

직접 제어 방식을 적용한 소형 지게차 변속 시스템에 관한 연구

A Study on Applying the Direct Control Method for Small Forklift Transmission System

정영만¹ · 임 구² · 양순용^{3*}

Y. M. Jeong, K. Lim and S. Y. Yang

Received: 05 Nov. 2013, Revised: 22 Nov. 2013, Accepted: 29 Nov. 2013

Key Words : Forklift(지게차), Transmission(변속기), Hydraulic Control(유압 제어), Direct Control Method(직접 제어 방식)

Abstract: The transmission control method of small forklift is classified into pilot control method and direct control method. In pilot control method, the hydraulic circuit which consists a lot of components is very complex so the production process is too costly and time consuming. The direct control method contains fewer components that can be configured to simple hydraulic circuit. It has more advantages because the shift sensitivity of transmission is changed easily via the input profile. In this paper, the controller design and the input profile for system are studied to apply to the direct control method. The input profile consists of Fill section, Hold section and Ramp section. The characteristic of each section is obtained through experiment. As the result, the shift sensitivity and starting performance are effected by Fill section and Hold section.

1. 서 론

지게차는 무게 중심이 높고 빈번한 전진, 후진 작업을 수행하는 건설장비로서 전, 후진 변속 시스템의 안정화가 중요하다.

변속 시 불안정한 토크 변화로 인해 변속 충격이 발생한다. 이러한 현상은 변속기의 클러치에 형성되는 압력의 제어를 통하여 해결할 수 있다.¹⁾ 변속 시 클러치 압력형성이 빠르면 변속응답 시간은 좋아지나 과도한 토크가 발생하여 변속충격이 일어나고 압

력형성이 늦으면 부드러운 변속이 가능하나 변속응답이 늦고 클러치의 마찰에 의한 마모가 발생하는 문제가 있다.²⁾

소형 지게차의 변속기의 MCV(Main Control Valve)를 제어하는 방법에는 MCV의 파일럿 압력을 이용한 파일럿 제어 방식(Pilot Control Method)과 비례제어 밸브를 이용하여 MCV의 압력을 직접 제어하는 직접 제어 방식(Direct Control Method)으로 구분된다. 파일럿 제어 방식은 내부 유압 회로가 복잡하고 구성 부품의 수가 많아 개발, 제작과정에 많은 비용과 시간의 투자가 필요하게 된다. 변속감도를 개선하기 위해 모듈레이션 밸브(Modulation Valve)의 두 개의 스프링을 교환해 가면서 변속감도를 테스트해야 한다. 모듈레이션 밸브의 세팅을 변경하여 고객이 원하는 변속감도를 충족시키고 있지만 고객이 원하는 변속감도를 찾기에는 많은 어려움이 있고 많은 시간과 예산이 소요되는 단점이 있다.^{3,4)} 반면 직접 제어 방식은 비례제어 밸브를 이용하여 MCV의 파일럿 라인 없이 직접 클러치 압력을 조절하기 때문에 구성부품의 수가 적고 간단한 유압회로를 구성할 수

* Corresponding author: soonyy@ulsan.ac.kr

1 Department Mechanical Automotive Engineering Graduate School of University of Ulsan, 680-749, Korea

2 Department Mechanical Engineering Graduate School of University of Daegu, 712-714, Korea

3 School of Mechanical Engineering, University of Ulsan, 680-749, Korea

Copyright © 2013, 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.

있고 간단한 입력 프로파일의 변경만으로도 변속기의 변속충격을 변화시킬 수 있는 장점이 있다.

따라서 현재 지게차도 자동차와 같이 고객들이 지게차 변속기의 변속감에 대한 불만이 많이 접수되고 있고 기존 파일럿 제어 방식으로는 고객의 수요를 충족시키기에는 한계가 있어 소형 지게차에 비례제어 밸브를 이용한 직접 제어 방식을 적용한 연구가 필요하다.⁵⁻⁷⁾ 본 연구에서는 파일럿 제어 방식의 소형 지게차를 분석하여 비례제어 밸브를 이용한 직접 제어 방식을 적용한 시스템에 관한 연구를 하였다.

