변속기 시뮬레이터를 이용한 진단 및 안전작동 알고리즘 분석

정 규 홍*

대진대학교 컴퓨터응용기계설계공학과

Analysis of Diagnosis and Failsafe Algorithm Using Transmission Simulator

Gyuhong Jung*

Department of Computer Aided Mechanical Design Engineering, Daejin University, Gyeonggi 487-711, Korea

(Received 13 August 2013 / Revised 21 September 2013 / Accepted 8 October 2013)

Abstract : As the digital control technologies in automotive industry have advanced, electronic control units(ECUs) play a key-role to improve system performance. Transmission control unit(TCU) is a shifting controller for automatic transmission of which major functions are to determine the shift and manage the shifting process considering the various sensor signal on transmission and driver's commands. As with any ECU in vehicle, TCU performs complex algorithms such as shift control, diagnostic and failsafe functions. However, firmware design analysis is hardly possible by the reverse engineering due to code protection. Transmission simulator is a hardware-in-the-loop simulator which enables TCU to work in normal mode by simulating the electrical signal of TCU interface. In this research, diagnosis and failsafe algorithm implemented on commercialized TCU is analyzed by using the transmission simulator that is developed for wheel loader construction vehicle. This paper gives various experimental results on the proportional solenoid current trajectories for different operating modes, error detection criterion and limp-home mode gears for all the possible cases of clutch malfunction. The derived results for conventional TCU can be applied to the development of inherent TCU algorithms and the transmission simulator can also be utilized for the test of TCU to be developed.

Key words : Wheel loader(휠 로더), Automatic transmission(자동변속기), TCU(변속제어기), Transmission simulator(변속기 시뮬레이터), Diagnosis(진단), Failsafe(안전작동)

1. 서 론

휠 로더는 전방에 장착된 직사각형의 버킷을 사용하여 건설현장에서 모래나 흙을 트럭에 상차하거나 각종 건설자재 운반에 이용되는 건설 중장비이다(photo. 1 참조). 휠 로더는 버킷과 붐을 조작하면서 빈번하게 전후진 변속을 수행하는 작업특성으로 인하여 편의성과 작업 효율이 우수한 자동변속기 장착이 일반화되고 있다.

최근 급속하게 발전하는 자동차 기술의 전자화는 건설 중장비로 응용분야가 확대되고 있다. 변속제

어기(Transmission Control Unit, TCU)는 자동변속기의 변속제어와 관련된 제반 기능을 담당하므로 기어 열(gear train), 토크 컨버터(torque converter), 유압 제어시스템의 기계적인 부품과 더불어 변속기 성능을 결정하는 핵심부품이다. 특히, 환경관련 규제가 점차 강화됨에 따라 연비와 효율뿐만 아니라 주행 성능 향상의 설계목적을 동시에 달성하기 위하여 하드웨어와 펌웨어(firmware) 기술에 대한 연구개발이 지속적으로 이루어지고 있다.

TCU 개발을 위해서는 변속동특성에 대한 엄밀한 이해를 바탕으로 변속알고리즘을 설계하고 전기 및 기계적인 동력전달장치의 작동오류를 자체적으로

*Corresponding author, E-mail: ghjung@daejin.ac.kr

(a) General view

(b) Transmission and axle layout

Photo. 1 Powertrain in wheel loader

판단하는 자기진단기능(OBD, on-board diagnosis)의 구현에 풍부한 개발경험이 요구되지만 상용화된 제품은 핵심기능이 펌웨어로 구현되므로 설계내용분석이 거의 불가능하다.

시뮬레이터는 동적특성을 갖는 기계적인 시스템을 모사하는 장치이며, 변속기 시뮬레이터는 TCU에 연결되는 제반 전기적인 신호를 실시간으로 모사함으로써 실차에 장착되지 않은 상태에서도 정상 작동될 수 있도록 하는 기능을 갖는다. 자동차 개발 분야에서 활용되는 시뮬레이터로는 차량 주행 시뮬레이터, ECU(electronic control unit) 시뮬레이터를 비롯하여 다양한 종류가 있으나 상용화된 자동변속기 TCU를 대상으로 개발된 시뮬레이터와 관련된 연구는 보고된 바 없다.¹⁻⁴⁾ 변속기 시뮬레이터를 이용하면 실차, 또는 다이내모 시험기 없이도 다양한 작동조건에서 TCU 펌웨어에 구현된 기능을 분석할 수 있으므로 개발비용과 시간절감을 할 수 있는 동시에 시험 안전성도 확보할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 휠 로더 자동변속기를 대상으로 개발된 변속기 시뮬레이터를 활용하여 상용화된 TCU에 설계된 운영프로그램의 자기진단 및 안전작동기능을 파악하여 독자 TCU 펌웨어 개발⁵⁾에 활용될 수 있는 기초자료를 확보하였다.

