

# 소형선박용 아지무쓰 추진기의 선회장치에 관한 연구 A Study on Azimuth Thruster for a Small Vessel

박재필 · 이재명 · 진승열 · 배재호 · 정용길

J. P. Park, J. M. Lee, S. Y. Jin, J. H. Bae and Y. G. Jung

(접수일 : 2009년 6월 3일, 수정일 : 2009년 9월 29일, 채택확정 : 2009년 10월 6일)

**Key Words** : Azimuth(아지무쓰), Thruster(추진기), Manoeuvring(조정), Hydraulic Motor(유압모터), Servo Valve(서보 밸브), PID Controller(PID 제어기)

**Abstract** : This paper shows the result of development about the revolution system of azimuth thruster which of power is less than 250kW for small ship. Advanced Azimuth revolution system can revolve propeller and rudder from 360 degree so that this system for vessel maneuvering can be excellent of propulsion effectively. Fluid power control system for azimuth thruster is designed with PID control system by using CEMTool / SIMTool program. And the actuator used for servo valve can control rudder angle, pressure and direction. The first, We had a test for the angle control of revolution system. The result of angle control confirmed that it has the good efficiency from experiment result of time input degree 30°, 90° and 180°. The second, We had to a test for the pressure characteristic of hydraulic motor. As a result, We confirmed the maximum pressure 3.5MPa and steady state 0.7MPa from experiment result of time input degree 30°. In this paper, it is identified the pressure characteristic of hydraulic motor and angle control for azimuth thruster by AMESim, and it has been confirmed the usefulness of AMESim modeling was verified by comparison between AMESim simulation results and experiments results.

## 1. 서 론

최근 한국 조선산업의 비약적 발전으로 2003년부터 5년 연속 세계 1위의 수주량과 생산량을 기록함에 따라 한국 조선해양산업이 세계를 주도하고 있다. 일반선박에 사용되는 조선기자재의 경우는 약 90% 이상이 국산화되어 있다. 선박 추진 기술은 그 분야가 다양하여 기술개발이 다양하게 진행되어 왔으며, 일반선박에서 가장 많이 사용하고 있는 추진축에 프로펠러가 직결된 방식은 전량 국산화가 되어있다. 그러나 선박추진장치 중에서 선박의 조종성이 뛰어난 아지무쓰 추진기(azimuth thruster)는 전량 수입에 의존하고 있다<sup>1)</sup>.

본 논문에서는 소형선박용 아지무쓰 추진기(azimuth thruster)를 연구하였다. 일반적으로 소형

선박에 탑재되는 추진기는 추진축에 직결된 프로펠러에 의해 추진력이 발생되고, 선박의 방향 제어는 타(rudder)에 의해 이루어지기 때문에 선박선회 시 타의 회전 각도를 최대 35°로 유지하여도 어느 정도의 선회반경이 필요하므로 선박의 조종성이 저하되는 문제점이 있다. 소형선박용 아지무쓰 추진기는 타가 없고, 프로펠러만 있으며, 프로펠러가 부착된 하부몸체가 좌, 우로 360° 회전할 수 있는 구조이기 때문에 선박이 제자리에서 360° 선회할 수 있으므로 선박의 조종성이 매우 우수한 추진기이다. 선박의 조종성이 뛰어난 장점으로 인해 아지무쓰 추진기는 예인선, 여객선, 연안 청소선 및 해군, 해경의 특수 목적선박에 주로 장착되고 있으며, 그 수요는 점차 증가되고 있다. 국내 연안에서 어선, 감시선, 경비정, 구명정, 유람선, 레저용 선박으로 이용되고 있는 소형선박은 약 8 만척 정도로 추산된다. 좁은 항구 내에서 빈번하게 운항하는 소형선박은 조종성이 뛰어난 아지무쓰 추진기가 필요하다. 이 연구에서는 250kW급 소형선박용 아지무쓰 추진기의 시제품을 제작하고, 제작된 아지무쓰 추진기의 선회장

박재필(책임저자) : 성동조선해양  
E-mail : jppark@isungdong.com Tel. 055-640-0317  
이재명 : 제원ENG  
진승열, 배재호 : 경상대학교 대학원  
정용길 : 경상대학교 정밀기계공학과

치에서 선회각도 제어특성과 선회 구동용 유압모터의 부하압력 변동특성을 고찰하였다. 또한 아지무쓰 추진기의 선회 구동용 유압제어시스템을 AMESim을 이용하여 모델링하였다. 이 연구의 결과를 활용하여 소형선박용 아지무쓰 추진기가 국산화 되면 수입대체 효과가 기대될 수 있다.

