지상 레이저 스캐닝과 TS 측량을 이용한 멀티빔 시스템의 검 · 보정

Calibration of Hydrographic Survey Multibeam System Using Terrestrial Laser Scanning and TS Surveying

김진수¹⁾
Kim, Jin Soo

Abstract

In hydrographic survey, data surveyed with multibeam system includes various errors due to multiple factors. These are corrected by a calibration called patch test, and if existing method is used, the test needs to be conducted for about 8 times for precise system calibration. For more prompt and precise multibeam system calibration, the exact offset of a ship was determined using terrestrial laser scanning and TS surveying, which was used as the initial input for the patch test. In the result, the error of closure was 0.001 m or less for TS surveying and backsight error was 0.005 m or less for scanning. All the surveying data based on the same local coordinate was converted into vessel reference coordinate during which R-square for all rotation angles was 0.99 or higher and standard deviation was 0.008 m or less. Finally, in a patch test using calculated offset of sensors and motion sensor offset, the offset of MBES transducer satisfied manual on hydrography only with 1-time calibration. With these results, it is thought that terrestrial laser scanning and TS surveying can fully be utilized for multibeam system calibration.

Keywords : Multibeam system, Terrestrial laser scanning, TS surveying, Offset, Patch test

초 록

수로측량에서 멀티빔 시스템에 의해 측량된 자료는 여러 가지 요인들에 의해 다양한 오차들을 포함한다. 이들은 패치 테스트라는 검증 단계를 통해 보정되며, 기존의 방법을 이용한 경우 정확한 시스템 검정을 위해 약 8회 내외의 테스트가 수행되어야한다. 본 연구에서 보다 신속하고 정확한 멀티빔 시스템 검 · 보정을 위해, 지상 레이저 스캐닝 기술과 TS 측량을 이용하여 선박의 정확한 오프셋이 결정되었고, 이러한 자료를 초기 입력값으로 한 패치 테스트가 수행되었다. 그 결과, TS 측량에서 폐합오차가 0.001 m, 스캐닝에서의 후시 관측 오차가 0.005 m 이내였다. 동일한 지역 좌표계로 획득된 모든 측량자료는 선박 기준 좌표계로 변환되었고, 이 과정에서 모든 회전각에 대한 결정계수는 0.99 이상, 표준편차는 0.008 m 이하로 나타났다. 끝으로, 계산된 탑재 센서 오프셋과 모션 센서 오프셋을 이용한 패치 테스트에서 멀티빔 송수파기 오프셋은 단 1회의 보정만으로 수로측량 업무규정을 만족하였다. 이러한 결과에 비추볼 때, 멀티빔 시스템의 검 · 보정에서 지상 레이저 스캐닝 및 TS 측량의 활용 가능성이 충분히 있다고 판단된다.

핵심어 : 멀티빔 시스템, 지상 레이저 스캐닝, TS 측량, 오프셋, 패치 테스트

1. 서 론

수로측량에서 정확한 수심 결정은 매우 핵심적인 요소이며, 이를 위해 사용되는 여러 장치와 선박의 자세(attitude) 및

히브(heave) 측정을 위한 보조 센서에 대한 지식은 필수 요건이다(IHO, 2005). 지금까지 수로측량에서 수심 결정을 위한 기술과 방법에 많은 변화가 있었고, 해양에서 보다 효율적이고 정확한 매핑을 위한 수심 및 음파 자료를 수집하기 위해

1) Member, ZEN21 Corporation (E-mail: pknu9680@gmail.com)

MBES(multibeam echo sounder)가 개발되었다. 특히 MBES는 해저면 100% 음파 발생을 실행할 수 있는 능력을 보유함으로써 수심측량에서 그 성능의 우수성을 빠르게 인정받았고(Park et al., 2007), 국제적 수로 기구인 IHO(international hydrographic organization)는 1998년 수로측량 기준인 S-44 개정 4판에 특등급(special order) 수로측량을 위해 MBES와 측면주사 음향탐사기(side scan sonar)의 적용을 의무화하였다(IHO, 1998). 국내에서도 2006년 수로업무법의 개정으로, 국립해양조사원 등록 수로업체의 멀티빔 시스템 보유가 의무화되면서, 멀티빔 시스템은 수로 측량 및 해저 지형조사에 기본 수심 결정 장비로 활용되고 있다.

