

오프로드 차량 자동변속기 자기진단 및 안전작동 기술 Technologies of On-Board Diagnosis and Failsafe for Off-Road Vehicle Automatic Transmission

정규홍
Gyu Hong Jung

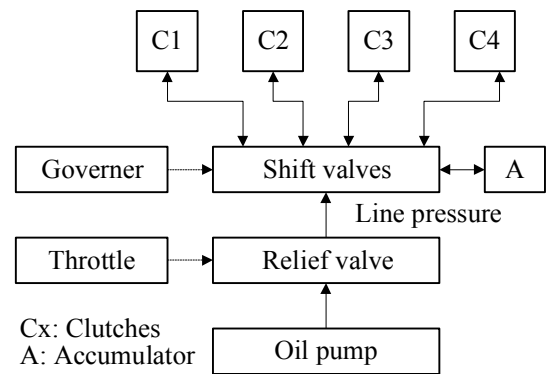
1. 서 론

자동변속기는 차량 주행상태에 적절하게 엔진의 동력특성을 자동으로 변환시키는 기능의 동력전달 장치로 원동기로 내연기관을 갖는 모든 차량에 탑재되며 다양한 방식으로 설계된다. 여기서 엔진의 동력특성을 변환한다는 의미는 차속에 따라 엔진토크 증배 비를 변화시키는 것으로 정지 상태에서 발진 시 또는, 저속 주행 시에는 가속에 필요한 큰 구동력을 발생시키기 위해 큰 변속 비(엔진 속도에 대한 차륜 속도의 비)를 유지하고 고속주행 시에는 주행저항에 해당되는 작은 구동력이 발생되도록 작은 변속 비로 변화된다.

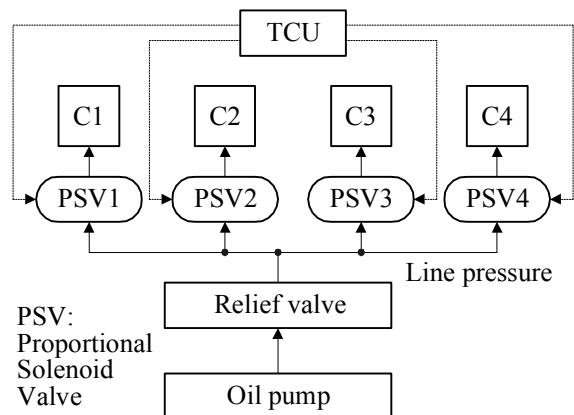
변속 비를 가변시키는 기계적인 동력전달장치는 많은 경우에 기어 열(gear train)이 이용되지만 금속 벨트 또는 구면의 마찰을 이용하거나 유압펌프와 모터로 구성되는 정 유압변속기로 구현될 수도 있다. 승용차용 자동변속기는 금속벨트를 이용한 무단 변속기도 상용화되었지만 건설기계, 농기계, 고속 궤도차량과 같이 본고의 대상인 오프로드 차량은 일부 소형에는 정 유압변속기가 적용되지만 동력전달효율이 낮은 단점으로 인해 대부분 기어 열 방식으로 자동변속기가 설계되고 있다.

Fig. 1은 기어 열 방식 자동변속기의 변속기능을 수행하는 유압시스템의 설계기술 변화를 나타내는 도식적인 그림¹⁾으로 Fig. 1(a)는 기계식 자동변속기의 변속제어방식이다. 릴리프밸브는 엔진과 직결되어 회전하는 오일펌프에서 토출되는 유량으로부터 라인 압을 조절하는데 가속페달 작동 량이 클수록 큰 입력토크를 보상하기 위해 높은 압력이 형성되고 거버너에서 측정되는 차량속도에 따라 변화되는 압력으로 변속 밸브가 작동하여 결합되는 클러치가 전환되어 변속이 이루어진다. 이에 비하여 Fig. 1(b)는 전자제어방식으로 변속하는 유압시스템을 나타낸다. 릴리프 밸브는 일정한 라인 압을 조절하고 변속제어기(Transmission Control Unit)에서 차량 주행

상태를 파악하여 변속시점을 결정하고 입력토크, 차속, 유온 등의 작동상태 정보를 고려하여 변속 시 클러치 압력을 전기적인 신호로 작동되는 비례 솔레노이드밸브로 제어한다. 자동변속기 유압시스템에 적용되는 비례 솔레노이드밸브는 전류에 비례하는 제어 압을 발생시키는 감압밸브로 전자제어방식 자동변속기의 변속성능을 결정하는 핵심적인 부품이다. 이전에는 가격이 높고 유압 피스톤 작동에 필요한 제어유량이 충분치 않아 2차 감압밸브로 유량을 증폭시키는 형태로 설계되었으나 최근에는 솔레노이드 전기 액추에이터에서 상당한 기술진보가 이루어져 비례 솔레노이드밸브 자체의 제어유량만으로



(a) hydraulic control system



(b) electro-hydraulic control system

Fig. 1 Types of transmission shift control

클러치 피스톤 구동이 가능하고 높지 않은 가격으로 각 클러치에 독립적으로 비례 솔레노이드 밸브를 적용함으로써 유압시스템 설계가 단순화되고 있다.

