

자동화 수동 변속기의 CBW 시스템 개발

문상은¹⁾ · 김민성¹⁾ · 여훈¹⁾ · 송한림²⁾ · 한관수³⁾ · 김현수¹⁾ · 황성호^{*1)}

성균관대학교 기계공학부¹⁾ · 안산공과대학²⁾ · (주)서진클러치³⁾

Design and Implementation of Clutch-by-wire System for Automated Manual Transmissions

Sangeun Moon¹⁾ · Minsung Kim¹⁾ · Hoon Yeo¹⁾ · Hanlim Song²⁾ · Kwansoo Han³⁾
Hyunsoo Kim¹⁾ · Sung-Ho Hwang^{*1)}

¹⁾School of Mechanical Engineering, SungKyunKwan University, Gyeonggi-do 440-746, Korea

²⁾Dept. of Computer Applied Mechanical Engineering, Ansan College of Technology, Gyeonggi-do 425-792, Korea

³⁾Seojin Clutch Corporation, Gyeonggi-do 429-850, Korea

(Received 31 January 2004 / Accepted 28 June 2004)

Abstract : With the growing traffic density and increasing comfort requirements, the automation of the drive train will gain importance in vehicles. The automatic clutch actuation relieves the drivers especially in urban driving and stop-and-go traffic conditions. This paper describes the dynamic modeling of a clutch actuator and clutch spring. The dynamic model of the clutch system is developed using MATLAB/Simulink, and evaluated by experimental data using a test rig. This performance simulator is useful to develop the clutch-by-wire (CBW) system for an automated manual transmission (AMT). The electro-mechanical type CBW system is also implemented as an automatic clutch for AMT. The prototype of CBW system is designed and implemented systematically, which is composed of an electric motor, worm gear and slider-crank mechanism. The test rig is developed to perform the basic function test of the automatic clutch, and the developed prototype is validated by the experimental data on the test rig.

Key words : Automated manual transmission(AMT; 자동화 수동변속기), Clutch-by-wire(CBW), Automatic clutch (자동 클러치), Vehicle performance simulator(차량 성능 시뮬레이터), Test rig(테스트 리그)

1. 서론

도심에서의 교통 체증이 증가함에 따라 운전자들은 잦은 변속으로 인해 육체적인 피로와 불편을 느끼고 이것은 사고의 위험성을 지닌다. 이와 같은 불편을 줄이기 위해 운전자들은 자동변속 차량을 선호하는 추세이나 지속적인 연료비 상승으로 인하여 운전자들은 가격이 높고 연료 경제성이 떨어지는 자동변속기 차량에 대해 부담을 느끼고 있으며, 이

로 인해 차량 구매 시에 많은 구매자들이 갈등을 하게 되는 것이 지금의 현실이다. 이런 이유로 자동변속 기능과 높은 연료 경제성을 실현할 수 있는 자동화 수동변속기(Automated Manual Transmission; AMT)이라는 개념의 변속기에 대한 관심이 날로 높아지고 있다.^{1,2)}

자동화 수동 변속기의 상용화를 위해서는 변속감을 향상시키고 변속 시간을 줄여야 하는 등, 여러 가지 기술적인 어려움을 해결해야 한다. 이런 이유로 AMT는 그 개념이 비교적 오래 전에 고안되고 상용

*To whom correspondence should be addressed.
hsh@me.skku.ac.kr

차에서는 일부 적용되기도 하였으나, 승용차용 자동화 수동 변속기는 최근에야 상용화되고 있는 최신 기술 분야이며, 시스템 설계 기술과 핵심 부품 기술에 대한 많은 연구가 필요하다.³⁾

자동화 수동변속기의 개발은 클러치 자동화와 변속 자동화의 2단계로 구분할 수 있다. 클러치 자동화는 운전자의 변속 조작 의지를 파악하여 클러치 단속을 자동화하는 것이다. 수동 변속기 차량에서 클러치는 변속과 정차시에는 엔진과 구동계 사이의 동력을 단절하고 주행시에는 동력을 전달하는 역할을 수행한다. 차량 구동계의 비틀림 진동은 클러치의 조작에 매우 민감하게 반응하여 승차감에 영향을 주므로 발진 및 변속 조작시 주어진 차량 운전조건에서 어떻게 하면 클러치 접속 전후의 토크 변동폭을 최소화할 것인가가 클러치 제어의 관건이다. 이를 해결하기 위해서는 액츄에이터와 센서 개발, 그리고 이에 대한 제어 기술이 필수적으로 갖추어져야 한다.⁴⁻⁶⁾

본 논문에서는 자동화 수동변속기의 1단계 연구로서 전기-기계식 Clutch-by-wire(CBW) 클러치 액츄에이터 시스템을 모델링하고 시뮬레이터를 개발하였다. 전기 모터와 크랭크 메커니즘을 이용한 전기-기계식 클러치 액츄에이터는 소형 엔진을 장착한 차량에 적합한 형태이며, 전기-유압식과 비교하여 구조가 간단하고 경제적인 장점을 갖고 있다. 크랭크 메커니즘과 감속 기어비를 모델링을 통한 부하분석을 이용하여 체계적인 방법으로 선정, 설계하였으며, 리그 테스터를 제작하여 제작된 액츄에이터의 성능 테스트를 수행하였다.

