流域特性에 依한 合成單位圖의 誘導에 關한 硏究(Ⅱ)

Derivation of the Synthetic Unit Hydrograph Based on the Watershed Characteristics (Ⅱ)

徐 承 德*
Seung Duk Suh

Table 8. Characteristics of watershed stream

watershed	L km	L_{ca} km	W'd Area km²	Slope m/km	$L:L_{ca}$ (%)
Yean	132.5	50.5	1329.2	4.1	100:38.1
Imha	97.2	42.0	1360.5	2.4	100:43.2
Ian	45.3	25.0	189.9	4.4	100:55.2
Cazang	21.1	8.6	149.4	5.5	100:40.7
Changri	66.9	28.0	924.6	4.7	100:41.8
Dongchon	92.5	43.0	1543.9	1.7	100:46.5
ILsungyo	329.2	148.7	9501.7	0.8	100:45.2
Waegwan	363.9	201.2	11074.4	0.9	100:55.2
Jindong	476.9	200.0	20311.3	0.7	100:42.0
9				0.7~5.5	100:45.3

에서부터 出口까지의 거리를 L_{ca}[64,68,70,99,108]라 놓으면 이 地表流出은 이 河川延長과 重心에서의 距離에 의해서 高低 및 지체시간등이 영향받는다(Table 8 참조).

(3) 遲滯時間(L_g)과 流域特性値와의 關係

本地區 9個의 分析流域에서 實測한 單位圖로부터 誘導된 단위도의 特性値인 지체시간이 流域의 特性値들과 어떠한 關係가 있는지를 對數紙上에 點化한 結果 이들 間에서 좋은 直線形이 나타났으며 다음과 같은 關係式이 誘導되었다.[68,77,99,108] $L_g=0.253(L\cdot L_{ca})^{0.4171}$ (hrs) 이는 相關率 0.97로써 流域의 지체시간과 河川 延長 및 重心까지의 距離사이에는 高度의 有意性이 있음을 分析할 수 있었다. (fig.6 참조)

(4) 遲滯時間과 $\frac{L\cdot L_{ca}}{\sqrt{S}}$와의 關係

$L_g=0.253(L\cdot L_{ca}{}^{0.4171}$의 식을 다시 河川의 特性値의 하나인 傾斜의 平方根이라는 函數를 導入하여 遲滯時間과 $\frac{L\cdot L_{ca}}{\sqrt{S}}$와의 關係[77]를 對數紙上에 點化하여 高度의 相關性을 發見하고 關係式을 誘導하여 $L_g=0.545\left(\frac{L\cdot L_{ca}}{\sqrt{S}}\right)^{0.848}$式을 얻었다.

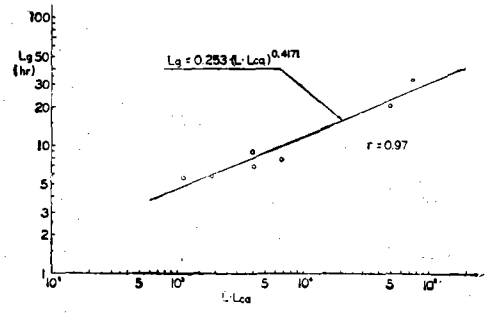


Fig. 6. Relation ship between Lg and Watershed Characteristics

이 또한 相關率 0.97로써 高度의 有意性이 나타남을 볼 수 있었다.

이는 지체시간이 $L \cdot L_{ca}$ 와도 高度의 相關性이 있고 $\frac{L \cdot L_{ca}}{\sqrt{S}}$ 와도 똑같은 高度의 有意性이 있음이 解析되었다. (Fig. 7 참조)

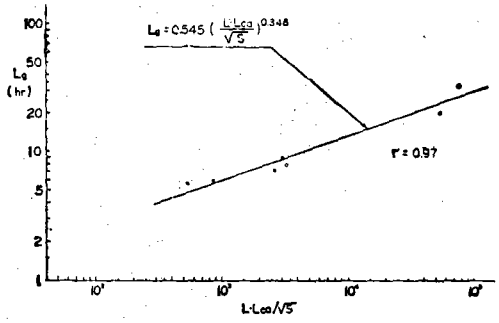


Fig. 7. Relationship between Lg and Watershed Characteristics

(5) 最大比流量(q_p)과 遲滯時間(L_g)과의 關係

最大比流量은 各區分流域에서 誘導한 單位圖의 尖頭流量(Q_p)에서 算定하였다.

한편 이들 각각의 最大比流量이 流域을 物理的으로 代表하는 單位圖의 特性値인 지체시간과는 어떤 關係가 있는지를 綿密히 分析하기 위하여 各種圖上에 最大比流量과 지체시간과의 關係를 點化한 結果 半對數紙上에서 가장 理想的인 線形을 이루고 있으며 高度의 相關率 0.998을 나타냈으며 다음과 같은 關係式이 誘導되었다.

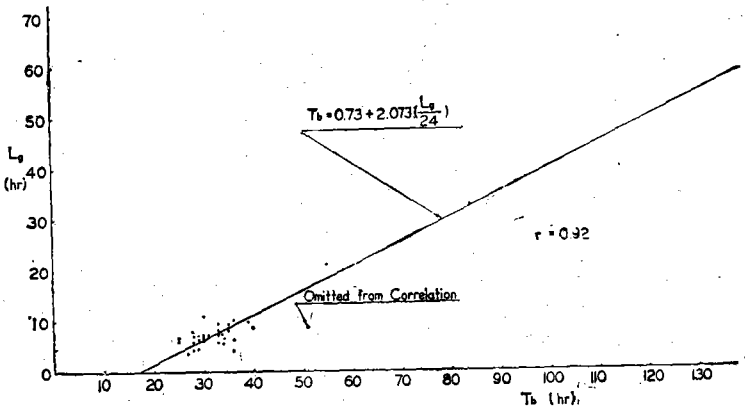


Fig. 9. Relationship between Lg and Time Base of U/G

$$q_p = 10^{-0.52-0.0184\,L_g} \; (m^3/sec/km^2)$$

故로 어느 所定의 流域에 대한 단위도의 尖頭流量은 最大比流量과 流域面積과의 相乘積으로 求할 수 있다. 即

$Q_p = q_p \cdot A$ (m^3/sec)가 된다. (Fig. 8 참조)

(6) 單位圖의 基底時間(T_b)

단위도의 기본 函數中의 하나인 基底時間(Time-base)이 길면 尖頭流量이 낮아지고 基底時間이 짧으면 尖頭流量이 커지는 相互函數的인 關係 때문에 적절한 기저시간을 定한다는 것은 大端히 중요하다. 尖頭流量이 결정되면 이로부터 一定한 分布形態로써 단위도의 기저장으로 연결되어야 한다. 한편 基底長과 지체시간사이에는 相關率 0.92라는 좋은 相關이 發見되었고 基底長은 지체시간에 正比例함을 볼수 있으며 다음과 같은 關係式이 算定되었다.

$$T_b = 0.73 + 2.073\left(\frac{L_g}{24}\right) \text{ (days)}$$

또는 $T_b = 17.51 + 2.073(L_g)$ (hrs) (Fig. 9 참조)

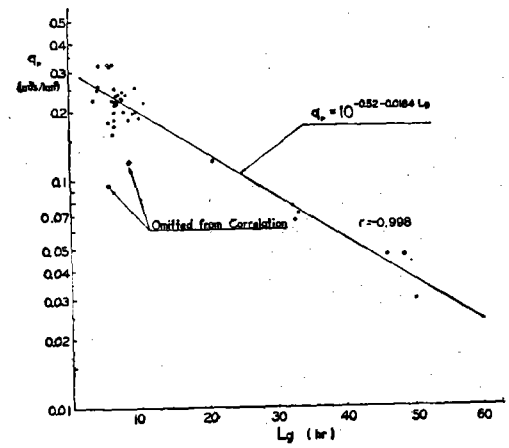


Fig. 8. Relationship between q_p and L_g

(7) 尖頭流量의 時間幅 결정

以上에서 지체시간, 最大比流量 및 基底時間등의 계산에 依해서 單位圖의 尖頭流量과 基底기는 設定되지만 完全한 單位圖의 形狀을 決定하기란 어려운 일이다. 故로 이들을 가장 理想的인 단위도의 모양을 형성시킬수있는 骨格을 만들기 위해서 最大比流量의 各各 50%와 75%에 해당하는 時間幅을 채택해서 有意曲線(envelope curve)을 設定하고 關係式을 誘導한바 다음과 같다.

$$W_{50} = \frac{2.5}{q_p^{1.05}} \text{(hrs)}, \quad W_{75} = \frac{1.61}{q_p^{1.06}} \text{(hrs)}$$

한편 단위도의 기저폭을 最大比流量과 關係를 맺어 다음식을 誘導하였다.

$W=\frac{11.0}{q_p^{0.7905}}$(hrs), 그리고 이들 50%, 75%에 해당하는 시간폭의 始點을 指定하기란 流量圖의 모양이 그때그때 다소간 다르기 때문에 합리성이 적으므로 첨두시간과 기저시간이 결정되면 이들을 三角形으로 연결하고 50%, 75%의 점을 가설한뒤 流量圖의 모양을 만들어 단위도의 理念에 맞게 도형을 그리면 된다. (Fig. 10, Fig. 11 참조)

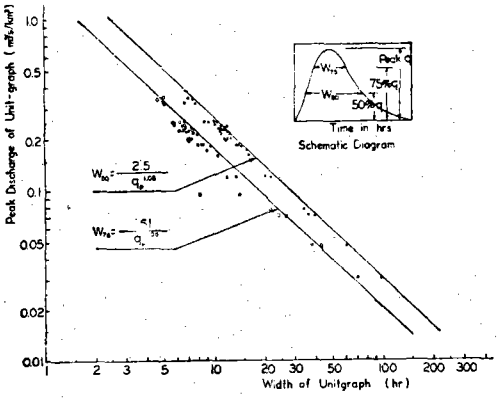


Fig. 10. Unit-graph Width of 50 and 75 percent of peak Flow.

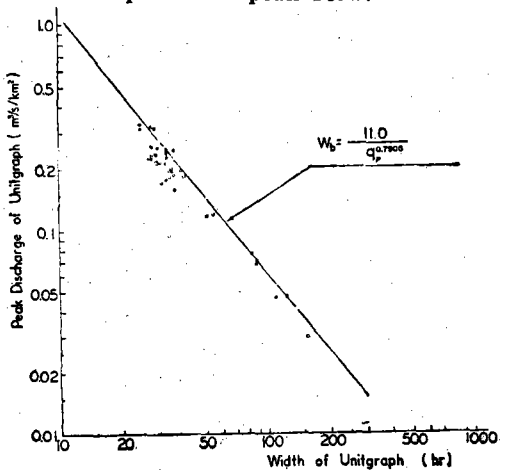


Fig. 11. Unit-graph Width at Park Flow.