2. 휠 로더 자동변속기

연구대상 자동변속기는 최대 전달동력이 270kW (362마력)인 ZF사 4WG-260 모델⁶⁾로 주요 구성요소는 기어 열(gear train), 토크 컨버터(torque converter), 유압제어시스템, TCU이며 각 요소의 기능과 설계 사양을 살펴보면 다음과 같다.

2.1 기어 열

전진 4단, 후진 3단으로 설계된 휠 로더 자동변속기 기어 열은 Photo. 2와 같고 Fig. 1은 상시 맞물려 회전하는 기어가 클러치 작동에 의하여 회전축에 결합됨으로써 동력을 전달하는 카운터 샤프트(counter shaft)방식의 내부구조를 나타내는 도식적인 그림이다.⁷⁾

기어 열은 독립된 회전 자유도를 갖는 터빈 기어 열, 센트럴 기어 열, 출력 기어 열로 구분되고 TCU는 속도센서를 이용하여 3개 기어 열의 회전속도를 측정한다. 변속비가 결정되기 위해서는 센트럴 기어 열을 중심으로 배치된 방향 클러치군(KV, KR, K4)과 속도 클러치군(K1, K2, K3)에서 각각 1개씩의 클러치가 결합되어야 하며 각 변속 단에서 결합되는 클러치는 Table 1과 같다. 여기서, F41과 F42는 정상작동모드에서는 사용되지 않으며 클러치나 비례제어 솔레노이드밸브 오작동이 검출되는 경우의 비상귀환 모드 시 적용되는 변속 단이다. 모든 변속은 하나 이상의 클러치를 해제(off-going element)하

• 동력전달경로

$$\omega_T \rightarrow (\omega_{KV}, \omega_{C1}) \rightarrow (\omega_{C2}, \omega_{K2}) \rightarrow \omega_{K3} \rightarrow \omega_O$$

• 속도 관계식

$$\omega_O = r_{KV} r_{C2} r_{K3} r_O \omega_T$$

Photo. 2 Gear train

Fig. 1 Schematic diagram of gear train

Table 1 Clutch engagement

Gear		Direction			Speed		
		KV	KR	K4	K1	K2	K3
F	1	○			○		
	2	○				○	
	3	○					○
	4			○			○
	41			○	○		
	42			○		○	
R	1		○		○		
	2		○			○	
	3		○				○

Fig. 2 Velocity diagram for forward 2nd gear

고와 다른 클러치를 작동(on-coming element)시킴으로써 변속이 진행되는 클러치 대 클러치 변속이다.

결합되는 2개 클러치에 의한 구속조건을 고려하면 각 변속 단계에서 모든 회전요소의 속도를 터빈속도로 나타낼 수 있으며 Fig. 2의 속도선도를 이용하면 각 회전요소의 상대적인 속도부호와 동력전달경로에 대한 파악이 편리하다.⁸⁾ KV와 K2 클러치가 결합되는 전진 2단에서의 속도선도를 나타내는 Fig. 2로부터 동력전달경로와 입출력 속도관계식을 유도하면 다음과 같다. 여기서 r_x 는 맞물려 회전하는 기어의 기어 비를 나타낸다.

2.2 토크 컨버터

토크 컨버터는 엔진 축과 직결된 펌프(pump), 기어 열 입력 축인 터빈(turbine), 유체의 흐름방향을 변경하는 스테이터(stator)의 3요소 1상으로 구성되며, 펌프와 터빈의 속도 차에 따라 토크증배기능을 가지는 휠 로더 자동변속기의 발전장치이다. 스테이터는 역방향 회전을 허용하는 일 방향 클러치 없이 하우징에 고정되어 토크 컨버터는 항상 컨버터 영역에서 작동되고 펌프와 터빈을 직결시키는 록업(lockup)장치는 설계되어 있지 않다.

