장대관로를 이용한 소수력 발전량 향상을 위한 설계요소에 관한 연구

A Study of Design factors for Increasing Energy Production in Small Hydro power with Using Long Pipe

김 현 한* · 김 광 호*
(Hyun-Han Kim · Kwang-Ho Kim)

Abstract - Recently the need for renewable energy development is expanding due to the global climate change, the environmental issues and the limited fossil energy resources. Dependence of energy on overseas is high in Korea. To resolve the environmental problems and to improve the energy independence rate, the development of renewable energy is more required. The small hydro power, one of the renewable energy resources, has been developing and operating from a long time ago. If we are new developing a small hydro power with the use existing dams and reservoirs, we will design the length of inlet pipe and the diameter suitable for it. However, in case of using the existing water supply pipe which had been designed suitable for water service, the designer has to review and check that the pipe is suitable for operating a generator. In this paper, the design of small hydro power using the existing long pipe of water supply, we suggest the optimum way to reduce the water hammer in pipe which causes the unsteady flow during the load-shutdown of generator, the generator operation plan for the stable supply of water and the design factor of determining the generator capacity through the analysis between discharge and head-loss.

Key Words : Small hydropower design factors, Head loss & discharge

1. 서 론

최근 세계적인 기후변화 및 환경문제 대두와 함께 화석에너지 자원의 유한성으로 인하여 신재생에너지 개발에 대한 필요성이 확대되고 있는 실정이다. 최근 수소, 연료전지, 석탄액화가스화 및 태양광, 풍력, 소수력, 등과 같은 신재생에너지원은 미래의 에너지 자원으로 중요하게 다루어지고 있으며, 특히 우리나라와 같이 해외 에너지 의존도가 97%[1]에 이르는 현실을 고려해 보면 에너지 자립도 향상을 통하여 유가불안, 외환위기 등 외부환경으로부터 영향을 최소화하고, 국내의적인 환경문제에 대한 해결책으로 신재생에너지에 대한 적극적인 개발 방안을 강구하여야 한다. 그러나 대부분의 신재생에너지 개발은 충분한 기술력 부재 또는 개발에 따른 고비용 때문에 상업성이나 경제성확보가 다소 어렵지만, 소수력은 1978년 강원도 안홍소수력(450kW)을 시작으로 이미 오래전부터 개발 운영되고 있어 다른 에너지에 비하여 경제성 및 기술력이 충분히 향상되어 있다고 볼 수 있다. 현재까지 국내의 소수력 개발 현황을 살펴보면 2013년 기준 118개소가 운영중에 있으며 설비용량은 158.68MW로써 2013년도의 연간발전량은 655,192MWh 정도이고[2], 주로 농업용 또는 생·공업용 저수지의 방류 낙차를 이용하거나, 기

존 수도 관로의 잉여낙차를 이용한다. 특히 기존 관로를 이용하여 소수력을 개발할 경우 관로의 당초 이용 조건이 달라지기 때문에 소수력 설계시 이를 충분히 고려하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 기존에 설치된 수도용 장대관로를 이용한 소수력 개발을 설계함에 있어서 관로에 대한 안정성 확보 방안으로 소수력 발전기의 부하차단시 관로에 발생하는 부정류에 의한 수충격 완화방안을 제안하였으며, 용수공급 특성에 따른 사용수량별 분석을 통하여 최적의 발전기 용량 결정을 위한 설계요소를 도출하였다. 그리고 관로 운영의 제한 사항을 해소할 수 있도록 소수력과 By-pass관로와의 연계운전을 통하여 연간 발전량을 증대시킬 수 있는 방안을 제안하였다.

