

AMT 차량의 변속제어 특성에 관한 연구

공진영* , 송창섭 #

Characteristics of transmission control of an AMT vehicle

Jin-young Kong* , Chang-seop Song#

ABSTRACT

This study is concerned with the investigation of characteristics of an AMT (Automated Manual Transmission) which are composed of clutch part and transmission part. When a shifting signal is received from the controller, the clutch is disengaged first, and shifting action including selecting action is followed, and then the clutch is engaged last. The characteristics of transmission shifting response are affected by various parameters of clutch and transmission control elements. Analytical results are in fair agreement with experimental results. It is found that the operating pressure level is the most important for the response of AMT characteristics, and that the other parameters such as natural frequency and damping ratio of the control valve are less important.

Key Words : Automated manual transmission(자동화 수동 변속기), Natural frequency(고유 주파수), Damping ratio(감쇠계수), Shifting action(변속동작), Selecting action(변속단 선택 동작)

기호설명

A = Flow section area
 F = Driving force
 F_b = Transient flow force
 F_s = Spring force
 k_s = Spring constant
 m = Spool mass
 y = Clearance
 μ = Absolute viscosity

ρ = Density
 w_n = Valve natural frequency
 ζ = Valve damping ratio

1. 서론

승용차에서의 자동변속기 장착 비율이 매년 높아지고 있다. 복잡한 도로 교통상황, 장거리 여행의 증가, 운전자의 편의장비에 대한 관심증가 등이 주된 요인이다. 또한 자동차의 전자화 추세는 이러한 수요에 적극 대응할 수 있는 기술적인 발전을

접수일: 2005년 8월 24일; 게재승인일: 2006년 1월 13일

* 한양대학교 정밀기계공학과 대학원

교신저자: 한양대학교 정밀기계공학과

E-mail cssong@hanyang.ac.kr Tel. (02) 2220-0433

뒷받침하고 있다.

그러나 자동변속기는 가격이 고가이고 동력 전달효율이 낮아 연비, 가속성능 등에 문제점을 안고 있다. 따라서 기존의 수동 변속기의 장점인 높은 연비, 가속성능을 유지 하면서도, 자동변속기의 편의성을 갖춘 시스템에 대한 연구의 필요성이 제기 되었다.

그 결과로서 70년대 후반부터 공압을 이용한 대형 트럭용 자동 클러치에 대한 연구가 시작되었고, 80년대 후반부터는 클러치 자동화와 최적 변속시점을 위한 통합 변속제어장치 (Transmission Control Unit : TCU)를 이용한 개념이 도입되었다. 90년대 초반에는 이러한 자동화 변속기를 승용차에 도입하여 자동 변속기 수준의 내구성과 구동성능을 가질 수 있는 변속 알고리즘 등이 개발되었다. 현재 상용화된 제품으로는 미국 EATON사, DANA SPICER사에서 생산된 제품을 노선버스에 탑재한 것과 일본의 ISUZU사의 NAVI-5, 독일 VOLKSWAGEN사의 LUPO 차량에 사용된 제품이 대표적이다.¹

국내의 기술현황은 90년대이후 본격적인 자동변속기 개발추진에 맞추어 ATOZ와 MATIZ에 반자동변속기 (Semi Automatic Transmission)가 장착되었고 공압 액추에이터 방식을 이용한 자동화 변속기를 고속버스 차량에 장착하여 시판 준비중에 있다.

앞으로 지구 온난화 방지를 위한 CO_2 규제 강화 추세와 자동화되고 고효율 자동변속기의 소비자 요구에 대응하는 기술개발의 필요성이 커질 것이다.

본 연구에서는 실험을 통해 얻어진 자동화 수동 변속기의 작동 특성을 AMESim 프로그램을 이용하여 모델링 하고 유압작동 장치의 주요 파라미터를 변화시켜 변속과정에 미치는 작동특성을 파악하였다.

