

<論 文>

流域特性과 流出特性間의 相關關係 解析에 依한
單位流量圖의 合成
— 漢江 및 錦江流域 —

A Synthesis of Unit Hydrograph by a Correlation
Analysis between the Basin Characteristics and
the Runoff-Characteristics

— Han and Geum River Basin —

| | | |
|-------|------|-----|
| 尹 | 龍 | 男* |
| Yoon, | Yong | Nam |
| 鮮于 | 仲 | 皓** |
| Sonu, | Jung | Ho |

ABSTRACT

An attempt is made to develop a scheme for synthesizing unit hydrograph for any arbitrary small watershed in the Han or Geum River basin, which can be applied in determining various sizes of design flood for flood control projects. Stage gauging stations, seven in the Han and five in the Geum River basin with rating curves, were selected as subbasins for the analysis. Unit hydrographs of 2-hour duration were derived for several heavy storm events using the storm and the corresponding flood runoff data for each subbasin. The Clark method programmed by the Hydrologic Engineering Center, U.S. Corps of Engineers, was utilized for derivation of instantaneous unit hydrographs which were, in turn, converted into 2-hour unit hydrograph. By averaging the 2-hour unit hydrographs from several storm events a representative 2-hour unit hydrograph was determined for each subbasin and hence a separate derivation of dimensionless unit hydrograph was also possible for the Han and Geum River basins.

The physiographic characteristics such as stream length, distance to the centroid of each watershed were correlated with the characteristic parameters of the derived unit hydrograph for the subbasins within two large basins. Correlation analyses between the characteristic parameters were also made. These correlation analyses resulted a series of four equations and a dimensionless unit hydrograph for the two large basins, which made it possible to draw a synthetic 2-hour unit hydrograph for any small watershed within the Han or Geum River basin.

A detailed procedure for applying the derived method for an arbitrary basin is summarized with one sample computation for each of the two basins. A comparison of the actually derived 2-hour unit hydrograph and the synthesized one showed a fair agreement. A recommendation is made for the further study.

* 本會理事·陸軍士官學校 土木工程科 副教授

** 本會理事·서울 大學校 工科學 助教授

1. 序 言

河川水系上の任意地點에 있어서의 洪水量推定은 各種 治水事業의 수행에 필요한 水工構造物의 設計에 基本이 되므로 洪水量의 正確한 推定을 위해 많은 研究가 계속되어 왔다. 洪水量의 決定에 사용되는 一般적인 方法에는 確定論的 方法(deterministic method)과 統計學的 혹은 推計學的 方法(statistical or stochastic method)으로 大別할 수 있는데 前者에 속하는 것으로서는 우리나라에서 오랫동안 사용되어온 Kajiyama 公式과 같은 간단한 經驗公式에 의한 方法과 單位流量圖法(unit hydrograph method) 및 相關關係解析(correlation analysis)에 의한 方法等이 있으며 後者에 속하는 것으로서는 年 最大洪水量系列의 統計學的 혹은 推計學的 分析에 의해 計劃洪水量을 결정하는 方法이다.

우리나라에서 가장 많이 사용되어온 方法은 流域特性 및 降雨特性을 洪水量과 相關시켜 유도한 Kajiyama 公式으로서 많은 使用者 및 研究者들에 의해 問題點이 제기되어 왔으며 實際로 한 流域의 洪水量을 간단한 公式에 의해 결정한다는 것은 現今의 水文學의 解析方法의 水準에서 볼때 未洽한 감이 없지 않다. 따라서 本研究에서는 現在 各國에서 實務에 많이 사용되고 있는 單位流量圖法에 의해 洪水量을 推定할 수 있는 根據를 마련하기 위해 漢江 및 錦江流域에 적용할 수 있는 單位流量圖 合成의 開發을 시도하였다. 合成單位流量圖란 流域의 特性因子를 使用하여 큰 流域內의 任意小流域에 대한 單位圖를 그릴수 있는 方法으로서 우리나라와 같이 水文記錄의 결핍으로 降雨과 流出資料로부터 單位圖를 직접 유도하기 곤란할 경우에는 洪水量의 推定을 위해 대단히 효과적으로 사용될 수 있다.

漢江 및 錦江流域의 單位圖 合成方法을 개발하기 위해 各 流域內에 數個의 小流域을 選定하여 既往 洪水資料와 該當雨量資料로부터 方法을 電算化한 美國水文研究所Clark (U.S Hydrologic Engineering Center, HEC)의 Computer Program (4)*을 사용하여 豪雨事象別 單位流量圖를 유도한 후 이를 平均함으로서 小流域別 單位流量圖를 作成하였다. 流域別 單位圖를 유도한 後 單位圖의 特性因子와 流域特性因子의 相關關係를 表示하는 Snyder 模型(8)에 흡사한 一聯의 經驗公式을 유도하였으며 실제로 유도된 單位圖와 本 方法에 의해 획득된 單位圖를 比較 檢討하였다. 勿論 現在까지 알려진 單位圖의 合成方法에는 Snyder 方法以外에 U.S.SCS(U.S Soil Conservation Service)方法(6), U.S

Corps of Engineers 方法(2), Gray 方法(3) 등이 있으나 Snyder 方法은 他方法에 비해 이용하기가 편리하며 導出된 單位圖와 實測資料로부터 求한 單位圖의 偏差가 他方法보다 작은 것으로 알려져 있으므로 本研究에서는 이方法을 使用하였다.

2. 資 料

2.1 雨量 및 水位觀測點의 選定

合度單位流量圖法의 開發을 위해서는 小流域에 대한 單位圖를 우선적으로 유도해야 한다. 單位圖의 유도를 위해서는 그 流域에 내린 豪雨別 水文曲線과 流域全般에 걸친 平均時間雨量이 필요하므로 해당 流域內에서 豪雨別 水文曲線을 획득할 수 있는 水位標 地點을 選定해야 한다.

漢江 및 錦江流域內에는 많은 自記 및 普通水位標 地點이 있으나 日平均水位를 觀算하는데 필요한 水位流量關係曲線(rating curve)이 있는 水位標 地點이 限定되어 있으며 流量曲線이 있는 水位標 地點이라 할지라도 下流部에 위치한 水位標는 그 流域面積이 너무 커서 單位圖의 基本假定이 성립되지 않아 單位圖 理論을 적용하기가 곤란하다. 따라서 本 研究에서는 豪雨別 流量水文曲線을 얻을 수 있고 流域面積이 약 7,200 km² 미만인 水位標만을 選定하여 分析키로 하였으며 單位圖의 유도에 필요한 該當 雨量資料는 各 水位標 流域

表 1. 選定된 水位標 및 各 水位標 流域內의 雨量 觀測點 一覽表

| 位系名 | 流域名 | 流域面積 (km ²) | 雨量觀測點 |
|-----|-------|-------------------------|--|
| 漢江 | 정선 | 1,170 | 정선, 임계, 진부 |
| | 영월 | 2,421 | 영월, 상동, 정선, 평창, 임계, 진부 |
| | 평창 | 726 | 평창, 대화, 방림, 봉평 |
| | 후포 | 1,611 | 평창, 대화, 방림, 봉평, 수주 |
| | 충주 | 6,750 | 충주, 상동, 임계, 정선, 진부, 영춘, 영월, 평창, 대화, 봉평, 단양, 청천, 수주, 방림, 백운 |
| | 횡성 | 443 | 횡성, 청일 |
| 錦江 | 홍천 | 877 | 두촌, 내촌, 서석 |
| | 용담* | 637 | 천천, 진안, 용담. |
| | 옥천* | 2,943 | 천천, 진안, 안성장, 용담, 무주, 금산, 영등, 옥천 |
| | 송모 | 3,882 | 천천, 진안, 안성장, 용담, 무주, 금산, 영등, 옥천, 안내, 청산, 모서 |
| | 석화 | 1,835 | 병천, 진천, 청주 |
| 공주* | 7,126 | — | |

註: * 錦江流域調査事業 報告書 (9)의 雨量資料使用

* 괄호속의 번호는 參考文獻의 번호임

그림 1. 漢江 流域內 小流域選定 及 雨量觀測網

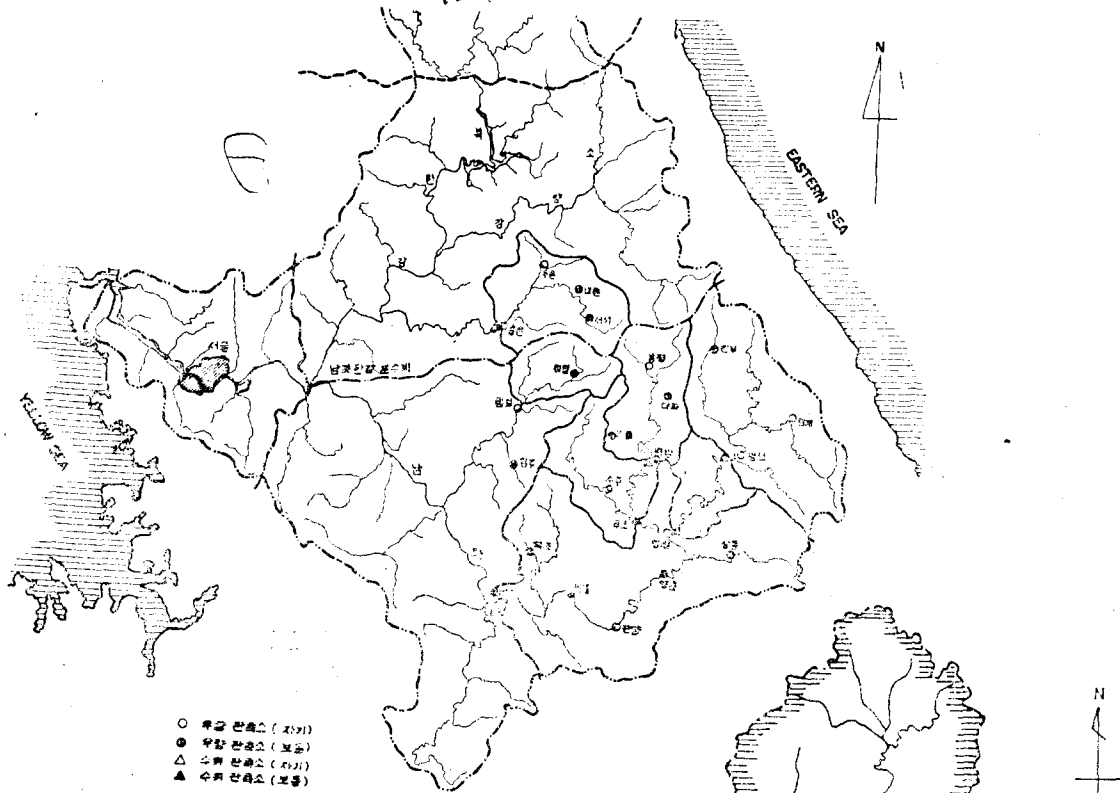
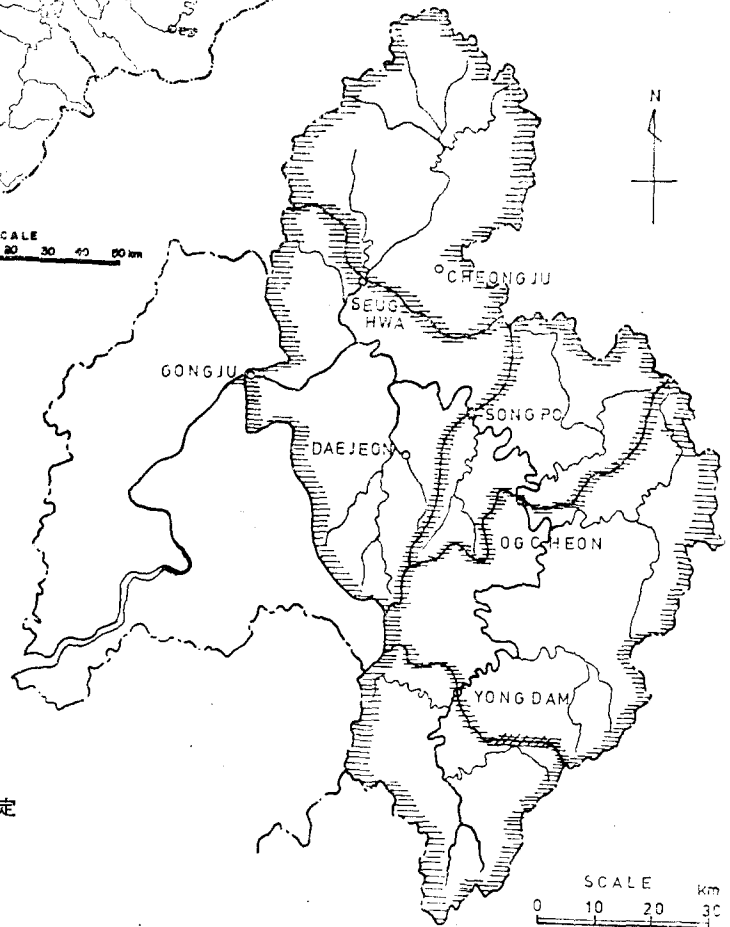


그림 2. 錦江 流域內 小流域選定



內的 既設 日記 및 普通雨量觀測點으로부터 획득하였다. 表 1은 선정된 水位標와 各 水位標 流域內의 雨量 觀測點을 表示하고 있으며 그림 1, 2는 水位標 流域의 概略적인 位置와 流域內 및 인근 雨量觀測點의 位置를 표시하고 있다.

