

경사 위어의 유량계수 산정에 대한 연구

Study on Estimation for Discharge Coefficient of Diagonal Weir

임 장 혁* / 진 신 욱** / 송 재 우***

Im, Jang Hyuk / Jin, Sin Wook / Song, Jai Woo

Abstract

This study examined hydraulic characteristics on diagonal weirs with hydraulic experiment and presented a discharge coefficient equation utilizing multiple regression analysis for various design conditions. This study had a object in designing efficiently diagonal weirs utilizing this equation. Diagonal weirs maintained uniformly upstream water level than rectangular suppressed weirs. Also, as installation degrees of diagonal weirs increased, diagonal weirs increased maintenance effects of a upstream water level. Because of these characteristics, diagonal weirs were suitable to canal system. This study presented discharge coefficient equations for diagonal weirs utilizing simple regression analysis. But, these equations are some restrictions on degrees. Therefore, this study presented an equation to estimate directly discharge coefficients to various degrees utilizing multiple regression analysis. This equation was verified by making use of analyses of R^2 , the sum of residuals, MAPE. Therefore, this equation is enable to make good use of a design in diagonal weirs.

keywords : diagonal weirs, long crested weirs, multiple regression analysis, hydraulic experiment

요 지

본 연구에서는 수리모형실험을 이용하여 경사 위어의 수리특성을 분석하였으며, 설계조건을 다양하게 고려 할 수 있도록 다중회귀분석을 통해 유량계수식을 제시하였다. 또한, 제시된 유량계수식을 이용하여 경사 위어의 효과적인 설계에 기여하는데 본 연구의 목적이 있다. 경사 위어는 전폭 위어보다 상류 수면형이 일정 하였으며, 경사 위어 설치각이 증가할수록 수심 유지 효과가 컸다. 이러한 결과로, 전폭 위어보다 마루길이가 증가한 경사 위어는 상류 수위를 일정하게 유지시켜 운하 시스템에 효과적으로 이용 가능할 것이다. 단순회귀분석에 의해 제시된 유량계수식은 적용성이 있는 것으로 나타났으나, 각도에 따른 산정에 제약성을 가졌다. 그러므로, 다양한 각도에 대해 직접적으로 유량계수를 산정하기 위해, 다중회귀분석에 의한 유량계수식을 제시하였다. 제시된 식은 결정계수(R^2), 잔차의 합, MAPE 분석을 통해 검증 하였으며, 경사 위어의 설계에 적용 가능 할 것이다.

핵심용어 : 경사 위어, 긴 마루 위어, 다중 회귀분석, 수리 실험

* 교신저자, 현대건설 기술개발원 기술연구소 선임연구원, 공학박사, 경기도 용인시 기흥구 마북동 102-4(446-716)
Corresponding Author, Senior Researcher, Hyundai Institute of Construction Technology, #102-4 Mabuk-Dong,
Giheung-Gu, Yongin-Si, Kyunggi-Do 446-716, Korea
(e-mail: jh_im@hdec.co.kr)

** 도화종합기술공사 수자원부 사원, 공학석사, 서울시 강남구 역삼동 736-6
Dowha Consulting Engineers Co., LTD., #736-6, Yeoksam-dong, Gangnam-Ku, Seoul 135-080, Korea

*** 홍익대학교 토목공학과 교수, 공학박사, 서울시 마포구 상수동 72-1
Professor, Dept. of Civil Engineering, Hongik Univ., #72-1 Sangsu-Dong, Mapo-Gu, Seoul 121-791, Korea

1. 서론

위어는 가장 오래된 수공구조물의 하나로서 수위 증가, 유량 배분 및 조절, 유량 측정, 유로 방향의 전환 등에 사용되고, 관개시설에 많이 사용되어 왔다. 21세기 들어 국지성 집중호우의 발생빈도가 급증하고 가뭄과 홍수의 빈도가 증가함에 따라, 다양한 수요에 따른 효율적인 수자원 분배의 중요성이 제고되고 있다. 하천수로, 배수로, 관개수로의 기존 폭에서 마루 길이(Crest Length) 확장을 위해 위어 형태를 변화시켜 수리학적으로 더욱 효과적인 위어의 개발이 요구 되었고, 이에 대한 대안으로 긴 마루를 가진 위어(Long Crested Weirs)에 대한 연구가 진행되고 있다.

경사 위어는 마루 길이 증대를 위해 위어 설치 각도를 변형하여 동일 시간에 더 많은 유량을 월류하는 특성이 있다. 이 구조물은 수로 분수공(Turnout)에서도 많은 유량을 다양한 곳에 적절하게 배분 시킬 수 있고, 상류 수위를 일정한 상태로 유지시켜 운하 시스템에서 효과적으로 이용 가능 할 것이다. 또한, 어도의 유속을 저하시키고, 용량을 증대시켜 어류의 상류 이동에도 효과적일 것이다.

본 연구와 관련된 연구를 조사 분석한 결과로, 국외 연구는 다음과 같다. 긴 마루를 가진 위어는 Diagonal 위어(경사 위어), Duckbill 위어, Labyrinth 위어로 분류하는데, Labyrinth 위어의 거동을 다룬 폭넓은 연구는 Taylor(1968)에 의해 수행되었다. Taylor는 같은 수로 폭을 가진 예언 전폭 위어의 흐름과 Labyrinth 흐름의 배율에 관한 결과를 제시했다. 후속연구로 Hay와 Taylor(1970)는 삼각형 혹은 사다리꼴 Labyrinth 위어 월류량을 평가하기 위한 기준을 포함한 Labyrinth 위어 설계 절차를 제시했다. 또한, 경사 위어와 Duckbill 위어의 연구는 Kraatz와 Mahajan(1975)에 의해 수행되어 설계 방법을 제시하였다. 다음으로 Stuart Styles(1992)는 긴 마루 위어의 설계 제원 및 영향 인자들을 소개했

