

## 드릴쉽에 대한 DPS 모형시험 기법개발

이동연\*, 하문근\*\*

### An Experimental Method of Model Installed Dynamic Positioning System for Drillship

Dong Yeon Lee\* and Mun Keun Ha\*\*

#### 요 약

드릴쉽과 셔틀탱커등 특수선의 건조가 활발해지면서 정해진 위치에서 장시간 작업해야 할 목적으로 동적 자기위치 유지시스템(Dynamic Positioning System)을 장착하는 선박이 늘어나고 있다. 본 논문에서는 DP 시스템의 구성 요소를 소개하고, 수조에서 실험한 결과를 바탕으로 제어이론과 필터이론에 따른 DP성능을 비교하였다.

실험에 사용한 선박은 10만톤급 드릴쉽으로 모델의 길이가 4m이며, 방향이 고정된 3개의 추진기를 사용하였다. 실험 내용은 명령에 따라 주어진 궤적을 이동하는 능력과 파도가 있는 외란 조건에서 원하는 선수각을 유지할 수 있는지를 살펴보았다. 추진력을 구하기 위하여 PID 이론을 적용하였고, 제어게인의 변화에 따른 제어특성을 살펴보았다. 선형운동성분과 계측잡음을 제거하기 위하여 칼만 필터와 디지털 필터를 적용하였고, 각각의 필터성능을 비교 검토하였다.

#### Abstract

The design and construction of special purpose vessels such as drillship and shuttle tankers have been increased. These vessels install the DPS(dynamic positioning systems) to maintain the position and heading for long-time operation. This paper deals with the experimental method for model-based DP system and the control theory and filter algorithms.

In this experiment, the length of model ship is 4 meters and it has three thrusters to maintain the position. The ability of tracking along the given course and keeping of heading in waves are confirmed. For the calculation of thruster input the PID control theory are adopted and the effects of PID gain were investigated. To estimate the low frequency motions Kalman filter and digital filter were used and their effects were investigated.

접수일자 : 2001년 1월 9일, 승인일자 : 2001년 4월 14일

\* 정회원, 영남대학교, 기계공학부 (E-mail : dylee@yu.ac.kr)

\*\* 정회원, 삼성중공업, 조선플랜트연구소 (E-mail : mkha@samsung.co.kr)

1. 서론

해저유전과 광물개발이 점점 깊은 바다로 이동하면서 고정식 구조물보다 선박형태의 부유식 구조물의 개발과 건조가 늘어나고 있다. 서플탱커와 드릴쉽과 같이 정해진 위치에서 지속적인 작업을 수행하는 선박은 높은 신뢰도를 갖춘 동적 자기위치 유지시스템 (Dynamic Positioning System, 이하 DP시스템)을 장착하고 있다. 이러한 DP시스템은 위치계측장비, 제어시스템, 추진시스템, 동력공급장치로 구성되며, 안정성과 신뢰성을 갖추기 위하여 시스템의 일부가 고장났을 때 대기하고 있던 시스템이 자동적으로 작동할 수 있도록 설계되어야 한다(Morgan, 1978).

DP시스템은 위치센서를 이용하여 현재의 자기 위치를 계측하고, 현재 위치에서 원하는 위치로 이동시키는데 필요한 추진력을 계산하고, 제어기의 명령에 따라 추진기를 구동하여 지속적으로 자기 위치를 유지하도록 하는 기능을 갖추고 있다.

DP시스템의 제어기는 위치정보에서 센서의 잡음성분과 제어의 대상이 아닌 선형운동성분을 제거하여 저주파수 운동을 추정하는 필터부분과 동력을 최소로 사용하면서 위치유지에 필요한 추진력을 계산하는 부분, 그리고 각각의 추진기에 추력을 분배하는 알고리즘으로 구성된다.

이러한 DP시스템은 모델테스트를 통해 제어기를 검증하고, 주어진 추진기의 용량으로 작업이 가능한 해상상태를 파악하여야 한다(이동연등, 1999). DP 시스템을 갖춘 선박 모형에 대한 모델 테스트는 MARIN(1997)등 해양공학 수조에 서 주로 이루어져 왔다.

본 논문에서는 DP시스템의 모델 실험방법을 소개하고, 10만톤급 드릴쉽에 대한 모델실험을 통해 제어이론과 필터의 성능을 비교하였다. 실험에서 추력을 구하기 위해 PID이론을 이용하였고, 되먹임 게인(Feedback Gain)을 변화시키면서 제어특성을 살펴보았다. 또한 저주파수 운동을 추정하기 위해 칼만필터와 디지털필터를 적용하여 그 결과를 비교하였다. 실험을 통해 선박모형이 정해진 궤적을 제대로 따라가는지 조사하였고, 파

도의 크기에 따라 자기위치를 유지하는데 필요한 추력의 크기를 비교하여 작업가능한 해상상태를 예측하였다.

2. 실험선박과 실험방법

2.1 실험대상 선박

본 실험은 삼성중공업에서 건조한 10만톤급 드릴쉽의 4m모형을 이용하였고, 주요치수와 모델 크기는 Table 1과 같다.

