

昭陽湖의 堆砂分布 豫測

Forecasting Distribution of Sediment Deposits in Soyang Lake

權 五 憲
Kwon, Oh Hun

1. 머릿말

本稿는 1972年度에 筆者가 U.S.B.R.에서 水資源開發에 關한 敎育을 받고, 科學技術處에 作成, 提出한 報告書 「大容量貯水池內의 堆砂分布豫測」(72.10.1)을 발췌한 것이다.

流砂의 堆積形狀에 關해서는 이미 소개된 바 있으나 단편적으로 記述되었거나 또는 最近에 發展 補完된 內容이 누락되었기에 여기서는 實務者들의 應用을 爲하여 이미 湛水가 開始된 昭陽江多目的貯水池를 計算實例로 하여 Borland 및 Miller의 「The Empirical Area-Reduction Method」를 綜合적으로 소개한다. 여기에 쓰인 몇가지 用語는 筆者가 任意로 번역한 것으로 英語를 併記하였다.

昭陽湖의 計算例는 本文에서 未備한 說明을 補完하고 計算順序를 보여주기 爲한 것으로 既存設計와 比較하려는 의도는 없음을 밝힌다.

2. 概 要

河川은 물과 함께 끈엄던이 流砂를 下流로 運送하고 있다. 地形的인 制限과 水文, 水理的인 條件에 따라 流砂는 河道가운데서 堆積과 洗掘을 반복하여 平衡河道를 이루게 된다. 우리가 河川에 댐을 築造하게 되면 이런 河川의 有機的인 支配條件에 人爲的인 變化를 주게 되며, 이에 따라 댐의 上下流에 著차적으로 河床의 隆起와 세굴이 생긴다.

댐 上流에 이루어지는 河床의 隆起는 貯水池의 機能을 감소시켜주며 따라서 댐의 計劃과 設計를 할때 流砂의 蓄積을 爲한 적당한 容量을 追加하여 貯水池의 正會員·水公技術調査部

壽命을 연장시켜 준다. 그럼에도 遊園 및 觀光施設計劃과 背水位 計算에 流砂의 堆積形態는 重要한 影響을 주게 된다. 勿論 堆砂容量을 追加設置하는 方法以外에도 貯水池內의 堆砂를 直接 浚深한다든가 集水區域의 流砂原因을 감소시키거나 또는 迂回路를 통한 排砂도 있지만 一般적으로 이런 方法은 現在의 물 價値로볼때 經濟的인 妥當性이 없고 특히 大容量 貯水池에는 技術的인으로도 적절한 對策이 없다.

따라서 流砂의 堆積形狀을 가능한한 正確히 豫測하여 이를 爲한 容量을 增設하고 적절한 設計를 調整하므로써 貯水池 機能을 維持하는 것은 가장 現實的인 經濟的인 方法이다. 過去한때는 저수지의 제일 깊은바닥에 流砂가 堆積되리라고 認識되었으나 수 많은 기존 저수지를 實測한 結果 流砂는 貯水池 全體에 걸쳐 分布되고 때로는 저수지 上流部에 相當한 量의 堆積이 發生한다. 即 이것은 堆砂가 저수지의 容積曲線(Area-Capacity Curve)를 全般的으로 변화시킴을 의미한다. 貯水池內의 流砂分布는 그림 1과 같이 一般적으로 湖沼나 바다에서 形成되는 Delta Deposits와 같다.

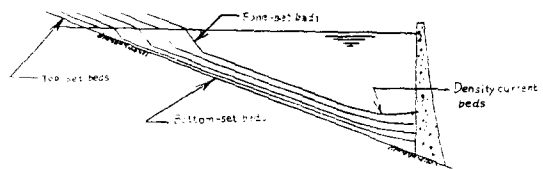


그림 1. 堆積의 發達

貯水池 最深部는 變動要因이 적으나 上流部 堆砂는 流水에 依하여 直接的인 變化를 받으며, 時間이 經過함에 따라 아주 큰 粒徑의 粒子를 除外하고는 점차 淺쪽으로 移動하게 된다(그림 2).

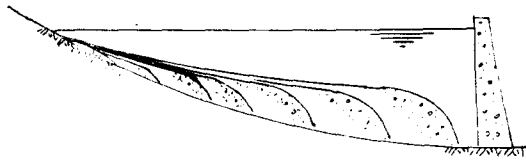


그림 2. 堆砂의 移動

貯水池內의 砂洲發達에 關해서 美國 內務省(U.S.B.R.), 陸軍工兵團 또는 農業省(Soil Conservation Service) 등에서 各 業務特性에 따라 여러가지 方法이 研究되고 있다. 그러나 經驗的인 接近이 現在로는 理論的인 것보다 實用的인 것으로 評價되고 있으며 대체로 다음것들이 있다.

그 한가지 方法은 Eugene A. Cristofano의 堆砂面積增加法(The Area-Increment Method)¹⁾로서 單純한 假定에 立脚한 엄밀한 算術的인 方法이다. 다른 한가지 方法은 U.S.B.R.에서 적용하고 있는 經驗的面積減少法(The Empirical Area-Reduction Method)²⁾로서 貯水池의 實測資料를 根據로 한다.

이 두가지 方法은 모두 流砂의 堆積에 따른 貯水面積의 감소를 單純한 方法으로 규정하는 것이다.

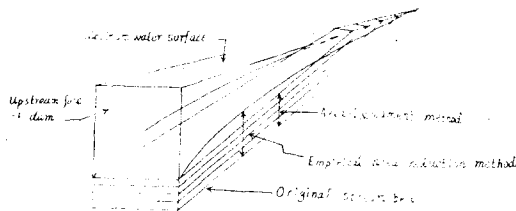


그림 3. 基本假定的 比較

「堆砂面積增加法」은 다음의 基本方式으로 表示되며, 評價된 總堆砂量이 여기서 平均斷面法으로 算出된 容量과 一致한 때까지 試算(Trial and Error)을 繼續한다.

$$V_s = A_0(H - h_0) + V_0 \dots \dots (1)$$

여기서

- V_s : 저수역 내에 쌓이는 總堆砂量
- A_0 : 一定期間後 堰地點(New Zero EL)에서의 貯水池面積
- H : 河原에서 當時滿水位(N.H.W.L)까지의 깊이
- h_0 : 堰地點에서의 堆砂길이로서 새로운 堆砂面高을 求기 爲해서 一次的으로 求하려는 값
- V_0 : 新堆砂面 以下の 堆砂容量

이 方法의 基本假定은 實際와 完全히 一致하지는 않으나 매우 實用的이며 堰의 基本計劃이나 堰地點의 堆

砂位를 一次的으로 檢討하는데 매우 有用한 方法으로 알려져 있다.

