

## 貯水池堆砂의 새로운 除去方法

### A New Method for Removing Sediment from Reservoirs

金 治 弘\*  
Kim, Chi Hong

#### 1. 序 言

本報文은 美國 Bechtel會社의 水理技術者인 Sharia Eftekharzadeh博士와 Arizona大學土木工學科의 名譽教授인 Emmett M. Laursen博士가 提示한 것을 要約한 것이다. 우리나라도 多目的 댐도 建設되고 既存의 貯水池堆砂問題가 深刻해지고 있는 이때 參考資料로서 여기에 提示하는 바이다.

##### [1] 最近의 除去方案

貯水池內의 堆砂除去에 關한 最近의 解決方案은 아마도 가장 많이 쓰이는 것이 浚渫이고, 이는 水理學的으로 또는 動力을 利用해서 貯水池內의 堆砂를 物理的으로 除去하는 것이다. 그러나 浚渫은 高額의 費用이 所要되며 浚渫된 堆砂를 捨土하는 것도 嚴格한 許可件의 對象이 되고 있다.

또 다른 方法은 댐下部에 低水位水門을 通하여 堆砂를 찌쳐내려보내는(flushing)方法이다. 이것은 貯水池水位가 水門操作을 함으로써 急擊한 水位低下로 高速의 流水가 貯水池內의 浸蝕을 이르게 한다. 또한 이 方法의 效果 및 貯水池上流部區間에 미치는 距離가 疑心스러운 點이 있으나 全世界的으로 몇個의 貯水池가 이 方法을 써서 成功한 것으로 報告되어 왔다.

例를 들어 Venezuela의 Santo Domingo貯水池에서는 年間流送土砂量의 約 2倍量을 3日間の

flushing으로 除去했다 한다.

이 flushing의 主要短點은 댐下流部の 條件을 無考慮狀態이고 오로지 貯水池容量의 回復이라는 單純目的만 갖고 있는 것이다. 이러한 理由로 美國과 캐나다에서는 그다지 쓰여져 있지 않고 있다.

세번째 解決案으로서 低水位部の 放出口에 의해 密度流流量形態로 排出하는 方法이 있다. 泥土 및 粘土와 같은 微細한 物質이 流體의 形態로 貯水池에 流入되면 이것은 물보다 密度가 크다. 이 混合狀態의 流體이기 때문에 貯水池바닥에 가라앉고 댐쪽으로 움직여간다. 댐에서의 低水位部の 放出口로 이러한 混合流體를 遮斷과 放流를 할 수 있다. 이 方法은 實際的이라고 報告되어 있지만 貯水池耐用年限과 關係되는 密度流의 設計에는 不確實性이 介在하고 있어 問題가 있다.

또한 이 技術은 단지 아주 細粒堆砂에만 有用하다고 말 할 수 있다.

네번째 方案으로 洪水時에 貯水池內外의 堆砂를 貯水池入部に 設置된 터널 또는 開水路로 流水轉用하는 方法이다. 이것 역시 貯水池上流部の flushing效果는 있겠으나 洪水調節事業, 給水 및 水力發電事業을 하는 곳에서는 利用不能하다.

以上の 貯水池內의 堆砂除去의 解決方案은 단지 部分的인 堆砂運搬除去에는 成功하고 오로지 貯水池容積回復에만 焦點을 마춘것이고 댐

\* 土木技術士(水資源), 成均館大學校工大學長, 工博

上下流의 影響에 關해서는 考慮하지 않은 것이다.

이거에 反하여 以下記述하는 調節된 管路放流 시스템은 貯水池內의 流送土砂를 繼續적으로 收集하여 下流로 放流토록 特別히 設計된 것이다.

## [2] 管路放流시스템

貯水池內의 流送土砂의 堆積成分은 主로 泥土와 粘土와 같은 細粒子이다. 殘余典型的粗粒堆砂는 約 10%가 되며 貯水池上流側에 쌓여서 機械적으로 除去할 수 있다. 그러나 貯水池內側으로 쌓여질 細粒堆砂가 水理學적으로 除去의 對象이 된다.

