

流砂試料의 採取와 流砂量 計算方法

Method of Sampling and Computation for Sediment Loads.

池 光 夏*
Kwang Ha Chi

目 次

- I. 諸 言
- II. 浮遊流砂
 - a. 浮遊流砂의 分布
 - b. 濃度(Concentration)
 - c. 浮遊流砂의 採取器具
 - d. 試料採取方法
 - e. 試料採取度數
 - f. 試料의 取扱
 - g. 試料의 分析
 - h. 流砂量의 計算
 - i. 計算例

I 諸 言

流砂는 流水에 依하여 運送되며 이는 流砂의 크기와 流速이나 水深에 따라 河床을 滑動(Slide), 轉動(Roll) 跳躍(Bounce)하면서 運送된다.

流砂는 普通 二種類로 區分하여 生覺할 수 있는데 이는 浮遊流砂(Suspended Sediment Load)와 掃流流砂(Bed load)이다. 前者는 周圍의 流速과 거이 同一한 流速으로 流動하며 後者는 河床近處를 流速보다 느리게 流下하는것으로 河床에 流紋(current mark)을 그리며 波狀의으로 移動한다. 그러나 流速이 빠르면 細粒子는 河床部近을 浮遊하여 水流과 같이 移動하게 되고 큰 粒子는 河床을 굴러(Roll)가며 運送하게 되어 上記 二種의 明確한 區分은 그 限界가 애매하게 되는것이나 研究의 便宜上 區分하며 測定 및 分析하게 되는것이다.

流砂에 關한 研究는 아직도 研究할 問題가 많은것으로 諸研究家들에 依하여 研究되고 있으나 어느方法이 絶對的인 方法이라고 말할 수 없는것이다.

本稿에서는 美國地質調査所(U.S. Geological survey)와 그 外 機關에서 利用되고 있는 方法을 紹介하여

一般的으로 實務者들에게 도움이 되도록 實際問題를 다루었고 主로 DH-48 型과 P-46 型 採取器를 使用하여 浮遊物을 採取하는 方法에 依한 計算法을 記述하였다. 그 外 掃流流砂의 採取方法 및 計算法을 後述하고저 한다.

II 浮遊流砂(Suspended sediment load)

浮遊流砂를 採取하기에 앞서 採取하고자 하는 河川의 大小와 測定器具의 種類에 따라 採取하는 方法이며 分析方法이 달라지게 된다. 이곳에서 試料採取(sampling)를 實施하기 爲한 基本知識으로 河川 浮遊物의 分布狀態를 먼저 알고있지 않으면 아니됨으로 이에 關하여 略述하기로 한다.

a. 浮遊流砂의 分布

測定하고자할 河川斷面에 있어서 浮遊物의 分布狀態는 垂直分布와 橫分布로 區分하여 생각한다.

垂直分布에 있어서는 美國의 L.G. Straub 氏가 1930年 1월에 調査測定한 結果, 다음 Fig 1 과 같이 分布된다는 것을 알겠다. 이는 各 水深別로 浮遊物을 採取分析하여 粗砂에서 細泥까지 各 種別로 垂直分布狀態를 圖示한 것이다.

그림에서 粗粒의 浮遊物은 表層에서 極히 적고 主로 底層에 集中되어있으며 反面에 粒徑이 적을 수록 上下層의 濃度差가 減少되어가며 粒徑 1/16mm 以下의 silt나 粘土等의 細粒은 上下層의 分布가 거의 均等하다는 것을 알 수가 있다.

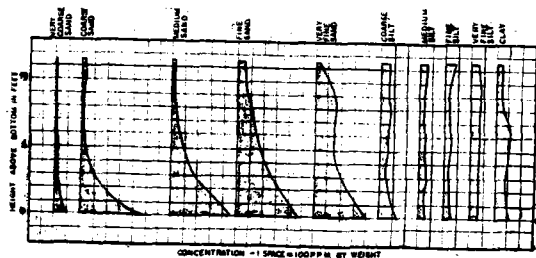


FIG. 1. VERTICAL DISTRIBUTION OF SEDIMENT

*筆者. 土聯 農業土木 研究所

橫分布에 있어서는 河川의 正常的인 條件下에서는 垂直分布에 比較하여 그 分布狀態의 變化가 적으나 河川橫斷面의 狀態에 따라 크게 變化됨으로(支川의 合流等) 後述하는 平均濃度算出과 測定地點選定을 考慮하여야 한다.

b. 濃度(Concentration)

流砂의 分布는 一般의으로 濃度로 表示한다. 이 表示方法은 浮遊流砂의 單位容量에 對한 乾燥流砂의 重量(g/l 또는 kg/m³)으로 表示한다. 또한 乾燥流砂의 重量을 流砂浮遊水(Water of suspension)의 重量으로 除해서 100 萬을 乘한 重量100分率로 表示한다. 即 P.P.M. (parts per million)으로 表示하여 一般의으로 使用되고 있다.

以外 採取한 試料의 重量과 同一容量의 清水와 乾燥重量의 比로서도 表示하여 使用하고 있으나 一般的으로 前者 P.P.M.의 表示方法을 많이 利用하고 있는 것이다.

c. 浮遊流砂의 採取器具

採取器(Sampler)는 여러種類가 있으나 이를 그 動作에 依하여 一般的으로 二種類로 分別할 수가 있는데 하나는 瞬間式(instantaneous type)이며 다른 하나는 累積式(Time-integrating)이 있다.

瞬間式은 一定點에서 단시간 內에 流砂流量을 採取할 수 있게 設計되었고 累積式은 一定點累積式(point-integrating)과 全水深累積式(Depth-integrating)으로 區分한다. 前者는 垂直의 一定點에서 10~60 秒에 採取하는 것이며 後者는 等速으로 水表面에서 河床까지, 河床에서 水表面까지의 上下昇시켜 採取하는 것이다. 이에 屬하는 器具는 代表的인 型으로 U.S. DH-48 型이고 이는 現在 農業土木研究所에서 製作 使用하고 있다. 또한 一定點累積式은 P-46 型이 代表的인 것으로 되어 있으나 아직도 發展되고있는 단계임으로 앞으로 더욱 좋은 sampler 가 나오리라 生覺된다.

一般으로 理想的인 試料採取器는 다음과 같은 條件을 구비하여야 한다.

① 取水口斷面(cutting circle) 內의 流速은 河川流速과 同一할것. 河川水보다 流砂는 慣性이 크므로 實際의 浮遊流砂量보다 結果的으로 많은 粒子가 取水口에 流入될 念慮가 있다. 例를 들면 河川流速과 取水口斷面流速의 比가 0.25 인 境遇에는 粒徑 0.06mm 의 粒子는 8%, 0.45mm 에 있어서는 10%의 採取流砂量이 크게 나타나는 것이다.

② 取水口의 位置는 試料採取器本體의 流水에 依한 影響을 받지 않도록 上流에 있어야 한다.

③ 採水가 一定한 比率로 원활하게 되어야 한다. 처

음 1 秒間은 取水口에서의 流速이 大端히 크게 됨으로 全水深累積式試料採取器(Depth-integrating sampler)에 있어서는 誤差가 發生하기 容易한 것이다.

④ 採取器는 流線(stream line)을 유지하기에 安全한 重量이 있어야 하며 流線形으로 되어 있어야 한다.

⑤ 採取器는 簡單하고 튼튼해야 하며 野外에서도 容易하게 修理할 수 있도록 簡便해야 한다.

⑥ 採取器는 廉價이며 操作이 容易하게 設計되어야 한다.

