

## 한강유역의 중소하천에 대한 계획하폭 산정

### Determination of Design Width for Medium Streams in the Han River Basin

전 세 진\* / 안 태 진\*\* / 박 정 응\*\*\*

Jeon, Se Jin / Ahn, Tae Jin / Park, Jung Eung

#### Abstract

This paper presents the empirical formulas for determining the design-width for medium rivers in the Han river basin. The design flood, the watershed area, and the channel slope of 216 medium rivers in the Han river basin are collected. The design width formulas are then determined by 1) the least squares (LS) method, 2) the least median squares (LMS) method, and 3) the reweighted least squares method based on the LMS (RLS). The six types of formulas are considered to determine the acceptable type for medium streams in the Han river basin. The root mean squared errors (RMSE), the absolute mean (AME) errors, and the mean errors (ME) are computed to test the formulas derived by three regression methods. It is found that the equation related stream width to the watershed area and the channel slope is acceptable for determining the design width for medium streams in the Han river basin. It is expected that the equations proposed by this study be used an index for determining the design-width for medium streams in the Han river basin.

*Keywords:* medium stream, topographic characteristics, design width, regression methods

#### 요 지

본 연구는 한강유역 중소하천 계획하폭 산정공식을 결정하기 위하여 216개 구간의 중소하천에서의 계획홍수량, 유역면적, 하상경사, 실제하폭을 수집한 후, 1) 최소자승법(least squares, LS), 2) 최소중간치자승법(least median squares, LMS) 및 3) 재가중최소자승법(reweighted least squares, RLS)을 이용하여 경험적인 계획하폭 공식을 결정하였다. 한강유역에서의 기존하폭 산정공식과 비교하기 위하여 계획하폭 산정공식의 형식은 6가지 형으로 고려하였다. 기존하폭공식과 6가지 형의 공식을 평가하기 위하여 평균제곱근오차, 절대평균오차 및 평균오차를 계산하여 비교 검토한 결과, 하폭공식의 형식으로는 본 연구의 하폭-계획홍수량-하상경사로 표현된 공식이 적합한 것으로 나타났다. 본 연구에서 추정된 계획하폭 산정공식은 한강유역 중소하천 설계시 계획하폭 결정의 지표로 적용될 수 있으리라 기대된다.

**핵심용어 :** 중소하천, 지형학적 특성, 계획하폭, 회귀법

\* 도화종합기술공사 수자원개발부 부장

Dept. Chief, Water Resources Engrg. Dept., Dohwa Consulting Engineers Co., Ltd., Seoul 135-080, Korea

\*\* 안성산업대학교 토목공학과 전임강사

Full-Time Lecturer, Dept. of Civil Engrg., Ansong National Univ. of Industry, Ansong, Kyonggi 456-749, Korea

\*\*\* 서울산업대학교 토목공학과 교수

Prof., Dept. of Civil Engrg., Seoul National Univ. of Industry, Seoul 139-743, Korea

## 1. 서 론

'94년말 현재 전국 법정하천 개수율은 60.9 %로서 이 중 직할하천 94.1 %, 지방하천이 77.7 %, 준용하천이 57.4 %가 개수된 상태이고, 하천정비 기본계획 수립현황은 직할하천 100 %, 지방하천 94 %, 준용하천 33 %로 전체적으로 39 %가 수립되어 관측된 수문자료 및 기초자료가 부족한 준용하천의 하천정비 기본계획 수립에 어려움이 예상되고 있다. 우리나라 법정하천의 총연장은 30,416.2 km이며, 준용하천의 연장은 26,238 km로 법정하천의 약 82 %를 차지하고 있다. 하천 종류의 분류를 위한 명확한 지침은 아직 없으나, 안상진과 권봉희(1996)는 주로 계획홍수량, 유역면적 및 유로연장을 기준으로 대하천, 중소하천 및 소하천으로 분류하였다. 이에 따르면 중소하천은 유역면적이 10~400 km<sup>2</sup> 범위내에 있고, 유로연장은 5~50 km 범위내이며, 계획홍수량은 300~2,000 m<sup>3</sup>/sec 범위내에 있는 하천을 말한다. 하천법에 의하면 준용하천은 중소하천에 해당되거나 위에서 설정한 범위에 속하지 않는 경우도 많다.

하천정비 기본계획 수립을 위하여 건설부(1993)의 하천시설기준은 대하천, 중소하천 및 소하천의 계획하폭 산정공식을 제안하고 있으나, 제시된 중소하천 계획하폭 산정공식은 1930년대에 제안된 공식이다. 지정환과 고재웅(1992)은 계획하폭 산정공식의 정립을 위하여 우리나라 5대 하천 주요 수위 관측소 28개 지점을 분석하였으며 주로 대하천을 대상으로 하였다. 안상진과 권봉희(1996)는 미호천유역의 15개 중소하천을 대상으로 계획하폭을 유량, 유역면적 또는 유로연장의 멱함수로 표현된 공식을 제안하였다. 한강유역 중소하천에서의 계획하폭 산정은 건설부(1993)의 두가지 방법을 따르고 있다. 즉 계획홍수량별 계획하폭 결정 기준과 중소하천 계획하폭 산정공식이 있다. 계획홍수량 크기에 따른 계획하폭 결정기준의 적용범위는 너무 커서 설계자에 따라 많은 차이가 발생되고 있다.

