<論文>

耐用安全値를 考慮한 서울地方의 短時間 確率降雨量算定에 關한 研究

A Study on Determination of Probability Rainfall-Depth of Short Duration as Consideringthe Project Life and tha Factor of Safety in Seoul

李 元 煥※
Lee, Won Hwan
金 再 韓※※
Kim, Jae Han
金 蔡 元※※※
Kim, Chai Won

要 旨

本 研究는 水工構造物의 耐用年數와 安全率을 考慮한 서울地方의 短時間 確率降雨量을 算定한 것이다. 서울地方에서 旣往의 自記雨量記錄紙(1915年～1974年까지 60年間分)를 蒐集하여 短時間 降雨繼續時間(10分～120分)別每年 最大値를 摘出하였다.

摘出된 降雨量資料는 頻度解析을 通하여 資料集團別 度數를 決定한 後 그 度數가 正規化되도록 시도하였으며 正規分布의 適合度檢定 方法에 있어 有意水準 5%로 보고 χ^2-test를 행하여 最適分布型을 設定하였다.

設定된 最適分布型의 媒介變數(平均値, 標準偏差)를 適用하여 本 論文에서 誘導提示한 Graph에 의하여 確率降雨量을 圖解法에 의하여 求하였다.

Abstract

This Study is developed in order to determine the probability of a raintall depth of short duration in Seoul as considering the profect life and the factor of safety of hydraulic structures.

The raw annual maximum rainfall data are selected from 1915 to 1974 about short duration (10min.-120min.) in Seoul. The selected data are treated by frequency analysis, and the hypothesis that the distribution fuction of the raw data is normal Distribution is performed by chi-square test that signifcance level has 5%.

With the parameters (mean and standard deviation) of the accepted distribution function, the probabilitn of a rainfall depth can be easily determined on the graph which is made on this paper.

1. 序 論

都市 下水道計劃이나 河川計劃에 있어 計劃降雨量은 水工構造物의 設計 計劃에 基本이 되는 것으로 計劃降雨量의 正確한 把握은 經濟的인 面과 地域的인 特性을 考慮할 때 大端히 重要한 것이다.

從來에는 水工構造物의 設計에 있어 旣往의 最大雨量에 若干의 餘裕를 加하여 計劃降雨量으로 擇하는 方法을 使用하여 왔으나 점차적으로 水文學에 統計理論의 導入과 함께 計劃降雨量을 水文統計的으로 解析하여 任意의 再現期間別 確率降雨量을 算定하여 計劃洪水量이

※ 本會理事・延大敎授・工博
※※ 正會員・延大講師・博士課程
※※※ 正會員・仁川工專 專講

나 雨水流出量 算定等에 適用시키는 比較的 合理的인 方法을 擇하게 되었다.[1)~11)] 確率降雨量의 正確한 把握을 위해서는 構造物의 耐用年數 및 安全率과 結付시켜 解析하는 것이 合理的인 方法으로 提案되고 있다.[12),13)]

計劃水文量의 設定에 있어서 耐用安全値의 適用은 數年前부터 日本 等地에서 硏究가 계속되고 있으며 우리 나라에서도 硏究가 進行되고 있으나 이와 같은 硏究는 歷史的으로 그 연혁이 상당히 짧은 반면에 重要度는 한층더 높아가고 있다.[12),13),14)]

그러나 算定過程의 복잡성으로 많은 時間과 노력을 要하고 있어 本 論文에서는 耐用安全値를 考慮한 確率降雨量算定法을 圖式的으로 誘導提示하여 그와 같은 불편을 除去하고 實用性을 높이고자 노력하였다.

2. 耐用安全値와 正規分布에서의 統計値 Z

2.1 耐用年數와 安全率에 따르는 再現期間 算定

計劃降雨量으로서 水工構造物의 耐用年限內에서는 發生하지 않을 만한 雨量을 基準으로 하여 採擇함이 合理的이라 할때 降雨量의 耐用安全値에 對하여 齊藤錬一[13)], 李元煥[12)]의 發表에 의하면 다음과 같다.

X_{ap}를 耐用年限 年間에 그 값 未滿의 값밖에 發生되지 않을 確率 P(%)인 降雨量이라 하고 降雨量의 每年 最大値 X의 最適分布函數를 $F(x)$라 하면 任意의 變量 X가 X_{ap}以下의 값이 될 確率은 $F(x_{ap})$이다.

