

落差工 水理設計를 爲한 計算圖表에 關하여

Study on the Calculation Diagram for the Hydraulic Design of drop Structures

編輯部

Edditor

(註) 本文은 日本水路研究會에서 發行되는 水路誌 9卷3號 (1968年 12月)에 揭載된 內容을 (筆者: 石捷野治, 中山駿男) 參考 資料로서 收錄한다.

1. 緒論

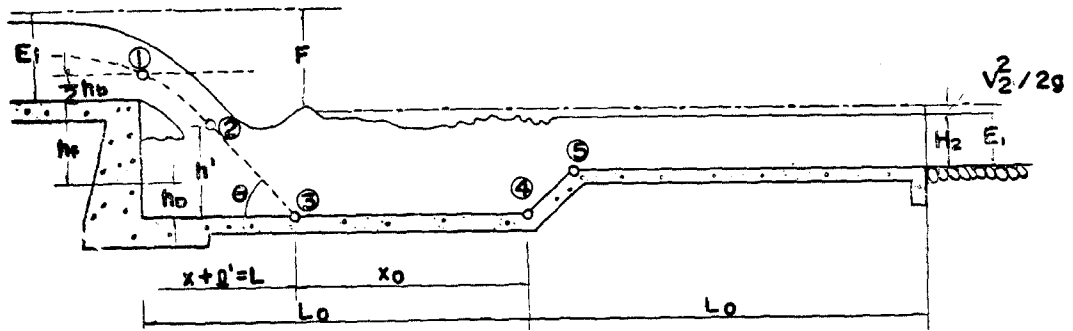
水路의 路線計劃에 있어서 地形條件과의 相互關係에서 落差工이 必要한 境遇가 많다. 이제 까지 많은 물콧손型落差工(普通落差工) 이나 特殊한 落差工이 施工되어 왔지만 그 型式과 減勢工法에는 아직도 多

小의 問題點이 있다. 또 落差工의 水理設計에 있어서는 一般的으로 煩雜한 計算이 必要하다.

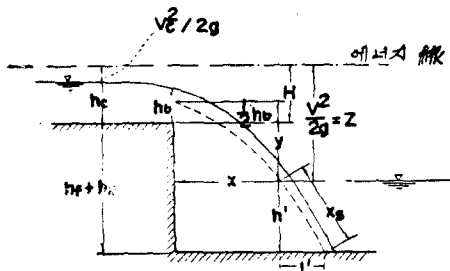
本文은 計算의 簡便과 迅速化를 위하여 計算圖表에 依한 計算方法을 생각한 것으로 이 計算圖表를 使用하므로써 落差工의 落水脈의 飛距離, 水脈中心의 流速等의 計算이 簡略化될 것으로 믿는다.

이 方法은 日本農業土木試驗場에서 實施한 落差工의 水理模型實驗 結果 確定을 본 水理特性을 圖表로서 準備한 것임을 附言하는 바 이다.

III. 記號說明



그림, 1 콧손型落差工一般圖



그림, 2 落水脈

d; 落水脈의 두께(m)

F; 上下流 水流의 에너지差(m)

g; 重力의 加速度

H; 上流水路의 限界水深位置에 있어서의 비에너지 = $1.5hc$ (m)

H₁; 上流水路의 等流水深 (m)

H₂; 下流水路의 等流水深 (m);

h'; 물콧손부분에 있어서의 水深 $\approx H_2 + h_D$ (m)

h_b; 流入口水深 (m)

h_c; 上流水路에 있어서의 限界水深 (m)

h_D; 靜水池의 깊이 (m)

h_r; 落差工上下流의 水路바닥落差 (m)

L; 落差工에서 測定한 落水脈中心의 靜水池바닥에 衝突하는 位置까지의 水平距離 (m)

Q; 流量 (m³/se)

B; 流入口 斷面의 너비(m)

x_s : 落水水脈의 水中突入方向으로 測定한 貫入距離 (m)

V : 水脈中心의 大氣中의 任意點에서의 流速 (m/sec)