본 연구의 기초자료는 우리나라 중소하천을 대표할 수 있는 한강분류 및 지류인 임진강과 안성천 유역의 중소하천을 지역적으로 안배하고, 하천정비 기본계획이 이미 수립되어 있어 지형학적 특성과 측량성과 활용이 가능한 50개 하천을 선정하였고, 선정된 하천의 지형학적 특성을 고려하여 216개 구간으로 다시 세분하였다. 표본 중소하천에서의 구간별 하상경사는 최심하상고를 기준으로 산정하였으며, 하천내 수리구조물 주변, 웅덩

이 등으로 역경사가 발생하는 구간은 조사측량시 관측된 하천수위를 이용하여 하상경사를 산정하였다. 표본 하천의 총 연장은 492.75 km이고 양안의 제방길이는 985.5 km이다. 하천 개수 현황은 하천정비 기본계획서 수립시를 기준으로 양안을 합한 제방연장 409.11 km에 해당하는 41.5 %는 새마을 사업이나 수해복구 사업으로 개수되었으나 나머지 구간은 자연상태로 있다.

하천정비 기본계획서는 개수된 구간 및 자연상태로 있는 하천구간의 현하폭과 하천정비 기본계획서 작성시 수정된 계획하폭을 함께 수록하고 있으며, 본 연구에서 표본하천의 하폭은 수정된 계획하폭을 따르지 않고, 지형학적 특성을 나타내는 자연상태 또는 하천개수 구간의 현하폭을 이용하였다. 평균 현하폭은 구간내 현하폭을 산술평균하여 산정하였다. 본 연구는 조사된 각 측정에서의 유역면적, 계획홍수량, 구간 하상경사 및 평균 현하폭을 산정한 후, 회귀분석법에 의해 평균 현하폭과 주요 지형학적 인자와의 상관관계를 구하여 적용 가능한 계획하폭 산정공식을 제안하고자 한다. 여기서 회귀 분석법으로는 최소자승법, 최소중간치 자승법 및 가중 중간치 자승법을 이용하였다.

## 2. 표본 중소하천의 선정

경기도(1984a, 1984b, 1986a, 1986b, 1986c, 1986d, 1986e 1987a, 1987b, 1989a, 1989b)의 하천정비 기본계획으로부터 표본 중소하천을 선정하였으며 선정 요건은 다음과 같이 하였다. 첫째, 한강유역(안성천 유역 포함)내에 위치한 중소하천으로서 하천정비 기본계획이 수립되어 있어 지형학적 특성과 하천측량성과 활용이 가능한 하천이다. 둘째, 강원도 산간계곡 하천은 하안과 하상이 암반으로 구성되어 있어 제외하였다. 셋째, 하천정비 기본계획이 처음으로 수립된 하천으로 인위적인 현하폭 조정이 가능한 적게 반영된 하천. 넷째, 우리나라 중부지방을 대표할 수 있는 한강분류 및 임진강, 안성천유역을 포함하여 지역적으로 안배하여 선정하였다. 채택된 연구대상 하천은 모두 준용하천 이상이며 영평천등 50개 하천의 216개 지점이다. 총 유역면적 3,153.88 km<sup>2</sup>중 중복하천 유역면적을 제외하면 순수 연구대상 유역면적은 2,179.88 km<sup>2</sup>로서 한강유역면적 26,018 km<sup>2</sup>(북한포함시 34,473.2 km<sup>2</sup>)에 안성천 유역면적 1,699.6 km<sup>2</sup>를 합한 총 유역면적 27,717.6 km<sup>2</sup>의 약 7.9 %로서 하천연장은 총 492.75 km를 대상으로 하였다. 또한 선정된 하천은 모두 하천정비 기본계획이 처음 수립된 하천으로 새마을 사업, 수해복구

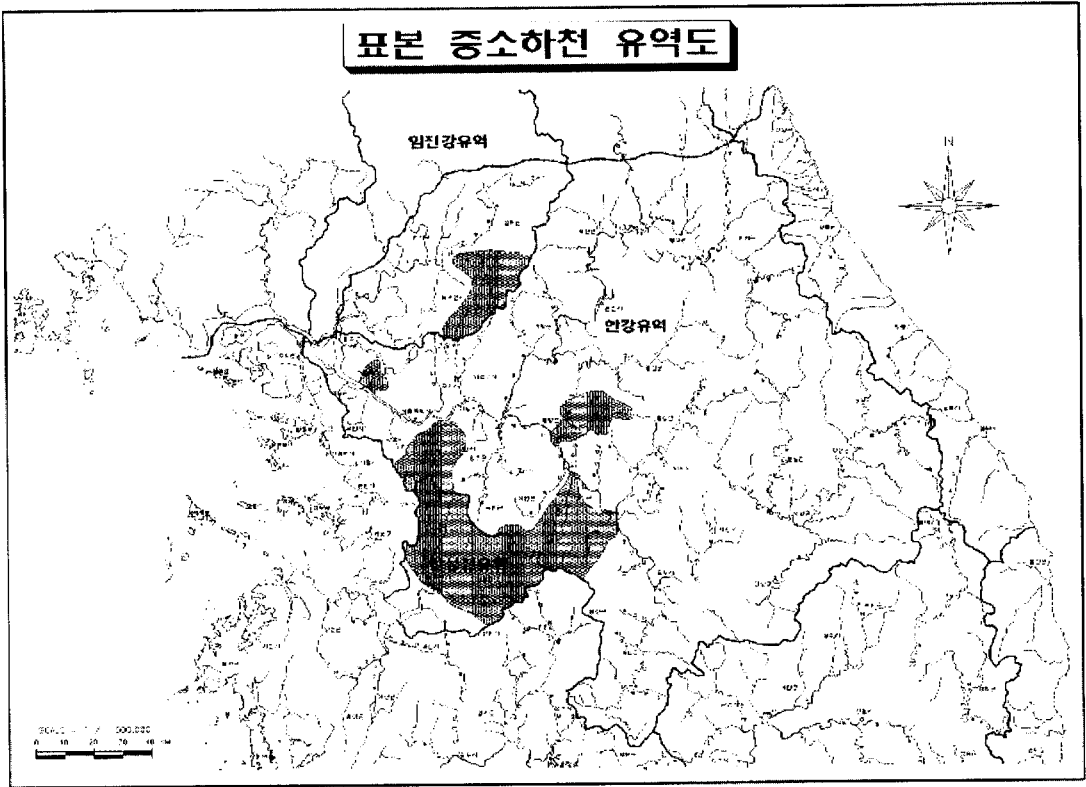


그림 1. 표본 중소하천의 유역도

등에 의해 약 41.5 %는 부분 개수가 되어 있으나, 그 외는 자연상태에 있다. 연구대상 하천의 유역특성은 표 1과 같으며 유역도는 그림 1과 같다.

