

## 방류량 및 하류부유황을 고려한 팔당댐의 수문조작기준 선정 Gate Operation Rule of Paldang Dam by Considering Discharge and Downstream Flow Pattern

서 규 우\* · 이 종 설\* · 허 준 행\*\* · 조 원 철\*\*\*

Seo, Kyu Woo · Lee, Jong Seol · Heo, Jun Haeng · Cho, Won Cheol

---

### Abstract

The existing gate operation rule of Paldang hydroelectric plant has been used since the construction of the dam in 1973 except partial modification due to the construction of Chungju multipurpose dam in 1985. The water level near the downstream of Paldang dam has been lowered about 3 m because of the channel maintenance of Han River development project. Thus, the discharge estimation formula based on the submerged orifice type spillway has to be re-evaluated by considering various patterns of the gate operation rules and lowered channel bed. In this study, three types of gate openings were tested to select the proper gate operation rules through the hydraulic model test for various discharges and opening heights. Also, the numerical analysis has been performed to simulate the flow patterns of downstream. As a result, the gate operation rule, which opens 5 gates each time from the left side, was selected as the proper gate operation rule of Paldang dam.

---

### 요 지

1973년 팔당 수력발전소 준공 이래로 사용하여 온 수문조작기준은, 1985년 충주 다목적댐 건설에 따른 한강홍수예경보 프로그램 개선에 따라 일부 수정을 거쳐 현재 사용하고 있다. 그동안 한강 종합개발 사업의 하도정비사업결과로 팔당댐 하류지역의 수면저하가 가시적으로 발생하게 되었다. 이로 인해 댐 건설당시의 낙차에 변화가 생겼고 댐하류부의 수위가 평균 3m 정도 저하되어 잠수 오리피스식 여수로인 팔당댐의 방류량산정식에 문제점이 발생하면서 수문개방방식별 방류량의 재산정이 불가피해졌다. 본 연구에서는, 이러한 문제점을 해결하고 수문조작기준을 결정하기 위하여 수리모형 실험을 통해 세가지 수문조작 방식을 비교·검토하였다. 댐우안에 위치한 발전소 설비 및 운영에 영향을 미치지 않는 안전범위를 최

---

\* 연세대학교 토목공학과 박사과정

\*\* 연세대학교 토목공학과 조교수

\*\*\* 연세대학교 토목공학과 교수

우선으로 하여 방류량별, 개도형태별로 하류부에서의 유황을 관찰하였으며, 또한 수치모형으로도 하류부유황을 모의하여 검토한 결과, 좌측 수문 5개씩을 순차적으로 개방하는 방식을 가장 적절한 수문조작기준으로 결정하였다.

## 1. 서 론

현재 팔당댐은 준공후 20여년이 경과되면서 나날이 증가되는 각종 용수수요의 공급원으로 전환되어 당초의 발전목적에서 그 기능과 비중이 달라지고 있다.

팔당댐 건설로 홍수시의 상류로부터의 유송토사 차단 및 한강 종합개발 사업의 일환으로 팔당댐 하류지역의 하도정비사업결과, 댐하류부 하상세굴에 의한 수면저하가 가시적으로 발생하였다. 이로 인해 발전소 방수구의 기반세굴이나 팔당댐 직하류부의 하상저하에까지 영향을 미쳐졌을 가능성을 배제할 수가 없겠다(팔당 H/P 방수위탑 설계기술용역 종합보고서, 1994; 팔당댐 상류연안 홍수피해 조사 및 운영개선방안 검토보고서, 1980; 팔당 수력발전소 방수위 유지구조물 설계보고서, 1992; 팔당수력 용량증대 타당성 조사보고서, 1993; 한강 하상변동 조사보고서, 1981).

방류에 의한 댐의 안전과 상하류 수위 및 유량 조절이 목적인 여수로(spillway)를 포함한 안전배수 설비는 신속하고도 안전한 수문 개폐 조작에 의한 정확한 유량 조절이 가능하도록 형식과 구조가 결정되어야 한다. 여수로 형태 및 수문 조작에 따른 방류량은 과거의 실측 및 실험결과에 근거한 수리계수 및 공식을 이용하거나, 전체 또는 국부적인 수리모형실험에 의하여 결정하고 있으며, 팔당댐 방류량 기준 또한 건설당시의 수리모형실험(Han River Paldang hydroelectric scheme, 1968)의 결과를 이용하여 왔다.

팔당댐의 상류부는 상시만수위가 El. 25.5m를 유지하게 되어 있으나 홍수발생시 계획홍수위인 최대 El. 29.5 m까지는 저류할 수 있다. 댐을 통과하는 방류량은 20m의 폭에 16.65m의 높이를 가진 15개의 수문에 의해 방류되며, 수문의 조작은

현재 좌측으로부터 5개씩 한 조가 되어 개문을 하게 되어 있으며 상류와 하류의 수심변동상황에 따라 개도를 조절하여 방류하게 된다(수문자료집, 1986).

1973년 팔당수력발전소 준공이래로 사용하여온 수문조작기준은, 충주 다목적댐 건설에 따른 한강 홍수예경보 프로그램 개선(1985)에 따라 일부 수정을 거쳐 현재 사용하고 있다(수문자료집, 1986). 특히 1980년대 계속 진행된 한강종합개발(한강종합개발기본계획 수리모형실험(2차)보고서, 1983; 한강 종합개발 기본계획수립, 1983; 한강 하류부 수리모형실험, 1985; 한강 하류연안 개발 계획 보고서, 1988, 1989)의 일환인 하도정비사업 결과로 인해 댐하류부의 수위가 3m이상 크게 저하된 점과 잠수 오리피스(orifice)식 여수로인 팔당댐의 방류량 산정식에 문제점이 발생하면서 수문개방도에 따른 방류량 산정표의 개정이 불가피한 실정이다(서규우 등, 1995a, 1995b; 팔당댐 방류량 산정 개선에 관한 연구, 1995).

