

개폐밸브의 서보제어를 위한 유압시스템 개발

Development of the Hydraulic System For Servo Control of Open-Closed Valve

*장경천¹, *이동길¹, 김명호¹, 정민관¹, 나홍철²

*K. C. Jang¹, *D.G.Lee¹, M.H.Kim¹, M. G. Jung¹, H. C. Na²

¹ 한국생산기술연구원 호남권기술지원본부, ² 전남대학교 기계공학과

Key words : open-close valve, servo control, hydraulic system

1. 서론

유체이송을 제어하기 위해 종래에는 일반적인 유량조절밸브나 압력조절밸브 등을 사용함으로써 인하여 정확한 유량이나 압력조정이 어려웠으나 유량, 압력 등의 피드백제어가 가능한 기술개발대상 유체제어밸브를 사용함으로써 인하여 부하변동이나 온도변화 등의 열악한 조건에서 비교적 정확하고 정밀한 유체이송이 가능하게 된다.

현재는 영국의 ROTORK, 미국의 LIMITORQUE, 일본의 NIRECO사 등의 외국계 3사가 100억 정도의 국내시장을 100% 장악하고 있으며 국내에서는 개발사태가 없다.

Table 1 Difference the Development product vs current product

	기존 제품	개발 제품
제어방식	기계식 비례밸브에 의한 액추에이터 구동	서보밸브에 의한 액추에이터 구동에 의한 높은 정밀도 및 응답성 확보
피드백	기계식 피드백으로 인해 제한된 피드백 (정밀도: 약 1~2% 수준)	센서(변위 및 유량)에 의한 고정도 피드백 (정밀도: 0.5% 이내)
제어신호	단순한 비례전류 입력	컴퓨터 제어기에 의한 다양한 제어 입력 가능

2. 본론

전자-유압 서보액추에이터를 이용한 소형, 저부하 및 고응답성의 직구동형 유체제어밸브와 압력, 유량 및 변위등의 다양한 피드백신호를 처리하기 위한 앰프를 포함하는 직구동형 유체제어밸브용 제어시스템 개발을 최종목표로 한다.

2-1. 유체제어밸브 개발

유체의 개폐를 제어하기 위하여 본 개발에서는 전기-유압 서보액추에이터의 소형, 저부하 및 고응답성 확보를 위하여 1차측(입구)과 2차측(출구)의 입력조건에 무관하게 사용이 가능한 Balanced type의 2-way glove valve를 선정하였으며, 사용조건에서의 3차원 모델링과 강도해석작업을 수행하였다

강도해석의 결과는 Table 2 에서 알 수 있듯이 최대변형률 0.022mm, 안전계수 4.45로 취약부분이 없음을 확인하였다.

Table 2 Results as simulation of stress the hydraulic valve

구분	내용
내압조건	40kgf/cm ²
최대동가응력	632.2kgf/cm ²
최대전단응력	345.7kgf/cm ²
최대변형률	0.022mm
안전계수	4.45

유체개폐밸브를 직구동하기 위하여 double acting type 전기-유압 서보액추에이터를 설계, 해석 및 제작을 실시하였다. 유체개폐밸브의 개폐량을 모니터링하고 제어하기 위하여 위치(변위)센서를 내부에 내장하도록 하였으며, 높은 정밀도와 응답성을 확보하기 위하여 서보밸브를 장착하도록 하였다.

강도해석의 결과는 Table 3에서 알 수 있듯이 최대변형률 0.0122mm, 안전계수 4.19로 취약부분이 없음을 확인하였다.

Table 3 Results as simulation of stress the servo actuator

구분	내용
내압조건	210kgf/cm ²
최대동가응력	1070.7kgf/cm ²
최대전단응력	601.6kgf/cm ²
최대변형률	0.012mm
안전계수	4.19

전기-유압 서보액추에이터에 장착된 서보 밸브는 정격유량은 63LPM, 주파수 응답특성은 100Hz(40% signal)의 경우 이상인 노즐(Nozzle) 플래퍼(Flapper) 방식의 고응답성의 2단 서보밸브를 사용하였다. 전기-유압 서보액추에이터의 변위 또는 유체개폐밸브의 개폐량을 확인하고 제어용 신호로 확인하기 위하여 전기-유압 서보액추에이터 내부에 위치(변위)센서를 내장하도록 설계하였다. 변위센서는 자동트랜스 방식이며, Non-Linearity 0.25% of FS 미만으로 선형성이 상당히 우수하고 노이즈에 대하여 강하며 내장조건에 용이하도록 방폭형이다.