표 1에서 보는 바와 같이 표본 중소하천의 규모를 살펴보면 한국수자원학회(1997)와 안상진과 권봉희(1996)의 문헌에서 규정한 소하천도 일부 포함되어 있으나 하천법에서 준용하천은 중소하천에 해당되므로 중소하천으로 간주하였다.

본 연구 대상지역인 한강유역 중소하천의 주요지점에 대해 유역면적과 계획홍수량을 최소자승법에 의해 회귀분석한 결과  $Q = 28.213A^{0.704}$  식을 얻었으며 상관계수는 0.92로 나타났고, 유역면적과 유로연장과의 관계를 회귀분석한 결과  $L = 1.50A^{0.545}$  식을 얻었으며 상관계수는 0.94로 나타났다. 여기서  $Q$ 는 계획홍수량( $m^3/sec$ ),  $A$ 는 유역면적( $km^2$ ),  $L$ 은 유로연장( $km$ )이다.

### 3. 기존 계획하폭 공식 검토

#### 3.1 하천시설기준의 계획 하폭

우리나라 계획하폭 결정기준은 건설부(1993)의 하천 시설기준에서 「계획하폭은 계획홍수량에 따라 하천의 종단경사, 지형 및 지질, 안정하도의 유지, 토지이용상황 등을 감안하여 결정한다」 라고 하면서, 표 2와 같이 계획홍수량 크기에 따른 계획하폭의 기준을 제시하고 하폭결정시는 국내에서 제시된 경험공식을 참고하여 결정하도록 하고 있다. 적용범위는 계획홍수량이  $300 \sim 5,000 m^3/sec$ 로 비교적 폭넓게 적용할 수 있으나, 적용범위가  $Q = 300 m^3/sec$ 에서는 40%(중앙값과  $\pm 20\%$ ),  $Q = 5,000 m^3/sec$ 에서는 25%(중앙값과  $\pm 12.5\%$ )로 그 범위가 너무 커서 사용자에 따라 많은 차이가 발생되고 있다. 또한 계획하폭은 단순히 유량규모에 따라 결정되는 것으로 유속의 변화에 따른 하폭변화를 고려할 수 없는 문제점을 갖고 있다.

