

設計洪水의 選定

Selection of Design Flood

Emil Mosonyi

Dr. Professor of civil Engineering

Werner Buck

Dr. Ing Research Engineer

Theodor-Rehbock Laboratory for River Improvement

—Technical University

Karlsruhe, -Federal Republic of Germany

[本主題의 重要性에 비추어 讀者, 專問家, 또는 各國 委員會로 부터의 論評, 提案, 見解 또는 補充 資料를 要請합니다]

設計洪水의 選定 方法은 國家 마다 相異하다. 選定過程의 政策의 要求는 勿論 複雜한 土木工程의 諸問題로 인하여 單一 方法의 使用이 不可能하다. 따라서 이 問題는 國際的 論議의 對象이 되고 있다. 수많은 假說과 基準으로 부터 最善의 選定을 期할수 있는 指針樹立은 設計者에게 크게 도움이 되리라 믿어 I. C. I. D會誌 26卷1號에서 이 問題에 관한 論文을 學會 會員 諸位에게 번역 제공코져 한다.

—編輯者 註—

1. 序 論

設計洪水選定이란 洪水 現象의 諸特性의 決定值을 事전에 設定하여 用水源開發事業의 規模나 構造物의 크기를 決定하고 洪水가 이 設計洪水量을 초과하지 않는 限 洪水로부터의 直接 間接的 被害를 받지 않게됨을 意味하는 것이다. 그러나 때로는 其他 諸般 自然現象(水, 波濤等)의 要因과 一致하여 發生하는 洪水에 對備하여 이 設計洪水(Design Flood, DF)에 適切한 餘裕值를 주어 이 二次的인 現象에 對해서 設計值가 不足되지 않는 限 DF의 不足으로 인한 失敗가 惹起치 않도록 한다.

D.F選定은 計劃및 設計者의 責任을 法的으로 규정하는데 決定的인 역할을 한다. 洪水 被害가 發生할時 法律節次中 被害를 發生시킨 洪水와 設計洪水

(D.F)의 관계에 對하여 專問家의 意見을 要請하는 것이 常例로 되어있고 D.F가 責任있는 當局에 의해 選定되고 규정되어있으면 D.F가 실제홍수보다 작아도 法的으로는 不可抗力이라하여 計劃樹立者(設計者)의 責任은 免除되거나 限定된다. 따라서 責任은 D.F를 選定한 決定權者(個人, 團體, 當局等)에 歸着된다. 그러나 技術者의 良心的 責任上 盲目的으로 D.F 규정 또는 D.F 基準을 受諾 할수는 없는 것이며 必要하다면 이를 批判 하고 현 DF 基準이나 指針이 해당事業(構造物)與件에 適合하지 않음을 高位 當局에 建議해야 한다.

D.F는 피크流量, 最高水位, 洪水發生期間 또는 一個 洪水波의 總水量으로 나타낼수 있다. 이와같은 水文量은 相互 聯關되어 있으며 Hydrograph와 水位—流量 曲線으로 表示된다.

洪水被害를 防止, 減少 또는 補償하는 目的으로 다음과 같은 各種 手段이나 構造物이 使用된다.

(a) 水理工學의 方法

洪水調節堰 또는 多目的 貯水池와 그 餘水吐, 防水堤, 河川整備對策(River training measures), 堰을 包含한 河川의 運河化, 承水路 및 洪水路(Dive rsion canal and Floodway), 暗渠나 싸이폰(Culverts and syphons), 農村및 都市의 排水組織, 排水場, 防潮閘門, 카퍼댐(Coffer dam) 또는 굴착抗(Excavation pits) 등의 保護構造物, 等.

(b) 其他方法

流域內에서 耕作 및 自體 洪水調節(土壤 浸透率 增加와 土壤浸蝕防止를 위한 土壤 耕作과 植林) 構造物에 의하여 洪水浸水 地帶에서의 建物 및 建物 群에 對한 直接的인 保護 措置, 洪水地帶에서의 토 지이용계획 및 구분, 一時的 水防對策, 洪水被害保險 等.

上述한 두가지 方法을 單獨의으로 施行할것이 아니라 各 方法을 複合的으로 施行하는 것이 보다 合理的이다.

用水源 개발사업 및 用水構造物을 위한 D.F의 選定은 自然的, 技術的 및 財政的 條件이나 限界를 근거로 하여 經濟的 社會的 見地에서 解決해야 할 문제이다. 또한 洪水 調節 事業은 다른 用水開發事業과 大部分 結付되어 있음을 잊지 말아야 한다.

D.F의 選定은 여러가지 方法으로 할수 있으며(2) 事業의 形態나 規模, 利用可能한 水文資料(種類 및 質) 나아가 國家의 經濟現況 및 潛在的인 經濟能力 洪水被害 豫想地域 面積 等の 各要因에 따라 달라진다. 本稿에서는 D.F 選定에 쓰이는 現行 方法을 記述하고 分類하며 設計基準으로서의 設計洪水量 (Design Flood Discharge)과 이와 關聯된 洪水位에 論議를 限定코져 한다.

