

실습선 나라호의 추진력 상실에 따른 동적위치제어시스템의 성능 분석

이준호 · 공경주 · 정봉규*
부경대학교 실습선 나라호

Performance analysis of dynamic positioning system with loss of propulsion power of T/S NARA

Jun-Ho LEE , Kyeong-Ju KONG and Bong-Kyu JUNG*

Training Ship NARA, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

In order for the probe to perform ocean exploration and survey research, it is necessary to adjust the position of the ship as desired by dynamic positioning system. The dynamic positioning system of T/S NARA is applied to K-POS dynamic positioning system of Kongsberg, which makes maintaining the ship's position, changing position and heading control possible. T/S NARA is not capable of dynamic positioning if one or more propulsive forces are lost with DP Level One. However, it is predicted that dynamic positioning can be achieved even at the time of missing one thrust in a good sea condition. Therefore, we want to analyze the effect of each propulsion on the performance of dynamic position system. When one of the bow thruster and azimuth thrusters lost their propulsion, maintaining the ship's position, changing position and heading control performance were compared and analyzed. If the situation occurred disable from using the bow thruster, they can not maintain ship's position. Azimuth thruster was influential for the ship's position control and bow thruster was influential in heading control. The excellent dynamic positioning performance can be achieved, considering the propulsion power that will have a impact on each situation in the future.

Keywords : Dynamic positioning system, Loss of propulsion power, Training ship, Performance analysis

서 론

해양탐사선에서 탐사 및 조사 작업을 위해서는 험한 해상상태를 견디고 자기 위치를 유지하여 원하는 위치로 정확하게 이동하면서 작업할 필요가 있다. 특히, 수심이 깊고 해상상태가 나쁠수록 실시간으로 추진력을 발생시켜 실험위치를 유지하기 위해 동적위치제어시스템을 이

용하는 것이 필요하다(Samsung SHI, 2000). 국내에서 시뮬레이션을 이용한 동적위치제어시스템의 성능 평가는 시행되고 있지만, 부유식 해양구조물을 대상으로 시행되었으며 실습선을 대상으로 성능 평가가 시행된 경우는 없다(Lee, 2017). 그리고 선박 또는 부유식 해양구조물에 동적위치제어시스템이 사용된다면 이에 대한 성능

*Corresponding author: pkm262@hanmail.net, Tel: +82-10-4585-9151, Fax: +82-51-629-5989

평가는 필수적으로 행해지고 있다(Serraris, 2009).

실습선 나라호(이하 나라호라 한다.)의 동적위치제어 시스템은 콩스버그(Kongsberg)사의 K-POS 동적위치제어 시스템(Dynamic Positioning System)이 적용되어 있으며 자이로컴퍼스(Gyro Compass), 위치참조시스템(Position-Reference system) 및 추진력을 사용하여 자기 위치유지, 자동위치제어, 선수방위제어 등 동적위치제어 성능을 DP Level 1로 사용할 수 있다(Kongsberg, 2015). DP Level 1은 하나 이상의 추진기가 사용불가할 경우 동적위치제어가 불가능하다. 그러나 나라호의 경우 주 추진기 2기가 선미추진기(Azimuth Thruster)로 요잉(Yawing)에 작용하는 힘을 크게 사용할 수가 있으므로 양호한 해상상태에서는 하나의 추진력을 상실해도 동적위치제어가 가능하다고 예상되어 추진력 상실에 따른 동적위치제어 시스템의 성능을 알아보하고자 본 연구를 진행하게 되었다(Asgeir, 2011).

하나의 추진력을 상실했을 때 동적위치제어가 가능한 경우들은 예측가능하다. 하지만 동적위치제어가 불가능한 경우 어느 정도의 추가된 성능이 있을 경우 DP Level 1의 성능이 가능할 지 혹은 추가 설비를 하여 DP Level 2가 가능할지 평가하는 자료를 얻고자 본 연구를 진행하였다.

또한 나라호의 동적위치제어 시스템은 국내 실습선에 처음으로 적용되었으므로 추후 실습선에 이 시스템을 적용하는데 필요한 추진기의 성능을 예측하여 실습선 건조의 제작규격 성능에 대한 평가 지표로 활용해보고자 한다.

