

강원영서지역 소하천의 초기계획하폭 산정에 관한 연구

A Study on the Estimation of Initial Design-Width for Small Stream in the West Side Area of GangWon Province

방윤현*, 김상호**

Yoon Hyun Bang, Sang Ho Kim

요 지

하천은 지역별, 하천별 고유한 유역형상과 유출특성을 갖고 있어 계획과 관리를 위한 계획하폭 산정공식은 지역고유의 수문학적, 지역적 특성에 따라 달라야 하지만, 현재 적용되고 있는 설계기준의 계획하폭 산정공식은 최근 강우 경향 및 하천 주변 토지이용 고도화 등의 지역특성 여건변화가 고려되지 못하고 있는 실정이다. 특히 소하천의 경우에는 중·대규모의 하천과 달리 계획하폭 산정을 위한 지역별 매개변수의 편차가 커 기존 산정된 공식을 활용함에 있어 어려움이 따르며, 토지이용 효율성 및 치수 경제성이 낮은 비효율적 계획하폭이 결정될 개연성이 있는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 한반도 내륙기후특성을 가지는 강원영서지역 소하천에 대한 초기계획하폭 제안식을 산정하기 위해 계획홍수량(Q), 유역면적(A), 하상경사(S)에 대한 회귀분석을 실시하였다. 이를 통해 산정된 관계식은 기초 매개변수만 가지고 쉽게 초기계획하폭을 산정할 수 있어 지역 및 하천특성에 부합되는 개수계획 수립에 활용할 수 있다.

핵심용어 : 초기계획하폭, 강원영서, 소하천, 계획홍수량

1. 서론

최근 우리나라는 지구온난화 등의 영향으로 이상강우가 자주 발생하며, 이로 인한 홍수피해로 인명 및 재산 손실이 크게 발생하고 있는 추세이다. 따라서 이러한 피해를 예방하기 위하여 각 지자체 별로 소하천정비종합 계획 재수립 및 하천기본계획을 재수립하고 있으며 홍수예방에 대한 하천개수의 중요성이 부각되고 있다.

하지만 이러한 실정에도 불구하고 하천개수에 있어 하천의 최적 하폭 결정은 지역별, 하천별 고유한 유역형상과 유출특성을 고려하여 법선 위치를 결정해야 하나 대체적으로 하도계획을 수립하는데 사용되는 계획하폭 공식은 현재 국내에서 제시된 경험공식을 참고로 하여 결정하고 있는 추세로, 오늘날 강우경향과 하천주변 토지이용 고도화 등 여건변화가 고려되지 못하고 있는 실정이다. 특히 소하천의 경우에는 대규모 및 중규모 하천과 달리 계획하폭 산정을 위한 지역별 매개변수의 편차가 커 기존 산정된 공식을 활용함에 있어 어려움이 따르며, 이에 따라 초기계획하폭을 이용한 적정 계획하폭 결정까지 반복적인 수리계산이 필요하기 때문에 개수계획 수립 업무 효율성 저하와 더불어 토지이용 효율성 및 치수경제성이 낮은 비효율적 계획하폭이 결정될 개연성이 있다.

따라서 본 연구에서는 한반도 내륙기후특성을 가지는 강원영서지역 소하천에 대해 계획홍수량(Q), 유역면적(A), 하상경사(S)에 대한 회귀분석을 통한 초기계획하폭 제안식을 제시하고자 한다.

2. 연구 대상 소하천의 선정

최근 설계기준 및 강우경향 고려와 통계적 유의성 확보를 위하여 30개년 이상의 시우량을 보유하고 있는

* 정회원 · 주식회사 청솔엔지니어링 대표이사 · E-mail : byh8189@hanmail.net

** 정회원 · 상지대학교 이공과대학 건설시스템공학과 교수 · E-mail : kimsh@sangji.ac.kr

강원영서지역의 춘천관측소, 원주관측소, 인제관측소, 홍천관측소를 지배관측소로 채택하였으며, 최근 수립된 소하천정비종합계획에 한하여 133개소 351개 지점 구간을 연구 대상 소하천으로 선정하였다.

