

特 輯 <水文觀測 施設 및 計器의 發展>

河川 流量 計測의 發達

宋 在 偶*

1. 머 리 말

地表面水資源에 對한 世界的인 用水需要의 增加는 賦存 水資源量 과약에 對하여 高度의 正確性을 要求하게 되었고, 降水와 함께 流出 解析에 있어서 가장 基本이 되는 事項이 河川 流量이며 長期間의 正確한 流量資料를 가능한 限 많이 保有할 수록 水文調査나 水資源 開發 그리고 水害對策에 있어서 그 計測의 成就度를 提高시킬 수 있는 것이다.

옛부터 流量觀測의 目的을 治·利水面에 두었음은 말할 나위가 없으며 利水面에서 河川 流量 觀測의 目的을 살펴본다면 쉬운 例로 水力發電의 경우 流量을 크게 잡으면 過대한 設備投資를 하게 되고 反對로 적게 잡으면 過小設備을 하게 될 것이며 이 밖에도 댐計劃, 河川改修, 河川內 水工構造物 施工計劃, 旱害用水量의 取水計劃 등에 必須의 量은 잘 알려져 있는 사실이다.

河川 流量의 測定은 現在, 主로 水位測定과 流量 測定으로 大別되며 여러가지 計器에 依한 多様な 方法들이 使用되고 있으며 將來의 河川 流量測定은 광범위한 流量 計測網과 그 運用에 있어서 高度의 效率性이 要求될 것이다.

2. 河川 流量 觀測의 由來

古代 遺跡가운데 물供給構造物과 灌溉施設에 對한 것이 中國, 印度, Babylon, Egypt, 로마 帝國, 中央 America에 남아 있다. 이러한 偉대한 業績의 當時의 技術者는 流量測定과 調整에 對하여 分明히 知하고 있었을 것이다. Kulupaila에 의하면, 가장 오래된 流量 測定 記錄은 古代 에집트人에 의하여 Aswan댐 上流 400km지점의 Semneh와 Kumneh사이 에 있는 벼랑에 새겨진 나일江 洪水位의 표시이며, 이것은 Domenico Guglielmini(1655~1710)에 의한 河川流速測定의 최초의 機械的인 方法보다 約 35世紀 前의 일이다.

우리나라에서 水位 測定을 爲한 量水標의 出現은 1442年 世宗 24年으로 알려져 있다.

2.1 水位 測定

B.C. 600年 以前에 使用되었던 것으로 알려진 Nilometer라는 量水標는 現在의 것과 類似하며 洪水豫報에 使用되었다한다. Nilometer는 洪水期에 特히 잘 감시하여 水位가 상승되면 점차 上流에서 下流로 경보가 전달되었으며 이때 전달 수단으로는 배가 사용되었고 洪水가 도달 되기 前에 경보를 전달하고 피난시킬 수 있도록 잘 훈련된 뱃사공을 必要로 하였다 한다.

水文循環現象이 現代의인 觀測科學으로 進歩하기 시작한 時代는 東·西洋을 막론하고 文藝復興期인 15世紀 前後로 생각된다.

19世紀에 접어들어 프랑스의 E. Belgrand가 Seine江 上流部 水位와 파리에서의 水位와의 關係를 1846년 부터 6年間 調査 研究하여 1854年 Seine江의 洪水豫報을 한 事實은 水文學의 發達에 크게 공헌한 것이라 하겠다.

美國에서는 일찌기 뉴잉글랜드의 工場에서 使用할 水力開發과 東부와 中西部를 잇는 거대한 운하구축, 철마뿔의 砂金採取의 增加와 건조지대의 灌溉事業 때문에 河川流量의 精確한 測定에 많은 觀心을 집중시켜 팔목할 만한 업적을 이루었으며 그 資料는 다른나라의 基準으로서 많이 使用되었다.

