

# 防潮堤 締切區間에서의 水理特性에 관한 實驗的 研究

## An Experimental Study on Hydraulic Characteristics in Sea-like Closure Gap

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

### Summary

A new method of determining the discharge coefficients and velocity which are very important factor to calculate the weight of riprap materials in the seadike closure gap can be derived through the hydraulic model test.

On the basis of the results of this study, general hydraulic aspects between gradual horizontal and vertical closure method are compared, and also discharge and velocity computation procedures are presented.

### I. 緒 言

우리나라는 3면이 바다로 둘러싸여 있으며 서南海로 流入되는 大小河川은 潮流往來의 影響을 받는 感潮河川이 大部分이므로 內陸에서 운반되는 濁砂泥가 河口 또는 海岸線에서 沈澱되어 平坦한 干潟地를 계속 造成하고 있다.

이와 같은 조건에 힘입어 우리나라의 西南海岸은 干拓에 유리한 自然條件을 구비하고 있기 때문에 干拓事業은 高麗時代 이래 계속되어 왔으며 解放後 오늘날까지 政府와 民間이 干拓한 面積만 하더라도 約 50,000ha 정도에 달하고 있을 뿐 아니라 오늘날에도 꾸준히 干拓事業은 계속 실시되고 있다.

그러나 近來의 干拓事業은 食糧增産 뿐만 아니라 國土의 綜合的인 開發側面에서 推進되고 있으며 따라서 大規模防潮堤의 築造가 續연적인 추세로 되고 있다.

防潮堤의 規模가 점차 커지게 됨에 따라 締切方式은 매우 중요하게 되었으며 締切 중에서 最終締切은 가장 어려운 工程임과 동시에 干拓事

業의 成敗를 가름하는 核心工程으로 부각되었다.

防潮堤를 締切하는 方式은 締切區間을 縮小하여 가며 막는 漸進締切方式과 高潮 또는 低潮時에 潮流가 停止狀態에 있을 때 케이슨을 設置하여 一時에 締切하는 一時締切方式으로 크게 區分될 수 있으며 現在 우리나라에서는 주로 漸進締切方式을 채택하고 있다.

漸進締切方式의 施工法은 漸縮式, 漸高式 또는 漸縮漸高併行式으로 區分되며 締切工事 進行에 따라 通水斷面積이 減少하게 되므로 潮汐에 의한 内外水位差가 커지며 엄청난 潮汐量이 締切開口를 流出入하게 되므로 큰 流速이 發生한다. 따라서 漸進締切方式에서 各各의 内外水位에 따른 流量 및 流速에 대한 水理現象의 精確한 파악은 防潮堤 締切의 計劃 및 設計에 가장 중요한 要素이므로 이 方面의 연구가 精實한 始點에 와 있다.

本 研究의 目的은 水理模型實驗으로 防潮堤 締切區間에서의 流量 및 流速變化를 구하고 實驗結果를 토대로 하여 防潮堤 締切方式에 따른 一般的인 水理特性도 아울러 파악하고자 하는 데 있다.

\* 서울大學校 大學院·農業振興公社

\*\* 서울大學校 農科大學

## II. 研究史

防潮堤 締切區間에서의 흐름에 대한 研究는 和蘭에서 약 10世紀 경부터 干拓事業을 시작한 이래 水理學 分野의 研究結果를 基礎로 하여 實用的인 分野에 適用하는 過程에서 이루어 졌다.

締切 斷面이 漸縮되는 區間에서 潮流의 流出入은 一般的으로 斷面一時 縮小區間에서의 흐름 特性을 利用하여 水理解析을 할 수 있다.

Lane<sup>10)</sup>이 斷面이 縮小되는 水理構造物에 대한 水理模型實驗을 최초로 施行한 이래 美國 地質調查所(U.S. Geological Survey)의 Kindsvater, Carter 및 Tracy<sup>9)</sup>는 潛流狀態에서 斷面一時 縮小區間에 대하여 流量 및 背水效果 등에 대한 綜合的인 研究를 進行하여 Lane의 方法보다 더욱 精確하게 水理解析을 할 수 있는 基礎를 마련하고 流量係數에 影響을 주는 모든 因子를 次元解析으로 도출하여 各 因子에 대한 實驗結果를 無次元의 圖表로 表示한 바 있다. 그리고 Skogerboe, Austin 및 Chang<sup>12)</sup>을 비롯한 여러 학자들<sup>4, 13, 14)</sup>은 斷面一時 縮小에 대한 水理特性 研究로 潛流分析 方法을 利用하여 潛流流量方程式을 斷面縮小 上下流側의 水深과 이들 水深의 比인 潛水度の 指數形式으로 表示하여 좀 더 實用的인 研究를 수행한 바 있으며 Fiazat와 Skogerboe<sup>6)</sup>는 潛流方程式의 正確度を USGS 方法과 比較分析하여 研究한 바 있다. 그러나 이들 方法은 모두 斷面이 漸縮되는 경우에 대한 研究이며 漸縮과 漸高가 동시에 이루어지는 構造物에 대한 水理特性 研究는 아직도 수행된 바 없는 실정이다.

한편 締切斷面이 漸高되는 區間에서의 흐름 特性은 사다리꼴 廣頂웨어의 流量公式을 利用하여 分析할 수 있다.