2. 設計洪水의 選定方法

國際的인 慣例가 最優先順位로 固定시키고 있는 것이 D.F의 크기이다. 現在 使用되고 있는 方法은 經驗式과 包絡曲線(Envelope Curve)의 利用, 記錄 最大洪水의 確認, 確率最大洪水量(Probable Maximum Flood P. M. F) 또는 特定 再現期間 洪水量 (Specified Return Period Flood) 및 超過確率洪水量(Exceedance Probability Flood)의 計算等이다. 其他 方法으로는 (그렇게 흔하지는 않으나) 費用收益 分析(Cost-Benefit Analysis) 또는 最大利益率分析(Optimization Procedure)을 根據로 하는 方法이 있으나, 이들 方法은 流出量이나 降雨量과 洪水被害豫想量의 推計를 根據로 하고있다. 各 計算 方法을 아래에 간략히 記述코져한다. 各 方法의 이용과 關連하여 利用可能한 資料의 質과 構造物의 形態 및 規模에 對해서도 설명코져 한다.

2.1 觀測最大洪水 또는 記錄最大洪水

流出量이나 降雨量 資料를 利用 할수 없거나 使

用可能 資料가 極히 制限된 경우 D.F 選定은 以前에 發生된 最大洪水를 基準한다. 이 洪水는 水位記錄이나 洪水痕跡을 최근에 시행된 雨量측정을 근거로하여 평가 분석하여 구한다. 以前에 發生한 洪水의 洪水位를 알기만하면 流量公式(水理力學的 關係式)을 利用하다. 卽 問題의 洪水時에 發生했던 水面勾配, 粗度係數와 河川斷面을 추정하여 流量을 計算한다. 記錄最大洪水位는 流水이나 水面의 結水에 對해서도 適用되나 이 경우 얼음이 섞인 洪水의 D.F 基準을 樹立 하는것은 大端히 複雜한 일이다. 때로 이 記錄最大洪水에 諸般特殊條件을 감안하여 餘裕值를 준다. 餘裕值의 크기는 記錄最大洪水의 發生日時, 觀測期間, 設計構造物의 種類 및 洪水被害 豫想地域의 重要性(價値) 等에 따라 달라진다. 그러나 記錄最大洪水의 確率頻도에 對한 資料 不足과 餘裕值 設定의 任意性 때문에 이 D.F 選定 方法은 特殊한 경우 이외에는 그 正當性을 부여 할수가 없다. 特히 觀測期間이 짧으면 D.F는 一定 期間後 再設定 되지 않으면 안된다. 卽 既設定한 最大洪水值를 超過하는 洪水가 發生할때 마다 再設定 하지 않으면 안된다. 一般的으로 이 方法은 計劃 樹立時에 D.F의 簡易 推定 方法으로 使用 하거나 他 方法에 의해 選定된 結果에 對한 補完 資料로 利用 한다.

2.2 經驗洪水式

經驗式은 河川의 피크 流量과 그 流域內의 하나 또는 數個의 變數와 關聯 지어진 것이며 이 式들은 特定地域內에서 開發된 것이다. 따라서 이 經驗式으로는 流域의 氣候, 地形, 地質 및 其他 條件이 類似한 地域에 對해서만 피크 流量을 推定 할수 있는 것이다.

많은 經驗洪水式이 유역면적만을 유출을 결정하는 유일한 因子로 취급하고 있다. 또한 類似한 公式를 流出量이나 降雨量 記錄이 全然 없는 地域에 對해서도 使用 한다. 이들 공식은 다소 넓은 범위 안에서 변하는 係數를 포함하는데 이 계수는 設計者에 의해 결정되고 있다.

流域面積만을 決定 因子로하는 經驗式과는 달리 平均傾斜, 流域의 形態나 高度, 土壤의 形態, 植生 等 其他 變數를 考慮한 많은 公式들이 開發되어 있다.

이들 公式들도 洪水發生頻도에 關한 立證資料가 全然 없기 때문에 바람직한 公式이 못된다.

그러나 降雨量이 特定 頻度を 갖이고 選定되고

이 降雨量을 因子로 包含한 公式는 最小한 洪水의 再現期間에 對한 概略的인 推定을 可能케 한다. 이 중에서 가장 잘 알려진 公式의 하나가 "合理式(Rational formulae)"이다.

融雪로 인한 流出量을 推定하는 經驗式도 開發되어 있다. 이 경우 融雪만에 의한 洪水와 融雪과 降雨의 同時 洪水를 明確히 區別 해야한다.

2.3 包絡線(Envelope Curve)

同性水文氣象學的 條件인 地域에서 여러구역에서의 觀測 最大流量이나 比流量($m^3/s/km^2$)을 流域面積對 流量으로 圖表化 할수 있다. (兩對數圖表가 比較의 便利함). 圖表上의 各點은 上部 限界線으로 包絡할수 있다. 觀測值가 充分 하다면 頻度의 概略值를 나타내는 一群의 線을 얻을수 있다. (例 Wundt의 그림표 參照(16))

經驗式과 마찬가지로 包絡線法도 降雨量이나 流出量 資料의 利用이 不可能한 同一地域의 類似特性을 갖는 流域에서 洪水 豫測의 단서를 줄수 있다. 그러나 洪水를 誘發하는 諸因子中 오직 두 因子만을 (地形的 位置 및 流域面積) 고려했기 때문에 包絡線은 可能洪水(期待洪水)의 範圍를 潛定的으로 推定 하는데 使用 할수 있을 뿐이다.