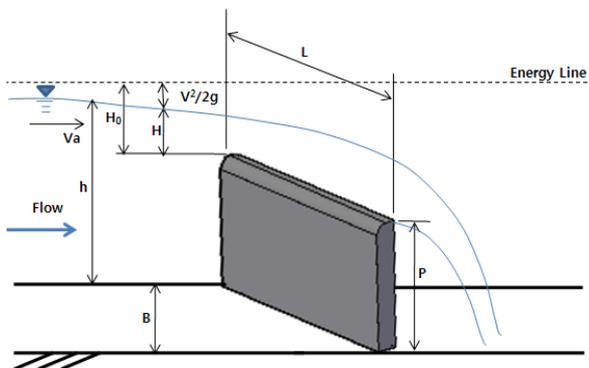


Fig. 1. Outline of Diagonal Weirs

다. 그리고 Mahonri Lee Williams *et al.*(1993)은 긴 마루를 가진 Duckbill 위어의 형태별 유량계수 산정을 위한 실험 논문을 발표했다. 국내에는 많은 연구가 없는 실정이다. 최초로 최태훈 등(1988)은 여수로 월류량 증대방안으로 Labyrinth 위어의 수리학적 특성을 실험으로 규명하였다.

연구 동향을 분석한 결과, 경사위어의 수리 특성과 유량계수에 관한 체계적인 연구가 미흡한 실정이다. 이에 따라, 본 연구에서는 수리모형실험을 이용하여 경사 위어의 수리특성을 분석하였고, 설계조건을 다양하게 고려 할 수 있도록 다중회귀분석을 통해 유량계수식을 제시하였다. 또한, 제시된 유량계수식을 이용하여 경사 위어의 효과적인 설계에 기여하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 기본이론

2.1 경사 위어의 유량공식

본 연구에서는 수리모형실험의 수리학적 분석을 유도하기 위해 관련 이론으로 경사위어의 유량계수식과 차원해석을 적용하였다.

경사 위어의 유량은 다음 Eq. (1)의 방정식을 사용하여 결정한다. 여기서, Q_d 는 경사 위어의 유량(m^3/s), C_d 는 경사 위어의 유량계수, L_d 는 경사 위어의 마루 길이(m), g 는 중력가속도(m/s^2), H_o 는 유속수두 $\frac{v^2}{2g}$ 가 포함된 수두(m)이다.

$$Q_d = \frac{2}{3} C_d L_d \sqrt{2g} H_o^{\frac{3}{2}} \tag{1}$$

Fig. 1은 경사 위어의 흐름의 개요도 및 관련 인자를 도시한 것이고, Fig. 2는 경사 위어의 마루(crest) 제원을 나타낸다.

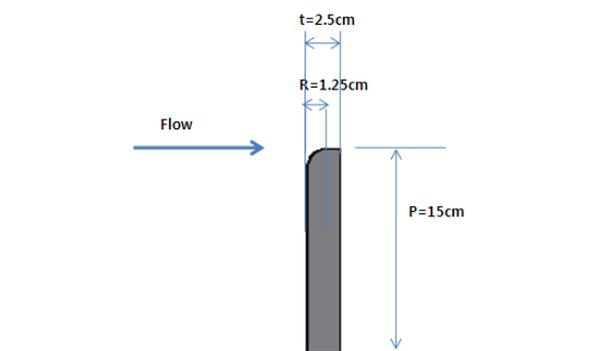


Fig. 2. Shape of Quarter-Round Crest

2.2 경사위어의 차원해석

본 연구에서는 수리모형실험의 주요인자를 결정하기 위하여 모형의 크기 및 유속은 점성과 표면장력의 영향을 무시할 정도의 충분한 크기로 가정하였으며, 정해진 인자들과 그 인자들의 차원을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Influence Factor and Dimension of Diagonal Weir Analysis

Influence Factor	Dimension
Discharge, Q	L^3T^{-1}
Weir crest length, L	L
Channel width, B	L
Weir height, P	L
Wall thickness, t	L
Weir crest radius, R	L
Total head, H_0	L
Acceleration of gravity, g	LT^{-2}

Table 1로부터 기본 차원은 길이(L), 시간(T)의 2개라는 것을 알 수 있으며, Buckingham의 π 정리를 사용하여 정해진 인자들로 차원 균등식을 구하면 Eq. (2)로 나타낼 수 있다.

$$G(Q, L, B, P, t, R, H_0, g) = 0 \quad (2)$$

$\pi_i (i=1, 2, \dots, 6)$ 가 무차원이 되도록 각변의 $X_i, Y_i (i=1, 2, \dots, 6)$ 를 정하여 등가 방정식을 구하면 다음의 Eq. (3)과 같다.

$$G\left[\frac{Q}{H_0^2\sqrt{gH_0}}, \frac{L}{H}, \frac{B}{H_0}, \frac{P}{H_0}, \frac{t}{H_0}, \frac{R}{H_0}\right] = 0 \quad (3)$$

Eq. (3)과 다음과 같은 Eq. (4)으로 바꾸어 쓸 수 있다.

$$\frac{Q}{BH_0\sqrt{(gH_0)}} = f\left[\frac{L}{B}, \frac{B}{P}, \frac{t}{P}, \frac{R}{P}, \frac{H_0}{P}\right] \quad (4)$$

Eq. (4)를 $Q = CBH_0\sqrt{(gH_0)}$ 인 유량관계식을 이용하여 유량계수로 나타내면 Eq. (5)가 된다.

$$C = f\left[\frac{L}{B}, \frac{B}{P}, \frac{t}{P}, \frac{R}{P}, \frac{H_0}{P}\right] \quad (5)$$

