〈論 文〉

韓國 確率降雨量圖 作成을 위한 水文解析技法 開發

A Programming of Hydrologic Analysis Procedure for the Probable Isohyetal Chart in Korea

李 元 煥*
Lee, Won Hwan

Abstract

The present study is to develop the hydrologic analysis procedure for the purpose of drawing the probable isohyetal charts in Korea. In the establishment of optimal distribution types, the eleven continuous probability distribution types included the transformed variable normal distribution (Y-k method) is applied to the annual maximum rainfall depth series in each duration. The optimal selection of distribution is done by Chi-square test and Kolmogorov-Smirnov test in the equi-class interval.

The application of probability distribution is checked by the fitting on four durations of annual maximum rainfall data(10 min., 60 min., 6 hrs., and 24 hrs.) at four meteorological stations in Korea (Seoul, In Cheon, Bu San, and Kwang Ju). The properties in hydrologic application of the considered distribution and the hydrologic characteristics of the applied rainfall data groups are investigated from the results of this study.

要 旨

本 硏究는 우리나라의 確率降雨量圖 作成을 위한 水文解析技法을 開發提示하는 것을 內容으로 하고 있다. 降雨量系列의 適正分布型檢定過程에서는 變數變換正規分布(Y-k 法)등 11개의 連續確率分布型을 적용하였으며, 各 持續期間別 年最大降雨量資料에 대한 水文解析을 실시하였다. 最適分布型 選定을 위한 適合度檢定은 χ^2-test와 Kolmogorov-Smirnov test에 의거하였으며 階級區間은 等間隔으로 取하였다.

서울, 인천, 부산 및 광주지점의 降雨持續期間 10分, 60分, 6時間 및 24時間에 대한 年最大 降雨量에 各種 確率分布를 適用하고, 分布型의 適用上 特性과 降雨量 資料集團의 特性을 고려하여 最適確率分布型을 設定하였다.

이와같은 解析技法으로 設定된 最適確率分布型은 從前의 方法으로 얻어진 適正分布型 보다도 資料面에서 擴張된 資料集團일 뿐아니라 擴大檢定된 合理的인 結果라고 생각된다.

1. 槪 說

급격한 산업발달과 도시화 현상으로 洪水防災 및 水資源 開發등을 위한 각종 水工構造物의 計劃·設計 및 維持·管理에 있어서 보다 철저한 施策이 긴요하게 되었다. 合理的인 確率降雨量은 이를 위한 기본적인 자료이다. 이미 確率降雨强度式이 提示되어 있는 지역의 水工計劃에는 確率雨降量 算定에 문제가 없으나 未計測地域의

* 延世大學校 工科大學 敎授 工博

水工計劃에 있어서는 確率降雨量의 採擇에 문제가 대두된다. 만일에 確率降雨量圖가 제시되어 있다면 어느 지역에서라도 水工計劃에 필요한 確率降雨量을 실용적으로 손쉽게 얻을 수 있을 것이다.

이미 美國에서는 1930年代에 Yarnell에 의하여 美國全域의 短時間 確率降雨强度圖가 作成되었으며 1961年 Hershfield에 의하여 長時間 持續期間의 降雨量에 대해서도 제작되어 현재까지도 이용되고 있다.[1] 獨逸에서는 1940年에 Reinhold가, 日本에서는 1970年代 初에 岩井·石黑[2]가 確率降雨量分布圖를 作成하여 오늘날까지도 유용하게 이용하고 있다. 우리나라에서는 1977年 筆者가 Y-k法을 적용하여 年降雨量과 日最大降雨量에 대한 確率雨降量圖를 作成한 바 있다.[3]

確率降雨量圖의 作成을 위해서는 最適確率分布型의 選定과 確率降雨量의 算定이 가장 중요하고 어려운 과제이다. 사실 降水量의 分布樣相은 대단히 복잡한 自然現象으로서 時空的인 變動性이 甚한 것으로 알려져 있다.[11] 이와같은 降水事象에 대한 理論的 確率分布 模型들이 여러가지 함수형태로 제안되어있으며 對數正規分布, gamma分布 및 kappa分布型이 降水事象에 잘 맞는 것으로 밝혀져있다.[4]

그러나, 이들 確率分布型들을 적용할 경우에는 우선 空間的으로 잘 分布된 雨量觀測網을 통하여 資料의 正常性을 나타낼 수 있을만큼 충분히 오랫동안 관측된 우량자료로부터 각 分布型의 適合性 檢定을 실시하여 적용성 여부를 결정하는 것이 바람직하다.

우리나라의 降雨量에 대해서는 變數變換 正規分布가 잘 맞는 것으로 알려져 있으며 이에 바탕을 둔 Y-k法에 의한 確率降雨量 算定이 오늘에 이르기까지 널리 이용되어 왔다.[5][6][7]

確率降雨量 算定을 위해서는 自記雨量資料의 확보가 무엇보다도 중요한 과제이다. 이제 우리나라에 있어서도 30年 이상의 自記雨量記錄紙를 보유하고 있는 地點이 11개소로 늘어났으며 20年 이상 확보된 지점은 15개소, 17年 이상은 21개 地點에 달하고 있다.[9] 이와같은 시점에서 確率降雨量圖 作成을 위한 선결 요건인 確率分布型 設定技法과 더불어 水文解析 技法의 새로운 개발이 요망된다고 하겠다.

따라서 本 硏究에서는 이미 우리나라에서 일반적으로 사용하고 있는 變數變換正規分布를 포함한 3變數對數正規分布, Type I 極値分布, 3變數 gamma分布型인 Pearson Type Ⅲ와 Log-Pearson Type Ⅲ分布 및 3變數 kappa分布를 우리나라의 降雨事象에 最適分布型으로서 적합한지 여부를 밝히고 確率雨降量을 산정함으로써 確率降雨量圖作成을 위한 기초자료를 제시할 수 있게 하고자 한다.

