

## 국내하천의 조도계수 산정 방법 조사

### An investigation on methods for estimation of roughness coefficient in domestic rivers

이찬주\*, 김원\*\*, 김지성\*\*\*

Chan Joo Lee, Won Kim, Ji Sung Kim

#### 요 지

하천정비기본계획에는 하천 등급별로 빈도 홍수량과 빈도 홍수위가 제시되어 있다. 홍수위 산정에는 조도계수가 영향을 미치므로 모든 하천정비기본계획에는 하천 구간별 조도계수가 산정, 제시되어 있다. 그런데 하천의 이용은 시대에 따라 변화되고 있으며 최근 환경적 기능이 강조되고 있어 하천 내의 수목에 대한 관점 또한 과거 치수 목적이 위주가 되었던 시대와는 달라졌다. 그러므로 이제는 홍수터를 포함하는 하천 부지 내에서 자생 혹은 식재한 수목에 대한 고려가 필요한 상황이다. 수목 생장은 조도계수를 변화시키므로 이를 고려하기 위해서는 다시 조도에 대한 고려한 필요한 상황이다. 이러한 배경에서 본 조사는 국내의 다양한 하천에 대해 기존에 수립된 하천정비기본계획을 토대로 조도계수의 범위와 특성 및 그 산정 방법을 분석하는데 목적을 두었다. 하천정비기본계획 분석 결과, 조도계수는 하천 규모와 관계없이 주로 0.025 ~ 0.040 범위에 있으며, 대체로 과업 구간이 5개의 이하로 분할되어 적용되었다. 산정 방법은 주로 하상재료 및 하도 형태에 대한 현장 판단과 기수립된 하천정비기본계획의 참고, 과거 흔적수위를 기초로 부등류 모형을 적용하는 등이었다. 본 조사의 결과로 현재 조도계수 산정의 문제점이 분석되었으며 향후 조도계수 산정의 개선 방향이 제시되었다.

**핵심용어 : 조도계수, 하천정비기본계획**

#### 1. 서 론

경제 수준의 향상과 더불어 사람들은 과거 치수 목적으로 통제하던 하천으로부터 심미적이고 환경적이며 여가 선용적인 기능을 요구하게 되었다. 이에 따라 하천의 자연성을 회복하려는 하천 복원 사업이 점차 증가하는 추세에 있다. 하천 복원을 위해서는 근본적으로는 하천의 지형학적 특성을 살리는 일이 선행되어야 한다. 하지만 가용한 토지가 적고 치수 기능까지 유지해야 하므로 하천 복원 사업은 실질적으로는 하도 내 친환경적 공법을 적용하거나 식생을 식재함으로써 생태 서식처를 확보하는 쪽으로 이루어지고 있는 현실이다. 또한 제외지의 홍수터에는 수목을 식재하거나 자생 수목을 유지함으로써 생태 서식처를 제공하는 쪽으로 하천 관리의 방향이 변화하고 있다. 그런데 이러한 상황은 치수 목적이 위주로 수립된 하천정비기본계획을 더 이상 그대로 적용할 수 없다는 것을 의미한다.

공적인 하천 관리의 기본 자료인 하천정비기본계획에는 하천 등급별로 빈도 홍수량과 빈도 홍수위가 제시되어 있으며 이는 치수 대책 수립과 각종 하천 시설물 설계에 필수적인 자료로 활용된다. 이중 계획홍수위를 포함하는 빈도 홍수위는 빈도 홍수량을 기초로 계산되며, 이 때 조도계수가 활용되므로 모든 하천정비기본계획에는 하천 구간별 조도계수가 제시되어 있다. 그런데 하천

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : [c0gnitum@kict.re.kr](mailto:c0gnitum@kict.re.kr)

\*\* 정회원 · 건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : [wonkim@kict.re.kr](mailto:wonkim@kict.re.kr)

\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 박사후연구원 · E-mail : [jisung1@kict.re.kr](mailto:jisung1@kict.re.kr)

