

연구논문

DGPS와 Motion Sensor를 이용한 선박 동적 거동특성 Dynamic Behavior Character of Vessel Using DGPS and Motion Sensor

최철웅* · 김연수**

Choi, Chul Eung · Kim, Youn Soo

요 旨

다중빔 음향탐사 시스템(Multibeam Echosounder system : MBES)은 넓은 지역을 소해측량(swath)하여 전자해도 제작, 고정밀 DEM 획득, 동영상 제작 등에 활용하는 최신 수로측량기술이다. MBES의 정확도향상 연구를 위한 기초연구로서 DGPS와 움직임측정센서(Motion sensor)의 측정값을 비교·분석하여 선박의 동적 거동특성을 연구하였다. DGPS를 선체 전후, 좌우에 설치하여 측정한 GPS 위치 값의 수신정확도는 Roll은 $\pm 0.0016^\circ$, Pitch는 $\pm 0.0009^\circ$ 로 움직임측정센서 값의 정확도 평가가 가능한 양호한 정도를 얻었다. DGPS와 움직임측정센서의 Heading, Pitch, Roll 상관관계는 모두 정상관 관계를 나타냈다. 또한, 각 변화량에 따른 편차량의 상관관계는 정상관 관계이나 탐사선의 급회전, 진동 등과 같은 요소에 의해 편차가 발생 될 것으로 사료된다. GPS에 의한 조위변화량, Heave값은 움직임측정센서 값과 유사하며, GPS속도는 설치장소에 따라 변화가 있어 영향이 가장 적은 선박의 중심선에 설치하는 것이 적당하다. MBES Processor 장치에 입력되는 자이로, 움직임측정센서 값이 DGPS 실시간 관측 값보다 자이로는 15초, Pitch, Roll, Heave는 13초 시간차가 있어 MBES 최종값의 정확도에 영향을 줄 수 있는 것으로 사료된다.

핵심어 : 다중빔 음향탐사시스템, 움직임측정센서, 선박동적거동, 상관관계

Abstract

Multibeam Echosounder system is the latest technology of a hydrographic survey utilized in producing an electronic nautical chart, obtaining a DEM with high precision, making a moving image by Swath surveying a wide area. As a fundamental study for improving the precision of MBES, we compared and analyzed measurements of DGPS and Motion sensor, and studied for the dynamic characteristics of vessel's movements. DGPS was installed in front and in the rear and on both side of the vessel and surveyed. The receiving precision of surveyed GPS results was obtained to the satisfactory extent that was possible to valuate the accuracy of Motion sensor as 0.0016° of the roll value and 0.0009° of the pitch value. The relationship between the values of heading, pitch, and roll in Motion sensor and the data of DGPS was proportional correlation. In addition, it is considered that deviations by elements like rapid turning and vibration of the vessel will be occurred, although the correlation of each deviation according to each amount of change is proportional. It is suitable that GPS installs in the central line of the vessel that is less affected than other places by waving because the amount of change in the tide level obtained from GPS survey and the value of heave are similar with the values taken by Motion sensor, and the velocity of GPS is different from installed places. The accuracy of the final result from MBES could be affected by the values of gyro and Motion sensor inputted to MBES processor because there were intervals of 15s and 13s of receiving time in gyro and Motion sensor respectively compared with the real-time measurements of DGPS.

Keywords : multibeam echosounder system(MBES), motion sensor, vessel dynamic movement, correlation

1. 서 론

1.1 연구배경

최근 수로측량에 이용되는 다중빔 음향탐사시스템(이하 MBES)은 전자해도 및 해도제작을 위한 수로측량,

해양공사 및 플랜트 설치를 위한 기본지형탐사, 해저지형도, DEM제작 등 다양한 해저공간정보를 제공할 수 있는 과학적인 수로측량 기술이다.

기존에 사용된 단빔 음향측심기는 단위빔의 순간시야각(IFOV)이 넓고, 탐사선의 직하방(Nadir) 수심만을 측

2004년 9월 1일 접수, 2004년 11월 23일 채택

* 주저자, 정희원, 부경대학교 위성정보과학과 조교수 (cuchoi@pknu.ac.kr)

** 교신저자, 국립해양조사원 남해해양조사사무소 측량과 (yskim@nori.go.kr)

정하고, 자이로나 움직임측정센서 등의 부가장비를 이용하지 않아 해황에 불량할 때 그 정확도가 낮고 단위 측정면적이 좁다. 그러나 MBES는 양현방향으로 90-150개 정도의 빔에서 음파를 수신하여 수심의 3~4배 폭으로 넓은 지역을 미측심폭 없이 소해측량(swath)이 가능하다.

MBES는 디지털 해저공간정보를 제공할 수 있어, 최근 선진 각국에서 MBES로 고정밀 해저형상 DEM 획득과 동영상 제작 등에 이용되고 있으며, 우리나라에서도 1992년 한국해양연구원, 1996년 한국지질자원연구원, 국립해양조사원이 도입하여 2004년 7월 현재 SeaBeam 2112 1대, Seabeam 2000 1대, Simrad EM 3000 5대, EM300 1대, EM1000 1대, SeaBat 3대 등 총 12대가 도입되어 운영하고 있다.

