

# NCNet 프로그램을 이용한 홍수위 해석

최계운\*, 안경수\*, ○이무옥\*\*

## 1. 서론

지금까지 인류는 자연하천이나 인공수로에서의 흐름을 이해하기 위하여 많은 시간을 보내왔다. 하천에서의 흐름, 유속, 수위에 관한 해석 결과는 인류에게는 상당히 중요한 영향을 미쳐왔으며, 이들에 대한 잘못된 평가나 부정확한 결과로 말미암아 때로는 인명피해, 때로는 커다란 재산 손실 등이 있어 왔다. 따라서, 많은 연구자들은 보다 정확하고, 실시간해석을 하기 위한 프로그램을 구성하고자 여러 방향에서 노력을 기울여 왔다.

해석방법에 있어서도 실제의 3차원 흐름을 1차원, 2차원등으로 축소하여 해석하는 모델이 주로 이용되어져 왔으며, 하천의 폭이 좁고 길이가 긴 경우에 있어서나, 하천이 망상을 이루고 있는 경우에는 1차원 흐름으로 가정한 프로그램들이 실용적으로 많이 이용되어져 왔었다. 그러나 프로그램을 사용함에 있어 실제 하천의 흐름을 정류로 가정하여 해석을 해 온 경우가 많았고, 하천 지류의 유입을 횡방향 유입량이 있는 것으로만 가정하여 해석하므로써 합류지점에서의 영향을 고려하지 못하는 경우가 많았다.

자연 하천을 해석하는 경우에도 해석에 필요한 하천의 횡단면자료를 입력할 때에 단순히 Text Editor만을 이용하여 입력하므로써 많은 자료를 단순하게 입력하는데서 발생하는 오류를 발견하지 못하여 해석 결과가 틀려지고, 횡단면자료의 오류를 수정하는데 수일이 소요되는등 프로그램을 실제 이용하는 데에 있어서도 여러 어려움이 있었다. 또한, 사용자 인터페이스가 고전적인 명령행 형태를 갖추고 있어 일반 사용자가 이용하는 데에 많은 어려움이 있어 왔다.

따라서, 본 논문에서는 하천지류에 의한 영향을 고려하고, 보다 프로그램 이용이 손쉽도록 기능을 개선한 홍수 해석 프로그램인 NCNet을 개발하여 홍수위를 해석하였다.

## 2. 지배방정식

### 2.1 하천 흐름의 기본 이론

본 논문에서는 하천 흐름을 해석하기 위하여 하천내 두 지점간의 질량 및 운동량의 보존을 나타내는 연속방정식과 운동방정식을 사용하였으며, 하천내 두 지점간의 질량의 보존을 나타내는 연속방정식은 식 (1)과 같다.

---

\* : 인천대학교 토목공학과 교수

\*\* : 인천대학교 토목공학과 석사과정

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_1 \quad (1)$$

또한, 하천내 두 지점간의 운동량의 보존을 나타내는 운동량 방정식은 수심, 유량의 미지수를 가진 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} = gA(S_0 - S_f) + q_1 V_1 \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에서 Q는 하천에 흐르는 유량을, A는 하천의 물이 흐르는 단면적을, S<sub>0</sub>은 하천의 하상경사를, S<sub>f</sub>는 하천내 흐르는 물의 에너지 경사를, q<sub>1</sub>은 단위 길이당 횡방향 유입량을, V<sub>1</sub>은 횡방향 유입 속도를, g는 중력가속도를 각각 나타낸다.

## 2.2 유한 차분 방정식의 유도

위와 같이 주어진 2종류의 기본방정식들을 이용한 프로그램을 개발하기 위하여 안정성 및 계산 시간 간격 결정등에 유리한 음해법(implicit scheme)의 유한차분해석법이 이용되었으며, 그림 1과 같이 4점법이 이용되었다.

