

상용차량 클러치 페달 답력 특성에 영향을 미치는 주요 인자 도출에 관한 연구

A Study On The Main Parameter Derivation For Influences On Foot Effort Characteristics In Commercial Vehicles

홍동표† · 홍용* · 박현우* · 유석준** · 이학성***

Dong-Pyo Hong, Yong Hong, Hyen-Woo Park, Hak-Sung Lee

Key Words : Clutch Actuation System(클러치 동작 시스템), Hysteresis loop(이력곡선), Foot effort(답력), commercial vehicle
(상용차량)

ABSTRACT

For commercial vehicles with a manual transmission, the pneumatic and fluid pressure servo-device is widely used for transmitting large torque. However, the pneumatic and fluid pressure servo-device usually results in non-linear variation of foot-efforts, also such characteristics tend to increase physical fatigue of drivers who drive commercial vehicles for a long time. Thus, vehicle manufacturers consider the hysteresis loops in the Clutch Actuation System (CAS) design when a new vehicle model is being developed. In this study, we numerically simulate the hysteresis loops for predictable CAS design, and the experimental results confirm the simulation results.

기 호 설 명

1. 서 론

P_c : 관로 내부압력

x_m, x_r : 실린더 변위

x_p : 푸시로드의 변위(입력)

β : 체적탄성계수

V : 유압유 체적

M_m, M_r : 피스톤 질량

b_m, b_r : 점성계수

k_m, k_r : 리턴스프링 상수

k_p : 푸시로드 스프링 상수

A_m, A_r : 피스톤의 단면적

$f_m = k_p(x_p - x_m)$: 부하스프링력

$f_d = k_l(x_l - x_r)$: 부하스프링력

자동차 생산 업체에서 수동 변속기를 장착한 차량을 개발 할 때, 페달에서 발생하는 답력 특성을 고려하여 Clutch Actuation System을 구성한다. 이 때 시스템 구성 부품들의 조합으로 얻어지는 결과 값을 클러치 페달 부에서 발생하는 이력곡선(변위-힘)을 통하여 이 시스템의 적절성을 판별하게 된다. 그러나 위의 과정들은 대부분 실험적 방법을 통하여 수차례의 반복 시험으로부터 얻어진 데이터로서 이력곡선을 얻는다. 따라서 신차개발에 있어서 이러한 반복 시험에 의한 시간과 비용의 손실이 발생하게 되고, 이를 보완하기 위해 실제 시험으로 얻어진 데이터와 유사한 시뮬레이션 프로그램을 개발하는 연구를 수행하였다.

본 논문에서는 단계적 접근으로 실제 시스템에 큰 영향을 미치는 변수들에 대한 연구를 수행한 것으로, 시스템의 모델링과 다양한 변수들 중 고정 값으로 할 수 있는 변수들은 시험 값을 대입하여 시뮬레이션 과정을 수행하였으며, 시뮬레이션 결과의 검증에 위한 시험도 수행하였다. 여기에서는 H사의 버스에 관한 Clutch Actuation System을 대상으로 연구를 하였다.

버스의 경우 Clutch Actuation System은 그림 1 과 같

† 교신저자; 전북대학교 정밀기계공학과
E-mail : hongdp@chonbuk.ac.kr
Tel : (063) 270-2374 Fax : (063) 270-2374