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 수리모형실험에 의해 수문조작기준을 검토한다. 즉 댐 우안에 위치한 발전소설비 및 운영에 영향을 미치지 않는 범위를 최우선으로 하여 방류량별, 개도형태별로 하류부에서의 유황을 관찰하여 최적의 수문조작기준을 결정하는 것이 본 연구의 목적이다. 한편 수리실험에서 획득된 자료를 기본자료로 하여 방류량 및 개도형태별로 하류부유황을 수치모형으로도 모의하여 상세히 비교검토하기로 한다.

## 2. 수리모형의 제작

### 2.1 모형제작을 위한 현장조사측량

댐체체 및 직하류부에 대한 조사측량 구간은 팔당댐에서 고안지점 하류방향 500m까지 약 2.5km

구간으로 설정하였다. 이 2.5km 구간 양안에 대해 삼각측량, 도근측량을 실시하고 댜하류부 약 10km에 대해 수준측량을 실시하였다. 평판측량은 1/1200의 축척으로 실시하고 댜하류방향으로 횡단측량을 100m 간격으로 실시하였다(팔당댜 방류량 산정 개선에 관한 연구, 1995).

모형하류단의 경계수위 설정을 위한 고안지점의 유량을 관측하기 위해 댜직하류부 및 고안지점에서의 각 지점 및 단면별 수위 및 유속측정을 실시함으로써 정밀 유량관측을 실시하였다. 실측이 불가능한 유량은 기왕의 홍수자료를 이용하여 그동안의 하상변동 결과를 고려하여 조정, 사용하였다(서규우 등, 1995b).

## 2.2 모형축척

본 실험에 있어서는 여러가지의 조건을 고려하여 수평, 연직축척을 1/100 동일축척으로 하였다. 축척에 따른 모형과 원형사이의 각종 수리량의 비를 구하면 유속비는 0.1, 유량비는 0.00001, 수면경사비는 1, 조도계수비는 0.464이다(서규우 등, 1995b).

## 2.3 모형제작

본 연구에서는 저수조 266.88 m<sup>3</sup>, 고수조 27.3 m<sup>3</sup>, 총 205 마력의 펌프설비로 최대 400 l/sec 용량을 공급할 수 있는 시설을 이용하여 팔당댜의 계획홍수량인 38,000 cms를 모형상에서 충분히 재현할 수 있도록 하였다. 수위계측장치는 각 지점별로 유심부 및 주요지점에 관을 매설하여 실험실 내에 설치된 종합 계측판상에서 수위를 실시간으로 관측할 수 있게 하였다. 그림 1에 수리모형 하도구간평면도를 나타냈다.

## 2.4 조도계수의 산정

본 연구에서는 에너지 방정식을 이용한 USGS 법(Barnes, 1987)을 이용하였는데, 이 방법은 Manning 공식내의 조도계수 n값을 추정하는 방식으로 기지의 유량, 수면형상, 도달거리의 수리학적

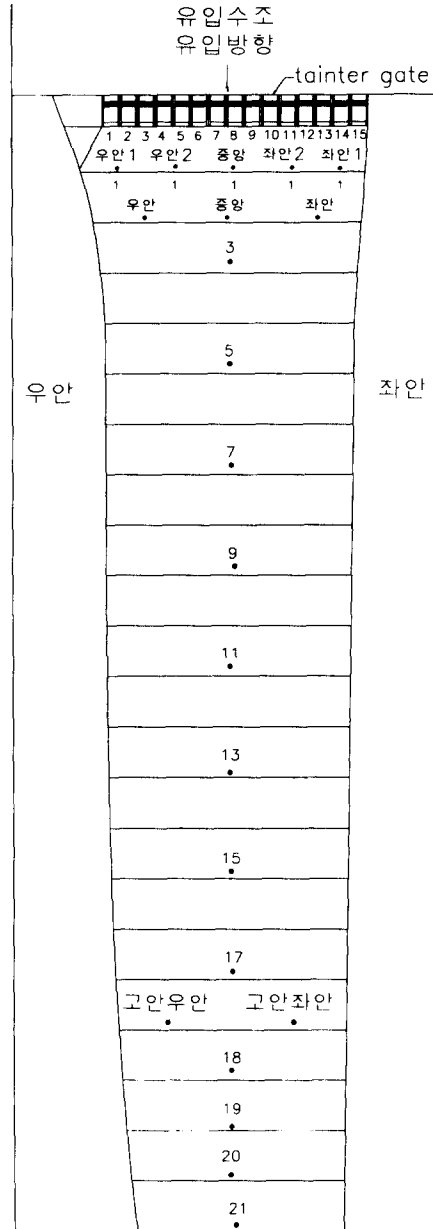


그림 1. 수리모형 하도구간평면도

특성을 이용하며 여러 단면에 이용할 수 있는 방정식이다. 유량별 상·하류 수위차를 이용하여 조도를 산정하는 USGS법에 의한 조도계수 산정결과를 실험축척으로 환산하여 모형에서의 조도계수를 제안하였다. 실험유량은 Q=212.1, 304.8, 425.8,

527.8, 828.9 cms였으며 이 때 댐 직하류부 수위와 고안지점의 수위차를 이용하여 조도계수를 구했으며 이 수위차는 유량이 커짐에 따라 점차 증가하는 추세를 보인다. 현장자료에 의한 Manning의 조도계수 범위는 0.087~0.058의 범위를 나타내었다. 상사율인 0.464를 현장의 조도계수에 곱한 값이 모형에서의 제안 조도계수가 되며 이를 산정한 결과 0.040~0.027의 범위를 나타내었다(서규우 등, 1995b; 팔당댐 방류량산정 개선에 관한 연구, 1995).

