

河川 堤防 設計 頻度年의 決定

-말레시아 Setiu江을 중심으로-

농업진흥공사 홍 종 진

김 현 영

윤 병 순

강원대학교 최 예 환

1. 序 論

우리나라의 年平均 降水量은 1,274mm 로 世界平均値의 1.3배이나 1인당 降水量은 3,000m³ 로서 世界平均値의 9 %에 不遇하여 産業社會의 發達過程에 있는 우리나라에서는 水資源의 量的問題가 해가 갈수록 심각하게 대두되고 있다. 그런데도 年降水量의 3분의 2정도가 6月~9월에 集中되어있고, 年總降水量 1,267億m³中 約 80 % 정도가 蒸發, 浸透 및 洪水 등으로 流出되고 '90年 統計에 의하면 總水資源量의 年間 總利用水量은 約 270億m³에 不遇하여 用水의 供給이 需要에 미치지 못해 심각한 用水難에 직면하고 있는 실정이다.

또한 水資源量의 量的인 편중으로 發生되는 洪水被害도 빈번하여 1972~81년까지 10年間의 風水害 記錄에 의하면 年平均 被害額은 1983年 物價基準으로 約 1,200億원에 달하여 이에 對한 근본적인 대책이 시급한 課題로 되어 있다.

우리나라 河川의 特性을 보면 그 流域面積이 작고 流路延長이 짧으며 또한 山地가 많기 때문에 傾斜가 급한 곳이 많다. 이와같은 流域의 特性 때문에 河川에서의 平水量 및 湧水量은 대단히 적으나 洪水量은 매우 커서 대부분의 河川의 河床係數가 300 이 넘는 실정이며 年間 河川流量의 변동이 극심하여 水資源 開發과 河川管理 측면에서 어려운 점이 많다.

水工 構造物을 目的에 알맞게 設計하기 위해서는 社會的, 經濟的 측면을 고려한 水文學的 設計(hydrologic design) 를 수행하여야 한다. 大小 水工構造物의 水文學的 設計란 治水 또는 利水を 目的으로 建設되는 大小構造物의 크기 혹은 치수를 정하는데 기준이 되는 尖頭流量이나 流出量, 持續時間 등을 결정하는 것이라 할 수 있다.

이와같이 水文學的 設計를 위해서는 構造物의 性格에 따라 여러가지 水文學的 資料가 必要하다. 각종 수문학적 解析으로 設計頻度(design frequency)에 相當한 降雨量, 尖頭 洪水量(peak discharge)을 결정해야 하며 河川일 경우는 堤防의 높이를 決定하기위해 設計頻度에 해당되는 河川水位를 예측하기도 한다. 大規模 水工構造物의 경우에는 洪水로 인한 構造物의 破壞시에는 財産과 人命의 피해가 크므로 極限的인 氣候條件 까지를 고려해야하며 設計 降雨量을 使用하여 流域特性을 分析하고, 流出水文曲線(runoff hydrograph)를 合成하는 作業도 수행하여야 한다. 이와같은 水文學的 設計를 위해서는 精確한 여러가지 水文資料(hydrologic data)와 地相學的 資料(physiographic data)가 무엇보다도 要求되고 있다.

'90年 現在 우리나라 河川 改修率은 直轄河川 91 %, 地方河川 75 %, 準用河川은 52 % 로 總平均 55 % 에 不遇하고, 그밖의 소규모 河川은 大部分 정비되어 있지 않아서 洪水被害가 頻發하고 있는 실정이다. 이와같이 利水와 治水의 問題點를 해결하기 위하여 多目的의 到에 의한 洪水調節과 더불어 河川改修, 洪水豫警報施設의 擴充, 內排水施設의 整備 및 擴充 등 적정한 水工 構造物의 設計, 施工 및 維持管理를 잘하고 이에 앞서 水資源의 計劃을 綜合的이고 體系的으로 樹立하여 國家百年大計의 水資源量을 確保해야 한다고 본다.

이와같은 상황에서 우리나라에서는 流出推定에 관한 解析方法, 流出適用 과 頻度값등을 水工構造物의 종류에 따라 確立적으로 사용하고 있어 構造物 別로 水文學的 因子, 條件 및 特性등을 고려한 합리적인 방안이 제시되어야 한다.

本 研究에서는 이러한 점을 고려하여 연구대상지에서 수립된 水文資料와 洪水被害資料를 分析하여 再現期間(return period)과 水利構造物의 設計壽命期間(design period)과의 關係를 규명하여 가장 經濟的인 河川堤防을 제시코져 하였다.

本 研究는 農漁村振興公社가 1992년에 開發計劃을 수립한 Malaysia 國의 Terengganu 地區 내에 있는 Setiu 江 流域을 대상으로 4個所의 降雨觀測所에서 32個年間の 記錄値와, 2個所의 流量觀測地點에 관측된 水位資料를 活用하여 水位-流量曲線의 推定, Thiessen 網에 의한 活 用한 降雨分析, 水文曲線의 誘導 및 洪水量 算定 後 洪水量을 河川斷面에 적용하여 不等流水 理計算 등 관련된 水文學的 分析結果와 洪水被害 資料를 分析한 結果를 적용하여 豫想被害額 을 推定하고 가장 經濟的인 河川堤防을 誘導하였다.

2. 研 究 史

美開拓局²⁾ (1977) (U.S. Bureau of Reclamation)은 堤의 破壞에 따라 發生하는 人命被害와 財産損失의 정도를 3가지로 구분하여 洪水量 選定要件을 수립하였다.

우리나라 農地改良事業計劃 設計基準¹²⁾ (1982) (堤編)에서는 콘크리트 堤은 200년 確率 洪 水量이나 既往最大洪水量 중 큰값을 洪水流量으로 하고 뚝담은 콘크리트담보다 洪水에 대하 여 安定性이 적으므로 그값에 20%를 증가시킨 流量으로 決定한다고 하였다.

農地改良事業 設計基準¹⁹⁾ (1983)(排水編)에서는 排水計劃 樹立의 순서를 單純化시키는 의 미에서 20년에 한번 程度의 流出規模에 대응하는 값을 1次 目標로 잡은 後 地區의 經濟的, 社會的, 技術的 與件을 考慮하여 결정한다고 기술하고 있다.

臺灣²⁰⁾(1983)에서는 河川의 洪水量 을 決定할 때 100년 頻度値를 採用하고 副河川에서는 50년 頻度値의 洪水量을 採擇하고 있다.

윤³³⁾(1986)에 의하면 Snyder 는 堤을 大規模, 中規模 및 小規模로 區分하고 이 堤의 破壞時 에 下流에 미치는 破壞程度를 堤의 洪水容積과 高水頭에 의한 洪水波(flood wave) 에 기인한 것으로 분류하여 餘水吐 設計 洪水量 (50년 빈도값~PMF) 을 제안하였다.

호주대담 협의회¹⁾(1986)에서는 堤 破壞로 인한 危險度에 따라 3가지로 분류하였는데 人命 損失이 예상되면 high로 구분하여 再現期間을 10,000년~可能最大 洪水量(PMF)으로 하고, 人命損失이 可能 즉, significant으로 구분되면, 1,000년~10,000년, 人命被害가 없으면 low로하 여 100년~1,000년으로 設計頻度를 제시한 바 있다.

우리나라 建設部¹⁵⁾ (1986)에서는 河川整備를 위한 設計洪水量의 規模를 河川의 重要度에 따라 A.B.C.D.E. 급으로 분류하여 A.B.C 급의 直轄河川에서는 設計頻度를 고려한 再現期間을 각각 200년, 150년, 100년으로 하고 D급의 地方河川은 80년, E급의 準用河川에서는 50年으로 제안하였으나 실제로 使用된 河川堤防設計¹⁴⁾(1988)의 再現期間은 河川의 社會的, 經濟的 중요 도에 따라 상향 또는 하향 조정되어 漢江 水系에서는 30년에서 200년, 기타 河川에서는 30년 에서 100년 사이의 값이 사용되었다.

Chow⁴⁾(1988)등에 의하면 水資源 計劃과 관리의 목적을 두가지로 분류할수 있으며 그 하나는 排水, 洪水調節 등과 같은 治水을 위한 것이며 다른 하나는 用水供給, 水力發電과 같은 利水를 위한 것이다. 이러한 目的에 알맞는 水工構造物을 設計하기 위해서는 社會的, 經濟的 측면을 고려하여 設計洪水를 선정하여야 한다. 設計 洪水를 선정하는데 필요한 요소는 水工構造物을 구축하는데 소요되는 工事費와 構造物 安定性에 대한 被害額 이라고 할수 있다. Chow⁴⁾(1988) 등은 水工構造物을 小規模, 中規模 및 大規模로 分類하였다. Chow(1988)에 의하면 美國 National Academy of Sciences (1983)에서는 設計洪水量을 水工構造物의 종류, 人命損失程度 및 構造物의 位置에 따라 再現期間을 50년~100년이상으로 推薦하였으며 河川堤防은 洪水量選定을 農村에서는 再現期間이 2년~50년, 都市에서는 50년~200년으로 제시하였다.

세계 대담학회⁹⁾(1990)에 의하면 美國 工兵團(U.S. Corps of Engineers)은 人命被害와 經濟的 損失을 고려하여 水工構造物을 high, significant, low로 分類하고 洪水危險 可能性과 構造物의 크기에 따라 洪水를 PMF에서 50년 頻度值까지 적용하도록 安全度 基準을 推定하였다. 우리나라 建設部¹⁵⁾(1991)에 의하면 아시아태평양 경제사회협의회(ESCAP)에서는 世界 22個國의 設計洪水의 再現期間을 地域別로 商業地域, 産業地域, 住居地域, 自然地域, 農業地域 및 一般으로 분류하여 最低 2년에서 最高 500년을 적용하는 것으로 제시하였다. 그리고 본 研究에서의 對象國인 말레지아의 農業地域에서는 5년부터 30년 사이의 設計洪水 再現期間을 선택 적용하는 것으로 되어 있으며 이 資料는 國際灌溉排水委員會(ICID)에서도 검토된 바 있다. 본 研究에서는 設計洪水를 選定한 方法으로는 福祉經濟學的(welfare economics) 接近方法으로 Chow 등⁴⁾(1988)이 제안한 經濟效率만을 고려하는 方法(single objective) 을 使用하여 河川堤防의 計劃基準年 決定方法을 提示코져 하였다.

