

우리나라 빈도 홍수량의 특성

Characteristics of Regional Flood Frequency in Korea

김 남 원* · 원 유 승**

1. 서 론

21세기 우리나라 대부분의 수공구조물은 국내 고유의 홍수량 자료부족과 신뢰성 문제로 직접 설계·평가되지 못하고 빈도홍수량으로 확률강우량과 합성단위도 등을 이용한 간접적인 방법이 이용되어 왔다. 이러한 간접적인 홍수량 추정방법은 다양한 추정인자의 불확실성으로 같은 조건에서도 상이한 결과가 도출되는 등 실제 적용성 부분에 문제를 내포하고 있는 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 그 동안 국내에서 관측된 홍수량 자료의 신뢰성과 유용성을 평가하기 위하여 홍수빈도 분석에 의한 자료의 평가 및 지역홍수빈도에 의한 경험식을 개발하여, 국내 홍수량 자료의 유용성을 검토하였다.

우리나라 주요 하천인 한강, 낙동강, 금강, 영산/섬진강 유역에 위치하고, 자료의 기록년한이 10년 이상인 관측소를 대상으로 홍수량 자료를 수집하였다. 빈도 홍수량을 추정하기 위해 자료의 이상 유·무를 판단한 후, 선정된 관측소의 홍수량 자료를 이용하여 지점빈도분석과 지역빈도분석을 수행하였다. 또한 빈도분석의 결과로부터 수문학적으로 동질한 유역의 지형학적 인자인 유역면적과 상관시켜 경험관계를 개발하였다.

2. 기존 연구

국내 실무에서 주로 사용되는 설계홍수량 추정방법은 기왕최대홍수량 공식, 단순홍수량 공식, 설계호우-단위도법, 지역빈도분석법으로 분류할 수 있다. 기왕최대홍수량의 추정은 다수의 홍수 관측지점에서 유역면적과 최대유량과의 상관관계를 포락하여 만들며, 대표적인 예가 가지야마(1922) 공식이다. 소유역의 설계홍수량 추정을 위해 주로 이용되는 합리식은 단순홍수량 공식의 대표적인 예이며, 이는 유량을 유역특성인자와 상관시켜 개발된 공식으로 일종의 강우-유출관계이다. 설계호우-단위도법은 설계호우, 강우손실, 단위도 또는 직접유출수문곡선을 이용하는 방법으로 수문학의 많은 분야가 포함되어 있다. 이상의 홍수량 추정방법은 특정한 홍수량 또는 설계강우량 등을 이용하는 간접적인 방법이라 할 수 있다.

* 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 수석연구원 · 공학박사 · 031-910-0256(E-mail:nwkim@kict.re.kr)

** 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원 · 031-910-0273(E-mail:yswon@kict.re.kr)

근래 들어 많은 지점에서 수위관측과 유량측정이 이루어지고 있으며, 수위-유량관계에 의해 수위자료를 유량으로 환산할 수 있다. 환산된 유량자료를 이용하여 빈도분석을 수행하면 설계 홍수량의 추정이 가능하며, 이는 홍수량 자료를 직접적으로 이용한다는 장점을 가지고 있다. 설계 지점에 홍수량 자료가 있는 경우에는 지점별 홍수빈도분석을 통하여 적절한 홍수량을 산정하여 설계홍수량을 결정하게 된다. 지점 빈도분석에 의한 홍수량 추정은 확률분포형의 선택, 자료 기록년 한, 수위-유량관계 등에 포함될 수 있는 불확실성으로 인하여 분석결과가 실제와 상이한 결과를 줄 수 있는 단점을 내포하고 있다.

그러나 지역빈도분석은 홍수빈도 분석을 보다 합리적으로 수행할 수 있으며, 지역적으로 상호 균형된 빈도홍수량으로부터 지역의 일반적인 경향을 가진 광범위하고 종합적인 해석을 할 수 있는 장점이 있다. 또한 자료가 없는 미계측 유역에 대하여 자료가 풍부한 인근 유역의 자료이용과 수문기상학적 특성치, 유역특성치를 종합적으로 고려하여 미계측 설계지점의 홍수량을 산정하는 지표를 얻을 수 있다. 윤태훈(1973)은 전국수계에 대해 2변수 대수정규분포를 이용하여 유역면적 654.3~25,046.0 km²의 범위를 가지는 12개 유역에 대해 지역빈도 분석을 수행하였고, 고재웅(1977)은 전국 5대 하천 중 유역면적 551.4~2473.2 km² 범위를 가지는 24개 소유역에 대해 20년간의 홍수자료를 사용하여 Hazen 방법, Log Pearson Type III, Gumbel-Chow 방법을 이용하여 지역빈도분석을 수행하였다. 양동률과 고재웅(1981)은 고재웅(1977)과 동일한 소유역을 대상으로 Gumbel-Chow 방법과 Weibull 도시위치 공식을 이용하여 지역빈도분석을 수행한 후, 유역면적과 상관시켜 경험식을 제안하였다.

