

연안 해역의 항공수심측량 정확도 검증

Airborne LiDAR Bathymetry Accuracy Validation for Shallow Coastal Waters

김은영* · 위광재** · 노재영*** · 박인선**** · 황창수*****

Eun Young Kim · Gwang Jae Wie · Jae Young Noh · In Seon Park · Chang Su Hwang

요약 국립해양조사원에서는 연안 해역 정밀조사를 위하여 2011년 시범사업을 시작으로 항공수심측량 기술을 도입하여 국내 연안의 수심측량 및 원도 제작을 수행해 오고 있다. 항공수심측량 기술은 미국, 유럽 등 전 세계적으로 얇은 수심지역의 연안 측량에 효과적으로 적용되고 있으며, 연안 모니터링을 위한 수심 자료를 해마다 구축 및 서비스하고 있다. 그간 국내에서 수행된 항공수심측량을 이용한 수심 자료의 정확도 검증을 위하여 사업 중에 수행된 결과를 보면, '11년에는 멀티 빔 수심측량(기 구축, 동해 축산항 부근)과 평균 0.21m의 차이를 보였고 '13년에는 멀티 빔 수심측량(기 구축성과, 제주 위미항 부근)과 평균 0.14m, '14년에는 멀티 빔 수심측량(동일시기 측량성과, 동해 남애항 부근)과 평균 0.20m의 차이를 보였다. '11년과 '13년에는 기 측량된 성과와 비교하였고, '14년에는 동일 시기이나 조석보정 방식의 차이에 의해 검증방법에 대한 신뢰성이 다소 약할 수 있다. 이에 본 연구에서는 '15년 성과를 이용하여 동일기준면인 타원체고상에서 비교함으로써 순수 장비간의 검증 결과를 도출하였고, 또한 수직기준면의 해상 검증을 위하여 해상에 조위계를 설치하고 항공수심측량과 동시에 측량을 실시하여 그 결과를 비교해 보았다.

키워드 항공수심측량, 멀티 빔 수심측량, 수심자료, 정확도

Abstract The KOHA(Korea Hydrographic and Oceanographic Agency) has started with the demonstration project in 2011 for detailed coastal waters survey. For this, after bathymetric surveying technology was introduced, airborne lidar bathymetry surveying and nautical charting based on surveying measurements was performed. ALB(Airborne Lidar Bathymetry) technology is worldwide and effectively adopted for surveying at the shallow water areas such as USA and Europe. The bathymetric data for coastal monitoring is annually established, processed and serviced. In this paper, the accuracy of the water depth is analyzed by using the measurements data by ALB in Korea. The difference of the water depth between ALB and MBES(Multi-Beam Echo Sounder) results is shown as the average 0.21 m at Chuksan harbor of the East Sea in 2011, the average 0.21 m at Wimi harbor of Jeju island in 2013, and the average 0.21 m at Namae harbor of the East Sea in 2014. The bathymetric data acquired by ALB in 2011 and 2013 is compared with the data acquired by MBES in the different year. In 2014, the bathymetric data is compared with the data acquired by MBES in the same year. The reliability of the analysis results in 2014 is been questionable, since the validation method is based on using different tidal correction approaches. In this paper, the water depth extracted by ALB and MBES is transformed by the reference datum such as the ellipsoidal height and the difference of the ellipsoidal height is calculated. A tidal gauge for the vertical datum validation was installed at sea and then ALB and MBES is surveying at the same date. The results acquired from this field surveying are compared.

Key words ALB(Airborne LiDAR Bathymetry), MBES(Multi-Beam Echo Sounder), Depth data, Accuracy

1. 서론

국립해양조사원은 선박의 접근이 어려운 얇은 수심 지역에 대한 수심측량을 수행하기 위하여 항공기 기반

의 수심측량장비를 처음으로 '06년에 캐나다 옴텍社의 SHOALS-1000T(Scanning Hydrographic Operational Airborne LiDAR Survey) 장비를 국내에 적용하였다. 이 장비를 이용하여 독도와 울릉도 주변에 대한 해저

