

수리모형실험을 활용한 댐 방류관 설계의 적정성 검토

The Propriety of Design Outlet Conduit of Dam by Hydraulic Model Experiments

최 병 규* / 강 태 호** / 정 요 한***

Choi, Byong Kyu / Kang, Tae Ho / Jung, Yo Han

Abstract

In this study is if the design of outlet conduit was appropriate or not by analyzing flow characteristic of outlet conduit with performing hydraulic model experiments. As the results of hydraulic model experiments, the capacity of outlet conduit of elementary design was under estimated, and the designed values of the capacity of outlet conduit of preliminary design based on the values of elementary design was nearly equal to the values of experiments, so the propriety of design was identified. In addition, as the results of examinations of negative pressure of outlet conduit, and propriety of longitudinal sections, the resulting values were within the maximum permissible limits, so it was proved that the design was appropriate. In the base of such processes, the propriety of scale and location of outlet conduit of preliminary design was examined.

Keywords : hydraulic model experiment, outlet conduit model, Hantangang Dam

요 지

본 연구에서는 수리모형실험을 실시하여 방류관의 흐름특성을 분석 방류관 설계의 적정성을 검토하는데 있다. 수리모형실험 결과 기본계획의 방류관 통수능은 과소설계 되었고, 이를 토대로 설계 변경한 기본설계의 방류관 통수능 설계치는 실험치와 거의 일치하여 적절하게 설계되었음을 알 수 있었다. 또한 방류관 부압발생 여부 및 종단형상의 적정성을 검토한 결과 허용치 이내 값이 발생되어 적절한 것으로 판명되었다. 이러한 과정을 토대로 기본설계의 방류관 규모 및 위치가 적절하였음이 검토되었다.

핵심용어 : 수리모형실험, 방류관 모형, 한탄강 댐

* (주)삼안건설기술공사 수력부 전무(bkchoi@samaneng.com), 서울시립대학교 토목공학과 박사과정
SAMAN Engineering Consultant Co., Ltd. Dept. Hyrdo-Power, Executive Director.
** (주)삼안건설기술공사 수력부 부장(thkang@samaneng.com)
SAMAN Engineering Consultant Co., Ltd. Dept. Hyrdo-Power, Chief.
*** (주)삼안건설기술공사 수력부 사원(yhjung@samaneng.com)
SAMAN Engineering Consultant Co., Ltd. Dept. Hyrdo-Power, Staff

1. 서론

'96년, '98년, '99년 그리고 지난해 폭우와 최근 이상 호우로 인한 우리나라 전 지역 및 특히, 경기 북부와 임진강 유역에 홍수가 발생하여 막대한 인명 및 재산 피해가 발생하였다. 이에 따라 정부에서는 수해방지종합대책의 일환으로 한탄강유역에 홍수조절용 한탄강댐 건설을 추진하게 되었다. 한탄강댐은 홍수조절을 위한 월류부 여수로 뿐 만 아니라, 국내 최초로 댐체내에 방류관을 설치하여 이를 상용 여수로로 계획하였다. 일반적인 홍수조절 조건인 200년 빈도 홍수량에 대해서는 방류관으로 홍수조절을 하고 최악의 상황인 가능 최대홍수량(PMF)에 대해서는 상용 및 비상용(월류부) 여수로 수문을 모두 개방하여 홍수조절 하도록 계획되었다. 한탄강댐은 주목적이 홍수조절인 치수전용 댐으로 많은 저수용량을 확보하면서 초기방류를 실시해야하므로, 기존 국내 댐들과 같이 대부분 모두 월류부로 방류를 실시하는 것과 같은 기존 홍수조절방식과는 다르다. 그러므로 이와 유사한 기능을 가진 일본 灰塚ダム 사례(灰塚ダム水理設計業務報告書, 1999)를 참고로 하여 댐체내에 방류관을 설치하여 초기방류를 가능토록 설계하였다. 이와 같이 방류관을 이용한 홍수조절 기능을 가진 댐 설계가 국내 처음 시도되므로, 이에 대한 적정성 검토는 필수적이라 하겠다.

본 연구는 한탄강댐 설계시 PMF유량 9,145.3m³/s, 200년 빈도 유량 1,970m³/s, 폭(B)6.0m×높이(H)6.0m의 방류관 2개, 폭(B)5.6m×높이(H) 5.4m의 방류관 4개를 댐 체내에 설치하여 방류관의 초기 및 개도별 방류능력 검토와 종단형상의 적합성을 수리모형실험을 통해 적정성 검토를 그 목적으로 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 상사법칙 및 모형축척

수리모형이 자유수면을 가지고 흐름 경우에는 주로 중력이 지배적인 힘이 되며 이 때는 Froude 상사법칙을 적용하게 된다. 수리모형실험에 의해 효과적으로 해결할 수 있는 수리현상중 가장 많은 수의 문제가 여기에 속하며, 개수로, 하천, 하구 등에서의 흐름 문제라든지 웨어, 여수로 등의 수리구조물에서의 흐름 및 파랑문제 등을 예로 들 수 있다. 본 연구에서는 수리모형을 시설이 허용하는 범위 내에서 비왜곡 정상모형으로 최대한 크게 제작 수리학적 거동을 정확하게 재현하고자 월

류수심의 조건, 모형규모 및 유량규모의 적정성 등을 감안하여 국내 최대인 축척 1:35로 제작하여 실험을 수행하였다.