마이크로 컨트롤러에서 실행되는 임베디드 프로그램(embedded program)으로 변속제어기능을 구현하는 전자제어방식 변속제어기는 기계식 변속제어기에 비하여 매우 많은 장점을 갖지만 대표적으로는 변속제어 알고리즘의 유연성과 다양하고 복잡한 제어기법을 도입하여 변속성능 향상을 도모할 수 있다는 점 외에도 변속기에 장착된 각종 센서와 액추에이터의 이상 작동여부를 파악하여 오류를 판정하고 오류특성에 따라 적절한 작동모드로 전환하는 안전작동(failsafe) 기능의 구현이 가능하다는 점이다. 전자제어기술이 일찍이 도입된 승용차는 OBDII(On-Board Diagnostic II)의 표준 자기진단 시스템을 적용되고 있지만 응용분야가 다양한 건설기계나 농기계 차량의 자동변속기 자기진단 기능은 개발 업체마다 고유한 방식으로 설계한 후 독자적으로 정의된 CAN 프로토콜을 이용해서 TCU에서 검출된 오류코드를 전송하는 방식으로 개발되고 있다.

오프로드 차량 자동변속기와 관련된 국내 업체의 기술개발은 90년대 말과 2000년대 초부터 시도되었고 건설기계와 농기계용 자동변속기 개발과 관련된 국책 연구과제가 다수 수행되었음에도 불구하고 전자식 자동변속기는 여전히 국산화 개발이 완료되지 않은 상태이다. 국산화 개발이 지연되는 이유는 자동변속기 소요수량이 승용차에 비해 매우 작아서 완성차 업체의 개발의지가 절실하지 않고 실제적인 기술개발을 담당하는 중소기업의 전자제어방식 변속제어기 기술개발 역량이 부족하기 때문으로 분석된다. 그러나 점차 오프로드 차량에도 4차 산업혁명과 연관된 자율주행, 자율작업 등의 첨단기능이 구현되고 있는 개발추세를 고려하면 전자식 자동변속기 국산화 개발은 선택이 아닌 필수이며 이를 위해서는 변속제어기능뿐만 아니라 자기진단기능도 함께 구현되어야 하므로 이에 대한 연구개발도 절실한 실정이다. 자동변속기 자기진단과 관련된 국내 기술은 전무한 상태이고 기술이전이 엄격히 제한되는 최근 상황에서는 해외 기술도입도 난망하므로 어렵더라도 자체적인 연구와 기술개발이 불가피하다고 판단된다.

본고에서는 휠 로더 자동변속기와 고속 무한궤도 차량 자동변속기에 적용되는 변속제어기를 대상으로 개발된 변속기 시뮬레이터^{2,4)}를 이용한 시험으로

부터 파악된 자기진단 및 안전작동 기능에 대해 설명하고자 한다. 상용 변속제어기는 임베디드 프로그램에 설계된 자기진단기능으로 커넥터의 모든 입출력 신호가 정상인 경우에만 작동하므로 실차에 장착된 상태에서 정상 작동한다. 이에 비하여 변속기 시뮬레이터는 변속제어기 입출력 신호 모사를 통해 변속기가 배제된 상태에서도 변속제어기의 정상 작동을 가능케 할 수 있어 다양하게 설정된 작동조건에 대해 변속제어기 출력을 분석함으로써 임베디드 프로그램에 설계된 변속선도, 변속제어기능, 자기진단기능 등에 대한 역설계가 가능하다. 오프로드 차량의 자동변속기 자기진단기술은 응용분야가 다양하여 표준화되어 있지 않으므로 상용화 개발을 위해서는 많은 경험과 오랜 기술개발기간이 필요하지만 변속기 시뮬레이터를 이용해서 상용 변속제어기에 구현된 기능을 분석하여 활용한다면 설계오류를 감소시켜 기술개발기간 단축에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

2. 자동변속기 구조와 작동원리

휠 로더, 지게차와 같은 건설기계나 트랙터로 대표되는 농기계, 전차와 같은 고속 궤도차량에 탑재되는 자동변속기는 기어 열을 통해 동력이 전달되나 기어 열의 배치구조와 변속 단수는 모두 다르며 이에 따라 변속기구인 유압시스템과 변속제어기도 고유한 기어 열에 적절하게 설계되어야 한다.

일반적인 오프로드 차량에 탑재되는 자동변속기의 내부구조를 나타내면 Fig. 2와 같고 주요 구성요소인 토크 컨버터, 클러치 팩의 마찰요소가 포함된 기어 열, 유압시스템, 변속제어기에 대한 간략한 설명은 다음과 같다.