Received: 2016.05.19, Revised: 2016.06.16, Accepted: 2016.06.30

* ㈜지오스토리 eykim00@geostory.co.kr

** ㈜지오스토리 wkj777@naver.com (교신저자)

*** 국립해양조사원 수로측량과 nohgy@korea.kr

**** 국립해양조사원 수로측량과 noripis@korea.kr

***** 해양수산부 해양정책실 연안계획과 csh0509@korea.kr

지형 및 해안선 등 정밀 3차원 수심자료를 획득함으로써 얕은 수심 지역의 수심자료를 구축할 수 있는 기술적 가능성을 확인하였다. 이후, 향상된 시스템으로 스웨덴 AHAB사(현, Leica Geosystems)의 HawkEye II/III, Optech社의 SHOALS-3000, CZMIL, CZMIL Nova 등이 상용화 되면서 국립해양조사원에서는 '11년에 HawkEye II를 이용한 시범사업을 수행하였고(국립해양조사원, 2011), '13년~'15년에 CZMIL 장비를 이용한 사업을 수행하였다(국립해양조사원, 2013/2014/2015).

일반적으로 항공수심측량 장비가 갖는 정확도는 제작사의 종류와 사양에 따라 약간의 차이가 있으나, 국제수리기구(IHO)의 기준에 따른 Order 1b를 충족한다고 명시하고 있다(IHO Standards for Hydrographic Surveys 5th Edition, 2008).

한편, 국외에서 항공수심측량 성과에 대한 검증으로 옵텍社 CZMIL 장비 성과에 대해 미시시피대학교에 의뢰하여 다양한 기존 수로측량 장비와 비교함으로써 그 결과를 도출하였는데, 싱글 빔 수심측량 성과와는 평균 0.12m, 멀티 빔 수심측량 성과와는 평균 0.18m로 CZMIL 성과가 더 깊은 것으로 결과를 보였다(David Dodd, 2011).

본 연구에서는 그간 국내 사업 수행과정에서 진행된 정확도 검증 결과를 각각 분석하고 신뢰성 있는 항공수심측량 성과의 정확도를 검증하기 위한 발전방향을 제시하고자 한다.

2. 그간 정확도 검증 결과와 한계점

'11년 연안해역정밀조사(비인에서 어청도 부근) 사업에 적용된 항공수심측량 장비는 HawkEye II이었다. 이 장비는 수심지역에서 초당 4kHz의 측정 속도를 가지며 정확도는 IHO order 1을 갖는다. 수심 데이터 획득 후, 검증을 위하여 남해에 위치한 청산도 부근과 동해에 위치한 축산항 부근에 대하여 기 구축된 멀티 빔 수심측량 성과와 비교 검증을 실시하였다. 그 결과, Fig. 1과 같이 청산도는 평균 0.12m, 축산항은 평균 0.21m의 차이를 보였다(국립해양조사원, 2011).

'13년 연안해역정밀조사(제주도 및 독도) 사업에는 CZMIL(Coastal Zone Mapping Imagery LiDAR) 장비를 이용하여 측량을 실시하였다. 이 장비는 초당 10kHz의 측정 속도를 가지며 정확도는 IHO order 1을 갖는다. 검증을 위하여 제주도에 위치한 위미항과 하효항 부근에 대하여 기 구축된 멀티 빔 수심측량 성과와 비교 검증을 실시하였다. 그 결과, Fig. 2와 같이 평균 0.14m의 오차를 보였다(국립해양조사원, 2013).

또한, '14년 연안해역정밀조사(태안부근 및 동해중부) 사업에서는 전년과 동일하게 CZMIL 장비를 도입하여 측량을 실시하였다. 태안 부근에 대하여 항공수심측량은 10월 10일에 수행하였고 멀티 빔 수심측량은 8월 30일에 동일 지역에 대하여 측량 하였다. 특히, 항공수심측량 자료를 실시간 조석을 통하여 보정하고



