

팔당댐 방류량 검정을 위한 고안지점 수위-유량 관계곡선의 작성

The Rating Curve of Goan Station for Calibration of Discharge of Paldang Dam

서 규 우* · 허 준 행** · 조 원 철*** · 이 원 환****
Seo, Kyu Woo · Heo, Jun Haeng · Cho, Woncheol · Lee, Won Hwan

Abstract

No correction has been made for the rating curve of Goan Station since 1986 even though there has been a severe bed degradation until now. Furthermore, it was informed to Han River Flood Control Center that there was a difference between the discharge released from Paldang dam and the discharge observed at Goan station during 1990 flood. By considering such river bed changes, hydraulic model experiment with 1/100 scale was performed for the range of 2.2 km, which covers from Paldang dam to the downstream of Goan station. From this experiment, the rating curve was obtained by considering the discharges from Paldang dam and the corresponding water levels at Goan station. Also, the existing and the proposed rating curves were compared with those by computational method of RMA-2V.

요 지

1986년 이후 급격한 하상변동에도 불구하고 고안지점의 수위-유량 관계곡선에 대한 수정작업이 이루어지지 않아 '90년 홍수시 한강홍수통제소로 제보된 팔당댐 하류부 수위나 방류량 자료들이 고안지점에서 계측된 수위자료에 의한 유량자료와의 비교에서 서로간의 신뢰도에 문제가 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 댐하류부의 하상변동을 고려하여 팔당댐에서 고안지점 하류를 포함하는 약 2.2km 구간에 대해 1/100축척의 수리모형실험을 실시하였으며, 이를 통해 새로이 작성된 팔당댐 방류량 산정공식에 의한 방류량자료와 고안지점에서의 수위 자료를 이용하여 새로운 수위-유량 관계곡선을 작성하였다. 한편 수리모형 실험성으로 작성한 수위-유량 관계곡선을 RMA-2V모형에 의한 수치모형을 이용하여 기존의 수위-유량 관계곡선 및 새로운 수위-유량 관계곡선을 비교, 검정하였다.

- * 연세대학교 토목공학과 박사과정
- ** 연세대학교 토목공학과 조교수
- *** 연세대학교 토목공학과 교수
- **** 연세대학교 토목공학과 명예교수

1. 서 론

팔당댐은 당초 발전 단일목적의 기능을 가진 수력발전용 댐으로서 전력시설용량 80,000 kW의 비교적 소규모의 저낙차댐으로 건설되었다. 그러나 팔당댐은 준공후 20여년이 경과되면서 남 북한강의 합류점인 경기도 양평군 양수리 하류측 약 3km 위치에서 경안천을 합류하여 한강하류부의 1,500여만명을 수용하고 있는 수도권을 직하류에 두게 됨으로써 나날이 증가되는 각종 용수수요의 공급원으로 전환되어 당초의 목적과 그 기능 및 비중이 달라지게 되었다.

팔당댐 건설로 인한 홍수시의 유송토사가 차단되었고 1973년 준공후 20여년이 경과되면서 댐 하류부는 하상형태의 변화 및 하상세굴에 수반된 수면저하가 크게 가지적으로 발생하게 되었다. 이와 같은 하상변동으로 인한 수면저하현상은 팔당댐 건설당시의 낙차와 크게 차이가 나 발전소 방수구의 지반세굴이나 팔당댐 직하류부의 하상저하에까지 영향이 미쳐졌을 가능성을 배제할 수가 없겠다(팔당댐 방류량산정 개선에 관한 연구, 1995).

현재의 팔당댐 방류량 산정기준은 건설당시의 수리모형실험(Sofrelec, 1968)의 결과로 제시된 공식의 형태를 그대로 유지하면서 한두차례 수정을 가하여 이용하여 왔다(충주다목적댐 건설에 따른 한강홍수에경보 프로그램 개선보고서, 1985; 수문자료집, 1986). 그동안 건설당시와는 하류부 하상변동 등 상황이 크게 변화하였으나, 이에 대한 능동적인 대처가 충분히 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이와 같은 하상변동으로 인한 수면저하현상으로 기존의 댐 방류수위표는 평상시는 물론이고 방류량 약 5,000 cms 이하에서는 팔당댐 하류부 수위의 변동을 제대로 나타낼 수 없게 되어 1990년 9월 홍수시 한강홍수통제소로 제보된 수위나 방류량 자료들이 고안지점에서 계측된 수위자료에 의한 유량자료와의 비교에서 서로간의 신뢰도에 문제가 제기되기에 이르렀다('90 대홍수, 1991; 고안수위표지점 수위자료, 1990).

팔당댐으로부터의 방류량과 팔당댐 하류 수위자료는 홍수시나 갈수기를 망라하고 한강하류부의 홍

수관리나 용수관리면에 지극히 중요한 기본 자료가 되므로 금번에 한전에서 새로이 작성하여 사용하는 수문조작기준 및 댐방류량 산정식에 의한 방류량을, 건설교통부의 한강홍수통제소가 관리하는 댐 하류 1.7km에 위치한 고안 수위표지점에서 다시 한번 검정하여 봄으로써 댐 및 하천관리를 담당하고 있는 기관에서는 정확하고도 믿을 수 있는 수문자료를 획득할 수 있도록 해야 할 것이며, 이를 위해서는 새로이 산정된 팔당댐 방류량과 상관관계가 있는 고안지점에서의 수위-유량 관계곡선이 재작성되어야 한다. 한편 고안지점은 인도교지점과 더불어 가장 오래되어 기존의 주요 수문자료를 많이 보유하고 있는 측수지점중 하나이고 수도권을 포함하고 있는 한강하류부의 치수방재적인 측면에서도 중요한 지점이므로 새롭게 정립될 필요성은 크다고 본다. 또한 금년에 완공된 팔당대교에 건설교통부에서는 수위관측시설을 계획하고 있는바 차후 수위표제작시 고안지점에서의 수위-유량자료가 중요한 기준자료 및 검정자료로 사용할 수 있으므로 현시점에서는 이 지점에서의 연구가 보다 집중적으로 다루어져야 하겠다(서규우 등, 1995; 이승재 등, 1995).