2-2. 雨量資料의 選擇

單位圖의 尤도를 위한 雨量資料는 通常 日記雨量計에 의하여 기록된 豪雨別 累加雨量曲線을 사용하여 時間雨量柱狀圖를 만든 후 이에 해당하는 水文曲線과 연 관시켜 分析하는 것이 원칙이다.

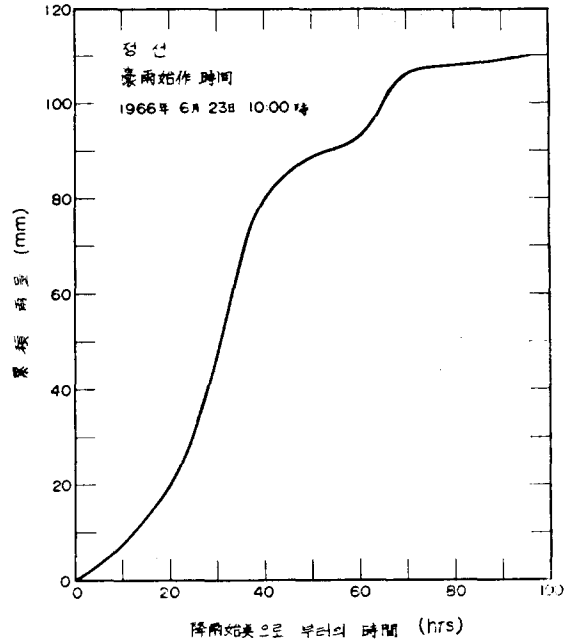
漢江流域에 사용된 雨量資料의 選擇은 流域內에 선정된 7個 水位標 地點의 1963—1967年에 걸친 日平均 水位曲線을 檢査하여 單位圖의 尤도가 대체로 편리한 單純水位水文 曲線을 선택한 後 이에 해당하는 豪雨事象을 선정하였다. 1963—1967年에 걸친 資料를 선택한 理由는 流域內 雨量測點에 있어서의 累加雨量曲線을 建設部가 정리 보관하고 있는 期間이 上記한 5年밖에 되지 않기 때문이었으며 이 期間동안의 豪雨別 累加雨量 記錄이 없는 普通雨量測點의 우량은 印籍 日記記錄을 사용하여 推定하는 方法을 사용하였다(9). 이와같이 획득 또는 推定된 豪雨別, 觀測點別 累加雨量은 點雨量이므로 小流域內에 위치한 各 觀測點의 面積을 고려하여 Thiessen 法에 의해 平均함으로써 7個 小流域의 豪雨別 平均累加雨量을 계산하였다. 漢江流域의 單位圖 尤도에 선택된 豪雨는 表 2와 같으며 上記한 方法으로 얻은 累加雨量曲線中 正線流域에 대한 것을 1個만 表示하면 그림 3과 같다.

錦江流域에 使用한 雨量資料는 產業基地開發公社(當時 韓國水資源開發公社)와 日本工營株式會社가 공동으

表 2. 單位圖의 誘導에 使用된 豪雨事象

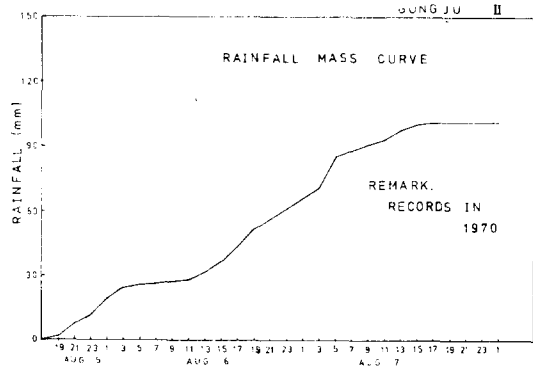
| 水系名 | 流域名 | 選擇된 豪雨의 始作日(年, 月, 日) |
|-----|-----|--|
| 漢 | 正線 | ① 1964, 5/30 ② 1966, 6/23 |
| | 영월 | ① 1964, 5/30 ② 1964, 8/5 ③ 1966, 6/24 |
| | 평창 | ① 1966, 6/30 |
| | 후포 | ① 1966, 6/23 |
| | 충주 | ① 1966, 6/23 |
| 江 | 횡성 | ① 1966, 6/22 |
| | 홍천 | ① 1966, 6/29 |
| 錦 | 용담 | ① 1966, 7/11 ② 1969, 7/30 ③ 1969, 8/6 ④ 1970, 7/4 ⑤ 1970, 9/9 |
| | 옥천 | ① 1968, 7/15 ② 1969, 7/30 ③ 1969, 9/6 ④ 1970, 9/6 ⑤ 1970, 9/9 |
| | 송포 | ① 1966, 7/22 |
| | 석화 | ① 1971, 7/25 |
| | 공주 | ① 1969, 8/6 ② 1970, 8/5 ③ 1970, 9/9 |

그림 3 正線 누가우량곡선



로 1968년부터 4年間에 걸쳐 실시한 流域調査 結果를 수록한 報告書(9)로부터 대부분 획득되었으며 未洽한 것은 建設部의 豪雨別 累加雨量曲線(1963—1967年分)을 참조하였다. 即 공주, 옥천, 용담流域에 대한 것은 報告書(9)로부터 직접 획득했으며 석화流域의 累加雨量 資料는 병천과 진천의 日平均雨量을 참조하여 淸주의 累加雨量曲線에 근사하게 추정하였다. 錦江流域의 單位圖 尤도에 선택된 豪雨事象은 表 2에 수록되어 있으며 公州流域의 1968年 8月 6日~8日 豪雨에 해당하는 平均累加雨量曲線을 表示하면 그림 4와 같다

그림 2 豪雨別 平均 累加雨量曲線(공주)



2-3 洪水量 資料

第 2.2節에서 선택 정리된 小流域別 平均累加雨量資料로부터 時間雨量資料를 얻을수 있으며 이에 해당하는 洪水雨이 時間的 分布를 나타내는 洪水水文曲線을 작성하여야만 單位圖의 尤도가 可能하다.

漢江流域內의 各 小流域에 대한 豪雨別 洪水水文曲線은 自記水位記錄의 획득이 不可能하였으므로 韓國水文調查年報(12)의 觀測點別 日平均 水位를 Rating Curve에 의하여 日平均流量으로 환산함으로써 얻을 수 있었다. 7個 水位標 流域의 各 水位標에 대한 Rating Curve는 韓國水文調查年報 및 建設部 流量彙帳(11)의 流量實測資料를 사용하여 작성하였으며 「洪水量 推定을 위한 合成單位流量圖 誘導의 研究調查 報告書」(10)에 수록되어 있다.

錦江流域內의 各 小流域에 대한 豪雨別 洪水量資料는 主로 前述한 바 있는 錦江流域調查報告書(9)에 수록된 豪雨別 水文曲線으로부터 직접 획득하였으며 석화 및 송포流域에 대한 資料는 漢江流域의 경우처럼 Rating Curve를 사용하여 日平均水位를 流量으로 환산하여 사용하였다.

3. 小流域別 單位流量圖의 誘導

3-1 單位流量圖의 誘導理論

單位圖란 임의의 流域에 一定時間동안 내린 單位有效雨量으로 因해서 그 流域의 出口에 생기는 流出量의 時間的 變化를 표시하는 曲線이라 定義할 수 있다. 單位圖의 誘導方法에는 여러가지가 있으나 一般의 節次는 어떤 流域에 내린 임의의 豪雨로 인한 總流出水文曲線으로부터 基底流量(base flow)을 分離하여 直接流出水文曲線(direct runoff hydrograph)을 얻은 後 直接流出容積을 等價 有效降雨深으로 계산하여 이 값으로써 直接 流出水文曲線의 各 時間縱距를 나눴으므로 얻게 된다. 이와같이 얻어진 單位圖의 持續期間은 計算된 等價有效降雨深과 동일한 有效雨量分을 總雨量柱狀圖(total hyetograph)에서 취함으로써 얻을 수 있다. 그러나 上記한 一般의 方法은 獨立豪雨와 그로 인한 實測水文曲線을 획득할 수 있는 경우에만 쉽게 적용할 수 있으나 보통의 경우 自然界의 豪雨事象은 多 복잡한 것이 통상이므로 上記方法을 실제의 資料에 적용하는데는 여러가지 어려운 點이 많다. 따라서 실제의 複合豪雨로부터 單位圖를 유도하기 위해서는 다음과 같은 節次에 의한 逐次試算法을 사용하는 경우가 많다. 卽, 實測된 洪水水文曲線의 尖頭流量部 附近의 單位圖 縱距를 우선 假定한後 他部分의 縱距는 單位圖下面積이 그 流域에 내린 1cm의 有效雨量과 같게 되도록 調整 概算한다. 誘導되는 單位圖의 일반적인 모양은 上昇部(rising limb)의 上昇率이라든가 減水曲線部의 모양 및 遲滯時間(lag time) 등을 고려하여 결정하게 되며 이와같이 推定한 單位圖를 有效雨量의 算定值에

적용하여 洪水水文曲線을 계산한 後 實測된 水文曲線과 비교하게 된다. 두 曲線間의 偏差가 많으면 上昇部의 上昇率이라든가 下降部의 減水率, 基底流量, 遲滯時間 및 有效雨量의 算定值 등을 조정하면서 꼭 같은 節次를 反復하여 계산된 洪水水文曲線이 實測 水文曲線을 비슷하게 再演할때 까지 試算을 되풀이 하게 되며 誤差基準에 合當할 때에는 그에 해당하는 單位圖를 그 豪雨로 인한 流域의 單位圖로 정하게 된다.

