타원체 기반 해저지형 측량 타당성 분석 연구

A Study on Validity Analysis of Ellipsoid-Based Bathymetric Survey

박응현* · 김연수* · 전혜연* · 강호윤* · 김대현* · 유경완*
Eung Hyun Park · Yeon Su Kim · Hae Yeon Jeon · Ho Yun Kang · Dae Hyun Kim · Kyung Wan Yoo

요 약 본 연구에서는 타원체 기반의 수심측량 시스템을 검토 하고 이에 따른 해저지형 자료를 분석하여 일관성 있는 측량자료 생산에 대한 타당성 검토를 하고자 한다. 이를 위해 동일 구역을 선정하여 타원체 기반의 수로측량을 왕복으로 실시하였다. 또한 측량 구역의 해수면 승강현상(조석 에너지 및 그 외 해양환경 에너지)을 실시간으로 보정하기 위해 GNSS 조석 보정을 수행한 후, 각 측선 별 해저지형 높이 차이를 분석하였다. 이와 더불어 현 수로측량 시스템과 동일한 기본수준면 기반의 수심자료로 산출하여 각 측선 별 높이 차이를 분석하였다. 최종적으로 각 수로측량 기반(기준면)의 따른 측선 별 높이 차이 값을 서로 비교하여 좀 더 일관성 있는 해저지형자료 산출 방법론을 제시하고자 한다.

키워드 타원체, 기본수준면, 위성측위 조석보정, 수심, 해저지형

Abstract Abstract The purpose of this study is to examine the ellipsoid-based bathymetric survey system and analyze the bathymetric data so that verify the validity of producing consistent survey data. For that, ellipsoid-based hydrographic survey is performed by specifying the same area and going back and forth. GNSS tidal correction was also performed to correct the water level change (tide energy & marine environmental energies) at the surveying area in real time and the difference in depth below water level for each surveying line is analyzed. In addition, height difference for each surveying line is analyzed in accordance with the depth data based on datum level corresponding to the current hydrographic survey system. Finally, more consistent methods of bathymetric data will be suggested by comparing height difference for each surveying line according to hydrogrophic survey base.

Key words Ellipsoid, Datum level, GNSS tidal correction, Depth, Bathymetry

1. 서 론

우리나라는 육지 면적(남한)의 약 4.5배에 해당하는 해양 영토를 소유하고 있으며 국립해양조사원은 안전한 항해 정보 제공과 해양환경보호 및 해양자원개발을 위해 매년 수로조사를 수행하고 있다. 이렇게 조사된 수로정보 중에서 기초자료인 수심자료는 매우 중요한 자료이다. 이러한 수심자료를 최상의 품질로 관리하기 위해 첫 번째로 고려해야 될 사항이 일관성 있는 수로측량 체계이다.

일관성 있는 수로측량 이란 동일한 구역에 대해 상이한 시점에 여러 번 측량을 하더라도 모든 수심자료는 동일하게 산출되어야 하는 것을 말한다.(단, 해저지형은 시간에 따라 변함이 없다는 가정) 하지만 우리나라는 시간과 공간적으로 해수면의 승강현상(조석, 해류, 해수면 변동 등)이 발생되기 때문에 동일한 구역이라 하더라도 측량 시점마다 해수면의 높이가 상이하게 나타난다. 따라서 일관성 있는 측량자료를 산출하기 위해서는 해수면 승강을 발생시키는 에너지 중 가장 큰 에너지인 조석에 대한 보정이 수반되어야 한다. 현재 우리나라는 특수한 목적의 사업(연구)을 제외하고는 안전항해 목적의 해도 수심을 산출하고 있으며 기본수준면(일정 기간 조석관측 결과 가장 낮은 해수면, Datum Level)을 기준으로 조석 보정을 수행하고 있다.

수로측량 업무규정에서는 다음과 같이 명시 하였다. ‘조석보정의 경우에는 측량 구역에 조석관측을 실시함을 원칙으로 하나 기준검조소가 있을 경우에는 이를 이용하여야 하며, 표준 조석도에 의한 조위를 산출 할 수 있는 경우에는 표준조석시스템에서 제공하는 조위를 적용한다.’(2016, 수로측량 업무규정 제35조). 이와

Received: 2017.08.01, Revised: 2017.08.14, Accepted: 2017.08.22
* 한국해양조사협회, 서울시 금천구 가산디지털1로 70 호서대벤처타워, 1307호, ehpark@khra.kr

같이 수심측량 자료의 조석보정은 측량 구역과 동일한 시점·공간에 조석관측을 수행한 후 조석보정을 하는 것을 원칙으로 하고 있다. 그러나 광범위한 해양환경에서 현실적으로 모든 구역에 대해 조석관측을 수행하는 것은 어려움이 있다. 따라서 측량 구역에 근접한 기준조위관측소 조석 데이터, 혹은 기본수준점표가 있는 경우에는 표척관측 데이터, 아니면 기준조위관측소 개정수(조시차, 조고비)를 적용하여 조석보정을 수행하고 있다. 그러나 이러한 조석보정 방법은 수로측량 구역의 실시간 해수면의 높이(조석 및 해양환경으로 인한 해수면 변동) 변화를 추정하여 반영하는 것이기 때문에 위에서 언급한 일관성 있는 수로측량 자료를 산출하기에는 한계성을 가지고 있다. 또한 조석보정의 기준이 되는 기본수준면(DL)상 실시간 조위는 시·공간적으로 변화하기 때문에 더욱더 일관성 있는 수로측량 자료를 산출하기에는 어려움이 있다.

