

排水閘門의 流量係數 決定에 대한 實驗的 研究

ExPERIMENTAL Study on the Determination of Discharge Coefficients in Tide Gates

權 純 國* · 羅 正 宇**
Kwun, Soon Kuk · Na, Jeong Woo

Summary

Through the hydraulic model test, a more convenient and accurate method of determining discharge coefficients in the sluice type of tide gates can be derived by the use of submergence ratio as a parameter.

The results obtained are summarized as follows;

1. Discharge coefficients under submerged flow conditions can be obtained by the application of submergence ratio (S) to the free flow equation of the broad-crested weir.

2. The critical submergence ratios (S_{cr}) for the flat basin and the broad-crested types of sill have the same value of 0.8.

3. Under free flow conditions, the discharge coefficient (μ) are 0.37 and 0.35 for the flat basin and the broad-crested types of sill respectively. However, when submerged flow condition exists, the discharge coefficients for both types of sill is given by a regression equation of discharge coefficients (μ) on submergence ratios (S) expressed as; $\mu = 1.3 - 1.17S$.

4. The relationships between S and Froude number (F_r), for the flat basin and the broad-crested types of sill are $F_r = 2.79 - 2.49S$ and $F_r^{2.5} = 5.7 - 6.16S$ respectively.

From the above relationships, it can be concluded that μ can also be expressed in terms of the Froude number which is a very relevant hydraulic parameter of the open channel hydraulics.

I. 緒 言

干拓地 開發事業을 計劃함에 있어 排水閘門은 地區內 流域에서 發生한 洪水量을 排水하는 한편 滿潮時 潮汐의 地區內 流入을 막는 重要 構造物로서

이의 經濟的인 通水斷面을 決定하기 위해서는 排水閘門의 排水能力이 正確하게 算定되어야 한다.

排水閘門은 門扉形式에 따라 스루스게이트(slruise gate), 플랩 게이트(flap gate), 흐름狀態에 따라 門扉의 開口部 全體에 물이 차서 흐르는 경우와 門扉의 開口部 上端에 물이 닿지 않고 흐르는 경우로

*서울大學校 農科大學

**서울大學校 大學院 · 農業振興公社

나를 수 있으며 또한 門扉바닥形式에 따라 廣頂웨어形式과 水平물받이形式으로 分類되는 등 各樣 各색의 水理的 特性을 가질 수 있는 構造物로서 各 경우마다 흐름의 狀態에 큰 差異가 있게 된다.

그러나 現在 우리나라에서는 門扉바닥 形式에 따른 差異를 무시하고 同一한 流量公式를 使用하고 있어 實際의 흐름 狀態와 差異가 있으므로 正確한 排水量 算定에 어려움이 많은 실정이다.

本 研究에서는 우리나라 排水開門에 主要 使用되고 있는 스루스 게이트에 있어서 물이 門扉의 開口部 上端에 닿지않고 흐르는 경우에 門扉바닥形式에 따른 흐름特性을 파악하기 위하여 지금까지 發表된 排水開門流量公式를 理論의으로 考察하고 水理模型 實驗을 通하여 檢討함과 아울러 排水開門 流量公式에서의 流量係數를 좀 더 合理的으로 決定하는 方法을 提示하고자 한다.

II. 研究史

1. 背景 理論

가. Bélanger 法則에 依한 廣頂웨어 公式

1) 完全越流 (free flow)

完全越流는 下流水位가 흐름에 影響을 미치지 않는 흐름이므로 Fig.1에서 보는 바와 같이 廣頂웨어 頂部와 越流에 의한 水面低下가 생기지 않는 上流의 斷面 I 사이에 대하여 擾頂 연장선을 基底線으로 하여 Bernoulli의 定理를 적용하면

$$H_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h + \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(1)$$

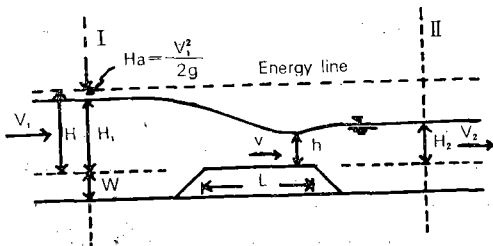


Fig. 1. Broad-crested weir

式(1)을 v에 대하여 整理하면

$$v = \sqrt{2g(H_1 + H_a - h)} \dots\dots\dots(2)$$

여기서 H_a 는 接近流速水頭로 $\frac{V_1^2}{2g}$ 이다.