표 1. 표본 중소하천의 계획홍수량과 유역의 지형학적 특성

하천명	유역면적 A(km <sup>2</sup> )	유로연장 L(km)	유역평균폭 A/L(km)	형상계수 A/L <sup>2</sup>	하상경사 (%)	계획홍수량 Q(m <sup>3</sup> /sec)	평 균 현하폭(m)	조 사 구간수	개 수 현 황		
									하천연장 (km)	개수연장 (km)	비율 (%)
영평천	470.60	34.00	13.84	0.407	1/ 19 ~1/565	210~2,990	32~180	8	40.6	23.37	28.8
포천천	239.53	30.50	7.85	0.257	1/240~1/935	170~1,675	31~137	16	29.0	31.8	54.8
명덕천	60.78	14.00	4.34	0.310	1/ 63 ~1/240	111~615	20~78	9	12.4	17.39	70.1
수일천	9.06	4.30	2.11	0.490	1/58	140	41	1	1.9	0.61	16.1
김명천	8.86	3.60	2.46	0.684	1/116~1/147	110~135	24~26	2	2.5	0.60	12.0
구읍천	15.60	7.00	2.23	0.318	1/ 50 ~1/111	83~170	26~34	4	6.5	7.78	59.8
좌의천	9.21	4.30	2.14	0.498	1/198~1/238	105~135	26~32	2	3.0	1.08	0.18
유금천	16.99	9.20	1.85	0.201	1/ 38 ~1/168	80~180	29~49	4	7.6	7.87	51.8
금현천	10.05	6.00	1.68	0.279	1/199~1/260	85~115	22~31	2	4.5	0.25	2.8
창동천	75.10	22.00	3.41	0.155	1/ 40 ~1/840	75~565	19~187	8	17.6	24.0	68.2
북한천	5.70	4.70	1.21	0.258	1/15	65	29	1	4.5	-	0
성사천	7.60	6.00	1.27	0.211	1/588	46	17	1	5.0	9.7	97.0
향동천	9.50	4.80	1.98	0.412	1/671	82	97	1	3.0	2.18	36.3
탄 천	189.05	26.30	7.19	0.273	1/107~1/613	135~1460	23~176	18	24.7	32.28	65.3
난대천	8.84	6.25	1.41	0.226	1/ 66 ~1/132	225~255	26~36	2	5.32	1.76	16.5
대원천	11.16	8.00	1.40	0.174	1/ 53 ~1/132	190~275	24~28	3	4.42	1.43	16.2
상직천	11.13	7.75	1.44	0.185	1/ 82 ~1/ 86	145~175	23~28	3	2.70	1.19	20.2
역수천	8.66	7.10	1.22	0.172	1/ 82 ~1/117	160~165	27~35	2	2.62	4.65	88.7
윤중천	23.10	9.65	2.39	0.248	1/ 58 ~1/237	115~330	19~59	6	8.14	12.75	78.3
남도천	9.84	6.50	1.51	0.233	1/ 64 ~1/104	120~180	26~49	3	3.12	3.97	63.6
분당천	11.51	7.00	1.64	0.235	1/ 28 ~1/202	110~195	21~31	4	3.79	3.55	46.8
동마천	28.76	10.40	2.77	0.266	1/ 55 ~1/187	110~405	18~77	7	7.15	5.81	40.6
성북천	15.62	8.40	1.86	0.221	1/ 72 ~1/143	100~245	16~47	3	4.92	3.39	34.5
질평천	7.23	6.95	1.04	0.150	1/ 62 ~1/ 87	105~125	20~23	2	5.13	4.49	43.8
옥 천	310.53	41.50	7.48	0.180	1/ 44 ~1/380	170~1,490	21~150	13	37.0	20.13	27.2
여북천	5.43	4.00	1.36	0.339	1/56	70	27	1	2.1	0.52	12.3
용두천	27.93	9.30	3.00	0.323	1/ 46 ~1/118	120~290	15~41	3	7.5	2.8	18.7
갑유천	11.00	5.50	2.00	0.364	1/46	130	28	1	4.75	-	0
터수천	4.20	4.30	0.98	0.227	1/77	60	18	1	3.25	1.33	20.5
고송천	19.23	7.00	2.75	0.392	1/ 47 ~1/100	130~220	21~46	3	4.3	-	0
부안천	34.78	11.20	3.11	0.277	1/ 54 ~1/163	150~330	26~48	3	9.5	7.54	39.7
지평천	24.70	9.50	2.60	0.274	1/ 89 ~1/275	60~170	24~48	5	5.4	-	0
용문천	44.86	13.20	3.40	0.257	1/ 31 ~1/120	140~390	33~55	4	12.0	0.72	3.0
중원천	15.90	7.30	2.18	0.298	1/ 15 ~1/ 90	110~180	27~38	3	4.5	-	0
연수천	25.53	10.60	2.41	0.227	1/ 19 ~1/ 88	140~220	22~31	4	9.5	-	0
양화천	186.10	33.70	5.52	0.164	1/240~1/1250	170~1,025	29~184	10	29.7	20.1	33.8
대신천	58.60	14.30	4.10	0.287	1/214~1/704	130~540	16~70	5	13.5	7.8	28.9
안남천	16.90	7.70	2.19	0.285	1/177	200	30	1	6.0	3.1	25.8
매유천	8.60	5.00	1.72	0.344	1/228	155	32	1	2.9	1.4	24.1
해룡천	10.40	4.90	2.12	0.433	1/610	185	17	1	5.0	2.5	25.0
도리천	10.90	5.00	2.18	0.436	1/617	195	19	1	3.2	1.8	28.1
침미천	403	35.90	11.23	0.313	1/237~1/1176	130~1,200	49~189	8	34.2	42.86	62.7
석원천	49.60	12.20	4.07	0.333	1/433~1/568	200~270	42~88	3	6.1	6.94	56.9
죽산천	55.00	14.90	3.69	0.248	1/226~1/535	60~290	20~81	4	12.5	8.28	33.1
안성천	147.37	21.40	6.89	0.322	1/150~1/699	170~810	27~141	7	21.0	20.42	48.6
진위천	203.69	33.50	6.08	0.182	1/441~1/800	435~850	135~198	6	19.6	28.35	72.3
오산천	29.79	10.60	2.81	0.265	1/146~1/301	147~251	33~60	5	7.24	5.33	36.8
신리천	17.36	7.90	2.20	0.278	1/270~1/339	125~170	35~53	3	4.30	8.60	100
청룡천	61.10	17.00	3.59	0.211	1/ 60 ~1/350	133~245	22~56	6	12.15	16.69	68.7
신룡천	14.00	8.30	1.69	0.203	1/325~1/339	104~118	22~35	2	5.45	-	0
계	3,153.88 (2,179.73)							216	492.75	409.11	41.5

주) 1. ( )내는 중부유역면적을 제외한 수치임. 2. 개수연장은 양안을 합한 제방연장임.

표 2. 계획홍수량 크기에 따른 계획하폭

계획홍수량 (m <sup>3</sup> /sec)	하 폭 (m)	중앙값 (m)	중앙값과 적용범위(%)	비 고
300	40~60	50	±20	
500	60~80	70	±14.3	
800	80~110	95	±15.8	
1,000	90~120	105	±14.3	
2,000	160~220	190	±15.8	
5,000	350~450	400	±12.5	
5,000이상				

3.2 소하천에서 경험공식

건설부(1993)에서는 소하천에 대해 식 (1a), 식 (1b)와 같이 제시하고 있으나 계획홍수량이 300 m<sup>3</sup>/sec 이하이고 유역면적이 10 km<sup>2</sup> 이하인 소하천에 대해 적용토록 규정되어 있다.

$$B = 1.235Q^{0.6376} \tag{1a}$$

$$B = 8.794A^{0.5603} \tag{1b}$$

여기서 B는 계획하폭(m)이고, Q는 계획홍수량(m<sup>3</sup>/sec)며, A는 유역면적(km<sup>2</sup>)이다.

3.3 대하천 경험공식

건설부(1993)의 하천시설기준은 대하천 계획하폭 공식으로 다음 식 (2)를 제시하고 있다. 이 공식은 설계 유량과 함께 하상경사를 고려함으로써 유속변화에 따른 하폭변화를 고려할 수 있으나 적용할 수 있는 하상경사가 매우 완만하여 1/1000이상으로 급한 하천에는 적용이 곤란하다.

$$B = \alpha Q^{0.73} \tag{2}$$

여기서 α는 하상경사에 따른 계수다.

