

流域에서의 集水量과 洪水量을 調査하는 水文學的方法

朴 成 宇

緒 論

이 小品은 美國農工學의 一部를 紹介하려고 한 것입니다. 內容은 어떠한 地域에서 아무런 基本的인 data 없이 貯水池設計를 하려할때 如何한 方法으로 주어진 流域의 水文學的 調査를 하는가 하는 問題입니다. 貯水池의 目的은 灌溉用, 發電用, 洪水調節用等等 이겠지만 要는 背後에 놓여져있는 流域에 依하여 決定될 것입니다. 流域自體의 水文學的 解析이 貯水池築造의 第一步일 것입니다.

여기서는 다음과 같은 內容을 썼습니다.

- 1) 流域內의 流出量狀況 調査法
方法으로는 unit hydrograph method를 紹介하였읍니다.
- 2) 流域內의 土壤 浸透 能力(soil infiltration Capacity) 調査法.
- 3) 降雨量의 循環期間(frequency recurrence interval of storm)의 計算例.
- 4) 流域內에서의 流出量 計算의 몇가지 方法 등이 內容의 全部입니다.

第一章 流域內의 流出量 調査와 土壤 浸透 能力 調査法

A. unit hydrograph method.

a. hydrograph (水位圖)

水位圖는 時間에 對한 流出의 量을 그린 曲線을 말한다. 曲線自體의 解析은 所謂 次元解析(dimensional analysis)에 依하여 其의 關係를 表示할수 있지만 流域의 面積 面貌(shape) 降雨強度가 其의 量等に 依하여 決定되는 것이다. 實測에 依한 하나의 例는 Table (1)과 其에 依한 表面流出의 模樣을 그린 曲線이다.

(Table (1)과 7月 17日의 水位圖 參照)

이 方法은 流域에서의 表面流出이 있는 out-let 에 보(weir)를 만든다. 그리고 其 weir 에 水面

位高의 記錄計(continuous water level recorder)를 設置한다. 다행이 우리나라에서는 모든 實驗 장치가 되어있다. 即 數多한 水利組合의 여러 貯水池가 있으니 此種의 目的에 利用될수 있으며 即 貯水池의 流入部는 流域의 流出部일 것 이니가 容易하게 此種의 測定은 可能할 것이기 때문이다. 이 記錄에 依하여 流出의 始作時間과 peak 流出의 終結時間等이 알려지면 各時刻에 對한 水位의 記錄으로부터 流量曲線(rating curve)이 만들어 질 것이며 任意의 時刻에 對한 Volume가 알려진다. 이 水位圖에서 가장 간단한 方法에 依한 總流出量과 其의 平均流出量等의 算出은 아래와 같다.

即. (i) 平均流出(mean runoff)=0.085 c. f. s

(ii) 量總流出量 $\Sigma Q = 0.085 \times 76 \times 60 = 387.6 \text{ c. f.}$

(iii) Runoff volume in acre inch = $(387.6 \times 12) \div 43560 = 0.1065 \text{ acre inch.}$

(iv) 流出水深(inch of run off) = $0.1065 \div 6.32 = 0.0685 \text{ inch.}$

等의 값에 依하여 特定의 流域內에서의 降水(precipitation)에 對하여 우리가 알고싶어 하는 點을 다 알게 되는 셈이다.

以上의 例는 水位圖 自體에 對한 說明을 爲한 것이다.

b. 分布曲線의 誘導(derivation of distribution graph)

只今 어떤 流域에 對한 流出狀態(runoff condition)을 찾기 爲하여 다음과 같은 實驗을 하였다. 流域 410 acre 에 對하여 二個의 水位圖를 그리고 이 二個의 水位圖에 依하여 其流域의 分布曲線(distribution graph)를 誘導하여 所期의 目的을 達

成하려 한다.

첫째 6月 6日 26分동안의 降雨가 1.46 inch이며 outlet에 設置한 流出量 記錄은 5時45분에 始作되고 또 每 10分마다의 流量計算은 다음과 같다.(單位 c. f. s.)

0. 38. 90. 162. 234. 245. 208. 173. 140. 115. 90. 66. 43. 28. 12. 0

둘째 7月 16日 降雨은 1.96 inch 34分間에 왔으며 out-let에 設置하였는 流出量 計器는 8時10분에 流去가 始作하고 또 每 10分마다의 流出量의 記錄은 다음과 같다. (單位 c. f. s.)

0. 30. 93. 189. 303. 380. 383. 328. 274. 217. 172. 134. 102. 76. 45. 21. 0

勿論 以上の 各流量은 out-let의 gage가 가르키는 水位에서 換算한 값이다. 지금 이 두箇의 資料로서 이流域의 任意의 降水에 對한 流出量(run-off capacity)를 算出해보기로 한다.

C. 材料에 依한 unit hydrograph.

6月 6日과 7月 16日에 있었던 降雨에 對한 分布 曲線과 其等의 unit hydrograph를 다음과 같이 그린다.

Table (2) Unit Hydrograph 와 分布曲線에 對한 基本表 (6月 6日)

| 各10分間 의 間 隙 | 6月 6日 Q c. f. s | (平 均) Q c. f. s | 分 布 % |
|----------------|--------------------|--------------------|--------|
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 38 | 19 | 1.15 |
| 3 | 90 | 64 | 3.90 |
| 4 | 162 | 126 | 7.80 |
| 5 | 234 | 198 | 12.00 |
| 6 | 245 | 239.5 | 14.5 |
| 7 | 208 | 226.5 | 13.7 |
| 8 | 173 | 190.5 | 11.5 |
| 9 | 140 | 156.5 | 9.5 |
| 10 | 115 | 127.5 | 7.7 |
| 11 | 90 | 102.5 | 6.2 |
| 12 | 66 | 78.0 | 4.75 |
| 13 | 43 | 54.5 | 3.3 |
| 14 | 28 | 35.5 | 2.1 |
| 15 | 12 | 20.0 | 1.2 |
| 16 | 0 | 6.0 | 0.98 |
| Total | - | 1644.0 | 100.00 |

Table (3) Unit Hydrograph 와 分布曲 線에 對한 基本表 (7月 16日)

