

강원도 하천의 설계홍수량 산정에 관한 연구

A Study on Evaluation of Design Floods Applicable to River in Kangwon Province

최한규* 최석범** 안종익*** 최용목****
Choi, Han-Kyu Choi, Suk-Byum Ahn, Jong-Ik Choi, Yong-Mook'

Abstract

The determination of the design flood based on probabilistic concepts is one of the important matters of the general field of hydrology. Until now, Most of Many existing formulas to predict the flood flow were estimated by very different values with each other when we applied these formulas to the small basin, in extreme case, which were estimated over top be 400% of a difference because these have been developed by foreigners or derived from the big basin

The objective of this thesis is to examine closely the characteristics of frequency flood flow for reliable prediction of the flood flow through the probabilistic method in hydrology and to develop the ($Q_T = 27.74T^{0.178} A^{0.594}$) applicable to the river of Kangwon province

키워드 : 홍수량산정, 강원도하천설계홍수량산정

Keywords : Design Floods Applicable to River in Kangwon Province

1. 서론

수문학적 설계에서 가장 중요시 되는 사항중의 하나는 설계 홍수량의 결정이다. 설계홍수량은 구조물의 규모결정을 좌우하므로 정확한 추정을 위해서 많은 연구가 있어 왔다. 홍수량의 추정은 확정론적 모형 또는 통계학적 모형에 의해 유역을 1개의 시스템으로 보아 강우와 유출자료를 분석하여 유역의 수문학적 특성을 분석하고 계획강우에 상응하는 유출량을 모의 발생시키거나 혹은 장기간 유출자료를 확률통계학적으로 분석하여 계획홍수량을 추정하는 것이 오늘날의 일반적인 추세이다.

그러나 기존의 많은 경험공식이나 유출해석 모델들은 주로 실측 자료가 많은 전국을 대상으로 대하천을 중심으로 개발되어 왔기 때문에 중소하천 유역에 있어서는 적용이 곤란하고 또 신뢰할 만한 자료가 없는

경우가 대부분이었다. 특히 강원도내 지방 대부분 하천은 고지대에 위치하여, 설사 장기간 수위표에 의한 자료가 있더라도 유량측정이 거의 매년 실시되지 않는한, 하상변동이 심하여 신뢰성이 떨어지는등 신뢰할 만한 자료가 거의 없으므로, 불가피 타유역 또는 외국의 자료에 의해 기개발된 경험식이나 강우-유출모델을 이용하여 설계홍수량을 산정할 수 밖에 없는 실정이다. 타유역 또는 외국에서 기개발된 모델을 강원도 지역에 사용함에 있어서는 동일강우, 동일분포, 동일 유역일지라도 수십개나 되는 도달시간 산정 공식중 어느공식을 선정하느냐에 따라 심지어 400% 이상 홍수량 차이가 날수 있음은 많은 수문학적 실무경험을 필요로 하고 있으므로, 공학적 판단 잘못으로 오는 오차를 줄이고 수문학적인 지식이 부족하더라도 큰 무리가 없이 사용할 수 있는 홍수량 산정공식 개발이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 비교적 전문가들에 의해 기 수립된 강원도 하천정비 기본계획의 설계홍수량 값의 산정절차 및 그 특성을 살펴보고 강원도내 하천의 지형특성 즉, 유역면적, 유로연장등을 감안하여 구한 형

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사
** 강원대학교 토목공학과 겸임부교수
*** 강원도청 지역계획과 치수계 계장
**** 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정

상계수등을 고려한 새로운 공식을 유도하여 수문학적 실무 측면에서 사용 가능한지 여부를 검토하였다.

2. 홍수량 산정에 대한 이론

2.1 홍수량의 산정절차

산정방법에 따라 여러 가지의 절차가 있을수 있으나 대체로 다음의 순서에 의한다.

- ① 설계호우의 지속시간을 결정한다. 일반적으로 지속시간은 도달시간과 동일하나 수문곡선(Hydrograph)이 필요한 경우나 Dam계획 등의 경우 1일 또는 2일 강우량을 채택한다.
- ② 구조물 규모에 따라 설계빈도를 산정한다.
- ③ 선정된 빈도와 지속시간에 대한 확률강우량을 산정한다.
- ④ 첨두홍수량만을 필요로 하는 경우 첨두홍수량 산정 공식을 선정하고, 각종 매개 변수를 구하여 설계홍수량을 결정한다. 한편 설계 수문곡선 (Hydrograph)이 필요한 경우 단위도법에 의한 식중 타당한 공식을 선정한다.
- ⑤ 유역의 단위도를 결정한다.
- ⑥ 설계 강우량의 시간분포와 강도를 계산한다.
- ⑦ 강우손실과 유효강우량을 산정한다.
- ⑧ 우량주상도와 단위도로부터 설계수문곡선을 결정.

가. 설계호우의 지속시간

유역면적과 구조물의 규모에 따라 다르다. 강우가 유역에 걸쳐 균일하게 발생한다면 유역의 전면적이 첨두유량에 기여하게 되는 시간이 도달시간이므로 도달시간과 같게 취한다. 그러나 지속시간동안 강우강도가 일정하지 않으면 도달시간보다 긴 지속시간이 사용된다. 일반적으로 소유역에서는 6시간 이하, 큰 유역에서는 수 일간의 지속시간을 정한다.

나. 설계빈도 선정

수자원 구조물에서 설계빈도선택은 원칙적으로 물경제 분석을 실시하여 가장 경제적인 빈도를 택하여야 하나, 현실적인 여건상 각종 자료수집 및 피해액 산정의 어려움이 있는 경우 수공 구조물의 빈도 설계기준에 의해 결정하고 결정된 설계빈도에 의해 구한 홍수량을 기본홍수량이라 한다.

