

핵밀도 함수를 이용한 지역빈도해석의 적용에 관한 연구

The Study on Application of Regional Frequency Analysis using Kernel Density Function

오 태 석* / 김 종 석** / 문 영 일*** / 유 승 연****

Oh, Tae suk / Kim, Jong Suk / Moon, Young-II / Yoo, Seung Yeon

Abstract

The estimation of the probability precipitation is essential for the design of hydrologic projects. The techniques to calculate the probability precipitation can be determined by the point frequency analysis and the regional frequency analysis. The regional frequency analysis includes index-flood technique and L-moment technique. In the regional frequency analysis, even if the rainfall data passed homogeneity, suitable distributions can be different at each point. However, the regional frequency analysis can supplement the lacking precipitation data. Therefore, the regional frequency analysis has weaknesses compared to parametric point frequency analysis because of suppositions about probability distributions. Therefore, this paper applies kernel density function to precipitation data so that homogeneity is defined.

In this paper, The data from 16 rainfall observatories were collected and managed by the Korea Meteorological Administration to achieve the point frequency analysis and the regional frequency analysis. The point frequency analysis applies parametric technique and nonparametric technique, and the regional frequency analysis applies index-flood techniques and L-moment techniques. Also, the probability precipitation was calculated by the regional frequency analysis using variable kernel density function.

keywords : probability precipitation, regional frequency analysis, L-moment, index flood, kernel density function

요 지

합리적인 수공구조물의 설계를 위해서 확률강우량의 산정은 필수적이며, 확률 강우량을 산정하는 기법은 크게 지점빈도해석과 지역빈도해석으로 구분 지을 수 있다. 이 중에서 지역빈도해석은 지점의 부족한 강우자료를 보완하기 위해서 L-모멘트로 확률분포형의 매개변수를 추정하고, 강우 계열의 동질성이 검증된 자료를 빈도분석하여 확률 강우량을 결정하는 기법이다. 이와 같은 지역빈도해석 기법은 매개변수를 선형조합하여 확률분포형의 종류와 크기 및 형상을 결정하여 확률 강우량을 산정하게 된다. 여기서 각 지점별 강우 자료들이 동질성 검정을 통과하였다 하더라도 지점별로 최적의 분포형이 다를 수 있으나, 부족한 강우자료를 보완하기 위해서 동일한 분포형을 따르는 것으로 가정하고 빈도해석을 수행하게 된다. 그러므로 지역빈도해석기법은 확률 분포형을 가정하고 강우자료를 적용하는 과정에서 기존에 매개변수적 빈도해석의 약점을 갖게 된다. 따라서 본 연구에서는 변동핵밀도 함수를 동질성이 확보된

* 정희원 · 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 박사과정 수료 (e-mail: waterboy@uos.ac.kr)

** 정희원 · 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 박사과정 수료 (e-mail: jongsuk@uos.ac.kr)

*** 정희원 · Corresponding author, 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 부교수 (e-mail: ymoon@uos.ac.kr)

**** 정희원 · 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 석사과정 (e-mail: dpzh08@uos.ac.kr)

강우자료에 적용하여 빈도해석을 수행함으로써 기존의 빈도해석이 가지는 약점을 극복하고자 하였다.

본 연구에서는 기상청에서 관리하는 16개 강우관측소의 강우자료를 수집하여 매년최대 연강우량 계열을 구성해 지점빈도해석과 지역빈도해석을 수행하였다. 지점빈도해석은 매개변수적 기법과 비매개변수적 기법을 모두 적용하였으며, 지역빈도해석은 Index Flood 기법과 L-모멘트 기법을 적용하였다. 또한 변동핵밀도함수를 지역빈도해석에 적용하였으며, 각 기법별로 산정된 확률강우량을 비교 분석하였다.

핵심용어 : 확률 강우량, 지역빈도해석, 핵밀도함수, L-모멘트, 지수홍수법

1. 서론

치수 및 이수를 위한 하천제방, 저수지 등과 같은 수공구조물의 설계에 있어 가장 중요한 변수 중에 하나가 확률 강우량이며, 확률 강우량을 산정하는 방법에는 크게 지점빈도해석과 지역빈도해석으로 구분할 수 있다. 그러나 지점빈도해석은 수문자료의 관측기간이 짧은 경우에 선정된 확률분포의 매개변수의 편차가 발생될 수 있다. 따라서 지점빈도해석을 수행하기 위해서는 지점 내의 충분한 관측 자료 확보가 선행되어야 한다. 또한, Flood Estimation Handbook(Institute of Hydrology, 1999)에 따르면 대상 자료의 기간이 구하려는 재현기간 T보다 작은 경우에는 지점빈도해석보다는 지역빈도해석을 추천하고 있으며, 자료기간이 T에서 2T일 때는 지점빈도해석과 지역빈도해석을 병행하여 수행하고, 자료기간이 2T 이상일 때에는 지점빈도해석을 사용하는 것을 추천하고 있다.

이와 관련된 연구를 살펴보면, 류경식 등(2004)은 Gamma Family 분포형 등에 L-모멘트법을 적용하여 지역빈도분석에 적용하였고, 남우성 등(2003)은 FORGEX 기법의 절차에 따라 확률강우량을 계산하고자 하는 지점을 중심으로 네트워크를 구성하여 Netmax 계열을 이용한 확률강우량을 추정할 수 있는 성장곡선을 유도하였다. 이동진 등(2001)은 한강유역의 1, 2, 3일 연최대 강우자료를 대상으로 L-모멘트법을 이용한 지점빈도해석과 지역빈도해석을 실시하여 그 결과를 비교하였다. 김지훈 등(2004)은 지역화의 개념을 사용하여 지역빈도해석을 실시하였는데, 이는 한강유역의 강우자료 선별을 통해 신뢰성 있는 자료를 구축한 후, L-모멘트 기법과 Netmax법을 사용하여 지역빈도해석을 각각 수행해 그 결과를 비교·분석하였다. 남우성 등(2005)은 홍수지수법에 근거한 지역빈도해석을 수행함에 있어 Fuzzy-c means 기법, 주기성 척도, L-모멘트비 척도 등의 유사성 척도를 도입하여 지역을 구분하여 지역빈도해석의 기법별 성능을 검토하였다. 허준행 등(2004)은 한강 유역에 대해 Regional Shape Estimation법과

Index Flood법을 사용한 지역빈도해석을 각각 실시하여 지점빈도해석을 수행한 결과와 비교 분석하였다. 차영일 등(2001)은 L-moment 기법으로 지역적인 동질성을 확보하여 선형 회귀식과 Kernel Regression을 적용한 후 미계측 유역에 대한 확률 홍수량을 산정한 바 있다.

본 연구에서는 기상청에서 관측하는 16개 지점에서 지속시간별 연최대 강우량 자료를 구축하여 강우 관측 연수가 타 지점에 비해 비교적 긴 지점을 선택하여 지점빈도해석을 수행하고, 강우자료군에 L-모멘트를 적용하여 동질성과 이질성을 분석하였다. 동질성이 확보된 지속시간별 매년최대 강우 자료군을 대상으로 지수홍수법과 L-모멘트법을 적용하여 확률강우량을 산정하였으며, 변동 핵밀도 함수를 강우자료군에 적용하여 확률 강우량을 산정하여 기 산정된 확률강우량과 분석하였다.

2. 지역빈도해석

지역빈도해석 기법에는 Hosking이 제안한 L-모멘트 기법과 Index Flood 기법 등이 있으며, 본 연구에서는 지역빈도해석에 핵밀도함수를 적용하여 빈도해석의 적용성을 고찰하였다.