Woodburn<sup>16)</sup>을 비롯한 여러 학자들<sup>7, 8, 13, 15)</sup>은 웨어의 傾斜面이 흐름에 影響을 주는 因子로 간주하고 流量係數를 水頭와 웨어길이의 比인 無次元 媒介變數의 函數로 表示하고 있지만 形狀係數(Shape factor)를 利用하여 웨어의 流量方程式을 一般化하지는 못하고 있다.

Thomas<sup>15)</sup>는 Kindsvater<sup>8)</sup>의 研究結果와 같이 下流水位가 흐름에 影響을 미치지 않는 完全越流狀態의 流量係數와 下流水位가 흐름에 影響을 미치는 潛流狀態인 流量係數와의 比, 웨어頂을 基底線으로 한 上流水深과 下流水深과의 比인

潛水度와의 關係를 여러가지 사다리꼴 웨어의 下流側 기울기에 대하여 연구한 바 있다.

本間<sup>3)</sup>은 웨어높이가 웨어頂을 基底線으로 한 上流水深의 2 倍 이상인 低溢流 사다리꼴 廣頂웨어에 있어서 流量公式을 完全越流, 不完全越流 및 潛流인 狀態로 區分하고 各各의 경우에 있어서 웨어의 上下流側 傾斜에 따른 流量係數를 提示한 바 있으며 우리나라에서는 締切區間의 流量計算<sup>2)</sup>時에 本間의 長方形 廣頂웨어의 流量係數를 部分的으로 準用하고 있다. 그리고 權과 羅<sup>1)</sup>는 흐름이 潛流狀態인 경우에 바닥이 廣頂웨어 및 水平물받이 形式인 排水閘門 流量公式에 있어서 流量係數를 潛水度를 利用하여 구할 수 있는 方法을 提示하여 斷面이 漸縮 및 漸高가 동시에 이루어지는 경우에도 流量係數는 潛水도와 밀접한 關係가 있음을 提示한 바 있다.

## III. 防潮堤 締切區間에서의 水理

### 1. 흐름 特性

防潮堤 締切區間과 같이 水路斷面이 一時에 縮小되는 경우에 있어서 上流部에는 斷面縮小에 의한 背水曲線이 생기게 되며 背水曲線이 시작되는 部分을 斷面1로 하면 여기서부터 흐름은 等流가 아닌 漸變流가 된다(Fig 1)

締切 幅의 0.5~2 倍되는 거리의 上流 부터 流速은 加速되기 시작하여 縮小斷面이 끝나는 部分을 斷面2라 하면 여기까지 흐름은 急變流가 되며 흐름 斷面은 갑자기 縮小되어 심한 亂流를 發生하게 되고 流速은 最大가 된다. 따라서 斷面2에서의 實際流速은 築造材料 投下의 安定 및 流失 등에 큰 影響을 주기 때문에 이의 精確한 解析이 요구된다. 斷面2를 지난 흐름은 漸縮式인 경우 中央에서 서서히 減速되고 양쪽 가장자리 部分에서는 過流가 發生하게 되어 흐름은 分離되어 漸變流로 바뀌게 된다. 그리고 이 區間을 지나게 되면 等流가 다시 시작되어 이 部分을 斷面3으로 하면 斷面1에서 斷面3까지를 斷面縮小로 인하여 흐름이 影響을 받는 범위라고 할 수 있다. 따라서 斷面1에서 3까지가 水理模型의 構成을 必要로 하는 區間이다.

### 2. 흐름 方程式의 誘導

斷面縮小에 의한 水面低下가 생기지 않는 斷面1과 流速이 最大가 되는 斷面2에 대하여 堰

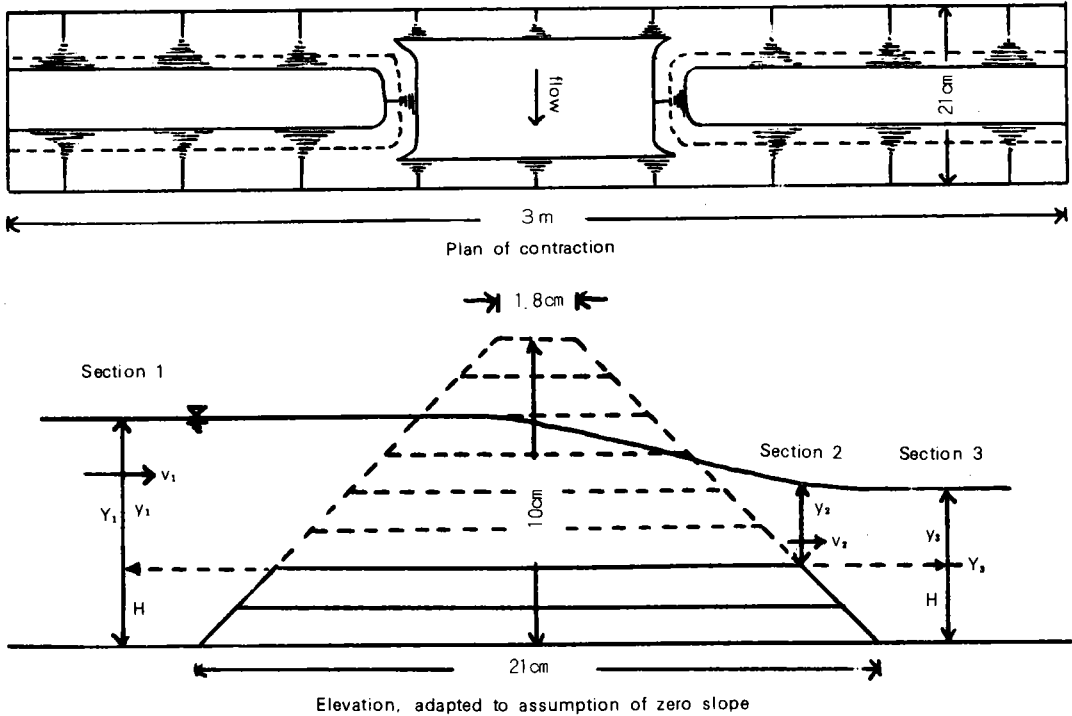


Fig. 1. Definition sketch of flow through closure gap

頂 연장선을 基底線으로 하여 Bernoulli의 定理을 적용하면 (Fig 1)

$$y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = y_2 + \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots (1)$$

