

고속 무한궤도 차량용 변속제어기 진단 알고리즘 분석

Analysis of Diagnosis Algorithm Implemented in TCU for High-Speed Tracked Vehicles

정규홍^{1*}

Gyuhong Jung

Received: 1 Aug. 2018, Accepted: 22 Oct. 2018

Key Words : TCU(변속제어기), Transmission Simulator(변속기 시뮬레이터), Tracked Vehicle(무한궤도 차량), Diagnosis Algorithm(진단 알고리즘), Error Code(오류코드)

Abstract: Electronic control units (ECUs) are currently popular, and have evolved further towards the high-end application of autonomous vehicles in the automotive industry. Such digital technologies have also become widespread, in agriculture and construction equipment. Likewise, transmission control of high-speed tracked vehicles is based on the transmission control unit (TCU), performing complex gear change control functions, and diagnostic algorithms (a TCU's self-diagnostic and reporting capability of malfunction data through CAN communication). Since all functions of TCU are implemented by embedded-software, it is hardly possible to analyze specifications by reverse engineering. In this paper a real-time transmission simulator adaptable to TCU is presented, for analysis of diagnosis algorithm and standards. Signal simulation circuits are deliberately designed considering electrical characteristics of TCU inputs and various analysis tools, such as analog input auto scan function, and global output enable switch, are implemented in software. Test results from hardware-in-the-loop simulator verify tolerance time for each error, as well as cause of fault, error reset conditions.

1. 서 론

자동차산업에서 마이크로컨트롤러를 이용한 전자제어기술은 1980년대부터 일반화되기 시작하여 최근에는 거의 모든 요소를 디지털 방식으로 통합관리하고 있으며 나아가 지능형 자율주행 차량으로 진화해가고 있다. 자동차산업에서의 이러한 기술개발 추세는 산업용 및 건설기계, 농기계 분야에도 확대되고 있으며 유사한 전자제어기술이 고속 무한궤도용 특수목적 차량의 동력전달장치 제어기에도 적용되고

있다.

기계식 자동변속기는 변속시점과 변속 시 작용하는 클러치 압력이 밸브바디 내의 유압회로에 의해 결정되므로 차량의 연비와 가속성능이 기계적 부품의 특성과 성능으로 결정된다. 이에 비하여 엔진과 변속기로 구성되는 동력전달장치에 전자제어를 적용하면 다양한 센서를 이용하여 기계장치의 작동조건과 운전자 조작정보를 파악하여 최적의 운전조건을 컴퓨터 소프트웨어에서 결정하므로 연비 및 주행성능 향상이 가능한 장점으로 지속적인 연구개발이 이루어지고 있다¹⁻²⁾.

변속제어기(Transmission Control Unit, TCU)는 운전자 조작신호와 차량 운전조건을 파악하여 변속시점을 결정하고 변속 시 발생하는 충격을 최소화하는 변속제어기능과 더불어 동력전달장치와 관련된 기계 및 전기적인 작동오류를 자체적으로 판단하는 자기진단기능(On-Board Diagnosis, OBD)³⁾을 수행한다. 임

* Corresponding author: ghjung@daejin.ac.kr

1 Department of Computer Aided Mechanical Engineering, Daejin University, Gyeonggi 11159, Korea

Copyright © 2018, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

베디드 소프트웨어(embedded software)로 구현되는 변속제어 및 진단 알고리즘은 오랜 기간에 걸친 연구와 개발경험이 요구되며, 통상적으로 후발주자가 활용하는 역설계(reverse engineering)는 프로그램 설계 내용분석이 불가능하여 적용이 어려운 실정이다.

시뮬레이터(simulator)는 동적특성을 갖는 기계적인 시스템을 모사하는 장치^{4,5)}이며, 변속기 시뮬레이터는 차량 주행상태에 적합하게 변속기에 내장된 제반 센서 신호를 실시간으로 모사하는 장치로 변속제어기와 HILS(hardware-in-the-loop simulator)를 구성하여 변속기와 연결되지 않은 상태에서도 변속제어기가 정상 작동될 수 있도록 하는 기능을 갖는다. 변속제어기에 설계된 프로그램 분석은 곤란하지만 변속제어기의 기능은 실차시험에서 입출력 신호를 획득하여 분석⁶⁾함으로써 파악할 수 있으며, 변속기 시뮬레이터를 이용하면 다양한 작동조건과 작동오류가 발생하는 상태를 모사하는 것이 가능하므로 변속제어와 진단 알고리즘에 대한 설계사양을 간편하게 파악하여 독자기술의 변속제어기 개발에 활용할 수 있다.^{7,8)}

이전 연구에서는 고속 무한궤도 차량에 적용되는 변속기 시뮬레이터를 개발하여 선진사 변속제어기에 구현된 변속선도와 변속제어와 관련된 기능을 분석한 바 있다.⁹⁾ 본 연구에서는 시뮬레이터에 요구되는 작동오류를 모사한 후 오류판정과 관련된 변속제어기의 응답을 모니터링 할 수 있는 기능을 보완하여 선진사 변속제어기에 구현된 진단 알고리즘의 설계사양을 분석하였다. 변속제어기에 구현된 진단 및 안전작동 알고리즘과 관련된 기본정보는 선진사로부터 제공받았으며 시뮬레이터는 실제 시험을 통해 이를 확인하는 기능으로 설계되었다. 변속기 시뮬레이터를 통해 분석된 선진사 변속제어기의 진단 설계사양과 안전작동(failsafe) 기능은 독자모델의 변속제어기 개발에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 변속기 구조

고속 궤도 차량에 적용되는 동력전달장치는 기어열로 설계된 변속기와 정유압방식의 조향장치로 구성되고 변속기는 동력을 전달하는 토크 컨버터와 기어열, 마찰요소의 작동과 해제 기능의 유압제어시스템, 변속제어 기능의 변속제어기로 구분된다.

