

貯水池 堆砂量豫測을 위한 數值解析

이 관수* 이 영석** 정 병건***

I. 序 論

장기간의 渴水現狀에 대비하고 水資源量의 부족을 해결하기 위해 댐의 建設은 불가피하다고 할 수 있다. 즉 多目的댐의 建設은 治水와 利水面에서 가장 적합한 시설이지만 댐의 建設에 따른 여러가지 問題點, 즉 環境的인 生態係의 변화 뿐만 아니라 氣候學的인 影響變化도 심각하며, 특히 貯水池를 長期間 運營할 때 필연적인 貯水池內의 堆砂가 문제이다.

多目的댐 竣工後 시간의 경과에 따라 上流 流域으로 부터 流送되는 流砂의 堆積으로 인하여 貯水池의 貯水量이 감소되므로 저수지의 壽命을 短縮시키고 洪水被害를 加重시킴과 동시에 用水供給에도 지장을 초래하게 된다. 따라서 貯水池의 堆砂量豫測은 댐의 설계상 중요한 자료를 제공하게 된다.

貯水池의 堆砂量 推定方法에는 流量-流砂量曲線을 이용하는 방법¹⁾, 貯水池의 堆砂資料를 이용하는 방법, 또는 經驗公式을 이용하는 방법등이 있으며, 流量-流砂量曲線을 이용하는 방법은 貯水池內로 流入되는 流量에 따라 流砂量을 구할수 있는 것으로서, 河川의 한 觀測點에서 流量-流砂量曲線이 調査되어 있으면 가능하다. 貯水池의 堆砂資料를 이용하는 방법은 貯水池流入量, 貯水池 放流量, 貯水池의 運用規則, 流入流砂의 水理學的 特性등이 파악되어야 가능하다. 과거의 資料가 충분하지 않을 경우 위의 推定方法은 실용성에 있어서 문제점이 많다.

本 研究에서는 堆砂量의 粒徑分布 및 堆砂範圍와 位置를 推定하기 위해 댐 上流의 河川을 1차원 單一水路로 취급하여 流砂量을 推定하고 貯水池에서는 몇개의 水路로 나누어 2次元 jet理論과 水路 合成模型을 이용하여 流砂量을 推定하고자 한다.

II. 數值的 模型

1. 不定流의 基本方程式

不均衡 河床의 數學的 解析은 連續方程式과 運動方程式에 근거를 두며 河床의 불균형 과정에

* 전남대학교 토목공학과 교수

** 광주대학교 토목공학과 부교수

*** 순천공업전문대학 환경공업과 전임강사

서 數學的 조건은 시간과 공간에 따라 변하므로, 이러한 不定流 흐름을 물의 連續方程式과 運動量方程式 그리고 流砂의 連續方程式으로 표현할 수 있다.

流砂가 함유된 負荷量의 連續方程式은 다음과 같다.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Ad}{\partial t} - q_l = 0 \quad (2.1.1)$$

여기서, Q : 流砂 負荷量, A : 水路의 斷面積, t : 시간,

Ad : 河床의 단위길이에 대한 流砂의 浸蝕量이나 堆積量,

q_l : 流砂負荷量의 측방 流入量, x : 하류방향에서 측정된 河床 거리이다.

流砂負荷量의 運動量 方程式은 다음과 같다.

$$\frac{\partial(\rho\beta QV)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho Q)}{\partial t} + gA \frac{\partial(\rho h)}{\partial x} = \rho gA(S_0 - S_f) + \rho g_l V_l \quad (2.1.2)$$

여기서, v : 平均流速, g : 重力加速度, ρ : 流砂負荷量의 濃度, β : 流速分布에 대한 運動量補整係數, S_0 : 河床傾斜, S_f : 摩擦傾斜, V_l : x 방향에서의 측방 流入水の 流速成分이다.

流砂의 連續方程式은 다음과 같다.

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + \rho \frac{\partial Ad}{\partial t} + \frac{\partial(AC_s)}{\partial t} - q_{sl} = 0 \quad (2.1.3)$$

여기서, Q_s : 總流砂量, ρ : 河床層의 單位體積에 대한 流砂體積,

C_s : 斷面の 平均流砂濃度, q_{sl} : 측방 流砂流入量이다.

