

〈論 文〉

## 陽解法과 陰解法을 이용한 榮山江에서의 不定流解析 Unsteady Flow Analysis in the Youngsan River Using Explicit and Implicit Finite Difference Methods

崔成旭\* 呂運光\*\* 朱 澈\*\*\* 金稔完\*\*\*\* 吳圭昌\*\*\*\*\*  
Choi, Sung-Uk Yeo, Woon Kwang Choo, Cheol Kim, Chang Wan Oh, yu Chang

Abstract □ Flood routing in the Youngsan River was performed for the flood event of July, 1989 by two finite difference methods. The Saint Venant eq., a kind of hyperbolic partial differential equation is employed as governing equation and the explicit scheme (Leap Frog) and implicit scheme (Preissmann) are used to discretize the GE. As for the external boundary conditions, discharge and tidal elevation are upstream and downstream BC, respectively and estuary dam is included in internal BC. Lateral inflows and upstream discharges are the hourly results from storage function method. At Naju station, a relatively upstream points in this river, the outputs are interpreted as good ones by comparing two numerical results of FDMs with the observed data and the calibrated results by storage function method. And two computational results are compared at the other sites, from middle stream and downstream points, and thus are considered reliable. Therefore, we can conclude from this research that these numerical models are adaptable in simulating and forecasting the flood in natural channels in Korea as well as existing hydrologic models. And the study about optimal gate control at the flood time is expected as further study using these models.

要 旨: 영산강 유역의 89년 7월 호우에 대하여 두가지 유한차분법을 이용한 부정류해석을 실시하였다. 유한차분법으로는 양해법의 경우 Leap Frog 기법을, 음해법은 Preissmann 기법을 사용하였고 지배방정식은 쌍곡선형 편미분방정식의 일종인 Saint Venant식을 이용하였다. 외부경계조건으로는 상류단의 유량과 하류단의 潮位를 이용하였으며 하구언을 내부경계조건으로 포함시켰다. 지천에서의 유입량과 상류단에서의 유량은 貯留函數法에 의한 결과로써 시간별 입력자료로 사용되었다. 비교적 상류에 해당되는 나주지점에서 실측자료, 저류함수법 그리고 두 수치모형에 의한 계산값을 비교해본 결과 해의 정확도는 만족스러웠고 실측자료가 없는 중하류지점에서도 두 모형에 의한 계산값을 비교함으로써 상대적으로 신뢰할 수 있음을 알았다. 본 연구를 통하여 기존의 수문학적 홍수추적방법과 더불어 수치해석에 의한 부정류모형이 洪水豫警豫업무에 충분히 이용될 수 있음을 알 수 있었으며, 앞으로 본모형을 이용한 홍수시 排水閘門의 최적인영방안 등의 연구도 기대된다 하겠다.

### I. 序 論

홍수추적의 목적은 하천에 유입되는 유량이나 수위의

급격한 시간적 변화가 하류지점에 어떻게 영향을 미치는가를 하는데 있으며 해석방법에는 크게 나누어 水文學的方法과 水理學的方法이 있다. 전자는 洪水波의 連續方

---

\* 한국건설기술연구원 수자원연구실 위촉연구원  
 \*\* 명지대학교 토목공학과 조교수  
 \*\*\* 동명기술공단 이사  
 \*\*\*\* 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원 (한양대 토목공학과 박사과정)  
 \*\*\*\*\* 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원

程式에 기초를 둔 貯留方程式을 이용한 近似解法이며 대 상유역에 따라 貯水池 追跡, 河道追跡 및 流域追跡으로 구별되나 이는 기존의 관측자료에 근거한 經驗的 方法 이다. 수리학적 방법은 非定常不等流(Unsteady Varied Flow)를 나타내는 偏微分形態의 連續方程式과 運動量方程式을 직접 해석하는 것으로서 실제적용시 많은 단면자료로 인하여 계산량이 방대해진다. 그러나 수리학적 방법은 從屬變數들을 시간에 대하여 순차적으로 계산해내는 수문학적 방법과는 달리 한 시간 준위에서 동시에 계산함으로써 하천에서의 非定常 不等流를 더 실제상황에 가깝게 계산해낼 수 있다 (Chow, Maidment 와 Mays, 1988). 최근 처리능력과 계산속도가 뛰어난 컴퓨터의 등장으로 數值模型에 의한 계산방법이 많이 개발되고 있다.

일반적으로 수공학 문제를 수리학적 방법으로 해석할 때 特性曲線法(Characteristic Method), 有限要素法(Finite Element Method), 有限差分法(Finite Difference Method)이 이용된다. 특성곡선법은 急變流의 경우와 인공하천단면과 같은 간단한 형태의 단면에서 解의 精度는 뛰어나지만 일정한 시간과 공간에서 답을 구하는데 어려움이 있으며, 固定格子를 이용하더라도 有限差分法의 양해법보다 사용상 잇점이 없다. 그간 Liggett와 Cunge(1975) 이후 Abbott(1979)에 의하여 많은 시도가 있었으나 실제 지형에서의 적용은 아직 이른 것으로 보인다. 有限要素法의 경우 Keuning (1976), Cooley와 Moin(1976), Kawahara 와 Yokoyama(1980) 등의 洪水流出 解析을 위한 여러 연구가 있었으나, 支配方程式이 空間에 대하여 一次元인 경우에는 불규칙한 경계에서 계산결과가 뛰어나다는 有限要素法의 장점을 충분히 이용할 수 없다. 有限差分法은 현재 이 방면의 연구에 가장 보편적으로 이용되며 차분방식에 따라 여러가지 방법이 있다.