Figure 1. The results of the Accuracy Validation in 2011

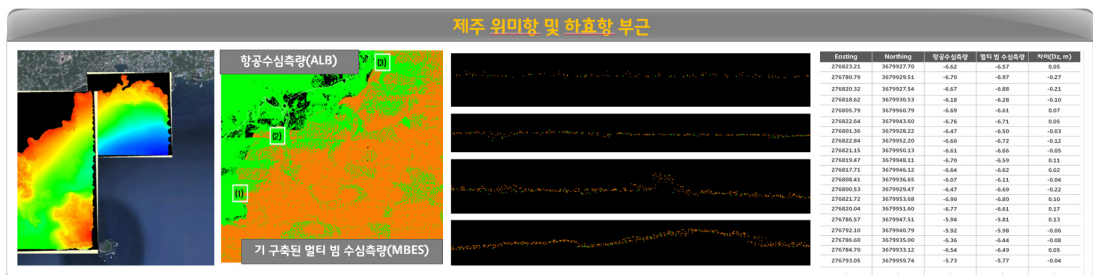


Figure 2. The results of the Accuracy Validation in 2013



Figure 3. The results of the Accuracy Validation in 2014

비교 검증하였다. 그 결과, Fig. 3과 같이 평균 0.17m의 오차를 보였다.

'11년부터 '14년까지 수행된 정확도 검증 결과를 보면, 기 수심측량 성과와 약 0.20m 내외의 오차를 보였다. '11년과 '13년에는 기 측량된 선박 수심측량 성과와 비교하였고 '14년에는 동일시기에 측량된 멀티 빔 수심측량 성과와 비교하기 위하여 항공수심측량 성과를 tide-bed를 적용하여 선박과 동일한 방법으로 검증하였다. 이는 수심측량 방식이 다른 이중 장비, 조석보정 방식의 차이 등으로 인하여 검증을 함에 있어 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 동일한 기준면 상에서의 더 신뢰성 있는 검증을 진행하도록 하였다.

3. 연구방법 및 내용

본 연구에서는 항공수심측량 성과를 검증하기 위하여 먼저 동일기준면 상에서 타원체고를 기준으로 성과를 획득하여 비교 검증을 하였다. 이후 멀티 빔 수심측량 성과의 조석보정 결과와 항공수심측량 성과의 수직

기준면 적용 결과에 대해서 정확도를 비교 검증하였다. 또한, 해상에 조위계를 설치하고 조석관측과 동시에 항공수심측량을 실시하여 육상뿐만 아니라 해상에서의 수직기준면 모델의 정확도 검증 결과를 도출하였다(Fig. 4).

3.1 동일기준면(타원체고상)에서의 비교 검증

Tide-bed, 수직기준면모델 등의 기준면 변환을 거치지 않은 순수 장비간의 검증을 위하여 타원체고상에서 비교해 보았다. 항공수심측량은 기본적으로 GPS기반의 타원체고 기준의 원시 수심데이터를 획득하게 된다. 이와 달리 선박을 이용한 수심측량의 경우, GPS/INS를 장착하지 않으나, 이번 연구를 위하여 GPS/INS를 장착하여 타원체고를 기준으로 수심 데이터를 획득하였다. 대상지역은 아래 Fig. 5와 같이 충남 태안의 천수만 부근이며 수심범위는 약 1.5m~12.0m이다.

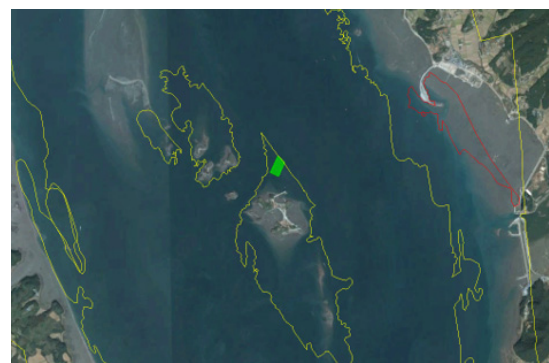


Figure 5. The Study Sites around Juk island at Cheonsu Bay in Taean District within Google Earth Image