국외에서는 위와 같은 한계점을 극복하기 위해서 타원체 기반의 수로측량을 수행하고 있다. 타원체 기반의 수로측량은 선박에 설치된 GNSS 안테나에서 수신한 타원체고와 음향측심기의 수심을 가감하여 산출 할 수 있다. 즉, 시간과 공간적으로 변화하는 해수면 승강현상에 따른 높이변화를 실시간으로 취득(저장)하여 수직기준면을 적용함으로서 수심보정을 수행할 수 있다. 이와 같이 GNSS 시스템의 수직성분을 실시간으로 활용함으로서 측량구역의 조석에너지 및 해양환경에 의한 에너지로 인해 발생되는 해수면 승강현상을 실시간으로 반영할 수 있기 때문에 상이한 시점에 여러 번 측량을 하더라도 일관성 있는 수로측량 자료를 산출할 수 있다. 또한 타원체면을 기준으로 해저지형자료를 취득할 수 있기 때문에 기본수준면(DL)과 달리 기준 측량기준면이 항상 고정되어 있다.

따라서 본 연구에서는 동일한 구역(측선)에 대해 타원체 기반으로 왕복 수로측량을 실시하였으며 취득한 자료를 비교·분석하여 일관성 있는 해저지형 자료에 대한 타당성을 검토하고자 한다.

2. 국내·외 현황

2.1 NOAA의 해저지형자료

미국 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)에서는 2012년부터 매년 '국가해양서비스 수로측량 규격과 산출물(Hydrographic Surveys Specifications And Deliverables)' 문서를 발행하고 있으며 이 문서에는 타원체 기준 수로측량 및 수직기준면 변환 방법을 제시하고 있다. 또한 NOAA의 NCEI (National Centers for Environmental Information)에서는 다양한 기관의 측량자료 및 해저지형자료(타원체 기반)를 제공하고 있으며 국제수로기구(IHO)의 해저지형표면 사양서(S-102)에서 제시하고 있는 해저지형 속성 그리드(Bathymetric Attributed Grid, 이하 BAG) 형식의 산출물도 제공하고 있다. Fig. 1은 타원체 기반의 BAG 데이터를 산출할 수 있는 수로측량 구역을 나타낸 것이다.

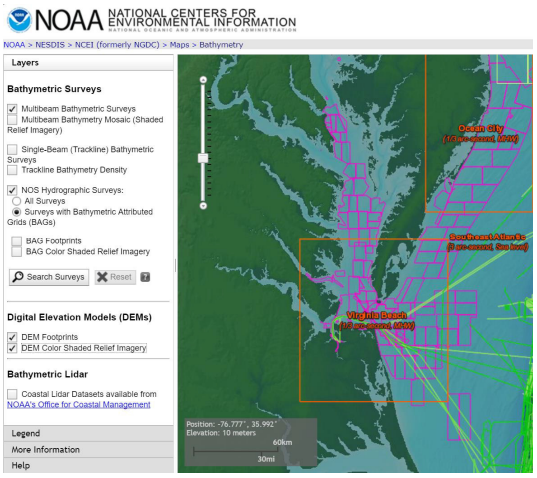

Figure 1. Bathymetric Data Viewer by NCEI

2.2 수직기준면 변환 연구

타원체 기반의 수로측량을 수행한 후에 각 활용목적(해도 등)에 따라 수직기준면을 변환하여 사용자가 이용할 수 있도록 다음과 같이 다양한 국가에서 수직기준면 변환 연구를 수행하고 있다.

- 미국 NOAA의 VDatum 및 ERZT(Ellipsoidally Referenced Zoned Tides)
- 영국 수로국의 VORF(Vertical Offshore Reference Frame)
- 호주의 AUSHYDROID(datum 분리 모델이며 타원체면에서 datum level 변환)

또한 북해 지역의 여러 국가들이 모여서 BLAST (Bringing Land and Sea Together) Project 를 추진하고 있으며 연안 해역의 정보 통합과 육지와 해저지형 데이터의 조화(타원체면 기준) 및 통합에 협력을 기울이고 있다.

2.3 FIG Publication

FIG(International Federation of Surveyors)에서는 세계 전역의 수로기술자 및 기관의 도움을 받아 'Ellipsoidally

Referenced Surveying for Hydrography'를 간행하였다. 이 문서에는 타원체 기반 수로측량에 대한 전반적인 내용을 기술하고 있으며 기술적인 내용 외의 각 사례를 통한 연구내용도 포함되어 있다.

그중에서도 미 해군 해양연구소(NAVOCEANO)는 Fig. 2와 같이 조석보정 방법에 따른 각 측선별 연속성에 대해 분석하였다. Fig. 2의 상위 이미지는 각 측선별 수심측량 자료에 조석 데이터(예측)를 보정한 후에 나열한 것이고, 하위 이미지는 GNSS 조석 데이터(타원체면에서 해수면까지 높이)를 보정한 후에 나열 한 것이다. 수심측량 자료에 GNSS 조석 데이터로 조석보정을 수행 하였을 경우(Fig. 2, lower) 일반적인 조석 데이터(Fig. 2, upper)를 사용했을 때보다 측선별 수심 연속성이 향상 된 것을 볼 수 있다.