Table 1 Principal dimensions

	Ship	Model
LBP [m]	219.40	4.00
B [m]	42.00	0.766
Draft [m] at operating	12.00	0.219
Draft [m] at transit	8.50	0.155
Displacement [ton] at operating Draft	98,406	0.596
Displacement [ton] at transit Draft	68,075	0.413
Model scale	54.85	: 1

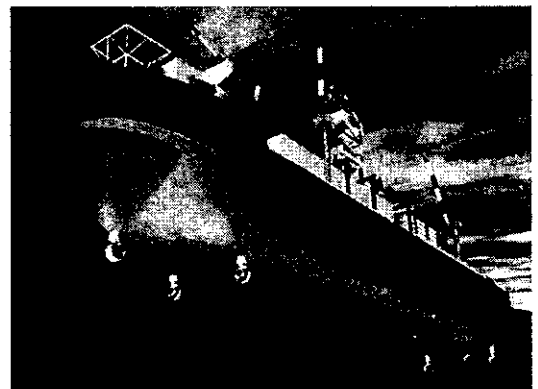


Fig.1 100,000 DWT drillship ( Conceptual view from bottom )

Fig.1에 나타난 것처럼 드릴쉽은 선체 중앙에 드릴장비와 라이저(riser)를 해저바닥으로 내릴 수 있도록 직사각형 문풀(Moonpool)을 갖추고 있으며, 이러한 문풀은 선박의 이동시에 추가적인 저항이 발생하여 속도감소를 일으키기 때문에 형상과 그 크기를 신중하게 결정해야만 한다 (유재

훈/최순호, 1999).

선박의 이동과 위치 유지를 위해 선수와 선미에 각각 3개씩, 총 6개의 4000kW급 아지무스 추진기를 갖추고 있으며, 2개의 추진기가 고장나더라도 해상작업이 가능하도록 용량을 결정하였으며, 이것은 DP Class 3 조건을 만족하고 있다.

2.2 실험구성 및 장비

모델 실험은 Fig.2 에 나타난 바와 같이 구성하여 수행하였다.

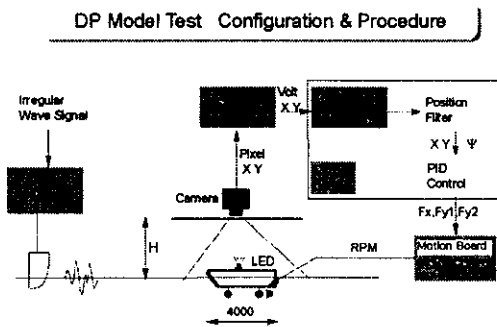


Fig.2 Experimental setup & configuration

우선 조파기를 이용해서 해상상태를 모사하는 불규칙파를 생성시키고 파고를 계측하여 원하는 불규칙파 스펙트럼인지를 확인하였다. 본 실험에서는 ITTC 스펙트럼을 이용하였다.

모델선박의 운동을 계측하기 위해 카메라를 이용한 비접촉식 장비를 이용하였는데, 기존의 6자유도 운동계측기(예 Motion Guide)는 기계장치의 마찰에 따른 감쇠효과로 선박의 운동을 구속하기 때문에 저주파수 운동을 제대로 계측할 수 없지만, LED타겟과 카메라를 이용한 비접촉식 장비는 선박의 운동을 구속하지 않고 정확한 운동계측이 가능하였다.

원하는 추력을 얻기 위하여 3개의 추진기를 설치하고, 추력방향을 고정시켰다. 실제 선박은 6개의 추진기가 추력방향을 360도 회전할 수 있는 형태지만, 이 경우에는 추력 방향과 크기에 대해 추력분배 알고리즘이 복잡하고, 해상상태에 따라

다른 추력분배 알고리즘을 적용하고 있다. 본 실험에서는 간단한 추력분배 알고리즘을 적용하여 제어기와 필터를 검증하는 것을 목적으로 하였고, 3개 이상의 추진기가 있을 때 복잡한 추력분배 알고리즘에 대한 연구는 추후에 수행하고자 하였다.

원하는 추력을 낼 수 있는 모터의 회전수를 계산하여, 각 추진기가 해당하는 회전수로 정확하게 작동하는지를 확인하였고, 원하는 위치로 이동하는데 필요한 추력을 발생시켜 자기위치를 유지하도록 하였다.

2.3 위치 계측장비

앞에서 언급한 바와 같이 DP 실험에서는 선박의 운동을 구속하지 않으면서 정확하게 위치정보를 획득하는 것이 중요하기 때문에 카메라를 이용한 비접촉 위치계측 장비를 이용하였다.

Fig.3과 같이 타겟의 위치(A<sub>x</sub>)는 타겟과 카메라의 거리(Z)와 렌즈의 초점거리(F)와 카메라 상에 맺힌 위치(P<sub>x</sub>)에 따라 결정된다. 또한 카메라 상에 맺힌 위치(P<sub>x</sub>)는 전압신호로 변환해 주는 시스템을 통해 현재 위치를 지속적으로 계측할 있다.