⑦ 採取器는 어떠한 水深에도 適用될 수 있어야 한다.

美國에서 上記 諸條件을 萬足할 수 있도록 研究發展시켜 利用하고있는 採取器에 對하여 記述하면 다음과 같다.

1. DH-48 型

本型은 얇은 水深의 河川에서 使用할 수 있는 累積式浮遊物採取器(depth-integrating suspended sediment sampler)로 設計되어 採取하는 사람이 水中에 들어가거나 또는 얇은 橋梁위에서 아주 便利하게 操作할 수 있게 되어 있다.

採取器의 本體長은 13"이며 aluminum casting 으로 되어 있고 重量은 採取瓶을 包含해서 約 4 1/2 lb 이다. 本體에 徑 1/2" 되는 Rod 를 結合시켜 支持토록 되어 있으며 長은 必要에 따라 길고 짧게 組立하여 使用할 수 있게 되어 있다. 採取器內部的 採水瓶은 pink milk bottle 을 使用하며 이는 400cc 의 容量을 가졌으나 300~375cc 程度 採取함이 좋은 것이다. 이는 Rod 軸과 72.5° 傾斜져 있고 河床에서 3.5" 까지 採水할 수 있게 되어 있다. 取水口가 水中에 潛入되기 始作함과 同時에 試料는 採取瓶에 流入되게 된다. 取水口의 內徑은 1/8", 3/16" 및 1/4" 의 3種이 있으며 河川流速과 水深에 따라 바꾸어 질수 있게 되었다. (Fig 2 參照) 採取時에는 流向과 水平이 되게 取水口를 유지시키면서 等速으로 下降 및

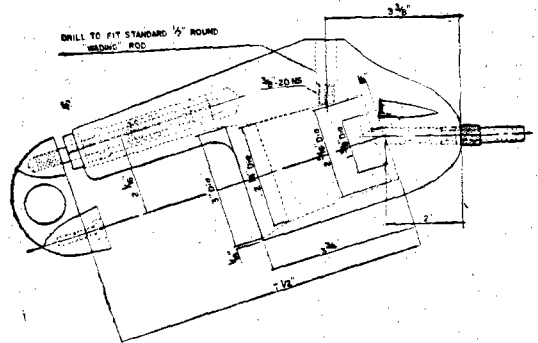


FIG 2 DEPTH-INTEGRATING SUSPENDED-SEDIMENT WADING-TYPE SAND SAMPLER, USGS-48

상昇하여 試料를 採取하는것이다. 上述한 바와 같이 本器는 低價이며 使用이 便利함으로 小地區에서 많이 利用되고 있다.

2. D-49 型

重量 60 lb로서 1/4" cable에 달어 水深 18feet 以下の 河川에서 使用되는 採取器이다. 本體는 亦是 pink milk bottle로 採取하도록 되어있으나 上記 DH-48 型과 달리 瓶이 露出되지는 않게 되어있다. 器長은 24"로서 取水口의 內徑은 1/4", 3/16" 및 1/8"로 바꾸어 질 수 있게 되어있다. (1/4"用은 얇은 河川에 1/8"는 깊은 河川에 使用) 約 10秒에 瓶의 3/4程度 채워질 수 있는 크기로 取水口를 가려끼워야 한다.

本器의 使用은 cable이나 교량上에서 測定하는데 便利하게 되어있다.

3. D-43 型

重量 50 lb로서 D-49 型과 恰似한 Depth-integrating suspended-sediment Sampler이다. 이는 D-4P 型의 前身이다.

4. D-47 型

重量 100 lb로서 河川流速이 高速인 경우 使用되며 水深 39feet까지 採取할 수 있는 Depth-integrating suspended-sediment sampler이다.

5. DH-59 型

中型의 重量으로 22 lb의 Depth-integrating hand-line suspended-sediment sampler이다. 本器의 特徴은 毛翼이 달여 流向을 조정해주고 DH-48과 같이 支持를 Rod로 하지않고 다른 줄로 딸 수 있다는 것이다. 그外 取水口의 規格이나 操作에 있어서는 DH-48과 同一하다.

6. P-46 型

重量 100 lb의 電氣式 point-integrating suspended-sediment sampler로서 어느 水深에서나 測定 可能하다. 本體는 銅製로서 長이 2feet 2inches로 體內에 pink milk bottle이 들어가도록 되어있다. 本體上部를 開閉하도록 되어있어서 그 곳으로 瓶을 넣게된다. 그리하여 電氣로 valve을 開閉하도록 되어있어 採取하고자 하는 地點에 sampler를 固定시켜 놓고 採取하는 것이다. 本器는 18feet 以下の 얇은 水深에서는 Depth integrating method에 依하여 等速으로 水表面에서 河床까지 내려 갔다가 다시 水表面까지 上昇시켜 採取할 수 있게 되어 있다. 萬一 水深이 18~30feet 되는 河川에 高速이 흐를 경우에는 Depth-integrating method에 依하여 採取하되 먼저 河床에 位置한後 Valve를 열어 水表面까지 等速으로 上昇시켜가며 採取할 수도 있다.

이와 같이 本器는 여러가지 기능을 가지고 있으므로 어느 곳에서나 어느 方法으로나 試料를 採取할 수 있

는 長點이 있는가하면 製作費가 많이들어 製作하기 困難하다는것이다. 參考로 價格을 明示하면 63年度에 US \$865 이었다 한다. (Fig 3 參照)

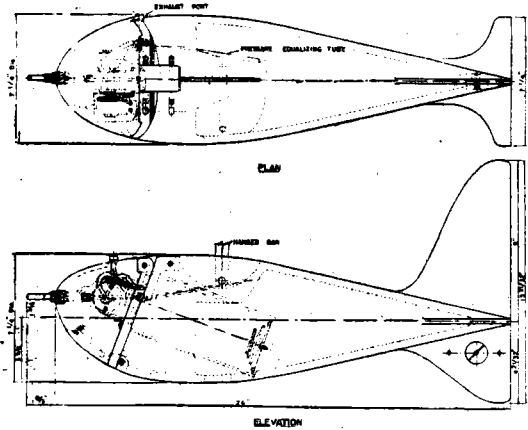


FIG 3 POINT-INTEGRATING SUSPENDED-SEDIMENT SAMPLER, US P-46

7. P-50 型

重量 300 lb로서 電氣式으로 어느 水深에서나 採取할 수 있는 point-integrating suspended Sediment sampler이다. 本器는 P-46 型의 改良型으로 本體長 3feet 8inch의 銅製이다. 瓶은 quart milk bottle(1/4 gallon)을 使用하여 水深 200feet까지 動作시킬 수 있으며 本器의 特徴은 valve가 二重으로 되어있어 그 中 하나는 取水口點의 水壓과 內部壓力을 調節하는 것이며 다른 하나는 試料의 流入에 對한 開閉動作을 하도록 되어있다.

本器는 重量이 크므로 cable이나 crane에 부착시켜 使用해야 한다.

8. 其他

P-61, P-63 型 모두가 P-46 型의 改良型으로 電氣式 開閉裝置와 二重 Valve가 있어 內部壓力과 外部水壓을 조절토록 되어 있으며 各各 重量이 105Lb, 200Lb임으로 더욱 깊은 水深과 高流速에서도 試料를 採取할 수 있는 點이 長點인 것이다.

