

<論 文>

經驗的面積減小法을 爲한 貯水池 分類에 關한 研究

Multiple Regression Analysis to Determine the Reservoir Classification in the Empirical Area-Reduction Method

權 五 憲
Kwon, Oh Hun

Abstract

The empirical area-reduction method by W.M. Borland and C.R. Miller and its revised procedure by W.T. Moody were made of fitting the area and storage curves to the Van't Hul distributions.

It should be noted that the reservoir is classified into one of the four standard types on the basis of the topographical feature of the reservoir in application of the method.

In other words, this method did not take into account several considerable factors affecting the mode of sediment deposition, but only the shape of the reservoir as a governing factor. This is why the method occasionally creates ambiguity in classification and accordingly leads to unexpected mode of deposition.

This paper describes a generating an formula to decide the standard classification of four types Van't Hul distributions, taking into consideration quantitatively sediment-loss percent and capacity-inflow ratio as well as the shape of the reservoirs by multiple regression analysis using the least square method to get a better fit to the design curves.

The result is expressed as $Y = -1.95 + 55.8X_1 + 0.14X_2 + 0.12X_3$

in which the the values of Y locate the standard type I through type IV in the range from ten to forty with the interval of ten. The regression analysis was correlated well with the standard errors of estimate of around two except for the case of the type IV.

This formula does not give big difference from the Borland's work in general situation, but it demonstrates acceptable results, giving somewhat precise replys for the specific reservoirs. Its application to the Soyang Lake, one of the largest reservoirs in the country, defined clearly the type II, while the original method located it in the boundary of the type II and type III.

1. 序 論

貯水池內의 堆砂分布形態에 關해서 몇가지 研究가 發表된바 있다.

Cristofano(1953)의 面積增分法(Area-Increment Method)⁽¹⁾과 Borland 및 Miller(1954)의 面積減小法(Empirical Area-Reduction Method)⁽²⁾ 및 Hobbs의 貯水池 持續水位法(Pool Elevation Duration Method)⁽³⁾ 등이 널리 소개된 것들이다. 이 方法들은 단순한 해석적 접근이나 經驗公式으로서 아직까지도 이들 發展補完 시키

기 爲한 資料가 充分치 못한 형편이다.

大容量 貯水池(約 $50 \times 10^6 m^3$ 以上)⁽⁴⁾의 경우 그림 1에서 보는바와 같이 面積減小法이 매우 實用的이고 信賴할 수 있다고 評價되고 있다.⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 이 方法은 貯水池를 堆積形態에 따라 4 個群으로 分類하여 最小自乘法으로 4 群의 堆積設計曲線을 만들어 堆砂位를 豫測하는 經驗法이다. 그러나 이 方法은 貯水池種類를 決定함에 있어서 堆砂分布에 영향을 주는 여러가지 重要한 要因中에서 단지 貯水池의 地形特性만을 고려하였기때문에 때때로 不適當한 結果值를 나타내는 결함이 있다

따라서 本 研究는 Borland가 고려한 貯水池地形特性에 追加하여 貯水量對 流入量의 比와 堆砂損失量의 總

1977年 5月 30日 接受

正會實 · 忠南大 工大 專講 · 技術士

貯水量에 대한 百分率을 變數로 하여 貯水池種類를 判定할 수 있도록 20個의 實測資料로써 複合回歸分布를 實施하여 判別式을 만들고 이를 檢討 考察하였다.

