

GIS 및 격자망 자동발생 프로그램을 이용한 해수유동 유한요소 모형의 전처리 시스템

Preprocessing System for the Finite Element Tidal Simulation Model Using GIS and Automatic Mesh Generator

權 純 國* , 高 德 九**
Kwun, Soon-kuk Koh, Duck-koo

Abstract

In spite of their high availability in the field of water resources, finite element models generally require large amount of input data in which the preparation of them consists of complicated procedures and time consuming works. In addition, in case of applying the model to an irregular domain, it would become more difficult.

This study aimed to develop a preprocessing system for automatically generating the input files of the TIDE which is a two dimensional and frequency domain (Harmonic) finite element model for the numerical prediction of depth average circulation of tidal flows.

The input data for the TIDE could be categorised into two parts. The first set of data is for the finite element grid system, the of which includes the discretization of meshes over the domain, numbering the nodes and elements of the mesh, and extracting the property values of the nodes and elements. The second one is for the boundary conditions which include the amplitudes and phases of tidal constituents at the boundary nodes.

An automatic mesh generation program was developed based on the enhanced Delaunay Triangulation Algorithm. And an interface module between the geographical data and the TIDE model was developed in order to automatize the extraction of the property values for generated meshes. Also some other modules were developed based on the concepts of geographical information system(GIS) for managing the geographical properties of the domain such as the depths, roughness of the sea beds, and the amplitudes and phases of the tidal constituents.

Thereafter, those components were integrated into a preprocessing system so that the finite element grid system and boundary condition data could be generated automatically through the use of its graphical user interface(GUI).

In this paper, after the developments of each component are explained in detail, the application of the developed system to the Saemankeum area for validating its applicability is described.

* 서울대학교 농업생명과학대학

** 충북대학교 수자원·수질연구센터

키워드 : GIS, 격자망자동발생, 유한요소모형, 전처리 시스템, Delaunay삼각망, 수치지도, TIN모델

I. 서 론

수자원 분야에서의 무한한 활용성에도 불구하고 유한요소 수치모형에 대한 이용상의 한가지 제한점은 방대한 양의 입력자료가 요구된다는 것이며, 특히 전형적인 설계 구조물이 아닌 자연계를 대상으로 할 경우 격자망의 생성 및 입력 자료의 작성이 매우 어렵다는 점이다.

본 연구에서는 권 등(1991, 1992)이 개발한 해수유동 유한요소모형 TIDE의 전처리 시스템(Preprocessing system)을 개발하고자 하였다. TIDE 모형은 조석의 분조별 파동 특성과 지형 조건의 변동에 따른 해수유동의 변화가 모의발생될 수 있도록 개발된 調和函數에 의한 線型 2次元 有限要素模型이다.

TIDE 모형의 입력 자료로는 크게 격자망 자료와 경계조건 자료를 들 수 있다. 격자망 입력자료로는 각 절점의 座標와 수심, 요소별 構成절점번호 및 마찰계수가 있으며, 境界條件으로는 개방경계절점의 분조별 진폭 및 모의발생을 원하는 시점의 位相差가 있다.

기존의 방법에 의해 격자망 및 경계조건 입력자료를 작성하기 위해서는 대상지역에 대한 격자망을 작도하여 각 절점 및 요소의 번호를 부여하고 또한 요소별 절점 구성의 번호를 일일이 기록하는 작업으로 부터 출발하여야 한다. 그리고 이를 지형도 또는 마찰계수도 등의 지도와 중첩하여, 각 절점별 또는 요소별 물리적 특성치를 판독하여야 한다. 이 과정에는 단순하지만 장시간을 요하는 계산 과정까지도 포함되어 있어서 수백개 미만의 단순한 격자망을 발생시키더라도 모형입력 자료의 준비를 완료하는데 수일 또는 수주가 소요되며, 작업상의 실수 등으로 인해 그 신뢰성도 높지 않다고 할 수 있다. 뿐만 아니라, 이와 같은 장시간 많은 노력을 요하는 시스템은 아무리 모형의 예측능력이 뛰어나더라도 실무자들로 부터 외면 받는 것이 필연적이었다. 따라서 이와 같은 과정을 자동화할 수 있는 전처리 시스템의 개발이 필요하게 되었다.

본 연구는 불규칙 영역에 대한 격자망 자동발생

프로그램과 최근 각 분야에서 그 활용의 폭이 넓어져 가는 지형정보시스템(GIS : Geographic information system)을 이용하여 해수유동 유한요소 모형의 전처리 시스템을 개발하는 것을 목적으로 하였다.

본 논문에서는 Delaunay 삼각망 알고리즘에 의한 불규칙 영역에 대한 격자망 자동발생 이론과 프로그램의 개발, 해수유동 유한요소 모형인 TIDE 모형 입력파일 작성에 필요한 각종 자료, 즉 수심 및 마찰계수, 조석 분조별 조위 및 위상 분포 자료 등의 GIS에 의한 데이터 베이스화와 모형-GIS 간의 인터페이스 모듈 개발 등에 대해 각각 설명하고, 각각의 요소를 통합하여 완성된 유한요소 모형 전처리시스템의 적용에 대해 기술하고자 한다.

