

# 유량에 따른 조도계수의 변동특성에 관한 연구

## A Study on Variation Character of Roughness Coefficient by Discharge

박상우\*, 이신재\*\*, 정하옥\*\*\*, 박양래\*\*\*\*, 김명수\*\*\*\*\*

Sang Woo Park, Sin Jae Lee, Ha Ok Jeong, Yang Rae Park, Myoung Su Kim

### 요 지

일반적인 하천에서 이치수를 위한 하천 구조물설계를 위해서는 흐름해석이 매우 중요한 작업 중 하나이다. 하천의 흐름해석은 주어진 유량에 대해 등류 또는 부등류, 부정류 계산을 통하여 해석을 하게 되는데, 이때 조도계수는 매우 중요한 매개변수이며, 조도계수에 의해 흐름해석의 결과가 크게 좌우된다. 이러한 조도계수는 어느 특정의 확정적인 요소에 의해 결정되어지지 않고, 복합적인 요소에 의해 결정되어지며, 특히, 유량에 대해 가변성을 갖는다. 본 연구에서는 조도계수의 유량에 대한 가변적인 특성을 분석하고자, 각각 다른 하상경사를 가지는 하천들에 대해 조도계수를 산정하였다. 그 결과, 조도계수는 유량에 대해 가변성을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 하상경사가 완만한 하천일수록 유량에 대한 조도계수의 가변성이 크게 나타났으며, 하상경사가 급할수록 유량에 대한 조도계수의 가변성이 적게 나타나는 결과를 도출하여 유량에 대한 조도계수의 가변성이 하상경사에 민감하게 반응하는 것을 확인할 수 있었다.

**핵심용어 : 조도계수, 조도계수의 가변성, 조도계수의 변동특성, 하상경사**

### 1. 서 론

자연하천에서 흐름해석을 위해서는 유량, 하천단면자료, 하천 내 구조물 제원 그리고 하천의 형태학적 및 하상의 물리적 특성을 나타내는 조도계수가 필요하다. 이러한 조도계수는 여러 가지 방법으로 산정하게 되는데, 그 방법으로는 경험공식을 이용하는 방법, 기존의 참고문헌에 제시된 표를 이용하는 방법, 해석적으로 산정하는 방법, 실측된 수위-유량자료를 이용하여 흐름해석을 통해 산정하는 방법 등이 있다. 이 중 가장 신뢰성이 있고, 비교적 정확하게 조도계수를 산정하는 방법은 실측된 수위-유량자료를 이용하여 반복적인 흐름해석을 통해 관측된 수위와 계산된 수위의 차가 최소가 되도록 하는 최적의 조도계수를 산정하는 방법이다.(김원, 1995) 이러한 연구는 국내에서 많이 이루어졌는데, 한강의 팔당댐 하류부에 대해 김원(1995), 전경수(1997), 윤태훈(2000), 이정규(2003) 등이 부정류 흐름해석을 통해 조도계수를 산정한 바 있으며, 섬진강에 대해서는 김선민(2005)이 부정류흐름해석을 통해 조도계수를 산정하였다. 이들 연구에서는 조도계수가 유량이 증가하면 조도계수가 감소하고 유량이 감소하면 조도계수가 증가한다는 공통된 결과와 어느 한계유량이상이면 조도계수의 감소가 둔해지면서 조도계수가 일정한 값을 가진다는 결과를 도출하였다. 그리고 이신재(2005)는 하상경사별로 조도계수에 따른 수위의 영향을 분석하였는데, 하상경사가 급한 하천보다는 완만한 하천일수록 조도계수가 수위에 보다 큰 영향을 주는 것으로 분석하였다. 이러한 기존의 연구결과를 토대로 보았을 때 조도계수는 유량에 대해 가변성을 가지면서 하상경사에 따라 유량에 따른 조도계수의 변동특성이 다를 것으로 판단된다.

따라서 본 논문에서는 하상경사에 따른 조도계수의 유량에 대한 변동특성을 분석하고자 상대적으로 하천경사가 각기 다른 하천을 대상으로 실측된 수위-유량자료를 이용하여 유량규모별 조도계수를 산정 하였고, 유량에 따른 조도계수의 변동특성을 하상경사와의 관계로 분석하였다.

