

국내 하천의 조도계수 특성 분석

Analysis of Roughness Coefficients of Domestic Rivers

김용전*, 이찬주**, 김지성***, 김원****

Yong Jeon Kim, Chan Joo Lee, Ji Sung Kim, Won Kim

요 지

본 연구는 국내하천을 대상으로 하천의 단면 형상 및 수위, 유량자료를 실측하여 유량 변화에 따른 조도계수를 산정하고, 하상 재료와 하천 규모에 따른 조도계수를 비교 분석하였다. 실측 자료는 다양한 유량 변화 자료를 얻을 수 있는 2007년 6월에서 9월 사이에 이루어졌으며, 대상 하천의 조도계수는 미국 지질조사국의 NCALC 모형을 이용하여 산정하였다. 조사 지점은 하상재료가 거석으로 이루어진 섬진강(곡성), 호박돌로 이루어진 평창강(방림), 달천(괴산), 홍천강(서면), 금강(현도1, 현도2)과 자갈·모래로 구성된 금강(이원) 지점, 모래하천인 내성천(평은) 그리고 도시하천인 탄천(북정)으로 총 9개 지점에서 이루어졌다. 조사 결과 모든 하천의 조도계수는 유량 증가에 따라 감소하면서 일정한 값으로 수렴하는 경향을 보였으며, 하상 입경과 규모에 따라 서로 다른 범위의 조도계수를 나타냈다. 가장 큰 조도계수의 범위를 보이는 곳은 하상재료가 큰 섬진강(곡성)과 홍천강(서면), 달천(괴산) 지점이었으며, 모래하천인 내성천(평은)과 도시하천인 탄천(북정)은 가장 작은 조도계수의 범위를 보였다. 또한, 하상 재료 특정입도(d_{16} , d_{50} , d_{84} , d_w)가 흐름저항에 미치는 영향을 분석하기 위하여 Limerinos에 의해 제안된 상대조도를 분석한 결과, 하상재료의 특성이 상이하게 다른 섬진강(곡성)과 내성천(평은), 탄천(북정)을 제외하고 하상재료와 상대조도 사이에서의 관계식을 산정할 수 있었다.

핵심용어 : 조도계수, 하상재료, 실측자료, 상대조도

1. 서 론

조도계수는 하천수위와 유속계산 등 흐름해석에 큰 영향을 미치므로 정확한 조도계수의 산정은 홍수위 산정, 하천 시설물의 설계, 호안의 안정성 평가 등을 수행함에 있어 매우 중요하다. 우리나라 하천법에서는 하천정비기본계획의 수립시에 치수 목적을 위해 빈도별 홍수위를 계산하여 제방 축조 등에 활용하도록 되어 있으며, 이를 위해 조도계수의 산정은 필수적이다. 최근 국내에서는 조도계수를 보다 객관적으로 산정하기 위하여 하도 특성에 따라 구간을 분리하고 부정류 모형을 적용함으로써 실측수위와 계산수위의 차가 최소가 되는 최적 조도계수 산정에 관한 연구가 수행되었다(김원 등, 1995; 황의준, 전경수, 1997; 이정규, 이창현, 2004). 이러한 연구들은 조도계수를 다양한 유량규모에 따라 산정함으로써 연구결과의 활용성을 증가시켰다. 다만 수위 실측자료가 많은 한강하류부에 국한되어 수행되었고 실측수위자료가 없는 하천에서의 적용은 불가능한 한계를 가진다. 이신재와 박상우(2006)는 실측수위가 없는 자갈하천에서 조도계수 산정에 관한 연구를

