

사다리꼴 labyrinth 위어의 수심변화에 대한 연구

Study on Water Depth Variation of Trapezoidal Shape Labyrinth Weir

임장혁*, 이진은**, 김영호***, 송재우****

Jang Hyuk Im, Jin Eun Lee, Young Ho Kim, Jai Woo Song

요 지

Labyrinth 위어는 평면상의 단면 형상이 직선이 아닌 위어로 정의된다. 이러한 labyrinth 위어는 월류량 증대, 수질개선, 수심유지 효과가 필요한 수공구조물에 이용되고 있다. 특히, labyrinth 위어의 수심유지 효과는 운하 및 하천에 적용될 경우, 관련 수공구조물의 수심 확보 측면에서 기여할 수 있다. 또한, 향후 운하 및 주운에 관심이 증대되고 있어 연구 가치가 충분하다. 본 연구에서는 주로 실무에서 이용되고 있는 사다리꼴 형상의 labyrinth 위어의 접근 수심변화에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 복잡한 labyrinth 위어의 흐름현상을 고려하기 위해 수리모형실험을 실시하여 분석하였다. 수리모형실험 조건은 labyrinth 위어의 다양한 형상을 고려하기 위해 벽체와의 사이 각(α)을 6° , 8° , 10° , 15° , 25° , 35° 로 적용하였다. 또한, 수리모형실험에서 수심 변화는 전수두와 위어 높이비를 0.05에서 0.75범위로 수행하였다. 본 연구의 실험조건에서 연구된 결과, 사다리꼴 labyrinth 위어의 수심유지 효과는 일반 선형 위어에 비해 길게 나타났으며, 수심유지효과의 범위를 제시하였다. 이러한 결과는 수심 확보가 필요한 수공구조물의 기초자료로 활용될 수 있다.

향후 연구가 더 진행된다면, 수심유지 효과를 효과적으로 예측할 수 있는 관련 식이나 기법을 개발할 수 있다.

핵심용어 : labyrinth 위어, 수심유지효과, 수공구조물

1. 서 론

Labyrinth 위어는 평면상의 단면 형상이 직선이 아닌 위어로 정의된다. 이러한 labyrinth 위어는 월류량 증대, 수질개선, 수심유지 효과가 필요한 수공구조물에 이용되고 있다. 특히, labyrinth 위어의 수심유지 효과는 운하 및 하천에 적용될 경우, 관련 수공구조물의 수심 확보 측면에서 기여할 수 있다. 또한, 향후 운하 및 주운에 관심이 증대되고 있어 연구 가치가 충분하다.

Labyrinth 위어는 월류부의 평면형상이 직선이 아닌 위어를 의미하며, 일반적으로 사다리꼴 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).

또한, labyrinth 위어는 하천 내 수리시설로 수질 개선 등에 이용할 수 있으며, 수심을 일정하게 유지하는 특성을 가지고 있어 운하 및 주운, 관개시설에 활용이 가능하나 아직 적용된 바는 없다(Falvey, 2003). 또한, 수질개선 효과는 높은 재폭기 효율에 의해서 가능하다. Labyrinth 위어에서 재폭기 효율은 마루 길이의 증가와 월류 흐름이 서로 충돌하면서 발생하는 흐름의 분리, 하류부의 난류 증가로 인한 기포의 체류시간 증가 등에 의해서 발생된다(유대영 등, 2002). 국내에서는 labyrinth 위어가 실제 수리시설로 사용되는 경우는 거의 전무한 실정이며, 국외에서 labyrinth 위어는 댐의 여수로 및 관개시설 등에 이용되고 있다. 또한, 다양한 수

* 정회원.홍익대학교 방재연구센터 연구원(공학박사):E-mail : scryer@empal.com
** 정회원.건화엔지니어링 수자원부 전문이사(박사과정):E-mail : jelee@soosungeng.com
*** 정회원.석탑엔지니어링 수자원환경부 상무이사(박사과정):E-mail : yhkim1115@soktop.co.kr
**** 정회원.홍익대학교 토목공학과 교수:E-mail : jwsong@hongik.ac.kr

공구조물에 활용이 가능하여 학문적으로도 지속적인 연구 가치와 필요성이 충분하다. 또한, 댐 안정성 확보나 운하 및 관개시설에 대한 수리특성 연구는 이상기후에 따른 강우량 증대 및 운하관련 사업에 대한 관심 증가로 국내에서 연구의 필요성이 대두되고 있다.

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. 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 연구동향을 분석한 결과, labyrinth 위어의 수심변화에 대한 연구는 미흡한 실정이므로, 관련 수공구조물에 관한 기초자료 확보 및 설계적용 측면에서 연구가 필요한 실정이다.