3. 基本理論

水工構造物의 最適設計頻度を 決定하기 위해서 水文經濟分析(hydroeconomic analysis)를 實施하고, 채택된 設計頻도가 크면 클수록 構造物의 費用(capital cost)은 增加하게 되어 洪水로 인한 豫想被害는 감소하게 된다.

總費用과 파괴로 인한 豫想被害額을 年間費用(annual basis cost)으로 표시한 후 이를 합산하면 年平均 總費用曲線(total annual cost curve)를 얻게되며 이 曲線으로부터 最低費用을 나타내는 점에서 가장 經濟的인 構造物을 決定할 수 있다.

設計洪水를 적용한 被害額을 推定하기 위하여, x , y 를 임의의 設計洪水라고 하고 x 를 任意洪水라고 할때, $x \leq y$ 이면 洪水피해가 발생하지 않고 $x > y$ 이면 洪水被害가 발생한다. x 의 洪水가 어떤해에 發生할 確率은 $f(x)dx$ 이며 이로 인한 被害額을 $D(x)$ 라 할 때 豫想되는 年間費用 Dy 는 다음式으로 표시될 수 있다.

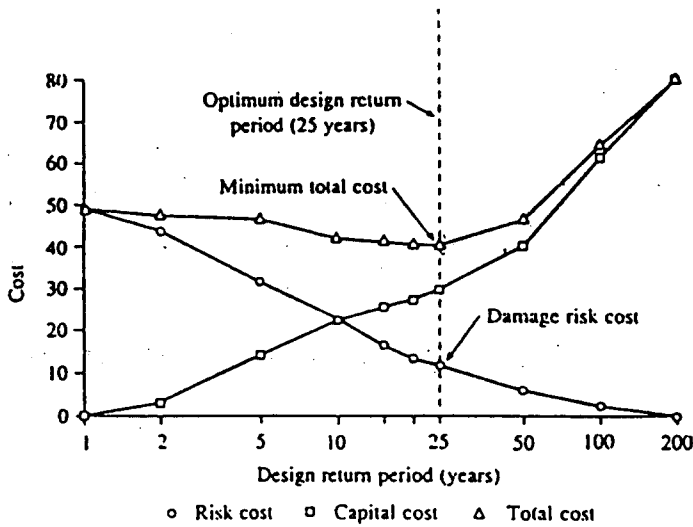


Fig. 1 Determination of the Optimum Design Return Period by Hydroeconomic Analysis

$$Dy = \int_{xy}^{\infty} D(x) f(x) dx \quad \dots\dots\dots (1)$$

여기서,

Dy : 연간비용, $D(x)$: 피해액, $f(x)dx$: 발생확률이다. 식(1) D 는 $x > xy$ 인 범위를 여러구간 i 로 나누어서 각 임의의 區間에서의 被害額을 ΔD_i 라 하면 각각의 區間에서 기대되는 피해액을 구하여 合算하면 연간 비용 Dy 를 算出할 수 있다.

$x_{i-1} < x \leq x_i$ 인 경우

$$\Delta D_i = \int_{x_{i-1}}^{x_i} D(x) f(x) dx \quad \dots\dots\dots (2)$$

여기서 $\Delta D_i = i$ 구간에서 기대되는 被害額이다.

(2)式을 다시 近似値로 표시하면

$$\Delta D_i = \left[\frac{D(x_{i-1}) + D(x_i)}{2} \right] \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x) dx$$

$$= \frac{D(x_{i-1}) + D(x_i)}{2} [P(x \leq x_i) - P(x \leq x_{i-1})] \dots\dots\dots (3)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } P(x \leq x_i) - P(x \leq x_{i-1}) &= [1 - P(x \geq x_i)] - [1 - P(x \geq x_{i-1})] \\ &= P(x \geq x_{i-1}) - P(x \geq x_i) \end{aligned}$$

이므로 (3)식을 다시 나타내면

$$\Delta D_i = \frac{D(x_{i-1}) + D(x_i)}{2} [P(x \geq x_{i-1}) - P(x \geq x_i)] \dots\dots\dots (4)$$

따라서 각 i 구간을 합한 總再現期間(return period) Y에 대한 年間 豫想被害額은 다음 式으로 算出할 수 있다.

$$D_y = \sum_{i=1}^{\infty} \left[\frac{D(x_{i-1}) + D(x_i)}{2} \right] [P(x \geq x_{i-1}) - P(x \geq x_i)] \dots\dots\dots (5)$$

여기서, D_y : 年間 總被害額, $D(x_{i-1}), D(x_i)$: 인접한 두 구간의 각 被害額,
 $P(x)$: 발생할 확률이다.

즉 總費用(Dt, Total cost)는 年間 構造物 費用(Dc, Capital cost)과 年間 被害額(Dy, Damage risk cost)은 合算하여 算出할 수 있다. 그러므로 最適設計 再現期間은 總費用이 最小인 期間이 된다.

4. 資料 및 研究方法

4.1. 資料

가. 流域現況

本 研究에서 이용된 Setiu江 地域은 Malaysia 首都 Kuala Lumpur 에서 北東쪽으로 約 500km떨어진 東經 50° 20' ~ 50° 50', 北緯 10° 24' ~ 10° 30' 에 位置하고 있으며, 北東 Monsoon 氣候의 影響으로 雨期에는 南支那海에서 이동되어오는 습한 氣團의 影響을 받아 많은 양의 降雨를 Setiu 江을 따라서 降下하므로 대부분이 평탄한 아 지역은 洪水로 因하여 막대한 被害를 입고 있는 실정이다.

Setiu 江 流域은 Buluh 流域(Hulu Setiu), Pelung江 流域, Tarum江 流域, Guntung流域(Tasik) 및 A.Mek Janah 流域으로 構成되어 있으며 流域面積은 總 445km² 이다. 또한 河口에서 合流되는 Chalok 江, Bintang 江 및 Ular 江의 流域面積은 各各 380km², 99.7km², 11.84km² 이다. 河口에서의 總 流域面積은 937km²로 Terengganu Region 의 總 面積의 7.2 %을 佔하고 있다. (참조 Fig.2 Sg. Setiu Catchment Map) Setiu 江은 동쪽에서 發源하여 北東쪽 남지나

해로 흘러 들어간다. 流路는 구룡지역에서 가파른 경사로 시작되어 점점 경사가 완만해져서 Buluh 마을에서 河口까지는 매우 평탄한 형태를 이루고 있다. 流域의 高度는 E.L. 974m 에서 시작하여 Buluh 마을에서는 E.L. 7.00m, 江 河口에서는 平均水面下 7.4m 에 이른다. 流域의 上流部の 被覆(vegetation)상태는 原始林으로 되어있고, 下流部는 고무나무지대, 는 그 리고 늪지대의 植生들이 자라고 있다.

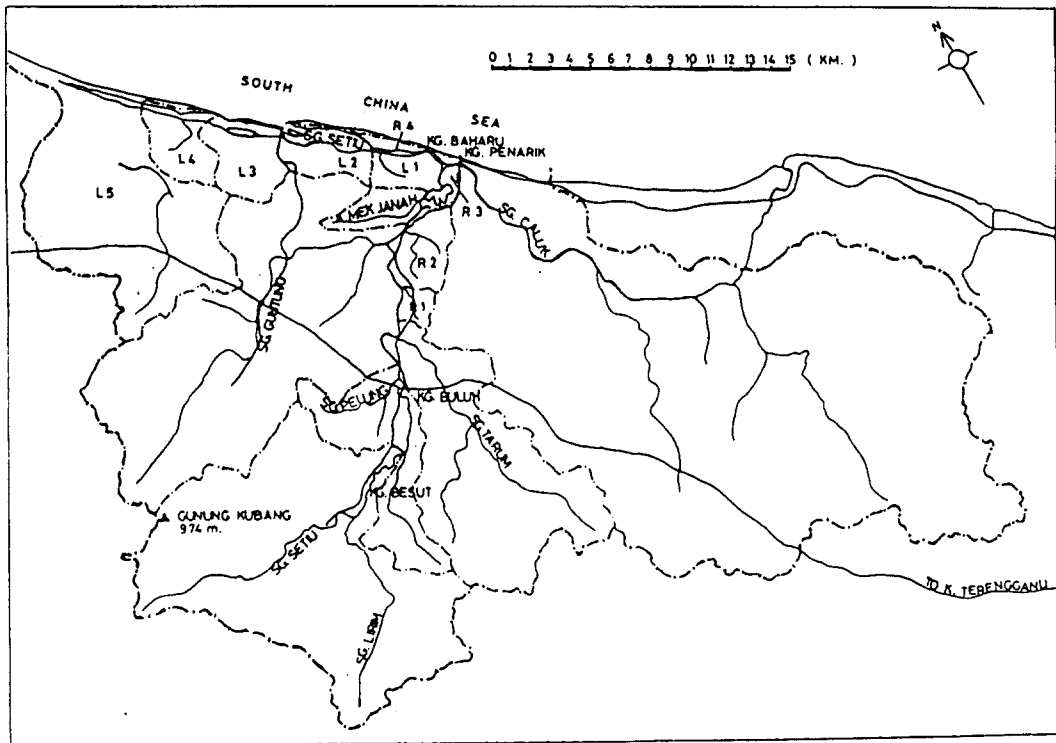


Fig 2. Sg. Setiu Catchment Map

나. 氣 候

Setiu 江 流域은 北東 Monsoon 및 南西 Monsoon으로 大別되는 두가지의 Monsoon型 氣候의 영향을 받고 있다. 北東 Monsoon은 11월부터 3월까지 雨期이고, 南西 Monsoon 氣候는 5월부터 9월까지 乾期로 영향을 준다. 雨期 때에는 降雨回數가 매우 많으며 高溫多濕

한 氣候形態를 나타내고 때에 따라 매우 큰 降雨가 發生한다.