2. 연구방법 및 자료수집

한전에서 팔당댐 하류부 하상변동에 따라 새로이 방류량 산정공식을 정립하기 위해 1994년 팔당댐 방류량산정 개선에 관한 연구의 일환으로 실시한 수리모형실험에서 댐체체 및 하류부를 고안지점 하류까지 연장시켜 각 방류량별 정상상태에서의 수위등을 고안지점에서 관측하여 수위-유량 관계곡선을 산정하였다. 이를 위한 사전단계로, 첫째 연구에 필요한 기본적인 수문자료 수집 및 분석을 위해 고안지점을 중심으로 한강종합개발 전후의 한강하류부 하상을 비롯한 수리·수문자료, 팔당댐하류 수위저하 분석자료, 기존의 댐방류량자료를 수집, 분석하였다(팔당 H/P 방수위탐 설계기술용역 종합보고서, 1994; 팔당댐 관리자료(일별 방류량), 1994; 한강 종합개발 기본계획수립, 1983; 한강 하상변동 조사보고서, 1981; 한강 하천정비 기본계획보고서, 1978; 한강홍수에경보, 1983~

1993; 한강홍수자료집, 1983; 홍수량측정조사 보고서, 1986). 둘째 방류량 산출기준 분석에서 댐설계 당시 및 현재 사용하고 있는 방류량 산출기준을 분석하고 고안지점과의 상관관계에 의한 기왕의 방법들을 조사하여 개선된 방류량에 따른 방법을 수립하였다. 셋째 댐하류부 조사측량을 실시하였다. 수리모형제작을 위한 기초자료가 될 하천지형자료 즉 삼각측량, 도근측량, 수준측량 및 종·횡단측량을 실시하고 고안지점부근의 유량 및 팔당댐 하류부의 수위를 실측함으로써 댐 하류부의 단면별 조도계수를 검정할 수 있었다. 네째 수리모형설계 및 실험계획수립을 통해 고안하류지점까지 연장된 댐 수리모형실험(고정상)을 실시하였다.

3. 조사측량 및 유량 관측성과

3.1 현장조사측량

댐하류부 및 고안 하류지점에 대한 조사측량구간은 팔당댐에서 고안지점 하류방향 500m까지의 약 3km 구간으로 설정하였다. 이 3km 구간 양안에 대해 삼각측량, 도근측량을 실시하고 댐하류부 약 3km에 대해 수준측량을 실시하였다. 평판측량은 1/

1200의 축척으로 실시하고 댐하류방향으로 횡단측량을 100m 간격으로 실시하였으며 특히 고안지점 횡단부에서는 상·하류측 각 100m 구간을 20m 간격으로 정밀측량을 실시하였다. 고안지점 부근에서의 종단측량은 하폭에 대해 20m 간격으로 실시하고 수심측량을 종횡단 측량방법과 동일하게 실시하였다(그림 1 참조).

팔당댐 직하류부에서부터 고안하류지점으로 내려오면서 실시한 여러 측량성과중 횡단측량은 종단측점에 따라 하천 유심의 직각방향으로 실시되 기왕의 홍수위선 이상 지점까지 횡단간격 100m를 원칙으로 실시하였다. 1개 횡단형에서의 측점거리는 20m를 원칙으로 하되 지형이 급변하는 지점은 보충하여 횡단면도를 작성하였다. 종·횡단측량 성과중 고안지점을 기준으로 상·하류 100m구간을 20m 간격으로 구분을 하여 세분한 것을 살펴보면 고안지점에 해당하는 종단 기준측점의 우안기준은 23.85 EL.m이다. 여기서 좌안을 향해 횡으로 202m 정도 진행하면 -8.50 EL.m로 유심부에 해당되며 하폭은 좌우안 기준으로 볼때 314.5m이다.

본 조사측량에서 얻은 성과로 팔당댐 하류부 및 고안지점까지의 하상형태를 3차원으로 입체도시하면 그림 2와 같다.

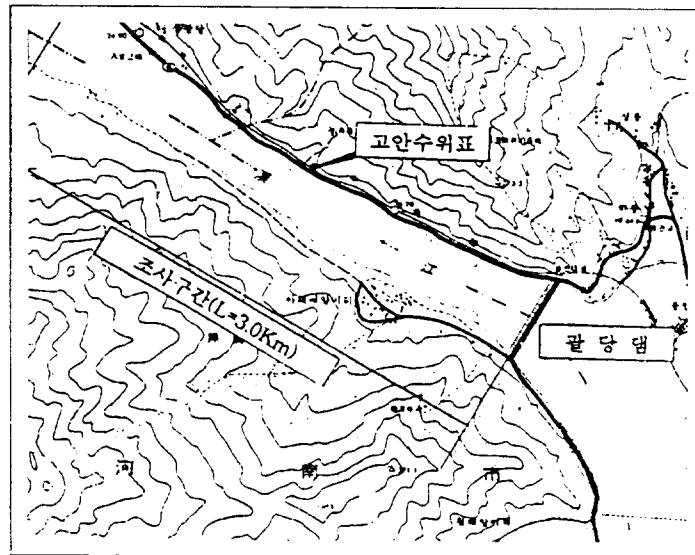


그림 1. 조사측량구간 위치도

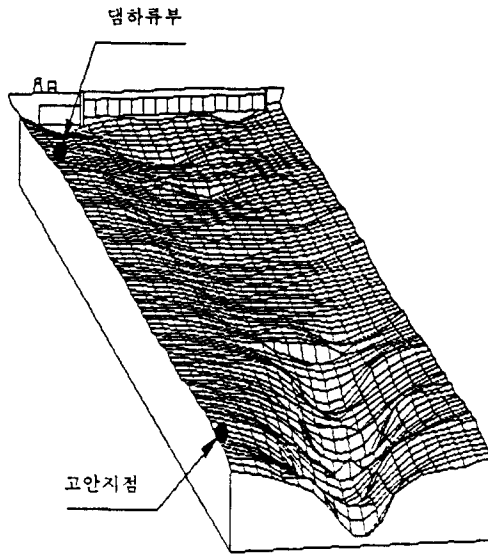


그림 2. 팔당댐하류부 및 고안하류지점의 3차원 입체도

표 1. 고안수위표 지점의 유량측량 성과

고안지점 수위표값 (m)	평균유속 (m/sec)	단면적 (m ²)	유량 (cms)
-0.110	0.11	1956.60	212.10
-0.920	0.15	2002.60	304.81
-0.665	0.21	2049.40	425.83
-0.405	0.25	2096.68	527.80
0.000	0.38	2206.94	828.90