2.1 매개변수적인 지역빈도해석

2.1.1 L-모멘트 기법

L-모멘트법은 지역빈도해석 방법으로 대표적인 방법으로 최근에 Hosking et al. (1997)에 의해서 제안되었다. L-모멘트법은 근래에 많이 사용되고 있는 매개변수 추정방법(Hosking, 1997)으로 추정량은 아래 Eqs. (1)~(4)와 같이 나타낼 수 있고, 확률가중모멘트법의 선형조합으로 표시되며, 전통적인 방법인 모멘트법이나 최우도법과는 달리 매개변수의 추정에서 거의 편이 되지 않는 것으로 알려지고 있다.

$$\lambda_1 = E(X) \quad (1)$$

$$\lambda_2 = 1/2E(X_{(2,2)} - X_{(1,2)}) \quad (2)$$

$$\lambda_3 = 1/3E(X_{(3,3)} - 2X_{(2,3)} + X_{(1,3)}) \quad (3)$$

$$\lambda_4 = 1/4E(X_{(4,4)} - 3X_{(3,4)} + 3X_{(2,4)} - X_{(1,4)}) \quad (4)$$

여기서, $E(\cdot)$ 는 기대값이고, $X(i,n)$ 는 크기가 n 인 표본 중에서 i 번째로 작은 통계량이다. L-모멘트 비는 다음 Eqs. (5)~(7)과 같다.

$$\tau_2 = \lambda_2/\lambda_1 \Rightarrow \quad (5)$$

L-CV(L-coefficient of variation)

$$\tau_3 = \lambda_3/\lambda_2 \Rightarrow L\text{-skewness} \quad (6)$$

$$\tau_4 = \lambda_4/\lambda_2 \Rightarrow L\text{-kurtosis} \quad (7)$$

동질성을 갖는 한 지역 내에 있는 여러 지점들에 가장 적합한 확률분포형을 선정하기 위한 적합성 척도 Z 는 다음 Eq. (8)과 같다.

$$Z^{\text{DIST}} = \frac{\tau_4^{\text{DIST}} - \bar{\tau}_4 + \beta_4}{\sigma_4} \quad (8)$$

여기서, β_4 는 L-kurtosis의 편이, σ_4 는 $\bar{\tau}_4$ 의 표준편차이고 다음 Eqs. (9) and (10)과 같다.

$$\beta_4 = \frac{1}{N_{\sim}} \sum_{m=1}^{N_{\sim}} (\bar{t}_4^{[m]} - \bar{t}_4) \quad (9)$$

$$\sigma_4 = \left[\frac{1}{(N_{\text{sim}} - 1)} \left\{ \sum_{m=1}^{N_{\text{sim}}} (\bar{t}_4^{[m]} - \bar{t}_4)^2 - N_{\text{sim}} \beta_4^2 \right\} \right]^{1/2} \quad (10)$$

여기서, N_{sim} 은 모의 발생수이며, 적합성 척도의 임계값은 1.64로 $|Z^{\text{DIST}}| \leq 1.64$ 와 같다(Hosking and Wallis, 1997).

2.1.2 Index Flood 기법

지수홍수법(index flood method)은 서로 다른 자료 표본들로부터 요약 통계량을 산정하는데 매우 편리한 방법이다. Index Flood란 용어는 Dalrymple(1960)에 의해 수문학적인 홍수해석을 위해 제안되었으며, 홍수뿐

만 아니라 다른 여러 종류의 자료들에도 적용 가능하다. 지수홍수법은 다음과 같은 가정을 만족하여야 한다. ① 관측 표본은 동일한 분포를 따르며, ② 관측 표본은 연속적으로 독립이고, ③ 서로 다른 지점의 관측자료들 간에 독립이 성립되며, ④ 서로 다른 지점의 확률분포형의 크기 인자는 동일하고, ⑤ 지역성장곡선의 수학적 형태는 특성화되어야 한다.

예를 들어, 이러한 가정을 만족하는 대상 지점 i 는 표본크기 n_i 를 가지는 N 개의 관측지점을 가정하면, 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 i 에서 분포형의 quantile 함수를 의미한다. 여기서 중요한 가정은 지수홍수법은 동질한 지역의 지점에 적용이 가능하다는 것이다. 동질성 있는 지역에 대하여 다음 Eq. (11)을 얻을 수 있다.

$$Q_i(F) = \mu_i q(F), \quad i = 1, \dots, N \quad (11)$$

여기서, μ_i 는 각 지점의 지수홍수이며, $\hat{\mu}_i$ 는 지점 i 의 지수홍수에 대한 추정값으로 무차원화하여 표준화하면, Eq. (12)와 같다.

$$q_{i,j} = Q_{i,j} / \hat{\mu}_i, \quad i = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, n_i \quad (12)$$

2.2 비매개변수적 지역빈도해석

지점빈도해석이나 지역빈도해석에서 매개변수를 결정하여 빈도해석을 수행하는 방법은 다음과 같은 문제점을 내포하고 있다. 첫째, 통계적 처리과정에서 적합성이 인정되는 다수의 분포형이 선정될 때, 최종적으로 어떠한 확률분포형이 선택되느냐에 따라 확률강우량은 차이를 나타낸다. 둘째, 건설교통부의 한국확률강우량도(2000)에서 지속시간별 확률분포형은 전국에 걸쳐 단일화된 확률분포형을 적용하여 확률강우량을 산정하고 있는데, 이는 지속시간별로 다른 확률분포형을 적용할 경우에 역전 현상이 발생 가능하기 때문이다. 셋째, 근래 처럼 수문사상의 변화가 극심하고, 또한 강수관측기간에 따른 보유자료의 길이가 증대되며, 전국 각 유역별 호우특성이 다른 경우에 있어서는 각 유역별 적정 확률분포형이 달라질 수 있다는 문제점을 내포한다. 넷째, 매개변수적 빈도해석 방법은 최근의 확률가중모멘트법이나 L-모멘트법에서 여러 가지 매개변수 추정법의 단점을 보완하여 짧은 기록의 자료나 왜곡된 자료에 대한

신뢰도가 많이 보장되었음에도 불구하고 아직까지 bimodal 등의 복합분포를 갖는 확률밀도함수의 처리 등에 있어서 문제점을 내포하고 있다.

그러므로 이러한 어려움을 가지게 되는 매개변수적 방법에 비하여 어떤 분포형의 가정이 필요 없이 관측자료가 나타내는 분포형을 자료의 확률 밀도 함수로 간주하여 분포형 선택이나 다중 첨두의 문제점을 보완할 수 있는 비매개변수적 방법을 이용하여 확률 강우량을 산정하는 것이 실측 강수의 사상을 잘 반영하므로, 분포형에 따라 확률 강우량이 변하는 매개변수적 방법에 비해 실측 강수 사상과의 적합성이 더 뛰어날 것으로 사료 된다.

이와 같은 문제점은 L-모멘트법이나 지수혼수법의 지역빈도해석에서도 마찬가지로 매개변수적 확률 분포형을 가정하여 빈도해석을 수행하므로 매개변수적 지점빈도해석과 동일한 문제점을 내포하고 있다. 오히려 지역빈도해석에서는 L-모멘트 기법을 적용하여 매개변수를 추정하므로 대상 지점별로 최적분포형이 다를 수 있음에도 불구하고 부족한 강우자료를 확보하기 위해서 동일한 분포형을 적용하여 확률 강우량을 산정하고 있다. 따라서 본 연구에서는 부족한 강우자료를 보완하고, 분포형 가정에 대한 문제점을 해소하기 위해 지역빈도해석을 수행하는데 있어 변동확률밀도함수를 적용하였다.

2.2.1 강우 자료의 동질성 검증

동질성을 갖는 강우 자료군의 선택은 다음과 같은 두 가지 절차를 거쳐 선택되어질 수 있다. 첫째, 불일치 척도(Discordancy Measure)에 의해 일관성이 없는 자료군이나 이상자료군을 제거한 후, 둘째 이질성 척도(Heterogeneity Measure)에 의해 소유역의 소속된 자료군의 수문학적 동질성을 갖는지를 평가하여 자료군을 구분한다. 불일치 척도 $D(i)$ 는 다음 Eq. (13)과 같이 정의한다.

$$D(i) = \frac{1}{3} (U_i - \bar{U})^T S^{-1} (U_i - \bar{U}) \quad (13)$$

여기서, U_i 는 $[t^1, t^2, t^3]^T$ 이며 순서대로 지점 i 의 L-moments비인 L-변동계수, L-왜도, L-첨도인 벡터이고, \bar{U} 는 소유역내 지점들 U_i 의 산술평균 벡터이고, S 는 표본자료의 공분산벡터이다. 지점의 계산된 $D(i)$ 값이 과다하게 크게 되면 소유역내의 자료군에서 일치도가 떨어질 수 있다는 것을 의미하기 때문에 오류가 있는지 확인할 필요가 있는데, $D(i)$ 에 대한 절대적인 기준은 없지만, Hosking and Wallis(1997)는 3.0을 기준으로

로 제안한 바가 있다. 불일치 척도에 의해 이상 자료군을 제거한 후 소속된 지점의 자료계열의 수문학적 동질성의 파악을 위해 다음 Eq. (14)과 같이 이질성 척도 H 를 사용한다(Hosking et al., 1997).

$$H = \frac{V - \mu_v}{\sigma_v} \quad (14)$$

$$V = \frac{\sum_{i=1}^N n_i (t^i - \bar{t})^2}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (15)$$

여기서, n_i 는 지점별 자료수, N 은 유역내 지점수, $t^{(i)}$ 는 표본 L-moment, \bar{t} 는 n_i 에 가중한 표본자료 집단의 평균 L-CV, 그리고 μ_v , σ_v 는 V 를 표본자료 집단의 평균 L-moment인 1, t^R , t_3^R , t_4^R 를 kappa 분포형에 적합시킨 다음, 충분한 횟수의 모의발생을 실시하여 계산된 V 의 평균 및 표준편차이다. Hosking과 Wallis(1997)는 $H < 1$ 이면 동질성 수용 가능 지역, $1 \leq H < 2$ 이면 이질성 가능 지역, $H > 2$ 이면 이질성 지역으로 구분하였다.