V_m : 落水水脈의 中心이 靜水池바닥에 衝突하기 直前의 最大流速 (m/sec)

V_{max} : 落水水脈의 水中突入角度를 延長한 貫入方向上의 任意點에 있어서의 流速 (m/sec)

V_{max}' : 落水水脈中心이 靜水池바닥에 衝突하여 水路바닥에 따라 下流로 向하여 흐르는 흐름의

任意點의 位置의 流速 (m/sec)

x_0 : 靜水池에 衝突한 位置에서 下流로 測定한 任意의 位置까지의 距離 (m)

x : 落下點(落下口)을 產標原點으로 하여 下流에서 水平方向으로 測定한 距離 (m)

y : 落下點(落下口)을 座標原點으로 하여 鉛直下向으로 測定한 距離 (m)

Z : 水脈中心點의 에너지落差 $= H + y(m)$

θ : 水脈中心線의 任意點에 있어서의 水平面과의 傾斜角度)

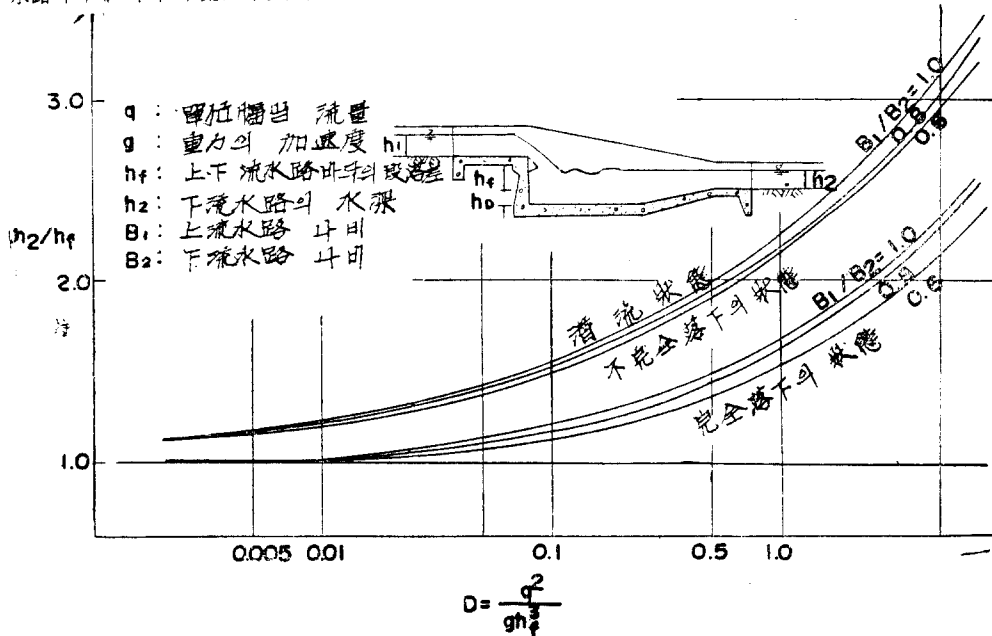


그림. 3 흐름의 狀態의 判別圖

Ⅲ. 落差工 附近에 있어서의 흐름의 狀態 區分

一般的으로 落差工 上流水路의 流水의 狀態는 常流인 境遇가 많다. 落下點附近에 있어서 흐름의 狀態는 下流水位의 影響을 받으며 確實하게 性格이 다른 流況으로 된다는 것을 알게 되었다. 即

1. 上流水位가 下流水位의 影響을 받지 않는 完全落下狀態로서 下流水路는 露出된 射流, 跳水を 隨伴하는 흐름.
2. 上流水位가 下流水位의 影響을 받지 않는 完全落下狀態로서 下流水路의 水中에 落水水脈이 突入하는 흐름.
3. 下流水面이 上昇하여 落下高가 작아지기 始作하여 限界水深에 比等하게 될 때 까지의 不安全落下의 狀態로서 下流水路의 定常波는 漸次減

衰되어 가는 흐름으로 된다.

