

# 자동화 수동변속기의 변속 조작용 유압 액츄에이터의 설계 변수에 관한 연구

송창섭\*, 이상현#

## A Study on the Design Paramter of a Hydraulic Shift Actuator of an AMT

Chang Seop Song\* and Sang Hyun Lee#

### ABSTRACT

The AMT(Automated Manual Transmission) has been developed by utilizing the auto clutch system and the automatic shift mechanism, to automate the clutch operation and shift operation of the existing MT(Manual Transmission). The use of hydraulic actuator for each actuator of the clutch and gear has realized a reduction of fuel consumption and exhaust emission. In this paper, we develop a simulator for the transmission control system of the AMT using AMESim. The developed simulator can be applied to design the hydraulic select actuator system of an AMT.

**Key Words** : Automated manual transmission (자동화 수동 변속기), Hydraulic select actuator (유압 실렉트 액츄에이터), Responsibility (응답성)

### 1. 서론

수동 변속기는 자동변속기에 비해 효율이 높고 설치공간을 적게 차지할 뿐 아니라, 중량이 적고 가격이 저렴한 반면 기어변속이 불편한 단점이 있다. 반면에 자동변속기는 유체 토크컨버터를 개입하여 동력을 전달하므로 동력전달 손실을 발생하고 변속기의 단수도 수동변속기보다 낮게 사용함에 따라서 연비가 나쁜 단점이 있다.

이와 같은 이유로 자동화 수동변속기(Automated Manual Transmission : AMT)의 개발 필요성이 대두되고 있다. 자동화 수동변속기는 기본 변속방식이 수동이기 때문에 중량, 연비, 가격과 가속성능이 자동변속기보다 우수하고 유체 토크컨버

터가 아닌 건식 단판클러치를 사용하기 때문에 클러치 부분에 있어서 효율이 높다.

그러나 자동화 수동변속기는 클러치와 변속 조작의 번거로움 해소에는 장점이 있지만 변속시간이 다소 길고 변속 감이 좋지 못한 단점을 가지고 있다.<sup>1</sup> 클러치 자동화는 운전자의 클러치 페달 조작대신 ECM(Electronic Clutch Management)를 적용하여 클러치를 자동화하는 기술로 운전자의 변속 조작 의지를 파악하여 클러치 단속을 자동화하는 것으로서 발진 및 변속 조작 시 주어진 차량 운전조건에서 클러치 접속 전후의 토크변동폭을 최소화할 수 있는 기술이 있어야 한다. 변속 자동화는 운전자의 레버 조작을 대신하며 적합한 액츄에이터(actuator)를 이용하여 변속 단을 제어하는

접수일: 2006년 10월 24일; 게재승인일: 2007년 8월 9일

\* 한양대학교 기계공학부

# 교신저자: 한양대학교 메카트로닉스·시스템공학과 대학원

E-mail: missing0106@naver.com Tel. (02) 2220-0433

기술로 운전자의 의지와 주행상태에 대하여 변속 시점과 위치를 자동제어 하기 위해서 정밀하고 신속한 제어가 가능한 액츄에이터와 효과적인 제어 알고리즘 개발이 시급하다. 따라서 원활한 변속 성능을 얻기 위해서는 클러치와 변속 자동화를 효과적으로 제어함으로써 변속 감을 향상시키고 변속 시간을 줄여야 하는 기술적 문제가 대두되고 있다.<sup>2-6</sup>

본 연구에서는 AMT 유압 액츄에이터 시스템을 상용소프트웨어인 AMESim 프로그램으로 모델링하고 AMT 변속 제어 시뮬레이터를 개발하여 최단 기어 변속 시간과 유압 액츄에이터 설계 사양을 제시하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다.

## 2. AMT 시스템 모델 및 변속제어 알고리즘

AMT 시스템은 클러치 조작부(Clutch part), 시프트 조작부(Shift part), 실렉트 조작부(Select part)의 세 가지 부분으로 나누어진다.

