

GIS기법과 연계한 유사이송의 수치모의

The Numerical Simulation of Sediment Transport Using GIS Technique

| | | |
|---------------|--------------|-----------------|
| 한 건 연* | 이 을 래** | 최 현 상*** |
| Han, Kun-Yeun | Lee, Eul-Rae | Choi, Hyun-Sang |

要 旨

본 연구에서는 2차원 유사이송모형과 GIS 기법을 결합하여 기존의 수치해석모형만을 이용한 기법에 비해서 더욱 정확한 모의수행을 실시하였다. 수치지도작성작업규칙을 준수하고, TM좌표계를 사용함으로써 서로 다른 축척을 가진 자료들에 대한 정확한 좌표보정을 실시하였고, 실제측척의 유한요소망을 구성할 수 있었다. 금강 유역의 지천합류부에서 백제대교의 5km 구간에 대해 200m/s 유량조건하에서 속도벡터도, 등수심도, 등유속도, 퇴적량분포도 등을 도시하였다. 본 연구의 모의결과는 1차원 부등류해석에 의한 계산결과 및 실제 관측치 등과 비교하여 잘 일치되고 있었으며 하천의 만곡특성에 따른 유황과 퇴적분포를 정성적인 면에서 효과적으로 모의하고 있었다.

ABSTRACT

A coupling of two-dimensional model and GIS technique is applied to simulate sediment transport analysis. Accurate transformations are performed for the data which have various reduced scales. Basic maps are discretized the mesh of true scale for the finite element model by using the digital map and the Traverse Mercator coordinate. Under 200m/s flow rate condition, velocity vectors, depth contours, velocity contours and deposition contours are presented for the 5km reach of midstream of Keum River from confluence of Ji-chun to Baekche Bridge. The simulation results of the study agree well with those of one-dimensional varied flow analysis and observed data. The flow and deposition pattern revealed a meandering characteristics of the river qualitatively.

1. 서 론

'80년대 중반부터 GIS의 개념과 그 적용성은 여러 연구분야에서 새로운 가능성들을 제시하였다. 특히 '90년대 중반에 들어서면서 하드웨어의 성능과 GIS 소프트웨어의 기능이 향상됨에 따라 공학적인 분야와의 연계가 새로운 연구대상이 되고 있다. GIS와 수공학 관련 수치해석모형과의 결합은 기존의 모형들이 가진

여러가지 한계를 극복할 수 있다는 점에서 공학자들에게 주목을 받고 있다. 수공학 관련 수치해석모형들은 광범위한 지역의 지형자료들을 바탕으로 모의수행되므로 GIS와의 연계가능성이 높고, 또한 최근들어 각광받고 있는 원격측량, 위성영상 등의 자료이용도 가능해짐에 따라 이러한 자료들을 활용하여 수치모형의 정확성을 높이기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다.

* 경북대학교 토목공학과 교수
*** 경북대학교 토목공학과 박사과정

** 경북대학교 토목공학과 박사과정

지리정보시스템의 일반적인 목적은 토지, 자원, 교통, 공공시설, 환경 등 공간상에 분포하는 제한요소들에 대한 의사결정을 보조하는 것이다. 즉 어떠한 형태로 지리정보시스템에 입력된 데이터는 실측적의 모형을 의미하므로, 의사결정권자들이 정책을 시행하기전에 GIS를 통한 모의분석에서 가상적인 상황의 발생 범위를 탐색하고, 그 실행결과를 예측함으로써 정책의 시행과정에서 일어날 수 있는 오류의 가능성을 최대한 경감시킬 수 있다. 이와 같은 목적을 수행하기 위해 GIS는 다양한 공간분석기능을 가지고 있다.

그러나, 아직까지는 기 구축된 자료들이 일반에게 공개되지 않고 있어 이 자료들을 직접 이용하기에는 많은 어려움이 있고, 관련 전문인력들도 부족하여 수 공학분야에서의 활발한 연구는 아직까지 이루어지지 않고 있는 실정이다.