표 1. 강원영서지역 연구 대상 유역수문특성

구 분		화천군 간동면	원주시 소초면	양구군 양구읍	홍천군 홍천읍	계
기상관측소		춘천관측소	원주관측소	인제관측소	홍천관측소	-
관측시작연도		1966	1971	1971	1971	-
소하천 개수		45	14	53	21	133
지점 개수		95	44	163	49	351
계획 홍수량 Q(m ³ /s)	최소	0.17	0.26	0.11	0.53	0.11
	최대	14.70	12.61	8.97	13.28	14.70
	평균	2.50	2.37	1.61	3.10	2.40
유역 면적 A(km ²)	최소	5	6	2	15	2
	최대	264	199	122	136	264
	평균	59	45	23	54	40
하상 경사 S(-)	최소	0.0408	0.0037	0.0263	0.0247	0.0037
	최대	0.3478	0.2224	0.5183	0.2030	0.5183
	평균	0.1433	0.0681	0.1320	0.0770	0.1194
계획 하폭 B(m)	최소	3	4	2	7	2
	최대	43	27	26	33	43
	평균	13	12	10	12	11

3. 기존 계획하폭 공식 검토

소하천의 초기계획하폭 결정에 있어 현재까지 사용되고 있는 방법으로 하천설계기준·해설(한국수자원학회, 2009)에서 제시한 중소하천 공식 및 소하천 설계기준(소방방재청, 2012)에서 제시한 소하천 공식이 있다. 중소하천공식의 경우 중부지방 및 남부지방을 구분하여 유역면적(A) 및 하상경사(S)에 따른 계획하폭 공식을 제시하였으며, 소하천 공식의 경우 계획홍수량 300m³/s 이하이고, 유역면적이 10km² 이하인 소하천에 대해 적용하도록 규정되어있다. 하지만 중소하천 공식(야마시타 마사오, 1940, 1941) 및 소하천 공식(이동물 등, 1990)은 과거에 산정한 공식으로 현재의 강우특성 및 하천 주변 토지이용의 고도화 등 지역여건 변화와 하천특성이 반영되지 않은 문제점이 있다.

표 2. 기존 계획하폭 공식

구 분	산정 공식	비 고
중소하천 공식	$1.303 \frac{A^{0.318}}{S^{.5}}$	중부지방(경기·강원·충남북)
	$B = 1.698 \frac{A^{0.318}}{S^{0.5}}$	남부지방(호남·영남)
소하천 공식	$B = 1.235 Q^{0.6376}$	$Q < 300 \text{ m}^3/\text{s}$
	$B = 8.794 A^{0.5603}$	$A < 10 \text{ km}^2$

여기서 B는 계획하폭, Q는 계획홍수량, A는 유역면적, S는 하상경사이다.

4. 강원영서지역 초기계획하폭 제안식의 유도

4.1 매개변수별 상관분석

초기계획하폭 산정에 있어 계획하폭과의 상관성을 파악하기 위하여 계획하폭 결정에 가장 영향을 많이 미치는 매개변수인 계획홍수량(Q), 유역면적(A), 하상경사(S)을 대상으로 피어슨(Pearson)의 상관계수 분석을 실시하였으며, 상관계수 분석을 위한 매개변수로는 각 시·군의 소하천정비종합계획에서 산정한 결과 값을 활용하였다.

표 3. 피어슨의 상관계수 분석

구 분	계획홍수량(Q)	유역면적(A)	하상경사(S)
상관계수	0.860	0.858	-0.359

산정 결과 계획하폭(B)과 가장 상관성이 높은 매개변수는 계획홍수량(Q)으로 나타났으며, 유역면적(A)도 상관성이 큰 것으로 나타났다. 또한 하상경사의 경우 소하천 특성상 대규모 및 중규모의 하천과는 달리 유로연장이 짧고 급경사를 이루고 있어 계획하폭별 하상경사의 편차가 커 상관성이 낮게 나오는 것으로 검토되었다.

4.2 초기계획하폭 제안식의 유도

초기계획하폭 산정을 위하여 선형 회귀분석을 통하여 산정식을 유도하였으며, 각각의 매개변수에 대한 산정식 유도 및 매개변수 조합을 통한 이변량, 삼변량 일차방정식에 의한 산정식의 적용성을 검토하였다.

그림 1~3은 계획하폭에 대한 각 매개변수별 회귀분석을 실시한 결과를 나타내고 있는데, 계획홍수량(Q) 및 유역면적(A)의 경우 결정계수(R²)가 각각 0.8101 및 0.8305로 상대적으로 높게 나타났으며 하상경사(S)의 경우 0.1726으로 낮게 나타났다.