Table 1은 Setiu 江 流域에서 60km 남쪽에 위치한 Kuala Terengganu 觀測所의 記錄值를 나타내고 있다.

다. 降雨와 流出

Setiu 流域에서의 年降雨量은 3,250mm이며 雨期에서는 最高月 600mm이고 乾期때에는 月 80mm의 降雨分布를 이루고 있어서 雨期和 乾期の 降雨分布가 현격히 차이가 있으나, 流出量은 流域의 植生被覆이 양호하여 두 期間에 그렇게 큰 差異를 보여주지는 않고 있고, 年平均 降雨分布는 Fig.3 에서 보여주고 있다.

이 地域에서는 잠재 表面 流出量은 1959~1970年 Data를 활용하여 降雨-實 蒸發散量과의 關係를 적용하였을때 Fig. 4와 같이 北西쪽 山岳地域에서는 降水量이 1,400~1,800mm, 海岸 地域에서는 2,000~2,400mm로 觀測되었음을 보여주고 있다.

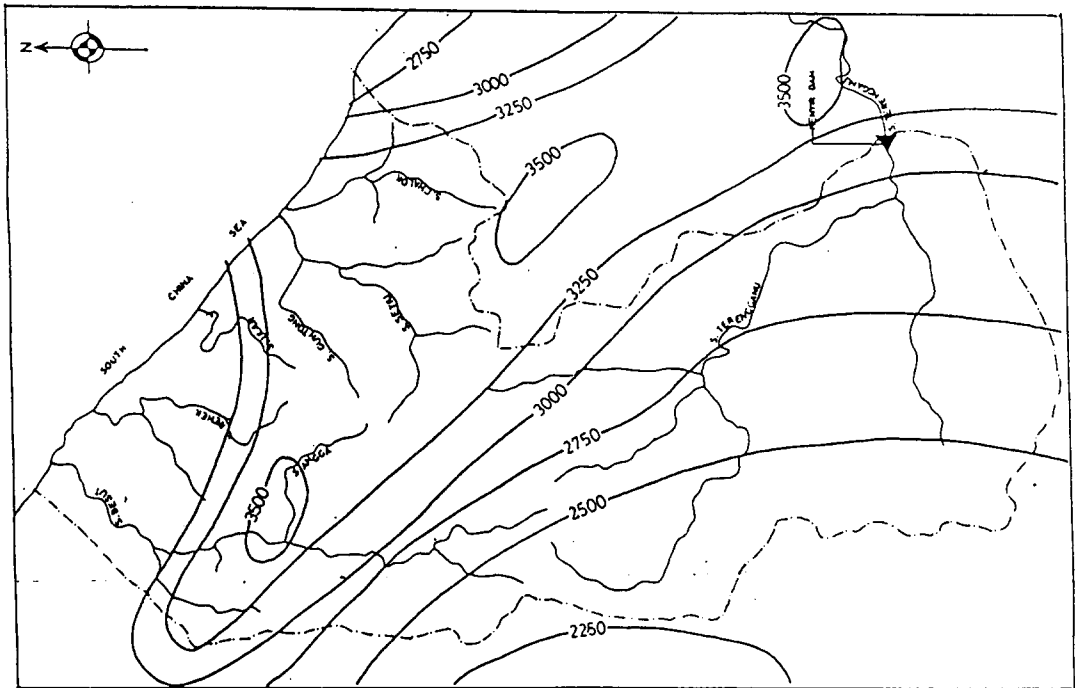


Fig. 3 Mean Annual Rainfall (mm) (1950 - 1995)

Table 1. Climatic Variables for Project Area

(1) Data from Kuala Terengganu Airport(1985~1991)

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Mean/total
Temperature													
Max(°C)	30.1	31.3	32.5	33.5	34.1	33.8	33.5	33.4	33.0	32.4	31.6	30.4	32.5
Min(°C)	20.7	20.9	21.3	22.8	22.6	22.0	22.0	21.8	22.0	22.2	22.2	21.5	21.8
Mean(°C)	26.0	26.4	27.1	27.7	27.7	27.5	27.0	26.9	26.7	26.6	26.2	26.2	26.8
Relative Humidity													
Max(%)	95.2	96.5	96.3	97.6	97.5	97.5	97.3	97.6	97.7	98.1	97.8	94.5	97.0
Min(%)	68.1	64.3	64.3	62.2	62.1	60.9	60.1	61.6	62.3	65.0	69.4	69.5	64.2
Mean(%)	81.5	80.7	81.4	82.3	83.3	83.2	82.6	82.0	84.2	85.3	86.4	81.8	83.1
Sunshine Hour (hr)	6.1	8.6	7.8	8.5	7.5	7.5	7.3	6.7	6.5	5.9	4.9	5.1	6.9
Number of Rainday (Day)	17.1	7.7	9.0	9.4	11.0	10.3	9.6	13.1	18.6	18.1	23.3	20.1	167.4
Rainfall Depth(mm)	117.0	37.0	143.3	110.5	110.7	92.3	79.6	121.6	213.0	220.5	790.7	407.1	2443.3

(2) Data from Kota Bahru Airport(1986~1991)

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Mean/total
Temperature Mean(°C)	25.7	26.1	26.0	27.9	28.0	27.7	27.3	27.0	26.8	25.5	26.0	25.8	25.7
Relative Humidity Mean (%)	81.3	80.4	80.3	80.4	80.8	81.2	81.9	82.7	83.3	84.6	86.7	84.1	82.3
Sunshine Hour Mean (hr)	7.1	8.3	8.5	8.8	7.6	6.9	7.2	6.9	6.1	6.0	4.37	4.9	7.0
No. of Rainday	11.9	5.4	7.5	8.2	10.6	9.3	12.6	13.3	17.8	17.9	20.7	18.1	152.9
Rainfall(mm)	61.5	35.0	105.6	85.9	102.5	101.7	143.0	160.5	213.5	218.0	526.0	549.5	2302.6
Evaporation Mean(mm)	4.4	4.9	5.3	5.5	5.0	4.6	4.6	4.5	4.5	4.2	3.6	3.7	4.7
Wind Run Mean(km)	98.9	96.8	95.7	76.2	70.2	64.5	65.3	61.0	64.4	63.1	67.5	102.4	77.1

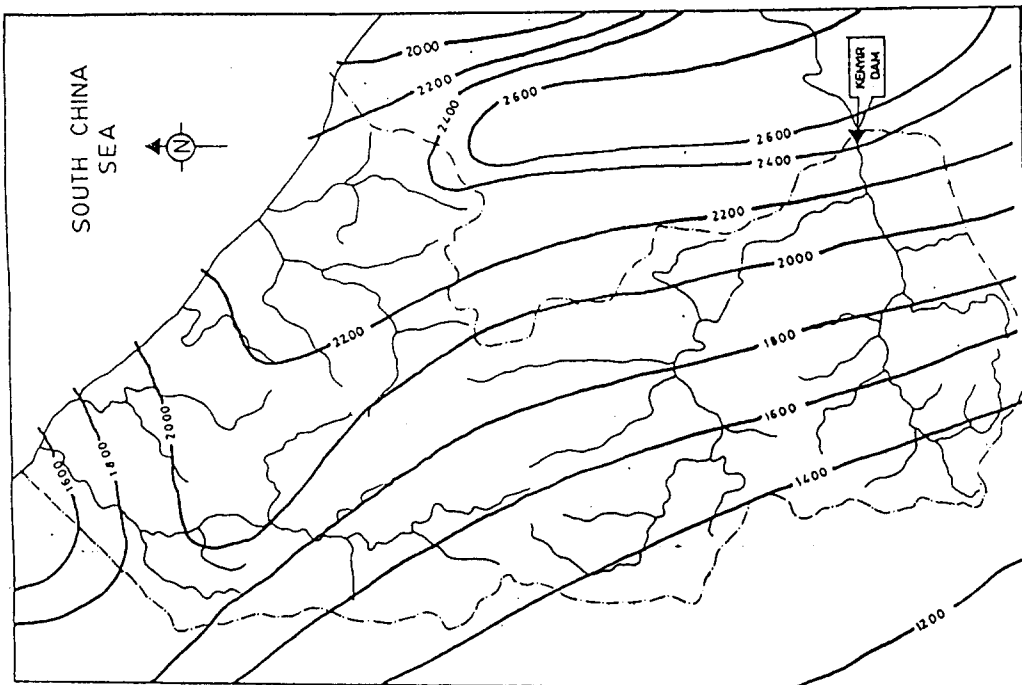


Fig. 4 Ketara Area Mean Runoff (mm) (1959 - 1970)

4.2 研究方法

가. 降雨 頻度 分析

이 地域內에는 流量觀測所는 2個所가 운영되고 있는데 Kg.Buluh 觀測所는 簡易 觀測施設 이고 또 다른 1個所는 自動觀測裝置로 기록되고 있으나 1969年 Data 가 망실되었으며 Buluh 流量 觀測記錄은 9個年(1960~1968)觀測值만 有效한 실정이다. 이 기록치중 1960, 63, 65年 Buluh 流量記錄值를 이용하여 洪水調節分析을 위한 水位-流量關係를 Setiu 江 河川斷面에 적용하여 水位- 流量曲線(Rating curve) 를 유도한 결과 다음과 같다. (참조 Fig. 5)

