

수차 발전기의 실시간 효율관리 기법 연구

김승호, 권영준
한국수자원공사

The study on the technic of real time efficiency management of hydro turbine - generator

Kim, Seung Hyo, Kwon, Young June
Korea Water Resources Corporation

Abstract

In the operation and maintenance activity of hydro turbine generator, one of the important parameters is the efficiency. This study analyze the case of efficiency management by pressure time method and suvey the application of this method through the actual test. And it is confirmed that the pressure time method excessively limit the general condition to be applied.

If index method is used for efficiency management because the index method calibrated by absolute discharge(by flow of pressure time method) is very accurate, it make to be able to manage the realtime efficiency.

1. 서론

오늘날 모든 에너지 생산 및 소비 시스템은 고효율화 및 성력화(省力化)를 위해 연구를 집중하고 있다. 특히 회전기계의 성능에 있어서 가장 중요하게 관리되어야 할 부문의 하나가 효율(eficiency)이며, 발전설비와 같은 대형 프랜트 설비의 경우 그 중요도가 더하다고 볼 수 있다.

발전설비에 있어서 효율의 확인은 설비 준공시 인수 절차의 단계로 보증효율의 검증을 목적으로 수행하고, 설비 운영시에는 고효율 운영과 더불어 경년변화의 현상으로 나타나는 효율저하의 정도를 확인하여 경제적 시설 개·대체 시기를 결정하는 객관적 자료의 확보를 목적으로 하고 있다. 즉 운영중인 설비의 사용연수 증가로 인한 열화정도를 확인 방법중의 하나가 효율관리이다.

수력을 이용하는 수차발전기의 효율은 수차의 효율과 발전기의 효율로 분류되는데, 발전기의 경우 경년에 따른 효율저하 정도는 매우 미약한 것에 반해, 수차의 경우 경년에 따른 변화가 크므로 수력발전소에서 중요한 관리항목의 하나가 된다.¹⁾

수차발전기 효율 관리에 필요한 요소는 출력(output), 낙차(Head), 유량(Flow)이 기본인자이며, 이중 가장 측정이 어려운 인자는 유량이다. 그리하여 이를 보다 저렴한 비용과 높은 정확도를 확보하기 위해 다각도로 연구 개발되었고 현재도 꾸준한 연구가 진행되고 있다.

실물수차에서 효율관리를 위해 유량 측정용 기기를 설치한다는 것은 비용 측면과 정확도 유지 측면 때문에 적절한 유량 측정방법 선정에 매우 어려움이 있다. 특히 기존 설비에 유량 측정장치를 설치한다는 것은 수압관로 등 설비 특성상 선택의 폭이 매우 한정적일 수 밖에 없다.

본 연구에서는 발전설비 건설시 유량 측정장치가 설치되어 있지 않은 설비에 적용이 용이하고, 또 설치비

용이 저렴한 압력시간법을 이용하여 실물수차의 효율 관리에 적용한 사례를 고찰하고, 이를 응용한 실시간 효율관리 기법에 대해 고찰해 보기로 한다.

2. 본론

2.1 압력시간법에 의한 효율측정

2.1.1 기본 이론

효율시험에 사용되는 이 유량 측정법은 뉴튼의 법칙에 근거하여 두 단면간의 게이트(水口, gate) 폐쇄로 인한 유체질량의 감속으로 나타나는 압력변화와 시간과의 관계에 의해 유체 역학적으로 유량을 산출한다.

마찰이 없는 유체에서 일정단면(A)을 갖는 상류측과 하류측의 거리 L인 구간 관내의 유체질량 ρLA 가 속도 변화 dv/dt 를 갖을 때 상류와 하류 단면사이에는 ΔP 의 압력차가 생긴다. 이 때 역학적 평형 방정식은 다음과 같다.²⁾

$$\rho LA \cdot \frac{dv}{dt} = -A \cdot \Delta P$$

여기서 $\Delta P = P_d - P_u$

만일 t가 게이트 폐쇄시간(유체의 속도 변화시간), ζ 압력손실(마찰손실)~ 이라면

$$A \int_0^t dv = \frac{-A}{\rho L} \int_0^t (\Delta P + \zeta) dt$$

이리하여 게이트 폐쇄전 유량 Q는

$$Q = AV_0 = \frac{A}{\rho L} \int_0^t (\Delta P + \zeta) dt + AV_1$$

게이트 폐쇄후의 유량 $Q_1 = AV_1$ 는 게이트의 누수량으로 수차운전과 관계없이 별도로 구할 수 있다.

즉, 압력시간법은 연속해서 게이트를 폐쇄할 때 두 단면사이에 나타나는 압력의 변화를 도식적으로나 수치적으로 기록하여 시간 축으로 적분하여 얻어진다.