3.4 중소하천 경험공식

건설부(1993)의 하천시설기준은 중소하천에서의 계

표 3. 하상경사에 따른 α계수

하상경사(I)	1/1,000	1/2,000	1/3,000	1/4,000	1/5,000
α	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45

획하폭 결정을 위한 경험식으로 식 (3a) 및 식 (3b)를 제시하고 있다.

$$B = 1.698 \frac{A^{0.318}}{\sqrt{I}} \text{ 남부지방(경남북, 전남북)} \tag{3a}$$

$$B = 1.303 \frac{A^{0.318}}{\sqrt{I}} \text{ 중부지방(경기, 충남북, 강원)} \tag{3b}$$

안상진과 권봉희(1996)는 미호천유역의 15개 중소하천을 대상으로 주요 수리학적 특성 인자와 상관시켜 경험공식을 식 (4a)~식 (4c)와 같이 제시하였다.

$$B = 1.523Q^{0.644} \tag{4a}$$

$$B = 12.392A^{0.511} \tag{4b}$$

$$B = 10.509L^{0.852} \tag{4c}$$

여기서 L은 유로연장(km)이다.

4. 계획하폭공식 선정

4.1 회귀분석법

중소하천의 계획하폭은 계획홍수량 및 지형학적 인자에 따라 영향을 받는다. 수리학적 개념으로 볼 때 하폭은 유량과 하상경사의 제곱근의 함수 관계를 갖고 있으나, 본 연구에서는 계획하폭에 영향을 주는 주요 인자를 고려하여 다음 식 (5)~식 (10)과 같은 6가지 유형의 경험공식으로서 비교 분석하였다.

$$B = \alpha Q^\beta \tag{5}$$

$$B = \alpha \left( \frac{Q}{\sqrt{I}} \right)^\beta \tag{6}$$

$$B = \alpha \left( \frac{A}{\sqrt{I}} \right)^\beta \tag{7}$$

$$B = \alpha I^{\beta_1} Q^{\beta_2} \tag{8}$$

$$B = \alpha I^{\beta_1} A^{\beta_2} \tag{9}$$

$$B = a I^{\beta_1} A^{\beta_2} Q^{\beta_3} \quad (10)$$

여기서  $I$ 는 하상경사,  $a$ ,  $\beta$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  및  $\beta_3$ 는 회귀분석에 의하여 결정되는 상수이다.

표 1과 같이 선정한 216개 중소하천의 계획홍수량과 유역의 지형학적 특성을 이용하여 계획하폭을 결정하기 위하여 최소자승법(least squares method, LS), 최소중간치자승법(least median squares method, LMS) 및 LMS를 근본으로한 재가중최소자승법(reweighted least squares method based on the LMS, RLS)을 적용하였다. 최소자승법은 회귀방정식의 상수를 결정하기 위하여 잔차제곱치의 누계를 최소화하는 방법으로 다음 식 (11)과 같이 표현된다.

$$\text{minimize}_{b_0, b_1} \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (11)$$

여기서  $e_i$ 는 잔차로서 관측치  $y_i^{\text{obs}}$ 와 계산치  $y_i^{\text{comp}}$ 와의 차이이다. 계산치  $y_i^{\text{comp}}$ 는 다음과 같은 식으로 표현되며,  $y_i^{\text{comp}} = b_0 + b_1 x_i$ , 여기서  $b_0$ 와  $b_1$ 는 상수이고  $x_i$ 는 독립변수이다.

일반적으로 관측자료에는 극치인 우연치(outlier)를 포함하고 있다. 최소자승법은 이 우연치를 포함한 잔차의 제곱 누계를 최소화하여 회귀상수를 결정한다. 최소중간치자승법(LMS)은 식 (12)와 같이 잔차제곱의 중간치를 최소화하는 방법으로 자료의 극치를 과대평가하지 않는 robust 방법으로 평가되고 있다(Rousseeuw, 1984). 그러므로 최소자승법은 우연치에 민감하게 최소중간치자승법은 우연치에 둔감하므로 동일한 관측자료에 관하여 서로 다른 회귀상수를 계산한다. 최소자승법에 의하여 감지되지 못하는 우연치는 최소중간치자승법에 의하여 감지된다.

$$\text{minimize}_{b_0, b_1} \text{median}_{i=1, \dots, n} e_i^2 \quad (12)$$

재가중최소자승법은 최소자승법에 LMS 절대잔차의 함수로 계산되는 가중치  $w_i$ 를 포함하고 있으며 다음 식 (13)과 같다(Rousseeuw와 Leroy, 1987).

$$\text{minimize}_{b_0, b_1} \sum_{i=1}^n w_i e_i^2 \quad (13)$$

가중치  $w_i$ 는 이진변수(binary)이며 LMS 절대잔차의 값에 따라 결정되며 다음 식 (14)와 같다.

$$w_i = 1 \quad \text{if } |e_i/\sigma| \leq 2.5 \quad (14)$$

$$0 \quad \text{otherwise}$$

$\sigma$ 는 오차 측정(error scale)이며 다음 식 (15)를 이용하여 계산한다.

$$\sigma = C \sqrt{\text{med}_i e_i^2} \quad (15)$$

여기서  $e_i$ 는 LMS법에 의한 계산치와의 잔차이며  $C$ 는 보정계수이다. 우연치에 둔감하게 회귀상수를 계산하는 최소중간치자승법과 재가중최소자승법에 의한 회귀식은 최소자승법에 의한 회귀식의 절편과 기울기를 개선시킬 수 있다.

## 4.2 계획하폭공식 선정

선형회귀법은 LS법, LMS법 및 RLS법을 적용하였다. 중부지방 중소하천 계획하폭산정식은 단순회귀법을 이용하여 식 (5)~식 (7)과 같은 형식으로 구하였고, 다중회귀법으로 식 (8)~식 (10)과 같은 형식으로 추정되었다. 하폭은 표 1에서의 평균하폭을 적용하였으며, 결정된 각 하폭산정공식과 회귀분석법의 정확성과 적용성을 평가하기 위하여 계산한 평균제곱근오차(root mean squared errors, RMSE), 절대평균오차(absolute mean errors, AME) 및 평균오차(mean errors, ME)는 표 4에 나타내었다. LS법을 해석하기 위한 프로그램은 Fortran 언어로 작성하였으며, LMS법과 RLS법은 Rousseeuw와 Leroy (1987)가 개발한 프로그램 PROGRESS를 이용하였다. 표 4에서 보는 바와 같이 회귀법에 의한 중소하천의 계획하폭 산정공식으로 식 (5)~식 (10)과 같은 유형이 적합함을 알 수 있으며, 회귀법으로는 LS법과 RLS법이 적합함을 보여주고 있으나 LMS법의 결과는 양호하지 않았다.