2. 클러치 시스템 해석

2.1 클러치 시스템 모델링

2.1.1 클러치 액츄에이터

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 CBW 클러치 액츄에이터 시스템의 개략도이다. CBW 클러치 액츄에이터 시스템은 전기모터와 웜기어로 구성된 CBW 액츄에이터와, 마스터 실린더, 리저버, 파이프 라인, 슬레이브 실린더, 포크, 릴리스 베어링으로 구성된다. 이는 기존의 클러치 시스템에서 운전자가 클러치를 작동하기 위해 조작했던 페달을 전기모터식

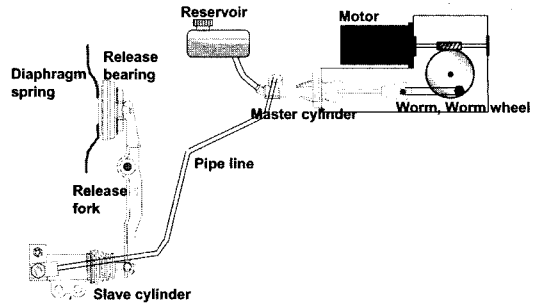


Fig. 1 Schematic diagram of CBW system

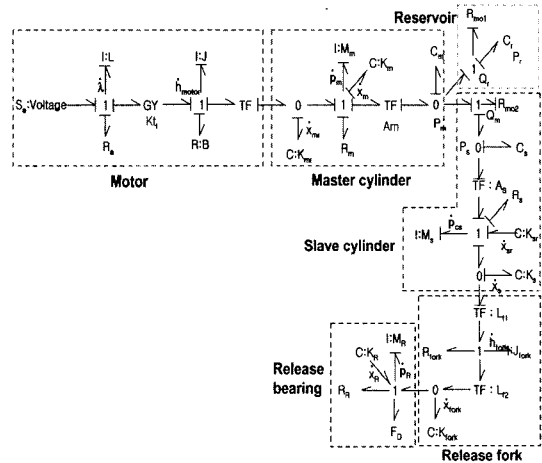


Fig. 2 Bondgraph model of CBW system

CBW 액츄에이터로 대체한 것이다.⁷⁾

운전자가 클러치를 떼려고 하는 의지(disengage)는 CBW 액츄에이터에 의해 웜기어의 속도로 표현되며 이것은 마스터 실린더에서 유압으로 바뀌고 파이프라인을 통해 슬레이브 실린더를 거쳐 포크의 지렛대 작용에 의해 릴리스 베어링의 축방향 변위로 바뀐다. 이 변위로 릴리스 베어링은 다이어프램 스프링을 밀어 클러치를 떼어 동력을 차단시키게 된다. Fig. 2는 CBW 클러치 액츄에이터 시스템의 본드그래프모델이다. 모델에서 입력값은 전압이며 액츄에이터 시스템의 각 모델을 거치면서 최종적으로 클러치를 차단하는 릴리스 로드에 대한 릴리스 변위로 출력된다.

2.1.2 클러치 릴리즈 메커니즘

클러치는 크게 플라이휠, 클러치 디스크, 클러치 커버로 구성된다. Fig. 3(a)는 일반적인 클러치의 개

략도이다. 플라이휠은 엔진의 크랭크축과 연결되고, 클러치 디스크는 클러치 커버와 플라이휠 사이에 위치하여 엔진의 구동력을 변속기로 전달한다. 클러치 커버는 플라이휠과 볼트로 체결되어 디스크와 플라이휠을 결속시킨다. 클러치 커버에 있는 다이아프램 스프링은 압력판으로 클러치 디스크와 플라이휠에 압축력을 작용시켜 동력 전달시에 이들을 결속시키고, 동력 차단시에는 압력판을 떨어뜨려 이들을 분리시키는 작용을 한다. 이 다이아프램 스프링의 특성이 클러치의 붙고(engage), 떨어지는(disengage) 특성에 가장 큰 영향을 미친다. 따라서 다이아프램 스프링의 비선형적인 릴리스 하중 특성을 묘사하기 위해 Fig. 3(b)와 같이 강성 막대와 2개의 선형 스프링 및 1개의 비틀림 코일 스프링을 사용하여 다이아프램 스프링을 모델링하였다. K_1 과 K_2 그리고 강성 막대는 다이아프램 스프링 모델이고 K_3 는 클러치 압력판 쿠션 스프링 모델이다. 클러치 조립 시 다이아프램 스프링이 압축된 상태에서 조립이 이루어지므로 스프링 K_2 와 K_3 는 실제 클러치 조립 시와 같이 초기 하중 및 변형량이 존재한다. 각각의 스프링 특성은 Fig. 4 (a)의 클램프 하중, (b)의 릴리스 하중 특성 실험 데이터선도를 사용하였다.

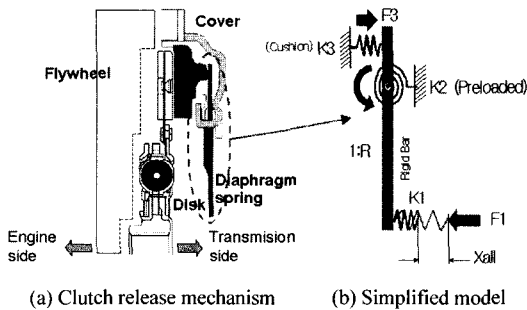
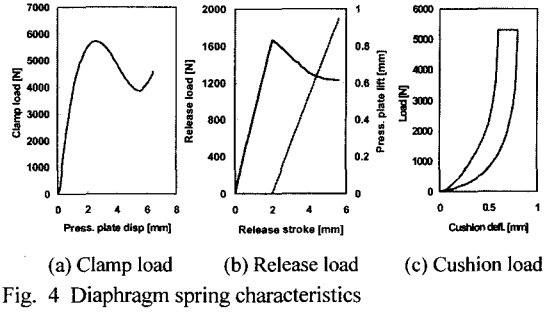


Fig. 3 Clutch release mechanism

위의 Fig. 3의 다이아프램 스프링모델에서 작용하는 각 힘에 대한 평형방정식을 세우면 아래 식 (1)과 같다.

$$f_{K_2}(x_2 - x_{2i}) = Rf_{K_1}(x_{all} - Rx_2) + f_{K_3}(x_{3i} - x_3) \quad (1)$$

여기서 x_{2i} , x_{3i} 는 스프링의 초기 압축 변위량, x_{all} 은 릴리스 스트로크, R 는 다이아프램 스프링의 레버



비이다. 식 (1)과 Fig. 4의 특성곡선 데이터를 이용하여 Fig. 5의 릴리스 변위에 대한 클러치 디스크에 작용하는 하중을 계산할 수 있다. 여기에서 클램프 하중은 아래 클러치 전달 토크식(2)에서 다이아프램 스프링이 클러치 페이싱을 미치는 하중 F_c 가 된다.

$$T_c = Z \frac{2}{3} \mu \left(\frac{R_{out}^3 - R_{in}^3}{R_{out}^2 - R_{in}^2} \right) F_c \quad (2)$$

CBW 클러치 액츄에이터 모델에서 계산된 릴리스 변위에 따라 Fig. 5와 같은 하중 F_c 가 작용하여 클러치의 전달 토크를 계산한다.