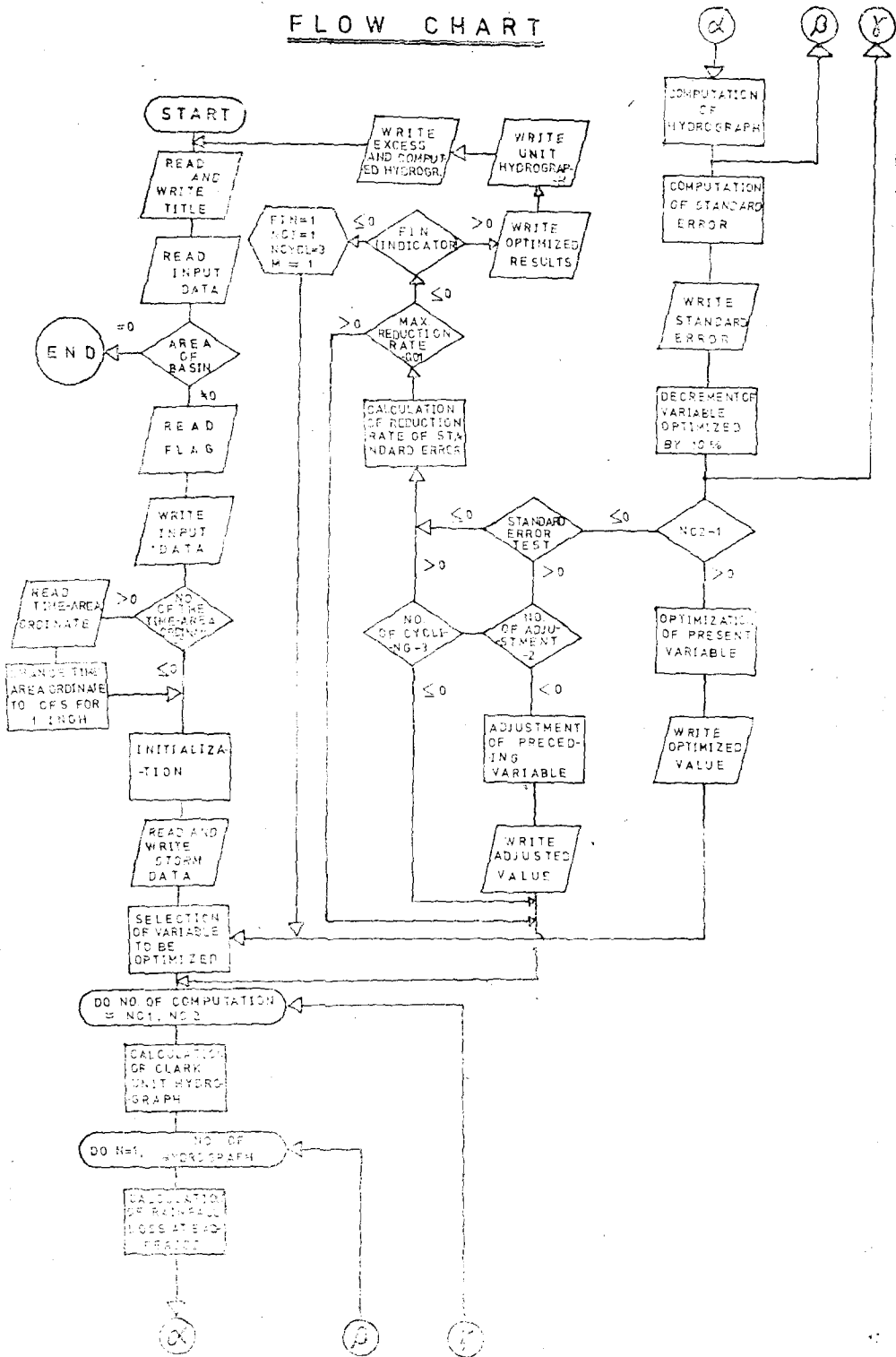
이와같이 얻은 單位圖는 어떤 特定豪雨로 인한 特定 持續期間의 單位圖이며 일반적으로 實測 洪水水文曲線의 構成에서 생기는 觀測誤差라든가 流域內의 豪雨의 空間的 分布特性이 豪雨別로 相異하기 때문에 同一流域에 대하여 數個의 다른 豪雨로부터 誘導되는 同一 持續期間의 單位圖 일지라도 어느정도 다른 것이 보통이다. 따라서 한 流域에 대한 同一한 持續期間을 가진 여러개의 單位圖를 數個의 豪雨로부터 유도하여 이를 平均함으로써 流域의 代表單位圖를 얻게 되는 것이다. 이때 數個의 유도된 單位圖는 算術的으로 하는 것이 아니라 各 單位圖의 尖頭流量 및 그의 發生時間을 算術平均하여 尖頭流量點의 座標를 결정하고 이 點을 통하여 유도된 單位圖의 모양과 비슷하게 流域의 代表 單位流量圖를 作圖하게 된다.

3-2 本 研究에 採擇된 單位圖의 誘導方法

第3. 1節에서 언급한 바와 같이 逐次試算法으로 얻은 特定持續期間의 單位圖로부터 계산된 水文曲線과 實測 水文曲線의 접근을 위해 使用되는 調整變數는 基底流量(base flow), 雨量의 損失率(rainfall loss rate) 및 單位圖(unit hydrograph)의 縱距이다. 따라서 이 세가지 變數를 여러가지로 組合함으로써 동일한 洪水水文曲線을 合成할 수 있으므로 세 變數를 合理的으로 調整하는 基準이 필요할 뿐만 아니라 현명한 工學的 판단이 필요한 것이다. 卽 解析에 있어서의 主觀性을 배제하기 위하여 基底流量의 分離라든가 損失雨量의 決定方法 등에 客觀的인 基準이 되는 模型을 定立해야 한다는 것이다.

따라서 本 研究에서는 一貫性있는 解析을 위하여 美國水文研究所(HEC)에서 개발한 "Unit Graph and Loss Rate Optimization"이라는 HEC Computer Program 23-J2-L211을 사용하여 雨量, 流量 및 其他 필요한 資料를 처리하여 單位圖를 유도하였다. HEC 프로그램에서는 流域의 瞬間單位圖(instantaneous unit hydrograph)를 유도하는 Clark 方法(1)을 사용하였으며 일반적인 節次는 前節에서 概念的으로 설명한 逐次試算에 의한 Optimization Technique을 적용한 것이다 프로그램 自體에 대한 상세한 內容을 위해서는 參考文

그림 5.



獻(10)의 參照를 바라며 計算의 一般的인 흐름만을 그림 5의 Flow Chart에 표시하였다.

HEC 프로그램의 骨幹을 이루는 雨量의 損失率 決定方法과 基底流量의 分離方法 및 Clark 方法의 內容等에 대하여 좀 더 상세하게 살펴 보면 다음과 같다.

1. 雨量의 損失率 決定方法

지금까지의 各種 研究에 의하면 雨量의 損失은 降雨強度의 槓數로 표시될 수 있는 것으로 알려져 있으며 이는 한 流域의 多様な 土壤種類라든가 植生波復等을 고려하면 대체로 合理的인 關係라 할 수 있다. 따라서 HEC 프로그램에서 다음과 같은 非線型 關係式을 사용하였다.

$$L = kP^E \dots\dots\dots(1)$$

여기서 L은 雨量의 損失率(mm/hr)이며 K는 土壤의 含水程度의 增加에 따라 減少되는 損失係數, P는 降雨強度(mm/hr)이고 E는 流域의 各種 特性因子의 變化에 관계되는 指數로서 零에서 1.0 사이의 값을 가진다. 式(1)로부터 알 수 있는 바와 같이 E가 零이면 損失率은 降雨強度에 無關하며 E가 1.0이면 損失率은 降雨強度에 직접 比例하게 된다. 自然狀態에서 발생하는 豪雨分析 結果에 따르면 E는 대체로 0.3~0.9의 값을 가지며 小流域의 暴雨解析을 위해서는 0.7의 값이 추천되고 있다.

2. 基底流量의 分離方法

實測된 總流出水文曲線으로부터 基底流量을 分離하는 方法에는 여러가지가 있으나 본 프로그램에서는 그림 6에 나타낸 바와 같이 先行洪水의 減水曲線을 연장하여 分析코져 하는 水文曲線으로부터 基底流量을 分離시키는 方法을 채택하였으며 分析코져하는 實測洪水水文曲線의 減水流量(recession flow)은 축차적으로 유도한 試算單位圖(trial unit graph)에 의하여 계산하였다.

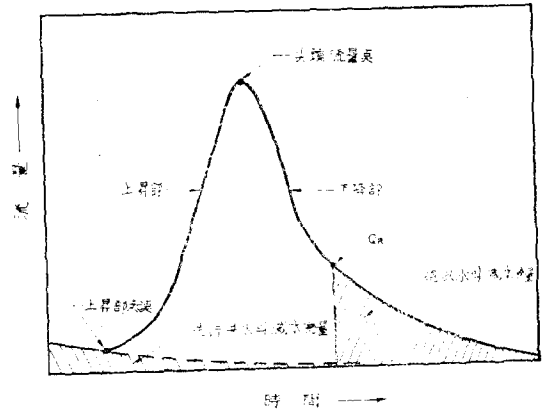
減水曲線은 通常 指數函數曲線을 그리는 特性을 가지고 있으므로 先行 및 該當 水文曲線의 減水量은 다음과 같은 指數函數關係로부터 求하였다.

$$Q_t = \frac{Q_{t-1}}{B^{t-1}} \dots\dots\dots(2)$$

여기서 Q_t 및 Q_{t-1} 은 減水曲線上의 어떤 時間區間의 終點과 始點에 있어서의 流量(m^3/sec)이며 B는 어떤 時間 및 그로부터 10時間區間 後의 流量間의 比를 표시한다.

이와 같이 계산되는 先行減水流量은 單位圖를 적용하여 계산한 水文曲線에 時間別로 加算되며 單位圖에

그림 6. 基底流量의 分離方法



의한 水文曲線의 계산은 그림 6의 Q_a 點까지 계속되고 그以後의 流量은 式(2)에 의하여 계산함으로써 逐次的으로 유도되는 單位圖의 적용에 의한 水文曲線計算을 마치게 된다. 流量 Q_a 은 總 水文曲線의 減水曲線이 式(2)의 關係로부터 이탈하기 시작하는 點으로서 減水曲線을 半對數紙에 그려 直線으로부터 變移하는 點을 결정함으로써 얻을 수 있고 B는 半對數紙에 표시되는 直線上에서 10時間區間만큼 떨어진 두 點의 流量比를 계산하면 결정된다.

3. Clark 方法에 의한 瞬間單位圖의 誘導方法

瞬間單位圖(instantaneous unit hydrograph)란 任意 流域에 瞬間的으로(持密期間이 零인) 내리는 1cm의 有効雨量으로 인한 그 流域出口에서의 水文曲線을 의미한다. Clark는 瞬間單位圖를 유도하기 위하여 두 個의 變數와 流達時間-累加面積關係를 사용하였다. 첫 번째 變數는, 流達時間(time of concentration, t_c)으로서 流水가 流域의 最遠點으로부터 流域의 出口까지 도달하는데 所要되는 時間을 말하며 流域의 遲滯時間과 거의 비슷하다. 流域의 遲滯時間은 有効雨量의 終了時間으로부터 直接流出水文曲線 下降部의 變曲點까지의 時間間隔으로 概算되기도 한다. 두 번째로 필요한 變數는 時間의 單位를 가지는 貯溜常數(R)로서 自然河道內의 貯溜量이 洪水에 미치는 貯溜效果를 표시하는 것이며 이는 直接流出水文曲線의 下降部 變曲點에서의 流量 Q_{inf} 를 그 點(時間)에 있어서의 流量의 變化率 $(\frac{dQ}{dt})_{inf}$ 로 나눈으로서 算定할 수 있다. 即

$$R = \frac{Q_{inf}}{(\frac{dQ}{dt})_{inf}} \dots\dots\dots(3)$$

上記한 두가지 變數以外에 Clark 方法의 적용에 추가적으로 필요한 資料는 等時間線(isochrone)에 의하여 流域을 여러개의 小區域으로 나누어 流達時間別 累加面積을 求하여 얻는 流達時間 累加面積關係이다. 이때 等時間線의 時間間隔은 일반적으로 豪雨로 인한 流出의 空間의 分布를 적절히 표시할 수 있을 정도로 짧아야 하며 雨量柱狀圖의 時間雨量의 時間간격보다 짧아야 정확한 계산이 가능하다. HEC 프로그램을 사용함에 있어서 流達時間—累加面積資料를 사용하면 電子計算時間을 절약하여 비교적 빨리 單位圖를 유도할 수 있으나 이 關係資料가 없을 경우에는 프로그램內에서 다음 式과 같은 關係를 假定하여 常數 및 指數를 결정하여 사용토록 되어 있다.

$$A = kT^E \quad (0 < T < 0.5 \text{ 일 때}) \dots\dots(4)$$

$$10 - A = k(1 - T)^E \quad (0.5 < T < 1.0 \text{ 일 때}) \dots\dots(5)$$

여기서 A는 全流域面積에 대한 小區域面積의 比이며 T는 全流達時間에 대한 區間流達時間의 比이고 k 및 E는 常數이다.