2.2.2 핵함수를 이용한 지역빈도해석

Breiman et al.(1977)은 고정 핵밀도함수 추정법(Rosenblatt, 1956)의 특성과 자료의 지역적인 밀도를 고려하는 k Nearest Neighbor방법을 결합한 변동 핵밀도함수 추정법을 제안하였다. 변동 핵밀도함수 추정법은 고정 핵밀도함수 추정법과 유사한 방식으로 자료가 발생된 위치에 놓여지는 핵함수의 폭이 자료의 밀도에 따라 변한다.

$K(x)$ 를 핵함수라 하고 k 를 양의 정수로 놓고, $d_{j,k}$ 를 한 개의 자료 x_j 에서 그 나머지 자료 $(n-1)$ 개 중에서 k 번째로 가까운 지점에 있는 자료까지의 거리라 하자. 그러면, 변동 핵밀도함수 추정법은 다음 Eq. (16)과 같이 정의된다.

$$f(x) = \frac{1}{nh} \int \frac{1}{d_{j,k}} K\left(\frac{x - X_j}{hd_{j,k}}\right) dx \quad (16)$$

여기서 $hd_{j,k}$ 는 양의 변동 광역폭이다. 자료의 분포가 적은 낮은 밀도지역에서 $d_{j,k}$ 의 값은 커지고 변동핵함수의 모양은 넓게 퍼지게 되며, 자료의 분포가 많은 높은 밀도지역에서는 그 반대현상이 일어나 변동 핵함수

는 좁게 밀착된 형태를 가지게 된다. Bowman(1985), Moon and Lall(1994)은 변동 핵밀도함수 추정법이 밀도함수의 꼬리 부분과 같은 최빈값 추정이나 자료가 비대칭 분포일 때 장점이 많다는 것을 보여 주었다. 변동 핵밀도함수 추정법의 일관성과 수렴성은 Devroye and Györfi(1985)에 의해 평가되었다.

본 연구에서는 변동핵밀도함수인 Modified Cauchy 핵함수(차영일 등, 2006)를 이용하여 지점빈도해석 및 지역빈도해석을 수행하였다. 다음 Eqs. (17) and (18)은 각각 Modified Cauchy 핵함수의 확률밀도함수와 누가 확률밀도함수이다.

$$f(x) = \frac{8}{3\sqrt{5}\pi(1+x^2/5)^3} \quad (17)$$

$$F(x) = \frac{1}{2} + \frac{5x + \frac{3x^2}{5}}{3\sqrt{5}\pi\left(1 + \frac{x^2}{5}\right)^2} + \frac{1}{\pi} \tan^{-1}\left(\frac{x}{\sqrt{5}}\right) \quad (18)$$

비매개변수적 핵밀도함수 방법에서 광역폭 h 의 선택은 매우 중요한 문제로 다루어져 왔다. 지금까지의 광역폭을 선택하는 방법은 Maximum Likelihood, Least Squares Cross Validation 또는 Adamowski Criterion, Breiman Method(Adamowski, 1985; Lall et al., 1993; Moon et al., 1994), Plug-In 등이 있다. 본 연구에서 핵밀도함수의 광역폭을 결정하는 방법은 Plug In의 개념으로 Woodrooffe(1970)에 의해 많은 연구가 진행되어 왔다. 이 이론의 가장 난해한 점은 기준이 되는 추정 광역폭을 결정하는 것이며 이러한 문제를 해결하기 위한 방법은 Sheather(1986)가 제안하였고, Sheather and Jones(1991)에 의해 다음과 같은 Eq. (19)으로 제시되었다.

$$h = \left[\frac{R(K)}{nR(\hat{f}_{g(h)}'') \left(\int x^2 K(x) dx \right)^2} \right] \quad (19)$$

여기서, $R(\phi) = \int \phi^2(x) dx$ 를 의미하며 즉, $\int x^2 K = \int x^2 K(x) dx$ 를 뜻한다. 변동폭을 설정하는 문제는 핵밀도함수를 지역빈도해석에 적용하는데 있어 가장 중요한 문제이다. 지점빈도해석에 해당하는 차영일 등(2006)의 연구에서는 변동폭의 설정을

Adamowski(1985)가 제시한 식을 따르고 있다. Adamowski는 광역폭 h 의 수치적 근사값을 다음과 같은 MSE의 Eq. (20)을 이용하여 이 값이 최소가 되는 광역폭 선택방법을 제시하였다.

$$\sum_{j=1}^n [\hat{F}_j(x) - \tilde{F}(x_j)]^2 \quad (20)$$

여기서 미지의 확률 $\hat{F}_j(x)$ 는 확률도시공식 $\tilde{F}(x_j)$ 로 추정될 수 있다. 일반적으로 확률도시공식은 Weibull 도시공식 $i/(n+1)$ 이 추천되어지나, Adamowski(1985)는 MSE에 기초를 둔 다음 식과 같은 새로운 확률도시공식을 제시하였다.

$$\tilde{F}(x) = \frac{j-0.25}{n+0.5} \quad \text{여기서, } j = 1, 2, \dots, n \quad (21)$$

Adamowski는 Gumbel Type I의 분포형을 사용하여 홍수빈도해석을 할 때, 이 새로운 확률도시공식이 큰 값에서 실제 초과확률값에 근접하는 것을 보여주고 있으며, 또한 Pearson Type III에 대하여 어떤 단일 확률도시공식도 적당하지 않다는 것을 증명하였다. 그러나 만일, 모든 분포형에 사용될 수 있는 단 하나의 확률도시공식이 필요한 경우에 이 새로운 확률도시공식이 적합하다는 것을 Adamowski가 제시하였다. 따라서 Adamowski가 제시한 변동폭 결정 기법은 확률도시공식을 이용하여 경험적인 누가확률밀도함수를 구성하기 때문에 단일 지점의 강우자료를 이용할 경우에는 적합하나, 본 연구에서와 같이 지역빈도해석을 수행할 경우에는 강우 자료의 크기가 다른 지점의 강우자료까지 이용하므로 경험적 발생 확률을 사용할 때는 문제가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 Sheather and Jones(1991)가 제시한 Plug-In 방법(SJPI)을 사용하여 확률밀도함수를 구하였다. 이 방법은 Hall과 Marron(1987)이 제시한 이론을 보완하여 개발된 것으로 다음의 식으로부터 광역폭을 결정하게 된다.

$$h = [R(K) / \{\sigma_K^4 \hat{S}_D(\hat{\alpha}_2(h))\}]^{1/5} n^{-1/5} \quad (22)$$

여기서,

$$\hat{S}_D(\alpha) = \{n(n-1)\}^{-1} \alpha^{-5} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \phi^{iv}\{\alpha^{-1}(X_i - X_j)\}$$

$$\hat{\alpha}_2(h) = 1.357 \{ \hat{S}_D(a) / \hat{T}_D(b) \}^{1/7} h^{5/7}$$

$$\hat{T}_D(b) = -\{n(n-1)\}^{-1} b^{-7} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \phi^{iv} \{b^{-1}(X_i - X_j)\}$$

$$a = 0.920 \hat{\lambda} n^{-1/7} \quad \text{and} \quad b = 0.920 \hat{\lambda} n^{-1/9}$$

여기서, $\hat{\lambda}$ 는 표본의 interquartile range 이다.

3. 지역빈도해석의 적용

일반적으로 관심 있는 대상지역에 빈도해석에 의한 확률강우량을 산정하고자 할 때 관측된 강우량 자료의 부족으로 인해 지점빈도해석시에 해석결과에 대한 신뢰성을 확보하기가 어렵다. 또한 대상지역이 미계측 지역으로 관측자료가 없는 경우 지점빈도해석으로 직접 해석하기에는 어려움이 따른다. 이런 경우 대상지역 주변에 관측기간은 짧지만 여러 관측소의 자료가 존재할 때 자료의 동질성이 확보된 지역을 이용하여 지역빈도해석을 실시함으로써 짧은 강우량 자료기간을 보완하면서 확률강우량을 산정하는 것이 가능하다.

