

## 저수지 수위 정밀 측정에 의한 댐 유입량 자료 개선

박지창 · 김 남\* · 류경식

한국수자원공사, \*충북대학교 정보통신학과

(2008년 9월 11일 접수; 2008년 12월 8일 수정; 2009년 1월 20일 채택)

### Improvement of Inflow Estimation Data by Precise Measurement of Water Level in Reservoir

Ji Chang Park, Nam Kim\* and Kyong Sik Ryou

Korea Water Resource Corporation, Daejeon 306-090, Korea

\*Division of Information and Communication, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

(Manuscript received 11 September, 2008; revised 8 December, 2008; accepted 20 January, 2009)

#### Abstract

A accurate reservoir inflow is very important as providing information for decision making about the water balance and the flood control, as well as for dam safety. The methods to calculate the inflow were divided by the directed method to measure streamflow from upstream reservoirs and the indirect method to estimate using the correlation of reservoir water level and release. Currently, the inflow of multi-purpose dam is being calculated by the indirect method and the reservoir water level to calculate the storage capacity is being used by centimeters(cm) units. Corresponding to the storage volume of 1cm according to scale and water level of multi-purpose dam comes up to from several 10 thousand tons to several million tons. If it converts to inflow during 1 hour, and it comes to several hundred m<sup>3</sup>/sec(CMS). Therefore, the inflow calculated on the hourly is largely deviated along the water level changes and is occurred minus value as the case. In this research, the water level gage has been developed so that it can measure a accurate water level for the improvement for the error and derivation of inflow, even though there might be various hydrology and meteorologic considerations to analyse the water balance of reservoir. Also, it is confirmed that the error and the standard derivation of data observed by the new gage is decreased by 89,6% and 1/3 & 87% and 2/3 compared to that observed by the existing gage of Daecheong and Juam multi-purpose dam.

**Key Words :** Encoder, Water level gage, Inflow, Water-Flow rare Relative curved mood

#### 1. 서 론

저수지 유입량의 정확한 산정을 위해서는 저수지 수위, 방류량, 댐 상류지점 유량의 정확한 측정 및 추정이 우선되어야 한다. 유입량의 산정방법은

저수지 유입하천 유량에 의하여 추정하는 유량기준 방식과 저수지 수위변화에 따른 저수용량 변화량과 댐에서의 방류량으로부터 추정하는 수위기준 방식을 들 수 있다. 다목적댐 및 용수댐들에 있어서 매 10분, 30분 그리고 1시간 단위로 유입량을 산출하는 것으로 조사가 되고 있다. 댐 저수지에서 사용되는 수위측정 장치로는 대부분 부자(浮子-float)식 수위계가 사용되고 있으며, 관측단위는 1

cm로 하고 있다<sup>1)</sup>.

수위-저수용량 곡선식에 따라 저수량은 수위의 변화 시에만 증감이 산출되고 또한 이 저수량에 의해 유입량이 산출되므로, 다목적댐에 있어서 저수지의 규모 및 당해시간의 수위에 따라 1 cm 에 해당하는 저수량은 수 만톤에서 수 백만톤에 달하고 이를 한 시간 유입량으로 환산하면 수심에서 수백 m<sup>3</sup>/sec가 된다(Table 1. 참조). 기왕 산정된 유입량 자료가 모두 관측방법(관측단위)상의 문제라고 볼 수는 없으나, 물리량으로서의 댐 수위를 정확하고 정밀하게 측정하여야 한다는 것에는 재론할 필요가 없다<sup>2~4)</sup>. 따라서 비록 1 mm단위의 정밀측정은 민감도 증가로 인해 오히려 불필요한 얇은 파고를 측정하는 오류를 발생시킬지라도 현재 수위측정간격을 1 mm단위로 줄인다면, 이론상 유입량의 편차 및 저수지내 물수지 분석 시 발생하는 음(-)유입량의 발생 규모 및 빈도도 그 만큼 감소하게 될 것이며 유입량 산정의 신뢰성도 향상될 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 비록 유입량 산정 등 저수지의 물수지 분석에 있어서 수문 및 기상학적으로 여러 가지 고려할 사항이 있겠으나, 우선 유입량의 오차 및 시간당 편차를 개선하기 위해서 보다 정밀한 수위 관측이 가능한 수위계를 개발하고, 대형 및 주암 다목적댐을 대상으로 기존 수위계(cm단위)가 설치된 동일 지점에 추가 설치하여 각각의 수위계에서 관측된 수위변화를 토대로 저수지 유입량을