以上 數種의 試料採取器를 略述하였으나 一般으로 우리에게 適合한 것은 全水深累積式(Depth-integrating type)으로 DH-48 型과 DH-49 型이며 一定點累積式(point-integrating)으로 P-46 型만 製作하여 使用하면 浮遊流砂의 採取用으로 充分하다고 思料된다. 本器具를 製作使用하고 저 한다면 製作에 必要한 상세도를 제공하겠다.

d. 試料採取方法

採取地點의 河川을 橫斷하여 各 水位別로 等流量이 되게 區分하여 區間을 定하여 놓는다. 이 sub-division 마다 採取하는 것인 데 採取瓶의 容量 3/4程度로 採取

하여야 한다.

等流量的 断面은 野外에서 概略決定해도 좋겠으나 精確한 方法으로는 測定點에서의 各 水位別로 横斷距離에 對한 流量分布圖(Distribution of water discharge)를 作成하여 使用하면 便利하나 이 方法은 稍 煩雜함으로 普通 簡單히 現地에서 同一流量이되는 断面으로 區分하는 方法을 使用하는 便이 便利하다.

河川横斷面이 넓고 均等한 断面이라면 河川의 1/4, 1/2, 3/4 되는 3個點에서 採取하며, U型이나 V型 또는 포물선狀態의 경우에는 1/4, 1/2, 3/4 되는 3個點으로 하여 3個 河川断面으로 區分한다. 一般적으로 上記 方法이 많이 利用되고 있으나 그 外의 方法으로 河川의 中央, 最深部, 等間隔으로 많은點, 等 여러 方法이 있다.

이와 같이 區分된 横斷區分の 各 地點에 對한 試料의 採取는 採取器의 種類에 따라 採取方法이 다르다. 現在 研究所에서 使用되고 있는 DH-48型은 E. T. R (Equal transit rate) 方法으로 採取하여야 하며 P-46型과 같이 point-integrating sampler는 point integrating method에 依하여 採取하여야 한다.

1. E. T. R. 方法

本 方法은 農業土木研究所 發行 技術覺書 4號에 仔細히 記述되어있으나 이곳에 略述하면 다음과 같다.

本 方法은 1939~40年에 P. C Benict氏가 美國 Boise River 流域에서 實測 發展시킨 方法으로 現在 많이 利用되고 있다. 試料採取豫定断面을 同一間隔으로(河川條件에 따라 同一断面이 아니라도 可함) 分割해서 各 測定水深에 對한 測定速度(Transit rate), 即 $R = \frac{\text{길이}}{\text{시간}}$ 가 同一하게 採取器로 測定하는 方法이다.

Rate의 決定方法은 取水口(Nozzle)의 規格에 따라 다르나 이곳에서는 1/4 inch Nozzle에 對한 例를 들어 說明하기로 한다.

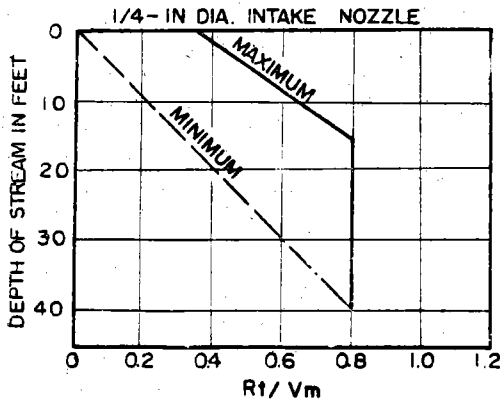


Fig. 4 Transit Rate의 限界圖

只今 水深 10feet, 流速 5feet/sec인 경우 Transit Rate의 限界는 Fig 4에서 $RT/Vm=0.65$ 임으로 $RT=3.25$ 가 된다. 故로 最大 3.25 feet/s, 最少 1.15feet/s의 範圍內에서 等速으로 下降 및 上昇시켜 採取하게 되는 것이다.

이곳에서

RT/Vm : Transit rate (ft/sec)

RT/Vm : Mean stream velocity (ft/sec) 이다.

Transit Rate는 試料採取器의 空氣排除關係로 Fig 4의 最大 및 最少의 限界를 벗어나지 않는 範圍內에서 擇하여야하며 横斷區間 亦是 浮遊流砂物質이 粘質土인가 또는 砂質土인가를 감안하여 砂質土는 그 分布狀이 差가 있으므로 區間을 粘質土보다 많은것이 좋다. 普通 Nozzle의 規格이 1/4 inch 나 3/8 inch에 對해서는 流速의 35%를 超過치 말아야하며 1/4 inch에 對하여서는 流速의 20%를 超過치 않아야 한다. 試料 400cc를 채우는 流速에 對한 限界必要時間曲線은 다음 Fig 5와 같다.

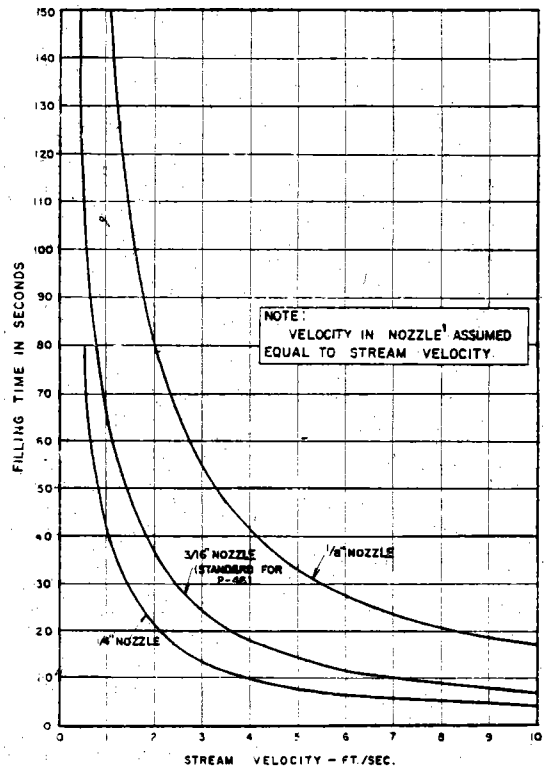


Fig. 5 FILLING TIME FOR SAMPLE OF 400 C.C

2. Point integration method

垂直断面에 對한 水深의 어느 一定點에서 採取하는

方法으로서 水表面에서 0.2H와 0.8H의 2個點에서 採取한다. 0.8H에서 採取한 濃度(Concentration)의 %에 0.2H에서의 濃度の %를 加하여 平均濃度を 決定하는 것이다.

$$C_m = \frac{3}{8} C_{0.8H} + \frac{5}{8} C_{0.2H}$$

C_m: 平均濃度

C_{0.8}: 0.8H 地點의 濃度

C_{0.2}: 0.2H 地點의 濃度

本 方法은 straub氏에 依하여 誘導되었으므로 그의 이름을 따서 straub 方法이라 稱하고 있다. 一般的으로 充分한 많은 點에서 採取하여 必要한 程度로서 濃度の 鉛直分布狀態를 求한 後에 이를 基礎로하여 任意水深에 對한 補正係數를 算出한 後 平均濃度を 求할 수도 있다. straub氏의 方法도 同一하겠지만 該외의 方法으로서 다음과 같은 採取方法 이었다.

