



하천흐름의 연직방향 평균유속 결정방법

Method of Determining the Vertical Mean Velocity in the Streamflow

박 승 기*, 김 태 철*, 문 종 필*
Park, Seung-ki, Kim, Tai-cheol, Moon, Jong-pil

Abstract

The study was carried out to review the present method of velocity measurement by the current meter in the streamflow and to suggest a practical method applicable in the field.

It was found that the mean velocity of 0.7m/s was the threshold of velocity distribution in the streamflow. When the mean velocities were lower than 0.7m/s, the distribution of vertical velocity showed the logarithmic one, and when the mean velocities were higher than 0.7m/s, the distribution of vertical velocity showed the straight uniform one.

After the mean velocities obtained by the vertical velocity-curve method were assumed to be true ones, those were compared with the mean velocities obtained by the present methods of discharge measurement which are six-tenths-depth method, two-point, and three-point method. There were not so much differences among the three methods. Two-point method was recommended when the mean velocity was lower than 0.7 m/s. A surface velocity method and measuring the velocity near the water surface and then multiplying it by a coefficient ranging from 0.80 to 0.95, or applying the equation, between surface and mean velocity was recommended when the mean velocity was higher than 0.7m/s.

The mean velocities were appeared at $0.66d$ in average and ranging from $0.54d$ to $0.77d$.

The relationship between the mean velocity and surface, maximum, and bottom velocity were also analysed.

I. 서론

합리적이고 경제적인 이수 및 치수계획 수립

과 수공구조물 설계에 필요한 신뢰성 있는 수문자료를 얻기 위하여 주요 하천유역에서 우량과 수위를 관측하고 있으며, 해당 유역의 수문

* 충남대학교 공과대학

키워드: 연직유속분포, 평균유속측정방법, 침수보정률, 상관관계분석, 등유속선도

해석에 적합한 지점을 선정하여 매년 유량을 측정하고 있다. 그러나, 유량측정 방법의 불합리성, 측정지점 상·하류 유역의 인위적인 변동, 관측지점 선정의 불합리성 등으로 인하여 만족할 만한 성과를 얻지 못하고 있다(건설교통부 1995, 건설교통부, 금강홍수통제소 1995~1997).

일반적으로 유속측정은 하천시설기준(건설부, 1993)에 준하여 평·저수위에서는 유속계를 사용하고, 홍수시에는 봉부자, 표면부자 등을 사용하여, 수로폭에 따라 정한 측선별로 측정한다. 평·저수시 측정에는 수심이 0.6m 이하일 때는 1점법, 수심이 0.6m 이상 1.0m 이하일 때는 2점법, 수심이 1.0m 이상일 때는 3점법으로 측정하여 평균유속을 계산하며, 현장에서 수심을 측정하여 통수단면적을 산정하고 연속방정식에 의하여 유량을 계산한다.

그러나, 유속측정시 유속에 의하여 유속계의 밀려남 현상, 부유물질의 걸림 현상, 유속 측정원의 위험노출 등에 의하여 자연하천에서 실제 적용하기에는 많은 문제점을 내포하고 있어, 유속측정 방법에 대한 개선방안이 연구되고 있다. 이상호 등(1997)은 전자파를 이용한 하천수 표면유속계를 하천유량측정에 사용하여 실용성과 문제점을 분석하였다. 계기자체의 미세한 오차와 바람의 영향은 계속 연구되어야 하지만 하천의 홍수측정에 간편하고 실용적인 대안이 될 수 있음을 확인하였다. 건설교통부(1995)는 염료추적법, 초음파 유속계, 화상처리에 의한 유량측정 및 이동 보트법에 의한 유량측정법에 대한 소개를 하였으며, 유량측정에 소요되는 비용, 설치비, 측정의 숙련도 등의 문제점을 지적하였다.

이 연구에서는 평·저수시에 주로 사용되고 있는 유속계를 이용하여 측정한 금강수계 강경지점의 유속자료를 분석하여, 현행 평균유속 측정방법에 대한 적용성과 표면유속, 최고유

속, 바닥유속 및 평균유속간의 상관관계를 분석하였다.

II. 자료 및 방법

수문자료는 1995년 1월 1일부터 1997년 12월 31일까지 강경 수위관측소에서 관측한 수위자료를 적용하였다. 강경 수위관측소는 1915년 4월부터 보통수위표로 관측을 시작하였고, 1989년 11월 T/M 수위표로 전환되어 황산대교에 이설되었으며, 영점표고는 EL.-0.930m 이다. 강경지점은 유역면적이 9,294.72km²이며 하폭은 1,047m이나, 좌안에서 70~280m 구간에 형성된 저수로로 편중되어 유로가 형성되어 있고, 홍수터는 비닐하우스가 설치되어 홍수시 수제공 역할을 하기 때문에 대부분의 구역이 사수역이다.

1. 유속측정

가. 유속계 검정

유속계는 유량을 측정하는 가장 보편적인 계측기이며, 컵형 또는 프로펠러형이 있다. 주어진 시간동안 회전자의 회전수는 흐름의 유속에 직접 비례하며 회전수와 유속의 관계는 직선형태이다. 이 연구에 적용한 유속계의 제원은 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Specification of current meter used

| Model | Operating range (m/s) | Sounding weight | | Type |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|---------------|-----------|
| | | Weight (kg) | Diameter (cm) | |
| Current Flow Meter BFM.001 | 0.03~7.0 | 16.7 | 8.8 | Propeller |

나. 측선별 유속측정

유속측정은 홍수위 이하의 수위에서 하천시 설기준에 준하여 교량에 설정해 놓은 측선에

서 연직방향으로 0.5~1.0m 간격으로 유속계로 측정하였다. 이 연구에서는 바람에 대한 영향은 무시하며, 침수선 보정은 현장에서 측정된 연직각을 Gupta(1989)가 제시한 침수선 보정표를 적용하여 실시하였다. 홍수전후 측정된 통수단면 측정결과를 적용하여 보완하며, 원래 수심과 밀려난 수심에 대한 비율(침수보정률)과 평균유속에 대한 상관관계를 분석하였다. 수심이 10m 이상되는 경우에도 수압에 대한 영향은 무시하였다.