본 연구의 목적은 2차원 유사이송에 대한 수치해석 모형인 RMA모형과 GIS기법의 결합을 통해 기존의 수치해석모형만을 이용한 방법보다 더욱 정확하고 가시적인 모의수행 결과를 제공하고자 함에 있다. 본 연구는 금강유역의 지천합류부에서 백제대교에 이르는 5km 구간에 적용하여 유속분포도, 수심분포도, 퇴적량 분포도 등을 모의하여 제시하였다.

2. 수치해석모형과 GIS와의 연계

수치해석모형과 GIS를 연계시키는 방법은 GIS 소프트웨어가 가지는 기능의 사용범위에 따라 다음의 세가지로 구분될 수 있다. (한국수자원공사, 1997). Loose coupling은 두 시스템 사이를 구체적인 인터페이스를 통해 연결하는 것이 아니라, 기존의 수치해석 모형에 필요한 여러 가지 매개변수들을 GIS 소프트웨어나 혹은 GIS 기법을 통해 추출, 이를 수치해석모형에 적용하는 것이다. 이것은 다음의 두가지 방법으로 나아가기 위한 기본적인 방법이며 가장 단순한 방법이다. Tight coupling은 수치해석모형을 GIS 소프트웨어 내에 삽입시키는 방법으로서 각 GIS 소프트웨어가 제공하는 macro language나 library, 혹은 GIS 소프트웨어와 호환가능한 언어를 이용하여 기존의 수치해석

모형을 새로이 구성하는 것이다. 이 방법은 GIS의 모든 기능을 이용할 수 있다는 장점은 있으나 수치해석모형을 새로이 구성해야만 하고, 구성된 모형은 다른 GIS 소프트웨어와 호환성이 없다는 단점이 있다. Flexible coupling은 수치해석모형의 전·후처리에만 GIS 소프트웨어를 사용하는 것으로, Loose coupling과 다른 점은 두 시스템간의 인터페이스를 개발한다는 점이다. 즉, 모의에 필요한 매개변수들을 GIS 소프트웨어에서 추출하고, 개발된 인터페이스를 통해 기존의 수치해석모형에 적용한 후, 그 결과를 GIS에서 표현하는 방법이다. 이 방법은 Loose coupling에 비해 GIS 소프트웨어의 기능을 훨씬 많이 이용하는 것이고, Tight coupling에 비해 많은 시간이 절약된다. 또한, 모의수행결과를 자동적으로 데이터베이스화 할 수 있다는 장점도 가지고 있다.

두 시스템의 연계가 가지게 될 장점들 가운데 하나는 대상이 되는 지형지물에 대해 실세계 좌표값을 사용한다는 점이다. 수치지도 상에서 구현된 실세계 좌표들은 수치해석모형에서 사용되는 하도형상을 정확히 묘사할 수가 있다. 이렇게 구성된 하도형상을 이용하여 수치해석모형을 수행할 경우, 기존의 방법들이 하도망 구성에 있어서 겪어야 했던 많은 어려움들을 극복할 수 있고, 좀 더 정확한 모의가 가능하게 된다. 또한, 실세계 좌표값으로 구성된 다른 자료들과의 중첩도 가능하게 되어 기존의 모형만으로는 불가능했던 다른 분야 모형과의 연계도 가능하게 된다.

또 하나의 장점은 전문가 시스템으로의 확장이 용이하다는 점이다. 현재까지의 수치해석모형들의 경우에는 기본자료의 수집, 입력, 모의수행, 출력의 관리 등이 그 모형을 이해하고 있는 한 두사람에게만 국한되어 있다. 그러나, GIS와 연계될 경우에는 모든 자료들이 데이터베이스와 연결되어 수치해석모형에 대한 기본적인 지식만 있으면 누구나 이용할 수 있고, 또한 그 결과를 정책에 반영할 수 있는 전문가 시스템을 구축할 수 있다. GIS와 연계된 전문가 시스템은 유사이송모형뿐만 아니라 수질, 재해, 수문 등 다른 많은 분야에서도 가능하며, 이러한 전문가 시스템에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다 (Goodchild 등, 1993).

