

等危險度線理論에 의한 遊水池 安全度評價

The Evaluation of Detention Reservoir Safety using
Equi-Flooding Line Theory

최성열* · 심재현* · 이원환**

Choi, Song Yeol · Shim, Jae Hyun · Lee, Won Hwan

Abstract

Based on the equi-flooding line theory, this study suggests method of evaluating safety of detention reservoirs with drainage pumping facilities in Seoul metropolitan area, and derives equi-flooding lines according to destruction frequency for each detention reservoir. In most part of detention reservoirs, its flood prevention are so much dependent upon drainage capacity that inland flooding prevention can be serious problems in case of its malfunction. In this study, the detention reservoirs which are below 5 year destruction frequency estimated as 29.3%, and below 10 year as 39.6% of the total. To improve reservoir safety, the detention reservoir capacities (including drainage and pumping capacity) should be upgraded above 20 year in its destruction frequency, and its reinforcement capacities are calculated.

要 旨

本 研究는 等危險度線 理論에 根據하여, 서울特別市에 있는 排水펌프施設을 갖고 있는 遊水池의 安全度를 評價하는 方法을 提示하였고, 各 遊水池에서의 遊水池 破壞頻度에 따른 等危險度線을 誘導 하였다. 대부분 遊水池에서 遊水池機能(排水機能+貯留機能)이 排水機能에 너무 많이 依存하고 있어서 排水機能이 役割을 다하지 못할 경우에 內水浸水被害를 防止할 수 있는 對策이 未洽한 것으로 나타났다. 研究結果 破壞頻도가 5年 未滿인 遊水池가 全體의 29.3%, 10年 未滿인 遊水池가 39.6% 로 推定되어서, 內水被害의 우려가 있다. 따라서 遊水池의 破壞頻도를 最小한 20年 이상으로 上向調整해야 할 것으로 생각되며, 該當頻度에 대한 貯留容量 및 排水펌프의 補強 施設容量을 提示하였다.

1. 서 론

最近의 急激한 都市化와 이에 따른 人口增加로 지금까지 볼 수 없었던 都市水文事象의 急激한 變

化를 招來하게 되었다. 洪水時 內水被害가 끊이지 않고 發生되고 있고, 災害의 發生頻度 또한 점차 커지고 있어서, 都市內排水 處理問題는 그 重大性이 점차 커지고 있는 實情이나, 現在까지 이러한 內排水問題를 明確한 理論을 바탕으로 하고 또한 實用의인 面에서 簡便하게 使用할 수 있는 手法을 確

* 正會員 · 延世大學校 大學院 土木工學科 博士課程

** 正會員 · 延世大學校 土木工學科 教授

定論으로取扱한 경우는 매우 드문 實情이다.

遊水池 計劃의 基本이 되는 遊水池 安全度評價는 尖頭流量 및 總流出量(總雨量)의 確率評價에 의한다. 만약 洪水가 排水펌프와 같은 排水施設에 의해서만 調節된다면, 排水能力을 超過하는 尖頭流量이 發生할 確率이 破壞頻度內에 存在하도록 排水施設을 設計하면 된다. 따라서 排水施設의 容量은 洪水의 尖頭流量에 대한 頻度解析에 의해 設計되어야 한다. 반대로 洪水가 貯水池와 같은 貯留施設에 의해서만 調節되어야 한다면 洪水時 總流出量을 貯留할 수 있는 規模가 貯留施設의 設計基準이 된다.

따라서 排水施設과 貯留施設이 一般의으로 並行되어 있는 경우의 洪水調節시스템(排水펌프場이 있는 遊水池)은 洪水 水文曲線 上의 尖頭流量과 總流出量의 結合確率密度函數에 根據하여 設計되는 것이 合理的이라 하겠다.

本 研究에서는 尖頭流量과 總流出量의 結合確率分布의 概念을 바탕으로 等危險度理論을 適用하여, 서울特別市 61 個所에 位置한 遊水池에 대한 排水容量과 貯留容量을 x, y 軸으로 하는 等危險度線(Equi-Flooding Risk Line or Equi-Flooding Line) 理論을 導入한 보다 具體的이고도 簡便한 遊水池 安全度 評價手法를 提示하고, 서울特別市의 遊水池를 들어 安全度 評價를 實施하였다.

