

NCNet을 이용한 경인운하내 합류점 수리해석

최계운*, 박용섭**, ◦김동욱***

1. 서 론

서울, 인천을 포함한 수도권은 우리나라의 정치, 사회, 문화의 중심지인 동시에 우리나라 경제 생산규모의 40% 이상을 차지하는 경제 중심지이다. 또한 수도권은 우리나라 물류의 최종 소비지인 동시에 생산지로서의 기능을 함께 하고 있어 각종 물동량의 반출입이 활발하게 이루어지고 있으며 현재도 컨테이너등의 수출입 물동량의 40% 이상이 수도권에서 이루어지고 있다. 지금까지 이러한 물동량의 대부분은 육로수송 수단에 의하여 이루어져 왔으나 최근 들어 자동차의 급격한 증가로 인하여 막대한 물류비용의 증가가 나타나고 있으며 이로 인하여 대체 수송수단으로서 경인운하를 계획하고 있다. 이러한 경인운하는 한강의 지류중 하나인 굴포천 유역의 홍수피해 대책의 일환으로 굴포천의 유량을 서해까지 직접 배수하는 방수로 계획을 확대하여 경기도 김포군내의 한강으로부터 인천광역시 서구의 서해까지 총 연장 15.8km구간에 걸쳐서 계획되고 있다. 경인운하는 한강으로부터 약 3.4km 떨어진 위치에 굴포천과 합류하도록 계획되고 있으며, 이러한 합류점에서의 수리학적 분석의 필요성이 제기되고 있다. 수리학적 현상은 매우 복잡하여 상, 하류간의 경계조건에 따라 민감하게 반응한다. 특히나, 합류점 주변에서의 제방고나 하천 구조물이 설치되는 경우 안전에도 심각한 영향을 줄 것으로 판단되며 주변에 조성된 각종 산업시설이나 농경지 등에 큰 영향을 줄 수 있다. 특히나, 경인운하의 경우 한강으로부터의 유량유입은 굴포천으로부터의 홍수량유입과 불가분의 관계를 가질 수밖에 없고, 인천 앞 바다로 배제되는 하류 경계조건에 의하여도 영향을 받게 되므로 이에 대한 보다 세심한 해석결과가 요망된다.

본 논문에서는 부정류의 흐름해석과 합류점의 영향에 대한 해석이 가능한 NCNet 프로그램을 이용하여 홍수발생시 경인운하 내 합류점에서의 수리학적 특성분석을 실시하였다.

2. 지배방정식과 프로그램의 구성

2.1 지배방정식

본 논문에 이용된 NCNet 프로그램은 하천흐름을 해석하기 위하여 하천내 두 지점간의 질량 및 운동량의 보존을 나타내는 연속방정식과 운동량방정식을 사용하였으며, 하천내 두 지점간의 질량보존을 나타내는 연속방정식은 식 1과 같다.

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

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial y}{\partial x} = gA \left(\frac{Q^2}{K^2} \right) + q_1 V_1 \quad (2)$$

* 인천대학교 토목공학과 교수

** 인천대학교 토목공학과 박사과정

*** 인천대학교 토목공학과 석사과정

식 (1)과 식 (2)에서 Q 는 하천에 흐르는 유량을, A 는 하천의 물이 흐르는 유수 단면적을, K 는 하천의 통수능을, q_1 은 단위길이당 횡방향 유입량을, V_1 은 횡방향 유입속도를, g 는 중력가속도를 나타낸다.

2.2 유한차분방정식의 유도

위와 같이 주어진 2종류의 기본방정식들이 프로그램에 이용되었고, 안정성 및 계산 시간 간격 결정등에 유리한 음해법(implicit scheme)의 유한차분해석법이 이용되었으며, 그림 1과 같이 4점법이 이용되었다.