3.2 고안지점 유량 관측

고안지점의 유량을 관측하기 위해 발전방류량을 중단시켜 방류량이 전혀 없는 상태에서의 하류부 수위를 기준수위로 설정하고 서서히 발전방류량을 증가시켜 800 cms 이내의 범위에서 방류량을 약 200 cms, 300 cms, 400 cms, 500 cms, 800 cms 정도로 달리하여 6회에 걸쳐 하천시설기준(1993)에 의거 각 지점 및 단면별 유속측정을 실시함으로써 유량정밀관측을 실시하였다(팔당수력발전소 배전반운전일지, 1994; 하천시설기준, 1993). 표 1에 고안수위표지점에서의 유량 관측성

과를 정리하였다. 이들 자료는 고안지점에서의 저 유량의 비교를 위한 검정자료로 이용되었으며, 고 유량시에는 실측이 불가능해 기왕의 홍수자료를 이용하여 하류단 수위조정이 가능하도록 하여 모형에서 고안지점 하류부의 하상이 제대로 재현되도록 하였다(한강수위유지시설 잠실수중보 수리모형실험, 1984).

4. 수리모형실험

4.1 모형축척

하천의 모형실험에서는 중력이 흐름을 주로 지배

하므로 Froude의 상사법칙이 적용되고 조도는 Manning의 평균유속공식에 의하여 조도계수를 역산하여 구하게 된다(한강종합개발기본계획 수리모형실험(1차)보고서, 1982).

수리학적 상사성에 대한 첫번째 조건은 모형과 원형과의 흐름사이의 기하학적인 상사성이 성립해야 하므로 연직방향의 축척과 수평방향의 축척을 동일하게 하는 것이 바람직하다. 또한 개수로내의 흐름에 관한 두번째 상사조건으로서 역학적인 상사조건으로서 모형과 원형과의 흐름사이의 Froude No.가 동일해야 한다(한강종합개발계획 수리모형실험(1차)보고서, 1982; 한강하류부 수리모형실험, 1985).

본 실험에 있어서는 이상 여러가지의 조건을 고려하여 축척을 다음과 같이 정하였다.

$$\text{수평축척: } X_r = 1/100$$

$$\text{연직축척: } Y_r = 1/100$$

위 관계식을 사용하여 모형과 원형사이의 각종 수리량의 비를 구하면 다음과 같다.

$$\text{유속비: } V_r = X_r/T_r = X_r/X_r^{1/2} = X_r^{1/2} = 0.1$$

(T_r: 시간비)

$$\text{유량비: } Q_r = X_r^2 \cdot Y_r/T_r = X_r^{5/2} = 0.00001$$

$$\text{수면경사비: } I_r = Y_r/X_r = 1$$

$$\text{조도계수비: } n_r = Y_r^{2/3} \cdot I_r^{1/2}/V_r = Y_r^{1/6} = 0.4642$$

(V_r: 속도비)

위의 관계식에 의하여 원형과 모형사이의 수리량 크기를 1/100 모형일 때 예를 들어 비교해 보면, 실제 현장에서 저유량시 유속이 0.5m/sec인 경우 모형에서는 0.05m/sec로 재현되며, 유량의 경우 원형에서의 10,000 cms는 모형에서 100 l/sec이며 25,000 cms이면 250 l/sec, 팔당댐의 계획홍수량 38,000 cms는 380 l/sec로 나타난다. 그리고 조도계수값을 보면 원형에서 0.06 정도인 경우 모형에서는 0.0278 로 나타난다.

4.2 모형제작

수리모형실험을 위해서는 기본적인 설비로 저수조, 고수조와 펌프설비, 유입수조와 배출수조 등이

필요하며 본 연구에서는 저수조 266.88m³, 고수조 27.3m³, 30, 50, 125 마력 펌프설비로 최대 400 l/sec 용량을 공급할 수 있는 수리실험실을 이용하였다. 팔당댐 모형과 팔당댐 하류부 및 고안지점의 하상제작은 측량성과물을 바탕으로 제작되었다. 모형설치 구간 바닥에 일반토사로 성토하고 다짐하고, 1차 누수방지 처리를 한 후, 점토를 전구간에 걸쳐 평균 30cm 두께로 깔고 재다짐을 하였다. 하상단면은 지점별 횡단측량 성과를 이용하여 지점단면별로 합판위에 횡단면을 그려서 제작하고 표고(El.m)에 맞게 설치한 다음 구간과 구간 사이에는 점토로 매끄럽게 연결하였다. 각 지점별 수위계측장치를 설치한 후, 점토를 합판형상에 따라 나무망치를 사용하여 다져가면서 하상모양을 성형하였다. 하천모형을 완성한 후, 2차 방수처리를 위해 토목섬유를 깔고 슬레이트 못으로 고정한 후 그 위에 코울타르를 평균 3mm 두께로 타설하였다. 실제 팔당댐 하류부의 하상조도와 맞게 입경이 3mm~5mm 정도의 왕사를 세사한 후 건조시켜 코울타르 위에 정착하였다. 한편 모형제작시 염려되는 하류단 경계에서의 수면경사의 변화로 인한 영향을 최소화하기 위해 고안지점 하류로 약 800m를 더 연장시켜 수면경사 변화로 인한 영향이 고안지점에 나타나지 않도록 하였다.

수위계측장치는 각 지점별로 유심부 및 주요지점에 관을 매설하여 실험실내에 설치된 종합 계측판상에서 수위를 실시간으로 관측할 수 있게 하였다. 또한 유입수조내 위어설치 지점에서 상류로 1 m 정도 올라간 지점에서 포인트 게이지로 위어수심을 계측하는 이중점검을 실시하여 실험상에서 발생할 수 있는 오차를 최대한 줄이도록 하였다.