멀티빔 시스템으로 수심 측량한 자료에는 여러 가지 요인들에 의하여 다양한 오차들이 포함되어있고, 이들은 패치(patch) 테스트라는 검정(calibration) 단계를 통해 보정된다(Kang et al., 2010). 이러한 검정은 멀티빔 송수파기(transducer)와 MRU(motion reference unit)간 오프셋(sensor static offset) 측정과 위치결정 시스템의 시간지연의 측정으로 이루어지며, 지금까지 몇몇 검정 절차가 소개되어왔지만(Wheaton, 1988; Simrad, 1992), 그것들은 천해에서 운용될 때 제기되는 어려움을 극복할 수 없었고, 현재 검정에 관련한 상세한 분석과 절차는 Godin(1998)에 의해 제안된 방법이 주로 사용되고 있다.

멀티빔 시스템에서 송수파기, MRU, 그리고 GPS는 동일 연직선상에 설치되는 것이 가장 이상적이지만, 일반적으로 이들은 하나의 선박 안에서도 다른 위치에 설치된다. 이러한 부가 장치의 정렬 문제를 해결하기 위하여 MRU를 기준으로 MRU와 다른 센서간 정확한 오프셋이 결정되어야하고, 이는 멀티빔 시스템의 정확도 확보를 위해 필수적이다. 일반적으로 멀티빔 송수파기는 선체 아래에 고정되거나 선미의 측면이나 상단에 설치되며, 설치 이후 몇 장기간 미사용한 경우나 설치 상태에 변화가 발생한 경우 정확한 오프셋 측정과 검정이 수행되어야 한다.

최근 토탈스테이션(total station, TS)을 이용한 정확한 오프셋 측정을 위한 국내외 연구가 몇몇 이루어진 바 있지만(Choi et al., 2005; Nardez et al., 2011), 그들의 연구는 오프셋 측정을 위한 구체적 방법 또는 측정 정확도에 대한 내용을 포함하지 않으며, 전체적인 선박의 형상 결정이 아닌 선박 내 중요 부가 장치의 3차원 위치결정에만 국한되었다. 그리고 국내의 경우 대부분 메탈 테이프와 구심추(plumb-bob), 디지털 경사계 등을 이용한 방법들이 주로 이용되고 있는 실정이다. 이러한 방법들에 의해 정의된 센서간 오프셋은 패치 테스트라는 검정 단계를 통해 보정되고 있지만, 수로측량 업무규정의

각종 보정 정확도를 만족하기 위해 수많은 패치 테스트가 수행되어야 하는 점에서 매우 비효율적이다.

본 연구는 지상 레이저 스캐닝 기술과 TS 측량을 이용하여 해양 조사선의 정확한 오프셋을 결정하고, 이러한 자료를 초기 입력값으로 한 패치 테스트를 통해 보다 효율적인 멀티빔 시스템의 검정에 목적을 둔다. 이를 위해, 육상 상가대에 선박을 견고히 설치하고, 6개의 동일한 기준점에서 지상 레이저 스캐너와 TS를 이용한 선박의 형상 및 센서들(MRU, GPS, 그리고 멀티빔 송수파기)의 3차원 위치를 결정하였다. 이러한 자료들은 선박 기준 좌표계로 변환되어 MRU를 기준으로 한 오프셋 결정에 이용되었고, 패치 테스트를 통한 선박의 롤(roll), 피치(pitch), 헤딩(heading), 그리고 히브(heave)에 대한 보정 정확도를 분석하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 멀티빔 시스템의 구성

멀티빔 시스템은 크게 선박, 모션 센서, 멀티빔 송수파기로 구성된다. 모션 센서는 선박의 자세와 히브를 측정하기 위해 사용되며, 이것은 관성 센서를 통합 DGPS 정보와 결합하여 수평 가속도계의 영향을 최소화하도록 권장되고 있다. 따라서 오늘날 모션 센서는 그림 1과 같이 관성 센서인 MRU와 개별 안테나를 갖춘 GPS 수신기 한 쌍으로 구성된다. MRU는 수심 계산에 있어 세로축에 대한 조사선의 롤 진동값, 수평축에 대한 피치 진동값, 그리고 히브를 제공하며, 이것은 정확한 오프셋 결정 이후 선박과 동일한 자세를 가진다. 히브는 바다의 움직임과 너울이 조사선에 미치는 영향을 나타내며, 이것은 수직 가속도계가 감지한 선형 가속도의 이중 적분으로 측정된다. 헤딩은 선박의 선수에 세로로 맞춘 기선의 GPS 안테나 2개를 통해 측정되며, 이것은 MRU와 결합되어있다. DGPS를

Fig. 1. Seapath 200 GPS attitude and heading sensor.
Courtesy Kongsberg Simrad Ltd

포함하는 멀티빔 시스템의 측정 정확도는 신뢰수준 95%에서 롤과 피치에 대해 0.05° 이내, 헤딩에 대해 0.2° 이내, 히브에 대해 10 cm 이내이다(IHO, 2005).

