

Echosounder와 GNSS 기반 해저지형측량시스템의 구축

이진덕^{1*} · 최용진² · 이재빈³

Construction of Sea-Floor Topographic Survey System Based on Echosounder and GNSS

Jin-Duk LEE^{1*} · Yong-Jin CHOI² · Jae-Bin LEE³

요 약

본 연구에서는 소규모 해역을 대상으로 한 해양수심측량을 위해 단빔 음향측심기와 GNSS를 조합하여 해상에서 수평위치와 수심을 동시에 연속적으로 관측하여 해저지형정보를 추출하는 시스템을 구축하고 실측에 적용함으로써 수심측량 및 해저지형데이터 획득의 효율성을 검토하고자 하였다. 개발한 외업용 프로그램 DS-NAV와 내업용 프로그램 DS-CAD를 이용하고 대상 해역의 실측 당시 조위데이터를 적용함으로써 기준면(약취저저조면)을 기준으로 한 수심측량 성과를 도출할 수 있었으며, 또한 자동 구축된 데이터베이스로부터 해저지형을 3D 모델링하고 단면도 등을 추출할 수 있었다. 본 연구결과는 소규모 해역에서 해저지형정보를 추출하거나 해상 준설시공현장 등에 경제적으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 단빔 음향측심기, 범지구 위성항법시스템, 해저수심측량, 해저지형측량, 3차원 모델링

ABSTRACT

A system that extracts seabed topographic information by simultaneously and continuously observing the horizontal position and water depth in the sea by combining a single beam echosounder and GNSS was constructed. By applying the developed system to actual measurements of small-scale sea areas, the effectiveness of bathymetry and sea-floor topographic data acquisition using GNSS and echosounder was examined. By using the developed outdoor program DS-NAV and indoor program DS-CAD and applying the tide level data at the time of actual measurement of the target sea area, it was possible to

2023년 01월 25일 접수 Received on January 14, 2023 / 2023년 02월 13일 수정 Revised on February 13, 2023 / 2023년 02월 19일 심사완료 Accepted on February 19, 2023

* 본 연구는 2020년 금오공과대학교 교내학술연구비(과제번호:202002420001) 지원에 의해 수행되었음.

1 금오공과대학교 토목공학과 교수 Professor, Dept.of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology

2 금오공과대학교 대학원 토목공학과 박사과정, 대구과학대학교 겸임교수 Ph.D. Course, Dept.of Civil Engineering,

Kumoh National Institute of Technology, Adjunct Professor, Taegu Science University

3 ㈜동산측량이앤씨 대표 CEO of Dongsan Survey E&C Co., Ltd.

※ Corresponding Author E-mail : jdlee@kumoh.ac.kr

derive bathymetry results based on the datum level i.e. approximate lowest low water level(A.L.L.W). By using the developed outdoor program DS-NAV and indoor program DS-CAD and applying the tide level data at the time of actual measurement of the target sea area, it was possible to derive the results of bathymetric survey based on the datum level. From database built through the actual measurement. it was possible to create 3D model of the sea-floor topography and extract cross-sections. The results of this study are expected to be economically useful for extracting seabed topographical information from small sea areas or in dredging sites for offshore construction.

KEYWORDS : *Single Beam Echosounder, GNSS, Seabed Bathymetry, Sea-Floor Topographic Survey, 3D Modeling*

서론

해양수심측량은 바다를 항해하는 선박의 안전을 위하여 시작되었으며, 해저구조 규명, 광물자원 탐사, 해저지형측량, 중력관측, 지층탐사 등 다양한 목적으로 해양측량이 실시된다. 특히 국내 해상 건설현장에서 해저수심, 해저지형, 해저 단면형상 등의 정보는 매우 중요하다. 바지선을 이용한 재료 운반이나 말뚝 타입, 콘크리트 치기, 준설량 등을 가능할 수 있기 때문이다. 음향측심법은 연속된 초음파를 수면 아래로 발사하면 해저에서 반사되어 다시 같은 경로를 통하여 발사점에서 되돌아오는 원리를 이용하여 측심선상의 수심을 기록함으로써 하상 또는 해저의 지형을 파악할 수 있다. 해상에서는 음향측심기(에코사운드; echosounder)와 GNSS(Global Navigational Satellite System) 측량장비를 사용하여 항만건설 현장의 해저측량을 실시하여 효율적인 준설시공관리를 수행하는 시스템을 개발하기도 하였다. 그리고 다중빔 음향측심기(multi-beam echosounder)로 해저수심을 측량하여 해저의 기복과 형상을 등심도 형태로 측정하였고 해저지형도는 실제와 같은 정밀한 해저 모습을 묘사하여 해상교통의 안전 지원은 물론 해저지형 연구 등에 활용되어 왔다(Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, 2021). Ferretti *et al.*(2015)은 이중 주파수 단빔 음향측심기로 수집한 해저 원시 데이터 분

석을 기반으로 해저에서 해초의 일종인 포시도니아(posidonia)의 존재를 식별하는 방법을 제시하였다. Parente and Vallarioet(2019)는 단빔 음향측심기로 해저 수심 측정 모델을 연속적으로 획득하고 불규칙한 간격의 측정을 처리하는데 샘플링 되지 않은 영역의 깊이의 보간 방법을 연구함에 있어서 Pozzuoli 만의 단빔 데이터 처리를 통해 GIS 환경에서 3D 모델링을 위해 정확한 디지털 깊이 모델의 선택은 자동 교차 유효성 검사를 사용하고 방사형 기초 함수 및 크리깅(Kriging)은 가장 양호한 보간방법임을 입증하였다.

