

다이내모 시험용 지게차 변속 및 정속 내구시험 제어기 개발

A Development of Forklift Shift and Constant Speed Endurance Test Controller for Dynamometer Test

정규홍 · 이근호

G. H. Jung and G. H. Lee

Key Words : Proportional Solenoid Valve(비례제어 솔레노이드밸브), Automatic Transmission(A/T, 자동변속기), Forklift(지게차), Current Control(전류제어), Endurance Test(내구시험)

Abstract: A forklift is a motive machine powered by LPG, diesel engine or electric motors. The internal combustion engine type forklift is equipped with automatic transmission to meet the required drive load as well as the easy operation of the vehicle. This paper deals with the shift control and endurance test controller which is developed for the functional test of the newly designed automatic transmission on a dynamometer test bench. Its major function is to control the proportional solenoid currents, which is directly related to clutch pressures, for the given reference current trajectory during shift and sequential operation of shift schedule designed for the durability test at each gear. It also has the ability to monitor all the necessary test data through RS232 communication and log them to disk files. The current controller of embedded system is designed from the identified dynamics of solenoid coil and the current reference can be easily modified with a user interface software on PC so as to match the shift data by experiments.

1. 서 론

지게차(forklift)는 Fig. 1과 같이 차량전방에 설치된 마스트(mast)를 따라 수직으로 이동하는 포크(fork)를 이용하여 공장이나 창고에서 중량물을 싣거나 내리는 하역작업에 사용되는 특수산업차량이다. 포크의 상하운동과 마스트 경사가 조절에는 유압작동기가 사용되고 좁은 작업공간에서도 작은 회전반경으로 운반 및 하역작업이 용이하도록 후륜조향과 전륜구동방식으로 설계된다. 또한, 전방에 적재물에 의한 하중이 작용하므로 균형을 이루기 위하여 차량 후방에 철로 제작된 무거운 중량(counterweight)이 설치된다.

지게차는 취급하는 적재물의 종류에 따라 다양한 형태가 있으나 기본적으로는 들어 올릴 수 있는 적재물의 중량과 동력원의 형태로 분류한다. 동력원에 따른 분류로는 전기모터를 사용하는 전동식과 디젤

엔진 또는 LPG엔진을 사용하는 엔진식이 있으며 전동식과 LPG엔진식의 지게차는 적재능력이 5톤 이하의 소형에 적용되는 반면에 디젤엔진식은 소형과 대형의 전 모델에 적용되고 있다.



Fig. 1 Forklift

전동식 지게차는 전기모터를 이용하여 속도와 구동력을 제어하는 반면에 엔진식의 경우에는 주행방향과 엔진의 동력특성변환을 위하여 변속기가 장착되며 적재 및 하역 시 요구되는 빈번한 전후진 작업의 편의성을 위하여 자동변속기가 일반화되어 있다. 엔진식 소형 지게차는 주로 제한된 공간 내에서의 하역작업을 위하여 설계되므로 전후진 1단의 변속기

접수일 : 2007년 7월 23일

정규홍(책임저자) : 대전대학교 컴퓨터응용기계설계공학과

E-mail : ghjung@daejin.ac.kr, Tel : 031-539-1974

이근호 : 한국기계연구원 유공압연구그룹

가 적용되지만 중대형 지게차의 경우에는 주행기능도 고려하여 전후진 2단 또는 전후진 3단의 자동변속기가 적용된다.

2007년 현재 국내의 지게차 생산업체로는 현대중공업과 두산인프라코어가 있으며 디젤엔진이 탑재되는 지게차 모델의 라인업은 각 회사마다 조금씩 다르지만 적재능력에 따라 분류하면 Table 1과 같다. 적재능력 3.5톤 이하의 소형 지게차에는 전후진 1단을 갖는 자동변속기가 적용되고 3.5-4.5톤의 중형에는 전후진 2단, 5톤 이상의 대형 지게차에는 전후진 3단의 자동변속기가 탑재되고 있으며 2단 이상의 자동변속기는 자동변속 및 변속제어 기능이 마이크로 컨트롤러로 설계된 전자화된 변속제어기(TCU)에 의하여 구현된다. Fig. 2는 5-7톤 지게차에 장착되는 자동변속기를 나타낸다.

Table 1 The lineup of diesel forklift

Load capacity [ton]	Engine power [PS]	A/T speed
1.5-1.75	43-45	FWD/REV 1
2-3.5	59-62	
3.5-4.5	92-94	FWD/REV 2
5-7	98-100	FWD/REV 3
10-16	140-160	

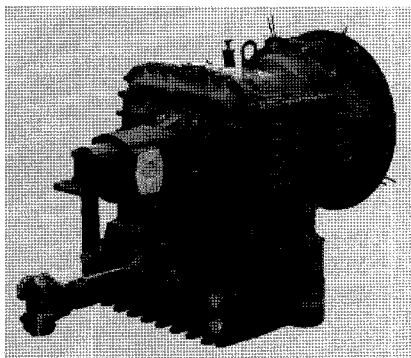


Fig. 2 3-speed forklift automatic transmission

지게차를 포함하여 국내에서 생산되는 건설 중장비에 탑재되는 자동변속기는 전량 수입되고 있으며 이에 따라 관련된 기술개발수준이 미미한 상태이나 최근 생산대수가 증가되고 부가가치가 높은 부품에 대한 국산화 필요성이 대두됨에 따라 자동변속기에 대한 연구개발이 시도되고 있다.

