

자동변속기 오일 소모유량 시험법개발 및 측정데이터 분석

Development of the Oil Consumption Rate Test Method and Measurement Data Analysis for an Automatic Transmission System

정헌술 · 오석형 · 이재신 · 임진승

H. S. Jeong, S. H. Oh, J. S. Yi and J. S. Lim

Key Words : ATM(자동변속기), Oil Pump(오일 펌프), Clutch and Brake(클러치와 브레이크), Shift Control Hydraulic Circuit(변속제어 유압회로), Flow Rate Measurement(유량 측정)

Abstract: Automatic power transmission systems consisted of a torque converter and several planetary gear sets, clutches and brakes are controlled by a hydraulic shift control circuit and an electronic transmission control unit. The hydraulic circuit serves for the operation of the torque converter and lubrication oil supply of the transmission system as well as for the actuation of clutches for the automatic gear shift. The complicated hydraulic control circuit constructed by many spools, solenoids, orifices and flow passages are integrated into one small valve block and it is powered by one hydraulic pump. In this paper, a test equipment was developed to measure the oil consumption of each component at various wide operating conditions. Test data about 730 sets acquired from five test items are analyzed and discussed on the oil capacity of the circuit.

1. 서 론

변속장치는 엔진의 회전속도-출력토크 특성과 차량에서 요구되는 차속-부하토크 특성과의 차이를 조화시키기 위해 모든 차량에 반드시 장착되고 있으며, 변속장치는 크게 수동변속기와 자동변속기로 대별된다. 자동변속장치는 토크 컨버터 (torque converter), 다수의 유성기어(planetary gear), 유성기어를 구속하기 위한 클러치 (clutch)와 브레이크 (brake), 일방향 클러치(one way clutch) 및 오일 클러 등으로 구성된다.

자동변속기는 유압제어회로(hydraulic control circuit)와 변속제어기(TCU, transmission control unit)에 의해 변속을 수행하는데, 유압제어회로는 오일펌프에 의해 유압이 공급되며, 이 펌프는 일반적으로 엔진의 동력에 의해 구동된다.

한편 변속장치는 다수의 회전요소들이 고속으로

회전하고 있기 때문에, 이들 요소사이에 적절한 윤활상태를 유지하는 것은 변속장치의 안전한 운전, 진동, 수명 및 내구성 등의 관점에서 매우 중요하다. 변속제어회로의 오일펌프는, 윤활이 필요한 변속장치 곳곳의 회전요소들에 유압유를 공급하여 윤활 막을 형성하는 역할도 동시에 담당한다.

그런데 변속기는 좁은 공간에 다수의 구성요소들이 집적되어 있어, 자동변속기 내부 각 요소들에 공급되는 오일의 유량을 운행 중인 상태에서 파악하는 것은 쉽지 않은 일이다. 따라서 자동변속기 유압제어회로의 각 요소에서 소모되는 유량을 측정하여 변속기 작동조건에 따른 오일 소모량을 파악할 수 있다면, 효율적인 변속제어회로 개발의 기초 데이터로서 매우 큰 의미가 있다고 하겠다.

따라서 본 논문에서는 소형 4단 자동변속장치에 대하여 유압제어회로망 주요지점 몇 군데의 유량을 측정할 수 있는 시험장치를 개발하고, 기어단수, 구동 회전수, 오일온도 등의 작동조건에 따른 각 요소의 소모유량 측정시험을 실시하고, 이들 시험데이터를 측정 분석한 결과를 제시하고자 한다.

접수일 : 2009년 1월 7일, 게재확정일 : 2009년 2월 6일

정헌술(책임저자) : 군산대학교 기계공학부

E-mail : hsjeong@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-4723

오석형 : 군산대학교 기계공학부

이재신, 임진승 : 현대자동차 자동변속기 설계팀

2. 시험장치 설계

변속제어 유압회로는 기본적으로 토크컨버터를 구동하고, 클러치와 브레이크를 작동시키는 유압실린더를 구동하며 변속시 충격을 완화시키기 위한 압력제어 요소들로 구성된다. 이 유압회로는 동시에 변속기 내부 동력전달부의 각 유회요소에 적절한 상태의 유회 막을 형성시키는 역할을 담당한다.

