

# 팔당댐 방류량 산정공식의 재작성

## The Re-evaluation of Discharge Formula of Paldang Dam

정일문\*, 허준행\*\*, 조원철\*\*\*, 이원환\*\*\*\*, 김종학\*\*\*\*\*

### 1. 서 론

팔당댐은 치수방재적인 면에서 한강하류부 특히 서울특별시에 지대한 영향을 끼치는 수공구조물이며 따라서 댐의 수문을 통해 흘러나오는 방류량은 정확히 산정되어야 한다.

현재 사용중인 방류량은 지난 1968년 Sofrelec<sup>5)</sup>의 수리모형실험에서 제시된 공식을 이용한 방류량 산정표에 의한 것이며 여기에 수록된 방류량 및 상·하류부 수위값은 필요에 따라 조금씩 수정하여 지금까지 사용해 오고 있는 실정이다. 그러나 오랜 시간이 경과함에 따라 댐 하류부의 하상 변동 및 하류부 수심 저하에 따른 수리학적 조건의 변동으로 기존공식을 사용하는 데 있어 여러 가지 문제점을 낳게 되었다.

이러한 원인으로 인해 현재의 방류량 산정방법은 재검토 되어야 하며 새로운 공식을 이용한 방류량의 재산정이 필요하게 되어 본 연구에서는 방류량 산정을 위한 개선방향 및 해석적 방법과 모형실험성과와의 비교 분석을 실시하여 새로운 방류량 산정식을 제안하고 그에 따른 결과를 제시하여 기존의 결과와 비교하여 보았다.

### 2. 기존의 방류량 산정식

#### 2.1 1968년 당시의 방류량 산정

팔당댐 각 수문은 20m폭으로 15개의 수문은 총 300m의 sluice 폭을 가진다. 수문의 종류는 Tainter gate이며 콘크리트 위어와 달아 있는데 위어의 마루부는 El. 9.0m이다. 흐름단면은 부분 수문개방에 의해 조절된다. 이론적인 최대 상류수위는 계획홍수위 El. 29.5m이며 상시만수위는 El. 25.5m이다. 방류량은 수리학적 조건, 수문개방높이, 타수문의 개방에 따른 요소등에 따라 결정된다. 수리학적 조건에 따른 인자는 수문상류부 및 수문 하류부 수위이다.

흐름은 하류부 수위의 영향여부에 따라 자유흐름과 잠수흐름으로 구분하며 잠수흐름인 경우 식(1)의 유량계수  $m$ 값은 식(2)의 상·하류부 수위관계를 고려해야 한다.

$$m = \frac{Q}{n l a \sqrt{2g(H_2 - 9)}} \quad (1)$$

$Q$ =총방류량,  $n$ =개문된 수문수,  $a$ =개도,  $l$ =수문의 폭,  $H_2 - 9$  = 상류수위와 댐 마루부와의 수위차

---

\* 연세대학교 토목공학과 박사과정  
\*\* 연세대학교 토목공학과 조 교수  
\*\*\* 연세대학교 토목공학과 교수  
\*\*\*\* 연세대학교 토목공학과 명예교수  
\*\*\*\*\* 한국전력공사 기술연구원 선임연구원

$$u = \frac{H_2 - H_3}{H_2 - 9} \quad (2)$$

여기서,  $H_2 - H_3$  : 수문 상류부와 하류부의 수두차

실험당시 잠수흐름은 하류조건과 관련된 비  $u$ 가 0.5~0.55보다 작은 경우의 흐름으로 방류량은 하류부의 영향을 받으며 대부분의 흐름을 잠수흐름으로 보았다.  $m$ 과  $u$ 의 관계는 식(3)과 같다<sup>4)</sup>.

$$m = Au^{1/3} \quad (3)$$

수문수  $n=5$  일 때  $A=0.79$ ,  $n=10$  일 때  $A=0.83$ ,  $n=15$  일 때,  $A=0.73$   
따라서 기존에 사용하고 있는 방류량 산정식의 기본 형태는 다음 식(4)와 같다.

$$Q_n = A_n \times (H_2 - H_3)^{1/3} \times n \times 20 \times a \times \sqrt{2g} \times (H_2 - 9)^{1/6} \quad (4)$$