2.2 선박 기준 좌표계

멀티빔 시스템에서 사용되는 선박 기준 좌표계(vessel reference coordinate)는 Cartesian 오른손 좌표계이며, 그림 2와 같이 RP(reference point)를 기준으로 R축이 선수, P축은 우현, W축은 아래를 향하는 것으로 정의된다. 또한 선박 기준 좌표계에서 롤은 R축에 대한 회전(우현이 아래로 내려갈 때, 롤은 (+) 값), 피치는 P축에 대한 회전(선두가 위를 향할 때, 피치는 (+) 값), 헤딩은 W축에 대한 회전(시계방향 회전에 대해 헤딩은 (+))에 해당한다.

Fig. 2. Vessel reference coordinate

다양한 측량기법에 의해 상대 좌표계로 결정된 멀티빔 시스템 내 MRU와 부가 센서의 3차원 위치는 선박 기준 좌표계로 변환되며, 이때 MRU 상단의 중심이 대상 선박의 최종 RP로 간주된다. 이렇게 결정된 RP를 기준으로 한 쌍의 GPS 안테나의 중심점과 멀티빔 송수파기의 중심점의 오프셋이 결정되며, 이들은 모션 센서 오프셋에 관련된 롤, 피치, 그리고 히브와 함께 검정을 위한 패치 테스트의 초기값으로 입력된다.

2.3 패치 테스트

멀티빔 시스템을 이용한 최상의 자료 획득을 위해 선박에 장착된 각종 센서들의 보정값을 결정하기 위한 검정은 필수 조건이며, 이러한 일련의 과정을 패치 테스트라 일컫는다. 이것은 선박과 MRU간의 상호 자세 관계를 관측 상황에 맞게 적용시키기 위한 것이며, 이렇게 관측된 수심과 선박 운동에 대한 자세 교정은 수로측량의 품질과 정확도 개선에 크게 기여하고 있다.

패치 테스트는 오프셋에 관련한 통합 매개변수를 초기값으로 입력한 후, 음속 프로파일이후에 수행되며, 그림 3과 같이 시간지연(time delay), 롤, 피치, 그리고 헤딩에 관한 검 · 보정으로 구성된다. 먼저, 시간지연은 수심측정과 위치결정간의 시간 오프셋을 의미하다. 이것은 다른 속도로 두 쌍의 관측선(survey line)을 따라 경사진 해저 위를 운항함으로써 결정되며, 경사가 가파를수록 해당 매개변수의 해상도는 더 높아진다. 롤 오프셋은 선박의 횡단면을 국부 수직선으로 할 때, 관

Fig. 3. Patch test for time delay, roll, pitch, and heading offset calibration

성 측정 장치와 송수파기의 정렬에 따른 오프셋을 의미하고, 이때 선박은 규칙적인 편평한 해저에서 동일한 속도로 두 쌍의 관측선을 운항한다. 피치 오프셋은 선박의 종단면을 국부 수직선으로 할 때, 관성 측정 장치와 송수파기의 정렬에 따른 각(angle) 오프셋을 의미한다. 이것은 시간지연과 같이 경사진 해저에서 수행되지만, 선박은 동일한 속도로 두 쌍의 상호 관측선을 따라 운항한다. 끝으로, 헤딩 오프셋은 선박의 종축과 수직을 이루는 헤딩 센서와 송수파기의 정렬로 인한 각 오프셋을 의미하고, 이것은 해저 물체가 잘 규정된 지역에서 동일한 속도로 두 쌍의 상호 관측선을 인접하게 구성하여 결정된다.

