

직접제어 방식을 이용한 소형 지게차 변속감도 시뮬레이션에 관한 연구

A Study on Simulation of Shift Sensitivity of Small Forklift Transmission using Direct Control Method

정영만¹ · 양순용^{2*}

Y. M. Jeong and S. Y. Yang

Received: 12 Aug. 2014, Revised: 08 Oct. 2014, Accepted: 18 Oct. 2014

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

Abstract: The transmission control method of a small forklift is classified into a pilot control method and a direct control method. In the pilot control method, the complex hydraulic circuit consists of many components, making the production process too costly and time consuming. The direct control method contains fewer components that can be configured to simple hydraulic circuits. As another advantage, the input profile easily changes the shift sensitivity of the transmission. Therefore, this research considers the characteristics of the direct control method in the development of hydraulic system design. This paper will present a simulation of the direct control transmission using AMESim. First, modeling of the direct control method is obtained and simulated with real parameters. The simulation results then are carried out and compared with the experimental results to verify and analyze the characteristics of the direct control method.

1. 서 론

지게차는 무게 중심이 높고 빈번한 전진, 후진 작업을 수행하는 건설장비로서 전, 후진 변속 시 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 압력형성이 늦으면 부드러운 변속이 가능하나 변속응

답이 늦고 클러치의 마찰에 의한 마모가 발생하는 문제가 있다.²⁾

이러한 문제를 해결하기 위해 소형 지게차의 변속기를 제어하는 방식의 변화가 이루어지고 있다.

대부분의 소형 지게차의 변속기를 제어하는 방법에는 MCV(Main Control Valve)의 파일럿 압력을 이용한 파일럿제어방식(Pilot Control Method)이 사용되었다. 파일럿제어방식의 변속감도와 출발성능을 개선시키기 위해서는 모듈레이션밸브(Modulation Valve)에 장착된 두 개의 스프링의 상수를 변경하여 변속감도나 출발성능을 개선할 수 있었다. 이러한 개선방법은 많은 테스트 비용과 시간이 소요되고 향상된 고객들의 기대치를 충족시키는데 어려움이 발생한다.

반면 직접제어방식(Direct Control Method)의 장점은 파일럿라인 없이 직접 클러치 압력을 제어하기 때문에 구성부품의 수가 적고 간단한 유압회로를 구성할 수 있고 입력 프로파일의 변경만으로도 변속충격을 개선할 수 있어 소형 지게차에 직접제어방식을 적용하는 연구가 수행되고 있다.³⁻⁴⁾

* Corresponding author: soonyy@ulsan.ac.kr

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

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

Copyright © 2014, 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.

현재 지게차도 자동차와 같이 고객들이 지게차 변속기의 변속감에 대한 불만이 많이 접수되고 있고 기존 파일럿제어방식으로는 고객의 수요를 충족시키기에는 한계가 있어 소형 지게차에 직접제어방식을 적용한 연구가 필요하다.⁵⁻⁷⁾

직접제어방식의 변속기 실험을 통해 변속감이나 출발성능에 대한 개선이 이루어지나 단순 클러치의 압력 변화만으로 클러치의 동작에 대한 데이터를 확보하기 어려운 실정이다. 따라서 본 논문에서는 AMESim을 이용하여 직접제어 변속기를 모델링하고 실차 실험과 시뮬레이션 결과를 비교하여 직접제어 변속기의 압력 변화와 클러치 거동을 파악하고자 한다.

2. 직접제어 변속기의 구조

소형 지게차 직접제어 변속기의 구성은 Fig. 1과 같이 토크 컨버터(Torque Converter), 펌프, 메인 컨트롤 밸브(Main Control Valve), 비례제어밸브(Proportion Control Valve), 전진, 후진 클러치 팩(Clutch Pack), 아이들 기어(Idle Gear) 등으로 구성된다. 직접제어 변속기의 구조와 메인 컨트롤 밸브(Main Control Valve)의 유체 흐름을 파악하여 유압 시뮬레이션에 이용한다.