(8) 降雨持續時間 (t_r)

단위도의 단위 지속시간이란 流出을 發生케한 有効降雨의 가장 알맞은 持續時間을 말하는것으로써 理論的으로는 각각의 계속시간에 응하는 단위도가 필요하게된다. 한편 강우강도에 따라서 流出強度가 다르고 水文曲線의 形狀도 變化하기 때문에 가장 理想的으로는 모든 강우도에 일일히 단위도를 만들어 놓음이 필요하나 이는 無數의 單位圖가 生起게 됨으로 오히려 단위도의 작성에 아무 의미가 없게 된다.[44,46,47,48,51,58,55,65,103]

한편 실제적으로 分析된 여러나라의 結果를 보면 流域面積에 대응하여 流出強度도 一定한 限界가 있음이 밝혀졌다.

本研究에서도 上述한바와 같이 많은 流域의 많은 流量圖에서 各各의 강우지속시간과 강우강도에 대해서 일일이 단위도를 誘導하기란 의미가 없을뿐더러 不可能한 일이다. 分析된 結果에 의하면 강우지속과 流域의 지체시간과는 密接한 相關이 있음이 밝혀져 9개분석유역의 40개 流量圖에서 降雨持續시간은 流域遲滯時間의 約 30%에 해당하는 結果로써 좋은 相關關係가 分析되어 本流域의 단위도분석에 따르는 강우지속시간은 $t_r=\frac{L_g}{3}$로 결정하였다.[65,77,90] (Fig 12 참조)

또 尖頭時間 T_p에 대해서는 $t_r=\frac{T_p}{5}$의 관계가 분석되었다. 단위도 決定上의 t_r를 $\frac{L_g}{3}$로 導入함으로써 實際 自然界에서 發生하게되는 강우지속시간과는 一致하지 않게되는 것임으로 實際의 강우지속시간에 一致시킬 단위도의 결정에 필요한 지체시간을 수정해야할 문제가 提起된다.

本分析에서는 기히 $t_r=\frac{L_g}{3}$에 根據를 두어 分析하였음으로 실제지속시간(t_R)과 도입지속시간(t_r)과의 差에 대해서만 수정할 필요가 있게된다. 광범위하게 분석된 결과에 의하면 이들 차이는 근소할 것이 예상되며 t_r가 T_p의 1/4~1/5 범위에서, 그리고 t_r-t_R간의 변동幅이 20%以內이므로 지체시간의 수정은 $L_{gR}=L_g+0.2(t_R-t_r)$로 계산된다. (Fig 12. 참조)

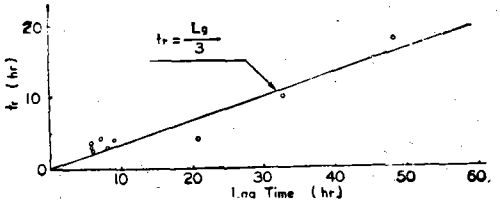


Fig. 12. Relation ship between tr and Lg

2) 考 察

(1) 本 洛東江流域의 河川斜傾는 比較的 완만한 편이다. 9個의 分析流域을 通해서 볼때 가장 유역이 5.5m/km의 경사로써 1/200의 河川傾斜를 이루고 있으며 낙동강 全體流域의 85%를 차지하는 진동유역(낙동강 本流河川)은 平均 1/1,400의 河川傾斜를 이루므로써 大河川으로 갈수록 경사가 완만하고 小河川유역일수록 流域의 分水嶺과 가깝기 때문에 自然的으로 河川의 傾斜가 急하게됨은 河川特性의 공

인된 事實과 같다. 한편 河川의 地盤高는 2.10m에서 1,500m에 이르며 경사는 0.7m/km~5.5m/km의 範圍를 나타내고있다. 一連의 현상을 考察할때 治水에는 有利하나 發電施設等의 利水目的에는 크게 價値있는 河川形態가 되지못한다.

(2) 河川重心長은 河川延長에, 對해서 작게는 38.1%, 크게는 55.2%의 範圍로써 平均 45.3%정도의 比率을 나타냈으며 유역의 형상에 크게 영향을 받지 않음이 解析되었다. 이는 河川流域面積과 形狀 그리고 河川의 延長등이 特異한 형상이 아니고 보편적인 형태를 構成하고 있음을 立證하는 것이다.

(3) 단위도의 지체시간은 單位圖의 尖頭流量을 결정지어주는 重要한 函數이다. 지체시간 계산방정식 $L_g=0.253\ (L\cdot Lca)^{0.4171}$에서 보면 河川延長과 重心點을 綿密히 調査할 필요성을 切實히 느끼고있다. 이들 값이 좌표상에서 좋은 有意性을 나타내고 있음은 이미 해석된바와 같고 指數 0.4171을 固定해놓고 본 분석유역의 實測遲滯時間과의 檢定分析에서 얻어진 結果를 보면 常數 0.253은 작게는 0.20, 크게는 0.30의 範圍에서 움직이었음이 分析되었다. 한편 Snyder가 [51,65,77,99,105] 美國의 Appalachian流域에서 分析한 結果를보면 使用單位가 다르나 常數는 1.8~2.2의 값의 範圍로써 2.0으로 결정한바있고 濠洲의 I. Cordery는[70] N. S. W.州에서 12개의 試驗流域을 通해서 分析한 結果로 常數의 範圍가 0.4~2.4를 나타낸바있다. 本 流域의 경우 이들間의 相關이 높은 有意性을 나타내고있어 流域의 河川과 지체시간과의 分析硏究는 價値있고 그 結果의 利用度가 크게 바람직하다고 평가할수있다.

(4) 流域의 지체시간과 河川延長과의 相關에서 다시 河川平均傾斜의 平方根을 導入하여 分析한 關係式 $L_g=0.545\left(\frac{L\cdot Lca}{\sqrt{S}}\right)^{0.346}$에서 指數 0.346을 固定하고 實測値와의 檢定分析에서 常數 0.545는 작게는 0.465, 크게는 0.669의 範圍에서 움직임을 볼 수 있어 平均値 0.55의 값을 채택할수 있으며 $0.253(L\cdot Lca)^{0.4171}$의 경우와 함께 高度의 相關性이 있음을 確認하였다. 그러나 河川 平均傾斜의 測定이란 設計者에 따라서 精密을 期하기가 어려운 點을 감안하여 오차발생을 豫想할때 세심한 주의를 요하기때문에 $L_g=0.253\ (L\cdot Lca)^{0.4171}$을 권장하나 필요에 따라서 比較分析함도 좋으리라 생각된다. 한편 Linsley [65,77]는 美國의 18개 유역에서 $Lag=0.35\sim1.2\left(\frac{L\cdot Lca}{\sqrt{S}}\right)^{0.38}$의 식을 이끌었다. 낙동강 유역의 경우, 點들의 幅이 精密하고 계수의 범위가 좁아 미국의 분석결과보다 良好한 양상이 있음이 확인되었다. Taylor와 Schwarz[78,100]는 20개의 유역에서 조사분석한 결과 $t_p=C_t e^{mt}{}_R$

$$m=\frac{0.212}{(L\cdot Lca)^{0.38}},\quad C_t=\frac{0.6}{\sqrt{S}}$$

$L\cdot Lca)^{0.38}$은 Snyder 식의 $t_p=C_t(L\cdot Lca)^{0.3}$의 값에 가깝게 분석되었다. (式中 t_p는 지체시간) Nash [70,88]는 $m_{11}=27.6\ A^{0.3}\ R^{-0.33}$ (R : 지표면 경사)로 해석하였고 W_u[70]는 $t_p=31.4\ A^{1.80}\cdot L^{-1.28}\cdot S^{-0.67}$로써 단위도의 尖頭流量을 유도하였고 日本의 中安은 $t_p=0.8t_o+t_g$, $t_g=0.21\ L^{0.7}$(hrs) $L<15$km

$t_g=0.4+0.058\ L$ (hrs) L15km

式中 t_p : 尖頭時間" t_g ; 지체시간

(5) 단위도의 最大比流量計算을 위해서 流域遲滯時間과 最大比流量과의 關係를 여러좌표상에 點化하여 分析한 結果 對數紙上에서는 不規則한 曲線상태, 正規方眼上에서는 位置가 不正確한 雙曲線형태를 나타내는데 比해서 半對數紙上에서 相關率 0.998의 高度有意性을 가진 종래에 볼수없는 特殊한 關係式 $q_p=10^{-0.52}{}^{-0.0184}L_g$가 誘導되었으며 最大比流量과 지체시간과는 反比例하는 결과를 가져왔다. Snyder [41,88,99,105]는 $q_p=C_p\frac{640}{t_p}$ (ft³/sec/mile²)式을 제안한바있다. 式中 640 ; 換算계수(c.f.s 단위) t_p=지체시간, C_p; 常數(0.56~0.69)

이상의 식을 C.G.S 단위로 轉換할때 $q_p=C_p\frac{2.778}{t_p}$식으로 하여 算術法으로 C_p를 求할수있으나 낙동강유역에서는 이미 相關分析에서 上式은 分析의 價値가 희박함이 確認되었다. 濠洲의 Cordery[70]는 C_p값을 0.42~1.12의 범위로 해석한바있다.

(6) 기저시간 T_b는 지체시간과의 相關分析에서 高度의 有意性을 지닌 식으로써 $T_b=0.73+2.073\left(\frac{L_g}{24}\right)$(days)를 유도하였고, 계산치와 실측치의 檢定분석에서 정밀도는 ±5%범위이었다. 美國 開拓國 [102,106]에서는 $T_b=2.67T_p$를 계산한데 대하여 낙동강은 $T_b=3.15T_p$가 계산되었다. 또 美國의 大流域에서는 [77] $T_b=T_p+N$ ($N=A^{0.2}$, 尖頭시간부터 기저시간 종점 까지의 시간)을 사용하며 Synder는 [41,65,99,105] Appalachian 유역에서 $T_b=3+3\left(\frac{t_p}{24}\right)$ (days)式을 유도하였다. 日本의 畑武志[54]는 $T=4.76+0.126R-45.7q_o$(days)式을 유도하였다. 式中 R : 강우량(mm)

q_o : 강우강도(mm/hr), 以上의 式들은 洛東江流域에 比하면 다소 길게 해석되나 流域의 大小 기타 特性에 따라 달라질것이며, 기저유출의 變曲點 設定에서도 差異가 발생하게된다.

(7) 단위도의 尖頭流量을 基底時間에 맞추어 그의 形狀을 만들수있는 연결점 결정으로서 最大比流量에 대하여 기저시간의 50% 및 75%에 해당하는 거리(시간)를 算出하여 단위도 형상구성에 유용한 결공를 제공하였다. 한편 기저시간의 결정으로 지체시간에 대한것과 최대 비유량에 대한것이 각각 산정되었으나 본논문의 주제가 지체시간에 중점을 두고있음으로 기저시간 결정식도 이에 준할것이나 필요에 따라 비교분석함이 좋을것으로 사료된다.