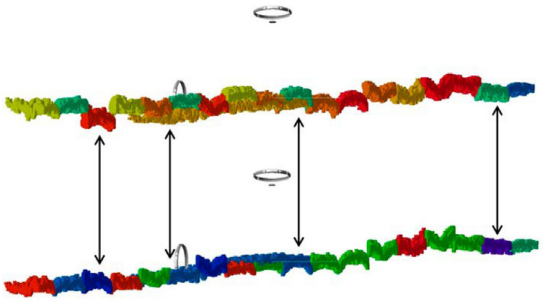

Figure 2. Comparison between predicted tides(upper) and GNSS tides(lower)

2.4 국내 연구동향

GNSS 시스템이 발전되면서 이를 기반으로 하여 국내에서도 타원체 기반의 수심측량 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 국립해양조사원에서는 기존 수로조사 사업(연구)과 병행하여 GNSS 기반의 수심측량 및 수직기준면 변환 체계 구축 연구를 추진하고 있다.

최근 국립해양조사원의 해양과학조사연구실에서는 '외해 타원체고 기반 수심산출 연구'를 수행하였다. 이 연구보고서에서는 외해 GNSS 데이터의 정확도를 향상시키기 위해 정밀절대측위(PPP, Precise Point Positioning) 방법을 이용하여 시범 측량한 연구를 제시하고 있다. 타원체 기반의 수심을 산출하기 위해서는 GNSS 데이터의 정확도가 중요하며 외해의 경우 GPS 기준국의 보정신호 없이 단독으로 위성의 궤도력 정보와 시각정보를 이용하여 수신기의 위치를 높은 수준의 정확도로 산출하는 방식으로 측위를 수행하게 된다.

정밀 GPS/INS 기술을 이용하여 다중음향측심기의 수심관측 데이터를 타원체 고(height)로 변환하는 연구도 수행되었다.(2013, 이동하) 이 연구에서는 기존의 조석보정을 활용하는 수심측량 방식을 대체하여 타원체 기반의 수심측량을 수행할 경우 수심자료의 수평 및 수직위치를 보다 정확하게 향상시킬 수 있다고 언급하고 있다. 또한 전 세계적으로 동일·불변하는 타원체 기반의 수심성과를 확보함으로 인해 그 활용성이 증대될 것으로 예상하고 있다.

실시간 이동측량 기법인 RTK-GNSS를 활용한 수심측량과 관련된 연구도 수행되었다(2015, 한기종). RTK-GNSS는 정확한 위치를 확보한 기준국의 GNSS 오차 보정치를 이용하여 이동국에서 실시간으로 수 cm의 높이 정확도를 유지하는 관측치를 얻을 수 있게 하는 것이다. 이 연구에서는 수심측량 지점에서 떨어진 곳(기준조위관측소)의 조위를 사용하여 조위보정을 할 경우 현장의 조시차와 조고비 차이로 인한 실제와 다른 조위의 사용으로 정확하지 않은 수심을 산출 할 수 있기 때문에 수심측량 지점의 조석을 고려한 타원체 기반의 RTK-GNSS 조석으로 보정을 하는 것이 좋은 방법이라고 언급하고 있다.

3. 연구 방법

3.1 기본수준면 기반 수로측량

국립해양조사원에서 수행하고 있는 수로측량(연구) 사업은 '해안선변동조사'등과 같이 특수한 조사 목적을 제외하고 일반적으로 기본수준면 기반의 수심 측량을 수행하고 있다.

Fig. 3은 기본수준면 기준의 수심(Datum Level and sea bed)을 산출하는 수직성분들을 단순하게 일반화하여 표현한 것이다. 음향측심기를 활용하여 Water Level(Fig. 3a)을 측량한 후에 기본수준면 기준의 Depth(Fig. 3c)로 산출하기 위해서는 수심보정(Fig. 3b)을 수행해야 한다. 보정량(Fig. 3b)의 크기는 조석에너지로 인하여 발생하는 해수면의 높이(tide)와 관측해역의 해양환경에 따른 에너지로 발생되는 높이($\pm\alpha$)로 분류할 수 있다. 측량 환경에 따라 조석에너지가 클 경우 '$\pm\alpha$ '의 크기는 미미할 수 있으며, 현실적으로 분류하여 관측할 수 없기 때문에 일반적으로 조석 에너지의 의한 해수면의 높이만 보정을 수행한다. 현재 우리나라는 조석에너지에 의한 해수면의 높이를 국립해양조사원에서 구축하고 있는 표준조석 적용망(TideBed, 이하 Tide Bed 시스템으로 칭함)을 이용하여 산출하고 있다. 측량구역의 조석을 시간과 공간적으로 동일하게 관측 할 수 없기 때문에 TideBed 시스템의 경우 기준조위관측소와 수로측량구역 간의 개정수(조시차, 조고비)를 적용하여 조석자료를 생성한다.

TideBed 시스템은 2003년에 경기만을 대상으로 표준조석 적용시스템을 최초 개발하고 2007년도에는 남해안까지 데이터베이스를 확대 하였다(2016, 김). 그 이후 개선사항을 점차적으로 보완하여 현재 TideBed 시스템으로 기본수로조사의 수심자료에 대한 조석보정을 수행하고 있다.

하지만 조석에너지 외에 해수면의 승강현상을 발생시키는 에너지(Fig. 3b, $\pm\alpha$)는 측량구역의 예측할 없는 외력(대기압에 의한 해수면 변화, 해류, 모션 센서가 보정할 수 없는 장주기 파랑, 등)에 의해서 발생된다. 따라서 동일한 구역을 상이한 시간에 수심 측량을 할 경우 Fig. 3(b)의 높이를 일관성 있게 보정할 수 없으므로 동일한 구역의 수심(Fig. 3c)을 일관성 있게 산출하기에는 어려움이 있다.