국내에서도 Ha *et al.*(2007)은 단빔 음향측심기를 이용하여 부니층의 두께조사를 위해 이중 주파수인 33KHz와 200KHz를 사용하여 준설해역에서 부니층의 물량을 조사하는 방법을 제시하였고, Lee *et al.*(2007)은 단빔 음향측심기와 GPS, GIS를 결합하여 3차원 하상측량 시스템을 구축하여 저수지 측량에 적용하였다. Choi *et al.*(2007)은 다중 빔 음향측심기에 의한 수심측량 정확도 개선방안을 제시하였고, Gong *et al.*(2010)은 해상안전을 위한 요구사항을 충족하기 위해 다중빔 음향측심기를 이용한 수로측량을 실시하여 수심자료를 국제수로기구(International Hydrographic Organization, IHO)에서 2008년에 간행한 최소 수로측량 기준과 비교한 결과, 좌·우현의 외곽 빔에 대한 제거범위를 산정하여 필터링함으로써 자료처리의 효율성과 자료의 정확도를 높일 수 있었으며

해류 등 외부환경의 영향이 큰 해역에서 0.2m 이내의 오차를 보였다. Park *et al.*(2017)은 심해무인잠수정을 이용한 다중빔 음향측심기의 운용방안을 발표하는 등 다중빔 음향측심기 관련 적용방법의 연구들도 수행되어왔다. Kim *et al.*(2016)은 다중빔 음향측심기와 단빔 음향측심기, 해상모바일 LiDAR시스템 등을 이용하여 동해안 침식 모니터링 지형조사 및 해저지형조사에 대한 연구결과를 발표하였다. 2016 수중 드론 ‘사이클롭스(Cyclops)’을 개발하여 3차원 해저 지형도를 제작하고 3D 프린터를 이용해 수중 지형을 정확한 비율로 축소한 실사지형모형을 제작하였다(연합뉴스, 2016). 해양수산부(2020)는 항공 해저수심측량 장비 ‘시호크(Seahawk)’를 개발하여 바다 위를 비행하면서 바닷속으로 레이저를 발사하고 수심을 측정함으로써 해저지형을 3차원으로 구현하는 등 항공기를 활용한 첨단 수심측량시스템 등을 개발해왔다. Oh *et al.*(2019)은 해저지형 표면자료 제작 시 GNSS 후처리 위치정보 보정 방법에 따른 수심 결정 값의 오차범위 연구를 통해 수심 결정 및 불확실도 평가에 있어 위치보정방법에 의한 영향이 절대적이지 않음을 발표하였다.

다중빔 음향측심기가 수심 km 되는 띠의 형태로 해저조사를 행하여 우수한 정밀도로 해저지형도를 효율적으로 작성하는데 활용이 되고 있지만 장비가 매우 고가이고 또한 해상에서 데이터 취득을 위해 선상에서 장비 시스템을 장착해야 하는 사전작업에 어려움이 있다. 또한 음파가 수중에서 깊어질수록 넓게 분산되기 때문에 심해에서는 정밀도에 한계가 있으며, 준설시공 현장 등의 환경에서 이용하기 위해서는 숙련도를 요하는 장비이다. 이러한 다중빔 음향측심기의 활용상 어려움을 극복하고 저비용으로 해상건설공사에 용이하게 적용해야 할 필요성이 있으며, 아직도 전 세계 수심 측량의 90% 이상이 여전히 단빔 음향측심기로 수행되고 있는 실정임으로 단빔 음향측심기에 의한 효율적인 데이터 획득에 관한 연구들이 이어져 왔다(Bathylogger,

2022).

따라서 본 연구에서는 소규모 해역을 대상으로 한 해양수심측량을 위해 단빔 음향측심기와 GNSS를 조합하여 해상에서 수평위치와 수심을 동시에 연속적으로 관측하여 해저지형정보를 추출하는 시스템을 구축하고 실측에 적용함으로써 GNSS와 음향측심기를 이용한 수심측량 및 해저지형데이터 획득의 효율성을 검토하고자 한다. 본 연구에서 개발한 외업용 프로그램 DS-NAV와 내업용 프로그램 DS-CAD를 이용하여 취득한 데이터와 해상의 물리적 특성을 고려한 데이터베이스를 구축하여 해저지형을 2D 또는 3D 모델링하여 현행 해저 수심측량과 해저 지형데이터 획득에 어려움이 많은 국내 소규모 해상건설현장에 활용될 수 있기를 기대하는 취지에서 본 연구를 수행하였다.

해저 지형측량시스템의 구축

1. 시스템 구축 개념

음향측심기와 GNSS 수신기를 선박에 설치, 선박을 이동시키면서 해저수심 데이터를 취득한 후 조위 관측 데이터와 합쳐 기본수준면(datum level)의 높이를 구한다. GNSS로 취득한 해상위치 데이터와 같이 데이터베이스를 구성한다. 이를 전처리 과정을 거쳐 해저지형에 대한 좌표를 획득하여 2, 3차원 모델링을 통해 신뢰성이 높은 해저수심 정보 및 해저지형 공간정보를 추출한다. 그림 1은 음향측심기와 GNSS 기반 해저수심 DB 구축 개념도를 예시한 것이다.