本硏究에서 채택된 11개 分布型의 적용성 검토는 分量關係로 서울, 인천, 부산 및 광주等 4개 自記雨量觀測地點의 降雨持續期間 10分, 60分, 6時間 및 24時間 年最大降雨量資料에 限定하여 실시하였다.

2. 確率降雨量圖

2.1 確率降雨量 算定法

確率降雨量을 算定하는 方法은 圖式的 方法과 解析的 方法으로 크게 區分할 수 있다. 圖式的인 方法은 간편하고 可視的이라는 장점을 지니고 있으나 사용자의 주관에 따라 確率降雨量값이 크게 좌우될 수 있으므로 工學的 設計라는 측면에서 잘 사용되지 않고 있다. 解析的 方法은 降雨事象에 대한 數學的 模型으로부터 각 再現期間別 確率降雨量을 산정하는 방법이다. 降雨量에 대한 數學的 模型은 주로 對數正規分布, gamma分布, kappa分布가 잘 맞는 것으로 알려져 있으나[4] 우리나라에서는 變數變換正規分布(Y-k法)가 가장 널리 사용되어 왔다.

2.2 作圖技法

確率降雨量圖의 作圖는 對象地域 全域에 걸쳐 충분한 密度로 잘 分布된 降雨量觀測地點의 地點確率雨降量을 基本資料로 하여 內挿法에 의해 실시한다. 컴퓨터에 의한 作圖技法으로는 Akima (1978)[8]에 의하여 개발된 ACM Algorithm 526이 等値線 作圖技法으로 제안되어 있으나 이 Algorithm을 確率降雨量圖의 作圖에 적용하는 문제는 本 硏究에서 다루지 않기로 한다.

3. 水文解析技法

3.1 基本資料의 蒐集 및 整理

水文解析에 사용되는 기본자료는 自記雨量記錄紙로부터 각 持續期間別 每年最大値를 적출하여야 한다.

20年間以上 계속 관측된 自記雨量 記錄은 중앙기상대 산하의 관측소에서 15個所[9]이며 건설부 산하에서는 69個所[10]에 이르고 있으나 10分間 單位의 短時間自記雨量記錄은 중앙기상대 산하의 資料만이 有用하다고 생각한다.

自記雨量觀測記錄중 결측되었거나 분실된 자료에 대해서는 旣發表된 論文의[5][6][21][22] Fourier Series, Trend Diagram, Mean Value Method 等에 의한 자료보완결과를 인용하였다.

3.2 基本資料의 解析節次

確率降雨量 算定을 위한 降雨量 資料가 正常性을 나타낼만큼 충분한 자료인지를 확인하여야 한다. 降雨量 資料의 統計年數는 移動平均値의 極値偏差의 백분율이 5%일 경우 20年, 2~3%일 경우에는 30年이다.[3] 正常性을 나타내는 자료에 대하여 각 分布型의 媒介變數를 推定하고 最適分布型을 선정하면 선정된 最適分布型에 대한 確率降雨量을 구할 수 있다.

3.3 資料解析 技法

우리나라의 確率降雨量 算定을 위한 水文解析技法으로 많이 이용되어온 Y-k 法에서는 χ^2-test에 의하여 最適分布型을 선정하고 確率降雨量을 산정하고 있다. 高[12](1980)는 2變數對數正規分布, 3變數對數正規分布, Type I 極値分布, Pearson Type III分布, Log-Pearson Type III分布를 日雨量의 地域頻度解析에 사용한 바 있다. 여기서는 標準誤差法에 의하여 分布型의 適合度 檢定을 실시하였다.

確率降雨量 算定時에 발생하는 誤差의 原因은 最適確率分布型의 設定이 잘못되어 발생하는 경우와 선정된 確率分布型의 標本資料集團의 결핍에 의한 그릇된 媒介變數推定으로 크게 分類할 수 있다.[13]

標準誤差法은 後者의 誤差原因만을 檢證하므로 資料의 定常性이 유지되는 경우 分布型 檢定基準으로 標準誤差法을 채택하는데는 무리한 점이 많으므로 오히려 χ^2-test에 의하여 최적분포형을 선정하는 것이 좋다고 생각된다.

媒介變數推定法에는 모멘트법, 最尤度法, 최소자승법 및 도식적인 방법이 있으나 媒介變數推定의 精度면에서 最尤度法이 가장 적합하고 그 다음으로 모멘트법, 최소자승법 및 도식적 방법의 순으로 볼 수 있다.[13] 그러나 最尤度法은 適用上에 있어서 다른 방법들보다 더 복잡하다는 단점이 있다.

3.4 新解析技法

本 硏究에서는 이미 개발되어 널리 사용되고 있는 Y-k 법과 아울러 11개의 분포형을 우리나라의 確率降雨量 算定에 適用하였으며 最適分布型의 設定은 χ^2-test와 Kolmogorov-Smirnov test에 의하여 실시하였다. 여기서 媒介變數推定은 最尤度法을 적용하였다.

1) 分布型檢定

本 硏究에서 채택한 確率分布型은 變數變換正規分布(X, log, 2-Root, 3-Root, 4-Root, 5 Root: NDYKM), 3變數對數正規分布(LN3PD), Type I 極値分布(EXT1D), Pearson Type III 分布(PT3D), Log-Pearson Type III (LPT3D) 및 3變數 kappa 分布(KAP3PD)이다.

正規分布의 確率密度函數는 式(1)과 같다.