그러나 선박거동의 정확도, 부가장비의 정렬문제 등은 측량결과 값(x,y,z)에 많은 영향을 주고 있다. 하지만, 멀티빔에 관한 국내 연구로는 다중빔음향소해시스템 자료의 오차분석 및 처리기술연구(박, 2004)가 있으나 MBES 정확도 향상에 관한 연구가 미흡한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 MBES 정확도향상 연구의 기초연구로서 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 MBES인 Simrad EM3000에 장착된 움직임측정센서 TSS DMS 05기종의 정확도에 대하여 DGPS기술을 적용하여 평가 분석하였다. DGPS를 통하여 획득된 Heading, Pitch, Roll, Heave값과 움직임측정센서 TSS DMS 05에서 획득된 값을 상호 비교 분석하는 선박 동적 거동특성 연구 결과, 양자의 상관관계가 정상관 관계인 양호한 결과를 얻었다.

1.2 현장실험

2004년 1월 28일, 2월 12일 양일간 국립 해양조사원 남해 해양조사사무소와 부산항 동측 10km 해상에서 공동연구를 수행하였다(Fig. 1). 본 연구에서 사용된 장비 목록은 Table 1, Fig. 2, 3과 같다.

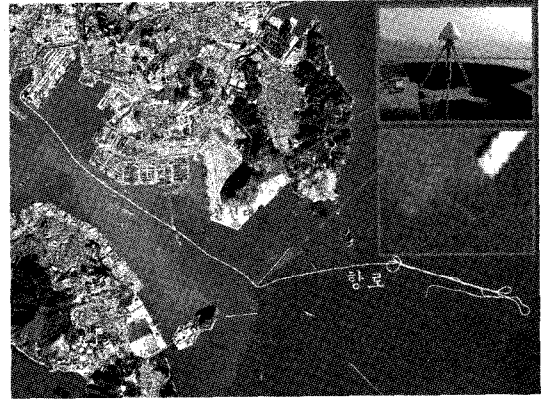


Fig. 1. Research site and track course



Fig. 2. A research equipment photo

Table 1. List of equipment for research

장비명	용도	규격/정확도	비고
Ashtech Z-FX	기준점	2주파 0.5cm+1ppm	1등급 GPS
Ashtech Z-Surveyor	전방 관측	2주파 0.5cm+1ppm	1등급 GPS
Trimble 5700	좌측 관측	2주파 0.5cm+1ppm	1등급 GPS
Trimble 5700	우측 관측	2주파 0.5cm+1ppm	1등급 GPS
Trimble 4000 SSI	후방 관측	2주파 0.5cm+1ppm	1등급 GPS
TSS DMS 0 5	움직임측정센서	±0.05°	
Anschutz STD 20	digital 자이로	±0.1°	
남해로	해양조사선	22톤(18.16m/4.4m)	
Geodimeter 3602DR	GPS 안테나 배치관측	2" / 2mm±2ppm	

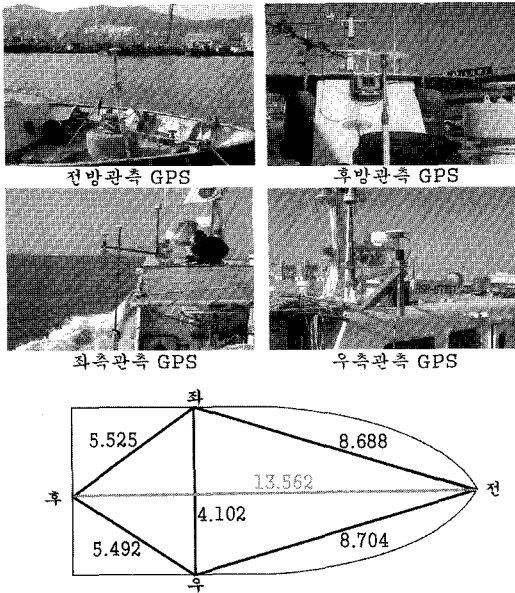


Fig. 3. Equipment installation

2. 본 론

2.1 MBES의 기본좌표계 체계

MBES에서 사용하는 선체의 기본좌표체계는 Fig. 4와 같이 Cartesian 오른손 좌표체계(Cartesian right-handed coordinate system)를 적용하여, 임의 지점을 원점으로 하고 선수방향을 (X)축 양으로 하고 선체 중심선과 직교한 선을 (Y)축으로 하여 우현을 양으로 하며 해수면 아랫방향을 (Z)축 양으로 정한 3축 좌표체계(X, Y, Z)이다 (USACE, 2002, SeaBeam, 2000).

선수 축(X)은 선체 중심선과 평행이어야 하며 수면하 방향 (Z)축은 선체의 부력선과 수직이어야 한다. 선수 축 (X)면과 우현 축(Y)면이 수평을 이룬다면 움직임측정센서의 Roll, Pitch 각은 Zero이다.

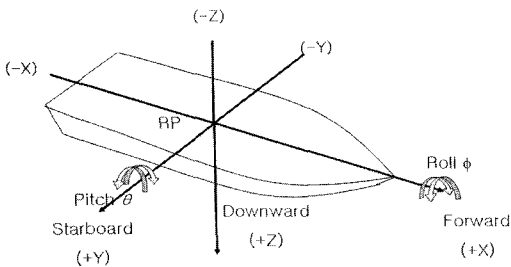


Fig. 4. MBES coordinate system

선박의 Rolling은 (X)축을 중심으로 회전하는 각도(θ)를 의미하며, 우현이 내려가는 방향을 양으로 정한다. Pitch는 (Y)축을 중심으로 회전한 각도(θ)를 의미하며 선수가 올라가는 방향을 양으로 정한다. Z축을 중심으로 회전한 각도를 Yaw라 하며 시계방향의 회전을 양으로 정한다. 선박의 거동과 연관된 회전은 두개의 독립적인 Euler 각도 ϕ , θ (롤과 피칭)로 정의되며, 다음 회전식을 이용하여 선박의 거동을 표현할 수 있다.

