

X - Y 평면상의 운동만을 고려한 소형 잠수정의 모델링

임장순, 이건영,
광운대학교 전기공학과

Modeling of QIROV Considering Motion on the X - Y Plane

Jang Soon Yim, Keon Young Yi
Dept. Electrical Eng. KwangWoon University

Abstract - This paper presents modeling of QIROV's motion on the X-Y plane. Modeling covered the dynamics of a ROV equipped with two trusters at tail, and it started with reconstructing the forces of X, Y and toque from two trusters' forces. The simulator built based on the modeling using Visual C under MS Windows XP.

1. 서 론

소형잠수정의 수중움직임을 제어하기 위해서 실제 잠수정의 물속에서의 동작특성을 알아야 한다. 기존 연구에서는 심해에서의 ROV 제어를 위하여 강한 비선형 제어설계를 제안하였다[1]. 또한, 추진기(truster)의 설치 각과 추진력 및 회전력에 관한 연구도 수행되었다.[2] 본 연구실에서는 잠수정의 모델링의 기본이 되는 추진기의 힘을 잠수정으로부터 추진기를 분리하지 않은 상태에서 측정하는 연구를 하였다.[3]

본 연구에서는 추진기가 잠수정의 진행방향과 평행하게 설치된 경우의 추진력과 회전력을 분석하여 추진기 설치각의 영향을 쉽게 파악할 수 있도록 하며, 특정 잠수정의 모델링 보다는 실험용으로 널리 활용될 수 있는 단순한 형태의 소형 잠수정(QIROV)에 대한 모델링 및 그 결과의 타당성을 보여준다.

2. 본 론

모델링 대상인 소형 잠수정(QIROV)의 실제 모습은 <그림 1>과 같다. 조이스틱으로 조작 가능하며 서지 운동을 위한 추진기 2개와 히브 운동을 위한 추진기 1개를 가지고 있다. 본 연구에서는 X-Y 평면상의 운동만을 고려하였으며, 독립적인 제어가 가능한 히브 운동은 논외로 한다.

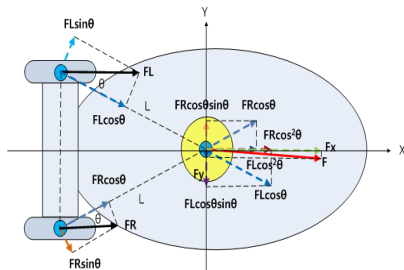
2.1절에서는 추진기의 두 힘을 분해하여, 합성 힘과 회전각, 토크를 구하고, 2.2절에서는 상태변수를 사용하여 X, Y, Z 방향의 운동을 해석하였다. 2.3절에서는 잠수정의 움직임을 모의 실험하기 위한 시뮬레이터에 대하여 기술하고, 2.4절에서는 C로 구현된 시뮬레이터를 이용해 모의실험 결과를 기술하였다.



<그림 1> QI 잠수정

2.1 추진력 분해

왼쪽 추진기의 힘을 F_L , 오른쪽 추진기의 힘을 F_R 라 하면, 소형 잠수정의 진행 방향과 회전력은 다음의 과정으로 구할 수 있다.



<그림 2> 추진기 힘의 분해 벡터

잠수정의 좌표를 <그림 2>과 같이 설정하고 입력이 되는 추진기의 힘을 $\cos\theta$ 성분과 $\sin\theta$ 성분으로 분해한다. 잠수정의 추진력은 $\cos\theta$ 성분의 합성을 통하여 구할 수 있고, 회전력은 $\sin\theta$ 성분의 합성으로 구할 수 있

다. 합성된 추진력을 X-Y 평면에서 다시 $\cos\theta$ 성분과 $\sin\theta$ 성분으로 분해하면 식(1), (2)과 같이 X, Y 방향의 힘으로 각각 나누어진다.

$$F_x = F_R \cos^2\theta + F_L \cos^2\theta = (F_R + F_L) \cos^2\theta \quad (1)$$

$$F_y = F_R \sin\theta \cos\theta - F_L \sin\theta \cos\theta = \frac{1}{2} (F_R - F_L) \sin 2\theta \quad (2)$$

두 힘을 합성하면 소형 잠수정의 진행 방향의 합성 힘(F_{Mag})과 회전각(ψ)을 알 수 있다.

$$F_{Mag} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (3)$$

$$\psi = \text{sgn}(F_y) \cos^{-1} \frac{F_x}{F_{MAG}} \quad (4)$$

또한, 회전력(T)은 다음과 같이 구해진다.

$$T = LF_R \sin\theta - LF_L \sin\theta = (F_R - F_L) L \sin\theta \quad (5)$$

이상의 결과에서 알 수 있듯이 추진력은 추진기의 설치방향이 잠수정의 무게중심으로 향할 때, 최대가 되며($\cos^2\theta$ 에 비해), 회전력은 그 각도가 수직 일 때 최대가 된다.($\sin\theta$ 에 비해)

2.2 운동해석

본 절에서는 잠수정의 관성력과 속도에 따른 저항력을 고려한 직선 및 회전 운동 해석을 다룬다. 직선 운동은 앞서 언급한바와 같이 X, Y 평면상의 운동으로 한정한다.