2. 자동화 수동 변속기 구조 및 작동원리

본 연구에 사용된 시스템은 VOLKSWAGEN사의 LUPO3에 사용된 시스템으로서 Actronic type이

다. Fig.1은 AMT의 유압회로도이며, 전기모터에 의해 작동유압이 생성되고, HCU에 연결된 Ps, Pc port에 의해 변속단의 시프트, 셀렉트 그리고 클러치 작동이 일어난다.

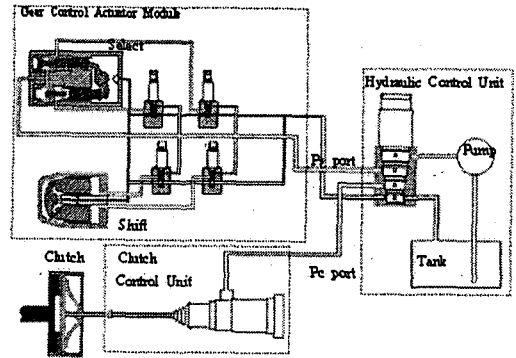


Fig. 1 Diagram of Flow line of the AMT system

2.1 클러치 (Clutch) 작동부

HCU에 연결된 Pc port에서 공급되는 유량으로 액추에이터를 작동하게 된다. 액추에이터를 통해 클러치를 작동하는 힘은 클러치 레버비와 다이어프램 스프링력과 조합으로 클러치의 작동 특성이 결정된다. 클러치 작동에 필요한 Fig.2의 릴리즈 하중 F_1 은 클러치 프레스 플레이터의 압부착 하중 P_D 와 클러치 디스크가 가지고 있는 반력 P_S 와의 차이가 된다. ²

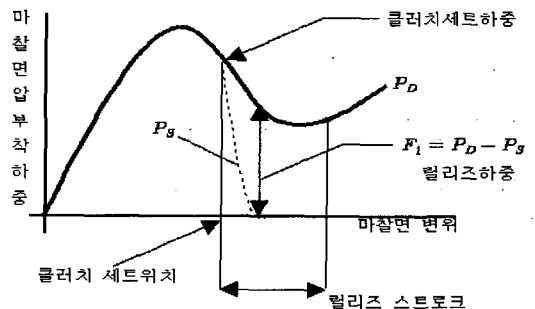


Fig. 2. Characteristic of Clutch Release Load

2.2 시프트 (Shift) 작동부

2개의 비례솔레노이드 밸브의 On/Off 조합으로 Fig.3의 시프트 액추에이터의 피스톤이 작동하게 되고 이것과 연결된 너클의 회전각에 따라 시프트의 미세 조정이 가능하다

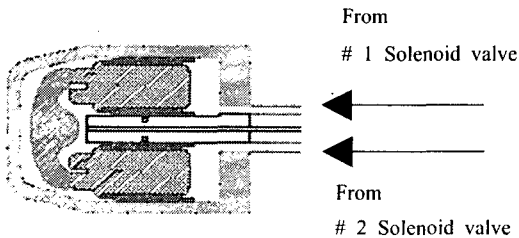


Fig. 3 Diagram of Shift actuator unit

Table 1에서 1번으로 표시된 영역은 #2 솔레노이드 밸브가 Off 되며 1,3,5 단의 시프트 변속시의 너클의 회전각을 나타낸다. 2번으로 표시된 영역에서는 2↔3, 4↔5 단 변속시 기어단의 실렉트가 일어날 때의 시프트 너클 회전각을 나타낸다. 마지막으로 3번 영역에서는 #1 솔레노이드 밸브가 Off 되며 2와 4단 변속시의 시프트 너클 회전각을 나타낸다.

