

다중빔 음향측심기의 내수면 적용성 평가 Applicability Evaluation of Multi Beam Echo Sounder for Inland Water

정진우¹⁾ · 조광희²⁾ · 홍승서³⁾

Jung, Jin Woo · Cho, Kwang Hee · Hong, Seung Seo

Abstract

In this study, the application of the single beam echosounder and multi beam echosounder was analyzed for the Youngsan river, from the Juksanbo to the Juksan bridge, length of 840m, width 230m and area 0.16km². A single beam echosounder and a multi beam echosounder are mounted on an USV (Unmanned Surface Vessel), and each data is acquired. Then, TIN (Triangular Irregular Network) is created and the grid depth of 10m intervals is extracted. The grid depth of the single beam echo sounder and the grid depth of the multi beam echo sounder were overlapped to compare the two data. As a result of analysis using 5,024 data, the mean depth difference was 0.0319m and the standard deviation was 2.4095m. The river bed shape was similar to each other. If the multi-beam echo sounder is regarded as the standard, the volume difference of the stream is 161,882m³. With a multi-beam echo sounder installed, the operating distance increased by approximately 55% to 4595.85m, and the operating time increased by approximately 59% to approximately 47%.

Keywords : Inland, Multi-Beam Echo Sounder, Application, Unmanned Surface Vessel

초 록

본 연구에서는 영산강의 죽산보에서 죽산교까지 길이 약 840m, 폭 약 230m, 넓이 약 0.16km²를 대상으로 단빔 음향측심기와 다중빔 음향측심기의 내수면 적용성을 분석하였다. 무인선에 단빔 음향측심기와 다중빔 음향측심기를 장착하고 각각의 데이터를 획득한 다음 비정규삼각망(TIN: Triangular Irregular Network)을 생성하고 10m 간격의 격자 수심을 추출하였다. 추출한 단빔 및 다중빔 음향측심기의 격자수심 총 5,024개의 데이터를 중첩 비교하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다. 첫째, 수심의 차이는 평균 0.0319m로서 전체적으로 큰 차이는 없었으나 표준편차는 2.4095m로 크게 나타났다. 둘째, TIN으로 구현된 하상의 형태는 서로 유사하였으나, 다중빔의 하상면보다 높거나 낮은 단빔의 하상면 구역들의 체적은 총 161,882m³의 차이가 있었다. 셋째, 대상지역 전체를 다중빔으로 스캔했을 때 단빔에 비해 운항 거리는 4,595.85m, 약 55% 정도 증가하였으며, 운항 시간은 59분, 약 47% 정도 증가하였다. 넷째, 작업공정, 투입인원 및 소요비용에서는 같거나 큰 차이가 없었다. 운항 거리나 운항 시간과 같은 작업 효율 면에서 단빔을 장착했을 때보다 다중빔을 장착했을 때 효율이 약 0.5배 정도 낮은 것으로 판단되나, 하상변동 예측과 같이 하상면의 정확한 데이터가 필요한 분야에서는 다중빔 음향측심기를 이용한 데이터 획득이 필요한 것으로 판단된다.

핵심어 : 내수면, 다중빔 음향측심기, 적용성, 무인선

Received 2018. 11. 26, Revised 2018. 12. 05, Accepted 2018. 12. 26

1) Member, Korea KGT Consultant (E-mail: kgt0514@naver.com)

2) Corresponding Author, Member, Korea KGT Consultant (E-mail: kgt0514@naver.com)

3) Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (E-mail: sshong@kict.re.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

우리나라는 하천사용의 이익을 증진하고 하천을 자연친화적으로 정비·보전하며 하천의 유수로 인한 피해를 예방하기 위해 하천법에 의거하여 하상변동조사를 실시한다(국토교통부, 2018a). 하상변동조사는 기본적으로 10년마다 수립하는 하천기본계획과 연계해야하며 퇴적 및 세굴(洗掘)이 빈번하게 발생하는 구간에 대해서는 2년마다 하도, 하상변동이 큰 곳은 1년마다, 하상변동이 작은 곳은 5년의 범위에서 주기를 달리 할 수 있다(국토교통부, 2018b). 또한 국토교통부는 하천 분야 드론 활용을 통한 공공시장 창출을 위해 하천측량 업무에 드론을 활용하고 지방 국토관리청의 하상변동조사를 의무화하였다.

하천지형측량 중 하상 지형 데이터를 획득하기 위한 수심측량에는 음향측심기를 이용한다. 음향측심기는 단빔 음향측심기와 다중빔 음향측심기의 두 종류가 있다. 단빔 음향측심기는 수심을 점 데이터로 획득하고 보간 작업을 통해 하상면을 재현하므로 외업 시간이 비교적 짧지만 데이터의 정확도에 불확실성이 크고 다중빔 음향측심기는 면 데이터의 형태로 넓은 지역을 동시에 측량하기 때문에 자료의 정확도와 작업효율성이 단빔 음향측심기에 비해 상대적으로 높다(Choi, 2005). 다중빔 음향측심기는 장비마다 차이가 있지만 보통 트랜스듀서 중심에서 좌우로 60°~70°도씩 120°~140°, 전후로 3° 정도 범위의 데이터를 동시에 획득할 수 있다. 따라서 수심의 3~4배 정도 넓은 지역의 데이터를 획득할 수 있어 효율성이 높고 진행 방향으로 중첩하여 데이터를 획득하기 때문에 정확도가 높다고 할 수 있다. 이러한 이유로 해양의 해저지형 분석이나 수로 측량에는 다중빔 음향측심기의 사용이 보편화되었다.