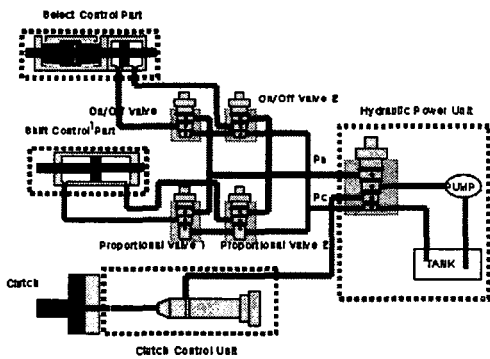


Fig. 1 Schematic diagram of AMT system

동력원인 전기모터가 유압펌프를 구동하여 클러치, 시프트, 실렉트를 작동시키기 위한 메인 압력을 생성하게 된다. AMT의 유압 회로도에는 Fig. 1과 같다.

### 2.1 클러치 조작부

HPU(Hydraulic Power Unit)은 펌프에서 공급된 유량을 받아 모든 변속에 필요한 기본압력을 발생시키고 클러치 솔레노이드 밸브는 HPU에 연결된 Pc 포트를 통해 클러치 제어를 위한 유량을 공급한다. Fig. 2에 점선 사각형 내부의 회로는 클러치 유

압 액츄에이터를 AMESim으로 모델링한 것이다.

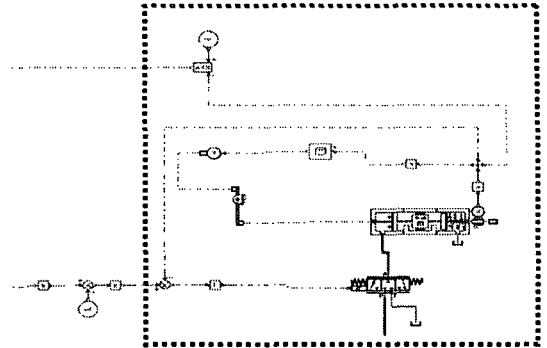


Fig. 2 Clutch actuator model using AMESim program

### 2.2 시프트 조작부

시프트 유압 액츄에이터는 변속기어의 싱크로 나이징 제어를 위하여 정밀한 폐회로 제어가 이루어지며 비례솔레노이드 밸브 1, 2를 작동시켜 제어한다.<sup>7-8</sup>

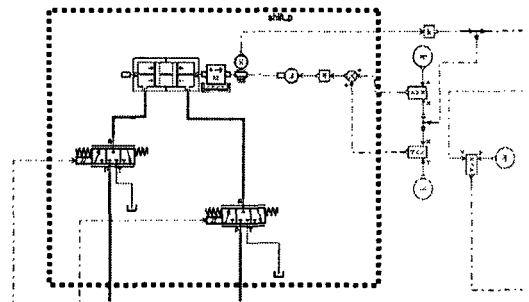


Fig. 3 Shift actuator model using AMESim program

비례솔레노이드 밸브 1이 작동하면 유압 액츄에이터 내부에 있는 피스톤을 작동시켜 업 시프트 작동을 하고 동시에 비례솔레노이드 밸브 2는 저장탱크와 연결되어 유량을 저장탱크로 보낸다. 그래서 1, 3, 5단의 업 시프트작동을 하게 되며 반대로 비례솔레노이드 밸브 2가 작동을 하면 2, 4 후진의 다운 시프트작동을 하게 된다. Fig. 3은 시프트 액츄에이터를 AMESim으로 모델링한 것이다.

### 2.3 실렉트 조작부

실렉트 액츄에이터는 On/off 솔레노이드 밸브 2가 작동하면 액츄에이터 내부의 피스톤을 작동시

켜 1, 2 단 실렉트 위치를 갖게 되고 On/off 솔레노이드 밸브 1 이 작동하면 5, 후진 실렉트 위치를 갖게 된다. On/off 솔레노이드 밸브 1, 2 모두가 작동하지 않으면 스프링의 복원력에 의하여 3, 4 단 실렉트 위치를 갖게 된다.

따라서 실렉트 액추에이터는 On/off 솔레노이드 밸브의 작동으로 3 개의 변속 영역을 만들 수 있다. Fig. 4 은 실렉트 액추에이터를 AMESim 으로 모델링 한 것이다.