式(1)을 断面2의 平均流速  $v_2$ 에 대하여 정리하면

$$v_2 = \sqrt{2g(y_1 + \frac{v_1^2}{2g} - y_2)} \dots\dots\dots (2)$$

사다리꼴인 断面2의 平均幅을  $b$ 라 하면 連續方程式은

$$Q = by_2 v_2 = by_2 \sqrt{2g(y_1 + \frac{v_1^2}{2g} - y_2)} \dots\dots\dots (3)$$

웨이 위의 흐름은 一定한 에너지水頭일 때 流量을 最大로 할 수 있는 水深  $y_2$ 를 取하게 되므로 式(3)에서  $\frac{dQ}{dy_2} = 0$ 을 滿足시키는  $y_2$ 를 구하면

$$y_2 = \frac{2}{3} (y_1 + \frac{v_1^2}{2g}) \dots\dots\dots (4)$$

式(4)를 式(3)에 代人하여 整理하면

$$Q = \frac{2}{3\sqrt{3}} b (y_1 + \frac{v_1^2}{2g}) \sqrt{2g(y_1 + \frac{v_1^2}{2g})} \dots\dots\dots (5)$$

式(5)에서 接近流速水頭  $\frac{v_1^2}{2g}$ 을 포함한 流量係

數를  $\mu$ 라 하면

$$Q = \mu by_1 \sqrt{2gy_1} \dots\dots\dots (6)$$

가 되어 式(6)은 縮切 中の 流量을 計算하는 式이 된다.

$$v_2 = \frac{Q}{by_2} \dots\dots\dots (7)$$

한편, 式(7)은 式(2)와는 다른 断面2의 平均流速을 計算하는 단순화된 공식이다.

#### IV. 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 防潮堤模型을 設置하였고 觀測을 容易하게 하기 위하여 水槽 한쪽 벽의 一部에 두께 10mm의 아크릴板을 부착하였다.

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.

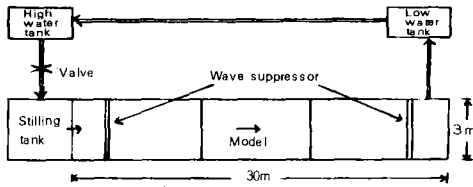


Fig. 2. Layout of facility for model test

Table-1. Combination of model test

Classification	Experiment condition	(Kinds)
Horizontal contraction (layer)	0, 1, 2, 3, 4, 5	(6)
Vertical " (number)	0, 2, 4, 6, 8	(5)
Dischage regulation (cm <sup>3</sup> /sec)	5250, 10500, 21000	(3)
Downstream water level regulation (cm)	16.5, 19, 22.5	(3)

※ Total run number=6×5×3×3=270

堤頂幅 1.8cm가 되도록 하였다 (Fig. 1)

實驗流量은 流量調節밸브 回轉 數(2, 2.5, 3回)에 대한 流量을 補正하여 決定(5250, 10500, 21000 cm<sup>3</sup>/sec) 하였으며, 水位調節은 模型을 漸縮 및 漸高하고 또한 水路 끝에 설치한 웨어의 높이를 調節(16.5, 19, 22.5cm)하여 實驗에 필요한 内外水位差를 發生시켰다.

따라서 實驗回數는 Table-1에서 보는 바와같이 總 270회가 되나 水深이 10cm를 넘어 흐름이 防潮堤를 越流하는 경우와 水深이 1cm도 되지 않아 물과 模型과의 粘着力 때문에 Froude相似法則이 適用되지 않을 뿐만 아니라 水深이 얇아 流速測定이 어려운 경우를 제외한 150회의 實驗結果를 分析對象으로 하였다.

## V. 結果 및 考察

### 1. 防潮堤 縮切區間에서의 流量

防潮堤 縮切區間에서의 流量은 流量係數를 여하히 適用하는 가에 따라 正確한 값을 推定할 수 있게 된다.

따라서 本 水理模型實驗에서는 流量 및 内外水位를 變化시키고 防潮堤 模型에서 縮切區間을 漸縮 및 漸高시키면서 구한 流量 및 上下流側 水深을 流量公式(6)에 代入하여 各各의 内外水位條件 下에서의 流量係數를 求하였으며 干拓防潮

## 2. 實驗 條件

防潮堤 模型은 길이 30cm 合版을 바닥이 水平인 幅 3m 水槽의 양쪽에서 1개씩 漸縮할 수 있게 하였고, 한편으로는 두께가 1.25cm되는 合版을 1층씩 漸高할 수 있게 하여 자유로이 漸縮과 漸高를 할 수 있게 하였으며, 防潮堤 内外側 기울기 및 漸縮區間의 先端部 기울기는 모두 1:1이 되도록 제작하여 길이방향으로 10개, 높이방향으로 8개의 合版조각 80개를 전부 설치할 경우 防潮堤는 길이 3m, 높이 10cm, 바닥폭 21cm,

堤 縮切 時 水理條件이 大部分 潛流狀態이므로 潛流狀態에서의 流量係數 變化를 알아 보고자 하였다.