2.3 유압제어시스템

상시 맞물려 회전하는 기어 열의 기어 회전체는 유압피스톤으로 작동되는 클러치에 의하여 회전축과 결합되어 동력을 전달하며 변속은 결합되는 클러치 조합을 변경함으로써 이루어진다.

Fig. 3은 클러치를 작동시키는 유압회로의 기능을 도식적으로 나타낸 블록선도이다. 엔진 축과 직결되어 회전하는 크레슨트(crescent)형 내접기어는 유압시스템 작동에 필요한 유량을 토출하고 릴리프 밸브에서는 클러치에 작용하는 기준압인 라인압력(p_{LINE})을, 솔레노이드압력 감압밸브에서는 2방향 비례제어 솔레노이드밸브 작동에 필요한 기준압력(p_{SR})을 발생시킨다. 클러치 피스톤에 작용하는 제어압력(p_{Kx})은 2방향 비례제어 솔레노이드 제어압(p_{PSVx})에 비례하여 클러치 공급유량을 증폭시키는 기능의 클러치압력 감압밸브에서 발생되고 동일하게 설계된 6개의 압력제어모듈이 6개 클러치 피스

Fig. 3 Functional block diagram of hydraulic system

톤의 압력을 독립적으로 제어하는 방식으로 설계되어 있다. 1kHz PWM 신호로 구동되는 비례제어 솔레노이드밸브는 구동전류에 비례하여 제어압이 발생하는 상시 저압 형(normally low)이며 자체적으로 제어압이 피드백되는 구조로 유온에 따른 제어압의 변화가 최소화되고 TCU에서는 전류제어를 통하여 배터리 전원과 온도에 따라 변화되는 솔레노이드 저항의 편차를 보상하도록 설계되어 있다.

2.4 TCU

자동변속기는 차량의 주행상태에 적절한 기어 비로 변속이 자동적으로 이루어지는 기능이 구현된 변속기이며 휠 로더 자동변속기는 마이크로 컨트롤러로 설계된 TCU에서 차량 주행상태와 관련하여 획득된 정보를 바탕으로 변속시점을 결정하고 변속 중 발생하는 충격을 저감시키기 위하여 클러치 압력을 조절하는 변속제어기능을 담당한다. 또한, 변속기에 설계된 제반 센서와 비례제어 솔레노이드밸브의 이상 작동상태를 파악하는 진단기능과 오류 검출 시 해당되는 작동모드로 전환하는 안전작동기능이 있으며 엔진 제어기(ECU), 차량 제어기(MCU)와 필요한 정보를 교환하는 CAN통신 기능이 구현되어 있다. TCU 내부 작동상태 정보 중 일부는 표시 장치로 출력되지만 속도, 온도 등의 보다 상세한 정보는 CAN을 통해 모니터링 할 수 있다.

휠 로더 변속모드는 변속레버 위치에 의하여 변속 단이 결정되는 수동변속모드와 지정된 변속 단 범위 내에서의 변속이 자동적으로 이루어지는 자동

Photo. 3 Transmission control unit

Fig. 4 TCU input and output signals

변속모드가 있으며 운전자가 조작하는 변속레버 및 조작 스위치는 모두 전기적인 신호로 인식하여 6개 클러치의 결합상태를 제어하는 shift by wire 방식이다. Photo. 3은 휠 로더 TCU 하드웨어를 나타내고 Fig. 4는 TCU 입출력 신호의 종류를 나타내는 블록 선도이다.

3. 변속기 시뮬레이터

시뮬레이터 설계를 위해서는 자동변속기 내부구조와 TCU 입출력 신호사양에 대한 분석결과를 바탕으로 TCU에서 오류가 발생되지 않도록 실제 작동상태와 유사한 센서 및 운전자 조작신호를 모사한 후 변속기 제어와 관련된 출력신호를 모니터링 하는 기능을 구현해야 한다.^{9,10)}

