

# 수리학적 홍수추적 모형을 이용한 한강하류부의 조도계수 산정

## Estimation of Roughness Coefficients in Downstream Part of the Han River Using a Hydraulic Flood Routing Model

이정규\* · 이창현\*\*

### 1. 서론

일반적인 자연하천의 흐름해석은 하천구조물의 설계 및 유지관리, 이수 및 치수의 측면에서 기본적인 자료를 제공하기 때문에 매우 중요하나, 불규칙한 하도단면과 유량 등으로 인해 정확히 계산하는 것은 매우 어려운 일이다. 통상 수로나 하천에 대하여 1차원 부정류 해석을 할 경우 지배방정식으로는 연속방정식과 운동량 방정식으로 구성된 Saint-Venant 방정식을 사용하고, 단면자료와 조도계수를 입력조건으로 하여 하천관리의 기본 자료로 사용되는 수위나 유량을 계산하게 된다. 이때 입력되는 자료로써 단면자료는 하천측량에 의해서 확정적인 값을 얻을 수 있지만, 조도계수는 하상입자들의 크기나 형상, 식생, 수로단면의 변화, 수로의 만곡, 그리고 수위와 유량 등 여러 가지 복합적인 요소들에 의해서 변화하기 때문에 직접적으로 구할 수 없다.

조도계수를 산정하는 일반적인 방법으로는 문헌에 제시된 표나 경험식을 이용하는 방법과 과거의 실측된 수문자료를 이용한 수리학적 모형에 의한 방법 등이 있다. 이중 전자의 방법은 간편하기 때문에 실무에서 많이 사용되고 있으나 이 방법으로는 대략적인 조도계수의 값을 제시하여 줄 뿐, 특정하천에 적용하여 정확한 수위계산이 어렵고, 후자의 방법은 계산이 복잡하고 시간이 다소 오래 걸리는 단점이 있지만 정확한 흐름계산을 할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서는 조도계수를 보다 효율적으로 산정하기 위해 기존의 조도계수 산정방법들을 조사하였고 그 중에서 정확성이 우수하고 계산시간도 짧은 장점을 가진 FLDWAV 모형내의 수정 Newton-Raphson 방법을 이용하여 한강하류부(팔당댐~전류)에서의 조도계수를 산정해 보았다.

### 2. 본론

#### 2.1 본 연구에서 사용된 조도계수 산정방법

본 연구에서는 1차원 부정류 흐름을 해석하기 위해서 미국 NWS(National Weather Service)에서 기존의 DWOPER 모형과 댐과피 모의 모형인 DAMBRK 모형을 통합하여 개선한 FLDWAV 모형을 사용하였으며, 조도계수를 산정하는 방법은 Fread와 Smith(1978)에 의해서 제안된 수정 Newton-Raphson 방법으로서 과거에 관측된 수위나 유량자료를 이용하여 계산된 수위와 관측된 수위의 차의 절대값이 최소가 되는 조도계수를 구하는 방법이다.

FLDWAV 모형의 수정 Newton-Raphson 방법으로 조도계수를 산정하는 방법은 다음과 같다. 그림 1에서와 같이 수위 관측지점 A와 B를 각각 상류와 하류경계로 갖는 하천 구간에 대해서 상류경계인 A지점에서 관

\* 한양대학교 공과대학 도시건설환경공학과 교수(E-mail : leejk@hanyang.ac.kr)

\*\* 현대엔지니어링(주) 토건/환경사업부 수자원부 (E-mail : lch0329@hec.co.kr)

측된 수위( $h'_A$ )와 유량( $Q'_A$ )자료가 있고, 하류경계인 B지점에서 관측된 수위( $h'_B$ )자료가 있을 경우, 임의의 조도계수를 가정한다면 FLDWAV 모형을 이용하여 각 단면의 수위와 유량을 계산할 수 있으며, 상류단인 A지점에서의 계산수위( $h_A$ )와 관측수위( $h'_A$ )의 차를 최소로 하는 조도계수를 찾을 수 있다. 조도계수를 유량의 함수  $n(Q)$ 로 가정하여, 유량의 크기에 따라 조도계수를 추정하고자 하면 식 (1), (2)와 같은 목적 함수를 이용한다.