2-2. 유체제어밸브 제어시스템

유체제어밸브를 산업현장에 적용하여 사용하기 위하여 제어시스템에 대한 개발이 함께 수행되어졌다. 제어시스템은 표준형 신호처리기, 제어용 컴퓨터 및 유체제어밸브 통합제어프로그램으로 구성되어진다.

표준형 신호처리기는 전기-유압 서보액추에이터에 장착된 서보밸브 및 위치센서, 유체이송라인에 설치된 압력 및 유량센서의 신호처리를 위한 앰프 그리고, 전기-유압 서보액추에이터에 작동력을 공급하는 유압과워팩의 작동을 제어하기 위한 디지털 입출력카드를 통합하여 설계하였다. 본 개발의 앰프 및 카드는 VME-bus type으로 제작되었으며, Backplane을 제작하여 19" sub-rack에 수납이 가능하도록 하였다.

서보밸브앰프를 다음과 같은 구성으로 제작하였다. Fig 1.은 그 회로도이다. 6761-3005서보밸브의 입력전원은 경격전류 40mA로 제어입력이 요구되어진다. 제어컴퓨터의 제어출력 40VDC에 대하여 선형적으로 40mA의 전류를 출력하도록 기본적 회로 구성을 하였다.

위치센서앰프는 아래의 구성으로 제작하였으며 Fig 2.는 그 회로도이다. Trans-tek AC LVDT 0217-0000은 AC3VRMS, 7kHz의 인가전압이 요구되어지며, 전체길이에 대하여 0.5V/V의 출력특성을 가지고 있다. AC3VRMS, 7kHz의 인가전압을 센서에 공급하고 0.5V/V의 센서 출력값을 받아서 제어컴퓨터가 허용하는 40VDC의 출력값을 선형적으로 출력이 가능하도록 회로 구성을 하였다. 또한, 센서의 종류에 따라서 인가전압의 조정이 가능하도록 하였다.

압력센서앰프는 다음과 같이 구성하였으며 Fig 3.는 그 회로도이다. SETech사의 PMHA-0300은 최대인가전압 +12VDC가 요구되어지며, 인가전압에 대하여 1.5mV/V의 센서출력특성을 가지고 있다. 최대 +12VDC의 인가전압을 센서에 공급하고 센서의 미세출력 1.5mV/V를 받아서 제어컴퓨터가 허용하는 40VDC의 출력값을 선형적으로 출력이 가능하도록 회로 구성을 하였다. 이 앰프는 스트레인지지 방식의 센서에 공동적으로 적용이 가능하며 대표적인 예로는 로드셀, 토크센서등이 있다.

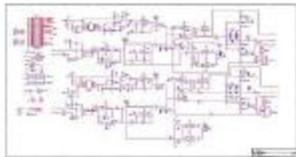


Fig. 1 Circuit of Servo Valve Amp

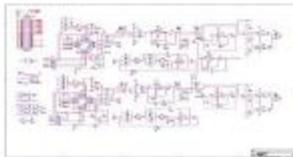


Fig. 2 Circuit of Positioning Sensor Amp

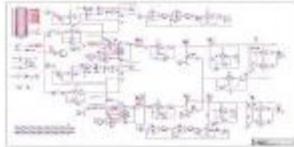


Fig. 3 Circuit of Pressure Sensor Amp

이밖에 유량센서앰프, 디지털입출력카드, 전원부, 제어PC등을 구성하였다. Multi-function I/O Board는 NI사의 Express PCI 6259 M시리즈를 사용하였으며 세부사양은 Table 4와 같다.

Table 4 Specification of NI 6259M Series

구분	사양
Analog Input	32ch
Sample Speed	1.2MS/s
Analog Input Resolution	16bit
Analog Output	4ch
Update Speed	2.86MS/s
Analog Output Resolution	16bit
Analog I/O Range	±10VDC
Digital I/O	48ch

유체제어밸브 통합제어프로그램의 구성은 유압과워텍의 제어를 담당하는 유압과워텍 제어모듈, 센서 및 밸브의 입출력을 모니터링 하기 위한 모니터링모듈, 유체제어밸브의 개폐량, 압력 및 유량을 제어하기 위한 PID제어모듈, 사용자의 제어조건 입력을 위한 지령발생모듈과 기타 편의기능을 추가하여 구성하였다.