3.1 대상 강우 자료 구축

빈도해석의 주요목적은 극치사상의 크기를 확률분포 (Chow, 1988)를 이용하여 발생빈도와 연관시키는데 있다. 따라서 본 연구에서는 지점빈도해석과 지역빈도해석을 수행하여 각 기법별로 확률 강우량의 산정 결과를 비교·분석하였다. 본 연구에서는 핵밀도함수를 적용한 지역빈도해석의 적용성을 평가하기 위해서 기상청에서 관측하는 16개 관측 지점에 대해 매년 최대 연강우량을

추출하였으며, 다음 Table 1에 대상 지점을 나타내었다.

선정된 강우 관측소별로 지속시간 1, 6, 9, 12, 18, 24, 48시간의 연최대치 강우량 계열을 구성하였다. 그리고 2번 지점(구미)의 기상청 관할 강우관측소가 1994년 11월에 관측 위치가 변경 된 것으로 조사되어 1994년을 기준으로 주변 5개 강우관측소(문경, 추풍령, 거창, 합천, 대구)와 구미관측소의 강우 자료를 대상으로 일관성 분석을 수행하였다. 또한, 추출한 지속시간별 매년 최대 강우 자료를 대상으로 임의시간 환산계수를 적용하였다. 각각의 강우 자료에 대한 무작위성, 변동성 및 경향성에 대한 분석을 수행하였으며, 이에 대한 결과는 빈도해석을 수행하기 위한 기본적인 예비과정이므로 따로 본 논문에 수록하지 않았다.

3.2 지점빈도해석

본 연구에서는 지역빈도해석의 결과와 비교를 수행하기 위해서 대상 강우 관측소 중에서 비교적 관측기간이 긴 추풍령 지점의 강우 자료를 이용하여 지점빈도해석을 수행하였다.

3.2.1 매개변수적 지점빈도해석

본 연구에서는 추풍령 지점의 지속시간별 연최대 강우자료를 대상으로 매개변수적 지점빈도해석을 수행하였다. 각 확률분포형별로 모멘트법, 최우도법 및 확률가중모멘트법으로 매개변수를 추정하였다. 모멘트법, 최우도법, 확률가중모멘트법의 매개변수는 큰 차이를 보이지는 않았으나, 각 적용 분포형별 적합도 검정 결과와 최근의 추세에 맞추어 확률가중모멘트법에 의해 추정된

Table 1. Location of the meteorological observatory

Station	Observation Data	Observation Opening	Lat.(N)	Long.(E)	Altitude (m)	Ground Height of Hyetometer(m)	
1	Chupungryeong	45	1961	36. 13'	128. 00'	242.5	0.5
2	Gumi	33	1973	36. 08'	128. 19'	47.9	0.5
3	Guchang	33	1973	35. 40'	127. 55'	220.9	0.6
4	Chungju	39	1967	36. 38'	127. 27'	57.4	0.5
5	Daejeon	37	1969	36. 22'	127. 22'	68.3	1.5
6	Daegu	45	1961	35. 53'	128. 37'	57.6	0.6
7	Kumsan	33	1973	36. 06'	127. 29'	171.3	0.6
8	Imsil	33	1973	35. 37'	127. 17'	246.9	0.6
9	Namwon	33	1973	35. 24'	127. 20'	89.7	0.7
10	Jangsu	18	1988	35. 39'	127. 31'	407.0	0.6
11	MoonKyung	33	1973	36. 37'	128. 09'	170.4	0.6
12	Uiseong	33	1973	36. 21'	128. 41'	81.1	0.6
13	Youngcheon	33	1973	35. 58'	128. 57'	94.1	0.5
14	Hapcheon	33	1973	35. 34'	128. 10'	32.7	0.6
15	Milyang	33	1973	35. 29'	128. 45'	12.6	0.5
16	Sancheong	33	1973	35. 25'	127. 53'	138.6	0.6

Table 2. Result of Probability Precipitation by Parametric Frequency Analysis

Return Period Duration	Probability Precipitation of Return Period(mm)									
	2	5	10	25	30	50	80	100	150	200
1 hour	29.8	38.1	43.5	50.5	51.8	55.6	59.0	60.7	63.6	65.7
6 hour	68.9	91.7	106.7	125.7	129.4	139.8	149.3	153.8	161.9	167.7
9 hour	83.6	112.8	132.1	156.5	161.3	174.6	186.8	192.5	203.0	210.4
12 hour	93.8	125.6	146.8	173.5	178.7	193.2	206.6	212.9	224.4	232.5
18 hour	109.1	148.3	174.3	207.2	213.6	231.6	248.0	255.7	269.9	279.9
24 hour	120.6	164.6	193.8	230.6	237.8	257.9	276.3	285.0	300.8	312.0
48 hour	143.2	192.0	224.2	265.0	273.0	295.2	315.6	325.2	342.7	355.1

Table 3. Result of Probability Precipitation using Nonparametric Frequency Analysis

Return Period Duration	Probability Precipitation of Return Period(mm)									
	2	5	10	25	30	50	80	100	150	200
1 hour	30.0	39.5	44.3	49.8	50.5	51.9	53.0	53.4	54.1	54.6
6 hour	69.0	93.0	108.4	124.4	128.0	159.4	170.6	173.5	177.5	179.8
9 hour	82.6	113.7	131.4	155.7	162.4	214.2	227.2	230.5	235.1	237.7
12 hour	92.5	125.4	148.9	173.9	178.6	237.3	252.1	255.9	261.1	264.2
18 hour	108.2	146.6	180.6	218.7	226.1	255.2	270.7	274.9	280.8	284.3
24 hour	119.2	165.5	204.1	245.6	254.1	271.2	281.5	285.4	291.4	295.1
48 hour	143.2	198.4	239.1	271.3	275.9	286.8	295.1	298.7	304.7	308.6

매개변수를 이용하였다. 분포형별로 실제 강우 자료와의 적합성을 판단하기 위해 χ^2 검정, K-S 검정, CVM 검정 및 PPCC 검정을 통해 적합도 검정을 수행한 결과에서 GEV 분포형과 Gumbel 분포형의 적합도가 가장 뛰어난 것으로 분석되었다. 따라서 한국확률강우량도(2000)에서 추천하고 있는 Gumbel 분포형을 최적 분포형으로 선정하여 확률강우량을 산정하였다. 다음의 Table 2는 Gumbel 분포형을 이용하여 산정한 재현기간별 지속시간별 확률 강우량이다.

3.2.2 비매개변수적 지점빈도해석

대상자료에 대한 모집단의 분포형을 정확히 파악할 수만 있다면 매개변수적 방법은 가장 효율적이고 정확한 결과를 제시할 수 있을 것이다. 그러나 실제 관측자료에 대한 정확한 모집단 분포형을 파악하기에는 어려움이 있다. 그러나 비매개변수적 방법은 모집단에 대한 분포형의 가정이 필요 없다는 점에서 매개변수적 빈도해석의 어려움을 해결할 수 있다. 비매개변수적 방법이 매개변수적 방법이 갖고 있는 모든 단점들을 해결할 수 있는 것은 아니지만, 적어도 위에서 언급한 매개변수적 빈도해석의 어려운 점들을 해결할 수 있다는 점에서 수문해석시 비매개변수적 방법이 하나의 대안으로 제시될 수 있을 것이다. 다음의 Table 3은 앞에서 설명한 Modified Cauchy 핵함수를 이용한 확률 강우량 산정

결과로 광역폭의 결정은 위에서 제시한 SJPI 기법을 이용하여 확률밀도함수(pdf)와 누적분포함수(cdf)를 해석하였다.

3.3 강우 자료의 동질성 검정 결과

다음 Figs 1~6은 대상 지점들의 강우 자료를 이용하여 지역빈도해석을 수행하기에 앞서 강우자료의 지역적인 동질성을 파악하기 위해 1시간, 12시간, 24시간의 강우자료군의 L-CV(Variation), L-CS(Skewness) 및 L-CK (Kurtosis)를 산정하여 도시한 결과이다.

불일치 척도를 분석하기 위해서 각 지속시간 및 지점별로 불일치 척도인 $D(i)$ 를 산정하여 다음 Table 4에 나타내었으며, 이질성 척도(H)를 산정하여 Table 5에 정리하였다.

