

PC2 댐유역 관리를 위한 수위-유량 관계곡선 및 수질- 유량 관계곡선의 개발

허창환^{1*}, 장인수², 김지학¹

충주대학교 ¹토목공학과, ²환경공학과

1. 서 론

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 분석함으로써 하천유출해석의 기초자료가 되는 신뢰성 있는 수위-유량 관계곡선식(Rating Curve)을 개발 보완하여 유량을 정량적으로 예측함으로써 수자원 개발계획과 저수지의 최적운영의 기초자료로 활용하고자 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.

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 유량측정지점(연당교, 북벽교)의 상류 1km, 하류 3 km 사이 구간을 200 m 간격으로 종·횡단측량을 홍수후에 실시하여 하천 단면 자료를 획득하였다.

4. 전자파 표면유속계에 의한 유량관측

전자파표면유속계에 의한 유량관측은 하천의 횡단방향으로 일정 간격으로 전자파 표면유속계를 설치하고 상류방향으로 전자파를 발사한 후, 수표면에서 반사되는 전자파의 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, λ 는 전파의 파장, 그리고 θ 는 물체의 속도 방향과 전파의 진행 방향이 이루는 각으로 20~45°사이의 각을 이용한다. 이러한 원리를 이용하여 하천의 유속을 측정하는 경우 그림 1과 같은 형태로 측정 모식도를 나타낼 수 있다.

전자파표면유속계로 측정한 표면유속으로부터 유량의 계산은 다음 식에 따른다.

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

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.

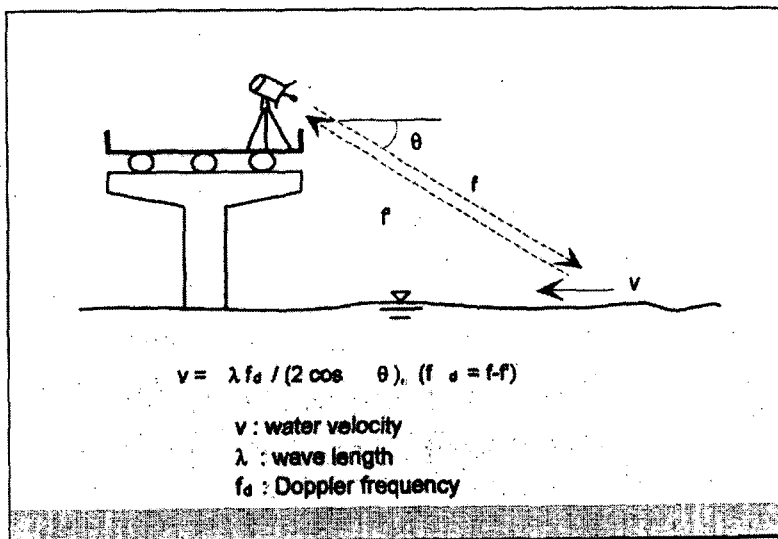


그림 1 전자파 표면유속계의 측정모식도

5. 수위-유량자료 및 수질-유량자료의 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 2002년 8월과 9월 중순 경의 호우로 하상이 많이 변한 점을 고려하여, 수위-유량 관계식을 유도하였으며, 이를 정리하면 대체로 이차식형과 지수식형일 때의 표준편차와 상관관계수가 양호한 것으로 나타났다. 이들 통계치와 시간 수위자료에 수위-유량 관계식을 적용하여 시간 및 일유량을 계산하고 일유량 자료에 대한 유황분석을 실시한 결과를 바탕으로 표 1과 같은 식을 선정하였다. 또한 수질과 유량의 관계도 표 2와 같이 산정하였다.

6. 수위-유량 곡선식의 검증

산정된 수위-유량 관계식의 검토를 위하여 4개 유량측정 지점을 대상으로 각 지점별 일평균 수위와 홍수기의 1시간 단위 수위자료에 대하여 수위-유량 관계식을 적용하여 유량을 계산하였다. 일평균 수위는 2002년 11월 1일부터 2002년 10월 31일까지의 자료를 검토하였다. 또한, 홍수기 1시간 단위 수위자료로는 2002. 8. 3 1:00~8. 15 24:00를 사용하여 댐유입량과 비교 분석하였다.