4.3 조도계수 산정 및 검토

조도계수는 표면조도, 식생상태, 수로의 형태, 수로의 크기, 유량 등에 따라 크게 변화하기 때문에 조도계수를 정확하게 산정하는 것은 아주 어려운 작업이다(Chow, 1959; 1988). 조도계수는 수로에서 흐름에 저항하는 수리학적 인자를 나타내는 것으로, 동일한 수로형상을 가진 수로일지라도 조도계수에 따라 소통시킬 수 있는 유량에는 상당한

차이를 나타내게 되므로 모형실험에서 매우 중요한 인자이며, 정확한 조도계수의 산정이 요구된다. 본 연구에서는 에너지 방정식을 이용한 USGS법 (Barnes, 1987)을 이용하였는데, 이 방법은 식 (1)의 Manning 방정식내의 조도계수 n_r 값을 추정하는 방식으로 기지의 유량, 수면형상, 도달거리의 수리학적 특성을 이용하며 여러 단면에 이용할 수 있는 방정식이다.

$$Q = \frac{1}{n_r} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (1)$$

여기서 A는 단면적, R은 경심, S는 수면경사이며, n_r 은 조도계수이다. 단면 1과 2에 대한 에너지 방정식은 다음과 같다.

$$(h+h_v)_1 = (h+h_v)_2 + (h_f)_{1,2} + k(\Delta h_v)_{1,2} \quad (2)$$

여기서 h는 임의의 기준선에 대한 수위, h_v 는 속도수두(= $\alpha V^2/2g$), h_f 는 마찰손실수두, Δh_v 는 속도수두차(1지점과 2지점의 속도수두차), $k(\Delta h_v)$ 는 유속의 감속 또는 가속에 의한 에너지 손실수두 k는 계수(contracting reach=0, extending reach=0.5)이다.

Manning의 공식에 사용되는 마찰경사는

$$S = \frac{h_f}{L} = \frac{\Delta h + \Delta h_v - k(\Delta h_v)}{L} \quad (3)$$

이며, 여기서 L은 구간의 길이, Δh 는 구간의 수위차이다.

Manning 방정식에서 통수능 ($K = AR^{2/3}/n_r$)은 각 단면마다 계산된다. 평균통수능은 두 단면간의 기하평균을 이용하며 이에 따른 유량은 식 (4)와 같으며 조도계수를 역산하는 과정은 식 (5)와 같다.

$$Q = \sqrt{K_1 K_2} S \quad (4)$$

여기서, K_1 , K_2 는 1단면과 2단면에서의 통수능이다.

$$n_r = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{(h+h_v)_1 - (h+h_v)_M - \sum_{i=1}^{M-1} (k\Delta h_v)_{i+1}}{\sum_{i=1}^{M-1} \frac{L_{i,i+1}}{Z_i Z_{i+1}}} } \quad (5)$$

여기서, $Z = AR^{2/3}$ 이다.

에너지 방정식 (1)로부터 유도된 조도계수 산정식 (5)에 의해 조도계수를 구할 수 있다.

유량별 상·하류 수위차를 이용하여 조도를 산정하는 USGS법에 의한 조도계수 산정결과를 실험측적으로 환산하여 모형에서의 조도계수를 제안하였다.

실험유량은 $Q = 212.1, 304.8, 425.8, 527.8, 828.9$ cms로 이때 댐 직하류부 수위와 고안지점의 수위차를 이용하여 조도계수를 구했으며 이 수위차는 유량이 커짐에 따라 점차 증가하는 추세를 보인다. 현장자료에 의한 Manning의 조도계수는 0.087~0.058의 범위를 나타내었다. 상사율인 0.464를 현장의 조도계수에 곱한 값이 모형에서의 제안 조도계수가 되며 이를 구해본 바에 따르면 0.040~0.027의 범위를 나타내었다. 모형실험에 있어서 조도의 조정은 고정상의 경우 현지와 수위를 일치시키는 방법, 조도계수를 일치시키는 방법들을 쓰고 있으나, 엄밀한 면에서 합치되도록 한다는 것은 그렇게 용이한 일은 아니다.

본 연구에서의 조도계수 산정절차를 다시 정리하면 다음과 같다. 첫째 팔당댐 저유량에 대한 실측 유량자료 및 수위자료를 이용하여 실제의 조도계수를 구한다. 둘째 실측치에 대한 조도계수에 모형의 상사율을 적용하여 구한 모형의 제안 조도계수를 구한다. 셋째 모형내에서 실측유량과 동일한 축척의 모형유량을 흘려 보냈을 때의 상하류(팔당댐 직하류부와 고안지점)의 수위차를 측정하여 조도계수를 산정한다. 넷째 모형에서 구한 조도계수값과 실측치에 의한 환산 조도계수와 비교하였다. 이 비교에 따라 현장에서의 조도계수와 모형에서의 조도계수를 일치시키기 위한 기초실험을 실시하였다. 현장에서의 실험유량은 최대 828 cms로 그 이상의 유량에 대해서는 현장측정작업이 매우 어렵다.

표 2. 현장 조도계수와 모형실험 조도계수와의 비교

	유량 (cms)	댐하류부수위 (m)	고안지점수위 (m)	현장예상 조도계수	환산된 모형 조도계수
현장실측 자료	212	7.900	7.685	0.0866	0.0401
	304	8.130	7.875	0.0739	0.0343
	425	8.478	8.130	0.0725	0.0336
	527	8.783	8.390	0.0711	0.0329
	828	9.240	8.795	0.0577	0.0267
	유량 (ℓ /sec)	댐하류부수위 (cm)	고안지점수위 (cm)	모형조도계수	
모형실험 자료	2.10	7.800	7.500	0.0440	
	4.10	8.400	8.000	0.0356	
	5.00	8.950	8.650	0.0334	
	8.50	9.450	8.900	0.0311	

