

SimulationX를 이용한 Remote Control Valve의 특성 분석에 관한 연구

정유성*, 정원지*[#], 이산성*, 이정민**, 최경신***

*국립 창원대학교 기계설계공학과, ** (주)플루테크, ***로이드선급

A Study on the Characteristic of Remote Control Valve Using Simulation X

Yoo Seong Jeong*, Won Jee Chung*[#], San Sung Lee*, Jung Min Lee**, Kyoung Shin Choi***

*Mechanical Design, Changwon national UNIV., **Flutek LTD., ***Lloyd's Register

(Received 16 August 2017; received in revised form 31 August 2017; accepted 7 September 2017)

ABSTRACT

Compared to other types of power, hydraulic energy is the most commonly used for heavy vehicles and ships because it has fewer location and space constraints, and its controllability can be maintained even under adverse conditions. Operators have controlled a main control valve of ship winches by pushing or pulling the lever, which is directly connected to the spool. However, because of the spatial arrangement, the importance of remote control valves has emerged. In this paper, experiments of the hysteresis characteristics were performed by analyzing the remote-control valve using a valve tester and RA2300. The validity was verified by comparing with the analytical model using SimulationX as the hydraulic analysis program. This study examined the effects of the spool's notch (Non, End-mill, and Spherical) and the effects of stiffness and pre-load of the spool spring on Spool stroke, open area, and hysteresis characteristics. It is considered possible to reduce the cost and the trial and error process in designing remote-control valves in the future.

Key Words : Remote Control Valve(리모트 컨트롤 밸브), Valve(밸브), Hysteresis(히스테리시스), Notch(노치), Spring Stiffness(스프링 강성), Spool(스풀), Opening Area(개구면적)

1. 서 론

최근 기계산업의 발전이 가속화됨에 따라 기계적 에너지를 이용하여 생산 시스템의 효율성 및 생산성을 높이고 편리한 작업이 이루어지도록 자동화 시스템의 연구도 꾸준히 이루어지고 있다. 그 중 유

압 에너지는 다른 힘들에 비해 위치, 공간상 제약을 덜 받으며 열악한 환경에서도 제어성이 유지되는 장점으로 인해 특히 중장비, 선박분야에 가장 많이 사용되고 있다. 최근 선박의 대형화 및 선원 감소로 관련 장비의 자동화 및 원격 조종의 요구가 증대되어지고 있다. 컨테이너 선박의 대형화로 선박용 윈치의 주 컨트롤 밸브로 로프를 제어 시 공간상의 배치 문제가 생기며, 기타 인원의 수신호로 제어를 해야 하는 불편함이 있어 주 컨트롤 밸브와

Corresponding Author : wjchung@changwon.ac.kr

Tel: +82-53-581-2239, Fax: +82-53-581-2295

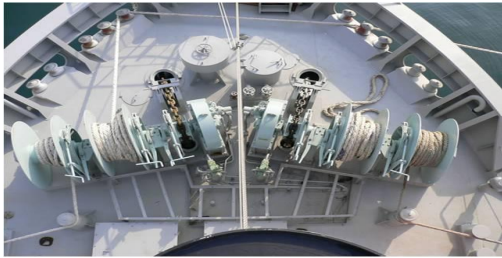


Fig. 1 Winch system on the ship

리모트 컨트롤 밸브를 사용하고 있는 실정이다^[1]. 주 컨트롤밸브는 지금까지 작업자가 직접 스펀과 연결된 레버를 밀고 당기며 제어를 해왔다. 하지만 이는 선박의 대형화로 인해 공간상의 배치 및 시야 확보에 문제가 생기며, 큰 힘으로 지속적인 동작으로 인해 작업자의 근골격계의 문제가 발생하는 등 많은 문제점이 제시되어지고 있다. 현재 수입되고 있는 Remote control valve는 기능에 비해 비용이 높아 각 부품의 개발을 통한 원가 절감을 달성함으로써 경쟁력을 갖는 것이 절실한 상황이다. Fig. 1은 선박용 유압 윈치의 배치이며, 윈치 시스템을 동시 동작하기 위해서는 원격제어밸브의 필요성이 필수적이다. 현재 윈치 시스템에 대한 연구 및 관련 밸브류에 대한 연구는 미비한 실정이다.