Table 1 Rotating angle of shift knuckle vs each duty (%) of two proportional solenoid valve

Duty (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	-	-	-	-	16	16	16	16	16	16	16
10	-	-	-	-	16	16	16	16	16	16	16
20	-	-	-	-	16	16	16	16	16	16	16
30	-	-	-	-	16	16	16	16	16	16	16
40	-	-	-	-	10	10	13	15	16	16	16
50	-	-	-	-	9	10	13	15	16	16	16
60	44	44	44	44	25	0	14	16	16	16	16
70	44	44	44	44	44	12	0	15	16	16	16
80	44	44	44	44	44	44	14	11	10	13	15
90	44	44	44	44	44	44	44	20	15	11	10
100	44	44	44	44	44	44	44	44	15	10	10

2.3 실렉트 (Select) 작동부

2개의 On/Off 솔레노이드 밸브에 연결된 Fig.4에 나타난 2중 구조의 피스톤 운동에 의해 너클을 회전하게 된다. 1번 On/Off 솔레노이드 밸브와 연결된 피스톤의 외부행정이 2번보다 짧은 비대칭 구조로 되어 있어 2개의 솔레노이드 밸브의 On/Off를 조합하여 Table 2 에서와 같이 4개의 변속 단 위치

를 얻게 된다.

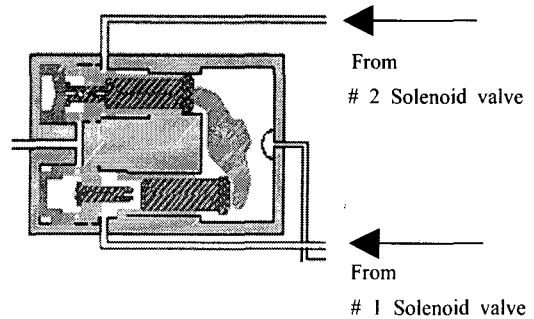


Fig. 4 Diagram of Select actuator unit

Table 2 Rotating angle of select knuckle vs operated state of On/Off solenoid valve

#1 ON/OFF solenoid valve	#2 ON/OFF solenoid valve	Angle (°)
ON	OFF	30
OFF	OFF	9
ON	ON	12*
OFF	ON	30*

* Clockwise

2.4 변속 Algorithm

앞에서 설명한 자동화 수동변속기의 주요 변속 작동부인 시프트부, 실렉트부는 Pc port에 연결된 클러치의 움직임과 연동되어 변속과정이 이루어진다. Fig.5에 나타난 것과 같이 2↔3, 4↔5 변속시에는 변속단의 실렉트 과정이 필요하므로 On/Off 솔레노이드 밸브 작동에 의한 움직임이 고려되어야 한다. Table 3에서 2→3단 변속시의 HCU에서의 작동유량 공급 관계, 클러치 작동관계, 그리고 실렉트, 시프트의 솔레노이드 밸브의 작동관계를 나타내었다. 4↔5 단 변속시에도 동일한 변속 알고리즘을 가진다. ³

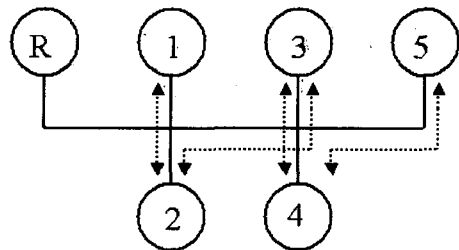


Fig. 5 Arrangement of each speeds

Table 3 States in each phase of the shift position

Phase	HCU	Clutch Control Unit	Actuator Control Module	
			Select part ON/OFF Solenoid valve	Shift part Proportional solenoid valve
1	Supply P _s Drain _s P _c	Normal	#1 valve OFF #2 valve OFF	#1 valve OFF #2 valve ON
2	Supply P _s Start supplying P _c	Operating	#1 valve OFF #2 valve OFF	#1 valve Duty up #2 valve Duty down
3	Supply P _s Supply P _c	Operated	#1 valve OFF #2 valve OFF	#1 valve Duty 50% #2 valve Duty 50%
4	Supply P _s Supply P _c	Operated	#1 valve ON #2 valve ON	#1 valve Duty up #2 valve Duty down
5	Supply P _s Start draining P _c	Normal	#1 valve ON #2 valve ON	#1 valve ON #2 valve OFF
6	Supply P _s Drain _s P _c	Normal	#1 valve ON #2 valve ON	#1 valve ON #2 valve OFF