상호 비교분석하고자 한다.

## 2. 기본이론

### 2.1. 물수지 방정식 및 유입량 산정방법

저수지내 물수지 방정식은 매우 단순하며 침투에 대한 영향을 배제하면 더욱 단순해진다. 그러나 정확한 물수지 분석이 요구되는 경우에는 단순하게 파악되지 못하고 있는 실정이다. 그 이유 중 하나는 물수지 계산을 할 때에 활용하는 단위를 용적 또는 수심단위로 할 지 여부의 선택이다. 저수지 면적이 수위의 함수로서 상당한 변화가 생긴다면 체적 관측이 보다 바람직할 것이나 저수지 면적이 거의 일정한 저수지인 경우에는 수심층에 의한 물수지 요소로 표현하는 것이 매우 편리할 것이다.

실질적인 문제로는 물수지 구성요소들에 대한 정확한 산정여부를 들 수 있는데 특히, 하나의 물수지 구성요소가 설명되지 못하는 미지수로 남는 경우에는 더욱 그렇다. 저수지의 물수지 요소 중에서 오차의 요인은 관측에 의한 것과 지역화에 의한 것으로 구분할 수 있다. 지역화에 의한 것은 관측에 의한 오차보다 분석하기가 매우 어렵다.

통상적으로 저수지 수위는 관측 수위로 알고 있으나 저수지에서의 수위는 시시각각으로 변한다. 수체의 영향을 주는 많은 요인들 간의 역학작용에 의하여 정수면이 유지되지 못하고 계속적으로 변동

Table 1. Water storage and inflow along the water level of multi-purpose dam

Dam name	Water level (EL.m)	Storage (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Storage volume per water level		Remark
			(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /cm)	(m <sup>3</sup> /s/cm)	
Soyang	179.00	1734.49	483.94	134.43	
Chungju	131.50	1652.69	677.04	188.07	
Hoengseong	173.00	52.08	42.00	11.67	
Daechong	70.50	887.75	514.17	142.83	
Yongdam	255.00	489.53	258.06	71.68	
Andong	149.50	751.96	384.74	106.87	
Imha	154.50	359.61	188.01	52.23	
Hapcheon	164.50	470.86	169.53	47.09	
Nangang	41.70	184.21	258.72	71.87	
Sumjin	190.00	281.90	192.06	53.35	
Juam	102.30	275.00	199.51	55.42	
Buan	35.00	25.36	22.11	6.14	
Milyang	194.00	44.35	14.79	4.11	

※ Standard storage is based on 60 percent of water storage

하기 때문에 저수지내 물수지 계산은 평균수위를 산정하여 이를 이용하고 있다. 저수지내 물수지 기본식은 식 (2.1)로 표현된다.

$$\Delta V = + \sum(Q_I + Q_R) - \sum(Q_O + Q_E + Q_G) = + Q_i - Q_o \quad (2.1)$$

여기서,  $\Delta V$ : 저수량의 변화,  $Q_i$ : 유입량 ( $Q_I$ : 지표유입량,  $Q_R$ : 강우),  $Q_o$ : 방류량 ( $Q_O$ : 방류량(여수로, 발전사용수량, 취수량),  $Q_E$ : 수면증발량,  $Q_G$ : 침투량)

