

## 시화조력 발전기와 수력발전기의 동특성 비교분석

김희곤\*, 장태현\*, 김지찬\*, 김종득\*, 김준섭\*, 옥연호\*\*  
한국수자원공사\*, 파워이십일\*\*

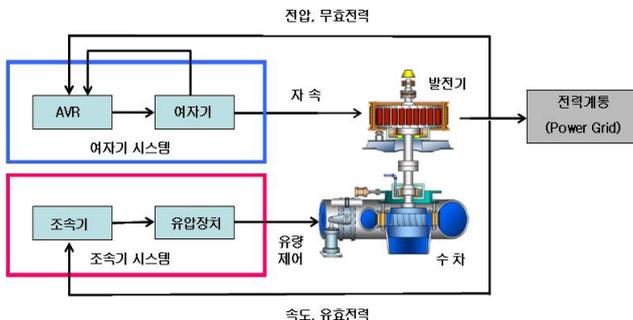
### A analysis of Dynamic-Characteristics in Tidal-power and Hydro-power

Kim Hee Gon\*, Jang Tae Hyeon\*, Kim Ji Chan\*, Kim Jong Deug\*, Kim Jun Sub\*, Ok Yeon Ho\*\*  
K-water\*, Power21\*\*

**Abstract** - 최근 세계 최대규모이자 국내 유일한 시화조력 발전기에 대하여 무부하상태에서의 동특성시험을 수행함에 있어서 고·저낙차에서의 조력발전기 제어특성이 일반 대수력과 소수력의 제어특성에 비해 특이한 현상이 나타남에 따라 이들에 대한 발전기 운전특성을 고찰하고자 한다.

#### 1. 서 론

대수력과 소수력의 경우, 수력발전기 운전수위(발전기 저수위~최대수위)와 무부하 운전에서는 발전기 운전특성이 비교적 일정하고 양호한 특성을 가지고 있는 반면, 시화조력은 짧은 제어설비 성능진단시에도 낙차 변동으로 인한 발전기 속도변화율이 변화하는 특성과 고·저낙차에서의 발전기 속도변화율과 계통병입 특성을 이해할 것으로 판단된다.



〈그림 1〉 발전기 제어설비 개념도

#### 2. 수력기와 조력기의 운전 특성

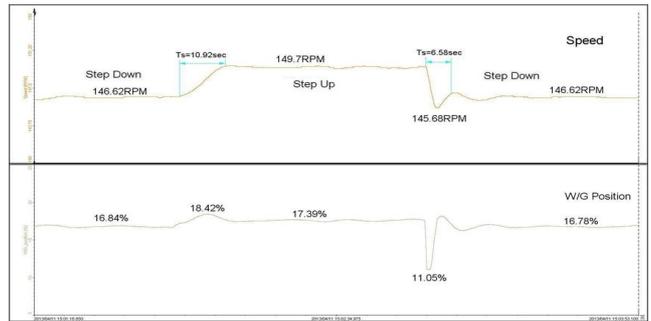
시화조력 발전기의 제어설비중 조속기 제작사가 동일한 대수력과 소수력 발전기를 비교대상으로 선정하였으며, 발전기 제어특성중 고·저낙차로 인한 발전기 속도변동율 특성 파악을 위해 발전기별 속도 STEP 응답특성시험 결과를 분석하였다. 분석대상 발전기에 대한 일반적인 제원은 다음과 같다.

〈표 1〉 분석대상 발전기의 설비제원

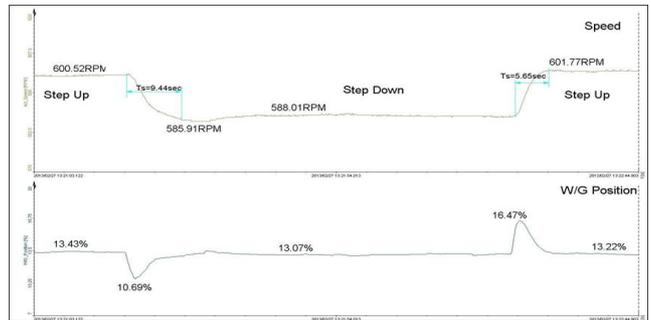
구분	대수력	소수력	시화조력	
발전기	용량	45,000 kW	1,250 kW	25,400 kW
	전압	13,200 V	690 V	10,200 V
	속도	150 rpm	600 rpm	64.29 rpm
	제작사	Toshiba	Andritz	Andritz
AVR	제작사	Basler (DECS-300)	Basler (DECS-200)	Elin (GMR3)
GOV	제작사	Siemens (TC1703)	Siemens (TM1703)	Siemens (TC1703)