* 전북대학교 정밀기계공학과

** 전북대학교 기계설계학과

*** 현대-기아 자동차

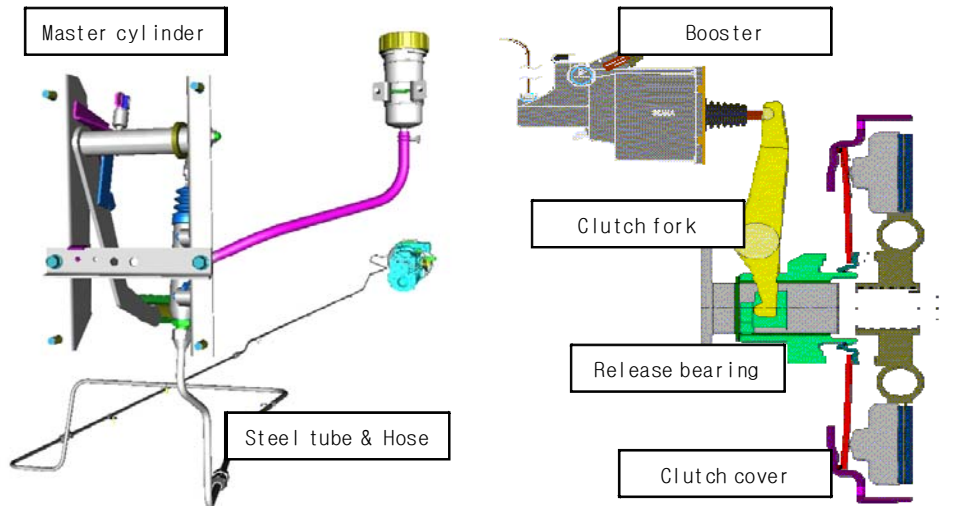


그림 1 Clutch Actuation System (CAS)의 개략도

이 동력차단을 위해 운전자가 클러치 페달을 밟으면 마스터실린더를 동작시키고 형성된 오일압력을 부스터 (Booster, 배력장치)로 공급한다. 부스터는 마스터 실린더에서 전달된 오일압력과 에어탱크에서 전달된 고압 (약 6bar~9bar)을 이용하여 클러치 포크를 밀어 릴리스 베어링을 움직인다. 릴리스 베어링이 다이어프램 스프링을 움직여 클러치 디스크를 단속시킴으로써 엔진의 동력을 차단하고 변속기의 기어변속을 가능하게 한다.

2. CAS 정적 시험

클러치를 구성하는 주요 부품들의 종류에는 페달 set, 마스터 실린더(M/C), 부스터, 플라스틱 호스 & Steel Pipe, 클러치 커버 등이 있으며, Test Rig 구성에서는 실험에 영향을 미치지 않는 요소는 제거 및 단순화 시켜 구성하였다.

2.1 테스트 리그 구성

시뮬레이션을 수행하기에 앞서 테스트 리그 시험을 통하여 이력곡선에 영향을 미치는 주요인자들의 특성을 알아보기 위해서 주요 부분별로 측정을 하였다. 측정하고자 하는 대상과 센서의 위치는 크게 두 개의 부분으로 나누었다. 하나는 부스터 측의 푸시로드의 변위와 힘 측정 그리고 inlet 부분의 압력을 측정하였고, 다른 하나는 페달 부분에서 페달의 변위 측정과 밟는 힘의 측정 그리고 마스터실린더의 Outlet 부분에서의 압력을 측정하였다. 이를 바탕으로 각 부위의 변위와 하중을 측정하여 이력곡선을 그릴 수 있었다.

(1) 실험장치 구성 및 방법

그림 2 는 실험 대상과 센서의 부착위치를 나타내는 개략도이다. 전체 시스템의 반력에 해당하는 다이어프램 스프링과 시스템의 답력인 페달의 힘과 변위를 측정하기 위하여 각각 로드셀과 LVDT를 설치하였다. 또한 이에 따른 압력의 변화량을 알기 위하여 그림과 같이 압력 센서를 설치하였다.[1] 측정 장비로 센서류는 load cell과 LVDT, 압력센서 각각 2개씩 구성하였고, 데이터 수집 장비는 NI사의 소음 진동 측정용 board인 4472 board 를 사용하였으며, Software는 Labview를 사용하여 제작된 Quick view를 사용하였다.