II. 격자망 자동발생 프로그램

1. 기본 이론

유한요소해석을 위한 격자망 발생기법은 크게 등변수 보간법(Isoparametric interpolation method), 혼합 함수법(Blending function method), 삼각망 자동 분할법(Automatic triangulation method) 등으로 분류할 수 있으며, 각종 기법은 자동화의 정도, 해석하고자 하는 대상의 성격에 따라 선택될 수 있다(Thacker, 1980).

그 중 삼각망 자동 분할법이 가장 일반적인 기법으로 인식되어 있으며, 최근에 이에 대한 연구가 가장 활발히 이루어 지고 있다. 삼각망 자동 분할법이 갖는 장점으로는 영역형상에 제한이 없고, 좌표계 원점 설정이 자유로우며, 대상 영역내의 불연속 구간에 대해서도 격자망 구성을 쉽게 할 수 있고, 내부절점수 및 절점주위 요소수의 조절이 용이하며, 좌표계 변환기법과 같이 복잡한 수학적 해석이 불필요하다는 점을 들 수 있다.

본 연구에서는 Lo(1985, 1989, 1992)가 제안한 불규칙 평면 영역에 대한 Delaunay 삼각망 자동 발생 알고리즘과 점진적 내부절점 생성기법(Ad-

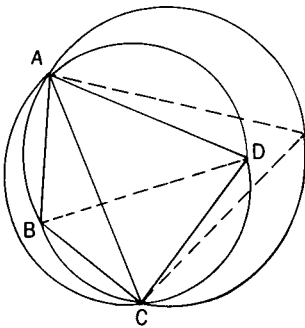
vancing front method)을 결합한 격자망 자동발생 알고리즘을 구조화하는데 역점을 두었다.

$$\rho(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{\rho_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i}} \quad (1)$$

2. Delaunay 삼각망

Delaunay 삼각망이란 Delaunay 속성을 만족시킬 수 있도록 경계영역의 절점과 내부절점들을 상호 연결시켜 작성한 삼각망이며, Delaunay 속성은 하나의 삼각형 외접원내에는 다른 어떤 절점도 존재하지 않으며, 삼각망의 절점 및 선분 요소들은 서로 중첩 또는 교차되지 않는다는 특성을 의미한다.

〈Fig. 1〉에서와 같이 삼각형 ABC의 외접원(큰 원)내에 D점이 놓여 있다면 각 ADB가 각 ACB보다 크게 되므로, 이때는 삼각형을 구성하는데 있어서 C점 보다 D점을 선택함으로써 Delaunay 속성을 만족시킬 수 있게 된다.³⁾



〈Fig. 1〉 Delaunay property of triangulation

3. 격자 발생 알고리즘

가. 점진적 내부절점 생성

점진적 내부절점 생성기법은 영역의 형상에 따라 요소의 크기를 임의로 조절할 수 있는 기법으로서 영역 내부의 한 절점 P(x, y)의 위치를 결정하는 요소 크기, 또는 절점 간격 ρ는 식(1)에 의해 계산된다.

여기서, ρ_i는 외곽 절점간 간격이며, d_i는 내부 절점 P와 외곽 절점간의 거리이다.

새로운 절점의 위치는 기존의 선분을 기준으로 결정하며, 이를 삼각망 발생 첨단(Generation front)이라 한다. 이 선분은 삼각형이 생성될 때마다 새로운 삼각형의 변에 의해 대체되도록 하였다.

나. 삼각형 요소의 생성

삼각망 발생 첨단의 선분 AB와 최적의 삼각형을 형성할 수 있는 절점 C_i는 다음과 같은 조건에 의해 찾는다.

$$C_i A \times C_i B > 0 \quad (2)$$

$$C_i A \cap T \in \{C_i A, \{C_i, A\}\} \text{ and } C_i B \cap T \in \{C_i, B, \{C_i B, \{C_i, B\}\} \quad (3)$$

식(2)의 조건은 후보절점 C_i가 선분 AB의 진행방향 왼쪽에 위치해야 함을 나타내는 것이고, 식(3)은 후보절점 C_i와 선분 AB를 연결하는 삼각형의 변이 기생성 삼각형의 변 T와 교차하지 말아야 함을 나타내는 것이다.

여러개의 C_i가 존재하는 경우 후보 삼각형 세점에 대한 외접원내에 다른 절점이 존재하지 않아야 하는 Delaunay 속성을 만족시키는 점으로써 외접원의 면적이 최소가 되는 점을 찾도록 하였으며, 이와 같은 과정은 삼각형 발생 첨단상의 선분이 더이상 존재하지 않을 때까지 반복되도록 하였다.