河床勾配 S_0 는 다음 式에 의한다.

$$S_0 = \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{1}{B} \frac{\partial Ad}{\partial x} \quad (2.1.4)$$

여기서, B : 斷面の 上部幅, z : 平均河床高

摩擦傾斜 S_f 는 Manning 공식 이나 Chezy 공식을 이용한다.

$$S_f = \left(\frac{Qn}{1.486 AR^{2/3}} \right)^2 \quad (2.1.5)$$

$$S_f = \frac{1}{R} \left(\frac{V}{C} \right)^2 \quad (2.1.6)$$

여기서, R : 動水半徑, n : Manning's 계수, c : Chezy's 계수
流砂量 Q_s 는 다음과 같은 변수의 함수로 표시된다고 할 수 있다.

$$Q_s = f_1(Q, h, v, \rho_w, \rho_s, V_f, g, d_g, \tau_g) \quad (2.1.7)$$

여기서, v : 動粘性係數, ρ_w : 密度, ρ_s : 流砂粒子的 密度,

V_p : 粒子的 沈降速度, g : 重力加速度,

d_g : 幾何學的 平均크기, σ_g : 幾何學的 標準偏差,

Q : 流量, h : 水深이다.

式(2.1.7)을 次元解析하여 無次元化시키고 流體와 流砂의 特性이 일정하다고 가정하면 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$Q_S = f_2(Q, h)$$

$$Q_S = f_3(V) \quad (2.1.8)$$

流砂負荷量의 密度는 물의 密度와 流砂密度로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho = \rho_w + C_s(\rho_s - \rho_w) \quad (2.1.9)$$

여기서 $C_s = Q_S/Q$ 이다.

2. 流量 合成方程式

물의 흐름과 流砂를 追跡하기 위한 合成模型은 式(2.1.1), (2.1.2), (2.1.3)의 1次元 微分方程式을 기초로 하였으며 流砂粒子的 크기와 시간에 따른 流砂의 單位重量 變化를 계산하기 위하여 修整된 合成模型을 貯水池에 적용하였다.

水路의 流量은 다음과 같다.

$$Q = k\sqrt{S_j} \quad (2.2.1)$$

$$k = \frac{1}{n} AR^{2/3} \quad (2.2.2)$$

斷面 j 의 通水能을 K_j , 어떤 部分斷面 m_j 에서의 通水能을 K_{m_j} 라하면 流量은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{m_j} = \frac{Q_j k_{m_j}}{k_j} \quad (2.2.3)$$

$$k_j = \sum_{m=1}^{m_{max}} k_{m_j} \quad (2.2.4)$$

式(2.1.3)을 유도하기 위하여 다음과 같은 가정을 하였다. 1) 水面은 斷面に 水平하다. 2) 어느 부분의 流量에 대한 摩擦傾斜는 總斷面に 대한 摩擦傾斜와 같다.

3. 流量追跡

$\partial A / \partial t \ll \partial A / \partial x$ 이면 流砂負荷量의 連續方程式 式(2.1.1)과 運動方程式 式(2.1.2)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q_l = 0 \quad (2.3.1)$$

$$\frac{\partial(\beta QV)}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial h}{\partial x} = gA(S_0 - S_f) + q_{sv} \quad (2.3.2)$$

이 두 方程式의 해석은 모든 단면 $j-1, \dots, j_{\max}$ 에서 未知數인 Q, h 의 값을 산출하기 위하여 河川과 貯水池를 하나의 水路로 가정 하였다.

4. 流砂追跡

流砂의 連續方程式은 식(2.1.3)으로 해석했지만, 시스템의 각 지점별 소단면에 대하여 變數(Ad)를 계산해야 하기 때문에 각각의 흐름에 적용할 수 있는 流砂의 連續方程式의 修整式⁷⁾은 다음과 같다.

$$\frac{\partial Q_{s_m}}{\partial x} + p_m \frac{\partial Ad_m}{\partial t} + \frac{\partial(AC_s)m}{\partial t} - q_{s_m} + q_{s_{m-1}} = 0 \quad (2.4.1)$$

流砂負荷量의 連續方程式은 m 번째 흐름에 대해서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial Q_m}{\partial x} + \frac{\partial Am}{\partial t} - q_m + q_{m-1} = 0 \quad (2.4.2)$$

數值的 모델에서는 다음과 같이 流砂移送이 이루어 진다고 가정한다.

$$Q_s = m V^n \quad (2.4.3)$$

여기서 Q_s : 流砂量(ton/day), m, n : 回歸係數, V : 流速

流砂에 의한 堆砂의 單位重量은 流砂連續方程式 式(2.4.1)에 의하여 다음과 같은 數學的模型을 세울수 있다.

$$\frac{\partial Q_m}{\partial x} + \gamma_{dm} \frac{\partial Ad_m}{\partial t} + \gamma_{sm} \frac{\partial(AC_s)m}{\partial t} - q_{s_m} + q_{s_{m-1}} = 0 \quad (2.4.4)$$

여기서, γ_{dm} : m 번째 흐름에서 流砂의 堆砂量의 單位重量.

