

3차원 해저지형 수치모델에 관한 연구

A Study on the 3-D Digital Modelling of the Sea Bottom Topography

양 승 윤* 김 정 훈* 김 병 준** 김 경 섭**
Seung-Yun Yang Jeong-Hoon Kim Byung-Joon Kim Kyung-Sub Kim

ABSTRACT

In this study, 3-dimensional virtual visualization was performed for a rapid and accurate analysis of sea bottom topography. The visualization was done through the extracted data using the developed program and the generated data using the gridding method. The data extraction program was developed with AutoLISP programming language and this program was able to extract the needed sample bathymetry data from the electronic sea chart systematically as well as effectively. The gridded bathymetry data were generated by the interpolation or extrapolation method from the spatially-irregular sample data.

As the result of realization for the 3-dimensional virtual visualization, it was shown a proper feasibility in the analysis of the sea bottom topography to determine the route of submarine cable burial.

주요기술용어 : Sea Bottom Topography(해저 지형), Data Extraction(데이터 추출), Visualization(가시화), AutoLISP(AutoCAD List Processor)

1. 서 론

일반적으로 해양자원의 개발, 위락시설의 건설, 해상운송의 안전, 에너지, 통신, 식량, 천연가스의 개발들과 해저자원의 개발 등을 위하여 선진국에서는 오래 전부터 해저지형에 대한 조사/분석 연구가 이루어

져 왔다^[1]. 특히 안전하고 효율적인 해저 케이블 매설을 위해서는 최적의 루트 설정이 매우 중요하며, 해저 케이블 매설 루트 선정을 위해서는 해저지질과 더불어 해저지형의 파악이 필수적이라 하겠다. 해저매설 장비의 안전하고 효율적인 작업 수행을 위해서는 경사가 심한 해역이나 해저계곡 같은 지역을 회피해야 한다.

따라서 해저면 상황 및 수심 등에 대한 정보를 추출해 내고 그 데이터를 영상으로 시각화하는 기능을

* 국방과학연구소 제2체계개발본부

** LG 이노텍

필요로 한다. 다시 말해 추상적인 수치 데이터와 통계들의 나열은 비전문가와 전문가까지도 자료를 이해하는데 많은 노력과 시간을 투자하게 하며, 다양한 정보의 급속한 증가에 따라 효과적으로 이를 분석하고 확인할 수 있는 방법에 대한 요구가 증가되고 있다.

특히 대상해역의 해저지형을 정확하고 신속하게 이해하기 위하여 또한 입체감을 높이고 상황의 신속한 판단을 위해 그 영역에 대한 3차원적 표현이 요구되며, 2차원 해도, 지형분석 결과 및 현황정보 등을 입체적으로 도시할 수 있는 기능 또한 필수적으로 요구된다.

컴퓨터를 이용하여 인간에게 가장 이해하기 쉬운 형태로 결과나 과정을 도시하는 것이 과학적 가시화다. 다시 말해서 과학적 가시화는 원시 수치자료를 가시적인 영상으로 제시하는 기법으로서 이 원시 자료가 기원한 실제 세계의 환경과 물체와의 상호작용을 모형화한 영상을 마치 현실과 같이 화면에서 조작시키는 방법이다. 또한 과학적 가시화는 자료를 사람이 쉽게 이해하는데 목표를 두며 이 기법을 통해 가설을 시험하고 장·단기에 걸친 예측을 수행하며 새로운 변수를 적용시키고 구성할 수 있다^[1].

또한 회로 디지털 기술의 발달로 개인용 컴퓨터의 성능이 공학용 워크스테이션이과 거의 대등한 능력을 발휘하고, 가격은 점차 하락하는 추세에 있기 때문에 이제는 값싼 개인용 컴퓨터를 이용하여 방대한 양의 데이터 처리가 가능하게 되었고 신호처리 전용 프로세서 및 그래픽 전용 프로세서를 이용하여 실시간 데이터 처리 및 전시도 가능하게 되었다.

하지만 대상지역의 해저지형을 3차원으로 가시화하는데 필요한 원시 측심 데이터 및 관련 기술에 대한 공개는 일반적으로 배타적인 실정이며, 또한 지형상의 모든 점에 대한 수심을 측정하여 실지형을 복원

하는 것도 현실적으로 불가능하기 때문에 실지형을 모델링하여 근사적으로 표현하는 방법을 많이 사용하고 있다. 지형을 모델링하기 위하여 사용하는 일반적인 방법에는 등고선 모델, 격자 모델, 삼각형 모델 등이 있다^[2].

따라서 본 연구에서는 해저지형의 3차원 가시화를 위하여 먼저 전자해도에서 체계적이고 효과적으로 데이터를 추출할 수 있는 프로그램을 AutoLISP 언어로 개발하였으며, 개발한 프로그램으로 데이터를 추출하였다. 또한 3차원 해도영역 상에 불규칙하게 분포되어 있는 좌표로부터 보간(외삽 및 내삽)에 의하여 규칙적인 수평의 격자 상에 해당하는 표고값을 생성하였다. 이렇게 하여 추출한 데이터와 생성한 데이터를 이용하여 해저지형의 3차원 가시화를 수행하였다.

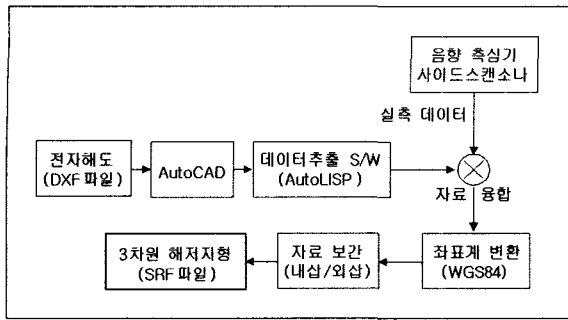
개발한 프로그램으로 데이터를 추출하고 수치 수심 모델을 구축하여 해저지형의 3차원 가시화를 수행하기 위한 전체 작업 흐름도는 그림 1과 같다.

