

◆ 特集：新しい流量観測への取り組み ◆

韓国の水文観測技術開発の現況

金 源 (Dr.Won KIM)*

1. まえがき

水文観測は利水、治水、河川環境等の水と関連する分野の中で最も重要な基礎資料を提供する重要な業務である。経済の発達とともに水使用量が増えれば、それに対応した水資源の供給が必要である。また、気象異変によって引き起こされる干ばつと洪水に的確に対応するため、さらには、増大する河川環境保全への要求に対応するためにも、水資源の量と質についての正確な把握が必要である。したがって、多くの国では、昔から水の量と質を測定するため、多くの努力を払ってきた。最近では、電気電子技術の発達に伴って水を測定する技術も大きな発展を重ねている。しかし、水文観測は自然を対象とすることから技術的な限界が存在し、測定値には少なからず不確実性が含まれている。そこで、韓国では最近、水文観測の正確度と効率性を高めるため、多くの努力が払われている。本稿では、最近、韓国で研究されている水文観測技術のうち、流量測定技術の開発に関して記述する。

2. 水文観測基準の開発

2.1 水文観測基準の比較分析

水文観測対象の項目の中で、流量は時空間的な変化が激しい自然現象であることから、流量測定のためには専門的な技術が必要である。このため、多くの国では流量測定の精度向上のために大きな投資と技術開発を行ってきた。ISO (国際標準機構)、WMO (世界気象機構) 等の国際機構だけでなく、アメリカの USGS (U.S. Geological Service)、英国の EA (Environmental Agency)、日本の国土交通省等で、多くの国で様々な技術基準が提示されている。

水文観測基準は、国の特性によって開発された技術であり、少しずつ違う基準が含まれている。このような差は、各国の水文特性に起因するもの

であるが、装備や測定方法の差から発生するものもある。

流量測定方法の中で、一番多く使用される流速面積法の場合を見れば、基準によって少なからず差があるということが分かってくる。流速測線については、韓国¹⁾と日本²⁾では、河幅に対する一定割合の間隔を標準としているが、ISO³⁾、WMO⁴⁾、USGS⁵⁾等では区分断面内の流量が同一になるように測線を決定すべきだと定めている(表-1)。

流速測定時間については、日本では20秒以上と決めているが、ISOでは30秒以上、USGSやWMOでは40~70秒と決めている(表-2)。

また、流速測点数については、韓国と日本の場合、ほとんどが1点法と2点法を使用しているが、WMOやUSGSの場合、水深と流速分布によって3点法を使用するようにしている(表-3)。

それ以外にも様々な部分で基準は国家によって相異なっている。

このような差は、実際に水文観測の精度に影響を及ぼすことになる。したがって、このような差の原因を分析して水文観測の正確度が進めるように、基準に対する研究が必要である。

表-1 流速面積法の流速測線選定方法の比較

韓国/日本	ISO	WMO/USGS
・水面幅の10-15% ・一定幅の基準	・全体流量の5% ・20個以上測線 ・一定の流量基準	・全体流量の10% ・20-30個測線 ・一定の流量基準

表-2 流速面積法の流速測定時間の比較

日本	ISO	WMO/USGS
20秒以上	30秒以上	40-70秒

表-3 流速面積法の流速測点数の比較

韓国/日本	ISO	WMO/USGS
・1点法, 2点法	・1, 2, 3, 5, 6点法 ・流速分布法 ・積分法	・1点法, 2点法, 3点法

2.2 水文観測基準の開発

流量測定のために使用している基準の中には計測技術が発達しなかった30～40年前に研究された結果を基にして制定されたものがある。このような基準は精密な計測装置を用いて各河川特性に応じて再検証する必要がある。本研究では流速面積法で使用する測定時間、測点数、測線数に対して精密測定を行って、再検討を実施した。