2. 본 론

2.1 댐 수위관리 및 관로현황

본 논문에서 소수력 개발을 위하여 모의한 수도용 도수관로는 영천댐과 안계댐 사이의 연결 관로이며, 이 관로는 포항지역 공업용수 공급을 위하여 안계댐 부족 물량을 영천댐으로부터 공급받기 위한 것이다. 따라서 그림 1과 같이 자연유하 형식으로 영천댐에서 안계댐으로 유입되는 관로의 낙차를 이용하여 소수력을 개발하는 것인데, 먼저 댐 운영 및 공업용수 공급현황을 살펴보면 영천댐의 경우 연중 수위를 EL.138.0m~EL.159.9m, 안계댐은 EL.31.0m~EL.44.97m 사이에서 관리하고 있으며, 상시만수위에서 낙차는 112.9m

* K-water, Korea

† Corresponding Author : Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon National University, Korea
E-mail : khokim@kangwon.ac.kr

Received : May 20, 2014; Accepted : July 22, 2014

이다. 관로현황을 살펴보면 1977년에 설치된 관로소서 영천댐 취수탑에서 소수력 발전소 까지 총 연장은 약 25km이며, 이 구간 중 8.9km는 직경 2,200mm의 터널 구간이며, 약 15.7km는 직경 1,350mm인 강관 구간으로 구성되어 있다.

그림 1 용수공급 개통도

Fig. 1 Water Supply Pipe Line

안계댐은 영천댐의 물을 받아 포항지역의 공업용수 공급을 위한 중간 저류조 역할을 하기 때문에 갈수기 및 홍수기를 대비하여 상시 EL.41m 정도의 수위 유지가 필요하며, 이를 위하여 영천댐에서 약 1.62m³/sec~3.2m³/sec 정도의 용수가 연중 안계댐으로 공급된다. 그렇기 때문에 도수관로에 문제가 발생하여 용수공급에 지장을 초래하게 되면 안계댐 자체만으로는 포항 공업지역에 대한 용수공급이 충분하지 않기 때문에 도수관로의 기능은 매우 중요하다고 볼 수 있다. 관로의 운영 현황을 살펴보면 용수공급은 평균적으로 약 2.57m³/sec 정도로 공급되고 있으며, 용수공급량을 유입부에 위치한 제수밸브실에서 제어하기 때문에 관로의 상시 압력은 3.5~4.5kgf/cm² 정도로 낮게 유지 된다. 그러나 관로 유출부에 소수력을 설치하게 되면 정상적인 운영조건에서는 관로압력이 약 9.8kgf/cm² 정도로 상승하여 문제가 없지만, 송전선로의 정전이나 기기의 고장 등으로 인하여 수차발전기가 비상정지하게 되면 Guide Vane 급폐쇄에 따른 수충압 발생으로 관로압력이 약 38.2kgf/cm² 까지 상승하기 때문에 도수관로에 심각한 손상이 발생할 수 있다. 따라서 이러한 도수관로를 이용하여 소수력을 개발할 경우에는 발전설비 운영에 따른 관로의 안전성을 충분히 검증하여야 하며, 또한 관로의 당초 목적인 용수공급 기능에도 문제가 없도록 소수력발전소를 설계하여야 한다.

2.2 도수관로의 안정성 해석

소수력이 설치되는 도수관로의 종단도는 그림 2와 같은데, 강관의 시작점인 제수밸브실 위치는 해발고도 EL.122.28m이고, 발전소가 설치된 지점은 제수밸브실과 약 15km 떨어진 EL.43.9m에 위치해 있으며, 관의 규격은 A종 강관으로 상시

사용 가능 압력은 20kgf/cm²이다. 터널구간을 제외한 제수밸브실과 발전소 사이 강관으로 구성된 구간이 수충격의 영향을 받는 구간이며 특히, 관로상 최저점은 EL.10.0m로 관로 운영중 관압이 가장 높기 때문에 수충격 발생시 이 구간이 가장 취약한 부분으로 볼 수 있다.

그림 2 도수관로 종단도

Fig. 2 Pipe Line Vertical Section

이러한 관로 상태에서 발전기 설치 전과 발전기 설치 후의 관압 변화정도에 대하여 관망해석 프로그램(KY-pipe)을 이용하여 모의하면 그림 3과 같이 발전기 설치전에는 관로압력이 3.5kgf/cm²~4.5kgf/cm² 정도를 유지하지만 발전기를 설치하여 정상적으로 운영되는 조건에서는 관로압력이 약 9.8kgf/cm²로 상승하는 것으로 나타났다. 따라서 발전설비가 정상적으로 운영될 경우에는 관로운영에 지장이 없는 것을 확인하였다.