흐름이 주로 지배하는 힘이 중력만이라고 생각하므로 관성력과 중력의 비가 각각의 원형과 모형에서 동일하다면 두 흐름은 수리학적 상사를 이룬다고 보는 것이다. 즉 식(1)에서

$$\left(\frac{F_I}{F_G}\right)_r = \frac{(F_I/F_G)_p}{(F_I/F_G)_m} = 1 \quad (1)$$

혹은

$$\frac{(F_I)_p}{(F_I)_m} = \frac{(F_G)_p}{(F_G)_m} \quad (2)$$

식(2)는 원형과 모형에서의 관성력비와 중력비가 같아야 함을 뜻한다. 식(2)를 보면 모형의 축척비 L_r 과 시간비 T_r 의 항으로 표시하기 위해 중력비를 표시해 보면

$$(F_G)_r = M_r g_r = \rho_r L_r^3 g_r \quad (3)$$

여기서 g_r 은 원형과 모형 사이에서의 중력가속도이다. 관성력을 나타내는 식(4)와 식(3)을 식(2)에 대입하면

$$(F_I)_r = M_r a_r = \rho_r L_r^4 T_r^{-2} \quad (4)$$

$$\rho_r L_r^4 T_r^{-2} = \rho_r L_r^3 g_r \quad (5)$$

따라서

$$\frac{L_r^2}{T_r^2} = g_r L_r \quad (6)$$

혹은

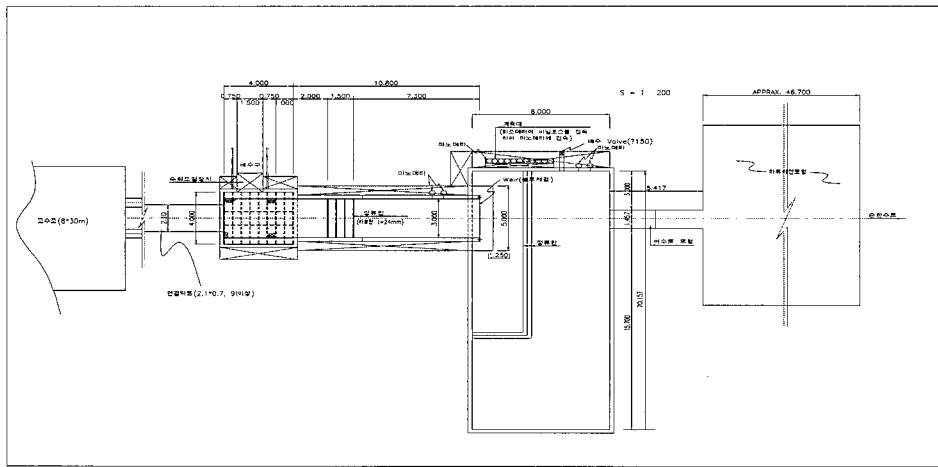
$$\frac{V_r}{\sqrt{g_r L_r}} = 1 \quad (7)$$

식(7)을 다시 쓰면

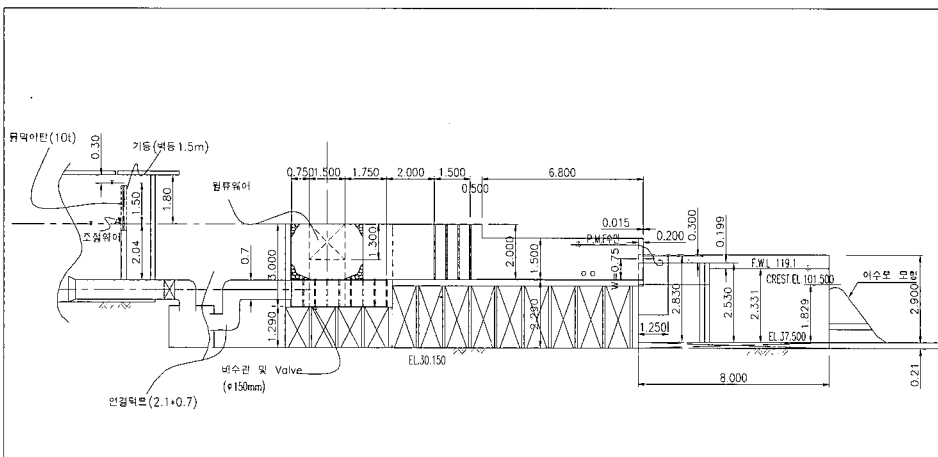
표 1. Froude 상사법칙의 물리량비

물리량	비	적용축척	모형 환산 값
길이(L_r)	L_r	1/35	방류관 B : 0.1714m H : 0.1714m
면적(A_r)	L_r^2	1/1,225	
시간(T_r)	$L_r^{1/2}$	1/5.916	
유속(V_r)	$L_r^{1/2}$	1/5.916	
가속도(a_r)	1	1	유량 1,261.8 ℓ /s(PMF) 271.8 ℓ /s(200년)
유량(Q_r)	$L_r^{5/2}$	1/7,247	
힘(F_r)	L_r^3	1/42,875	
압력수두(P_r)	L_r	1/35	
조도계수(n_r)	$L_r^{1/6}$	1/1.809	

여기서,
 F_r 는 유체에 실제로 작용하는 힘 관성력
 F_G 는 중력, m 은 모형, p 는 원형
 r 은 원형과 모형에서의 힘의 비, M 은 질량
 a 는 가속도, ρ 는 밀도, L 은 길이
 T 는 시간, g 는 중력가속도, V 는 속도



(a) 평면도



(b) 단면도

그림 1. 수리모형실험 재원도

$$\frac{V_p}{\sqrt{g_p L_p}} = \frac{V_m}{\sqrt{g_m L_m}} \quad (8)$$

식(8)의 좌우변은 각각 원형과 모형에서의 흐름의 Froude수(F)임을 알 수 있으며 이것이 바로 중력의 흐름을 지배하는 수리현상의 수리학적 상사조건인 것이다.