웨어幅을 B라 하고 水路斷面을 直四角形이라 하면 流量Q는

$$Q = Bhv = Bh\sqrt{2g(H_1 + H_a - h)} \dots\dots\dots(3)$$

式(3)에서 Q를 구하려면 H_1 , H_a , 및 h를 알아야 하나 이들을 전부 구하는 것은 번거로우므로 H_1 의 測定만으로 Q를 구하기 위하여는 웨어 위의 흐름은 一定한 에너지水頭($H_1 + H_a$)일 때 流量을 最大로 할 수 있는 水深 h를 取하게 된다는 Bélanger의 法則을 利用하고자 한다.

이를 위하여 式(3)에서 $\frac{dQ}{dh} = 0$ 을 滿足시키는 h를 求하면

$$\frac{dQ}{dh} = B\sqrt{2g(H_1 + H_a - h)} - \frac{2gBh}{2\sqrt{2g(H_1 + H_a - h)}} = 0$$

$$B\sqrt{2g(H_1 + H_a - h)} = \frac{gBh}{\sqrt{2g(H_1 + H_a - h)}}$$

$$\therefore h = \frac{2}{3}(H_1 + H_a) \dots\dots\dots(4)$$

式(4)를 式(3)에 代入하면

$$Q = B\frac{2}{3}(H_1 + H_a)\sqrt{2g(H_1 + H_a - \frac{2}{3}H_1 - \frac{2}{3}H_a)} = \frac{2}{3}B(H_1 + H_a)\sqrt{\frac{2}{3}g(H_1 + H_a)} \dots\dots\dots(5)$$

式(5)에서 接近流速을 포함한 流量係數를 C라 하면

$$Q = 1.7CBH_1^{3/2} \dots\dots\dots(6)$$

또한 重力加速度를 별도로 分離하고 이때의 流量係數를 μ 라 하면

$$Q = \mu BH_1\sqrt{2gH_1} \dots\dots\dots(7)$$

가 된다.

2) 潛流(submerged flow)

潛流는 下流水位 H_2 가 흐름에 影響을 미치므로 上流側 斷面 I 과 下流側 斷面 II 사이에 Bernoulli의 定理를 적용하면

$$H_1 + \frac{V_1^2}{2g} = H_2 + \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots\dots(8)$$

式(8)을 V_2 에 대하여 整理하면

$$V_2 = \sqrt{2g(H_1 + \frac{V_1^2}{2g} - H_2)} = \sqrt{2g(H_1 + H_a - H_2)} \dots\dots\dots(9)$$

역시 웨어幅을 B라 하고 水路斷面을 直四角形이라 하면 流量 Q는

$$Q = A_2V_2 = BH_2\sqrt{2g(H_1 + H_a - H_2)} \dots\dots\dots(10)$$

式 (10)에서 接近流速을 포함한 潛流 流量係數를 μ' 라 하면

$$Q = \mu' BH_2 \sqrt{2g(H_1 - H_2)} \dots\dots\dots(11)$$

가 된다.

나. 웨어의 流量係數에 영향을 미치는 要因

門扉바닥에 턱이 있는 경우의 흐름은 一般的으로 廣頂웨어 公式으로 계산된다. 웨어를 越流하는 흐름의 狀態는 웨어에서의 율류량이 下流水位의 영향을 받는가 받지 않는가에 따라 完全越流와 潛流로 區分되며 이 區分에 대한 指標로서 潛水度 (S: submergence ratio)가 一般的으로 使用되는데 이것은 웨어頂 위의 上流水深에 대한 下流水深의 比

$\left(\frac{H_2}{H_1}\right)$ 이다. 즉 下流水深이 흐름에 영향을 미치지 않는 흐름을 完全越流라 하며 이 때 射流로 越流하게 되고 한편 下流水深이 흐름에 영향을 미치는 흐름을 潛流라 하며 이 경우에는 常流로 越流한다. 이러한 關係로 부터 完全越流와 潛流의 境界 즉 下流水深이 흐름에 영향을 미치기 시작하는 潛水度를 限界潛水度(Scr: critical submergence ratio)라 하여 흐름이 限界潛水度보다 큰 상태에서는 完全越流 狀態의 流量係數가 減少하기 시작하므로 流量係數의 값은 常數가 아닌 變數가 될 것이다. 間公式과 比較檢討하였는데 潛流에서는 流量 및 기

