

〈特輯 都市水害〉

都市雨排水 設計를 위한 降雨資料

徐 炳 夏* 金 陽 洙**

1. 序 言

豪雨에 의한 災害로는 과거에는 大河川의 洪水가 단연 으뜸이었으나 近來에 와서는 河川敷地內의 人口增加와 産業施設의 集中으로 土地의 利用이 高度化되면서 都市內의 中, 小 河川의 洪水被害는 물론이고 下水道, 道路排水등의 문제로 확대되고 있다. 이러한 被害形態는 地價上昇 및 施設物의 資産價値 增大로 影響 確大·多様化 되어 가는 실정이며 이에 대한 문제점도 많이 제기되고 있다. 이 중 많이 論議되고 있는 것이 構造物의 設計頻度이다. 매년 水害가 발생할 때마다 거론되는 것이 構造物의 設計頻度는 적당하며 해당 洪水를 通水시킬 수 있도록 충분한 크기로 設計되었는가 혹은 배수펌프의 용량이 몇년 頻度의 洪水에 대한 것인가 하는 것들이다.

設計頻度는 構造物의 設計目的에 따라 構造物의 壽命, 設置費用, 그리고 設置後의 期待效果등을 考慮하여 결정하게 되는데 充分한 資料와 많은 經驗을 필요로 한다.

本 稿에서는 外國의 設計頻度에 관한 研究를 소개하는 한편 頻度解析時 必要한 雨量資料와 資料價 構成에 관한 基本事項을 살펴보고자 한다.

2. 頻度解析을 위한 雨量資料

降雨는 地域的·季節的인 偏差는 물론이고 長期的으로 보아 時間的 變動性도 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 한정된 標本資料에 의해 頻度

解析을 實施할 경우 觀測點의 密度, 資料의 記錄年數등이 중요하며 分析된 結果가 母集團의 特性을 充分히 설명할 수 있는가에 대한 檢討가 必要하다. 특히 都市流出解析시 주로 이용되는 것은 짧은 持續期間의 雨量資料(5분, 10분, 20분, 30분)로서 自記紙 눈금간격이 세밀한 것이라야 한다.

현재 우리나라는 建設部, 기상대 그리고 수자원공사등에서 각자의 목적에 따라 雨量을 測定하고 있는데 형편에 따라 記錄計의 形態도 조금씩 다르다.

기상대의 경우 모든 觀測所가 自記雨量計로 觀測을 實施하고 있고 建設部 산하 雨量觀測所도 1970년대를 전·후로 대부분 自記化가 되었으며 自記化 이전에는 普通雨量計에 의한 日雨量 測定結果가 韓國水文學會誌 및 水文調查年報 형태로 保全되고 있다.

自記紙의 形態는 기상대가 測候所 전지점과 일부 觀測所에서 눈금단위 10분 간격의 自記紙를 사용하고 있고 나머지 지점은 30분 간격의 自記紙를 사용하고 있다. 建設部의 경우는 自記紙 형태가 주로 눈금간격 1시간 짜리이며 수자원 공사의 경우도 1시간 단위 T/M 자료가 대부분이다. 그리고 이러한 觀測地點들은 적은 地點數에도 불구하고 각각의 目的과 地域的인 按配를 考慮하여 全國에 골고루 分布되어 있다.

서울의 경우를 예로 든다면 短時間 雨量을 測定할 수 있는 自記雨量計를 사용하는 觀測地點은 기상대 산하 1個所 뿐이다.

* 韓國建設技術研究院 水資源研究室長 工學博士

** 韓國建設技術研究院 研究員

따라서 都市化의 급진적 추세와 雨量資料가 長期間의 資料를 요하는 것을 감안할 때 雨量觀測所의 新設과 短時間雨量을 파악할 수 있도록 自記紙의 형태를 바꾸는 것은 중요한 일이라 할 수 있다.

資料에 관하여 또 한가지 짚고 넘어가야 할 것은 標本資料의 抽出問題이다.