유한차분법으로 洪水波에 의한 水面 變動量을 해석할 경우 陽解法(Explicit Method) 또는 陰解法(Implicit Method)을 이용할 수 있다. 陽解法의 경우 해석방법 및 절차가 비교적 간단하고 컴퓨터의 용량이 작아도 된다는 장점은 있으나 시간과 공간 差分間隔에 따른 安定性 問題(Stability Problem)를 야기시켜 실제 계산에 어려움이 많다. 즉 매우 짧은 시간과 공간간격을 취함으로써 전체 계산시간이 길게 되고 많은 단면자료로 인한 계산량의 증가로 경제적이지 못할 때가 많다. 음해법을 사용할 경우 안정성 문제로 인한 이러한 어려움은 배제시킬 수 있으나 해석방법이 복잡하고 전단면에 걸쳐 연립방정식을 매시간 마다 풀어야 하므로 計算量이 매우 많다.

음해법에 의한 홍수추적모형은 그간 많이 연구·개발되어 왔는데 Amein과 Fang(1970)이 4점 음해법을 자연하도에 적용한 이후 Price(1974)에 의해 이 방법이 가장 효율적이고 精度가 높은 것으로 밝혀졌으며 DWOPER모형, DAMBRK모형 그리고 FLDWAV모형 등에 채택되어 널리 이용되고 있다.

우리나라에서는 80년대 초부터 수치해석을 통한 하천의 홍수추적에 관한 연구를 수행하였는데 이 종태(1982)는 Preissmann 기법에 대해서 안정성과 精度를 검토하였고 선우 중호(1983)는 4점 음해법을 금강에 적용하였다. 이 상호와 이 길성(1988)은 여러 가지 차분법으로 단일 증감파와 충격파에 대해 유한차분 수치해의 특성을 비교하였으며, 김 현영과 박 승우(1989)는 양해법(Leap Frog)으로 부정류 모형을 구성하여 금강하류의 감조구간에 적용한 바 있다. 또한 김 현영(1990)은 Preissmann 기법을 사용하는 美 開拓局의 DWOPER모형을 고쳐서 만경강과 동진강에 적용하였다.

본 연구의 목적은 양해법 및 음해법의 유한차분법을 이용하여 홍수파에 대한 부정류해석을 실시하여 영산강에서의 실측자료 및 貯留兩數法에 의한 테스트런 결과와 비교함으로써 각 수치해석방법의 특성을 살펴보고 이의 적용가능성 여부를 검토하는데 있다.

## II. 基本 理論

### 1. 支配方程式

본 부정류해석의 지배방정식은 식(1)과 같은 Saint-Venant 식으로서 시간과 거리에 대하여 1차의 편미분을 갖는 雙曲線形 偏微分方程式(Hyperbolic Partial Differential Equation)이다. 이와 같은 식은 두개의 特性方向(Characteristic Direction)을 가지며 종속변수의 해는 열려진 경계와 特性線(Characteristic Line)들로 둘러싸인 영역내에서 구해진다.

$$\frac{\partial}{\partial t} (A+A_0) + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (1a)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (Q^2/A) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = gA(S_0 - S_f - S_c) \quad (1b)$$

여기서 독립변수  $t$ =시간,  $x$ =흐름방향으로의 거리이며 종속변수  $A$ =통수 단면적,  $Q$ =유량이다. 그리고  $A_0$ =死水域의 단면적,  $q$ =橫流入量,  $h$ =수위,  $S_0$ =바닥경사이며,  $S_f$ 와  $S_c$ 는 각각 에너지(마찰)경사와 단면 급변화로

인한 손실을 나타내며 식(2)와 식(3) 같이 표현된다.

$$S_f = \frac{n^2 U^2}{R^{4/3}} \quad (2)$$

$$S_f = \frac{K_s}{2g} \frac{\partial}{\partial x} (Q/A)^2 \quad (3)$$

개수로에서는 에너지경사를 구하기 위하여 Chezy공식이나 Manning공식을 사용하는데 식(2)는 Manning공식을 사용한 경우이며 식(3)의  $K_s$ 는 단면 급확대와 급축소에 의한 계수이다.

## 2. 有限差分法

주어진 지배방정식의 수치해를 구하기 위해서는 식(1)의 차분식을 구해야 하는데 본 연구에서는 양해법으로 Leap Frog기법을, 음해법으로는 Preissmann기법을 사용했다.