연기석(1990)은 IHP 대표시험유역인 평창강, 보청천, 위천을 대상으로 Log Pearson Type III 분포를 이용하여 대표시험유역별 지역빈도분석 결과를 유역면적과 재현기간의 함수로 홍수량을 산정하는 경험식을 제시하였다. 1993년도 수자원관리기법개발연구조사보고서(1993, 건설부)에서는 우리나라 28개 지점을 대상으로 Wakeby 분포를 이용하여 지역빈도 분석을 수행한 후 유역면적과 상관시킨 경험식을 제안한바 있다.

3. 분석

3.1 이용자료

연최대 홍수계열을 구성한 지점은 수위자료의 연최대치를 충분히 확보할 수 있고, 유량환산이 가능한 지점으로서 한강 17개 지점, 낙동강 18개 지점, 금강 8개 지점, 영산/섬진강 13개 지점 등 모두 56개 지점이다(표 1 참조). 금강유역의 구룡과 섬진강 유역의 구례2, 남원, 대강 지점을 제외하면 수위자료의 기록년한은 10년 이상이며, 수위-유량환산관계는 각 지점의 수위-유량관계곡선 식이나 곡선도, 유량측정자료 등의 자료 여건에 따라 기존에 개발된 식을 그대로 사용하거나 새로이 작성하였다. 수위-유량관계곡선의 경우에 적용범위, 이용자료의 적정성, 다른 곡선식과의 비교 등을 통하여 그 식의 타당성을 검토하여 그 식의 사용 여부를 판단하였다. 선정된 곡선식을 다시 유량측정자료와 비교하여 곡선식이 유량측정성과를 적절히 대표하지 못하는 경우나, 곡선식이 없고 유량측정자료만 있는 경우는 이를 이용하여 수위-유량관계표 또는 수위-유량관계식을 작성하였으며, 하천단면을 입수할 수 있는 지점은 하천단면을 참조하여 고수위 부분을 연장하였다.

표 1. 분석대상 수위관측소 현황

한강			낙동강			금강			영산/섬진강		
관측소	자료수	유역면적 (km ²)	관측소	자료수	유역면적 (km ²)	관측소	자료수	유역면적 (km ²)	관측소	자료수	유역면적 (km ²)
인도교	63	24753.20	밀 양	53	1265.00	규 암	69	8253.40	영산포	55	2141.70
죽도	46	24404.10	수 산	59	20996.70	구 룡	6	206.30	나 주	69	2058.70
광 장	14	24058.90	임해진	50	20685.30	공 주	68	7149.50	능 주	16	230.30
고 안	62	23805.10	진 동	62	20311.30	석 화	47	1590.40	본 동	40	1288.20
청 평	67	10455.50	적포교	15	16449.60	회 덕	37	604.20	장 성	11	282.90
춘 천	52	7886.70	현 풍	67	14000.90	기 대	16	346.50	마 록	56	684.00
여 주	70	11104.40	고령교	17	14034.30	옥 천	46	2942.60	송 정	58	4255.70
문 막	17	1336.00	동 촌	50	1544.00	용 담	26	989.50	구례 2	9	3810.30
목 계	40	8433.80	왜 관	60	11074.40				압 록	59	2447.50
충주 1	45	6657.30	구 미	10	10886.10				남 원	7	315.70
단양 1	44	5022.60	김 천	27	413.30				대 강	7	1754.10
방 립	18	519.70	강창 1	51	9501.70				적 성	31	1350.80
하반정	18	84.00	낙 동	70	9369.00				오 수	16	350.90
상안미	16	396.30	무 성	17	472.50						
백옥포	15	142.30	효 령	17	151.00						
장 평	15	103.60	미 성	17	171.30						
정 선	41	1682.10	고 노	17	109.70						
			안 동	57	3590.00						

