

# 소수력 발전소에 적용하는 유도발전기의 동작 특성

## A Study on the Operation Characteristic of Induction Generator in the Small Hydropower Plant

김영국\* · 김종겸†  
 (Young-Kuk-Kim · Jong-Gyeum Kim)

**Abstract** - In this study, we described voltage fluctuation characteristics of distribution line during starting and normal operation condition of the small hydro generators. Based on these theories, we scrutinized the starting and operating characteristics of induction generators installed in two small hydro power plants that is connected to the distribution line and researched necessary factors when selecting the generator type. The type of turbines and capacity of generators are different. One is below 1,000kW and the other is above 1,000kW. Two generators are tested during starting, and it acts as motor not generator at the instant that the machine is connected to the grid. After connecting to the grid, the machine rotates above synchronous speed before converting to the generator mode. Therefore the characteristic of the generator during starting is same as it of motor.

**Key Words** : Induction generator, Motor, Turbine, Active power, Reactive power

### 1. 서론

소수력 발전소는 계획 및 설계시 낙차, 유량 등 계획지점의 조건에 따라 수차 형식과 출력 용량을 결정하는 것도 중요하지만, 일반적으로 kW당 건설비가 높으므로 발전기 비용도 고려하여 최적의 발전기 형식에 대해 신중한 검토가 필요하다. 또한 발전된 전력을 배전 계통에 접속할 때 전기품질에 대한 영향이 크므로 발전기의 종류와 선정에 세심한 분석과 설계가 필요하다. 그러나 실제로 발전기의 선정 기준이 명확히 제시되어 있지 않아 단순히 출력이 1,000kW를 기준으로 그 이상이면 동기발전기, 그 이하에서는 유도발전기를 채택하는 것이 일반적이었으며, 출력이 1,000kW 이하라도 배전계통에 미치는 영향과 인근 수용가에서의 전압강하가 의심될 경우에는 동기발전기를 채택해 왔다[1~4].

유도발전기는 유도전동기와 기계적 및 전기적으로 유사한 것으로서 회전자가 동기속도 보다 빠르게 회전할 때 전력을 발생시킬 수 있으므로 소수력 발전시스템에 널리 적용되고 있다[5~9]. 그렇지만 발전기 선정에는 용량과 배전계통도 고려하여야 하고, 발전기의 속도조절 기능도 주요 요소가 될 수 있다.

그래서 본 연구에서는 소수력 발전설비에서 1,000kW 전후의 유도발전기로 운영되고 있는 발전소를 대상으로 기동 전후 계통연계와 관련하여 일어나는 주요 사항에 대해 분석하여 소수력 발전소에서 유도발전기 선정에 대한 합리성을 찾고자 한다.

### 2. 유도발전기의 동작 특성

그림 1은 유도발전기 운전 영역에서의 전력 흐름도를 나타낸 것으로서 유도전동기와 반대가 된다. 먼저 수차의 회전운동으로 발생된 기계에너지  $P_{in}$ 에서 회전손실을 제외한 전력이 변환된 전력성분  $P_{conv}$ 이 된다. 이 성분 중에서 회전자 손실  $P_{loss-r}$ 을 제외한 전력성분이 공극을 통해 고정자에 전달된다. 고정자에 전달된 성분 중에서 고정자 자체 손실  $P_{loss-s}$ 을 제외한 전력이 출력성분  $P_{out}$ 가 된다. 실제 발전기의 발생전력은 출력성분에서 각종 손실을 제외한 유효전력 성분이 해당된다[6~8].

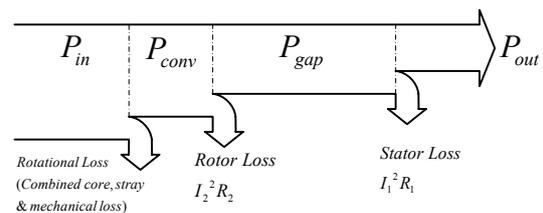


그림 1 발전기 운전시 전력 흐름도  
 Fig. 1 Power flow at the generator operation

전동기와 발전기의 두 등가회로에서 유효전력이 같다고 할 경우 발전기 운전모드에서 고정자 손실은 자화전류의 증가로 더 많은 유도성분으로 인해 전동기 운전 모드보다 더욱 커진다[8].

