

건설차량용 자동변속기의 변속제어기 개발연구

A Research on Shifting Controller Development of a Automatic Transmission for Construction Vehicles

정규홍*, 이교일**
GyuHong Jung, Kyoll Lee

ABSTRACT

In this research, a transmission control unit was developed for a wheel loader on the basis of 16-bit micro-controller system. The TCU has the basic functions which include shifting control algorithm, actuation of six proportional solenoid valves, signal conditioning for four speed sensors, remote data monitoring capability with RF-module and duty cycle identification system which could identify the duty cycles from PWM signals. In order to design the control system, the overall transmission structure of the wheel loader was investigated and its characteristics of shifting were analyzed in advance. For the purpose of identifying the existing control algorithm and acquire some information about the shifting performance, the shifting experiments were performed for various shifting conditions with the conventional TCU. From the previous work on the conventional TCU, the shifting scheme was designed with the open-loop control which is based on the experimental data only to verify the feasibility of the developing TCU's shifting capability. The experimental results show comparable shifting characteristics to that of conventional TCU though the tests were performed at restricted shifting conditions. Hence, we could have the confidence for the development of the wheel loader automatic transmission TCU and its shifting quality could be improved with the adoption of appropriate feedback control scheme.

주요기술용어 : Wheel loader(휠로더), Automatic transmission(자동변속기), Transmission control unit(자동변속기 전자제어유닛)

1. 서론

운전자가 주행상황을 판단하여 수동으로 작동시키는 클러치와 변속레버에 의하여 기어열의 맞물림이 변화됨으로써 변속기능이 이루어지는 수동변속기에 비하여 자동변속기는 단순

히 변속레버만을 조작하거나(수동변속기능) 변속제어기에 내장된 변속선도에 의하여(자동변속기능) 자동적으로 변속이 이루어지게 되므로 운전의 편의성이 우수하여 일찍이 승용차를 적용 대상으로 연구개발이 진행되어 왔다. 최근에 개발되는 자동변속기는 대부분 전자제어장치(TCU)에 의하여 변속제어기능이 수행되므로 부드러운 변속특성의 구현과 연비향상이 가능하게 되었다.

* 회원, 대전대학교 기계설계공학과

** 회원, 서울대학교 기계항공공학부

휠로더(wheel loader)는 건설현장에서 토사를 차량에 적재하거나 운반하는 작업을 수행하는 건설기계로서 작업시 운전자는 빈번하게 전, 후진의 주행을 반복적으로 수행하여야 할 뿐만 아니라 버켈(bucket)과 붐(boom)을 동시에 조작하여야 하므로 효율적인 작업을 수행하기 위하여 변속조작이 간편한 자동변속기의 장착이 점차 일반화되고 있다.

휠로더용 자동변속기는 일반 승용차용 자동변속기에 비하여 수요가 많지 않으므로 이와 관련된 연구개발이 매우 미흡한 상태이며, 현재 국내에서 생산되는 휠로더에 장착되는 자동변속기는 전량 수입에 의존하고 있는 상태이다. 자동변속기와 관련되어 수행되고 있는 연구로는 토크 컨버터, 유성기어열, 유압제어시스템 등에 대한 각 부품의 특성을 분석하는 연구 외에 변속 동특성연구¹⁻³⁾와 변속 시 발생하는 충격을 저감할 수 있는 변속제어기법^{4,5)}에 대한 연구가 주로 이루어지고 있다. 그러나, 변속제어 알고리즘이 하드웨어에 구현되어 실제 변속제어 기능을 수행하는 TCU(Transmission Control Unit)와 관련된 연구는 대상 자동변속기의 입출력신호 사양에 대한 세부정보를 입수하기가 용이하지 않고 실차실험과 관련된 적절한 환경의 확보가 어려우므로 주로 자동차회사에서 자체적으로 개발하고 있으며 이와 관련된 많은 연구결과가 회사기밀에 속하므로 대외적으로 발표되고 있지 않다.

본 연구에서는 현재 현대중공업에서 생산되고 있는 HL-730 모델의 휠로더 자동변속기를 대상으로 기본적인 자동변속기의 입출력신호를 처리하여 변속제어가 가능한 TCU를 설계하였고 실차실험을 통하여 기존 TCU의 변속제어특성을 분석한 후 이를 바탕으로 개루프방식의 변속제어기를 구현하였으며 실차실험을 통하여 성능을 검증하였다.