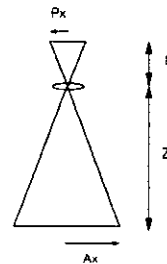


Fig.3 Target position and camera

타겟의 위치는 식(1)로 구할 수 있고, 카메라 상의 위치를 전압으로 변환하는 계수(α)는 카메라의 보정작업을 통해 결정할 수 있다.

$$A_x = \frac{Z}{F} P_x \quad (1)$$

$$V_x = \alpha P_x \quad (2)$$

평면상의 위치와 선수각을 얻기 위해 최소 2개의 타겟을 사용하면 되지만, 정확성과 안전성을

위해 7개의 LED 타겟을 사용하였다. Fig.4와 같이 7개의 타겟을 100mm 간격으로 좌우 대칭으로 스테인리스 판에 고정시키고, 선박의 중앙에 스테인리스 판을 설치하였다. 7개의 타겟 위치를 평균하여 모델의 수평위치(X,Y)를 구하고, 두 개의 타겟을 이용해서 선박의 각도를 구하고 이렇게 구한 21( $7C_2$ )개의 각도를 평균하여 모델의 선수각으로 정하였다.

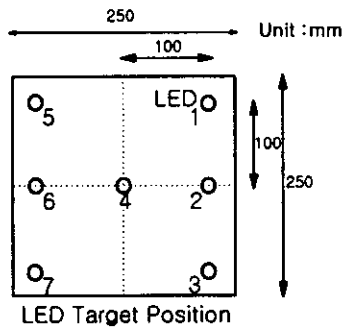


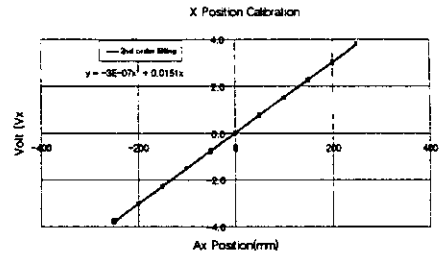
Fig.4 LED target configuration

카메라상의 위치(P)를 전압(V)으로 변환하는 계수( $\alpha$ )는 타겟이 고정된 판을 X,Y 각 방향으로 -300mm에서 300mm 까지 50mm 간격으로 이동시키면서 구하였고, 타겟과 카메라까지의 거리(Z)가 1500, 1600, 1700, 1800mm일 때 변환계수를 각각 구하여 Table 2에서 비교하였다.

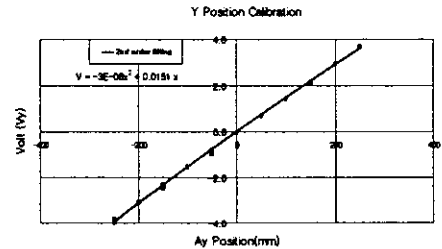
수평방향으로 타겟을 50mm씩 이동시킬 때, 위치이동과 전압의 관계는 Fig.5를 통해 선형 특성을 갖고 있음을 알 수 있고, Table 2에 정리한 바와 같이 타겟과 카메라의 거리는 변환계수에 영향을 미치지 않음을 확인하였다.

타겟의 위치와 전압을 2차식으로 근사한 식에서 2차항의 계수는 거의 0이며, 1차항의 계수가 X방향과 Y방향에 동일하므로 선형특성을 잘 나타내고 있다.

실험에서 타겟과 카메라 렌즈까지의 거리(Z)는 1500mm를 이용하였고, 타겟과 카메라 렌즈까지의 거리는 선박의 수직운동에 의해 변하지만, 7개의 타겟을 선박의 중앙부에 좌우 대칭으로 배치함으로써 수직운동에 의한 오차를 최소화하였다.



(a) X position, Z=1500mm



(b) Y position, Z=1500mm

Fig.5 Calibration result of camera

Table 2 Calibration factor of camera (Focus Length) = 25mm

Z [mm]	Ax [mm]	Px [mm]	Vx [Volt]	Vx/Px (V/mm)	$\alpha$ (V/mm)
1500	100	1.667	1.51	0.906	0.900
1600	100	1.563	1.41	0.902	
1700	100	1.471	1.32	0.897	
1800	100	1.389	1.24	0.893	

각각의 타겟이 얼마나 정확한 값을 나타내는지 검증하여 Table 3에 정리하였는데, 4번 타겟을 원점에 오도록 하고 각 타겟이 나타내는 위치를 60초동안 계측하여 평균값과 표준편차를 구하였다.

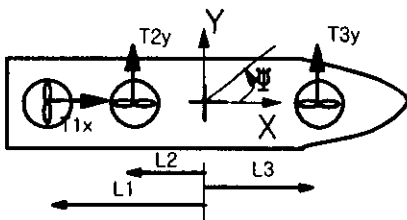
7개의 타겟을 평균한 위치는 (0.049mm, -0.093mm)로서 매우 작은 오차를 갖고 있으며, 표준편차는 0.22mm 이내로서 시간에 따라 크게 변하지 않고 안정된 값을 확인하였다. 따라서 본 실험에서 사용한 위치계측장비는 수직운동이 작을 경우에 매우 정확하게 선박의 수평위치를 계측할 수 있음을 확인하였다.