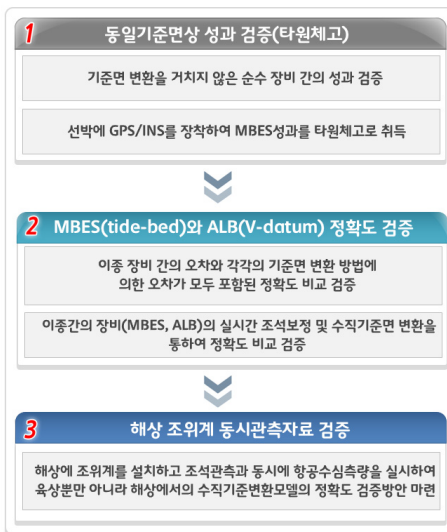


Figure 4. The Suggested Method for our Research

측량조건과 기상상태에 따라 동시 측량에는 어려움이 있었다. 이에 항공수심측량은 '15년 4월 26일에 실시하였고, 멀티 빔 수심측량은 '15년 5월 8일에 실시하였다. 항공수심측량에 사용된 장비는 옵텍社의 CZMIL이며, 항공기의 운항속도는 140knot로 유지, 고도는

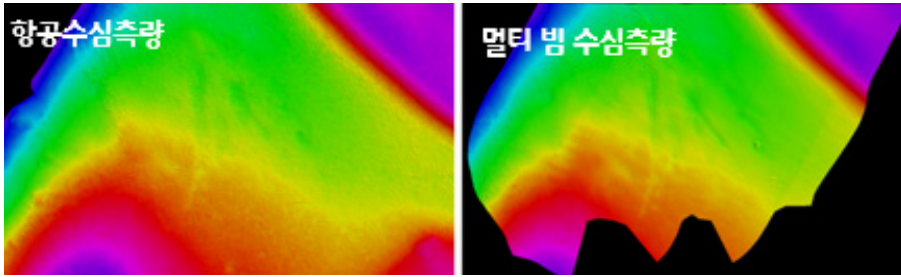


Figure 6. The Bathymetric Data based on the Ellipsoidal Height

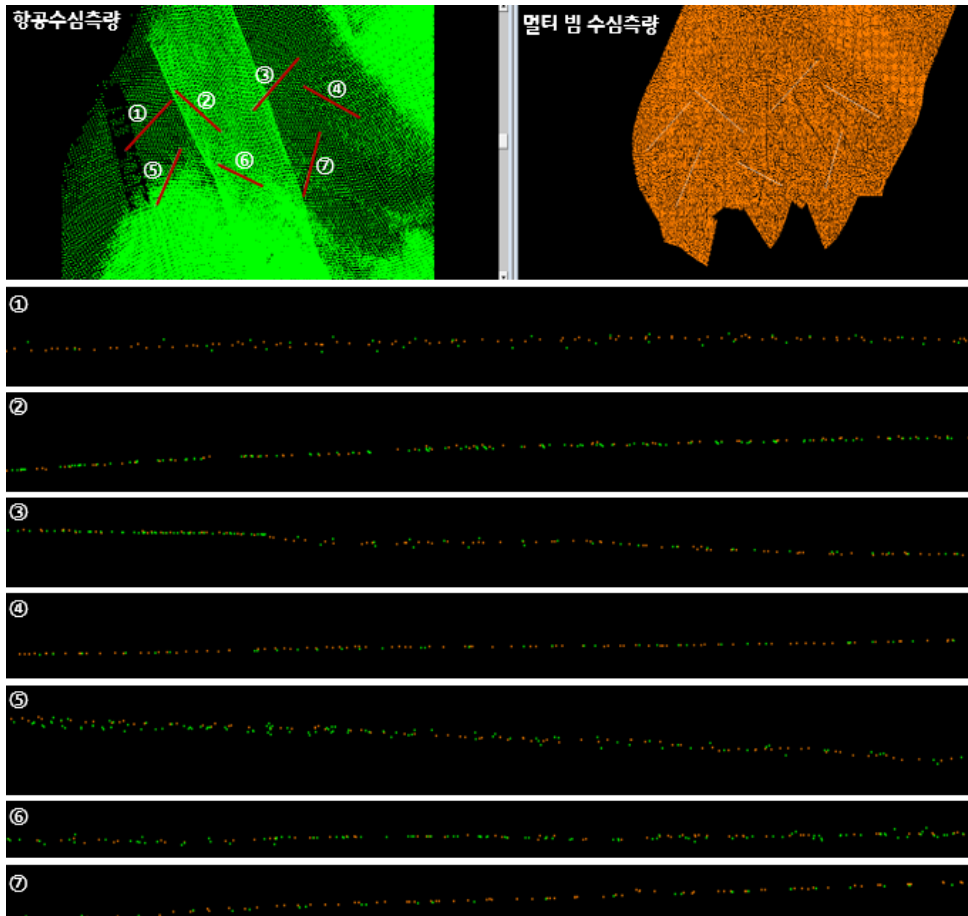


Figure 7. The Difference Check of the Water Depth between ALB and MBES

400m내외, 점 밀도는 $2m \times 2m$ 에 한 점 이상이 되도록 측량하였다. GPS/INS 자료 처리 후, Laser 데이터를 통합 처리하였으며, 여기에 사용된 프로그램은 옴텍社의 HydroFusion이며 WGS84 타원체를 기준으로 UTM좌표계를 적용하여 LAS format의 수심(점) 데이터를 산출하였다. 멀티 빔 수심측량에 사용된 장비는 Reson社의 Seabat 7125이며, 400kHz 주파수의 음향측심기를 사용하였고, 취득 소프트웨어는 PDS2000이며,

