

수도관로를 활용한 소수력 개발

이형묵\*, 김흥년\*, 김기원\*, 이은웅\*\*  
 한국수자원공사\*, 충남대학교\*\*

Hdropower Development utilizing waterpipe

Lee, Hyung-Mook\*, Kim, Heung Nyun\*, kim, ki won\*, Lee, Eun-Woong\*\*  
 Energy Business Dept. Korea Water Resource Corporation\*, Chungnam Universtiy\*\*

**Abstract** - Many domestic organizations are pushing ahead with small hydropower business to develop a renewable energy. In addition each organization gradually spreads small hydropower business with searching the best site for it. And Kowaco (Korea Waters Resources Corporation) answers a purpose of the government policy to spread the wide use of a renewable energy. This study explains the researching programs for the best development sites for small hydropower generation with using water pipes managed and controled by Kowaco.

- 총 저수량 : 135백만m<sup>3</sup>
- 유효저수량 : 126백만m<sup>3</sup>

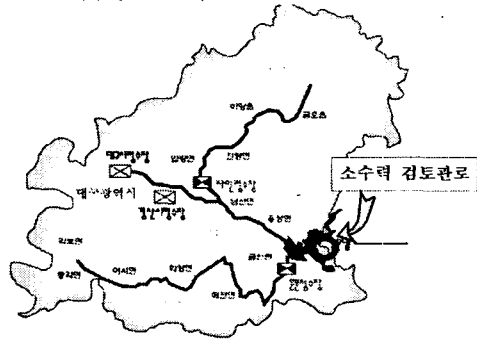


그림 2. 운문댐 용수공급현황 계통도

1. 서론

우리나라에서의 소수력 개발은 주로 소하천을 이용한 개발로 건설비용상승에 따른 경제성 불투명과 주변지역민의 각종 민원으로 제대로 이루어지지 않았다.

그래서 민원발생이 적은 농업용저수지, 농업용수로, 하수종말처리장, 수도사업장의 용수용 관로, 양어장의 순환수, 화력발전소의 냉각수, 다목적댐의 용수로 및 조정지 등의 방류량을 이용한 소수력을 개발하고 있다.

본 연구에서는 수자원 공사에서 운영관리하고 있는 수도관로상에서 소수력발전 가능성 지점을 조사·검토한 바 운문댐에서 취수하여 원수를 공급하는 금호강계통 광역상수도는 댐 수위가 저수위(EL.122m)상태에서 계획용량 392,000[m<sup>3</sup>/일]을 공급 가능토록 시설되어 있어, 댐의 수위가 저수위 이상인 평상시에는 여유수위에 의한 수력발전이 검토되어 금호강 계통관로의 도수터널 출구부에 소수력개발을 추진하여 사장되고 있는 청정 에너지를 활용한 무공해 전원을 개발하는데 그 연구에 목적을 두었다.

2. 소수력 적정성 검토

2.1 운문댐 시설 및 용수공급계통도 현황

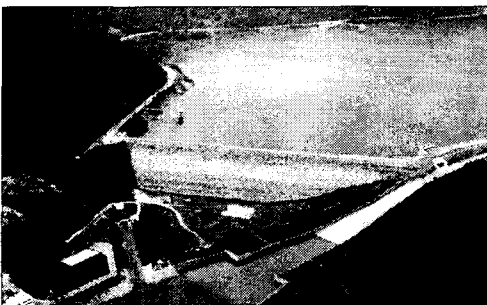


그림 1. 운문댐 전경

- 위치 : 경북 청도군 운문면 대천리
- 높이 : 55.0m
- 길이 : 407m
- 계획홍수위 : EL. 152.6m
- 상시만수위 : EL. 150.0m
- 저수위 : EL. 122.0m

표1. 용수 수수지점의 정수장

수수정수장	계획용수공급량 CMD(CMS)	착수정 수위	
		고수위(HWL)	저수위(LWL)
자인정수장	44,000 (0.509)	EL. 113.10	EL. 112.60
경산정수장	33,000 (0.382)	EL. 102.80	EL. 99.80
고산정수장	315,000 (3.649)	EL. 100.00	EL. 96.30
총 계	392,000 (4.537)		