美國에 保存된 最初의 水位記錄은 1798年 미시시피州 Natchez에서 Windrop Sargent에 依하여 시작된 것이며 그것은 미시시피江의 洪水에 關한 것으로 1848年 까지 계속되었으며 그후 Carrollton에서 계속되었다. 美國의 最初의 自記水位計는 1845年 Saxton에 依하여 제작되었고 實務에 소개된 것은 1853年 Hunt에 의하여 이루어졌는데 그것은 회중시계에 의하여 그래픽용기가 움직이며 연필은 浮標와 wire로 연결되어 作動되도록 된 것이었다. 1876年 Fteley는 다사휴제즈의

* 本學會 編輯委員 京畿大學 教授(工博)

Sudbury江의 水位測定을 위하여 自記水位計를 設置했으며, 이 水位計에 設置된 장치와 그에 따른 原理는 現在의 精確하고 신뢰性이 높은 水位記錄計의 기초가 되었다.

우리나라의 水位測定의 歷史에 關하여는 서울工大 鮮丁仲皓 教授等 몇 분의 研究結果를 발표하여 소개하면 다음과 같다.

水標와 河水測量尺은 이미 世宗朝에 淸設되었으며, 서울의 馬前橋 西쪽의 水中과 城外의 한 河岸의 岩石上 두곳에 設置되었으며 그 구조에 있어서는 水中에 臺石을 주고 그 위에 木柱를 바로 세우고 柱根은 두장이 跌石으로 나무를 들러싼 후 淸로 묶어 놓았다. 이 木柱의 표면에는 周尺으로서 尺, 寸, 分의 눈금이 새겨져 있어 水深의 觀測을 하게끔 하였다. 이와같이 世宗 24年(1442)에 馬前橋(現水標橋 근처) 서쪽에 세워졌던 水標는 半木製였기 때문에 오래지 않아 改修했을 것이다. 그後 成宗代까지 水標는 石製로 改량되어 淸世宗大王記念事業館에 保存되어 있는 것과 같은 형식이었던 것으로 추측되고 있다.

英祖代에 와서는 雨量計와 마찬가지로 水標에도 많은 觀心을 보여 世宗代의 淸제에 따라 水標를 淸設하였다. 英祖 19年(1743) 5月 18日 庚子에 “大雨, 禮曹水標報尺을 啓稟한다”라는 기록과 淸現在 서울 淸능에 위치한 世宗大王記念事業館에 保存되어 있는 水標에 “己巳大雨, 癸巳澇”에 陰刻되어 있는 것으로 미루어 보아 英祖 49年(1773)의 澇川과 河川兩岸의 石築工事때가 아니면 英祖 25年 己巳(1749)의 河川 大工事때 이 水標가 淸設된 것으로 보여지며 또한 「漢京識略」의 기록에 의하면 이 水標는 英祖代에 淸設된 것이 거의 淸확실시 된다. 英祖 19年(1743)의 水標報尺에 淸對하여 「實錄」기록에 있는 水標가 淸現存하고 있는 水標라고 淸단정할만한 淸史的 淸資料는 淸充分치 않지만 水標礎石의 기록과 「增補之獻備考」 「象緯考」等과 英祖 46年에 「祈雨의 時期가 淸아닐지라도 水標를 報告시키고 淸淺深을 淸알고자 함이니 ……」라는 기록을 본다면 世宗代以後 淸測雨器의 淸유실로 淸因하여 淸降雨量 淸測定이 淸不充分했던 그 당시에도 水標에 淸 의한 河川水位의 淸測定은 淸계속되었음이 淸확실시된다.

英祖 25年(1749)以前에 淸만들어진 淸現存하는 이 水標는 淸길이 淸約 3m, 淸幅 淸約 20cm의 淸花崗石으로 淸된 淸石正 淸6面方 淸錐形의 淸石柱인데 淸위에는 淸蓮花紋의 淸頭石이 淸놓여 淸있고 淸밑은 淸方柱形의 淸礎石으로 淸땅속에 淸박혀 淸있다. 淸石柱는 淸양 淸면에 淸周尺 淸1尺마다 淸눈금을 淸1尺에서 淸10尺까지 淸새겼고 淸3尺, 淸6尺, 淸9尺線上에는 淸표시를 淸해서 淸각각 淸渴水, 淸平水, 淸大水等을 淸해아리는 淸지표로 淸썼다. 淸즉 淸6尺안팎의 淸물이 淸흐르는 淸것이 淸보통의 淸水位였으며 淸9尺이상이면 淸위험수

