

EHA 밸브 성능시험 장치 개발

Development of Performance Test Equipment for Easy-Hill Assist Valve

정규홍^{1*}

G. H. Jung

Received: 11 Oct. 2014, Revised: 17 Nov. 2014, Accepted: 03 Dec. 2014

Key Words : Easy-Hill Assist Valve(EHA 밸브), Hill-Start Control(언덕길 출발 제어), Solenoid Valve(솔레노이드 밸브), Test Standards(시험규격), Performance Test Equipment(성능시험 장치)

Abstract: When a manual transmission equipped car stops on an incline where the nose of the car is higher than the rear, hill-start control or hill-holder could prevent the vehicle from rolling backward as the car moves forward. The easy-hill assist valve consists of a check valve and a needle type ON/OFF solenoid valve connected in parallel; it is a hydraulic actuator that can maintain brake pressure using an electrical signal from the ECU. As the EHA valve is a safety-related component of the brake system, high reliability as well as superior dynamic performance is required for it to be applied in commercial vehicles. This paper presents the design of the EHA valve as a piece of equipment that can simulate the brake actuation pressure with a pressurizing piston. Following specific test standards, the experimental results validate the implemented functions of the test equipment, proving the test stand to be effective for the performance and endurance of the EHA valve.

1. 서 론

수동변속기가 장착된 차량은 언덕길에서 정차한 후 출발 시 브레이크 페달을 떼는 순간 차가 뒤로 밀리는 현상이 발생한다. 또한, 언덕길 출발 시 등판에 충분한 구동력을 얻기 위해서는 클러치를 떼면서 신속하게 가속페달을 밟아야 하는데 운전이 익숙하지 않은 초보자의 경우에는 클러치 조기 결합으로 엔진에 과부하가 걸려 시동이 꺼지거나 과도한 가속페달 조작으로 높은 엔진 회전수에서 발생하는 클러치 슬립(slip)으로 부품수명이 단축된다.

언덕길 출발 제어(hill-start control)는 경사진 언덕길에서 수동변속기 차량이 정지된 상태에서 출발

할 때 운전자가 브레이크 페달을 누르지 않아도 일시적으로 브레이크를 작동시켜 정지된 상태를 유지하고 가속페달 조작으로 등판에 충분한 구동력이 발생되었을 때 브레이크를 해제하는 기능으로 편리하고 안전한 운전에 도움을 주는 장치이다. 숙련된 운전자는 언덕길 출발 시 핸드 브레이크를 이용하여 차가 뒤로 밀리는 문제를 해결하기도 하지만 전자제어시스템에 비해 엔진, 동력전달계 및 브레이크에 과부하와 마모에 의한 피로가 큰 단점이 있다.

자동변속기 차량은 발진 시 토크컨버터의 토크증배기능으로 뒤로 밀리는 현상이 크지 않고 동력원으로 전기모터를 사용하는 전기나 하이브리드 차량은 경사진 도로에서 뒤로 밀리지 않도록 모터제어를 하므로 언덕길 출발제어는 불필요하다. 대부분의 완성차 업체에서는 언덕길 출발 제어기능이 적용된 승용차를 개발하여 판매하고 있으며 국내에서는 기아자동차의 소울에 적용되고 있다¹⁾.

언덕길 출발 제어는 각종 센서와 전자제어장치, 브레이크를 작동시키기 위한 액추에이터로 구성된다. EHA(easy-hill assist) 밸브는 언덕길 출발 제어에

* Corresponding author: ghjung@daejin.ac.kr

1 Department of Computer Aided Mechanical Design Engineering, Daejin University, Gyeonggi 487-711, Korea
Copyright © 2014, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

적용되는 유압 솔레노이드밸브로 솔레노이드 OFF 상태에서는 운전자가 조작하는 브레이크 페달에 의해 마스터 실린더에서 발생하는 압력이 휠 실린더에 전달되도록 하고 솔레노이드 ON 상태에서는 브레이크 페달을 떼도 휠 실린더 압력을 유지시켜 브레이크가 작동되도록 하는 기능의 액추에이터이다. 수동 변속기 차량에 적용되는 언덕길 출발 제어는 대형 버스나 트럭에 특히 유용하며 대형 차량에 적용되는 공압식 EHA 밸브는 국내에서 개발이 완료되어 양산되고 있다.