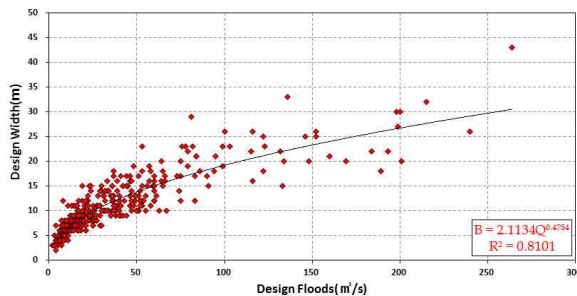


그림 1. 계획홍수량(Q)과 계획하폭(B)과의 관계

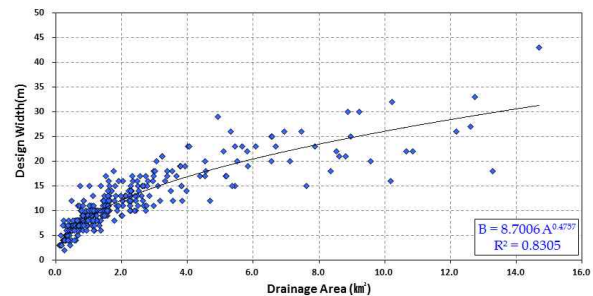


그림 2. 유역면적(A)과 계획하폭(B)과의 관계

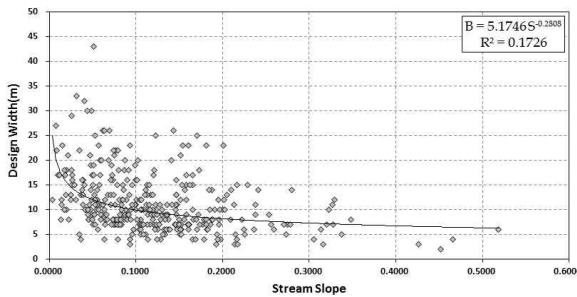


그림3. 하상경사(S)와 계획하폭(B)과의 관계

표 4. 매개변수에 따른 계획하폭 산정식

구 분	산정식	R ²
금회 산정(Q)	$2.1134 \times Q^{.4784}$	0.8101
금회 산정(A)	$B = 8.7006 \times A^{0.4757}$	0.8305
금회 산정(S)	$B = 5.1746 \times S^{-0.2808}$	0.1726

표 5는 매개변수 조합을 통한 이변량 일차방정식 및 삼변량 일차방정식을 나타내고 있으며, 대부분 결정계수(R²)는 0.7401~0.7682로 방정식간 큰 차이는 없는 것으로 나타났으며, 표 4의 하나의 매개변수를 이용한 산정식인 계획홍수량(Q)과 유역면적(A)에 비해 결정계수(R²)는 작게 나오는 것으로 나타났다.

표 5. 선형 회귀분석을 통한 방정식 개발

구 분	산정 공식	결정계수(R ²)
이변량 일차방정식(Q, A)	$B = 6.543 + (Q \times 0.0637) + (A \times 1.0456)$	0.7648
이변량 일차방정식(Q, S)	$B = 7.467 + (Q \times 0.1156) + (S \times -6.3118)$	0.7462
이변량 일차방정식(A, S)	$B = 7.545 + (A \times 2.0270) + (S \times -4.6909)$	0.7401
삼변량 일차방정식(Q, A, S)	$B = 7.218 + (Q \times 0.0637) + (A \times 0.9923) + (S \times -4.6822)$	0.7682

5. 초기계획하폭 제안식의 검증

검증을 위하여 제안식 유도에 이용한 연구대상 소하천 외 다른 소하천을 대상으로 중소하천 공식, 소하천 공식, 금회 산정된 제안식을 비교·검토하였으며, 검증 대상 소하천은 강원영서지역의 중심부에 위치한 원주시 귀래면, 흥업면, 판부면, 신림면, 동지역의 5개 읍·면·동 46개 소하천 110 지점에 대해서 검증을 실시하였다.