그림 3 발전기 설치 전/후 관로 압력

Fig. 3 Pipe Pressure before/after Installing Generator

그러나 발전기 운영중 전력계통의 정전 또는 기기의 이상 등으로 발전기가 비상 정지되면 수차 Guide Vane이 급 폐쇄되는데, 수차의 사용수량을 3.3m³/sec로 하고 Guide Vane Closing Time을 10sec로 운영하는 조건에서 수충격에

의한 관로 압력상승 변화를 모의한 결과 그림 4와 같이 관로 최저점(EL.10.0m) 압력이 38.2kgf/cm² 정도로 상승하는 것으로 나타났다[3]. 결과적으로 고장 사고로 수차가 급폐쇄되면 관로의 압력은 정상적인 사용압력(20kgf/cm²)을 초과하기 때문에 도수관로에 문제가 발생한다. 따라서 수충격 완화 대책이 필요한데 일반적으로 PRV(Press Relief Valve)를 설치하거나 또는 Air Chamber를 설치한다. 그러나 PRV나 Air Chamber를 설치하게 되면 설질값에 의하여 동작압력을 제어하기 때문에 안정적이고 운영이 간단하지만 비용이 많이 들고 유지관리에 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 추가적인 설비보완 없이 수차의 Guide Vane 폐쇄시간 조정을 통하여 압력을 제어하는 방안을 제시하였다.

그림 4 G/V 긴급 폐쇄시 관로 압력
Fig. 4 Pressure at G/V Emergency Closing

Guide Vane 폐쇄시간 조정에 있어서 앞에서 설명한 바와 같이 Closing Time을 10초로 하게 되면 수충격으로 인하여 관로내 압력이 관로의 정상 사용압력을 초과한다. 그러나 Guide Vane 폐쇄시간을 길게 하게 되면 발전기 비상 정지시 수충격 현상은 크게 완화시킬 수 있지만 폐쇄시간이 길어진 만큼 수차발전기의 무부하 운전에 따른 과도한 회전수 상승으로 발전기권선 또는 베어링 등에 손상을 줄 수 있기 때문에 수차발전기의 관성모멘트를 고려하여 Closing Time을 조정하여야 하고 또한 이에 맞게 수차발전기를 제작하여야 한다. 표 1은 수차의 최대 사용수량 3.3m³/sec인 상태에서 Guide Vane의 Closing Time을 조정하는 절차이다. Guide Vane개도를 5초 동안 100%에서 1.5%까지 교축하고 이 상태를 45초 동안 유지한 다음 46초에 Guide Vane의 개도를 1.5%에서 0.7%로 교축하여 95초까지 그 상태를 유지한다. 그리고 95초에서 5초 동안 0.7%에서 0.3%로 교축하여 150초까지 정지된 상태를 유지, 그리고 150초에서 5초 동안 0.3%에서 0.1%로 교축하여 195초까지 정지된 상태를 유지한 후 다시 5초 동안 완전 폐쇄하도록 한 것이다. 표 1과 같은 조건으로 Guide Vane Closing Time을 조정하여 관로의 수충격 현상을 모의한 결과 그림 5와 같이 관로 전 구간에서 최대압력이 15.6kgf/cm²으로[3] 관로의 사용압력인 20kgf/cm²를 초과하지 않는 것으로 나타나 Guide Vane 폐쇄시간 조정을 통하여 수충격을 완화할 수 있음을 확인하였다.

표 1 Guide Vane폐쇄속도 조정

Table 1 Control of Guide Vane Closing Time

시 간 (sec)	사용수량(3.3m ³ /sec)
	Guide Vane 개도(%)
0~5	100~1.5
45~46	1.5~0.7
95~100	0.7~0.3
150~155	0.3~0.1
195~200	0.1~0

그림 5 G/V Closing Time 조정후 관로 압력변화
Fig. 5 Pressure Changing after the G/V Closing Time