다. 실제 유속분포도 작성

실제 유속측정자료와 실제 측정수심을 적용하여 실제 유속분포도와 등유속선도를 작성한다. 등유속선도를 통하여 측정지점의 유속분포 특성과 측정시설로 이용하고 있는 교량의 영향에 의한 유속분포를 파악할 수 있을 것이다.

2. 수위변화 및 통수유량 산정

통수유량을 산정하기 위한 기준수위는 유속 측정 시작시점의 수위와 끝나는 시점의 수위를 조사하여 평균수위를 적용하며, 통수단면적은 평균단면법으로 구하였다. 유량은 통수단면적에 평균유속을 곱하여 정한다. 또, 현재 적용되고 있는 1점법, 2점법 및 3점법으로 구한 평균유속을 적용하여 구한 통수유량 값과 비교하였다.

3. 흐름상태

분석에 적용한 흐름상태를 분석하기 위하여 식(1), 식(2)와 같이 Reynold 수와 Froude 수를 구한다. 동점성 계수를 구하기 위한 수온은 강경지점이 금강하류에 위치하여 기온과 수온의 연변화형이 하류형에 속하는 것으로 가정하여 부여 측후소에서 관측한 평균 기온을 적용한다.

$$R_e = \frac{vR}{\nu} \dots\dots\dots(1)$$

$$F_r = v / \sqrt{gh} \dots\dots\dots(2)$$

여기서, R_e 는 Reynolds 수, v 는 유속(m/s), R 는 경심(m), ν 는 동점성계수(m^2/s), F_r 는 Froudes 수, g 는 중력가속도(m/s^2), h 는 평균수심(m)이다.

4. 자연하천의 연직유속분포

가. 유속별 상대깊이의 연직유속분포

수심변화에 따른 객관적인 유속분포를 파악하기 위하여 수심을 식(3)과 같이 상대깊이로 환산하여 유속범위별 연직유속분포를 작성하였다. 유속범위는 0.3m/s 이하, 0.3~0.6m/s, 0.6~0.9m/s, 및 0.9 m/s이상으로 구분한다.

$$D = (d-y)/d \dots\dots\dots(3)$$

여기서 D 는 상대깊이, d 는 실제수심(m), y 는 수면으로 부터 수심(m)이다.

나. 연직유속분포의 유속별 특성

상대깊이에 의한 연직유속분포에 대한 특성을 파악하기 위하여 표면유속(V_a), 최대유속(V_x) 및 바닥유속(V_b)을 평균유속(V_m)에 대한 비율을 산정하고, 표면유속과의 상관관계를 분석하며, 현장에서 유속측정특성을 반영하여 수면아래 0.2D 측정의 유속($V_{0.2}$)과 평균유속과의 관계를 구하였다. 유속분포를 대수분포로 가정할 경우 평균유속은 하상으로 부터 0.4d 가 되는 지점의 유속과 같은 것으로 보고 있지만, 실제의 평균유속보다는 다소 높은 값을 보여주는 것으로 알려져 있다.春日屋(1955)은 평균유속이 발생하는 위치는 수면에서 0.50~0.80에 분포하는 것으로 발표하였고, 평균유속

이 발생하는 지점을 식(4)와 같이 최대유속과의 관계로 유도하였다.

$$\frac{y_m}{d} = \gamma + \sqrt{\gamma^2 - \gamma + \frac{1}{3}} \dots\dots\dots(4)$$

여기서, y_m 은 평균유속이 나타나는 수면 아래 깊이(m), γ 는 최대유속이 나타나는 수면 아래 깊이(m)이다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

이 연구는 평상시 하천유속측정에 주로 사용되고 있는 유속계를 이용하여, 1995년부터 1997년까지 금강수계 강경지점에서 측정한 유속자료를 분석하여, 현행 유속측정에 적용하고 있는 평균유속측정 방법에 대한 적용성을 검토하고 표면유속, 최고유속, 바닥유속 및 평균유속간의 상관관계를 분석하였다.

1. 유속측정

가. 유속계 검정

유속계는 국립건설시험소에서 매년 검정을 받아 사용하였으며, 유속 환산식은 식(5) 와 같다.

$$V = 0.287723 \times N + 0.0033 \dots\dots(5)$$

여기서, V 는 유속(%), N 은 초당 회전수이다.

나. 측선별 유속측정

강경지점의 유속측정은 하천시설 기준(1993)에 의하여 황산대교상에서 측정하였으며, 측정지점의 유하상황에 따라 연직유속분포를 알기 위하여 수면에서 바닥까지 0.5~1.0m 간격으로 측정하였다. 연직유속측정은 <Table 2>와 같이 1995~1997년 동안 10회 44개 측정이고, 기타 측점은 현행의 3점법을 적용하였다. 유속측정 최고수위는 4.72m(EL.+3.79m) 이며, 최저 수위는 2.44m(EL. +1.505m)로 금강호의 관리수위(EL. +1.00 : 7월상순~익년 5월하순) 이상이다. 측정 최대 수심은 13.3m 이고 최저 수심은 2.97m이다.

다. 실제 유속분포도 작성

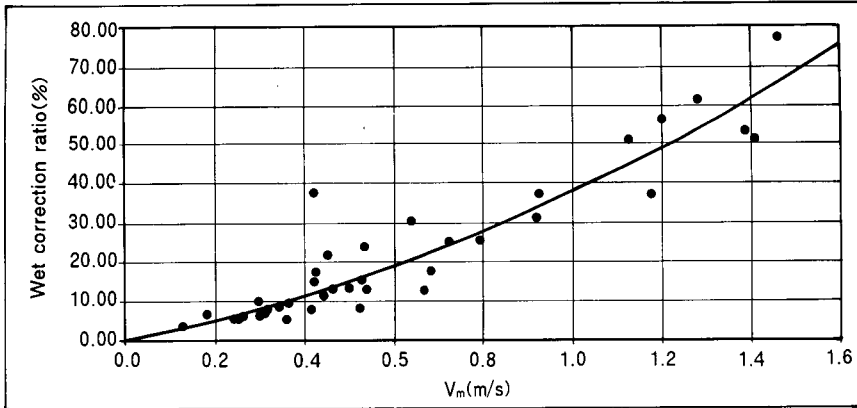
현장에서 측정한 유속은 침수선 보정과 홍수전후 측정한 통수단면 측량결과를 적용하고, 보완하여 실제 유속분포도를 작성하였다.