지역빈도해석 대상 유역의 자료들에 대한 이상치의 여부를 판단하기 위해 각 유역별로 표본 L-모멘트비를 산정하여 불일치척도 $D(i)$ 를 산정한 결과에서, 대상 유역 내 지점자료들에 대한 $D(i)$ 는 모두 3.0보다 작은 값을 나타내어 모든 자료를 해석대상으로 하였다. 또한 각 유역에 대하여 이질성척도를 분석한 결과는 다음과 같으며, H_1, H_2, H_3 모두 Hosking과 Wallis(1997)의 기준 $H < 1$ 을 만족하므로 동질한 지역으로 간주할 수 있다.

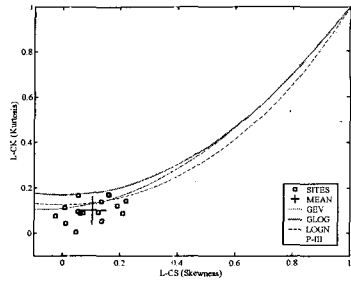


Fig. 1. L-CK & L-CS(1 hr)

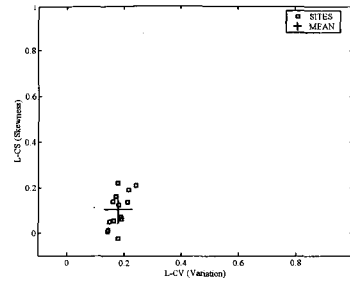


Fig. 2. L-CS & L-CV(1 hr)

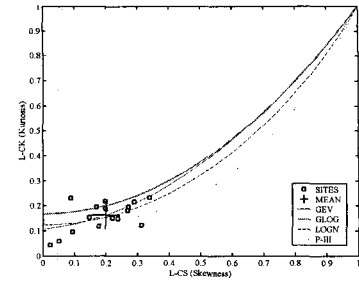


Fig. 3. L-CK & L-CS(12 hr)

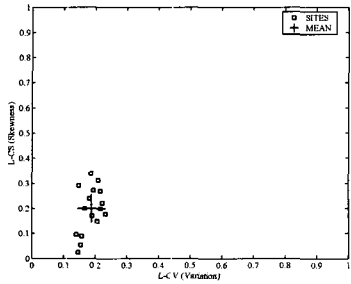


Fig. 4. L-CS & L-CV(12 hr)

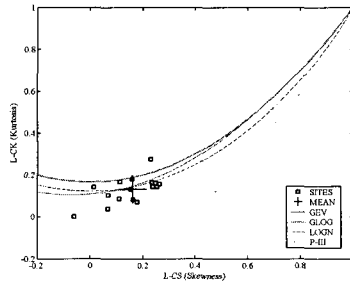


Fig. 5. L-CK & L-CS(24 hr)

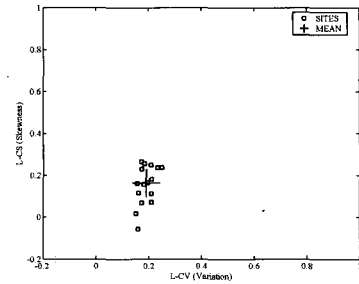


Fig. 6. L-CS & L-CV(24 hr)

분석프로그램 : Flood Frequency Analysis, 2000.

Table 4. Result of D(i) for each duration data

Station \ Duration	D(i)						
	1 hr	6 hr	9 hr	12 hr	18 hr	24 hr	48 hr
Chupungryeong	1.51	0.05	0.22	0.27	0.35	0.41	0.48
Gumi	1.67	1.05	1.40	1.69	1.85	1.42	0.86
Guchang	0.25	0.35	0.31	0.30	0.30	0.03	0.45
Chungju	1.66	1.55	1.18	1.14	0.69	1.04	1.63
Daejeon	0.19	0.56	0.29	0.58	0.51	1.06	1.43
Daegu	0.16	0.50	0.81	0.68	0.53	0.51	0.37
Kumsan	1.36	0.40	1.13	1.49	1.84	1.09	1.01
Innsil	0.88	0.72	1.89	1.60	1.07	0.43	0.11
Namwon	0.44	0.01	0.33	0.38	0.33	0.54	1.10
Jangsu	1.22	1.13	1.10	0.75	0.89	1.58	0.71
MoonKyung	1.07	2.42	1.93	2.05	1.11	0.67	0.60
Uiseong	0.89	0.60	1.25	0.58	2.41	2.30	0.71
Youngcheon	0.94	1.36	0.96	2.26	1.31	1.38	2.22
Hapcheon	0.77	1.11	0.83	0.41	0.43	0.72	1.64
Milyang	2.21	1.25	0.32	0.53	1.23	1.08	1.29
Sancheong	0.77	2.92	2.05	1.29	1.15	1.73	1.38

Table 5. Result of heterogeneity for regional frequency analysis

Duration	STANDARDIZED TEST VALUE H(1)	STANDARDIZED TEST VALUE H(2)	STANDARDIZED TEST VALUE H(3)
1 hour	0.75	-0.42	-1.23
6 hour	0.56	-0.87	-1.90
9 hour	0.36	-1.00	-2.16
12 hour	0.07	-0.58	-1.61
18 hour	0.48	-0.08	-1.10
24 hour	0.37	-0.34	-0.92
48 hour	-0.29	-0.34	-0.93

3.4 매개변수적 지역빈도해석의 확률 강우량 산정

본 연구에서는 기상청 관할 16개 지점의 강우관측기록을 이용하여 매개변수적인 지역빈도해석으로 Hosking의 L-모멘트 기법과 지수홍수법(Index Flood)을 적용하여 확률 강우량을 추정하였다.

3.4.1 L-모멘트 법

동질성을 갖는 한 지역 내에 있는 여러 지점들에 가장 적합한 확률 분포형을 선정하기 위해 적용 분포형의 적합성 척도를 분석하였다. 적용 분포형은 General Logistic 분포형, General Extreme Value 분포형, General Normal 분포형, Pearson Type III 분포형, Gen. Pareto 분포형을 이용하였으며, 분포형별 적합성 척도는 Table 6에 제시하였다. Table 6에서 적합성 척도의 임계값은 1.64이므로 General Extreme Value 분포형이 본 연구의 대상 지점들에 가장 적합성이 뛰어난 것으로 분석되었다.

대상 지점들의 강우 자료를 이용하여 동질성과 이질성 및 분포형과의 적합성을 검토한 결과 강우 자료들 간의 동질성은 지역빈도해석의 장점을 살려 확률 강우량을 산정하는데 적합한 것으로 분석되었다. 따라서 Hosking이 제안한 L-모멘트 기법에 의해 추정된 매개변수를 이용하여 최적 분포형으로 선정된 General Extreme Value 분포형에 적용시켜 재현기간별 지속시

간별 확률 강우량을 추정하여 Table 7에 제시하였다.

3.4.2 지수홍수법

본 연구에서는 지수홍수법(Index Flood)기법을 이용하여 지역빈도해석을 수행하였다. 적용 확률 분포형은 L-모멘트 기법과 동일하게 GEV 분포형을 적용하였으며, Flood Frequency Analysis(2000)의 빈도해석 프로그램을 이용하여 Index Flood 기법에 의한 지역빈도 확률 강우량을 산정하였다. FFA는 MatLab 프로그램을 기반으로 개발되었고, 총 13개의 확률분포형을 적용할 수 있으며, 모멘트법, 최우도법, 확률 가중 모멘트법으로 매개변수를 추정하고, χ^2 검정, K-S검정을 수행할 수 있다. 다음 Table 8는 지수홍수법을 이용하여 확률 강우량을 산정한 결과이다.

3.5 핵함수를 이용한 지역빈도해석

본 연구에서는 L-모멘트 기법에 의해 동질성이 확보된 지점을 대상으로 변동핵밀도함수인 Modified Cauchy 핵함수를 이용하여 Table 9와 같이 확률 강우량을 산정하였다. 또한 변동핵밀도함수를 적용하여 구한 확률밀도함수와 누가확률밀도함수를 Figs. 7~13에 도시하였으며, 추풍령 지점의 자료만을 이용하여 비매개변수적 지역빈도해석을 수행하여 산정한 확률밀도함수와 같이 도시하여 비교하였다.