기존의 수치해석모형들은 모의수행의 결과가 일회

성에 그치는 반면, 두가지 환경이 동시에 구축된 시스템에서는 다중성을 가지게 되므로써 다양한 활용이 가능하게 된다. 또한, 시간적인 출력을 이용하게 되므로 좀더 직관적인 이해환경이 구축된다. 이는 이전의 수치해석모형들이 모형내에 포함된 그래픽 환경을 이용함으로써 인해 발생하는 출력의 단조로움과 출력물 이해의 어려움, 자료변환의 어려움등의 여러 가지 문제점을 해결할 수 있다는 것이다.

3. 유사이송모의

본 연구에서는 유사이송의 2차원 수치해석을 위해서 RMA모형을 적용하였다. 본 모형은 2차원 유한요소모형으로서 혼합보간기법을 적용하며, Galerkin 방법에 의해 그 해를 구하였다.

본 연구에서 적용된 모형은 동수역학적 모형과 유사이송모형으로 구성되어 있다. 동수역학적 모형은 수심평균치를 취한 2차원 연속방정식과 운동방정식을 이용하여 x, y 방향의 유속과 수심을 결정하며, 유사이송모형은 동수역학적 모형에서 계산된 자료를 기초로 하여 수심평균치를 취한 2차원 이송-확산방정식을 해석하여 대상지점에서의 유사이송양상을 규명하였다.

동수역학 모형은 수심평균치를 취한 식 (3.1)~(3.2)의 연속방정식과 운동방정식으로 구성될 수 있다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} & \rho \left(h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} + gh \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z_0}{\partial x} \right) \right. \\ & + \frac{g}{C^2} u |V| + uq_s - \Omega v h \left. \right) - h \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} \right) \\ & - h \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_{xy} \frac{\partial u}{\partial y} \right) - W_x = 0 \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} & \rho \left(h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} + gh \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial z_0}{\partial y} \right) \right. \\ & + \frac{g}{C^2} v |V| + vq_s + \Omega u h \left. \right) - h \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_{xy} \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\ & - h \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_{yy} \frac{\partial v}{\partial y} \right) - W_y = 0 \end{aligned} \quad (3.3)$$

본 기법은 유속에 대해서는 이차보간함수를, 수심에 대해서는 선형보간함수를 적용하는 혼합보간기법을 사용하였다. 식 (3.1)~(3.3)에 Galerkin기법을 적용하면 그 식은 고차항을 포함하고 있으므로 Green의 정리에 의해 차수를 줄이고 적절한 경계조건을 도입하면, Newton-Raphson 기법에 의해서 해를 구할 수 있다.

유사이송해석을 위한 지배방정식은 토사의 농도 C 가 하상고에 대해 독립적이라는 가정하에 수심평균치를 취해 구할 수 있다. 유사이송을 위한 연속방정식과 이송-확산 방정식은 식 (3.4), (3.5)와 같다.

$$h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial t} - q_1 = 0 \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(hC)}{\partial t} + u \frac{\partial(hC)}{\partial x} + v \frac{\partial(hC)}{\partial y} \\ & - \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{xx} h \frac{\partial C}{\partial x} + D_{xy} h \frac{\partial C}{\partial y} \right) \\ & - \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{xy} h \frac{\partial C}{\partial x} + D_{yy} h \frac{\partial C}{\partial y} \right) \\ & - KhC - h\theta_s = 0 \end{aligned} \quad (3.5)$$

이제 확산이송방정식을 연속방정식에 대입하면, 식 (3.6)을 얻게 된다.

$$\begin{aligned} & h \left(\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} \right) \\ & - \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{xx} h \frac{\partial C}{\partial x} + D_{xy} h \frac{\partial C}{\partial y} \right) \\ & - \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{xy} h \frac{\partial C}{\partial x} + D_{yy} h \frac{\partial C}{\partial y} \right) \\ & + (q_1 - Kh)C - h\theta_s = 0 \end{aligned} \quad (3.6)$$

유한요소해석을 위해 확산항에 Green정리가 적용되면, Newton-Raphson 방정식에 의해 그 해를 구할 수 있다 (King, 1978; 1994).