2.1 기어 열

Fig. 1은 토크 컨버터 터빈축(ω_T)으로부터 변속기

출력축(ω_O) 사이의 변속비를 변화시키는 변속 기어열의 구조이다. 단순유성치차 6개가 결합된 복합유성치차로 설계되어 전후진 6단의 변속비 구현이 가능하지만 후진은 3단만을 사용하므로 전진 6단, 후진 3단의 변속단을 가진다. 각 변속단에서 작동되는 클러치와 브레이크 작동요소는 Table 1과 같다. 방향 기어열(direction gear train)은 BF, BR 클러치에 의해 주행방향을 결정하고 속도 기어열(speed gear train)은 B1, B2, B3, C1, C2의 5개 결합요소에 의해 변속비를 결정한다. 변속 기어 열의 회전요소는 10개이고 단순유성치차의 속도관계식이 6개이므로 4 자유도를 가지므로 각 변속단에서는 3개의 마찰요소가 작동되어야 변속비가 결정된다. 변속 기어 열의 회전속도는 reverse ring gear(ω_{rR})와 출력축(ω_O)만을 측정하므로 작동요소에 대한 분리(disengage)와 결합(engage)이 진행되는 과도상태에서 모든 회전요소에 대한 속도는 결정되지 않는다.

2.2 토크 컨버터

발전기능의 토크 컨버터는 기어 열을 통해 엔진축과 연결되는 펌프, 변속 기어 열 입력축과 연결된 터빈 그리고 스테이터로 구성된다. 펌프는 증속 기어열을 통해 엔진보다 높은 속도로 회전하며, 펌프와 터빈을 직결시키는 록업 클러치가 설계되어 있다.

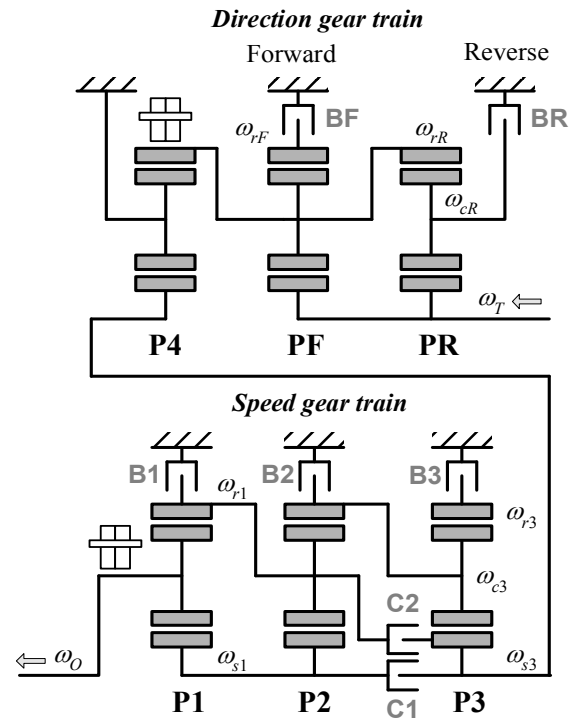


Fig. 1 Transmission gear train stick diagram

Table 1 Clutch and brake engagement

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

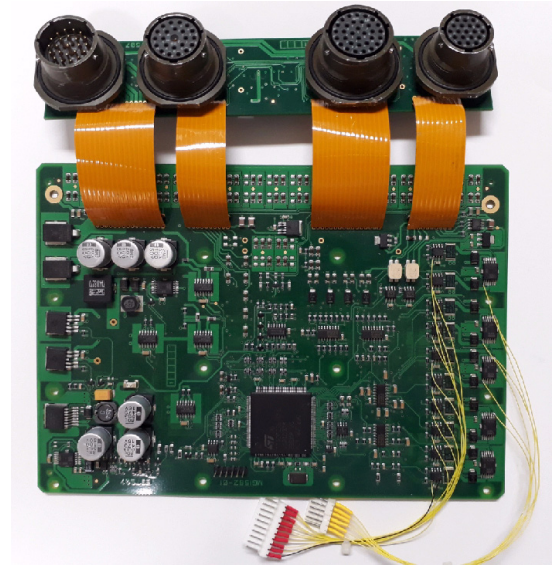


Fig. 2 TCU with jumper connectors

2.3 유압제어시스템

유압제어시스템은 변속과 록업제어 시 유압 피스톤 압력을 제어하는 기능을 담당한다. 엔진 축과 직결되어 회전하는 유압펌프에서 유압시스템 작동에 필요한 유량을 토출하고 클러치 피스톤 제어압력 (p_{Kx})은 과일릿형(pilot type) 2방향 비례 솔레노이드 밸브와 감압기능의 스톱밸브로 구성되는 압력제어모듈에서 발생되며 동일하게 설계된 8개의 압력제어모듈이 8개 유압 피스톤의 압력을 독립적으로 제어한다. 연구대상 변속기에 적용된 비례 솔레노이드밸브는 구동 전류에 비례하여 압력이 제어되므로 변속제어기에서 제어하는 비례 솔레노이드밸브 전류는 변속특성을 결정하는 핵심적인 신호로 시뮬레이터에서 모니터링 된다.