Table 6. Goodness of fit measures of distribution

Dist.	General Logistic		General Extreme Value		General Normal		Pearson Type III		Gen. Pareto	
	L-KS	Z-value	L-KS	Z-value	L-KS	Z-value	L-KS	Z-value	L-KS	Z-value
1 hour	0.178	3.130	0.131	0.050	0.133	0.190	0.127	-0.260	0.036	-6.240
6 hour	0.199	0.620	0.162	-1.310	0.154	-1.740	0.136	-2.660	0.076	-5.700
9 hour	0.202	0.440	0.166	-1.390	0.156	-1.860	0.137	-2.820	0.081	-5.610
12 hour	0.201	0.520	0.164	-1.360	0.155	-1.810	0.136	-2.750	0.079	-5.660
18 hour	0.195	1.040	0.155	-1.080	0.149	-1.430	0.134	-2.270	0.068	-5.820
24 hour	0.191	1.830	0.150	-0.520	0.145	-0.800	0.132	-1.580	0.061	-5.670
48 hour	0.197	1.210	0.159	-0.850	0.151	-1.260	0.135	-2.160	0.073	-5.510

Table 7. Result of probability precipitation by regional frequency analysis using L-moment

Return Period	Probability Precipitation of Return Period(mm)									
	2	5	10	25	30	50	80	100	150	200
1 hour	36.4	47.6	54.5	62.5	64.1	68.1	71.7	73.3	76.2	78.2
6 hour	77.4	102.6	119.9	142.7	147.3	160.3	172.4	178.2	188.8	196.6
9 hour	90.7	121.1	142.3	170.4	176.2	192.3	207.6	214.9	228.4	238.4
12 hour	101.0	135.1	158.8	190.1	196.4	214.2	231.0	239.1	253.8	264.7
18 hour	117.3	157.1	184.1	218.7	225.6	244.8	262.7	271.2	286.5	297.8
24 hour	129.1	173.2	202.3	239.2	246.5	266.6	285.0	293.7	309.4	320.8
48 hour	153.8	204.9	239.8	285.2	294.3	319.8	343.6	355.0	375.6	390.9

Table 8. Result of probability precipitation by index flood

Return Period / Duration	Probability Precipitation of Return Period(mm)									
	2	5	10	25	30	50	80	100	150	200
1 hour	36.6	47.6	54.1	61.7	63.1	66.9	70.1	71.6	74.2	76.0
6 hour	77.6	102.3	119.3	141.4	145.9	158.4	170.1	175.7	186.0	193.4
9 hour	90.9	120.7	141.5	169.0	174.5	190.2	205.0	212.1	225.3	234.7
12 hour	101.3	134.8	158.0	188.4	194.5	211.8	228.0	235.8	250.1	260.4
18 hour	117.6	156.9	183.1	216.6	223.2	241.7	258.7	266.7	281.5	291.9
24 hour	129.6	172.9	201.3	236.7	243.6	262.8	280.2	288.4	303.3	313.8
48 hour	154.2	204.4	238.5	282.5	291.3	315.9	338.7	349.6	369.6	383.9

Table 9. Result of probability precipitation by regional frequency analysis using kernel density function

Return Period / Duration	Probability Precipitation of Return Period(mm)									
	2	5	10	25	30	50	80	100	150	200
1 hour	36.2	48.2	55.6	65.3	66.9	71.1	74.5	75.9	78.1	79.7
6 hour	75.7	102.7	126.8	148.2	152.5	170.7	187.6	191.6	198.7	203.4
9 hour	88.8	121.8	147.1	177.7	183.7	203.3	222.6	230.0	245.4	251.5
12 hour	99.1	137.5	162.1	196.3	204.4	229.0	251.1	260.5	271.4	277.6
18 hour	115.1	159.0	187.6	222.6	230.4	265.3	284.0	290.6	304.4	314.5
24 hour	126.8	174.6	203.3	241.3	248.5	281.0	300.5	309.6	332.3	362.2
48 hour	152.0	206.3	247.8	297.3	305.3	324.7	340.0	349.9	376.0	387.5

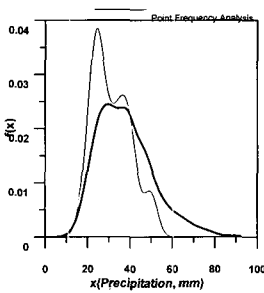


Fig. 7. Comparison of PDF & CDF(1 hr)

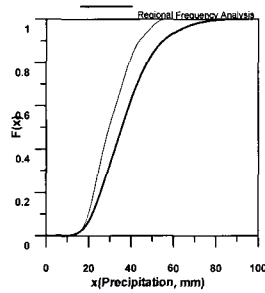


Fig. 8. Comparison of PDF & CDF(6 hr)

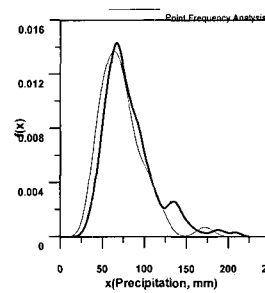


Fig. 9. Comparison of PDF & CDF(9 hr)

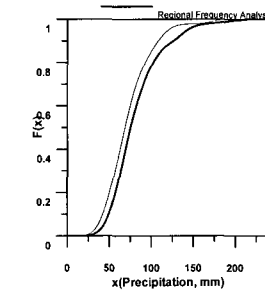


Fig. 10. Comparison of PDF & CDF(12 hr)

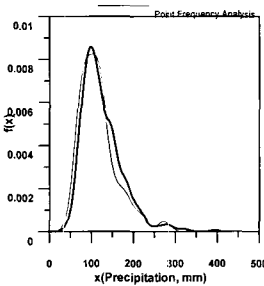


Fig. 11. Comparison of PDF & CDF(18 hr)

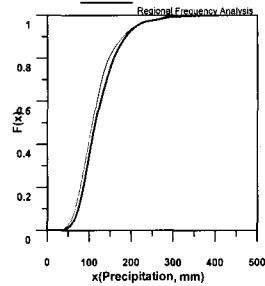


Fig. 12. Comparison of PDF & CDF(24 hr)

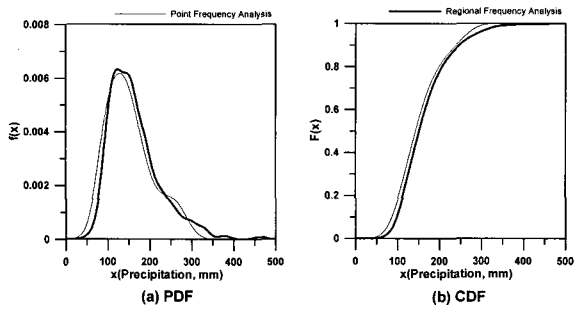


Fig. 13. Comparison of PDF & CDF(48 hr)

Figs. 7~13에서 보는 바와 같이, 추풍령 지점의 자료만 이용하여 비매개변수적 빈도분석을 수행한 결과와 동질성이 확보된 16개 지점의 강우 자료군에 변동해밀도함수를 이용하여 빈도분석을 수행한 결과의 확률밀도함수는 그리 큰 차이가 발생하지 않는 것으로 판단되

며, 지점빈도분석에서는 자료의 수가 작고 자료의 크기가 서로 많이 떨어져 있는 경우에 발생하는 다중 첨두 현상을 다소 보완하여 주는 것으로 판단된다.

3.6 각 기법별 확률강우량 비교

본 연구에서는 추풍령 지점을 대상으로 매개변수적 지점빈도분석과 비매개변수적 지점빈도분석을 수행하였으며, 추풍령 외 15개 지점을 추가하여 Hosking의 L-모멘트 기법과 Index Flood 기법을 적용한 지역빈도분석을 실시하였다. 마지막으로 기존의 지역빈도분석에 비매개변수적 빈도분석 기법을 접목하여 Kernel Density Function을 이용한 지역빈도분석을 수행하여 확률 강우량을 산정하였다. 다음 Figs. 14~20에 지속시간별로 각 기법에 의해 산정된 확률 강우량을 재현기간에 따라 도시하였다.