본 연구에서는 국내 자체기술로 설계, 제작된 전후진 3단의 지게차용 자동변속기를 전기모터로 구동되는 다이나모에서 변속제어와 정속내구시험을 수행할 수 있는 기능의 제어기를 개발하였다. 개발된 제어기에는 PC상에서 설계된 비례제어 솔레노이드밸

브의 기준전류계적을 추종하는 전류제어기능과 운전 시간, 변속기어, 입출력부하 등의 작동조건을 단계별로 설정하고 순차적인 운전을 통하여 각 변속단에서의 내구성능을 시험하는 기능이 구현되어 있으며 변속시험과 정속내구 시험에 적절한 데이터 모니터링 기능과 저장기능이 설계되어 있다. 개발된 성능시험기는 시험 제작된 자동변속기의 제반 기능점검과 반복적인 변속시험을 통해서 변속조건에 적절한 변속데이터를 도출해 내는 변속데이터 매칭(matching) 시험에 활용될 수 있으며 각 변속단 별로 설정된 작동조건에서의 정속내구시험을 편리하게 수행할 수 있다.

2. 자동변속기 구조

본 연구대상 자동변속기는 토크컨버터, 기어열, 펌프블록의 주요 부품으로 구성된다. 엔진동력은 유체클러치인 토크컨버터와 기어열을 통하여 특성이 변환되어 출력축에 전달되고 유압시스템에서 제어되는 압력에 의하여 결합되는 클러치의 조합에 따라 기어비가 변화된다.

2.1 기어열 및 토크컨버터

Fig. 3은 펌프, 터빈, 스테이터 3요소로 구성되는 1상 토크컨버터와 상시 맞물려 회전하는 기어 쌍을 조합하여 설계된 기어열의 구조를 나타낸다.

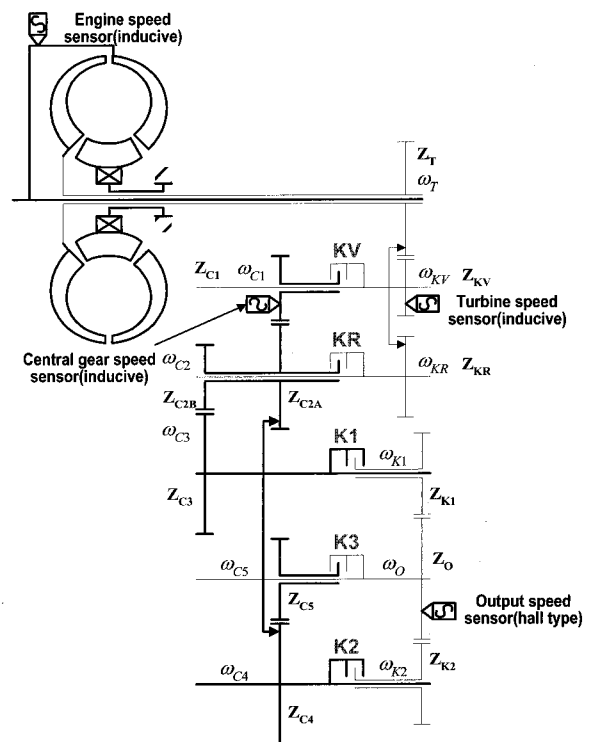


Fig. 3 Gear train of the 3-speed forklift A/T

토크컨버터는 펌프와 터빈의 속도 차에 따라 토크가 증배되는 기능은 있으나 스테이터가 하우징에 고정되어 있으므로 항상 컨버터영역에서 작동하고 록업(lockup) 기능은 없다.

기어열은 각 회전축에 하나의 클러치가 배치된 단일 클러치(single clutch) 설계방식이고 클러치가 결합되면 기어회전체와 회전축이 일체가 되어 동력을 전달하는 구조를 갖는다. Table 2는 각 변속단에서 결합되는 클러치 상태를 나타낸다. KV와 KR 클러치에 의해서는 출력축의 회전방향이 결정되고 K1, K2, K3 클러치에 의해서는 기어비가 변경되므로 항상 방향클러치와 속도클러치에서 1개씩의 클러치가 결합되어야 한다. 중립을 제외한 모든 변속은 하나의 클러치를 해제하고 다른 클러치를 결합하는 클러치 대 클러치 변속이다.

Table 2 Clutch engagement for each gear

Gear	Direction		Speed		
	KV	KR	K1	K2	K3
N					
F	1	○	○		
	2	○		○	
	3	○			○
R	1		○		
	2		○	○	
	3		○		○

기어열의 동력전달경로는 Fig. 4의 속도선도를 이용하여 보다 명확하게 나타낼 수 있다. KV, KR로 구성되는 방향클러치군은 터빈 기어열과 센트럴 기어열을 연결하고 K1, K2, K3의 속도클러치군은 센트럴 기어열의 동력을 출력 기어열로 전달하는 역할을

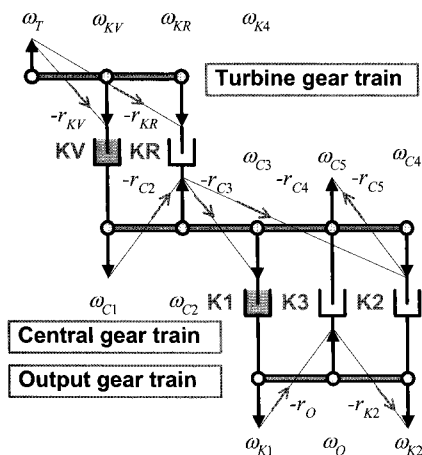


Fig. 4 Velocity diagram of 3-speed forklift A/T

담당한다. 따라서 방향클러치와 속도클러치가 결합되면 각 기어열에 존재하는 회전체의 회전속도가 유일하게 결정되고 속도선도에 표시된 기어비를 이용하면 기어열에 존재하는 모든 회전요소의 속도연산이 가능하다.

기어열에는 모두 4개의 속도센서가 장착되어 있으며 기어열에 대한 속도관계식을 이용하면 측정된 속도로부터 클러치의 결합상태에 무관하게 모든 회전요소의 속도연산이 가능하다.