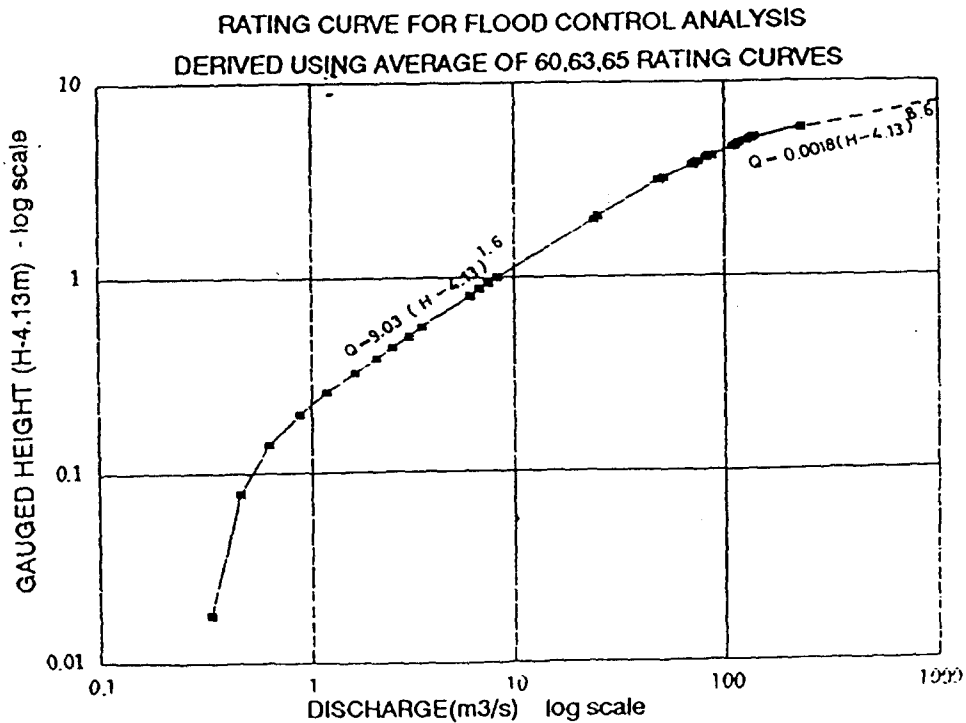


Fig. 5 Derived Rating Curve for Flood Control Analysis

Rating Curve 를 유도한 公式을 나타내면 다음과 같다.

$$4.6 < H \leq 8.5 \text{ m, } Q=9.03(H-4.13)^{1.6}$$

$$H > 8.6 \text{ m, } Q=0.0018(H-4.13)^{8.6}$$

4개의 雨量觀測所 모두는 32個年(1959~1990)觀測值의 비교적 신뢰성 있는 觀測記錄을 보유하고 있다. 設計降雨量을 算定하기 위하여 降雨 Data의 頻度分析을 實施하고 또한 流量觀測資料와 降雨記錄值를 活用하여 設計流量算出을 위한 降雨- 流出 Model 을 開發하였다. 이 과정은 Fig. 6 에 表示되어 있다.

홍수량 추정을 위한降雨 頻度分析을 통하여 設計降雨量을 算定하였다. 設計洪수량을 算定하기 위하여 利用되는 滯수지속시간의 決定은 매우 重要하다. 가장 좋은 접근방법은 降雨量(rainfall), 持續期間(duration) 및 頻度(return period)에서 Hydrograph를 算定하는 것이다. Hydrograph 에서 尖頭流量을 設計流量으로 算定한다. 尖頭流量을 決定하기 위하여 4個의 雨量觀測所의 32個年(1959~1990)간의 雨量觀測資料를 活用하였다. 流域 平均降雨量을 算定하는 方法으로는 觀測地點數와 觀測所의 位置에 따라 計算하는 Thiessen 網 圖法을 活用하였다. Fig 7. 은 Setiu 江 流域의 Thiessen 網圖이며, 降雨頻度를 算出하기 위하여 Thiessen 法으로 얻은 流域 平均降雨量을 Gumbel 極值分布로 分析하고 선정된 期間別 設計 降雨量을 도출해 내어서 여기서 산출한 流出量과 流出量 資料에서 얻은 값을 HEC-1 Model에서 넣어 검증 하였고, 그 결과 再現期間別 設計流出量을 얻을 수 있었다. Table 2.와 Fig. 8은 降雨強度 分析의 結果이며 降雨-頻度 分析値는 Hydrograph 에서 洪수량을 算定하기 위하여 設計降雨量으로 使用되었다.

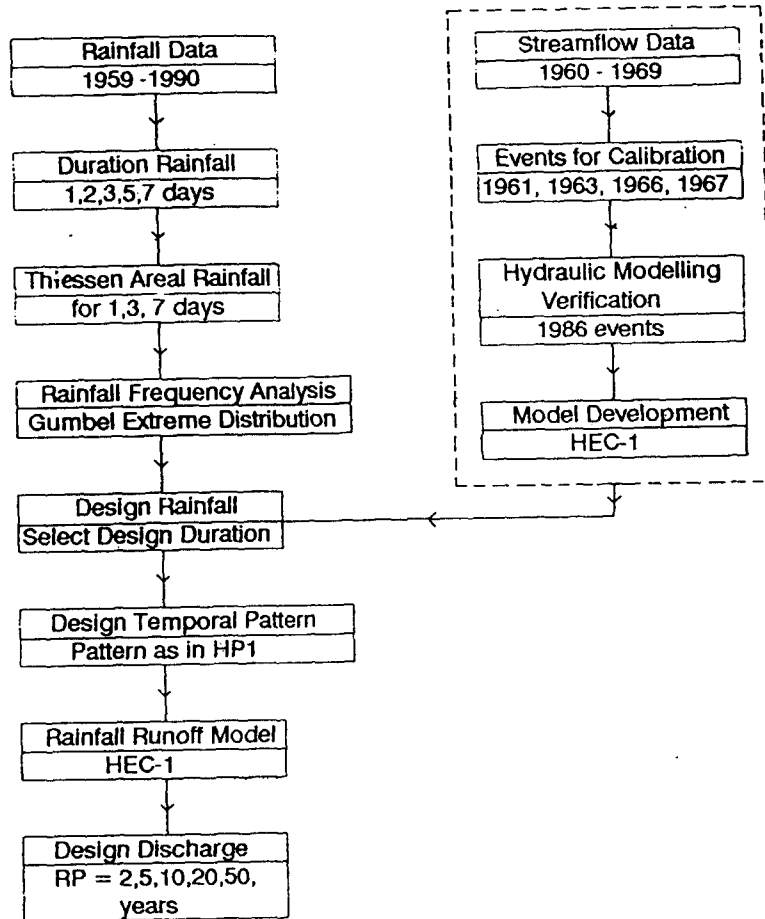


Fig. 6 Schematic Diagram of Discharge Estimation by Design Rainfall and Rainfall Runoff Model

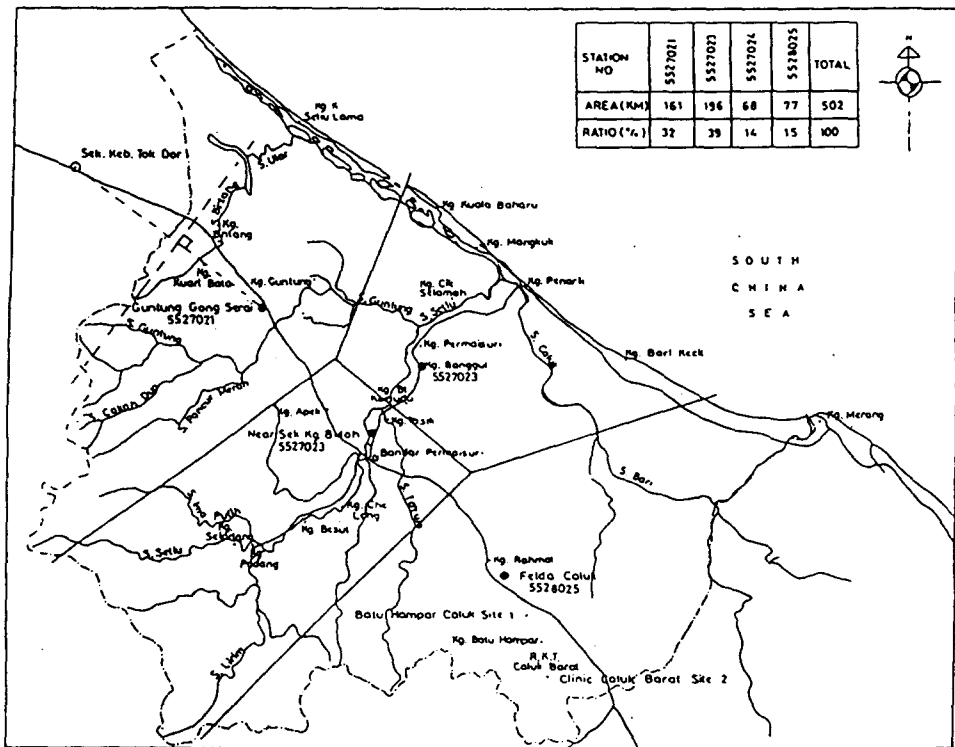


Fig. 7 Thiessen Network on Sg. Setiu Catchment

Table 2. Result of Rainfall Frequency Analysis (mm) using Thiessen average rainfall data from (1959-1990)