$$R_x(\phi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\phi) & \sin(\phi) \\ 0 & -\sin(\phi) & \cos(\phi) \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$R_y(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{pmatrix} \quad (2)$$

여기서 $R_x(\phi)$ 와 $R_y(\theta)$ 는 Rolling과 Pitching에 대한 회전연산자이다. Yaw 성분은, Z축 기준으로, 시계방향을 양의방향으로 정한다. 선박의 Z축이 수평면과 직교하기 때문에 Yaw 각을 대신하여 방위각을 이용할 수 있다.

$$R_z(\omega - \pi/2) = \begin{pmatrix} \sin(\omega) & -\cos(\omega) & 0 \\ \cos(\omega) & \sin(\omega) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Cartesian 왼손좌표체계에서 오른손좌표체계로 전환하기 위하여, 방위각 ω 에 $\pi/2$ 라디안을 부기하였다. 각 회전요소의 통합은 식 (4)로 이루어진다.

$$P = R_{-y}R_x(\phi)R_y(\theta)R_z(\omega - \pi/2) \quad (4)$$

여기서, $R_{-y} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ 는 Y축에 대한 반전행렬이다 (국립해양조사원, 2001, 박, 2004).

2.2 GPS 수신정확도

2004년 1월 28일에 시행한 1차 실험은 영도봉래산 삼각점을 기준으로 측량을 실시하였으나, 인근 고출력 무선안테나에 의해 GPS 수신 상태가 불량하여 2004년 2월 12일 2차 실험을 부산광역시 남구 신선대 정상에 기준점을 설치하여 DGPS 측량을 실시하였다.

DGPS처리에는 Trimble Geomatics Office V1.5를 이용하였으며 Ashtech계열의 GPS 수신기는 Ashtech Receiver Communication 프로그램의 Rinex 변환기를 이용하여 처리하였다(지오시스템, 2004). 약 3시간을 관측하였으며 그 중 2004년 2월 12일 14시 36분 32초부터 15시 6분 32초까지 GPS 수신기 5대를 이용하여 9,005점을 처리하였다.

GPS수신정확도는 Table 2와 같고 DGPS처리 후 측정

Table 2. The point distance descriptive statistics (F:front, RE:rear, R:right, L:left, unit:m)

구분	F↔R	F↔L	R↔L	RE↔L	RE↔R	RE↔F
측점수	1801	1801	1801	1801	1801	1801
평균거리	8.7035m ±0.0004m	8.6881m ±0.0004m	4.1017m ±0.0002m	5.5246m ±0.0005m	5.4915m ±0.0005m	13.5620m ±0.0003m
표준편차	0.0158m	0.0152m	0.0064m	0.0180m	0.0173m	0.0121m
범위	0.11m	0.11m	0.05m	0.12m	0.10m	0.07m
최소값	8.86m	8.63m	4.08m	5.47m	5.45m	13.53m
최대값	8.76m	8.74m	4.12m	5.59m	5.55m	13.60m
각 정확도	0.0018°	0.0017°	0.0016°	0.0033°	0.0032°	0.0009°
비고			Roll각			Pitch각

상호 거리를 바탕으로 산정된 각 정확도 및 기술통계 값은 Table 3과 같다.

Table 3에서 DGPS측량을 통해 산정된 Roll, Pitch값의 정확도는 ±0.0016°와 ±0.0009°로 움직임측정센서의 정확도 ±0.05°보다 매우 정확한 Roll, Pitch값을 획득될 것으로 사료되어 DGPS에서 산정된 값을 바탕으로 움직임측정센서 값의 정확도 평가가 가능할 것으로 사료되었다 (www.ieee.org).

Table 3. DGPS Processing Result (F : front, RE : rear, R : right, L : left, unit : m)

구분	기준점	F	RE	R	L
수평정확도	0.001				
수직정확도	0.002				
ref. variance	0.786	4.227	5.485	4.897	5.0
Variance ratio	21.50	19.023	6.503	4.898	3.031
RMS	0.011	0.005	0.005	0.008	0.008
평균위성수	8.1	8.1	7.8	8.1	7.9
PDOP	2.0	2.0	2.2	2.1	2.1

2.3 Heading각에 대한 비교 · 고찰

본 연구에 사용된 Anschutz STD 20 자이로에서 획득한 측정센서 값과 전, 후, 좌, 우 GPS 각각의 $X_{f(t)}$, $Y_{f(t)}$,와 $X_{f(t-1)}$, $Y_{f(t-1)}$ (단: $X_{f(t)}$ 는 t시간의 전방 GPS의 X방향좌표 값임) 값을 사용한 단측위 방식, 전후, 좌우 GPS 2대 $X_{f(t)}$, $Y_{f(t)}$,와 $X_{re(t)}$, $Y_{re(t)}$ 를 사용한 복측위 방식으로 상호 상관계수를 비교 · 분석하였다. 움직임측정센서 값과 GPS값은 Fig. 5과 같으며 15초 시간차가 있었다. 시간차는 GPS 수신 장애에 대비하여 실시간으로 처리하지 않고 약 15초 시간차를 가지고 처리하기 때문에 발생하는 것으로 사료된다.

