

하천흐름속도의 로그형수직분포계산모형에 대한 연구

김 영 일

지금까지 하천에서 흐름속도의 수직분포에 대한 수많은 공식들이 제기되었다.

그중에서 대표적인 공식들로는 속도분포의 로그공식, 지수공식, 팔매선공식, 타원공식들을 들 수 있다.[1, 2] 이 공식들은 모두 리용에서 일련의 제한성을 가지고 있다.

첫째로, 이 공식들이 평면등류의 속도분포에 타당한 공식들로서 그밖의 다른 흐름조건에서는 정확한 속도분포값을 기대하기가 어렵다.

둘째로, 이 공식들에 의하여 얻어지는 최대흐름속도점은 항상 물결면에 놓인다는 것이다.

셋째로, 이 공식들에 의하여 얻어지는 흐름속도값들은 일반적으로 실측값보다 다소 큰 것이다.

위의 공식들중에서 정확도가 높고 가장 많이 쓰이는것은 로그공식이다.

국내외적으로 널리 리용하고있는 하천흐름속도수직분포의 로그공식은 다음과 같다.[1]

$$V = \bar{V} \left[1 + \frac{\sqrt{g}}{\chi^c} (1 + \ln \eta) \right] \quad (1)$$

여기서 V 는 강바닥으로부터 z 만한 높이에서의 흐름속도(m/s), \bar{V} 는 수직평균흐름속도(m/s), g 는 중력가속도(m/s²), χ 는 카르만상수, c 는 쉐지결수, $\eta = z/h$ 는 상대물깊이, h 는 물깊이(m)이다.

이 공식은 유도과정에 강바닥에서의 접선응력 τ_0 이 전체 물깊이 h 에서 일정하다고 가정한 기초우에서 작성한것이다.

사실상 접선응력은 깊이 h 에 따라 $\tau = \gamma i(h-z)$ 의 분포법칙으로 변화된다. 공식으로부터 알 수 있는바와 같이 접선응력 τ 는 $z=0$ (강바닥)에서는 최대값을 가지며 물면으로 올라가면서 점차 감소되어 $z=h$ (물면)에서는 령으로 된다.

그러므로 흐름속도의 수직분포모형에서 강바닥의 접선응력을 전체 깊이에서 동일하다고 보고 상수로 취하지 말고 깊이에 따르는 변화관계를 고려하여야 한다.

이로부터 논문에서는 접선응력의 수직분포를 고려한 정확도가 높은 흐름속도의 수직분포계산공식을 연구문제로 설정하였다.

1. 깊이에 따르는 흐름속도분포계산모형작성

일반적으로 하천흐름의 접선응력은 막흐름접선응력과 점성접선응력의 합으로 표시된다. 자연하천흐름은 막흐름이며 이러한 막흐름에서 막흐름접선응력 $\tau_{\text{막}}$ 은 점성접선응력 $\tau_{\text{점}}$ 에 비하여 상대적으로 매우 크다. 즉

$$\tau_{\text{막}} \gg \tau_{\text{점}} \quad (2)$$

이로부터 점성접선응력을 무시하면 총접선응력 τ 는 다음과 같이 표시된다.

$$\tau \approx \tau_{\text{탁}} = \rho l^2 \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \quad (3)$$

여기서 ρ 는 물의 밀도(kg/m^3), l 은 혼합거리(m), V 는 강바닥으로부터 높이 z 에서의 흐름 속도(m/s)이다.

l 은 강바닥으로부터의 높이 z 에 따라 변하는 값인데 다음과 같이 표시된다.

$$l = \chi z \quad (4)$$

이 식을 식 (3)에 대입하고 정리하면

$$\frac{\partial V}{\partial z} = \frac{1}{\chi z} \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \quad (5)$$

여기서 파라미터 χ 는 보통 0.4를 취한다.

한편 강바닥으로부터 z 만한 높이에 놓여있는 임의의 물층의 접선응력의 수직분포는 다음식으로 표시된다.[1]

$$\tau = \tau_0 \left(1 - \frac{z}{h} \right) \quad (6)$$

여기서 $\tau_0 = \gamma h i$ 는 강바닥의 접선응력, h 는 물깊이(m), γ 는 물의 비중, i 는 강바닥물매이다.