여기서,  $Q_n$ 은 수문수가  $n$ 개인 경우의 방류량이며,  $A_n$ 은  $m$ 과  $u$ 의 관계식으로부터 구해지는 상수,  $H_2$ 와  $H_3$ 은 댐 상하류부에서의 수위, 그리고  $a$ 는 개도이다. 자유흐름은 하류조건과의 관련된 비가 0.55보다 큰 경우의 흐름으로 유출률은 하류조건과 무관하며 유량계수는 수문형상과 상대위치에만 관련된다. 자유흐름식은 식(5)와 같다.

$$Q = mn \, l a \sqrt{2g} (H_2 - 9) \quad (5)$$

## 2.2 최근식('85년 보고서<sup>1)</sup>)의 검토

식(6)은 식(4)와 동일한 식으로 실험에 의해 얻어진 자료를 이용하여 매개변수간의 상호관계를 고려하여 상·하류 수위에 따른 개도별 유량을 산정할 수 있도록 만들어진 공식이다. '85년에는 기존의 방류량 산정표에 대한 개선방안으로 개도( $na$ )에 따라 세가지 공식 (7)~(9)를 다르게 적용하고 식(10)의 댐 직하류부 수위-유량 관계를 공식내에 포함시켜 보다 정확한 방류량 산정을 할 수 있도록 하였다. 이를 위해 기존의 수위-유량 곡선을 사용하지 않고 새로운 수위-유량 관계를 홍수 자료로부터 획득한 후 이를 반복시산법을 이용하여 구하도록 하였다.

$$Q = 88.544naA (H_2 - H_3)^{1/3} (H_2 - 9.0)^{1/6} \quad (6)$$

$$Q_5 = 69.950na (H_2 - H_3)^{1/3} (H_2 - 9.0)^{1/6} \quad (7)$$

$$Q_{10} = 73.491na (H_2 - H_3)^{1/3} (H_2 - 9.0)^{1/6} \quad (8)$$

$$Q_{15} = 64.637na (H_2 - H_3)^{1/3} (H_2 - 9.0)^{1/6} \quad (9)$$

$$H = 11.801 + 6.1629 \times 10^{-4}Q - 4.6079 \times 10^{-9}Q^2 \quad (10)$$

위의 식을 이용하면 댐 상류부 수위와 하류부 수위로부터 주어진 개도  $na$ 에 따라 방류량을 계산할 수 있다. 식(10)의 방류량-하류부 수위 관계는 당시 팔당댐 직하류의 한전에서 운영하고 있는 수위를 사용하였으나 이 식 또한 그간의 하상저하로 인해 재작성 되어야 하며 '86년부터 사용되어 온 팔당 발전소 방수구 하류부에 설치된 수중보 내측에 있는 수위기록눈금 역시 하류부 전체

의 수위를 대표하는 수위값으로 보기 어렵다. 이유는 약  $5,000\text{m}^3/\text{sec}$ 이하의 방류량에 대해서는 하류부 전체 하폭에 걸친 수위값을 나타내지 못하므로 이 수위값을 하류수위의 대표값으로 보고 그대로 적용하는 것에 무리가 있다.

기존의 방류량 산정식을 이용할 경우 하류부의 하상저하 및 세굴에 의한 하류부 수위 변화에 따라 상·하류 수위관계를 재검토 할 필요가 있으며 이에 따라 새로운 상·하류부 수위관계에 따른 방류량 산정식이 요구된다.

### 3. 기존식의 개선을 위한 방안

#### 3.1 댐 하류부에서의 수위-유량 관계 개선

방류량의 정확한 산정을 위해서는 현재의 하상상태에서의 하류부수위-방류량 곡선을 구하는 것이 선결조건이 된다. 이 곡선은 공식내에서 유량과 하류부 수위와의 관계를 밝혀주는 기준이 된다. 기존의 댐하류부의 수위자료가 그동안의 하상저하의 영향으로 신뢰성이 적어짐에 따라 이에 새로운 계측지점의 설정과 아울러 여기서 계측된 하류부 수위를 이용한 새로운 수위-유량 관계식을 제안하였다. 새로운 계측지점은 댐하류부 약 100m지점에 신설중인 하류부 방수위 탑<sup>3)</sup> 지점으로 하였고 이 지점에서 방류량에 따른 수위를 계측하여 두 자료를 상관시켜 댐 하류부의 수위-유량 관계곡선을 구하였다.