4. 전산 프로그램

위와 같은 알고리즘에 의해 전산 프로그램을 작성하였다. 프로그래밍 언어는 FORTRAN 77을 사용하였으며, 입력자료는 영역 외곽 절점들의 좌표로써 본 연구에서는 GUI를 통해 마우스와 같은

장치에 의해 입력되도록 하였다.

Ⅲ. GIS의 응용

1. GIS의 개념

지리정보시스템(Geographical information system)은 종전의 종이 지도 제작과 활용에서 탈피하여, 컴퓨터를 이용함으로써 지구 표면상의 지형은 물론 토양, 토지이용과 인구, 산업 등의 공간적인 각종 정보를 체계적으로 연관시키고, 수학적 해석을 통해 사회 각 분야에서 인간이 필요로 하는 다양한 형태의 정보를 제공해 줄 수 있는 도구이다.

GIS의 태동은 1960년대초 미국과 캐나다를 중심으로 이루어지기 시작하였으며, 그 대표적인 것으로는 1963년 Howard T. Fisher가 개발한 SYMAP(SYnagraphic MAPing system)이라는 소프트웨어를 들 수 있는데, SYMAP은 공간 자료의 분석, 연속적인 면을 나타내는 코로플레스 지도(Choropleth map) 혹은 등치선도(Isoline map)를 만들어 내는 여러 개의 프로그램이 모듈(Module)의 형태로 조직되어 있다.

지리 자료의 현상적인 구조를 일정한 포맷의 전산 자료로 변환해 놓은 것이 수치 지도이며 이는 GIS의 근간이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 등수심도, 등마찰계수도, 분조별 조위 및 위상의 등치선도 등의 주제도를 수치 지도화하고, 이를 이용하여 특정한 위치, 즉 격자점이 발생한 지점의 격자망 속성값을 판독할 수 있도록 하였다.

2. 수치지도의 자료구조

수치지도의 자료구조는 크게 래스터(Raster)와 벡터(Vector) 자료구조로 분류할 수 있다. 래스터 자료구조의 형태는 그리드(Grid), 셀(Cell), 또는 픽셀(Pixel)로 구성된 배열(Array, Raster, Matrix, or Lattice)로서 각 셀은 행과 열의 값으로 참조되며, 지도화되는 속성의 값이나 유형을 나

타내는 수치를 가지고 있다. 벡터 자료구조는 점, 선, 면에 의해 지리사상의 위치나 크기, 차원을 나타내도록 고안된 자료구조로서, 점의 공간좌표와 이의 연결구조가 기본이 된다.

벡터 자료는 래스터 자료구조에 비해 파일의 크기가 적고, 처리가 빠르며 래스터 자료에 비해 정확한 표현이 가능한 반면, 자료처리의 과정이 복잡한 단점이 있다. 래스터 자료는 자료의 관리가 용이한 반면, 셀의 크기에 따라 실질적인 자료의 정확도가 결정되므로 요구되는 정확도에 따라 파일의 크기가 커지게 되며, 처리속도도 늦은 단점이 있다.

본 연구에서는 그래픽 화면과 자료의 처리를 모두 용이하게 하기 위하여 벡터와 래스터 자료를 동시에 사용하였다.

가. 래스터도

대상영역의 시각적 표현과 벡터도의 작성을 위한 기본자료로서, 지형도, 등수심도, 마찰계수 분포도 등을 스캐너에 의해 입력하였다. 각 cell의 속성은 특정 지리 사상으로 변환하지 않고, 화면 출력에 필요한 화소단위의 색상 및 농도만을 저장하는 그래픽 파일의 형태로 저장하였다.

이 파일의 포맷은 X-window의 그래픽 저장 표준 포맷의 하나인 xwd(X-window dump) 포맷으로 하였으며, 스캐너로부터 전송된 화일을 xwd 포맷으로 변환하기 위하여 X-window 시스템에서 제공하는 라이브러리의 기능 함수를 호출하여 xwd 화일로 변환시키는 프로그램을 개발하였다.

나. 벡터도

각종 주제도의 실질적인 저장형태는 벡터자료구조로 하였으며, 본 연구에서는 대상 자료의 특성상 점과 선사상 만을 취급하도록 정하였다.

지도의 벡터화는 스캐닝된 래스터도에서 마우스를 이용하여 선을 구성하는 대표적인 점들을 연속적으로 지시하면 각 점의 좌표와 연결을 추출하고, 이를 <Fig. 2>와 같은 포맷으로 저장할 수 있도록 개발된 프로그램에 의해 처리하였다.

| ID number of the Arc(line) | Attribute | Repeated for all vectors |
|--|--|-----------------------------|
| x-direction coordinate of the starting point | y-direction coordinate of the starting point | |
| x-direction coordinate of vortex1 | t-direction coordinate of vortex1 | |
| x-direction coordinate of vortex2 | y-direction coordinate of vortex2 | |
| : | : | |
| : | : | |
| x-direction coordinate of the ending point | y-direction coordinate of the ending point | |
| END | | |
| END | | |

<Fig. 2> File format for the vectorized digital map

3. 수치지도 입력

수치지도의 입력을 위해 스캐너와 마우스 등 하드웨어 및 X-window에 의한 그래픽 출력을 제어할 수 있는 응용 소프트웨어를 개발하였으며, 그 처리 내용은 다음과 같다.