通水斷面이 矩形인 排水閘門에서 흐름이 潛流일 때 流量公式(6)에 의한 流量係數는 潛水度를 使用하여 精確하게 推定할 수 있다고 報告한 權과 羅<sup>1)</sup>의 研究結果로 미루어 볼 때 梯形인 防潮堤 縮切區間에서도 流量係數가 潛水도와 어떤 關係가 있을 것으로 생각되었기에 그 結果를 Fig. 3에 圖示하였는 바 流量係數는 潛水도가 0.5 이하에서는 一定한 값을 나타내었다. 따라서 潛水도가 0.5이하에서 流量係數는 常數가 됨을 의미한다. 그러나 潛水도가 0.5이상에서는 流量係數가 減少되는 경향을 보이고 있으며 潛水도가 1에 도달하면 流量係數는 0에 漸近됨을 알 수 있었다.

이상의 結果로 부터 防潮堤 縮切區間과 같이 梯形斷面에서 潛水도가 0.5이하에서 흐름은 完全越流이고 潛水도가 0.5이상에서 흐름은 潛流가 된다는 사실을 알 수 있었고 完全越流과 潛流의 境界 즉 下流水深이 흐름에 영향을 미치기 시작하는 潛水度인 限界潛水度 (Scr: critical submergence ratio)는 0.5임을 알 수 있었다.

完全越流인 경우에 流量係數는 總 150회의 實驗 中에서 潛水도가 0.5이하인 경우에 해당되는 24회의 流量係數를 平均하여 0.40을 얻을 수 있

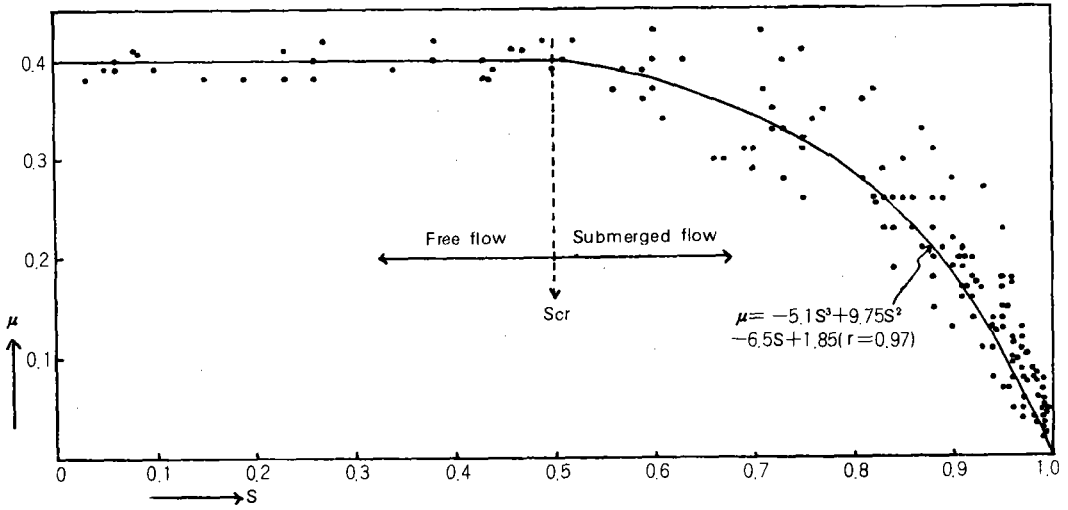


Fig. 3. Discharge coefficient to the variation of submergence ratio

Table-2. Regression equations between discharge coeff. and submergence ratio

Polynomial degree	Regression equations	Correlation coefficient	Remark
2	$\mu = -2.1S^2 + 2.4S - 0.34$	0.967	Best fitted
3	$\mu = -5.1S^3 + 9.75S^2 - 6.5S + 1.85 \dots\dots (8)$	0.970	
4	$\mu = -4.7S^4 + 9.1S^3 - 5.9S^2 + 1.3S + 0.3$	0.893	
5	$\mu = -0.9S^5 - 0.3S^4 + 1.2S^3 + 0.8S^2 - 1.6S + 0.9$	0.948	

있으며 平均의 標準偏差는 0.014 標準偏差의 平均値에 대한 比率을 나타내는 變異係數는 3.5%로 平均값의 신뢰성이 크게 나타났으므로 흐름이 完全越流인 경우의 流量係數는 0.40이었다. 한편 潛水度가 0.5이상되는 126회에 대한 流量係數는 潛水度가 增加함에 따라 曲線의 減少하였으며 이 兩者 間의 關係式을 구하기 위하여 回歸分析을 實施하였다.

Table-2에서 보는 바와 같이 回歸方程式의 相關關係를 나타내는 相關係數는 多項式의 次數가 2次일 때 0.967, 3次일 때 0.970으로 4次 및 5次인 경우에 비하여 높게 나타났다. 그리고 流量係數는 潛水度가 增加함에 따라 減少되어야 하는데 回歸方程式이 2次인 경우에는 潛水度가 0.57에서 最大값을 보이므로 潛水度가 0.50~0.57區間에서는 流量係數가 오히려 增加하는 傾向을 보이는 모순성을 가지고 있으므로 潛流인 경우의 流量係數는 相關係數가 0.970으로 가

장 크기도 한 3次式인 式(8)로 나타내는 것이 타당하다고 생각된다.