## 2. 아지무쓰 추진기의 구조와 모델링

### 2.1 아지무쓰 추진기의 구조 및 특성

Fig. 1은 아지무쓰 추진기의 구조를 나타내고 있다. 아지무쓰 추진기의 동력전달 축은 1차 수평축, 피니언과 베벨기어, 2차 수직축, 피니언과 베벨기어 및 프로펠러축으로 구성되어 있다.

Fig. 2는 선회장치의 구성을 나타내고 있다. 선회장치는 선회 구동용 유압모터, 평기어, 선회베어링, 선회구동 플랜지로 구성되어 있다. 선회 장치는 프로펠러가 장착된 하부케이싱을 선회시킴으로써 아지무쓰 추진기가 탁월한 조향성능을 낼 수 있도록 해주는 장치이다.

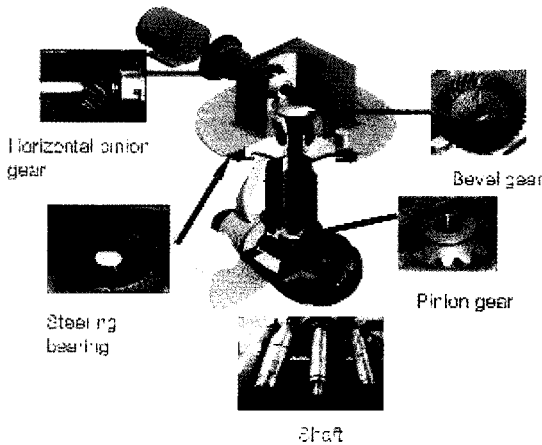


Fig. 1 Construction of Azimuth thruster

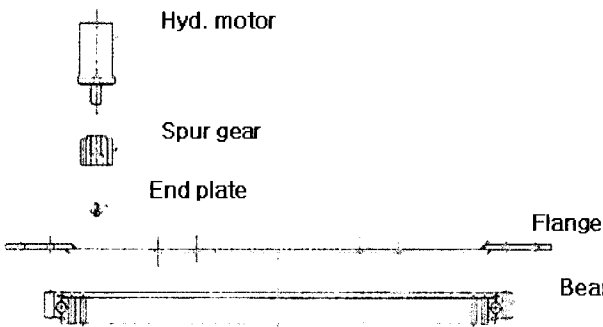


Fig. 2 Construction of steering system

Fig. 3에는 아지무쓰 추진기의 프로펠러가 장착된 하부케이싱을 선회 시킬 수 있는 유압제어시스템의 회로도를 나타내었으며, Fig. 4에는 실험에 사용된 유압제어시스템을 나타내었다. 주기판의 동력으로 유압펌프를 구동시키고, 서보밸브를 사용하여 선회 구동용 유압모터를 구동하여 프로펠러가 장착된 하부케이싱의 선회각도를 제어한다. 유압탱크는 아지무쓰 추진기의 상부케이싱을 활용하는 것이 특징이다<sup>2,3)</sup>.

