

榮山湖 運營을 위한 洪水豫報模型의 開發(Ⅲ)

- 排水閘門 調節에 의한 洪水波의 傳達 -

River Flow Forecasting Model for the Youngsan Estuary Reservoir Operation(Ⅲ)

- Propagation of Flood Wave by Sluice Gate Operations -

朴 昌 彦* · 朴 承 禹**
Park, Chang Eon · Park, Seung Woo

Summary

An water balance model was formulated to simulate the change in water levels at the estuary reservoir from sluice gate releases and the inflow hydrographs, and an one-dimensional flood routing model was formulated to simulate temporal and spatial variations of flood hydrographs along the estuarine river. Flow rates through sluice gates were calibrated with data from the estuary dam, and the results were used for a water balance model, which did a good job in predicting the water level fluctuations. The flood routing model which used the results from two hydrologic models and the water balance model simulated hydrographs that were in close agreement with the observed data. The flood forecasting model was found to be applicable to real-time forecasting of water level fluctuations with reasonable accuracies.

I. 緒 論

感潮河川으로서 背水現象이 발생되는 流域에 대한 洪水豫報를 위해서는 流域으로 부터의 洪水流出을 계산하는 洪水流出模型의 적용만으로는 그 영향을 고려할 수 없으므로, 背水現象 등을 고려할 수 있는 水理學的 洪水追跡이 실시되어야만 한다. 水理學的 洪水追跡

이 실시됨으로써 河川의 임의의 지점에 대한 洪水位를 豫想할 수 있으며, 淡水湖의 水位變化도 豫報할 수 있을 것이다. 또한, 洪水被害가 豫想되는 경우에 洪水量의 排除方法이 排水閘門을 통한 放流만이 유일한 대책인 만큼 排水閘門의 調節計劃을 수립할 수 있는 자료를 제공할 수도 있을 것이다. 그래서, 榮山江 流域에서 背水現象의 영향이 미칠 것으로 예

* 신구전문대 토목과

** 서울대학교 농업생명과학대학

키워드 : 홍수예보모형, 수리학적 홍수추적모형, 담수호 물수지모형

상되는 羅州地點으로 부터 하구둑지점까지 水理學的 洪水追跡模型을 적용하기로 하였다.

TANK模型과 TR-20模型에 의한 流入量 資料로 부터 水理學的 洪水追跡模型을 적용하기 위해서는 下流端의 淡水湖 內水位資料가 필요한데, 一次元的으로 水理解析을 하는 관계로 淡水湖의 形象을 精確하게 入力資料로 構成하는 데는 限界가 있으므로 排水閘門의 調節에 따른 淡水湖의 內水位變化를 계산할 수 있는 模型을 구성하였다. 이 淡水湖 內水位 計算模型은 水收支計算에 의한 排水閘門 放流量과 淡水湖 流入量에 따른 內水位變化를 推定할 수 있으므로 洪水調節을 위한 排水閘門 運營計劃의 수립에도 이용될 수 있을 것이다.

본 研究의 目的은 榮山湖의 洪水豫警報를 위한 프로그램을 開發하고 그 適用性을 검토하여, 洪水狀況에서 實時間 豫報를 비롯한 효율적인 榮山湖 運營 및 管理가 이루어 질 수 있도록 하는데 있다. 이를 위하여, 第1報에서는 計測地點에서의 洪水流出을 추정할 수 있도록 TANK模型을 구성하여 適用性을 분석하였으며,³⁾ 第2報에서는 末計測流域에 적용하기 위한 洪水推定模型으로 TR-20模型을 선정하여 적용하였다.⁴⁾

本報에서는 第1報와 2報에서 適用性이 인정된 洪水推定模型과 淡水湖 內水位 計算模型의 結果로 부터 洪水追跡區間의 時間的 空間的 흐름의 變化를 추정할 수 있는 一次元 水理學的 洪水追跡模型을 開發하여 洪水豫報模型으로 구성하였으며, 그 適用性을 분석하였다.