표 6. 검증 대상 유역수문특성

구분	귀래면	흥업면	판부면	신림면	동지역	계
소하천 개수	8	8	7	17	6	46
지점 개수	21	23	12	40	14	110
계획홍수량 $Q(m^3/s)$	10~167	5~118	4~229	8~159	21~92	4~229
유역면적 $A(km^2)$	0.43~9.60	0.20~7.44	0.13~7.70	0.32~8.17	0.92~5.28	0.13~9.60
하상경사 $S(-)$	0.021~0.161	0.015~0.220	0.018~0.220	0.017~0.202	0.009~0.224	0.009~0.224
계획하폭 $B(m)$	2~29	3~27	3~36	2~31	4~20	2~36

그림 4~12는 기존 소하천정비종합계획(2016)에 결정된 계획하폭(X축)과 중소하천 공식, 소하천 공식, 금회 제안된 공식(Y축)과 비교를 한 결과이며, 표 7은 각 공식별 RMSE 및 평균 절대오차의 결과이다. 검증 결과 중소하천 공식의 경우 RMSE 7.29m 및 적합률 49.20%로 소하천 특성을 전혀 반영하지 못하는 것으로 나타났으며, 기존 소하천 공식의 경우 계획홍수량(Q)의 경우 RMSE 3.09m, 유역면적(A)의 경우 RMSE 2.91m로 금회 산정된 공식을 이용한 결과에 비해 오차가 큰 것으로 나타났다. 또한 금회 산정된 공식 중 피어슨(Pearson)의 상관계수가 제일 높았던 계획홍수량(Q)의 제안식의 결과가 RMSE 2.05m로 오차가 가장 작은 것으로 나타났다.