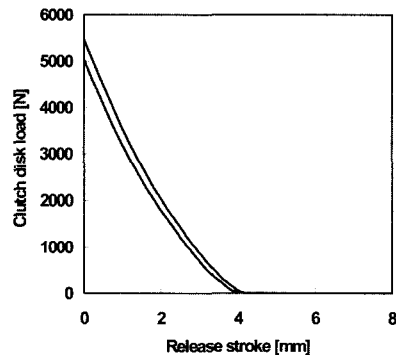


Fig. 5 Calculated result of clamp load

2.1.3 CBW 시스템 모델

Fig. 6은 앞에서 모델링한 CBW 클러치 액츄에이터 시스템의 모델을 이용하여 작성한 MATLAB/Simulink 기반의 CBW 클러치 액츄에이터 시뮬레이터이다. CBW 액츄에이터를 구성하고 있는 각 요소들을 모듈화하여 시뮬레이션의 편집이나 결과 모니터링을 용이하게 하였다. 시뮬레이터는 모터의 토크, 워기어의 각 변위, 마스터 실린더에 작용하는 힘, 압력, 슬레이브 실린더에 작용하는 힘, 압력, 릴

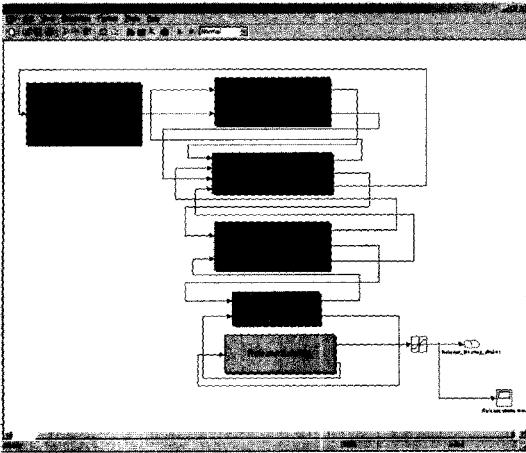


Fig. 6 MATLAB/Simulink model of CBW actuator system

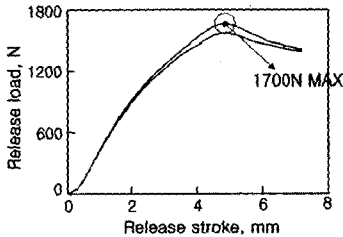


Fig. 7 Simulation results of release load with varying release stroke

리스 하중, 릴리스 스트로크 등을 계산할 수 있다. CBW 액츄에이터 설계에서 가장 중요한 모터의 사양, 웬기어와 웬휠의 기어비를 결정하는 데 필요한 기준이 되는 릴리스 변위에 대한 릴리스 하중의 시뮬레이션 결과는 Fig. 7과 같다.

Fig. 7의 시뮬레이션 결과는 Fig. 4(b)의 릴리스 하중 실험 데이터와 거의 같은 경향을 보인다. 이 릴리스 하중의 최대값을 이용하여 마스터 실린더에 걸리는 하중을 계산하여 그에 따라 모터의 사양, 웬기어의 기어비를 결정할 수 있다. CBW 액츄에이터 시뮬레이터는 마스터 실린더, 슬레이브 실린더, 포크의 길이 등과 같은 액츄에이터 구성요소들의 설계 사양이 변경되었을 경우에도 액츄에이터에 작용하는 릴리스 하중을 미리 계산할 수 있게 하므로 액츄에이터 설계와 제작 이전에 CBW 액츄에이터의 설계 파라미터를 예측, 선정하는 도구로 사용할 수 있다.

2.2 차량 시뮬레이터

본 연구에서 사용된 수동변속기 차량의 파워트레인 모델은 Fig. 8과 같이 엔진, 클러치 디스크, 수동 변속기, 휠을 회전 관성모멘트를 갖는 요소로 모델링하였다.⁸⁾ 차량은 질량 1300kg의 전륜구동 승용차의 사양을 사용하였다. 엔진은 연료분사시기, 점화시기, 연소 등에 의해 실제로는 복잡한 특성을 가지나 본 연구에서는 정상상태 엔진특성곡선(engine map)의 근사화된 모델을 사용하였다. 클러치 디스크와 변속기 사이는 토션 댐퍼 스프링이 존재하고, 변속기와 휠 사이의 구동축은 스프링과 댐퍼로 모델링하였다. 수동변속기는 변속시에 변속비를 바꾸어 입력하여 차량의 주행 부하와 엔진의 구동 토크의 전달이 가능하도록 모델링하였다.

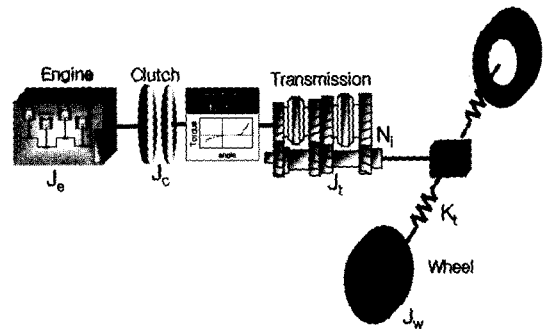


Fig. 8 Model of manual transmission vehicle

클러치 디스크와 변속기 사이의 토션 댐퍼 스프링은 Fig. 9와 같이 비선형이며 히스테리시스특성을 갖는다.