II. 模型의 構成

1. 水理學的 洪水追跡模型

水理學的 洪水追跡方法은 不定流(unsteady flow)인 洪水波의 連續方程式(continuity equation)과 運動量方程式(momentum equation)을 連繫해서 初期 및 境界條件(initial and bo-

undary condition)에 맞추어 해석함으로써 流出計算을 수행하게 된다. 이러한 流出計算을 통하여 時間 및 空間的인 水位變化 및 流量變化를 계산할 수 있어 洪水波의 傳達狀況을 분석할 수 있는 것이다.

본 研究에서는 榮山江에 대한 水理學的 洪水追跡을 위하여 基本方程式을 構成하고 이를 有限差分法으로 해석하도록 한 HYFRO(one-dimensional Hydraulic Flood Routing)模型을 開發하여 그 適用性을 분석하였다.

가. 基本方程式

河川水路를 一次元的으로 해석한다는 前提하에 連續方程式과 運動量方程式으로 이루어지는 Saint Venant식을 基本方程式으로 채택하였다.

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA(\frac{\partial y}{\partial x} + S_f + S_e) - q \cdot V = 0 \dots (2)$$

여기서, Q =河川 平均流量, A =河川 斷面積, q = Δ 時間동안의 平均降雨 또는 平均橫流入量, g =重力加速度, S_f =摩擦傾斜(friction slope), S_e =局部摩擦損失傾斜, V =흐름의 平均流速 등이다.

나. 數值解析

基本方程式의 해를 구하기 위하여 陰函數法의 Preissman 4點加重差分法(four-point weighted difference method)을 사용하였으며, 이는 計算地點間의 格子間 距離가 等間隔이 아닌 경우에도 적용할 수 있는 長點이 있기 때문이다. 또한, 加重值인 θ 값은 θ 가 0.5에 가까울 때 발생되는 疑似不安定(pseudo-instability)을 피하기 위하여 0.55~0.6의 값을 사용하도록 하였다.

경계조건을 포함하여 차분방정식으로 표시되어진 비선형 연립방정식의 해를 얻기 위하여 Newton-Raphson方法을 적용하였으며, 이로부터 Matrix形態로 표시되어진 線型方程式은 Gauss消去法(Gauss elimination method)

을 이용하여 解析하였다.

다. 模型의 構成

水理學的 洪水追跡을 위하여 開發된 HY-FRO模型은 Fig.1의 흐름도와 같이 構成되었으며, 이를 간단히 정리하면 다음과 같다.

(1) 計算調節變數, 河川節點別 特性資料, 境界條件資料, TR-20모형에 의한 橫流入量 資料 등의 入力資料를 읽는다.

(2) 計算調節變數에 의한 計算順序 및 時間을 결정한다.

(3) 定常流狀態로 가정하고 計算始作時間의 境界條件으로 부터 直接逐差計算法(direct step method)으로 背水曲線을 계산하여 初期條件으로 정의한다.

(4) 計算時間에 대한 境界條件과 橫流入量을 線型補間法으로 계산한다.

(5) 聯立方程式을 構成하여 Gauss消去法에 의해 解를 구한다.

(6) 計算終了時間까지 計算時間間隔마다 (4)~(5)계산을 반복한다.

(7) 필요한 地點의 時間別 水位 및 流量을 出力한다.

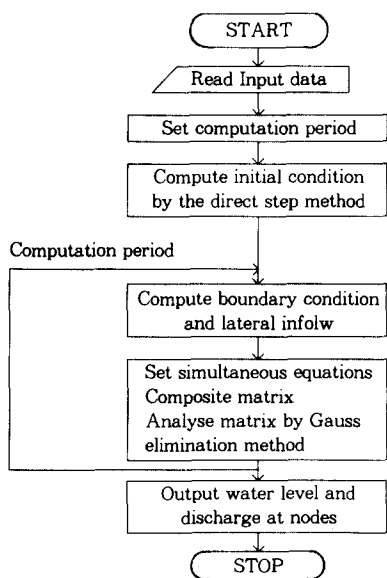


Fig. 1. Flow chart of the HYFRO model

2. 淡水湖 內水位 計算模型

水理學的 洪水追跡模型의 下流境界條件을 제공하고, 淡水湖 流入量의 변화와 排水閘門의 運用에 따른 淡水湖 水位變化를 표시하기 위하여, 背水現象을 無視하고, TR-20模型에 의해서 淡水湖의 流入量을 계산하고 排水閘門의 開閉에 따른 放流量을 계산하여 淡水湖內의 水位變化를 물收支概念으로 간단하게 계산할 수 있는 淡水湖 內水位 計算模型 IWAL (Inner Water Level computation model)을 開發하여 그 適用性을 분석하였다.