재료 및 방법

이론적 설명

콩스버그사의 K-POS 동적위치제어 시스템(이하 K-POS 시스템이라고 한다.)은 한 개 이상의 자이로컴퍼스 및 위치참조시스템을 사용하여 선박의 위치를 제어한다.

선수방위 및 선박의 위치가 설정되면 최적의 추진력을 할당하기 위한 추진 작동신호를 K-POS 시스템을 사용하여 나라호의 선수추진기와 선미추진기에 전달하고 원하는 선수방위 또는 선박의 위치편차가 K-POS 시스템에서 감지되면서 조절된다. 만약 위치참조시스템을 사용하지 않는다면, K-POS 시스템은 자이로컴퍼스를 이용하여 선수방위를 자동으로 안정화하고 제어할 수 있다(Kongsberg, 2015).

선박은 바람, 파도 및 조류 등의 외력이 작용할 뿐만 아니라 선박의 추진시스템에 의해 발생하는 힘과 모멘트에 영향을 받기 때문에 위치제어를 위해서는 연속적으로 제어가 가능해야 하기 때문에 위치 제어의 계산과 동시에 추진력을 발생시킬 수 있어야 한다.

그러므로 추진력 상실에 따른 동적위치제어 시스템의 성능평가는 실제 동적위치제어가 운용되는 시스템과 동일하게 하여 K-POS 시스템의 시뮬레이션을 가동하였으며 자기위치유지, 자동위치제어, 선수방위제어 성능을

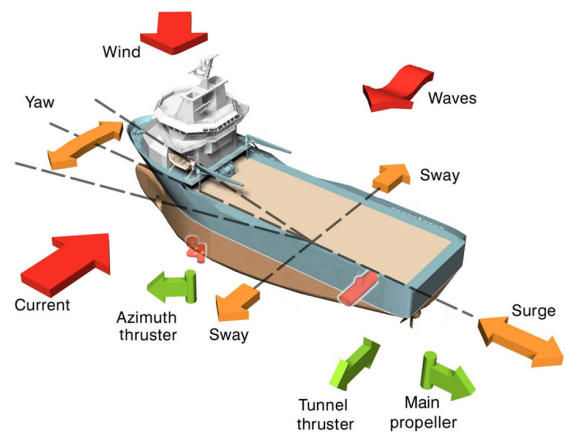


Fig. 1. Forces and motions for vessel.

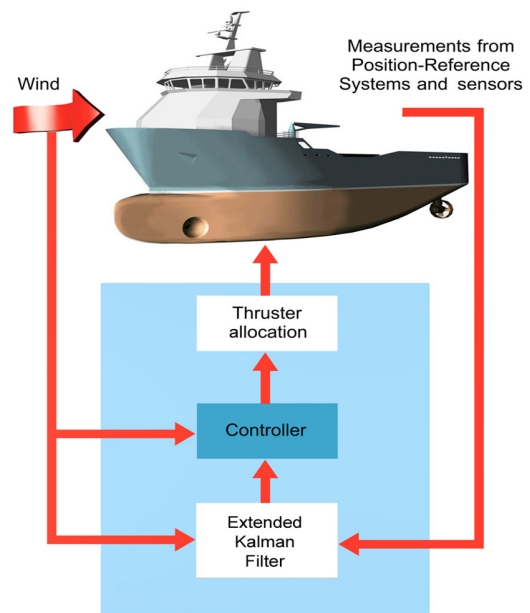


Fig. 2. K-POS Dynamic Positioning System block diagram.

비교하였다. 추진력 상실의 조건은 선수추진기(Bow Thruster) 1기 및 선미추진기(Azimuth Thruster) 2기 중 1기가 사용 불가능할 경우로 하였으며, 선박에 작용하는 외력은 바람과 조류로 한정하였다.