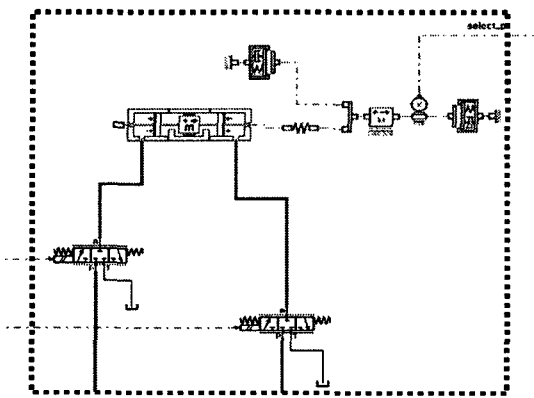


Fig. 4 Select actuator model using AMESim program

### 2.4 변속 제어 알고리즘

Fig 5 는 H 형태로 표시된 기어단과 함께 시프트 액추에이터와 실렉트 액추에이터의 위치를 도시한 것이다. 1 단에서 2 단으로 변속 시에는 실렉트 액추에이터가 동작하지 않는 상태에서 비례솔레노이드 밸브 1 이 작동하여 시프트 액추에이터에 가해진 압력제어에 의하여 1 단에서 2 단으로 가게 된다.

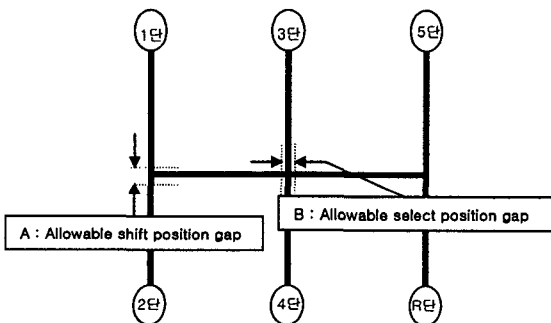
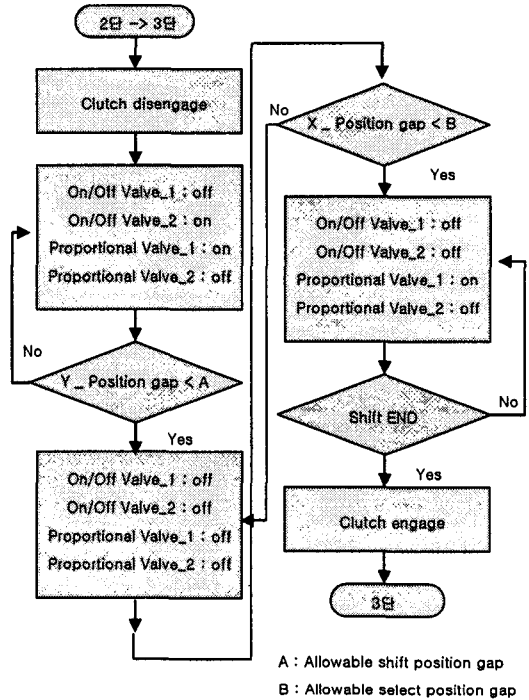


Fig. 5 Shift and Select position definition of an AMT



A : Allowable shift position gap  
B : Allowable select position gap

Fig. 6 Flow chart of shift control algorithm for 2nd->3rd up shift

2 단에서 3 단으로의 변속 시에는 비례솔레노이드밸브 2 를 작동하여 시프트 액추에이터에 압력을 제어하면서 3 단으로의 변속을 수행한다. 먼저 비례솔레노이드밸브 2 가 작동하여 시프트 액추에이터를 증립위치로 이동시킨 후 On/off 솔레노이드 밸브 2 가 작동하면 실렉트 액추에이터가 3,4 단의 실렉트 위치를 가지게 된다. 이때 비례솔레노이드 밸브 1 를 감압시켜주면 시프트 액추에이터는 3 단의 변속단에 위치하게 된다. 3·4 단 변속은 1·2 단 변속과 동일하게 이루어지며 4·5 단 변속은 2·3 단 변속과 유사한 이동경로를 가지게 되므로 기본적인 제어 방법은 1·2 단, 2·3 단 변속의 로직을 따르도록 하였다. Fig. 6 는 변속 제어 알고리즘의 하나의 예로 2 단에서 3 단으로의 변속 제어 알고리즘을 나타낸 그림이다.