2.2 유압시스템

유압시스템은 클러치를 결합시키는 유압피스톤의 작동에 필요한 압력을 발생시킬 뿐만 아니라 변속시 발생하는 충격을 저감시키기 위하여 클러치에 작용하는 압력을 제어하는 기능을 담당한다. 본 연구대상 자동변속기는 클러치 압력제어에 자체적으로 제어하는 유량만으로 클러치 압력조절이 가능한 3방향 직접제어형 비례제어 솔레노이드밸브를 적용하고 있으며 각 클러치에 비례제어 솔레노이드밸브를 배치하여 클러치 압력을 독립적으로 제어하는 방식으로 설계되어 있다. 비례제어 솔레노이드밸브는 구동전류에 비례하는 자기력, 내장된 스프링의 압축력과 밸브에 피드백되는 출구압력에 의한 힘이 평형을 이루는 상태에서 제어압이 결정되므로 전류에 비례하여 제어압이 발생되고 유온변화에 의한 영향이 작은 장점을 갖는다.

자동변속기에 적용될 수 있는 직접제어형 밸브는 아직 일반화되지 않아 가격이 높은 반면에 유량을 증폭시키는 기능의 2차 밸브가 불필요하므로 유압회로가 단순해지고 이에 따라 유온변화에 대한 신뢰성이 높아지는 장점이 있다. Fig. 5(a)는 직접제어형 3방향 비례제어 솔레노이드밸브를 적용하여 개발된 지게차용 자동변속기의 유압회로를 나타내고 Fig. 5(b)는 비교를 위하여 파일럿형 2방향 비례제어 솔레노이드밸브가 적용된 ZF사 자동변속기의 유압회로이다. 파일럿형의 경우에는 클러치 제어압과 변속시 피스톤 작동에 필요한 유량을 증폭시키기 위하여 감압기능의 압력제어밸브가 결합되고 비례제어 솔레노이드밸브의 기준압을 발생시키는 감압밸브가 별도로 설계되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 기존 ZF사 자동변속기에 적용되고 있는 2방향 파일럿형과 본 연구대상 자동변속기에 적용된 3방향 직접제어형 비례제어 솔레노이드밸브의 외형을 나타낸다. Fig. 7은 0.01Hz의 램프파형으로 솔레노이드 구동전류를 서서히 변화시키는 성능시험을

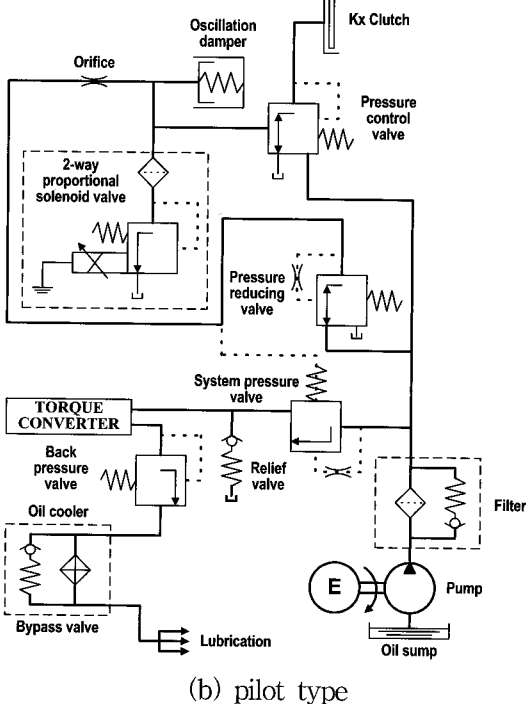
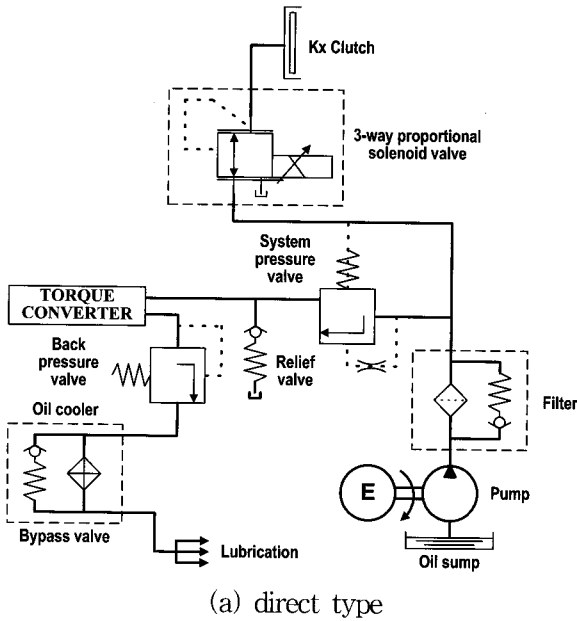


Fig. 5 Hydraulic circuit

통하여 파악된 제어압의 정특성을 나타낸다. 구동전류가 200mA에서 500mA로 변화되는 구간에서 0bar에서 18bar의 최대 제어압까지 선형적으로 변화되고 약 2bar에 해당되는 히스테리시스 특성이 있음을 알 수 있다.

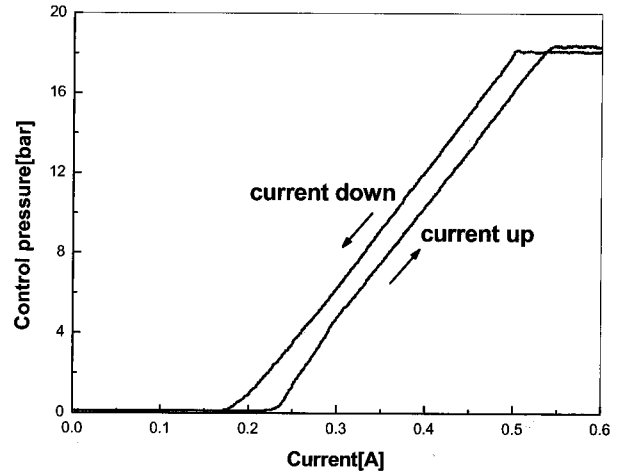


Fig. 7 Direct type PSV pressure characteristics

3. 변속종류 및 특성 분석

지게차에 적용되는 자동변속기의 변속모드는 운전자가 조작하는 변속레버의 위치에 의하여 변속단이 결정되는 수동변속모드와 변속레버로 설정된 변속단 범위 내에서 내장된 변속선도에 의하여 자동으로 변속이 이루어지는 자동변속모드가 있으며 운전석에 있는 변속모드 선택버튼에 의하여 변속모드가 설정된다. 어느 경우에서나 변속단은 순차적으로 변화되므로 건너뛴 변속(skip shift)은 없으나 지게차의 작업특성을 고려하여 중립을 거치지 않으면서 전후진변속이 이루어지는 셔틀변속이 가능하도록 설계되어 있다.

