

자동변속기 클러치 디스크 마찰특성의 실험적 분석

Experimental Analysis of an Automatic Transmission Clutch Disk Friction Characteristics

정규홍^{1*} · 박동훈² · 나두현²

Gyu Hong Jung, Dong Hoon Park and Doo Hyun Na

Received: 16 Oct. 2017, Revised: 16 Apr. 2018, Accepted: 19 Jul. 2018

Key Words : Automatic Transmission(자동변속기), Wet Clutch(습식다판 클러치), Clutch Tester(클러치 시험기), Friction Characteristics(마찰특성), Endurance test(내구시험)

Abstract: Wet clutches in an automatic transmission enable the transmission of the engine power by the frictional torque experienced and noted between disk and plates. Since the clutch frictional torque considerably affects the shift quality of an automatic transmission as well as the durability of the machinery, its friction characteristics must be carefully examined to meet the design requirements. The SAE No. 2 friction test machine is a well-known standard to evaluate mainly the friction characteristics of plate clutches along with the required automatic transmission fluids. This paper reviews the experimental analysis of the wet clutch friction characteristics by using the exclusively developed clutch test machine which is capable of controlling the clutch test procedure, in accordance with the applicable test standard and processing of the experimental data automatically. As the clutch test machine is designed for the accommodation of dual clutches which is applied to the real transmission, it can evaluate not only the clutch friction characteristics, but also an actuation performance of a measured clutch piston. In respect to friction characteristics involving dynamic friction coefficients, the energy absorbed in a clutch disk and the recorded temperatures of clutch plates during braking actions and procedures are also investigated. Additionally, the change of friction coefficients by the use of the repeated clutch application is also observed with the endurance test functions of an accurately calibrated and dedicated clutch test machine.

1. 서 론

자동변속기에 적용되는 습식다판 클러치는 마찰토크를 이용하여 회전하는 두 요소를 결합함으로써 동력을 전달하는 기계적 장치로서 엔진으로부터 차축에 전달되는 동력전달경로를 전환하여 변속 비를 변

화시키는 역할을 담당한다. 클러치에서 발생하는 마찰토크는 유압피스톤에 의하여 클러치 디스크와 클러치 플레이트 사이에 작용하는 수직력에 비례하므로 부드러운 변속을 위해서 변속 시 클러치 피스톤 압력제어가 필수적이다. 최근에 개발되는 모든 자동변속기는 전자제어방식의 변속제어기가 적용되어 변속기 입력토크와 주행속도, 유온 등의 작동조건을 파악한 후 변속제어 알고리즘에서 최적의 클러치 압력제어¹⁾를 수행하고 있으며, 변속제어기술이 진보됨에 따라 한 방향 클러치(one-way clutch)가 배제된 클러치 대 클러치 변속이 일반화되고 있다. 특히, 흡수단 기어 열과 짝수 단 기어 열에 엔진동력을 두 개의 클러치로 선택적으로 연결하는 DCT(dual clutch

* Corresponding author: ghjung@daejin.ac.kr

1 Department of Computer Aided Mechanical Engineering, Daejin University, Gyeonggi 11159, Korea

2 C-Stone Technologies, Gyeonggi 16229, Korea

Copyright © 2018, 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.

transmission)는 토크컨버터 없이 클러치만을 이용해서 발전하므로 클러치에서 발생하는 토크 제어가 변속 성능에 미치는 영향이 매우 중요하다. 클러치 디스크 마찰토크는 디스크와 플레이트에 작용하는 압축력 외에 마찰계수에도 영향을 받으며 일반적으로 마찰계수는 디스크 마찰재, 자동변속기 오일, 플레이트 특성에 의해 결정되며 미끄럼 속도와 유온에 따라서도 달라지므로 우수한 변속제어를 위해서는 클러치 마찰특성에 대한 연구가 선행되어야 한다.

클러치 디스크의 마찰재에 오일을 공급하는 습식 클러치는 마찰토크에 의해 발생하는 열을 오일로 냉각할 수 있어 건식 클러치에 비해 전달토크 용량이 크므로 중형 승용차와 상용차용 자동변속기에 적용되고 있다. 습식 클러치의 마찰토크 특성은 상용화된 제품으로 판매되고 있는 SAE No. 2 마찰 시험기²⁾를 이용하여 파악이 가능하지만 고가의 시험기로 인해 전문적으로 마찰재를 개발하는 회사를 제외한 중소형 변속기 개발업체에서는 활용이 어려워 마찰재와 자동변속기 오일, 클러치 플레이트가 결합된 클러치의 마찰특성 분석연구는 원활하게 수행하지 못하였다. SAE No. 2 마찰 시험기는 클러치의 마찰특성만을 JASO M348³⁾에서 규정된 방식으로 시험하여 결과를 제시하는 반면에 실제 자동변속기 개발에 적용되는 클러치의 성능을 평가하는 경우에는 마찰재 특성 외에 클러치 피스톤의 작동성능을 함께 고려해야 한다.