##### 2.1 대·소수력 발전기의 운전 특성

일정한 낙차와 무부하조건에서 발전기 속도를 2% STEP 응답특성시험 결과 비교적 양호한 발전기 속도변동율이 나타나는 것으로 조사되었다.



〈그림 2〉 대수력 속도 STEP 응답특성



〈그림 3〉 소수력 속도 STEP 응답특성

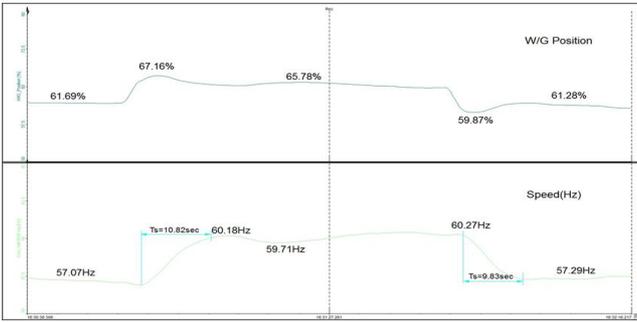
##### 2.2 시화조력 발전기의 운전특성

낙차 조건이 상이한 상태에서 수차례 발전기 성능진단 결과, W/G 개도가 저낙차에서는 매우 크고 고낙차에서는 매우 적다는 것을 알 수 있다.

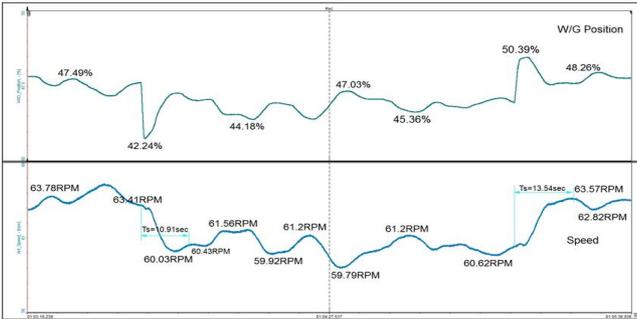
〈표 2〉 낙차별 기동개도(무부하)

낙차	기동개도(%)	낙차	기동개도(%)
1.00	84.8	3.50	48.2
1.50	67.8	4.00	44.9
2.00	60.0	4.50	41.7
2.50	54.2	5.00	39.2
3.00	52.0		

저낙차(2.0m)와 중낙차(3.0m) 내외에서 발전기 속도 STEP 응답시험한 결과, 저낙차에서는 비교적 안정적인 속도변동율을 가지는 반면 중낙차 이상에서는 불안정한 속도변동율 특성을 가지고 있다.



〈그림 4〉 시화조력 속도 STEP 응답특성(저낙차)



〈그림 5〉 시화조력 속도 STEP 응답특성(중낙차)

3. 수력기와 조속기의 계통병입 특성

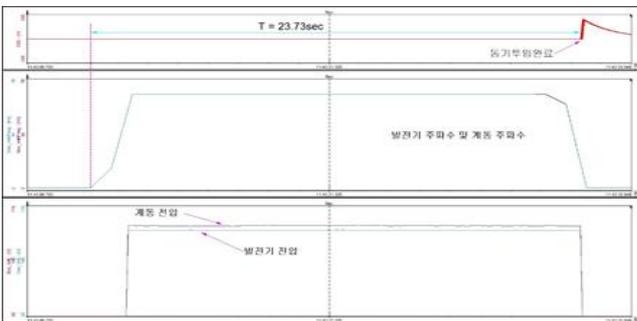
〈2. 수력기와 조속기의 운전 특성〉에서는 시화조력 발전기의 낙차 변화에 따라 발전기 속도변동율이 매우 큰 것을 알 수 있었다. 본 절에서는 대상발전기의 동일 호기를 기준으로 낙차 변화에 따라 전력계통 병입(송전, 동기화)에 어떤 영향을 미치는 지를 이해할 수 있을 것이다.

