

동역학적 홍수빈도 모형의 적용 및 해상도 영향 분석

The Application and Analysis of Scale Effect on Dynamic Flood Frequency Analysis

문 장 원* / 유 철 상** / 김 중 훈***

Moon, Jang Won / Yoo, Chul Sang / Kim, Joong Hoon

Abstract

A dynamic flood frequency analysis model was proposed for the frequency analysis in ungaged catchment and applied to 6 subbasins in Pyungchang River basin. As the dynamic flood frequency model requires precipitation, rainfall loss system, and runoff analysis, we adopt the rectangular pulse model, the SCS formula, and the geomorphoclimatic IUH(GcIUH) for the application. Input data for the analysis was borrowed from the results of the statistical flood frequency analysis using L-moment method for the same catchment, and then the return period was estimated using the model. This result was also compared with the return period estimated from the statistical analysis. By comparing with the results from two cases, we found the dynamic flood frequency analysis gave higher estimates than those from statistical analysis for the whole subbasins. However, the dynamic flood frequency analysis model has a potential to be used for determining the design flood for small hydraulic structure in ungaged catchment because it uses only physical parameters for flood frequency analysis. And this model can be easily applicable to other watersheds as the scale effect is negligible.

keywords : Dynamic flood frequency analysis, Rectangular Pulse model, SCS method, Geomorphoclimatic IUH(GcIUH), Scale Effect

요 지

동역학적 홍수빈도분석 모형은 미계측유역에서의 빈도분석을 위해 제안되었다. 본 연구에서는 이와 같은 동역학적 홍수빈도분석 모형을 평창강유역 내 총 6개 소유역에 적용하여 보았다. 보통 동역학적 홍수빈도분석 모형은 크게 강우 모형, 강우손실 모형, 그리고 유출 모형으로 이루어져 있으며 본 연구에서는 Rectangular Pulse 모형-SCS 유효우량 산정방법-지형 기후학적 순간단위도(GcIUH)방법으로 이루어진 동역학적 홍수빈도분석 모형을 이용하였다. 입력자료로 대상 유역의 L-moment법에 의한 통계학적 빈도분석 결과를 이용하였고 모형에의 적용 결과 산정된 재현기간 값을 통계적 분석에 의한 재현기간과 비교하였다. 그 결과 전체적으로 동역학적 홍수빈도분석의 결과가 크게 산정되고 있음을 알 수 있었으나 평창강유역의 관측자료 부족과 유역의 물리적 특성만으로 빈도분석이 수행될 수 있다는 점을 고려하면 동역학적 홍수빈도분석 모형이 미계측유역에서 소규모 수공구조물의 설계 홍수량 산정 시 대체방법으로 이용될 수 있음을 판단할 수 있었다. 또한 해상도의 영향 분석 결과 그다지 큰 영향을 주고 있지 않음을 확인할 수 있었으며 따라서 동역학적 홍수빈도분석 모형이 보다 보편적으로 이용 가능하다는 결론을 얻을 수 있었다.

핵심용어 : 동역학적 홍수빈도분석 모형, Rectangular Pulse 모형, SCS 방법, 지형기후학적 순간단위도(GcIUH), 해상도 영향

* 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원
Researcher, Water Resour. & Environ. Engrg. Research Division, KICT, Koyang 411-712, Korea
(E-mail : jwmoon@kict.re.kr)

** 고려대학교 환경공학과 조교수
Assistant Prof., Dept., of Environmental Engineering, Korea University, Chungnam 339-700, Korea

*** 고려대학교 토목환경공학과 부교수
Associate Prof., Dept. of Civil and Environmental Eng., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea

1. 서 론

연구와 실무에 종사하는 수문학자나 기술자들에게 지속적인 관심사 중에 가장 기본적이면서도 중요한 사항은 빈도에 따른 홍수량을 추정하는 것이라고 할 수 있다. 현재까지의 극치 홍수량의 추정은 관측된 유량자료를 통계학적 개념을 이용하여 빈도 분석한 결과에 의존하고 있다. 하지만 국내의 대부분의 유역의 상황은 미계측유역으로 통계적인 홍수량을 산정하기가 매우 어렵다고 할 수 있다. 따라서 관측된 유량자료를 가지고 있지 않을 경우를 위해 지금까지 많은 대안적인 방법들이 연구되어 왔으며 이는 간단하게 합리식에서부터 물리적 개념을 가지고 있는 동역학적인 홍수빈도분석 모형에 이르기까지 다양한 방법들이 제안되어 왔다. 이 중 동역학적 홍수빈도분석 모형은 Eagleson(1972)에 의해 처음으로 제시된 이후 여러 연구자에 의해 발전되었으며 순수히 미계측유역을 위한 홍수빈도 모형으로 강우-유출의 물리적인 개념에 근거하면서 통계적인 절차로 유도된다는 장점을 가지고 있다. 이 모형은 유효우량 산정 방법에 따라 유효우량 결합확률밀도함수가 다르며 또한 유출응답 모형을 지형 형태학적인 유출응답과 운동과 모형에 의한 유출응답으로 나누어 고려하고 있다. 유효우량 산정 방법은 시 불변 강우손실 모형인 ϕ -Index법과 시간에 따라 손실량이 변화하는 모형인 Philip공식과 SCS공식을 사용하는 방법으로 나눌 수 있으며 유출응답 모형 중 지형 형태학적인 유출응답 모형에는 GIUH와 GcIUH로 나눌 수 있다. 결과적으로 동역학적 홍수빈도 모형은 강우 모형, 강우손실 모형, 그리고 유출응답 모형으로 이루어져 있다고 할 수 있다.