X_{ap}가 耐用年限 a年이고 安全率 P%의 耐用安全値라 하면 P/100는 X의 母集團에서 a回 任意로 採擇하여 各回마다 全部 X의 값이 $_{ap}$以下가 될 確率이다. 蒐集된 每年 最大値 X는 獨立事象으로 보고 a回의 採取가 모두 $X<X_{ap}$되는 確率은 $\{F(X_{ap})\}^a$로 되므로 아래의 關係가 成立된다.

$$P/100=\{F(X_{ap})\}^a \cdots\cdots (2-1)$$

또한 再現期間 T年의 確率降雨量 X_T가 前述한 每年 最大値 X의 最適分布型을 滿足시킨다면 아래의 관계가 있음을 알 수 있다.

$$F(X_T)=1-1/T \cdots\cdots (2-2)$$

여기서 X_{ap}와 X_T와의 關係를 求하여보면 X_{ap}를 X_T로 採擇하여야 할 것이므로 $X_{ap}=X_T$라 하면 아래와 같다.

$$T=\frac{1}{1-\left(\frac{P}{100}\right)^{1/a}} \cdots\cdots (2-3)$$

그러므로

$$\log P-2=a\log(1-1/T) \cdots\cdots (2-4)$$

되 어이 式으로 부터

$$\log(1-1/T)=\log P-2/a \cdots\cdots (2-5)$$

가 된다.

式 (2-5)로 부터 任意의 安全率과 耐用年數를 주어 耐用安全値를 考慮한 再現期間을 求할 수 있다.

2.2 統計値 Z의 圖式的 解析

2.1에서 論한 바와 같이 超過 또는 非超過 確率은 $F(x)=1-1/T$로 T에 의한 함수이므로 正規確率 $\Phi(z)$는 T가 增加할수록 $\Phi(z)$의 값이 증가한다.

$\Phi(z)=\int_0^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-z^2/2}dz$에서 $\Phi(z)$의 變數値가 증가할수록 確率變數 Z가 증가한다는 것과 같은 意味이다. 그러므로 Z値와 T_r關係를 $Z=T_r$ 되도록 縱軸과 橫軸에 Z와 T_r을 取하면 直線分布의 Graph를 얻을 수 있다.

例로 Z値 −1, 0, +1에 대한 再現期間 算定에 있어 Z値에 對한 $\Phi(z)$가 正規確率表에서 −0.34134, 0, +0.34134이다.

Z値 −1에 대한 T_r는

$$0.5-1/T_r=-0.34134$$에서

$$T_r=\frac{1}{0.5+0.34134}=1.188年$$

Z値 0에 對하여

$$T_r=\frac{1}{0.5-0}=2年$$

Z値 1에 對하여

$$T_r=\frac{1}{0.5-0.34134}=6.3027年$$이다.

上記와 같은 方法으로 求한 값들로서 T_p와 S·F 및 T_R와 Z값의 相關圖를 作成하면 그림 1과 같다.

