

항공 Lidar와 멀티빔 음향측심 자료를 이용한 해상과 육상의 통합 지형공간정보 구축

이재원¹ · 최혜원^{1*} · 윤부열² · 박치영¹

Integrated Geospatial Information Construction of Ocean and Terrain Using Multibeam Echo Sounder Data and Airborne Lidar Data

Jae-One LEE¹ · Hye-Won CHOI^{1*} · Bu-Yeol YUN² · Chi-Young PARK¹

요 약

최근 국내외적으로 육상과 해상에 대한 3차원 지리정보의 연계 활용이 가능한 통합시스템 구축을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 육상에 대한 3차원 지리정보구축 작업은 항공 Lidar의 도입으로 인하여 높은 정확도로 넓은 지역의 위치정보 획득이 용이해짐에 따라 3차원 지형모델링에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다. 또한 해상분야에서도 관련기관들이 해양지리정보체계(MGIS : Marine Geographic Information System) 구축과 활용을 위한 연안해역에 대한 각종 해양정보를 조사 및 측량하고 있다. 그러나 아직까지 육상과 해상에 대한 통합 지리정보시스템을 구축하기에는 육상과 해상의 좌표계와 기준면 등이 일치하지 않아 많은 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 항공 Lidar 자료와 멀티빔 음향측심(Multibeam Echo Sounder) 자료를 이용하여 육상과 해상에 대한 좌표계와 기준면을 일치시킨 후 통합 지형도를 제작하여 통합 지형공간정보를 구축하였다. 통합 지형공간정보 데이터에 대한 정확도 검증을 위하여 임의의 지점 10곳을 선정하여 분석한 결과 수심에 대한 RMSE가 0.46m로 IHO(국제수로기준 : International Hydrographic Organization)에서 규정하는 수심정확도 0.5m에 만족함을 알 수 있었다.

주요어 : Lidar, 멀티빔 음향측심, 좌표계, 기준계, 국제수로기구

ABSTRACT

Several studies have been performed globally on the construction of integrated systems that are available for the integrated use of 3D geographic information on terrain and oceans. Research on 3D geographic modeling is also facilitated by the

2014년 8월 22일 접수 Received on August 22, 2014 / 2014년 10월 1일 수정 Revised on October 1, 2014 / 2014년 11월 10일 심사완료 Accepted on November 10, 2014

1 동아대학교 토목공학과 Department of Civil Engineering, Donga University

2 창신대학교 건설플랜트 공학과 Department of Civil & Plant Engineering, Changshin University

* Corresponding Author E-mail : blueye0508@nate.com

application of Lidar surveying, which enables the highly accurate realization of 3D geographic information for a wide area of land. In addition, a few marine research organizations have been conducting investigations and surveying diverse ocean information for building and applying MGIS(Marine Geographic Information System). However, the construction of integrated geographic information systems for both terrain and oceans has certain limitations resulting from the inconsistency in reference systems and datum levels between two data. Therefore, in this investigation, integrated geospatial information has been realized by using a combined topographical map, after matching the reference systems and datum levels by integration of airborne Lidar data and multi-beam echo sounder data. To verify the accuracy of the integrated geospatial information data, ten randomly selected samples from study areas were selected and analyzed. The results show that the 10 analyzed data samples have an RMSE of 0.46m, which meets the IHO standard(0.5m) for depth accuracy of hydrographic surveys.

KEYWORDS : Lidar, Multibeam Echo Sounder, Reference System, Datum Level, IHO

서론

현재 우리나라는 해양지리정보 구축에 대한 관심이 증가됨에 따라 2000년에 시작된 해양지리정보체계구축사업을 추진 중에 있으며, 정부차원의 일원화된 지리정보 구축을 위해 다양한 방법론이 논의 중에 있다. 해양지리정보체계는 사이버 해양 국토건설을 기본으로 전자해도 뿐만 아니라 해양조사자료 관리시스템, 해양과학정보시스템, 연안관리정보 시스템 등 다양한 부가사업 분야에서 상당한 발전과 실적을 나타내고 있다(Choi, 2009). 해양지리정보체계 추진과 함께 3차원 좌표를 획득하는 측위 시스템 기술개발에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 3차원 좌표를 획득하는 대표적인 측위시스템인 멀티빔 음향측심 시스템은 고정밀 해저지형정보와 수중구조물 등 다양한 지구물리학적 특성을 관측할 수 있다. 또한 지구 물리학적 특성 정보를 상세하게 파악하고 취득하기 위하여 주파수 특성을 가지는 음파를 생성하여 수중에 발사하고, 반향된 음파의 지체시간과 강도를 이용하여 수면까지의 깊이나 상태를 계측한다.