等時間線間의 面積으로부터 다음 區間으로 흘러내리는 流出容積의 單位는 mm·km²이므로 이를 等時間線間의 간격으로 나누면 流出量을 얻을 수 있다. 即,

$$I_i = k \frac{a_i}{\Delta t} \dots\dots(6)$$

여기서 I_i 및 a_i는 任意 時間區間 i의 終點時間에 있어서의 水文曲線의 縱距(m³/sec) 및 面積에 有効降雨深을 곱한 값(mm·km²)을 표시하며 K는 單位換算係數로서 0.278의 값을 가지며 Δt는 計算에 사용되는 時間間隔이다.

式 (6)으로 표시되는 洪水水文曲線을 各 小區間을 통해 追跡하는 方程式은 다음과 같이 表示될 수 있다.

$$O_i = CI_i + (1 - C)O_{i-1} \dots\dots(7)$$

여기서 O_i는 i번째 時間區間의 終點時間에 있어서의 流域出口에서의 流出量(m³/sec)이며 I_i는 同一時間에 各 小區域으로 흘러 들어가는 流入量(m³/sec) 혹은 흘러나오는 流出量(m³/sec)이고 C는 無次元追跡常數로서 다음 式에 의하여 決定된다.

$$C = \frac{2\Delta t}{2R + \Delta t} \dots\dots(8)$$

여기서 Δt는 계산에 사용되는 水文曲線 縱距의 時間간격이며 R은 前述한 바 있는 貯溜常數로서 式(3)에 의하여 결정할 수 있다.

時間雨量 資料와 流達時間—累加面積關係 資料를 사용하여 式(7)에 의해 追跡하여 얻는 水文曲線은 바로 瞬間單位圖이며 이 瞬間單位圖로부터 持續期間이 Δt

인 單位圖를 얻기 위해서는 Δt時間만큼 지체시켜 두 瞬間單位圖를 平均하면 된다. 即,

$$O_i = \frac{1}{2} (O_i + O_{i-1}) \dots\dots(9)$$

어떤 流域에 대한 瞬間單位圖로부터 持續期間이 Δt가 아닌 任意 持續期間의 單位圖를 얻기 위해서는 다음 式을 使用한다.

$$O_i = \frac{1}{n} \left[\frac{1}{2} O_{i-n} + O_{i-n+1} + \dots + O_{i-1} + \frac{1}{2} O_i \right] \dots\dots(10)$$

여기서 O_i는 계산에 사용한 時間區間이 Δt이고 持續期間이 D時間인 單位圖의 時刻 i에 있어서의 縱距(m³/sec)이며 n=D/Δt이다.

3-3 流域別 單位圖의 誘導節次

本 研究에서 선정된 漢江 및 錦江流域內의 12個 水位標 流域에 대한 單位圖의 유도를 위해서는 前述한 바와 같이 3.2節에서 설명된 要領를 프로그램화한 HEC 프로그램을 사용하였다. 本 프로그램의 Input Data로는 前述한 2個의 調整變數와 各 流域의 全流達時間, 流達時間—累加面積關係, 時間雨量 및 實測流量資料가 骨幹을 이루며 이 Input Data가 프로그램에 의해 처리되면 單位圖의 縱距와 最適計算結果가 Output로 프린트되도록 되어 있다. 最適計算結果는 時間別 雨量, 損失雨量, 有効雨量, Clark 方法에 의한 計算流量 및 實測流量의 順으로 프린트되게 되어 있어 計算된 水文曲線과 實測水文曲線의 比較가 용이하도록 되어 있다.

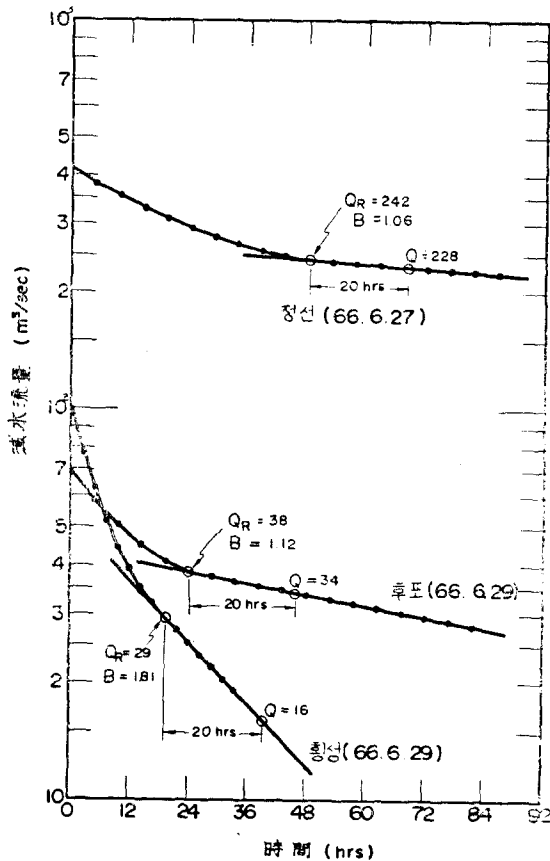
上記한 Input data中 雨量의 損失率은 통상 많이 사용하는 E=0.7(式 1)을 사용하여 計算을 시작하였으며 프로그램內에서 E값을 조정해 가면서 Optimization을 할 수 있게 되어 있으므로 E값의 變動을 가능케 하였다. 基底流量의 分離를 위한 減水流量의 決定을 위해서는 J:界部の 起點流量을 實測水文曲線으로부터 읽고 分析코져 하는 水文曲線의 減水曲線上의 Q_R 및 B值(式 2)는 그림 7의 정선, 후포, 황정 水位標에 대하여 表示한 바와 같이 實測水文曲線別로 各各 求하여 사용하였다.

各 流域의 全流達時間 및 區間別 流達時間은 Kirpich의 經驗公式(5)을 사용하여 계산하였다. 即

$$t_c = 0.06626 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \dots\dots(11)$$

여기서 t_c는 流達時間(hr)이며 L은 流域內 流路의 延長(km)이고 S는 流域의 平均傾斜이다. 各 流域에 대한 流達時間—累加面積資料는 流域別로 결정하여 Input data로 사용해 보았으나 적절한 결과를 얻을 수 없었으므로 最終적으로 사용한 資料에서 除外하였다. 이는

그림 7. Q_R 및 B 値의 決定



Kirpich의 經驗公式이 美國內 農耕地를 대상으로 開發 되었기 때문에 우리나라 流域에는 적합하지 않는 것으로 풀이된다.

Input data로 사용된 雨量資料는 이미 記述한 바와 같이 豪雨別로 各小流域에 걸쳐 平均한 2時間 間隔의 雨量이며 流量資料 역시 各 豪雨에 相應하는 實測 流出水文曲線을 2時間 間隔으로 읽어 Input data로 사용하였다.

HEC 프로그램은 時間雨量 및 水文曲線의 計算時間 間隔 Δt 에 해당하는 持續期間의 單位圖를 瞬間單位圖로부터 유도토록 作成되어 있으므로 電算結果로 얻게 되는 單位圖의 持續期間은 2時間일 것임은 分明하다.

3-4 誘導된 小流域別 2時間 單位圖

前節에서 記述한 바와 같이 各小流域別로 정리된 Input data를 Optimization Program에 넣어 計算함으로써 流域別 2時間 單位圖를 作成하였다. 프로그램內에서 試算結果를 표시하기 위하여 그림 8 및 9에는

漢江流域內의 正線流域과 錦江流域內의 公州流域에서 의 1個 豪雨事象에 대한 最適 試算結果를 표시하였다 그림 8 및 9의 計算水文曲線은 여러개의 調整變數들 을 數차례에 걸쳐 最適화하면서 電算을 반복한 결과 實測值와 計算值間의 標準偏差가 가장 작은 것을 택한 것이며 이와 같이 계산된 水文曲線에 相應하는 單位圖가 바로 該當流域의 2時間 單位圖가 되는 것이다.

表 2에 수록한 바 있는 小流域別 豪雨事象에 해당 하는 2時間 單位圖를 上記한 方法으로 유도한후 單位圖의 平均方法에 의해 各小流域의 2時間 單位圖를 유도한 결과는 그림 10 및 11과 같다.

3-5 無次元 2時間 單位圖

無次元 單位圖는 單位圖의 橫軸 및 縱軸을 無次元化 한 것으로서 한 流域의 平均的인 洪水流出持性을 표시 하며 이는 合成單位圖의 精確한 適用에 큰 도움이 된다. 美國 SCS의 無次元 單位圖는 바로 이에 속하며한 流域에 대한 任意 持續期間의 單位圖는 이 無次元 單位圖로부터 作圖될 수 있다.

本 研究에서도 小流域別로 유도된 2時間 單位圖의 時間(t)別 流量(Q)를 各流域의 遲滯時間 + $(\frac{1}{2})$ 單位 持續期間(t_p)과 2時間 單位圖의 尖頭流量(Q_p)으로 각각 나누어 t/t_p 에 대응하는 Q/Q_p 값을 計算하여 그림 12 및 13과 같이 漢江 및 錦江流域에 대한 無次元 2時間 單位圖를 作成하였다. 그림 12 및 13의 無次元 單位圖를 관찰하면 單位圖의 上昇部는 小流域에 關係 없이 대체로 1個의 曲線으로 표시할 수 있으나 下降部는 流域別로 어느정도 相異함을 발견할 수 있다. 下降部 曲線이 流域別로 어느정도 相異함은 各流域의 減水特性이 各各 다를을 나타내므로 1個의 曲線으로 表示하지 않았으나 上昇部는 流域別로 큰 偏差가 없으므로 1個의 回歸曲線으로 나타낼 수 있었다. 따라서 그림 12 및 13의 상승부 曲線을 사용하면 任意流域의 遲滯時間(t_p)과 2時間 流量圖의 尖頭流量(Q_p)이 결정되는 限 洪水量이 上昇하는 期間동안의 任意 時刻(t)에 있어서의 洪水量(Q)을 算定할 수 있으며 이는 合成 單位圖法의 適用方法에서 再言하기로 한다.

4. 流域別 合成單位流量圖法의 導出

4-1 合成單位流量圖法의 導出方法

일반적으로 큰 流域內에 위치하는 任意의 未計測된 小流域에 대한 流單位圖를 合成하는 方法에는 Snyder 型의 方法과 無次元 水文曲線法의 두 가지가 있다.