### 3. 통합 모델링 및 시뮬레이션 결과

2 장의 AMT 시스템 모델과 변속 제어 알고리즘을 바탕으로 하여 AMESim 기반의 자동화 수동 변속기용 유압 액추에이터 시뮬레이터를 개발하였

다. Table 1 에서는 시뮬레이션 조건으로 HPU 의 주  
요사양에 대해 나타내었다.

Table 1 Hydraulic Power Unit Condition

Supply pressure	45 bar
Bulk modulus	17000 bar
Temperature	40 degC
Density	850kg/m <sup>2</sup>
Proportional valve responsibility	50ms

### 3.1 클러치 동작 특성

Fig. 7 는 클러치 유압 액추에이터 실린더 직경  
을 변화시킴으로 인해 나타나는 시뮬레이션 결과  
를 그래프로 도시한 것이고, Fig. 8 은 클러치 해제  
시 유압 액추에이터 실린더 직경에 따라 나타난  
응답속도를 도시한 그래프이고, Fig. 9 는 클러치 결  
합 시 유압 액추에이터 실린더 직경에 따라 나타  
나는 응답속도를 도시한 그래프이다.

외국 선진 자동변속기 변속타임이 0.7 초임을  
고려할 때 현 HPU 사양에서 클러치 직경, 해제 시  
유압 액추에이터 실린더 직경 30[mm]일 때 최단  
변속시간을 가짐을 알 수 있었다.

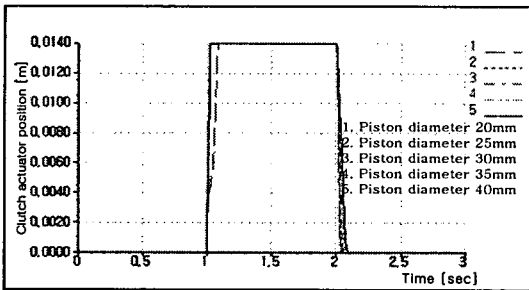


Fig. 7 Simulation result of clutch actuation

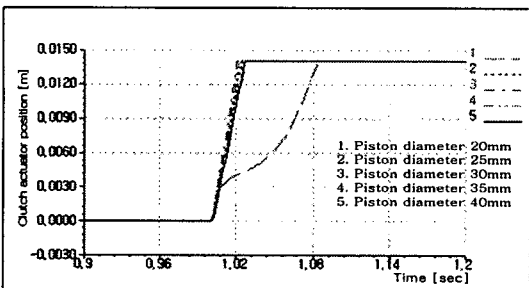


Fig. 8 Response of clutch disengage(simulation result)

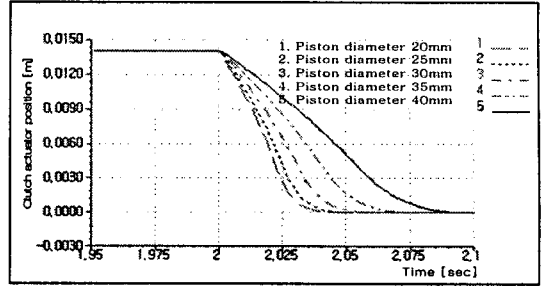


Fig. 9 Response of clutch engage(simulation result)

### 3.2 시프트 동작 특성

Fig. 10 은 시프트 유압 액추에이터 실린더 직  
경을 다양하게 변화 시켜 가며 시뮬레이션 한 결  
과를 도시한 것이고, Fig. 11 은 시프트 유압 액추에  
이터를 중립에서 1 단으로 변속 시 시뮬레이션 결  
과를 나타낸 그래프이고, Fig. 12 는 시프트 유압  
액추에이터를 1 단에서 2 단으로 변속 시 시뮬레이  
션 결과를 도시한 그래프이다. 현 HPU 사양에서  
시프트 유압 액추에이터는 직경이 20[mm]일 때  
최단 변속시간을 가짐을 알 수 있었다.