2. 직접제어방식의 메인 컨트롤 밸브 개발

소형 지게차의 변속기에 직접제어방식을 적용하기 위해서는 메인 컨트롤 밸브에 기존의 온오프 밸브를

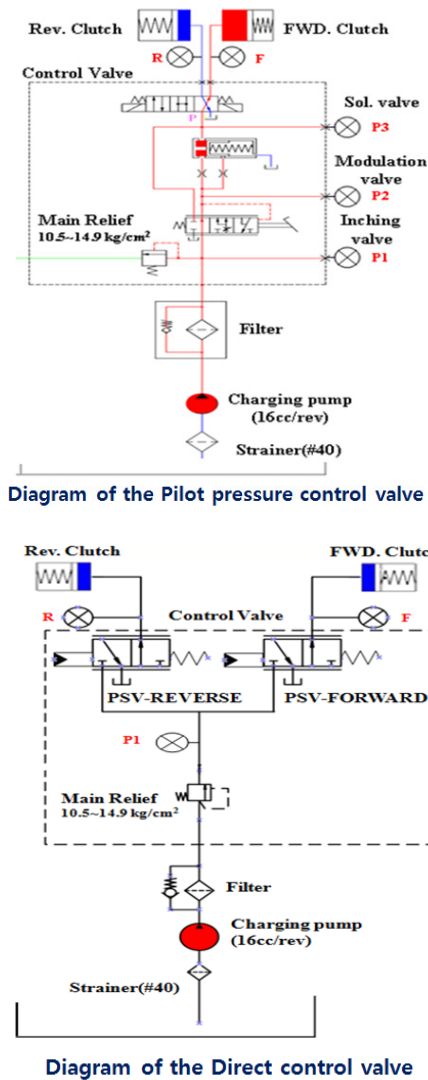


Fig. 1 Diagram of the Pilot pressure control valve and Direct control valve

대신해 비례제어 밸브를 사용하여 인칭과 모듈레이션 기능을 구현하고 비례제어 밸브를 작동시키기 위해 전용 컨트롤러를 개발하였다.

파일럿 제어방식의 메인 컨트롤 밸브와 직접제어방식의 메인 컨트롤 밸브를 비교하면 Fig. 1과 같다.⁸⁾ 직접 제어 방식에 장착된 비례제어 밸브의 제어는 AVR MEGA 128보드를 이용하여 지게차의 레버신호와 페달신호를 받을 수 있게 하였고 H사의 ETDR(Electronic Transmission Control Requirements)를 이용하여 지게차 변속기를 제어한다. 개발된 컨트롤러의 개략도는 Fig. 2와 같다.

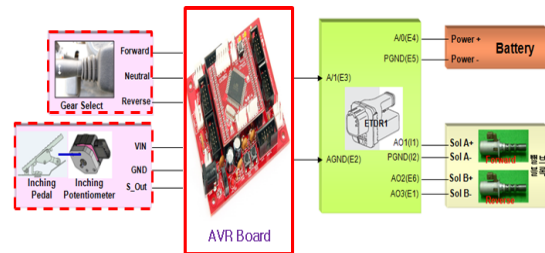


Fig. 2 Outline of small forklift controller

컨트롤러를 개발하기 위해서는 지게차의 작동 파라미터를 측정하였고, 단품 테스트를 통하여 실차에 임베디드 시스템 형태로 개발하였다.

지게차의 레버의 신호와 인칭페달의 신호를 AVR로 입력받아 전진, 후진, 인칭의 상태를 파악한 다음 ETDR 신호를 입력하여 변속기를 제어하는 방식이다. 전진신호와 후진 신호는 12볼트의 전압으로 작동되며 레버와 AVR 사이에 DC-DC릴레이를 장착하여 AVR이 레버의 신호를 인식하게 하였다. 인칭페달의 신호는 가변저항을 인칭 페달에 장착하여 페달의 포지션을 연산하여 페달의 위치를 인식하였다. AVR MEGA 128 보드의 포트 구성은 Fig. 3과 같다.