가. 淡水湖 物收支方程式

淡水湖內의 物收支는 流入, 流出水量으로 부터 주어진 時間單位別로 淡水湖 內水位 혹은 貯溜量을 追跡하기 위하여 사용된다. 본 연구에서는 時間別로 物收支를 계산하게 되므로 海水 流入量, 地下水 流入量, 水面蒸發量, 地中浸透量, 堤防 浸透量 등은 미소한 量으로 省略하고, 水面降水量은 流入量에 포함하여 식(3)과 같은 답수호 물수지방정식을 정의하였다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t - R_t \dots\dots\dots(3)$$

여기서, S_{t-1} = t-1時間의 貯水量(storage), I_t = 流入量(inflow), R_t = 放流量(release) 등이다.

나. 淡水湖 放流量

淡水湖로 부터 배제되는 放流量은 排水閘門을 통하여 이루어지므로, 排水閘門의 諸元과 內外水位에 따라 排水閘門 1個門扉로의 時間別 放流量을 계산할 수 있도록 식(4)~식(6)을 정의하였다.

$$(1) \text{滿流 } Q = \mu \times B \times da \sqrt{2g\Delta h} \dots\dots\dots(4)$$

$$(2) \text{常流 } Q = \mu \times B \times H \sqrt{2g\Delta h} \dots\dots\dots(5)$$

$$(3) Q = 1.7 \times \mu \times B \times He^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots(6)$$

여기서, Q =流量(m^3/s), B =門扉의 幅(m), da =排水閘門의 開門높이(m), H =排水閘門 문턱으로 부터의 外海의 水深(m), H_e =排水閘門 문턱으로 부터의 內水深(m), Δh =內外水位의 差(m), μ =流量係數, g =重力加速度 등이다.

식(4)와 식(5)의 內外水位差 Δh 는, 淡水湖 바깥쪽의 外水는 內水와는 달리 海水이므로 淡水와의 密度差가 발생되어 일정한 水位差 以上이 되어야만 放流가 가능할 것이다. 그래서 Δh 를 海水와 淡水의 密度差를 고려하여 다음과 같이 정의하였다.

$$\Delta h = H_e - 1.025 H \dots\dots\dots(7)$$

한편, 排水閘門의 開放時 內外水位의 變化는 時間에 따라 모두 변화하게 되는데, 특히 外水位의 경우는 排水閘門의 外側水位 資料를 이용하여 線形補間法에 의해 결정하도록 하였으며, 流量係數 μ 는 觀測值와의 比較分析을 통해 選定하였다.

다. 模型의 構成

淡水湖內的 流入量과 排水閘門 放流量으로 부터 물收支計算에 의하여 內水位 變化를 계산하도록 구성되었던 IWAL模型은 Fig.2와 같이 구성되었으며, 그 계산과정을 요약하면 다음과 같다.

- (1) TR-20模型에 의한 淡水湖 流入量 資料, 淡水湖 內外水位資料, 排水閘門 運用資料, 排水閘門 諸元, 淡水湖 水位-內容積 關係資料 등의 人力資料를 읽는다.
- (2) 初期 淡水湖 內水位를 결정한다.
- (3) 排水閘門이 開放되어 있는 경우 放流量을 계산한다.
- (4) 淡水湖 물收支를 계산한다.
- (5) 계산되어진 淡水湖 內水位를 初期값으로 하여 計算時間동안 (3)~(4)의 계산을 반복 한다.
- (6) 時間別 淡水湖 內水位, 貯溜量, 排水閘門 累加放流量을 出力한다.