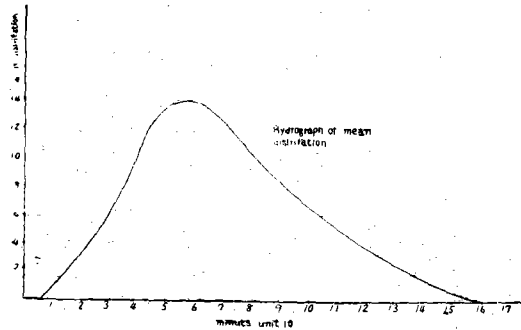
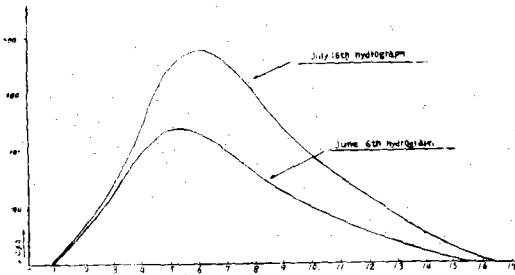
| 各 10分間 間 隔 | 6月 6日 % (平 均) | | 分 布 % |
|------------|---------------|-----------|--------|
| | Q c. f. s | Q c. f. s | |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 30 | 15 | 0.55 |
| 3 | 93 | 61.5 | 2.20 |
| 4 | 189 | 141.0 | 5.10 |
| 5 | 303 | 246.0 | 9.00 |
| 6 | 380 | 341.5 | 12.5 |
| 7 | 383 | 381.5 | 13.9 |
| 8 | 328 | 355.5 | 12.9 |
| 9 | 274 | 301.0 | 11.0 |
| 10 | 217 | 245.5 | 8.9 |
| 11 | 172 | 194.5 | 7.0 |
| 12 | 134 | 153.5 | 5.6 |
| 13 | 102 | 118.0 | 4.3 |
| 14 | 76 | 89.0 | 3.2 |
| 15 | 45 | 60.5 | 2.2 |
| 16 | 21 | 33.0 | 1.2 |
| 17 | 0 | 10.5 | 0.4 |
| Total | | 2745.5 | 100.00 |

Table (4) 2箇의 降雨로 부터 平均分布 曲線 (average distribution graph)을 求하기 爲한 計算表

| 各10分間 間 隙 | 6月 6日 % | 7月 16日 % | 平 均 % |
|--------------|---------|----------|-------|
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1.15 | 0.5 | 0.85 |
| 3 | 3.9 | 2.20 | 3.05 |
| 4 | 7.80 | 5.10 | 6.30 |
| 5 | 12.00 | 9.00 | 10.5 |
| 6 | 14.50 | 12.5 | 13.5 |
| 7 | 13.70 | 13.9 | 13.8 |
| 8 | 11.5 | 12.9 | 12.4 |
| 9 | 9.5 | 11.0 | 10.25 |
| 10 | 7.7 | 8.9 | 8.3 |
| 11 | 6.2 | 7.0 | 6.6 |
| 12 | 4.75 | 5.6 | 5.17 |
| 13 | 3.30 | 4.3 | 3.80 |
| 14 | 2.10 | 3.2 | 2.65 |
| 15 | 1.20 | 2.2 | 1.70 |
| 16 | 0.98 | 1.2 | 1.09 |
| 17 | 0 | 0.4 | 0.2 |

各表에 對한 各各의 水位圖는 다음과 같다. 參考로 이表의 根源은 6月 6日과 7月 16日의

두개의 降雨에서 만들어진 두개의 hydrograph의 平均인 것이다.



d. 水位圖의 分析

위의 두개의 水位圖를 檢査하면 水位圖의 特性을 짐작 할수가 있으나 다음과 같은 方法에 依하여 精密하게 分析 한다.

(i) 6月 6日

總流出量 1644 c.f. (但. 160分間)

160分=2.67 時間.

平均流出量. 即 各 10分間의 平均流出은

$$1644 \times \frac{1}{16} = 102.7 \text{ c.f.s}$$

여기서 1 c.f.s의 流量은 近似的으로 1 acre inch/hr 이므로

平均 Q=102.7 acre-inch/hr

$$R = \frac{102.4 \times 2.67}{410} = 0.665 \text{ inch}$$

이 날의 降雨는 1.48 inch

∴ 土壤의 含水量 (infiltration)=P-R=1.48"-0.665"=0.815" 이것은 26分間의 滲透이니가

$$I_a = 0.815 \times \frac{60}{26} = 1.88"/\text{hr}$$

即 結論을 말하면 6月 6日 26分間에 1.48 inch의 降雨가 있었는데 實際에 流去한 물은 이 流域內의 土壤 含水量(soil infiltration)이 1.88"/hr인 值를가지므로 降雨時間에 0.815 inch가 滲透하고

實際로 流出한 물은 水深으로 計算하여 0.665 inch이며 各 10分間의 平均 流量 102.7 c.f.s로 160分間 流出했으며 流出總量은

$$V = \frac{410 \times 0.665 \times 43560}{12} \div 1,000,000 \text{ c.f}$$

또는 $1644 \times 600 = 1,000,000 \text{ c.f}$

(※ 1 acre = 43560 feet²)

(10分=600秒)

(ii) 7月 16日에는 34分間에 1.96"의 降雨가 있었으며 實際의 流出은 170分間 即 2.8時間 또 10分間의 平均流出量은

$$2745.5 \times \frac{1}{17} = 162 \text{ c.f.s}$$

이것은 162 acre inch/hr에 相當하니까 流出量을 水深으로 表示하면

$$R = \frac{162 \times 2.8}{410} = 1.1 \text{ inch}$$

그리고 Volume로 表示하면

$$V = \frac{410 \times 1.1 \times 43560}{12} = 1,650,000 \text{ c.f}$$

또는 $V = 3745.5 \times 600 = 1,650,000 \text{ c.f}$

降雨는 1.96 inch

$$\therefore I = P - R = 1.96'' - 1.1'' = 0.86''$$

降雨 期間은 34分

$$I_a = 0.86 \times \frac{60}{34} = 1.52 \text{ inch/hr}$$

即 7月 16日의 降雨에 依한 水位圖에서 土壤의 含水量 (soil infiltration)은 1.52 inch/hr이다.

以上 두개의 實驗에서 土壤의 含水量은

各各 1.88 inch/hr 1.52 inch/hr인데 其의 平均은

$$(1.52 + 1.88) \times \frac{1}{2} = 1.70 \text{ inch/hr}$$

然而이나 實際에 있어서는 充分한 土壤濕氣 (soil moisture)가 미리 있었다고 생각되므로 上記 結果로부터 其의 $\frac{1}{3}$ 을 減하면 實際的인 土壤의 滲透水量(soil infiltration)은 $1.70 \times \frac{2}{3} = 1.13 \text{ inch/hr}$

換言하면 1.13 inch/hr는 어명한 降雨가 이 流域에 내렸을때 實質的으로 全流出量을 減少시키는 量을 水深으로 表示한 값이된다.

(iii) 實際의 計算例

위의 두개의 實驗을 基礎로하여 降雨量에 對한 流出量의 計算을 例示하면 다음과 같다.

Minnesota에서는 50 years period recurrence interval를 가진 最大雨量은 2.6 inch/hr이다.

降雨에 對한 流域의 水位圖와 流出量を 計算하면

$$(ㄱ) R=2.6-1.13=1.47 \text{ inch/hr}$$

即 全降雨에 對하여 流出比率는 1.47 inch/hr

$$(ㄴ) \Sigma Q=1.47'' \times 410 \times \frac{60}{160} = 226 \text{ acre inch/hr}$$

即 이降雨에 對한 流出은 160分間에 있었다고 假定함

이것은 10分間의 期間에 平均 226 c. f. s 에 該當하니까 總流出量은

$$226 \times 16 = 3620 \text{ c. f.}$$

即 10分間에는 3620 c. f. s의 比率로 流去한다는 意味이며

(ㄷ) 總流出量은

$$V = 3620 \times 60 = 2,170,000 \text{ c. f.}$$

또는 $V = \frac{410 \times 1.47 \times 4356}{12} = 2,170,000 \text{ c. f.}$

(ㄹ) 이에 對한 水位圖는 아래와 같다.