모형과 원형에서의 유체가 서로 동일하고 동일중력계라면($g_p = 1$) Froude모형법칙에 따라 원형과 모형에서의 각종 물리량비를 표 1과 같이 표시할 수 있다.

2.2 유량검정

수리모형실험에서 보다 정확한 유량을 공급하기 위하여 유량검정을 실시하였고, 검정에 사용된 웨어는 사각·전폭웨어로 사각웨어 폭 1.0m×높이 0.5m, 전폭웨어 폭 1.5m×높이 0.7m이다. 유량검정은 다음과 같은 순서로 수행하였으며, 그 결과는 그림 2와 같다.

- ① 웨어의 윗류심을 임의의 값 H 에 맞춘다
- ② 저수지 수조의 수심을 ΔH 만큼 증가시키는데 소요되는 시간 Δt 를 측정한다.
- ③ ②번 과정을 반복하여 수행한다.
- ④ Δt 의 평균값($\overline{\Delta t}$)을 계산한다.
- ⑤ 유량은 식 (1)과 같은 식을 사용하여 계산한다.

$$\frac{\Delta H \times B \times L}{\Delta t} = Q \quad (9)$$

여기서, B : 저수지 수조 폭, L : 저수지 수조 길이

- ⑥ ①에서의 H 를 변경하여 위의 과정을 반복하여

수행한다.

- ⑦ H 와 Q 의 관계를 그래프로 도시한다.

2.3 통수능 및 압력측정 실험

2.3.1 통수능 실험

댐 설계에 있어서 가장 중요한 것이 유입홍수량에 대하여 방류량이 설계한 만큼 실제 상황에서도 충분히 방류를 하는 것이다. 또한 수문 개도에 따른 방류량 또한 중요한 사항이므로 본 연구에서는 각 개도별 방류능력을 검토하여 설계치와 비교, 설계의 적절성 여부를 검증하였다. 여기서, 유량계수는 식(10)과 같이 산정하여 설계치와 비교하였다.

$$C = \frac{Q}{A\sqrt{2gH}} \quad (10)$$

여기서, Q : 개도별 방류량

A : 총면적

H : 저수지 수위

설계값은 수문을 모두 개방하였을 경우 방류량 유량계수는 $\tan \theta = 0$ 인 분출류의 근사현상 자료를 근거로 계산한 식(11)을 사용하였다.

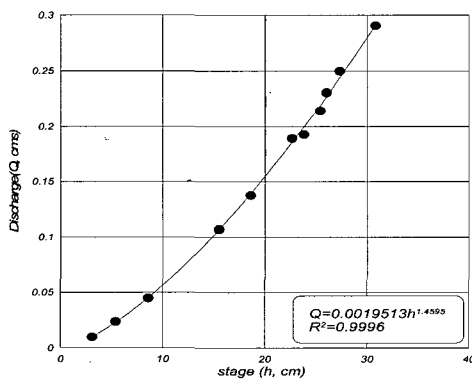
$$C^2 = 0.983 - 0.355(D/H) \quad (11)$$

여기서, C : 유량계수

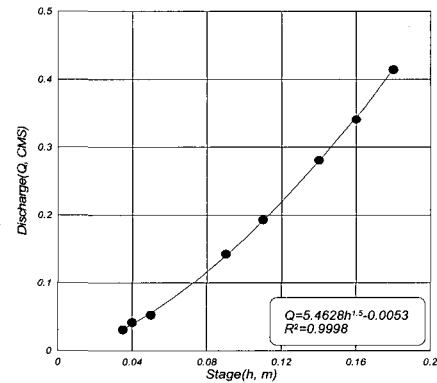
D : 방류관 높이

H : 방류수두

(저수지수위-방류관 높이 중심표고)



(a) 사각웨어



(b) 전폭웨어

그림 2. 유량공급 장치(웨어) 검정결과

또한, 수문의 부분개방 경우는 일본 灰塚댐 실험결과(일본공영, 1999)에서 얻어진 식(12)를 사용하여 추정하였다.

$$C_0 = 0.367(H/D) \quad (12)$$

여기서, C_0 : 수문 부분 개방할 경우 유량계수
 D : 방류관 높이(m)
 H : 방류수두
 (저수지수위-방류관 높이 중심표고)

방류량은 식(13)과 같은 오리피스식을 사용하여 산정하였으며, 이 때 유량계수는 식(11), 식(12)의 결과를 사용하였다.

$$Q = CA\sqrt{2gH} \quad (13)$$

여기서, Q : 유량(m³/sec)