3. 멀티빔 시스템 센서의 위치 결정

선박 내 탑재된 센서간의 오프셋을 정의하기 위해, 먼저 대상 선박의 형상과 멀티빔 시스템을 구성하고 있는 센서들의 3차원 위치를 지상 레이저 스캐닝과 TS 측량을 이용하여 결정하였다. 스캐닝은 전체적인 선박의 형상 자료 획득뿐만 아니라, 지역좌표계로 결정된 성과를 선박 기준 좌표계로 변환할

때 회전의 기준이 되는 흘수선(water line)과 용골(keel)의 위치 결정을 위해 이용되었고, TS 측량은 스캐너에 의해 정확한 관측이 어려운 MBES 송수파기, GPS 안테나의 위치 결정에 이용되었다.

본 연구는 현재 운용되고 있는 해양 조사선에 탑재된 멀티빔 시스템을 대상으로 수행되었고, 이 조사는 정밀한 자세, 히브, 그리고 위치 결정을 위해 그림 1과 같이 Kongsberg Maritime사에서 제조한 Seapath 200 모델을 탑재하고 있고, 수심 결정을 위해 동일 제조사에서 제조한 EM 3000 모델의 MBES를 탑재하고 있다.

멀티빔 시스템 내 센서의 위치 결정을 위해, 먼저 대상 선박은 그림 4와 같이 육상의 상가대에 견고히 설치되었고, 선박의 프레임에 대표할 수 있는 선수, 선미, 용골 등에 TS 측량을 위한 시트 타깃이 부착되었다. 상가 상태에서 대상 선박의 MBES 송수파기의 정확한 위치는 스캐너에 의해 관측되기 어렵기 때문에 MBES 4개소에 시트 타깃이 부착되었다. 뿐만 아니라, 선체에 설치된 검정색 표면의 MRU는 스캐닝에 의한 자료 획득에 어려움이 있기 때문에, 이것의 위치 결정을 위한 6개의 시트 타깃이 추가적으로 부착되었다.

(a) front of the vessel

(b) rear of the vessel

(c) keel

(d) MBES transducer

Fig. 4. TS surveying targets on the vessel

지상 레이저 스캐닝과 TS 측량은 그림 5와 같이 동일한 6개소 기준점에서 각각 실시되었다. 6개소 기준점에 대한 3차원 좌표 성과는 TS 측량과 직접수준측량에 의해 상대 좌표로 결정되었다. 이를 위해, 프리즘과 무프리즘 모드에서 관측 가능한 Topcon GPT-700li TS와 Topcon AT-B 자동 레벨이 사용되었다. 모든 기준점 측량은 CP1부터 출발하여 CP1으로 도착하는 폐합(1-2-3-4-6-5-1) 형태로 이루어졌고, TS 측량에서 관측 정확도를 높이기 위해 정준대가 사용되었다. 그 결과, TS 측량에 의한 폐합오차는 X방향 0.002 m, Y방향 0.001 m로 나타났다. 자동레벨을 이용한 직접수준측량의 폐합오차는 0.001 m이었다. 이렇게 결정된 기준점 성과를 이용하여 앞서 부착된 시트 타깃을 대상으로 프리즘 모드에서 TS 측량이 이루어졌고, 선박 측량에서 중요한 기준이 되는 홀수선은 무프리즘 모드로 관측되었다.

Fig. 5. Control points in this study

지상 레이저 스캐닝을 위한 장비로 Topcon GLS-1500 모델이 사용되었고, 선수 정면에 설치된 CP3에서 선박을 대상으로 한 스캐닝 모습과 그 결과는 그림 6과 같다. GLS-1500 모델은 TS 측량에서 주로 사용되는 기계점(occupation)과 후시점(backsight) 방법에 의한 레지스트레이션(registration)과 지오레퍼런싱(georeferencing)이 가능하다. 따라서 선박 형상과 센서 위치 결정을 위한 TS 측량과 동일한 기계점과 후시점을 이용하여 스캐닝이 수행되었다. 각 기준점에서 취득

(a) view of laser scanning

(b) result of Scanning at CP3

Fig. 6. View and result of laser scanning at CP3

Table 1. Backsight errors occurred in registration of scan data (unit: m)

occupation	X	Y	Z	backsight	X	Y	Z	errors of backsight observation		
								X	Y	Z
CP1	25.312	52.469	2.000	CP2	36.081	57.725	3.513	-0.002	-0.001	-0.002
CP2	36.081	57.725	3.513	CP3	50.000	50.000	4.584	0.002	-0.001	0.002
CP3	50.000	50.000	4.584	CP4	37.510	40.596	3.519	-0.003	-0.002	-0.003
CP4	37.510	40.596	3.519	CP5	26.685	46.633	2.064	-0.001	0.001	-0.003
CP5	26.685	46.633	2.064	CP1	25.312	52.469	2.000	0.000	0.001	0.002
CP6	41.837	48.266	6.372	CP4	37.510	40.596	3.519	0.004	0.005	0.005