**Table 3** Uncertainty of position Sensor  
(Z=1500mm)

Target	x, y	A <sub>exact</sub> [mm]	A <sub>cal</sub> [mm]	Error [mm]	Std [mm]
1	X1	100	98.86	1.14	0.22
	Y1	100	99.86	0.14	0.20
2	X2	100	99.35	0.65	0.21
	Y2	0	1.08	-1.08	0.20
3	X3	100	100.36	-0.36	0.21
	Y3	-100	-99.98	-0.02	0.18
4	X4	0	0.00	0.00	0.19
	Y4	0	0.00	0.00	0.20
5	X5	-100	-100.25	0.25	0.17
	Y5	100	98.87	1.13	0.18
6	X6	-100	-99.57	-0.43	0.17
	Y6	0	-0.08	0.08	0.19
7	X7	-100	-99.09	-0.91	0.20
	Y7	-100	-99.19	-0.81	0.17
Mean	X	0	-0.049	0.049	0.196
	Y	0	0.093	-0.093	0.189

2.4 추진기 모델

선박에 장착한 추진기는 이지무스 추진기의 모형을 이용하였는데, 3개의 추진기를 Fig.6과 같이 배치하고 추력방향을 고정시켰다. 길이 방향으로 1개의 추진기를 배치하여 X방향의 추진력을 담당하도록 하였고, 폭방향으로 2개의 추진기를 배치하여 Y방향 대응력과 Z방향 모멘트를 생성하도록 하였다.



**Fig.6** Thrust allocation and coordinates

추진기모델은 설치위치에 따라 그 추력계수가 달라지므로 정해진 위치에 추진기 모델을 설치하고, 회전수를 변화시키면서 추력계수를 구하여 Table 4에 제시하였다.

추진력은 회전수(rps)의 제곱에 비례하는 특성을 잘 나타냈으며, 역방향일 때가 순방향보다 80%~90%정도 작은 추력을 내었다.

**Table 4** Thrust coefficient due to thruster position

Thrust	Position (x,y)	(+rps)		(-rps)	
		Kt	Kt/Kto	Kt	Kt/Kto
T1x	(-1.4, 0)	0.224	52.3 %	0.183	42.8 %
T2y	(-1.0, 0)	0.251	58.7 %	0.228	53.3 %
T3y	( 1.6, 0)	0.186	43.5 %	0.166	38.8 %

( POW Kto=0.42791, D=140mm)

$$K_t = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (3)$$

삼성중공업 예인수조(SSMB,1998)에서 구한 프로펠러 단독실험(POW)의 결과 K<sub>to</sub>=0.42791과 비교해 보면, 위치에 따른 추력계수의 변화를 알 수 있다. 우선 선미쪽에 위치해서 선저 바닥에 가장 많이 간혀 있는 T2y의 경우가 가장 큰 추진효율을 보이며, 선수부에 폭방향으로 위치한 T3y가 가장 낮은 추진효율을 보이고 있다. 따라서 바닥면의 영향으로 바닥면에 더 많이 간혀 있을수록 추진효율이 더 좋다는 것을 알 수 있고, 프로펠러 단독 실험에 비해서 40~60%의 추력을 낼 수 있음을 확인하였다.

DPS시스템에 사용하는 추진기는 추진기 상호간의 영향을 고려해야 하는데, 본 실험에서는 추진 방향이 고정되어 있고, 서로 간섭하지 않을 정도로 충분한 거리가 있기 때문에 상호 영향을 고려하지 않았다.

DPS시스템에 사용하는 추진기는 설치 위치에 추진기 모델을 설치하여 추력계수를 구하여 이용하는 것이 바람직하다는 것을 확인하였다.

3. 제어이론과 필터알고리즘

3.1 제어이론

선박의 현재 위치에서 원하는 위치로 이동하는데 필요한 추진력을 PID제어이론에 따라 결정하였다. 지속적인 누적오차가 발생하는 경우에는 적분 계인이 필요하지만, 본 실험에서는 오차성분의 누적이 작다고 가정하여 적분 계인은 사용하지 않았으며, P계인과 D 계인만 이용하였다.

선박의 위치와 속도에 대한 좌표계는 Fig.7과 같다.

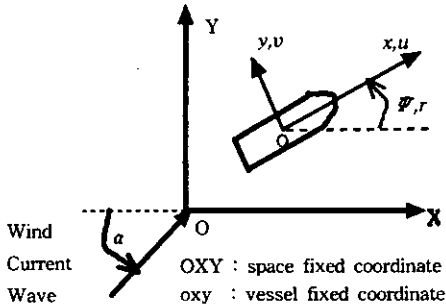


Fig.7 Coordinate system

선박의 위치와 속도에 대한 상태변수와 제어입력은 다음과 같다.

$$x = [u, x, v, y, r, \psi]^T \quad (4)$$

$$u = [T_x, T_y, T_{xy}]^T \quad (5)$$

여기서  $T_x$ 는 길이방향으로 필요한 추력이고,  $T_y$ 는 폭방향으로 필요한 추력이며,  $T_{xy}$ 는 선수 각을 유지하기 위해 필요한 추력모멘트를 나타낸다. PD 제어론에 따라 다음 식(6)과 같이 제어입력을 구할 수 있다.

$$u = -K(x - x_{set}) \quad (6)$$

여기서

$$K = \begin{bmatrix} D_x & P_x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & D_y & P_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & D_\psi & P_\psi \end{bmatrix} \quad (7)$$

$x_{set}$  은 원하는 위치와 속도를 나타낸다.