Table 4를 바탕으로 단측위 방식과 복측위 방식을 자이로 값과 비교하여 보면 단측위 방식의 경우 상관계수 값이 0.995~0.999로 단측위 방식으로 heading각을 산정

하여도 크게 문제는 없을 것으로 사료된다. 복측위 방식의 경우 좌우동시관측방식과 전후방동시관측방식의 상관계수 값이 1로서 자이로의 값과 거의 유사할 것으로 사료된다. 그러나 각 변화량($H_{A_gps(t)} - H_{A_gps(t-1)}$)(단, $H_{A_gps(t)}$ 는 t시간의 GPS에서 획득한 Heading각임)과 측정센서 값과 GPS에서 획득된 값의 편차량($H_{A_gyro(t)} - H_{A_gps(t)}$)은 Fig. 6에서와 같이 상관계수 0.94로 정상관 관계이나 선박이 급회전하는 경우 그 정확도가 상대적으로 낮아지는 경향을 보였다. 이러한 경향은 자이로에서 일반적으로 많

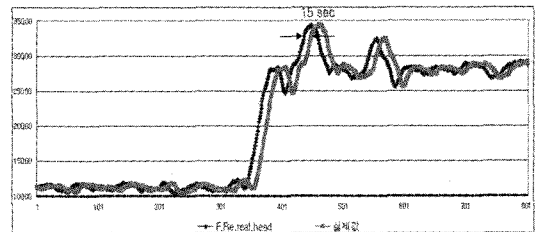


Fig. 5. GPS heading measurements vs. gyro heading measurements(unit:degree)

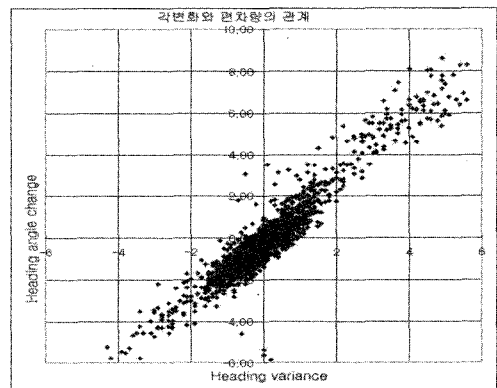


Fig. 6. The heading angle change vs. the variance. (unit:degree)

Table 4. Pearson's correlation coefficients for the heading angle

구분	단측위방식				복측위방식		측정센서값
	F	Re	R	L	R↔L	F↔RE	
F	1.000	0.991	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999
Re	0.991	1.000	0.992	0.992	0.991	0.990	0.995
R	1.000	0.992	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998
L	1.000	0.992	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998
R↔L	0.999	0.991	0.999	0.999	1	1.000	1.000
F↔RE	0.999	0.990	0.999	0.999	1.000	1	1.000
실측	0.999	0.995	0.998	0.998	1.000	1.000	1

이 발생하는 동적반응속도 지연문제로 사료되므로 자이로를 이용하여 heading각을 산정할 경우 선박의 급회전하지 않도록 하여야 할 것으로 사료된다(SeaBeam, 2004).

2.4 Pitch와 Roll각에 대한 비교·고찰

선체의 움직임측정센서 TSS DMS 05를 선체 중심부에 설치하고 측정값을 MBES Processor에 저장한 후, Pitch, Roll값을 획득하고 전, 후, 좌, 우에 설치한 GPS 위치 값에서 Pitch, Roll값을 산출하여 비교한 결과, Fig. 7과 같이 13초의 시간차가 있었다.

선체 좌, 우에 Trimble 5700을 설치하고 $X_{r(t)}$, $Y_{r(t)}$, $Z_{r(t)}$ 와 $X_{l(t)}$, $Y_{l(t)}$, $Z_{l(t)}$ 를 이용하여 GPS Roll각을 산출하였으며, MBES processor로 입력된 움직임측정센서의 Roll 각과 비교한 결과 Fig. 8과 Table5와 같다. 움직임측정센서 값과 GPS 획득값 사이의 상관계수는 0.975로 정상관 관계를 가지고 있으며, Roll각 변화와 편차량의 상관계수는 0.660으로 정상관 관계를 가지나, Fig. 9와 같이 편차량에 따른 각 변화 특성에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

즉, GPS를 이용하여 Pitch와 Roll각을 산정할 수 있으나, 해황이 불량한 경우나, 선박이 급격한 기동을 할 경우 주의가 요구될 것으로 보인다.

선체 전, 후에 Ashtech Z-Surveyor, Trimble 4000ssi를 설치하고 X_{ft} , Y_{ft} , Z_{ft} 와 $X_{re(t)}$, $Y_{re(t)}$, $Z_{re(t)}$ 를 이용하여

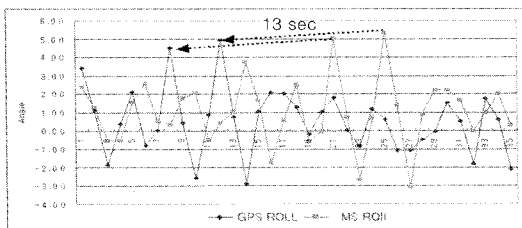


Fig. 7. GPS' roll vs motion sensor's roll

GPS Pitch 각을 산출하였으며, MBES Processor로 입력된 움직임측정센서의 Pitch 각과 비교하였으며 Fig. 10과 Table 5와 같다.