Fig. 1은 선박에 작용하는 힘과 운동을 요잉(Yawing)의 작용력을 포함하여 표시한 것이다(Kongsberg, 2015). 이러한 힘에 대하여 K-POS 시스템은 위치참조시스템, 자이로컴퍼스 및 수직참조센서에 의해 롤(Roll)과 피치(Pitch)를 보정하며 선박의 위치를 제어하며, 수평면에서 선수방위, 위치와 속도를 3가지의 자유도에서 선박의 움직임을 제어하기 위한 추진력을 계산한다(Lee, 2017).

K-POS 시스템의 구성도를 Fig. 2에 나타내었다(Kongsberg, 2015). 확장 칼만 필터를 사용하여 컨트롤러를 통해 실습선의 추진력을 계산한다. 이는 해류와 파도의 영향을 추정하는 알고리즘을 포함하여 확장 칼만 필터링 기법을 이용하여 연속적으로 보정된다(Kim et al., 2008).

동적위치제어에 사용된 확장 칼만 필터는 K-POS 시스템의 동적위치제어에 사용되는 기법이다. 자기위치유지, 자동위치제어, 선수방위제어의 동적위치제어성능을 시뮬레이션할 경우 사용되는 수식은 다음과 같다.

선체의 중심 위치를 X_L 과 Y_L 좌표로 하고 ψ_L 을 선수방위라고 하면 낮은 주파수의 움직임은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다(Tannuri and Morishita, 2006).

$$\dot{X}_L = A_L^{6 \times 6} X_L + A_{EL}^{6 \times 3} F_E + E_L^{6 \times 3} \omega_L + B_L^{6 \times 3} F_T \quad (1)$$

여기서, 각 행렬은

$$A_L^{6 \times 6} = \begin{pmatrix} 0_{3 \times 3} & T(\psi_L) \\ 0_{3 \times 3} & -M^{-1} C_{3 \times 3} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$A_{EL}^{6 \times 3} = B_L^{6 \times 3} = E_L^{6 \times 3} = \begin{pmatrix} 0_{3 \times 3} \\ M^{-1} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$X_L = (X_L \ Y_L \ \psi_L \ \dot{x}_1 \ \dot{x}_2 \ \dot{x}_6)^T \quad (4)$$

을 나타낸다.

여기서, F_T 는 추진기의 힘과 모멘트 벡터, F_E 는 낮은 주파수의 외부 작용력과 모멘트 벡터, M 은 선체의 질량 그리고 C 는 댐핑 행렬이다. ω_L 는 공분산 행렬 Q_L ($\omega_L \sim N(0, Q_L)$)과 Zero-mean Gaussian White Noise를 포함하고 있는 3×1 벡터이다. 아래첨자 L 은 낮은 주파수의 움직임을 나타낸다.

최종적으로, 높은 주파수의 움직임은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{x}_H = A_H^{6 \times 6} x_H + E_H^{6 \times 3} \omega_H \quad (5)$$

식 (5)에서 x_H 는

$$x_H = \left(\int X_H dt \ \int Y_H dt \ \int \psi_H dt \right)^T \begin{pmatrix} X_H \\ Y_H \\ \psi_H \end{pmatrix} \quad (6)$$

을 나타낸다.

ω_H 는 Zero-mean Gaussian White Noise ($\omega_H \sim N(0, Q_H)$)를 포함한 3×1 벡터이며, 아래첨자 H 는 높은 주파수의 기준 값이다. 변수 ζ 는 선박의 움직임 댐핑비를 나타내며 0.1로 설정되어 있다. 변수 ω_0 는 높은 주파수의 최대 주파수를 나타낸다.

측정된 신호 z 는

$$z = \begin{pmatrix} X_L + X_H + \nu_X \\ Y_L + Y_H + \nu_Y \\ \psi_L + \psi_H + \nu_\psi \end{pmatrix} \quad (7)$$

으로 나타낼 수 있다.

여기서 $v = [v_X \ v_Y \ v_\psi]^T$ 는 Zero-mean Gaussian White Noise ($v \sim N(0, R)$)를 포함한 3×1 벡터이다.