## 2. 防潮堤 締切區間에서의 流速

防潮堤 締切區間에서의 平均流速 算定은 流量을 通水斷面積으로 나누어 計算하는 방법이 가장 정확하다. 通水斷面積은 締切區間의 越流水深을 알아야 計算이 되는데 野外의 現場條件에 있어서는 防潮堤 締切이 進行됨에 따라 内外水位差가 점차 커져 流速이 매우 빨라지게 되기 때문에 締切區間의 越流水深을 직접 測定하기는 現實의 困란하다. 그래서 越流水深을 現場에서 實測하지 않고 間接적으로 알아낼 수 있는 방법을 도출하기 위하여 模型實驗으로 웨어頂을 基底線으로 한 上流水深( $y_1$ )과 下流水深( $y_3$ ) 및 越流水深( $y_2$ )을 測定하고 이들 間의 關係를 구하여 본 결과 式(9)와 같은 回歸方程式을 얻었다.

$$\frac{y_2}{y_1} = 0.51 \frac{y_3}{y_1} + 0.48 \dots\dots\dots (9)$$

여기서 上流水深에 대한 越流水深의 比( $\frac{y_2}{y_1}$ )를 越流潛水度( $S'$ : overflow submergence ratio)라 하고 上流水深에 대한 下流水深의 比( $\frac{y_2}{y_1}$ )는 潛水度( $S$ )이므로 式(9)를 바꿔쓰면 式(10)과 같이 되며

$$S' = 0.51S + 0.48 \quad \dots\dots\dots(10)$$

潛水도와 越流潛水도의 相關係數는 0.96으로 매우 높아 潛水도로 부터 越流潛水도를 정확하게 구할 수 있게 된다.

따라서 越流潛水도에 上流水深( $y_1$ )을 곱하면 越流水深( $y_2$ )를 구할 수 있게 되어 縮切區間 内の 平均流速은 式(7)로 구할 수 있게 된다.

그러나 實際로 防潮堤를 縮切할 때 縮切材料

의 크기 또는 縮切方式을 決定할 경우 더욱 중요한 것은 平均流速보다도 水深方向에 따른 最大流速 및 通水斷面이 急縮됨으로 인하여 防潮堤 先端部에 생기는 極最大流速이라 할 수 있다.

따라서 防潮堤를 漸高式으로 縮切할 경우에 縮切材料의 重量決定은 平均流速보다도 最大流速을 使用하여 計算을 하여야 하며 防潮堤를 漸縮式으로 縮切할 경우에 縮切材料의 重量決定은 平均流速보다도 極最大流速을 使用하여 計算을 하여야 한다고 생각된다. 그래서 本 實驗에서는 縮切區間의 最大流速( $V_2max$ ) 및 極最大流速( $MV_2max$ )을 測定하고 이들을 式(7)로 計算되는 平均流速( $V_2m$ )으로 各各 나누어 150회의 流速比에 대한 統計量을 分析하였다.

Table-3에서와 같이 平均流速에 대한 量大流

Table-3. Real velocity ratio at contraction section

Ratio	Mean	Standard deviation	Coefficient of variability (%)	Remark
$V_2max/V_2m$	1.22	0.1014	8.31	
$MV_2max/V_2m$	1.27	0.1044	8.22	

速 및 極最大流速의 比는 各各 1.22와 1.27로 나타났다. 한편 變量의 흠어진 程度와 偏差의 程度를 나타내는 標準偏差와 變異係數는 역시 아주 작은 값을 보이고 있어 平均값의 신뢰도가 큼을 알 수 있었으며 따라서 平均流速으로 부터 最大流速 또는 極最大流速의 推定이 가능하다고 생각된다.

### 3. 漸進方式에 따른 流量 및 流速變化

實際로 防潮堤를 施工할 경우 縮切區間에서의 流量 및 流速이 어떠한가를 알아보기 위하여 本 水理模型實驗 結果를 使用하여 이들을 各各 計算하여 보았다. 計算範圍은 우리나라에서 一般的으로 施工되고 있는 防潮堤 縮切水深과 防潮堤 縮切時 發生可能한 内外水位差를 基準으로 하여 上流側水深은 1m間隔으로 5~40m, 内外水位差는 0.5m~5m 間隔으로 0.5~5m 그리고 漸高높이는 5m間隔으로 0~35m로 하였으며 이 範圍 內에서의 流量 및 流速의 變化樣相을 쉽게 알아보기 위하여 計算結果를 圖示하였다.