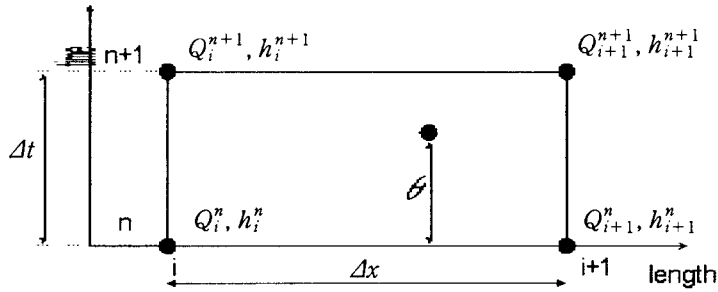


그림 1 유한차분해석에서 이용된 4점법

여기에서 윗첨자 $n+1$ 은 미지의 시간을 나타내고 윗첨자 n 은 기지의 시간을 나타낸다. 또한, 아래첨자 i 는 i 번째 하천단면을 나타내며, 아래첨자 $i+1$ 은 $i+1$ 번째 하천단면을 나타내며, Δx 는 한 단면과 다음 단면과의 거리이고, Δt 는 기지의 시간과 미지의 시간과의 시간 간격이다. 하천흐름 방정식들의 유한차분해석은 위와 같은 4점법의 유한차분 방정식은 연속방정식(1)과 운동량방정식(2)에 적용하므로 얻어진다.

2.3 프로그램의 구성

NCNet프로그램은 하천흐름을 1차원 부정류로 흐름을 가정하고, 합류점의 영향을 고려할 수 있는 프로그램으로서 하천자료의 입력부분, 유한차분법을 이용한 하천흐름 해석부분, 해석결과의 출력부분으로 구성되어 있다. 하천자료 부분은 하천흐름해석을 위한 기초자료로서 하천단면의 개수, 합류점의 개수, 측방류의 유입여부등을 입력하고, 하천의 지형자료로서 단면번호, 단면과 단면 사이의 거리, Manning의 조도계수, 횡단면 좌표의 개수등을 입력하도록 구성되어 있다. 또한 운영자료로서 지류의 개수, 해석종료시간, 계산시간의 간격등을 입력하도록 되어 있으며 초기흐름조건으로 수심 또는 유량을 사용하여 입력을 하도록 되어있고 하천의 상, 하류측 경계조건을 입력하도록 되어 있다. 합류점에 대한 자료의 입력은 합류점의 번호, 합류점에서의 지류의 개수, 합류되는 지류의 상류측 단면과 하류측 단면을 입력하도록 구성되어 있다.

이러한 자료를 이용하여 해석한 결과의 출력은 시간에 따른 유량의 변화, 시간에 따른 수위의 변화를 그래프를 이용하여 확인할 수 있으며 파일로 출력된 결과의 수치를 확인할 수 있게 되어 있다. 또한 횡단면의 입력에 대한 정확성을 위하여 횡단면의 그래프를 출력할 수 있도록 되어 있어 횡단면자료의 입력시 발생될 수 있는 오류를 쉽게 찾아낼 수 있도록 되어 있다.

3. 해석방법

3.1 단면자료 구성

그림 2는 경인운하 및 굴포천의 유역도를 나타내고 있다. 그림 2에 나타난 바와 같이 본 논문에서 합류점 해석을 위한 단면의 위치는 경인운하의 흐름을 본류로 가정하여 경인운하의 한강쪽 첫 단면을 1번 단면으로 하고, 69번 단면에 굴포천과 경인운하의 합류점을 위치시켰으며, 전체 단

면수는 133개로 구성하였다. 본류인 경인운하의 유로연장 길이는 15.8km이며 단면간 거리는 200m씩으로 구성하였고, 굴포천은 단면간 거리 160m씩으로 일정간격으로 입력하였다. 조도계수는 경인운하가 인공수로인점과 굴포천의 하천계획등을 고려하여 0.025로 결정하여 동일하게 적용하였으며, 합류점 수리특성 파악을 쉽게 하기 위하여 일정형상의 단면으로 가정하여 계산에 사용하였다.

