

# 고속 무한궤도 차량용 변속기 시뮬레이터 개발

## Development of Transmission Simulator for High-Speed Tracked Vehicles

정규홍<sup>1\*</sup>

Gyuhong Jung

Received: 12 Oct. 2017, Accepted: 04 Nov. 2017

**Key Words** : TCU(변속제어기), Transmission Simulator(변속기 시뮬레이터), Tracked Vehicle(무한궤도 차량), Proportional Solenoid Valve(비례 솔레노이드밸브), Gear Train(기어 열)

**Abstract**: Electronic control technologies that have long been developed for passenger cars spread to construction equipment and agricultural vehicles because of its outstanding performance achieved by embedded software. Especially, system program of transmission control unit (TCU) plays a crucial role for the superb shift quality, driving performance and fuel efficiency, etc. Since the control algorithm is embedded in software that is rarely analyzed, development of such a TCU cannot be conducted by conventional reverse engineering. Transmission simulator is a kind of electronic device that simulates the electric signals including driver operation command and output of various sensors installed in transmission. Standalone TCU can be run in normal operation mode with the signals provided by transmission simulator. In this research, transmission simulator for the tracked vehicle TCU is developed for the analysis of shift control algorithm from the experiments with standalone TCU. It was confirmed that shift experimental data for the simulator setup conditions can be used for the analysis of control algorithms on proportional solenoid valves and shift map.

### 1. 서 론

최근 급속하게 발전하는 승용차용 엔진, 자동변속기 제어기술의 전자화는 산업용 및 건설기계, 농기계 등으로 응용분야가 확대되고 있다. 변속제어기(Transmission Control Unit, TCU)는 자동변속기의 변속제어와 관련된 제반 기능을 담당하며 기어 열(gear train), 토크컨버터(torque converter), 유압제어시스템으로 대표되는 기계적인 부품과 더불어 변속기 성능을 결정하는 핵심부품이다. 특히, 환경관련 규제가 점차

강화됨에 따라 연비와 효율뿐만 아니라 주행성능 향상의 설계목적을 동시에 달성하기 위하여 임베디드 소프트웨어(embedded software)로 구현되는 변속제어에 대한 연구개발이 지속적으로 이루어지고 있다.<sup>1-2)</sup>

변속제어기 개발을 위해서는 변속기 구조와 변속동특성에 대한 엄밀한 이해를 바탕으로 변속알고리즘을 설계하고 동력전달장치의 기계 및 전기적인 작동요류를 자체적으로 판단하는 자기진단기능(On-Board Diagnosis, OBD)을 구현해야 한다. 이러한 변속제어기 개발과정에는 풍부한 설계 및 연구경험이 요구되므로 단기간에 양산에 적용되는 기술개발이 어렵고 통상적으로 후발주자가 활용하는 설계내용 분석을 통한 설계는 상용화된 제품의 핵심기능이 임베디드 소프트웨어로 구현되어 설계분석이 매우 어려운 실정이다.

시뮬레이터(simulator)는 동적특성을 갖는 기계적인 시스템을 모사하는 장치<sup>3-4)</sup>이며, 변속기 시뮬레이터

\* Corresponding author: ghjung@daejin.ac.kr

<sup>1</sup> Department of Computer Aided Mechanical Engineering, Daejin University, Gyeonggi 11159, Korea

Copyright © 2017, 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.

는 변속제어기에 연결되는 제반 센서의 전기적인 신호를 실시간으로 모사함으로써 변속기가 실차에 장착되지 않은 상태에서도 변속제어기가 정상 작동될 수 있도록 하는 기능을 갖는다. 실차시험을 통해 변속제어기의 성능을 검증하는 방법<sup>5)</sup>보다 변속기 시뮬레이터를 이용하면 실차, 또는 다이내모 시험기가 없어도 다양한 작동조건에서 변속제어기를 정상 작동시켜 임베디드 소프트웨어에 구현된 기능을 분석할 수 있으므로 개발비용과 시간절감을 할 수 있는 동시에 시험 안전성도 확보할 수 있는 장점이 있다. 변속기 시뮬레이터는 건설중장비인 휠로더 변속기를 대상으로 개발된 바 있으며 이를 이용하여 분석된 결과를 바탕으로 독자기술의 변속제어기 개발에 활용된 바 있다.<sup>6-7)</sup>