- ① 表面點에서 採取하는 方法
- ② 0.6水深點 採取
- ③ 表面과 河床(同一 weight)
- ④ 表面과 中央 및 河床(各測點은 同一 weight)
- ⑤ 表面과 中央 및 河床(中央 weight를 2. 즉 上半은 表面과 中央의 平均으로 하고 下半은 中央과 河床의 平均으로 取한다)

⑥ Luby의 方法

鉛直方向의 等流量面積部分에서 採取하는 方法으로 이를 爲해서는 鉛直流速曲線을 等流速部分으로 分割하여 그 中心點을 採取點으로 하는 것이다.

e. 試料採取의 度數

河川을 流下하는 流砂量은 河水의 流勢와 流量의 影響을 大部分 받게되나 그 外 流域의 地質, 水源 및 季節에 따라 左右되게 된다. 그러나 一定點에서의 流砂는 流量以外的 條件은 同一하게됨으로 그 地點을 通過하는 流量에 따라 流砂量이 變한다고 生覺된다.

流量에 따른 流砂量의 變化도 嚴密히 말하면 流量의 增加時와 減小時에는 同一流量이라 하더라도 流砂量은 顯저히 差가 있는 것이다.

또한 季節에 따라 差도 생기게 되는 것이므로 이와 같은 點을 有意하지 않으면 아니된다.

流砂量은 流砂量曲線(Sediment Rating Curve)을 利用하여 全流砂量을 計算하게 됨으로 먼저 流砂量曲線을 充實히 作成할 수 있도록 採取度數를 取하여야 한다. 流砂量曲線은 一般的으로 縱軸에 日流出量과 橫軸에 日流砂量(ton-day)을 log-log 紙에 作圖하는 것이다. 故로 日流量의 變化가 없을 때는 1日 1回에서 1週에 1回程度 採取하되 洪水時와 같이 日流量의 時間的變

化가 甚할 때에는 水位變化에 따라 適當한 間隔으로 回數를 增加 採取하여야 한다.

持히 流域이 적은 境遇와 河川의 河床變化가 甚한 場所에서는 河床의 變化에 따라 明確히 流出量을 算出할 수 있도록 區分하여 大를 必要性이 있는 것이다. 그렇다고하여 지나치게 頻繁히 採取한다면 試料의 室內分析上 時間的 消耗가 크므로 이를 또한 考慮하여 採取度數를 조절해야 한다.

f. 試料의 取扱

現地에서 採取한 試料瓶은 不透水性物體를 使用 密封하여 採取된 混合水가 흘러나오거나 他雜水가 들어 가지 않도록 注意깊게 다루어야 하며 萬若을 爲하여 常時二組式 採取하는 것이 좋다.

採取瓶에는 各 瓶마다 番號를 물에 들어가도 지워지지 않도록 記錄해 두어야하며 下記事項을 必히 記入해야 한다.

- ① 河川名
- ② 測定地點의 位置
- ③ 斷面(橫)番號
- ④ 水位 (測定始作時와 終了時) 및 平均水位
- ⑤ 採取 月日時
- ⑥ sampler의 型
- ⑦ sampling 方法

試料採取時에 現地에서 調査수집할 事項은

- ① 各橫斷面의 流量
- ② 河川中
- ③ 平均流速
- ④ 平均水深
- ⑤ 河川斷面積
- ⑥ 水溫
- ⑦ 水面勾配
- ⑧ 後述하는 掃流流砂 採取

等이다.

試料瓶에 上記의 여러事項을 記入키 困難할 境遇에는 試料瓶에는 番號만 記入하고(室內에서 準備完了되어야함) 現地測定時에는 野帳에 綜合記入하는 方法이 便利하나, 이는 採取者가 直接 室內分析과 計算을 실시할 경우에는 可能하나 他處에 依賴할 時에는 必히 試料瓶에 記入되도록 해야한다. 運搬은 試料瓶이 서로 接觸되지 않도록 칸막이 箱子를(約 20瓶을 한 箱子로 木製로 製作하여 運搬하도록 하여야 한다.

g. 試料의 分析

浮遊流砂의 採取된 試料를 試驗室에 運送한 後 濃度 算出과 粒度를 分析해야 한다. 粒徑別 浮遊流砂는 流砂量計算方法을 修正된 EINSTEIN 方法에 依하여 (農

業土木研究所 發行 技術覺書 36號) 流砂量을 計算하고 저 할 때 必要한것이며 그 外는 試料의 濃度만 算出되면 流砂量을 計算할 수 있게 되는것이다. 故로 本稿에는 어느 方法이든 利用할 수 있도록 粒度分析까지 算定하는 方法을 記述하고자 한다.

分析方法은 Bottom withdrawal tube method 와 Visual Accumulation tube method 가 있으며 近日에 發展된 簡易型 浮遊含砂量分析器(硬質硝子製)가 있다.

現在 當所에서 使用하고 있는 方法은 Bottom withdrawal tube method에 依하여 分析하고 있다.

1. Bottom withdrawal tube method

① 試驗器具

1) Beaker 400cc,

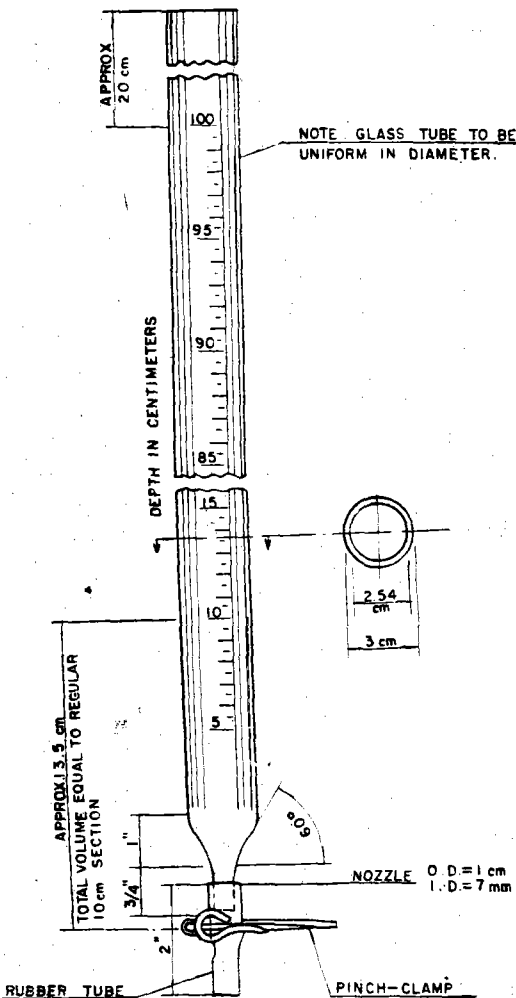


FIG. 6 PROPOSED BOTTOM WITH DRAWAL SEDIMENTATION TUBE

- 2) Drying oven,
- 3) Thermometer ($-10^{\circ} \sim 110^{\circ} C$)
- 4) Desiccator,
- 5) Analytical balance 0.1mg. capacity 200gr.
- 6) Evaporating dishes, pyrex, capacity 100cc.
- 7) Graduates, capacity 100cc.
- 8) Distilled water
- 9) Bottom withdrawal tubes, (圖面 6 參照)
- 10) Stop watch or timer
- 11) Rubber tubing, $\frac{5}{16}$ in. bore
- 12) Stand for holding bottom withdrawal tube during test
- 13) Bottle brush
- 14) pinch-clamps
- 15) Corks,

② 試驗方法

1) 試料를 長期間(數週日) 保管하여야 할 境遇에는 暗室에 貯藏하든가 光線을 遮斷하여 水草가 生가지 않게 防止하며 또한 藥物處理로서는 Formaldehyde를 한 두 방울 滴下시켜 놓는다.

2) 試料를 Bottom withdrawal tube(以下 Tube라함)에 注入하고 그 量을 알기 爲하여 높이를 記錄한다. 試料瓶안에 남은 試料를 蒸溜水로 깨끗이 닦아 tube 內에 注入하고 높이 100cm 가 되게 蒸溜水로 채운다.