표 1 수위국별 선정된 수위-유량 관계곡선식

| 수위국명 | 적용수위(m) | 관계식 | 표준편차 | 상관계수 | 비고 |
|------|---------------|-----------------------------------|--------|--------|----|
| 영월 1 | $H \geq 1.28$ | $Q = 79.3133 H^{1.7191}$ | 0.0494 | 0.9947 | |
| | $H < 1.28$ | $Q = 42.2248 (H + 0.22)^{2.2222}$ | 0.0840 | 0.9938 | |
| 영월 2 | $H \geq 1.00$ | $Q = 50.4282 H^{2.1858}$ | 0.0555 | 0.9958 | |
| | $H < 1.00$ | $Q = 77.8883 (H - 0.1961)^2$ | 0.9651 | 0.9900 | |
| 영춘 | $H \geq 3.53$ | $Q = 19.3013 H^{2.3622}$ | 0.0890 | 0.9906 | |
| | $H < 3.53$ | $Q = 65.7932 (H - 1.2632)^2$ | 2.2697 | 0.9894 | |
| 달천 | $H \geq 0.83$ | $Q = 155.0528 H^{1.8005}$ | 0.0745 | 0.9870 | |
| | $H < 0.83$ | $Q = 155.0476 (H + 0.0205)^2$ | 1.6463 | 0.9918 | |

표 2 오염부하량-유량 상관 관계식(영춘)

| 항목 | 상관관계식 | 상관계수 | 결정계수 |
|--------------------|----------------------------------|-------|-------|
| BOD | $BOD = 27.0309 Q^{1.3702}$ | 0.987 | 0.974 |
| COD | $COD = 66.9394 Q^{1.2740}$ | 0.984 | 0.968 |
| SS | $SS = 2.7252 Q^{2.1853}$ | 0.992 | 0.984 |
| T-N | $T-N = 228.4436 Q^{1.0761}$ | 0.999 | 0.999 |
| NH ₃ -N | $NH_3 - N = 3.4834 Q^{1.2092}$ | 0.987 | 0.974 |
| NO ₃ -N | $NO_3 - N = 208.3461 Q^{1.0586}$ | 0.999 | 0.998 |
| T-P | $T-P = 0.2336 Q^{1.5171}$ | 0.991 | 0.983 |
| PO ₄ -P | $PO_4 - P = 0.1314 Q^{1.4810}$ | 0.955 | 0.912 |

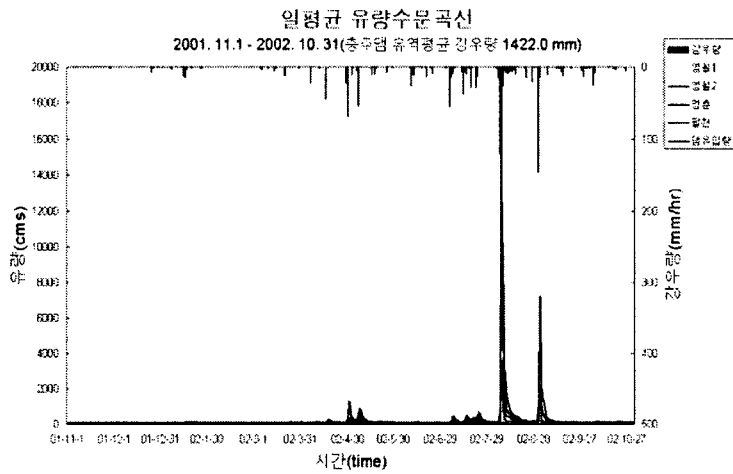


그림 2 일유출 수문곡선

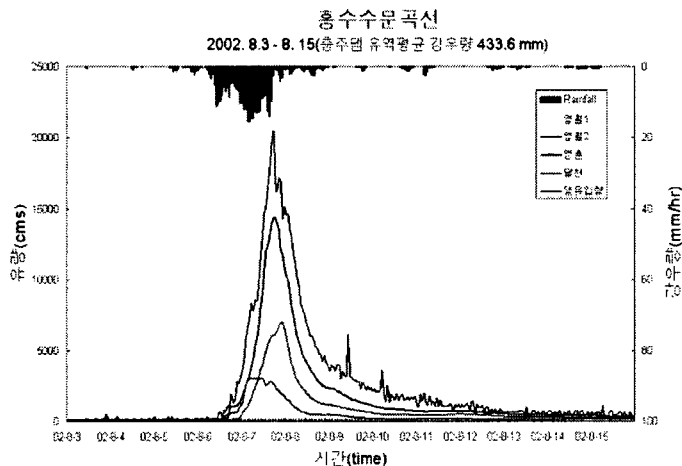


그림 3 홍수유출 수문곡선

표 3 각 지점별 홍수기 유출을 산정결과(2002. 8. 3 01:00-8.15 24:00)

