

昭陽江댐 餘水路 水理模型實驗 報告要約

曹 圭 華

<正會員·水公1開設計課長>

序 言

昭陽江댐 地點은 春川市 東北方 13km 北漢江 合流點에서 12km 地點인 昭陽江上流를 橫斷하여 自然流量을 高度로 調節할 目的으로 砂磔댐을 築造하는 漢江水系 綜合開發計劃으로 本댐 地點이 保有한 水資源을 高度로 開發하므로써 漢江 下流沿岸과 首都 서울 및 京仁 地域의 年例的인 莫大한 洪水被害 防止와 急速的인 經濟發展에 隨伴하여 增加하고 있는 電力需要의 不足을 위한 施設容量 200,000kw 發電施設로 年間 353,000,000 kwh 를 生産 供給하는 同時에 下流發電所의 發電量을 增加하고 또한 下流地域 發展에 따르는 都市 및 工業用水와 灌溉用水 供給等을 目的으로 하는 東洋最大級の 多目的 大規模 水資源開發事業으로 1972年 9月 湛水를 目標로 現在 71.3%(71.9.30 現在)의 工程으로 順調롭게 建設中에 있다. 댐工事中 가장 重要한 構造物인 餘水路에 對하여 實驗的인 設計檢討를 위해 國際水理學會 副會長 하야시 다이조(林泰造) 博士의 技術諮



餘水路 模型



水理 模型實驗 光景

問을 받아 國立建設研究所 水理實驗室에서 約 14個月에 걸쳐 施行한 報告書內容을 會員 여러분들의 實務 및 研究生活에 多少나마 參考가 되기를 바라며 要約 紹介코저 하는 바입니다.

1. 댐計劃 概要

河川名：漢江水系 北漢江支流 昭陽江
 位置：江原道 春城郡 新北面 泉田里
 流域面積：2,703km²
 滿水面積：70km²
 地質：片麻岩
 댐型式：砂磧댐 (Zone Fill Type Dam)
 댐높이：123m
 댐길이：530m
 댐體積：9,591,000m³
 總貯水容量：29×10⁸m³
 有效貯水量：19×10⁶m³
 計劃洪水位：EL 198m
 異常洪水位：EL 200.91m
 常時滿水位：EL 193.50m
 最低水位：EL 150m
 計劃洪水量：11,439m³/sec
 異常洪水量：12,390m³/sec
 餘水路 計劃放流量：5,500m³/sec
 餘水路 異常放流量：7,600m³/sec
 餘水路水門：Tainter Gate (12.5m×13m×5 sets)
 洪水調節容量：350×10⁶m³

2. 實驗項目

餘水路 實驗의 主要項目은
 가. Fore Bay 및 Weir 의 檢討
 나. Chute way 의 檢討
 다. Flip Bucket 의 檢討
 라. Plunge Pool 의 檢討
 마. 댐 下流流況 및 發電所 放水路에 미치는 影響 檢討이다.

3. 相似率 및 模型製作

가. 相似率 및 縮率
 Chute式 餘水路로서 重力의 影響이 支配的이므로 模型과 實物의 相似關係는 Froude의 法則을 適用하였다. 따라서 模型의 實物에 對한 縮率은 다음 關係로 成立한다.

$$K_L = K_H = K_B = K_P = m$$

$$K_V = K_T = K_L^{1/2} = m^{1/2}$$

$$K_Q = K_H K_B K_V = K_L^{5/2} = m^{5/2}$$

여기서

K_L : 길이方向의 縮率

K_H : 높이方向의 縮率

K_B : 폭方向의 縮率

K_P : 壓力에 關한 縮率

K_V : 流速에 關한 縮率

K_T : 時間에 關한 縮率

K_Q : 流量에 關한 縮率

m : 模型과 原型的의 比

實驗에 따른 諸基本量의 縮率은 다음 表 1 과 같다.