2.4 設計基準洪水量(Standard Project Flood, SPF)

一部 國家에서 構造物 設計(人命의 損失이 發生될 우려가있는 中規模댐의 餘水吐等)에는 世稱 設計基準 洪水量을 使用하는 것이 普通이라. 이 用語는 "極히 例外的인 경우를 除外하고 그 地域의 合理的인 特性으로 考慮된 極限 氣象 및 水文學的條件을 結合하였을 時에 期待되는 洪水量"을 意味한다(3) 設計基準洪水는 設計基準降雨量(Standard Project Storm)을 適用하여 降雨-流出 模型으로 計算한다. 設計基準降雨量을 決定하는 여러 方法을 여기서 論議할 意圖는 없으며 本 自的을 爲해 適合한 降雨-流出 模型엔 "Unit Hydrograph法"이나 比較的 작은 流域에서 使用되는 "合理式"이 포함된다. 大流域에 對해서는 Flood Routing(洪水追跡法)을 쓸 수도있다.

融雪로 인한 流出에 對해서도 많은 流出模型이 開發되었으나 降雪 및 氣象資料의 부족으로 適用上 制約이 크다.

設計基準洪水의 定義 自體의 모호성 때문에 이 洪水의 特定超過頻度나 再現 期間에 對한 確實性을

期待하기는 곤란하다.

2.5 確率最大洪水量(Probable Maximum Flood PMF)

確率最大洪水란 特定한 流域에 있어 合理的인 可能性을 가진 降雨, 土壤濕度 및 其他 流出條件의 最惡條件下에서 假定되는 피크流量이나 假定的인 最大流出 Hydrograph를 말한다.

P.M.F를 根據를 한 洪水防止 費用은 大單位 流域에서는 엄청나게 클수 있다. 따라서 P.M.F를 設計基準으로 使用하는 경우는 人命損失이나 其他 甚한 被害가 豫想되는 地域의 餘水吐設計에 限定 하는 것이 普通이다. (5)

P.M.F는 地域을 通過하는 氣團의 最大水分 含量下에서 最大 可能 風速 및 水蒸氣量 降雨로 變換시키는 降雨力學의 最大效率을 假定한 確率最大降雨(Probable Maximum Precipitation PMP)로 부터 決定 한다.

P.M.P와 P.M.F의 概念은 以上の 各 自然現象와 上限值를 決定하기는 不可能하다는 見解에 의하여 甚한 批判을 받고있다. 또한 P.M.F가 計算에 依해 設定된 直後에 이 보다 더 큰 流出量이 發生한 事實도 있다(1) 이러한 事實은 設定한 洪水가 確率 最大洪水가 아닌 즉 超過確率인 零인 洪水였다는 것을 意味하는 것이다. 때로는 設計者가 基準참고 값으로 P.M.F를 계산하고 다음에 經濟的인 與件에 適合시키기 위해 이것에 어떤 係數를 곱하여 減少된 D.F로 決定하는 일이 있음을 필자는 알고 있다. 이러한 과정(더 正確한 表現으로는 操作)은 진지한 方法이라고 할수 없는데 왜냐하면 임의의 환산계수에 의하여 결정된 D.F는 河川의 流出 特性과 洪水의 再現期間과는 全然 無關한 것이기 때문이다.

2.6 再現期間洪水 또는 超過確率洪水

筆者의 知識에 의하면 몇몇 口家에서는 D.F 選定에 있어 指針과 基準이 常用化 되고 있는 것으로 안다. 一般的으로 D.F는 構造物의 種類나 보호대상 지역의 重要度를 考慮하여 決定하며 超過確率이나 再現期間(再現間隔)에 의해 決定된다. 洪水頻度의 計算에 對해서는 3節에서 記述 하기로한다. 流出量 資料가 없거나, 不足한 경우에는 降雨 統計分析值를 利用 하거나, 그지역 特性에 맞는 確率洪水量을 計算한다. D.F에 對한 指針中 어느것은 一般的 特性을 다루고 다른것들은 特定 河川, 特定 河川 區間 또는 特定 構造物에 對한 것을 다룬다.

一般的 指針의 例를 들면 表 1과 같이 特定 再現

期間을 기준으로 D.F를 定하는 것이다. 이것은 체코스로 바키아의 기준(CSSR standards)인데 表-1에서 T-년의 洪水量, Q_T 는 狀設計에 適用되는 것이다.

表-1.

對象地域區分	設計頻度 洪水量 Q_T
住居地, 重要工業 및 交通要地	Q_{100}
産業-農業 地域	Q_{50}
耕作地帶	$Q_T \sim Q_{20}$
森林 및 洪水平野	Q_{10} 까지

一部國家에서는 中規模의 構造物에 對한 推薦再現期間은 人命의 被害危險이 없는 限 100年을 超過하지 않고 있다.

또한 特定 指針의 例 몇개를 들어보기로한다. 어느 地域의 大規模 構造物, 大河川의 堰, 또는 防水堤等에서는 相當히 큰 安全度를 要求한다. (Q_{100} , Q_{1000} 또는 그 以上) 例를 들면 헝가리의 D.F 基準은 河川 및 河川 區間에 따라 다르며 따라서 방수제에 對해서 Q_{100} , Q_{100} 및 Q_{100} 등이 규정되어 있으나 어떤 河川이나 區間에 對해서는 記錄 最大洪水(Historical flood) (普通 또는 水結)를 D.F로 하고 있다. 또한 化란에서는 低濕地帶 平野에 큰 被害를 考慮하여 最近 3000年 頻度 洪水量을 堤防 設計에 適用하고 있다. 各基準에는 前述한바와 같이 餘裕를 設計時 加算함은 勿論이다. (例: 헝가리에서는 基準 餘裕值를 區間에 따라 大河川에서는 70-150cm, 小河川에서는 25-70cm) 筆者가 上的 資料를 입수한것은 몇년 전이기 때문에 그동안에 基準이 바뀌었거나 修正 되었는지도 모르겠다.

