

FORGEX 기법에 의한 지역빈도해석

Regional Frequency Analysis Based on FORGEX Model

남 우 성* , 김 경 덕** , 허 준 행***
Woo Sung Nam, Kyung Duk Kim, Jun-Haeng Heo

요 지

우리나라의 경우 짧은 자료기간으로 인해 지점빈도해석에 의한 확률강우량 추정시 불확실성이 커지는 문제가 있어 지역빈도해석의 적용이 필요하다. 본 연구에서는 지역빈도해석 기법의 하나인 FORGEX 기법을 우리나라 강우자료에 적용하였다. 전국의 82개 기상청 산하 관측지점의 자료로부터 지속기간별 연최대 강우 자료를 추출하였으며, FORGEX 기법의 절차에 따라 확률강우량을 계산하고자 하는 지점을 중심으로 네트워크를 구성하였다. Netmax 계열을 이용하여 긴 재현기간에 대한 안정된 확률강우량을 추정할 수 있는 성장곡선을 유도할 수 있었다.

핵심용어 : 모의실험, 재현기간, 지점 빈도해석, 지역 빈도해석

1. 서 론

본 연구에서는 전국의 기상청 지점의 연최대 강우자료에 Reed와 Stewart(1989)가 제안한 FORGEX(Focused Rainfall Growth EXTension) 기법을 활용하여 지역빈도해석을 수행하였다. FORGEX 기법은 지역빈도해석 기법의 일종으로 확률강우량을 추정하고자 하는 지점을 중심으로 네트워크를 구성하고 pooled points와 Netmax 계열을 확률지에 도시하여 성장곡선을 유도하는 방법이다. 분석에 사용된 자료는 지점간 종속성을 고려할 필요가 있는데 FORGEX 기법에서는 이를 위해 경험적 방법을 사용하고 있다. 특히, FORGEX 기법은 지점간 종속성을 고려하여 이동시킨 Netmax 계열을 이용함으로써 200년 이상의 긴 재현기간에 대해서 안정된 확률강우량을 추정할 수 있는 장점이 있다.

2. 본 론

FORGEX 기법은 1989년에 개발된 FORGE(Focused Rainfall Growth Estimation) 기법(Reed와 Stewart, 1989; Reed와 Stewart, 1994; Stewart 등, 1995)을 개선시킨 것으로 대상 지점의 성장곡선을 추정하여 긴 재현기간에 대한 확률강우량까지 안정적으로 추정하기 위해 개발되었다(Stewart 등, 1999). 대상지점이 포함된 유역 내 강우 관측소들을 단계적인 네트워크를 통해 지역화하고, 각 네트워크 내에서 어떤 해의 최대 관측값을 추출한 Netmax 자료를 이용하여 장기 재현기간에 대한 확률강우량을 추정하는 기법이다. FORGEX 기법을 활용한 지역빈도해석은 다음 그림 1과 같다.

* 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정 · E-mail : nws77@yonsei.ac.kr