「經驗的面積減少法(經驗法)」은 U.S.B.R.에서 美國內 30個의 既存 貯水池에서 實測한 資料로 유도한 것으로 U.S.B.R.은 勿論 T.V.A. 및 美 工兵團에서 貯水池計劃에 널리 쓰이고 있다.

이 經驗的인 方法은 다음章에 記述되는바와 같이 그 基本假定에 결함이 있어서 앞으로 더욱 補充發展될 지가 많다. 洪水調節을 큰 目的의 하나로 하는 美 工兵團에서는 貯水池 操作에 따른 水面 昇降의 頻度와 流砂中 細粒子의 構成比에 關心을 갖고 開發한 貯水池 持續水位法(Pool Elevation Duration Method)³⁾이 一部 適用되고 있다. 이 方法은 貯水池의 地形條件外에 流砂의 特性과 貯水面의 變動을 고려한 것으로 U.S.B.R.의 「經驗法」보다는 理論的인 결함이 적다고 하였으나 그 實用性和 信賴度는 貯水池 特性에 따라 左右된다고 본다.

3. 堆積形狀豫測의 重要性

流砂는 流水와 함께 貯水池에 流入되지만 물과 같이 쉽게 堰으로부터 放流가 안되고 貯水池에 堆積하므로 貯水池의 機能은 물론 自然의 保存에 바담직하지 않은 영향을 주게 된다. 이러한 流砂의 堆積이 貯水池의 設計와 其他 聯關計劃에 주는 영향과 그 重要性을 간단히 살펴본다.

3-1 取水口의 位置 選定

貯水池에 담수가 始作됨에 따라 貯水池는 堆砂로 埋沒되어 가며, 따라서 貯水池의 機能을 維持하기 爲하여 이 堆砂를 爲한 容量을 增設하게 된다. 普通 100年間的 流入堆砂量을 豫測하고 該 地點에서의 堆砂位를 判斷하여 적어도 이 새로운 堆砂位 위에 取水口와 Penstock Sill을 設置해야 된다.

3-2 用水供給 能力 判斷

流砂는 貯水池에 淤고루 分布되므로 堆砂容量이 增設되었다해도 貯水池의 모든 標高에서 有效貯水容量을 감소시켜 준다.

따라서 流砂가 堆積된 상태에서 操作檢討하던 貯水池의 實 供給能力을 判斷해야 될 것이다. 貯水池의 總貯水量에 比하여 堆砂量은 一般的으로 작다고 해도 이렇게 하므로써 貯水池 運營의 信賴度가 向上될 것이다

3-3 背水位의 檢討

貯水池의 計劃과 建設에 있어서 背水位의 問題는 水沒地 補償에 重要한 部分 아니라 때로는 最適規模 또는 그 計劃의 適否를 決定하는데 影響을 줄 수 있다. 流砂의 堆積은 原來의 河道形狀을 변화시키며, 따라서 貯水池의 水位를 높히게 되므로 背水位 計算時에는 流砂의 分布형태를 반드시 고려해야 한다. 特히 流砂의 堆積이 通常 저수지 上流部에서 活發히 이루어지고 모買收 및 補償은 勿論이고 洪水時에 橋梁 揚水場 또는 遺蹟 등 上流 施設物에 미치는 影響을 慎重히 分析 檢討 되어야 할 것으로 본다. 그 밖에도 上流部 인근 土地에 排水問題 또는 舟運計劃에 問題를 惹起하게도 될 것이다.

3-4 觀光 遊園 計劃

貯水池가 建設되면 대개 그 一帶는 풍치지구로 되어 水泳場, 渡船場, 오락, 宿泊施設 등 많은 施設物이 저수지 兩岸에 集中 하게 된다.

그러나 多目的댐과 같은 大容量 貯水池에서는 季節 또는 日別로 水面의 昇降이 심하고 特히 渴水期에 兩岸을 따라 露出되는 泥土와 같은 침전물은 遊園計劃에 큰 위험이 된다.

우리나라에서는 一般의 多目的 計劃과 貯水池 運營操作에 遊園開發乃至 保存이 問題되고 있지 않다고 보지만 댐의 調査設計에 長期間이 要하고 또 貯水池의 壽命이 100年以上으로 評價되는 점을 생각할 때 앞으로는 遊園 및 觀光計劃에 對한 重要性이 慎重하게 評價되어야 할 것이다.

따라서 多目的 計劃 樹立에 있어서 流砂堆積이 遊園資源 保存에 미칠 影響이 充分히 규명 되어야 할 것이다.

4. 流砂 分布의 支配 要因

貯水池內 流砂의 堆積形態를 규명하기 전에 于先 그 形成의 要因을 살펴볼 必要가 있겠다. 이들 要因은 各己 相互聯關이 있고 複合의 이어서 獨立의 要因은 아니지만 대체로 다음과 같이 大別할 수 있겠다.

4-1 貯水池의 地形의 要素

貯水池의 縱橫斷面 特性이 堆砂에 重要한 要因의 하나일 것은 쉽게 判斷된다. 流水와 함께 流砂가 貯水池에 進入될 때 流水斷面이 擴大되고 流速이 갑자기 감소함에 따라 粒子의 沈降活動이 활발해질 것은 分明하다. 따라서 河川 上流部에 있는 貯水池라면 貯水池 下端部가 斷面擴大部가 될 것이니 堆砂는 貯水池內 下端에 集

中될 것이고 下流 貯水池라면 上端에 偏倚可能性이 있다. 그 밖에도 貯水池容積의 集水面積(또는 流入量)에 對한 比는 堆砂率(Trap Efficiency) 및 그 分布와 어떤 相關이 있겠다. 即 貯水池의 地形의 條件은 流砂分布를 決定짓는 하나의 重要한 函數가 되겠다.

4-2 流砂의 特性

流砂의 粒度 分布는 또 하나의 重要한 요소이다. 粒徑의 大小分布는 貯水池의 堆砂率에도 큰 影響을 줄뿐 아니라 貯水池의 縱斷에 따른 分布에 큰 要因이 된다. 即 比較的 작은 粒徑이 많다면 堆砂는 上端에 偏倚한다고 보며 粒度가 均等하다면 上下流에 골고루 分布할 것이다. 따라서 流砂의 粒度 分布나 流砂源을 調査하므로써 堆積 豫測 問題를 해결하는 方法도 생각할 수 있다.

