

Index Flood법과 Netmax법을 이용한 지역빈도해석의 비교 연구

Comparative Study on Regional Frequency Analysis Using Index Flood Method and Netmax Method

김지훈*, 김경덕**, 허준행***

Ji Hoom Kim, Kyung Duk Kim, Jun-Haeng Heo

요 지

본 논문은 지금까지의 지점빈도해석의 약점을 보완하기 위하여 지역화의 개념을 사용한 지역빈도해석의 방법에 관한 연구이다. 지점빈도해석은 수문자료의 관측기간이 짧은 경우 정확도에 문제를 발생시킬 수 있으므로, 지점 내 충분한 수의 자료 확보가 선행되어야 한다. 반면 지역빈도해석의 경우 우리나라와 같이 자료의 수가 부족한 경우에도 효율적이고 안정적인 확률수문량을 산정할 수 있다. 본 연구에서는 한강유역의 강우자료 선별을 통해 신뢰성 있는 자료를 구축한 후, L-모멘트기법과 Netmax법을 사용한 지역빈도해석을 각각 실시하여 기존의 방법으로 산정한 수문량과 비교·분석하였다.

지역빈도해석의 결과 남한강 유역은 이질성 척도가 큰 것으로 판명되어 남한강 유역의 경우 지역적인 세분화가 필요한 것으로 나타났다. Netmax를 이용하여 산정된 수문량은 L-모멘트법과 지점빈도해석 그리고 확률강우량도에 의해 산정된 값에 비하여 과소추정 되었다. 지역적 특수성을 고려하지 않고 형성된 네트워크는 지역적으로 세분화가 필요한 지역에 대하여서 좋지 않은 결과를 보여주는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 지역빈도해석, L-모멘트기법, Netmax법

1. 서 론

우리나라는 87년 태풍 셀마이후 95년 태풍 재니스, 96, 98년 집중호우 및 태풍 야니, 99년 집중호우, 2000년 태풍 프라피룬, 2001년의 서울지역의 도시호우 및 2002년 인명피해 270명과 6조1000억원의 재산피해를 유발한 태풍 루사와 올해 131명의 인명피해와 4조 2000억원의 재산피해를 유발시킨 매미 등 최근 수 년 간 계속된 막대한 홍수피해로 현재의 자연재해 대응 정책을 재검토하고 설계기준에 대한 상향조정이 요구되는 시점에 이르렀다. 실제 발생하고 있는 호우는 대상자료의 기간에 비하여 구하고자 하는 재현기간이 상대적으로 큰 상황이므로 지역빈도해석을 통하여 신뢰할 수 있는 설계수문량을 재산정하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 특히 우리나라의 경우 자료 보유기간이 비교적 짧으므로 자료보유기간보다 더 큰 재현기간에 대한 설계수문량 산정에 많은 어려움을 가지고 있다. 이러한 문제점을 보완할 수 있는 방안 중의 하나는 보다 합리적이고 체계적인 지역빈도해석이라고 할 수 있다.

본 연구의 목적은 우리나라 전체의 강우자료의 선별을 통한 믿을 수 있는 자료를 구축하는 것과 이를 이용한 지역빈도해석을 실시하여 지점빈도해석의 단점을 보완하고 적정 분포형을 선정하며, 나아가서는 정확한 수문량을 산정하는 것이다. 지점빈도해석을 실시하는 경우 지점의 자료수가 적으면 적정 분포형을 정확하게

* 연세대학교 대학원 토목공학과 공학석사 · E-mail : jhonny1214@hotmail.com

** 한국시설안전기술공단 진단 2본부 댐항만실 과장 · 공학박사 · E-mail : kkd@kistec.or.kr

*** 연세대학교 사회환경시스템공학부 토목환경공학과 교수 · 공학박사 · E-mail : jhheo@yonsei.ac.kr

추정할 수 없는 단점이 있으므로 여러 지점들을 하나의 동질유역으로 간주하여 해석하는 L-모멘트법을 사용한 지수홍수법(Index Flood Method)과 Netmax법을 이용한 빈도해석을 실시한 후 그 결과를 통하여 두 가지 지역빈도해석을 비교·분석하고 적합성을 검토하며 우리나라에 적합한 지역빈도해석이 어떤 것인지 또한 지역의 구분 방법은 무엇을 기준으로 하는지 도출하고자 한다.