본 연구에서는 강우 모형으로 Eagleson(1972)이 제안한 Rectangular Pulse 모형을 사용하였으며 강우손실 모형으로는 매개변수의 추정이 가장 객관적이라고 할 수 있는 SCS 유효우량 공식을, 유출응답 모형으로는 GcIUH모형을 사용하는 동역학적 홍수빈도분석 모형을 이용하였다. Hosking(1991)의 Fortran Routine(L-moment method)을 이용하여 대상유역의 관측자료에 의한 통계적인 홍수빈도해석을 실시하여 산정된 재현기간별 홍수량을 SCS방법과 GcIUH를 이용한 동역학적 홍수빈도분석 모형에 적용하였으며 이러한 과정을 거쳐 산정된 동역학적 홍수빈도분석의 결과인 각 특정 홍수량에 따른 재현기간 값을 각 소유역의 통계적 빈도분석 결과인 원 재현기간 값과 비교

하고 각 소유역 별로 나타나는 경향을 판단하여 보았으며 해상도에 따른 영향을 판단해 봄으로써 결론적으로 동역학적 홍수빈도분석 방법의 적용성을 판단하여 보았다.

2. 배경이론

2.1 동역학적 홍수빈도분석 모형의 개요

동역학적 홍수빈도분석 모형은 강우-유출과정과 홍수빈도개념을 정립하여 개발된 방법으로 침투유량을 재현기간의 함수로 표현하기 위하여 강우, 침투, 유출응답을 서로 조합한다. 이를 위해 먼저 적절한 강우모형을 이용하여 호우사상의 변수인 평균 강우강도와 호우 지속기간의 주변확률밀도함수의 형태를 가정하며 총 우량을 유효우량으로 전환하기 위해 침투과정을 고려하게 된다. 전환된 유효우량의 강우강도와 지속기간의 결합확률밀도함수가 유도되면 이로부터 직접유출로 전환하기 위해 유출 모형을 적용하게 되며 최종적으로 침투유량에 대한 누가분포함수를 유도할 수 있다. 이상과 같은 절차를 거쳐 누가밀도함수가 산정되면 이로부터 해당 침투유량에 대한 재현기간을 산정할 수 있으며 그림 1은 동역학적 홍수빈도분석 모형의 적용절차를 개략적으로 나타낸 그림이다.

2.2 강우 모형

동역학적 홍수빈도 모형의 강우입력 매개변수로는 평균 강우강도 $1/\beta$ 과 강우 평균 지속기간 $1/\lambda$, 그리고 연평균 독립강우사상 수(θ)가 필요하다. 이를 위해 점 강우과정의 모형화가 필요하며 이를 위해 Eagleson(1972)의 Rectangular Pulse 모형을 채택하였다.

이 모형은 강우 발생이 포아슨 도달과정을 따른다고 가정하고 있으며 강우 도달시간과 강우 지속기간 등의 강우 특성의 독립성을 중요한 기준으로 삼고 있다. Restrepo-Posada와 Eagleson(1982)은 도달시간 구간이 다음과 같은 지수분포를 이룬다는 점을 이용하였다.

$$f_{T_a}(t_a) = w e^{-w t_a} \quad (1)$$

여기서, t_a 는 호우 도달시간이다. 그런데 호우도달이 실제로 지속기간(t_r)을 수반하기 때문에 만약 평균

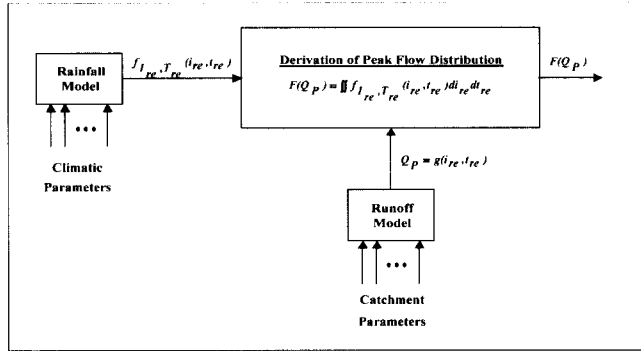


그림 1. 동역학적 홍수빈도분석모형의 일반적인 절차(Eagleson, 1972)

호우지속기간(λ^{-1})과 호우의 평균 도달시간(w^{-1})의 관계가 다음과 같이 성립한다면 포아송 과정이 성립된다.

$$\lambda^{-1}w \leq 1 \quad (2)$$

따라서 호우 도달시간에서 강우 지속기간이 상대적으로 매우 작고, 또한 호우가 무작위로 도달하기 때문에 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$f_{T_b} = \mu e^{-\mu t_b} \quad (3)$$

여기서, t_b 는 호우의 무강우 시간이며, Restrepo-Posada와 Eagleson(1982)은 호우 도달의 이러한 특징을 이용하여 독립호우의 최소 분리시간의 기준을 제시하였으며 그 관계는 다음과 같다.

$$CV[t_b] = \sigma[t_b]/E[t_b] = 1 \quad (4)$$

여기서, $CV[t_b]$ 는 t_b 의 변동계수를 의미하며 $\sigma[t_b]$ 는 t_b 의 표준편차, 그리고 $E[t_b]$ 는 t_b 의 평균을 뜻한다. 식 (4)는 연속된 강우자료에서 특정한 무강우 시간을 설정하여 특정 호우사상계열을 구축하였다고 하면 그 계열의 무강우 시간이 지수적으로 분포하기 때문에 변동계수가 1임을 나타내는 특정한 무강우 시간을 최소 호우 분리시간(T_{bmin})으로 설정하는 것이다. 주어진 자료로부터 T_{bmin} 을 구하게 되면 이를 이용하여 필요한 매개변수를 구할 수 있다.