2.1 토크 컨버터

Fig. 3과 같이 펌프, 터빈, 스테이터의 3 요소로 구성되는 토크컨버터는 엔진과 직결되어 회전하는 펌프에서 배출되는 오일의 운동에너지로 변속기 입력축인 터빈에 동력을 전달하는 유체기계이며 펌프와 터빈의 속도 차에 따라 토크증배기능을 가지는 발전장치이다. 고속 궤도차량용 자동변속기는 펌프와 터빈 속도 차에 의해 발생하는 에너지 손실을 저감하기 위해 록업(lockup) 장치가 설계되어 있으나 건설기계는 대부분 저속에서 반복적인 작업을 수행하므로 록업기능이 없다. 트랙터는 토크 컨버터

가 없으며 습식 다관 클러치를 이용하여 엔진동력을 변속기로 전달한다.

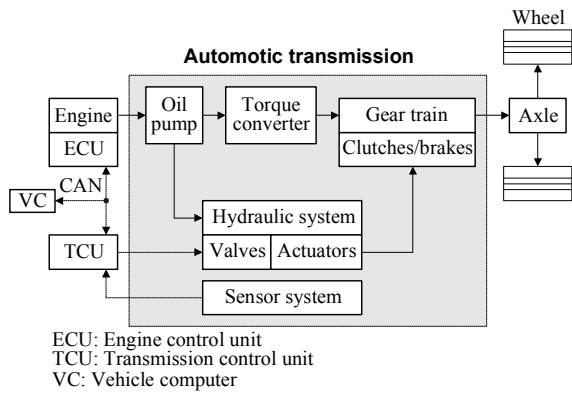


Fig. 2 Configuration of automatic transmission

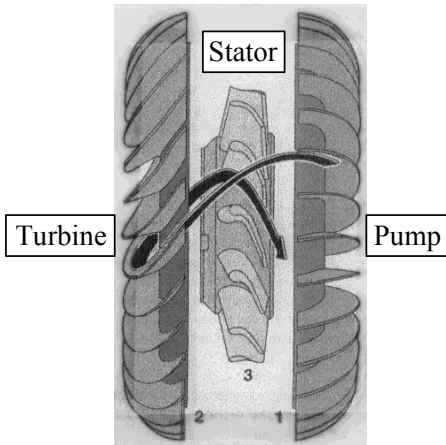


Fig. 3 Torque converter

2.2 기어 열

기어 열은 자동변속기 개발업체마다 고유한 배치 (layout)로 설계하는데 Fig. 4는 전진 4단, 후진 3단의 휠 로더 자동변속기 기어 열의 내부구조를 나타내며 Table 1은 각 변속 단에서 결합되는 클러치 조합이다. Fig. 4의 기어 열은 입력 기어 열, 중앙 기어 열, 출력 기어 열의 3 자유도를 가지므로 변속비가 결정되기 위해서는 방향 클러치와 속도 클러치에서 하나 씩 결합되어야 하며 항상 하나의 클러치를 해제하고 다른 클러치를 결합하는 클러치 대 클러치 변속으로 변속단이 변화된다. Fig. 5와 Table 2는 전진 6단, 후진 3단의 고속 궤도차량 자동변속기 기어 열과 변속 단별 결합 클러치 조합이다. 단순 유성기어 6개를 결합하는 방식이며 3개의 클러치 또는 브레이크가 작동되어야 변속비가 결정되며 결합되는 마찰요소를 전환하는 방식의 변속은 휠 로더와 동일하다. 변속 시 결합되는 클러치 교체는 대

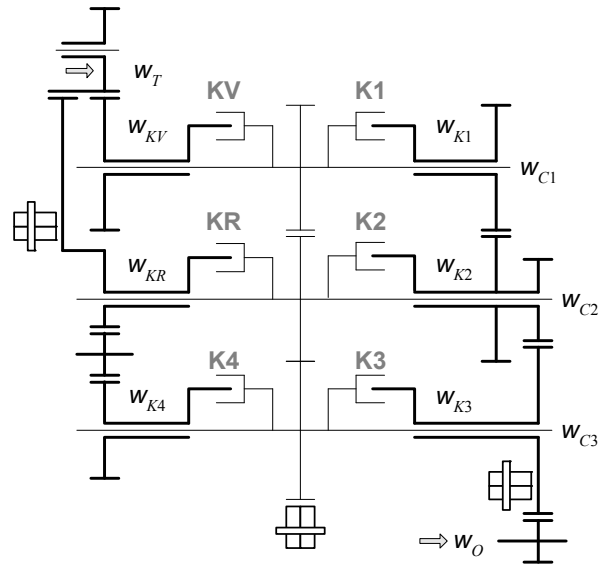


Fig. 4 Gear train of wheel loader A/T

Table 1 Clutch engagement for wheel loader

Gear	Direction			Speed		
	KV	KR	K4	K1	K2	K3
N						
F	1	●		●		
	2	●			●	
	3	●				●
	4			●		●
R	1		●	●		
	2		●		●	
	3		●			●