2. 휠로더 자동변속기의 구조

휠로더 자동변속기에서 동력의 흐름은 엔진

에서 발생하는 구동력이 토크 컨버터와 기어열을 통하여 출력축으로 전달되는 구조를 갖는다. 토크 컨버터는 휠로더의 발전기구로서 정지시 엔진의 연속적인 회전을 가능케 하고 토크증배 기능을 갖는다. 휠로더는 대부분 저속영역에서 작업이 이루어지므로 일반적인 승용차용 자동변속기와 달리 스테이터가 하우징에 고정되어 항상 컨버터 영역에서 작동하며, 록업기능은 없다. Fig. 1은 휠로더 자동변속기의 기어열 구조를 Table 1은 각 변속단에서 작동되는 클러치의 상태를 나타낸다. 전진4속, 후진3속의 변속비를 가지며 8개의 회전축과 6개의 클러치에 의하여 결합과 해제가 제어되는 6개의 기어회전체에 의하여 변속비가 변화된다. 따라서, 기어열에는 모두 14개의 회전요소가 존재하며 Fig. 1에 나타난 바와 같이 상시 맞물려 회전하는 기어쌍이 11개이므로 변속비가 결정되기 위해서는 2개의 클러치가 결합되어야 한다. 모든 변속과정은 하나의 클러치를 해제하고 다른 하나의 클러치를 결합함으로써 변속이 진행되는 클러치 대 클러치변속 특성을 갖는다.

각 변속단에서 회전축 속도의 크기와 방향 및

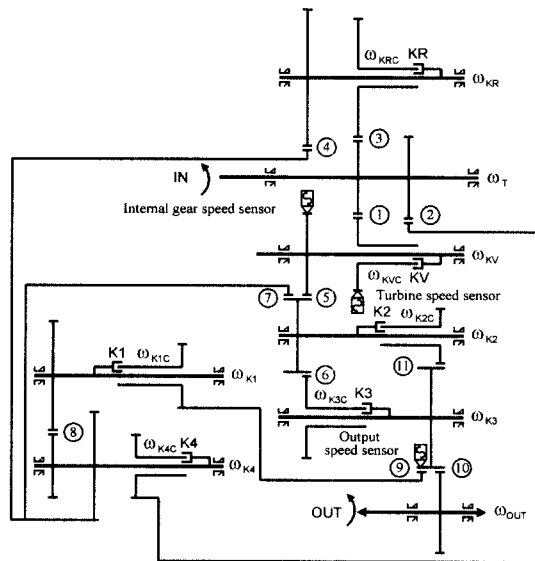


Fig. 1 Stick diagram of wheel loader A/T

Table 1 Clutch operation for each gear

Driving direction	Speed	Engaged clutch	
Neutral	1-4	×	×
Forward	1	KV	K1
	2	KV	K2
	3	KV	K3
	4	K3	K4
Reverse	1	KR	K1
	2	KR	K2
	3	KR	K3

동력의 흐름을 보다 이해하기 쉽게 나타내기 위하여 속도선도가 일반적으로 사용된다. Fig. 1에 나타난 휠로더 자동변속기의 동력전달장치에서 각 회전체는 상시 맞물려서 회전하는 3개의 그룹으로 분류할 수 있으며, 각 그룹에 속하는 회전체의 속도는 어느 한 개의 속도가 알려지면 고유하게 결정된다. Group 2에 속하는 회전체의 속도는 어느 하나의 속도가 주어지면 결정되므로 3개의 입력회전요소 중에서 한 개의 회전체만을 통하여 동력이 전달되어야 하며, 동일하게 3개의 출력회전요소 중에서 어느 한 개의 회전체만을 통하여 회전력이 Group 3에 전달되어야 한다. 즉, KV, KR, K4 클러치와 K1, K2, K3 중에서 한 개씩만이 결합되어야 한다. 예를 들어, 만약 KV, KR 클러치가 동시에 작동되는 경우에는 1자유도 시스템에 서로 다른 2개의 입력이 작용하여 동력이 전달되지 않게 된다. 휠로더 자동변속기의 동력전달장치에 대한 속도선도는 각 그룹에 대하여 작성된 속도선도의 입출력 회전요소를 해당되는 클러치로 연결함으로써 구해질 수 있으며, 전진 1속(KV, K1 클러치 결합)인 경우에 속도선도를 나타내면 Fig. 2와 같다. 여기서, 각 회전체 속도의 크기와 방향은 수평레버로부터의 거리와 방향으로 결정되며, 기어 잇수에 따라 수평레버에서의 상대적인 거리가 결정된다.