3.2 빈도분석에 의한 경험관계

WMO(1989)에서는 확률분포의 매개변수 추정에는 PWM(probability weighted moment)을 이용하는 방법을 권장하였고, 분포형 결정은 거동분석(behaviour analysis)에 의한 결과를 이용하도록 권장한 바 있다. 본 연구에서는 도식적 기법을 이용하는 등의 주관적인 형태로 빈도분석을 수행하기보다는 좀 더 유연하고 객관적으로 타당한 분포를 이용하여 자료에 적합하기 위하여 적정 확률 분포형으로 Extreme-Type I을 선정하였고, 매개변수 추정방법으로 L-Moment법을 이용하였다. Extreme-Type I 분포는 『1999 수자원관리기법연구조사보고서』(2000, 건설교통부)의 『한국 확률 강우량도 작성』과 『한국 가능최대강수량 추정』에서 여러 가지 분포형들 중 우리나라의 최대치 강우계열에 가장 적합한 분포형으로 분석된 바 있다. 이로부터 최대치 계열의 빈도분석에 Extreme-Type I 분포가 타당하다고 판단하였으며, 이 분포형은 누가확률분포 함수를 시산없이 양해적으로 산정할 수 있는 장점이 있다.

그림 1에 표 1에 제시된 관측소의 홍수량을 이용하여 지역빈도분석을 수행한 후, 유역면적과 비유량의 경험관계를 멱함수의 형태로 회귀분석하여 나타냈다. 그림에서 알 수 있듯이 한강유역의 경우 결정계수가 0.94, 낙동강 유역은 0.95, 금강유역은 0.89, 영산/섬진강 유역은 0.56 정도였다. 한강, 낙동강, 금강 유역은 자료기록년한이 길고, 유량환산이 용이한 관측소가 많아 결정계수가 높게 나타난 것으로 판단되며, 영산/섬진강 유역은 영산포, 나주, 송정, 압록 등 관측년한이 긴 관측소가 있는 반면 유역면적이 작은 관측소가 적고 기록년한도 짧아 경험관계의 결정계수가 떨어지는 것으로 사료된다.

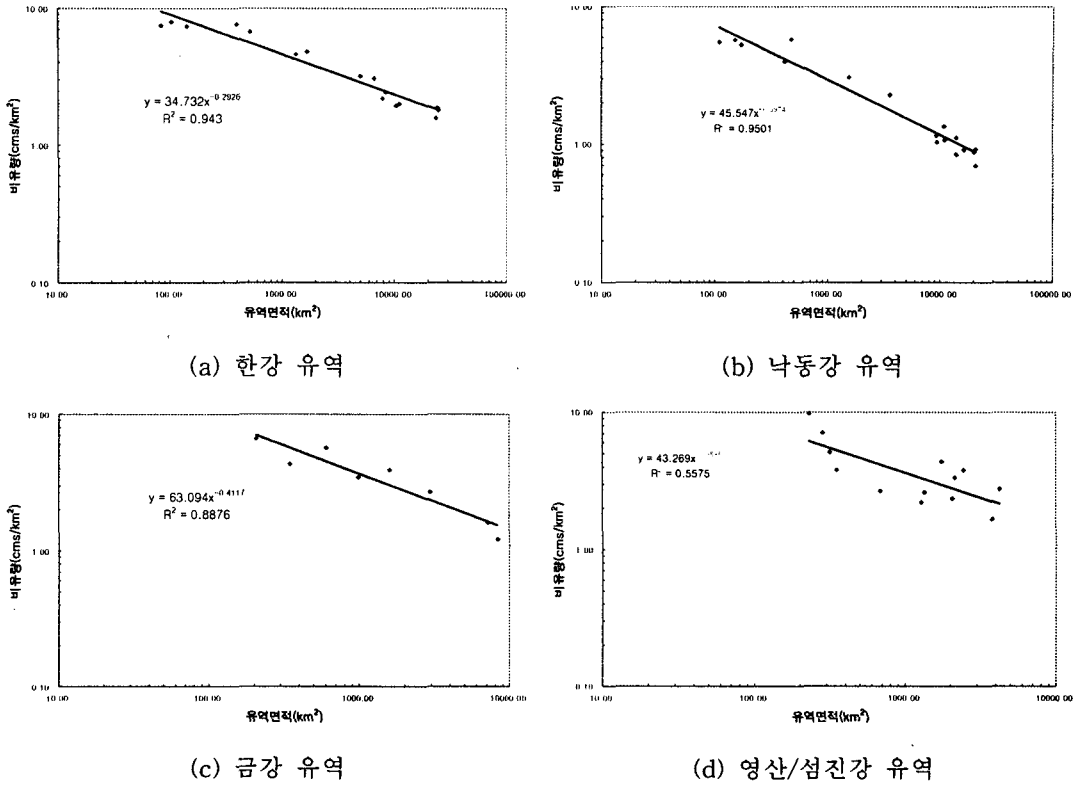
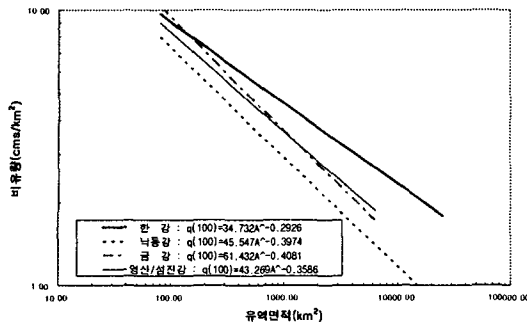