전후진 3단 자동변속기에서 발생될 수 있는 변속의 종류는 Table 3과 같이 모두 26종류이며 변속시 변화되는 클러치의 압력특성을 고려하면 다음과 같이 변속형태를 4가지로 분류할 수 있다.

(1) 중립-전후진변속(neutral into gear shift)

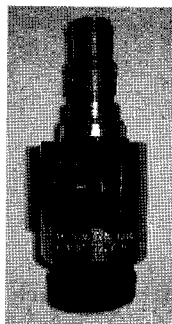
중립에서 전진(또는 후진) 1, 2, 3단으로의 변속으로 해당되는 방향클러치와 속도클러치를 결합하여야 한다.

(2) 전후진-중립변속(gear into neutral shift)

전진(또는 후진) 1, 2, 3단에서 중립으로의 변속으로 해당되는 방향클러치와 속도클러치를 해방시켜야 한다.



Pilot type PSV(Bosch)



Direct type PSV(Rexroth)

Fig. 6 Proportional solenoid valve(PSV)

(3) 기어변속(gear change shift)

전진(또는 후진) 상태에서의 기어변속으로 2개 속도클러치의 결합과 해방을 제어하여야 한다.

(4) 전후진 셔틀변속(shuttle shift)

속도기어가 고정된 전후진 변속으로 2개 방향클러치의 결합과 해방을 제어하여야 한다.

기어변속을 제외한 나머지 3가지는 자동 및 수동 변속모드의 설정에 무관하게 변속레버를 조작함에 따라 변속이 개시되는 수동변속이며 전후진 기어로부터 중립상태로의 변속은 Table 3의 6가지 경우를 동일하게 제어할 수 있으므로 하나의 변속형태로 분류하면 지게차의 변속종류는 모두 21종류이다. 4가지로 분류된 변속형태에 대하여 변속 시 작동과 해제되는 클러치의 압력 궤적을 나타내면 Fig. 8과 같다.

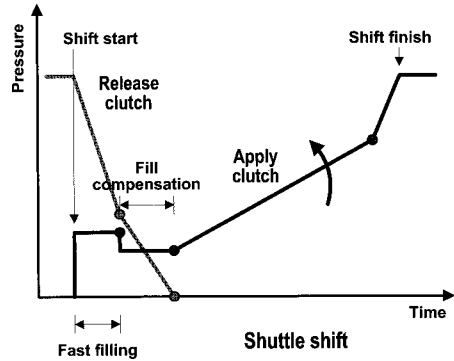


Fig. 8 Typical clutch pressure profile during shift

Table 3 Classification of forklift A/T shift

CG \ NG	R3	R2	R1	N	F1	F2	F3
R3	×	R3→ R2	×	R3→ N	×	×	R3→ F3
R2	R2→ R3	×	R2→ R1	R2→ N	×	R2→ F2	×
R1	×	R1→ R2	×	R1→ N	R1→ F1	×	×
N	N→ R3	N→ R2	N→ R1	×	N→ F1	N→ F2	N→ F3
F1	×	×	F1→ R1	F1→ N	×	F1→ F2	×
F2	×	F2→ R2	×	F2→ N	F2→ F1	×	F2→ F3
F3	F3→ R3	×	×	F3→ N	×	F3→ F2	×

주) CG(Current Gear), NG(Next Gear)

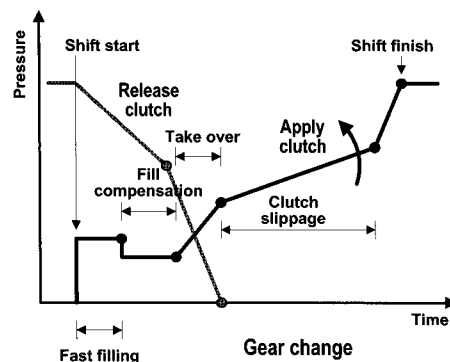
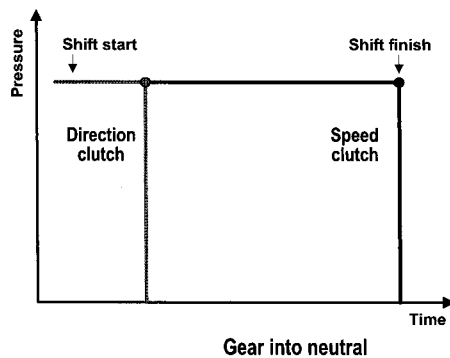
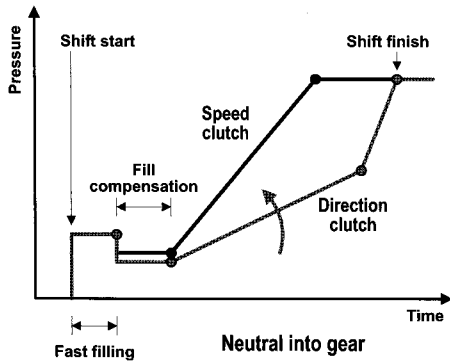
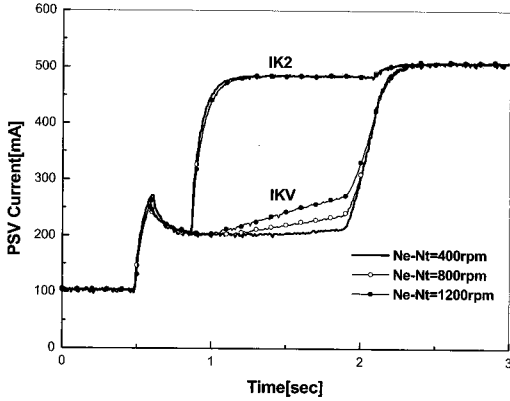