2. 等危險度線 理論

가. 等危險度線의 定義

y_0 를 排水容量으로 하고, z_0 를 貯留容量, λ 를 洪水의 年平均 發生頻度, ϵ 를 洪水로 인한 構造物의 年平均 破壞頻度라 하면, λ 또는 ϵ/λ 를 洪水의 危險水準(Flooding Risk Level)이라 할 수 있다. 지금 λ 또는 ϵ/λ 가 一定하다고 할 때, y_0 가 충분히 크면 z_0 는 매우 작거나 없을 수도 있으며, 반대로 y_0 가 작으면 큰 z_0 가 필요하게 된다. 즉, y_0 와 z_0 사이의 어떠한 函數關係를 假定할 수 있다고 보면, 等危險度線式(Equation of Equi-Flooding Line)은 다음과 같이 定義할 수 있다⁽¹⁾.

$$F(y_0, z_0) = \epsilon, F'(y_0, z_0) = \epsilon/\lambda \quad (1)$$

나. 等危險度線

等危險度線의 理論⁽²⁾으로 부터 誘導된 最終 結果

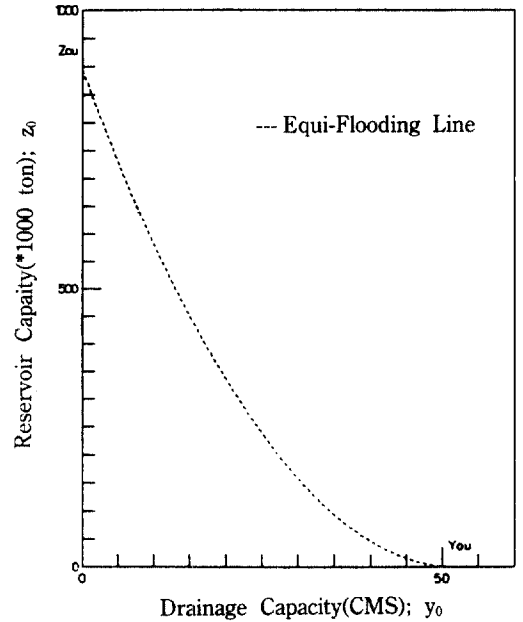


그림 1. 等危險度線의 一例

를 記述하면 다음과 같다. 橫軸에 排水施設容量(y_0), 縱軸에 貯留施設容量(z_0)을 취하고 安全度($k_0 = 1 - \epsilon/\lambda$)를 일정하게 취하면 等危險度線의 方程式은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z_0/z_0^u = \{(y_0^u - y_0) / y_0^u\}^s \quad (2)$$

여기서

z_0^u : 排水施設이 전혀 없을 때의 貯留施設 만으로 治水를 行할 時에 所要의 安全度を 갖기 위해 必要한 貯留施設의 容量(그림 1의 Y 절편)

y_0^u : 貯留施設이 전혀 없을 때의 排水施設 만으로 治水를 行할 時에 所要의 安全度を 갖기 위해 必要한 排水施設의 容量(그림 1의 X 절편)

s : 排水形態와 貯留容量에 의해 決定되는 常數

위의 z_0^u 와 y_0^u 는 다음 式으로 부터 구할 수 있다.

$$z_0^u = F_z^{-1}(k_0) \quad (3)$$

$$y_0^u = F_y^{-1}(k_0)$$

여기서 F_z : 總流出量만의 累積確率分布函數

F_y : 尖頭流量만의 累積確率分布函數

式 (2)를 사용하여 等危險度線을 그리기 위해서는 z_0^u , y_0^u 및 s 값을 決定하여야 하며, z_0^u 는 總流出量의 確率分布函數 또는 確率紙로 부터 所要의 非超過確率 k_0 에 對應하는 값을 취함으로써 구할 수 있다. 마찬가지로 해서 y_0^u 는 尖頭流量의 確率分布函數 또는 確率紙로 부터 구할 수 있다. 즉 z_0^u 와 y_0^u 는 尖頭流量과 總流出量의 結合確率分布에 관한 情報는 전혀 필요치 않다. 따라서 等危險度線의 形狀은 z_0^u 와 y_0^u 를 連結하는 綫이 되며 이 形狀은 s 값으로 부터 決定된다. 이 s 값은 z_0^u 와 y_0^u 의 結合確率分布函數의 理論的인 檢討에 의해서 2~3 次의 指數函數線으로 近似시킬 수 있음이 證明되어 있으며, 治水計劃上의 安全을 考慮하여 2로 하는 것이 安全側일 것이다⁽³⁾. 그러나 보다 嚴密한 確率評價를 行할 경우에는 實測資料로부터 s 를 求해야 한다.

다. 實測資料로 부터의 s 값의 推定

遊水池의 排水形態를 그림 2와 같은 一定量 排水形式으로 하여 實際流出水文曲線으로 부터 s 값을 推定하는 順序를 要約하면 다음과 같다.