휠로더 자동변속기에서 변속제어시 각 클러치의 압력제어기능을 담당하는 유압제어 시스템은 Fig. 3에서와 같이 각 클러치에 대하여 2방

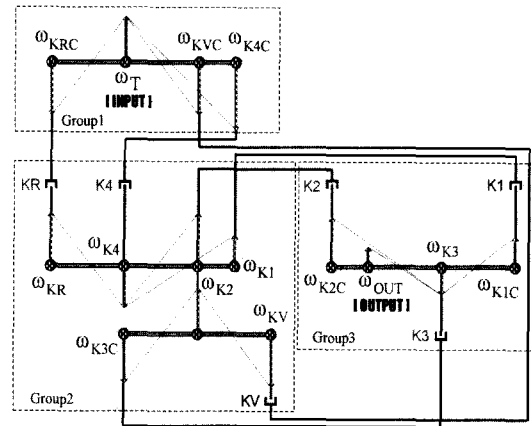


Fig. 2 Lever diagram of wheel loader A/T

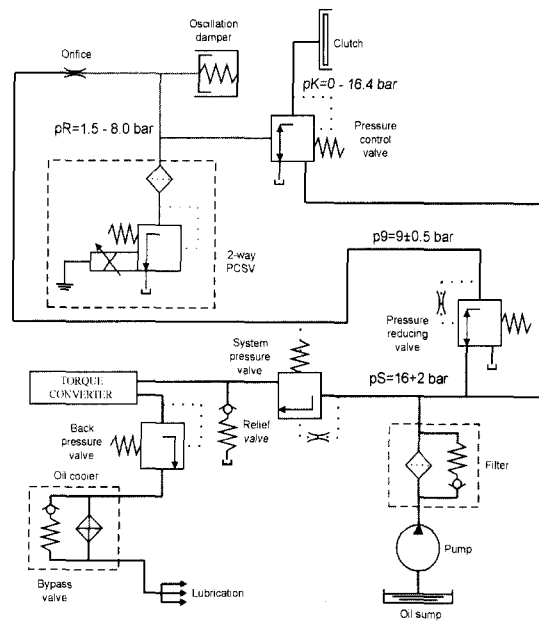


Fig. 3 Hydraulic circuit of wheel loader A/T

향 비례제어 솔레노이드밸브와 감압밸브를 이용하여 독립적으로 설계된 6개의 압력제어 모듈에 의하여 이루어진다. 펌프는 엔진축과 직결되어 회전하므로 유압제어시스템의 라인압력은 항상 릴리프밸브에서 설정된 압력을 유지한다. 이는 휠로더 작업시 요구되는 F1↔R1/F2↔R2의 변속과정이 중립(neutral)의 중간단계를 거치지 않고 이루어지도록 하기 위함으로 분석된다.

3. 개발된 변속제어시스템의 설계

휠로더 자동변속기의 변속제어를 위하여 설계, 제작된 TCU의 구성과 기능은 다음과 같다.

3.1 마이크로 컨트롤러

Infineon社에서 개발된 C167CR의 16비트 마이크로 컨트롤러를 기반으로 설계된 evaluation board를 사용하였으며 Ertec社의 어셈블러를 이용하여 시스템 프로그램을 개발하였다. 선정된 마이크로 컨트롤러의 주변장치(on-chip peripheral subsystem)를 이용하여 구현된 주요기능은 다음과 같다.

- 4채널의 회전속도연산
: 연산분해능은 1rpm 이하
- 6채널의 PWM 신호발생
: 반송주파수 1KHz, 0.16%의 듀티율 분해능
- 6채널의 10비트 A/D 변환
: 비례제어 솔레노이드 밸브와 직렬로 연결된 shunt 저항의 전압 차로부터 구동전류 측정
- 변속레버신호의 인식 및 개루프 변속제어
- 유온측정
- 듀티율 인식기와의 통신
- 변속성능 모니터링을 위한 직렬통신
: 40바이트의 데이터를 10ms 주기로 변속 개시 전 0.5sec와 개시 후 2.5sec 동안 저장하며 변속이 종료된 후 RF-module(Radiometrix社의 BiM-433F)을 이용하여 변속과정에서 획득된 데이터를 baudrate 19,200으로 오프라인 전송

3.2 솔레노이드 밸브 구동회로

TTL 레벨의 듀티율 신호로부터 power FET(IRF 530)를 이용하여 비례제어 솔레노이드 밸브를 ON/OFF시켜 구동전류를 가변시키는 기능을 담당하며, 부가적으로 설계된 AD22057(difference amplifier)은 구동전류에 비례하는 전압을 출력시키는 기능을 갖는다.

3.3 듀티율 인식기

기존 TCU에 의한 변속제어 시 출력되는 TTL

레벨의 PWM 신호로부터 듀티율의 정보를 인식하기 위하여 SCENIX社의 8비트 원칩(one-chip) 마이크로 컨트롤러를 이용하여 설계하였으며, 5 μ s 단위로 high 상태의 PWM를 측정하므로 1 KHz의 반송주파수를 갖는 PWM 신호에서의 측정오차는 $\pm 0.5\%$ 이다.

3.4 LCD 모듈

4행x16열의 LCD를 이용하여 표시모드에 따라 변속제어기의 내부정보를 표시하는 기능을 갖는다.