### 3. 방류량산정을 위한 유량계수 검정실험

본 연구에서의 유량계수 검정실험은 하류부흐름이 잠수흐름인 경우에 대해 유량계수  $m (= Au^{1/3}$ , 여기서 A는 개도)과 하류조건과 관련된  $u [= (H_2 - H_3) / (H_2 - 9)$ , 여기서  $H_2$ 와  $H_3$ 는 상·하류수위]의 관계를 구하기 위해 이루어졌으며, 5개, 10개, 15개 수문에 대해 실험을 실시하였다(Han River Paldang hydroelectric scheme, 1968; 팔당댐 방류량산정 개선에 관한 연구, 1995).

수문 5개에 대한 실제의 방류는 그동안의 하류부세굴로 인한 하상저하로 이전 실험에서 잠수흐름 상태이던 것이 대부분 자유흐름 상태로 바뀌었으며, 이에 따른 자유흐름에 대한 유량계수값을 산정하였다. 개도가 0.5~7.5m 범위일 때는  $m$ 값이 0.74로 산정되었고, 개도가 7.5~15.0m 범위일 때는  $m$ 값이 0.70로 산정되었다. 개도가 커짐에 따라 유량계수의 변화 양상은 점차 감소하였다. 수문 10개에 대한 유량계수는 잠수흐름과 자유흐름이 혼재되어 나타나며, 유량계수는 3,144~16,240 cms 사이의 유량범위내에서, 개도는 2.5~9.0m 사이에서 실시하였다. 실험을 통해서 얻을 수 있는 10개 수문에 대한 유량계수의 관계식은  $m = 0.674u^{1/3}$ 이었다. 수문 15개에 대한 유량계수도 잠수흐름이 주된 흐름이나 10개 수문의 경우와 마찬가지로 잠수흐름과 자유흐름을 동시에 고려하여 구하였으며, 유량계수는 유량이 4,949~20,800 cms 사이에서, 개도는 1.5~9.0m 개도로 실시하였다. 실험을 통해서 얻을 수 있는 유량계수의 식은  $m = 0.698u^{1/3}$ 이었다.

이와 같이 5, 10, 15개 수문에 대한 새로운 유량계수를 이용하여 작성된 방류량 산정공식에 의한 방류량을 수문조작기준 검토시 방류량값으로 사용하였다.

### 4. 주요 댐들의 수문조작기준 현황

팔당댐의 수문조작기준을 검토하기 전에 우선 일반적인 댐수문 조작기준을 수립할 때 우선적으로 검토되는 사항을 살펴보면, 첫째 발전소가 있는 경우에는 발전시설의 안전성 확보 문제를 가장 우선적으로 고려하여야 하며, 둘째 댐하류부의 하상에 변동을 주는 요인을 가능한 배제할 수 있도록 하며, 셋째 개도의 증감에 따라 방류되는 유량의 증감이 연속적으로 매끄럽게 이루어져야 하며, 넷째 이·치수관리 측면에서 조작이 신속적이고 안정되게 이루어지도록 조작단계가 가능한 간편해야 한다. 참고로 북한강수계내 한전에서 관리하고 있는 댐들에 대한 수문조작 기준을 살펴보면 다음과 같다.

북한강 최상류에 위치한 화천댐은 16개 수문으로 총개도 104m를 실시하여 약 5,400 cms를 방류시킨다. 초기에 7, 8번 수문과 9, 10번 수문을 중심으로 중앙대칭적으로 개도를 실시한다.

춘천댐은 12개 수문으로 총개도 80m를 실시하여 약 8,200 cms를 방류시킨다. 초기에 적수변 수문을 중앙 6번부터 zigzag형으로 개도하고 난 뒤 다음 단계로 홀수변 수문을 7번 수문부터 시작하여 마찬가지로 zigzag형으로 개도를 실시한다. 전수문을 완전히 개방시킬 경우 약 12,000 cms 정도까지 방류시킨다.

의암댐은 14개 수문으로 총개도 117m를 실시하여 약 13,000 cms를 방류시킨다. 초기에는 좌안에 위치한 13, 14번 수문 2개를 이용하여 450 cms 정도까지 방류시키고 500 cms 이상에서는 11, 12번 수문을 시작으로 좌측에서 우측으로 점차 개도를 증가시켜 개도 105m까지 실시하고 발전시설이 있는 우안의 보호를 위해 1, 2번 수문은 전혀 개방시키지 않는다. 개도 117m 이상에서 일부 수문을 완전개방시키면 약 16,000 cms 정도까지 방류시킬 수 있다.

청평댐은 24개 수문으로 총개도 168m를 실시하

여 약 18,000 cms를 방류시킨다. 초기에 좌안에 위치한 18 ~ 22번 수문을 1m씩 개방시켜 개도 30m까지 3,240 cms를 방류시키고 이후부터는 춘천댐의 경우처럼 1 ~ 17번 수문을 중앙에서 짝수 번으로 하나씩 건너 zigzag 형태로 개도를 증가시켜나간 후, 다음 단계로 홀수번 수문에 대해 마찬가지로 zigzag형으로 개도를 실시한다. 수문을 완전히 개방시킬 경우 약 20,000 cms 정도까지 방류시킨다.