2.2.1 X, Y 방향 운동

잠수정에 추진력(F)가 가해질 때 움직이지 않으려는 관성력과 움직임을 방해하는 물의 저항력의 관계는 식(6)과 같다. 여기에서 m 은 잠수정의 질량을 나타내고, b 는 물의 점성계수(표1 참조)와 물속에서의 운동을 방해하는 항을 포함한 계수(이하 속도저항계수)이다.

$$F(t) = m\ddot{x}(t) + b\dot{x}(t) \quad (6)$$

위 식에서 잠수정의 변위(x)와 속도(\dot{x})를 각각 x_1, x_2 상태로, 출력을 변위로 하면 식(7)과 같은 상태변수 모델이 얻어진다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{b}{m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m} \end{bmatrix} F(t)$$

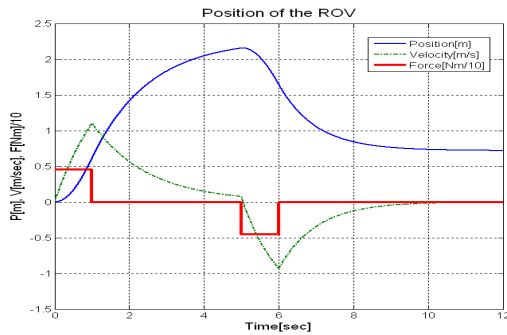
$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

잠수정이 직진을 한다는 가정과 속도저항계수를 잠수정의 형상에 따라 다르지만 물의 점성계수에 2를 더하여 임의로 정할경우, 각각의 파라미터는 $m=3[\text{kg}]$, $b=0.1160 \times 10^{-3} + 2(10[\text{C}])$ 기준, $F=4.54[\text{kg}]$ 이다.

<표 1> 온도에 따른 물의 점성 계수

온도[°C]	$\mu[\text{kgs}/\text{m}^2] \times 10^{-3}$	온도[°C]	$\mu[\text{kgs}/\text{m}^2] \times 10^{-3}$
0	0.1827	20	0.1022
5	0.1550	25	0.0908
10	0.1333	30	0.0813
15	0.1160	40	0.0666

<그림 2>은 식(7)에 의하여 잠수정의 직선운동에 관한 시뮬레이션 결과이다. 역방향의 경우는 정방향 운동과는 달리 유선형의 모양이 아니기 때문에 속도저항계수가 50% 증가하는 것으로 설정하였다.



<그림 3> X, Y 방향 응답

그림에서 보여준 바와 같이 0~1초간 정방향의 힘을 주면 잠수정의 변위(position)와 속도(velocity)는 계속 증가하다가 추진기의 힘이 0이 되면 속도는 감소하고 변위는 계속 증가한다. 5~6초 사이의 시간에 역방향의 힘을 가하면, 잠수정은 반대 방향으로 속도가 증가되며 움직이게 되고 변위는 줄어든다. 이때, 역방향의 속도저항계수가 50% 더 크게 설정하였기 때문에 잠수정은 원래의 위치로 돌아오지 않는다. 동일한 속도저항계수를 적용하면 잠수정의 최종 위치는 처음 출발 지점으로 돌아오게 되나, 지면 관계상 그 결과는 생략하였다.

Y 방향의 운동은 그 형상이 달라 속도저항계수가 더 크지만 실제 운동에서는 선회운동을 하게 되므로 잠수정의 전면이 앞으로 향하게 되고, X축 방향 운동과 같은 방법으로 해석할 수 있다.

2.2.2 회전운동

잠수정의 회전 운동에 대한 해석은 식(8)으로 표시되며, 이때, 관성계수는 편의상 구의 회전운동으로 근사화하여 해석하였다. 이 경우, 관성계수 $J = \frac{2}{5}mL^2$ 로 된다.

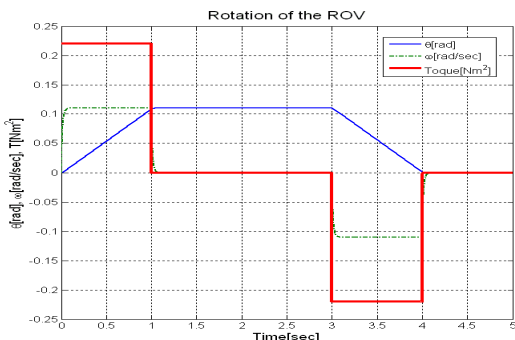
$$T(t) = \ddot{\theta}(t) + b\dot{\theta}(t) \tag{8}$$

이를 상태방정식으로 표현하기 위하여 회전각 θ 와 각속도 $\dot{\theta}$ 를 각 상태 x_1, x_2 로 하면 다음과 같은 식이 얻어진다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{b}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{J} \end{bmatrix} T(t)$$

$$y = [1 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \tag{9}$$

잠수정이 제자리에서 회전하는 경우에는 잠수정이 물의 저항을 받는 면의 모양에 따라 앞의 X, Y 방향에서 기술한 속도저항계수보다 큰 값을 적용하는 것이 일반적이다.