그림 8. 雨量柱狀圖와 實測 및 計算된 水文曲線(정선)

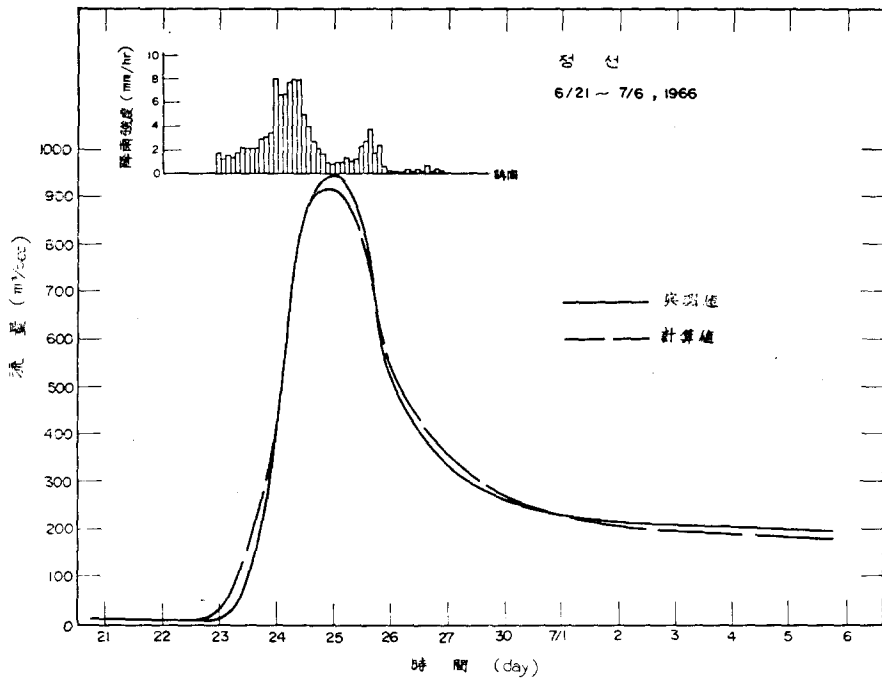


그림 9. 雨量柱狀圖와 計測 및 實算된 水文曲線(公州)

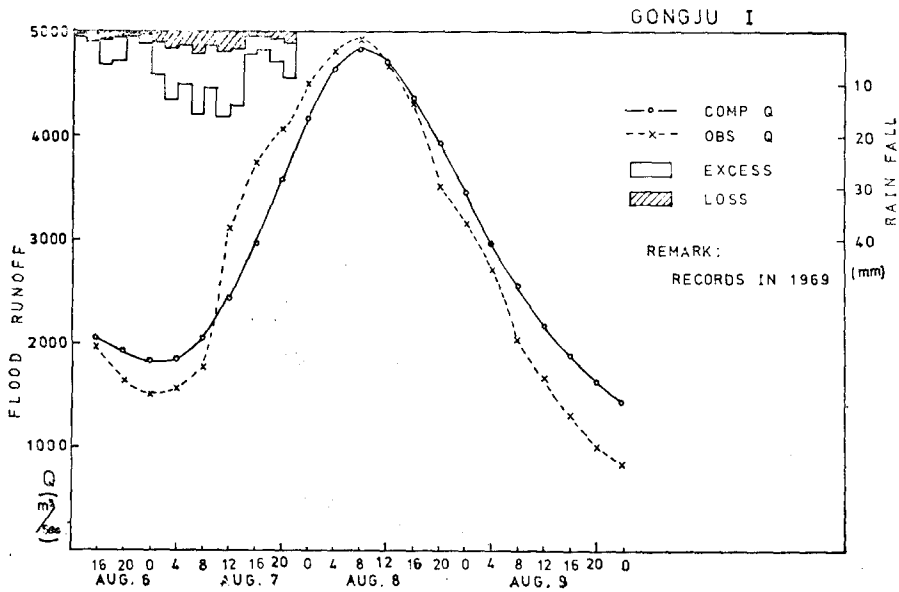


그림 10. 時間 單位 流量圖(漢江流域)

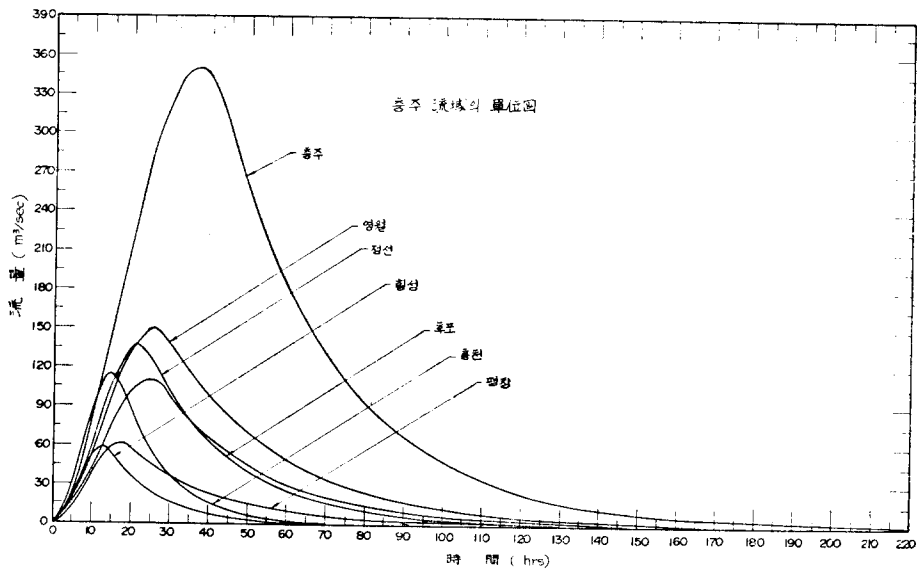


그림 11. 2時間 單位 流量圖(錦江流域)

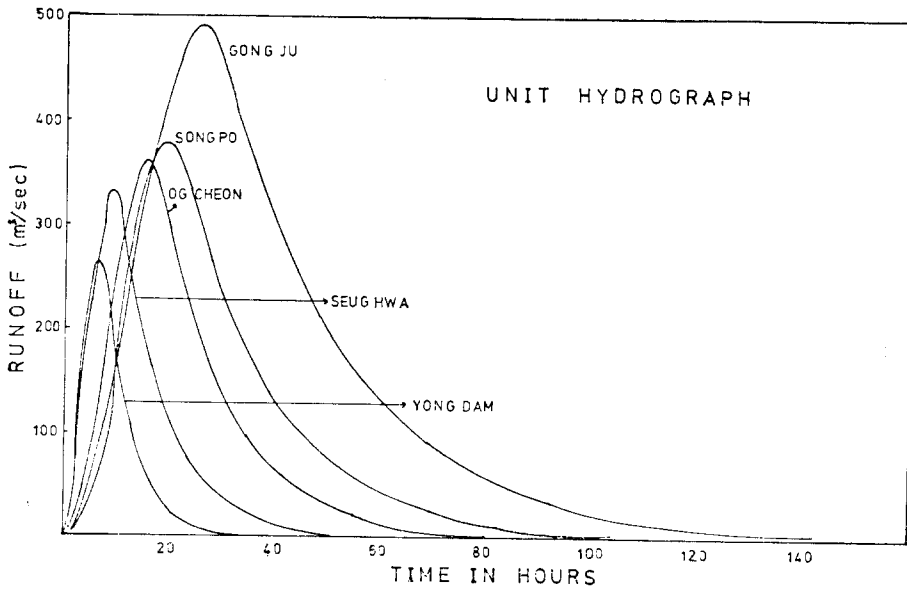


그림 12. 無次元 單位圖(漢江流域)

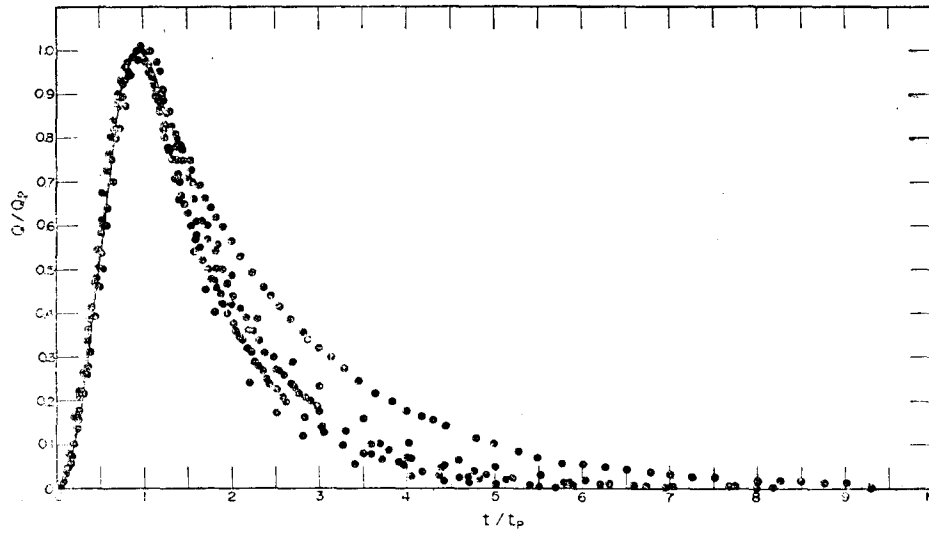
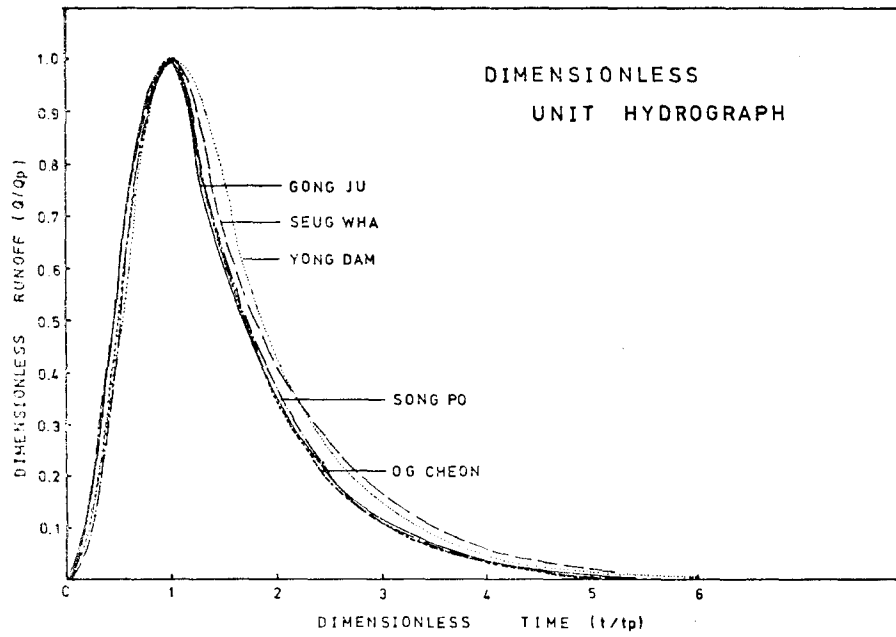


그림 13. 無次元 單位圖(錦江流域)



Snyder 型의 方法은 流域內의 實測水文曲線과 雨量資料로부터 유도한 單位圖의 特性因子를 流域의 水文學의 特性을 代表하는 地形因子와 相關시켜 流域全般에 대한 平均의關係를 유도함으로써 任意의 小流域에 적용할 수 있는 單位圖를 合成하는 方法이다. Snyder는 流域의 遲滯時間을 流域의 地形因子인 流路延長 및 流域重心까지의 거리와 相關시켰으며 單位圖의 單位面積當 尖頭流量과 基底時間을 遲滯時間과 相關시켰다. Snyder 方法을 보완하기 위하여 美國工兵團(U.S Corps of Engineers)에서는 單位圖 尖頭流量의 50% 및 75% 流量에 해당하는 單位圖의 時間幅을 單位面積當 尖頭流量과 相關시킨 바 있다.

無次元 水文曲線法은 美國土壤保存局(U.S. Soil Conservation Service)에서 개발한 方法으로 美國內 여러 地域의 大小 流域으로부터 얻은 實際의 單位圖를 해석하여 無次元 水文曲線(dimensionless hydrograph)을 사용토록 한 方法이다. 이 無次元水文曲線은 流域의 遲滯時間에 대한 時間比에 해당하는 尖頭流量에 대한 流量比로 표시하는 水文曲線이며 流域의 遲滯時間을 流域面積 및 降雨持續期間과 상관시키고 尖頭流量을 流域面積 및 遲滯時間과 相關시킴으로서 小流域에 적용할 수 있다.