Table-1. Factors affecting flow over weirs¹⁾

Classification	Factors	Related contents	Researcher
Channel conditions	1. Approach conditions	$\alpha \frac{V_1^2}{2g}$ (α : kinetic-energy correction factor) Velocity distribution Skew weir, Side weir Increase in roughness, discharge decrease by 1.5~1%. Decreasing the effective weir height Computation of discharge during floods Clinging, depressed, and ventilated nappe Effect of insufficient aeration on the discharge coefficient Submergence ratio and submergence limit Ratio $\frac{h}{W}$ (W: weir height) Discharge coefficient for the flow over cylindrical crested weirs	O'Brien and Johnson ²⁾
	a. Approach velocity		Chow ³⁾
	b. Channel cross section		Muralidhar ⁴⁾ , Smith ⁵⁾
	c. Channel alignment		Schoder and Turner ⁶⁾
	d. Boundary roughness		Israelsen and Hansen ⁷⁾
	e. Silt and sediment		Hiranandani and Chitale ⁸⁾
	f. Unsteady flow		Tracy ⁹⁾
Weir characteristics	2. Downstream conditions	Ratio $\frac{h}{W}$ (W: weir height)	Gameson and Vandyke ¹⁰⁾
	a. Nappe changes		Kandaswamy and Rajaratnam ¹¹⁾
	b. Aeration rates		Kindsvater and Carter ¹²⁾
Liquid Properties	c. Submerged flow		Matthew ¹³⁾
	Weir geometry		
	Viscosity and surface tension effects		

潛水度 외에도 웨어의 流量係數에 영향을 주는 要因은 매우 많으며 Table-1에서 보는 바와 같이 要約할 수 있다.

2. 流量係數와 關聯된 既存研究 및 設計基準

가. 廣頂웨어形式

本間¹⁴⁾은 門扉바닥에 낮은 턱이 있는 低溢流堰堤 $\left(\frac{H_1}{W} < 0.5\right)$ 의 流量公式을 다음과 같이 3가지로 區分하여 提案하였다.

• 完全越流 : $Q = \mu BH_1 \sqrt{2gH_1} \dots\dots(式 7 適用)$

• 不完全越流 : $\frac{Q}{BH_1 \sqrt{2gH_1}} = \alpha \frac{H_2}{H_1} + \beta \dots(12)$

• 潛流 : $Q = \mu' BH_2 \sqrt{2g(H_1 - H_2)} \dots\dots\dots(式 11 適用)$

여기서 α, β 는 常數이고 W는 웨어 높이이며 μ, μ' 는 流量係數로서 웨어의 形狀 및 흐름의 條件에 따른 값은 Table-2에서 보는 바와 같다.

安¹⁵⁾은 衣岩堰에 對한 水理模型實驗을 통하여 本

Table-2. Discharge coefficient of submerged weir

Upstream side radiant	Downstream side gradient	Freeflow coeff. (μ)	Lower limit submergence ratio	Transitional flow		Upper limit submergence ratio	Submerged flow coeff. (μ')
				$-\alpha/\mu$	β/μ		
$0 \sim \frac{4}{3}$	above $\frac{5}{3}$	$0.31 + 0.23 \frac{H_1}{w}$	0.60	0.030	1.010	0.7	2.6μ
$0 \sim \frac{2}{3}$	1	$0.29 + 0.32 \frac{H_1}{w}$	0.45	0.200	1.090	0.8	2.6μ
$0 \sim \frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$	$0.28 + 0.37 \frac{H_1}{w}$	0.25	0.124	1.032	0.8	2.6μ
Rectangular	$\frac{H_1}{L} < \frac{1}{2}$	0.35	$\frac{2}{3}$	—	—	$\frac{2}{3}$	2.6μ

타 水理學의 特性이 복잡하므로 각 경우마다 實驗에 의하여 구하도록 提案한 바 있다.

나. 水平물받이形式

桑野¹⁶⁾는 水理模型實驗을 통하여 門扉 바닥에 덕이 없는 水平물받이形式에서 흐름狀態를 다음과 같이 分類하고 流量係數를 決定하였으며 이는 現在 日本의 海面干拓設計基準으로 採擇되고 있다.

◦ 完全越流 ($\frac{H_2}{H_1} < 0.81 \sim 0.82$):

$$Q = 1.7CBH_1^{3/2} \dots\dots\dots(式 6適用)$$

◦ 潛流 ($\frac{H_2}{H_1} > 0.81 \sim 0.82$):

$$Q = \mu' BH_2 \sqrt{2g(H_1 - H_2)} \dots\dots\dots(式 11適用)$$

여기서 C는 0.88~0.94 μ' 는 1.00~1.13이다.

이 方面의 國內 研究結果를 살펴보면 李¹⁷⁾는 閘門이 一部 開放된 狀態下에서 完全越流와 潛流에서의 流量을 收縮係數를 使用하여 計算하고 이를 水理模型實驗에서 實測한 流量과를 比較分析하였으며 特히 下部의 水深을 計算할 때 跳水前 斷面과 跳水後 斷面 間에 運動量方程式을 使用하였다.

또 李¹⁸⁾는 牙山排水閘門 물받이의 水理現象研究에서 閘門높이에 의한 通水量을 計算한 바 있으며 이의 水面形 計算은 不等流의 基本方程式을 適用하였다.