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}} \quad \cdots\cdots\cdots(1)$$

여기서, μ와 σ는 母集團의 平均과 標準偏差이다. 式(1)에서 變量 x 대신에 各 變換値를 代入하면 變數變換正規分布이며 資料의 下部境界値 a를 도입하여 對數變換한 正規分布가 3變數對數正規分布이다. Type I 極値分布의 確率密度函數는 式(2)와 같고, 累加確率分布函數는 式(3)과 같다.

$$f(x)=\alpha e^{\{-\alpha(x-\gamma)-e^{-\alpha(x-\gamma)}\}} \quad \cdots\cdots\cdots(2)$$

$$F(x)=e^{-e^{-\alpha(x-\gamma)}} \quad \cdots\cdots\cdots(3)$$

여기서, α는 縮尺母數, γ는 位置母數이다. 3變數 gamma 分布인 Pearson Type III分布의 確率密度函數는 式(4)와 같고 α, β, γ는 각각 縮尺形狀 및 位置를 나타내는 母數이다.

$$f(x)=\frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)}\left\{\frac{x-\gamma}{\alpha}\right\}^{\beta-1}e^{-\left\{\frac{x-\gamma}{\alpha}\right\}} \quad \cdots(4)$$

式(4)에서 變數 x의 對數를 취하면 Log-Pearson Type III 分布의 確率密度函數가 된다.

3變數 kappa 分布는 Mielke(1973)[14][15]에 의하여 최초로 降雨資料에 적용된 바 있으며 그 確率密度函數는 다음과 같다.

$$f(x)=\begin{cases}\dfrac{\beta\theta}{\alpha}\left(\dfrac{x}{\alpha}\right)^{\theta-1}\left\{\beta+\left(\dfrac{x}{\alpha}\right)^{\beta\theta}\right\}^{-(\beta+1)/\beta}, & x>0\\ 0, & x\leq 0\end{cases} \quad (5)$$

여기서 α는 縮尺母數, β와 θ는 形狀母數로서 $\alpha>0$, $\beta>0$, $\theta>0$이다.

2) 媒介變數推定

媒介變數推定은 가장 신뢰할 만한 결과를 얻을 수 있는 방법으로 알려진 最尤度推定法에 의하였으나 적용하기는 그리 쉽지 않다. 최우도 추정법은 尤度函數의 對數를 취하여 각 媒介變數로 편미분한 값을 0으로 하는 媒介變數를 반복법에 의하여 推定하는 方法이다.

반복법에 있어서 Type I 極値分布는 초기치로서 모멘트법에 의한 α를 사용하였고 3變數 kappa 分布는 $\theta=1$을 초기치로 하였다. 반복법에서 각 매개변수의 변화폭이 0.0001 보다 작을 때 수렴된 것으로 간주하였다.

3) 最適分布型

각 確率分布型으로부터 最適分布型을 선정하기 위하여 χ^2-test와 Kolmogorov-Smirnov test를 병행하여 適合度 檢定을 실시하였다.[16] 階級區間 設定은 等間隔으로 하였으며 Sturges(1926)[17]의 식에 의하여 區間數를 결정하였다. χ^2-test는 全區間에 대한 適合度를 나타내는 것으로서 각 區間別適合度에 대한 정보는 알 수가 없다. 따라서 이와같은 문제를 해결할 수 있는 Kolmogorov-Smirnov test[13]를 적용함으로써 각 區間別 適合度 分析을 실시하였다.

χ^2-test와 Kolmogorov-Smirnov test의 有意水準은 5%로 하였다.

4) 確率降雨量

本 硏究에서 채택된 11개 분포형을 포함한 確率降雨量의 計算過程은 Fig. 1에서 알 수 있는 것과 같이 最尤度法을 적용하여 각 分布型의 媒介變數를 推定할 때 수렴되지 않았거나 수렴되었다고 하더라도 χ^2-test나 Kolmogorov-Smirnov test의 統計量이 有意水準 5%에 대하여

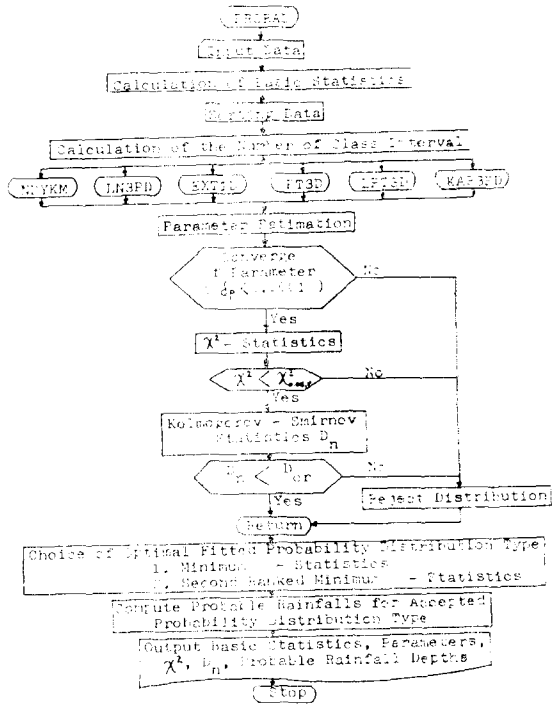

Fig. 1 Flow Chart of Probable Rainfall Depth Computation

기각한계를 벗어나면 그 分布型은 기각되는 것으로 하였다. 이상의 過程을 거쳐 채택된 각 분포형중에서 최소 χ^2값을 나타내고 있는 분포형과 두번째로 작은 χ^2값을 나타내고 있는 確率分布型을 선정하여 確率降雨量을 산정하고, 그 持續期間 前後의 再現期間別 確率降雨量과의 變動趨勢 또는 反轉與否등을 比較檢討하여 가장 적합하다고 판단되는 分布型을 最適確率分布型으로 確定하고 최종적인 確率降雨量을 산정한다.