3.5 변속레버 모사회로

실제의 변속레버에서 출력되는 신호를 모사하기 위하여 3-position 스위치(P,N,R)와 4-position 스위치(1,2,3,4)를 이용하여 설계하였다

3.6 변속성능 모니터링 시스템

개발 TCU를 이용한 변속제어시 C167CR 마이크로 컨트롤러에서 변속이 종료된 이후에 RF-module을 통하여 전송되는 변속성능과 관련된 정보를 획득하기 위하여 80C196KC를 이용하여 별도의 RF-데이터 수신장치를 설계하였으며 PC에서 수행되는 최종적인 데이터의 수신기능은 HP-VEE 5.0을 이용하여 설계하였다. Fig. 4는 본 연구에서 설계된 RF-module을 이용한 변속성능 모니터링 시스템에서 저장된 변속 데이터의 흐름을 나타낸다.

3.7 속도신호 처리회로

휠로더 자동변속기에는 엔진, 터빈, 인덕티브기어(inductive type sensor), 출력축의 회전속도 측정(hall sensor)을 위한 속도센서가 장착되어 있

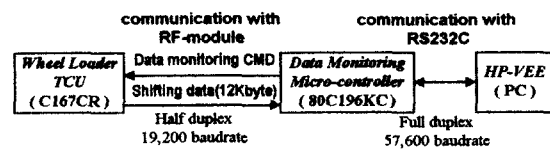


Fig. 4 Shifting data monitoring system

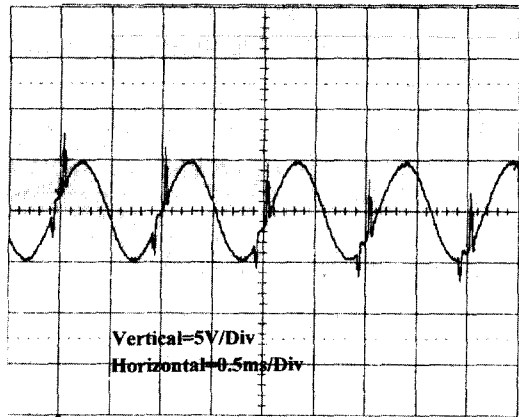


Fig. 5 Noise signal in turbine speed sensor output

다. 이러한 속도센서의 출력신호는 파형뿐만 아니라 전압사양도 상이하므로 마이크로 컨트롤러에서 인식하기 위해서는 TTL 레벨의 구형파 신호로 정형화하는 신호처리회로가 필수적이다. 특히, 비례제어 솔레노이드 밸브의 PWM 구동에 의하여 속도신호에 유입되는 잡음은(Fig. 5 참조) 안정된 속도신호의 연산을 저해하므로 자동변속기의 전 작동영역에서 유효한 속도신호의 주파수 대역을 분석하여 잡음신호가 제거될 수 있도록 신호처리회로를 설계하여야 한다. 본 연구에서는 비례제어 솔레노이드 밸브의 구동에 의하여 유입되는 잡음을 제거하고 속도신호의 AC성분만을 검출하기 위하여 대역통과필터(band-pass filter)를 설계하였다. 자동변속기의 전 작동영역에서 유효한 속도신호의 주파수대역은 4KHz 이하이고, 유입되는 잡음은 10KHz 이상임을 고려하여 대역통과필터의 고주파 절점주파수를 3.4KHz로 선정하였다.

Photo 1과 Photo 2는 본 연구에서 개발된 변속 제어기와 RF-module을 이용한 데이터 모니터링 시스템을 나타내며, Fig. 6은 설계된 변속제어기의 입출력신호구조를 나타낸다.