Lux(1985) 등의 연구에 의하면 벽두께비(Thickness

Ratio, t/P)는 실험결과에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었으며, Tullis *et al.*(1995)은 위어 적정 두께를 $t = P/6$ 으로 제시하여 본 연구에서는 실험에 적용하므로 무시할 수 있다. 또한, Amanian(1987)의 4가지 Crest 형태별 연구의 Quarter-Round Crest를 사용하여 위어 마루 반경 R 의 영향은 비교적 적은 것으로 나타났다. 연직 형상비(B/P)는 Taylor(1968)에 의해 제시되었으며, B 에 관한 사항으로 무시할 수 있다. 그러므로 본 연구에서 이용하는 영향인자는 Eq. 6과 같이 나타낼 수 있다.

$$C = f\left[\frac{L}{B}, \frac{H_0}{P}\right] \quad (6)$$

3. 수리모형실험

경사 위어를 월류하는 흐름 특성은 정확하게 수학적으로 설명이 불가능함에 따라, 본 연구에서는 경사위어의 수리 특성을 분석하여 수면형과 정확한 유량을 측정하고, 유량계수를 산출하기 위해 수리모형실험을 실행하였다.

마루형태(Crest type)는 Amanian(1987)의 4가지 마루 형태별 연구에서 Quarter-Round 형태가 높은 월류수위에서 월류량 감소가 적어 가장 효과적임을 밝혀 채택하였다. 또한, sharp 형태와 flat 형태 위어는 일반적으로 선호되지 않는다. 왜냐하면 그것들의 crest 계수는 rounded 형태위어의 계수보다 적당히 적기 때문이다 (Falvey, 2003). 가장 효과적이고 실제적인 형상은 quarter round(Amanian, 1987)이 될 수 있다. Quarter-round 형태는 full half-round 형태와 비교해 저수두($H_0/P < 0.5$)에서 작은 C_d 값을 가짐에도 불구하고, 고수두에서 큰 C_d 값이 유지되거나 제어하기 쉽다. 위어 높이(P)는 표면장력 효과가 발생하지 않는 최소 높이인 15cm를 선택하였고, 연직 형상비인 수로폭과 위어높이 비(B/P)는 Taylor(1968)가 수맥간섭의 영향을 최소화하기 위해 2.0 이상을 제시해 수로폭을 30cm로 실험을 수행하였다. 마루 두께(t)도 Tullis *et al.*(1995)이 제시한 $t=P/6$ 에 의해 2.5cm로 결정하였다.

위어 설치각도(α)는 일반 전폭 위어를 0° 로 가정할 때, $15 \sim 75^\circ$ 까지 15° 간격으로 변화시켰다. 또한, 수두비인 수두와 위어 높이 비(H_0/P)는 0.05 ~ 1.0까지 변화시켰다. Table 2는 전폭 위어 및 경사 위어의 제원을 나타낸다.

경사 위어의 표준 유속 측정점은 위어로부터 보통 월류수위의 3 ~ 10배 상류에서 측정하게 되는데, 위어

Table 2. The Dimension of Weirs

Degrees (α)	Crest Length (L, mm)	Crest length over channel width (L/B)
0°	300.00	1.000
15°	310.58	1.035
30°	346.41	1.155
45°	424.26	1.414
60°	600.00	2.000
75°	1159.11	3.864

시작부에서 상류로 600mm(최대 월류수심의 4배) 및 1500mm(최대 월류수심의 10배)에서 유속계를 사용하여 측정하였다.

수위는 포인트게이지 및 피에조미터를 이용하여 위어 시작부 상류로 각 600mm, 1200mm, 1500mm에서 측정하였고, 경사 위어부의 양 끝단 및 중앙부를 측정하였다. 실험수로의 측정부는 Fig. 3에 나타내었다. 또한 경사 위어를 월류하는 유량은 수로에 설치된 유량측정장치를 통해 관측하였다.

4. 실험결과 비교 및 분석

4.1 경사위어의 수면형

경사 위어의 수면형은 위어 상류 수면형과 위어부 수면형으로 나누어 분석하였다. Fig. 4는 위어의 상류 수면형을 도시한 것으로, 종축은 수위(h), 횡축은 측정

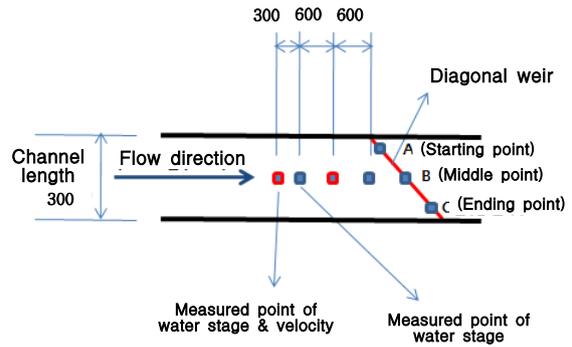
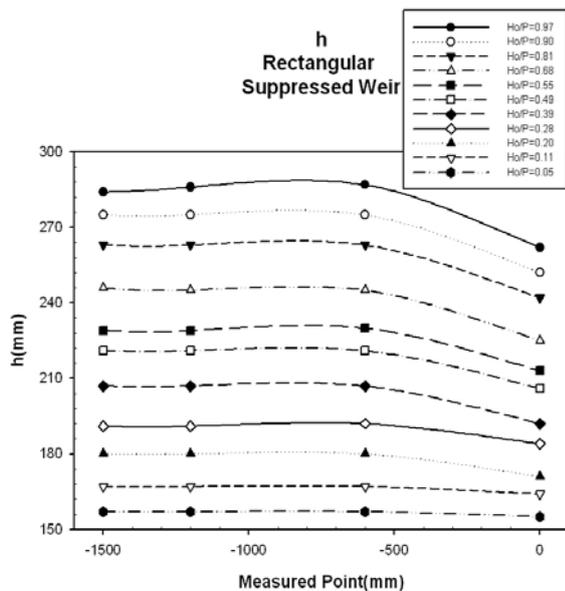