Park(2004)은 멀티빔 음향소해탐사시스템으

로 취득된 자료에 대해서 오차분석 및 데이터 처리기술을 연구하였고, Kim(2005)은 단일빔(Beam)과 멀티빔을 적용하여 연안측량 정확도 개선방안에 대한 연구를 수행하였다. Kim *et al.*(2010)은 멀티빔 수심자료를 이용하여 해저지형을 모델링하였다. 또한 Lee *et al.*(2010)은 멀티빔 자료를 이용하여 해저지형의 특성을 연구하였고, Park *et al.*(2011)은 멀티빔 음향측심기의 기울임 시스템을 이용하여 장애물이나 각도의 한계로 발생하는 미측 구역을 축소하고자하는 연구를 수행하였다. 이러한 해양지리정보체계의 추진에 있어, 해양탐측은 멀티빔 음향측심 시스템으로 수행되며, 연안 해역의 경우는, 비접촉식 Lidar 시스템을 통해 구현된다. Lidar 시스템은 1개의 화소에 대응하는 센서가 받아들이는 각도인 IFOV(Instantaneous Field Of View)를 매우 작은 값으로 갖는 강력한 레이저 펄스로 지표면에 주사하고 반사되어 돌아온 레이저 펄스의 도달시간을 측정하여 지표면의 지형정보를 획득하는 시스템이다. 대체로 항공기에 탑재하여 자료를 획득하기 때문에 ALS로 명명되기도 한다(Shin, 2007). ALS는 지형자료를 취득하기 위하여 항공기에 GPS, INS(Inertial Navigation System), 레이저 스

캐너를 탑재하고 결합을 통해서 시스템이 구성된다. GPS가 항공기의 위치, INS가 항공기 자세, 레이저 스캐너가 센서와 지표면과의 거리를 측정하여 지표면 상의 표고점에 대한 3차원 X, Y, Z 좌표를 결정하는 것이 Lidar의 위치결정의 기본원리이다(Jang, 2006). 능동적인 센서인 Lidar는 야간에도 촬영이 가능하며 기상, 태양각, 지상기준점 측량 작업이 어려운 해안, 습지측량과 그림자에 의해 방해 받는 산림과 같은 환경적인 조건에 덜 민감하다. 또한 넓은 지역에 대한 정밀한 표고데이터의 구축에 매우 적합하며, 자료처리 시간이 비교적 빠르다는 특징을 가지고 있다(Yoon, 2007).

해상과 육상의 취득데이터를 통합하기 위해서 Kim(2008)은 Lidar와 RTK-GPS 결합 연구를 통해 연안지형측량의 활용성에 대해서 연구하였고, Choung(2012)은 Lidar자료와 항공사진을 활용하여 3차원 하천 경계선을 매핑하는 방법을 개발하였다. Yi(2010)은 위성영상과 Lidar를 활용하여 육상과 해상을 연결하는 중요한 자연생태학적 지형인 습지지도 제작하였다. 또한 Moyles *et al.*(2005)가 ALB (Airborne Lidar Bathymetry)와 멀티빔을 통합하여 Alaska 해도를 작성하는데 활용하였으며, Costa *et al.*(2009)는 해안모니터링에서 Lidar와 멀티빔을 비교 분석하였다. 국내에서는 Kwon(2008)

이 ALS(airborne laser scanning)와 멀티빔 음향측심 시스템을 결합하여 하천지역 DEM (digital elevation model) 구축에 관한 연구를 수행하였다. Lim *et al.*(2008)은 지상Lidar와 멀티빔 측량을 이용하여 만리포 정밀 지형도를 작성하였다. 하지만 최근 이슈가 되는 육상과 해상의 통합·체계적 관리 시스템 구축에 관한 연구는 아직 미진한 상태이다. 이에 본 연구에서는 해상에서 고정밀 3차원 측량이 용이한 해양탐사장비인 멀티빔 음향측심기와 육상의 3차원 정밀 표고측정이 가능한 항공 Lidar 시스템 데이터를 각각 보정하고 결합하여 육상과 해양의 통합 표현이 가능한 3차원 지형모델을 제작하였다. 이들의 정확도를 분석하여 육상과 해양의 경계에 대한 공간정보구축 및 활용 가능성을 검토하고자 한다.

연구방법 및 자료 취득

1. 연구대상지 및 연구방법

육상 및 해상의 지형변화를 쉽게 확인하며, 다양하게 추출할 수 있는 부산지역 생도 부근을 실험 대상의 위치로 선정하였다. 실험대상지를 중심으로 충분한 데이터 취득이 가능한 측선계획과 자료검토를 통해 Lidar와 멀티빔 음향측심 측량을 수행하였으며, 다중 센서의 결합으로 이



FIGURE 1. Study area

루어진 두 시스템의 특징을 고려하여 장비의 정렬상태 및 캘리브레이션을 앞서 수행하였다. 그림 1은 연구 대상지를 나타낸 것이다.

