

지표홍수 빈도곡선의 개발에 의한 미 계측지점의 확률 홍수량 추정

Estimation of probabilistic flood at Ungauged Locations by development of index flood frequency curves

윤용남¹⁾ / 신창건²⁾ / 장수형³⁾

Yoon, Yong-Nam / Shin, Chang-Kun / Jang, Su-Hyeng

요 지

본 연구에서는 유역내 홍수량 실측지점의 연최대 홍수량 자료 계열을 빈도 분석하여 지표 홍수량 빈도 곡선을 작성하고, 연 평균 홍수량과 유역 특성 인자간의 상관관계식을 유도하여 미계측 지점의 연평균 홍수량에 상응하는 확률 홍수량을 추정할 수 있는 방법을 개발하였다. 대상유역은 홍수자료가 풍부하고 신뢰성 있는 한강유역으로 설정하였으며, 유역의 홍수량은 댐 건설로 인하여 댐 건설 이전의 홍수량에 비하여 줄어들기 때문에 실측 유량자료의 빈도해석을 통한 홍수량 산정시에는 댐과 같은 수공구조물 건설의 영향으로 유역의 조건이 변경됨에 따라 유량자료의 불연속이 발생하는 것을 고려하였다. 한강유역의 홍수빈도 분석시 최적 확률분포형은 Gumbel 분포형으로 채택되었으며, 비 확률홍수빈도곡선을 작성한 결과 유역면적과 단위홍수량 상관성은 0.83정도로 모두 상관성을 보였으며, 지점별 주요지형인자와 연평균홍수량은 높은 상관성을 보이고, 연평균홍수량과 주요지형인자간의 회귀분석을 통하여 산정된 홍수량과 기존 하천정비 기본계획에 수록되어 있는 계획홍수량을 비교검토 하였다.

핵심용어 : 지표홍수(Index Flood)빈도분석, 비 확률홍수빈도곡선, 확률홍수량, 연평균홍수량

1. 서론

한강은 우리나라에서 유역 면적이 가장 크고 서울을 관통하는 매우 중요한 하천이므로 과거부터 각종 댐을 건설하여 홍수조절을 하고자 하였다. 1940년대에 화천댐, 청평댐 등은 전력 수요를 충족하기 위해서 건설되었고, 1960년대 이후에는 홍수 조절과 수력발전 및 각종 용수공급 목적으로 다목적 댐들이 건설되었다. 유역 상류지점에 홍수조절능력을 갖는 댐이 건설되면 동일 기상조건에서 하류 유역의 홍수량은 댐 건설 이전의 홍수량에 비하여 줄어들게 된다. 따라서 실측 홍수량자료의 빈도해석을 통한 홍수량 산정시에는 댐과 같은 수공구조물 건설의 영향으로 유역의 조건이 변경됨에 따라 유량자료의 불연속이 발생하는 것을 고려하여야 한다.

지역빈도 분석은 유량자료가 전혀 없거나 있어도 기록기간이 매우 짧은 유역의 경우에 이용할 수 있는 방법으로 수문학적인 동질성을 가지는 지역의 긴 자료 기록을 이용하여 빈도분석한 결과치를 유역의 지형학적, 기상학적인자와 상관시켜 미계측유역의 홍수빈도분석을 수행하는 방법이다. 홍수는 유역의 기상·지형학적 요소에 따라 무작위하게 발생하기 때문에 홍수 빈도가 시간에 따라 변화하지 않는다는 가정에서 시작된다(김남원,1997). 홍수량 자료가 있는 곳은 홍수량을 산정할 수 있으나, 특별한 연구대상지역이 아닌 곳은 유량자료가 없는 미계측 유역이 된다. 지표홍수(Index Flood)빈도분석은 유량자료가 전혀 없거나 있어도 기록기간이 매우 짧은 유역의 경우에 이용할 수 있는 방법으로 수문학적인 동질성을 가지는 지역의 긴 자료 기록을 이용하여 빈도분석한 결과치를 유역의 지형학적, 기상학적인자와 상관시켜 미계측유역의 홍수빈도 분석을 수행하는 방법이다.

지수홍수법(Index Flood Method)은 서로 다른 자료 표본들로부터 대표 통계량을 도출하는데 매우 유용한 방법이다. 'Index Flood'란 용어는 홍수해석을 위한 방법으로서 제안되었던 것을 의미하며, 지금까지 비단 홍수뿐만 아니라 다른 여러 종류의 자료들에게도 적용되고 있다(Dalrymple, 1960).

