

<기술논문>

자동변속기장착 차량의 Shift-By-Wire 시스템 개발

김 정 윤^{*1)} · 임 충 혁²⁾ · 임 원 식³⁾

대구가톨릭대학교 기계자동차공학부¹⁾ · 서울산업대학교 기계설계자동화공학부²⁾ · 서울산업대학교 자동차공학과³⁾

Development of Shift-By-Wire System for an Automatic Transmission Equipped Vehicle

Jungyun Kim^{*1)} · Chunghyuk Yim²⁾ · Wonsik Lim³⁾

¹⁾School of Mechanical and Automotive Engineering, Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702, Korea

²⁾School of Mechanical Design & Automation Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

³⁾Department of Automotive Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

(Received 29 August 2006 / Accepted 21 December 2006)

Abstract : This article deals with the design and prototyping of Shift-By-Wire system for an automatic transmission equipped vehicle. In order to manipulate the shifting action electronically, Shift-By-Wire system consists of an electronic shift lever, an electric shift actuator and position sensors. The shift lever is designed to transform the driver's shifting command into an electric signal; it includes the position sensor using non-contact type hall sensor and an additional shifting switch acting as Tip-tronic. For the design of an electric shifting actuator, we investigated the stroke angles and shifting efforts of the manual control lever in each shifting section. And the position sensor of the shifting actuator is designed by using a potentiometer with an optical encoder. Finally the prototype of Shift-By-Wire system was built in a conventional 2.4L class SUV vehicle, and we performed road tests in order to verify its performance.

Key words : Shift-by-wire, Automatic transmission(자동변속기), Shift lever(변속레버), Shift actuator(변속 액츄에이터), Electronic control unit(전자제어장치)

1. 서론

최근의 자동차기술은 기본적인 운송기능 외에 운전자 및 탑승자의 안전도 제고, 지능화된 시스템 및 각종 편의시설에 대한 소비자의 요구가 증가되고 있다. 이러한 요구에 부합하기 위하여 자동차의 여러 가지 기계시스템이 전자제어장치에 의해 구동되는 전기시스템으로 대체되는 경향을 나타내고 있다. 특히 승용차의 구동성능과 관련된 엔진 제어장치(ECU: Engine control unit), 변속기 제어장치(TCU: Transmission control unit), EGR(Exhaust gas recir-

ulation) 제어장치와 같은 구동계 이외에 차량의 조작성과 안전도와 관련된 제동장치, 현가장치, 조향장치 등에도 전자제어장치를 이용하여 능동적으로 차량의 거동을 제어함으로써 운전자에게 보다 편안한 운전환경 제공과 승차감 개선을 구현한 연구와 적용사례가 점차 늘어나고 있다.¹⁻⁷⁾

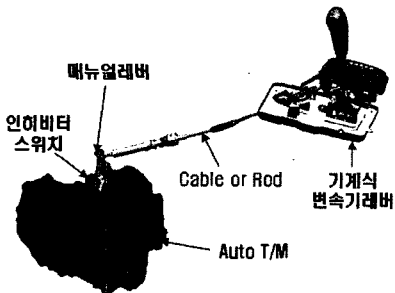
이처럼 자동차의 여러 가지 기계/유압 장치에 전자/전기 시스템을 적용하는 Drive-By-Wire 시스템은 이제까지 기계적으로는 대처하지 못했던 차량의 능동적인 안전문제와 지능화를 도모할 수 있다. 더불어 복잡한 기계/유압 장치를 센서, 전기 액츄에이터, 전자제어장치(Electronic control unit)와 전기적

*Corresponding author, E-mail: kjungyun@cu.ac.kr

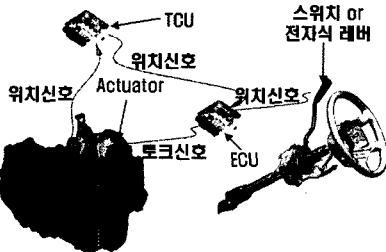
인 연결로서 대체함으로써 차량 설계의 자유도가 향상되고 부품의 모듈화가 가능하며, 유압시스템의 대체로 환경문제에 대한 대응이 용이해져 새로운 자동차기술 및 운전조작 환경의 창조가 가능해진다.