4-3 貯水池의 操作 方法

貯水池의 特性에 따라 그 貯水池의 運營方法이 流砂 分布에 큰 影響을 주는 곳도 있을 것이다. 즉 貯水池의 機能과 目的, 餘水路의 形式(調節 또는 自然流下式)에 따라 貯水池表面 昇降의 頻度, 深度, 持續時間 등이 달라질 것이니 이에 따라 流砂의 침전 位置가 규명될 수 있을 것이다. 이것은 또한 그림 2에서 보는바와 같이 上流의 堆砂를 澗 方向으로 移動시키는데 重要한 原因이 될수 있다. 貯水池의 地質에 따라서는 빈번한 水面 昇降이 水面兩岸에서 浸蝕作用(Shore Erosion)을 하는 곳도 있을 것이다.

4-4 其 他

그 밖에도 河川의 流況은 貯水池容積과 關聯하여 流砂 分布에 影響을 주며, 流況과 流砂粒度의 相關性도 생각된다. 支流의 位置 및 그 크기 또는 飛砂等이 堆砂 分布에 큰 影響을 주는 곳도 있을 것이다.

5. The Empirical Area-Reduction Method

堆積形成의 諸 要因들은 貯水池 및 集水地域의 特性에 따라 相異하고 또 이들이 複合의 聯關되므로 이들의 函數關係를 綜合的으로 규명하기는 現在로는 不可能할지도 모른다.

U.S.B.R.에서는 많은 既存貯水池의 實測資料를 地形 特性에 關聯시켜 分析 시도하였다. Van't Hull은 經驗的인 判斷과 直觀으로 이들 貯水池를 地形特性에 따라 4群으로 分類하였다(그림 4).

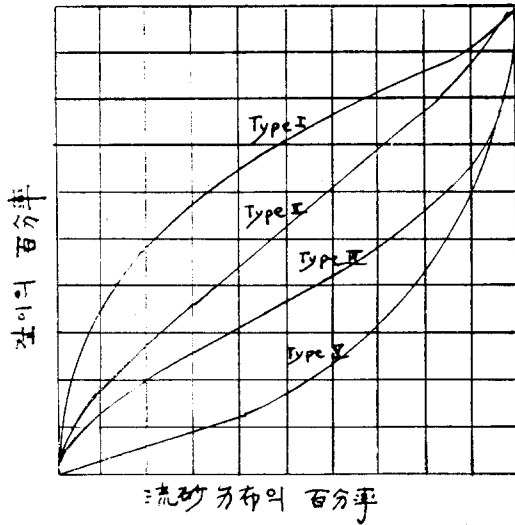


그림 4. 貯水池 形態別 流砂分布

1960年 Borland 와 Miller 는 이들 水深對 容量의 比와 貯水池內 堆積과 의 關係를 數式으로 展開하였다.

1962年 Moody⁴⁾ 는 다시 이를 補完發展시켜서 貯水池內의 堆積位를 決定하기 爲한 變換한 試算(Trial and Error Method)을 圖解法으로 消去하여 이 方法의 有用性을 높여 주었다.

5-1 基本 方程式

Moody 가 發展시킨 流砂分布의 基本方程式은 아래와 같이 表示된다. 이 式은 (1)式과 類似한 概念이다 (그림 5).

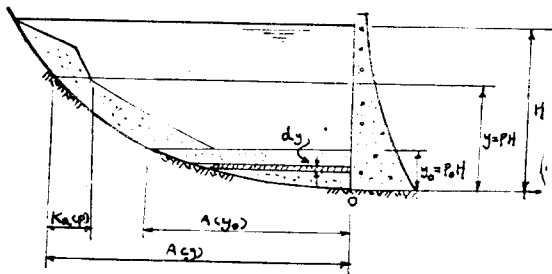


그림 5. 諸元表記

$$S = \int_0^{y_0} A dy + \int_{y_0}^H K a dy \dots\dots\dots (2)$$

여기서

S: 貯水池內의 一定期間後의 總堆砂量(普通 100 年間の 堆砂量)

0: 貯水池內의 原地盤高

y_0: 一定期間後 貯水池內의 새로운 地盤으로 臨界深 또는 臨界點의 標高로 表示됨.

A: 貯水面積으로서 높이 y의 함수

dy: 높이 y의 增分

H: 貯水池의 總水深이며, 河床으로부터 常時滿水位 또는 洪水位까지임.

K: 堆砂의 比面積(Relative Area)과 實面積(Actual Area)의 比例常數로서 貯水池 地形에 따라 決定됨.

a: 實 堆砂面積을 比例常數 K로 나눈 比面積

5-2 Moody의 展開

Moody 는 (2)式의 積分을 展開하여 無次元化하므로써 아주 간결한 結果를 유도했다. 即 總水深 H에 對한 어떤 實水深 y의 比를 表示하는 比深(Relative Depth) P를 도입하고, 臨界深(Critical Depth) y_0를 決定해주는 無次元의 臨界深決定函數 h (Critical Depth Determining Function)를 적용했다. h의 값은 比深 P와 流砂分布의 형태에 따라 決定된다. 이들의 關係를 表示한것이 設計曲線 그림 6이다.

臨界深決定曲線을 利用하면 貯水池의 分類와 總堆砂量으로서 臨界深即 新堆砂位를 求하게 된다. 아래의 式에서 添字 0는 臨界深 y_0에 對한 어떤 函數의 값을 表示한다.

(2) 式의 右邊에

$$V_0 = \int_0^{y_0} A dy$$

$$y = p H$$

를 넣어서 置換하면 다음과 같다.

$$S = V_0 + \int_{p_0 H}^H K a d(p H)$$

$$= V_0 + K H \int_{p_0}^1 a d p \tag{3}$$

여기서 無次元量인 貯水池의 比容量 V(Relative Reservoir Volume), 比面積 a(Relative Reservoir Area)를 쓰면 아래와 같이 定義된다.

$$V(p) = \int_0^p a(p) d p$$

$$V(1) = 1$$

그러므로 (3)式은 다음과 같이 處理된다.

$$S = V_0 + K H \int_{p_0}^1 a d p$$

$$= V_0 + K H \left[\int_0^1 a d p - \int_0^{p_0} a d p \right]$$

$$= V_0 + K H (1 - V_0) \tag{4}$$

基本定義에 依하면

$$A_0 = K a_0 \tag{5}$$

(4), (5)式에서 未知數 K를 消去한다.

$$\frac{S-V_0}{H(1-V_0)} = \frac{A_0}{a_0}$$

$$\frac{1-V_0}{a_0} = \frac{S-V_0}{HA_0} \quad (6)$$

(6)式을 一般式으로 表示하면

$$h(p) = \frac{1-V(p)}{a(p)} \quad (7)$$

$$h'(p) = \frac{S-V(y)}{HA(y)} \quad (8)$$

(8)式에서 y 는 p 의 함수이므로

$$h'(p) = \frac{S-V(pH)}{HA(pH)} \quad (8')$$

(7)式에서 h 는 Van't Hull의 流砂分布에 對한 設計曲線의 理論的인 函數式으로서 4種類의 貯水池群에 對하여 設計曲線을 各各 作成할 수 있다(設計曲線 그림 6). 한편 (8')式의 h' 는 特定 貯水池에 對한 函數를 表示한다. 그런데 (6)式에 依하면 위의 두 값 h 와 h' 는 臨界深 y_0 에서 반듯이 같아야 한다.