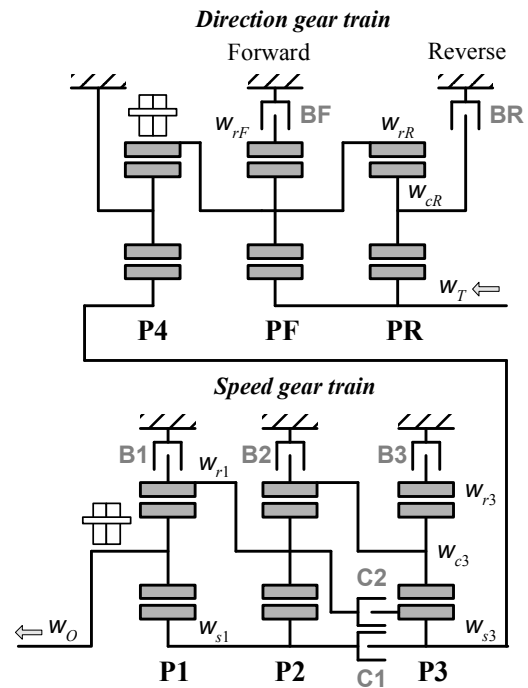


Fig. 5 High speed tracked vehicle gear train

Table 2 Clutch and brake engagement for high speed tracked vehicle

Gear	BF	BR	C1	C2	B1	B2	B3
N			●			●	
F	1	●	●		●		
	2	●	●			●	
	3	●		●			●
	4	●		●	●		
	5	●			●		●
	6	●			●	●	
R	1		●		●		
	2		●	●		●	
	3		●	●			●

체로 1초 내외의 짧은 시간동안에 완료되며, 변속전 후 변속비 차로 인해 엔진속도가 급격히 변화하여 변속충격(shift shock)이 유발될 수 있으므로 변속 중 회전속도가 완만하게 변화되도록 클러치 작동압력을 제어해야 한다.⁵⁾

2.3 유압시스템

클러치를 통한 동력전달은 플레이트와 디스크 사이에 작용하는 마찰력으로 이루어지는데 유압피스톤은 작동압력에 비례하는 마찰력을 발생시키는 변속기구로 이용되고 변속기 유압시스템은 유압피스톤 작동에 필요한 유압에너지를 공급하는 기능을 갖는다. 엔진과 직결되어 회전하는 오일펌프는 엔진 회전속도에 비례하는 오일을 토출하고 릴리프 밸브를 통해 클러치에 작용하는 기준압인 라인압력이 조절된다. 변속제어기는 유압피스톤에 작용하는 압력을 조절하는 비례 솔레노이드밸브를 이용해서 변속 시 결합과 해제되는 클러치 압력을 적절하게 제어함으로써 부드러운 변속을 구현한다. Fig. 6은 BOSCH사의 2방향 파일럿 형과 HYDAC사의 3방향

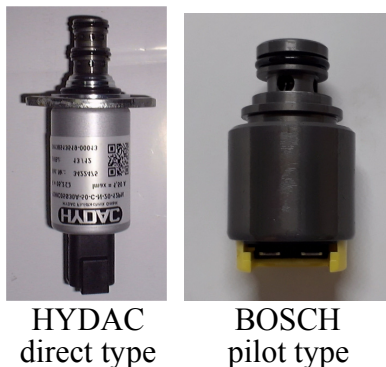


Fig. 6 Proportional solenoid valve for A/T

직접제어 형 비례 솔레노이드밸브를 나타내며 최근에는 직접제어 형을 적용하여 유압시스템을 단순화하고 있다. 비례 솔레노이드밸브 제어압은 코일전류에 비례하므로 변속제어기는 비례 솔레노이드밸브 전류제어를 통해 배터리 전원과 온도에 따라 변화되는 솔레노이드 코일저항의 편차를 보상한다.

2.4 변속제어기

전자유압제어기술의 발전으로 90년대 말부터 개발되는 자동변속기는 대부분 변속제어기가 적용된 전자제어방식으로 개발되었고 최근에는 변속제어와 자기진단뿐만 아니라 다양한 전자제어장치(Electronic Control Unit) 결합을 통해 자율작업, 무인화 등의 첨단 기능이 구현된 스마트 차량으로 기술개발이 이루어지는 추세이다. 변속제어기는 전기적인 신호를 처리하는 회로로 구성되는 PCB 하드웨어와 변속 및 진단과 관련된 기능이 프로그램으로 구현된 임베디드 소프트웨어로 구분되며 핵심기술은 모두 임베디드 소프트웨어에 포함된다. 변속제어기의 기본적인 기능은 각종 센서를 통해 변속기 작동 상태(회전속도, 유온 등)와 운전자 조작신호(변속레버 위치, 가속페달 작동 량 등)를 파악한 후 내장된 변속제어 알고리즘에 의해 변속시점을 결정하고 변속 중 발생하는 충격을 저감시키기 위하여 클러치 압력을 조절하는 변속제어이다. 최근에는 변속기와 관련된 운전자 조작을 모두 전기적인 신호로 파악하여 변속기가 작동되는 shift by wire 방식으로 설계함으로써 운전자 개입 없이 자율작업이나 자율주행이 가능하다. Fig. 7은 휠 로더 자동변속기에 적용되는 변속제어기 PCB를 나타낸다. 변속제어기 임베디드 소프트웨어에 구현되는 주요 기능을 요약하면 다음과 같다.

