

# 직사각형 래버린스 위어의 유량 특성에 관한 연구

## Study on Discharge Characteristics of Rectangular Type Labyrinth Weir

임장혁\*, 이진은\*\*, 박영진\*\*\*, 송재우\*\*\*\*

Jang Hyuk Im, Jin Eun Lee, Young Jin Park, Jai Woo Song

### 요 지

본 연구에서는 래버린스 형태 중 비교적 연구가 거의 되어 있지 않은 직사각형 래버린스 위어의 유량특성을 분석하여 월류량 증대효과를 분석하고자 하며 직사각형 래버린스 위어의 복잡한 흐름현상을 구현하기 위해 수리모형실험을 수행하였다. 수리모형실험은 직사각형 래버린스 위어의 다양한 형상을 고려하기 위해 유효길이와 위어 폭 비( $L/W$ )의 범위를 2, 4, 6, 8, 10으로 적용하였다. 또한, 수리모형실험에서 수심 변화에 대한 범위는 전수두와 위어 높이의 비를 0.05에서 0.75범위로 수행하였다. 직사각형 래버린스에 대한 유량 특성을 유량비와 유량계수 곡선을 이용하여 월류량 증대효과를 분석하였다. 그 결과, 직사각형 래버린스 위어의 유량비는  $L/W$ 가 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈으며, 전수두 비( $H_t/P$ )가 증가할수록 작아지는 경향을 나타냈다. 즉, 일반 선형 위어보다 월류량 증대하는 효과가 낮은 전수두 비에서 발생하는 것으로 분석되었으며, 월류량 증대를 위한 수공구조물 설계의 기초자료로 활용이 가능할 것이다. 향후, 유량계수를 예측하는 관련 식이나 기법을 개발하여 효과적으로 래버린스 위어의 유량을 산정할 수 있을 것이다.

**핵심용어 : 직사각형 래버린스 위어, 월류량 증대, 유량 특성**

### 1. 서 론

래버린스 위어는 평면상의 형태가 직선이 아닌 위어로 정의되며, 대부분 삼각형 및 사다리꼴 형을 사용하고 있다. 또한, 하천의 친수환경 조성을 위한 수심 확보를 위해 다양한 보 시설에 대한 연구가 필요하다. 외국에서는 이러한 월류량 증대 및 하천 유량 및 수심확보를 위해 래버린스 위어를 이용하고 있다(Taylor, 1968). 최근 증가되는 있는 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. 최근 이상기후 현상에 의해 국지성 호우가 빈번히 발생되어 댐과 같은 수공구조물의 월류량 증대를 위한 연구가 요구되고 있다.

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

국외 연구로는 월류량과 관련하여 래버린스 위어의 거동을 폭넓게 다룬 연구는 Taylor(1968)에 의해 수행되었으며, 동일한 수로 폭을 가진 예연선형 위어의 흐름에 대한 래버린스 위어의 유량비에 관한 결과를 제시한 바 있다. Hay와 Taylor(1970)는 삼각형 혹은 사다리꼴 래버린스 위어의 월류량을 평가하기 위한 기준을 포함한 래버린스 위어의 설계 과정을 제시하였다. 또한, 이들은 래버린스 위어의 월류능력은 동일 수두 조건에서 선형위어보다 마루 확폭비에 의해 증가하며, 이러한 능력은 상류수두가 작은 경우에 크게 나타난다고 제시한 바 있다. 이후에도 다수의 연구자들이 수리모형 실험을 수행하여 래버린스 위어에 관한 연구를 수행하였다. 미 개척국은 Richard Dam 래버린스 여수로의 수리모형실험을 수행하였다. 이 연구의 결과는

\* 정회원.현대건설(주) 건설기술개발원 기술연구소 선임연구원(공학박사).E-mail : jh\_im@hdec.co.kr  
\*\* 정회원.수성엔지니어링 상무이사(박사과정).E-mail : jelee@soosungeng.com  
\*\*\* 정회원.서일대학 토목과 부교수(공학박사).E-mail : profpark@seoil.ac.kr  
\*\*\*\* 정회원.홍익대학교 건설도시공학부 교수(공학박사).E-mail : jwsong@hongik.ac.kr

Stanley Lake의 래버린스 위어 설계에 사용되었다(Tullis, 1995).

