홍수 빈도분석상 일 유량자료 이용과 유용성

김 남원[1], 최 한규[2]

1. 서 론

배수로, 암거 등의 홍수조절용 시설물의 수문학적인 설계를 위해서는 홍수빈도분석의 결과인 재현기간별 첨두유량자료가 필요하다. 일반적으로 첨두유량자료를 얻기 위해서는 첨두수위를 찾고, 그 지점의 수위-유량관계곡선을 이용한다. 그러나 이렇게 얻어지는 첨두유량자료를 찾기란 매우 어렵고 또한 있다고 할지라도 시계열을 구축할 수 없는 등 여러가지 문제를 가지고 있다. 따라서 수공구조물의 설계시 직접 홍수빈도분석을 수행하는 방법 대신에 강우를 이용하여 홍수량을 추정한다든지 아니면 많은 계측자료에 근거한 경험공식을 이용하는 등의 간접적인 방법을 이용하고 있으나 이러한 방법들도 첨두유량의 자료의 부재로 충분한 검증을 받고 있지 못한 실정이다. 반면 우리나라에는 건교부 발행 한국수문조사연보를 통하여 많은 일평균수위를 얻을 수 있고 또한 기 작성된 수위-유량환산곡선으로 부터 일평균유량을 얻을 수 있다. 물론 일평균수위를 보유하고 있는 지점은 상당수에 이르고 있고 특히 첨두유량 자료를 얻기 힘든 작은 유역에 많이 분포하고 있다. 이로인하여 홍수빈도 분석 또한 일평균유량으로 분석하거나 지역해석을 통하여 어떠한 특성을 얻으려고 하고 있으며, 대표적인 예로 이길춘 등(1992)을 들 수 있다. 그러나 일평균유량과 첨두유량의 관계가 파악되지 않았기 때문에 그 결과를 어떠한 형태로 해석해야 할 지 분명하지 않다.

이와 같이 일평균유량이 첨두유량보다 획득하기 쉬울 뿐아니라 많은 지점을 이용할 수 있다는 점에 착안하여 본 연구에서는 일 평균유량을 이용하여 재현기간에 따른 첨두홍수량을 얻을 수 있는 지의 여부와 그 유용성에 대하여 논의하고자 하였다.

2. 기존의 방법과 홍수빈도분석상의 한계

2.1 기존의 방법

Sangal(1983)에 의하면 Fuller(1914)는 유역면적과 일평균유량을 이용하여 다음과 같은 관계로 첨두유량과 상관시켰다.

$$Q_p = Q_d\ (1+\ 2\ A^{-0.3}) \qquad (1)$$

여기서 Q_p :첨두유량(cfs),

Q_d : 최대 일 평균유량(cfs), A : 유역면적(mi^2)

---

1) 정회원, 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원
2) 정회원, 강원대학교 공과대학 토목공학과 교수

또한 Langbein(1944)는 일평균최대유량에 대한 첨두유량의 비 및 첨두유량의 발생시간을 일평균최대유량에 대한 그 전날의 유량 및 다음날 유량의 함수로 나타낸바 있다.

이와 유사한 방법을 정립한 Sangal(1983)은 캐나다 Ontario유역의 382개의 지점을 대상으로 일평균유량과 첨두유량의 관계를 제안하였다. 이 방법은 첨두유량 발생일과 그 전후일의 3일 연속일 평균유량을 이용하여 첨두유량을 추정하는 방법으로 다음과 같이 정의된다.

$$Q_p = (Q_1+Q_3)/2 + (2Q_2-Q_1-Q_3)/K \qquad (2)$$

여기서, Q_1, Q_3 : 각각 첨두발생전, 후일의 일평균유량,

Q_2 : 첨두발생일의 일평균유량, 그리고 K : 기저계수(base factor)

식 (2)에서 중요한 미지의 변수는 K로서 Sangal은 캐나다 유역의 경우 1을 제안하였으며,지역에 따라 K값이 다를 수 있음을 상기 시켰다.

