비는 전력계통을 안정적으로 운영하기 위한 각종 보조서비스의 제공에 따른 전수비의 손실량이 포함되어 있다.

<표 2> 수력발전소 전수비 현황

구분	소양강	대청	안동	합천	임하
전수비(kWh/m ³)	0.2221	0.0958	0.1086	0.2334	0.0881
댐수위(EL.m)	171.15	69.9	142.64	156.19	144.99
분석기간	'06~'10	'06~'10	'06~'10	'06~'10	'06~'10

* 한국수자원공사의 일반수력(8개) 중 5개 발전소를 대상으로 분석

2.4 발전소별 전수비 분석

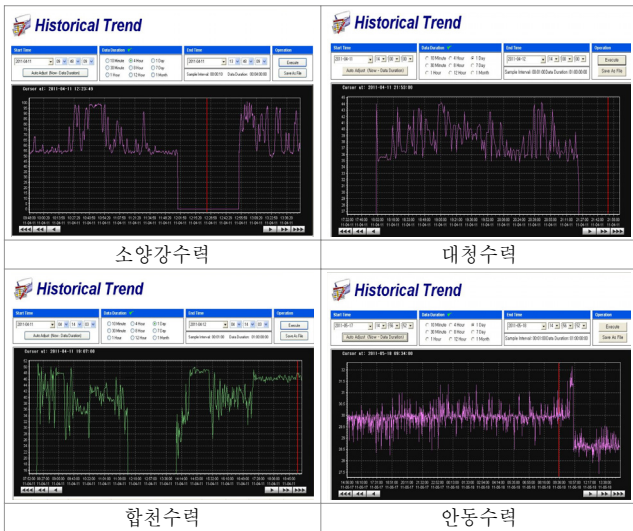
수력발전의 운영은 첨두부하 담당과 보조서비스를 제공할 수 있는 측면으로 대표할 수 있다[6]. 첨두부하시의 에너지 공급 측면은 발전설비의 이용률과 발전량이 주요한 지표가 되며, 부하의 불규칙 변동에 대응하는 보조서비스제공 실적은 수력발전기의 출력조정 범위 및 빈도에 의하여 파악할 수 있다.

보조서비스 제공시 한국수자원공사 수력발전소의 분(min)단위 출력 변동 현황은 <그림 2>와 같이 소양강수력(50~100MW), 충주수력(60~100MW),



<그림 1> 수력발전소 자동발전제어(AGC) 운전 시스템

대청수력(35~45MW), 합천수력(22~50MW), 안동수력(23~25MW), 임하수력(5~20MW) 등 대부분의 발전소에서 설비용량 대비 50%로 급격한 출력변동을 하고 있다. 이것은 불규칙적인 전력계통 부하의 변동에 따라 신속하게 응답(증·감발 특성)하고 있다는 것을 나타내고 있다. 그러나 지속적이고 급격한 출력변동은 설비에 피로를 누적시키고, 설비의 안정성 및 효율적 운영에 악영향으로 고장 원인의 주요 원인이 될 수 있다.

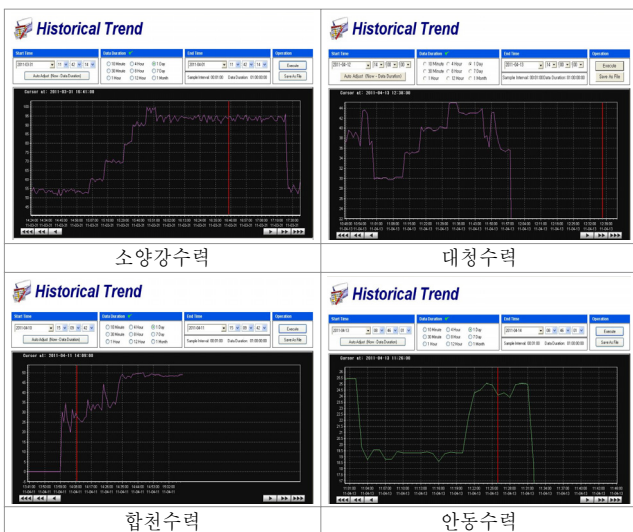


〈그림 2〉 보조서비스 제공시 출력변동 현황

한국수자원공사에서 운영하는 5개의 발전소를 대상으로 보조서비스 중지시 전수비의 변화를 분석한 자료는 <표 3>과 같다. 동일한 조건하에서 비교를 하기 위해 <표 2>와 같이 동일한 댐수위에서 단위시간(10~20min) 동안 5~10MW 단위로 출력을 증발하면서 발전량과 발전사용수량의 변동량을 분석하였다. 측정자료 분석결과 소양강수력 0.0005kWh/m²(0.3%향상), 대청수력 0.0007kWh/m²(0.7%향상), 안동수력 0.0004kWh/m²(0.4%향상), 합천수력 0.0004kWh/m²(0.2%향상), 임하수력 0.0002kWh/m²(0.2%향상) 등 모든 발전소에서 자동발전제어 운전시 보다 전수비가 높게 나타났다.