다. 설계강우량 산정

확률강우량 산정방법은 국내에서 소개된 약 8개방법의 plotting법과 약10개의 빈도계수법이 있으며 이중 기술적인 판단에 의해 최적합한 값을 선정한다. 일반적으로 상기에서 구한 강우량은 점강우량이므로 이를 면적 강우량으로 수정해야 한다.

라. 홍수량 산정 방법 선정

① 장기간 실측 강우-유출 자료를 보유하고 있는 경우 제방, 여수로, 하수관거, 도로측구동 첨두홍수량(Peak Flow)만을 필요로 하는 경우는 매년최대 홍수량을 발체하고 plotting법 또는 빈도계수법에 의해 확률분석하여 최적합한 분포의 확률홍수량을 산정한다. 한편, 댐계획시 홍수조절 용량산정, 하도홍수추적 등을 하고자 하는 경우, 첨두홍수량 뿐만 아니라 매시간의 홍수크기 즉, 홍수체적(Hydrograph)이 필요하다. 이러한 경우 과거의 강우-유출 자료를 분석하여 매 강우-유출마다 실측단위도를 구하고, 몇 개의 신뢰할만한 단위도를 평균하여 대표단위도를 유도한다. 이방법은 최소 30개년 이상의 실측자료를 필요로하며 실측을 토대로 산정하는 방법이므로 가장 신뢰성이 있으며, 정확한 방법이다

강원도의 경우 소양댐 지점, 화천댐 지점, I.H.P 대표유역인 평창강 유역등 몇개지점에는 실측자료를 보유하고 있으며 기타 지점은 수위표 자료와 강우자료가 풍부하더라도 수위-유량곡선(Rating Curve)이 신뢰성이 없으므로 현실적으로 적용이 어렵다.

② 미계측지의 경우

우리나라 대부분이 여기에 속하며, 따라서 기존의 개발한 공식이나 Model을 적용할 수밖에 없다. 첨두홍수량만을 필요로 하는 경우 일종의 경험식으로 주로 확률강우량, 빈도, 유역면적, 유로연장을 독립변수로 하고, peak 홍수량을 종속변수로 한 과거의 실측자료를 이용하여 회귀분석한 공식으로 설계홍수량을 산정한다. 가지야마식, 고재웅식이 가장 대표적이 예라 할 수 있다.

한편, 합리식은 이론상 소유역(유역면적 4.0km²이하)에서 도달시간동안 강우강도가 동일하다는 가정하에 적용하는 아주 간단한 식이므로 많이 사용하여 왔다.

또한 Hydrograph를 필요로 하는 유역에서는 단위도법에 의하여 작성된 각종공식을 이용하나 우리나라에서는 중안식, SCS법, Snyder식, Clark식을 많이 사용하며 기존의 하천정비 기본계획에서 채택한 대부분의 방법은 Clark식이다.

상기식을 적용하기 위해서는 홍수도달시간(홍수시 유역최원점에서 구하고자 하는 지점까지 유하하는데 소요되는 시간) 또는 지체시간(우량주상도의 질량 중심으로부터 수문곡선의 질량중심이 나타내는 시간)을 결정해야 한다. 그러나 이러한 매개변수를 산정하기 위한 실측자료 또는 연구자료가 없고 그 유역마다 상이하므로 대부분 외국에서 경험식으로 유도한 공식을 수정없이 사용하며, 이러한 공식의 종류도 수십개가 있어 이로인한 수자원 전문가들도 홍수량 산정에 어려움을 겪고 있는 실정이다.

마. 우량주상도 및 유효우량도

설계호우 또는 설계강우량은 총강우량으로 주어지고
 이로부터 손실을 제거하여 유효강우량이 산정된다. 유효
 강우량은 직접유출을 유발하는 강우량 이다. 설계강우량
 의 지속시간이 길어서 강우량의 시간분포를 필요하는 경
 우에는 시간분포곡선에 따라 총강우량을 시간분포시켜
 우량주상도를 구하고 이로부터 손실을 제거하여 유효우
 량주상도(effective rainfall hyedrograph)를 유도한다.

- ① 일정비손실우량법 (constant rainfall loss traction)
- ② 일정량손실우량법 (constant rainfall loss rate)
- ③ 초기손실-일정손실우량법 (initial loss-constant ra-
infall loss rate)
- ④ 침투곡선법 (infiltration curve)
- ⑤ 강우-유출관계방법 (rainfall-runoff relation)

바. 설계수문곡선 작성

상기 선정한 단위도법에 의해 단위유량도를 작성하고,
 설계강우량의 시간적분포(物部, Huff, chow등)와 강도를
 계산하고, 강우손실과 유효우량을 결정한 후 단위도법의
 기본 가정한 일정기저시간 가정, 비례가정 및 중첩가정
 에 의해 유효강우와 합성하면 유효강우량에 의한 직접유
 출 수문곡선이 작성된다. 여기에 유역 출구지점에서의
 기저유출(지하수 유출)을 합하여 홍수유출 수문곡선을
 얻게된다.

사. 기본홍수량 및 설계홍수량 결정

기본홍수량이란 상류 홍수조절용 댐이나 유역변경으로
 인한 방수로등 인위적인 조절이 없이 자연적으로 발생되
 는 계획빈도 홍수량을 의미하며, 설계(계획)홍수량은 인
 위적인 조절량을 감한 실제 구조물 설계시 부담해야 할
 홍수량을 의미한다.