분석결과 움직임측정센서 값과 GPS에서 획득 값 간의 상관계수는 0.963으로 정상관 관계를 가지고 있으며 Fig. 11에서 Pitch각 변화와 편차량의 상관계수는 0.479로 정상관을 가지나, 편차량에 따른 각 변화 특성 외에 진동등과 같은 요소에 의한 편차가 있는 것으로 사료된다.

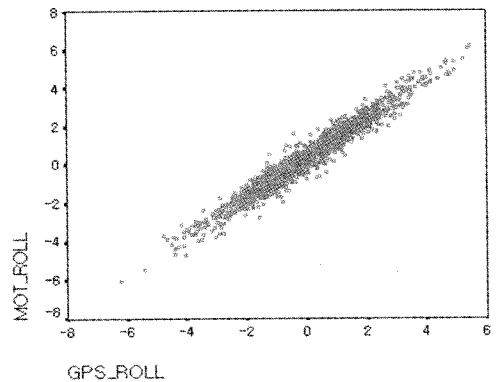


Fig. 8. Roll measured by the motion sensor vs. roll measured by GPS

Table 5. Pitch and roll correlation factor and angle's variance correlation facto

구분	상관 계수	측정센서값과 GPS의 편차량				
		최소량 (m)	최대량 (m)	평균	표준 편차 (m)	
Pitch	GPS	0.963	-0.6404	0.5977	0	0.164
	각변화/편차량	0.479	-2.6408	2.4378	0	0.751
Roll	GPS	0.975	-1.4904	1.7185	0	0.375
	각변화/편차량	0.660	-1.2454	0.9897	0	0.249

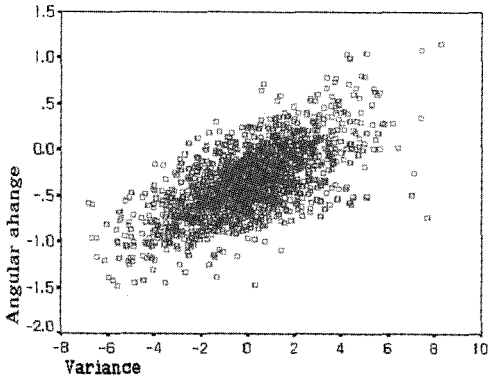


Fig. 9. The change vs. the variance of the roll

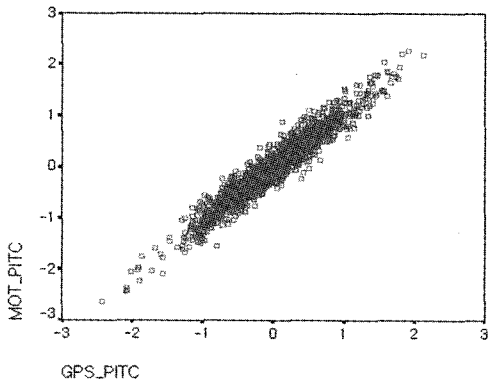


Fig. 10. Pitch as determined by the motion sensor vs. by GPS

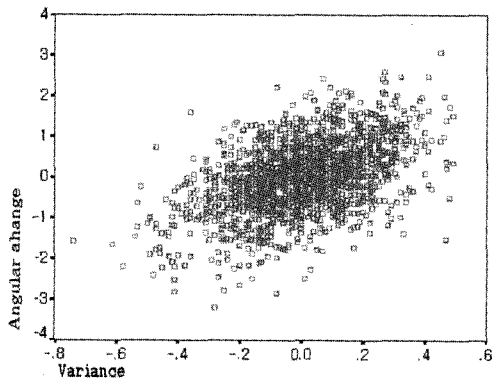


Fig. 11. The change vs. the variance of the pitch

2.5 GPS에 의한 조위 및 파고 고찰

2.5.1 조위변화량 산출

소형 측량선은 해면유동에 따라 상하운동을 하고 동적 흡수변화를 일으킨다. 동적 흡수변화는 주로 조석, 너울 등에 의하여 연속적인 변화를 가져온다(박, 2004). 동적

흡수변화량은 전체 수심측량에 많은 영향을 주어 변화량을 실시간 또는 후처리보정으로 최종 성과에 반영해야 한다. 따라서 본 연구에서 선박의 동적 흡수변화량을 DGPS에 의한 약식 조위를 산출하고 동일 시간의 부산항검조소 조위변화량과 비교하였다.

DGPS에 의한 조위변화량(t)은 Fig. 12에서 다음 함수 방정식을 유도하고 식 (5)를 이용하여 조위변화량을 산출하였다.

$$t = 1.5618 \times 10^{-8} x^2 - 8.1108 \times 10^{-5} x + 3.7865 \quad (5)$$

Fig. 13에서 2004. 2. 12 14:36~15:06까지 30분간의 DGPS에 의한 조위변화량(378.6-369.1cm)은 9.5cm로 산출되었으며 동일 시간의 부산항검조소의 조위변화량(67-56cm)은 9.5cm로서 DGPS에서 획득된 조위변화량과 1.5cm 차이를 보이므로 DGPS에서 약식 산정된 조위 값을 사용하여도 별 문제가 없을 것으로 사료된다.