위를 나타내어 河川의 淸범람을 淸예고하는데 淸쓰였다. 이 淸水標는 淸그 淸구조면에서 淸世宗代의 淸것과 淸비교하여 淸보통수 淸分까지 淸精確히 淸測定할 수 淸없다는 淸점이 淸부족하지만 淸渴 淸水位와 淸위험수위를 淸분명히 淸표시하였다는 淸점은 淸매우 淸발 淸전적인 淸것이었다. 이 淸水標는 淸원래 淸水標洞水標橋 옆에 淸設置되었던 淸것이며 淸世宗代 淸馬前橋는 淸바로 이 淸水標橋 淸자리에 淸있었던 淸다리였으나 淸後에 淸石橋로 淸개조되었고 淸다시 淸장충단공원에 淸移設되어 淸保全되어 오다 淸1973年 淸10月 淸7日에 淸水標만 淸世宗大王記念館으로 淸옮겨왔다.

우리나라의 淸現代의인 淸水位 淸測定 기록은 淸1910年代 淸韓 淸日合併後 淸日本統治下에서 淸그 淸시발점을 淸찾을 수 淸있다. 淸以後 淸現在까지 淸많은 淸觀測所가 淸설치되었으나 淸流域面積 淸淸當 淸觀測所의 淸수는 淸外國의 淸기준에 淸아직도 淸크게 淸뒤떨어져 淸있는 淸實情이다.

2.2 流量 測定

流量 淸測定에 淸對한 淸流速의 淸重要性은 淸科學에 淸있어서 淸일 淸대 淸전환기인 淸르비쌍스때 淸까지도 淸완전히 淸이해되지 淸못했다. 淸당시의 淸거의 淸모든 淸科學者들은 淸流水와 淸流速測定에 淸對하여 淸조금씩 淸觀心을 淸갖기 淸시작했으며, 淸이때의 淸예술 淸가이며 淸科學者인 淸Leonardo da Vinci(1452~1519)는 淸水文學이나 淸流體力學에 淸흥미를 淸가지고 淸觀測 淸結果를 淸기 淸초로 淸하여 淸水文循環現象을 淸증명하고 淸흐름速度測定에 淸float나 淸梁料를 淸使用하였다. 淸Pierre Perrault(1608~1680)는 淸Seine江 淸流域에 淸내린 淸年降水量의 淸1/6로서 淸이 淸江의 淸流量이 淸유지된다고 淸주장했으며 淸이것은 淸다시 淸Edme Mariotte(1620~1684)에 淸의하여 淸精確하게 淸검증 淸되었다. 淸또한 淸Mariotte는 淸浮子를 淸보다 淸유효하게 淸使用 淸했던 淸것으로 淸알려져 淸있다. 淸1692年 淸Guglielmini는 淸흐 淸름에 淸의하여 淸물에 淸떠서 淸흘러가는 淸球를 淸使用하는 淸流速 淸測定方法을 淸설명했으며 淸1790年 淸독일의 淸Reinhard Woltman은 淸水平軸에 淸날개가 淸달린 淸流速計를 淸소개했는데 淸이것이 淸河川調査에 淸있어서 淸가장 淸적합한 淸기구로 淸입증 淸되었다.

19世紀에 淸접어들어 淸地表水 淸分野에서는 淸특히 淸測水學 (hydrometry)이 淸매우 淸진보되어 淸많은 淸流出公式이 淸개발 淸되는 淸同時에 淸測定機器의 淸開發 및 淸계통적인 淸流量觀測이 淸시작되었다. 淸流速計를 淸만들어 淸성공적으로 淸使用한 淸最初의 淸美國人은 淸1867年의 淸Daniel Farrand Henry였으며 淸그는 淸날개의 淸회전을 淸신호로 淸바꾸는 淸電氣回路를 淸갖은 “淸電信流速計”(Telegraphic current meter)를 淸개발함으로서 淸큰 淸기여를 淸했다. 淸이로서 淸前처럼 淸計器의 淸눈금을 淸읽기 淸위하여 淸매번 淸流速計를 淸물밖으로 淸꺼낼 淸필요가 淸없어 淸졌으며, 淸또한 淸이와같은 淸電信回路는 淸기계적인 淸觀測기록의 淸方法을 淸개발하도록 淸유도하였다.