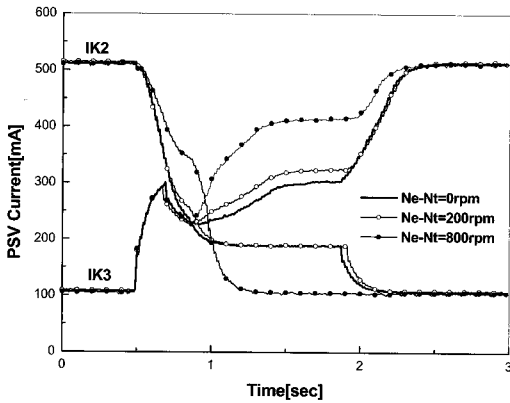
Fig. 9는 기존 지게차에 장착되는 ZF사 자동변속기 TCU의 변속제어특성을 분석하기 위하여 변속기 시뮬레이터를 이용하여 작동조건을 변화시키면서 변속제어 시 TCU에서 제어되는 비례제어 솔레노이드 밸브의 전류궤적을 측정된 결과를 나타낸다. ZF사 자동변속기는 파일럿형 2방향 솔레노이드밸브를 이용하여 감압밸브에서 증폭된 압력이 클러치 결합을 제어하도록 설계되어 있는 점이 직접제어형 비례제어 솔레노이드밸브를 적용하여 설계된 독자개발 자동변속기와 다르지만 클러치 압력은 비례제어 솔레노이드밸브의 전류궤적과 유사하므로 변속기 입력토크에 따른 제어특성의 변화를 살펴볼 수 있다.

Fig. 9에서 IKV, IK2, IK3는 각각 KV, K2, K3 클러치를 제어하는 비례제어 솔레노이드밸브 전류를 나타내며 N_E 와 N_T 는 토크컨버터에 연결된 엔진과 터빈속도이다. N→F2 변속 시에는 KV와 K2 클러치를 동시에 결합하여야 하고 F2→F3 변속 시에는 K2 클러치를 해제하면서 K3 클러치를 결합하는 과정으로 변속이 진행된다. 변속이 개시되고 나면 결합되는

클러치의 유압 피스톤을 신속하게 이동시키기 위하여 순간적으로 높은 전류를 인가하고 N→F2 변속 시에는 K2 클러치를 먼저 결합한 후 KV 클러치 결합제어가 이루어짐을 알 수 있다. 또한, 변속시험결과로부터 어느 경우에서나 토크컨버터 속도 차가 클수록 입력토크의 크기가 증가하므로 토크영역과 관성영역에서 높은 압력으로 클러치 결합을 제어하기 위하여 제어전류가 증가함을 확인할 수 있다.



(a) N→F2 shift



(b) F2→F3 shift

Fig. 9 PSV current profiles of ZF-transmission

4. 변속제어기 설계

본 연구대상 지게차용 자동변속기는 직접제어형 비례제어 솔레노이드밸브를 이용하여 변속 시 결합 및 해방되는 클러치 압력을 능동적으로 제어할 수 있도록 설계되어 있다. 비례제어 솔레노이드밸브 제어압은 구동전류에 의하여 변화되므로 변속 시 발생하는 충격을 저감시키기 위해서는 변속기 입력토크를 고려하여 설계된 기준전류궤적을 추종하는 기능이 요구된다. 본 연구에서는 Table 3에서 분류된 전후진 3단 자동변속기의 모든 변속에 대하여 비례제어 솔레노이드밸브의 기준전류궤적을 설정하는 기능

과 변속 시 이를 추종하여 변속을 수행하는 기능의 변속제어기를 설계하였다.

Fig. 10은 전류제어를 통하여 변속 시 클러치에 작용하는 압력을 제어하는 기능의 변속제어기 블록선도를 나타낸다. 작동 및 해제클러치의 제어압은 비례제어 솔레노이드밸브 구동전류에 비례하므로 변속이 개시되는 시점에서 변속제어기는 미리 설계된 기준전류궤적을 추종하도록 해당되는 비례제어 솔레노이드의 구동전류를 피드백 제어한다.

Fig. 11과 Fig. 12는 본 연구에서 개발된 변속제어 및 정속내구시험 제어기와 다이내모에 설치된 독자 개발 변속기를 나타낸다.

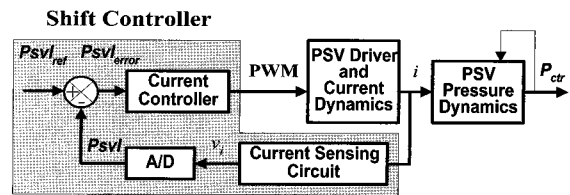


Fig. 10 Block diagram of shift controller

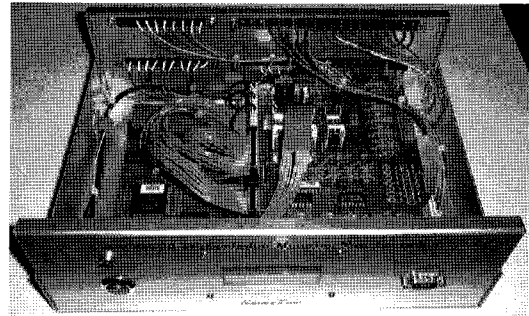


Fig. 11 Shift controller for dynamometer test

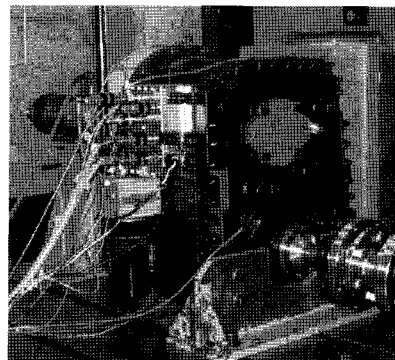


Fig. 12 Test transmission on a dynamometer

4.1 변속제어기의 주요기능

개발된 변속제어기는 전기모터로 구동되는 다이내모 시험장치에서 지게차용 자동변속기의 제반 변속기능과 내구성능을 평가할 수 있도록 설계되었다.