본 연구에서는 이러한 Drive-By-Wire 시스템 중 자동변속기의 변속 조작부를 전자제어화한 Shift-By-Wire 시스템의 개발에 관하여 다루고 있다. 자동변속기의 Shift-By-Wire 시스템은 기존의 기계식 변속레버에 연결된 변속케이블을 삭제하고 전자식 변속레버를 채택하여 운전자의 변속의지를 전기신호로 변속제어장치에 전달, 변속 액츄에이터를 구동하여 지정된 변속단을 선택하는 구조로 이루어져 있다(Fig. 1 참조).

Shift-By-Wire 시스템은 외국의 자동차회사를 중심으로 현재 상용화하여 출시된 제품이 많지만 국내에서는 아직까지 제품의 상용화가 이루어지지 않은 실정이다. 본 논문에서는 이러한 Shift-By-Wire 시스템 기술의 국산화를 위해 기존의 자동변속기에 부착식(Add-on type)으로 적용할 수 있는 구성요소를 설계, 개발하고 실제 차량에 적용시켜 그 실용화 가능성을 검토하였다. 이를 위하여 본 연구에서는



(a) 기존의 기계식 변속조작 시스템



(b) 자동변속기의 Shift-By-Wire 시스템

Fig. 1 기계식 변속조작 시스템과 Shift-By-Wire의 비교

국산 2.4L급 디젤 SUV에 장착된 중형 4속식(F4A42) 자동변속기를 선정하였다. 먼저 연구대상 자동변속기의 변속레버를 수정하고 전자화하였으며 직류모터를 이용한 변속 액츄에이터를 설계하였다. 또한 국산 2.4L급 디젤 SUV에 적용되는 자동변속기에 장착하여 변속조작 실험을 통하여 그 적용가능성을 살펴보았다.

2. Shift-By-Wire 시스템

2.1 변속 조작장치(Shift Lever)

기계식 변속레버의 변속단 선택(Gear selection)은 운전자에 의해 선택된 변속단에 따라 케이블로 연결된 매뉴얼 콘트롤 레버(Manual control lever)를 작동시켜 이루어진다. 이와 동시에 매뉴얼 콘트롤 레버는 인접한 인히비트 스위치(Inhibit switch)를 통하여 현재 선택된 변속단의 정보를 TCU (Transmission control unit)에 전달한다.

이러한 변속 조작 메카니즘에 Shift-By-Wire가 적용되면 변속레버는 운전자의 변속 의지를 전기적인 신호로 ECU에 전달해 주는 스위치의 역할만을 수행하고, 매뉴얼 콘트롤 레버의 동작은 전용 변속 액츄에이터가 담당하게 되므로 기존의 기계식 조작레버에 비해 조작 방식과 형상 설계에 있어 유연한 형태를 취할 수 있다. 따라서 Shift-By-Wire용 변속레버의 설계는 운전자의 편의성과 안전을 고려하여 단순하며 직관적인 조작 방식과 기구적인 결함에 대해 오류를 검출할 수 있는 하드웨어적인 안전장치를 포함하고 있어야 한다.

본 연구에서는 BMW 745iL에 장착된 Shift key의 구조와 작동원리를 바탕으로 연구대상 차량의 기존 변속레버를 수정하고, Tiptronic방식의 Up/down shift를 위하여 별도의 스위치를 스티어링 휠에 추가

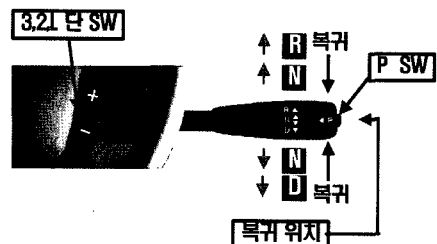


Fig. 2 개발된 변속레버의 작동법

Table 1 변속레버의 작동 특징

Lever 위치	변속후 Lever는 원위치로 복귀됨
변속조작	기본조작(R-N-D)은 Lever로 수행됨 3-2-L, P는 버튼으로 조작 - P는 Lever Grip단의 SW로 조작 - 3-2-L은 스티어링 휠의 SW로 조작
조작성	Lever 조작 Stroke 감소 및 버튼의 사용으로 조작성 향상

하였다(Fig. 2참조). 수정된 변속레버의 작동과 조작 특징을 정리하면 Table 1과 같다.