### (1) 陽解法

(그림1)에서 임의의 지점  $\alpha$ 에서 物理量(速度, 流量, 水位 등)을  $\omega$ 라 할 때 Leap Frog방법으로  $\omega$ 의 시간과 거리에 대한 편미분 값을 구하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial \omega(\alpha)}{\partial t} = \frac{1}{2\Delta t} [\omega^{i+1}_i - \omega^{i-1}_i] \quad (4a)$$

$$\frac{\partial \omega(\alpha)}{\partial x} = \frac{1}{2\Delta x} [\omega^{i+1}_{i+1} - \omega^{i-1}_{i-1}] \quad (4b)$$

위의 차분법은  $\Delta x$ 와  $\Delta t$ 에 대해 2차의 精度(Second

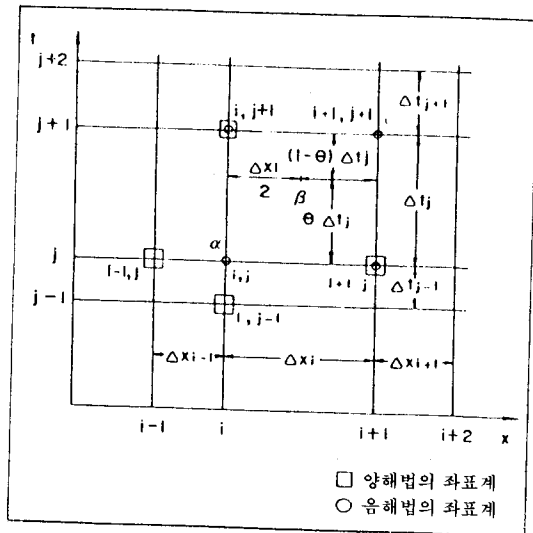


그림 1. 유한차분 격자

Order Accuracy)를 가지며 결과가 안정하기 위해서는 다음 식(5)와 같은 Courant 조건을 만족해야 한다.

$$\frac{\Delta t}{\Delta x} \leq \frac{1}{U \pm C_k} \quad (5)$$

여기서  $U$ 는 평균유속이고  $C_k$ 는 運動學的 波速(Kinematic Wave Velocity)이다.

### (2) 陰解法

Preissmann기법을 사용하면 (그림1)에서  $\beta$ 지점의 임의 물리량  $\omega$ 는  $\beta$ 를 둘러싼 4절점에서의 값들을 이용하여 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\omega(\beta) = \frac{\theta}{2} [\omega^{i+1}_{i+1} + \omega^{i+1}_{i-1}] + \frac{1-\theta}{2} [\omega^i_i + \omega^i_{i-1}] \quad (6)$$

또한 시간과 거리에 대한 1차 미분항들은 각각 다음 식(7)과 같다.

$$\frac{\partial \omega(\beta)}{\partial t} = \frac{1}{2\Delta t} [\omega^{i+1}_{i+1} + \omega^{i+1}_{i-1}] - \frac{1}{2\Delta t} [\omega^i_i + \omega^i_{i-1}] \quad (7a)$$

$$\frac{\partial \omega(\beta)}{\partial x} = \frac{\theta}{\Delta x} [\omega^{i+1}_{i+1} + \omega^{i+1}_{i-1}] + \frac{1-\theta}{\Delta x} [\omega^i_i + \omega^i_{i-1}] \quad (7b)$$

여기서  $\theta=0.5$ 이면 Box기법이라 하며  $\theta=0$  일때 완전 양해법,  $\theta=1$  이면 완전음해법이 된다. 계산 결과는  $0.5 \leq \theta \leq 1.0$  에서 무조건 안정하며,  $\theta=0.5$ 일 때 2차의 精度를 갖고  $\theta=1$  이면 1차의 精度를 갖는다.

Liggett와 Cunge(1975)는 이 방법을 해석해가 있는 간단한 모형에 적용하여 안정한 결과를 얻기위한  $\theta$ 는 0.6에서 1.0까지의 값을 보였다. 실제로 이 범위의  $\theta$ 값들에 대해 계산을 수행해본 결과 수렴된 해에는 큰 변동이 없었고, 본 연구에서는  $\theta$ 를 0.75로 선택하였다.

## Ⅲ. 流域 資料

영산강은 1982년 하구언이 완공됨에 따라 하구언과 목포를 포함하여 그 유역을 새롭게 설정하였는데 유역면적은 3521.6km<sup>2</sup>, 유로연장은 약 142.7km이다 (건설부 한강홍수통제소, 1988). 영산강 유역은 북쪽으로 동진강 유역, 동쪽으로는 섬진강 유역과 접하고 있으며 행정구역 상으로는 광주직할시, 전라남도의 목포시, 나주시, 장성군, 담양군, 함평군, 화순군, 나주군, 무안군, 영암군과 1개면의 일부만을 포함한 영광군 등 3개 시 8개 군을 포

함하고 있다. 본 부정류 계산에 필요한 유역자료는 榮山江水系綜合整備計劃(건설부, 1989)을 이용하였다.