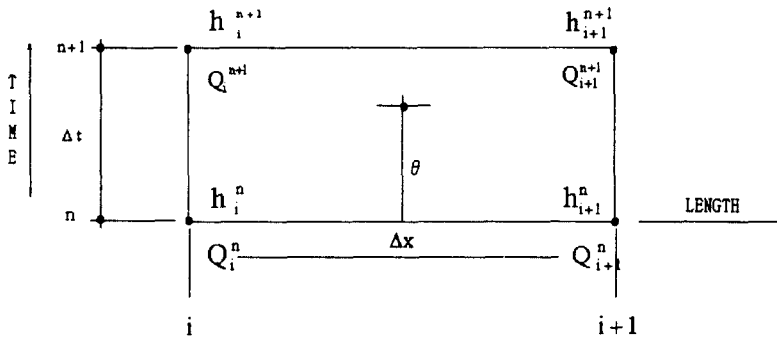


그림 1 유한차분해석에서 이용된 4점법

이를 이용할때 시간도함수, 공간도함수 및 계수들은 식 (3)-(5) 같이 차분표현된다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{2} \left( \frac{h_{i+1}^{n+1} - h_{i+1}^n}{\Delta t} + \frac{h_i^{n+1} - h_i^n}{\Delta t} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \theta \left( \frac{Q_{i+1}^{n+1} - Q_i^{n+1}}{\Delta x} \right) + (1 - \theta) \left( \frac{Q_{i+1}^n - Q_i^n}{\Delta x} \right) \quad (4)$$

$$f_{i+1/2}^n = \frac{f_i^n + f_{i+1}^n}{2} \quad (5)$$

여기에서 윗첨자 n+1은 미지의 시간을 나타내고 윗첨자 n은 기지의 시간을 나타낸다. 또한 아래첨자 i는 i번째 하천단면을 나타내며, 아래첨자 i+1은 i+1번째 하천단면을 나타내며, f는 미지수가 아닌 상수를 의미하고 있다. Δx는 한 단면과 다음 단면과의 거리이고, Δt는 기지의 시간과 미지의 시간과의 시간 간격이며, θ는 중량인자(weighting factor)를 각각 나타낸다. 하천 흐름

방정식들의 유한차분해석은 위의 도함수 및 계수들의 유한차분 표현을 기본방정식들에 도입함으로써 구할수 있다.

첫번째로, 하천내 두 지점간의 연속방정식에 유한차분법을 도입하여 미지수의 항으로 정리하면 식 (6)과 같이 표현된다.

$$D_1 Q_i^{n+1} + E_1 Y_i^{n+1} + F_1 Q_{i+1}^{n+1} + G_1 Y_{i+1}^{n+1} = T_1 \quad (6)$$

여기에서,  $D_1, E_1, F_1, G_1, T_1$ 은 기지의 값으로부터 계산된 계수들이다. 단일 하천내 두 단면사이의 운동량방정식에 유한 차분 해석을 적용한후 선형의 차분 방정식으로 표현하기 위하여는 운동량 방정식내 마찰경사항의 선형화(linearization)가 필요하다. Taylor 급수를 이용하여 마찰경사항을 선형화(linearization)하여 미지수의 항으로 정리하면 식 (7)와 같이 쓰일수 있다.

$$D_2 Q_i^{n+1} + E_2 Y_i^{n+1} + F_2 Q_{i+1}^{n+1} + G_2 Y_{i+1}^{n+1} = T_2 \quad (7)$$

여기에서,  $D_2, E_2, F_2, G_2, T_2$ 은 기지의 값 및 마찰경사항을 선형화하면서 계산된 계수들이다.

### 3. 프로그램의 구성

#### 3.1 NCNet 프로그램의 개요

프로그램의 구성은 크게 하천자료 입력부분, 유한차분법을 이용한 하천 흐름 해석부분, 해석결과와 출력부분으로 구성되었다. 사용자 인터페이스는 사용자가 프로그램을 손쉽게 이용하게 하기 위하여 GUI(그래픽 사용자 인터페이스)로 구축하였고, 사용된 컴퓨터 언어로서 하천 해석 부분은 FORTRAN을 사용하였으며 사용자 인터페이스는 Visual C++를 이용하여 NCNet 프로그램을 개발하였다. NCNet 프로그램은 자연 하천에 직접 적용이 가능하도록 개발되었으며, 하천 횡단면 자료가 많을때나 자료 입력시 범하기 쉬운 오류를 눈으로 쉽게 확인 할 수 있도록 하천의 횡단면이 그래프로 출력되어 쉽고 빠르게 자료 입력의 오류를 확인 할수 있도록 하여 기존의 횡단면 자료의 입력시 소요되는 시간을 줄이도록 하였다.

NCNet 프로그램은 하천을 1차원 부정류 흐름으로 가정하고, 지류가 합류되는 영향을 고려하여 하천망을 해석하도록 구성되어 있고, 해석된 결과는 일정 시간에서의 하천내 수위, 유량, 유속변화를 그래프로 나타낼 수 있도록 하였으며, 또한 각 지점에서 시간변화에 따른 수위, 유량, 유속의 변화를 그래프로 나타나도록 구성하였다.