수차에 의해 유도발전기의 회전자를 동기속도 이상으로 운전하는 경우 발전기 단자에서의 전력은 다음과 같다.

$$S = 3VI^* \quad (1)$$

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Gangneung-wonju National University, Korea  
 E-mail : jgkim@gwnu.ac.kr

\* Team Manager of K-Water, Korea

Received : February 19, 2013; Accepted : April 17, 2013

식 (1)에서 유효전력과 무효전력은 각각 다음과 같다.

$$P = Re(S) \tag{2}$$

$$Q = Im(S) \tag{3}$$

그림 2는 대청 소수력 유도발전기의 유효전력( $P(s)$ , 단위:W), 무효전력( $Q(s)$ , 단위:VAr) 및 전류( $|I_{as}(s)|$ , 단위:A) 특성을 슬립값의 변화에 따라 계산한 것으로서 식 (2)에서와 같이 슬립이 부(-)일 때 유효전력이 음이 되는 것은 발전기 단자에서 전력이 전동기와 달리 계통으로 전달되는 것을 의미하고, 무효전력은 전동기나 발전기로 운전할 경우에 모두 부호가 (+)가 되는 것은 자화에 필요한 전력을 전원으로부터 모두 공급받아야 하기 때문이다. 또한 기동전류는 정격회전속도에 비해 약 6배 정도로 전동기로 운전할 경우보다 발전기로 운전할 경우가 약간 높은 편이다. 실제 발전기로 기동할 경우에는 기동전류는 돌입전류에 해당된다.

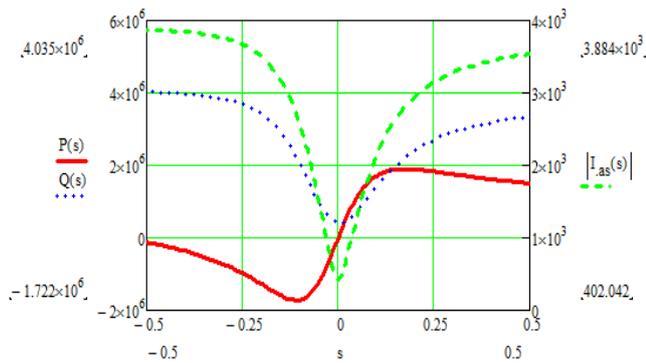


그림 2 전력 및 전류  
Fig. 2 Power and current

### 3. 동작특성 분석

유도발전기를 이용한 소수력 발전소는 1,000kW이하의 용량에서 대부분 운영된다. 최근에 설치된 대청소수력(400kW×2기)과 4대강 소수력발전소 중에서 영산강에 설치된 소수력 발전소(죽산보 610kW×2기, 승천보 400kW×2기)는 약 1,000kW이하의 용량으로서 유도발전기가 채용 되었으며, 용담댐 소수력의 경우 1,000kW이상인 1,150kW×2기, 1,800kW×1기에는 유도발전기를 채택하여 운영하고 있다. 본 연구에서는 1,000kW 전후에 해당되는 대청 소수력 발전소와 용담 소수력 발전소에 대해 유도발전기의 기동에서 계통연계시의 동작 특성을 측정 분석하였다.

#### 3.1 대청 소수력 기동특성 분석

대청소수력은 대청댐의 조정지 댐에 위치하고 있으며 조정지를 통해 하류에 일정하게 방류되고 있는 용수를 이용하여 발전하고 있다. 소수력발전소의 설비용량은 표 1과 같이 구성되어 있고, 배전선로는 부강 변전소로부터 약 16.7km 떨어져 있으며, 배전선로에 연결된 부하용량은 약 5,000kW이다.

소수력 발전소에 적용하는 유도발전기의 동작 특성

표 1 대청 소수력 발전소 설비 사양

Table 1 Specification of Daechong SHPP

설비명	설비현황	
수차	종류	중축 프로펠러(Tubular)
	출력/대수	427kW×2대
	정격낙차/유량	4.39m/10.92m³/대
발전기	정격속도	225rpm(무구속 속도 635rpm)
	종류	3상 농형 유도발전기
	출력/대수	400kW(정격)×2대
	절연등급	F종(155℃)
	극수	32극
정격전압/전류	600V/480A	
효율/역율	94% 이상 / 0.7 이상	

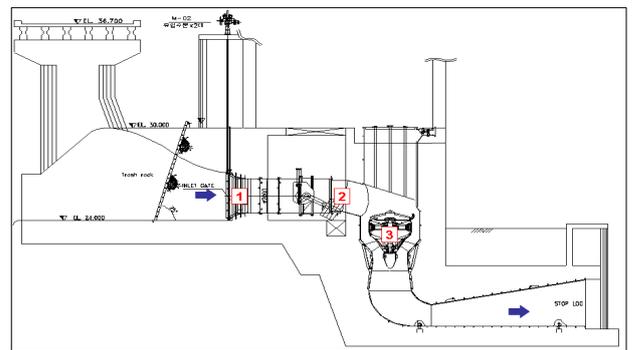


그림 3 대청 소수력 설비의 단면도  
Fig. 3 Cross section of Daechong small hydropower plant(SHPP)