### 1. 河川 縱橫斷 測量資料

중단측량의 경우 하구둑에서 지석천 합류점의 상류구간 31.3 km 까지는 측점간격 500m를 기준으로 했으며 그 이외의 구간에서는 200m를 기준으로 실시하였다. 이 보고서에 따르면 하천 중단측량성과에 의한 하천연장은 영산강분류가 110.91km, 황룡강이 9.4km, 지석천이 15.8km로 나타났다. 횡단측량의 경우 하구둑에서 지석천 합류점 구간은 '88 하상변동조사에 의한 측량성과이며 그 이외 구간은 중단측점에서 유심의 직각방향으로 점간거리 20m를 기준으로 하여 지형이 급변하는 지점은 보완하고 제외되는 구간을, 제내지는 100m 이상을 기준으로 측량을 실시한 자료이다.

### 2. 粗度係數

영산강 분류의 경우 하구둑에서 영산대교 구간은 1989년 7월 홍수시의 흔적수위 자료와 홍수량을 기준으로 背水位 計算을 실시하여 가장 적합한 자료로 선정된 0.026을 조도계수로 채택하였으며 그 이외의 구간은 하천상황에 따른 조도계수기준, 과거의 하천정비기본계획, 개수계획시 적용값 등과 현황을 감안하여 영산대교 지점에서 증압강합류점 구간은 0.030, 증압강합류점 상류구간은 0.035로 하였다.

수치해석으로 부정류해석을 할 때 精度를 높이기 위하여 조도계수를 보정하는 방법(Fread & Smith, 1978)이 있으며 이를 국내에서도 적용(김현영과 박승우, 1989; 김현영, 1990)한 바 있다. 그러나 이러한 방법은 실측자료가 많고 또 이를 완전히 신뢰할 수 있을 때 적용할 수 있으며, 이렇게 보정된 조도계수의 값이 본래 사용되는 값과 큰 차이가 없다. 따라서 본 연구에서는 조도계수를 보정하지 않고 위의 값들을 그대로 이용하였다.

### 3. 水文資料

본 유역에 위치한 수문관측소는 영산강 분류에 6개소로 마북, 본동, 나주, 영산포, 회진, 사포이며 황룡강과 지석천에 각각 선암, 남평 1개소씩 총 8개소가 위치해 있다. 홍수량 계산은 유역추적법에 의한 단위도법, 年최대 홍수량자료에 대한 확률분석 및 수정가자야마방법으로 산정하여 이중 적절한 값을 채택하였는데 홍수량 계산결과는 (표1)과 같다.

## IV. 模型의 適用

### 1. 格子의 構成

홍수추적을 위하여 영산강 분류의 본동 수위표지점 부근(No. 100)부터 영산강 하구언까지 약 69.17km 구간을 일차원 격자로 구성하였는데 이는 (그림 2)와 같다. 계산에 사용된 節點은 양해법의 경우 총 145개이고 음해법은 16개로 合流點 7개를 포함하고 있다. 음해법 계산을 위해 사용된 절점은 중요한 지점을 포함하고 가능한 고른간격이 되도록 하였으며 하상의 변동도 고려하여 선정하였다. 사용된 각 절점의 측점번호와 주요위치 그리고 하구언으로부터의 거리는 (표2)와 같다.

### 2. 적용대상 洪水事象

본 유역 전반에 걸쳐 양호한 과거 호우의 시간자료가 있는데 그중 과거의 수위자료가 있는 1989년 7월 호우(24일~31일)를 홍수사상으로 채택하였다. 이 자료를 근거로 貯留兩數法을 이용하여 테스트런하였고, 그 결과를 수치모형의 입력자료(경계조건)로 이용하였다. 나주지점에서는 테스트런한 결과도 부정류해석 결과와 같이 실측치와 비교하였는데 이는 (그림 5)에 나타난 바와 같다. 저류함수법에 사용된 매개변수 등 자세한 사항은 영산강 홍수에경보 프로그램개발 보고서 (건설부 한강홍수통제

표 1 홍수량 계산결과

지 점	유역면적	빈 도 별 홍 수 량				
		50	80	100	150	200
하 구 둑	3,429.0	4,900.0	5,300.0	5,500.0	5,800.0	6,000.0
사 포	2,566.4	4,900.0	5,300.0	5,500.0	5,800.0	6,000.0
나 주	2,048.0	4,900.0	5,300.0	5,500.0	5,800.0	6,000.0
본 동	1,297.8	3,080.0	5,300.0	3,410.0	3,600.0	3,740.0