Fig. 4에서 가로方向의 맨 윗줄은 漸高가 없는 즉 防潮堤를 漸縮式으로 築造하는 경우를 나타내고, 그 아래 가로方向의 7 줄은 漸高높이에 따른 즉 防潮堤를 漸高式으로 築造하는 경우를 表

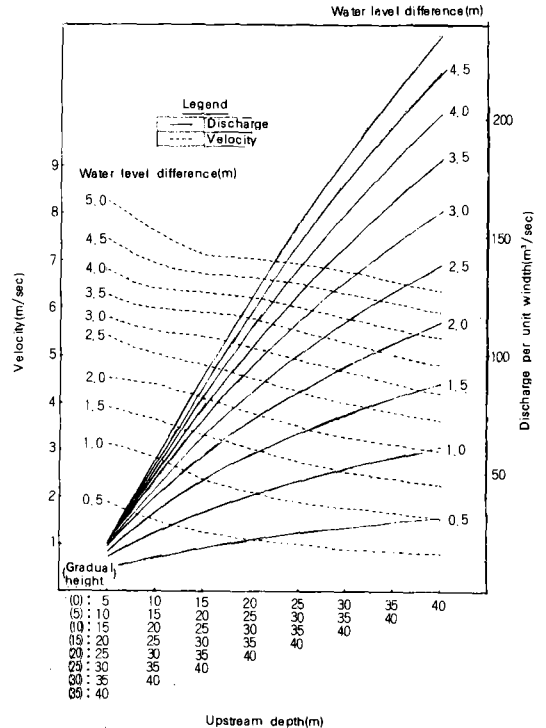


Fig. 4. Discharge and velocity according to upstream depth and water level difference in gradual closure

示한다. 이에 따라 漸縮式으로 築造하는 경우를 살펴보면 内外水位差가 클수록 流速은 急速히 增加하고, 上流側 水深이 깊으면 즉 防潮堤를 深海에서 縮切하면 淺海에서 縮切하는 경우보다 流量은 内外水位差가 클수록 急速히 增加하고 流速은 減少함을 알 수 있다.

그리고 防潮堤를 漸高式으로 築造하는 경우를 살펴보면 内外水位差가 클수록 流速은 역시 急速히 增加하지만 漸高가 進行됨에 따라 流量은 内外水位差가 클수록 急速히 減少하고 流速은 增加하게 됨을 알 수 있다.

한편 Fig. 4는 防潮堤 縮切區間에서의 流量 및 流速을 폭넓게 圖示한 것이기도 하기 때문에 이들을 직접 計算에 의하지 않고도 圖解法으로 구하는데 利用될 수 있을 것으로 생각된다.

## Ⅵ. 本 研究結果와 他 研究結果와 의 比較 分析 및 考察

### 1. 防潮堤 縮切區間에서의 流量

斷面一時 縮小區間이 있는 開水路의 流量을 計算하는 方法으로, USGS<sup>9)</sup>에서는 式(11)을 使用한다.

$$Q = \mu b y_2 \sqrt{2g \left( y_1 - y_2 - hf + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} \right)} \dots\dots\dots (11)$$

여기서 hf는 摩擦로 인한 損失水頭이며  $\alpha_1$ 은 에너지 補正係數이다.

이 流量公式은 理論的으로 완벽하며 流量係數도 次元解析으로 도출된 各 因子에 대한 模型實驗을 실시하여 이들을 圖解法으로 구할 수 있게 하여 流量을 매우 精確하게 算定할 수 있도록 研究된 바 있으나 Barrett와 Skogerboe<sup>4)</sup>가 언급한 바와 같이 計算過程이 복잡하다.

따라서 潮位가 수시로 變하는 防潮堤에 適用

하기 위하여는 USGS方法에 대한 電算프로그램 開發이 별도로 必要하다고 본다. 그리고 USGS方法은 Froude數가 0.2~0.7인 흐름狀態 下에서 開發되었기 때문에 防潮堤 最終縮切 時 흐름이 完全越流가 되는 경우에는 適用與否에 대한 檢討가 아울러 必要하다.

Skogerboe, Austin 및 Chang<sup>12)</sup>도 開水路에 斷面一時 縮小區間이 있는 경우에 流量을 計算하는 方法으로 式(12)를 發表한 바 있다.

$$Q = \frac{C_1 (y_1 - y_2)^{n_1}}{(-\log S)^{n_2}} \dots\dots\dots (12)$$

여기서  $C_1$ 은 潛流係數이며  $n_1$ 은 흐름斷面의 形狀 및 摩擦損失에 따른 指數이며  $n_2$ 는 潛水指數이다.

運動方程式과 連續方程式으로부터 유도된 이 潛流流量方程式은 여러學者<sup>4,6)</sup>들이 USGS方法보다 精確하다고 研究論文을 發表하고 있으며 本 研究結果와 마찬가지로 潛水度가 매우 중요한 因子로 작용되고 있다. 그러나 이 流量公式에서 潛水指數( $n_2$ )는 흐름斷面 縮小率에 따라 變하는 指數이기 때문에<sup>4)</sup> 防潮堤와 같이 흐름斷面 縮小率보다는 潮位에 의한 水位差가 流量에 큰 影響을 미치는 경우에는 潛水指數 선택에 어려움이 있을 것으로 생각된다.

또한 우리나라에서 防潮堤 縮切區間의 流量計算 時에 주로 사용되는 本間方法<sup>3)</sup>은 流量公式이 다음과 같이 흐름狀態에 따라 3가지로 細分되어 있다.