그러나 수심이 얇은 내수면에서는 다중빔 음향측심기의 장점이 오히려 단점이 될 수 있다. 측량 폭이 120°인 다중빔 음향측심기의 경우 수심 1m인 지역에서 측선을 중심으로 측정할 수 있는 폭은 좌우 1.7m씩 3.4m 정도이다. 즉 하상면 전체를 스캔하려면 측선의 폭을 3.4m 이하로 설정해야 한다는 의미이다. 지금까지 내수면의 수심측량에서는 정밀한 하상 데이터를 요구하지 않았기 때문에 GPS를 사용하는 수심측량의 최대 측선 간격인 20m를 측선 간격으로 하는 경우가 많았다. 따라서 이를 다중빔 음향측심기에 적용하려면 전체적인 하천의 수심이 약 5.8m 이상이 되어야 하는데 우리나라의 자연하천은 이 조건을 충족시키기 어려운 곳이 대부분이다.

기존의 하상변동 조사사업에서는 하천기본계획 측선에 대한 횡단면도를 중첩하여 비교했기 때문에 단빔 음향측심기로도 필요한 데이터를 충분히 획득할 수 있었다. 하지만 이

번 조사 사업에서는 과거 현황측량 평면도와 새로 획득한 현황측량 결과를 각각 수치표고모델(DEM: Digital Elevation Model)로 제작하고 중첩하여 면적개념의 하상변동량을 산정하는 방법을 이용했기 때문에 다중빔 음향측심기를 이용하여 정밀한 하상 데이터를 획득하여 내수면의 다중빔 음향측심기의 적용성을 검토하였다.

특히 최근 내수면의 3차원 지형공간데이터 취득을 위해 무인드론과 단빔이나 다중빔 음향측심기를 연계한 다양한 연구가 활용되고 있어 현시점에서 이에 대한 적용성 평가가 필요하다.

이에 본 연구에서는 익산지방 국토관리청의 하상변동 및 하천지형측량 시범사업의 대상 지역인 영산강 일부 지역에 대하여 무인선에 단빔 음향측심기를 장착한 방법과 자세정보 보정기능이 장착된 다중빔 음향측심기를 장착한 방법을 사용하여 각각의 데이터를 획득하고 다중빔 음향측심기의 내수면 적용성을 평가하였다. 또한 다중빔 음향측심기의 내수면 적용 가능성을 평가하기 위하여 동일 지역을 대상으로 단빔 음향측심기와 다중빔 음향측심기를 운영하고 하상면의 비정규삼각망(TIN: Triangular Irregular Network), 운항 거리 및 시간, 작업절차 및 투입인력, 작업시간 및 투입인력에 대하여 비교 분석하였다.

2. 수심측량 관련 현황

2.1 수심측량 관련 규정

수심측량에 대한 구체적인 규정은 수로측량 업무규정(국립해양조사원 예규 제2012-5호)과 공공측량 작업규정(국토지리정보원 고시 제2015-2538호)이 있다. 수로측량 업무규정(국립해양조사원 예규 제2012-5호)은 단빔 음향측심기와 다중빔 음향측심기를 사용하는 경우로 구분하여 측심선 간격을 규정하고 있다(제27조의 2). 단빔 음향측심기를 사용하는 경우 항만, 항로 및 박지를 제외한 일반 수역은 수심 3~10m일 때 측심선 간격 50m 미만, 10~20m일 때 100m 미만, 20m 이상일 때 100m 이상으로 규정하고 있다. 다중빔 음향측심기를 사용하는 경우 항로 및 박지 이외의 일반수역에서 해저경사도 5° 이내는 평탄지로 분류하고 측심율 50% 이상, 해저경사도 5~20° 일 경우는 경사지로 분류하고 측심율 70% 이상, 경사도가 20° 이상일 경우 굴곡이 심한 지역으로 분류하고 측심율 80% 이상, 항해위험 천소지역은 측심율 100%로 규정하고 있으며 Table 1과 같다.

공공측량 작업규정(국토지리정보원 고시 제2015-2538호)은 하천 및 연안측량을 할 때 측심위치 측정을 위한 사용기에 따라 측정 간격을 규정하고 있다(제82조). 와이어, 로프,

광파거리측정기, 토탈스테이션 및 GNSS (Global Navigation Satellite System) 수신기를 사용할 경우 5~20m, 해상위치측량용 전파측위기를 사용할 경우 20~100m이며 Table 2와 같다.