本 研究에서는 小 流域別, 代表單位圖를 유도한 後 Snyder 型의 合成單位圖法에 適合한 模型을 개발하였으며 Snyder 方法의 弱點을 보완하기 위하여 S.C.S 方法을 併用하였다.

本 研究를 위한 單位圖의 유도에서 선택된 持續期間은 2時間이므로 앞으로 유도되는 一切의 相關關係式은 2時間 單位圖의 合成을 위한 式임을 밝혀둔다.

4-2 流域의 遲滯時間과 流域特性因子間의 關係

한 流域의 遲滯時間은 대체로 流域의 特性因子에 속하는 流域의 形狀, 流路, 延長, 流域面積, 河道 및 流域의 傾斜, 水系密度, 河道貯溜能力 等の 影響을 받는 것으로 알려져 있으나 本 研究에서는 Snyder 方法에서처럼 全 流路延長 및 流域出口로부터 流域 中心에 가장 가까운 流路上의 點까지의 流路延長과 相關시켰으며 일반적인 關係를 표시하면 다음과 같다.

$$t_p = C_1 (LL_c)^m \dots\dots\dots(12)$$

여기서 t_p 는 流域의 遲滯時間(hrs)이며 L 은 全流路延長(km) L_c 는 流域出口로부터 流域中心에 가장 가까운 流路上의 點까지의 流域延長이며 C_1 및 m 은 回歸分析에 의해 결정되는 常數이다.

漢江 및 錦江流域에 대하여 式 (12)의 關係를 수립하기 위하여 漢江流域의 7個 및 錦江流域의 5個 小流

表 3. 小流域別 遲滯時間과 L, L_c 值

| 區分 | | 遲滯時間 t_p (hrs) | 流路延長 L (km) | 重心까지距離 L_c (km) |
|-----|-----|---------------------|------------------|----------------------|
| 水位標 | 流域名 | | | |
| 漢 | 정선 | 21.60 | 108.6 | 53.6 |
| | 영월 | 25.34 | 186.5 | 80.0 |
| | 평창 | 16.39 | 75.1 | 43.5 |
| | 후포 | 24.53 | 137.5 | 81.0 |
| | 충주 | 36.59 | 290.9 | 133.0 |
| | 횡성 | 12.84 | 49.1 | 25.8 |
| 江 | 홍천 | 14.50 | 78.5 | 26.5 |
| | 용담 | 5.55 | 63.7 | 30.0 |
| 錦 | 옥천 | 14.58 | 175.0 | 72.3 |
| | 송포 | 18.65 | 239.0 | 95.5 |
| | 석화 | 7.86 | 91.0 | 31.0 |
| | 공주 | 25.61 | 312.0 | 104.5 |

域의 1:50,000 地形圖로부터 측정한 L_c 와 小流域別로 유도된 代表單位圖로부터 결정된 t_p 의 값은 表 3과 같다. 全 流路延長 L 은 本流의 水源地點으로부터 流域出口까지 求長器로 측정하였으며 L_c 의 測定을 위한 流域重心은 各 小流域을 두꺼운 종이에 그려서 流域圖를 오린 후 의자 3個點에 핀을 꽂아 錐를 단 실을 늘어 뜨려 세 直線의 交點을 구함으로써 결정하였다.

表 3의 流域別 t_p 와 LL_c 값을 全附數紙에 표시한 것이 그림 14 및 15이며 最少自乘法에 의한 回歸分析으로 얻은 常數 C_1 및 m 의 값과 回歸直線의 方程式은 그림에 표시된 바와 같다.

그림 14 및 15로부터 알 수 있는 바와같이 漢江과 錦江 流域의 C_1 와 m 값은 상당한 差異를 갖고 있다. 이는 두 流域의 流出特性이 서로 다름을 간접적으로 표시하는 것으로 풀이된다.

4-3 誘導된 單位圖의 特性變數間의 關係

1. 單位圖의 單位面積當 尖頭流量과 遲滯時間間의 關係

한 流域의 遲滯時間(t_p)은 그 流域의 地形學의 特性因子의 影響을 크게 받으며 地形學的 特性因子는 流域의 流出特性을 좌우하게 된다. 따라서 遲滯時間과 流出特性中 대단히 重要的 因子인 單位面積當 尖頭流量(g_p) 사이에는 밀접한 關係가 있는 것으로 알려져 있으며 Snyder에 의하면 일반적으로 다음 式과 같은 關係로 표시된다.

$$g_p = C_2 \frac{2.778}{(t_p)^a} \dots\dots\dots(13)$$

여기서 C_2 및 a 는 回歸分析에 의하여 결정되는 常數이다.

그림 14. 遲滯時間과 L·Lc간의 關係(漢江流域)

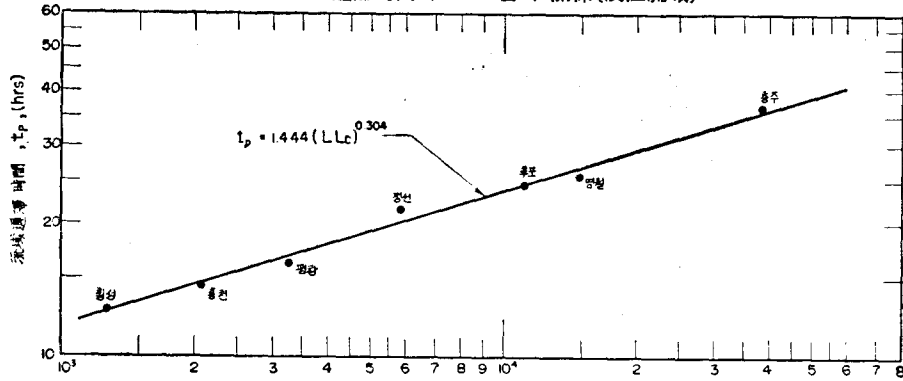


그림 15. 遲滯時間과 L·Lc간의 關係(錦江流域)

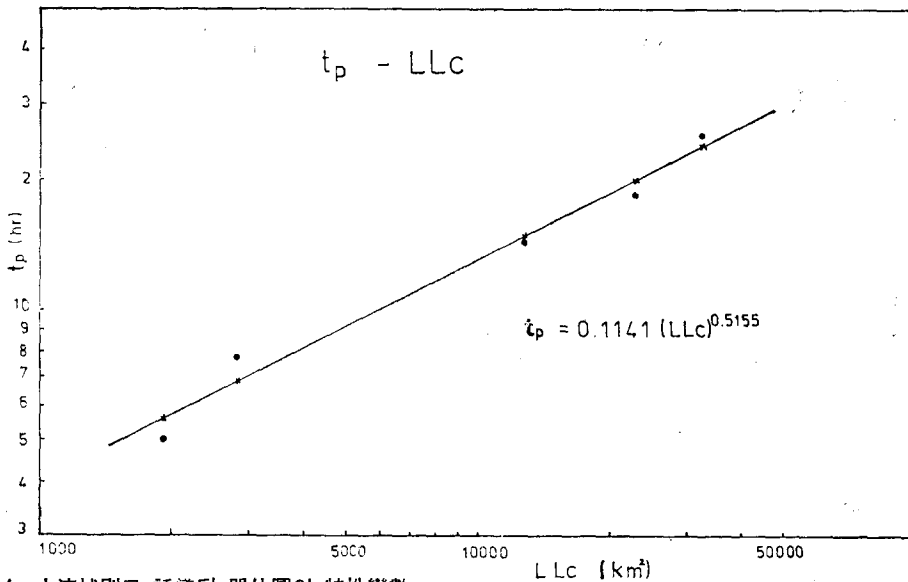


表 4 小流域別로 誘導된 單位圖의 特性變數

| 區分 水位標 流域名 | 流域面積 A (km ²) | 單位圖의 尖頭流量 Qp (m ³ / sec) | 單位面積 當尖頭流 量 qp (m ³ / sec/km ²) | 遲滯時間 | 遲滯時間 | 基底時間 | 75% | W ₇₅ | 50% | W ₅₀ | 25% | W ₂₅ | |
|------------------|------------------------------|--|---|----------|-----------|----------|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|-------|-----------------|------|
| | | | | tp (hrs) | tp (days) | T (days) | Qp (m ³ / sec) | (hrs) | Pp (m ³ / sec) | (hrs) | (hrs) | | |
| 漢江 | 정선 | 1,710 | 135.05 | 0.0790 | 21.60 | 0.902 | 6.59 | 101.30 | 15.9 | 67.53 | 28.7 | 33.76 | 47.2 |
| | 영월 | 2,421 | 150.14 | 0.0620 | 25.34 | 1.056 | 7.21 | 112.55 | 19.2 | 75.07 | 35.8 | 37.54 | 60.6 |
| | 평창 | 726 | 60.88 | 0.0839 | 16.39 | 0.684 | 5.95 | 45.55 | 14.4 | 30.44 | 26.0 | 15.22 | 43.3 |
| | 후포 | 1,611 | 109.92 | 0.0682 | 24.53 | 1.021 | 7.45 | 82.45 | 18.3 | 54.96 | 32.7 | 27.48 | 54.4 |
| | 충주 | 6,750 | 350.65 | 0.0520 | 36.59 | 1.524 | 9.10 | 262.90 | 26.2 | 175.33 | 44.0 | 87.6 | 71.7 |
| 江 | 횡성 | 443 | 52.02 | 0.1176 | 12.84 | 0.535 | 4.96 | 39.00 | 10.6 | 26.01 | 19.0 | 13.01 | 31.3 |
| | 홍천 | 877 | 68.73 | 0.0782 | 14.50 | 0.604 | 6.12 | 51.54 | 13.7 | 34.37 | 26.8 | 17.18 | 48.0 |
| 錦江 | 용담 | 637 | 179.63 | 0.282 | 5.05 | 0.210 | 1.50 | 134.72 | 4.8 | 89.82 | 8.0 | 44.91 | — |
| | 옥천 | 2,943 | 359.05 | 0.122 | 14.58 | 0.608 | 3.42 | 269.29 | 11.0 | 179.53 | 18.0 | 89.77 | — |
| | 송포 | 3,882 | 372.67 | 0.096 | 18.65 | 0.777 | 4.42 | 279.50 | 13.0 | 186.34 | 23.0 | 93.17 | — |
| | 석화 | 1,835 | 335.81 | 0.183 | 7.86 | 0.328 | 2.33 | 251.86 | 7.0 | 167.91 | 12.5 | 83.96 | — |
| 江 | 공주 | 7,126 | 491.69 | 0.069 | 25.61 | 1.067 | 6.00 | 368.77 | 18.5 | 245.85 | 33.5 | 122.93 | — |

式 (13)에 표시한 關係와 其他 合成單位圖의 作成에 필요한 流域特性 및 單位圖의 特性變數를 小流域別로 要約한 結果가 表 4에 수록되어 있다.

表 4에 수록된 流域特性因子는 地形圖로부터 획득되었으며 單位圖의 特性變數는 앞에서 유도된 流域別代

表單位圖로부터 求하였다.