Table (5) 50年을 期間으로 한 水位圖
計算表 60分間 最大雨量=2.6 inch/hr

| 各 10分 間 間 隙 | 平均 流出 量 % | 流 出 量 c. f. s |
|-------------|-----------|---------------|
| 1 | 0.85 | 30.8 |
| 2 | 3.05 | 110.0 |
| 3 | 6.30 | 228.0 |
| 4 | 10.5 | 380.0 |
| 5 | 13.5 | 488.0 |
| 6 | 13.8 | 500.00 |
| 7 | 12.4 | 449.00 |
| 8 | 10.25 | 381.00 |
| 9 | 8.3 | 300.00 |
| 1 0 | 6.6 | 239.00 |
| 1 1 | 5.17 | 187.00 |
| 1 2 | 3.80 | 137.50 |
| 1 3 | 2.65 | 96.00 |
| 1 4 | 1.70 | 61.50 |
| 1 5 | 1.09 | 39.40 |
| 1 6 | 0.2 | 7.25 |
| | - | 3620.00 |

※ 計算은 計算尺에 依한것임

위의 例에서 아다시피 unit hydrograph 에 依한 流出量 推定은 地域이 적은 우리나라 에서는 各地域에서 적어도 二年간의 觀測에 依한 結果를

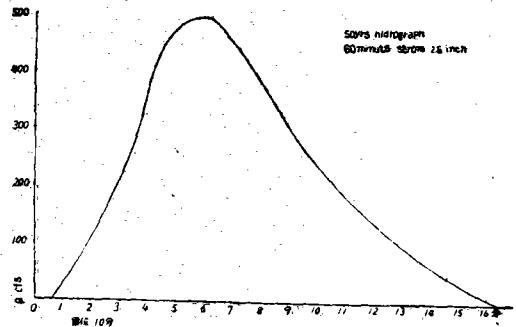
綜合하고 이것을 綜合檢討하여 結論을 내리던 目的하는 各係數의 算出이 되지않을까 생각한다.

然而나 하나의 難關은 降雨強度(rain-fall intensity)의 計算이다 우리나라는 貯水池 設計에서 其의 構造物의 經濟計劃年을 50年 또는 25年等으로 假定할때 rainfall recurrence interval 에 對한 何等의 計算基礎를 갖지 않는 것으로 생각 된다.

筆者는 누구든지 豫想하고 또 그것을 認定하고 있는 水文學的 data 의 周期性에 對하여 우리나라의 data 로서 近十年間 計算를 해온바 있으나 學理와 能力의 不足으로 中止하였다.

(第一次 計算은 追後에 發表豫定)

그러나 多幸이 그러한 學問을 하는데 若干의 基礎를 習得하였고 統計處理에 若干의 自信을 얻었고 指導教授의 親切로 이에 對한 計算을 實行한 經驗이 있는바 우리나라의 data 에 依하여 統計的 處理를하여 目的하는 數值을 찾을수 있다는것을 自信한다.



第二章 降雨強度及 強度係數 計算

다음과 같은 問題를 考慮해 보기로 한다.

1) 주어진 流域을 相對로하는 水理構造의 經濟年數 (frequency to be used in design year) (例 500, 50, 25, 10, 5, 年等)에 對하여 이에 對한 recurrence interval 를 가지는 降雨의 量과 強度에 對한 知識이 없어서는 計劃의 基準이 서지 않는다.

2) 流域이 廣範圍하고 其의 氣象學的인 條件이 homogeniouse 가 아닌경우 平均降雨量을 求하는 問題는 容易하지 않다. 即 數千平方杼의 넓은 流域에 數個의 雨量計를 設置하여 流域이 氣象學的으로 同質인 경우라도 各測雨計의 支配面積이 다를것이니가 雨量強度의 計算은 一律的으로

計算되는 것은 아니며 特히 氣象學的으로 不調和한 地域에서는 이計算이 複雜하다.

3) 우리는 事實上 累積降雨量 循環期間(mass rainfall recurrence interval)나

降雨密度 循環期間 (rainfall intensity recurrence interval) 나 내가 알기에는 우리나라 全域에 對하여 計算되어 있다고 생각되지는 않다 그리고 또 現在 分布되어 있는 雨量計網(rain gage net)이 實質的으로 우리가 計算하려는 目的에 應할수 있도록 分布되어 있는가 即 우리나라의 地域的인 氣象學的 調和성을 檢討할수 있을 정도로 分布되어 있는가 하는 問題 換言하면 어떤 流域에 對한 雨量計設置의 必要性이 檢討되어 있는가 하는 點을 考慮해 보아야 한다.

4) 洪水調節에 對한 合理性을 要求했다. 洪水調節에 있어서 時間에 對한 降雨強度의 分析이 必要한데 全國的으로 이러한 解析의 表나 chart 가 되면 現場設計에 隨時로 利用될수있는 點을 強調한다.

5) 最大日雨量으로 最大時雨量을 알수있는 方法이 要求된다.

6) 우리나라는 雨量測定所가 적으며 其中 最大의 記錄年數도 1世紀를 넘는 것은 없고 이러한 雨量計器의 數도 적어서 大部分이 短期間의 雨量記錄일 것이므로 이러한 點을 어떻게 吟味해 갈가 하는 問題가 成立한다 筆者는 以下 最大日雨量의 recurrence interval 에 對한 計算例를 所謂 말하는 station year method 에 依한 recurrence interval 로 計算하는 方法과 長期記錄에 依한 recurrence interval 의 計算法의 差異 그리고 depth-area 의 關係 daily precipitation 과 hourly precipitation 과의 關係等에 對하여 實際의 計算例를 提示하고 앞으로 우리나라에서의 計算도 이와 같은 方法에 依하여 結果를 찾아가는것이 적당하다고 생각하며 이것을 提議한다.

A) 流域內의 降雨에 依한 平均降雨量의 算定法 流域內에 二個 以上의 雨量測定所가 있어서 各測定值가 다를때 其 平均降雨量을 算出하는 方法은 세가지 方法이 있다. 只今 다음과 같은 流域에 對하여 計算法을 紹介한다. 1958月 7日 19日 다음과 같은 量의 降水가 記錄되었다 이 流域內에서의 平均降雨量을 計算하면

Station A—1.54 B—2.87
C—1.38 D—1.72
Esteo 3.42

Watson 0.39

Cedar Falbs 0.21

Kingston 1.28 ※測定單位 inches.

a) 算術平均法

| Stations | 降雨記錄(inch) |
|----------|------------|
| A | 1.54 |
| B | 2.87 |
| C | 1.38 |
| D | 1.72 |
| Esteo | 3.42 |
| | 10.99 |

이 方法은 單純한 算術平均法에 依하여 計算하는 方法이며 이 流域內에서의 7月 19日 降雨은 2.19 inch 이라 할수있다.