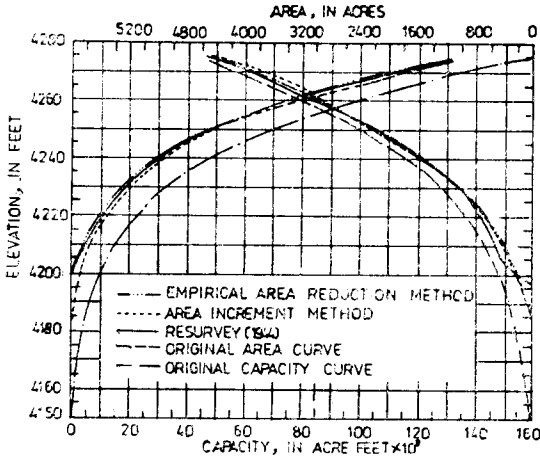


그림 1. A-c curves

2. 經驗的面積減小法의 理論

$$S = \int_0^{y_0} A dy + \int_{y_0}^H K a dy \dots \dots \dots (1)$$

여기서

- S: 貯水池內의 一定期間總堆砂量
- 0: 堰地點의 原地盤高(河床高)
- y₀: 一定期間後 堰地點의 堆砂位(臨界深 또는 臨界點이라 함)
- A: 貯水池面積(높이 y의 函數)
- H: 貯水池의 總水深(原河床-NHWL)
- K: 堆砂實面積(actual area)과 比面積(Relative area)의 比例常數로써 貯水池種類에 따라 決定됨
- a: 比面積(a=A/K)

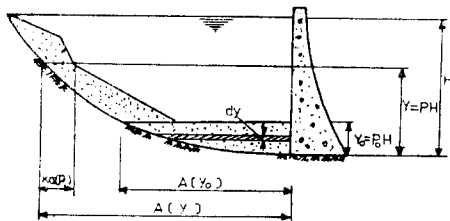


그림 2. 貯水池諸元

여기서 總水深H에 對한 어떤 實水深y의 比를 表示하는 比深(Relative Depth)p와 臨界深(Critical Depth) y₀를 決定해주는 臨界深決定函數(Critical Depth Determining Function) h를 (1)式에 代入한다. h는 貯水池種類에 따라 決定되며 h-p關係는, 그림 3에 表示

된다.

(1)式的 右邊에

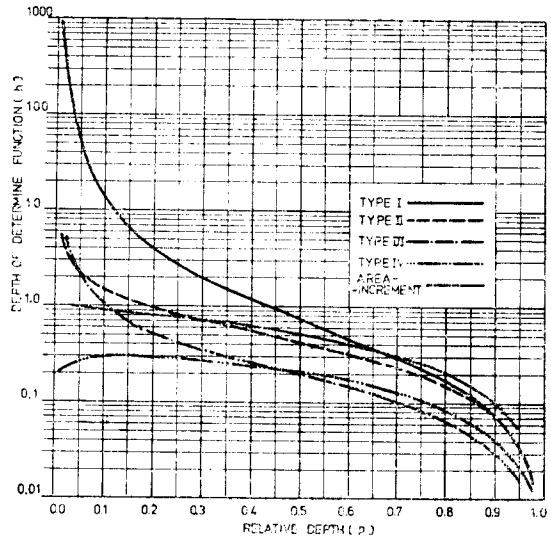


그림 3. 臨界深決定函數

$$\bar{V}_0 = \int_0^{y_0} A dy$$

$$y = pH$$

를 代入 置換하면

$$S = \bar{V}_0 + KH \int_{p_0}^1 a dp \dots \dots \dots (2)$$

여기서 無次元인 貯水池의 比容量(Relative Reservoir Volume) N를 導入하면

$$N(p) = \int_0^p a(p) dp$$

$$N(1) = 1$$

따라서 (2)式은

$$\begin{aligned} S &= \bar{V}_0 + KH \int_{p_0}^1 a dp \\ &= \bar{V}_0 + KH \left[\int_0^1 a dp - \int_0^{p_0} a dp \right] \\ &= \bar{V}_0 + KH [1 - N_0] \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

A₀ = K a₀이므로 (3)式은

$$\begin{aligned} S &= \bar{V}_0 + \frac{A_0}{a_0} H [1 - N_0] \\ \frac{1 - N_0}{a_0} &= \frac{S - \bar{V}_0}{HA_0} \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

(4)式的 兩邊을 一般式으로 表示하면

$$h(p) = \frac{1 - N(p)}{a(p)} \dots \dots \dots (5)$$

$$h'(p) = \frac{S - \bar{V}(pH)}{HA(pH)} \dots \dots \dots (6)$$

(5)式에서 h(p)는 그림 4의 堆砂分布에 對한 Van't

Hul의 設計曲線(area Design Curve)의 理論의인 函數式이며 (6)式의 $h'(p)$ 는 特定貯水池에 對한 函數式이다.