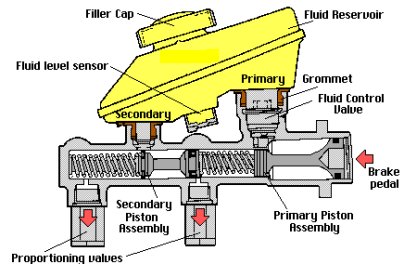
본 연구에서는 중소형 트럭에 적용하기 위하여 국내에서 개발된 유압식 EHA 밸브를 대상으로 작동과 내구성능을 평가할 수 있는 시험장치를 개발하였다. 개발된 시험 장치는 브레이크 페달압력과 휠 실린더 유량부하를 모사하는 기계적인 장치와 시험규격을 자동으로 수행하면서 시험 데이터를 수집하는 기능의 제어기로 구성되며 설계된 시험규격에 따른 시험을 통해 EHA 밸브의 제반 기능과 성능을 검증하였다.

2. EHA 밸브 작동원리

Fig. 1은 유압식 브레이크의 마스터 실린더와 휠 실린더이다. EHA 밸브 입구는 브레이크 페달 작동으로 압력을 발생시키는 마스터 실린더가 연결되고 출구는 드럼 브레이크의 슈(shoe)와 라이닝(lining)사이에 마찰력을 발생시키는 휠 실린더가 연결된다. EHA 밸브는 체크밸브(check valve)와 니들(needle)형 ON/OFF 솔레노이드밸브가 병렬로 결합된 형태로 내부구조와 유압회로 기호는 Fig. 2와 같다.

솔레노이드밸브 OFF 상태에서는 니들밸브가 시트(seat)와 분리되어 입구와 출구가 연결되므로 브레이크 페달에 의해 통상적인 브레이크 작동과 해제가 이루어진다(Fig. 2(a) 참조). 솔레노이드밸브 ON 상태에서는 니들밸브가 시트에 맞닿아 유로를 폐쇄하므로 체크밸브를 통해서만 입구에서 출구로 오일이 흐를 수 있다. 따라서 브레이크 페달을 작동시켜 입구 압력이 출구압력보다 높아지면 휠 실린더 압력이 증가하고 브레이크 페달을 떼서 입구압력이 출구압력보다 낮아지면 오일의 흐름이 차단되어 휠 실린더 압력이 유지되므로 브레이크가 작동하여 언덕길에서 정차된 차가 뒤로 밀리지 않게 된다(Fig. 2(b) 참조).

전술된 바와 같이 EHA 밸브는 솔레노이드가 작동될 때 휠 실린더압력을 유지하는 기능의 액추에이터이며, 이를 이용한 언덕길 출발제어는 EHA 밸브의

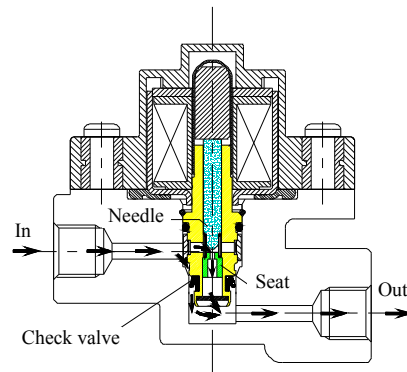


(a) master cylinder

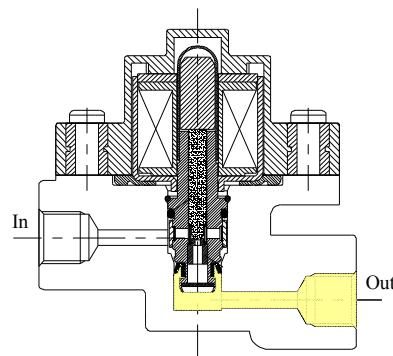


(b) wheel cylinder

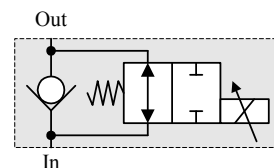
Fig. 1 Brake hydraulic system



(a) EHA solenoid OFF



(b) EHA solenoid ON



(c) hydraulic symbol

Fig. 2 Pressure holding mechanism of EHA valve

작동과 해제시점을 결정하는 알고리즘으로 다음과 같이 다양한 정보를 활용하여 구현된다²⁾.