4. 변속종류분석

전진4속, 후진3속의 변속비를 갖는 휠로더 자

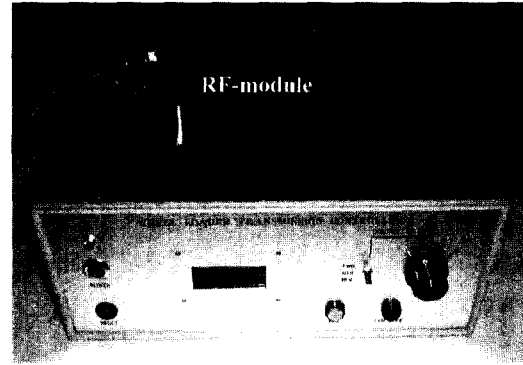


Photo. 1 Developing TCU for wheel loader

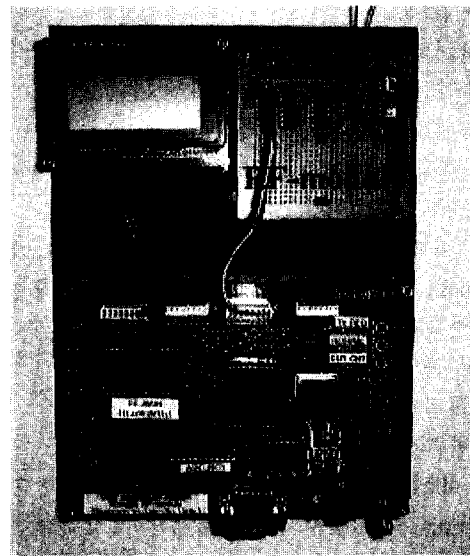


Photo. 2 RF-data receiver module

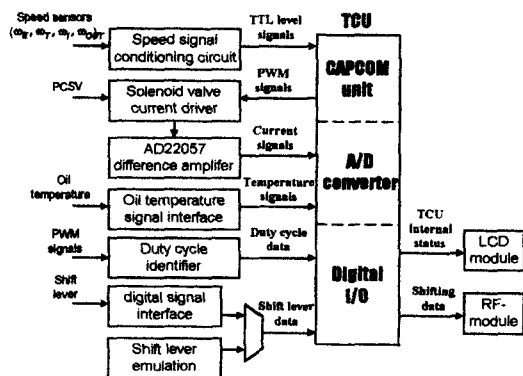


Fig. 6 Signal flows in HHI TCU

Table 2 Classification of wheel-loader transmission shift

CG	NG	N	F				R		
			1	2	3	4	1	2	3
	N	*	N→F1	N→F2	N→F3	N→F4	N→R1	N→R2	N→R3
F	1	F1→N	*	F1→F2	*	*	F1→R1	*	*
	2	F2→N	F2→F1	*	F2→F3	*	*	F2→R2	*
	3	F3→N	*	F3→F2	*	F3→F4	*	*	*
	4	F4→N	*	*	F4→F3	*	*	*	*
R	1	R1→N	R1→F1	*	*	*	*	R1→R2	*
	2	R2→N	*	R2→F2	*	*	R2→R1	*	R2→R3
	3	R3→N	*	*	*	*	*	R3→R2	*

동변속기에는 변속레버의 위치에 따라 변속단이 결정되는 수동변속모드(주로, 작업시 이용)와 TCU 내부에 설계된 변속선도에 의하여 변속단이 결정되는 자동변속모드(주로 주행시 이용)가 있으며, 특정 변속비를 건너 뛰어 변속이 이루어지는 건너 뛴 변속(skip shift)는 허용되지 않으므로 발생할 수 있는 모든 변속의 종류를 나타내면 Table 2에서와 같이 28종류로 분류된다. 휠로더는 작업특성상 빈번하게 전후진이 이루어지므로 중립상태를 거치지 않고 전 후진의 변속제어가 가능하도록 설계된다. 또한, 중립상태에서는 모든 클러치가 해제되는 경우와 전진/후진의 변속단에서 중립으로 변화되었을 때 K1(또는, K2) 클러치만이 결합된 반 중립(N1_S, N2_S)으로 구분할 수 있으며, 이러한 반 중립상태에서 다시 전진/후진의 변속이 이루어지는 경우를 고려하면 4가지의 변속종류가 추가된다. Fig. 7은 기존의 TCU가 적용된 자동변속기에서 반 중립에서 후진1속으로 변속이 일어나는 경우의 실험결과를 나타낸다. 전진 1속에서 중립으로 변속레버의 위치가 바뀌면 KV 클러치가 해제되고 일정시간 후에 K1 클러치의 해제가 이루어지게 되는데, 이 시간동안에 다시 변속레버의 위치가 전진/후진으로 변화되면 K1 클러치의 해제 없이 바로 전진/후진 1속으로 변속이 이루어진다.

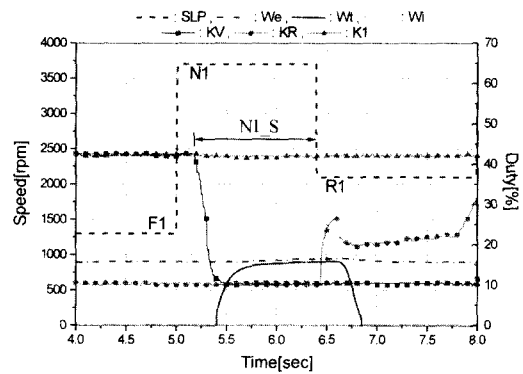
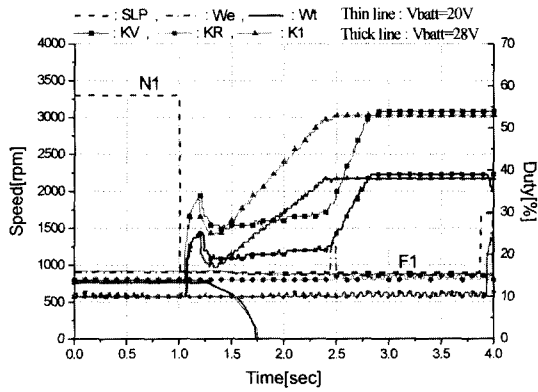