본 연구에서는 고속 무한궤도 차량에 적용되는 선진사 자동변속기의 변속제어기에 구현된 변속제어와 관련된 기능을 분석하기 위하여 실제 변속기가 배제된 상태에서 변속제어기를 단독적으로 정상 작동시키는 기능의 변속기 시뮬레이터를 개발하였다. 수행된 연구내용으로는 연구대상 변속기의 구조, 기계적인 동력전달 특성과 변속제어기 입출력신호와 통신 기능을 분석하고 이를 바탕으로 변속기 시뮬레이터를 개발하였고 다양한 작동조건에서의 성능시험을 통해 변속제어기 임베디드 소프트웨어에 설계된 변속선도와 변속제어 알고리즘을 파악하였다. 변속기 시뮬레이터를 통해 분석된 설계자료는 변속제어기 연구에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 2. 변속기 구조

Fig. 1은 고속 궤도차량에 적용되는 동력전달장치의 변속과 조향기능만을 블록으로 나타낸 그림이다. 엔진동력은 토크 컨버터와 변속기 기어 열을 통해 출력축( $\omega_o$ )에 전달되고, 출력축은 다시 정유압장치(Hydro-Static Unit, HSU)의 출력축( $\omega_{motor}$ )으로부터 서로 상반된 방향으로 회전하는 두 개의 조향 회전축( $\omega_{sOL}, \omega_{sOR}$ )과 종감속 유성기어로 결합되어 좌우 차륜구동축( $\omega_{OL}, \omega_{OR}$ )의 속도를 결정한다. 즉, 정유압장치 출력축이 정지하는 경우에는 좌우 종감속 유성기어에서 선기어 속도가 모두 영이므로 좌우 차륜구동축 속도는 변속기 출력축이 종감속 기어비로 감속된 속도로 동일하고 정유압장치 출력축이 회전하는 경우에는 속도부호에 따라 좌우 차륜구동축의 속도가 차동적으로 변화함으로써 궤도차량에 조향이

발생하게 된다. 변속제어기는 궤도차량의 주행조건을 고려하여 변속기 기어 열의 변속비를 변화시키는 기능을 담당한다.

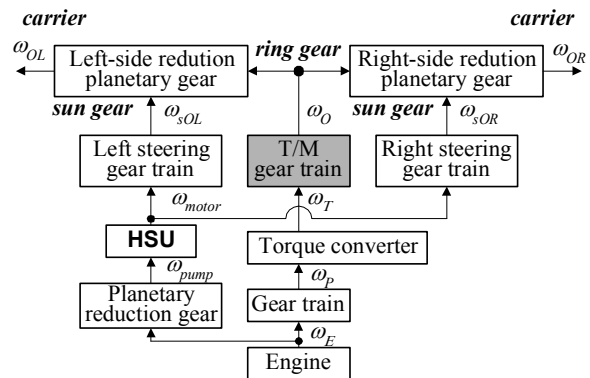


Fig. 1 Power flow in tracked vehicle T/M

### 2.1 기어 열 구조

Fig. 2는 토크컨버터 터빈축( $\omega_T$ )으로부터 좌우 종감속 유성기어 입력축( $\omega_o$ ) 사이의 변속비를 변화시키는 변속 기어 열의 구조이다. 단순유성치차 6개가 결합된 복합유성치차로 설계되어 전진 6단, 후진 3단의 변속비를 가지며 각 변속단에서 작동되는 작동요소는 Table 1과 같다. 변속 기어 열에 대해 기구학적 구속조건을 분석한 결과는 다음과 같다.

- 변속기 기어열 회전요소의 수:  $N = 10$

방향 기어열:  $\omega_T, \omega_{cR}, \omega_{rR}, \omega_{rF}$

속도 기어열:  $\omega_{s3}, \omega_{c3}, \omega_{r3}, \omega_{s1}, \omega_{r1}, \omega_o$

- 속도관계식의 수:  $E = 6$

PF, PR,, P1, P2, P3, P4 유성기어 속도관계식

- 변속기 기어열의 자유도:  $C = N - E = 4$

따라서 변속 기어 열의 변속비( $= \omega_T / \omega_o$ )가 결정되기 위해서는 3개의 마찰요소가 작동되어야 함을 알 수 있다. 변속 기어 열의 회전속도는 속도센서를 이용하여 reverse ring gear( $\omega_{rR}$ )와 출력축( $\omega_o$ )만을 측정하므로 작동요소가 모두 해제된 상태에서 모든 회전요소에 대한 속도측정은 할 수 없도록 설계되어 있다. Fig. 3은 BF, C1, B1이 작동되는 전진 1단에서의 속도관계를 나타내는 속도선도<sup>8)</sup>이다.