행렬 Q_L , Q_H , Q_{FL} 과 R 을 응용하여 확장 칼만 필터의 구성 요소 x_H , x_L 과 낮은 주파수의 외력 F_E 를 추측하여 계산된 모델은 식 (8)과 같다.

$$\dot{x} = A_{(x)x} + BF_T + E_\omega \quad (8)$$

여기서, x , ω , $A_{(x)}$, B , E 는 식 (1) ~ (7)을 통해 얻을 수 있다.

확장 칼만 필터 알고리즘을 사용하여 식 (8)을 분리하면 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} x[k] &= f(x[k-1], F_T[k-1], \omega[k-1]) \\ z[k] &= H \cdot x[k] + v[k] \\ f(\cdot, \cdot, \cdot) &= (A_{(x)} \cdot \Delta t + I) \cdot x[k-1] \\ &\quad + B \cdot \Delta t \cdot F_T[k-1] \\ &\quad + E \cdot \Delta t \cdot \omega[k-1] \end{aligned} \quad (9)$$

여기서, Δt 는 샘플링 시간을 나타낸다.

식 (9)는 확장 칼만 필터의 알고리즘에 바로 적용될 수 있다.

\bar{x} 를 선 예측값, \hat{x} 를 상태 벡터의 후 예측값, \bar{X} 와 \hat{X} 를 각각 행렬 공분산 오차의 선, 후 예측값, 그리고 K 를 칼만 행렬의 이득으로 정의하면, 분리된 확장 칼만 필터는 식 (10)과 식 (11)과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \bar{x}[k+1] &= f(\hat{x}[k], F_T[k], 0) \\ \bar{X}[k+1] &= \Phi \cdot \hat{X}[k] \cdot \Phi^T + \Gamma \cdot Q \cdot \Gamma^T \end{aligned} \quad (10)$$

식 (10)에서

$$\begin{aligned} \Phi &= \partial f / \partial x|_{x=\hat{x}[k]}, \\ \Gamma &= E \cdot \Delta t \\ Q &= \text{diag}(Q_L \quad Q_H \quad Q_{FL}) \end{aligned}$$

로 나타낸다. 그리고

$$\begin{aligned} K[k] &= \bar{X}[k] \cdot H^T \cdot (H \cdot \bar{X}[k] \cdot H^T + R)^{-1} \\ \hat{x}[k] &= \bar{x}[k] + K[k] \cdot \epsilon[k] \\ \hat{X}[k] &= (I - K[k] \cdot H) \cdot \bar{X}[k] \end{aligned} \quad (11)$$

이며, 식 (11)에서

$$\epsilon[k] = (z[k] - H \cdot \bar{x}[k])$$

로 나타낸다.

실험 방법

나라호에 작용하는 외력은 바람과 조류를 기준으로 3기의 추진기 중 1기가 성능을 상실하는 경우에 따라 K-POS Dynamic Positioning System의 시뮬레이터 시스템을 이용하여 성능을 분석하였다.

성능분석은 선박의 동적위치제어시스템을 사용함에 있어서, 추진기가 작용할 때의 효율을 서로 비교해보고, 자기위치유지, 자동위치제어, 선수방위제어에 대해 각 추진기의 추진력이 상황에 따라 상실되었을 경우를 실험하였다(Kongsberg, 2015).

Table. 1은 추진기의 작동상태 및 해상상태에 따라 분류하였다. 실험은 자기위치유지, 자동위치제어, 선수방위제어의 세 가지 경우로 나누어 하였으며, 각 추진기의 최대출력은 실제 선박에서 사용가능한 출력의 85% 까지 사용하도록 입력하였다.

자기위치유지 실험은 선박이 자기위치를 유지한 상태에서 풍향·풍속은 090°, 4 knots, 유향·유속은 090°, 1 knot의 외력이 작용하기 시작하였을 때, 설정된 선박의 위치에서 최대로 벗어난 거리 및 원래의 위치로 돌아와 자기위치를 유지하는데 걸리는 시간을 기준으로 비교하였다.