Fig. 3. Measured Point of Experiment

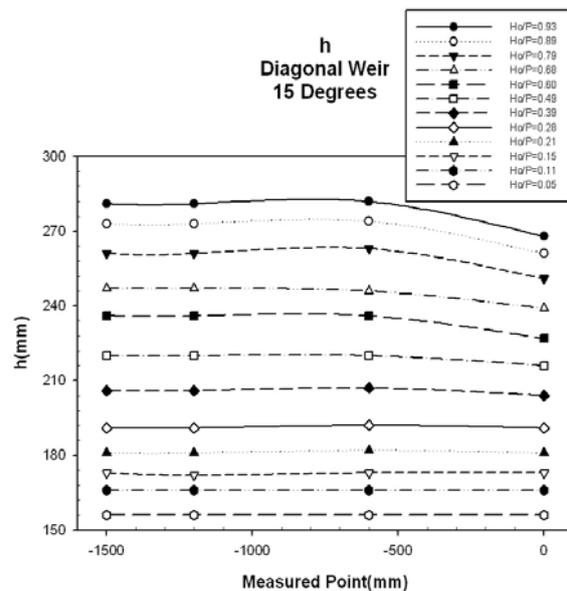
지점으로 위어 시작부에서 상류로 -1500 mm부터 위어 시작부(0 mm)까지의 수면형을 나타낸다.

전폭 위어의 경우, 최고수위에서 위어 상류 1500 mm 지점과 위어 시작부 지점의 수위차가 22 mm 발생했다. 경사 위어의 경우는 15°, 30°, 45°, 60°, 75°에서 상류 1500mm 지점과 위어 시작부 지점의 수위차가 각각 13, 6, 5.5, 3, 2 mm로 각이 증가할수록 감소하였다. 경사 위어는 전폭 위어보다 상류 수면형이 일정 했고, 경사 위어 설치각이 증가할수록 수심유지 효과가 컸다. 이러한 결과로, 전폭 위어보다 마루길이가 증가한 경사 위어는 상류 수위를 일정하게 유지시켜 운하 시스템에서 효과적으로 이용 가능할 것이다.

Fig. 5는 위어부의 월류수심을 도시한 것으로, 종축을 수위(h), 횡축은 측정 지점으로 A점은 위어의 시작부, B점은 위어의 중점부, C점은 위어의 종점부를 나타낸다.

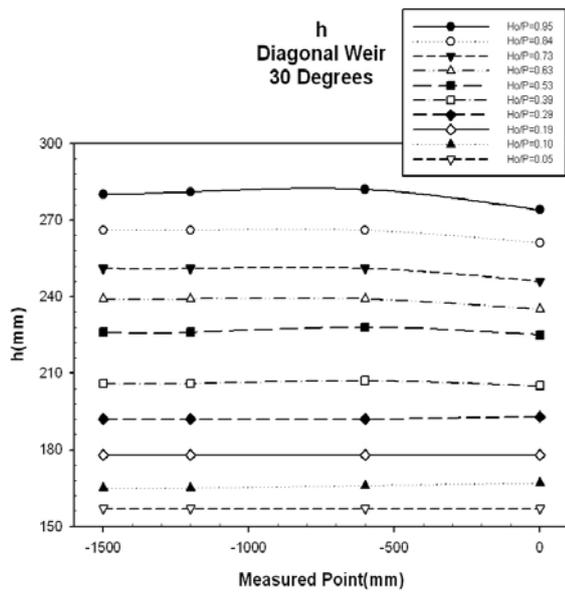


(a) 0 Degrees

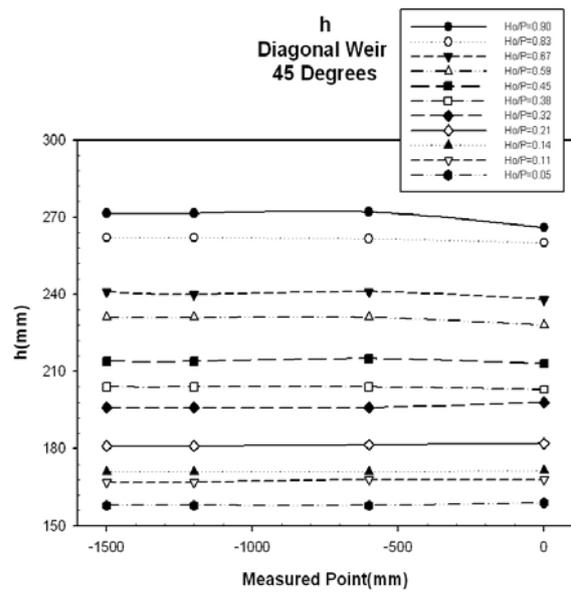


(b) 15 Degrees

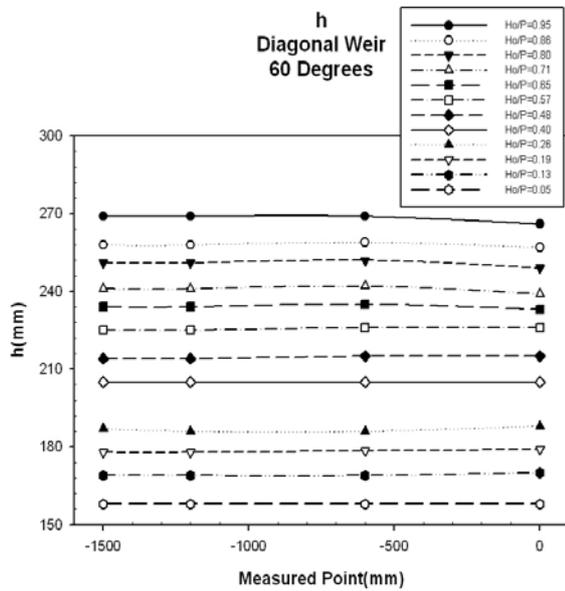
Fig. 4. Variation of Upstream Water Level at Weirs