自然河川での流速は、連続的に変化する。本研究では、3次元流速計を利用して自然河川で流速の

時間的変化を測定した(図-1)。

流速は時間によって固定されず、連続的に大きく変化していることがわかる。このような流速の変化規模は流速によって異なってくるが、変化率は平均値に対して全体的に約±30%であることが明らかになった。このような時間による流速変化の特性は約60年前に確認されていて、この結果を基にして平均流速測定に必要な時間を決定するようになっている⁷⁾。このように連続的に変化する自然河川の平均流速を正確に測定するために

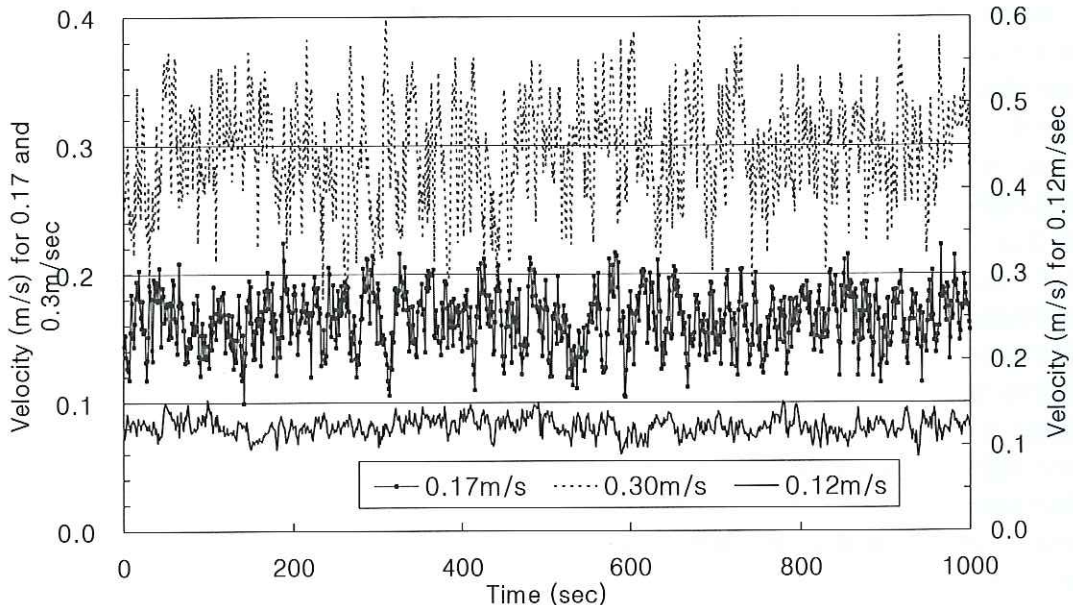


図-1 自然河川での流速の時間的変化

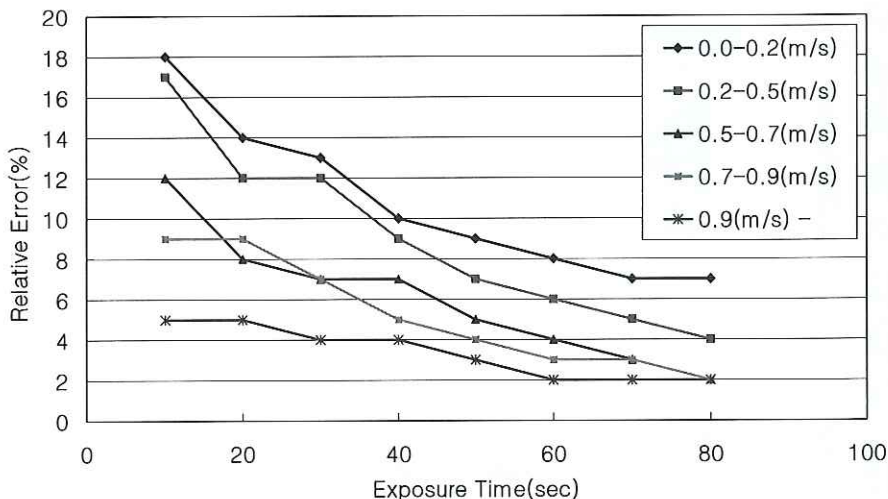


図-2 測定時間による流速の相対誤差

は、十分な測定時間が必要である。

図-2 は、流速の大きさによって変化する平均流速について、測定時間別に不確実性を示したものである。

流速が小さければ小さいほど平均流速の不確実性が大きく現れることがわかる。逆に、流速が速ければ速いほど平均流速に対する測定時間の感受性は小さくなる。したがって、流速が小さい場合には、平均流速の測定に長い測定時間が必要になる。