식(2.1)에서 우변은 각각 유입성분과 유출성분으로 구성되며, 방류 성분 중 현재 실시간상의 유입량 산출식에 포함되지 않고 있는 수면증발량과 침투량을 제외하고 모두 자동측정이 가능하다. 저수변화량  $\Delta V$ 는 전술한바와 같이 각 댐별 수위-저수량 곡선식에 산출할 수 있다. 따라서 식 (2.1)의 실제적인 미지수는 지표유입량( $Q_i$ )이다. 여기서, 강우( $Q_R$ )성분은 수위-저수량 곡선식에 적용되는 수위 관측치는 이미 포함되어 계측되므로 별도로 산정하지 않고, 지표유입량과 함께 유입량( $Q_i$ ) 산출시 자연히 포함되는 것으로 한다. 미지수인 유입량( $Q_i$ )을 전치하면 식 (2.2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_i = \Delta V + Q_o \quad (2.2)$$

식 (2.2)에서 해당시간을 적용하면 식 (2.3)과 같이 단위시간당 유입량(cms)를 산출할 수 있다.

$$Q_{i(t-ans)} = \frac{\Delta V}{3600sec} + Q_{o(t-ans)} \quad (2.3)$$

## 2.2. 정밀 수위계 개발 및 적용

부자식 수위계외에 지금까지 다목적댐에 적용된 수위계중 정밀 수위측정이 가능한 수위계는 현재 보조수위계로서 기존 부자식 수위계의 축에 직결하여 사용하는 엔코더식 수위계(a)를 비롯하여 비접촉식(b)인 레이다식 및 초음파식, 음파식(c) 및 투입압력식(d)이 있으나, a의 경우 직결된 기존 부자식의 기계적 현상에 종속되어 “정밀측정”의 의미가 희석되고, b의 경우는 기존의 진정관에서는 사용이 불가능하고, 수면의 일시적 파랑검출이 문제가 되며, c의 경우 설치 관리상의 문제, d의 경우는 댐과 같이

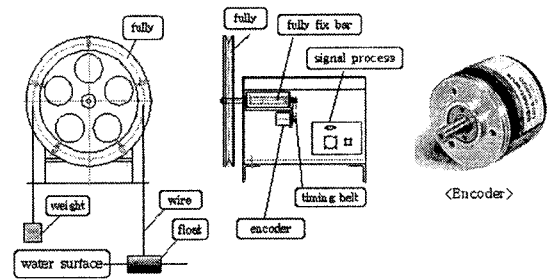


Fig. 1. Production of water level gage(encoder type).

측정범위가 큰 곳에서의 적용 시 선형성의 문제가 있는 것으로 나타났다.

따라서 기존 부자식 수위측정방식에 cm단위로 검출하는 컨버터 대신 제어계측분야서 이미 검증된 엔코더(Encoder)를 장착하여 Fig. 1과 같은 “엔코더형 부자식 정밀 수위계”를 제작하였다. 엔코더의 검출능력은 0.25 mm로서 신호변환 및 자료처리장치에서 1 mm단위로 변환시킨다.

## 3. 유입량 산정 및 개선방안

본 분석에서는 새롭게 개발된 정밀 수위계의 검증을 위해서 2006년도 10월 대청 및 주암 다목적댐의 1개월간 시간별 유입량을 분석하였으며 분석결과는 Table 2 및 Fig. 2와 같다. Table 2를 보면 각각의 유입량의 표준편차는 평균유입량의 약 5배 이상 크게 나타났으며, 전체 744개(24시간×31일)의 약 19.5%로 5시간 중 1시간의 데이터가 음유입량으로 산출되었으며, 발생한 음유입량의 평균은 각각 -104.5와 -34.5 cms이다.