한강유역은 10개 지점의 기상청 산하 강우 관측소와 건교부 및 수자원공사 산하 지점의 130개 강우관측소를 보유하고 있다. 기상청 강우관측소는 자기우량지의 보관상태가 양호하며, 결측자료가 거의 없이 잘 보존되어 있는 반면, 유역 내 강우관측소가 갯수가 적음으로 인하여 지점빈도해석에는 유리하나 지역빈도해석을 실시함에 있어 유역의 면적을 고려하여 볼 때 합리적이지 못하다. 건교부나 수자원공사 관리 관측소는 1987년 이후에 비교적 잘 관측·보관되어 있으나 그 이전의 경우에는 결측자료가 많고 자료의 상태도 양호하지 않은 단점이 있기는 하지만 그 자료수가 많기 때문에 지역빈도해석의 대상으로 선정하였다. 따라서, 130개의 자료에 대하여 1시간, 2시간, 3시간, 6시간, 9시간, 12시간, 15시간, 18시간, 24시간, 48시간의 지속기간에 대한 연 최대값 자료를 구축하였으며 비교적 결측치가 적고 자료 상태가 양호한 49개 지점을 추출하여 이들 지점에 대하여 지점 및 지역빈도해석을 실시하였다. 한강유역은 유역 면적 25,078km², 유로 연장 481.7km의 국내에서 가장 큰 유역으로 수문학적으로 이를 하나의 동질한 유역으로 고려할 수 없으므로, 한강 전체 유역을 남한강과 북한강의 합류점인 팔당댐을 기준으로 남한강유역, 북한강유역, 그리고 한강하류부 유역의 3개의 소유역으로 구분하였다. 그 후 자료의 지속기간별 연 최대치 강우량을 추출하여 이를 도식화 하고 다른 지역에 비하여 특별히 비정상적인 자료에 대해서는 제거해주고 그 후 이를 이용하여 각각 L-모멘트법을 사용한 지역빈도해석과 Netmax를 사용한 빈도해석을 실시한다. 각 방법에 대하여 구체적으로 기술하면 다음과 같다. 먼저 L-모멘트를 사용한 지수홍수법은 매년 최대치를 지속시간별로 구축한 후 각각의 자료의 불일치 척도를 사용하여 자료의 검증을 실시하고 동질성확인을 통하여 지역을 구분한 후 동질지역의 자료의 적정분포형을 선정하고 지수홍수법을 이용하여 수문량 산정을 실시한다. 다음으로 Netmax법을 이용한 빈도해석은 역시 매년 최대치 자료를 구축한 후 구축된 강우자료에 대하여 중앙값을 지표변량으로 하여 표준화시킨다. 그 후 대상유역 중 관심지점을 중심으로 네트워크를 구성한후 네트워크별로 Netmax자료를 구축한다. 균질성을 갖는 몇 개의 지점자료를 지역화하고, 빈도해석을 한다.

2. 본 론

수문자료의 빈도분석 방법은 지점별로 각각 수행하기보다는 어느 정도 수문학적 동질성을 가지고 있는 유역단위로 실시하는 것이 통계학적으로 유리하다고 할 수 있다. 자료의 지점간 차이에서 오는 분산의 증가보다는 자료개수의 증가로 인한 분산의 감소가 훨씬 크므로 전체적인 분산이 감소되어 분석 결과의 정확도가 크게 개선되기 때문이다. 따라서 지역빈도해석 방법은 빈도분석 결과의 정확도를 개선할 수 있는 가장 현실적인 방법이라고 할 수 있으며, 이 방법에서는 동질성을 갖는 한 유역내 여러 지점의 수문자료에 적합한 지점별 확률분포형을 구하여 각 지점 및 지역단위의 빈도수문량을 추정하게 된다. 이와 같은 지역 빈도분석 방법의 우월성은 여러 연구자들에 의하여 입증된 바 있다(Heo 등, 1990).