2.2 수심측량 현황

일반적으로 내수면의 수심측량은 유인측량선을 사용하는 경우가 많다. 수심측량장비가 장착된 측량선은 해양용이기 때문에 수심측량 지역까지 운반이 불가능하고 운반이 가능하더라도 내수면의 수심이 낮기 때문에 측량선이 운항할 수 있는 범위가 극히 한정적이기 때문이다. 내수면의 유인측량선은 대부분 고무보트 또는 소형 어선을 이용하는데 수심측량 전용 선박이 아니기 때문에 음향측심기를 수시로 탈부착해야 하는 상황이 발생한다. 이러한 불편함을 개선하고자 무인 수심측량선을 개발하거나 하려는 시도들이 진행되고 있다. 최근에는 수심측량에 소형 무인선을 이용하고 있다. 대부분 길이 1.5m 내외의 선체에 GPS (Global Positioning System)와 음향측심기를 장착하고 자율운항이 가능하도록 개발되었다.

Fig. 1과 Fig. 2는 고무보트와 소형선박을 이용한 유인수심측량, Fig. 3은 다양한 형태의 무인측량선이다.



Fig. 1. Measuring of water depth using rubber boat(Geosurvey.co.kr)



Fig. 2. Measuring of water depth using small vessel(Geosurvey.co.kr)



(a) USV of KIOST



(b) USV of Marine research

Fig. 3. Various types of USV

Table 1 . Measuring route plan and rate

Sing beam echosounder			
Types of water bodies	Sea bed condition	Water depth	Unmeasured width or interval of measuring route
Harbor, fairway and berthage	Dredged zone	No distinction of depth	Unmeasured width less than 5m
	Natural sea bed	No distinction of depth	Unmeasured width less than 30m
Other than the above	Natural sea bed	3~10m	Measurement interval less than 50m
		10~20m	Measurement interval less than 100m
		Over 20m	Measurement interval more than 50m
Multi beam echosounder			
Types of water bodies	Sea bed condition	Sea bed slope	Measuring rate
Fairway and berthage	-	-	100%
Other than the above	Flat area	Within 5°	Over 50%
	Sloping area	5~20°	Over 70%
	Extremely curved area	Over 20°	Over 80%
	Shallow areas where navigation is dangerous		100%

Table 2 . Measuring interval according to instrument

Instrument	Interval
Wire, rope, Geodimeter Total station GNSS receiver	5~20m
Beacon	20~100m

2.3 수심측량 관련 연구 현황

다중빔 음향측심기와 관련된 연구는 국내에서 꾸준히 수행되어 왔으며 다음과 같다. 한국해양과학기술원의 이명훈 등 5인은 독도 동도와 서부 남부 연안의 해저지형 비교 분석 연구를 통해 독도, 동도 및 서도 연안에 유사한 수중 암반 지대가 형성되어 있지만 해저면 환경은 서로 상이함을 제시하였다. 충남대학교의 이선중 등 5인은 동해 울릉분지의 사면 안정성 및 쇄설류 퇴적체의 발달 연구를 통해 최상부층에 분포하는 쇄설류 퇴적체는 총 4개의 퇴적단위로 구분됨을 제시하였다. 한국해양과학기술원의 주주민 등 8인은 서태평양 해저산의 망간각 자원평가를 위한 해저지형 특성 분석 연구를 통해 서태평양 공해 해저산의 정산부와 경사면에 피복된 망간각의 공간 분포 변화 양상을 제시하였다. 한양대학교의 손우주 등 5인은 서해 천해환경에서 단상태 해저면 후방산란강도 측정 연구를 통해 해저지형 및 해저면 하부지층구조, 표층 퇴적물 구성성분에 대한 자료를 획득하고 후방산란모델을 통해 산란 강도를 비교 분석하였다. 서울시립대의 박병문 등 4인은 해저지형 특성에 따른 멀티빔 자료처리 합리화 방안을 연구를 통해 기존의 Full data processing 방식에 비해 자료처리 시간을 단축하고 품질 일관성을 유지하는 결과를 얻었다. 오션테크의 김주연 등 5인은 다중빔 음향측심 자료의 CUBE 필터링 연구를 통해 기존 프로그램을 이용한 오차 제거 방법에 비해 CUBE 필터링 방법이 작업 시간을 대폭 절약할 수 있음을 제시하였다.

그러나 이러한 선행 연구들은 다중빔 음향측심기를 사용하여 데이터를 획득한 부분에서는 본 연구와 같지만 대상지역이 해양으로 지형분석 또는 획득한 데이터의 정확도 향상에 중점을 두었으며 본 연구와 같이 내수면을 대상으로 다중빔 음향측심기의 적용성을 평가한 연구는 없는 것으로 조사되었다.

3. 실험 및 분석

3.1 실험 대상지역 및 방법

(1) 실험 대상 지역

대상지역은 영산강의 죽산보에서 죽산교까지 길이 약 840m, 폭 약 230m, 넓이 약 0.16km²이며 Fig. 4의 사각형으로 표시한 지역이다. 실험 기간 동안 비는 내리지 않았으며 평균 풍속은 기상청 관측 자료를 확인한 결과 이를 모두 1.2m/s로 동일했다.



Fig. 4. Target area(Rectangle line)

(2) 사용 장비

실험에 사용된 장비는 단빔 음향측심기, 다중빔 음향측심기 및 GPS이다. 단빔 음향측심기는 CEE Hydrosystems 사의 CeeStar, 다중빔 음향측심기는 IMAGENEX 사의 DT-101을 사용하였으며 각각 Fig. 5 및 Fig. 6과 같고 각각의 제원은 Table 3 및 Table 4와 같다. GPS는 Fig. 7의 라이카의 시스템 1200을 사용하였으며 제원은 Table 5와 같다.



