

## 충주댐 운영을 위한 상·하류지점의 수위-유량관계 곡선식의 개발

○허창환<sup>1)</sup>, 장인수<sup>2)</sup>, 김지확<sup>3)</sup>

### 1. 서론

본 연구는 충주댐 상,하류 주요지점과 댐 개발 가능지점에 대한 평·갈수기와 홍수기의 유량측정 및 홍수기 전후의 하천 하상변동 상태를 측정하여 유량측정지점의 수위와 유량의 상호관계를 분석하므로서 하천유출해석의 기초자료가 되는 신뢰성 있는 수위-유량 관계곡선식(Rating Curve)을 개발 보완, 유량을 정량적으로 예측하므로서 수자원 개발계획과 저수지의 최적운영의 기초자료로 활용하고자 함을 목적으로 한다. 충주댐에 유입되는 수계내의 지류 가운데 비교적 댐 저류량에 큰 영향을 미치는 영월 1, 영월 2, 영춘 지점과 조정지점에 유입되는 달천 지점을 대상으로 하였으며, 영월1 지점은 연당교, 영월2 지점은 거운교, 영춘 지점은 북벽교 그리고 달천 지점은 단월교에서 실측하였다.

### 2. 현지조사

본 과업 대상지점의 현지조사는 먼저 축척 1:25,000 및 1:5,000의 지형도상에서 유역의 개황과 각 수위국 및 유량측정지점의 하도 및 지형특성을 검토하였으며, 세부적으로 각 지점의 하천수리학적 특성, 하상변동 및 유량측정에 필요한 사항을 조사하기 위하여 현장을 직접 답사하였다. 영월1, 영월2, 영춘 및 달천지점은 수위국과 유속측정 지점이 상이하며, 보 등의 수리구조물에 의한 배수영향, 하상의 변동, 하천의 만곡, 합류부의 영향등을 고려하여 홍수시 접근이 용이하고 신뢰성 있는 유속측정이 가능한 지점(주로 교량)을 선정하였다. 수위표와 유량실측 지점이 다를지라도 기존 수위표지점에 대하여 Rating Curve식을 유도하였다.

---

1) 영남대학교 토목공학과 대학원 박사과정  
2) 충주대학교 환경공학과 부교수(공학박사)  
3) 충주대학교 토목공학과 교수(공학박사)

### 3. 하천 종·횡단 측량

하천 종·횡단 측량은 하천의 지형학적 형상에 대한 실측자료를 얻기 위해 실시하는 측량이며, 유수의 흐름방향에 대한 종단형을 얻기 위해 실시하는 종단측량과 유수의 흐름방향에 직각인 횡단면을 얻기 위해 실시하는 횡단측량으로 나눌 수 있다. 하천횡단측량은 홍수기 전·후에 4지점(영월1, 영월2, 영춘, 달천)에 대하여 전자파 표면유속계를 사용할 횡단면, 즉 영월1 지점은 연당교 하류 20m 지점, 영월2 지점은 거운교 상류 10m 지점, 영춘 지점은 북벽교 상류 20m 지점 그리고 달천 지점은 구단월교 상류 10m 지점에 대하여 실시하였다. 그리고 영월1, 영춘지점은 유량측정 지점(연당교, 북벽교)의 상류 1km, 하류 3 km 사이 구간을 200 m 간격으로 종·횡단측량을 홍수 후에 실시하여 하천단면 자료를 획득하였다.

### 4 전자파 표면유속계에 의한 유량관측

전자파표면유속계에 의한 유량관측은 하천의 횡단방향으로 일정 간격으로 전자파 표면유속계를 설치하고 상류방향으로 전자파를 발사한후, 물표면에서 반사되는 잔파의 도플러 효과를 이용하여 표면유속을 측정하는 것이다. 이 표면유속을 미리 구하여 둔 보정계수에 의해 평균유속으로 변환하여 유량을 측정할 수 있다. 전자파의 도플러효과를 이용하여 하천의 유속을 물과 접촉하지 않고서도 측정할 수 있어 기존 유속계로서는 측정하기 어려운 홍수 유속을 측정할 수 있으며 유속값이 매우 크거나 유량이 많은 경우, 혹은 야간 측정에도 물과 접촉하지 않으므로 안전하게 측정할 수 있는 장점이 있다. 운동하는 물체에 의하여 산란된 전자파의 주파수가 변하게 되는 현상을 도플러 효과라고 한다. 이때의 주파수의 변화량을 도플러 주파수라고 하며, 수학적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