4. 段落部에서 限界水深을 볼 수 없는 잠긴 越流의 狀態로서 下流水路의 定常波는 漸次로 減衰되어 가는 흐름으로 된다.

이들 各狀態의 區分의 境界가 되는 上, 下流水路의 水位關係를 理論的으로 檢討하여 흐름이 어느 狀態에 屬하느냐의 判別을 簡便하게 하기 위하여 落差 2.5m以內, 單位幅當 流量 2.5m³/sec以內 및 上, 下流의 水路나비의 比를 4種類로한 實用的條件을 부여하여 作圖한 結果를 그림. 3으로 表示하였다.

Ⅶ. 設計의 方針과 順序

落差工은 上流水路에 上流水路보다 不必要하게 높 이거나 또는 低下背水나 下流水路에서 減勢不良으로 因한 亂流가 생기지 않도록 設計할 必要가 있다.

이를 爲하여 完全落下狀態가 되도록 設計하고 不

完全落下나 潛流狀態가 되지 않도록 함이 좋다. 萬一 完全落下를 保持할 充分한 落差를 얻지 못 할 경우는 下流水路에 나타나는 波狀流에 의한 水路비탈면의 侵蝕 등의 障害에 對處한 設計를 할 必要가 있다.

落差工의 水理設計를 하는 順序로서

1. 計劃流量, 上, 下流 水路의 縱斷기울기, 水路斷面形 및 上下流水路 落差等の 條件을 確認한다.
2. 設計條件을 基礎로 落差工을 通하는 흐름이 어떠한 흐름의 狀態인가를 判定한다. 되도록 完全落下의 狀態로서 흐르도록 計劃하고 流量과 上, 下流水路에 있어서의 落差에서 물 콧손의 깊이를 決定한다.
3. 물콧손의 깊이를 決定하고서 落下水脈의 中心軌道를 計算하여 水面에 突入하는 位置, 流速, 水面突入의 傾斜角을 求한다.
4. 落下水脈의 中心이 靜水池바닥에 衝突하는 落下口로 부터의 距離를 計算하고 여기에서 靜水池의 長이를 決定한다.

本文에서 取扱하는 落差工의 形狀은 落下口는 上流水路와 同一한 長方形斷面으로서 落下口의 나비를 좁히거나 落下口의 바닥을 올릴 경우를 除外하고 있다. 이와 같은 形狀이 되면 落下水脈의 形狀이 다르며 本文에 記載한 諸式을 適用할 수 가 없으므로 注意를 要한다.

V. 流入口 (落下口) 水深

流入口水深의 값은 많은 研究者에 따라 理論의 으나 實驗値로써 發表되어 있으나 各己의 條件에 따라 다른 값을 나타내고 있다.

常流狀態로 흐르는 長方形斷面의 上流水路에 대한 落下水深을 h_b 로하여 限界水深 h_c 와의 比 h_c/h_b 의 값은 理論의 으로는 粗度가 커질수록 크게 되며 流量

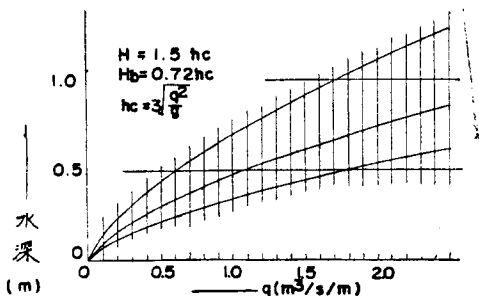


그림-4. $q-h_b, h_c, h_c$ 및 H 와의 關係

이 增加할 수록 減少傾向을 나타낸다. 또 水路의 기울기가 急할 수록 減少된다.

實際使用에 있어서는 $h_b/h_c = 0.72$ 로 생각해도 無妨할 것이다. 單位幅當 流量 q 와의 關係로서 H, h_b, h_c 의 값을 求하고 그림化 시킨것이 그림 4 이다'

VI. 落下水脈의 水理

落下水脈의 形狀은 上流水路의 水理條件과 落下口의 形狀에 따라 變化한다.