2.2 홍수빈도분석상의 한계

Sangal(1983)에 의하면 Fuller방법에 의한 결과는 $(Q_p-Q_d)/Q_d$의 비율을 이용하여 결정계수를 구해보면 약 0.45정도를 나타낼정도로 나쁘다고 기술하였으며, 또한 Langbein의 방법은 유역면적 등의 유역특성 및 형상을 반영하지 못한다고 하였다. 따라서 Sangal은 이러한 특성과 유량규모를 충분히 나타낼 수 있는 식(2)를 제안하였지만 K값의 정확한 정의를 충분히 하지 못하고 무작위적인 통계적 처리절차를 따랐을 뿐이었다. 실례로 원석연과 윤용남(1993)에 의하면 K값의 분산이 매우 커서 일정한 값을 대표값으로 설정하기에는 무리가 있다고 하였다. 이와 같이 매개변수의 미시적인 특성에 따른 토의를 배제하고서라도 이러한 방법을 이용한 결과를 홍수빈도분석하였을 때 실측치의 통계적인 특성을 얼마나 잘 설명하고 있는지 아직은 밝혀진 바 없다.

3. 제안된 기본개념, 대상유역 그리고 분석방법

3.1 기본 개념

일반적으로 홍수빈도분석의 결과는 통계적인 형태로 나타낸다. 본 연구에서는 일 평균유량의 통계적인 특성을 이용하여 분석대상지점의 첨두유량의 통계적인 특성을 유추할 수 있을 것인가에 그 촛점을 맞추었다. 다시말하면 어느 특정지점의 일 평균유량을 이용하여 그 지점의 첨두유량의 거동특성을 알 수 있느냐는 것이다. 따라서 본 연구에서는 일반적으로 미 계측유역을 위하여 주로 이용되는 유량계열의 평균치, 그리고 분위수의 거동특성을 중요한 요소로 선택하였다.

3.2 대상유역의 설정

첨두유량과 일평균유량의 상관관계를 위하여 본 연구에서는 국제수문개발계획의 일환으로 운영되는 대표유역(이하 IHP 유역)을 선정하였다. IHP유역은 대체로 유역면적 500Km^2 이하로 평창강, 위천, 보청천으로 나누어져 있으며 각 유역은 5-6개의 소유역으로 나누어져 있다. 첨두유량자료와 일평균유량을 모두 보유하고 있다. 본 연구에서 사용한 자료기간은 1982-1993년으로 11년 간이다. 유역의 자세한 사항은 건설부(1993)를 참조할 수 있다.

3.3 분석방법

일평균유량과 첨두유량계열의 분위수(quantile)의 변화가 일관성이 있는지 또한 지수(index)가 되는 유량을 일평균유량으로 부터 찾을 수 있는지가 주요관심대상이다. 이를 위하여 일 평균유량의 부분계열을 작성하여 홍수빈도분석하고, 또한 첨두유량의 부분계열을 빈도분석하였다. 부분계열의 수는 자료년수의 2배를 취하였고 확률분포는 Wakeby 분포를 선택하였으며 홍수빈도분석은 IHP 유역내 소유역의 자료의 이산성을 방지하기 위하여 지역빈도 분석을 수행하였다. 지역홍수빈도분석을 위하여 Hosking(1991)이 제안한 프로그램을 이용하였다.