Fig. 5. Single beam echosounder



Fig. 6. Multi beam echosounder



Fig. 7. Leica GPS 1200 system

Table 3. Specification of CeeStar

Item	Specification
Frequency	High 200kHz/Low30kHz
Max depth	100m
RTK GPS	N/A
GNSS	N/A

Table 4. Specification of DT-101

Item	Specification
Heading accuracy	0.1° seclat
Resolution	0.01 deg
Heave/Surge/Sway accuracy	5cm or 5% (Whichever is greater)
Roll/Pitch/Yaw dynamic accuracy	0.01 deg

Table 5. Specification of GPS system 1200

Item	Specification
Type	Dual frequency(L1+L2)
VRS Accuracies	Horizontal :10mm±1ppm Vertical : 20mm±1ppm

실험에 사용된 무인선은 Fig. 8과 같고 Fig. 9는 GPS 안테나와 다중빔 음향측심기를 조합한 사진이다.



Fig. 8. USV used in the experiment



Fig. 9. Combination of GPS and multi beam transducer

(3) 실험 방법

실험은 음셋 설정, 바체크 및 음속 보정, 단빔 및 다중빔 음향측심기 데이터 획득, 데이터 필터링, 격자수심 추출, TIN 제작, 수심 및 하상면 비교의 순서로 진행하였으며 Fig. 10과 같다.

대부분의 내수면 수심측량에서는 단빔 음향측심기를 사용하고 자세 오차에 대해 특별히 보정하지 않는 실정을 고려하여 단빔 음향측심기 데이터를 획득할 때에는 자세보정장치를 사용하지 않았으며 다중빔 음향측심기는 자세보정장치(모션센서)가 내장되어 롤, 피치 및 헤딩에 대한 오차를 자동으로 보정하기 때문에 별도의 자세보정장치 및 후처리는 필요하지 않았다. 또한 무인선은 GPS 안테나의 중심점과 음향측심

기의 트랜스듀서 중심점을 연결하는 축이 선박 기준 좌표계의 수직축과 일치하도록 설계, 제작하여 headings에 대한 오차는 발생하지 않는다고 할 수 있다. 다만 선박 기준 좌표계의 중심에서 GPS 안테나 및 음향측심기까지의 거리에 의해 롤 및 피치 오차가 발생할 수 있는데 테스트 운항을 수행한 결과 실험 환경이 측정결과를 보정해야할 만큼 롤과 피치에 영향을 주지 않는다고 판단하여 이에 대한 보정 과정은 생략하였다.

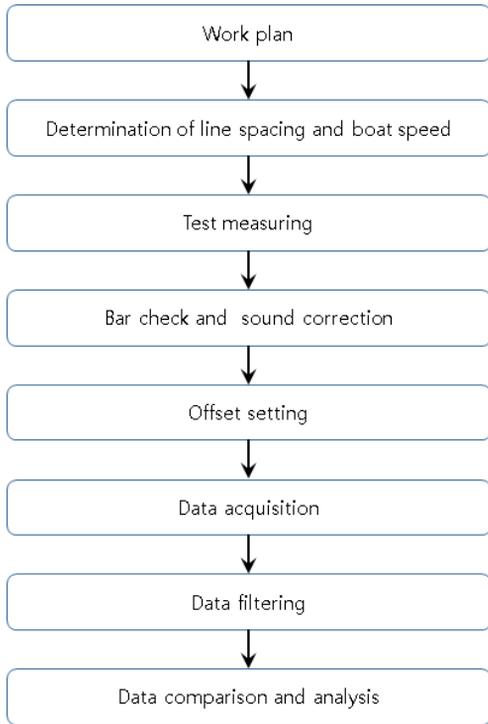


Fig. 10. Process of experiment

수심 데이터는 2018년 4월 16일에 단빔 음향측심기의 데이터, 17일에 다중빔 음향측심기의 데이터를 획득하였다. 실험에 사용된 음향측심기는 모두 VRS-GPS와 연동되어 수면에서 음향측심기 트랜스듀서까지의 깊이, 수면에서 GPS 안테나까지의 높이를 측정하여 음향측심기 컨트롤러 및 운영 프로그램에 입력하면 수심측정지점의 3차원 절대좌표를 획득하기 때문에 별도의 수위 보정은 필요하지 않았다.

GPS와 두 대의 음향측심기의 트랜스듀서 중심이 일치하도록 장착하여 장비 장착 위치 때문에 오차가 발생하지는 않았다. 단빔 및 다중빔 음향측심기는 Fig. 11 및 Fig. 12와 같이 바 체크를 통해 음속을 보정하고 음속 값들을 측정하여 컨트롤러에 입력하였다.



