

不定流에 依한 感潮河川의 洪水分析

Flood Analysis by Unsteady Flow on Tidal River Estuary

金 顯 榮*
Kim, Hyun Young

Summary

The flow in a river reach where is influenced by tidal motion is characterized by unsteady flow. The flood analysis in the river reach needs depending upon the theory based on the complete unsteady flow equations.

In this study the unsteady flow model which is called CRIUM (Channel Routing by Implicit Unsteady Flow Model) was developed and was applied to the Mankyong and Dongjin river in order to analyze the flood characteristics. The results, which were calibrated and verified by the flood records to be measured in the two rivers, show that unsteady flow model can be used for the derivation of the flood hydrograph.

The peak flood discharges were estimated as 4,960 and 2,870 m³/sec in 100 year frequency at the estuary of the Mankyong and Dongjin river, respectively. In addition, it was analyzed that the river reaches were not influenced by tidal motion when the discharge magnitude was larger than approximately 3,000 m³/sec.

I. 緒 論

河川의 洪水分析은 洪水의 時間的인 變化와 空間的인 變化를 分析하는 것이다. 時間的인 變化는 降雨分布에 따라 洪水의 尖頭와 持續時間이 어떻게 變化하는 것인가를 分析하는 것이다. 反面에 洪水의 空間的인 變化는 洪水가 河川을 流下하면서 地形과 境界條件의 影響을 받아

어떻게 變化하는가를 分析하는 것이다. 이와 같이 洪水의 空間的인 變化를 分析하는 것을 특히 洪水追跡이라한다. 特히 感潮河川인 境遇潮汐運動에 의해 境界條件이 時間에 따라 變하기 때문에 河川 흐름이 不定流가 되며 이곳의 洪水追跡은 不定流 理論에 의해 수행되어야 한다. 洪水를 追跡하는 理由는 河川 施設物의 安全한 設計와 維持管理를 위해 實施한다. 特히 感潮

* 農漁村振興公社 調查設計處

키워드 : 不定流, 感潮河川, 洪水追跡 有限差分, 模型의 補正, 檢定, 尖端洪水量, 洪水 Hydrograph.

河川에는 海面干拓에 의해 淡水湖가造成되는 境遇 排水閘門의 適正規模와 淡水湖에 의한 上流 河川의 背水 影響을 알기 위해 不定流 理論에 基礎한 洪水追跡은 不可避하다.¹³⁾

河川의 洪水를 追跡하는 方法에는 크게 2가지로 대별된다. 하나는 水文學的 方法으로서 Muskingum 方法과 같은 것이며, 다른 하나는 水理學的 方法으로서 連續方程式과 運動量 方程式을 함께 使用하는 方法이다.¹⁹⁾ 後者的方法 중 특히, 完全한 運動量 方程式을 使用하는 方式을 不定流에 의한 洪水追跡이라고 한다.¹⁵⁾

不定流 理論을 使用하여 洪水를 追跡하자면 2개의 偏微分 方程式을 有限差分으로 풀어야 한다. 이 方程式의 解法에는 特性曲線法^{1,16)}, 陽形式法(Explicit) 및 陰形式法(Implicit)이 있으며¹⁷⁾ 差分法으로서 後者의 2개 方法이 많이 使用되고 있다.

陽形式의 解法은 우리나라의 境遇 爵교천⁷⁾, 영산강⁴⁾ 및 錦江^{2,5)}에 적용한 바 있으며 새萬金 地區 水文 分析時 陰形式의 差分法을 利用하여 萬頃江과 東津江 河口의 洪水追跡을 實施하여 洪水 Hydrograph를 誘導한 바 있다.⁶⁾

그外 國內에서 發表된 不定流에 대한 研究는 差分解法을 紹介^{10,11)}하거나 實제 問題解決을 위해 적용하더라도 境界條件을 單純化^{8,12)}한 것 또는 差分式이 아닌 特性曲線法에 의한 것 등이 있다.¹¹⁾

本研究에서는 陰形式의 差分法에 의해 不定流 解析模型을 萬頃江과 東津江에서 實측된 洪水 資料에 의해 補正하고 檢定하므로서, 感潮區間에서의 洪水分析을 위한 手段으로서의 適正與否를 評價한 후 洪水 Hydrograph를 誘導하는데 그 目的이 있다.

