삼각형 단일 Labyrinth 위어의 수리특성 연구

A Study on Hydraulic Characteristics for Labyrinth Weir of Triangle Single Type

임장혁* · 박영진** · 백경원*** · 송재우****

Im, Jang Hyuk · Park, Young Jin · Baek, Kyung Won · Song, Jai Woo

Abstract

Labyrinth weir is a hydraulic structure that can maintain constant water depth and increase overflow rate by increasing overflow width of weir through complicated displacement of its cross section. The labyrinth weir can be widely applied to various hydraulic facilities such as dam spillway, irrigation facilities, and canal structures. To date, however, few labyrinth weirs were applied to hydraulic facilities in Korea. Hence, in-depth research on labyrinth weir is highly required to efficiently apply the labyrinth weir to hydraulic facilities.

This study was performed to analyze the hydraulic characteristics according to triangle labyrinth weir using hydraulic model experiments. The hydraulic characteristics provided in this study, which make it feasible to increase the overflow rate, and are expected to be widely applied to design of hydraulic facilities such as dam spillway and irrigation system.

key words : labyrinth weir, hydraulic characteristics

1. 서 론

최근 들어 지구 온난화 및 이상기후 현상에 의해 전 세계적으로 국지성 호우가 빈번히 발생되고 있으며, 그 강수량 또한 기존의 통계분석이나 기상관측으로 예측한 범위를 벗어나고 있는 실정이다. 이와 같이, 급격히 증가되는 강수량에 의한 피해에 대비하기 위한 목적으로 2007년까지 대부분 댐에 대한 치수능력 증대 사업이 진행 중이다(건설교통 안전관리 개선방안,2003). 우리나라의 경우 대부분의 기존 여수로의 추가 건설에 의한 댐의 안정성을 확보하고 있으며, 터널이나 개수로 형태의 여수로를 추가로 제작하고 있다. 한편, 댐의 안전성 확보를 위해 이미 국외에서는 다양한 labyrinth 위어를 여수로에 적용하고 있는 실정이다. Labyrinth 위어는 월류부의 평면형상이 직선이 아닌 위어를 의미하며, 일반적으로 삼각형 및 사각형이 주기적으로 설치된 형상을 나타낸다. 동일한 설치 폭에서 평면상의 월류폭이 증가되어 기존 선형 위어보다 수심이 일정하게 유지되고 월류량이 증가되어 여수로 등 수공구조물에 많이 이용되고 있다(Taylor, 1968).

국내 월류량 특성 관련 연구로 최태훈(1987)은 수리모형 실험에 의해 labyrinth 위어의 수리학적 특성과 기존 선형위어와 비교하여 유량비와 효율을 분석하였다. 또한, 박세훈 등(2007)은 중·소규모 댐에 대한 홍수배제능력 증대방안에 대한 연구를 위해 labyrinth 위어 일부를 실험조건에 포함시켜 연구 수행하였다.

국외 연구로는 월류량과 관련하여 labyrinth 위어의 거동을 폭넓게 다룬 연구는 Taylor(1968)에 의해 수행되었으며, 동일한 수로 폭을 가진 예연선형 위어의 흐름에 대한 labyrinth 위어의 유량비에 관한 결과를 제시한 바 있다. Hay와 Taylor(1970)는 삼각형 혹은 사다리꼴 labyrinth 위어의 월류량을 평가하기 위한 기준을 포함한 labyrinth 위어의 설계 과정을 제시하였다. 또한, 이들은 labyrinth 위어의 월류능력은 동일 수두조건에서 선형위어보다 마루 확폭비에 의해 증가하며, 이러한 능력은 상류수두가 작은 경우에 크게 나타난다

* 정회원·홍익대학교 건설도시공학부 토목공학과·방재연구센터 연구원(공학박사)·E-mail : scryer@empal.com
** 정회원·서일대학 토목과·교수·E-mail : propark@seoil.ac.kr
*** 정회원·한림성심대학 토목과·교수·E-mail : kwbaek@hsc.ac.kr
**** 정회원·홍익대학교 건설도시공학부 토목공학과·교수·E-mail :jwsong@www.hongik.ac.kr

고 제시한 바 있다. 이후에도 다수의 연구자들이 수리모형 실험을 수행하여 labyrinth 위어에 관한 연구를 수행하였다. 미 개척국은 Richard Dam labyrinth 여수로의 수리모형실험을 수행하였다. 이 연구의 결과는 Stanley Lake의 labyrinth 위어 설계에 사용되었다(Tullis, 1995).