높은 的 餘水吐에는 必要하면 D.F는 P.M.F와 同一하게 하거나 頻度值 Q_{1000} 의 값 또는 그 上을 擇한다.

大部分의 경우 이러한 指針, 基準, 推薦等의 目的은 D.F의 選定을 固定시키려는 것이 아니며 實은 計劃樹立者가 事業의 기타 特殊性을 고려하여 최종 결정을 내리는데 도움을 주기 위한 것을 목적으로 하고 있는 것이다.

2.7 經濟分析

D.F 選定엔 經濟的 與件이 定的인 要素가 되며 充分한 經濟分析 資料가 있을 경우에는 最大收益分析에 따라 D.F 決定을 하는것이 妥當性이 있을수도 있다. 이는 小流域에서 主로 適用하며 大流域이나 河川의 一部이더라도 큰 住居地域의 없는곳에 適用한

다. 人爲的인 事項이 D.F 選定에 關與할때 즉 D.F의 最終 選定이 政策的 判斷에 달려있는 경우에는 어느때나 最大收益分析을 實施하는 것이 合理的이다. 이러한 狀況에서는 經濟的 分析이 가장 經濟性 있는 必要投資와 經濟外的인 追加 費用에 對한 資料를 提供해준다. 財政 및 資金 配定에 對한 決定은 이러한 分析을 通해서 誘導된다.

. 通常的으로 收益 費用 分析은 收益과 費用을 金額上으로 比較하기 위해 使用된다. 洪水 防止事業에 對한 收益은 洪水對策事業을 施行할時와 施行치 않을 경우(With and without measures principle)에 對해 算定된다. 즉 論理的으로 收益은 防正對策事業으로 因하여 생기는 被害豫防額과 同一하다. 이 被害 豫防額 \bar{D} 는 "被害-頻度 曲線" $D(p)$ 를 滿水流量에 해당되는 頻度值 P_0 로부터 D.F에 해당하는 確率值, P_{DF} 까지를 積分 하므로 얻을수 있다.

$$\bar{D} = \int_{P_0}^{P_{DF}} D(p) dp$$

洪水 頻度關係에 대한 知識이 收益 費用 分析에 있어서는 必要不可缺한 것이다. 收益 費用 分析에서는 防止될수 있는 被害豫想 金額과 費用의 總額을 求해야한다. (一次, 二次 및 直接 間接의 費用과 피해예방액) 그러나 現實的으로 正確한 推定은 大端히 어렵다. 왜냐하면 洪水防止 收益에 對해서는 市場(基準金額)이 있을수 없고 다른 한편 國家 經濟의 어떤 因子(例: 機會費用)는 쉽게 反影 되기가 어렵기 때문이다. 또한 利率이나 事業의 經濟的 壽命을 決定하는것 역시 어려움의 하나이다.

人命에의 危險, 疾病이나 流行病, 心理的 影響, 文化財의 被害等 無形的 被害는 收益 費用 分析에서는 극히 모호하게 되어 이들은 D.F의 最終 決定時 고려할수 있도록 경제적인 분석 평가에 덧붙여 문장으로 추가 기술해있는 것이 일반적이다. 實際로 洪水 防止 事業의 經濟的 價値는 여러 基準에 의해 判斷될수 있으며 이 基準중 중요한것을 들면 現在 價値분석, 內部投資 收益率分析, 收益 費用率 등이 있다.

3. 洪水頻度 分析

洪水 頻度 分析은 D.F 選定の 여러방법에서 가장 重要的 역할을 한다. 頻度分析의 가장 좋은 方法이 무엇이냐 하는 質問에 對해서는 數十年間 論爭이 계속 되어 왔으며 자기 特色있는 主張을 여기서 取

扱할 意圖은 없다. 最近의 가장 基本的인 方法에 대해서만 아래에 略述코져 한다.

水路의 특정 斷面에서의 確率 洪水量의 設定은 피크流量, 超過確率 및 再現期間의 相關關係를 根據로 하고있다. 評價分析을 爲한 基本 Data (일반적으로 年最大洪水)는 推計 統計學的으로 亂變數(Random variable)의 獨立的인 反復으로 假定되기 때문에 確率 理論的으로 取扱된다. 標本 洪水數를 增加시키기 위하여 어느 基準値 以上の 流量(partial duration series)을 使用할수있으나 이 경우 各事例間의 獨立性이 檢討되어야 하며 獨立性 外에 觀測群의 同質性(均質性)도 또한 있어야 한다. 또한 觀測值 數가 充分하여 信賴性있는 外挿이 可能해야 한다. 必要 觀測 期間과 許容 外挿에 대해서는 見解들이 相當히 相異하다. 再現期間과 觀測期間 사이에 相異가 클수록 外挿의 信賴度가 작은것은 明確한 事實이다. 一般的으로 觀測期間中의 年最大 洪水量이 基本 資料로 利用되고있다. 季節 洪水의 頻度가 決定될수 있다면 各 年度의 가장 큰 季節值를 計算의 基礎로 擇한다.