이러한 유압제어회로는 구체적으로 오일펌프, 슬레노이드 밸브, 스펴 밸브, 유압 피스톤, 어큐뮬레이터, 오리피스 등으로 구성되며, 이상의 구성요소와 유압제어회로는 Fig. 1과 같은 하나의 밸브블록에 집적되어 변속기 케이스 외곽에 설치된다.

한편 동력전달부의 유회가 필요한 요소들은 변속기 전반에 걸쳐서 여기저기 흩어져 있기 때문에, 변속기 유회시스템(lubrication system)은 크게 오일탱크, 펌프, 밸브 블록 그리고 기어 베어링 등 다양한 형태의 유회요소로 구성된 하나의 회로망(circuit network)을 형성한다.

변속기용 오일펌프의 용량은, 변속 요소 및 유회 요소에 소요되는 유회의 크기에 의해 결정된다. 따라서 이와 같은 자동변속기 유압제어회로망에 대하여, 변속기 실제 작동온도 및 속도조건에서 각 요소에 공급되는 오일의 유회를 측정할 수 있도록 Fig. 2와 같은 구조의 시험장치를 개발하였다.

시험장치 주요부분의 설계 사양 및 내용을 기술하면 다음과 같다. 먼저 변속기 구동원과 회전속도 조절은 전기 모터와 인버터를 사용하였다. 모터 용량은 유온 30℃ 속도 6000rpm 조건에서 약 15kW 정도가 필요하기 때문에 이 값을 기준으로 충분한 동력을 공급할 수 있도록 선정하였다.

구동 모터와 변속기는 변속기를 임의의 각도에서 조립한 상태에서 시험할 수 있도록 스핀들 유닛 방식으로 설계하였다. 모터와 스핀들 유닛은 체인 커플링을 사용하여 연결하였고, 스핀들 유닛과 ATM의 연결은 실제의 차량에 연결방법과 동일하게 T/C 체결용 구동판(drive plate)를 이용하였다.

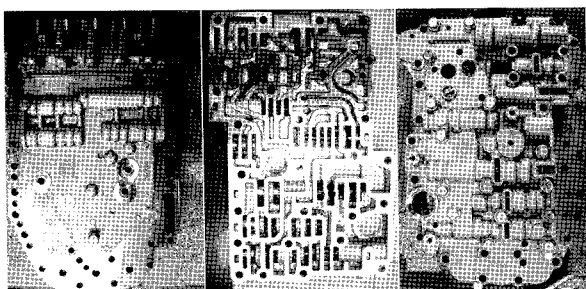


Fig. 1 ATM shift control valve block

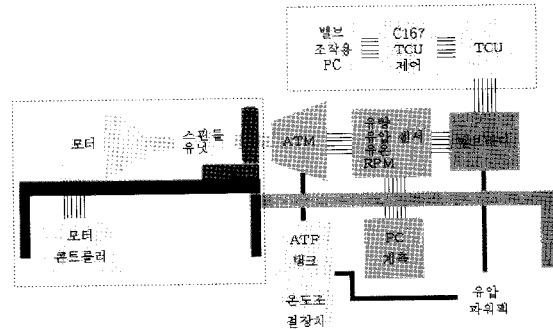


Fig. 2 Block diagram of the test equipment

오일펌프에서 밸브바디를 거쳐 변속기 각 부분으로 공급되는 라인의 압력과 유회를 측정하기 위해 밸브바디를 변속기에서 분리시키고 그 사이에 센서 매니폴드를 배치하였다.

실험조건에 따른 ATF의 온도 설정을 위하여 오일 탱크 안쪽 하단부에 코일 히터를 부착하고, 온도 센서 PT-100과 온도조절 장치에 의해 설정된 온도를 유지할 수 있도록 하였다.

한편 ATM의 각부 요소에 유회 및 유압을 동시에 측정하기 위해서는, 대단히 많은 수의 유회센서 및 압력센서가 필요하며 많은 채널의 데이터 수집 장치가 필요한 문제점이 있다.