\* 정회원.서남대학교 토목공학과 교수-E-mail : psw0232@seonam.ac.kr  
\*\* 정회원.서남대학교 토목공학과 박사수료-E-mail : hydrosnu@seonam.ac.kr  
\*\*\* 정회원.서남대학교 토목공학과 석사과정-E-mail : haok0853@nate.com  
\*\*\*\* 정회원.전라북도청 감사관실-E-mail : p0538@hanmail.net  
\*\*\*\*\* 정회원.건설교통부 서울지방국토관리청 하천공사과-E-mail : msk2k@moct.go.kr

## 2. 대상하천

본 연구에서는 조도계수의 변동특성을 분석하고자 한강의 팔당댐 하류부인 인도교~잠수교구간, 섬진강 중하류부의 송정~구례구간, 평창강 상류부의 장평~이목정구간을 대상으로 분석하였고, 각 대상구간의 세부 사항은 표 1과 같다. 한강의 인도교~잠수교는 하상경사가 분석대상구간 중 가장 완만하며, 평창강의 장평~이목정구간이 0.0076으로 가장 급한 하상경사를 보였다.

표 1. 대상하천의 세부사항

하천명	구 간	구간연장(km)	하상경사	비 고
한 강	인도교~잠수교	3.7	0.00009	김원(1995)자료 이용
섬진강	송정~구례	14.0	0.00060	본 연구 분석
평창강	장평~이목정	8.5	0.00760	본 연구 분석

## 3. 분석

본 연구에서는 각 하천의 대상구간에 대해 유량규모별 조도계수를 산정하기위해 각 구간별로 조도계수는 동일하다고 가정하였다. 그리고 유량규모별 조도계수를 산정하기 위한 각 하천의 홍수사상은 표 2와 같으며, 섬진강 및 평창강의 홍수사상에 대한 수위수문곡선은 그림 1 및 2와 같다. 한강의 인도교~잠수교구간은 김원(1995)이 분석해 놓은 자료를 이용하였으며, 한강의 홍수사상에 대한 수위수문곡선은 그의 논문에 잘 나타나 있다. 그리고 각 구간 내에 포함되어 있는 지류유입량은 면적비를 이용하여 산정하여 분배하였다.

표 2. 조도계수를 산정하기 위한 홍수사상

하천명	구 간	최대홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	사용자료기간	비 고
한 강	인도교~잠수교	6,400 11,200 7,000	1989. 7.27~7.30 1990. 6.20~6.27 1991. 7.19~7.22	김원(1995)자료 이용
섬진강	송정~구례	5,500	2002. 8. 7~8. 9	본 연구 분석
평창강	장평~이목정	350	2004. 7.12~7.14	본 연구 분석

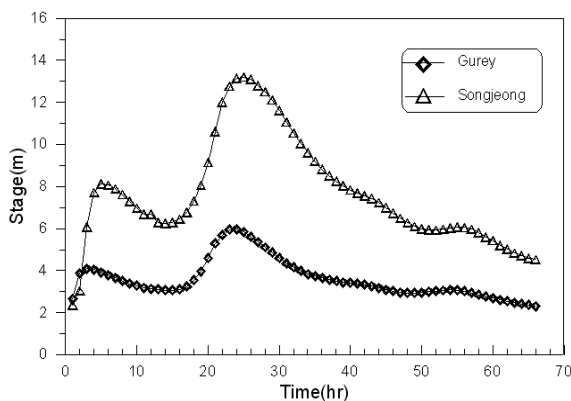


그림 1. 송정 ~ 구례의 수위수문곡선

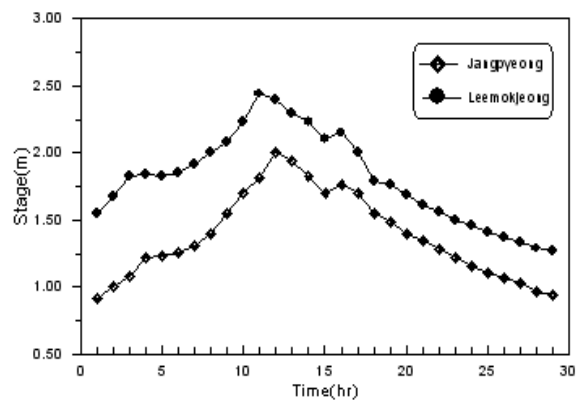


그림 2. 장평 ~ 이목정의 수위수문곡선

### 3.1 조도계수 산정

조도계수의 산정에 있어 한강하류부에 대해서는 김원(1995)이 부정류모형인 NETWORK를 이용하여 산정한 조도계수를 이용하였고, 섬진강과 평창강에 대해서는 HEC-RAS를 이용하여 분석하였다. 그 결과 조도계수는 표 3과 같이 유량규모별로 산정되었고, 이를 도시한 그래프는 그림 4와 같다.