(4)式에 依하면 h 와 h' 는 臨界深 y_0 에서 一致한다⁽⁶⁾ 다시말하면 堆積計算에 起點이 되는 埋地點의 堆砂位 決定은 單簡한 試算이나 電算作業⁽⁴⁾을 할 必要가 없으며 單簡한 圖解法으로 p_0 및 y_0 를 求한다.

貯水池의 從斷方向에 따른 堆砂量分布設計曲線(Storage Design Curve)은 그림 5와 같으며 그 曲線式은

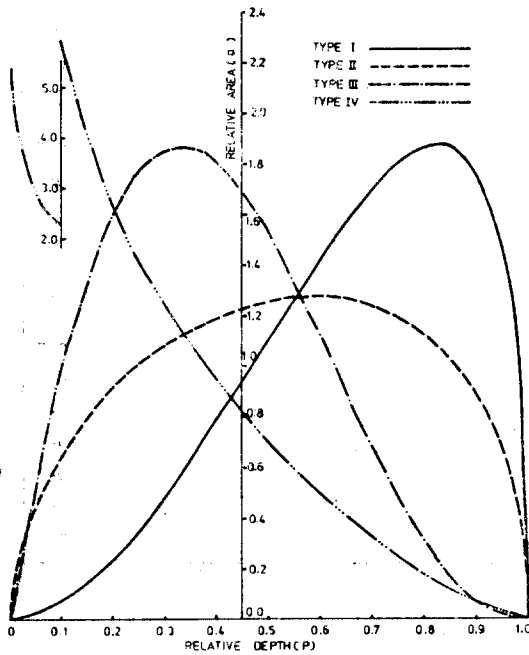


그림 4. Area Design Curves

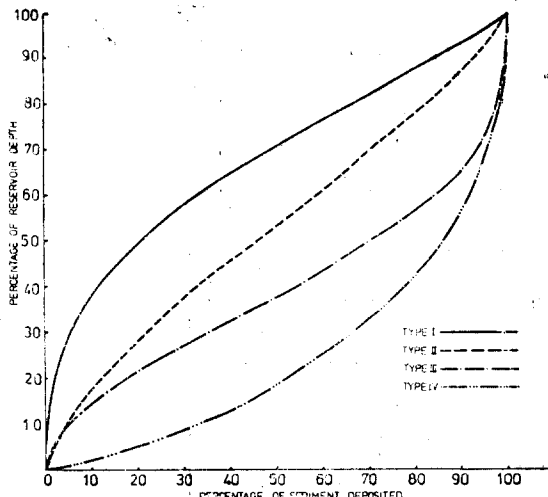


그림 5. Storage Design Curves

다음과 같다.

$$N(p) = c \int_0^p p^n (1-p)^n dp \dots\dots\dots (7)$$

$$a(p) = c \cdot p^n (1-p)^n \dots\dots\dots (8)$$

여기서 $c = \frac{1}{\beta(m+1, n+1)}$

윗式에서 特性媒介常數 m, n 은 貯水池種類에 따라 Van't Hul의 分布曲線에 맞도록 最小自乘法으로 구하며, $a(p)$ 曲線의 總面積이 1이므로 C 값도 구할 수 있다.

(7), (8)式에서 C 값은 統計學에서 Pearson의 $I_p(m+1, n+1)$ ⁽⁷⁾과 同一하게 結果된다.⁽⁴⁾

(7), (8)式의 特性係數는 表 1과 같이 計算된다.

表 1. 貯水池特性係數

貯水池種類	c	m	n
I	5.047	1.85	0.36
II	2.487	0.57	0.41
III	16.967	1.15	2.32
IV	1.488	-0.25	1.34

3. 資料 및 方法

流砂量算定 또는 堆積에 關해서 國內에서도 여러 研究結果가 發表되었다.

李⁽⁸⁾, 尹, 韓⁽⁹⁾, 柳, 金⁽¹⁰⁾ 등이 流砂量 또는 堆砂損失率을 流域面積, 年降雨量, 流域傾斜等과 相關分析하였다.