1. 水脈의 飛距離

水脈의 中心軌道가 그리는 曲線形에 對하여 다음-의 實驗式이 있다.

$$\frac{x}{H} = 1.477 \left(\frac{y}{H} + 0.242 \right)^{0.5671} \dots \dots \dots (1)$$

이 計算을 爲하여 作圖한 것이 그림 5이다.

2. 水脈中心의 任意的 點에 있어서의 傾斜角 θ 傾斜角 θ 를 구하는 下記式에 의하여 그림 6을 作 成한다'

$$\tan \theta = 0.8863 \left(\frac{x}{H} \right)^{0.763} \dots \dots \dots (2)$$

3. 水脈中心의 流速

空氣抵抗을 無視할 수 있는 落差 3m以內에서는 水

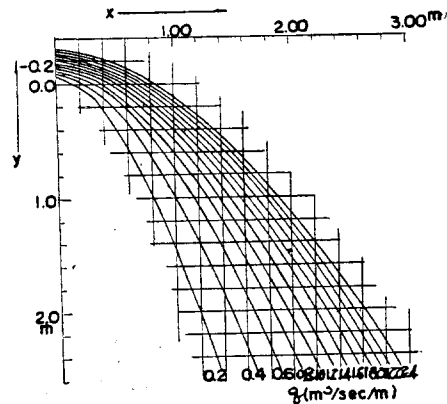


그림-5 落下水脈의 飛距離

脈中心의 任意的 點의 流速은 다음 式에 依하여 求할 수 있다.

$$V = \sqrt{2gz} \dots \dots \dots (3)$$

이 流速을 求하기 위한 것이 그림-7이다.

d. 水脈의 두께

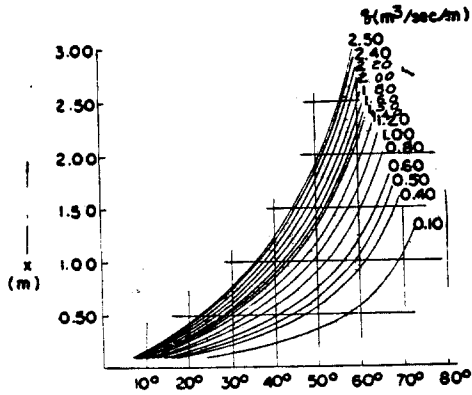


그림-6 X와 θ 와의 관계

水脈의 두께 d 의 값은 다음 식에 의하여 近似值를 求할 수가 있다.

$$d = q/v \dots \dots \dots (4)$$

이 計算은 容易하다고 생각되어 特히 作圖을 하지 않았다.

VII. 落下水의 물 窠內의 水理

落下水脈이 下流水路內에 貫入하는 경우이 貫入直前의 水脈의 飛距離, 速度, 두께 및 水面突入角度等の 特性은 前項에 있어서 確實하게 되었으므로 다음은 下流水路內에서 貫入后의 水理現象에 對하여 記錄된다.

1. 下流量窠內 貫入後의 水脈中心流速

落下水脈은 下流窠內의 水面에 貫入하며는 擴散되어 점차로 그 速度가 減少한다.

이 貫入入方向은 下流水路의 흐름이 느릴 경우에는 大體로 水面貫入時의 方向에 比等하다. 落下水脈의 水中貫入方向으로 延長한 貫入方向上의 任意의 點에 있어서의 流速 V_{max} 와 水脈의 水中貫入速度 V 와의 比 V_{max}/V 와 貫入距離 x_s 와 貫入點에 있어서의 水脈의 두께 d 와의 比 x_s/d 와의 關係는 다음 實驗式으로서 나타낸다.

$$V_{max}/V = k/\sqrt{x_s/a} \dots \dots \dots (5)$$

여기서는 K 는 係數로서 1.87~2.41인 範圍의 값을 가진다.

上流施路와 比較하여 靜水池의 나비나 깊이가 클 境遇에는 1.87이 되나 一般의으로 2.41을 使用하는 것이 安全한 設計가 된다. 이리하여 x_s/d 의 값이 5.8以內인 貫入距離에서는 突入流速은 減少되지 않는 것을 알 수 있다.