1) 정회원 · 고려대학교 토목환경공학과 교수 · E-mail : ynyoon@korea.ac.kr

2) 정회원 · 고려대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : kun76s@korea.ac.kr

3) 정회원 · 고려대학교 토목환경공학과 박사 수료 · E-mail : angel452@korea.ac.kr

2. 자료 및 기본 특성

2.1 대상자료

본 연구에서는 한강수계 주요지점의 연최대치 홍수량 자료를 입수하여 사용하고자 한다. 한강 수계의 수문관측소 자료는 상당히 많으나 홍수빈도분석을 하기 위해 필요한 자료를 보유하고 있는 곳은 상당히 적다. 각 지점들의 자료 보유년수가 상당히 짧고, 자료가 있어도 중간에 결측년도가 상당히 많은 지역이 다수이다. 그래서 분석대상관측소 지점은 1970년 초부터 30년정도의 자료를 보유하고 있는 지점을 선택하였으며, 그 이외에는 자료의 수는 적어도 문막, 영춘, 영월2, 괴산댐 등은 한강본류 및 지류의 주요 지점으로 하천의 중요도를 생각하여 선택하였다.

2.2 댐 건설에 따른 홍수량 자료의 조정

한강은 우리나라에서 유역 면적이 가장 크고 서울을 관통하는 매우 중요한 하천이므로 과거부터 각종 댐을 건설하여 홍수조절을 하고자 하였다. 1940년대에 화천댐, 청평댐 등은 전력 수요를 충족하기 위해서 건설되었고, 1960년대 이후에는 홍수 조절과 수력발전 및 각종 용수공급 목적으로 다목적 댐들이 건설되었다. 유역 상류지점에 홍수조절능력을 갖는 댐이 건설되면 동일 기상조건에서 하류 유역의 홍수량은 댐 건설 이전의 홍수량에 비하여 줄어들게 된다. 따라서 실측 홍수량자료의 빈도해석을 통한 홍수량 산정시에는 댐과 같은 수공구조물 건설의 영향으로 유역의 조건이 변경됨에 따라 유량자료의 불연속이 발생하는 것을 고려하여야 한다.

댐 건설 이전의 자연상태의 홍수량을 댐 건설 이후의 변화된 상태의 홍수량으로 정확하게 조정하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 댐 건설로 인한 영향을 단순하게 고려하는 경험공식을 이용하여 댐 준공 이전의 유량자료를 댐 준공이후의 유량자료로 조정하여야 한다. 한강유역에 있는 댐의 경우 기존댐 중 화천댐(1944), 소양강 댐(1973), 충주댐(1985), 평화의 댐(1988)의 경우는 타댐에 비해 월등한 홍수조절 능력을 가지고 있다. 따라서 댐 건설로 인한 홍수량자료의 조정은 1973년 이전, 1974년~1985년, 1986년~1988년 등으로 구분하여 조정하였으며 홍수량을 조정하기 위한 경험 공식으로는 다음과 같이 Myers-Garris 방법을 사용하였다.