4. 적용 예

4.1 기본자료

대상공간은 상류단인 지천 합류 하류부로부터 하류 단인 백제대교까지의 5km 구간을 설정하였다. 금강 본류부에서의 수치지도를 구축하기 위해 국립지리원 발행 1/5,000 지형도상에서 현지지점을 확인하였고, 취수장을 포함한 지형도의 조합과 대상구역의 확인 및 지형도상에서의 유황조건에 따른 하도 및 홍수터의 경계를 설정하였다.

이와 더불어, 최근 현지에서 실측된 측량 자료에 준해 각 지점의 표고를 산정하였다. 부여취수장 상류부 자료는 부여취수장의 1996년도 측량자료를 이용하였다. 이 자료는 1/1,200 축척의 평면도, 1/100 축척을 가진 25개 지점에 대한 하천횡단도 및 1/1,000 축척의 하도방향 종단도로 구성되어 있다. 부여취수장 하류부 자료는 1996년도 부여군청 측량자료를 이용하였는데 1/3,000 축척의 평면도, 1/100 축척을 가진 50개 지점의 하천횡단도 및 1/1,000 축척의 하도방향 종단도로 구성되어 있다.

4.2 유한요소망의 구성

서로 다른 축척을 가진 3가지 유형의 평면도를 한 개의 도면으로 구현하기 위해서 그림 4.1에서와 같이 기본지형도와 실측자료를 연계하여 이차원 모형의 주요 입력자료인 하도에 대한 유한요소망을 도출하였다.

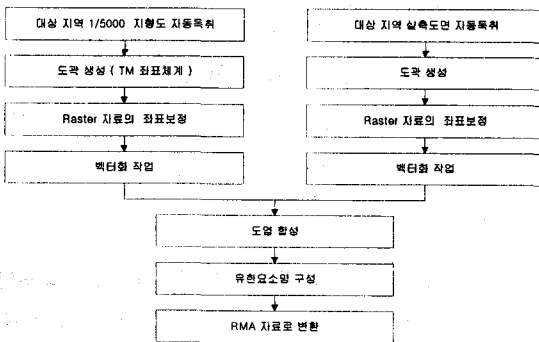


그림 4.1. 유한요소망 구성에 대한 순서도

본 연구에서는 수치지도작성작업규칙(국립지리원, 1995)에서 정하고 있는 규정에 따라 좌표보정 및 기본도의 벡터화를 실시하였고, Loose coupling 방법을 이

용하여 유사이송모형의 유한요소망을 구성하였다. 이렇게 구성된 유한요소망은 자연하도의 형상에 따라 사용자의 편의대로 구성할 수 있고, 실제 좌표를 이용하므로 좀더 정확한 모의가 가능하다는 장점이 있다.

본 연구의 유한요소망 구성에 사용한 기초자료는 대상구역에 대한 1/1,200, 1/3,000 실측도면과 7매의 1/5,000 기본지형도를 사용하였다. 1/5,000 기본지형도 및 실측도면의 자동독취는 TrueScan 800 스캐너상에서 400 dpi로 이루어졌고, 모든 경·위도 좌표값은 중부도원점(38° 00' 00", 127° 00' 00")을 기준으로 TM 좌표로 변환되었다. 이렇게 변환된 좌표값을 이용하여 도곽을 구성, 위에서 얻은 래스터 자료를 좌표 변환 시키고, 변환된 래스터 자료를 바탕으로 벡터자료를 구축하였다. 기본지형도와 실측도면의 벡터화 작업이 완료된 후, 두 종류의 벡터자료(기본지형도와 실측도면)를 병합하여 대상구역에 대한 수치기본도를 완성하였다. 이 수치기본도를 참고도로 하여 필요한 구간에 대한 유한요소망을 구성하고, 구성된 유한요소망의 각 절점에 대한 x, y 좌표값을 ASCII파일로 변환하여 이차원 모형에 적용가능한 형식으로 만들었다.