B) Thiessen method

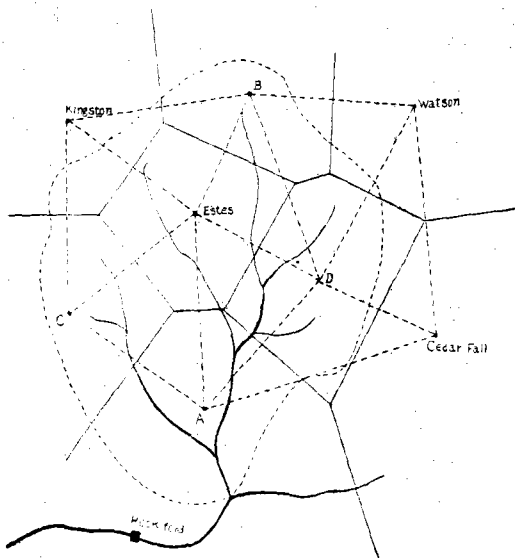
∴ $p=2.19''$ 이 方法은 各測定點이 支配하는 面積을 幾何學的으로 計算하고 그에 對한 加重平均으로 平均降雨量을 計算하는 方法인데 計算法은 아래와 같다.

Thiessen method

| Station | 面積 (平方마일) | 降雨量 | Axd |
|------------------|-----------|------|----------------------|
| Esteo | 20.00 | 3.42 | 68.40 |
| C | 14.44 | 1.38 | 19.9272 |
| Kingston | 5.12 | 1.28 | 6.5536 |
| B | 11.96 | 2.87 | 34.3252 |
| D | 19.00 | 1.72 | 32.6800 |
| A | 23.32 | 1.54 | 35.9128 |
| watson | 1.00 | 0.39 | 0.39 |
| $\Sigma A=94.89$ | | | $\Sigma Ad=198.1888$ |

$\bar{P}=2.097$

即 平均降雨量 = 2.097inch



Thiessen 方法의 地圖

C) 等高線法 (Isohyetal method)

各 測點에서의 降雨量을 地勢測量의 水準測量과 같이 取扱하고 等高線을 그려서 測雨點이 支配하는 面積을 計算하려는 方法이다.

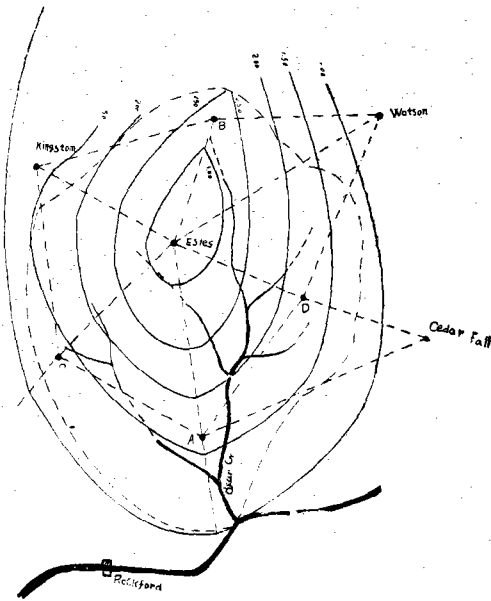
等高線法

| Extream of Isohyetal | 面積 (平方마일) | 平均深 | Axd |
|----------------------|-----------|------|--------------|
| 1.00~1.50 | 23.56 | 1.25 | 29.45 |
| 1.50~2.00 | 27.60 | 1.75 | 48.30 |
| 2.00~2.50 | 24.00 | 2.25 | 54.00 |
| 2.50~3.00 | 13.88 | 2.75 | 38.17 |
| 3.00~3.50 | 6.52 | 3.15 | 20.538 |
| | ΣA=95.56 | | ΣA×d=190.458 |

$P = 1.9998 \approx 2.00$

即 平均降雨量 2.00 inches

等高線方法의 地圖



d) 比較 위의 세 方法에서 어떠한 값에 對하여 그의 有意性檢定을 T-test 에 依하여 計算한 結果는 算術平均은 다른 두個에 比하여 差가 심하고 나머지 二個 方法에서는 差異가 없었다.

註

Thissen 方法과 Isohyetal 方法에 對한 統計的 有意性檢定

[目的] 이 Test의 目的은 두個의 方法에 對한 統計的檢定 即 두 平均線에 對한 差異가 有意性을

가지나? 에 對한 것이다.

使用한 方法 T-Test

H. : $\mu_1 = \mu_2$ $V^2; \mu_1 \neq \mu_2$

有意性基準(significance level) $\alpha = 0.01$

$N_1 = 7$ $N_2 = 5$ $df = 10$

決定基準(conclusion rule)

$|T| > 2.718$ 일때 棄却(reject)

그러치 않으면 受諾(accept)

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{s \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} = \frac{2.09767 - 1.99987}{1849 \sqrt{\frac{1}{7} + \frac{1}{5}}} = 0.00009$$

∴ 受納한다. 即 結論은 이 두가지 方法에는 差異가 없다.

等高線方法은 降雨時마다 그의 支配面積을 計算해야 할 繁雜性이 있지만 Thissen method는 한번 計算해 놓으면 支配面積이 決定되어 便利하다. 이러한 理由로 우리나라에서는 各 測雨點에 對한 支配面積을 미리 이 方法에 依하여 計算하는 것이 有益하리라 생각된다.

B) 最大日雨量의 frequency recurrence interval의 計算例 降雨의 頻度數에 對한 지식은 洪水와 浸蝕調節及 構造物計算의 基準이 될뿐 아니라 貯水池設計에는 第一次로 考慮하여야 할 問題이다 이 解析을 爲한 論文은 American Society of Civil Engineering 1952年 11月 5日 字에 Katharine Glark-Hafstad 氏에 依하여 發表되었는데 한 地域에서의 rainfall frequency recurrence interval을 爲한 station-year method의 信賴度는 長期記錄(long-time record)에 依한 것과 거이 비슷하다고 結論하였다 即 point record 만으로는 流域內의 降雨의 性格을 파악 하기에는 困難한 것이니까 多數의 記錄計器가 적당히 分布되었을때 即 homogeniouse 한 氣象學的 條件을 가질때는 그 面積에 對하여 分布시켜야 할 gage의 數가 決定되는 것인데 美國에서는 經緯度 各各의 넓이에 對하여 한個의 雨量測定器를 分布시키면 滿足하다고 한데 對하여 統計學者 Fisher는 否認하였고 1度보다 더적은 區域內에 一個의 測雨器가 必要하다고 하였다. 이것은 平坦한 美國의 地勢에서의 이야기이나 우리나라와 같은 地勢에서는 計器網이 훨씬 調密해야 하리라 생각된다 다음에 筆者가 計算한 것을 引例하고 그에 對하여 論評을 하려 한다.

a. Station-year method

流域內의 數個의 관측所가 가지는 記錄을 合

여 마치 한箇의 관측所에서 其等の 合친 年數와 같은 記錄年數計를 計算하는 方法이다 即 A. B. C. D의 各各의 記錄年수가 25年식이라면 이流域內的 記錄年數는 100年이 된다. 筆者가 計算한 例는 다음과 같다.

South-Central Minnesota 의 8箇 관측所에서 1932年~1956年까지의 24時間 降雨記錄에서 3.00 inch 以上을 찾으니 다음과 같은 表였다.