2.3 SCS 유효우량 산정방법

강우강도 i_r 과 지속기간 t_r 의 주변밀도함수로부터 면적평균 유효 강우강도 i_{re} 와 유효 강우지속기간 t_{re} 의 결합확률밀도함수를 유도하기 위해서는 먼저 총 강우량을 유효우량으로 환산하기 위한 강우손실모형 또는 침투모형이 필요하게 되며 SCS 유효우량 산정방법도 그 모형 중의 하나이다. 이 방법은 유역의 유출량 자료가 없는 경우에 유역의 토양특성과 식생피복상태 등에 대한 상세한 자료만으로도 총 우량으로부터 유효우량을 산정할 수 있는 방법으로 미국 토양보존국(U.S. Soil Conservation Service, SCS)이 개발하였으며 미계측유역에서의 유효우량 산정에 널리 사용되고 있다(윤용남, 1998).

Raines와 Valdes(1993)는 총 우량과 유효우량과의 관계를 설정하기 위해 SCS 유효우량 산정방법을 사용하였으며 그 절차는 다음과 같다.

$$P_e = (P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S) \quad P > 0.2S \quad (5)$$

$$P_e = 0 \quad P \leq 0.2S \quad (6)$$

여기서, P 는 호우별 총 우량(mm), P_e 는 유효우량(mm), 그리고 S 는 최대 잠재보유수량(mm)을 의미하며, S 는 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$S = (10000/CN - 100)2.54 \quad (7)$$

여기서, CN 은 유출곡선지수를 뜻하며, 유효우량이 시작되는 시간은 다음과 같이 유추할 수 있다.

$$P = i_r t_r \quad (8)$$

$$t_0 = 0.2S/i_r \quad (9)$$

따라서 평균 유효강우강도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$i_{re} = \frac{(i_r t_r - 0.2S)^2}{t_{re}(i_r t_r + 0.8S)} \quad , \quad t > t_0$$

$$t_{re} = t_r - t_0 \quad (10)$$

$$i_{re} = 0 \quad , \quad t < t_0$$

$$t_{re} = 0 \quad (11)$$

2.4 유출 모형

유효 강우강도와 지속기간을 이용하여 직접 침투유량(Q_p)을 산정하기 위해서는 유출 모형이 필요하며 Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph(GcIUH)는 그러한 유출 모형 중 하나이다. Diaz-Granados 등(1984)은 Rodriguez-Iturbe 등(1982)이 개발한 지형 기후학적인 순간단위도(GcIUH)와 Henderson(1963)의 삼각형 순간단위도 이론으로부터 유도된 직접 침투유량의 관계를 이용하였다. GcIUH는 유효 강우의 추계학적 성분을 가미하여 GIUH의 경험적 관계인 침투시간 t_p 와 침투유량 q_p 에 관한 식을 재해석한 것으로 유속이라는 동적인 변수 대신에 강우 강도와 운동과 변수로 표현되었다. GcIUH의 침투유량과 침투시간은 다음과 같다.

$$q_p = 0.871 (i_{re} A_c R_L)^{2/5} \alpha_Q^{3/5} / L_Q \quad (12)$$

$$t_p = 0.585 L_Q / (i_{re} A_c R_L)^{2/5} \alpha_Q^{3/5} \quad (13)$$

여기서, A_c 는 유역 면적(km²)이며 R_L 은 길이비, α_Q 는 수로의 운동과 변수($\text{sec}^{-1} \cdot m^{-1/3}$), L_Q 는 최고차수의 수로길이(km)를 의미한다.

또한, 동적 매개변수인 α_Q 의 추정을 위해서는 흐름의 유량을 다음과 같은 단면적과의 관계로 설정한다.

$$Q = \alpha_Q A^m \quad (14)$$

여기서, Q 는 유량, A 는 흐름의 단면적, 그리고 α_Q 는 최고차수 하천의 운동과 변수를 의미하며, 단면을 구형 단면이라 가정하여 m 을 5/3로 고정할 경우 α_Q 는 ($\text{sec}^{-1} \cdot m^{-1/3}$)의 단위를 가지며 다음과 같은 관계를 가진다.

$$\alpha_Q = \frac{1}{n_s} p^{-2/3} S_Q^{1/2} \quad (15)$$

여기서, p 는 윤변이며 S_Q 는 최고차 수로의 경사를 의미한다.

Henderson(1963)은 직접유출 수문곡선의 침투유량을 결정하는 데 단위도의 모양은 별로 중요하지 않으며 삼각형으로 근사화 할 수 있다고 보았으며 직접유출 수문곡선의 침투유량을 결정하는 다음과 같은 관계를 제안하였다.

$$Q_p = i_{re} A_c \quad t_{re} \geq t_b \quad (16)$$

$$Q_p = i_{re} t_{re} A_c q_p (1 - q_p t_{re}/4) \quad t_{re} < t_b \quad (17)$$

3. 대상유역의 선정

본 연구에서 동역학적 홍수빈도 모형의 적용을 위해서 선정한 유역은 강원도 남부 지역에 위치한 평창강 유역이다. 평창강유역은 국제 수문 개발 계획의 일환으로 건설교통부에서 운영하고 있는 우리나라의 대표 시험유역 중 하나이며 보통 방림 수위관측소 상류유역을 의미한다. 그림 2는 대상유역의 개략적인 유역도를 나타내고 있다.