2. 연구목적 및 방법

본 연구의 목적은 labyrinth 위어의 대표적이고 가장 많이 이용되고 있는 사다리꼴 labyrinth 위어에 대해 수리모형실험을 통해 수심변화를 분석하여 일정한 수심이 요구되는 수공구조물의 설계에 기초자료로 활용하는데 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 각 0.6m인 수로를 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/W 가 2.0에서 10.0의 범위를 갖도록 벽면과의 각 α 를 6°, 8°, 10°, 15°, 25°, 35°에 대해 각각 적용하였다. 본 수리모형실험에서는 Hay & Taylor(1970)의 연구결과를 이용하여 W/P 를 고정하고, labyrinth 위어의 주요 수리학적 영향인자인 H/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.

모형실험의 전경은 그림 2에 나타났다. 이 때 적용된 labyrinth 위어의 유효길이를 L 로 적용하였으며, 형상별 실험모형의 제원은 표 2에 정리하였다.

표 1. 수리모형실험 범위 및 조건

위어형태	위어단면형상	$W(m)$	α	$P(m)$	L/W	H_t/P
labyrinth	사다리꼴	0.30	6°- 35°	0.15	약 2.0- 10.0	0.05-0.90

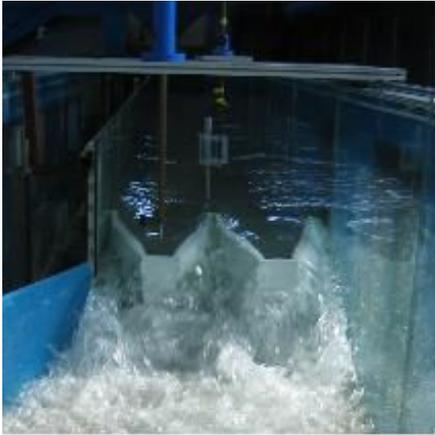


그림 1. 수리모형실험 전경

표 2. 실험모형의 제원

형상	$\alpha(^{\circ})$	$L(m)$	L/W	W/P
사다리꼴	6	201.34	6.71	2.00
	8	153.70	5.12	2.00
	10	125.58	4.19	2.00
	15	87.20	2.91	2.00
	25	57.60	1.92	2.00
	35	44.80	1.49	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

그림 2에 나타난 바와 같이, 사다리꼴 labyrinth 위어의 수심변화를 나타냈다. H_t/P 가 증가함에 따라 수심이 증가하였으며, 위어 중점부로 갈수록 수심이 점차 감소되는 경향을 나타냈다. 수심은 α 전 범위에 대해서 위어 시점부까지는 거의 일정하게 유지되었으며, 위어 시점부에서 중점부까지 급한 경사로 감소하는 경향을 나타냈다.

또한, 사다리꼴 labyrinth 위어의 경우에는 위어 시점부까지는 모든 범위에서 수심유지 효과가 발생하였으며, H_t/P 가 0.23에서 0.42범위까지 α 에 따라 위어 중점부까지 수심이 유지되었다. 6°에서 10°까지는 H_t/P 가 0.5미만의 범위에서 중점부의 수심은 미소하게 증가하는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 중점부의 정체효과에 의해서 발생하는 것으로 분석되었다. 또한, labyrinth 위어의 수리특성 중 하나인 수심유지 효과를 분석하기 위해 표 3에 사다리꼴labyrinth 위어의 형상에 따른 수심유지의 위치를 H_t/P 범위로 나타냈다. 표 3에 나타난 바와 같이, 사다리꼴 labyrinth 위어의 경우에는 수심이 유지되는 범위가 대체로 벽면과의 각, α 가 증가할수록 일정하게 유지 되는 것으로 나타났다. 위어 시점부까지는 모든 범위에서 수심유지 효과가 발생하였다. 6°에서 10°까지는 H_t/P 가 약 0.5보다 큰 위어 중점부에서 수심이 급격하게 감소되었으며, 이러한 현상은 사다리꼴 labyrinth 위어의 큰 월류량 증가에 의해서 발생하는 것으로 추측되었다.

수심변화를 보다 정량적으로 비교분석하기 위해 표 3을 이용하여 도시하였다. 여기서, 구간별 최대수심유지 H_t/P 범위를 위어중점부에서 거리, D 와 labyrinth 위어의 수직거리, S 를 이용하여 무차원화하여 D/S

에 대해 표 3의 최대 수심유지 값을 도시하였다. 도시된 결과는 그림 3에 나타났다.