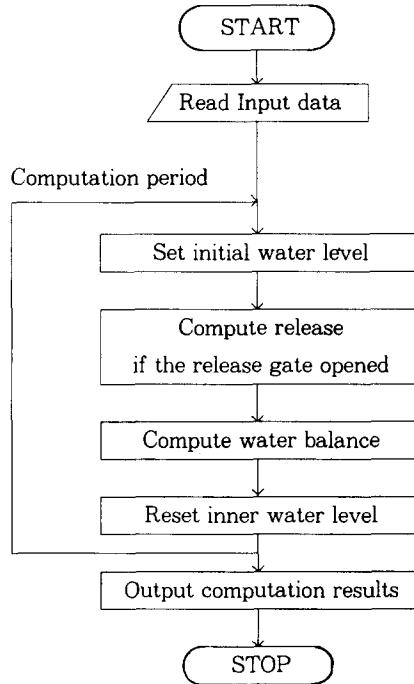


Fig. 2. Flow chart of the IWAL model

III. 模型의 應用

1. 水理學的 洪水追跡

가. 境界條件

水理學的 洪水追跡模型인 HYFRO模型의 適用을 위해서는 適用區間인 榮山江 河川의 羅州橋 地點과 하구둑 地點에 대해서 計算時間에 대한 境界條件이 入力되어야 한다. 그래서 羅州橋 地點의 경우는 羅州 水位觀測所의 觀測水位資料를 境界條件으로 하였으며, 하구둑 地點은 淡水湖 內水位 觀測資料를 境界條件으로 정의하였다.

Fig.3은 TP13 降雨事象³⁾에 대한 同一時間의 羅州橋地點 境界水位와 하구둑 지점인 淡水湖 內水位를 같이 표시하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 TP13豪雨의 경우는 淡水湖 流入量이 많으므로 6번에 걸쳐 排水閘門을 열어 放流를 실시한 것을 알 수 있다.

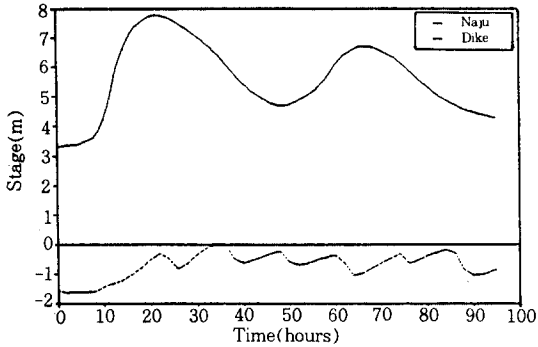


Fig. 3. Boundary conditions for the HYFRO model(1984.7.4. 12:00~7.9. 12:00)

나. 洪水追跡 結果

HYFRO模型의 適用性を 분석하기 위하여 TP13과 TP27의 降雨事象³⁾에 대해 계산되어진 適用結果를 영산포 水位觀測所 地點의 水位資料와 羅州地點의 流出量 資料를 비교하였다. Fig.4는 영산포지점에서의 水位資料를 비교한 것으로 模型에 의해서 계산되어진 결과와 관측되어진 水位資料가 잘 일치하는 것을 알 수 있었다. 다만, 水位가 낮을 경우에는 差異를 보였는데 이는 영산포지점의 斷面資料 중에서 標高 2.5m이하의 資料가 實際現場條件과 다름으로 해서 발생된 것으로 판단되어 이 資料만 보완된다면 그 結果는 개선될 것으로 판단되었다.