Fig. 7. Results of TS surveying and scan data after registration and georeferencing

된 스캔 자료의 레지스트레이션 결과, 후시 관측에서 발생된 오차는 표 1과 같고, 그림 7은 전체 스캔 자료의 최종 지오투성 결과와 TS 측량에 의한 결과를 함께 나타낸 것이다. CP1~CP5에 설치한 경우 각 방향별 후시 관측 오차가 $-0.003 \sim 0.002$ m 이지만, 선실 내부를 스캐닝하기 위해 CP6에 설치한 경우 그 범위가 $0.004 \sim 0.005$ m 이었다. 이것은 대상 선박이 견고히 상가되었지만, 스캐닝을 위해 승선한 인원의 무게와 이동으로 인한 선박의 미소한 움직임에 의해 발생된 것으로 판단된다.

4. 시스템 검정 및 결과분석

4.1 센서 오프셋

기상, 승선 인원, 내부 연료, 홀수선 등과 같은 변동 사항으로 인해 수로측량 작업 이전에 시스템 검정은 반드시 수행되어야 한다. 이러한 검정은 크게 (1) 센서 오프셋, (2) 모션 센서 오프셋, 그리고 (3) 멀티빔 송수파기 오프셋 결정으로 구분된다.

본 연구에서 센서 오프셋 결정 이전에 동일한 좌표계로 취득된 스캐닝 및 TS 자료는 RP를 기준으로 하는 선박 기준 좌표계로 변화되었고, 이를 위해 회전 요소 롤, 피치, 헤딩이 우선 결정되었다. 먼저, TS 측량에 의해 결정된 용골 선미 부분의 한 점이 임의의 기준으로 설정되었고, 헤딩은 용골, 롤과 피

치는 홀수선에 대한 스캐닝 자료에 의해 결정되었다. 그 결과는 표 2와 같이 모든 회전각 결정 시 결정계수는 0.99 이상, 표준편차는 0.008 이하로 매우 우수하다. 다음으로, 대상 선박에 대한 전체 스캐닝 및 TS 자료는 MRU 상단의 중심을 RP로 하는 선박 기준 좌표계로 평행 이동되었고, RP를 기준으로 한 MBES, GPS 그리고 draft point에 대한 최종 오프셋은 표 3과 같다.

Table 2. Results of roll, pitch, and heading rotation

	roll	pitch	heading
rotation	0.056167°	0.084796°	-0.108902°
r-square	0.9973	0.9963	0.9958
standard deviation	0.005 m	0.006 m	0.008 m

4.2 모션 센서 오프셋

센서 오프셋 결정으로 인해 센서간의 기하학적 관계가 정립되더라도, 다양한 외부 조건에 의해 해상으로 하가된 선박과 모션 센서의 자세는 정확히 일치하지 않는다. 따라서 하가 이후 이를 보정하기 위한 모션 센서의 오프셋이 결정되어야 한다. 이것은 모션 센서의 정방위측을 보정하기 위한 것이며 (Roh et al., 2009), 이러한 작업은 풍속이 낮고 해상 상태가 양

Table 3. Results of sensor offsets (unit: m)

		local coordinate			vessel reference coordinate			sensor offsets		
		X	Y	Z	R	P	W	R	P	W
M R U	1	38.657	49.248	5.811	0.063	0.051	0.000	0	0	0
	2	38.679	49.228	5.603	0.059	0.059	-0.210			
	3	38.667	49.131	5.824	-0.055	0.049	0.003			
	4	38.691	49.109	5.617	-0.062	0.059	-0.206			
	5	38.56	49.116	5.815	-0.057	-0.060	0.000			
	6	38.583	49.094	5.607	-0.064	-0.051	-0.210			
M B E S	1	39.274	48.571	4.734	-0.583	0.527	-1.164	-0.587	0.726	1.155
	2	39.643	48.601	4.771	-0.596	0.899	-1.149			
	3	39.499	48.410	4.780	-0.770	0.735	-1.146			
	4	39.469	48.777	4.733	-0.399	0.744	-1.162			
GPS	1	40.219	48.791	8.390	-0.776	1.694	2.429	0.084	0.781	-2.361
	2	38.231	50.279	8.008	0.944	-0.133	2.294			
draft point		37.256	50.128	6.049	1.065	-1.226	0.396	1.065	-1.226	-0.396