〈표 3〉 보조서비스 제공시 전수비 측정자료

구분	증발운전범위	댐수위(EL.m)	전수비(kWh/m ²)	전수비 차이(kWh/m ²)
소양강수력	60→100MW (10MW/10min ↑)	171.15	0.2226	0.0005
대청수력	30→45MW (5MW/10min ↑)	69.90	0.0965	0.0007
안동수력	20→25MW (5MW/20min ↑)	142.64	0.1090	0.0004
합천수력	25→50MW (5MW/10min ↑)	156.19	0.2338	0.0004
임하수력	15→20MW (5MW/20min ↑)	144.99	0.0883	0.0002



〈그림 3〉 보조서비스 중지시 출력변동 현황

수력발전소의 전수비는 발전량과 발전사용수량의 관계로서 전수비의 증가는 동일한 발전사용수량 사용시 발전량의 증가를 의미한다. 또한, 동일한 발전사용수량으로 더욱 더 많은 에너지를 생산하는 에너지 효율 측면에서도 유리한 장점을 지니고 있다. 그래서 한국수자원공사에서는 발전소의 전수비 향상을 위해 적기의 유지보수 시행, 설비개선 등 경영 혁신 활동을 실시하고 있다.

전수비의 차이에 따른 추가 발전량은 <표 4>와 같다. 소양강수력(992천kWh), 대청수력(1,142천kWh), 안동수력(293천kWh), 합천수력(222천kWh), 임하수력(70천kWh) 등 수력발전소의 최적 전수비 운영을 통해 2,719천kWh(5개댐 기준)의 발전량을 추가 생산할 수 있었다.

또한, 발전설비를 최적 효율점에서 운영하여 설비의 피로도 저하 등 설비의 안정도를 향상시킬 수 있는 무형적인 효과도 얻을 수 있었다.

〈표 4〉 전수비 차이에 따른 추가 발전량 (2010년 기준)

구분	소양강	대청	안동	합천	임하
발전사용수량(백만m ³)	1,984	1,632	731	554	354
전 수 비(kWh/m ³)	0.0005	0.0007	0.0004	0.0004	0.0002
추가 발전량(천kWh)	992	1,142	293	222	70

한국수자원공사 수력발전소의 운영기간별 평균출력은 정격출력 대비 70%에 불과하다. 수력발전소의 평균출력은 <표 5>와 같다. 소양강 58MW, 대청수력 40MW, 안동수력 24MW, 합천수력 40MW, 임하수력 16MW로 정격출력 대비 53~90%의 수준으로 유지함을 알 수 있다. 대부분의 설비가 정격출력 운전일 때 최대 효율을 보이는 점을 감안하면, 계통운영 보조서비스 제공으로 인한 저출력 운전은 발전소 전수비를 하락시키는 역할을 하고 있는 것으로 분석된다.

〈표 5〉 K-water 수력발전소 평균별 출력현황

구분	소양강	대청	안동	합천	임하
평균출력(MW)(A)	58	40	24	40	16
정격출력(MW)(B)	100	45	45	50	25
대비(A/B)	58.0	88.9	53.3	80.0	64.0

전력계통 안정운영을 위해 보조서비스 제공 전·후의 전수비 분석결과, 한국수자원공사의 수력발전기는 보조서비스제공으로 0.0007~0.0002[kWh/m²](5개 발전소 기준)의 전수비가 하락하는 것으로 분석되었다.

분석결과 전수비가 낮은 첫 번째 이유는 계통의 급격한 부하 변동에 대응하기 위한 발전기의 신속대응으로 급격한 출력변동이 발생하여 효율이 낮게 운전되는 것과 두 번째 원인은 저출력 운전 때문이다.

3. 결 론

본 논문은 전력계통의 안정적 운영 및 급전자동화시스템(EMS)에 의한 자동발전제어서비스가 한국수자원공사 수력발전소의 전수비에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 발전소별로 결과의 차이는 있지만 공통적으로 자동발전제어운전을 함으로써 전수비가 하락함을 알 수 있었다. 이는 발전설비가 최대 효율에서 운전되지 못하고 전력계통의 상황에 따라 낮은 출력으로 운전되므로 효율이 낮아진다는 것을 의미한다. 따라서 발전설비의 저효율 운전은 발전사업자에게는 발전수익 감소라는 문제를 야기하지만, 한국수자원공사의 수력발전소는 전력계통의 안정운영이라는 공공의 목적을 달성하기 위해 적극 협조하고 있다. 앞으로도 한국수자원공사는 전력계통의 신뢰도 향상 및 전기품질 향상을 위해 전력거래소에 적극 협조할 것이며, 전수비 향상을 위한 효율적인 수력발전소 운영에 지속적으로 노력할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력거래소, “도매경쟁시장에서의 자동발전제어 필요량 산정에 관한 연구”, 2003. 07
- [2] 한국전력거래소, “자동발전제어 이행수준의 평가 및 계통기여도 반영 정산체계 수립”, 2006. 07
- [3] 한국수자원공사, “급전자동화시스템(Energy Management System)”, 2006. 09
- [4] 한국수자원공사, “2010년 발전사업통계”, 2011. 03
- [5] 한국수자원공사, “댐운영 실무편람”, 2010. 09
- [6] 한국수자원공사, “다목적댐 수력발전의 경제성 평가 및 전력요금 산정 방향에 관한 연구”, 1994. 04