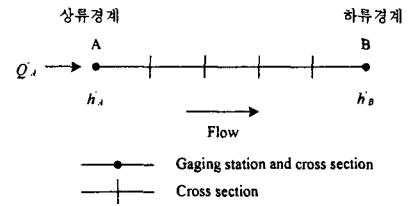


그림 1. 하천 구간의 개요도

$$\min \phi_T = \left| \sum_{j=1}^J \phi_j \right| \quad (1)$$

$$\phi_j = \frac{1}{M_j} \sum_{k=1}^{M_j} (h_{A,k} - h'_{A,k}) \quad (2)$$

여기서,  $j$ 는 유량 구간을 나타내며,  $M_j$ 는  $j$ 번째 유량 규모 내에 포함되어 있는 수위의 총 개수이다.

식 (1), (2)에서 결국에는  $\phi_j$ 를 최소화하는 것으로, 이를 함수의 형태로 나타내면 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\min \phi_j \{ h_j [n(\bar{Q}_j)] \}; j=1, 2, \dots, J \quad (3)$$

여기서  $\bar{Q}_j$ 는  $j$ 번째 유량 구간의 평균유량이다.

식 (3)은 이론적으로 계산수위와 관측수위가 같을 경우 최소가 되므로 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\phi_j [h_j \{n(\bar{Q}_j)\}] = 0; j=1, 2, \dots, J \quad (4)$$

즉, 식 (4)는  $j$ 번째 유량 구간의  $\phi_j$ 가 0이 되도록  $n(\bar{Q}_j)$ 을 구하는 문제이다. 여기에 조도계수  $n$ 을 구하기 위해 사용되는 수정 Newton-Raphson 방법을 적용하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} n_j^{k+1} &= n_j^k - \frac{\phi_j^k}{\left. \frac{d\phi}{dn} \right|_j^k} \cong n_j^k - \frac{\phi_j^k}{\Delta \phi_j^k / \Delta n_j^k} \\ &= n_j^k - \frac{\phi_j^k (n_j^k - n_j^{k-1})}{\phi_j^k - \phi_j^{k-1}} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $k$ 는 반복계산 횟수이다.

식 (5)를 이용하여 반복 계산된 조도계수의 편차가 허용 범위에 들어갈 때까지 반복계산을 수행하게 된다.

## 2.2 한강하류부의 조도계수 산정

본 절에서는 앞서 설명한 FLDWAV모형의 수정 Newton-Raphson 방법을 이용하여 한강하류부에서의 조도계수를 유량의 함수로 가정하여 구간별로 조도계수 산정식을 제시하였다. 대상구간은 팔당댐에서 전류까지의 약 68.7km이며, 이 구간 내에서 본류로 유입되는 지천 중 비교적 유역면적이 큰 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천의 4개 지천에서의 유입량을 고려하였다. 한강하류의 법정 경계는 월곶지점이지만, 이 지역은 군사작전지역으로 모형에 필요한 지형 및 수문자료를 수집하기가 어려워 정확한 자료를 이용하기 위해 한강 수위관측소 중 최하류부에 위치한 전류지점을 하류경계로 하였다. 모형에 적용된 입력자료 및 경계조건은 이정규와 이창현(2002)의 연구방법과 같은 방법을 사용하였으며, 과거의 홍수사상은 표 1과 같이 5개 홍수사상을 선정하여 이용하였다.

조도계수를 산정하기 위해 먼저 전구간을 수위관측소 지점을 기준으로 동일 조도계수 구간으로 구분하였다. 이 중 팔당대교~잠수교 구간과 행주대교~전류 구간에는 각각 잠실수중보와 신곡수중보가 위치해 있는데, 수중보의

상류와 하류의 흐름은 큰 차이가 있기 때문에 이들 수중보를 기준으로 구간을 한번 더 나누었다. 그리고 팔당대교 수위관측소는 팔당댐에서 하류로 약 4km지점에 위치하고 있기 때문에 팔당대교~잠실수중보 구간의 조도계수를 구하여 팔당댐~팔당대교 구간의 조도계수와 같다고 가정하였다. 따라서 전구간을 다음과 같이 6개로 나누었다. 팔당댐~잠실수중보 구간, 잠실수중보~잠수교 구간, 잠수교~한강대교 구간, 한강대교~행주대교 구간, 행주대교~신곡수중보 구간, 마지막으로 신곡수중보~전류 구간이다.