4. 比較考察

4.1 適用例

本 硏究에서 고려하고 있는 각 分布型의 適用性을 檢討하기 위하여 서울, 인천, 부산 및 광주지점의 短時間 持續時間인 10分, 60分과 長時間 持續時間인 6時間 및 24時間에 대한 년 최대 降雨量資料를 각 연속확률분포형에 적용하였다. Table 1은 적용된 각 지점의 資料特性을 나타낸 것으로서 기왕의 觀測最大値로 볼때 서울이 다른 地點보다 훨씬 큰 降雨强度를 나타내고 있다.

Table 1 The Number of Rainfall Data and the Recorded Maximum Rainfall Depth Applicated Rainfall Data

Station	Recorded Years	Number of Data	Recorded Maximum Rainfall Depth (mm)			
			10min	60min	6hrs	24hrs
SEOUL	1915—1986	72	47.2	118.6	195.2	402.4
IN CHEON	1952—1986	35	24.0	98.0	186.2	280.1
BU SAN	1941—1986	46	25.0	88.4	221.5	283.0
KWANG JU	1940—1986	47	25.0	70.5	155.7	250.8

1) 適合度 檢定

적용된 지점들의 총 16개 資料集團에 대한 각 分布型의 適合度 檢定 結果는 Table 2와 같다. 最尤度法에 의한 媒介變數推定에 있어서 Log-Pearson Type Ⅲ分布型은 대부분 收斂되지 않았지만 收斂이 된 경우에는 양호한 適合性을 나타내고 있다. 媒介變數가 推定된 160개 경우중에서 χ^2-test에 의하여 27개가 棄却되었으며 Kolmogorov-Smirnov test에서는 모두 棄却限界 이내에 들어왔다. 有意水準을 α, 資料數를 n라 할때 Kolmogorov-Smirnov test의 棄却限界 D_α^n는 서울 $D_{80}^{0.05}=0.15$, 인천 $D_{35}^{0.05}=0.23$, 부산과 광주는 $D_{50}^{0.05}=0.19$가 된다.

分布型別 χ^2-test 결과를 보면 變數變換하지 않은 正規分布는 持續期間 10分을 제외한 대부분이 棄却되었으나 2變數對數正規分布와 3變數對數正規分布에서는 모두 棄却限界 이내에 들어왔고 다른 變數變換正規分布에서도 대부분 기각한계 이내에 들어왔다. 또한 變數變換하지 않은 降雨量 資料集團의 正規分布에 대한 χ^2-test 결과를 보면 持續期間 10分인 年最大 降雨量 資料의 χ^2統計量이 持續期間이 60分, 6時間 및 24時間인 年最大値降雨量의 χ^2統計量보다 크게 나타나 短時間인 10分 降雨量 資料集團이 長期間의 60分, 6時間 및 24時間 降雨量 資料集團보다 正規性이 强한 確率成分으로 이루어져 있음을 알 수 있다.

Phonsombat와 Leduc(1977)[18]이 태국의 140개 지점의 週間雨量을 gamma 分布, 2變數 kappa 分布 및 3變數 kappa 分布에 적용시켜본 결과 3變數 kappa 分布가 82개 지점에서 最適分布型으로 적합하다고 하였다. 3變數 kappa 分布를 우리나라의 4개 地點의 각 持續期間(10分, 60分, 6時間, 24時間)에 적용한 결과 4개의 資料集團에 있어서 最尤度法에 의한 媒介變數 推定이 不可能하였고 收斂된 경우는 모두가 棄却限界 이내에 들어오는 비교적 양호한 適合를 보여주고 있다.

2) 最適分布型의 選定

確率降雨量 算定을 위한 最適分布型은 適合度 檢定結果, Kolmogorov-Smirnov test의 棄却限界 이내에 모두 들어왔으므로 χ^2-test에서 기각한계 이내에 들어온 분포형들 중에서 χ^2값이 가장 작은 分布型과 두번째로 χ^2값이 작은 分布型을 선정하고 確率降雨量의 反轉與否등을 검토하여 선정하였다. 최소 χ^2값은 대부분 變數變換正規分布와 3變數對數正規分布에서 나타났으나 Log-Pearson Type Ⅲ에서 1개, 3變數 kappa에서 2개의 資料集團이 최소 χ^2값을 보여주고 있다. 確率降雨量의 反轉은 資料集團間의 持續期間의 차이가 크므로 발생하지 않았으나 지속기간의 차이가 적은 경우에는 反轉可能性을 배제할 수가 없다. 이는 각 確率分布型의 特性 차이에 기인하는 것이다.

3變數 kappa 分布를 最適分布型으로 선정할 수 있는지를 파악하기 위하여 各 地點別 各 持續期間 降雨量資料에 대하여 기각한계 이내에 들어온 분포형의 再現期間과 確率降雨量을 正規確率紙에 도시해 볼 수 있는데, Fig. 2는 서울지점의 지속기간 10分, 24時間에 대하여 나타낸 것이다. 여기서 알 수 있는 것처럼 再現期間이 약 50年 以上이 되면 3變數 kappa 分布가 다른 分布型보다 確率降雨量의 증가폭이 급격히 커지기 때문에 再現期間 20年 以上의 確率降雨量 값을 3變數 kappa 分布로부터 채택하면 다른 분포형에 비해서 대단히 큰 값을 나타내게 된다.