調節된 管路放流方案은 堆砂된 細粒의 流送土砂를 水理學적으로 流下시키게 된다.(Fig.1 參照) 이 方法은 追加動力을 要하지 않고 即時 運營되고 最大限의 調節을 提供한다.

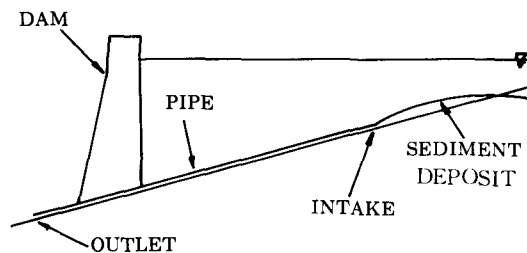


Fig.1 調節된 管路放流시스템은 貯水池內에 쌓인 堆砂를 管路를 通해 下流部로 放流된다. 堆砂流送을 위한 얻을 수 있는 水頭를 利用하며 下流로의 輸送을 위한 물량과 모래량을 均衡을 잡도록 한다.

Arizona 大學에서 最近提案된 모델試驗을 通해 管路가 粒徑分布의 廣範圍內에서 좋은 流集性을 갖고 輸送할 수 있었음을 보여주고 있다.

이 概念은 最初 Algeria의 Djidioula貯水池에서 1世紀前에 Jadin技師에 依해 發明되고 改良되었다. 1個의 直徑2ft(60cm)管이 貯水池基礎部開口에 連結되고 그 管은 뜨여진 浮船(floating pontoon)에 依해 支持되고 있었는데 貯水池內側 1mile(1.6km) 半徑內의 堆砂를 移動시키는데 쓰여졌다 한다. 3年間に  $1.8 \times 10^6 \text{yd}^3$  (cuyd) (

$1.3 \times 10^6 \text{m}^3$ )의 堆砂를 除去했으며 이것은 貯水池 容積으로서는 約  $0.65 \times 10^6 \text{yd}^3$  ( $0.496 \times 10^6 \text{m}^3$ )를 回復시켰다고 한다.

이 시스템은 또한 中共의 몇個 貯水池에서 實驗적으로 쓰여지고 있었다 한다. 예를 들어 Shanxi省 Honggi 灌溉地區內의 Tiangiawan 貯水池에서 이 시스템을 成功시켰다 한다.

이 Tiangiawan貯水池容量은 7,637ac-ft( $9.4 \times 10^6 \text{m}^3$ )이고 直徑 1.8ft (0.54 m)의 鋼鐵管路시스템은 軟타이어 接合으로 750ft(225 m)半徑地域을 擔當하였다한다. 바지船이 管路入部に 「스크레이퍼」와 「노즐」을 附着하여 “쓰레기車”와 恰似했다 한다. 이 貯水池는 平均年流入量 3,202ac-ft( $3.949.6 \text{m}^3$ )이고 年間平均堆砂率은 203ac-ft( $250 \text{m}^3$ )이라 한다.

1977年에 貯水池流入量 3,357ac-ft( $4,140 \text{m}^3$ )에 對해 流送土砂는 年間 242ac-ft( $298 \text{m}^3$ )로서 體積比로 平均 7.2%의 流集量이 된다.

이 流入集量은 顯著하게 높은 것 같다. 大部分 河川에서의 平均流送土砂流集量은 體積比로 1%를 超過하는 것은 드문일이다.

管路는 1,662ac-ft( $2,050 \text{m}^3$ )의 물과 함께 流送土砂 259ac-ft( $319 \text{m}^3$ )를 輸送했다고 한다. 換言하여 이시스템은 總流入堆砂量보다 더 많은 流送土砂를 貯水池流入量의 切半以下の 물로서 除去한 것이다. 總稼動時間은 695時間에 體積比로 10.6%의 平均流集量였었다. 이와같이貯水池下流部로의 輸送堆砂와 流下水는 下流部の 灌溉에 利用될 것이다.