현재까지 국내연구 동향을 분석한 결과, labyrinth 위어의 수리학적 특성을 파악하기에 불충분할 뿐만 아니라 실제 현장에서 적용 가능한 labyrinth 위어 설계 및 월류량 분석에 사용되기에도 미흡한 실정이므로, 관련 수공구조물에 관한 기초자료 확보 및 설계적용 측면에서 연구가 필요한 실정이다.

2. 연구목적 및 방법

본 연구의 목적은 labyrinth 위어의 대표적이고 일반적인 형상인 삼각형 단일 labyrinth 위어에 대해 월류량 증대효과를 정량화하기 위해 수리모형실험에 의해 수리특성을 분석하여 기초자료 확보 및 보다 정확한 수공구조물 설계에 기여하는데 그 목적이 있다.

3. 수리모형실험

3.1 수리모형실험 장치

본 연구에서 사용된 수리모형실험장치는 그림 1에 나타난 바와 같이, 길이 20m, 폭 0.8m, 높이 0.9m이며, 벽면이 아크릴로 된 직사각형 개수로 실험 장치를 개조하여 사용하였다. 본 연구의 목적에 따라 labyrinth 위어의 형상별 유량계수를 산정하기 위해 폭이 각각 0.3m 및 0.6m인 2개의 수로로 제작하였다. 또한, 수로 길이는 축소 손실의 영향을 최소화하고 흐름의 안정을 위하여 수조로부터 8.0m지점까지 제작하였다. 고수조에는 유량을 조절하기 위한 삼각위어가 설치되어 있으며, 하류단을 월류하는 유량을 측정하기 위해 수조를 설치하였다.

3.2 실험조건 및 방법

3.2.1 실험조건

본 연구에서는 labyrinth의 수리학적 특성 및 유량계수 산정을 위해 다양한 조건에 대해 수리모형실험을 수행하고자 표 1에 제시된 실험조건으로 수행하였다. 다양한 설계조건을 고려하고 기존 실험 연구의 범위를 포함하기 위해 L/W가 2.0에서 10.0의 범위를 갖도록 벽면과의 각 α를 6°, 8°, 10°, 15°, 25°, 35°에 대해 각각 적용하였다. 본 수리모형실험에서는 Hay & Taylor(1970)의 연구결과를 이용하여 W/P를 고정하고, labyrinth 위어의 주요 수리학적 영향인자인 H_t/P를 단일 labyrinth 위어인 경우에는 0.05에서 0.90 범위로, 다중 labyrinth 위어의 경우에는 0.05에서 0.75범위까지 실험 수행하였다. 또한, 일반적으로 위어관련 수리모형실험의 경우에는 표면장력이 실험오차에 크게 작용하므로 이와 관련된 Weber 수를 고려하여 위어 높이인 P에 대한 값을 결정하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 Weber 상사법칙을 이용하여 적용한 위어높이가 150mm 일 때, 실험범위에서 5% 내외의 오차가 발생하는 것으로 나타났다(Falvey, 2003). 또한, 무작위성 오차(Random Error)를 본 유량계수 식으로 분석한 결과, 약 5% 내외의 오차를 나타내어 실험조건이 타당한 것으로 나타났다. 그러나 이러한 오차는 실제 실험에서 크게 산정되는 효과를 나타내므로 실험결과는 약 5% 정도 크게 산정될 수 있다. 또한, Tullis(1995)의 연구결과에 의해 수위 증가에 따라 유량흐름이 비교적 일정한 마루형상인 quarter-round를 이용하여 수리모형실험을 수행하였다.

표 1 수리모형실험 범위 및 조건

위어 형태	위어단면 형상	W (m)	α	P (m)	L/W	H_t/P
labyrinth	삼각형	0.30	6°- 35°	0.15	약 2.0- 10.0	0.05-0.90

실험모형에 적용된 제원의 기하하적 형상은 그림 2에 나타냈다. 이 때 적용된 labyrinth 위어의 유효길이

를 L로 적용하였으며, 형상별 실험모형의 제원은 표 2에 정리하였다. 또한, 그림 3.5부터 3.7에 각 형상별 실험모형을 도시하였다.