호할 때 선박을 외부의 영향을 받지 않는 내만의 안벽(quay) 등에 접안한 상태에서 수로측량을 위한 최소 승선 인원에 의해 수행된다. 본 연구에서 대상 선박은 부산광역시 용호만 내 안벽에 접안되어, 약 1시간동안의 안정화를 통해 모션 센서 오프셋이 결정되었다. 그 결과, 모션 0 set을 위한 롤, 피치, 그리고 히브 보정량은 각각 -178.44° , 2.42° , 그리고 0° 로 나타났고, 이들은 R과 P축에 대한 선박 거동을 원점으로 보정하는데 이용된다.

4.3 멀티빔 송수파기 오프셋

멀티빔 시스템은 빔의 각도가 크고 하방으로 발진되기 때문에, 선박의 흔들림에 따른 송수파기의 유동이 크게 나타난다. 모션 센서 오프셋 결정 이후, 모션 센서와 멀티빔 송수파기 사이의 기하학적 관계를 정확히 정의하기 위한 멀티빔 송수파기의 오프셋이 결정되어야 하며, 이것은 앞서 결정된 오프셋에 관련한 통합 매개변수를 초기 입력값으로 한 패치 테스트를 통해 결정된다.

본 연구에서 패치 테스트를 위한 대상 해역은 부산 용호만 인근 해역으로 선정되었고, 이것은 2013년 1월 29일 수행되었다. 그림 8과 같이, 이 해역은 롤 보정을 위한 편평한 해저면, 시간지연 및 피치 보정을 위한 경사면, 헤딩 보정을 위한 특정 목표물을 모두 포함한 해역이기 때문에 패치 테스트를 위해 적합하다.

(a) study area (b) bathymetry
Fig. 8. Description of this study area for the patch test

먼저, 음속도 측정을 통해 측량 해역의 음속 프로파일이 작성하였고, 헤딩, 시간지연, 피치, 그리고 롤 순으로 패치 테스트를 수행하였다. 수심자료 처리는 수로측량 분야에서 주로 사용되고 있는 Caris Hips에 의해 이루어졌다(Caris, 2009). 그림 9와 같이, 각 요소별 멀티빔 송수파기 오프셋은 Caris Hips에서 계산 및 보정되고, 그림 9c와 9d는 임의 측량라인에 대한 오프셋 보정 전후의 수심 자료를 표현한 것이며, 패치 테스트 결과는 표 4와 같다. 각 요소별 보정값은 1차 테스트에서 모두 1° 이내로 매우 양호한 결과를 나타냈다. 그러나 시간지연을 제외한 요소별 보정값은 수로측량 업무규정에서 정하고 있는 롤 0.1° 이내, 피치 및 헤딩 0.5° 이내를 만족하지 못했다. 따라서 각 요소별 1차 테스트 결과를 입력값으로 동일한 방법으로 패치 테스트가 수행되었고, 그 결과, 시간지연, 롤, 그리고

Fig. 9. View of offsets correction using Caris Hips

Table 4. Results of first and second patch test

	initial value (a)	1st test (b)	2nd test (c)	1st correction (b) - (a)	2nd correction (c) - (b)	manual on hydrography
time delay	0 ms	0 ms	0 ms	0 ms	0 ms	0.1 s
roll	0°	0.98°	0.98°	0.98°	0.00°	< 0.1°
pitch	0°	-0.74°	-0.53°	-0.74°	0.21°	< 0.5°
heading	0°	-0.97	-0.97°	-0.97°	0.00°	< 0.5°

고 headings에 대한 보정값은 모두 0, 피치 보정값은 0.21°로 수로 측량 업무규정에 충분히 만족하는 결과를 나타냈다. 그러나 일반적으로 송수파기 오프셋은 그림 9a 및 9b와 같이 보정 전후의 결과 비교에 있어 운영자의 주관적 판단에 의해 결정되기 때문에 표 4에서 2차 보정값으로 제시된 0은 보정 후의 각 방향별 오프셋이 거의 0에 가깝다는 것을 의미하며, 피치 보정값은 선박의 속도와 파도에 의해 다른 요소별 보정값에 비해 크게 나타나는 것이 일반적인 결과이다.