### 3.2 필터 알고리즘

#### 3.2.1 칼만 필터

선박의 위치와 속도신호에는 노이즈성분과 파랑의 선형하중에 의한 선형운동 성분을 포함하고 있다. 그런데, DP 시스템은 이러한 성분을 제외한 저주파수 운동만을 제어하기 때문에 필터 알고리즘을 통해 고주파수 운동 성분을 제거한 저주파수 운동을 추정하여 추진력 계산에 이용해야 한다. 이를 위해 본 실험에서는 칼만필터와 디지털 필터를 적용하여 그 성능을 비교하였다.

선박의 저주파수 운동방정식에서 상태변수 방정식을 세우면 다음과 같다. (이상무등,1989, Fossen,1994, Lee et. al,1999).

$$\dot{x} = Ax + Bu + Gw \quad (8)$$

$$y = Cx + Du + v \quad (9)$$

여기서 각 행렬은 다음 식으로 구해진다.

$$M = \begin{bmatrix} M + a_{11}(0) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M + a_{22}(0) & 0 & Mx_x + a_{26}(0) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Mx_x + a_{62}(0) & 0 & I + a_{66}(0) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$A = M^{-1} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$B = M^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$G = M^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

여기서  $M$  은 선박의 질량,  $I$  는 관성모멘트,  $x_x$ 는 x방향 질량중심의 위치를 의미하며,  $a_{ij}(0)$ 은 저주파수에서 부가질량을 나타낸다.

그리고 각 벡터는 다음과 같은 의미를 갖는다.

상태변수  $x = [u, x, v, y, r, \psi]^T \quad (16)$

제어입력  $u = [T_x, T_y, T_{xy}]^T \quad (17)$

계측변수  $y = [x, y, \psi]^T \quad (18)$

시스템노이즈  $w = [w_x, w_y, w_{xy}]^T \quad (19)$

계측노이즈  $v = [v_x, v_y, v_{xy}]^T$  (20)

추정변수  $\hat{x} = [\bar{u}, \bar{x}, \bar{v}, \bar{y}, \bar{r}, \bar{\psi}]^T$  (21)

그리고, 시스템 노이즈와 계측 노이즈의 공분산 (Covariance)행렬은 다음과 같고,

$$Q = E(w \cdot w^T), \quad R = E(v \cdot v^T) \quad (22)$$

여기서 E는 시간평균을 의미한다.

칼만 필터의 게인 행렬(L)은 다음 식(23)으로 구해지며

$$L = PC^T R^{-1} \quad (23)$$

여기서 P는 식 (24)과 같은 리카티 방정식 (Ricatti Equation)의 해이다.

$$AP + PA^T + GQG^T - PC^T R^{-1} CP = 0 \quad (24)$$

추정변수는 다음 식에 따라서 구할 수 있다.

$$\hat{\dot{x}} = A\hat{x} + Bu + L(y - C\hat{x}) \quad (25)$$

### 3.2.2 디지털 필터

칼만 필터는 시스템에 대한 정보와 계측시스템이 갖고 있는 노이즈성분의 공분산을 예측하여 설계해야 하는 어려움이 있기 때문에 계측된 신호를 저주파수 통과필터(Low Pass Filter)의 형태인 디지털 필터를 식(14)와 같이 적용하여 디지털 필터로 추정된 저주파수 운동과 칼만 필터의 결과를 비교하였다(Gelb et al,1988).

$$\hat{x}(t) = \sum_{k=1}^N B(k) \cdot x(t - k\Delta t) \quad (26)$$

여기서 B(k)는 차수(N)와 절단주파수(cut-off frequency)에 따라 결정된다. 디지털 필터에 의해 추정된 결과는 차수를 높이면 더 많은 과거 시간의 데이터를 이용하기 때문에 저주파수 운동을 잘 얻을 수 있지만,  $\frac{N}{2} \Delta t$  만큼의 시간지연효과가 발생하게 되고, 차수를 낮추면 시간지연효과는 줄어들지만 고주파수 성분을 제거하지 못하게 된다.

### 3.3 추력분배 알고리즘

추진기 1( $T_{1x}$ )은 길이방향 대응력을 담당하도록 하고, 추진기 2( $T_{2y}$ )와 추진기 3( $T_{3y}$ )은 폭방향 대응력과 모멘트를 담당하도록 추력을 분배하면 각 추진기의 추력을 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} T_{1x} \\ T_{2y} \\ T_{3y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & -L_2 & L_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_{xy} \end{bmatrix} \quad (27)$$

한편, 요구하는 추력이 추진기의 최대 추력을 초과하는 경우에는 최대추력으로 제한을 하였고, 본 실험에서는 10N(실선기준 1,650kN)을 최대 추력으로 하였다.