PC 상에서 설계된 기준전류케적을 직렬통신으로 수신하여 메모리에 저장한 후 변속 시 이를 추종하도록 비례제어 솔레노이드밸브의 전류를 제어하면서 변속성과 관련된 시험데이터를 모니터링 하는 기능이 구현되어 있다. 실시간으로 변속을 제어하는 기능과 시험데이터를 수집하는 기능은 Infineon 사의 C167CR 마이크로 컨트롤러로 설계하였고 PC 상에서 수행되는 데이터 모니터링과 사용자 인터페이스 기능은 LabWindows/CVI로 구현하였으며 변속제어의 주요기능은 다음과 같다.

- (1) 5채널 비례제어 솔레노이드밸브 전류제어 : 100Hz의 샘플링 주파수
- (2) 4채널 속도연산 : 엔진, 터빈, 센트럴, 출력속도
- (3) 수동모드 변속기능
- (4) 단계별 순차변속에 의한 정속내구시험기능
- (5) 변속시험 데이터 수집기능 : 유온, 압력, 유량, 토크신호 A/D
- (6) 다이내모 시험장치 인터페이스 : 입력 및 출력 모터 제어

Fig. 13은 변속 및 정속내구시험 제어기와 사용자 프로그램 사이의 직렬통신기능과 변속데이터 및 정속내구 시험코드의 저장 상태를 나타내고 Fig. 14는 PC에서 수행되는 사용자 인터페이스 프로그램의 변속제어 모니터링화면, 기준전류케적 설계화면, 내구 시험 작동조건설계화면을 나타낸다.

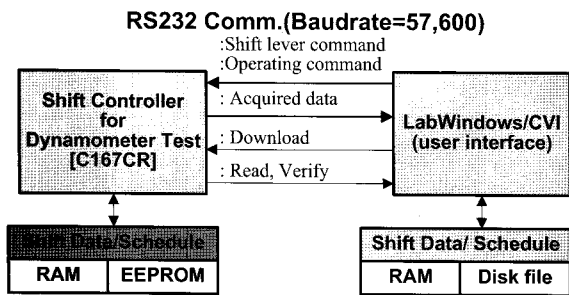
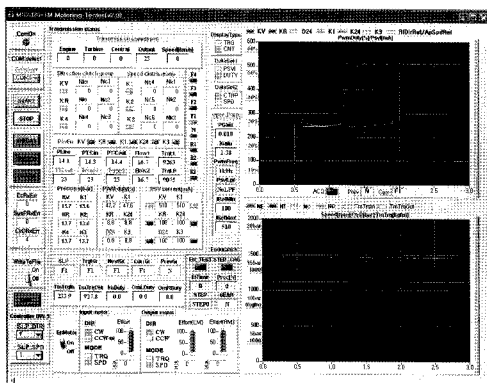
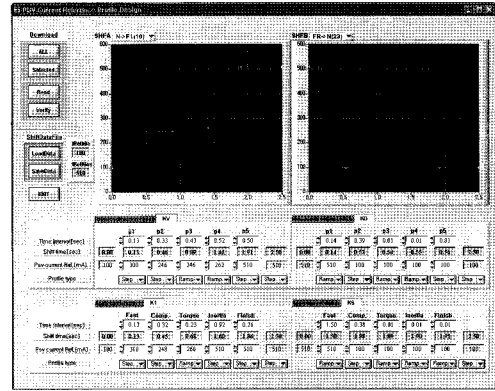


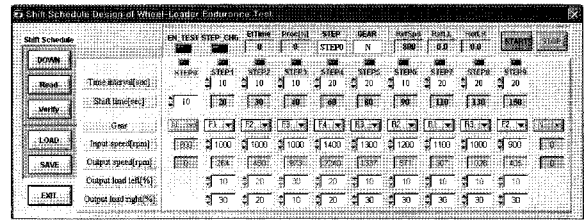
Fig. 13 Data communication of shift controller



(a) Shift control window



(b) Reference PSV current design windows



(c) Shift schedule design windows

Fig. 14 LabWindows/CVI user interface program

4.2 전류제어기 설계

클러치 제어압을 발생시키는 비례제어 솔레노이드 밸브는 제어압이 코일에 흐르는 전류에 비례하므로 안정된 압력제어를 위해서는 전류제어가 필수적이다. 변속제어기는 솔레노이드 코일에 흐르는 전류를 펄스폭변조 방식으로 발생시키고 코일의 전류동특성은 저항과 인덕턴스가 직렬로 연결된 RL 회로의 1차 시스템으로 근사될 수 있다. 전류제어기 설계를 위한 기준모델의 전류이득 K 와 시정수 T 는 Fig. 15와 같이 입력튜디올을 계단형태로 변화시켰을 때 발생하는 전류응답으로부터 최소오차자승법을 이용하여 식별하였다.