회귀법으로 결정된 예측 공식의 정확성과 적용성은 평균제곱근오차, 절대평균오차 및 평균오차로 평가할 수 있다. 평균오차는 회귀식의 편중(biased) 정도를 말해 주며 평균오차가 0이면 유도된 회귀식은 자료에 관하여 편중되지 않은 식이라 할 수 있다. 표 4에서 보는 바와 같이 각 회귀법으로 결정된 각 유형의 계획하폭공식의 오차 범위가 크지 않아, 오차를 이용하여 공식의 적용성을 판단하기 어렵다. 예를 들면 식 (6)과

표 4. 한강유역 중소하천의 계획하폭 공식과 오차

형 식	계획 하폭 공식	방 법	RMSE, AME, ME	보정식	RMSE, AME	적용 여부	공식 번호
$B = f(Q)$	$B_C = 0.983 Q^{.698}$	LS	25.4 16.2, 3.0	$B = 6.30 + 0.95B_C$	0.9 2.61	○	(16)
	$B_C = 0.691 Q^{.736}$	LMS	27.2 16.7, 9.9	$B = 9.90 + 1.00B_C$	3.0 9.90		(17)
	$B_C = 0.896 Q^{.710}$	RLS	25.6 16.2, 4.1	$B = 7.51 + 0.94B_C$	1.1 3.12		(18)
$B = f\left(\frac{Q}{\sqrt{I}}\right)$	$B_C = 0.767 \left(\frac{Q}{\sqrt{I}}\right)^{.506}$	LS	20.4 14.0, 2.8	$B = 0.28 + 1.04B_C$	1.5 4.48		(19)
	$B_C = 0.475 \left(\frac{Q}{\sqrt{I}}\right)^{.554}$	LMS	21.0 14.2, 5.3	$B = 6.16 + 0.98B_C$	1.3 4.06		(20)
	$B_C = 0.632 \left(\frac{Q}{\sqrt{I}}\right)^{.528}$	RLS	20.3 14.0, 2.3	$B = 3.14 + 0.98B_C$	0.5 1.27	○	(21)
$B = f\left(\frac{A}{\sqrt{I}}\right)$	$B_C = 4.513 \left(\frac{A}{\sqrt{I}}\right)^{.409}$	LS	17.5 12.2, 2.0	$B = 0.78 + 1.02B_C$	0.9 2.88		(22)
	$B_C = 3.985 \left(\frac{A}{\sqrt{I}}\right)^{.425}$	LMS	17.7 12.2, 2.7	$B = 3.31 + 0.99B_C$	0.7 2.26	○	(23)
	$B_C = 4.510 \left(\frac{A}{\sqrt{I}}\right)^{.408}$	RLS	17.6 12.2, 2.5	$B = 0.73 + 1.02B_C$	0.9 2.83		(24)
$B = f(I, Q)$	$B_C = 0.760 I^{-.197} Q^{.560}$	LS	21.1 14.1, 2.5	$B = 2.04 + 1.01B_C$	1.0 3.09	○	(25)
	$B_C = 0.586 I^{-.141} Q^{.640}$	LMS	23.5 14.8, 7.5	$B = 6.77 + 1.01B_C$	2.4 7.82		(26)
	$B_C = 0.704 I^{-.196} Q^{.572}$	RLS	21.2 14.2, 3.0	$B = 3.19 + 1.00B_C$	1.0 3.19		(27)
$B = f(I, A)$	$B_C = 6.633 I^{-.073} A^{.502}$	LS	18.7 12.2, 1.5	$B = 4.15 + 0.96B_C$	0.7 2.00		(28)
	$B_C = 4.793 I^{-.147} A^{.472}$	LMS	18.1 12.0, 2.8	$B = 4.87 + 0.97B_C$	0.7 1.99		(29)
	$B_C = 6.288 I^{-.093} A^{.485}$	RLS	18.4 12.0, 2.0	$B = 3.13 + 0.98B_C$	0.5 1.27	○	(30)
$B = f(I, A, Q)$	$B_C = 5.243 I^{-.079} A^{.453} Q^{.0639}$	LS	18.8 12.1, 2.1	$B = 4.08 + 0.96B_C$	0.7 2.00	○	(31)
	$B_C = 3.759 I^{-.117} A^{.557} Q^{.016}$	LMS	21.8 13.1, 0.2	$B = 13.44 + 0.80B_C$	4.2 11.43		(32)
	$B_C = 3.967 I^{-.080} A^{.425} Q^{.126}$	RLS	19.3 12.3, 1.8	$B = 6.08 + 0.94B_C$	1.1 3.00		(33)
$B = f\left(\frac{A}{\sqrt{I}}\right)$	$B_C = 1.303 \frac{A^{0.318}}{\sqrt{I}}$		4.2 17.4, 5.9	$B = 11.17 + 0.77B_C$	5.6 15.15		(3b)

같은 유형에서 RLS법은 LS법에 의한 공식보다 절편과 경사를 개선시켰지만 그 정도는 미미하였다. 따라서 각 계획하폭공식을 적용하여 표 1의 값으로 계획하폭을 계산하고, 계산된 하폭( $B_C$ )과 실제하폭간( $B$ )의