• 完全越流 :  $Q = \mu b y_1 \sqrt{2gy_1} \dots\dots\dots (式6 適用)$

• 不完全越流 :  $\frac{Q}{b y_1 \sqrt{2gy_1}} = \alpha_1 \frac{y_2}{y_1} + \beta \dots\dots\dots (13)$

• 潛流 :  $Q = \mu' b y_3 \sqrt{2g(y_1 - y_3)} \dots\dots\dots (14)$

Table-4. Discharge coefficient of submerged weir

Upstream side radiant	Downstream side gradient	Freeflow coeff. ( $\mu$ )	Lower limit submergence ratio	Transitional flow		Upper limit submergence ratio	Submerged flow coeff. ( $\mu'$ )
				$-\alpha/\mu$	$\beta/\mu$		
$0 \sim \frac{4}{3}$	above $\frac{5}{3}$	$0.31 + 0.23 \frac{y_1}{H}$	0.60	0.030	1.010	0.7	$2.6\mu$
$0 \sim \frac{2}{3}$	1	$0.29 + 0.32 \frac{y_1}{H}$	0.45	0.200	1.090	0.8	$2.6\mu$
$0 \sim \frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$	$0.28 + 0.37 \frac{y_1}{H}$	0.25	0.124	1.032	0.8	$2.6\mu$
Rectangular $\frac{y_1}{L} < \frac{1}{2}$		0.35	$\frac{2}{3}$	-	-	$\frac{2}{3}$	$2.6\mu$

여기서  $\alpha, \beta$ 는 常數이고  $\mu, \mu'$ 는 流量係數, L은 웨어질이로서 越流斷面 및 흐름條件에 따른 값은 Table-4에서 보는 바와 같다.

이 方法은 흐름斷面이 漸高로 縮小되는 경우에 使用될 수 있으나 低溢流堰堤 ( $y_1/H < 0.5$ )의 流量係數를 算定하는 경우로 使用범위가 限定되어 있으며 흐름斷面이 漸高없이 漸縮되는 경우에는 使用할 수 없다. 그리고 本間은 潛流流量係數를 다음과 같이 理論的으로 구하고 있다. 接近流速이 작고  $y_2/y_1 = 2/3$ 일때 近似的으로 式(6)과 式(14)는 같다고 놓고 정리하면

$$2g\mu^2 y_1^3 = 2g\mu'^2 (y_1 \times \frac{4}{9} y_1^2 - \frac{8}{27} y_1^3) \dots\dots\dots (15)$$

$$(\frac{\mu}{\mu'})^2 = \frac{4}{27} \rightarrow \mu' = 2.6\mu \dots\dots\dots (16)$$

즉 潛流流量係數는 完全越流流量係數에 2.6을 곱하여 쉽게 구할 수 있으나 限界潛水도가 높은 경우에만 使用이 可能하기 때문에 防潮堤 流量公式으로 使用時에 充分한 檢討가 必要하다고 본다.

他 研究結果와 比較하여 本 研究結果를 살펴 보면 防潮堤 模型이 自由로이 漸縮 및 漸高가 되도록 考案된 것으로 實驗을 실시하였고 실험범위를 開水路의 흐름상태를 나타내 주는 가장 一般的인 媒介變數인 Froude數로 比較하여 볼 때 USGS 實驗範圍가 0.2~0.7인데 반하여 本 實驗範圍는 0.03~1.41로 매우 넓다고 할 수 있다. 그리고 流量을 潛流인 경우에도 潛流公式에 의하지 않고 完全越流公式에 潛水度를 適用하여 구할 수 있도록 하여 本間公式과 대조가 되며, 流量計算 方法이 USGS 方法이나 Skogerboe 方法에 比較하여 아주 간단하다는 점을 들 수 있다.

## 2. 防潮堤 縮切區間에서의 流速

Ockhuysen<sup>5)</sup>은 和蘭에서 刊行된 The Closure of tidal basin에 防潮堤 縮切區間에서의 流速을 式(17)과 같이 記述하였다.

$$V_2 = \sqrt{2g(y_1 - y_2)} \dots\dots\dots (17)$$

또한 農地改良事業 計劃設計基準<sup>2)</sup>에는 式(17)에 流速係數 C가 適用된 式(18)로 記述되어 있으며

$$V_2 = C\sqrt{2g(y_1 - y_2)} \dots\dots\dots (18)$$

流速係數가 0.7~0.8의 範圍로 提示되어 있어 流速計算時에 範圍內의 一定한 값을 특별한 기준없이 임의로 택해야 한다.

앞의 두 方法과 比較하여 本 研究結果를 살펴 보면 流速은 流量을 縮切區間의 越流斷面積으로 나누어 計算되게 함으로서 平均流速의 正確한 推定을 可能하게 하였으며 防潮堤를 縮切할 때 縮切材料의 크기를 決定할 경우 平均流速 보다 더욱 重要한 水深方向에 따른 最大流速 및 斷面一時縮小에 의한 極最大流速의 算定方法을 提示하여 앞으로의 活用이 기대된다.

## VII. 提案된 流量 및 流速計算 節次

流量計算은 既知條件으로 上流側水深 ( $Y_1$ ), 下流側水深 ( $Y_2$ ), 漸高높이(H) 및 縮切幅(b)의 4가지만 알면 可能하고 流速計算은 流量計算 結果를 利用하여 計算되며 計算節次는 다음과 같다.