3) Tube 內의 浮遊物이 고루 섞이게 約 5分間을 Tube의 兩端을 잡고 上下로 氣泡가 移動되게 한 後, 氣泡가 미쳐 上端에 이르기 前에 Tube 台에 設置함과 同時에 stop watch로 時間을 測定한다.

4) tube에서 10회로 나누어 각 10cm式 beaker에 排除한다. 이때 粒徑 1.0mm가 90cm 沈降하는 데 約 6秒 걸리며 $\frac{1}{16}$ (0.065)mm 粒徑이 같은 거리를 沈降하는 데 約 5分 末滿을 要하게 된다. 故로 普通粒徑이 1.0mm 內外가 大部分인 試料에 對해서는 排出時間을 10秒, 30秒, 1分, 3分, 7分, 16分, 40分, 80分, 120分으로 區分하고 $\frac{1}{16}$ mm(0.0625)內外의 試料에 있어서는 4分, 15分, 40分, 54分, 69分, 82分, 97分, 110分, 124分 등으로 排出時間을 갖는다. 故로 最終으로 120分에 0.0039mm 粒徑을 가려낼 수가 있다.

5) 排出時에는 規定時間을 엄수할 것이며 또한 排除量도 正確하게 排除해야 되나 後述하는 Oden Curve를 精密하게 그리는 데 支障이 없다면 量은 多少 變化가 있어도 無妨하나 記錄用紙에 明記해 두어야 한다.

6) 排除時에는 試料의 飛散이 없도록 주의깊게 다루어야 하며 蒸發時의 番號와 重量을 미리 알고 있어

야 한다. 蒸發접시의 每番 使用時에는 充分히 洗滌하는 同時에 濃度가 적은 試料의 分析時에는 特히 이 點을 留意해야 한다.

7) 試料을 담은 蒸發접시는 105°~110°C의 乾燥爐에 하루밤(24時間) 넣어두어 乾燥시킨다.

8) 乾燥爐에서 끄낸 後 直接 冷却器에 40分間 放置하여 室溫까지 冷却시킨다.

9) 試驗中에는 室內溫度를 一定하게 保持시키고 suspension의 溫度를 試驗中間이나 後半을 擇하여 測定함으로써 平均溫度를 얻도록 한다.

10) 採取試料의 溶解物質含有量은 現場에서 別途로 採取한 試料을 乾燥함으로써 얻는다. 이 溶解物質의 量을 미리알면 每 試驗時 마다 試料을 濾過紙나 그밖의 濾過器具로서 濾過하는 手筈가 必要치 않게 될 것이다.

이 測定値를 利用하여 每 cc當에 包含된 溶解物質重量이 決定되려는 排出된 粒徑別로 排出量에 따라 修整을 加할 수 있다.

11) 試驗 Data와 Oden curve의 座標點을 얻는 데 必要한 諸計算은 다음表의 例와 같다.

B.W.T 方法에 依한 粒度分析計算書 (例)

位置 _____ 河川名 _____ 採取日 5-6-42 分析日 5-7-42

試料番號 C 0 5 2 分析 및 計算者 F. W. P L. A. D Tube No. 14 溫度 26°C

容 量 422.4 cc 流砂重量 0.45 gm 試料重量 422.85 gm

P. P. M. 1.060 溶解物質 0.00022gm/cc

Clock Time	Elapsed Time (min)	Fall Ht. (cm)	Dish (No.)	Weight				Depth Factor 100 / (3)	Sed. in 100cm. fall (9) × (10) (gm)	Percent in susp. (2) × (10) (min)	Time to Settle 100cm. (min)	
				Gross (gm)	Tare (gm)	Sediment (5)-(6) (gm)	Net(7) Dissolids(8) (gm)					Cum (Read up) (gm)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	0	100						0.4519	1.0	0.4519	100.0	
	8	90.3	20	61.6420	61.5687	0.0753	0.0643	0.3876	1.107	0.4291	95.0	8.85
	24	80.0	10	65.8947	65.8100	0.0847	0.0737	0.3139	1.250	0.3924	86.9	30.0
	40	69.6	3	60.5398	60.4627	0.0771	0.0661	0.2478	1.435	0.3556	78.7	57.4
	54	60.0	38	58.3563	58.2931	0.0632	0.0522	0.1956	1.667	0.3261	72.2	90.0
	69	48.5	12	62.3001	62.2362	0.0639	0.0529	0.1427	2.020	0.2883	63.5	139.4
	82	40.0	50	70.7378	70.6869	0.0509	0.0399	0.1028	2.500	0.2570	56.9	205
	96	30.0	25	60.9525	60.9037	0.0484	0.0378	0.0650	3.344	0.2166	47.9	320
	110	20.0	24	64.0510	64.0087	0.0423	0.0313	0.0337	5.000	0.1685	37.3	550
	124	9.9	43	64.9908	64.9570	0.0338	0.0228	0.0109	10.100	0.1101	24.4	1252
		0	45	63.7403	63.7184	0.0219	0.0109					

溶解物 重量 42.3844 試料容量 50cc 試劑重量 42.3734
 $0.0110\text{gm} : \text{溶解物} = 0.0110/50 = 0.00022\text{gm/cc}$

上記 表에서 1項은 時計의 時間을 記入하며 2項은 試料의 粒徑이 1mm 内外인 때와 1/16mm(0.0325) 内外인 경우를 區分하여 排除時間區分을 記入한다. 3項은 Tube에 試料을 注入하며 각 時間(2項)別로 排除했을 때의 Tube 內의 試料의 높이를 記入한다. 4項은 미리 준비했던 증발접시의 番號이며 5項은 試料을 乾燥하여 重量을 測定한 값이며 6項은 증발접시의 重量이다 이는 미리 測定해 두어야 한다.

7項은 各粒徑別 沈澱物의 量은 總重量에서 蒸發接시의 重量을 減함으로서 얻을 수 있다.

8項은 沈澱物의 Net weight로 7項에서 溶解物質의 量을 一齊히 減한 것이다.

9項은 沈澱物의 Net weight를 累計한 것이다.

10項의 depth factor는 3項의 各 測定높이를 全體 높이 100cm로 나눔으로써 얻는다.

11項은 depth factor를 9項에 乘하여 줌으로써 같은 濃度時(平均密度)의 (100cm 全長에서) 各 높이 別

로 얻을 수 있는 沈澱物의 量을 累加算出한 것이다.

12項은 11項의 累加值를 各 높이 別로 100分率로 記錄한 것이며

13項은 depth factor 10項을 各 測定時間 2項에 乘한 것으로 3項 排出時間으로 얻을 수 있는 各 粒徑이 100cm 全長을 沈降하는 데 要하는 時間을 意味한다.

12) Oden curve의 作圖

Oden curve는 다음 Fig 7과 같이 直角座標를 써서 上記表의 12項과 13項을 plot한 것이다. 上部의 curve는 下部의 curve의 一部(윗部分)를 橫座標의 縮尺을 크게 擴大한 것이다.

다음으로 沈澱物下降表를 使用하여 Suspension 溫度 26°C에서의 各 粒徑의 正確한 位置를 plot한다. 다음에는 이들 curve 上의 點에서 切線을 긋고 零의 縱軸과의 交點을 求한다. 이들 點의 읽음數는 各 粒徑의 累加重量이 되는 것이다.