Fig. 11. Bar check of single beam echosounder



Fig. 12. Measurement of offset

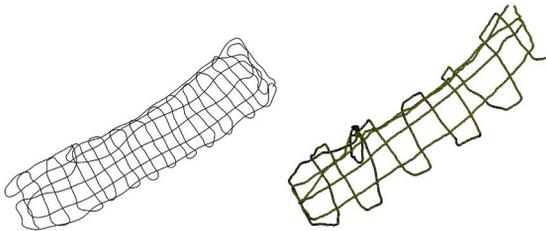


Fig. 13. Monitoring of pitch, roll and heading grade

단빔 음향측심기의 데이터는 죽산보에서 승촌보까지 획득한 데이터 중 대상지역에 해당하는 데이터를 이용하였으며 다

중빔 음향측심기의 데이터는 대상 지역만을 대상으로 획득하였다. 운항 중 다중빔 음향측심기의 자세 정보는 장비 제조사에서 제공한 프로그램을 이용하여 모니터링하였으며 Fig. 13과 같다. 무인선에 노트북을 설치하고 장비 제조사의 프로그램을 실행한 다음 팀뷰어 프로그램과 휴대폰 무선 통신을 이용하여 지상에서 실시간으로 모니터링하였다.

Fig. 14(a)는 무인선을 이용한 단빔 음향측심기를 장착한 무인선의 운항경로이고 Fig. 14(b)는 다중빔 음향측심기를 장착한 무인선의 운항경로이다. 각각의 데이터를 획득한 다음, HYPACK 프로그램을 이용하여 데이터를 필터링하였으며, ArcGIS 프로그램을 이용하여 각각 TIN을 제작하였다. 다중빔 음향측심기의 데이터로 제작한 TIN에서 10m 간격으로 격자수심을 추출하고 단빔 음향측심기의 데이터로 제작한 TIN에 중첩하여 수심을 추출하고 두 수심 데이터를 비교하였다. 대상 지역의 하상면에 대한 최근 측량 데이터는 2012년 데이터인데 대상 지역이 자연하천이다 보니 퇴적과 침식에 의해 하상 지형이 변하여 객관적으로 수심측정의 정확도를 비교할 수 있는 절대적인 데이터가 없었다. 이러한 이유로 자세정보 획득 센서를 이용하여 자동으로 측정 데이터를 보정할 수 있는 다중빔 음향측심기의 데이터를 기준으로 무인선을 이용한 단빔 데이터를 비교하였다. 또한 운항시간, 운항거리, 작업 시간 및 비용을 비교하여 작업 효율성을 분석하였다.



(a) Single beam echosounder (b) Multi beam echosounder

Fig. 14. Measuring route of USV

3.2 하상면 분석

총 5,024개의 데이터를 이용하여 분석한 결과 측정된 수심의 차이는 평균 0.0319m, 표준편차는 2.4095m였다. Table 6은 분석한 데이터의 일부이고 Fig. 16는 데이터의 편차를 나타낸다. 단빔 음향측심기의 경우 자세보정장비를 사용하지 않았기 때문에 발생한 자세오차와 측점이 조밀하지 못하여 보간 과정에서 발생한 오차가 큰 것으로 나타났다. Table 6에서와 같이 수심의 오차가 큰 데이터들이 다수 존재함을 알 수 있었다.

Table 6에서 depth는 수면에서 하상까지의 다중빔 음향

측심기의 측정 수심, SB Depth는 단빔 음향측심기 데이터를 이용하여 계산한 하상면에서 평균해수면까지의 높이. MB Depth는 다중빔 음향측심기 데이터를 이용하여 계산한 하상면에서 평균해수면까지의 높이이며 Fig. 15와 같다. 본 연구에서는 정확한 하천지형의 도출을 위해 GPS 및 수심 데이터를 계산하여 하상면의 z 값을 도출하였다. 다중빔 음향측심기의 수심측정값을 정확한 값으로 가정하고 단빔 음향측심기의 수심을 다중빔 음향측심기와 동일하게 조정하였으며, 이때 발생하는 수심오차가 SB Depth와 MB Depth의 차이이다.

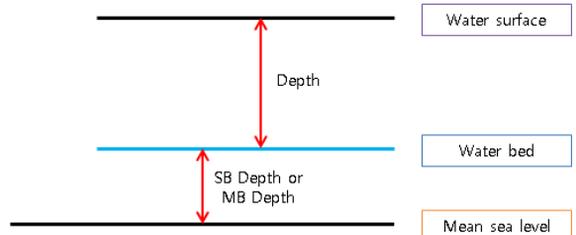


Fig. 15. Depth, SB depth and MB depth

Table 6. Part of interpolated data (Unit : m)