표 1 분석 대상하천의 규모별 분포

유역면적 (km <sup>2</sup> )	0 ~ 100	100 ~ 500	500 ~ 1,000	1,000 이상	계
대상 하천 수	76	85	11	14	186

의 자연성을 보존하려는 노력이 증대될수록 하천 구역 내 식생이 증가하므로 이러한 변화된 하천 상황을 반영하여 치수 목적을 달성하기 위해서는 조도계수에 대한 적절한 재평가가 이루어져야 한다. 이는 현재 하천정비기본계획에서 주로 취급하는 계획홍수위 위주의 조도계수 적용에서 벗어나 다양한 수심과 유량 범위에 대해 적용할 수 있는 조도계수의 범위를 제공하는 것에도 관계가 된다고 하겠다. 이러한 배경 하에 이 글에서는 본격적인 조도계수에 대한 재평가 연구에 앞서 국내의 다양한 하천에 대해 기수립된 하천정비기본계획의 조도계수 산정, 적용 실태에 관해 조사한 결과를 제시하고자 한다. 또한 이를 토대로 조도계수 산정의 문제점을 지적하고 개선 방향을 제시 하는데 이 글의 목적이 있다.

## 2. 조사 대상 및 방법

조도계수의 산정 및 적용 실태에 대한 조사는 1985년 이후에 발간된 하천정비기본계획을 대상으로 하였다. 조사 대상 하천의 수는 총 186개로 건설교통부 관할 국가하천은 4대강을 포함하여 32개, 지방하천은 서울-경기도 관할 17개, 강원도 관할 21개, 충청남북도 관할 33개, 경상남북도 관할 50개, 전라남북도 관할 32개, 제주도 관할 1개 등으로 전국적인 분포를 갖도록 하천을 선정 하였다. 규모(유역면적)별 분석 대상 하천은 표 1과 같다.

조도계수 산정 실태에 대한 분석은 다음의 방법에 따라 분석하였다. 첫째, 전체 자료를 종합하여 하천의 규모에 따른 조도계수 적용 실태와 조도계수의 적용 범위를 분석하였다. 둘째, 조도계수를 산정할 때 주로 사용했던 방법을 분석하였다. 마지막으로 조도계수를 분할하여 적용하는 하도 구간 범위에 대해 분석하였다.

## 3. 결 과

### 3.1 조도계수의 적용 실태 및 범위

먼저 유역면적으로 나타낼 수 있는 하천의 규모와 조도계수의 관계를 살펴본 결과는 그림 1과 같다. 그림에서 점은 각 하천에 적용된 조도계수를 평균한 값이고 상하의 오차선은 적용 최대 조