다. 設計基準 및 設計例

農地改良事業 計劃設計基準 海面干拓編¹⁹⁾에 記述되어 있는 流量公式 및 流量計數는 桑野公式¹⁶⁾을 適用하고 있으며, 實際 設計例로서 防潮堤 技術開發 研究²⁰⁾에서는 다음과 같이 整理되어 있어 流量係數가 地區別로 特別한 基準없이 相異함을 알 수 있다

◦ 完全越流 ($\frac{H_2}{H_1} < \frac{2}{3}$): $Q = 1.7CBH_1^{3/2}$

$$\dots\dots\dots(式 6適用)$$

◦ 潛流 ($\frac{H_2}{H_1} > \frac{2}{3}$): $Q = \mu' BH_2 \sqrt{2g(H_1 - H_2)}$

..... (式 11適用)

여기서 C 및 μ' 는 牙山排水閘門에서 0.85, 大湖, 插橋排水閘門에서 0.8, 그리고 錦江 및 榮山排水閘門에서 0.9를 使用한 바 있다.

Ⅲ. 材料 및 方法

1. 實驗施設

農業振興公社 半月水理試驗場 澗水路工建物內에 있는 幅 3m, 길이 30m 水槽에 水理模型을 設置하였고 觀測을 容易하게 하기 爲하여 水槽 한 쪽 壁의 一部에 아크릴板 (두께 10mm)과 줄자를 附着하였다.

實驗用水는 펌프施設을 利用하여 高水槽에 揚水된 물이 流量調節밸브를 통하여 模型에 流入되도록 하고 模型에서 流出되는 물은 下部水槽에 모여 다시 高水槽로 揚水되어 循環 供給되도록 하였으며 施設配置는 Fig.2와 같다.

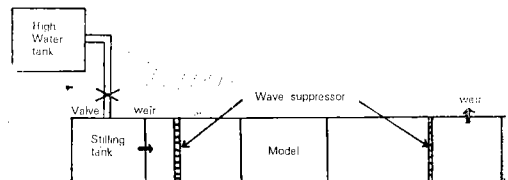


Fig. 2. Layout of facility for model test

2. 實驗方法

模型은 農業振興公社에서 設計한 榮山江 3段階

排水閘門의 流量係數 決定에 대한 實驗의 研究

排水閘門을 基本으로하여 6連의 閘門을 設置하였으며 縮尺은 正常 模型으로서 1:30을 適用하고 Table-3과 같이 重力이 主된 힘으로 作用하는 Froude 相似法則을 適用하였다.

Table-3. Froude similarity laws

Parameter	Dimension	Scale for Froude
Length	L	$L_r = L_p / L_m$
Area	L^2	$(L_r)^2$
Volume	L^3	$(L_r)^3$
Time	T	$(L_r)^{0.5}$
Velocity	LT^{-1}	$(L_r)^{0.5}$
Discharge	$L^3 T^{-1}$	$(L_r)^{2.5}$

實驗流量은 流量調節밸브 回轉 數(4,5,6,7 回)에 대한 流量을 補正하여 決定(0.0369~0.1197m³/sec) 하였으며, 水位調節은 幅 3m 水路에 設置한 6連의 閘門을 全部 開放한 경우에 閘門 內外側 間의 水位差가 發生하지 않기 때문에 6連에 閘門 中에서 第 1號 또는 第1,2號를 開放하고 水路 끝에 設置한 웨어의 높이를 調節(20, 22.5, 25, 27.5, 30cm)하여 實驗에 必要한 內外水位差를 發生시켰다.

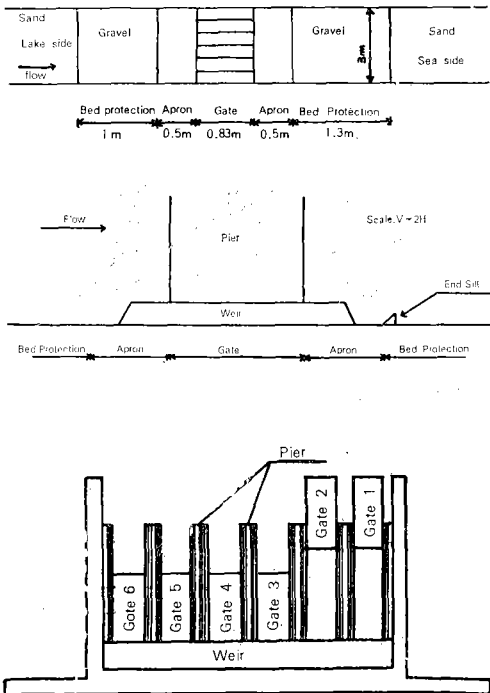


Fig. 3. Plan of sluice gate model

門扉바닥形式에 따른 閘門模型實驗은 水平물받이 形式, 廣頂웨어 形式, 그리고 廣頂웨어에 end sill을 限着한 形式의 3種에 대하여 順次的으로 施行하였으며 水理模型의 概略度는 Fig.3과 같다.