| 지 점 | 유역 면적 (km ²) | 면적 총강우량 | | 침투유량 | | 직접유출량 (×106m ³) | 유출율 (%) |
|-----|--------------------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------------------------------|------------|
| | | 강우 (mm) | 유출 (×106m ³) | 유량 (m ³ /sec) | 시점 | | |
| 댐 | 6648.0 | 433.6 | 2882.6 | 20436.8 | 8.7 18:00 | 2246.5 | 78.1 |
| 영월1 | 1525.1 | 414.3 | 631.9 | 4908.6 | 8.7 15:00 | 514.1 | 81.8 |
| 영월2 | 2283.2 | 436.3 | 996.2 | 7010.7 | 8.7 23:00 | 814.9 | 81.8 |
| 영춘 | 4690.0 | 434.2 | 2036.4 | 14422.4 | 8.7 19:00 | 1642.2 | 80.6 |
| 달천 | 1398.0 | 463.4 | 647.8 | 3007.0 | 8.7 05:00 | 407.41 | 62.9 |

7. 결 론

충주댐 상·하류 하천 주요 지점의 수위-유량 상관관계를 분석하기 위하여 2002년 2월부터 12월까지 305일간 4개 수위국 지점을 대상으로 현지조사 및 하천측량을 실시하고, 홍수기 및 평·갈수기에 유량측정을 실시하여 수위-유량 관계식을 유도하였으며, 이를 바탕으로 유출량 산정을 산정하였다. 또한 유량측정과 더불어 수질분석을 실시하여 유출량과 오염부하량의 관계를 유도하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 평·갈수기 신뢰성 있는 수위-유량 관계곡선을 유도하기 위하여 실시간으로 관측되는 수위를 확인(<http://wamis.kowaco.or.kr>)하여 측정지점의 수위를 균형 있게 분포되도록 하여 신뢰도 향상을 기할 수 있었다.

2) 2002년 홍수기, 평갈수기에 측정한 수위-유량성과를 이용하여 수위-유량관계식을 홍수기, 평갈수기로 나누어 유도하였으며, 표준편차와 상관계수를 검토한 결과 대체로 이차식 형과 지수식 형에 의한 계산치가 실측치에 근접하는 것으로 나타났다.

3) 2002년 8월초와 8월말 태풍 루사에 의한 호우시에 영월 1과 달천지점의 경우 고수위에 대한 자료 축적이 가능하여 고수위에 대한 신뢰도 향상을 기할 수 있었으나 영월 2와 영춘지점의 경우 접근도로의 침수와 유실로 유량측정을 실시하지 못해서 상대적으로 고수위에 대한 자료의 확보가 미비하였으나 댐 유입량과의 비교에서 살펴보면 수위-유량관계 곡선식의 신뢰도를 확인할 수 있었다.

4) 본 연구에서 작성한 수위-유량 관계식의 신뢰성 검증을 하기 위하여 2002년 8월 3일에서 15일 홍수시의 시간별 유출량자료와 2001년 11월 1일에서 2002년 10월 31일까지의 일별 유출량자료를 분석한 결과, 각 수위표지점의 침투유량과 유출율 관계를 댐유입량 자료과 비교 검토하여 수위-유량 관계식의 신뢰도가 높은 것을 검증할 수 있었다.

5) 오염부하량의 측면에서 유량이 가장 많은 최하류 영춘지점이 가장 크게 나타났는데 이는 상류에서 영양염류의 유입농도가 높은 것으로 판단되며, 충주댐 수질에 가장 큰 영향을 미치는 최하류 영춘지점에 대한 집중적인 수질조사 및 분석이 이루어진다면 충주댐의 신뢰성 있는 수질예측이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 한국수자원공사 충주권관리단, '95~2002 충주댐 유량측정 보고서, 1995. 12~2002. 12.
- 한국수자원공사, 수자원 기초조사 편람, 1999.
- 건설교통부 한강홍수통제소, 남한강유역 유량측정 보고서, 1998. 11.
- 건설교통부, 한강홍수통제소, '95~'99 한국수문조사연보, 1996. 8.~2000. 8.
- 건설부, 하천유량자료의 계산, 1992. 12.
- 한국건설기술연구원, 유량측정방법의 적용에 관한 연구, 1992. 12.
- S.E. Rantz et al., Measurement and Computation of Streamflow : vol 1, vol 2, U.S. Dept. of Interior, 1982.