統計處理에 이용되는 資料는 無限한 數의 母集團이 아니고 標準資料이므로 시간적으로 定常(stationary)인 自然過程으로 부터 蒐集되어야 하고 推定된 變數가 母集團의 變數를 대표할 수 있는 特性을 가져야 한다. 그리고 確率分析을 위해서는 資料가 서로 독립적(independent)이어야 한다. Chow는 標本資料의 독립성을 考慮했을때 年超過值系列은 完전한 資料系列이라할 수 없으며 數學적으로 취급하는데 많은 어려움이 있다고 지적한 바 있다.⁽³⁾

資料의 定常性 문제는 資料가 蒐集된 期間內에 周邊環境의 變化나 計測機器 및 計測場所의 非一實性등으로 非定常 狀態가 발생할 수 있으므로 이에 대한 事前 檢討가 필요하다.

마지막으로 標準資料로부터 算定된 媒介變數가 母集團의 特性을 대표해주는가 하는 문제인데 독립성과 一實性 문제를 滿足하였을 때 利用資料의 記錄年數가 문제가 된다.

일반적으로 標本資料의 記錄年數는 최소한 20-30년 정도는 되어야 하는 것으로 알려져 있다. 그러나 현실적으로 그 이하의 資料年數로 頻度解析을 하는 경우가 많은 것도 사실이다.

Hershfield(1961)는 미국 198개 基準點의 日最大雨量資料를 이용하여 記錄年數 50年 資料와 60, 70, 30, 20, 10年 資料의 平均 및 標準偏差 補正係數를 算定 발표한바 있다.(그림 1)

Hershfield에 의하면 異常值 문제를 考慮하지 않더라도 資料數가 增加하게 되면 相對的으로 작은값보다 큰값이 얻어질 確率이 많아 오른쪽으로 歪曲된 分布型을 갖게되고 따라서 平均과 標準偏差는 增加하게 된다는 것이다. 그림1을 살펴보면 記錄年數 50년과 10년 資料의 平均 및 標準偏差를 比較했을 때 相對적으로 平均은 3%, 標準

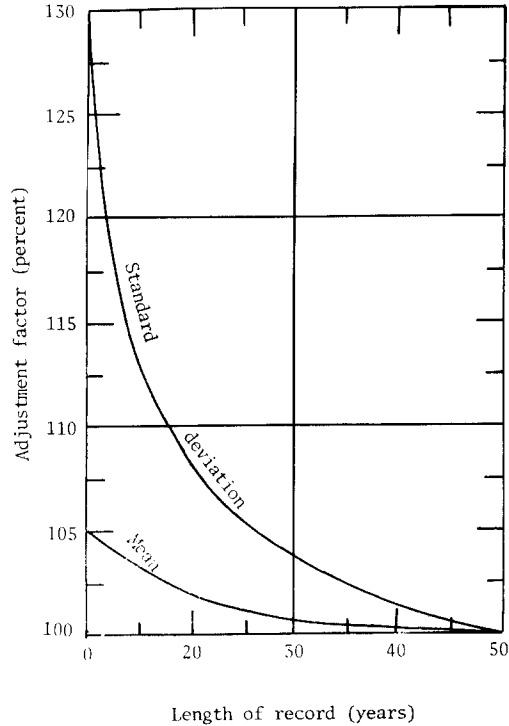


그림1 년치대치 계열자료의 자료기독년수에 따른 평균, 표준편차의 보정계수(Hershfield, 1961)

偏差는 12%정도 차이가 나는것을 알 수 있다.

2.1 降雨資料의 解析一般

頻度解析을 위한 降雨資料系列은 年最高值系列과 年超過值系列 두가지로 구분할 수 있다. 年最高值系列은 해당 자료가 존재하는 記錄期間內에 每年의 最大值만으로 構成된 系列을 말하며 年超過值系列은 어떤 基準值보다 큰 값을 가진 모든 資料로 構成되며 이 系列에 속하는 資料의 수가 記錄年數와 같게 되도록 基準值가 選定되었을 때를 말한다.

資料의 統計分析에 있어서 年最高值系列을 쓸 것인가 年超過值系列을 쓸 것인가 하는 문제는 對象構造物의 性質에 의해 결정되는데 큰댐의 餘水路와 같이 최악의 氣象 條件下에서 設計하는 경우는 年最高值系列을 이용하는 것이 妥當하며 비교적 낮은 再現期間을 갖는 砂防構造物, 高速度路의 排水口, 下水口등의 構造物에 대해서는 年

最高値보다는 年超過値係列을 사용하는 것이 構造物의 設計에 安全하다. 그런데 年超過値係列을 이용하여 頻度解析을 할 경우 資料值係列의 構成에 어려움이 있고 作業이 번거로으므로 이를 피하기 위하여 基本解析은 年最高値係列로 實施하고 두 係列間의 換算係數(Conversion factor)를 이용하여 年超過値係列로 換算하는 방법을 많이 이용한다.