- 클러치 작동량: 클러치 결합정도를 파악하여 EHA 밸브의 작동여부를 결정
- 차량 경사도: 뒤로 밀리는 경사의 도로에 차량이 정지된 상태에서 EHA 밸브 작동
- 엔진토크: 언덕길 출발 시 후진되지 않는 충분한 토크 검출 시 EHA 밸브 해제
- 차량 후진운동: 차량이 뒤로 밀리는 운동을 검출하여 EHA 밸브 작동

EHA 밸브는 브레이크를 작동시키는 마스터 실린더와 휠 실린더를 연결하는 유로에 삽입되므로 작동 성능뿐만 아니라 높은 신뢰성이 요구되는 안전부품으로 시험규격은 다음과 같은 성능 요구를 평가할 수 있도록 설계하였다.

- EHA 솔레노이드 작동 시 출구압력 유지성능
- EHA 솔레노이드 해제 시 출구압력 해제성능
- EHA 작동상태에서 입구압력 추가 증압 시 출구압력 응답성능
- EHA 밸브 작동 및 해제 내구성능

Table 1은 시험대상 EHA 밸브의 전기적인 사양을 나타내고 Fig. 3은 전륜과 후륜 브레이크에 독립적으로 작용하는 EHA 밸브 2개가 일체로 설계된 EHA 밸브 모듈을 보여준다.

3. 시험장치 설계

Fig. 4는 설계된 시험장치 구성을 나타낸다. EHA 밸브 성능 및 내구시험을 위해서는 입구에는 브레이크 페달작동으로 발생하는 마스터 실린더 압력을, 출구에는 휠 실린더 유량부하를 모사해야 한다. 입구압력 모사기능은 유압과위 유닛과 비례압력제어밸브를 이용한 설계도 가능하지만 큰 펌프소음과 지속적인 동력사용으로 인한 과도한 시험비용의 문제를 해결하기 위하여 전기모터로 구동되는 가압 피스톤으로 설계하였다.

인버터로 속도 제어되는 AC 모터의 회전운동은 스크루 잭(screw jack)을 통하여 직선운동으로 변환된다³⁻⁴⁾. 스크루 잭 전진 시에는 가압 피스톤을 밀어서 오일을 EHA 밸브 입구로 공급하여 입구압력을

상승시키고 후진 시에는 리턴 스프링에 의하여 가압 피스톤이 후진하여 입구압력을 하강시킨다. EHA 밸브 출구에는 최대이동변위를 조절할 수 있는 휠 실린더를 연결하여 유량부하를 모사하였다. ON/OFF 솔레노이드 밸브 #1-4는 EHA 밸브 모듈에 내장된 EHA 밸브를 독립적으로 시험하는 기능으로 EHA

Table 1 Specifications of EHA valve

Data	Unit	Value
Type of voltage	V	DC 24
Current draw	A	0.365
Coil resistance	Ω	65.2
Polarity	-	Yes
Rated flow @2.5bar	l/min	25
Max. inlet pressure	bar	300