廣頂웨어는 閘門上下流側 apron 0.5m 중 半인 0.25m를 閘門으로부터 연장한 길이 1.33m, 높이 6.67cm,, 側面傾斜 1:1의 사다리꼴이며, end sill은 높이 3.33cm, 內側面傾斜 1:2, 外側面은 수직인 三角形으로 바닥쪽 apron 끝에 設置하였다.

IV. 結果 및 考察

1. 흐름狀態에 따른 流量係數

가. 完全越流

水理模型實驗을 通하여 流量 및 內外水位를 變化시키고 模型에서 閘門을 一部 開放하면서 測定한 Q, H₁, H₂ 및 B를 完全越流公式(7) 및 潛流公式(11)에 各各 代入하여 流量係數 μ 및 μ'를 求하였으며 이들 流量係數가 上流水深에 대한 下流水深의 比인 潛水性(S)와 어떤 關係가 있는 가를 알아보기 위하여 Fig.4, 5에 圖示하였는 바, 廣頂웨어 및 水平물받이 形式에서 共히 完全越流 公式에 의한 流量係數 μ는 潛水도가 0.8이 될 때까지 一定한 값을 보이다가 0.8 보다 크면 減少하는 傾向을 보였다. 따라서 門扉바닥形式에 關係없이 潛水性이 0.8 以下에서는 흐름이 完全越流이고 潛水도가 0.8보다 큰 경우에는 흐름이 潛流로 된다는 것을 나타내 주고 있어 限界潛水度(S_{cr})는 0.8임을 알 수 있었다.

그러나 潛流公式으로 부터 구한 流量係數(μ')는,

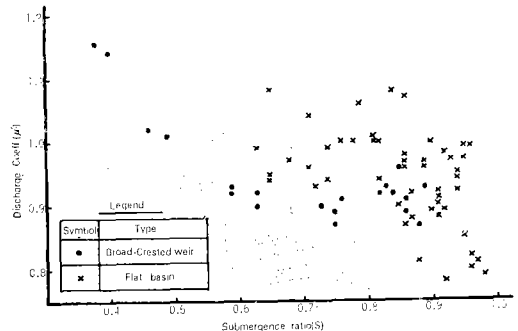


Fig. 4. Submerged flow discharge coefficient for the variation of S

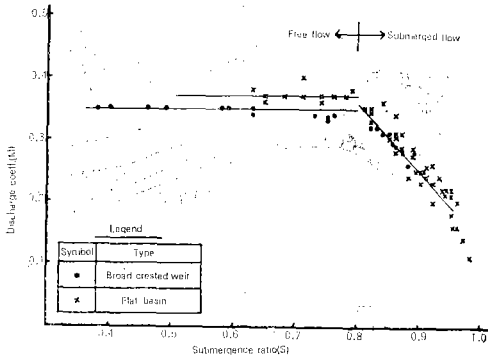


Fig. 5. Free flow discharge coefficient for the variation of S

完全越流公式에 의한 流量係數(μ)와는 달리 潛水度가 0.8이하의 完全越流狀態에서도 一定하지 않고 흩어져 있으므로 流量係數와 潛水度 사이의 關係는 별로 없는 것으로 나타났다. (Fig.4)

그래서 門扉바닥形式 別 또 流量公式別로 流量係數의 分散程性를 檢討하였던바 變量의 흩어진 程度를 나타내는: 統計量인 範圍, 標準偏差 및 分散은

Table-4. Comparisons of elementary statistics

Sill type	Discharge Coeff.	Degree of freedom	Mean	Range	Standard deviation	Variance
Broad-crested weir (including end-sill)	μ	11	0.35	0.02	0.0079	0.000062
	μ'	11	0.96	0.29	0.0977	0.009545
Flat basin	μ	12	0.37	0.07	0.0185	0.000342
	μ'	12	0.99	0.15	0.0476	0.002266

그러므로 限界潛水度 以下에서의 流量係數는 물받이形式 別로 區分되어야 한다는 것을 나타내 주어, 廣頂堰 및 廣頂堰+end sill 形式에서는 0.35, 水平물받이 形式에서는 0.37로 서로 다른 값이 採擇되어야 할 것으로 생각된다.