表 1 諸基本量의 縮率

基本量	次元	縮率
길이, 水深	L	$m=1/70$
時間	T	$m^{1/2}=1/8.36$
流速	LT^{-1}	$m^{1/2}=1/8.36$
流量	L^3T^{-1}	$m^{5/2}=1/41,000$
壓力	$M L^{-1} T^{-1}$	$m=1/70$
溢流係數	—	1

나. 模型製作

貯水池模型으로는 幅 6.0m 길이 6.0m 깊이 3.0m의 鐵筋콘크리트製의 水槽를 만들고 水槽上流下端에 8" 및 12" 給水管을 設置하고 水槽下流部에 댐本體의 一部와 餘水路의 模型을 設置하였다. 또한 餘水路中 Fore Bay 와 그 上流側地形은 木탈로서 製作하였고 Weir, Pier, Chute Way 및 Flip Bucket 部分等은 全部 木造로 製作하고 Paint 로 도장하였다. 또한 餘水路의 中心線에 沿해서 壓力測定을 위한 Piezometer 를 埋設하였으며, 餘水路 下流側 下端部地形은 댐軸으로 부터 下流 約 800m 範圍를 EL. 100m 까지 製作하고 表面은 木탈로서 손질하였다. Plunge Pool 部分은 實驗의 第一段階로서 Flip Bucket 先端에서 부터 下流 240m 區間을 側面에 Acril Glass 를 부친 木製 2次元水路를 設置하고 第二段階에서는 자갈을 間 移動床模型으로 改造하였으며 最終段階에서 木탈로 손질한 固定床으로 改造하였다

4. 實驗의 實施

가. Fore Bay 및 Weir

1) 原設計案에 對한 實驗

가) 水門 全開時의 水位 流量 및 溢流係數

水門을 全開하고 溢流水深을 變化시키면서 溢流量을 測定하였다. 結果 $C=1.95$ 로 되어 設計에 採擇한 $C=1.92$ 보다 크며 放流計劃에 對한 放流能力도 充分함을 알 수 있었다.

나) 水門 全開時의 溢流部 壓力分布

溢流部 低面의 壓力을 測定하기 위하여 15個의 Piezometer 를 設置하고 水門 全開時의 流量 $Q=7,600\text{m}^3/\text{sec}$ (異常洪水量), $Q=5,500\text{m}^3/\text{sec}$, $Q=1,900\text{m}^3/\text{sec}$ 에 對한 溢流部 低面의 壓力分布를 測定하였다. 測定結果 水門 全開時에 對하여는 負壓이 生기는點이 없으며 따라서 空洞現象에 對한 憂慮도 없었다.

다) 水門 全開時의 Fore Bay 表面 및 低面流速

流量 $5,500\text{m}^3/\text{sec}$ (計劃洪水量)時의 Fore Bay 低面 및 表面流速을 測定한바 Fore Bay 山側의 流速은 Wier 前面을 除外하고는 $4\text{m}/\text{sec}$ 以下이나 Wier 前面 10m 地點에서는 $4.6\text{m}/\text{sec}$ 의 比較的 큰 流速을 나타내고 있으며 狀況에 따라서는 콘크리트表面 손질을 할 必要가 있을 것이며 또한 壩側 導流壁에 沿해서는 流速도 크고 流況도 흐트러짐으로 改善할 必要가 있다고 보겠다

라) 水門 全開時의 Fore Bay 流況

Fore Bay 의 流況은 壩側 導流壁에 沿한 흐름의 흐트러짐을 除外하면 매우 良好한 流況을 나타내었으며 壩側 導流壁에 沿한 흐름의 흐트러짐은 그대로 Chute 部까지 影響을 주며 때때로 Chute 部 側壁의 一部에서 流水가 넘친다($Q=5,500\text{m}^3/\text{sec}$ 以上). 이는 壩側 導流壁部의 改善, Chute 部 側壁의 더높이기 등이 考慮된다.

2) 修正案에 對한 實驗

原設計案 實驗結果 前記한 諸問題를 解決하기 위하여 模型을 改造하여 實驗한바 다음과 같다.