국내 하천정비기본계획 수립시는 실측자료가 있는 경
 우 실측자료를 토대로 확률분석하여 구하나 대하천 주요
 지점이외에 대부분 자료가 없으므로 침투홍수량 산정 공
 식에서 몇가지, 단위유량도법에서 몇가지를 선정한 후
 기술자의 주관적인 판단에 의해 최적의 값이라고 생각되
 는 홍수량을 기본 및 설계홍수량으로 정함이 일반적이
 다. 따라서 주관적인 판단에서 오는 실수 등을 방지하기
 위하여 특수한 유역을 제외하고 일반적인 유역에 대한
 Guide line 즉 홍수량 범위를 정할 필요가 있다.

2.2 침투홍수량 산정공식

- (1) McMouth의 수정공식
- (2) Madras 공식
- (3) 소중의 공식
- (4) 원태상의 공식
- (5) 최영박, 이순탁

- (6) 한장희 공식
- (7) 홍영하의 식
- (8) 김희중 공식
- (9) Molinier (1981)
- (10) Puech and Chabi - Gonni (1983)
- (11) Guischfr'e (1976)
- (12) Hiey and Dubreuil (1964)
- (13) Dubreuiip (1968)
- (14) Billon (1974)
- (15) Dubreuil (1975)
- (16) Fuller's method
- (17) Creager형
- (18) KOLLA (1987)
- (19) Rodier and Auvray (1965)
- (20) Duret (1976)
- (21) 가지야마(梶山) 수정공식
- (22) 합리식
- (23) 상관관계법 (Chow 방법)
- (24) 고재웅식
- (25) 연기석식

2.3 단위도법에 의한 홍수량산정 모델

- 가. 실측 단위도 유도
- 나. SCS 무차원 단위도법
- 다. Snyder법
- 라. Clark법
- 마. Nash Model
- 바. 중앙식
- 사. RRL 법

2.4 홍수량 산정에 대한 고찰

- ① 확률강우량 산정방법이 많다.
- ② 공식의 종류가 너무 많다.
- ③ 공식내에서도 매개변수인 도달시간, 지체시간 산정
공식이 많다.
- ④ 상기 경우를 조합하면 결국 1,000가지 이상의 값이
산정되며, 이로인한 기술자의 공학적 판단에 따라
많은 오차를 내포하고 있다.
- ⑤ 상기 많은 방법에 의하여 정밀해석을 하더라도 신뢰
도측면에서 정도를 측정할 수 없으며, 따라서 고재
웅은 국내 11개의 기개발된 공식에 의해 동일유역,
동일강우를 적용하더라도 약 400% 차이가 날수 있
음을 입증한 바 있다.
- ⑥ 따라서 설계홍수량 값 결정에 있어서 범위 또는 지
침이 마련되어야 계획의 일관성이 있다.

3. 강원도 하천의 표본홍수량 수집 및 분석

3.1 유역특성인자와 홍수량

강원도내 비교적 전문가가 분석하고 자문 및 심의를 마친 기수립된 하천정비기본계획에서 제시된 약 50개 하천의 유역특성 인자와 빈도별 홍수량은 표3-1과 같다.

표 3-1. 하천별 유역특성인자

하천명	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유역평균폭 (km)	형상계수	홍수량 (m ³ /sec)			비고
					Q ₁₀₀	Q ₉₀	Q ₅₀	
섬강	1301.50	83.00	15.6	0.19	5,120	4,910	4,460	'86. 4
홍천강	1566.20	140.20	11.2	0.08	3,858	3,663	3,265	'90.12
남한강	4789.37	195.10	24.5	0.13	11,105	10,647	9,732	'91.10
김화남대천	444.75	39.70	11.2	0.28	2,635	2,512	2,237	'91.10
퇴계천	8.82	4.80	1.8	0.38	205	195	175	'96. 5
골지천	543.70	79.95	6.8	0.09	1,945	1,850	1,655	'96.12
양양남대천	474.80	54.00	8.8	0.16	2,928	2,768	2,439	'92. 5
황지천	198.00	27.78	7.1	0.26	1,190	1,160	1,125	'83. 8
철암천	61.50	17.55	3.5	0.20	500	490	470	'83. 8
화천천	264.75	31.80	8.3	0.26	1,615	1,550	1,410	'98. 3
양구서천	597.82	56.90	10.5	0.18	3,212	3,094	2,844	'89.12
수입천	333.97	54.40	6.1	0.11	1,929	1,857	1,707	'89.12
삼척오십천	394.72	56.80	6.9	0.12	1,729	1,655	1,500	'92. 5
방내천	173.00	32.90	5.3	0.16	1,496	1,433	1,296	'96.12
낙풍천	41.75	14.60	2.8	0.20	530	500	445	'90.12
평창강	1789.98	149.40	11.9	0.08	4,726	4,485	4,048	'87.12
한탄강	901.00	80.00	11.3	0.14	3,372	3,220	2,907	'97.10
북천	302.10	34.20	8.8	0.25	2,882	2,720	2,397	'95.12
용춘천	34.50	14.10	2.4	0.17	379	363	330	'95. 3
한계천	56.00	16.50	3.4	0.20	648	616	548	'96.11
인북천	478.50	54.70	8.7	0.16	2,471	2,346	2,088	'97.12
원주천	150.33	28.50	5.3	0.18	1,332	1,270	1,140	'94. 7
상남천	75.70	16.50	4.6	0.28	1,113	1,043	904	'97.12
대교천	102.85	29.50	3.5	0.12	830	800	735	'95. 8
주천강	612.64	89.00	6.9	0.08	3,557	3,356	2,966	'94. 5
공지천	57.20	10.90	5.2	0.48	775	750	698	'92. 4

주) 1. 유역평균폭 = 유역면적 ÷ 유로연장
 2. 형상계수 = 유역면적 ÷ (유로연장)²

3.2 유역특성인자와 상관성 분석

가. 회귀식 산정 및 적합도 검정 방법

1) 회귀식 산정방법

독립변수가 n개인 다중회귀분석은 다음과 같다.

$$Q = bX_1^{a1}X_2^{a2} \dots \dots \dots X_n^{an} = b \prod_{i=1}^n X_i^{ai}$$

여기서 Q:홍수량, b:회귀상수, X_i:유역특성과 기상인자, a_i:회귀계수

2) 회귀분석의 정확도 판정

(1) 도식적 평가방법

기본자료치와(관측치)와 계산치를 도식화하여 직접 전반적인 개요를 살펴볼 수 있는 하나의 방법으로 다음의 몇가지 방법이 있다.