가. 래스터 이미지 스캐닝

인쇄된 형태의 기존 지도, 즉 지형도, 등조위선도, 등수심선도, 마찰계수 분포도 등을 스캐너를 통해 입력하여 X-window의 스크린 저장을 위한 그래픽 파일 양식인 xwd포맷으로 변환하고, 기준점에 대한 실제 좌표를 저장함으로써 래스터 수치 지도를 완성하였다.

나. 벡터라이징

스캐닝된 래스터 자료 형태의 이미지를 바탕으로 해안선과 같은 지형을 나타내는 선, 또는 등수심선, 등마찰계수선 등을 따라 마우스를 이용하여 연속적인 점을 찍어 나간 후 이 선이 가지는 속성값, 즉 수심이나 마찰계수 등을 키보드로 입력시킴

으로써 <Fig. 2>와 같은 벡터 형태의 자료를 구축하였다.

다. 좌표계 선정

좌표계란 임의의 공간상에서 특정 요소의 상대적 위치를 나타내기 위해 설정한 기준점의 위치와 전개 방향을 설정한 시스템을 의미한다. 지리사상의 좌표는 지구상의 표준좌표계(A Standard coordinate system)에 의해 나타내지며, 표준좌표계는 크게 평면(Plane) 좌표계와 지구(Global) 좌표계로 분류된다. 평면 좌표계는 X, Y축으로 정의되는 데카르트 좌표계이고, 지구 좌표계는 위도와 경도로 정의되는 구면 좌표계이다.

본 연구에서는 기존에 가장 널리 쓰이고 있는 UTM (Universal Transverse Mercator) 좌표계를 사용하였으며, 유한 요소 격자망의 좌표도 데카르트 좌표계를 사용하므로 UTM 좌표계와 같은 공간을 공유하게 함으로써 격자망과 수치 지도의 중첩이 용이하게 하였다.

수치지도 입력 소프트웨어에는 UTM 좌표계에 의한 처리를 위해 경도 및 위도로 표현되는 지구좌표계(Global coordinate system)를 UTM 좌표계로 변환하는 모듈도 포함되었다.

한편, 모든 수치 지도에 대해 통일된 좌표계를 적용함으로써 수치 지도간의 상대적 위치 파악이 가능하게 하여 지도의 결합(Map join) 및 중첩(Overlap)이 용이하도록 하였다.

라. 기준점 설정

기준점이란 지리적 조준점으로서 도구좌표계(Device coordinate)로 입력된 수치지도의 모든 요소를 UTM 좌표계 또는 지구좌표계 등의 실제 좌표계로 변환하는 기준이 되며, 이와 같은 좌표계의 변환은 기준점의 실제 좌표와 도구 좌표간의 Mapping을 통해 이루어진다.

이미지 영상화된 수치 지도가 가질 수 있는 왜곡, 즉 상하 좌우간의 불균일한 축적을 방지하기 위해 기준점은 최소 2점이상, 가능하다면 공간상에 좌우 및 상하 대칭 되는 지점의 4점 이상이 되도록 하였다.

4. TIN(Triangulated Irregular Network) 모델

TIN은 Peucker 등이 1978년 처음 발표한 수치 지형모델(DTM : Digital Terrain Model)을 처리하기 위한 방법론으로서 등치선으로 표시된 지도, 즉 지형도가 연속적으로 변화하는 면을 나타내기 위해 부적합하다는 점을 개선하기 위해 제안되었으며, 이를 이용함으로써 자료의 중복을 피할 수 있고, 여러 형태의 계산, 예를 들어, 사면 경사 등의 계산이 가능하게 되었을 뿐 아니라, 대상 영역을 모두 연속된 삼각망으로 나타내 줌으로써 영역 내 모든 지점의 속성값 검색이 가능하게 되었다.

작성된 수치 지도는 각종의 등치선을 벡터의 형태로 작성한 것이므로 자동으로 발생된 유한요소 격자망의 절점들과는 일치하지 않게 된다. 격자망과 수치 지도를 중첩하여 임의의 위치에 발생한 격자점들의 각종 자료를 추출하기 위해서는 고도의 보간을 요하지만, 매우 불규칙하게 분포되어 있는 등치선 상에서 정확한 값을 추출할 수 있는 알고리즘을 개발하는 것은 매우 어려운 것으로 판단되었다. 본 연구에서는 이와 같은 난점을 극복하고자 수치 지도를 TIN 모델로 변환하였다.

TIN 처리를 위한 소프트웨어는 대부분의 상업용 소프트웨어 패키지에 필수적으로 포함되어 있으나, 대개는 추가된 많은 기능과 함께 매우 고가이고 본 연구의 다른 모듈과의 호환도 용이하지 않아 Delaunay 삼각망 알고리즘에 의한 TIN 처리 소프트웨어를 별도로 개발하였다.

