

急勾配水路 減勢工의 Flip Bucket 型 利用研究

Experimental Study of Flip-Bucket Type Hydraulic Energy Dissipator on Steep slope Channel.

*金 永 培
Yung Bea Kim

Summary

Spillway and discharge channel of reservoirs require the Control of Large volume of water under high pressure. The energies at the downstream end of spillway or discharge channel are tremendous. Therefore, Some means of expending the energy of the high-velocity flow is required to prevent scour of the riverbed, minimize erosion, and prevent undermining structures or dam it self.

This may be accomplished by Constructing an energy dissipator at the downstream end of spillway or discharge channel disigned to dissipate the excessive energy and establish safe flow Condition in the outlet channel.

There are many types of energy dissipators, stilling basins are the most familar energy dissipator. In the stilling basin, most energies are dissipated by hydraulic jump. stilling basins have some length to cover hydraulic jump length. So stilling basins require much concrete works and high construction cost.

Flip bucket type energy dissipators require less construction cost. If the streambed is composed of firm rock and it is certain that the scour will not progress upstream to the extent that the safety of the structure might be endangered, flip bucket type energy dissipators are the most recommendable one.

Following items are tested and studied with bucket radius, $R=7h_2$, (medium of $4h_2 \leq R \leq 10h_2$).

1. Allowable upstream channel slope of bucket.
2. Adequate bucket lip angle for good performance of flip bucket.

Also followings are reviewed

1. Scour by jet flow.
2. Negative pressure distribution and air movement below nappe flow.

From the test and study, following results were obtained.

1. Upstream channel slope of bucket ($S=H/L$) should be $0.25 < H/L < 0.75$ for good performance of flip bucket.
2. Adequate lip angle $30^\circ \sim 40^\circ$ are more reliable than $20^\circ \sim 30^\circ$ for the safety of structures.

1. 緒 論

물이貯水池의 餘水吐나 Dam 本體를 越流하여 下流 河川에 到達할때 中間水路上的 흐름은 射流이 되고 下流河川에서는 다시 常流로 變하는 것이 普通이다. 이와같이 射流에서 常流로 變할때 그 中間過程에서는 甚한 跳水가 생기며 關連된 附近의 모든 水理構造物에 浸蝕과 破壞를 갖어오게 한다.

그러므로 Dam 餘水吐와 같은 高水頭의 흐름을 處理할 境遇에는 上記와 같은 危險을 防止하기 爲하여 放水路下流端과 下流河川의 連結部에 減勢工施設을 하여 水勢를 減勢시켜 放流하게 되며 減勢工의 型式은 그 減勢方法에 따라 跳水型(Hydraulic Jump-Type)과 放射型(Bucket-Type) 두가지로 크게 分類할수 있다.

以上 두가지 型式中 우리나라에서는 最近까지 減勢工으로서 前者를 設置利用하면서 發展시켜 왔으나 亦是 周圍構造物의 保護上 鐵筋 Concrete 等 莫大한 材料가 所要되며 掘鑿에 必要한 勞動力等 設置工事費가 水源工 全體工事費에 比하여 큰 比重을 찾이하게 되므로 無條件 跳水型式을 取한다는 概念을 止揚하고 減勢工의 水理特性과 位置, 地形, 周圍의 障礙物, 重要度等을 考慮하여 可能限 放射型을 選擇하는 것이 좋다고 生覺된다.

故로 本研究者는 低廉한 工事費를 投資하여 減勢目的에 있어 同一效果를 發揮할수 있는 放射型減勢工에

*農振公 農工試驗所

對하여 研究開發하는것이 經濟的인 面에서 볼때 大端히 重要하다고 生覺되기에 實際와 매우 接近되는 設計 指針이 되고져 本研究를 實施하게 된 것이다.

II. 研究史

Flip Bucket 型式의 減勢工을 가장 먼저 採用 施工한 것은 1942년에 竣工을 본 美國 Washington 州 Columbia 江流域에 築造된 Grand Coulee Dam의 餘水吐⁽²⁾⁽¹⁶⁾⁽²²⁾이다.

그後 模型과 實物을 通하여 이 型式의 通用을 爲한 實驗研究가 꾸준히 繼續되었는데 1946. 6. A. J. Peterka는 模型과 實物間의 實驗結果值에 對하여 比較檢討한 바 큰 差가 없었다⁽¹⁾⁽²³⁾고 하므로써 Flip Bucket 型 減勢工에 對한 模型實驗을 認定하게 되었고 1948에 初版된 ASCE Manual에는 減勢工의 模型縮尺은 1:20~1:70範圍로 하는것이 信賴性 있는 값을 얻을수 있다⁽²⁾고 하였다.

1953. USBR의 Eng, Monograph No. 18에는 Ski-Jump 式인 Flip Bucket 型의 特性에 對하여 簡單히 紹介되었다는데 그中 Flip Bucket 型은 앞으로 水理模型實驗을 通하여 設計指針에 對한 研究가 必要하다고 하였으며⁽²⁷⁾ 1957, M. B. Mcpherson은 Roller Bucket의 流入勾配를 1:1 및 1:2로 하였을 때 Lip의 仰角 θ 는 45°로 規制⁽⁶⁾⁽¹³⁾⁽²⁴⁾한바 있다.

本型式에 對하여 設計에 參考될 內容이나 活用公式들을 좀더 具體的으로 記錄紹介된 것은 1959, Edward A. Elevatorski⁽⁵⁾에 依하여 이루어 졌으며 同年 12月 T. J. Rhone 등은 Tunnel-Spillway에 本型式을 利用하고 Flip의 仰角과 放射水脈의 落下距離와의 關係 및 Bucket附近의 Cavitation에 依한 影響等에 對하여 研究⁽²³⁾된바 있다.

1960. 처음 出版된 USBR의 Design of Small Dams 中에는 放射水脈의 軌道는 Flip에서의 流入水流의 Energy와 射流가 Flip를 떠나는 角度 即 Flip仰角에 따라 다르고 그 仰角은 30°以下로 定하는 것이 좋고 Bucket半徑 R는 同心圓의 흐름을 維持할만큼 充分히 길게 하되 一般的으로 流入水深 h_2 에 對하여 $5h_2 < R < 10h_2$ 의 範圍에서 利用하는 것이 좋다고 하였다⁽²⁸⁾.

1965~6. 日本農林省의 Concrete 및 Fill Dam 設計 基準⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾에서는 Flip Bucket의 半徑, Flip의 仰角, 射出水脈軌道의 推定公式等 當初設計의 參考資料를 規定提示하였으며 아울러 Bucket 型의 減勢效果는 下流水位, Bucket半徑, Flip仰角, Flip와 河床高低差, Sill의 形狀等과 關係要素가 커서 未解決의 問題가 많으므로 水理模型實驗을 行하여 形狀을 決定해야 한다⁽¹⁷⁾⁽²²⁾고 研究開發의 必要性을 強調한바 있다.

그리고 1962~4 中村 宏는 奥泉峯, 大森川峯, 畑籬 第二峯에 對하여 水脈落下로 因한 下流部 洗掘調査에 關한 模型을 完施 後, 數年間을 걸쳐 原形(實物)에서의 調査한 實測值을 갖이고 比較하였는데 最大洗掘深을 갖는 地點은 Flip Bucket 末端에서 水脈落下距離의 約 2倍되는 地點이며 水脈의 落下範圍와 河床의 洗掘範圍는 水理模型實驗結果와 大體로 一致하였다고 報告⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾되었다.