Fig. 4 Screen of Control S/W

3. 성능시험

성능시험은 성능시험평가표를 기준하여 유체제어밸브의 주요 부품인 전기유압 서보액추에이터에 대한 선형성, 히스테리시스, 최대출력하중, 최대작동속도 및 주파수응답특성(Fig 5)을 평가하였다. 또한, 유체제어밸브 시스템의 전체적인 성능을 검증하기 위하여 초음속풍동의 공압식 유체제어밸브(Fig 6)를 대체 설치하여 초음속풍동 정체실의 압력제어특성에 대한 성능시험을 실시하였다. 공압식과 전기-유압식에 대한 비교결과를 Fig. 7에서 볼 수 있다.

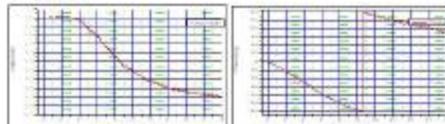


Fig. 5 Bode plot Magnitude and Phase



Fig. 6 SuperSonic Wind Tunnel Testing machine

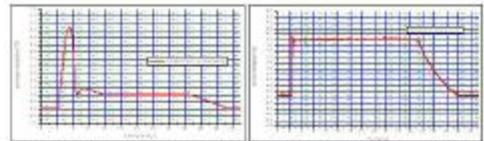


Fig. 7 Pressure plot of accumulator chamber - Air type(Left) and Elec-hydraulic type(Right)

4. 결론

기존의 개발목표에 비하여 구동액추에이터의 선형성 및 히스테리시스는 상당히 높은 수준으로 개발되어졌음을 확인할 수 있었으며 구동액추에이터의 최대작동하중은 유압공급압력 210kgf/cm²를 기준으로 하여 밸브의 고속작동시의 압력강하를 고려한 140kgf/cm²에서 500kgf의 최대출력하중이 가능한 것으로 판단된다. 또한, 구동 액추에이터의 최대동작속도는 8m/sec로 유체개폐밸브의 구동액추에이터에 장착된 서보밸브의 정격유량을 고려하여 1.87m/sec까지만 확인을 실시하였다. 이는 서보밸브의 정격제어유량과 유압과워텍의 공급유량을 늘려줌으로서 8m/sec까지 속도를 증가할 수 있다.

구동액추에이터의 주파수 응답 특성 16Hz정도로 개발목표를 달성하였다. 최대사용압력은 해석단계에서 40kgf/cm²까지 안전율 4.5로 취약부분이 없는 것으로 확인되어졌으며, 실제로 유체개폐밸브의 성능시험단계에서 20kgf/cm²까지 압축공기를 공급함으로써 확인 작업을 수행하였다. 다음의 Table 5에서 개발계획에 대한 실적 및 성과를 정리하였다.

Table 5 Specification of NI 6259M Series

개발항목	개발목표	개발실적	달성도
밸브 구동 액추에이터의 선형성 (무부하시)	0.5%	0.09%	250%
밸브 구동 액추에이터의 히스테리시스 (무부하시)	0.5%	0.12%	250%
밸브 구동 액추에이터의 최대 작동 하중	500kgf	950kgf	190%
밸브 구동 액추에이터의 최대 동작 속도 (무부하시)	8m/sec	1.87m/sec	23.4%
밸브 구동 액추에이터의 주파수 응답 특성 (무부하시, -3db, 90도 위상지연)	15Hz	16Hz	106%
개폐 밸브 최대 사용 압력	30kgf/cm ²	40kgf/cm ²	125%

개발단계에서 구동액추에이터의 성능에 대한 검증이 이루어졌으므로 향후 소형화된 유압과워텍 및 제어시스템을 적용하여 일체화된 유체제어밸브시스템을 가지고 산업현장에 적용이 가능하도록 개선작업을 수행할 예정이다.

참고문헌

1. Miller, J. E., "The Reciprocating Pump," Wiley-interscience, 1987.
2. Wylie, E. B., "Fluid Transients in System," Prentice-hall, 1993
3. Na, G. D., Mo, Y. Y., Yoo, Y. T., Joung, J. C., Kim, J. H., "A Study on the Frequency Response Characteristics of a Laminar Pulsating Flow in a Pipe," Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 26, No. 8., 1998.
4. KIST, "A Study on the Development of Software for Hydraulic System Design, 1990.
5. National Instrument, LabView User Manual.