2. AutoLISP을 이용한 데이터 추출

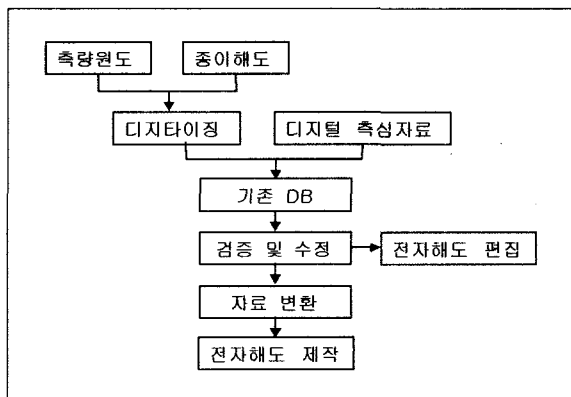
2.1 개요

해저지형의 3차원 가시화를 위해서는 먼저 대상지역의 원시 측심 데이터가 필요하다. 하지만 실측에는 많은 시간과 예산이 요구될 뿐만 아니라 관련 자료 및 데이터 획득도 매우 어려운 실정이므로 전자해도를 활용하였다.

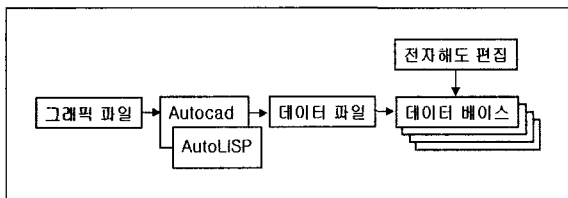
전자해도란 종이해도 상에 나타나는 해안선, 등심선, 수심, 항로표시(등대, 부표), 위험물, 항로 등 선박의 항해와 관련된 모든 해도정보를 국제수로기구(IHO)의 표준규격(S-57)에 따라 제작된 디지털 해도를 말한다.



[그림 1] 해저지형 3차원 가시화 작업 흐름도



[그림 2] 전자해도의 제작과정 개념도



[그림 3] AutoCAD와 AutoLISP을 이용한 그래픽 파일 처리 개념도

종이해도의 디지털라이징 작업을 통해 제작되는 수치해도는 전자해도에서의 실시간 구현을 위하여 부호화 작업으로 처리되므로 활용하기에는 어려움이 따르고, 종이해도를 스캐닝하여 데이터를 추출하거나 또는 전자해도에서 측심데이터를 역추출해야 하는데 현재 방법은 그래픽 소프트웨어를 활용하여 컴퓨터 화면에서

마우스를 이용한 수작업으로 처리하고 있는 실정이다. 따라서 많은 데이터를 효과적으로 추출하기 위하여 데이터 추출 프로그램을 개발하였다. 프로그램 개발시 사용한 언어는 AutoLISP이다.

LISP는 'List Processor'의 약어로서 기호 데이터를 처리하기 위한 간단하고도 매우 강력한 프로그램 언어이다. AutoLISP는 AutoCAD의 기능을 확장하게 하고 특정 응용 프로그램에 대해서 보다 강력한 도형 개체를 만들 수 있도록 한다. 또한 AutoCAD의 기능 추가뿐만 아니라 일반 프로그램 언어가 갖는 다양한 함수 및 데이터베이스 접근 기능도 보유하는 강력한 언어이다.

즉 AutoCAD는 일반적으로 도면 정보를 데이터베이스화 하여 관리하며, AutoLISP에서는 AutoCAD의 데이터베이스 파일을 개방시켜 그 내부의 데이터를 이용하여 그래프 및 도형을 편집 또는 수정하거나 관련된 연산을 수행할 수 있다. 따라서 AutoLISP는 데이터베이스와 연동시켜 데이터베이스에 수록된 데이터의 처리가 가능한 특징을 가진 프로그램 언어이다 [3].

2.2 데이터 추출 프로그램

전자해도의 해안선, 등심선 및 측심점 좌표를 효과적으로 추출하여 데이터베이스화하는 AutoLISP 프로그램 Map2DB.lsp 의 일반 흐름도와 알고리즘을 상술한다.

Map2DB.lsp 은 수치해도의 특정 정보를 포함하고 있는 엔티티를 Layer별로 그룹화할 수 있다는 점에 착안하여 개발되었다. 국립해양조사원에서 발간된 수치 해도는 수많은 지형 자료들을 5000여개 이상의 도면 엔티티를 사용하여 표시하고 있으며 모든 엔티티들은 Layer별로 그룹화 되어 있다. 예를 들어 강을

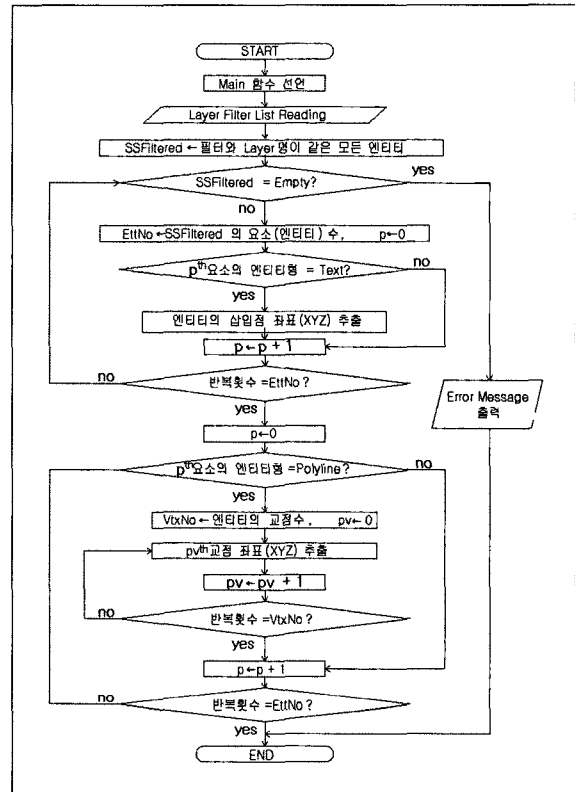
표현하는 도면 엔티티는 Layer가 Rivers 혹은 Rivers_st 이며, 길을 표시하는 엔티티는 Layer가 Roadwy, 축심점의 점 데이터를 나타내는 엔티티들의 Layer는 모두 Soundg 로 되어 있다.