本研究で、現場での精密流量測定を通じて得られた流速測定時間に対する測定誤差の結果は表-4 に示すとおりである。

ISO 基準と比較すれば、流速 0.1m/sec の場合を除いて、大きな差は見られない。また、表-5 と表-6 は、それぞれ測点数、測線数に対する精密流量測定の結果である。

図-3 は、流速測点数による相対誤差の変化を表している。この図は六点法を基準に各測点数による平均流速の相対誤差を示したものである。この図でわかるように、測点数による不確実度を 10% 以内に減らすためには 2 点法または、3 点法を使用しなければならない。さらに、1 点法と 2 点法の不確実度の差は大きい、2 点法と 3 点法の間の不確実度の差はそれほど大きくないことがわかる。このような結果は、ISO 基準でも同一に現れている。

表-4 流速測定時間に対する不確実度

流速 (m/sec)	不確実度 (%)			
	流速測定時間 0.5min		流速測定時間 1.0min	
	本研究	ISO	本研究	ISO
0.1	13	27	8	22
0.3	12	10	6	7
0.5	7	8	4	6
1.0	4	7	3	6

表-5 流速測線数に対する不確実度

測線数	不確実度 (%)	
	本研究	ISO
10	10.5	9
15	8.0	6
20	5.0	5
25	3.0	4
30	2.5	3
35	2.0	2
40	1.5	2
45	1.0	2

表-6 流速測点数に対する不確実度

測点数	不確実度 (%)	
	本研究	ISO
1	17	15
2	10	7
3	7	—
5	3	5

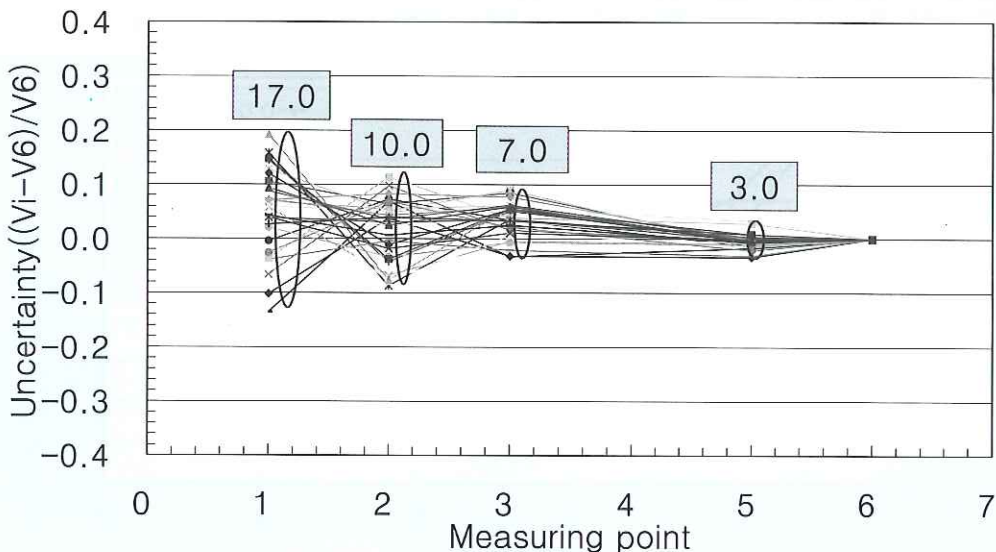


図-3 測点数による流速の相対誤差

3. 流量測定資料の誤差分析技法の開発

流量測定の精度向上のためには、誤差発生の原因についての分析が必要である。流量測定で発生する誤差は、色々あるが、大きく無作為誤差、系統誤差、偶然誤差、その他の誤差に分けることができる⁶⁾。