클러치 디스크 마찰특성과 관련되어 수행된 연구로는 습식 DCT 클러치 작동 시의 동적마찰특성 연구⁴⁾, 굴삭기 주행 브레이크에 적용되는 습식디스크 클러치의 마찰특성분석⁵⁾, JASO M358과 M349를 적용하여 CVT 클러치의 토크용량과 떨림(shudder) 현상을 시험적으로 규명한 연구⁶⁾가 있으며 시험목적에 적절하게 SAE No. 2 시험기를 활용하거나 시험장치를 자체적으로 제작하여 사용하였다. 본 연구에서는 클러치의 마찰특성뿐만 아니라 클러치 디스크에서 흡수되는 마찰에너지 특성을 다양한 작동조건에서 시험하고 실시간으로 결과를 분석하는 기능의 시험기를 개발⁷⁻⁸⁾하였으며 이를 이용하여 변속제어에 이용될 수 클러치 마찰특성을 분석하고 내구성평가에 활용될 수 있는 시험결과를 도출하였다.

2. 클러치 시험기

Fig. 1은 듀얼 클러치의 마찰특성을 시험하기 위하여 설계, 제작된 클러치 시험기의 도식적인 구조를

나타낸다. 별도의 유압공급장치(hydraulic power unit)에서 클러치 피스톤 작동에 필요한 유압과 클러치 냉각유량을 공급하고, 클러치 작동으로 정지되는 회전관성에 필요한 일정한 속도의 운동에너지는 전기모터로 공급된다. 단일 클러치 시험에서는 하나의 비례 솔레노이드밸브를 이용하여 클러치를 작동시키고 듀얼 클러치 시험 시에는 작동되는 비례 솔레노이드밸브를 선택하거나(수동작동모드), 자동으로 스위칭(반복작동모드) 된다.

자동변속기에서 클러치의 기능은 회전하는 두 요소를 결합하여 동력을 전달하는 것이지만 클러치 시험기에서는 상대 미끄럼 운동으로 발생하는 마찰특성을 평가하기 위해 클러치의 한 쪽을 고정시켰으며 이에 따라 브레이크로 작동된다. 클러치 시험기를 이용한 마찰특성 시험과정은 다음과 같다.

- (1) 전기모터를 이용하여 회전관성을 가속하여 시험 속도보다 높은 일정한 속도를 유지한다.
- (2) 전기모터를 끄고 관성 회전체에 작용하는 부수적인 마찰로 속도가 서서히 감속되어 시험속도에 도달할 때까지 기다린다.
- (3) 회전관성이 시험 속도에 도달하였을 때 비례 솔레노이드밸브로 클러치 피스톤을 작동시켜 클러치 마찰토크로 회전관성을 정지시킨다.
- (4) 회전관성이 감속되는 동안 측정된 회전속도, 클러치 압력, 마찰토크로부터 클러치 마찰특성을 평가한다.

마찰특성 시험의 작동조건은 시험 속도(N_T), 클러치 피스톤 작동압력(p_C), 냉각유량(Q_c)이며 성능분석을 위해 클러치 토크(T_C), 클러치에 공급되는 냉각오일의 입구와 출구의 온도와 클러치 플레이트 온도