가) 水門 全開時 및 部分開放時의 水位 및 流量

水門을 全開하고 溢流水深을 變化시키면서 溢流量을 測定하였으며 또한 水門 部分開放時에 對해서는 水門 開度 1.0m, 2.0m, 3.0m, 4.0m, 5.0m, 6.0m, 7.0m, 8.0m, 9.0m, 10.0m의 10種에 對하여 水位와 流量의 關係를 測定하였다. 이때 水門은 全門을 等開도로 하였다. 이 實驗에서는 實際로 水門操作을 行할 境遇 水門 開도와放流量과의 關係가 明示된것이 必要하므로 水深을 媒介變數로 하여 水門開도와 流量과의 關係曲線群을 作成하였다.

나) 溢流部의 壓力分布

溢流部의 壓力分布測定은 原設計案과 같은 位置에서 水門 全開時의 貯水池 水位 EL 198.00m ($Q=5,500\text{m}^3/\text{sec}$), EL 201.00m($Q=7,600\text{m}^3/\text{sec}$) 및 水門部分開放時의 EL 198.00m에 對하여 實施하였다. 測定結果는 水門 全開時나 部分 開放時에도 負壓이 發生하는 地點이 없으며 空洞現象에 對한 憂慮도 없다.

다) Fore Bay 左右岸 改善

Fore Bay 左岸(壩側) 導流壁은 Fore Bay 의 計劃高

를 導流壁部分에서 낮추는 것과 導流壁의 角度를 變化시켜 壩側으로 延長하는 方案이 考慮되었으나 壩側의 地形上 導流壁의 角度를 變化시키는 것이 困難하므로 Fore Bay 의 計劃高를 局少部分에서 낮추기로 하였다. 또한 導流壁 縱斷部의 形狀을 變更시켜 流水의 흐름을 可及의 良好하게 하였다 Fore Bay 山側은 掘鑿量을 最小로 하기 위하여 掘鑿法面下端 始點을 原設計보다 內側으로 40m, 100m로 各各 縮小하여 實驗해본 結果 100m 縮小時에는 餘水路의 放流能力이 不足하고 40m 縮小時에는 原案보다는 放流能力이 不足하나 計劃放流量에 對한 放流能力은 充分하였다.

라) Fore Bay 의 表面 및 低面의 流速과 流況

左岸 山側 掘鑿面에서의 흐름은 法面に 沿하여 흐름으로 支障이 없으나 右岸壩側의 흐름은 流入部 中心線과 흐름이 相當한 角度를 이루고 있으므로 右側壁面에 沿하여 흐르지 않고 떨어져 흐름은 傾向이 있다. 그러나 流況은 比較的 良好하며 流水도 比較的 無理없이 流下하도록 되어있다. 이와같은 餘水路의 流況을 完全히 滿足시키기 위하여는 右岸壩側의 側壁을 大幅 變更시켜야 되므로 不經濟인 構造物이 된다. 또한 實際의 5,500 m^3/sec 를 放流하는 頻도가 적으며 餘水路의 容量은 이로서 滿足이 되므로 修正案의 流況으로도 支障이 없다고 보았다.

나. Chute Way

1) 原設計案 檢討

가) 水門 全開時의 壓力分布

流量 $Q=5,500\text{m}^3/\text{sec}$, $Q=7,600\text{m}^3/\text{sec}$ 에 對한 chute way 低面의 壓力分布를 測定한 結果 水門 全開時 및 部分開放時에 對하여 負壓의 發生이 없으며 따라서 空洞現象에 對한 憂慮도 없었다.

나) 水門 全開時의 水面形狀

流量 $Q=5,500\text{m}^3/\text{sec}$, $Q=7,600\text{m}^3/\text{sec}$ 에 對한 chute way 의 中心線과 兩側面에 對하여 水面形狀을 測定하였다. 그 結果 chute way 左岸側(山側) 側壁의 높이는 充分히 餘裕가 있으나 右岸側(壩側)의 EL. 173m 附近에서 EL. 160m 附近까지에서는 若干 不足하다고 생각되었다. 側壁높이가 不足한 原因은 Fore Bay 의 壩側 導流壁에서 흐트러진 流水가 充分히 整流되지 않고 溢流하기 때문에 發生하는 것으로 Fore bay 의 改善이 現地의 地形上 困難하므로 chute way 部에서 이를 補完키로하고 그 對策으로서 側壁內側 法面勾配를 없애 垂直壁으로 하고 波止效果가 있을때까지 그 크기를 늘이는 것을 考慮하였다.