(1) 無作為誤差は、同じ入力値に対する測定値について、人為的な影響がなくランダムに発生する誤差である。無作為誤差には河幅誤差、水深誤差、平均流速の不確実性、測定機器誤差、振動誤差、乱流誤差、計算過程の不確実性が含まれているが、この中で、平均流速の不確実性は、大きく、次の三つの誤差に起因する。

- 1) 測線で流速測点での測定時間に起因する誤差
- 2) 測線での流速測点数に起因する誤差
- 3) 測線数の制限に起因する誤差

(2) 系統誤差は、不適切に校正された測定器機とその使用等によって発生し、各々の流れに対して測定する間、その大きさは一定である。系統誤差には不完全な補正と修正、不完全な機器の設置、不完全な資料の修正を含み、方法上の誤差、測定者の誤差等も含まれる。

(3) 偶然誤差は測定者のミス、または、装置の誤作動等によって発生する誤差であり、このような誤差が発生した測定値は取り除かなければならない。しかし、偶然誤差が発生したと確信できる技術的な理由がなければ、資料は安易に除いてはいけなない。

(4) 境界効果、氷、流れの障害、風等は、流れと水深及び流速の測定に影響を及ぼして、この結果、その他の誤差が発生するようになる。

本研究では、河川流量測定で発生する誤差の原因について検討し、流量測定結果を対象に定量的な誤差値を算出したが、韓国の場合、5～10%程度の流量測定誤差が発生することが明らかになった。

4. 新たな流量測定技術の開発

本研究では、流量測定の精度と効率性の向上のため、新たな流量測定技術の開発を目指している。新たな流量測定技術としては、超音波流量計、ADCP、LSPIV、河川構造物を利用した測定方法などがある。

4.1 超音波流量計

超音波流量計は水中に設置された超音波センサーを利用して連続的に水深別に流速を測定して流量を測定する装置であり、自動的に流量を測定することができ、非常に便利である。本研究では、実際の河川に超音波流量計を設置して、超音波流量計による流速、流量と違う方法による流速、流量と比較して精度を分析した。現在までの研究結果によると、河幅 110m 程度の河川で連続的に流速を測定するには、限界が現れなかった。また、洪水時に発生する浮遊物による測定の困難さも発生しなかった。したがって、この方法は洪水時、及び低水時とも、連続的に流速を測定して、これを基にして流量を測定する上で効果的だと判断される。

4.2 ADCP

ADCP は、短時間内に河川内の 3 次元流速と流量を測定できるため、非常に便利である。本研究では、アメリカの Sontek/YSI 社の ADCP (5MHz) を利用してさまざまな特性の河川流量を測定した。測定の結果、ADCP は河川流量を効率的に測定することができるが、次のような限界を示した。

(1) 周波数による測定限界

ADCP は、周波数によって測定可能な水深が決まっているため、その範囲を脱すると、測定不可能な場合があった。例えば、5MHz の ADCP の場合、測定可能な水深が 0.15～2.15m であるからこの範囲を逸脱すれば、流量測定が不可能である。また、3MHz の ADCP の場合には適用可能な水深が 0.5～6.0m となっている。一般的な河川で平水時の水深は変化が大きいため、特定周波数の ADCP だけで、全体流量を測定することができないケースが発生する。

(2) ADCP の測定方向による流量差

本研究の結果によると、ADCP は、測定方向によって流量値が異なる結果が得られた。すなわち、河川の左岸から右岸に測定した流量と右岸から左岸に測定した流量が異なる値を示した。図-4 は、方向によって異なる ADCP 流量測定値を示したものである。