전력을 송전하기 위해서는 무부하로 기동된 발전기를 전력계통에 병입하여 송전선로로 전력을 공급하게 되는데, 이때 전력계통에 병입하기 위해서는 발전기측과 전력계통측의 동기화 조건(전압, 주파수, 위상차)이 동시에 만족해야 한다.

따라서, 발전기 전압과 속도(주파수)가 불안정한 특성을 가지게 되면 그만큼 동기화 조건을 만족하기가 힘들게 되고 이로 인해 계통병입(동기 투입)이 지연되게 된다.

3.1 대수력 발전기의 계통병입 특성

전력계통 전압특성(주파수는 일정)에 따라 약간 지연될 수는 있으나, 일정한 낙차와 무부하상태에서 발전기의 안정된 전압과 주파수를 유지하기 때문에 계통병입조건을 빨리 만족시켜 그만큼 동기투입이 쉽게 이루어진다.



〈그림 6〉 대수력 기동 및 계통병입 특성

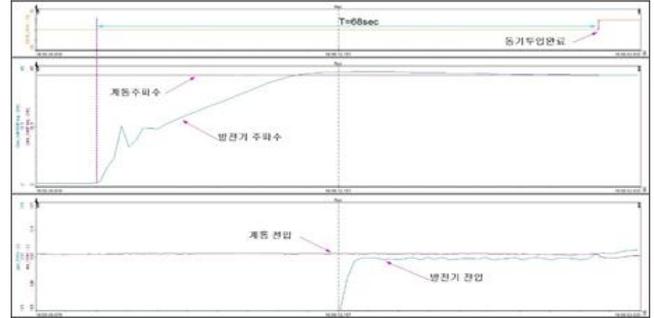
3.2 시화조력 발전기의 계통병입 특성

발생된 전력을 송전하기 위한 필수불가결한 계통병입(동기투입) 조건은 다음과 같다.

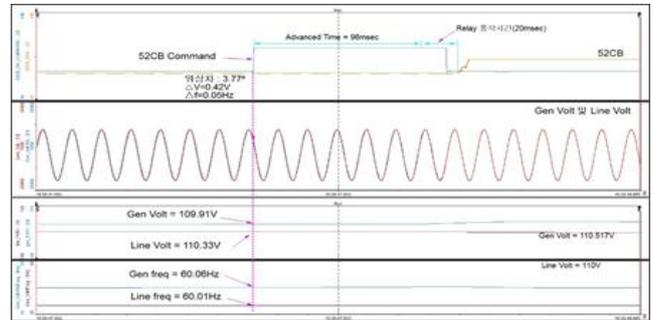
〈표 3〉 계통병입 조건

구 분	설정값
발전기/계통간의 최고 전압차	+2 V
발전기/계통간의 최저 전압차	-2 V
발전기/계통간의 최고 주파수차	+0.12 Hz
발전기/계통간의 최저 주파수차	-0.06 Hz
동기투입 위상각	4 °

저낙차(2.25m)에서 발전기를 기동한 후 안정된 전압과 주파수를 유지한 상태에서 비교적 빨리 계통병입하여 무부하 운전시간을 최소화시킴으로써 그만큼 송전시간을 앞당기게 된다.

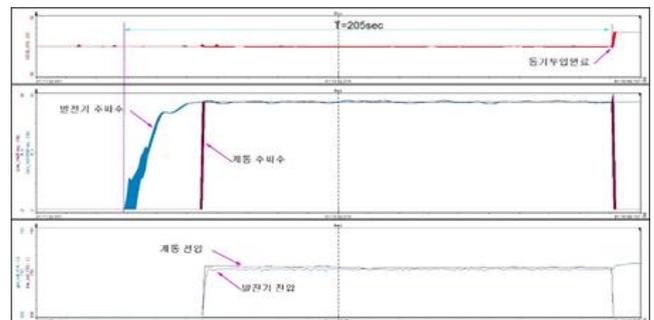


〈그림 7〉 시화조력 기동 및 계통병입 특성(저낙차)