1932—1956(25年間)의 降雨記錄

| Stations | 3 inch 以上の 降雨記錄 | | | | | | |
|------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| Albert Lea | 3.15 | 7.25 | 4.75 | 3.51 | — | — | — |
| Faribault | 4.78 | 3.00 | 3.92 | 5.45 | 3.59 | 3.44 | — |
| Farimount | 3.04 | 5.23 | 3.90 | 3.86 | 3.09 | — | — |
| Mankito | 3.00 | 3.71 | 3.70 | 7.72 | 4.40 | 3.93 | — |
| Newvalm | 5.23 | 4.73 | 4.56 | 3.10 | — | — | — |
| st. peter | 3.29 | 3.43 | 5.10 | 4.15 | 3.30 | — | — |
| Winnghags | 4.54 | 3.30 | 4.37 | 6.22 | 3.42 | 3.16 | 3.33 |
| Wasca | 4.38 | 3.77 | 4.19 | 3.05 | — | — | — |

이表에서 다음과 같이 그의 順序를 定한다.

25年間에 亻한 全 Station 의 雨量順位表
(3.00inch 以上の 降雨量)

| 順位 | 降雨量 | 順位 | 降雨量 |
|----|------|----|------|
| 1 | 7.72 | 22 | 3.77 |
| 2 | 7.25 | 23 | 3.71 |
| 3 | 6.22 | 24 | 3.70 |
| 4 | 5.45 | 25 | 3.59 |
| 5 | 5.23 | 26 | 3.51 |
| 6 | 5.23 | 27 | 3.44 |
| 7 | 5.10 | 28 | 3.43 |
| 8 | 4.78 | 29 | 3.42 |
| 9 | 4.75 | 30 | 3.33 |
| 10 | 4.73 | 31 | 3.30 |
| 11 | 4.56 | 32 | 3.30 |
| 12 | 4.54 | 33 | 3.29 |
| 13 | 4.40 | 34 | 3.16 |
| 14 | 4.38 | 35 | 3.15 |
| 15 | 4.37 | 36 | 3.10 |
| 16 | 4.19 | 37 | 3.10 |
| 17 | 4.15 | 38 | 3.19 |
| 18 | 3.93 | 39 | 3.05 |
| 19 | 3.92 | 40 | 3.00 |
| 20 | 3.90 | 41 | 3.00 |
| 21 | 3.86 | | |

위에 만들어진 表에 依하여 frequency recurrence interval 를 測는 公式

$$T = \frac{n}{m - \frac{1}{2}}$$

여기서 T = 所要의 interval.

m = 順位 n = 全 Station의 觀測年數合計

여기서 는 各各의 Station 이 25年間 이니까 25 × 8 = 200年 이된다.

Computation Table(計算表)

| 順位 | 降雨量 | interval | 確率 |
|----|------|----------|--------|
| 1 | 7.72 | 400 | 0.0025 |
| 2 | 7.25 | 133 | 0.0075 |
| 3 | 6.22 | 80 | 0.0125 |
| 4 | 5.45 | 57 | 0.0175 |
| 5 | 5.23 | 44.4 | 0.0220 |
| 6 | 5.23 | 36.3 | 0.0270 |
| 7 | 5.10 | 30.7 | 0.0330 |
| 8 | 4.78 | 26.0 | 0.038 |
| 9 | 4.75 | 23.5 | 0.41 |
| 10 | 4.73 | 22.2 | 0.045 |
| 11 | 4.56 | 19.0 | 0.0526 |
| 12 | 4.54 | 17.4 | 0.058 |
| 13 | 4.40 | 16.0 | 0.062 |
| 14 | 4.38 | 14.8 | 0.066 |
| 15 | 4.37 | 13.8 | 0.070 |
| 16 | 4.19 | 12.9 | 0.076 |
| 17 | 4.15 | 12.1 | 0.083 |
| 18 | 3.93 | 11.4 | 0.090 |
| 19 | 3.92 | 10.8 | 0.10 |
| 20 | 3.90 | 10.25 | 0.10 |
| 21 | 3.86 | 9.75 | 0.10 |
| 22 | 3.77 | 9.3 | 0.11 |
| 23 | 3.71 | 8.8 | 0.11 |
| 24 | 3.70 | 8.51 | 0.12 |
| 25 | 3.59 | 8.16 | 0.12 |
| 26 | 3.51 | 7.8 | 0.128 |
| 27 | 3.44 | 7.5 | 0.134 |
| 28 | 3.43 | 7.2 | 3.138 |
| 29 | 3.42 | 7.0 | 0.142 |
| 30 | 3.33 | 6.77 | 0.147 |
| 31 | 3.30 | 6.55 | 0.155 |
| 32 | 3.30 | 6.30 | 0.158 |
| 33 | 3.29 | 6.15 | 0.163 |
| 34 | 3.16 | 5.97 | 0.166 |
| 35 | 3.15 | 5.70 | 0.175 |
| 36 | 3.10 | 5.63 | 0.177 |
| 37 | 3.10 | 5.47 | 0.182 |
| 38 | 3.09 | 5.33 | 0.187 |
| 39 | 3.05 | 5.20 | 0.190 |
| 40 | 3.00 | 5.00 | 0.200 |
| 41 | 3.00 | 5.00 | 0.200 |

即 本計算에서 이 流域內에서의 24時間 最大降雨量이 7.72 inch가 있을수 있는 確率은 0.25%로써 400年만에 一回씩 있을수 있는것이며 約 100年을 interval로 구상했을때는 約 7.00 inch 程度 10年에는 3.9inch 程度라는 것을 알수가 있다.

b) 論評 station-year method의 信賴性은 벌써 檢定이 난것이다. 即 現在의 氣象學資料로서는 어떠한 量의 降雨의 可能性에 對한 豫測은 알수없다. 다만 그것은 統計的 研究以外에는 없는 것이다. 即 그의 方法이란 precipitation history의 分析에서만 可能한 것이다」라고 前記 文獻은 말하고 있다. 한 測點의 長期間記錄 (long-time record) 自身은 틀림 없이 그點에 對한 確實性있는 信賴度를 가르키는 것이 짚지만 point rainfall record는 그 流域內에서 이러나는 다른 地域의 어떠한 種類의 性格을 가진 降雨에 對하여서는 無知하다. 故로 point record가 如何히 長期間이라도 이點을 解決할 方途는 없다 이러한 點으로부터 流域內에 적당한 net work를 가진 測點으로부터 得하는 station year method는 우리의 目的을 達成하는데 有效한 것이며 前記論文에 依하면 한 流域內에서 單一觀測에 依한 觀測으로 모든 事項이 滿足되었다고 할때 單一觀測 (single observation)의 記錄時間이 500年인 境遇에 特定한 storm이 100回있을수 있는 信賴區間(confidence interval)을 (5 ± 0.5) 年 이라하면 20年間的 25個所의 station-year method에는 (5 ± 1.1) 年程度라고한다 事實 우리나라와 같이 長期間記錄이 적어서 短期間記錄에만 依存할 境遇 이 方法이 가장 有益한 方法임을 自信하는 바이다.