2.4 변속제어기

고속 궤도 차량용 변속제어기는 주 연산장치로 16비트 마이크로컨트롤러를 이용하여 설계되어 있으며, 운전자 조작신호와 각종 센서 신호를 입력받아 비례 솔레노이드밸브를 구동하고 다른 제어기와 통신하면서 내부정보를 표시하는 기능을 갖는다. 변속제어는 변속기와 관련된 운전자 조작을 전기적인 신호로 인식하고 비례 솔레노이드밸브 구동전류를 변속제어기에서 조절하는 shift-by-wire 방식이다. Fig. 2는 분석대상 선진사 변속제어기이며, 변속제어기에서 제어되는 비례 솔레노이드밸브 전류는 시뮬레이터 내 전류 측정회로에서 측정하였고 PWM 구동신호는 PCB 회로에서 점퍼 커넥터를 통해 시뮬레이터로 연결하여 측정하였다.

Fig. 3은 변속제어기 입출력신호의 기능을 나타내

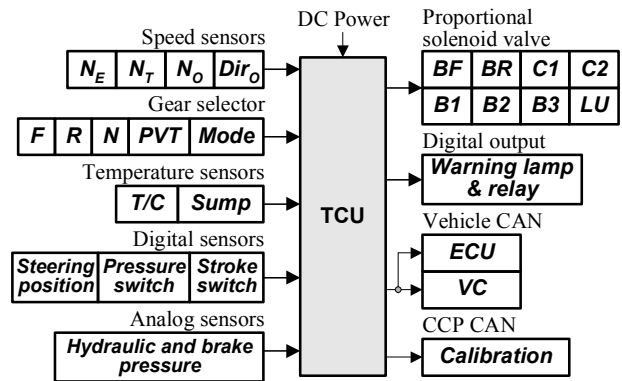


Fig. 3 TCU I/O signals

Table 2 CAN messages

SPN name	Description
ECU(Engine Control Unit)	
EEC1	Electronic Engine Controller 1
EEC2	Electronic Engine Controller 2
EC1	Engine Configuration 1
ET1	Engine Temperature 1
ACKDSD	Acknowledge of Demands and Status
TCU(Transmission Control Unit)	
MALFCTD	Malfunction Data
ETC1	Electronic Transmission Controller 1
ETC2	Electronic Transmission Controller 2
TSC1	Torque/Speed Control 1
TF	Transmission Fluids
TCFG	Transmission Configuration
TVM2	Transmission Vehicle Message 2
VC(Vehicle Computer)	
TIME/DATE	Time and date
DEMAND	Signal on demand

는 블록선도로 변속제어기는 엔진제어기(ECU) 및 차량컴퓨터(VC)와 250K baudrate의 CAN 통신으로 연결된다. Table 2는 차량 CAN에 적용되는 SAEJ1939 CAN 통신 프로토콜¹⁰⁾을 나타낸다. 변속 제어기는 가속페달위치나 엔진토크와 관련된 정보를 CAN으로 수신 받아 변속제어에 이용하므로 CAN 통신에 오류가 발생하면 정상적인 변속제어가 이루어지지 않는다.

3. 변속기 시뮬레이터

변속제어기는 운전자 조작과 변속기 작동상태와 관련된 정보를 파악하여 클러치 압력을 제어하는 비례 솔레노이드밸브를 구동함으로써 변속기능을 수행하며, 모든 기능은 임베디드 프로그램으로 구현된다. 특히, 고장진단 알고리즘은 제반 센서와 액추에이터의 단선(open-circuit), 단락(short-circuit)뿐만 아니라 입력신호의 논리적 오류도 검출하므로 차량에 장착되지 않은 상태에서 변속제어기를 단독으로 정상 작동시키기 위해서는 변속기 시뮬레이터에서 입출력신호를 적절하게 모사해야 한다.

본 연구에서 개발된 Fig. 4의 변속기 시뮬레이터는 변속기 작동상태를 실시간으로 연산하는 DSP (digital signal processor) 기반 시뮬레이션 프로그램과 연산결과를 TCU에 전기적인 신호로 전달하는 인터페이스 회로로 구성되며, PC에서 수행되는 모니터링 프로그램은 DSP와 직렬통신으로 작동조건을 설정하고 TCU 작동과 관련되어 수집된 정보를 표시하거나 저장하는 기능을 갖는다. 변속기 시뮬레이터는 변속제어기에 입력되는 모든 신호를 실제 조작 스위치나 센서 없이 모니터링 프로그램에서 설정된 작동조건을 시뮬레이션 프로그램에서 처리하여 인터페이스 회로에서 전기적인 신호로 구현하는 simulation-by-wire 방식으로 설계하였다. 변속기 시뮬레이터에서 모사되는 TCU 입출력 신호와 변속제어 및 진단기능 분석을 위해 설계된 주요 기능은 다음과 같다.

3.1 디지털 입력(ED)

기어 선택기 및 수동/자동선택 스위치 등의 운전자 조작신호와 ON/OFF 상태를 감지하는 센서 스위치 신호이다. 모니터링 프로그램에서 설정된 작동상태는 풀 업/풀 다운의 TCU 내부회로를 고려하여 시뮬레이터에서 트랜지스터를 이용하여 전압을 출력하거나 GND로 연결한다.