4.3 LSPIV 技法

LSPIV 技法は、映像中の追跡粒子の移動距離を停止映像の時間間隔に分けて流速を算定する PIV

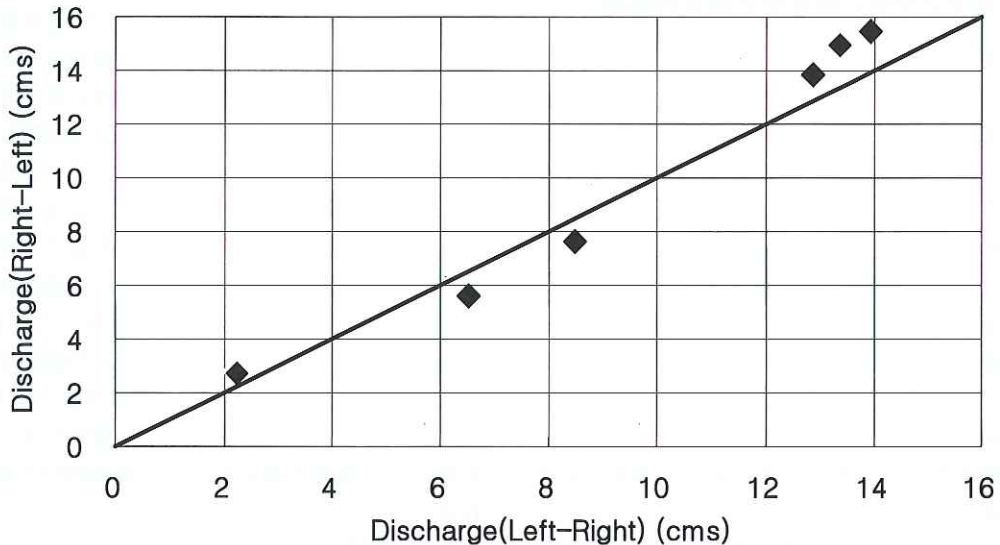


図-4 ADCP 測定方向による流量差

技法を実際の河川に適用した流速測定技法である。LSPIV 技法と PIV 技法間の最大の差は、映像歪曲の発生の有無と言える。これは、LSPIV 技法では、PIV 技法を $4\text{m}^2 \sim 45,000\text{m}^2$ 範囲の広い領域に適用するために生じるもので、一般的な映像処理過程と相まって映像歪曲に対する補正が必要である。本研究では、LSPIV 技法を利用した自動流量測定技法を開発中であり、実際の河川に適用性を検証している段階である。

4.4 河川構造物を利用した流量測定

韓国の一般的な中小規模の河川で流量を測定する際の問題は、流量の規模が小さすぎることである。韓国の河川は河状係数が数百に至るほど大きく、洪水時には大きい流量が発生するが、非洪水期には流量は非常に小さい。このため、水深及び流速が小さくて河幅全体にわたっての水深測定が難しく、正確な流速測定が難しい場合が少なくない。特に、韓国の場合、河床の変化が大きいことから、水深による流量の変化が非常に激しく、低水時に、水位-流量関係の維持が難しい。このような条件で流量測定を効率的にするためには、固定断面を用いることによって、水深と流速の関係を維持させる施設が必要である。韓国の場合、農業用水の取水のため、中小規模の河川に多くの堰が設けられている。本研究では、河川に設置されている既存堰を活用したり、流量測定用を新設する方案を検討中である。