본 연구에서 설계된 변속기 시뮬레이터는 운전자

조작신호를 스위치와 버튼을 이용하여 전기적인 신호로 모사하였고 온도센서는 가변저항, 속도센서 신호는 기어 열 속도분석 결과를 바탕으로 변속단이 고정된 경우와 변속과도상태에서의 속도를 마이크로 컨트롤러에서 연산한 후 구형파 신호의 주파수를 변화시키는 방식으로 모사하였다. Fig. 5는 TCU 출력신호를 모니터링 하는 성능분석기, 4개의 속도센서신호를 모사하는 속도신호 발생기, PC에서 수행되면서 주행조건을 설정하고 제반 데이터를 수집하는 기능의 모니터링 프로그램으로 구성되는 자동변속기 시뮬레이터의 구성을 나타내고 Photo. 4는 개발된 시뮬레이터를 보여주는 사진이다. TCU에서 구동하는 6개 비례제어 솔레노이드밸브는 실제 부품을 이용하여 전류부하를 구현하였다. 변속 성능 분석을 위하여 모니터링 프로그램에서 수집하는 주요 정보는 비례제어 솔레노이드밸브 PWM 신호 듀티율(duty cycle), 구동전류, TCU 내부 작동상태를 나타내는 CAN 통신 데이터이며 직렬통신으로 송수신되어 PC에 저장된다.

4. 진단 및 안전작동 알고리즘 분석

TCU는 커넥트 입출력신호를 이용하여 자체적으로 작동오류여부를 판정한 후 검출된 오류코드의 특성에 따라 적절한 작동모드로 전환하는 자기진단 및 안전작동기능을 수행한다.

작동오류는 발생 원인에 따라 센서 및 액추에이터 오류와 논리적인 오류로 구분되거나 오류발생 원인이 정상적으로 복원 되었을 때 검출된 오류가 제거되는 복원가능 오류와 제거되지 않는 복원불능 오류로 구분된다. 변속레버나 온도센서 단선은 TCU가 지속적으로 오류여부를 판단하므로 정상적인 연결 상태로 복원되면 검출된 오류가 삭제되는 복원가능 오류이지만 비례제어 솔레노이드밸브 단선/단락은 오류 판정 후 TCU가 해당되는 솔레노이드에 대한 전류제어를 중지하므로 전기적인 연결이 복원되어도 오류가 남아있는 복원불능오류이다. 작동오류는 1 바이트 숫자로 표시되고 TCU에서 검출된 오류코드는 CAN으로 0.1sec마다 송신되므로 CAN 데이터를 모니터링 하면 TCU에서 인식하는 오류를 확인할 수 있다.

Fig. 5 Signal interface of transmission simulator

Photo. 4 Transmission simulator

Photo. 5 Monitoring program main window

TCU에서 오류가 검출되면 발생 원인이 변속기 작동에 미치는 영향을 고려하여 안전한 차량 주행이 가능하도록 적절한 작동모드가 설계되어 있으며 휠 로터 TCU 안전작동모드의 종류와 작동특성은 다음과 같다.

(1) 정상작동 (Normal)

아무런 이상이 없거나 정상작동에 영향을 미치지 않는 오류가 검출되는 경우이다.

(2) 대체 클러치 제어 (Substitute Clutch Control)

입력토크와 출력속도의 작동조건을 고려한 정상적인 변속제어가 불가능한 경우로 변속 시 클러치 작동 및 해제는 변속시간에 대하여 설계된 일정한 기준전류제책을 따라 개루프 방식으로 제어된다.

(3) 비상귀환 (Limp Home)

비례제어 솔레노이드밸브 또는 기계적인 클러치 오류로 인하여 변속레버에서 설정된 변속 단으로 변속이 불가능한 경우이다. 기어변속은 불가하고 출력축 속도가 임계속도보다 작은 경우에 한해서 비상귀환 모드에서 설정된 변속 단으로 중립-전후진, 전후진 셔틀변속만이 가능하다.

(4) 변속기 작동정지 (T/M Shutdown)

전원 오류나 다수의 클러치 오류로 인하여 주행이 불가한 오류가 검출되는 경우로 TCU는 비례제어 솔레노이드밸브 전원을 차단하고 중립상태를 유지한다. TCU의 디지털 출력과 통신기능은 정상 작동된다.