C : 유량계수

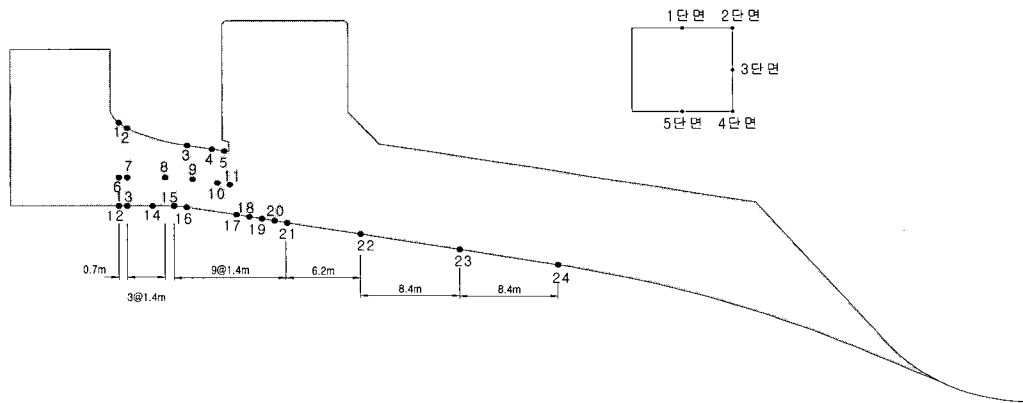
A : 방류관 단면적(m²)

H : 방류수두

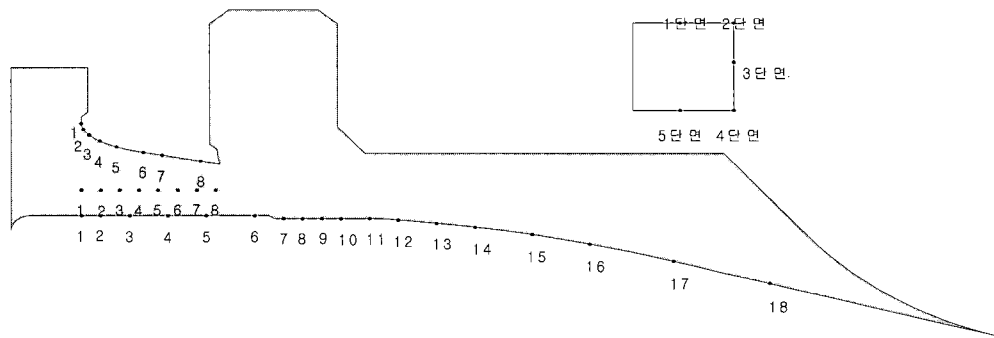
(저수지수위-방류관 높이 중심표고)

2.3.2 압력(부압)측정 실험

댐의 여수로를 통과하는 흐름은 고속의 수류로서 여수로에 부압이 발생할 가능성이 있다. 이러한 부압이 크게 되면 공동현상이 일어날 가능성이 있으므로 공동현상을 야기하지 않도록 월류 종단형을 설치해야 한다. 과도한 부압발생은 구조물 안정 및 흐름에도 큰 영향을 미치고, Air vent 설치 등 기타 주변설비 검토 또한 필요하다. 특히 부압의 발생은 방류관 여수로의 종단형과 관계되므로 방류관 수문의 개도에 따라 부압 발생시에는 종단형을 검토해야 한다. 만약 부압이 허용치를 넘을 경우 방류관



(a) 기본계획



(b) 기본설계

그림 3. 방류관의 종단 및 압력측정 위치도

의 재설계 실시해야 하므로 특히, 댐 방류관 같은 수공 구조물 설계시 부압발생 유무의 평가는 중요하다. 본 연구에서는 그림 3과 같이 방류관 상·하·측면부에 외경 7mm, 길이 2~3cm정도로 중앙에 $\Phi 1$ mm의 구멍을 뚫은 투명 아크릴계 피조메타를 설치하였으며, 마노메타는 투명 비닐호스로 내경 $\Phi 6$ mm, 외경 $\Phi 8$ mm로 제작 설치하여 각 단면에서의 수문 개도에 따른 부압발생 여부 및 수문 완전 개방시 방류관 중단 형상 적정성을 측정하였다. 댐 여수로 설계시 부압의 허용치는 댐 설계기준(건설교통부, 2001)에 따르면 -5.0m 보다 낮지 않도록 하고 있으며, 일본 건설성 하천사방시설기준(건설성, 2000)에 따르면 -3.0m 이하를 적용하고 있다. 부압발생 측정에 적용한 저수지 수위는 최악의 상태를 고려, PMF유량시 저수지 수위는 114.5m(기본계획), 119.0m(기본설계)가 형성되도록 유량을 조절하여 실험을 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 방류관 통수능 실험

기본계획의 방류관 통수능 실험은 수문개방을 2m~6m까지 1m단위로 총 5가지 경우에 대하여 실험을 실시하였다. 그 중 수문을 2m 개도할 때 수리모형실험에서 측정된 방류량과 이에 따른 유량계수를 표 2에 나타내었다. 여기서 H/D는 방류관 입구 바닥에서 수면까지의 수심(H)을 방류관 높이(D)로 나눈 무차원 값이며, 각 저수지 수위별 방류량과 유량계수가 설계치가 실험치보다 크게 차이가 남을 알 수 있다. 수문개방의 모든 경우의 실험치와 설계치의 비교는 그림 4와 같다.