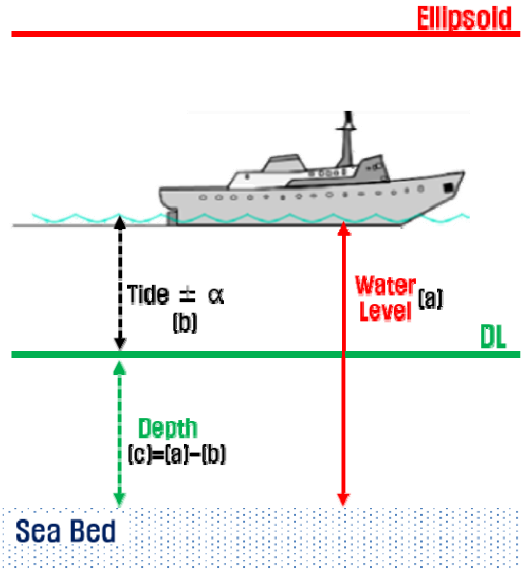

Figure 3. Vertical components (DL-based)

3.2 타원체 기반 해저지형측량

Fig. 4는 타원체 기반 수로측량을 수행하여 해저지형(ellipsoid and sea bed) 높이로 산출하는 수직 성분들을 표현한 것이다. 1절에서 언급한 바와 같이 조석에너지와 그 외 해양환경에 따라 발생되는 에너지로 인하여 동일한 구역이라 하더라도 측량 시점에 따라 Water Level(Fig. 4c)이 상이하게 나타난다. 하지만 측량선에 설치된 GNSS 안테나에서는 실시간으로 Ellipsoid Height(Fig. 4a)를 수신하기 때문에 Water Level(Fig. 4c)의 변위량에 상응하여 Ellipsoid Height(Fig. 4a) 또한 동일한 변위량을 측정할 수 있다. 따라서 Water Level(Fig. 4c)과 Ellipsoid Height(Fig. 4a)의 크기는 서로 상관관계(negative correlation)를 가지고 있기 때문에 해저지형의 높이(Fig. 4d)는 변하지 않는다. 즉, 동일한 구역에 대해 상이한 시점에서 수로측량을 여러 번 수행 하더라도 일관성 있는 해저지형 높이로 산출 할 수 있다. (단, Dynamic Draft에 따른 수직 변화는 별도의 보정이 필요함.)

위와 같이 타원체 기반의 수로측량을 수행하면 타원체면~해저면의 높이(Fig. 4d)를 측정하는 것이기 때문에 사용자가 해도의 수심으로 활용하고자 한다면 기준면(DL) 변환이 필요하다. Fig. 4의 해저지형 높이(d)에서 SEP(e, separation model)를 적용하면 기본수준면(DL) 기준의 수심으로 산출 할 수 있다.

Separation Model(SEP)은 타원체면과 기본수준면의 차이를 나타낸 것이며, 국립해양조사원은 이 모델(SEP)을 구축하기 위해 연구사업('연속해양수직기준면 구축 기반 연구')을 추진하고 있다. 본 논문에서는 일관성 있는 수로측량에 대한 타당성 검토에 중점을 두었기 때문에 Separation Model에 의한 수심 산출에 대해서는 고려하지 않았다.

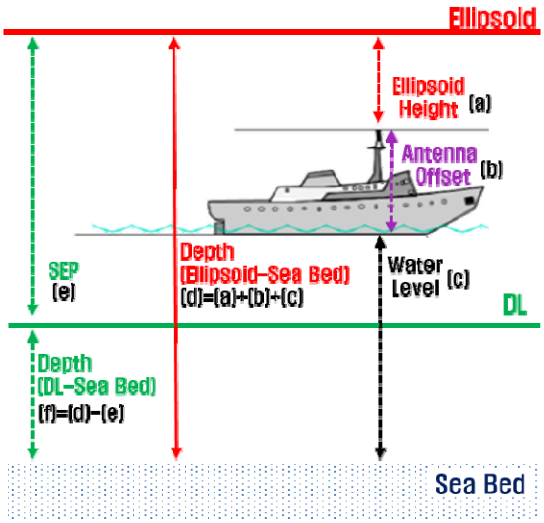

Figure 4. Vertical components(Ellipsoid-based)

3.3 분석 방법

3.2절의 타원체 기반 수로측량 방법으로 동일한 구역(측선)에 대해 왕복 측량을 수행하였으며 취득한 데이터를 각 측선별로 분류하여 동일 정점에 대해 비교·분석 하였다. 또한 3.1절의 기본수준면 기반 수로측량 방법과 동일하게 자료처리를 수행 하여 타원체 기반과 마찬가지로 동일한 구역(측선)에 대한 각 측선별 수심값의 차이를 분석하였다. 최종적으로 각 수로측량 방

법(3.1절, 3.2절)에 따라 분석한 각 측선별 성과물 차이 값을 서로 비교하여 일관성 있는 수로측량 자료 산출을 위한 측량 방법론의 타당성을 검토하고자 한다.

3.3.1 수로측량 시스템

해수면 높이를 측정하기 위해서 R2Sonic 社의 다중음향측심기(MBES) 'SONIC 2020'을 활용하였으며 위치정보 및 선박의 자세 보정은 Applanix 社의 POS MV 시스템을 활용하였다.