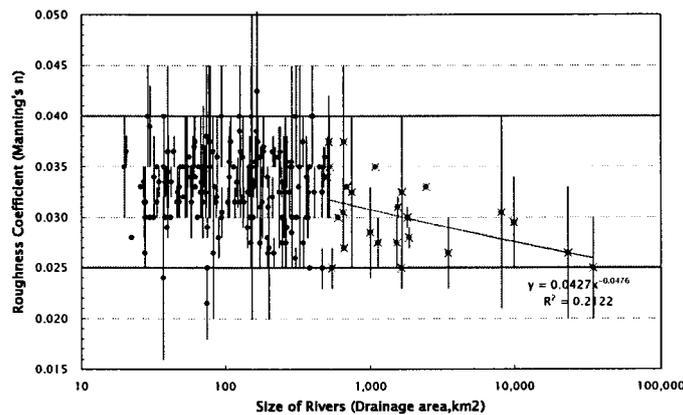


그림 1 하천 규모(유역면적)별 조도계수 분포

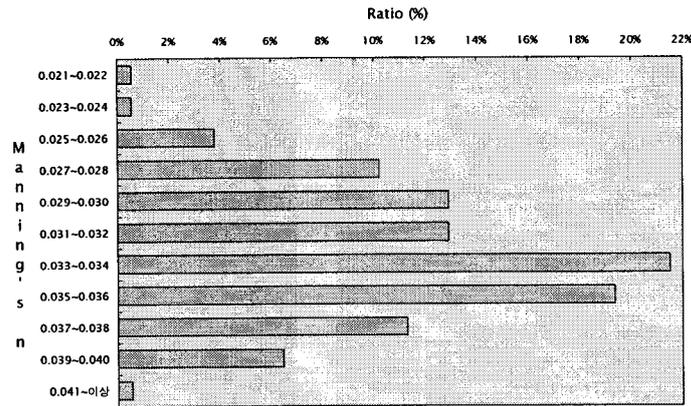


그림 2 조도계수 범위별 사용 비율

도계수와 최저 조도계수를 의미한다. 대부분 하천의 평균적인 조도계수 범위는 0.025~0.040 사이에 있다. 이는 주로 계획홍수위 정도의 큰 홍수에 대한 적용이라는 점을 고려하면 안전한 범위에서 조도계수를 적용했다고 볼 수 있다. 적용한 최대 조도계수는 0.045 이상인 경우도 많이 있어 홍수량에 대해 수위를 높은 쪽으로 다소 안전하게 설계했음을 짐작할 수 있다. 최저 조도계수는 0.025 이하로 적용한 경우도 있었는데, 이러한 특징은 유역면적 300km<sup>2</sup> 이하의 몇 개 하천과 금강, 한강, 낙동강 등 대하천에만 국한되어 있다. 전체적으로 보면, 유역면적에 따른 조도계수의 경향성이 거의 없는 것으로 나타난다. 하지만, 유역면적 500km<sup>2</sup> 이상의 중대하천에서는 하천 규모가 커질수록 적용한 조도계수값이 작아지는 경향성이 다소나마 관찰된다. 이러한 특징은 최저 조도계수를 고려해 보면 보다 뚜렷한데, 결정계수가 약 0.42 정도로 그 경향성을 보다 잘 나타내고 있다. 이러한 특징은 대하천의 경우 홍수를 대비한 충분한 통수능이 확보되어 있다는 점과 조도계수 산정을 위한 모형 보정에 필요한 자료가 상대적으로 많아서 실측 자료에 근접하게 조도를 산정할 수 있는데 기인하는 것으로 사료된다.

그림 2는 적용한 조도 범위를 나타내고 있다. 가장 많이 적용되는 조도의 범위는 0.033~0.034이며, 0.025~0.040 사이가 98.4%로 나타났다. 이로 볼 때, 홍수위 계산에 적용하는 조도는 하천에 관계없이 대체로 비슷한 값을 사용한다고 볼 수 있다.

### 3.2 조도계수 산정 방법

하천정비기본계획에서 홍수위 계산시 조도계수를 산정하는 방법을 조사한 결과는 그림 3과 같다. 가장 간단한 방법은 하도의 형상, 하상재료 등 하천 상태를 기초로 하천설계기준 또는 Chow(1959) 등에 제시된 도표를 활용하는 것으로 64건 34%의 하천정비기본계획에서 적용한 방법이다. 이 방법은 주로 하천정비기본계획이 최초로 실시되면서 기존의 참고할만한 수위 기록이 없