1968. 久保七郎는 豊澤峯과 管平峯等餘水吐에 對한 實驗研究에서 Flip 仰角과 Bucket 半徑에 對하여 $\theta=30^\circ$ $4h_2 < R < 10h_2$ (但 h_2 : Bucket 始點의 平均水深) 程度로 그 適用限界를 明示하였다.

우리나라에서는 1965. 土聯에서 最初로 江原道 東草桃院池 餘水吐 放水路에, 그後 忠南의 高豊池, 忠北의 水汗池等 여러 地區에 本型式을 採用케 되어 本研究者가 水理模型實驗을 擔當, 地區別로 固有의 特性을 찾아 確定設計資料를 提供⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾한과 있으며 跳水型 鎖水池式에 比하여 工事費가 低廉한 關係로 最近에 와서 國內에서도 減勢工 計劃에 있어 漸次로 本型式에 對한 活用度가 높아가고 있으며 1968. 12. 農林部에서는 規 定⁽²⁰⁾ 中에 本型式에 對한 設計基準을 制定, 指針書로써 發刊한바 있다.

III. 實驗裝置 및 方法

1. 實驗裝置

가. 使用材料

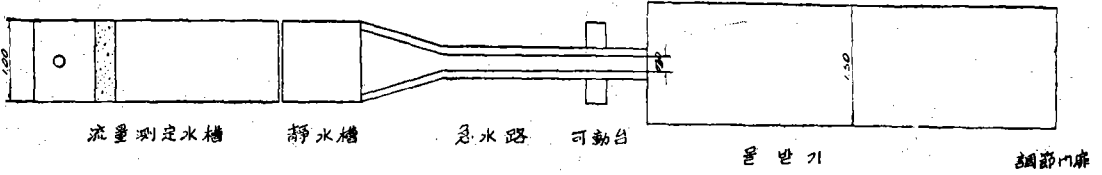
本實驗裝置는 크게 區分하여 給水裝置와 實驗模型으로 分類할 수 있다.

給水裝置는 農業振興公社 農業土木試驗所 水理實驗 實內에 設置되어 있는 10馬力 電動機 150m/m Vertica Pump를 利用하였고 三角堰(Triangular weir)의 流量測定水槽를 製作하여 所要流量을 實驗模型上에 流下시킬 수 있도록 圖謀하였다.

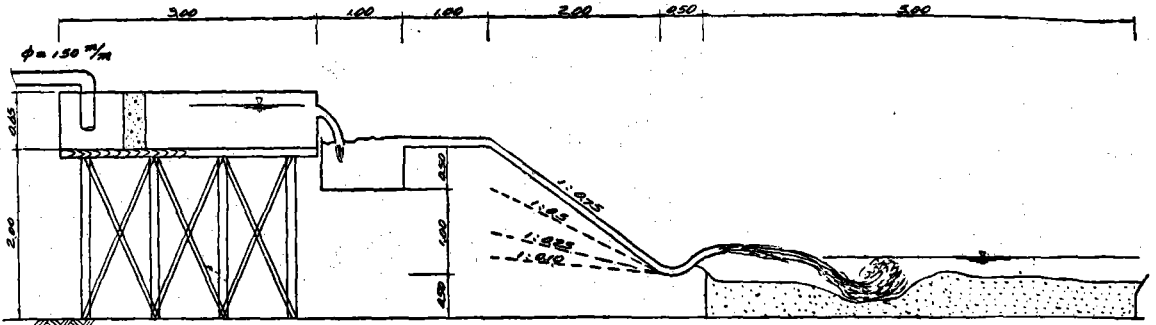
流量測定水槽와 實驗模型 사이에는 靜水槽를 製作 設置하였고 材料는 羅王角材와 板材를 使用하여 水槽 內部에는 漏水를 防止하기 爲하여 합석을 띄웠고 水槽의 받침기둥은 美松角材를 利用하였다.

實驗模型은 合板과 羅王板材를 主로 使用하였고 美松角材와 板材를 利用, 模型基礎臺와 받침기둥을 하였다. 또 Bucket에서 放出되는 물을 받고 下流水位를 調節해 주기 爲한 물받기는 먼저 美松으로 可動支持臺를 만들어 그 위에 concrete를 하고 側壁은 5" Block를 利用, 漏水防止策으로 Cement Mortar Lining을 하였다.

各部材의 接合部分은 아교 및 水性接着劑로 붙인 다음 木一대를 발랐으며 稀青色 에나멜을 塗裝하여 木材의 吸濕性 및 模型의 伸縮을 防止하도록 함과 同時 물과



平面圖 S=1/50



縱斷面圖

Flip Bucket 型減勢工試驗裝置 S=1/50

그림 3-1

識別하기에便利하도록하였다. 그리고水深測定用水平臺는羅王角材를利用하였으며縱橫의標高를Level로測定하면서水平되게設置하였다.

模型에는限界斷面을原點으로하여縱測點을定하고各測點마다橫으로는中心軸에對하여左右對稱⁽²⁵⁾이되도록補助測點을定하였다.

나. 使用計測器

本實驗에서使用된測定計器는水理諸元에따라流量은前述한三角堰에依한測定裝置를,水位는Hook gauge를,水深은斜面Point gauge,流速은模型實驗用小型流速計와Pitot管,그리고水壓은Piezometer와水柱Manometer를利用,模型의各要部에設置하고上記諸元을測定하였다. 또한攪亂이甚한下流部水位는抵抗線式水位計를測定素子로하여電磁Oscillograph를使用하였고各水理現象을記錄保存하기爲하여Camera가利用되었다.

2. 實驗方法

本實驗은다음과같은範圍와方法을갖이고行하였다.

가. 實驗範圍

實驗範圍는다음研究範圍를對象으로하여實施하였다.

研究對象:

1) Bucket半徑을 $R=7h_2(4h_2 \leq R \leq 10h_2)^{(11)}$ 의中央值)로固定利用할 때水理現象의妥當性研究.(h_2 :

Bucket始點의平均水深)

2) 上流急水路의許容最低勾配의決定.

3) 構造物上安全放射水脈을얻는데必要한Flip의仰角決定.

再調査 確認對象

1) 放射水脈落下附近의洗掘
2) 放射水脈下部에生기는負壓 및空氣의流通

3) 其他參考資料

나. 實驗方法

本實驗에서는前記範圍를研究確認하기爲하여다음과같은方法으로水理實驗을實施하였다.

1) Bucket의流入水路勾配는M.B. Mc Pherson and M.H. Karr의Bucket-Type Energy dissipator에對한研究에서利用한($\frac{H}{L}=1 \sim 0.5$)勾配⁽¹³⁾를參照하여 $\frac{H}{L}=0.75, 0.50, 0.25, 0.10$ 等4가지를갖이고調査한다.

2) 流量은洪水再現을考慮하여4分法⁽²⁾⁽¹⁸⁾⁽²⁰⁾을利用 $Q(m^3/sec)=0.04, 0.03, 0.02, 0.01$ 로區分實驗流量으로하였다.