일반적으로 年超過値係列의 頻度解析結果는 再現期間 20년 이하에서 年最大値係列보다 큰 값을 갖는다.

미국 National Weather Service에서는 1977년 5분에서 60분의 短時間 確率降雨量圖를 作成하면서 年最高値係列과 年超過値係列의 再現期間別換算係數를 算定·發表한바 있다.⁽³⁾

표 1 再現期間別 換算係數

| 재현기간 | 환산계수 |
|------|------|
| 2 | 1.13 |
| 5 | 1.04 |
| 10 | 1.01 |
| 25 | 1.00 |
| 50 | 1.00 |
| 100 | 1.00 |

표 1은 年超過値係列을 構成할 수 있는 미국의 200개 주요 雨量觀測地點을 대상으로 산정한 결과인데 60분 이하의 持續期間에 대한 平均値이다. 이 표에 의하면 再現期間 2년에서 年最高値係列과 年超過値係列의 비는 1.13이고 10년은 1.01이다. 그리고 再現期間 25년에서 100년까지는 두 계열간의 값이 同一한 것으로 나타나 있다.

우리나라의 경우 중앙기상대 산하 測候所 地點 중 記錄年數가 30년 이상인 地點을 이용하여 換算係數를 산정해본 결과 持續期間 60분 再現期間 2년에 대한 換算係數가 1.157이었고 10년에 대한 換算係數는 1.008 이었다.⁽⁴⁾

3. 設計頻度

우리나라와 같이 都市流出에 관한 資料가 많지

않은 경우에는 都市雨·排水 施設의 設計時 降雨 資料 分析을 통하여 計劃 洪水量을 결정하여야 하며, 이때 水工構造物의 設計頻度는 중요한 요소이다.

일반적으로 水工構造物의 設計頻度는 構造物 設置에 드는 費用과 期待效果를 考慮하여 결정하게 된다. 被害를 줄이기 위해서는 構造物의 크기를 크게하면 되지만 그만큼 構造物 設置 및 그 附帶費用이 增加하게 되므로 費用과 期待效果를 考慮하여 最適의 設計頻度を 결정해야 한다.

設計頻度の 결정을 위하여 지금까지 제시된 방법을 要約하면 4가지 정도로 分類할 수 있다.

첫째 가장 일반적이며 우리나라의 경우 주로 사용되고 있는 것으로 超過確率을 構造物 設計의 指標로 이용하는 방법이다. 먼저 對象地點의 資料를 分析하여 頻度別 洪水量을 산정하고 洪水量-頻度 曲線을 작성한다. 그리고 頻度別 洪水에 대응하는 被害額을 산정하여·被害額-頻度 曲線을 작성한다. 被害額 산정시는 物價上昇 등 제반 시간적 變動要因을 考慮 하여야 한다. 그림2는

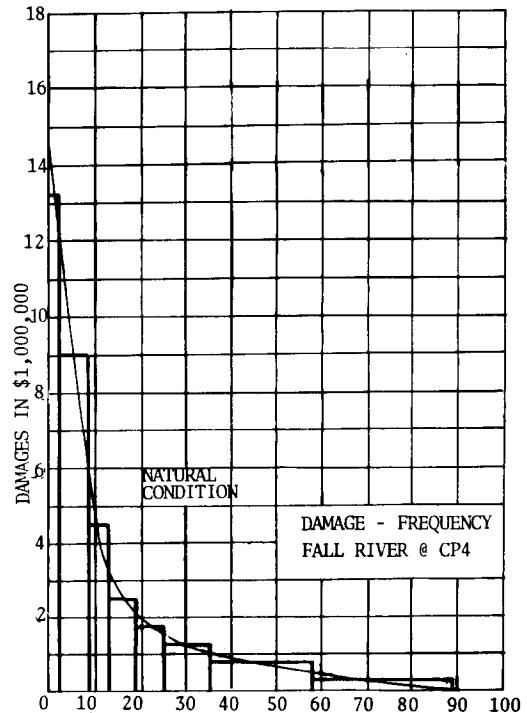


그림2 빈도-피해액 곡선

미국 Fall River에서 작성된 被害額-頻度 曲線의 일례이다. '被害額-頻度 曲線과 洪水量-頻度 曲線이 작성되면 임의의 頻度에 대한 構造物의 크기와 被害額을 결정할 수 있게되고 構造物의 크기가 결정되면 工事費, 運營費, 維持費 등을 산정하여 經濟性分析을 실시 할 수 있다. 이 經濟性分析 結果로 부터 最適頻度を 결정할 수 있다.