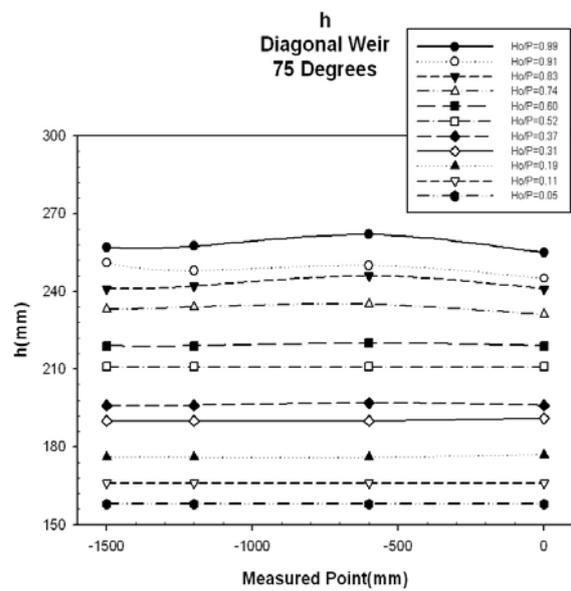
(c) 30 Degrees



(d) 45 Degrees



(e) 60 Degrees



(f) 75 Degrees

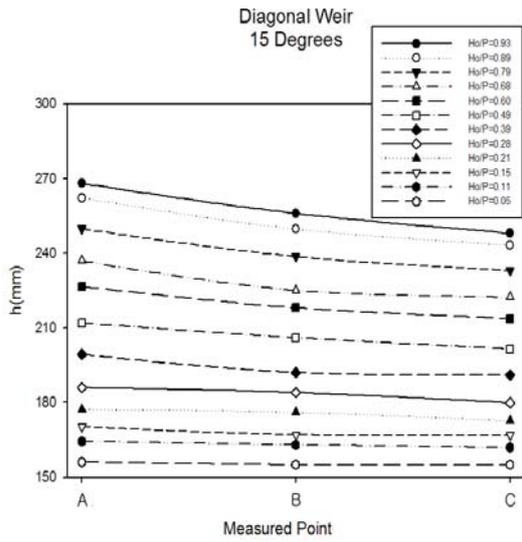
Fig. 4. Variation of Upstream Water Level at Weirs(Continued)

경사 위어부의 월류수심은 Fig. 5에서 나타난 바와 같이 모든 각도에서 경사 위어 시점부 월류수심이 높았다. 이러한 현상은 경사 위어의 기울기 방향에 따라 흐름 저항이 긴 쪽으로 편중되면서 발생하는 것으로 추측되며 본 연구에서는 경사위어의 벽면효과로 정의하였다. 경사위어에서 발생하는 벽면효과는 관련 수공구조물에 수리학적으로 불리한 영향을 나타낼 것으로 예측되며, 이에 대한 대책으로 위어 마루에 좌우 월류수심 차만큼의 횡단경사를 주거나, 시점부의 일부 개방 또는 측면에 직선 구간을 두는 대책 등이 유용할 것이다. 또한 직선구간을 두는 경우에는 흐름의 안정에 기여할 것

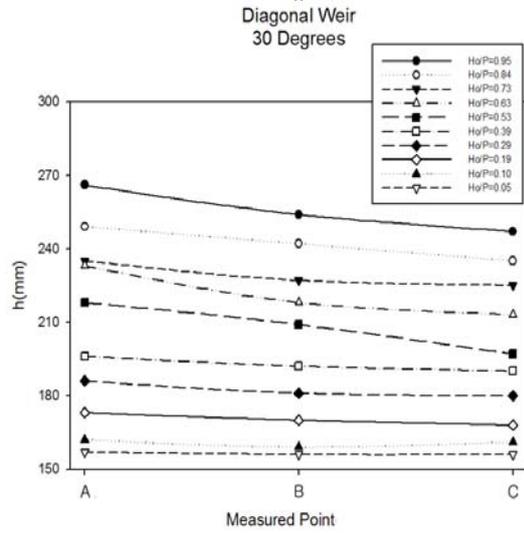
으로 추측된다.

4.2 경사위어의 유량 특성

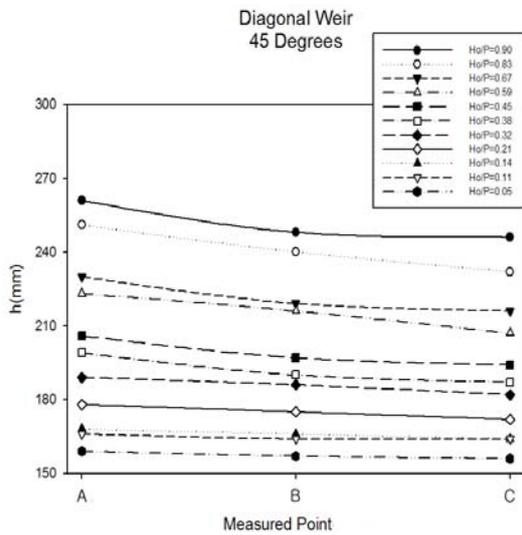
동일 수로폭을 가진 전폭 위어와 경사 위어의 각도별 유량을 비교 분석해 보았다. Fig. 6에 도시된 바와 같이 경사위어의 유량 Q_d 를 전폭 위어의 유량 Q 로 나누어 무차원하여 정량적으로 비교 분석하였고, Table 3은 H_0/P 에 따라 전폭 위어와 경사 위어의 월류량비 Q_d/Q 를 나타낸 것이다. 그 결과, $H_0/P=1.0$ 에서는 경사 위어 15° 경우에 전폭 위어와 비교하여 거의 유사했고, 75°의 경우, 약 1.636배 유량이 더 월류 하였다. 저수두