5. 격자망 속성값의 보간

TIN에 의해 작성된 모든 삼각형은 세개의 꼭지점을 갖는 평면이다. 삼각평면상에 놓인 임의점의 속성값을 계산하기 위한 보간 기법으로서 다항보간법을 사용하여 격자망의 속성값을 도출할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

다항보간법에서 속성값인 Z 는 다음 식(4)의 다항회귀식에 의해 계산될 수 있으며, 회귀식의 계수는 회귀 분석을 통해 계산될 수 있도록 하였다.

$$Z = a_1 + a_2X + a_3Y \quad (4)$$

여기서 Z 는 발생 격자점의 속성값이고, X 와 Y 는 발생 격자점의 좌표이며, a_1, a_2, a_3 는 삼각형 세 꼭지점의 좌표와 속성 값에 의해 계산된 회귀 계수이다.

IV. 전처리 시스템 개발 및 적용

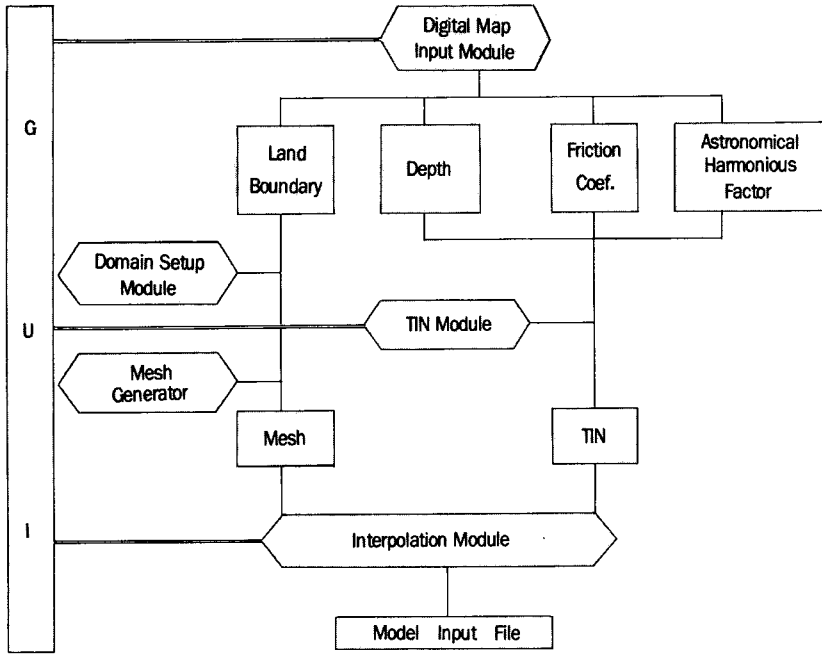
1. 시스템의 개발

해수유동 유한요소 모형의 전처리 시스템은 격자망 구성과 모형의 전산 입력 화일 생성을 자동화함으로써, 종전의 수작업에 의해 소요되던 많은 노력과 시간을 줄여 모형의 적용성을 제고하는 것을 목적으로 하였다.

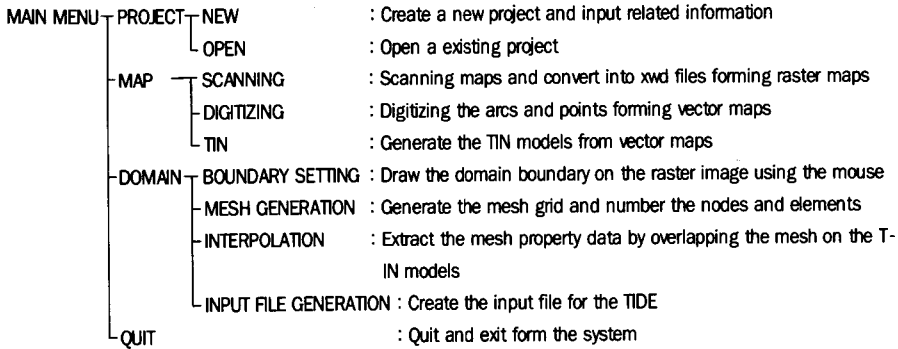
불규칙 영역에 대한 격자망 구성은 대상 영역을 Delaunay 삼각망 기법에 의해 기하학적으로 분할하여 격자망을 구성하는 각 절점의 일련 번호와 좌표, 각 요소별 구성절점 등의 자료를 발생시키도록 했으며, 모형의 전산입력 화일 생성은 발생된 격자망의 각 요소 및 절점이 가지는 속성자료 및 경계조건, 즉 수심, 선형마찰계수, 경계영역의 조위 및 위상 등을 자동으로 검출하여 모형입력자료의 양식에 맞추어 기록함으로써 입력 화일을 생성하도록 하였다.