자동위치제어 실험은 자기위치를 유지한 상태에서 풍향·풍속은 090°, 4 knots, 유향·유속은 090°, 3 knot의 외력이 작용하기 시작하였을 때, 선수방향으로 1,000 m 전진하도록 하여 설정된 항로와 시뮬레이션으로 움직인 항로를 비교하였다.

선수방위제어 실험은 외력이 작용하지 않는 상태에서

Table 1. Experimental condition of thruster operation and sea condition

Case	Operating condition			Sea condition	
	Azimuth		Bow thruster	Wind	Sea current
	No. 1	No. 2			
Maintain ship's position	Run	Run	Run		
	Stop	Run	Run	90°	90°
	Run	Stop	Run	4 knots	1 knots
	Run	Run	Stop		
Change of position	Run	Run	Run		
	Stop	Run	Run	90°	90°
	Run	Stop	Run	4 knots	3 knots
	Run	Run	Stop		
Ship's heading control	Run	Run	Run		
	Stop	Run	Run	No wind	No sea current
	Run	Stop	Run		
	Run	Run	Stop		

선수방위가 000°에서 180°까지 회전하는데 걸리는 시간을 비교하였다. 그리고 선수의 방향이 회전하는 것만 고려하였으며 선박의 위치가 변경되는 것은 고려하지 않았다.

결과 및 고찰

K-POS 시스템의 시뮬레이션을 이용하여 선박에 작용하는 외력, 추진력, 추진 방향 등의 자료들을 실제 운항과 동일하게 모두 알 수 있다. 또한 추진력이 상실하였을 때 자기위치유지, 자동위치제어, 선수방위제어가 불가능한 경우는 선박의 운항을 통해 예측이 가능하다. 하지만 각 추진기가 동적위치제어에 성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 동적위치제어가 불가능한 경우라도 동적위치제어가 불가능하게 되는데 걸리는 시간, 벗어난 각도 등을 비교하여 성능에 대하여 고찰하여 보았다.

추진력 상실에 따라 자기위치유지, 자동위치제어, 선수방위제어의 동적위치제어성능을 시뮬레이션 한 결과는 다음과 같이 나타났다.

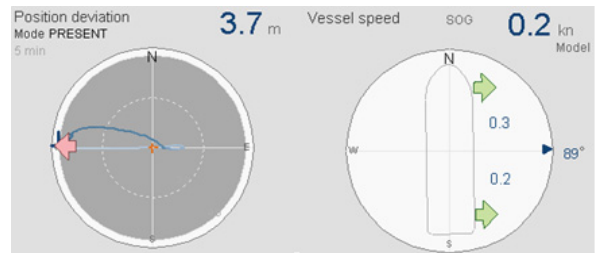
자기위치유지

Fig. 3은 자기위치유지 실험에서 선박이 자기위치를 유지한 상태에서 풍향·풍속은 090°, 4 knots, 유향·유속은 090°, 1 knot의 외력이 작용하기 시작하였을 때, 설정된 선박의 위치에서 최대로 벗어난 거리 및 그 때의 추진력이 선박에 작용하는 속도 벡터를 나타낸 것이다.

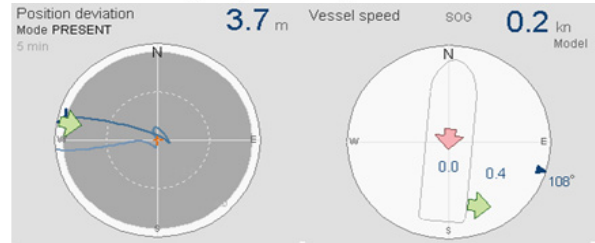
모든 추진기를 사용하는 (a)의 경우, 외력이 작용하여 설정된 선박의 위치에서 최대로 벗어난 거리는 3.7 m 이었고 걸리는 시간은 99초였다. 그 후 설정된 자기위치로 돌아오는데 걸리는 시간은 216초였다. 이 결과를 기준으로 각 추진기가 추진력을 상실하였을 때 자기위치유지의 성능을 비교하였다.