관계식을 회귀식으로 표현하였으며, 이를 보정식으로 하였다. 보정식에 계산하폭을 10 m부터 10 m씩 200 m까지 증가시키고 실제하폭과의 평균제곱근오차와 절대평균오차를 계산하였다. 평균제곱근오차와 절대평균

표 5. 채택된 계획하폭 산정 공식의 보정치

(단위: m)

계산된 하 폭	식 (16)		식 (21)		식 (23)		식 (25)		식 (30)		식 (31)	
	실제 하폭	보정치	실제 하폭	보정치	실제 하폭	보정치	계산 하폭	보정치	계산 하폭	보정치	계산 하폭	보정치
10.0	15.8	5.8	12.9	2.9	13.2	3.2	12.1	2.1	12.9	2.9	15.5	5.5
20.0	25.3	5.3	22.7	2.7	23.1	3.1	22.2	2.2	22.7	2.7	24.9	4.9
30.0	34.8	4.8	32.5	2.5	33.0	3.0	32.3	2.3	32.5	2.5	34.3	4.3
40.0	44.3	4.3	42.3	2.3	42.9	2.9	42.4	2.4	42.3	2.3	43.7	3.7
50.0	53.8	3.8	52.1	2.1	52.8	2.8	52.5	2.5	52.1	2.1	53.1	3.1
60.0	63.3	3.3	61.9	1.9	62.7	2.7	62.6	2.6	61.9	1.9	62.5	2.5
70.0	72.8	2.8	71.7	1.7	72.6	2.6	72.7	2.7	71.7	1.7	71.9	1.9
80.0	82.3	2.3	81.5	1.5	82.5	2.5	82.8	2.8	81.5	1.5	81.3	1.3
90.0	91.8	1.8	91.3	1.3	92.4	2.4	92.9	2.9	91.3	1.3	90.7	0.7
100.0	101.3	1.3	101.1	1.1	102.3	2.3	103.0	3.0	101.1	1.1	100.1	0.1
110.0	110.8	0.8	110.9	0.9	112.2	2.2	113.1	3.1	110.9	0.9	109.5	-0.5
120.0	120.3	0.3	120.7	0.7	122.1	2.1	123.2	3.2	120.7	0.7	118.9	-1.1
130.0	129.8	-0.2	130.5	0.5	132.0	2.0	133.3	3.3	130.5	0.5	128.3	-1.7
140.0	139.3	-0.7	140.3	0.3	141.9	1.9	143.4	3.4	140.3	0.3	137.7	-2.3
150.0	148.8	-1.2	150.1	0.1	151.8	1.8	153.5	3.5	150.1	0.1	147.1	-2.9
160.0	158.3	-1.7	159.9	-0.1	161.7	1.7	163.6	3.6	159.9	-0.1	156.5	-3.5
170.0	167.8	-2.2	169.7	-0.3	171.6	1.6	173.7	3.7	169.7	-0.3	165.9	-4.1
180.0	177.3	-2.7	179.5	-0.5	181.5	1.5	183.8	3.8	179.5	-0.5	175.3	-4.7
190.0	186.8	-3.2	189.3	-0.7	191.4	1.4	193.9	3.9	189.3	-0.7	184.7	-5.3
200.0	196.3	-3.7	199.1	-0.9	201.3	1.3	204.0	4.0	199.1	-0.9	194.1	-5.9

오차를 기준으로 공식 채택 여부를 판단하면, 각 유형별로 볼 때 식 (16), 식 (21), 식 (23), 식 (25), 식 (30), 식 (31)이 각각 선정되었다. 한편 건설부(1993)의 식 (3b)에 의한 각 오차는 식 (5)~식 (10)의 각 오차보다 큰 것으로 나타났다.

표 5는 채택된 계획하폭 공식으로부터 계산된 하폭을 실제하폭에 근접하는 보정치를 계산한 바, 보정치는 표 4의 계산하폭과 실제하폭의 관계식으로부터 구하였다. 표 4의 평균제곱근오차와 절대평균오차를 근거로 보면 식 (21)과 식 (30)이 가장 적합한 공식이나 수리학적 개념으로 볼 때 식 (21)이 더 합리적인 것으로 판단된다.

$$B_C = 0.632 \left( \frac{Q}{\sqrt{I}} \right)^{.528}, B = 3.14 + 0.98B_C \quad (21)$$

식 (21)을 정리하면

$$B = 3.14 + 0.619 \left( \frac{Q}{\sqrt{I}} \right)^{0.528} \quad (34)$$

여기서  $B$ 는 보정된 하폭(m),  $B_C$ 는 계산된 계획하

폭(m)이다.

### 4.3 기존공식과 비교

표 6은 본 연구에서 산정한 계획하폭공식과 건설부(1993)의 중소하천공식을 이용하여 계산한 계획하폭을 나타내었다. 계획하폭은 식 (16), 식 (21), 식 (23), 식 (25), 식 (30) 및 식 (31)로 계산한 후 표 4의 보정식을 적용하여 보정하였다. 식 (5)와 같은 유형의 계획하폭은 홍수량의 함수로만 표현되어 건설부(1993)의 하천시설기준과 같이 하상경사를 고려하지 못한다. Manning 공식에서 하폭은 홍수량과 하상경사의 제곱근의 함수관계로 표시할 수 있으므로, 식 (6)~식 (10)과 같이 하상경사를 고려한 유형은 하상경사에 따라 계획하폭이 변하여 개수로의 유량공식을 잘 반영하고 있다.