평창강유역은 남한강의 상류유역으로 대부분이 산지로 구성된 산악지형이며 유역의 평균 고도는 해발 600m이고 북에서 남쪽으로 상당한 경사를 이루고 있다. 대상 유역의 연평균 강우량은 약 1,135.3mm로 우리나라 평균인 1,274mm보다 작게 나타나고 있으며 산악지역의 특수성과 높은 표고로 인한 지형적인 강우가 자주 발생하며 이에 따라 강우의 공간적인 편차가 비교적 심하게 나타난다.

평창강유역에는 현재 6개의 수위관측소와 11개의 강우관측소가 운영되고 있으며 이들 관측소의 위치는 그

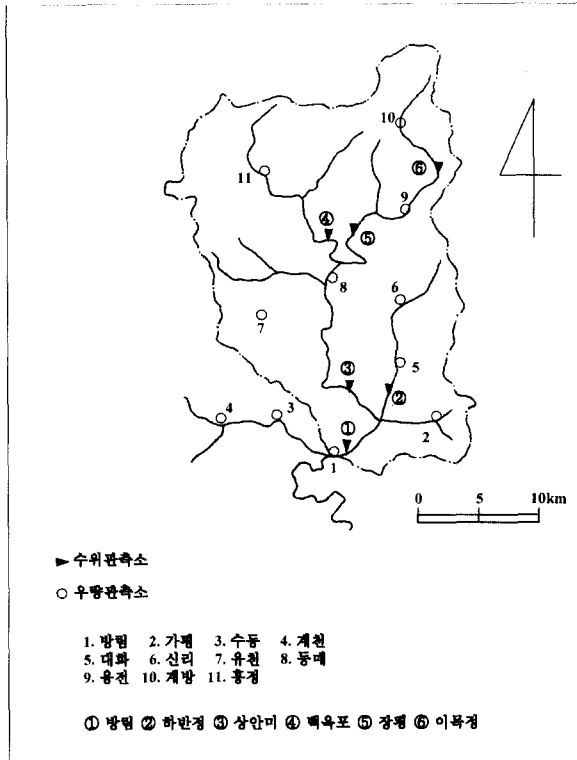


그림 2. 평창강 유역도와 각 관측소의 위치

림 2에 나타나 있다. 그리고 각각의 수위관측소에 따라 전체 유역은 6개의 소유역으로 나누어진다.

본 연구에서는 평창강유역에 대해서 침투 모형으로 SCS방법과 유출 모형으로 GcIUH를 이용하는 동역학적 홍수빈도 모형을 구축한 후 해당 유역의 6개 소유역 별로 지역빈도분석 결과를 입력자료로 이용하여 동역학적 홍수빈도분석 결과와 비교 검토하며 해상도, 즉 하천 치수의 변화가 모형의 분석 결과에 미치는 영향을 판단해 보고자 한다.

4. 매개변수의 추정

4.1 강우 모형의 매개변수 추정

본 연구에서 적용한 강우 모형은 Eagleson(1972)의 Poisson Rectangular Pulse 모형이며 추정되는 매개변수는 강우분리시간과 독립 호우수, 강우지속기간, 그리고 평균 강우강도이다. 이와 같은 강우 모의 발생 모형의 매개변수를 추정하기 위해서는 잘 정리된 시간 강우자료가 필요하며 만약 강우자료의 특성치가 잘못

배열되어 있거나 결측 또는 부분 오측이 있다면 매개변수 추정에 잘못된 정보를 제공하게 된다. 그런데 본 연구의 대상유역인 평창강유역 내 11개 강우관측소의 관측자료는 오측 및 결측된 부분이 많이 존재하여 이를 이용한 강우 매개변수 추정은 그다지 좋은 결과를 주지 못할 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 김남원(1998a)이 우리나라 전역에 대해 제시한 강우 매개변수 추정 결과를 이용하여 대상유역에서의 강우 매개변수를 산정하였다.

제시된 결과 중 평창강유역 주위에 위치하는 원주, 계천, 대관령, 홍천, 태백 강우관측소의 결과를 산술 평균하여 유역의 대표 값으로 결정하였고 그 결과는 다음 표 1과 같다.

표 1의 결과에서 대관령과 태백의 경우 다른 3지점과는 다소 차이가 나는 결과를 나타내고 있으며 이는 다른 3지점이 모두 태백산맥의 서쪽 사면에 위치하고 있으나 대관령과 태백의 경우는 산맥의 중심부분에 위치하고 있어 지형적인 환경이 다르다는 점에서 그 원인을 찾을 수 있을 것이다.

표 1. 평창강유역의 강우 매개변수 산정 결과

관측소명	최소 분리시간 (hr)	호우수(θ) (개)	지속기간(1/λ) (hr)	평균 강우강도(1/β) (mm/hr)
원 주	10.90	32.2	14.17	1.77
제 천	12.62	29.5	14.60	1.97
대 관 령	10.83	36.5	19.09	1.30
홍 천	9.72	33.4	11.93	2.12
태 백	8.01	39.1	12.01	1.51
평 균	10.42	34.1	14.36	1.73

4.2 SCS방법의 유출곡선번호(CN) 추정

건철부(1989)는 평창강유역 내 토지이용상태와 유역의 지표면에 분포된 토양형을 고려하여 AMC-II조건에서 유출곡선번호를 제시한 바 있다. 본 연구에서는 이 값을 이용하여 AMC-III조건에서의 유출곡선번호를 구한 후 모형에 적용하였다. 여기서 AMC-III조건을 이용한 이유는 본 연구에서 분석하고자 하는 수문변량이 홍수량이므로 홍수량이 나타나기 위해서는 선행강수가 있었을 것이라고 판단했기 때문이다. AMC-III조건 유출곡선번호는 다음과 같은 식 (18)에 의해 산정할 수 있다.

$$CN\ III = \frac{CN\ II}{0.43 + 0.0057CN\ II} \quad (18)$$

여기서, CNII, CNIII는 각각 AMC-II, III조건에서의 유출곡선번호이다. 식 (18)을 이용하여 구한 강우손실 모형의 매개변수는 다음 표 2와 같다.