나라호의 우현쪽 추진기인 No.1 선미추진기가 추진력을 상실한 (b)의 경우, 외력이 작용하여 설정된 선박의 위치에서 최대로 벗어난 거리는 모든 추진기를 사용하였을 경우와 동일하게 3.7 m이었고 걸리는 시간은 89초였다. 그 후 설정된 자기위치로 돌아오는데 걸리는 시간은 390초였다. 자기위치를 유지하는데 걸리는 시간이 모든 추진력을 사용하였을 경우보다 1.8배 정도 오래 걸렸지만, 자기위치유지가 가능하였다.

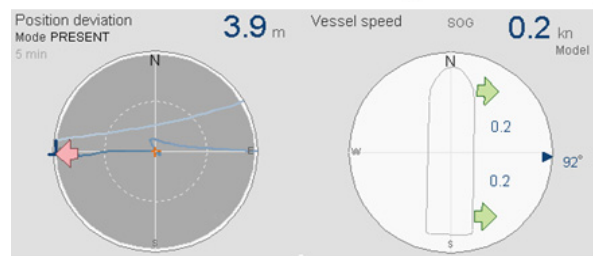
나라호의 좌현쪽 추진기인 No.2 선미추진기가 추진력을 상실한 (c)의 경우, 외력이 작용하여 선박의 위치에



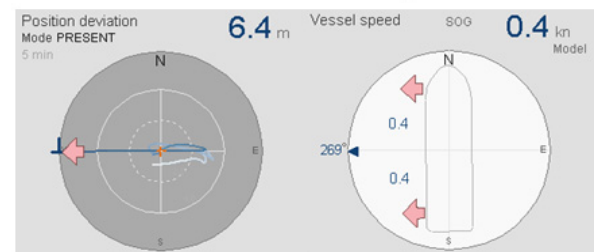
(a) All propulsion power used



(b) No.1 Azimuth thruster power loss



(c) No.2 Azimuth thruster power loss



(d) Bow thruster power loss

Fig. 3. Position deviation and Vessel speed during maintain ships's position.

서 최대로 벗어난 거리는 3.9 m로 모든 추진기를 사용할 경우와 No.1 선미추진기를 사용하였을 경우보다 0.2 m 늘어났으며 걸리는 시간은 90초였다. 그 후 설정된 자기위치로 돌아오는데 걸리는 시간은 398초였다. 자기위치를 유지하는데 걸리는 시간이 No.1 선미추진기를 사용한 경우와 비슷하며, 자기위치유지가 가능하였다.

나라호의 선수추진기가 추진력을 상실한 (d)의 경우,

외력이 작용하고 46초경과 후에 설정된 자기위치에서 3.7 m 벗어났으며, 99초경과 후 6.4 m 벗어났다. 그 이후에도 계속 설정된 자기위치와 0.4 knot의 속도로 멀어지며 자기위치유지가 불가능하였다.

각 추진기가 추진력을 상실한 경우를 실험한 결과, 선미추진기는 어느 1기가 사용 불가능하더라도 자기위치유지가 가능하였으나, 선수추진기가 사용 불가능한 경우에는 자기위치유지가 불가능하였다. 그러므로 선수추진기가 선미추진기에 비하여 선박의 위치제어를 제어하는데 더 큰 역할을 한다고 할 수 있다.

자동위치제어

자동위치제어 실험은 자기위치를 유지한 상태에서 풍향·풍속은 090°, 4 knots, 유향·유속은 090°, 3 knot의 외력을 받으며 선박이 지정된 항로를 따라서 가도록 하였다. 지정된 항로는 선수방위인 000° 방향으로 1,000 m 전진이다. Fig. 4에서 선박의 항로를 주황색 점선 및 선박의 추진 방향을 파란색 점선으로 표현하여 나타냈다.

모든 추진기를 사용하는 (a)의 경우, 외력의 작용에 견디서 지정된 방위 000°를 벗어나지 않도록 001° 방향으로 추진력을 작용하였다. 이 때 항로를 벗어나지 않았으며 1,000 m 전진하는데 걸리는 시간은 374초였다.