두번째는 構造物 設計指標로 파괴확률 (probability of failure)을 사용하는 방법이다. 파괴확률을 결정 하는데는 2차 모멘트법이 널리 쓰이는데 이것에 대해 간단히 기술하기로 한다. 먼저 洪水量을 어떤 構造物에 가해지는 荷重 (load)이라 하고 이에 대응하는 構造物의 크기를 抵抗(resistance)이라 假定 했을때 임의의 構造物의 安全餘力(safety margin) M은 $M=R$ (抵抗)- L (荷重)과 같이 정의할 수 있다.

이때 R, L은 頻度에 따른 無作為 變수이며 모두 正規分布를 갖는 것으로 假定한다. 그리고 R, L을 標準化 시킨 값을 X, Y라 했을때 두 관계를 圖示하면 그림3과 같다. 그림3에서 $M=0$ 를 나타

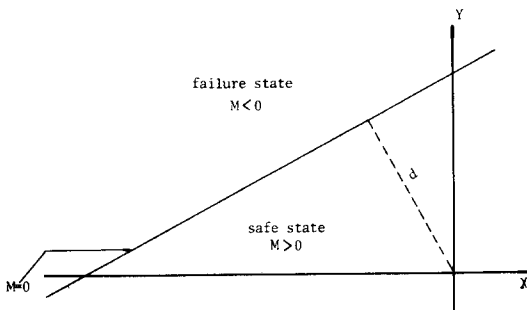


그림3 X, Y의 공간분포

내는 방정식은 $\mu_R, \mu_L, \sigma_R, \sigma_L$ 을 각각 R, L의 平均 및 標準偏差라 할때 다음식과 같이 표시할 수 있다.

$$\sigma_R X - \sigma_L Y + \mu_R - \mu_L = 0 \dots\dots\dots (1)$$

또한 信賴度(reliability)를 나타내는 원점 0에서 $M=0$ 線까지의 거리 d는 다음과 같이 표시된다.

$$d = \frac{\mu_R - \mu_L}{\sigma_R^2 + \sigma_L^2} \dots\dots\dots (2)$$

d는 安全指數(safety Index)이며, 이때 構造物의 破壞確率 RF는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P_F = 1 - \phi(d)$$

여기에서 $\phi(d)$ 는 安全確率(probability of safety)이다.

세번째 방법은 두번째 방법에서와 같이 設計指標로서 破壞確率을 이용하며 變數 R, L이 임의의 分布型을 갖는 경우이다.

네번째 방법 역시 破壞確率을 構造物設計의 指標로 하며 R, L을 變數로 하는 結合確率密度函數 (Joint probability density function)을 이용하여 破壞確率을 구한다. 이때 破壞確率 PF는 다음과 같이 計算되어지며, $f_{R,L}(R,L)$ 은 結合率密度函數이다.

$$PF = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_0^R f_{R,L}(R,L) d_R \right] d_R \dots\dots\dots (3)$$

이 방법의 단점은 函數 $f_{R,L}$ 을 유도하기가 어렵다는 것이다.

이상과 같이 適定頻度を 결정하기 위한 몇가지 방법을 알아 보았는데 현재 가장 많이 사용하고 있는 첫번째 방법은 破壞에 대한 正確한 確率을 감당할 수 없으며 이 문제점을 조금이라도 改善한 것이 나머지 방법들이라 할 수 있다. 따라서 앞으로 좀더 합리적인 適定設計頻度の 결정을 위해서는 이러한 방법들에 관한 研究가 필요하다.

○ 設計頻度は 構造物의 位置 및 經濟的인 條件에 따라 多樣하게 變하므로 一律的으로 결정할 수는 없으나 構造物別 혹은 地域別로 基準을 設定하여 놓는 것이 通例이다. 우리나라, 일본 그리고 미국에서 適用한 結果를 살펴보면 먼저 우리나라는 下水道 施設基準에서의 下水道施設 設計頻度は 10년으로 정하고 있다.