또한 변속레버의 조작방향 및 위치를 감지하는 위치센서는 마찰에 의한 접점과 브리시의 마모와 이로 인하여 발생할 수 있는 오류를 방지하기 위하여 Fig. 3과 같은 비접촉 방식의 홀센서(Hall sensor)를 이용한 위치감지센서를 개발하여 Fig. 4와 같이 조향 칼럼(Steering column)에 장착할 수 있도록 하였다.

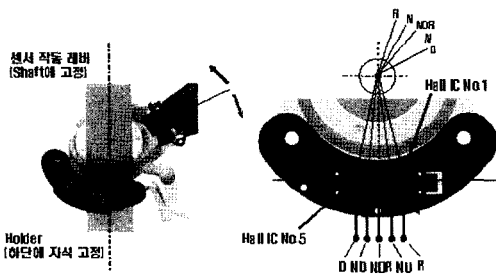


Fig. 3 Hall sensor type lever position sensor

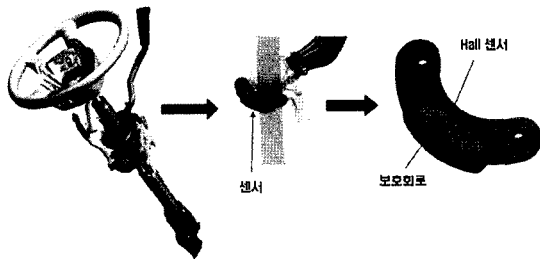


Fig. 4 Lever position sensor의 취부

2.2 변속 액츄에이터

변속레버에 연결된 케이블로 이루어지는 기존의 매뉴얼 콘트롤 레버 조작을 자동화하기 위하여 원기어가 취부된 직류모터(DC motor)를 변속 액츄에이터로 사용하였다. 변속레버의 조작신호를 처리하

여 변속기의 변속위치가 결정되면 직류모터는 현재의 위치에서 이동할 위치까지 매뉴얼 콘트롤 레버를 일정 각도만큼 회전시켜 변속기의 변속위치를 변경하게 된다. 따라서 직류모터의 사양을 결정하기 위하여 각 변속단 별 회전각도(stroke)와 조작력의 파악이 필요하다.

본 연구대상 자동변속기(F4A42)는 중형4속식으로 변속레버의 위치가 P-R-N-D-3-2-L이며, 매뉴얼 콘트롤 레버 포지션 레이아웃(Fig. 5)과 작동구간별 회전각도와 조작력을 정리하면 Table 2와 같다.

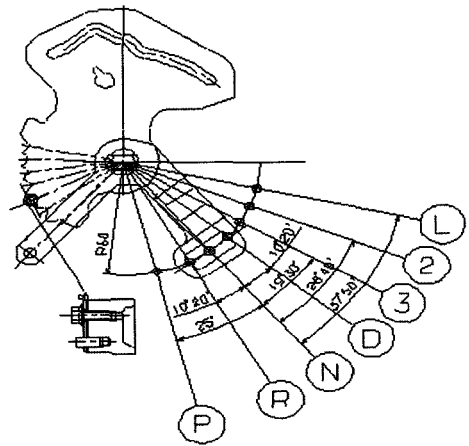


Fig. 5 Manual control lever position layout

Table 2 Stroke by section and maximum effort

T/M 사양	구간별 Stroke(deg)		작동구간별 MAX. Effort(Kg)	
	구간	Stroke(deg)	구간	MAX. Effort(Kg)
F4A42 (중형4속)	P-R	14.8°	P-R	0.37
	R-N	10.2°	R-N	0.31
	N-D	10.2°	N-D	0.31
	D-3	9.1°	D-3	0.31
	3-2	9.1°	3-2	0.31
	2-L	9.1°	2-L	0.31

Table 2에서 나타난 바와 같이 연구대상 자동변속기의 변속단별 회전각도는 작동구간별로 매뉴얼 콘트롤 레버의 형상에 따라 차이가 있지만, 조작력은 P-R 구간에서 가장 큰 값을 나타내고(0.37 kgm) 이를 제외한 구간에서는 그 값이 거의 일정하다(0.31 kgm). 이는 P-R 구간에서는 변속위치의 변경 후에 자동변속기 내부 스프라인의 홈에 걸쇠를 걸어 차

량이 외부의 힘에도 움직이지 않게 고정하고, Parking을 해지할 경우에는 변속위치를 변경하기 전에 걸쇠를 풀어 다른 구간으로 이동하게 되기 때문이다. 특히 경사로에 주차된 경우에는 경사도에 비례하여 걸쇠를 빼내는 작용력이 커지므로 경사 구간에서의 Parking 해지력이 변속 액츄에이터로 사용되는 직류 모터의 용량 선정 기준이 된다.