(5) TCU 작동정지 (TCU Shutdown)

TCU 작동이 불가한 오류가 검출되는 경우로 비례제어 솔레노이드밸브와 디지털 출력전원을 차단하고 중립기어를 유지한다. 분석대상 TCU는 시동키에 의하여 전원이 차단될 때 CAN 통신 데이터로 TCU 작동정지 오류코드를 송신한다.

4.1 정상작동 모드 변속특성

정상작동모드에서는 자동변속모드에서 변속시점을 결정하는 변속선도와 변속 시 입력토크 변화에 따른 전류제책을 분석하였다.

4.1.1 자동 변속선도

자동변속모드에서 TCU는 변속기 입력토크와 출력축 속도로 설계된 변속선도에 의하여 자동변속기능을 수행한다. 변속선도는 엔진과 터빈 속도 차를 일정하게 유지시킨 상태에서 엔진속도를 10rpm/sec로 매우 서서히 변화시키면서 변속이 발생하는 출력축 속도를 기록하여 파악하였다. 변속기 입력토크는 변속기에 장착된 토크 컨버터 특성을 이용하여 엔진과 터빈속도 차로부터 다음과 같이 입력토크를 계산할 수 있다. 식 (1), (2)는 토크 컨버터 정특성 시험결과를 나타내는 식이고 식 (3)은 두 식으로부터 유도되는 변속기 입력토크이다.

$$\bullet \text{ 토크비: } TR(r) = T_T / T_P \quad (1)$$

$$\bullet \text{ K-factor: } K(r) = N_P / \sqrt{T_P} \quad (2)$$

여기서, $r = N_T / N_P$: 속도비

N_P, N_T : 펌프, 터빈속도

T_P, T_T : 펌프, 터빈토크

$$\bullet T_T = TR(r) [N_P / K(r)]^2 \quad (3)$$

Fig. 6은 변속기 시뮬레이터를 이용하여 파악된 전진 변속선도를 나타낸다. 후진 변속선도는 전후진 1, 2, 3단의 기어비가 동일하므로 전진 변속선도와 동일하다. 변속선도는 상향과 하향변속 시점이 상이한 히스테리시스 특성과 입력토크가 클수록 변속이 지연되는 특성을 나타낼 수 있다.

4.1.2 변속 전류제책

Fig. 7은 자동변속모드에서 토크 컨버터 펌프와 터빈 속도 차(DNeNt)에 따른 F2→F3 상향변속 시험 결과이다. 엔진과 터빈 속도 차가 클수록 변속기 입력토크는 증가하므로 변속이 지연되고(즉, 변속이 개시되는 출력축 속도가 증가하고) TCU는 변속 중 작동되는 K3와 해제되는 K2 클러치의 비례제어 솔레노이드밸브 구동전류제책을 높게 제어함을 알 수 있다. TCU는 변속기 입력토크를 토크 컨버터 정특성 데이터로부터 연산하므로 변속 시 전류제책은 엔진속도의 절대 값보다는 토크 컨버터 속도 차에 의해 결정된다. Fig. 7에서 출력축 속도는 TCU에서 CAN으로 송신하는 정보를 모니터링 한 결과이다.

4.1.3 온도센서 오류

분석대상 자동변속기는 밸브블록 오일 흡입구와 토크 컨버터 출구 측에 유온센서가 장착되어 있다. 유온센서는 온도에 따라 저항이 변화되고 TCU 송신 CAN 데이터에는 유온정보가 포함되어 있으므로 가변저항을 이용하면 유온센서 특성과 온도센서 오류검출 조건을 파악할 수 있다.

Table 2는 가변저항을 이용해서 시험한 결과를 나타낸다. 오일 흡입구 유온센서(ER1)는 온도에 따라 저항이 선형적으로 증가하는 RTD형이고 토크 컨버터 유온센서(ER2)는 저항이 지수함수의 형태로 감소하는 NTC형 서미스터이다. 유효전압범위는 ER1

Fig. 6 Identified shift map with transmission simulator

Fig. 7 F2→F3 upshift for different input torques

이 0.8-2.7V, ER2가 1.5-4.85V로 파악되었다. 온도센서 오류가 검출되면 TCU는 미리 설정된 유온에 대하여 정상작동하며 온도센서 출력이 유효전압범위로 복원되면 검출된 오류가 제거된다.