**BOTTOM WITHDRAWAL SEDIMENTATION TUBE ANALYSIS
TIME TABLE TO BE USED WITH THE ODEN CURVE**

Time in min. required for spheres having a specific gravity of 2.65 to fall 100 cm. in water at varying temperatures. Terminal fall velocity for particles 0.00195 to 0.0625 mm. computed according to Stokes' Law; terminal fall velocity for coarser particles taken from curves prepared at the California Institute of Technology.

Temp. oC.	Particle Diameter in mm.														
	1.00	0.50	0.25	0.125	0.0625	0.042	0.0312	0.0221	0.0156	0.0110	0.0078	0.0055	0.0039	0.00276	0.00195
10	0.115	0.243	.295	1.73	6.22	12.4	24.9	49.7	99.6	200	399	802	1594	3182	6380
11	0.114	0.240	.577	1.68	6.03	12.1	24.2	48.3	96.9	195	388	780	1551	3095	5206
12	0.113	0.237	.568	1.65	5.87	11.7	23.6	46.9	94.2	189	377	758	1507	3007	5031
13	0.112	0.233	.562	1.62	5.72	11.4	22.9	45.7	91.6	184	367	737	1466	2927	5868
14	0.111	0.232	.552	1.58	5.57	11.1	22.3	44.5	89.2	180	357	718	1428	2850	5715
15	0.110	0.228	.543	1.56	5.42	10.8	21.7	43.3	86.9	175	348	698	1391	2776	5566
16	0.109	0.227	.538	1.53	5.27	10.6	21.2	42.2	84.6	170	339	681	1354	2703	5421
17	0.108	0.225	.528	1.50	5.15	10.3	20.6	41.1	82.5	166	330	664	1320	2669	5285
18	0.107	0.222	.522	1.48	5.02	10.0	20.1	40.1	80.5	162	322	647	1288	2570	5154
19	0.107	0.220	.515	1.45	4.88	9.77	19.6	39.1	78.5	158	314	631	1256	2507	5026
20	0.106	0.218	.508	1.41	4.77	9.53	19.2	38.2	76.6	154	306	616	1225	2445	4904
20.5	0.106	0.217	.505	1.40	4.72	9.43	19.0	37.8	75.8	153	303	609	1212	2418	4849
21	0.105	0.217	.503	1.39	4.67	9.32	18.7	37.3	74.9	151	299	602	1198	2391	4794
21.5	0.105	0.215	.500	1.38	4.61	9.21	18.5	36.9	74.0	149	296	600	1176	2362	4735
22	0.104	0.213	.497	1.37	4.55	9.10	18.3	36.4	73.0	147	292	587	1168	2332	4675
22.5	0.104	0.213	.492	1.36	4.50	8.99	18.1	36.0	72.2	145	289	580	1155	2305	4621
23	0.104	0.212	.488	1.34	4.45	8.88	17.8	35.5	71.3	143	285	574	1141	2277	4566
23.5	0.104	0.210	.487	1.33	4.39	8.78	17.6	35.1	70.5	142	282	567	1128	2251	4514
24	0.103	0.210	.485	1.32	4.33	8.67	17.4	34.7	69.6	140	279	560	1114	2225	4461
24.5	0.103	0.210	.480	1.31	4.29	8.58	17.2	34.3	68.9	139	276	554	1102	2200	4411
25	0.103	0.208	.478	1.30	4.25	8.48	17.0	33.9	68.1	137	273	548	1090	2175	4361
25.5	0.102	0.208	.475	1.29	4.20	8.38	16.9	33.6	67.4	136	270	541	1078	2151	4312
26	0.102	0.207	.472	1.28	4.15	8.28	16.7	33.2	66.6	134	266	534	1065	2126	4263
27	0.101	0.205	.467	1.26	4.05	8.10	16.3	32.4	65.1	131	260	524	1042	2076	4169
28	0.101	0.203	.462	1.24	3.97	7.93	15.9	31.7	63.7	128	255	512	1019	2034	4079
29	0.100	0.202	.455	1.22	3.99	7.77	15.6	31.1	62.3	125	249	501	997	1990	3991
30	0.0998	0.200	.450	1.20	3.80	7.60	15.3	30.4	61.0	123	244	491	976	1948	3907
31	0.0991	0.198	.445	1.18	3.71	7.43	14.9	29.8	59.7	120	239	481	956	1908	3825
32	0.0987	0.197	.442	1.17	3.65	7.28	14.6	29.2	58.5	118	234	471	936	1869	3747

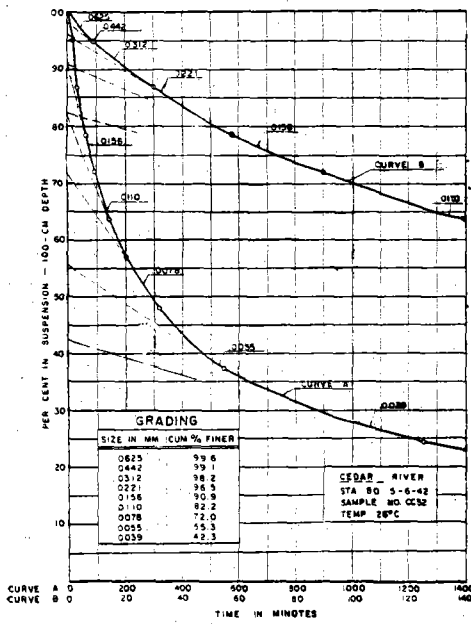


FIG. 7 ODEN CURVE

2. Visual-accumulation-tube 方法

本試驗器는 62 microns 에서 2 millimeter 까지 試料의 粒子를 分析하는 迅速하고 簡單한 自動分析記錄計이다.

이 器具는 Glass Sedimentation tube 와 Recorder 와 Valve 로 되여있고 이 tube 의 長은 120cm 이며 下端部는 2.1, 3.4, 5.0 및 7.0mm 의 4個徑으로 區分되여 있다. Tube 長 120cm 인 것으로는 粒徑이 1mm 까지 分析할 수 있으며 粒徑 2mm 까지 分析하려할 경우는 Tube 長 180cm 인 것을 使用하게 된다. 試料를 Tube 上 端에서 注入시켜 이 粒子들이 下降하여 下端部에 쌓이는 것을 自記記錄하여 粒度를 分析하게 된다. 이 器具는 아직 도입되지 않고 있으며 1965 年度 價格은 \$ 725 가 된다고 한다.

h. 流砂量의 計算

1. 平均濃度の 計算

流砂量을 算出하려면 먼저 試料採取斷面에서의 平均濃度を 算出해야 한다. 平均濃度の 計算方法은 試料를 어느 方法으로 採取했느냐에 따라 算出方法이 다르다.

例로서 E.T.R 方法으로 採取했다면 다시 計算할 必要 없이 分析結果 만으로 平均濃度가 算出되나 point integral method 에 의하여 採取했다면 水深의 0.8, 0.2 點에서 採取한 平均濃度 $C_m = \frac{3}{8} C_{0.8H} + \frac{5}{8} C_{0.2H}$ 式으로 計算한다. 普通 平均濃度計算은 다음과 같은 樣式에 의하여 整理 計算하면 便利하다.