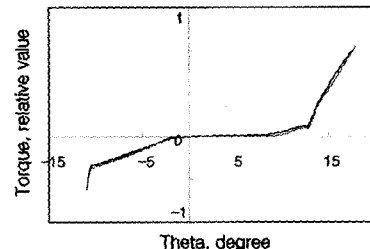


Fig. 9 Torsion damper characteristics

앞에서 개발한 CBW 액츄에이터 시뮬레이터와 드라이버 모델, 엔진 모델, 변속기, 차량 모델을 이용하여 MATLAB/Simulink 기반의 CBW 차량 성능

시뮬레이터를 개발하였다. Fig. 10과 같이 차량의 각각의 모델들을 모듈화하여 시뮬레이터를 구성하였다. 개발된 CBW 차량 성능 시뮬레이터에서는 CBW 액츄에이터의 여러 작동상태, 엔진, 클러치 입력축 속도, 클러치 토션 댐퍼 스트링 전달토크 및 회전각도, 차속 등의 차량의 상태를 볼 수 있으며, 발진, 변속시 CBW 차량 성능을 재현할 수 있다.

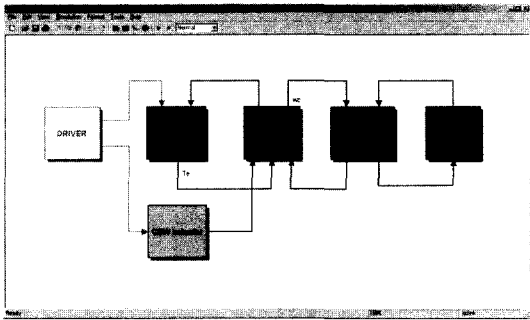


Fig. 10 CBW vehicle performance simulator

2.3 시뮬레이션 결과

CBW 차량 성능을 재현해 보기 위해 1→2→3속으로 상향 변속시의 CBW 액츄에이터 차량 시뮬레이션을 수행하였으며, Fig. 11은 그 결과를 나타낸다. 0.3sec 동안 클러치를 떨어뜨리고, 0.3sec 동안 기어 변속을 수행하며 1sec 동안 클러치를 붙이는 동작을 하였다. 이는 일반적인 운전자의 클러치 작동 시간을 기준으로 선정하였다. 드로틀 개도는 클러치가 떨어지고 붙는 시기와 변속 시기에 따라 0~25%까지 적당한 시간 지연을 갖고 입력하였다. 모터에 입력되는 전압의 PID제어를 통해 목표 릴리스 스트로크를 CBW 액츄에이터가 추종하게 하였다. CBW 제어시 릴리스 베어링 스트로크 (d) 응답은 전체적으로 안정된 제어 응답 성능을 보이나 클러치가 떨어질 때, 붙을 때보다 0.05sec 더 큰 시간지연을 가진다. 이것은 클러치가 붙을 때보다 떨어질 때 목표 릴리스 스트로크의 변화 속도가 크기 때문이다. 클러치 입력축 즉 엔진 속도 (e)는 각 변속시마다 드로틀 개도 변화에 대응하여 증가하였다가 감소하여 출력축 속도와 동기화 되면 같은 속도로 증가한다. 변속시마다 출력축 속도가 진동하는 것은 클러치 댐퍼 스프링이 클러치가 떨어진 직후 진동하기 때문이

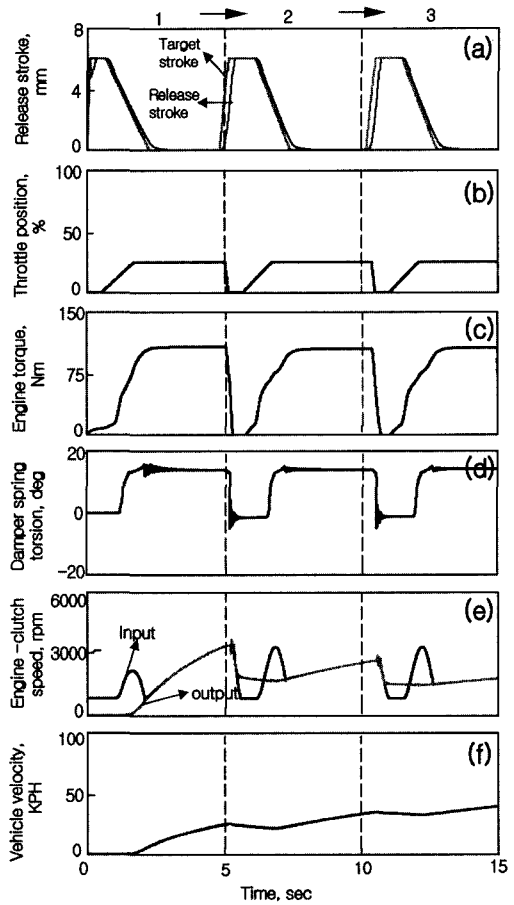


Fig. 11 Simulation results for CBW vehicle

다. 릴리스 베어링 스트로크 (a)는 변속시 운전자에 의한 클러치 제어에 따라 0.3sec 동안 떨어지는 동작을 하게 되고, 기어 변속을 위하여 0.5sec간 해제 상태를 유지한 후 변속이 완료되면 0.5sec 동안 붙는 동작을 한다. 차속 (f)는 변속시마다 0.5sec 동안 엔진의 동력이 차단되어 약간 감소하고 변속이 이루어지면 차량동역학에 의하여 증가한다. 아래의 결과로 개발된 CBW 액츄에이터 모델은 차량의 발진과 변속 과정을 잘 수행하는 것을 볼 수 있다.

3. CBW 시스템 개발

3.1 CBW 시스템 설계

3.1.1 CBW 시스템의 개념 설계

CBW 시스템은 기존의 클러치와 페달 사이의 기

계식 또는 유압식 링크 메커니즘을 전기-기계식 액츄에이터와 전자 제어 유닛으로 대체한다.⁹⁾ Fig. 12는 본 논문에서 연구 대상으로 하고 있는 전기-기계식 액츄에이터를 이용한 CBW 시스템의 개략도를 나타낸다.