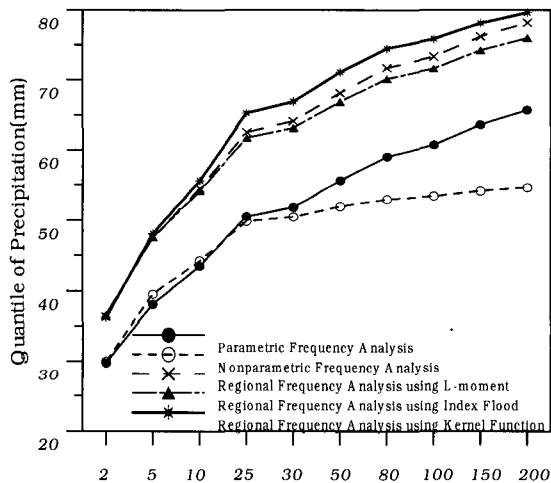


Fig. 14. Comparison of probability precipitation(1 hr)

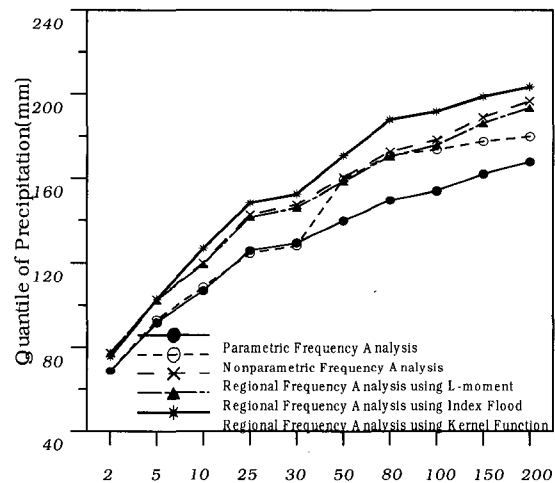


Fig. 15. Comparison of probability precipitation(6 hr)

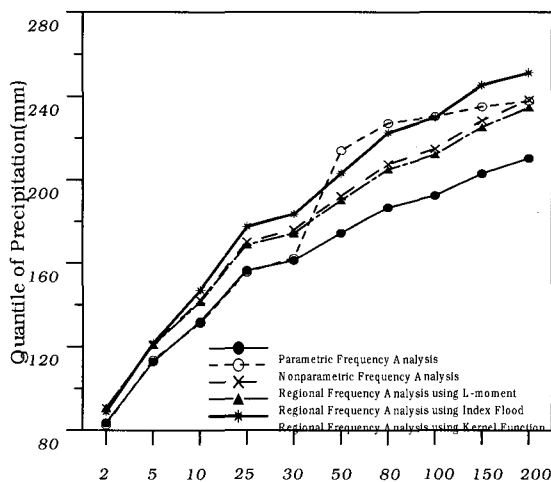


Fig. 16. Comparison of probability precipitation(9 hr)

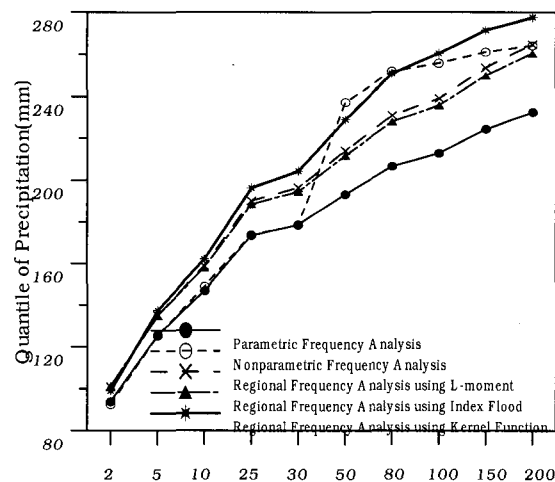


Fig. 17. Comparison of probability precipitation(12 hr)

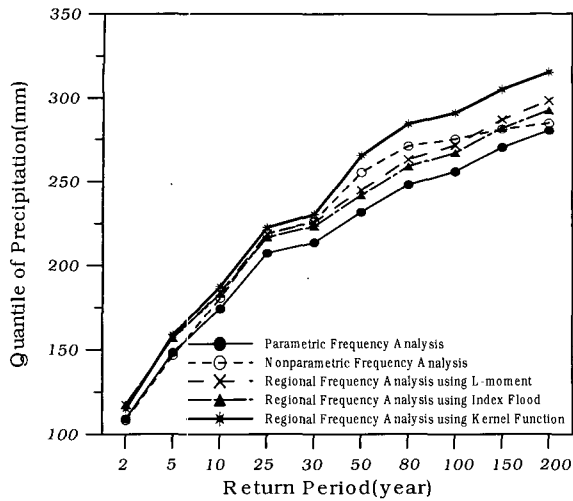


Fig. 18. Comparison of probability precipitation(18 hr)

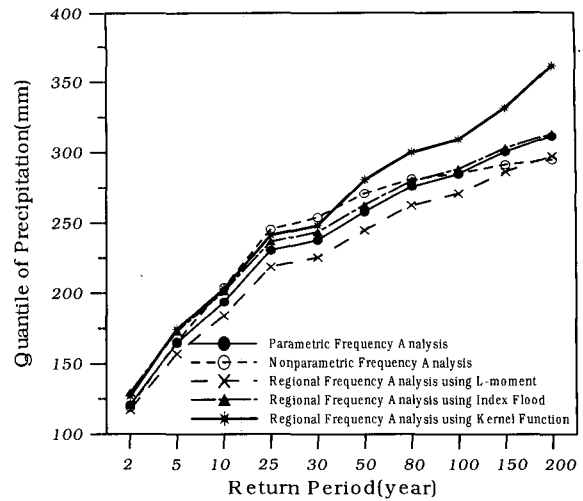


Fig. 19. Comparison of probability precipitation(24 hr)

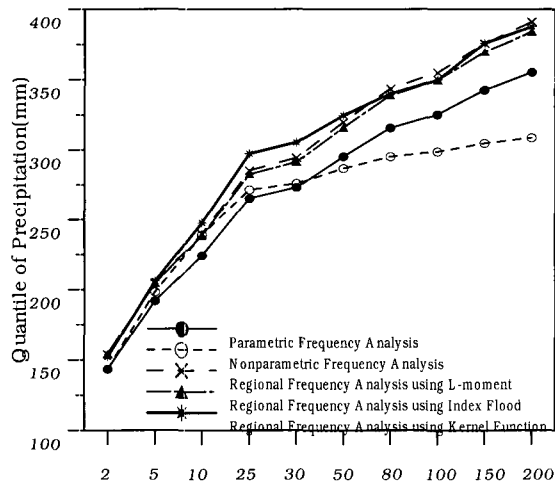


Fig. 20. Comparison of probability precipitation(48 hr)

본 연구에서는 지점빈도해석과 지역빈도해석을 동시에 수행하여 산정된 확률 강우량을 비교하고, 핵밀도함수를 지역빈도해석에 적용하여 확률강우량을 산정하였

다. 지속시간 1, 6, 9, 12, 18, 24, 48시간 자료를 이용하여 확률강우량을 산정하여 비교해본 결과, 변동핵밀도함수를 이용한 지역빈도해석에 의한 확률강우량이 전지속시간에 걸쳐 가장 큰 경향을 나타내었다. 또한, 추풍령 지점만을 이용하여 비매개변수적 지점빈도해석을 수행한 결과에서는 지속시간 6, 9, 12시간에서 재현기간 30년과 50년 사이에서 확률 강우량이 급격하게 증가하는 현상을 살펴 볼 수 있다. 그러나 변동핵밀도함수를 이용하여 확률 강우량을 추정하였을 때는 재현기간이 증가할수록 확률 강우량도 선형적인 증가 경향을 보여주고 있으며, 지속시간 1시간과 48시간에서 비매개변수적 지점빈도해석의 결과는 재현기간이 커질수록 확률 강우량이 수렴하는 경향을 보이고 있다. 그러나 지역빈도해석을 수행하였을 때에는 이 같은 문제점을 해결해주는 것으로 판단된다. 다음 Table 10에 지속 시간 24시간 강우량 자료를 대상으로 각 기법별로 빈도해석을 수행한 결과를 정리하였다.

Table 10. Result of probability precipitation(24 hr)

Techniques		Return period	Probability Precipitation of Return Period(mm)									
			2	5	10	25	30	50	80	100	150	200
Point Frequency Analysis	Parametric		120.6	164.6	193.8	230.6	237.8	257.9	276.3	285.0	300.8	312.0
	Nanparametric		119.2	165.5	204.1	245.6	254.1	271.2	281.5	285.4	291.4	295.1
Regional Frequency Analysis	L-moment		129.1	173.2	202.3	239.2	246.5	266.6	285.0	293.7	309.4	320.8
	Index Flood		129.6	172.9	201.3	236.7	243.6	262.8	280.2	288.4	303.3	313.8
	Kernel Density Function		126.8	174.6	203.3	241.3	248.5	281.0	300.5	309.6	332.3	362.2

4. 결 론

본 연구에서는 확률강우량을 산정하는데 있어 필수 과정인 빈도해석에 대해 분석하였다. 빈도해석은 대상 지점의 지속시간별 연최대강우량 자료를 추출하여 매개변수적 방법과 비매개변수적 방법을 통한 지점빈도해석을 수행하였으며 L-모멘트 기법을 통하여 동질성이 확보된 지점자료를 모아서 Index Flood 기법과 L-모멘트 기법에 의해 지역빈도해석을 통한 확률강우량을 산정하였다. 또한, 자료의 기간이 짧아 대부분의 확률강우량을 외삽해야하는 국내 수문자료의 현실을 극복하고 확률분포형을 가정해야하는 매개변수적 방법의 단점과 다중침투 등의 문제점을 해결할 수 있도록 핵함수를 지역빈도해석에 도입하여 비매개변수적 지역빈도해석을 수행하였다.