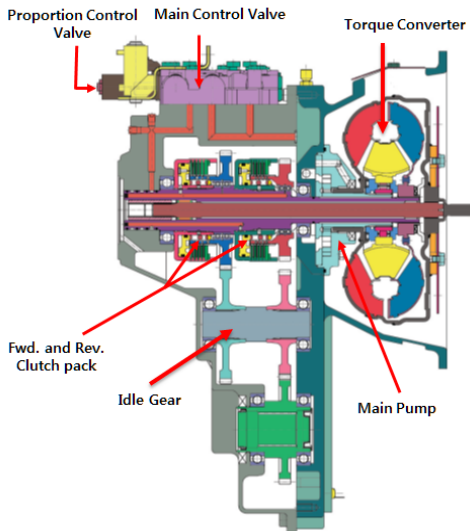


Fig. 1 Structure of forklift transmission

소형 지게차 변속기의 유압의 흐름은 Fig. 2와 같이 펌프에서 송출된 오일은 필터를 거쳐 메인 컨트롤 밸브(Main Control Valve)를 통하여 Fig. 3과 같이 전진, 후진 클러치 팩에 유량을 공급하여 변속이 된다. 메인 릴리프 밸브는 펌프에서 송출된 압력을 일정

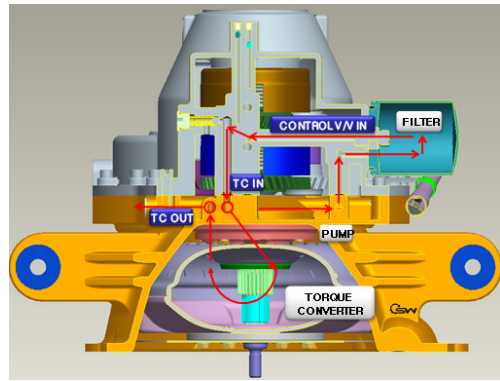


Fig. 2 Oil flow of small forklift transmission

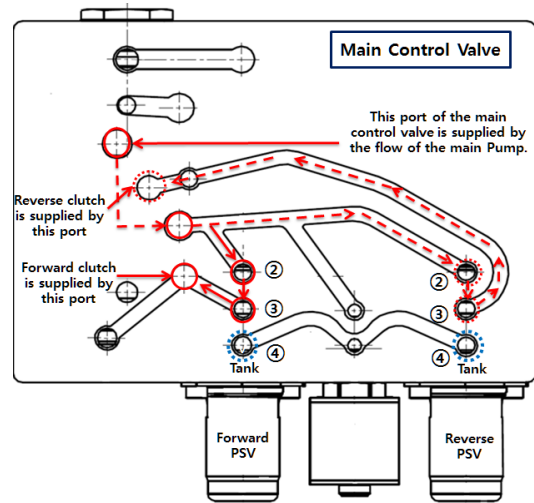


Fig. 3 The flow diagram of the main control valve

하게 유지하여 전진, 후진 비례제어밸브(Proportion Control Valve)에 유량을 공급하는 역할을 한다. 비례제어밸브는 지게차의 레버의 신호에 따라 지게차를 전진, 후진시키는 역할을 하고 인칭 작업을 수행할 수 있는 역할을 한다.⁸⁾

3. 직접제어 변속기 시뮬레이션 모델링

직접제어 변속기의 장점은 입력 프로파일의 변화만으로 클러치가 변속될 때의 압력을 조절할 수 있다. 시뮬레이션의 구성은 직접제어 변속기의 구성요소인 메인펌프, 메인 릴리프 밸브, 비례제어밸브, 클러치 팩 등을 모델링하고 각각의 요소를 결합하여 직접제어 변속기를 모델링하였다. 메인펌프, 메인 릴리프 밸브와, 클러치 팩의 모델링은 도면을 참고하여 시뮬레이션에 필요한 파라미터를 획득하였고 비례제어밸브의 경우 시뮬레이션에 필요한 파라미터가 존재하지 않기 때문에 시뮬레이션에 필요한 파라미터는 비례제어밸브를 분해하여 실측을 통하여 필요한 파

라미터를 획득하여 시뮬레이션에 적용하였다.