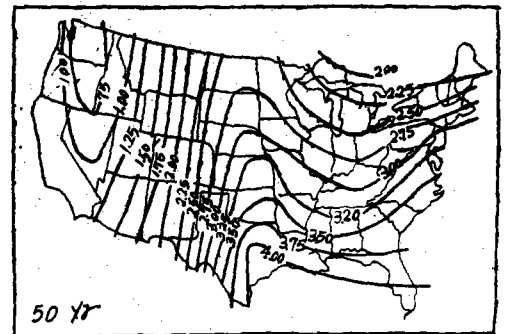
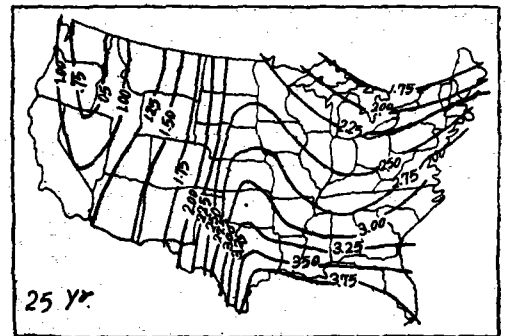
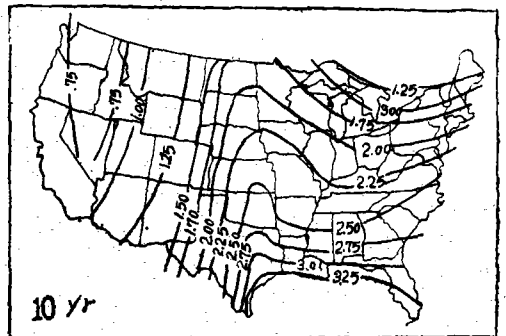
c) 最大時雨量의 頻度循環期間(frequency recurrence interval)의 算定.

洪水量 調節을 爲한 最大流出量의 計算은 最大時雨量(maximum hourly precipitation)이 必要할 것이니가 萬若 우리나라에 充分한 雨量記錄器가 있으면 其에 對한 計算도 比較的 손쉽게 되겠지만 이것이 없을 때에 最大雨量의 頻度區間을 計算하는 方法은 두가지의 方法을 들수있다.

(i) 長期記錄과 短期間記錄과의 關係를 찾는 方法.

(ii) 24時間降水가 既知인 境遇에는 그와 最大時雨量(maximum rainfall hourly precipitation)의

關係를 追窮하는 方法밖에 없을 것이다 筆者는 이러한 關係의 究明에 있어서 長期記錄과 短期記錄의 起點에서 年數에 比하여 어떠한 係數 또는 關係的式을 발견 하므로써 이것을 解決하는 方法을 알고있다. 이 方法은 只今 美國東部地域 全域에 亘하여 이 目的을 이루기 爲한 事業이 (Technical Paper 24, 25, 28) 等에 依하여 發表되고 있으며 우리도 이 方法에 依하여 遂行할수 있을 것이다. 이러한 方法의 施行은 筆者自身の 獨創도 아니며 先進國家에서 現在施行하고 있는 方法니이까 問題는 統計實力에 달려있는 것이다 萬若 위의 모



7me-hour rainfall inches to be expected at recurrence intervals of 10, 25, 50-yrs in U. S. A.

은 計算이 끝나면 所謂 美國 Yarnell 氏의 雨量密度 頻度曲線(rainfall intensity frequency curve)과 같은 것이 우리나라에서 만들어질 것이다.

結局 貯水池設計의 目的이 洪水調節을 爲한것 또는 灌溉 發電을 目的으로 하던지를 不問하고 첫째 알아야 할것은 背後에 놓여져 있는 流域에 對한 水文學的인 知識이라고 할것이다. 豫測할수 있는 降雨量과 其의 強度에 對한 豫備知識, 그리고 流域의 地質上의 知識 滲透量 降雨時의 表面流去量이 流域의 出口에서 時間에 對하여 變化하는 모양, 이러한것을 알때 貯水池의 設計基準이 成立될 것이다. 위의 論說은 이러한 貯水池設計의 基本 data를 求得하기 爲한 基礎調査의 方法을 例示한 것이다.

다음은 美國에서의 流去量計算을 하는例를 드는 것이다 그리고 所謂 Yarnell 氏의 降雨強度에 對한 頻度線이라고 불리우는 그림은 위와 같은 것이다.

第三章 計算의 例

二章과 三章에서의 所論에依한 우리의 要求한 값을 各地方마다 알았다고 하면 即 韓國全域에 亘하여 이것들의 값 即 Soil Infiltration Capacity와 頻度 雨量強度를 알게 되었을때 貯水池에서의 洪水調節에 對한 Peak의 時間과 其량을 알수 있게 될이것이며 둘째로는 우리나라 全域에 對한 watershed의 性格을 分析하였으니, 그리고 各地域에의 雨量에 對한 推定이 可能하며 計劃設計 安全年에 對한 期待降雨의 強度를 알게 되는때문에 其에對한 runoff의 狀況을 알게되고 따라서 隣接地區 또는 類似地區에서의 우리의 Hydrologic Structure의 建設事業이 可能할 것이다. 只今 其에對한 例를 引擧해 보여한다.

A) Runoff Volume의 計算

美國에서 가장 細密한 方法의 하나는 降雨時 Watershed의 Average Soil Antecedent Moisture condition, soil의 group, Land Use, 即 流域內의 土地利用의 狀況 그리고 水文學的 條件 即 排水 狀態의 如何(表面自然流去)等に 對하여 檢討한後 其의 各各에 對하여 數值를 주고 其의 合에 依하여 降雨의 強度 即 每時當 計劃年에 對한 最大 期待降雨量을 주었을때 其의 값에 對한 Peak의 量이 計算되겠끔 되어 있는 所謂 其나라의 Hydr-

ology Method라는 方法이 있다.

이 方法은 各地에 對하여 應用될수 있겠끔 基本 實驗에 依한 最新의 方法이다. 여기서 얻어지는 값은 깊이(depth)로 表示되는 方法이며 直接의 인 總流去量(Total Volume)을 얻어진다. 그리고 Peak의 물이 알아지면 流域의 面積도 알수있으니 第一章에서 말한 分布水位圖(distribution hydrograph)에 依하여 Peak의 到着時間을 直接 計算한것과 같이 降雨強度와 面積과 最大流出量을 알때 基本水位圖法(Basic Hydrograph Method)이라고 불리우는 方法에 依하여 其의 最大流去量의 到着時間等を 알게된다.

筆者는 여기서 여러가지 方法中에 세가지 方法에 對하여만 即 美國 農業土木事業에서 現在 使用하고 있는것을 引例 하여 其의 方法으로 計算하려 한다.

1) Hydrology Method.

問題: 一 韓國 서울近處에 灌溉用 貯水池를 設置하려 한다. 40年을 recurrence interval로 하는 6時間의 降雨에 對하여 流去量을 計算하라 但 Hydrology Method를 使用하라.

이 問題는 筆者가 滯美時 農工演習時間에 教授에게 받은 問題中의 하나이다.

解. 다음과 같은 假定을 했다.

(a) 6hr—50 Yr precipitation 150mm=6 inches.

(b) 流域의 狀況은 아래와 같다.

(i) sandy loam soil 80%

loam sandy 20%

(ii) average soil moisture (II)

(이것은 普通이라는 區分이다. 即 乾燥는 (I)이며 濕潤은 (III)으로 되어있다.)