표 4.1은 본 연구에 사용된 총 7매의 1/5,000 기본지형도 가운데 NJ52-13-18-077, -078 도엽에 대한 좌표값이다.

표 4.1 1/5,000 기본지형도의 좌표값

| | 위도 | 경도 |
|----------------|-------------|--------------|
| NJ52-13-18-077 | 36° 18' 00" | 126° 54' 00" |
| | 36° 18' 00" | 126° 55' 30" |
| | 36° 19' 30" | 126° 55' 30" |
| | 36° 19' 30" | 126° 54' 00" |
| NJ52-13-18-078 | 36° 18' 00" | 126° 55' 30" |
| | 36° 18' 00" | 126° 57' 00" |
| | 36° 19' 30" | 126° 57' 00" |
| | 36° 19' 30" | 126° 55' 30" |
| | X | Y |
| NJ52-13-18-077 | 190759.400 | 311358.254 |
| | 192256.237 | 311356.791 |
| | 193006.889 | 314129.982 |
| | 190762.349 | 314132.080 |
| NJ52-13-18-078 | 192256.237 | 311356.791 |
| | 195249.912 | 311354.640 |
| | 195251.428 | 314128.465 |
| | 193006.889 | 314129.982 |

그림 42는 표 4.1에서 구한 TM 좌표를 이용하여 구성된 도곽과 도엽번호를 나타내며, 그림 4.3은 유한요소망을 나타내고 있다.

| | | |
|-----|-----|-----|
| | 077 | 078 |
| 086 | 087 | 088 |
| 096 | 097 | |

그림 4.2 TM 좌표값으로 구성된 1/5,000 지형도의 도곽

정하였는데, 200m/s의 유량조건이 지속기간 252일간 계속되는 것으로 나타났다. 모의를 위한 Manning의 조도계수는 0.025, 계산요소와 절점의 수는 각각 856개와 2799개가 적용되었다.

하류단 수위조건은 1995년 이후 사용되고 있는 규암지점의 수위-유량관계곡선을 적용하였다. 유입유사량의 조건은 유량-유사량 조건식을 적용하였고 (건설부, 1992), 유사입경조건은 하상토 채취결과를 기초로 하여 평균입경 0.82 mm가 적용되었다. 유사입자의 평균적인 침강속도의 계산은 Rubey의 공식을 이용하였다 (Yang, 1996).

4.4 수치모의 결과

대상유역에 대한 유량규모별 동수역학적 해석을 위해서 이차원 모형을 이용하여 이차원 흐름 및 하상변동의 모의수행을 하였다. 이차원 모의수행을 통해 이차원 유속 및 수심분포를 계산하였고, 해석구간에 대한 이차원 유속벡터, 수심분포, 및 등유선속 등을 출력하였다.