(8) 本研究에서 降雨持續時間은 流域의 遲滯時間 그리고 尖頭時間사이에 $t_r=\frac{L_g}{3}$및 $t_r=\frac{T_p}{5}$의 關係式이 이루어졌다. 한편 美國의 境遇 1,000km²정도 以上의 流域에서는 L_g의 $\frac{1}{4}\sim\frac{1}{3}$ 程度 또는 T_p의 20% 即 1/5로 강우지속시간을 定하고 있으며 1,000 km² 程度以上의 流域에서는 降雨強度의 變化가 있어도 流出強度 即 유량도의 형상은 거의 變化하지 않는다 [51,102,108] 다시 말하여 강우지속시간에 큰 영향이 없다는 해석이며 본研究에서도 150km²~20,000 km²의 범위에서 나타난 結果를 보아도 지속시간에 약간의 변동이 있어도 유출의 형태가 별로 변화하지 않는 모습을 볼수있어, 지속시간의 敏感度는 流域이 아주 작아서 數分 또는 數十分程度에서 尖頭가 일어날때 문제가 될이 밝혀졌다. 본 분석이 $t_r=\frac{L_g}{3}$ 또는 $t_r=\frac{T_p}{5}$에 근거를 두어 분석되었음으로 $t_r\neq t_R$ 일경우에는 지체시간의 수정은 t_R-t_r의 지체시간에 대한 변동幅이 20%以內에서 움직이고 t_r가 T_p의 1/4~1/5內에서 움직임으로 t_R-t_r의 20% 범위내에서 수정할것이며 t_R를 設定할때에도 流量圖의 尖頭時間의 $\frac{1}{4}\sim\frac{1}{5}$로 정함이 타당하다. Snyder는 $t_r=\frac{L_g}{5.5}$로 설정하고 $L_{gR}=L_g+\frac{1}{4}(t_R-t_r)$로 분석하였다.

結論的으로 볼때 流域이 클 경우에는 계산강우지속시간과 실제강우지속시간과의 差에의한 지체시간의 변동은 크게 문제가 되지않는다. 以上의 分析과 考察에서 볼때

$t_r\neq t_R$의 경우 t_R에 대한 最大比流量은 $q_{pR}=10^{-0.52-0.0184}\ L_{gR}$가 되며

$L_{gR}=L_g+0.2(t_R-t_r)$로 수정하고 그의 식에서도 L_g대신 L_{gR}로 代置하여 공식을 사용함이 타당하다.

2. 三角形單位圖

1) 分析方法

단위도의 좌표를 三角形으로 假定하여 最大流出量公式(Peak equation)을 誘導하였다. [102,106] 三角形의 基本式인

$Q=\frac{q_iT_p}{2}+\frac{q_iT_R}{2}=\frac{(T_p+T_r)q_i}{2}$에서

$T_r=HT_p$라 놓고 실측치 T_p와 T_r에서 H의 값을 求하여 $Q=\frac{(T_p+T_r)q_i}{2}$에 代入하여 $q_i=\frac{2}{(1+H)}\cdot\frac{Q}{T_p}$를 求하고 Q는 1km²에 1mm의 有效降雨를 1시간의 流出로 算定하고 流域面積을 도입시켜 다음과 같이 展開한다.

$q_p=\frac{2(0.2778)}{(1+H)}\times\frac{A.Q}{T_p}$ 다시 $\frac{0.5556}{1+H}=\overline{K}$ 라 놓으면 $q_p=\frac{\overline{K}AQ}{T_p}$ 또는 $q_p=\frac{0.21A.Q}{T_r}$, 實測된 $\overline{K}$값은 낙동강의 평균값으로 0.21이 算定되었고 $\frac{T_r}{T_p}$가 큼에 따라 $\overline{K}$는 적어지는 경향이 있고 小流域에서 H가 크고 유역이 커감에 따라 H가 작아지는 경향을 볼수있다.

2) 考 察

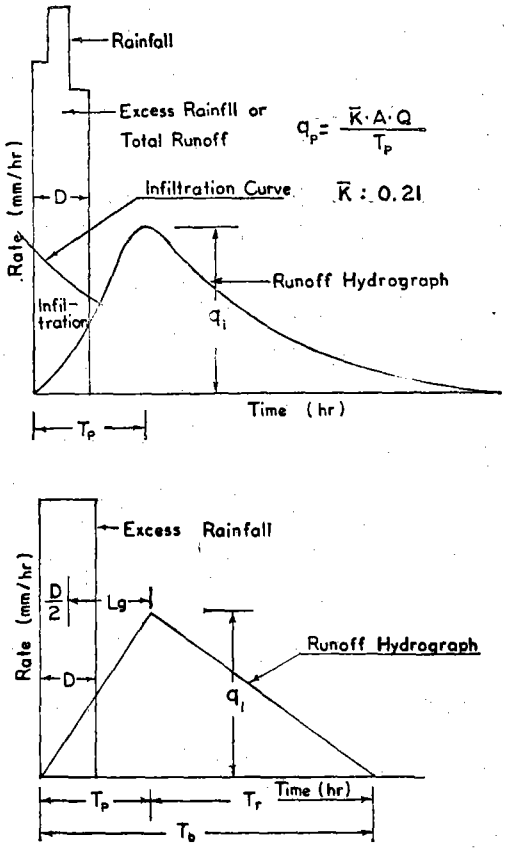


Fig. 13. Development of a Traingular Uni Hydrograph for Nakdong River Basin.

$q_p=\frac{0.21A\cdot Q}{T_p}$와 실제값과 比較한 結果는 Table 11과 같다. 成果는 유역에 따라서 實測値와 多小 差異가나타나지만 T_p에 대한 有用한 式을 流域特性에 맞게 誘導하여 利用함으로써 보다 좋은 成果를 거둘것으로 본다. 그리고 각좌표의 결정은 無次元單位圖[102,106]의 Q/Q_p, T/T_p의 좌표를 利用함으로써 단위도의 좌표를 쉽게 계산할수가있다. 한편 美國開拓局[106]에서는 T_p를 다시 변형하여 $\frac{D}{2}+0.6T_c$ (T_c : 집수시간, hrs)로 換算하여 사용하고 있으며 그利用度는 자못 크게 評價받고있다. (Fig 13 참조)

3. 瞬間單位圖

1) 時間一面積圖(Time-Area Digram)의 基底長

時間面積圖의 基底長(C)은 有効降雨의 重心點으로부터 減水曲線上의 凝縮點간의 시간으로하여 實測流量圖에서 計算하여 流域의 特性과의 相關關係를 分析한 結果[32,41,70,72,79] $C=0.9\left(\frac{L\cdot Lca}{\sqrt{S}}\right)^{1/3}$이 유도되었고 相關率 0.983이라는 高度의 有意性을 가지고 있어 지체시간의 分析에서와 같이 유역의 特性値들과 좋은 相關이 있음이 밝혀졌다. 한편 하천경사와 하천연장만의것으로 分析해본결과 $C=1.236\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.568}$의 結果로써 相關率 0.97의 高度의 有意性을 나타냈으나 上式의 것 보다는 有意性이 다소 下廻하는 結果를 엿볼수있다. Clark-Johnstone[79,100]의 Scioto river와 Sandusky river에서 조사하여 分析한 경험식으로 $C=a\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{1/2}$을 산출하였고 이경험식을 낙동강에 도입분석할때 $C=1.680\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.5}$의 관계식이나왔으나 실측치와의 상수 檢定分析에서 $C=1.236\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.568}$의 경우 1.003~1.546이 산출되었고 $C=1.680\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.5}$의경우 1.458~2.307이 산출되었다. 한편 減水曲線上의 變曲點의 發見에서오는 難點을 피하기 위하여 기저장을 지체시간으로 代置할 경우는 $C=0.588\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.668}$이 계산되었고 상수 檢定분석에서 0.438~0.767의 범위가 나타났으며 Johnstone의식을 이용할때

$C=1.247\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.5}$로써 상수는 0.896~2.028의 큰 차이가 나타났음으로 결국 낙동강유역의 시간면적도의 기저장 계산식으로써는 $C=0.9\left(\frac{L\cdot Lca}{\sqrt{S}}\right)^{1/3}$의 새로운식이 特徵的으로 좋은 結果를 나타내고 있다. (Fig 14. Table 9 참조)

Table 9. Comparison of base length T-AD, C

Combination of watershed characteristics	Computed constant	Observed mean constant	Correlation coeffic ient of computed constant	Significance of correlation
$C=0.9\left(\frac{LLca}{\sqrt{S}}\right)^{1/3}$	0.90	0.92	0.983	Highlysignificant
$C=1.236\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.562}$	1.236	1.349	0.970	〃
$C=1.680\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.5}$	1.680	1.769	0.970	〃
$C=0.588\left(\frac{C}{\sqrt{S}}\right)^{0.653}$	0.588	0.960	0.960	〃
$C=1.247\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.5}$	1.247	1.320	0.970	〃

한편 Eaton (1954)[72]은 濠洲의 Tasmania 주에서 $C=1.37\left(\frac{L\cdot A}{R}\right)^{0.87}$를 유도하였다.

R : 支流계수(Branching factor)로써 1.0, 1.5 및 2.0을 사용하였고 Johnstone [79]은 $C=a\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{1/2}$에서 $a=1.6$~5.4의 값을 취했으며 濠洲의 I. Cordery [70]는 호주 Lidsdale 유역에서

$C=56.3\left\{\frac{(L\cdot Lca)^{0.3}n}{\sqrt{S}}\right\}^{0.8}$의 경험공식을 유도했다. n : 粗度係數

한편경험공식에 의한 C값이 算定되었을 境遇 等時流達時間(Isochrone)의 分割은 流域의 各各의 流達時間이 河川의 延長과 傾斜에 관계가 있음으로 C의 계산에 필요한 각각의 河川區間의 流達時間계산은 H를 同高線의 同一間隙으로 취하여

$T\alpha\frac{L}{\sqrt{S}}=\frac{L}{\sqrt{\frac{H}{L}}}=\frac{L}{H^{1/2}/L^{1/2}}=L^{3/2}$의 결과가 나오며 각 구간의 到達時間은

$T=\left\{\frac{l_1^{3/2}+l_2^{3/2}+l_3^{3/2}+\cdots\cdots+l_n^{3/2}}{\Sigma l_i^{3/2}}\right\}\cdot C$의

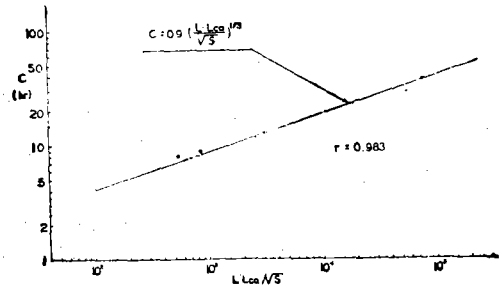
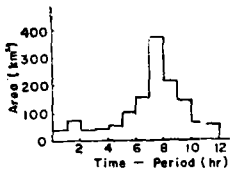