3. 수학적 모델링

본 연구는 자동화 수동 변속기의 유압작동 부분에 주안점을 두었고 특히 시프트, 실렉트 그리고 클러치를 제어하는 솔레노이드 밸브의 특성과 주요 파라미터들이 전체적인 시스템 운동특성에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 클러치 제어용 솔레노이드 밸브 특성에 대한 관계식은 힘의 평형관계식과 인가된 전류와 클러치의 변위로부터 관계식(4)와 같이 얻을 수 있다.

$$\Sigma F = ma, \quad \Sigma F = F_g - F_b - F_s \quad (1)$$

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + k_s x = F_g = k_f i \quad (2)$$

$$x = \frac{F(s)/k_s}{\frac{m}{k_s}s^2 + \frac{b}{k_s}s + 1} \quad (3)$$

$$= \frac{k_f i/k_s}{\frac{s^2}{w_n^2} + 2\zeta \frac{s}{w_n} + 1}$$

$$\frac{x}{i} = \frac{K w_n^2}{s^2 + 2\zeta w_n s + w_n^2} \quad K = k_f/k_s \quad (4)$$

여기서 $w_n = \sqrt{\frac{k_s}{m}}$, $\zeta = \frac{1}{2} \cdot \frac{b}{m} \cdot \sqrt{\frac{m}{k_s}}$ 이다.

시뮬레이션을 위해 사용한 클러치의 기준 고유 주파수와 감쇠계수는 다음과 같다. ($w_n = 125 \text{ Hz}$, $\zeta = 0.7$) 댐핑 계수 b 는 점성마찰과 과도 축추력 으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F_1 = \mu \cdot A \cdot v \cdot \frac{1}{y} = b_1 v, \quad b_1 = \frac{\mu A}{y} \quad (5)$$

여기서 $\frac{v}{y}$ 는 속도구배이다. 밸브의 축추력 F_t 다음과 같이 표시된다. 이중 $\frac{dx_v}{dt}$ 의 계수가 계수에 영향을 주게 된다.

$$F_t = LC_d w \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \frac{dx_v}{dt} + \frac{LC_d w x_v}{\sqrt{(2/\rho)(P_1 - P_2)}} \frac{d(P_1 - P_2)}{dt} \quad (6)$$

$$b_2 = LC_d w \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \quad (7)$$

$$b = b_1 + b_2 = \mu \cdot A \cdot \frac{1}{y} + LC_d w \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \quad (8)$$

시프트, 실렉트 제어용 솔레노이드 밸브 특성의 해석과정은 클러치 제어용 밸브 특성과 동일하며 시뮬레이션을 위해 사용된 기준값은 다음과 같다. ($w_n = 150 \text{ Hz}$, $\zeta = 1.0$)

4. 시뮬레이션

Fig.6 과 Fig.7 은 AMESim 프로그램을 이용한 해석 결과와 실험결과를 나타낸 것이다. 이들은 매우 유사한 결과를 보이는 것을 알 수 있다. AMESim 프로그램에서 유압작동 특성에 영향을 미치는 요소를 변화시켜 가면서 전체 시스템의 변화를 분석하였다.