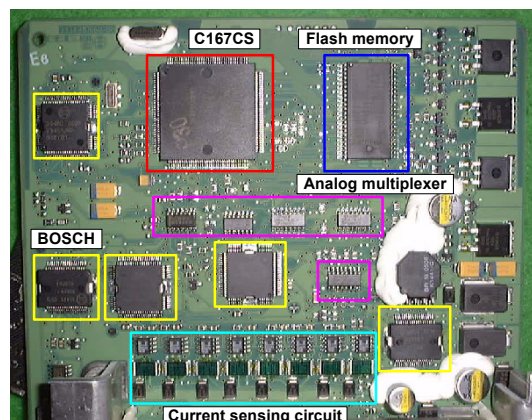


Fig. 7 TCU(Transmission Control Unit)

- 1) 변속시점 결정
 - 수동 및 자동변속모드에서 변속여부 결정
- 2) 변속 제어
 - 비례제어 솔레노이드 밸브 전류제어
 - 유온보상 알고리즘

: 유온에 따른 유압제어시스템의 특성변화를 보상하여 안정된 변속품질을 도모한다.

 - AEB calibration 기능

: 클러치 간격과 마찰계수 변화를 보상하기 위한 off-line 방식의 학습제어기능이다.
- 3) 자기진단 및 안전작동기능
- 4) CAN 통신기능
 - : 차량에 장착되는 엔진 제어기(ECU), 차량제어기(VC)와 필요한 정보를 교환한다.
- 5) 진단장비와의 통신기능

3. 변속제어기 자기진단 기능

3.1 오류코드

변속제어기에는 커넥터 입출력신호의 전기적 특성 및 변속기 작동의 논리적인 특성으로부터 작동 오류여부를 판정한 후 검출된 오류의 특성에 따라 적절한 작동모드로 전환하는 자기진단 및 안전작동기능이 설계되어 있다.

작동오류는 오류가 발생하는 작동요소에 따라 센서 및 액추에이터 오류와 논리적인 오류로 구분되거나 오류발생 원인이 정상적으로 복원 되었을 때 검출된 오류가 제거되는 복원가능 오류와 제거되지 않는 복원불능 오류로 구분될 수 있다. 운전자 작동 신호 오류나 온도센서 단선 등은 변속제어기가 지속적으로 신호상태를 확인하므로 정상적인 연결 상태로 복원되면 검출된 오류가 삭제되는 복원가능 오류이지만 비례 솔레노이드밸브 단선/단락은 오류 판정 후 변속제어기가 해당 솔레노이드에 대한 전류제어를 중지하므로 전기적인 연결이 복원되어도 오류가 남아있는 복원불능 오류이다. 대부분의 오류는 변속제어기 전원이 제거되면 삭제되지만 비휘발성 메모리(nonvolatile memory)에 저장되는 오류는 변속제어기 초기 기동 시 오류가 재 복원된다. 클러치 자동보정 데이터 오류가 대표적이며 이를 삭제하기 위해서는 클러치 자동보정을 수행해야만 한다.

변속제어기에서 검출된 작동오류는 1 바이트의 오류코드로 표시되므로 최대 256개 오류로 분류될 수 있으며 Table 3은 휠 로더 변속제어기의 오류코

드 분류를 나타낸다.⁶⁾ 오류코드는 CAN으로 송신되는데 송신 프로토콜은 업체마다 다르므로 오류코드 확인을 위해서는 변속제어기의 CAN 통신 프로토콜에 대한 정보를 입수해야 한다. 참고로 휠 로더는 0.1sec마다 지정된 PGN(parameter group number)로 오류코드를 송신하고 고속 무한계도 차량은 1.25sec마다 4개의 malfunction data frame의 특정 비트를 셋하여 오류코드를 송신한다.⁷⁾

Table 3 Error code group in wheel loader TCU

High Nibble	Meaning of the error
1-Hex	Digital input signal
2-Hex	Analog input signal
3-Hex	Speed signal
4/5/6-Hex	CAN signal error
7/8-Hex	Analog current output signal
9/A-Hex	Digital output signal
B-Hex	Transmission error, Clutch error
C-Hex	Logical error
D-Hex	Power supply
E-Hex	High speed signal
F-Hex	General error

3.2 오류 검출알고리즘

Table 3에 제시된 변속기 오류는 정상작동 상태에서 벗어나는 경우에 검출되는데 입출력 신호가 변화되는 과도상태에서는 정상작동조건에 부합하지 않을 수도 있으며 아날로그 신호에 대한 A/D 변환에는 항상 어느 정도의 잡음이 존재하므로 오류판정이 잘 못될 수 있다. 변속기에서 발생하는 오류를 안정적으로 판정하면서 오류 발생 시 신속하게 식별하기 위해서는 오작동 상태의 종류와 특성을 분류하고 오류판정 조건에 대한 명확한 설계를 바탕으로 다양한 작동조건에서 구현된 진단알고리즘에 대한 검증이 필요하다.