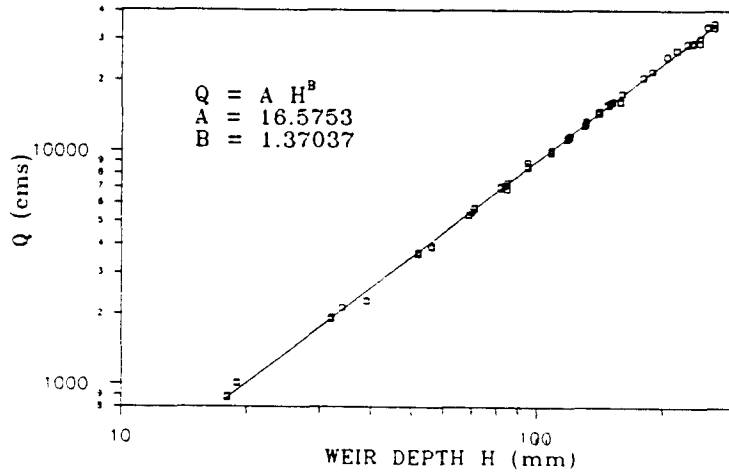


그림 4. 위어수심과 유량과의 회귀분석도

이에 대한 자료를 정리하여 표 2에 나타냈다. 표에서 보는 바와 같이 모형축척으로 환산된 조도계수의 경향이 현장에서의 실측자료를 이용하여 구한 값과 모형에서의 실험자료를 이용하여 구한 값 모두 유량의 증가에 따라 점차 감소하는 경향을 보이고 있었다. 이러한 경향을 바탕으로 1,000 cms가 넘는 유량의 경우에 대해 기왕의 대표홍수(90년 홍수중심)들에 대한 수위-유량자료와 그때의 댐방류량자료를 참고로 하여 그동안의 고안지점 횡단면 변화 추이를 고려하여 고유량에 대한 조도계수를 결정하였다.

4.4 유량검정

유량검정은 평량수조를 사용한 용적법을 통하여 실시하였다. 시간이 어느 정도 경과하여 공급되는 유량이 일정하고 흐름이 정류상태가 되었을 때, 위어수심을 측정하고 평량수조내에서 측정된 용적을 소요시간으로 제하며 이때의 위어수심을 측정하여 위어수심별 유량검정을 실시하였다. 유량검정 실시 후에는 위어수심을 측정하므로써 유량을 구할 수 있다(이원환, 1964; 1965). 유량검정자료를 이용하여 구한 위어수심과 유량과의 관계식은

$$Q=16.5753H^{1.3703} \quad (6)$$

과 같으며 그림 3에 나타난 바와 같이 대수정규지상에서 직선의 형태로 나타내고 있다(팔당댐 방류량산정 개선에 관한 연구, 1995).

5. 수위-유량 관계곡선

5.1 기존의 수위-유량 관계곡선

'86년 이후 현재까지 사용되고 있는 수위-유량 관계곡선식은 식 (7)과 같다.

$$Q=226.5648 \cdot H^{1.8369} \quad (H \geq 5.9) \quad (7a)$$

$$Q=198.2448 \cdot H^{1.91187} \quad (H < 5.9) \quad (7b)$$

5.2 수위-유량 관계곡선의 재작성

고안 지점은 팔당댐 하류 약 1.7km 지점에 위치하며 8.15해방 이전부터 수위를 측정하는 수위탑이 설치된 지점이다. 현재의 고안지점은 자기 수위

기록장치가 설치되어 있으나 하상저하가 크게 일어나서 현재 사용하고 있는 최근의 수위-유량 관계곡선식('86년 한강홍수예경보)은 86년 이후에도 하상저하가 크게 일어나서 실제의 상태를 잘 반영해 주지 못하고 있는 실정이다(수자원관리기법 개발연구소 수위유량 관계곡선 자료집, 1994; 수자원관리기법 개발연구소 보고서 부록 하천유량 자료의 계산, 1994).

본 연구에서는 수리모형실험의 댐방류량 산정실험시 고안지점의 좌안과 우안에 수위계측장치를 설치하여 고안지점에서의 정확한 수위를 구하였으며 이 수위에 따른 유량값을 산정하여 관계식을 확립하였다. 수리모형실험을 통해 얻어진 정상상태에서의 3,500 cms 이상 27,000 cms까지의 유량별 수위자료는 표 3과 같다.

고안지점의 경우 유심이 깊고, 그 지점의 단면폭이 좁은 형태를 가지고 있으므로 정확한 계측을 위해서 본 실험에서는 고안횡단지점에서 좌안과 우안 2개 지점에 수위계측장치를 설치하여 동시에 측정하였다. 표 3에서 보듯이 좌우안에서 계측된 값이 유량의 변화에 따라 조금의 차이는 있으나 거의 무시할 수 있을 정도인 것으로 나타났으며 이를 각각 평균한 값을 수위값(El.m)으로 사용하였다. 이들

표 3. 정상상태에서의 수위-유량자료(수리모형실험)

유량 (cms)	수위(El.m)		유량 (cms)	수위(El.m)	
	고안(우안)	고안(좌안)		고안(우안)	고안(좌안)
3,574	10.65	10.65	17,969	18.40	18.40
5,003	11.60	11.60	18,958	18.70	18.70
5,599	12.25	12.20	20,117	19.40	19.40
6,727	12.80	12.80	21,137	19.45	19.45
8,151	13.50	13.50	21,295	19.70	19.70
1,0032	14.50	14.50	22,571	20.00	20.00
1,0814	14.95	14.95	23,216	20.50	20.40
1,1948	15.40	15.40	24,030	20.60	20.50
1,2835	15.80	15.80	24,687	20.90	20.90
1,3809	16.60	16.60	25,017	21.10	21.20
1,5235	17.00	17.10	25,514	21.20	21.30
1,6108	17.40	17.40	25,847	21.30	21.50
1,6697	17.80	17.80	26,181	21.70	21.60
1,7592	18.00	18.10	26,349	21.80	21.80

수위값은 수위표기준 수위를 사용하는 수위-유량 관계곡선 작성시에는 고안지점의 영점표고인 El. 8.795m를 제하면 된다.