또한, 타원체 기반의 해저지형측량(3.2절) 방법은 GNSS 시스템의 수직성분(Z)이 중요하기 때문에 Fig. 5와 같이 실시간 이동측량(RTK, Real Time Kinematic) 원리를 이용하여 위치정보(x, y, z)를 수신(4Hz)하였다. 실시간 이동측량(RTK)은 최소 2대의 수신기(Base Station, Rover)가 필요 하며 기선벡터 상의 기준점에 위치한 수신기(Base Station)는 고정된 상태로 측량을 하고 다른 수신기(Rover)는 측량선에 고정하여 항적에 따라 임의의 시점에 대하여 그 위치가 결정되게 된다.

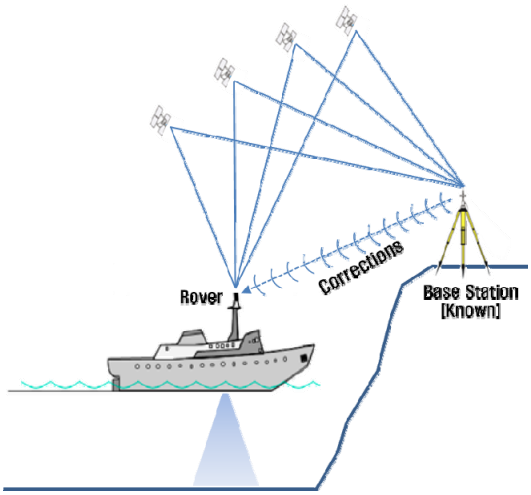

Figure 5. Real Time Kinematic

3.3.2 자료처리

기본수준면 및 타원체 기반의 수로측량 높이 값을 산출하기 위해서 Fig. 6과 같이 자료처리를 수행하였다. 자료처리 소프트웨어는 CARIS 社의 HIPS & SIPS 7.1을 이용하였으며 다중음향측심기에서 취득되는 대량의 신호를 처리함에 있어 가장 적합하게 디자인된 프로그램이다.

각각의 기준면에 따른 데이터를 산출하기 위한 첫 번째 자료처리 단계는 다중빔음향측심기의 Sounding 자료를 HIPS 형식으로 변환하는 것이다(Fig. 6①). 두 번째는 위치정보 및 선박자세 정보에 대한 분석·보정이다(Fig. 6②).

세 번째 단계부터 각 기준면(DL, Ellipsoid)에 따라 자료처리 단계가 분류 되며 기본수준면 기반의 수심을 산출할 경우 TideBed 시스템에서 추출한 조석자료를 보정(Fig. 6㉮) 하고 HIPS 프로그램 기능을 활용하여 라인 및 공간적으로 Error sounding을 수정(Fig. 6㉯) 하여 최종적으로 수심(Depth) 자료를 산출한다.

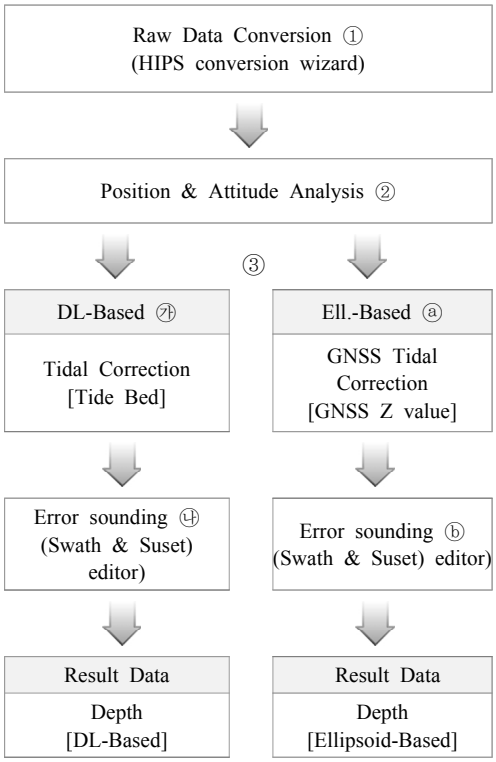

Figure 6. Data Processing Flowchart

타원체면 기준으로 해저지형자료를 산출할 경우 GNSS 조석보정(Fig. 6ⓐ) 부분에서 타원체면부터 해저면까지의 높이로 변환을 수행한다. HIPS 프로그램에서는 이 부분을 'Compute GPS Tide ...'라고 하며 이 단계에서 Separation Model(3.2절)을 적용하여 기본수준면 하의 수심으로 변환 할 수 도 있다. 그리고 선박의 Heave는 모션 센서에서 취득되고 또한 GNSS 안테나 높이 변동에 포함되어 있기 때문에, Heave 데이터에 대한 중복이 발생될 수 있다. 따라서 HIPS 프로그램의 'Apply Dynamic Heave' 옵션을 적용하여 모션 센서의 Heave 데이터 중복을 없애야 한다.

이와 같이 GNSS 조석보정(Fig. 6ⓐ) 단계가 완료되면 라인 및 공간적으로 Error sounding을 수정(Fig. 6ⓑ)하여 최종적으로 해저지형(Bethymetry) 자료를 산

출한다.

4. 결과 분석

4.1 기준면에 따른 데이터 분석

일관성 있는 수로측량 데이터에 대한 타당성을 검토하기 위해 Fig. 7과 같이 동일한 구역(측선)에 대해 GNSS 시스템의 실시간 이동측량(RTK) 방법을 활용하여 왕복(Line A, B) 측량을 하였다. 그리고 이 원시(sounding) 자료를 기본수준면 기반과 타원체면 기반의 자료로 3.3.2절과 같이 분류하여 자료처리를 수행하였다. 마지막으로 각 기준면을 분류하여 측선별(line A, B) 수로측량 데이터의 차이 값(동일한 위치의 정점)을 분석하였다.