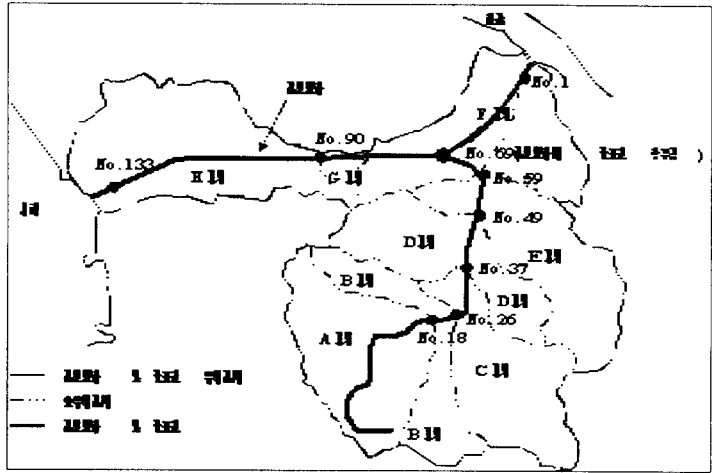


그림 2 경인운하 및 굴포천의 유역도

3.2 합류점 수리특성 비교를 위한 경계조건의 구성

합류점의 홍수시 수리특성을 비교하기 위하여 최대 홍수량이 시간에 따라 선형으로 증가되었다가 선형으로 감소하는 경계조건을 구성하였다. 경계조건은 그림 3과 그림 4에 나타난 바와 같이 홍수발생 시점부터 종점까지는 4시간으로 가정하였으며, Type 1은 평시유량인 10CMS로부터 선형으로 증가하여 1시간 후에 최대 홍수량까지 도달하였다가 4시간 후에 평시유량인 10CMS가 되고, Type 2은 평시유량인 10CMS로부터 선형으로 증가하여 2시간 후에 최대 홍수량까지 도달하였다가 4시간 후에 평시유량인 10CMS가 되고, Type 3은 평시유량인 10CMS로부터 선형으로 증가하여 3시간 후에 최대 홍수량까지 도달하였다가 4시간 후에 평시유량인 10CMS가 되는 것으로 가정하여 유로내 유량유입 변화에 따라 합류점의 변화를 비교하고자 하였다. 또한, 세 가지 수문형태에 따라 아래와 같이 3가지 경우를 각각 적용하여 해석결과를 비교하였다. 즉, 경인운하와 굴포천에서 동시에 홍수가 일어나는 경우, 경인운하에서만 홍수가 일어나는 경우, 그리고 굴포천에서만 홍수가 일어나는 경우등 3가지 경우에 대하여 유량, 유속, 수위의 변화를 분석하였다.

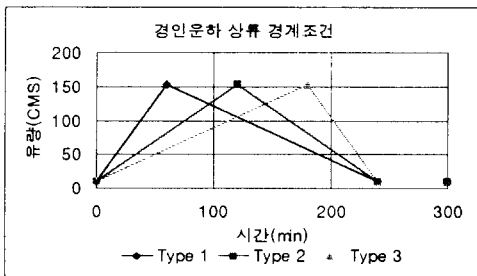


그림 3 경인운하의 홍수유입경계조건의 가정

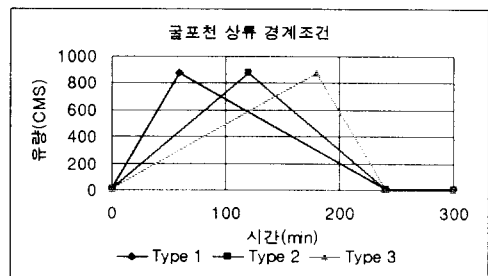
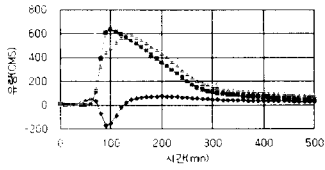


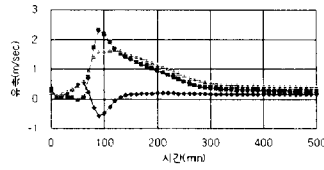
그림 4 굴포천의 홍수유입경계조건의 가정

4. 해석결과의 비교 및 평가

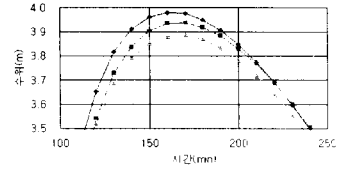
굴포천과 경인운하에서 Type 1의 홍수가 유입되는 경우 합류점 전, 후의 수리학적 특성을 비교하여보면 그림 5부터 그림 7과 같다.