$$Q_1 = K \cdot Q_0$$

$$K = \sqrt{1 - \frac{\sum a(1-m^2)}{A}}$$

$$m = 1.5 - \sqrt{0.25 + \frac{2W}{V}}$$

여기서 Q_1 : 댐에 의한 조절후 홍수량, m^3/s

Q_0 : 조절전 홍수량, m^3/s

K : 조절 계수

A : 계획지점의 유역 면적, km^2

a : 댐의 유역 면적

m : 댐의 방류계수

W : 댐의 홍수조절용량 m^3

V : 댐에 유입하는 홍수와의 홍수 총량, m^3

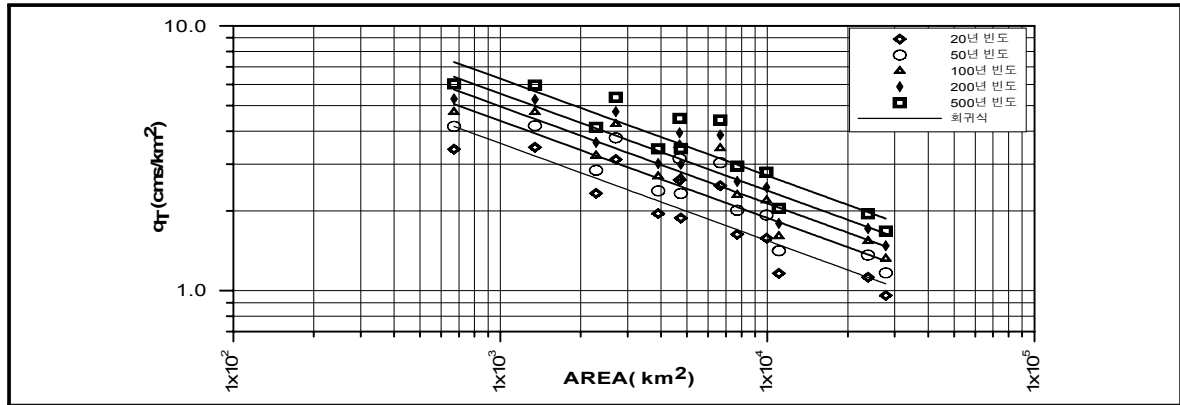
위의 식에서 홍수량 유입 및 유출 곡선은 지속시간 48시간, 재현기간 200년의 하도 추적 결과(북한강 수계 하천 정비 기본계획, 한강수계하천정비계획, 2002)를 사용하였다. 재현기간을 200년으로 한 것은 대규모 유역의 경우에는 재현기간이 주로 100년 또는 200년으로 설정되어 있기 때문에 사용하였다.

<표. 1> 하류 관측지점의 조절 계수(K)

기간	댐 지점					주요 지점	
	화천댐	춘천댐	의암댐	청평댐	팔당댐	여주	인도교
1973 이전	0.6523	0.7185	0.6207	0.7166	0.7831	0.7766	0.8175
1974~1985	0.6523	0.7185	0.8370	0.8735	0.8469	0.7766	0.8703
1986~1988	0.6523	0.7185	0.8370	0.8735	0.9493	1.0000	0.9567

2.3 빈도별 비 홍수량-유역면적 관계

지점별 확률홍수량은 자료의 특성이 어느 정도 일관성이 있는지는 알 수 없기 때문에 각 재현기간별 홍수량을 유역면적으로 나눈 비유량으로 각 지점별로 추정된 홍수량을 비교해 보았다. 각 지점의 비유량을 유역면적과의 관계를 도시하여 보면 그림과 같으며 이때의 상관계수는 0.83정도로 높은 상관성을 보였다.



<그림. 2> 지점별 재현기간에 따른 q_T 와 유역면적과의 관계 곡선

2.4 지점별 연평균 홍수량 및 홍수빈도 곡선의 작성

Gumbel 분포의 경우 연 평균 홍수량을 구하기 위해서는 재현기간 T 가 2.33년 일 때 빈도계수 $K_{2.33} = 0$ 이 된다. 빈도 계수 공식은 아래 식과 같다.

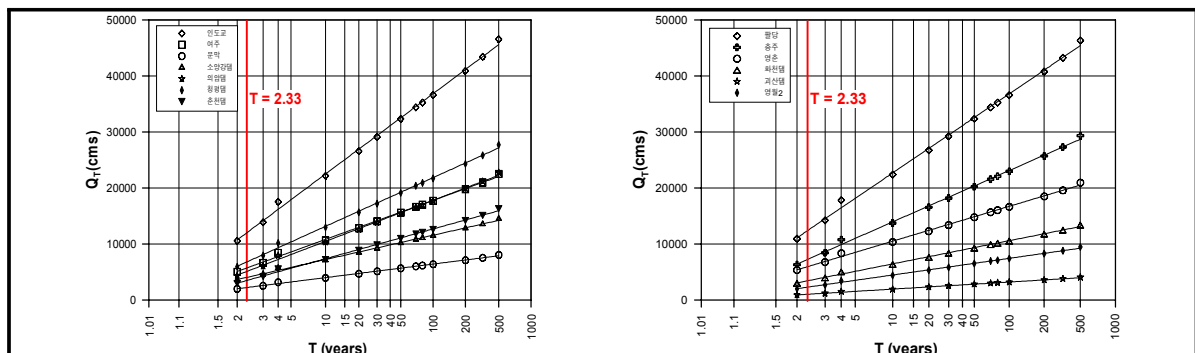
$$K_T = -[0.45 + 0.7797 \ln(\ln T - \ln(T-1))]$$

$K_T = 0$ 이면 $Q_T = \bar{Q} + S K_T$ 에서 $Q_{2.33} = \bar{Q} =$ 평균연홍수량이 된다.