γ_{sm} : 流砂粒子的 單位重量

Q_{sm} : m 번째 흐름에서 總流砂量

貯水池 堆砂의 單位重量은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma_d = W_c P_c + W_m P_m + W_s P_s \quad (2.4.5)$$

여기서, p_c, p_m, p_s : 流入된 流砂 중 粘土, 실트, 모래의 百分率

W_c, W_m, W_s : 常數

III. 調査結果 및 分析

1. 現地調査

數値模型의 檢證을 위해 주암댐 上流地域인 문덕교에서 보성강댐까지를 연구 對象地域으로 하였으며 이 對象地域은 貯水池 부분이 약 18 km, 河川이 약 13 km 이다. 縱斷方向으로 약 2-3 km 간격마다 양안에 표석을 매설하고 縱橫斷 測量, 浮流砂 濃度 測定, 貯水池內的 低質과 河床의 河床土를 채취하였으며 대상지역과 橫斷 位置는 Fig.3.1.1과 같다.

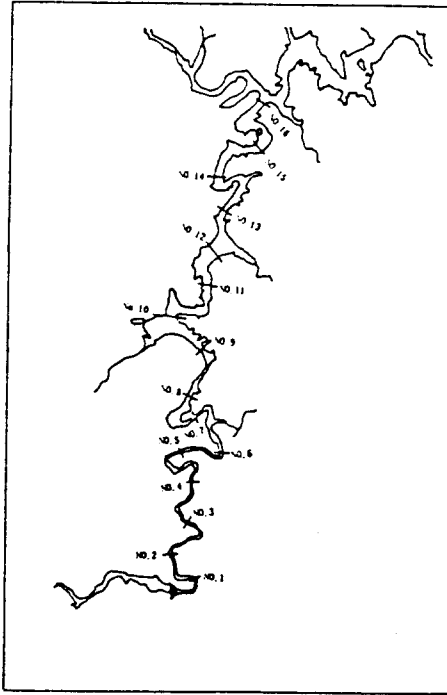


Fig.3.1.1 Topographical map

1) 縱·橫斷測量

兩岸에 매설된 標石을 기준으로 貯水池 水面에서 洪水位線 이상까지는 光波測程機로 距離를 測定하고 高低差는 틸팅레벨로 측정하였으며 貯水池의 水深은 深海用 音響測深機(Echo Sounder, PS-ZOR)로 측정하고 이의 결과를 이용하여 橫斷面圖를 작성하였으며, '85년의 縱斷測量 결과와 '93년의 縱斷測量 결과는 Fig.3.1.2와 같으며 '84년의 平均的인 縱斷勾配는 1.0555×10^{-3} 이며 '93년도 測量結果에 의한 平均的인 縱斷勾配는 9.810×10^{-4} 로서 8년여 기간동안에 상당히 緩和된 것으로 나타났다.

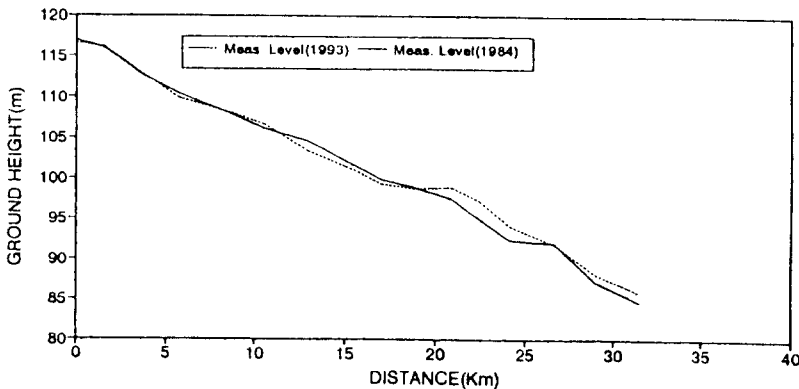


Fig.3.1.2 Profile section

2) 浮流砂 採取

浮流砂試料은 A/B TRIP MECHANISM을 사용하여 橋梁이 가설되어 있는 가장교, 속호교, 자모교, 을어교, 복내1교, 봉정교, 문덕교 지점에서 河川 또는 貯水池의 橫斷面 폭을 등간격으로 나누어 浮流砂試料을 채취하여 縱方向 및 橫方向의 濃度分布를 조사하였다.

縱斷方向의 浮流砂의 濃度分布는 상류에서 하류로 갈수록 바닥 부분의 濃度는 증가하는 반면 水面附近의 濃度는 점점 減少하는 현상을 보인다. 이는 下流로 갈수록 流速이 점점 감소되어 沈降하는 양이 증가되기 때문인 것으로 생각된다.

3) 河床 및 貯水池의 低質의 粒度分布

浮流砂試料의 채취와 더불어 河床土 및 貯水池 低質을 채취하였다. 河川(13 km 구간)에서는 水位가 낮아 한 단면에서 4개의 試料을 직접채취 하였으며, 貯水池(18 km 구간)에서는 EKMM Dredge로 低質을 채취하여 체분석 실험을 하였다.