지금물 窠內의 水深 $h' \approx H_2 + h_D$ 와 水脈中心이

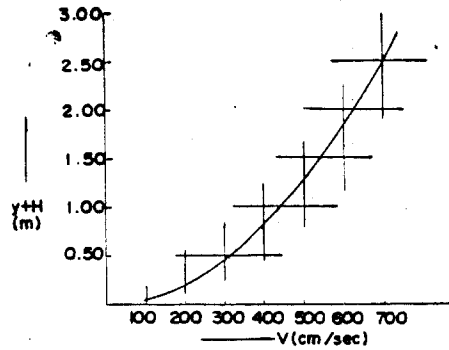


그림-7 落下水脈의 中心流速

水面貫入點에서 水平面과 만드는 角度 θ 와의 關係에서 貫入距離 x_s 를 求하기 위하여 作圖된 것이 그림-8이다.

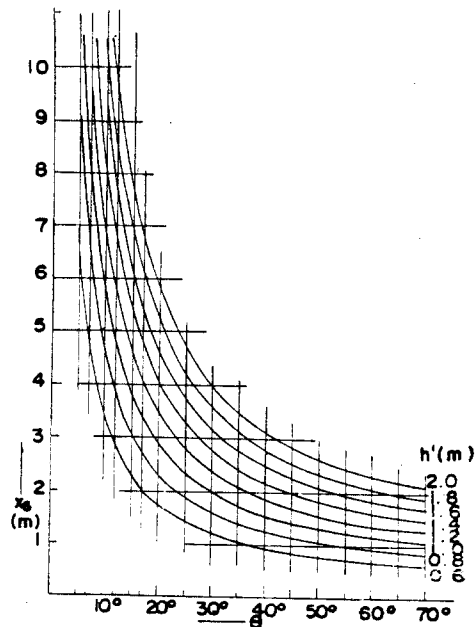


그림-8 X_s 와 θ 와의 관계

2. 물窠內의 바닥에서의 中心流速

물窠內에 貫入한 落下水脈은 그 最大流速을 減하면서 바닥에 이르면 바닥에 따라서 下流方向으로 움직인다.

流下距離의 增大에 따라 流速이 減衰되어 流心部의 두께는 下流에 갈수록 커진다. 물窠內바닥에 衝突하여 屈曲되어 下流로 向하는 初期流速은 水脈中心이 물窠內部 바닥에 衝突하는 直前의 最大流速 V 에 比等한 것으로 생각하고 水路바닥에 따라 下