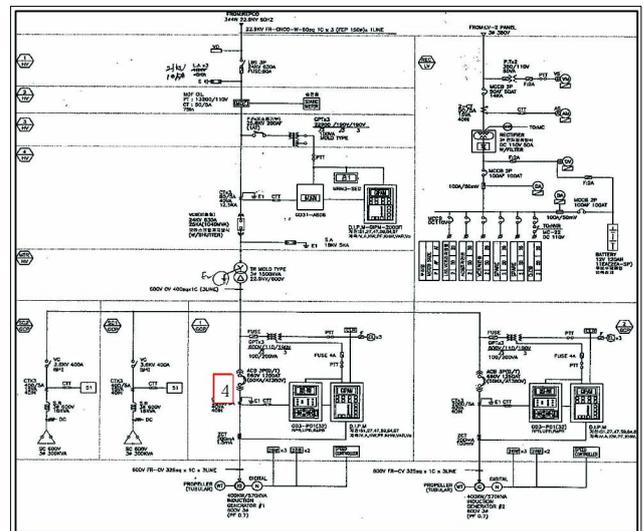


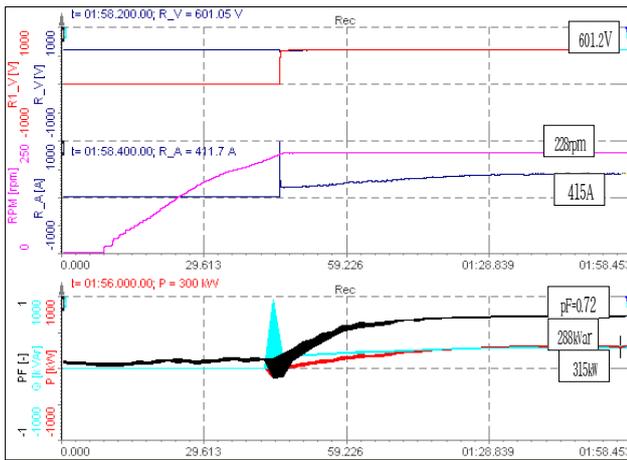
그림 4 대청 소수력 설비의 단선도  
Fig. 4 Single line diagram of Daechong SHPP

그림 3은 대청소수력발전소 단면도로 유량 차단용 밸브②만이 있고, 출력을 조절할 수 있는 유량조절용 가이드 베인은 설치되어 있지 않으므로 출력조절은 거의 불가능하며, 유량차단용 밸브를 이용하여 약간의 유량만을 조절할 수는 있으나 대부분의 운전은 풀 오픈(full open) 상태에서 이루어

진다. 이 발전기는 일반 소수력 발전소에 비해 출력용량이 작으므로 직입기동으로 계통에 병입되도록 구성되어 있다.

그림 4는 대청소수력 발전소 단선결선도이고, 그림 5는 기동에서 안정화된 이후(0~1분58초)까지 전체 측정 결과를 나타낸 것이며, 그림 6은 기동순간(44.167초~49.811초:약 5초)을 측정한 데이터이다.

그림 5 및 그림 6에서 전압, 전류는 실시간으로 측정되는 실효값이고, 전력과 역률은 연산하여 나타낸 것이다. 그리고 그림 7은 매우 짧은 시간동안(44.947초~45.614초) 전압과 전류에 대한 측정결과이다.

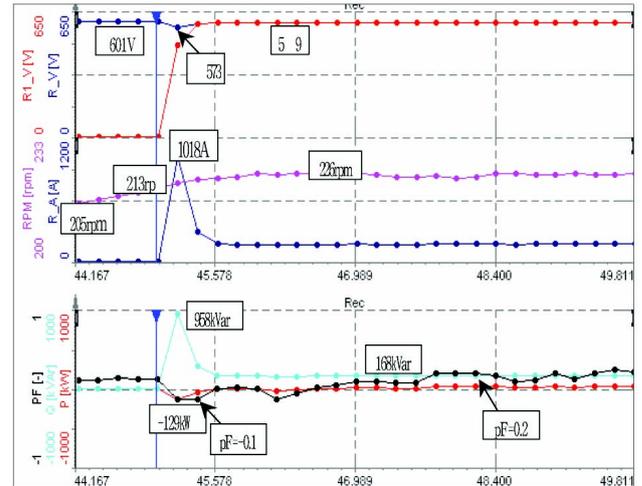


R\_V : Voltage in TR side(RMS), R1\_V : Voltage in Gen side (RMS), rpm : Gen rpm  
P : Active power of Gen, Q : Reactive power of Gen, PF : Power factor

그림 5 대청 소수력 발전기의 기동전후의 측정 결과  
Fig. 5 Measurement results at the starting before and after of Daechong SHPP