II. 不定流 基本理論

不定流의 基本式은 Saint - Venant(1871)¹⁹⁾가 發表한 以來 많은 응용식이 있어 왔지만 本研究

에서는 다음식과 같이 定義하였다.

즉, 橫流入量 q 와 河川흐름에 寄與하지 않은 死水域 A_1 을 包含하여 流量 Q 와 水位 H 의 項으로 쓰면^{16,20)}

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A + A_1)}{\partial t} - q = 0 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x}$$

$$- g A \left(\frac{\partial H}{\partial x} + S_f + S_e \right) + L = 0 \quad \dots \dots \dots (2)$$

이다. 여기서 t =時間, x =흐름方向으로의 距離, A =通水斷面積, g =重力加速度, H =水位 및 S_f =摩擦傾斜(Friction slope)로서 Chezy 또는 Manning의 公式를 使用 할 수 있다. 또한 $L=-q$ Vx 로서 橫流入量에 대한 運動量의 影響을 表現한 것이다. 여기서 Vx 는 複流 方向으로의 橫流入量의 流速이다. 式(2)의 S_e 는 河川 橫斷面地點에서 發生하는 國소적인 損失을 말하며 다음式으로 表示된다.

$$S_e = \frac{K_e}{2g} \cdot \frac{\partial(Q/A)^2}{\partial x} \quad \dots \dots \dots (3)$$

여기서 K_e 는 斷面 急擴大, 急縮小에 대한 係數이다.

陰形式은 一般的으로 4点 加重方式으로 불리운다. 4個點이란 連續方程式과 運動量 方程式이 2個의 隣接 橫斷面地點 사이의 複流을 分析하는데 使用되기 때문에 이를 두고 하는 말이다. 4点加重差分式으로 表示하는 基本式은 变数 K 를 사용하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial K}{\partial t} = (K_i^{j+1} + K_{i+1}^{j+1} - K_i^j - K_{i+1}^j)/(2\Delta t) \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial K}{\partial x} &= 0/\Delta x, (K_{i+1}^{j+1} - K_i^{j+1}) \\ &+ (1-\theta)/x_i (K_{i+1}^j - K_i^j) \quad \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

$$K = 0.5\theta (K_i^{j+1} + K_{i+1}^{j+1}) + 0.5(1-\theta)$$

$$(K_i^j + K_{i+1}^j) \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

여기서 θ 는 加重係數로서 本 研究에서는 0.5를 사용하였다. 또한 첨자 i 및 j는 거리 및 시간 단위를 의미한다.

이들의 解를 구하자면 反復試算法에 依해야 한다. 이러한 方法中 收斂이 빠르고 손쉽게 使用할 수 있는 Newton - Raphson方法을 使用하였다.

III. 不定流 模型(CRIUM)의 構築

1. CRIUM의 概要

CRIUM(Channel Routing by Implicit Unsteady Flow Model) 부정류 모형은 美開拓局(USBR)의 DWOPER²⁰⁾을 우리나라 實情에 맞게 Version한 것이다. 이 DWOPER는 Dynamic Wave Operation Model의 略字로서 動的의 洪水波(Dynamic Wave)를 追跡하기 위하여 陰形式의 差分法으로 開發된 不定流 模型이다.

CRIUM 不定流 模型은 不定流 흐름을 1次元의으로 解析하는 컴퓨터 模型이다. CRIUM의 基礎가 된 DWOPER 模型과 다른점은 모든 單位가 metric 單位로 되어 있으며 河口에 排水閘門 또는 웨어가 設置될 境遇를 解析 할 수 있으며, 土地利用狀態와 같은 流域特性因子만 알면 洪水量을 解析할 수 있는 SCS 方法³⁾에 依해 橫流入量을 分석할 수 있도록 한 것등이다.