수치 해도에 사용된 Layer는 총 90 여 개 이상이지만 전자해도 파일을 분석해 본 결과 해안선, 등심선 및 축심점 정보를 포함하는 엔티티들의 Layer는 아래의 14개로 요약된다.

Map2DB.Isp 은 해안선, 등심선, 축심점의 좌표를 추출하기 위하여 상기 14개의 layer를 검색하여 수치 해도 도면 전체를 검색한 후 동일한 layer를 가진 엔티티들을 그룹화하고, 각 엔티티들의 형태에 따라 X, Y, Z좌표를 추출하여 출력 파일에 순차적으로 기록하는 알고리즘으로 되어 있다. 개발한 프로그램의 흐름도는 그림 4와 같다.

[표 1] 엔티티 층 구성 예

No	Layer	설 명	종 류	비고
1	Depcnt	등심선	Polyline	
2	Soundg	축심선	Text	
3	Coalne_fl	해안선	Polyline	자연생성
4	Coalne_sa	해안선	Polyline	자연생성
5	Slcons_bw	해안선	Polyline	인위변경
6	Slcons_cn	해안선	Polyline	인위변경
7	Slcons_dh	해안선	Polyline	인위변경
8	Slcons_dsl	해안선	Polyline	인위변경
9	Slcons_igr	해안선	Polyline	인위변경
10	Slcons_isl	해안선	Polyline	인위변경
11	Slcons_pr	해안선	Polyline	인위변경
12	Slcons_sw	해안선	Polyline	인위변경
13	Slcons_wh	해안선	Polyline	인위변경
14	Ponton	해안선	Polyline	인위변경



[그림 4] 데이터 추출 프로그램 흐름도

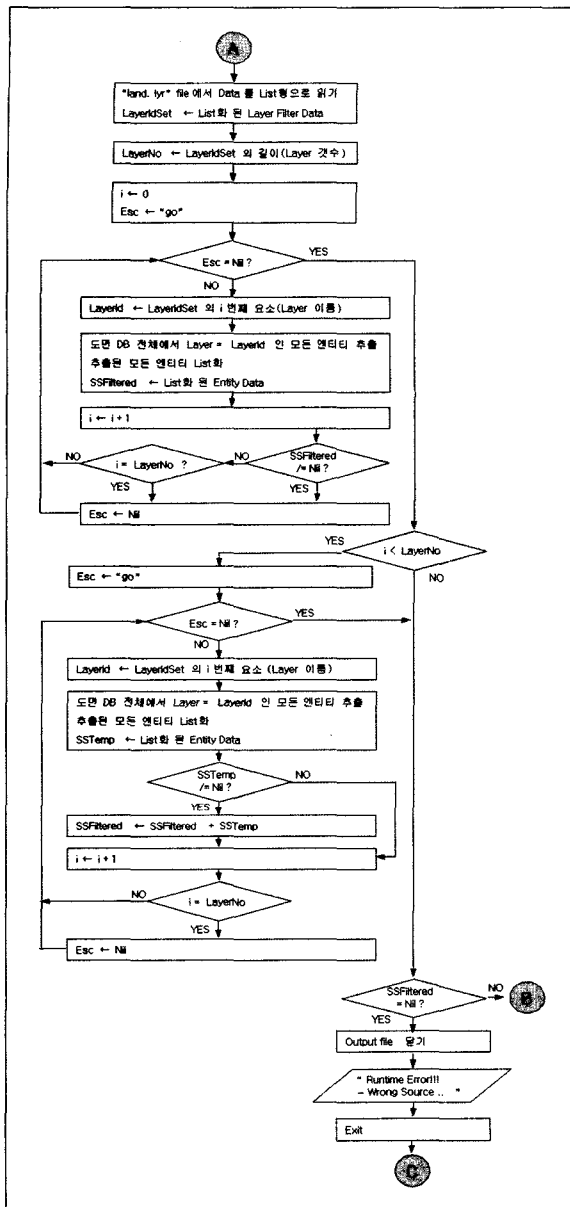
2.2.1 엔티티 정의 데이터

AutoCAD는 엔티티를 기술하는데 필요한 모든 정보를 리스트형으로 관리한다. 다음은 하나의 Line 엔티티에 대해 AutoCAD가 데이터를 관리하는 방법을 보여주는 예이다.

```

(-1.<Entity name : 60000014>)
Entity name
(0 . "LINE")           Object type
(8 . "0") Layer
(10 1.0 2.0 0.0)       Start point
(11 6.0 6.0 0.0)       Endpoint
    
```

우선 리스트 안에는 구성 요소로서 여러 개의 서브 리스트가 사용되고 있음을 알 수 있다. 각각의 서브리



[그림 5] Layer 필터 데이터 읽기 순서도

스트는 엔티티의 어떤 속성을 정의하는 지를 나타내는 헤더가 '(' 다음에 사용되고 있다. 이 헤더를 결합코드라 한다. 위의 예에서 결합코드 '-1'은 Entity name을, '0'은 Object(혹은 Entity) type을, '8', '10', '11'은 각각 엔티티의 Layer, Start point,

End point를 나타낸다.

2.2.2 엔티티 계층

사용자가 엔티티의 특정 정보에 access하려면 'Selection Set', 'Entity Name', 'Entity List', 'Associative Codes (Lists)', 'Sublists'와 같은 엔티티 계층 구조를 차례로 거쳐야 한다.