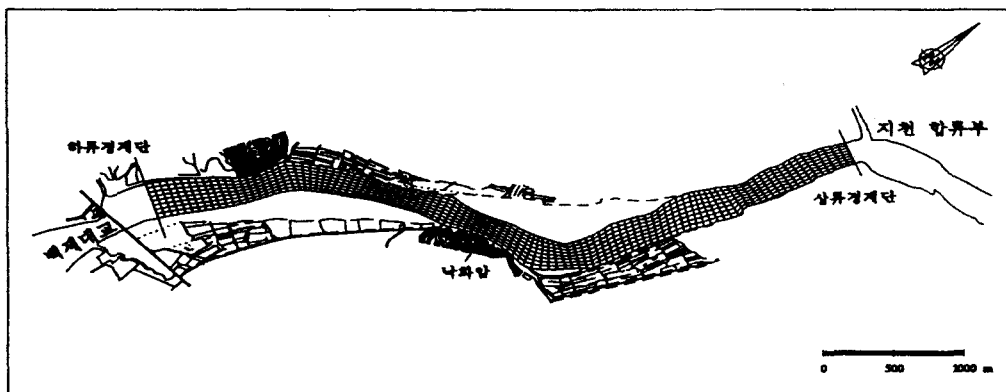


그림4.3 대상유역에 대한 유한요소망

4.3 초기조건 및 경계조건

대상 하도구간에 대한 이차원 동수역학적 해석을 위해서 100년 빈도 홍수량조건에 대해서 검토하였다. 과거 11년간의 유량조건을 기초로 하여 평수량을 산

그림4.4는 대상하도 구간에서 200m/sec 유량조건하에서의 속도벡터를 도시한 것이다. 유속벡터의 양상은 흐름이 주하도를 통해서 상류부 호암정수장을 시작으로 중류부 낙화암지역을 거쳐 하류부 신리양수장을 통과하여 하류단 백계대교 부근으로 유하하는 양상을

합리적으로 묘사하고 있었다.

에 의한 유속을 효과적으로 반영하고 있었다.

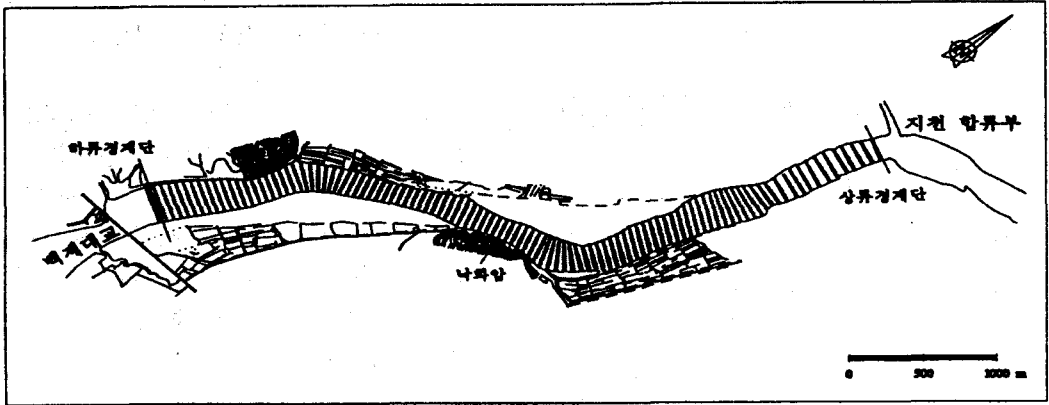


그림44 유속벡터의 양상

그림 45는 등수심선을 도시한 것으로서 수심의 범위는 0.117m~5.500m로 나타났다. 이는 하도단면의 기하학적 불균일성을 효과적으로 반영한 것으로 사료

대상유역에 대한 유사이동 해석을 위해서 이차원 유속 및 수위에 대한 계산결과를 기초로 하여 이차원 모의수행을 통한 이차원 하상변동을 모의수행 하였다.

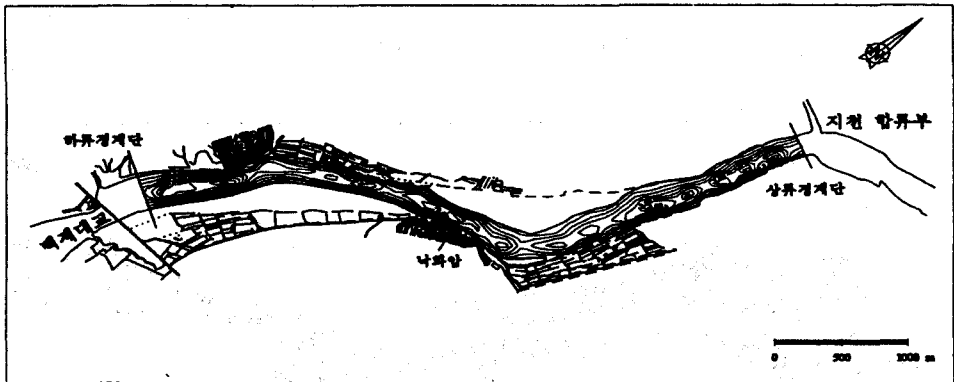


그림45 등수심선의 분포도

된다. 일차원 부등류 계산을 위한 범용 프로그램인 HEC-2와의 수위변화의 비교양상은 HEC-2에 의한 계산이 2%정도 크게 나타났는데 이는 이차원 유한요소 모형에서 난류동요에 의한 에너지 손실항이 포함된 것으로 판단되었다.