대청댐의 경우, 유입량이 양수일 경우 약 10, 140 cms근처에 나누어져 집중되어 있고, 음수일 경우 평균 약 -120 cms 근처에 집중되어 있다. 세 값의 간격은 공히 130 cms로 이는 이 기간동안의 평균 수위인 EL. 68.7 m 대에서의 1시간동안 1 cm 높이의 저수량에 상응하는 유입량과 일치한다. 주암댐의 경우는 좀 더 단순하다. 유입량이 양수일 경우 평균 약 12.5 cms이고, 음수일 경우 평균 약 -34.5 cms로서 두 값의 차이가 47 cms로서 이 기간동안의 평균 수위인 EL. 99.5 m 대에서의 1시간동안 1 cm 높이의 저수량에 상응하는 유입량과 일치한다. 두 댐의 데이터를 분석하면, 수위변화가 없을 경우 방류인자인 취수

Table 2. Analysis of the hourly inflow in October 2006 (Daecheong and Juam Dam)

Section	Daecheong Dam	Juam Dam	Remark
Water level (EL.m)	69.03→68.35 ( $\Delta 0.68$ )	100.24→98.83 ( $\Delta 1.41$ )	
Average inflow (CMS)	23.4	3.4	
Average discharge (CMS)	35.3	12.7	
Standard deviation (CMS)	93.7	18.9	
Number of Minus inflow	145(-104.5)	144(-34.5)	( ) : average of minus inflow(cms)

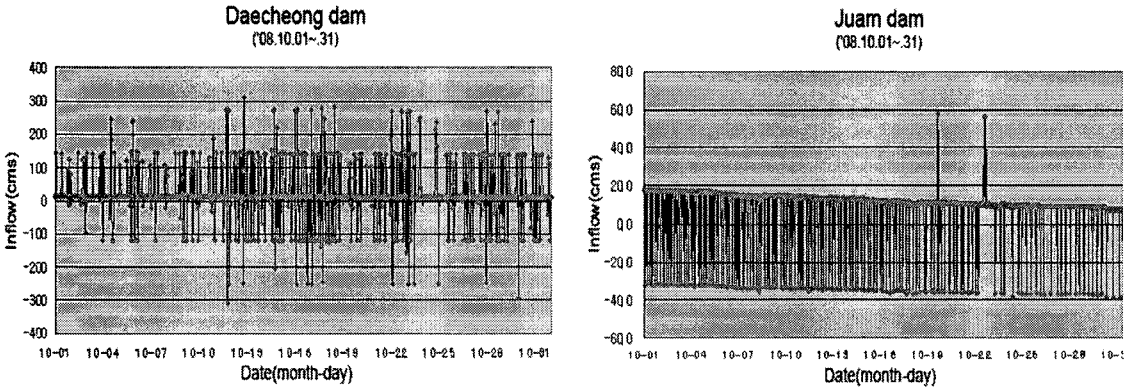


Fig. 2. Time series diagram for the hourly inflow in October 2006.

량 등이 그대로 유입량으로 산출되고, 수위변화에 따라서 각각 해당하는 수위만큼 cm 단위의 저류량이 유입량으로 산출되었음을 알 수 있다.

3.2. 유입량 산정 개선방안

이상 분석한 바와 같이 현재의 유입량 산출방식에서 유입량 자료의 편차 및 음수발생 등 가장 주요한 오차요인은 실제의 저수지 수위를 정밀하게 관측하지 않는데서 기인함을 알 수 있다. 따라서 저수량의 변화를 좀 더 세밀하게 산출하기 위해 수위를 정밀하게 측정하는 것이 중요하고, 이를 위하여 기존 cm 측정방식을 mm 측정방식으로 관측하여야 한다는 결론을 도출할 수 있다. 물론 전제된 바와 같이 물수지분석을 위한 기상 및 수리수문학적인 타 요인은 별도로 검토되어야 함을 상기시키고자 한다.