2. 萬頃 · 東津江의 模型

Fig. 1은 本 CRIUM 模型을 萬頃江과 東津江에 적용하기 위해 作成한 河川網圖이다. 上流端으로서 條件을 滿足하는 地點은 萬頃江의 境遇大川水位標 地點이고 東津江의 境遇 新泰仁地點이 이에 該當한다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 萬頃江은 大川地

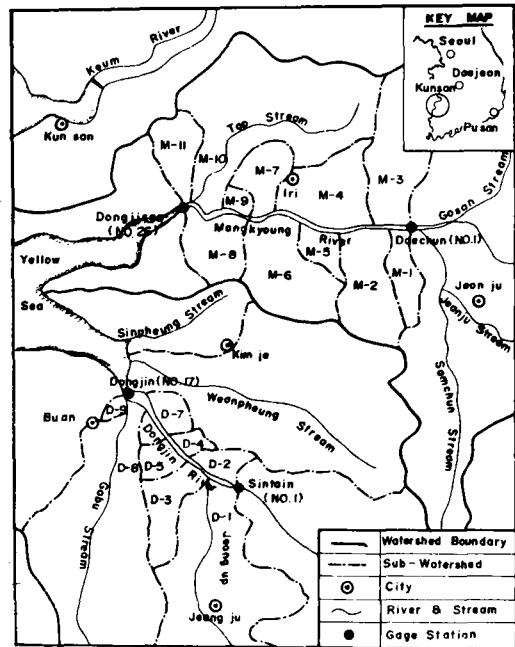


Fig. 1. River modeling of the Mankyong and Dongjin river.

點에서 東之山 水位標 地點까지 약 25 km의 區間에 대해 模型을 만들었으며 中間의 水位觀測所 地點은 萬頃制水門이다. 東津江의 境遇로서 新泰仁地點에서 東津大橋 水位標地點까지 약 16km 區間이다. 中間의 水位觀測所 地點으로서 東津制水門 地點이 有效하다.

3. 不定流 模型의 補正

不定流 模型의 補正을 위해 使用되는 資料는 上下流端의 實測水位 및 流量資料와 河川의 橫斷資料 등이다. 水位 및 流量資料는 Table - 1과 같으며 河川 橫斷資料는 每 1km마다 測量하여 얻었다.

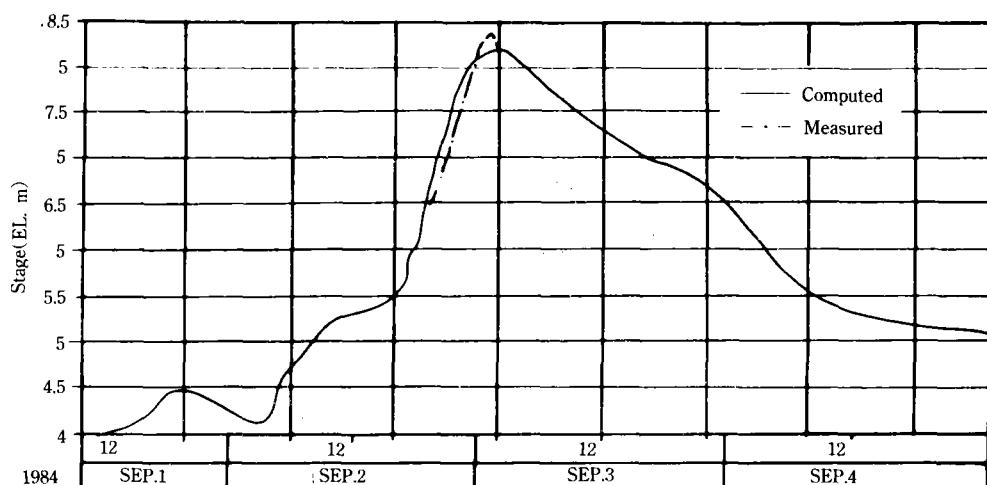
模型의 補正方法은 實測水位와 計算水位와의 RMS(Root - Mean - Square)^{14,20)}오차가 最小로 될때 까지 시산하여 粗度係數를 찾는 것이다. Fig. 2는 萬頃江의 實측 및 計算 Hydrograph를 比較한 것으로서 比較的 補正이 尖頭 部分에서 잘 되었음을 보여준다. 이때 RMS는 0.22 m로

Table - 1. Flood records used for model calibration and verification.