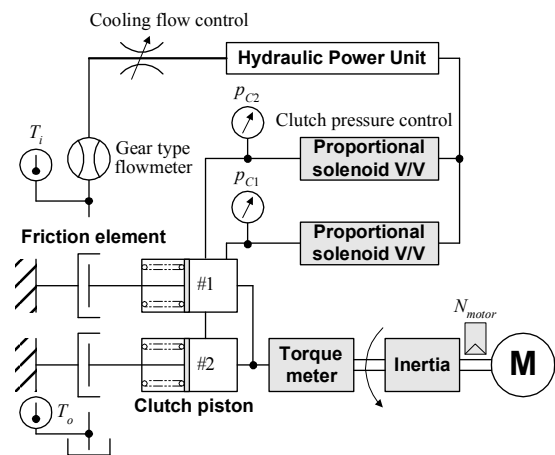
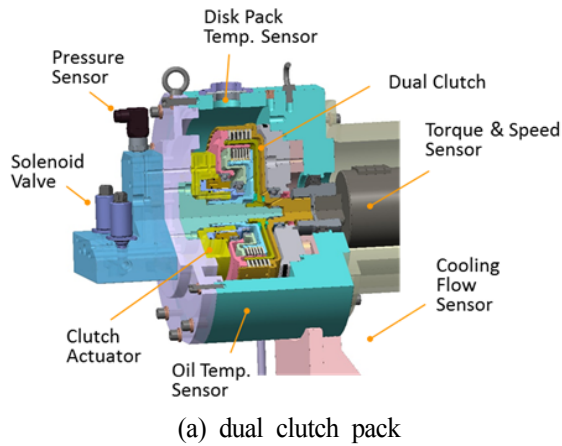
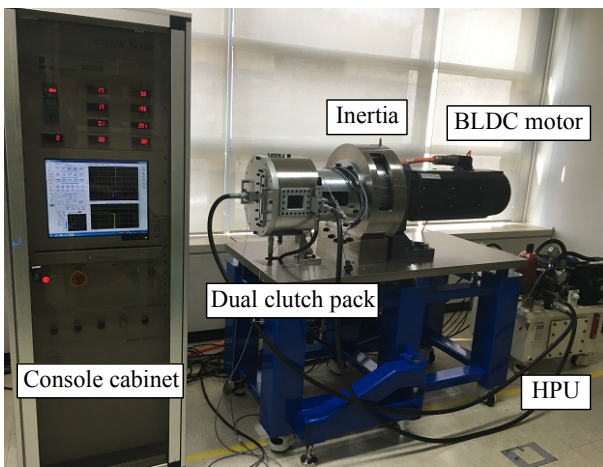


Fig. 1 Schematic configuration of clutch tester



(a) dual clutch pack



(b) system layout

Fig. 2 Clutch test equipment

Table 1 Specification of test clutch

Data	Unit	Value
Test inertia	[kgm ²]	1.971
Friction disk outside radius	[m]	67.5×10 ⁻³
Friction disk inside radius	[m]	43.75×10 ⁻³
Number of friction face	[-]	8
Piston area	[m ²]	0.018418
Return spring load at clutch apply	[N]	1677

를 부가적으로 측정하였다. 클러치 플레이트 온도는 클러치 작동 시 마찰토크에 의해 급격히 상승되고, 해제 시 냉각유량에 의해 저하되며 클러치 소손에 중대한 영향을 미친다.

Fig. 2는 시험챔버 내에 설계된 듀얼클러치와 시험 제어기 콘솔, 클러치 시험기 본체, 유압공급장치로 구성되는 클러치 시험장비 외형을 나타낸다. 개발된 클러치 시험기는 듀얼 클러치 자동변속기의 클러치 마찰특성뿐만 아니라 클러치 피스톤의 작동성능을

평가하기 위해 실제 자동변속기에 적용되고 있는 직접제어형 비례 솔레노이드밸브를 이용하여 클러치가 작동되도록 설계하였다. Table 1은 시험대상 클러치 사양을 나타낸다.

3. 마찰특성 시험규격

클러치 마찰특성은 클러치 플레이트에 작용하는 수직력에 비례하여 발생하는 마찰토크로 나타내어지고, 수직력은 클러치 피스톤 압력에 비례하므로 클러치 시험에서 측정된 클러치 토크와 압력으로부터 정의되는 마찰계수는 다음 식과 같다.

$$\mu = \frac{T_C}{nR_m p_C A_p - F_s}$$

Where,

T_C : Clutch torque[Nm]

n : Number of clutch disk

R_m : Mean effective radius of clutch disk

p_C : Clutch pressure[N/m²]

A_p : Pressure acting area of clutch piston[m²]

F_s : Return spring load at clutch apply[N]

Fig. 3은 클러치 작동으로 발생하는 마찰토크로 인해 회전관성의 감속이 시작되어 정지할 때까지의 전형적인 과도특성을 나타내는 그림이다. 회전관성이 시험속도 N_T 에 도달하면 비례 솔레노이드밸브 전류가 계단파형으로 인가되어 클러치 피스톤에 유량을 공급함으로써 피스톤 이동이 시작된다. 클러치 피스톤이 충전구간을 이동하는 동안에는 낮은 압력을 유지하다가 클러치 플레이트에 닿는 시점부터 클러치 압력이 급격히 상승하고 이로 부터 발생된 토크가 회전관성을 감속시켜 정지하게 된다. Fig. 3의 시험결과에서 클러치 미끄럼 속도에 따라 정의되는 마찰계수는 다음과 같다.