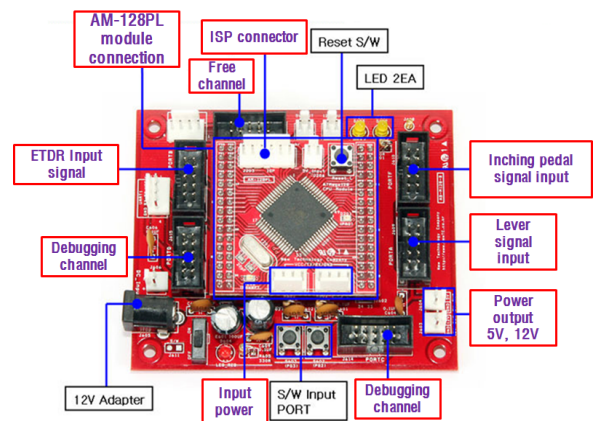


Fig. 3 Port configuration of AVR board

지게차에 장착된 컨트롤러는 Fig. 4와 같다.

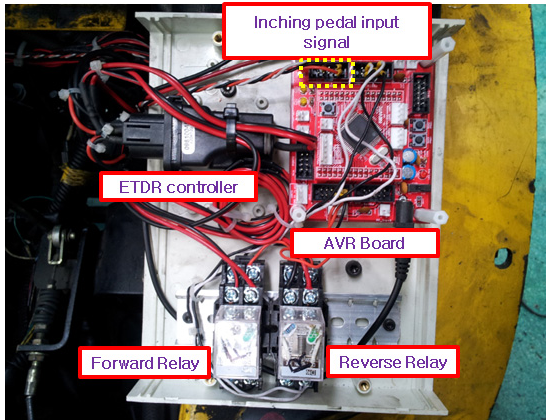


Fig. 4 Configuration of the AVR controller

개발된 컨트롤러는 H사의 세팅프로그램으로 입력 프로파일을 변경할 수 있다. 프로그램은 데이터의 저장이나 프로그램의 입력이 가능하며 컨트롤러의 제어 방법을 설정할 수 있다. 변경된 입력 프로파일은 그래프를 통해 확인 할 수 있고 전진과 후진 및 인칭에 관련된 프로파일의 설정이 가능하다. 컨트롤러 프로그램의 실행 창은 Fig. 5와 같다. Fig. 5에 표시된 1.은 데이터의 저장이나 프로그램의 입력하거나 로딩 또는 쓰기 기능을 나타낸 부분이며 Fig. 5에 2.는 ETDR의 신호 입력방식과 제어 방법 설정을 나타낸 부분으로 입력방식은 전압 2타입(0~5볼트, 0~10볼트), 저항, 전류 등으로 입력방식을 설정할 수 있도록 되어 있으며 제어방식은 전진 및 후진, 인칭의 사용 유무를 설정 할 수 있도록 되어있다. 본 연구에서는 전압(0~5볼트)의 입력방식과 전진, 후진 및 인칭을 사용하도록 ETDR을 세팅하였다.

Fig. 5에 3.은 전진 입력 프로파일 설정을 나타낸 부분이며 Fig. 5에 4.는 후진 입력 프로파일 설정을 나타낸 부분이며 Fig. 5에 5.는 전진, 후진 입력 프로파일을 그래프로 표시한 부분이다. 입력 프로파일을 변경하면 지게차 변속기의 압력 그래프가 바뀌는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 6은 입력 프로파일에 따른 실제 지게차 변속기의 압력 그래프이다.