### 2.2 토크컨버터

발전기능을 담당하는 토크컨버터는 기어 열을 통해 엔진 축과 증속된 기어 열을 통해 연결된 펌프, 변속 기어 열 입력축과 연결된 터빈 그리고 스테이

터로 구성되며 펌프와 터빈을 직결시키는 록업 클러치가 설계되어 있다.

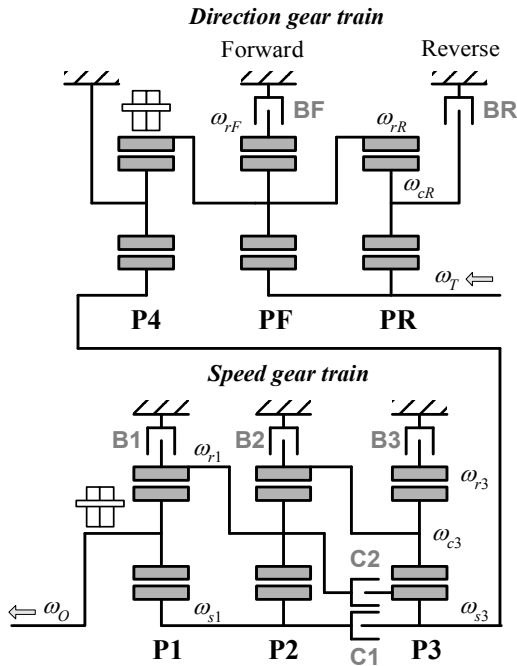


Fig. 2 Transmission gear train stick diagram

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		○	○			○

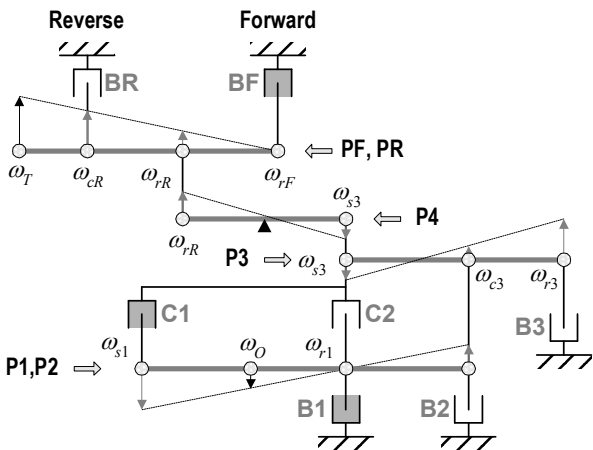


Fig. 3 Velocity diagram for forward 1st gear

2.3 유압제어시스템

Fig. 4는 변속과 록업제어 시 유압 피스톤 압력을 제어하는 기능의 유압회로를 기능블록으로 나타낸 그림이다. 엔진 축과 직결되어 회전하는 유압펌프에서 유압시스템 작동에 필요한 유량을 토출하고 릴리프 밸브는 클러치 작동 기준압인 공급압력( $p_s$ )을, 비례 솔레노이드 감압밸브에서는 비례 솔레노이드밸브 (Proportional Solenoid Valve, PSV) 작동 기준압력 ( $p_{SR}$ )을 조절한다. 클러치 피스톤을 작동시키는 제어 압력( $p_{Kx}$ )은 과일릿형(pilot type) 2방향 비례 솔레노이드밸브 제어압력( $p_{Cx}$ )으로부터 클러치 공급유량을 증폭시키는 기능의 스폴형(speed type) 감압밸브로 구성되는 압력제어모듈에서 발생되며 동일하게 설계된 8개의 압력제어모듈이 8개 유압 피스톤의 압력을 독립적으로 제어하도록 설계되어 있다. Fig. 5는 연구대상 변속기에 적용된 비례 솔레노이드밸브로 1kHz PWM으로 구동되면서 구동 전류에 비례하여 압력이 제어되는 상시 저압(normally low)형이다.