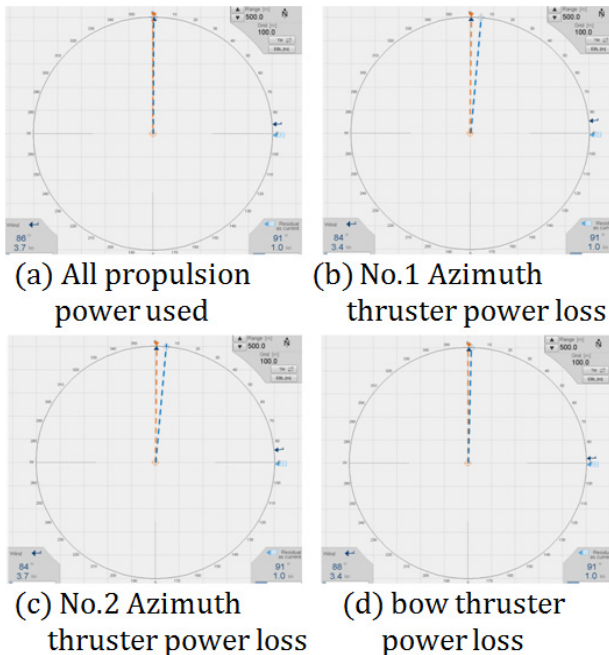


Fig. 4. Ship's position during change position.

No.1 선미추진기가 추진력을 상실한 (b)의 경우, 외력의 작용에 견디서 지정된 방위 000°를 벗어나지 않도록 009° 방향으로 추진력을 작용하였으나, 1,000 m 전진 후 지정된 항로를 3° 벗어났으며 619초의 시간이 걸렸다.

No.2 선미추진기가 추진력을 상실한 (c)의 경우, 외력의 작용에 견디서 지정된 방위 000°를 벗어나지 않도록 009° 방향으로 추진력을 작용하였으나, 1,000 m 전진 후 지정된 항로를 3° 벗어났으며 621초의 시간이 걸렸다. 선미추진기 2기 중 어느 1기가 사용 불가능하여도 결과는 유사하게 나타났다.

선수추진기의 추진력을 상실한 (d)의 경우, 외력의 작용에 견디서 지정된 방위 000°를 벗어나지 않도록 004° 방향으로 추진력을 작용하였다. 이 때 항로를 벗어나지 않았으며 1,000 m 전진하는데 걸리는 시간은 414초였다.

그러므로 선박이 외력의 영향을 견디고 지정된 방위를 유지하며 전진하는 데에는 선수추진기보다 선미추진기가 더 큰 역할을 한다고 할 수 있다.

선수방위제어

Fig. 5는 선수방위제어 실험으로 시계방향으로 회전하는 중 작용하는 추진기의 힘, 즉 벡터(Vector)를 나타낸 것이다. 모든 추진력을 사용 가능한 (a)의 경우, 선수방위

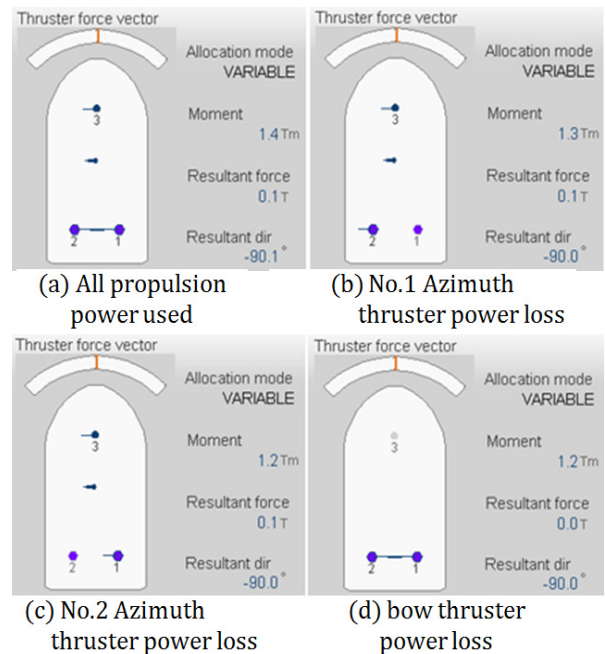


Fig. 5. Thruster force vector during heading control.