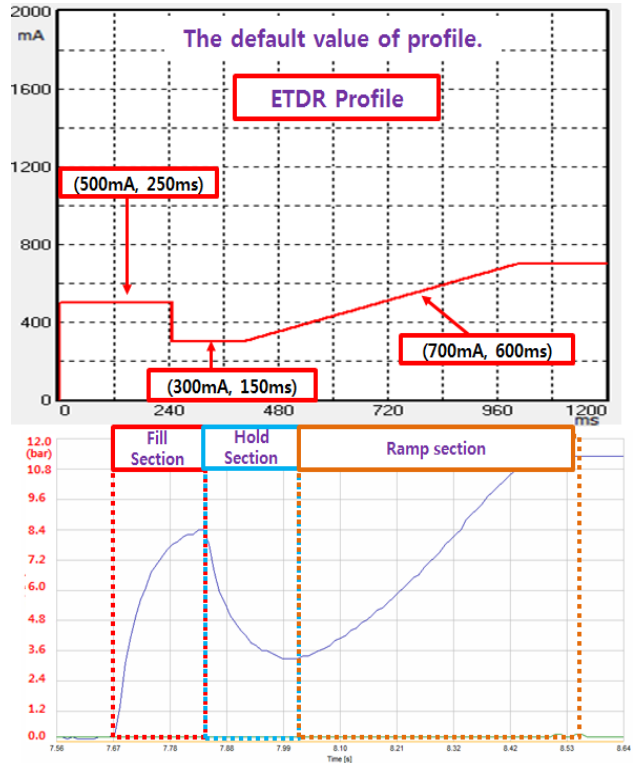


Fig. 6 Transmission pressure graph according to the input profile

3. 지게차 실차 테스트

실차 테스트는 개발된 컨트롤러를 이용하여 실험하였다. 실험을 통하여 입력 프로파일의 변화에 따른 변속 압력 그래프가 어떻게 생성되는지 파악하였고 ETDR세팅 프로그램은 총 3구간으로 나누어져 있으며 각 구간이 변속압력에 미치는 영향을 파악하였다. 추가적인 실험을 통하여 변속충격이 가장 적은 프로파일을 구하였다.

3.1 실차 테스트 방법

실험은 ETDR세팅 프로그램의 기본 값을 이용하여 각 구간의 설정을 변경하여 실험하였으며 Fill구간 테스트, Hold구간 테스트, Ramp구간 테스트, 중

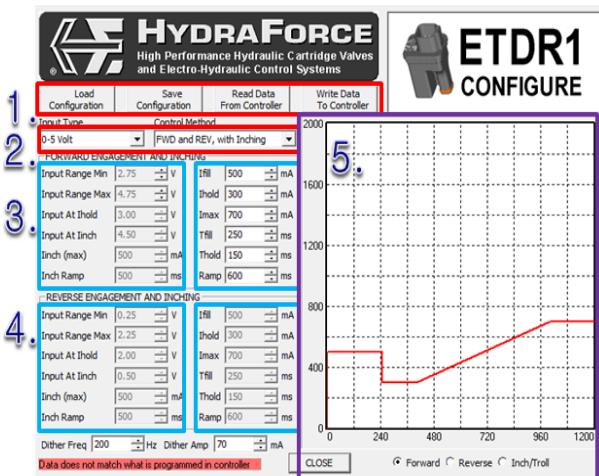


Fig. 5 Program window controller

합 테스트로 진행하였다. 변속충격은 차량의 감도와 출발성능으로 나누어 표현하였다. 변속충격에 대한 데이터는 전문 운전자가 직접 전진 3회 후진 3회를 2회 반복하여 실험을 수행하였다.⁹⁾ 변속감도에 대한 수치적인 표현이 어렵기 때문에 주관적으로 데이터를 나타냈다. 변속감도와 출발 성능의 구분은 총 5부분으로 구분하여 표현하였으며 상은 A, 중상은 B, 보통은 C, 다소나쁨 D, 나쁨 E로 나타내었다. 실험의 기본 데이터 값은 기본세팅 값을 사용하였고 변속감도는 B, 출발성능은 C로 나타났다.