Fig. 4 Transmission simulator

3.2 아날로그 입력(EU)

유압시스템의 압력과 유온을 측정하는 센서신호로 입력전압 범위는 모두 0-5V이다. 아날로그 센서신호는 D/A 컨버터를 이용하여 모사하는데 D/A 컨버터 출력전압을 TCU 아날로그 입력에 연결하면TCU 내부회로 임피던스로 인하여 출력전압이 변하거나 D/A 컨버터가 파손되는 현상이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 Fig. 5와 같이 D/A 출력전압을 2배 증폭한 후 1K 저항으로 출력전류를 제한한 후 아날로그 입력전압을 A/D 변환하여 모니터링 프로그램 설정지령(v_{CMD})을 페루프 방식으로 추종하는 설계를 적용하였다. 페루프 제어는 아날로그 전압에 발생하는 진동을 방지하기 위하여 불감대(dead zone)를 갖는 적분제어기를 적용하였다. Fig. 6은 사용자가 설정하는 아날로그 입력의 전압 지령과 현재 출력전압을 나타내는 모니터링 프로그램의 인터페이스이다. 제어

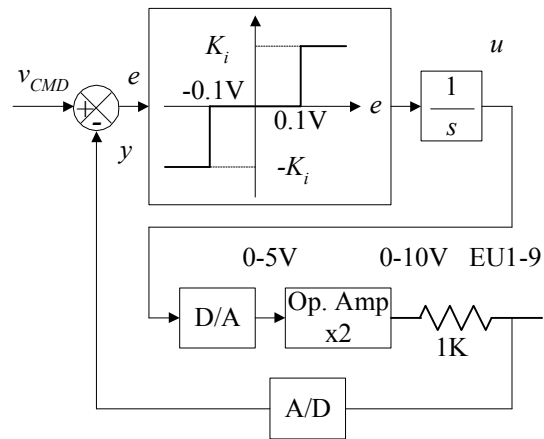


Fig. 5 Closed-loop control of TCU analog input

EU1(OP2)	EU2(BP7)	EU3(BP1)	EU4(BP2)	EU5(BP3)
2.94	0.51	2.94	3.00	3.00

(a) analog input command control

EU1(OP2)	EU2(BP7)	EU3(BP1)	EU4(BP2)	EU5(BP3)
2.91	0.48	2.90	2.98	2.98

(b) analog input status indicator

Fig. 6 Analog input in monitoring program

기의 불감대로 인하여 항상 $\pm 0.1V$ 의 오차가 발생하지만 일정한 값으로 안정된 상태를 유지한다.

3.3 속도센서 신호(EF)

토크컨버터 펌프, 터빈과 출력축 회전속도센서 신호를 전기적인 오류가 검출되지 않는 전압사양의 구형과 신호로 시뮬레이션 프로그램에서 연산된 속도를 모사하였다. 속도신호 주파수는 DSP에 내장된 PWM 출력장치의 반송주파수로 설정하였고 변속 과도상태에서 터빈 속도변화 궤적을 설정할 수 있는 기능을 설계하였다.

Fig. 7은 전진 2단→3단 상향변속에서 비례 슬레노이드전류(i_{B2} , i_{B3} : B2와 B3 브레이크 전류)와 시뮬레이터에서 모사되는 속도궤적(N_O : 출력 축 속도)을 나타낸다. B3 브레이크 전류가 급 충전영역에서 상승할 때 시뮬레이터는 변속개시를 감지한 후 변속과도상태에서 터빈속도를 변화시키는데 터빈속도 궤적 설정 파라미터는 다음과 같다.

- t_{delay} : 터빈속도 변화가 시작되는 시간지연
- t_{shift} : 터빈속도가 변화하는 변속시간으로 변속비는 t_{shift} 동안 연속적으로 변화한다.
- $N_P - N_T$: 토크 컨버터 펌프와 터빈 속도 차

3.4 아날로그 전류출력(AIP)

변속제어기는 8개 비례 슬레노이드밸브의 전류를 제어하는데 전류부하로 오류를 감지하므로 슬레노이드 코일과 동일한 저항을 갖는 히터코일을 이용하여 전류출력의 부하저항을 모사하였다. Fig. 8은 과도 변속특성 분석을 위해 비례 슬레노이드 밸브전류와 PWM 듀티를 측정하는 시뮬레이터 내부회로의 구조이다. 전류 측정저항(R_{shunt}) 양단 전압 차로부터