1) 침수선 보정

유속계로 유속을 측정할 때 빠른 유속에 의한 유속계의 밀려남 현상이 크게 나타난다. 이 연구에 사용한 유속계의 추무게는 16.7kg, 추

<Table 2> Measurement data for the vertical-curve at the Kangkyung station

| No. | Date | Time | | Water level(m) | | | Distance from initial point(m) | | | | | Depth interval(m) | |
|-----|-------------|-------|-------|----------------|------|------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------|-----|
| | | Start | End | Start | End | Mean | | | | | | | |
| 1 | 1995. 7.12. | 22:40 | 00:30 | 2.41 | 2.51 | 2.46 | 110 | 130 | 150 | 170 | 190 | 210 | 0.5 |
| 2 | 1996. 7.16. | 18:50 | 20:30 | 3.05 | 2.87 | 2.96 | 100 | 130 | 180 | 220 | | | 0.5 |
| 3 | 1996. 7.22. | 18:35 | 19:50 | 3.91 | 3.93 | 3.92 | 90 | 100 | 120 | 140 | 180 | 220 | 1.0 |
| 4 | 1996. 7.23. | 01:37 | 02:50 | 3.78 | 3.74 | 3.76 | 90 | 100 | 120 | | | | 0.5 |
| 5 | 1996. 7.23. | 07:50 | 09:00 | 3.32 | 3.24 | 3.28 | 200 | 220 | | | | | 0.5 |
| 6 | 1996. 8.28. | 16:33 | 18:41 | 3.14 | 3.02 | 3.08 | 90 | 120 | 140 | 160 | 220 | 240 | 0.5 |
| 7 | 1996. 8.28. | 22:07 | 23:03 | 2.46 | 2.41 | 2.43 | 90 | 100 | 140 | 160 | 180 | 220 | 1.0 |
| 8 | 1997. 7. 8. | 18:25 | 20:15 | 4.72 | 4.72 | 4.72 | 130 | 220 | | | | | 1.0 |
| 9 | 1997. 7.10. | 20:45 | 22:05 | 3.43 | 3.42 | 3.42 | 90 | 100 | 140 | 180 | 230 | | 1.0 |
| 10 | 1997. 7.31. | 16:11 | 17:15 | 2.90 | 2.88 | 2.89 | 90 | 120 | 140 | 180 | | | 1.0 |



<Fig. 1> Correlation between wet correction ratio and mean velocity

직경은 8.8cm 이다. 침수보정률과 평균유속과의 관계는 분포상태로 보아 비교적 안정적인 상관관계를 보이고 있다. 유속이 0.4m/s 이하일 때는 침수보정률이 10% 미만으로 비교적 안정적이거나, 0.9m/s 이상일 때는 침수보정률이 30% 이상이고, 평균 침수보정률은 21.4%로 평수위에서도 유속측정이 매우 어려움을 보여주고 있다. 침수보정률과 평균유속에 대한 상관관계는 <Fig. 1>과 같으며, 관계식은 식(6)과 같이 구하였다.

$$de = 0.12 + 22.63 \times V_m + 15.2 \times V_m^2$$

(SE : 6.78, R : 0.936).....(6)

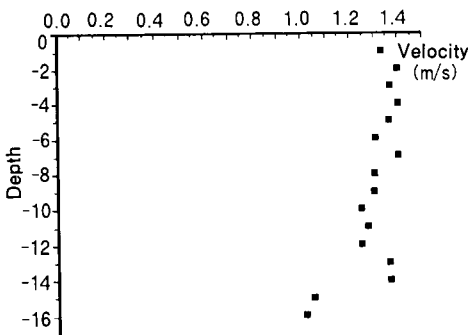
여기서, de 는 침수보정률(%), V_m 은 평균 유속(m/s), SE는 표준오차, R은 상관계수이다.

2) 연직유속분포도에 의한 평균유속

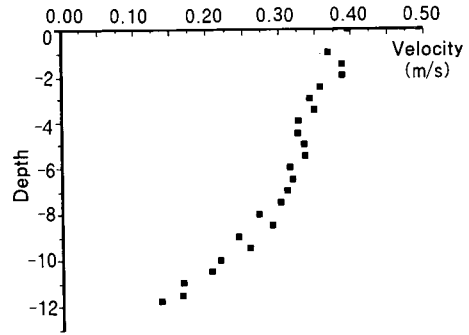
침수선 보정을 실시한 후 매 0.5~1.0m 간격의 다점법으로 실측한 유속자료로 <Fig. 2> 와 같이 연직유속분포도를 작성하여 심프슨의 지거법으로 유적단면적을 구하고 이를 수심으로 나누어 평균유속을 구하였다. 측선의 상황 및 유속에 따라 분포가 불규칙하였으며, 유속이 빠를수록 표면과 바닥의 유속차이가 적었다.

3) 측정단면의 등유속분포도

유속분포의 특성을 파악하기 위하여 <Fig.