그러나 이제까지 適用되어온 주요도시의 例로는 부산시 30년, 마산시 20년, 울산시 30년, 서울시 10년 그리고 대구시는 既往最大雨量을 사용한 것으로 되어 있다. 일본의 경우 下水道施設基準에서 정한 下水道施設의 計劃頻度は 10년이나 실제 적용은 降雨強度를 基準으로 하였는데 文獻상에 나타난 것을 整理해 보면 동경이 50mm/hr,

오오사카 60mm/hr, 그리고 요코하마 60mm/hr이다. 이들 降雨強度는 각각 그 地域의 5년, 12년, 그리고 10년 頻度에 해당하는 것이다.

미국의 경우는 미국군 공병단 자료를 참고하면 표 2와 같다.

표2 미국의 계획빈도

| Facility | Recurrence Interval, years |
|------------------------------------|----------------------------|
| Flood Control ¹ | |
| Reservoir | 50-SPF* |
| Spillway(High dams) | PMF** |
| Levee | 10-SPF |
| Channel | 5-SPF |
| Drainage | 1-50 |
| Hurricane Protection | 10-SPF |
| Urban Storm Drains ² | 10-25 |
| Initial Design | 2 |
| Residential | 5 |
| High Value General Commercial Area | 5 |
| Public Building Area | 10 |
| High Value Downtown Business Areas | 5-10 |
| Major Design | 100 |
| M&I Water Supply | 20-100 |

* SPF: Standard Probable Flood
 **PMF: Probable Maximum Flood

3. 결 언

본고에서는 都市地域 水工構造物의 設計時 降雨資料 解析과 設計頻度 決定에 대하여 간략히 살펴 보았다.

近間 都市地域에서의 豪雨로 인한 浸被害가 頻發하고 이에 대한 對策도 많이 檢討되고 있는 것으로 알고 있다. 합리적인 對策方案이 수립되기 위해서는 基本이 되는 資料가 充分·適節하여야 하고 分析方法이 合理的이어야 함은 말할 필요도 없다. 결론적으로 현재 우리나라 각 都市地域의

降雨觀測網에 대한 再檢討가 필요하고 短時間 降雨資料를 觀測할 수 있도록 自記紙의 形態를 바꾸도록 해야 한다. 그리고 設計頻度問題에 있어서도 學界, 官界, 業界의 의견을 수렴한 합리적인 設計頻度の 제시가 필요하다

현재 韓國建設技術研究院에서 수행중인 確率 降雨量 圖작성과업이 완결되면 都市域에서의 雨排水 施設設計의 基準이 되는 確率降雨量의 산정에 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) Alfredo H-S. Ang, Wilson H.Tang, "Probability Concepts in Engineering Planning and Design", John Wiley, & Son, 1984.
- 2) Erich J.Plate and Lucien Duckstein, "Reliability Base Design Concepts in Hydraulic Engineering", Water Resources Bulletin, Vol. 24, No.2, pp235-245, 1988.
- 3) National Weather Service, "Five-To 60-Minute Precipitation Frequency for the Eastern and Central United States", Technical Memorandum NWS Hydro-35, 1977.
- 4) 建設部, "水資源管理技法開發 研究調查一次報告書", 1987.
- 5) 尹龍男, "工業水文學", 清文閣, 1986.
- 6) 鮮于仲皓, "水文學", 東明社, 1983.
- 7) US Army Corps of Engineers, "Hydrologic Engineering in Planning", Training Document No.14, 1984.

→257페이지 "水害와 傾斜地保全"에서 계속

5. 맺음말

水害의 범주로서의 土砂災害, 즉 斜面崩壞나 土石流에 의한 災害는, 貴重한 人命被害를 많이 隨伴하는 特徵을 갖고 있다. 이러한 면에서 水害를 予防하고 復舊를 實施하는 防災活動에 있어, 傾斜地의 保全은 큰 意味가 있다. 傾斜地의 安定을 圖謀하고, 保全하는 努力은 土木技術의 發展

과 함께 많은 進展이 되고 있으나, 溪流附近의 土石流對策에는 問題點이 없지 않다. 土石流災害로부터 人命을 지키기 위하여는 土石流의 發生予測, 警報를 위한 施設을 配置하고, 警戒, 避難體制를 整備하는 事業을 計劃하고 遂行할 必要가 있다. 그러기 위하여는 傾斜地條件을 위한 政策的 配慮는 本體系的인 研究가 이루어져야 할 것이다.