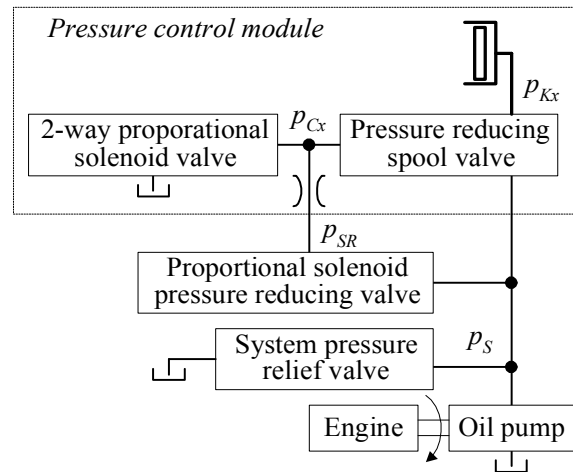


Fig. 4 Functional block of hydraulic circuit



Fig. 5 2-way proportional solenoid valve

2.4 변속제어기

궤도차량의 주행상태와 변속조건을 고려하여 변속 시점과 변속제어기능을 수행하는 변속제어기는 주연산장치로 16비트 마이크로컨트롤러를 이용하여 설계되어 있으며, 운전자 조작신호와 각종 센서 신호를 입력받아 비례 솔레노이드밸브를 구동하고 상태정보를 표시하는 기능을 갖는다. 변속제어는 변속기와 관련된 운전자 조작을 전기적인 신호로 인식하고 비례 솔레노이드밸브 구동전류를 변속제어기에서 조절하는 shift-by-wire 방식이다.

Fig. 6은 변속제어기 PCB를 보여준다. 변속제어기는 비례 솔레노이드밸브 전류제어를 위하여 shunt 저항 양단 전압 차를 측정하며, 변속제어 알고리즘은 작동 및 해제되는 비례 솔레노이드밸브 전류궤적을 통해 분석될 수 있으므로 PCB회로에 점퍼 커넥터를 납땜하여 PWM 구동신호와 전류신호를 변속기 시뮬레이터에 연결할 수 있도록 하였다.

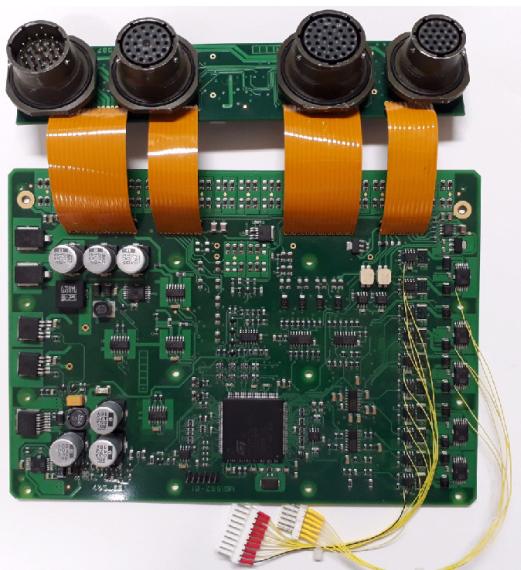


Fig. 6 TCU with jumper connectors

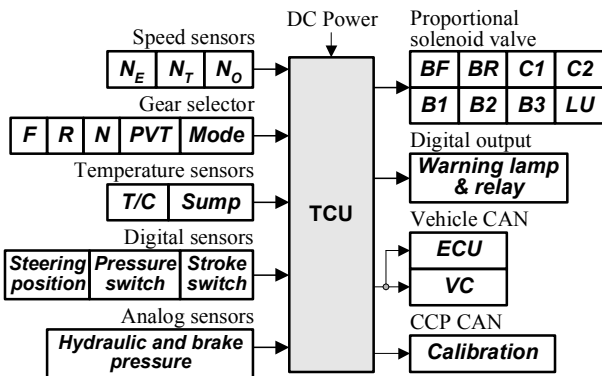


Fig. 7 TCU I/O signals

Fig. 7은 변속제어기 입출력신호의 기능을 나타내는 블록선도로 변속제어기는 엔진제어기(ECU) 및 차량컴퓨터(VC)와 250K baudrate의 CAN 통신으로 연결된다. Table 2는 차량 CAN에 적용되는 CAN 통신 프로토콜을 나타낸다. 변속제어기는 가속페달이나 엔진토크와 관련된 정보를 CAN으로 수신받아 변속제어에 이용하므로 CAN 통신에 오류가 발생하면 정상적인 변속제어가 이루어지지 않는다.