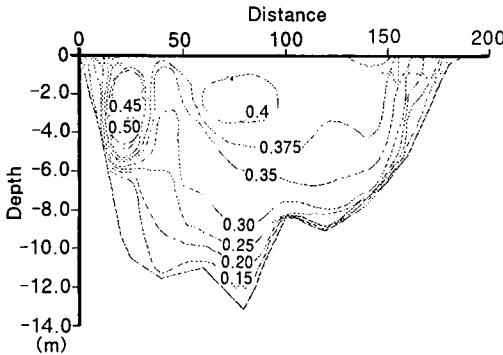


(1996. 7. 22 $V_m=1.298\text{m/s}$)

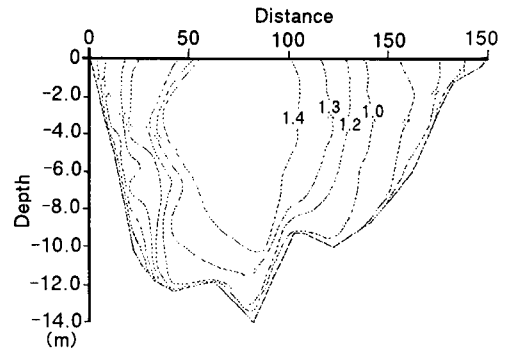


(1996. 8. 28 $V_m=0.300\text{m/s}$)

<Fig. 2> Example of vertical velocity profile at the Kangkyung station



(1996. 8. 28. W.L.: 2.43m, $V_m = 0.375\text{m/s}$)



(1996. 7. 22. W.L.: 3.92m, $V_m = 1.111\text{m/s}$)

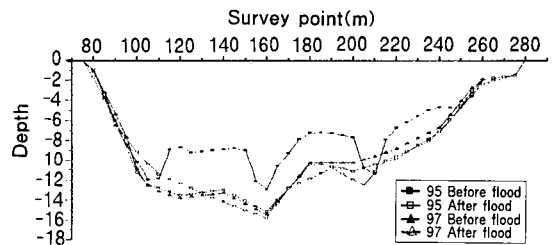
<Fig. 3> Example of equal velocity line at the Kangkyung station

2>과 같이 측정단면의 등유속분포도를 작성하였다. 강경지점이 위치한 황산대교가 좌안으로 만곡되어 흐르기 때문에 좌안 부근의 유속 분포가 우안에 비하여 복잡하다. 특히 좌안과 저수로 첫 번째 교각사이에는 유속의 분포가 매우 복잡하였고, 1996년 8월 28일 자료 중에는 -6.0m 이하에서 유속이 0m/s 인 사수역이 나타나기도 하였다. 유속이 비교적 빠른 1996년 7월 22일의 등유속분포는 수직방향으로 균등한 분포를 나타내고 있으며, 유속이 비교적 느린 1996년 8월 28일의 등유속분포는 수심이 깊어짐에 따라 수평방향으로 균등분포를 나타내고 있다.

2. 수위변화 및 통수유량 산정

가. 통수단면의 변화

강경지점의 하상변동은 1995년 8월 홍수전에는 좌안에서 105~110m, 155~160m, 및 200~205m 측정점의 교각을 중심으로 세굴되었으나, 홍수후 155~160m 지점의 교각을 중심으로 대규모 세굴이 발생하였고 그후 안정적인 하상을 유지하고 있다. 강경지점의 지정 홍수위 이하 통수 단면적 변화는 <Fig. 4>와 같으며, EL.0.0m 이하 단면적 변화는 1995년 홍수

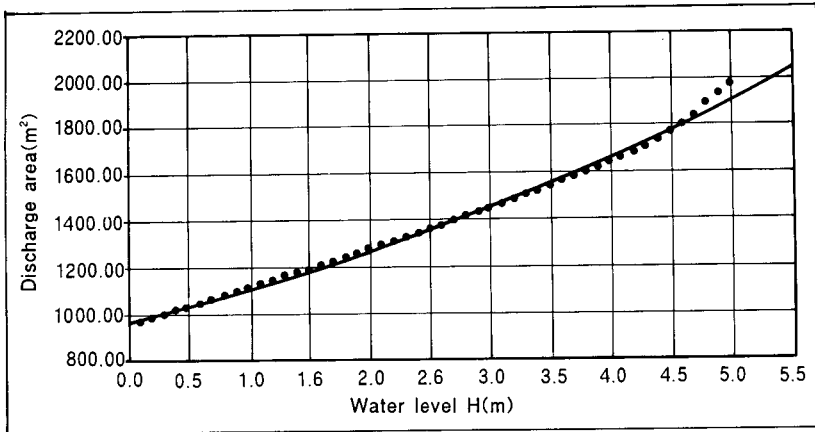


<Fig. 4> Change of river bed section at the Kangkyung

이전은 566.50㎡, 홍수 이후는 1,007.40㎡로 변화하였다. 또한 1996년은 홍수가 발생하지 않아 일부 퇴적이 발생하여, 1997년 홍수 이전은 848.55㎡ 이었다가, 홍수 이후는 989.16㎡로 변화하였다.

나. 유속측정시 수위 및 통수단면적의 변화

이 연구에 적용한 유속측정시 수위의 변화는 0~18cm 이다. 최대 수위변화를 보인 1996년 7월 16일의 경우, 시작수위가 3.05m에서 종료수위가 2.87m로 수위가 18cm 하강하였으나, 통수 단면적은 1522.45㎡에서 1490.57㎡로 31.88㎡의 차이를 보이고 있다. 이는 종료시점의 통수단면적으로 비교하였을 경우 2.1%의 변화를 나타내고 있다. 전반적으로 유속측정시 수위변화에 따른 통수단면적의 변화는 매우 작은 편이다. 이는 강경지점의 저수로 사면이 매우 급경사



(Fig. 5) Relationship between water level and discharge area at the Kangkyung station

를 이루고 있어 수면변화에 대하여 <Fig. 5>와 같이 통수단면적의 변화율이 작게 반영되기 때문이며, 홍수위인 5.0m 이상은 넓게 발달한 홍수터로 인하여 통수단면적의 변화가 매우 크다. 강경 지점의 홍수위 이하 수위-통수단면적 관계는 식(7)과 같다.

$$A = 966.258 \times 1.146^H$$

(SE. : 18.325, R = 0.998).....(7)

여기서 A 는 통수단면적(m^2), H 는 수위(m)이다.