3.1.1 Fill구간 테스트

Fill구간에서 시간과 전류값의 변화에 대한 특성을 조사하기 위해 시간을 같게 하고 전류값을 변화시킨 Case1~2와 전류값을 같게 하고 시간을 변화시킨 Case3~4로 나누어 실험 하였고, 실험조건은 Table 1과 같다.

Table 1 Fill test section

	Current (mA)	Time (ms)	Remark
Default Setting	500	250	Hold section Ramp section Fixed
Case1	400	-	
Case2	300	-	

	Current (mA)	Time (ms)	Remark
Default Setting	500	250	Hold section Ramp section Fixed
Case1	-	150	
Case2	-	350	

Fill구간은 초기 실린더에 유량을 공급하는 부분으로 이 부분의 전류 값은 최초 차량이 움직이는 압력을 발생한다. 이 부분을 수정함으로써 초기응답을 컨트롤 할 수 있다.

3.1.2 Hold구간 테스트

Hold구간에서 시간과 전류값의 변화에 대한 특성을 조사하기 위해 시간을 같게 하고 전류값을 변화시킨 Case5~8과 전류값을 같게 하고 시간을 변화시킨 Case9~11로 나누어 실험 하였다. 실험조건은 Table 2와 같다.

Table 2 Hold test section

	Current (mA)	Time (ms)	Remark
Default Setting	300	150	Fill section Ramp section Fixed
Case5	400	-	
Case6	500	-	
Case7	200	-	
Case8	100	-	

	Current (mA)	Time (ms)	Remark
Default Setting	300	150	Fill section Ramp section Fixed
Case9	-	250	
Case10	-	350	
Case11	-	50	

Hold구간은 변속압력을 감소시켜 모듈레이션 역할을 하는 부분으로 프로파일의 구성에 따라 모듈레이션을 역할을 수행할 수도 있고 Fill구간을 연장시켜 프로그램 할 수 있다.

3.1.3 Ramp구간 테스트

Ramp구간에서 시간과 전류값의 변화에 대한 특성을 조사하기 위해 시간을 같게 하고 전류값을 변화시킨 Case12~15와 전류값을 같게 하고 시간을 변화시킨 Case16~19로 나누어 실험 하였다. 실험조건은 Table 3과 같다.

Table 3 Ramp test section

	Current (mA)	Time (ms)	Remark
Default Setting	700	600	Fill section Hold section Fixed
Case12	800	-	
Case13	900	-	
Case14	600	-	
Case15	500	-	

	Current (mA)	Time (ms)	Remark
Default Setting	700	600	Fill section Hold section Fixed
Case16	-	700	
Case17	-	800	
Case18	-	500	
Case19	-	400	

Ramp구간은 실린더와 클러치판이 최종적으로 밀착되는 구간으로 실린더와 클러치가 결합되었을 때의 최대 압력을 생성하는 부분이다.

3.1.4 복합 테스트

복합 테스트는 모든 경우를 분석하여 변속감도와 출발성능이 B이상의 조합으로 프로파일을 조합하여 실험하였다. Table 4는 복합 테스트를 실험조건을 나타낸 것이다.

Table 4 Complex test

	Default Setting	Case20	Case21	Case22	Remark
Fill section (Current, Time)	500mA 250ms	-	-	-	
Hold section (Current, Time)	300mA 150ms	200mA 250ms	250mA 250ms	250mA 250ms	
Ramp section (Current, Time)	700mA 600ms	-	-	600mA 500ms	

3.2 실차 테스트 결과

3.2.1 Fill구간 테스트 결과

Fill구간 테스트 결과에 대한 데이터를 나타내면 Fig. 7과 같고 전문 운전자의 평가는 Table 5와 같다. Table 5와 Fig. 7의 데이터를 분석하면 Case1~3의 경우 Fill구간의 최대압력이 8bar이하로 형성되어 출발성능이 B로 개선되나 Case4는 최대 압력이 8bar 이상 형성돼 출발성능 D로 나타났다. 결과적으로 Fill구간은 출발성능의 개선은 있으나 변속감도는 나빠지므로 기본세팅의 값이 적절하다고 판단된다.