- ① 관측치와 계산치를 겹쳐서 연속적으로 도식화하는 방법
 - ② 관측치와 계산치의 간차를 연속적으로 도식화하는 방법
 - ③ 관측치의 평균에 대한 각각의 관측치의 차이의 누계합과 계산치 평균에 대한 관측유량차이의 누계합을 겹쳐서 도식화 하는 방법
 - ④ 관측치와 계산치를 산포도로 도식화하는 방법
- 상기 방법중 일반적으로 ①의 방법이 많이 사용된다.

(2) 통계학적 평가방법

① 평균오차 (MEAN ERROR)

각 관측치와 계산치의 오차를 평균으로 하며

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^N (y(i) - yc(i))}{N} \dots \dots \dots (3 - 6)$$

여기서 y(i)는 관측치며, yc(i)는 계산치이다.
 표준오차는 작을수록 정확도가 높으며, 극단치(이상자료)의 영향을 많이 받는다.

② 평균절대오차(MEAN ABSOLUTE ERROR)

오차를 절대값으로하여 (-)오차와 (+)오차가 서로 상대되지 않게하여 평균값으로 평가하는 방법으로

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |Y(i) - Yc(i)|}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N |\epsilon(i)|}{N} \dots \dots (3 - 7)$$

(3-7)식으로 도시되며 작을수록 정확도가 높으며 이 방법 또한 극단치(이상자료)의 영향을 많이 받는다.

③ 평균자승오차 (MEAN S2QUARE ERROR)

오차의 제곱을 평균하는 방법으로

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N [Y(i) - Yc(i)]^2}{N} \dots \dots \dots (3 - 8)$$

(3-8)식으로 표시하면 작을수록 정확도가 높으며 가중치가 클수록 오차는 커진다.

④ 표준오차 (STANDARD ERROR)

모형의 적합성을 검증하고자 할 때 가장 많이 사용하는 방법으로

$$SE = \sqrt{\frac{\sum [Y(i) - Yc(i)]^2}{N - Y - 1}} \dots \dots \dots (3 - 9)$$

여기서 y는 매개변수의 갯수를 나타내며 작은 값일수록 정확도가 높다.

⑤ 상관계수 (Correlation coefficient)

결정계수(R)를 루트(√)한 값이며

$$R = \sqrt{1 - \frac{(SE)^2}{\sigma_y^2}} \dots\dots\dots (3 - 10)$$

σ_y 는 관측치의 표준오차로서 다음 (3-11)식이며

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum [Y(i) - y]^2}{N - Y - 1}} \dots\dots\dots (3 - 11)$$

여기서 y는 관측치의 평균이다.

R은 0에서 1사이이며 1에 가까울수록 정확도가 높으며, 0.8이하인 경우실용성이 없다.

⑥ 평균절대백분율오차(Mean absolute percentage error)

오차율을 평균한 값으로서 다음 식 (3-12)과 같으며, 0에 가까울수록 정확도가 높으며, 고이상치를 고관측치를 나눔으로서 고이상치에 대한 영향을 줄이는 방법으로 우리 수문학적 회귀분석평가에서 가장 많이 사용한다.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N \left| \frac{y(i) - yc(i)}{y(i)} \right|}{N} \dots\dots\dots (3 - 12)$$

⑦ 모형효율성 (Model efficiency coefficient)

Nah와 Sutcliffe가 제안한 무차원 계수로서 식 (3-13)과 같다.

$$MEC = \frac{\sum(Y(i) - Y)^2 - \sum[Y(i) - Yc(i)]^2}{\sum(Y(i) - Y)^2} \dots\dots\dots (3 - 13)$$

이식에서 분모는 관측치의 분산정도를 나타내며, 분자는 관측치의 분산정도와 계산치의 관측치에 대한 분산정도의 차이이다. 따라서 MEC는 1에 가까울수록 정확도가 높으며, 자료의 갯수와 관계없이 절대적인 평가 기준이 될 수 있으므로 수문학 분야에 많이 이용된다.

3) 정확도 판정 방법 선택

전술한 바와 같이 많은 종류의 평가방법이 있으며, 이 중 수문학적 모형에 적합한 방법에는 상관계수(R), 평균절대백분율오차(MAPE) 및 모형의 효율성 계수(MEC)등 3가지 이상 종합적으로 평가하나, 본 연구에서 검토한 결과 MEC는 차가 거의 나타나지 않아 우열을 가릴 수 없어 표준오차(SE)를 추가사용하여 판정하였다.

나. 유역특성인자와 상관성 분석

3장의 「침투홍수량 산정 Model」 항에서 소개된 각종 공식에 의하면 홍수량의 가장 큰 변수는 강우량(R)과 유역면적(A)이며 그외에 유로연장(L), 형상계수(F=A/L²),

유역평균폭(B=A/L), 유역평균경사(J), 유로경사(S) 등이 있다.