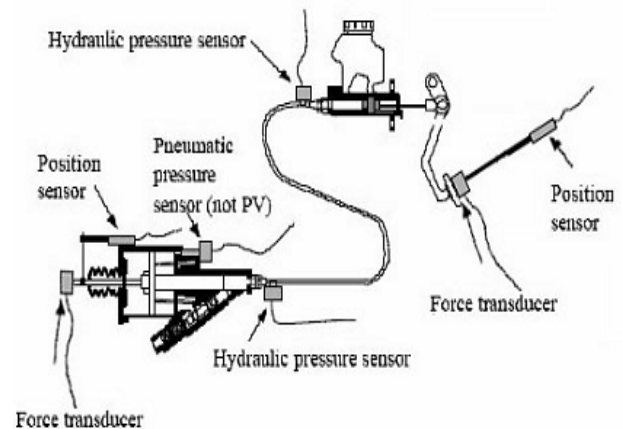
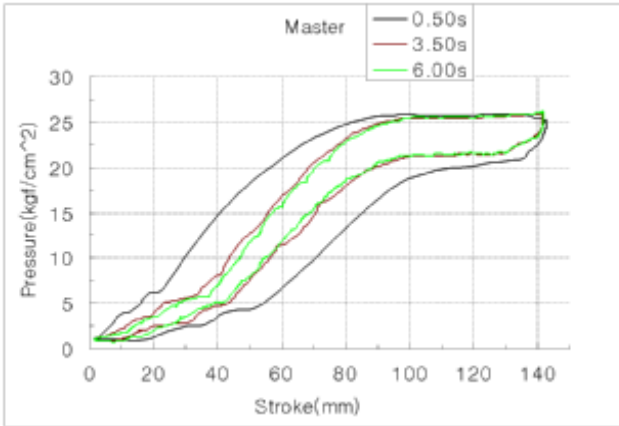


그림 2 센서 부착 위치

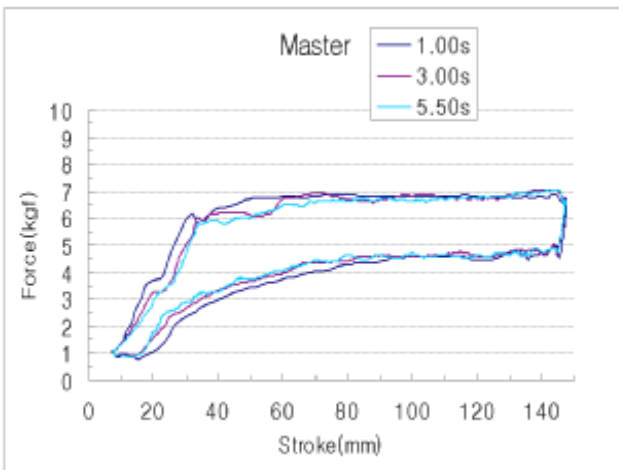
Sampling time은 0.2ms를 사용하였고, A/D컨버터를 사용해 0~10Volt의 직류 전압을 측정하였다. 측정값은 페달을 밟는 속도에 따라서 나타나는 이력곡선의 양상을 파악하기 위해 시간에 따른 시험 조건을 달리하여 측정하였고, 또한 부스터에 공급되는 압축공기의 영향을

보기 위해서 압축공기 가압과 비가압시의 두 경우로 나누어서 측정을 하였다. 부스터에 공급되는 공기압은 실차와 유사한 약 8bar로 구성하였다.

2.2 시험 결과 및 고찰



(a)



(b)

그림 3 (a) 부스터 Air 비-가압시 페달부의 이력곡선
(b) 부스터 Air 가압시 페달부의 이력곡선

그림 3 은 페달 변위에 따른 힘의 이력곡선으로 부스터에 압축공기의 가압이 있을 때와 없을 때의 비교 그래프이다. 그림 3(a)에서 페달에 걸리는 힘이 약 6~7 Kgf 일 때 그래프의 기울기가 달라짐을 알 수 있다. 이는 약 6Kgf일 때 부스터 압축공기의 유입을 제어하는 스톱 밸브가 완전히 열리기까지 발생하는 무효스트로크의 영향이며 이후에서는 밟는 힘이 그대로 작용하기 때문에 기울기가 급격해지며 상승하게 된다. 그리고 그림 3(b)에서는 페달변위 50mm부근에서 거의 일정한 힘 6~7kgf이

걸리게 되는데 이는 스톱밸브가 완전히 개방되어 부스터의 에어실린더 내부에 0.8MPa정도의 공기압이 가압되기 때문이다. 따라서 그 이후 부분에서는 가압된 공기압의 영향으로 페달을 밟는 힘은 일정하게 된다. 또한, 실험결과로 나온 그래프들을 살펴보면 페달을 밟는 시간이 증가함에 따라 이력곡선의 폭이 좁아지는 경향을 보여준다.