<그림 4> Z 방향에서 회전운동에 관한 응답

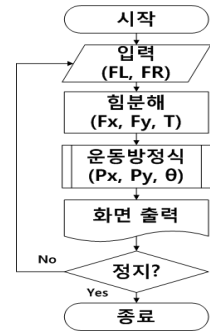
<그림 4>은 회전운동에서 입력에 따른 각과 각속도의 변화를 나타낸 그림이다. 질량 m은 앞서의 운동의 경우와 같고, 추진기와 무게중심

과의 거리 $L=0.15[m]$ 로 한다. 물속에서의 속도저항계수 b는 앞서의 정방향 운동에서의 값과 같게 설정하였다. 회전력은 0~1초간 반시계방향으로 주었고, 3~4초간은 시계방향으로 가했다.

<그림 3>과 <그림 4>의 속도 특성 곡선을 비교해 보면 회전운동 경우가 상당히 빠른 응답속도를 보여주는데, 이것은 회전운동의 경우 관성계수 J가 아주 작기 때문이다.

2.3. 시뮬레이터 구조

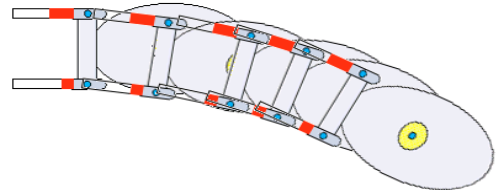
앞서의 결과를 종합하여 잠수정의 동특성을 그림으로 표현하기 위한 시뮬레이터를 <그림 5>와 같이 구현하였다. 시뮬레이터는 사용자의 의도에 따라 조이스틱으로 방향, 속도와 같은 입력을 조정할 수 있는 입력 모듈(입력)이 있으며, 추진기의 두 힘을 벡터해석을 통하여 X, Y 성분으로 나누는 모듈(힘분해)과 그 결과를 운동방정식에 적용하여 잠수정에 위치 및 방향을 계산하는 모듈(운동방정식), 그리고 이 결과를 화면에 그림으로 표현하는 모듈(화면 출력)로 구성된다. 입력에서 화면에서 잠수정의 움직임을 표현하는 것까지를 1사이클로 하며, 사용자 의도에 따라 입력을 변경하거나 시뮬레이션을 종료할 수 있게 구성하였다. 시뮬레이터의 구현은 Window XP, Visual C++를 이용하여 작성하였다.



<그림 5> 시뮬레이터 순서도

2.4. 모의실험 및 결과

구성한 시뮬레이터로 잠수정의 동작 상태를 모의 실험하여 <그림 6>과 같은 결과를 얻었다. 그림에서 보여준 바와 같이 추진기의 출력 F_L, F_R 의 크기는 추진기 뒤의 게이지[%]로 표시($F_L=40\%$, $F_R=10\%$)하였다. 앞서의 모델링 결과에 의하여 X, Y 좌표 및 회전각과 회전력을 구하여 잠수정의 이미지를 시뮬레이터를 통해 연산된 좌표로 화면에 출력하였다.



<그림 6> 시뮬레이터 결과

그림에서 보여준 바와 같이 좌우 추진기의 출력차에 의해 잠수정이 오른쪽으로 선회하는 것을 알 수 있다. 다양한 입력 조건에 대하여 실제 잠수정과 유사한 동특성을 얻을 수 있었으나, 자세한 모의실험 결과는 지면상 생략한다.

3. 결 론

본 연구에서는 2개의 추진기를 가진 소형잠수정의 운동을 모사하기 위하여 두 추진기의 힘을 벡터해석을 통하여 추진력과 회전력으로 재구성하였으며, 이 힘에 의한 잠수정의 동특성을 모델링하였고, 그 결과를 바탕으로 시뮬레이터를 구현하였다. 또한, 제시한 시뮬레이터가 소형잠수정의 운동 특성을 잘 표현함을 확인하였으며, 이는 QIROV의 수동조작 훈련을 위한 장치로 활용가능하며 더 나아가서 소형잠수정의 자동조정을 위한 제어기 개발에 활용될 수 있을 것으로 보인다.

[참 고 문 헌]

[1] A. Trebi-Ollennu and B A White, "A Robust Nonlinear Control Design for Remotely Operated Vehicle Depth Control System", UKASS International Conference, volume 2, 2-5 sept. 1996
 [2] G. conte, G. Orlando, "A Variable structure control of a remotely operated vehicle", Ocean's '94 Ocean's Engineering for Today's echnology and Tomorrow's Preservation', proceedings VOL. 3, 1994
 [3] 김기호, "소형 잠수정에 장착된 추진기의 특성 평가를 위한 새로운 시험 설비 개발", 대한전기학회학술대회, CD, 2006