본 연구에서는 빈도별 침투홍수량 공식을 산정코자 하므로 확률강우량은 빈도의 개념에서 이미 반영되었다고 볼수 있으므로, 확률강우량을 제외한 가장 구하기 쉬운 유역면적, 유로연장과 관련된 형상계수, 유역평균폭이 홍수량과 어떤 상관성이 있는가를 검토하였다. 그 결과 표 3-2에서 보는 바와 같이 B, A, L은 상관계수가 0.98, 0.97, 0.89순으로 상관성이 좋은 것으로 나타났으며, 유역형상계수는 상관성이 거의 없는 것으로 나타났다.

유역면적과 평균폭은 0.97이상으로 회귀방정식을 사용하더라도 오차가 그리 크지 않음을 보여준다.

한편 다중 회귀방정식으로 유역면적이 가장 상관성이 있다고 판단되었으므로 유역면적을 제1독립변수로 하고 유역평균폭과 유로연장 및 형상계수를 제2독립변수로 하여 침투홍수량을 산정한 결과 상관계수와 표준오차 및 오차율이 거의 동일하며, 특히 유역면적과 유역평균폭을 독립변수로 하였을 때 회귀방정식이 가장 잘 일치하는 것으로 나타났으며 상관계수는 0.988이다.

그러나 상관계수 차이는 1%이하이므로 실용적으로 그리 큰 문제는 없는 것으로 판단된다. 또한 추가로 유로연장 및 형상계수를 함께 독립변수로 취하였을 때 다소 개선되나 그 효과는 거의 무시할 정도이다. 따라서 본 연구에서는 유역면적과 유역평균폭만을 취한 공식을 채택코자 한다.

표 3-2. 50년빈도 홍수량과 상관관계 분석표

유역특성인자	관계식	R	SE	MAPE	적합도판정
A	Q=55.59A ^{0.362}	0.972	381	17.6	양호
L	Q=53.91L ^{0.887}	0.888	748	28.5	보통
B	Q=97.71B ^{1.433}	0.978	339	18.4	양호
F	Q=209.9F ^{-0.962}	0.313	1547	69.1	기각
A·B	Q=65.05A ^{0.363} B ^{0.362}	0.988	255	13.8	양호
A·L	Q=64.63A ^{0.363} L ^{-0.362}	0.988	256	14.0	양호
A·F	Q=64.85A ^{0.363} F ^{-0.293}	0.988	253	14.0	양호
A·B·L	Q=67.15A ^{-0.46} B ^{0.36} L ^{0.84}	0.986	272	13.2	양호
A·B·F	Q=64.92A ^{-0.46} B ^{0.36} F ^{-1.050}	0.986	278	13.75	양호
A·B·L·F	Q=67.77A ^{-1.46} B ^{1.36} L ^{0.84} F ^{-1.0}	0.987	266	13.1	양호

3.3 설계홍수량 공식 유도

강원도내 기수립된 하천정비기본계획에서 채택된 빈도별 홍수량을 유역특성과 관련시켜 회귀식에 의하여 유도한 공식은 표 3-3과 같다. 빈도별 공식의 각 지수는 거의 동일하며 단지 상수만 변함을 알 수 있다. 이는 확률강우량비에 따른 상수변화로 추정된다.

표 3-3. 빈도별 침투홍수량식

관관계수 빈도	A	A, B	T.A.B
50년 빈도	$Q_{mean} = 55.60A^{0.362}$ $Q_{max} = 69.50A^{0.592}$	$Q_{mean} = 65.05A^{0.365}B^{0.262}$ $Q_{max} = 81.31A^{0.363}B^{0.592}$	$Q_{mean} = 27.74T^{0.178}A^{0.264}$ $Q_{max} = 34.67T^{0.178}A^{0.594}$
80년 빈도	$Q_{mean} = 60.44A^{0.265}$ $Q_{max} = 75.55A^{0.595}$	$Q_{mean} = 70.68A^{0.267}B^{0.264}$ $Q_{max} = 88.35A^{0.267}B^{0.590}$	$Q_{mean} = 32.89T^{0.174}A^{0.267}B^{0.588}$ $Q_{max} = 41.44T^{0.174}A^{0.367}B^{0.588}$
100년 빈도	$Q_{mean} = 62.89A^{0.256}$ $Q_{max} = 78.61A^{0.596}$	$Q_{mean} = 73.39A^{0.511}B^{0.262}$ $Q_{max} = 91.74A^{0.371}B^{0.582}$	

4. 제안식의 적용성 검토

4.1 홍수량 측면

일반적으로 하천실무측면에서 일반관례로 보면 직할하천의 경우 100년, 지방하천의 경우 80년빈도, 준용하천의 경우 50년빈도를 설계홍수량으로 정하고 있다.

강원도의 하천중 직할, 지방하천의 경우는 하천정비기본계획이 이미 완료 되었으므로 직할, 지방하천의 각종 구조물을 계획 및 설계하고자 할 시 하천법에 의해 하천정비 기본계획에서 정한 수문, 수리량을 적용해야 한다.

따라서 본 연구에서는 아직도 미수립된 준용하천이 많으므로 준용하천에서 채택하는 빈도인 50년 빈도를 중심으로 검토하고자 한다.