浮遊流砂의 記錄

位置: 河川名: 支流名:
 測定日時: 始作時間: 終了時間:
 始作 終了 平均
 水位: 時間 時間 水位
 採取器型 溫度 °C

測定 記錄 및 計算 書

1	2	3	4	5	6	7	8
測點 番號	左右岸 距離	水深	採取 水深	平均 流速	流量	平均 濃度	備考

上記表에서 求한 各 鉛直斷面에서의 平均濃度로서 全體 平均濃度를 算出하기 爲해서는 算術平均을 한다. 이때 全體 平均濃도와 各 鉛直斷面의 平均濃도와의 差가 20%을 超過하는 境遇에는 다음과 같이 流量에 對한 加重平均을 한다.

$$\text{Mean Concentration} = \frac{\sum Qc}{\sum Q}$$

여기에서

- Q: 鉛直斷面의 流量
- c: " 平均濃度
- ΣQ: 全體流量

2. 日浮遊流砂量의 計算

日浮遊流砂量은 日本水位記錄을 基礎로하여 算出한다. 日本水位의 變化에 따른 每 時間別(又は 任意로 配分된 單位時間)로 流量을 流量曲線(Discharge Rating Curve)에 의하여 計算하고 該當 濃度를 濃度曲線(Concentration graph)을 利用하여 圖解法으로나 그 外 適當한 方法으로 流量과 濃度의 日平均值를 算出한다. 이 平均濃도와 平均流量을 適用하여 다음 式에 의하여 日浮遊流砂量을 求한다.

$$Q_s = Q_w \times c \times k$$

여기서

$$K = \frac{W \times T \times 0.000001}{2,000}$$

W: 62.4 lb/ft³

T: 86,400 秒

2,000 : U.S.ton=2000 lb

0.000001 : 100萬分之1

K: 0.0027

Qs: 浮遊流砂量(Ton/day)

Qw: 日流量(ft³/s)

여기서 水重量 62.4 lb/ft³는 때에 따라 變하는 것으로 嚴密히 말하면 流砂量計算式은 該當 水重量을 基礎로 하여 係數 K를 算出해야 되겠지만 90,000PPm 以下の 濃度에 對하여서는 約 5%의 誤差만이 內包됨으로 別問題가 되지 않는다. 故로 普通 使用에도 無妨하다는 것이다.

3. 年流砂量의 計算

年流砂量을 計算하기 爲하여 "Flow Duration Sediment Rating curve method" 를 說明하기로 한다.

이 方法은 流出週期曲線(Flow Duration Curve)과 流砂量曲線(Sediment Rating curve)을 利用하여 年流砂量을 計算하는 方法이다.

流出週期曲線은 Foster 氏에 의하여 理論이 展開된 것으로 特定한 流量이 定해진 期間에 같거나 超過하는 값에 對한 時間의 100分率을 表示하는 累加頻度曲線이다. 다시 말하면 어떠한 期間內에 一定한 地點에서 時間의 몇 percent 는 적어도 몇 Ton의 流量이 流出한다는 것을 表示하는 流出特性의 一個曲線이다. (研究所 發行 技術覺書 12號 參照)

流砂量曲線은 普通 縱軸에 日流量(cfs/s 또는 m³/s), 橫軸에 日流砂量(Ton/day)을 plot 하여 兩對數方眼紙에 作圖한다. 경우에 따라서는 이 曲線이 季節別로 區分이 되는 때도 있다. 이와 같은 경우에는 流出週期曲線도 區分하여 算出하여 各各 該當되는 것을 適應시켜 算出하면 되는 것이다.

流出週期曲線을 作圖하려면 다음과 같은 順序에 의하여 作成한다. 다음 樣式에 의하여 說明하면 1欄에는 流出量의 等級을 適當히 區分하여 記入한다. (流出量의 等級은 最大日 流出量을 考慮하여 區分토록 할것)

2欄에 每月의 發生日 度數를 記入한다. 즉 例를 들면 1.0~1.5 ft³/s의 日流出이 2月中에는 몇 日이 되는가의 日數를 記入한다.

3欄에는 流出量 等級別의 發生日數 合計이다.

4欄은 끝에서 부터 累加하며 1年이면 365日을 最少 流量等級區分의 欄에 記入하게 된다. 이 값을 100%로 하여 各行의 發生日數를 percent 로 환산 記入한다.

計算資料表가 完了되면 流量區分을 縱軸에 log scale로 橫軸에는 percent 를 確率紙에 plot하여 曲線의 最高 및 最低部를 明確하게 한다. (Fig 8 參照)

流出週期曲線 計算表

水位計位置 期間
 計 算 者 年 月 日

流量等級	發生度數=N(2)												ΣN	Σ(ΣN)	Σ(ΣN)×10 ⁴ ※T	
	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				12
(1)																

※ T=期間内の總日數

上記 2個曲線이 完成되었다면 다음 樣式에 依據하여 年流砂量을 算出할 수 있다.

流 砂 量 計 算 表

位置 期間 河川名

1	2	3	4	5	6	7
等級 (%)	間隔 (%)	平均 (%)	流量	流砂量	2×4 Qw 量	2×5 Qs 量
0.00~0.02	0.02	0.01				
0.02~0.1	0.08	0.06				
0.1~0.5	0.4	0.3				
0.5~1.5	1.0	1.0				

1欄: 一定期間内の 時間的 增加量을 percent로 表示한것.

2欄: 各 增加時間長

3欄: 增加時間의 平均

4欄: Flow Duration curve에서 3欄의 各 percent의 流量을 記入

5欄: Sediment Rating Curve에서 該當하는 流量에 對한 流砂量을 記入

6欄: (4欄)×(2欄)

7欄: (5欄)×(2欄)

6欄의 合計는 日平均流量이며 7欄의 合計는 日平均流砂量이다. 그러므로 年流砂量을 求하고 저할 때는 資料로 使用했던 日數를 乘함으로써 計算할 수 있다.

그리하여 流砂量을 單位面積當 流砂量으로 또는 深度로 表示한다.

4. 掃流流砂의 計算

以上 計算順序는 浮遊流砂(Suspended Sediment Load) 만을 計算한것이므로 全體 流砂量이라고 生覺할 수 없는 것이다. 諸論에서 論하였거니와 流砂는 浮遊流砂와 掃流流砂로 區分 採取하여 分析하게 됨으로 掃流流砂에 關한 仔細한 記述는 後述하기로 하고 本稿에서는 現在 外國에서 一般的으로 使用되고 있는 方法을 略述하여 實務에 應用할 수 있게하고자 한다.

掃流流砂는 河床을 流速보다 느리게 運送하는것으로 c 이 영향되는 條件을 들면 다음과 같다.

1. 河床物質(Bed material)의 粒徑과 粒子의 下降速度

2. 河川勾配와 平均流速

3. 自然水路의 水深과 크기, 斷面形狀과 河川의 粗度等이며 좀 더 구체적으로 말하면 一般的으로 다음과 같은 경향이 있다.

1. 浮遊物의 濃度가 얕으면 掃流流砂의 percent가 높다.

2. 浮遊流砂와 掃流流砂의 粒徑差가 적으면 掃流流砂의 percent가 높다.

3. 浮遊流砂 對 掃流流砂의 比는 高水時 보다 平常水位와 低水位時가 높다(이는 急勾配인 洪水流에는 適用되지 않으며 流水가 增加됨에 따라 掃流流砂가 많아지는 것이다).

4. 河川이 길고 좁은것 보다 얕고 넓은 곳이 掃流流砂가 많다.

5. 河川의 過流현상의 程度가 높은 곳에서는 掃流流砂의 量이 적은 경향이 나타나게 된다.

掃流流砂의 計算 亦時 直接 採取하여 算出하려는 시도가 있으나 그 흐름의 狀態의 攪亂과 河床의 場所에 따라 採取되는 값은 眞價보다 大端히 적게 된다. 掃流流砂採取器(Bed Load Sampler)도 多種 發展되고 있으나 後述키로하고 本稿에서는 實測結果表에 依하여 推定하는 方法을 紹介하기로 한다. 이는 Thomas Maddock氏에 依하여 提案되며 많이 利用되고 있으며 美國에서는 普通 浮遊流砂量의 10%을 加算하여 全體 流砂量을 算出하고 있다.