2.1.2 적용 기준(IEC, JEC기준)

두 단면에서 압력 측정하는 압력시간법의 적용을 위한 유효조건은 다음과 같다.³⁾

- i) 수압측정 단면사이에 자유수면이 없어야 한다.
- ii) 측정 두 단면간의 관로는 직선이고 일정 단면적으로 불균일부가 없어야하며 두 단면간의 거리는 10m 이상이어야 한다.
- iii) 두 단면간의 길이와 관로의 단면적은 정확한 관로 상수를 구하기 위해 정밀도 2% 이내로 현장 측정되어야 한다.
- iv) 최대 유량시 두 단면간의 압력손실과 동압의 합은 Gate 폐쇄시 측정된 차압 평균치의 20% 이내이어야 한다.

2.1.3 측정장치 및 배치

압력시간법을 사용하여 유량을 측정하는데 필요한 장치는 다음과 같다.

- 각 측정단면에서 압력 측정장치

- 시간 측정장치
- 수위 측정장치(Level meter)
- 압력 측정장치의 교정기기
- 기록장치(Data acquisition system)

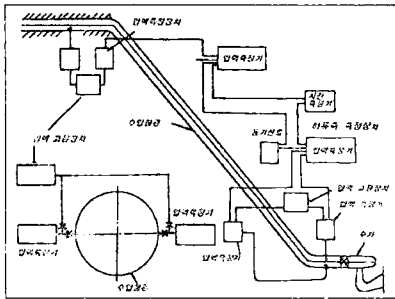


그림 1 압력시간법의 측정장치 배치도

2.1.4 유량의 계산

압력 또는 차압 변환기에 의해 측정된 차압은 수치적으로 기록되어 컴퓨터에 의해 계산하여 결과를 산출하였다.

$$\text{유량 } Q = \frac{A}{\rho L} \int_0^t (\Delta P + \zeta) dt + a$$

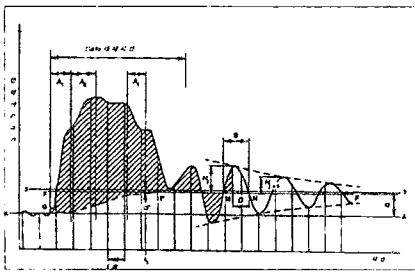


그림 2 압력시간법의 차압선도 예

2.1.5 오차 한계

압력시간법은 양호한 기기의 사용과, 고도의 기술로 결과를 분석하고 계산을 수행하는 전문요원이 필요하다. 95%의 신뢰수준에서 컴퓨터를 이용한 압력시간법의 종합오차는 약 1.5% ~ 2%이고 그외의 경우 1.8% ~ 2.3% 정도이다.4)

2.2 압력시간법의 적용 사례

2.2.1 적용사례

전술한 바와 같이 수차 발전기의 효율관리가 중요시됨에 따라 기존 발전소의 관로상에 압력 측정 설비를 추가로 설치하여 압력시간법을 적용한 사례는 다음과 같다.

- 상하 측정단면간에 분기관이 있는 경우
- 상부압을 저수위로 측정하는 경우
- 지수법(index method)과의 비교

2.2.2 사례별 비교

i) 상하 측정단면간에 분기관이 있는 경우
실제 수력발전소의 경우 압력 측정탐을 관련 규격서의 조건에 맞도록 설치할 수 있는 경우는 매우 희박하므로, 이러한 조건에 맞는 경우와 맞지 않는 경우의 두 조건에 대해 시험하여 결과를 비교 하였다.

시험결과 표1과 같이 유량오차가 최대 0.6 %로 나타나 큰 차이가 없는 것으로 확인 되었으며, 측정 단면간의 관로 치수를 정확히 측정한다면 분기관 등 관로 조건이 유량에 미치는 영향은 아주 미세하다는 결론을

얻을 수 있었다.

출력(MW)	40.8	61.3	81.6	101.0	
유량	분기후	54.6	76.8	99.6	128.5
m³/s	분기전	54.8	77.2	99.6	129.3

표 2 관로 특성별 유량비교표

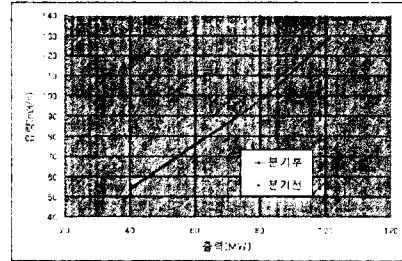


그림 3 관로특성별 유량 비교곡선

ii) 상부압을 저수위로 측정하는 경우

관로 중간에 조압수조 등 개방부가 없는 경우 상부 측 압력대신 저수위로 측정하여 유량을 계산하였다. 유량산출 결과, 상당히 정확한 유량을 얻을 수 있었다. 이는 발전소 특성상 상부압을 관로중간에서 측정하기 곤란한 경우 적용할 수 있어 압력시간법의 적용범위의 확대가 가능해졌다.

iii) 지수법(index method)과의 비교

지수법은 통상적으로 수차발전기의 스피어럴 케이싱에 설치된 지수 탭에서 측정된 압력으로 상대 유량을 확인하는 방법이며, 압력시간법에서 얻어진 유량으로 교정하는 경우 매우 정확한 유량을 얻을 수 있었다.