(iii) 土地의 利用狀況은

50% 水田

30% 숲

10% 田穀地帶

10% hard surface (裸地等を 가르킨다)

(iv) 水文學的의 條件 良好(即 排水가 양되고 한군데 물이 있는곳이 많지 않다는 意味)

(c) Antecedent Condition (II)

即 이意味는 降雨直前의 土壤이 普通의 水分을 갖었다는 意味 (b)(ii)에서의 그것과 비슷하다.

이러한 假定아래서 hydrology hand book에

依한 細密한 計算을 한다.

即

(a) 流域田의 土壤이 어떠한 群에 들어 있는가를 찾는다.

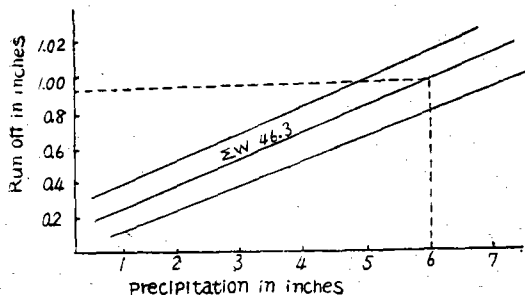
sandy loam soil 은 B 群
loam sandy 는 A 群 }에 들어 있다.

(b) 이것등에 依하여 hydrologic soil complex number 라는 것을 計算한다.

- (i) for rice land $\frac{50}{100} \times \frac{8}{10} \times 35 = 12.0$
- " $\frac{50}{100} \times \frac{2}{10} \times 6 = 0.6$
- (ii) for woods $\frac{30}{100} \times \frac{8}{10} \times 66 = 15.8$
- " $\frac{30}{100} \times \frac{2}{10} \times 45 = 2.7$
- (iii) for small grain $\frac{10}{100} \times \frac{8}{10} \times 75 = 6.0$
- " $\frac{10}{100} \times \frac{2}{10} \times 63 = 1.3$
- (iv) for hard surface $\frac{10}{100} \times \frac{8}{10} \times 84 = 6.4$
- " $\frac{10}{100} \times \frac{2}{10} \times 74 = 1.5$

$$\Sigma W = 46.3$$

即 水田, 숲, 田畚地帶, 裸地 등의 比率에 對한 各各의 土壤에 따라서는 群에서의 값이 다르니까 그들의 값을 일일이 乘하며 또 어떠한 境遇에 對하여서도 數値가 되어있으니까 빈틈없이 計算이 된다. 이들의 total을 所謂 그네들은 Σw (Sigma Double)라는 말을 하며 마치 우리가 水路의 勾配가 몇分之一이라고 할때 其에 對한 流速을 大略豫測할수 있는것과 같은 程度로 이값에 對하여 使用한다. 그래서 이 Σw 에 對한 graph를 보면



即 위의 graph와 같은것이 있어서 降雨에 對한 各 Σw 의 curve와 run off의 값이 決定되도록 되어있다.

답은 0.9 inch 即 約 23mm의 流去가 있다고

對答된다.

이問題에 對하여 150mm의 降雨에 對한 流去를 어떠한 流去率 即 0.65 또는 0.6을 假했을때 얻어지는값 100mm 近處의 값과 23mm 近處의 값과는 大端한 差異인데 筆者의 假定이 엄청나게 틀렸다고 생각되지 않는다면 如何할까?

이 問題는 계속해서 其 最大流去量과 其 到着時間을 弄고있다 然而나 Basic Hydrograph Method에 依한 解決은 복잡하니까 다음 기회에 미룬다.

B) 最大推定流去量의 計算

問題 (1) 다음과 같은 流域에서의 流去量을 計算하라.

面積 1,000,000 acre=40,000 hal

位置 中部 Minnesota 地方

降雨頻度期待年 100年

그리고 流域內의 地勢狀況은 아래와 같다.

50,000 acres.....webster soil

그리고 平擔한 土地이며 (2~5%의 경사지) 農作物이 심어져 있으며 大豆, 小豆, 감자 등이 耕作되어있다.

20,000 acres.....clarion soil 5%는 草原이며 나머지 50%는 農作物이다.

30,000 acres.....重粘土質 土壤이며 20~30%의 急傾斜地이며 農耕作에는 不適當하고 森林地帶이다.

以上과 같은 條件에서 其 最大流出量을 計算하려 한다.

[解] : 먼저 이러한 정도의 넓이의 流域에 對하여는 中位에 屬하는 流域面積이 라고 하며 이러한 경우에 使用하는 公式은 다음의 Meyer氏의 公式 $Q = 100 \times c \cdot c_1 \cdot p \cdot A^{0.6}$①을 使用한다
 $Q = \text{Peak runoff. c.f.s. c. c}_1$係數
 Aarea (平方Km).

C와 C_1 에 對한 係數의 表는 다음과 같다.

(C의 값)

| 流域의 性質 | 係數 | | |
|-------------------------------------|-------|------|------|
| | 砂質土壤土 | 粘土 | |
| 1. 大端히 平坦한 農土 | 0.35 | 0.40 | 0.50 |
| 2. 比較的 平坦한 農土 | 0.45 | 0.50 | 0.60 |
| 3. 柔軟한 경사를 가진 農土 그리고 많은 池와 沼가 있는 地域 | 0.50 | 0.60 | 0.75 |

| | | | |
|---|------|-------|-------|
| 4. 比較的 柔軟한 傾斜地의 農土이며 그러나 池와 沼가 없는 地域 | 0.60 | 0.70 | 0.85 |
| 5. 若干 起伏하는 農土 그리고 池 沼 등이 없는 地域 | 0.70 | 0.80 | 1.00 |
| 6. (4)에 比하여 若干 起伏이 있는 處 | 0.85 | 1.00 | 1.25 |
| 7. (6)에 比하여 若干 起伏이 있는 農土地域이거나 또는 急傾斜를 가진 丘陵地帶와 沼池 등이 있는 流域 | 1.10 | 1.50 | 2.00 |
| 8. (7)에서 沼, 池 地域이 없는 流域 | 2.25 | 3.00 | 4.00 |
| 9. 大端한 傾斜를 가진 丘陵地帶의 森林地帶 그리고 池沼가 있는 處 | 3.50 | 4.50 | 6.00 |
| 10. (9)의 경우와 山地의 岩石이 露出되어 있는 處도 있어 山谷의 심한 흐름으로 말미암아 만들어진 沼池 등이 있는 處 | 5.00 | 6.00 | 8.00 |
| 11. (10)에 比하여 더 험악한 地帶를 가진 流域 | 9.00 | 10.00 | 12.00 |

$\Sigma C = 1.80$

(iii) 此等の 값에 公式 ①을 代入함으로써 얻어지는 Q의 값은

$$Q = 100 \times 1.4 \times 1.8 \left(\frac{100,000}{640} \right)^{0.6}$$

$$= 100 \times 1.4 \times 1.8 \times 20.7$$

$$= 5221 \text{ c. f. s}$$

問題 (3) 다음과 같은 流域에서의 最大流出量을 計算하라.

面積.....48 acres.