1	A	B	C	D	E	G	H	I	J
1	FID	No	X	Y	GPS Height	depth	SB Depth	MB Depth	delta
2	0	2674	126.6313	34.97631	18.493	4.413	-4.083	-1.33434	-2.74866
3	1	2675	126.6313	34.97632	18.506	4.306	-3.963	-1.19582	-2.76718
4	2	2676	126.6312	34.97633	18.494	4.084	-3.753	-1.0634	-2.6896
5	3	2677	126.6312	34.97634	18.476	3.856	-3.543	-0.979376	-2.56362
6	4	2678	126.6312	34.97635	18.473	3.773	-3.463	-0.915107	-2.54789
7	5	2679	126.6312	34.97636	18.467	3.707	-3.403	-0.860036	-2.54296
8	6	2680	126.6312	34.97637	18.481	3.601	-3.283	-0.824466	-2.45853
9	7	2681	126.6312	34.97638	18.492	3.562	-3.233	-0.784265	-2.44874
10	8	2682	126.6312	34.97639	18.507	3.517	-3.173	-0.738943	-2.43406
11	9	2683	126.6312	34.9764	18.515	3.475	-3.123	-0.664616	-2.45838
12	10	2684	126.6312	34.97642	18.507	3.477	-3.133	-0.618177	-2.51482
13	11	2685	126.6312	34.97643	18.494	3.484	-3.153	-0.528873	-2.62413
14	12	2686	126.6312	34.97645	18.486	3.476	-3.153	-0.536258	-2.621674
15	13	2687	126.6312	34.97646	18.49	3.45	-3.123	-0.491113	-2.63189
16	14	2688	126.6312	34.97647	18.482	3.472	-3.153	-0.486484	-2.66652
17	15	2689	126.6312	34.97649	18.461	3.421	-3.123	-0.436837	-2.68616
18	16	2690	126.6312	34.9765	18.479	3.349	-3.033	-0.402534	-2.63047
19	17	2691	126.6312	34.97652	18.468	3.248	-2.943	-0.39739	-2.54561
20	18	2692	126.6313	34.97653	18.439	3.209	-2.933	-0.349394	-2.58361
21	19	2693	126.6313	34.97655	18.456	3.226	-2.933	-0.398853	-2.53415
22	20	2694	126.6313	34.97656	18.463	3.283	-2.983	-0.39406	-2.59894
23	21	2695	126.6313	34.97657	18.454	3.254	-2.963	-0.39423	-2.56877
24	22	2696	126.6313	34.97659	18.495	3.185	-2.853	-0.358864	-2.49414
25	23	2697	126.6313	34.97661	18.515	3.215	-2.863	-0.341838	-2.52116
26	24	2698	126.6313	34.97662	18.541	3.231	-2.853	-0.344442	-2.50856

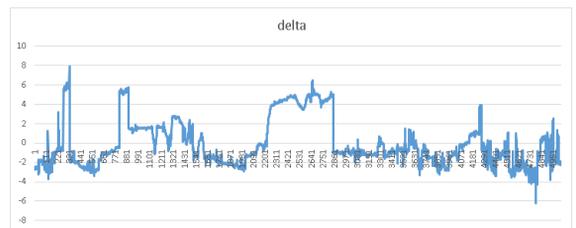


Fig. 16. Deviation of single beam echosounder and multi beam echosounder (Unit : m)

각각의 데이터를 이용하여 TIN을 생성한 결과 하상의 형태

는 서로 유사하였다. Fig. 17은 다중빔 음향측심기의 데이터를 이용하여 제작한 TIN이고 Fig. 18은 단빔 음향측심기의 데이터를 이용하여 제작한 TIN이다. 육안으로 확인했을 때 다중빔 음향측심기의 데이터를 이용하여 제작한 TIN이 단빔 음향측심기의 데이터를 이용하여 제작한 TIN에 비해 하상의 형태가 더 자연스러운 것을 알 수 있다. 또한 하상의 일부 부분에서 높이 차이가 크게 나타났다. 예를 들어 대상지역 중심부 같은 경우, 다중빔 데이터의 TIN은 붉은 계열의 색으로 나타난 부분이 단빔 데이터의 TIN에서는 푸른 계열의 색으로 나타났으며 높이차가 2m 정도인 것으로 나타났다. 이러한 부분이 발생한 이유로는 측정시에 인지하지 못한 측정오차, 데이터 처리 과정에서 발생한 착오 또는 단빔의 측정점이 조밀하지 못하고 자세보정을 하지 않은 이유 등이 있을 수 있으며 이러한 과대오차에 대해서는 추가 연구가 필요한 것으로 판단된다.

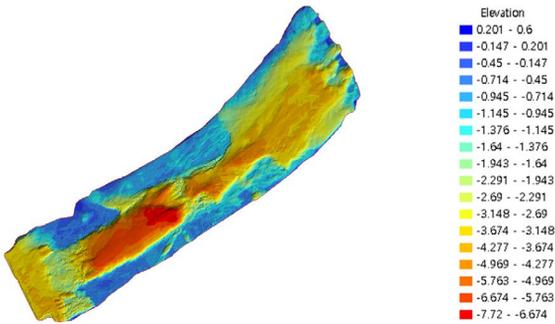


Fig. 17. TIN from multi beam echosounder data

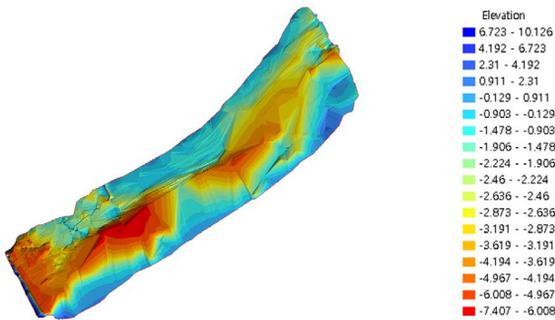


Fig. 18. TIN from single beam echosounder data

다중빔 음향측심기의 데이터로 구현한 하상을 기준으로 단빔 음향측심기의 데이터로 구현한 하상면의 높낮이를 분석하였다. 다중빔 음향측심기의 데이터로 구현한 하상면보다 높은 구역들의 체적은 61,439m³, 낮은 구역들의 체적은 100,442m³로 총 161,882m³의 차이가 발생하였다. Fig. 19의 어두운 부분은 하상면이 높은 부분, 밝은 부분은 하상면이 낮

은 부분을 나타내며 Table 6에서 구체적인 체적을 알 수 있다.