경사구간에서의 Parking 해지력을 구하기 위해 최대 경사 25%에 대한 정차 시 실차실험을 수행하였으며 그 결과를 이용하여 12V 전원을 사용하고 최대 기동전류 18A 의 직류모터를 선정하여 연구대상 자동변속기에 장착하였다.

2.3 변속 위치센서

변속 액츄에이터를 통한 변속조작의 완료 여부를 판단하기 위한 현재위치의 파악을 위하여 직류모터에 직결된 광학식 엔코더를 사용할 수 있으나 시스템의 초기에 변속위치별 정확한 위치값을 초기화할 수 없다는 점과 변속 액츄에이터의 위치센서가 엔진룸에서 발생하는 진동에 의한 오차발생, 광학식 엔코더의 내구성등의 문제가 발생하여 본 연구에서는 광학식 엔코더와 함께 모터 제어용 위치센서로 널리 사용되는 고정도의 전위차계(Potentiometer)를 함께 사용할 수 있도록 설계하였다(Fig. 6).



Fig. 6 변속 위치센서

3. 변속제어장치(ECU)의 설계

자동변속기의 Shift-By-Wire용 ECU는 차량의 각종 정보를 제공받는 입력부와 변속 액츄에이터의 구동을 위한 구동부, 그리고 입력된 차량의 정보를 이용하여 변속 액츄에이터를 제어하는 제어부로 구분할 수 있다. 제어부에서는 차량의 속도, 엔진의

RPM, 레버와 브레이크, 키의 조작여부, 그리고 조작 레버의 위치와 변속 액츄에이터의 실제 위치를 확인 할 수 있는 위치정보 등의 차량의 현재 상태를 입력 받고, 현재 변속 액츄에이터의 위치와 동작 상태를 감안하여 운전자의 변속 명령이 운전자와 차량의 안전에 반하지 않음을 판단하여 변속 액츄에이터의 위치를 제어하고 그 결과를 PC에 전달한다.

본 연구에서 개발한 변속제어장치는 현재 차량의 상태와 변속레버와 변속 액츄에이터의 위치정보 등을 파악하기 위하여 TCU(Transmission Control Unit)와 별도로 부착한 센서를 통하여 총 9개의 신호를 입력으로 사용하며, 변속 액츄에이터를 구동하기 위하여 2개의 구동전압을 출력한다. 이를 각 신호별로 정리하면 다음과 같다(Table 3,4 참조).

이와 같은 9개의 입력신호의 처리와 2개의 출력신호를 통한 액츄에이터의 구동부를 포함한 ECU의 하드웨어를 Fig. 7과 같이 구성하였다. 메인 컨트롤

Table 3 입력 신호의 종류와 사양

NO	신호 발생부	사용 센서	센서 갯수	신호 형태	사용전압	
					입력 전압	출력 전압
1	T/M Inhibit SW	SW	1	on/off	+12V	+12V
2	Lever SW	SW	1	on/off	+5V	+3V
3	Break	SW	1	on/off	+12V	+12V
4	Key	SW	1	on/off	+12V	+12V
5	Speed	Pick Up Coil	1	Pulse	+12V	+12V
6	RPM	Pick Up Coil	1	Pulse	+12V	+12V
7	Encoder	광학식	1	Pulse	+5V	+5V
8	Lever Vol	Potentiometer	1	Analog	+3.3V	0~3V
9	Motor Vol	Potentiometer	1	Analog	+3.3V	0~3V

Table 4 출력 신호의 종류 및 사양

NO	작동부	Actuator		신호 형태	사용전압	
		형태	수량		공급 전압	구동 전압
1	Shift Actuator	직류 전동기	1	전압	+12V	+12V
2	Relay	Coil	1	on/off	+12V	+12V