식 (6)을 식 (5)에 대입하고 $z/h = \eta$, $\bar{V} = c\sqrt{hi}$ 관계를 리용하면 다음과 같은 속도분포 공식을 얻는다.

$$V = V_0 - \frac{\bar{V}\sqrt{g}}{\chi c} \left[\ln \left(\frac{1 + \sqrt{1 - \eta}}{1 - \sqrt{1 - \eta}} \right) - 2\sqrt{1 - \eta} \right] \quad (7)$$

여기서 V_0 은 물결면흐름속도(m/s), η 는 상대물깊이($\eta = z/h$), z , h 는 각각 강바닥으로부터 고찰하는 점까지의 높이 및 물깊이(m)이다.

물결면흐름속도 V_0 은 평균흐름속도 \bar{V} 와 다음의 관계를 가진다.

$$\bar{V} = kV_0 \quad (8)$$

우리 나라 하천들에서 물결면흐름속도결수 k 는 다음과 같다.

$$k = 1 - \frac{0.502}{k_0^{0.51}} \quad (9)$$

여기서 k_0 은 하천의 상대거칠음을 표시하는 결수로서 다음과 같이 표시된다.

$$k_0 = \frac{\bar{V}}{\sqrt{ghi}} \quad (10)$$

이 식들을 리용하여 계산한 흐름속도결수값들은 0.82~0.91의 범위안에 놓인다.

계산실험의 방법으로 다음의 식을 얻을수 있다.

$$V_0 = \bar{V} \left(1 + \frac{\sqrt{g}}{\sqrt{\chi c}} \right) \quad (11)$$

식 (11)을 식 (7)에 대입하고 정리하면

$$V = \bar{V} \left\{ \left(1 + \frac{\sqrt{g}}{\sqrt{\chi c}} \right) - \frac{\sqrt{g}}{\chi c} \left[\ln \left(\frac{1 + \sqrt{1-\eta}}{1 - \sqrt{1-\eta}} \right) - 2\sqrt{1-\eta} \right] \right\} \quad (12)$$

이 식은 강바닥에서의 점선응력 τ_0 의 크기가 전체 깊이에서 변하지 않는다고 보고 상수로 처리하여 얻은 식 (1)의 제한성을 극복하고 깊이에 따르는 점선응력의 영향을 고려한 하천 흐름속도분포의 로그공식이다.

2. 모형의 정확도평가

식 (12)의 실용성을 검토하기 위하여 여러 관측지점들의 실측자료와 비교분석하였다.(표)

$\frac{V}{\bar{V}}$	표. 깊이에 따르는 상대흐름속도비교(m/s)					
	상대물 깊이					겉면 1.0h
	바닥 0.005h	0.2h	0.4h	0.6h	0.8h	
식 (13)	0.53	0.88	1.03	1.10	1.15	1.16
식 (1)	0.48	0.84	1.02	1.12	1.20	1.26
실측값		0.86	1.03	1.10	1.13	

표에서 보는바와 같이 선행한 흐름속도분포공식 (1)의 계산결과는 바닥부근에서 실측값보다 약간 작으며 물겉면부근에서는 전반적으로 크다. 그 상대오차는 약 2~10% 정도이다.

논문에서 제기한 식 (12)는 강바닥부근과 물면부근에서 약 2% 정도의 오차를 가지며 전반적으로는 실측자료와 매우 잘 일치한다. 강바닥부근에서 최대오차는 2%, 전체 깊이에서 평균오차는 1% 정도이다.

보는바와 같이 논문에서 제기한 식 (12)는 선행식 (1)에 비하여 정확도가 1~8% 더 높으며 평균 2.5% 높다.

맺는 말

하천 흐름의 속도마당계산에 적용되는 새로운 흐름속도의 수직분포계산모형을 제기하였다.

이 모형은 흐름속도의 수직분포특성을 잘 반영하고있으며 따라서 하천과 저수지에서의 속도마당계산에 효과적으로 적용할수 있다.

참고 문헌

- [1] 김영일 등; 하천동력학, 김일성종합대학출판사, 43~49, 주체99(2010).
- [2] Andr. Robert; River Processes, Oxford University, 27~38, 2003.

Study on Logarithmic Calculation Model of Velocity Vertical Distribution in the River

Kim Yong Il

In this paper suggested a new logarithmic calculation model of velocity vertical distribution and estimated the definitude of that model.

This model expertly reflected the vertical distribution property of the stream velocity, the average error less than 1 percent.

Key words: the velocity of stream, vertical distribution, calculation model