

線形 Model에 의한 小流域에 있어서의 無次元 單位圖 誘圖에 關한 研究

A study on the derivation of Dimensionless Unit Hydrographs by the Linear model in the small watersheds

李 淳 赫* · 韓 重 錫**

Soon Hyuk Lee, Chung Suck Han

Summary

This study was attempted to get dimensionless unit hydrograph by linear model which can be used to the estimation of flood for the development of Agricultural water resources and laid emphasis on the application of dimensionless unit hydrographs for the ungaged watersheds by applying linear model.

The results summarized through this study are as follows.

1. Peak discharge is found to be $Q_p = CAR$ ($C = 0.895A^{-0.145}$) having high significance between peak discharge, Q_p and effective rainfall, R within the range of small watershed area, 84 to 470 km². Consequently, linearity was acknowledged between rainfall and runoff. Reasonability is confirmed for the derivation of dimensionless unit hydrograph by linear model.
2. Through mathematical analysis, formula for the derivation of dimensionless unit hydrograph was derived.
$$\frac{q}{q_p} = \left(\frac{t}{t_p}\right)^{n-1} \left[e^{-(n-1)} \right] \left(\frac{t}{t_p} - 1 \right)$$
3. Moment method was used for the evaluation of storage constant, K and shape parameter, n for the derivation of dimensionless unit hydrograph. Storage constant, K is more closely related with the such watershed characteristics as length of main stream and slopes. On the other hand, the shape parameter, n was derived with such watershed characteristics as watershed area, river length, centroid distance of the basin and slopes.
4. Time to peak discharge, T_p could be expressed as $T_p = 1.25 (\sqrt{S}/L)^{0.76}$ having a high significance.
5. Dimensionless unit hydrographs by linear model stood more closely to the observed dimensionless unit hydrographs. On the contrary, dimensionless unit hydrographs by S.C.S. method has much difference in comparison with linear model at the falling limb of hydrographs.

* 忠北大學校 農科大學

** 農業振興公社 美湖川事業所

6. Relative errors in the q/q_p at the point of 0.8 and 1.2 for the dimensionless ratio by linear model and S.C.S. method showed to be 2.41, 1.57 and 4.0, 3.19 percent respectively to the q/q_p of observed dimensionless unit hydrographs.
7. Derivation of dimensionless unit hydrograph by linear model can be accomplished by linking the two empirical formulars for storage constant, K , and shape parameter, n with derivation formular for dimensionless unit hydrograph for the ungaged small watersheds.

I. 緒 論

우리나라는 每年 많은 旱害와 水害를 입고 있는 實情이다. 그 中에서도 特히 洪水被害만 하더라도 耕地의 많은 土壤流失과 함께 年間 평균 死亡者 253名, 被害額 99億 6千萬원¹⁰⁾이라는 엄청난 被害를 받고 있어 이에 대한 대책과 漸進하는 물의 需要를 充足시키기 爲하여는 各種 水利構造物의 合理的인 設計와 施工이 重要한 課題로 登場하고 있다. 이들 用水源 施設은 洪水量, 渦水量, 集水量 및 計劃排水量 等의 水文學的인 處理가 先行 되어야 하고, 댐의 餘水吐 設計나 排水施設 또는 洪水調節用 構造物의 設計를 爲해서는 于先으로 要求되는 尖頭洪水量과 流量의 時間的 分布를 推定키 爲한 水文曲線의 正確한 誘導가 무엇보다도 重大한 일이다. 우리나라는 大, 中 流域에서는 一部 水文學者^{9), 10), 21), 22)}들에 依해서 單位圖의 誘導가 이미 遂行되었고 小流域에 있어서는 近年 筆者에¹⁹⁾ 依해서 瞬間單位圖가 誘導 發表되었다. 筆者는 本 研究에서 單位圖 誘導의 延長으로 小流域을 對象으로 한 線型 model에 依한 無次元 單位圖 誘導를 最初로 試圖하였고 實測 및 S.C.S. method에 依한 結果值와 比較分析을 실시하여 媒介變數와 流域特性 間의 關係를 究明하며 나아가 無計測 流域에도 適用이 可能한 無次元 單位圖의 새로운 모델을 開發하고자 하였다.

II. 使用資料 및 分析方法

1. 使用資料

1) 分析對象流域

本 分析에 使用된 對象流域은 主要 四大江인 漢江, 錦江, 洛東江, 榮山江의 上流에서 7個 小流域

을 選定하였고 水系別로 보면 漢江水系는 南漢江 流域의 上流支川인 梅山, 半月城, 長湖院 등 3個流域을, 錦江水系에서는 同水系의 第1支川인 美湖川의 第2支川, 無心川의 上流高隱流域과 洛東江 水系에서는 洛東江의 第一支川인 南江의 第1支川인 琴川의 上流 수평 유역이며 마지막으로 榮山江 水系는 榮山江의 第1支川인 砥石川의 支川으로서 邑교 및 화순 지구의 小流域이다.²⁰⁾ (Fig. 1. 2. 3. 4. 參照)