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

## 2. 연구목적 및 방법

본 연구의 목적은 관련 연구가 미흡한 실정인 직사각형 래버린스 위어에 대해 수리모형실험을 통해 유량 특성을 분석하여 월류량 증대 효과를 정량화하고, 관련 수공구조물의 기초자료로 활용될 수 있도록 기여하는데 그 목적이 있다.

## 3. 수리모형실험

### 3.1 수리모형실험 장치

본 연구에서 사용된 수리모형실험장치는 그림 1에 나타난 바와 같이, 길이 20m, 폭 0.6m, 높이 0.9m이며, 벽면이 아크릴로 된 직사각형 개수로 실험 장치를 사용하였다. 또한, 수로 길이는 축소 손실의 영향을 최소화하고 흐름의 안정을 위하여 수조로부터 8.0m지점까지 제작하였다. 고수조에는 유량을 조절하기 위한 삼각 위어가 설치되어 있으며, 하류단을 월류하는 유량을 측정하기 위해 수조를 설치하였다.

### 3.2 실험조건 및 방법

#### 3.2.1 실험조건

본 연구에서는 래버린스의 수리학적 특성 및 유량계수 산정을 위해 다양한 조건에 대해 수리모형실험을 수행하고자 다음과 같은 실험조건으로 수행하였다. 다양한 설계조건을 고려하고 기존 실험 연구의 범위를 포함하기 위해  $L/W$ 가 2.0에서 10.0의 범위를 갖도록 적용하였다. 본 수리모형실험에서는 Hay & Taylor(1970)의 연구결과를 이용하여  $W/P$ 를 고정하고, 래버린스 위어의 주요 수리학적 영향인자인  $H_t/P$ 를 0.05에서 0.75범위까지 실험 수행하였다. 또한, 일반적으로 위어관련 수리모형실험의 경우에는 표면장력이 실험오차에 크게 작용하므로, 이와 관련된 Weber 수를 고려하여 위어 높이인  $P$ 에 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. 실험모형에 적용된 제원의 기하학적 형상은 그림 1에 나타났다. 이 때 적용된 래버린스 위어의 유효길이를  $L$ 로 적용하였으며, 형상별 실험모형의 제원은 표 1에 정리하였다.

#### 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 래버린스 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.

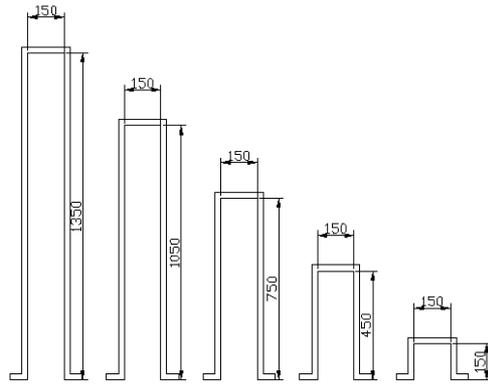


그림 1. 직사각형 래버린스 위어 실험모형

표 1. 실험모형의 제원

$L$ (m)	$L/W$	$W/P$
60	2	2.00
120	4	2.00
180	6	2.00
240	8	2.00
300	10	2.00

#### 4. 비교 및 분석

본 연구에서는 직사각형 래버린스 위어의 주요 인자인  $H_t/P$  와 유량을 고려하여 유량을 그림 1에 도시하여 분석하였다. 직사각형 래버린스 위어의 유량은 1.45l/sec 에서 87.45l/sec 의 범위를 나타냈다.

그림 2에 나타난 바와 같이 직사각형 래버린스 위어의 유량은  $H_t/P$  가 증가할수록  $L/W$  가 커질수록 유량이 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 유효길이가 증가함에 따라 월류량이 증가하는 래버린스 위어의 일반적인 유량특성과 일치하였다. 본 연구에서는 직사각형 래버린스 위어의 유량증대효과를 분석하기 유량비를 이용하였다. 본 연구에서 사용된 유량비는 래버린스 위어와 동일한 수로 폭, 동일한 마루형상 (quarter-round)의 기준 선형위어 유량을 이용하였다. 유량비 산정식은 다음 식(1)과 같다.

$$Q_{Lrec}/Q_N = \text{유량비} \quad (1)$$

여기서,  $Q_{Ltra}$  는 직사각형 단일 래버린스 위어의 유량,  $Q_N$  은 선형위어의 유량이다.