외업에 필요한 장비로서 음향측심기와 GNSS, 노트북 PC, 현장에서 데이터 획득을 위해 개발된 프로그램으로 DS-NAV가 있으며, 내업으로 데이터처리를 위해 개발된 DS-CAD가 있다. 해양 수심 연속측정에 사용된 장비의 체원은 표 1과 같다. 음향측심기는 Teledyne Odom Hydrographic사의 Hydrotrac II 모델로서 33kHz와 200kHz의 2개 주파수 영역을 사용할 수 있으며, 본 연구에서는 200kHz 변환기가 범

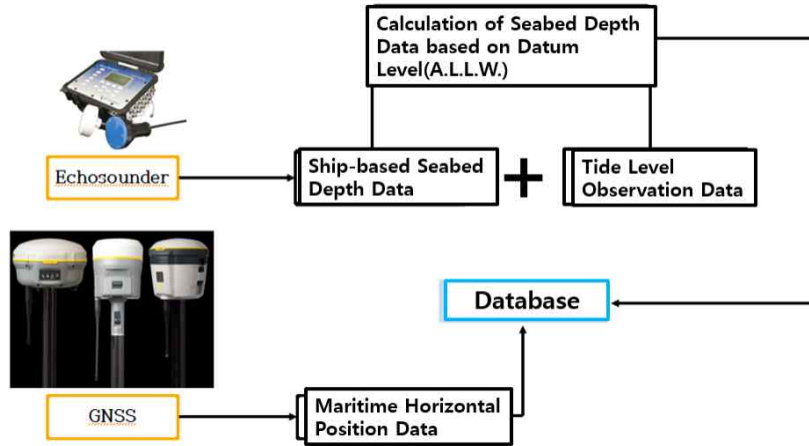


FIGURE 1. Conceptual diagram of seabed depth DB construction based on echosounder & GNSS

TABLE 1. Observation equipment specifications

Product	GNSS receiver	Echosounder
Manufacturer	Trimble	Teledyne Odom Hydrographic
Model	GA830	Hydrotrac II
Accuracy	phase stability: < 5mm	200 kHz : ±(1cm+0.1% of depth)
	cm-level accuracy	33 kHz : ±(10cm+0.1% of depth)

폭이 좁고 강력한 리턴을 보장하면서 낮은 수심에 유리한 200kHz의 정확도 ±(1cm+수심의 0.1%)를 적용하였다(Parente *et al.*, 2019). GNSS 수신기는 GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS, IRNSS, SBAS 등의 수신을 지원하고 해양 응용분야에 대한 MSK 비콘 신호를 지원

하는 Trimble GA830 모델을 사용하였다.

2. 수심측량 프로그램(DS-NAV)

DS-NAV는 공동연구기관인 (주)동산측량이 엔씨에서 개발하여 본 연구에 활용된 수심측량 외업용 프로그램으로서 해상에서 선박의 경로를

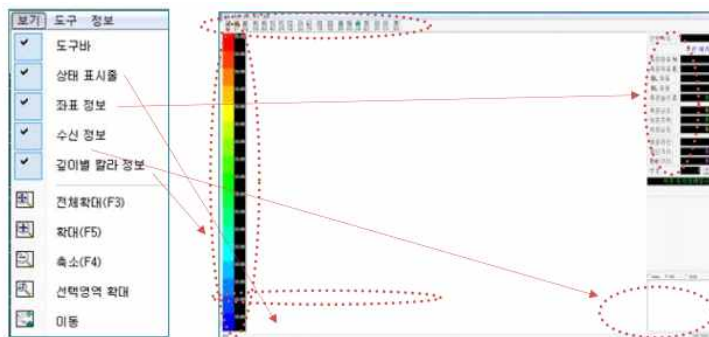


FIGURE 2. Basic menu of DS-NAV software

유도하기 위한 내비게이션 프로그램이다. 실측을 나가기 앞서 그림 2와 같은 메뉴를 통해 다음과 같이 포트 설정, 선박 설정, 좌표계 설정 및 보정치 입력, 예정라인 설정 등의 절차를 수행하게 되는데, 조위 설정은 실측 당시 정확한 조위 정보를 가지고 있지 않다면 실측 외업 후 내업에서 처리해 주기 때문에 보통 이 단계에서는 무시한다.

1) 포트 설정

그림 3의 좌측 GPS Data 상단메뉴와 Echo Data 상단메뉴를 이용하여 포트위치(PortNum)와 통신속도(Baud Rate)를 설정하여 셋팅하고 하단메뉴는 예비포트이다.

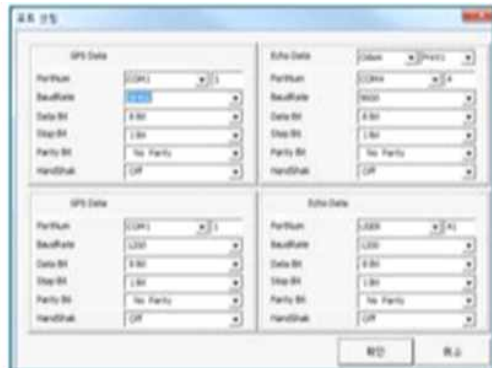


FIGURE 3. Port setting

2) 조위 설정

측량 시 갱정수심을 즉시 확인할 수 있는 메뉴로서 실측 날짜에 해당하는 예보조위를 불러올 수 있으며 webhard.co.kr에 전국예보조위가 파일로 만들어져 있다. 일반적으로는 실측단계에서 입력하지 않고 내업처리 과정에서 인근 조위관측소 자료로 적용한다.

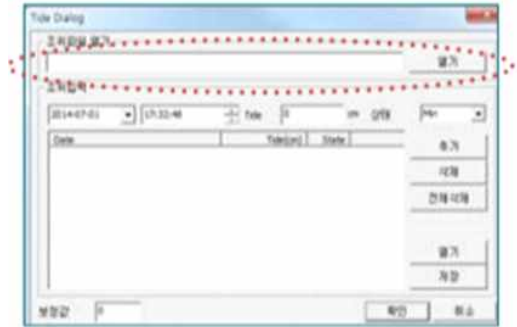


FIGURE 4. Tide level setting

3) 선박 설정

선박 모양과 GNSS 위치를 선택할 수 있음. 예를 들어 GPS-HI는 수신기의 안테나로부터 해수 표면까지의 높이로서 RTK Z값으로 사용한다.