2) 修正案

chute way 原案의 模型中 1:0.3인 側壁의 內側 法面勾配를 垂直으로 變更하고 上端內側에 1.5m의 波止工을 附着하였다.

가) 水門 全開時 및 部分開放時의 壓力分布

水門 全開時 및 部分 開放時에 對한 chute way의 低面壓力를 測定하여 圖示하였다(負壓, 空洞現象 없음).

나) 水面形狀

流量 $Q=5,500\text{m}^3/\text{sec}$, $Q=7,600\text{m}^3/\text{sec}$ 에 對하여는 原設計案과 同一個所에서 水面形狀을 測定하였고 또 主要 橫斷面에 對하여는 水面의 縱斷形狀을 測定 하였다. 測定結果 側壁의 높이는 左岸側에 對하여는 充分하나 右岸側의 一部에는 不足하여 側壁 上流內側에 波止工을 設置해본바 效果가 있었다. 波止工의 크기는 原設計의 것은 實驗한 結果 너무 작아서 그 效果가 거의 없었다. 그래서 여러가지 크기에 對하여 實驗한 結果 1.5m 幅일때 充分히 效果를 낼수 있었다.

다. Flip Bucket

1) 原設計案 檢討

Lip 로 부터 跳水한 水脈의 形狀, 下流落下地點의 位置 및 洗掘에 對하여 測定하였다. 測定結果 水脈의 形狀, 下流 落下點의 位置는 原設計 計算値와 같 一致하였다. 落下點의 洗掘에 對해서는 水脈이 直接 左岸山腹에 衝突하였다.

2) 修正案 檢討

原設計案 實驗에서 水脈이 直接 左岸山腹에 衝突하는것을 防止하기 위하여 Lip 를 改善하였다.

가) Flip Bucket 先端의 幅을 縮少했을 경우

Flip Bucket 의 先端幅을 50m 로 縮少하여 實驗한 結果 左岸 山腹面에 落下水脈이 부딪치는 일은 없었으나 潮水가 中央部에 단 集中케 되므로 潮水에 依한 洗掘이 크게되며 그만큼 減勢效果도 低下되는 現象이 된다.

나) Flip Bucket 를 齒型으로 하고 先端의 幅을 縮少했을 境遇

Flip Bucket 를 齒型으로한 境遇는 水脈을 擴散시키고 Plunge Pool 內의 洗掘을 輕減시키는데 效果의이었다. 實驗은 潮水의 湧出端幅을 變化시키고 齒型의 形狀을 바꾸지 않고 實施하였다. Flip Bucket 이 幅을 55m 로 한 境遇는 水脈의 擴散은 良好하였으나 左岸山側 法面에 落下水脈이 부딪쳤다. Flip Bucket 의 幅을 50m 까지 縮少시키면 兩側의 水脈과 中心部 水脈이 겹쳐서 Plunge Pool 의 洗掘이 兩側面에서 길게 中心線에서는 짧게 되므로 均等치 못한 洗掘現象을 나타내고 있다.

3) 再修正案

이 修正案으로서는 Flip Bucket 를 齒型으로 하고 左岸山側의 側壁을 原設計案보다 2.5m 內側으로 하여 다시 頂側 側壁을 1.5m 內側으로 變更하였다. 測定結果 湧出水脈의 形狀은 Flip Bucket 의 上端水脈이 下端水脈을 덮치는것 같은 모양으로 되며 水勢의 減勢效果도 좋았다. 또 左岸山腹에 落下水가 直接부딪치는일은 거의 없으나 가끔 落下水의 波가 부딪치므로 山腹의 保護工은 必要있다고 判斷하였다.