一群의 洪水 觀測值는 未知의 分布 函數에 속하고 無限히 發現 可能한 任意變數의 標本으로 간주할수 있다. 限定된 標本으로부터 正確한 分布를 찾아 내는것이 數理統計學的인 과제인것이다. 大部分의 경우 洪水 分布에서는 對稱的인 Gauss 正規 分布는 適合치가 않다. 왜냐하면 이 分布는 觀測群의 非對稱性(偏奇性)을 認定하지 않기 때문이다. 따라서 洪水 水文學에서는 다음의 函數를 使用한다. Lognormal(對數 正規 分布) Pearson Type 3, 對數 Gumbel 및 Gamma 分布.

無限한 數의 任意變數 즉 모든 年最大 洪水量의 분포함수가 未知이기 때문에 어떤 하나의 標本에 대하여 여러가지 方法을 適用해 正確한 分布函數에 接近시키려는 試圖을 해야하는 것이다. 實際 適用面에서 眞分布의 統計的 變數 즉 모멘트를 標本에서 推定해야 한다. 이들 모멘트에는 算術平均, 分散 및 偏奇 등이 있다.

$$\text{平均(mean)} \bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i$$

$$\text{分散(variance)} S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2$$

分散係數(coefficient of variance) $C_v = S/\bar{Q}$
 偏奇係數(coefficient of skewness)

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$$

여기서 Q_i 는 n 年間의 觀測期間中 i 年の 年最大流出을 의미한다.

또 다른 形態의 眞分布 函數에의 接近方法 즉 變數의 算定法은 "最大確率法(maximum likelihood method)"이다. 이것은 確率法則에는 가장 適合하나 지극히 數理的인 것으로써 극히 限定된 경우에만 實用되어 온것이다.

上述한 公式이나 最大確率法에 의하여 數個의 變數를 推定한 후 計算의 다음 段階가 문제가 된다. 즉 眞分布의 Simulation을 위해 어떤 分布函數를 適用하는것이 適合한가 하는것이다. 相異한 分布를 適用하면 結果值의 差異는 어느경우에 相當히 크게 되는것에 주의하여야 한다. 따라서 超過頻度만으로 D.F를 決定 한다는 것은 극히 困難하다. 筆者는 이 事實을 確認하는 여러 實例을 研究한 바 있다. 한 例로써 최근 Theodor-Rehbock 研究所에서 本稿의 先任筆者의 指導下에 遂行된 研究 內容을 紹介코져 한다¹³⁾. 圖-1.은 라인江의 Rheinfelden에서 測定된 年最大流出量과 이들의 再現期間 間의 相關關係이다. 42年間의 年最大流出量을 分析하였다. 모멘트法과 最大確率法을 利用 計算한 8가지의 分布가 나타나 있다. 分布 No. 6 (pearson type)과 分布 No. 16 (Log Gumbel)間엔 相當한 差異가 있음을 알수있다. 이러한 結果로 볼때 D.F를 確率에 根據를 두고 選定 할때는 筆者는 再現期間(超過頻度)과 分布函數의 種類를 同時에 D.F의 指標로 使用할것을 強力히 提案하는 바이다. (例: $Q_{100}(P3)$, $Q_{0.01}(P3)$, $Q_{1\%}(P3)$; 이는 Pearson type 3 分布에 依해 計算한 100年 頻度 洪水流出量을 意味한다)

다음 略字의 使用을 第二 指標로 使用할것도 아울러 提案한다.

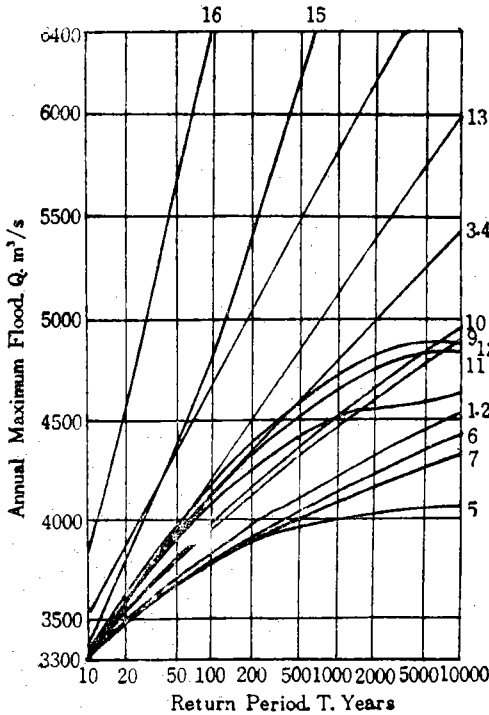
Pearson type 3 分布	= (P3)
Log Pearson type 3 "	= (LP3)
Gumbel type "	= (Gu)
Log Gumbel type "	= (LGu)
Gamma "	= (G)
Log Gamma "	= (LG)
正規分布	= (N)
對數正規分布	= (LN)

나아가 洪水 確率에 對한 資料에는 變數 決定 方法과 標本抽出期間(年數)를 동시에 밝힐것을 主張한다.

適切한 分布를 選定하기 위해서는 다음과 같은 3가지 方法을 使用한다.