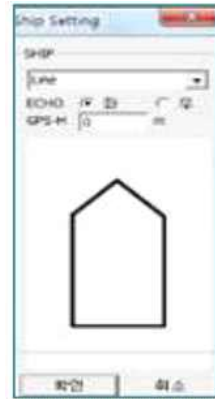


FIGURE 5. Ship setting

4) 좌표계 설정 및 보정

좌표계 설정 단계에서 그림 6의 ㉓는 평면직각좌표 원점의 기준 위도(38°)와 기준 경도(서부, 중부, 동부, 동해 원점의 경도) 입력, ㉔, ㉕는 현장 기준점 보정, 즉 현장 기준점의 기지좌표와 GNSS 수신좌표 X(N), Y(E)좌표 간의 차를 입력, ㉖, ㉗는 회전원점의 X(N), Y(E)좌표 입력란으로서 기준점이 회전하여 2점의 GNSS 수신좌표와 현장 기준점이 맞지 않을 경

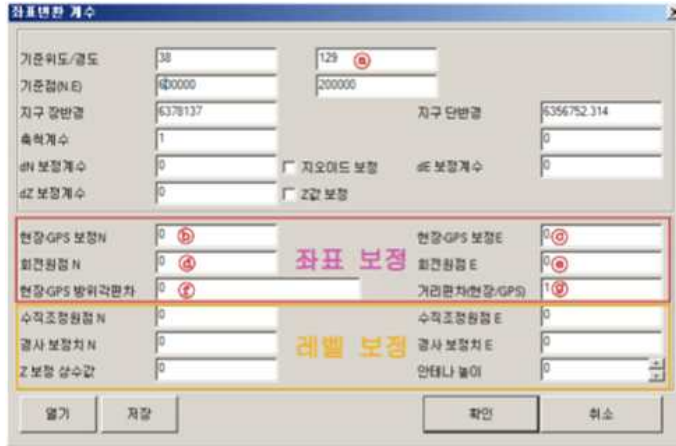


FIGURE 6. Coordinate system setting and correction input



FIGURE 7. Option setting menu

우 회전기점으로 적용한다. ㉑에는 현장 GNSS 방위각 편차 입력, ㉒는 현장거리/GNSS거리인 거리 스케일을 입력한다.

그림 7은 DS-NAV에서 선박의 경로를 안내하는 네비게이션의 옵션설정 메뉴로서, 화면에 표시하는 점의 크기인 측점크기, 배 위치가 화면에서 벗어나면 자동으로 화면중앙으로 이동하는 자동이동, 배의 진행방향으로 화면이 회전하도록 하는 자동회전, 화면에 나침반을 표시하는 나침반 옵션, 자동회전의 기준을 선박 진행방향 또는 기준선 방향 중 선택 옵션, 선박의 방향으

로 자동회전할 때 자동회전거리, GNSS 수신데이터의 자동저장간격(시간/거리), 음향측심 데이터 저장간격, 수심깊이별 색 표시 등의 설정 항목들이 있다. 그리고 우측의 ECHO 프린트 출력 부분에서는 수심측정 데이터를 기록지에 표시하는 간격을 설정하고 Print Set에서 기록지에 표시하는 목록을 정하는 선택항목들이 있다.

실측 및 데이터 처리

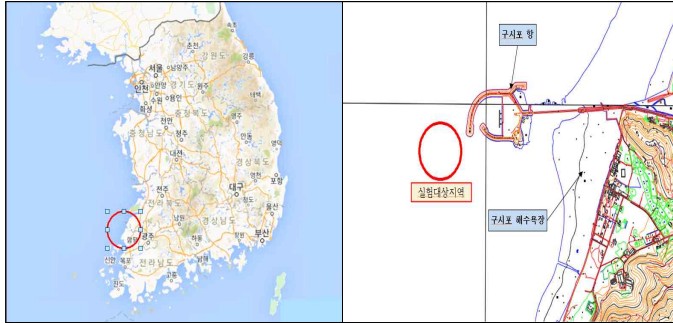


FIGURE 8. Test object area

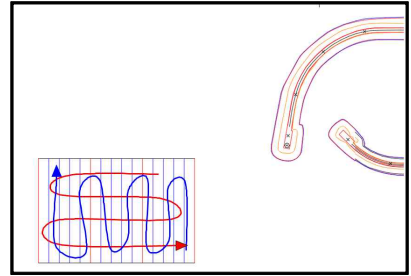
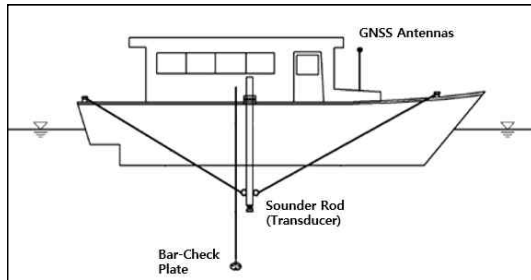


FIGURE 9. Bathymetry route plan



(a) Schematic of GNSS antenna and echosounder installation



(b) Equipment installation status

FIGURE 10. Echosounder & GNSS antenna mounted on a ship

1. 대상 해역

본 연구에서는 음향측심기의 측량 위치에 따른 좌표를 취득하기 위하여 음향측심기의 상부에 GNSS 수신기를 장착하였다. 또한 측량 중 좌표의 오차를 줄이기 위해 음향측심기와 GNSS 수신기가 수면과 수직을 유지할 수 있도록 밧줄과 테이프를 이용하여 고정하였다. 실측 대상 해역은 그림 8에 나타난 바와 같이 전라북도 고창군 상하면 구서포항 부근 수심이 2.0~3.8m인 지점이고 그림 9와 같이 종방향 및 횡방향으로 관측하도록 계획하였다. 2.6t의 일반 소형어선에 음향측심기와 GPS 수신기 및 노트북 PC, GNSS 수신기를 탑재하여 계획경로를 따라 관측하였다.