다음 그림은 압력시간법과 지수법의 유량 자료와 곡선을 나타낸다.

출력(MW)	40.8	61.3	81.6	101.0	
유량	압력시간법	54.6	76.8	99.6	128.5
m³/s	지수법	54.5	77.6	99.3	128.4

표 3 관로 특성별 유량비교표

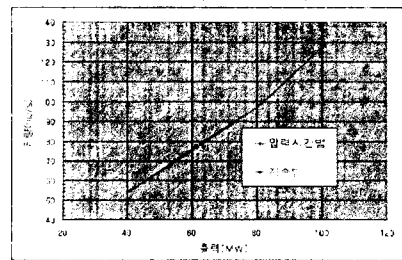


그림 4 압력시간법과 유량 비교곡선

2.3 실시간 효율관리 기법

수차발전기의 효율관리는 궁극적으로 실시간 감시가 이루어져야 한다. 그러나 압력시간법에 의해 얻어진 유량은 정확도가 높으나 운전중 실시간으로 확인이 불가하다. 이러한 문제의 해결을 위한 실시간 유량을 측정방법과 효율산출하는 시스템을 고안하였다.

2.3.1 실시간 유량측정 개념

앞서 압력시간법과 지수법의 유량 비교결과, 교정된 지수유량은 상당히 정확하므로 이 지수 유량을 사용하면 정도가 높은 실시간 효율관리가 가능하게 된다.

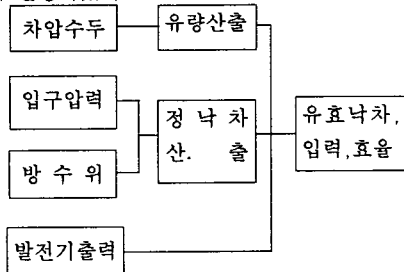
즉 지수 차압수두 Δh 는 수차 가동중에 실시간으로 연속 측정이 가능하므로, 압력시간법에 의해 얻어진 결과를 기준으로 유량지수 n 과 계수 k 가 정해지면 실시간 지수유량 산정이 가능하다.

지수유량 $Q_t = k \Delta h^n$

여기서 k 는 효율시험에서 얻어진 상수
 Δh 는 지수펌에서의 차압수두
 n 은 유량지수(0.49 - 0.51)

2.3.3 실시간 유량, 효율산출 흐름도

실시간 유량 및 효율산출은 PLC 및 설비관리 시스템(SCADA 등)를 이용하여 다음과 같은 흐름도에 의해 산정하였다.



2.3.4 본 기법의 특징

본 기법의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- i) 유량계 설치가 불가능한 기존의 설비에 용이하게 설치하여 실시간 유량 및 효율감시가 가능하고,
- ii) 기존설비인 PLC(programable logic control-ler) 등을 이용하므로 채택이 매우 용이하며,
- iii) 절대유량과 교정 가능하므로 적은 유지관리 비용으로 정확도 유지가 가능하다.

3. 결론

본 논문은 수차발전기에 대해 정도가 높고, 수행 비용이 비교적 저렴한 압력시간법을 적용한 효율관리 사례를 고찰해 보았다. 압력시간법은 IEC규격이나 JEC 규격에서 제시된 적용조건은 실질적으로 과다하게 제한한 부분이 있다고 판단되며, 보다 적용범위를 높이기 위해서는 판로조건 등 적용조건이 확대가 필요하다고 판단된다.

특히 지수법의 경우, 절대유량으로 교정하여 유량 지수 및 계수를 산정하면 유량 측정 정도가 매우 높다는 것이 확인되었다. 또한 이를 응용하면 실시간으로 효율 감시 및 관리가 가능하게 됨을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- 1) 石井 安南, 수차, 동경산업도서, 76p, 1970
- 2) IEC, IEC.41 field acceptance test to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines, 147p~159p, 1991
- 3) 일본전기학회, 수차 및 펌프수차의 효율시험방법, 전기학회, 55p~56p, 1992
- 4) IEC, IEC.41 field acceptance test to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines, 161p, 1991