이에 1단계로 Remote control valve를 단품 상태에서 연구를 진행했다. Cho^[2]의 논문에서는 건설기계용 Remote control valve에 대한 공차 설계에 관한 연구만 하였으며, 각 설계 변수에 따른 밸브의 특성에 대하여 연구가 이루어지지 않았다. 따라서 본 논문에서는 Remote control valve의 설계식 등을 이용하여 필요한 파라미터를 먼저 정의하고, 시뮬레이션 및 실험을 통해 시뮬레이션 모델의 타당성을 검증하고 설계변수의 변화에 따른 Remote control valve의 특성을 분석할 예정이다.

2. Remote control valve 분석

2.1 Remote control valve의 동작

Fig. 2는 Remote control valve의 기본 구조이며, Rever, Spring seat, Piston, Valve spring 등으로 구성이 된다. 기본 동작원리는 Rever 회전 시 Shaft의 회전으로 Stroke가 Spring seat를 아래로 밀어 붙이

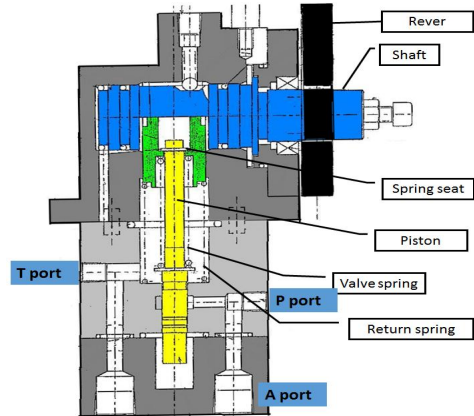


Fig. 2 Structure of remote control valve

게 된다. Spring seat는 Return spring과 valve spring을 밀어 붙여 piston을 밀어 붙이게 된다. 이때 Piston 하강은 valve spring을 통해 전달된 에너지만으로 이루어진다. piston 하강으로 normal close였던 P-A유로가 생성이 되면서 P port에서 A port로 작동유가 전달된다. 반대로 Shaft역 회전시 Return spring이 spring seat를 위로 밀어 올리며 Piston상부가 들리고 A port에서 T port로의 유로가 생성이 되어 Tank로 환유 된다^[3].

2.2 히스테리시스 분석

히스테리시스는 어떠한 양의 A의 변화에 따라 다른 양 B가 변화하는 경우, A를 변화시키는 경로에 따라 같은 A값에 따른 B값이 달라지는 현상으로 물리학에서는 크게 자기이력과 탄성이력으로 나뉜다.

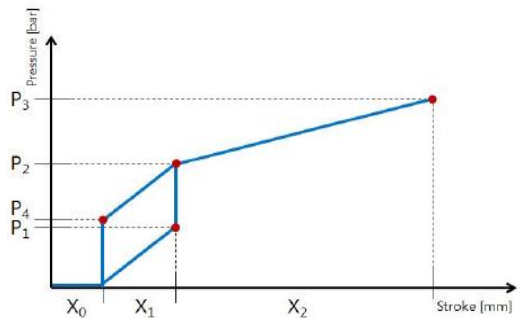


Fig. 3 Hysteresis of Remote control valve^[2]

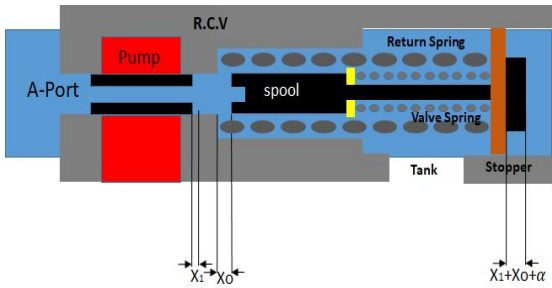


Fig. 4 Cross section of remote control valve

상태변화와 상태변화를 일으키는 물리량 사이의 그래프는 루프(loop) 곡선을 이루며 이러한 히스테리시스는 모든 밸브에서 나타나는 특성으로 히스테리시스가 클수록 입력신호에 대해 반응이 늦게 나타나며 제어성이 떨어지게 된다^[4]. Fig. 3은 기본적인 히스테리시스의 루프특성을 나타낸 그림이다.