나. 潛流

潛流는 潛水도가 0.8보다 큰 경우를 말하며 이 때의 流量係數는 Fig.4,5에서 보는 바와 같이 潛水度

Table-4에서 보는 바와 같이 完全越流公式에 의한 μ 가 潛流公式에 의한 μ' 보다 훨씬 작은 것으로 나타났다으며 이는 完全越流인 경우의 流量算定은 上流水深만이 흐름에 영향을 주기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 完全越流公式에 의한 μ 를 使用하는 것이 潛流公式에 의한 μ' 보다 流量算定時 正確도가 높은 것으로 나타났다.

한편 完全越流公式에 의한 μ 를 使用할 경우 門扉바닥形式別로 그 값에 差異가 있음을 인식 할 수 있어 (Fig.5) 이에 대한 통계적 검토가 필요한 것으로 생각되었다. 따라서 完全越流公式에 의한 μ 가 廣頂堰어 形式과 水平물받이 形式에서 같은 母集團에 소속하여 本質적으로 서로 同一한 것인가를 알아보기 위하여 F檢定을 한 結果, F값이 水平물받이 形式의 流量係數 分散 0.000342를 廣頂堰어形式의 流量係數 分散 0.000062 (Table-4)로 나눈 값인 5.43으로서 F分布表²³⁾에서 分子의 自由度 11과 分母의 自由度 12에 해당하는 1% 有意水準 값인 4.4보다 크기 때문에 두 集團 즉 廣頂堰어形式과 水平물받이 形式의 完全越流流量係數 間에는 本質적으로 差異가 있음을 알 수 있었다.

가 增加함에 따라 減少하는 경향을 보여 門扉바닥形式 別로 이 兩者 間의 關係式을 구하기 위하여 回歸方程式 및 相關係數를 各各 구하여 보았다.

Table-5에서 보는 바와 같이 潛流公式에 의한 流量係數와 潛水度 間의 相關係數는 廣頂堰어 形式에서 -0.35, 水平물받이 形式에서 -0.49로 낮은 負의 相關을 나타내고 있으나 오히려 完全越流公式에 의한 流量係數와 潛水度 間의 相關係數는 廣頂堰어

Table-5. Regression equations between μ, μ' and S

Sill type	Regression equations	Correlation coefficient
Broad-crested weir (including end sill)	$\mu' = 1.26 - 0.40S$ (13)	-0.35
	$\mu = 0.99 - 0.81S$ (14)	-0.91
Flat basin	$\mu' = 1.62 - 0.77S$ (15)	-0.49
	$\mu = 1.37 - 1.23S$ (16)	-0.94

形式에서 -0.91, 水平물받이 形式에서 -0.94로 高度의 相關性을 나타내고 있었다. 또한 門扉바닥 形式에 따라 完全越流公式을 使用하여 流量係數를 구하는 公式이 式(14)와 式(16)으로 區分되어 있어 이들을 하나로 統合할 수 있는지를 알아보기 위하여 門扉바닥形式에 구애받지 않고 流量係數와 潛水度間의 回歸方程式을 求解 本 結果,

$$\mu = 1.3 - 1.17S \dots\dots\dots (17)$$

이었으며, 相關係數는 -0.94로 역시 높은 相關性을 보이고 있었다. 그리고 回歸方程式 (14), (16) 및 (17)의 回歸精度를 알아보기 위하여 各各 分散

分析으로 有意性檢定을 實施하여 Table-6에 表示하였는바 全部 1% 水準에서 高度의 有意性이 있었으며 그 중에서도 式(17)의 F값이 가장 높았다.

以上の 各種 水理파라메타 사이의 統計的인 分析으로부터 潛流인 경우의 流量係數는 完全越流公式(7)과 潛水度를 利用한 式(17)을 使用하여 廣頂웨어形式과 水平물받이 形式을 區分하지 않고 簡單하고도 正確하게 求할 수 있었으며 특히 内外水位差가 거의 排除量이 거의 없는 즉 潛水도가 0.95 以上인 경우를 除外한 實驗值의 μ 와 S間의 直線回歸相關係數는 -0.94 보다 더 높음을 알 수 있었다.