고안지점을 중심으로 한 팔당댐 하류부가 한강개발사업이후 현재 안정하도에 가까운 평형하천 상태를 유지하는 것으로 가정하여 실험에서 나온 결과를 이용하여 회귀분석에 의해 수위-유량 관계곡선의 기본식으로 다음의 세가지 경우를 검토하였다 (이승재 등, 1995).

$$Q = (aH + b)^2 \quad (8)$$

$$Q = a \cdot H^b \quad (9)$$

$$Q = a_0 + a_1 \cdot H^1 + a_2 \cdot H^2 + \dots + a_n \cdot H^n \quad (10)$$

식 (8), (9), (10)을 기본형으로 하여 표 3의 수위, 유량자료에 대해 각각의 회귀계수 및 상관계수를 최소자승법으로 추정하여, 표 4에 3가지형태

의 수위-유량 관계곡선식에 대한 비교표를 나타내었으며, 표에서 보듯이 3 가지형태의 식 모두 상관계수가 0.99를 넘고 있어 모두 적용, 사용이 가능하나 수위표 기준수위 0.0 m 이하의 저유량에 대해서도 적용이 가능하고 저수위와 고수위로 구분한 I 형태의 식과 저유량 및 고유량 전범위에 걸쳐 하나의 식으로 표현되는 2차식으로 표현된 III 형태를 고안 지점에 대한 새로운 수위-유량 관계곡선으로 추천하였다. 여기서 Q는 cms단위이며, H는 수위표기준 수위(m)이다.

한편 팔당댐 하류부는 홍수시를 제외하고는 통상 발전방류량에 해당하는 200 ~ 800 cms 정도의 유량이 방류되며 하천유지유량에 해당하는 150 cms 정도는 반드시 방류시켜야 된다. 앞 절에서의 실제 유량 관측 및 측량성공에서 댐에서 200 cms 방류시 고안지점에서는 수위표기준으로 -1.1m 정도를 기록하였던 것을 볼 때, 저수위에 대해서 제안한 2가지 형태의 식 모두 적용하여 사용하는 데는 문제가 없는 것으로 파악되었다. 그러나 제안식

표 4. 3가지형태의 수위-유량 관계곡선식 비교

형식	수위-유량 관계곡선식	수위(m)	상관계수	비고
I	$Q = (39.6604 + 10.9406 \cdot H)$	$H < 4.505$	$r = 0.9991$	추천
	$Q = (49.4774 + 8.9661 \cdot H)$	$H \geq 4.505$	$r = 0.9990$	
II	$Q = 2741.41 \cdot H^{0.47}$	$H < 1.955$	$r = 0.9999$	
	$Q = 1666.98 \cdot H^{1.06}$	$H \geq 1.955$	$r = 0.9970$	
III	$Q = 1415.58 + 1120.08 \cdot H + 67.847 \cdot H^2$	$H \geq -1.0$	$r = 0.9998$	추천

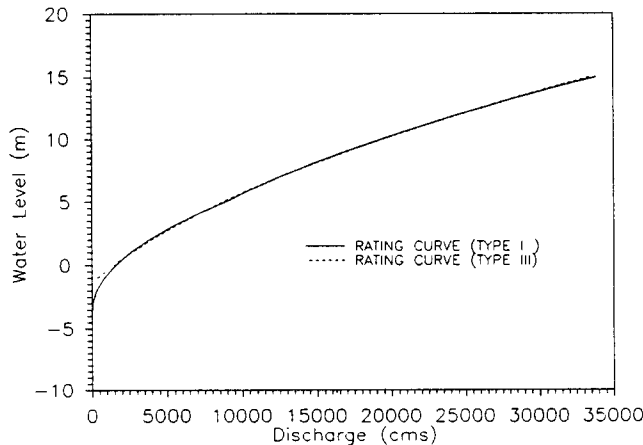


그림 5. 추천한 2가지형태의 수위-유량 관계곡선 비교

의 사용에 있어 그 적용범위를 살펴보면, I 형태의 식은 수위표기준 수위로 -4.0m 이상에 대해 저수위(4.5m 미만) 및 고수위(4.5m 이상)로 구분하여 적용하고, III형태의 식은 수위표기준 수위로 -1.0m 이상에 대한 전범위에서 적용이 가능하다.

6. 검정 및 비교고찰

수리모형실험에서 나온 결과를 이용한 새로운 수위-유량 관계곡선식의 검정을 위해 RMA-2V모형(King, 1992)을 이용한 수치모형실험을 통해 수위-유량 관계곡선을 구하여 비교·검토하였다. 팔당댐 방류량 산정을 위한 수치모형실험중 Large Scale Model에 의한 고안지점의 유량에 따른 수위변화는 수치모형실험 결과로부터 고안지점의 수위가 잘 합치되는 구간의 평균유량과 그 때의 조도계수값을 회귀분석하여 유량과 조도계수의 상관관계식을 2차다항관계식과 선형관계식으로 수립한 후, 이 두가지 유량-조도계수 관계식을 이용한 수위-유량 관계곡선을 작성하였다. 표 5는 수리모형실험과 두가지 유량-조도계수 관계식을 이용한 수치모형실험 결과에 의한 유량별 수위를 기존의 수위-유량 관계식에 의한 값과 비교하여 나타낸 것이다.

팔당댐의 방류량이 5,000 cms 이하인 경우, 잠실수중보의 영향으로 인도교지점의 수위를 하류단 경계조건으로 설정하는 것이 부적절하기 때문에 5,000 cms에서 1,000 cms간격으로 최대 설계홍수량인 37,000 cms까지 수치모의하였다. 방류량별 수위계산은 각각의 유량에 대해 정상상태에 도달했을 때의 수위값을 구하였다. 그림 5는 고안지점의 기존의 수위-유량 관계곡선과 수리모형실험에 의한 수위-유량 관계곡선 그리고 두가지 유량-조도계수관계식을 이용한 수치실험에 의한 수위-유량 관계를 도시한 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 수리모형실험과 수치실험에 의한 유량별 수위가 기존의 수위-유량 관계식에 의한 유량별 수위보다 평균 1m정도 낮으며, 저유량인 경우 그 차이가 보다 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 댐 직하류부로부터 고안지점에 이르는 구간이 상류로부터의 유사유입차단과 수류의 소류작용 등에 의한 댐 하류부의 하상저하와 경기지구 한강종합개발사업

시 하도정비사업의 일환인 하류부 하상골재채취로 인한 배수효과의 감소 등이 지배적인 원인이라 생각된다. 한편, 수리실험 결과와 수치실험 결과는 22,000 cms 이상에서 근사한 값을 나타내고 있으며, 2차 다항식 유량-조도계수 관계식을 이용한 수치실험 결과가 고유량에서 수리모형실험 결과값과 보다 일치함을 볼 수 있다.