고재웅은 "우리나라 홍수량 공식들의 비교연구" 논문에서 국내 기 개발된 11종의 홍수량 공식을 비교검토한 결과 침투홍수량이 400%의 편차를 가짐을 밝힌 바 있다. 따라서 홍수량 산정절차의 복잡하고 많은 노력을 걸쳐서 어렵게 결정하고 있으나 그 성과는 사용된 수문자료의 기관이나 정도에 좌우되고, 그나마 실측자료가 없는 경우 각종 복잡한 공식을 적용하여 산정한 결과를 적당히 비교분석하여 기술자가 최적이라고 판단되는 하나의 값을 채택하므로써 객관적인 타당성이 결여되는 경우가 많음을 주장하였다. 따라서 그는 뚜렷한 이론적인 근거도 없으면서도 기술자의 주관적인 판단에 따라 유역간의 차이가 큼으로 인한 오차를 줄이기 위하여 전국을 하

나의 상관식 $Q_T = 15.5T^{0.22}A^{0.64}$ 식을 제시한 바 있다.

본 연구 표 4-1에서 강원도 횡성댐 유역을 한예로 동일 강우 동일 유역 면적에서도 Clark식의 도달시간만을 달리 적용하므로 인한 침투홍수량차는 30% 이상 차이가 남을 확인해 보았으며 국내에서 기개발되고 흔히쓰이는 몇가지 공식으로 적용해본 결과 약 77%의 차이를 보임을 확인할 수 있었다.

상기 언급한 홍수량 측면에서 설계자의 공학적 판단 기준에 따라 고재웅은 400%, 금희 횡성댐 유역의 한예로 검토한 바 77% 차이가 날 수 있음을 감안 할때 본 연구에서 유역면적과 유역평균폭을 독립변수로하여 제시한 공식은 상관계수 $r=0.98$, 오차율 14%를 나타낸 불확정적인 요소가 많은 수문학적 오차 측면에서 양호하다고 할 수 있으며 유역면적만을 고려한 공식은 상관계수 0.97, 오차율 17%로 큰 무리없이 사용할 수 있다고 판단된다. 또한 공학적 설계는 다소의 경제적 부담을 감수하더라도 안전측 설계를 많이함이 일반적이다. 따라서 안전측인 값들을 연결한 envelop curve식에 이용한다면 어떠한 공학적인 판단 실수도 모두 수용할 수 있는 식이며, 따라서 해당하천의 중요성을 감안하여 적절하게 선택을 한다면 전문적인 수문학적 지식이 없이도 이용할 수 있으리라 판단된다.

표 4-1. 공식별 침투홍수량 비교표

구분	유역 특성	홍수량 산정방법	도달시간 공식	도달시간	홍수량	비고
				평균유속		
횡성댐 유역	유역면적 209km ² 유로연장 37km 200년빈도강우량 (368mm/day) CN = 82 S = 1/39	Clark법	Kirpich식 $tc=3.976 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$	4.29	1,703	
			Rizha 식 $tc=0.833 \frac{L}{S^{0.6}}$	V=2.39		
			Kraven 식 S=1/100 V=3.5	4.48	1,662	
				V=2.29		
				2.94	2,175	
				V=3.5		
			Kajiyama		1,546	
			고재웅		1,518	
			홍영하		1,375	
			연기석		1,503	
중안		1,702				
Nash			3.0 V=3.43	2,438	N=2.48 K=1.21	
			5.14 V=2.0	1,761	N=2.48 K=2.07	
강원도식				1,701	Q_{mean}	
				2,126	Q_{max}	

4.2 수위 측면

일반적으로 수자원 실무에서 침투홍수량을 구하는 목적은 수심 또는 수위를 구하기 위함이다. 따라서 실용성 여부를 검증하기 위해서는 수위가 어느정도 차이가 있느냐에 따라서 가려진다.

표4-2는 수자원실무에서 많이 사용하는 유량에 따른 하폭 곡선의 중간값을 사용하고 수심에 비해 하폭이 크다고 보아 경심(R)을 수심(H)로 가정한 구형수로 보았을 때 하천 유로경사에 따른 수심이다. 표 4-2에서 제시한 홍수량은 동일유역 면적에 대해서 안전측인 값을 택하면 약 25%의 홍수량이 증가하게 되나, 수심은 약 14.5~15% 증가한다. 실무적 측면에서 수심 15% 오차는 과연 허용될 수 있는가 여부에 따라 본 공식의 실용성이 좌우된다. 표 4-2에서 여유고는 유량에 따라 다르지만 수심의 약 30~50% 범위이며 0.6m 이상이다.

표 4-2. 유량-하폭-수심에 대한 비교표 (50년빈도)

유역 면적 (km ²)	Q _{mean}	Q _{max}	평균 하폭 (m)	여유 고 (m)	S = 1/100			S = 1/300		
					평균 수심	안전측 수심	오차율 (%)	평균 수심	안전측 수심	오차율 (%)
2.7	100	125	30	0.6	1.09	1.25	14.6	1.53	1.75	14.3
8.7	200	250	40	0.6	1.40	1.60	14.3	1.95	2.23	14.3
17.3	300	380	50	0.8	1.56	1.79	14.7	2.18	2.51	15.0
40.9	500	630	70	0.8	1.73	1.99	15.0	2.42	2.78	14.8
131.8	1,000	1,260	105	1.0	2.06	2.36	14.6	2.87	3.30	14.9
424.9	2,000	2,520	190	1.0	2.19	2.51	14.6	3.05	3.50	14.9
842.9	3,000	3,780	260	1.2	2.31	2.65	14.7	3.22	3.70	14.9

$$Q_{mean} = 27.74T^{0.178} A^{0.594}$$

$$Q_{max} = 34.67T^{0.178} A^{0.594}$$

여유고란 기술자의 판단오차, 자연현상의 복잡성을 고려하지 못한 불확정적 요소들, 또는 파랑등에 대비하기 위해 두는 값이다. 2.0장에서 언급한 바와 같이 확률강우량 선정, 도달시간 선정, 홍수량 공식선정 등에서 오는 기술자의 주관적인 판단에 따라 홍수량 차이는 70% 이상 날수 있음을 감안할 때, 이에 따른 수심의 차이는 15% 이상일것이다. 이러한 관점에서 지금까지 고려했던 여유고에 수심의 15% 더둔다는 개념으로 생각하면 어떨까? (생각 할 수도 있을 것이다.)