NCNet 프로그램은 GUI로 구성되어 있으므로 Windows 95 혹은 Windows 3.1(Win32)환경에서 실행 할 수 있으며, 그림 1은 NCNet 프로그램의 시작 화면으로 화면 아무 곳에서 마우스를 누르면 NCNet의 본 프로그램이 시작된다.

#### 3.2 입력자료의 구성

NCNet 프로그램을 사용하기 위한 하천자료의 입력은 하천 흐름 해석 기초 자료로서 하천단면의 갯수, 합류점의 갯수, 측방류의 유입 여부등과, 하천의 지형자료로서 단면번호, 단면과 단면사이의 거리, Manning의 조도계수, 횡단면의 좌표의 갯수, 횡단면을 좌표를 왼쪽 제방으로 부터의 거리와 표고로서 입력하도록 하였다. 운영자료로서는 지류의 갯수, 해석 종료 시간, 계산 시간 간격등을 입력하고, 초기 흐름조건으로 수심 또는 유량을 사용하여 입력을 하도록 하였고, 하천의 상류측 경계조건을 입력하도록 하였다.

합류점의 입력은 합류점 번호, 합류점에서의 지류의 갯수, 합류되는 지류의 상류측 단면과 하류측 단면을 입력하여 합류점을 해석하기 위한 자료를 사용하도록 하였다.

해석 결과를 출력하기 위한 입력 자료로 시간에 따른 전체 단면의 해석 결과 모두를 출력하거나, 하나의 단면에서의 시간에 따른 해석 결과만을 출력하거나, 특정 시간에서의 하나의 단면에서의 해석 결과만을 출력할 수 있도록 하였다. 그림 2에서는 단면자료의 입력 화면을 보여주고 있다.

또한, 횡단면 자료의 입력시 발생할 수 있는 자료의 오류를 눈으로 쉽게 확인할 수 있도록 하기 위하여 입력시 각각의 횡단면을 그래프로 확인하는 기능이 있는데, 그림 3은 하천의 횡단면 자료를 확인하는 화면을 보여주고 있다.

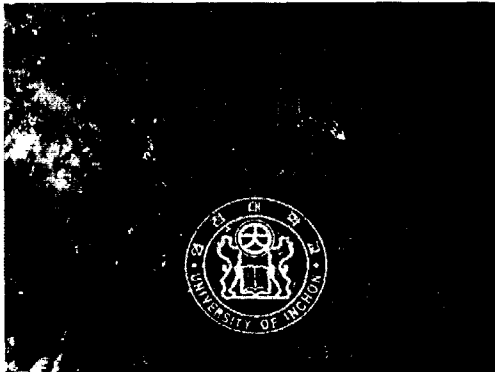


그림 1 NCNet 프로그램의 시작화면

st	c	3D	0.042
1	1	30 1478.0	0.042
2	0	9 2640.0	0.042
3	1	4 1584.0	0.042
4	0	4 1584.0	0.042
5	0	4 2640.0	0.042
6	0	11 792.0	0.042
7	0	10 950.0	0.042
8	0	11 1483.0	0.042
9	0	18 2957.0	0.042
10	0	14 2059.0	0.042
11	0	12 3538.0	0.042
12	0	18 2851.0	0.042
13	1	4 1584.0	0.042
14	0	4 1584.0	0.042
15	0	4 2851.0	0.042
16	0	7 3168.0	0.042
17	0	16 2851.0	0.042
18	1	4 1584.0	0.042