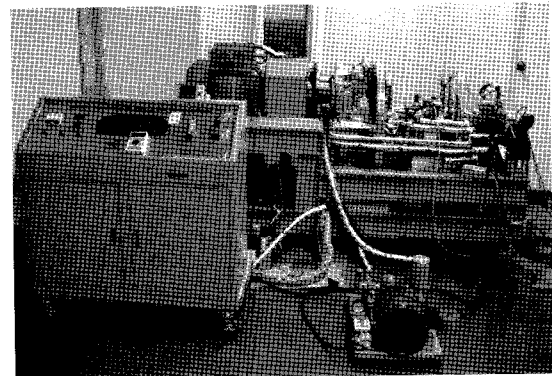


Fig. 3 Photo of developed test equipment

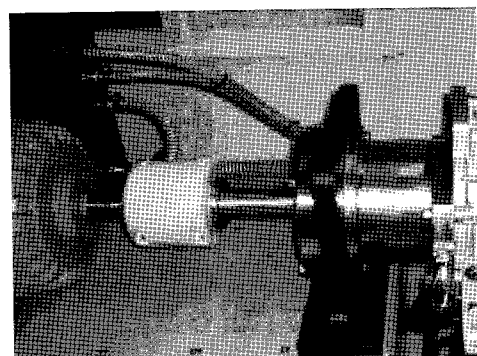


Fig. 4 Spindle type connection

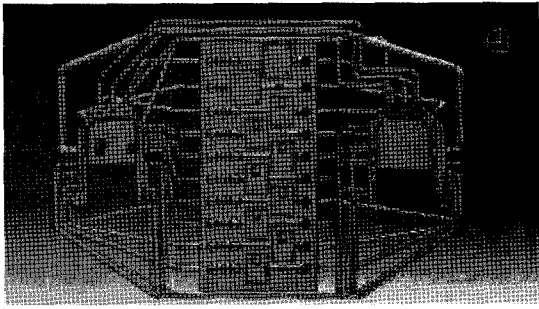


Fig. 5 ATM, valve body and manifold

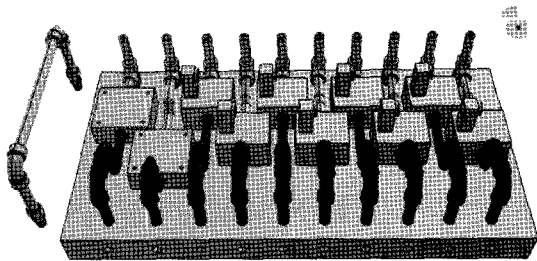


Fig. 6 Flow and pressure sensors and bypass line in the measuring manifold

이 문제를 해결하기 위하여, ATM과 밸브바디 (V/B) 사이에 위치해 놓고 측정하고자 Fig. 6과 같이 유로에 압력과 유량을 측정할 수 있는 센서를 연결하여, 시험 데이터를 측정하였다. 측정하지 않은 위치에는 Fig. 6과 같이 직접 연결할 수 있는 우회 (bypass) 라인을 사용하였다.

유로는 금속배관을 사용하여 실차 상태와 동일하게 연결하였다. 단, 밸브바디의 압력조절밸브 (regulating valve)의 귀환라인은 실제 차량에서는 흡입라인으로 되돌려지는데 반하여, 본 장치에서는 캐비테이션이 발생하기 때문에 실제와 달리 오일탱

크로 연결하였다. 고온에서 금속관로 및 매니폴드에서의 열발산으로 인한 설정온도 강하의 문제점을 해결하기 위해, 모든 배관은 보온재를 이용하여 보온하였다.

매니폴드에는 다음 표와 같이 총 7개의 압력센서 및 서로 다른 용량의 유량센서를 배치하였다.

TCU와 솔레노이드 밸브의 제어는 C167 보드를 사용하여 변속제어회로를 조작하는 전담 PC에서 다음과 같은 HP VEE 프로그램으로 실행하였다.