따라서 (7)式으로 表示되는 貯水池設計曲線群中에서 特定 貯水池의 種類와 같은 設計曲線을 選擇하여 이의에 (8')式을 투사할때 그 交叉點이 臨界比深 p_0 가 되며 이로부터 臨界深 y_0 가 計算된다.

앞에서 定義한과와 같이 臨界深이라함은 一定期間後 留地點에서의 堆砂깊이를 의미하며 따라서 新堆砂位가 求해진다(9節計算實例 參照).

貯水池의 縱斷方向에 따른 堆砂의 體積과 이것을 面積으로 변환시킨 設計曲線은 그림 6과 7이 더 아래의 式으로 定義된다(堆砂體積設計曲線은 省略함).

$$V(p) = \frac{1}{c} \int_0^{p_0} p^m (1-p)^n d p \quad (9)$$

$$a(p) = c \cdot p^m (1-p)^n \quad (10)$$

여기서

$$c = \frac{1}{\beta(m+1, n+1)} \quad (\beta \text{는 Pearson의 不確定函數})$$

特性媒介常數 c 와 m, n 은 無次元으로 貯水池의 種類에 따라 一定하다. m 과 n 은 試算에 依하여(9)로 表示되는 曲線이 Van't Hull의 設計曲線에 같 맞도록 最小自乘法으로 求할 수 있다.

m 과 n 이 決算되면 比面積(A_p)曲線의 總面積은 1

〈表 1〉 貯水池 特性係數

貯水池 種類	c	m	n	堆積의 偏倚	方程式(그림 7)
I	5,047	1.85	0.36	上流	$a=5,047 p^{1.85}(1-p)^{0.36}$
II	2,487	0.57	0.41	中上流	$a=2,487 p^{0.57}(1-p)^{0.41}$
III	16,967	1.15	2.32	中下流	$a=16,967 p^{1.15}(1-p)^{2.32}$
IV	1,486	-0.25	1.34	下流	$a=1,486 p^{-0.25}(1-p)^{1.34}$

이 되어야하므로 c 값이 求해진다. 4個 貯水池群에 對하여 最近 U.S.B.R.에서 求한 이들의 값은 〈表 1〉과 같다.

5-3 貯水池 地形圖의 修正

元來의 地形圖와 修正된 貯水池의 容積曲線(A-C)으로 各 等高線別 水面積을 얻어 試算으로 調整한다.⁶⁾

그러나 本 結果의 精度는 오히려 地形圖의 精度(等高線間격)에 크리 左右된다. 여기서 地形圖와 貯水池 縱橫斷圖를 修正할때 斷面積, 潤邊, 動水半徑 등 水理特性을 背水位計算에 適合도록 調整해야 한다.

6. 實務上의 問題點

6-1 貯水池의 形態 分類

U.S.B.R.의 經驗法은 流砂의 分布形態에 影響을 주는 여러가지 要因中 貯水池의 地形의 特性을 函數로 하는 것으로 앞으로 더욱 補完發展되어야 할 것이다.

本 方法의 適用에 있어서 貯水池의 種類(Van't Hull의 分類)를 判斷하는 것은 實際적으로 尙 重要한 問題로서 만약 貯水池의 地形特性以外에 其他의 要因이 現저하다면 이것을 고려하므로서 本 方法의 理論的 結論을 補充할 수 있을 것이다. 예를들면 어떤 貯水池의 水深對 貯水容量의 比가 $m=1.4$ 라면 이 貯水池는 산악지역의 형곡으로 Type N로 分類되며(그림 8 참조) 流砂는 貯水池 下端에 偏重堆積될 것이다. 그런데 萬若 流砂의 粒變分析 結果 그 粒度가 아주 均等하다면, 그 堆積은 當초 豫期한것과는 달리 貯水池 全體에 均 分布되거나 中下流部에 偏倚할 것이다.

이런 경우에는 地形特性으로 決定된 Type N보다는 Type III(hill) 또는 Type II(Flood Plain)을 擇하므로서 보다 近似한 結果를 期待할 수 있겠다.