(1) 초기 마찰계수(μ_i)

80%의 시험속도 이상에서 발생된 최대 토크($T_{C\alpha}$)와 이 때의 클러치 압력으로 계산된 마찰계수

(2) 동 마찰계수(μ_d)

50%의 시험속도에서 발생된 토크(T_{Cm})와 이 때의 클러치 압력으로 계산된 마찰계수로 통상적인 클러치 마찰계수를 의미한다.

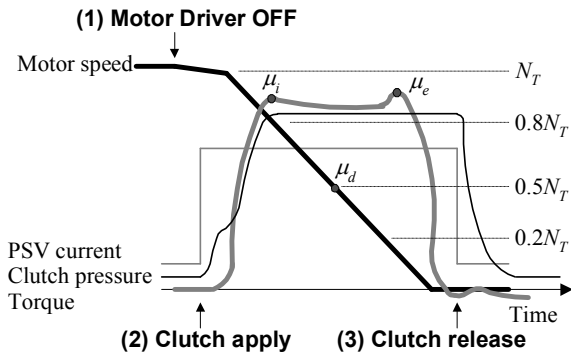


Fig. 3 Typical clutch test result

(3) 종 마찰계수(μ_e)

20% 시험속도 이하에서 발생된 최대 토크(T_{C_c})와 이 때의 클러치 압력으로 계산된 마찰계수 회전관성체가 정지하는 동안 클러치에 흡수되는 에너지는 클러치 시험이 시작되는 시험속도에서의 운동에너지로 계산되는 E_1 과 과도상태에서 측정되는 속도와 토크로부터 계산되는 E_2 를 정의하여 다음 식으로 나타낼 수 있다. 클러치 작동이 시작되는 시험속도에서의 운동에너지가 모두 클러치로 흡수되지 않으므로 $E_1 > E_2$ 이다.

$$E_1 = \frac{1}{2} I_T N_T^2$$

$$E_2 = \int_0^{t_f} T N dt = \sum_{i=0}^{t_f/\Delta T} T_i N_i \Delta T$$

4. 클러치 시험 제어기 설계

자동변속기에 적용되는 클러치의 마찰특성뿐만 아니라 클러치 피스톤의 작동성능을 종합적으로 평가하는 클러치 시험기의 제반기능은 마이크로 컨트롤러를 기반으로 설계된 클러치 시험 제어기와 PC에서 수행되는 모니터링 프로그램으로 구현된다. 임베디드 제어기는 실시간으로 마찰특성 시험규격에서 요구하는 전기모터 속도와 클러치 작동압력을 제어하면서 최대 500Hz의 샘플링 주파수로 마찰특성분석에 필요한 시험 데이터를 수집하고, 사용자 인터페이스 기능의 모니터링 프로그램에서는 사용자가 설정하는 클러치 시험기 작동모드에 따른 지령을 임베디드 제어기로 송신하고 임베디드 제어기에서 수집된 데이터를 수신받아 모니터 화면에 그래프로 나타내거나 후처리(post processing)하여 분석결과를 도시하는 기능을 담당한다.

4.1 클러치 시험 제어기

Atmel사의 8비트 마이크로 컨트롤러 ATmega128⁹⁾과 Atmel Studio 6.2의 AVR-GCC 컴파일러를 이용하여 임베디드 프로그램을 개발하였다. Fig. 4는 개발된 클러치 시험 제어기 외형을 나타내고 주요 기능을 요약하면 다음과 같다.

- 전기모터 속도제어
- 비례 솔레노이드밸브 전류제어
- 속도센서 출력신호로부터 모터속도 연산
- 토크 및 클러치 압력 500Hz A/D 변환
- 클러치 플레이트 12채널 온도 20Hz A/D 변환
- 냉각오일 온도 10Hz A/D 변환
- 모니터링 프로그램과의 직렬통신

클러치 시험모드는 회전관성을 일정한 속도로 유지한 상태에서 사용자가 시험속도를 설정하고 클러치 작동 시작버튼을 클릭함으로써 클러치 작동으로 회전관성이 정지하는 단일 시험모드와 연속적으로 클러치 작동과 해제를 반복하는 내구 시험모드로 구성된다. 내구 시험모드는 클러치 작동으로 회전관성이 정지하는 반복작동 시험모드(repeated apply test mode)와 회전관성은 일정한 속도를 유지한 상태에서 클러치 작동압력을 작게 하여 미끄럼이 발생하는 상태에서의 마찰특성을 연속적으로 시험하는 연속슬립 시험모드(continuous slip test mode)로 구성된다.