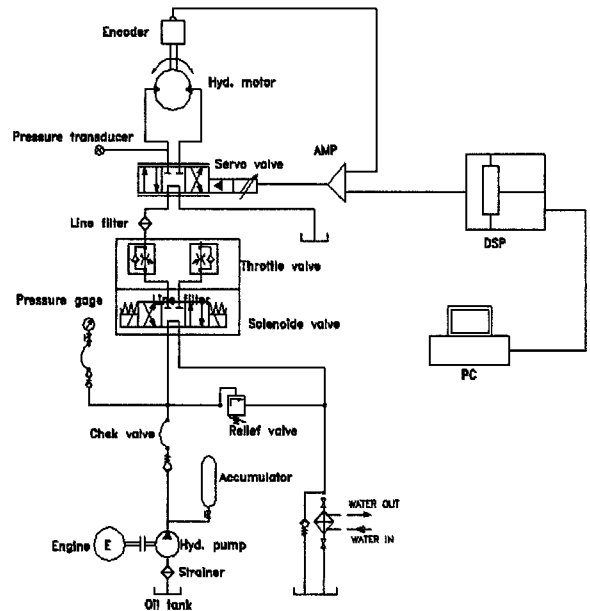


Fig. 3 Hydraulic circuit for propeller steering

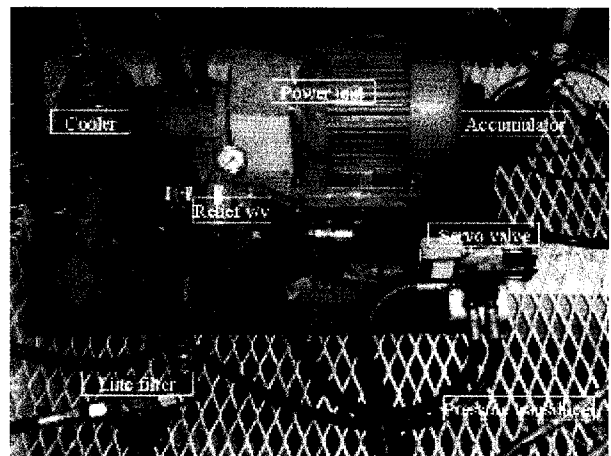


Fig. 4 Photograph of hydraulic control system experimental apparatus for propeller steering

### 2.2 선회장치 제어시스템의 구성 및 모델링

Fig. 5에는 250kW급 아지무쓰 추진기의 시작품을 나타내었다. 아지무쓰 추진기의 선회장치 제어시

시스템은 Realgain사의 CEMTool 5.0/SIMTool 4.0을 사용하였으며, 실시간 시뮬레이션을 수행하기 위한 PC와 DSP board, 입, 출력 신호를 관여하는 I/O board로 구성하였다.

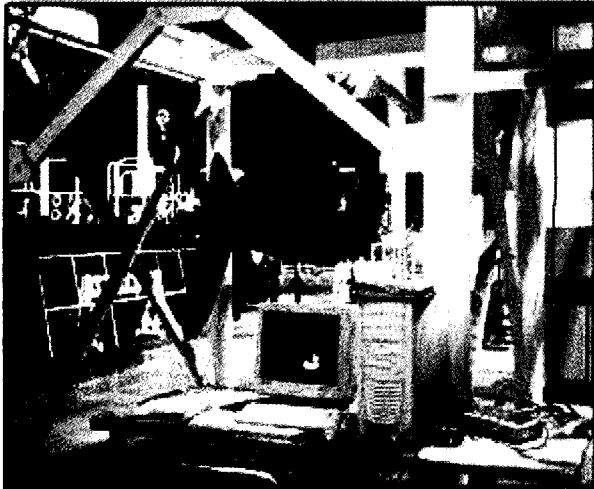


Fig. 5 View of simulator for experiments

Fig. 6에는 아지무쓰 추진기의 동작을 실시간으로 제어하기 위해 SIMTool 4.0을 사용하여 시뮬레이션 블록을 구성하여 나타내었다. 시뮬레이션 블록을 사용하여 여러 가지 최적의 제어알고리즘을 개발할 수 있으며, 개발된 제어알고리즘의 성능시험을 다양한 부하조건에서 수행할 수 있도록 하였다.

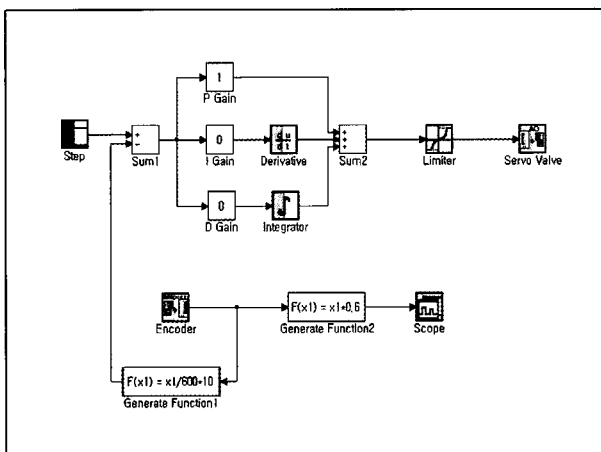


Fig. 6 Experiment block diagram in SIMTool

Fig. 7에는 이 연구에서 대상으로 하는 아지무쓰 추진기의 선회장치 구동용 유압제어시스템의 모델링을 AMESim 4.3.0을 사용하여 나타내었다. 유압 제어시스템 각부의 파라미터 값은 각 구성요소의 사양에 제시된 값을 사용하였으며, 시뮬레이션에 사