#### 3.2 유량계수의 재산정

기존의 산정식을 보면 잠수흐름과 자유흐름의 경계값이  $u = 0.5 \sim 0.55$ 범위로 대부분의 경우가 잠수흐름으로 간주되었는데 수리모형 실험결과 그 동안의 하상저하로 인해 경계값이 낮아져 개도별 방류량 산정시 잠수흐름보다는 불안전월류와 자유흐름이 더 많이 나타남을 알 수 있었다. 이에 따라 기존에 사용하던 유량계수 값은 수정이 불가피하며 수문검정실험(Gate calibration test)을 이용하여 유량계수를 재산정하였다.

### 4. 비교고찰

#### 4.1 유량계수값의 비교

Sofrelec 실험보고서와 유사한 조건하에서 수리모형실험을 한 결과 잠수흐름과 자유흐름을 구분하는  $u$ 의 경계값은 대략  $0.25 \sim 0.35$ 로 낮아졌으며, 이 경계값보다 작은 경우 수문에서 잠수흐름이 발생하였으며, 큰 경우에는 불안전 월류와 자유흐름이 발생하였다. 이는 댐 직하류부의 하상저하에 기인한 것으로 수리모형실험시 저개도(개도 15.0m이하)의 경우 자유흐름이, 중개도의 경우 불안전월류가 지배적이었고 잠수흐름은 중개도 범위에서 수문별로 개도차이가 날때와 고유량(약 17,000cms 이상)일때 발생하였다. 따라서 저개도 범위에서의 잠수흐름은 하류단의 tailgate조절을 통하여 실험하였다. 이는 팔당댐 건설당시에는 댐 상·하류부의 하상의 높이가 동일하였으나, 시간이 경과함에 따라 댐 상류부로 부터의 유사유입 차단과 댐 하류부 하상저하에 따라 변화된 댐하류부 수위로 인해 잠수흐름이던 것이 점진적으로 바뀌게 되었음을 보여주는 것이다.

기존의 Sofrelec 실험보고서에 의하면 u값과 m값의 관계는  $m = Au^{1/2}$ 의 함수로 표시되며, 개문수를 n이라고 하면, n=5 일때 A=0.79, n=10 일때 A=0.83, n=15 일때 A=0.73으로 주어졌으나 본 수리모형실험에 의한 u와 m과의 관계는 새롭게 산정되었다. 즉, 개문수가 5일때는 자유흐름에 대한 유량계수를 개도범위에 따라 구하였으며,  $m = 0.74$ (개도 0.5~7.5m),  $m = 0.70$ (개도7.5~15.0m)으로 정하였다. 개문수가 10일때, A = 0.674, 개문수가 15일때 A = 0.698로 개문수에 따라 계수값이 달라졌다.

기존의 방류량 산정시 사용된 5개 수문에 대한 방류량 산정 공식은 잠수흐름의 형태로 사용되었기 때문에 본 실험에 의해 제시된 공식과는 형태를 달리한다. Sofrelec 실험에서는 실질적인 자유흐름이 실험중 일어나지 않아서 자유흐름에 대한 유량계수 m값을 정하지 않았고 단지 잠수흐름에 대한 m-u곡선을 외삽하여 구하였다.

10개 수문이상을 개방하는 경우 이론적으로 기존 보고서의 유량계수 값은 수리모형실험에 의한 유량계수 값보다 항상 크다는 것을 알 수 있으며, 15개 수문을 개방하는 경우에도 기존의 유량계수 값이 수리모형에 의한 유량계수 값보다 큼을 알 수 있다. 이는 댐 하류부가 저하되어 기존의 경우에 대한 상·하류 수위차보다 현재 실험에 의한 상·하류 수위차가 커졌기 때문이며, 같은 개도에 대해서도 실험에 의한 결과가 기존의 값보다 작은 유량계수값을 가지게 된 것이다.