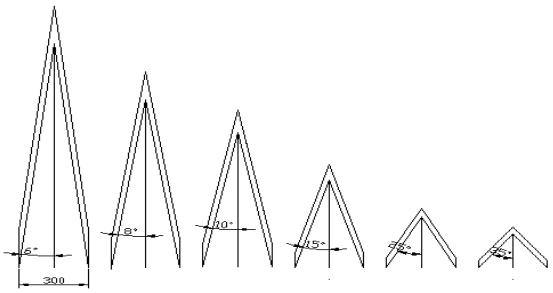

그림 2 삼각형 labyrinth 위어 실험모형

표 2 실험모형의 제원

형상	α (°)	L (m)	L/W	W/P
삼각형	6	287.00	9.57	2.00
	8	215.54	7.18	2.00
	10	172.76	5.76	2.00
	15	115.90	3.86	2.00
	25	70.98	2.37	2.00
	35	52.30	1.74	2.00

3.2.2 실험방법

본 연구에서는 유속 및 수심측정하기 위해 위어 1.5m, 1.2m, 1.0m 후방에 유속계 거치 후, 유속을 측정하였으며, 동일한 위치에 labyrinth 위어의 수면형 변화를 관측하기 위해 피에조 미터 및 포인트 게이지를 이용하여 수심을 측정하였다. 하류단 수조 및 상류단의 삼각위어를 이용하여 월류량을 측정하였으며, 전수두의 변화에 따라 실험을 수행하기 위해 1.5m지점의 수위와 유속을 이용하여 전수두를 측정하였다. 측정된 H_t/P 범위를 0.05에서 0.75까지 측정하고, 실험의 정확성 및 신뢰성을 확보하기 위해 각 실험에 대해 측정치의 오차범위가 5% 이내로 측정될 때까지 반복하였다.

4. 비교 및 분석

본 연구에서는 labyrinth 위어가 기존 선형위어 보다 월류량이 증가하는 효과를 검증하기 위해 유량특성을 분석하였다. 본 연구에서 labyrinth 위어의 유량계수 곡선을 이용하여 분석하였다. 유량은 수리모형실험 결과를 이용하였으며, 유량비는 단일 labyrinth 위어와 동일한 수로 폭, 동일한 마루형상(quarter-round)의 기존 선형위어 유량을 이용하였다. 유량비 산정식은 다음 식(1)과 같다(송재우, 2005).

$$Q_{Dtri}/Q_N = \text{유량비} \tag{1}$$

여기서, Q_{Dtri}는 삼각형 단일 labyrinth 위어의 유량, Q_N은 선형위어의 유량이다.

또한, 접근 유속 및 접근 각도 등을 고려할 수 있는 전수두, H_t/P가 포함된 위어공식을 이용하고 기존 연구자들이 최근 주로 이용하고 있는 labyrinth 위어의 유량특성을 잘 반영할 수 있는 일반적인 선형위어 식을 적용하여 산정하였으며, 사용된 위어공식은 다음 식(2)와 같다.

$$Q = \frac{2}{3} C_D L \sqrt{2g}\, H_t^{3/2},\ C_D = \frac{Q_D}{\frac{2}{3} L \sqrt{2g}\, H_t^{3/2}} \tag{2}$$

여기서, Q는 유량(m^3/sec), C_D은 유량계수, L은 위어 유효 마루 길이(m), g는 중력가속도(m/s^2), H_t는 $H+\frac{V^2}{2g}$(H는 수심)로 속도수두가 포함된 전수두(m)이다. 본 연구에서는 산정된 유량비와 유량계수를 H_t/P에 따라 곡선을 작성하여 분석하였다.

그림 3에 나타난 바와 같이 삼각형 labyrinth 위어의 유량비는 α가 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈으며, H_t/P가 증가할수록 작아지는 경향을 나타냈다. 이러한 결과는 유량비가 아무리 증가하여도, labyrinth 위어와 동일한 길이의 폭을 갖는 수로의 유량보다 클 수 없으므로, H_t/P가 0에 가까워질수록 Q_{Dtri}/Q_N은

L/W 값에 근접한다는 기존 Hay와 Taylor(1970)의 연구와 유사한 경향을 나타냈다. 또한, 유량비에 의해 선형 위어보다 labyrinth 위어의 월류량이 증대되는 것으로 나타났다.