대상 영역의 범위 설정, 각 속성자료 및 경계조건을 자동 검출을 위해 영역의 지형, 즉 해안선을 기하학적 형태의 수치지도로 작성하였으며, 각 속성을 나타낼 수 있는 각종 주제도를 GIS 기법에 의해 수치 지도화하고 이를 불규칙 삼각망 모형화(Irregular triangular model)하였으며, 이 위에 발생된 격자망을 중첩하여 각 절점의 위치에 따라 그 속성값을 보간(Interpolation)에 의해 검출할 수 있는 인터페이스 모듈을 개발하였다.

개발된 각 모듈은 UNIX운영체계의 워크스테이션에서 운용되도록 하였으며, X-window/MOTIF에 의한 그래픽 사용자 인터페이스에 의해 사용자 입력과 처리과정 및 결과를 可視化하였다. 각



<Fig. 3> Structure of preprocessing system for the TIDE model



<Fig. 4> Hierarchical structure of menu system for the preprocessing system for the TIDE

모듈과 자료, 사용자 인터페이스를 통합하여 완성된 해수유동 유한요소모형의 전처리시스템은 <Fig. 3>에 나타낸 바와 같은 개념으로 구성되었다.

그래픽 사용자 인터페이스는 다단계의 계층적 선택 메뉴에 의해 일관된 작업과정을 수행할 수 있도록 구성되어, 수치 지도의 입력 및 수정, TIN 모델의 생성, 대상 영역의 설정, 격자망의 발생 및 격자망 자료의 도출, 그리고 그 결과로부터 TIDE 모형의 입력화일을 작성하는 등의 과정을 수행할

수 있도록 하였다.

또한 팝업 윈도우(Pop-up window)를 통해 작업의 과정에서 요구되는 각종 키보드 입력을 수행할 수 있도록 하였다. <Fig. 4>는 그래픽 사용자 인터페이스 메뉴의 계층적 구조를 개념적으로 나타낸 것이다.

2. 대상 영역

개발된 시스템의 적용성 검증을 위해 권 등

(1992)이 TIDE 모형을 적용한 바 있는 새만금 해역을 대상 영역으로 선정하였다. 새만금해역은 행정구역상 전라북도의 옥구군, 김제군, 부안군 등 3개군에 걸쳐 있으며, 이 해역으로 유입되는 주 하천으로는 만경강과 동진강이 있다. 현재 이 지역에서는 대규모 간척사업이 진행되고 있으며, 공사가 진행됨에 따라 TIDE 모형의 적용 필요성이 증대되고 있으며, 이에 따라 모형의 적용성을 높이기 위한 전처리 시스템 등의 개발이 요구되고 있다.

해역내의 지형을 보면 만경강과 동진강하구에는 대규모의 干潟地가 전개되어 있어 해안선의 드나들이 심하고, 고군산군도 등 크고 작은 섬이 많이 분포되어 있다. 또한 수심은 略最低干潮位를 기준으로 평균 20~30m로 局部的인 큰 차이를 보이면서 두리도와 북가력도 사이, 신시도 남단, 야미도 동단 등 3개 지역에서는 峽谷을 이루고 있는 등 매우 복잡한 지형으로 이루어져 있어 격자망의 생성이나 격자망 속성 자료의 판독이 매우 어려운 것으로 판단되었다.

3. 시스템의 적용 및 고찰

개발된 전처리 시스템을 대상 영역에 적용하여 시스템의 운용 및 각 모듈의 처리 결과를 검토함으로써 시스템의 적용성을 검증하였다.

가. 수치지도입력

시스템의 적용을 위해 입력된 수치지도는 지형

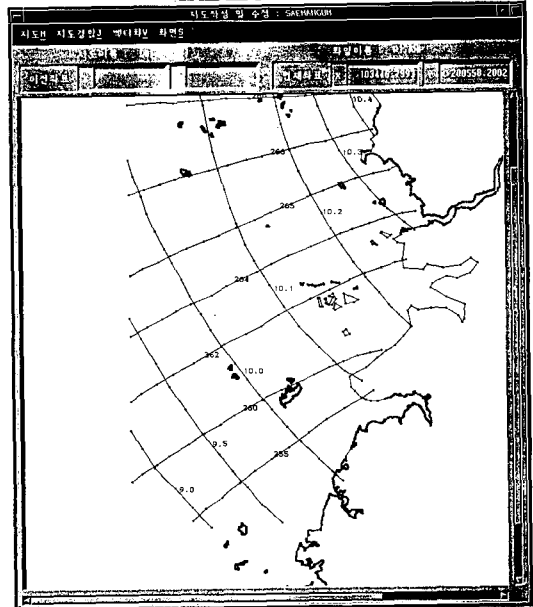
<Table 1> Digital maps of the Saemankeum area

| Category | Data Structure | Number of Maps | Source | Note |
|---------------------|----------------|----------------|--------------------------|--|
| Base map | R*/ V** | 1 | 1:250,000 map | shore lines of lands and islands |
| Depth | V | 1 | hydrographic chart | ALLWL |
| Roughness | V | 1 | published map by RDC*** | |
| Astronomical Factor | V | 20 | published maps by RDC*** | Constituents : M2, S2, K1, O1, N2, L2, K2, P1, M4, MS4 Contents : amplitude and phase |

* Raster Data ** Vector Data

*** Rural Development Corporation (1994)

도, 등수심선도, 바닥마찰계수 분포도, 분조별 조위 및 위상의 등치선도 등이다. 입력된 지도의 구체적인 내용은 <Table 1>과 같다. <Fig. 5>는 디지털화기를 통해 완성된 수치지도의 형태를 예시한 것이다.