一 長期間의 經驗을 基礎로 하여 河川이나 流域의

그림-1. 洪水량과 再現期間
Rhein江의 Rheinfelden 관측소 1933-1974.



Number		Distribution function
Method of moments	Maximum Likelihood M	
1	2	Normal
3	4	Lognormal
5	6	Pearson Type 3
7	8	Log Pearson Type 3
9	10	Gamma
11	12	Log Gamma
13	14	Gumbel
15	16	Log Gumbel (Frechet)

특성을 알고 있을 때는 잘 알려진 分布函數를 任意選定한다.

一 해당 流域, 地域 또는 國家에 있어서 分布函數의 選定에 關한 基準이나 指針이 있는 경우에는 이것에 의해 본포함수를 결정하거나 도움을 받게 된다. 美國, 印度, 英國 및 西獨에는 유사한 기준이 設定되어 있다.^{15, 16, 17, 18} 이러한 기준들이 特定方法

(分布)을 使用할 것을 強力히 主張하는 것은 아니지만 相異한 流域 및 河川에서 얻은 結果를 相互比較할 수 있게 하는 것이다.

一 洪水 水文學에서 이미 使用된 잘 알려진 2개 또는 그 이상의 分布에서 가장 適合한 것을 發見하기 위하여는 最適判斷試驗(Goodness of fit test)을 實施한다.

一般的으로 주어진 標本에 對한 分布函數를 選擇하기 위해서는 Chi-square test나 Kolmogorov-Smirnov test를 使用한다. 그러나 이러한 最適判斷試驗은 有慾性 檢定일 뿐이지 分布函數中 어느 것이 資料에 가장 適合한가에 對한 問題點을 解決하는 것은 아니다. 換言하면 이러한 檢定은 各 分布間의 優先 順位를 定할 수 있는 것이 아니라 選擇된 函數의 推薦 可能性 與否를 檢討할 수 있을 뿐이다.

또 다른 方法의 하나인 確率比檢定(上述한 最大 確率法과 混同 하지 말것)은 "標本 資料가 어느 分布에 더 適合한가?"하는 問題點에 對해 解答을 준다. 따라서 이 檢定은 最適分布를 確認하기 위해 使用될 수 있다. (分布란 意味엔 函數의 種類나 變數 決定 方法을 다 같이 包含하고 있다)

分布가 決定되면 年最大洪水流出과 이의 確率 사이에 明白한 相關關係가 樹立된다.

洪水頻度를 計算하는 經驗的인 方法中 하나는 觀測 資料를 確率紙에 點畫하는 方法이다. 各 點의 座標는 여러 公式에 의해 定해진다 가장 一般的인 것은 다음 公式이다.

$$p^* = \frac{m}{n+1}$$

p^* = 經驗的 超過確率

n = 觀測의 數

m = 觀測值를 크기 順位로 配列한 當該 番號數 때로는 點畫한 觀測值를 外插이 가능하도록 直線이나 曲線에 맞춘다. 또한 最小自乘法을 使用해서 가장 適合한 線形을 決定하는 수도 있다.

觀測記錄值가 없는 流域에 對해서는 地域的 洪水頻度를 計算하는 것이 常用 方法이다. 이 경우 水文學的으로 同性 地域(流域)內의 모든 記錄值를 使用해서 頻度 計算을 한다. 이 結果를 全地域의 代表值로 取扱한다. 이렇게 하면 記錄值가 없는 同一 地域內의 다른 流域에 對한 洪水 確率을 推定할 수 있다. 地域的인 洪水頻度 決定 以前에 地域內의 觀측소에 對한 同性 檢定이 반드시 先行되어야 한다. 그다음 洪水頻度는 年平均洪水에 對한 相對 流出의 比로써 表示될 수 있다. (換言하면 $Q=f(P)$ 또는 $Q=f(T)$ 의 確率曲線은 $Q/\bar{Q}=f(P)$ 또는 $Q/\bar{Q}=f(T)$ 그

設計洪水의 選定

때므로 變換된다) 最後로 地域內 관측소에 가장 알맞는 線을 그리게 된다.

나아가 제 2의 重要한 관계식 즉 流域 面積을 函數로 하여 年平均 洪水量 方程式을 세운다. $Q=f(A)$ 따라서 上述한바와 같은 두개의 相關關係에 의해서 同地域內의 無觀測 流域의 面積을 알면 그 流域의 洪水量과 頻度關係를 만들수 있는 것이다.

觀測 流出量 資料가 있는 地域에서 洪水頻度を 決定하는 다른 方法으로서는 降雨量 觀測 資料에 依存하는 方法이 있다. 이 方法에도 여러 種類가 있다. 降雨量 資料를 統計의 方法으로 分析하고 여러 再現 期間에 對한 降雨持續 期間 및 降雨量과의 關係를 樹立한다. 그런후 降雨 一期間一頻度 分析 結果를 利用하여 降雨一流出 模型을 樹立한다. 降雨頻도가 流出頻度 算出에 반드서 對應되는 것은 아님을 銘心해야 한다.

4. 危險負擔 및 不確定性

信賴性 있는 最大洪水量 算定 方法의 不在와 計算結果值를 根據로 한 設計에 豫想外의 經費가 所

要되므로 一般의 洪水防止 構造物은 未來의 損壞의 危險負擔을 안고 있다.