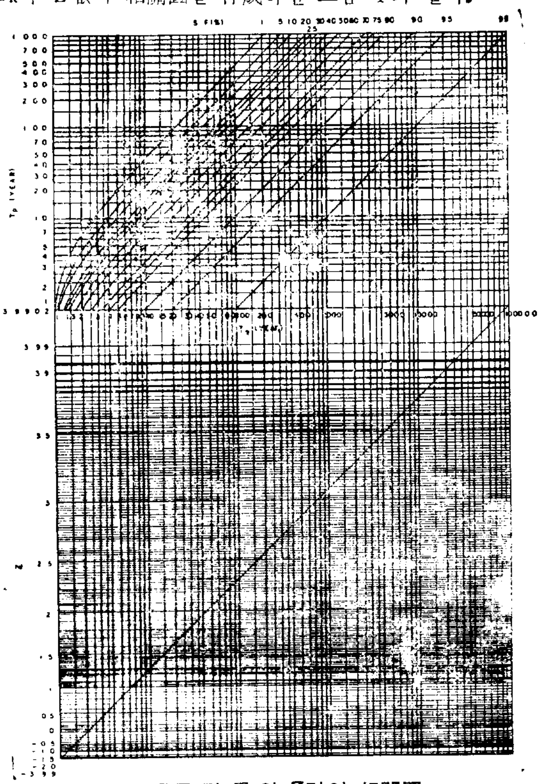

그림 1 T_P와 S.F 및 T_R와 Z값의 相關圖

3. 資料의 統計的 處理

實測資料 x_i와 變換한 資料($\log x_i$, $\sqrt{x_i}$, $\sqrt[3]{x_i}$, $\sqrt[4]{x_i}$, $\sqrt[5]{x_i}$)가 正規分布를 이룬다고 가정하여 各 資料들에 對한 階級數 7, 11, 15에 對하여 有意水準을 5%로 보고 χ^2-test를 행하였다.

觀測資料가 平均値 周圍에 分散하는 程度를 判別하는 方法으로서 確率密度函數의 平均値에 關한 2次 Moment를 媒介變數로 使用한다.

$$\sigma^2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu)^2 \quad \cdots\cdots(3-1)$$

여기서 σ^2은 母集團의 分散(Variance)을 가리킨다. 그러나 母集團의 平均値 μ를 正確히 알 수 있는 方法이 없으므로 式(3—1)의 μ를 標本의 平均値 $\bar{x}$로 代置하여 標本의 分散 S^2을 다음과 같이 定義한다.

$$\sigma^2 \fallingdotseq s^2=\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2 \quad \cdots\cdots(3-2)$$

$$\mu \fallingdotseq \bar{x}=\sum f_i \cdot x_i/N \quad \cdots\cdots(3-3)$$

여기서 式(3—2)의 N代身 $(n-1)$로 나누워 준 것은 μ代身 $\bar{x}$를 使用함으로 생기는 自由度(Degree of freedom)의 損失을 考慮해 주기 위한 것이다.

따라서 級間 $(x_i-h/2)\sim(x_i+h/2)$의 期待度数 f_i를 正規分布函數

$$F(x)=\int_{-\infty}^{x}f(x)dx=\int_{-\infty}^{x}\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(x_i-\mu)^2}{2\sigma^2}}dx \quad \cdots\cdots(3-4)$$

$$-\infty<x<\infty$$

을 利用하여 다음 式과 같이 計算한다.

$$F_i=N\int_{x_i-\frac{h}{2}}^{x_i+\frac{h}{2}}\frac{1}{S\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(x_i-\bar{x})^2}{2S^2}}dx \quad \cdots\cdots(3-5)$$

이때 標準變量 Z의 變域을

$$\left.\begin{aligned}\alpha&=(x_i-h/2-\bar{x})/S\\ \beta&=(x_i+h/2-\bar{x})/S\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(3-6)$$

로 하든가 또는 階級의 上限値의 變量을 x_i 階級의 下限値의 變量을 x_{i-1}로 하면 式(3—5)는

$F_i=N\int_{\alpha}^{\beta}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{z^2}{2}}dz$가 되므로 正規分布確率表를 利用하여 期待度數를 計算한다.

즉 $F_i=N\{A(\beta)-A(\alpha)\}$ $\cdots\cdots(3-7)$

式(3—7)로 부터 期待度數 F_i가 計算되면 觀察度數 f_i에 의하여 χ^2값을 計算한다.

즉 $\chi_0^2=(f-F)^2/F$ $\cdots\cdots(3-8)$

χ^2-test를 하는데 있어서 統計量이 總度數 N, 標本平均 $\bar{x}$ 및 標本分散 S^2으로 3개이기 때문 自由度 $n=k-d$ $\cdots\cdots(3-9)$

여기서 k는 階級數이다.

χ_0^2의 計算後 自由度 n에 따른 $\chi^2_{0.05}$의 값을 χ^2分布表에서 χ_α^2값을 求하여 χ_0^2값과 χ_α^2값을 比較하여 $\chi_0^2\leqq\chi_\alpha^2$이 되면 假設이 採擇되고 $\chi_0^2>\chi_\alpha^2$이면 假設이 棄却된다.

本 論文에서는 全資料에 對하여 χ^2—test를 施行하였으며 假設이 採擇된 資料集團中에서 가장 適合한 것을 最終擇一하였고 採擇된 資料의 度數分布를 適正分布로 擇하였다.