그림 4(a)에서 볼 수 있듯이 방류량에 있어서 실험치가 설계치보다 각 개도마다 약간씩 크게 산정 됨을 알 수 있으며, 특히 수문을 완전개방시는 실험치가 설계치보다 훨씬 큼을 알 수 있다. 이 차이는 그림 4(b)의 유량계수의 차이에 따른 것으로 볼 수 있다. 그림 4(b)는 방류량으로부터 산정된 실험치와 설계치 유량계수를

비교한 것이다. 그 결과 그림 4(a)의 통수능력 즉, 방류량의 차이와 같은 결과를 보였으며 기본계획 설계에 있어서 유량계수를 너무 과소하게 적용한 것으로 나타났다. 그러므로 본 기본계획안의 방류관 규모 및 위치는 재검토 설계되어져야 함을 알 수 있었다.

이에 따라 본 연구에서는 기본계획안의 수리모형실험을 통한 타당성 검토 결과를 재검토하여 기본설계를 실시하였다. 방류관 통수능 실험은 기본계획안의 수리모형 실험과 마찬가지로 수문개방을 2m~6m까지 1m단위로 총 5가지 경우에 대하여 실험을 실시하였다. 그 중 수문을 2m 개도시 수리모형실험에서 측정된 방류량과 이에 따른 유량계수를 표 3에 나타내었다. 그 결과 각 저수지 수위별 방류량과 유량계수가 설계치가 실험치와 근사함을 알 수 있으며, 수문 개방 모든 경우의 실험치와 설계치의 비교는 그림 5와 같다.

그림 5(a)는 통수능력을 그림 5(b)는 유량계수를 각각 실험치와 설계치를 비교한 것으로서 그림 5(a)에서 볼 수 있듯이 방류관 각 수문 개도별 통수능력 설계치는 실험치와 비교적 근사함을 알 수 있다. 또한 완전개방시 설계치가 실험치보다 약간 크게 나타나 안전성 확보측면으로 허용가능 할 것이다. 유량계수 값을 산정 비교한 결과 수문 부분개도시 실험치가 다소 크게 측정되었으나, 완전 개방시는 설계치가 약간 크게 나타남을 알 수 있다. 기본설계의 통수능력 및 유량계수는 실험치와 비교한 결과 비교적 유사한 값과 경향을 나타내므로 본 실험을 토대로 기본설계에서 설계한 방류관 규모는 적절하다고 판단할 수 있다.

3.2 압력측정 실험

그림 3(a)와 같이 기본계획안에 대한 PMF시 최대 수위 EL.119.0 m의 수위를 유지시키면서 방류관 각 단면에서 수문개방을 2m~6m까지 1m단위로 총 5가지 경우에 대한 압력수두를 측정할 결과중 수문 5m 개도시 상부 중앙부와 우측부분에서의 압력수두 측정 결과

표 2. 수문 2m 개방시 저수지 수위별 방류량 및 유량계수

저수지수위 (H, m)	H/D	방류량(Q, m ³ /sec)		유량계수(C)	
		실험치	설계치	실험치	설계치
69.35	1.89	109.07	104.60	0.225	0.201
76.75	3.13	160.97	139.60	0.225	0.206
84.18	4.36	198.09	167.50	0.229	0.208
93.25	5.88	223.13	196.20	0.234	0.210
98.72	6.79	241.07	211.70	0.236	0.210
107.50	8.25	261.93	234.40	0.240	0.211
112.90	9.15	285.09	247.30	0.242	0.211

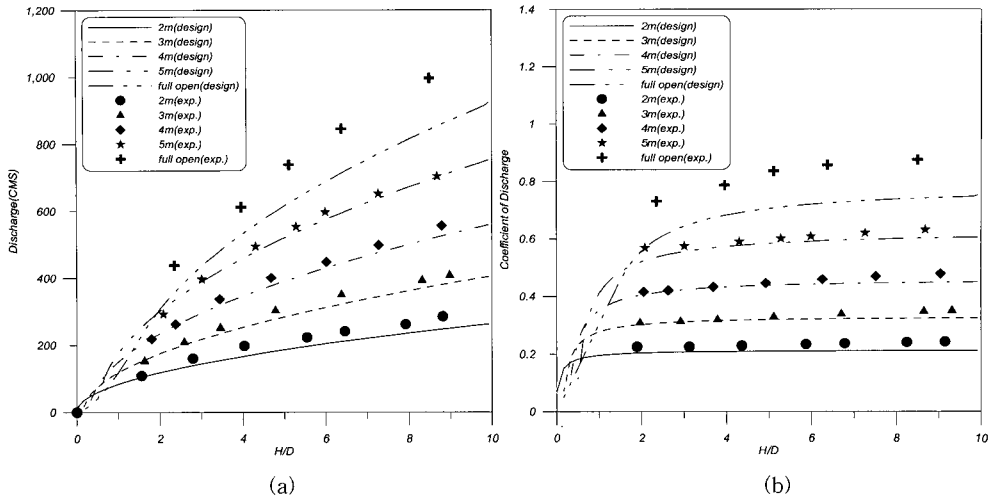


그림 4. 통수능력, 유량계수의 실험치와 설계치 비교

표 3. 수문 2m 개방시 저수지 수위별 방류량 및 유량계수

저수지수위 (H, m)	H/D	방류량(Q, m ³ /sec)		유량계수(C)	
		실험치	설계치	실험치	설계치
65.10	1.87	101.05	79.30	0.215	0.218
75.70	3.83	135.86	130.70	0.226	0.230
80.70	4.76	154.41	148.90	0.232	0.232
88.90	6.28	181.61	174.80	0.240	0.234
95.70	7.54	193.68	193.60	0.246	0.235
102.30	8.76	227.06	210.20	0.250	0.235
109.70	10.13	257.62	227.40	0.254	0.236
116.30	11.35	271.09	241.80	0.257	0.236