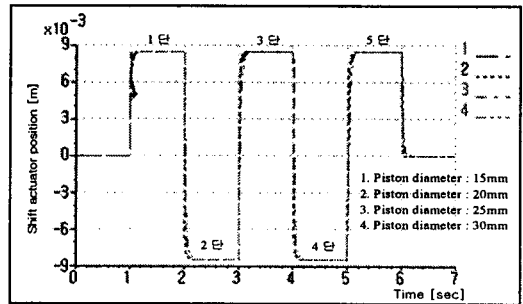


Fig. 10 Simulation result of shift actuation

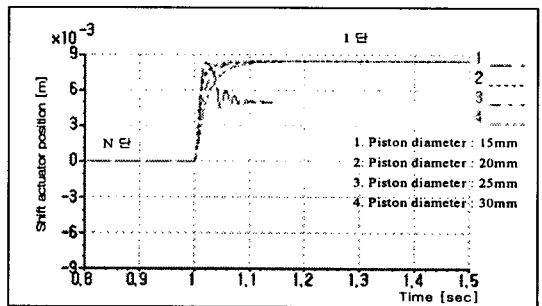


Fig. 11 Response of up shift action from Neutral to 1<sup>st</sup>

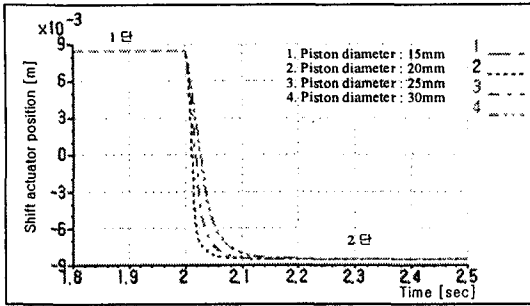


Fig. 12 Response of up shift action from 1<sup>st</sup> to 2<sup>nd</sup>

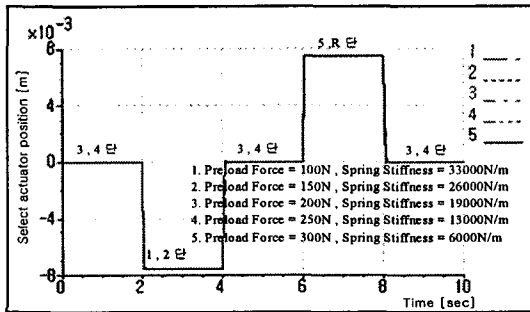


Fig. 13 Simulation result of select actuation

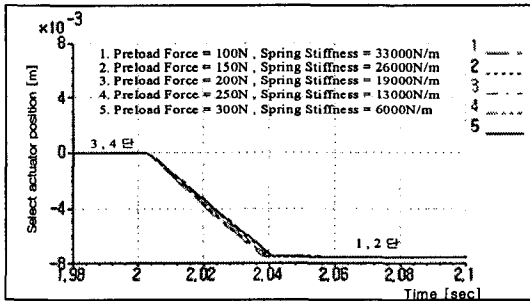


Fig. 14 Response of select actuation from 3,4 to 1,2

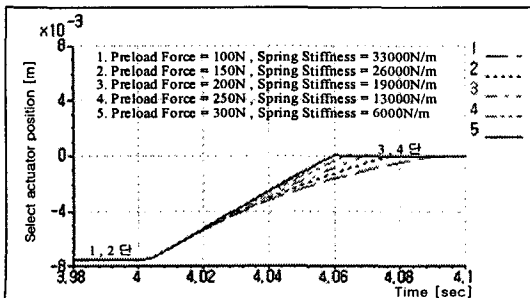


Fig. 15 Response of select actuation from 1,2 to 3,4

### 3.3 실렉트 동작 특성

Fig. 13 은 실렉트 유압 액추에이터 실린더 직경과 spring stiffness, spring preload 등 여러 조건을 변화 시킴으로 인해 나타나는 시뮬레이션 결과를 도시한 것이다. Fig. 14 는 실렉트 유압 액추에이터를 1,2 단에서 3,4 단으로 변속 시 시뮬레이션 결과를 나타낸 그래프이고, Fig. 15 는 실렉트 유압 액추에이터를 3,4 단에서 1,2 단으로 변속 시 시뮬레이션 결과를 도시한 그래프이다.