式 (2)를 로그 變換하면 다음 式으로 나타낼 수 있다.

$$\log(z_0/z_0^u) = s \log\{(y_0^u - y_0)/y_0^u\} \quad (4)$$

여기서 y_0^u 는 尖頭流量의 確率分布에서, z_0^u 는 總流出量의 確率分布에서 구할 수 있다. 따라서 y_0 와 z_0 가 주어진다면 式 (3)에서 s 를 구할 수 있다. 위의 過程을 詳細하게 나타내면 다음과 같다.

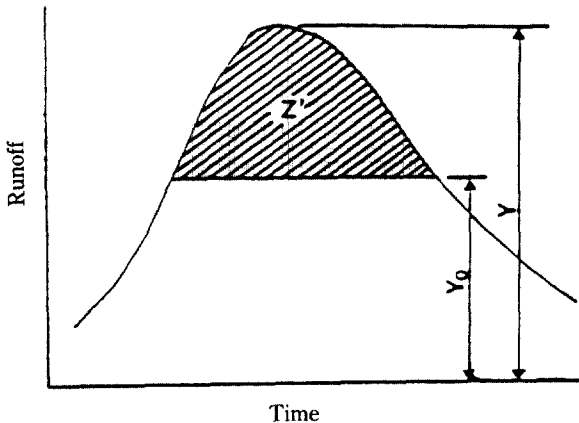


그림 2. 一定量 排水形式

1) 代表水文曲線의 選定

- ① 初期流量 y_B 를 選定한다.
- ② 觀測流量 q' 가 y_B 보다 같거나 작다면 流量 q 는 零으로 놓는다. 그리고 $q' > y_B$ 이면 $q = q' - y_B$ 가 된다.
- ③ 여기서 約 100 個 程度의 水文曲線을 採擇할 수 있도록 y_B 를 選定하며 y_B 보다 큰 尖頭流量을 가진 水文曲線을 洪水時의 水文曲線으로 假定한다. 따라서 y' 를 實際 觀測尖頭流量이라고 하면 $y = y' - y_B$ 가 된다. 위의 過程을 거친 水文曲線의 數를 N 이라 하면 N 個의 y, z 순서쌍을 얻게 된다.

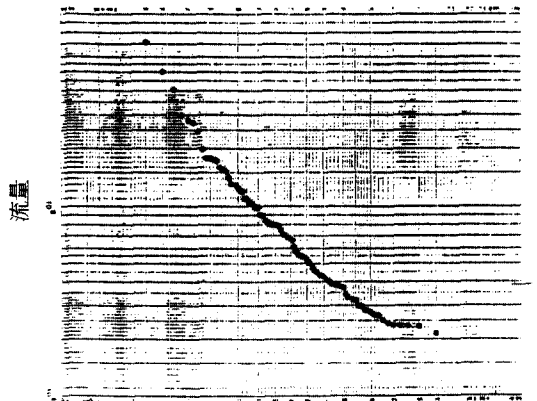
2) y_0^u 와 z_0^u 推定

- ① 安全度 k_0 를 정한다.
- ② (3) 式으로 y_0^u 와 z_0^u 를 推定한다.
- ③ 여기서 (y_0^u , z_0^u)는 實際 尖頭流量資料를 利用하여 母數統計分析(parametric statistical analysis)으로 부터 구하거나, 確率紙上에 資料를 Weibull Plotting 기법 등(그림 3)의 圖式方法으로 부터 구할 수 있다.

3) y_0 와 z_0 의 순서쌍

- ① y_0 를 假定한다.
- ② y_0 보다 큰 尖頭流量이 있는 水文曲線을 選定한다.

非超過確率



超過確率

그림 3. Weibull Plotting 技法에 의한 圖式的 方法 結果(한남, 總 流出量)

- ③ 選定된 水文曲線에서 y_0 를 超過하는 總流出量 z' 를 計算한다.
- ④ 다음 式으로 부터 주어진 y_0 와 k_0' 에 대한 z_0 를 推定하거나 또는 z' 을 Weibull plot 하여 z_0 를 구한다.

$$z_0 = F_z^{-1}(k_0') \quad (5)$$

- ⑤ y_0 를 조금씩 늘리면서 ①~④의 過程을 반복하여 y_0, z_0 의 순서쌍들을 구한다.

4) s의 推定

- ① 各 순서쌍 (y_0, z_0)에 대해 對數座標上에 $\{(y_0 u - y_0)/y_0^s, z_0/z_0^s\}$ 을 plot한다.
- ② 適正하게 適合되는 直線의 기울기를 s 로 推定한다.