Fig. 8(a)는 기준조위관측소 개정수를 이용하여 조석보정을 실시한 기본수준면 기준의 높이(수심)를 측선별로 분류하여 나타낸 것이다. 동일한 구역에 대한 측량자료이기 때문에 이론적으로는 수심이 동일하게 산출되어야 하지만 단차(Fig. 8, area 1-2)가 발생되는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 8(b)의 경우는 타원체면 기준의 높이(해저지형)를 Fig. 8(a)와 동일하게 측선별로 나타낸 것이다. 타원체면 기준의 높이로 산출하였을 경우 기본수준면 기준의 높이로 산출하였을 때 보다 단차 부분(Fig. 8, area 1-2)이 개선 된 것을 확인할 수 있다.

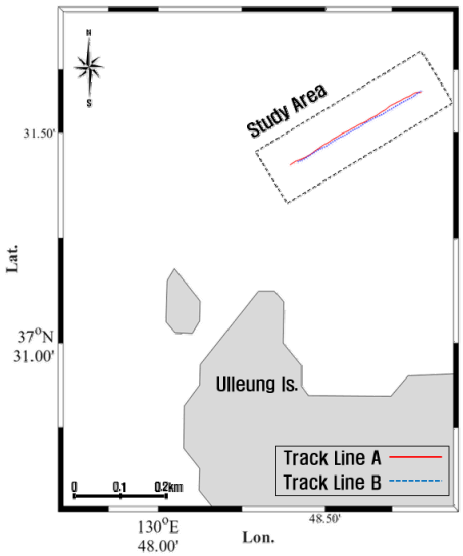

Figure 7. Map of study area (MBES)

이러한 단차를 정량적으로 분석하기 위해 Table 1.과 같이 각 기준면에 따른 높이 차이를 분석 하였으며 동일 정점 30,358개를 추출하여 차이 값을 비교 하였다. 타원체면 기준으로 산출하여 왕복 측선에 대한 높이 차이 값을 비교하였을 때 기본수준면 기준의 차이

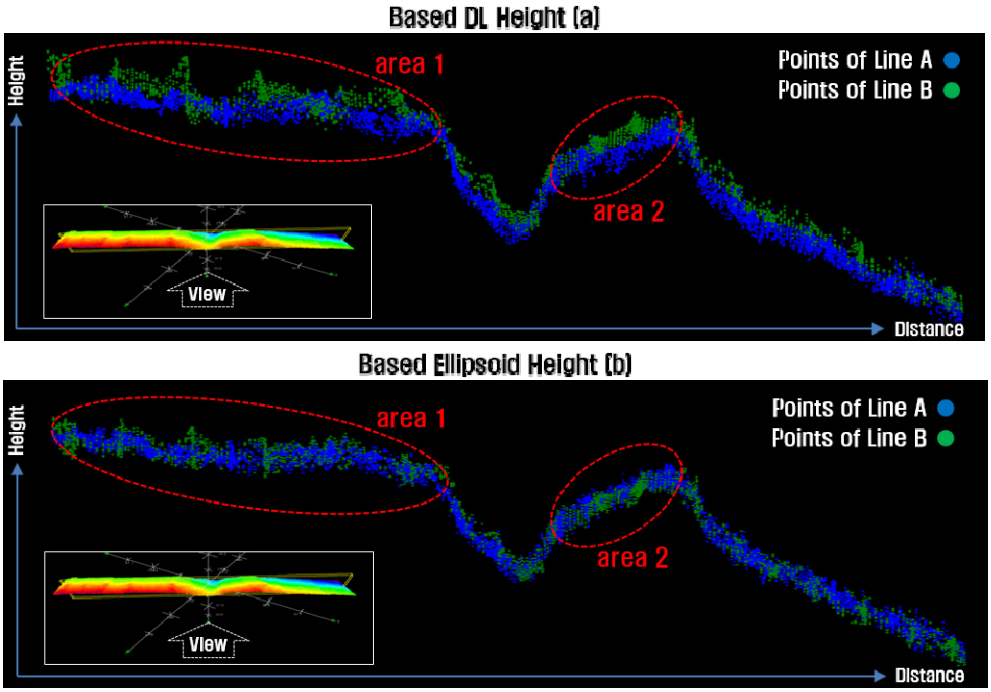

Figure 8. DL&Ellipsoid-Based Height

값보다 ± 3cm 단차가 개선되었으며 RMSE(평균 제곱급 오차)는 약 2배 정도 향상되었다.

Table 1. Differences in height of two track lines as reference plane

Analysis	DL-Based	Ellipsoid-Based
Mean	± 5 cm	± 2 cm
Min	- 12 cm	- 15 cm
Max	24 cm	21 cm
RMSE	6	3

* rmse : Root Mean Square Deviation
* mean : Average by the absolute value
* Difference in height
: observation of line A-line B

4.2 GNSS 수직 운동 효과(Heave)

4.1절과 동일하게 GNSS 시스템의 실시간 이동측량(RTK) 방법을 이용하여 수로측량을 수행하였다. EofE Ultrasonics 社의 단일음향측심기(SBES) 'EA400'과 Leica 社의 GPS GS25를 수상 모터바이크(Jet Ski)에 장착하여 약 1m 수심 구역까지 자료를 취득하였다. Fig. 9(a)는 조사 측선라인을 나타낸 것이며, Matlab 프로그램의 M_map(0.25도 간격의 global Map) tool을 사용하여 Base Map 생성했기 때문에 조사 측선라인이 육지에 겹치는 현상이 나타났다(현재 해안선을 반영하지 못함). Fig. 9(b)는 Surfer 프로그램을 이용하여 해저면을 Grid로 표현한 것이다.