표 1. 과거 홍수사상

대상 기간	팔당댐 최대방류량(cms)
1995.8.22. 0시~8.28.23시	24,956
1999.7.31. 0시~8. 6.16시	18,753
2000.7.21. 0시~7.26. 0시	5,185
2000.8.30.23시~9. 4.16시	4,370
2001.7.13.10시~7.18.10시	10,601

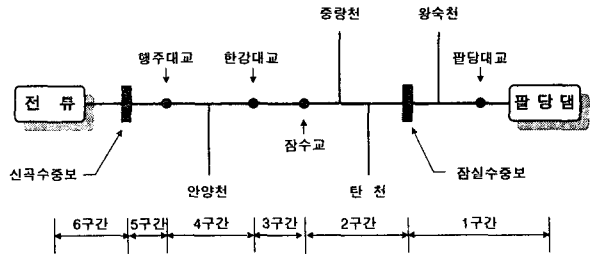


그림 2. 대상구간의 모식도

과거의 5개 홍수사상을 모형에 적용한 후, 각 구간마다 산정된 조도계수를 이용하여 그 구간을 대표하는 유량에 따른 조도계수 산정식을 만들었다. 그림 3~8은 구간별 조도계수 산정결과를 나타내는 그림이다.

또한 본 연구에서 산정된 한강하류부의 조도계수를 이전의 다른 연구나 실험 등에 의하여 얻은 조도계수와 비교 및 분석하였다. 사용된 자료에는 한강하류부 이동상 수리실험 보고서(국립건설시험소, 1983)와 잠실수중보 수리모형실험 보고서(국립건설시험소, 1984) 및 HEC-2 모형을 이용한 한강주운개발사업 타당성조사 보고서(한국수자원공사, 1989)와 HEC-6 모형을 적용한 한강하류부 수질보전대책 수립조사 보고서(한강관리사업소, 1993), 1차원 NETWORK 모형을 이용한 홍수자료 관리시스템 구축 보고서(한강홍수통제소, 1994), DWOPER모형과 하상토의 입도 조성을 고려한 한강종합개발에 따른 수리영향검토 보고서(한국수자원학회, 1995), 황의준과 전경수(1997)의 수정 Gauss-Newton 방법을 적용한 연구결과, 윤태훈 등(2000)의 연구결과가 사용되었다. 그림 9와 10은 본 연구에서 산정된 조도계수와 이전의 다른 연구나 실험 등과 비교한 그림이다.