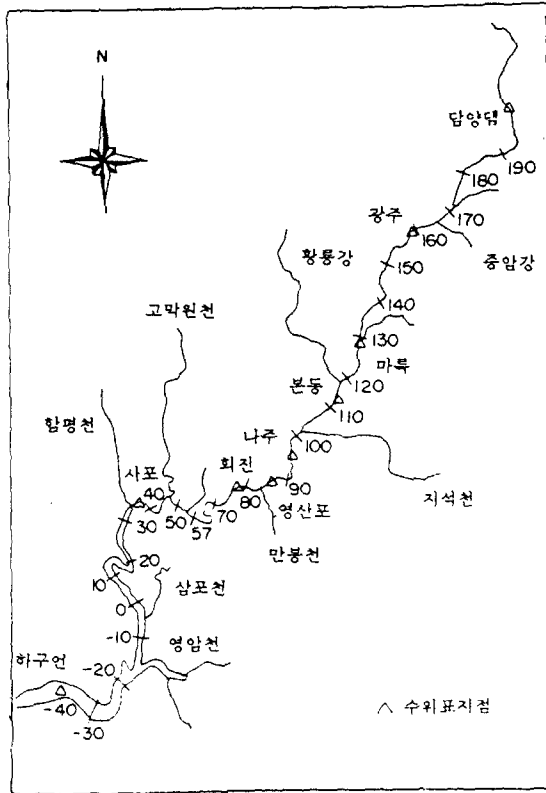


그림 2 하천망의 구성

소, 1991)를 참고하기 바란다.

### 3. 境界條件

부정류 수치모형의 경계조건은 内部 境界條件(Internal B.C.)과 外部 境界條件(External B.C.)으로 이루어져 있다. 내부 경계조건으로 합류점에서의 連續方程式과 수위의 適合條件式을 만족해야 하는 것과 榮山江河口堰 排水閘門의 放流特性이 있다. 본 연구의 경우에는 합류점에서 지천의 유량을 저류합수법에 의한 계산값으로 사용하였으므로 내부경계조건은 하구연 배수갑문의 방류특성만을 고려하였다.

#### (1) 内部境界條件(榮山江河口堰 排水閘門의 放流特性)

排水閘門은 數值模型에서 일종의 内部 境界條件으로 취급되어진다. 閘門을 중심으로 内水位와 外水位로 구분하여 外水位에는 潮位를 대입하고 内水位와 비교한 후 다음 公式에 의거하여 放流量을 구한다. (그림 3)에서와 같이  $h_i$ 을 内水位,  $h_o$ 를 外水位라 할 때  $h_i < 1.025h_o$  인 경우는 放流量이 없으며,  $h_i > 1.025h_o$  일 때는 다음 식에 의해 放流量을 결정한다.

#### ① 排水閘門을 열었을 때의 初期流量

표 2 계산에 사용된 절점 (음해법)

순서	측점번호	하구연으로 부터의 거리(m)	주요위치
1	No. 110	69170	상류단
2	No. 103	65670	지석천 합류점
3	No. 97	62670	나주 수위표
4	No. 86	57360	영산포 수위표
5	No. 77	53210	회진 수위표
6	No. 53	45510	죽산리
7	No. 48	43310	고막원천 합류점
8	No. 36	38210	사포 수위표
9	No. 20	30360	
10	No. 10	25360	
11	No. -3	19000	함평천 합류점
12	No. -14	13500	영암천 합류점
13	No. -20	10500	
14	No. -28	6500	
15	No. -37	2000	
16	No. -41	0	하구연

$$Q=C_1BD\sqrt{2g(h_1-h_2)}$$

② 潛堰의 경우 ( $\frac{2}{3} h_1 < h_2$ )

$$Q=C_2Bh_2\sqrt{2g(h_1-h_2)}$$

③ 完全溢流인 경우 ( $\frac{2}{3} h_1 > h_2$ )

$$Q=C_3Bh_1\sqrt{2gh_1}$$

여기서 Q : 방류량 (m<sup>3</sup>/s)

B : 배수갑문 유효폭 (m)

D : 열린 문높이 (m)

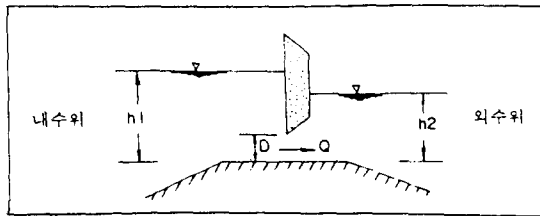


그림3. 배수갑문의 방류특성

유량계수의 경우 일반적으로  $C_1=0.51, C_2=0.91, C_3=0.35$ 를 사용하나 본 연구에서는 排水閘門操作에 따른 流量의 連續性을 고려하여  $C_1=0.51, C_2=0.747, C_3=0.29$ 로 수정하여 入力資料로 이용하였다.

(2) 外部境界條件

貯留函數法에 의한 상류단에서의 시간별 유량을 上流境界條件으로 사용하였다. 그리고 하류경계조건으로는 하구언의 외수위를 사용하였는데 2시간마다 기록된 자료를 시간별 자료로 바꾸기 위하여 3차함수를 이용한 보간을 하였다. 각각의 사용된 流量 및 潮位를 시간별로 살펴보면 (그림 4)와 같다.