단일음향측심기를 이용하여 수심이 얕은 연안의 수심측량을 수행할 경우 측량 시스템 환경에 따라 모션센서를 장착하지 못 할 수 있다. 따라서 타원체 기반 수로측량을 수행하면 GNSS 안테나 수직 변동 내부에 Heave 에너지를 포함하고 있으므로 선박의 Heave에 따른 보정을 수행 할 수 있다. Fig. 9은 수로측량 측선 중의 중복된 라인(Fig. 9(a) Analysis Track line)을 나타낸 것이다.

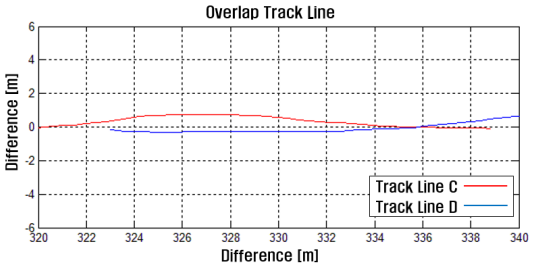

Figure 10. Overlap Track Line

4.1절과 같이 각 기준면을 분류하여 자료처리를 수행하고 중복 구역에 대해 수로측량 데이터를 분석하였다. 기본수준면 기반의 높이(수심, 개정수를 이용한 조석보정)로 산출하였을 경우 Fig. 11과 같이 중복된 구역(area 3)에서 평균적으로 ± 20 cm 의 단차가 발생하였다. 또한 Line D의 수로측량 자료에서는 파랑에 의한 선박의 heave 현상이 보정되지 못하고 그대로 산출

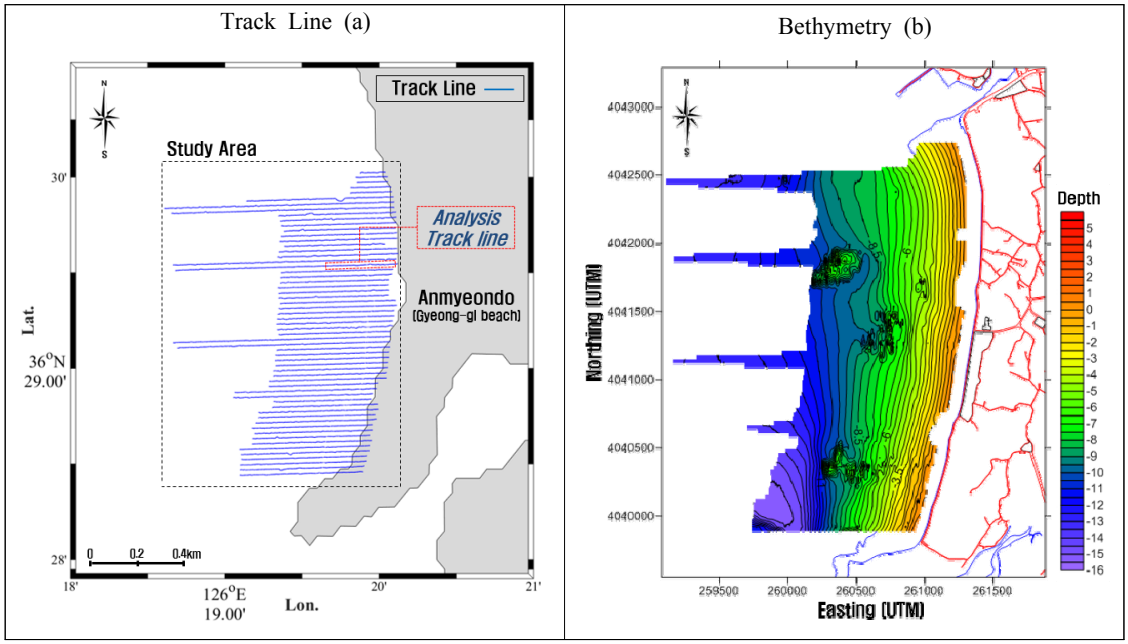

Figure 9. Map of study area (SBES)

된 것을 확인할 수 있다.

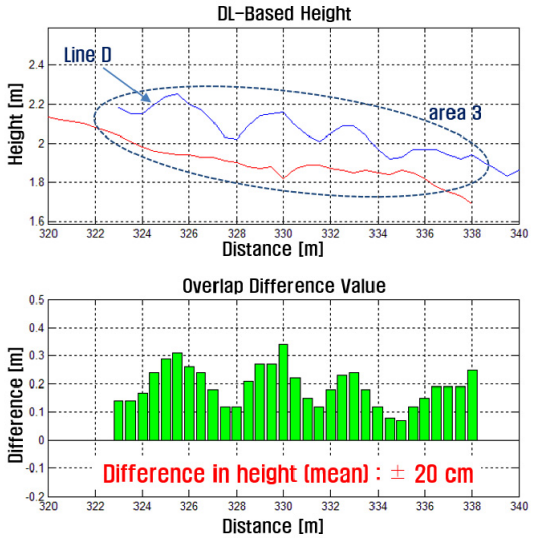

Figure 11. DL-Based Difference in height

Fig. 12은 타원체 기반의 높이(해저지형, GNSS 조석보정)로 산출하였을 때 중복 구역에 대한 높이 차(± 3 cm)를 나타낸 것이다. 기본수준면 기반의 수로측량 자료(Fig. 11)와 비교하였을 때 각 측선간의 높이 차이 값 평균 ± 17 cm가 향상 되었으며 GNSS 수직 운동에 따른 Heave 보정까지 수행된 것을 볼 수 있다.