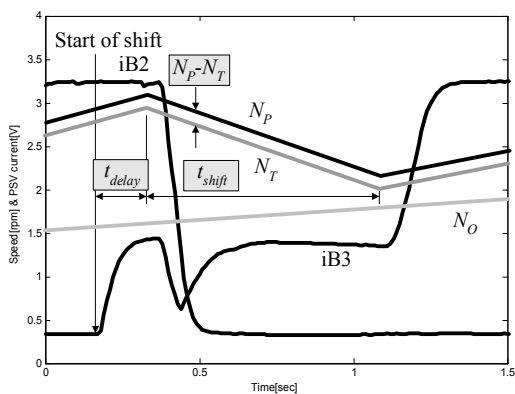


Fig. 7 Typical transient response for F2→F3

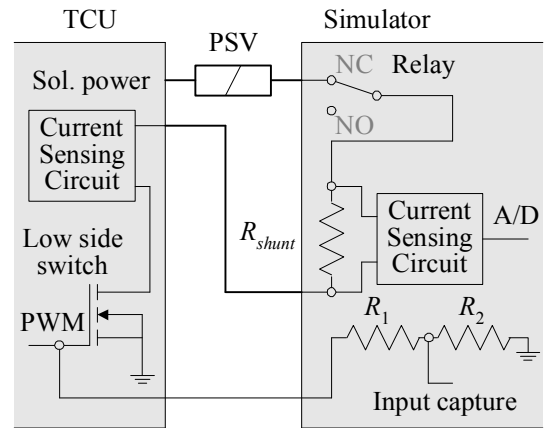


Fig. 8 PSV current and PWM duty sensing

A/D 변환으로 전류를, 전력 트랜지스터를 구동하는 PWM 신호로부터 capture 기능으로 PWM 듀티율을 측정하며 릴레이를 이용하여 단선오류를 모사하는 기능을 구현하였다.

3.5 디지털 출력(ADM)

변속제어기 디지털 출력은 경고등과 특정기능의 릴레이 작동으로 사용되며 구동 시 전류부하가 정상 작동범위를 벗어나면 오류로 인식하므로 적절한 코일저항을 갖는 릴레이로 전류부하를 모사하였다.

3.6 CAN 통신

엔진제어기와 차량컴퓨터에 해당되는 CAN 메시지를 송신하는 기능과 변속제어기에서 송신하는 CAN 메시지를 수신하여 변속제어기 작동상태를 파악하는 기능을 구현하였다. 특히, 변속제어기에서 인식된 오류는 MALFCTD(malfunction data)와 DTC(diagnostic trouble code) 정보를 포함하는 DM1 (diagnostic message #1) 메시지로 전송되므로 시뮬레이터 모사되는 오류에 대해 변속제어기 진단 알고리즘 응답을 확인할 수 있다.

3.7 오류조건 설정기능

변속제어기의 진단 알고리즘을 효율적으로 분석하기 위해 시뮬레이터에는 다음과 같은 기능을 구현하였다.

- 아날로그 입력 자동스캔 기능

유압시스템의 압력과 온도센서 출력인 아날로그 입력(EU)은 정상 작동범위를 벗어나면 변속제어기에서 오류로 인식되므로 오류가 발생하는 전압과 해제되는 전압을 파악하기 위하여 현재 전압으로부터 지정된 시간동안 1사이클의 출력이 변화되도록 설계

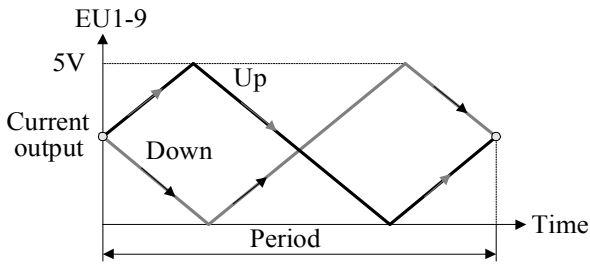


Fig. 9 Voltage output in auto scan function

하였다. Fig. 9는 자동스캔 기능에서 아날로그 전압의 변화궤적을 나타낸다. 자동스캔 기능에서는 현재 전압에서 증가 또는, 감소하는 방향설정이 가능하고 스캔 주기는 최소 100초, 최대 1000초이다.

- 전역 출력 활성화(global output enable) 스위치
전역 출력 활성화 스위치는 ON 상태에서만 모니터링 프로그램에서 설정된 작동조건이 시뮬레이터에서 유효하게 출력되는 기능이다. 변속제어기에 설계된 진단 알고리즘은 주기적으로 작동상태를 파악하면서 오류상태가 일정 시간동안 반복적으로 인식되는 경우에 작동오류로 판정한다. 이와 같은 오류판정 대기시간을 파악하기 위해서 전역 출력 활성화 스위치가 OFF된 상태에서 오류조건을 설정한 후 ON으로 전환하면, 시뮬레이터에서는 이때부터 오류가 CAN 통신으로 수신될 때까지의 시간을 측정하므로 오류판정 대기시간을 분석할 수 있다.

4. 진단 알고리즘 분석

4.1 오류코드(Error code)

변속제어기는 입출력 전압이나 기능적 신호관계로부터 파악된 다양한 작동오류를 No. 0-223으로 분류하여 정의하며 오류의 특성에 따라 오류의 원인이 정상 작동조건으로 복원되면 발생한 오류가 삭제되는 복원 오류와 정상적으로 복원되어도 오류가 삭제되지 않는 비복원 오류로 분류된다. 비복원 오류는 변속제어기 입력전원을 껐다가 다시 켜는 경우에만 삭제될 수 있다. 변속제어기에서 비복원 오류를 판정하면 이 후에는 진단 알고리즘이 해당 오류에 대한 정상작동여부를 확인하지 않으므로 발생한 오류가 삭제될 수 없다. 비례 솔레노이드밸브가 단선되면 변속제어기는 비례 솔레노이드 전류제어를 수행하지 않으므로 오류가 삭제되지 않는 대표적인 비복원 오류이다.

4.2 진단 알고리즘 분석시험

개발된 변속기 시뮬레이터를 이용해서 연구대상

변속제어기에 설계된 진단 알고리즘을 분석하는 시험을 수행하였으며 변속제어에 영향을 미치는 오류에 대한 시험결과는 다음과 같다.