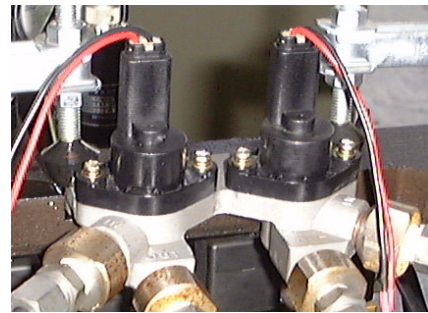


Fig. 3 EHA valve module

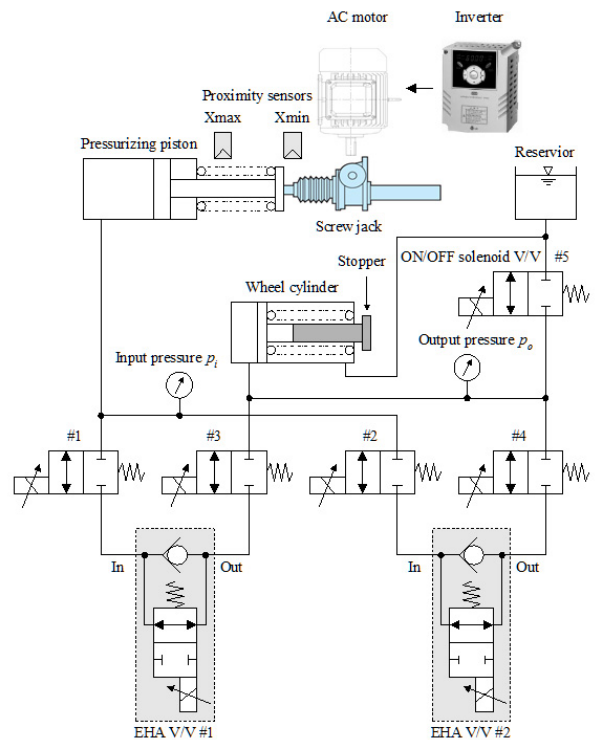


Fig. 4 Schematics of performance test equipment

밸브 #1 시험 시에는 ON/OFF 솔레노이드 밸브 #1과 #3가, EHA 밸브 #2 시험 시에는 ON/OFF 솔레노이드 밸브 #2와 #4가 작동되며 ON/OFF 솔레노이드 밸브 #5는 시험장치 초기 기동 시 유압회로에 포함된 기포를 제거하는 기능으로 작동된다. 따라서 ON/OFF 솔레노이드 밸브 #1, #3와 #2, #4는 시험조건에 따라 동시에 ON/OFF 된다.

시험장치에서 측정되는 데이터는 입구와 출구압력으로 300kgf/cm^2 측정범위의 압력 변환기를 사용하였으며 스크루 잭의 최소와 최대 이동변위를 검출하여 운동범위를 제한하기 위하여 근접 스위치를 설치하였다. ATmega128 마이크로 컨트롤러로 설계된 제어기는 모터구동, ON/OFF 솔레노이드 밸브 및 EHA 밸브 작동과 데이터 수집을 담당하고 PC에서 수행되는 모니터링 프로그램을 통하여 작동지령을 수신하고 수집된 데이터를 저장하는 기능을 구현하였다⁵⁾.

Fig. 5는 제작된 EHA 성능시험 장치이고 Fig. 6은 시험장치 제어기를 나타내며, 시험장치 제어와 데이터 수집기능을 정리한 블록선도는 Fig. 7과 같다. AC 모터를 구동하는 인버터 지령에서 정회전은 스크루 잭을 전진시켜 가압 피스톤에 의해 압력을 상승시키고 역회전은 압력을 하강시키며 속도지령은 압력변화의 기울기를 조절한다. Fig. 8은 모니터링 프로그램의 메인 창을 나타내며 시험과 관련된 모든 작동지령의 조작과 시험 데이터와 성능결과 표시는 모니터링 프로그램을 통해 이루어진다.

4. 시험규격

EHA 밸브 구성부품인 체크밸브와 ON/OFF 솔레노이드 밸브의 동적응답특성을 평가하기 위한 시험규격을 다양한 파라미터 설정으로 수행할 수 있도록 설계하였으며 세부적인 내용은 다음과 같다.

4.1 Hold 시험

브레이크 페달을 떼서 마스터 실린더 압력이 하강하는 상태에서 EHA 밸브를 작동시켰을 때 휠 실린더 압력이 유지되는 응답성능을 평가하는 시험으로 Fig. 9의 설정 파라미터는 다음과 같다.

- $(p_i)_{init}$: Hold 시험 전 마스터 실린더 압력
- StartT: 시험 시작 후 모터 기동 대기시간
- ProcP1: EHA 밸브가 ON되는 입구 압력
- ProcT1: 입구압력 해제 후 시험 지속시간