3. CAS SIMULATION

3.1 CAS 시스템 모델링

(1) 다이어프램 스프링 (Diaphragm spring)

전체 계를 시뮬레이션 하기에 앞서 반력부분에 해당하는 다이어프램 스프링의 시뮬레이션을 선행하였다. 클램프 하중을 구한 뒤 릴리즈 하중(P_i)을 구하는 기본수식은 다음과 같다.[4]

$$P_i = \frac{P_0[\sigma\mu|(d_o - d_p)(\beta - \phi)| + \frac{t}{2} - (d_o - d_p)]}{d_p - d_i - \sigma\mu|(d_p - d_i)(\beta - \phi)| + \frac{t}{2}}$$

이에 사용하는 변수들은 클러치 제조업체로부터 얻은 아래의 값들을 대입하였다.

P_i, P_o : 릴리즈 하중, 클램프 하중

t : 다이어프램 스프링 두께

β, ϕ : 다이어프램 스프링 경사각, 각 변위

σ : 하중을 가할 때 : 1, 하중 제거 시 : -1

d_o : 다이어프램 스프링과 압력판 접촉점까지 반경

d_i : 다이어프램 스프링 내측 반경

d_p : 다이어프램 스프링 피봇까지의 반경

(2) 마스터 실린더, 부스터

클러치 시스템의 해석을 위해서는 전달계통을 모델링을 해야 한다.[2] 이를 위해 전달계를 구성하는 부품들을 등가화하고, 등가 성분들을 연결함으로써 전달계를 질량, 강성, 감쇠와 같은 변수로 모델링 할 수 있다. 그래서 시뮬레이션을 위해 비선형 운동방정식을 세우고 이를 해석하기 위한 변수를 찾기 위해 각 단품별 변수들을 측정하고 그 값들(실측값)을 변수로 사용하였다. [2]

$$\dot{P}_c = \frac{\beta'}{V}(A_m \dot{x}_m - A_r \dot{x}_r)$$

$$M_m \ddot{x}_m + b_m \dot{x}_m + k_m x_m = A_r P_c - f_l \\ = k_p x_p - (A_{11} x_m - A_{12} x_r)$$

$$M_r \ddot{x}_r + b_r \dot{x}_r + k_r x_r = A_r P_c - f_l \\ = (A_{12} x_m - A_{22} x_r) - f_l$$

$$A_{11} = A_m A_m \\ A_{12} = A_m A_r$$

위의 식을 정리하면, 다음과 같다.

$$M_m \ddot{x}_m + b_m \dot{x}_m + (k_m + k_p + A_{11}) x_m - A_{12} x_r - k_p x_p = 0 \\ M_r \ddot{x}_r + b_r \dot{x}_r + (k_l - k_r + A_{22}) x_r - A_{12} x_m + k_l x_l = 0$$

따라서, 위 식으로부터 각 변수에 제조사로부터 주어진 제품의 제원을 대입하고, MATLAB 시뮬레이션을 수행하여 페달부분에 발생하는 이력곡선을 얻을 수 있다.