다. 유속측정 방법에 따른 통수유량의 변화 다점법에 의한 연직유속분포도로부터 구한 평균유속을 참값이라고 가정하고, 이 값과 일반적으로 적용되고 있는 3점법, 2점법 및 1점법으로 구한 평균유속을 비교한 결과는 <Table 3>과 같다. 잔차는 연직유속분포도로부터 구한 평

(Table 3) Comparison of discharge determined by several methods for the vertical mean Velocity(V_m)

| No. | Discharge area (m^2) | Vertical velocity-curve method | | Three-point method | | | Two-point method | | | Six-tenth depth method | | |
|------|--------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|------------------|--------------------|-----------|------------------------|--------------------|-----------|
| | | V_m (m/s) | Disch. (m^3/s) | V_m (m/s) | Disch. (m^3/s) | Error (%) | V_m (m/s) | Disch. (m^3/s) | Error (%) | V_m (m/s) | Disch. (m^3/s) | Error (%) |
| 1 | 970.96 | 0.310 | 300.9 | 0.314 | 304.5 | -1.29 | 0.309 | 300.4 | 0.32 | 0.318 | 308.4 | -2.58 |
| 2 | 1495.30 | 0.342 | 510.7 | 0.343 | 512.3 | -0.29 | 0.336 | 502.9 | 1.75 | 0.349 | 521.8 | -2.05 |
| 3 | 1680.17 | 1.111 | 1866.5 | 1.123 | 1887.6 | -1.08 | 1.147 | 1926.9 | -3.24 | 1.100 | 1848.1 | 0.99 |
| 4 | 1650.31 | 0.987 | 1628.9 | 0.983 | 1622.3 | 0.41 | 0.996 | 1643.7 | -0.91 | 0.984 | 1623.9 | 0.30 |
| 5 | 1648.43 | 0.688 | 1134.1 | 0.668 | 1134.1 | 2.91 | 0.697 | 1148.9 | -1.31 | 0.679 | 1118.5 | 1.31 |
| 6 | 1516.46 | 0.295 | 447.3 | 0.286 | 434.2 | 3.05 | 0.286 | 433.2 | 3.05 | 0.289 | 438.0 | 2.03 |
| 7 | 1399.59 | 0.357 | 500.3 | 0.350 | 484.4 | 1.96 | 0.365 | 511.3 | -2.24 | 0.327 | 457.9 | 8.40 |
| 8 | 1785.35 | 1.516 | 2706.5 | 1.534 | 2737.9 | -1.19 | 1.566 | 2796.5 | -3.30 | 1.512 | 2700.3 | 0.26 |
| 9 | 1528.59 | 0.888 | 1358.1 | 0.894 | 1366.2 | -0.68 | 0.894 | 1366.2 | -0.68 | 0.893 | 1365.8 | -0.56 |
| 10 | 1432.64 | 0.321 | 459.6 | 0.321 | 459.6 | 0.00 | 0.330 | 458.9 | -2.80 | 0.338 | 484.6 | -5.30 |
| Mean | | 0.682 | | 0.682 | | 0.38 | 0.693 | | -0.94 | 0.679 | | 0.28 |

균유속과 각각의 평균유속 측정방법으로 구한 유속과의 차이에 대한 비율이다.

3점법으로 구한 평균유속과 다점법에 의한 연직유속분포도 방법으로 구한 평균유속과 비교한 결과 잔차는 -1.29%~3.05% 범위이며, 평균치는 0.38%로 3점법으로 구한 평균유속이 약간 느린 편이다. 2점법으로 구한 평균유속과 다점법에 의한 연직유속분포도 방법으로 구한 평균유속과 비교한 결과 잔차는 -3.24%~3.05% 범위이며, 평균치는 -0.94%로 2점법으로 구한 평균유속이 약간 빠른 편이다. 1점법으로 구한 평균유속과 다점법에 의한 연직유속분포도 방법으로 구한 평균유속과 비교한 결과 잔차는 -5.30%~8.04% 범위이며 평균치는 0.28%로 1점법으로 구한 평균유속이 약간 느린 편이다. 잔차범위는 3점법, 2점법, 1점법 순으로 안정적이었으나, 측정값의 정도는 대체로 비슷한 결과였다. 이것은 Savini and Bodhaine(1971)이 평균유속을 2점법으로 측정할 값과 10점법에 비하여 0.7%의 오차를 갖는 것으로 조사한 결과와 유사한 결과이다.

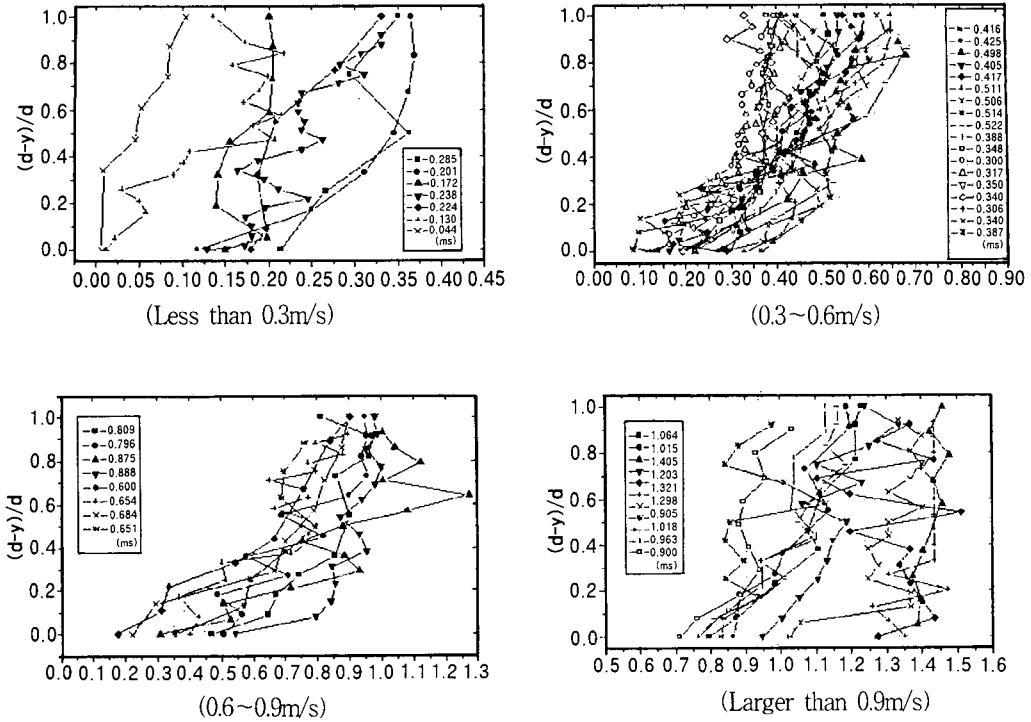
따라서, 1점법에 의한 유속측정만으로도 현행의 평·저수시 수심이 0.6m 이하 1점법, 수심 0.6~1.0m 2점법, 수심 1.0m 이상일 때는 3점법으로 측정하는 방법의 필요성에 대한 재검토가 요구된다.