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
ACKDSD	Acknowledge of Demands and Status
TCU(Transmission Control Unit)	
MALFCTD	Malfuction 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

3. 변속기 시뮬레이터 설계

변속제어기는 커넥터를 통해 입출력되는 전기적인 신호를 자체적으로 감지하여 이상 및 오작동 여부를 검출해내는 진단기능이 있으므로 변속제어기를 정상적으로 작동시키기 위해서는 변속기 시뮬레이터에서 실제 차량에서의 상태와 유사하게 신호를 모사해 주어야 한다. 모사되는 신호의 사양은 제반 센서와 액추에이터 사양을 고려하여 결정하였으며 변속기 작동상태에 적절하게 변화시킴으로써 변속제어기에서 오류코드가 검출되지 않도록 하였다. 변속기 시뮬레이터의 입출력 신호는 변속기 작동상태에 따른 기능별 특성을 고려하여 전기적인 회로를 설계하였으며 신호상태의 변화는 TI사의 F28335 DSP를 활용하여 임베디드 프로그램으로 구현하였다. Fig. 8은 본 연구에서 개발된 변속기 시뮬레이터이다.

### 3.1 운전자 조작신호 및 센서출력

운전자 조작신호는 변속기 중립, 전후진과 피벗(pivot)을 선택하는 기어 선택기 신호와 수동/자동선택 신호 등이 있으며 모두 스위치 신호이다. 센서출력은 ON/OFF 상태를 감지하는 스위치 신호와 온도 또는 압력의 상태를 측정하는 아날로그 전압신호로 구분된다. 설계된 변속기 시뮬레이터에서는 모사대상 신호의 전압과 전류특성을 파악한 후 스위치 신호는 트랜지스터를 이용한 디지털 전압으로, 아날로그 센서신호는 D/A 컨버터를 이용한 전압으로 모사하였다.

### 3.2 디지털 전압출력과 아날로그 전류출력

변속제어기는 오작동 상태를 나타내는 경고등과 특정기능의 릴레이 구동 시 전류부하가 발생되지 않는 개방회로인 경우에는 오류로 인식하므로 이를 방지하기 위하여 적절한 코일저항을 갖는 릴레이로 전류부하를 모사하였으며, 8개의 비례 솔레노이드밸브는 Fig. 9와 같이 솔레노이드 코일과 동일한 저항을 갖는 히터코일로 대체하였다. 히터코일을 이용하면 코일저항을 다르게 하여 변속제어기의 전류제어기능을 분석할 수 있는 장점이 있다.

### 3.3 속도센서 신호

변속제어기는 토크컨버터 펌프, 터빈과 출력축 회전속도를 속도센서에서 출력되는 주기신호의 주파수로부터 연산하며, 신호 전압의 크기로부터 단선 및 단락의 오류를 파악한다. 변속기 시뮬레이터에서는 전기적인 오류가 검출되지 않는 전압신호의 크기로서 각 변속단에서의 변속비와 일치되도록 주파수를 모사하였으며 변속제어기의 변속알고리즘 분석을 위하여 변속 과도상태에서의 속도변화 궤적을 조절할 수 있는 기능을 설계하였다.

Fig. 10은 전후진 2단→3단 상향변속에서의 비례 솔레노이드전류와 속도궤적을 나타낸다. B3 브레이크 전류가 급 충전영역에서 상승할 때 시뮬레이터에서는 변속개시를 감지한 후 변속제어 알고리즘을 분석을 위하여 터빈속도 궤적과 관련된 파라미터를 다음과 같이 설정할 수 있도록 설계하였다.

- $t_{delay}$ : 터빈속도 변화가 시작되는 시간지연
- $t_{shift}$ : 터빈속도 변화시간으로 변속비는  $t_{shift}$  동안 연속적으로 변화한다.
- $N_E - N_T$ : 토크컨버터 펌프와 터빈 속도 차

### 3.4 CAN 통신

엔진제어기와 차량컴퓨터에 해당되는 Table 2의 CAN 메시지를 송신하는 기능과 변속제어기에서 송신하는 CAN 메시지를 수신하여 변속제어기 내부정보를 표시하는 기능을 구현하였으며 변속제어에 영향을 미치는 EEC1의 PT(percent torque)와 EEC2의 AP(acceleration pedal)를 변속기 시뮬레이터에서 설정할 수 있도록 하였다.

### 3.5 모니터링 프로그램

마이크로컨트롤러로 설계된 변속기 시뮬레이터는 변속제어기에 입력되는 운전자 작동신호와 각종 센서신호를 실제 조작 스위치나 센서없이 PC에서 수행되는 모니터링 프로그램에서 제어하는 simulation-by-wire 방식으로 설계하였다. 또한, Fig. 11의 모니터링 프로그램에서는 CAN으로 송신하는 데이터를 수집하여 변속제어기의 작동상태를 표시하고 파일로 기록하는 기능을 갖는다.