### 5. 각 수문개방방식별 적용실험

본 연구에서는 수문조작기준을 현재 사용하고 있는 좌측 5개 수문씩 순차적으로 개방시키는 방법을 포함한 3가지 방법에 대해 수리모형실험에 의한 개방방식별 개도단계 및 방류량 산정을 통해 장단점을 비교·분석하였다.

#### 5.1 좌측 수문 5개 개방방식

좌측 수문 5개 개방방식은 좌안부터 5개의 수문을 한조로하여 우안쪽으로 개도를 높여나가는 방식이다. 즉 좌안 5개 수문을 먼저 각각 0.5m 열어서

방류하며, 따라서 처음 개도는 2.5m(=0.5m×5) 개도이다. 개도단계를 보면 표 1에 나타난 바와 같이 좌안부터 중앙, 우안의 순서대로 수문을 열기 시작한다. 전체 수문의 개도가 225m에 이를 때까지 20단계에 걸쳐 실험을 진행하였다. 이때 유량별 하류부 수위를 구하였다. 이 실험은 상류부 수위를 저수지의 상시만수위인 E.L. 25.5 m로 유지시킨 상태에서 이루어진다. 상류부 수위를 일정한 상태로 유지시키기 위하여 수문의 개도를 고정시킨 후, 유량을 증감함으로써 상류부 수위가 E.L. 25.5 m로 유지될 때까지 이를 반복하여 정상상태(steady state)가 이루어졌을 때 하류부 수위를 측정하였다. 하류부 수위측정 결과, 댐 직하류부 1 단면의 우안 2지점에서 하류단 끝지점으로 갈수록 차례로 수위는 선형으로 감소하고 있는 것을 볼 수 있었다. 같은 1단면에 대해서도 우안 2지점, 중앙, 좌안 1, 2지점을 비교해 보면 수위차가 나타나고 있는데 이는 개문의 순서가 좌안측부터 이루어짐에 따라 같은 유량에 대해서도 좌안과 우안의 수위차가 날 수 있음을 보여준다. 유량에 따른 상하류의 수위차는 대체로 유량이 적을수록 수위차가 적고, 유량이 증가할수록 수위차가 증가하는 경향을 보이고 있다.

표 1. 좌측수문 5개 방식의 개도단계 및 방류량

단계	수문번호 개도(m)	수문번호															방류량 (cms)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	2.5											0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	673
2	5.0											1	1	1	1	1	1,435
3	7.5											1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2,159
4	15.0											3	3	3	3	3	3,770
5	22.5						1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	3	3	3	3	3	5,326
6	37.5						1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	6	6	6	6	6	8,030
7	45.0						3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	9,712
8	60.0						3	3	3	3	3	9	9	9	9	9	11,745
9	67.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	3	3	3	3	3	9	9	9	9	9	13,250
10	82.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	6	6	6	6	6	9	9	9	9	9	15,379
11	90.0	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	9	9	9	9	9	16,255
12	105.0	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	12	12	12	12	12	17,893
13	120.0	3	3	3	3	3	9	9	9	9	9	12	12	12	12	12	20,039
14	135.0	6	6	6	6	6	9	9	9	9	9	12	12	12	12	12	21,691
15	150.0	6	6	6	6	6	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	22,651
16	165.0	9	9	9	9	9	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	23,704
17	180.0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	25,017
18	195.0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	15	15	15	15	15	25,673
19	210.0	12	12	12	12	12	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	26,008
20	225.0	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	26,349

## 5.2 좌측 수문 3개 개방방식

좌측 수문 3개 개방방식은 좌안부터 3개의 수문을 한조로 하여 우안쪽으로 개도를 높여나가는 방식이다. 좌측 수문 3개 방식은 전체개도 225m를 총 32단계로 나누어서 실시하였다. 이 방식은 좌안의 3개 수문을 먼저 각각 0.5m씩 열어 시작하므로, 처음 개도는 1.5개도이다. 수문조작방식은 표 2에 나타낸 바와 같이 유량이 증가할수록 좌안부터 중앙, 우안의 순서대로 3개수문이 한조가 되어 수문을 열기 시작한다. 그리고 각 방류량별 하류부 수위를 계측하였다. 이 방식은 기존의 수문 조작방식에 비해서 더욱 세분화된 단계를 가지고 있어 세분화된 유량을 방류시킬 수 있어서 이수적인 면에서 유리하다고 할 수 있다.

팔당댐의 수문조작방식중 좌안측부터 수문을 개방하는 방식은 모두 댐의 우안에 위치한 발전소를

보호하기 위한 방식으로, 좌측에서부터 계속 방류시킨 결과로 현재 하상의 최심부가 좌안으로 이동하여 있는데, 3개씩 개방방식은 5개씩 방식보다도 좌안측 편기가 더욱 심하여 저개도에서의 유속이 상대적으로 매우 빠른 것으로 나타나 좌안측의 하상세굴 영향이 더욱 커질 것으로 예측되며 조작이 세분화되어 수문개방이 다소 복잡한 단점을 가지고 있다.