Fig. 14. Relationship between C and Watershed Characteristics



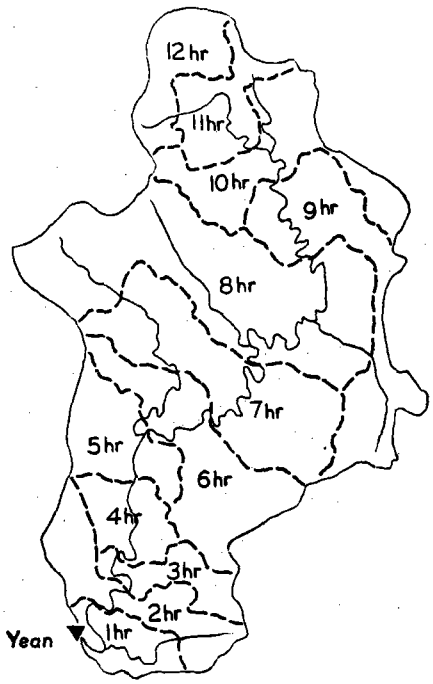


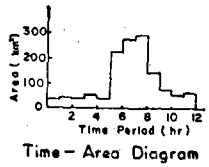
Fig. 15. Isochrone Pattern and time-Area Dia, gram at Yean

식에 의하여 계산한다.[40,90]

(Fig. 15~20 참조)

2) 貯溜常數(Storage constant, K)

貯溜常數 K는 實測된 水文曲線으로부터 算出할



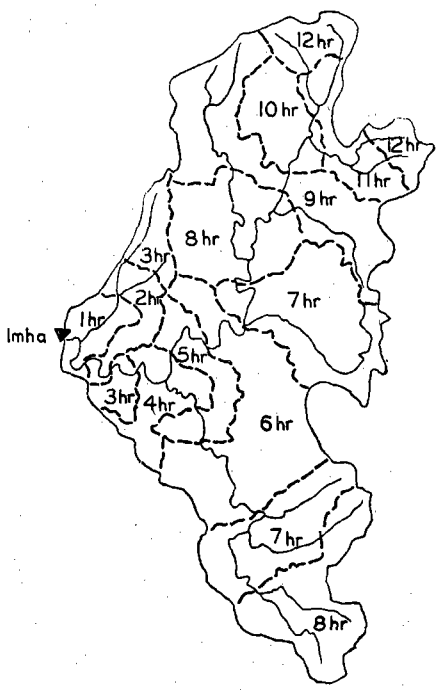


Fig. 16. Isochrone Pattern and Time-Area Diagram at Imha

수 있으며 變曲點에서 單位時間 떨어진 下降點을 擇하여 算定한다.[41,60,65,76,77]

$$O_1=O_T \quad O_2=O_{T+1}=O_{T_e}{}^{-(t-T)/K}$$

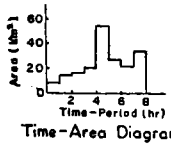
$$A=\int_{t=T}^{t=T+1} O_{T_e}{}^{-(t-T)/K}\,dt$$

$$\left[-KO_{T_e}{}^{-(t-T)/K}\right]_{t=T}^{t=T+1}$$

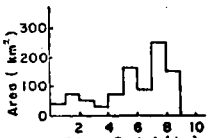
$$\left[KO_T-KO_{T_e}{}^{-1/K}\right] \quad \therefore\ A=K(O_1-O_2)$$

$$K=\frac{A}{O_1-O_2}\text{(hr)}$$

以上으로써 實測값을 求하여 流域常數와의 關係를 分析하였고 分析의 結果 正規方眼上에서는 $K=8.32+0.0213\frac{L}{\sqrt{S}}$로써 相關率 0.964의 高度有意性이 나타났고 對數方眼上에서는 $K=4.7\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.2}$의 관계식으로 相關率 $r=0.938$ 이 계산되었으나



Time-Area Diagram



Time-Area Diagram

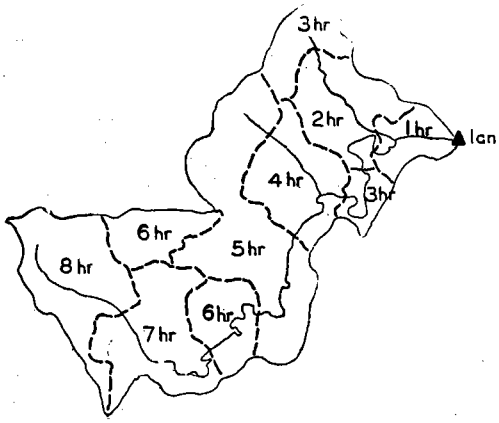
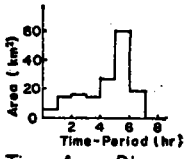


Fig. 17. Isochrone Pattern and Time-Area Diagram at Ian



Time-Area Diagram

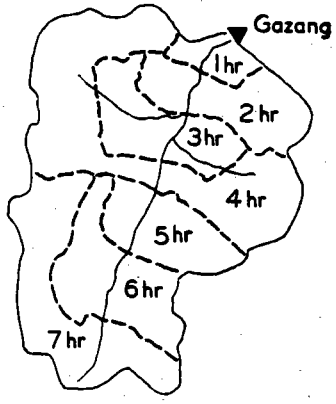


Fig 18. Isochrone Pattern and Time-Area Digram at Gazang

$K=8.32+0.0213\frac{L}{\sqrt{S}}$를 채택함이 妥當하다고 認定하였다.[88,98,111] Johnstone[70,100]은 美國의 Scioto Sandusky Basin 에서 $K=1.5+90\frac{W}{R}$의 경험식

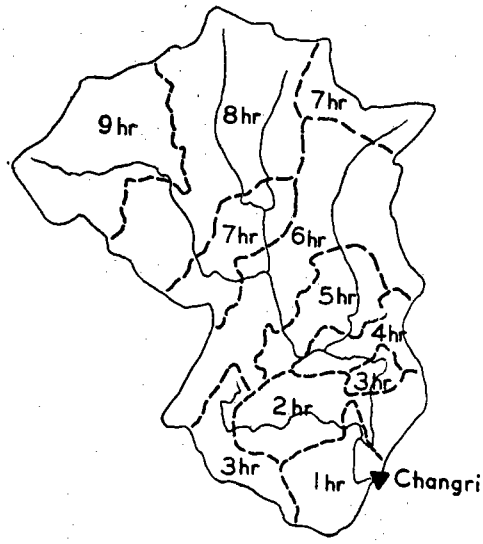


Fig. 19. Isochrone Pattern and Time-Area Diagram at Changri

을 얻었다. (R : 地表面傾斜, W : 유역의 幅) Eaton은 Tasmanian basin에서 $K=13.2\frac{W}{L}\cdot\frac{A^{1/3}}{R}$ (R : 지류계수)를 유도하였으며 호주의 Cordery는 N.S.W 유역에서 $K=11.2\left(\frac{W}{\sqrt{R}}+\frac{0.5L_n}{\sqrt{S}}\right)^{0.79}$ (R : 지표면 경사, L_n : 格子線, gridline)를 산출하였으며 Clark[41,79,100]는 $K=\frac{CL}{\sqrt{S}}$의 식을 얻었다. (C : 常數, 0.8~2.2). Linsley[77]는 $K=\frac{bL\sqrt{A}}{\sqrt{S}}$의 식을 얻었다. ($b$: 常數, 0.04~0.08) 分析된 結果에서 보면 순간 단위도의 추적에서는 基底長(C)이 貯溜常數(K)보다 분석상 주의성과 예민한 점이 밝혀졌다. (Fig. 21 참조)

3) 瞬間單位圖(Instantaneous Unitgraph)의 追跡

基底長(C)과 貯溜常數(K)가 결정되면 Muskingum의 洪水追跡方法(Flood routing method)[41,61,77,100,102,105]을 導入하여 추적공식 $O_2=C_0I_1+C_1I_1+C_2O_1$을 이용하여 段階的으로 展開한다. (附表—3 참조) 분석의 結果는 實測 단위도의 값과 좋은 結果를 가

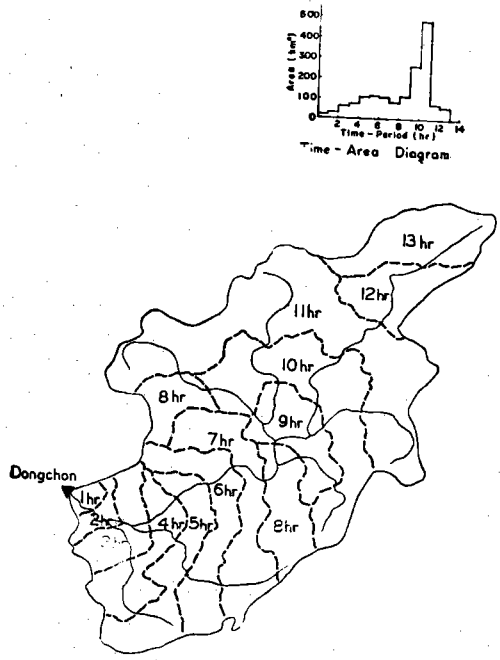


Fig. 20. Isochrone Pattern and Time-Area Diagram at Dongchon

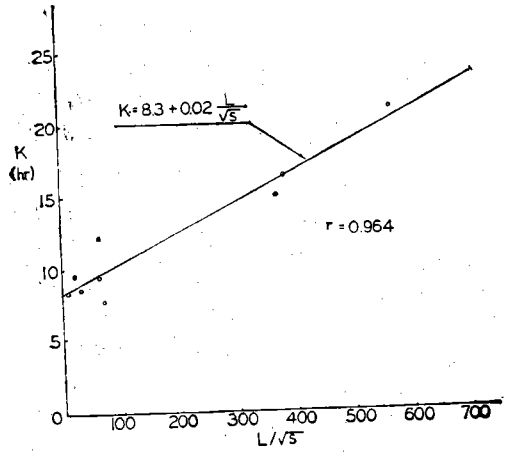


Fig. 21. Relationship between *K* and Watershed Characteristics

져왔다. 한편 기저장(*C*)이 理想的으로 區分되지 않아 時間間隙이 많으면 시간—면적도의 구분면적이 많아져 결국 尖頭流量이 낮고 기저시간(T_b)이 길어지며 저류상수가 너무 크면 지체시간이 길어지고 追跡期間이 또한 길어지고 減水部分이 長期間 연속되는 현상으로 分析되었다. 한편 6개 유역에서 계산된 추적공식은 Table 10과 같다.