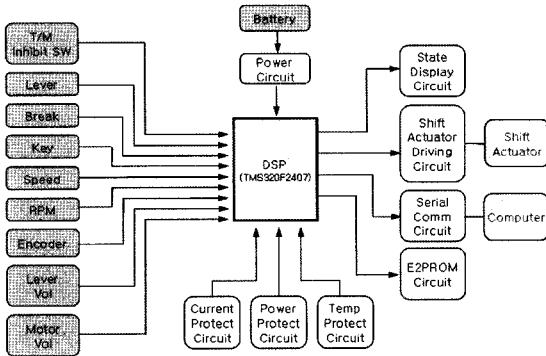


Fig. 7 SBW용 ECU의 하드웨어 구성

러로 사용한 Texas Instrument의 DSP chip인 TMS320 F2407은 40MIPS의 속도로 빠른 입출력과 고정소수점연산 수행이 가능하며, 32K 워드(Word)의 내부 플래쉬(Flash) 메모리와 2.5K 워드의 고속의 메모리가 내장되어 원칩 마이크로 컨트롤러로 사용가능하다. 또한 8개의 16 Bit PWM, 프로그램으로 조작 가능한 데드밴드, 엔코더 카운터 회로 등이 내장되어 있어 모터제어용 제어기로 적합하며, 최대 375ns (2.67MHz)의 빠른 변환속도의 10비트 최대 16개의 AD변환기가 내장되어 있어 아날로그 타입의 외부 센서 신호를 원활히 입력 받아 처리 할 수 있다. Fig. 8은 개발된 ECU의 Prototype이다.

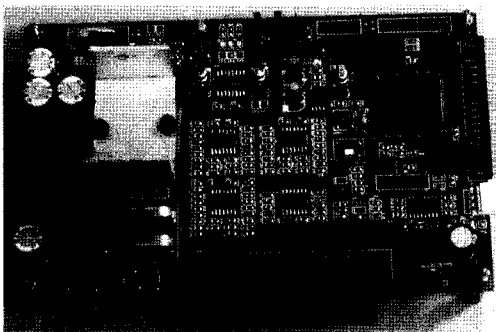


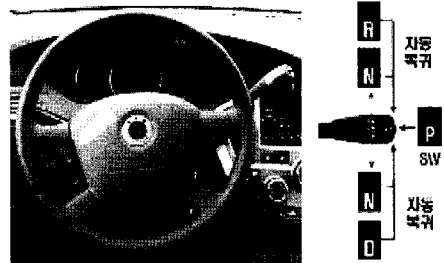
Fig. 8 ECU prototype

4. 차량 적용 실험

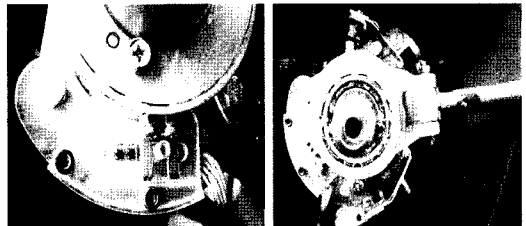
연구대상 Shift-By-Wire 시스템의 성능을 평가하기 위하여 기존에 부착되어 있던 기계식 변속 레버와 변속 케이블을 제거하고 본 연구에서 개발한 변속 레버와 시프트 액츄에이터를 실험용 차량에 부

착하여(Fig. 9) 평지에서 그 변속조작 성능을 실험/평가하였다.

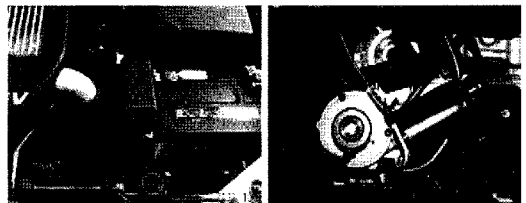
Fig. 10은 평지에서의 위치명령에 따른 시프트 액츄에이터의 응답특성을 나타내었다. Fig. 10의 (a)와 같이 P단에서 D단까지의 변속조작을 수행한 결과 변속 액츄에이터의 응답시간은 약 0.3초로 측정되었다. 또한 Fig. 10의 (b)와 같이 P-R-N-D단의 각 변속 위치를 1초마다 이동한 결과를 보면 각 변속 구간에서의 정착시간은 약 0.2초에서 0.3초로 일정하였으나, P단에서 R단으로 이동시 가장 큰 오버슈트(overshoot)가 발생하는 결과를 보였다. 이러한 오버슈트는 변속 쇼크와 소음을 발생시키는 원인으로 2.2절에서 설명한 것과 같이 P단에서 R단까지의 변속구간이 가장 큰 변속조작력을 가지고 있으므로 발생한 것이다. 이러한 P단에서 R단의 변속구간에서의 변속 조작력은 실험을 수행한 평지에서 보다