2.5.2 파고변화량 산출

파고 변화량은 전후, 좌우에 설치된 GPS에서 획득된 높이 값에서 조위변화량을 제거함으로써 선체의 상하 진폭을 산출하였다. 그 결과는 Fig. 14, Table 6과 같다. 선수의 상하운동이 선미보다 크게 상하운동을 하는 것으로

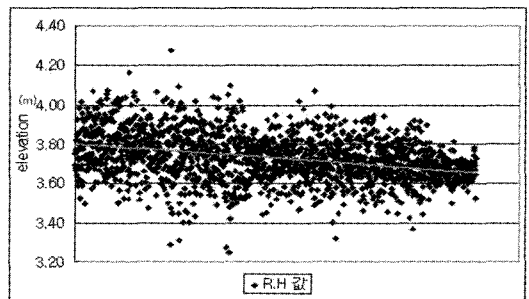


Fig. 12. The distribution chart of GPS ZR(t)

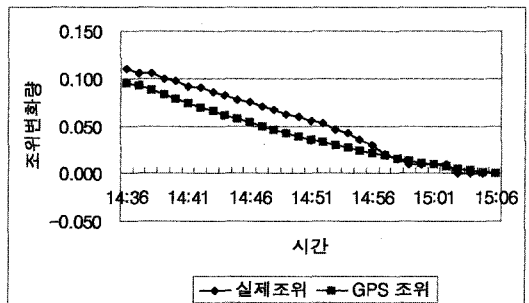


Fig. 13. The change quantity of GPS tide vs real tide

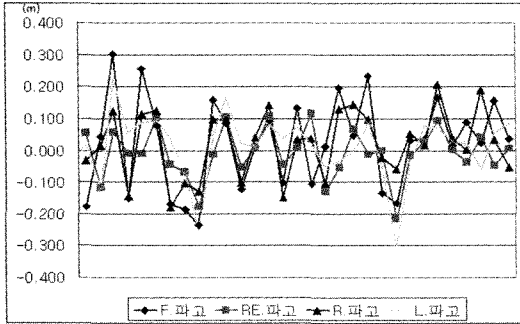


Fig. 14. Wave pattern

Table 6. Wave height statistics

구분	범위 (m)	최소값 (m)	최대값 (m)	평균 (m)	표준편차 (m)	분산 (m)
F	1.10	-0.56	0.54	-0.001	0.154	0.024
RE	0.80	-0.46	0.34	-0.011	0.103	0.011
R	1.01	-0.52	0.49	0.004	0.113	0.079
L	0.97	-0.47	0.50	-0.011	0.120	0.020

나타났으며 표준편차량으로 유추되는 진폭도 선수가 선미보다 높을 것으로 사료된다. 이는 선박구조상 후미부에 엔진실 등 중량물이 있어 상대적으로 선미의 유동이 적으며 선수측은 파도에 영향을 직접적으로 받아 발생하는 것으로 보인다.

2.5.3 Heave값과 파고

해면 유동에 의하여 발생하는 $H(t)$ 값의 변화를 산정하는 것은 Heave값을 바탕으로 산출된다. Heave값은 파도와 너울에 의한 유도 Heave변화와 Roll, Pitch에 의한 Heave로 구성되어 있으며 20초미만의 단주기변화에 직접적인 영향을 미친다. 전절에서 장주기변화에 가장 직접적인 영향을 미치는 조위 부분을 제거하고 단주기에 의한 흡수 변화를 제거하면 보다 정확한 수심측량을 수행할 수 있다. Roll, Pitch에 의한 Heave는 움직임측정센서에서 직접 관측한다. 그러나 파도와 너울에 의한 유도 Heave 변화는 움직임측정센서에 의하여 탐지하기 어렵다.

수심측량의 경우, 일반적으로 DGPS에서 획득된 수평 위치 값 $X(t)$ 와 $Y(t)$ 만으로 측량하고 $Z(t)$ 값은 사용하지 않는다. 그러므로 움직임측정센서 등에 의한 Heave값을 제거하지 않으면 수면유동에 따라 수심정확도 저하가 예상될 것으로 사료된다.

$$G(t) = IH(t) + H(t) + T(t) \tag{6}$$

단, $IH(t)$:시간의 유도 Heave, $H(t)$:시간의 Heave, $T(t)$:시간의 조위, $G(t)$:수표면에서 GPS Antenna 까지 높이이다.

그러나 GPS의 경우, $IH(t)$, $H(t)$ 값이 고려된 상태로 수신된다. 금회 실험에서 GPS는 수면으로부터 약 3m위 설치되었고 Pitch와 Roll이 $\pm 2^\circ$, $\pm 6^\circ$ 로 $G(t)$ 값의 변화는 적다. 그러나 Table 7에서와 같이 설치된 위치에 따라 각각 상관계수 값이 달라졌다.

Fig. 16~19와 같이 움직임측정센서에서 가장 거리가 가까운 순으로 상관성이 높게 산출되어 움직임측정센서와 동일한 장소 상부에 설치한다면 선박의 Heave값과 유사한 값이 산출될 것으로 사료된다.