AutoLISP에서는 사용자가 엔티티의 어떤 속성에 access할 수 있도록 ssgset, entget 등의 엔티티 관련 함수와 assoc, list, cons, length, nth, car, cdr, cadr 등의 리스트 연산 함수를 제공하고 있다.

2.2.3 Layer filter 파일지정/데이터읽기

프로그램의 첫 번째 루틴에서는 주 함수를 선언하고, 사용자 정의 함수들이 정의되어 있는 함수 라이브러리 파일을 로드한다. 그리고 추출된 결과 값을 저장할 출력 파일을 열고, 레이어 필터 파일("land.lyr")로부터 레이어 이름을 읽어 들인다. 검색 필터로 사용되는 레이어는 보통 복수 개이므로 읽어 들인 레이어 이름들을 그룹화 하여 변수 LayerIDSet에 리스트 형으로 저장한다.

LayerIDSet에 저장되어 있는 각각의 필터(즉, Layer 이름)와 도면 DB상의 모든 엔티티들을 비교하여 레이어 이름이 필터와 동일한 엔티티들을 그룹화하여 변수 SSFiltered에 저장한다. 이 경우도 복수의 데이터들을 일괄 저장하기 위하여 리스트 형으로 저장한다. 그리고 이후 필터링 된 각 요소들에 대해 수행될 반복 작업을 위하여 SSFiltered의 요소(엔티티) 수를 변수 EntNo에 저장한다.

2.2.4 Text형 엔티티 처리 루틴

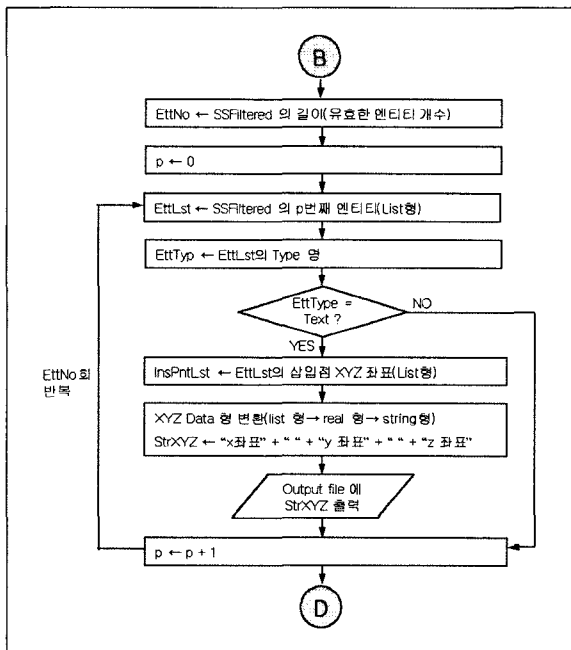
이후 필터링된 각 요소들에 대해 수행될 반복작업

을 위하여 SSFiltered의 요소(엔티티) 수를 변수 EttNo에 저장한다. SSFiltered에 저장된 p번째 요소(엔티티)를 선택한 후 지정된 엔티티에 대하여 엔티티형을 조사한다.

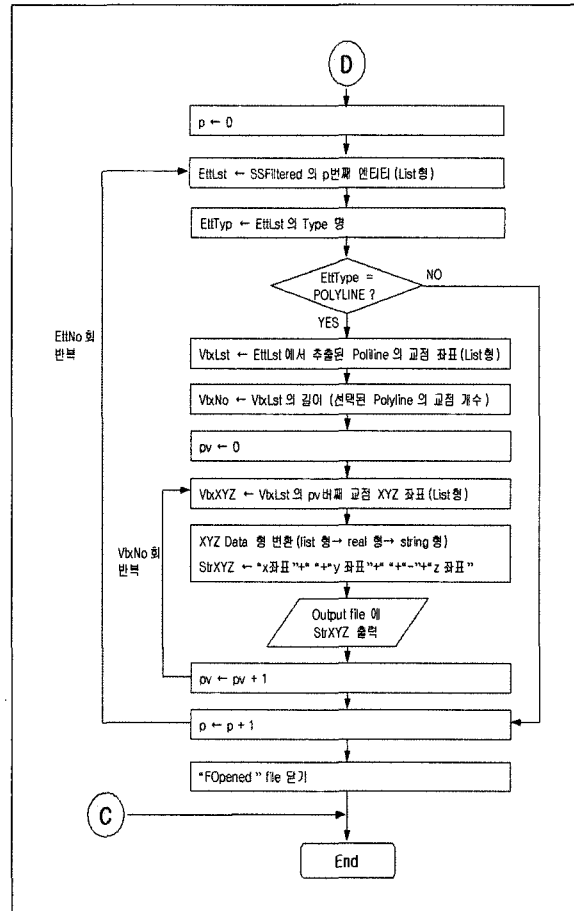
“Text”형이 아니라면 변수 p에 1을 더한 후 루프의 탈출 조건(반복 회수=EttNo)을 만족하는지를 조사한다. 만일 “Text”형이라면 엔티티의 삽입점 좌표(X,Y,Z)를 추출한후 X,Y,Z 값을 문자열 형으로 변환하고 구분자 ” “(공백)을 X, Y, Z 사이에 삽입한 후 열려있는 출력 파일에 저장한다. SSFiltered의 다음 엔티티에 대해 상기의 작업을 수행하기 위해 반복 변수 p에 1을 더한 후 반복 루프의 탈출 조건(반복 회수=EttNo)을 만족하는지를 조사한다.

2.2.5 Polyline형 엔티티 처리 루틴

SSFiltered에 저장된 p번째 요소(엔티티)를 선택한



[그림 6] Text형 엔티티 처리 순서도



[그림 7] Polyline형 엔티티 처리 순서도

후 지정된 엔티티에 대하여 엔티티형을 조사한다.