2.3 사용수량 및 낙차

댐식 또는 수로식의 소수력 발전은 하천의 풍수량, 갈수량 등의 유량분포를 이용하여 발전 사용수량을 결정한다. 그러나 수도용 관로를 이용하는 경우에는 현재의 용수공급 현황과 장래의 공급 계획을 고려하여 발전 사용수량을 결정하여야 한다. 본 논문에서 검토한 안계소수력의 경우 발전 사용수량은 현재의 포항지역 공업용수의 공급현황과 장래의 증가예상을 고려하여 영천댐에서 안계댐으로 공급되는 1.62m³/sec~3.2m³/sec을 발전 사용수량으로 고려하였다.[4] 그리고 유효낙차는 댐식 또는 수로식의 경우와 마찬가지로 취수구와 방수구 사이의 수위차인 총 낙차에서 관로의 손실낙차를 제외하는 방법으로 계산하였다. 도수관로에서 유체의 에너지는 식 1과 같이 나타낼 수 있으며[5], 관경이 일정한 관로에서 유량 많아지게 되면 유속이 빨라지고 이로 인하여 손실낙차가 증가하는데, 식 2와 같이 나타낼 수 있다. 수도용 도수관로와 같이 관경이 용수공급량에 맞추어 설치되어 있고, 더욱이 관로의 길이가 긴 장대관로의 경우 유량 변화에 따라 관로의 손실낙차의 변동 범위가 매우 크게 나타난다.

$$H_1 = h_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} \quad (1)$$

H_1 : 총 에너지

h_1 : 위치에너지

p_1/γ : 압력에너지 (P_1 : 압력, γ : 물의 중량)

$v_1^2/2g$: 운동에너지 (V_1 : 유속, g : 중력가속도)

$$h_1 + \frac{p_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + h_l \text{ (손실낙차)} \quad (2)$$

여기서 손실낙차(h_l)는 식 3과 같이 Darcy-Weisbach 식에 의하여 마찰 손실낙차와 미소 손실낙차로 구분할 수 있다.[6]

$$h_l = h_{fl} + h_{ml} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} + (f_i + f_o + f_b) \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

h_{fl} : 손실낙차(m)

h_{ml} : 미소 손실낙차(m)

f : 관로 마찰계수

f_i : 유입부 마찰계수

f_o : 유출부 마찰계수

f_b : 곡관부 마찰계수

미소 손실낙차는 주로 유입부, 유출부 및 곡관부 마찰계에 의하여 발생되는데 그 크기가 크지 않기 때문에 본 논문에서는 이를 제외하고 유속 증가에 따른 마찰 손실낙차에 대해서만 기술하였다. Hazen-Williams 식에 의하여 마찰 손실낙차는 식 4와 같이 표시할 수 있다. 동일한 관경에서 유량이 증가하면 유속이 증가하는데, 손실낙차는 유속의 제곱승과 관로길이에 비례하여 증가하게 된다.

$$h_{fl} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

L : 관로길이(m)

D : 관경(mm)

v : 유속 ($v = Q/A$)

Q : 유량(m^3/hr)

A : 관로단면적($\pi D^2/4$)

그리고 마찰 손실계수 f 는 식 5와 같이 표시되는데 여기서 관 내부의 거칠기를 나타내는 조도값(C)은 관의 종류 및 상태에 따라 적절한 계수값을 적용한다.[7]

$$f = 133.65 \cdot C^{-1.85} \cdot D^{-0.167} \cdot v^{-0.148} \quad (5)$$

관로의 길이가 긴 수도용 도수관로의 경우 발전기 사용수량이 적을 때는 관로내의 유속이 느려 손실낙차가 적지만, 사용수량이 많아지게 되면 관로내 유속이 증가하기 때문에 손실낙차는 커지고 유효낙차는 줄어들게 된다. 따라서 장대관로에서는 유량 변동에 따른 손실낙차 변화가 크게 나타나기 때문에 소수력 개발시 이를 충분히 고려하여야 한다. 본 논문에서 검토한 안계소수력의 경우 측정당시 영천댐 수위(EL.149.00m)와 안계댐 수위(EL.44m)의 총 낙차 105m에서 유량변동에 따른 손실낙차와 유효낙차의 관계를 보면 그림 6과 같이 나타난다. 관로의 총 낙차는 일정하지만 관로의

유량공급을 운영 범위인 $1.62m^3/sec \sim 3.2m^3/sec$ 사이에서 변경시키면 손실낙차는 34.2m~101.9m까지 발생되며, 이로 인하여 유효낙차는 3.1m~70.8m까지로 변동 범위가 매우 크게 나타난다.