취득된 데이터의 경우 현장의 상황을 고려하여 최적의 결과가 도출될 수 있도록 자료처리를 하였으며, 조사 당시의 조석을 보정하여 최종 기준면에 대한 높이 값을 산정하였다. 이를 기반으로 최종 결과를 분석하였고, 서로 다른 두 시스템이 가지는 좌표계 및 기준면을 통일시키기 위해 ArcView 3.3 소프트웨어를 이용하여 해상좌표계를 기준으로 좌표변환을 수행하였으며, 육상측량과 해상측량의 자료가 중첩되는 10곳을 임의로 선정하여 정확도 분석을 수행하고 통합 3차원 지형도를 제작하였다.

전체 연구흐름은 크게 세 부분으로 나누어 구성하였다. 첫째는 멀티빔 음향측심 데이터를 획득, 보정하여 해저지형 자료를 구현하였고, 둘째는 항공 Lidar 데이터를 획득하여 검정과정을 거친 후 DEM 자료를 구현하였다. 마지막으로 항공 Lidar로 구현된 데이터의 좌표 및 기준면 변환을 실시하고 구현된 해저지형과 접합하여 3차원 지형정보를 구축하였다.

2. 자료취득

해상측량의 경우 최대한 전체 연구대상지역의 관측이 가능하도록 하기 위하여 2009년 5월 30일 수심형태를 고려하고 계획측선을 작성하여 측정하였다. 해상상태는 파고 1m이하의

정온한 상태에서 측량을 실시하였다. 해상측량에 사용된 멀티빔 음향측심기는 최대 200m 수심을 측정하고 254개의 빔을 송수신할 수 있는 Simrad 사의 EM3002를 사용하였다.

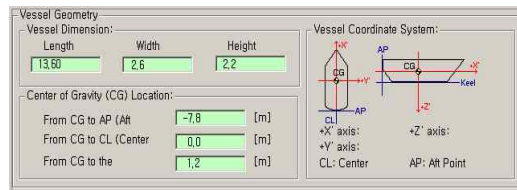


FIGURE 2. Inputed values for ship's geometry into the Seapath 200

그림 2와 같이 거리기준점(CRP : Central Reference Point)을 선박의 무게중심으로 지정하였고 선미의 AP(Aft Point)점에서 CG(Center of Gravity)까지의 거리는 7.8m였으며, 선박의 바닥인 Keel에서 CG까지의 거리는 1.2m로 Seapath 200 환경설정 프로그램으로 보정하여 사용하였다. 또한 장비의 검교정은 장비설치의 기하학적 배치상태확인과 현장 캘리브레이션으로 수행하였다. 기하학적 배치상태의 경우 장비 간 이동되는 센서의 간격을 motion Sensor 중심으로부터 측정하였으며, 현장 캘리브레이션은 연구대상지 부근의 25m~30m 수심을 가진 독립암초가 있는 지역과 평지에서 Heading, Roll, Pitch, Time Latency와 같은 선박움직임을 보정하고자 실시하였다. 본 연구

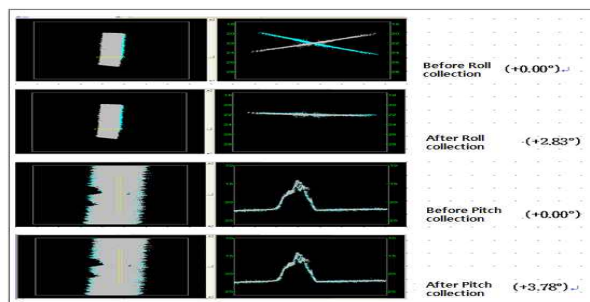


FIGURE 3. Comparison between before and after calibration

TABLE 1. Details of airborne laser scanning

Description		Specification
Lidar survey parameters	Scanning rate	100 Hz
	Scan angle	$\pm 13.6(27.2)^\circ$
	Scan width	600 m
	Scan frequency	53 Hz
	No. of reflectances	4 EA
Flight parameters	Point density	5.12 pts/m^2
	Terrain height	40 m
	Flying height	1,290 m
	Ground speed	234 km/h
	Course space	240 m
	Course overlap	53%

에서 수행한 검교정 결과비교를 그림 3에 나타내었다. 센서 옵셋 및 검교정 후 취득된 멀티빔 자료는 WGS84 타원체를 기준으로 한 UTM 평면직각좌표로 저장되어 나타난다.

육상측량의 경우 항공 Lidar를 사용하였으며, 항공 Lidar 자료는 수평정확도($1/11,000$) \times 비행고도, 수직정확도 5~10cm로 최대 167Hz의 레이저를 주사할 수 있는 Optech 사의 ALTM Gemini 레이저 스캐너를 사용하였다. 비행고도 약 1,290m, 53% 중복도로 스캔하였으며, 멀티빔 음향측심기와 마찬가지로 항공기에 장비를 설치한 후 IMU를 기준으로 센서들간의 옵셋을 설정하고 보정하였다. 표 1은 Lidar측량 제원과

비행제원을 나타내었다.

또한 건물 및 일정한 지반고를 가진 공주지역 일원과 천안지역 일원에서 캘리브레이션 비행을 실시하였다. 항공 Lidar 캘리브레이션 결과 레이저 포인트의 정확도는 최대 $\pm 0.187\text{m}$ 로 항공 레이저측량 작업규정 $\pm 0.25\text{m}$ 이내 이므로 적합하다고 판단하여 본 연구에 적용하였다.