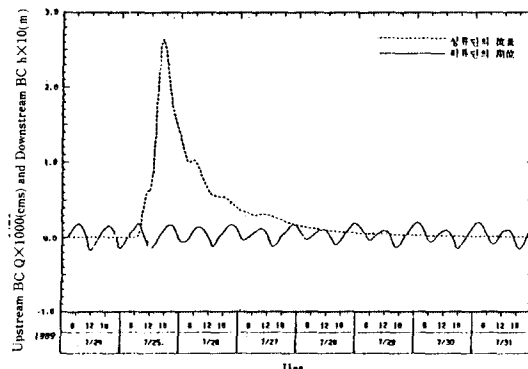


그림4) 외부경계조건

4. 初期條件

양해법에서는 상류단의 유량을 200 CMS로 하여 정상 상태에서의 각 절점의 유량을 산정해 Time=0.0에서의 초기값으로 사용하였다. 음해법의 경우 Time=30.0에서 상류단의 유량을 가지고 하구언의 외수위로부터 標準逐次 計算法(Standard Step Method)으로 不等流計算한 결과를 초기조건으로 삼았다. 음해법으로 수리학적 현상을 수치해석할 때 경계조건 뿐만 아니라 초기조건도 매우 중요하다. 이것은 합당하지 않은 초기조건이 주어질 경우 양해법과는 달리 減衰機能(Damping Property)이 없으므로 해가 수렴하지 않을 수 있기 때문이다.

5. 時間間隔의 決定

(1) 陽解法

계산에 사용된 하천망에서  $\Delta X_{max}=950$  (m) 이고  $\Delta X_{min}=400$  (m) 이었다.  $\Delta t$ 를 임의로 잡아 수치모형을 수행하면서 각 절점에서 수심과 유속을 구하여 식(5)에 대입함으로써 Courant조건을 만족하는가를 살펴보았다. 본 방법에 사용된 시간간격은 30 Sec 이다.

(2) 陰解法

Price(1974)에 의하면 최고의 精度를 얻기 위해서는 공간격자의 간격  $\Delta x$ 를 運動學的 波速(1.5Q/A)으로 나눈 값을 시간간격  $\Delta t$ 로 사용할 것을 권장하고 있다. 그러나 이러한 연구결과는 공간격자의 간격이 대체로 일정한 경우에만 적용이 가능 하며 본 경우와 같은 실제 하천에서는  $\Delta x$ 를 일정하게 잡기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 거리간격의 평균값과 대략적인 운동학적 파속으로  $\Delta t(0.15 \text{ Hour})$ 를 산정하여 이용하였다.

6. 適用結果

1989년 7월 豪雨에 의한 영산강 본류의 주요지점의 침투홍수량, 수위 및 홍수도달시간은 (표 3)과 같으며, 주요지점에서의 시간별 유량 및 수위는 (그림 5)~(그림 8)과 같다. 원래 저류함수법으로 테스트된 홍수기간은 8일간이며 부정류해석도 이와 동일한 기간동안 수행되었다. 그러나 우리의 관심사항은 수문곡선의 상승부, 침투부 그리고 하강부이며, 양해법의 경우 低水期에는 하상이 불규칙하고 일부단면 자료의 부정확성 때문에 解의 수렴이 어려웠고 계산이 되더라도 그의 신뢰성에 문제가 발생하였다. 그러나 우리의 관심 사항은 홍수시를 대상으로 하기 때문에 그에 해당하는 5일간의 결과만을 도시

하였다.

나주지점에서는 (그림 5)와 같이 실측수위와 저류함수법에 의한 테스트런 결과, 그리고 부정류해석(양해법과 음해법)에 의한 수위를 비교하였다. 수문곡선의 상승부와 첨두부분에서 부정류해석에 의한 계산값이 실측치보다 약간 크게 나왔으나 비교적 정확하였고 수문곡선 하강부에서는 양해법이 가장 실측치와 가까웠다. 음해법에 의한 수위에서 첨두부분부터 72시간까지는 실측치보다 약간 적게, 그 이후는 약간 크게 나타났는데 이것은 경사변화가 고르지 못한 상류지점의 지형적 특징을 상대적으로 단면사이의 거리를 크게 취한 음해법에서는 충분히 표현할 수 없었기 때문이다. 이 부분에서 저류함수법에 의한 테스트런 결과는 실측치보다 조금 작게 나타났다.

회진지점에서는 실측자료가 없는 관계로 (그림 6)과 같이 부정류해석의 결과만을 비교하였다. 두 방법 모두 계산된 수위와 유량이 거의 같았으며 다만 수문곡선 하강부의 84시간 부터는 양해법에 의한 수위가 음해법보다 크게 나타났으나 실측치의 부재로 어느것이 더 타당하다고 결론지을 수는 없었다.