Return Days Period yrs.	Max Rain Fall (mm) for Duration						
	1	2	3	5	7	14	30
2	194	280	349	439	505	694	1007
5	254	391	497	630	719	1010	1404
10	295	466	595	757	861	1219	1667
20	333	537	688	878	996	1420	1919
30	356	577	742	948	1075	1535	2064
50	383	629	810	1035	1172	1680	2246
80	409	675	872	1115	1262	1812	2412
100	421	698	901	1153	1304	1874	2490
200	458	766	991	1270	1435	2068	2734
250	470	788	1020	1308	1477	2130	2813
400	496	835	1082	1387	1566	2262	2978
500	508	857	1111	1425	1608	2324	3056

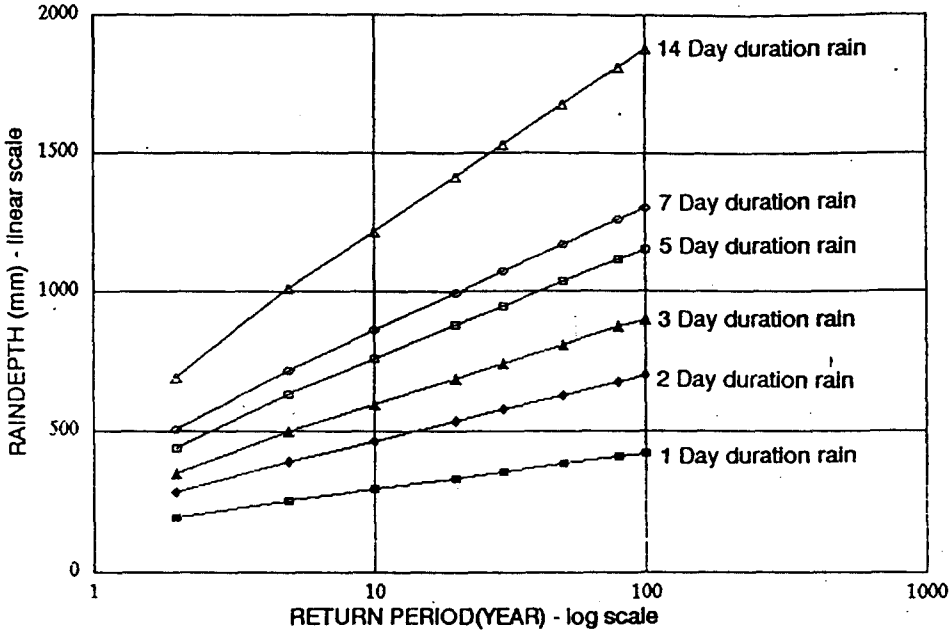


Fig. 8 Rainfall Frequency Analysis Design Rain
Depth - Frequency - Duration Curve

나. 降雨-流出 Model

水文曲線(Hydrograph)을 算定하기 위하여 降雨流出 Model 중의 하나인 HEC-1을 使用하였다. HEC-1은 事象模擬發生技法을 活用한 洪水計算 Programme 으로 美工兵團에서 開發하였다.

Setiu 流域을 地形圖와 다른 地理的 情報를 活用하여 6個 區域으로 分割 하였다.

各 流域 segment 에 대한 criteria 는 다음과 같다.

- 1) 水文曲線地點은 主要한 支流(tributary)의 影響을 받으며 水文 模型化를 위한 위치이다. 이 지점에서 支流의 水文曲線을 추가할 수 있으며 그 지점에서 수문곡線을 算出할 수 있다.
- 2) 各 流域은 같은 종류의 水理/水文學的 特性(水文氣象學的 變量)을 갖고 있는 流域을 대표한다.

降雨-水文曲線은 기록치를 分析하여 設計流量과의 相關關係를 算定하기 위하여 使用된다. 換算流量을 計算하기 위하여 洪水를 유발시킨 降水가 HEC-1 Model에 適用된다.

最大降雨量이 最大 洪水를 유발시키므로 尖頭流出量을 算定하기 위한 事象(event)은 最高 洪水事象(flood event) 이어야 한다.

그러나 事象換算(event calibration)을 위해서 이용되는 降雨資料는 Buluh 觀測所에서 1960~1968年 까지의 流出量 資料만이 有效하므로 4個의 觀測所에서 60年代의 모든 降雨量 Data가 最大 7日 連續降雨의 總 降水量 및 期間을 決定하기 위한 세밀한 검색이 이루어졌다.

이러한 事象(events)들을 모델의 換算(calibration)에 사용하였으며, 7日 最大降雨가 發生한 시기에 그 해의 最大流出이 發生한 것을 分析할 수 있었다.

SCS 方法의 流出數(runoff curve number)가 損失量 修正方法으로 이용되었으며 CN 의 값은 토양수분상태에 따라 土壤群, 土壤被服, 土地利用 및 處理狀態, 水文學的 條件에 따라 구해지는 값이다.

Table 3. Summary of Catchment Characteristics

Item Stations	Length (km)	Area (Km ²)	S (%)	tc (hour)	Lc (km)	C _t	T lag (h)
Kg. Che Long	23.0	140.0	2.15	7.3	12.0	2.0	4.5
Kg. Buluh	26.1	156.8	1.58	8.8	12.5	2.0	5.0
Sg. Pelung	9.0	14.1	0.16	6.1	4.1	4.0	7.0
Sg. Tarum	17.7	73.4	0.10	11.1	9.2	2.0	6.4
Sg. Guntung	26.3	143.0	2.29	8.3	14.0	4.0	9.9
A. Mek Janah	5.6	7.4	0.22	3.8	2.6	8.0	9.6
R1	4.0	3.3	1.30	2.1	2.0	4.0	2.8
R2	5.0	10.3	0.08	4.0	2.8	4.0	5.6
R3	1.0	2.6	0.40	0.7	0.5	8.0	2.7
R4	0.5	2.4	1.27	0.3	0.3	4.0	0.7
A. Jawi/L1	2.8	6.7	0.14	2.1	1.4	8.0	6.6
L2	3.0	11.2	0.03	2.9	1.5	8.0	9.0
L3	4.0	14.3	0.05	3.4	2.0	4.0	5.0
Sg. Ular	4.0	11.8	0.14	2.8	2.0	4.0	4.2
Sg. Bintang	19.0	99.9	0.20	6.4	8.5	4.0	11.3
Sg. Chalok	35.0	380.0	0.03	25.0	19.0	8.0	53.4

Note : Tc = Time of concentration(hour)
Lc = Length to catchment centroid(km)
C_t = Catchment characteristics constant
T lag = Catchment lag time (hour)

水理的 計算에 필요한 시간당 수문곡선을 만들기 위해 無次元의 SCS 單位圖法을 HEC-1에 적용하였다.

各 流域의 遲滯時間은 Taylor 와 Toh(1976)에 Hydrological Procedure No.11에 수록한 말 레지아 반도를 위한 經驗式을 적용 하였다.

遲滯時間 公式은

$$L_g = 0.36 C_t(L \cdot L_c \cdot \frac{1}{\sqrt{S}})^{0.35} \dots\dots\dots (6)$$

- 여기서 L_g : 遲滯時間 (hr)
- L : 主流路長 (km)
- L_c : 流域重心에서 出口까지의 流路長 (km)
- S : 平均 傾斜度 (%)
- C_t : 流域形狀에 따른 常數

다음 Table 3은 各 流域의 因子들을 정리하고 조합한 것이다.

다. 洪水量

設計洪水量을 算定하기 위하여 Table 2의 雨量資料를 HEC-1 Model 에 도입하였다. 1日 最大 降雨量을 尖頭流量 算出을 위한 設計降雨量으로 채택하였다. Buluh 流域의 洪水到達 時間은 짧으므로 1日 最大雨量 깊이를 設計洪水量으로 채택하였다. 設計降雨量에서 손실을 감안하여 有效雨量 柱狀圖를 算出하여 SCS 方法에 의하여 만들어진 單位圖를 활용하여 合成單位 流量圖를 算出하였다. HEC-1 Model 에서 Muskingum 의 解析的 方法의 Algorithm 을 活用하여 合成設計水文曲線을 算出하였다. Setiu 江의 下流部 平坦地의 洪水防止對策을 마련하 기 위하여 決定한 頻度別 降雨量을 HEC-1 Model에 적용하여 算出한 빈도별 유출량은 Table 4 와 Fig. 9는 같다.

Table 4. Adopted Results for Flood Mitigation

Modelling Station	Confluence Site Name	Return Period (yrs)					
		2	5	10	20	50	100
10	Kg.Buluh	225	318	393	468	566	643
12	Sg.Pelung	237	334	413	496	594	666
17	Sg.Tarum	340	473	583	692	873	945
30	Sg.Guntung	557	776	942	1081	1308	1491
41	Sg.Chalok	1121	1579	1914	2211	2644	2790
50	River Mouth	1173	1660	2016	2334	2790	3118

- Where St.10 : discharge of Sg.Setiu at Kg.Buluh.
- St.12 : discharge of Sg.Setiu at Confluence with Sg.Pelung.
- St.17 : discharge of Sg.Setiu at Confluence with Sg.Tarum.
- St.30 : discharge of Sg.Setiu at Confluence with Sg.Guntung.
- St.41 : discharge of Sg.Setiu at Confluence with Sg.Chalok
- St.50 : discharge of Sg.Setiu at River Mouth