데이터 측정은 먼저 주어진 ATF의 온도와 모터의 회전속도 즉 운전조건을 설정하고, 수동조작밸브 (manual valve)를 설정 단계에 위치한 상태에서 밸브바디의 솔레노이드를 시험조건에 맞도록 TCU 조작용 PC에서 설정한 다음, 계측용 PC에서 압력센서와 유량센서 데이터를 NI-6024 보드 및 다음 Fig. 7의 프로그램을 사용하여 200Hz 샘플링 주기로 계측 저장하였다. 이때 변속기 시험조건은 변속조작용 PC에서 RS232c 통신을 이용하여 계측용 PC에 전송되도록 구성하였다.

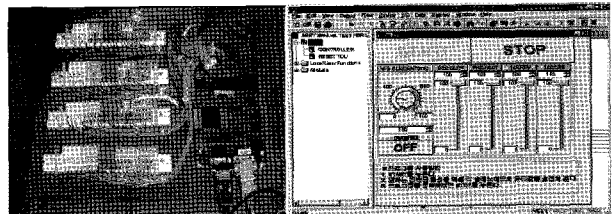


Fig. 7 C167 Board and HP VEE program

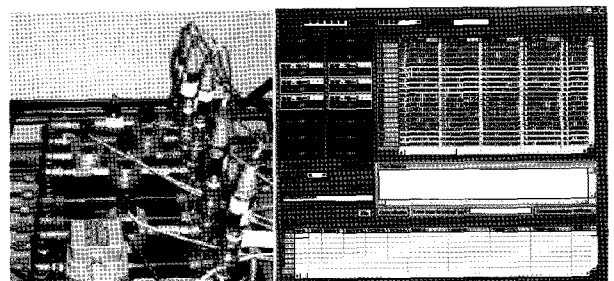


Fig. 8 Sensors and the measurement program

Table 1 Detail of pressure and flow sensors

pressure	KAVLICO, P-155 1~5V output	7 Set, DC 24V 0 to 25 Bar
flow rate	VSE, EF0.04 Gear type	2 Set, 0.05 to 4,00 LPM
	VSE, EF0.1 Gear type	2 Set, 0.1 to 10 LPM
	VSE, VS0.1 GPO Gear type	1Set, 0.01 to 10 LPM
	VSE, VS1 GPO Gear type	1 Set, 0.5 to 80 LPM
	EuroMatic, LTN/1/4 Turbine type	1 Set, 0.9 to 9 LPM

3. 시험 계획 설계

자동변속기 각 부분으로 공급되는 유량의 규모를 파악하기 위해 다음 5가지 시험을 계획하였다.

(1) 전체 소모유량 측정시험

구축된 시험장치를 이용하여 회전에 의한 펌프의 토출유량, 변속기 본체와 밸브바디에서 흘러내리는 소모유량 및 밸브바디의 압력조절밸브에 의해 귀환

되는 유량을 측정할 목적으로 실험을 수행한다. 변속기 본체 소요유량은 4부분의 윤활부와 변속 멤버들로부터 유출되는 유량에 해당하며, 밸브바디 소요유량은 밸브바디 내 밸브들의 배출포트와 밸브스폴들과 바디 사이의 간극으로부터 누설유량이 포함된 유량이다.

전체 소요유량 측정시험의 조건은 각 변속단 (N, D1, D2, D3, D4, L, R)별로 실험을 수행하였고, 압력조건은 VFS의 듀티율이 각각 0% (전진 고압) 및 100%(전진 저압)의 조건에서 실험을 수행하였으며, R단의 경우는 후진압력에 해당한다. 오일온도는 40, 80, 100℃ 그리고 회전속도는 각각 500, 600, 750, 1000, 2500 rpm으로서 총 $(6 \times 2 + 1) \times 3 \times 5 = 195$ 회 측정을 하였다.

변속기 내부에 설치된 오일펌프에 의해 흡입되는 유량은 오일탱크에 유면계를 설치하여 측정하였고, 변속기 본체 및 밸브바디에서의 누설유량은 각각 변속기, 밸브바디 및 압력조절밸브에 의해 귀환되는 유량은 밑부분에 설치한 별도 용기에 떨어진 유량을 전자저울을 이용하여 측정하였다.

(2) 각부 소모유량 측정시험

구축된 실험장치를 이용하여 변속기 각부 구성요소들의 소모유량 즉 펌프 토출유량 4부분의 윤활요소, 토크컨버터 댐퍼클러치 및 쿨러에 흐르는 유량을 측정할 목적으로 실험을 수행한다.