그림 4는 위의 過程을 통해 얻어진 한남 遊水池의 再現期間 10 年에 해당하는 그림이며, 直線의 기울기는 2를 약간 上廻하는 것으로 나타났다. 實際 觀測資料로 부터 s 를 推定해 본 結果 $s=1.3\sim 4.0$ 으로 나타나며 觀測誤差를 考慮하여 볼 때, s 는 2~3 사이가 適切한 것으로 볼 수 있다.

3. 서울市 遊水池의 治水等危險度線 分析

가. 適用流域과 基本資料

위의 過程들을 貯留施設과 排水施設이 同時에 存

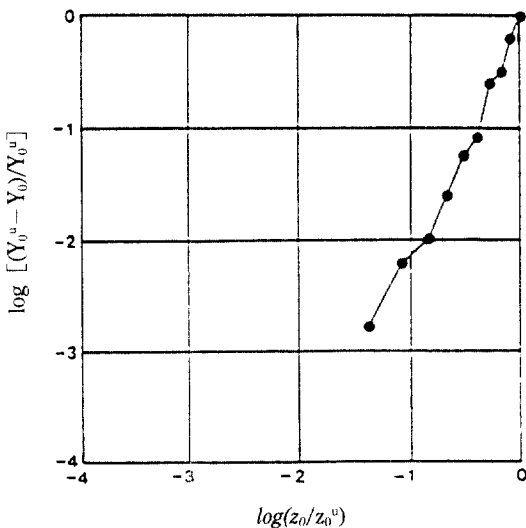


그림 4. s 값의 推定

在하는 서울特別市의 遊水池에 適用하였다. 時間降雨資料는 1962.1~1990.12까지의 29 年間の 資料를 使用하여 約 100 개의 一雨降雨(다른 降雨과 區別될 수 있는 하나의 降雨事象)를 選定하였다. 여기서 舉論된 一雨降雨란 都市域의 遊水池에서는 先行降雨에 의해 貯留된 물은 약 반나절 程度이면 排水된다고 생각하여, 無降雨 連續時間이 12 時間 보다 커지면 別途의 降雨로 보기로 하였다⁽⁴⁾. 또한 無降雨의 選定에도 任意性이 存在할 수 있기 때문에 本研究에서는 주로 水文學的인 견지에서 洪水到達 時間內的 計劃規模 相當值의 5%로 하였다⁽⁵⁾. 都市河川에서는 到達時間이 1 時間 内外이며, 計劃規模는 10 年 程度이므로 서울地方의 10 年 確率時間雨量의 5% (3.14 mm) 以下를 無降雨로 보기로 한다. 이렇게 選定된 一雨降雨에 대해 流出模型을 適用, 流量系列로 變換시켰다.

나. 流出水文曲線

流出水文曲線은 어떠한 流出模型을 사용하는가에 따라서 매우 敏感하게 反應한다. 그러나 現在로는 어떠한 流出模型이 서울特別市의 都市水文事象에 가장 適合한 가를 判別할 만한 流出模型의 檢定資料가 거의 없는 實情이나 이원환, 박상덕 등이 作成한 報告書⁽⁶⁾에서 指摘했듯이, 비교적 都市流出을 良好하게 나타낼 수 있고, 全世界의 流域의 流出解析에 많이 使用되고 있는 ILLUDAS 模型을 使用하여 流出水文曲線을 구하였다.

다. 排水容量과 貯留容量의 確率評價

本研究에서 使用한 確率評價 技法은 母數統計分析技法을 使用하였다. 먼저 尖頭流量과 總流出量 各各의 最適確率分布型⁽⁷⁾을 決定하고, 여기에서 얻어지는 統計特性值과 頻度係數法⁽⁸⁾을 利用하여 遊水池의 破壞頻度에 따르는 排水容量과 貯留容量을 구하게 된다. 이러한 過程을 흐름도로 나타내면 그림 5와 같다.

라. 等危險度線의 形象化

尖頭流量 및 總流出量의 確率評價로부터 遊水池의 破壞頻度別 排水容量과 貯留容量이 구해지면 이를 各各 X 및 Y 軸의 절편으로 하는 等危險度線을 그릴 수 있으나, 이를 위해서는 式 (2)의 s 값을 決定하