Fig. 7 Experimental result for N1_S→R1 shift

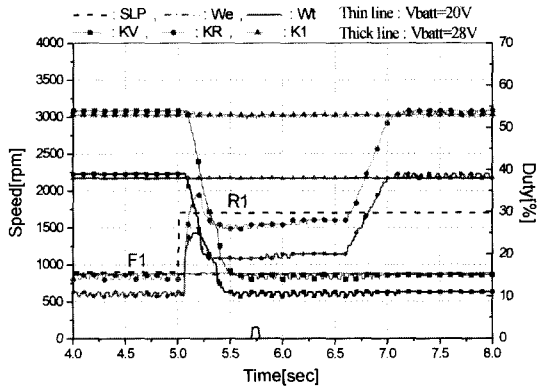
5. 기존 TCU의 변속특성분석

휠로더의 변속제어기능을 담당하는 기존 TCU를 대상으로 변속조건에 따른 변속제어 성능을 확인하기 위하여 유온과 비례제어 솔레노이드 밸브의 구동전압이 상이한 변속조건하에서 실차변속실험을 실시하였다. 유온은 17°C와 74°C의 변속조건을, 구동전압은 정상적인 배터리의 출력전압인 28V와 이보다 낮은 20V인 상태에서 변속실험을 실시하였으며 Fig. 8에 실험결과를 나타내었다.

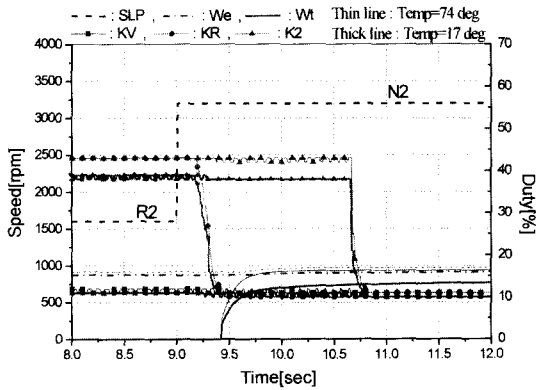
실험결과로부터 기존 TCU는 유온이 높고 비례제어 솔레노이드 밸브의 구동전압이 낮을수록 클러치의 결합제어에 인가되는 듀티율을 높



(a) N→F1 shift at 17°C



(b) F1→R1 shift at 17°C



(c) R2→N shift at 28V

Fig. 8 Shifting characteristics of ZF TCU

계 출력함을 확인할 수 있었다. 이는 유온이 높을수록 오일의 점도가 낮아짐에 따라 누유의 증가로 인하여 동일한 듀티율에 대하여 발생하는 제

어압이 낮으며, 구동전압이 낮을수록 동일한 듀티율에 대하여 구동전류가 작아지게 되어 제어압이 낮아지는 현상을 보상하기 위함으로 분석된다. 유온변화에 대해서는 측정된 온도에 대하여 미리 설계된 듀티율(또는, 비례제어 솔레노이드 밸브의 기준전류)을 인가하는 보상방식이며, 구동전압의 변화에 대해서는 실시간으로 구동전류를 측정하여 변속제어시 미리 설계된 전류의 궤적을 추종하는 펄스폭제어방식의 보상으로 추정된다.

모든 클러치의 결합이 해제되는 중립상태에서는 각 비례제어 솔레노이드 밸브에 일정한 듀티율이 인가됨을 알 수 있으며, 이는 PWM 구동에서 나타나는 불감대(dead zone)를 보상함으로써 신속한 제어압의 응답특성을 얻기 위함으로 분석된다.

6. 개발 TCU의 변속제어기 설계

일반적인 자동변속기에서 TCU의 주요한 기능은 변속시점의 결정과 변속시 발생하는 충격을 저감시킬 수 있는 변속제어로 대별된다. 휠로더의 경우에는 전술된 바와 같이 주행시에만 TCU에 설계된 변속선도에 의하여 자동변속이 이루어지고 작업시에는 변속레버에 의한 수동 변속(F2↔R2 변속)이 주로 사용되므로 TCU의 핵심적인 기능은 우수한 변속품질 구현하기 위한 변속제어라 할 수 있다. 이러한 변속제어 알고리즘의 설계는 다양한 변속조건에서도 우수하고도 동일한 변속품질을 구현하기 위하여 동력전달계에 대한 심도 있는 변속시의 과도특성 분석과 이를 바탕으로 적절한 제어기법의 적용하여 수행되어야 하나 본 연구에서는 개발 TCU에 의한 변속제어의 가능성만을 검증하기 위하여 듀티율 인식기를 통하여 획득된 기존 TCU의 변속제어시 듀티율 궤적을 모사하여 인가하는 개루프방식의 변속제어기를 설계하였다.