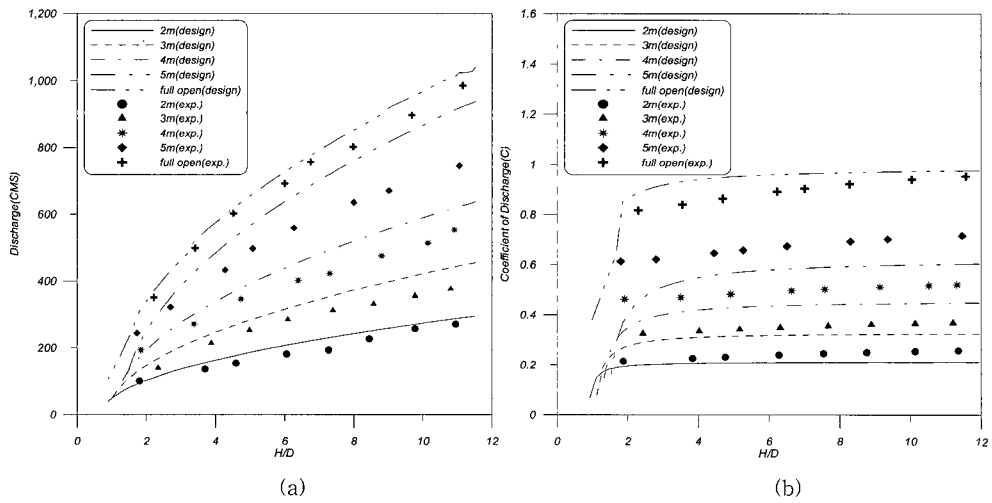


그림 5. 통수능력, 유량계수의 실험치와 설계치 비교

표 4. 수문 5m 개도시 압력수두

상부중앙부분		상부우측부분	
측점	압력수두(m)	측점	압력수두(m)
1-1	-1.86	1-2	-1.18
2-1	0.64	2-2	1.53
3-1	5.34	3-2	5.16
6-1	8.70	6-2	8.89
8-1	10.82	8-2	10.69
9-1	16.38	9-2	16.79