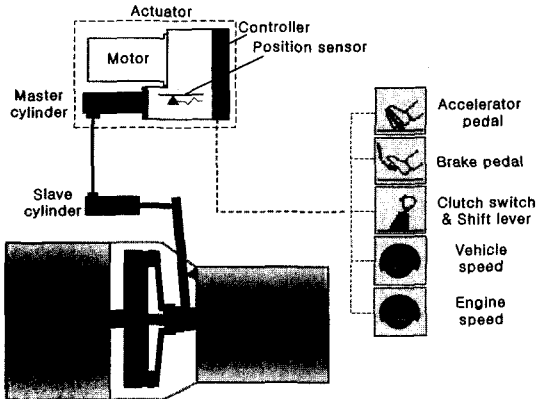


Fig. 12 Schematic diagram of electro-mechanical type CBW system

이 시스템은 클러치부터 슬레이브 실린더, 마스터 실린더까지는 기존의 시스템을 그대로 사용하고 클러치 페달 대신 전기-기계식 액츄에이터가 장착되어 클러치를 단속하게 된다. 마스터 실린더와 일체화되어 있는 액츄에이터는 전기모터와 기구적인 메커니즘, 모터 컨트롤러, 클러치 위치센서로 구성되어 있으며 운전자의 버튼조작으로 마스터 실린더의 피스톤을 밀어주게 되어 있다.

3.1.2 크랭크 메커니즘의 설계

이 논문에서 연구 대상으로 하는 클러치는 SUV(Sports Utility Vehicle) 차량에서 사용되는 시스템이다. CBW용 액츄에이터의 설계사양을 도출하기 위하여 우선, 다이아프램 스프링의 클램프 하중이 릴리스 베어링과 릴리스 포크, 슬레이브 실린더, 유압라인을 거쳐서 마스터 실린더까지 변환되는 힘을 계산하였다. 그리고 나서, 계산된 마스터 실린더 피스톤의 힘이 크랭크 메커니즘과 워기어를 거쳐서 요구되는 전기모터의 토크 변화를 살펴보았다.

연구대상 클러치는 초기 장착시 클램프 하중이 5198N이며, 이 때 클러치 디스크의 쿠션 스프링을 고려한 릴리스 하중은 앞서 컴퓨터 시뮬레이션을

통하여 1700N으로 계산되었다. 그러나 주행에 따라 클러치가 마모되어 클램프 하중은 최대 6669N까지 증가하게 되며, 이때의 릴리스 하중은 2200N이 필요하게 된다. 통상적으로 클러치 유압 컨트롤계의 전체 효율은 70%정도이며, 따라서 마스터 실린더에서 부가해야 하는 힘은 최대 1026N으로 계산된다.

클러치 액츄에이터의 기구 메커니즘은 워기어 방식, 리드스크류 방식, 레버 메커니즘 방식 등이 가능하다.¹⁰⁾ 본 논문에서는 작은 공간에서 큰 힘을 구현시킬 수 있는 워기어와 크랭크 메커니즘을 이용하였다. Fig. 13은 전기-기계식 액츄에이터의 옵셋 크랭크 메커니즘(offset slider-crank mechanism)을 도시한 그림이다. 앞에서 구한 마스터 실린더의 피스톤 힘(1026N)이 가해졌을 때 크랭크 메커니즘을 통해 나타나는 워휠의 반력토크를 계산하고, 이 반력토크에 여유토크 비율을 고려하여 워기어의 기어비와 모터를 선정하는 방법으로 액츄에이터를 설계하였다.

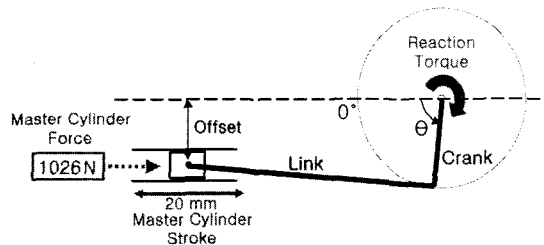


Fig. 13 Schematic diagram of offset crank mechanism

$$S = \sqrt{(r+d)^2 - e^2} - (r \cos \theta + \sqrt{l^2 - (r \sin \theta - e)^2}) \quad (3)$$

$$T = \left(\sin \theta + \frac{\cos \theta (r \sin \theta - e)}{\sqrt{l^2 - (r \sin \theta - e)^2}} \right) F_b \quad (4)$$

먼저 크랭크길이 r 과 링크길이 l , 옵셋 e 를 설계 파라미터로 하여 각각 파라미터들의 변화에 따른 워휠의 반력 토크와 마스터 실린더 변위를 살펴보고자 기구학적 관계식 (3), (4)를 이용한 메커니즘 해석을 수행하였다.¹¹⁾ Fig. 14는 워휠의 반력토크를 최소화 할 수 있는 크랭크 길이, 링크 길이, 옵셋에 대한 해석 결과와 이때의 피스톤 스트로크를 나타내는 그래프이고, 표 1에 결정된 각각의 설계 파라미터가 정리되어있다. 워휠의 반력 토크에 가장 큰 영

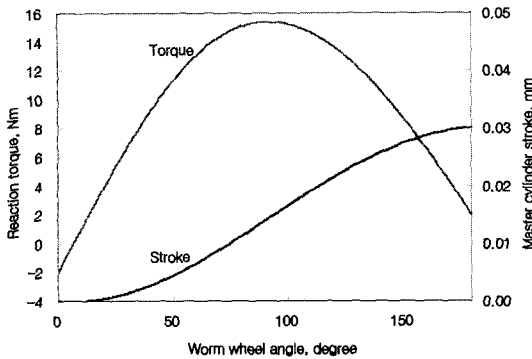


Fig. 14 Simulation results for reaction force and stroke with crank=15mm, link=150mm, offset=13mm