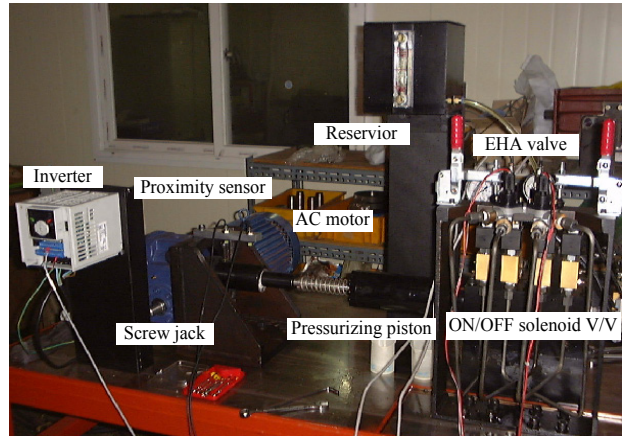


Fig. 5 Photo of performance test equipment



Fig. 6 EHA valve test controller

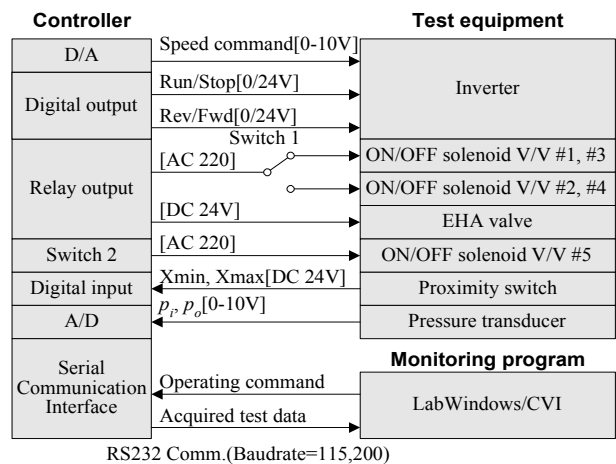


Fig. 7 Functional block of test controller

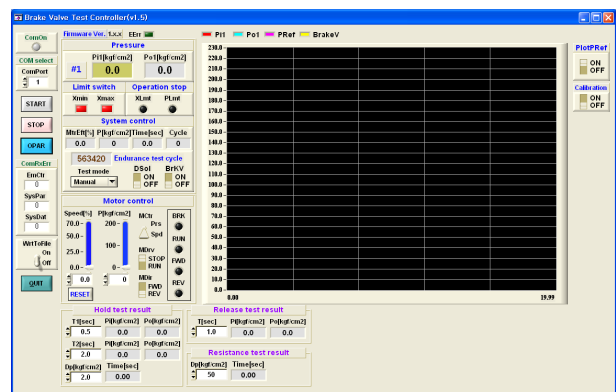


Fig. 8 Main window of monitoring program

Hold 시험의 평가항목은 EHA 밸브 작동시점에서 입구압력과 EHA 밸브가 작동된 후 휠 실린더 압력의 차이이며 설계범위 내에 있어야 한다.

4.2 Release 시험

EHA 밸브 작동으로 휠 실린더 압력이 유지되는 상태에서 EHA 솔레노이드를 해제시켰을 때 휠 실린더 압력이 제거되는 응답성을 평가하는 시험으로 release 시험에 특정된 Fig. 10의 설정 파라미터는 다음과 같다.

- ProcT1: EHA 밸브 입구압력이 완전히 해제된 후 EHA 솔레노이드가 OFF될 때까지의 지연시간
- ProcT2: EHA 밸브가 OFF된 후 시험 지속시간

Release 시험의 평가항목은 EHA 솔레노이드를 해제하고 일정시간 경과 후의 휠 실린더 압력으로 브레이크가 해제되는 압력으로 신속히 저하되어야 한다.

4.3 Resistance 시험

브레이크 페달을 작동시켰을 때 휠 실린더 압력이 상승하는 응답특성을 평가하는 시험으로 EHA 밸브 ON 상태에서는 체크밸브의 관로저항을, OFF 상태에서는 대부분의 오일이 통과하는 니들밸브의 관로저항을 측정한다. Resistance 시험에 특정된 Fig. 11의 파라미터 설정은 다음과 같다.

- ProcP1: 증압되는 EHA 밸브 입구압력

Resistance 시험의 평가항목은 EHA 밸브 입구압력 추가 증압 시 관로저항에 의해 발생하는 출구압력 강하로 압력강하가 설계범위 내에 있어야 한다.

4.4 Endurance 시험

Fig. 12는 EHA 밸브가 반복적으로 작동/해제되는 내구시험 사이클을 나타내며 내구시험에 특정된 파라미터 설정은 다음과 같다.