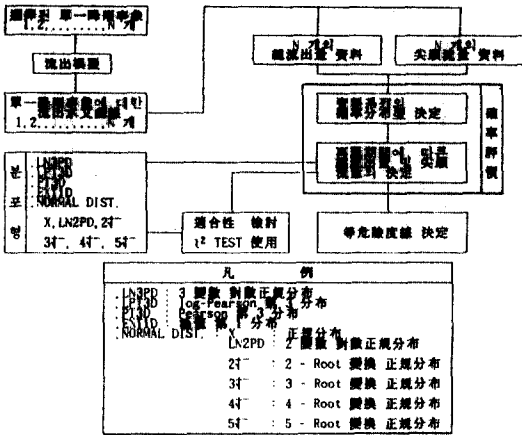


그림 5. 尖頭流量 및 總流出량의 確率評價 흐름도

여야 한다. 그러나 等危險度線을 遊水池의 治水目的으로 使用하기 위해서는 s 값을 安全側인 2 로 하는 것이 妥當하므로 s 값을 2 로 놓고 式 (2)를 그리면 원하는 治水等危險度線을 얻을 수 있다.

마. 서울特別市 治水等危險度線 分析

等危險度線을 利用한 遊水池 治水計劃의 흐름도는 그림 6과 같다. 서울시의 각 遊水池에 대한 治水等危險度線 分析結果를 綜合하여 一括表로 提示하면 表 1과 같다.

例로서 한남, 휘경, 성산 및 신정 3 遊水池의 治水等危險度線은 그림 7~10 이며, 排水容量과 貯留容量은 治水 等危險度線上에 '●'로 表示되어 있다. 서울特別市의 각 遊水池의 特徵을 살펴보면 表 1, 그림 9와 그림 10에서 보는 바와 같이 遊水池 機能이 安全側에 있을지라도 거의 모든 遊水池의 貯留機能이 排水機能에 비해 현저히 작아서 遊水池機能(貯留機能+排水機能)이 全的으로 排水機能에 依存하고 있음을 알 수 있다. 따라서 排水施設에 異常이 생기는 경우 内水被害를 막을수 있는 對策이 없는 實情이다.

水工構造物의 破壞頻도가 점차 커지는 傾向이 있음을 감안하여, 現在 대체로 10 年 안팎인 破壞頻도를 20 年으로 끌어 올리고자 할 때, 表 2에서 알 수 있듯이 서울시 遊水池 중 約 55%가 容量未達이 되어서 暫定的인 内水被害가 憂慮되고 있다. 이러한 遊水池의 施設補強 計劃을 위하여, 等危險度線 理