Fig. 4는 Remote control valve의 단면을 나타낸 그림이다. Fig. 4에서보면 초기 Spool의 위치는 X_0 만큼 underlap을 가지므로 A Port의 압력은 대기압과 같으며 Spool이 X_0 가 0이 될 때까지 하강할 때 압력은 그대로 유지된다. $X_0+X_1+\alpha$ (α 는 매우 극소구간의 거리만큼 하강하면서 폐회로의 압축력은 Bulk Modulus (β)에 의해 히스테리시스는 다음 (1)~(3)^[3]식과 같이 계산되어 질 수 있다. 여기서 V_{Aport} 는 A포트에서의 유속이며 A_{spool} 은 Spool의 단면적, D_{spool} 은 스푼의 직경, d_{v_spring} 은 valve spring의 직경, X_{v_spring} 은 vavle spring의 이동거리를 나타낸다.

$$P_1, P_4 = \frac{\Delta V_{Aport} \cdot \beta}{V_{Aport}} = \frac{(A_{spool} \cdot X_1) \cdot \beta}{V_{Aport}} = \frac{\pi D_{spool}^2 \cdot X_1}{4 \cdot V_{Aport}} \quad (1)$$

$$P_2 = \frac{G \cdot d_{v_spring}^4}{8 \cdot n \cdot D_{v_spring}^3} \cdot X_{v_spring} \quad (2)$$

$$P_3 = \frac{G \cdot d_{v_spring}^4}{8 \cdot n \cdot D_{v_spring}^3} [X_{v_spring} + X_2 - (X_1 + X_0)] \quad (3)$$

3. 해석 및 성능 시험 모델 구성

Fig. 5과 같이 1-Dimension 모델링을 실시하였다. 이 모델에서는 노치 형상뿐만 아니라 흡입압력, 스푼의 무게, 스트로크 등 여러 파라미터들을 조작할 수 있도록 되어 있다. 이번 연구에서는 노치형상과 Remote control valve의 기계적 구조와 유압 회로를 복합적으로 시뮬레이션하기 위해 Return Spring의 강성에 따른 밸브의 성능 변화 및 특성을 파악 할

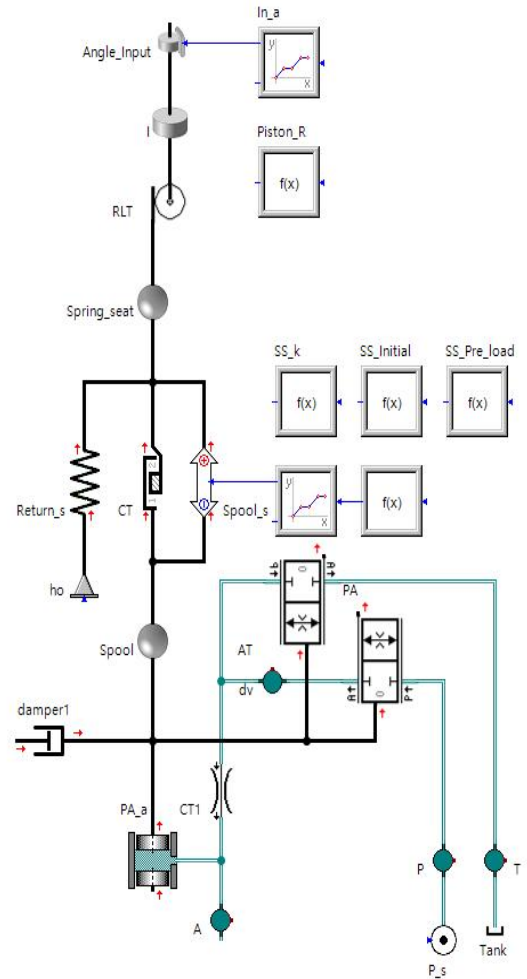


Fig. 5 Modelling of remote control valve using simulation X

Table 1 Parameter of model

Parameter	Value
Pressure supply (bar)	50
Spool Diameter (mm)	8
Stroke (mm)	10
Spool mass (g)	20
Return Spring stiffness(N/mm)	24