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

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

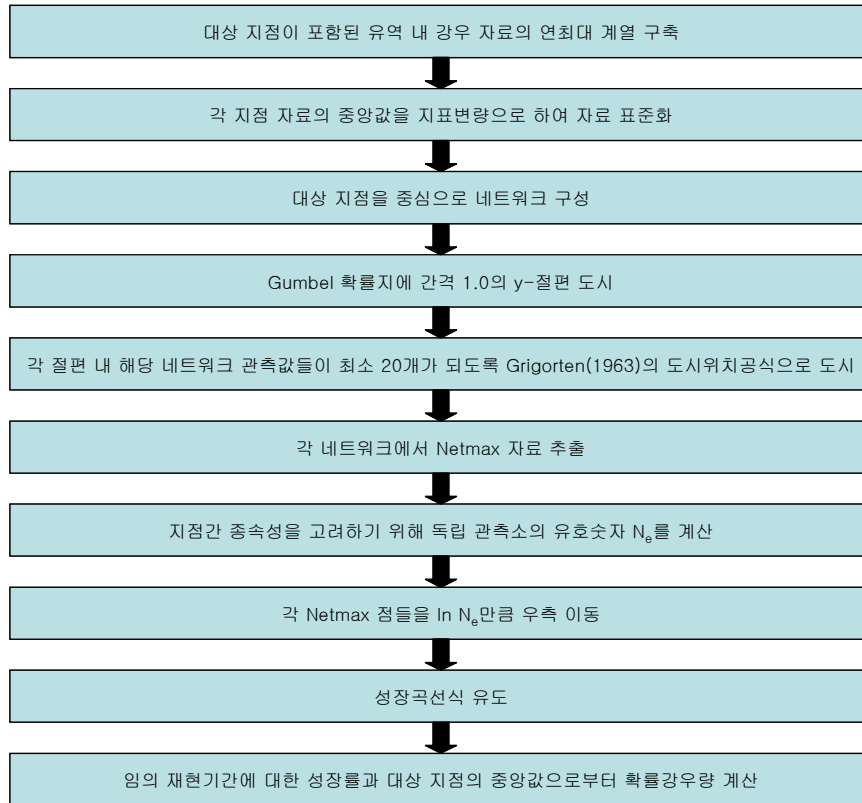


그림 1 FORGEX 기법의 흐름도

2.1 표준화(standardization)

중앙값을 지표변량으로 하여 식 (1)에 의해 자료를 표준화시킨다.

$$X_{ij} = \frac{R_{ij}}{RMED_j} \quad (1)$$

여기서, X_{ij} 는 i 번째 해, 지점 j 에 해당하는 강우자료의 표준화된 값, R_{ij} 는 i 번째 해, 지점 j 에 해당하는 연최대 강우량, $RMED_j$ 는 지점 j 의 중앙값(median)이다.

2.2 도시위치공식(Plotting Position Formula)

FORGEX 모형에서는 Gringorten(1963)이 제안한 식 (2)의 도시위치공식을 사용한다.

$$F_i = \frac{i-0.44}{N+0.12} \quad (2)$$

여기서, F_i 는 비초과확률, i 는 순서통계학(order statistics)에서의 올림차순 순위, N 은 자료 개수이다. 자료는 Gumbel 확률지에 도시하며, Gumbel reduced variate은 식 (3)과 같이 정의된다.

$$y = -\ln(-\ln F_i) \quad (3)$$

2.3 네트워크의 구성

FORGEX 기법에서는 추정하고자 하는 확률강우량의 빈도에 따라 적절하게 자료를 지역화 하는 것이 중요하다. 이것은 재현기간이 길수록 더 많은 자료가 요구되므로 더 많은 지점이 포함되도록 네트워크를 변화시켜야 함을 의미한다. 단, 네트워크 내에 포함되는 자료가 균등한 밀도를 갖도록 조정할 필요가 있다. 성장곡선을 안정적으로 추정하기 위해 Gumbel 확률지 상에서 간격이 1.0인 y -절편 내에 관측 자료가 균등하게

도시되도록 네트워크를 구성하는 것이 보통이며, 각 절편 내의 관측자료 수는 최소 20개가 되도록 한다. 따라서 관측자료 수가 적은 지역의 네트워크 반경은 상대적으로 증가하고, 반대로 관측 자료가 많은 지역의 네트워크 반경은 상대적으로 감소한다.

2.4 지점간 종속성(Spatial Dependence)

독립이고, 동일하게 GEV 분포를 나타내는, N 개의 지점들로부터 추출된 Netmax 자료의 분포는 모집단 성장곡선으로부터 $\ln N$ 만큼 왼쪽에 위치하는 것으로 나타났다(Dales와 Reed, 1989). 이러한 특성은 GEV 분포 이외의 확률분포에서도 동일하게 나타나는 것으로 알려져 있다(Reed와 Stewart, 1994). 이 간격은 $\ln N_e$ 로 추정되었다.

3. FORGEX 기법의 적용

3.1 네트워크의 구성

본 논문에서는 기상청 82개 지점의 시우량 자료로부터 추출된 지속기간 1일 연최대 강우량에 FORGEX 기법을 적용하였다. 서울 지점과 각 지점간의 거리를 계산하여 근거리 지점의 연최대 강우량으로부터 짧은 재현기간에 해당하는 확률강우량을 장거리 지점의 연최대 강우량으로부터 긴 재현기간에 대한 확률강우량을 추정할 수 있도록 하였다. 또한 성장곡선을 안정적으로 추정하기 위해 Gumbel 확률지 상의 각 절편에 최소 20개의 점이 도시되도록 네트워크를 구성하였다.