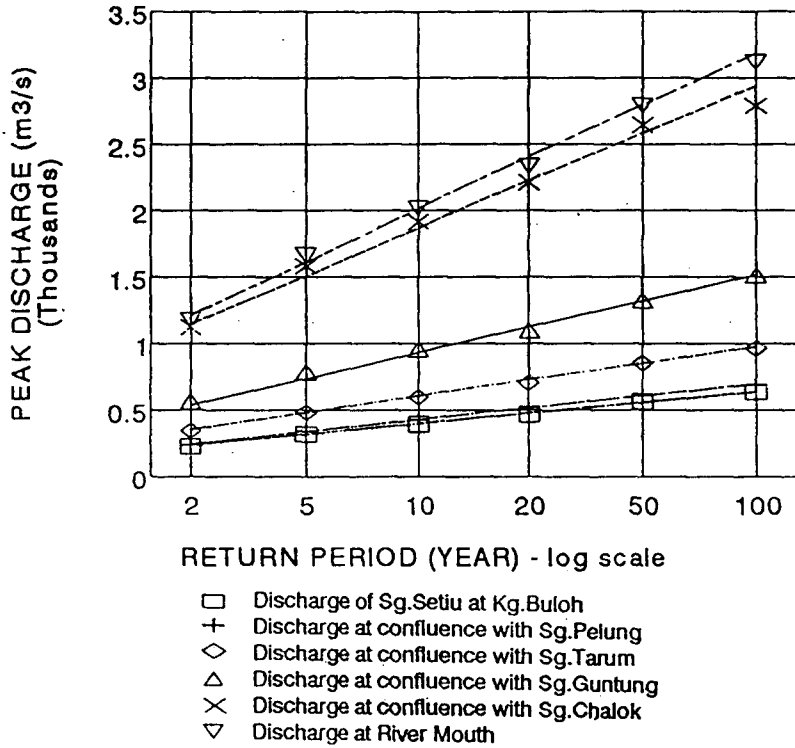


Fig. 9 Design Discharge (m³/s) using Design Rainfall of 1 Day Duration

라. 水理計算

河川水理計算을 위하여 不等流 흐름 Model 을 채택하였다. 開水路에서 steady gradually varied flow 의 基本方程式은 1次元 Energy 方程式으로 명명(Chow, 1959)된 式을 사용하였으며, 그 式은 다음과 같다. (Fig 10. 참조)

$$Z_1 + Y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_e \quad \dots \dots \dots (7)$$

여기서 Z : 基準水準面에서 兩斷面(1 또는 2)의 水路 바닥高

Y : 斷面(1 또는 2)의 水深

α_1, α_2 : 斷面型에 따른 Energy 係數

V : 平均 流速

g : 重力 加速度

h_e : 兩斷面間의 損失水頭

이 Energy 方程式에서 流速 算定을 위하여 Manning 公式이 사용되었다.

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots \dots (8)$$

여기서, R : 動水 半徑

S_f : Energy 線 傾斜

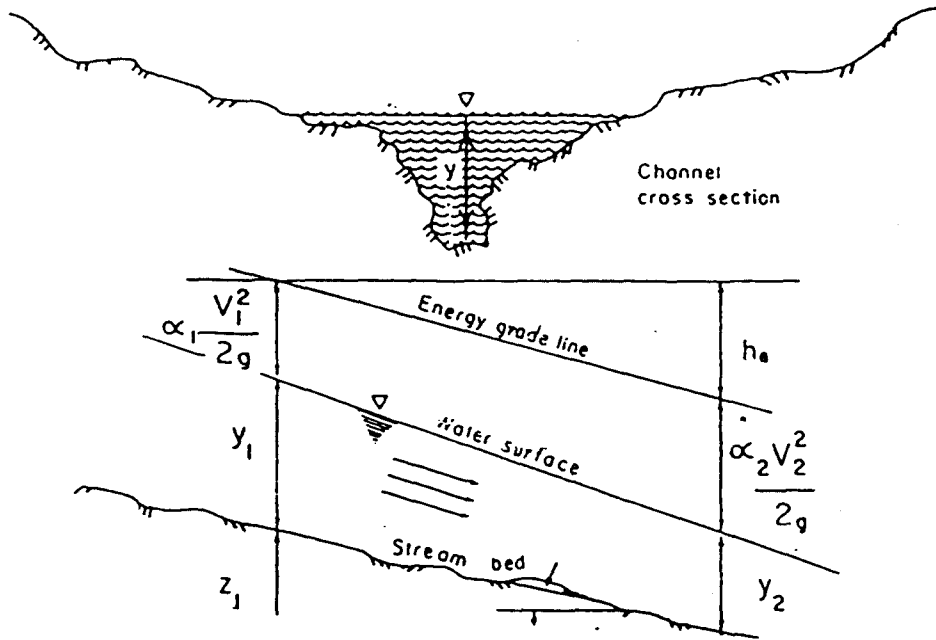


Table 5. Calibrated Manning's "n" by 1986 Flood Discharge

Location	From River Mouth (Km)	Discharge (m ³ /s)	Manning's n	
			Channel	Overbank
STN.No.50	0	2347	0.022	0.04
STN.No.41	8.96	2023	0.02	0.05
STN.No.30	14.42	1263	0.030	0.05
STN.No.18	20.60	769	0.030	0.052
STN.No.12	24.04	530	0.053	0.06
STN.No.10	24.50	506	0.035	0.065
STN.No.1	29.00	450	0.036	0.065

美 工兵團에서 開發한 HEC-2 Model을 不規則한 斷面을 갖고 있는 Setiu江에 적용하여 水面 計算을 시행 하였다.

이 프로그램은 흐름의 상태가 1次元이며 점진적으로 변화하는 不等流흐름으로 가정하여 개발된 것이며, 水路의 收縮과 擴幅, 교량으로 인한 Energy 손실 등을 計算할 수 있는 기

능을 가지고 있다.

HEC-2 Model 은 수심이 다르고 斷面의 粗度係數가 不規則한 斷面に 適合하여서 常流의 흐름을 計算할 수 있으므로 주어진 地形的 條件과 河口條件 및 흐름에 영향을 끼치는 橋梁 등을 고려하여 실질적인 條件에 부합되도록 水理計算을 실시하였다.

1986年 12월에 發生한 洪水條件에 맞추어 檢證한 Manning 의 粗度係數는 Table 5와 같다. 채택한 Manning 의 n 値는 河川의 現場調査値와 대표적인 推定값을 活用하여 斷面의 構成要素를 입도분석한 후 Stickler 公式에 의하여 決定하였다. 이와같이 修正補完한 HEC-2 Model 에 5年, 10年, 20年 및 50年 設計洪水頻度 값을 適用하였다. 이러한 과정을 통하여 Setiu 江은 Che Long 마을에서 河口까지 左右 堤防이 洪水位 보다 낮아 범람되는 結果를 보여 주었다.

5. 結果 및 考察

5.1 洪水頻度 解析

河川堤防은 洪水에 대비하여 災害를 防止할 수 있는 가장 經濟的인 方法임에도 불구하고 Setiu 江 주변에는 堤防施設이 미미할 뿐만 아니라 다른 洪水防止 對策施設이 없는 실정이다.

Buluh 觀測所에서 洪水位는 水位에 따라 注意水位, 警告水位 및 危險水位로 分類하며 그 水位는 各各 7.3 m, 7.9 m 및 8.5 m 이다.

Fig. 11 에는 1969년부터 1991년까지의 水位觀測 記錄 中年 最高値를 표시한 것이며 이 그림에서 보여주는 바와 같이 危險水位 8.5 m 는 거의 每年 發生하고 있음을 알 수 있다.

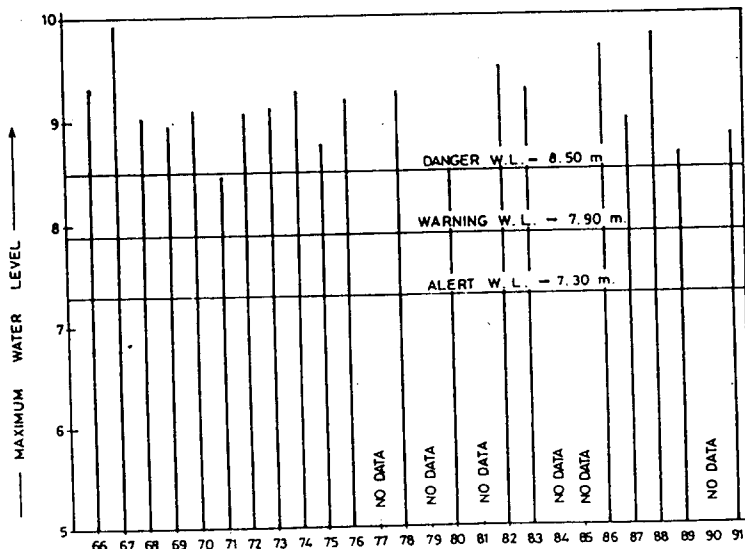


Fig. 11 Highest Flood Water Levels at Buluh Station

最高水位를 利用하여 生起頻度(frequency)를 分析하기 위하여 洪水量과 再現期間(return period)과의 關係式을 활용하였다. 水位를 流量으로 환산하기 위하여 Fig. 5의 水位-流量曲線(Rating curve)를 利用하였고, 分析結果 (참조 Table 6)에 의하면 1번째 水位와 2번째 水位는 100年 頻度 및 85年 頻度에 해당되는 것으로 판단되었다.

資料의 分析에 의하면 觀測된 降水量과 水位에서 1986年 記錄이 최악의 洪水이었음을 보여 주었고, 1967年에 나타난 最高水位(9.94m) 記錄은 降雨量과 比較하여 볼 때 잘못 觀測된 水位였음이 判명 되었다.

5.2 信賴度 分析

洪水時에 信賴度라 함은 設計 壽命期間이 構造物의 設置壽命(economic life)을 초과하지 않는 것을 의미한다.

이러한 信賴度는 다음 式에 의하여 計算할 수 있다. (Viessman 1977)

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad \dots\dots\dots (9)$$

여기서, R : 危險度 確率 (risk probability)

T : 再現期間 (return period)

n : 設計 壽命期間 (economic life period)

(9)式의 $\left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$ 項은 n년동안 構造物이 파괴되지 않을 確率을 의미한다.

R는 n년동안 構造物의 파괴될 확율을 의미하므로 構造物의 設計適用期間은 設計者가 設計當時 n년동안 발생할 危險度를 어떻게 適用하느냐에 달려 있다.