4.3 지형 형태학적 매개변수의 추정

본 연구에서는 유출 모형으로 지형 형태기후학적 순간단위도(GcIUH)가 이용되었다. GcIUH에는 4가지 지형 형태학적 매개변수가 필요하며 각각의 매개변수는 유역면적, 유역의 길이비(R_L), 최고차수 하천의 평균 길이(L_Q), 그리고 최고차수 하천의 운동과 변수(α_Q)이다.

평창강유역의 운동과 변수는 김남원(1998b)에 의해 각 소유역 별로 산정되어 제시된 결과가 있으며 본 연구에서는 이 값을 동역학적 홍수 빈도 모형의 입력자료로 이용하였다. 그리고 다른 매개변수들은 지형도로부터 결정할 수 있으며 이를 위해 본 연구에서 이용한 지형도의 축척은 1:50,000이다. 결과적으로 지형도 및

표 2. 각 소유역별 SCS방법의 유출곡선번호 산정결과

소유역명	CN II	CN III
방 립	66.4	82.1
하 반 정	65.0	81.2
상 안 미	66.7	82.3
백 옥 포	68.5	83.5
장 평	65.8	81.7
이 목 정	70.0	84.4

문헌조사로부터 산정된 각 소유역별 지형 형태학적 매개변수의 산정 결과는 다음 표 3과 같다.

5. 모형의 적용

5.1 입력자료의 선정

동역학적 홍수빈도분석 모형은 일반적인 홍수빈도분석과는 반대로 특정 홍수량을 입력자료로 모형에 적용하면 그에 대한 재현기간이 계산되는 모형이다. 따라서 입력자료에 대한 선정이 모형의 적용 이전에 선행되어야 하며 본 연구에서는 동역학적 홍수빈도분석 모형의 결과와 통계학적 홍수빈도분석 결과와의 비교의 용이성을 위하여 평창강의 각 소유역에 대한 통계학적 홍수빈도분석 결과를 입력자료로 결정하였다. 이를 위해 먼저 평창강의 각 소유역 별로 1982년부터 1999년까지의 홍수량자료를 이용하여 연 최대치 계열을 구성하고 이를 Hosking(1991)의 'Fortran Routine for use with the method of L-moment'에 적용하여 홍수빈도분석을 실시하였으며 본 연구에서는 그 결과를 입력자료로 이용하였고 표 4와 같다. L-moment 법에 의한 빈도분석 시 확률분포형은 5가지 매개변수로 표현되는 Wakeby분포를 이용하였다. 일반적으로

표 3. 각 소유역의 지형 형태학적 특성 및 매개변수 산정 결과

소유역명	면적(km ²)	연장(km)	분기비 R_B	면적비 R_A	길이비 R_L	L_Q (km)	α_Q
방 립	526.18	51.85	4.47	5.26	2.81	34.278	0.107
하 반 정	82.14	19.30	4.09	5.00	2.53	8.095	0.328
상 안 미	392.75	44.20	4.24	5.00	2.53	26.953	0.104
백 옥 포	142.26	22.95	3.27	3.85	1.66	6.227	0.168
장 평	103.55	25.95	4.65	5.56	3.56	18.973	0.208
이 목 정	55.93	16.55	3.88	4.55	3.17	10.350	0.413

Wakeby분포는 매우 유연하게 적용 가능한 것으로 알려져 있으며 WMO(1989)에서는 확률분포의 매개변수 추정의 경우 PWM(probability weighted moment)을, 분포형 결정은 거동분석 결과를 이용토록 권장하였고 TCEV(two component extreme value)분포와 Wakeby분포 등을 추천한 바 있다. 따라서 본 연구에서는 이 중 Wakeby분포를 이용하여 빈도분석을 수행하였으며 χ^2 검정 및 K-S 검정을 통한 적합도 검정을 수행하여 선정된 분포형의 적합성을 확인할 수 있었다.

5.2 동역학적 홍수빈도분석 모형 적용 결과

앞에서 산정된 강우 모형, 침투 모형, 그리고 유출 모형의 각 매개변수 값과 평창강의 6개 소유역에서의 통계학적 홍수빈도분석 결과인 표 4의 각 재현기간별 홍수량을 입력자료로 하여 동역학적 홍수빈도분석을 평창강유역의 6개 소유역에 대하여 적용하였으며 그 결과는 다음 표 5와 같다.

표 5의 각 홍수량은 각 소유역 별 연 최대치 자료 계열을 통계적인 분석을 통해 산정된 재현기간 별 홍수량이며 각각의 재현기간은 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50년에 해당한다. 해당 홍수량에 대한 동역학적 홍수빈도 분석 결과는 실제 통계학적 분석 결과보다 전체적으로 크게 나타나고 있음을 알 수 있으며 이러한 결과는 소

유역과 재현기간의 크기에 관계없이 동일하게 나타나고 있다. 하지만 본 연구에서 적용한 동역학적 홍수빈도 모형이 대상유역의 하천수위 등의 관측자료가 없는 경우에 단지 그 대상 유역의 강우 특성과 지형적인 특성, 그리고 토양 분포 특성만을 이용하여 빈도 분석을 할 수 있게 된다는 점을 고려하면 전반적으로 특정 재현기간에 대한 홍수량이 과소산정되고 있다 할 지라도 대상유역의 유출에 대한 자료가 전무한 경우 해당 유역에서의 소규모 수공구조물 등을 위한 설계홍수량 산정에 대한 대안으로 이용 가능한 것으로 판단된다.