Table 2 Oil property of simulation

ISO VG	Density (kg/L@15°C)	Viscosity index	Kinematic viscosity, mm ² /s	
			@40°C	@100°C
32	0.855	113	31.3	5.5
46	0.858	116	44.5	7.0
68	0.861	117	63.9	9.0

것이기 때문에 다른 파라미터 값들은 Table 1과 같이 설정하였다. 시뮬레이션에 사용되는 작동유의 경우 식(4)~(5)^[5]를 통해 Table 2에 나열된 작동유 가운데 ISO점도등급 46에 해당하는 작동유를 선정하였다. 여기서 ν 는 동점성 계수, μ 는 점성계수, ρ 는 유체의 밀도, [cP]는 점성도의 단위이며 1cP = 10-3kg/sec · m, [cSt]는 동점도의 단위이며 1sSt=1 mm²/s 를 말한다.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \left[\frac{m^2}{s} \right] \quad (4)$$

$$\mu [cP] = \nu [cSt] \times SG \quad (5)$$

$$SG: \text{Specific gravity} = \rho_{fluid} / \rho_{water}$$

본 연구에서는 선박에서 사용되는 Remote Control valve를 대상으로 하였으며, 1-D 시뮬레이션 모델링의 정확성을 확인하기 위해 Fig. 6과 같이 유압밸브 시험장치와 Servo Motor을 이용하여 50bar로 유압유를 공급하였고, 동시에 레버를 Servo motor로 조작했을 때 Remote control valve의 내부의 압력을 측정하는 실험을 진행하였다. Fig. 7과 같이 레버를 0~3sec구간까지 0~48°까지 작동한 후 3~6sec구간동안 복귀하는 것으로 실험과 시뮬레이션을 진행하였다. Valve tester를 이용하여 Remote control valve의 히스테리시스는 Fig. 8과 같이 나왔으며, 이 때 Max Pressure는 약 50.78bar로 측정되었다. Fig. 9은



Fig. 6 Valve tester and servo motor

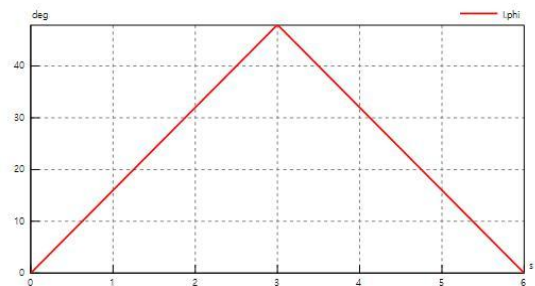


Fig. 7 Operation angle of test and simulation

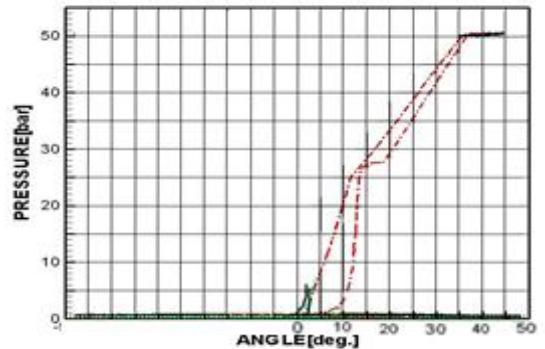


Fig. 8 Hysteresis test result of valve tester

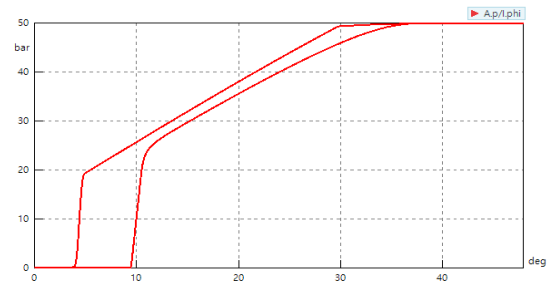


Fig. 9 Hysteresis result of simulation X

Table 3 Test data and analysis data of comparison

	Valve Tester (bar)	Simulation (bar)	Error (%)
P_2	27.12	27.41	1.06
P_3	50.78	49.89	1.75