## 5.3 중앙대칭 개방방식

중앙부터 양쪽으로 개방하는 대칭형 개방방식의 실험을 실시하여 좌안측부터 개방하는 방식과의 차이를 살펴보았다. 수문의 개방순서는 중앙에 위치한 7, 8, 9번수문을 먼저 열고, 대칭형으로 좌우 각 2개씩의 수문을 여는 방식이다. 표 3에 이 방식에 의한 개도단계 및 방류량이 나타나 있듯이 총 24단계에 의해 225m 개도를 개방한다. 이 방식은

표 2. 좌측수문 3개 방식의 개도단계 및 방류량

단계	수문번호 개도(m)	수문번호															방류량 (cms)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	1.5													0.5	0.5	0.5	412
2	3.0													1	1	1	832
3	9.0													1.5	1.5	1.5	1,285
4	9.0													3	3	3	2,201
5	13.5										1.5	1.5	1.5	3	3	3	3,574
6	22.5										1.5	1.5	1.5	6	6	6	5,003
7	27.0										3	3	3	6	6	6	5,599
8	31.5								1.5	1.5	1.5	3	3	6	6	6	6,727
9	40.5								1.5	1.5	1.5	3	3	9	9	9	8,151
10	49.5								1.5	1.5	1.5	6	6	9	9	9	10,032
11	54.0								3	3	3	6	6	9	9	9	10,814
12	58.5				1.5	1.5	1.5	3	3	3	6	6	6	9	9	9	11,948
13	67.5				1.5	1.5	1.5	3	3	3	6	6	6	12	12	12	12,835
14	76.5				1.5	1.5	1.5	3	3	3	9	9	9	12	12	12	13,809
15	85.5				1.5	1.5	1.5	6	6	6	9	9	9	12	12	12	15,235
16	90.0				3	3	3	6	6	6	9	9	9	12	12	12	16,108
17	94.5	1.5	1.5	1.5	3	3	3	6	6	6	9	9	9	12	12	12	16,697
18	103.5	1.5	1.5	1.5	3	3	3	6	6	6	9	9	9	15	15	15	17,592
19	112.5	1.5	1.5	1.5	3	3	3	6	6	6	12	12	12	15	15	15	17,969
20	121.5	1.5	1.5	1.5	3	3	3	9	9	9	12	12	12	15	15	15	18,958
21	130.5	1.5	1.5	1.5	6	6	6	9	9	9	12	12	12	15	15	15	20,117
22	135.0	3	3	3	6	6	6	9	9	9	12	12	12	15	15	15	21,137
23	144.0	3	3	3	6	6	6	9	9	9	15	15	15	15	15	15	21,295
24	153.0	3	3	3	6	6	6	12	12	12	15	15	15	15	15	15	22,571
25	162.0	3	3	3	9	9	9	12	12	12	15	15	15	15	15	15	23,216
26	171.0	6	6	6	9	9	9	12	12	12	15	15	15	15	15	15	24,030
27	180.0	6	6	6	9	9	9	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24,687
28	189.0	6	6	6	12	12	12	15	15	15	15	15	15	15	15	15	25,017
29	198.0	9	9	9	12	12	12	15	15	15	15	15	15	15	15	15	25,514
30	207.0	9	9	9	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	25,847
31	216.0	12	12	12	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	26,181
32	225.0	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	26,349

표 3. 중앙대칭형 방식에 대한 개도단계 및 방류량

단계	수문번호 개도(m)	수문번호														방류량 (cms)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15
1	3							1	1	1							833
2	7					1	1	1	1	1	1						2,202
3	13					1	1	3	3	3	1	1					3,353
4	21					3	3	3	3	3	3	3					4,894
5	25			1	1	3	3	3	3	3	3	3	1	1			5,645
6	34			1	1	3	3	6	6	6	3	3	1	1			7,286
7	46			1	1	6	6	6	6	6	6	6	1	1			9,371
8	54			3	3	6	6	6	6	6	6	6	3	3			10,694
9	58	1	1	3	3	6	6	6	6	6	6	6	3	3	1	1	11,336
10	67	1	1	3	3	6	6	9	9	9	6	6	3	3	1	1	12,733
11	79	1	1	3	3	9	9	9	9	9	9	9	3	3	1	1	14,491
12	91	1	1	6	6	9	9	9	9	9	9	9	6	6	1	1	16,130
13	99	3	3	6	6	9	9	9	9	9	9	9	6	6	3	3	17,151
14	108	3	3	6	6	9	9	12	12	12	9	9	6	6	3	3	18,250
15	120	3	3	6	6	12	12	12	12	12	12	12	6	6	3	3	19,603
16	132	3	3	9	9	12	12	12	12	12	12	12	9	9	3	3	20,837
17	144	6	6	9	9	12	12	12	12	12	12	12	9	9	6	6	21,952
18	153	6	6	9	9	12	12	15	15	15	12	12	9	9	6	6	22,711
19	165	6	6	9	9	15	15	15	15	15	15	15	9	9	6	6	23,619
20	177	6	6	12	12	15	15	15	15	15	15	15	12	12	6	6	24,408
21	189	9	9	12	12	15	15	15	15	15	15	15	12	12	9	9	25,078
22	201	9	9	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	9	9	25,630
23	213	12	12	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	12	12	26,063
24	225	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	26,349

중앙에서부터 개방하므로 작은 개도일때 다소 큰 유량을 흘려보낼 수 있다는 장점을 가지며, 좌안측부터 개방하는 방식에 비해 흐름이 치우치지 않고 가운데서부터 퍼져나가는 양상을 보이긴 하지만 발전용수가 우안에서 항상 방류되므로 발전용수의 흐름을 따라 우안부 역시 많이 세굴되어 있어 흐름은 다소 불규칙한 것으로 확인되었다. 한편, 중앙부로부터 개방할 경우 방류수내에 포함된 토사가 발전소 방수구로 와류되어 유입될 위험성이 있다.

에 거의 동일한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 따라서 수면안정면에서 볼 때, 5개 수문을 좌측부터 개방하는 방식이 가장 적절한 수문조작 방법이라 생각된다.