2. 실측

1) 실측장비

그림 10은 해상에서 위치와 수심의 동시 연속관측을 위해 소형선박에 장착한 음향측심기, 에코봉, GNSS 안테나 및 바체크(bar-check) 기구를 나타낸 것이다(Geosystem Research Co. Ltd, 2015).

2) 바체크(Bar-Check)에 의한 보정

단빔 음향측심기의 초음파의 속도는 수중의 매질, 염도, 수온, 수압 등에 따라 투과되는 속도가 달라지는 특성을 갖고 있다. 음향측심기는 1,500m/s의 음속으로 고정되어 수심을 산출하는데 수중 음속은 1,480~1,590m/s의 범위에서 달라지므로 취득 수심에 대한 음속도 보정을 해주어야 한다. 따라서 그림 11과 같이 바체크(bar-check) 기구를 이용하여 음향측심기에 의해 취득한 수심을 정확한 수심으로 보정해 주

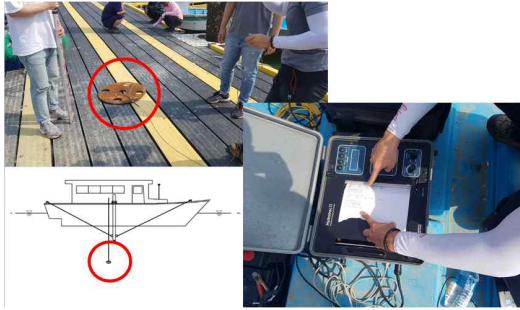


FIGURE 11. Bar-check correction
었다.

3) 데이터 취득

DS-NAV 수심측량 프로그램에서 사전에 설정된 대상 해역의 예정경로를 따라 운행하면서 GNSS와 음향측심기의 관측 주기는 1초 간격으로 취득하여 기록하였다. GNSS 수평위치 데이터와 음향측심기의 수심측량 데이터 모두 기기와 연결된 노트북 PC에 fix 파일로 저장하였다.

그림 12는 fix 파일로 저장된 최초의 실측 데이터이다. 왼쪽에서부터 차례대로 측정점, x 좌표, y 좌표, GNSS 타원체고, 시간(○○시 ○○분 ○○초) 순이다. 예정경로를 따라 해수표면을 기준으로 한 해저수심 데이터를 취득한 후 조위관측 데이터와 조합하여 기본수준면(standard sea level), 즉 해저 수심의 기준면(datum level)인

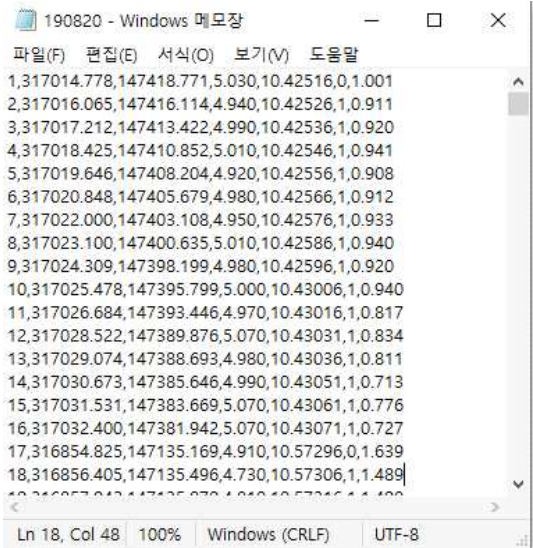


FIGURE 12. Actual measurement data at one second intervals

약최저저조면(approximate lowest low water level : A.L.L.W.)의 높이를 결정하게 되면 수심값을 얻을 수 있다. 즉, 관측지점의 해면으로부터 측정된 수심과 조위값의 차이가 수심이다.(그림 13 참조).

구시포항에서의 조위를 실시간 측정해야 하지만, 이 지역에는 관측소가 따로 없기에 내업처리 단계에서 그림 14와 같이 인근 영광 조위관

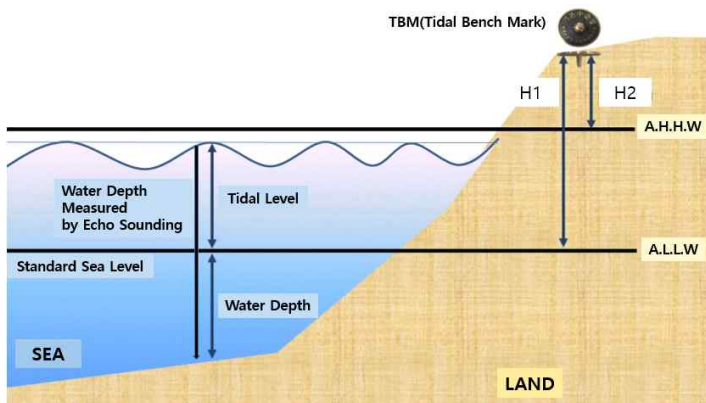


FIGURE 13. Relationship between water depth measured by echo sounding, tidal level and water depth