## [3] 管路對 河川輸送能力

이 시스템의 效果的이라함은 管路가 河川이 이룩하는 流送土砂輸送能力보다 流集量輸送이 크다 는 것이다. 管路에 依한 流送土砂의 輸送特性和 河川의 것과의 比較檢討가 Niobrara江을 水理學的等價인 管路로 換算하여 流送土砂輸送率을 著者들에 依해 調查되었었다. 그 結果가 Table I 에 綜合되어 있다.

河川의 流送土砂流集 및 輸送率은 Laursan 輸送方程式을 써서 推定하였다. 管路輸送量은 修正된 Laursen式을 써서 推定하였다.

Table I : 河川 및 管路輸送比較

이 Niobrara 河川資料는 美國土木學會堆砂工學分科에서 收錄한 것에서 取하였다. 流送土砂輸送率은 Laursen 方程式으로 計算하였다.

水深	1.7 ft
河幅	141 ft
水温	55°F
流量	438 cfs
平均流送土砂粒徑	0.30 mm
流送土砂輸送率	1.13 cfs
流送土砂流集量	0.257 % (體積)
河床傾斜	0.121 %

水理學的等價管路란 河川의 徑深의 4배가 管徑과 같다는 뜻이다. 特性은 修正된 Laursen과 Durand 方程式으로 計算했다.

管徑	6.64 ft
流量	298 cfs
流量(% 河川)	68 %
平均流送土砂粒徑	0.30 mm
流送土砂流集量	0.378 % (體積)
流送土砂流集率 管路 / 河川	1.47
損失水頭傾斜	0.347 %
損失水頭傾斜率 管路 / 河川	2.88

흐름速度는 管路內에서 堆積이 發生하지 않은 充分한 速度로 確實히 하고 管路로의 輸送率에는 制限안 두기로 假定했다. 管路損失水頭特性은 Durand式에 依據했다.

그 結果 管路는 河川이 이륙하는것 보다 적은 水量으로 높은 流集量의 堆砂를 輸送할 수 있다는 것이다. 그리고 損失水頭는 河川傾斜보다 더 크다. 이는 管路區間이 制限되어 있음을 意味한다. 그러나 實地시스템에 있어 流送土砂는 아주 細粒이고 管徑은 設計對象이 되고 있다. 이러한 區間影響과 시스템形成을 實際로 檢討할 수 있는 것이다.

[4] 堆砂粒徑의 諸影響

Niobrara江의 例에서는 같은 流送土砂粒徑을 管과 河川에서 使用했다. 그러나 粗粒인 자갈, 모래와 같은 物質은 貯水池上流端의 洲(delta)

에 堆積되고, 反對로 細粒인 泥土와 粘土는 洲로부터 貯水池內部側의 어떤 距離를 가서 거기에 堆積된다.

그러므로 最初로 管路에 補給되는 堆砂는 아주 가는 粒徑의 것이다. delta가 發達함에 따라 堆砂는 粗粒徑으로 變해 나간다.

管路시스템 遂行은 堆砂粒徑에 依해 左右된다. 研究結果에 依하면 이 시스템에서 細粒徑의 堆砂輸送時에는 少量의 물로서 貯水池의 影響區間이 더 많다는 것을 알았다.

解析에 쓰여진 것은 2ft直徑의 管을 Niobrara江의 假說(定)의 댐에 設置했다. 輸送量(率)은 (1.13cfs)一定하게 維持하고 流送土砂의 年間粒徑은 0.05mm(泥土)로부터 1.0mm(中間모래)間的 것으로 變化를 주었다. 輸送量算定에 있어서는 Laursen의 修正輸送方程式을 使用했다.

各粒徑에 對하여 平衡輸送流集量, 流下量(率), 損失水頭傾斜, 管長의 影響區間(河川傾斜 對管損失水頭傾斜의 比)가 計算되었고 그 結果를 圖示한 것이 Fig.2이다.