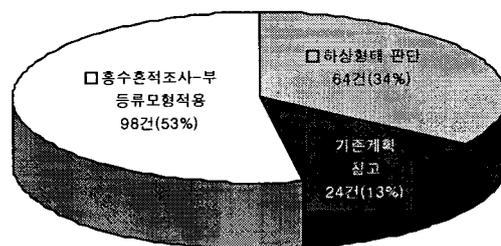


그림 3 조도계수 산정 방법

는 경우에 많이 활용된 것으로 보인다. 두 번째 방법은 하상 형태에 대한 판단과 함께 기존에 수립되어 있던 하천정비기본계획 또는 치수종합계획의 조도계수를 참고하는 것으로 기존 계획이 있는 대하천의 경우가 해당되며, 일부 중소하천에서는 인근 대하천의 자료를 참고하여 활용하는 경우도 있었다. 24건 13%의 사례가 여기에 해당된다. 이 두 가지의 경우는 대체로 다소 임의적인 판단에 의해 조도계수를 산정하는 것으로 파악된다. 반면 세 번째의 경우는 앞선 두 가지 방법을 모두 고려하거나 하상 상태에 대한 고려를 한 후 추가적으로 홍수흔적을 조사하거나, 부등류모형을 적용하여 과거 수위기록과 비교하여 홍수위를 산정하는 등의 경우가 해당되며, 98건 53%의 하천정비기본계획에서 이 방법을 사용하였다.

### 3.3 조도계수 분할 적용 범위

홍수위 계산을 위한 입력변수로서 조도계수는 대상 하천을 통상 몇 개의 구간으로 나누어 적용하는 것이 일반적이다(김원 등, 1995, 이정규와 이창현, 2004). 이는 하도의 하상재료, 만곡, 단면형상, 식생 분포 등의 특성을 홍수위 계산에 반영하고자 함이다. 이에 본 조사에서는 대상 자료 중 95건의 자료에서 조도계수가 적용되는 구간 범위를 분석하였다(그림 4). 18개 하천(19%)의 경우 전구간에 대한 조도계수를 하나의 값으로 입력하였다. 63개의 하천은 2~5개의 구간으로 분할하여 조도계수를 적용하였다. 6개 이상으로 과업 구간을 분할하여 조도계수를 입력한 경우는 총 14건이었다. 이 14건의 경우 중 하천정비기본계획에서 조도계수를 20개 이상으로 구간 분할하여 입력한 경우도 4건이나 있었다. 또한 이를 거리별로 보면, 동일한 조도계수를 적용하는 구간이 2km 이하인 경우가 16%, 2~5km 인 경우가 32%, 5~10km 인 경우가 29%, 10km 이상인 경우가 24%인 것으로 조사되었다. 이러한 결과를 보면 하천정비기본계획 수립시 조도계수의 적용 범위나 구간 분할이 일정한 준칙없이 다소 임의적으로 행해지고 있다는 것을 추론할 수 있다.

## 4. 조도계수 산정의 문제점 분석과 대안 제시

본 조사의 결과를 통해 조도계수 적용과 관련된 현재 실태를 정리하면 다음 몇 가지 사실들을 유추할 수 있다.

첫째, 조도계수의 산정과 관련하여 기존 방법이 거의 고려되지 않고 있으며 객관성이 떨어지고 계량적으로 제시하지 못하고 있다. 즉 하천정비기본계획 수립에는 Chow(1959)의 그림과 하천설계 기준의 도표를 활용하는 것 외에는 다른 방법, 즉 Cowan(1956)이 제시한 조도계산법이나 하상재료 입경을 활용한 Stricker(1923) 등의 식에 의한 계산 방법 등 여러 가지 방법이 거의 고려되고 있지 않다. 게다가 다양한 조도계산법을 언급하면서도 이러한 방법들은 단순한 나열에 그친 채 거

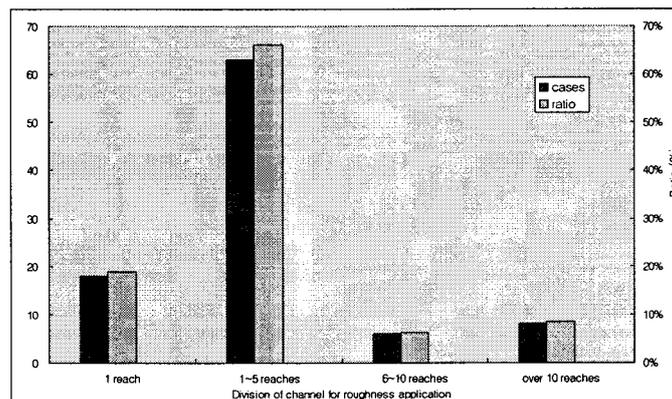


그림 4 조도계수 적용을 위한 하도 분할

의 활용하지 않는다는 점도 조도계산시의 임의성을 나타낸다.