라. Plunge Pool 의 實驗

Plunge Pool 의 原設計形狀은 減勢對象 流量을 $4,500\text{m}^3/\text{sec}$ 로 하여 設計되었으나 이 設計에 對한 2次元實驗에서는 不當함을 認定할 수 있었다. 그러나 工事費 節減을 위하여 設計條件을 變更시켜 減勢對象 流量을 $3,800\text{m}^3/\text{sec}$ 까지 低下시켜서 3次元에 對한 各種事項을 檢討하여 Plunge Pool 形狀을 決定하였다. 따라서 修正된 Plunge Pool 은 $3,800\text{m}^3/\text{sec}$ 까지는 充分한 減勢效果를 나타내어 下流에 對한 影響도 적으나 $3,800\text{m}^3/\text{sec}$ 가 넘는 放流에 對하여는 減勢狀況이 不安定하게 되므로 이案을 採擇하는 境遇에는 別途의 對象이 必要하다는 結論이 나온다.

1) 落下水脈 形狀

Plunge Pool 에 對한 實驗은 最初에 2次元 模型에 依하여 Plunge Pool 의 位置와 容量에 對하여 檢討하고 다음에 移動床模型, 3次元模型에 依하여 洗掘深度에 對한 定性的 實驗을 하였다. 落下水脈 形狀에 對한 2次元實驗과 3次元實驗의 境遇에서도 若干 差異가 있으나 2次元實驗에서는 側壁의 摩擦低抗 및 空氣連行이 不足하는 것 등의 理由로 落下點位置는 上流에 오게된다. Plunge Pool 內의 流況은 流量 $5,500\text{m}^3/\text{sec}$ 가 되면 高速流을 發生케하여 Pool 內에는 물이 머무르지 못하게 된다. 이러한 狀況은 2次元과 3次元에서 모두 같은 結果를 얻었다. 그러나 3次元實驗의 境遇에는 Pool 內에서 跳水한 水流가 橫方向으로 퍼지기 때문에 下流에 對한 影響은 極히 적었다.

2) 落下水脈이 河床에 미치는 影響

落下水脈이 河床에 미치는 影響을 檢討하기 위하여 2次元模型實驗에서는 바닥에서의 壓力測定을 施行하고 3次元模型實驗에서는 洗掘實驗을 實施하였다.

가) 壓力 測定結果

河床의 壓力를 測定하기 위하여 6個所에 銅 Pipe 를 設置하고 거기에 壓力計를 接續시켜 壓力를 測定한 結果 壓力의 最高値는 $6.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 로서 平均 約 $2.0\text{kg}/$

cm² 정도였다. 그러나 이치는 銅 pipe 를 바닥에 垂直으로 插入하였기 때문에 水脈의 方向과는 角度 Q 를 갖는 方向의 壓力을 나타내고 있다. 水脈과 直角方向으로 壓力을 修正하는 境遇는 $1/\sin \theta$ 를 測定値에 곱한 값을 取하여야 한다.

그리고 泄水의 泄出端과 같은 角度로 水脈이 Plunge Pool 內에 流入한다면 $\theta=30^\circ$ 가 追加되며 測定値의 約倍의 壓力이 된다고 할 수 있다. 이 境遇 13kg/cm², 平均 4 kg/cm² 程度가 된다.

나) 洗掘實驗의 結果

Plunge Pool 의 洗掘깊이는 初期段階에는 바닥의 材料가 河床의 岩盤狀況等에 따라 影響을 받으나 最終적으로 洗掘이 安定되는 限界깊이에 對해서는 實際問題로 材料의 크기에는 關係가 없다. 實驗은 現地材料가 岩盤이며 實際로서 어느 程度의 크기가 되는 것인지 不分明하므로 現地와 實物과 相似關係를 考慮치않고 定性的으로 洗掘의 影響을 調査하고자 材料는 混合粒徑의 자갈을 使用하였다. 實驗流量은 $Q=3,800\text{m}^3/\text{sec}$, $Q=5,500\text{m}^3/\text{sec}$, $Q=7,600\text{m}^3/\text{sec}$ 의 3種을 擇하고 實驗通水時間은 壩設計 Out flow Hydrograph 를 參考하여 20時間으로 하였다. 測定結果 Flip Bucket 의 形狀은 原設計의 境遇보다 修正案의 境遇가 많은 洗掘深을 나타내고 있으나 이는 Flip Bucket 泄出端의 幅을 좁혔기 때문이며 Plunge Pool 의 設計流量 $Q=3,800\text{m}^3/\text{sec}$ 에 對하여는 充分히 減勢效果를 發揮하고 있다.