“Polyline”형이 아니라면 변수 p에 1을 더한 후 루프의 탈출 조건(반복 회수=EttNo)을 만족하는지를 조사한다. 만일 “Polyline”형이라면 엔티티의 모든 교점 좌표(X,Y,Z)를 추출한 후 X,Y,Z 값을 문자열 형으로 변환하고 구분자 ” “(공백)을 X, Y, Z 사이에 삽입한 후 열려있는 출력 파일에 저장한다.

SSFiltered의 다음 엔티티에 대해 상기의 작업을 수행하기 위해 반복 변수 p에 1을 더한 후 반복 루프의 탈출 조건(반복 회수=EttNo)을 만족하는지를 조사한다.

3. 해저지형 3차원 가시화

3.1 해저지형 모델링

대상해역의 해저지형을 정확하고 신속하게 이해하기 위하여 또한 입체감을 높이고 상황의 신속한 판단을 위해 그 영역에 대한 3차원적 표현이 요구되며, 2차원 해도, 지형분석 결과 및 현황정보 등을 입체적으로 도시할 수 있는 기능이 필수적이다.

하지만 지형상의 모든 점에 대한 수심을 측정하여 실제 지형을 복원하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 실제 지형을 모델링 하기 위해 사용하는 일반적인 방법은 등고선 모델, 격자 모델, 삼각형 모델 등이 있다.

본 연구에서 검토 대상인 해저 케이블 설치 루트를 결정하기 위한 설치 지형은 20km×20km의 소규모 영역이기 때문에 자료의 양이 개인용 컴퓨터가 충분히 수용할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 격자 모델을 이용하여 수치고도 모델을 구축하였으며, 구축한 수치고도 모델은 정밀한 측량목적으로 사용하기에는 아직 정확도 측면에서 검증되지 않은 부분이 있을 수 있으나 해저 케이블 설치를 위한 사전 지형분석에 사용하기에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

3.1.1 격자배열 개요^[4]

격자배열이란 3차원 공간 상에 불규칙하게 분포되어 있는 좌표(X,Y,Z 좌표)로부터 규칙적인 수평의 격

자 상에 해당하는 표고값을 생성하는 작업을 말한다. 등고선 지도나 표면 도시는 grid 파일 안에 자료점들을 규칙적으로 분포시킬 필요가 있다. 3차원 자료가 지도영역에서 임의로 분포되어 있을 때 점들의 분포에 많은 공백들이 있을 것이다. 격자배열은 자료가 없는 위치에 표고값(Z값)을 보간(외삽 및 내삽)에 의하여 결정하여 공백을 채워주는 것이다.

지형자료 처리를 위한 격자배열 알고리즘에는 역거리 가중평균, 크리깅(kriging), 최소곡률 스플라인, 다항식 회귀, 삼각분할 방법 등이 있다. 본 논문에서는 많은 분야에서 대중적으로 사용되며 그 효용이 충분히 입증된 지리통계적인 방법인 크리깅을 사용하였다.

격자배열 알고리즘 구현을 위하여 격자배열 소프트웨어 중 가장 대표적인 패키지인 Golden Software사의 Surfer(Windows NT/ver.7.0)를 사용하였다. Surfer 소프트웨어는 다양한 선택 사양을 포함하고 있어 지형공간 정보 분야 및 다양한 분야에서 가장 널리 사용되고 있는 격자배열 전문 소프트웨어 패키지이다^[5].

3.1.2 크리깅(kriging)^[6]

입력자료로서 N개의 자료가 주어질 경우 N+3개의 방정식을 식(1)과 같이 설정한다. C(P_i-P_j)는 자료점 P_i와 P_j 사이의 거리에 대한 세미베리오그램 기반함수로 선택된 함수이다. 위의 행렬은 단지 4개의 자료일 경우이다. N개의 자료에 대한 행렬식은 N+3개의 행

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & 0 & C(P_1-P_2) & C(P_1-P_3) & C(P_1-P_4) \\ 1 & x_2 & y_2 & C(P_2-P_1) & 0 & C(P_2-P_3) & C(P_2-P_4) \\ 1 & x_3 & y_3 & C(P_3-P_1) & C(P_3-P_2) & 0 & C(P_3-P_4) \\ 1 & x_4 & y_4 & C(P_4-P_1) & C(P_4-P_2) & C(P_4-P_3) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ 0 & 0 & 0 & y_1 & y_2 & y_3 & y_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C(P_1-X) \\ C(P_1-X) \\ C(P_1-X) \\ C(P_1-X) \\ 1 \\ x \\ y \end{bmatrix} \quad (1)$$

을 갖는다. 보간점 X의 좌표 (x, y)는 행렬안에 포함되며 보간식은 식(2)와 같다.

$$F(x,y)=b_0+b_1x+b_2y+\sum a_i z_i \quad (2)$$

여기서 $z_i=z(P_i)$ 는 관측 값이다. 이렇게 수정하면 a_i 의 합은 0이 아니고 1이 된다.

3.2 좌표계 변환⁷⁾

WGS-84에 의한 위치값을 일본 측지계(Tokyo Datum)으로 간행된 해도에 보정없이 그대로 사용하면 북서방향으로 약 400m 정도 자선의 위치가 잘못 표기되어 암초가 산재한 연안이다. 또한 협수로 및 선박의 통항이 빈번한 해역에서는 안전항해에 위험을 초래할 수 있다. 안전한 항해를 위하여 해도상에 위치를 올바르게 표시하기 위해서는 측지계의 차이를 이해해야 한다. 우리나라와 일본은 일본 측지계를 사용하며, 필리핀은 루손 측지계(Luzon Datum), 대만은 후쭈샹 측지계(Hu-Tzu-Shan Datum), 유럽은 유럽 측지계, 미국·캐나다의 북미 측지계(NAD-83)를 사용함에 따라 국제수로 기구(IHO)에서는 1984년 미국에서 인공위성으로 관측하여 지구의 크기를 결정한 세계 측지계(WGS-84) 사용을 권장하고 있다.