Fig. 8 Transmission simulator

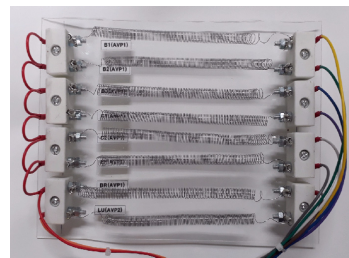


Fig. 9 Heater coil for solenoid current load

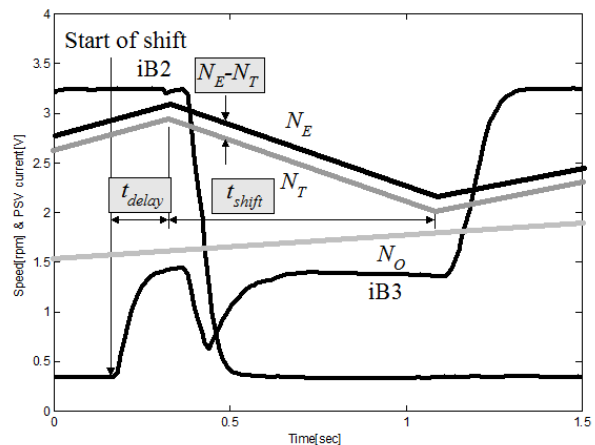


Fig. 10 Typical transient response for F2→F3

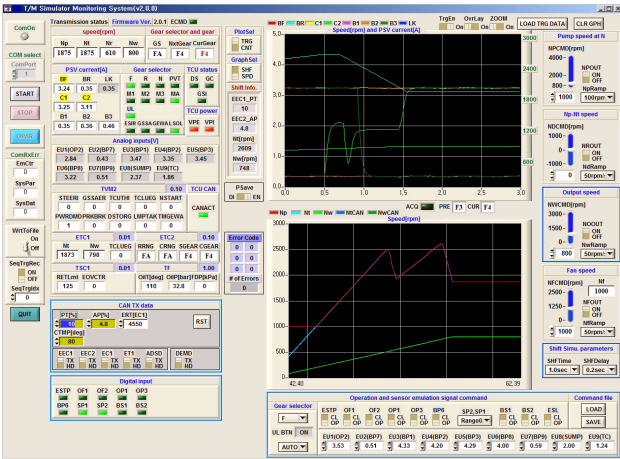


Fig. 11 Monitoring program main window

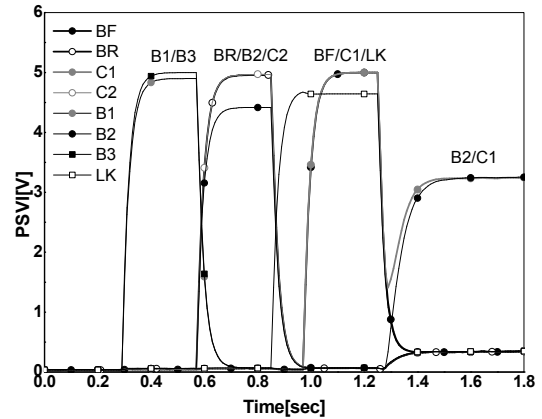


Fig. 12 PSV current during initialization

#### 4. 성능시험

본 연구에서 개발된 변속기 시뮬레이터를 분석대상 궤도차량용 변속제어기에 연결하여 변속제어와 관련된 제반 성능을 분석하였다.

Fig. 12는 전원 스위치가 ON되는 시점의 초기화 과정에서 변속제어기가 제어하는 비례 솔레노이드밸브 구동전류에 비례하는 전압을 나타낸다. 변속제어기는 대략 0.2-0.3초 동안 B1/B3, BR/B2/C2, BF/C1/LK를 순차적으로 작동시켜 발생하는 전류를 확인한 후 정상인 경우에만 다음 과정으로 진행하고 어느 하나가 단선인 경우에는 전류가 발생되지 않으므로 오류를 검출하고 해당되는 비상작동모드로 전환한다. Fig. 12에서 B2 비례 솔레노이드밸브를 대체한 히터코일은 33Ω으로 27Ω의 B3 히터코일보다 크므로 구동전류가 작게 발생하였다. 초기화 과정이 완료된 이후에는 B2, C1 비례 솔레노이드밸브는 3.3V, 나머지 6개 비례 솔레노이드밸브는 0.3V로 전류를 제어하면서 중립상태를 유지한다.