Table 5 The results of the fill test section

	Shift sensitivity	Starting performance
Default Setting	B	C
Case1	D	B
Case2	D	B
Case3	D	B
Case4	D	D

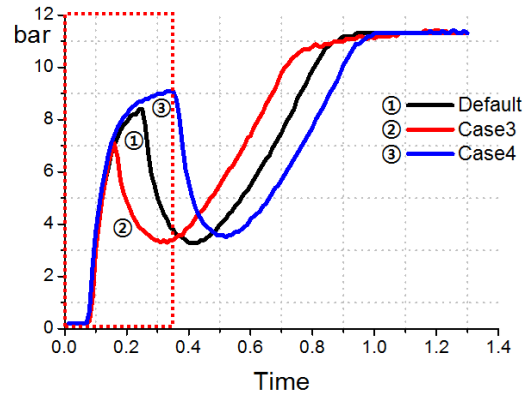
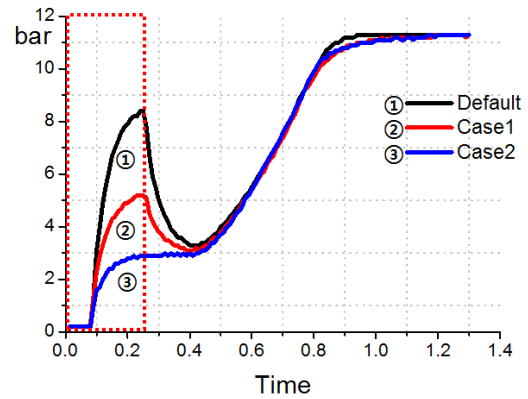


Fig. 7 Experimental results of Fill section

3.2.2 Hold구간 테스트 결과

Hold구간 테스트 결과에 대한 데이터를 나타내면 Fig. 8과 같고 전문 운전자의 평가는 Table 6과 같다. Fig.8과 Table 6에서 데이터를 분석하면 Case5~6은 기본세팅보다 최소압력이 높아 D등급 이하의 결과를 보이고 Case7~8은 기본세팅보다 최소압력이 낮게 형성되어 C등급 이상의 결과를 나타낸다. Table 2의 실험조건과 Table 6의 전문 운전자의 평가를 보면 Hold구간의 적정 전류는 200~300mA 범위에서 변속감도와 출발성능이 개선됨을 알 수 있다. Case9~11을 통해 Hold구간이 250~350ms범위에서 출발성능이 개선됨을 알 수 있다.

Table 6 The results of the Hold test section

	Shift sensitivity	Starting performance
Default Setting	B	C
Case5	D	D
Case6	E	E
Case7	B	A
Case8	C	B
Case9	B	B
Case10	B	B
Case11	C	C