2.1 Index Flood Method

지수홍수법(Index Flood Method)은 서로 다른 자료 표본들로부터 대표 통계량(summary statistics)을 도출하는데 매우 유용한 방법이다. 'Index Flood'란 용어는 홍수해석을 위한 방법으로서 제안되었던 것을 의미하며, 지금까지 홍수뿐만 아니라 다른 여러 종류의 자료들에게도 적용되고 있다(Dalrymple, 1960). 지역빈도해석을 위하여 사용하는 여러 지점의 자료는 동질성 있는 지역내의 자료로 간주되어야 한다. 즉, 각 지점별 자료의 규모는 다르지만 동일한 분포형으로부터 추출된 자료가 되도록 한다. 그리고 나서 각 지역의 자료에 적합한 확률분포형을 선정한다. 동질성 있는 자료에 대하여 분포형을 적합시키는 방법은 몇 가지가 가능하다. 우선, N개의 지점을 가지며, 지점 i는 표본크기 n_i 를 가지고, 관측자료 $Q_{i,j}$, $j = 1, \dots, n_i$ 를 가지는 지역의 경우를 생각해 보자. 여기서, $Q_i(F)$, ($0 \leq F \leq 1$)은 지점 i에서 분포형의 quantile 함수를 나타낸다. 동질

성 있는 지역에 대하여 다음 식 (1)을 얻을 수 있다.

$$Q_i(F) = \mu_i q(F), i = 1, \dots, N \quad (1)$$

여기서, μ_i 는 각 지점의 규모인자인 지수홍수(Index Flood)이며, $\hat{\mu}_i$ 는 지점 i 의 규모인자에 대한 추정치이다. 무차원화하여 표준화하면(rescaled) 식 (2)와 같다.

$$q_{i,j} = Q_{i,j}/\hat{\mu}_i, i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, n \quad (2)$$

지수홍수법은 각 지점의 자료에 대한 요약 통계치(summary statistics)를 사용하고 지역 추정치를 형성하기 위하여 평균함으로써 결합한다. 요약 통계치는 각 지점의 L-모멘트비라 하기 때문에 이 방법을 “지역 L-모멘트 기법”이라고 한다. 지수홍수법이 최우도법보다 이론적으로 우수성은 가지고 있지 않지만 다른 지점으로부터 정보를 결합하는 합리적인 방법이다. 또한 지역 자료 전체를 동시에 연관하여 계산하지 않기 때문에 최우도 추정보다 계산과정이 훨씬 간편하다. 지역 L-모멘트 기법에서 계산하는 지역 평균 L-모멘트비는 지역 자료 집단의 독특한 특징을 요약하는 데 대단히 유용하다. 모의발생을 통해 계산된 quantile과 실제 자료를 이용하여 계산한 quantile로부터 편의(bias)와 RMSE를 계산하여 지역빈도해석을 통해 추정된 quantile 추정량의 정확도를 검토한다. 추정된 확률홍수량의 정확도에 대한 평가 및 통계적 해석에 의한 결과는 근원적으로 불확실성을 내포하고 있으며, 그 결과를 최대한 유용하게 하기 위하여 불확실성의 크기를 평가할 필요가 있다.

2.2 FORGEX Method

FORGEX 기법은 FORGE(Focused Rainfall Growth Estimation) 기법을 개선시킨 것으로 대상 지점의 성장곡선을 추정하여 확률강우량을 추정하기 위해 개발되었다(Stewart 등, 1999). 이 기법은 대상지점이 포함된 유역내 강우 관측소들을 단계적인 네트워크를 통해 지역화하고, 각 네트워크 내에서 어떤 해의 최대 관측값을 추출한 Netmax 자료를 이용하여 장기 재현기간에 대한 확률강우량을 추정하는 기법이다. Netmax 자료를 이용한 지역빈도해석은 다음의 절차를 따른다.