Fig. 13은 저항이 다른 B2와 B3 대체 히터코일을 바꿔가면서 수행된 F2→F3 상향변속을 나타낸다. 비례 솔레노이드밸브 저항이 달라져도 변속조건이 같으면 변속 시 제어되는 전류궤적이 동일하고 이를 위해서 33Ω의 B3 비례 솔레노이드밸브에 작용하는 PWM 듀티율이 27Ω의 경우보다 높음을 알 수 있다. 이는 비례 솔레노이드밸브 제어압이 코일에 흐르는 전류에 비례하므로 온도에 따라 변화되는 솔레노이드 코일저항이나 배터리 구동전압의 영향을 배제하기 위하여 변속제어기에서 전류제어를 한다고 분석된다.

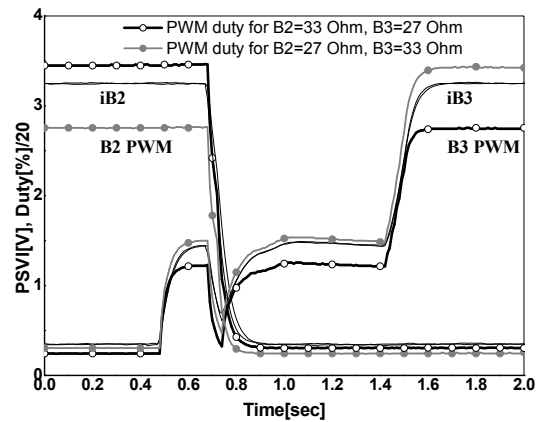
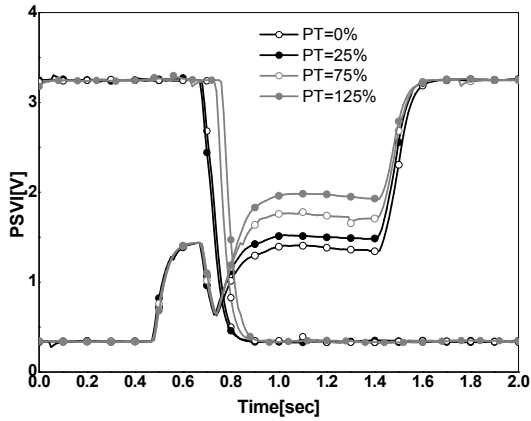
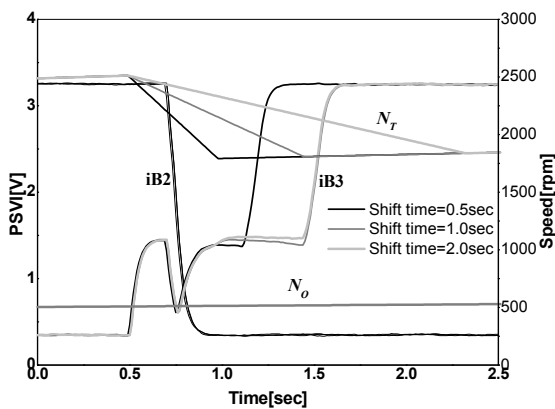


Fig. 13 PSV current and PWM duty for F2→F3

Fig. 14는 엔진제어기에서 송신하는 EEC1 CAN의 PT와 변속 시 터빈속도 궤적 변화에 따른 변속제어기의 변속특성을 보여준다. PT는 엔진토크의 크기로 변속기에 입력되는 토크가 클수록 F2→F3 변속의 관성영역에서 결합되는 B3 브레이크의 작동압이 높게 되도록 전류를 크게 제어한다. 그러나 변속 초기의 클러치 충전영역에서는 PT에 무관하게 동일한 전류궤적으로 B3 비례 솔레노이드밸브 전류가 제어됨을 확인하였다. 설계된 변속기 시뮬레이터는 터빈속도가 변화되는 시간을 조절할 수 있으며 Fig. 14(b)는 변속 시간에 따른 변속제어특성을 나타낸다. 변속시간이 0.5초로 짧으면 변속이 완료되는 시점에서 B3 비례 솔레노이드밸브 전류제어를 중지하고 결합전류로 제어하는 반면에 변속시간이 1초와 2초로 긴 경우에는 B2와 B3 비례 솔레노이드밸브 전류제어 궤적이 동일하므로 분석대상 변속제어기는 변속이 시작될 때의 변속조건에 대해 설계된 기준 전류궤적을 추종하는 개루프 방식의 변속제어가 적용됨을 알 수 있다.