표 2는 캘리브레이션 비행 결과 정확도를 나타내었다. 센서 옵셋과 캘리브레이션 비행 후 보정되어 측량한 자료는 GRS80 타원체를 기준으로 한 TM 평면직각좌표로 저장되며, 투영원점은 동부원점을 사용하였다. 또한 두 자료의 경계부분을 위하여 해상데이터의 경우 만조 시,

TABLE 2. Accuracy results of calibration flight

Altitude (m)	PRF (kHz)	Scan angle	Scan frequency (Hz)	Average error (m)	RMSE (m)	Accuracy (m 1 σ)	Specification (m 1 σ)
1,000	70	5	35	-	-	± 0.006	± 0.18
1,000	70	0	0	-	-	± 0.02	± 0.18
1,026	33	20	40	-0.031	0.049	± 0.036	± 0.10
1,029	50	20	40	0.026	0.173	± 0.050	± 0.10
1,034	70	20	40	0.016	0.134	± 0.040	± 0.15
1,063	100	20	40	0.034	0.111	± 0.068	± 0.15
1,039	125	20	40	0.113	0.190	± 0.113	± 0.15
1,465	142	20	40	0.177	0.354	± 0.270	NA
1,255	167	20	40	0.158	0.398	± 0.336	NA
2,015	33	20	40	-0.053	0.150	± 0.111	± 0.15
2,017	50	20	40	-0.004	0.110	± 0.070	± 0.15
1,970	70	10	40	-0.070	0.085	± 0.091	± 0.20
1,966	100	10	40	-0.133	0.216	± 0.187	± 0.20

육상데이터는 간조 시에 취득하였다.

자료처리 및 분석

1. 해상자료처리

해상의 자료처리는 오측자료제거와 환경 보정작업을 위한 필터링과 수정(editing) 작업을 각각 수행하기 위하여 CARIS HIPS & SIPS라 명명되는 소프트웨어를 이용하여 처리하였다. 멀티빔 음속보정은 SVP(Sound Velocity Profile)를 이용하여 측량 시작 전, 후 그리고 음속의 변화가 의심될 때(2시간에 1번) 측정하여 보정하는데 사용하였다. 정밀수심측량의 중요 변수인 조석자료는 해당구역 내 위치한 부산항 조위 검조소 자료와 비교를 통해 보정하였고, 이후 CARIS의 입력형식에 맞도록 *.tid 형식으로 변환하여 그림 4와 같이 반영하였다.

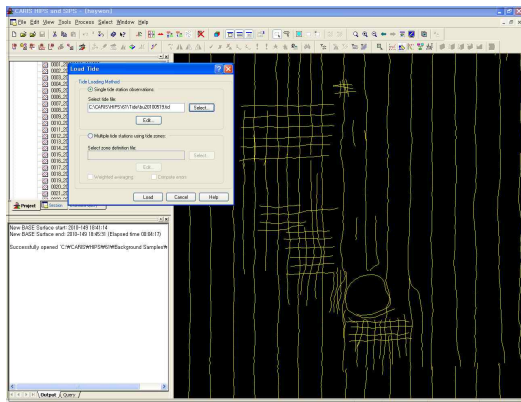


FIGURE 4. Tide correction of multibeam data

또한 Roll, Pitch, Heading, Time Latency 관측 시 발생한 순간적 에러와 Poor, Low, Bad Quality 등에 따른 오측심 자료를 보정 또는 제거하기 위하여 자동 및 수동으로 제거하는 툴을 사용하였다. 이때 Depth 필터링을 사용하여 수심범위 30m 이상의 자료를 오측심 자료로 선정하고 그림 5와 같이 라인기반의 Swath 오차를 제거한 후 그림 6과 같이 공간

기반의 Subset 오차를 순차적으로 제거하였다.