Fig. 5는 내구 시험모드에서의 작동 사이클을 나타내는 그림으로 반복작동 시험모드 사이클은 클러치 작동시간(Δt_1), 대기시간(Δt_2), 모터구동 초기화 시간(Δt_3), 모터 가속시간(Δt_4), 관성주행시간(t_5)으로 구성되는 반면에 연속슬립 시험모드 사이클은 모터가 일정한 속도를 유지하므로 클러치 작동시간(Δt_1)과 대기시간(Δt_2)으로 구성된다. 연속슬립 시험모드에서는 클러치 작동 시에도 회전관성의 일정한 속도가 유지될 수 있도록 클러치 작동 압력을 낮게 설정해야 하며 일정 토크이상에서 미끄럼이 발생하는 슬립시간(t_s)와 1사이클 당 클러치에서 흡수되는 에너지 E_2 가 중요한 시험사양이다.



Fig. 4 Embedded controller for clutch test

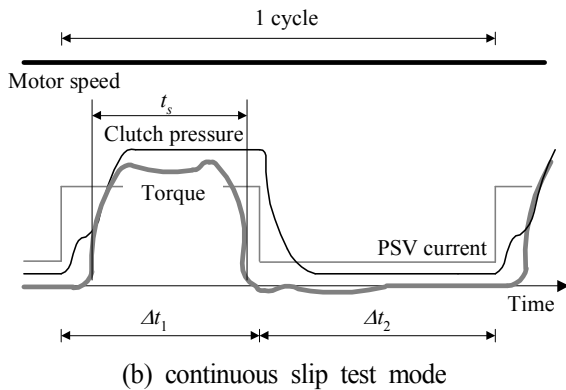
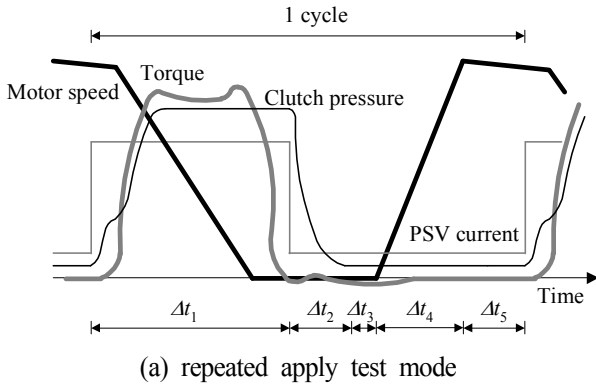


Fig. 5 Endurance test mode

내구 시험모드에는 설정된 횟수만큼 클러치 작동을 반복하는 기능과 마찰토크와 클러치 플레이트 온도가 설정된 최대 한계보다 크게 발생하는 경우에 작동을 중지하는 진단기능이 구현되어 있다.

4.2 모니터링 프로그램

PC에서 수행되는 모니터링 프로그램은 사용자 인터페이스 기능으로 모터속도와 클러치에 발생하는 작동압력을 조절하는 비례 솔레노이드밸브 전류제적 등의 클러치 시험 작동조건과 시험모드를 설정하고 수집된 시험 데이터를 모니터 화면에 다양한 형태로 표시하고 분석하는 역할을 담당한다.

Fig. 6(a)는 모니터링 프로그램의 메인 창을 나타내고 Fig. 6(b)는 트리거(trigger)된 시험 데이터를 실시간 후 처리로 클러치 사양을 고려하여 도출된 마찰계수와 클러치 흡수 에너지 등을 나타내는 분석 창을 보여준다. 시험 데이터 분석 창에는 오프라인으로 데이터 파일을 로드하여 마찰특성을 분석할 수 있는 기능도 구현되어 있다.