각국의 지도 좌표계는 GPS(Global Positioning System)에서 이용되는 WGS-84 좌표계와는 차이가 있으며 이러한 차이를 보정해주기 위한 좌표계간의 변환이 필요하다. 이러한 좌표변환을 위해서 미국 국방성 지도국(DMA)에서 발표한 각 성분에 대한 위치 보정식은 다음과 같다.

$$\Delta \varphi'' = \{-\Delta x \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda - \Delta y \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda + \Delta z \cdot \cos \varphi + \Delta a \cdot (R_N \cdot e^2 \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi) / a$$

$$+ \Delta f \cdot [R_M \cdot (a/b) + R_N \cdot (b/a)] \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi\} \cdot [(R_M+h) \cdot \sin 1'']^{-1} \quad (3)$$

$$\Delta \lambda'' = [-\Delta x \cdot \sin \lambda + \Delta y \cdot \cos \lambda] \cdot [(R_N+h) \cdot \cos \varphi \cdot \sin 1'']^{-1} \quad (4)$$

$$\Delta h_m = \Delta x \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda + \Delta y \cdot \cos \varphi \cdot \sin \lambda + \Delta z \cdot \sin \varphi - \Delta a \cdot (a/R_N) + \Delta f \cdot (b/a) \cdot R_N \cdot \sin^2 \varphi \quad (5)$$

φ, λ, h : 위도, 경도, 높이

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$: Bessel 모델과 WGS-84 타원체 중심간의 이동량

a, b, f : Bessel 모델의 장, 단반경 및 편평율

$\Delta a, \Delta f$: WGS-84 타원체와 Bessel 타원체간의 장 반경 및 편평율의 차이(WGS-Bessel)

R_N : 황곡률 반경

R_M : 자오선 곡률 반경

식(3)-(5)에서 얻은 $\Delta \varphi''$, $\Delta \lambda''$, Δh_m 을 Bessel 모델의 좌표에 더하여 변환된 WGS-84 좌표계를 얻는다. 즉,

$$\varphi_{WGS} = \varphi_{Bessel} + \Delta \varphi'' \quad (6)$$

$$\lambda_{WGS} = \lambda_{Bessel} + \Delta \lambda'' \quad (7)$$

$$h_{WGS} = h_{Bessel} + \Delta h_m \quad (8)$$

단, $\Delta \varphi''$ 와 $\Delta \lambda''$ 는 초단위로 되어 있으므로 Bessel 좌표와 더하는데 주의해야 한다.

한국에서 Bessel 모델과 WGS-84 타원체 중심간의 이동량 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 는 -146m, 507m, 687m이며 그

외의 변수 값은 다음과 같다.

$$a_{\text{Bessel}} = 6377397.155\text{m}$$

$$b_{\text{Bessel}} = 6356078.963\text{m}$$

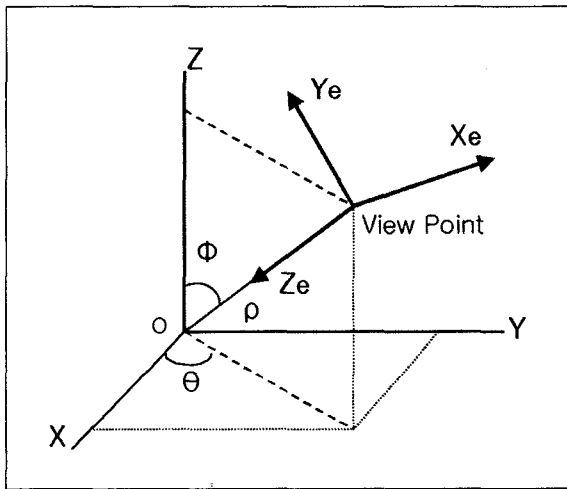
$$\Delta a = 739.845\text{m}$$

$$\Delta f = 0.000010037403$$

3.3 시각변환⁸⁾

3차원 실 좌표계 상에 위치되어 있는 물체의 좌표는 변하지 않지만 물체를 바라보는 시각 좌표계는 관찰자의 시점에 따라 변하게 된다. 따라서 실 좌표계의 좌표를 관찰자의 시점을 원점으로 하는 시각 좌표계 상에서의 좌표로 시각변환을 해야 한다.

실 좌표계를 시각 좌표계로 변환하려면 먼저 회전의 중심이 될 실 좌표계의 원점 O를 시각 좌표계의 원점(시점)으로 평행이동 시킨다.



[그림 8] 실좌표계(X, Y, Z)와 시각좌표계(Xe, Ye, Ze)

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ -\rho \sin \phi \cdot \cos \theta & -\rho \sin \phi \cdot \sin \theta & -\rho \cos \phi & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Y축을 시각 좌표계의 XY평면과 평행하게 만들기 위해 Z축을 중심으로 회전시킨다.

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos(\pi/2 - \theta) & \sin(\pi/2 - \theta) & 0 & 0 \\ -\sin(\pi/2 - \theta) & \cos(\pi/2 - \theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Z축이 시각 좌표계의 Ze축과 일치되게 X축을 중심으로 좌표계를 회전시킨다.

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\phi - \pi) & \sin(\phi - \pi) & 0 \\ 0 & -\sin(\phi - \pi) & \cos(\phi - \pi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

오른손 좌표계였던 실 좌표계를 왼손 좌표계로 변환한다.

$$M = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

시각 변환 행렬(V)은 식(9)부터 식(12)까지의 곱으로 이루어진다.