댐 設計者는 적합한 設計壽命期間 (50~80年)에 20 %의 危險度를 適用하고 堤防과 같은 토공 公작물의 경우에는 80 %의 위험도를 적용하는 것이 일반적이다.

Table 7은 여러가지 構造物의 유지관리를 위한 設計 壽命期間을 나타낸것이다. 큰 토공 構造物의 設計壽命期間은 50年이고 하천제방의 設計壽命期間은 30年이므로 堤防의 再現期間은 다음과 같이 算出 할 수 있다.

$$0.80 = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{30}$$

$$T = 19.1 \approx 20 \text{ 年}$$

이와 같이 信賴度分析(Risk analysis)에서 危險度를 80%로 가정하고, 河川堤防의 設計壽命期間(economic life period)을 30年으로 定하였을 때 再現期間 (return period)은 20年이 적합함을 의미한다. 이 結果는 우리나라에서 현재 사용하고 있는 排水計劃樹立時 채택되고 있는 설계빈도치가 적합함을 보여주고 있다.

Table 6. Exceedance Probability of Flood Discharge at Buluh Station

Date mon. yr.	Time	Rainfall (mm)	Water Level (m)	Discharge (m ³ /s)	Exceed. Proba (%)	Return Period
30-12-66	05.00	176	9.30	271.69	31.25	3.2
5-01-67	19.00	271	9.94	744.72	1.00	100
27-12-68	13.00	143	9.02	167.94	83.33	1.2
30-11-69	05.00	189	8.96	150.94	90.91	1.1
29-12-70	05.00	131	9.11	196.60	66.71	1.5
21-11-71	19.00	166	8.43	no data	-	-
16-12-72	04.00	122	9.08	186.60	66.67	1.5
10-12-73	11.00	168	9.11	196.60	62.50	1.6
21-11-74	14.00	112	9.30	271.69	32.26	3.1
24-11-75	19.00	97	8.78	108.72	90.91	1.1
23-11-76	14.00	91	9.20	229.50	50.00	2
77		no data	-	no data	-	-
7-12-78	02.00	133	9.36	300.17	25.00	4
79		no data	no data	no data	-	-
29-12-80	18.00	19.6	8.50	94.20	90.91	1.1
81		no data	-	no data	-	-
15-12-82	18.00	6.2	9.53	395.73	10.00	10
4-12-83	21.00	231	9.28	262.74	33.33	3
84		no data	-	no data	-	-
85		no data	-	no data	-	-
30-11-86	-	281	9.69	509.28	3.57	28
7-12-87	10.00	109	8.96	150.94	90.91	1.1
1-12-88	22.00	136	9.82	621.85	1.18	85
1-11-89	04.00	125	8.65	99.39	90.91	1.1
90		no data	-	no data	-	-
31-12-91	16.00	-	8.82	117.07	90.91	1.1

Table 7. O&M and Renewal with Different Facilities

Type of Facilities	O & M (%)	Economic Life (Year)
1. Large-scale earthwork		
(a) Earth fill dam	0.5	50
(b) Bund	1.0	30
(c) Breakwater	0.5	30
2. Irrigation Scheme		
* (a) Large	2.5	50
** (b) Small and medium	7.0	30
** (c) Unlined canal	5.0	20
** (d) Pipe and lined canal	1.0	30
3. ** Mechanical equipment	5.0	20
4. ** Pump and motors	5.0	20
5. ** Electrical equipment	5.0	20

Source *) Tan B.T., Economic Analysis of Water Use
in Selected Rice Irrigation Schemes in Asia (1987)

***) Kemasin-Semarak Project, Kelantan State (1980)

O & M : Operation and Management

5.3 費用과 便益分析

最適의 設計頻度を 算出하기 위하여 여러가지 再現期間에 대하여 費用과 被害額에 대한 算定이 이루어졌다.

洪水被害資料는 해당년도의 洪水 報告書에서 수집 정리하였으며 그 結果値는 Table 8과 같으며 洪水被害는 3가지 항목으로 分類하여 정리되었다. 1986年の 洪水被害는 最大値이며 그 다음은 1989年 洪水에서 發生하였다.

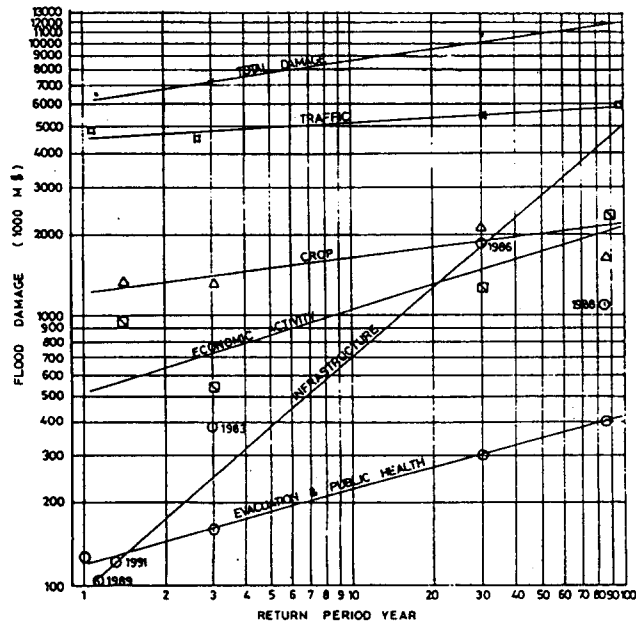
Table 8. Flood Damages with Flood Year

Damage Description	Damage Cost								
	1982	1983	1984	1986	1987	1988	1989	1991	Total
Roads & Bridge	1	255	35	1,073	87	1,013	100	120	2,683
Irrigation & Drainage	52	90	n.a	133	18	85	n.a	n.a	377
Agriculture & Others	n.a	n.a	n.a	514	n.a	40	n.a	n.a	544
Total	53	345	35	1,720	105	1,138	100	120	3,614
Present Value	61	389	39	1,852	111	1,190	103	120	3,865

Note : n.a = Data are not available

Fig. 12 는 再現期間에 따른 洪水被害를 나타내었으며, 특히 부대시설에 대한 被害는 再現期間에 따라 급속한 증가세를 보이고 있다. Fig. 12 로 부터 再現期間에 따라 계산된 洪水被害를 Table 9에 나타 내었으며, 20年 頻度の 洪水時 예상되는 總 洪水被害額은 9.6 百萬 M \$ 정도 였다.

이 洪水被害額의 數値는 水工構造物의 適定設計頻度値를 찾기 위해서 活用 되었다. Setiu 江에 堤防을 築造하면 防水堤 내부의 排水는 堤防에 의하여 防害를 받게 되므로 새로운 內排水 系統整備가 必要해진다. 이것을 해결하기 위하여 가장 유리한 배수계통을 새로히 計劃樹立하고 어에 대한 洪水持續時間과 水深에 대한 分析을 實施하였다. 그 結果는 Table 10에 洪水 頻度別로 分析 표시하였으며 5年 및 10年 頻度の 洪水時에 洪水防止 比率은 각각 83 %, 80 % 에 이르는 것으로 分析되었다.



NOTE -

- TOTAL DAMAGE
- TRAFFIC
- △ CROP DAMAGE
- ▣ ECONOMIC ACTIVITY
- INFRASTRUCTURE DAMAGE
- EVACUATION & PUBLIC HEALTH

Fig. 12 Flood Damage - Return Period Curve

Table 9. Adjusted Flood Damage with Return Period

Unit : M \$ 1,000

Return period (Year)	2	5	10	20	50
* Risk probability(%)	99.9	99.8	95.7	78.5	45
** Damage (Total)	6,800	7,800	8,600	9,600	11,000
Crop	1,300	1,500	1,630	1,800	2,000
Traffic	4,700	4,900	5,200	5,400	5,600
Economic	640	840	1,050	1,300	1,700
Infrastructure	185	390	700	1,250	2,800
Evacuation and Public Health	147	192	225	270	350

Note : * Risk probability is the one to occur at least once in 30 successive years.

Table 10. Comparative Inundation without and with Bunds

Sub-area	Flood Frequency (year)	Without Bunds			With Bunds			Mitigation rate
		Highest W.L.(m)	Duration (hr)	Area (ha)	Highest W.L.(m)	Duration (hr)	Area (ha)	
A	2	7.83	0	15	7.78	0	0	
	5	8.54	0	17	8.49	0	0	
	10	9.07	4	40	9.06	26	40	
	20	9.57	10	75	9.42	42	55	
B	2	4.75	50	690	1.85	0	0	
	5	5.24	54	755	2.05	0	0	
	10	5.60	55	800	2.30	0	0	
	20	5.91	80	935	2.62	20	30	
C	2	5.13	15	50	5.54	30	57	
	5	5.65	19	62	6.73	39	62	
	10	6.03	24	68	7.95	50	68	
	20	6.36	30	75	8.53	52	75	
D	2	3.97	17	75	2.0	0	0	
	5	4.59	20	85	2.32	0	0	
	10	5.00	23	95	2.69	0	0	
	20	5.32	27	100	3.07	0	0	
E	2	3.77	40	225	2.61	50	25	
	5	4.37	44	360	3.20	54	150	
	10	4.96	47	575	3.36	55	200	
	20	5.07	49	675	3.51	56	250	
Total	2			1055			82	92%
	5			1279			212	83%
	10			1483			308	80%
	20			1860			360	80%

Table 11. Cost and Benefit for Bund Scheme with Different Return Period

Description	Return Period			
	5	10	20	50
1. Total Cost(M\$1000)	3,017	66,485	69,350	74,075
(a) Bund	40,456	43,924	46,789	51,511
(b) River Mouth Improvement	22,561	22,561	22,561	22,561
2. Flood Damage (M\$ 1000)	7,800	8,600	9,600	11,000
3. Flood Mitigation Rate (%)	83	80	80	77
4. Annual Benefit = (2) × (3)	6,474	6,880	7,680	8,470
5. Annual Cost	6,685	7,052	7,680	7,857
6. B/C = (4) × (5)	0.968	0.976	1.044	1.078

가장 적합한 設計頻度值를 決定하기 위하여 費用 뿐만아니라 便益 도 고려하여야한다. 그러나 여러개의 頻度值에 대한 費用과 便益을 計算한 結果는 Table 11에서 보여주듯이 便益에 대한 값의 차이가 미미하므로 設計頻度值 決定할 因子로는 便益部分은 무시하는 것으로 판단하였다.