<Fig. 5> Sample digitized vector map of the Saemankeum area

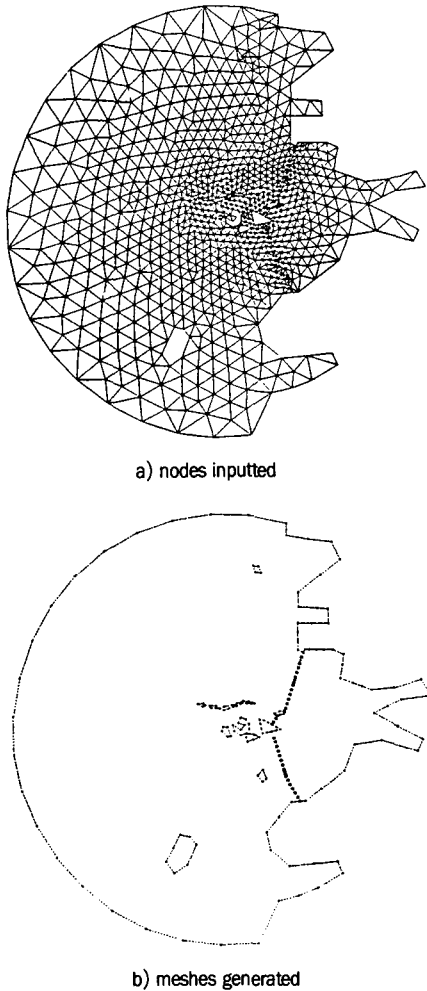
나. 격자망의 발생

지형을 나타내는 기본도에서 TIDE 모형을 적용하고자 하는 영역을 설정하고 격자망을 발생하였다. 격자의 크기 및 밀도는 영역 설정시에 외곽 절점의 간격에 따라 조절할 수 있었다.

<Fig. 6>은 격자망 발생을 위한 영역의 설정과 발생된 격자망을 예시하고 있다. <Fig. 6>에 나타난 예는 975개의 절점 및 1,761개의 요소로 구성된 격자망으로서 격자망 발생에 소요된 시간은 불과 수초 미만이었으나, 다중처리를 수행하는 워크스테이션의 경우 그 소요 시간은 일정치 않으며, 사용하는 기종에 따라라도 차이가 날 수 있을 것으로 사료되어 정확한 시간의 계량은 하지 않았다.

다. 격자망 자료의 보간

발생된 격자망을 각종의 수치지도 TIN 모델과 중첩하여 각 절점 및 요소의 속성값을 도출하였다.



〈Fig. 6〉 Sample mesh generated for the Saemankeum area

이와 같이 도출된 격자망 자료는 TIDE 모형의 입력자료 양식에 따라 화일로 저장되었으며, 이를 TIDE 모형에 적용하였다.

개발된 전처리 시스템에 의해 작성된 TIDE 모형 입력화일로 부터 TIDE 모형을 실행한 결과는 종전에 수동으로 작성된 입력화일에 의한 결과와 유사한 결과를 제시하는 것으로 나타났다.

라. 결과의 고찰

격자망을 발생시키고, 격자망도를 인쇄된 각종 속성 관련 지도와 중첩하여 격자망 자료를 판독하여 전산 화일로 입력하는 과정을 수동적인 방법에

의하는 경우 소요 시간은 계량이 불가능할 정도였다. 뿐만 아니라 격자망의 부분적인 수정이 요구되는 경우라도 전체 작업을 새로해야 될 만큼 많은 인력과 시간이 요구되었다.

개발된 전처리 시스템을 이용할 경우 스캐닝된 래스터 이미지 자료로 부터 벡터화를 수행하는데 소요되는 시간을 제외하면, 기타 모든 작업은 수분, 경우에 따라서는 수초 이내에 수행될 수 있었다. 또한 한번 입력된 수치지도는 대개의 경우 계속 사용이 가능할 뿐 아니라, 수정의 필요가 있더라도 그래픽 사용자 인터페이스를 통해 용이하고 신속하게 처리가 가능할 것으로 판단되었다.

따라서 종전의 수동적인 방법과 시간적인 효율성에 대해 비교한다는 것은 의미가 없으며, 또한 자료의 정확도에 있어서도 수동적인 방법의 경우 인간적인 실수 및 작업자의 불균일한 판단기준에 의한 오차가 예상되는데 비해 객관적으로 높은 정도의 보간이 이루어질 수 있을 것이다.