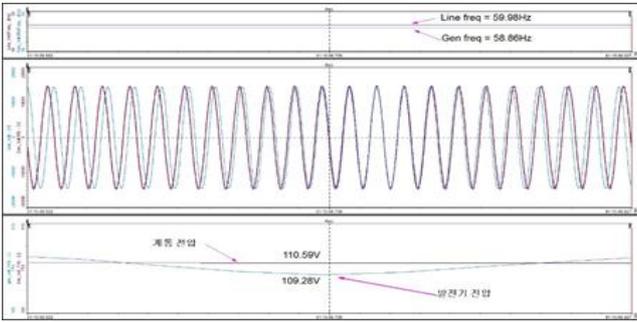
〈그림 8〉 시화조력 계통병입 특성(중낙차)

중낙차(3.66m)에서 발전기 기동 및 계통병입 특성을 분석한 결과, 저낙차에 비해 전압과 속도변동율이 커서 발전기 계통병입 시간을 지연시키는 현상을 초래했다.



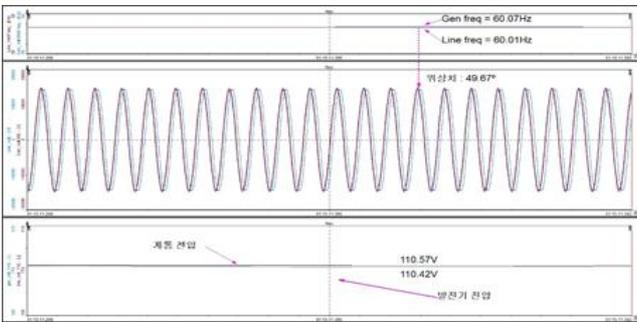
〈그림 9〉 시화조력 기동 및 계통병입 특성(중낙차)

발전기 기동후 불안정한 전압과 주파수를 가진 상태에서 계통병입 지연사유로는 동기화 기준을 초과한 전압 또는 주파수도 있지만, 어떤 부분에서는 전압과 주파수는 만족한다 하더라도 위상각이 초과되어 계통병입 지연이 나타나기도 한다.



<그림 10> 시화조력 계통병입 지연1(중낙차, 주파수 기준초과)

계통병입 조건에 있어서, <그림 10>에서는 발전기 전압과 계통 전압 간의 최고 전압차는 기준값( $\pm 2V$ )을 만족하나 주파수가 기준값(0.12Hz)를 초과하는 지연특성을 나타내고 있고, <그림 11>에서는 전압과 주파수는 기준값을 만족하였으나 동기투입 위상각 기준값( $4^\circ$ )를 초과하는 특성으로 계통병입을 지연시키는 원인으로 나타났다.



<그림 11> 시화조력 계통병입 지연2(중낙차, 위상각 기준초과)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 초록에서 언급하였듯이 대·소수력과는 달리 해양의 조수간만 특성을 가지고 있는 조력발전기는 짧은 시간에도 낙차가 변동하고 이로 인하여 발전기의 운전특성을 이해할 수 있는 계기가 되었고,

조력발전기는 저낙차에서는 안정적인 전압과 주파수로 발전기 기동후 계통병입시까지의 무부하 운전시간을 단축시킬 수 있는 반면, 고낙차로 가면 갈수록 전압과 속도변동율이 크게(불안정) 나타남으로써 저낙차에 비해 계통병입 시간을 지연시키는 운전특성이 나타남을 알 수 있었다.

본 사례연구는 일정한 낙차가 아닌 가변적인 낙차에서 속도변동율과 낙차 변동에 따라 계통병입에 미치는 영향을 단편적으로 해석할 수 있었고, 향후에는 이를 근간으로 조력발전기의 운전제어특성과 이론적 배경을 보완한다면 그 학문적 가치는 보다 클 것으로 판단된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Kwater, 대·소수력 발전기 기술진단 결과보고서, 2013.
- [2] Kwater, 시화조력 발전기 기술진단 결과보고서, 2013~2015.