- ProcP1: EHA 밸브가 ON되는 입구압력
- ProcT1: ProcP1 입구압력 유지시간
- ProcT2: EHA 입구압력 해제 후 대기시간
- NCycle: 내구 사이클 반복 횟수 목표 값

내구시험은 NCycle 반복된 후 종료되며 수행된 시험횟수는 제어기의 비휘발성 메모리에 저장되어 전원이 꺼진 상태에서도 사이클 횟수를 유지한다.

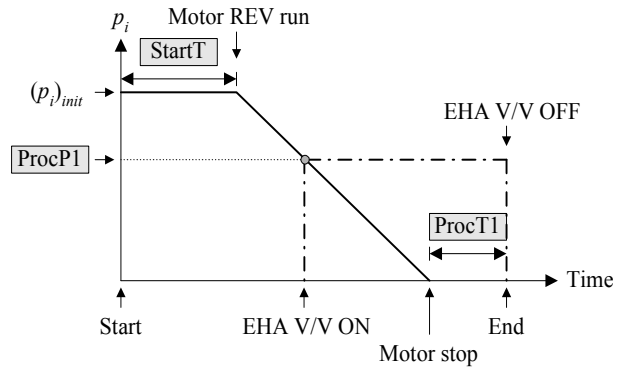


Fig. 9 Hold test procedure and parameters

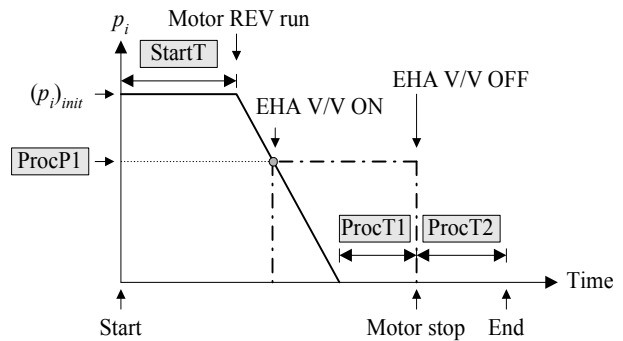


Fig. 10 Release test procedure and parameters

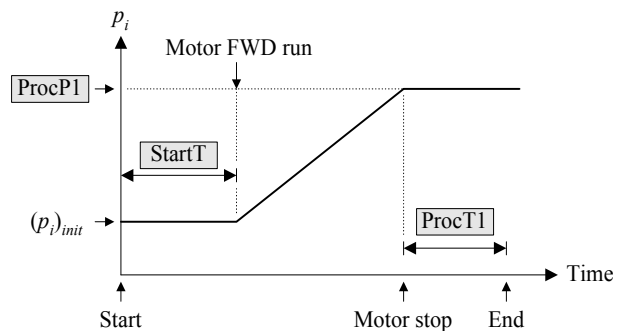


Fig. 11 Resistance test procedure and parameters

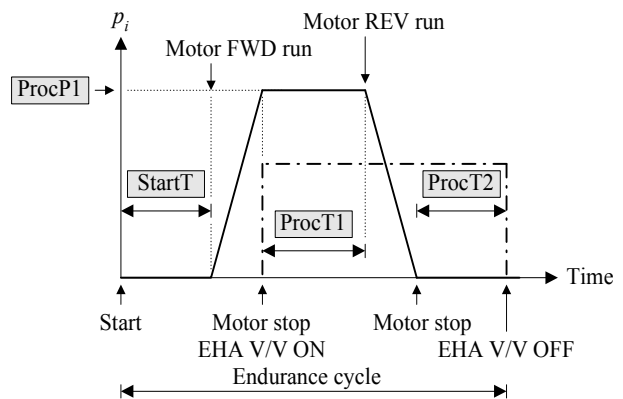


Fig. 12 Endurance test cycle and parameters

5. 성능시험

설계된 EHA 밸브 성능시험 장치의 기능과 성능을 검증하기 위해 시험규격에 해당되는 시험을 실시하였다.