河川 區間에서는 河床이 거의 粗砂와 細砂로 이루어져 있었으며, 실트질이 아주 적은 일반적인 河川 樣相을 보이고 있었다. 貯水池區間에서는 上流에서 운반된 堆砂(掃流砂 및 浮遊砂)가 沈澱 堆積되어 土砂粒徑이 0.074 mm보다 적은 율이 30 - 92%이다. 즉, 실트 및 粘土가 하류로 갈수록 증가하고 細砂는 적어지는 현상을 보였다.

2. 河川流入量과 댐의 放流量 資料

주암댐 상류의 境界面에 위치한 보성강댐의 放流資料가 河川流入量이 되므로 日放流量資料를 月平均하여 이용하였으며 하단의 境界面인 주암댐에서의 放流量은 댐에서 약 20km 떨어진 문덕교의 水位資料를 이용하였다.

3. 粗度係數

推定된 粗度係數는 Manning의 粗度係數와 河床高를 이용하였으며 推定式 다음과 같다.

$$n = \frac{Bh^{5/3}S_0^{1/2}}{Q} \quad (3.4.1)$$

여기서 $S_0 = 1.0555 \times 10^{-3}$

4. 模型의 適用

堆砂量의 豫測을 數值模型에 적용하기 위하여 地形 特性을 나타내는 資料와 흐름의 特性 및 流砂物質의 特性, 流砂의 移送方程式등을 初期 資料로 하고, 댐 상하류의 境界條件과 흐름의 初期 條件으로 입력하였다. 流砂負荷量의 追跡을 위한 連續方程式과 運動量方程式은 Double-Sweep Method⁸⁾에 의하여 流量과 水位의 변동량을 구하는데 이용되었다. 여기서 구한 水位 및 流量의 변동은 流砂의 連續方程式에 적용되어 河床의 洗掘 및 堆積으로 인한 河床高의 변동을 豫測하고자 한다.

IV. 結 論

우리나라의 貯水池 堆砂量豫測과 공간적인 分布特性을 調査研究하기 위해 주암댐 中流地點인 문덕교에서 보성강댐까지 31.58km 공간을 調査研究地域으로 選定하였다. 河川區間이 13km, 저수지부분이 18km 이다. 本 調査地域에서 縱橫斷測量, 각 단면에서의 하상토채취, 重要地點에서 부유사농도 측정을 하여 空間的分布 特性을 분석한 결과 다음과 같다.

1. 저수지구간에서 採取된 퇴사의 대부분 실트 이하의 세립토로 구성되어 있으며, 이는 上流의 세립사가 퇴적된 것으로 보이며 하천구간의 河床材料는 거의 모래와 자갈, 호박돌 이상의 큰 바위로 구성되어 있다. 이는, 河川改修에 의한 하상구배 변화가 원인인 것으로 판단된다.
2. 보성강 상류에 있는 보성강댐에 의하여 流砂의 대부분이 제어되어 댐하류에는 流砂活動이 활발하지 않고 오히려 홍수시 放流되는 유사와 댐하류의 세굴에 의한 堆砂가 저수지로 유입되는 것으로 판단된다.
3. 유사에 관한 수학적모델을 선정하여 본유역에 적용하고자 한다.

參 考 文 獻

1. 建設部, 댐 設計를 위한 流域單位比流砂量調査·研究(1992).
2. 남선우, “하천의 유사량과 하상변동에 관한 연구”, 한국수문학회지, 제 11 권, 제1호, 1978.
3. 윤용남, “관계용 저수지의 연 평균 퇴사량과 저수용량 감소년의 산정”, 대한토목학회 논문집, 제1권, 제1호, 1981.
4. 안상진, 이종형, “저수지 퇴사량과 유역인자와의 상관”, 한국수문학회지, 제 17권, 제2호, 1984.
5. Asada, H., “Some Examples of Bed Profile Calculations of Sedimentation in Reservoirs in Mountainous Regions”, Proc. I.A.H.R.V.1., 15th Congress, Istanbul, 1973.
6. Chen, Y. H., “Mathematical Modeling of Water and Sediment Routing in Natural Channels,” Ph.d. Dissertation, Department of Civil Eng., Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1973.
7. Dass, P. G. and Simons, D. B., “Mathematical Model to Simulate Channel Deformation,” Proceedings, 3rd Annual Symposium of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, ASCE, 1976.
8. Lopez, J. L., “Mathematical Modeling of Sediment Deposition in Reservoirs,” Hydrology Papers, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1978.
9. Rane, S. A., “Sediment Sorting in Alluvial Channels,” M.S. Thesis, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1971.
10. Strelkoff, t., “Numerical Solution of Saint-Venant Equations,” Journal of the Hydraulics Division, ASCE, No. HY1, 1970.