2.2 소수력 개발의 기술적 타당성

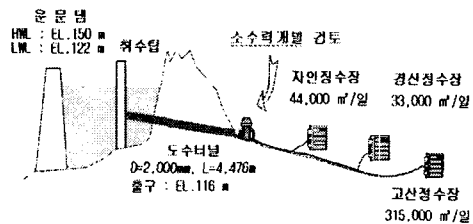


그림 3. 소수력 개발 예정지 개요도

1) 지형 조건

소수력 개발검토 예정지는 경북 청도군 운문면 곡란리 소재 금호강계통 도수터널 출구 제수변실 후단에 설치방안을 검토하였다.

터널 출구부는 건설당시 터널의 시공을 위해 매입하여 수도부지로 편입된 약 1,200평의 부지가 있으며, 지반전역이 터널공사를 위해 절개된 암반지역으로 소수력발전소 건설을 위해 별도의 지반보강공사가 필요하지 않은 좋은 조건이다.

또한 발전소 접근로는 경산 ~ 운문간 919호 지방도의

노선에 인접되어 있어 진입로 개설 등 별도의 부대공사가 요구되지 않는다.

## 2) 송전선로 조건

919호 지방도 노선에 신경산변전소에서 분기된 22.9kV 용성간 D/L이 통과하고 있으며, 용성D/L의 분기전주로부터 발전소 예정지까지 50m 정도의 인입선로 구성으로 송전이 가능한 좋은 조건을 갖추고 있다. 그림 4에 보느바와 같이 도수터널 출구부는 운문댐의 낙차를 적정히 이용할 수 있고, 소수력개발의 기반시설(송전선로, 진입도로) 설치비용 및 부지매입비용이 소모되지 않으므로 초기 투자비를 절감할 수 있어 좋은 입지 조건으로 판단되었다

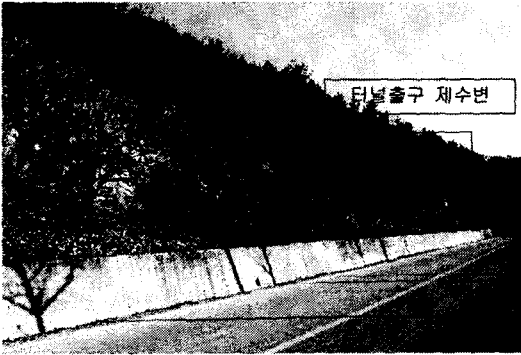


그림 4. 도수터널 출구부 도수관로

## 3) 정격사용수량 검토

일반 소수력 발전소와는 달리 수용가의 용수사용량에 따라 능동적으로 발전출력 및 사용수량이 변동되는 시스템이므로, 수차 및 발전기의 운전범위와 용수공급량의 변동 범위가 적정히 부합되도록 정격을 결정하여 용수공급의 안정성을 최우선적으로 고려함과 동시에 효율 및 가동률을 향상시킬 수 있도록 해야한다. 일반적으로 수차의 정격수량을 크게 결정하면 용수공급의 안정성은 확보할 수 있으나 투자비 증가 및 저유량 운전시 효율저하를 감수해야 한다. 정격수량을 작게 결정하면 투자비 절감 및 발전효율은 증대할 수 있으나 대유량의 용수변동시 발전중지 또는 용수공급의 차질을 초래할 수 있으므로 장기적인 용수공급 전망 및 계절·시간대별 용수사용량 변화패턴을 정확하게 분석하여 적정한 정격유량이 결정되도록 해야 한다.