3. 흐름특성

흐름특성을 파악하기 위하여 Reynold수와 Froude수를 <Table 4> 와 같이 구하였다. 평균수위표 수위는 2.46m~4.72m, 통수단면적은 971.0m²~1785.4m², 유속은 0.294m/s~1.516m/s 이다. 유변은 자연하천에서 수면장을 적용하나, 이 연구에서는 하상의 변화를 고려하기 위하여 단면측정 결과를 적용하였으며, 그 값은 176m~224.6m이다. 경심은 5.29m~8.77m로 상당히 큰 값이며, 동점성계수는 부여측후소의 7월, 8월 평균기온인 25.4℃의 값 0.00891cm²/s를 적용하였다. 산정한 Reynold수는 1.3×10⁶~10.4×10⁶ 값으로 측정값 모두 난류상태였으며, Froude수는 0.032~0.172 값으로 상류특성을

(Table 4) Hydraulic characteristics for the observed flows

| No. | Mean W.L.(m) | V _m (m/s) | Discharge area(m ²) | Discharge (m ³ /s) | Wetted perimeter (m) | Hydraulic depth (m) | Reynold Number | Froude Number |
|-----|--------------|----------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------|----------------|---------------|
| 1 | 2.46 | 0.310 | 970.96 | 300.89 | 183.6 | 5.29 | 1,840,516 | 0.043 |
| 2 | 2.96 | 0.342 | 1495.30 | 510.73 | 203.2 | 7.36 | 2,825,050 | 0.040 |
| 3 | 3.92 | 1.111 | 1680.17 | 1866.45 | 201.8 | 8.33 | 10,386,790 | 0.122 |
| 4 | 3.76 | 0.987 | 1650.31 | 1628.86 | 200.7 | 8.11 | 8,983,804 | 0.111 |
| 5 | 3.28 | 0.688 | 1648.43 | 1134.07 | 187.9 | 8.77 | 6,771,896 | 0.074 |
| 6 | 3.08 | 0.294 | 1516.46 | 447.27 | 180.2 | 8.42 | 2,778,316 | 0.032 |
| 7 | 2.43 | 0.357 | 1399.59 | 500.28 | 176.0 | 7.95 | 3,185,353 | 0.040 |
| 8 | 4.72 | 1.516 | 1785.35 | 2706.49 | 224.6 | 7.95 | 1,352,699 | 0.172 |
| 9 | 3.42 | 0.888 | 1528.59 | 1358.10 | 193.2 | 7.42 | 7,395,016 | 0.104 |
| 10 | 2.89 | 0.321 | 1432.64 | 459.63 | 178.7 | 8.55 | 3,080,303 | 0.035 |



<Fig. 6> Actual velocity profile of the relative depth for the mean velocity ranges at the Kangkyung station

보이고 있다.

4. 자연하천의 연직유속분포

가. 유속별 상대깊이의 연직유속분포

수심변화에 따른 객관적인 유속분포를 파악하기 위하여 수심을 상대깊이로 환산하여 <Fig. 6>과 같이 평균유속별 연직유속분포를 작성하였다. 적용한 유속범위는 0.3m/s 이하, 0.3~0.6m/s, 0.6~0.9m/s, 및 0.9 m/s 이상으로 구분하였다. 평균유속이 0.3m/s 이하에서는 측정지점의 상황에 따라 매우 불규칙하게 나타났고, 평균유속이 0.3~0.6m/s 에서는 비교적 안정적인 대수분포형을 보이고 있으며, 평균유속이 0.6~0.9m/s 에서는 유속의 분포가 매우 불규칙하였으나, 전반적으로 대수분포형을 보였다. 0.9m/s

이상에서는 일반적인 대수분포형이 무시되었고, 표면유속과 바닥유속의 차가 매우 작게 나타났으며, 거의 수직적인 분포형을 나타냈다.

나. 연직유속분포의 표면유속, 최대유속, 평균유속 및 바닥유속의 특성

1) 평균유속과 유속요소와의 관계

상대깊이로 나타낸 연직유속분포에 대한 특성을 파악하기 위하여 표면유속(V_a), 최대유속(V_x), 바닥유속(V_b) 및 현장에서 유속측정특성을 반영하여 수면아래 0.2D 측정점의 유속($V_{0.2D}$)을 평균유속(V_m)에 대한 비율을 <Table 5>와 같이 평균유속분포별로 구분하여 산정하였다.