$$V = T \cdot R_z \cdot R_x \cdot M \quad (13)$$

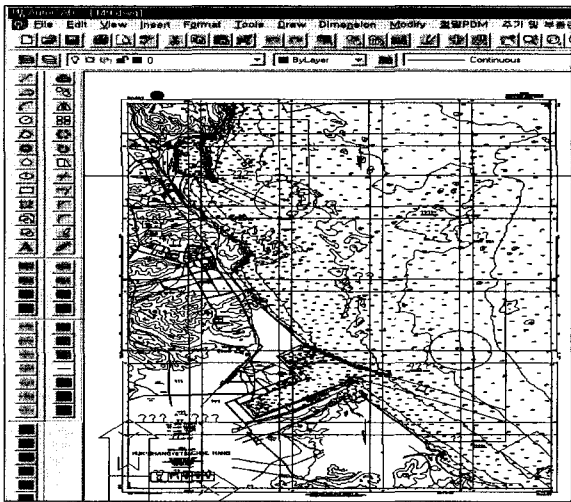
실 좌표계 상에 정의된 물체의 한 점(x, y, z)을 시각 좌표계 상의 점으로 변환하기 위해서 다음 식을 계산하면 된다.

$$[x_e, y_e, z_e, 1] = [x, y, z, 1] \cdot V \quad (14)$$

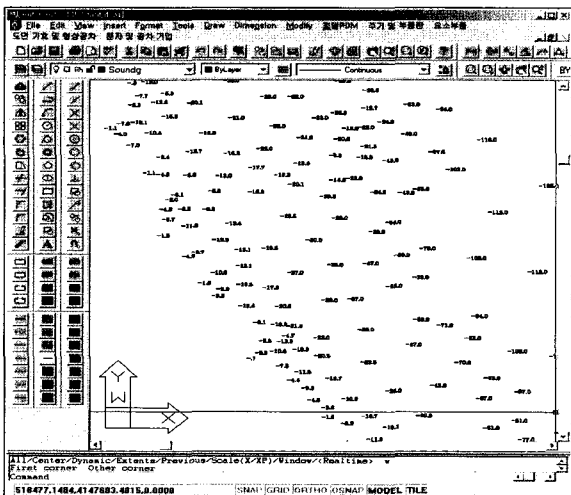
4. 적용 예 및 결과고찰

4.1 적용 예

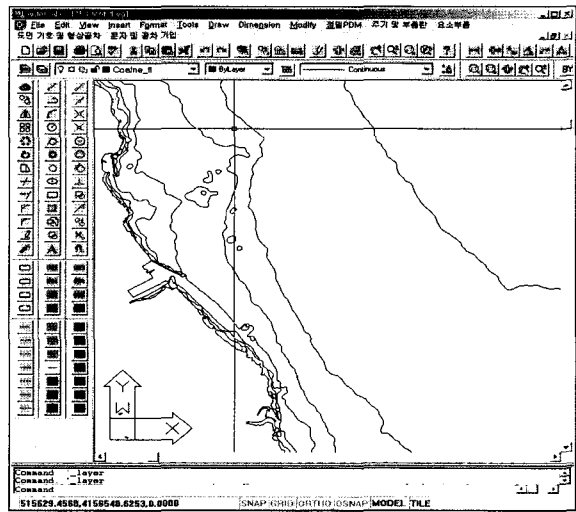
개발한 데이터 추출 프로그램을 이용하여 수심을 추출하기 위하여 적용한 전자해도는 그림 9와 같다. 전자해도를 분석한 결과 해안선, 등심선 및 측심점의 포인트 데이터를 나타내는 엔티티의 layer는 14개로



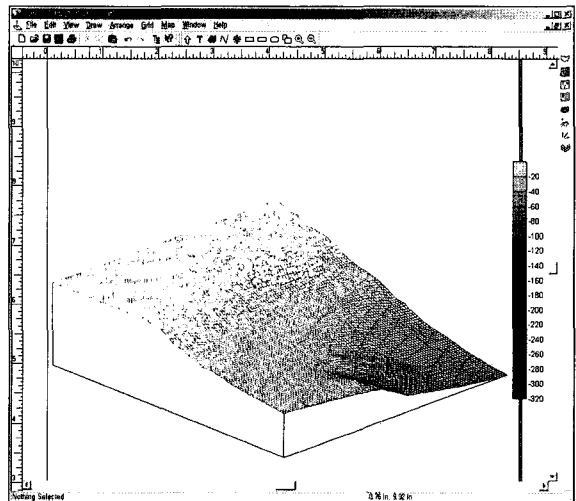
[그림 9] 전자해도 예



[그림 10] Text 엔티티 추출 결과



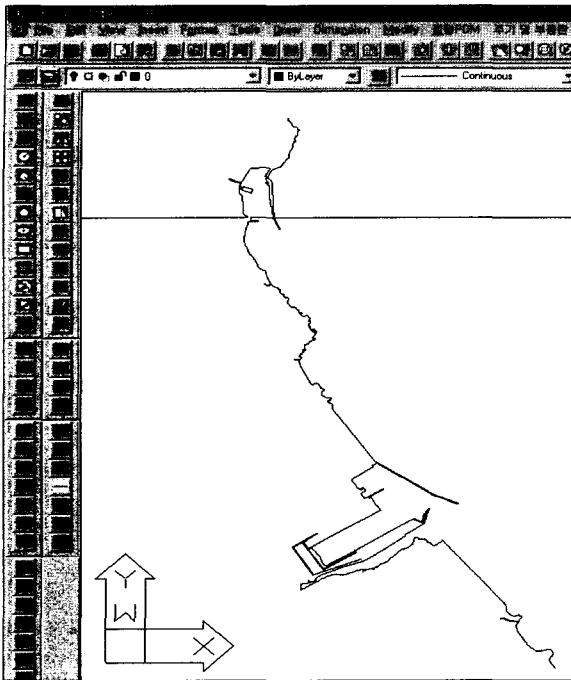
[그림 11] Polyline 엔티티 추출 결과



[그림 12] 해저지형 3차원 가시화

구성되어 있었다. 14개의 엔티티로 구성된 전자해도에서 Text 엔티티 만을 추출한 결과와 Polyline 엔티티 만을 선택하고 데이터를 추출한 결과는 각각 그림 10, 11과 같다.

다음으로 Text와 Polyline 엔티티에서 추출한 데이터를 합성하여 격자배열 알고리즘으로 해저지형 자료를 처리하여 3차원 가시화 한 결과는 그림 12와 같다.