3.2 성장곡선 유도

서울 지점을 중심으로 네트워크를 구성하고 기본이론에서 제시한 절차에 따라 성장곡선을 유도하면 그림 2와 같다. 기상청 지점 중 가장 긴 자료가 100년을 넘지 않으므로 pooled points만으로는 200년 이상의 재현기간에 대해서는 도시가 불가능하다. FORGEX 기법에서는 긴 재현기간에 대한 확률강우량을 추정하기 위해 지점간 종속성을 고려한 Netmax 계열을 활용할 것을 제안하고 있다. 따라서 200년 이상의 재현기간에 해당하는 확률강우량을 추정하기 위해 각 네트워크의 Netmax 계열을 숫자로 도시하였다.

4. 비교 및 고찰

그림 1의 pooled points와 Netmax 계열로부터 성장곡선식을 다음의 두 가지 방법을 통해 유도하였다.

- ① y-절편별 선형회귀
- ② 회귀분석

y-절편별 선형회귀는 FORGEX 기법에서 사용된 방법으로 각 네트워크 별로 선형회귀식을 유도하여 서로 연결하는 방법이다. 이는 하나의 회귀식으로 성장곡선을 유도할 경우 표준오차가 가장 작은 회귀식을 선택하더라도 부분적으로 오차가 큰 부분이 발생할 수 있으며, 이로 인해 그에 해당하는 확률강우량이 영향을 받게 되는 문제를 보완하기 위함이다.

본 연구에서는 ①의 방법 이외에도 다양한 회귀모형을 적용하였다. 그 결과 식 (4)와 같은 4차 다항식 형태의 회귀식이 표준오차 0.249로 가장 작은 값을 나타냈다.

$$X = 0.849 + 0.279y + 0.153y^2 - 0.039y^3 + 0.003y^4 \quad (4)$$

그러나 이러한 형태의 회귀식은 서울 지점에 대해 유도된 것으로 성장곡선의 일반적 형태로 간주하기는 어려우며, 식의 형태에 따라 추정된 확률강우량 결과가 큰 차이를 보이는 단점이 있다.

y-절편별 선형회귀식에 의한 확률강우량과 식 (4)로부터 계산한 확률강우량 그리고 서울 지점의 지속기간 1일 연최대 강우량을 지점빈도해석하여 구한 확률강우량을 비교하면 표 1과 같다.