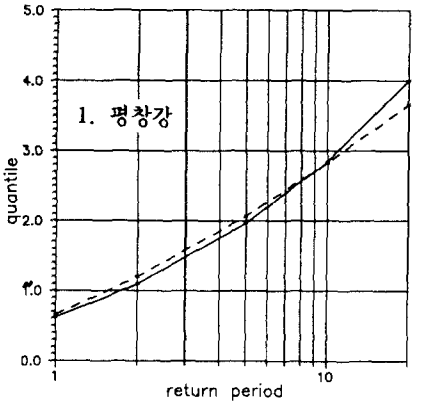
4. 결과의 분석

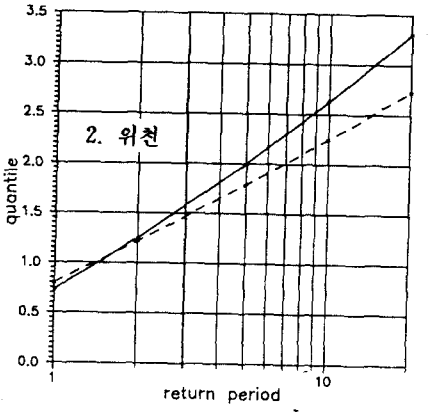
4.1 분위수의 비교분석

분위수란 재현기간별 유량을 자료계열의 평균값으로 나눈 수를 말한다. 먼저 일평균유량자료를 이용하여 첨두유량과 같은 분위수를 얻어낼 수 있는지를 검사하기로 하였다. 그 결과는 그림 1~3과 같다. 실선은 첨두유량자료를, 점선은 일평균유량을 이용하여 얻어진 분위수이며, 자료기록기간이 약 10년인 점을 감안하여 재현기간 20년 까지를 분석대상기간으로 설정하였다. 평창강과 보청천의 경우는 일평균유량에 의한 분위수를 첨두유량의 분위수 해석에 직접이용할 수 있을 정도로 아주 근사하였으나 위천의 경우는 다른 2개의 유역과는 다른 형태를 나타낼 뿐만아니라 일평균유량자료로는 첨두유량의 분위수를 추정하기 약간 힘들다는 결론을 얻을 수 있다. 위천유역의 이러한 특성은 그림 4와 같이 첨두유량과 일평균유량의 분위수 비율의 비교에서 더욱 선명하게 나타난다. 다만 자료년수의 재현기간 즉 10년 이하에서의 분위수는 모든 재현기간에서 10%이내의 오차를 보임을 알 수 있다. 즉 재현기간 10년 이하에서는 일평균유량의 분위수로 부터 첨두유량의 분위수를 얻을 수 있을 것으로 보인다. 그러나 이러한 것이 자료의 성질에 의한 것인지, 유역의 특성에 의한 것인지는 아직 분명히 밝힐 수 없었다. 만약 이러한 것인 유역특성에 의한 것이라면 분위수의 동질성에대하여 더이상의 분석이 필요 없겠지만, 자료의 성질에 의한 것이라면 더 많은 자료분석이 필요할 것이라고 판단된다.

4.2 평균유량의 비교결과

일평균유량과 첨두유량의 평균치을 일관성이 있게 산출할 수 있다면 홍수빈도분석에 커다란 정보를 제공하는 것이된다. 각 소유역별 일평균유량계열과 첨두유량계열의 평균치(Q_{dm}, Q_{pm})를 유역면적으로 나누고 비유량으로 환산하여 비교하여 보면 표 1과 같이 평창강, 보청천, 위천의 유역별로 매우 다른 비유량 특성을 나타남을 알 수 있다. 일 평균유량의 경우(첨두유량의 경우 김남원(1994 참조)) 비유량의 변화를 그림 5와 같이 도시하여 보면 보청천과 평창강의 특성은 유사한 반면 위천의 비유량 특성이 아주 다름을 알 수 있으며, 이러한 형태는 4.1에서 고찰한 분위수의 특성과 유사하다. 물론 그림 5에서 알수 있듯이 위천유역의 한 지점의 경우는 자료자체가 문제가 있는것으로 보이나 이자료를 제외한다고 할 지라도 다른 2개 유역과는 다른 형태의 비유량특성을 보이고 있다. 따라서 비유량의 비교만으로는 일평균유량으로 부터 첨두유량의 정보를 얻기가 힘들기 때문에 Fuller(1914)나 Langbein(1940)의 견해와 같이 Q_{pm}/Q_{dm}의 비율을 분석하여 보았다. 표 1에서 알 수 있듯이 Q_{pm}/Q_{dm}은 평창강의 경우가 가장작고 위천의 경우가 가장 크다고 할 수 있다. 이것은 단일 독립변수에 의하여 Q_{pm}/Q_{dm}의 특정한 성향을 나타낼 수 없음을 의미하였다. 따라서