금호강계통의 용수공급 실적을 분석한 결과 금호강계통 관로는 운문댐의 용수를 자인정수장 및 대구, 경산지역의 정수장에 원수를 공급하는 주관로이며, 이 계통의 용수공급 실적은 그림 5에 나타난 것 처럼 용수공급의 초기인 1997년 3월부터 1998년 6월까지의 일일 용수사용량이 160,000 ~ 310,000[m<sup>3</sup>]정도로 최대사용량도 많고 사용량의 변화 폭이 심하게 나타났으나, 98년 7월 이후로 현재까지 년·월별로 거의 변동 없이 일일 220,000[m<sup>3</sup>] 정도를 꾸준히 공급하고 있으며, 향후의 용수공급 전망도 상당 기간동안 현재의 공급량에서 큰 변동 없이 지속될 것으로 예상됨에 따라 현재의 용수공급량 및 공급패턴을 기준으로 수차·발전기를 선정하는 것이 가장 적절할 것으로 판단되며, 추후 용수공급량이 증가되면 그 시점에서 발전기의 증설여부를 결정하는 것이 타당할 것으로 판단되었다

금호강계통 관로의 계절·시간대별 용수공급 패턴을 파악하기 위해 최근의 용수공급 실적을 분석한 결과,

계절적으로 겨울철의 사용량만 평균의 88%정도로 약간

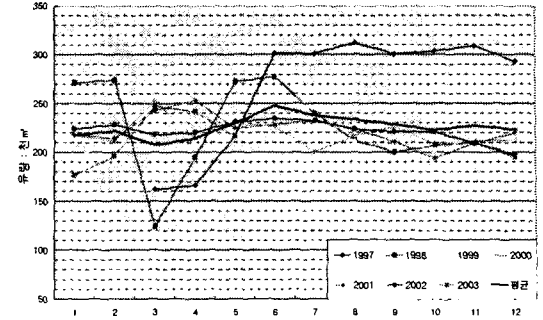


그림 5. 금호강 계통 용수공급실적 그래프

감소하고 그 외의 계절은 용수사용량이 비슷한 것으로 아래와 같이 발전이용용량이 높을 것으로 나타났다.

- 평균 최대공급량 10,639[CMH](2.9CMS) : 255,400[m<sup>3</sup>/일]
- 평균 최소공급량 6,195[CMH](1.7CMS) : 148,600[m<sup>3</sup>/일]
- 시간 최대공급량 11,500[CMH](3.19CMS) : 276,000[m<sup>3</sup>/일]

그러므로 용수공급의 안정성확보 및 추후 용수량의 증가를 감안하여 정상적인 용수공급 실적 증 최대값인 3.2[CMS]를 정격사용수량으로 결정하였고 운문댐 저수위시 용수공급 및 정격수량을 초과하는 일시적인 용수공급이 필요한 상황에 대처하기 위하여 바이패스(By-pass)관을 복합적으로 설치하는 것을 검토하였다.

## 4) 정격낙차 검토

일반적으로 댐에 설치되는 발전기의 정격낙차는 댐의 고수위 및 저수위, 유입량, 발전방류량 등을 고려하여 결정하나, 본 소수력개발 검토시 수도관로의 용수를 사용하므로 댐수위의 실적데이터가 상당기간 축적되어 있어 현재까지의 댐 운영실적을 근거로 정격낙차를 결정하는 것이 합리적이라 판단된다

운문댐의 담수를 시작한 1997년부터 2003년까지의 방류량과 수위실적은 그림 6과 같다. 이 수위실적에는 댐체 보강공사를 위해 만수위 이하에서 방류한 수위실적이 포함되어 있는 것을 감안하면 운문댐의 수위는 '98~99년의 수위실적과 같이 년중 고수위를 유지할 수 있다.

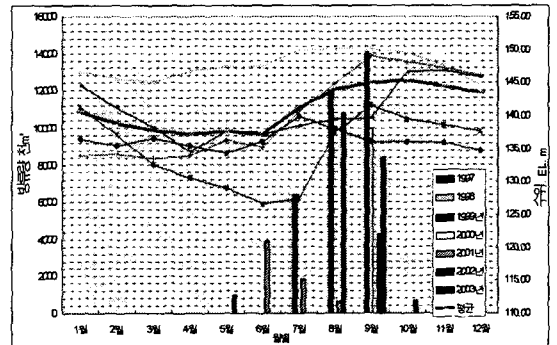


그림 6. 운문댐 수위 및 방류 실적 그래프

수위 분석 결과 평균 수위는 댐 유효 수위의 2/3 정도인 EL 141.02 m로 나타났으나, 댐체 공사를 위한 방류량 등을 감안시 고수위인 EL.150 m 근처의 고수위 유지 일수가 많을 것으로 판단되어 저수위 수차의 적정운전 범위내에 포함되도록 정격을 선정하였다. 댐의 평균최소 수위는 EL 135.70 m, 최저 실적수위는 EL 126.66 m로 나타났으며, 저수위에서는 발전보다는 용수공급의 안정성확보가 최우선적