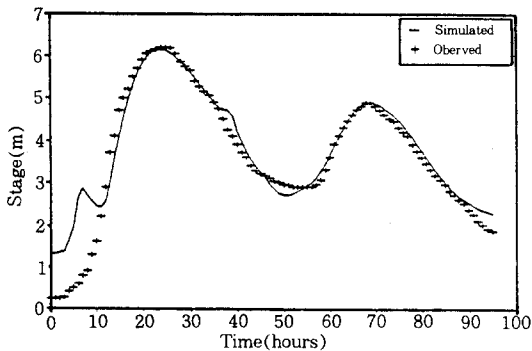


Fig. 4. Observed and simulated river-stages at the Youngsanpo station (1984. 7. 4. 12:00~7.9. 12:00)

Fig.5는 羅州地點의 流出量을 비교한 것인데, 羅州地點에서는 水位資料가 境界條件으로 入力되었으므로 그에 의하여 계산되어진 流出量資料를 羅州地點의 水位-流量關係式으로부터 계산되어진 流出量資料를 觀測資料로 하여 비교하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 TP13降雨事象에 대하여 計算結果와 觀測資料가 잘

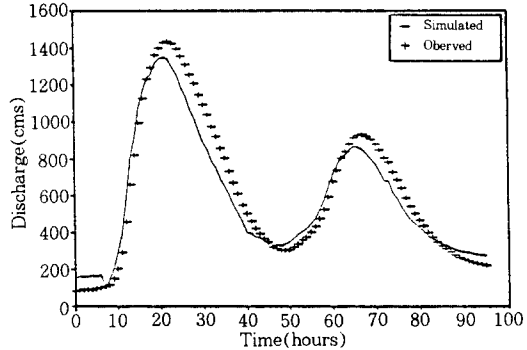


Fig. 5. Observed and simulated discharges at the Naju station(1984.7.4.12:00~7.9.12:00)

일치되는 것을 알 수 있었다.

Fig.6은 洪水追跡이 실시되어지는 전체 河道區間에 대한 水面曲線을 일정시간에 대하여 비교하였는데, 30km 지점을 경계로 하여 水面曲線의 傾斜가 크게 양분됨을 알 수 있었다.

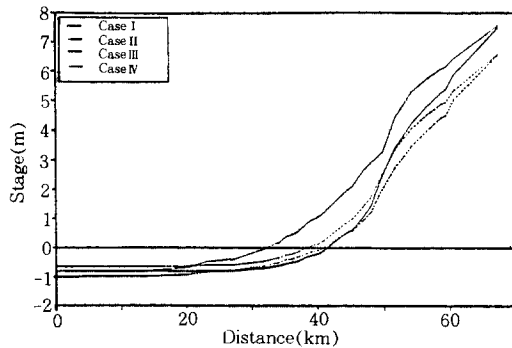


Fig. 6. Comparison of water surface profile for the Youngsan river (1984. 7. 4. 12:00~7.9.12:00)

그림에서 Case I 은 流出量이 증가될 때 排水閘門이 닫혀있는 경우이며, Case II 는 流出量이 증가될 때 排水閘門이 열려 있는 경우, Case III 는 流出量이 감소될 때 排水閘門이 닫혀진 경우, Case IV 는 流出量이 감소될 때 排水閘門이 열려있는 경우이다. 그림에서 관찰해 보면 流出量이 증가할 때는 40km~上流端까지의 水面傾斜가 급해지며, 排水閘門이 열려 放流가 이루어 질때는 15km~40km區間에서 水面傾斜의 變化가 이루어 지는 것을 알 수 있었다. 이상의 결과로 부터 HYFRO模型은 榮山江 流域의 河道區間 洪水追跡에 그 適用性이 높은 것으로 판단되었다.

2. 淡水湖 內水位 計算

가. 河道區間 特性 分析

淡水湖 內水位 計算模型인 IWAL模型은 水理學的 洪水追跡模型 HYFRO模型이 적용되어진 羅州下流流域을 대상으로 적용되어질 것이다. 그래서 HYFRO模型의 적용시에 정리된 入力資料를 이용하여 IWAL模型을 적용하도록 하였다. 다만 全體流域이 TR-20模型을 이용하여 淡水湖로의 流入水文曲線을 계산하여야 하므로 이미 계산되어진 66개 小流域의 流出水文曲線으로 부터 TR-20模型에 의한 河道洪水追跡을 실시하여 淡水湖 流入水文曲線을 계산하도록 하였다.