* 한국건설기술연구원 하천·해안연구실 석사후연구원·E-mail : wasu3ri@kict.re.kr

** 한국건설기술연구원 하천·해안연구실 연구원·E-mail : c0gnitum@kict.re.kr

*** 한국건설기술연구원 하천·해안연구실 박사후연구원·E-mail : jsungk@kict.re.kr

**** 한국건설기술연구원 하천·해안연구실 책임연구원·E-mail : wonkim@kict.re.kr

수행하였다. 이 연구는 하천 흐름저항이 하상재료의 특정입도에 의한 영향으로 간주한 기존 연구 결과로부터 벗어나 등가조도(k_s)를 산정하는 방법을 제안하였으며, 정상동류 모형을 이용하여 반복해법으로 수위를 산정하였다. 산정된 수위를 사용하여 기존 연구와 동일하게 부정류모형을 이용하여 조도계수를 역산함으로써 유량규모에 따른 조도계수를 산정하였다. 이들 연구결과로부터 조도계수는 유량 또는 수심이 증가함에 따라 장애물의 잠김, 사행의 소멸 등으로 감소하는 일반적인 경향을 보이며, 홍수시의 조도계수와 저갈수시의 조도계수는 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 하지만 기존 하천정비기본계획에서 제공하고 있는 조도계수 값은 홍수위 산정에 초점이 맞추어져 있을 뿐만 아니라, 유량이나 수심에 따른 조도계수의 변화가 거의 고려되지 않는 관계로 저수시의 적용이 곤란하다.

본 연구에서는 국내 하천을 대상으로 하천의 종단 및 횡단 형상과 수위, 유량 등을 실측하여 넓은 범위의 수위와 유량에 대한 조도계수를 직접 산정하고, 하천 형태와 하상 재료에 따른 조도계수의 범위를 비교하였다.

2. 조사 대상 하천

본 연구의 대상하천은 하상재료에 의한 영향을 극대화하기 위해 지류 유입이 없는 가급적이면 직선형 하도 구간(하폭의 5~7배 길이)을 선정하였다. 또한 구간 내에서는 균일하며 다른 하천과는 차별화된 하상재료를 갖도록 선정하였으며, 하도 특성, 종단특성을 균일하게 하고 식생 영향을 최소화하기 위해 단단면, 규칙적인 강터 형상을 가진 지점, 보, 교량이 없고 여울-소가 일정한 구간, 식생이 없는 구간 등을 기준을 고려하여 최종 9개의 지점을 선정하였다(표 1).

표 1. 대상 하천 특성과 하상재료 입경 크기

대표특성	하천	지점명	하상재료	입경크기			직선거리 (m)	제방폭 (m)	거리/하 폭	장점
				d_{16} (mm)	d_{50} (mm)	d_{84} (mm)				
거석	섬진강	곡성	거석/호박돌	108.8	267	702.2	1,500	160	9.6	산지에 의해 지배
호박돌	평창강	방림	호박돌	66.4	126.6	224.4	1,000	120	8.3	선형양호
	달천	괴산	호박돌	69.1	137.7	242.4	1500	120	12.5	시험하천 운영
	금강	현도1	호박돌	31.8	67.7	126.9	2,000	200	10.0	만곡형
	금강	현도2	호박돌	72.6	133.8	205.5	1,050	300	3.5	식생 사주영향
	홍천강	서면	호박돌	35.1	65.4	134.4	1,100	280	4.0	호박돌 사주
자갈모래 혼합	금강	이원	자갈/모래	2.8	35.6	106.2	1,090	260	4.2	하상재료, 복단면
모래	내성천	평은	모래	0.8	2.8	5.0	1,200	180	6.7	선형 양호
도시하천	탄천	북정	자갈/모래	1.7	22.8	62.5	1,100	160	6.9	선형양호,복단면

2.1 조도계수 산정을 위한 실측 자료 수집

실측에 의해 조도계수를 산정하려면 조도계수를 산정할 구간에 대해 측량을 수행하고 수위계

를 설치한 후 수위와 유량을 실측하여야 한다. 넓은 수위 범위에 대한 조도계수를 실측하려면, 하천의 수위가 크게 변동하는 여름철에 수위와 유량을 측정하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 조도계수 실측을 위한 단면과 수준 측량을 시행하였고 2007년 홍수기 전에 수위계를 설치하였다.

3. 조도계수 산정 방법

조도계수를 산정하는 방법으로는 조도계수 산정을 위한 참조자료를 활용하는 방법, 하상재료를 활용하는 방법, Manning 식에 의해 조도계수를 역산하는 방법, 에너지방정식에 의해 조도계수를 역산하는 방법, 부정류 모형을 이용한 조도계수를 산정하는 방법 등으로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 실측된 수위자료와 유량자료에 의한 조도계수를 산정하기 위하여, 미국 지질조사국(USGS)에서 개발된 NCALC 모형(Jarrett and Petsch, 1985)을 사용하였으며, 하상재료 입경에 따른 조도계수 분포 범위를 알아보기 위해 경험식에 의한 조도계수 산정식을 사용하였다.