Table 10. Operating equation of IUH Routing

Sub wtershed	Operating equation	*C*	*K*
Yean	$0.1I_1+0.90_1$	12	9.6
Imha	$0.1_1+0.90_1$	12	9.6
Ian	$0.11I_1+0.890_1$	8	8.7
Gazang	$0.112I_1+0.8880_1$	7	8.4
Changri	$0.11I_1+0.890_1$	9	8.5
Dongchon	$0.1I_1+0.90_1$	13	9.8

4. 中安의 綜合單位圖

日本의 中安도 合成單位圖에서 洪水到達時間(t_p)과 減水常數(k)는 降雨特性보다 流域特性에 더 영향이 크기때문에 單位圖의 誘導를 流域特性에 더 크게 比重을 두고있다. 그리고 降雨記錄에 있어서 單位時間幅(t_o)을 가지는 最盛豪雨에 의한 尖頭流量의 遲滯時間(t_g)을 $0.8t_o$의 時刻부터 尖頭時間까지로 하여 t_g라하고 지체시간및 流域內에 고인물이 流出해 버리는 時間關係를 表示하는 t_k는 모두 流路延長, 流域形狀, 地勢, 河川傾斜, 降雨強度, 流速등의 函數일것으로 豫想하여 山間部에서 流出하는 河川에 대하여 多少의 오차를 許容한다는 조건으로하여 近似的으로

$L<15$km 일 때 $t_g=0.21L^{0.7}$(hrs)

$L>15$km 일 때 $t_g=0.4+0.058L$(hrs)

$t_k=0.47(A\cdot L)^{0.25}$의 식을 이끌었다[22,51]이는 낙동강의 臨河流域에 대하여 中安式으로 比較계산한 結果 中安式은 大體로 山間部流域을 對象으로 分析하였기 때문에 洪水波의 傳播가 크게 豫想되어 本硏究에서 나타난 實測平均單位圖및 合成單位圖의 값보다 尖頭部分이 約 10%가량 높은 傾向이있고 지체시간도 1시간가량 빨라짐으로 단위도의 형상은 尖頭部分에만 예민한 결과를 가져오며 基底時間도 實測값보다 훨씬 길어지는 현상이 나타나고있다. 特히 洛東江流域은 比較的 완만한 傾斜에 협곡유곡이라기보다는 準平地流域의 性質이 있기때문에 中安式의 적용은 流域特性에 비추어볼때 合理的인 現象이라고 볼수 없다. 표본계산과의 比較結果는 Fig. 31과 같다. (Fig.31참조)

以上의 실측단위도의 分析과 合成單位圖의 分析을 通하여 얻은 結果로 Fig.22~31을 얻었다. 그리고

Table 11—1. Comparison of Peak rate of unitgraph

Sub Watershed	Area(km²)	Peak rate of unitgraph m³/sec			Error to the Average U/G, %		t_r (hrs)
		Average U/G	Synthetic U/G	Triangular U/G	Synthetic U/G	Triangular U/G	
Yean	1329.2	281.0	266.0	279.1	5.3	0.7	3
Imha	1360.5	293.8	297.7	317.4	1.3	7.4	3
Ian	189.9	45.2	46.5	45.3	2.8	0.2	2
Gazang	149.4	40.1	40.7	42.7	1.5	6.5	2
Changri	924.6	226.0	226.5	225.8	0.8	0.1	2
Dongchon	1543.9	338.6	335.0	290.0	1.1	14.4	3
Ilsungyo	9501.7	1137.5	1121.2	907.0	1.4	20.3	6
Waegwan	11074.4	797.2	1055.2	646.0	24.5※	19.0	12
Jindong	20311.3	825.0	792.1	820.3	4.0	0.6	16
Mean	—	—	—	—	2.2	7.7	—

※ Omitted from the mean

비교적 큰 流域인 일선교, 왜관, 진동에 대하여는 時間一面積圖作成을 위한 圖上作業(50,000분지 1도면 기준)이 어려울뿐만 아니라 瞬間單位圖 方法이 큰 流域에서는 크게 精密性이 없음을 감안하여 本 分析硏究에서는 上記 3個流域은 除外하였다. Table 11—1, 11—2를보면 실측평균단위도에 대하여 合成單位圖는 왜관을 除外하면 2.2%의오차, 三角形單位圖는 7.7%, 순간단위도는 6.4%의 오차범위에서 모두 허용범위 10%線以內로써 낙동강유역의 特性을 지닌 좋은 결과를 나타낸가운데 합성단위도는 그 結果가 特記할만하다. 이에 反하여 日本 流域에 대하여 分析한 中安式을 낙동강 유역에 그대로 적용하기는 不合理한것으로 나타났다. 한편 본유역분석에서 얻어진 경험공식들의 相關現象을 정리하면 Table. 12와 같다 (Table 11—1, 11—2, 12, Fig. 22~31) 참조).

Table 11—2. Comparison of Pack rate of unitgraph

t_R=1hr

Sub Watershed	Area (km²)	Peak rate U/G(m³/s)		Error to the Synthetic U/G, %
		Synthe ticU/G	IUH	
Yean	1329.2	267.8	279.9	4.5
Imha	1360.5	299.3	256.3	14.3
Ian	189.9	47.3	43.7	7.6
Gazang	149.4	41.1	37.3	9.2
Changri	924.6	227.9	223.8	1.7
Dongchon	1543.9	338.1	332.5	1.6
				6.4%

Table 12. Relationship between correlation and watershed characteristics.

Symbols of Watershed Characteristics	Combination of watrshed characteristics	Correlation coefficicient	Significance of correlation
L_g	$0.253(L\cdot L_{ca})^{.04171}$	0.970	Highly significant
L_g	$0.545\left(\frac{L\cdot L_{ca}}{\sqrt{S}}\right)^{.0846}$	0.970	〃
q_p	$10^{-.052-.00184}L_g$	0.998	〃
T_b	$0.73+2.073\left(\frac{L_g}{24}\right)$	0.920	〃
C	$0.9\left(\frac{L\cdot L_{ca}}{\sqrt{S}}\right)^{1/3}$	0.983	〃
K	$8.32+0.0213\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)$	0.964	〃

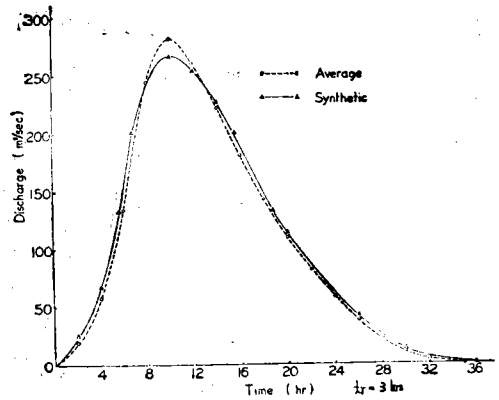
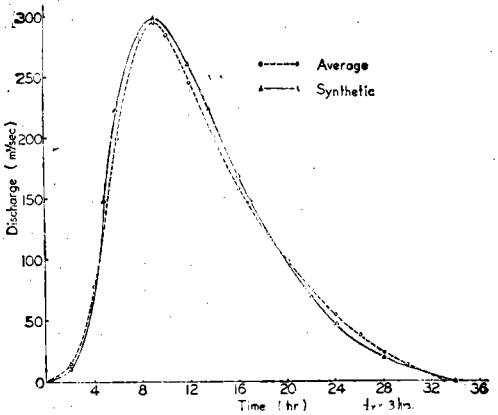