자료처리 소프트웨어는 CARIS HIPS & SIPS 7.1을 사용하였다. 각각 처리된 수심 데이터는 아래 Fig. 6과 같다. 처리된 수심 데이터를 중첩하여 여러 방향으로 단면을 따라서 경향성 분석을 하였다. 그 결과는 Fig. 7과 같으며, 평평한 지형과 굴곡이 있는 지형의 수심 데이터 모두 유사한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다. 또한, 정량적인 정확도 검증을 위하여 각각 원시 수심 데이터의 차이를 비교하였다. 비교한 총 점의 수

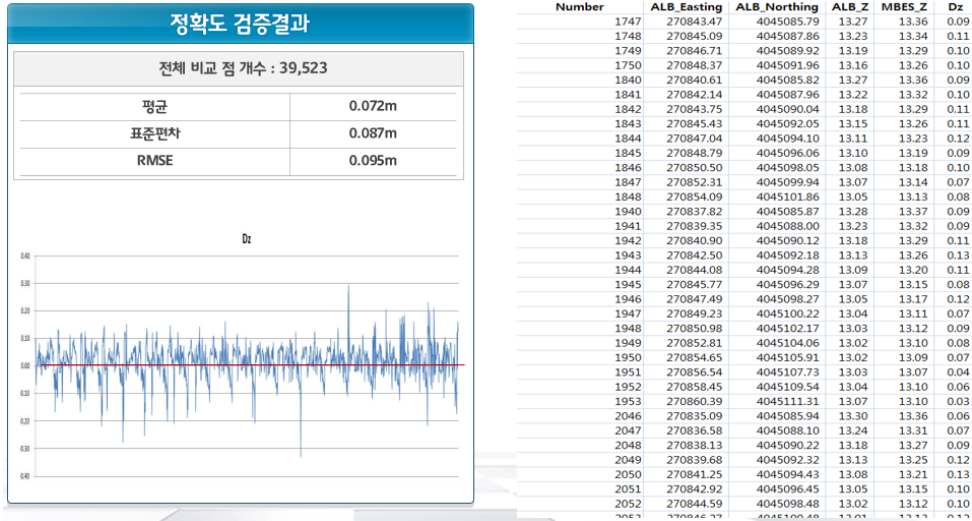


Figure 8. The validation results of accuracy of the bathymetric data with the reference ellipsoidal Height between ALB and MBES

는 39,523점이며 비교 결과, 평균 0.072m, 표준편차 0.087m, 평균제곱근오차(RMSE) 0.095m이었다(Fig. 8).

3.2 실시간 조석보정(MBES) 및 수직기준면 변환(ALB)을 통한 비교검증

앞에서 획득한 타원체고 기반의 멀티 빔 수심측량 성과를 tide-bed에 의하여 조석보정을 실시한 것과 수직기준면모델로 변환한 것의 차이를 비교해 봄으로써 수직기준면모델의 정확도를 검증해 보고자 한다(Fig. 9). 또한, 항공수심측량 성과에 대하여 수직기준면 모

델을 이용하여 변환한 성과를 함께 비교해 보았다. 변환에 사용된 수직기준면 모델은 Fig. 10과 같이 '15년 연안해역정밀조사(안면도 부근 및 양식장·어장) 사업에 사용된 모델이며, 사업 당시 획득한 조석 관측성과를 이용해 변환모델을 적용하여 성과를 보정하였다.