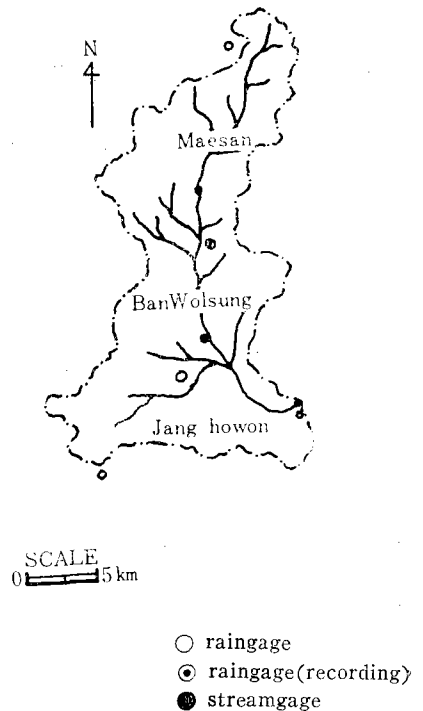


Fig. 1. Rainfall and Stream observation Networks for Han River Basin

2) 降雨量 및 水位-流量圖

各 水系別 分析對象流域인 7個所에서의 降雨量 資料는 農業振興公社 所管의 5個所와 建設部 所管의 8個所 및 中央觀象臺 所管의 5個所 등 總합 18개소

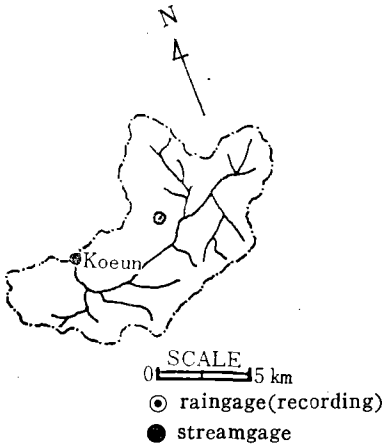


Fig. 2. Rainfall and Stream observation place for Koeun of Geum River

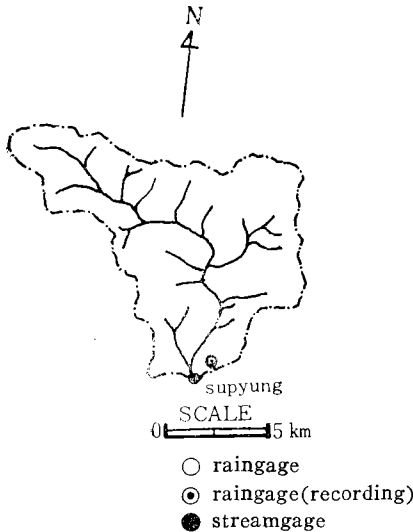


Fig. 3. Rainfall and stream observation place for Supyung Stream of Nakdong River

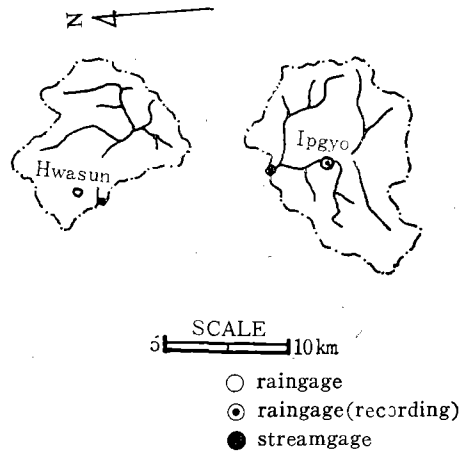


Fig. 4. Rainfall and stream observation place for Hwasun and Ipgyo of Yeongsan River

2) 線形 model에서의 媒介變數인 貯溜常數 K 와 形狀媒介變數 n 의 求值 및 流域特性 間의 關係
貯溜常數 K 와 形狀媒介變數 n 의 求值는 다음과 같은 moment method에 依해서 求하였다¹⁰⁾

$$\text{即 } nK = M_{IUH1} = M_{DRH1} - M_{ERH1}$$

$$n(n+1)K^2 = M_{IUH2} = M_{DRH2} - M_{ERH2} - 2nKM_{ERH1}$$

式에서 M_{IUH1}, M_{IUH2} : 原點에 關한 瞬間單位圖의 第1, 第2次 모멘트.

M_{DRH1}, M_{DRH2} : 原點에 關한 直接流出 曲線의 第1, 第2次 모멘트.

M_{ERH1}, M_{ERH2} : 原點에 關한 有效雨量柱狀圖의 第1, 第2次 모멘트.

3) 線形model에 依한 無次元單位圖의 方程式 誘導
線形性 model에 依한 貯溜量과 流出量間의 關係 分析으로서 無次元單位圖誘導를 爲한 方程式을 追求하였다.

III. 分析結果 및 考察

1. 流域特性 分析

1) 流域面積, 河川長, 河川重心長, 河川傾斜幅 水系別에 다른 流域別 水位標 地點에 對한 1:50,000 地形圖로부터 各各의 流域特性을 求하였다. (Table 1 參照)

本 分析對象流域에서의 流域面積은 84.3~470.2 km^2 이며 主流 延長은 17.65~41.75 km 이고 河川傾斜는 1.46~13.59 m/km 이며 河川幅은 4.4~11.8 m 이다.

의 기록치를 使用하였다. 또한 水位-流量 觀測資料는 農業振興公社의 示範研究事業報告資料를 活用하였다.²⁰⁾

2. 分析 方法

1) 降雨, 流出에 關한 線形檢定

本 分析을 통한 線形 model의 採擇-與否는 于先的으로 우리나라 水系別 小流域을 對象으로한 降雨 流出 間의 線形性的 判斷이 前提로 된다. 이 檢定을 爲해서 該當 小流域들에 對한 觀測 流量圖에 있어서의 尖頭流量과 有效雨量과의 關係를 誘導하여 線形性 有無를 判定하였다.