榮山江 河川을 따라 TR-20模型에 의한 河道洪水追跡을 위해서는 66개 河道區間에 대한 조도계수를 계산하였는데, 河道區間的 傾斜가 逆傾斜로 존재하는 구간이 나타나므로 河道區間 平均傾斜를 榮山江 河川整備計劃書(1989)¹⁾의 平衡河床高 資料를 이용하도록 하였다. 平衡河床高 資料를 이용한 66개 河道區間的 조도계수는 上流端에서는 0.0311이며 下流端에서는 0.0211인 것으로 나타났다.

나. 清明日에의 適用

IWAL模型의 適用性을 분석하기 위하여 먼

저 降雨가 발생하지 않은 清明日에 대하여 淡水湖 水位變化를 계산하도록 하였다. 降雨가 발생하지 않았으므로 TR-20模型에 의한 淡水湖 流入水文曲線은 매시간 0으로 가정하였으며, 淡水湖 流入成分이 무시됨으로써, 결국은 排水閘門 放流量 計算方法의 適用性에 대한 평가가 될 것으로 판단되었다.

模型의 適用은 計算時間 間隔을 0.01hr로 하였으며, 排水閘門 運用記錄을 참조하면 排水閘門이 완전히 개방되고, 폐쇄되는데는 25분 정도가 소요되는 것으로 나타나 25분 동안 일정한 速度로 排水閘門의 개방높이가 증가하여 정해진 개방 높이에 이르는 것으로 하였다.

1983년부터 1991년 까지의 排水閘門 運用記錄으로부터 清明日에 排水閘門이 개방되어진 94건에 대하여 排水閘門이 개방되어진 時間에 대하여 TR-20模型을 적용하였는데 內水位變化 資料가 1~2時間 單位로 존재하므로 적절한 비교는 이루어지지 않을 것으로 판단되어 累加放流量을 비교하는 방법을 사용하였다. 排水閘門의 운용에 있어서는 放流量을 직접 관측하지 않으므로 排水閘門 開放 前後의 內水位를

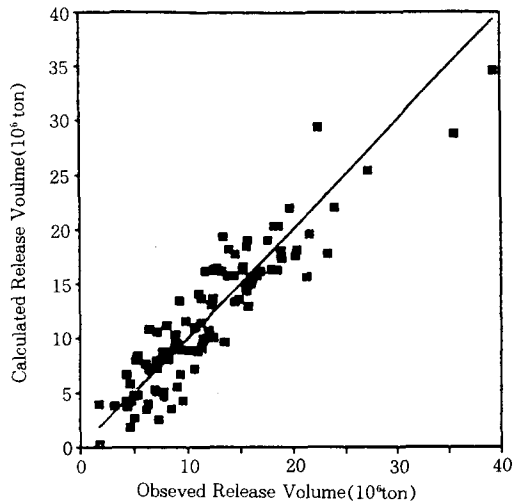


Fig. 7. Comparison of Observed and simulated release volume

비교하여 그 감소된 만큼이 放流된 것으로 하여 淡水湖 內水位-內容積 關係資料로부터 體積으로 환산하여 이를 放流量 觀測值를 대신 하도록 하였다. Fig.7은 94건의 排水閘門 開放에 따른 累加放流量 計算結果를 內水位 變化資料에 따른 累加放流量 資料와 비교한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 相關係數는 0.91로서 양호한 대응을 보였는데, 이로써 放流量 計算方法이 實際放流量을 잘 표현해 줄 수 있는 것으로 판단 되었다.

다. 降雨日에의 適用

水理學的 洪水追跡模型 HYFRO模型에 의하여 적용되었던 4개의 降雨事象에 대하여 IWAL模型을 적용하여 그 적용성을 분석하였다. Fig.8은 TP13降雨事象에 대한 淡水湖 內水位 變化樣相을 표시한 것으로서 計算 初期에는 다소 큰 차이를 보였으나 排水閘門이 개방되면서 內水位가 觀測值 값에 접근하여 實際內水位 變化樣相과 일치해 나가는 것을 볼 수 있다. 計算 初期에 큰 차이를 보인 것은 流域面積이 큰 小流域이 淡水湖 隣近에 분포되어 있어서 그 流域으로부터의 流出이 늦게 발생하는 것으로 계산되기 때문으로 판단되었다. 그러나 內水位가 觀測值보다 낮으면 排水閘門 開放時 放流量이 그만큼 적어져서 排水閘門 閉鎖時間에는 觀測值와 비교적 일치되었