한편 각 개방방식에 따른 신설방수위탑 지점에서의 유량별 유속을 비교하면 그림 3과 같다. 여기서도 고유량으로 갈수록 좌측 5개수문 개방방식에 의한 신설 방수위탑 지점의 유속이 상대적으로 작음을 알 수 있어 가장 적은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

## 6. 각 개방방식별 하류부유황 비교분석

### 6.2 수치모형에 의한 하류부 유황 비교분석

#### 6.1 하류부 수위 및 유속의 비교분석

수리모형실험에서 행한 3가지 방법에 대해 댐하류부 신설방수위탑 지점에서의 유량별 수위를 도시하면 그림 2와 같다. 그림에서 보듯이 좌측 5개 수문을 1개조로 개방하는 방식이 신설방수위탑 지점에서의 수위값이 상대적으로 작고 좌측 3개수문 및 중앙대칭형 개방방식은 신설수위탑지점의 수위

Navier-Stokes 방정식(Girault와 Raviart, 1979)과 연속방정식을 수심방향으로 적분한 수심평균식을 지배방정식으로 사용하는 2차원 유한요소모형인 RMA-2V 모형(King, 1992)을 이용하여 팔당댐 직하류부에서 고안 수위표지점 부근까지의 수위, 유속, 유황 및 하류단 방류량을 수치모의하여 그 결과를 수리모형실험 결과와 비교분석함

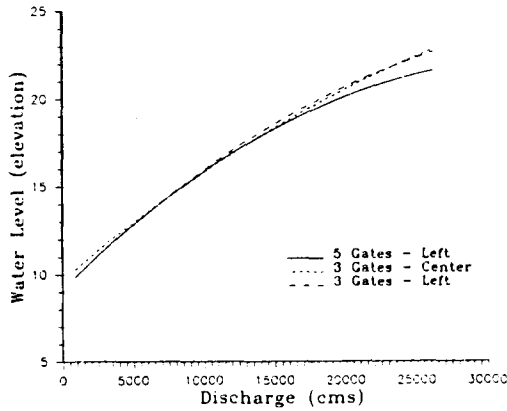


그림 2. 수문개방방식에 따른 댐하류부 신설방수위탑 지점에서의 유량별 수위

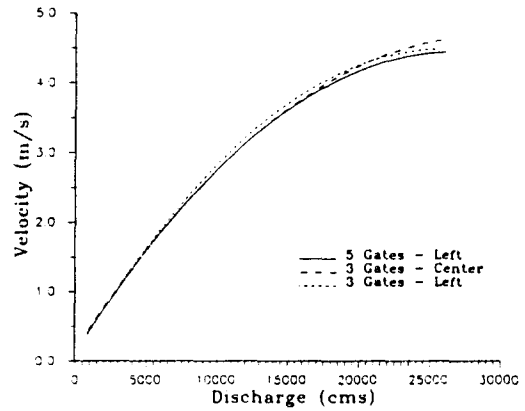


그림 3. 수문개방방식에 따른 댐하류부 신설방수위탑 지점에서의 유량별 유속

로써 수리모형실험의 타당성을 검토하고, 하류구간의 상세한 유황 변동을 파악하였다. 팔당댐 직하류부로부터 인도교에 이르는 구간까지 네트워크를 구성하여 상류단 경계조건으로 팔당댐 방류량을, 하류단 경계조건으로는 인도교 수위(수위-유량곡선)를 이용하는 Large Scale Model을 구성하고, 여기서 구한 고안지점의 수위를 하류단 경계조건으로 사용하는 Small Scale Model을 구성하였다.

Small Scale Model에 의하여 수리모형실험에서 행한 3가지 개방방식에 따른 유황분석을 실시하였는데, 각 방식에 대해 5가지 개문·개도의 경우를 선택하였고, 동일한 개문·개도이거나 동일한 개문·개도가 없는 경우는 유사한 개문·개도에 대해 실험을 행하였다. 결과중 각 방식에 대해 방류량 5,000 cms 전후에 해당하는 유속벡터도를 보면 그림 4~6과 같다. 그림의 좌측부분의 숫자는 수문번호를 표시하는 것이며, 음영으로 표시한 부분은 음영의 농도에 따른 개방도를 나타내고 있다. 그리고 벡터의 크기는 상대적인 크기로 절대비교는 곤란하나 그림 6을 보면 중앙대칭 개방을 할 경우 발전소 방수구부근에서는 와류가 발생하여 유송토사의 퇴적이 예상됨을 알 수 있다.

각 방식별로 개도에 따른 방류량 및 최대유속과 평균유속을 비교해 보면 표 4와 같이 5개 수문과 3개 수문 방식에서 같은 개도인 경우 22.5m 개도에서 각각 5,326 cms와 5,003 cms, 90.0m 개도

에서 각각 16,255 cms와 16,108 cms, 135.0m 개도에서 각각 26,191 cms와 21,137 cms로 5개 수문방식에서 많이 방류됨을 알 수 있으며 이는 홍수발생시 신속하게 방류시켜야 하는 치수방재 측면에서 상대적으로 유리한 조작방법이 될 수 있다. 한편 유속비교에서 3개수문 개방방식의 경우 저개도(22.5m)시에 5개수문과 평균유속은 비슷하나 최대유속이 6.350 m/sec로 나타나 3.566 m/sec와 비교해볼 때 좌안측 하상세굴 및 측벽침식을 가중시킬 우려가 있으므로 최대유속과 평균유속이 작게 나타나는 경우가 댐하류부 안정측면에서 바람직한 수문조작이라 할 수 있으므로, 상대적으로 부적절한 수문조작이라 할 수 있다. 중앙대칭 개방방식의 경우 같은 개도가 발생하지 않기 때문에 객관적인 비교가 곤란하지만 비슷한 개도에서 비교해보면 5개수문의 경우와 비슷한 방류량과 유속은 보이고 있으나 앞에서 지적한 와류로 인한 발전소 및 방수위탑 취수구가 설치된 우안측으로의 유송토사퇴적 문제가 염려된다. 이러한 상황을 종합해볼 때 평상시에는 비록 적은 양이지만 발전목적의 방류수가 지속적으로 우안으로 방류되고 있고 그동안의 지속적인 운용으로 댐하류 하상이 어느정도 안정되었다고 볼때 5개 수문을 좌안으로부터 순차적으로 개방하는 방식이 가장 바람직한 것으로 나타났다.