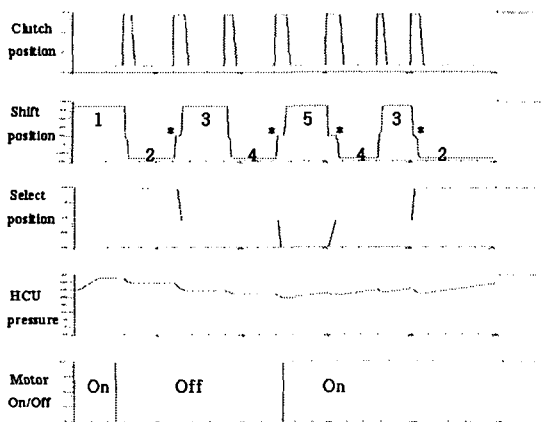


Fig. 6 Simulation results

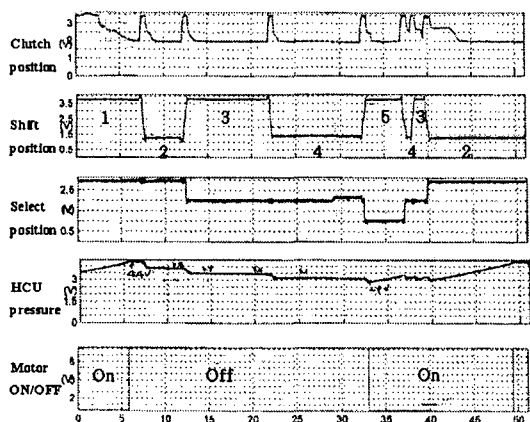


Fig. 7 Experimental results

실험 결과는 전체 측정 시간이 50s 이며 변속 시간 간격이 일정하지 않다. 시뮬레이션 결과에서는 변속과정에서의 응답성 변화 특성의 비교를 용이하게 하기 위해서 변속시간이 일정하며 전체 시뮬레이션 시간은 25s 로 하였다. 각 항목별 특성은 다음과 같다.

클러치 position 결과는 변속이 일어나는 동안에는 Disengage가 되어 있는 상태를 보여 주고 있다. 신속한 변속을 위해 Disengage에는 Step 신호를, Engage시에는 변속 승차감 향상을 위해 음(-)의 ramp 신호를 가하였다. 시프트 position 결과에서는 실렉트가 일어나는 구간 (2↔3, 4↔5, Fig.6“*”) 에서 시프트 중립 상태를 나타낸다. 실렉트 position

결과는 2↔3, 4↔5 변속 과정일 때 On/Off 솔레노이드 밸브의 작동에 의해 실렉트 위치가 변하는 특성을 보인다.

HCU 압력 결과는 변속 과정에 의해 압력이 20 Bar 이하로 내려가면 DC 전기모터가 재작동하여 30 Bar의 기준 압력이 될 때 까지 압력이 상승한다. 모터 On/Off 결과는 HCU의 압력이 30Bar에 도달하면 Off 되고 20Bar 이하로 내려 가면 재작동 되는 상태를 나타낸다.

4.1 작동 최저 압력의 영향

HCU의 압력이 20 Bar 이하로 내려가면 모터가 가동되고 30 Bar로 되면 정지하게 되어 있다. 시스템의 작동압력을 변화시켜 전체 시스템에 미치는 영향을 알아보기 위하여 모터가 가동되는 최저 압력을 변경시켜 가면서 시스템의 동작 특성을 규명하였다. Fig.8의 결과는 축압기의 setting 압력을 각각 15,20,25 Bar로 설정 하였을 때의 HCU 압력 상승하는 형태를 나타낸 것이다. 최저 압력을 높이면 변속초기에는 변화 요인이 영향을 미치지 않지만 연속적인 변속과정이 일어나게 되면 압력의 차이가 크게 나서 작동 시간에 영향을 미치게 되는 것을 Fig.9 에서 알 수 있다.