그림 1. 유역별 100년 빈도 홍수량의 경험관계

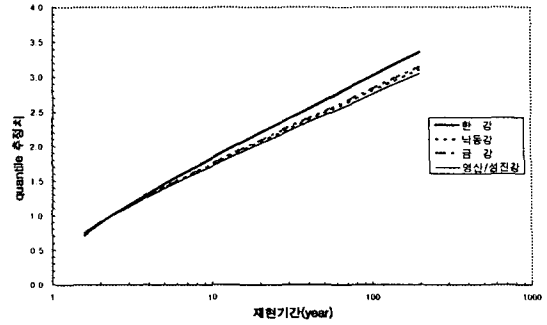
4. 유역별 유출 특성

그림 1에 제시된 유역별 100년 빈도 홍수량 경험관계를 그림 2(a)에 재 도시하였다. 그림에 제시된 바와 같이 동일 유역면적에 대하여 한강, 영산/섬진강, 낙동강 유역 순으로 비유량이 작아지며, 금강 유역은 영산/섬진강 유역과 비교하여 유역면적 1,000 km² 정도를 경계로 유역면적이 작은 경우는 크고, 유역면적이 큰 경우는 작다. 또한 금강 유역과 낙동강 유역의 경우 유역면적과 비유량의 관계는 멱함수의 지수승이 -0.40 정도이기 때문에 거의 평행이며, 유역별로 분석된 경험관계의 지수승은 -0.29~0.41, 회귀상수는 34.7~61.4 정도임을 알 수 있다.

그림 2(b)에 각 유역별 quantile 추정치를 재현기간 1.58년부터 200년까지 나타냈으며, quantile 추정치는 재현기간 2.33년 이상일 경우 한강, 금강, 낙동강, 영산강/섬진강 순으로 작고, 재현기간이 길어질수록 quantile 추정치 값의 차이가 커진다. 재현기간이 2.33년 보다 짧을 경우 한강유역의 quantile 추정치가 가장 작다.



(a) 유역별 유역면적-비유량 관계



(b) quantile 추정치

그림 2. 유역별 빈도 홍수량 특성

일반적으로 하천정비기본계획에서는 홍수량을 직접 빈도분석하지 않고, 설계강우량으로부터 강우-유출관계에 의해 설계홍수량을 추정한다. 그림 3에는 하천정비기본계획 등에서 추정된 유역별 100년 빈도 계획홍수량과 본 연구에서 유역별로 산정된 경험관계를 도시한 것이다. 한강유역의 경우 하천정비기본계획상의 계획홍수량이 본 연구에서 추정된 경험식에 비해 유역면적 300 km² 이상에서 작음을 알 수 있고, 낙동강 유역의 경우 유역면적 1,000~4,000 km²에서 계획홍수량이 특이하게 큰 경우와 작은 경우를 제외하면 본 연구 결과와 전반적으로 잘 일치하며, 금강유역과 영산/섬진강 유역의 경우도 본 연구결과와 하천정비기본계획의 계획홍수량과 잘 일치하였다. 본 연구에서 유역면적 100 km² 이하에 대해서는 경험관계를 표시하지 않았는데 그 이유는 유역면적이 작을 경우 확률강우량의 지역적 특성이 크기 때문에 경험관계에 의한 비유량 추정치의 신뢰도가 떨어지기 때문이다. 실제로 그림 3에 제시된 하천정비기본계획상의 계획홍수량도 유역면적이 작아 질수록 추정된 홍수량이 크게 산개함을 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 수문관측자료가 없는 미계측 유역에서 빈도홍수량을 추정할 수 있는 유역면적을 비유량에 상관시킨 경험관계를 제시하였다. 또한 추정된 경험관계를 하천정비기본계획상의 계획홍수량과 비교·검토하였다.