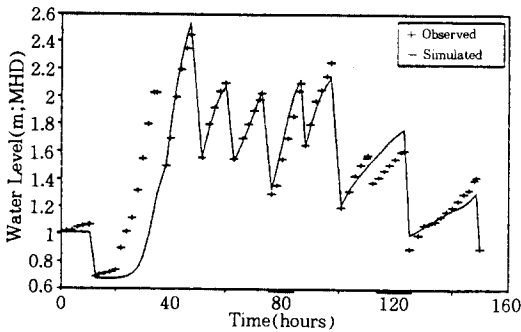


Fig. 8. Observed and simulated river-stages for the estuary reservoir(1984. 7. 4. 12: 00~7.9. 12: 00)

으며, 內水位가 觀測值보다 높은 경우에는 그 반대현상이 발생하는 것으로 보였다.

이상의 結果로 볼 때 IWAL模型은 實時間 計算에 의해서 현재까지의 內水位를 알고 앞으로 3~6시간 이후의 內水位를 예측하는 데는 適用性이 높은 것으로 판단되었다.

IV. 結 論

榮山湖의 洪水豫警報와 排水閘門의 操作 및 運用을 위한 洪水豫報 프로그램의 개발을 목적으로 水理學的 洪水追跡模型, 淡水湖 內水位 計算模型 등을 개발하여 그 適用性을 분석한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 榮山江의 洪水追跡을 위하여 動水力學 方程式의 數值解析에서 陰函數有限分法을 적용한 洪水追跡模型 HYFRO를 개발하여 洪水時 時間的 空間的 水理特性 등을 解析할 수 있도록 하였다.

2. 榮山湖의 內水位를 貯溜方程式으로 부터 계산할 수 있는 淡水湖 內水位 計算模型 IWAL을 구성하여, 排水閘門 放流量과 淡水湖의 水位變化를 推定할 수 있도록 하였다.

3. TR-20模型에 의하여 계산되어진 羅州地點-하구둑 區間의 橫流入量 結果를 이용하여, HYFRO模型에 의하여 洪水追跡을 실시하였다. 洪水追跡 結果는 計算初期의 誤差를 제외하면 양호한 適用性을 보여, 榮山江 河川을 따라 時間別 河川區間別 水位 및 流量의 變化를 예측할 수 있을 것으로 판단되었다.

4. IWAL模型에 의하여 排水閘門 流出量 計算방법에 대한 適用性을 평가한 結果, 相關係數가 0.91로서 잘 일치된 結果를 얻었으며, 洪水時 內水位 變化 예측을 위한 實時間 계산에 適用性이 높은 것으로 판단되었다.

5. 이상의 結果로 부터 洪水時 榮山湖의 運營 操作은 TANK模型에 의한 羅州流域의 流入量 推定結果와 TR-20模型을 이용한 羅州-

하구둑 區間의 橫流入量, IWAL模型에 의한 하구둑의 放流量, 水位 推定결과를 이용하여, HYFRO模型에 의한 時間別 地點別 水位, 流量을 推定한 結果를 근거로 하여 의사결정이 가능할 것으로 판단되었다.

參 考 文 獻

1. 建設部, 1989, 榮山江水系 綜合整備計劃.
2. 朴昌彥, 1994, 榮山湖 運營을 위한 洪水豫報模型의 開發, 서울大學校 大學院 博士學位 論文.

3. 朴昌彥, 朴承禹, 1994, 榮山湖 運營을 위한 洪水豫報模型의 開發(I)-計測地點의 洪水流出 推定, 韓國農工學會誌 第36卷 第4號 pp. 95~102.
4. 朴昌彥, 朴承禹, 1994, 榮山湖 運營을 위한 洪水豫報模型의 開發(II)-未計測地點의 洪水流出 推定, 韓國農工學會誌 第37卷 第1號 pp. 65~72.

(접수일자 : 1994년 10월 2일)