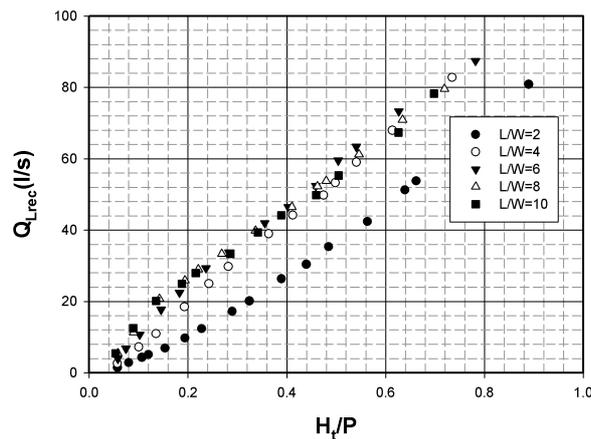


그림 2. 직사각형 labyrinth 위어의 유량곡선

직사각형 래버린스 위어의 유량비를  $H_t/P$  에 따라 그림 3에 도시하여 분석하였으며,  $Q_{Lrec}/Q_N$  는 1.24에서 9.61의 범위를 나타냈다. 그림 2에 나타난 바와 같이 유량비는 각도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈으며,  $H_t/P$  가 증가할수록 작아지는 경향을 나타냈다. 이러한 결과는 유량비,  $Q_L/Q_N$  이 아무리

증가하여도, labyrinth 위어와 동일한 길이의 폭을 갖는 수로의 유량보다 클 수 없으므로,  $H_t/P$ 가 0에 가까워질수록  $Q_{Lrec}/Q_N$ 은  $L/W$ 의 값에 근접한다는 기존 Hay & Taylor(1970)의 연구와 유사한 경향을 나타냈다. 또한,  $H_t/P$ 가 0.4이하인 경우에서 유량비가 현저하게 증가하는 경향을 나타냈으며, 이러한 결과는 본 실험조건 범위가 고려된다면 직사각형 labyrinth 위어의 설계조건으로 활용이 가능할 것이다.

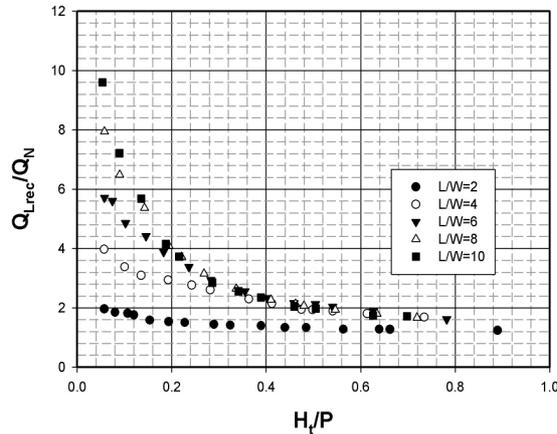


그림 3. 직사각형 래버린스 위어의 유량비

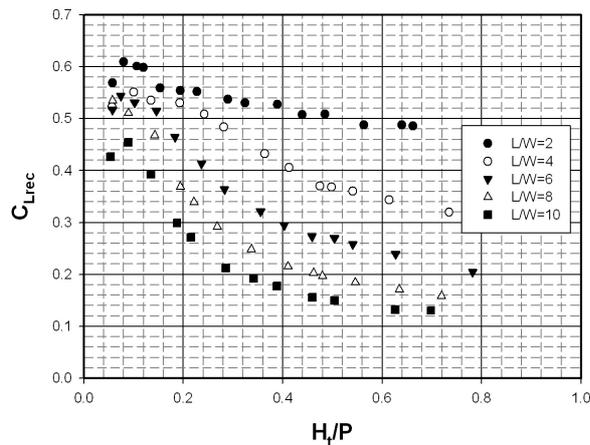


그림 4. 직사각형 래버린스 위어의 유량계수

또한, 본 연구에서는 직사각형 래버린스 위어의 유량특성 중에 주요인자인 유량계수에 관한 연구를 다음과 같이 수행하였다. 본 연구에서는 접근 유속 및 접근 각도 등을 고려할 수 있는 전수두,  $H_t/P$ 가 포함된 위어공식을 이용하고 기존 연구자들이 최근 주로 이용하고 있는 래버린스 위어의 유량특성을 잘 반영할 수 있는 일반적인 선형위어 식을 적용하여 산정하였으며, 사용된 위어공식은 일반 선형 위어식으로 유량계수 식은 다음 식(2)와 같다(임장혁, 2007).