Fig. 22. Comparison of Average Unit-graph and Synthetie Unit-gragh atYean



Eig. 23. Comparison of Average Unit-graph and Synthetic Unit-graph at Imha

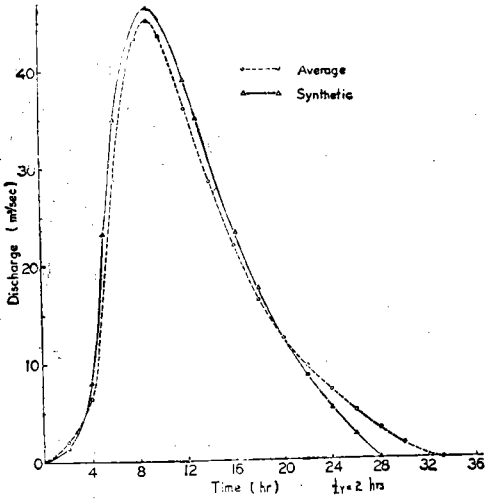


Fig. 24. Comparison of Average Unit-graph at I an

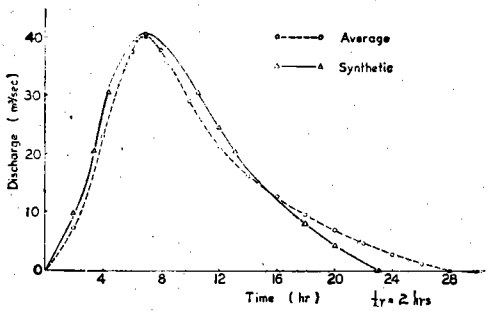


Fig. 25. Comparison of Average Unit-graph and Synthetic Unit-graph at Gazang

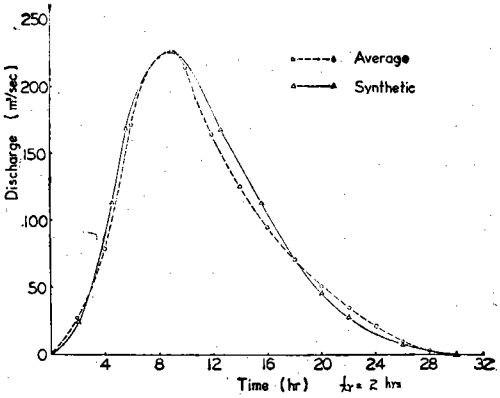


Fig. 26. Comparison of Average Unit-graph and Synthetic Unit-graph at Changri

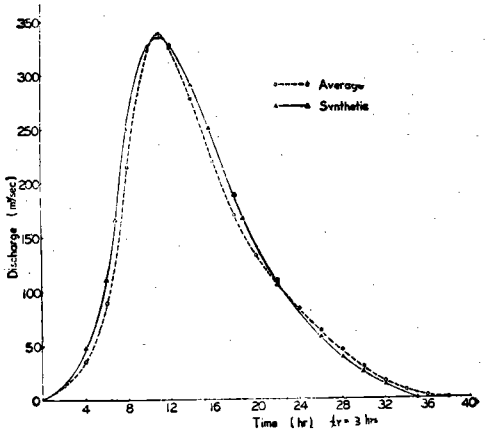


Fig. 27. Comparison of Average Uuit-graph and Synthetic Unit-graph at Dongc-hon

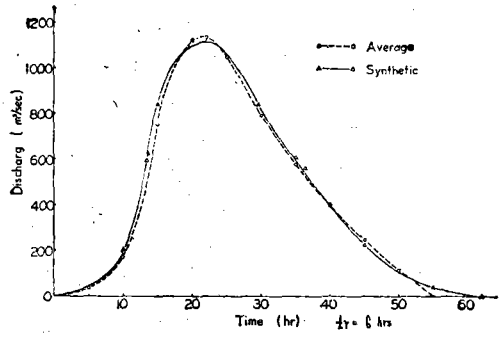


Fig. 28. Comparison of Average Unit-graph and Synthetic Unit-graph at 1lsvn gyo

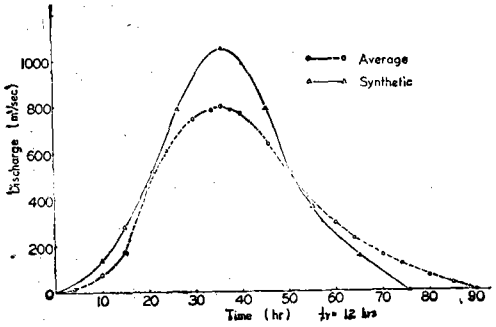


Fig. 29. Comparison of Average Unit-graph and Synthetic Unit-graph at Waegw an

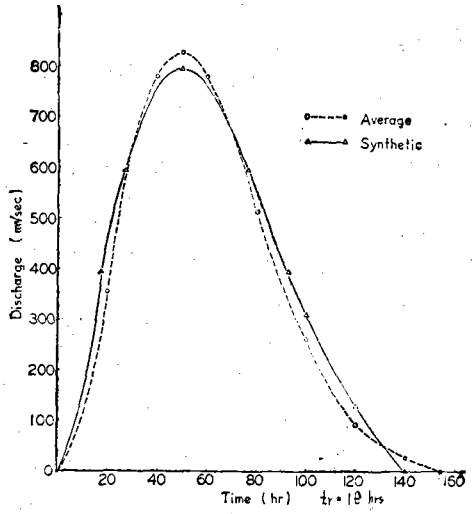


Fig. 30. Comparisou of Average Unit-graph and Synthatic Unit-graph at Jindong

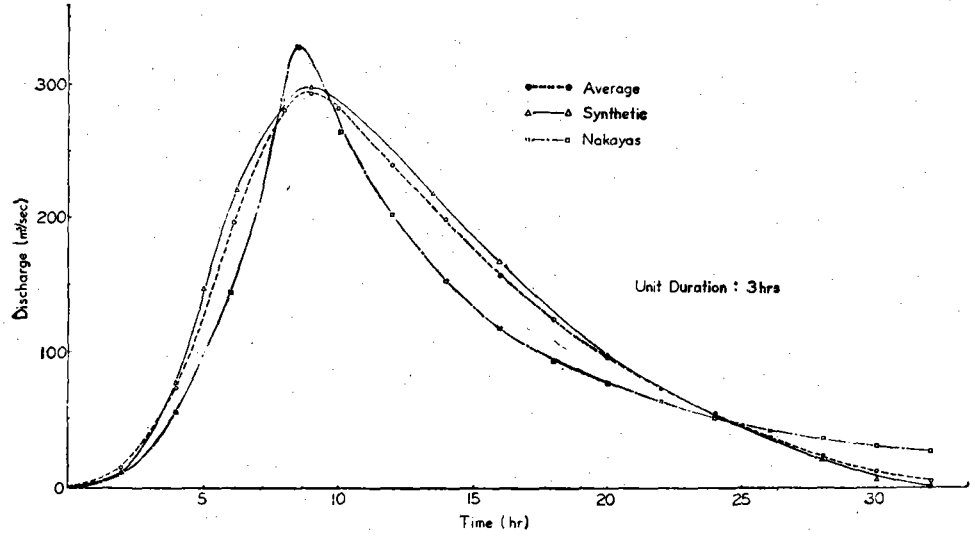


Fig. 31. Comparison of Averagh U/G, Synthetic U/G and Nakayas U/G at lmha

V. 綜合考察 및 結論

實測單位流量圖의 誘導를 거쳐서 이들 單位流量圖가 가지는 函數들이 流域의 여러가지 物理的 特性値인 河川長, 河川重心長, 河川傾斜 및 面積등과 어떠한 關係가 있는지를 調査分析하여 그들間의 關係를 究明하여 無記錄河川에서 單位圖를 合成的으로 算出하고 이것을 利用하여 洪水量推定 기타 水文處理의 基本計劃에 利用할 수 있게 調査研究한바 그 結論을 다음과 같이 내린다.

1. 流量圖의 形態는 流域降雨의 時間的分布가 良好할 경우 대략 0.25~0.30Tb에서 尖頭流出이 발생하는 좋은 형상을 아룬다.

2. 遲出이 降雨에 敏感하지 않기 때문에 減水狀態도 완만하며(K=0.947) 有效流出部分은 쉽게 끝이 나지만 기저유출의 持續時間은 長期間 계속되며 上昇起點의 流量보다 기저유출의 始點流量이 比較的 높은 것을 감안하여 洪水量 계산에 利用할 경우 基底流出의 加算에서 주의를 要한다.

3. 一定比損失法에 의해서 處理된 有效流出과 損失量關係에서 降雨계속기간중의 連續損失은 大體로 50% 內外이었다.

4. 유역의 평균경사는 1/200~1/1,400의 分布를 보였으며 大體로 완만한 경사로써 洪水流出의 集中경향이 낮은 결과를 가져왔고, 河川重心長은 河川長에 대하여 평균 45%의 比를 나타냈다.

5. 流域의 遲滯時間은 流域河川의 延長과 重心長과의 相乘積에 따라 이들 값의 大小에 關係되며 河川延長은 流域面積과는 꼭 比例하지 않는다. 또 遲滯時間은 流域面積보다 河川延長과의 函數關係가 크다는 結論을 얻었고 평균경사를 고려한 相關에서도 좋은 結果를 얻었다.

6. 단위도의 最大比流量計算式에서 相關率이 0.998로써 高度의 有意性이 나타났으며 最大比流量은 지체시간에 反比例하는 현상이 나타났고 單位面積이 작으면 大槪 河川延長도 짧게 되며 이 境遇 q가 크게 되며 流出의 發生과 消滅이 빠른 시간에 이루어진다.

7. 單位圖의 基底時間(Tb)도 지체시간과는 密接한 相關이 있다. 關係式에서 相關率 0 92를 시현하고 있으며 지체시간이 零일 경우에도 기저시간이 0.73日이 존재하는 것은 기저유출의 영향에서 緣由하는 것이다.

8. 단위도의 形態를 결정할 中間媒介線을 幅 50%의 點과 75%의 點으로하여 尖頭流量이 결정되면 이들과 연결하여 쉽게 단위도의 형태를 形成시킬 수 있게 하였다.

9. 合成單位圖의 單位持續時間은 $t_r=\frac{Lg}{3}$에 의거해서 분석하였음으로 $t_r \neq t_R$ 일 경우에는 지체시간에 대한 t_r과 t_R의 변동幅이 20% 범위임을 감안하여 지체시간을 수정사용함을 原則으로하나 그 변동폭이 아주 小幅임이 본 분석의 특징이다.

10. 三角形 단위도에서 최대유출량 계산공식의 常數 K는 0.21이 유도되었고 合成단위도와의 尖頭流量比較에서 좋은 結果를 나타냈다.

11. 時間—面積圖의 基底長(C)은 유역의 特性値와와 관계에서 낙동강 特有의 관계식이 유도되었으며 貯溜常數(K)도 유역특성과 좋은 相關이 發見되었다. 한편 홍수량 追跡에는 저류常數보다 기저장이 보다 예민한 결과를 가져옴도 分析되었다.

12. 以上의 結果에서 얻은 Table 11—1 및 11—2와 Fig. 22~31를 참조하면 9개 유역의 40개 단위도의 平均値와 유역특성을 고려한 合成단위도와 실측치의 T_b, T_p, T_r을 이용한 삼각형단위도와 時間—面積圖를 利用한 순간단위도의 값들을 比較하면 실측평균단위도에 대하여 合成단위도는 평균 2.2%의 오차, 三角形單位圖는 7.7%, 순간 단위도는 6개 유역의 경우 6.4%의 오차범위로써 모두 좋은 결과를 나타냈다. 本 研究를 土臺로 하여 洪水量推定 등의 水文計算을 위한 단위도의 誘導를 유역특성치 등을 이용하여 合成式으로 해석한 일은 그 結果가 크게 所望스러운 일이다.

引 用 文 獻

1. 金 子良 外(1970) : 平地河川の 流出特性 に關する實證的 研究 農業土木試驗場 報告 第8號 pp. 16~39.
2. ——(1956) : 水文學的循環 における土壤の効果 農業技術研究所報告 F9號 pp.67~70. 162~170.
3. ——(年代未詳) 棚田流域の 流出特性 水溫の研究13卷 1號 pp. 10~22.
4. ——(1960) : 小流域 における 流出機構の 研究. 農業技術研究所 報告 F 12號 pp. 211~341.
5. 角 屋睦 外(1967) : 山地小流域河川の 低水解析 (2) 京都大學防災研究所年報 10號 B pp.148~153.
6. 건설부(1969~1973) : 韓國水文調査年報
7. 국립中央관상대(1962) : 韓國氣候圖 pp. 1, 61, 75.
8. 국제연합개발계획기구 낙동강 유역 조사단

(1968) : 낙동강 유역 수자원개발계획 三권 pp.9~12, 104.
9. ——(1968) : 四권 pp. XIII~XV, 19~28.
10. ——(1971) : 7권 3
11. 高橋保(1972) : 河川合流部 における洪水流の特性に關する 硏究, 京大防災硏究所年報 15號 B pp. 378~383.
12. 慶北大生產技術(1971) : 大邱市 下水道 設計를 위한 기본 조사연구, 生產技 Vol. 5 pp. 143~148.
13. 金 治弘(1973) : 流出機構硏究에 關한 最近의 動向 물의 科學 6권 1호 pp. 42, 韓國水文學會
14. 農林部(1968) : 土地改良事業計劃設計基準(훤댐편) pp. 22~36.
15. 농수산부 농업진흥공사(1972) : 농업기상 연보 pp. 260~261.
16. 농수산부 농공이용연구소(1972) : 시험연구보고서(농업토목편) pp. 185~189.
17. 農業土木硏究所(1965) : 試驗硏究事業報告書 3輯 pp. 129~133, 297~321.
18. ——(1968) : 試驗硏究事業報告書 6輯 pp. 24~31.
19. 朴 成宇(1974) : 河川의 流況에 關한 水文學的 硏究, 韓國農工學會誌 16권 2호 pp. 79~80.
20. ——(1964) : 韓國에 있어서 諸水文構造物의 設計 基準을 주기위한 水文學的硏究. 農工學會誌 創刊號 pp.57~64.
21. ——(1966) : 韓國에 있어서 降水 및 流出, 洪水 早魃에 關한 水文學的硏究. 서울대학교 농학박사 학위논문 二部. pp. 8~19.
22. 本 間仁(1972) : 改訂河川工學 pp.36~73.
23. 白 鍾哲(1973) : 琴湖江의 Peak 流出量 推定에 關한 考察. 嶺南大大學院 論文 pp. 3~4.
24. 防災 Hand Book 編輯委員會(1969) : 防災 Hand Book pp. 322~335.
25. 澁谷和未(1973) : 河川および水資源工學 pp. 5~9, 28~40.
26. 植田昌明 外(1970) : 感潮背後地の 降雨流出 に關する硏究(Ⅰ). 農業土木試驗報告 8號 pp. 314~325.
27. 石原安雄 外(1968) : 荒川流出試驗地の流域特性について, 京都大學防災硏究 近年報告 11號 B pp. 103~114.
28. ——(1967) : 洪水調節池を 對象とした出水豫知の硏究. 京都大學防災硏究所年報 10號 B pp. 19~29.
29. 石原藤次郎(1972) : 水工水理學 pp. 336~343. 丸善出版.
30. 徐 承德(1965) : 와엥갈라댐 流入洪水量계산 農業土木會誌 7권 2호 pp. 40, 45.
31. ——(1966) : 暴雨의 時間的分布에 關한 考察農學土木會誌 7권 2호 pp. 40. 45.
32. ——(1966) : 流域特性과 流出追跡에 依한 單位圖解釋에 關한 考察. 農業土木會誌 8권 1號 pp. 81~87.
33. ——(1967) : 自然河川의 洪水追跡과 貯溜量 解釋, 農業土木學會誌 9권 1號 pp. 9~16.
34. ——(1972) : 머스킹감 홍수추적법상의 수문상수 해석 물의 科學 5권 1號 pp. 67~73. 한국수문학회.
35. ——(1972) : 河川의 取入水門設置에 依한 背水現象과 洪水調節 硏究. 慶尙大學 論文集 11卷 pp 45~49.
36. ——(1973) : 水理構造物設計計劃에 필요한 慶南地域降雨의 特性에 關한 硏究. 慶尙大學 農業硏究所報 7號 pp. 94~94.
37. 五十嵐正次(1970) : 傾斜小流域의 流出特性(Ⅰ), 農業土木試驗場報告 8號 pp. 49~65.
38. 安 守漢(1968) : 우리 나라의 水害. 韓國水文協會誌. 물의 科學 1卷 1號 pp. 50~51.
39. 李 昌九(1960) : 댐공학(上권) pp.225~260.
40. 李 基明 外(1973) : 小流域의 流出에 關한 硏究 경상대학 농업연구소보 7호 pp.82~85.
41. 尹 勇男(1974) : 水文學 pp. 204~274. 理工產業社.
42. 鄭 昌熙(1970) : 新地質學槪論 pp. 92~105. 博英社.
43. 曺 喜九(1969) : 四大江流域의 期間別最大降水量에 대하여. 韓國水文協會誌 제1호 pp. 30~31.
44. 長尾正志(1966) : 洪水流出に及ぼす地形効果について, 京都大學防災硏究所年報 9號 pp. 566~577.
45. 畑 武志 外(1970) : 河川流出の 基底時間について 農業土木學會論文集 34號 pp. 17~20.
46. 池 光夏(1966) : 大興池流域의 代表降雨量 觀測所 선정에 관한 考察. 農業土木學會誌 8권 2호. pp. 64.
47. 中島暢太郎(1972) : 豪雨의 硏究(Ⅳ). 京大防災硏究所年報 15號 B pp. 285~290.
48. 田中宏平 外(1972) : 潮見川の 流出 について. 農業彙報 33號 pp. 36~37. 佐賀大學