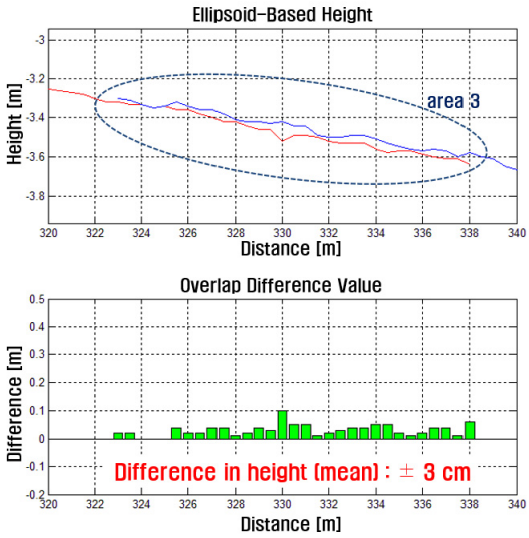

Figure 12. Ellipsoid-Based Difference in height

5. 결 론

본 연구에서는 국외에서도 활발히 이용하고 있는 타원체 기반의 수심측량 시스템을 검토 하고 이에 따른 해저지형 자료를 분석하여 일관성 있는 수심측량 자료 생산에 대한 타당성을 검토 하였다.

타당성 검토를 위해 동일한 구역에 대해 상이한 시점으로 타원체 기반의 수로측량(왕복)을 수행하였으며 각 측선 별 높이 차이를 분석하였다. 또한 동일한 자료를 기본수준면 기반의 수심자료로 산출하여 각 측선 별 높이 차이를 분석하였다.

연구 구역이 우리나라의 연간 총 수로측량 구역과 비교하였을 때 상대적으로 현저히 작기 때문에 정량적으로 명확히 결론을 내리기에는 어려움이 있지만 동일 구역(측선)의 단차 현상이 기본수준면 기반의 산출물보다 타원체 기반의 산출물이 좀 더 향상된 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 타원체 기반의 수로측량을 수행할 경우 실시간으로 측량구역의 해수면의 변동(조석에너지 및 그 외 해양환경 에너지)을 반영함으로서 좀 더 일관성 있는 해저지형을 생성 할 수 있다고 사료된다. 또한 광범위한 수로측량 자료가 생성되고 연안의 육상 측량자료와 연계성을 고려한다면 시간에 따라 변하지 않는 타원체 면 기반의 수로측량이 향후 발전되어야 한다고 판단된다.

마지막으로 타원체 기반의 수로측량 연구와 더불어 다양한 사용자의 목적에 맞게 수직기준면을 변환 할 수 있는 Separation Model 구축 연구(현재 국립해양조사원에서 추진하고 있는 '연속해양수직기준면 구축사업 연구) 또한 우리나라 수로조사 발전에 큰 역할을 수행할 것이라고 판단된다.

참고문헌

1. 2016, 국립해양조사원 해양과학조사연구실, 외해 타원체고 기반 수심산출 연구: 국내외 연구현황 파악 및 GPS 시범 측량
2. 한기종 외, 2015: 정확한 수심 산정을 위한 실시간 이동관측 조위(RTK-Tide) 적용에 관한 연구, 한국수로학회 제4권, 제2호.
3. 정태준 외, 2014: 통합 프로그램을 이용한 MBES 수심값과 정밀 GPS/INS 측정값의 결합에 관한 연구, 한국수로학회 제3권, 제1호.
4. 이동하 외, 2013: 정밀 GPS/INS 기술을 이용한 MBES 수심관측값의 타원체고 변환, 한국수로학회 제2권, 제1호
5. 2016, 수로측량 업무규정, 국립해양조사원 예규

제148호
6. 유경완, 2017: GPS Buoy 관측을 통한 기본수준면 성과 결정, 공학석사학위논문
7. FIG, 2014: Ellipsoidally Referenced Surveying for Hydrography
8. IHO, 2008: Standards for Hydrographic Surveys, Special Publication N° 44.
9. IHO, 2005: Manual on Hydrography, IHO Publication C-13.
10. NOAA, 2015: NOS HYDROGRAPHIC SURVEYS SPECIFICATIONS AND DELIVERABLES
11. NOAA, 2014: Field Procedures Manual

박 응 현
2007년 군산대학교
해양시스템공학과 공학사
2011년 ㈜유에스티21
2014년 한국해양과학기술원
2015년~현재 한국해양조사협회
관심분야는 해양지구물리

김 연 수
2005년 부경대학교 공학박사
2016년~현재 한국해양조사협회
수로기술연구소 소장
관심분야는 수로측량, 해양공간정보

전 혜 연
2006년 교육부 장관인정
공학전문학사
2001년 이마린(주)
2008년~현재 한국해양조사협회
관심분야는 전자해도, 해양GIS

강 호 윤
2003년 한국해양수산개발원
2009년 부산대학교 공학박사
2010년~현재 한국해양조사협회
관심분야는 전자해도, 해양GIS

김 대 현
2014년 서울시립대학교
공간정보공학과 공학사
2016년 서울시립대학교
공간정보공학과 공학석사
2015년~현재 한국해양조사협회
관심분야는 해양공간정보

유 경 완
2015년 강원대학교 토목공학과
공학사
2017년 강원대학교 토목공학과
공학석사
2017년~현재 한국해양조사협회
관심분야는 해양공간정보, GNSS