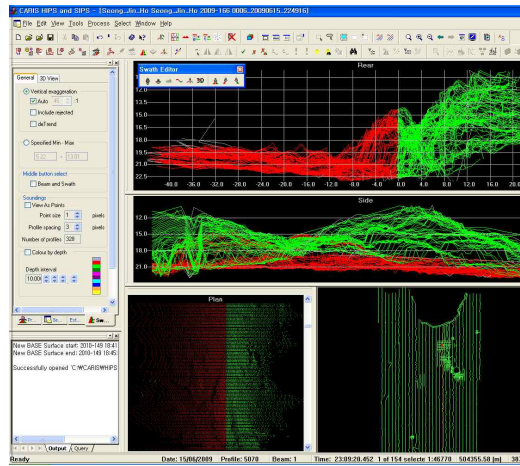


FIGURE 5. Processing of swath edit

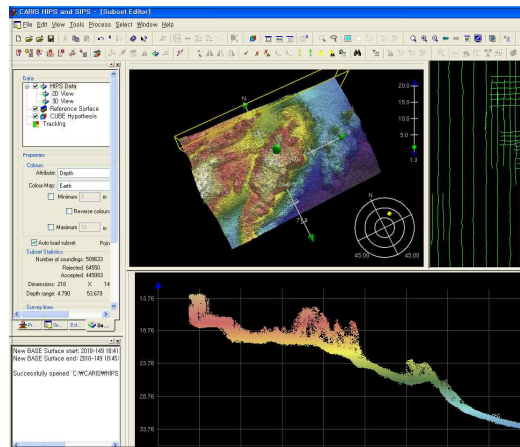


FIGURE 6. Processing of subset edit

2. 육상자료처리

항공 Lidar 측량 작업규정(국토지리정보원 내규 168호, 2009. 01. 19)에 따라 코스검사, 기준점 원시자료검사등과 같은 점검 및 보정 작업 후 이들 분석치를 기반으로 DEM을 제작하였다. 인접하는 두 코스의 중복되는 코스 검사점을 23점 선정하여 표고 차이의 RMSE를 계산하였다. 그 결과 RMSE 0.13m로 경계 한

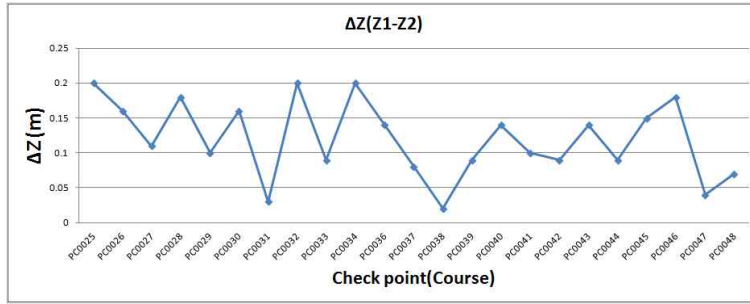


FIGURE 7. Height differences at check points in course

계치 25cm를 만족하였다. 그림 7은 코스 검사 점의 표고차를 나타내었다.

또한 3차원 좌표로 조정하기 위하여 11개의 기준점을 사용하였고 RMSE를 구한결과 RMSE 0.09m로 한계 분석치 25cm를 만족하였다. 원시 자료의 점검 및 조정과정을 거친 후 Terrasolid 소프트웨어를 이용하여 Block을 형성하고 분류하였다. 분류된 데이터를 무작위로 분포된 점군으로부터 TIN Surface 모델을 작성하여 격자 1m의 DEM을 생성하였다. 이때 DEM 데이터는 ASCII 파일로 제작되었다.

3. 해상과 육상자료의 접합

각기 다른 측지계를 기반으로 분석된 해상과 육상자료를 좌표계와 기준계를 하나로 통일시킨 후 결합을 실시하였다. GRS80의 TM좌표를 사용하는 Lidar 데이터를 ArcView 3.3을 사용하여 다중빔 데이터와 같은 UTM 좌표계로 변환하였다. 상용화된 좌표변환 프로그램이 여러 종류가 있으나 이 프로그램들은 각각의 point별로 좌표변환을 하므로 대용량의 점군자료를 일시에 변환시키기에는 한계가 있다. 따라서 본

연구에서는 대용량의 Lidar 데이터를 일시에 변환이 가능한 ArcView 3.3프로그램을 적용하여 변환을 실시하였다. ArcView 3.3을 사용하기에 앞서 Sample point를 선정하여 NGL_pro와 ArcView를 각각 사용하여 좌표변환 후 비교한 결과 표 3과 같이 약 20cm의 일정한 양상으로 오차가 발생되었으나, 본 연구에서 실시하는 3차원 모델링에 대한 한계정확도 범위를 초과하지 않아 본 연구에 적용하기로 판단하였다.

또한 DL(Datum Level : 기본수준면)을 기준준면으로 하는 다중 빔 데이터에 맞추어 Lidar 데이터의 표고값을 MSL(Mean Sea Level : 평균해수면)에서 DL로 변환하였다. Lidar의 특성상 수면을 통과하지 못하므로 연구지역의 항공 Lidar 데이터 중 육상부분 이외의 해상부분을 제거하고 다중 빔 데이터를 Terrascan을 이용하여 결합을 하였다. 이를 3차원 영상으로 도시화하기 위하여 Cell size를 3m로 격자화 하고 3D로 영상화하는 프로그램인 Fledermaus를 사용하여 DTM을 생성하였다.