평균유속에 대한 각각의 유속요소 비는 평균유속이 0.3m/s 이하에서 표면유속은 1.13이고, 바닥유속은 0.67이며, 평균유속이 0.3~0.6m/s에서 표면유속이 1.149이고, 바닥유속은

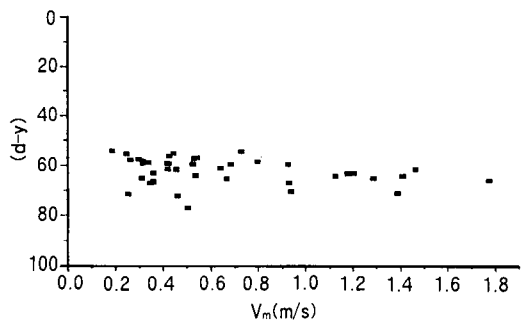
<Table 5> Ratio between the mean velocity and surface, maximum, bottom and 2.0D velocity

| Range of mean velocity | Division | Surface velocity (V_s) | Maximum velocity (V_x) | Bottom velocity (V_b) | Velocity of 2.0D ($V_{0.2}$) |
|------------------------|----------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Less than 0.3m/s 이하 | Mean | 1.130 | 1.180 | 0.670 | 1.130 |
| | Maximum | 1.260 | 1.280 | 0.810 | 1.275 |
| | Minimum | 0.890 | 1.110 | 0.410 | 0.984 |
| 0.3~0.6m/s | Mean | 1.149 | 1.229 | 0.523 | 1.197 |
| | Maximum | 1.470 | 1.470 | 0.820 | 1.393 |
| | Minimum | 0.880 | 1.080 | 0.230 | 0.974 |
| 0.6~0.9m/s | Mean | 1.252 | 1.252 | 0.480 | 1.238 |
| | Maximum | 1.390 | 1.390 | 0.810 | 1.359 |
| | Minimum | 1.170 | 1.170 | 0.240 | 1.169 |
| Larger than 0.9 m/s | Mean | 1.009 | 1.063 | 0.845 | 1.035 |
| | Maximum | 1.050 | 1.270 | 0.970 | 1.075 |
| | Minimum | 0.950 | 1.010 | 0.330 | 0.995 |
| Total | Mean | 1.120 | 1.180 | 0.620 | 1.150 |
| | Maximum | 1.470 | 1.470 | 0.970 | 1.390 |
| | Minimum | 0.880 | 1.010 | 0.230 | 0.970 |

0.523이며, 평균유속이 0.6~0.9m/s에서 표면유속이 1.252이고, 바닥유속은 0.480이며, 평균유속이 0.9m/s이상에서 표면유속이 1.009이고, 바닥유속은 0.845이었다. 이와 같은 결과로 평균유속이 0.6~0.9m/s에서 표면유속과 바닥유속의 차가 2.6배로 유속분포의 굴곡도가 가장 컸으며, 평균유속이 0.9 m/s 이상에서 표면유속과 바닥유속의 차가 1.2배로 거의 직선분포에 가까웠다. Rankine은 연직유속곡선의 요소를 보통 수로에서 $V_a : V_m : V_b = 5 : 4 : 3 = 1.25 : 1 : 0.75$, 완만한 수로에서 $V_a : V_m : V_b = 4 : 3 : 2 = 1.33 : 1 : 0.66$ 의 값을 주고 있다(강주복 외, 1998). Rankine의 연구 결과는 보통 수로 보다 완만한 수로의 표면유속과 바닥유속의 차가 큰 것으로 판단할 수 있으며, 이러한 현상은 이 연구의 결과와 같다.

2) 평균유속발생 축심분포

평균유속이 나타난 축심은 <Fig. 7>과 같다. 이 수면에서 $0.54d \sim 0.77d$ 이며 축정값의 평

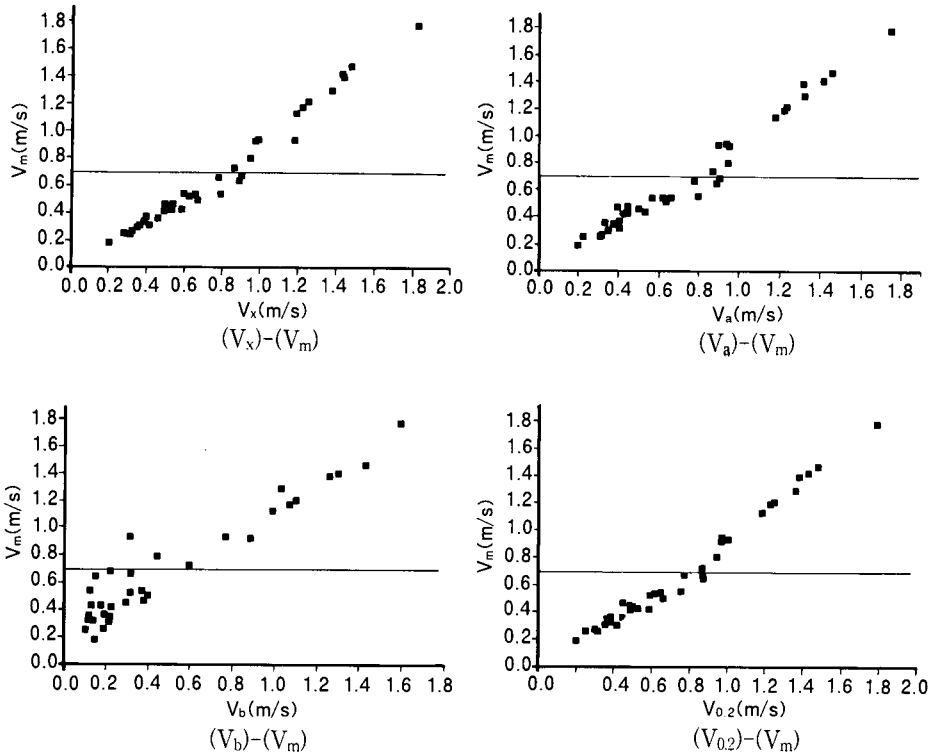


<Fig. 7> Observed relative depths of the mean velocities

균은 $0.66d$ 이며, 유속분포를 대수분포로 가정할 경우의 평균유속 발생축심인 $0.6d$ 보다 약간 깊은 지점에서 나타났다. 또春日屋(1955)의 평균유속발생지점 연구결과인 $0.50d \sim 0.80d$ 와 비슷한 결과를 보여주고 있다.

3) 평균유속과 유속요소와의 상관관계

연직유속분포에 대한 특성에 대한 일반화를 위하여 표면유속(V_a), 최대유속(V_x), 바닥유



(Fig. 8) Relationship between the mean velocity and surface, maximum, bottom and 0.2D velocity

(V_b) 및 수면아래 0.2D 측정점의 유속($V_{0.2}$)을 평균유속(V_m)의 상관관계도를 <Fig. 8> 과 같이 작성하였다. 상관관계도에서 유속요소들은 평균 유속 0.7m/s를 중심으로 변곡을 이루고 있다.