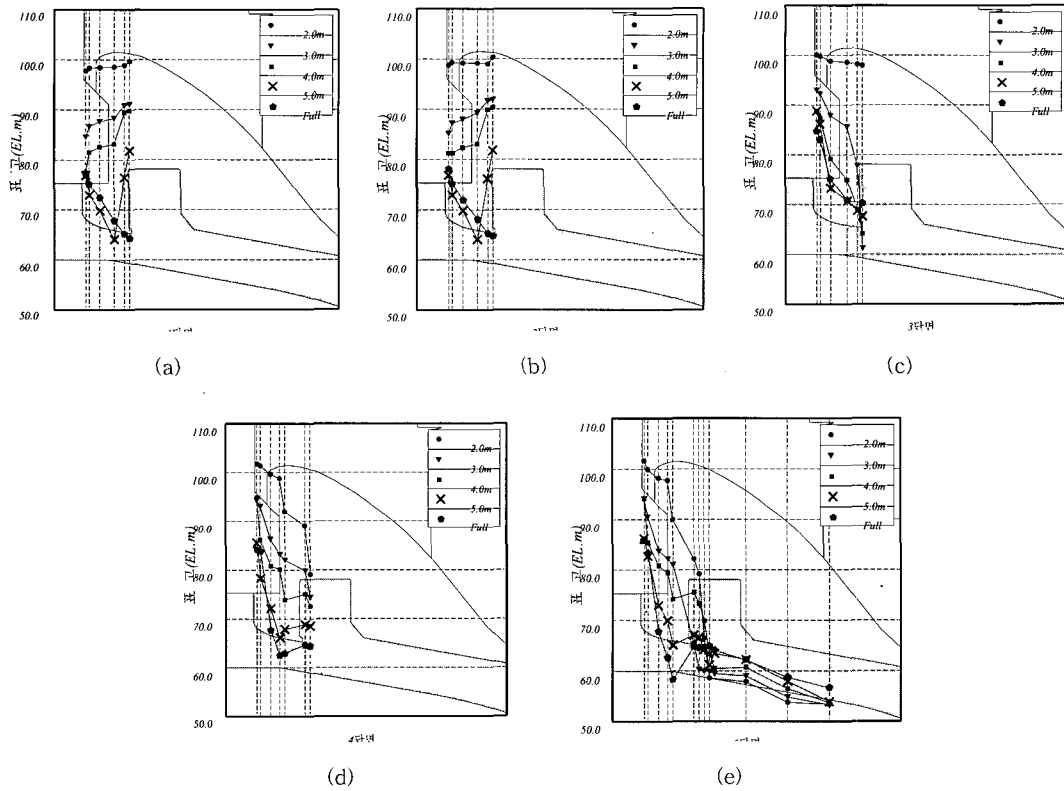


그림 6. 각 단면별 압력측정 결과

표 5. 수문 5m 개도시 압력수두

하부우측부분				하부중앙부분			
측점	압력수두(m)	측점	압력수두(m)	측점	압력수두(m)	측점	압력수두(m)
4-1	53.50	4-10	1.51	5-1	53.80	5-10	5.30
4-2	48.70	4-11	-2.03	5-2	49.30	5-11	-1.30
4-3	46.60	4-12	-2.11	5-3	46.60	5-12	-2.50
4-4	38.10	4-13	-2.39	5-4	39.00	5-13	-1.97
4-5	26.20	4-14	-0.32	5-5	21.80	5-14	-0.63
4-6	8.50	4-15	-0.43	5-6	7.70	5-15	-0.54
4-7	19.41	4-16	-0.25	5-7	21.90	5-16	-0.45
4-8	10.61	4-17	0.47	5-8	7.90	5-17	0.06
4-9	3.71			5-9	0.40		

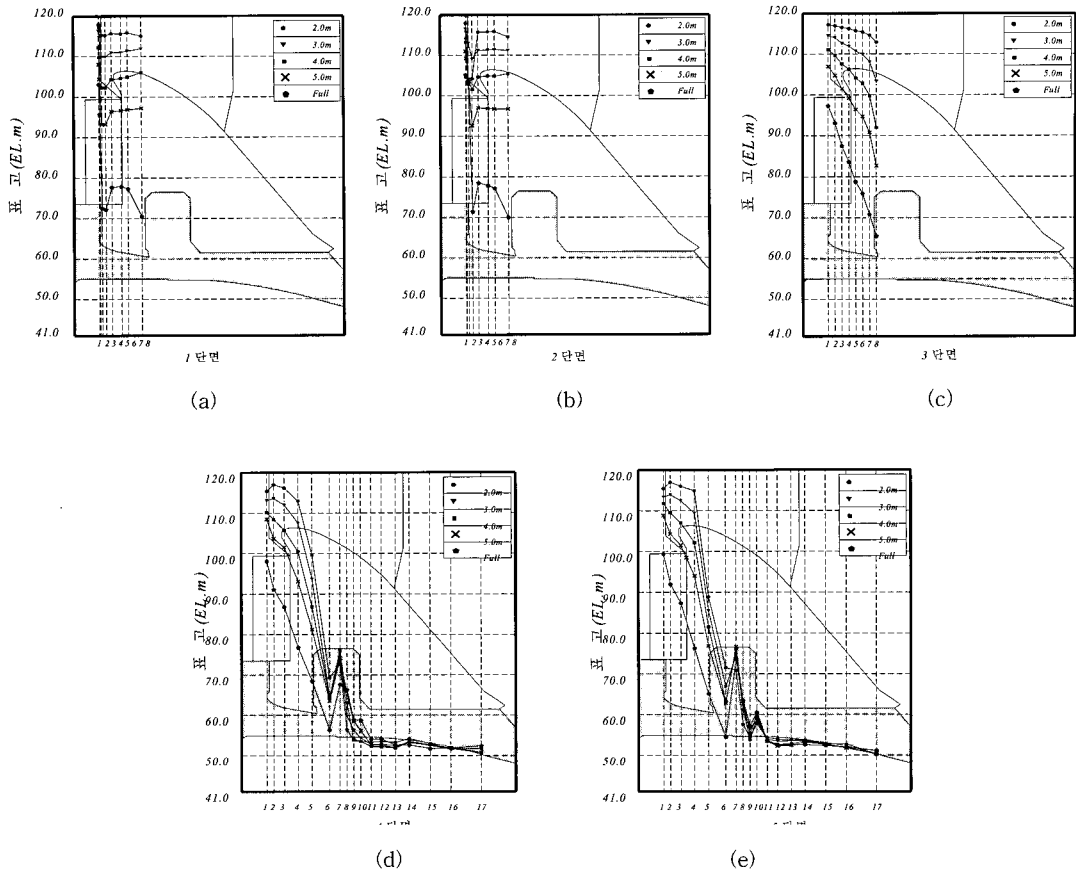


그림 7. 각 단면별 압력측정 결과

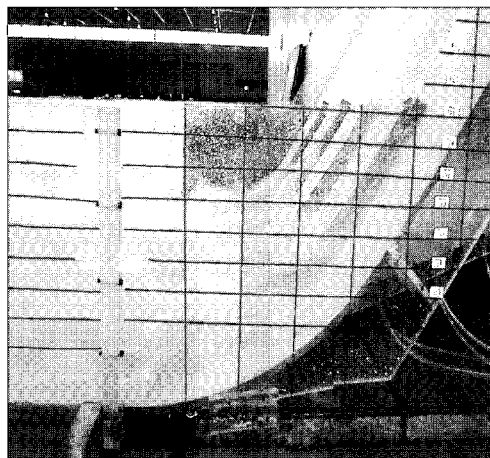


그림 8. 방류관 압력측정 광경

를 표 4에 나타내었다.