이처럼 수리모형실험과 수치모형실험에 대한 고안지점의 수위를 비교·검토한 결과, Large Scale Model에 의한 고안지점의 유량에 따른 수위변화는 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났으며, 이러한 수리-수치모형의 비교결과를 종합해 볼때 수리모형실험은 적절하게 이루어진 것으로 생각되며, 이를 기존의 '86년 수위-유량 관계곡선과 비교해보면 같은 유량에 대해서 하상저하로 인한 수위저하현상을 분명하게 확인할 수 있다. 즉 16,000 cms 이하에서는 약 3m전후의 수위저하현상을 볼 수 있고 22,000 cms 이상에서는 대략 1.5m전후의 저하현상을 확인할 수 있다.

한편 95년 8월 23일부터 27일에 걸쳐 중부지방에 내린 집중호우로 팔당댐에서의 유입량이 증가하면서 댐방류를 실시하여 최대방류량 23,454 cms를 기록하였다. 실측자료에 의한 검정을 위해 이 기간동안 고안지점에서 동시 관측한 수위자료를 입수하여 본 논문에서 추천된 고안지점 수위-유량 관계곡선에 의해 유량을 산정하고, 이를 팔당댐에서의 시간별 방류량자료와 상관을 시켜본 결과 그림 6과 같이 저유량 일부구간을 제외하고는 거의 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

이상과 같이 수리실험을 통해 고안지점에서의 수위-유량 관계곡선을 1986년이후 10여년만에 재산정함으로써 팔당댐에서 1.7km의 거리를 두고 중간에 유입하거나 빠져나가는 지천이 없이 거의 직선수로 이어져 있는 특성을 감안할 때 1995년에 새로이 수립된 팔당댐 방류량 산정공식에 의한 방류량을 고안지점에서의 수위계측과 채택된 수위-유량 관계곡선에 의해 곧바로 검정해 볼 수 있었다. 그리고 이 결과는 앞으로도 실제 방류량에 대한 자료와 고안지점에서의 수위계측자료가 더 많이 수집될 경우 더욱 확실히 검증되어질 것이다.

표 5. 기존의 고안지점 수위-유량곡선과 수리실험 및 수치실험에 의한 유량별 수위

유 량 (cms)	기존식 수 위 (El.m)	수리모형 실험수위 (El.m)	수치모형 계산수위(El.m)	
			선 형	2차다항
5,000	14.205	11.301	11.889	11.785
6,000	14.747	11.943	12.662	12.566
7,000	15.268	12.569	13.367	13.282
8,000	15.756	13.177	14.017	13.946
9,000	16.217	13.769	14.620	14.566
10,000	16.655	14.345	15.184	15.137
11,000	17.074	14.904	15.715	15.687
12,000	17.475	15.446	16.215	16.196
13,000	17.862	15.971	16.688	16.680
14,000	18.235	16.480	17.127	17.129
15,000	18.596	16.972	17.556	17.568
16,000	18.947	17.448	17.966	17.977
17,000	19.288	17.907	18.358	18.368
18,000	19.619	18.349	18.734	18.743
19,000	19.943	18.774	19.096	19.104
20,000	20.258	19.183	19.445	19.452
21,000	20.567	19.575	19.780	19.775
22,000	20.869	19.951	20.105	20.086
23,000	21.164	20.310	20.418	20.387
24,000	21.454	20.652	20.722	20.678
25,000	21.739	20.978	21.005	20.948
26,000	22.018	21.286	21.290	21.210
27,000	22.293	21.579	21.568	21.475
28,000	22.563	21.854	21.838	21.710
29,000	22.828	22.113	22.100	21.950
30,000	23.089	22.355	22.356	22.183
31,000	23.347	22.581	22.605	22.399
32,000	23.601	22.790	22.848	22.609
33,000	23.851	22.982	23.085	22.815
34,000	24.097	23.158	23.317	23.015
35,000	24.341	23.317	23.532	23.201
36,000	24.581	23.459	23.754	23.382
37,000	24.818	23.585	23.971	23.570

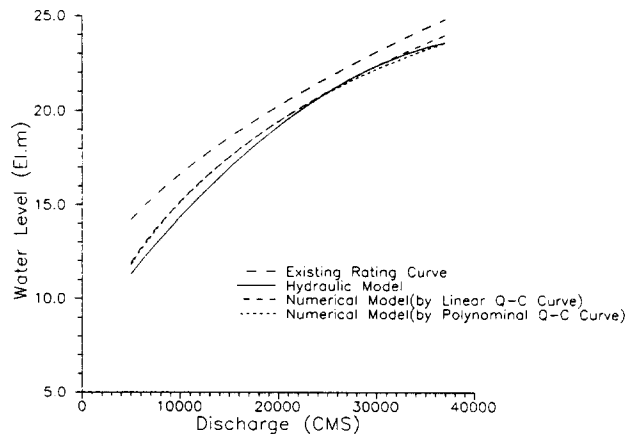


그림 5. 기존의 고안지점 수위-유량곡선과 수리실험 및 수치실험에 의한 고안지점의 수위-유량관계

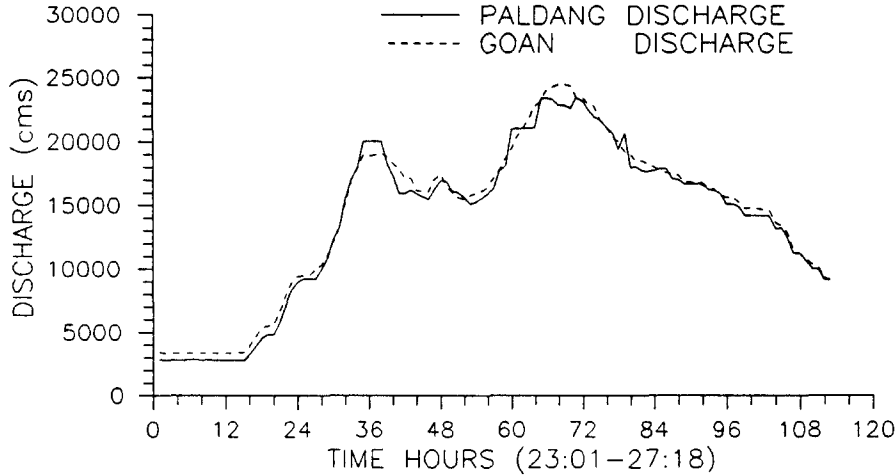


그림 6. 팔당댐방류량과 고안지점 유량과의 비교 ('95.8.23-27.)