● 경인운하내 합류점 상류 ● 굴포천내 합류점 상류 ● 합류점



→ 경인운하내 합류점 상류 → 굴포천내 합류점 상류 → 합류점



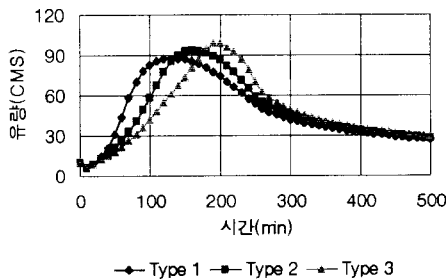
→ 경인운하내 합류점 상류 → 굴포천내 합류점 상류 → 합류점

그림 5 경인운하와 굴포천홍수시 유량변화 그림 6 경인운하와 굴포천홍수시 유속변화 그림 7 경인운하와 굴포천홍수시 수심변화

그림 5는 굴포천과 경인운하에서 Type 1의 홍수가 유입되는 경우 합류점 전, 후의 유량변화를 나타낸 그림으로 합류점 전의 굴포천 단면에서는 632.71CMS, 경인운하 단면에서는 -168.12CMS, 합류점 하류부에서는 591.82CMS의 유량이 나타나고 있다. 그림 6은 굴포천과 경인운하에서 Type 1의 홍수가 유입되는 경우 합류점 전, 후의 유속변화를 나타낸 그림으로 합류점 전의 굴포천 단면에서는 2.32m/sec, 경인운하 단면에서는 -0.59m/sec, 합류점 하류부에서는 1.63m/sec의 유속이 나타나고 있다. 그림 7은 굴포천과 경인운하에서 Type 1의 홍수가 유입되는 경우 합류점 전, 후의 수심변화를 나타낸 그림으로 합류점 전의 굴포천 단면에서는 3.94m, 경인운하 단면에서는 3.98m, 합류점 하류부에서는 3.89m의 수심이 나타나고 있다.

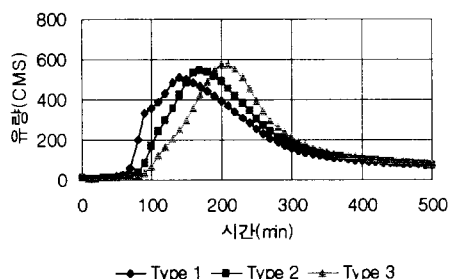
그림 8은 경인운하와 굴포천에서 3가지 형태의 경계조건이 유입될때의 합류점 하류부에서의 유량을 비교한 것으로서 그림에서 보는바와 같이 동일한 크기의 홍수가 유입될때에 최대홍수량까지 도달하는 시간에 따라 최대 88.16CMS정도의 유량차이를 보이고 있다.

그림 9는 경인운하에서 3가지 조건의 경계조건이 유입되고 굴포천에서는 평시유량인 10CMS의 유량이 유입되는 경계조건에서 합류점 하류부에서의 유량을 비교한 것으로 그림에서 보는바와 같이 굴포천에 유입되는 홍수형태에 따라 Type 1의 경우 최대 유량이 87.39CMS, Type 2의 경우 93.36CMS, Type 3의 경우 99.28CMS의 최대유량을 보여주고 있으며 최대 11.89CMS정도의 유량차이를 보이고 있다.