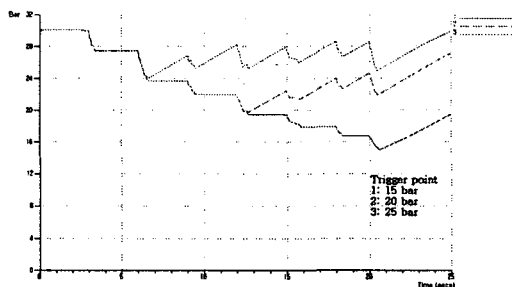


Fig. 8 HCU pressure variation

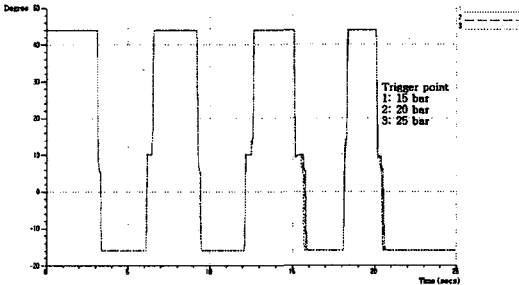
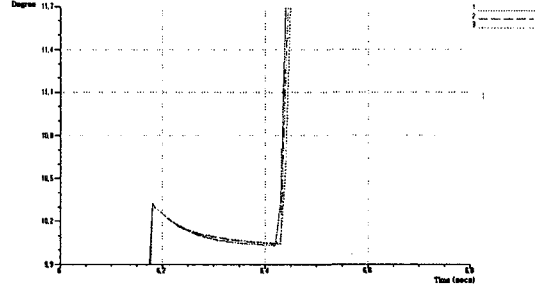


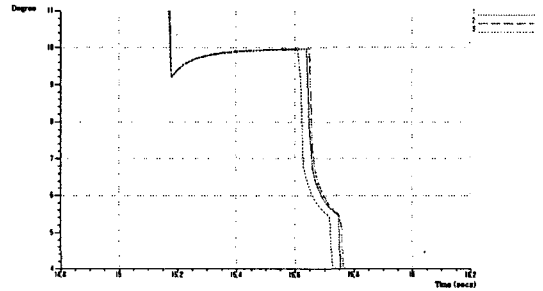
Fig. 9 Response of shift operation



Close view of part (a)

4.2 Clutch Actuator Diameter의 영향

클러치 액추에이터의 직경 20mm를 기준으로 하여, 직경 변화에 따른 시스템의 작동 상태를 알아보았다. Fig.10 에서는 직경 변화에 따른 HCU의 압력 변화를 나타내었다. 직경이 큰 액추에이터를 사용하게 되면 HCU의 압력 하락폭이 크게 일어나 변속의 초기에는 응답시간이 늦지만 (Fig. 11(a)) DC 모터에 의해 재가동 되는 시간이 빠르게 작용하여 변속의 후반부에는 응답이 다시 빨라지는 것을 확인할 수 있었다. (Fig. 11(b))



Close view of part (b)

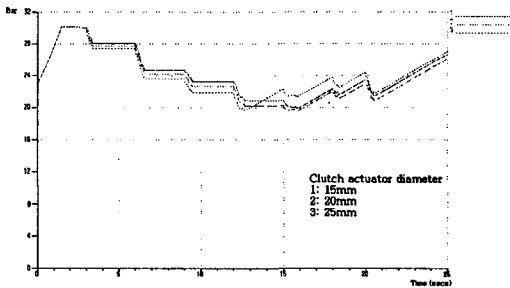
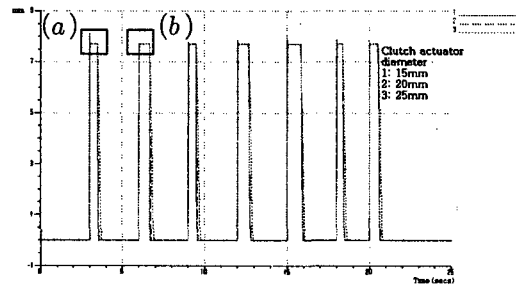
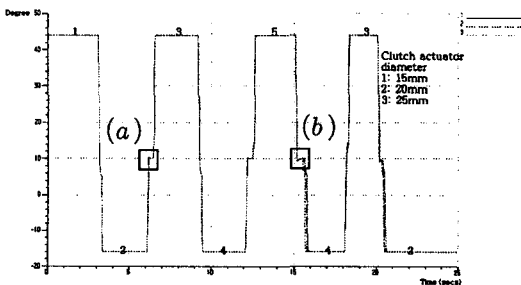
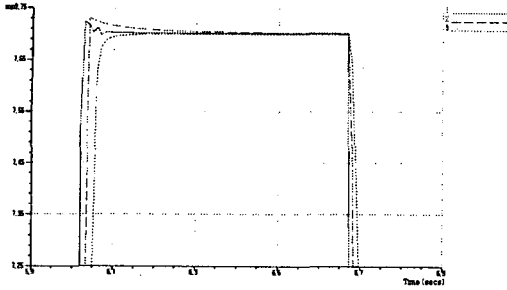


Fig. 10 HCU pressure variation

Fig. 11 Response of shift operation

따라서 클러치 액추에이터 직경의 변화와 함께 HCU의 작동 압력의 하락폭, DC 모터의 재가동 시간을 함께 고려한 시스템의 설계가 필요한 것으로 생각된다.