변속제어기 진단알고리즘은 판정기준 데이터가 정상작동범위를 벗어나는 경우에 신속하게 검출되도록 설계되어야 한다. 그러나 오작동 상태에 대한 판정기준이 너무 민감하면 정상적인 작동상태에서도 작동조건 변화에 따른 과도응답 특성과 신호잡음에 의하여 오류로 판정될 수 있으며, 너무 둔감하면 오류가 검출되지 않거나 오류가 검출될 때까지 다소 많은 시간이 소요되게 된다. 따라서 오류판정의 신뢰성을 높이면서 오류검출에 소요되는 오류판정 대기시간을 줄이기 위해서는 분류된 오류의 특

다. 이 때 록업 클러치 비례 솔레노이드 전원은 차단되지 않으므로 LK 비례 솔레노이드 전류는 유지된다. 비례 솔레노이드밸브 전원 차단 0.2초 후에 CAN 오류 메시지(No. 151)를 전송하므로 BF 단선 후 오류가 전송될 때까지의 오류 판정 대기시간은 약 0.7초임을 확인하였다.

• 유압시스템 공급압력 오류

변속제어기 아날로그 입력 중 EU1은 변속기 유압 시스템의 공급압력을 측정하는 센서 출력전압이다. 공급압력과 관련된 오류가 발생되고 해제되는 EU1 전압범위를 분석하기 위하여 시뮬레이터를 이용하여 삼각파형의 EU1 전압을 발생시켜 변속제어기에 인가하였으며 Fig. 11은 시험결과를 보여주며 EU1 전압과 관련된 오류는 다음과 같다.

- No. 40(Main pressure low)
- No. 67(Main pressure sensor open circuit)
- No. 68(Main pressure sensor pos. short)

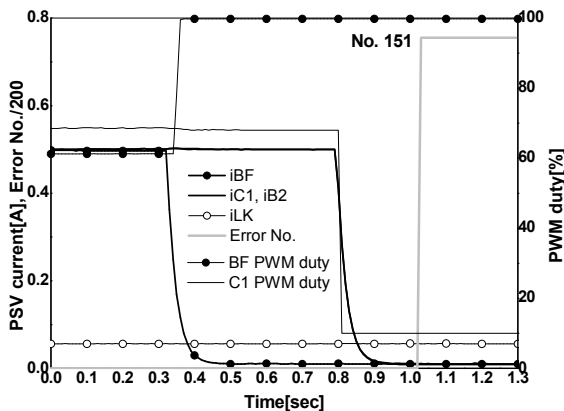


Fig. 10 BF PSV open circuit error(No. 151)

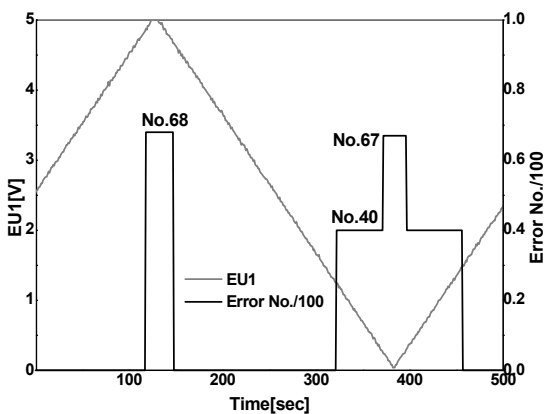


Fig. 11 EU1 errors with auto scan function

500초 주기의 아날로그 전압 자동스캔이 시작되면 EU1은 초기 값 2.53V부터 증가하여 한 주기의 삼각

파 형으로 전압이 변화하게 된다. Fig. 11에서 No. 68오류가 발생하는 전압은 4.80V 이상이며, 삭제되는 전압은 4.78V 이하로 히스테리시스(hysteresis) 특성이 있음을 확인하였다.

4. 변속제어기 안전작동 기능

4.1 변속제어기 작동모드

오류가 검출되면 변속제어기는 발생 원인이 변속기 작동에 미치는 영향을 고려하여 안전한 차량 주행이 가능하도록 작동모드를 전환하는 안전작동 기능을 활성화한다. 상용화된 변속제어기의 안전작동 기능은 휠 로더 변속제어기를 대상으로 설계된 변속기 시뮬레이터를 이용하여 분석된 결과로 설명하고자 한다. 휠 로더 변속제어기에 설계된 안전작동 모드의 종류와 작동특성에 대한 설명을 요약하면 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 변속조건에 무관하게 설계된 일정한 기준전류레적으로 제어되며 주행 중 기어변속은 가능하다.