49. 佐藤晃三(1971)： 低水流出の 研究(基底流出の 減水特性). 研究報告 pp. 31～35. 文部省特定研究班 御明神試險流域研究班.

50. 川畑幸夫(1961)：水文氣象學 pp. 57～62, 172～181, 187～266. 地人書館.

51. 崔 榮博 外(1974)：水文學 및 河川工學 I pp. 251～276, 297～337. 형설출판사.

52. 土地改良組合聯合會(1969)：전천후농업용수 개발사업 덕호지구사업계획서 수문편 pp.225～268.

53. 土聯·農業土木研究所(1964)： 單位流量圖法. 技術覺書 41號 pp. 7～31.

54. ——(1963)： 最大洪水量推定法 技術訓練教材 pp. 111～136.

55. ——(1967)：水文便覽(其三) 技術指導書 55號 pp. 27～37.

56. 豊國永次 外(1965)： 山科川流域の 流出特性について, 京都大學防災研究所年報 8號 pp. 297～304.

57. 荒木正夫(1964)： 水理學演習(下卷) pp. 147～184. 森北出版(株)

58. 丸山利輔(1973)： 重 みつき最少二乘法 による單位圖法の 試險流出 への適用(統計的 單位圖法による低水流出解析 Ⅱ) pp. 40～44.

59. 韓國農工學會(1970)：山地小流域河川의 流出機構에 대하여 한국농공학회지 12권 4호 pp.76～78.

60. Aitken, A. P. (1968)： The Application of Storage Routing Methods to Urban Hydrology. The Journal of I.E. Aust. Jan-Fub. pp.6～8.

61. Brater, E.F.(1968) : Steps toward a Better Understanding of Urban Runoff Process
A.G.U. Water Resources Research Vol. 4, No. 2 pp. 335～347.

62. Bell, F.C. (1968) : Estimating Design Floods From Extreme Rainfall,
Colorado State Univ. Hydrology papers No. 29 pp. 7～10.

63. Brakensiek, D. L. and other (1968)： The Synthesis of Distributed Inputs for Hydrograph Predictions, AGU, Water Resources Research Vol. 4 No. 1 pp. 88～84.

64. Bell, F.C(1966) : A Survey of Recent Developments in Rainfall-Runoff Estimation.
Journal of IEA, Australia, March 1966, pp. 37～44.

65. Chow, V.T. (1968) : Hand book of applied hydrology pp. 9—27～34 pp 14—2～31, pp. 21—41～46. McGraw Hill Book Co.,

66. Cordery, I and other(1970) : Antecedent Weness for Flood Estimation. Civil Engneering transactions, Oct. 1970. pp.182～184. I.E. Aust

67. ——(1970) : Initial Loss for Flood Estimation and Forecating, Journal of Hydraulic Div. Proceeding of the ASCE pp. 2448～2464.

68. ——(1971):Estimation of Design Hydrographs for small Rural Catchments. Journal of Hydrology 13 pp. 269～270.

69. ——(1973):Flood Estimation in Eastern N.S.W. IEA Hydrology Symposium paper pp. 127～131.

70. ——(1968) : Synthetic Unitgraphs for Small Catchments in Eastern N.S.W. Civil Engineering Transactions paper No. 2360 pp.47～57 I.E. Aust

71. Dingman, S.L.(1966):Characteristics of Summer Runoff from a small wateshed in Central Alaska A.G.U water Resources Research Vol 2. No. 4 pp. 752～754.

72. Eaton,T.D. (1954) : The Derivation and Synthesis of the Unit Hydrograph when Rainfall Records are Inadequate, Symposium paper 1163. pp. 61～68. I. E. Ausc.

73. Gray, D.M.(1962):Derivation of Hydrographs for small Watersheds From Measurable physical characteristics, Research Bulletin 506 pp.522～539 Iowa state Univ. of science and Technology.

74. Hall. F.R.(1968): Base flow Recessions -— A Review, A.G.U. water Resources Research.

75. Ishihara, T and other(1958):On the Application of the Unit. Hydrograph Method to Runoff Analysis for Rivers in Japan.
Disaster prevention Research Institute But, No. 19 pp.6～21 Kyoto univ.

76. Kent, K.M.(1966) : Hydraulic Predictions of Downsteam Floods. Transactions of the ASAE Vol. No. 3 pp. 350～351.

77. Linsley, R.K. JR.(1958):Hydrology for Engineers pp.149～167, 197～208, 227～239 McGraw-Hill Book Co.

78. Laurenson, E.M. and others(1963), Research Data Assembly For Small Watershed Floods, pp. 15～19. Engineering Research Center, Colo-

rado State Univ.

79. ——(1958) : Synthetic Unitgraphs, Hydrology Notes(unpublished) pp.1A~33 N.S.W University.

80. ——(1960) : Temporal pattern of Sydney storms, Seminar on Rain paper No. 7/4 pp.5~10.

81. ——(1954) : The Derivation of Infiltration Indices under Australian Conditions symposium paper 1161 pp.47~52. I.E. Aust.

82. Moroney, M.J(1951):Facts From Figures. pp. 277~297. Penguin Books Pty Ltd. Australia.

83. M.A.F andADC(1970):Hydrological Review. Pyongtaek-Kumgang Irrigation Project Fig.5~7

84. Mustonen,S.E.(1967):Effects of Climatologic and Basin Characterstics on Annual Runoff, AGU, Vol 3 No. 1, pp. 124~128.

85. M.O.C(1972):Report on the Geum River basin overall development project, Appendix I.

86. Nash, J.E.(1959):A Note on the Muskingum Flood-Routing Method, Journal of Geophysical Reseach Vol. 64 No. 8, pp. 1053~1055.

87. ——(1957) : The Form of the Instantaneous Unit. Hydrograph, pp. 114~121. Hydraulic Research Station, Wallingford, England

88. ——(1960) : A Unit Hydrograph Study with Particular Reference to British Catchments, paper No. 6433. pp.252~259. Hydraulic Research Station, DSIS, England.

89. ——(1958) : Determining Run-off From Rainfall. Proc. Inst. Civ. Engrs Vol. 10 pp.165~181.

90. ——(1956) : Frequency of Discharge From Ungaged Catchments, Trans, A.G.U. Vol. 37 No. 6. pp. 720~723.

91. ——(1959):Systematic Determination of Unit Hydrograph Parameters. J.G.R. Vol. 64 No. 1. pp. 112~115.

92. Ogrosky, H.O. (1964):Hydrology of Spillway Design, Journal of the Hydraulic Division, ASCE Vol. 90 No. HY 3. pp. 307~310.

93. Pilgrim, D.H.(1969) : Temporal Patterns of Design Rainfall for Sydney. Civil Engineers Trans, April I.E. Aust. pp. 11~12.

94. Singh, K.P.(1968) : Some Factors Affecting Base flow, A.G.U. Water Resources Research Vol. 4 No. 5. pp. 997~8.

95. Scheidegger, A.E.(1968) : Horton's Laws of stream Lengths and Drainage Area, A.G.U. Water Resources Research Vol. 4. No 5. pp. 1015~1020.

96. Schermerhorn, V.R.(1967) : Relation between Tophography and Annual Precipitation in Western Oregon and Washington, AGU, Water Resources Research, Vol. 3, No. 3, pp. 710.

97. Schicht and other(1961):Hydrologic budgets for three small watersheds in Illinois.
Illinois state water survey Report 40, pp. 9

98. Smart, J. S. and other(1967) : The Relation between Mainstream Length and Area in Drainage Basins A.G.U,W.R.R. Vol 3, No. 4, pp. 964~971.

99. Snyder, F.F. : Synthetic Unit-graph, Trans, Am Geophys, Union, Vol. 19, pp. 447~454.

100. The Institution of Engineers, Australia(1958): Australian Rainfall and Runoff, pp. 48~60.

101. USDA, SCS(1967):UD Method of Reservoir Flood Routing Technical Release No. 35, part 5.

102. ——(1969) : Hydrology, National Engineering Hand Book section 4, pp. 16. 1~16. 25.

103. USBR(1952) : Unitgraph Procedures USBR Manual pp. 1~30.

104. U.S.Army(1960):Routing of Floods Through River Channels, Manuals-Corps of Engineers EM 1110—2—1408, pp.2~16.

105. ——(1959) : Flood-Hydrograph Analysis and Computations Manuals-Corps of Engineers, EM 1110—2—1405, pp. 10~60.

106. USBR (1961) : Design of small Dams, pp. 38~50.

107. Warren, Viessmen, J_R(1968) : Runoff Estimation for Very Small Drainage Area, A.G.U. Water Resources Research Vol. 4, No. 1, pp.87~93.

103. Walsh, D.T. and other(1965, Unpublished): The Estimation of Runoff in a Mountainous Region pp. 13~4, S.M.H.E.A. Australlia.