그는 淸또 淸回轉子의 淸두가지 淸형태, 淸즉 淸흐름方向과 淸직각

으로 설치된 원통형고리에 붙은 스크류형태의 水平軸에 4個의 半球形 컵(cup)을 붙인 형태를 개발했다.

1870年 T.G. Ellis는 수직축에 컵들이 달린 流速計를 소개했으며 1882年 W.G. Price는 Ellis의 流速計를 補完하고 재래식의 단점을 제거하여 現在까지 世界에서 가장 완전한 것으로 믿어지고 폭넓게 使用되고있다.

Henry의 電信流速計의 개발과 가는 대(rod)에 지지된 流速計 대신 추와 케이블을 사용한 流速計로 대치되므로 大河川에서의 測定技術도 現在까지 많은發展을 했으며 大河川의 洪水時에도 상당한 정밀도로 測定이 可能해 졌다.

2.3 水位—流量 關係

A.D. 11~12世紀경 中央아시아의 Merv오아시스에 있는 Murghab江에 거대하고 복잡한 灌溉施設이 운용되었으며 이 施設에서는 물 供給을 위하여 計器上의 正確한 水位를 읽고 水門을 조작하여 복잡한 水路를 통제 하였다. 이것이 人間이 가진 水位—流量 關係에 對한 지식의 最初의 기록이다.

美國에서의 最初의 永久 水位觀測所는 1835年 New York州 Madison郡의 Eaton과 Madison Brooks에 설치되었으며 여기서 水位—流量 關係 圖表가 觀測所 運營에 使用되었다.

河川 流量測定에 對한 장비, 方法, 技術이 점차 開發되고, 이와 더불어 高度의 正確性의 要求가 增加되므로서 장비의 개발, 方法의 再評價가 수행되어 필요에 따라 다른方法이 적용되며 測定要員의 技術 向上으로 불과 수십년전만 하더라도 어려웠던 일들이 오늘날에 와서는 보다 精確한 河川流量測定이 可能해졌다.

3. 現在의 河川流量計測

3.1 水位 測定

河川 水位의 測定을 위해서는 水位觀測所의 場所와 設置地點의 河狀에 對한 細心한 注態가 必要함과 아울러 水位觀測의 方法과 어떤 種類의 水位計를 設置하느냐 하는 問題는 각각의 目的에 따라서 選定해야 한다.

水位計의 種類와 構造를 보면 우선 普通水位計, 自己水位計로 大別된다.

3.1.1 普通水位計

普通水位計는 水位測定方法, 눈금을 읽는 方法으로 分類가 되는데 主要型은 가장 간단한 것으로 量水標 또는 水位標가 있으며 錘砵水位計(wire-weight gage), 浮標水位計(Float Gage) 등이 있다. 錘砵水位計는 錘砵筒의 1회전에 30cm정도의 錘砵가 풀려나가져 되어 있어서 그 회전수로 水位를 測定하도록 되어있고 浮標水位計는 테이프의 한쪽끝에 浮標를 달고 테이프

를 바퀴에 감아서 다른 한 끝에 추를 달아, 추가 내려갈에 따라 바퀴가 돌게 되고, 지시침이 테이프의 눈금을 가리킴으로서 水位를 읽을 수 있는데 여기에 자동장치를 부착하면 自己水位計가 된다. 이외에도 전기테이프水位計(Electric tape gage), 등이 있다.

3.1.2 自記 水位計

自記水位計에는 水位를 傳達하는 方式으로서 浮標式과 水壓式 및 氣泡管式의 三種이 있다. 浮標式은 浮標(Float)가 昇降하는 浮標와 外部와를 導水管으로 連結시킨 것인데 土砂의 移動이 심한 곳에서는 이 導水管이 막혀서 正確한 水位變動이 나타나지 못하므로 각별히 유의하여야 한다. 한편 水壓式은 河川水位를 실린더나 유연한 얇은 막을 이용하여 壓力으로부터 轉換될 수 있는 點을 이용한 것인데 이 水位計의 問題는 溫度變化에 과민하다는 것이다. 氣泡管式水位計(Bubble gage)는 美國의 地質調查局에서 최근에 完成한 것으로 自動壓力計와 半導體장치, 가스저장장치, 記錄장치 등으로 구성되어 있으며, 이 계기의 장점은 비용이 많이 드는 減勢用井戶가 필요없으며 水位의 편차가 100ft 이상일 때도 기록이 가능하다는 점 등이다.