Simulation X를 이용하여 시뮬레이션을 진행한 값이다. 이때, Max Pressure는 약 49.89bar로 측정되었다. Fig. 9은 Simulation X를 이용하여 시뮬레이션을 진행한 값이다. 이때, Max Pressure는 약 49.89bar로 측정되었다. Table 3은 같은 조건에서 실험값과 시뮬레이션 값을 비교한 결과를 나타낸 표이다. 각각의 P_2 와 P_3 를 비교하였을 때 오차율은 1~2% 사이에 분포하였다. 이 결과로 인해 시뮬레이션의 Modeling이 타당함을 확인하였다.

4. Notch에 따른 해석

일반적으로 고압에 사용되는 밸브의 경우 작동 중에 유체의 관성에 의해 점프 현상이 일어난다. 이 현상은 부압인 경우 캐비테이션, 정압인 경우는 충격 현상이 일어나게 되어 밸브의 안정성 및 성능에 큰 영향을 미친다.^[6] 따라서 스톱의 끝단에 노치를 가공하여 개구면적이 서서히 점진적으로 열리게 하여 이러한 현상을 줄이는 방안을 많이 사용한다^[7]. 본 연구에서는 Remote control valve의 스톱에 Non-notch, End-mill notch, spherical notch으로 총 3가지 타입을 Modeling 및 시뮬레이션을 진행하여 각각의 히스테리시스를 비교할 것이다. Fig. 10은 Solidworks를 이용하여 스톱의 각 노치형상을 시각화하기 위하여 나타낸 그림이다. 스톱의 움직임에 의하여 흐르는 메인 유량과 동적인 압력변화는 식 (6)^[8]으로부터 예측할 수 있다. Q 는 유량이며 c_d 는 유량계수, A 는 스톱의 단면적, P 은 밸브 내 압력, ρ 는 유체의 밀도, d 는 스톱의 직경, β 는 유체의 압축률을 말한다.