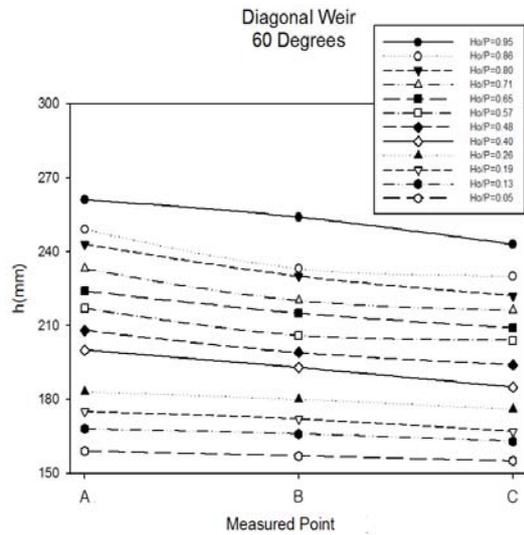
(a) 15 Degrees



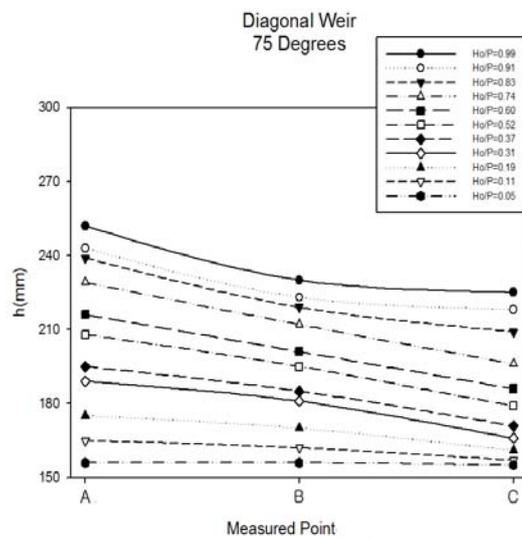
(b) 30 Degrees



(c) 45 Degrees



(d) 60 Degrees



(e) 75 Degrees

Fig. 5. Variation of Water Level at Diagonal Weirs

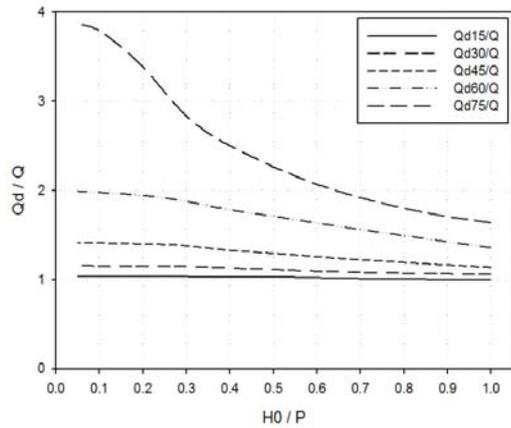


Fig. 6. According to H_0/P , Values of Q_d/Q

비 $H_0/P=0.05$ 에서는 15°의 경우, 약 1.034배, 75°의 경우, 약 최대 3.849배 높았다. 마루 길이가 전폭 위어폭의 정확히 2배인 600mm가 되는 60°의 경우에는 $H_0/P=1.0$ 에서 1.356배, $H_0/P=0.05$ 에서 약 1.989배까지 더 월류하였다. 경사 위어는 월류수심이 낮아질수록 월류량비 Q_d/Q 는 L/B 에 근접하였고, $H_0/P=0.5$ 이하부터 월류량비 증가율이 커져 낮은 월류수심에서 효율적인 것으로 나타났다. 이러한 결과로 용량 증대가 필요한 수공 구조물 및 관개시설에 적용 가능 할 것이다.

4.3 경사위어의 유량계수

4.3.1 단순회귀분석에 의한 유량계수

단순회귀분석은 다양한 회귀모형을 비교하여, 결정계수(R^2)가 높고 잔차의 합이 낮은 3차방정식(Cubic)을 채택하여 적용성을 검증하였다. 채택된 회귀식의 회귀계수, 결정계수, 잔차의 합은 Table 4에 나타내었고, 회귀식은 Eq. (7)과 같다. Fig. 7은 설치 각도별 위어의 유량계수식을 도시한 것이다.

$$C = a + b\left(\frac{H_0}{P}\right) + c\left(\frac{H_0}{P}\right)^2 + d\left(\frac{H_0}{P}\right)^3 \quad (7)$$

Table 4. Coefficients of Cubic Polynomial

α	a	b	c	d	R^2	Sum of residuals
0°	0.570	1.156	-1.936	0.982	0.962	0.001
15°	0.561	1.255	-2.212	1.154	0.967	0.005
30°	0.557	1.176	-2.075	1.049	0.977	0.001
45°	0.534	1.364	-2.712	1.466	0.951	0.001
60°	0.539	1.167	-2.382	1.210	0.952	0.002
75°	0.593	0.276	-1.513	0.978	0.987	0.002