또한 水壓式의 一種으로 Tensio Metric Recorder는 쓰러의 波高測定장비 명칭에서 유래된 것으로 이 장치는 水壓에 따라 진동막이나 금속줄을 당기면 금속줄을 통하는 電流의 電壓이 變하고 이것을 증폭하여 기록하므로서 압력을 水位로 전환하는 최선 장치이다.

그외에도 河川의 水位를 각종의 有線 또는 無線장치에 의해서 원거리에 있는 기록기로 전달하는 遠隔水位計(remote recorder)가 있는데 傳達方法에 의한 分類로서는 ①低抗計 比率計에 의한 方法 ②周波數計에 의한 方法 ③Tele type에 의한 방법 및 ④模倣電送 TV에 의한 방법 등이 있다.

3.2 流速測定

河川流速測定을 위하여 開發된 여러 方法에는 흐름에 의한 회전이나 變位를 利用하는 기계적인 方法과 速度水頭를 位置水頭로 변환시키는 方法, 化學的 方法, 등으로 大別될 수 있다. 그러나 河川流의 광범위하고 다양한 조건, 즉 강도차가 큰 變流狀態, 河川斷面の 粗要 등으로 流速測定을 위해서 單一方法의 적용은 곤란하다. 回轉式 계기는 다양한 조건에 대하여 광범위하게 적용될 수 있으나 0.10ft/sec 이하의 流速과 극도의 亂流상태에는 적용이 못하다. 따라서 제안조건에 서도 使用이 가능한 單純하면서도 實用的인 流速計의 開發이 요구되는 實情이라 하겠다.

어떤지점에서 流速을 測定하는 目的은 그 河川斷面の 平均流速을 算定하기 위함이고 이렇게 구해진 流速

은 流速-流積法(velocity-area method)으로 流量을 測定하는데 利用된다.

3.2.1 기계식 계기

機械式 計器에는 흐름의 運動量 일부를 角運動量으로 變換하는 回轉式 計器(rotating meter), 힘으로 變換하는 動力式 計器(dynamometer), 흐름에 따라 移動하는 浮標式計器(floating meter)의 3가지가 있다. 回轉式 計器에는 回轉軸의 方向에 따라 흐름방향에 수직인 수직축형과 수평축형으로 분류하고 수직축형의 대표적인 것이 前述한 price meter이다.

스크류나 프로펠라형의 회전자가 부착된 수평축형은 유럽에서 많이 사용되고 있는데 현재 가장 널리 사용되고 있는 두가지 형태는 프랑스에서 개발된 Neyrpic meter와 독일에서 개발된 otto meter이다.

動力式 計器는 流速의 運動量을 變位시키거나 應力으로 變換한 것으로 keeler meter가 變位를 利用한 것이며 New Hampshire의 Winnip-saukee 湖의 放流 流速測定에서 성공적으로 사용된바 있다.

浮標式 計器는 流速의 近似值 測定에 使用될 수 있으며 재래의 유속측정 방법으로 表面浮子(surface float), 水中浮子(submerged float), 二重浮子(twin float) 棒浮子(rod float)에 의한 방법 등이 있다.

3.2.2 化學 및 電氣回路式 方法

流速測定에 있어서 보다더 높은 精密性, 特히 심한 亂流과 低流速에서의 測定, 等多樣한 條件에서 보다 더 만족할 수 있는 方法의 必要性에 의하여 여러가지 化學 및 電氣回路式 方法이 開發되었다. 化學的인 方法에는 소금 稀釋法, 放射線物質추적법, 소금물 전도율 방법 등이 있으며 電氣回路式 方法에는 산소용액기록법(Oxygen Polarography), 加熱線 計器(Hot-wire Anemometer), 電磁氣流速計(Electromagnetic-Flow meter), 超音波流速計(Ultrasonic Flow meter) 등이 있다.