#### 4.2 수정 방류량 산정식

5개 수문을 개방하는 경우는 15개도 미만의 저개도범위일 때로 이 개도범위를 다시 개도 0.5~7.5와 7.5~15.0의 두 가지로 나누어 두 개의 방류량 산정공식(11),(12)를 제안하였다. 10개 수문에 대해서는 본 실험에서 새로 구한  $A_{10}$ 을 이용한 식(13), 그리고 15개 수문에 대해서도 마찬가지로 새롭게 구한  $A_{15}$ 값을 이용하여 식(14)로 새로이 제안하였으며 기존식과 공식의 형태는 같지만 계수값에서 차이를 나타내고 있다.

$$Q_{5-1} = 0.74 \times n \times 20 \times a \times \sqrt{2g \times (H_2 - 9)} \quad (11)$$

$$Q_{5-2} = 0.70 \times n \times 20 \times a \times \sqrt{2g \times (H_2 - 9)} \quad (12)$$

$$Q_{10} = 0.674 \times (H_2 - H_3)^{1/3} \times n \times 20 \times a \times \sqrt{2g} \times (H_2 - 9)^{1/6} \quad (13)$$

$$Q_{15} = 0.698 \times (H_2 - H_3)^{1/3} \times n \times 20 \times a \times \sqrt{2g} \times (H_2 - 9)^{1/6} \quad (14)$$

5개 수문에 대한 자유흐름공식은 하류부 수위의 영향을 받지 않으나 10개, 15개 수문인 경우에는 주어진 댐 상류부의 수위에 따라 방류량은 식(13), (14)의  $H_3$ 대신에 본 수리모형실험에서 얻어진 신설방수위탑 지점에서의 수위-유량관계식으로부터 역산하여 구해지는 식(15)를 공식에 대입한 후 반복시산과정을 거쳐 개도에 따른 방류량을 구할 수 있다.

$$H_3 = 8.59 + 0.0006243Q - 3.043 \times 10^{-9}Q^2 \quad (15)$$

표 1에 댐 상류부수위 ( $H_2$ )가 El.25.5 m인 경우의 기존방류량<sup>2)</sup>과 수리모형 실험에 의한 방류량

및 제안식에 의한 방류량 계산 결과를 나타내었다. 표 1에서 제안방류량은 저개도범위에서 기존의 방류량보다 크게 나타나지만 중개도 범위(5~9단계)에서는 기존의 방류량 보다 적으며 다시 고개도로 갈수록 제안공식에 의한 방류량이 커진다. 이를 그림으로 나타내면 그림 1과 같다. 그림에서 점선이 기존 방류량, 점으로 나타낸 것이 실험방류량, 그리고 실선으로 나타낸 것이 제안공식에 의한 방류량이다.

표 1 실험방류량과 제안공식의 산정방류량의 비교

단계	수문 개도 (m)	수문번호			기존 방류량 (cms)	실험 방류량 (cms)	제안식 (cms)
		1~5	6~10	11~15			
1	2.5			0.5	660	673	665
2	5.0			1	1308	1435	1331
3	7.5			1.5	1943	2159	1997
4	15.0			3	3772	3770	3778
5	22.5		1.5	3	5659	5326	5139
6	37.5		1.5	6	8766	8030	8180
7	45.0		3	6	10312	9712	9592
8	60.0		3	9	12843	11745	12208
9	67.5	1.5	3	9	13617	13250	13416
10	82.5	1.5	6	9	15015	15379	16049
11	90.0	3	6	9	16546	16255	17090
12	105.0	3	6	12	18249	17893	18984
13	120.0	3	9	12	19845	20039	20657
14	135.0	6	9	12	20689	21691	22128
15	150.0	6	12	12	21893	22651	23414
16	165.0	9	12	12	22528	23704	24536
17	180.0	12	12	12	23349	25017	25510
18	225.0	15	15	15	24856	26349	27713