< 표. 2 > 각 지점별 연평균 홍수량 계열

지점	인도교	팔당댐	여주	문막	충주	영춘	소양강댐
연평균 홍수량(CMS)	12396.39	12749.40	6537.56	2283.38	7487.09	6111.44	4149.50
지점	화천댐	춘천댐	의압댐	청평댐	괴산댐	영월2	
연평균 홍수량(CMS)	3526.29	3627.26	5294.74	7033.72	1046.52	3795.51	

지점의 홍수빈도 곡선은 아래 그림은 각 지점의 재현기간별 홍수량을 Gumbel 확률지에 좌표점(T, X)을 통하여 도시한 것이다. Gumbel 확률지에 도시한 결과 상관도가 0.99정도의 높은 상관성을 가졌다.



<그림. 3> 지점별 홍수 빈도 곡선

2.5 연 평균 홍수량과 유역지형인자와의 상관 관계분석

한강유역의 연 평균 홍수량($Q_{2.33}$)과 유역 특성인자와의 상관관계를 다음과 같은 형태로 유도하였다.

<표. 4> 지형인자에 따른 회귀곡선식

관계	회귀식	상관계수
$Q_{2.33}$ 와 유역면적	$Q_{2.33} = 24.4921 A^{0.6150}$	0.909
$Q_{2.33}$ 와 유로연장	$Q_{2.33} = 10.2115 L^{1.1691}$	0.906
$Q_{2.33}$ 와 유역경사	$Q_{2.33} = -5648.3170 \times \ln(S_0) - 31323.6316$	0.800
$Q_{2.33}$ 와 북한강 유역경사	$Q_{2.33} = -6099.0443 \times \ln(S_0) - 33628.0252$	0.928
$Q_{2.33}$ 와 남한강 유역경사	$Q_{2.33} = -6226.8765 \times \ln(S_0) - 35462.6954$	0.812

연평균 홍수량과 유역 인자와의 상관성을 분석한 결과 그 상관계수가 0.80~0.93으로 높은 상관성을 보였으며 특히 유역면적과, 유로 연장이 높은 상관성을 보였다. 또한 유역경사의 경우 남한강과 북한강을 분리하였을 때의 상관성이 더 높은 것을 확인 할 수 있었다.

2.5 재현기간별 홍수량의 추정

각 재현기간별 I_T 와 지형인자에 따른 회귀 곡선식을 이용하면 재현기간별 홍수량 관계식을 구할 수 있다. 여기서 I_T 는 각지점의 재현기간별 확률 홍수량(Q_T)을 연평균 홍수량($Q_{2.33}$)으로 나눈 값이다.

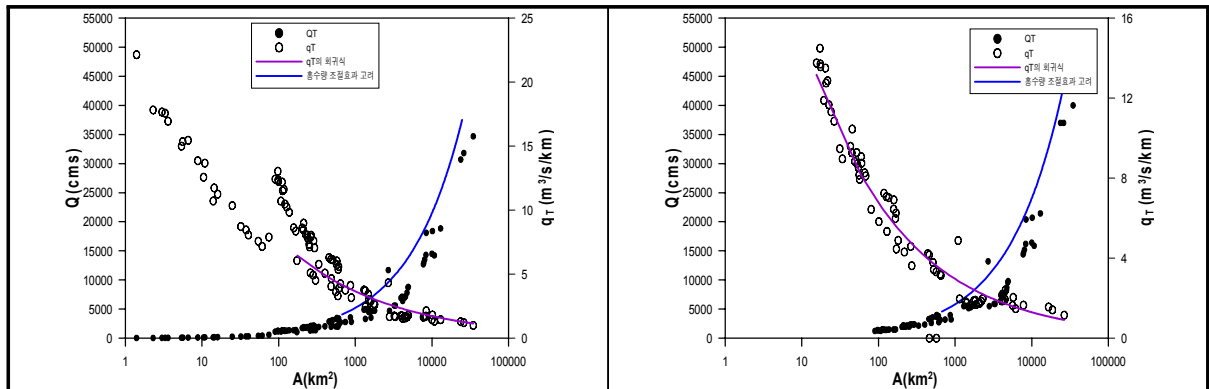
$$Q_T = I_T \times Q_{2.33} = I_T \times \phi(A, L, S, etc)$$

<표. 5> 재현기간별 I_T

구 분	20	50	80	100	200	300	500
평균치	2.19	2.68	2.92	3.04	3.40	3.62	3.89
중간값	2.15	2.64	2.89	3.01	3.37	3.59	3.86

2.6 지점별 기존 확률 홍수량과의 비교 검토

선정된 회귀식을 이용하여 재현기간별 지점 홍수량을 추정하고 기존 보고서에 나와 있는 홍수량(100년, 200년 빈도)과 비교 검토해 보았다.