각부 소모유량 측정시험의 시험 조건은 전체 소요유량 시험 조건과 동일하게 시험한다. 솔레노이드 밸브의 설정은 VEE 프로그램이 설치되어 있는 변속조작용 PC에서 C167에 제어신호를 전송하게 하여 TCU에서 제어하게 하였고, 설정된 정보는 F1키를 누름과 동시에 계측용 PC에 전송함으로써 7개의 유량, 7개의 유압, 2개 온도의 계측을 시작하였다.

(3) 변속시 클러치 공급유량 측정시험

구축된 시험장치를 이용하여 변속시 각 클러치와 브레이크로 공급되는 순간 변동유량을 측정할 목적으로 실험을 수행한다.

시험은 실제 변속을 포함한 7가지 솔레노이드 밸브의 조작 상황에서 4개(UD, REV, OD, D/A)의 클러치와 2개(L/R, 2/4)의 브레이크 및 펌프 유량을 유량센서를 통해 측정하였다. 클러치 공급유량 측정시험의 온도, 압력 및 회전속도 조건은 (1)~(2)번 시험조건과 동일하게 설정하였다.

(4) 밸브바디 누설유량 측정시험

본 시험을 위해 (1)~(3)번 시험과 달리, 밸브바디

내부의 각 솔레노이드 밸브를 인위적으로 고정시킨 상태로, 밸브바디 장착용 매니폴드에 밸브바디를 설치하여, 밸브바디로부터의 누설유량을 측정할 목적으로 실험을 수행한다.

밸브바디 누설유량 측정시험의 조건은 오일온도는 40, 80, 100℃ 그리고 압력은 각각 전진 저압, 고압, 후진 압력으로 총 $3 \times 3 = 9$ 회 측정을 하였다.

시험 전에 미리 밸브바디의 T/C 제어밸브(control valve), 압력조절밸브, 감압밸브(reducing valve), 압력제어밸브(pressure control valve) PCV-A, PCV-B, PCV-C 등을 동작하지 못하도록 고정된 상태에서, 시험조건에 해당하는 오일온도와 라인압력을 외부에서 조정하는 다음, 오일펌프 토출 즉 밸브바디 입구 측에 일정 시간동안 인가하여 누설유량을 비커에 받아 떨어진 오일의 질량을 유량으로 환산한다.

(5) 밸브스폴 누설유량 측정시험

밸브 스펴 한 개에 대하여 다양한 압력, 온도 및 오버랩 조건에서의 누설유량을 측정함으로써, 역으로 밸브바디에서 누설유량을 유추할 목적으로 본 시험을 계획 수행하였다.

밸브스폴 누설유량 측정시험의 조건은 3종의 간극(설계기준-14, 0, +14 μm)을 지나는 밸브스폴을 제작하여, 전진 저압, 고압, 후진 압력조건, 온도 40, 80, 100℃ 및 오버랩 1~3mm 범위에 대하여 총 $3 \times 3 \times 3 \times 5 = 135$ 회의 시험 측정을 수행한다.

4. 시험 데이터 분석

전체 소요유량 측정시험을 각 운전 및 시험조건에 대하여 195회 수행한 결과, 변속기 본체와 밸브바디 누설유량 및 귀환유량을 회전속도, 라인압력 및 오일온도에 따라 변화하는 추세를 파악할 수 있게, 시험조건 별로 3차원 분포그래프를 작성하였으며, 그 한 예를 보면 Fig. 10과 같다.

한편 4가지 측정 대상 변수에 대하여, 시험조건 및 운전조건에 따른 변화 추세를 파악하기 위해 3차원 분포그래프를 작성하였으며, 밸브바디로부터의 귀환유량의 한 예를 보면 Fig. 11~12와 같다.

총 195회의 측정시험 데이터를 이상과 같은 방식으로 분석 정리함으로써, 변속기 본체의 윤활유량과 밸브바디 내 변속제어회로의 사용유량 및 귀환유량에 대하여 운전 및 시험조건에 따른 소요유량의 추이를 파악할 수 있었으며, 주요 도출사항 등을 다음 결론 부분에 기술하였다. 본 논문의 모든 데이터는

정격 유량/압력으로 정규화한 값이다.