실렉트 유압 액추에이터는 실린더 직경이 20[mm], spring stiffness 19000[N/m], spring preload 200[N]일 때 현 HPU 사양에서 최단 변속시간을 가짐을 알 수 있었다.

### 3.4 변속 시뮬레이션 결과

Fig. 16 은 자동화 수동변속기용 유압 액추에이터 시뮬레이터를 이용하여 기어 단을 N(중립 단)에서 5 단까지 변속 단을 up shift 시키고, 5 단에서 N(중립단)까지 downshift 함에 따라 나타나는 전체적인 시뮬레이터 해석 결과를 도시한 그림이다. 전체 시뮬레이션 시간은 100s 이며, N(중립 단)에서 1 단으로의 변속을 시작으로 10 초 마다 변속 시켰다.

Fig. 17 ~ Fig. 26 은 각각의 변속 단에서 변속 시 시뮬레이션 결과를 도시한 그래프이다. 변속기의 변속시간은 제어기에서 조절되므로 변속 액추에이터의 응답은 빠를수록 좋다. 현재 같은 사양의 HPU 를 사용하는 선진국의 변속 액추에이터의 응답 시간은 0.7 초 정도이고, 본 연구에서 개발된 변속 액추에이터의 응답시간은 0.5 초 정도이므로 대단히 양호한 결과를 나타내고 있다.