## 4. 실험 결과

### 4.1 실험순서 및 실험내용

카메라를 이용하여 현재의 위치와 선수각을 계측하고, 칼만필터나 디지털필터를 통해 저주파수 운동성분을 추정하여 추정된 위치와 속도에 PD 게인을 곱하여 위치유지에 필요한 추력과 모멘트를 구하였다. 그리고 추력 분배 알고리즘에 따라 각 추진기에 필요한 추력을 계산하여 이에 대응하는 회전수로 추진기를 작동시키는 과정을 0.05초마다 반복하여 지속적으로 자기위치를 유지하거나 주어진 궤적을 따라가도록 하였다.

실험은 우선 외란 조건이 없는 상태에서 정해진 궤적을 따라가는 실험을 수행하였고, 불규칙 파가 있는 외란 조건하에서 정해진 선수각을 갖고 자기위치를 유지하는지를 실험하였다.

Fig.8과 같이 600초 동안 전후로 20cm씩 이동하고, 좌우로 20cm씩 이동한 후 선수각을  $\pm 20$ 도씩 회전하도록 하였다. 이러한 방법은 실제 선박의 DP 시운전에서 적용하는 방법이다.

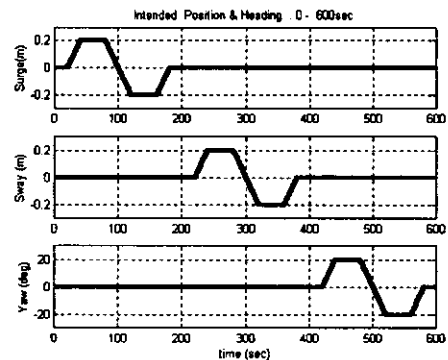


Fig.8 Command position and heading

그리고, 파도가 있는 상황에서 자세유지가 가능한 최대 선수각을 파악하기 위하여 0도부터 선수각을 10도 간격으로 증가시키면서 자기 위치를 유지하도록 하였다.

4.2 PD 게인의 영향

주어진 궤적을 이동하는 실험에서 PD 게인을 Table 5과 같이 변화시키면서 게인에 따른 제어 성능을 비교하였다.

Table 5 Gain of PD controller

case	X		Y		$\psi$	
	Px N/m	Dx Ns/m	Py N/m	Dy Ns/m	P $\psi$ Nm/rad	D $\psi$ Nms/rad
1	25	100	25	100	12.5	30
2	25	100	25	10	12.5	30
3	25	100	25	30	12.5	30
4	25	100	25	30	60	150
5	25	100	25	30	25	60

600초 동안 위치와 선수각에 대한 오차와 표준편차를 구해 Table 6에 나타내었고, 추진력의 변화를 Table 7에 정리하였다.

Table 6 Position error due to PD gain

Case	X		Y		$\psi$	
	mean [mm]	std [mm]	mean [mm]	std [mm]	mean [deg]	std [deg]
1	-4.4	6.1	-10.6	4.6	0.198	0.604
2	-6.4	3.6	-10.0	14.0	0.511	0.598
3	-6.5	6.5	-11.4	6.3	0.527	1.126
4	12.1	4.9	2.5	7.8	-0.248	0.864
5	9.0	5.5	9.6	5.3	-0.543	0.415

Table 7 Thrust due to PD gain

Case	Tx		Ty		Txy	
	mean [N]	std [N]	mean [N]	std [N]	mean [N]	std [Nm]
1	0.103	0.178	0.252	1.393	-0.039	0.166
2	0.158	0.111	0.249	0.354	-0.110	0.165
3	0.161	0.198	0.284	0.174	-0.113	0.292
4	-0.302	0.244	-0.064	0.275	0.263	2.148
5	-0.227	0.231	-0.239	0.173	0.237	0.344

X방향은 초기에 설정한 게인값에 문제가 없어 그대로 사용하였고, Y게인과  $\psi$ 게인은 너무 작은 경우에는 반응이 느리게 나타났고, 너무 큰 경우에는 추진기의 급격한 변화가 나타났다.

Case 1과 같은 게인 값을 사용하는 경우에는 주어진 궤적을 잘 따라가서 위치오차가 크지 않았지만 Y방향의 추력이 심하게 진동하였고, case2와 같이 속도 게인을 줄인 경우에 너무 느리게 반응하여 Y방향의 오차가 크게 발생하였다. Case 3과 같이 게인을 설정한 경우, Y방향에 대한 오차와 추진기 사용정도가 적당하다고 생각되었으며, 회전운동에 대한 게인도 case 3,4,5와 같이 변화시킨 결과 위치오차와 추진기 사용정도가 case5와 같은 게인을 이용하는 것이 가장 적당하다고 판단되며, Fig.9에 나타낸 바와 같이 위치와 선수각이 원하는 값을 잘 따라가고 있음을 확인할 수 있다.