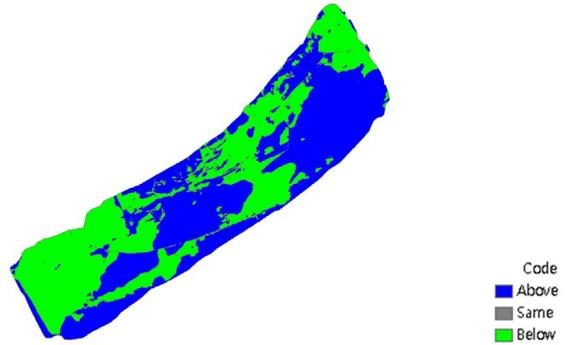


Fig. 19. Surface difference between multi beam echosounder and single beam echosounder

Table 7. Calculation of volume difference

Item	Volume
Sum of below	61439.6759
Sum of above	100442.7184
Sum all	161882.3943

3.3 적용성 분석

(1) 운항 정보 분석

단빔 음향측심기를 장착하고 운항한 거리는 8,352.79m로서 중단 운항이 4회, 횡단 운항이 12회였고, 다중빔 음향측심기를 장착하고 운항한 거리는 12,948.64m로서 중단 운항이 6회, 횡단 운항이 25회였으며 이는 다중빔 운항거리의 증가로 나타나서 단빔 음향측심기를 장착했을 때에 비해 4,595.85m를 더 운항하였으며, 운항거리가 55% 정도 증가하였다. Table 8은 운항 거리를 표로 나타낸 내용이다.

Table 8. Comparison of sailing distance

	Single beam echosounder	Multi beam echosounder	Increase and decrease
Sailing distances	8,352.79m	12,948.64m	4,595.85m (55%) increase

(2) 작업절차 및 투입인력 분석

무인선을 이용한 자동수심측량 특성상 단빔 음향측심기와 다중빔 음향측심기를 이용한 작업 절차 및 투입인력에는 큰 차이가 없었다. 본 연구의 선행연구에서 개발한 프로그램을 이용하여 대상지역의 수치지형도를 불러오고 그 위에 운항

계획선을 그린 다음 좌표 추출 기능을 수행하면 운항 계획선의 좌표를 무인선의 데이터 처리 프로그램이 자동으로 속도와 방향을 조절하며 Fig. 20와 같다. 다만 다중빔 음향측심기를 운용할 때는 모니터링할 데이터가 많아서 인원이 1인 추가 되었으며 Table 9와 같다.

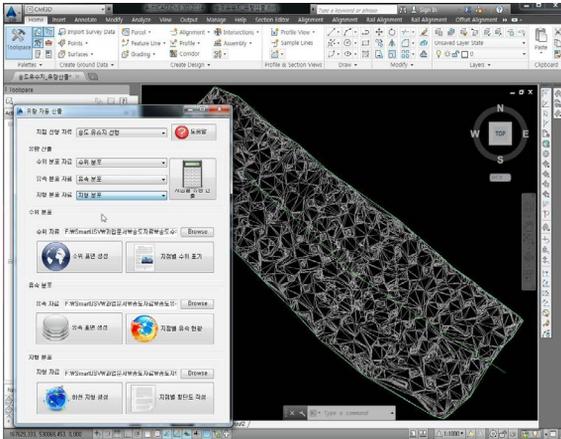


Fig. 20. Auto sailing program

Table 9. Comparison of work process and worker

Work process	Worker	
	Single beam echosounder	Multi beam echosounder
Work plan	1	1
Determination of line spacing and boat speed	1	1
Test measuring	1	1
Bar check and sound correction	3	3
Offset setting	2	2
Data acquisition	2	3
Data filtering using HYPACK	1	1
TIN Production using ArcGIS	1	1
Data comparison and analysis	2	2

(3) 시간 및 비용 분석

작업계획 수립, 운항 속도 및 측선 간격 설정, 장비 설치 등 사전 작업 시간에는 큰 차이가 없었으며 무인선 운항, 데이터

필터링 및 분석에는 시간 및 비용에 차이가 발생하였다. 옵션 값 입력의 경우 단빔은 컨트롤러에 버튼을 눌러 입력하고 다중빔은 소프트웨어에 입력하기 때문에 오히려 다중빔의 작업 편의성이 높았다. 작업 시간 및 비용은 Table 10과 같다.