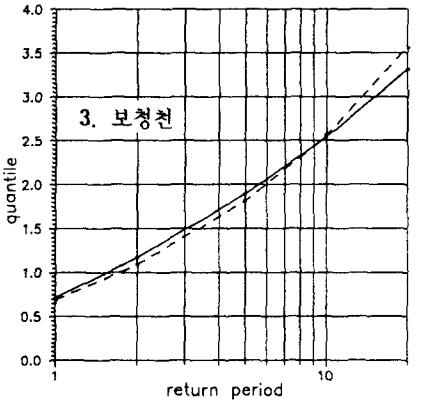


그림 1~3. 유역별 분위수의 비교

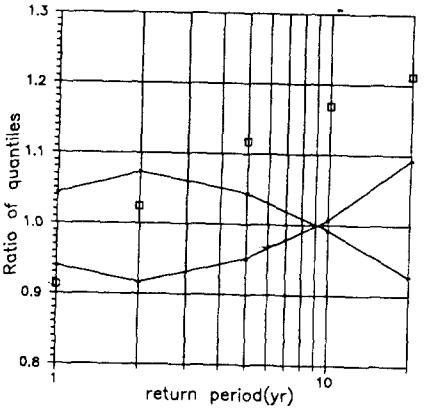


그림 4. 분위수 비율의 비교

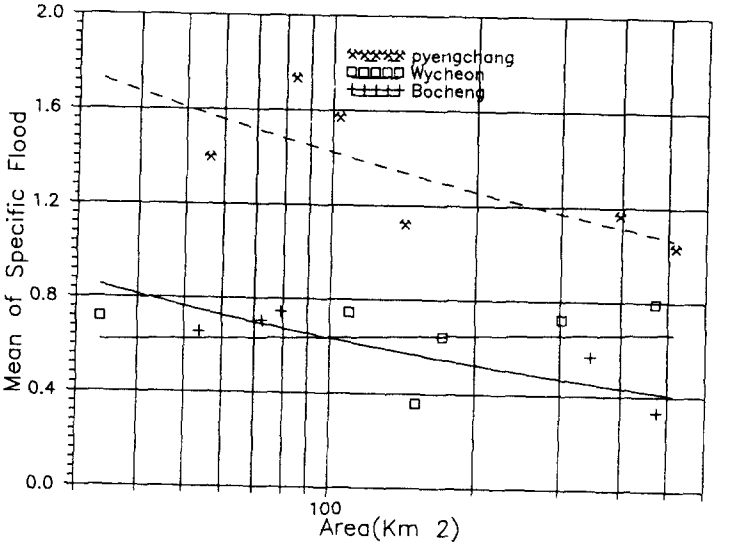


그림 5. 일평균 유량의 비유량 비교

표 1. IHP유역의 일유량과 첨두유량의 비유량

평 창 강				위 천				보 청 천			
관측소	일유량	첨두유량	비 율	관측소	일유량	첨두유량	비 율	관측소	일유량	첨두유량	비 율
방 림	1.03	1.71	16.60	무 성	.79	1.71	21.53	산 계	.33	.86	25.87
하반정	1.74	1.97	11.35	효 령	.36	1.84	51.41	기 대	.57	1.06	18.71
상안미	1.17	1.85	15.83	병 천	.72	1.70	23.61	탄 부	.70	1.68	23.91
백옥포	1.12	2.07	18.41	미 성	.64	1.67	26.11	이 평	.75	1.44	19.37
장 평	1.57	1.93	12.27	고 노	.75	1.99	26.66	삼 성	.66	1.72	26.21
이목정	1.40	2.33	16.68	동 곡	.72	1.76	24.56	-	-	- -	-

주) 1. 비율은 첨두유량*10/일유량, 2. 유량은 유량/면적인 비유량임

본 연구에서는 Q_{pm}/Q_{dm}을 종속변수로 한 다중회귀분석을 시도하였다. 첨두유량과 일평균유량과의 관계설정에 있어서 물리적으로 영향을 주는 요소로는 강우일수, 강우강도, 강우지속기간등 수문기상학적 요소와 유역면적, 식생피복등 지형학적 인자로 생각할 수 있다. 그러나 기상인자의 도입은 또다른 간접적인 방법을 낳을 수 있기 때문에 제외하였고 일반적으로 획득하기 쉬운 지형인자나 수문인자를 다중회귀분석의 독립변수로 설정하였다.

그결과 Q_{pm}/Q_{dm}과의 상관성이 높은 변량은 SCS 곡선번호 그리고 일평균유량의 평균비유량이 상관성이 높았으나 단계별 다중회귀분석에서는 일 평균비유량과 Horton의 교선법에 의한 유역평균경사가 높은 결정계수를 나타내었으며 결과는 다음과 같다.

$$Q_{pm} \cdot 10/Q_{dm} = Cr = 42.282(slop \cdot area/Q_{dm})^{0.775}, \quad R^2 = 0.93 \qquad (3)$$

여기서 slop; Horton의 유역평균경사

area : 유역면적(km^2)

Q_{pm} : 첨두유량에 의한 계열평균(m^3/sec)

Q_{dm} : 일평균유량에 의한 계열평균(m^3/sec)

식 (3)에서 독립변수를 2개로 고정한 것은 자료치가 한정되어 있었고 또한 또다른 독립변수가 입력되어도 크게 결정계수의 커지는 경향이 없으며, 일반성을 유지하기 위한 것이다. 물론 단계별 다중회귀분석상에는 더 많은 독립변수로 더 좋은 결정계수를 보인 것이 있으나 자료의 한계로 인해 생략하였다. 식 (3)의 결정계수의 의미는 그림 6에서 구체적으로 알 수 있으며, 또한 이는 평균유량으로 부터 첨두유량의 평균치를 비교적 정확하게 또한 일관되게 추정할 수 있음을 시사하는 것이라고 할 수 있다. 식 (3)을 이용하여 IHP 유역내 소유역의 평균 유량을 이용하여 계산된 첨두유량의 평균치와 실측 평균치를 비교 하여 보면 그림 7과 같다. 그림 6과 7을 비교하여 보면 Cr의 계산치의 분산이 큰 부분의 값이 실제 첨두유량계산시에는 큰 오차로 작용하고 있지 않음을 나타내고 오히려 그림 7의 상관성이 좋은 것으로 나타났다.

