

## 산화제 유량제어를 위한 선형제어밸브 개발

이승환\*<sup>†</sup> · 김희주\* · 김경민\* · 김지만\* · 김동식\*\* · 황희성\*\*\* · 유영준\*\*\*

### Development of Linear Control Valve for Oxidizer Flow Rate Control

Seunghwan Lee\*<sup>†</sup> · Heuijoo Kim\* · Gyeongmin Kim\* · Jiman Kim\* · Dongsik Kim\*\* ·  
Heeseong Hwang\*\*\* · Yeongjun Yoo\*\*\*

#### ABSTRACT

By modulating the flow rate of  $N_2O$  into a HR motor assembly, a control valve of a hybrid rocket engine plays a role to increase or decrease the thrust. In this study, the control valve has been designed to meet the requirements which are response speed ( $\leq$  about 1 second) and torque ( $\geq$  about  $36N\cdot m$ ). Then, when analog signal 0~10V is applied, the situation where the valve is opened and closed has to be realized. To do this, the data values have to be entered into the actuator. Finally, the performance evaluation of the control valve has been performed to validate this product.

#### 초 록

하이브리드 로켓 추진장치에서 유량제어밸브는 HR 모터조립체로 유입되는  $N_2O$  산화제의 유량을 변경하여 추력을 증가시키거나 감소시키는 역할을 수행한다. 본 논문에서는 응답속도를 약 1초 이내, 토크  $36N\cdot m$ 의 요구사항에 맞춰 유량제어밸브를 설계 및 제작하였다. 그리고 나서 0~10V의 아날로그 신호를 인가하였을 때 밸브가 열고 닫히는 상황을 구현하기 위해 액추에이터에 데이터 값을 입력하였다. 마지막으로 연소시험을 통해 유량제어밸브의 성능을 확인하였다.

Key Words: Hybrid Rocket(하이브리드 로켓),  $N_2O$ (아산화질소), Control Valve(유량제어밸브)

#### 1. 서 론

유량제어밸브(Control Valve)는 로켓엔진에서 추력을 제어하는 구성품으로 사용되고 있다. 초

속정(Multiphase High speed Surface Vehicle, MHSV)에 탑재된 하이브리드 로켓(Hybrid Rocket, HR) 추진장치에서 추력을 증가하거나 감소시키기 위해 HR 모터조립체로 유입되는 산화제의 유량을 변화시킬 수 있는 유량제어밸브를 장착하고자 한다. 그러기 위해서는 긴급 상황을 감안하였을 때 약 1초 정도의 응답속도와  $8kg/s$ 의 질량유량(mass flow)이 흘러도 볼 밸브

\* 퍼스텍(주)

\*\* (주)텍아이시스템엔지니어링

\*\*\* 국방과학연구소

<sup>†</sup> 교신저자, E-mail: shlee@fst.foosung.com

가 정상적으로 움직이기 위해 최소 36N·m의 토크가 필요하다는 기본 요구조건을 만족해야 한다. 기존 상용제품을 사용하기 위해 알아보았으나 요구조건에 부합하는 밸브가 없었다. 그리하여 이에 만족하는 유량제어밸브를 자체적으로 설계 및 제작하였다.

본 논문에서는 위의 요구조건을 만족하는 유량제어밸브의 설계를 수행하고 제작하였다. 그리고 제어 기능을 수행할 수 있도록 액추에이터에 프로그램 데이터를 입력하였다. 마지막으로 연소 시험을 통해 약 1초의 응답속도를 보이는지 확인하였다.

## 2. 유량제어밸브 설계

### 2.1 모터 컨트롤러, 모터 및 감속기어 설정

전기식 액추에이터의 경우 작동 방식이 간단하고 전기적 조절을 통해 설계 변경이 가능하므로 유압 및 공압식 액추에이터보다 많이 사용된다.[1] 이에 따라 전기식 액추에이터를 채택하였고, 모터 컨트롤러와 모터 및 감속기어를 조건과 사양에 맞게 선정하는 절차가 필요하다.

제어기에서 유량조절밸브로 24V의 전압이 가해지고, 엔코더나 모터 등의 장치들에 흐르는 전류와 기타 크기와 가격을 고려하여 매뉴얼[2]을 참고한 결과 EPOS2 50/5 모델을 선택하였다.

유량조절밸브의 요구조건과 모터와 감속기어의 사양을 고려하여 EC90flat 모터(P/N : 323772)[2]와 GP52C 감속기어(P/N : 223098)[2] 모델을 선정하였다. 각 부품별 선택이 요구조건에 부합하는지 검증을 수행하였다. 먼저, 모터의 토크 상수(Torque Constant,  $T_c$ )와 속도 상수(Speed Constant,  $S_c$ )를 활용하여 모터의 토크( $T_m$ )와 RPM( $R_m$ )을 식(1), (2)를 통해 계산한다.

$$T_m = T_c \times A = 0.317rpm \quad (1)$$

$$R_m = S_c \times V = 3240rpm \quad (2)$$

그다음, 감속기어의 감속비(Reduction Ratio,  $R_{ratio}$ )와 효율 값( $\eta$ )을 활용하여 출력 회전수( $R_{out}$ )와 출력 토크( $T_{out}$ )를 식(3), (4)를 통해 계산한다.

$$T_{out} = \eta \times T_m \times R_{ratio} = 37.1Nm \quad (3)$$

$$R_{out} = R_m / R_{ratio} = 20.77rpm \quad (4)$$

이후 계산된 출력 값들과 요구조건을 비교해보았을 때 만족함을 알 수 있었고, 이들 제품을 선정하는데 있어 문제가 없음을 확인하였다.