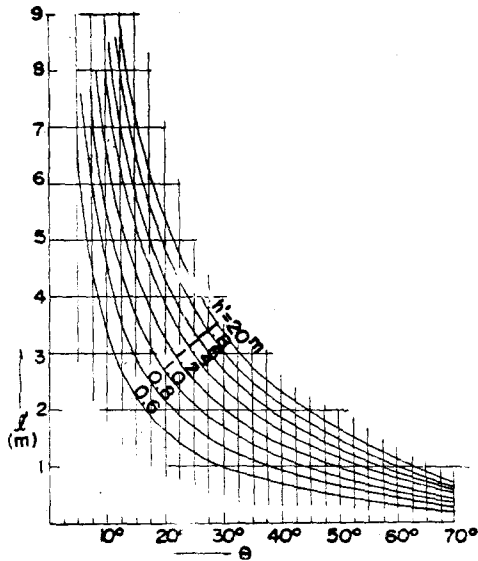


그림-9 l' 와 theta 의 關係

流로 向하는 흐름의 任意的 位置에 있어서의 最大流

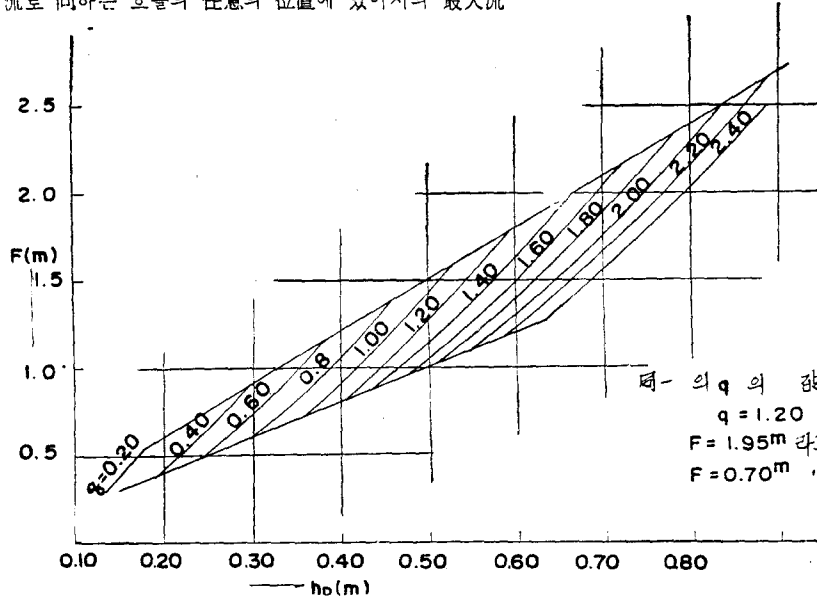


그림-10 물콧손의 깊이

速 V_{max}' 와 V_n 와 비의 $V_{n:}x'/V_m$ 에 對하여 實驗的으로 다음 關係를 얻었다.

$$V_{max}'/V_m = k \times \frac{L}{x_0} \dots \dots \dots (6)$$

여기서 K: 係數로서 0.5~0.9의 範圍, 平均 0.7
L: $x+l'$

여기에서 V_m 은 衝突에 依하여 方向을 바꾸어서도 L의 約 70%에 相當하는 距離 x_0 의 區間은 減速되지 않고 約 1.5배의 距離가 되면 V_m 의 50% 程度가

됨을 알 수 있다.

上式을 使用할 때에 必要한 l'의 값을 求하기 爲하여 作圖한 것이 그림-9이다.

VIII. 물콧손의 깊이와 길이

1. 물콧손의 깊이

깊이 h_b 는 $1/2F \sim 1/3F$ 의 사이의 깊이로 하여 다음式에서 求한다.

$$h_b = \frac{1}{2}(H \cdot F)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (7)$$

여기서 H: 上流의 비에너지 (m)

F: 上, 下流水流의 에너지의 差 (m)

但 計算에 依하여 求한 h_b 의 값은 $\frac{1}{2}F$ 보다 크면

$\frac{1}{2}F$, $\frac{1}{3}F$ 보다 작으면 $\frac{1}{3}F$ 의 값으로 한다. F를

假定하여 流量 q에서 算出한 H를 써서 물콧손의 깊이 h_b 를 求하기 爲하여 作成한 것이 그림-10이다.

2. 물콧손의 길이

물콧손의 길이는 落下水脈中心이 落下口로부터 靜

面-의 q의 값에 對하여는 S字形이 됨

q = 1.20 인 경우

F = 1.95m 라면 $h_b = 0.65m$

F = 0.70m " $h_b = 0.35m$

水池바닥에 衝突하는 位置까지의 水平距離 L을 基準으로 하여 V_m 의 값이 下流水路의 平均流速 V_2 의 값의 2倍 以內이면 2.0倍, 그 以上일 경우 2.5倍로 하여 (6)式을 使用한 물콧손 末端의 中心部流速 V_{max}' 의 값이 下流水路의 平均流速의 2 倍以內가 되도록 함이 좋다.

IX. 下流물입形狀 其他

1. 下流물입 形態

물콧손의 下流 끝의 턱을 直立壁으로 하면 最大

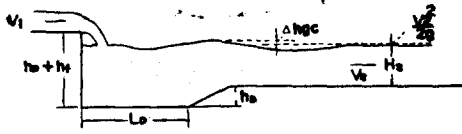


그림-11 下流불입部 附近의 說明圖

流速部가 바닥에 따라 流下하기 때문에 소용돌이가 생기기 쉽다. 그러므로 1:4以上の 緩한 기울기를 붙인다.