본 연구에서 개발된 변속제어기는 1kHz의 반송주파수로 구동되는 파일럿형 비례제어 솔레노이드와 150Hz로 구동되는 직접제어형 모두 구동이 가능하며 각각에 대하여 적절한 전류제어기를 설계하였다. Fig. 16은 솔레노이드 전류에 대한 계단응답을 나타내고 Table 4는 식별된 결과이다. 파일럿형이 직접제어형에 비하여 응답이 빠르고 비교적 선형적임을 확인할 수 있다.

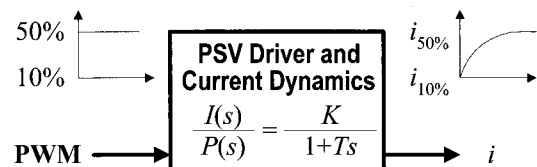


Fig. 15 Identification of PSV current dynamics

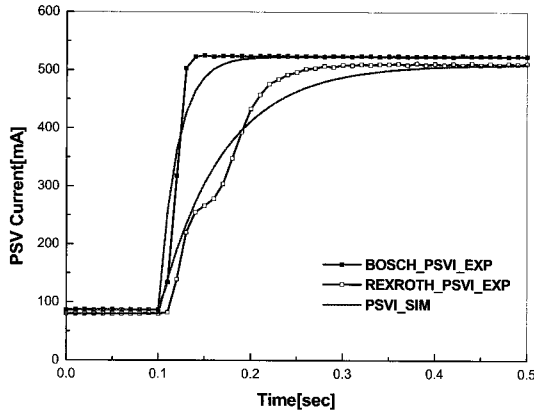


Fig. 16 Step response of PSV

Table 4 Identification of PSV

PSV	PWM input	K [mA/%]	T [ms]
Bosch	Step up	10.9	19.9
	Step down	10.95	19.6
Rexroth	Step up	10.75	67.7
	Step down	10.78	49.2

1차 시스템으로 근사화된 솔레노이드 코일의 전류 동특성에 대하여 계단입력에 대한 정상상태오차를 제거하기 위하여 비례-적분제어기를 적용하였다. Fig. 17은 구성된 폐루프 제어시스템을 나타내고 기준전류입력 $I_r(s)$ 에 대한 출력전류 $I(s)$ 의 폐루프 전달함수는 다음과 같다. 기준전류입력의 단위계단입력에 대하여 출력전류는 1로 수렴하므로 정상상태 오차는 발생되지 않음을 알 수 있다.

$$\frac{I(s)}{I_r(s)} = \frac{\frac{Kk_i}{T} \left(s + \frac{k_i}{k_p} \right)}{\frac{k_i}{k_p} s^2 + \frac{1 + Kk_i}{T} s + \frac{Kk_i}{T}}$$

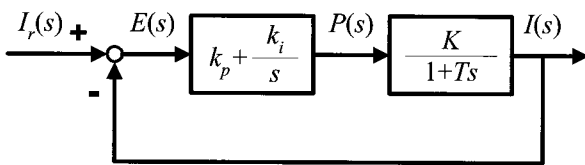


Fig. 17 Current feedback control system

폐루프 전달함수는 영점이 존재하므로 비례이득 k_p 와 적분이득 k_i 를 이용하여 고유진동수 ω_n 과 감쇠비 ζ 를 결정하여도 표준형 응답과 다르게 나타나게 된다. 본 연구에서는 ω_n 과 ζ 에 대하여 다음과 같

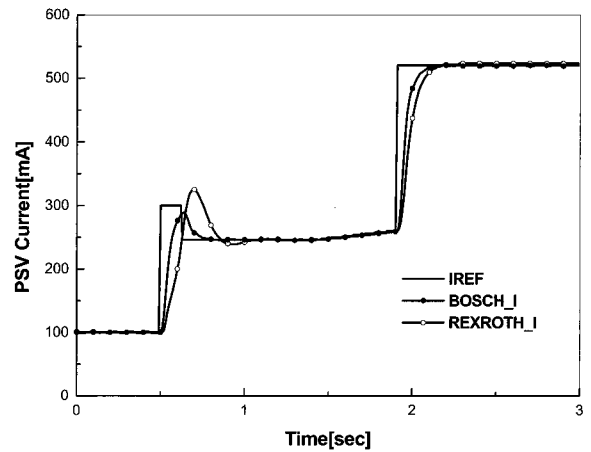
이 기술되는 표준형 2차 시스템의 계단응답과 페루프 전류제어시스템 계단응답의 오차가 최소화되도록 최소오차자승법을 이용하여 k_p 와 k_i 를 설계하였다.

$$\frac{I(s)}{I_r(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

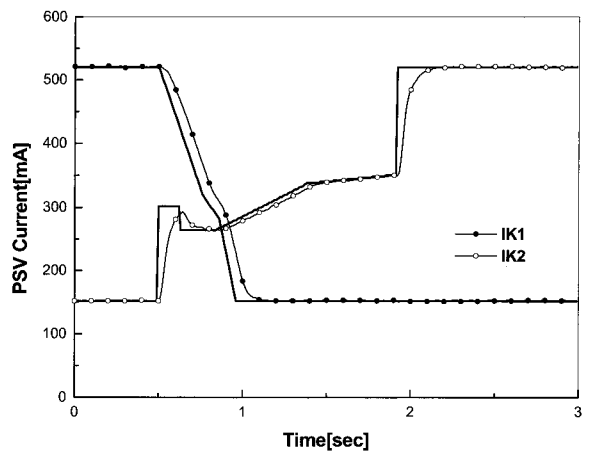
여기서, $\zeta = 1$ (임계감쇠)

$\omega_n = 30 \text{ rad/s}$ (160ms의 5% 정착시간)

Fig. 18(a)는 파일럿형(Bosch)과 직접제어형(Rexroth) 비례제어 솔레노이드밸브를 대상으로 설계된 비례적분이득을 적용하여 N→F1 변속 시 KV 클러치의 기준전류제어를 추종하는 성능시험결과이다. 시정수가 작으면서 전류가 증가될 때와 감소될 때의 응답특성이 비교적 동일한 파일럿형의 경우에는 이론 설계결과와 잘 일치하였으나 시정수가 크면서 비선형 특성을 갖는 직접제어형의 경우에는 전류가 발생하는 초기에 다소 큰 오버슈트를 나타내었다. 직접제어형은 낮은 PWM 반송주파수로 인하여 응답성이 느릴 뿐