5.3 지역빈도분석 결과와 동역학적 홍수빈도분석 모형 결과의 비교

본 연구에서는 재현기간을 알고 있는 동일 홍수량을 이용하여 동역학적 홍수빈도분석 모형에 적용하고 그에 따른 재현기간을 재 산정하였으므로 각 소유역 별로 동역학적 홍수빈도분석 결과와 통계적인 분석 결과 k으로 산정된 빈도분석 결과를 그래프에 도시하여 비교하여 보았으며 그 결과는 그림 3에 나타나 있다.

그래프는 통계적인 홍수빈도분석 결과를 X-축으로, 본 연구에서 적용된 동역학적 홍수빈도분석 결과를 Y-축으로 하여 도시하였으며 가장 이상적인 결과는 경사 45°를 갖는 직선 상에 도시되는 경우가 될 것이므로 직선에서 멀어지는 경우에는 그 정확성이 떨어진

표 4. 각 소유역별 통계학적 홍수빈도분석 결과

소유역명	재현기간별 확률홍수량(m/sec)						
	2년	5년	10년	20년	30년	40년	50년
방 립	987.7	1857.8	2614.1	3466.9	4016.8	4428.6	4763.6
하 반 정	171.5	322.6	453.9	602.0	697.5	769.0	827.1
상 안 미	718.0	1350.4	1900.1	2520.0	2919.7	3219.1	3462.6
백 옥 포	276.9	520.7	732.7	971.8	1125.9	1241.3	1335.2
장 평	217.5	409.1	575.6	763.4	884.5	975.2	1049.0
이 목 정	142.0	267.1	375.9	498.5	577.6	636.8	684.9

표 5. 평창강유역의 모형 적용 결과

방 립	홍수량(cms)	987.7	1857.8	2614.1	3466.9	4016.8	4428.6	4763.6
	재현기간(년)	2.7	10.0	23.6	52.7	83.3	114.6	146.6
하반정	홍수량(cms)	171.5	322.6	453.9	602.0	697.5	769.0	827.1
	재현기간(년)	3.5	13.7	33.7	78.5	126.9	177.3	229.7
상안미	홍수량(cms)	718.0	1350.4	1900.1	2520.0	2919.7	3219.1	3462.6
	재현기간(년)	2.5	8.9	20.5	45.1	70.7	96.6	123.0
백옥포	홍수량(cms)	276.9	520.7	732.7	971.8	1125.9	1241.3	1335.2
	재현기간(년)	2.4	8.4	19.5	42.9	67.1	91.6	116.6
장 평	홍수량(cms)	217.5	409.1	575.6	763.4	884.5	975.2	1049.0
	재현기간(년)	3.4	13.2	32.3	74.8	120.7	168.6	218.2
이목정	홍수량(cms)	142.0	267.1	375.9	498.5	577.6	636.8	684.9
	재현기간(년)	3.4	13.6	34.1	80.4	131.0	184.1	239.4

다고 판단할 수 있을 것이다. 이러한 기준으로 그림 3의 결과를 살펴보면 그다지 좋은 결과를 주고 있지 않다고 판단할 수 있다. 특히 유역면적이 상대적으로 작은 장평, 하반정, 이목정 유역의 경우에는 나머지 유역의 결과에 비해 큰 차이를 보여주고 있음을 알 수 있다. 하지만 앞서서도 언급했듯이 관측된 수위나 유량 자료 없이 유역의 물리적인 특성만을 이용하여 빈도분석 결과를 제시할 수 있다는 장점은 충분히 제시될 수

있을 것으로 생각되며 또한 평창강유역의 자료 특성상 높은 재현기간에서의 통계적 분석 결과는 신뢰성이 상대적으로 떨어진다고 볼 때 미세측유역에서 소규모 수공 구조물의 설계 홍수량 산정을 위한 대안으로는 활용 가치가 충분히 있다고 보여 진다. 그리고 과거 연구자들에 의하면 동역학적 홍수빈도분석은 유역의 강우 특성을 나타내는 매개변수에 대해 매우 민감하다고 알려져 있으므로 적절한 강우 매개변수 산정이 모형의