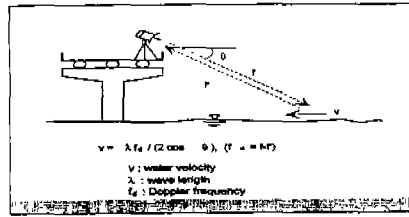
$$f_d = \frac{2v}{\lambda} \cos \theta$$

여기서,  $f_d$ 는 도플러 주파수이고,  $v$ 는 물체의 속도,  $\lambda$ 는 전파의 파장, 그리고  $\theta$ 는 물체의 속도 방향과 전파의 진행 방향이 이루는 각으로 20~45° 사이의 각을 이용한다. 이러한 원리를 이용하여 하천의 유속을 측정하는 경우 도 1과 같은 형태로 측정 모식도를 나타낼 수 있다.

전자파표면유속계로 측정된 표면유속으로부터 유량의 계산은 다음 식에 따른다.

$$Q = \sum \bar{V}_i A_i = \sum (f \cdot V_i) \cdot A_i = f \sum V_i \cdot A_i$$

여기서,  $V_1, V_2, \dots, V_i$ 는 표면유속이며,  $\bar{V}_i$ 는  $i$ 단면의 평균유속,  $A_i$ 는  $\bar{V}_i$ 에 해당하는 흐름단면적,  $f$ 는 수심평균 유속 환산계수이다.



도 1 전자파 표면유속계의 측정모식도

5. 수위-유량자료 분석 및 관계식 유도

임의 유역에서의 강우사상에 의한 유출량은 유역출구에서 측정되는 수위관측소의 수위자료를 유량으로 환산하여 구하는 것이 보통이다. 본 연구에서는 비교적 수위-유량 관계식 유도에 많이 이용되는 4가지 형태의 식을 선정하여 분석하였다.

- 1) 1차식(ORD-1)형 :  $Q = aH + b$
- 2) 2차식(ORD-2)형 :  $Q = a(H + b)^2$
- 3) 지수식(EXP-N)형 :  $Q = a e^{bH}$
- 4) 지수식(EXP)형 :  $Q = aH^b$

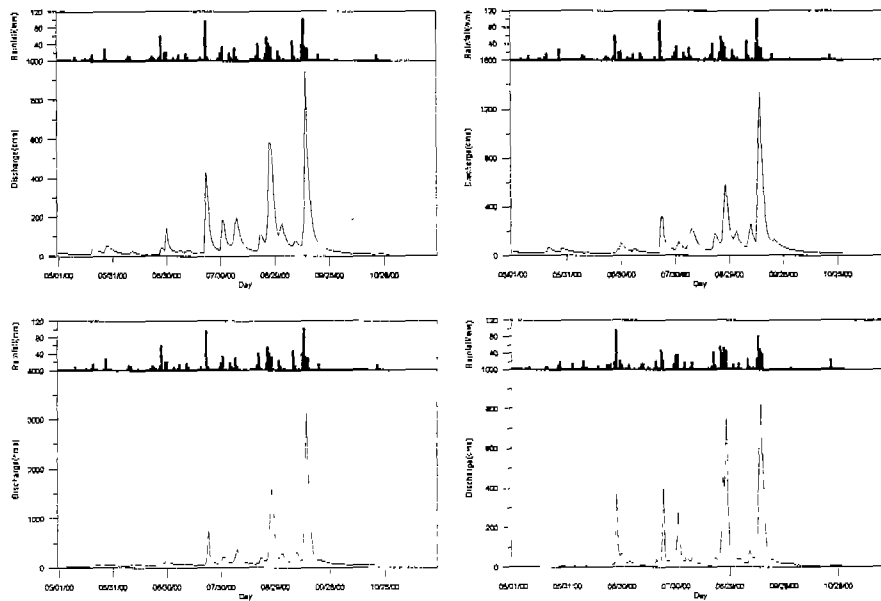
여기서, Q는 유량, H는 수위이며, a, b는 상수로서 최소자승법을 이용하여 구한다. 분석유역의 수위표 지점이 대부분 남한강 상류의 급경사 지점으로서 하상의 변화가 큰 점과 2000년 8월 하순과 9월 중순 경의 호우로 하상이 많이 변한 점을 고려하여, 수위-유량 관계식을 유도하였으며, 이를 정리하면 대체로 이차식형과 지수식형일 때의 표준편차와 상관계수가 양호한 것으로 나타났다. 이들 통계치와 시간 수위자료(2000. 9. 13 1:00 ~ 9. 24. 24:00) 및 일평균 수위자료(2000. 5. 1~10. 31)에 수위-유량 관계식을 적용하여 시간 및 일유량을 계산하고 일유량 자료에 대한 유황분석을 실시한 결과를 바탕으로 표 1과 같은 식을 선정하였다.