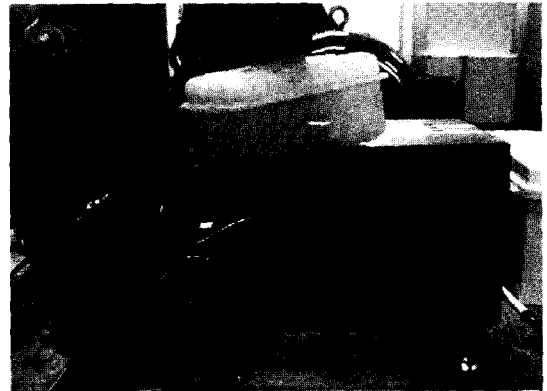


Fig. 15 Prototype of electro-mechanical type actuator

Table 1 Specifications of electro-mechanical type actuator

Crank	15mm
Link	150mm
Offset	13mm
Worm wheel reaction torque	15.4Nm (at 89.2°)
Piston stroke	20mm (5mm~25mm)
Worm wheel angle	83.66° (50.76°~134.42°)
Gear ratio	63 : 1
Worm wheel torque	20.2Nm (margin 1.3)
Disengagement time	0.46sec (83.66°/0.46sec)

향을 주는 크랭크 길이는 피스톤의 스트로크와 피스톤의 동작 속도와 관계된 워플의 회전 각도를 고려하여 결정하였고, 링크와 오프셋은 워플의 반력토크에 큰 영향을 주지는 않았기 때문에 공간적인 제약과 효율적인 힘 전달을 고려하여 결정하였다. 결정된 파라미터에 의해 워플의 반력 토크는 15.4Nm 이고, 피스톤 스트로크는 20mm로 계산되었다.

액츄에이터에 사용된 모터는 자동차 환경에서 검증 받은 차량용 와이퍼 모터로 선정하였다. 선정된 와이퍼 모터의 최대 토크는 0.32Nm이고, 앞서 구한 워플의 반력 토크에 여유토크비율과 워플의 회전속도를 고려하여 워플의 기어비를 결정하였다.

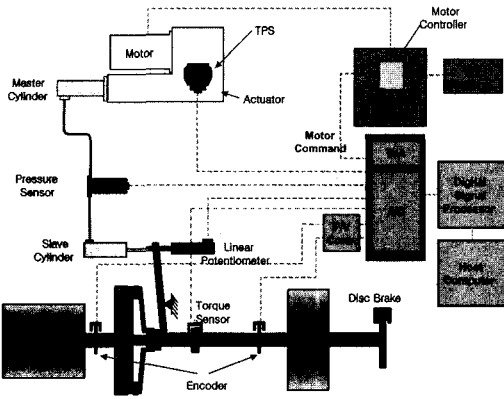
3.2 CBW 시스템 구현

제작된 CBW용 액츄에이터는 Fig. 15와 같다. 차량용 와이퍼 모터, 유압식 수동 클러치용 마스터 실린더, 엔진 드로틀 측정용 TPS(throttle position

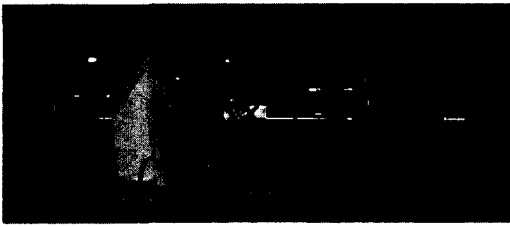
sensor) 등 추후 실차 장착을 고려하여 현재 차량에서 사용되고 있는 부품들을 이용하였다. 또한, 측정 및 제어 검증을 위하여 리니어 포텐쇼미터를 실험용으로 추가 장착하였다. 실험실에서의 다양한 동작 테스트가 이루어질 수 있도록 크랭크 길이의 조절과 모터의 교체가 용이하게 제작되어 외관이 다소 크게 제작되었으나, 추후 차량에 장착되는 공간을 고려하여 충분히 콤팩트하게 제작될 수 있을 것이다.

4. 테스트 리그

시제품으로 제작된 액츄에이터의 동작 테스트를 위하여 CBW 리그 테스터를 제작하였다. CBW 시스템의 동작 실험을 위하여 차량 변속기의 기어 열을 제외한 클러치만을 이용하였으며, Fig. 16은 실험 장치와 그 구성도를 보여준다. CBW 액츄에이터의 전기모터는 PWM(pulse width modulation) 신호를 인가받아 듀티율(duty ratio)에 따라 회전방향과 회전속도가 변하게 되고, 구동전원으로 승용차에서 사용되는 12V 배터리를 이용하였다. 컨트롤박스에는 배터리와 모터 컨트롤러 사이의 전원을 연결 또는 차단시키기 위한 스위치와 과부하시 모터 컨트롤러 보호를 위한 퓨즈가 장착되어 있다. 운용 시스템은 스트레인 앰프와 F/V 변환기, AD/DA 변환기가 내장된 DSP와 컴퓨터로 구성되며, 센서의 신호를 취득하고 모터 컨트롤러를 제어하기 위한 신호를 인가하는 역할을 한다.



(a) Schematic diagram of test rig



(b) Experimental apparatus

Fig. 16 CBW test rig

5. 실험 결과

5.1 CBW 시제품의 제어 특성

Fig. 17은 마스터 실린더의 최대 변위에 대한 단 위계단 응답을 보여준다. 즉, 기준입력으로 최대 변 위인 20mm를 스텝으로 주고 나타나는 마스터 실린 더 및 슬레이브 실린더의 응답을 살펴보았다. 마스 터 실린더를 기준으로 클러치를 완전히 떨어뜨리 는 데 소요된 시간은 0.35sec, 붙이는데 소요된 시간은 0.24sec로 측정되었다. 슬레이브 실린더의 피스톤 변위는 마스터 실린더의 무효 스트로크로 인해 단 속 신호가 인가된 후 피스톤이 움직이기까지 0.046sec의 시간 지연이 있지만 클러치를 떨어뜨리 는데 소요된 시간은 마스터 실린더와 같고, 붙이 는 데 소요된 시간은 0.22sec로 마스터 실린더 보다 빠 르게 측정되었다.