- 1) 대상 지점이 포함된 유역 내 강우 자료의 연 최대치 계열을 구축한다.
- 2) 각 지점 자료의 중앙값을 지표변량으로 하여 자료를 표준화시킨다.
- 3) 대상 지점을 중심으로 네트워크를 구성한다.
- 4) Gumbel 확률지에 간격이 1.0인 y-절편(y-slice)을 도시하고, 각 절편 내에 해당 네트워크의 관측값들을 Gringorten(1963)이 제안한 도시위치공식을 사용하여 도시한다.
- 5) 각 네트워크에서 Netmax 자료를 추출한다.
- 6) 지점간 종속성(spatial dependence)을 고려하기 위해 독립 관측소의 유효숫자 N_e 를 계산하고, 각 Netmax 점들을 $\ln N_e$ 만큼 우측으로 이동시켜 Gumbel 확률지에 도시한다.
- 7) Gumbel 확률지 상에 도시된 점들로부터 성장곡선식을 유도한다.
- 8) 성장곡선으로부터 계산된 임의 재현기간에 대한 성장률과 대상지점의 중앙값으로부터 확률강우량을 계산한다.

3. 적용 및 분석

본 연구에서는 구분된 동질성 유역에 대하여 Pearson type III(PE3), generalized extreme value(GEV), generalized logistic(GLO), generalized Pareto(GPA), generalized normal(GNO), 4-parameter Wakeby(WKB4) 및 5-parameter Wakeby(WKB5) 등의 확률분포형을 적용하여 매개변수를 추정한 다음, 적합성을 검정하고 이를 통하여 적정 분포형을 선정하였다. 각 유역별 적합성 검정을 통한 적정분포형 결과를 나타내고 있는데, 남한강 유역에서는 Generalized Logistic 분포, Lognormal 분포, GEV 분포, 3변수 gamma 분포가 적합한 것으로 나타났으며 그중 GEV 분포형을 최적분포형으로 선정하였다. 북한강 유역에서는 상대적으로 적합성 척도를 나타내는 Z값이 작은 Generalized Logistic 분포형을 최적분포형으로 선정하였다. 그리고, 한

강하류부 유역에서는 General Logistic 분포와 GEV분포와 Lognormal 그리고 삼변수 gamma 분포 가운데 Z 값이 가장 작은 Lognormal 분포를 적정 분포형으로 선정하였다.

표 1. 적합성 검정 결과

적용분포형	남한강 유역	북한강 유역	한강 하류부
	1일최대	1일최대	1일최대
General Logistic	2.92	-4.30	1.51
GEV	-.16	-5.34	.46
Lognormal	-.45	-6.15	-.10
gamma-3	-1.37	-7.56	-1.09
General Pareto	-6.85	-8.14	-2.19