용한 PID 제어기의 파라미터 값은  $K_p=5$ ,  $K_I=0.02$ ,  $K_D=0.04$ 이다. 주어진 목표입력에 따라 아지무쓰 추진기의 프로펠러가 장착된 하부케이싱의 선회각도가 제어된다.

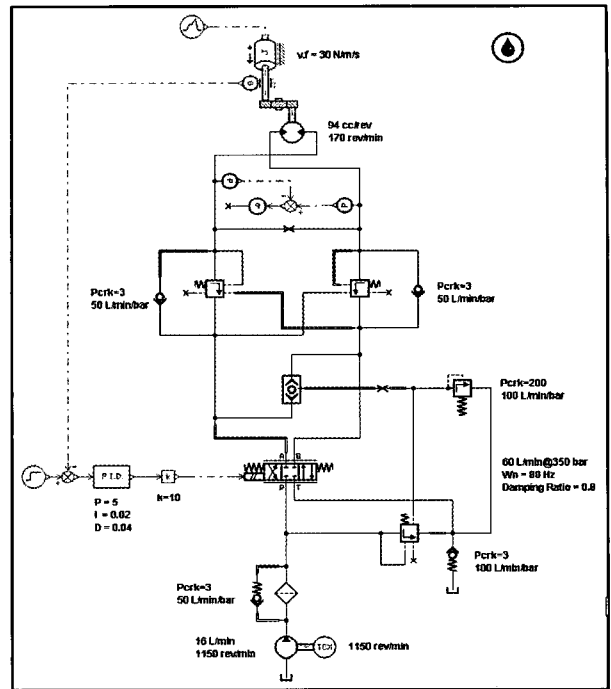


Fig. 7 Simulation block diagram in AMESim

### 3. 실험 및 고찰

#### 3.1 선회장치의 특성

이 연구에서 제작한 아지무쓰 추진기의 시작품을 사용하여 아지무쓰 추진기 선회장치의 응답 특성을 고찰한다. 실제 선박에 탑재되는 아지무쓰 추진기의 선회부분은 수중에 위치하기 때문에 추진기 선회장치의 특성실험은 수중에서 실시하는 것이 좋다. 그러나 이 연구에서 제작한 아지무쓰 추진기 선회장치의 특성실험은 수중에서 하지 못하고 공기 중에서 실시하였다.

Fig. 8에는 아지무쓰 추진기 선회장치의 페루프 응답특성을 나타내었다. 아지무쓰 추진기 선회장치 제어 시스템을 폐회로로 구성하고, PID 제어기의 비례게인 값만 1로 설정한 상태에서 선회각도가 180° 되도록 목표입력 값을 인가하였다. 실험결과 선회각도 정상상태 값이 151°로 되어 약 17%의 정상상태 오차를 가지는 응답 특성을 나타내었다. 이 실험결과와 유사한 특성을 낼 수 있는 전달함수를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 구하였다. 이러한 과정

으로 구한 아지무쓰 추진기 선회장치 제어 시스템의 전달함수는 다음 식으로 표현된다<sup>4,5)</sup>.

$$G(s) = \frac{6}{s^2 + 8s + 1} \quad (1)$$

위 식(1)로부터 시작품으로 제작한 아지무쓰 추진기 선회 제어 시스템은 감쇠비  $\zeta=4$  이고, 고유진동수  $\omega_n=1(\text{rad/s})$  이며, 시스템의 이득  $K_1=6$  인 시스템임을 알 수 있다. 아지무쓰 추진기 선회 제어 시스템의 감쇠비  $\zeta$ 가 4인 것을 보면 이 시스템은 과감쇠 시스템이다. 이 시스템의 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 그림에서 실험결과와 시뮬레이션 결과는 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