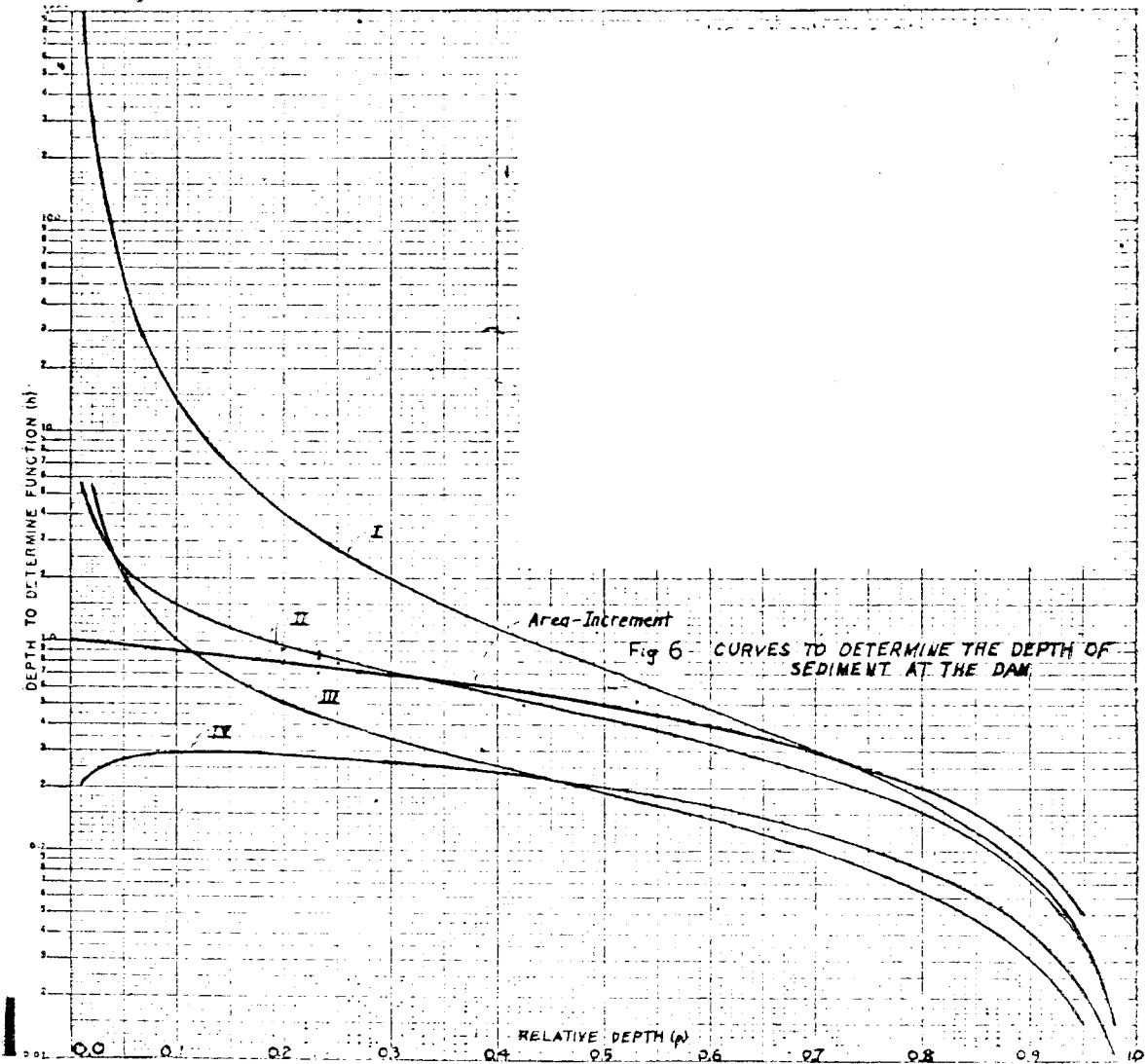
6-2 最高 堆砂位 決定

經驗法에서 貯水池內의 最高 堆砂位 또는 總水深 H 는 常時滿水位와 貯水池 縱斷曲線의 交叉點을 基準으로 한다. 그러나 流砂 堆積의 大部分의 洪水期 또는 豐水期에 이루어진다고 볼때 洪水調節專用容量이 있는 多目的댐 貯水池의 最高堆砂位는 常時滿水位보다는 計劃 洪水位를 擇해야 될 것이다.

治水 및 利水의 共用容量(Joint Use Capacity)인 경우에는 이것이 洪水豫報에 立脚하여 運營된다면 이 共用容量의 最高洪水位가 最高堆砂位일 것이며, 昭陽江 多目的댐과 같이 季節別로 運營되는 共用容量은 洪水期到來以前에 豫備放流에 依하여 水位가 降下되므로

設計洪水水位以下 常時滿水位以上の 範圍에서 最多頻度 등의 水位를 基準으로 하는것이 常時滿水位보다는 더 바람직 하겠다.

그러나 本 方法의 精度를 생각할때 最高堆砂位를 常時滿水位로 看做해도 그 結果의 信賴性을 크게 낮추지는 않을 것으로 본다.



6-3. 適用의 可能性

이 U.S.B.R.의 經驗的 方法이 우리나라의 貯水池에 適合할 것인가를 判斷하는 것은 쉬운 問題는 아니다. 그러나 앞에서 言及한 貯水池內의 堆積形成 要因들이 우리나라와 美國이 현저히 相異한가 또는 類似한가를 살펴봄으로서 대응 判斷될 것이다.

그러나 本 經驗法의 標準設計曲線을 유도하는데 쓰인 30개의 貯水池는 그 機能이나 規模, 位置 등에서 어떤 보편성을 發見할 수가 없다. 이것은 勿論 實測資料

가 充分치 못하고 또 이 方法을 美國 全域에 共通的으로 適用하려는 의도때문에 資料가 多樣하게 選擇되었기 때문일 것이다. 따라서 流域의 地形이나 流砂 또는 貯水池 操作方法등이 特殊하지 않다면 우리나라에 이 方法을 적용하는데 큰 問題點은 없다고 생각된다.

6-4 適用上 制限

그러나 여기서 分明한 것은 이 經驗法은 灌溉나 多目的 機能을 갖은 大容量의 堰堤式貯水池로부터 유도된 것이므로, 洪水調節이나 發電單 目的으로 運營되거나

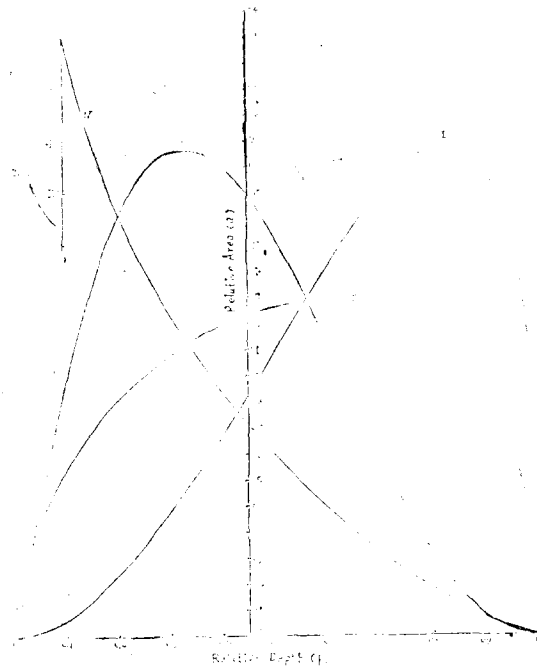


그림 7. Area Design Curve

水路式의 小容量 貯水池에는 適用할 수 없을 것이다. 大體로 貯水容量이 $12 \times 10^6 \text{ m}^3$ 以上되는 多目的潭에는 적합할 것으로 본다. 그러나 大容量 또는 小容量 貯水池를 一定한 貯水容量을 基準으로 區分하기보다는 流砂堆積에 決定적인 影響을 주는 特殊要因이 있는가 與否를 관찰해야 된다는 것이 더 強調된다.

7. 結 論

7-1

經驗法은 U.S.B.R. T.V.A. 및 美 工兵團等에서 가장 널리 쓰이는 經驗적인 接近法으로 그 理論적인 單純性에 比하여 實用性이 認定받고 있다. 그러나 貯水池의 地形 特性만이 流砂 分布의 決定的 要因이라고는 할수 없으므로 이 方法을 適用할때 貯水池形態(Van't Hull의 分類)를 慎重히 檢討, 調整 決定해야 한다.

7-2

이러한 堆砂問題의 分析方法이 不完全한 것은 主로 有用한 資料의 不足에 基因하며 앞으로 各種 貯水池에 對한 資料가 調査, 수집된다면 貯水池의 地形外에 流砂의 粒度, 流況, 貯水池水位操作等을 媒介로 하는 歸納的分析이 可能할 것이다.