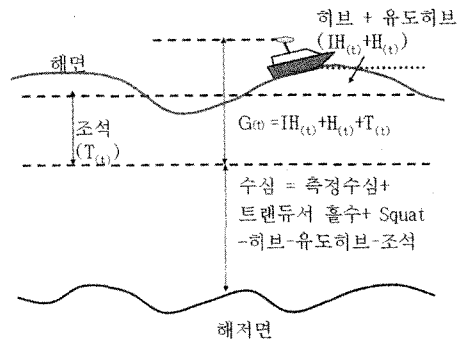


Fig. 15. Heave and induce heave diagram(박,2004)

Table 7. Heave vs GPS $H(t)$ correlation factor

구분	상관계수	최소 (m)	최대 (m)	평균	표준편차 (m)
F	0.807	-0.4389	0.3873	0	0.0907
RE	0.615	-0.3345	0.2892	0	0.0813
R	0.624	-0.3987	0.3517	0	0.0885
L	0.830	-0.2182	0.3201	0	0.0674

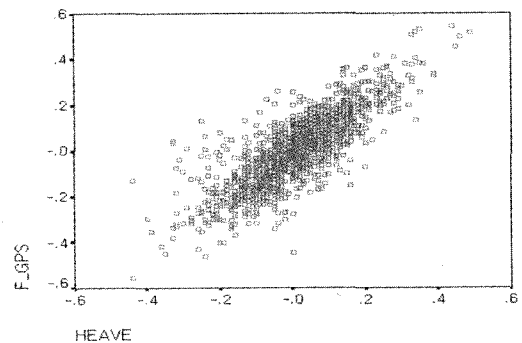


Fig. 16. Heave and the $H(t)$ detected by the front GPS device

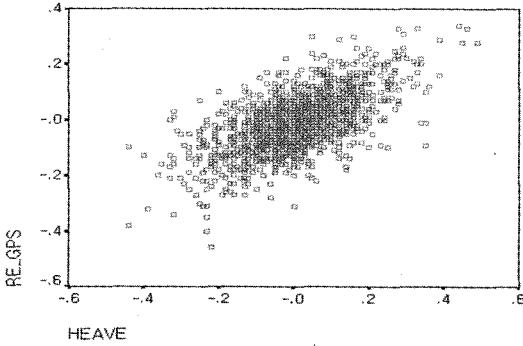


Fig. 17. Heave and the $H(t)$ detected by the rear GPS device

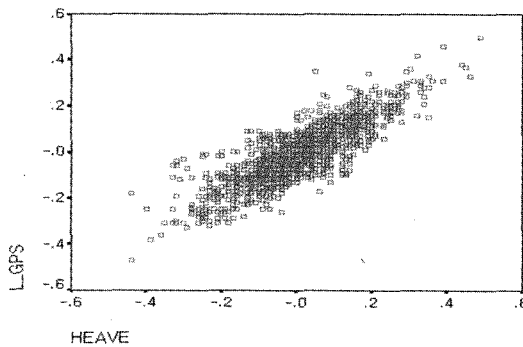


Fig. 18. Heave and the $H(t)$ detected by the right GPS device

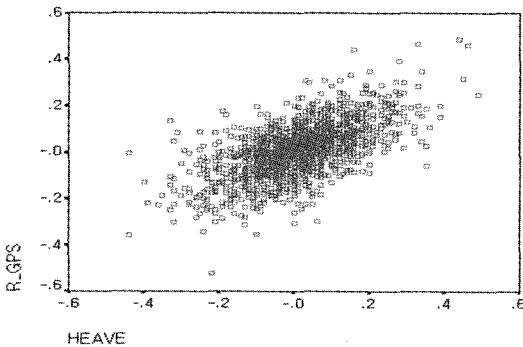


Fig. 19. Heave and the $H(t)$ detected by the left GPS device

2.6 속도와 GPS의 위치

GPS를 이용하여 선박의 $V_{f(t)}$, $V_{re(t)}$, $V_{r(t)}$, $V_{l(t)}$ (단, $V_{f(t)}$ 는 전방 GPS에서 속도를 산정하였다. 직선구간을 항행하는 경우 $V_{f(t)}$, $V_{re(t)}$, $V_{r(t)}$, $V_{l(t)}$ 는 거의 동일한 경향을 보였다. 그러나 Fig. 20에서 곡선구간을 항행하는 경우 $V_{r(t)}$, $V_{l(t)}$ 는 회전방향에 따라 증가 혹은 감소하는 경향을 보였다. Fig. 21은 선박이 왼쪽으로 회전한 경우

(+)와 오른쪽으로 회전한 경우(-)의 회전량과 $V_{r(t)}$ - $V_{l(t)}$ 을 분석한 결과이다. Table 8에서 선박의 회전에 따른 속도 변화 상관계수 값이 0.997로서 완전상관성을 가졌다. 그러므로 선박의 좌우에 설치하는 경우 선박회전에 영향을 받아 속도 값을 산정하기 어렵다.

각 측정지점별로 상관성분석을 실시한 결과 $V_{r(t)}$, $V_{l(t)}$ 의 상관계수가 0.941이고 $V_{f(t)}$, $V_{re(t)}$ 의 상관계수가 0.992이므로 중심선을 따라 설치하는 것이 좌우에 설치하는 것보다 정확한 속도 값을 산정 할 수 있을 것으로 사료된다. $V_{r(t)}$, $V_{l(t)}$ 값의 상관관계가 낮은 이유는 회전방향에 따라 $V_{r(t)}$, $V_{l(t)}$ 값은 $V_{aver(t)} \pm d(V_{r(t)}-V_{l(t)})/2$ 로 산정되어 상관계수가 중심선에 설치한 것보다 상대적으로 낮았다. 그러므로, 속도계측을 위하여 GPS를 설치하는 경우 선

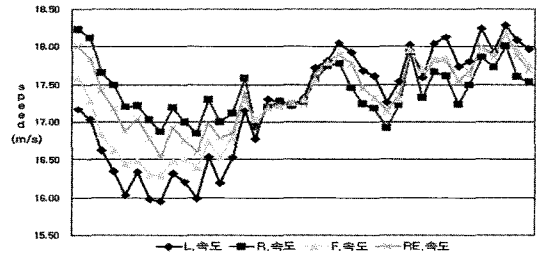


Fig. 20. Observed each GPS speed ($V_{f(t)}$, $V_{re(t)}$, $V_{r(t)}$, $V_{l(t)}$)