그림 8은 Terrascan을 이용하여 해상자료와 육상자료를 결합한 결과이며, 그림 9는 결합한

TABLE 3. Comparison of coordinates transformation by NGL_pro and ArcView (unit: m)

	NGL_pro		ArcView		dE	dN (m)
	E(X)	N(Y)	E(X)	N(Y)		
1	508369.5908	3876842.9900	508369.5908	3876842.7901	0	0.19990
2	508568.5212	3876843.0400	508568.5212	3876842.8401	0	0.19992
3	508569.1210	3876660.0632	508569.1210	3876659.8633	0	0.19990
4	508369.4709	3876659.8833	508369.4709	3876659.6834	0	0.19993

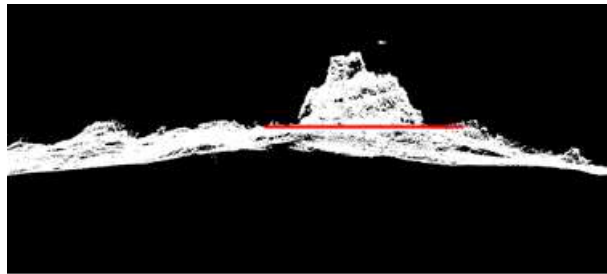


FIGURE 8. Merging of multibeam and Lidar data

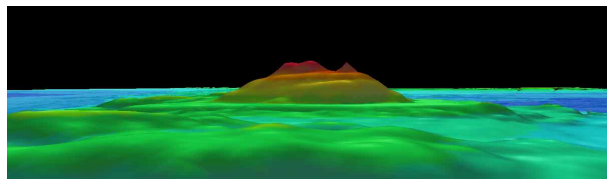


FIGURE 9. Merged 3D data

데이터를 Fledermaus로 3차원 도시화한 영상이다.

4. 정확도 분석

두 가지의 다른 측위시스템을 가진 데이터의 결합에 대한 정확도를 검증하기 위하여 표 4와 같이 임의의 지점 10곳을 선정하였다. 최고고조위에 취득된 해상데이터와 최저수위에 취득된 육상데이터가 겹쳐지는 곳을 검사점으로 선

정하고 이 둘의 차이를 비교하였다. 임의로 선정한 지점 10곳에서 $1m^2$ 안에 들어오는 해상데이터와 육상데이터를 각각 분리, 추출하여 좌표값으로 나타내었다. 이렇게 추출된 데이터는 불균일 점군이므로 개수가 동일하지 않았다.

그림 10은 다중빔과 Lidar를 결합한 point 데이터와 임의로 선정한 지점의 point를 나타내었다. 사각형에 있는 point는 Lidar데이터이며, 원안에 있는 point는 다중빔 데이터이다. Lidar

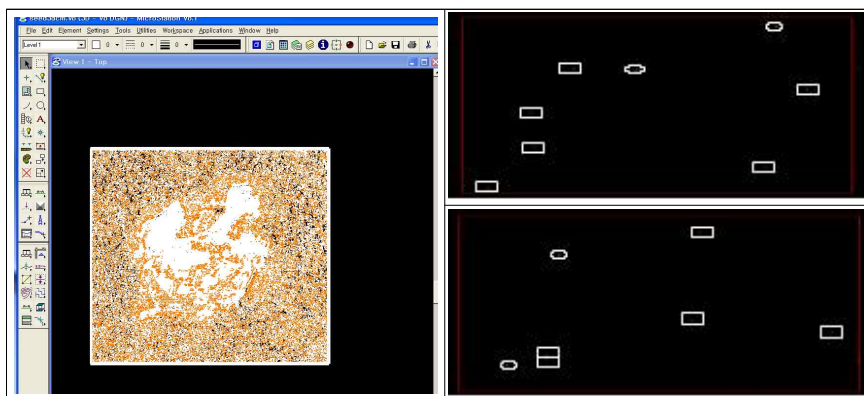


FIGURE 10. Point data in combination with Beam and Lidar data(left), and check points in randomly selected areas(right)

TABLE 4. Differences at check points between MSL(Lidar) and DL(Multibeam) (unit: m)

	Lidar(z1)	Multibeam(z2)	(z1-z2)
1	-9.14	-9.73	0.58
2	-9.15	-9.63	0.49
3	-9.17	-9.50	0.33
4	-9.40	-10.98	1.58
5	-8.55	-9.53	0.98
6	-9.32	-10.31	0.98
7	-9.53	-10.52	0.99
8	-9.26	-10.77	1.50
9	-9.11	-9.63	0.52
10	-9.26	-10.12	0.86
	RMSE		0.96

TABLE 5. Differences at check point between Lidar and multibeam echo sounder data (unit: m)

Check no.	Lidar			Multibeam			Dh
	E	N	H1	E	N	H2	
1	508492.94	3877245.96	-9.79	508492.57	3877245.82	-9.73	-0.06
2	508546.19	3877114.61	-9.79	508486.30	3877114.77	-9.63	-0.15
3	508405.51	3877109.75	-9.82	508405.47	3877109.76	-9.50	-0.31
4	508392.82	3877122.57	-10.04	508392.71	3877122.45	-10.98	0.94
5	508384.86	3877185.80	-9.19	508384.93	3877185.84	-9.53	0.34
6	508458.75	3877241.95	-9.97	508458.56	3877242.07	-10.31	0.34
7	508460.35	3877237.50	-10.17	508460.41	3877237.53	-10.52	-0.35
8	508520.22	3877211.27	-9.91	508520.45	3877211.73	-10.77	-0.86
9	508486.39	3877114.70	-9.75	508486.30	3877114.77	-9.63	0.12
10	508393.99	3877120.41	-9.90	508393.67	3877120.47	-10.12	-0.22
			RMSE				0.46

표고값을 DL값으로 변환하기 이전에 MSL값과 DL값의 차이를 계산한 결과 표 4와 같이 표준편차의 크기가 0.967m로 매우 크게 발생되었다.