Table 3. According to H_0/P , Values of Q_d/Q

H_0/P	Q_{d15}/Q	Q_{d30}/Q	Q_{d45}/Q	Q_{d60}/Q	Q_{d75}/Q
1	1.000	1.060	1.136	1.356	1.636
0.9	1.000	1.062	1.162	1.423	1.706
0.8	1.004	1.069	1.191	1.492	1.800
0.7	1.009	1.078	1.221	1.561	1.918
0.6	1.017	1.091	1.254	1.632	2.069
0.5	1.030	1.110	1.292	1.710	2.266
0.4	1.031	1.127	1.327	1.782	2.503
0.3	1.032	1.145	1.378	1.876	2.834
0.2	1.033	1.149	1.399	1.943	3.383
0.1	1.033	1.150	1.409	1.976	3.791
0.05	1.034	1.151	1.411	1.989	3.849

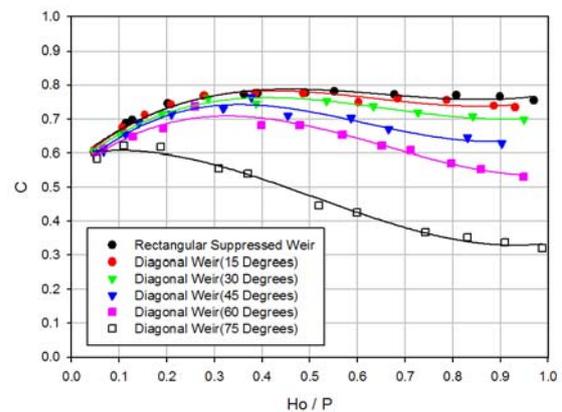


Fig. 7. Discharge Coefficient of Weirs with a Simple Regression Analysis

4.3.2 다중회귀분석에 의한 유량계수

단순회귀분석에 의한 유량계수식은 실험에 의해 수행된 15° 각도별 경사 위어에서만 사용 가능하다. 그러므로, 다양한 설계조건에서 사용가능하도록 여러 인자를 고려하여 다양한 조건에서 유량계수를 산정할 수 있도록 다중회귀분석을 실시하였다.

차원 해석 및 기존 연구를 통해 유량계수에 영향을 미치는 인자를 산정하고, 무차원하여 수두비(H_0/P)와 위어 마루길이와 수로폭의 비(L/B)에 의해 다중회귀

Table 5. Various Multiple Regression Equations

Multiple Regression Equations	R^2	sum of residuals	range
$C_d = 0.836 - 0.034(\frac{H_0}{P}) - 0.092(\frac{L}{B})$	0.674	0.287	0 ~ 75° 0 ≤ H ₀ /P ≤ 1
$C_d = 0.745(\frac{H_0}{P})^{-0.007}(\frac{L}{B})^{-0.343}$	0.636	0.197	0 ~ 75° 0 ≤ H ₀ /P ≤ 1
$C_d = 0.748 - 0.003\ln(\frac{H_0}{P}) - 0.195\ln(\frac{L}{B})$	0.668	0.292	0 ~ 75° 0 ≤ H ₀ /P ≤ 1
$C_d = 0.901\exp[-0.043(\frac{H_0}{P}) - 0.071(\frac{L}{B})]$	0.674	0.176	0 ~ 75° 0 ≤ H ₀ /P ≤ 1
$C_d = 0.613 + 0.661(\frac{H_0}{P}) - 0.023(\frac{L}{B})$	0.928	0.007	0 ~ 75° 0.05 ≤ H ₀ /P < 0.3
$C_d = 0.991 - 0.184(\frac{H_0}{P}) - 0.119(\frac{L}{B})$	0.943	0.044	0 ~ 75° 0.3 ≤ H ₀ /P ≤ 1.0

분석을 실시하였다. 수행한 다양한 형태의 다중회귀식은 Table 5에 나타내었다.

다양한 모형의 다중회귀식 가운데, 결정계수가 크고 잔차의 합이 가장 작은 모형을 선택하였다. Table 5에 나타낸 것처럼, Power 모형은 결정계수(R^2)=0.636, 잔차의 합=0.197, Ln 모형은 결정계수(R^2)=0.668, 잔차의 합=0.292, Exponential 모형은 결정계수(R^2)=0.674, 잔차의 합=0.176, 선형 모형은 결정계수(R^2)=0.674, 잔차의 합=0.287로 신뢰성이 떨어지는 것으로 분석되었다. 이는 모형의 곡선 형태가 수십별 자료를 반영하지 못하는 것으로 판단하여, 수십의 구간을 나누어 다중회귀분석을 실시하였다. $H_0/P=0.3$ 미만인 경우와, $H_0/P=0.3$ 이상인 경우로 나누어 다중회귀분석한 결과, 각각 결정계수=0.928, 0.943으로 크게 높아져 제시하였으며 제시한 식은 Eq. (8) and (9)에 나타냈다. 또한 Table 6의 다중회귀 분석의 계수들은 통계학적으로 적절한 값을 나타내고 있다.

$$C = 0.613 + 0.661(\frac{H_0}{P}) - 0.023(\frac{L}{B}), \quad (8)$$

$$0 \sim 75^\circ, 0.05 \leq H_0/P < 0.3$$

$$C = 0.991 - 0.184(\frac{H_0}{P}) - 0.119(\frac{L}{B}), \quad (9)$$

$$0 \sim 75^\circ, 0.3 \leq H_0/P \leq 1$$

Fig. 8은 제시된 식의 예측 유량계수와 관측 유량계수를 비교하여 MAPE(Mean Absolute percentage error) 분석 결과를 도시한 것이다.