$$Q = c_d \cdot A \sqrt{\frac{2P}{\rho} + \frac{VdP}{\beta dt}} \quad (6)$$

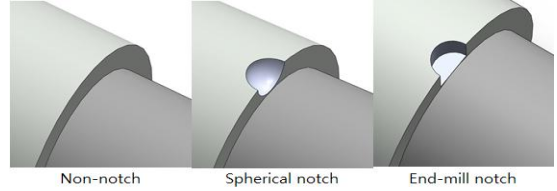


Fig. 10 3D Modeling of notch

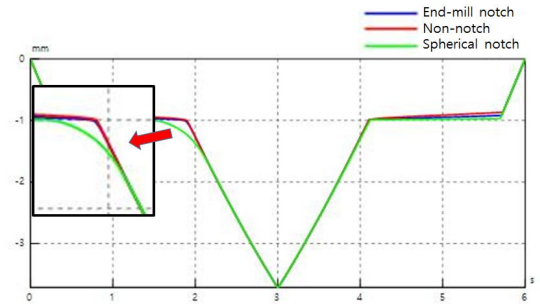


Fig. 11 Spool stroke according to notch type

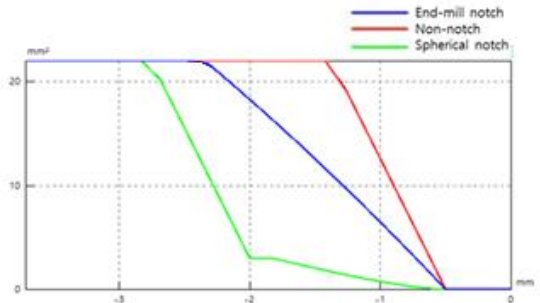


Fig. 12 Opening area according to notch type

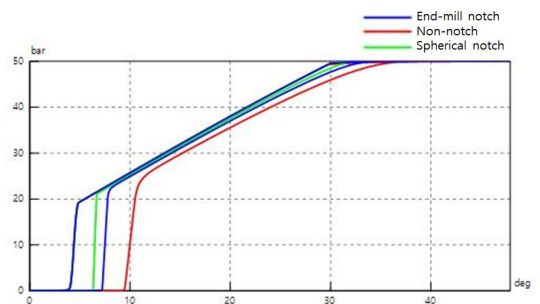


Fig. 13 Hysteresis graph according to notch type

Fig. 11은 노치 타입에 스펴의 스트로크 응답해석을 한 결과이며, spherical notch의 경우 Non-notch, End-mill notch보다 스펴의 움직임이 완만하게 움직이는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 12는 각 노치 타입에 따른 개구면적의 변화를 해석한 결과이다. 각 타입별로 스펴의 이동거리에 따른 개구면적의 변화이기 때문에 같은 이동거리에서 개구면적의 변화가 각 심한 Non-notch의 경우 급격한 개구면적의 변화로 유량이 급격하게 흘러들어감을 알 수 있으며, End-mill notch와 Spherical notch의 경우는 기울기를 가지고 개구면적이 열리므로 유량이 점진적으로 들어감을 확인 할 수 있다. 다음으로 Fig. 13는 3가지 타입의 노치에 따른 히스테리시스 곡선을 해석한 결과이다. 히스테리시스는 상태가 반대 방향으로 접근되는 경우 동일 이력에 대한 출력 값의 차로 정의되어진다^[9]. 따라서 Fig. 13에서 보면 각 타입에 따라 압력이 증가하는 시점은 동일하게 나타나며 그로 인해 Non-notch가 가장 히스테리시스가 크다고 볼 수 있으며 노치형상에 따라 히스테리시스가 감소하는 것을 확인하였고, 3 case 중에서는 spherical notch가 가장 감소되는 양이 많음을 확인하였다.

5. 스프링 상수에 따른 해석

Remote control valve에서 성능을 좌우할 수 있는 또 다른 것이 스프링의 강성을 적절하게 선정하는 것이다. 앞서 식(2)에서 정의되어진 것과 같이 Remote control valve에서의 스프링 강성은 P_2 와 영향이 밀접하다는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 선박용 유압원치 제어에 사용되는 Remote control valve의 스프링 강성을 Table 4와 같이 3Case로 나누어 해석을 하여 밸브의 성능을 분석 할 것이다. Simulation X상에서 스프링의 초기 압축장은 3mm로 설정하였고, 스프링의 강성이 변화하게 되면 밸브의 초기 예압량이 변화하게 되므로 Fig. 14와 같이 수식을 적용하여 예압이 적절하게 작용되도록 설정하였다^[10]. Fig. 15는 스프링 강성에 따른 스펴의 스트로크 변화에 대한 그래프이며 case 1의 경우 case 2와 결과 값이 극소하게 차이가 나며