표 1 수위국별 선정된 수위-유량 관계곡선식

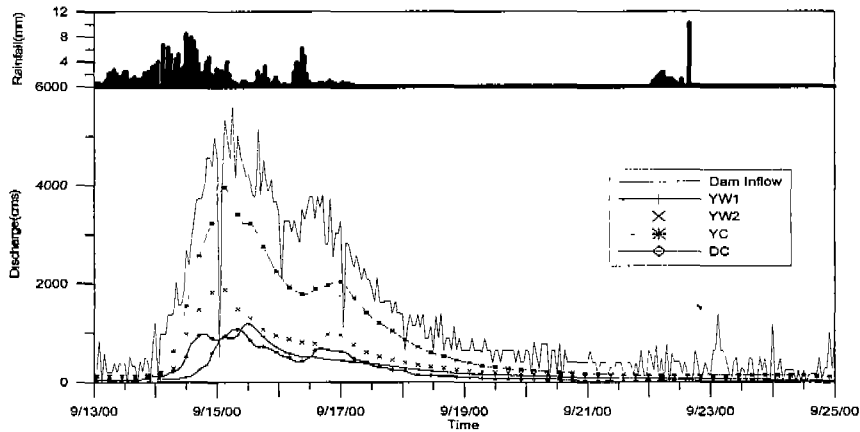
수위국명	적용수위(m)	관 계 식	표준편차	상관계수
영월1	$H \geq 2.00$	$Q = 64.4313 H^{2.0212}$	0.0656	0.9881
	$H < 2.00$	$Q = 73.2216 H^{1.8388}$	0.1112	0.9879
영월2	$H \geq 2.60$	$Q = 57.3673 H^{2.0143}$	0.0400	0.9932
	$H < 2.60$	$Q = 54.8680 H^{2.0608}$	0.0576	0.9948
영춘	$H \geq 5.13$	$Q = 66.1959(H - 1.2297)^2$	1.9518	0.9927
	$H < 5.13$	$Q = 2.4817 H^{3.6720}$	0.1765	0.9649
달천	$H \geq 1.15$	$Q = 72.6152(H + 0.3664)^2$	1.5188	0.9829
	$H < 1.15$	$Q = 120.9048 H^{2.2943}$	0.1300	0.9919

## 6. 수위-유량 곡선식의 검증

산정된 수위-유량 관계식의 검토를 위하여 4개 유량측정 지점을 대상으로 각 지점별 일평균 수위에 대하여 관계식을 적용하여 일평균 유량을 산정하였으며, 홍수기의 1시간 단위 수위자료에 대하여 관계식을 적용하여 각 지점별 1시간 단위 유량을 계산하였다. 일평균 수위는 본 과업의 일정을 고려하여 99년 11월 1일부터 2000년 10월 31일까지의 자료를 검토하였다. 그러나 본 유역의 지리학적 위치에 따른 기상학적 특성상 겨울철에는 수위국의 계기가 동결되어 오측되는 경우가 많기 때문에 2000년 5월 1일부터 10월 31일까지 자료를 분석하였다. 홍수기 시수위 자료로는 2000년 8월하순 호우와 9월 중순 호우에 대한 자료가 있었으나, 제 14호 태풍 사오마이와 제 15호 태풍 보과의 후지와라 효과 때문에 5일 동안 우리나라에 태풍 간접영향으로 전국적으로 많은 비를 내리게 했으며 추수기 농작물에도 큰 피해를 입힌 2000. 9. 13 1:00~9. 24 24:00의 자료를 분석에 사용하였다. 각 지점별 일유출량은 도 2에서 알 수 있는 바와 같이 대부분 홍수기에 의존하고 있다. 2000년 9월 중순 호우사상에 대한 댐유입량과 각 수위국의 유출량을 비교한 유출수문곡선은 도 3과 같은데, 수문곡선의 침투치 및 발생시간이 유역 상하류에 대하여 동시간적인 유사성을 보였다.