3.2 시뮬레이션 결과 및 고찰

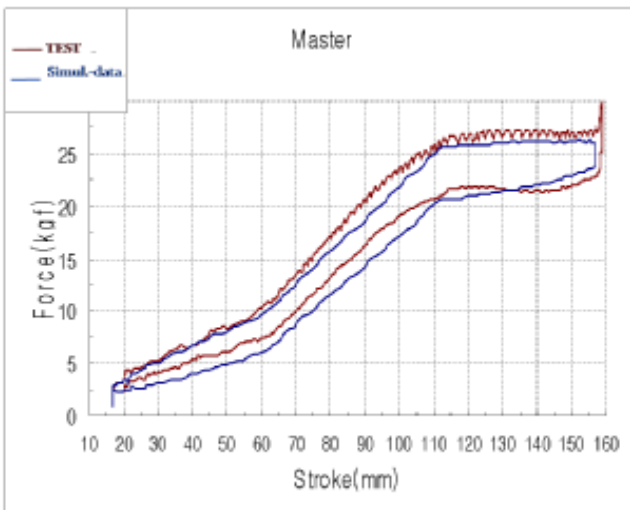


그림 4 페달부 시뮬레이션과 시험 결과간의 비교

다이어프램 스프링의 시험 데이터를 클러치 커버 제작사로부터 제공 받아 시뮬레이션 결과와 비교를 해본 결과 거의 유사한 그래프 결과를 보였다. 클러치 커버에서의 이력곡선은 Clutch Actuation System 전반에 걸쳐 영향력이 큰 반력으로 작용하며, 페달에서의 이력곡선의 특성에 영향을 미치는 릴리즈 베어링에서의 변위-힘 곡선에 종속성을 끼치게 되므로[3], 다이어프램 스프링의 이력곡선 시뮬레이션은 시스템 내의 다른 부분의 시뮬레이션에 앞서 선행되었다.

그림 4에서 보는 바와 같이 부스터에 공기압이 작용하지 않은 상태에서의 페달부의 이력곡선을 보면

거의 유사한 결과를 보였으며, 이는 Clutch Actuation System의 모델링의 결과가 실측된 시험 데이터에 근사함을 보였다.

4. 결 론

본 연구는 상용차량의 페달부분에서 발생하는 히스테리시스 루프를 이용하여, 새로운 클러치 작동 시스템 설계 시에 활용할 수 있는 프로그램 개발에 필요한 주요 변수들을 찾아내는데 목적이 있다. 따라서 시뮬레이션 프로그램을 개발하기에 앞서 CAS에 미치는 주요 인자들의 영향을 파악하기 위해 실제 시판되고 있는 상용차, 특히 버스의 시스템을 가지고 시험을 수행하였다. 또한 시험대상과 유사한 조건으로 시스템의 방정식을 수립하여 시뮬레이션을 수행하고 시험과 비교하였다.

- 실험결과로부터 페달을 밟는 시간이 증가함에 따라 이력곡선의 폭이 좁아지는 경향을 보인다.
- Non-Air일 때 Air Supported 일 때보다 페달에 걸리는 힘이 더 크게 나타나는 것을 확인하였다. 따라서 페달의 이력곡선은 부스터의 특성을 가장 크게 반영하는 것을 확인하였으며, 특히 Air 공급 계통의 영향이 페달의 이력곡선에 미치는 영향이 크다는 것을 확인하였다.

후 기

본 연구는 (주)엔지비와 현대-기아 자동차와의 산학협동 과제에 의해 이루어 졌습니다.

참 고 문 헌

- (1) P. Momiso, M. Talavera, W.Santos, H. Onusic, 2004 "Development of Clutch Systems for Commercial Vehicles", SAE International Congress, San Paulo, Brasil, SAE Technical Paper Series 2004-01-3252
- (2) B. S. Less, 2006 "Friction Characteristics of an Hydraulic Cylinder for an Automotive Manual Clutch", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol.14, No. 4, pp.32-38, Seoul, Korea.
- (3) Ray Shaver, 1997, Manual Transmission Clutch Systems AE-17, SAE, Inc., Pennsylvania.
- (4) B. S. Less, 2006 "Load Characteristics and Sensitivity Analysis for an Automotive Clutch Diaphragm Spring". Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol.14, No. 1, pp.54-59, Seoul, Korea.