7. 결 론

본 연구에서는 댐건설후 20여년이 경과하면서 하류부 하상형태의 변화와 하상세굴에 의한 수면저하로 홍수관리 및 용수관리면에서 중요한 역할을 담당하고 있는 팔당댐에서의 방류량 및 하류부수위 자료에 대한 문제점을 해결하기 위해 실제 현장측량과 수리모형실험을 통해 새로이 수립된 팔당댐 방류량 산정공식과 함께 획득한 고안지점에서의 정상상태에서의 수위자료를 이용하여 댐방류량과 상관관계를 가지는 수위-유량 관계곡선을 작성하여 팔당댐에서의 방류량을 고안지점의 수위계측을 통해 다시 확인할 수 있게 하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 하류부 변동을 고려하여 새로운 수위-유량 관계곡선(Q: cms, H: m)을 다음과 같이 2가지 형태로 작성하였다.

$$\textcircled{1} Q = 67.8474H^2 + 1120.08H + 1415.58 \quad (-1.0 \leq H)$$

$$\textcircled{2} Q = (39.6604 + 10.9406H)^2 \quad (-4.0 \leq H < 4.5)$$

$$Q = (49.4774 + 8.9661H)^2 \quad (4.5 \leq H)$$

- (2) 기존 및 본 연구에서 제안한 수위-유량 관계곡선을 비교할 때 팔당댐 하류부의 하상세굴에 의한 수위저하가 16,000 cms 이하에서 3m 정도, 22,000 cms 전후에서 1.5m인 것으로 나타

났다.

- (3) RMA-2V 2차원 수치모형에 의한 결과와 본 연구에서 제안한 수위-유량 관계곡선은 20,000 cms 이상에서 비교적 일치하는 것으로 나타났다.

한편 본 연구의 또다른 기대효과로는 금년에 완공된 팔당대교에 건설교통부에서는 수위관측시설을 계획하고 있는바 차후 수위표제작이후 유량과의 관계곡선 수립시 고안지점에서의 수위-유량자료가 중요한 기준자료 및 검정자료로 제공될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 1994년 한국전력공사 기술연구원의 학술용역(과제번호 KRC-94Z02)결과의 일부로 지원기관 및 관계자에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- '90 대홍수. (1991). 건설부.
- 고안수위표지점 수위자료. (1990~1994). 한강홍수통제소, 건설부.
- 서규우, 이원환, 조원철, 허준행 (1995). "팔당댐 방류량검정을 위한 고안지점 수위-유량 관계곡선의 재산정." '95년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 254-259.

- 수문자료집(수문조작기준). (1986). 한국전력공사 한강수력발전처.
- 수자원관리기법개발연구조사 보고서 별책부록 하천유량 자료의 계산. (1994). 한국건설기술연구원, 건설부.
- 수자원관리기법 개발연구조사 수위유량 관계곡선 자료집(4판). (1994). 한국건설기술연구원, 건설부.
- 이승재 (1995). “하상의 경년변화에 따른 고안지점의 수위-유량 관계곡선의 확립과 확률홍수량 산정,” 석사학위논문, 연세대학교.
- 이승재, 서규우, 허준행, 조원철 (1995). “한강 고안지점의 홍수위환산과 홍수빈도해석.” 한국수자원 학회지, 제28권, 제5호, pp. 191-204.
- 이원환 (1964). 수리실험. 국민출판사.
- 이원환 (1965). 실용 수리계산법(상권). 금문사.
- 충주다목적댐 건설에 따른 한강홍수예경보 프로그램 개선편 보고서. (1985). 한강홍수통제소, 건설부.
- 팔당 H/P 방수위탑 설계기술용역 종합보고서. (1994). 한국전력공사 한강수력발전처.
- 팔당댐 관리자료(일별 방류량). (1994). 한국전력공사 한강수력발전처.
- 팔당댐 방류량 산정개선에 관한 연구. (1995). 한국전력공사 기술연구원.
- 팔당수력발전소 배전반 운전일지(94.5.30~6.20). (1994). 한국전력공사 팔당수력발전소.
- 하천시설기준. (1993). 건설부.
- 한강수위유지시설 잠실수중보 수리모형실험. (1984). 국립건설시험소, 건설부.
- 한강종합개발기본계획 수리모형실험(1차)보고서. (1982). 서울특별시.
- 한강 종합개발 기본계획수립. (1983). 서울특별시.
- 한강하류부 수리모형실험. (1985). 건설부.
- 한강 하상변동 조사보고서. (1981). 건설부.
- 한강 하천정비 기본계획보고서. (1978). 건설부.
- 한강홍수예경보. (1983~1993). 한강홍수통제소, 건설부.
- 한강홍수자료집. (1983). 한강홍수통제소, 건설부.
- 홍수량측정조사 보고서. (1986). 건설부.
- Barnes, Jr., H.H. (1987). “Roughness characteristics of natural channels.” *U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1849*.
- Chow, V.T. (1959). *Open channel hydraulics*. McGraw Hill.
- Chow, V.T. (1988). *Applied hydrology*. McGraw Hill.
- King, I. P. (1992). *User's Manual for RMA Model*.
- Sofrelec (1968). *Han River Paldang hydroelectric scheme: Gate calibration and operating procedure*.

〈접수: 1995년 8월 26일〉