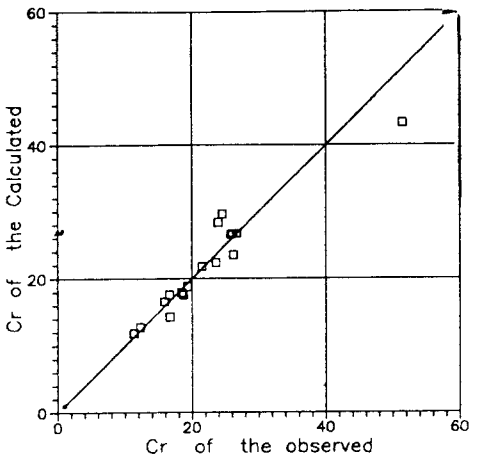


그림 6 관측 Cr과 계산치의 비교

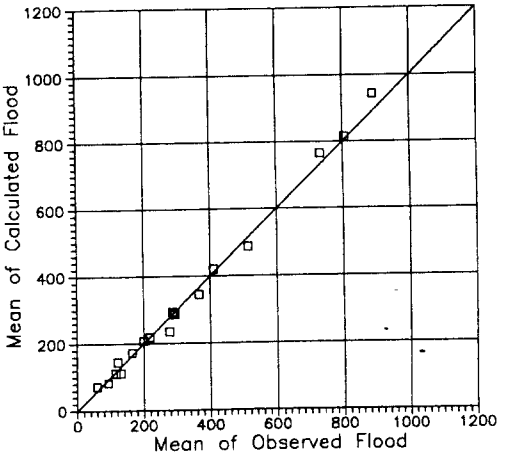


그림 7 관측 및 계산치의 평균홍수량 비교

5. 결 론

본 연구에서는 일평균유량자료가 많은 반면 홍수빈도분석에 필요한 첨두유량자료가 극히 빈약한 우리나라 수문자료 실정을 착안하여 홍수빈도분석에 있어서 일평균유량자료의 가용성과 유용성에 대하여 검토하고자 하였다. 이를 위하여 IHP유역을 대상으로 지역빈도분석을 통하여 첨두유량계열과 일평균유량계열을 통계적으로 직접 비교하는 방안을 채택하였다.

그 결과 일평균유량을 이용하여 첨두유량계열의 평균치를 매우 높은 정도로 추정할 수 있으며, 분위수 또한 유추해석할 수 있어 홍수빈도분석시에 일평균자료를 직접 이용할 수 있음을 알 수 있었다. 이 결과는 약 500km^2 이하인 IHP 유역을 대상으로 한 것이고 한정적인 자료에 의한 것이기 때문에 더많은 분석이 필요하지만 현재로서는 유용한 결과라고 판단된다. 따라서 전국에 산재되어있는 일 유량자료의 가치상승과 홍수빈도분석의 연구에 크게 기여할 수 있을 것이다.

6. 참 고 문 헌

1. 건설부(1989), 국제수문개발계획(IHP) 대표유역조사보고서.
2. 김남원(1994), '미계측유역의 홍수유출 특성에 관한 비교연구 - 합리식을 중심으로-', 건기연 94- WR-112, 한국건설기술연구원
3. 이길춘, 노재식, 원종인(1992), '하천유역의 설계홍수량을 위한 지역화 회귀모형 개발', 대한 토목학회 학술발표회 개요집, PP. 176-179
4. 원석연, 윤용남(1993) '홍수사상별 일평균유량자료로 부터의 첨두유량 산정' 한국수문학회지, 제 26권 제 2호, PP. 59-65.
5. Sangal, B. P.(1983), 'Practical Method of Estimating Peak Flow' , Journal of Hydraulic Engineering vol 109(4), PP. 549-563
6. Hosking, J. R. M.(1991), 'Fortran Routines for Use With The Method of L-Moment, Version 2', IBM Math. Res. Rep. RC17097, Yorktown Heights, New York, PP. 117