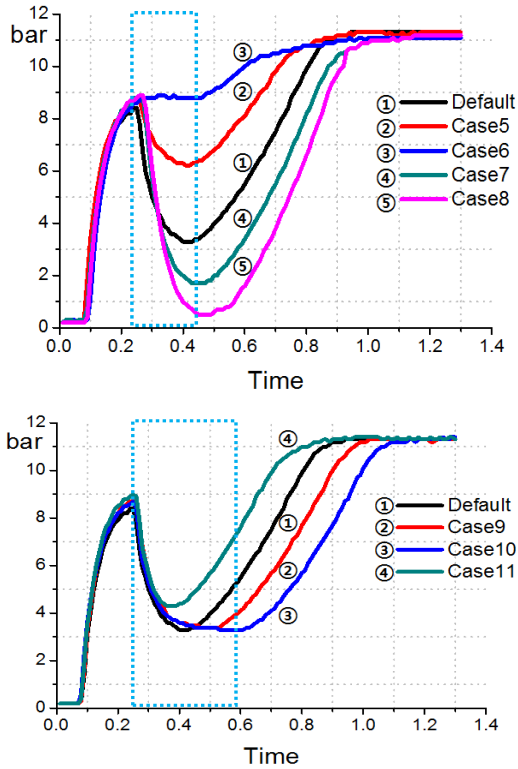


Fig. 8 Experimental results of Hold section

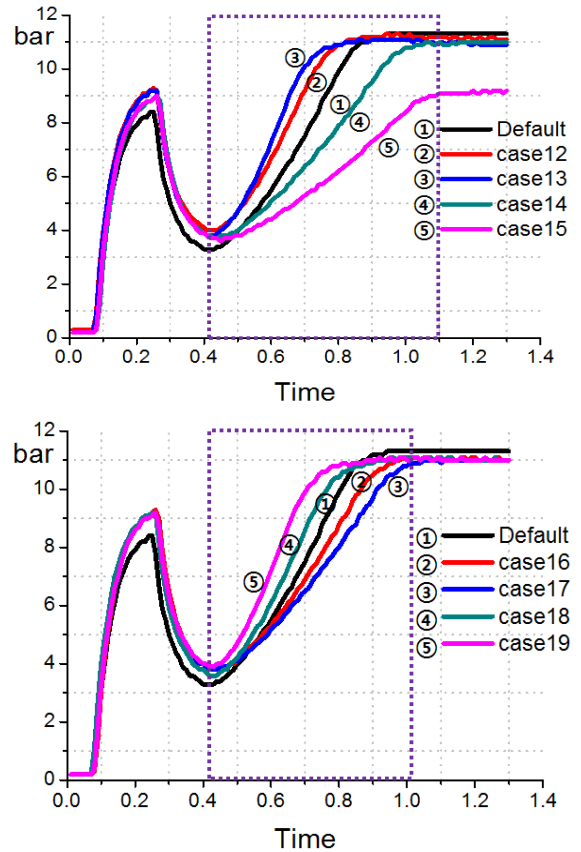


Fig. 9 Experimental results of Ramp section

3.2.3 Ramp구간 테스트 결과

Ramp구간 테스트 결과에 대한 데이터를 나타내면 Fig. 9과 같고 운전자의 평가는 Table 7과 같다. Table 7에서 Case12~19의 변속감도와 출발성능은 C로 나타났고 이 구간이 변속감도와 출발성능에 미치는 영향은 미비하다. Fig. 9에서 Case15는 Ramp구간의 최대압력이 10bar이하인데 Table 3의 실험조건을 보면 전류값은 500mA이다. 클러치의 작동압력이 10bar이상으로 설계되어 있어 설계압력 이하로 변속을 할 경우 클러치의 내구성이 감소할 수 있기 때문이 이 구간의 전류값을 500mA 이상을 사용하여야 한다.

Table 7 The results of the Ramp test section

	Shift sensitivity	Starting performance
Default Setting	B	C
Case12	C	C
Case13	C	C
Case14	C	C
Case15	C	C
Case16	C	C
Case17	C	C
Case18	C	C
Case19	C	C

3.2.4 복합 테스트 결과

복합 테스트 결과에 대한 데이터를 나타내면 Fig. 10과 같고 운전자의 평가는 Table 8과 같다. Table 8의 결과 복합 테스트의 변속감도와 출발성능은 B이상이다. Table 4의 실험 조건에서 Case21처럼 Fill구간은 기본세팅 값을 사용하고, Hold구간에서 전류가 250mA이고 시간이 250ms일 때 변속감도와 출발성능이 가장 좋음을 알 수 있다.