- 1) 유역면적별 비유량은 한강, 영산/섬진강, 낙동강 유역 순으로 작아지고, 금강 유역은 영산/섬진강 유역의 비유량과 비슷하였다.
- 2) 재현기간이 2.33년 이상일 경우 quantile 추정치는 한강, 금강, 낙동강, 영산/섬진강 순으로 나타났으며, 재현기간이 길어질수록 차이가 크게 나타났다.
- 3) 설계강우에 의해 추정된 하천정비기본계획상의 계획홍수량은 일정한 경향을 보였으며, 본 연구 결과와 비교하여 볼 때 한강 유역의 경우 유역면적이 큰 경우 약간 작게 추정되었고, 낙동강 유역의 경우 유역면적 1,000~4,000 km²에서 계획홍수량이 너무 작게 또는 크게 추정된 지역이 있었고, 금강, 영산/섬진강 유역은 본 연구 결과와 거의 일치함을 알 수 있다.

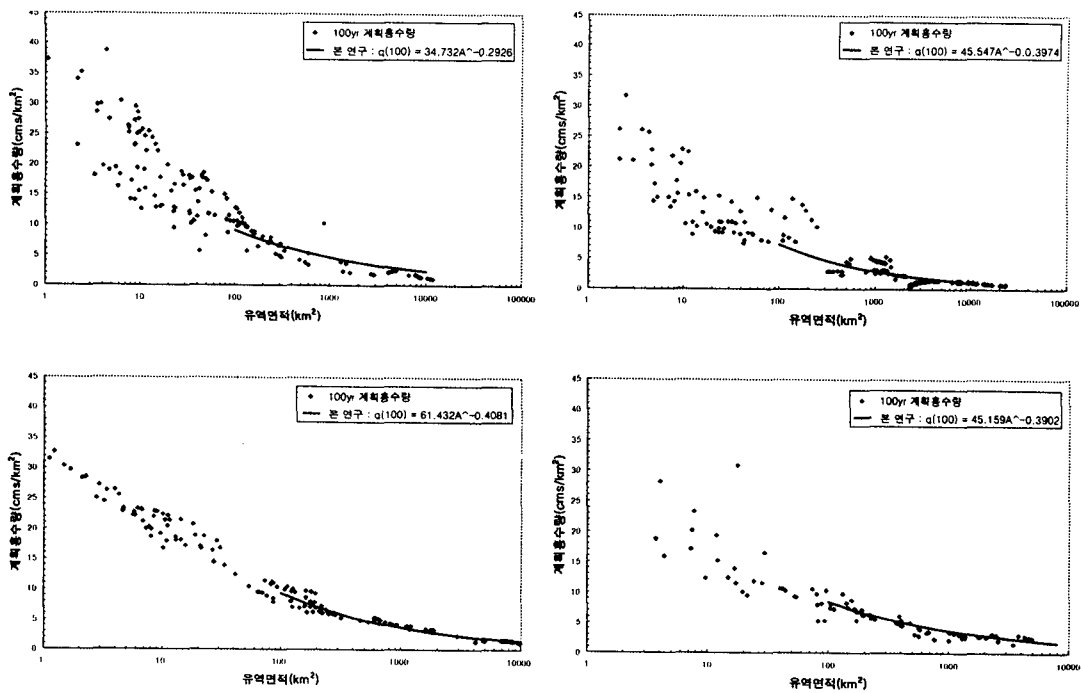


그림 3: 유역별 계획홍수량과 경험식

참 고 문 헌

- 건설교통부(2000). 1999년도 수자원관리기법개발연구조사보고서, 한국건설기술연구원
- 건설부(1993). 1993년도 수자원관리기법개발연구조사보고서, 한국건설기술연구원
- 고재웅(1977). "한국하천 홍수유량의 빈도분석에 관한 연구", 대한토목학회지, Vol. 25, No. 4 pp. 95-102.
- 양동률, 고재웅(1981). "유역특성으로부터 확률홍수량의 유도에 관한 연구", 한국수문학회지 Vol. 14, No. 3, pp. 37-46
- 연기석(1990). 중소 하천유역의 홍수량 산정모델에 관한 연구, 박사학위논문, 충북대학교 대학원
- 윤태훈(1973). "지역화된 홍수빈도분석", 대한토목학회지, Vol. 21, No. 3, pp. 43-51
- WMO(1989). *Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis*, WMO-No. 718 World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.