Fig. 18은 마스터 실린더 피스톤의 스텝응답에 대 한 유압라인의 압력 측정 결과를 나타낸다. 유압라 인의 압력은 최대 29bar까지 상승하고 약간의 오버 슈트를 보이는데 이것은 다이어프램 스프링의 릴리

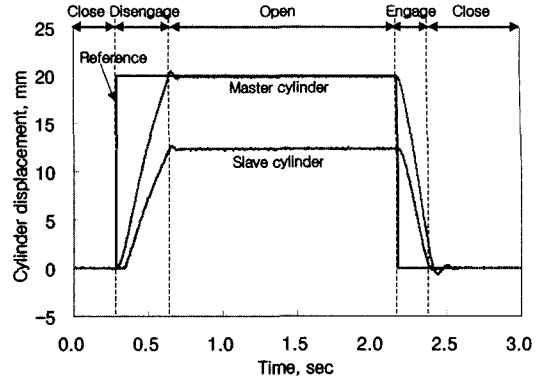


Fig. 17 Step response of CBW actuator

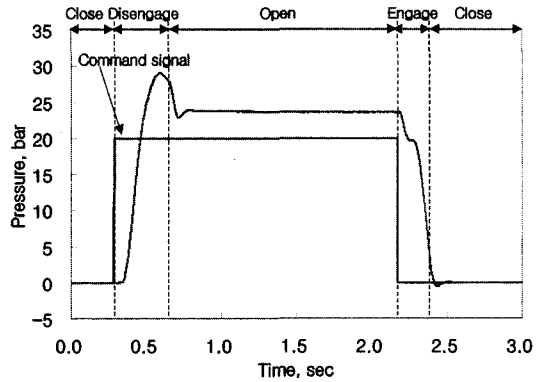
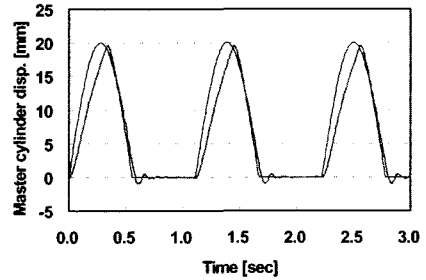
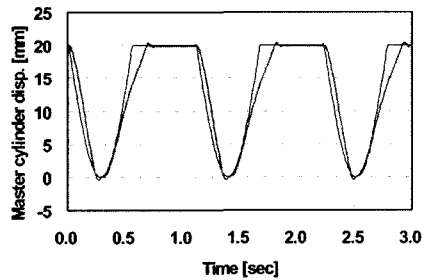


Fig. 18 Experimental results for hydraulic line pressure



(a) From disengagement to engagement

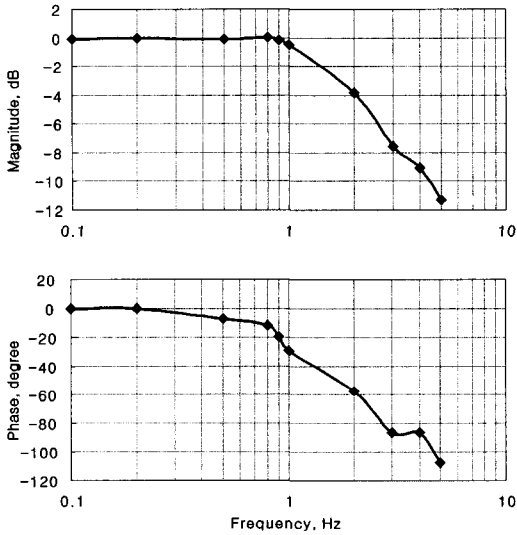


(b) From engagement to disengagement

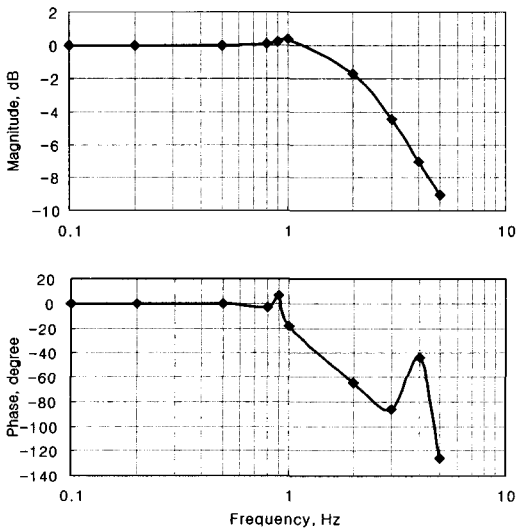
Fig. 19 Dynamic response for 0.9Hz half sinusoidal input

스 특성이 나타난 것이며, 23.5bar에서 정상상태 압력으로 수렴하였다. 이때 슬레이브 실린더의 힘은 최대 1117N, 마스터 실린더의 힘은 최대 784N으로 계산된다.

Fig. 19는 0.9Hz의 사인파 입력에 대한 마스터 실린더의 응답을 나타낸 그림이다. 클러치를 떨어뜨리거나 붙인 후, 다시 붙이거나 떨어뜨린 상태로 되



(a) Disengagement



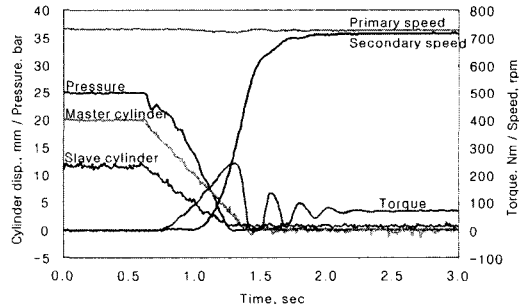
(b) Engagement

Fig. 20 Frequency response of clutch actuator

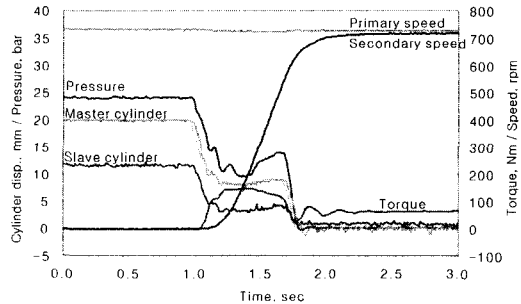
돌아올 때까지의 주기를 1/2로 하여 주파수를 설정하였다. Fig. 20에 주파수별 사인파 입력에 대한 마스터 실린더의 응답이 보드선도로 나타나 있다. 클러치가 떨어질 때, 진폭이 -3dB인 주파수 대역폭은 1.6Hz이고, 붙을 때 대역폭은 2.4Hz이며 공진 최대값은 0.4이다.