지점빈도해석 중 매개변수적 기법은 확률가중모멘트법을 통해 매개변수를 추정하고 Gumbel 확률분포형에 강우자료를 적합시켜 빈도계수법으로 확률강우량을 추정하였다. 비매개변수적 기법은 다양한 핵밀도함수 중에서 Modified-Cauchy 핵함수를 사용하여 확률강우량을 산정하였다. 매개변수적 기법과 비매개변수적 기법에 의해 산정된 확률강우량은 30년 이하의 재현기간에서는 비슷한 추정치를 나타내나, 몇몇 지속시간에서 비매개변수적 기법에 의해 산정된 확률강우량이 재현기간 30년과 50년 사이에서 크게 증가하는 것으로 분석되었다. 지속시간 1시간과 48시간에서 재현기간의 증가에 따른 확률강우량의 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 대상 강우자료가 가지고 있는 통계적 특성에 기인하는 것으로 사료된다.

지역빈도해석은 동질성이 확보된 지점의 지속시간별 강우자료를 이용하여 Hosking의 L-모멘트 기법과 Index Flood 기법을 적용하여 확률강우량을 산정하였다. 산정 결과 두 기법 모두 비슷하게 산정되었으며, L-모멘트 기법에 의해 산정된 확률강우량이 다소 큰 것으로 나타났다.

마지막으로 핵밀도함수를 적용하여 비매개변수적 지역빈도해석을 수행하였다. 분석결과 기존의 다른 기법에 의해 산정된 결과에 비해서 다소 크게 산정되는 것으로 분석되었다.

핵밀도함수를 이용한 비매개변수적 지역빈도해석은 어떠한 분포형의 가정이 필요없이 관측 자료가 나타내는 분포형을 자료의 확률밀도함수로 간주하기 때문에 기존의 매개변수적 빈도해석의 어려움을 극복할 수 있다. 또한, L-모멘트를 이용하여 동질성이 확보된 지점

의 지속시간별 강우자료를 모아서 해석을 수행하기 때문에 지역빈도해석의 장점을 그대로 가질 수 있다. 따라서 지역빈도해석에 핵밀도 함수를 적용하여 확률강우량을 산정하는 기법은 매개변수적 빈도해석이 확률분포형을 가정함으로써 파생하는 문제점을 극복하고, 동질성 검정을 통해 강우 자료를 증가시킴으로써 지점빈도해석의 한계를 해결 할 수 있으므로, 변동핵밀도함수를 적용한 지역빈도해석이 확률 강우량을 산정하는 보다 합리적인 대안이 될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 이상기후대비시설기준강화 연구단에 의해 수행되는 2005 건설기술기반구축사업(05-기반구축-D03-01)에 의해 지원되었습니다.

참 고 문 헌

- 건설교통부 (2000). 한국확률강우량도.
- 김지훈, 김경덕, 허준행 (2004). "Index Flood법과 Netmax법을 이용한 지역빈도해석의 비교 연구.", 한국수자원학회 학술대회지 초록집, 한국수자원학회, pp. 166.
- 류정식, 이순혁, 맹승진 (2004). "지점 및 지역빈도분석에 의한 설계강우량의 추정.", 한국수자원학회 학술대회지, 한국수자원학회, pp. 55.
- 남우성, 김경덕, 허준행 (2003). "Netmax 자료를 이용한 지역 빈도 해석.", 한국수자원학회 학술대회지 학술발표회 논문집(I), 한국수자원학회, pp. 58-61.
- 남우성, 허준행 (2005). "지역빈도해석을 위한 수문학적 유사성 척도의 성능 평가.", 대한토목학회 정기학술대회 논문집, 대한토목학회, pp. 1433-1436.
- 윤태훈 (1997). 응용수문학. 청문각, pp. 673-679.
- 이동진, 허준행 (2001). "L-모멘트법을 이용한 한강유역 일강우량 자료의 지역빈도해석.", 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 34권, 제 2호, pp. 119-130.
- 차영일, 문영일, 성영두, 정의택 (2001). "미계측유역 지역빈도해석에서 Kernel Regression에 의한 확률 홍수량 산정.", 한국수자원학회 학술발표회 논문집(I), 한국수자원학회, pp. 188-193.
- 차영일, 김범순, 문영일 (2006). "극치값 추정에 적합한 비매개변수적 핵함수 개발.", 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 39권, 제 6호, pp.187-194.
- 허준행, 이영석, 남우성, 김경덕 (2004). "한강유역에 대

- 한 강우지역빈도해석의 적용성 연구.", **한국수자원 학회 학술대회지 초록집**, 한국수자원학회, pp. 23.
- Adamowski, K. (1985). "Nonparametric kernel estimation of flood frequency", *Water Resources Research*, Vol. 21, No. 11, pp. 1585-1590.
- A. Ramachandra Rao, Khaled H. Hamed. (2000). *Flood Frequency Analysis*. CRC Press LLC, N.W., U.S.
- Benson, M. A. (1952). *Characteristics of Frequency Curves Based on a Theoretical 1,000 Year Record in Ref. 7*. U.S.G.S., Open File Report, pp. 57-74.
- Bowman, A. W. (1985). "A comparative study of some kernel-based nonparametric density estimators", *Journal of Statistical Computing and Simulation*, Vol. 21, pp. 313-327.
- Breiman, L., W. Meisel, and Purcell, E. (1977). "Variable kernel estimates of multivariate densities", *Technometrics*, Vol. 19, No. 2, pp. 135-144.
- Chow, V.T. Maidment, D.R. and Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York, NY.
- Darlymple, T. (1960). *Flood-Frequency Analyses*, Water Supply Paper 1543-A, U. S. Geological Survey, Reston, USA.
- Devroye and Györfi. (1985). *Nonparametric density estimation*, John Wiley, New York.
- Institute of Hydrology (1999). *Flood estimation handbook*. Wallingford, UK.
- Haan, C. T. (1977). *Statistical methods in hydrology*. Iowa State University Press. Ames. Iowa.
- Hall, P., Marron, J. S. (1987). "Estimation of integrated squared density derivatives", *Statist. Probab. Lett.*, Vol. 6, pp. 109-115.
- Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis. (1993). "Some Statistics useful in Regional Frequency Analysis", *Water Resources Research*, Vol. 29, No. 2, pp. 271-281.
- Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis. (1997). *Regional Frequency Analysis*, Cambridge University Press.
- Jones, M. C., Marron, J. S., Sheather, S. J. (1996). "A Brief Survey of Bandwidth Selection for Density Estimation", *J. of the American Statistical Asso.*, Vol. 91, No. 433, pp. 401-407.
- Lall, U., Moon, Y. I., and Bosworth, K. (1993). "Kernel flood frequency estimators: bandwidth selection and kernel choice", *Water Resources Research*, Vol. 29, No. 4, pp.1003-1015.
- Moon, Y. I., and Lall, U. (1994). "Kernel Quantile Function Estimator for Flood Frequency Analysis", *Water Resources Research*, Vol. 30, No. 11, pp. 3095-3103.
- Moon, Y. I., and Lall, U., and Bosworth, K. (1993). "A comparison of tail probability estimators", *Journal of Hydrology*, Vol. 151, pp. 343-363.
- Rosenblatt, M. (1956). "Remarks on some nonparametric estimates of a density function", *Ann. Math. Statist.*, Vol. 27, pp. 832-837.
- Sheather, S. J. (1986). "An Improved Data-Based Algorithm for Choosing the Window Width when Estimating the Density at a Point", *Computational Statistics and Data Analysis*, Vol. 4, pp. 61-65.
- Sheather, S. F., and Jones, M. C. (1991). "A reliable data-based band-width selection method for kernel density estimation", *J. Roy. Statistical Soc., B.*, Vol. 53, pp. 683-690.
- Woodroffe, M. (1970). "On choosing a delta-sequence", *Ann. Math. Statist.*, Vol. 41, pp. 1665-1671.

(논문번호:06-59/접수:2006.05.25/심사완료:2006.09.25)