(3) 비상귀환(limp home)

비례 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. Table 4는 휠 로더 비상귀환모드에서의 전진 변속단을 나타낸다. Table 4에서 'x'는 클러치 오작동 상태를 나타내고 '-'는 오작동에 무관함을 의미한다. 즉, K1 클러치가 정상, K2 클러치가 오류이면 K3 클러치에 무관하게 전진 시에는 F41 변속 단이 적용된다.

(4) 변속기 작동정지(T/M shutdown)

전원 오류나 다수의 클러치 오류로 인하여 주행이 불가한 오류가 검출되는 경우로 변속제어기는 비례 솔레노이드밸브 전원을 차단하고 중립상태를 유지한다. 변속제어기의 디지털 출력과 통신기능은

정상 작동된다.

(5) 변속제어기 작동정지(TCU shutdown)

변속제어기 작동이 불가능한 오류가 검출되는 경우로 비례 솔레노이드밸브와 디지털 출력전원을 차단하고 중립기어를 유지한다. 휠 로더 변속제어기는 시동키에 의하여 전원이 차단될 때 CAN 통신으로 변속제어기 작동정지 오류코드를 송신한다.

4.2 작동모드별 변속제어 분석

위에서 설명된 안전작동모드 중 (1)-(3)은 변속이 가능하지만 (4)-(5)는 변속이 불가능하다. 변속기 시뮬레이터를 이용하면 오류 코드를 발생시켜 분석대상 작동모드를 설정한 후 변속 중 비례 솔레노이드밸브 전류궤적의 변화를 확인할 수 있다.

Fig. 12는 정상작동모드 자동변속에서 토크 컨버터 펌프와 터빈 속도 차(DNeNt)에 따른 F2→F3 상향변속 시험결과이다. 엔진과 터빈 속도 차가 클수록 변속기 입력토크는 증가하므로 변속선도에서 변속이 지연되고(즉, 변속이 개시되는 출력축 속도가 증가하고) 변속제어기는 변속 중 작동되는 K3와 해제되는 K2 클러치의 비례 솔레노이드밸브 구동전류 궤적을 높게 제어함을 알 수 있다.

Fig. 13은 엔진속도센서가 단선된 대체클러치 제어모드에서 엔진속도는 1,300rpm으로 일정하고 터빈속도가 900rpm과 500rpm인 경우에 대한 F2→F3 상향변속 시험결과이다. 터빈속도가 900rpm인 경우에 토크 컨버터 속도 차(DNeNt)는 400rpm이고, 터빈속도가 500rpm인 경우에는 800rpm의 속도 차에 해당된다. 변속 개시시점에서 입력토크가 다른 상태에서 발생하는 변속 전류궤적을 비교한 결과 동일함을 확인하였다. 이로부터 대체 클러치 제어 모드에서는 변속조건(입력토크와 차속)에 무관하게 각 변속에 대하여 하나의 기준전류궤적으로 변속이 진행됨을 확인하였다.

Fig. 14는 K2 비례 솔레노이드밸브가 단선된 비상귀환모드에서 1단 전후진 셔틀변속(F41→R1) 시의 전류궤적을 나타낸다. Table 4에 의하면 K2 클러치 오류 시 전진 변속단은 K4와 K1이 결합되는 F41 변속단이고 셔틀변속이 개시되면 K4 해제클러치 전류는 신속하게 저하되고 KR 클러치 전류만이 일정한 기울기로 증가하면서 변속이 진행된다. 대체 클러치 제어 모드에서의 변속인 Fig. 13과 비교하면 비상귀환 모드에서는 결합되는 클러치 전류만으로 변속이 제어됨을 알 수 있다.