Table-6. ANOVA table for the various regression equations

Regression equations	Source of variation	Degree of freedom	Sum of squares	Mean squares	F value
$\mu = 0.99 - 0.81S$ (Eq. 14)	Attributable to regression	1	0.00261	0.00261	29.0**
	Deviation from regression	6	0.00054	0.00009	
	Total	7	0.00315		
$\mu = 1.37 - 1.23S$ (Eq. 16)	Attributable to regression	1	0.12280	0.12280	279.1**
	Deviation from regression	35	0.01532	0.00044	
	Total	36	0.13812		
$\mu = 1.3 - 1.17S$ (Eq. 17)	Attributable to regression	1	0.13551	0.13551	330.5**
	Deviation from regression	43	0.01757	0.00041	
	Total	44	0.15308		

2. 潛水度와 Froude 數와의 關係

潛水度와 Froude 數와의 關係를 알아보기 위하여 水平물받이形式, 廣頂웨어形式 및 廣頂웨어+end sill 形式에서 10회씩 Froude 數를 구한 結果 水平물받이形式에서는 門扉地點에서 廣頂웨어形式 및 廣頂웨어+end sill 形式에서는 門柱 下流側 웨어 끝部分에서 Froude 數가 크나 그 差異는 별로 없었으며 潛水도에 대한 Froude 數의 關係를 알아보기 위해 Fig.6에 圖示하였는바 3種類의 물받이形式에서 共히 潛水도가 增加함에 따라 Froude 數는 減少하는 傾向을 보여 이들 間의 回歸方程式을 求解 本 結果 水平물받이形式에서는

$$F_r = 2.79 - 2.49S \dots\dots\dots (18)$$

의 直線回歸이었으며, 相關係數는 -0.99로 매우 높았다. 그리고 廣頂웨어形式 및 廣頂웨어+end sill 形式에서도 回歸方程式은

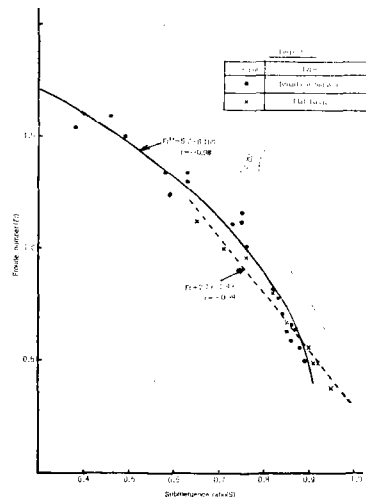


Fig. 6. Relationship between S and Froude number

$$F_r^{2.5} = 5.7 - 6.16S \dots\dots\dots(19)$$

의指數函數關係를 보이며 相關係數는 -0.98로 역시 매우 높은 相關性을 보여 潛水度와 Froude數間의 關係를 찾아낼 수 있었다.

이러한 事實은 式(7)의 流量係數를 구하는 公式에 있어 潛水度の 函數뿐만 아니라 開水路의 흐름 狀態를 나타내주는 가장 一般的인 媒介變數인 Froude數를 利用할 수도 있다는 것을 나타내 주고 있다.

3. 既存方法과 本研究結果와의 比較

흐름狀態 및 門扉바닥形式에 따른 流量公式 適用과 流量係數 算定에 있어서 既存方法에서는 Table-7과 같이 流量公式이 式(6), (7) 및 (11)로 細分되어 있으며 流量係數도 桑野方法에 있어서는 範圍로

提示되어 있어 流量計算 時에 範圍內의 一定한 값을 擇해야 하고 水平물받이 形式에만 適用되는 短點이 있다. 그리고 現在 우리나라에서 主로 使用되고 있는 本間方法은 低溢流堰堤($\frac{H_1}{W} < 0.5$)의 流量係數를 算定하는 方法이며 潛流에서의 流量係數가 變數가 아닌 定數 0.91로 固定되어 있어 理論的으로 不合理하므로 排水閘門 流量公式으로 使用하기에는 未洽하다고 생각된다.

그러나 本研究에서는 完全越流公式(7) 한 公式만을 利用하고 流量係數를 完全越流에서는 定數로, 潛流에서는 潛水度の 函數로 規定하여 正確하고도 簡單하게 구할 수 있는 利點이 있는 것으로 밝혀져 本方法의 使用를 推薦하고자 한다.

Table-7. Comparison between conventional method and modified method

Sill type		Method			
		Guwano	Homma*	Modified method	
Term		Flat basin	Broad-crested weir	Flat basin	Broad-crested weir
Free flow	Formula used	Eq.(6)**	Eq.(7)***	Eq.(7)	Eq.(7)
	Discharge coeff.	0.88~0.94	0.35	0.37	0.35
Critical submergence ratio		0.81~0.82	0.67	0.80	0.80
Submerged flow	Formula used	Eq.(11)****	Eq.(11)	Eq.(7)	Eq.(7)
	Discharge coeff.	1.00~1.13	0.91	1.3-1.17S	1.3-1.17S

*Discharge coefficient is for rectangular broad-crested weir.