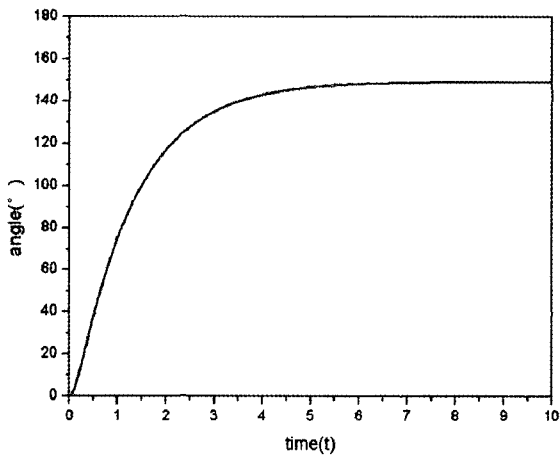


Fig. 8 Step response of the closed loop for azimuth thruster revolution system without control

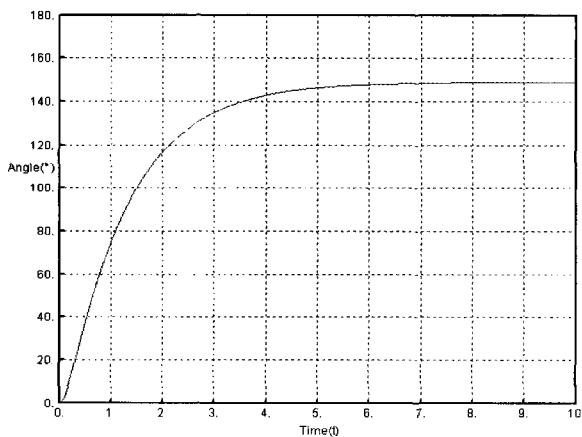


Fig. 9 Step response of azimuth thruster revolution system with computer simulation

#### 4.2 선회장치의 선회각도 제어 특성

아지무쓰 추진기의 선회장치는 프로펠러가 부착

된 하부케이싱을 실시간적으로 임의의 각도로 선회시켜 선박의 조종성을 획기적으로 향상시키는 것이다. 여기서는 아지무쓰 추진기의 선회장치 선회각도 제어특성에 대하여 고찰한다. 아지무쓰 추진기의 선회장치 선회각도 제어기로서는 PID제어기를 사용하며, 제어기 블록선도는 Fig. 6에 나타내었다. 실험에 사용한 PID 제어기의 파라미터 값은 리얼계인사의 SIMTool 프로그램에서 아지무쓰 추진기 선회장치의 전달함수 식(1)을 사용하여 시뮬레이션을 반복 수행하면서 최적의 응답특성이 얻어지는 값으로 선정하였으며, 비례계인  $K_p = 5$ , 적분계인  $K_i = 0.02$ , 미분계인  $K_d = 0.04$  이다.

실험은 선회각도의 입력 값을  $30^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ 로 하여 아지무쓰 추진기의 선회장치 선회각도 제어특성을 고찰하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 Fig. 7에 나타낸 AMESim 모델을 사용하여 수행하였다.

Fig. 10에는 목표입력 선회각도를  $30^\circ$ 로 하여 선회각도 제어특성을 실험한 결과를 나타내었다. 그림에서 정상상태 오차는 약  $4^\circ$  정도 되며, 응답시간은 약 1.7초정도이다. PID제어기를 사용하였음에도 정상상태 오차가 약  $4^\circ$  정도 발생한 이유는 아지무쓰 추진기 선회장치 구동 평기어와 선회베어링 내접기어의 정렬 불일치로 발생된 과도한 접촉 저항에 기인한 것이다. 실제선박에서 아지무쓰 추진기는 선박의 진행방향을 목표 값으로 하여 좌, 우 선회를 반복적으로 수행하기 때문에 아지무쓰 추진기의 성능 평가 기준에는 선회장치의 정상상태 오차는 언급이 없지만, 이 오차는 최소화되어야 한다. 이 연구에서 제작한 아지무쓰 추진기 선회장치의 평기어와 내접기어의 정렬문제를 해결하면 정상상태 오차는 훨씬 개선될 것으로 사료된다.