예를들어 서울의 持續期間 10分 降雨量에 대하여 최소의 χ^2값을 나타내는 3變數 kappa 分布에 의한 確率降雨量값은 2번째로 작은 χ^2값을 나타내는 2變數對數正規分布로부터 산정한 確率降雨量값보다 再現期間 100年일 경우 1.2

Table 2 The Results of χ^2-test and Kolmogorov-Smirnov Test for each Probability Distribution Type

	Distribution Type		Normal Distribution							Type I Extremal Distribution (VIII)	Pearson Type III Distribution (IX)	Log-Pearson Type III Distribution (X)	3-Parameter Kappa Distribution (XI)	Accepted Probability Distribution
			X (I)	2-Parameter Lognormal (II)	3-Parameter Lognormal (III)	2-Root (IV)	3-Root (V)	4-Root (VI)	5-Root (VII)					
SEOUL	10 Min.	χ^2	10.110	4.067	5.473	25.894	12.032	11.315	14.309	8.880	4.883	4.697	3.159	2-Parameter
		K-S	0.118	0.034	0.029	0.062	0.057	0.069	0.066	0.031	0.040	0.072	0.013	Lognormal
	60 Min.	χ^2	212.871	4.656	4.836	24.992	14.216	10.485	10.643	12.774	8.672	N	6.907	2-Parameter
		K-S	0.083	0.031	0.027	0.058	0.031	0.038	0.043	0.028	0.050		0.042	Lognormal
	6 Hrs.	χ^2	14.524	4.111	5.376	5.230	2.226	1.101	0.667	2.909	3.016	N	3.036	5-Root
		K-S	0.081	0.032	0.030	0.041	0.023	0.018	0.016	0.025	0.021		0.019	
	24 Hrs.	χ^2	609.191	2.233	1.885	11.553	8.791	6.849	6.008	6.575	7.168	N	4.386	3-Parameter
		K-S	0.106	0.017	0.023	0.048	0.054	0.036	0.030	0.050	0.047		0.039	Lognormal
IN CHEON	10 Min.	χ^2	3.206	5.116	0.947	5.253	5.253	3.501	3.501	3.315	8.558	N	N	3-Parameter
		K-S	0.066	0.088	0.045	0.072	0.072	0.068	0.068	0.084	0.147			Lognormal
	60 Min.	χ^2	7.723	3.618	0.774	2.840	1.530	1.165	0.869	1.275	0.826	N	1.209	3-Parameter
		K-S	0.091	0.068	0.021	0.068	0.050	0.037	0.044	0.032	0.029		0.025	Lognormal
	6 Hrs.	χ^2	14.449	4.050	3.794	4.113	3.311	3.074	3.074	3.907	4.404	N	2.813	5-Root
		K-S	0.103	0.070	0.047	0.054	0.049	0.053	0.053	0.045	0.077		0.036	
	24 Hrs.	χ^2	13.485	3.422	3.769	6.100	4.206	3.884	3.884	6.580	5.235	6.078	4.620	2-Parameter
		K-S	0.087	0.039	0.054	0.071	0.047	0.041	0.041	0.052	0.055	0.058	0.042	Lognormal

BU SAN	10 Min.	χ^2	3.342	12.483	6.328	7.255	14.810	7.020	4.133	6.209	13.532	N	N	X
		K-S	0.038	0.066	0.049	0.053	0.076	0.072	0.078	0.069	0.113			
	60 Min.	χ^2	18.899	6.678	4.466	10.309	7.196	6.489	3.702	10.825	N	3.287	7.039	Log-Pearson
		K-S	0.129	0.068	0.046	0.101	0.062	0.059	0.053	0.068		0.037	0.064	Type Ⅲ
	6 Hrs.	χ^2	8.347	3.225	5.217	8.978	4.403	4.435	6.609	4.213	4.232	3.323	5.576	2-Parameter
		K-S	0.098	0.064	0.069	0.052	0.054	0.057	0.054	0.059	0.043	0.042	0.056	Lognormal
	24 Hrs.	χ^2	23.359	5.186	9.325	20.147	13.203	16.822	16.822	10.600	7.564	N	N	2-Parameter
		K-S	0.121	0.078	0.057	0.118	0.084	0.090	0.090	0.090	0.064			Lognormal
KWANG JU	10 Min.	χ^2	3.730	4.016	8.914	6.081	3.476	6.192	3.610	7.832	7.276	4.436	N	3-Root
		K-S	0.066	0.028	0.059	0.072	0,072	0.070	0.039	0.070	0.071	0.054		
	60 Min.	χ^2	19.247	5.342	6.135	11.307	10.504	9.592	9,592	7.687	8.906	N	6.443	2-Parameter
		K-S	0.091	0.046	0.042	0.081	0.069	0.080	0,080	0.042	0.048		0.035	Lognormal
	6 Hrs.	χ^2	13.497	4.955	5.325	4.398	5.716	6.249	6.249	7.667	8.085	N	7.532	2-Root
		K-S	0.090	0.056	0.038	0.045	0.053	0.057	0.057	0.053	0.062		0.059	
	24 Hrs.	χ^2	34.947	10.004	4.716	16.792	13.507	15.006	16.408	11.866	11.176	N	6.410	3-Parameter
		K-S	0.106	0.056	0.042	0.081	0.062	0.067	0.072	0.062	0.060		0.050	Lognormal
$\chi^2_{0.05,k\ P-1}$		A	12.60		11.10	12.60					11.10			
		B	9.49		7.81	9.49					7.81			

*N : Not Converged in Parameter Estimation

A : SEOUL, BU SAN, KWANG JU
B : IN CHEON

Table 3 The Probable Rainfall Depth of each Duration for Accepted Probability Distribution Unit : mm