式 13의 關係를 수립하기 위하여 q_p 와 t_p 를 全對數紙에 表示한 結果는 그림 16 및 17과 같으며 回歸直線의 方程式은 그림에 표시된 바와 같다. 그림 16으로부터 볼 수 있는 바와 같이 北漢江 流域에 위치한 洪천

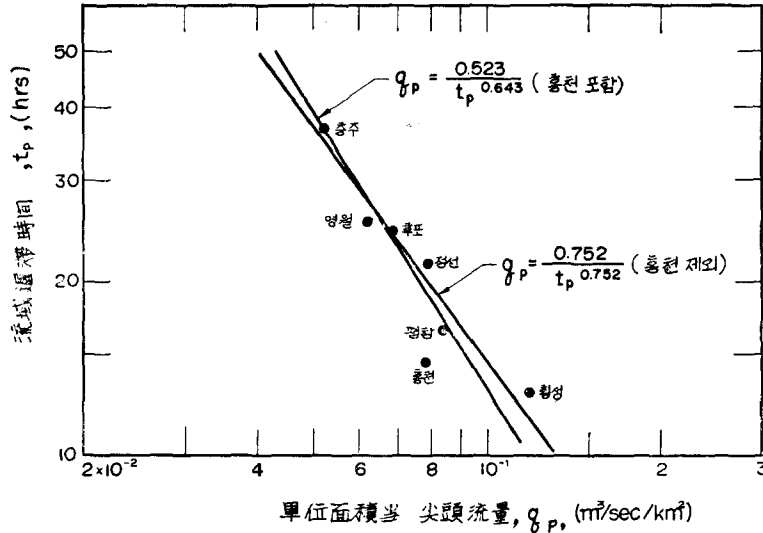


그림 16.

單位面積당 첨두유량과 遲滯時間과의 關係(漢江流域)

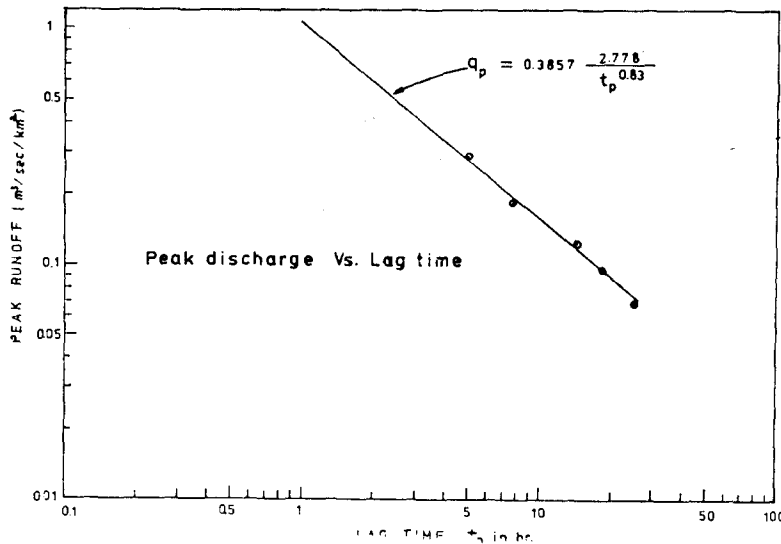


그림 17.

單位面積당 첨두유량과 遲滯時間과의 關係(錦江流域)

水位標 流域에 대한 資料點은 南漢江 流域內의 6個 流域의 것으로부터 꽤 큰 偏差를 보이고 있다. 이는 北漢江과 南漢江 流域의 流出特性이 相異하기 때문인 것으로 思料된다. 따라서 南漢江流域에 대한 $q_p \sim t_p$ 關係는 6個 流域의 資料를 사용하여 回歸分析하였으며 北漢江 流域에 대해서는 洪川 및 南漢江의 6個 流域資料를 통틀어서 回歸分析 하였다. 錦江 流域의 5個 小流域 資料는 대체로 양호한 關係를 나타내고 있으나, 漢江流域과 약간 다른 C_b 및 a 값을 가진다. 이 點 域

시 流域의 流出特性이 各各 相異하기 때문인 것으로 판단된다.

2. 單位圖의 基底時間과 遲滯時間間的 關係

單位圖의 基底時間(base time)은 洪水流出의 持續期間을 表示하는 것으로서 流域의 流出特性을 대변하는 한 因子이므로 遲滯時間과 깊은 相關性을 가지고 있다. 表 4의 流域別 t_p 및 T 에 關한 資料를 이용하여 算術方眼紙에 표시한 結果는 그림 18 및 19와 같으며 回歸

直線의 方程式은 그림에 표시한 바와 같다.

그림 18.

單位圖의 基底時間과 遲滯時間과의 關係(漢江)

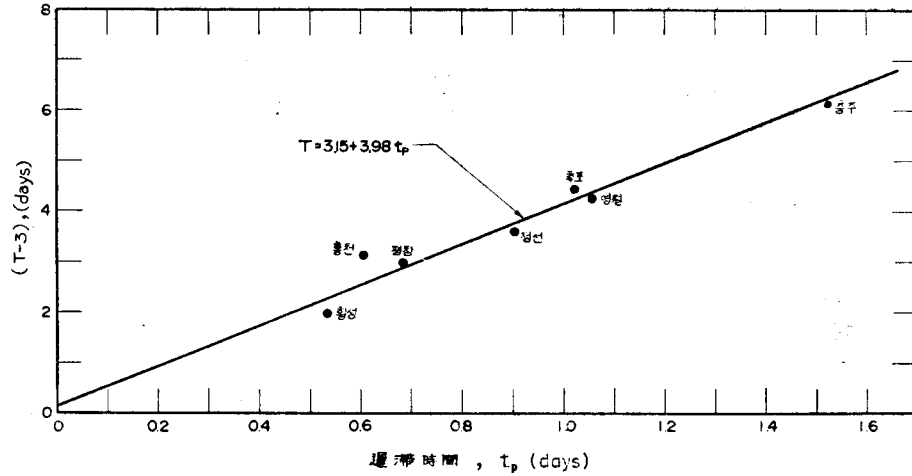


그림 19.

單位圖의 基底時間과 遲滯時間과의 關係(錦江)

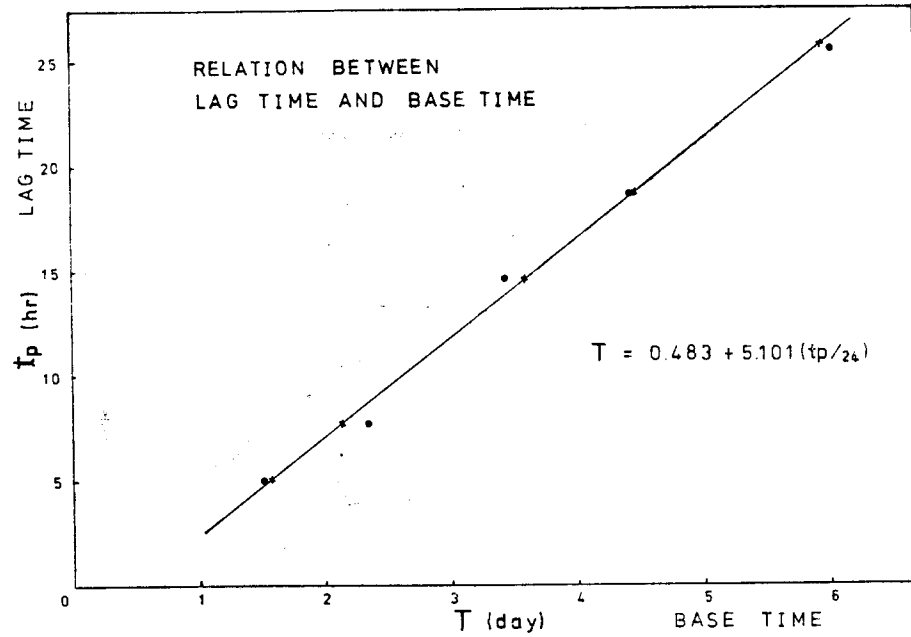
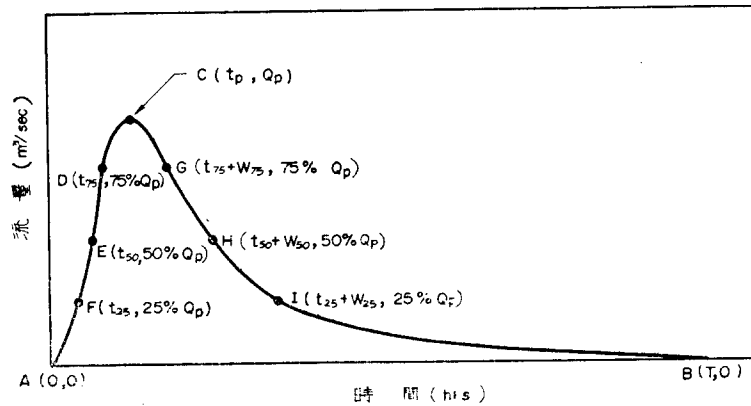


그림 20.

2時間 單位圖의 合成을 위한 座標點(漢江)



3. 誘導된 單位圖의 單位面積當 尖頭流量과 75%, 50% 尖頭流量的 時間幅間的 關係

앞에서 유도된 $t_p \sim LL_c$, $q_p \sim t_p$, $t_p \sim T$ 間的 關係를 사용하면 漢江 또는 錦江流域內의 任意 小流域에 對한 2時間 單位圖를 合成하기 爲한 3個의 座標點 A, B, 및 C를 결정할 수 있다. (그림 20參照)

그러나 3個點만으로는 單位圖의 精確한 모양을 결정할 수 없으므로 小流域別 代表單位圖의 75% 및 50% (漢江流域의 경우는 25%까지 포함) 尖頭流量的 時間幅 W_{75} 및 W_{50} (또는 W_{25})와 해당 單位圖의 單位面積當 尖頭流量(q_p)間的 相關關係를 그림 21 및 22에서와 같이 表示하였으며 回歸方程式은 그림에 나타낸 바와 같다. 따라서 尖頭流量(Q_p) 75%, 50%의 또는 25%에 해당하는 流量에 해당하는 時間幅 W_{75} , W_{50} 또는 W_{25} 를 回歸直線에 의해 구하면 그림 20의 DG, EH, FI 間的 時間幅이 결정되므로 單位圖의 合成에 사용될 수 있는 6個의 座標點이 추가되게 된다.

그림 21. 單位圖幅의 關係式(漢江)

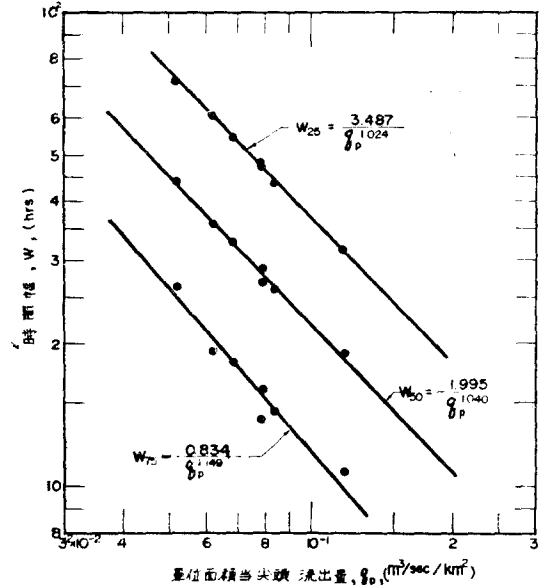
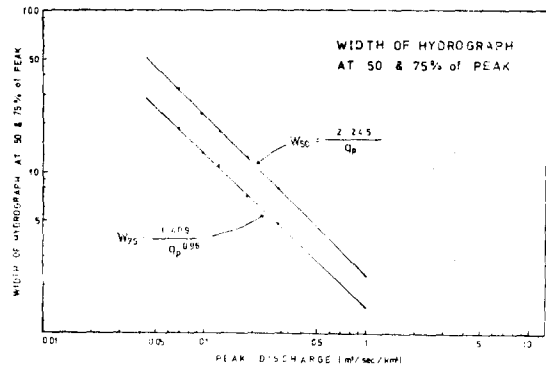


그림 22. 單位圖幅의 關係式(錦江)



5. 誘導된 合成單位圖法의 適用節次 및 計算例

5-1 要約 및 適用節次

漢江 및 錦江流域內의 任意 小流域에 對한 2時間 單位圖를 作成하는데 사용키 爲하여 誘導된 一聯의 經驗式을 要約하면 表 5와 같다. 表 5의 關係式 以外에도 그림 12 및 13에 표시한 無次元 單位圖를 사용하여 W_{75} , W_{50} 및 W_{25} 의 始點을 결정함으로써 精確한 單位圖의 合成이 可能하다.