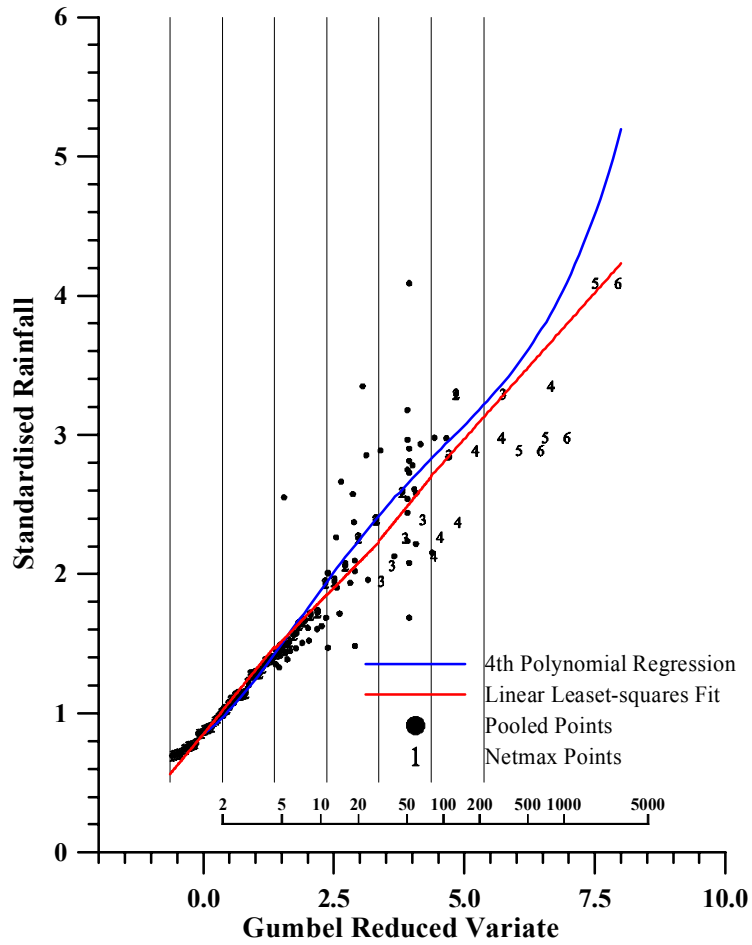


그림 2. 성장곡선(서울, 지속기간 24시간)

표 1. FORGEX 기법과 지점빈도해석에 의한 서울 지점의 확률강우량(mm)

재현기간(년)	① FORGEX (y-절편별 선형회귀)	② FORGEX (다항식 회귀)	③ 확률강우량도
5	205.0	202.3	204.0
10	244.6	254.9	245.7
20	281.2	302.9	285.7
30	302.5	328.4	308.7
50	343.0	358.0	337.5
80	372.5	383.1	363.9
100	379.1	394.7	376.4
200	418.7	430.9	415.0
500	470.8	487.8	466.1

표 1에서 볼 수 있는 것처럼 서울 지점의 경우 10년 이상의 재현기간에 대해 FORGEX 기법에 의해 계산된 확률강우량이 지점빈도해석에 의한 확률강우량보다 큰 값을 갖는 것으로 나타났다. 또한 10년 이상의 재현기간에 대해 y -절편별 선형회귀식에 의한 확률강우량이 다항식 형태의 회귀식에 의한 확률강우량보다 작은 값을 갖는 것으로 분석되었다.

5. 결 론

자료기간이 짧은 우리나라 강우 관측 지점들의 확률강우량을 계산하기 위한 지역빈도해석 방법의 하나로 FORGEX 기법을 적용하였다. 비교적 양질의 자료를 보유하고 있는 82개 기상청 관측지점의 강우자료를 바탕으로 성장곡선을 유도하고 확률강우량을 추정된 결과 FORGEX 기법에 의한 확률강우량이 지점빈도해석에 의한 확률강우량보다 큰 경향을 보였다. 이는 기록년수가 짧은 자료에 지점빈도해석을 적용한 추정된 확률강우량이 과소 추정됨을 의미한다.

또한 FORGEX 기법은 지역 구분에 의한 지역빈도해석 방법의 단점 중의 하나인 지역 경계에서의 성장률의 급격한 변화를 극복할 수 있는 장점이 있다. 따라서 지역빈도해석에 의한 확률강우량 추정시 고려되어야 할 기법으로 판단된다.

본 연구에서는 영국에서 개발된 공간 의존도 모델(spatial dependence model)을 사용하였으나, 향후 국내 지형학적, 기상학적 특성에 맞는 공간 의존도 모델 개발에 대한 연구와, 모의실험을 통해 FORGEX 기법의 성능 검토에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

- Dales, M. Y. and Reed, D. W.(1989). Regional Flood and Storm Hazard Assessment, Report No. 102, Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
- Gringorten, I. I. (1963). "A plotting rule for extreme probability paper", J. Geophys. Res., Vol. 68, No. 3, pp. 813-814.
- Reed, D. W. and Stewart, E. J.(1989). "Focus on Rainfall Growth Estimation", Proc. 2nd National Hydrol. Symp., Sheffield, September 1989, 3.57-3.65.
- Reed, D. W. and Stewart, E. J.(1994). Inter-site and inter-duration dependence in rainfall extremes. Chapter 8 in: Statistics for the Environment 2: Water Related Issues (Editors V. Barnett and K.F. Turkman), Wiley, Chichester, UK, pp. 125~143.
- Stewart, E.J., Faulkner, D.S and Reynard, N.S. (1995). Rainfall Frequency Estimation in England and Wales, Phase 1b: Pilot Study. R&D Note 478, National Rivers Authority.
- 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.