그림 6 유량과 낙차 변동 관계

Fig. 6 Discharge and Head

2.4 관로 운영조건을 고려한 소수력 설계

수도용 도수관로로 이용되고 있는 기존 관로를 활용하여 소수력을 개발할 경우에는 도수관로 본래 운영 목적인 안정적인 용수공급에 지장이 없도록 소수력 발전설비를 설계하여야 한다. 그리고 수차발전기는 도수관로의 이용가능 낙차와 사용수량의 범위에 적합하도록 설계하여야 한다.[4] 그러나 앞에서 설명한 것처럼 유량과 낙차의 변동 범위가 큰 경우 이 모든 조건을 만족할 수 있는 수차를 제작하는 것은 현실적으로 어렵다. 따라서 관로 운영조건을 고려하여 소수력의 이용률을 가장 높일 수 있도록 개발 계획을 수립하여야 한다. 본 논문에서 검토한 안계소수력의 Cross-flow수차 제작사 기술기준에 따르면 최저 사용수량은 정격의 약17%까지로 운영 범위가 넓은 반면에, 사용 가능한 낙차의 범위는 정격 낙차를 기준으로 약 $\pm 15\%$ 정도로 상대적으로 좁다. 그렇기 때문에 사용수량 변동 범위가 $1.62m^3/sec \sim 3.2m^3/sec$ 이며, 유효낙차는 3.1m~70.8m사이로 변동범위가 큰 영천댐과 안계댐 간의 도수관로와 같은 운영조건인 경우에는 수차발전기를 저낙차 대유량과 고낙차 소유량으로 구분하여 각각 설치하여 운영하거나, 아니면 관로의 용수공급 현황을 분석하여 이용률이 높은 구간에 적합한 수차발전기만 설치하고 나머지 구간은 발전운전을 하지 않고 무효 방류하는 방법을 선택하여야 한다. 안계소수력의 경우 도수관로의 용수공급량 분포에 따라 연간 발전량을 예측하였는데, 사용수량에 따른 연간 발전량 분포는 그림 7과 같이 예측되었다. 그리고 전체 도수관로 용수공급량 범위에서 소수력의 연간 이용률은 42.1%이다. 그러나 앞에서 설명한 바와 같이 수차발전기 1대를 설치하여 전체 용수공급 유량범위를 모두 활용할 수 없기 때문에 이용률을 최대한 높일 수 있도록 수차발전기를 제작하여야 한다. 이에 대하여 제작사로 하여금 제작가능 범위를 확인한 결과 "A"구간으로써 수차발전기 사용수량은 $1.62m^3/sec \sim 2.12m^3/sec$, 운영 가능한 낙차는 73.6m~

그림 7 사용수량별 연간 발전량 분포도
Fig. 7 Discharge and Power Output

54.0m이다. 그리고 이 구간에 해당하는 소수력의 연간 이용률은 23.45%이다. 결국 수차발전기 1대를 설치할 경우 “A” 구간만 발전이 가능하고 나머지 18.65%에 해당하는 이용률 구간은 발전할 수 없어 관로를 통하여 무효방류 하여야 한다. 발전량 증대를 위하여 나머지 구간을 활용하기 위해서는 이 조건에 맞는 수차발전기를 별도로 제작하여야 하는데 이 경우 사업비 증가로 경제성이 낮아지는 문제점이 있다.