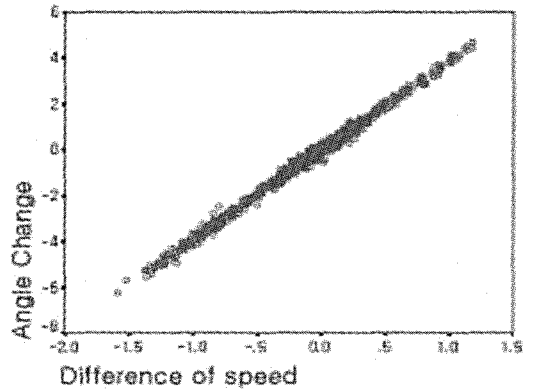


Fig. 21. Heading change vs $V_{r(t)}$ - $V_{l(t)}$

Table 8. Vessel speed correlation value by GPS

구분	L속도	R속도	F속도	RE속도
L	1	0.941	0.982	0.982
R	0.941	1	0.980	0.982
F	0.982	0.980	1	0.992
RE	0.982	0.982	0.992	1

박의 무게중심에 설치하는 것이 타당하고 만약 무게중심에 설치하기 어려운 경우 선박의 중심선을 따라 설치하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

3. 결 론

다중 빔에 의한 수심측정은 음파를 현 방향으로 넓고 선수방향으로 폭이 좁은 부채꼴 모양의 빔을 생성하여 발사하고 수신하여 수심의 3-4배의 면적을 측정한다. 그리고 GPS, 움직임측정센서, 자이로, 음속도 등 부가장치에 의해 측정되는 관측 값을 보정함으로써 수심의 정확도를 향상시키는 획기적인 수로측량 기술이다. 그러나 해면의 유동에 의한 선박의 거동특성, 관측센서의 오정열, 탐사선의 진동 등은 전체 측심성과에 오차를 야기 시킨다.

따라서, 본 연구에서는 DGPS를 이용한 선박 동적 거동을 측정하고 선체에 설치된 자이로, 움직임측정센서 등의 측정값과 비교·분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, DGPS에서 산정된 Roll, Pitch의 수신정확도는 0.0016° 와 ± 0.0009 움직임측정센서 값의 정확도 평가용으로 적용 가능한 것으로 사료 되었다.

둘째, DGPS의 Heading 값은 단측위 방식과 복측위 방식 모두 상관계수 0.995이상으로 실측 자이로 값과 거의 유사하나, 각 변화량과 편차량의 상관계수가 0.94로 급 회전시 오차를 발생시킬 수 있다.

셋째, Pitch와 Roll은 모두 정상관 관계이며 각 변화와 편차량은 정상관 관계이나, 오정열, 진동 등과 같은 요소에 의한 편차가 발생하는 것으로 사료된다.

넷째, DGPS 높이 값에서 산정된 조위변화량은 실측 조위변화량과 일치하며 이 조위변화량을 제거하여 파고와 Heave를 산정할 수 있다.

다섯째, Heave는 상관계수가 움직임측정센서에서 가까운 순으로 상관성이 높게 산출되었으며, 움직임측정센서와 동일 장소 상부에 정도 높은 RTK GPS를 설치한다면 유도Heave값이 산출될 것으로 사료되어 이에 관한 연구가 필요하다.

여섯째, GPS의 속도는 선체 중심선에서 보다 좌우의

상관계수가 낮아 회전 방향에 따른 속도변화가 예상되어 무게중심 또는 선체 중심선에 설치한다면 정확한 속도 값을 산정될 것이다.

이상과 같이 선박 동적 거동특성은 MBES 자료의 정확도 향상 연구에 중요한 기초연구 자료로 활용될 수 있으리라 기대된다. 앞으로도 MBES의 기본개념과 원리를 기반으로 한 오차요인에 대한 연구, 유도 Heave 계측과 MBES 정확도 향상을 위한 많은 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구에 조사장비와 선박지원에 도움을 주신 국립해양조사원과 부경대학교 원격탐사센터 연구원들께 감사드립니다.

참고문헌

1. 국립해양조사원, 2001, "해양측량자료처리 및 효율적인 관리 방안"연구용역보고서, pp. 7~9, 13~36.
2. 박요섭 2004. 다중빔음향소해탐사시스템 자료의 오차분석 및 처리기술 연구, 박사학위논문, 인하대학교, pp. 56~61.
3. Christian de Moustier, "Field Evaluation of Sounding Accuracy in Deep Water Multibeam Swath Bathymetry", http://www.ieee.org/organizations/society/oes/html/fall02/Field_eval.html.
3. John E. Hughes Clarke, The challenge of technology: Improving Sea-floor mapping Methodologies, Canada, http://www.omg.unb.ca/AAAS/UNB_Seafloor_Mapping.html.
4. Kongsberg simrad, em3000 operator manual, Norway, pp. 351.
5. USACE, 2002, Hydrographic Survey Engineer Manual, EM1110-2-1003, pp. 11.
6. Geosystem, <http://www.gepsys.co.kr/>.
7. SeaBeam Instruments, 2000, Multibeam Sonar Theory of Operation, pp. 13~17.
8. <http://www.raytheonmarine.de/highseas/pdf/brochures/std20.pdf>.