Table-1. Watershed physical Characteristics for small watersheds of each river systems.

| River system | Sub Watershed | Area (km ²) | Length of main stream (km) | Lca (km) | Slope of main stream (m/km) | Average basin width (km) | Elevation |
|----------------|---------------|-------------------------|----------------------------|----------|-----------------------------|--------------------------|-----------|
| Han River | Maesan | 112.0 | 19.98 | 7.8 | 2.66 | 5.7 | 80—260 |
| | Banweolsung | 266.5 | 31.25 | 11.4 | 1.82 | 8.5 | 70—260 |
| | Janghoweon | 470.2 | 41.75 | 15.8 | 1.46 | 11.8 | 60—260 |
| Geum River | Koemun | 85.3 | 17.65 | 9.1 | 6.62 | 4.8 | 60—230 |
| Yeongsan River | Ipgyo | 140.7 | 19.30 | 7.4 | 9.0 | 7.3 | 60—360 |
| | Whasun | 97.7 | 20.03 | 9.0 | 6.85 | 4.9 | 40—340 |
| Nak Dong River | Supyung | 84.3 | 19.40 | 7.9 | 13.59 | 4.4 | 220—800 |

2) 降雨—流出的 線形 檢定

分析 方法에서 前述한 바와 같이 降雨流出的 線形檢定을 爲해서 本分析 對象 小流域들에 對한 40餘個의 實測 流量圖에 對한 尖頭流量 Q_p 와 有效雨量 R 와의 關係를 誘導分析한 結果 $Q_p = 0.895A^{0.865}R$ 의 式이 誘導되었으며 誘導된 $Q_p = 0.895A^{0.865}R$ 에서 $C = 0.895A^{-0.145}$ 로 놓음으로서 $Q_p = CAR$ 의 式이 成立되고 相關係數 0.93으로서 高度의 有意性을 나타내었으며 이는 韓國의 主要水系別 小流域에 있어서의 降雨 流出間의 線形性을 認定할 수 있음이 確認되었다. (2), (25)

또한 이 關係式으로서 流域面積 80~500km²以內의 小流域에 있어서 流域面積과 有效雨量을 알면 쉽사리 尖頭流量을 誘導해 낼 수 있다(Fig. 5 參照)

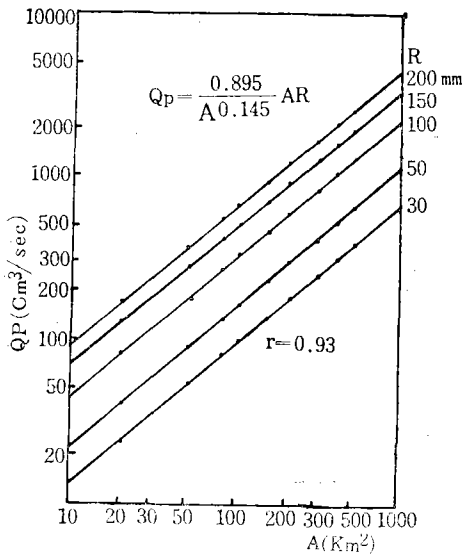


Fig. 5. Peak discharges following the effective rainfall and watershed Area

2. 線形 model에 의한 無次元 單位圖의 誘導

1) 無次元 單位圖 方程式 誘導

Nash^{(18), (19)}는 流域全體가 一聯의 貯水池로 構成되어 있다고 假定하여 流出水文曲線을 誘導하기 爲한 Conceptual model을 提案하였다. 이 model에 依한 貯溜量과 流出量의 線形 關係 追跡으로서

$$Q = \frac{V}{K\Gamma(n)} e^{-t/K} (t/K)^{n-1} \quad (1)$$

$$\text{或은 } Q = \frac{2.78}{K\Gamma(n)} (t/K)^{n-1} e^{-t/K} \quad (2)$$

이 誘導 되어지고

$$q = \frac{1}{K\Gamma(n)} (t/K)^{n-1} e^{-t/K} \quad (3)$$

여기에서 Q : 流出量(m³/sec)

q : 單位面積 當 流出量(m³/s/km²)

t : 直接流出 始作後 經過時間

V : 流出容積(m³)

R : 總 直接流出量(cm)

K : 貯溜常數(hrs)

n : shape parameter(形狀媒介變數)

方程式 (1)에서 單位容積 V 에 對한 單位水深의 單位 流量曲線에 있어서 時間分布는

$$Q(t) = \frac{1}{K\Gamma(n)} e^{-t/K} (t/K)^{n-1} \quad (4)$$

(4)式을 t/K 에 關하여 微分해서 0으로 놓음으로서 尖頭時間 t_p 가 誘導된다.

$$\frac{1}{K\Gamma(n)} e^{-t/K} [(t/K)^{n-2} (n-1) - (t/K)^{n-1}] = 0$$

即 $t/K = n-1$, $t = t_p$ 일 때

$$t_p = (n-1)K \quad (5)$$

$$\text{式 (5)에서 } K = \frac{t_p}{n-1} \quad (6)$$

式 (6)을 式 (2)에 代入하므로써

$$Q = \frac{2.78AR}{t_p} \frac{(n-1)^n}{\Gamma(n)} [(t/t_p)e^{-t/t_p}]^{n-1} \quad (7)$$