표 3. 유량규모별 조도계수 산정결과

인도교-잠수교구간		송정-구례구간		장평-이목정구간	
유량(m <sup>3</sup> /s)	조도계수	유량(m <sup>3</sup> /s)	조도계수	유량(m <sup>3</sup> /s)	조도계수
1,000	0.051	500	0.055	25	0.068
2,500	0.035	1,000	0.045	50	0.064
4,000	0.028	1,500	0.041	75	0.058
5,000	0.025	2,000	0.038	100	0.053
6,700	0.022	2,500	0.036	125	0.050
12,000	0.020	3,500	0.032	150	0.049
30,000	0.020	4,500	0.029	250	0.049
-	-	5,500	0.028	350	0.049

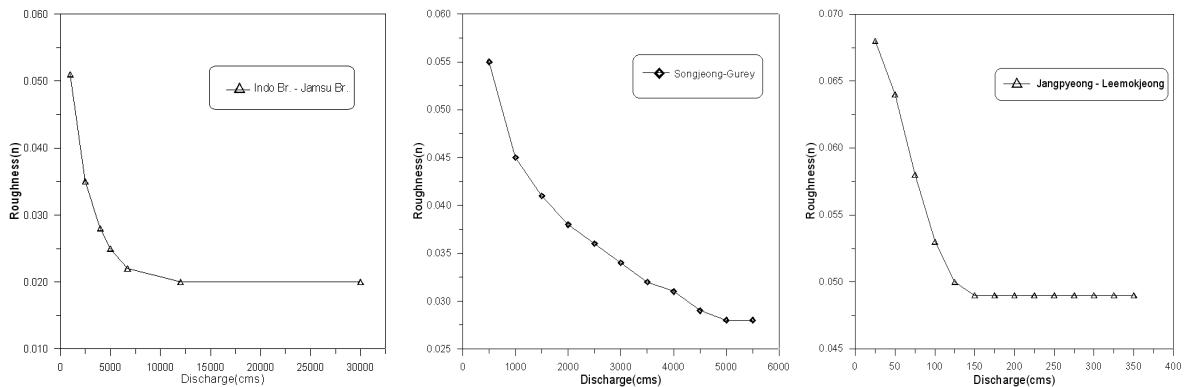


그림 3. 유량규모별 조도계수 산정결과

조도계수의 산정결과 분석대상구간 모두에서 유량에 따른 조도계수의 가변성을 확인할 수 있었으며, 한강하류부의 인도교~잠수교구간은 유량이 6,700m<sup>3</sup>/s에서 유량에 따른 조도계수의 감소가 급격하게 둔해지는 결과를 보였으며, 섬진강의 송정~구례구간은 5,000m<sup>3</sup>/s, 평창강의 장평~이목정 구간은 150m<sup>3</sup>/s에서 같은 결과를 보였다. 이러한 결과는 기존의 연구들과 조도계수 값에 약간의 차이는 있지만 유량에 따른 조도계수의 가변성은 기존의 연구들과 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

### 4.2 조도계수의 변동특성

본 연구에서는 유량에 따른 조도계수의 변동특성이 하상경사별로 어떠한 특성을 나타내는지 분석하고자 표 3의 결과를 이용하여 조도계수 및 유량을 무차원화 하여 분석하였다. 무차원을 시키는 방법은 유량의 증가에 따라 조도계수가 감소하게 되는데, 조도계수의 감소가 둔해지는 유량과 조도계수를 기준으로 하여 무차원을 시켰으며, 그 결과는 표 4 및 그림 4와 같다.

유량 및 조도계수를 무차원화 시켜 비교한 결과 한강하류부의 인도교~잠수교구간의 무차원화된 유량대비

조도계수의 변동이 가장 크게 나타났으며, 평창강의 장평~이목정구간이 가장 적은 변동을 보였다. 또한, 장평~이목정구간의 조도계수의 변동은 완만한 거의 일직선에 가까운 변동성향을 보였으며, 송정~구례구간의 경우 무차원유량비 0.3까지는 비교적 완만한 직선의 변동성향을 보이다가 그 이후부터 조도계수가 급격하게 증가하는 경향을 보였다. 그리고 인도교~잠수교구간은 무차원유량비 0.6에서부터 조도계수가 급격하게 증가하는 경향을 보여 하상경사가 완만한 하천에서 유량에 대해 조도계수가 더 민감하게 반응하는 것으로 분석되었다. 각 하천별로 조도계수의 변동계수를 산정한 결과 인도교-잠수교구간은 0.40, 송정-구례구간은 0.23, 장평-이목정구간은 0.14로 하상경사가 완만할수록 조도계수의 변동계수가 큰 것으로 분석되었다. 이신재(2005)는 임의의 유량에 대해 조도계수에 의한 수위의 민감도분석을 실시하여 하상경사가 급할수록 조도계수가 수위에 미치는 영향이 적다는 분석결과를 도출하였는데, 본 연구에서 실제 수위-유량자료를 이용하여 분석한 결과 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 하상경사가 급한 하천일수록 유속 및 홍수파의 전파속도가 빠르며, 이로 인하여 하도저류 및 유수흐름의 지체가 감소되어 하도의 흐름수면형이 유량의 변동에 따라 크게 변하지 않기 때문인 것으로 판단된다.