7-3

그러나 流砂分布의 機構分析이 아무리 發展된다고해도 堆積要因의 多樣性和 不確定性을 분해 그 誤差의 可能性을 排除할 수는 없다. 따라서 우리나라에 있는 各種 既存 貯水池와 앞으로 建設된 貯水池의 堆積形態를 繼續적으로 實測할 것을 強力히 建議한다.

이것은 流砂分布의 分析資料가 뿐만 아니라 各 貯水池의 堆積傾向을 파악하므로써 貯水池의 壽命이 短縮되는 막대한 損失을 未然에 防止하기 爲한 對策樹立에 重要한 資料가 되기 때문이다.

7-4

本 經驗式은 그 根據資料도 분해 大體로 貯水容量이 $12 \times 10^6 \text{ cm}^3$ 以上되는 多目的潭 貯水池 設計에 適用될 것이며 其他 小規模의 特殊潭에서는 그 堆積 樣狀이 다를 것으로 생각된다.

7-5

關聯資料와 時間이 充分하다면 本 方法以外에 其他 方法으로 分析하므로써 그 結果를 比較, 檢討하는 것이 바람직하다.

8. 設計資料

8-1 貯水池型 分類

貯水池의 높이(또는 깊이) 對 容積을 兩對數紙에 그림 8과 같이 그려서 직선의 기울기(m)를 구하여 표 2와 같이 分類한다.

<표-2> 地形特性에 依한 貯水池型

m	Type	位 置	備 考
3.5~4.5	I	平坦地	$m = \frac{\text{Capacity}}{\text{Depth}}$; Log scale
2.5~3.5	II	丘陵地	
1.5~2.5	III	山地	
1.0~1.5	IV	狹 谷	

8-2 設計曲線

貯水池型에 따른 臨界深決定函數(h), 比堆砂面積 및 比堆砂體積의 比深(p)에 對한 關係는 다음의 표-3과 같으며 이중 다음 計算實例에 關한 設計曲線은 그림 6, 7이다.

<丑-3>

貯水池의 特性函數

V : 比容量
a : 比面積
h : 臨界深決定函數

Van' T Hul Type	I			II			III			IV		
ρ	v	a	h	v	a	h	v	a	h	v	a	h
0	0	0	∞	0	0	∞	0	0	∞	0	∞	0
0.01	0.0000	0.001003	996.7	0.0011	0.1794	5.598	0.0004	0.08307	12.03	0.0623	4.635	0.2623
.02	.0000	.003604	277.5	.0034	.2652	3.758	.0017	.1801	5.544	.1041	3.845	.2339
.05	.0003	.01941	51.49	.0142	.4415	2.233	.0116	.4805	2.057	.2035	2.933	.2716
.1	.0024	.06863	14.53	.0415	.6410	1.495	.0475	.9407	1.013	.3323	2.294	.2911
0.15	0.0076	0.1424	6.971	0.0774	0.7889	1.169	0.1042	1.313	0.6821	0.4370	1.920	0.2932
.2	.0170	.2372	4.145	.1199	.9067	0.9706	.1772	1.588	.5180	.5259	1.647	.2878
.25	.0316	.3501	2.766	.1678	1.003	.8299	.2614	1.768	.4178	.6026	1.429	.2781
.3	.0523	.4785	1.980	.2199	1.082	.7212	.3524	1.857	.3486	.6694	1.245	.2656
.35	.0797	.6197	1.485	.2757	1.146	.6323	.4459	1.867	.2969	.7275	1.084	.2513
0.4	0.1144	0.7708	1.149	0.3343	1.196	0.5565	0.5380	1.808	0.2555	0.7781	0.9422	0.2355
.45	.1569	.9289	0.9076	.3951	1.234	.4900	.6257	1.692	.2212	.8220	.8142	.2187
.5	.2074	1.091	.7267	.4575	1.261	.4303	.7065	1.531	.1917	.8597	.6979	.2010
.55	.2660	1.253	.5860	.5210	1.275	.3758	.7783	1.338	.1657	.8919	.5918	.1826
.6	.3326	1.410	.4732	.5848	1.276	.3253	.8400	1.125	.1422	.9191	.4945	.1637
0.65	0.4069	1.559	0.3805	0.6484	1.265	0.2780	0.8907	0.9051	0.1207	0.9415	0.4053	0.1443
.7	.4882	1.691	.3026	.7110	1.239	.2333	.9305	.9893	.1008	.9597	.3236	.1245
.75	.5756	1.799	.2359	.7720	1.196	.1907	.9599	.4888	.08204	.9740	.2491	.1044
.8	.6675	1.871	.1777	.8302	1.132	.1500	.9798	.3137	.06428	.9847	.1818	0.08397
.85	.7618	1.887	.1262	.8847	1.041	.1107	.9918	.1726	.04731	.9923	.1218	.06330
0.9	0.8548	1.813	0.08011	0.9337	0.9110	0.07276	0.9978	0.07194	0.03101	0.9970	0.06972	0.04239
.95	.9402	1.561	.03830	.9746	.7071	.03590	.9998	.01533	0.01527	.9994	.02717	.02128
.98	.9822	1.189	.01494	.9930	.4943	.01425	1.0000	.001896	.006057	.9999	.007898	.008534
.99	.9930	0.9439	.07411	.9973	.3742	.007109	1.0000	.0003842	.003020	1.0000	.003112	.002470
1.0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0

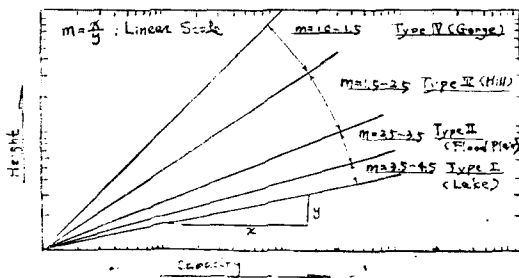


그림 8. 貯水池型의 分類

9. 計算例

計算資料는 筆者가 U.S.B.R.에서 구할 수 있는 漢江流域調查報告書에서 발췌하였으며 A-C 款의 一部는 內插法에 依한 값이므로 昭陽江 多目的댐 設計에 實際로

適用되고 있는 數值와는 一部 相異할 것으로 생각된다
本 計算例는 貯水池容積曲線의 修正과 댐 地點의 堆砂位에 關한 것이며 貯水池 平面圖의 修正過程은 省略하였다.

昭陽湖의 諸元⁷⁾

最高 洪水位	EL 198.0m
*最高 堆砂位	EL 196.0m
*河床 高	EL 80.0m
流入流砂量(100年間)	246×10 ⁶ m ³
貯水池堆砂率	98%
總堆砂量	241×10 ⁶ m ³

*는 假定值임.