Periods	Data	For
Sep. 1~4, 1984	Discharge and stage hydrograph in Daechun, Sintaein and Mankyong and Dongjisan station, respectively.	Model calibration
Jul. 6~9, 1985	ditto	Model Verification
Jul. 25~28, 1989	ditto and stage hydrograph at Dongjin bridge	ditto

Table - 2. Calibrated roughness coefficients (Mankyong river).

Discharge (m ^{3/2} /sec)	Roughness coefficient	
	No. 1~No. 13	No. 13~No. 26
100	0.030	
400	0.028	
600	0.025	
900	0.028	
1,100	0.035	Same as the left column
2,000	0.037	
3,000	0.037	
5,000	0.035	

**Fig. 2. Calibration of the Model at the Mankyong control gate.**

計算되었다.

Table - 2는 이때補正된 粗度係數를 流量規模別로 表示한 것이다. Table - 2에서와 같이 流量이 클수록, 또한 적은 流量 일수록 粗度係數는 增加함을 볼 수 있다. 이는 큰 流量일 時遇洪水分의 農作物과 堤防의 樹木들이 粗度係數를 크게 하였기 때문이며, 적은 流量일 경우 粗度係數가 增加한 것은 低水路 양안과 바닥의 影響으로 풀이된다. 一般的으로 中間流量일 경우 0.025~0.030을 보인 것은 粗度係數의 物理的

意味를 나타낸 것으로 볼 수 있다.

한편, 東津江의 時遇河床의 構成이 萬頃江과 類似하기 때문에 Table - 2의 結果를 同一하게 使用할 수 있을 것으로 判斷되었다.

4. 不定流 模型의 檢定

Fig. 3는 萬頃制水門 地點의 檢定 結果를 보여주고 있다. 이때 計算된 水位는 Table - 2의 补正된 粗度係數를 利用한 것이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 計算된 水位와 實測水位가 時

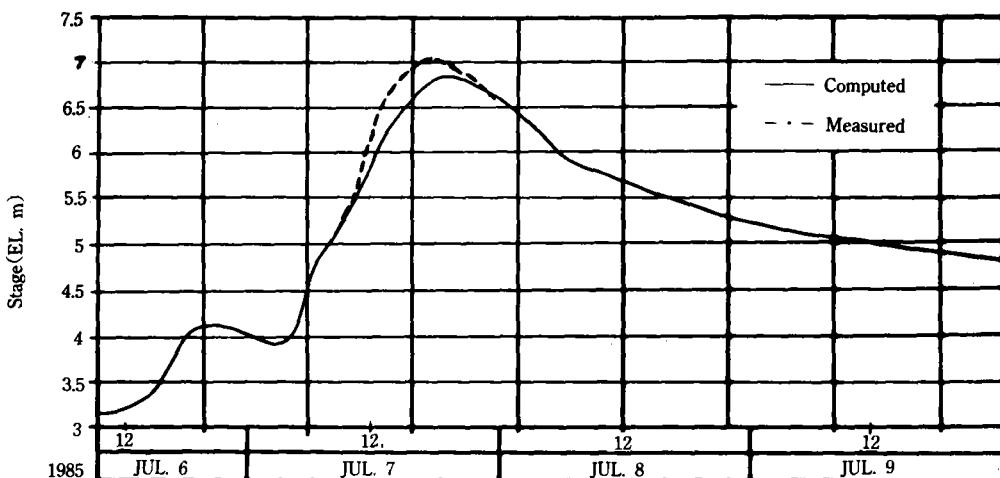


Fig. 3. Verification of the Model at the Mankyong control gate.