		Return Period / Accepted Distribution	2	3	5	10	20	30	50	70	100	200	500	1000
SEOUL	10 Min.	2-Parameter Lognormal	14.0	16.8	19.9	23.9	27.8	30.1	33.0	34.9	37.0	41.1	46.6	50.9
	60 Min.	2-Parameter Lognormal	39.0	46.9	56.0	67.5	78.9	85.6	93.9	99.6	105.6	117.5	133.7	146.5
	6 Hrs.	5-Root	86.9	102.2	118.7	138.7	157.2	167.5	180.3	188.5	197.1	213.6	235.0	251.1
	24 Hrs.	3-Parameter Lognormal	135.3	159.8	187.7	223.1	257.5	277.5	302.8	319.6	337.5	372.8	420.7	458.0
IN CHEON	10 Min.	3-Parameter Lognormal	13.4	15.6	17.9	20.5	22.7	23.9	25.4	21.3	27.3	29.0	31.3	32.9
	60 Min.	3-Parameter Lognormal	37.3	44.8	53.6	65.4	77.4	84.5	93.8	100.0	106.8	120.4	139.3	154.5
	6 Hrs.	5-Root	84.7	99.0	114.3	132.8	149.7	159.2	170.9	178.4	186.2	201.2	220.7	235.2
	24 Hrs.	2-Parameter Lognormal	123.2	145.8	171.1	203.1	233.9	251.8	274.4	289.3	305.1	336.3	378.3	410.9
BU SAN	10 Min.	X	14.4	16.4	18.2	20.3	21.9	22.8	23.8	24.4	25.0	26.2	27.6	28.5
	60 Min.	Log-Pearson Type Ⅲ	37.4	45.1	54.7	68.5	83.7	93.3	106.4	115.6	126.0	148.2	182.0	211.5
	6 Hrs.	2-Parameter Lognormal	92.0	108.8	127.7	151.6	174.7	188.0	204.8	216.0	227.2	251.1	282.5	306.9
	24 Hrs.	2-Parameter Lognormal	137.1	163.0	192.2	229.3	265.4	286.3	312.7	330.2	348.9	385.6	435.4	474.0
KWANG JU	10 Min.	3-Root	15.3	16.8	18.4	20.1	21.6	22.5	23.4	24.1	24.7	25.9	27.4	28.5
	60 Min.	2-Parameter Lognormal	38.2	43.7	49.7	57.0	63.8	67.6	72.4	75.6	78.9	85.2	93.6	100.0
	6 Hrs.	2-Root	78.0	89.2	100.6	113.6	124.8	130.9	138.2	142.7	147.4	156.2	167.1	175.0
	24 Hrs.	3-Parameter Lognormal	112.1	131.4	153.3	181.4	208.8	224.7	244.9	258.4	272.8	301.2	339.7	369.8

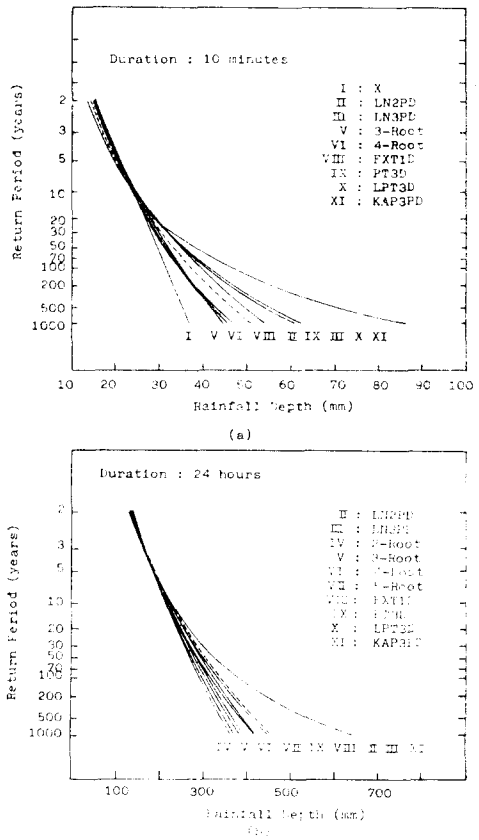

Fig. 2 Relationship between Rainfall Depth and Return Period for each Probability Distribution at Seoul Station

倍, 1000年일 경우에는 1.7倍나 크다. 또한 3變數 kappa分布가 최소 χ^2값으로 나타난 인천의 持續期間 6時間 降雨量 資料集團에 대해서는 두번째로 작은 χ^2값을 나타낸 5승근 정규분포에 의한 確率降雨量보다 再現期間 100年에서 약 1.2倍, 1000年일때는 1.55倍나 크다 이것은 確率分布型의 特性으로 인하여 재현기간이 큰 경우 지속기간의 변동에 대하여 確率降雨量값이 反轉될 가능성이 있음을 보여준다. 그러므로 最適分布型의 選定에는 이러한 문제들을 신중히 검토하여야 하며 특히 χ^2값이 최소로 나타났다 하더라도 3變數 kappa分布를 年最大降雨資料集團의 最適分布型으로 선정할 경우 신중을 기하여야 할 것이다.

3變數 kappa分布의 特性은 Fig. 2에서도 알 수 있는 바와 같이 길게 늘여진 降雨特性을 갖는 資料集團에 잘 맞을 것으로 생각한다.

Table 4 Return Period of the Recorded Maximum Rainfall Depth for each Duration

Unit : years

Station \ Duration	10 Min.	60 Min.	6 Hrs.	24 hrs.
SEOUL	570	220	92	385
IN CHEON	21	64	100	58
BU SAN	100	25	85	28
KWANG JU	125	42	194	59

Bryson(1973)[19]도 Pareto分布, kappa分布, 指數分布, gamma分布 및 片側正規分布의 연속확률분포함수 중 kappa分布가 가장 길게 늘여진 分布特性을 갖고 있으며 Pareto分布, 指數分布, gamma分布 및 片側正規分布의 순으로 길게 늘여진 分布特性을 나타낸다고 지적하였다.

本 硏究에서는 3變數 kappa分布가 最小 χ^2값을 나타내었다하더라도 最適分布型으로 채택하지는 않았으며 最適分布型으로 선정된 결과는 Table 2 및 Table 3과 같다.