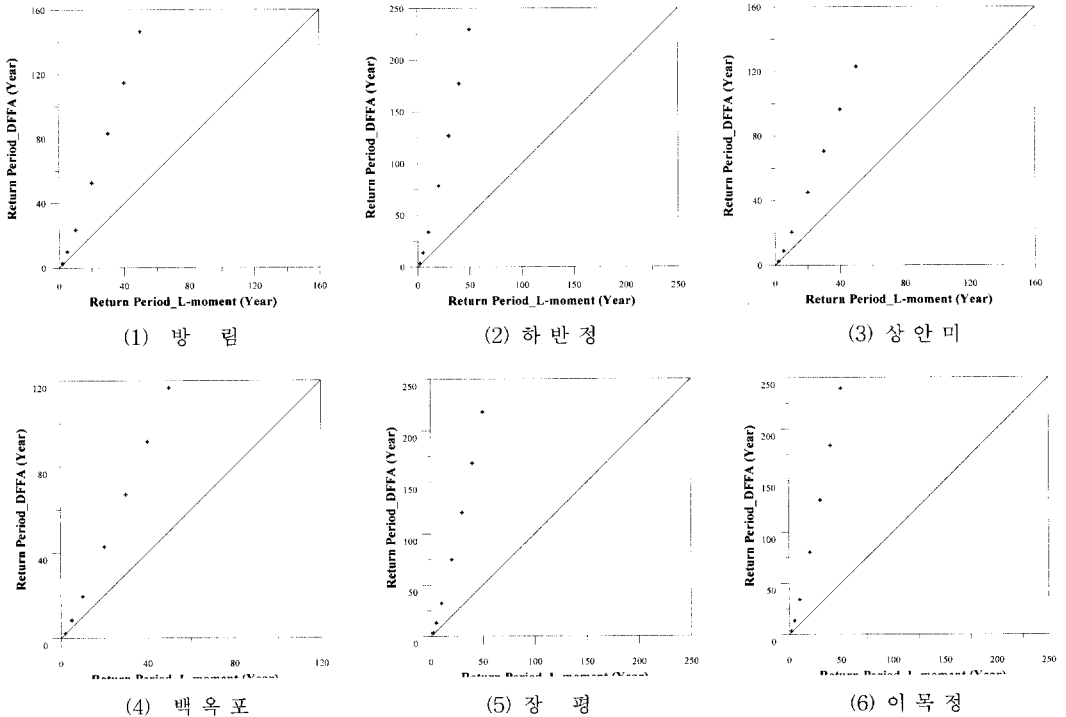


그림 3. 재현기간 산정 결과 비교

표 6. 해상도의 변화에 따른 최대 하천차수 및 길이비 산정 결과

최대 하천 차수		2	3	4	5
길이비 (R_L)	방림	3.783	3.999	3.165	2.808
	이목정	6.281	3.936	3.168	-

정확성을 좌우한다고 할 수 있다. 따라서 본 연구의 대상 유역인 평창강유역의 주변에 위치한 강우 관측소의 결과를 산술 평균하는 것보다는 유역 내에 위치한 관측소의 자료를 이용한 매개변수 산정이 이루어졌다면 유역의 강우 특성을 보다 정확하게 나타낼 수 있었을 것이며 이는 동역학적 홍수빈도분석 결과에 영향을 미쳐 본 연구의 결과보다 더욱 양호한 결과가 나타날 수 있을 것으로 생각된다.

5.4 해상도의 변화에 따른 영향 평가

지도의 해상도의 변화는 동역학적 홍수빈도분석에 있어 유출 모형의 매개변수인 지형 형태학적 매개변수 산정 결과에 영향을 준다. 따라서 본 연구에서는 해상도의 변화, 즉 유역 내 최대 하천차수의 변화에 따른 동역학적 홍수빈도분석 결과의 변동양상을 살펴보았다. 평창강 내 6개의 소유역 중 유역면적이 가장 큰 방림과 가장 작은 이목정에 대하여 살펴보았으며 하천의 최대 차수를 변화시켜가면서 해당 차수일 때의 지형 형태학적 매개변수를 결정하였고 이를 동역학적 홍수빈도분석에 적용하여 그 결과를 살펴보았다. 매개변수 산정 결과, 해상도의 변동에 따라 지형 형태학적 매개변수 중 유역의 길이비만 값의 변화가 있었을 뿐 나머지 지형 형태학적 매개변수인 유역 면적과 최고차수

하천의 평균 길이, 그리고 운동파 변수는 산정 결과의 차이가 없었다. 다음 표 6은 각 해당 차수에서의 길이비(R_L)산정 결과를 나타낸 것이다.

표 6에서 방림 소유역은 실제 1:50,000 지도에서 5차의 최고차수 하천을 갖는 유역이며 이목정은 4차인 유역이다. 따라서 실체를 해상도가 가장 높은 경우로 보고 그보다 해상도가 낮을 경우에 대해 매개변수 산정을 실시하였다. 각 차수에 따라 산정된 길이비의 값은 다소 큰 변화를 보이고 있음을 알 수 있으며 이를 이용한 동역학적 홍수빈도분석 결과는 다음 그림 4에 도시하였다.

그림 4의 결과에서 보면 동역학적 홍수빈도분석 결과 산정된 각 홍수량의 재현기간은 해상도의 변화에 상관없이 일정한 값을 나타내고 있으며 이는 유역의 크기에 관계없이 일정하게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 동역학적 홍수빈도분석에 있어 해상도에 따른 영향은 매우 작다고 할 수 있으며 지형 형태학적 매개변수는 동역학적 홍수빈도분석에 있어 입력 자료로는 필요하지만 값의 변화에 따라 분석 결과는 그다지 크게 변화하지 않으므로 동역학적 홍수빈도분석 방법이 보다 보편적으로 적용 가능성을 간접적으로 나타내주는 결과라고 할 수 있을 것이다.