그러나 그 調査對象貯水池는 大部分 小容量의 單一目的으로서 100年間 推定 堆砂損失率이 15%以上이므로 面積減小法에 關한 一般資料로 쓰기는 不適當하다고 判斷된다.⁽⁴⁾ 또한 우리나라의 大貯水池는 아직 그 經過壽命이 짧고 또 實測資料도 없으므로 여기서는 美國內 實測值中 堆砂損失率이 略 15%以內인 20個 貯水池資料를 選別하였다(表 2).

貯水池內 流砂의 堆積形成을 支配하는 여러가지 主要要因中에서 Borland 및 Miller가 고려한 貯水池形狀과 그밖의 堆砂損失量의 總貯水容量에 對한 百分率과 流入水量對 貯水容量比를 追加하여 以上의 3個項과 貯水池種類를 相關分析하였다.

여기서 複合回歸方程式(multiple regression equation)은 이들 3個 獨立變數가 各各 貯水池 種類를 나타내는 從屬變數와 線型關係인 것으로 看做하여 (9)式과 같이 設定하였다. 그밖의 流砂의 特性(比重 및 粒度), 貯水池操作法⁽³⁾⁽⁴⁾ 등이 影響을 주지만 이는 單一定性的으로만 判斷되고 있다.

4. 貯水池 判別式의 決定

表 2. 貯水池堆砂實測資料

Reservoir	Location	Type	* Purpose	Reservoir Ages (yrs)	Capacity (10 ³ AF)			Cap./ Inflow	** n
					original	after \bar{X} yrs	Loss %		
Buffalo Bill	Wyoming	I	I.P.	47	455.8	439.8	3.5	0.466	0.25
Combie	California	I	I.	29	8.6	7.8	8.3	0.0418	"
Conchas	New Mexico Oklahoma	I	Fc.I.P.	18	601	566.2	5.8	2.253	"
Great Salt Plains	Colorado	I	Fc.	16	308	292	5.1	0.726	"
Lake Cheesman	Colorado	I	D.Fc.	56	79.1	78	1.4	0.562	"
Seminole	Wyoming	I	P.I.	18	722.0	712.9	1.0	1.131	"
Alamogordo	New Mexico	II	Fc.I.	20	156.8	132.2	15.7	0.803	0.34
Altus	Oklahoma South Dakota	II	D.Fc.I.	14	156.7	148.6	5.1	1.234	0.34
Lake Mead	Oklahoma	II	I.P.Fc.	22	31.250	29.827	4.6	2.368	0.34
Lake Texoma	Oklahoma	II	Fc.P.	15	5.859	5.720	2.4	1.176	"
Roosevelt	Arizona, California	II	D.	50	1.522	1.382	9.2	1.918	"
Stony Gorge	California	II	I.	29	48.9	48.2	1.4	0.285	"
Tonque River	Montana, Wyoming	II	Fc.I.	18	72.5	69.4	4.2	0.234	"
Arrow rock	Idaho	III	I.Fc.	42	279.2	271.6	2.8	0.178	0.54
Bullards Bar	California	III	P.	38	31.5	28.9	8.3	0.0295	0.54
Exchequer	California	III	I.P.	31	289	285.6	1.2	0.0292	"
Fort Supply	Oklahoma	III	Fc.	16	107.3	106.1	1.1	1.745	"
Path-finder	Wyoming	III	P.I.	48	1.056	1.016	3.8	0.782	"
San Carlos	Arizona	III	I.	29	1.267	1.210	4.5	4.97	"
John Martin	Colorado	IV	Fc.I.	15	701.2	675.1	3.73	1.546	0.84

*D: Domestic Water I: Irrigation
 Fc: Flood Control P: Power
 **n値는 平均値를 擇함

表 2 의 資料로써 最小自乘法으로 다음의 回歸分析을 하였다.

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 \dots \dots \dots (9)$$

여기서 Y는 貯水池 種類를 나타내며 다음값으로 定했다.

Van't Hul의分類	I	II	III	IV
Y 値	10	20	30	40

X₁은 貯水池의 地形의特性⁽⁴⁾으로서 兩對數紙에서 height-capacity의 直線기울기(n)이다(그림 6) 그밖의 變數 및 常數는 다음과 같다.