5. 클러치 마찰특성 시험

시험대상 클러치의 마찰특성과 개발된 시험 제어

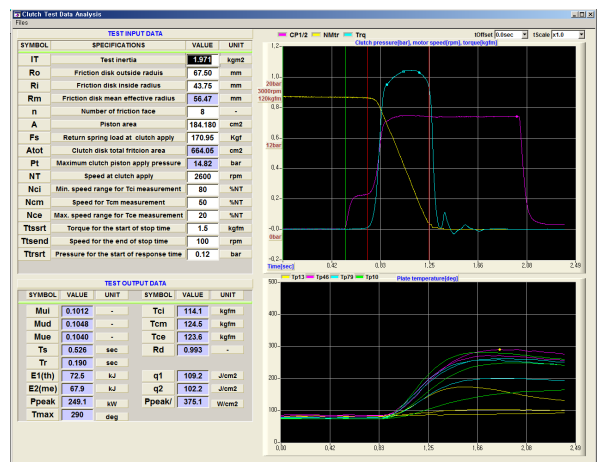
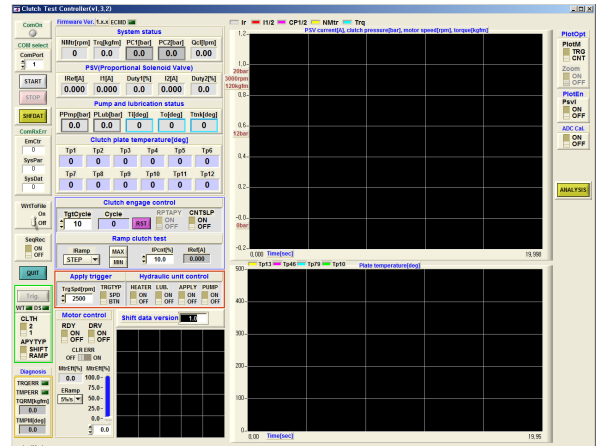


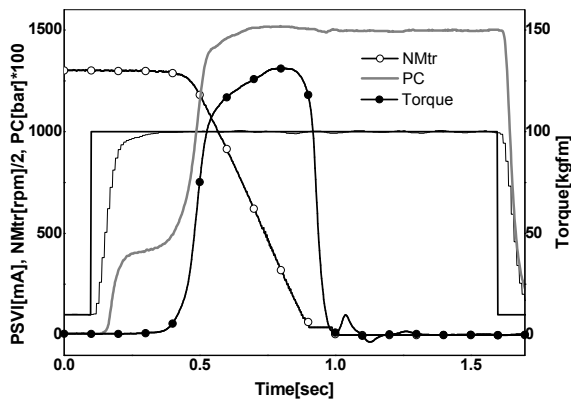
Fig. 6 GUI windows of monitoring program

기의 제반 성능을 검증하기 위하여 내구 시험모드에서 마찰특성 시험을 실시하였다.

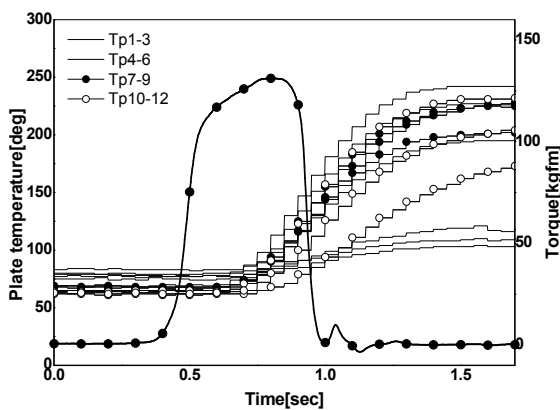
Fig. 7은 반복작동 시험모드에서 수행된 50번째 시험데이터를 나타낸 결과이다. 회전관성 시험속도는 2,600rpm이고 클러치가 작동될 때 비례 솔레노이드 밸브에는 1A의 전류를 계단파형으로 인가하여 클러치 압력은 15bar로 유지하였다. 비례 솔레노이드 밸브에 1A의 전류가 인가되면 유량이 공급되어 클러치 피스톤의 이동이 개시되지만 피스톤 행정(X_s)과 플레이트와 디스크 사이의 여유틈새(end play)에 해당하는 변위만큼 이동할 때까지는 충전압력을 유지하게 된다. 충전구간이 종료되고 클러치 피스톤이 플레이트와 맞닿는 시점부터 압력이 급격하게 상승하면서 발생하는 마찰토크에 의해 회전관성이 일정한 기울기로 감속됨을 확인할 수 있다.