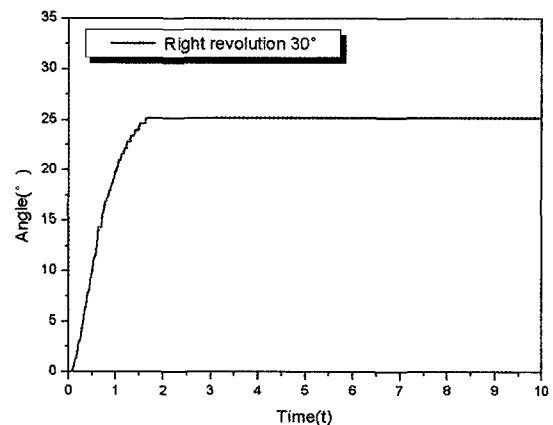


Fig. 10 Experiment result of time input  $30^\circ$  degree

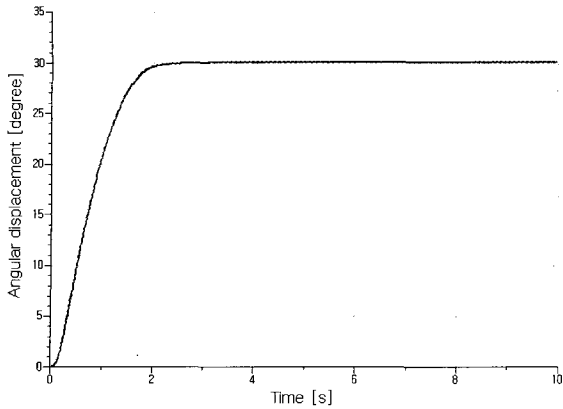


Fig. 11 Simulation result of time input 30° degree

Fig. 11에는 목표입력 선회각도를 30°로 하여 선회각도 제어특성을 시뮬레이션한 결과를 나타내었다. 그림에서 실험결과와 시뮬레이션 결과는 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. Fig. 12에는 목표입력 선회각도를 90°로 하여 선회각도 제어특성을 실험한 결과를 나타내었다. 그림에서 정상상태 오차는 약 4° 정도 되며, 응답시간은 약 3초정도이다. 오차의 발생 원인은 Fig. 10의 경우와 같다.

Fig. 13에는 목표입력 선회각도를 90°로 하여 선회각도 제어특성을 시뮬레이션한 결과를 나타내었다. 그림에서 실험결과와 시뮬레이션 결과는 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 14에는 목표입력 선회각도를 180°로 하여 선회각도 제어특성을 실험한 결과를 나타내었다. 그림에서 정상상태 오차는 약 2° 정도 되며, 응답시간은 약 4.8초정도이다.

Fig. 15에는 목표입력 선회각도를 180°로 하여 선회각도 제어특성을 시뮬레이션한 결과를 나타내었다.