으로 고려되어야 함으로 수위별 용수공급 가능량을 검토한 후 수차정격을 결정하고자 한다.

낙차 검토시 또한 기존 방류구 검토를 용수관로에 설치되는 수차의 최종방류구는 용수 도착지점의 착수정이 되므로 방류수위는 그림 7과 같이 착수정의 고수위와 관로 손실수두의 합이 되어 기존방류수위 검토결과 표 2와 같이 용수공급량이 계획용수량에 근접할시에만 고산정수장의 방류수위가 높게 요구되고 대부분의 용수공급시 자인정수장의 방류수위가 가장 높게 요구되므로 자인정수장의 착수정을 기존 방류구로 결정하였다.

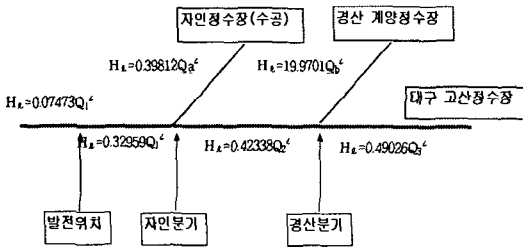


그림 7. 급호강 계통 관로 손실 수두

표 2. 유량별 손실수두 및 방류 수위  
주) 수차손실 0.5m

구 분	자인정수장	경산정수장	고산정수장	계
정수정착수정 수위[EL.m]	113.1	102.8	100.0	
정격유량	공급량[m <sup>3</sup> /일] (CMS)	31,000 (0.359)	23,300 (0.270)	222,200 (2.571)
	손실수두[m]	4.69	9.51	11.30
	방류수위[EL.m]	117.79	112.31	111.30

이에 정격 낙차별 용수공급 가능량 검토한 결과 수차 설치로 용수공급에 지장을 초래하지 않는 범위에서 수차의 정격을 결정하기 위하여 수차정격별 댐 수위별 용수공급 가능량이 검토되어야 하며, 기존방류구인 자인정수장을 기준으로 검토하여 수차의 정격이 결정되면 식(1)을 이용하여 임의의 낙차에서 수차를 통해 공급 가능한 최대 용수량을 산출할 수 있으며, 그결과를 그림 8에 나타냈다.

$$Q = \sqrt{\frac{H}{H_r + H_1}} \times Q_r, \quad Q_1 = \sqrt{\frac{H_1}{H_r}} \times Q_r \quad (1)$$

여기서  $Q_r$ : 수차 정격유량(m<sup>3</sup>)  
 $Q$ : 임의의 수위에서 유량(m<sup>3</sup>)  
 $H_r$ : 수차 정격낙차(m)  
 $H$ : 임의의 수위에서 기준방류구 기준의 총낙차(m)  
 $h$ : 정격유량 사용시 기준방류구까지의 수두손실(m)  
 $Q_1$ : 임의의 발전낙차에서 유량(m<sup>3</sup>)  
 $H_1$ : 임의의 발전낙차(m)

여기서 댐체원으로 결정한 낙차를 정격수위 140.66m와 정격낙차 23m는 식(2), 식(3)으로 계산하여 얻는다.  
 정격수위 = 저수위 + ((만수위 - 저수위) × 2/3) (2)  
 정격낙차 = 정격수위 - 방수위 - 손실수두 (3)  
 운영실적(용수공급량, 댐수위)에 의한 낙차를 산정하면 용수공급의 안정성을 확보하고 발전이용률을 높이기 위해 조건1) 평균 최저수위 EL. 135.70m에서 시간대별 최대 용수공급량인 255,400[m<sup>3</sup>/일] (10.639[CMH]) 이상을 공급할