Fig. 9는 개발 TCU에 기존 TCU의 변속제어시 듀티율 궤적의 데이터를 정형화하여 입력하기 위

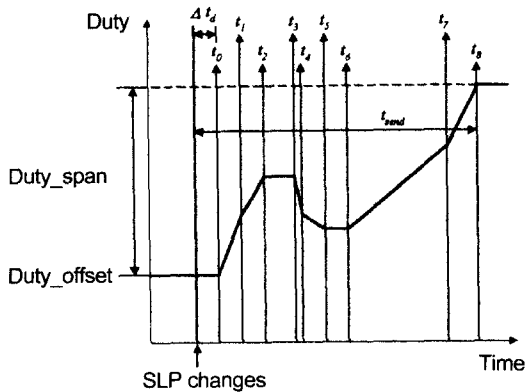


Fig. 9 Shift control duty pattern for applying clutch

한 변수를 나타낸다. 개루프 변속제어의 변수로는 변속레버의 위치변화가 인식된 이후에 변속개시의 지연시간(Δt), 변속 완료시간(t_{send}), 해제상태의 듀티율(duty_offset), 해제상태와 결합상태의 듀티율 차이(duty_span)와 최대 15개로 나뉘어진 시간에서의 듀티율을 duty_span 변수에 대하여 %단위로 나타낸 비율로 구성된다. duty_span 및 duty_offset 변수는 기존 TCU의 실차실험 결과를 바탕으로 개발 TCU에서 측정된 온도에 따라 변화시킴으로써 유온변화에 대한 보상을 구현하였다.

이상과 같이 설계된 개발 TCU의 변속제어방식은 변속레버의 위치변화가 인식되었을 경우에만 미리 설계된 듀티율의 궤적으로 비례 제어 솔레노이드 밸브의 압력을 제어하는 개루프방식이며, 자동변속기능, 비례제어 솔레노이드 밸브의 구동전류제어기능, 변속 중 변속기능(예를 들면, 반 중립상태에서의 변속기능) 등은 아직까지 구현되어 있지 않다.

7. 개발 TCU의 변속실험

기존 TCU의 변속실험결과를 바탕으로 설계된 개발 TCU 변속성능을 검증하기 위하여 실차 변속실험을 실시하였다. 변속조건은 가속페달을 밟지 않은 상태에서 실시하였으며 변속레버를 조작하여 발생하는 전 후진 변속을 대상으로

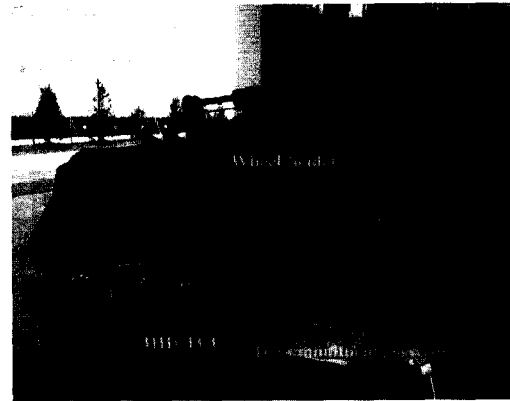


Photo. 3 View of wheel-loader shifting test

하였다. Photo 3은 실차실험의 상태를 보여주는 사진이며, Fig. 10은 변속실험결과를 나타낸다.

중립에서 전진1단으로 변속레버의 위치가 변화되면 인가되는 듀티율의 궤적에 의하여 변속이 진행되어 터빈속도가 저하되면서 인터널기어의 속도와 일치하게 되며, 브레이크를 밟지 않은 상태이므로 터빈속도가 점차 증가하면서 휠로더는 전진을 하게 된다. 저속으로 전진하는 상태에서 후진1단으로의 변속 시에는 터빈과 인터널기어의 회전속도가 역전되므로 일시적으로 속도가 저하된 후 다시 증가하여 후진하게 되며, 다시 중립으로의 변속시에는 KV 클러치가 해제되면서 터빈속도가 엔진에 근접하게 됨을 알 수 있다.

개발 TCU를 대상으로 실시된 변속실험은 엔진의 출력토크가 낮은 변속조건이었으므로 개루프방식의 제어를 적용하는 경우에도 안정된 변속특성을 나타내었으며, 설계된 TCU의 제반기능이 정상적으로 작동됨을 확인하였다.