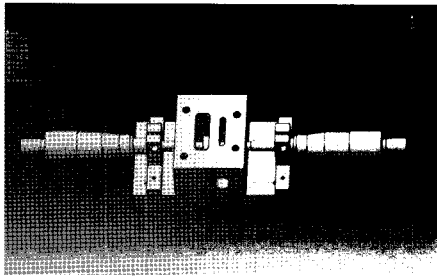


Fig. 9 Equipment setup for the valve spool leak test

전체 소모유량 @레버위치=NP, 라인압력=전진고압, 오일온도=80[도]

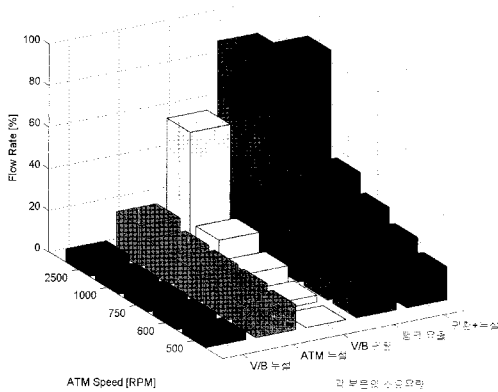


Fig.10 Overall oil consumption test data

V/B 귀환유량 @라인압력=전진고압, 오일온도=80[도]

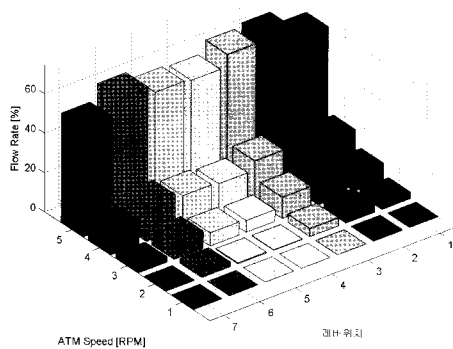
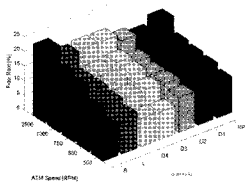


Fig. 11 V/B return flow rate

ATM 누설유량 @라인압력=전진고압, 오일온도=80[도]



V/B 누설유량 @라인압력=전진고압, 오일온도=80[도]

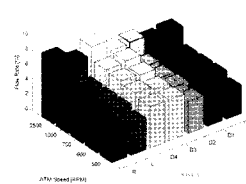


Fig. 12 ATM and V/B oil consumption rate

각부 소모유량 @라인압력=전진고압, 오일온도=40[도], 회전속도=2500(RPM)

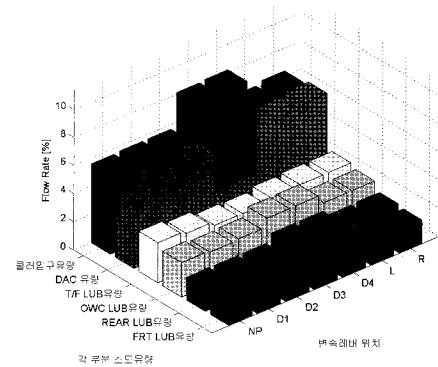
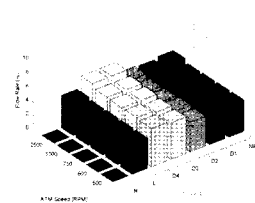


Fig. 13 Each part oil consumption test data

보리얼구유량 @라인압력=분진저압, 오일온도=40[도]



DAC 유량 @라인압력=전진저압, 오일온도=40[도]

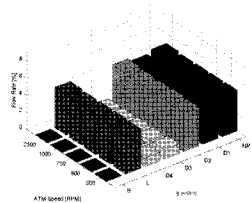


Fig. 14 Flow rate at the cooler and DA clutch

각부 소모유량 측정시험으로부터 취득한 오일클러 통과유량 DAC 공급유량 및 4부분의 순환유량을 회전속도, 라인압력 및 오일온도에 따라 변화하는 추세를 파악할 수 있게, 시험조건 별로 3차원 분포 그래프를 작성하였다. 또한 각 측정대상 변수에 대하여 라인압력 및 오일온도에 따라 변화하는 추세를 파악할 수 있게 3차원 분포그래프를 작성하였으며, 몇가지 예를 보면 Fig. 13~14와 같다.