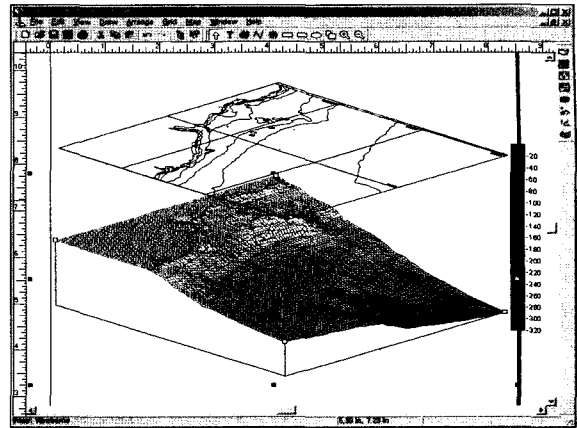


[그림 13] Base Map으로 작성된 추가정보

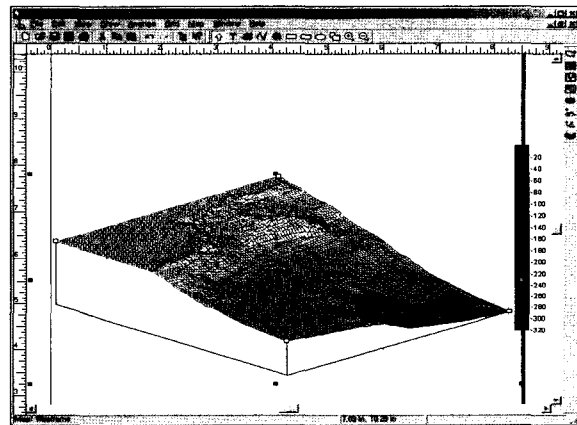
그림 12와 같이 3차원 Wireframe Map으로 작성된 3차원 해저지형도가 준비되면, AutoCAD 등을 이용하여 추가할 정보(해안선, 방파제, 케이블루트 등)를 Base Map(그림 13)으로 작성하여 두 Map을 Stack(그림 14) 또는 Overlay(그림 15)와 같은 기능을 이용하여 현황정보를 입체적으로 도시할 수 있다.

4.2 결과고찰

본 연구에서 개발한 데이터 추출 프로그램 Map2DB.lsp 를 이용하여 전자해도의 해안선, 등심선 및 측심점 좌표를 효과적으로 추출하여 DB화한 다음 격자배열 알고리즘으로 해저지형 자료를 처리하여 3차원 가시화를 하였다. 또한 AutoCAD 등을 이용하여 Wireframe Map에 추가할 정보(해안선, 방파제 등)를 Base Map으로 작성하여 Stack 함으로써 다양한 입체적 표현이 가능하였다. 하지만 본 연구에서는



[그림 14] 현황정보 Stack 결과



[그림 15] 현황정보 Overlay 결과

대상영역이 넓지 않고 높은 정밀도를 필요하지 않는다는 판단 하에 수행되었는데 AutoCAD 화면상에서 읽어드린 X-Y 직교 좌표계에서의 크기를 일반해도나 전자해도에서 동일한 판독을 위하여 위·경도 좌표값 변환시 선형 변환식을 사용한 결과로 정밀도가 떨어졌다. 앞으로 이 부분은 정밀 좌표값 변환식에 대한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단되고, 또한 해안 인공지형부분(예 : 방파제) 복원시 약간의 왜곡현상이 발생하여 실지형과 차이를 보였다. 이 부분은 불규칙하게 분포된 추출 데이터를 격자배열 알고리즘으로

처리, 즉 자료가 없는 위치에 표고값을 보간(내삽 및 외삽)에 의하여 공백을 채워준 결과로 판단된다.

능력 향상에 대한 보충연구가 있어야 할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 해저지형의 3차원 가시화를 위하여 먼저 전자해도에서 체계적이고 효과적으로 데이터를 추출할 수 있는 프로그램인 Map2DB.lsp를 AutoLISP 언어로 개발하였으며, 개발된 프로그램으로 Text(측심점)와 Polyline(등심선 및 연안선)으로 엔티티를 구분하여 데이터를 추출하였다. 또한 3차원 공간상에 불규칙하게 분포되어 있는 추출 데이터를 이용하여 해저지형의 3차원 가시화를 구현하기 위하여 자료가 없는 위치의 수심 값을 보간에 의하여 결정하였다. 또한 Grid 파일로부터 3D Wireframe Map을 생성하고 Base Map을 Overlay 또는 Stack하여 현황정보를 손쉽게 입체적으로 도시할 수 있도록 하였다.

이렇게 하여 복원한 해저지형의 3차원 가시화 결과는 해저 케이블 루트 설정을 위한 지형분석에 적절한 결과를 가져왔다.

결과고찰에서 언급하였듯이 추후에 보다 정밀한 좌표 값 변환처리 문제 및 해안의 인공지형 부분 처리

참 고 문 헌

- [1] 석봉출 외, "3차원 해저 수치지형 모델에 관한 연구(기술현황 보고서)", 한국해양연구소, 1994.
- [2] 나선필, "등고선 지도를 이용한 지형복원", 국방과학연구소, 1996.
- [3] 김찬우, "Visual LISP", 크라운 출판사, 1996.
- [4] 방수남 외, "수치표고모델 생성을 위한 격자배열 알고리즘 분석" 국방과학연구소, 2001.
- [5] Golden Software, "Surfer 7 User's Guide", Golden Software Inc., 1999.
- [6] David F. Watson, "Contouring : A Guide To The Analysis and Display of Spatial Data", Pergamon, 1992.
- [7] 손재성 외, "WGS-84 좌표체계 전환에 관한 연구", 국방과학연구소, 1996.
- [8] Vera B. Anand, "Computer Graphics and Geomatic Modeling for Engineers", John Wiley & Sons, 1993.