표 4. 무차원 조도계수 및 유량

인도교-잠수교구간		송정-구례구간		장평-이목정구간	
유량	조도계수	유량	조도계수	유량	조도계수
0.15	2.32	0.10	1.96	0.17	1.39
0.37	1.59	0.30	1.46	0.33	1.31
0.60	1.27	0.50	1.29	0.50	1.18
0.75	1.14	0.60	1.21	0.67	1.08
1.00	1.00	0.70	1.14	0.83	1.02
		1.00	1.00	1.00	1.00
변동계수	0.40	변동계수	0.23	변동계수	0.14

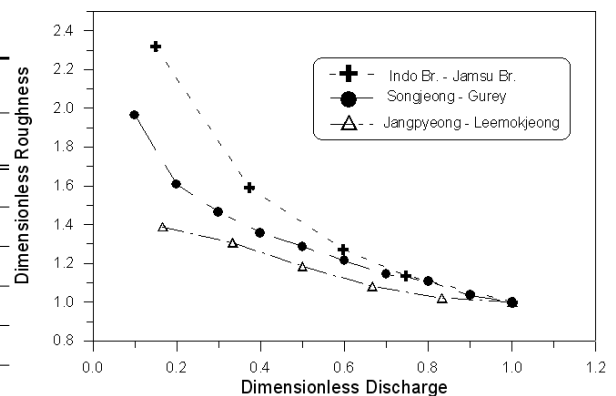


그림 4. 무차원 조도계수 및 유량

## 5. 결론

본 연구에서는 수위-유량자료를 보유하고 있는 하천을 대상으로 조도계수를 산정하고, 하상경사별로 유량 규모에 따른 조도계수의 변동특성을 분석해 보았다. 그 결과 각 대상하천에서 조도계수는 기존의 연구와 동일하게 유량에 대해 가변성을 가졌으며, 어느 한계유량이상에서는 조도계수의 감소가 둔해지면서 일정한 값을 가지는 특성을 보였다. 그리고 유량 및 조도계수를 무차원화 시켜 분석해 본 결과 하상경사가 완만할수록 유량에 대한 조도계수의 변동이 컸으며, 하상경사가 급할수록 유량에 대한 조도계수의 변동이 작은 것으로 나타났다. 또한, 무차원화 시킨 유량 및 조도계수에 대해 조도계수가 급격하게 변화하는 지점 역시 하상경사가 완만한 하천일수록 무차원 값이 큰 유량에서 조도계수의 변화가 급격하게 변동하는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 유량에 따른 조도계수의 변동이 하상경사에 민감하게 반응한다는 것을 보여주는 것이다.

본 연구에서는 세 개의 하천에 대해 유량에 따른 조도계수의 변동특성을 하상경사에 의해서만 분석하였는데 추후 연구에서는 보다 많은 하천을 대상으로 여러 가지 지형학적 특성을 이용하여 조도계수의 변동특성을 분석해야 보다 정확한 조도계수의 변동특성을 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

1. B. Azmon(1992). Manning Coefficient of roughness a case study along Soreq stream, 1971-1981, Journal of Hydrology, Vol.132, pp.361 ~ 377
2. Ven Te Chow.(1981), Open Channel hydraulics, McGraw-Hill Book Company, University of Illinois.

3. 김선민, 정관수(2005), 부정류 모형을 이용한 하천 조도계수 산정 및 산정오차의 수면곡선에 대한 민감도 분석, 2005년도 한국수자원학회 학술발표회논문집, p.74.
4. 김 원, 김양수, 우효섭(1995), 부정류 모형을 이용한 한강 하류부 하도의 조도계수 산정, 한국수자수원회논문집, 제28권, 제6호, pp.133 ~ 146.
5. 윤태훈, 이종욱, 제갈선동(2000), 동수역학모형의 매개변수 산정, 한국수자원학회논문집, 제33권, 제1호, pp.39 ~ 50.
6. 이신재, 박상우, 장석환, 오경두, 전병호(2005), 하천 조도계수 산정의 불확실성에 관한 연구, 2005년도 한국수자원학회 학술발표회 논문집, p.75
7. 이정규, 이창현(2003), 수리학적 홍수추적 모형을 이용한 한강하류부의 조도계수 산정, 2003년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.847 ~ 850.
8. 황의준, 전경수(1997), 한강 본류에 대한 부정류 계산모형 : 모형의 보정, 한국수자원학회논문집, 제30권, 제5호, pp.549 ~ 559.