이들 經驗式과 無次元 單位圖를 적용하여 그 時間 單位圖를 合成하는 節次를 要約하면 다음과 같다.

1. 地形圖上에서 해당 流域의 流域圖를 만든 후 L 및 L_c 를 측정하여 式(a)에 의해 遲滯時間 t_p (hr)를 결

정한다.

2. 式 (b)를 사용하여 流域의 單位面積當 尖頭流量 ($m^3/sec/km^2$)을 계산한 후 이에 流域面積을 곱함으로써

表 5. 3時間 單位圖의 合成에 필요한 關係式

| 關係式 | $t_p \sim LL_c$ | $q_p \sim t_p$ | $T \sim t_p$ | $W \sim q_p$ | 其他分析結果 |
|-----|--------------------------------|--|--|--|--------|
| 流域名 | | | | | |
| 漢江 | $t_p = 1.444 (LL_c)^{0.304}$ | $q_p = \frac{0.752}{t_p^{0.752}}$ (南漢江) $q_p = \frac{0.523}{t_p^{0.613}}$ (北漢江) | $T = 3.15 + 3.98 \left(\frac{t_p}{24} \right)$ | $W_{75} = \frac{0.834}{q_p^{1.149}}$ $W_{50} = \frac{1.995}{q_p^{1.040}}$ $W_{25} = \frac{3.487}{q_p^{1.024}}$ | 無次元單位圖 |
| 錦江 | $t_p = 0.1141 (LL_c)^{0.5155}$ | $q_p = \frac{1.0715}{t_p^{0.83}}$ | $T = 0.483 + 5.101 \times \left(\frac{t_p}{24} \right)$ | $W_{75} = \frac{1.409}{q_p^{0.96}}$ $W_{50} = \frac{2.245}{q_p^{1.0}}$ | 無次元單位圖 |

- 서 總 尖頭流量, Q_p (m^3/sec)을 얻는다.
3. 式 (c)를 사용하여 單位圖의 基底時間, T (days)를 계산한다.
4. 式(d)에 의하여 W_{75} , W_{50} , 및 W_{25} 를 계산한다
5. 無次元 水文曲線(그림 12 혹은 13)의 上昇部로부터 W_{75} , W_{50} 및 W_{25} 의 始作時間을 결정한다. 即 任意流域의 t_p 와 Q_p 를 節次 (1) 및 (2)에 의해 결정한 후 $Q_{75}/Q_p=75\%$ 에 해당하는 t_{75}/t_p 값을 無次元 水文曲線으로부터 읽어 t_{75} (Q_{75} , 即單位面積當 尖頭流量의 75 %되는 流量이 發生하는 時刻)를 계산함으로써 W_{75} 의 始作時間을 결정하게 된다.
6. 節次 (1)~(5)에 의하여 그림 20의 點 A~點 I의 9個點(錦江流域의 경우는 7個點)의 座標가 결정되므로 方眼紙에 2時間單位圖를 그리게 된다.

5-2 計算例

1. 漢江流域

地點: 평창 水位標

流域面積(A): 725.5km² 河川延長(L): 75.1km 流域中心까지의 거리 (L_c): 43.5km

a) 遲滯時間의 決定

$$t_p = 1.444 (75.1 \times 43.5)^{0.304} = 16.9 \text{ hrs}$$

b) 單位面積當 尖頭流量의 決定

$$q_p = \frac{0.752}{(16.9)^{0.752}} = 0.089 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$$

, 總尖頭流量 $Q_p = 0.089 \times 725.5 = 64.84 \text{ m}^3/\text{sec}$

c) 基底時間의 決定

$$T = 3.15 + 3.98 \left(\frac{16.9}{24} \right) = 5.95 \text{ days} = 142.86 \text{ hrs}$$

d) W_{75} , W_{50} 및 W_{25} 의 決定

$$W_{75} = \frac{0.834}{(0.089)^{1.149}} = 13.44 \text{ hrs}$$

$$W_{50} = \frac{1.995}{(0.089)^{1.040}} = 24.69 \text{ hrs}$$

$$W_{25} = \frac{3.487}{(0.089)^{1.042}} = 41.51 \text{ hrs}$$

e) W_{75} , W_{50} 및 W_{25} 의 始作時間 決定

無次元 水文曲線으로부터(그림 12 參照)

$$Q_{75}/Q_p = 0.75 \text{ 일 때 } t_{75}/t_p = 0.64$$

$$\therefore t_{75} = 0.64 \times (16.9 + 2 \text{ hr}/2) = 11.46 \text{ hr}$$

$$Q_{50}/Q_p = 0.50 \text{ 일 때 } t_{50}/t_p = t_p = 0.50$$

$$\therefore t_{50} = 0.50 \times (16.9 + 2 \text{ hr}/2) = 8.95 \text{ hr}$$

$$Q_{25}/Q_p = 0.25 \text{ 일 때 } t_{25}/t_p = 0.32$$

$$\therefore t_{25} = 0.32 \times (16.9 + 2 \text{ hr}/2) = 4.48 \text{ hr}$$

2. 錦江流域

地點: 忠北 沃川郡 深川面 深川里 深川鐵橋

流域面積(A): 696.88km², 河川延長長(L): 68km流域中心까지의 거리 (L_c): 30.5km

a) $t_p = 0.1141 (68 \times 30.5)^{0.5155} = 5.849 \text{ hr}$

b) $q_p = \frac{1.0715}{(5.849)^{0.83}} = 0.247 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$

$$\therefore Q_p = 0.247 \times 696.88 = 172.129 \text{ m}^3/\text{sec}$$

c) $T = 0.483 + 5.101 (5.849/24) = 1.7262 \text{ days} = 41.43 \text{ hrs}$

d) $W_{75} = \frac{1.409}{(0.247)^{0.96}} = 5.4 \text{ hrs}$

$$W_{50} = \frac{2.245}{(0.247)^{1.0012}} = 9.7 \text{ hrs}$$

e) $Q_{75}/Q_p = 0.75 \text{ 일 때 } t_{75}/t_p = 0.67$

$$\therefore t_{75} = 0.67 \times (5.849 \times 2 \text{ hr}/2) = 4.59 \text{ hr}$$

$$Q_{50}/Q_p = 0.50 \text{ 일 때 } t_{50}/t_p = 0.50$$

$$\therefore t_{50} = 0.50 \times (5.849 \times 2 \text{ hr}/2) = 3.42 \text{ hr}$$

上記한 計算例에서 결정된 2時間 單位圖의 特性變數(9個 혹은 7個 座標點)을 통과하면서 單位圖下の面積이 1cm의 有効雨量과 동일하도록 미끈한 曲線을 그리면 單位圖의 合成은 끝나게 되며 그 결과는 그림 23 및 24에 표시되어 있다. 그림 23의 點線으로 표시된 水文曲線은 實測資料로부터 유도된 代表單位圖(평창 流域)이며 合成된 單位圖(實線)와 비교해 보면 대체로 精確함을 관찰할 수 있다.

6. 結 論

漢江 및 錦江流域內에 位置한 未計測된 小流域의 計劃洪水量 推定에 適用될 수 있는 合成單位圖法의 開發을 위해 시도된 本 研究의 結果를 綜合要約하면 다음과 같다.

1. 各流域의 流出特性變數中 대단히 중요한 因子인 遲滯時間은 流域의 地形學의 因子인 流路延長 및 流域 出口에서 流域中心까지의 거리와 밀접한 相關性을 가진다.

2. 各 流域에 내린 任意 持續期間의 單位圖의 單位面積當 尖頭流量은 該當流域의 遲滯時間과 밀접한 相關性을 가지며 單位圖의 基底時間은 그 流域의 遲滯時間과 相關되어 있다.

3. 單位圖의 合成을 보다 더 용이하고 精確하게 하기 위하여 실시한 單位圖의 數個 時間幅과 單位面積當 尖頭流量間의 相關關係 解析도 대체로 만족할 만한 결과를 주었으며 本 研究에서 流域別로 작성된 無次元單位流量圖 역시 單位圖를 合成하는데 큰 도움이 되었다.

4. 本 方法의 유도에 사용된 小流域의 面積은 443 km²~71,26km²의 範圍內에 있으므로 漢江 및 錦江流

域內에 位置한 流域面積 約 7,200km² 以下의 任意 流域에 대한 2時間 單位圖의 合成에는 本方法을 使用할 수 있을것으로 思料된다.

本 研究의 계속사업으로 進行되어야할 研究課題를 要約하면 다음과 같다.

1. 本 研究에서 개발된 流域別 合成單位圖法을 적용하여 어떤 流域의 計劃洪水量을 결정하기 위해서는 流域別 最大可能降雨量 및 그의 時間的 分布等의 降雨特性을 分析하여 流域別 計劃降雨量 및 時間的 分布特性을 결정해야할 것이다. 뿐만 아니라 計劃·總降雨量으로 부터 計劃有効雨量을 구하기 위해서는 損失雨量의 決定方法도 流域別로 개발해야할 것이다.

2. 合成單位圖를 時間別 計劃有効雨量에 적용하여 얻는 洪水量은 直接流出量에 불과하다. 따라서 名 流域別로 大小 河川에 대한 基底流量을 결정할 수 있는 模型을 개발함으로서 任意 小流域의 計劃洪水量을 推定할 수 있도록 해야할 것이다.

謝 辭

本 研究는 1974년 建設部 水資源局의 研究事業中의 하나인 「洪水量 推定을 위한 合成單位流量圖誘導의 研究」의 一部로서 建設部에서 提供한 財政的 후원에 感謝를 드린다.

參 考 文 獻

1. Clark, C.O., "Storage and Unit Hydrograph," *Transaction, ASCE*, Vol. 1110, 1945, pp.1419-1446
2. "Flood Hydrograph Analysis and Computation,

"U.S. Army Corps of Engineers, Engineering and Design, EM 1110-2-1405" Washington, D. C., U.S. Government Printing Office, Aug. 31, 1959

3. Gray, D.M., "Synthetic Unit Hydrographs for Small Drainage Areas," *Proceedings, ASCE, Journal of Hydraulics Div.*, Vol. 87, No. HY4, July, 1961

4. "Hydrograph Analysis, Appendix III, "Hydrologic Engineering Methods for Water Resource Development Series, Hydrologic Engineering Center, Corps of Engineers, U.S. Army, Vol. 4, Davis, California, Oct., 1973

5. Kirpich, P.G., "Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds," *Civil Engineering, ASCE*, June, 1940

6. Mockus, V., "Use of Storm and Watershed Characteristics in Synthetic Hydrograph Analysis and Application," U.S. Soil Conservation Service, 1957

7. "Report on the Geum River Basin Overall Development Project, Appendix I, Meteorology and Hydrology, Ministry of Construction and Korea Water Resources Corporation, Feb., 1972

8. Snyder, F.F., "Synthetic Unit Graphs," *Transaction, AGU*, Vol. 19, 1938 pp. 447-454

9. Wilson, E.M., *Engineering Hydrology*, Macmillan, 1969, p. 18

10. 鮮于仲皓, 朴成宇, 尹龍男, "洪水量推定을 위한 合成單位 流量圖 誘導의 研究調查," 研究調查報告書, 建設部, 1974

11. 流量台帳, 建設部 水資源局理水課 水文係, 所藏

12. 韓國水文調查年報, 建設部, 1963-1973

正會員入會要領

水文 또는 이와 關聯있는 知識이 있거나 또는 識見이 높은 分, 水文을 應用하는 事業에 從事하는 分으로써 本學會 事業趣旨에 淸동하여 入會를 원하시는 分은 旣加入한 會員의 推薦을 받아 本學會 所定樣式에 의한 入會願을 提出하여 주시기 바랍니다.

提出處：韓國水文學會事務局

電話 (23) 0491 · 0492