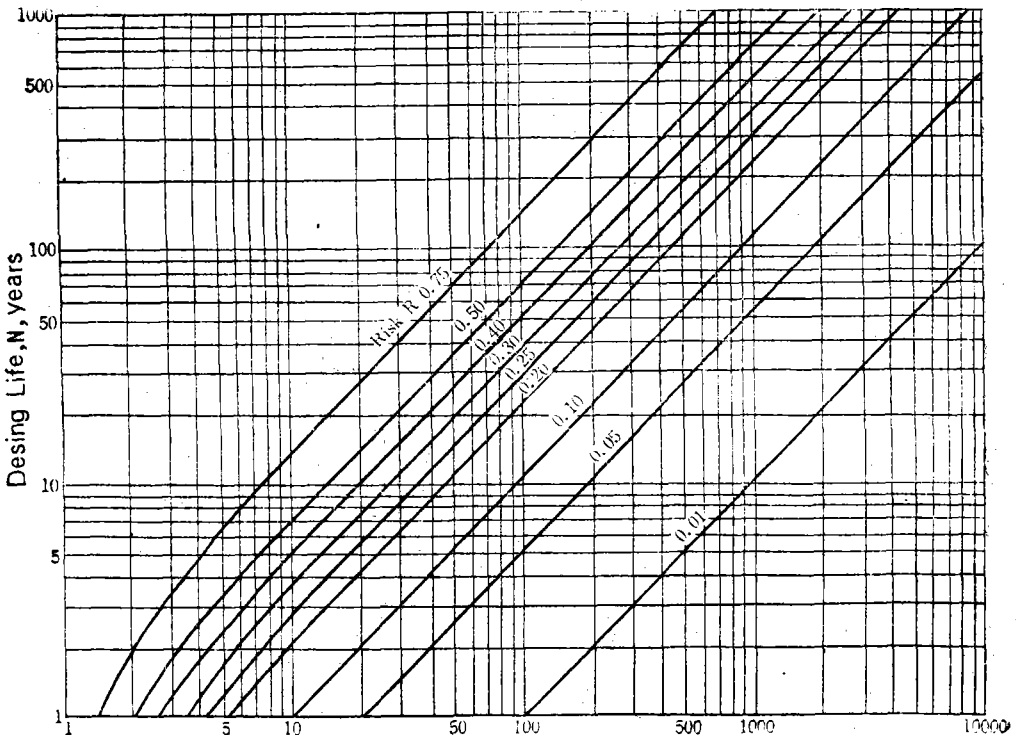
設計洪水가 洪水調節事業의 N -年 設計 壽命期間中 超過되거나 同一해질 確率을 水文學의 危險負擔이라고 指稱한다. 洪水 調節 構造物이 失敗할 危險을 나타내는 公式 R 는 아래와 같다. ^{9,11)}

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N$$

그림 2가 上式을 圖表로 나타낸것이다. (例: 그림 2로서 構造物 耐久年限을 80年으로하고 設計 洪水量을 500年 頻度值로 하여 防水堤를 設計하였을 때 危險負擔 確率은 14.8%이다 危險負擔 確率을 5%로 하기 위해서는 1560年 頻度 洪水量으로 設計하여야 한다).

D.F를 選定할 때는 水文學의 危險負擔 外의 다른 不確定要因도 考慮해야 한다. 分布度 分析에 使用되는 資料도 상당한 오차와 불확실성을 포함하고 있다. 例를 들면 몇몇경우에 빈도분포가 구역의 可變의 水文條件에 영향을주는 自然的, 人爲의 作用(現代의 환경개발에 따라 人爲의 작용이 더욱 증대되고 있다)에 따라서 變한다는 것을 豫상하지

그림-2. 危險水準別 設計洪水의 再現期間 對設計耐久壽命



않을수 없다. 또한 다음과 같은 誤差 및 결함 등이 結果值의 不確定性을 增大시킨다: 即 確率頻度 計算에 使用되는 洪水量의 測定 또는 計算上의 誤差, 不充分한 觀測期間; 계속 觀測期중에 결측 기간이 있거나 틀린 기록이 포함되어있는것; 事業(構造物)의 耐久年限과 其他 經濟 分析上의 主要 問題點의 가정 (經濟分析의 方法, 被害 評價, 利子率, 投資費用, 把握 困難한 無形的 損失과 利益의 財政的 換算)等.

上記 水文學的 및 經濟的 不確定性 以外에 廣範圍한 土木 分野의 責任있는 計劃立案者는 水文學的 이 아닌 設計의 他要因上의 不足과 誤差에서 연유되는 危險負擔을 考慮해야 한다. (構造의 側面, 地質 및 土質力學的 假定 等)⁹⁾ 可能하다면 이 모든 危險負擔과 不確定性을 D.F의 最終 選定時 考慮해야 한다. 感應度分析(sensitivity analysis)과 決定法則(Decision theory) 어느 하나를 適用하여 危險度와 不確定性을 어느 範圍까지 定量的으로 評價할수 있는 경우도 있다. 그렇지 못한 경우에는 최소한 綜合的인 危險度에 대한 定性的인 調査에 全勞力을 傾注해야 한다.

筆者들은 이 論文으로 인해 많은 同僚들로 하여금 水理工學技術者 들에게 가장 重要하고 複雜한 것의 하나인 D.F 選定에 對한 討論에 參與할수 있는 契機가 되기를 眞心으로 바라는 바이다.