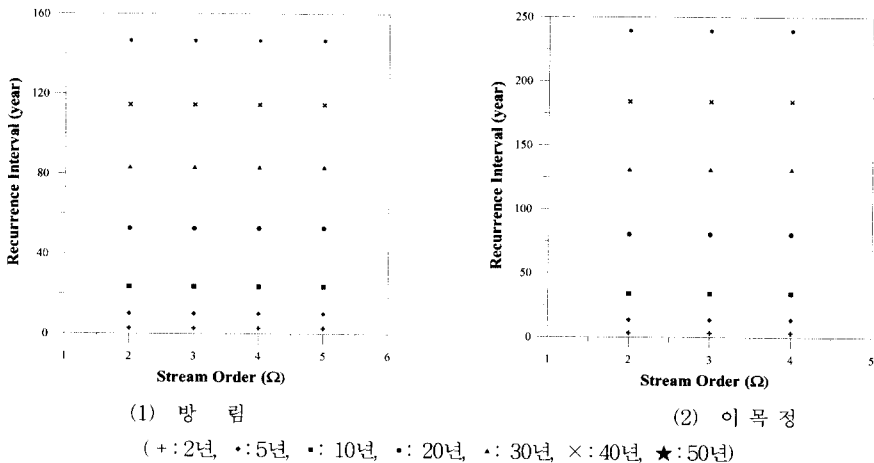


그림 4. 해상도의 변화에 따른 동역학적 홍수 빈도 분석 결과

6. 결 론

본 연구에서는 홍수량에 대한 관측자료가 없는 유역에서의 홍수빈도분석이 가능한 동역학적 홍수빈도분석 모형을 IHP 대표 시험유역인 평창강유역의 총 6개 소유역에 적용하여 보았으며 해상도의 변화에 따른 영향 정도를 판단하여 보았다. 이를 위해 본 연구에서 적용한 동역학적 홍수빈도분석 모형은 Eagleson(1972)의 Rectangular Pulse 모형과 SCS 유효우량 산정방법, 지형 기후학적 순간단위도(GcIUH)로 구성된 모형을 이용하였다. 또한 동역학적 홍수빈도 모형에의 입력자료는 특정 홍수량이어야 하므로 먼저 대상유역에 대해 통계학적 홍수빈도분석을 실시한 후 그 결과를 입력자료로 이용하여 동역학적 홍수빈도 모형의 결과와 비교하였다.

그 결과 6개 소유역 모두 통계적인 방법에 의한 결과보다 동역학적 홍수빈도분석 결과가 크게 나타나고 있었으며 그 차이는 재현기간이 커질수록 더욱 크게 나타나고 있었다. 하지만 수위나 유량 관측자료 없이 빈도 분석을 실시할 수 있다는 점을 고려한다면 동역학적 홍수빈도분석은 미계측유역에서의 빈도분석 방법으로 대안적인 역할을 충분히 할 수 있을 것으로 판단할 수 있었다. 또한 해상도 영향 분석 결과 동역학적 홍수빈도분석은 해상도의 변화에 그다지 큰 영향을 받고 있지 않음을 알 수 있었으며 이러한 결과로부터 본 연구에서 적용한 방법이 보다 보편적으로 이용 가능하다는 결론을 얻을 수 있었다.

결론적으로 본 연구에서 적용한 동역학적 홍수빈도 분석 방법은 홍수량 관측 자료가 없는 미계측유역에서의 대체방법으로 이용할 가치가 충분히 있음을 알 수 있었다. 하지만 본 연구에서의 결과는 평창강유역의 6개 소유역의 결과이며 해당 지점의 이용 자료의 불확실성 등으로 인해 동역학적 홍수빈도분석 모형의 적용성에 대한 충분한 검증이 이루어졌다고 보기는 힘들다. 또한 모형의 결과에 많은 영향을 미친다고 알려져 있는 강우 매개변수 산정에 해당 유역 내에 위치한 강우 관측소의 자료를 이용함으로써 해당 유역의 강우특성을 적절히 반영할 수 있어야 할 것으로 보여진다. 따라서 동역학적 홍수빈도분석 모형의 적용성을 보다 정확하게 판단하기 위해서는 다른 유역에 대한 추가적인 적용이 필요하며 각각의 매개변수 산정에 좀더 세심한 주의를 기울이는 등 보다 많은 연구를 통해 모형의 적용성에 대한 판단이 필요함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 건설부 (1989). 국제수문개발계획(IHP) 대표유역연구 조사 보고서.
- 김남원 (1998 a). 강우의 시·공간 분포특성 : 점 강우모형 매개변수 추정, 책임연구과제보고서, 건기연 98-155, 한국건설기술연구원.
- 김남원 (1998 b). 미계측유역의 확률홍수량 추정을 위한 동역학적 홍수빈도모형개발. 박사학위논문, 강원대학교.
- 윤용남 (1998), 공업수문학. 청문각.
- Diaz-Granados, M.A., Valdes, J.B., and Bras, R.L. (1984). "A physically based flood frequency distribution." *Water Resources Research*, Vol. 20, No. 7, pp. 995~1002.
- Eagleson, P. (1972). "Dynamics of Flood Frequency", *Water Resources Research*, Vol. 8, No. 4, pp. 878~898.
- Henderson, F.M. (1963). "Some properties of the unit hydrograph." *Journal of Geophysical Research*, Vol. 68, No. 10, pp. 4785~4793.
- 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, p. 117.
- Rains, T.H. and Valdes, J.B. (1993). "Estimation of flood frequencies for ungaged catchments." *Journal of Hydraulic engineering*, ASCE, Vol. 119, No. 10, pp. 1138~1154.
- Restrepo-Posada, P.J. and Eagleson, P. (1982). "Identification of pendent rainstorms." *Journal of Hydrology*, Vol. 55, pp. 303~319.
- Rodriguez-Iturbe, I., Gonzalez, M., and Bras, R.L. (1982). "A geomorphoclimatic theory of the instantaneous unit hydrograph." *Water Resources Research*, Vol. 18, No. 4, pp. 877~886.
- WMO (1989). *Statistical distributions for flood frequency analysis*. Report 33, World Meteorological Organization Operational Hydrology.

(논문번호:00-043/접수:2000.06.23/심사완료:2001.03.26)