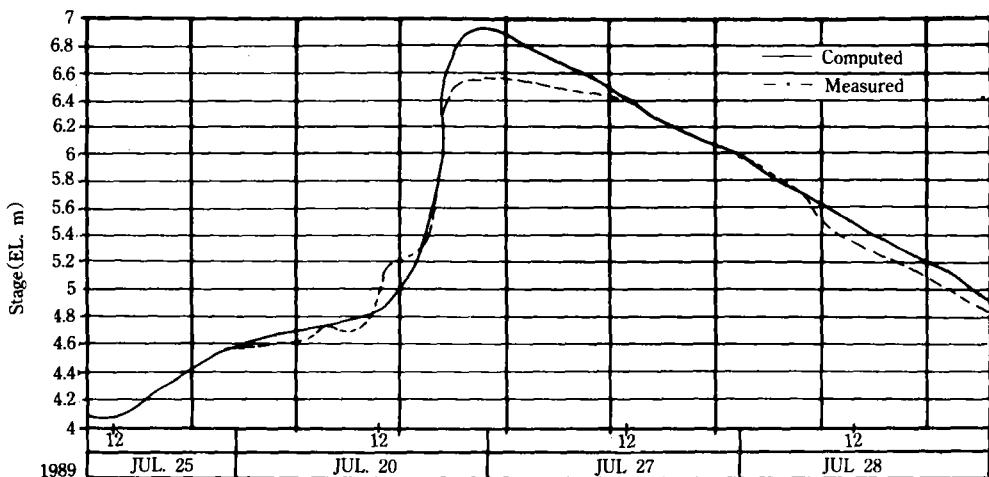


Fig. 4. Verification of the Model at Sintaein station.

間에 따라 잘 부합 되고 있음을 볼 수 있다. 또한
補正時 얻은 RMS=0.22 m인데 비해 檢定時의
RMS=0.23 m로 나타나 本 不定流 模型은 河川
洪水分析등에 充分히 응용할 수 있을 것으로
判斷된다.

한편 東津江의 境遇 금회(1989) 测定한 실측
資料에 대해서 檢證 하였다. 이 境遇 東津制水
門의 資料에 의해 檢證을 實施하여야하나 补正
時와 마찬가지로 資料가 不正確하여 新泰仁 地
點의 水位 - 流量으로 判斷하였다. Fig. 4는 新

泰仁地點의 計算水位와 實측水位를 比較한 것
이다. 同 그림에서 보는 바와같이 兩 水位의
變化는 東津江의 粗度係數도 適切히 补正되었
음을 보여주는 것이라 하겠다. 물론 이때 計算時
新泰仁 地點의 境界條件은 流量 Hydrograph가
使用되었다.

IV. 不定流 模型의 適用

潮汐의 影響을 받는 河川에서 洪水量을 직접

구할 수 없다. 왜냐하면 水位流量曲線의 作成이不可能하기 때문이다. 이러한 境遇 洪水量의推定은 潮位의影響을 받지 않는 곳의 洪水量을구하고 河川 洪水追跡을 通해 必要한 地點의洪水量을 구하는 것이一般的이다.

CRIUM에 의해 開發된 不定流模型은 潮汐의影響을 받는 地點의 洪水量을 가장合理的으로推定할 수 있다. 이는 本模型이 不定流에 의한洪水追跡法을 使用하기 때문이다. 또한 實측資料에 의해 模型의 補正과 檢證을 거친것이기

때문이다.

여기서는 萬頃 · 東津江의 河口地點(東之山 및 東津大橋 水位觀測所)에 대해 頻度別 洪水量을구하였다. 이 때 使用된 大川 및 新泰仁地點의頻度別 洪水Hydrograph는 각각 Nash模型에 의해推定한 바 있다.