表 —1는 判定結果 最適分布型이다.

表—1 最適分布型

*채택분포형

계급수 \ 강우계속시간(분)	10	20	30	40	60	80	120
7	$*\log x_i$	$\log x_i$	$\mathrm{lon}x_i$	$*\log x_i$	$*\log x_i$	$\sqrt[4]{x_i}$	$*\log x_i$
11	$\sqrt{x_i}$	$*\log x_i$	$*\log x_i$	$\sqrt{x_i}$	$\log x_i$	$*\log x_i$	$\sqrt[3]{x_i}$
15	$\sqrt[5]{x_i}$	$\sqrt{x_i}$	$\sqrt[3]{x_i}$	$\sqrt[5]{x_i}$	$\sqrt[5]{x_i}$	$\sqrt[4]{x_i}$	$\log x_i$

採擇分布型의 平均値와 標準偏差는 表 —2와 같다.

表 —2 適用 平均値 및 標準偏差

구분 \ 적용분포 \ 강우시간(분)	10	20	30	40	60	80	120
	$\log x_i$	$\log x_i$	$\log x_i$	$\log x_i$	$\log x_i$	$\log x_i$	$\log x_i$
$\bar{x}$	1.1428	1,3214	1,4233	1,4970	1,5923	1.6615	1.7328
S	0.1877	0.1571	0.1701	0.1746	0.1929	0.1869	0.1954

4. 確率降雨量의 算定

前述한 各資料 集團別 最適分布에 의거하여 任意의 非超過確率에 해당하는 確率降雨量을 求할 수 있다. 確率降雨量 算定方法은 最適分布函數의 解析에 의한 解析的인 方法[12]과 本 論文에서 提示한 ' 値의 圖式的 解法으로 그림 1을 利用하여 算定되어 질 수 있지만 여기서는 쉽게 구하여 질 수 있는 本論論文의 圖式的 方法을 列擧해 본다.

本 論文에서 誘導提示한 그림 1에 의하여 適正한 耐用安全率과 耐用年數에 따른 再現期間에 해당하는 標準變量 Z 値를 求한 다음 適正分布型의 $\bar{x}$와 S로서 $X_p=\bar{x}+S\cdot Z$에 의하여 確率降雨量을 計算한다. 計算例로 10分 降雨量 資料에 對하여 耐用年數 5年에 安全率로 보았을 때 確率降雨量을 計算한다. 먼저 그림 1에서 耐用年數(T_P) 5年에 의한 安全率 70%에 해당하는 再現期間을 읽으면 15年이다. 再現期間 15年에 따른 Z値를 읽으면 1.50이다. 適正分布型에 따른 標準偏差와 平均値는 각각 S=0.1877, $\bar{x}$=1.1482 (表—2 참조)이므로 確率降雨量

$$X_P=S\cdot Z+\bar{x}=0.1877\times1.50+1.1428=1.4244$$

log 1.4244는 一般對數로 變換하여 주면 X_P=26.57mm이다.

上記와 같은 方法으로 모든 경우에 대하여 쉽게 구하여 질 수 있다.

5. 既發表된 確率降雨量과의 比較考察

既發表된 確率降雨量 算定法은 다음과 같다.

가) 再現期間만에 따른 確率降雨量 算定[2,7,10,11]

a) SLADE b) LOGNORMAL c) GUMBEL CHOW d) 積率法 e) HAZEN 圖上推定法 等이 있다.

나) 耐用安全値를 考慮한 確率降雨量 算定[12,14]

a) 解析的인 方法 b) 圖式的인 方法 c) 理論式에 의한 方法 等이 있는데 短時間 確率降雨量中 60分 降雨量資料에 對하여 既算定된 値를 表—3에서 比較 考察하여 본 結果 本 論文에서의 算定値와 아주 근사함을 알 수 있다.