4. 효과 분석

4.1. 유입량 산정 개선 효과

신규 제작된 1 mm 정밀수위계를 2007년 9월부터 12월까지 관측치의 비교분석의 효과를 높이기 위해

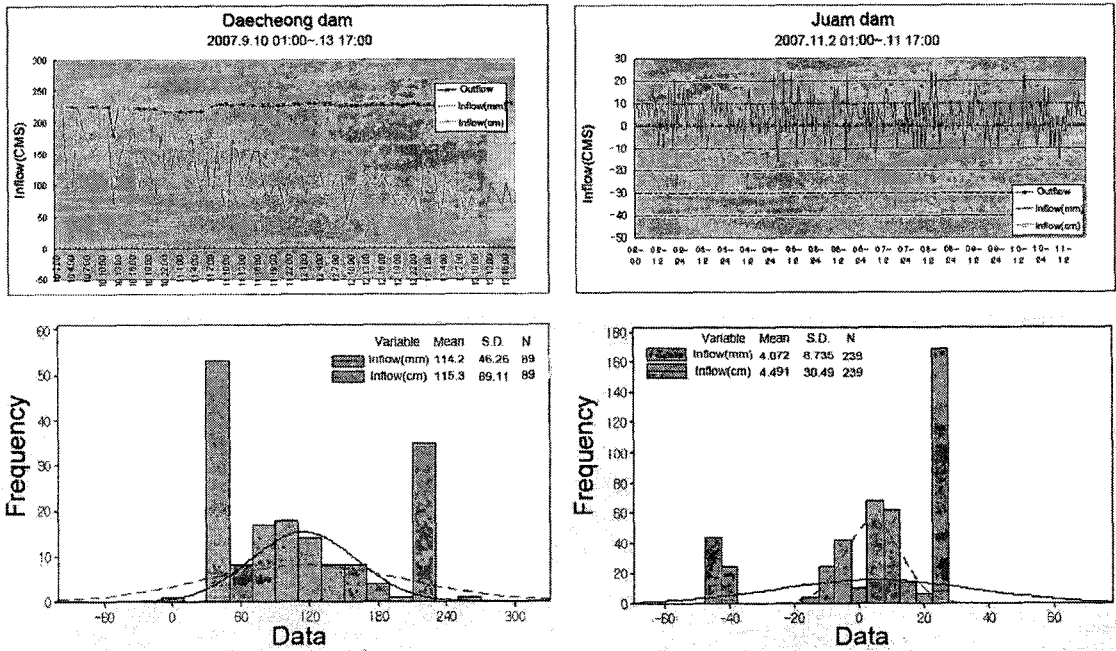
서 대청댐 및 주암 본댐의 기존수위계가 설치되어 있는 동일한 장소의 동일한 진정관에 설치하고 동시에 수위를 관측하여 분석하였다.

관측된 수위에 의해 산출된 유입량의 시계열도와 히스토그램을 보면 cm수위에 의한 유입량의 경우 두 댐에서 공히 극단적인 두 부류의 값으로 산출되고 있음을 알 수 있다. 이런 형태의 그래프를 입상(立像) 또는 쌍봉(雙峰)형이라고 하며, 일반적으로 측정장비의 정밀도가 떨어질 때 나타나는 현상으로서 특히 디지털 시스템에서 변수 등을 반올림하거나 정량화시킬 때 주로 발생하는 현상이다. 즉, 이러한 현상은 이미 언급한 바와 같이 수위관측이 연속적이지 못하고 1 cm 단위로 측정함으로써 나타나는 현상이다. 이에 비해 1 mm수위에 의한 유입량의 경우, 시계열도에서 보듯이 중심값에 근접해 있고, 세밀하게 등분화되어 있고 정규분포를 이루고 있음을 알 수 있으며, Table 4와 같이 음유입량의 규모 및 표준편차가 현저하게 감소되었다.