3) 模型水路의幅員은20~70倍⁽²⁰⁾⁽³¹⁾크기의實物(原型)을假想하여 $b_1=0.3m$ 로하였다.

4) 模型上의粗度係數는材料가木材이고또倍率20을考慮하여 $n=0.01^{(18)(32)}$ 로보았다.

5) Bucket 半徑(R)과 末端幅員(b_2) 및 擴大角은 水理計算 結果에서 決定하였고(但 $R=7h^2$, $b_2=b_1+2l \tan \theta$ 또는 $b_2=b_1+2l \frac{1}{3F}$) 急流部 水路長은 實驗施設의 制約을 考慮하여 $L=2.0m$ 로 하였다.

6) Flip의 仰角(θ)는 水脈을 遠距離로 落下시키고 또 本型式에서는 既往의 研究發表에서 $\theta=20^\circ$ 前後⁽¹⁴⁾, $\theta=20^\circ \sim 30^\circ$ ⁽¹¹⁾, $\theta=30^\circ$ ⁽¹⁷⁾⁽²⁸⁾, $\theta=45^\circ$ ⁽¹³⁾(Roller Bucket에서)가 좋다는 等 結果가 區區함으로 本 研究에서는 $45^\circ, 40^\circ, 30^\circ, 20^\circ$ 4段階로 定하고 20° 以下는 實驗結果에 따라 調査與否를 決定하기로 했다.

以上에서 依據 表-3.1과 같이 整理하여 第1, 2, 3, 4案 順序別로 實驗을 實施하였다.

表-3.1 實驗順序 및 要因數

區分 案別	水路 勾配 ($S_2 = H/I$)	水路 幅員 (b_1)	水路長 (水平 距離)	流量 (m^3 / sec)	Flip의 仰角 ($\cos \theta$)	要因數 (N)
第1案	0.75	0.3	2.00	0.04	45, 40, 30, 20	4
				0.03	"	4
				0.02	"	4
				0.01	"	4
小計						16
第2案	0.50	0.3	2.00	0.04	45, 40, 30, 20	4
				0.03	"	4
				0.02	"	4
				0.01	"	4
小計						16
第3案	0.25	0.3	2.00	0.04	45, 40, 30, 20	4
				0.03	"	4
				0.02	"	4
				0.01	"	4
小計						16
第4案	0.10	0.3	2.00	0.04	45, 40, 30, 20	4
				0.03	"	4
				0.02	"	4
				0.01	"	4
小計						16
合計						64

다. 水理相似律

本 實驗은 開水路에 對한 實驗임으로 Froude 相似律을 適用시켰다.

實驗에서 얻은 諸量을 實物의 量으로 換算할 때는 實用上 適用可能한 實物의 倍率 X는 70倍以內에서 適合하다고 본다.

表-3.2는 Froude 相似律을 利用했을 때 實物과 模型間의 諸量에 對한 比率關係를 表示한 것이다.

3. 水理計算

本 研究實驗을 爲한 模型設計는 于先 水理計算結果에

表-3.2 諸量의 換算比

諸 量	Dimension	Froude 相似律에 依한 諸寸法比	倍 率		備 考
			模型	實物	
幾何學的 要素					
길이	L	Lr	1	X	
面積	L ²	Lr ²	1	X ²	
體積	L ³	Lr ³	1	X ³	
運動學的 要素					
時間	T	Lr ^{1/2} gr ^{-1/2}	1	X ^{1/2}	gr: 重力의 加速度比=1
流速	LT ⁻¹	Lr ^{1/2} gr ^{1/2}	1	X ^{1/2}	
加速度	LT ⁻²	gr	1	1	
流量	L ³ T ⁻¹	Lr ^{2/5} gr ^{1/2}	1	X ^{2/5}	
動水力學的 要素					
質量	M	Lr ³ gr	1	X ³	gr: 물의 比重比=1
力	MLT ⁻²	Lr ³ ar	1	X ³	ar: 물의 密度比=1
壓力強度	ML ⁻¹ T ⁻²	Lr ar	1	X	
運動量	MLT ⁻¹	Lr ^{7/2} gr ^{1/2} ar ^{1/2}	1	X ^{2/7}	
Energy	ML ² T ⁻²	Lr ar	1	X ⁴	
工 率	ML ² T ⁻³	Lr ^{2/7} ar ^{3/2} gr ^{1/2}	1	X ^{7/2}	

依하여 從前의 例를 參照하여 設計하고 追後에 實驗結果에 따라 修正하기로 하였다.

計算에 依한 水理解析은 急水路 下流部의 射出水脈의 諸元을 算定하고 이로부터 實驗模型의 規模를 決定하기로 하였다.

따라서 各種 水理計算公式⁽³⁾⁽¹⁹⁾⁽²¹⁾⁽²⁴⁾⁽²⁶⁾⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾을 利用하여 주어진 與件을 갖이고 水理計算을 實施하였다.

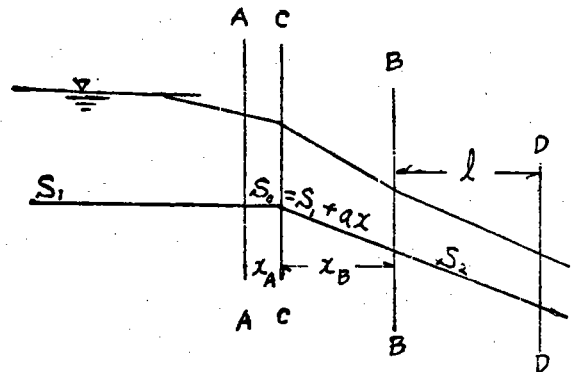


그림 3-2 수로종단

가. 使用公式

1) 限界水深(h_c)

$$h_c = \left[\frac{\alpha Q^2}{g b_1^3} \right]^{1/3} \dots\dots\dots(3.1)$$

$\alpha=1$

g : 重力의 加速度(9.8m/sec²)

Q : 流量(m³/sec)

b_1 : 限界断面(矩形)의 幅員(0.3 m)

2) A 断面水深(h_A)

$$h_A = h_c - \left(\frac{dh}{dx} \right)_c x_A \dots\dots\dots(3.2)$$

$\left(\frac{dh}{dx} \right)_c$: Chezy 公式에서 誘導한 特異點의 方程式

$$\left(\frac{S_c}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{S_c}{2} \right)^2 + \frac{hc}{3} \left(\frac{dSc}{dx} \right)} \right)$$

S_c : 限界勾配 $\left(\frac{g}{\alpha c^2} \right)$

$$C^2 = \frac{hc^{1/3}}{n^2}$$

n : 粗度係數(0.01)

$$S_0 = S_1 + ax$$

x_A : 限界断面에서 A 點까지의 距離

3) B 断面水深(h_B)

$$h_B = h_c + \left(\frac{dh}{dx} \right)_c x_B \dots\dots\dots(3.3)$$

x_B : 限界断面부터 B 點까지의 距離

4) D 断面의 水深(h_D)

Bellnoulli의 定理를 適用 公式誘導하면...

$$\left. \begin{aligned} \phi &= h_B + S_0 l + \frac{\alpha Q^2}{2g A_B} - \frac{n^2 l Q^2}{2R_B^{4/3} A_B^2} \\ \psi &= h_D + \frac{\alpha Q^2}{2g A_D^2} + \frac{n^2 l Q^2}{2R_D^{4/3} A_D} \end{aligned} \right\} \dots\dots(3.4)$$

A_B, A_D : B, D 断面의 流積

R_B, R_D : B, D 断面의 潤邊

B 断面의 水深 h_B 가 既知이면 eq(3.4)에 依據 h_D 를 假定 $\phi = \psi$ (許容限界 $\phi - \psi < \pm 0.01$) 가 될 때 까지 反覆計算하여 D 断面의 水深을 求한다.