표 6의 결과를 정성적으로 평가하기 위하여 임의의 하천을 광폭구형단면이라 가정하고 Manning 평균유속공식을 적용하여 보았다. 계산된 하폭, 계획홍수량 및 하상경사를 대입하여 수심을 계산한 후, 평균유속을 계산하면 건설부(1993)의 식 (3b)에 의한 평균유속은 급회 공식에 의한 평균유속에 비하여 급경사에서 작고 완경사에서 크게 계산됨을 알 수 있었다. 또한 식 (3b)에



표 6. 임의 홍수량과 유역면적에 대한 계획하폭 비교

홍수량 ( $m^3$ )	유역 면적 ( $km^2$ )	하 상 경 사	건설부(1993)에 의한 하폭(m)		본 연구 결과에 의한 하폭(m)					
			설계 기준	식 (3)	식 (16)	식 (21)	식 (23)	식 (25)	식 (30)	식 (31)
300.	30.	1/50	40-60	27	56	38	42	42	49	50
		1/100	"	38	56	46	48	48	52	53
		1/250	"	61	56	57	57	58	57	56
		1/500	"	86	56	68	66	66	60	59
		1/750	"	105	56	75	72	71	62	61
		1/1000	"	122	56	81	76	75	64	62
		1/2000	"	172	56	97	88	86	68	65
500.	60.	1/50	60-80	34	78	49	55	56	68	69
		1/100	"	48	78	59	63	64	72	73
		1/250	"	76	78	74	76	76	78	78
		1/500	"	107	78	88	88	87	83	82
		1/750	"	131	78	98	95	94	86	84
		1/1000	"	151	78	105	101	99	88	86
		1/2000	"	214	78	126	116	113	94	91
1000.	160.	1/50	90-120	46	122	70	82	81	107	110
		1/100	"	65	122	83	94	93	114	116
		1/250	"	103	122	105	114	111	124	124
		1/500	"	146	122	126	131	127	132	131
		1/750	"	179	122	140	143	137	137	135
		1/1000	"	207	122	150	151	145	140	138
		1/2000	"	293	122	180	175	166	150	145
2000.	400.	1/50	160-220	62	194	99	119	119	165	171
		1/100	"	88	194	119	137	136	176	181
		1/250	"	138	194	150	166	163	191	194
		1/500	"	196	194	180	192	186	204	204
		1/750	"	240	194	200	209	202	212	211
		1/1000	"	277	194	215	222	213	217	216
		1/2000	"	392	194	258	256	244	232	228

주)  $\frac{1}{2000}$ 는 설계기준하폭 적용범위내에 있는 수치임.

의한 수심은 하상경사에 관계없이 거의 일정하여 평균 유속 계산시 거의 일정한 수심에 관하여 하폭만 넓어 지나, 급회 공식에 의한 수심은 하상경사가 완만할수록 증가하여 식 (3b)보다 합리적인 공식이라 할 수 있다.

### 5. 결 론

한강유역 중소하천의 계획하폭은 기존의 하천시설기준은 단순히 유량규모에 따라 하폭이 결정되어 같은 유량일 경우 적용범위가 25%~40%까지 매우 커서 사용자에 따라 많은 차이가 발생되고 하천시설기준의 중소하천 경험공식은 급경사에서는 작게, 완경사에서는 크게 산정되는 경향이 있어 하상경사의 변화에 민감하게 반응한다. 따라서 본 연구는 한강유역 50개소 중소하천의 216개 주요 구간의 계획홍수량, 유역면적, 하상

경사를 이용하고, 계획하폭을 산정하는 식을 회귀법을 적용하여 유도하였다.

최적계획하폭 산정식 결정을 위한 회귀법은 최소자승법(LS), 최소 중간치 자승법(LMS), 최소중간치자승법을 근거로 한 재가중최소자승법(RLS)을 적용하였으며, 결정된 하폭공식을 평가하기 위하여 각 오차를 계산하였다. 분석 결과에 의하면 LS법과 RLS법이 LMS법보다 적용성이 높았으며, 계획하폭 공식의 형식으로는 식 (21)과 식 (30)의 오차가 적어 적합한 공식으로 나타났으나 식 (21)이 수리학적 특성을 나타내는 하폭-계획홍수량-하상경사로 표현되어 다른 공식보다 합리적인 것으로 판단된다. 하천시설기준에서의 중소하천 계획하폭 산정식과 본 연구에서 유도한 공식을 비교하기 위하여 216개 구간 한강유역 중소하천에 적용한 결

과, 본 연구에 의한 공식의 오차가 적은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 추정된 계획하폭 산정공식은 한강유역 중소하천의 계획하폭 결정에 있어서 한 지표로 적용될 수 있으리라 기대된다.

### 참 고 문 헌

건설부 (1993). 하천시설기준. pp. 689-691.  
 경기도 (1984a). 청미천 하천정비 기본계획.  
 경기도 (1984b). 흑천 하천정비 기본계획.  
 경기도 (1986a). 안성천 하천정비 기본계획.  
 경기도 (1986b). 양화천 하천정비 기본계획.  
 경기도 (1986c). 영평천 하천정비 기본계획.  
 경기도 (1986d). 오산천 하천정비 기본계획.  
 경기도 (1986e). 포천천 하천정비 기본계획.  
 경기도 (1987a). 청룡천 하천정비 기본계획.  
 경기도 (1987b). 탄천 하천정비 기본계획.  
 경기도 (1989a). 진위천 하천정비 기본계획.

경기도 (1989b). 청룡천 하천정비 기본계획.

안상진, 권봉희 (1996). “우리나라 중부지방의 중소 하천에 대한 계획 하폭의 산정”. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 29권, 제 4호, pp. 139-147.

지정환, 고재웅 (1992). “우리나라 하천의 수리기하학적 특성에 관한 연구.” 제34회 수공학연구발표회논문집, 한국수문학회, pp. 187-195.

한국수자원학회 (1997). 소하천시설편람.

Rousseeuw, P. (1984). “Least median of squares regression.” *J. of Am. Stat. Assoc.* Vol. 79, pp. 871-880.

Rousseeuw, P. and Leroy, A. (1987). *Robust Regression and Outlier Detection*. Wiley, New York.

(논문번호:98-048/접수:1998.07.31/심사완료:1998.10.15)