式 (7)에서 $t=t_p$ 일 때에

$$Q_p = \frac{2.78AR}{t_p} \frac{(n-1)^n}{\Gamma(n)} [1 \times e^{-1}]^{n-1}$$

$$= \frac{2.78AR}{t_p} \frac{(n-1)^n}{\Gamma(n)e^{n-1}} \quad (8)$$

여기에서 R 은 總 直接流出量으로 單位圖에 있어서 1이다. 故로

$$Q_p = 2.78 \frac{A}{t_p} f(n) \quad (9)$$

으로 나타낼 수 있다. 無次元比인 q/q_p 와 t/t_p 에 의해 나타내는 單位圖로서의 無次元 單位圖은 式 (7)과 式 (8)에 依해서 關係式을 定立할 수 있다.

即 式 (7)을 式 (8)로 나누면

$$q/q_p = \left(\frac{t}{t_p}\right)^{n-1} [e^{-(n-1)} \left(\frac{t}{t_p}\right)^{-1}] \quad (10)$$

式 (10)은 n 을 媒介變數로 하는 無次元 單位圖를 爲한 方程式으로 n 값을 달리 했을 때의 無次元 單位圖은 Fig.6과 같다.

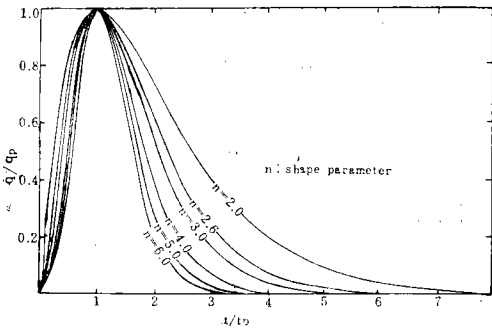


Fig. 6. Dimensionless Unit Hydrograph

2) 貯溜常數, K 와 形狀媒介變數, n 의 誘導

線形 model에서의 貯溜常數 K 와 形狀媒介變數 n 은 前述한 moment method에 依하여 各 流域別로 求하였으며 이들 2個의 係數와 時間 t 의 函數로서 瞬間 單位圖 및 無次元 單位圖을 定義할 수 있다. 7個 小流域을 對象으로 線形模型과 moment method에 依據하여 求한 貯溜常數 K 와 形狀媒介變數 n 및 尖頭流量 到達時間 t_p 는 Table-2와 같다.

各 流域別 貯溜常數 K 의 範圍는 1.9~4.8사이이며 形狀媒介變數 n 은 1.81~5.30의 範圍를 나타내고 있다. 이는 王²⁴⁾이 대만의 流域면적 26.5~900 km²의 범위 내에서 求한 K 值 0.2~6.1, n 值 1.9~

Table-2. Storage constant shape parameter and time to Peak for small watersheds

| Watershed | storage constant K | shape parameter n | Time to peak t_p |
|-------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| Maesan | 4.2 | 4.47 | 7.28 |
| Banweolsung | 4.8 | 3.59 | 6.87 |
| Jonghweon | 3.1 | 3.60 | 8.20 |
| Koeun | 1.9 | 2.93 | 4.99 |
| Supyung | 4.4 | 3.35 | 4.86 |
| Ipygo | 2.0 | 5.30 | 5.27 |
| Whasun | 3.0 | 1.81 | 4.59 |

8.7의 결과치를 볼 때 貯溜常數로 보아 거의 유사한 값을 보이고 있으며 한편 Wu²⁵⁾가 Hawaii의 0.3~45.7평방마일에 걸친 29個 小流域에서 求한 K 值는 0.2~2.2로 N 의 範圍는 1.1~3.0으로서 本 分析에 依한 K 와 N 의 치보다 작은 결과를 가져왔다.

3) 貯溜常數, K 와 流域特性間의 關係

貯溜常數 K 는 流域特性 中 河川長과 河川傾斜에 關聯해서 $K=0.12(L/\sqrt{S})$ 이 誘導되었고 相關係數 0.9로서 高度의 有意性이 認定되었다^{16), 17)} (Fig.7 參照)

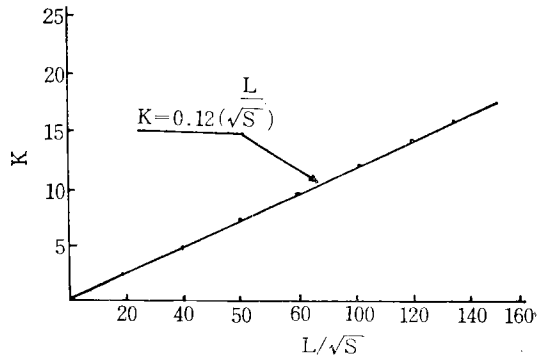


Fig. 7. Relationship between K and L/\sqrt{S}

4) 形狀媒介變數, n 과 流域特性間의 關係

形狀媒介變數 n 은 流域面積, 河川長, 河川重心長 및 傾斜 等の 河川特性과 複合回歸 關係를 나타내는 $n=49.2A^{1.481}L^{-2.202}L_{ca}^{-1.297}S^{-0.112}$ 가 誘導되었고 이의 有意性을 分散分析에 依해 檢定한바 F 值 5.03으로서 高度의 有意性이 認定되었다. (Fig. 8 參照)

이는 王²⁴⁾이 대만의 25개 流域에 對해서 그들의 流域特性들과 關聯하여 誘導한 關係式과 類似함을 보여주고 있다.