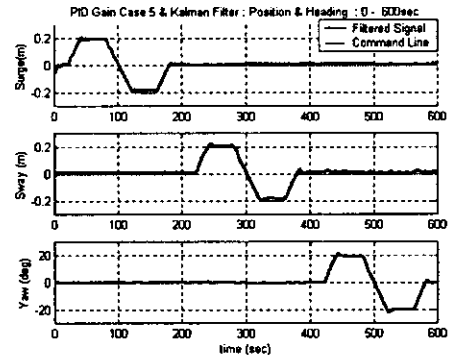


Fig.9 Position and heading ( PD gain case 5 )

4.3 Kalman Filter 와 Digital Filter

같은 PD 게인을 이용하는 경우에 칼만 필터와 디지털 필터가 저주파수 운동을 제대로 추정하는지를 살펴보았다. 속도를 추정한 결과를 살펴보면 칼만 필터의 경우에는 Fig.10과 같이 고주파수 성분을 모두 제거하고 저주파수 성분만을 잘 추정하고 있음을 알 수 있다. 한편 디지털 필터의 차수를 N=20을 사용하여 1초동안의 데이터로부터 추정한 결과는 고주파수 성분이 남아 있음을 알



수 있다(Fig.11).

이러한 특성은 Fig.12과 Fig.13에 나타난 추력을 보면 더욱 분명히 알 수 있는데, 칼만 필터의 경우에는 요구되는 추력이 서서히 변하고 있지만 디지털 필터의 경우 고주파수 성분이 그대로 남아 있어 추진력이 빠르게 변하면서 피로현상(wear and tear)을 일으켜 추진기의 수명을 단축시키게 될 것이다. 또한 디지털 필터로 고주파수 성분을 제거하려면 더 높은 차수를 선택해야 하지만 이럴 경우 시간지연효과로 인해 원하지 않는 방향으로 추진력을 발생시켜 더욱 큰 오차를 유발할 수 있다.

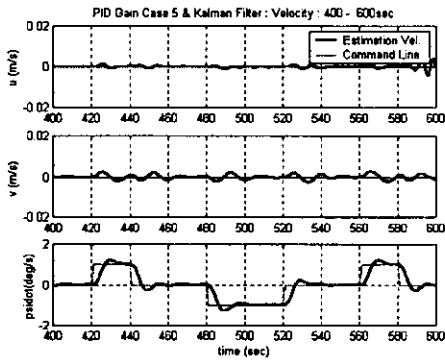


Fig.10 Estimated velocity(Kalman Filter)

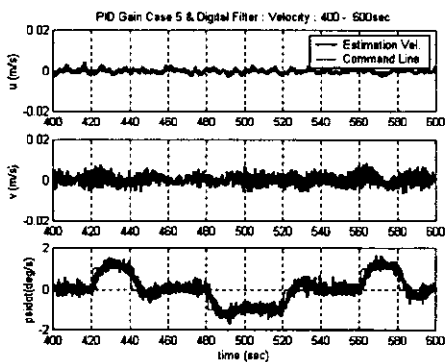


Fig.11 Estimated velocity(Digital Filter)

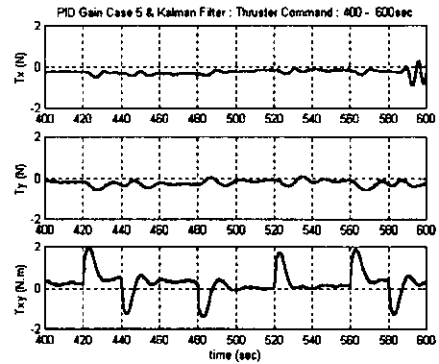


Fig.12 Required thrust(Kalman Filter)

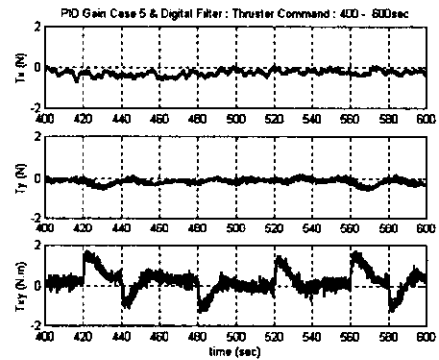


Fig.13 Required thrust(Digital Filter)

#### 4.4 선수각에 따른 추력비교

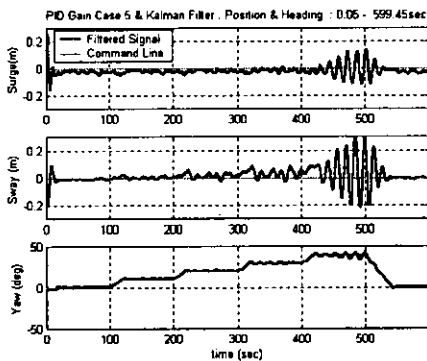
파도중에서 선수각을 10도씩 변화시켰을 때 각도가 커지면서 오차가 커지고, 요구되는 추력도 커지고 있음을 Table 8과 Table 9를 통해 알 수 있다. 유의파고 4.6cm(실선기준 2.5m)일 때는 50도까지 선수각 유지가 가능하였지만, 유의파고 8.8cm(실선기준 4.8m)일 때는 30도의 선수각까지 자기위치를 유지하였다. Fig.14에서 보인 바와 같이 유의파고 8.8cm인 파가 입사할 때 선수각이 40도인 경우에는 많은 위치 오차를 갖고 있으며, Fig.15에 나타난 추력을 보면 이러한 위치오차를 제거하기 위하여 추력이 심하게 변하고 있음을 알 수 있다. 따라서 30도까지는 안정적으로 자세유지가 가능하지만, 40도인 경우에는 불안하게 자세유지를 하고 있음을 알 수 있다.