먼저, 실시간 조석을 적용한 멀티 빔 수심측량 성과에 대해서 수직기준면 모델을 적용한 멀티 빔 수심측량 성과를 비교한 결과, Table 1과 같이 평균 0.045m의 차이를 보였고 수직기준면 모델을 적용한 항공수심측량 성과와는 Table 2와 같이 평균 0.078m의 차이를

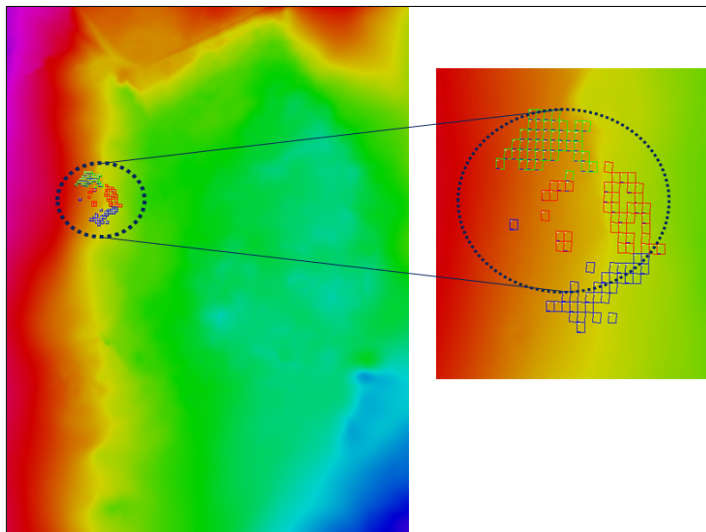


Figure 9. The Vertical Datum : DL (Project Report in 2015)

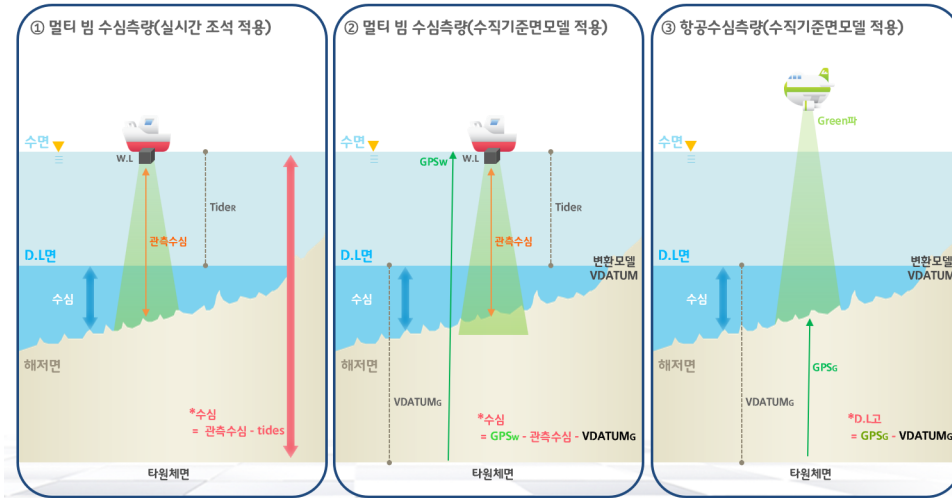


Figure 10. The Comparison between ALB and MBES Method

Table 1. MBES(tide-bed) vs. MBES(V-datum)

MBES(tide-bed) vs. MBES(V-datum)	
Average	0.045m
Standard Deviation	0.038m
RMSE	0.057m

Table 2. MBES(tide-bed) vs. ALB(V-datum)

MBES(tide-bed) vs. ALB(V-datum)	
Average	0.078m
Standard Deviation	0.097m
RMSE	0.099m

Table 3. MBES(V-datum) vs. ALB(V-datum)

MBES(V-datum) vs. ALB(V-datum)	
Average	0.086m
Standard Deviation	0.099m
RMSE	0.108m

보였다. 또한 수직기준면 모델을 각각 적용한 성과는 Table 3과 같이 평균 0.086m의 차이를 확인하였다. 결과적으로 실시간 조석을 반영한 성과와 수직기준면 모델을 적용한 수심 데이터는 크게 차이가 없음을 알 수 있었다.