Table 10. Comparison of working time and cost

Work process	Worker			
	Single beam echosounder		Multi beam echosounder	
	Working time (Min.)	Cost (Won)	Working time (Min.)	Cost (Won)
Work plan	40min.			
Determination of line spacing and boat speed	20min.			
Test measuring	30min.			
Bar check and sound correction				
Offset setting				
Data acquisition				
Data filtering using HYPACK				
TIN Production using ArcGIS				
Data comparison and analysis				

Table 11. Worker and cost

Worker(Person)	2	2
Gasoline(ℓ)	1.52	2.28
Cost(Won)	2,280	3,420

운항 시간은 단빔 음향측심기를 장착했을 때 2시간 5분, 다중빔 음향측심기를 장착했을 때 3시간 4분이 소요되어 다중빔 음향측심기를 장착했을 때 59분 더 운항하였으며, 운항 시간은 47% 정도 증가하였다. 최대한 하상면 전체를 스캔하도록 운항계획을 수립했기 때문에 운항 시간 및 거리가 증가하였다.

Table 12.

	Installed single beam echosounder	Installed multi beam echosounder	Increase and decrease
Sailing times	2hr 5min	3hr 4min	59min.(47%) increase

4. 결론

동일 지역을 대상으로 무인선에 단빔 음향측심기와 다중빔 음향측심기를 장착하여 하상공간데이터를 획득, 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 수심의 오차는 평균 0.0319m로서 전체적으로는 큰 차이가 없었으나 수심의 편차가 큰 부분이 다수 있음을 알 수 있었다. 둘째, 다중빔 음향측심기의 데이터로 구현한 하상과 단빔 음향측심기의 데이터로 구현한 하상을 비교하였을 때 하상의 부피는 161,882m³의 차이가 있었다. 이는 단빔 음향측심기로 획득한 데이터가 조밀하지 못했기 때문에 발생한 것으로 판단된다. 셋째, 수면적 0.16km²의 하상면 전체를 다중빔 음향측심기로 스캔하는 방법이 단빔 음향측심기로 측량하는 방법에 비해 운항 거리는 약 55% 정도인 4,595.85m, 운항 시간은 47% 정도인 59분이 증가함을 알 수 있었다. 넷째, 다중빔 음향측심기를 이용한 방법이 단빔 음향측심기를 이용한 방법에 비해 작업 공정, 투입인원 및 소요 비용에는 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 이는 무인선을 이용한 자동운항기능이 큰 역할을 한 것으로 판단된다.

대상지역에 대한 운항 시간 및 운항 거리 측면에서 다중빔 음향측심기를 장착하고 대상지역 하상면 전체를 스캔했을 때의 작업 효율이 단빔 음향측심기를 장착하고 측량했을 때의 작업 효율보다 0.5배 정도 낮은 것으로 나타났다. 향후 내수면에서 다중빔 음향측심기 적용의 효율성 및 정확도를 높이기 위한 방법, 하상면의 데이터를 최대한 정밀하게 획득하여 현실에 가까운 3차원 지형으로 재구성하는 방법 등에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 국토교통부 국토교통기술사업화지원 사업의 연구비 지원(18TBIP-C126572-02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- Choi, B.G. and Cho, K.H. (2008), Development of remote control ship for acquisition of underwater information, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 16, No. 3, pp. 65-69. (in Korean with English abstract)
- Choi, C.E., Kim, Y.S., and Suh, Y.C. (2005), Improvement of multi-beam echo sounder's depth accuracy, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 23, No. 1, pp. 1-8. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.Y., Lee, G.S., Kim, D.C., Seo, Y.K., and Yi, H.I. (2011), CUBE filtering of multibeam echo sounder data, *Journal of the Korean Society of Fisheries*, Vol. 44, No. 3, pp. 308-317. (in Korean with English abstract)
- 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*, Vol. 34, No. 4, pp. 560-566. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.M., Han, H.S., Han, H.C., Kong, K.S., and Seo, Y.K. (2010), A study on topographic features of Yeongil bay using multibeam data, *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 2010, No. 4, pp. 379-383. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.S., Kim, S.Y., Lee, Y.K., Shin, D.W., Kim, H.J., and Jou, H.T. (2001), A study on outlier adjustment for multibeam echosounder data, *Journal of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 6, No. 1, pp. 35-39. (in Korean with English abstract)
- Lee, M.H., Kim, C.H., Park, C.H., Rho, H.S., and Kim, D.C. (2017), Comparative analysis of bathymetry in the Dongdo and the Seodo, Dokdo using multibeam echosounder system, *Journal of the Korean Society of Economic and Environmental Geology*, Vol. 50, No. 6, pp. 477-486. (in Korean with English abstract)
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2016), Korea Annual Hydrological Report, *Han River Flood Control Office*, <http://www.hrfco.go.kr/web/sumun/floodgate.do> (1st date accessed: 03 July 2018)
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2018a),

River Act

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2018a),

Enforcement Decree of the River Act

Roh, J.S., Choi, Y.S., Yoon, H.S., and Lee, Y.J. (2009),

Establishment error calibration method on MBES, *The Journal of GIS Association of Korea*, Vol. 17, No. 3, pp.

351-359.(in Korean with English abstract)

Son, W.J., Choi, J.W., Cho, S.H., and Jung, S.K. (2015),

Measurements of monostatic bottom backscattering strengths in shallow water of the Yellow Sea, *Journal of the Acoustical Society of Korea*, Vol. 34, No. 6, pp. 444-

454. (in Korean with English abstract)