最近에는 各種 數理學的 方法과 電子 計算 技術이 開發되어 여러가지 相異한 假定을 根據로 하고 따라서 結果에 있어 현저한 차이를 주는 여러가지 處理 方法이 開發되었다. 그러나 各種 假定과 方法 中에서 責任있는 技術자가 D.F를 선정하는데 크게 도움을 줄만한것은 많지 않은 實情이다. 全世界로부터 本主題에 對한 寄稿가 있을 것을 믿어 의심치 않는다.

參 考 文 獻

- (1) BENSON, M.A., "Thoughts on the Design of Design Floods," Proc. Second Internat. Symoisum in Hydrology, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, 1973, p. 27-33.
- (2) BISWAS, A.K., "Some Thoughts on Estimating Spillway Design Floods," Bulletin of the IASH, XVI, No. 4, Dec. 1971, p. 63-71.
- (3) CHOW, V.T., "Handbook of Applied Hydrology," McGraw-Hill, New York, 1964.
- (4) CSSR standards ON 73 6817, "Navrhovani Jezu," (Design of Weirs), Prague.
- (5) DAVIS, C.V., and SORENSEN, K.E., "Handbook of Applied Hydraulics," McGraw-Hill, New York, 1969.
- (6) DAVIS, D.R., KISIEL, CH. C., and DUCKSTEIN, L., "Bayesian Decision Theory Applied to Design in Hydrology," Water Resources Research, Vol. 80, No. 1, Feb. 1972, p. 33-41.
- (7) F.R. of Germany, Kuratorium für Wasser und Kulturbauwesen/Deutscher Verband fuer Wasscrwirtschaft, "Empfehlung zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit," (Flood Frequency Analysis, Recommendations), Heft 101, Regeln zur Wasserwirtschaft, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1976.
- (8) GRUNER, E., "Classification of Risk," Onzieme Congres des Grands Barrages, ICOLD, Q. 40-R. 6, Madrid. 1973.
- (9) Hydrological Research Unit, "Design Flood Determination in South Africa, Report No. 4/69, University of the Witwatersrand, Johannesburg.
- (10) INDIA, GOVERNMENT OF, "Estimation of Design Flood. Recommended Procedures," Central Water and Power Commission, New Delhi, Sept. 1972.
- (11) KOBERG, D., EGGERS, H., and BUCK, W., "Die Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit für deutsche Flub-gebiete," (Flood Frequency Analysis for German Rivers), Mitteilungen Heft 163. Theodor-Rehbock-Flubbaulaboratorium, Universitat Karlsruhe, Karlsruhe, 1975.
- (12) MOSONYI, E., "Coordination of Water Resources Allocation," Publ. of the ITC-UNESCO-Centre for Integrated Surveys, Delft, Seminar 1969, p. 181-206.
- (13) PALOTAS, L., "Engineering Handbook," Vol. 4, Budapest, 1961.
- (14) UNITED KINGDOM, NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL, "Flood Stu-

dies Report, Vol. I Hydrological Studies," London, 1965.

Dec. 1967.

- (15) UNITED STATES WATER RESOURCES COUNCIL, "A Uniform Technique for Determining Flood Flow Frequencies," Hydrology Committee, Bulletin No. 15, Washington,

- (16) WUNDT, W., "Gewaesserkunde," Springer-Verlag, Berlin/Gottingen/Heidelberg, 1953.
- (17) YEN, B. CH., "Risks in Hydrologic Design of Engineering Projects," Proc. ASCE, HY4, April 1970, p. 959-966.

라인江의 洪水位

農業振興公社 金 周 範

有名한 로레라이 附近의 라인河畔에 있는 어떤 호텔 흰 벽에 지금까지의 洪水位가 記錄되어 있는데 위부터 차례로 1784年, 1845年, 1833年, 1875年, 1955年, 1947年, 1958年, 1956年으로 되어 있었다.

이 中에서 第一 높은 洪水位는 道路面上 3m程度이고 第一 낮은 水位는 70cm程度였다.

190年以上 오랜 洪水位가 흰 벽에 그대로 記錄되어 있고 이 建物이 지금까지 그대로 호텔로 있다는 것은 정말로 놀라운 일이라 하겠다.

그런데 過去에 이렇게 洪水를 當하면서도 라인江岸의 提防은 別달리 손상하지 않은 것은 도저히 우리의 常識으로는 理解가 되지 않는다.

오랜 옛날 일은 차치하고라도 最近 1947年, 1955年, 1956年, 1958년에 連달아 冠水被害를 받고 있었다는 事實이다. 이러한 일이 우리나라에서 있었다면 再次 災害를 防止하기 爲하여서라도 流量計算을 다시하고 이에 依한 防止 對策이 講究되어야 할 것이다.

이 라인江岸의 背後地는 그리 넓지는 않고 집은 石造이고 라인江의 흐름도 그리 急流가 아니어서 될수있는데로 自然을 거슬르지 않는다는 그 地方사람들의 생각이 이와같이 200年 가까이 洪水記錄을 가지고 있는것이 아닌가 여겨진다.

우리는 人災다, 河川管理의 瑕疵다 하고 洪水때마다 責任을 따지고 벌을 주는 거와 比較하여 別天地에서의 이야기와도 같다.