**Eq. (6) : $Q = 1.7CBH_1^{3/2}$

***Eq. (7) : $Q = \mu BH_1 \sqrt{2gH_1}$

****Eq. (11) : $Q = \mu' BH_2 \sqrt{2g(H_1 - H_2)}$

V. 摘要

水理模型實驗으로부터 排水閘門 排水量 算定에 使用되는 流量公式의 流量係數를 潛水度로부터 簡單하고 正確하게 구할 수 있는 方法을 誘導할 수 있었으며 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 潛流에서의 流量係數는 完全越流公式에 潛水度を 適用하므로써 얻을 수 있다.

2. 水平물받이 및 廣頂堰어形式의 限界潛水度는 모두 0.8이다.

3. 限界潛水度 以下에서 流量係數는 水平물받이形式에서 0.37, 廣頂堰어形式에서는 0.35이며, 限界潛水度 以上에서의 流量係數는 水平물받이 및 廣

頂堰어形式에서 共히 回歸方程式 $\mu = 1.3 - 1.17S$ 로 구할 수 있다.

4. 潛水度와 Froude數와의 關係는 水平물받이形式에서 $F_r = 2.79 - 2.49S$, 廣頂堰어形式에서 $F_r^{2.5} = 5.7 - 6.16S$ 의 關係가 있으며, 이러한 事實은 流量係數를 Froude數의 函數로서 나타낼 수 있음을 示唆하고 있다.

參 考 文 獻

1. Lakshmana Rao, N. S. (1975). "Theory of Weirs", Advanced in Hydrosience Vol.10, Academic Press Inc., pp.331~340.
2. O'Brien, M.P., and Johnson, J.W. (1934). "Velocity Head Corrections for Hydraulic

- Flows", Eng. News-Rec. 113(7), pp.214~216.
3. Chow, V.T. (1982). "Open-Channel Hydraulics", McGraw-Hill, New York, pp. 27~28.
 4. Muralidhar, D. (1963). "Some studies on Weirs of Finite Crest Width", M.S. (Eng.) Thesis, Dep. of Civil and Hydraul. Eng., Indian Inst. of Sci., Bangalore.
 5. Smith, K.V.H. (1973). "Computer Programming for Flow over Side Weirs", J. Hydraul Div., Proc. Amer. Soc. Civil Eng. 99 (HY3) pp. 495~508.
 6. Schoder, E.W., and Turner, K.B. (1929). "Precise Weir Measurement", Trans. Amer. Soc. Civil Eng. 93, pp.999~1190.
 7. Israelsen, O.W., and Hansen, V.E. (1962). "Irrigation Principles and Practices", 3rd Ed. Wiley, New York.
 8. Hiranandani, M.G., and Chitale, S.V. (1960). "Stream Gaging", 1st Ed. Cent. Water and Power Res. Sta., Poona, India.
 9. Tracy, H. J. (1957). "Discharge Characteristics of Broad-Crested Weirs", U.S. Geol. Survey., Cric. 397.
 10. Gameson, A.L.H., and Vandyke, K.G. (1958). "The Effect of Temperature on Aeration at Weirs", Water Water Engin. 62, pp.489~492.
 11. Kandaswamy, P.K., and Rajaratnam, N. (1959). Discussion on "Calibration of Submerged Broad-Crested Weirs", J. Hydraul. Div., Proc. Amer. Soc. Civil Eng. (HY9) pp.119~124.
 12. Kindsvater, C.E., and Carter, R.W. (1959). "Discharge Characteristics of Rectangular Thin Plate Weirs", Trans. Amer. Soc. Civil Eng. 124, pp.772~801.
 13. Matthew, G.D. (1963). "On the Influence of Curvature, Surface Tension and Viscosity on Flow over Round-Crested Weirs", Proc. Inst. Civil Eng. 25, pp.511~524.
 14. 本間仁, 石原藤次郎, (1958). "應用水理學", 丸善, pp.154~156.
 15. 安守漢, 李正圭, (1971). "Submerged Dam의 流量係數에 對한 實驗的 研究", 大韓土木學會誌, 大韓土木學會, 第19卷 第3號, pp.68~77.
 16. 桑野定美, (1959). "干拓地 排水樋門の水理學的 研究(VII)", 農業土木研究, 第27卷 第1號, pp. 7~11.
 17. 李重基, (1968). "스루스 게이트의 流量係數", 農業土木學會誌, 大韓農業土木學會, 第10卷 第2號, pp. 36~44.
 18. 李熙榮, (1976). "排水閘門물받이의 水理現象에 關한 研究", 農工學會誌, 韓國農工學會, 第18卷 第4號 pp. 10~17.
 19. 農林部, (1971). "農地改良事業 計劃設計基準海面干拓 編", p. 166.
 20. 韓國農工學會, (1984). "防潮堤 技術開發研究" p. 85.
 21. 李載昌, (1985). "最新統計學", 法經出版社, pp. 358~361.