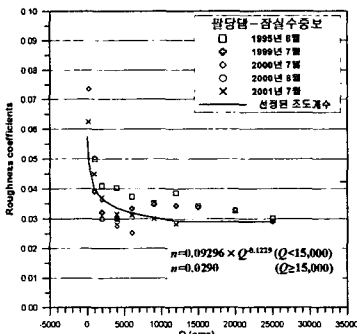


그림 3. 팔당댐~잠실수중보

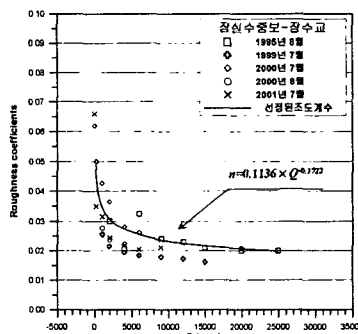


그림 4. 잠실수중보~잠수교

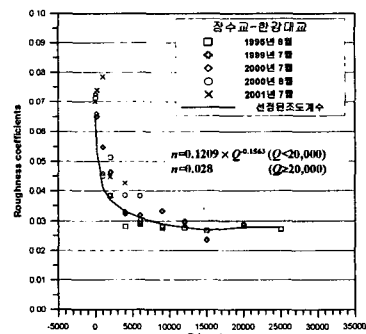


그림 5. 잠수교~한강대교

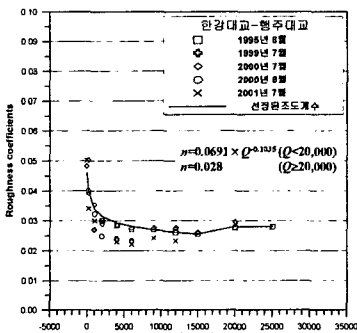


그림 6. 한강대교~행주대교

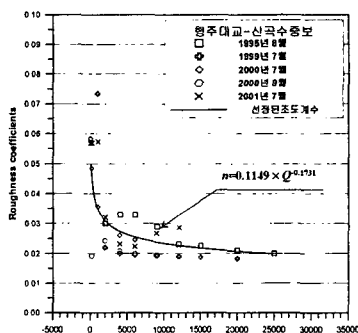


그림 7. 행주대교~신곡수중보

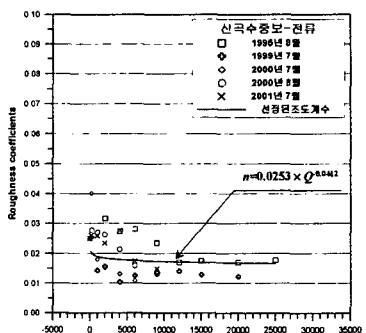


그림 8. 신곡수중보~전류

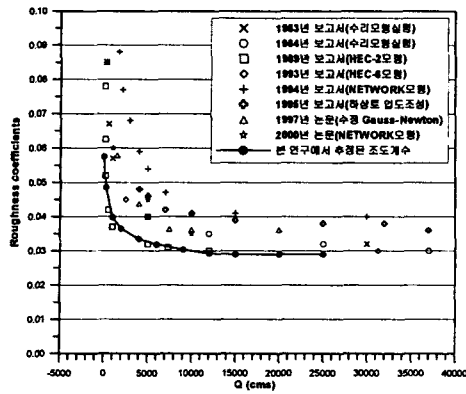


그림 9. 팔당댐~잠실수중보구간

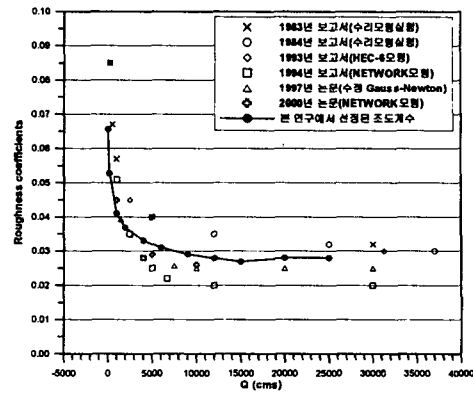


그림 10. 잠수교~한강대교 구간

### 3. 결 론

본 연구에서는 기존의 조도계수를 산정하는 방법들에 대하여 조사한 후 그 중 실제하천에서 적용하기에 가장 정확하고 효율적인 방법으로 FLDWAV 모형 내에 포함된 수정 Newton-Raphson 방법을 선정하여, 한강하류부(팔당댐~전류)에 적용하였다. 조도계수 산정에 있어 유량의 변화만을 고려하였으며, 한강하류부를 6구간으로 나누고, 각각의 구간마다 유량에 대한 조도계수의 식을 제안하였다. 그 결과 조도계수는 유량이 증가함에 따라 감소하는 지수함수 형태의 식으로 나타낼 수 있으며, 일부구간에서는 유량이 15,000~20,000cms 이상일 경우 조도계수가 증가하는 현상도 나타났는데 이는 흐름이 고수부지로 확대되어 이곳의 식생과 구조물로 인한 마찰이 증가하였기 때문이라 생각된다.

### 4. 참고문헌

- 건설교통부 (1988). 한강하류 하천연안 개발계획 보고서.
- 국립건설시험소 (1983). 한강하류부 이동상 수리모형실험 보고서.
- 국립건설시험소 (1984). 잠실수중보 수리모형실험 보고서.
- 윤태훈, 이종욱, 제갈선동 (2000). 동수역학모형의 매개변수 산정. 한국수자원학회 논문집, 제33권, 제1호, pp. 39~50.
- 이정규, 이창현 (2002). "팔당댐 방류량과 황해의 조위에 따른 한강수위 영향분석." 2002년도 대한토목학회 학술 발표회논문집, pp. 644-647
- 한강관리사업소 (1993). 한강하류부 수질보전대책 수립조사 보고서.
- 한강홍수통제소 (1994). 홍수자료 관리시스템 구축 보고서.
- 한국수자원공사 (1989). 한강주운개발사업 타당성조사 보고서.
- 한국수자원공사 (1995). 한강종합개발에 따른 수리영향검토 보고서.
- 황의준, 전경수 (1997). 한강 본류에 대한 부정류 계산모형: 모형의 보정. 한국수자원학회 논문집, 제30권, 제5호, pp. 549~559.