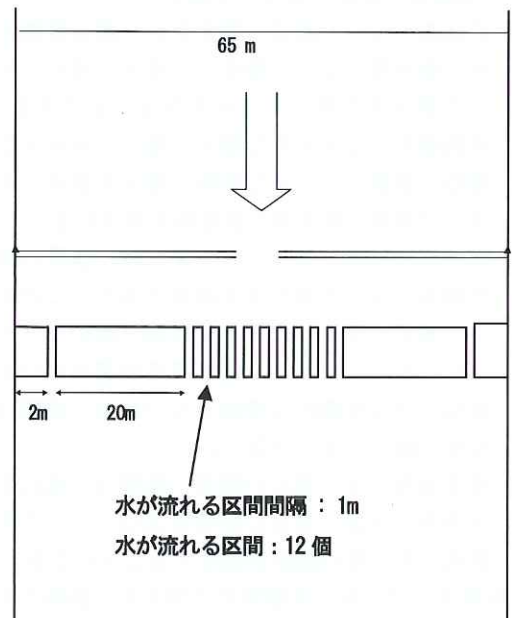


図-5 堰による流量測定

本研究では、既存堰を活用する方法を分析するために図-5 のような平面形状を持つ堰を選定して精密流量測定を実施した。現在まで測定された結果を総合して見ると、このような堰の流量係数は 1.6 程度に計算された。なお、この流量係数は、水位が非常に低い状態を対象にした場合の数値であって、色々な水位に対し、色々な流量係数を算定することが必要である。

既存堰の場合、流量測定用に活用するためには、堰の地点で精密流量測定を通じて正確な流量係数を測定することが必要である。また、水深の変化による流量の変化が非常に敏感であるため正確に水位を測定可能な施設が必要である。なお、洪水後には、堰上流部が土砂で埋没されて流量測定用に活用できないケースがあるため、定期的な維持管理も重要である。

5. 結論

本研究では最近、韓国で実施中の水文観測技術の開発現況を流量測定技術を中心に考察した。韓国で進行中の水文観測技術開発の現況は次のように整理することができる。

(1) 雨量及び水位観測網の最適化

雨量と水位観測網を現地条件、必要密度等を勘案して最適化する研究を実施中である。

(2) 試験流域の運営を通じた水文循環解釈資料の蓄積

全国的に流域規模、流域特性等を勘案して色々な試験流域を運営し、各試験流域では雨量、水位、流量等の基本的な水文資料と気象資料だけでなく土壌水分、蒸発散等を測定して水文循環解析に必要な資料を作成している。(3) 水文観測基準の比較分析

国際機構(ISO、WMO)とアメリカ、日本、ヨーロッパ等の水文観測基準を比較、分析している。

(4) 水文観測基準の検証及び開発

水文観測基準の中で、現在の技術状況で再検証が必要な基準を選定し、精密装備を利用して新たな基準を開発している。

(5) 流量測定技法の正確度の向上

洪水時及び低水時の流量測定技法の正確度を向上させることができる方法を研究中である。

(6) 流量測定誤差の分析技法の適用

流量資料に含まれた誤差を分析し、現場で誤差を確認可能な方法を開発している。

(7) 新たな流量測定技術の開発及び適用

超音波流量計、ADCP、LSPIV等、最近開発された方法を利用した流量測定技術の精度検証を実施している。

(8) 水位-流量関係の評価及び分析

水位-流量関係の開発、検証、誤差分析等に必要な技術とシステムを研究中である。

(9) 水文資料の品質管理システムの開発

水位、雨量等、実時間に収集される資料の品質を向上させるための方法を開発している。

(10) 蒸発散及び土壌水分の測定技術の開発

流域内の蒸発散並びに土壌水分を測定可能な技術を開発している。

参考文献

- 1) 韓国水資源学会：河川設計基準,2000.
- 2) 社団法人全日本建設技術協会：水文観測,2002.
- 3) ISO：ISO748, Measurement of Liquid Flow in Open Channels-Velocity-area Methods,1997.
- 4) WMO：Manual on Stream Gauging, Vol. I, Field-work, 1980.
- 5) USGS：Measurement and Computation of Stream-flow：Vol. 1. Measurement of Stage and Discharge, Geological Survey Water-supply Paper 2175, 1982.
- 6) V.B. Sauer and R.W. Meyer：Determination of Error of in Individual Discharge Measurement, Open-File Report 92-144, U.S. Geological Survey, 1992.
- 7) Pierce, C.H.：Investigation of methods and equipment used in stream gauging, part 1, Performance of current meters in water of shallow depth：U.S. Geological Survey Water-supply Paper 868-A, p35 1941.

金 源*



韓国建設技術研究院
Dr. Won KIM