그림 2 하천 자료의 입력 화면

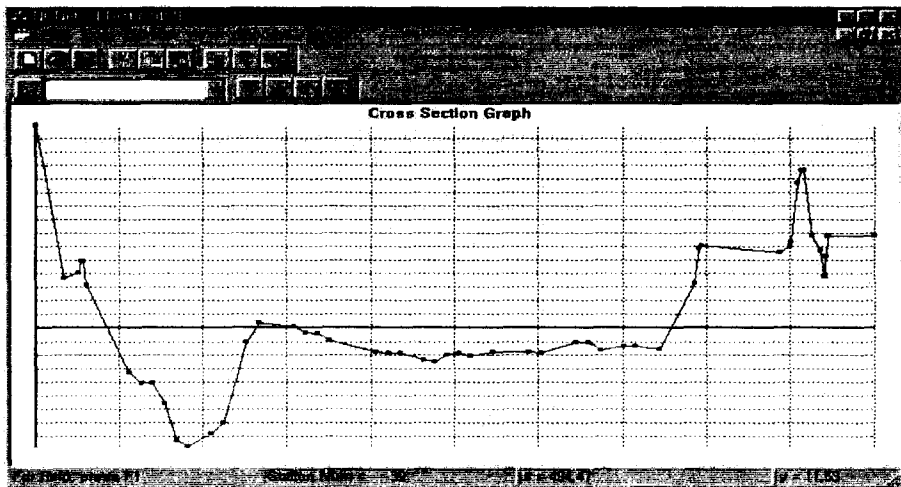


그림 3 하천의 횡단면 자료를 확인하는 화면

#### 4. NCNet 프로그램의 하천 해석

NCNet 프로그램을 이용한 하천 해석 결과를 보여주기 위하여 위하여 그림 4에서 보는 바와 같이 3개의 분류가 있고, 3개의 합류점이 있으며, 5개의 지류를 가지고 있는 단순 하천망에 대해

서 NCNet 프로그램을 사용하여 해석하였다.

이 하천망의 입력자료로는 표 1에서 보는바와 같이 전체 단면수가 48개이고, 본류의 길이는 8.8km로 하였으며, 단면의 폭은 지류에서 하천말단까지 30m에서 150m까지 변화를 주었다. 경사는 0.002 m/m로 하였고, Mannings의 n값은 0.04로 하였으며, 전 단면에서 측방 유입은 고려하지 않았다. 단면과 단면과의 거리는 1.6km로 하였으며, 계산 시간 간격은 100초, 해석 시간은 200분으로 하였다. 유입 유량은 각 지류의 상류에서 선형의 수문곡선으로 주었으며, 5개 지류 모두 최대 유량을 67.4 CMS로 주었으며, 표 1은 입력자료를 정리한 것이다.

표 1 하천망 해석에 사용된 자료

전체 단면수	본류의 길이	단면 폭(m)	경사	n	단면과 단면 거리	계산 시간 간격	해석 시간
48	8.8 Km	30 - 150	0.002	0.04	1.6 km	100 초	3.3 시간