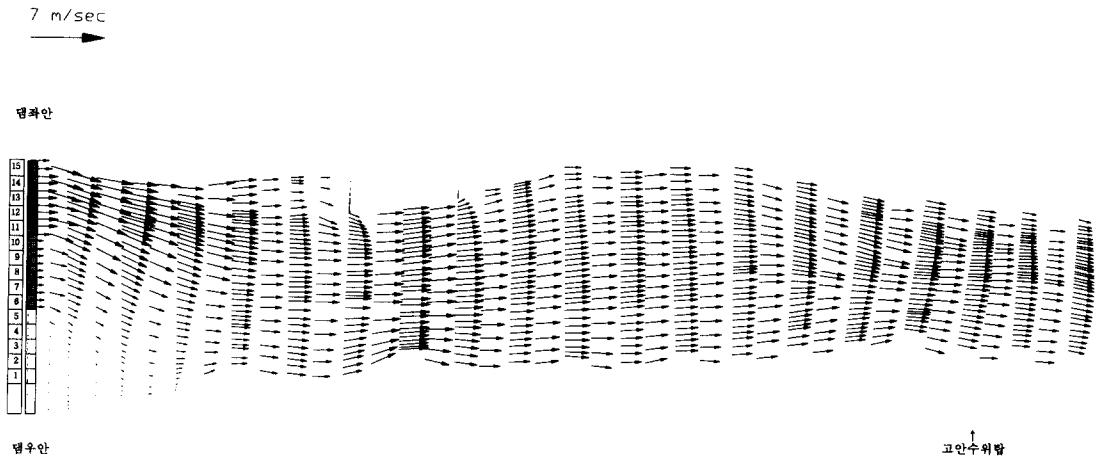


그림 4. 좌측 수문 5개 개방방식에서의 유속벡터도(개도 22.5m, 방류량 5,326 cms)

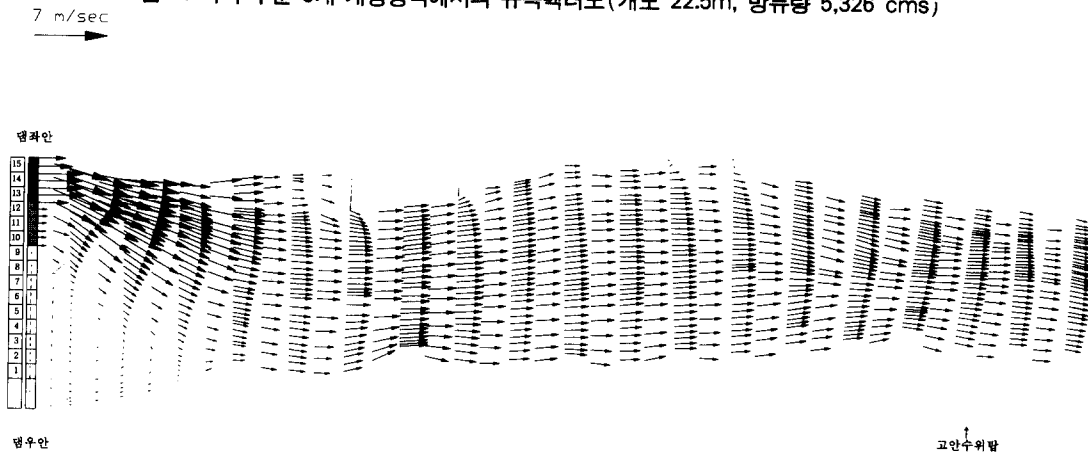


그림 5. 좌측 수문 3개 개방방식에서의 유속벡터도(개도 22.5m, 방류량 5,003 cms)

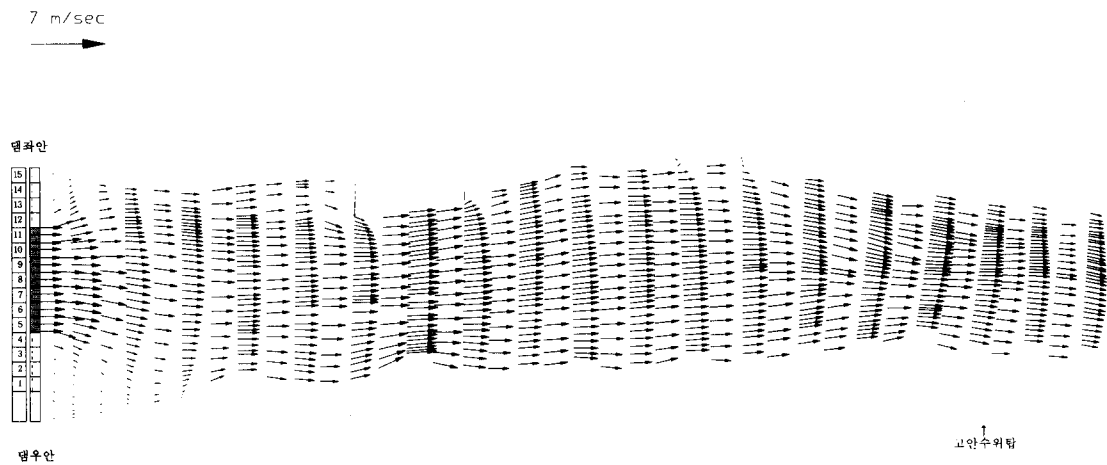


그림 6. 중앙대칭 개방방식에서의 유속벡터도(개도 21.0m, 방류량 4,949 cms)