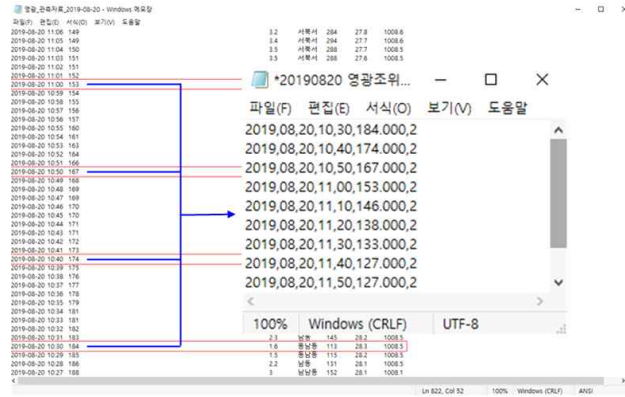


FIGURE 14. Yeonggwang tide level station data at the time of actual measurement

측소에서 측정한 조위자료를 이용하였다.

데이터 처리 및 분석

예정경로를 따라 GNSS로 취득한 해상 수평 위치 데이터와 해저 수심 데이터로 자동 구축된 데이터베이스를 구성하였고 이와 같은 전처리 과정을 거쳐 해저지형에 대한 3차원 좌표를 획득하였으며, (주)동산측량이엔씨에서 개발한 수심 측량 데이터 처리 프로그램(DS-CAD)을 사용하여 해저지형의 3D 모델을 얻기 위한 데이터 처리는 다음과 같은 순서로 수행하였다.

1. 조위 설정 및 데이터 불러오기

실측 당시 대상 해역의 조위데이터는 국립해양조사원에서 제공하는 영광 조위관측소의 1분 간격으로 제공되는 조위 데이터 중 그림 15에서 보는 바와 같이 10분 단위 데이터를 추출하여 데이터베이스의 z값, 즉 수심측정값을 관측 시간에 따라 보정해 주었다.

2. 불규칙삼각망(TIN) 생성

그림 16과 같이 불규칙삼각망(TIN)을 생성하고 수심 부호 반대 및 0.2m 간격으로 수심을 구분하여 색상을 설정하였다. 삼각망의 거리의 경우에는 삼각망의 연결 최대거리를 입력해 주는데 측정 간격의 2.5배인 50m로 설정하였다.



FIGURE 15. Loading tide level data in 10minute increments (See FIGURE 6)

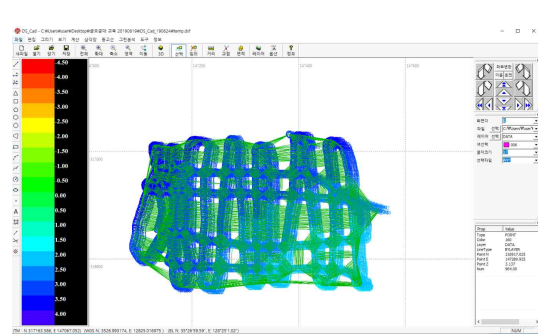


FIGURE 16. Creation of irregular triangular network after selecting data

3. 3D 모델 생성

그림 17(a)와 같이 3D 모델로 생성한 결과를 예시하였으나 해역의 수심 변화폭이 작아서 Z-Scale을 최대로 설정해도 비교적 대상 해역의 해저경사에 큰 변화는 없는 것으로 나타났다. 그림 17(b)는 해저 기록을 강조하여 보기 위해 수직방향의 스케일을 크게 하여 측면 뷰(side view)로 나타낸 것이다.

지형·지물을 이용한 3차원 위치정확도는 대상지에서 현장 측량으로 취득한 3차원 좌표를 3차원 모델에서 추출한 좌표와 비교하여 분석할 수 있으나 해저측량의 특성상 지상과 달리 해저에 기준점 설치가 현실적으로 어려운 일이므로 기지값과의 비교를 통한 3D 모델의 정확도를 제시하는 것은 곤란하다. 일반적으로 데이터가 측정기기 또는 센서에서 얻어지기 때문에, 결과

물의 품질은 측정기기 또는 센서의 특성에 의해 결정된다고 할 수 있다. 따라서 표 1에 제시한 2종의 장비 사양을 참조하여 GNSS측량에 의한 수평위치 정확도(2~5cm), 음향측심기 200kHz의 수심측정 정확도 $\pm(1\text{cm}+0.1\%$ of depth), 평균수심(약 2m)을 고려하여 3차원 위치정확도를 0.07~0.10m의 범위로 추정할 수 있다.

4. 종·횡단면도 및 격자도 작성

해저 수치고도모형(DEM)인 불규칙삼각망(TIN)을 기반으로 종·횡단면도를 작성하기 위해 관측구역을 관통하는 기준선 양단의 N(X), E(Y)좌표 (316,600, 147,200)과 (317,400, 147,200)을 설정하여 그림 18과 같이 종단선과 20m 간격의 횡단선을 생성하였다.