이에 표고값을 DL로 변환하고 이 좌표값들을 지점별로 평균하여 비교 분석한 결과 표 5와 같이 RMSE 0.46m로 나타났다. 이 결과값에 대한 오차한계와 요구정확도 등에 대한 판단은 현재 국내에서 육상과 해상 데이터의 접합에 대한 관련 규정이 없는 관계로 해상분야의 국제적인 기준이 되는 IHO (International Hydrographic Organization)의 수심측량의 정확도(S-44)를 참조로 판단하였다.

즉, 표 5의 결과값은 IHO에서 규정하고 있는 수심 측량의 등급별 정확도 중 1등급 수심정확도 0.5m에 만족함을 알 수 있다.

결론

본 연구에서는 서로 다른 기준좌표계를 가진 항공 Lidar와 멀티빔 음향측심기의 데이터 처리를 통해 통합 3차원 지형모델을 구축하였다. 그 과정으로 항공 Lidar와 멀티빔 음향측심 데이터를 접합하기 위하여 항공 Lidar 데이터의 좌표변환 및 기준면 변환을 수행하였다. 통합 구축된 지형모델의 정확도를 확인하기 위하여 접합부분의 검사점을 추출하여 분석한 결과 다

음과 같은 결론을 도출하였다.

다른 기준면을 가지고 있는 해상데이터와 육상데이터의 표고를 변환하지 않고 비교한 결과 RMSE가 0.967m로 매우 크게 발생되었다. 이에 비해 육상 데이터 기준면인 MSL을 해상 데이터 기준면인 DL로 변환하고, 이 좌표 값들을 지점별로 평균하여 비교 분석한 결과 RMSE 0.46m로 IHO의 수심측량의 정확도에 만족함을 알 수 있었다. 따라서 좌표변환 시 기준면을 일치 시키므로 인하여 요구정확도에 부합하는 3차원 지형모델을 구축할 수 있음을 확인할 수 있었다.

두 측위시스템으로 구축된 3차원 지형모델의 표고 정확도는 RMSE 0.46m였으며, 멀티빔 음향측심 데이터를 기준으로 Lidar 데이터를 좌표변환 하여 수심측량의 작업규정인 IHO 등급 기준과 비교한 결과 1등급 기준인 0.5m에 부합하여 만족하는 것을 알 수 있었다. 또한 항공 레이저측량 작업규정 제 44조 수치표고모델의 격자 규격에 따른 수직 위치 정확도에서 1m×1m격자일 때의 한계인 0.5m에 부합하므로 육상의 수치표고모델로 사용이 가능하다.

소형선박 좌초사고의 원인이 되는 간출암은 조석에 의해 나타나므로 해도상에 표기되기 어려우나 해상, 육상의 접합된 3차원 지형모델을 활용하여 간출암의 표기가 가능할 것이며, 해양 안전에 큰 기여를 할 수 있을 것이다. 또한 접합된 3차원 지형모델을 이용하여 향후 태풍이나 쓰나미 등과 같은 자연재해로 인하여 불분명해지고 있는 육상과 해상의 경계에 대해 체계적인 공간정보구축 및 지속적인 관리를 위한 유익한 정보를 제공할 수 있으며, 광범위한 해양현상을 이해하는데 큰 도움이 될 것이다.

본 연구는 공간적으로 국지적인 부분만을 통해 이루어 졌으나 국가기준 및 작업규정을 만족하는 결과를 보이므로 향후 본 연구를 통하여 광범위한 지역의 해상과 육상의 3차원 지형 공간정보 구축에 대한 연구와 두 데이터를 상호 보정하여 공간정보를 구축하여 정밀도와 정확도를 향상시키기 위한 연구가 지속되어야 할 것이다. 또한 다양한 좌표변환과 접합 시 기준