표 4. 개도에 따른 방류량 및 유속비교

개문방식	개도 (m)	방류량 (cms)	최대유속 (m/sec)	평균유속 (m/sec)
좌측수문 5개 개방방식	5.0	1,435	2.368	0.741
	22.5	5,326	3.566	1.889
	60.0	11,745	5.423	3.110
	90.0	16,255	5.851	3.743
	135.0	26,191	6.442	4.373
좌측수문 3개 개방방식	4.5	1,258	3.012	0.555
	22.5	5,003	6.350	1.808
	58.5	10,814	6.361	3.143
	90.0	16,108	6.351	3.699
	135.0	21,137	6.774	4.308
중앙대칭 개방방식	3.0	833	2.509	0.447
	21.0	4,949	3.143	1.890
	58.0	12,414	4.423	3.170
	91.0	16,682	5.028	3.841
	132.0	21,906	5.551	4.337

## 7. 결 론

본 연구에서는 그 동안의 하상변동을 고려하여 새로이 채택된 팔당댐 방류량값을 이용하여 최적의 수문조작기준을 결정하기 위하여 3가지 개방방식에 대해 비교, 검토하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

### (1) 좌측 수문 5개 개방방식

현재의 하상은 좌측부터 개방함에 따라 좌측으로 편기 세굴되어 유황의 불안정이 염려되지만 좌안측 하상이 암반지대이고 그간의 방류가 좌안측부터 행하여진 결과로 인해 하도는 비교적 안정되어 있었다. 현재 시행하고 있는 이 방식은 간편성과 일관성이 있어 수문조작 기술자 들에게 숙련된 방식이라는 장점과 발전소 방수구에 미치는 영향이 가장 적다는 장점을 가지고 있다.

### (2) 좌측 수문 3개 개방방식

이 방식은 보다 세분화된 개방단계를 가지지만 다소 복잡한 개방방식으로 조작에 어려움이 따르고 하도안정은 5개수문 개방방식과 큰 차이를 보이지 않았다. 단, 유황은 다소 불안정했 는데 이는 저개도시 좌안측부터 집중적인 방류로 제트류가 발생하여 하상세굴 및 측면침식을 가중시키는 것으로 나타났다.

### (3) 중앙대칭 개방방식

이 방식은 대칭형의 개방에 의해 중앙으로부터

퍼져나가는 흐름양상을 나타내지만 좌측부터 개방하는 방식에 비해 우안쪽으로 활발한 흐름이 일어나 발전소측에 영향을 미치는 것으로 확인되었으며, 홍수시 상류부로부터 흘러온 퇴사의 외류로 발전소 방수구가 막힐 위험을 안고 있다. 또한 개방방식을 대칭형으로 전환하게 될 경우 그간의 개방방식에 의해 안정화된 현재의 하상상태가 급변할 가능성이 있다.

이상과 같이 좌측 수문 3개 개방방식은 수문조작이 복잡하고 좌안측 하상세굴 및 측면침식이 가중될 우려가 있고, 중앙대칭 개방방식인 경우는 기존의 방식에 의해 이미 안정된 하상상태를 변화시킬 수 있으므로, 좌측 수문 5개 개방방식이 최적의 수문조작기준인 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

- 서규우, 이원환, 김종학 (1995a). "팔당댐 하류부 변동에 따른 수문조작 및 방류량 재산정." 1995년도 학술발표회 논문집(II), 대한토목학회, pp. 173-176.
- 서규우, 허준행, 조원철, 이원환 (1995b). "팔당댐 방류량검정을 위한 고안지점 수위-유량관계곡선의 작성." 한국수자원학회지, 제28권, 제6호, pp. 169-181.
- 수문자료집(수문조작기준). (1986). 한국전력공사 한강수력발전처.
- 충주 다목적댐 건설에 따른 한강홍수예경보 프로그램 개선보고서. (1985). 건설부 한강홍수통제소.
- 팔당 H/P 방수위탐 설계기술용역 종합보고서. (1994). 한국전력공사 한강수력발전처.
- 팔당댐 방류량산정 개선에 관한 연구. (1995). 한국전력공사 기술연구원.
- 팔당댐 상류연안 홍수피해 조사 및 운영개선방안 검토 보고서. (1980). 한국전력주식회사.
- 팔당수력발전소 방수위 유지구조물 설계보고서. (1992). 한국전력공사 한강수력발전처.
- 팔당수력 용량증대 타당성 조사보고서. (1993). 한국전력공사.
- 한강종합개발기본계획 수리모형실험(2차) 보고서. (1983). 서울특별시.
- 한강 종합개발 기본계획수립. (1983). 서울특별시.

- 한강하류부 수리모형실험. (1985). 건설부.
- 한강 하류연안 개발계획 보고서. (1988, 1989). 건설부 서울지방국토관리청.
- 한강 하상변동 조사보고서. (1981). 건설부.
- Barnes, Jr., H.H. (1987). "Roughness characteristics of natural channels." *U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1849*.
- Girault, V., and Raviart, P.A. (1979). *Finite element approximation of the Navier-Stokes equations*. Springer-Verlag.
- Han River Paldang hydroelectric scheme: Gate calibration and operating procedure*. (1968). Sofrelec.
- King, I.P. (1992). *User's manual for RMA model*.  
 〈접수: 1995년 12월 15일〉