5) Bucket 始點의 水深(h_2)

eq(3.4)를 利用 (4)項과 同一한 方法으로 求한다.

6) Bucket 半徑(R)

$$R = 7h_2 \dots\dots\dots(3.5)$$

7) Flip Bucket 端의 擴大幅員(b_2)

$$b_2 = b_1 + 2l \tan \theta \dots\dots\dots(3.6)$$

$$\tan \theta = \frac{1}{3F}$$

F : Bucket 始點의 Froude Number

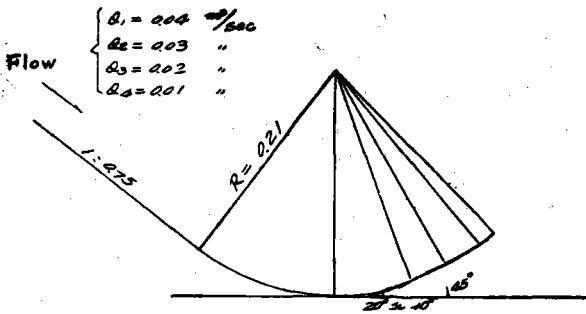


그림 3-3

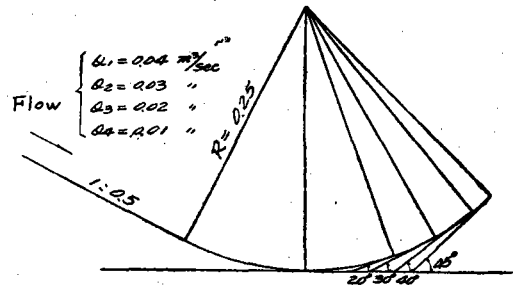


그림 3-4

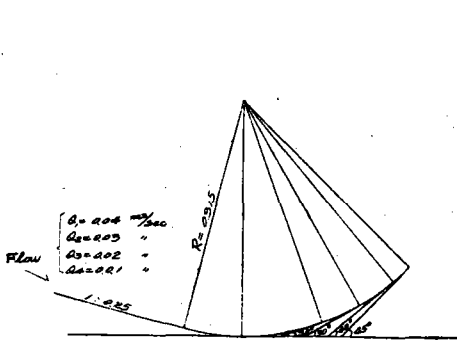


그림-3.5 第3宗의 Bucket 型 $s = 1/5$

그림 3-5

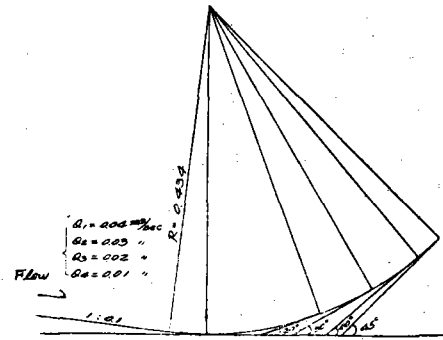


그림-3.6 第4宗의 Bucket 型 $s = 1/5$

그림 3-6

나. 水理計算 結果

上記 各項에 提示된 使用公式과 計算方法을 利用한 바 水理計算 結果는 表-3.3과 같고 各案의 Bucket 型은 그림 3.3~3.6과 같다.

表-3.3 水理 計算 結果
($Q=0.04\text{m}^3/\text{sec}$)

案 別	第1案	第2案	第3案	第4案
區 分				
與 件				
1. 限界斷面上流 勾配(S_1)	0.001	0.001	0.001	0.001
2. 急流部水路 勾配($S_2=H/L$)	0.75	0.50	0.25	0.10
3. " 水路長 (L) m	2.00	2.00	2.00	2.00
4. " 水路幅 (b_1) m	0.30	0.30	0.30	0.30
5. 最大 Flip 仰角 (θ°)	45°	45°	45°	45°
計算結果				
1. 限界 水深 (h_c) m	0.122	0.122	0.122	0.122
2. Buckrt 始點 水深(h_2) m	0.0301	0.0352	0.040	0.062
3. Bucket 半徑 (R) m	0.210	0.250	0.315	0.434
4. Bucket 端幅 (b_2) m	0.320	0.330	0.350	0.385

V. 實驗結果

前記 諸般資料를 갖이고 4個案에 對한 模型을 設置하고 第1案부터 順序別로 實驗을 實施한 結果 다음과 같았다.

本實驗에 들어가기 前에 먼저 模型證明實驗으로서 最大計劃流量 $Q=0.04\text{m}^3/\text{sec}$ 를 模型上에 流下시키고 III-3에서 行한 水理計算値와 符合되는지의 與否를 檢討하여 보았다.

結果는 限界斷面 上流에서 接近流速이 計劃보다 多小 增大되었으나 限界斷面에서 充分히 調節이 되었으며 放水路末端部(Bucket 始點)에서의 實測된 平均水深 h_2 는 計劃値인 h_2 와 2.3%의 誤差를 갖었다. 그러나 公式에 依한 計算値와 꼭 一致된다고 期待할 수는 없는 것이고 流量이 正確하면 이와같은 微小差에 對해서는 特別히 補正할 必要性까지는 느끼지 않기 때문에 本模型은 諸元이 一致되는 것으로 認定하고 原實驗에 들어 갔다.

本實驗에서 가장 重要한 것은 放水路 末端部로부터 Bucket 部 放射水脈 및 下流河川部에서 일어나는 諸般 水理現象에 關한 檢討이므로 모든 流量에 對하여 가장 合理的인 水理現狀을 갖는 適正한 Flip의 仰角을 模索하는 試驗이 必要하다. 그래서 表-3.1에 提示된 水路 勾配別로 流量과 仰角의 變動에 따라 各案에 對하여 16次의 實驗을 實施하였으며 實測値中에서 同一한 流

表-4.1 $H/L=0.75$ 의 水脈 構成 要素

(單位 : cm)