다. 연직유속분포의 적용

<Fig. 6>의 평균유속별 연직유속분포도와 <Table 5>의 평균유속에 대한 각각의 유속요소비 및 <Fig. 8>과 같이 평균유속과 유속요소와의 상관관계도를 고려하여 평균유속 0.7m/s는 연직 방향 유속분포의 변이를 나타내는 한계유속으로 정하였다. 즉, 평균유속이 0.7m/s 이하이면 전형적인 대수분포를 보였지만, 평균유속이 0.7m/s 이상이면 표면유속과 바닥유속의 차가 매우 작은 거의 균일한 수직분포를 보였다.

하천시설기준(건설부 1993)에는 수심 0.6m 이하일 때는 1점법, 수심 0.6m~1.0m 일 때는 2점

법, 수심 1.0m 이상일 때는 3점법으로 측정할 것을 규정하고 있으나, 수심크기 보다는 평균 유속의 크기에 따라 측심을 결정하는 방법을 추천하고자 한다. 즉, <Table 3>의 유속측정 방법별 통수유량비교에서 측정값의 정도를 고려할 때 평균유속 0.7m/s 이하일때는 2점법에 의한 평균유속이 적합할 것으로 추천한다. 평균유속 0.7m/s 이상일 때에는 침수보정률이 크고, 수심이 깊고 수위가 급상승하는 등 현장 작업여건이 불리한 점을 고려하여 유속계로 표면유속을 측정하여 Chow(1959)가 제시한 보정계수 0.80~0.95를 곱하거나, 유속별 보정계수를 곱하여 평균유속을 결정하는 방법을 추천한다. 유속별 보정계수는 금강수계<Fig 8>의 표면유속(V_a)과 평균유속(V_m)과의 관계 $V_m = -0.156 + 1.105 \times V_a$ 로부터 계산하였으며 <Table 6>과 같다.

(Table 6) Coefficient of the velocity ranges at the Kangkyung station

| | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Velocity (m/s) | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4s |
| Coefficient | 0.88 | 0.91 | 0.93 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.99 |

IV. 결론

유속계를 이용하여 측정한 평·저수위 유속 자료를 분석하여, 현행 적용하고 있는 평균유속 측정방법의 적용성을 검토하였고, 현장조건에 적합한 측정방법을 제시하였다.

평균유속별 연직유속분포도, 평균유속에 대한 유속요소비 및 평균유속과 유속요소와의 상관관계를 고려할 때 평균유속 0.7m/s 에서 연직방향 유속분포가 확실히 다르게 나타나 이를 한계유속으로 정하였다. 즉, 평균유속이 0.7m/s 이하이면 전형적인 대수분포를 보였고, 평균유속이 0.7m/s 이상이면 표면유속과 바닥유속의 차가 매우 작은 거의 균일한 수직분포를 보였다.

다점법에 의한 연직유속분포도로부터 구한 평균유속을 참값이라고 가정하고, 이 값과 현행의 3점법, 2점법, 1점법으로 구한 평균유속과 비교한 결과, 잔차범위는 3점법, 2점법, 1점법 순으로 안정적이었으나, 의미있는 차이는 없었다. 따라서, 평균유속 0.7m/s 이하일 때에는 2점법에 의한 평균유속이 적합할 것으로 추천한다.

평균유속 0.7m/s 이상일 때에는 수심이 깊고 수위상승이 급격하고 침수보정률이 큰 점등 현장 작업조건이 열악한 상태에서 2점법 이상의 측정을 실시하는 것보다, 표면유속만을 측정하여 0.80~0.95의 보정계수를 곱하거나, 평균유속-표면유속 관계식을 적용하여 평균유속을 구하는 방법을 추천한다.

관측된 평균유속은 0.54d ~0.77d 에 나타났으며 평균적으로는 0.66d 이었으며, 유속분포를 대수분포로 가정할 경우의 0.6d 보다 약간

깊은 지점에서 나타났다.

참고문헌

1. 강주복, 임병대, 민병형, 1998. 수리학, 기문당.
2. 건설부, 1993. 하천시설기준.
3. 건설교통부, 1995. 유량관측 개선방안 연구조사.
4. 건설교통부, 금강홍수통제소 1995. 금강하류지역 유량조사 및 곡선개발.
5. 건설교통부, 금강홍수통제소 1997. 금강수계 주요지점 유량측정조사.
6. 건설교통부, 금강홍수통제소 1997. 금강수계 유량측정조사 보고서
7. 권오현, 1994. 수자원공학. 새론, pp.607~634.
8. 이상호, 김우구, 김영성 1997. 전자과 표면 유속계의 하천유량측정에 관한 실용성. 한국수자원학회논문집, 제30권, 제6호, pp.671~678.
9. Chow. V. T. 1959. Open channel Hydraulics. Mc Graw-Hill Book co., pp.19~38
10. Gupta, R. S 1989. Hydrology and Hydraulic Systems, Prentice-Hall, pp.248
11. Lencastre, A. 1987. Handbook of Hydraulic Engineering, John Wiley & Sons, pp.134~151.
12. Savini, J., G. and L. Bodhaine. 1971. Analysis of Current-meter Data at Columbir River Gaging Station, Water Supply Paper 1869-F, U. S. Geological Survey, Washington, D.C.
13. Wardle, D. G. 1964. International Course in Hydraulic Engineering Introduction to River Engineering. Delft, pp.56~69.
14. 永井莊七郎 1964. 水理學, 일본, pp.62~66.
15. 春日屋伸昌 1953. 開水路における垂直流速曲線について, 土木學會誌, Vol.38, No.9.
16. 春日屋伸昌 1955. 開水路の垂直流速曲線における平均流速の位置の分布性について, 土木學會誌, Vol.40, No.5.