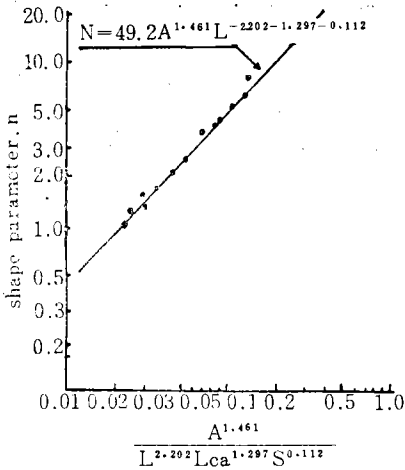


Fig. 8. Relationship between n and Watershed Characteristics

5) 尖頭流量到達時間 t_p 와 流域特性 間의 關係

尖頭流量到達時間 t_p 와 流域特性인 河川長과 河川傾斜에 關聯된 L/\sqrt{S} 과의 關係를 追跡한 結果 $t_p = 1.25 (L/\sqrt{S})^{0.76}$ 으로서 $r=0.9$ 의 高度의 有意性을 나타내었다. 한편 河川長과 河川重心長 및 河川傾斜에 關聯된 $L.L_{ca}/\sqrt{S}$ 와의 關係에서는 有意性이 認定되지 않았다. (Fig. 9 參照)

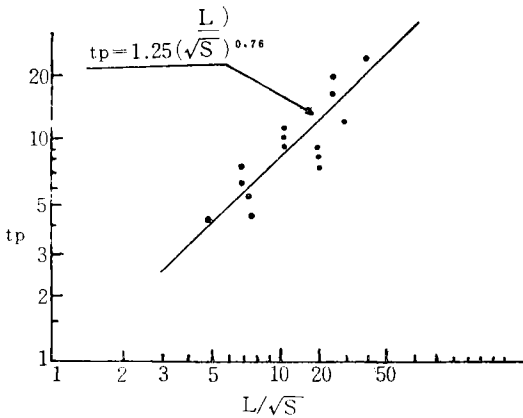


Fig. 9. Relationship between t_p and L/\sqrt{S}

6) 無次元 單位圖 誘導

線形 model에 의한 無次元 單位圖를 求하기 爲하여 誘導된 式 (10)即 $q/q_p = (t/t_p)^{n-1} [e^{-(n-1)}]^{(t/t_p-1)}$ 을 利用하여 水系別 7個 水流域에 對한 無次元比

Table-3. Dimensionless unithydrograph ordinate for Maesan Watershed of Han River Basin

| t/t_p | q/q_p | t/t_p | q/q_p |
|---------|---------|---------|---------|
| 0.1 | 0.003 | 1.4 | 0.802 |
| 0.2 | 0.064 | 1.5 | 0.720 |
| 0.3 | 0.174 | 1.6 | 0.637 |
| 0.4 | 0.334 | 1.8 | 0.479 |
| 0.5 | 0.510 | 2.0 | 0.345 |
| 0.6 | 0.681 | 2.2 | 0.240 |
| 0.7 | 0.821 | 2.4 | 0.162 |
| 0.8 | 0.923 | 2.6 | 0.107 |
| 0.9 | 0.982 | 2.8 | 0.061 |
| 1.0 | 1.000 | 3.0 | 0.044 |
| 1.1 | 0.984 | 3.5 | 0.013 |
| 1.2 | 0.941 | 4.0 | 0.008 |
| 1.3 | 0.878 | 4.5 | 0.001 |

t/t_p , q/q_p 를 求하였다. 이에 關한 漢江水系 梅山流域의 例가 Table-3, Fig. 10에 제시되었다.

3. 分析方法에 따른 無次元 單位圖와 實測無次元 單位圖와의 比較

線形 model에 의한 無次元 單位圖, S.C.S 및 實測 無次元 單位圖의 比較를 7個 小流域別로 나타낸 結果는 Fig. 11~17과 같다.

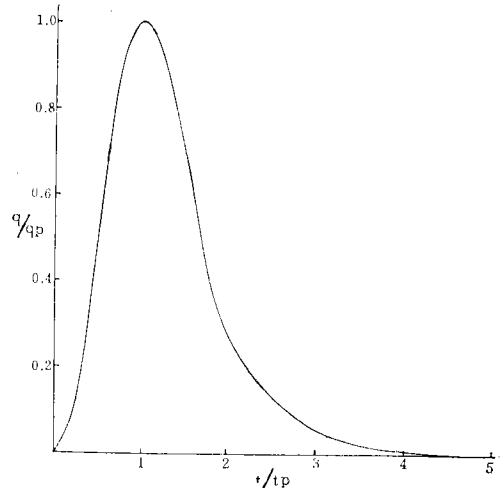


Fig. 10. Dimensionless hydrograph for Maesan Watershed of Han river basin

一般的으로 線形 model에 의한 無次元 單位圖는 和順 地區를 除外하고는 實測 無次元 單位圖에 對

우 接近한 좋은 結果를 가져왔다. 이는 筆者에¹⁰⁾ 依해서 發表된 小流域을 爲한 線形性 模型에 依한 瞬間單位圖의 높은 精度와 一致된다는 事實을 재확인케 되는 것이다. 한편 S.C.S.에 依한 無次元 單位圖는¹¹⁾ 實測 單位圖와 比較하여 볼 때 單位圖의 下降部에서 多少 差異를 나타내고 있음을 볼 수 있다. 또한 分析方法別 無次元 單位圖의 頂點으로 부