區 分	流 量 (m^3/sec)		0.04				0.03			
	仰 角 (度)		45	40	30	20	45	40	30	20
1. Bucke 始點의 平均水深			2.90	2.88	2.87	2.89	2.67	2.62	2.64	2.54
2. Flip 端을 原點으로 한 水脈높이			58.00	49.70	33.80	19.20	58.00	46.50	32.00	18.50
3. Flip 端과 下流水位의 標高差			7.60	7.75	7.00	10.40	8.35	7.30	7.50	13.10
4. 晝大 水脈 距離			255.00	270.00	270.00	210.00	250.00	270.00	270.00	210.00
5. 水脈下部의 空氣 流通狀況			良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好
區 分	流 量 (m^3/sec)		0.02				0.02			
	仰 角 (度)		45	40	30	20	45	40	30	20
1. Bucke 始點의 平均水標			2.02	1.95	1.93	2.07	1.20	1.28	1.22	1.30
2. Flip 端을 原點으로 한 水脈높이			53.00	44.00	39.00	17.20	33.90	31.00	20.00	12.50
3. Flip 端과 下流水位의 標高差			8.50	10.25	10.80	13.25	9.35	11.00	11'20	7.00
4. 最大 水脈 距離			240.00	250.00	240.00	200.00	180.00	180.00	180.00	150.00
5. 水脈下部의 空氣 流通狀況			良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好

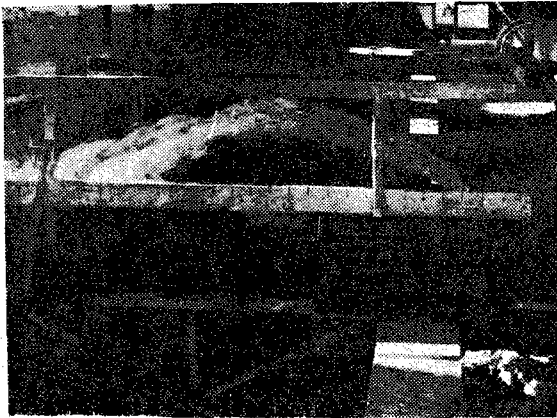
表-4.4 H/L=0.1의 水脈構成要素

(單位: cm)

區分	流 量 (m ³ /sec)		0.04				0.03			
	仰 角 (度)		45	40	30	20	45	40	30	20
	分									
1. Bucket 始點의 平均水深			21.13*	6.19	6.15	6.17	20.96*	5.37	5.36	5.24
2. Flip 端을 原點으로 한 水脈높이			10.23	12.00	9.30	6.00	9.36	11.00	8.20	4.80
3. Flip 端과 下流水位의 標高差			15.30	12.80	9.50	7.00	16.20	13.90	10.20	8.00
4. 最大 水脈 距離			40.00	60.00	60.00	40.00	40.00	60.00	60.00	50.00
5. 水脈下部의 空氣 流通狀況			45°일때 不良	45°일때 不良	45°일때 不良	45°일때 不良	45°일때 不良	45°일때 不良	45°일때 不良	45°일때 不良

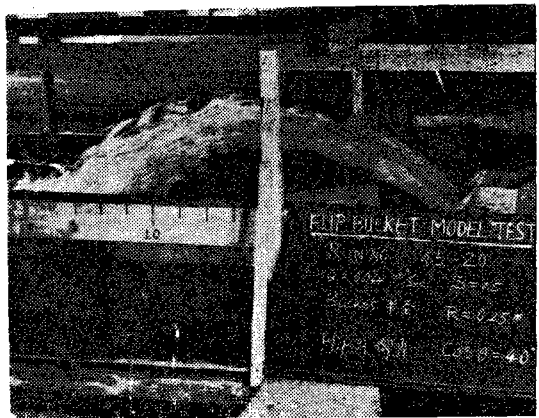
區分	流 量 (m ³ /sec)		0.02				0.01			
	仰 角 (度)		45	40	30	20	45	40	30	20
	分									
1. Bucket 委點의 平均水深			20.68*	4.08	4.09	4.02	18.64*	15.90*	2.11	2.16
2. Flip 端을 原點으로 한 水脈높이			7.51	10.30	7.10	4.00	4.66	4.40	4.20	1.70
3. Flip 端과 下流水位의 標高差			18.10	15.00	13.00	8.60	21.00	19.00	14.60	12.00
4. 最大 水脈 距離			30.00	50.00	55.00	40.00	20.00	20.00	40.00	30.00
5. 水脈下部의 空氣 流通狀況			45°일때 不良	45°일때 不良	45°일때 不良	45°일때 不良	45°, 40° 일때不良	45°, 40° 일때不良	45°, 40° 일때不良	45°, 40° 일때不良

* 水脈의 射出能力이 低下되어 射流機能이 喪失되었음.



$\frac{H}{L}=0.75$ $Q=0.04\text{m}^3/\text{sec}$
 $\theta=40^\circ$ (Flip 仰角)

寫眞-4.1 第1案의 放射水脈 現狀



$\frac{H}{L}=0.5$ $Q=0.04\text{m}^3/\text{sec}$
 $\theta=40^\circ$

寫眞-4.2 第2案의 放射水脈

時間을 길게 함으로서 Energy의 減少를 期待할 必要가 있다.

物理的인 解析으로는 仰角을 $\theta=45^\circ$ 로 함이 最大 水脈距離를 얻을 수 있겠으나 實際에 있어서는 Bucket 面에 作用하는 강한 動水壓과 抵抗으로 因하여 오히려 $40^\circ \sim 30^\circ$ 라 보다 減少되는 傾向이 었었다.

流量에 對한 要因이 同一할 때에 水路勾配($\frac{H}{L}$)와

Flip 仰角(θ)을 處理間으로 하여 水脈落下距離에 對한 優秀性을 分散分析에 依하여 찾아보았는데 T-表에 依한 檢定結果

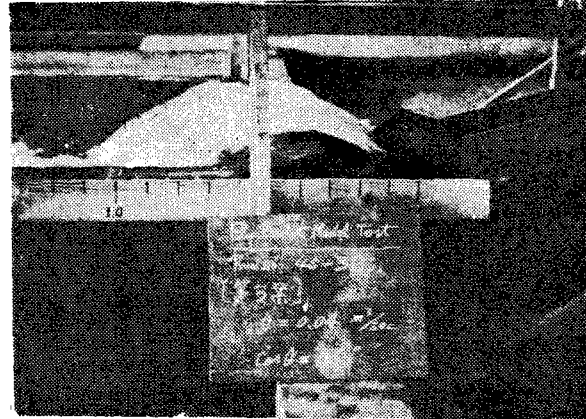
1. 水路勾配는 99%以上인 高度의 有意性이 있었으며,
2. 仰角은 分散分析에 依한 有意性은 없으나 實驗值에 對한 相關係數는 $r=0.998$ 로 T計算結果 99%以上

의 有意性이 있었다. 表-4.5는 最大計劃流量 $Q=0.04\text{m}^3/\text{sec}$ 를 流下시켰을 경우의 分散分析結果이다.