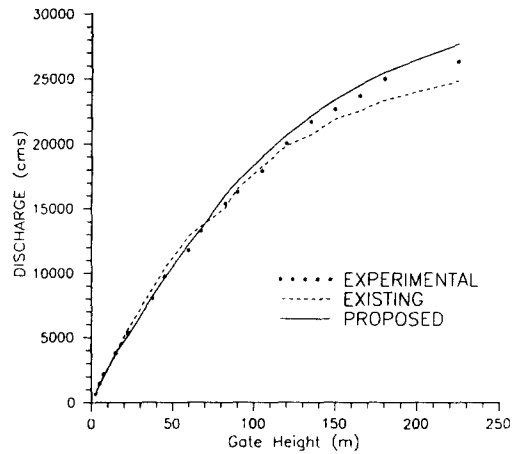


그림 1 기존방류량과 실험 및 제안식에 의한 방류량과의 비교

제안식(11)~(14)에 의한 방류량계산은 개도범위에 따라 4개의 공식을 달리 사용하게 되며 표 1의 18단계 개도별로 적용되는 식을 그림 2에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 현행개도범위에 따라 개도단계별 적용공식을 다르게 사용한다. 이같은 방류량 산정방식은 '85년 보고서와 그 방법론을 같이 하며 개문수에 따라 4개의 공식을 각각 사용한다.

먼저 7.5개도 이하인 경우인 (1)~(2)단계에서는 5개수문에 대한 공식  $Q_{5.1}$ 을 사용하게 되며, 7.5~15.0 개도범위인 (3)~(4)단계에서는 5개수문에 대한 공식  $Q_{5.2}$ 를 사용하게 된다. 개도 22.5~60.0까지인 (5)~(8)단계에서는 10개수문에 대한 공식  $Q_{10}$ 을, 마지막으로 개도 67.5~225.0까지인 (9)에서 (18)단계에서는 15개수문에 대한 공식  $Q_{15}$ 을 사용한다.

개도 (m)	Q <sub>15</sub> (18)															15.0													
	Q <sub>15</sub> (17)					Q <sub>15</sub> (15)					Q <sub>15</sub> (12)					12.0													
	Q <sub>15</sub> (16)					Q <sub>15</sub> (13)					Q <sub>10</sub> (8)					9.0													
	Q <sub>15</sub> (14)					Q <sub>15</sub> (10)					Q <sub>10</sub> (6)					6.0													
	Q <sub>15</sub> (11)					Q <sub>10</sub> (7)					Q <sub>5-2</sub> (3)~(4)					3.0													
	Q <sub>15</sub> (9)					Q <sub>10</sub> (5)					Q <sub>5-1</sub> (1)~(2)					1.5													
																0.0													
	<table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td> </tr> </table>															1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15															
우안					수문번호					좌안																			

그림 5.2 개도단계별 방류량 적용공식

### 5. 결 론

본 연구는 팔당댐 방류량 산정개선을 위한 방류량 공식의 제작성에 관한 연구로 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 연구에서 얻어진 방류량별 하류부 수위자료는 대부분 1968년 실험자료에 비해 크게 낮은 값을 나타내었으며 이에 따라 흐름양상이 변화되고 잠수흐름과 자유흐름의 경계값이 달라졌다.
- (2) 변화된 유량계수 및 하류부 수위관계를 이용하여 4종류의 방류량 산정공식을 작성하였으며 5개 수문의 경우에는 잠수흐름의 형태가 아닌 자유흐름의 형태로 제안하였다.
- (3) 개도단계별로 4개의 공식을 달리 사용하게 되며 중개도 범위를 제외하고는 실험방류량과 제안방류량 모두 기존의 방류량보다 큰 값을 나타내었다.

### 감사의 글

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

### 6. 참고문헌

- 1) 건설부 한강홍수통제소, 충주다목적댐 건설에 따른 한강홍수에경보 프로그램 개선보고서, 1985.
- 2) 한국전력공사, 수문자료집(수문조작기준), 1986. 7.
- 3) 한국전력공사, 한강수력발전처, 팔당 H/P 방수위탑 설계기술용역 종합보고서, 1994. 8.
- 4) 한국전력주식회사, 팔당댐 상류연안 홍수피해조사 및 운영개선방안검토 보고서, 1980. 5.
- 5) SOFRELEC, HAN RIVER PALDANG HYDROELECTRIC SCHEME Gate Calibration and Operating Procedure, 1968. 5.