Table 4 Forward gears in limphome mode

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

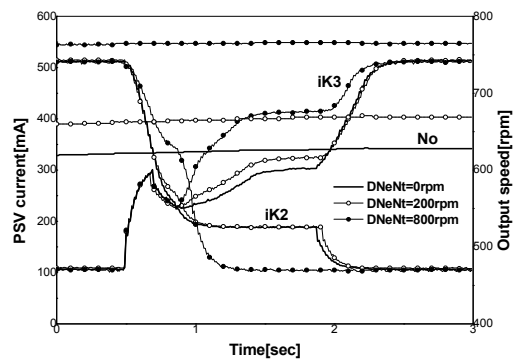


Fig. 12 F2→F3 shift for different input torques

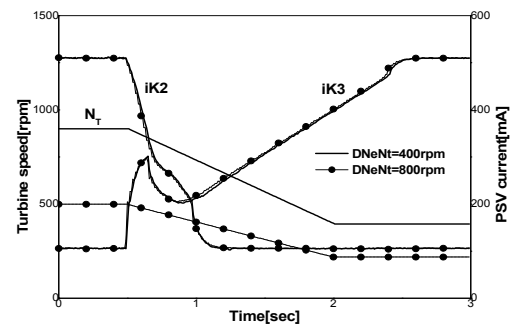


Fig. 13 F2→F3 shift at substitute clutch control

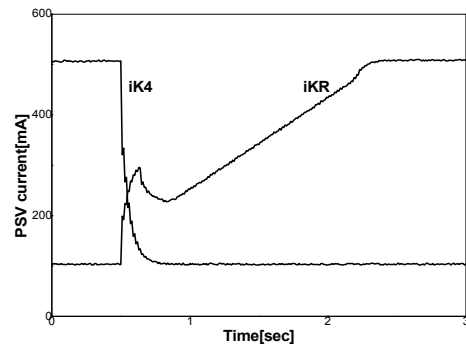


Fig. 14 1st gear shuttle shift at limphome

5. 결 론

자동변속기는 운전자 조작 없이 차량 주행상태에 적절하게 변속이 이루어지는 동력전달장치로 초기에는 주로 승용차용으로 개발되었으나 운전 편의성과 작업 효율이 우수한 장점으로 건설기계 및 농기계 등의 오프로드 차량에도 일반화되고 있다. 자동차산업의 전자제어기술은 1980년대부터 일반화되기 시작하여 최근에는 거의 모든 요소를 디지털 방식으로 통합관리하고 있으며 나아가 지능형 자율주행 차량으로 진화해 가고 있다. 자동차산업에서의 이러한 기술개발 추세는 오프로드 차량 분야에도 확대되고 있으며 유사한 전자제어기술이 전자식 자동변속기에 적용되고 있다. 자동변속기에 전자제어를 적용하면 다양한 센서를 이용하여 변속기 작동조건과 운전자 조작정보를 파악하여 최적의 운전조건을 변속제어기에서 결정하므로 연비 및 주행성능 향상이 가능할 뿐만 아니라 변속장치에 설계된 각종 센서와 액추에이터의 오작동여부를 자체적으로 진단하고 오류검출 시 적절한 안전작동모드로 전환하는 기능구현이 가능하다.

전자제어 자동변속기에 대한 국내 개발이 아직 이루어지지 않은 상태에서 변속제어에 부가적인 기능인 진단기능은 발표된 논문이나 기술 자료가 거의 없고 일반적인 기계부품에 활용하는 선진제품에 대한 역 설계도 적용될 수 없어 기술 확보가 어려운 상황이다. 그러나 변속기 시뮬레이터를 활용하면 상용 변속제어기를 실차에 탑재되지 않은 상태에서 정상 작동시킬 수 있으며 다양한 작동조건을 인가한 후 변속제어기의 출력을 모니터링 함으로써 변속제어뿐만 아니라 자기진단기능에 대한 분석도 가능하다.

본고에서는 건설기계인 휠 로더와 고속 궤도차량의 변속제어기를 대상으로 설계된 변속기 시뮬레이터를 활용하여 변속제어기에 구현된 자기진단 및 안전작동기능에 대해 분석된 결과를 서술하였다. 표준 자기진단 기준이 적용되는 승용차와 달리 오프로드 차량은 다양한 분야에 활용되어 자동변속기 개발업체에서 독자적으로 자기진단기능을 구현하여 적용하고 있으며 이에 대한 분석결과를 활용하면 독자모델 자동변속기의 자기진단기능 설계에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- 1) B. H. Cho, "Development of Complete Electronic Type Hydraulic Control System for Automatic Transmission", Master Dissertation, Seoul National University, 1998.
- 2) 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.
- 3) Gyuhong Jung, "Development of Transmission Simulator for High-Speed Tracked Vehicles", Journal of Drive and Control, Vol.14, No.4, pp.29-36, 2017.
- 4) G. H. Jung, "Analysis of Diagnosis and Failsafe Algorithm Using Transmission Simulator", Transactions of KSAE, Vol.22, No.4, pp.89-97, 2014.
- 5) G. H. Jung, D. H. Park, "Experimental Analysis of Clutch-Fill Parameters for Automatic Transmission", Journal of Korean Society for Fluid Power and Construction Equipments, Vol.11, No.3, pp.47-54, 2014
- 6) ZF-Ergopower Transmission 4WG-260, ZF, 2001.
- 7) G. H. Jung, "Analysis of Diagnosis Algorithm Implemented in TCU for High-Speed Tracked Vehicles", Journal of Drive and Control, Vol.15, No.4, pp.30-38, 2018.
- 8) G. H. Jung, "Design of Diagnosis and Fail-Safe Function for Proportional Flow Control Solenoid Valve with Large Capacity", KFPS 2011 spring conference, pp.9-14, 2011

[저자 소개]

이름 정규홍

E-mail : ghjung@daejin.ac.kr

Tel : 031-539-1974

1963년 7월 30일생.

1993년 서울대학교 기계설계학과 박사과정 졸업. 1993년 현대자동차 중앙연구소 선임연구원, 1995년



현재 대전대학교 컴퓨터응용기계공학과 교수, 자동변속기 변속제어기 설계, 운동제어기 제어시스템설계, 서보밸브 및 비례제어밸브 컨트롤러 설계 및 개발, BLDC 모터 드라이버 및 컨트롤러 설계, 메카트로닉스를 이용한 제어시스템 개발에 종사. 유공압건설기계학회, 대한기계학회, 한국자동차공학회 회원.