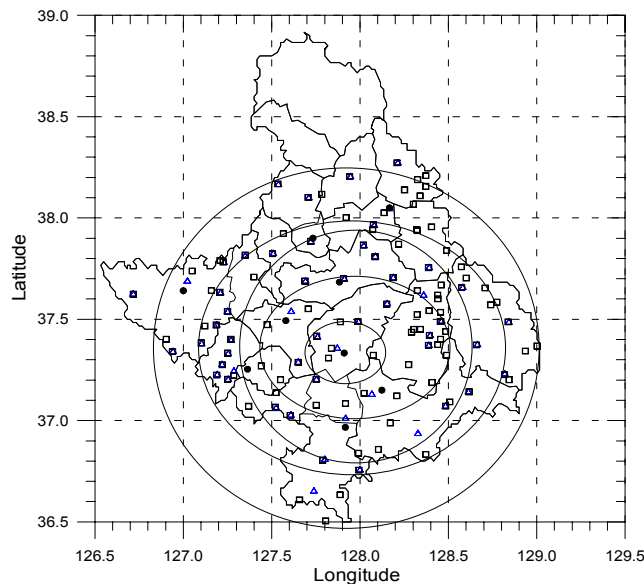


그림 1 네트워크 구성도

그림 1과 같이 원주지점을 중심으로 네트워크를 구성하였다. 우선, 각 지점의 자료를 지점별 중앙값 (median)으로 나누어서 표준화를 시키고, 그 다음 각 네트워크 별로 해당 지점들 자료중 매년 최대치 자료 1 개씩을 추출하여 Netmax자료를 구축하였다. 구축된 Netmax자료와 지역화한 자료를 도시하여 성장곡선 (growth curve)을 유도하였다. 특수한 상황인 Netmax자료에 대하여 최우도법을 이용한 도시위치공식을 적용하여 확률지에 도시하였다. 성장곡선(growth curve)의 적합은 비매개변수적 회귀분석을 실시하였다. Nadaraya-Watson 회귀분석은 kernel 회귀분석으로서 bandwidth는 cross-validation 기법을 적용하여 1.08554로 추정되었다. 수문량의 비교를 위하여 관심 유역을 원주지역으로 정한 후 각각의 방법으로 수문량을 산정하였다. 원주지방은 소유역별로 구분할 경우 남한강 유역으로 구분된다. L-모멘트 법을 이용한 해석에서 남한강 유역은 GEV분포형이 적합하다는 결과를 얻었다. 따라서 원주지역의 Index Flood를 곱하여 수문량을 산정하면 재현기간별 수문량 값을 얻을 수 있다. 이 결과를 Netmax법을 이용한 지역빈도해석과 기 연구된 한국 확률강우량도 작성(건설교통부, 2000)에 의한 지점 확률강우량과 지점빈도해석의 결과를 비교하면 표 2와 같다.

표 2 재현기간별 수문량의 비교(원주)

재현기간 (year)	확률강우량(mm)				
	Netmax	지역빈도해석		지점빈도해석 (GEV)	확률강우량도 (Gumbel)
		(Gumbel)	(GEV)		
100	328.6	464.8	459.9	443.3	387.8
200	362.6	520.1	512.7	514.3	428.0
500	408.8	593.1	581.9	619.7	481.1
1,000	441.6	648.1	633.7	709.2	521.2

4. 결 론

본 연구에서는 한강유역을 3개의 소유역으로 구분한 후 지속시간별 최대 강우량에 대하여 각 유역별로 지역빈도해석을 실시하였고 이 결과를 기존의 방법으로 산정한 수문량과 비교하였다.

- 1) 남한강 유역의 24시간 최대 강우량에 대하여 지역빈도해석을 실시한 결과 GEV 분포형을 최적분포형으로 선정하였고 이를 이용하여 재현기간별 확률 강우량을 산정하였다.
- 2) Index Flood법의 경우 분포형의 변화에 따른 수문량 값의 차이가 지점빈도 해석보다 작게 나왔다. 즉, Index Flood법이 tail weight 를 안정시키는 결과를 보이는 것으로 나타났다.
- 3) 재현기간이 100년 이상일 경우 Gumbel 분포형을 이용한 확률강우량도의 결과보다 GEV 분포를 이용한 지역빈도해석과 지점빈도해석의 수문량값이 더 크게 나타났다.
- 4) 지역빈도해석을 유역별로 실시하였고, 남한강 유역은 이질성 척도가 큰 것으로 판명되어 유역의 지역적인 세분화가 필요한 것으로 나타났다.
- 5) Netmax법을 이용하여 산정된 수문량 값은 Index Flood법으로 산정된 수문량에 비하여 과소추정 되었다. 이는 지역적인 특수성을 고려하지 않고 형성된 네트의 단점을 보여준다 할 수 있다. 결론적으로 Netmax법은 지역적으로 세분화가 필요한 지역에 대하여 좋지 않은 결과를 보여주었다.

참고문헌

- Darlymple, T. (1960). "Flood-Frequency Analyses", U. S. Geological Survey, Reston, Va. Water Supply Paper 1543-A.
- Heo, J. H., Boes, D. C., and Salas, J. D. (1990). "Regional flood frequency modeling and estimation", Water Resour. Pub., No. 101, Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado, USA.
- Hosking, J. R. M. (1990). "L-moments: Analysis and estimation of distribution using linear combinations of order statistics", Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 52, 105-24.
- Stewart, E. J., Reed, D. W., Faulker, D. S., and Reynard, N. S. (1999). "The FORGEX method of rainfall growth estimation I : Review of requirement", Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 3, No. 2, pp. 187-195.