表-4.5 分散分析($\theta=0.04\text{m}^3/\text{sec}$)

要 因	平方和 (SS)	自由度 (d.f)	分 散 (M.S)	分散化 (F_0)
全 體(S)	93711	15		
勾 配(H/L)	66189.97	3	22063.32	7.98
仰 角(θ)	2637.99	3	879.33	0.318
誤 差(S $\bar{\theta}$)	24883	9	2764.8	

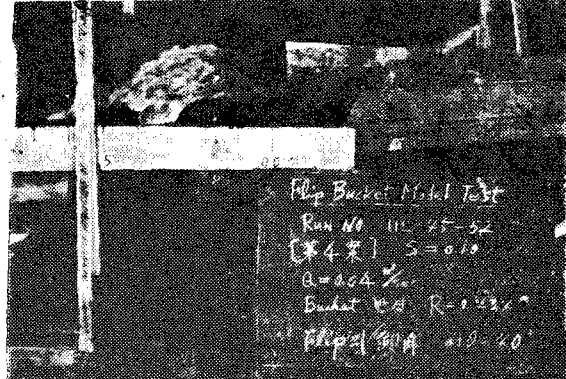
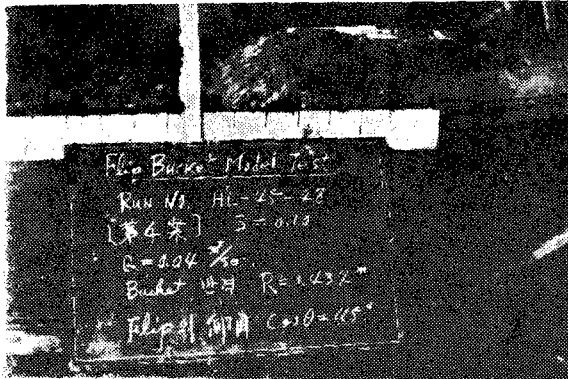
또한 放射水脈 落下附近의 洗掘에 있어서는 河床材料의 粒徑等에 따라 다르므로 單純히 模型值만 갖이고는 洗掘狀態를 推定하기가 困難하나 安養에 모래를 利用하였을 때 水脈落下에 依한 洗掘은 落下地點보다 下流側에 最大洗掘深이 생긴다는 것을 觀察하였다.



$$\frac{H}{L} = 0.25 \quad Q = 0.04 \text{ m}^3/\text{sec} (\text{最大流量})$$

$$\theta = 40^\circ (\text{Flip 仰角})$$

寫眞-4.3 第3案의 放射水脈現狀



寫眞-4.4 第4案試驗에서 同一條件時 Flip仰脈 45°와 40° 때의 水脈比較

그리고 放射水脈의 下部에 생기는 負壓은 Bucket 部에서 最低 $0.01 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 의 Negative를 받고 있어 Concrete 構造에서는 安全範圍에 屬하였으며 第1~第3案까지는 安全水脈을 갖이므로 水脈下部는 左右로 空氣의 流通이 充分하였다.

끝으로 Bucket 端에 Chute Blocks를 設置하였을 때에는 放射水脈을 分散시켜 落下地點에 있어서의 衝擊이 弱해지므로 流況이 安全하다고 말할 수 있으나 一便 水脈落下距離가 短縮되는 傾向이 있었다.

以上 實驗 및 分析結果를 參酌하면서 Flip Bucket 附近에서 일어나는 水理現象을 갖이고 考察해 보면 다음과 같다.

V. 考 察

1. Bucket 半徑

Bucket 半徑 R 는 射流가 Bucket 部를 通過할 때에 일어나는 衝擊과 抵抗力을 左右하게 되며 結果의으로

는 水脈形狀과 落下距離에 影響을 미치게 된다.

久保⁽¹¹⁾ 日本農林省設計基準⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾ U.S.B.R.設計基準⁽²⁸⁾에서 發表된바 Bucket 流入水深을 h_2 라 할 때 $R > 4h_2$ 또는 $R=5\sim 15m, R=10\sim 15m, 5h_2 < R < 10h_2, 4h_2 < R < 10h_2$ 등으로 그 範圍가 區區하게 明示되어 있다. 그러나 이는 使用限界範圍가 너무나 넓고 또 前述한바와 같이 R 로 因한 水脈의 影響을 갖이오게 되므로 設計資料로서는 하나의 統一性있는 R 를 規定해 주는 것이 必要할 것으로 生覺되어 本研究者는 久保七郎⁽¹¹⁾가 提示한 $4h_2 < R < 10h_2$ 를 參考로 하여 中央值인 $R=7h_2$ 로 하여 適用與否를 檢討한바 上流에서 流入되는 射流는 Bucket 內에서 充分히 同心圓의 흐름으로 維持되었고 模型과 實物의 倍率(X)에 있어서 $X < 70$ 을 갖는 實物上에서는 底面에서 일어나는 Cavitation이 前述한바와 같이 安全值에 屬한 泐더러 水脈下部의 空氣流通도 充分하므로 Design of Small Dams⁽²⁸⁾에서 要求한바에 滿足할만한 流況을 갖었다.

2. 流入水路의 許容勾配

水路勾配의 範圍에 따라서 減勢工의 適用型式을 區分明示해 두는 것은 設計에 앞서 型式을 選定할 때 매우 參考가 될 것으로 生覺된다.

只今까지의 減勢工型式選擇은 設置地區의 立地條件과 地形 및 河床의 地質分布等을 勘案하였을뿐 水路勾配의 變動에 따르는 型式決定에 對해서는 別로 研究論議된 일이 없다.

따라서 本研究에서는 流入水路의 勾配變動에 따라서 Flip Bucket型을 適用, 그 許容勾配를 찾아 보았다.

結果적으로 $\frac{H}{L} > 0.75$ 인 急勾配水路에서는 Bucket部에 作用하는 強한 물의 衝擊으로 因하여 Bucket部의 破壞가 急慮되며 水脈距離도 짧아져서 Dam Site附近의 洗掘이 增大될 可能性이 있다고 보는게 이는 앞으로 더욱 研究되어야 하며 現在는 $\frac{H}{L} < 0.75$ 에만 本型式이 適合하다고 生覺한다.

또한 本研究結果 緩勾配에 對하여 考察하여 보면 前述한바와 같이 全水頭로 因한 Energy減少로 完全水脈을 形成하지 못하는 경우가 있으므로(寫眞-4.4 參照) $\frac{H}{L} < 0.25$ 의 水路勾配에서는 本型式의 利用을 避하는 것이 좋겠다.

3. Flip의 仰角과 放射水脈

Flip의 仰角은 落水水脈의 減勢效果는 勿論, 水脈距離를 左右하는 要因이 된다.

仰角과 水脈距離에 對한 從來의 研究는 Edwrad. A. Elevatorski⁽⁶⁾에 依하여 仰角은 $\theta=20^\circ \sim 30^\circ$ 範圍로 하고

$$\text{水脈距離}(x) \text{는 } x = \frac{V_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

$$\text{水脈높이}(y) \text{는 } y = \frac{V_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$$

여기서 V_0 : Bucket 流入部流速

g : 重力의 加速度

로서 求할 수 있다고 하였으며 此外에 水脈軌道에 對한 使用公式은 많은 文獻中⁽¹¹⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾⁽²⁰⁾⁽²³⁾⁽²⁴⁾에서 찾아 볼 수 있으며 이에 掲載된 公式 全部가 仰角과의 函數關係를 表示하고 있다.

T.J. Rhone⁽²³⁾等은 Tunnel Spillway의 研究結果, 水脈距離 x 는

$$\theta=15^\circ \text{에서 } x=H'$$

$$\theta=45^\circ \text{에서 } x=2H'$$

(H' : 流入部流速水頭)

로 되었다고 한다.