表—3 既發表된 確率降雨量과 比較 (60分 確率降雨量)

既發表 / 재현기간 (YEAR)	SLADE	LOG-NOR-MAL	GUM-BEL-CHOW	積率法	HAZEN	李元煥 Y-K法	李元煥 L_T-Y法	李元煥	本論文
2	38.91	38.91	39.21	38.91	37.60	38.90	38.90	39.10	39.11
5	56.61	56.32	57.74	56.57	54.80	56.60	56.50	56.70	57.05
10	68.60	68.33	69.98	68.63	65.50	68.80	68.80	68.90	69.37
20	80.66	80.16	81.78	80.84	76.00	80.90	80.70	80.90	81.03
50	94.47	95.92	96.98	96.94	89.90	97.10	96.90	97.00	97.65
100	108.68	108.13	108.40	109.43	100.20	109.60	109.80	109.30	109.60
200	120.98	120.46	119.80	122.07	110.20	125.60	122.80	122.80	123.02

5. 結 論

本 硏究를 通하여 얻어진 結果를 열거하면 다음과 같다.

分布型 檢定에 있어서는,

1. 正規分布를 이루고 있는 變換된 資料中 $logx_i$가 最適 分布型으로 採擇되었다.

2. 階級數別로 본 正規分布型은 Sturges에 의한 7개의 區分法과 任意의 階級數中에서 11個 階級으로 區分한 경우가 採擇 되었다.

確率降雨量 算定에 있어서는,

1. 確率變數 Z 値를 本 硏究에서 誘導提示한 그림 1을 利用하므로서 종전의 正規確率表를 찾고 計算을 하던 불편을 除去하게 되었으며 圖上에서 直接 求할 수 있게 되었음은 進一步된 硏究成果라 생각된다.

2. 서울地方의 確率降雨量 算定을 위하여 誘導提示한 그림 1는 서울地方이 아닌 다른 地方에도 擴大適用함이 無妨하리라 생각된다.

3. 本 論文에서 算定한 確率降雨量과 既發表된 값들과의 比較結果 近小한 差異를 보이고 있다. 이의 要因을 分析해 보면 資料의 平均値, 標準偏差 및 使用資料數의 差異에 基因되지 않을 가 생각된다.

參考文獻

1. CHOW, V.T, *Hand Book of Applied Hydrology*, Mc Grawhill, U.S.A., 1964, pp. 9~13

2. LEE, Won Hwan, "On the study of probability Rainfall Intensity Formula Required for Designing

City Sewerage & River Plans", Most-USALD Research Project/TF 67-20, U.S.A., 1968

3. 角屋睦, 雨量分布と 年 最大値의 分布, 京都大學, 防災 硏究所年報, 第四號, 京都大學, 防災硏究所, 日本, 1961, p.6, p.10
4. 李元煥, 李吉春, "우리 나라 地點雨量 資料의 分布型 設定에 關한 硏究", 大韓土木學會誌, 第19卷 1號 大韓土木學會, 1971, pp.28～40
5. 李元煥, "우리 나라 地點雨量資料의 分布型 設定에 關한 硏究", 大韓土木學會誌, 第19卷, 第 2 號, 大韓土木學會, 1971, pp. 19～28
6. 尹龍男, 水文學, 理工產業社, pp. 275～334, 1974.
7. 朴成宇, "韓國에 있어 諸水文 構造物의 設計基準을 주기 위한 水文學的 硏究", 農工學會誌, 農工學會, 1964
8. 岩井重久, 石黑政儀, 應用水文 統計學, 森北出版社, 日本 1970, p. 54, pp.64～73, pp. 135～137, pp. 147～172
9. Linsley, Kohler and Paulhus, *Hydrology for Englneerings*, McGrawhill, U.S.A., 1958, pp.245～249.
10. 金再韓, "우리 나라 主要地點에 있어서의 月別 및 年間 確率降雨量 算定에 關한 硏究", 延世大學校, 大學院, 土木工學科, 1972
11. 李元煥, "國內 地域別 降雨特性과 確率降雨量 算定에 關한 硏究" 延世大學校, 理工大學, 1967, pp. 5～9, pp. 69～75
12. 李元煥, "우리 나라 地點雨量의 水文統計的 特性에 關한 硏究". 大韓土木學會誌, 第22卷, 第 1 號, 1974, pp. 63～82
13. 齊藤鍊, 水文氣象學, (川畑幸夫), 文獻 No.9, pp. 126～128, 日本, 1957
14. 李元煥, 李吉春, 鄭然圭, "地點雨量 資料의 分布型 設定과 耐用 安全年數에 따르는 確率降雨量에 關한 考察", 韓國水文協會誌, 第 5 卷, 1 號, pp. 27～36., 1972