그림 19는 해저의 종단면도, 그림 20는 종단

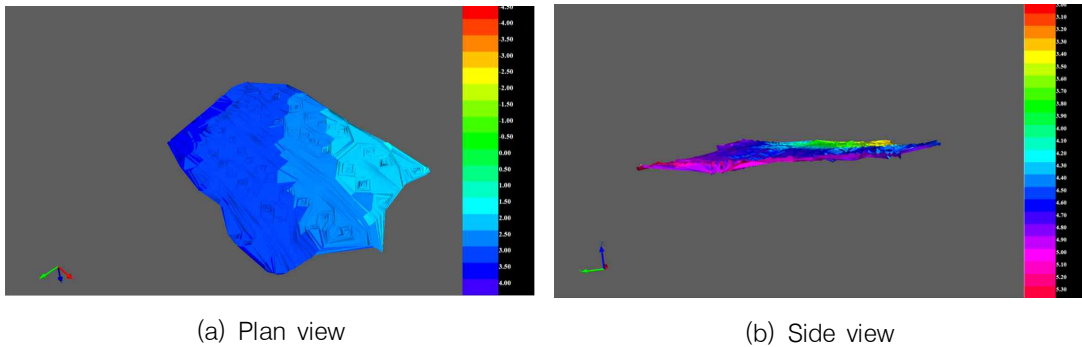


FIGURE 17. 3D model creation

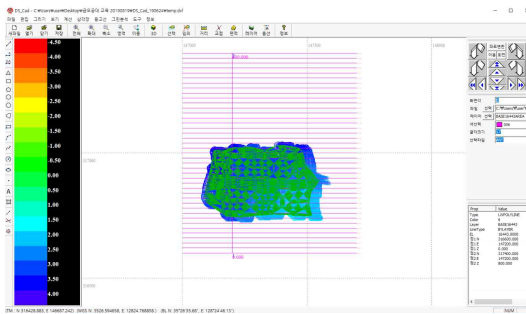


FIGURE 18. Setting cross lines after creating grid data

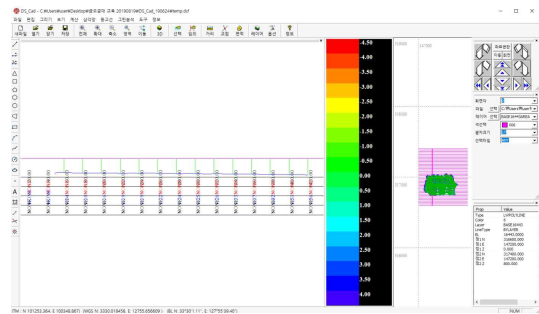


FIGURE 19. Longitudinal section

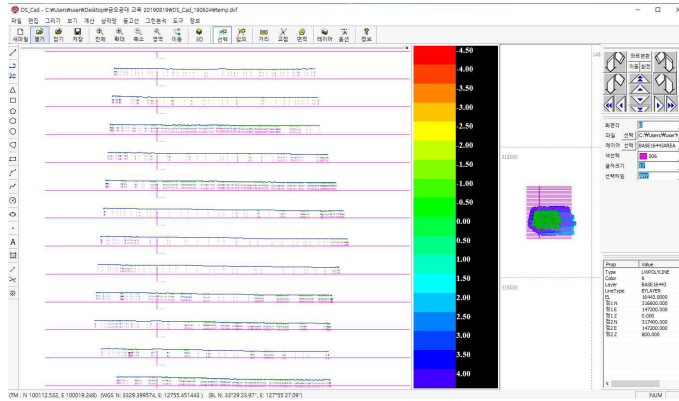


FIGURE 20. Cross sections



FIGURE 21. Setting for creation of grid water depth data

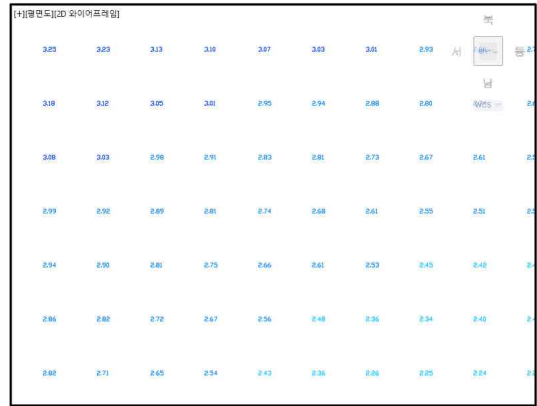


FIGURE 22. Grid water depth

선 상 20m 간격으로 종단선에 직각방향인 횡단선을 따라 작성된 횡단면도의 일부를 예시한 것이다.

그림 21은 불규칙삼각망 데이터를 기반으로 격자수심도를 작성하기 위한 입력 과정으로서 시점과 중점, 종방향과 횡방향 격자간격, 시·중점 간을 연결하는 종단선을 기준으로 좌측과 우측 범위를 지정해주게 된다. 그림 22에 나타난 격자 데이터의 실제 중·횡 간격은 20m이며, 일반적으로 해상공사를 위해 요구되는 기본적인 데이터인 해저 지형도, 중·횡단면도 및 일정 간격의 수심을 볼 수 있는 격자 수심 데이터를 생성할 수 있었다.

결론

GNSS와 음향측심기를 조합한 하드웨어와 해저 수심 및 지형자료를 얻기 위해 개발된 현장 데이터 취득 프로그램(DS-NAV)과 내업 데이터 처리 프로그램(DS-CAD)의 적용성을 검증할 수 있었다. 실측과 동시간의 현장으로부터 가장 가까운 조위관측소의 10분 단위 조위 데이터를 적용하여 수심측량의 기준면인 약취저저조면을 기준으로 수심측량 성과를 도출하였다. 이를 기반으로 TIN을 생성하고 각종 해상공사에서 필수적으로 요구되는 3차원 해저 지형도, 중·횡단면도 및 격자 수심도 등을 추출할 수 있었다.