3.1 실측 자료를 이용한 조도계수 산정

NCALC 모형을 이용한 대상 하천들의 유량별 조도계수 변화 결과는 그림 1에 나타냈다. 일반적으로 하천의 조도계수는 수위가 높아짐에 따라 만곡, 다지, 사주 등이 물에 잠겨서 더 이상 저항 요소로 작용하지 않게 됨으로써 흐름 저항이 줄어든다. 또한 수위의 증가는 유속의 증가를 가져와 사구 하상이 없어지고 다시 평탄 하상이 생김으로써 흐름 저항을 더욱 줄일 수 있다. 그림 1은 유량 증가에 따른 조도계수의 감소 현상을 잘 반영하고 있다.

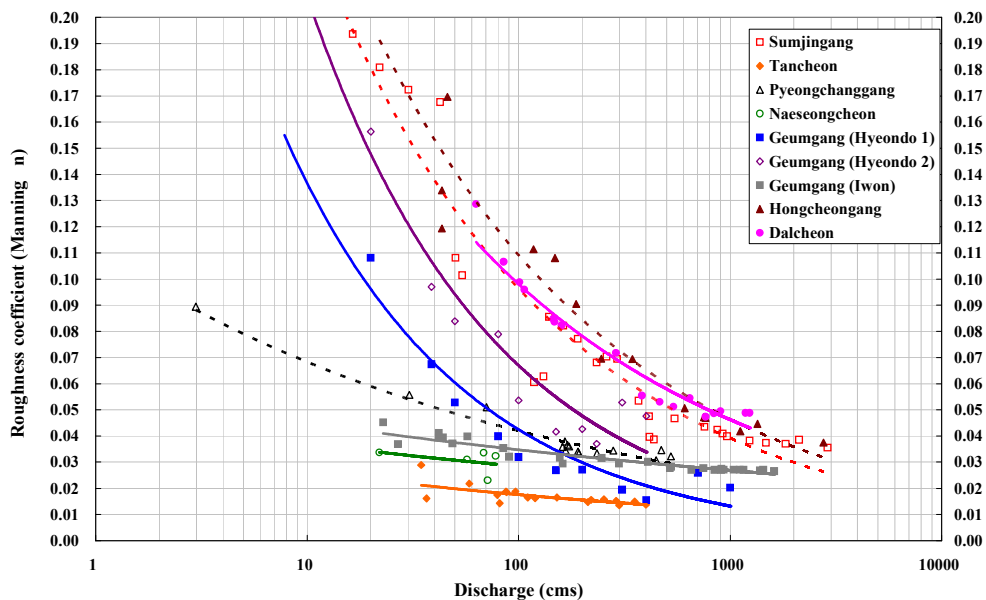


그림 1. 대상 하천 조도계수 분석 결과

3.2 경험식을 이용한 조도계수 산정

1970년 Limerinos는 Eq. (1)과 같은 직선 방정식에서 상수인 a 와 b 의 자료를 얻어내기 위하여

여, 11개 하천에서 실측한 홍수자료와 하상재료 입경 크기, 회귀분석 결과로부터 Eq. (2)와 같은 경험식을 산출하였다.

$$1/\sqrt{f} = a + b \log \frac{R}{d_g} \quad (1) \quad 1/\sqrt{f} = 1.16 + 2 \log \frac{R}{d_g} \quad (2)$$

여기서 마찰계수(f)와 조도계수(n)사이의 관계는 Darcy-Weisbach식과 Manning식의 조합으로부터 Eq. (3)과 같다.

$$1/\sqrt{f} = \frac{K_n \sqrt{8g}}{n/R^{1/6}} = \frac{0.11288}{n/R^{1/6}} \quad (3)$$

여기서 K_n 은 Manning 식의 단위에 따라 사용되는 계수이고, g 는 중력가속도이다. 본 연구에서는 SI 단위를 사용하므로 K_n 값에 1.0을 사용하였다.

본 연구에서도 Limerinos(1970)과 같은 방법으로 하상재료 입경과 마찰계수 사이의 상관성을 분석하기 위하여 NCALC 모형으로 산정된 하천의 각 단면 조도계수와 동수반경을 사용하였다. 하지만, 내성천(평은)과 탄천(복정)의 경우 하상재료와 하천의 특성이 상이하게 다르고, 모든 하천에서 유량 변화에 따른 조도계수의 변화가 심하기 때문에 계산된 결과를 모두 경험식에 적용하는 것은 무리가 있다고 판단하여 조도계수가 수렴하기 시작하는 유량 이상의 자료들(곡성 414cms 이상; 방림 161cms 이상; 현도 100cms 이상; 서면 610cms 이상; 이원 408cms 이상)을 대상으로 경험식에 적용하였다 (그림 2).