5.2 발진(launching) 시험

Fig. 21은 클러치를 떨어뜨린 후, 클러치를 접속시키면서 차량의 발진 상황을 모사한 발진시험 결과를 보여준다. 첫 번째 결과는 마스터 실린더를 제어하지 않고 0.8sec 동안 최대 스트로크로 동작시켰을 때의 결과이다. 클러치가 접속됨에 따라 차량의 구름저항으로 인해 토크값이 먼저 상승하고 클러치의 전달토크가 구름저항 보다 커지게 되면 마찰 디스크의 속도가 상승하면서 플라이휠의 속도와 동기화 된다. 이 과정에서 플라이휠의 속도는 구동모터를 제어하는 인버터의 영향으로 약간의 변동만 발생하지만 토크 값의 변동이 크게 발생하는 것을 볼 수 있다. 그러나 두 번째 결과와 같이 마스터 실린더



(a) Experimental results without control



(b) Experimental results with control

Fig. 21 Launching test

의 변위를 전달되는 토크에 따라 제어하게 되면 플라이휠의 속도 변동과 전달토크의 크기를 줄일 수 있다. 이러한 결과는 본 논문에서 제작한 클러치 액츄에이터에 적절한 알고리즘을 적용함으로써 숙련된 운전자의 조작 시간보다 빠른 시간내에 승차감에 영향을 줄 수 있는 토크 변동이 크지 않는 클러치 자동제어가 가능함을 보여준다.

6. 결 론

본 논문에서는 자동화 수동변속기 차량의 성능시물레이터를 개발하고, 이를 구현하기 위한 CBW용 액츄에이터를 설계, 제작 및 실험을 수행하였다. 클러치 유압 액츄에이터 모델을 도출하고 리그 테스트의 실험결과와 비교검증 하였으며, 클러치 액츄에이터 모델과 드라이버, 엔진, 클러치, 수동변속기, 차량모델을 이용하여 수동변속기 차량 시물레이터를 개발하였다. 개발된 시물레이터는 기존의 수동변속기 차량에서의 클러치 액츄에이터와 클러치의 파라미터 변화에 따른 차량의 상태를 예측, 평가할 수 있고, 클러치 자동화를 위한 액츄에이터를 설계 개발하는데 유용한 도구로 사용될 수 있을 것이다.

개발된 시물레이터를 이용하여 CBW용 액츄에이터를 체계적으로 설계하고 제작하였다. 소형화를 위해서 전기 모터, 크랭크 메커니즘, 그리고 웜기어를 이용하여 구성하였으며, 설계요소인 크랭크 길이, 링크 길이, 옵셋의 변화에 따른 반력토크와 스트로크를 시물레이션을 통하여 살펴봄으로써 체계적인 방법으로 설계사양을 결정하였다.

시제작된 CBW용 액츄에이터에 대하여 CBW 리그 테스트를 이용한 기본 동작 시험 및 발진 변속 시험을 수행하였다. 본 논문에서 제작된 1차 시제품은 클러치가 떨어질 때 0.35sec, 붙을 때 0.24sec의 응답속도를 보이고 있으며, 적절한 제어 알고리즘을 적용, 자동화 수동변속기용 CBW 액츄에이터로 사용 가능함을 확인하였다.

후후 부드러운 토크 전달이 이루어질 수 있게 하

기 위한 클러치 제어 알고리즘 연구와 액츄에이터의 성능 검증을 위한 마모된 클러치에서의 실험 등을 추가적으로 실행할 예정이다. 또한, 콤팩트한 사이즈의 액츄에이터 시제품을 제작하여 실차 장착 상태에서의 기능 검증이 이루어져야 할 것이다.

References

- 1) K. Nordgard, H. Hoonorst, "Developments in Automated Clutch Management System," SAE 950896, 1995.
- 2) R. Fischer, R. Berger, "Automation of Manual Transmissions," 6th International Luk Symposium, pp.95-121, 1998.
- 3) Valeo Transmissions, "Clutch-by-wire - A New Generation of Clutch Pedal Actuators," Global Automotive Manufacturing & Technology, 2002.
- 4) A. Szadkowski, R. B. Morford, "Clutch Engagement Simulation: Engagement without Throttle," SAE 920766, 1992.
- 5) A. Szadkowski, G. J. McNerney, "Clutch Engagement Simulation: Engagement with Throttle," SAE 922483, 1992.
- 6) W. Rha, "A Development of Clutch-by-wire System for Automotive," Transactions of KSAE, Vol.11, No.3, pp.204-208, 2003.
- 7) R. Shaver, "Manual Transmission Clutch System," SAE, 1997.
- 8) A. Laschet, "Computer Simulation of Vibrations in Vehicle Powertrains Conserdering Nonlinear Effects in Clutches and Manual Transmissions," SAE 941011, 1994.
- 9) B. Kremmling, R. Fischer, "The Automated Clutch - The New Luk ECM," 6th International Luk Symposium, pp.85-106, 1998.
- 10) B. Pollak, "Electro-Mechanical Actuators," 7th Luk Symposium, pp.173-183, 2002.
- 11) S. H. Cho, Kinematics of Machinery, Moonwoondang, pp.107-110, 1985.