(그림 7)은 사포지점에서의 양해법과 음해법에 의한 계산결과를 비교한 것이다. 유량에 대해서는 두 방법에

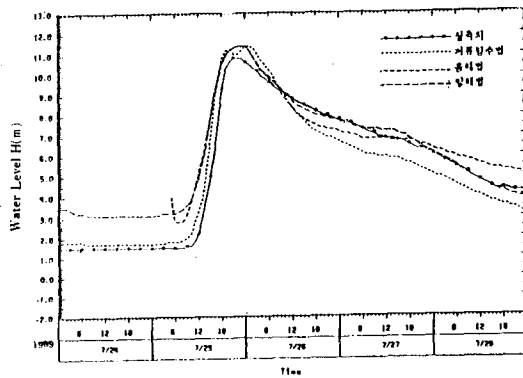


그림 5) 나주지점에서의 수위

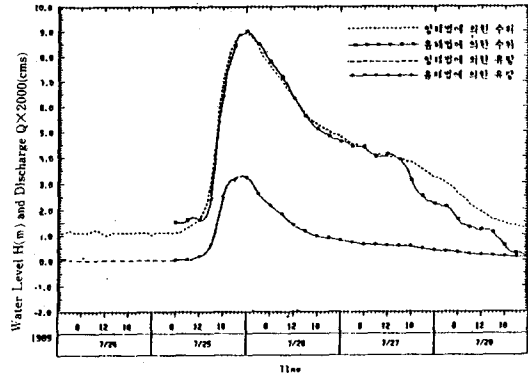


그림 6) 회진지점에서의 유량과 수위

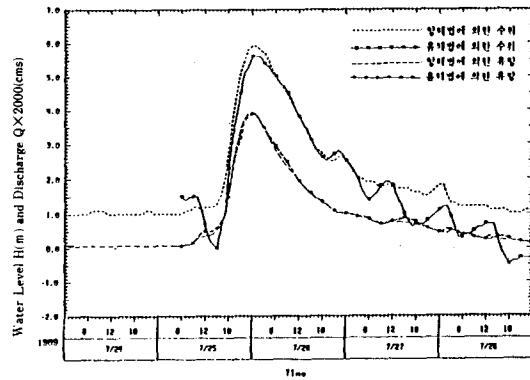


그림 7) 사포지점에서의 유량과 수위

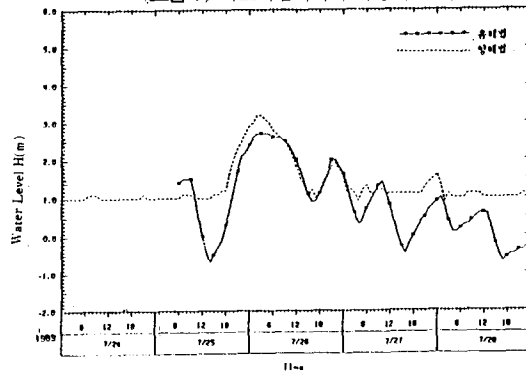


그림 8) 영암천 합류점에서의 수위

표 3 주요지점의 첨두홍수량, 첨두홍수위 및 홍수도달시간(양해법/음해법)

구 분	첨두홍수량(cms)	첨두홍수위(m)	홍수도달시간(hr)
나 주	5995/5990	11.4/11.6	47/47
영 산 포	6314/6464	10.0/9.6	47/47
회 진	6571/6601	8.9/8.6	47/47
사 포	7853/7757	5.9/6.9	48/47

6 12 18	6 12 18	6 12 18	6 12 18	6 12 18	6 12 18	6 12 18	6 12 18
7/24	7/25	7/26	7/27	7/28	7/29	7/30	7/31

의해 산출된 解가 거의 일치하였고 비슷한 거동을 보였다. 그러나 수문곡선이 상승하기 바로직전과 하강부에서 수위가 진동함을 볼 수 있는데 이것은 조석과 배수갑문 개폐에 따른 영향으로 보여지며, 양해법의 경우도 이를 반영하나 음해법에 비하면 훨씬 덜 민감함을 알 수 있다.

(그림 8)은 영산강의 하류에 해당되는 영암천이 합류되는 지점에서 양해법과 음해법에 의한 부정류 해석결과(水位)를 비교한 것으로서 하류에서도 홍수기간중의 결과는 비교적 잘 일치함을 알 수 있다. 그리고 (그림 7)에서와 같은 조석과 내부경계조건의 영향이 더욱더 뚜렷함을 볼 수 있다.

계산에 사용된 컴퓨터는 VAX 6310 이며 계산에 소요된 시간은 대략 양해법이 18분, 음해법이 16분으로 음해법이 Time=30.0에서 홍수추적한 것을 고려하면 별 차이가 없음을 알 수 있다.

## V. 맺는말

1989년 7월 호우에 대하여 수문학적 방법인 저류함수법에 의한 상류단의 유출량과 지천의 유입량 자료를 이용하여 부정류 해석을 하였다. 비교적 상류에 속하는 나주지점에서는 실측수위와 저류함수법 그리고 양해법 및 음해법의 수치방법에 의한 결과를 비교하였으며 그 밖의 지점에서는 두 가지 수치해석에 의한 계산값을 비교함으로써 상대적인 정확도를 살펴보고자 하였다. 실측수위가 있는 지점에서 조도계수를 보정하지 않았음에도 불구하고 부정류해석 결과가 비교적 정확하였으며 중류와 하류 지점에서도 두 방법에 의한 결과가 잘 일치하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

가. 지역과 사용된 수치기법에 따라서 어느 정도의 오차는 있으나 계산된 해가 실측자료와 거의 일치하였으며, 두 수치모형의 상대적인 비교 검토를 통하여 계산 결과가 신뢰할 수 있음을 보였다. 따라서 수치해석에 의한 부정류모형이 홍수에경보 업무에 충분히 이용될 수 있음을 알 수 있다.