3) 確率降雨量

위에서 選定된 最適分布型으로부터 確率降雨量을 산정한 결과는 Table 3과 같다. 기왕의 관측최대치의 再現期間을 채택된 最適分布型으로부터 산정하여보면 Table 4와 같다. Table 4에서 보면 서울의 持續期間 10分降雨에서 기왕의 最大觀測値의 再現期間이 약 570年으로 가장 큰값을 나타내고 있으며 이는 1956年에 기록된 것이다. 약 350年의 재현기간을 기록한 서울의 지속기간 24시간의 강우는 1920年에 기록된 것이다. 3變數 kappa分布에 의하여 이들의 再現期間을 산출하여보면 서울의 10分降雨는 약 115년, 24時間에 대해서는 134年에 해당하는 것으로서 각각 455年과 251年의 차이를 보이고 있다.

4.2 比較檢討

本 硏究에서 적용한 서울, 부산 및 광주 지점의 각 持續期間別 確率分布型을 1974年 筆者의 硏究結果와 (5) 比較하여 보면 Table 5와 같다.

1974年의 硏究에서는 Y-k法에 의한 6개의 分布型(X, log, $\sqrt[2]{\ }$, $\sqrt[3]{\ }$, $\sqrt[4]{\ }$, $\sqrt[5]{\ }$)만을 적합시

Table 5 Comparison of the Probability Distribution Types Accepted in present and 1974's Study

Duration		10Min.	60Min.	6Hrs.	24Hrs.
SEOUL	Ⅰ	LN2PD	LN2PD	2-Root	3-Root
	Ⅱ	LN2PD	LN2PD	5-Root	LN3PD
BU SAN	Ⅰ	3-Root	—	2-Root	LN2PD
	Ⅱ	X	LPT3D	LN2PD	LN2PD
KWANG JU	Ⅰ	X	2-Root	LN2PD	LN2PD
	Ⅱ	3-Root	LN2PD	2-Root	LN3PD

* Ⅰ : 1974's Study
Ⅱ : Present Study

켰으나 本 研究에서는 Y-k 法에 의한 6개의 分布型과 3變數對數正規分布, Type Ⅰ 極値分布, Pearson Type Ⅲ分布, Log-Pearson Type Ⅲ分布 및 3變數 kappa 分布를 적용시켰다. Table 5에서 볼 수 있듯이 서울의 短時間 持續期間(10分, 60分)降雨와 부산의 24時間 持續期間降雨의 最適確率分布型은 변하지 않았으나 대부분 最適分布型이 바뀐 것으로 나타났다. 이는 그간 충분한 降雨資料의 擴充과 더 많은 確率分布型의 適用에 기인하는 것으로 판단된다.

특기할만한 변화는 부산과 광주의 持續期間 10分 降雨量의 分布型이 3승근 변환정규분포에서 변수변환하지 않은 정규분포로, 변수변환하지 않은 정규분포에서 3승근변수변환 정규분포로 바뀐 것이며, 1974年 研究에서 5% 有意水準에서 最適分布型이 選定되지 않았던 부산의 60分 持續期間 降雨量 資料가 Log-Pearson Type Ⅲ 分布型에 가장 적합한 分布型으로 採擇되어진 것이다. 또한 5승근변수변환이나 3變數對數正規分布도 부산 지점의 持續期間 60分 降雨量의 最適分布型으로 採擇될 수도 있음을 Table 2로부터 알 수 있다.

最適確率分型의 변화는 降雨量의 頻度解析에 있어서 降雨資料의 충분한 확보와 많은 분포형의 적용이 얼마나 중요한가를 단적으로 나타내고 있는 것이다. 또한 最適分布型의 선정에 있어서도 χ^2 test가 가장 작은 것을 채택할 경우 3變數 kappa 分布와 같이 대단히 크게 나올 경우가 있으므로 각 확률분포형의 특성을 충분히 파악하여 신중하게 최적 분포형을 선정하여야 한다. Table 2의 χ^2-test 결과로 미루어 볼 때 變數變換 正規分布(Y-k)와 3變數對數正規分布型이 우리나라 降雨事象에 실용적으로 적합한 것으로 사료되며 Type Ⅰ 極値分布와 gamma 分布는 降雨解析에 잘 맞으나 gamma 分布의 Log-Pearson Type Ⅲ分布는 最尤度法에 의하여 媒介變數를 推定할 경우 收斂되지 않는 경우가 많으므로 적용상의 문제점이 많다. 3變數 kappa 分布는 降水頻度解析에 적용하기도 비교적 용이하고 적합성도 좋은 편이나 길게 늘여진 분포형 특성때문에 다른 分布型에 의한 確率降雨量보다 훨씬 더 큰값을 줄 수가 있으므로 적용상 신중을 기하여야 한다. 그러나 길게 늘어진 降雨事象에서는 잘 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

確率降雨量 算定을 위한 分布型 設定은 실용적인 면으로 볼때 全國土에 걸쳐 同一한 分布로 設定하는 것이 좋으나 降雨事象의 時·空的인 變化가 심하기 때문에 동일한 분포로 취급하는 것은 무리이다. 따라서 우리나라의 降雨事象을 解析하는데는 空間的 特性을 고려하여 全國을 5個의 권역으로 구분하여 이루어져오고 있으며 이는 地域頻度解析에 중요한 要因이 된다. 또한 降雨事象의 持續期間別 降雨量資料集團의 解析에 있어서도 持續期間에 따른 分布型의 區分없이 동일한 分布型으로 다루기에는 무리가 많다. 우리나라의 持續期間別 降雨形態는 크게 10分~40分, 40分~4時間, 4時間~24時間으로 區分할 수 있다고 되어 있다.[11] 本 研究에서는 水文解析技法開發이 目的이므로 우리나라의 4個 雨量觀測地點에 대한 각각 4個의 持續期間別 年最大雨數資料集團만을 적용하였고, 全國的인 降雨事象의 時·空的分布特性은 다루지 않았으나 앞으로 계속될 地域頻度解析의 研究에서 다루고자 하는 바이다.