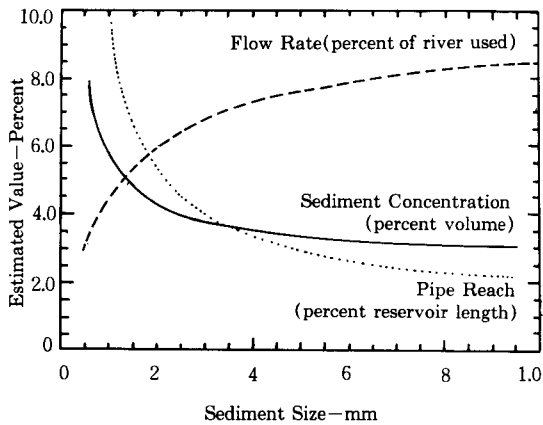


Fig.2 Niobrara江의 假設댐의 管路시스템에 있어 各種 粒徑에 對한 推定된 堆砂流集率, 流下率, 管影響 距離率

Fig.2에서 万若에 全堆砂量이 泥土(0.05mm)일 때에는 管은 平均年流入量의 約 3%의 물만이 堆砂輸送에 必要함을 示하고 있다. 그리고 輸送集中率은 約 9%가 될 것이고 또 시스템은 假設댐의 貯水池길이의 20%(그랫밖)가 求해진다.

delta(洲)가 發達함에 따라 輸送하여야 할 物質은 漸次 粗粒化되고 管路의 役割은 (물使用 効率과 管長의 影響區間) 떨어진다. 中間粒徑 0.3mm에 對해서는 물 使用量은 年流入量의 約 7%로 增加하고, 流集量은 約 4%로 低下한다. 管의 損失水頭의 增加는 貯水池內에서의 管長의 影響區間은 約 4%로 減少된다.

이 分析에서는 管路長을 固定시켰을 때에는 物質의 粗粒化가 進歩해 가면 一定한 流集度를 維持할 수 없음을 보여주고 있다. 이러한 경우, 아무래도 要求되는 輸送率이든가 또는 管路길이, 또는 兩者가 함께 減少되게 된다.

아주 靑은 物質(粒徑 1.0mm 또는 그 以上의 것)이라도 단지 年平均流下量의 約 9%로서는

管長의 影響區間은 貯水池길이의 2%를 確保하게 한다. 假設댐높이 100ft에 對하여 delta의 發達은 管路시스템을 쓰므로서 貯水池上流部 約 1,700 ft에서 멈추게 할 수 있다. 典型的인 貯水池型과 構造의 堆砂의 安息角을 考慮하면 貯水池의 貯溜量은 當初計劃容量보다 2%以上의 크기로 할 수 있다.

#### [5] 管徑의 影響

管徑은 直接 시스템의 除去區間과 물 使用量에 反映된다. Fig.3은 Niobrara江의 물 使用量, 管의 除去區間 및 平均流集度에 關한 管徑의 影響을 보여주고 있다. 堆砂의 粒徑은 0.05mm의 泥土로 假定했으며 各管徑의 輸送率은 流送土砂量 1.13cfs로 推定되었다.

더 큰 管徑은 더 긴 貯水池의 除去 길이를 確保할 수 있으나 同一物質을 同一率로 輸送하기 爲해 더 많은 물이 所要된다. Fig.3은 Niobrara江에서의 管에 의한 除去區間, 그리고 平均流集度에 對한 管徑의 影響을 나타낸 것이다. 堆砂粒徑은 0.05mm의 泥土로 假定하였으며 各管의 輸送率은 流送土砂量 1.13cfs로 推定하였다.

큰 管徑의 파이프는 같은 物質을 同率로 輸送하기 爲해 더 많은 물을 要求된다. 따라서 보다 많은 貯溜量을 얻기 爲해서는 더 많은 물 費用이 所要된다. 그러므로 問題는 주어진 條件下에서

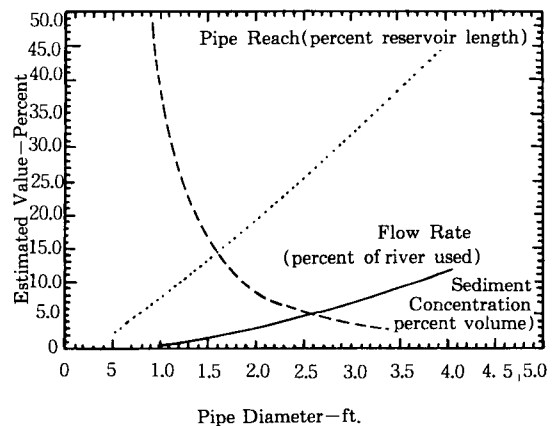


Fig.3 Niobrara江의 假設댐에서 管路시스템의 各種 管徑을 썼을 때 推定된 流量, 管影響區間, 堆砂流集率의 百分率

各地點에서의 最適管徑의 管을 어떻게 選定하느냐이다.