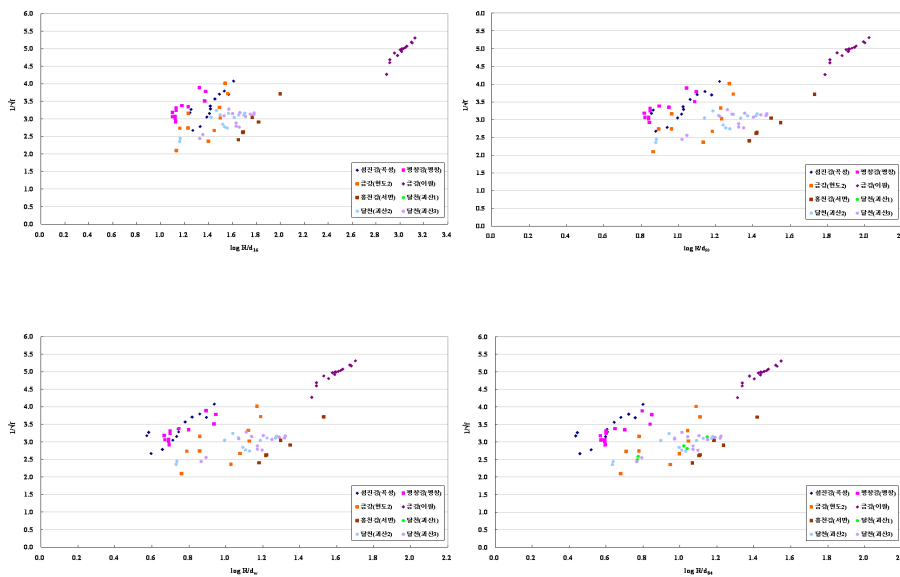


그림 2. 경험식에 의한 조도계수 산정 결과

조도계수와 하상재료 입경사이의 상관성을 분석한 결과 하상재료 입도 크기를 통과중량 백분율 84%인 d_{84} 의 자료를 사용하는 것이 가장 효과적이었다. d_{84} 의 자료를 이용하여 Limerinos(1970)과 같은 방법으로 상수 b 를 구한 결과 1.64로 조사되었다. 경험식에 의한 조도계수 산정식은 조사대상하천의 특성과 조사 기간, 유량 범위 등 다양한 요인들로 인해 오차가 발생하므로 이를 보완하기 위한 조치가 필요하다. 따라서 경험식에 의한 조도계수 산정식을 좀 더 일반화시키고 보편화하기 위해 하천 하상재료 입경 크기와 하천의 형태 등을 고려하여 대상 구간

을 선정하여 실측을 통한 조도계수를 산정할 예정이다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신 사업인 자연과 함께하는 하천 복원 기술개발 연구단 (ECORIVER21)의 연구비 지원에 의해 수행 되었습니다.

참 고 문 헌

1. 김원, 김양수, 우효섭 (1995). "부정류 모형을 이용한 한강 하류부 하도의 조도계수 산정." 한국수자원학회논문집, 제28권 6호, pp. 133-146.
2. 이신재, 박상우 (2006). "수위-유량 자료가 부재한 자갈하천의 조도계수 산정에 관한 연구." 한국수자원학회논문집, 제39권 제12호, pp. 985-996.
3. 이정규, 이창현 (2004). "수리학적 홍수추적 모형을 이용한 한강하류부의 조도계수 산정." 대한토목학회논문집, 제24권 제1B호, pp. 23-32.
4. 황의준, 전경수 (1997). "한강 본류에 대한 부정류 계산모형: 모형의 보정." 한국수자원학회논문집, 제30권 제5호, pp. 549-559.
5. Hicks, D.M. and Mason, P.D. (1991). Roughness characteristics of New Zealand Rivers, DSIR Marine and freshwater, Wellington.
6. Limerinos, J.T. (1970), Determination of the Manning coefficient from measured bed roughness in natural channels, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1898-B.
7. USGS (1989). Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains. USGS paper 2339.
8. USGS (1998). Estimation of Roughness Coefficients for Natural Stream Channels with Vegetated Banks, Water-Supply Paper 2441.