더 上昇, 下降部의 t/t_p 가 0.8, 1.2되는 곳의 q/q_p 를 實測 無次元 單位圖와 比較 分析한 結果 Table-4에서 보는 바와같이 線型 model에 依한 q/q_p 는 t/t_p 가 0.8과 1.2일 때 全流域 平均誤差가 各各 2.41% 및 1.57%로서 實測 無次元 單位圖에 거의 近接한 結果를 가져왔다.

反面 S.C.S.無次元 單位圖는 各各 4.0% 및 3.19%

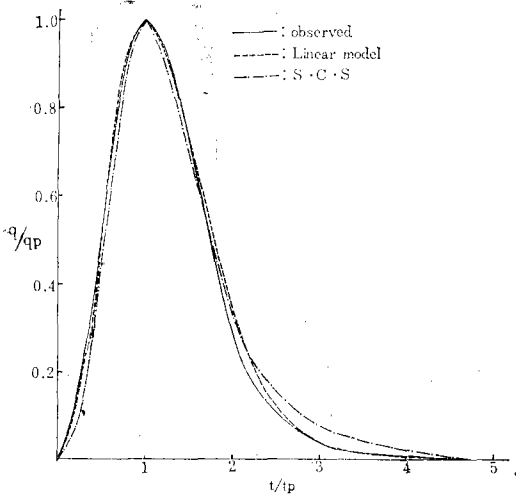


Fig. 11. Comparison of observed dimensionless unit hydrograph, linear model and S.C.S. at Maesan of Han River Basin

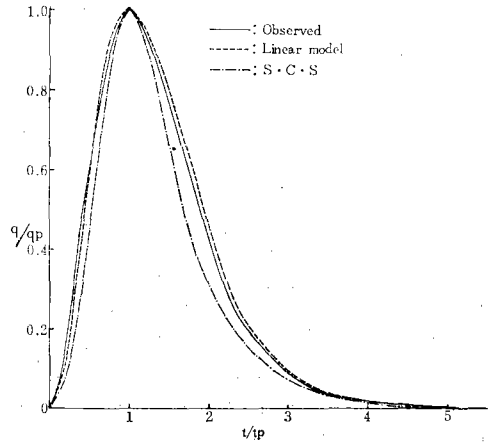


Fig. 13. Comparison of observed dimensionless unit hydrograph, linear model and S.C.S. at Janghoweon of Han River Basin

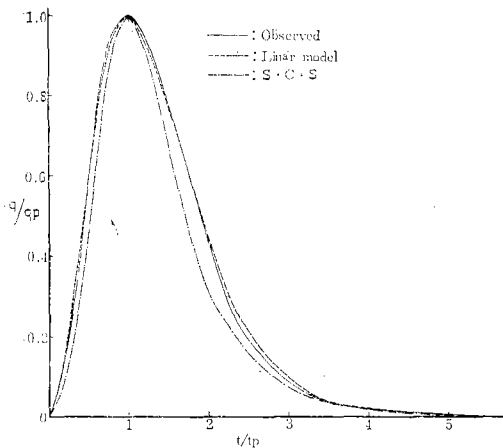


Fig. 12. Comparison of observed dimensionless unit hydrograph, linear model and S.C.S. at Banweolsung of Han River Basin

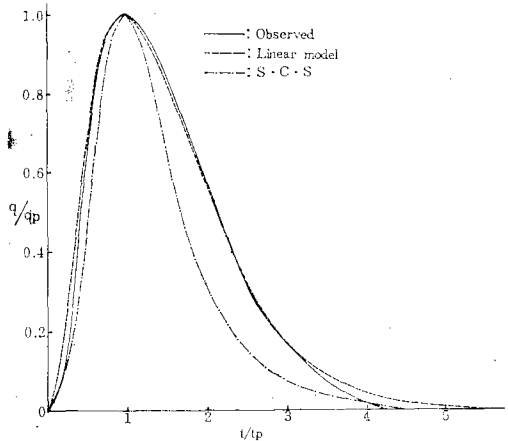


Fig. 14. Comparison of observed dimensionless unit hydrograph, linear model and S.C.S. at Koeun of Geum River Basin

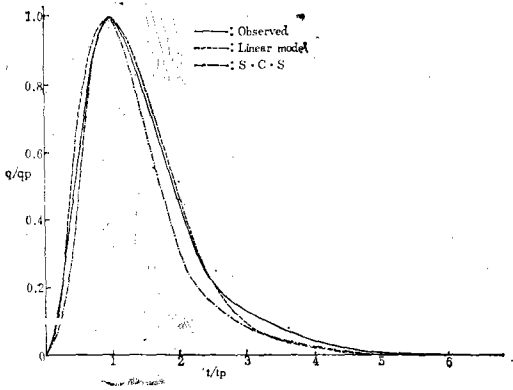


Fig. 15. Comparison of observed dimensionless unit hydrograph, linear model and S.C.S. at Supyung of Nakdong River Basin