또한, 1 mm 단위의 수위측정은 단기간에 서로 다른 많은 수위관측자료를 샘플링 할 수 있으므로 1

**Table 3.** The present state of water level observation and dam operation

Section	Observed time	Variation of water level	Average inflow	Average discharge
Daecheong Dam	'07.09.10 01:00 ~ .09.13 17:00	76.36⇒75.82 ( $\Delta$ 0.54)	115.3 CMS	225.6 CMS
Juam Dam	'07.11.02 01:00 ~ .11.11 23:00	105.69 ⇒ 105.00 ( $\Delta$ 0.69)	4.5 CMS	23.9 CMS



**Fig. 3.** Result of inflow calculated along observed methods(Daecheong and Juam dam).

cm 단위 측정법보다 이동평균에 의한 진수위 추정 시에 양호한 효과가 나타났다.

**4.2. 저수지 파랑의 관측 및 분석**

Fig. 3에서 나타난 바와 같이, 기존 수위계의 측정 단위인 1 cm에서는 저수지의 진동(振動)이 관측되지 않는 기간에서도 1 mm 수위계에 의해 관측결과에서는 두개의 댐에서 모두 관측되고 있다. 이는 일시적인 파랑에 의한 현상이 아니며, 짧게는 45분에서 길게는 4시간 가량의 주기를 가지는 복잡한 고조파 형식으로 구성되어 있어, 정밀수위측정을 하더라도 기존의 측정방식인 1점 측정방식에서는 극복하기 힘들 것으로 예상된다. 따라서 향후 정밀수위

**Table 4.** Effectiveness of improvement for observation methods

Section	Daecheong Dam		Juam Dam		Remark
	cm	mm	cm	mm	
Scale of minus inflow	-46	-4.8	-43.3	-5.7	
	10.4%		13%		
Standard deviation	96.25	63.75	28.91	8.42	
	2/3		1/3		

계를 이용하여 보다 심도있는 측정 및 검토를 통해 너울의 진폭 및 주기, 파장 등을 정확히 파악하고 이를 토대로 너울의 마루와 골을 상세시키는 방식으로 저수지의 정수위를 측정하여야 할 것으로 판

단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 물리량으로서의 저수위를 정밀하게 측정함으로써 댐 저수지로의 유입량 산출자료의 표준편차 및 음(-)유입량 등의 오차를 현저하게 감소되었고, 또한 이동평균 효과 및 저수지의 수면거동의 실체를 알게나마 관측할 수 있었다. 하지만, 음 유입량은 양적으로는 감소되었으나, 발생빈도는 그다지 줄어들지 않았다. 또한 기존의 수위측정지점은 취수탑에 위치하고 있으므로 발전 방류시 외란에 의해 수면이 급변동함으로 정상적인 수위측정이 어려운 것으로 나타났다.

저수지의 진동 등 수위측정장치로 해결되지 않는 부분 등에 대해서는 방류의 영향이 없는 수위측정지점의 위치 선정이나 다 지점 측정법과 같은 측정지점의 개소 등에 대한 심도있는 검토가 병행되어야 할 것이다. 반면, 저수지 수위 측정시에 비록

부정확한 것으로 판단되는 이동평균방법도 갈수기 등과 같은 유입량이 적은 시기에서는 이용타당성이 있는 것으로 분석되었다.

끝으로, 정확한 측정은 모든 공학에 있어서 가장 기초적인 사항이다. 따라서 본 연구의 정밀수위측정방식은 향후 저수지의 물수지 분석 및 수면의 진동 등과 같은 수리수문학적인 현상의 분석에서 많은 기여를 할 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- 1) 한국수자원공사, 1993, 다목적댐 홍수유출해석 및 홍수기 저수지 운영프로그램 해설서.
- 2) 박기범, 이순탁, 2004, 가뭄기간의 저수지 운영방안에 관한 연구, 한국환경과학회지, 13(12), 1041-1048.
- 3) 권오익, 1997, 가변제한수위와 저수지 홍수변환법에 의한 홍수기중 저수지 운영, 박사학위논문, 토목공학과, 인하대학교, 인천.
- 4) 한국수자원공사, 1999, 저수지 유입량 산정방법 개선.