한편 변속시 클러치공급유량 측정시험에서는 선정된 7가지 슬레노이드 조작시 취득한 데이터를 바탕으로, 각 클러치 또는 브레이크 요소에로의 공급유량 및 압력을 회전속도, 라인압력 및 오일온도에 따라 변화하는 추세를 파악할 수 있게, 시험조건 별로 분포그래프를 작성하였다.

클러치 변속시험 @라인압력=N-D11-D12, 라인압력=전진저압, 회전속도=1000(RPM), 오일온도=80[도]

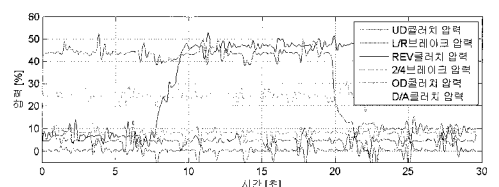
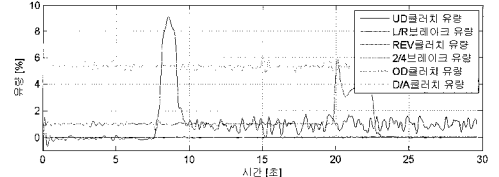


Fig. 15 Pressure and flow data for a shift

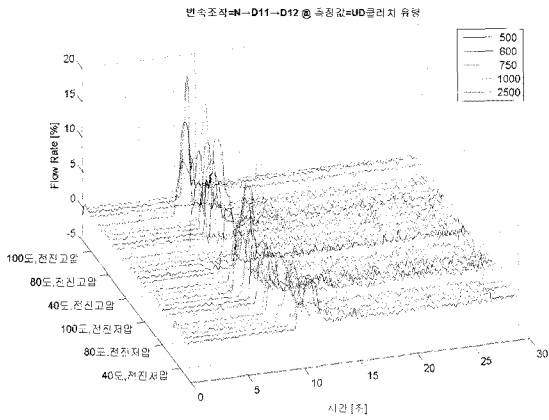


Fig. 16 Flow to the UD clutch during shift

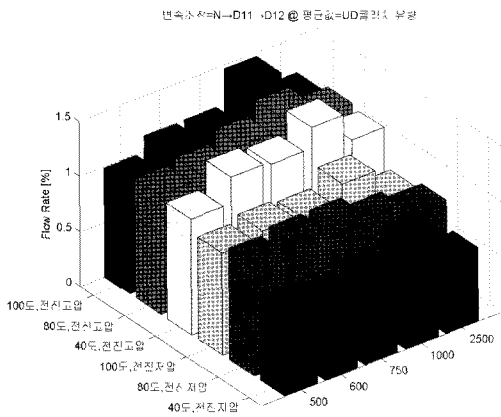


Fig. 17 Average flow rate to UD clutch

Fig. 16~17로부터 1~2단 상향변속시 UD클러치에 공급되는 유량의 평균값을 시험조건별로 재구성하여 그려보면 Fig. 17과 같다.

라인압력 및 오일온도에 따라 변화하는 밸브바디 누설유량의 추세를 3차원 분포그래프를 작성하면 Fig. 18과 같다.

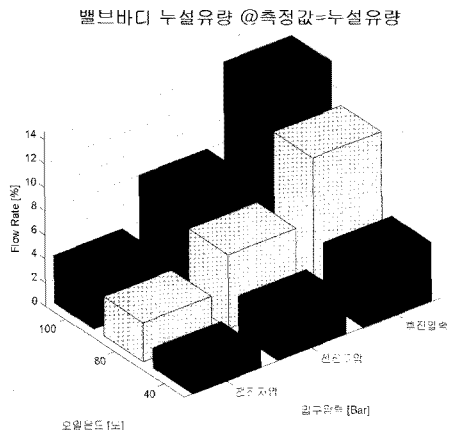


Fig. 18 Valve body leak test data

밸브스풀 누설유량 @오일온도=80.0[도], 스톱간극=설계기준-14[um]