다. 壩下流部の 流況 및 發電所 放水路에 미치는 影響
壩下流部の 流況을 觀察하기 위하여 Flip Bucket 先端으로부터 100m, 150m, 200m, 300m, 400m, 500m, 625m 의 地點에서 橫斷 放水水位表面 및 低面流速分布를 測定하여 餘水路 放流時의 流況을 檢討하였다.

1) 流速分布 觀測

壩下流의 流況은 Plunge Pool 에서 跳水한 흐름이 一部泄流가 되어 壩下流 400m 附近 右岸을 向하고 있으며 左岸山側의 흐름은 山腹비탈에 따라 흐르며 300m~400m 地點에서는 흐름이 河岸으로부터 離脫하여 400m 附近보다 下流에서는 逆流를 나타내고 있다. Plunge Pool 右岸 發電所 放水路側은 廻轉流가 發生하여 Flip

Bucket 로부터 50m 附近에서 Plunge Pool 로 흘러 들어간다. 流量 $3,800\text{m}^3/\text{sec}$ 의 境遇에는 比較的 느린 흐름을 보이며 壩에서 400m 附近 右岸의 水位도 最高로 EL 90m 程度이다. 流速도 最高流速이 나타나는 位置는 河心附近이기 때문에 下流右岸의 道路面까지 水位가 上昇하는 일은 없을 것이다. 流量 $Q=5,500\text{m}^3/\text{sec}$ 때는 Plunge Pool 內의 水勢가 完全히 減勢되지 않으므로 急高速流가 發生하여 下流右岸 400m~500m 附近에 接近한다. 또한 流量 $Q=7,600\text{m}^3/\text{sec}$ 일때는 完全한 泄出狀態가 實現 下流까지 流下하므로 右岸비탈면이 洗掘될 憂慮가 있다.

2) 發電所 放水路에 對한 影響

發電所 放水路에 미치는 影響은 別로 없는 것으로 생각되나 移動床 實驗結果에 依하여 一時的으로 洗掘 初期에 Plunge Pool 에서 밀려나온 자갈이 Pool 直下流에 堆積되어 廻轉流는 固定床實驗때보다 더 심하며 水位는 매우 높게되고 放水路 側壁높이 EL, 89.00m 를 넘는 境遇가 있으며 屋外變電所까지 물을 덮는 現象을 나타내기도 하였다. 이를 防止하기 위해서는 Plunge Pool 內의 廻轉流(Return Current)를 줄이면 可能할 것이다. 廻轉流를 줄이는 方法으로서 Out let Channel 의 側壁에 水制工을 設備함이 有利하므로 水制工의 位置, 길이에 對하여 여러가지 檢討한 結果 Flip Bucket 의 先端에서 175m 位置에 Plunge pool 中心部에 直角으로 30m 길이의 構造로 하여 測定한 結果 放水路內의 水位는 比較的 安定하며 波가 일어나는 일은 거의 없었다.

結 言

本實驗은 水理計算에 依하여 作成된 原設計案에 對하여 問題點을 提示, 修正토록 하고 構造物이 水理的으로 支障없이 그 效果를 發揮할 수 있는지를 實驗的으로 檢討하여 合理的이고 經濟的인 構造物을 決定케 하는 同時에 設計 및 壩의 維持管理에 必要한 資料를 얻고져 施行된 것으로서 紙面關係로 報告書 內容을 詳細히 記述치 못하고 그 概要를 要約 紹介하는 바이다.