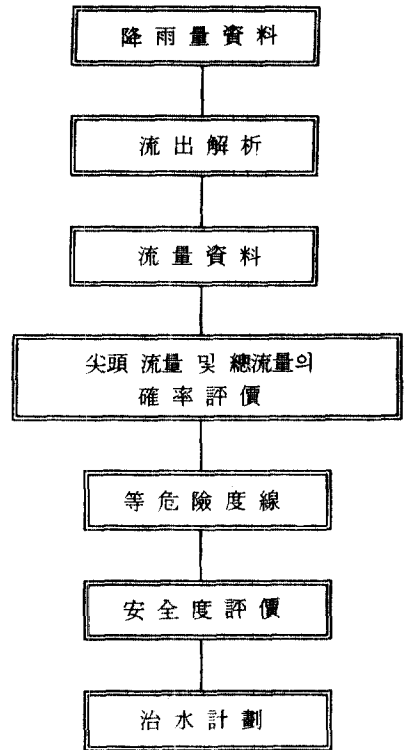


그림 6. 等危險度線을 利用한 治水計劃의 흐름도

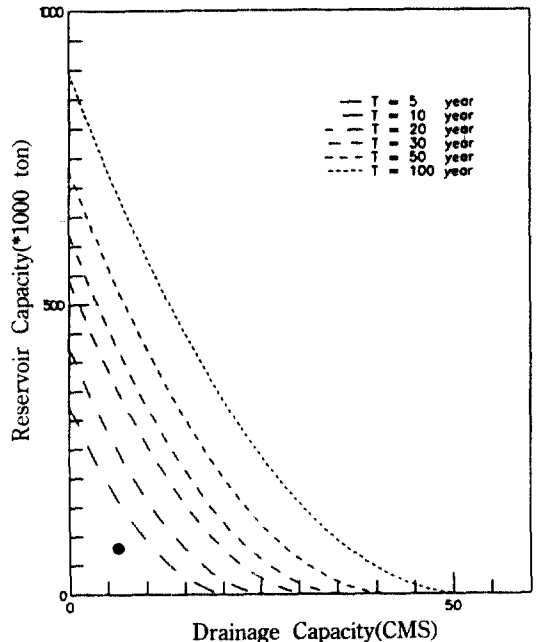


그림 7. 漢南 遊水池의 治水等危險度線

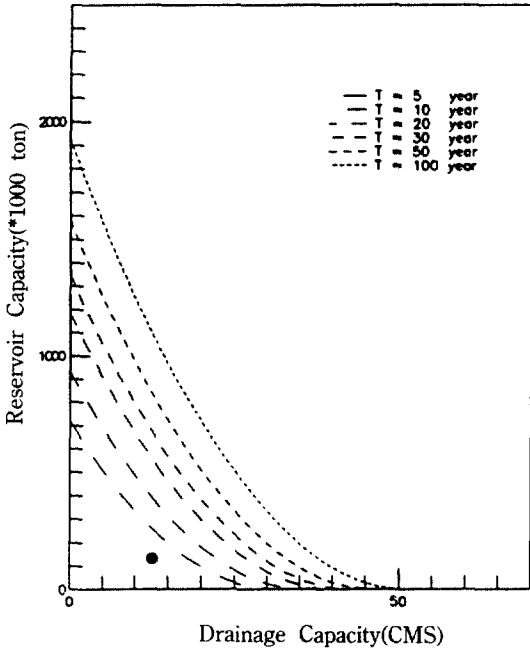


그림 8. 휘경 遊水池의 治水等危險度線

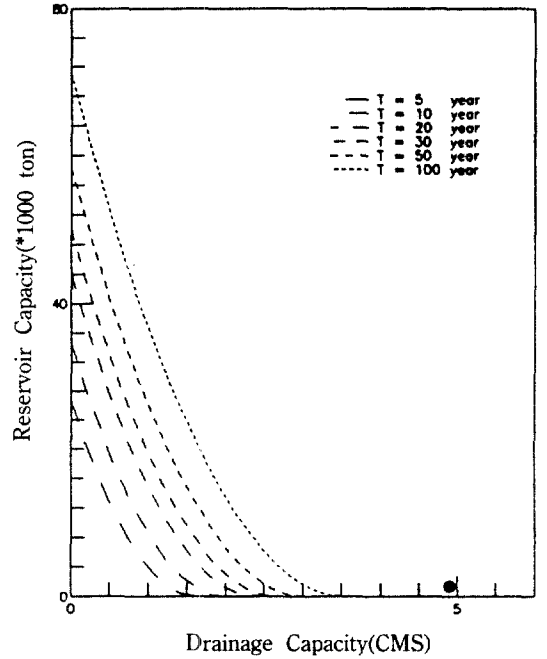


그림 10. 신정 3 遊水池의 治水等危險度線

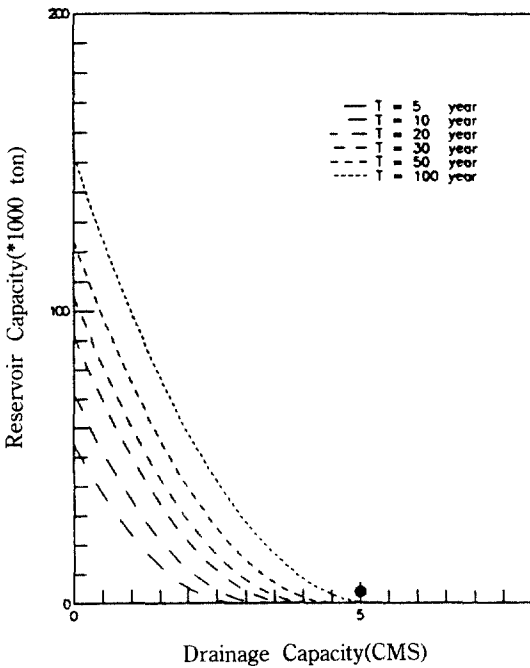


그림 9. 성산 遊水池의 治水等危險度線

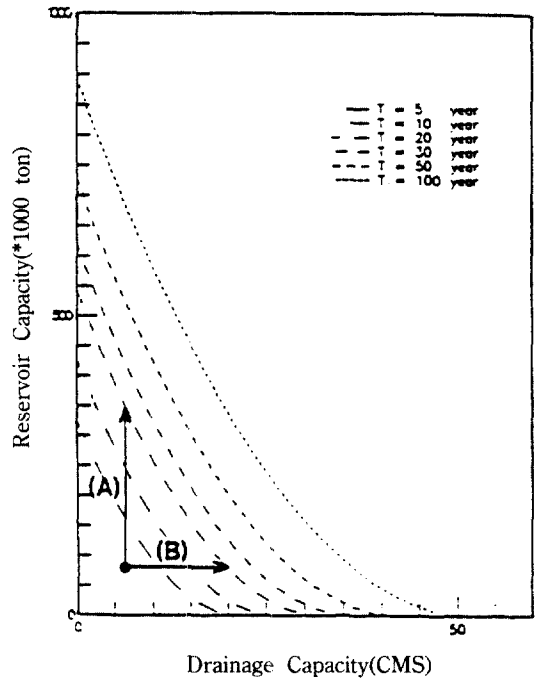


그림 11 治水計劃 基本圖(滇南 遊水池)