Close view of part (a)

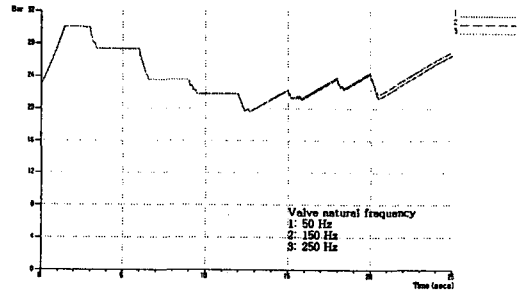
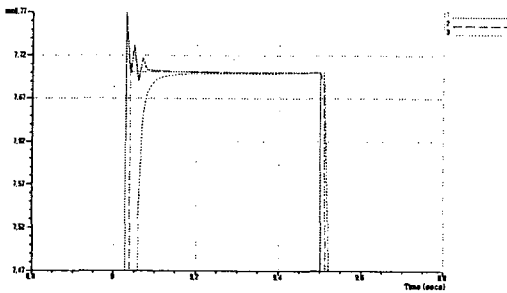


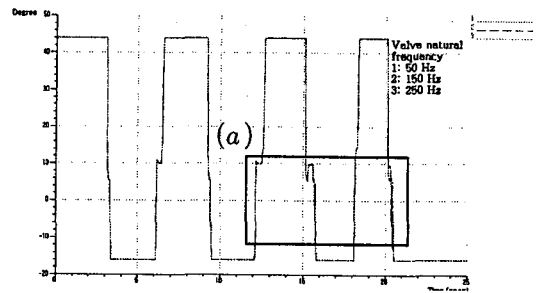
Fig. 13 HCU pressure variation



Close view of part (b)

Fig. 12 Response of clutch operation

Fig.12에 나타난 클러치 작동 결과에서 실렉트 작동과정이 있는 변속단 (a)와 실렉트 작동과정이 없는 변속단의 클러치 운동상태 (b)를 확대해서 나타내었다. 실렉트 과정이 HCU의 공급유량과 압력차에 영향을 미치게 되어 클러치 작동형태와 작동 시간에 차이가 나는 것을 알 수 있다.



Close view of part (a)

Fig. 14 Response of shift operation

4.3 Valve의 Natural Frequency, Damping ratio의 영향

시프트 동작과 클러치 작동에 쓰이는 비례솔레노이드, 실렉트 과정에 쓰이는 On/Off 솔레노이드 밸브의 고유 주파수 값의 기준을 각각 50Hz, 125Hz, 150Hz 그리고 감쇠계수는 0.5, 0.7, 1.0 을 기준으로 하여 해석 하였다.

고유주파수와 감쇠계수 변화는 HCU 압력에 크게 영향을 미치지 않는 것을 Fig.13을 통해 알 수 있다.

고유주파수가 낮은 밸브의 경우에는 Fig. 14에 나타나는 것과 같이 Downshift 과정에서 응답성에 문제가 생길 수 있다. 응답성 문제의 원인으로서는 작동 시간이 늦어져서 위치제어 신호에 반응하는 시간 지연 요소가 생긴 부분과 상대적으로 낮게 설정된 변속 후반부의 HCU의 낮은 압력이 원인이라고 생각된다.