2.5 발전량 증대를 위한 개선방안 및 효과분석

본 논문에서는 그림 8과 같이 By-pass 관을 설치하여 발전기와 연동운전 하는 방안을 제시하였다. 기존 도수관로를 이용하여 소수력을 개발할 경우 연간 유량공급 범위를 모두 활용할 수 있도록 수차발전기를 설치하는 것이 가장 좋지만 앞에서 설명한 바와 같이 수차발전기의 제작 특성상 그리고 경제성 문제로 그렇게 할 수 없기 때문에 도수관로 유량공급 조건에 따라 소수력을 운영할 수 없는 미활용 구간이 발생한다. 기존 운영중인 수도용 도수관로를 이용하여 소수력을 개발할 경우 용수공급이 우선이기 때문에 어떤 경우라도 상시 필요한 유량을 공급할 수 있도록 시스템을 구축하여야 한다. 따라서 발전량 증대를 위한 개선 방안으로 By-pass 관과 연동운전 하는 방안을 제시하였는데, 도수관로 용수 공급량이 소수력의 사용수량을 넘지 않을 경우에는 소수력 운영을 통하여 용수를 공급하고, 용수 공급량이 소수력의 사용수량을 넘을 경우에는 By-pass관과 연동해서 소수력의 운영가능 범위까지는 소수력을 통하여 용수를 공급하고 초과한 물량에 대해서 By-pass관으로 공급하는 방안이다. 즉, By-pass관이 없는 경우에는 도수관로의 용수공급량이 소수력의 사용수량을 초과하게 되면 발전이 불가능하기 때문에 소수력 운영을 중지하고 그림 8의 Main관을 통하여 용수를 공급하여야 한다. 그러나 By-pass관과 소수력을 연동 운영하게 되면 By-pass 밸브 개도를 조절을 통하여 전체 용수 공급량 제어가 가능하기 때문에 수차발전기 사용수량을 초과하는 일정 용수공급 구간에 대해서도 소수력 운영이 가능하다. 따라서 전체 용수공급 현황을 기준으로 볼 때 연간 발전량은 증가된다.

그림 8 By-pass밸브 설치 모델
Fig. 8 Modeling of By-pass V/V Install

By-pass 밸브 개도를 변화에 따른 발전기 출력 변동에 대해서는 KY-pipe 프로그램을 이용하여 모의 하였는데, 이때 영전댐 및 안계댐 수위는 각각 EL.156.8m, EL.41m로 하였다. By-pass 관에 대해서는 그림 8과 같이 모델링하였고 표 2는 발전소 내 관로 모델에 대한 절점과 고도 및 관의 길이를 나타낸것이다.

표 2 수차 및 By-pass밸브 설치현황

Table 2 Turbine and By-pass V/V Installing

구 분	위 치	구간거리 (m)	해발고도 (EL.m)
By-pass V/V	J24 ~ AV3	18.5	43.4 / 44
	AV3 ~ J26	53.6	44.0 / 43
	J26 ~ R-2	4.4	43.0 / 41
	J24 ~ J25	55.4	43.4 / 41
Generator(Up)	J25 ~ L1	12	41.0 / 43
Generator(Low)	L1 ~ R-3	35	41.0

By-pass구간의 강관 구경은 600mm이며, 밸브의 개도를 0%~100%까지 5%씩 증가시키면서 By-pass를 Open하였다. 이 때 By-pass를 통과하는 유량, 소수력을 통과하는 유량, 그리고 낙차 변화와 함께 발전기 출력 변동에 대하여 모의 하였다. By-pass 밸브 개도가 0%인 경우 수차의 사용수량은 1.96m³/sec이며 이때의 발전기 출력은 1,123kW이다. 이런 상태에서 밸브 개도를 점점 증가시키면 그림 9와 같이 By-pass 관을 통과하는 유량은 점점 증가하는 반면, 수차 유량은 점점 감소하지만 전체 유량은 증가한다. 그리고 전체 사용수량 증가에 따른 유효낙차도 감소하면서 발전기 출력도 점차적으로 감소한다. 소수력 발전설비의 운전 범위를 보면 사용수량은 1.62m³/sec~2.12m³/sec이고, 낙차는 73.6m~54.0m이므로 당초 By-pass관을 설치하지 않았을 때 도수관로 공급유량 조건이 발전기 운전 범위를 벗어나게 되면 소수력 운영을 중지하고 Main관을 이용하여 용수를 공급하여야 한다. 그러나 소수력과 By-pass 관을 연동 운전하게 되면 그림 9와 같이 도수관로 전체 유량이 2.36m³/sec가 될

그림 9 By-pass밸브 개도와 유량 및 발전기 출력

Fig. 9 By-pass V/V opening, Discharge and Power Output

때 까지 소수력 운영이 가능하다. 이 경우 소수력은 $1.74\text{m}^3/\text{sec}$ 의 유량과 55.6m 의 낙차가 발생되며, By-pass관으로 $0.62\text{m}^3/\text{sec}$ 가 흐른다. 따라서 By-pass관과 연동으로 운영하게 되면 그림 7의 “B”구간 만큼 소수력 운영 범위가 확대되기 때문에 표 3과 같은 증대 효과가 있다.