표 1. 遊水池의 治水安全度

구 별	펌프장명	펌 프 배출량 (m ³ /m)	저수용량 (×1000 m ³)	安全도 Illu-das	구 별	펌프장명	펌 프 배출량 (m ³ /m)	저수용량 (×1000 m ³)	安全도 Illu-das	
용 산	용산 1	420	121	10 년	구 로	도림 2	520	59.391	10 년	
	용산 4	450	16.5	30 년		독 산	360	36	10 년	
	한 남	390	85	불 량		철 산	1011	100.805	10 년	
	★ 심 원	31.5	0.882	50 량		시 흥	680	14.878	30 년	
성 동	뜯 도	1170	180	5 량		개 봉	3670	234	50 년	
	용 답	81	18	불 량		구로 1	536	29.1	5 년	
	자 양	2280	50	50 년		★ 구로2	690	1.7	양 호	
	옥 수	180	5.517	불 량		★ 구로3	525	1.4	양 호	
	용 봉	140	11.498	5 년		영등포	양평 1	2424	180	30 년
	군 자	205	7.103	불 량			도림 1	1290	70	양 호
	★ 송 정	35	0.52	20 년	도림 3		944	31	20 년	
	금 호	1000	27	30 년	신 길		675	22	10 년	
동대문	용 두	170	11	5 년	문 래		1316	3.4	30 년	
	휘 경	780	138	불 량	● 영등포		885	2.5	양 호	
	★ 답십4	24	0.035	불 량	● 양평2	969	2.8	양 호		
	★ 이문3	30	0.035	-	동 작	혹 석	795	20	30 년	
중 랑	면 목	1476	123	양 호		본 동	16.6	0.104	불 량	
	★ 중 화	1200	9	불 량	서 초	반 포	1396	224	10 년	
마 포	마 포	670	72	불 량		서 초	1400	2.6	50 년	
	망원 1	1338	162	양 호		잡 원	2375	-	30 년	
	★ 합정1	188	0.923	양 호		● 방 배	-	-	-	
	★ 합정2	10.4	0.640	불 량	강남	양 재	955	344.69	불 량	
	성 산	300	4.5	양 호		송 파	잠실 1	1283	238	불 량
	양 천	★ 하 수	62	0.322	10 년	잠실 2	950	120	불 량	
★ 망원2		1800	0.923	불 량	성내 1	970	48	30 년		
신정 1		5340	256	10 년	성내 2	1800	208	5 년		
신정 2		1750	162	불 량	탄 천	760	261	10 년		
강 서	★ 신정3	294	1.2	양 호	강동	암 사	540	37	불 량	
	염창 1	950	77	불 량		중 랑	전 농	2050	200	양 호
	염창 2	396	0.23	5 년	하수	장 안	1350	70	50 년	
	● 마 곡	2010	300	-						

범 례

양호 : 遊水池의 破壞頻度 100 年에 대해서 安全
 30년 : 遊水池의 破壞頻度 30 年에 대해서 安全
 불량 : 遊水池의 破壞頻度 5 年에 대해서도 불량
 ● : 新設計劃

50년 : 遊水池의 破壞頻度 50 年에 대해서 安全
 10년 : 遊水池의 破壞頻度 10 年에 대해서 安全
 ★ : 遊水池가 없이 集水井만 있는 곳

表 2 遊水池 安全度 分布狀況

안 전 도		불 량	5 년	10년	20년	30년	50년	100년	계
ILLUDAS	개 수	17	6	9	2	8	5	11	58
	백분율	29.31	10.34	15.52	3.45	13.78	8.62	18.97	100
	누가백분율	100.0	70.69	60.35	44.83	41.38	27.59	18.97	100