● Type 1 ■ Type 2 ▲ Type 3

그림 9 경인운하 홍수발생시 경계조건에 따른 합류점에서의 유량변화



● Type 1 ■ Type 2 ▲ Type 3

그림 10 굴포천 홍수발생시 경계조건에 따른 합류점에서의 유량변화

그림 11은 경인운하와 굴포천에서 3가지 형태의 경계조건이 유입될때의 합류점 하류부에서의

수심을 비교한 것으로서 그림에서 보는바와 같이 동일한 크기의 홍수가 유입될때에 최대홍수량까지 도달하는 시간에 따라 최대 0.29m정도의 수심차이를 보이고 있다. 그림 12는 경인운하에서 3가지 조건의 경계조건이 유입되고 굴포천에서는 평시유량인 10 CMS의 유량이 유입되는 경계조건에서 합류점 하류부에서의 수심을 비교한 것으로서 그림에서 보는바와 같이 경인운하에 유입되는 홍수형태에 따라 Type 1의 경우 최대 수심이 1.40m, Type 2의 경우 1.43m, Type 3의 경우 1.47m의 최대수심을 보여주고 있으며 최대 0.07m정도의 수심차이를 보이고 있다. 그림 13은 굴포천에서 3가지 조건의 경계조건이 유입되고 경인운하에서는 평시유량인 10CMS의 유량이 유입되는 경계조건에서 합류점 하류부에서의 수심을 비교한 것으로서 그림에서 보는바와 같이 굴포천에 유입되는 홍수형태에 따라 Type 1의 경우 최대 수심이 3.55m, Type 2의 경우 3.68m, Type 3의 경우 3.81m의 최대수심을 보여주고 있으며 최대 0.26m정도의 수심차이를 보이고 있다.

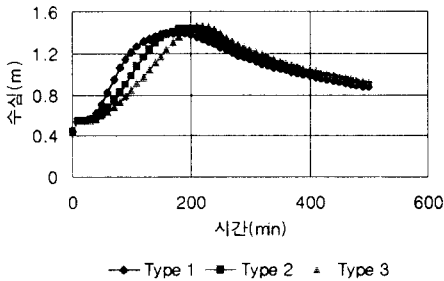


그림 12 경인운하 홍수발생시 경계조건에 따른 합류점에서의 수심변화

그림 14는 경인운하와 굴포천에서 3가지 형태의 경계조건이 유입될때의 합류점 하류부에서의 유속을 비교한 것으로서 그림에서 보는바와 같이 동일한 크기의 홍수가 유입될때에 최대홍수량까지 도달하는 시간에 따라 최대 0.06m/sec정도의 유속차이를 보이고 있다. 그림 15는 경인운하에서 3가지 조건의 경계조건이 유입되고 굴포천에서는 평시유량인 10CMS의 유량이 유입되는 경계조건에서 합류점 하류부에서의 유속을 비교한 것으로서 그림에서 보는바와 같이 경인운하에 유입되는 홍수형태에 따라 Type 1의 경우 최대 유속이 0.68m/sec, Type 2의 경우 0.69m/sec, Type 3의 경우 0.70m/sec의 최대유속을 보여주고 있으며 최대 0.02m/sec정도의 유속차이를 보이고 있다. 그림 16은 굴포천에서 3가지 조건의 경계조건이 유입되고 경인운하에서는 평시유량인 10CMS의 유량이 유입되는 경계조건에서 합류점 하류부에서의 유속을 비교한 것으로서 그림에서 보는바와 같이 굴포천에 유입되는 홍수형태에 따라 Type 1의 경우 최대 유속이 1.51m/sec, Type 2의 경우 1.57m/sec, Type 3의 경우 1.58m/sec의 최대유속을 보여주고 있으며 최대 0.07m/sec정도의 유속차이를 보이고 있다.