그림 46은 등유속선을 나타낸 것인데 유속의 범위는 0.017~0.948m/sec로 나타났고, 등유속선의 분포양상은 중류부의 낙화암 부근에서 0.5m/sec로 비교적 큰 유속분포를 보이고 있어 실제 이 유역의 만곡특성

이차원 하상변동의 수치모의를 위해서 Brownlie 공식(Brownlie, 1981)을 이용하여 해석하였다. 해석구간에 대한 이차원 하상변동양상을 출력하였고, 해석구간에 대한 세굴 및 퇴적양상을 검토하였다.

그림 4.7은 대상유역에 대한 하상변동양상을 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 이 유역에 대한 하상변동은 200m/s 유량조건에서 퇴적현상이 매우 활발하게 나타나고 있었는데 252일 모의수행 후의 퇴적량은 최대 12cm로 나타났다. 퇴적량은 상류단 유입부,

구두레나루터 부근, 백제대교 부근에서 상대적으로 큰 분포양상을 나타냈다. 현지주민들과 유람선 관계자 등의 의견에 의하면, 부여군에서의 지속적인 준설사업에도 불구하고 유람선의 항로가 유지되기 어려운 것으

법을 이용하여 구성하므로써 기존의 방법에 비해 정확한 유한요소망을 구성할 수 있었다. 즉, TM 좌표계를 사용하므로써 서로 다른 축척을 가지는 자료들간에도 정확한 좌표보정을 할 수 있었고, 이를 바탕으로