둘째, 하천 규모와는 무관하게 조도계수가 산정되어 적용되고 있으며 그 범위가 일률적으로 0.025 ~ 0.040에 국한된다. 이는 하천정비기본계획의 조도계수 산정이 계획홍수위 산정에 치중된 점과도 관련이 있으며, 조도계수 산정시의 임의성과도 관련이 있다. 다시 말하면, 조도계수가 객관적인 근거에 의해 결정되지 못한 관계로 단순히 비슷한 하천에 적용했던 조도계수값을 그대로 적용하거나 과거에 수립되었던 자료에 의존하게 되는 것이다.

셋째, 하도 구간을 분할하여 조도계수를 적용할 때, 일정한 원칙이나 기준이 없다는 점이다. 이로 인해 어떤 하천정비기본계획에서는 30km 이상의 긴 하천 구간을 하나의 조도계수값으로 적용하는가하면, 다른 경우에는 단면마다 조도계수를 개별적으로 적용하는 경우도 발생하였다.

넷째, 하천정비기본계획에는 계획홍수위 혹은 과거 홍수흔적 수위에 맞추어 산정된 조도계수가 수심이나 유량 범위에 관계없이 단일한 값으로 모든 빈도 홍수위 계산에 적용된다. 이는 적은 홍수나 그 이하의 흐름에 대해 적용할 경우 실제와 크게 동떨어진 결과를 제공할 가능성이 있다.

이러한 실태를 고려하여 다음과 같은 개선 방향을 생각해 볼 수 있다.

첫째, 조도계수 산정을 위해 하상재료 조사를 충실히 이행하고 이를 통해 표면조도를 산정하고 이에 추가하여 만곡, 식생, 구조물 영향을 반영하는 조도계수 산정 절차를 수립한다면 보다 객관적인 조도계수 산정이 가능해 질 것이다.

둘째, 최근 수위관측소의 설치가 증가하고 유량 측정이 많이 수행되고 있으므로 조도계수 산정시 이를 활용한다면 다양한 수위 범위별 조도계수 산정이 가능할 것이다.

셋째, 대하천의 경우 관측자료가 많으므로 부정류 모형의 적용이 고려되어야 한다.

넷째, 조도계수 산정을 위하여 하도 구간을 분리하는 일관된 지침을 개발하여 보급하여야 한다.

마지막으로, 미국이나 뉴질랜드가 다양한 형태와 특성을 지닌 하천들에 대한 실측을 통해 검증 조도계수를 산정하여 제시하듯이 국내 하천을 대표하는 하천들에 대해 실측을 통한 조도계수 참고값을 제시하는 일이 필요할 것이다.

## 5. 결 론

이 글에서는 국내 186개의 하천정비기본계획 자료를 이용하여 홍수위 계산에 적용된 조도계수의 범위, 조도계수 산정 방법 등에 관한 실태를 조사, 분석하였다. 현재의 조도계수 산정은 다소 임의적이고 객관성이 결여되어 있으며, 홍수위 위주로 단일한 값이 제공되는 등의 문제가 있으므로 분석되었으며, 이를 개선하여 향후 조도계수를 보다 객관적으로 산정하여 적용할 수 있도록 몇 가지 개선 방안을 제시하였다.

## 감 사 의 글

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(06 건설핵심B01)에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 김원, 김양수, 우효섭(1995) 부정류 모형을 이용한 한강 하류부 하도의 조도계수 산정. **한국수자원학회논문집**, 제28권 6호, pp. 133-146
- 이정규, 이창현(2004) 수리학적 홍수추적 모형을 이용한 한강하류부의 조도계수 산정, **대한토목학회논문집**, 제24권 1B호, pp. 25-32
- Chow, V. T.(1959) *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill, NewYork
- Cowan, W. L.(1956) Estimation of hydraulic roughness coefficient, *Agricultural Engineering*, Vol. 37, No. 7., pp. 473-475