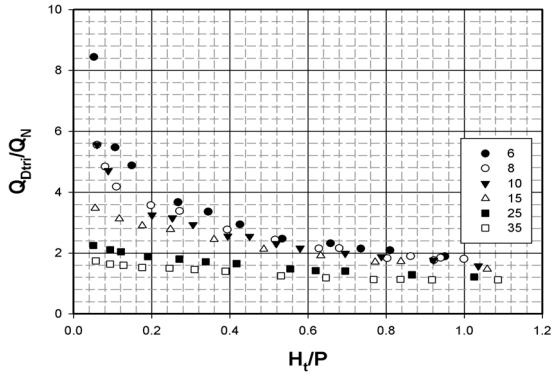

그림 3. 유량비 곡선

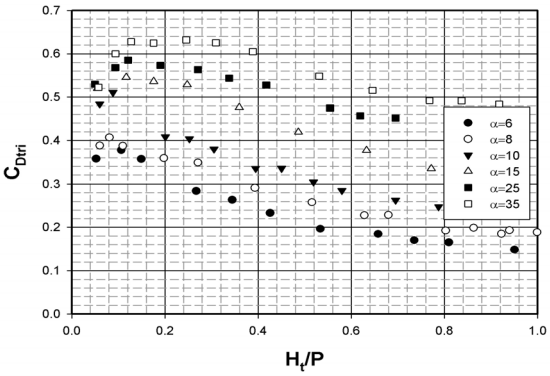

그림 4.15 각도별 유량계수 곡선

그림 4에서 나타낸 바와 같이, 단일 삼각형 labyrinth 위어의 유량계수는 H_t/P를 따라 0.08에서 0.13범위까지, 즉 약 0.1까지 증가하는 경향을 나타내었으나, H_t/P가 약 0.1보다 증가하면 감소하는 곡선의 형태를 나타냈다. 이러한 결과에 의해서 벽면사이의 각, α 가 증가할수록 H_t/P에 대해 증가하는 경향을 나타냈으며, 유효길이가 길수록 작은 유량계수를 갖는 것으로 유량계수의 영향이 감소하는 것으로 분석되었다.

5. 결 론

1. H_t/P가 0에 가까워질수록 Q_{Dtri}/Q_N은 L/W 값에 근접한다는 기존 Hay와 Taylor(1970)의 연구와 유사한 경향을 나타냈다. 또한, 유량비에 의해 선형 위어보다 labyrinth 위어의 월류량이 증대되는 것으로 나타나 월류량 증대가 필요한 댐 여수로나 관개 시설에 유용한 것으로 분석되었다.
2. 벽면사이의 각, α 가 증가할수록 H_t/P에 대해 증가하는 경향을 나타냈으며, 유효길이가 길수록 작은 유량계수를 갖는 것으로 유량계수의 영향이 감소하는 것으로 분석되었다.

향후, 본 연구결과에 의한 수리특성 및 유량계수에 의해 유량계수를 효과적으로 산정할 수 있는 유량계수식의 개발을 기대할 수 있다.

참고문헌

1. 건설교통안전기획단(2003), 건설교통 안전관리개선방안(수자원), 건설교통부
2. 최태훈 (1987). “댐 월류량 증대를 위한 Labyrinth 웨어의 수리학적 특성에 관한 실험적 연구”, 석사학위논문, 연세대학교.
3. 박세훈, 문영일 (2007), “측수로형 여수로의 홍수배제 능력증대를 위한 월류부 개축방안에 관한 연구”, 한국방재학회 논문집, 제 7권 3호, pp. 9-18.
4. Taylor, G., (1968). “The performance of labyrinth weirs.” PhD thesis, University of Notingham, Notingham, England.
5. Hay, N., and Taylor, G., (1970). “Performance and design of labyrinth weirs.” American Society of Civil Engineering, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.96, No.11, pp.2337-2357.
6. Tullis, J.P. and Amanian, N. and Waldron, D.(1995), “Design of labyrinth spillways.” Journal of hydraulic engineering, Vol.121, No.3, pp.247-255
7. 송재우 (2005). “수리학” 구미서관