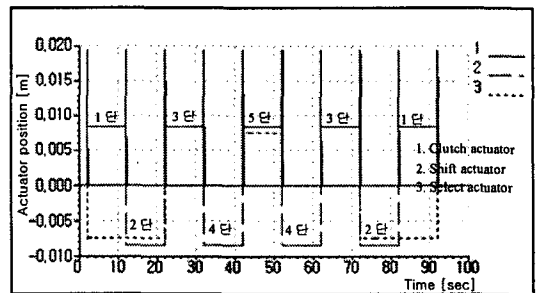


Fig. 16 Simulation result of AMT up and down shift operation

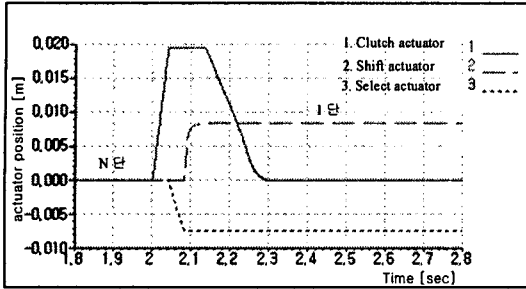


Fig. 17 Simulation result of shift from Neutral to 1<sup>st</sup>

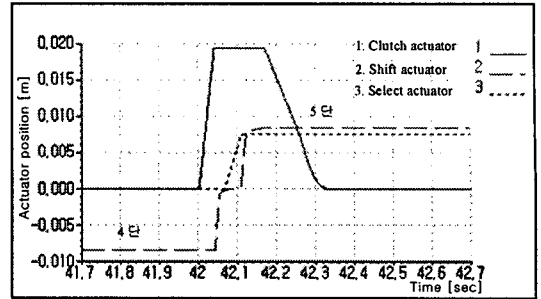


Fig. 21 Simulation result of shift from 4<sup>th</sup> to 5<sup>th</sup>

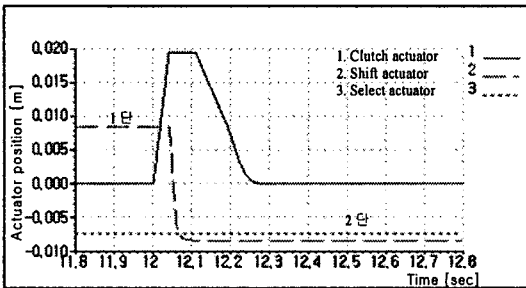


Fig. 18 Simulation result of shift from 1<sup>st</sup> to 2<sup>nd</sup>

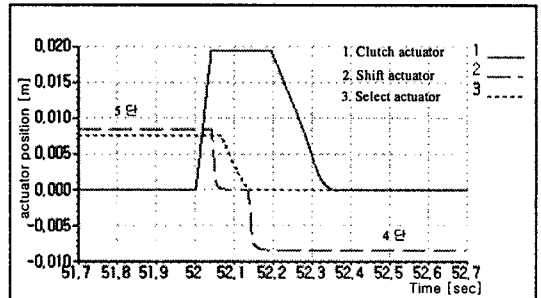


Fig. 22 Simulation result of shift from 5<sup>th</sup> to 4<sup>th</sup>

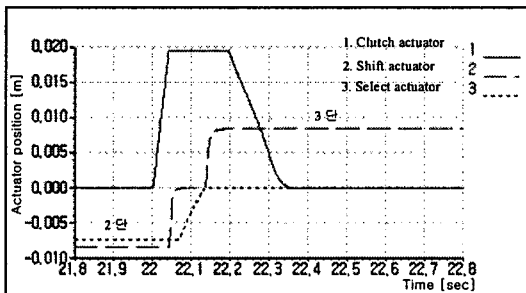


Fig. 19 Simulation result of shift from 2<sup>nd</sup> to 3<sup>rd</sup>

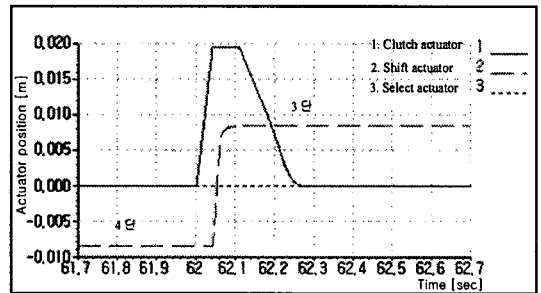


Fig. 23 Simulation result of shift from 4<sup>th</sup> to 3<sup>rd</sup>

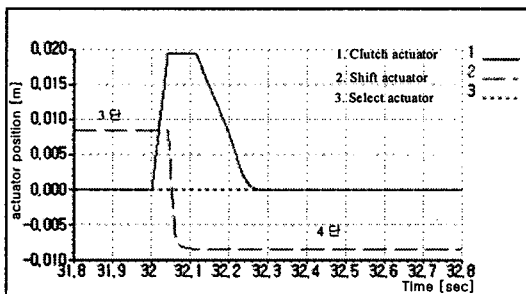


Fig. 20 Simulation result of shift from 3<sup>rd</sup> to 4<sup>th</sup>

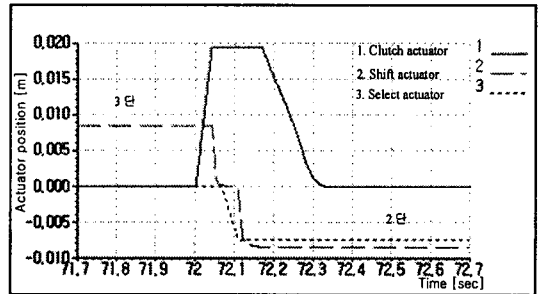


Fig. 24 Simulation result of shift from 3<sup>rd</sup> to 2<sup>nd</sup>

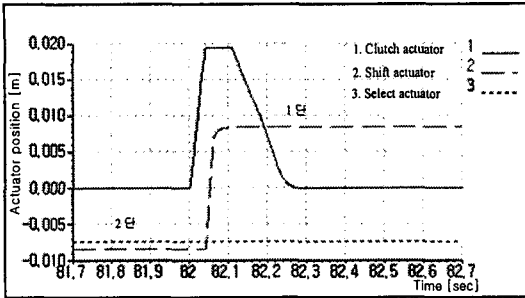


Fig. 25 Simulation result of shift from 2<sup>nd</sup> to 1<sup>st</sup>

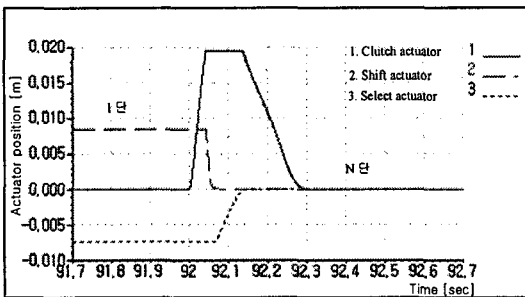


Fig. 26 Simulation result of shift from 1st to Neutral

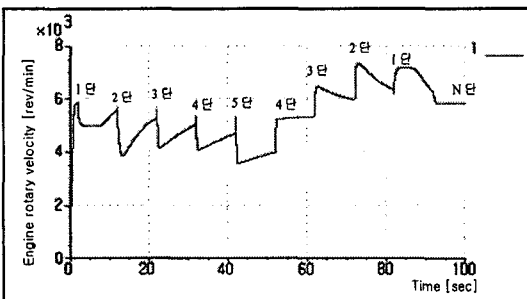


Fig. 27 Simulation result of engine rotary velocity

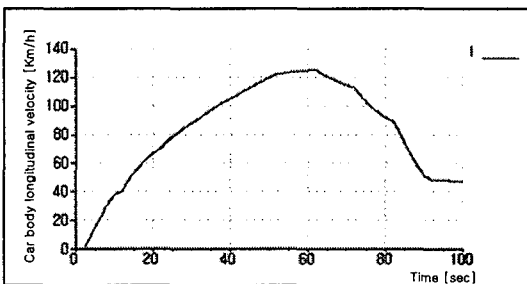


Fig. 28 Simulation result of carbody velocity

Fig. 27 은 자동화 수동변속기용 유압 액추에이터 시뮬레이터를 이용하여 자동차 엔진을 시뮬레이션 한 그래프이고, Fig. 28 은 자동차 속도를 시뮬레이션 한 그래프다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 AMT 유압 액추에이터 시스템을 상용 소프트웨어인 AMESim 을 이용하여 모델링하고, AMT 변속 제어 시뮬레이터를 개발하여 통합변속 시뮬레이션을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