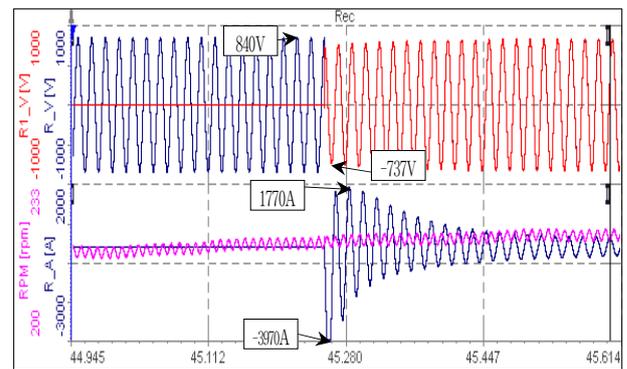
그림 5에서와 같이 발전은 완전 자동으로 0초에서 기동 명령을 내리면 그림 3의 대청소수력 발전소 단면도에서의 취수 게이트 ①를 지나 수차 전단의 주 차단밸브 ②가 개방되면서 수차와 발전기 ③가 회전하기 시작한다. 회전속도가 정격속도(225[rpm])의 95%에서 그림 4의 단선결선도의 계통 병입 차단기 ④가 투입되어 계통과 연결되게 된다(기동으로부터 45초).

그림 6에서와 같이 계통 병입 때까지 발전기측의 전압은 발생하지 않으며, 계통 병입 순간 발전기에 전압이 인가되면 돌입전류로 인해 변압기 측의 전압강하가 발생(R\_V:601V→573V,4.6%)되지만 바로 안정화되어 594V(R1\_V)까지 상승한다(45.8초). 돌입전류는 실효값으로 1,018A(정격전류의 2.1배)이며 순간적인 순시값은 그림 7과 같이 최대 3,970A까지 측정되었다. 이는 본 발전기의 정격전류인 480A의 8배 이상이나 약 10cycle(약 0.15초) 이내에 안정화되는 것으로 나타났다. 기동순간 실효값과 순시값 차이가 있는 것은 표시된 순시값은 최대값이며, 실효값을 나타내기 위해 연산된 순시값의 샘플링 간격이 0.2초 이므로 순시값을 받아 연산하는 시간 간격이 너무 큰 것이 주원인으로 판단된다. 그리고 안정화 된 후 발전기단 전압은 601.2V로서 계통 전압인 601V보다 약간 크게 측정되었다.



R\_V : Voltage in TR side(RMS), R1\_V : Voltage in Gen side (RMS), rpm : Gen rpm  
P : Active power of Gen, Q : Reactive power of Gen, PF : Power factor

그림 6 대청 소수력 설비의 기동시 측정결과  
Fig. 6 Measurement results(RMS data) during starting of Daechong SHPP

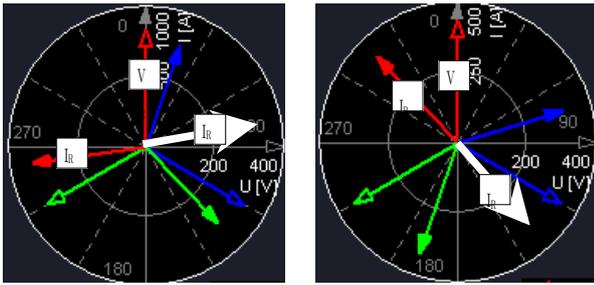


R\_V : Voltage in TR side(real value), R1\_V : Voltage in Gen side(real value)

그림 7 대청 소수력 발전기의 기동시 전압 및 전류  
Fig. 7 Voltage and current(real data) measured during starting of Daechong SHPP

그림 6의 하단부에서와 같이 전력은 계통 병입과 동시에 발전기 측으로 유효전력과 무효전력이 유입되는 것으로 나타났으며 유효전력은 순간적으로 129kW(45.2초), 무효전력은 958kVar(45.2초)까지 유효 및 무효 전력을 공급받게 된다. 그 이후 무효전력은 유도발전기의 특성상 자체적으로 자화할 수 있는 기능이 없으므로 발전되는 동안 무효전력을 계속 공급받게 되나 유효전력은 유량이 증가되면서 수차 회전속도가 증가되고, 동기속도인 225rpm 이상이 되는 순간부터 유효전력을 수급에서 공급으로 전환되어 발전이 시작되는 것으로 나타났다. 그림 6의 측정 그래프에서는 측정시 전류의 방향을 반대로 측정함에 따라 유효전력의 방향이 반대로 표시된 결과이다.

그림 8은 대청 소수력 발전소의 기동 및 정상 운전시의 전압 및 전류의 페이지도를 나타낸 것이다.



(a) starting (b) normal condition

그림 8 기동시 페이서도

Fig. 8 Phasor diagram at starting and normal operation condition

그림 8의 페이저에서 보는 바와 같이 역률은 기동순간에 전압과 전류의 위상차가 진상 90°이상으로 (-) 값으로 나타나고 안정화된 후에는 역률이 진상 약 72%로 측정되었다. 물론 이 결과는 그림 6에서 유효전력부분에서 언급한 바와 같이 전류의 방향이 반대로 측정된 결과이므로 3상중 R상(적색)을 대상으로 전류방향을 180°바꾸면 백색 화살표로 표시되고 전압과 전류의 위상차는 기동순간 지상 0~90°이며 속도가 동기속도 이상이 되면서 위상차가 90°를 넘어서고 안정화된 후에는 지상 90~180°로 운영되며 무효전력은 수전, 유효전력은 계통으로 공급하는 방향으로 측정되는 유도발전기의 운전특성을 나타내고 있다.