한편 open channel hydraulic(개수로의 수리학)에서는 수심이 약 10% 상승은 상승효과를 무시해도 좋다고 언급한 바 있는등 상기 몇가지 사항들을 감안하여 구조물

또는 침수지역의 중요성을 감안하여 중요성이 인정된다면 Q_{max}를 사용하고, 그렇지 않다면 Q_{mean}을 사용하면 어떨까?(사용할 수 있음을 제안한다.) 예를들면 도시지역을 통과하는 지역은 Q_{max}를 사용하고 농촌지역 또는 큰 피해물건이 없는 지구는 Q_{mean}을 사용한다면 실용성에 큰 문제없을 것으로 판단되며, 특별한 수문학적 지식이 없어도 활용이 가능하다고 판단된다.

4.3 타공식과 비교 검토

본 연구와 유사한 고재용식(Q_T=15.5T^{0.22}A^{0.64})과 연기석식(Q_T=21.1T^{0.182}A^{0.618})과를 비교한 바는 표 4-3와 같다. 고재용은 유역면적(500km²~25,000km²범위)의 전국을 대상으로 한 대하천 유역에 알맞는 공식이며, 연기석은 유역면적 40km²~500km²의 범위의 평창강, 보청천, 위천에 알맞는 공식임에 비해 본 연구에서 산정한 공식은 유역면적 10km²~5,000km²의 강원도 하천에 국한하여 제안된 공식이다.

적용범위 측면에서 검토하면 금회 산정한 공식은 고재용식보다는 평균 약 9%, 연기석보다는 약 12.5% 크며, 2개공식 공히 유역면적이 클수록 오차가 적어짐을 알수 있다. 일반적으로 동일 유역면적일지라도 유로연장이 짧을수록, 하천경사가 급할수록 홍수량은 커짐을 감안할때 본 공식이 타공식보다 다소 크게 나타나는 이유는 강원도 하천은 타지역하천보다 급경사이며, 유역면적에 타공식과의 비해 유로연장이 짧음이 반영된 것이라 볼수 있어 수자원실무 측면에서 적용성이 타당하다고 판단된다.

표 4-3. 타공식과의 비교표

유역 면적 (km ²)	빈도 (년)	홍 수 량 (m ³ /sec)			오차율 (%)	
		고재용 Q _T =15.5T ^{0.22} A ^{0.64}	연기석 21.10T ^{0.182} A ^{0.618}	금 회 27.74T ^{0.178} A ^{0.594}	고재용	연기석
60	50		503			20.5
80	50		605			19.4
100	50		698			18.6
300	50		1410			14.3
500	50					
700	50			2464		9.5
900	50			2878		9.0
1100	50			3259		8.5
1300	50			3613		8.2
1500	50			3947		7.9
1700	50			4264		7.6
2000	50			4715		7.2

* 친 부분은 사용범위

5. 결론 및 향후 연구 과제

5.1 결 론

수문학적 설계시 가장 중요한 것중 하나는 설계 침투 홍수량을 결정하는 일이라 하겠다. 그러므로 그동안 중 소하천의 침투홍수량과 확률홍수량을 결정하기 위해서는 국내외 학자들이 연구개발한 홍수량 공식들을 비교 분석하여 홍수량을 산정하여 왔다. 아울러 자연현상의 불확정적인 요소들이 많아 동일 유역, 동일 강우량을 적용하더라도 공식 선정에 따라 고재용은 400%이상 차이가 날 수 있음을 입증한 바 있고, 본 연구에서는 70%이상 차이가 날 수 있음을 확인해 보았다.

이러한 편차가 흔히 일어날 수 있음은 설계홍수량 산정시마다 기술자의 어려운 공학적 판단이 요구되며, 그 결과에 대한 신뢰성이나 정도는 판단기준에 따라 어느 누구도 확신할 수 없음이 설계홍수량 산정의 어려움이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 공학적 판단의 어려움과 이에 따른 편차를 가능한 줄일 수 있는 새로운 공식을 제시코자 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 설계홍수량과 유역특성과의 상관성을 검토한 결과 유역면적, 유역평균폭, 유로연장 순이며, 유역형상계수는 상관성이 다소 적은 것으로 나타났다.
2. 우리나라 하천에 적용한 설계침투 홍수량 산정 Model은 대부분 유역면적, 유로연장 및 재현기간을 함수로 하는 식임을 착안하여 본 연구에서는 강원도내 하천 (유역면적 10km² ~ 5,000km²)에 대해 다음의 식을 제안한다.

$$Q_T = 32.89 T^{0.174} A^{0.367} B^{0.588} \quad (r=0.98)$$

3. 유역면적만을 함수로 하는 식은 다음과 같으며, 공식의 정확도는 다소 떨어지나 유역면적과 유역평균폭을 함수로 하는 식과는 1%의 상관계수 차이가 나며 따라서 실용상 큰 문제 없을 것으로 판단된다.

$$Q_T = 27.74 T^{0.178} A^{0.594} \quad (r=0.97)$$

4. 다소의 과다설계를 감수하더라도 해당지역의 홍수피해에 대한 안전성을 확고히 하고 싶다면 다음의 공식을 적용할 것을 제안하며, 이는 평균정도의 홍수량 측면에서 약 25%, 수위측면에서는 약 15%의 여유를 더 두는 개념이다. 또한 특수한 유역을 제외하고는