### 2.2 액추에이터 데이터 값 입력 및 제어

모터 컨트롤러, 모터 및 감속기어를 선택한 이후에 절대 엔코더(Absolute Encoder), 포텐서미터(Rotary Variable Differential Transformer, RVDT), 볼 밸브 등의 부품을 조립하게 되면 Fig. 1과 같다. 여기서 겉에 커버를 조립하게 되면 유량제어밸브 제작이 완성된다. 이 제품의 개도율을 제어하기 위해서는 액추에이터 프로그램에 여러 가지 파라미터와 데이터 값을 입력해줘야 한다. PC와 모터 컨트롤러를 연결하고 EPOS Studio를 실행시켜 각 부품들의 데이터시트[2-4]와 액추에이터 세팅 매뉴얼[5, 6]을 참고하여 해당 값을 입력한다. 그리고 아날로그 전압 신호 0~10V를 유량제어밸브에 입력하였을 때, 오버슈트와 언더슈트가 적고 응답속도 조건에 맞게 밸브가 잘 작동되게끔 PID 게인값을 튜닝하여 입력하는 작업도 요구되므로 이를 수행하였다.

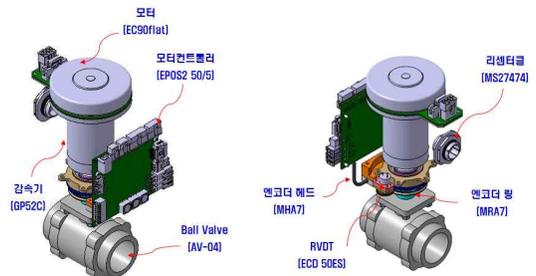


Fig. 1 Configuration of actuator of the control valve.

### 3. 유량제어밸브 성능 시험

유량제어밸브를 하이브리드 로켓에 장착한 다음 밸브를 2초 동안 40%, 4초 동안 100%를 개방하여 연소시험을 수행하였다. 그 결과 시간에 따라 유량제어밸브 명령/신호 개도율 그래프 (Fig. 2)를 도출하였다.

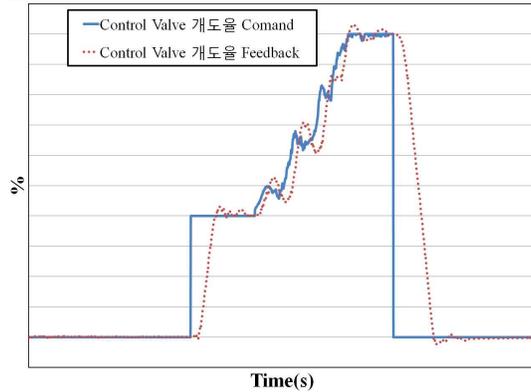


Fig. 2 Results of opening rate of the control valve according to time

초기 0%에서 40%의 밸브 개방 명령을 줬을 때 응답시간은 약 0.7초가 나왔으며, 마지막 100%에서 0%의 밸브 닫힘 명령을 줬을 때 응답시간은 약 1초가 나오는 것으로 확인되었다. 이를 통해 설계한 유량제어밸브가 요구조건에 맞게 잘 작동하는 것을 확인할 수 있었다.

### 4. 결 론

하이브리드 로켓 추진기관 추력제어를 위해 필요한 유량제어밸브를 설계하고 제작하였다. 요구조건에 만족하는 모터와 감속기어를 선정하였으며, 액추에이터 데이터 값을 입력하여 제어가 가능하게 하였다. 이후 하이브리드 로켓 연소시험을 통해 제작된 유량제어밸브의 성능을 확인하였으며 그 결과 요구되는 스펙에 정상 작동하는 것으로 나타났다.

### 참 고 문 헌

1. Jung, T.K. and Lee, S.Y., "Development of BLDC Motor Driven Cryogenic Thrust Control Valve for Liquid Propellant Rocket Engine," *Journal of the Korean Society Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 38, No. 10, pp. 1026-1030, 2010.
2. *High Precision Drives and Systems*, Program 2015/16., Maxon motor., Switzerland., 2015.
3. *AksIM™ off-axis rotary absolute encoder*, 26th ed., RLS., Slovenia., 2016.
4. *Precision Rotative Transducers, Conductive Plastic, Economic Series*, VISHAY., 2016.
5. *EPOS2 50/5 Positioning Controller Cable Starting Set*, Maxon motor., Switzerland., 2016.
6. *EPOS2 50/5 Positioning Controller Getting Started*, Maxon motor., Switzerland., 2016.