- X₂: 貯水容量 / 年間流入量
- X₃: 100年間堆砂量 / 貯水容量(%)
- a_i, (i=0~3); 回歸常數

定規方程式(Normal Equation)은 다음과 같다.

$$\sum Y = a_0N + a_1\sum X_1 + a_2\sum X_2 + a_3\sum X_3$$

$$\sum YX_1 = a_0\sum X_1 + a_1\sum X_1^2 + a_2\sum X_1X_2 + a_3\sum X_1X_3$$

$$\sum YX_2 = a_0\sum X_2 + a_1\sum X_1X_2 + a_2\sum X_2^2 + a_3\sum X_2X_3$$

$$\sum YX_3 = a_0\sum X_3 + a_1\sum X_1X_3 + a_2\sum X_2X_3 + a_3\sum X_3^2$$

$$D \equiv N \begin{vmatrix} (N_1) & (X_1) & (X_2) & (X_3) \\ (X_1^2) & (X_1^2) & (X_1X_2) & (X_1X_3) \\ (X_2) & (X_1X_2) & (X_2^2) & (X_2X_3) \\ (X_3) & (X_1X_3) & (X_2X_3) & (X_3^2) \end{vmatrix}$$

$$D_{a_0} = \begin{vmatrix} (Y) & (X_1) & (X_2) & (X_3) \\ (YX_1) & (X_1^2) & (X_1X_2) & (X_1X_3) \\ (YX_2) & (X_1X_2) & (X_2^2) & (X_2X_3) \\ (YX_3) & (X_1X_3) & (X_2X_3) & (X_3^2) \end{vmatrix}$$

$$D_{a_1} = \begin{vmatrix} N & (Y) & (X_2) & (X_3) \\ (X_1) & (YX_1) & (X_1X_2) & (X_1X_3) \\ (X_2) & (YX_2) & (X_2^2) & (X_2X_3) \\ (X_3) & (YX_3) & (X_2X_3) & X_3^2 \end{vmatrix}$$

$$D_{a_2} \equiv \begin{vmatrix} N & (X_1) & (Y) & X_3 \\ (X_1) & (X_1^2) & (YX_1) & (X_1X_3) \\ (X_2) & (X_1X_2) & (YX_2) & (X_2X_3) \\ (X_3) & (X_1X_3) & (YX_3) & (X_3^2) \end{vmatrix}$$

$$D_{a_3} \equiv \begin{vmatrix} N & (X_1) & (X_2) & (Y) \\ (X_1) & (X_1^2) & (X_1X_2) & (YX_1) \\ (X_2) & (X_1X_2) & (X_2^2) & (YX_2) \\ (X_3) & (X_1X_3) & (X_2X_3) & (YX_3) \end{vmatrix}$$

※ () · Σ

위 行列式의 計算結果 다음과 같다.

判別式 $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3$

$$= -1.95 + 55.8X_1 + 0.14X_2 + 0.12X_3 \dots (10)$$

5. 檢討 및 考察

式(10)의 判別式에 對하여 貯水池種類別로 區分하여

表 4. 判別式比較

名	名	Borland 分類			本 判 別 式 分 類				
		n	m	Type	X ₁	X ₂	X ₃	Y	Type
華	川	0.43	0.37	Ⅲ	0.43	0.33	24.93	25.1	Ⅱ, Ⅲ境界
昭	陽	0.38	2.6	Ⅱ, Ⅲ境界	0.38	1.47	8.80	20.5	Ⅱ
忠	州	0.36	2.8	Ⅱ	0.36	0.55	23.38	21.0	Ⅱ

忠州貯水池의 경우에서는 2個方法의 結果值가 一致된다. 그러나 堆砂量에 比하여 貯水容量이 큰 昭陽湖는 Type Ⅱ와 Type Ⅲ의 境界值로부터 Type Ⅱ로 確實히 判別되며, 流入量에 比하여 貯水容量이 작고 따라서 堆砂損失率이 높은 華川湖는 Type Ⅲ에서 Type Ⅱ와의 境界로 變動되었다. 이 3個貯水池는 대체로 堆積이 貯水池 中上流에 偏倚할 것이라는 直觀的인 判斷과 本 判別式의 解는 一致된다.