4.2 대체 클러치 제어 모드 변속특성

Fig. 8은 엔진속도센서가 단선된 대체클러치 제어모드에서 엔진속도는 1,300rpm으로 일정하고 터빈속도가 900rpm과 500rpm인 경우에 대한 변속시험결과이다. 터빈속도가 900rpm인 경우에 토크 컨버터 속도 차(DNeNt)는 400rpm이고, 터빈속도가 500rpm인 경우에는 800rpm의 속도 차에 해당된다. 변속 개시시점에서 입력토크가 다른 상태에서 발생하는 변속 전류특성을 비교한 결과 동일함을 확인하였다. 이로부터 대체 클러치 제어 모드에서는 변속조건(입력토크와 차속)에 무관하게 각각의 변속

에 대하여 하나의 전류계적으로 변속이 진행됨을 알 수 있다.

Fig. 9는 터빈 속도센서가 단선된 상태에서 2단 전후진 변속(F2→R2, R2→F2) 시험결과를 나타낸다. 대체 클러치 제어 모드에서 전후진 변속 시 전류계적은 KV와 KR 클러치 충전영역을 제외하고 변속 조건에 무관하게 전진-후진 및 후진-전진의 전류계적이 동일한 형태로 변속이 진행된다.

Table 2 Clutch engagement

ER1 (sump)			ER2 (converter)		
Volt [V]	Temp. [°C]	Error	Volt [V]	Temp. [°C]	Error
0.0	204	○	0.0	204	○
0.8	-50	-	1.5	150	-
1.2	-24	-	2.1	130	-
1.4	0	-	2.4	120	-
2.0	70	-	2.45	119	-
2.7	165	-	4.85	29	-
2.8	204	○	4.9	204	○

Fig. 8 F2→F3 upshift at substitute clutch control

Fig. 9 F2→R2, R2→F2 at substitute clutch control

4.3 비상귀환 모드 변속특성

클러치나 비례제어 솔레노이드밸브 오작동으로 인하여 정상작동 모드 변속 단으로 주행이 불가한 비상귀환 모드에서의 변속 단은 각 클러치에 해당되는 비례제어 솔레노이드밸브를 단전시켜 파악하였으며 결과를 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 ‘x’는 오작동 상태를 나타내고 ‘-’는 오작동에 무관함을 의미한다. 즉, K1 클러치가 정상, K2 클러치가 오류이면 K3 클러치에 무관하게 전진 시에는 F41 변속 단이 적용된다.

Fig. 10은 시뮬레이터에서 변속완료 시간을 5초로 설정하였을 때 정상작동 모드에서 발생하는 F1→F2 상향변속 시험결과이다. TCU는 설계된 전류 궤적으로 변속제어를 수행한 후 측정된 회전속도로부터 클러치가 결합되지 않았다고 판단하여 클러치 작동오류를 검출한다. 클러치 슬립오류가 인식되면 모든 비례제어 솔레노이드밸브를 해제하여 변속기를 중립상태로 전환한 후 비상귀환 모드로 전환하며, 이후 전진 및 후진 변속은 Table 3의 변속 단이 적용된다.

Fig. 11은 K2 비례제어 솔레노이드밸브가 단전된 비상귀환 모드에서 1단 전후진 변속(F41→R1) 시의 전류궤적을 나타낸다. 변속이 개시되면 K4 해제클러치 전류는 신속하게 저하되고 KR 클러치 전류만이 일정한 기울기로 증가하면서 변속이 진행된다. 대체 클러치 제어 모드에서의 전후진 변속인 Fig. 9

Fig. 10 Clutch slip error response for F1→F2 upshift

Fig. 11 1st gear shuttle shift(F41→R1) at limphome

와 비교하면 비상귀환 모드에서는 결합되는 클러치 전류만으로 변속이 제어됨을 알 수 있다.

5. 결 론

휠 로더 자동변속기는 기어 열, 토크 컨버터, 유압 제어시스템, 클러치 등으로 설계되는 기계적인 동력전달장치와 제반 센서정보로부터 변속기 작동상태를 파악하고 전기적인 신호로 변속을 제어하는 기능의 TCU로 구성된다.

최근 차량용 핵심부품의 주요 연구개발 동향은 전자제어를 통한 성능향상에 있으며, 변속 알고리즘과 다양한 제어로직이 프로그램으로 구현된 TCU 펌웨어는 역설계가 불가능하므로 독자적인 연구와 반복적인 시험을 통해서만 개발이 가능하다.