$$Q_{Lrec} = \frac{2}{3} C_{Lrec} L \sqrt{2g} H_t^{3/2},$$

$$C_{Lrec} = \frac{Q_{Lrec}}{\frac{2}{3} L \sqrt{2g} H_t^{3/2}} \quad (2)$$

여기서,  $Q_{Lrec}$ 은 유량( $m^3/sec$ ),  $C_{Lrec}$ 은 유량계수,  $L$ 은 위어 유효 마루 길이( $m$ ),  $g$ 는 중력가속도 ( $m/s^2$ ),  $H_t$ 는  $H + \frac{V^2}{2g}$  ( $H$ 는 수심)로 속도수두가 포함된 전수두( $m$ )이다. 본 연구에서는 산정된 유량비와 유량계수를  $H_t/P$ 에 따라 곡선을 작성하여 분석하였다.

그림 4에 나타낸 바와 같이, 직사각형 래버린스 위어의 유량계수,  $C_{Lrec}$ 은 일반 선형위어 식을 이용하여 산정하였으며, 유량계수는 0.131에서 0.609의 범위를 나타냈다. 그림 4에서 나타낸 바와 같이, 유량계수는  $H_t/P$ 가 0.08까지는 증가하는 경향을 나타냈으며,  $H_t/P$ 가 0.08보다 크면 감소하는 경향을 나타냈다. 유량계수가 감소하는 구간이  $L/W$ 가 증가할수록 짧아지는 것으로 나타났다.  $L/W$ 가 증가할수록  $H_t/P$ 에 대해 감소하는 경향을 나타냈으며, 직사각형 래버린스의 유효길이가 길수록, 작은 유량계수를 갖는 것으로 유량계수의 영향이 감소하는 것으로 판단되었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 직사각형 래버린스 위어의 유량특성을 수리모형실험을 통해 연구하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 직사각형 래버린스 위어의 유량비는  $H_t/P$ 가 0에 가까워질수록  $L/W$  값에 근접한다는 기존 Hay와 Taylor(1970)의 연구와 유사한 경향을 나타냈다. 또한, 유량비에 의해 선형 위어보다 래버린스 위어의 월류량이 증대되는 것으로 나타났으며, 유량비에 의해 정량화가 가능한 것으로 나타나 월류량 증대가 필요한 댐 여수로나하천시설에 래버린스 위어가 적용이 가능할 것으로 분석되었다.

2. 직사각형 래버린스 위어의 유량계수는  $H_t/P$ 가 0.08까지는 증가하는 경향을 나타냈으며,  $H_t/P$ 가 0.08보다 크면 감소하는 경향을 나타냈으며, 유량계수가 감소하는 구간이  $L/W$ 가 증가할수록 짧아지는 것으로 나타났다. 이러한 직사각형 래버린스 위어의 유량특성은 본 실험 범위 내에서 관련 수공구조물의 기초 자료로 활용이 가능할 것이다.

3. 직사각형 래버린스 위어는  $L/W$ 가 증가할수록  $H_t/P$ 에 대해 감소하는 경향을 나타냈으며, 유효길이가 길수록, 작은 유량계수를 갖는 것으로 유량계수의 영향이 감소하는 것으로 판단되었다.

본 연구에서 제시된 유량비와 유량계수는 관련 수공구조물의 기초자료로 설계에 활용이 가능하며, 향후, 본 연구결과에 의한 수리특성 및 유량계수에 의해 직사각형 래버린스 위어의 월류량을 효과적으로 산정할 수 있는 유량계수식 제시할 수 있을 것이다. 또한, 래버린스 위어의 형상 비교 연구도 수행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 건설교통안전기획단(2003), 건설교통 안전관리개선방안(수자원), 건설교통부
2. 박세훈, 문영일 (2007), “측수로형 여수로의 홍수배제 능력증대를 위한 월류부 개축방안에 관한 연구”, 한국방재학회 논문집, 제 7권 3호, pp. 9-18.
3. 임장혁(2007), “Labyrinth 위어 형상에 따른 유량계수 산정”, 박사학위논문, 홍익대학교
4. 최태훈 (1987). “댐 월류량 증대를 위한 래버린스 웨어의 수리학적 특성에 관한 실험적 연구”, 석사학위논문, 연세대학교.
5. Taylor, G., (1968). "The performance of labyrinth weirs." PhD thesis, University of Nottingham, Nottingham, England.
6. 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.
7. 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