5. 結　論

確率降雨量圖 作成을 위하여 變數變換正規分布法(Y-k)에 의한 6個 分布와 3變數對數正規分布, Type Ⅰ 極値分布, gamma 分布인 Pearson Type Ⅲ와 Log-Pearson Type Ⅲ分布 및 3變數

kappa分布등 11개의 連續確率分布型을 國內 4個 地點의 長短期 持續期間別(10分, 60分, 6時間 및 24時間) 每年最大値 降雨量 資料集團에 適用하여 水文解析을 시행하여 다음과 같은 成果를 얻었다.

1) 11個의 連續確率分布型의 媒介變數를 最尤度法에 의하여 推定하고 最適分布型을 設定하여 確率降雨量을 算定하는 一連의 Program을 開發하였다.

2) 우리나라의 確率降雨量 算定에는 變數變換正規分布와 3變數對數正規分布가 상당히 좋은 적합도를 나타내고 있으며 Type I 極値分布, Pearson TypeⅢ分布, Log-Pearson TypeⅢ分布도 적용가능하나 Log-Pearson TypeⅢ分布는 最尤度法에 의하여 媒介變數가 推定되지 않는 경우가 많다.

3) 3變數 kappa分布는 本 硏究에서 採擇한 長短時間 持續期間 降雨量에 적합시킬 수는 있으나 觀測된 降雨量 資料集團과의 適合度만으로 各持續期間의 確率降雨量 算定을 위한 最適分布型으로 採擇할 수는 없다.

4) 降雨持續期間 10分의 降雨量系列이 持續期間이 60分, 6時間 및 24時間인 長期降雨量系列보다 正規性이 强한 確率成分을 이루고 있음을 確認할 수 있었다.

〈謝 辭〉

本 硏究는 1986年度 文敎部 學術硏究助成費의 支援에 依하여 이루어진 것으로 關係當局者 여러분들에게 깊은 謝意를 표하는 바입니다.

REFERENCE

1) Ven Te Chow, Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill Book Company, 1964
2) 岩井重久, 石黑政儀, 應用水文統計學, 森北出版, pp. 178～255, 1981
3) 李元煥, "韓國確率降雨量圖作成을 위한 水文學的硏究", 韓國水文學會誌, 第10卷 1號, pp. 39～52, 1977
4) Suzuki, E., "*A Summarized Review of Theoretical Distributions Fitted to Climatic Factors and Markov Chain Models of Weather Sequences with some Examples*", Statistcal Climatology, Developments in Atmospheric Science, 13, Ed. by S. Ikeda, pp. 1～20, 1980
5) 李元煥, "우리나라 地點降雨의 水文統計學的 特性에 관한 硏究", 大韓土木學會誌, 第22卷 第1號, pp. 1～20, 1974. 3
6) 韓健淵, "都市河川 및 大都市 下水道計劃의 設計降雨量 設定에 관한 水文學的 硏究", 延世大 碩士學位論文, 1979
7) 孫廣翼, "우리나라 確率降雨量算定에 관한 水文學的 硏究 一地域 頻度解析을 中心으로一", 延世大 碩士學位論文, 1981
8) Hiroshi Akima, "*A Method of Bivariate Interpolation and Smooth Surface Fitting for Irregulary Distributed Data Point*", ACM Transaction on Mathematics Software, Vol. 4, No. 2, pp. 148～164, 1978
9) 中央氣象臺, 自記雨量記錄紙, 氣象年報, ～1986
10) 建設部, 韓國水文調査年報, ～1986
11) 李在浚, 孫廣翼, 李元煥, 李吉春, "降水頻度 및 降雨强度의 時空的 分布分析에 관한 硏究", 韓國水文學會誌, 第14卷 4號, pp. 53～72, 1981
12) 高在雄, "우리나라의 地域最大 日雨量의 頻度分析에 관한 硏究", 韓國水文學會誌, 第13卷, 1號, pp. 39～48, 1980
13) Kite, G.W., Frequency and Risk Analyses in Hydrology, WRP, p. 224, 1978
14) Mielke, Paul W., Jr., Earl S. Johnson, "*Three-Parameter Kappa Distribution Maximum Likelihood Estimates and Likelihood Ratio Tests*", Monthly Weather Review, Vol. 101, No. 9, pp. 701～707, 1973, 9
15) Mielke, Paul W. Jr., "*Another Family of Distributions for Describing and Analyzing Precipitation Data*", Journal of Applied Meteorology, Vol. 12, No. 2, Mar.. pp. 275～280, 1973

16) Jerrold H. Zar, Biostatistical Analysis, Prentice-Hall, Inc., p. 620, 1974

17) Sturges, H.A., "*The Choice of a Class Interval*", J.Am. Stat. Assoc., Vol. 21, pp. 65～66, 1926

18) Phonsombat, V. and Leduc, S.K., "*Comparison of Kappa and Gamma Distributions for Weekly Rainfall Amounts in Thailand*", Fifth Conf. on Prob. and Stat. in Atm. Sci., pp. 135～138, 1975

19) Maurice C. Bryson, "*Describing and Testing for Heavy-Tailed Distributions*", Third Conf. on Prob. and Stat. in Atm. Sci., pp. 118～121, 1973. 6

20) 李元煥, "우리나라 地點雨量資料의 分布型 設定에 관한 硏究(其 2)", 大韓土木學會誌 第19卷 第2號, pp. 19～28, 1971

21) 趙弘濟, "韓國地點雨量의 長時間確率降雨强度式의 誘導", 延世大 碩士學位論文, 1977

22) 李元煥, 中小河川 및 都市 下水道計劃 設計에 必要한 確率降雨强度式의 誘導, 延世大, 產業技術硏究所, p. 71, 1968

23) 李元煥, "國內地點別 降雨特性과 確率雨降量 算定에 관한 硏究", 大韓土木學會誌, 第15卷 第3號, pp. 28～38, 1967