掃流流砂의 含率表

浮遊物의 濃 度	河床構成物의 形狀	浮遊物의 形 狀	測定한 浮遊物에 對한 掃流流砂의 %
1,000~PPM 以下	Sand	河床과 類似	25~100%
1,000~PPM 以下	Compacted clay Gravel, cobbles and boulders	小量의 沙	2~12%
1,000~7,500 PPM	Sand	河床과 類似	10~35%
1,000~7,500 PPM	Compacted clay Gravel cobbles, and boulders	25%沙 이거나 2以上	5~12%
7,500 PPM 以上	Sand	河床과 類似	5~15%
	Compacted clay Gravel, cobbles, and boulders	25%이 거나그 以下	2~8%
任意濃度	clay and silt, unconsolidated	전 土 및 泥土	2%以下

上記 表를 利用하여 浮遊流砂의 分析한 結果值과 河床構成物의 形狀에 依하여 推定含量比를 前項에서 計

算한 浮遊流砂量에 加하여 全體流砂量을 計算하게 된다.

그 外 浮遊流砂의 粒度와 掃流流砂의 粒度를 分析하여 同時에 流砂量을 計算하는 Einstein Method 도 있으나 計算이 복잡하다. (技術覺書 36號 參照) 이 方法을 使用하고자 할 때는 浮遊流砂採取時 마다 掃流流砂를 採取하여야 한다.

j. 計算例

Fig 8 과 같이 流出遲期曲線이 作用되고 Fig 9 와 같이 流砂量曲線이 作成되었다면 全體流砂量은 다음 計算表와 같이 計算한다. 本例에서는 日平均流量이 665.02 cfs/s 이고 流砂量은 191.728 ton/day 이었으므로 年流砂量은 70,080 Tons/yr 이나 여기에 Bed Lead 를 加算하여 全流砂量은 77,088 tons/yr 가 되었다.

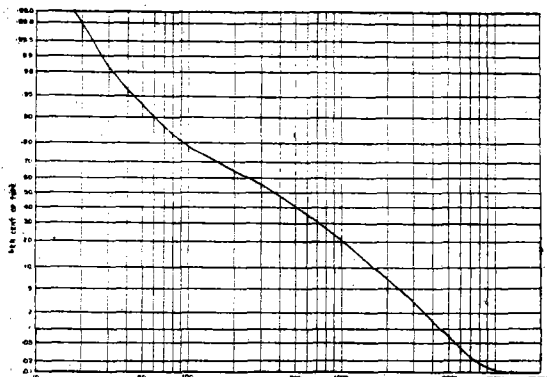
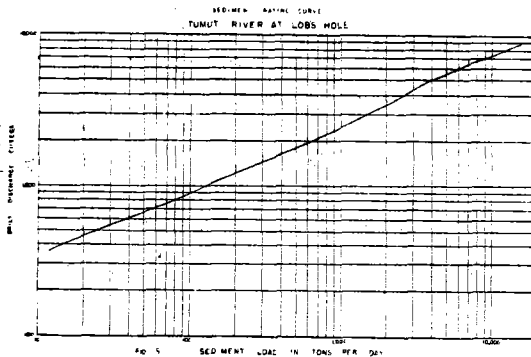


FIG 8 FLOW-DURATION CURVE (TUMUT RIVER AT LOBS HOLE)



流砂量計算書(例)

位置 Lobs Hole

期間 1950

河川名 Tumut

1	2	3	4	5	6	7
等級 (%)	間隔 (%)	平均 (%)	流量	流砂量	Q _w (2×4) 量	Q _s (2×5) 量
0.00~0.02	0.02	0.01	13,300	32,000.0	2.60	6.400
0.02~0.1	0.08	0.06	9,100	15,000.0	7.30	12.000
0.1~0.5	0.4	0.3	6,450	7,400.0	25.80	29.600
0.5~1.5	1.0	1.0	4,550	3,200.0	45.50	32.000
1.5~5	3.5	3.25	2,830	1,330.0	99.00	46.550
5~15	10	10	1,660	410.0	166.00	41.000
15~25	10	20	1,040	135.0	104.00	13.500
25~35	10	30	707	64.0	70.70	6.400
35~45	10	40	505	24.0	50.50	2.400
45~55	10	50	374	12.0	37.40	1.200
55~65	10	60	242	4.2	24.20	0.420
65~75	10	70	151	1.6	15.10	1.160
75~85	10	80	91	0.6	9.10	0.060
85~95	10	90	61	0.3	6.10	0.030
95~98.5	3.5	96.75	39	0.2	1.35	0.007
98.5~99.5	1.0	99.0	27	0.1	0.27	0.001
99.5~99.9	0.4	99.7	22	—	0.09	—
99.9~99.98	0.08	99.94	18	—	0.01	—
99.98~100	0.02	99.99				
					665.02	191.728

$$\begin{array}{rcl}
 Q_w. A.D. = 665.02 D.D. \times 365 \times 1.984 = 481,536 \text{ AF/yr.} & & \\
 Q_s. AD = 192 \quad D.D. \times 365 & = & 70,080 \text{ Tons/yr.} \\
 \text{Bed Load 加算 10\%} & & 7,008 \text{ Tons/yr.} \\
 \hline
 \text{全流砂量} & & 77,088 \text{ Tons/yr.}
 \end{array}$$

D.D. = 日流量

A.D. = 年流量

A.F. = Acre Feet

参 考 文 献

Federal Inter-Agency project Report

1. Report No. 3 "Analytical Study of Methods of sampling Suspended Sediment" 1941
2. Report No. 5 "Laboratory Investigations of Suspended-Sediment Samplers" 1941
3. Report No. 6 "The Design of Improved Types of Suspended-Sediment Samplers" 1952
4. Report No. 7 "New Methods for Size Analysis of suspended Sediment Samples" 1943
5. Report No. 10 "Accuracy of Sediment size Analysis Made by the Bottom-Withdrawal tube method" 1953
6. Report No. 14 "Determination of Fluvial Sediment discharge" 1963
7. Report AA....."Federal Inter-Agency Sedimentation Instruments and Reports," May 1959
8. Report I....."Operation and Maintenance of U.S. P~46 Suspended-Sediment sampler, Revision," May 1962
9. Report J.....Operating Instructions, suspended-Sediment Hard sampler, U.S. DH-48, Revision, October 1962
10. Report O.....Instructions for Sampling with Depth-Integrating suspended-Sediment Sampler, U.S. D 49 and DH~59, April 1963
11. U.S.B.R....."Recommended Procedures For Sediment observations" January 1952
12. U.S.B.R....."Analysis of Flow-Duration, Sediment-Rating Curve method of Computing Sediment Yield" April 1951
13. 農土研技覽 36號....."아인슈타인 改定方法에 依한 流砂量算出方法"
14. 農土研技覽 4號....."流砂量測定을 爲한 E.T.R. 方法"
15. 農土研技覽 12號....."流出連期曲線"
16. 野滿降治....."新河川學" 地人書階
17. 荒木正夫....."水理學演說 下卷" 森北出版
18. 建設研究所 技術指導書 9號 "水文觀測"
19. Snowy mountains Hydro-electric Authority cooma. North, N.S.w "Sediment sampling in Snowy Mountains Area" April 1961