나. 양해법과 음해법을 이용한 유한차분법은 서론에서 언급한 바와 같이 數值解析상의 각각의 장단점을 가지고 있다. 양해법을 사용할 때 음해법과 비슷한 精度를 얻기 위해 많은양의 단면자료를 이용해야 했으며, 음해법이 초기값에 아주 민감한 반면 양해법의 경우 저수기에는 계산값이 수렴하지 않는 어려움이 있었다. 또한 전체적인 측면에서 볼때 양해법의 결과가 더 좋다고 평가되나

하류로 갈수록 경계조건에 덜 민감한 것으로 보였다. 따라서 자연하천에서 수리학적 방법으로 홍수추적을 할때 자료의 상태와 계산목적 등을 고려한 후 차분방법을 선정해야 할 것이다.

다. 부정류해석에 의한 나주지점에서의 유량은 양해법과 음해법이 각각 5995 CMS 와 5990 CMS로 (표 1)에 의하면 약 200년 빈도에 해당하는 홍수량이다. 그러나 하류인 사포지점에서 같은 호우사상에 대하여 계산된 홍수량은 약 7800.0 CMS로 이는 앞의 再現期間을 훨씬 더 상회하게 된다. 따라서 기존의 수문학적 방법에 의한 홍수량 산정 방법은 하천의 지형학적 인자도 고려할 수 있는 수리학적 방법으로 수정 또는 보완될 수 있을 것이다.

또한 홍수기간중 배수갑문조작에 따른 상하류의 영향을 부정류모형으로 數值實驗함으로써 하구인 배수갑문의 最適運營方案에 대한 검토도 앞으로의 연구과제라 하겠다.

## 감사의 글

본 연구는 建設部 漢江洪水統制所의 榮山江洪水豫警報 프로그램 開發의 일환으로 수행된 것을 밝힙니다.

## 참고문헌

1. 建設部, (1989), 榮山江 水系 綜合整備計劃 (河川整備 基本計劃).
2. 建設部 漢江洪水統制所, (1991), 榮山江洪水豫警報 프로그램 開發 最終報告書.
3. 建設部 漢江洪水統制所, (1988), 榮山江洪水豫警報施設 基本設計 綜合報告書.
4. 김현영, 박승우, (1989), 금강하류 홍수의 부정류 해석, 한국수문학회지, 22 : 99~107.
5. 김현영, (1990), 부정류에 의한 感潮河川의 홍수분석, 한국농공학회지, 32 : 81~88.
6. 선우중호, (1983), 부정류 해석에 의한 금강하류부 홍수위 결정, 한국수문학회지, 16 : 123~129.
7. 이상호, 이길성, (1988), St. Venant식에 관한 유한차분법의 비교분석, 한국수문학회지, 21 : 173~182.
8. 이종태, (1982), Preissmann 기법에 의한 1차원 부정류의 해석, 한국수문학회지, 15 : 52~62.
9. Abbott, M. B., (1979), Computational Hydraulics, Pitman Publisher.
10. Amein, M. and C. S. Fang, (1970), Implicit Flood Routing in Natural Channels, ASCE, J. of the Hydraulics Div., Vol. 96, No. HY12, 2481~2499.
11. Chow, V. T., D. R. Maidment and Mays L. W., (1988), Applied Hydrology, McGraw-Hill.
12. Cooley, R. L. and S. A. Moin, (1976), Finite Element Solution of Saint-Venant Equations, ASCE, J. of Hydraulics



- Div., Vol. 102, No. HY6, pp759~775.
13. Fread, D. L. and C. F. Smith, (1978), Calibration Technique for 1-D Unsteady Flow Models, ASCE, J. of Hydraulics Div., Vol. 104, No. HY7, pp1027~1044.
  14. Kawahara M. and T. Yokoyama, (1980), Finite Element Method for Direct Runoff Flow, ASCE, J. of Hydraulics Div., Vol. 106, No. HY4, pp520~534.
  15. Keuning, D.H., (1976), Application of Finite Element Method to Open Channel Flow, ASCE, J. of Hydraulics Div., Vol. 102, No. HY4, pp459~468.
  16. Liggett, J. A. and J. A. Cunge, (1975), Numerical Methods of Solution of the Unsteady Flow Equation, Chapter 4 in Unsteady Flow in Open Channels, ed. by K. Mahmood and V. Yevjevitch, Water Res. Press.
  17. Price, R.K., (1974), Comparison of Four Numerical Methods For Flood Routing, ASCE, J. of Hydraulics Div., Vol. 100, No. HY7, pp879~899.

—1991년 7월 23일 접수—