(a) N→F1 shift



(b) F1→F2 shift with BOSCH PSV

Fig. 18 Control performance of PSV current

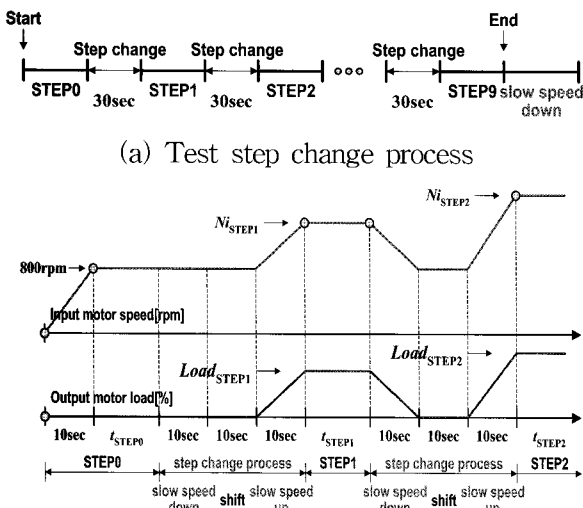
만 아니라 맥동전류의 진폭이 상대적으로 크게 발생되므로 동특성 향상에 한계가 있으나 2차 감압밸브에 의한 압력지연현상이 발생되지 않는 장점을 갖는다. Fig. 18(b)는 파일럿형 비례제어 솔레노이드밸브를 대상으로 F1→F2 상향변속에 대하여 설계된 전류제적의 추종성능을 나타낸다. 기준전류제적의 추종성능이 양호하므로 기준전류제적의 설계변경을 통하여 안정적인 변속제어가 가능함을 확인할 수 있다.

4.3 정속 내구 시험기 설계

정속내구는 각 변속단마다 엔진속도와 출력축 부하가 일정한 작동조건에서 지정된 시간동안 운전하였을 때 발생하는 부품파손이나 동력전달성능의 변화를 확인하는 시험이다. 본 연구에서는 설계된 변속제어기와 다이내모 인터페이스기능을 활용하여 독자적으로 개발된 자동변속기의 정속내구시험을 설정된 작동조건에 따라 순차적으로 변속단을 변경시키면서 수행할 수 있는 기능을 구현하였으며 주요 정속내구 시험기능은 다음과 같다.

- (1) 9단계의 운전조건 설정기능
- (2) 10초 단위의 운전시간 및 변속단 설정기능
- (3) 입력모터와 출력모터 작동조건 설정기능
- (4) 1초 간격의 시험데이터 저장기능

정속내구시험에서 변속기 입력축에 연결된 입력모터는 속도모드이고 출력축의 주행부하를 모사하는 출력모터는 토크모드로 제어된다. Fig. 19는 정속내구시험에서 설정된 운전조건이 변화되는 과정을 나타내며 변속 시에는 다이내모가 항상 일정한 운전상태가 유지되도록 설계하였다.



(a) Test step change process
(b) Dynamometer running status change
Fig. 19 Constant speed endurance test

5. 결 론

본 연구에서는 국내기술로 개발된 지게차용 전후진 3단 자동변속기를 대상으로 변속기능과 정속운전 상태에서 내구성능을 시험할 수 있는 제어기를 개발하였다.

변속제어기능의 설계를 위하여 기어열과 직접제어형 3방향 비례제어 솔레노이드를 적용하여 설계된 유압시스템의 특성을 고찰하였으며 연구대상 자동변속기에서 발생하는 변속의 종류와 클러치 압력제적의 형태에 따른 변속특성을 분석하였다. 변속 시 발생하는 변속충격을 저감시키기 위해서는 입력토크를 고려하여 적절한 클러치 압력으로 변속이 이루어지도록 비례제어 솔레노이드밸브에 인가되는 기준전류제적을 설계해야 한다. 본 연구에서는 기 개발된 상용 TCU의 변속특성시험을 통하여 기준전류제적의 기본설계방법을 제시하였으며 비례제어 솔레노이드밸브의 전류동특성을 분석하여 변속 시 변화되는 기준전류제적을 추종하는 기능을 비례-적분 전류제어기로 설계하였다. 정속내구시험기능은 일정한 운전조건 하에서 개발된 변속기의 내구성능에 대한 평가시험을 편리하게 수행하기 위한 목적으로 설계되었으며 사용자 인터페이스 프로그램에서 단계별로 설정된 운전조건을 순차적으로 수행하는 기능으로 구현하였다.

개발된 변속 및 정속내구시험 제어기는 비례제어 솔레노이드밸브에 대한 전류제어시험을 통하여 기능과 성능을 입증하였으며 향후 다양한 변속조건에 대하여 기준전류제적을 설계할 수 있는 기능을 추가하여 TCU로 개발할 예정이다.

참고 문헌

- 1) 정규홍, 이근호, "자동변속기용 비례제어 솔레노이드밸브 성능시험기 개발", 유공압시스템학회지 제 3권, 제 4호, pp. 21~28, 2006.
- 2) ZF-Ergopower Transmission 3WG-116/131/161/171, ZF, 2003.
- 3) 정규홍, 조백현, 이교일, "자동변속기용 펄스폭변조 솔레노이드 밸브의 동특성 식별", 대한기계학회 논문집(A), 제21권, 제10호, pp. 1636~1647, 1997.
- 4) 정규홍, 이근호, "다이내모 시험용 지게차 변속제어기 개발", 2007 유공압시스템학회 춘계학술대회 논문집, pp. 143~149, 2007.