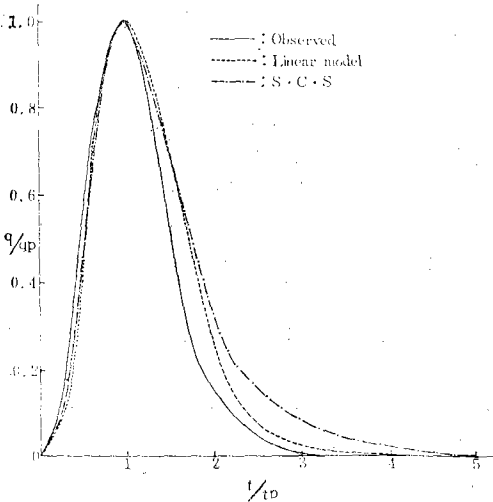


Fig. 16. Comparison of observed dimensionless unit hydrograph, linear model and S.C.S. at Ipygyo of Yeongsan River Basin

로서 線形 model에 依한 無次元 單位圖의 誤差에 對한 倍數가 됨을 보여주고 있다. 結果的으로 韓國의 小流域에 있어서 線形性 model에 依한 無次元 單位圖의 誘導가 매우 좋은 結果를 가져 왔음을 是認케 되었으며 따라서 無計測 流域에서도 流域特性만 알면 쉽게 線形model에 依한 精度높은 無次元 單位圖와 持續時間別 單位圖를 誘導해 낼 수 있게 되었다.

IV. 結 論

本 研究에서는 韓國 主要 水系別 小流域에서의 農

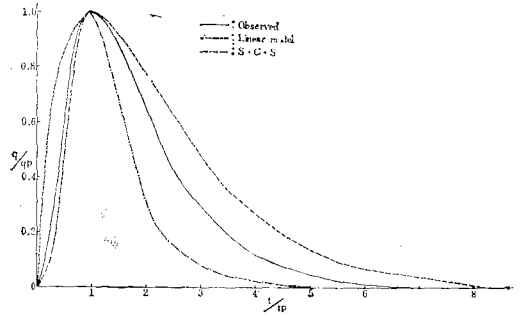


Fig. 17. Comparison of observed dimensionless unit hydrograph, linear model and S.C.S. at Whasun of Yeongsan River Basin

業用水源 開發을 爲한 水利構造物의 合理的인 設計를 爲하여 線形model에 依한 無次元 單位圖의 誘導를 試圖하며 이의 應用 및 精度를 比較 分析하고 나아가 無計測 流域에서도 流域特性 만으로 單位圖誘導가 可能한 分析을 試圖한바 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 實測 流量圖에서 $Q_p = CAR(C = 0.895A^{-0.145})$ 의 實驗式 誘導로서 流域面積 $84 \sim 470 \text{ km}^2$ 以內의 小流域에 對한 降雨一流出의 線形性이 認定되었으며 따라서 線形model에 依한 無次元 單位圖 誘導의 妥當性을 認定할 수 있었다.

2. 線形model에 依한 降雨一流出의 數學的인 展開로서 無次元 單位圖 誘導를 爲한 模型式을 다음과 같이 求하였다.

$$q/q_p = \left(\frac{t}{t_p}\right)^{n-1} [e^{-(n-1)}] \left(\frac{t}{t_p} - 1\right)$$

3. 線形性 model에 依한 無次元 單位圖 誘導를 爲해서 必要한 貯溜常數, K 와 形狀媒介變數, n 의 值를 求하기 爲해 moment method에 依해 分析하였고 貯溜常數, K 는 河川長과 流域傾斜에 關聯하여 形狀媒介變數, n 는 流域面積, 河川長, 河川重心長 및 河川傾斜에 關聯하여 式이 誘導되었고 高度의 有意性이 認定되었다.

4. 尖頭流量到達時間 t_p 는 河川長 및 河川傾斜에 關聯된 $t_p = 1.25(L/\sqrt{S})^{0.76}$ 의 式이 誘導되었고 相關係數 0.9로서 高度의 有意性이 認定되었다.

5. 線形 model에 依한 無次元 單位圖는 實測無次元 單位圖에 매우 近接한 좋은 結果를 보인 反面 S.C.S.에 依한 無次元 單位圖는 實測單位圖에 比해 差異를 보여 주고 있고 특히 單位圖의 下降部는 많은 差異를 나타내고 있다.