Fig. 5(a)-(b)는 萬頃江 · 東津江 河口의 洪水 Hydrograph를 推定한 것이다. Fig. 5(a)의萬頃江 河口의 境遇 100年 頻度時 洪水量은 $4,960 \text{ m}^3/\text{sec}$ 으로推定되었다. 또한 Fig. 5(a)에서 알

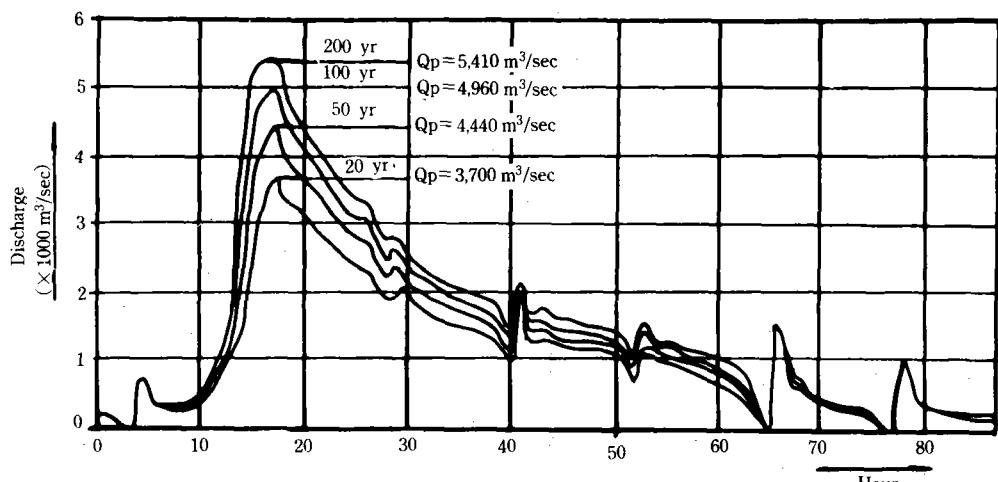


Fig. 5. (a). Flood hydrographs with frequency at the Mankyong river estuary.

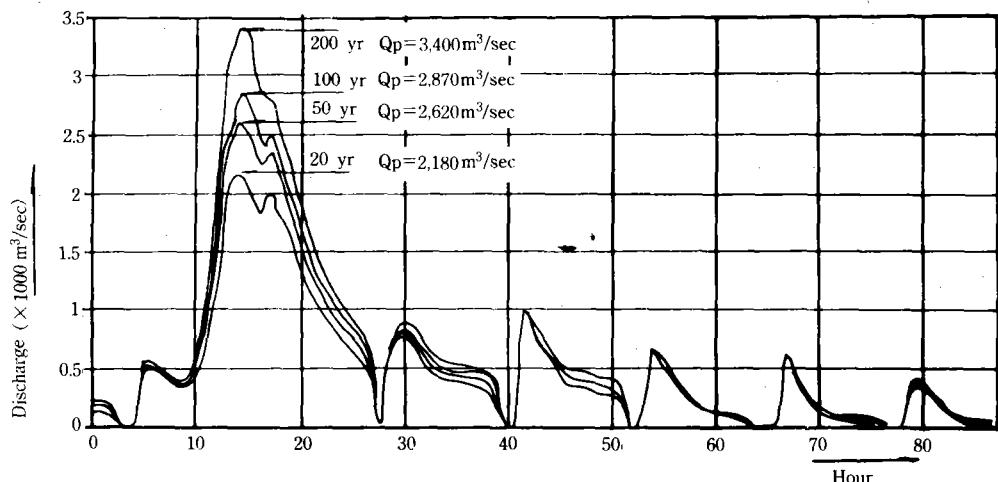


Fig. 5. (b). Flood hydrographs with frequency at the Dongjin river estuary.

수 있는 것은 潮汐의 影響을 받지 않는 洪水量의 크기는 약 $3,000 \text{ m}^3/\text{sec}$ 정도임을 알 수 있다. 同 그림에서 보는 바와 같이 $3,000 \text{ m}^3/\text{sec}$ 를 基準으로 윗쪽은 上流 流入量의 크기에 대해 一定하게 上昇하고 下降하는데 비해 $3,000 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以下에서는 滿潮時의 影響으로 流量이 振動함을 볼 수 있다. 이러한 現象은 Fig. 5(b)에서 東津江의 境遇에도 類似한 現象을 보이고 있다.