表 3 遊水池의 貯留容量 및 排水施設 補強容量表

遊水池	方案 (A) 貯留容量(m ³)	方案 (B) 排水容量(CMS)
용산 1	36493.5	1.581
한 남	197303.5	10.503
뚝 도	161204.2	6.757
용 답	29482.3	1.045
옥 수	44646.0	2.456
응 봉	22612.6	1.352
군 자	70716.4	4.159
용 두	20866.8	1.265
휘 경	403476.9	13.398
답십 4	36149.8	1.668
중 화	152537.0	13.769
마 포	259292.1	14.475
함정 2	6708.9	0.327
하 수	201.0	0.038
망원 2	199610.2	22.930
신정 1	178640.3	14.516
신정 2	383452.8	20.479
염창 1	322349.0	12.051
염창 2	13670.3	2.783
도림 1	26752.5	1.955
독 산	12900.2	0.543
천 산	37647.7	1.810
구로 1	59618.7	3.814
신 길	4853.5	0.452
본 동	7269.5	0.488
반 포	16665.5	0.847
양 계	545717.4	22.661
잠실 1	535004.5	25.045
잠실 2	376844.8	18.646
성내 2	309015.1	17.690
탄 천	86790.6	2.187
암 사	305742.9	12.521

論을 使用하여 施設補強容量을 算出하여 보면 表 3 과 같다. 한남 遊水池를 例로들어 表 3과 그림 11을 說明하면 다음과 같다. 現在 한남 遊水池의 遊水池 容量은 破壞頻度 5 年에도 不良하므로 이를 破壞 頻度 20 年 까지 끌어올리기 위해서는, 一次的으로 貯留容量을 늘리는 方案, (A)와 排水容量을 늘리는 方案, (B)가 있을 수 있다. 여기서 方案 (A)는 既存의 排水施設容量은 그대로 두고 貯留施設容量 만을 늘리는 경우로서, 한남 遊水池의 경우 197,303 (m³)의 貯留施設 補強이 必要하며, 方案 (B)는 既存의 貯留施設容量은 그대로 두고 排水施設容量 만을 늘리는 경우로서, 10.503 (CMS)의 排水施設 補強이 必要하다.

4. 結 果

治水等危險度線 分析을 통해 얻어진 結果를 要約 하면 다음과 같다.

1) 遊水池의 安全度を 判斷할 수 있는 治水等危險度線의 決定節次를 提示하였으며 實際 遊水池 安全度 評價에 容易하게 適用할 수 있을 것으로 判斷된다.

2) 서울特別市の 61 個所 遊水池에 適用한 結果, 대체로 排水容量에 비해서 貯留容量이 작아서 排水 施設의 可動 不能時 심각한 內水被害가 憂慮된다.

3) 危險度線의 形象 決定常數 s 값은 1.3~4.0 로 推定되었으며 治水安全度を 考慮할 때 2가 適切할 것으로 사료된다.

4) 서울特別市の 總 61 個所 遊水池 중 약 55%가 破壞頻度 20 年 未滿이며, 이를 위한 遊水池容量 補強計劃을 提示하였다.

本 研究에서는 一定量 放流形式의 排水펌프 可動으로 假定하였으나 이는 實際의인 排除方式으로 보기에는 다소 미흡한 點이 있으므로, 流出量 排除方式을 一定比 혹은 一定基準 排除方式으로 할 경우의

安全度 評價에 관한 持續的인 研究가 要望된다. 또한 都市流域의 流出을 보다 嚴密하게 다룰 수 있고 地域特性에 맞는 流出模擬 方法에 대한 研究도 並行하여 遂行되어야 할 것이며, 이를 위해서는 流出 水文曲線의 持續的인 觀測事業이 必要하다고 判斷된다.

參 考 文 獻

1. Yen, B.C., *Stochastic and Risk Analyses in Hydraulic Engineering*, Water Resources Publications, 1986, pp.198-209.
2. 吉川 秀夫, 都市河川の 治水ト-タレ システム의 信賴性に 關する 研究, 文部省 科學研究費 自然災

- 害 研究報告書, 第 20 卷, 1984, pp.39-46.
3. 中西 祐啓, 江藤 剛治, 室田 明, “等危險度線による 遊水池計劃의 安全度 評價의 例”, 近畿大學 理工學部 研究報告書, 第 20 號, 1984.9, pp. 261-269.
4. 江藤 剛治, 室田 明, “一雨降雨의 1 確率模型”, 土木學會 研究集, Vol.345, No.II-1, 1984.5, pp. 101-109.
5. 中西 祐啓, 江藤 剛治, 室田 明, “大坂의 等危險度線”, 近畿大學 理工學部 研究報告書, 第 21 號, 1985.9, pp. 175-183.
6. 李元煥 外, 河川沿岸 水工構造物 安全診斷 및 管理對策 調査研究 報告書, 서울特別市, 1991, p.244.
7. Kite, G.W., *Frequency and Risk Analyses in Hydrology*, Water Resources Publications, 1977.
8. 李元煥, 水文學, 文運堂, 1990.

(接受: 1992. 3. 18)