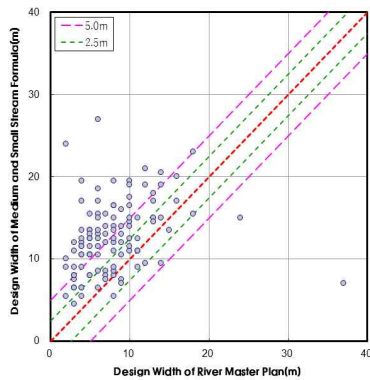


그림 4. 중소하천 공식과 비교

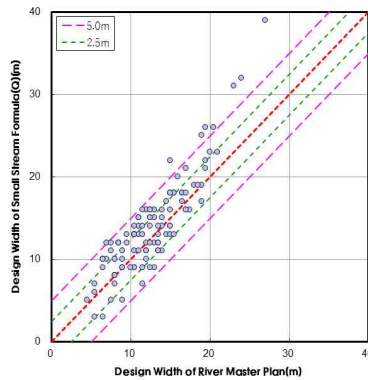


그림 5. 소하천 공식(Q)과 비교

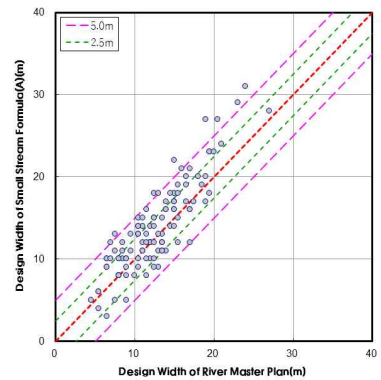


그림 6. 소하천 공식(A)과 비교

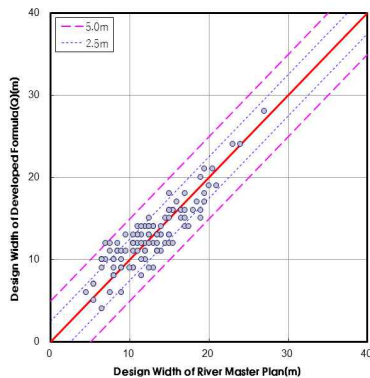


그림 7. 금회 산정(Q)과 비교

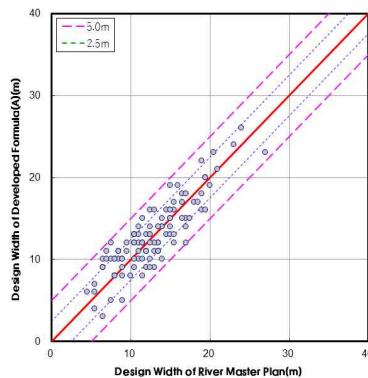


그림 8. 금회 산정(A)과 비교

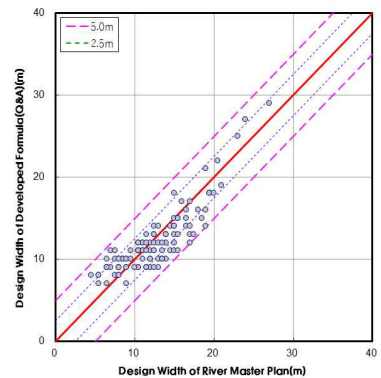


그림 9. 금회 산정(Q&A)과 비교

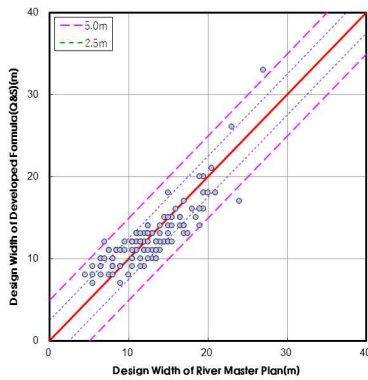


그림 10. 금회 산정(Q&S)과 비교

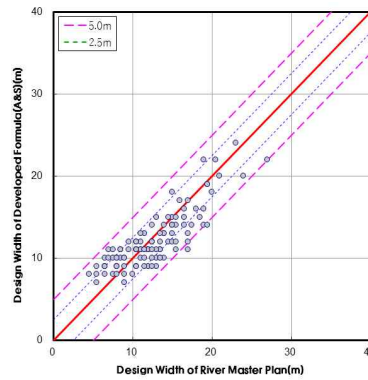


그림 11. 금회 산정(Q&A)과 비교

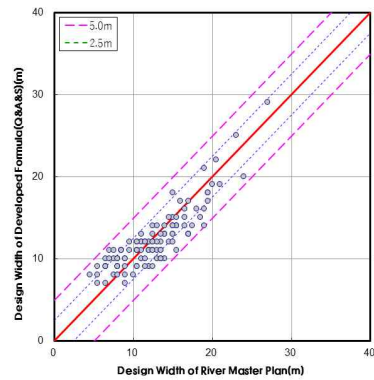


그림 12. 금회 산정(Q&A&S)과 비교

표 7. 소하천정비종합계획과 각 공식별 오차 분석 결과

산정식	RMSE		Mean Abs. Error	
	오차 범위(m)	적합률(%)	오차 범위(m)	적합률(%)
중소하천 공식	7.29	42.52	5.75	54.64
소하천 공식(Q)	3.09	75.61	2.45	80.67
소하천 공식(A)	2.91	77.04	2.34	81.53
금회 산정(Q)	2.05	83.85	1.70	86.63
금회 산정(A)	2.17	82.88	1.80	85.77
금회 산정(Q, A)	2.22	82.52	1.83	85.55
금회 산정(Q, S)	2.34	81.56	1.90	85.05
금회 산정(A, S)	2.36	81.36	1.94	84.69
금회 산정(Q, A, S)	2.16	82.96	1.81	85.69

6. 결론

소하천정비종합계획에 결정된 계획하폭과 기존 계획하폭 산정식 및 금회 산정한 공식과 비교·검토한 결과 금회 산정한 공식이 기존 공식들에 비해 적합률이 높게 분석되었다. 또한 금회 산정한 공식 중 결정계수(R^2) 및 피어슨(Pearson) 상관계수가 높게 나타났으며 간편하게 수공실무에 적용할 수 있는 계획홍수량(Q), 유역면적(A)의 회귀분석을 통해 산정된 제안식 $2.1134 \times Q^{-.4784}$, $B = 8.7006 \times A^{0.4757}$ 을 초기계획하폭 산정 제안식으로 결정하였다. 한편 금회 산정한 유역면적(A)에 따른 계획하폭 공식의 경우 단순히 유역면적만을 고려하고 있어 유역 형상이 다른 소하천 적용 시 오차범위가 크게 발생할 개연성이 높으므로 계획홍수량(Q)이 산정되지 않은 미세측 소하천에 적용하는 것이 바람직하다.

참고 문헌

1. 한국수자원학회 (2009), 하천설계기준·해설.
2. 소방방재청 (2012), 소하천 설계기준.
3. 건설부 (1990), 소규모시설 설계지침.
4. 맹봉재 (2007), 중소하천의 수리기하학적 특성에 따른 계획하폭 결정, 박사학위논문, 단국대학교.
5. 윤민혜, 안정환, 조원철 (2009), 영월군 소하천 계획하폭 산정에 관한 연구, 한국수자원학회 2009년도 학술발표회 초록집.
6. 이태삼, 박진수, 정창삼 (2016), 지역 소하천 설계폭에 대한 기존 공식의 적정성 검토-의령군을 중심으로-, 한국방재학회 논문집, Vol. 16, No.4, pp. 269-276.