MAPE를 분석한 결과, 전폭 위어의 경우 MAPE=3.64%를 나타내었고, 경사 위어 15°, 30°, 45°, 60°, 75°의 경우는 각각 MAPE=2.56%, 1.46%, 2.81%, 2.86%, 7.00%로 모든 각도에서 10%이내로 나타났다. 그러므로, Eq. (8) and (9)의 다중회귀분석을 통한 유량계수식은 결정계수(R^2), 잔차의 합, MAPE 분석을 통해 검증 하였으며, 다양한 현장여건 및 설계조건을 고려할 수 있어 경사 위어의 설계에 적용 가능 할 것이다.

Table 6. Coefficients of Multiple Regression Analysis

Multiple Regression Equation	Range	Regression coefficient	H_0/P	L/B
$C_d = 0.613 + 0.661(\frac{H_0}{P}) - 0.023(\frac{L}{B})$	0 ~ 75° 0.05 ≤ H ₀ /P < 0.3	Standardized coeff.	0.855	-0.339
		Correlation coeff.	0.903	-0.461
		VIF	1.021	1.021
$C_d = 0.991 - 0.184(\frac{H_0}{P}) - 0.119(\frac{L}{B})$	0 ~ 75° 0.3 ≤ H ₀ /P ≤ 1.0	Standardized coeff.	-0.283	-0.926
		Correlation coeff.	-0.293	-0.929
		VIF	1.000	1.000

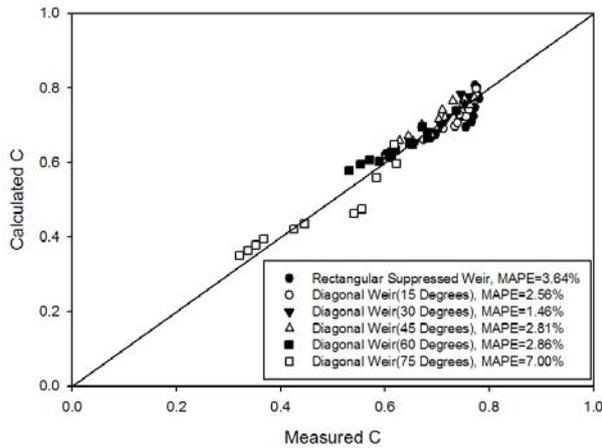


Fig. 8. MAPE Analysis of Multiple Regression Equation

5. 결 론

본 연구에서는 수리모형실험을 통하여 경사 위어의 설치 각도에 따른 흐름 특성과 월류량을 분석하여 유량계수를 산정하였고, 산정된 유량계수는 다중회귀분석을 통해 유량계수식으로 제시하였다. 경사 위어의 수리모형 실험 결과 및 유량계수식을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 경사 위어는 전폭위어보다 상류 수면형이 일정 하였으며, 경사 위어 설치각이 증가할수록 수심 유지 효과가 컸다. 이러한 결과로, 전폭 위어보다 마무리가 증가한 경사 위어는 상류 수위를 일정하게 유지시켜 운하 시스템에 효과적으로 이용 가능할 것이다.
- 2) 모든 각도에서 경사위어 시점부 측벽의 월류수심이 높게 나타났다. 이러한 결과는 벽면효과에서 기인한 것으로 수리학적으로 불리한 영향을 나타낼 것으로 분석되었다. 이에 대한 대책으로 위어 마루에 좌우 월류수심차만큼 횡단경사를 주거나, 위어 시점부의 일부 개방 또는 측벽에 직선 구간을 두는 대책 등이 유용할 것이다.
- 3) 경사 위어는 월류수심이 낮아질수록 월류량비 Q_d/Q 가 L/B 에 근접하였고, $H_0/P=0.5$ 이하부터 월류량비 증가율이 커져 낮은 월류수심에서 효율적인 것으로 나타났다. 이러한 결과로, 용량 증대가 필요한 수공구조물 및 관개용수 시설에 적용 가능할 것이다.
- 4) 단순회귀분석에 의해 제시된 유량계수식은 적용성이 있는 것으로 나타났으나, 각도에 따른 산정에

제한성을 가졌다. 그러므로, 다양한 각도에 대해 직접적으로 유량계수를 산정하기 위해, 다중회귀 분석에 의한 유량계수식을 제시하였다. 제시된 식은 결정계수(R^2), 잔차의 합, MAPE 분석을 통해 검증 하였으며, 경사 위어의 설계에 적용 가능할 것이다.

향후 연구 과제로, 수중 경사 위어에 대한 영향 및 경사 위어의 재폭기 효율에 의한 수질개선 효과에 대한 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

최태훈 (1987). 댐 월류량 증대를 위한 LABY-RINTH 웨어의 수리 특성에 관한 실험적 연구. 석사 학위 논문, 연세대학교. pp. 5-26.

Amanian, N. (1987). *Performance and design of labyrinth spillways*. MSc thesis, Utah State University, Logan, Utah. pp. 12-45.

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.

Henry T. Falvey (2003). *Hydraulic design of labyrinth weirs*. ASCE PRESS. pp.1-39.

Kraatz, D. and Mahajan, I. (1975). *Small hydraulic structures*. Irrigation and Drainage Paper, No. 26/2, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. pp. 121-145.

Mahonri Lee Williams, Mohan Reddy J., and Victor Hasfurth (1993). *Calibration of long crested weir discharge coefficient*. Wyoming Water Resources Center, University of Wyoming. pp. 23-68.

Stuart Styles (1997). *Long crested weir design*. Retrieved May, 14, 2007, from <http://www.itrc.org>. Cal Poly Irrigation Training and Research Center. pp. 1-25.

Taylor, G. (1968). *The performance of labyrinth weirs*. PhD thesis, University of Nottingham, Nottingham, England. pp. 12-32.

Tullis J. P., Amanian N., and Waldron D. (1995). "Design of labyrinth spillways." *Journal of hydraulic engineering*, Vol. 121, No. 3, pp. 247-255.

(논문번호:08-59/접수:2008.05.02/심사완료:2009.04.02)