3.3 해상조위계 동시관측자료에 의한 비교검증

다음으로 해상에 조위계를 설치하고 조석관측과 동시에 항공수심측량을 실시해 보았다. 이는 육상뿐만 아니라 해상에서의 수직기준면 변환 모델의 정확도를 확인하고자 추가적으로 수행하였다(Fig. 11). 검증지역은 Fig. 12와 같이 안면도 부근의 남당항 인근 해상으로 수심은 약 3.5m~4.2m이다. 해상 조석은 '15년 5월 2일에서 7일까지 관측하였으며, 조석 데이터 기록 간격은 약 5분이다. 항공수심측량은 5월 4일 19시 34분

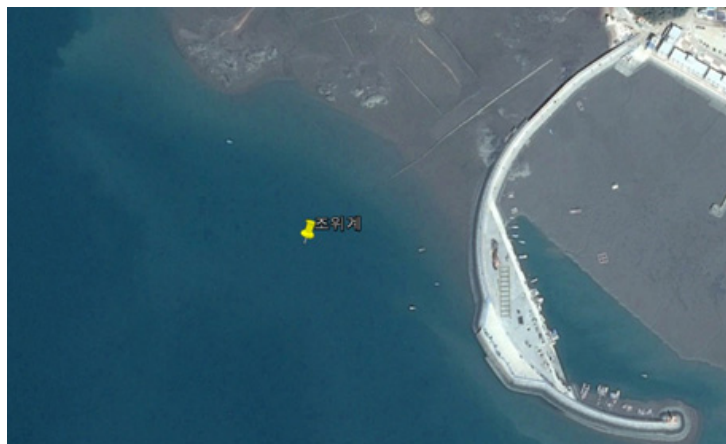


Figure 11. The Study Sites around Namdang Harbor within Google Earth Image

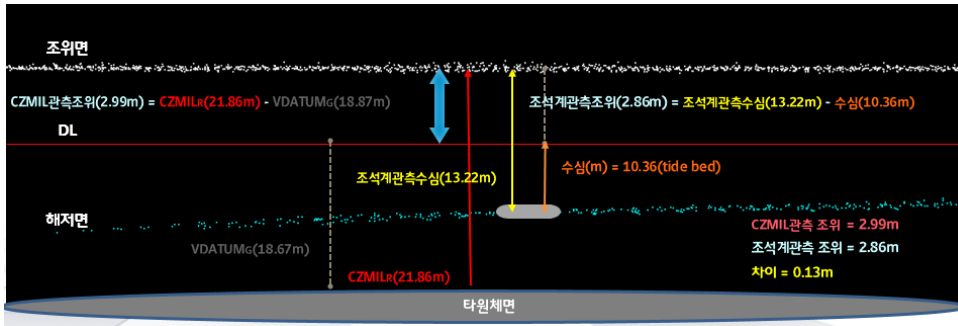


Figure 13. The Validation Results of the Simultaneous Measurement Data of Tidal Instrument

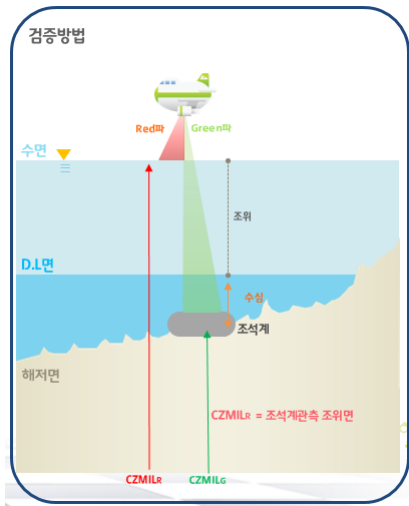


Figure 12. The Validation Method of the Simultaneous Measurement Data of Tidal Instrument

14초에 해당위치를 통과하였다.

관측 당시, 남당항 부근의 유의 파고는 약 0.45m, 기압 1012.7hPA이었다. 관측결과, 해상 조위계 관측조위는 2.86m이었고, 항공수심측량 조위면은 2.99m로 0.13m의 차이를 확인하였다(Fig. 13). 그러나 계획된 위치에 조위계를 투하하였지만, 투하 직후부터 고정 전까지 해저면의 기복 및 조류에 의하여 조위계가 이동하였을 가능성이 있으므로 정확한 검증에는 한계가 있었다.