9-1 貯水池의 形態分類

昭陽江댐貯水池의 水深對 容積을 그림 9와 같이 兩

對數紙에 投射한 結果 $m=2.6$ 이며 이것은 Type II (丘陵)와 Type III (山地)의 中間形態로서 어느쪽에 더 가깝는지 確信할 수 있는 間接資料가 없다.

여기서는 一但 Type II (Foothill)로 分類한다. Type II로 分類하는 것은 Type III (Hill)에 比하면 上流部 貯水問題는 安全側으로 結果를 얻어다 한편 堤附近의 堆砂問題를 過小 評價할 虞가 있다.

9-2 計算過程

第1段階

表-4의 1, 2 및 3 란을 原來的 貯水容積曲線表에 依하여 記入한다.

第2段階

各 標高別로 比深을 計算하여 4 란에 記入한다. 昭陽湖의 總깊이는 $196-80=116\text{m}$ 이므로 EL 150m에서 比深은 $(150-80)\div 116=0.69$ 이다.

第3段階

그림 7 面積設計曲線 Type II에서 4 란의 比深에 對한 比面積을 求해서 5 란에 記入한다. 例를 들면 EL 150m에서 $P=0.60$ 이므로 그림 11에서 $A_p=1.28$ 이다.

第4段階

다음의 計算은 堤地點에서의 100年後 堆砂位(New Zero Elevation)을 決定하기 爲한 것으로 표 5에 依한다. 1 란은 貯水池標高로서 新堆砂位를 포함할 수 있도록 計算範圍를 定한다. 여기서는 EL 80-EL 90에서 堆砂位가 決定될 것으로 본 것이다. 表 5의 1, 2, 3 란은 表 4의 1, 4, 3 란의 값을 各各 옮긴 것이다.

第5段階

4 란의 값은 總堆砂量 $S=241\times 10^6\text{m}^3$ 에서 3 란의 값을 各各 공제한 것이다(即 $S-V$).

第6段階

5 란의 값은 表 4의 2 란 原面積에 總水深 H 를 곱하므로써 구한다. 여기서 H 의 값은 $196-80=116\text{m}$ 를 取했다. 例를 들면 EL 90m에서의 水面積은 $2.0\times 10^6\text{m}^2$ 이므로 $HA(pH)=116\times 2.0\times 10^6=232\times 10^6\text{m}^3$ 임.

第7段階

6 란의 값은 式 8에 依하여 4 란을 5 란의 값으로 나눴다(即 $h=(S-V)\div HA$).

第8段階

2 란(比深)과 6 란(臨界深函數)으로 昭陽湖의 設計曲

線을 作成하고 이것과 Van't Hull의 Type II 曲線(設計曲線 I)과의 交叉點을 찾는다. 그림 10에서 交叉點即 比深은 $p_1=0.031$ 이다.

第9段階

$p_0=0.031$ 에 對한 計算結果는 表 5의 아래에 表示했다. 여기서 臨界深은 $P_0H=0.031\times 116=3.6\text{m}$ 이며 新堆砂位 EL 83.6m는 昭陽湖 竣工 100年後 堤地點의 堆砂位이다. 이 地點의 標高를 以下の 計算으로(即 表 4 아래부분의 補助計算과 같이) 比例常數 K 값으로 變換시킨다.

第10段階

即 臨界深 $P_0H=3.6\text{m}$ 이므로 臨界點의 比深은 $3.6\div 116=0.031$ 이다. 그리고 제 3 단계와 마찬가지로 그림 7 Type II에서 $p=0.031$ 에 對한 比面積 $A_p=0.32$ 을 읽는다. 比例常數 K 값은 定義에 依하면 $K=A\div A_p$ 이므로 $K=0.7\div 0.32=2.18$ 이다.

新堆砂位 即 EL 83.6m 以下の 原面積(2 란)은 6 란의 堆砂面積으로 轉換된다. EL 84.0m 以上の 堆砂面積은 5 란의 A_p 값에 K 값을 곱해서 各各 求한다(6 란) 例를 들면 EL 180m에서의 堆砂面積은 $1.02\times 2.18=2.22$ 이다.

第11段階

6 란의 面積을 準断面法으로 計算한 堆砂體積이 7 란에 記入된다. 7 란의 合計는 總堆砂量과 같으며 本計算에서는 $241\times 10^6\text{m}^3$ 이다. 그러나 計算過程에서 小數點處理關係로 約 2.5% 더 많은 $247\times 10^6\text{m}^3$ 로 되었다. 實用上 問題는 안되므로 이에 對한 調整은 必要치 않다.

第12段階

8 란은 7 란의 累計值이다.

第13段階

2 란(原水面積)에서 6 란(堆砂面積)을 빼면 9 란(堆砂修正面積)의 값이 된다.

第14段階

마찬가지로 10 란(堆砂修正容積)의 값은 3 란에서 3 란을 各各 뺀 값이다.

第15段階

1, 9 및 10 란의 값들은 貯水池 完工 100年後의 貯水容積曲線(H-A-C)이 된다.

〈丑-4〉

流砂分布計算(Empirical Method)

貯水池；昭陽湖
事業名(計算例)

總堆砂量； 241×10⁶ m²
計 算； K.O.H.

日付； 72.6.10

① 標高 m	② 原面積 10 ⁶ m ²	③ 原容積 10 ⁶ m ³	④ 比深 ρ	⑤ 比面積 A _p	⑥ 堆砂面積 10 ⁶ m ²	⑦ 堆砂體積 10 ⁶ m ³	⑧ 堆砂體積累計 10 ⁶ m ³	⑨ 修正面積 10 ⁶ m ²	⑩ 修正容積 10 ⁶ m ³
205	22.5	3,446	—	—	—	—	—	82.5	3,199
200	76.3	3,071	—	—	—	—	—	76.3	2,824
198	74.3	2,890	—	—	—	—	—	74.3	2,643
196	72.5	2,740	1.00	0	0	4.6	247.0	72.5	2,493
190	65.7	2,340	0.95	0.70	1.53	18.7	242.4	64.2	2,097.6
180	54.9	1,761	0.86	1.02	2.22	23.7	223.7	52.7	1,537.3
170	35.2	1,310	0.78	1.16	2.53	26.1	200.0	32.7	1,110.0
160	28.2	930	0.69	1.24	2.70	27.4	173.9	25.5	756.1
150	23.6	680	0.60	1.28	2.79	27.8	146.5	20.8	533.5
140	19.3	455	0.52	1.27	2.77	27.1	118.7	16.5	336.3
130	14.5	270	0.43	1.22	2.66	25.7	91.6	11.8	173.4
120	10.1	161	0.34	1.14	2.49	23.5	65.9	7.6	95.1
110	6.4	92	0.26	1.02	2.22	20.1	42.4	4.2	49.6
100	4.0	40	0.17	0.83	1.81	15.1	22.3	2.0	17.7
90	2.0	10	0.08	0.56	1.22	5.0	7.2	0.8	2.8
85	1.0	2.5	0.043	0.38	0.8	0.7	2.2	0.3	0.3
84	0.8	1.6	0.034	0.34	0.7	0.6	1.5	0.1	0.1
83	0.6	0.9	0.026	0.28	0.6	0.5	0.9	—	—
82	0.4	0.4	0.017	0.22	0.4	0.3	0.4	—	—
81	0.2	0.1	0.008	0.13	0.2	0.1	0.1	—	—
80	0	0	0	0	0	0	0	—	—