河川 堤防의 合理的 設計는 마을과 農地에 대한 洪水防止, 堤防의 安全度, 洪水 地帶의 홍수혼적과 堤防의 提案幅 및 堤防 때문에 發生하는 河川 Meandering 상태의 변화 등을 分析하여 결정하는 동시에 河川 堤防 築造 費用도 폭과 높이등 여러가지 조건을 고려하여 정한다. 첫째로 堤防의 位置를 가장 합당한 위치에 고정시켜 놓고 그 다음으로 洪水頻度值를 그 斷面에 適用하여 水理計算을 수행하였고, 이에 따라 堤防높이를 決定하여 頻度值에 따라 여러가지 값을 구할 수 있었다.

計算結果值를 그림으로 표시하면 Fig. 13과 같이 나타난다. 堤防의 높이가 20年 頻度에 해당하는 값 2.4m 를 넘어섰을때 費用曲線의 變化는 堤防높이의 변동에 따른 기울기 보다 더 급해지는 것을 나타냈으므로, 20年 頻度值가 가장 妥當性이 있는 것으로 分析되어지며 그때의 수위는 堤防높이인 2.4m 에 일치함을 보여주었다.

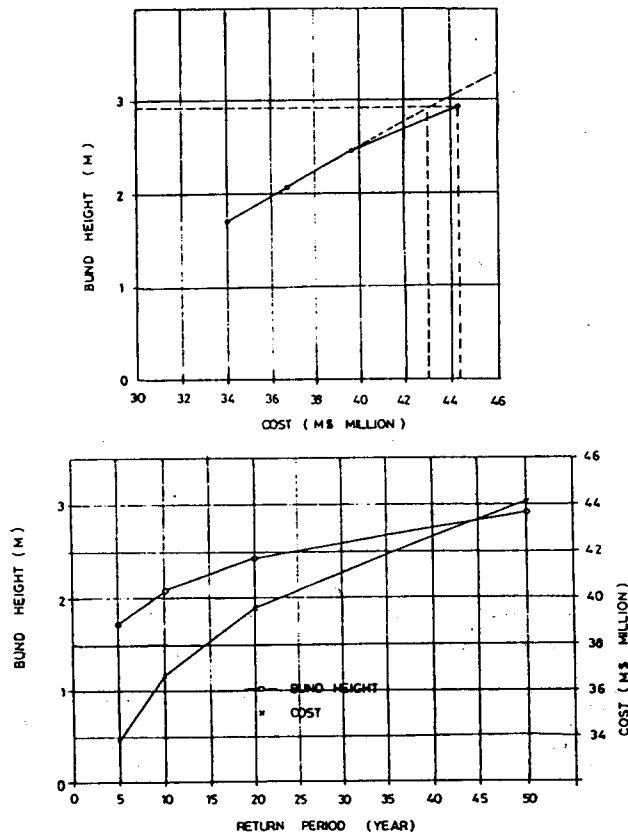


Fig. 13 Bund Height and Cost with Different Return Period

6. 結 論

여러가지 水文資料의 解析은 水資源 利用과 洪水被害를 防止하기위해 水工構造物의 設計에 重要하며, 어떤 構造物에 적정한 頻度를 가진 設計洪水量을 결정함은 더욱 重要한 사항이 된다.

특히, 河川 堤防設計에 필요한 적정한 頻度값의 設計洪水量 算定은 流量 觀測資料와 降雨量 記錄值를 活用하여 水位-流量, 水文曲線을 유도한후 洪水量을 산정하고 河川斷面에 洪水量을 적용하는 連된의 水文學的 分析이 요구된다. 水文學的 分析 結果에 의한 設計費用과 洪水被害資料를 活用하여 豫想被害額을 추정하여 合理的이고 經濟的인 河川堤防設計 頻度年을 결정 할 수 있게 된다.

本 研究에서는 이러한 重要성에 착안하여 水工構造物의 適正한 設計頻度를 推定 하는 模형을 개발하기 위하여 Malaysia Setiu 江 流域의 資料를 活用 하였다. 그 結果는 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 信賴度分析(risk anlysis) 에서는 危險度(risk)를 80%로 假定하고 河川堤防의 設計壽命 期間(economic life period)을 30年으로 정하였을때 再現期間(return period)은 20年으로 나타났다.
2. 再現期間에 따른 洪水被害를 보면 附帶施設에 대한 피해는 再現期間에 따라 급격한 증가세를 나타냈다.
3. 最適의 設計頻度값을 선정하기 위하여 費用 뿐만아니라 便益도 고려했을 경우, 작은 頻度值에서 큰 頻度值로 변화 할때 便益增加率의 변화는 미미한 것으로 判明되었다.
4. 洪水頻度에 따른 堤防의 높이를 決定하고 그 堤防의 築造費用을 算出한 結果로 堤防높이가 20年 頻度值인 2.4m 를 넘어섰을 때 費用曲線이 堤防높이의 變化 기울기 보다 매우 급한 변화를 보여주었다.
5. 構造物의 建築費用과 信賴度를 비교한 經濟分析을 실시한 결과 河川堤防 設計에는 20年 頻度值가 가장 妥當性이 있는 것으로 分析되었다.

이상과 같이 治水를 위한 水工 構造物의 設計를 위하여는 당해지역의 被害額을 정확히 수립하여 設置費用을 算出 및 分析하고 地域條件과 重要度를 고려한 設計값의 選定이 要請되며 一般 河川의 再現期間의 設定은 20年 頻度값이 가장 合理的인 것으로 檢證 되었다.

參 考 文 獻

1. ANCOLD, Guidelines on Design Floods for Dams, Australian National Commission on Large Dams,1986
2. Bureau of Reclamation, Design of Small Dams, Department of Interior,USA, PP 37-93. 1977
3. Bureau of Reclamation, Drainage Manual, Department of Interior, USA, 1978.

4. Chow, V. T., Applied Hydrology, McGraw-Hill Book Co., PP 416-443, 1988.
5. Chow, V. T., Open-Channel Hydraulics, McGraw-Hill Book Co., 1959.
6. DID, Estimation of the Design Rainstorm in Peninsular Malaysia, Hydrological Procedure No.1, 1982.
7. DID, Mean Monthly, Mean Seasonal and Mean Annual Rainfall Maps for Peninsular Malaysia, Water Resources Publication No.19, 1988.
8. ESCAP, Manual and Guidelines for Comprehensive Flood Loss Prevention and Management, Economic and Social Commission For Asia and Pacific / United Nations Development Programme, 1991
9. ICOLD, The Design Flood Guidelines (Rough Draft), Committee on Design Flood, International Commission on Large Dams, 1990
10. 金熙鍾, 河川工學, 東明社, 1977
11. 金亨洙, 最新河川工學, 螢雪出版社, 1990
12. 建設部, 河川施設基準, PP 393-424, 1987
13. 建設部, 河川工事 標準示方書, PP 31-65, 1986
14. 建設部, 構造的 側面에서의 原因分析 및 對策, 防災綜合對策中長期計劃調查 報告書 2권, 1988.
15. 建設部, 水資源管理技法開發研究 調查報告書, 1991, 1992
16. 鄭俊錫, 河川工學, 光林社, 1976
17. Mccuen, R.H., A Guide to Hydrologic Analysis using SCS Methods, Prentice-Hall, INC., 1982
18. 農林水產部, 農地改良事業計劃 設計基準 (Dam 편), PP 125-162, 1982
19. 農林水產部, 農地改良事業計劃 設計基準 (排水편), PP 53-102, 1983
20. 農業振興公社, 臺灣 灌溉事業計劃基準, 1983
21. 朴成宇外 5人, 應用水文學, 鄉文社, PP 60-63, 293-294, 1984
22. RDC, Feasibility Study on Northern Terengganu Rural Development Project (Phase II), Volume II, 1992
23. Reich, B.M., Short Duration Rainfall Intensity Estimates and Other Design Aids for Regions with Space Data, J. Hydrology Amsterdam, PP 3-28, 1963
24. Smedena, L.K., Land Drainage, Batsford Academic and Educational Ltd, 1983.
25. 大韓民國政府, 第3次 國土綜合開發計劃 (1992~2001), PP 98-102, 1992
26. Tan, B.T., Economic Analysis of Water Use in Selected Rice Irrigation Schemes in Asia, Regional Office for Asia and the Pacific, FAO, Bangkok, RAPA Report, 1987
27. Taylor, M.A.W., and Y.K. Toh., Design Flood Hydrograph Estimation for Rural Catchments No.11, DID, Malaysia, 1976
28. US Army Corps of Engineer, HEC-1 Flood Hydrograph Package, The Hydrologic

Engineering Centre, 1981

29. US Army Corps of Engineer, HEC-2 Water Surface Profiles, User's Manual, The Hydrologic Engineering Centre, 1982

30. US Army Corps of Engineer, Water Surface Profiles, The Hydrologic Engineering Centre, 1982

31. Viessman, W., Introduction to Hydrology, Harper and Row, 1972

32. 元泰常, 河川工學, 文運堂, 1964

33. 尹龍男, 工業水文學, 清文閣, PP 9-18, PP 532-572, 1986

34. 尹龍男, 水文學, 清文閣, PP 330-352, 1975