그림 3에 나타낸 바와 같이, 수심유지거리는 $D/S=1$, 즉 위어 시점부에서는 α 가 증가함에 따라 수심유지효과가 나타나는 H_i/P 의 범위가 낮게 나타났으며, 수심유지거리는 $D/S=0.5$ 일 때도 유사한 경향이 나타났다. 이러한 결과는 labyrinth 위어의 경우 월류량이 증가하여 H_i/P 가 감소되는 것에서 기인한 것으로 분석되었다. 향후, 도시된 인자에 대한 분석을 통해 정량적인 수심 유지범위의 예측이 가능할 것이다. 이와 같이, 본 연구에서 분석된 형상에 따른 수심유지에 관한 H_i/P 의 범위는 일정한 수심 유지가 필요한 운하, 관개시설 등에 이용할 수 있을 것이다.

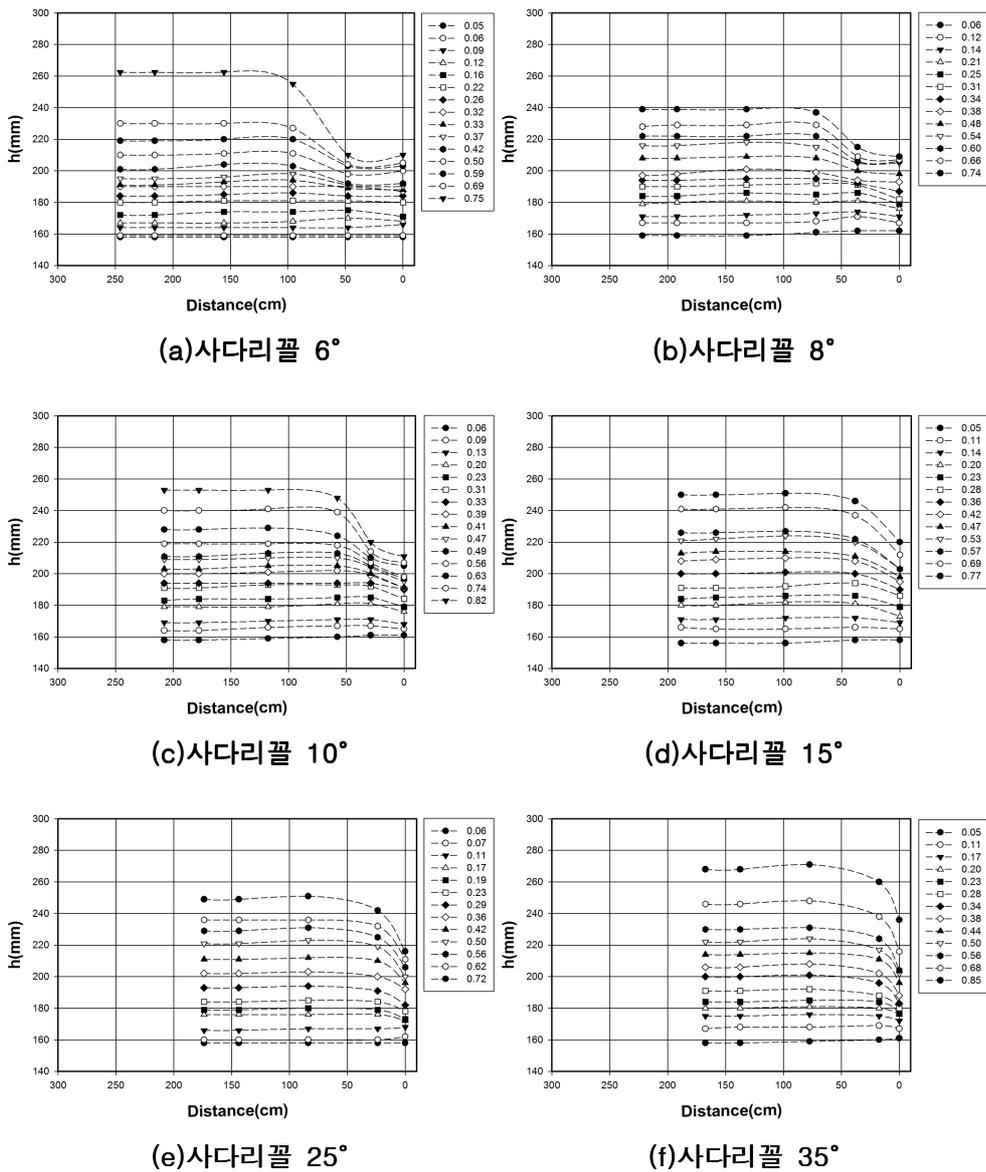


그림 2. 사다리꼴 다중 labyrinth 위어의 수심변화

5. 결론

1. 사다리꼴 labyrinth 위어의 수심변화는 H_i/P 가 증가함에 따라 수심이 증가하였으며, 위어 종점부로

갈수록 수심이 점차 감소되는 경향을 나타냈다. 수심은 α 전 범위에 대해서 위어 시점부까지는 거의 일정하게 유지되었으며, 위어 시점부에서 종점부까지 급한 경사로 감소하는 경향을 나타냈다.