#### [6] 設計에 考慮할 事項

이 시스템을 設計時에는, 그 目的은 全河川水系一貫하여 가장 效果的인 流送土砂가 移動하겠음 最適管徑 및 運營計劃을 樹立하는데 있다. 또한 同時에 貯水池容量空間을 充分히 確保하여야 한다.

設計에서는 그 河川流送土砂의 特性, 貯水池, 下流區間狀況에 依해 影響을 준다.

設計變數는 管徑, 管長, 河床材料(粒徑등), 取入口, 出入口의 機構 및 構造, 그리고 시스템을 調節하기 위한 閘과 機資材를 들 수 있다. 시스템費用은 一次設置費와 運營費(基本的으로 시스템에 쓰여진 물 費用)가 包含된다.

Fig.2와 3은 堆砂粒徑 및 管徑에 對한 시스템의 性格을 나타내고 있다. 이것들은 最適設計를 表示하지 않고 있다. 一般的으로 設計가 流動일 수록 더 좋은 結果를 갖게한다. 가장 適合한 取入口와 管徑設計를 決定하기 위해서는 더 研究가 必要하다.

한 管路시스템의 어떤 施設設計에서는 첫째 全河川·貯水池系의 堆砂現況의 研究가 必要하다. 必要情報로서 貯水池에 流入되는 流送率 및 變動事項, 流送土砂의 粒度分布狀況, 貯水池堆砂特性, 下流로의 輸送量, 그리고 河川의 流送土砂堆積區間の 變化에 對한 推計등을 들 수 있다.

그리하여 그 地點의 特殊情報를 根據로 하여 最適管徑, 取入口設計, 管取入口로의 堆砂流入을 위한 適合한 機械裝置가 決定된다. 이렇게 해서 마련된 시스템運營은 河川의 流送土砂區間을

一貫되게 하여 最適設計로서 全體流送土砂效率을 最大로 하여 줄것이다.

## 2. 結 論

流送土砂의 下流로의 移動에 對한 河川機能과 水力 및 물 供給이라는 河川機能사이에는 基本的인 矛盾이 存在한다. 그러나 이 2個機能을 이 管路放流시스템에 依해 滿足스럽게 遂行할 수 있다. 貯水池를 通하여 流送土砂가 移動할 때 우리는 全體流送土砂의 움직임이 貯水池容量을 確保를 잘 해 주므로써 水力發電, 用水供給등의 크게 滿足하게 機能을 發揮할 것이다. 또 調節된 管路放流시스템은 正確하게 設計되고 運營되면 河川水系에 最小의 支障으로 流送土砂流集과 放流가 이룩할 수 있다.

#### 參 考 文 獻

1. Petersen M.S., 1986. River Engineering. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey
2. Paul, T.C., and Dhillon, G.S., 1988. "Sluice Dimensioning for Desilting Reservoirs", International Water Power & Dam Costruction, Vol.40, May
3. Vanoni, V.A., 1977, Sedimentation Engineering. American Society of Civil engineers, New York.
4. Cooke, S.M., 1989, A Physical Model of Reservoir Sediment Bypassing. Ms Thesis. Department of Civil Engineering Mechanics. The University of Arizona. Tucson, Ariz.
5. Laursen, E.M., 1958. "The Total Sediment Load of Rivers", Proceedings. American Society of Civil Engineers, Vol. 89, No. Hy3, May
6. Durand, R., 1953. "Basic Relationships of the Transportation of Solids in Pipes." Experimental Research Proc. of Minnesota Int. Hyd. Convention, Univ. of Minnesota, Sept. 1-4