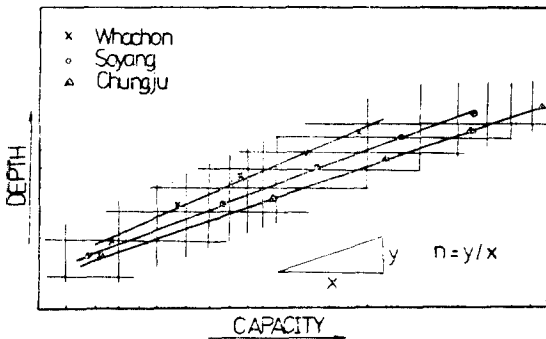


그림 6. 貯水池地形特性

6. 結 論

가. 經驗的 面積減小法에서는 Borland 및 Miller는 貯水池地形特性만을 고려하였으나 本 論文에서는 그밖

標準概算誤差(standard error of estimate)는 表3와 같다.

表3. 標準算出誤差

Type	I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
S _r	2.64	2.16	1.25	5.59
Ŝ _r	3.24	2.56	1.53

$$\hat{S}_r = \sqrt{\frac{N}{N-2}} S_r$$

表3에서 보는 바와 같이 TypeⅣ를 除外하고는 調整標準概算誤差는 1.5~3.2로서 매우 좋은 相關性을 보여준다.

이 判別式을 漢江流域에 있는 昭陽湖, 華川湖 및 忠州 貯水池에 適用한 結果 다음과 같다.

에 堆砂分布에 影響을 주는 重要한 2個要因을 追加하여 相關分析을 하므로써 다음의 判別式을 求하였다.

$$Y = -1.95 + 55.8X_1 + 0.14X_2 + 0.12X_3$$

나. 貯水容量, 堆砂量 및 年間流入量의 相對比率이 特殊한 경우를 除外하면 종전方法과 큰 差異는 없다.

가. 그 理由는 堆砂量 및 年間流入量等 2個要因의 寄與度가 相對的으로 작다기보다는 表2에서 n值에 對한 資料不足으로 中間值로서 相關시킨 가답이라고 判斷된다.

라. Type Ⅳ 貯水池(上流狹谷)는 資料결핍으로 相關性이 매우 낮으며, 本 判別式적용에 신중해야 할 것이다.

마. 本 判別式을 昭陽, 忠州 및 華川 貯水池에 適用시킨 結果 經驗的 期待值와 부합되었다.

參 考 文 獻

1. Cristofano E.A.; area Increment Method for Distributing Sediment in a Reservoir, USBR, 1953
2. Borland W.M. and Miller C.R.; Interim Report, Distribution of Sediment in Reservoirs, USBR, 1954
3. Hobbs B.L.; Forecasting Distribution of Sediment Deposits, Pool-Elevation Duration Method, Memo. ETL 1110-2-64, U.S. Corps of Engrs., 1969 pp.3

~6

4. Borland W.M. and Miller C.R.; Distribution of Sediment in Large Reservoirs, ASCE Transactions No. 3019, 1960, pp.167-175
5. 尹龍男; 貯水池 堆砂量의 空間의 分布豫測에 關한 研究, 土木學會, 創立 20. 論文集, pp.177-186.
6. Moody W.T.; Determination of the Maximum Elevation of Complete Sedimentation in a Reservoir, USBR, Meino. Jan. 1962, pp.3~4
7. Pearson, Karl; Tables of the Incomplete Beta Functions, Cambridge University Press, 1956
8. 李昌九; 湖南地方의 貯水池 埋沒狀況과 貯水量에 關한 調查研究, 韓國農工誌 13(2), 1971
9. 尹在漢; 韓相昱; 堆砂로 因한 貯水池 內容積 減小에 關한 調查研究, 韓國農工誌 14(2), 1972
10. 柳熙正, 金始源, 貯水池 堆砂에 關한 研究, 물의 과학 9-2, 1976

<알림>

본 학회에서는 창립 10주년 사업의 하나로써 학회지 "물의 과학"을 창간호(1968)에서 제 9권 2호(1976)까지를 I, II권으로 합본(통권 17권)하여 회원들에게 실비로 판매중에 있습니다. 희망하는 회원은 학회사무실로 직접 또는 우편으로 구입하도록 바랍니다. 발행 부수가 제한되어 있으므로 선착순으로 판매 합니다.

가격 : I, II권 10,000원