8. 결론

본 연구에서는 휠로더 자동변속기의 변속제어기능을 수행하는 TCU와 RF-module을 이용하여 변속성능을 원격으로 모니터링할 수 있는 시스템을 개발하였다. 개발된 TCU의 변속제어 알고리즘은 설계된 변속제어기의 입출력 신호처리와 관련된 제반기능과 변속제어의 가능성만

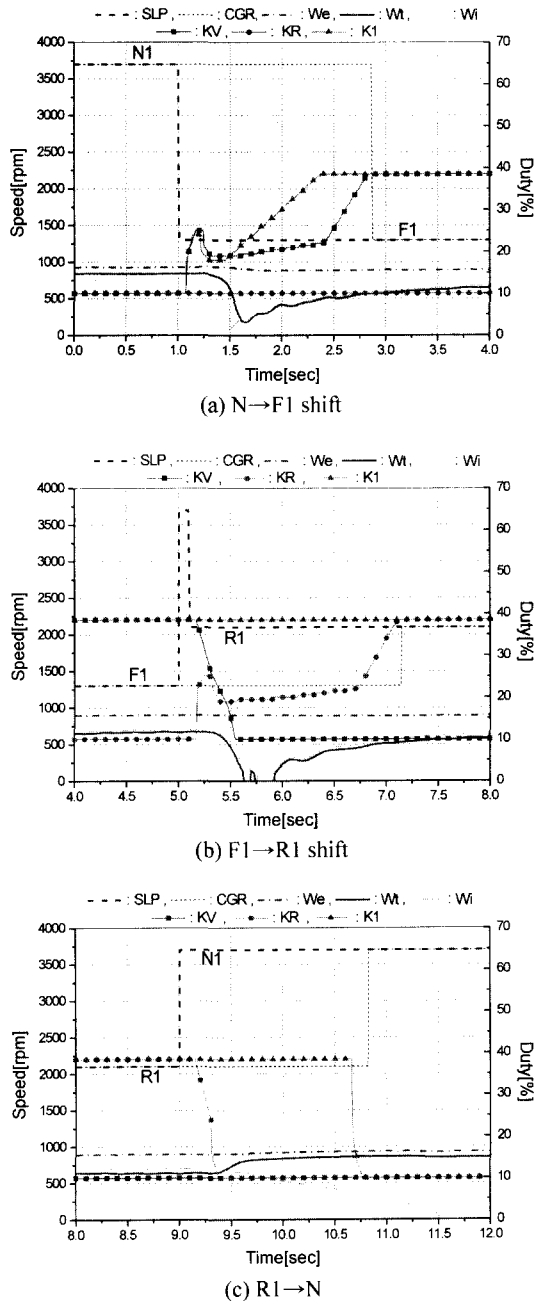


Fig. 10 Shifting characteristics of HHI TCU

을 검증하기 위하여 기존 TCU의 변속실험결과를 바탕으로 개루프방식으로 설계하였다. 실차 변속실험을 통하여 설계된 하드웨어의 기본적인 기능과 비록 제한된 조건에서 수행되었지만

개발 TCU의 정상적인 변속제어기능 및 성능을 확인하였다. 향후에는 비례제어 솔레노이드 밸브의 전류제어 및 터빈속도의 페루프 제어기법을 통하여 변속품질의 향상방안에 관하여 연구가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 현대중공업의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 심현수, 정연민, "HIVEC 4속 자동변속기 변속특성분석(Part I) -동력전달계 요소해석-, " 한국 자동차공학회 춘계학술대회 논문집, Vol. II, pp.419-424, 2000.
- 2) 심현수, 정연민, "HIVEC 4속 자동변속기 변속특성분석(Part II) -동력전달계 변속과도특성-, " 한국 자동차공학회 춘계학술대회 논문집, Vol.II, pp.425-430, 2000.
- 3) 조한상, 장욱진, 박진호, 임원식, 박영일, 이장무, "승용차용 자동변속기의 변속특성향상에 관한 연구," 한국자동차공학회논문집, 제7권 제6호, pp.91-105, 1999.
- 4) H. Taniguchi, Y. Ando, "Analysis of a New Automatic Transmission Control System for LEXUS LS400," SAE 910639, 1991.
- 5) 정규홍, 조백현, 허재웅, 이교일, "비례제어 솔레노이드 밸브가 적용된 INVECS-II 자동변속기의 관성영역 페루프 변속제어기법," 춘계학술대회 논문집, Vol.II, pp.872-878, 1998.
- 6) 정규홍, 이교일, "휠로더 자동변속기의 TCU 설계," 한국 자동차공학회 추계학술대회 논문집, Vol.II, pp.736-741, 1999.
- 7) 정규홍, 이교일, "휠로더 자동변속기의 TCU 개발연구," 한국 자동차공학회 추계학술대회 논문집, Vol.II, pp.684-690, 2000.
- 8) Siemens, C167 Derivatives User's Manual 03.96 Version 2.0, 1996.
- 9) Phytex, KitCON-167 Hardware-Manual Version 2.0, 1998.
- 10) ZF Maintenance manual, ZF-Reversing Transmission 4 WG-260, 1997.