V. 結論

感潮 河川의 洪水를 分析하기 위해 陰形式의 有限差分法으로 不定流 模型을 構成한 후 實측 資料에 의해 模型을 補正하고 檢定한 후 萬頃·東津江 河口에서 頻度別 洪水 Hydrograph를 誘導한 結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

(1) 萬頃制水門 地點에서 不定流 模型을 補正한 結果 RMS는 0.22 m 의 分析結果를 얻었으며 流量規模별로 粗度係數는 實際 河床物質을 代表할 수 있도록 補正 되었다.

(2) 同 地點에서 模型을 檢定한 結果 RMS는 0.23 m 로 計算됨으로서 본 模型의 感潮河川의 洪水分析에 利用할 수 있을 것으로 判斷되었다.

(3) 同 模型을 萬頃·東津江 河口의 洪水 Hydrograph 誘導에 적용한 結果 尖頭 洪水量은 100年 頻度時 각각 $4,960 \text{ m}^3/\text{sec}$ 와 $2,870 \text{ m}^3/\text{sec}$ 으로 推定되었으며 潮汐의 影響을 받지 않는 洪水量의 規模는 약 $3,000 \text{ m}^3/\text{sec}$ 인 것으로 나타났다.

本研究는 農業振興公社의 새萬金地區 水文調査의 일환으로 隨行된것임.

參 考 文 獻

- 姜 旼원, 1970, 特性曲線을 利用한 洪水追跡法, 물의 科學, Vol. 3, No. 1.
- 金 顯榮, 朴 承禹, 1989, 錦江下流 洪水의 不定流 解析, 韓國水文學會誌, Vol. 22, No. 1.
- 金 顯榮, 1989, FAUST에 依한 洪水分析, 農業振興公社.
- 農業振興公社, 1975, 영산강 農業綜合開發事業(2段階) 水文調查報告書.
- 農業振興公社, 1983, 錦江(I) 地區 水文調查報告書.
- 農業振興公社, 1989, 새萬金地區 水文調查報告書.
- 三祐用役團(加納正之), 1977, 農業綜合開發事業 삼고천地區 不定流解析 檢討報告書, 農業振興公社.
- 鮮于中皓, 1983, 不定流 解析에 의한 錦江洪水平 決定, 水文學會誌, Vol. 16, No. 2.
- 日本土木學會, 1971, 水理公式集.
- 李 種泰, 1982, Preissmann 技法에 의한 不定流의 解析, 水文學會誌, Vol. 15, No. 1.
- 李 種泰, 李 元煥, 1982, 線形 4점特性法에 의한 不定流 解析, 水文學會誌, Vol. 15, No. 4.
- 崔 秉昊, 安 元植, 1985, 錦江感潮區間의 潮汐傳播, 水文學會誌, Vol. 18, No. 1.
- Amein Michael & Ching S. Fang, 1970, Implicit Flood Routing in Natural Channels, J. of Hydraulics Div., ASCE, HY12.
- Fread, D. L & C. F. Smith, 1978, Calibration Techniques for One - Dimensional Unsteady Flow Models, J. of Hydraulics. Div. ASCE, Vol. 104.
- Fread, D. L, 1985, Channel Routing, Hydrological Forecasting, Edited by M. G. Anderson and T. P. Burt, John Wiley and Sons.
- James A Ligget & J. A. Cunge, 1975, Numerical Methods of Solution of the Unsteady Flow Equations, Unsteady Flow in Open Channels, Edited by K. Mahmood et al, Water Resources Publication.
- Mahmood K. & V. Yevjevich, 1975, Unsteady

- Flow in Open Channels, Water Resources Publication.
18. Macuen, Richard H., 1982, A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods, Prentice Hall Inc.
19. Rinsely, Jr. R. K., M. A. Kohler & J. H. Pau-
- lhus, 1982, Hydrology for Engineers, Chap. 9 & 10, McGraw Hill Inc.
20. USBR, 1983, User's Guide to the DWOPER (Dynamic Wave Operational Model), Revised by Timothy J. Randle.