(a) for percent torque variation



(b) for turbine speed variation

Fig. 14 PSV current trajectory of F2→F3

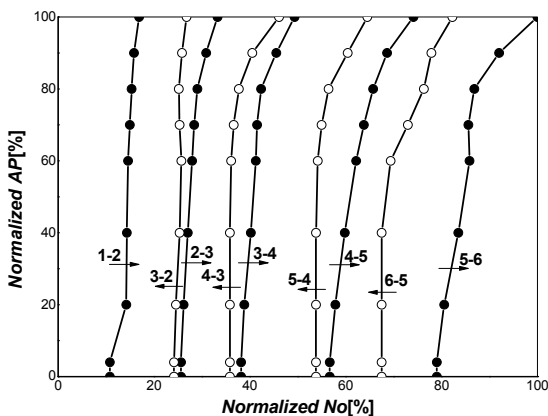


Fig. 15 Shift map

Fig. 15는 자동변속모드에서 EEC2 CAN의 AP와 출력축 속도에 의해서 결정되는 전진 변속단을 파악한 후 변속선도를 정규화하여 나타낸 결과이며 AP는 가속페달 최대 작동량, 출력축 속도는 임의로 설정된 rpm 단위의 최대속도로 정규화하였다.

빈번한 변속을 방지하기 위하여 상향 및 하향 변

속선이 다른 히스테리시스(hysteresis) 특성이 있으며 AP 값이 클수록 빠른 가속을 위하여 변속이 지연됨을 확인하였다.

## 6. 결론

승용차를 대상으로 개발되었던 다양한 종류의 전자화기술은 건설 중장비 및 농기계뿐만 아니라 특수 목적 차량에도 확대 적용되고 있다. 특히, 자동변속기를 제어하는 변속제어기는 연비, 가속성능, 변속품질, 내구 등의 성능향상을 목적으로 해외 선진사가 일찍이 전자화하였고 기술개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 전자제어방식 변속제어기는 핵심기능이 임베디드 프로그램으로 구현되어 선진제품 분석을 통한 설계방식의 개발이 불가능하다.

본 연구에서는 무한궤도 차량에 적용되는 변속제어기를 대상으로 실차에 탑재된 변속기의 작동상태와 유사한 전기적인 신호를 모사함으로써 변속제어기가 단독적으로 정상작동 될 수 있는 기능의 변속기 시뮬레이터를 개발하였다. 이를 위하여 분석대상 변속기의 구조와 동력전달특성, 변속제어기의 전기적 입출력신호를 분석하고 변속기 작동상태에 적절하게 운전자 작동신호와 제반 센서신호 사양을 설계하였으며 마이크로컨트롤러를 이용한 임베디드 프로그램으로 작동신호 모사기능을 구현하였다.

개발된 변속기 시뮬레이터를 연구대상 변속제어기에 연결하여 다양한 조건에서 변속시험을 수행하여 기능을 검증하였으며 변속시험 데이터 분석을 통해 분석대상 변속제어기에 설계된 변속제어 알고리즘을 파악할 수 있었다. 본 연구를 통해 얻어진 분석결과는 변속제어기 연구에 활용될 수 있을 것으로 기대되고 향후에는 진단(diagnosis) 및 안전작동(failsafe) 기능을 분석하기 위한 시뮬레이터 기능 설계와 시험도 진행할 계획이다.

## 후 기

## 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 and K. I. Lee, "Hardware-In-The- Loop Simulation of Automatic Transmission for Passenger Cars," 2000 KSAE Spring Conference Proceeding, Vol.I, pp.355-362, 2000.
  - 3) 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.
  - 4) 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.
  - 5) G. H. Jung, S. H. Shin, S. I. Lee and H. J. Kim, "A Development of TCU Analyzer for Wheel Loader Automatic Transmission", KSAE 2006 Autumn Conference, pp.1405-1410, 2006.
  - 6) 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.
  - 7) G. H. Jung, "Analysis of Diagnosis and Failsafe Algorithm Using Transmission Simulator", Transactions of KSAE, Vol.22, No.4, pp.89-97, 2014.
  - 8) Howard L. Benford and Leising, M, "The Lever Analogy: A New Tool in Transmission Analysis," SAE 810102, 1981.