- No. 170(Slip time 2-3 load upshift error)

엔진이 차량을 구동하는 power-ON 상향변속에서 지정된 시간 내에 변속이 완료되지 않는 경우 발생하는 오류이다. Fig. 10은 엔진 퍼센트 토크가 120%인 상태에서 주행 중 F2→F3 상향변속이 발생될 때 $t_{delay} = 0.5\text{sec}$, $t_{shift} = 2\text{sec}$ 로 변속조건을 설정한 경우의 변속시험결과이다. 변속 전에 발생한 No. 94(engine torque limit exceeded)오류는 과도한 엔진토크 설정이 원인으로 변속제어와는 관련 없다. 변속이 개시된 후 약 1초가 경과되면 클러치 작동과 해제가 완료되고 현재 변속단이 F3로 전환되지만 터빈속도가 서서히 변화되므로 변속비는 F3에 도달하지 않으며, 변속완료 0.8초 후에 No. 170오류가 CAN MALFCTD 메시지로 송신됨을 확인하였다. 참고로 F2→F3 변속은 변속개시 전에 록업 클러치가 결합되므로 변속 중 터빈과 펌프속도는 같다. No. 170 오류는 동일한 변속조건에서 1초 이내에 변속이 완료되어도 삭제되지 않는다.

- No. 168(Gear slip)

일정 차속이상에서 출력축 속도로 계산된 터빈속도와 실제 측정된 터빈속도의 차가 200rpm 이상인 경우에 발생하는 오류이다. Fig. 11은 F2 변속단에서 차속이 5.76kph인 상태에서 터빈속도에 50, 100, 150, 200rpm의 속도를 더해서 발생시키는 경우에 $N_T + 200\text{rpm}$ 에서 No. 168 오류가 CAN 메시지로 발생하는 시험결과이다. 여기서 N_{TCAN} 은 변속제어기에서 측정된 터빈속도이고 malfunction data frame은 1.25초 마다 송신되는 CAN MALFCTD 메시지의 오류 프레임 번호로 No. 168은 #3에 포함되므로 #3 오

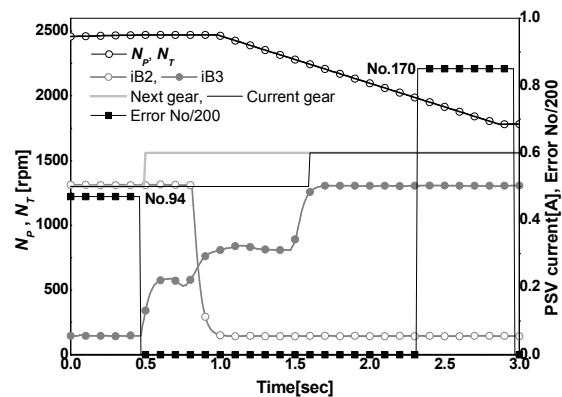


Fig. 10 Slip time 2-3 load upshift error (No. 170)

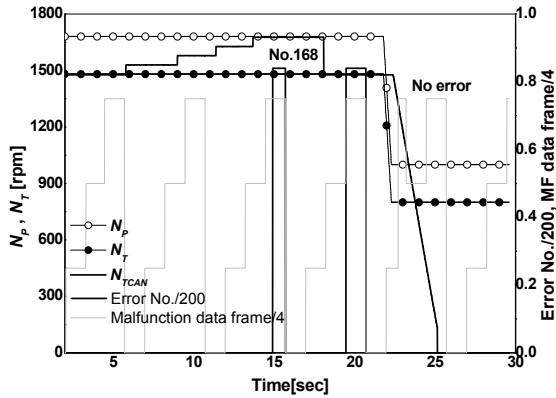


Fig. 11 Gear slip error(No. 168)

류 프레임에서 No. 168 오류가 송신된다. No. 168 오류는 변속단이 중립으로 변화되면 삭제되는 복원 오류이다.

No. 168 오류가 검출되면 변속제어기는 비상귀환 (limp-home) 모드로 전환되며 비상귀환 모드에서는 가속페달 위치(AP)와 엔진토크(PT)에 무관하게 차속에서 변속이 개시되고 일정한 전류궤적으로 변속이 이루어진다. Fig. 12는 가속페달 위치와 엔진토크가 상이한 비상귀환 모드에서 이루어지는 F2→F3 상향 변속 시의 전류궤적을 나타내며 변속조건에 무관하게 작동과 해제 클러치 전류가 신속하게 변화됨을 확인하였다.

Fig. 13은 시뮬레이터를 이용해서 파악된 정상작동과 비상귀환 모드에서 F2↔F3, F3↔F4 자동변속선도를 나타낸다. 정상작동 모드에서는 가속페달 위치가 클수록 빠른 가속을 위해 상향변속이 지연되지만 비상귀환 모드에서는 가속페달 위치와 무관하게 일정 차속에서 상향과 하향변속이 발생한다.