개발된 시스템의 적용 시험 과정을 통해 본 시스템은 설계된 대로 역할을 수행할 수 있어, 작업의 편의성을 크게 향상시켜 그 적용성이 인정되는 것으로 사료되었다.

V. 요약 및 결론

해수유동 유한요소 모형의 전처리 시스템으로서 격자망을 자동 발생시키고, 모형 입력 자료를 자동 작성하기 위한 지원 모듈들과 그래픽 사용자 인터페이스를 개발하고 이들을 통합하였다.

본 연구의 과정과 이를 수행하면서 얻어진 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. Delaunay의 삼각망 알고리즘에 의해 유한요소 격자망 자동발생 모듈을 개발하였다.
2. 발생된 격자망의 모형 입력 자료를 자동으로 작성하기 위한 기초 자료로써 관련된 지도(지형도, 등수심도, 등마찰계수선도, 분조별 등조위선 및 등위상선도)를 GIS 기법을 이용하여 수치 지도화하기 위한 모듈을 개발하였다.

3. 본 연구에서는 수치 지도의 자료 구조로서 래스터 형식의 자료 구조와 벡터식 자료 구조를 모두 사용하였으며, 자료 화일의 포맷으로써 래스터 형식의 자료는 X-window의 화면 저장 형태인 xwd 포맷을 채택하였으며, 벡터 자료는 ASCII화일로서 이를 이용하는 응용 프로그램의 개발이 용이하도록 단순화한 화일 포맷으로 설계하였다.
4. 수치 지도의 좌표계는 가장 보편적으로 쓰이고 있고 UTM 좌표계로 하였으며, 지구좌표의 좌표값을 UTM 좌표계로 변환할 수 있는 프로그램을 개발하였다.
5. 수치 지도의 입력과 출력을 수행하는 화면 및 스캐너의 취급 영역과 수치 지도의 영역 범위 간에 Mapping을 수행할 수 있는 모듈을 개발하였다.
6. 자동 발생된 격자망의 모형 입력 자료 추출이 용이하도록 대상 영역 전체를 연속적으로 표현하는 TIN을 구축할 수 있는 프로그램을 개발하였으며, TIN 삼각망 내에 생성된 임의 지점의 격자점 속성 산정을 위한 보간 알고리즘을 개발하였다.
7. 각 모듈을 일관되게 운영할 수 있는 계층적 메뉴 구조의 그래픽 사용자 인터페이스를 개발하였으며, 이를 기타 모듈들과 통합하여 해수유동 수치모형의 전처리 시스템을 개발하였다.
8. 개발된 시스템의 적용성을 검증하기 위해 새만금 해역을 대상으로 전처리 시스템을 적용하여 TIDE 모형의 입력파일을 작성하고, 이를 TIDE 모형에 적용함으로써 개발된 전처리시스템의 유용성을 검증하였으며, 시스템의 시험 운영과정에서 사용의 편의성을 확인할 수 있었다.

본 연구는 농어촌진흥공사의 연구사업 "조류예측 유한요소 수치모형 개발(Ⅲ)" 중의 일부로 이루어진 것이며, 당 공사의 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 권순국·고덕구·조국광·김준현, 1991, 有限要素法을 이용한 海水流動 解析(Ⅰ), 韓國農工學會誌, 33(4), pp. 73-83.
2. 권순국·고덕구·조국광·김준현, 1992, 有限要素法을 이용한 海水流動 解析(Ⅱ), 韓國農工學會誌, 34(2), pp. 73-84.
3. 농림수산부, 농어촌진흥공사, 1994, 조류예측 유한요소 수치모형 개발(Ⅲ), 서울대학교 농업생명 과학대학 부속 농업개발연구소 연구보고서, 94-05-13.
4. Eastman, J.R., 1994. GIS 개론 및 실습, 연상호·이상석 편역, 한울 아카데미.
5. Lo, S.H., 1985. A New Mesh Generation Scheme for Arbitrary Planar Domains, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol.21, pp. 1403-1426.
6. Lo, S.H., 1989. Delaunay Triangulation of Convex Planar Domains, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol.28, pp. 1695-2707.
7. Lo, S.H., 1992. Generation of High-Quality Gradation Finite Element Mesh, Engineering Fracture Mechanics, Vol.41, No.2, 191 pp. 202.
8. Thacker, W.C., 1980. A Brief Review of Techniques for Generating Irregular Computational Grids, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol.15, pp. 1335-1341.

약 력

권 순 국



1964. 서울대학교 농과대학 농공학과 졸업
 1974. 미국 Colorado 주립대학교 대학원, M.S.
 1980. 미국 Iowa 주립대학교 대학원, Ph. D.
 현재 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 교수
 KCID 편집 및 학술/환경 분과위원장
 ICID 환경분과위원

고 덕 구



1980. 서울대학교 농과대학 농공학과 졸업
 1982. 서울대학교 대학원 농학석사
 1989. 서울대학교 대학원 수공학박사
 현재 한국수자원공사 수자원연구소 선임 연구원
 충북대학교 수자원·수질연구센터 연구조교수