회전관성이 감속되는 구간에서 클러치 압력은 일정하여도 클러치 토크는 일정하지 않은데 이는 상대 속도에 따라 디스크의 마찰계수가 다르기 때문으로

분석되며 Fig. 7(a)의 50번째 시험데이터는 종 마찰 계수가 초기 또는 동 마찰계수보다 크울 알 수 있다. Fig. 7(b)는 클러치가 작동될 때 플레이트의 온도변화를 나타낸 결과이다. 플레이트 온도는 회전관성의 속도가 대략 1,300rpm까지 감속되었을 때 상승되기 시작하여 완전히 정지되고 나서 약 0.5초 후에 최대 온도에 도달하게 된다. 이러한 현상은 클러치 플레이트의 열용량과 열전대(thermocouple) 온도센서의 응답 지연이 원인으로 분석되며 클러치 플레이트의 최대 온도는 242°C로 측정되었다. 참고적으로 실험에 사용된 열전대 온도센서는 K형이고 AD8495 thermocouple amplifier의 출력이 31Hz의 절점주파수를 갖는 RC-저주파 필터를 통해 A/D 변환되도록 설계되어 있다.



(a) inertia speed and friction torque



(b) plate temperature

Fig. 7 Clutch test result(50 test cycle data)

Fig. 8은 반복작동 시험모드에서 1,000회의 클러치 작동시험을 수행한 후 50, 200, 500, 1000번째 시험 결과를 비교하여 나타낸 그림이다. 클러치 작동압력은 반복 시험에 무관하게 일정하지만 토크는 변화됨에 따라 마찰계수가 달라짐을 알 수 있다. 클러치 반복시험 초기에는 종 마찰계수가 크게 나타났으나

200회 시험이후에는 동 마찰계수가 크게 되어 마찰토크가 산봉우리 형태로 발생하였다. 이로부터 처음 조립된 클러치를 시험할 때에는 마찰특성을 안정화시키는 길들이기 시험구간이 필요함을 확인하였다. 클러치 작동시험이 반복됨에 따라 마찰계수가 작아지고 이에 따라 회전관성이 정지하는 시간이 증가하게 됨을 알 수 있다. Table 2는 각 작동시험에서의 마찰계수와 클러치 토크와 모터속도로부터 계산된 클러치 흡수에너지 E_2 를 정리한 결과이다. 클러치 작동이 시작되는 2,600rpm의 회전관성이 갖는 운동에너지는 $E_1=73.1\text{kJ}$ 이며 회전관성의 운동에너지가 모두 클러치로 흡수되지 않으므로 $E_1 > E_2$ 임을 알 수 있다.

Fig. 9는 모터속도를 1920rpm으로 일정하게 고정시킨 상태에서 클러치에 압력을 가하여 마찰토크를 발생시키는 연속슬립 시험모드의 4 사이클에 해당되는 시험결과를 나타낸다. 클러치 압력은 클러치 플레이트와 디스크가 맞닿는 충전압력보다 약간 높은 상태이고 클러치 슬립속도가 일정하게 유지되는 작동조건으로 인하여 미끄럼에 의한 마찰토크형상이 반복 작동시험과 상이하게 나타나지만 4 사이클 시험에서의 압력과 토크가 동일함을 확인하였고 슬립시간은 $t_s = 6.314\text{초}$ 이고 클러치에 흡수되는 에너지는 $E_2=150.8\text{kJ}$ 로 측정되었다. 연속슬립시험에서는 마찰토크의 절대크기는 반복작동시험보다 작게 발생하지만 슬립시간이 크므로 마찰로 흡수되는 에너지는 반복작동시험보다 크게 발생한다.

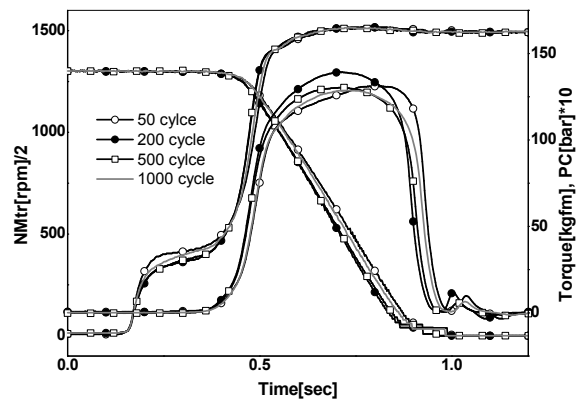


Fig. 8 Repeated apply test results

Table 2 Friction and absorbed energy

Cycle	μ_i	μ_d	μ_e	$E_2[\text{kJ}]$
50	0.098	0.105	0.109	67.2
200	0.103	0.113	0.112	66.5
500	0.099	0.108	0.104	64.1
1000	0.097	0.106	0.104	64.7