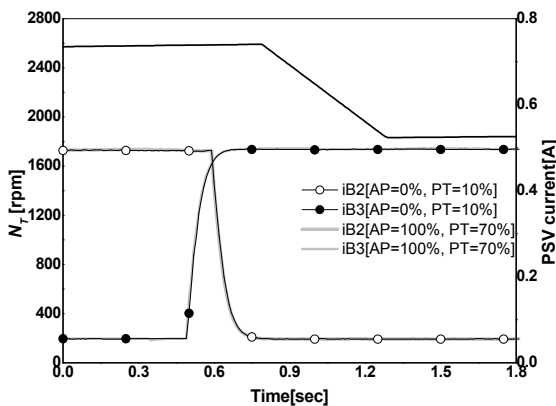


Fig. 12 F2→F3 shift at limp-home

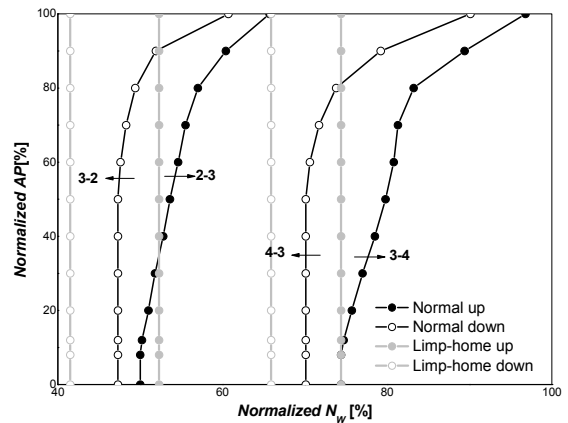


Fig. 13 Shift map at normal and limp-home

• No. 151(BF PSV open circuit error)

BF 비례 솔레노이드밸브 단선 오류이다. Fig. 14는 F2 변속단에서 릴레이를 작동시켜 BF를 단선시키는 경우에 TCU 응답이다. BF가 단선되면 전류가 급격하게 감소하므로 변속제어기는 BF PWM 듀티를 증가시켜 100%에 도달하지만 전류가 발생하지 않으므로 0.45초 후에는 변속과 관련된 비례 솔레노이드 구동전원을 차단하고 이에 따라 F2 변속단에서 결합상태를 유지하고 있는 C1과 B2 전류도 발생하지 않게 된다. 이 때 록업 클러치를 작동시키는 비례 솔레노이드 전원은 차단되지 않으므로 LK 비례 솔레노이드 전류는 유지된다. 0.2초 후에는 No. 151 오류를 CAN MALFCTD 메시지로 전송하므로 BF 단선 후 오류가 전송될 때까지의 오류 판정 대기시간은 약 0.7초임을 확인하였다.

• 아날로그 입력 자동스캔 기능

변속제어기 아날로그 입력 중 EU1은 변속 유압시스템의 공급압력을 측정하는 센서 출력전압으로 전압범위에 따라 다음과 같은 오류가 발생된다.

No. 68(Main shift oil pressure sensor pos. short)

No. 67(Main shift oil pressure sensor open circuit or neg. short or not supplied)

No. 40(Main pressure low)

각 오류가 발생되고 해제되는 전압범위를 분석하기 위하여 시뮬레이터에 설계된 아날로그 입력 자동스캔 기능을 이용하였으며 Fig. 15는 시험결과를 보여준다. 500초 주기의 자동스캔이 시작되면 EU1 초기 값 2.53V부터 증가하여 한 주기의 삼각파형으로 전압이 변화하게 된다. 자동스캔에서는 1초 주기로 발생하는 오류와 CAN DM1 메시지의 FMI(failure

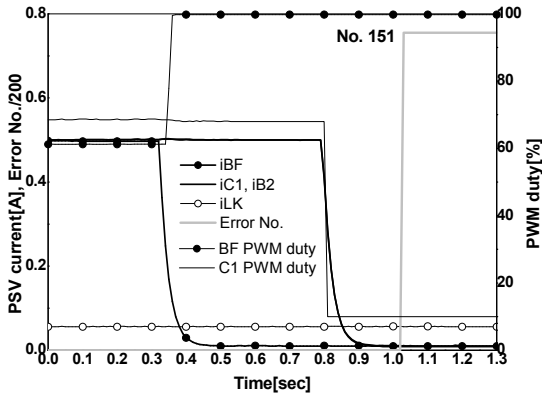


Fig. 14 BF PSV open circuit error(No. 151)

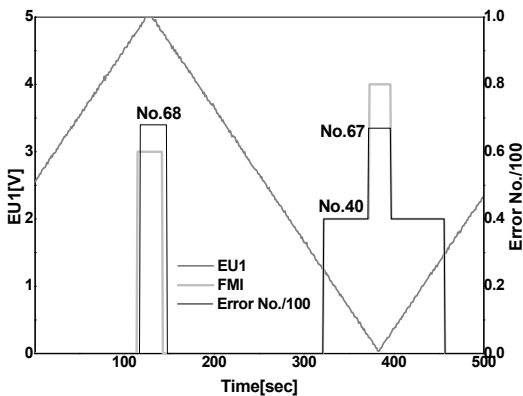


Fig. 15 EU1 errors with auto scan function

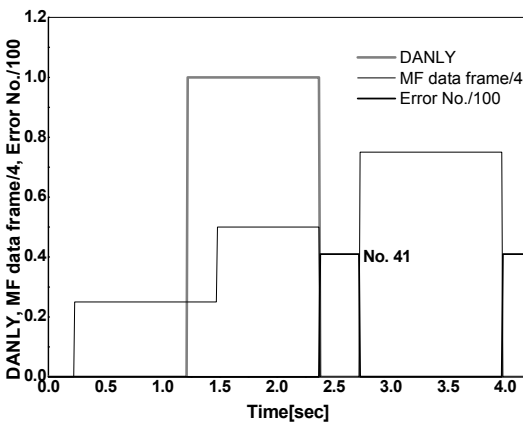


Fig. 16 OP3 error with global enable switch

mode indicator)를 기록하므로 아날로그 입력에 대한 진단사양을 효과적으로 분석할 수 있다. Fig. 15에서 No. 68오류가 발생하는 전압은 4.80V 이상이며, 삭제되는 전압은 4.78V 이하로 히스테리시스(hysteresis) 특성이 있음을 확인하였다.