1. 潛水度의 計算  $S = \frac{Y_2 - H}{Y_1 - H} = \frac{y_2}{y_1}$
2. 潛水도에 따른 流量係數를 決定  
 $S \leq 0.5 \rightarrow \mu = 0.4$   
 $S > 0.5 \rightarrow \mu = -5.1S^3 + 9.75S^2 - 6.5S + 1.85$
3. 流量을 流量公式에 代入하여 計算  
 $Q = \mu by_1 \sqrt{2gy_1}$
4. 越流水深을 알기 위한 方法으로 越流潛水度를 計算  
 $S' = 0.51S + 0.48$
5. 越流水深은 越流潛水도에 漸高높이를 基準으로 한 上流側水深을 곱하여 計算  $y_2 = S' \times y_1$
6. 3項에서 計算된 流量을 縮切區間의 通水斷面積으로 나누어 平均流速을 計算  
 $V_{2m} = Q/by_2$
7. 最大流速 및 極最大流速을 計算  
 $V_{2max} = 1.22 \times V_{2m}$   
 $MV_{2max} = 1.27 \times V_{2m}$

한편 3과 6項의 流量 및 平均流速은 Fig. 4를 利用하여 圖解法으로도 구할 수 있다.

## VIII. 要約 및 結論

水理模型實驗으로 防潮堤 縮切區間에서의 流量算定에 使用되는 流量公式의 流量係數를 簡單하고 正確하게 구할 수 있는 方法과 縮切材料의 크기 決定時 가장 重要한 因子인 縮切區間內의 流速計算方法을 誘導할 수 있었으며 그 結果를 要約하면 다음과 같다.



1. 縮切斷面이 梯形인 防潮堤에 있어서 流量係數의 값에 영향을 주는 限界潛水度는 0.5로 밝혀졌다.

2. 流量係數는 縮切區間의 흐름이 完全越流인 경우 0.4, 潛流인 경우 3次 回歸方程式  $\mu = -5.1S^3 + 9.75S^2 - 6.5S + 1.85$ 로 나타났다.

3. 潛水도와 越流潛水도와의 關係는  $S' = 0.51S + 0.48$ 로 表示될 수 있다.

4. 越流潛水도에 웨어頂을 基準으로 한 上流水深을 곱하여 越流水深을 구하고 越流水深에 縮切幅을 곱한 것을 流量으로 나누면 縮切斷面內의 平均流速을 구할 수 있음이 立證되었다.

5. 縮切斷面內의 平均流速에 대한 最大流速 및 極最大流速의 比는 各各 1.22와 1.27로 나타났다.

6. 防潮堤를 深海에 漸縮式으로 築造할 경우를 淺海에 築造하는 경우와 比較하여 볼 때 流量은 内外水位差가 클수록 急速히 增加하고 流速은 減少한다. 그리고 防潮堤를 漸高式으로 築造할 경우 漸高가 進行됨에 따라 流量은 内外水位差가 클수록 急速히 減少하고 流速은 增加한다.

7. 防潮堤 縮切區間에서의 流量 및 流速에 대한 本研究結果를 他研究結果와 比較 分析하였으며 防潮堤 縮切區間에서의 流量 및 流速計算 節次를 提示하였다.

### 參 考 文 獻

1. 權純國, 羅正宇(1986), "排水閘門의 流量係數 決定에 대한 實驗的 研究", 韓國農工學會誌, 韓國農工學會, 第28卷 第1號, pp. 51~59.
2. 農林部(1971), "農地改良事業 計劃設計基準 海面干拓編", pp. 144.
3. 本間仁, 石原藤次郎, (1958), "應用水理學", 丸善, pp. 154~156.
4. Barrett, J. W. and Skogerboe, G. V., (1973), "Computing backwater at open channel constrictions", J. Hyd. Div. Proc. ASCE 99 HY7, pp.1043~1056.
5. Delft University Press, (1984), "The closure

- of tidal basins, p.536.
6. Fiuzat, A. A. and Skogerboe, G. V., (1983), "Comparison of open channel constriction ratings", J. Hyd. Div. Proc. ASCE 109 No.12, pp.1589~1602.
7. Govinda Rao, N.S. and Muralidhar, D., (1961), "A new discharge formula for waste weirs", J. Cent. Board Irrigation Power 18(10), pp.908~917.
8. Kindsvater, C. E., (1964), "Discharge characteristics of embankment-shaped weirs", U. S. Geol. Surv., Water-Supply Pap. 1617-A.
9. Kindsvater, C. E., Carter, R. W., and Tracy, H. J., (1953), "Computation of peak discharge at contractions", U.S. Geol. Surv., Circ. 284.
10. Lane, E. W., (1920), "Experiments on the flow of water through contractions in an open channel", Trans. ASCE, 83, pp.1149~1208.
11. Muralidhar, D., (1983), "Some studies on weirs of finite crest width", M. S. Thesis, Dept. of Civil and Hyd. Eng., Indian Inst. of Sci., Bangalore.
12. Skogerboe, G. V., Austin, L.H., and Chang, K. T., (1970), "Subcritical flow of open channel structures", Bridge Constrictions PRWG 71-2, Utah Water Research Laboratory, College of Engineering, Utah State University, Logan, Utah.
13. Skogerboe, G.V., et. al., (1973), "Comparison of bridge backwater relation", J. Hyd. Div. Proc. ASCE, Vol.99, No.HY6, pp.921~938.
14. Skogerboe, G. V., and Hyatt, M. L., (1967), "Analysis of submergence in flow measuring flumes", J. Hyd. Div. Proc. ASCE, Vol.93, No. HY4, pp.183~200.
15. Thomas, W. A., (1966), "Submerged weir characteristics", M. S. Thesis, Dept. of Civil and Sanit. Eng. Massachusetts Inst. of Technol., Cambridge, Massachusetts.
16. Woodburn, J.G., (1932), "Test of broad-crested weirs", Trans. ASCE 96, pp.387~416.