또한 우리나라, 日本, 美國等의 Dan 設計基準⁽¹⁸⁾⁽²⁰⁾⁽²⁸⁾을 보면 Flip의 仰角 θ 는 20° 前後, $20^\circ \sim 30^\circ$, 30° 以下等으로 規制하고 있으나 最近 久保七郎等⁽¹¹⁾이 豊澤 Dam等의 實驗研究結果에서 $\theta=30^\circ$ 程度를 推薦한 바 있다.

本研究結果에서도 表-4.1~4.4에서 보는 바와같이

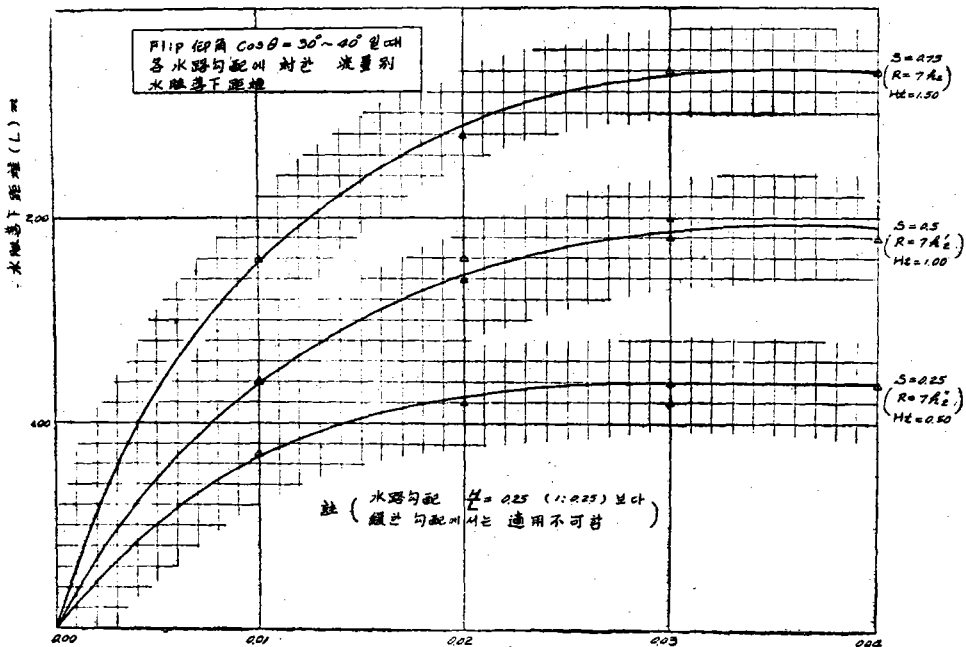


그림-4.1 流量別水脈距離 ———— 流量(Q) m³/sec

그림-4.1 流量別水脈距離

流量別, 水路勾配別 어느 要因을 莫論하고 $\theta=30^\circ \sim 40^\circ$ 에서 水脈落下距離가 가장 컸다는 點으로 보아 現地與件의 制限이 없는限 Bucket 半徑을 $R=7h_2$ 로 한 다던 上記 範圍의 仰角을 適用하는 것이 좋다고 生覺 된다.

그림-4.1은 $0.25 < \frac{H}{L} < 0.75$ 의 水路勾配에서 $\theta=30^\circ \sim 40^\circ$ 를 適用했을때의 流量別 水脈距離를 圖示한 것이다.

4. 水脈落下附近의 洗掘

中村 宏⁽¹⁴⁾는 奧泉 Dam 등에서 本型式에 對한 模型 實驗結果를 찾아고 現地原型(實物)에서 7年間の 實測 値와 比較한 結果 洗掘의 位置는 兩者가 거의 一致되 었고 最大洗掘深은 Bucket 端부터 水脈落下距離의 約 2倍되는 地點에서 生진다고 發表하였다.

또 Design of Small Dams⁽²⁸⁾에 紹介된 Veronese의 實驗公式에 依하면 水脈落下로 因한 河床의 最大洗掘 深은

$$d_s = 1.32 H_s^{0.225} q^{0.54} \text{ (ft)}$$

$$\text{또는} = 1.90 H_s^{0.225} q^{0.54} \text{ (m)}$$

여기서 d_s : 下流水位以下の 最大洗掘深

H_s : 全水頭 (ft) or (m)

q : 單位幅當의 流量 (ft³/sec/ft) or (m³/sec/m)

로서 計算推定할 수 있으며 最終的으로 到達하는 洗掘 深은 河床材料의 組成과 構成材質等에 對해서 크게 左 右되지 않고 다만 그 所要깊이까지 達하는 時間만이 材質에 따라 크게 變動이 있다고 資料로서 提供한바 있다.

本研究에서는 Flip의 仰角變化에 따라 洗掘形狀과 位置가 變動된다는 것을 觀察했으나 事實上 實驗材料와 實地河床材料와의 相似率關係가 問類가 되므로 確實한 判斷을 내리기는 多少 困難하며 다만 洗掘問題에 있어서는 Dam의 規模, 下流의 地形, 放流量等에 따라 各 各 다르므로 一般의인 結論을 얻기에는 立地條件이 다른 數個의 模型實驗을 通하여 解析結果를 比較한 然後에야 얻어질 것으로 生覺된다.

5. 水脈下部의 空氣流通

水脈下部에는 充分한 量으로 空氣가 流通되게 하여 水脈을 넓은 範圍로 放散시키므로써 空中에서의 水脈의 相互干涉와 空氣抵抗으로 因하여 河床面에 받는 運動量을 減少시켜야 한다.

水脈下部의 空氣流通은 下流部水位差와 Flip 端 下側 勾配等에 따라 影響이 크므로 Flip 末端은 可及의 垂直으로 하여 岩盤에 堅固히 絕緣시키는 것이 좋고 或是 小流量의 放流에서 直下流部가 洗掘될 憂慮性이 있을 때는 下流側을 1:1 또는 보다 急한 傾斜를 주어 이를 防止하도록 할 必要가 있다.

V. 摘 要

本研究는 Dam 또는 餘水吐 放水路等 急勾配水路에 高速으로 流下되는 물을 減勢處理하기 爲한 減勢工型式中 보다도 構造가 簡單하고 施工이 容易하며 經濟性이 높은 Flip Bucket 型減勢工에 對하여 水理特性에 따른 一般의 適用條件과 設計施工의 發展을 圖謀하기 爲하여 研究한 것으로서 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. Flip Bucket의 水理特性과 一般의 適用條件

Flip Bucket는 一般의으로 다음과 같은 條件을 갖 일 때에 採用할 수 있다.

가. 下流河川의 水位가 얕아서 跳水型 減勢工法을 利用하려는 莫大한 工事費를 要하게 될 때

나. 下流河川의 河床이 安定할 수 있는 良質의 岩盤 일 경우

다. 下流河川은 餘水吐 放水路의 中心線에 沿하여 적어도 全水頭의 3~5倍되는 거리까지는 河心이 거의 直線인 與件에 있을 경우

라. 放射水脈의 落下地點을 中心으로 해서 周圍에 民家, 耕地, 重要施設物等이 없고 水脈落下로 因하여 생기는 騒音, 土砂崩壞, 물방울等으로 被害를 받을 念慮가 없을 경우

2. 設計 및 施工上의 適用事項

1項과 같은 現地條件을 갖이고 實際 Flip Bucket 型으로 設計 또는 施工을 할 경우 考慮하여야 할 事項은

가. Bucket의 半徑(R)은 $R=7h_2$ 로 適用이 可能하다. (h_2 : Bucket 始點의 平均水深)

나. 本型式은 限界施面以下 放水路의 勾配가 $0.25 < \frac{H}{L} < 0.75$ 의 水路에서만 採用한다.