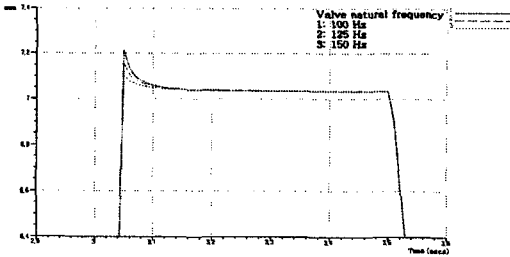


Fig. 15 Response of clutch operation due to control valve natural frequency variation

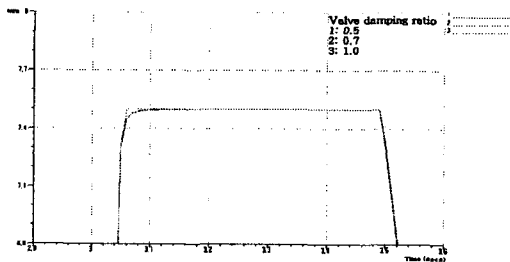


Fig. 16 Response of clutch operation due to control valve damping ratio variation

또한 고유 주파수의 변화는 클러치 작동 시간에 영향을 미치기 보다는 Disengage되는 작동형태에 영향을 미치는 것을 Fig.15에서 알 수 있다. 감쇠계수의 영향은 Disengage의 시간에 영향을 미치고 계수가 커질수록 응답 시간이 늦어지는 것을 Fig.16을 통해 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 AMESim 프로그램을 이용하여 자동화 수동 변속기 시스템을 모델링하고 3장의 식 (4) 에서 나타난 솔레노이드 인가 전류와 스프링의 움직임에 관계된 전달함수의 주요 파라미터인 고유주파수, 감쇠계수를 주요 파라미터로 선정하여 유압 작동 부분이 전체 시스템의 작동에 미치는 영향을 분석하였다. 시뮬레이션을 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 유압작동부의 파라미터가 시스템에 직접적인 영향을 미치기 보다는 이로 인해 생기는 HCU에서의 압력 변화 특성이 전체 시스템의 응답성에 더

큰 영향을 미친다.

2) 실렉트 과정이 HCU의 압력 감소 요인으로 작용하여 실렉트가 필요하지 않는 변속단과 실렉트 과정이 필요한 변속단의 클러치 작동상태에 차이가 있다. 이것으로 인해 동일하지 않은 변속 승차감이 생길 수 있다.

3) 고유 주파수와 감쇠계수의 변화는 HCU의 압력변화에 크게 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 이 파라미터들은 밸브 자체의 운동 특성에만 영향을 미치는 것으로 보인다. 고유 주파수는 클러치 작동형태, 감쇠계수는 클러치 응답시간에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

참고문헌

1. Kim, I.C., "The automatic gear shifting system development of manual transmission for Heavy duty truck & Bus," Asia motors, pp. 17-30, 1994.
2. Japan Automobile Manufacturers Association, "The Great Encyclopedia of Car-Engineering Technic," 1995.
3. Seung, K.S., "Automatic Manual Transmission," KITECH, pp. 20-35, 2002.
4. Makoto, U., Shoshi, K. and Toshihiro, H. "Digital Algorithm for Hydraulic Actuator," SAE 860598, pp. 207-214, 1986.
5. Park, J.H., "A study on the Dynamic Characteristics and the Shift algorithm of an Automated Manual Transmission for a passenger car," Seoul National University, pp. 34-45, 1996.
6. AMESim User's manual, IMAGINE, 2003.
7. Herbert, E.M., "Hydraulic Control Systems," John Wiley & Sons, pp. 60-65, 1967.
8. Anthony, E., "Fluid power with applications," Prentice Hall Inc., pp. 120-130, 2003.
9. Park, S.H., "Modeling and parameter Estimation of Solenoid valve in Automatic Transmission by the Least Square Method," Korea Society of Precision Engineering, Vol.20, No.10, pp. 98-104, 2003.
10. Ann, K.Y., "Intelligent Control of Pneumatic Actuator using On/Off Valve," Korea Society of Precision Engineering, Vol.20, No.8, pp. 86-93, 2003.