4. 결과분석 및 향후 연구방향

본 연구에서는 연안 해역 부근에 대한 항공수심측량 성과의 정확도 검증 방법과 그 결과를 제시하였다. '11년 이후, 멀티 빔 수심측량 성과와 비교한 결과, 0.20m 내외의 일관성 있는 검증 결과를 보였으나, 이중 장비에 대한 다른 기준으로 검증에 한계가 있어 본 연구에

서는 타원체고 기준의 동일기준면 상에서 검증을 수행하였다. 그 결과 타원체고 기준의 멀티 빔 수심측량 장비와의 성과 차이는 평균 0.072m로 확인되었다. 또한, 실시간 조석을 적용한 멀티 빔 수심측량과 수직기준면 모델을 적용한 항공수심측량 성과와는 평균 0.078m로, 이는 이중 장비간의 성과 차이와 각각 변환 방법의 차이가 포함된 결과라고 할 수 있겠다. 또한, 해상조석 관측계의 조위와 항공수심측량 조위면과는 0.13m의 차이를 확인하였다. 이는 동시관측을 통한 조위면 비교결과이나, 단일 지점에 대한 결과로서 경향에 따른 조석 비교로서는 한계가 있었다.

따라서, 향후 공간적인 DL(Datum Level)의 분포 및 타원체고와의 상관관계를 확립하기 위하여 4~5개 이상의 더 많은 조위계를 설치하여 비교해볼 필요가 있다. 또한 주기적으로 동일 지역에 대해 해상조위계 관측을 실시하여 조위계의 조위자료와 항공수심측량의 조위자료의 경향성 및 차이를 검증함으로써 조석보정에 대한 검증을 추가적으로 진행할 필요가 있다.

감사의 글

“이 논문은 2016년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(항공기 탑재용 수심측량장비 국산화 개발)”

참고문헌

1. 김은영 (2015), 항공수심측량 데이터의 정확도 분석, 춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 163-164.
2. 국립해양조사원 (2011), 연안해역정밀조사(비인에서 어청도 부근) 사업결과보고서, pp. 156-179
3. 국립해양조사원 (2013), 연안해역정밀조사(제주도 및 독도) 사업결과보고서, pp. 123-155, 169-175.
4. 국립해양조사원 (2014), 연안해역정밀조사(태안부

- 근 및 동해중부) 사업결과보고서, pp. 150-178
5. 국립해양조사원 (2015), 연안해역정밀조사(안면도 부근 및 양식장·어장) 사업결과보고서, pp. 1115-1725.
 6. David Dodd and Kenneth Barbor (2011), Coastal Zone Imaging and Mapping LiDAR Validation, Hydrographic Science Research Center(HSRC), University of Southern Mississippi, pp. 263-265.
 7. IHO Standards for Hydrographic Surveys 5th Edition(2008), pp.2-22.
 8. www.optech.ca
 9. www.leica-geosystems.com



박인선
 2005년 인천대학교 대학원
 일반행정학과 행정학석사
 1982년~현재 국립해양조사원

관심분야는 수로조사, 해도제작



노재영
 1999년 부경대학교 공학사
 2001년 국립해양조사원 입사
 2004년 부경대학교 공학석사
 현재 국립해양조사원

관심분야는 해안선, 연안해역조사, 항공라이다수심측량



김은영
 2003년 배재대학교 공학사
 2005년 배재대학교 석사
 2012년~현재 (주)지오스토리

관심분야는 항공지상라이다, 항공라이다수심측량, 연안해역조사



황창수
 2003년 부경대학교 공학석사
 2015년 부경대학교 공학박사
 2003년~2015년 국립해양조사원
 2015년~현재 해양수산부

관심분야는 연안관리, 연안침식 모니터링, 연안지형조사, 항공라이다수심측량



위광재
 1997년 성균관대학교 공학사
 1999년 성균관대학교 공학석사
 2012년 성균관대학교 공학박사
 2012.08~현재 (주)지오스토리

관심분야는 연안해역조사, 항공라이다수심측량, 라이다