설계된 변속 제어 알고리즘을 따라 기어 변속 및 클러치 제어가 정확히 제어되고 있음을 알 수 있었다. 클러치 유압 액추에이터, 시프트 유압 액추에이, 선택 유압 액추에이터 직경의 다양한 변화에 따라 응답성이 달라짐을 알 수 있었고, 클러치 유압 액추에이터 실린더 직경 30 [mm], 시프트 유압 액추에이터 실린더 직경 20 [mm]일 때와 선택 유압 액추에이터 직경 20 [mm], spring stiffness 19000 [N/m], spring preload 200 [N]일 때 최단의 기어 변속 시간을 가짐을 알 수 있었고, 모든 변속단 응답시간은 0.5 초 이내에 이루어 짐을 알 수 있었다.

본 연구에서 개발한 AMT 변속 제어 시뮬레이터를 이용하여 설계 변수들의 영향을 고찰할 수 있으며, 신규 부품 개발에 대한 성능 예측에도 활용 가능하다고 판단된다.

#### 참고문헌

1. Kremmling, B. and Fischer, R., "The Automated Clutch - The New Luk ECM," 6<sup>th</sup> international Luk Symposium, pp. 85-106, 1998.
2. Wheals, J. C., Crewe, C., Ramsbottom, M., Rook, S. and Westby, M., "Automated Manual Transmission," SAE paper 2002-01-0929, 2002.
3. Fischer, R. and Berger, R., "Automation of Manual Transmissions," 6th international Luk, 1997.
4. Makoto, U., Shoshi, K. and Toshihiro, H., "Digital Algorithm for Hydraulic Actuator," SAE 860598, 1986.
5. Herbert, E. M., "Hydraulic Control Systems," John Wiley & Sons, pp. 60-65, 1967.

6. Anthony, E., "Fluid power with applicaitons," Prentice Hall Inc., pp. 120-130, 2003.
7. Park, S. J., Ryu, W., Song, J. G., Song, S. I., Hwang, S. H. and Kim, H. S., "Development of Automated Manual Transmission Performance Simulator and Analysis of Shift Characteristics," KSAE Spring Conference Proceeding, pp. 810-815, 2004.
8. Lee, C. S., Son, J. H. and Cho, H. B., "A Study on the Development of Synchromesh System in Manual Transmission," J. of the KSAE, Vol. 4, No. 4, pp. 107-117, 1996.