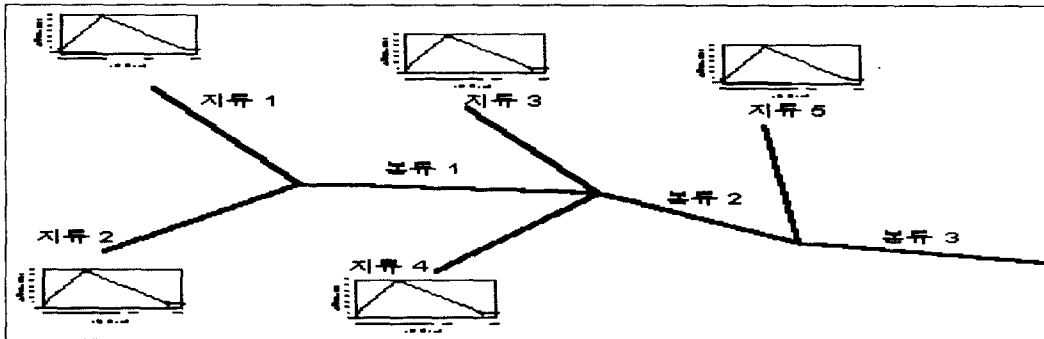


그림 4 하천망의 구성

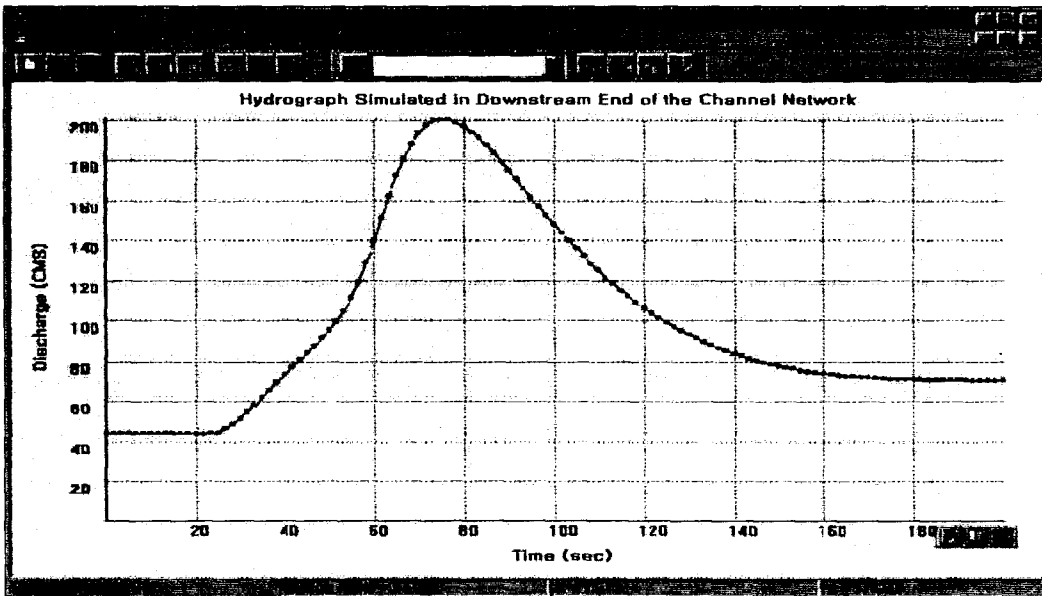


그림 5 하천망 해석 결과 본류 3의 하류단에서의 유출 곡선

그림 4에서 보는 바와 같이 2개의 지류가 분류 1을 통하여 합류하며 중간에서 다시 2개의 지류가 분류 2와 합류되고, 분류 3에서 다시 지류 3을 만나서 이 하천망을 그동안은 각각의 지류에서의 유입량을 단순히 횡방향에서 등분하여 유입하는 것으로 가정하여 해석하는 경우가 대부분으로, 이 경우에는 하류부로부터의 배수위 영향이 지류부로 전달되지 못하나, 본 NCNet 프로그램에서는 지류와 분류를 일체로 해석하기 때문에, 하류에서의 배수위 영향이 상류부로 전달되도록 하여 보다 현실에 가까운 해석결과를 보여준다. 그림 5는 분류 3의 하류단에서의 유출곡선을 보여주고 있으며 이때 계산된 최대 유량은 200.6CMS를 나타내고 있다.

## 5. 결론

NCNet 프로그램은 하천내 흐름을 1차원 부정류로 가정하고, 지류가 합류되는 합류점의 영향을 고려하여 하천을 해석함으로써 보다 현실에 가까운 해석 결과를 얻어 낼 수가 있었으며, 이 프로그램의 이용 측면에서 볼 때에도 사용자 인터페이스를 GUI로 구축하여, 사용자가 프로그램의 이용을 보다 손쉽게 할 수 있었다. 아울러, 하천 흐름 해석시 하천 해석 프로그램이 실제 계산을 하는 시간에 비해 해석에 필요한 준비과정이라 할 수 있는 하천 자료의 입력 시간이 더 많이 소요되던 것을 하천의 횡단면 자료 입력과 동시에 입력 결과를 그래프로 확인 할 수 있도록 하여 보다 손쉽게 하천 자료를 입력할 수 있으므로 하천 흐름 해석에 신속성을 줄 수 있도록 하였다. 또한, NCNet 프로그램에서는 해석 결과를 그래프로서 확인 할 수 있으므로 해석 결과를 한 눈에 파악할 수 있도록 하여 프로그램을 이용하는 데 있어서의 사용자의 편의를 증진시키도록 하였다.

NCNet을 이용한 하천 흐름을 해석하여 좋은 결과를 얻었으며, 이와 같은 NCNet 프로그램을 이용하여 한강의 홍수위를 해석하고 있고 타 하천망에도 적용을 고려하고 있다.

## 6. 참고문헌

- Amein, M. and Fang, C. S., (1970), Implicit Flood Routing in Natural Channels, Journal of Hydraulics, No. 12, ASCE.
- Barkau, R. L., (1985), One-Dimensional Analysis of Floods and Tides in Open Channels", Journal of Hydraulics Division, Vol. 95, No. HY4, ASCE.
- Kruglinski, D. J., (1996), Inside Visual C++ 4, Microsoft Press.
- Choi, G. W., (1991), Hydrodynamic Network Simulation Through Channel Junctions, Ph. D. Dissertation, Colorado State University.
- Jamison, D. K. And Villemonte, J. R., (1971), Junction Losses in Laminar and Transitional Flows, Journal of Hydraulics Division, Vol. 97, No. HY7, ACSE.
- Gregory, K., (1996), Using Visual C++ 4.2, QUE.
- Reitsma, R. F., (1994), Construction Kit for Visual Programming of River-Basin Models, Journal of Computing in Civil engineering, Vol. 8, No. 3, pp. 378-384.
- Chow, V. T., (1981), Open Channel Hydraulics, McGraw-HILL.
- Anand, V. B., (1993), Computer Graphics and Geometric Modeling for Engineering, Wiley.