位置.....中部 Minnesota州

土壤.....壤土

이中 30 acres는 옥수수를 심었고 경사의 程度는 5~10%이며 12 acres는 牧場 19%의 경사지 나머지 6 acres는 나무가 심어 있고 30~40%의 경사地이다 出口(out-let)까지의 最長距離는 2000 feet, 最大高低差는 15 feet 라고한다. out let에 earth dam을 만드려야 한다.

[解]: 이 問題는 자그마한 watershed 이기 때문에 使用하는 公式도 다르다 使用하는 公式은 잘 아는 $Q = CIA$ 即 rational formula method 라고 불리우는 方法을 쓴다.

여기서 問題는 C, i 등에 對한 값의 抽出인데, 첫째 C의 값은 앞의 表에 依한것이다.

$Q = CIA$ 일때의 C 의 값

| Watershed 의 性格 | 경사(%) | C의 값 |
|---------------------|-------|------|
| Cultivated, rolling | 5~10 | 0.60 |
| Cultivated, hilly | 10~30 | 0.72 |
| Pasture, rolling | 5~10 | 0.36 |
| Pasture, hilly | 10~30 | 0.42 |
| Timber, rolling | 5~10 | 0.18 |
| Timber hilly | 10~30 | 0.21 |

다음에 I의 값은 경사와 out let까지의 最長거리에 따르는 時間에 依하여 決定되는 것인데 다시 말하자면 最大流出量은 流域內의 最遠點에서의 降雨가 流出口까지 到着했을때 이러나는 것이니까 이 時間에 對한 降雨密度는 單位時間에 對한 強度로 表示되는 것이다.

이 問題에서는

L = 最遠點에서의 out-let까지의 距離 (feet)

H = 高低差 (feet)

C_i의 값

| 期待하는 降雨年數 | 係數 |
|-----------|------|
| 10..... | 0.85 |
| 25..... | 1.00 |
| 50..... | 1.20 |
| 100..... | 1.40 |
| 500..... | 1.70 |

只今問題가 되는것은 各流域의 性格에 依하여 即其土壤과 流域의 地勢에 따라서 決定되는 C의 값과 期待降雨 頻度年에 對한 C_i의 값이다. C_i의 값은 基準期待年에 對한 比로서 表示되는 것이며 美國의 降雨係數이다.

다음의 表示에 依하여 計算하면 아래와 같다.

(i) C₁.....1.4 理由는 frequency of storm 은 100年이니까

(ii) C의 값의 計算

(a) $0.5 \times 0.5 = 0.25$50,000 acres에 對한것

(b) $0.2 \times \frac{1}{2} \times 1.00 = 0.1$20,000 acres에 對한 clarion soil 그리고 50%의 풀밭의 값

$0.2 \times \frac{1}{2} \times 1.00 = 0.1$20,000 acres에 對한 50%의 作物地의 값

(c) $0.3 \times 4.5 = 1.35$30,000 acres에 對한 값

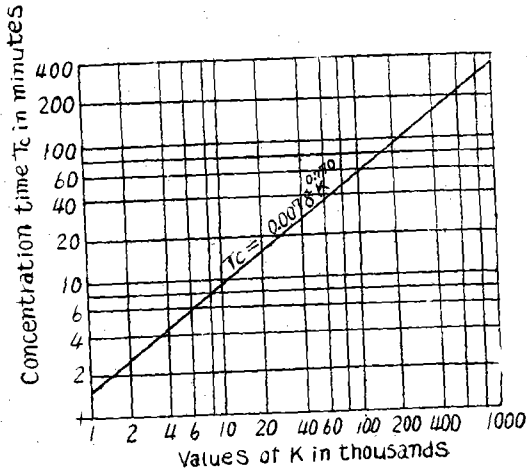
$$S = \text{slop} = \frac{H}{L}$$

$$K = \frac{L}{\sqrt{S}} = \sqrt{\frac{L^3}{H}}$$

여기에 K의 값을 계산하면

$$K = \sqrt{\frac{L^3}{H}} = \sqrt{\frac{2000^3}{15}} = 23,500$$

이 K의 값에 대하여 아래 graph에 의한 集水 時間을 찾으면 15분이 된다.



即 降雨後 15분이 지나면 이流域의 最遠地點에서 雨滴이 out-let 까지 到達한다는 意味이며 이到着時間에 對한 50年을 recurrence interval로 하는 이地方의 降雨은 每時間에 3inch니까 이러한 降雨時의 15分間 降雨의 強度는 Hathaway 氏의 graph에 依하여 (그림 參照) 찾아보면 6 inch의 降雨의 強度가 된다. 이런것을 알고 이 들을 整理하면

- (i) 集水時間計算 15分
- (ii) 50年에 對한 降雨強度. 6 inch/hr

(Hatha way 氏의 曲線에서)

(iii) C의 값의 計算

$$\frac{30}{48} \times 0.60 = 0.37$$

$$\frac{12}{48} \times 0.42 = 0.10$$

$$\frac{6}{48} \times 0.21 = 0.03$$

$$\Sigma w = 0.50$$

(iv) $Q = 0.50 \times 6 \times 48 = 144 \text{ c.f.s}$

即 우리는 이러한 流域을 가지는 地域에서 작은 貯水池를 만들경우 其目的이 洪水調節 或은 灌溉 어느것이든간에 earth dam을 만드는 것은 50年을 經濟年數로 하며 또한 50年만에 한번 期待될수있는 降雨에 對하여 設計를 해야만 하니까 此地方의 50年을 recurrence interval로 하는 降雨強度는 3inch 였기 때문에 3inch의 경우의 15分 사이에서의 密度는 6inch라는 것이 있다. 結果는 降雨 15分後에 最大集水量이 到着하며 其量은 144 c.f.s 라고 計算된다.

위의 몇가지 計算例에서 보다시피 첫째는 hydrologic structure 自體의 經濟年에 該當하는 其와 같은 年數의 Frequency Recurrence Interval of Storm을 各地域마다 計算되여 있어야하며 둘째로는 watershed의 soil의 構成과 따라서 其에 對한 infiltration capacity가 알아 지기 때문에 各storm에 對한 runoff의 計算은 自然的으로 되는 것이다.

筆者; 서울大學校 農科大學 助教授

美國 農工學會 正會員

美國 水文學會 正會員

理學碩士

“물” 과 經 濟 發 展

金 鉉 基

이 論文은 유네스코의 科學誌인 임팩트“IMPACT”近刊에 掲載된 알프레드·로-너버그의 勞作을 번역한 것이다. 氏는 一九三〇년부터 地下水의 연구를 거듭하여 은 水理學者이며 또 地球物理學者인데 이 스페인을 비롯한 中東地區 여러 나라 정부의 水理顧問으로 활약한 일이 있으며 현재는 유네스코의 기술자로 南美에 있는 멕시코에 가서 그 지방의 淸水의 공급을 위한 계획을 수립하는 일에 관하여 현지당 國자들에게 勸告하고 있다.

서 론

물, 공기, 흙은 사람들의 기본적인 자연재원이

다. 사람들의 물질문명의 수준은 이 三要素를 구사하는 정도에 크게 반영되고 있다.

높은 산악을 제외하고서 우리는 공기의 결핍을