(a) Shift method and shift lever

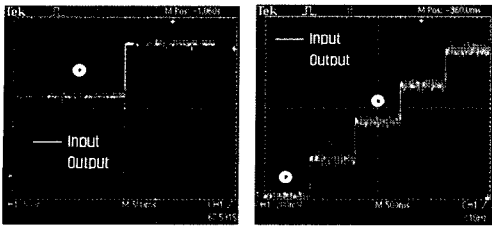


(b) Mounted shift lever



(c) Mounted shift actuator

Fig. 9 Prototype of Shift-By-Wire system



(a) P→D position (b) P→R→N→D position

Fig. 10 Test results from position transfer command

경사로에서 더 크게 발생하므로 이에 따른 변속 소크와 소음이 발생하지 않도록 별도의 속도 제어가 필요함을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 자동변속기용 Shift-By-Wire 시스템을 설계/제작하였고, 실차에 장착한 후 정차 시 변속 조작력 실험을 통하여 그 성능을 확인하였다.

- 1) Shift-By-Wire 시스템을 상용 자동차의 자동변속기에 바로 적용하여 운행 할 수 있도록 부착식으로 설계, 제작하여 실제 차량에 구현하였다.
- 2) 변속 조작장치인 변속레버는 운전자의 변속 조작을 전기적 신호로 변환하기 위하여 기존의 변속레버를 수정하고, Tiptronic 방식의 별도 스위치를 추가하였다. 변속레버의 조작방향 및 위치를 감지하기 위하여 비접촉 방식의 홀센서를 이용한 위치감지센서를 개발, 장착하였다.
- 3) 자동변속기에 부착한 변속 액츄에이터인 직류모터의 선정을 위하여 적용대상 차량의 매뉴얼 콘트롤 레버의 각 변속구간별 회전각도와 조작력을 분석하였으며, 특히 경사로에 주차된 경우에 작용하는 최대 조작력을 기준으로 직류모터를 선정하여 장착하였다.
- 4) 변속 액츄에이터의 위치 파악을 위하여 사용한 위치센서는 엔진룸에서 발생하는 진동과 광학식 엔코더의 내구성을 고려하여 전위차계를 동시에 사용할 수 있도록 설계하였다.

- 5) 실차 실험을 통하여 개발된 Shift-By-Wire 시스템의 작동성과 성능을 확인하였다.

References

- 1) H. Y. Jo, U. K. Lee and M. S. Kam, "Development of the Independent-type Steer-By-Wire System Using HILS," Int'l J. Automotive Technology, Vol.7, No.3, pp.321-327, 2006.
- 2) H. S. Kim, C. J. Kim, M. C. Jung, B. G. Lyu and C. S. Han, "Development of a Control Algorithm for the Steer-by-Wire System," Fall Conference of Proceedings, Vol.II, KSAE, pp.890-895, 2005.
- 3) H. W. Bae, Y. K. Kim, Y. H. Cho, B. K. Ko, K. S. Nam, T. J. Lee and J. H. Hwang, "Development of Shift-by-Wire System for Passenger Car," Fall Conference of Proceedings, Vol.II, KSAE, pp.1133-1138, 2005.
- 4) K. S. Park, J. H. Lee and J. I. Park, "A Study of the Driveability Improvement on the Electronic Throttle Control M/T Vehicle at Tip-in/out," Transactions of KSAE, Vol.14, No.2, pp.151-157, 2006.
- 5) M. Yoon, W. Lee and M. Sunwoo, "Development and Implementation of Distributed Hardware-In-The-Loop Simulator for Automotive Engine Control Systems," Int'l J. Automotive Technology, Vol.6, No.2, pp.107-117, 2005.
- 6) G. H. Jung and K. I. Lee, "TCU Design of Automatic Transmission for Wheel Loader," Fall Conference of Proceedings, Vol.II, KSAE, pp.736-741, 1999.
- 7) H. J. Lee, Y. K. Park, M. W. Suh, C. S. Seok and S. I. Lee, "Development of HIL Simulator for ABS/TCS," Fall Conference of Proceedings, Vol.II, KSAE, pp.858-863, 1998.