아래식보다 더 크게 홍수량이 산정 된다면 채택에 신중을 기해야 한다.

$$Q_T = 34.67 T^{0.178} A^{0.594} \quad (r=0.97)$$

5. 설계 홍수량 결정은 어려운 공학적인 판단이 요구되므로 원칙적으로 정밀 분석을 하여야 하나, 예외적인 유역특성이 없는 한 상기 제시한 공식 범주를 벗어나지 않아야 바람직하며, 따라서 강원도내 하천에서의 개략적인 설계 홍수량 산정시 유용하게 사용할 수 있다. 한편 안전측으로 제시한 공식은 계획지구의 중요성을 감안하여 도시나 중요성이 인정되는 지구를 통과하는 경우 사용한다면 보다 안전한 설계라 할 수 있다.

5.2 향후 연구 과제

설계홍수량의 가장 큰 변수는 강우량(R), 유역면적(A), 유역평균폭 (B=A/L) 유로연장(L), 형상계수(F=A/L²), 유역평균경사(J), 하천경사(S)등과 밀접한 관련이 있다고 보고되고 있다.

본 연구에서는 확률홍수량을 유역면적, 유로연장 또는 형상계수만을 독립변수로 하였을뿐 유역평균경사, 하천경사 등을 감안하지 못하였다. 한편, 확률강우량은 홍수량공식 자체 또는 확률빈도에 이미 감안되었다고 볼 수 있으나 좀 더 정밀한 규명이 필요하다.

또한 본 연구에서 기본 자료로 이용한 홍수량을 수자원분야 전문기술자들이 산정하였으므로 참값으로 가정하고 유도하였다. 그러나 수차 언급한 바와 같이 공식의 종류가 많고 종류마다 나타나는 결과값이 천차만별이므로 실측치를 기본 Data로 하지 않는한 신뢰성이 의심된다.

그러나 신뢰성있는 공식유도를 위해서는 최소 30년이상 실측자료를 보유하고 있어야하나 이러한 지점이 거의 없으므로 보다 정확한 검증이 불가능하나 추후 실측 자료가 축적된 후 실측자료를 통해 재검증하고 보완해야 할 필요가 있겠다.

참 고 문 헌

- [1] Bell, F. C., "Estimating design floods from extreme rainfall", Colorado State University, Fort Collins. Colo., Hydrol. Pap, 29(21), 1968.
- [2] Beni, P. and F. Sangal, "Practical Method of Estimating Peak Flow", Journal of Hydraulic Eng., ASCE, Vol.109, No.4, 1983.
- [3] Boughton, W. C., "A frequency distribution for annual

- floods", *Water Resour. Res.* 16(2), pp. 347-354, 1980.
- [4] Chow, V. T., "Hydrologic Determination of Waterway Areas for the Design of Drainage Structures in Small Drainage Basin", *University of Illinois Engineering Experiment Station*, Bulletin No.462, 1962.
- [5] Diskin, M. H., "A Basis Study of the Linearity of the Rainfall runoff Process in Watersheds", *Ph. D. Thesis Univ. of Illinois*, pp.160, 1964.
- [6] Dubreuil, P. L., "Review of relationships between geophysical factors and hydrological characteristics in the tropics", *Journal of hydrology*, Asce87, 1986.
- [7] Frind, Emil. O., "Rainfall-Runoff Relationships expressed by Distribution Parameters", *Journal of Hydrology*, Vol.9, pp.405-426, 1969.
- [8] Kolla. E., "Estimating flood peaks from small rural catchments in Switzerland", *Journal of hydrology*, 1987.
- [9] McDermott, G. E. and B. M. Reich, "Engineering judgment and small area flood peaks", *Colorado State Univ.*, Fort Collins, Colo., Hydrol pap, pp. 19-29, 1967.
- [10] Waylen, P. R., "A method of predicting daily peak flows in the high flow season", *Journal of Hydrology*, 1985.
- [11] 건설부, 하천시설기준, 1987.
- [12] 고재웅, "우리나라 홍수량 공식들의 비교연구", *대한토목학회지*, 8(1) pp. 113-125, 1988.
- [13] 김희중, "한국하천의 유출에 관한 연구(낙동강유역을 중심으로)", *대한토목학회창립 20년기념논문집*, pp.148-164, 1972.
- [14] 양동윤, 고재웅 "유역특성으로부터 확률홍수량의 유도에 관한 연구", *수문학회지*, pp.37-46, 1981.
- [15] 연기석, "중소하천 유역의 홍수량 산정 모델에 관한 연구", *충북대학교 박사학위논문*, 1990.
- [16] 원태상, "극대홍수량공식에 관한 연구", *대한토목학회지*, 1953.
- [17] 이석우, 김시원 "소유역의 유출량에 관한 연구" *한국농공학회지*, 1980.
- [18] 이순탁, "소하천유역에 대한 강우-유출의 예측모형 연구", *대한토목학회지*, 1981.
- [19] 이순탁, 최영박 "낙동강에 대한 미산식의 최대홍수량 공식의 검토식론" *대한토목학회지*, 1964.
- [20] 최영박, "수문통계에 의한 계획홍수량 결정에 대하여", *대한토목학회지*, 1985.
- [21] 최예환, "소유역에 있어서 강수-유출의 특성에 관한 연구" *한국농공학회지*. 1983.
- [22] 한장희, "한국하천의 정점홍수량 산정을 위한 공식", *대한토목학회지*, 1966.
- [23] 홍영하, "우리나라 하천의 100년 빈도 기본홍수량에 대하여" *대한토목학회지*, 1981.