<그림. 4> 지점별 계획홍수량과 면적-홍수량의 경험식(우:100년 빈도, 좌: 200년 빈도)

기존의 한강유역 중소하천(지방2급 하천포함)의 “하천정비 기본계획”에 수록되어 있는 설계홍수량과 본 연구에서 도출된 경험식을 비교해 보았다. 미계측 지점에 대한 개천기간별 확률 홍수량은 유사한 경향성을 보였으나 좋은 결과를 도출하지 못하였다. 이는 본 연구에서 침투홍수량을 사용하였으나 자료의 수가 적었고, 수위-유량관계곡선(rating curve)과 댐의 침투유입량 산정시 기록의 신뢰성이 낮아서 나타난 결과라 생각된다.

3. 결론

한강유역은 1940년 이후로 댐의 건설에 따라 댐건설로 인한 홍수조절효과를 고려할 때의 침투홍수량을 보정하였고, 수정된 침투홍수량자료를 이용하여 홍수빈도 분석 결과 가장 적합한 것은 Gumbel분포형이고 이를 채택하였다. Gumbel분포형으로 재현기간별 확률홍수량을 계산한 결과 기존 하천 정비 기본계획에 수록되어 있는 설계홍수량 보다 크게 산출되었는데 이는 본 연구에서 사용된 수위-유량관계곡선의 신뢰도가 낮고 또한 침투홍수량의 분산 및 표준편차가 크기 때문에 강우를 이용한 설계홍수량보다 크게 산출되었다. 비확률홍수빈도 곡선 작성시 면적과 재현기간별 확률홍수량과의 관계에서 회귀식은 $Q = bA^a$ 의 형태로 나타났으며 이때의 상관계수는 0.83정도로 나타났다. 경험식의 검증에 위해서 기존 하천정비 기본계획에 수록되어 있는 설계 홍수량과 경험식을 비교한 결과 유사한 경향을 나타냈으며, 댐 건설로 인한 홍수저류효과를 고려하였을 때의 경험식은 제외하였을 경우보다 설계홍수량을 유사하게 재현할 수 있었다. 따라서, 본 연구에서는 한강유역의 주요지점의 연 최대치 홍수량 자료를 이용하여 미계측 지역에서 적용할 수 있는 확률 홍수량 회귀식을 작성하였으나, 계측지점이 적어서 좋은 결과를 도출하지 못하였다. 더 많은 지점의 연 최대치 홍수량 자료를 입수하여 적용하면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다. 또한 남한강과 북한강을 분리하여 분석하는 것도 좋은 방법이다.

참 고 문 헌

1. 건교부(2002). 한강수계하천정비 기본계획(팔당댐~한강하구)
2. 건교부(2002). 북한강·소양강·양서구천·섬강 하천정비 기본계획
3. 고재웅(1988). 한국하천 홍수유량의 빈도분석에 관한 연구, 대한토목학회지, Vol. 25, No 4, pp.95~102.
4. 김남원(1997). 미계측유역의 확률홍수량 산정을 위한 동력학적 홍수빈도모형개발, 박사학위논문, 강원대학교
5. 연기석(1990). 중소하천유역의 홍수량 산정모델에 관한 연구. 박사학위논문, 충북대학교
6. Benson, M. A.(1962). Evolution of method for evaluating the occurrence of flood, U. S. Geol. Surv. Water Supply paper, 1580A.
7. Cunnane, C.(1989). Statistical distributions for flood frequency analysis, WMO Operational Hydrological Report, 33.
5. Darymple, T.(1960). Flood-frequency analyses, U. S. Geol. Surv. Water Supply paper, 1543A.
8. Stedinger J.R. and Tasker, G.D(1985). Regional hydrological analysis 1. Ordinary, weighted and generalized least squares compared, Water Resources Research, 21(9), pp.1421~1432