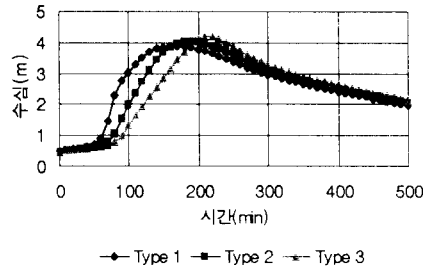


그림 11 경인운하와 굴포천에서 홍수발생시 경계조건에 따른 합류점에서의 수심변화

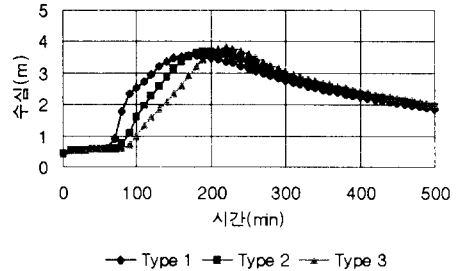


그림 13 굴포천 홍수발생시 경계조건에 따른 합류점에서의 수심변화

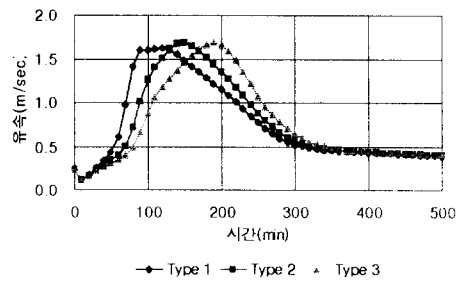


그림 14 경인운하와 굴포천에서 홍수발생시 경계조건에 따른 합류점에서의 유속변화

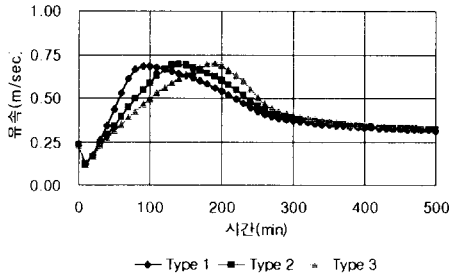


그림 15 경인운하 홍수발생시 경계조건에 따른 합류점에서의 유속변화

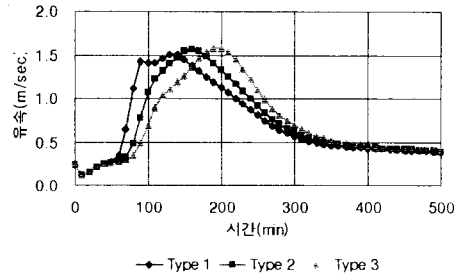


그림 16 굴포천 홍수발생시 경계조건에 따른 합류점에서의 유속변화

5. 결 론

NCNet프로그램을 이용하여 경인운하와 굴포천 합류점에 대한 수리특성을 분석하였다. 합류점 특성을 보다 명확하게 파악하기 위하여 굴포천 및 경인운하 상류부로부터 3종류의 홍수량이 유입되는 경우와 경인운하에서 홍수량이 유입되고 굴포천에서 일정유량이 유입되는 경우, 굴포천에서 홍수량이 유입되고 경인운하에서 일정유량이 유입되는 경우에 대하여 합류점 전, 후의 유량, 유속 및 수심변화에 대하여 비교평가를 실시하였다. 수치실험결과 유속, 유량, 수심등에 상당한 변화가 일어났으며 이러한 변화는 유량과 유속은 합류점 이후에서보다는 합류점 이전에서 최대변화량을 나타내는 현상을 보였고, 수심은 합류점이후에 최대변화량을 나타내고 있으며, 이러한 결과는 합류점에서의 수리특성은 단순히 대수학적으로 변화하지 않고, 상, 하류의 영향으로 인하여 복잡한 현상을 나타냄을 알 수 있다. 따라서, 합류점에서의 흐름해석에 있어서는 많은 주의를 요하며, 향후 경인운하 건설이후 한강 하류부로부터의 유량유입은 굴포천에서의 홍수량에 영향을 고려하여 결정되어야 할 것이며 합류점 전, 후 제방의 안정성을 위한 조치들이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

고재웅, 1988, “우리나라 홍수량 공식들의 비교 연구”, 대한토목학회 논문집

권오현, 1995, 수자원공학, 도서출판 새론

배영평, 1996, 하천공학, 보문당.

한국수자원공사, 1996, 경인운하건설사업 기본계획 및 기본설계 보고서

윤용남, 1998, 공업수문학, 청문각

최계운, 1997, “NCNet 프로그램을 이용한 홍수위 해석”, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 162~167