도 2 일평균 유량수문곡선(2000. 5. 1~10. 31 : 영월1,2,영춘,달천지점)



도 3 수위표 지점별 1시간 단위 유량수문곡선(2000. 9. 13 1:00~9. 24 24:00)

7. 전자파 표면유속계 측정과 HEC-RAS에 의한 수면곡선

본 과업에서는 수위국과 유량측정지점이 일치하지 않은 영월1, 영월2, 영춘 및 달천지점에 대하여 200m 간격으로 횡단측량을 실시하고, 이 지형자료를 바탕으로 모델링을 실시하였는데, 표 7.3은 HEC-RAS에 의한 계산수위와 관측수위를 비교한 것이다. 분석 결과 계산수위와 관측수위가 거의 일치함을 알 수 있다.

표 2 HEC-RAS에 의한 계산수위와 관측수위의 비교

지점	일시	홍수위(EL : m)			홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	조도계수		수위국과 유량측정지점 간 거리 (km)	비고
		기점	종점			주수로	좌우안		
			관측치	HEC-RAS					
영월1	2000.9.15 12:22	196.41	197.30	197.37	1182.92	0.033	0.037	0.6	종점 : 연당교 기점 : 수위국
영월2	2000.9.15 11:33	194.57	198.84	198.60	1351.78	0.043	0.045	2.5	종점 : 거운교 기점 : 수위국
영춘	2000.9.15 10:20	163.00	168.18	168.02	3225.38	0.040	0.043	4.0	종점 : 수위국 기점 : 북벽교
달천	2000.8.27 12:25	69.13	74.49	73.02	976.13	0.039	0.042	3.1	종점 : 수위국 기점 : 단월교

(주) 홍수량은 해당 홍수위에 대한 Rating Curve 식에 의한 것임.

8. 결론

충주댐 상·하류 하천 주요 지점의 수위-유량 상관관계를 분석하기 위하여 2000년 4월부터

12월까지 210일간 4개 수위국지점을 대상으로 현지조사 및 하천측량을 실시하고, 홍수기 및 평·갈수기에 유량측정을 실시하여 수위-유량 관계식을 유도하였으며, 이를 바탕으로 유출량산정과 유허분석을 실시하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 2000년도에 실시한 수위, 유량 측정결과를 홍수기와 평·갈수기로 나누어 수위-유량 관계식을 4가지 형식으로 유도하였으며, 대체로 이차식 형과 지수식 형에 의한 계산치가 실측치에 근접하는 것으로 판단되어 수위-유량 관계 기본식 형으로 제시하였다.

2) 본 연구에서 작성한 수위-유량 관계식의 신뢰성 검증을 위하여 9월 중순 홍수시의 수위 자료에 적용한 결과, 유량수문곡선의 첨두량 및 발생시간이 유역 상·하류에 대하여 동시간적인 유사성을 보였다. 또한 시간별 유출량과 일별 유출량 자료를 분석한 결과, 각 수위표지점의 유출을 관계에서도 타당성이 있으므로 해서 작성된 수위-유량 관계식의 적정함을 검증할 수 있었다.

3) 충주댐 유입량으로부터 각 지점별로 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량을 산정하는 등 유허분석을 실시함으로써 지점별 유허을 파악하였고, 이는 남한강 수계의 수자원 평가에 중요한 기초 자료가 될 것이다.

4) 수위국과 유량측정 지점의 위치가 상당히 떨어져 있고 충주댐 유역에서 차지하는 비중이 큰 영월 1, 영월 2, 영춘, 달천지점의 정확한 자료수집을 위하여 HEC-RAS에 의해 모델링을 실시하였는데, 실제 관측수위와 계산수위가 거의 일치하였다.

5) 충주댐 유입량의 정확한 산정을 위하여 앞으로 지속적인 수위-유량 측정을 실시하여 자료를 수집 정리하고 이를 분석하여 수위-유량 관계식을 보완함으로써 그 정밀도를 향상시켜야 한다.

#### 참고문헌

1. 한국수자원공사 충주댐사무소, '95~2000 충주댐 유량측정 보고서, 95. 12~2000. 12.
2. 한국수자원공사, 수자원 기초조사 편람, 1999.
3. 건설교통부 한강홍수통제소, 남한강유역 유량측정 보고서, 1998. 11.
4. 건설교통부, 한강홍수통제소, '95~'99 한국수문조사연보, 1996. 8.~2000. 8.
5. 건설부, 하천유량자료의 계산, 1992. 12.
6. 한국건설기술연구원, 유량측정방법의 적용에 관한 연구, 1992. 12.
7. S.E. Rantz et al., Measurement and Computation of Streamflow : vol 1, vol 2, U.S. Dept. of Interior, 1982.