3.2 용담 소수력 기동특성 분석

용담 소수력은 용담댐 본 댐에 위치하고 있으며 하류에 일정하게 하천유지용수를 공급하기 위하여 소수력 발전기 3대(1,150kW×2, 1,800kW×1)가 설치되어 있다. 배전선로는 금산변전소(S/S)로부터 약 27km 떨어져 있으며 배전선로에 연결된 부하는 약 5,000kW이다. 1,150kW 소수력 발전기 1대에 대해 기동특성시험을 실시하였으며 설비현황은 표 2와 같다.

표 2 용담 소수력 설비 사양

Table 2 Specification of Yongdam small hydropower plant

설비명	설	비	현	황
수 차	종 류	횡축 프란시스		
	출 력	1,250kW/대		
	대 수	2 대		
	정격낙차 /유량	46m/6.2m <sup>3</sup> /min/대		
	정격속도	734rpm		
발전기	무구속 속도	1,470rpm		
	종 류	3상 농형 유도발전기		
	출 력	1,150kW(정격)/대		
	절연등급	F중(155℃)		
	극 수	10극		
	대 수	2 대		
정격전압/전류	3,300V/215.5A			
효율/역률	93.5%/0.8			

그림 9는 프란시스형 수차발전설비 외형도이며, 입구에 유지보수용 입구밸브(Inlet valve)가 있고 그림 10과 같이 유량조절용 밸브인 가이드 베인(Wicket Gate)이 설치되어 있다.

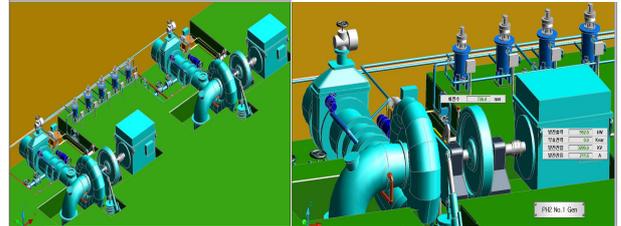


그림 9 용담 소수력 설비의 개략도

Fig. 9 Outline drawing of Yongdam SHPP(1,150kW×2)

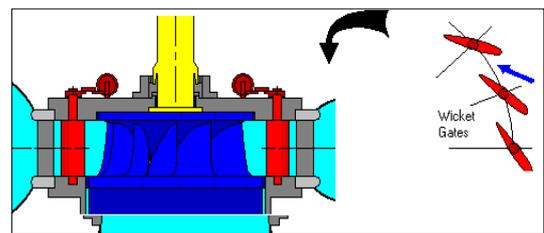


그림 10 프란시스 터빈의 유량 제어

Fig. 10 Flow control of Francis Turbine

용담 소수력발전소는 가버너를 통해 제어되는 가이드베인으로 유량 조절하기 때문에 계통 병입전에 발전기 속도조절을 그리고 계통 병입후에는 출력조절을 하게 된다. 대형댐 소수력은 주어진 낙차에서 밸브를 완전 개방하여 유량 조절 없이 최대유량을 이용하여 발전하는 반면에 본 용담 소수력은 유량조절에 의한 출력 조절이 가능한 점이 다르다.

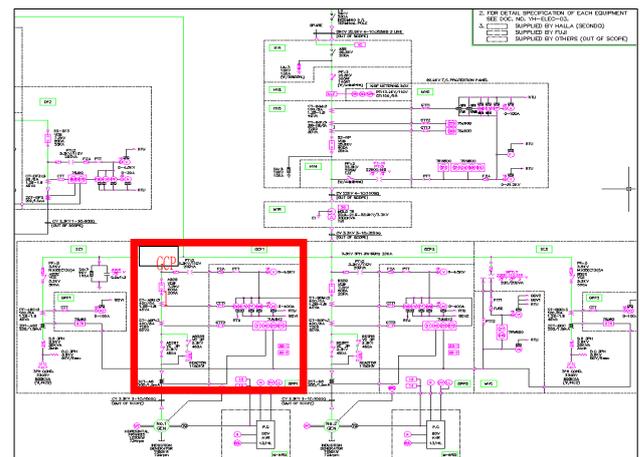


그림 11 용담 소수력 설비의 단선도

Fig. 11 Single line diagram of Yongdam SHPP

그림 11은 용담댐 소수력 발전소 설비의 단선도를 나타낸 것이고, 그림 12는 발전기 기동에서 안정화 이후(2분48초~5분31초)까지 전체 측정 결과이며, 그림 13은 기동순간(3분09

초~3분15초)을 측정한 데이터이다.