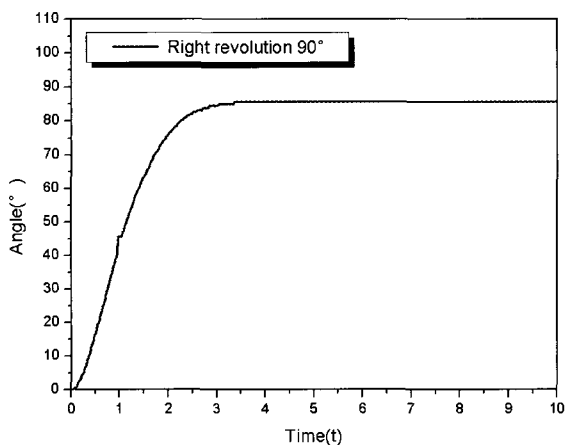


Fig. 12 Experiment result of time input 90° degree

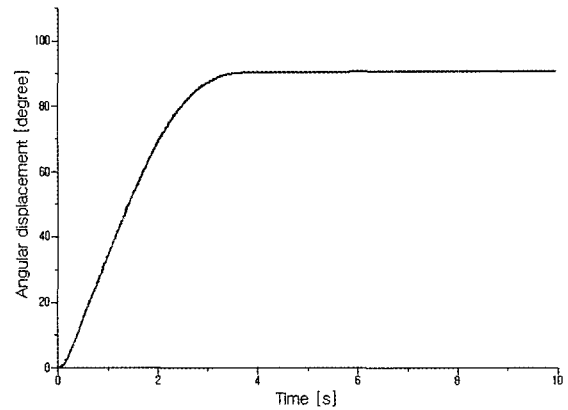


Fig. 13 Simulation result of time input 90° degree

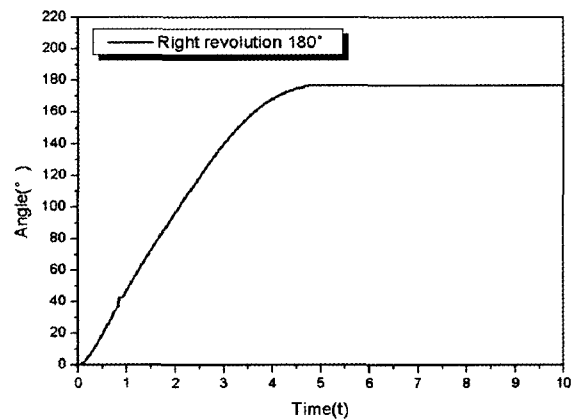


Fig. 14 Experiment result of time input 180° degree

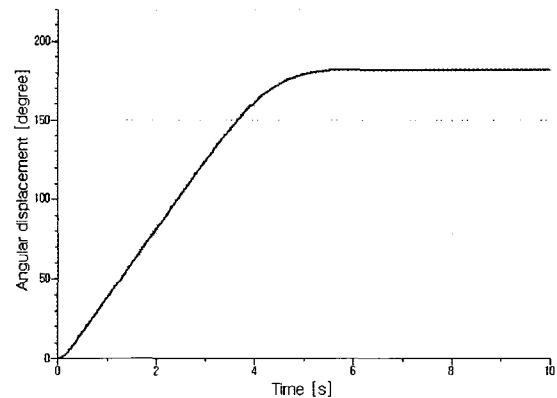


Fig. 15 Simulation result of time input 180° degree

Fig. 14, 15로부터 실험결과와 시뮬레이션 결과는 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

#### 4.3 선회장치의 부하 압력 특성

아지무쓰 추진기 선회장치의 선회각도 제어시의 선회구동용 유압모터 부하압력 변동특성을 측정하기 위한 SIMTool 블록선도를 Fig. 16에 나타내었다.

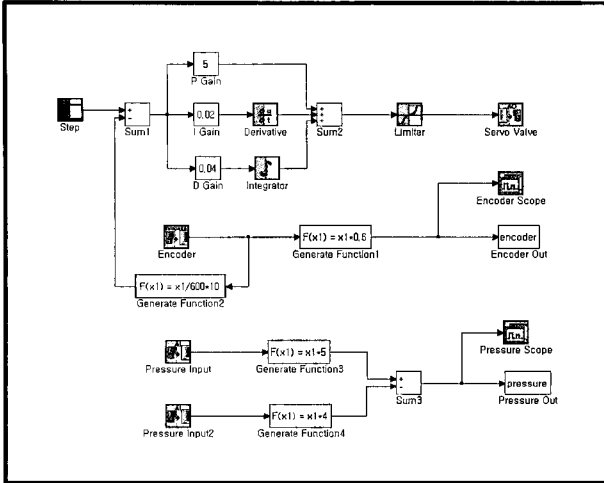


Fig. 16 SIMTool block diagram for pressure measurement of time revolution

Fig. 17에는 목표입력 선회각도를 30°로 하여 선회각도 제어시의 선회 구동용 유압모터의 부하압력 변동특성을 실험한 결과를 나타내었다. 그림에서 초기구동시의 최대압력은 약 3.5 MPa 이며, 정상상태에서는 0.7 MPa 정도이다. 이 부하압력 특성실험은 아지무쓰 추진기 선회부분이 실제처럼 수중에 위치한 상태에서 하지 못하고 공기 중에서 실시하였기 때문에 수중에서 작동되는 실제 선회장치의 부하 압력보다 낮게 평가되었다. 그러나 이 실험을 통하여 선회장치의 부하 압력 변동특성을 이해할 수 있으며, AMESim 모델을 검증할 수 있다.