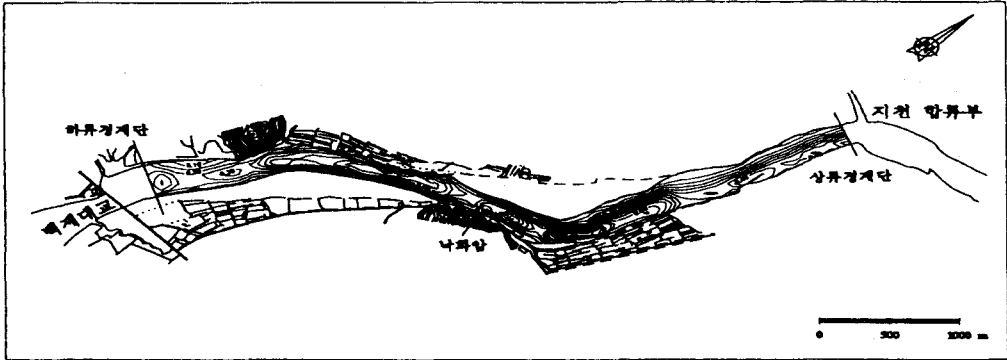


그림46 등유속선의 분포도

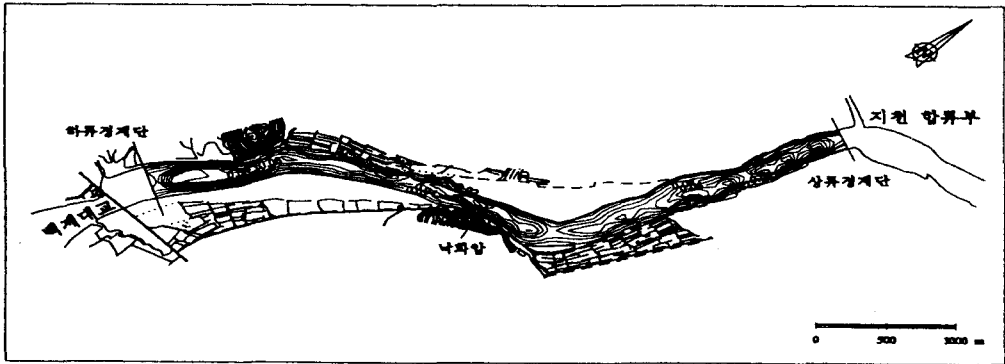


그림47 하상변동양상의 분포도

로 나타났고, 부여군 준설담당자의 의견을 종합하면 이 유역에서 퇴적양상이 매우 지배적인 것을 확인할 수 있었다. 이는 본 연구결과 나타난 퇴적양상과 정성적인 면에서 잘 일치되고 있었고, 전반적인 하상변동의 모의도 매우 타당하다는 것으로 판단되었다.

실축척의 유한요소망을 구성할 수 있었다. 또한 수치지도작성작업규칙에서 정하고 있는 규정을 준수하므로써 자료의 객관성과 정확성을 유지할 수 있었고, 제작된 수치지도를 참고로 사용해 하천의 유량과 수심에 따른 유한요소망을 구성하였다.

5. 결 론

(1) 이차원 모형의 기본자료인 유한요소망을 GIS 기

(2) 금강유역의 지천합류부에서 백제대교에 이르는 5km 구간에 대해 200m/s 유량조건하에서의 속도 벡터도, 등수심선도, 등유속선도를 도시하여 제시

하였다. 계산결과는 일차원 부등류 해석결과와 2% 범위내에서 잘 일치되고 있었고, 이 유역의 만곡특성에 의한 유량을 효과적으로 도시하고 있었다. 이 유역의 하상변동의 퇴적양상이 지배적인 것으로 나타났는데 퇴적량은 최대 12cm로 나타났다. 이는 이 지역에서 실제 관측되고 있는 양상과 정성적인 면에서 잘 일치되고, 전반적인 하상변동의 모의는 매우 타당한 것으로 판단되었다.

- (3) 수치지형도를 이용함으로써 불규칙한 하도형상을 정확히 표현할 수 있었고, 모의수행 결과 또한 신뢰할 만한 범위내에서 구할 수 있었다. 본 연구를 통해 GIS와 유사이송모형간의 연계방법을 찾을 수 있었다. 앞으로 후처리 부분이나 수치해석모형과 GIS 소프트웨어간의 인터페이스 개발을 통한 Flexible coupling 기법에 있어서도 만족할 만한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료되었다.

참 고 문 헌

1. 건설부(1992). "댐 설계를 위한 유역단위 비유사량 조사,연구", 건설기술연구원.
2. 건설부(1992). "댐 설계를 위한 유역단위 비유사량 조사,연구(부록)", 건설기술연구원.
3. 국립지리원(1995). "국가지리정보체계(NGIS) 구축 기본계획", 지리정보분과, 국립지리원.
4. 유복모(1994). "지형공간정보론", 동명사.
5. 한국수자원공사 수자원연구소(1997). "제1회 수자원 연구소 RS 및 GIS Workshop 교재", 한국수자원공사, 수자원연구소.
6. Brownlie, R.(1981). "Alluvial Channels: Compilation of Alluvial Channel Data", California Institute of Technology, W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, Report KH-R-43B, pp.1-209.
7. Goodchild, F., Parks, O., and Steyaert, T.(1993). "Environmental Modeling with GIS", Oxford University Press, New York, NY.
8. King, I. P.(1994). "A Finite Element Model for Three-Dimensional Density Stratified Flow", University of California, Davis.
9. King, I. P., and Norton, W. R.(1978). "Recent Application of RMA's Finite Element Models for Two Dimensional Hydrodynamics and Water Quality." Finite Elements in Water Resources, Proceedings of the 2nd International Conference, London.
10. Yang, C. T.(1996). "Sediment Transport: Theory and Practice", McGraw-Hill.