그림 12 및 그림 13에서 전압, 전류는 실시간으로 측정된 실효값이고, 전력 및 역률은 실시간으로 연산하여 나타낸 것이다. 추가로 전압과 전류를 순시값으로 측정된 데이터는 그림 14와 같다.

그림 12에서와 같이 발전은 완전 자동으로 0초에서 기동 명령을 내리면 바이패스 밸브가 열리게 되며, 입구차단용 밸브 전후단의 압력이 같아지면 입구차단용 밸브가 열리고 완전 개방 후 유량조절용 가이드 베인이 서서히 열리면서 수차가 회전하기 시작한다. 용담 소수력 발전설비는 미세한 유량조절이 가능하므로 유량도 서서히 증가시키면서 회전속도(계기판 확인)가 서서히 증가한다.

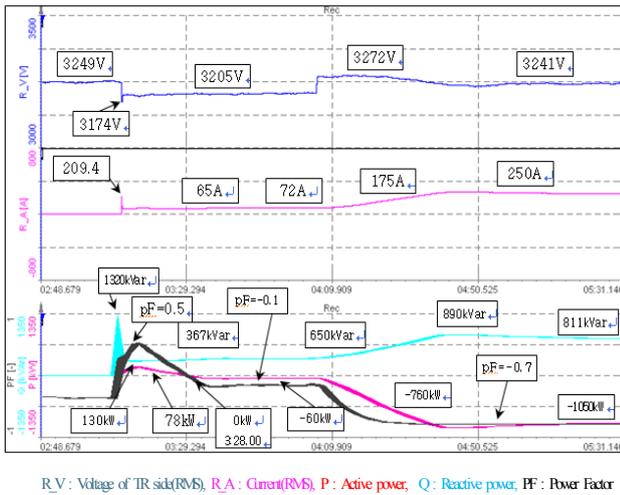


그림 12 용담 소수력 발전기 기동 및 정상운전 측정 결과  
Fig. 12 Measurement results between starting and stabilized condition of Gen(RMS data) in Yongdam SHPP

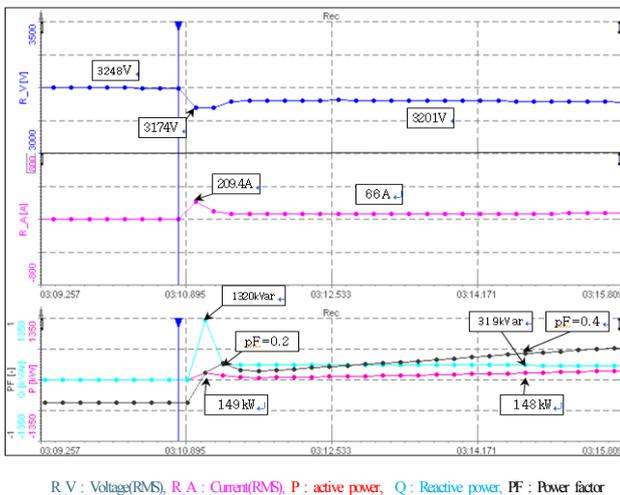


그림 13 용담 소수력 발전설비의 발전기 기동시 측정값  
Fig. 13 Measurements results(RMS data) during starting of Yongdam SHPP

그림 12에서와 같이 동기속도는 720rpm이지만 715rpm 정도에서 계통 병입용 차단기가 투입(3분10초)되며, 약

718rpm까지 상승되도록 가이드 베인이 조정되고 이때에는 전동기로 운영되게 된다. 용담 소수력 발전기는 리액터를 이용하여 기동되게 되며 투입시 먼저 주차단기와 기동리액터가 동시 투입되어 전동기 기동방식과 같이 기동되고 약 58초 후 보조차단기가 투입(4분8초)되어 기동리액터와 분리하여 발전되도록 구성되어 있다.

그림 13에서와 같이 기동리액터를 통한 계통 병입 순간 발전기에 전압이 인가되면 이때 돌입전류와 리액터가 전동기와 직렬로 연결되기 때문에 전압강하(2.3%)가 발생(3,248V→3,174V)하고서 바로 안정화되어 3,201V까지 상승한다(3분 12초). 이후 리액터를 바이패스하여 정상 운전할 때(4분 8초)에 발전기의 전압이 3,272V까지 상승하여 병입 전 3249V보다 더 커지고 그 이후는 계통전압에 따라 변화한다.