稀釋法에 對하여는 李舜鐸教授에 의하여 本學會誌(1969.12)에 자세히 소개된 바 있고, 放射線 物質 추적방법은 소금물 電導率方法과 類似한 方法으로서 민감한 計器가 사용될 경우 용해물질을 소량으로 줄일 수 있는 잇점이 있으나 放射線 감어의 위험성을 막기 위하여 비용이 증가되는 단점이 있다.

산소용액기록법은 산소가 용해된 전해액이 일정한 속도로 움직이고 있는 상태에서 電流-電壓關係曲線을 나타낼 수 있고 이러한 현상을 이용한 속도 측정방법은 流速 0.1ft/sec 以下에서도 매우 정확하며 Kolthoff와 Lingane에 의해 發見되었다.

加熱線計器는 이와 類似한 것으로 warm-film anemometer가 있으나 野外에서의 測定用으로는 부적합하다.

電磁氣 流速計는 물속에 電磁氣界를 형성하고 그 주위에 電導體를 통과시키면 이 電導體에 電流가 發生하여 흐르게 되는 원리를 이용한 것으로서 美海軍에서 제공된 이 計器를 利用하여 美國의 地質調査局에서 플로리다주의 Jacksonville의 St. Johnes江에서 流速을 測定하여, 이 방법의 정확도가 높음이 입증되었다. 이 計器는 규모가 너무 크고 비용이 많이 드는 단점이 있으나 특수한 조건하에서 계속적인 流速記錄이 가능하다는 점은 장점으로 평가되고 있다.

超音波流速計는 물속을 통과하는 초음파의 Doppler 效果를 이용한 것으로 送信장치에서 上流에 있는 受信機로 신호를 보내면 超音波는 上流로 向하게 되므로 流速의 영향을 받아 약하게 된다. 이러한 효과를 기록하여 流速과 相關關係를 맺으면서 여러가지 因子를 즉 溫度효과, 水溫의 場所에 따른 편차, 반사, 水表面의 간섭등을 고려하면 流速을 구할 수 있는 것이다.

또한 最近에 開發된 航空寫眞을 利用하여 表面 流速을 測定함으로써 測定精度를 높일 수 있다.

4. 맺는말

오랫동안 研究, 發展되어온 事實에 對하여 그 歷史를 안다는 것은 이것을 잘 理解하고 現象을 확실히 파악할 수 있게 해주고 지식의 적용범위를 넓게 해주며 그 限界를 보다 明確히 하는데 도움을 준다.

流量測定の 精密性의 要求와 함께 計器의 개선 및 發展, 신속성, 영구성, 경제성이 망라된 측정방법의 開發이 앞으로의 과제라 생각된다.

또한 計測網의 擴充과 資料보관의 改善等 管理體系의 확립은 計測方法의 改善에 先行되어야 할 일이며 잘 훈련된 計測要員의 확보문제도 看過해서는 안될 것이다.

參 考 文 獻

1. Barron, E.G., "New Instrument for Surface-Water Investigations," In-Selected Tech. for Water-Resources Investigation, U.S. Geol. Surv. Water-supply pap. 1692-Z, pp.Z-4-Z-8, 1963.
2. Buchanan, T.J. and Somers W.P., "Stage Measurements of Gaging Stations," U.S. Geol. Surv. Tech. W-R. Inv., bk. 3, chap. A7, 1968.
3. Chow V.T., Handbook of Applied Hydrology chapt. 15, McGraw-Hill. New York, 1964.
4. Frazier, A.H., "William Gunn Price and the Price Current Meters," U.S. Natl. Mus. Bull., vol. 252, pp.37~68, 1967.

5. Schäfer, H.: Report on Hydrometry, Hydrol. Sci. Bull., vol. 17, pp.145~166 July 1972.
6. 建設部 '水資源開發調查年報 第8卷, 第10卷 1976, 1978.
7. 鮮于中皓 "李朝 水文觀測施設 및 制度에 關한 歷史的 考察," 韓國水文學會誌 第9卷 第2號, 1976. 12.
8. 李舜鐸 "Dilution Method에 의한 河川流量測定에 關하여," 韓國水文學會誌 第2卷, 第2號, 1969. 12.
9. 崔榮博外, 水文學, 普成文化社, 第1章, 第7章, 1981.