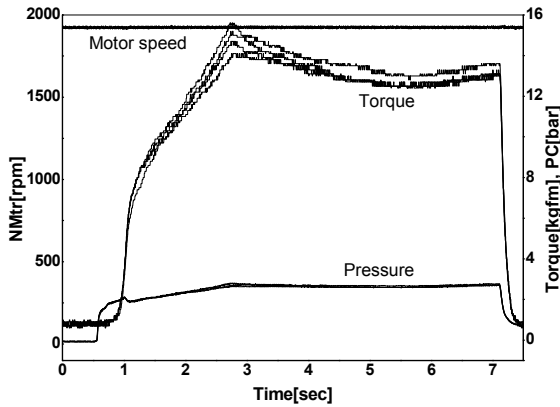


Fig. 9 Continuous slip test results

6. 결 론

자동변속기용 습식다판 클러치는 유압으로 작동되는 클러치 피스톤의 압축력이 디스크와 플레이트에 작용하여 발생하는 마찰토크에 의해 회전하는 두 요소를 결합하여 동력을 전달하는 기능을 가지며, 전자 제어로 변속을 제어하는 변속제어기와 더불어 자동 변속기의 변속과 내구성을 결정짓는 핵심요소이다. 따라서 우수한 성능의 자동변속기 개발을 위해서는 적용되는 클러치의 마찰특성 시험이 필수적으로 선행되어야 한다.

본 연구에서는 자동변속기용 클러치의 마찰특성과 클러치 피스톤의 작동성을 평가하는 기능의 클러치 시험기를 개발하였으며, 일정한 에너지를 갖는 회전관성을 정지시키는 시험규격을 구현하여 클러치의 마찰계수와 클러치에 흡수되는 에너지를 평가하였다. 또한, 반복작동시험과 연속슬립시험의 내구시험을 통해 클러치의 내구성을 평가할 수 있는 기반을 구축하였다.

반복작동시험을 통해 회전관성이 정지하는 구간에서 0.1 근방의 값을 나타내는 클러치의 마찰계수 변화를 측정하였고 200회 이상의 시험에서 마찰계수가 안정화됨에 따라 클러치 마찰특성이 안정화되는 길들이기 시험구간이 필요함을 확인하였다. 클러치 마찰토크로 인하여 2,600rpm의 회전관성이 정지할 때 클러치 플레이트의 최대 온도는 242°C로 측정되었고 회전관성의 운동에너지 $E_1=73.1kJ$ 중 약 65kJ의 에너지가 클러치로 흡수됨을 확인하였다.

연속슬립시험에서는 일정한 슬립속도에서 발생하는 마찰토크를 측정하여 클러치에 흡수되는 에너지를 계산함으로써 마찰재의 내구성을 평가할 수 기능을 확인하였으며 1920rpm의 모터속도에서 6.3초의 슬립시간동안에 클러치에 흡수되는 에너지는 150.8kJ로 측정되었다.

향후에는 지속적인 클러치 디스크 마찰시험평가를 통해 마이크로 컨트롤러에 구현된 실시간 제어기능의 임베디드 프로그램과 PC 기반의 사용자 인터페이스 프로그램의 성능과 기능을 보완하여 클러치 디스크 마찰특성분석에 활용할 예정이다.

참고 문헌

- 1) G. H. Jung, C. D. Jung and S. H. Park, "Feedback Shift Controller Design of Automatic Transmission for Tractors", J. Drive and Control, Vol.13. No.1, pp.1-9, 2016.
- 2) SAE J2490, "SAE No. 2 Friction Test Machine μ PVT Test", 2012.
- 3) JASO M348, "Friction Characteristic Test Method for Automatic Transmission Fluids", 2012.
- 4) J. C. Cho et al., "Characteristic Dynamics Torque Vibration of Behavior in Wet Clutch Engagement for Dual Clutch Transmissions", Trans. KSAE, Vol.24, No.2, pp.183-190, 2016.
- 5) Y. S. Cho et al., "Estimation of Friction Characteristics of Wet-type Multiple Disc Brakes for Axle of 14 Ton Class Wheel Excavator", J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng., Vol.23, No.6, pp.312-317, 2007.
- 6) K. Narita, "Tribological Properties of Metal V-Belt Type CVT Lubricant", Adv. Tribol., Volume 2012, Article ID 476028, 8 pages, 2012. doi:10.1155/2012/476028.
- 7) G. H. Jung et al., "Development of Clutch Test Controller for Automatic Transmission", 2017 spring conference on Drive and Control, pp.61-66. 2017.
- 8) G. H. Jung, "Development of Transmission Simulator for High-Speed Tracked Vehicles", J. Drive and Control, Vol.14, No.4, pp.29-36, 2017
- 9) ATMEL, ATmega128 datasheet, 2005.