돌입전류는 실효값으로 209.4A로서 정격전류(215.5A) 보다도 적으며 순간적인(3분10초~3분11초) 순시값은 그림 14와 같이 최대 800A까지 측정되었으며 이는 본 발전기의 정격전류의 3.7배이나 약 7cycle(약 0.12초) 이내에 안정화되는 것으로 나타났다. 기동순간 실효값과 순시값이 차이가 나는 것은 실효값을 나타내기 위한 순시값의 샘플링 간격이 0.2초로 순시값을 받아서 연산하는 시간 간격이 너무 큰 것이 원인이라고 판단된다. 그리고 전류상승시간이 매우 낮아 순시값에서의 전압강하는 최대값이 4,509V에서 3,969V로 강하되어 단지 1.2%정도의 전압강하를 보였다.

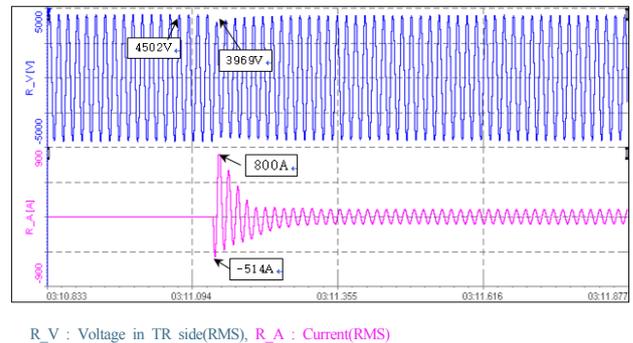
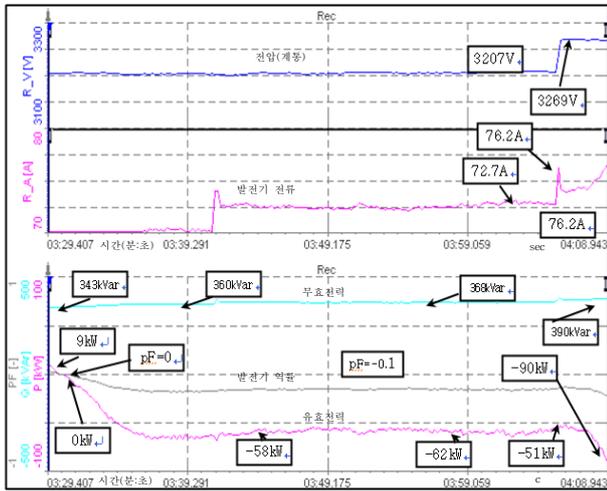


그림 14 용담 소수력 설비의 발전기 기동시 전압 및 전류  
Fig. 14 Voltage and current(Real data) measured during starting of Yongdam SHPP

그림 12 및 그림 13의 하단부에서와 같이 전력부분은 계통병입과 동시에 발전기측으로 유효전력과 무효전력이 유입되는 것으로 나타났으며, 최대값은 각각 130kW(3분10초)와 1,320kVar(3분10초)까지 상승한다. 이때에는 아직 동기속도인 720rpm이 되기 전이므로 전동기로 운전되며, 본 프란시스 수차에서는 가이드 베인을 매우 미세한 양만큼 조정하면서 개방하므로 그림 12와 같이 약 3분 29초에 720rpm을 넘어 서면서 전동기가 발전기 모드로 바뀌고, 리액터가 바이패스된 후 정상전압이 발전기에 인가된 후 유량을 급격히 늘리면서 속도가 크게 상승하면서 유효출력이 점점 커지고 732rpm에서 계통으로 공급되는 유효전력은 1,050kW까지 상승되는 것을 알 수 있다. 무효전력은 계통으로부터 발전기로 공급되는 방향으로 계속 유지되며 출력발생을 위한 자화

성분 만큼의 크기를 유지한다.

그림 15에서와 같이 유효전력은 기동리액터를 이용한 기동순간 130kW로 상승 후 유량증가에 따른 속도상승에 따라 0kW까지 전동기 모드로 운전(회전속도 715rpm~720rpm)되고 그 후 발전기 모드로 바뀌어서 0kW~-1,050kW로 발전기 모드로 운전(720rpm~732rpm)된다.



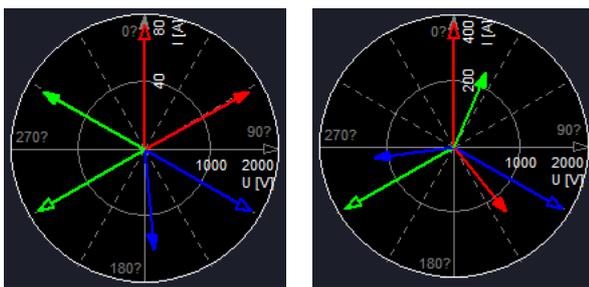
R.V: Voltage(RMS), R.A: Current(RMS), P: Active power, Q: Reactive power, PF: Power Factor

그림 15 리액터 부착 전후의 운전 곡선

Fig. 15 Operating curve before and after installation of the reactor

그림 16은 용담 소수력 발전소의 기동 및 정상 운전시의 전압 및 전류의 페이서도를 나타낸 것이다.