Fig. 13은 hold 시험결과를 나타낸다. EHA 밸브 OFF 상태에서 가압 피스톤을 전진시켜 입구와 출구 압력을 125kgf/cm²로 유지한 상태에서 75%의 높은 모터속도로 후진시키면서 입구압력이 37kgf/cm²에 도달하는 시점에서 EHA 밸브를 ON 상태로 전환하였다. EHA 밸브 출구압력은 밸브가 ON 되어 니들 밸브 유로가 차단됨에 따라 유체관성에 의해 압력이 일시적으로 저하되었다가 회복되는 특성을 나타내었으며 정상상태에서는 48kgf/cm²의 일정한 압력을 유지하였다. EHA 밸브 작동시점 압력과 작동된 이후 정상상태 압력의 차는 오일에 포함된 공기와 입구압력 변화기울기가 크기 때문이며 입구압력이 완만하게 해제되는 경우에 출구압력은 EHA 밸브 작동 시점에서의 입구압력을 유지한다.

Fig. 14는 release 시험을 나타낸다. 45% 모터속도로 가압 피스톤을 후진시키면서 입구압력이 50 kgf/cm²일 때 EHA 밸브를 ON시키면 입구압력의 변화기울기가 크지 않으므로 출구압력은 작동시점 입구압력보다 다소 낮은 47.5kgf/cm²를 유지하고 일정시간 경과 후 EHA 밸브를 OFF시키면 출구압력은 0.2sec후에 3kgf/cm²로 저하된다.

Fig. 15는 EHA 밸브 ON 상태에서 입구압력을 증가시키는 경우에 출구압력의 관로저항을 확인하는 resistance 시험결과를 나타낸다. 50% 모터속도로 EHA 밸브 입구압력을 상승시키면 체크밸브를 통해 공급되는 유량에 의해 출구압력이 상승하고 과도상태에서 압력손실은 약 2kgf/cm² 정도 발생하였다.

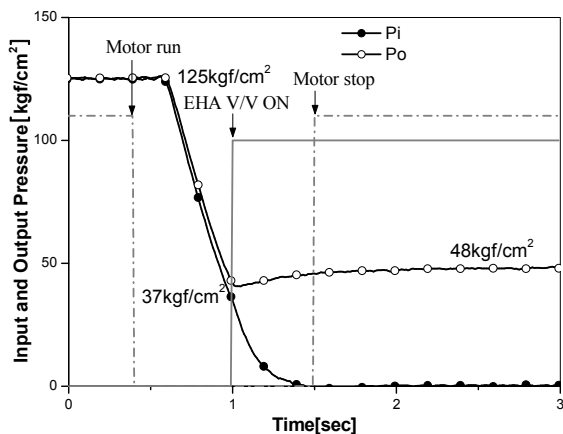


Fig. 13 EHA valve hold test result

Fig. 16은 모터구동속도를 45%, EHA 밸브가 작동되는 입구압력은 70kgf/cm²로 설정하여 실시된 내구시험 사이클 시험결과를 나타낸다. EHA 밸브 작동 후 출구압력은 75kgf/cm²이며 누유로 인하여 약 5sec 후에는 72kgf/cm²로 낮아짐을 확인하였다.