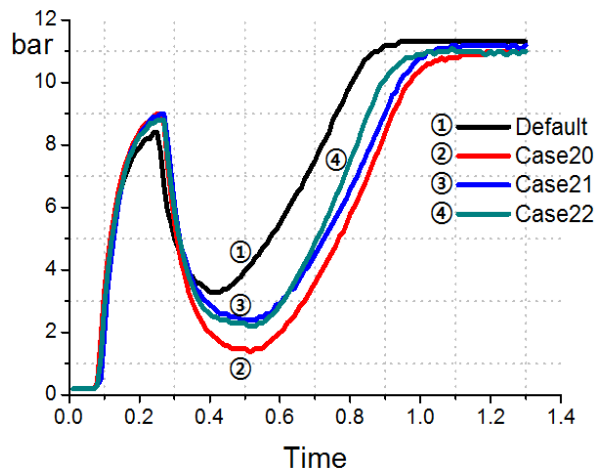


Fig. 10 Experimental results of complex test

Table 8 The results of the complex test

	Shift sensitivity	Starting performance
Default Setting	B	C
Case20	B	A
Case21	A	A
Case22	B	B

Fig. 10에서 Case21과 Case22의 차이는 Ramp구간의 실험 조건이 다르다. 동일한 Fill구간, Hold구간을 설정하고 Ramp구간의 설정의 변화에 따라 변속충격과 출발성능이 변함을 알 수 있다.

위의 실험결과로부터 Fill구간은 기본세팅 값이 좋고 Hold구간은 변속감도와 출발성능에 가장 많은 영향을 주는 것을 알 수 있다. Ramp구간은 변속감도와 출발성능에 적은 영향만을 준다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 소형지게차의 메인 컨트롤 밸브를 직접방식으로 개발하고 비례제어 밸브를 통해 변속 충격과 출발성능을 개선하는 연구를 하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

(1) 파일럿 제어 방식의 MCV를 직접 제어 방식으로 개발하였다.

(2) 비례제어 밸브를 제어 할 수 있는 임베디드 시스템을 개발하였다.

(3) 변속감도와 출발성능을 개선하기 위해 입력 프로파일의 변화에 따른 Fill구간, Hold구간, Ramp구간의 실차 테스트를 수행하였다.

(4) 입력 프로파일의 각 구간이 변속충격과 출발성능에 미치는 영향을 파악하였다.

향후 변속감도와 출발성능을 주관적인 느낌이 아닌 객관적인 데이터로 표현할 수 있는 연구를 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

1) C. S. Jeong, K. D. Kim, H. O. Lee, C. D. Lee,

S. Y. Yang, "A Study on Prediction for Modulation Performance os Power Shift Transmission of Mini Forklift Truck", KSFC spring Conference, pp.39~43, 2008

2) H. K. Jang, D. Y. Kook, J. K. Lee, J. H. Choi, "Development of Start Feel Index of a Forklift Truck", KSME, Vol 26, No. 1, pp.74~82, 2002

3) J. Y. Oh, G. H. Lee, C. H. Jung, "The Hydraulic System Modeling and Analysis of the Automatic Transmission using Clutch Direct Control for Forklift Truck", KSFC Fall Conference, pp.70~75, 2007

4) H. Y. Kim, C. S. Lee, Y. W. Jeong, "A Study on Modulation of Forklift Transmission and Improvement of Inching Performance", Pusan university report, pp.9~48, 2005

5) J. Y. Oh, G. S. Kim, J. H. Lee, K. G. Hwang, S. H. Lee, "Clutch Hydraulic System Modeling and Analysis using Direct Type Control for Automatic Transmission of Forklift Truck", KSPE Spring Conference, pp.885~890, 2006

6) S. N. Yun, Y. H. Choi Y. B. Ham, K. Y. Kim, "Characteristics Analysis of Pilot Operated Pressure Control Valve" KSPE Spring Conference, pp.725~728, 2002

7) B. H. Kwon, S. B. Kim, H. S. Kim, "Modeling of a Clutch to Clutch Controlled Automatic Transmission and Simulation Tool for Prediction of Shift Quality", KSAE Spring Conference, pp.431~436, 2000

8) Y. M. Jeong, C. S. Jeong, S. Y. Yang, "A Study on Development of Proportional Control Valve System for Small Forklift", KSFC Spring Conference, pp.105~108, 2012

9) H. G. Jang, D. Y. Kuk, J. G. Lee, J. H. Choi, "Development of Start Fell Index of a Forklift Truck", KSNVE Spring Conference, pp.1094~1099, 2001