불입水路의 길이는 靜水池의 길이와 같게 한다.

2. 下流불입水路에 있어서의 最高水面

最高水面(그림-11參照)

$$h_0 + E_2 + \Delta h_{gc} \dots \dots \dots (8)$$

여기서 $\Delta h_{gc} = (1 + f_{gc}) \Delta h_{v2} = (1 + f_{gc}) \frac{V_2^2}{2g}$

f_{gc} : 漸縮損失係數로서 1:4의 기울기로운 水理實驗의 結果로서는 0.2~0.5의 범위

인 값을 가진다.

3. 물뿔손의 나비(幅)

水理的으로는 물뿔손內에 있어서 擴散이나 亂流作用을 活潑하게 하기 위하여 落下口의 나비부터 크게 하는 경우가 落下水의 減勢效果가 크다.

이 境遇 施工이다 經費面에서 나비擴大에 對하여 限界가 생겨 現在까지 施工된 實例을 보면 한쪽나비로서 0.5m 程度 크게하는 케이스가 많다.

X. 計算例

上, 下流가 同一한 水路의 기울기를 가지는 長方形斷面으로서 計劃最大流量 $Q=1.80m^3/sec$, 水路나비 1.50m, 水路바닥기울기 $I=1/1,000$ Manning의 粗度係數 $n=0.015$, 上, 下流路의 落差 $h_f=1.40m$ 이다

1. 設計條件은 다음과 같다.

2. 上, 下流水路의 水理量

區 分	流 量	水 深 $H_1=H_2$	平均流速 $V_1=V_2$	單位나비 流量 q	$H=1.5h_c$	限界水深 h_c	落下口 水深 h_b
計劃最大流量	1.80 m^3/sec	1.00 m	1.20 m/sec	1.20 $m^3/sec/m$	0.80 m	0.53 m	0.38 m
同上的 6割	1.80	0.68	1.05	.72	0.57	0.38	0.27

3. 물뿔손의 깊이

깊이 h_0 의 計算에는 計劃最大流量을 對象으로 생각한다. F는 이 때 h_f 와 같게 되므로 $F=1.40m$, q와 F와의 關係에서 그림-10을 使用하여 $h_0=0.53m$ 를 얻는다. 端數를 整理하여 $h_0=0.55m$ 로 決定한다.

4. 落下水脈의 飛距離, 傾斜角 中心流速 및 두께

上下流水路落差 h에서 下流水路의 常流水深 H_2 를 뺀 값이 落下距離 y가 된다고 생각하고 다음과 같이 計算하였다.

區 分	q	$y=(hf-H_2)$	x	θ	(y+H)	V	d
計劃最大流量	1.20 $m^3/sec/m$	0.40 m	0.99 m	46° 30'	1.20 m	4.85 m/sec	0.25 m
同上的 6割	0.72	0.72	1.04	55° 30'	1.29	5.05	0.14

(註) x의 값을 q와 y의 關係에서 그림5를 使用하고 θ 는 q와 x와의 關係에서 그림6을 使用하며 v는 그림7을 使用하여 (y+H)의 값에서 求하였다. q는 (4)式에서 算出하였다.

5. 水脈中心의 물뿔손바닥에 衝突하는 경우 流速

區 分	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
	θ	물뿔손내의水深 h'	斜 距 離 x_s	水 平 距 離 l'	x_s/d	$\sqrt{x_s/d}$	$2.41 \times V$	$Vm=⑦ \div ⑥$
計劃最大流量	46° 30'	1.55 m	2.20 m	1.47 m	8.80	2.77	11.69	3.93 m/sec
同上的 6割	55 30	1.23	1.45	0.85	10.35	3.22	12.17	3.77

註 h' 의 값을 使用하여 그림8에서 x_s 을 구하고 그림9에서 l' 를 求하였다.