- 오류판정 대기시간

변속제어기 디지털 입력 중 OP3는 T/C 입구 압력을 측정하는 스위치로 개방된 위치는 정상 작동상태

를, 닫힌 위치는 압력이 낮은 이상 작동상태를 나타낸다. OP3 디지털 입력이 닫힌 상태로 전환되면 변속제어기는 일정 시간이 경과된 후에 오류로 판정하는데 이러한 대기시간은 OP3 신호를 닫힌 상태로 설정한 후 전역 출력 활성화 스위치를 OFF에서 ON으로 전환해서 분석할 수 있으며 Fig. 16은 시험결과를 나타낸다. DANLY(diagnosis analysis mode)는 전역 출력 활성화 스위치가 ON되는 시점에 1로 설정되고 오류가 발생하는 시점에 0으로 변화하므로 DANLY 신호가 1인 시간이 오류판정 대기시간에 해당되며 Fig. 16에서는 1.16초로 측정되었다. Malfunction data frame은 #0-3를 순차적으로 순환하다가 오류가 검출되면 검출된 오류가 포함되는 프레임으로 바뀌는데 Fig. 16에서는 No. 41 오류가 검출되는 시점에서 프레임 #2에서 #0으로 변화됨을 확인할 수 있다.

5. 결 론

마이크로컨트롤러를 활용하여 설계되는 전자제어 장치는 자동차산업뿐만 아니라 건설기계 및 농기계 분야에도 광범위하게 적용되고 있고 점진적으로 자율주행, 자율작업 등의 응용분야로 확대되고 있다. 변속제어기는 운전자 의지, 차량 주행상태와 변속조건 등을 고려하여 최적의 변속시점 결정과 변속제어를 수행함으로써 성능과 효율향상을 도모하는 기능 외에 변속기의 오작동 여부를 판정하는 진단 알고리즘이 구현된 전자제어장치이다.

변속제어기의 핵심기능은 임베디드 프로그램으로 수행되므로 역 설계가 불가능하지만 적절하게 입출력 신호를 모사하는 기능의 변속기 시뮬레이터를 개발하여 활용하면 변속기능뿐만 아니라 진단 알고리즘의 설계사양 분석도 가능하다.

본 연구에서는 이전에 변속성능 분석을 위하여 개발된 시뮬레이터에 제반 센서와 액추에이터의 작동 오류를 모사하고 오류검출과 관련된 변속제어기의 응답을 모니터링 함으로써 진단 알고리즘을 분석할 수 있는 기능을 추가적으로 개발하였다. 작동오류 모사는 변속제어기 입력 신호의 전기적 특성을 고려하여 시뮬레이터 출력 신호 발생회로를 설계하였다. 모니터링 프로그램에 구현된 아날로그 입력 자동스캔 기능을 통해서도 오류가 발생되고 삭제되는 센서 전압범위를, 전역 출력 활성화 스위치를 통해서도 오작동 조건이 인가된 후 실제로 변속제어기에서 오류가 검출되기까지의 오류판정 대기시간을 분석하였다. 변

속제어기가 비상귀환 모드로 전환되는 오류에서는 차량 주행속도를 변화시켜 변속선도와 변속 시 전류 궤적을 파악할 수 있었으며 비례 솔레노이드밸브 단선 오류를 통해서도 안전작동 기능도 확인하였다. 다양한 오류모사 시험을 통해서 도출된 진단 알고리즘 분석결과는 진단기능 개발경험이 많지 않은 국내 연구진의 독자모델 개발에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 연구는 국방과학연구소 연구비 지원에 의하여 수행되었음을 밝힙니다.

참고 문헌

- 1) G. H. Jung and K. I. Lee, "A Research on Shifting Controller Development of a Automatic Transmission for Construction Vehicles", Transactions of KSAE, Vol.10, No.2, pp.234- 242, 2002.
- 2) G. H. Jung, C. D. Jung and S. H. Park, "Feedback Shift Controller Design of Automatic Transmission for Tractors", Journal of Drive and Control, Vol.13, No.1, pp.1-9, 2016.
- 3) On-board diagnostics, https://en.wikipedia.org/wiki/On-board_diagnostics
- 4) J. S. Choi and Y. S. Lee, "The Implementation of a Hardware-In-The-Loop Simulator for an Inverted Pendulum System Using Open-Source Hardware", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol.23, No.2, pp.117-125, 2017.
- 5) H. J. Song et al., "Verification of Algorithm for Real-Time Traversability Analysis of Autonomous Vehicle Using Virtual Simulator", 2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems, pp.197-198, 2017.
- 6) G. H. Jung et al., "A Development of TCU Analyzer for Wheel Loader Automatic Transmission", KSAE 2006 Autumn Conference, pp.1405-1410, 2006.
- 7) 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.
- 8) G. H. Jung, "Analysis of Diagnosis and Failsafe Algorithm Using Transmission Simulator", Transactions of KSAE, Vol.22, No.4, pp.89-97, 2014.
- 9) G. H. Jung, "Development of Transmission Simulator for High-Speed Tracked Vehicles", Journal of Drive and Control, Vol.14, No.4, pp.29-36, 2017.
- 10) SAE J1939, Surface Vehicle Recommended Practice, 2005.