Table-4. Comparison of error rate for q/q_p of Dimensionless Unit Hydrograph

| Watershed | q/q_p | | q/q_p | | | | Error rate to the observed (%) | | | | | |
|-------------|---------|---------|----------|-------|--------------|-------|--------------------------------|------|--------------|-------|--------|------|
| | method | t/t_p | Observed | | Linear model | | S.C.S. | | Linear model | | S.C.S. | |
| | | | 0.8 | 1.2 | 0.8 | 1.2 | 0.8 | 1.2 | 0.8 | 1.2 | 0.8 | 1.2 |
| Maesan | | | 0.942 | 0.955 | 0.923 | 0.941 | 0.89 | 0.92 | 2.02 | 1.46 | 5.52 | 3.66 |
| Banweolsung | | | 0.950 | 0.938 | 0.942 | 0.955 | 0.89 | 0.92 | 0.84 | 1.81 | 6.32 | 1.92 |
| Janghoweon | | | 0.910 | 0.930 | 0.942 | 0.954 | 0.89 | 0.92 | 3.52 | 2.58 | 2.20 | 1.10 |
| Koeun | | | 0.960 | 0.970 | 0.956 | 0.966 | 0.89 | 0.92 | 0.42 | 0.41 | 7.29 | 5.16 |
| Ipgyo | | | 0.910 | 0.900 | 0.899 | 0.933 | 0.89 | 0.92 | 1.21 | 3.67 | 2.20 | 2.22 |
| Whasun | | | 0.920 | 0.980 | 0.961 | 0.988 | 0.89 | 0.92 | 4.45 | 0.008 | 3.26 | 6.12 |
| Supyung | | | 0.900 | 0.940 | 0.940 | 0.950 | 0.89 | 0.92 | 4.44 | 1.06 | 1.11 | 2.13 |
| Mean | | | — | — | — | — | — | — | 2.41 | 1.57 | 4.00 | 3.19 |

6. 分析方法別 無次元 單位圖의 t/t_p 의 無次元比가 0.8, 1.2일 때의 q/q_p 를 實測無次元 單位圖와 比較해 본 結果 線形 모델에 依한 q/q_p 가 各各 全流域平均 2.41% 및 1.57%의 誤差를 나타낸 反面 S.C.S. 無次元 單位圖는 各各 4.0% 및 3.19%로서 線形 모델의 誤差에 거의 倍로 나타났다.

7. 線形 model에 依한 無次元 單位圖 誘導式과 貯溜常數, K 및 形狀媒介變數, n 의 實驗式 誘導로서 小流域에 對한 無計測 流域에의 無次元 單位圖誘導를 可能케 하였다.

8. 40-8. 47.

6. 建設部(1967-1969): 韓國의 洪水
 7. _____(1972): 錦江流域 調査事業報告書 pp. 3-8.
 8. _____(1973): I.H.D. 代表試驗流域調査報告書
 9. _____(1973-1975): 韓國水文調査年報
 10. _____(1974): 洪水量 推定을 爲한 合成單位圖 誘導의 研究調査報告書, pp. 3-26, 135-210.
 11. 中央觀象臺(1973-1975): 氣象月報, 1973. 4-8, 1974. 4-10, 1975. 4-9.
 12. 川上謙太郎(1961): 河川洪水의 ピーク流量에 關する研究, 宮崎大學, 工學博士學位論文
 13. Linsley, R.K. and Others(1949): Applied Hydrology, I.E.S. pp. 405-464.
 14. _____(1958): Hydrology for Engineers, McGraw Hill Book Co., Inc. pp. 193-243.
 15. 李 淳赫外(1973): 新制 水文學, 鄉文社. pp. 66-75.
 16. _____(1977): 韓國 主要 水系別 小流域에 對한 瞬間單位圖誘導에 關한 研究 (I), (II). 韓國農工學會, Vol. 19, No. 1, No. 2, pp. 18-33, pp. 4-60.
 17. _____(1979): 小河川 水系의 單位流量圖 誘導 및 比較에 關한 水文學的 考察, 韓國農工學會誌. Vol. 20, No. 3, pp. 35-45.
 18. Nash, J.E. (1957): The form of the Instantaneous Unit hydrograph, pp. 114-121, Hyd. Res. Station, England.
 19. _____(1958): Determining runoff from rainfall, Ins. of C.E., Vol. 10, Paper No. 6282,

參 考 文 獻

1. Chow, V.T. (1968): Handbook of Applied Hydrology, pp. 21-41, 21-42, 21-43, 21-44, 21-45, McGraw Hill Book Co., N.Y.
 2. Corps of Engineers of U.S. Army (1959): Flood hydrograph analyses and computations, Manuals, EM1110-2-1045, pp. 7-17.
 3. Diskin, M.H. (1964): A basic study of the linearity of the rainfall-runoff process in watersheds, Dissertation for the Ph. D. Univ. of Illinois, pp. 1-45.
 4. Gray D.M. (1962): Derivation of hydrographs for small watersheds from measurable physical characteristics, Agricultural and Home economics, Exp. station of Iowa state Univ., Res. Bull. 506, pp. 523-526.
 5. _____(1973): Handbook on the Principles of Hydrology, Water Information Center, pp.

- pp. 165—183.
20. 農業振興公社(1973—1975) : 受水量 公式 補完 示範事業報告書.
21. 朴成宇(1966) : 韓國에 있어서 降水 및 流出, 洪水, 旱魃에 관한 水文學的 研究, 서울大 農學 博士學位論文, 第 2 部 pp. 4—19.
22. 徐承德(1975) : 流域特性에 의한 合成單位圖 誘導에 관한 研究. 韓國農工學會誌, Vol. 17, No. 1, pp. 3—25.
23. Wilson, E.M. (1969) : Engineering Hydrology pp. 95—152. Macmillan Book Co.
24. 王如意(1972) : 瞬間單位洪水歷線 理論 及其 應用於 臺灣主要河川洪水歷線分析, Proceeding of N.S.C., No. 5, pp. 538—556.
25. Wu I.P. and Others (1970) : Characteristics of short duration unit hydrograph, Trans. of ASAE, Vol. 15, No. 3, pp. 452—456.