2. 사다리꼴labyrinth 위어의 형상에 따른 수심유지의 위치를 H/P 범위로 나타내어 분석한 결과, 수심이 유지되는 범위가 대체로 벽면과의 각, α 가 증가할수록 일정하게 유지 되는 것으로 나타났다. 위어 시점부까지는 모든 범위에서 수심유지 효과가 발생하였다.

3. 수심유지거리는 $D/S=1$, 즉 위어 시점부에서는 α 가 증가함에 따라 수심유지효과가 나타나는 H/P 의 범위가 낮게 나타났으며, 수심유지거리는 $D/S=0.5$ 일 때도 유사한 경향이 나타났다. 이러한 결과는 labyrinth 위어의 경우 월류량이 증가하여 H/P 가 감소되는 것에서 기인한 것으로 분석되었다.

향후, 도시된 인자에 대한 분석을 통해 정량적인 수심 유지범위의 예측이 가능할 것이다. 이와 같이, 본 연구에서 분석된 형상에 따른 수심유지에 관한 H/P 의 범위는 일정한 수심 유지가 필요한 운하, 관개시설 등에 이용할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 송재우 (2008). “수리학” 구미서관
2. 유대영, 김성태, 우효섭 (2002). “제폭기 효율 증가를 위한 래버린스 보에 관한 연구”, 한국수자원학회 논문집, 제35권 제5호, pp.511-523.
3. Falvey, H., T. (2003), Hydraulic Design of Labyrinth Weirs, ASCE PRESS
4. 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.
5. Taylor, G., (1968). "The performance of labyrinth weirs." PhD thesis, University of Nottingham, Nottingham, England.
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

표 3. 사다리꼴 labyrinth 위어 수심유지 범위

형 상	수심유지 위치	H_t/P 범위
사다리꼴 6°	위어 시점부	$0.33 \leq H_t/P < 0.7$ 5
	위어 중점부	$0.26 < H_t/P < 0.33$
	위어 종점부	$H_t/P \leq 0.26$
사다리꼴 8°	위어 시점부	$0.34 \leq H_t/P < 0.7$ 5
	위어 중점부	$0.21 < H_t/P < 0.34$
	위어 종점부	$H_t/P \leq 0.21$
사다리꼴 10°	위어 시점부	$0.39 \leq H_t/P < 0.7$ 5
	위어 중점부	$0.20 < H_t/P < 0.39$
	위어 종점부	$H_t/P \leq 0.20$
사다리꼴 15°	위어 시점부	$0.42 \leq H_t/P < 0.7$ 5
	위어 중점부	$0.14 < H_t/P < 0.42$
	위어 종점부	$H_t/P \leq 0.14$
사다리꼴 25°	위어 시점부	$0.42 \leq H_t/P < 0.7$ 5
	위어 중점부	$0.11 < H_t/P < 0.42$
	위어 종점부	$H_t/P \leq 0.11$
사다리꼴 35°	위어 시점부	$0.23 \leq H_t/P < 0.7$ 5
	위어 중점부	$0.11 < H_t/P < 0.23$
	위어 종점부	$H_t/P \leq 0.11$

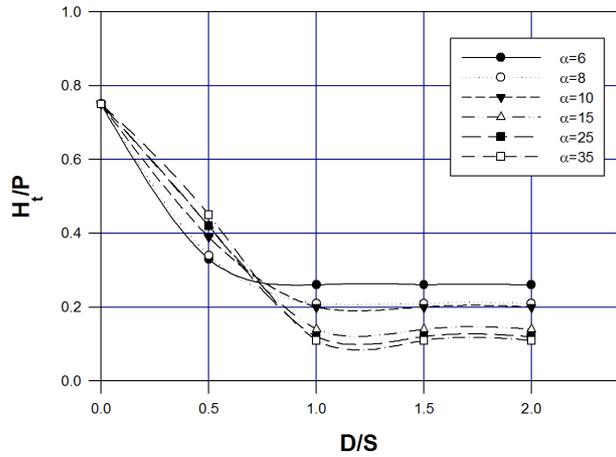


그림 3. 사다리꼴 labyrinth 위어의 최대수심유지 범위