다. 放射水脈은 可及의 河床面에 直角에 가까운 角度로 落下시켜야 하며 그러기 爲해서는 水脈을 높이 또는 멀리 放射시켜야 한다.

上記目的을 滿足시키는 Flip의 仰角은 $\theta=30^\circ \sim 40^\circ$ 를 適用하는 것이 좋다.

라. 上記 가~다項을 適用했을 때 流量別 放射水脈의 落下距離는 그림-4.1에 依하여 쉽게 推定할 수 있다. (但 實物에 對한 諸量의 換算은 表-3.2에 提示된 Froude 相似律을 適用한 것)

마. Bucket 部에 Chute Blocks를 設置하는 것은 放射水脈의 落下範圍를 擴張, Energy를 分配시켜 주므로 下流河床의 洗掘深을 減少시키는 利點은 있으나 少脈落下距離는 多少 短縮되는 傾向이 있다.

바. 水脈落下點에는 洗掘에 依한 깊은 Water Cushion을 形成한다.

最終的으로 到達하는 Water Cushion의 깊이는 河床構成材料의 組成과 材質에는 거의 無關하며 單位幅

當의 流量과 全水頭에 따라 所要 깊이까지 洗掘된다.

사. 頻도가 작은 小流量에서는 水脈의 落下距離가 短縮되어 Flip Bucket 下流端 直下流를 洗掘하게 되므로 Bucket 로 下流端은 堅固한 岩盤에 充分한 깊이까지 插入絶緣시켜 水脈下部의 空氣流通을 圓滑하게 하므로서 Cavitation 을 防止할 수 있다.

直下壁은 普通 Bucket 末端에서 約 0.3~0.5m 程度는 水平으로 하고 水平과 內角이 120°~130°되게 切斷하여 適當한 곳에서 垂直으로 하여 岩盤에 堅固히 絶緣시킨다.

아. 河床에 突入한 高速 Jet 는 水頭的 크기에 따라 莫大한 Energy 의 一部를 含有한채 河床面上을 流下하게 되므로 이 影響을 받는 下流堤防에는 相當區間까지 捨石 또는 其他의 防護措置를 講究해야 한다.

자. 落下地點의 條件으로 보아 自然落下地點보다 더욱 良好한 地點이 周圍에 具備되어 있을 경우에는 別途로 水理實驗을 通하여 水脈의 邊移方法을 講究해야 한다.

차. 水路의 中心線이 灣曲을 갖던가 또는 本研究 範圍에서 除外된 構造物에서 本型式을 計劃할 때는 別途로 水理實驗을 行하여야 한다.

參 考 文 獻

1. A.J. Peterka. 1961. 6 : Model and Prototype on Unique Spillway. A.S.C.E. Transaction Part 126 : (1286~1287)
2. A.S.C.E. 1963. : Hydraulic Models. A.S.C.E. Manuals of Eng, Practice 25. New York : (37~77)
3. 安守漢, 崔榮博. 1962. 9. : 水理學. 文運堂. 서울 : (139~145)
4. 寺田一彦. 1966. 5. : 統計テタのをとめ方. 高陽施院. 東京 : (50~92)
5. Edward A, Eleratorski, 1959 : Hydraulic Energy Dissipaters. Mcgraw-Hill, New York : (169~186)
6. 石原藤格郎, 本間 仁. 1958. 4. : 應用水用學(中Ⅱ) 丸善. 東京 : (450~457)
7. 趙載英, 張權烈. 1966. 3. : 實驗統計分析表, 郷文社. 서울 : (41~47)
8. 金永倍. 1965. 12. : 桃院池 여수토 및放水路 水理模型實驗, 實驗研究事業報告施第3輯. 土聯農土研 : (495~515)
9. " . 1967. 12. : 高豐池 餘水吐 放水路 水理實驗 " 第5輯. " : (235~250)
10. " 1968. 12. : 報青地區 水汗池 餘水吐 放水路 水理實驗 " 第6輯. " : (221~236)
11. 久保七郎, 添田隆. 1968. : 管平ダム餘水吐 水理模型實驗, 農土試技報. B14 平塚 : (41~71)

12. 牧隆泰, 1956. 9. : 農業水利造構學. 丸善. 東京 : (182)
13. M.B. Mcpherson. M.H. Karr. 1961. 6 : Symposium on stilling Basins and Energy Dissipaters. Proc. Symp. Series 5 A.S.C.E. : (1266-1~35)
14. 中村 宏. 1962. 3. : フリップベケット型 水叩下流の 洗掘調査. 電力中央研究所. 技研報(土木61019) 東京(9~6)
15. " . 大野欽一郎. 1964. : " " (土木64044). " .
16. 日本ダム協會. 1964. 12. : ダム年鑑. 東京 : (354)
17. 農林省 農地局. 1965. 10. : 土地改良事業計劃設計基準3(2)(コンクリートダム). 東京 : (33~40)
18. " . 1966. 6. : " . 3(1)(フィルダム). " : (264~266, 278~285)
19. 農業土木學會. 1957. 9. : 農業土木ハンドブック. 丸善. 東京 : (710~712)
20. 농림부. 1968. 12. : 토지개발사업설계기준(철림편) 서울 : (190~213)
21. 土聯農土研. 1967. 12. : 實用的인 重要水理計算. 技指(57) 서울 : (23~26)
22. 沼知福三郎, 本間 仁. 1966. : 水工學便覽. 森北出版. 東京 : (227~233, 690~698)
23. T.J. Rhone, A.J. Peterka. 1959. 12. : Improved Tunnel-Spillway Flip Buckets. Journal of the Hydraulics Division. Proc. Paper 2316 and 1961 : Transaction of the A.S.C.E. Vol 126. Part I. New York : (1270~1291)
24. 土木學會. 1964. 6. : 水理公式集, 1963年增補改訂版東京 : (231~232)
25. —. 1968. 5. : 水理實驗指導書. 東京 (30~36)
26. 豊田 修. 1969. 8. : フィルダム餘水吐水理計算の一例について. 農業土木學會誌. Vol. 37. No 5. 東京 : (25~33)
27. U.S.B.R. 1959. 3. : Hydraulic Laboratory Practice. Eng. Monograph(18) Technical Information Branch Denver Federal Center. Colorado : (43~44)
28. " . 1965. : Design of Small Dams. U.S.B.R. Washington : (288~307)
29. 原 漢造. 1966. 7. : 溝, 河川, 管水路, 堰及び排水門の 流量斷面算定例解. 有名施房. 東京 : (114~120)
30. 土聯農工研. 1965. 12. : 水理計算圖表. 技覺(47) 서울. (63~64)
31. 土屋昭彦. 1970. 5. : 水理設計と 模型實驗. 土木技術資料. Vol.12. No.5. 土木研究會. 東京 : (3~6)
32. 川村幸司. " : ダム放流設備の水理實驗. " " : (17 : 22)