**Table 8** Heading error and thrust due to set heading (Hs=4.6cm)

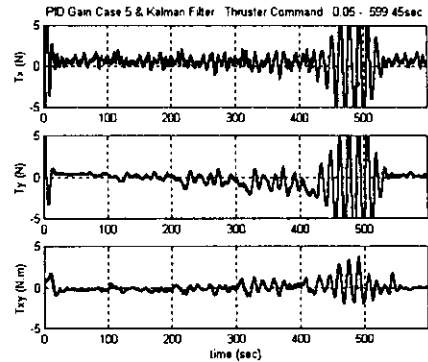
Heading	Error of $\psi$		Txy	
	mean [deg]	std [deg]	mean [Nm]	std [Nm]
10deg	-0.5969	<b>0.1173</b>	0.2601	<b>0.1968</b>
20deg	-0.7963	<b>0.2165</b>	0.3495	<b>0.2847</b>
30deg	-1.0739	<b>0.3227</b>	0.4700	<b>0.3826</b>
40deg	-1.4782	<b>0.4183</b>	0.6390	<b>0.4222</b>
50deg	-1.6901	<b>1.1569</b>	0.7425	<b>0.7488</b>

**Table 9** Heading error and thrust due to set heading (Hs=8.8cm)

Heading	Error of $\psi$		Txy	
	mean [deg]	std [deg]	mean [Nm]	std [Nm]
0deg	0.6645	<b>0.1437</b>	-0.2938	<b>0.0819</b>
10deg	0.7281	<b>0.2637</b>	-0.3259	<b>0.1543</b>
20deg	0.4005	<b>0.4156</b>	-1.1765	<b>0.2899</b>
30deg	-0.1884	<b>0.6549</b>	0.0900	<b>0.4798</b>
40deg	-1.2192	<b>1.9018</b>	0.5181	<b>1.6027</b>



**Fig.14** Position and heading ( Hs=8.8cm )



**Fig.15** Required thrust(Hs=8.8cm)

5. 결론

드릴십에 대한 DP모델 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 카메라를 이용한 비접촉식 위치계측은 운동을 구속하지 않으므로 저주파수 운동을 포함한 평면운동을 계측하는데 매우 효과적이다.

2. 같은 추진기 모델을 사용하더라도 설치위치에 따라 추진계수가 달라지므로 DP 실험 전에 반드시 설치위치에 따른 추진 계수를 구하여 사용해야만 한다.

3. PD 계안에 따라 제어특성은 크게 변화였으며, 게인이 작은 경우에는 느리게 응답하여 위치 오차가 발생하였고, 게인이 큰 경우에는 추진력의 잦은 변화가 발생하였다.

4. 칼만 필터와 디지털 필터를 이용해서 고주파수 성분을 적절히 제거하는지를 살펴보고, 디지털 필터의 차수가 큰 경우에는 시간지연 효과가 발생하였고, 차수가 작은 경우에는 고주파수 성분을 제대로 제거하지 못하였으며, 칼만필터는 효과적으로 저주파수 운동을 추정하였다.

5. 파도만 존재할 때, 위치 유지가 가능한 최대 선수각은 유의 파고 Hs=4.6cm(실선기준 2.5m) 일 때 50도였고, Hs=8.8cm(실선기준 4.8m)일 때는 30도임을 확인하였다.

후 기

본 연구는 산업자업부, 산업기술평가원의 지원에 의한 "선박의 동적위치제어 시스템 개발" 산업기반기술과제의 연구비로 수행한 결과임을 밝히고, 위 기관과 논문작성을 지원한 영남대학교 BK21 사업단에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 이동연, 김진기, 정성욱, 유우준, 박재우, 하문근, 1999, "드릴쉽에 대한 DP시스템 개발과 실험", 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 436-439
- 유재훈, 최순호, 1999, "문풀과 이지무스 추진기를 장치한 드릴쉽의 저항추진성능", 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp.424-427.
- 이상무, 이판목, 홍사영, 1989, "자기동조 제어를 이용한 위치확보 시스템에 관한 연구", 대한조선학회지 제 26권 2호 pp. 32-40.
- Fossen, 1994, Thor I. Guidance and Control of Ocean Vehicles, John Wiley & Sons.
- Gelb, A., Kasper, Jr., J.F., Nash, Jr., R.A., Price, C.F and Suherland, Jr., A.A., 1988, Applied Optimal Estimation, MIT Press, Boston, Massachusetts.
- Lee, D.Y., Ha, M.K. and Kim H.J., 1999, "Development of Dynamic Positioning Simulation Program", 日本 關西 造船協會紙, Vol. 231, pp.65-73.
- MARIN, 1997, Model Test for a Deep Water Drillship, Report No. 13816-1-1GT.
- Morgan, Max J., 1978, Dynamic Positioning Offshore Vessels, The Petroleum Publishing Co.
- SSMB, 1998, Calm Water Model Tests for 98,000 m<sup>3</sup> Displacement Deepwater Drillship, Samsung Ship Model Basin, Report No. SSMB-T-1998-9039-T1.



< 이 동 연 >



< 하 문 근 >