다중빔 음향측심기가 수십 km 되는 대규모 해역의 해저조사를 높은 정밀도로 처리할 수 있음에도 불구하고 장비의 고가, 선상 시스템 장착의 사전작업의 어려움, 숙련도를 요하는 장비이므로 저비용으로 해상건설공사에 용이하게 적용해야 할 필요성이 있으며, 아직도 전 세계 수심측량의 90% 이상이 여전히 단빔 음향측심기로 수행되고 있는 실정임을 감안할 때 단빔 음향측심기에 의한 효율적인 데이터 획득에 관한 부분은 아직도 중요한 문제이다. 개발된 시스템은 소규모 해역에서 해상건설 현장에 활용함으로써 수심측량 및 준설시공관리 등의 업무를 경제적으로 수행하는데 유용할 것으로 기대된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Choi, C.E., Kim, Y.S. and Seo, Y.C. 2005. Improvement of multi-beam echo sounder's depth accuracy. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography* 23(1):1-8 (최철웅, 김연수, 서용철. 2005. 다중빔 음향측심기 수심 정확도 개선. *한국측량학회지* 23(1):1-8).
- Ferretti, R., Fumagalli, E., Caccia, M. and Bruzzone G. 2015. Seabed classification using a single beam echosounder, Conference: OCEANS 2015-Genova (<https://ieeexplore.ieee.org/document/7271709>).
- Geosystem Research Co., Ltd. 2015. Ship body-mounted single-beam echo sounder and sounding system with expandable bar check plate. Registered Patent Publication of Korean Intellectual Property Office. 2015 Patent registration (주지오시스템리서치. 2015. 선체 장착형 단빔 음향측심기 및 확장가능한 바체크 판을 구비한 측심시스템. 2015 특허등록).
- Ha, H.S., Park, H.K., Kim, Y.J. and Yang, I.T. 2007. A survey of floating silt-clay thickness using dual Frequency echo sounder. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 10(4):14-21 (하희상, 박형근, 김연준, 양인태. 2007. 이중 주파수 음향측심기를 이용한 부니층 두께 조사. *한국지리정보학회지* 10(4):14-21).
- <https://bathylogger.com/single-beam-echo-sounders/> (Accessed Oct. 7, 2022).
- <https://www.khoa.go.kr/kcom/cnt/selectContentsPage.do?cntId=31407000>. (Accessed Dec. 4, 2021).
- <https://www.mof.go.kr/article/view.do?articleKey=32726&boardKey=10¤tPageNo=1> (항공기로 바닷속을 측량하는 '시호크', 국내 최초 개발, 해양수산부 보도자료 2020.6.17.).
- <https://www.yna.co.kr/view/AKR20160408064500053> (수중드론으로 국내 첫 3D 해저지형도 제작, 연합뉴스 2016.4.8.).
- Kong, S.K., Kim, J.K. and Shim, M.B. 2010. A study on assessment of depth data from hydrographic surveying using MBES around south sea of Samcheonpo. *Journal of the Korean Society of Marine Engineering* 34(4):560-566 (공성규, 김진권, 심문보. 2010. 다중빔 음향측심기를 이용한 삼천포 남부해역 수심자료 정확도 평가. *한국마린엔지니어링학회지* 34(4):560-566).
- Kim, C.H., Kim, H.W., Lee, M.H., Park J.M., Park C.H. and Do, J.D., 2016. Topographic monitoring of the coastal area in Uljin using ship-borne mobile LiDAR and multibeam-singlebeam echosounders, *Proceeding of Annual Conference of Korean Society of Coastal Disaster Prevention*. pp.159 (김창환, 김현욱, 이명훈, 박재문, 박찬홍, 도종대. 2016. 해상모바일라이다, 멀티빔 에코사운더, 싱글빔에코사운더를 이용한

- 울진 해안 침식 모니터링 지형 조사. 한국연안방재학회 연례학술대회논문집 159쪽).
- Lee, D.R. 2006. Estuary riverbed monitoring combined by GPS and echo sounder. *Journal of Korean Geophysical Soc.* 9(2):105–112 (이동락. 2006. GPS와 Echo Sounder 조합에 의한 하구하상 모니터링. *지구물리* 9(2):105–112).
- Lee, J.D. and Kim, H.H. 2007. Combination of GPS, echo sounder and GIS for constructing 3D riverbed surveying system. *The Journal of the Korea Contents Association.* 7(11):232–238 (이진덕, 김현호. 2007. 3차원 하상측량시스템 구현을 위한 GPS와 음향측심기 및 GIS의 조합. *한국콘텐츠학회논문지* 7(11):232–238).
- Parente, C. and Vallario A. 2019. Interpolation of single beam echo sounder data for 3D bathymetric model, (IJACSA) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 10(10):6–13.
- Oh, C.Y., Kim, H.Y., Lee, Y.S., and Choi, C.U. 2019. Uncertainty analysis of BAG by GNSS correction. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 22(3):1–9 (오치영, 김호용, 이윤식, 최철웅. 2019. 해저지형 표면자료의 GNSS 보정방법에 따른 불확실도 연구. *한국지리정보학회지* 22(3):1–9).
- Park, J.Y., Shim, H.W., Lee, P.M., Jun B.H., Baek, H., Kim, B.H., Yoo, S.Y., and Jeong W.Y. 2017. Multi-beam echo sounder operations for ROV Hemire : Exploration of Mariana hydrothermal vent site and post-processing. *Journal of Ocean Engineering and Technology* 31(1):69–79 (박진영, 심형원, 이판묵, 전봉환, 백혁, 김방현, 유성열, 정우영. 2017. 심해무인잠수정 해미래를 이용한 다중빔 음향측심기의 운용 : 마리아나 열수해역 탐사 결과 및 후처리. *한국해양공학회지* 31(1):69–79). 