점을 선정하여 높은 정확도를 구축하기 위한 연구가 뒤따라야 할 것이다. **KAGIS**

REFERENCES

- Choi, H.W. 2009. Construction of 3D geospatial information using multibeam echo sounder data and lidar Data. Master's Thesis, Dong-A University, Korea, pp.1-2 (최혜원. 2009. 멀티빔 음향측심자료와 라이다 자료를 이용한 3차원 지형공간정보 구축. 동아대학교 대학원 석사 학위논문. 1-2쪽).
- Choung, Y.J., H.C. Park and M.H. Jo. 2012. A study on mapping 3-D river boundary using the spatial information datasets. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 15(1):87-98 (정윤재, 박현철, 조명희. 2012. 공간정보를 이용한 3차원 하천 경계선 매핑에 관한 연구. 한국지리정보학회지 15(1):87-98).
- Costa, B.M., T.A. Battista and S.J. Pittman. 2009. Comparative evaluation of airborne LiDAR and ship-based multibeam SoNAR bathymetry and intensity for mapping coral reef ecosystems. Remote Sensing of Environment 113(5):1082-1100.
- Jang, Y.W. 2006. A study for extracting the urban road using the LiDAR data. Master's Thesis, Chungbuk National University, Korea, pp.9-10 (장영운. 2006. LiDAR 자료로부터 도심지역의 도로 추출에 관한 연구. 전북대학교 대학원 석사 학위논문. 9-10쪽).
- Kim, D.S., D.M. Kim and J.K. Park. 2010. Sea-floor topography modeling using multibeam echo sounder data.

- Proceedings of the Korean Society of Civil Engineers Conference. pp.1138-1141 (김두성, 김동문, 박재국. 2010. MBES수심자료를 이용한 해저지형 모델링. 대한토목학회 학술대회논문집. 1138-1141쪽).
- Kim, O.S. 2008. Improving the acquisition method of topographic data for the coastal hazard maps. Master's Thesis, Inha University, Korea, pp.1-68 (김옥수. 2008. 해안침수예상도 제작을 위한 지형자료 취득방법의 개선방안. 인하대학교 대학원 석사학위논문. 1-68쪽).
- Kim, Y.S. 2005. Research on the methods of improving coastal survey accuracy with single beam and multi beam echo sounder. Ph.D. Dissertation, Pukyong National University, Korea, pp.1-135 (김연수. 2005. S & MBES를 이용한 연안측량 정확도 개선 방안연구. 부경대학교 대학원 박사학위논문. 1-135쪽).
- Kwon, O.C. 2008. DEM construction of river area using ALS & MBES. Master's Thesis, University of Seoul. Korea, pp.1-64 (권오철. 2008. ALS와 MBES를 이용한 하천지역 DEM구축. 서울시립대학교 대학원 석사학위논문. 1-64쪽).
- Lee, J.M., H.S. Han, H.C. Han, K.S. Kong and Y.K. Seo. 2010. A study on topographic features of Yeongil Bay using multibeam data. Proceedings of the Korean Society of Marine Engineering Conference. pp.379-383 (이정민, 한혁수, 한현철, 공기수, 서영교. 2010. 다중빔 자료를 이용한 영일만 해저지형 특성 연구. 한국마린엔지니어링학회 학술대회논문집. 379-383쪽).
- Lim, H.S., J.S. Sim, J.A. Kim and I.K. Min. 2008. High-resolution topographical map using LiDAR and multibeam echo sounder, 2008년도 Proceedings of the Korean Society of Civil Engineers Conference. pp.1115-1118 (임학수, 심재설, 김진아, 민인기. 2008. LiDAR측량과 멀티빔 측량을 통한 만리포 정밀지형도 시범작성. 대한토목학회 학술대회논문집. 1115-1118쪽).
- Moyles. D., A. Orthmann, C. Lockhart and J.D. Lage. 2005. Hydrographic mapping by combined operations using bathymetric LiDAR and multibeam echosounder in Alaska. The Hydrographic Society of America 117:17-21.
- Park, Y.S. 2004. Study on error analysis and data processing for multibeam swath sonar system. Ph.D. Dissertation, Inha University, Korea, pp.1-215 (박요섭. 2004. 다중빔음향소해탐사시스템 자료의 오차 분석 및 처리 기술 연구. 인하대학교 대학원 박사학위논문. 1-215쪽).
- Park. Y.S., J.P. Hong and S.K. Kong. 2011. Increasing surveyed area using tilted multibeam echo sounder. Journal of Korean Society of Civil Engineers 31(5):739-747 (박요섭, 홍준표, 공성규. 2011. 멀티빔 음향측심기의 기울임 시스템을 이용한 계측영역 확대. 대한토목학회논문집 31(5):739-747).
- Shin, J.I. 2007. Signal characteristics analysis and normalization of LiDAR intensity data. Master's Thesis, Inha University. Korea, pp.1-6 (신정일. 2007. LiDAR 반사강도 자료의 신호특성 분석 및 정규화. 인하대학교 대학원 석사학위논문. 1-6쪽).
- Yi. G.C., J.W. Lee and Y.S. Kim. 2010. Development of GIS based wetland inventory and its use. Journal of the

Korean Association of Geographic Information Studies 13(1):50-61 (이기철, 이재원, 김용석. 2010. GIS에 기반한 습지목록의 제작과 활용. 한국지리정보학회지 13(1):50-61).

Yoon, H.C. and J.K. Joon. 2007. A study on the construction of 3D GIS by

LiDAR. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 10(2):171-182 (윤희천, 박준규. 2007. LiDAR에 의한 3차원 GIS DB 구축에 관한 연구. 한국지리정보학회지 10(2): 171-182). [KAGIS](#)