기동순간에는 전압과 전류의 위상차가 지상 0~90°로 나타나고 안정화된 후에는 역률이 지상 90~180°로 운영되며 무효전력은 수전, 유효전력은 계통으로 공급하는 방향으로 전개되는 유도발전기의 운전특성을 잘 나타내고 있다.



(a) starting

(b) normal

그림 16 기동시 페이서도

Fig. 16 Phasor diagram at starting and normal operation condition

#### 4. 결 론

본 연구에서는 소수력 발전소에서 1,000kW 전후의 유도발전기를 사용하여 계통 연계할 경우 발생하는 것에 대해 분

석하였다.

출력 용량과 수차 형식이 다른 두 곳의 소수력발전소를 분석한 결과 유도발전기의 기동에서 정상 운전까지는 유도발전기의 기동시 돌입전류에 의한 특성과 거의 일치하는 것을 알 수 있었다. 다만 기계적으로 수력에너지가 발전기를 회전시키므로 기동 토크를 위한 전류가 포함되지 않는 것뿐이다. 단지 전력계통에의 병입 순간 돌입전류에 의해 유·무효전력이 수전되고, 대형 소수력의 경우 유량조절 밸브가 없어 계통 병입후 연속으로 급속하게 유량이 증가하여 속도가 증가되면서 돌입전류도 안정되고 전동기 모드로는 순간적으로 운전된 후 동기속도를 넘어서면서 유효전력을 발생시키므로 발전기 모드로 전환되며 속도가 약간씩 상승되면서 출력이 상승되었다. 그러나 용담 소수력의 경우 유량조절밸브인 가이드 베인이 있어서 초기 기동부터 서서히 유량을 늘려가게 되고 계통 병입 후에도 전동기 모드에서 어느 정도 운전 후 서서히 유량을 늘리면서 발전기 속도를 늘려감에 따라 전동기 모드에서 발전기모드로 전환되는 상태를 확인할 수 있었다.

이상에서 분석된 바와 같이 유도발전기의 경우라도 기동시 속도상승에 따라 전동기 모드를 거쳐서 발전기 모드로 전환되게 되고 순시전압강하도 전동기 모드에서 발생하여 기동특성이 동일한 현상을 나타내므로 순시전압강하에 대한 검토는 계통에서의 동일 용량의 전동기와 같은 방법으로 실시하여도 가능할 것으로 판단되므로 적정용량의 기동리액터나 소프트 스타터 등의 기동방법을 사용하면 1,000kW 이상이라도 계통 특성에 따라 유도발전기 적용도 가능할 것으로 판단된다. 또한 상시전압 변동에 대해서도 유도발전기의 경우 발전에 따른 전압변동이 크지 않은 것으로 분석되었다.

#### References

- [1] K-water, "Detailed design report for Daechong Small Hydro Power Plant", 2005
- [2] K-water, "Detailed design report for Yong Dam Small Hydro Power Plant", 2001
- [3] Young-Kuk Kim, "A Study for selection of generator type in the small hydropower plant by analyzing the power flow of the distribution line the plant is linked", Gangneung-Wonju University Master's thesis, 2013.02
- [4] J. Ramachandran et al., "Dynamic behavior of single-phase induction generators during disconnection and re-connection to the GRID", 16th PSCC, Glasgow, Scotland, 2008. 6
- [5] K. S. Pankaj, J. P. Nelson, "Application Guidelines for Induction Generators," in Proc. International Conference on Electrical Machines and Drives, Milwaukee, Wisconsin, May 18-21, 1997, Paper WC1/5.1 - WC1/5.3.
- [6] M. Godoy Simoes & Felix A. Farret, "Renewable Energy Systems-Design and Analysis with Induction Generators", CRC Press, 2004
- [7] Jong-Gyeum Kim, "Characteristics Analysis of

3-phase Induction Generator at the Unbalanced Load Operation”, KIEE, Vol.56, No.3, pp. 123-128, 2007.9

[8] Jong-Gyeum Kim, Young-Jeen Park, Il-Jung Kim, Young-Kuk Kim, “Characteristics Analysis of Induction Generator with a Change in Rotor Speed”, KIEE, Vol.60, No.12, pp.2225-2229, 2011. 12

[9] Jack J. Fritz, “Small and Mini Hydropower Systems”, McGraw-Hill Book Company, USA, 1984.

## 저 자 소 개



### 김 영 국 (金 榮 國)

1966년 1월 18일 생. 1990년 인하대학교 전기공학과 졸업. 2013년 강릉원주대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 1월 8일~현재 한국수자원공사 팀장.

E-mail : kyk1817@kwater.or.kr



### 김 종 검 (金 宗 謙)

1961년 10월 3일생. 1984년 동아대학교 전기공학과 졸업. 1996년 충남대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1996년~현재 강릉원주대학교 전기공학과 교수. 현재 당학회 평의원

Tel : 033) 760-8785

E-mail : jgkim@gwnu.ac.kr