Table 4 Spring stiffness of 3 case

Case	Spring stiffness [N/mm]
1	27.3
2	30.3
3	33.3

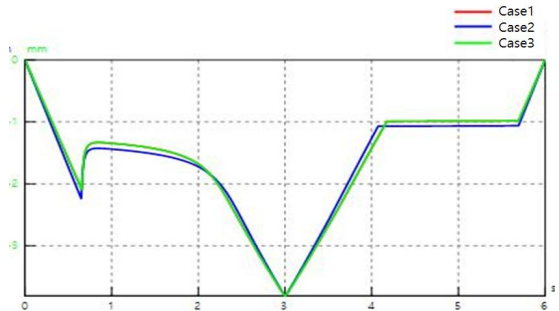


Fig. 15 Spool stroke according to Spring stiffness

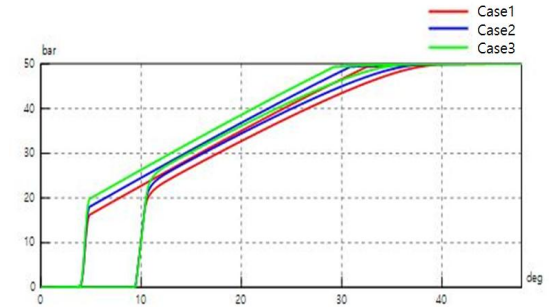


Fig. 16 Hysteresis graph according to Spring stiffness

case 2와 그래프가 겹침을 확인 할 수 있고, 스프링 강성이 커질수록 압축이 될 때 입력에 대한 응답이 빠른 것을 확인 할 수 있다. 밸브의 히스테리시스는 Fig. 16에서 볼 수 있듯이 스프링 강성이 커짐에 따라 P_2 의 값이 커지는 것을 확인할 수 있으며, 히스테리시스에는 영향을 미치지 않는 것을 확인하였다.

6. 결론

본 논문에서는 선박용 유압원치 등의 제어에 사용되는 Remote Control valve의 설계 변수를 분석하

여 유압 해석 모델링을 구축하고, 스톱의 노치형상 및 스프링 강성에 대하여 연구하였으며, 유압 해석 프로그램인 Simulation X를 활용하여 Valve Tester, RA2300을 이용한 실험결과와 비교하여 해석모델의 타당성을 검증하여 스톱의 노치형상과 스프링 강성과 예압량에 따른 히스테리시스 특성을 시뮬레이션하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 첫째, 스톱의 개구면적이 변하는 노치형상은 Non type, End-mill type, Spherical type 가운데 Spherical type 노치형상이 가장 적은 히스테리시스 특성이 나타남을 확인하였다. 둘째, 스톱 스프링의 강성이 변화할 때 예압량이 변화하도록 해석조건을 설정하고 시뮬레이션을 하였을 때 스톱 스프링 강성이 커짐에 따라 P_2 의 값이 커지는 것을 확인할 수 있었다. 결론적으로 본 논문은 선박용 Remote control valve의 고성능화를 위하여 스톱의 노치와 스프링에 대한 시뮬레이션을 진행하였고, 최적의 노치형상과 스프링 강성의 영향에 대한 결과를 확인할 수 있었으며, 향후 Remote control valve의 표면 조도 및 가공오차에 대한 분석도 할 예정이며, 설계함에 있어 설계비용 및 시행착오를 줄일 수 있을 것이라고 사료된다.

A Study on the Flow Characteristic of High Pressure 3/2-Way Valve for a Ship Engine, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 3, pp. 35~40, 2012.

7. Bae, J. H., Chung, W. J., Jang, J. H., Yoon, Y. H., Jeon, J. Y., Study of Pressure and Flux Pulsation to Design Optimum Valve-Plate Notch and Pulsation-Variables Analysis of Swash-Plate-Type Piston Pump, Journal of the Korean Society of KSMTE 24:2 244-250, 2015.
8. Kwak, K. M., Cho, J. S., Kim, J. D., Lee, J. H., A Study on Flow Coefficient and Flow Characteristics for Butterfly valve by Numerical Analysis, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 4, pp. 62~66, 2012.
9. ITI, Simulation X user manual and library manual, ITI GmbH, 2011.
10. Jang, S. Y., Technical standard for the check and management of control valve, Hana Industry, Republic of Korea, 2012.

REFERENCES

1. Park, S. H., Noh, H. W., Practical hydraulic engineering, Hakjinbooks, Republic of Korea, 2017.
2. Cho, M. K., Yang, H. J., A Study on Statistical Approach for Tolerance Design of Remote Control Valve, Proceedings of the KSPE Conference, pp.629-630, 2010.
3. Lee, Y. Y., Hydraulic Engineering, Munundang, Republic of Korea, 2012.
4. Shin, H. Y., Hydraulic control technology, Bogdoo publish, Republic of Korea, 2015.
5. Fitch, E. C., Hong, I. T., Hydarulic Component Design and Selection, Bardyne Inc, United States of America, 2000.
6. Park, S. B., Kim, J. M., Lee, C. J., Kang, J. H.,