6. 물콧손의 길이

V_m 와 下流水路의 平均流速 V_2 와 比較한다.

區分	V_m	V_2	同左인 경우의 후부드數	備考
計劃最大通水量	m/sec 3.93	m/sec 1.20	$0.38V_m/V_2=3.27>2$	
同上的 6割	3.77	1.05	0.41 // $=3.59>2$	

이 結果 V_m 값이 V_2 의 값의 2倍 以上이 되므로 L_0 의 값은 L (落下口에서 水脈中心이 물콧손 바닥에 衝突할 때까지의 距離)의 1.5倍로 하며 이 地點에서의 流速를 概算한다.

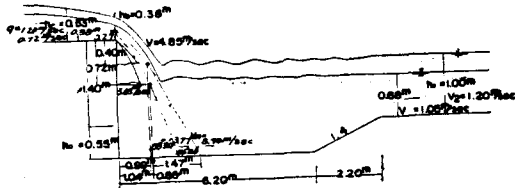


그림-12 計算例의 計算結果一覽

計劃最大割量 $V_{ma}' = 0.7 \times \frac{L}{1.5L} \times 3.93 = 1.83 \text{ m/sec}$

同上的 6割 $0.7 \times \frac{L}{1.5L} \times 3.77 = 1.76$

이들의 값은 어느 것이나 V_2 의 2倍 이내가 되므로 물콧손의 길이는 2.5 L가 된다.

分	x	l'	$L=x+l'$	2.5L
計劃最大通水量	m 0.99	m 1.47	m 2.46	m 6.15
同上的 6割	1.04	6.87	1.89	4.73

端數를 整理하여 물콧손길이를 6.20m로 決定한다
 以上の 計算結果를 綜合하여 그림12에 表示하였다

XI. 結 論

計算例에서도 아는 바와 같이 本 計算圖表를 使用하여 設計를 하였을 때의 順序를 綜合하면 다음과 같다.

1. 流量 Q 와 上下流水路의 斷面形 및 上下流水路 바닥의 落差 ht 를 反定한다.
2. 1의 條件(數值)에서 上下水路의 水深 H_1 과 H_2 가 計算되어 $H_2 < hf$ 이면 當然 完全 落下의 흐름이고 $H_2 > hf$ 인 경우는 그림 3에서 흐름의 狀態를 判斷하여 H 를 求할 수가 있다.
3. q 와 F 에서 물콧손의 길이 h_0 를 그림 10을 使用하여 求한다.
4. $(h_1 - H_2) = y$ 라고 생각하고 이 y 와 q 와의 關係에서 그림 5을 使用하여 空中에서의 落下水脈의 水平距離 x 를 求한다. 이와 同時에 그림7을 使用하여 q 와 $(y+H)$ 의 값으로부터 V 를(4)式 ($= \frac{q}{V}$)에서 求한다.
5. 물콧손部分에 있어서 水深 h' 는 $h' = H_2 + h_0$ 로 하여 q 와의 關係에서 그림 9를 使用하여 水中에서의 落下水脈中心이 水路바닥에 衝突하는 位置까지의 水平距離 l' 를 그림 8을 使用하여 斜距離 x_s 를 求한다.
6. (5)式 ($\frac{V_m}{V} = \frac{2.41}{\sqrt{x_s/d}}$)에서 V_m 를 算出하여 下記의 關係에서 물콧손의 길이를 決定한다.
 가. $0.5V_m > V_2$ 인 경우 $x_0 = 1.0L$
 나. $0.5V_m > V_2$ 인 경우 $x_0 = 1.5L$
 以上 本 計算 圖表를 使用하므로써 落差工의 水理 計算에 要하는 勞力과 時間을 될수록 節約하는 것으로 생각한다.
 그러나 앞에서 記述한 바와 같이 本圖表는 農業 土木試驗場의 水理試驗結果를 主로하여 圖表化한 것으로서 疑問이나 不適當하다고 생각되는 點도, 많을 것이다. 보다 좋은 計算圖表를 만들기 위하여서는 보다 많은 批判이 있어야 할 것으로 생각된다