변속기 시뮬레이터는 TCU 입출력 신호모사를 통하여 변속기가 배제된 상태에서 TCU를 정상 작동

Table 3 Limphome forward gears

Dir		Spd			Gear	Op. Mode
KV	K4	K1	K2	K3		
○	○	-	○	-	F2(KV, K2)	limphome
		○	×	-	F41(K4, K1)	
		×	×	○	F3(KV, K3)	
		×	×	×	-	T/M shutdown
○	×	-	○	-	F2(KV, K2)	limphome
		-	×	○	F3(KV, K3)	
		○	×	×	F1(KV, K1)	
		×	×	×	-	T/M shutdown
×	○	-	○	-	F42(K4, K2)	limphome
		○	×	-	F41(K4, K1)	
		×	×	○	F4(K4, K3)	
		×	×	×	-	T/M shutdown
×	×	-	-	-	-	T/M shutdown

시키는 기능을 갖는다. 시뮬레이터를 활용하면 작동조건을 설정한 후 TCU 응답을 분석함으로써 변속제어와 진단알고리즘 개발과 관련된 기초자료를 확보할 수 있다.

본 연구에서는 선진제품 TCU에 설계된 펌웨어의 변속제어기능을 분석하기 위하여 휠 로더 자동변속기의 내부구조와 작동원리를 파악한 후 이를 바탕으로 제반 센서의 전기적 신호를 실시간으로 모사하는 기능의 시뮬레이터를 개발하였으며 이를 이용한 다양한 시험을 통해 진단 및 안전작동 알고리즘을 분석하였다. 정상작동모드에서는 변속선도와 변속조건에 따른 비례제어 솔레노이드밸브 전류궤적을 분석하였고 발생하는 오류의 종류에 따른 대체 클러치 제어 모드와 비상귀환 모드와 해당되는 안전작동 모드에서 오류판단조건, 비상귀환 모드에서의 전진 및 후진 변속 단, 변속제어 시의 전류궤적 등을 확인하였다.

개발된 변속기 시뮬레이터는 기존에 상용화된 TCU의 변속 알고리즘 분석뿐만 아니라 독자적으로 개발하는 TCU 운영프로그램 검증에도 활용될 수 있다.

References

- 1) S. S. Kim, S. Y. Jeong and C. H. Lee, "Development of a Haptic Steering System for a Low Cost Vehicle Simulator using Proving Ground Test Data," Transactions of KSAE, Vol.13, No.2, pp.37-43, 2005.
- 2) R. J. woermann, B. Klages and H. J. Theuerkauf, "Carts- A Hardware in the Loop Simulator for Test and Development of Automotive Control Units," SAE 961019, 1996.
- 3) C. Wang, "Development and Implementation of a Powertrain Electrical System Simulator with Computer-controlled Fault Generation," SAE 2006-01-1599, 2006.
- 4) G. H. Jung and K. I. Lee, "Hardware-in-the-loop Simulation of Automatic Transmission for Passenger Cars," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.355-362, 2000.
- 5) G. H. Jung and K. I. Lee, "A Research on Shifting Controller Development of a Automatic Transmission for Construction Vehicle," Transactions of KSAE, Vol.10, No.2, pp.234-242, 2002.
- 6) ZF-Ergopower Transmission 4WG-260, ZF, 2001.
- 7) G. H. Jung, S. H. Shin, S. I. Lee and K. J. Hwang, "Analysis of Automatic Transmission Gear Train for Wheel Loader," Proceedings of the KFPS Fall Conference, pp.104-110, 2006.
- 8) H. Benford and M. Leising, "The Lever Analogy: A New Tool in Transmission Analysis," SAE 810102, 1981.
- 9) G. H. Jung, S. H. Shin, S. I. Lee and H. J. Kim, "A Development of TCU Analyzer for Wheel Loader Automatic Transmission," KSAE Fall Conference Proceedings, pp.1405-1410, 2006.
- 10) G. H. Jung, S. H. Shin and S. I. Lee, "Development of an Automatic Transmission Simulator for a Wheel Loader," Transactions of KFPS, Vol.4, No.2, pp.7-20, 2007.