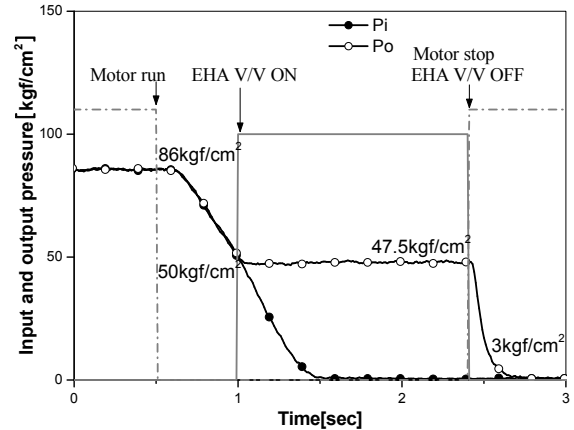


Fig. 14 EHA valve release test result

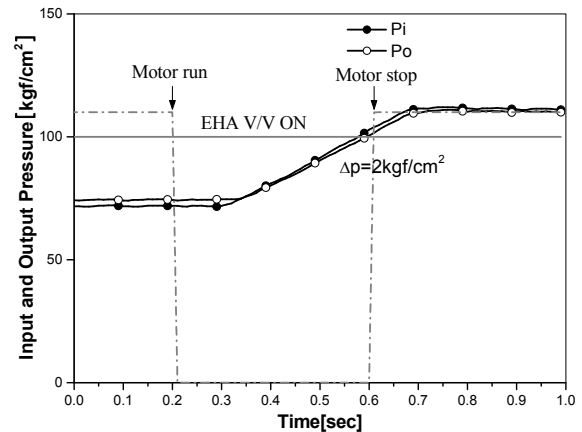


Fig. 15 EHA valve resistance test result

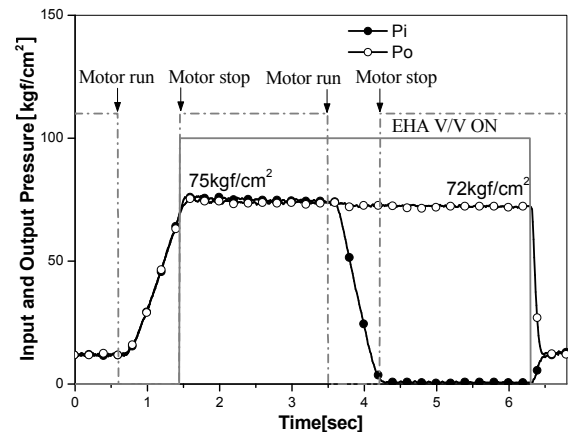


Fig. 16 EHA valve endurance test result

이상과 같은 시험결과로부터 본 연구에서 개발된 성능시험 장치의 제반 기능은 시험규격을 충족시키며 언덕길 출발 제어에 적용되는 EHA 밸브의 성능과 내구평가에 활용될 수 있음을 확인하였다.

6. 결 론

EHA 밸브는 경사진 언덕길 출발 시 뒤로 밀리지 않도록 휠 실린더 압력을 유지하는 기능의 유압 액추에이터로 신속한 응답성능과 신뢰성이 요구되는 안전부품이다. 국산화 개발된 유압식 EHA 밸브는 입증된 성능규격이 없기 때문에 양산적용을 위해서는 자체적으로 시험규격을 정립하고 이를 구현할 수 있는 시험장치의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 EHA 밸브를 대상으로 작동 응답성능과 내구성능을 평가할 수 있는 시험장치와 설계된 시험규격에 적합하게 시험조건을 구현하는 제어기를 개발하였으며 성능시험을 통하여 시험장치의 기능과 성능을 확인하였다. 개발된 시험장치는 브레이크 페달 작동으로 발생하는 압력을 모사하는 방식으로 유압과워유닛의 밸브제어방식을 대신하여 전기모터로 구동되는 가압 피스톤을 이용하는 펌프제어방식으로 소음과 소모동력을 절감할 수 있는 특징과 장점을 갖는다.

시험규격은 EHA 밸브 작동 시 휠 실린더 압력을 유지하는 기능의 hold 시험, EHA 밸브 해제 시 휠 실린더 압력을 저하시키는 release 시험, EHA 밸브 입구압력을 추가로 증압하였을 때 상승하는 휠 실린더 압력을 평가하는 resistance 시험과 반복적으로

EHA 밸브 정해진 과정에 따라 ON/OFF시키는 endurance 시험으로 구성되며 시험규격 파라미터를 설정하여 EHA 밸브 성능평가에 적절한 시험규격을 정립할 수 있도록 설계하였다. EHA 밸브의 성능시험규격은 밸브개발업체에서 정하는 기밀사항으로 본문에 기술하는 것이 곤란하지만 내구시험의 목표횟수는 100만회이며 목표횟수 반복시험 후의 hold, release, resistance 성능이 정해진 시험규격을 만족하도록 EHA 밸브를 개발한다.

References

- 1) Suzanne Kane, "2012 Family Cars With Hill-Hold Assist," http://www.thecarconnection.com/news/1065989_2012-family-cars-with-hill-hold-assist
- 2) Christopher Lampton, "How Hill-Start Control Works," <http://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/hill-start-control.htm>
- 3) SV-iG5A User Manual, LS industrial systems, 2010.
- 4) Samyang Reduction Gear Co. Ltd., Production Guide Book, <http://www.sygear.co.kr/new/product/pdf2/14.pdf>
- 5) G. H. Jung and D. H. Park, "Design of Clutch Piston Test Controller for Automatic Transmission," KSFC spring conference, pp. 113~118, 2014.