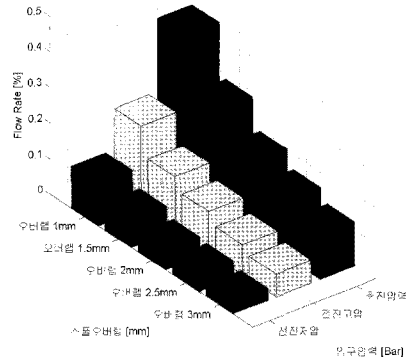


Fig. 19 Valve spool leak test (base-14 μ m gap)

한편 총 135회의 밸브스풀 누설유량 측정시험 데이터를 스톱간극, 스톱오버랩, 라인압력 및 오일온도에 따라 변화하는 추세를 파악할 수 있게 3차원 분포그래프를 작성하였으며, 스톱간극이 설계기준-14 μ m 경우를 보면 Fig. 19와 같다.

5. 결론

자동변속기 유압제어회로의 각 요소에서 소요되는 유량을 측정하여, 변속기 작동조건에 따른 오일 소모량을 파악하기 위해, 특정 변속장치에 대하여 유압제어회로망 주요 7개 지점의 압력과 유량을 동시에 측정할 수 있는 시험장치를 개발하고, 기어단수, 구동 회전수, 오일온도 등의 작동조건에 따른 각 요소의 소모유량 측정시험을 730여회 실시한 결과 주요 결론을 요약 정리하면 다음과 같다.

첫째, 변속단에 따라 전체 소요유량 및 각부 소모유량의 크기는 시험조건에 따라 큰 차이없이 대동소이하며, 단 R단의 변속기 본체 소요유량은 다른 단보다 크다. 변속기 본체와 밸브바디 소요유량은 오일온도와 라인압력에 비례하여 증가한다. 변속기 본체의 소요유량이 밸브바디의 소요유량 보다 2~6 배 정도 더 많다.

둘째, 쿨러 및 윤활부 소모유량은 회전속도에 따라 거의 변화가 없으나, 온도가 상승함에 따라 윤활유량은 증가한다.

셋째, 변속시 클러치 공급유량 시험에 의하면 회전속도가 빠를수록 그리고 오일온도와 압력이 높을수록, 클러치에 공급되는 유량이 약간씩 커지고 압력형성도 빨라진다. 보통 클러치를 잡히는 동안에 유량이 공급되며, 완전히 잡힌 이후에는 유량이 흐

르지 않는다. 그런데 UD클러치와 L/R 브레이크는 잡힌 이후에도 유량이 계속 공급되며, 이는 시험도중 클러치 실(seal)의 손상 때문으로 파악된다.

넷째, 밸브바디 및 밸브스풀 누설유량은 오일온도와 라인압력에 비례하여 증가하며, 밸브스풀 누설유량은 스프링 오버랩에 반비례하여 감소한다. 밸브스풀 누설유량은 변화는 스프링간극에 대해 가장 민감하고, 라인압력과 오일온도에 의한 민감도는 동등한 정도이며, 오버랩에는 반비례한다.

다섯째, 2500rpm 에서는 밸브바디 귀환유량은 5~6~90 % 정도로서 매우 크며, 이는 고속에서 과잉유량으로 인해 상당한 동력손실의 원인이 될 수 있으며, 가변용량형 오일펌프 사용이 하나의 대안이다.

여섯째, 전진고압 조건에서 온도가 80℃ 이상 상승하면, 750rpm 이하 저속에서 윤활유량은 오히려

감소하고, 밸브바디 귀환유량이 아예 없거나 매우 적어진다.

이와 같이 개발된 자동변속기 소모유량 측정기술 및 시험 데이터는, 향후 자동변속기 개발시 최적 오일펌프의 용량을 결정 및 자동변속기 성능을 개선하는 중요한 도구로 사용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

- 1) S. M. Chun, "Network analysis of an engine lubrication system", Tribology International, vol. 36, pp. 609~617, 2003.
- 2) 현대자동차, "정비지침서 새시편", 도서출판 골든벨, 2007.