표 3 운영조건 비교

Table 3 Comparison of Operating Condition

구 분	소수력 단독운영	By-pass 연동운영	증대효과
도수관로 유량(m^3/sec)	2.12	2.36	0.24
이용률(%)	23.45	31.04	7.59
발전량(MWh)	2,034	2,692	658
경제적 효과	1	1.32	32(%)

3. 결 론

소규모 댐 또는 보를 이용하여 소수력 발전을 개발할 경우, 수익성 증대를 위하여 발전기를 통하여 모든 물량이 공급되도록 관로의 규격을 결정한다. 그러나 기존 운영되고 있는 시설을 이용하여 소수력을 개발할 경우, 특히 수도용 도수관로와 같이 이미 관로의 규격이 당초 용수 공급 목적에 적합하도록 설계되어 있을 경우 동 관로가 소수력 운영조건에 적합한지 여부에 대한 검토가 필요하다. 또한 소수력을 개발하더라도 수도용 도수관로는 주요 기능이 용수공급이기 때문에 동 관로를 이용하여 소수력을 운영할 경우 당초 용수공급 계획에는 지장이 없도록 설계하여야 한다. 본 논문에서는 영천댐에서 안계댐으로 유입되는 도수관로의 잉여낙차를 이용하여 소수력 개발을 설계함에 있어서 수도용 도수관로로 설치된 기존 관로에 대하여 수충격 해석을 통한 발전설비 운영에 따른 관로의 안정성 확보방안을 제시하였다. 그리고 장대관로의 경우 유량 변화에 따른 손실낙차 변화가 크기 때문에 유량과 손실낙차의 관계 해석을 통하여 수차발전기의 제작 특성상 도수관로의 연간 유량공급 범위

에서 소수력을 운영할 수 없는 미활용 구간이 발생하는 것을 확인하였다. 따라서 도수관로의 용수공급 조건을 고려하여 소수력과 By-pass관을 연동 운전하여 연간 발전량을 최대한 높일 수 있는 방안을 제시하였다. 이를 통하여 소수력 이용률이 당초보다 약 7.59% 정도 향상됨으로써 연간 약 658MWh의 발전량 증대되어 약 32% 정도의 경제적 이득효과가 있음을 입증하였다.

References

- [1] Korea Institute of Energy Research “The Establishment of New and Renewable Energy Resource Map & Utilization System KIER-B12415” pp299
- [2] Korea Power Exchange “Electric Power Statistics Information System. epsis.kpx.or.kr”
- [3] K-water Han-Il, Kim, Dong-Geun Lee, Han-Yeong, Bark “The Report of Technical Assistant for Water Hammer Analysis 2006) pp 4~8
- [4] K-water “ANGYE Small Hydro Power Plant Working Design Report. 2010.4” pp47~53
- [5] European Small Hydropower Association “Guide on How to Develop a Small Hydro power Plant pp 13~15, pp 175~176
- [6] Byung-Ha Kim, Yang-Woo Mo, Chang-Ho Son, Soun-Hyun Youn, Jun-Yong Youn, Woong-Hag Chun Joint Translation “Fundamentals of Fluid Mechanics” Chung Moon Gak. pp 557
- [7] Luis Rodriguez and Teodoro Sanchez “Designing and Building Mini and Micro Hydro power Schemes” pp114~116, pp157

저 자 소 개

김 현 한 (金賢漢)

1965년 11월 5일생. 1992년 성균관대학교 전기공학과 졸업, 1992년~현재 한국수자원공사 재직, 2007년 강원대학교 전기공학과 대학원 졸업(석사), 현재 강원대학교 전기전자공학과 대학원(박사과정)

E-mail : hyunan@kwater.or.kr

김 광 호 (金光鎬)

1966년 1월 17일생. 1988년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업. 1994년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1995년 3월~현재 강원대학교 IT대학 전기전자공학부 교수

E-mail : khokim@kangwon.ac.kr