109. Water Research Foundation of Aus. (1968): Loss Rates on Selected Catchments in Victoria, Bulletin No. 13.

부표 1—1 관측평균 단위도의 좌표

시 간	구 분 유 역 별 (m^3/sec)					
	예산	임하	이안	가창	창리	등촌
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	6.4	5.3	0.8	2.8	12.5	7.2
2	17.8	13.3	2.0	6.6	7.52	19.8
3	35.6	34.	3.5	12.5	49.5	22.4
4	57.9	75.5	6.7	21.5	76.6	37.0
5	91.8	142.0	16.3	29.2	123.0	55.1
6	130.7	199.0	28.7	35.2	171.9	85.3
7	196.1	246.0	37.6	36.1	205.7	145.9
8	244.3	281.2	43.2	35.3	221.4	214.4
9	270.0	293.8	45.2	32.1	262.0	279.7
10	281.0	283.2	43.5	27.4	214.0	318.0
11	273.0	266.6	40.0	21.5	187.3	338.6
12	260.0	244.5	35.8	19.2	164.4	325.0
13	241.5	223.4	32.3	17.3	142.1	303.0
14	220.6	200.8	28.5	15.2	124.8	276.2
15	200.0	179.1	25.0	13.5	109.6	248.5
16	180.9	158.1	21.8	12.1	94.9	217.9
17	160.9	140.2	18.8	10.8	82.8	191.7
18	143.3	124.9	16.3	9.7	71.2	168.8
19	126.4	110.6	14.4	8.6	60.6	149.7
20	109.9	97.3	12.3	7.7	51.6	132.8
21	94.7	85.0	10.9	6.7	43.9	120.1
22	82.3	74.0	9.6	6.0	35.4	108.8
23	68.7	63.8	8.2	5.2	28.0	93.6
24	58.0	54.7	7.2	4.7	21.3	83.3
25	47.2	44.9	5.9	4.1	15.3	73.4
26	37.8	37.5	5.1	3.5	10.7	63.6
27	29.5	29.6	3.9	3.0	5.8	55.6
28	22.4	23.1	3.0	2.6	3.1	46.2
29	13.3	17.0	2.4	2.2	1.8	37.5
30	6.9	12.3	1.9	1.7	0.0	31.0
31	4.5	8.7	1.2	1.4	—	23.4
32	3.3	4.7	0.8	1.1	—	17.3
33	2.0	0.0	0.5	0.7	—	10.3
34	1.0	—	0.1	0.5	—	7.3
35	0.0	—	0.1	0.3	—	4.5
36	—	—	0.0	0.0	—	2.2
37	—	—	—	—	—	1.6
38	—	—	—	—	—	0.9
39	—	—	—	—	—	0.0

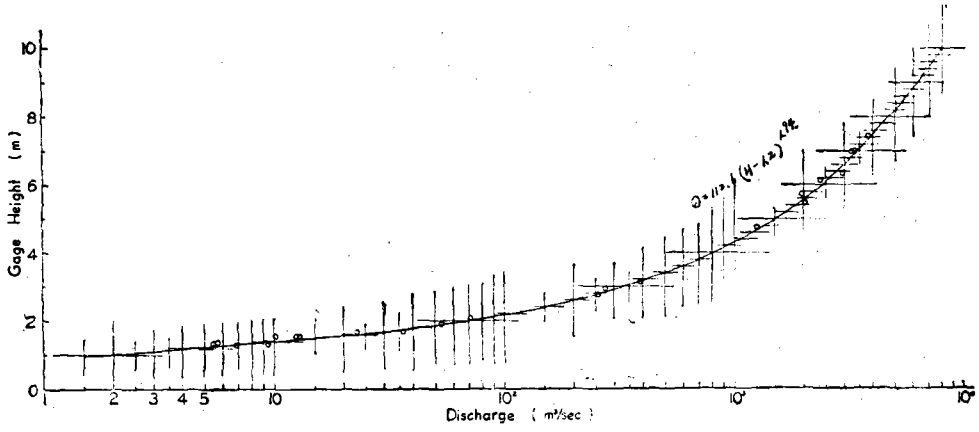
부표 1—2 관측평균 단위도의 좌표

시간	구분유역별(m^3/sec)			시간	구분유역별(m^3/sec)			시간	구분유역별(m^3/sec)		
	일선교	왜 관	진 동		일선교	왜 관	진 동		일 선 교	왜 관	진 동
0	0.0	0.0	0.0	52	56.3	466.5	825.0	104	—	—	217.7
2	7.4	4.5	7.2	54	20.8	415.1	818.6	106	—	—	
4	21.7	12.9	16.2	56	—	368.7	805.7	108	—	—	173.2
6	40.3	25.7	42.5	58	—	331.5	796.6	110	—	—	155.0
8	95.3	44.4	70.0	60	—	294.0	777.6	112	—	—	142.7
10	166.0	71.6	110.0	62	—	258.8	757.8	114	—	—	129.6
12	311.9	115.8	150.0	64	—	229.4	734.9	116	—	—	116.9
14	593.5	170.6	190.0	66	—	201.4	709.4	118	—	—	104.6
16	883.7	255.9	240.0	68	—	176.3	682.5	120	—	—	93.4
18	1,057.0	363.7	289.9	70	—	154.9	662.6	122	—	—	80.9
20	1,126.3	457.1	350.0	72	—	133.1	635.1	134	—	—	71.7
22	1,137.5	533.7	420.0	74	—	114.1	606.6	126	—	—	61.0
24	1,091.6	607.4	495.0	76	—	95.2	574.2	128	—	—	55.7
26	1,005.0	666.8	550.0	78	—	78.5	531.2	130	—	—	50.2
28	896.7	711.8	600.0	80	—	61.6	513.3	132	—	—	45.4
30	779.7	747.1	640.0	82	—	55.2	486.1	134	—	—	40.6
32	706.1	773.9	677.7	84	—	30.4	461.4	136	—	—	35.7
34	629.0	791.5	712.0	86	—	71.9	430.7	178	—	—	30.9
36	554.5	797.2	740.0	88	—	13.8	404.9	140	—	—	26.6
38	480.8	786.9	763.0	90	—	4.4	380.5	143	—	—	23.1
40	411.5	770.2	780.0	92	—	0.0	354.6	144	—	—	19.3

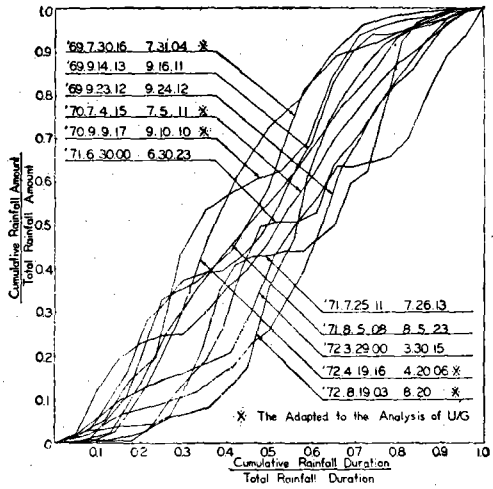
42	346.5	739.8	795.0	94	—	—	330.2	146	—	—	14.4
44	281.6	701.5	805.0	96	—	—	308.0	149	—	—	10.5
46	229.6	637.9	816.4	98	—	—	283.0	150	—	—	6.7
48	160.3	577.1	821.7	100	—	—	261.1	152	—	—	3.2
50	112.6	525.0	824.0	102	—	—	239.5	154	—	—	0.0

부표 2 **I.U.H. Routing Computation**(yean sample)

① Time(hr)	② Area(km²)	③ $(C_0+C_1)1$	④ C_2O_1	⑤ O ③+④	⑥ ⑤×2.78(CMS)	Remarks
0						
1						$K=9.6$
2	39.9	39.9			11.1	$C_0=12$
3	70.0	7.0	3.591	3.99	29.4	$C_0+C_1=0.1$
4	36.6	3.66	9.532	10.591	36.7	$C_2=0.90$
5	40.0	4.0	11.873	13.192	44.1	$t=1$
6	50.0	5.0	14.285	15.873	53.6	$A=1329.2\text{km}^2$
7	100.0	10.0	17.357	19.285	76.1	
8	150.0	15.0	24.621	27.357	40.1	
9	370.0	37.0	35.659	39.621	202.0	
10	213.0	21.3	65.393	72.659	241.0	
11	140.0	14.0	86.693	86.696	279.9	
12	60.0	6.0	90.624	100.693	268.6	
13	57.0	5.7	86.961	96.623	257.6	
14			83.395	92.666	231.8	
15			75.055	83.395	208.7	
16			67.550	75.055	187.8	
17			60.795	67.550	169.0	
18			54.715	60.795	152.1	
19			94.244	54.715	136.9	
20			44.319	49.244	123.2	
21			39.887	44.319	110.9	
			35.898	39.887	96.8	
				35.898	89.8	



도부—1. **Rating Curve for Nakdong River at Waegwan**



부도—2. Dimensionless Rainfall Temporal Pattern at Imha

—기호 해설—

A: 유역면적 Watershed ares, km²)

C: 시간면적도의 기저장(Base length of time-area diagram, hrs)

D. 유효강우지속시간(삼각형단위도에서, Duration of effective rainfall in the triangular unitgraph, hrs)

K: 저류상수(Storage constant, hrs)

k: 감수정수(Recession constant)

L: 하천장(Stream length from the station to the up stream limits of the watershed area, km)

L_{ba}: 하천중심장(Stream length from the station to center of gravity of the watershed. km)

l_i: 하천구간장(Length of each reach of the main stream, km)

L_g: 지체시간(Lag time from center mass of unit rainfall duration t_r, to peak of unitgraph, hrs)

L_{gR}: 수정지체시간(t_R의 경우, Lag time from center mass of unit rainfall duration t_R, to peak of unitgraph, hrs)

n: 감수시점과 종점간의 시간(Time, between the start and end of recession, hrs)

Q: 유효유출(삼각형단위도에서, Effective runoff, mm)

Q_p: 첨두유량(Peak flow, m³/sec)

q_o: 감수시점유량(Flow at the time of recession, m³/sec)

q_t: q_o 이후 t 시간에서의 유량(Flow at t time unit later, m³/sec)

q_p: 비유량(tr의 경우, Peak flow per unit watershed area of unitgraph for standard duration tr, m³/sec/km² 단 三角形단위도에서는 尖頭流量 m³/sec)

q_{pR}: 수정비유량(t_R의 경우, Peak flow per unit watershed area of unitgraph for duration t_R, m³/sec/km²)

S: 주하천평균경사(Equivalent uniform slope of main stream, m/km)

si: 하천구간장(li)의 경사(Slope of each reach(li) m/km)

T_p: 첨두도달시간(Peak time from start of rise to peak flow, hrs)

T_r: 첨두시간으로부터 감수종점까지의 시간(Time in hrs from peak flow to end of recession, hrs)

T_b: 단위도의 기저장(Time base of unitgraph, hrs)

t_r: 유효강우의 지속시간($t_r=\frac{L_g}{3}$에 상당하는, Duration of effective rainfall equal to $\frac{L_g}{3}$, hrs)

t_R: 임의유효강우 지속시간(t_r 과 다른, Duration of effective rainfall other than standard duration tr adopted in specific study, hrs)

$W_{50}W_{75}$: 첨두유량의 50% 및 75%에 해당하는 시간폭(Width of unitgraph at 50 and 75 per cent of the peak flow, hrs)

W_b 비유량에 따르는 단위도의 기저장(Time base of unitgraph based on the q_p, hrs)