補 助 計 算

0.36	0.7	0.031	0.32	$k=0.7 \div 0.32 = 2.18$
------	-----	-------	------	--------------------------

丑-5 沿地點堆砂位決定(Empirical Method)

貯水池；昭陽湖 總堆砂量(s)；241×10⁶ m³
事業名(計算例) 總水深(H)；116m 計算 K.O.H.

① 標高 m	② 比深 ρ	③ 原容積 V(ρH)	④ S-V (ρH)	⑤ HA (ρH)	⑥ k'(ρ)	備考
80	0	0	241	—	—	

81	0.008	0.1	240.9	23.2	10.4
82	0.017	0.4	240.6	46.4	5.2
83	0.026	0.9	240.1	69.6	3.4
84	0.034	1.6	239.4	92.5	2.58
85	0.043	2.5	238.5	116.0	2.05
90	0.08	10	231.0	232.0	0.996

比 深 $P_0=0.031$ 臨界深 $P_0H=3.6m$
河床高 $EL=80.00m$ 沿地點堆砂位 $EL=83.6m$

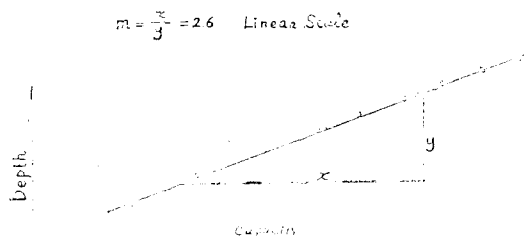


그림 9. 소양강 다목적댐 저수지 분류

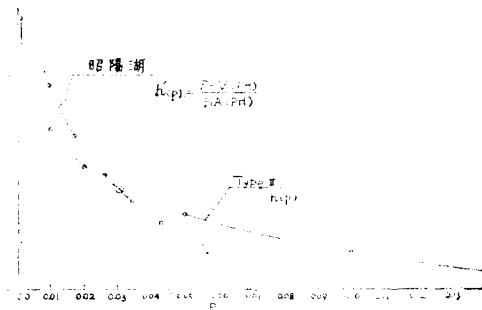


그림 10. 소양강댐 臨界深決定

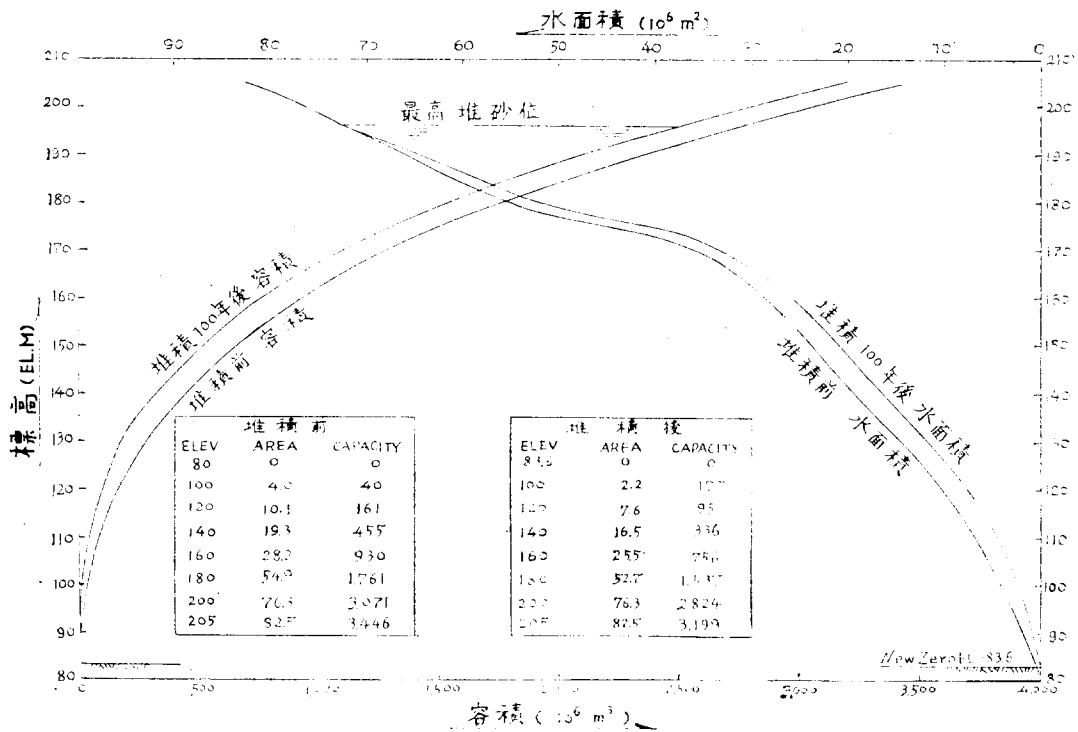


그림 11. 昭陽湖貯水容積曲線

10. 參考文獻

- (1) Eugene A. Cristofano, The Area Increment Method for Distributing Sediment in a Reservoir, 1953
- (2) W.M. Borland and C. R. Miller, Distribution of Sediment in Large Reservoirs, A.S.C.E. Transactions No. 3019, 1960. Interim Report Distribution of Sediment in Reservoirs, U.S.B.R. 1954
- (3) Erice L. Hobbs, Forecasting Distribution of Sediment Deposits, Memorandum U.S. Corps of Engineers, 1969
- (4) William T. Moody, Determination of the Maximum Elevation of Complete Sedimentation in a Reservoir, Memorandum U.S.B.R. 1962
- (5) Pearson, Karl, Tables of the Incomplete Beta Functions, Cambridge University Press, 1956
- (6) Revision of the Procedure to Compute Sediment Distribution in Large Reservoirs, U.S.B.R. 1962
- (7) Reconnaissance Report of Han River Basin' Appendixes VI. C 1971