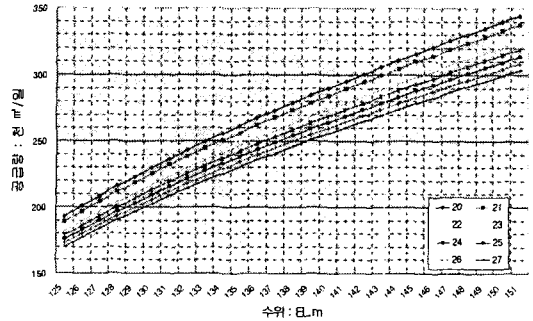


그림 8. 정격낙차별 수위별 용수 공급가능량

수 있어야 하고,  
 조건2) 평균수위 EL.141.02 m에서 정상적인 용수공급 범위내에서의 최대값인 275,600[m<sup>3</sup>/일] (11,500[CMH]) 이상을 공급할 수 있어야 하고 이범위를 벗어나면 발전중지 또는 바이패스 관로를 이용하는 것으로 하였다  
 종합적으로 검토결과 용수공급이 안정성측면에서는 정격낙차 24m이하가 적합하고 수차의 이용낙차범위를 고려하면 정격낙차 25m 이상이 적합한 것으로 나타났으나, 현재의 수위실적이 정상적인 수위보다 낮게 유지된 점을 고려하여 3.2[CMS], 25[m]로 선정하고, 용수공급의 안정성을 확보하기 위하여 바이패스(By-pass)관을 설치하기로 하였다.

### 3. 발전기 용량 및 형식 결정

- 발전출력 검토
  - 수차 정격 출력(수차효율 85%)  
 $P = 9.8QH\eta = 9.8 \times 3.2[\text{CMS}] \times 25[\text{m}] \times 0.85 = 666[\text{kW}]$
  - 수차의 권장 운전범위내에서의 최대발전량(발전기 효율 92%)  
 $P = 9.8QH\eta = 9.8 \times 3.2[\text{CMS}] \times 1.05 \times 25[\text{m}] \times 1.25 \times 0.85 \times 0.92 = 804[\text{kW}]$
  - 정상적인 용수공급실적 최대발전량  
 (만수위, 시간대별 평균 최대용수공급량)  
 시간대별 평균 최대공급량은 2,956[CMFS]며 발전낙차는 31.89[m]가 된다.  
 $P = 9.8QH\eta = 9.8 \times 2,956[\text{CMFS}] \times 31.89[\text{m}] \times 0.85 \times 0.92 = 724[\text{kW}] \approx 700[\text{kW}]$
- 용량과 형식
  - 수위분석 결과 만수위 근처의 고수위 유지 일수가 많을 것으로 판단되어 만수위에서 평균 최대 용수공급량의 발전을 수용할 수 있는 700[kW]용량의 발전기를 정격출력으로 결정하였다.

유량 및 낙차조건에 따라 표준화된 수차모델, 제작회사 등의 선정도표를 비교 검토한 결과 25m의 중낙차, 소용량 수차에 적합한 횡축 Francis 수차로 선정 방안을 수립하였다.  
 소수력용으로 적용되고 있는 발전기는 1,000kW이하에서 경제적이고 구조가 간단하여 유지보수가 용이하여 경제적인 측면에서 유리한 3상 유도발전기로 선정하였다.

### 4. 결 론

운문댐의 급호강계통 광역상수도 관로는 발전사용수량으로 충분한 유량과 운문댐의 여유낙차를 이용하여 700kW 규모의 소수력 개발시 국가 에너지 자급도 향상과 일정한 순이익이 창출될 것이다. 특히 정부의 신·재생에너지 개발보급목표(2006년 2%)에도 더욱 박차를 가할수 있을 것이다.

### [참 고 문 헌]

- 한국수자원공사, "소수력발전 타당성 보고서", 2002. 7