그림 6에서 (a)와 (b)는 방류관 상단면의 각 수문 개도별 압력수두분포를 (c)는 측면을, (d)와 (e)는 하단면의 압력수두 분포를 나타낸 것으로 본 연구의 (a), (b)측정치에서는 수문개도 모든 경우에 있어서 비슷한 양상을 보이고 있으며, 개도 5m인 경우에 수문 근처에서 압력수두가 최대 -1.86m의 부압이 측정되었다. 또한, 수문 완전개방시 수문 바로 직하부에서 압력수두가 최대 -1.08m의 부압이 측정되었고, (c)에서는 수문 개도 3m인 경우에 수문이 존재하는 부분에서 -0.83m의 부압의 압력수두가 측정되었다. (d)에서는 전단면에 걸쳐서 (-)의 압력수두가 측정되지 않았으며, (e)에서 보는 바와 같이 하부면 중앙인 방류관 수문 입구부 변곡지점에서 최대 -1.65m, 방류관 수로 변곡지점에서는 최대 -2.01m의 부압 압력수두가 측정되었다. 그러나, 이 모든 부압의 압력수두들은 국내의 설계기준 허용치 -5.0m와 일본의 설계기준인 허용치 -3.0m 이내이므로 방류관 전단면의 형상 설계는 모두 적절하다고 판단할 수 있다.

기본설계안에 대한 실험은 그림 3(b)와 같은 위치에 PMF시 최대수위 EL.119.0m의 수위를 유지시키면서 기본계획 검토와 같이 총 5가지 경우에 대한 압력수두를 측정하였다. 그 결과중 수문 5m 개도시 하부 우측단면과 하부 중앙단면에서의 압력수두 측정결과를 표 5에 나타내었다.

그림 7(a), (b)는 상단면, (c)는 측면, (d), (e)는 하단면의 각 개도별 압력수두 분포를 나타낸 것이며, 상단면 (a), (b)는 수문 직상류부분에 압력이 크게 발생하는 경향을 보이며 측면부 (c)에서는 수문에 접근하면서 압력이 낮아지는 경향을 보였다. 또한, 상부 측면부 모든 단면에서는 (-)압력수두 부압이 측정되지 않았다. 그러나, 하부단면 (d), (e)에서는 방류관 수문 유입부를 지나면서 단차로 인해 압력이 감소하다가 단차를 지난 후 21.3m 정도의 과압이 발생하였다가 변곡점을 지나면서 흐름이 고속의 수류가 되어 하부 우측면 -2.39m, 하부 중앙면 -2.5m의 부압이 발생되었다. 본 실험에서 측정된 부압은 국내 댐설계기준 -5.0m, 국외 일본의 하천사방시설기준 허용치인 -3.0m 이내이므로 기본설계에서 설계한 방류관의 중단형상 또한 기본계획과 마찬가지로 적절하다고 할 수 있다.

4. 결 론

본 수리모형실험을 이용한 방류관 적정성 검토한 결

과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 기본계획안의 통수능력 검토결과 실험치가 설계치보다 크게 측정되었으며, 이것은 유량계수 적용시 설계치에 과소한 값을 사용하였음을 나타낸다. 결국, 기본계획안의 방류관 규모는 과소설계되어 적정 통수능을 확보치 못하므로 설계의 재검토 필요성을 입증하였다.
- (2) 기본계획안 재검토 방류관의 위치 및 규모 변경한 기본설계안의 방류관 통수능력 및 유량계수를 실험치와 비교한 결과 유사하게 측정되어 방류관 규모 및 위치는 적절한 것으로 나타났다.
- (3) 기본계획안의 방류관 단면에 대한 압력수두 측정결과 최대 -1.86m, 최소 -0.83m의 부압이 측정되었다. 이 값은 국내 및 국외(일본)허용치인 -5.0m, -3.0m보다 작으므로 기본계획에서 설계한 방류관 중단형상은 적절한 것으로 판명되었다.
- (4) 기본계획의 방류관 중단형상은 적절하게 판단되었으나, 효율성, 수리학적 특성 등을 고려하여 재설계한 기본설계의 방류관 단면에 대한 압력수두 측정결과 최대 -2.56m의 부압이 측정되나 이 값은 국내의 댐설계기준 및 국외 일본 건설성의 하천사방시설기준의 허용치인 -5.0m, -3.0m보다 작으므로 기본설계에서 설계한 방류관 중단형상은 적절한 것으로 판명되어 결국, 한탄강댐 방류관에 대한 통수능 및 부압발생을 종합한 결과, 기본계획안을 수정한 기본설계안이 최종적인 설계안으로서 적절함이 입증되었다.

참 고 문 헌

- 건설교통부(2001). **댐설계기준**.
건설교통부 국립건설시험소(1997). **남한강 수리모형실험**.
농업기반공사 농어촌연구원(2000). **제주 성읍댐 물넘이 수리모형실험**.
송재우(2001). **수리학**. 구미서관, pp. 391~395.
이길성, 김남일(1997). "3차원 흐름해석을 위한 여수로 유입수로의 2차원 흐름해석", **대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 71~74.
윤용남(1994). **수리학**. 청문각, pp. 502~507.
한국수자원공사(2002). **한탄강댐 기본설계 보고서**.
柏井條介, 中西 徹(1988). "一面 ヘルマウス式ダム放流管流入部の水理特性", **ダム水理關係表論文集 資料**

-V, 建設省土木研究所, pp. 187~192.
日本工營株式會社(1999). 灰塚ダム水理設計業務報告書.
山海堂(1995). ダム水理施設の計算例 實際に役立つ水
理計算例.

山海堂(2000). 建設省 河川砂防施設基準(案) 同解説(設
計編).

(논문번호:03-42/접수:2003.04.21/심사완료:2003.09.08)