Fig. 18에는 목표입력 선회각도를 30°로 하여 선회각도 제어시의 선회 구동용 유압모터의 부하압력 변동특성을 Fig. 7에 나타낸 AMESim 모델을 사용하여 시뮬레이션한 결과를 나타내었다. Fig. 17, 18로부터 실험결과와 시뮬레이션 결과가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

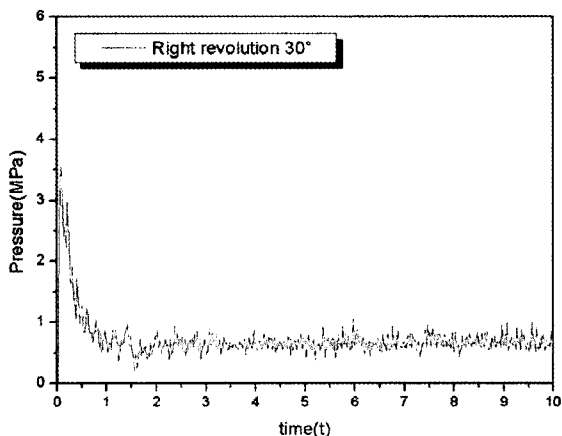


Fig. 17 Experiment result of time input 30° degree

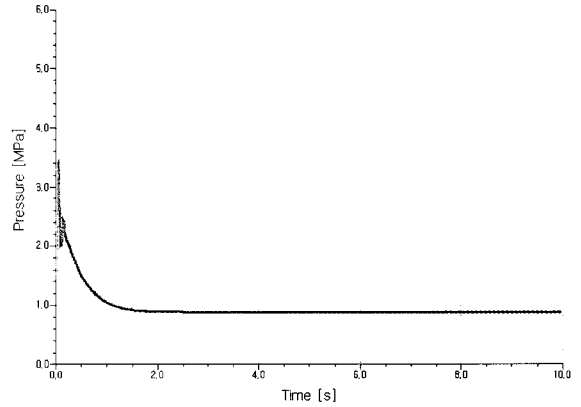


Fig. 18 Load pressure simulation on result of time input 30° degree

#### 4. 결 론

본 논문에서는 250kW급 소형선박용 아지무쓰 추진기의 시작품을 제작하여 아지무쓰 추진기의 선회장치 성능시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 소형선박용 아지무쓰 추진기의 선회장치에서 목표입력으로 선회각도를 30°, 90°, 180°로 하였을 때의 선회각도 제어특성을 실험한 결과 그 성능이 양호함을 확인하였다.

2) 소형선박용 아지무쓰 추진기의 선회장치에서 목표입력 선회각도를 30°로 하여 선회각도 제어시의 선회 구동용 유압모터의 부하압력 변동특성을 실험한 결과 초기구동시의 최대압력은 약 3.5 MPa 이며, 정상상태에서는 0.7 MPa 정도임을 확인하였다.

3) 소형선박용 아지무쓰 추진기의 선회장치를 AMESim으로 모델링하여 아지무쓰 추진기의 선회장치의 선회각도와 부하압력을 시뮬레이션한 결과는 실험결과와 잘 일치하고 있음을 확인하였다.

#### 후 기

이 연구는 산업자원부에서 시행한 2004년 지역산업기술개발사업(지역산업공통기술개발)의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

1. 정진욱 외 4인, 2004, "중소형선용 Thruster 성능 검증 기법연구", 한국중소조선기술연구소.
2. S. T. Tsai, 1991 "Modeling and Dynamic

- Evaluation of a Two - Spool Servo valve used for Pressure Control", Transaction of ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 113, pp. 709~713.
3. A. Eposito, 2000, "Fluid Power with Applications", 5th ed., Prentice Hall, New Jersey.
  4. 류상훈, 2006, "선박용 중형디젤엔진 동력계를 위한 PID 제어로직 개발", 부산대학교 석사학위논문.
  5. K. J. Astrom et al., 1992 "Towards Intelligent PID Control", Automatica, Vol. 28, No. 1, pp. 1~9.
  6. 이창훈 외 4인, 2005, "중형 컨테이너선의 선형 및 추진기 개발 사례", 대한조선학회 특별논문집, pp. 57~62.
  7. 양주호, 정병건, 1993, " $H_{\infty}$ 제어기법을 이용한 저속 디젤기관의 속도제어", 한국박용기관학회지, 제17권, 제5호, pp. 63~70.
  8. 김연규 외 4인, 2006, "POD 추진기선의 조종성능 추정 연구", 대한조선학회 제43권, 제2호, pp. 164~170.