5. 결 론

본 연구는 지상 레이저 스캐닝과 TS 측량을 이용하여 정확한 센서 오프셋, 모션 센서 오프셋, 그리고 멀티빔 송수파기 오프셋을 결정하여 멀티빔 시스템의 검정을 위한 패치 테스트의 정확도와 효율성을 높이기 위해 수행되었다.

멀티빔 송수파기를 포함한 탑재 센서의 위치와 선박의 형상 결정을 위해 동일한 6개소 기준점에서 스캐닝 및 TS 측량이 수행되었고, 직접수준측량의 폐합오차는 0.001 m, TS 측량의 폐합오차는 X, Y방향에 0.001 m, 그리고 스캐닝에서의 후시 관측 오차는 0.005 m 이내로 양호한 결과를 나타냈다. 동일한 지역 좌표계로 취득된 스캐닝 및 TS 자료를 MRU 상단의 중심을 RP로 하는 선박 기준 좌표계로 변환한 결과, 모든 회전각 결정에서 결정계수는 0.99 이상, 표준편차는 0.008 m 이하로 나타났다.

대상 선박과 모션 센서 자세의 동기화를 위한 모션 센서 오프셋 결정을 통해, 기준 좌표계의 R과 P축에 대한 선박 거동이 원점으로 보정되었다. 이렇게 결정된 오프셋에 관련한 통합 매개변수를 초기 입력값으로 한 패치 테스트가 수행되었고, 이를 통해 멀티빔 송수파기의 오프셋이 결정되었다. 그 결과, 단 1회의 오프셋 보정만으로 수로측량 업무규정에 충분히

만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

보다 정확한 멀티빔 시스템의 검 · 보정을 위해 기존에 약 8 회 내외의 패치 테스트가 이루어지고 있다는 점을 감안할 때, 본 연구의 결과는 멀티빔 시스템의 검 · 보정에서 지상 레이저 스캐닝 및 TS 측량의 적용 가능성을 보여준다. 또한 대상 선박에 대한 스캐닝 자료는 센서의 위치 변경 또는 교체 등으로 인해 발생될 수 있는 새로운 오프셋 결정에 기초 자료로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

References

- Choi, C., Kim, Y., and Seo, Y. (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)
- Caris (2009), *HIPS and SIPS 7.0 User's Guide*. <http://www.caris.com/products/hips-sips/> (last date accessed: 5 January 2013).
- Godin, A. (1998), *The calibration of shallow water multibeam echo-sounding systems*, M.S. Thesis, Dept. Geomatics Eng., Univ. New Brunswick, Fredericton, NB, Canada.
- IHO (1998), *IHO Standards for Hydrographic Surveys*, Special Publication No. 44, 4th Edition, International Hydrographic Bureau, Monaco.
- IHO (2005), *Manual on Hydrography*, Publication No. M-13, 1st Edition, International Hydrographic Organization, Monaco. <http://www.iho.shom.fr>
- Kang, M., Choi, Y., Jang, M., Yoon, H. (2010), A Study on MBES Error Data Removing Using Motion Sensor, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 28, No. 1, pp. 39-46. (in Korean with English abstract)
- Nardez, N.N., Krueger, C.P., Vargas, S.L. (2011), Methodology to Obtain the Offsets between Sensors of Hydrographic Ships, *Journal of Coastal Research*, Special Issue 64, pp. 1712-1217.
- Park, J., Kim, J., Roh, J., Seo, G. (2007), Design factors for 100% Swath Capability with Multi-Beam Echo Sounders, *The Korean Society of Marine Engineering 2007 Conference*, pp. 225-226.
- Roh, J., Choi, Y., Yoon, H., Lee, Y. (2009), Establishment Error Calibration Method on MBES, *Journal of GIS Association of Korea*, Vol. 17, No. 3, pp. 351-359. (in Korean with English abstract)
- Simrad (1992), *SIMRAD EM1000, Hydrographic echo sounder: Product Description*, Simrad Subsea A/S, Horten, Norway, #P2415E.
- Wheaton, G.E. (1988), Patch Test, a system check for multibeam survey system, *Third Biennial U.S. Hydrographic Conference, Proceedings*, April 12-15, Baltimore, MD, pp. 85-90.

(Received 2013. 03. 26, Revised 2013. 04. 16, Accepted 2013. 05. 15)