를 000°에서 180°까지 회전하는데 1,152초가 걸렸다.

선미추진기 1기가 사용 불가능한 (b)와 (c)의 경우, 선수방위를 000°에서 180°까지 회전하는데 각각 1,868초, 1,901초가 걸렸다. 그리고 선수추진기가 사용 불가능한 (d)의 경우에는 3,019초가 걸렸다. 그러므로 자기위치유지의 경우와 마찬가지로 선수방위 제어의 경우에도 선미추진기보다 선수추진기가 더 큰 역할을 한다고 할 수 있다.

결론

국내 해양탐사 실습선에 처음 적용된 동적위치제어시스템을 사용하여 추진력 상실에 따른 동적위치제어성능을 분석해 보았다.

선박의 자기위치유지의 경우, 선미추진기 1기가 추진력을 상실하여도 위치유지가 가능하였지만, 선수추진기가 추진력을 상실하면 자기위치유지가 불가능하였다.

선박의 자동위치제어의 경우, 선미추진기 1기가 추진력을 상실하였을 때 지정된 항로를 벗어났으며, 선수추진기가 추진력을 상실하였을 때에는 지정된 항로를 벗어나지 않았다.

또한 선수추진기를 이용하여 선수방위를 변경하였을 때는 선미추진기 1기가 추진력을 상실하더라도 선수방위의 제어가 가능하였지만, 선수추진기의 추진력이 선수방위 제어에 큰 영향을 미치므로 선수추진기가 선박의 자기위치유지 및 선수방위 제어를 하는데 큰 영향을 준다고 할 수 있다.

그러므로 추후 동적위치제어시스템을 적용 할 해양탐사 실습선 건조와 함께 고려할 사항으로 먼저, 선박의 자동 서지(surge) 유지 및 자동 스웨이(sway) 유지에 대한 추진력의 영향에 대한 분석이 필요하고, 다음으로 선박의 6자 유도운동을 고려해서 추진기 및 추진력을 결정할 필요가 있다. 특히, 자기위치유지 및 선수방위 제어를 주로 사용하는 선박이라면 선수추진기의 높은 출력이 필요하고, 자동위치제어를 주로 사용하는 선박이라면 선미추진기의 높은 출력이 필요하다.

추후 연구방향으로는 해상환경에 따른 동적위치제어시스템의 추진력 변화와 선체저항과의 관계, 항해장비와의 연동을 통한 연속적인 위치에서의 시스템의 운용 및 활용방안 등의 연구가 계속적으로 필요할 것 같다.

사사

실습선 나라호의 동적위치제어시스템의 성능 분석을 위해 도움을 주신 한국 콩스버그 및 모든 승조원님들께 진심으로 깊은 감사를 드립니다. 또한 이 논문에 대하여 많은 조언을 하여 주신 심사위원님과 편집위원님께도 감사드립니다.

References

- Asgeir J. Sørensen. 2011. A survey of dynamic positioning control systems. *Annual Reviews in Control* 35, 123-136
- Jorrit-Jan Serrais. 2009. Time domain analysis for DP simulations. *ASME International Conference on Ocean, OMAE Conference, Honolulu*
- Kim JM, Kim YT and Kim SS. 2008. Indoor localization for mobile robot using extended Kalman Filter. *Korean Institute of Intelligent Systems* 18(5), 706-711
- Kongsberg. 2015. Kongsberg K-Pos DP-11 and cJoy technical manuals, 17-24, 252-254
- Lee JY. 2017. Development of a framework for evaluating time domain performance of a floating offshore structure with dynamic positioning system. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society* 18(11), 718-724
- Samsung Heavy Industries. 2000. Development of ship dynamic positioning system, 6-15
- Tannuri EA and Morishita HM. 2006. Experimental and numerical evaluation of a typical dynamic positioning system. *Applied Ocean Research* 28, 133-146

2018. 04. 02 Received

2018. 05. 15 Revised

2018. 05. 17 Accepted