3.1 메인 릴리프 밸브 모델링

메인 릴리프 밸브는 펌프에서 송출된 유량을 일정한 압력으로 클러치에 유량을 공급하는 역할을 한다.

메인 릴리프 밸브의 구성은 스톱, 밸브, 대구경 스프링(0.1005kg/mm), 소구경 스프링(0.202kg/mm) 등으로 구성되며 메인 릴리프 밸브의 모델링은 설계 도면을 이용하여 스프링의 제원이나 스톱 등의 제원을 이용하여 모델링 하였다. AMESim을 이용한 메인 릴리프 밸브의 모델링은 Fig. 4와 같다.

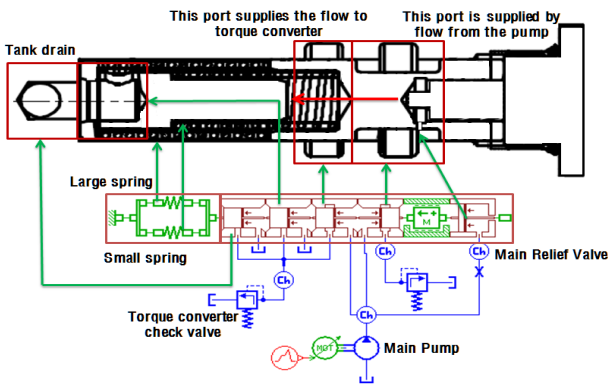


Fig. 4 Modeling of main relief valve

3.2 비례 제어 밸브 모델링

직접제어 변속기에 사용되는 비례 제어 밸브의 유압 회로도 및 구조는 Fig. 5와 같다.

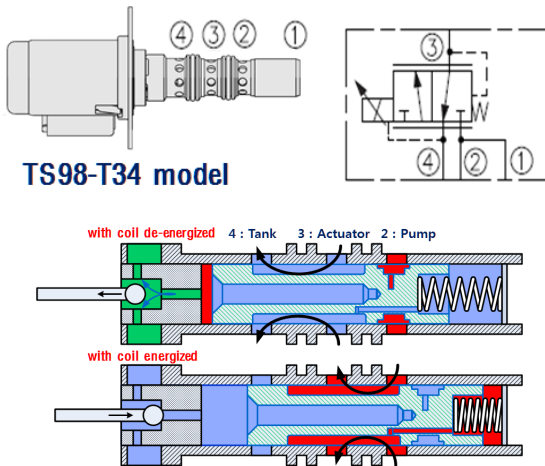


Fig. 5 Analysis of the proportional control valve

비례 제어 밸브에 사용되는 스프링의 상수 값은 스프링 상수 측정기를 이용하여 측정하였다. 스프링 상수 값은 Table 1과 같고 측정된 스프링 상수는 0.08kg/mm로 나타났다.

Table 1 Measurement of spring constant

	Length (mm)	Force (kgf)	Remark
Free length	20.7	0	
Initial length	17.4	0.264	
Minimum length	11	0.776	

측정된 스프링 상수 값을 이용하여 비례 제어 밸브를 모델링 하면 Fig. 6과 같다.

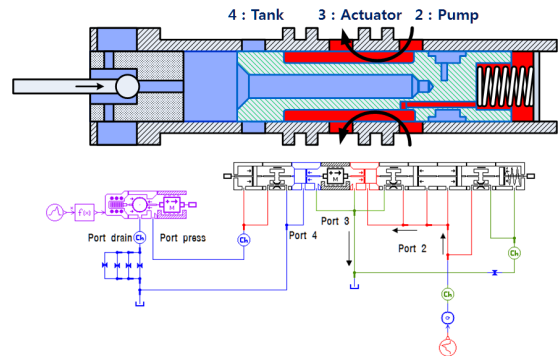


Fig. 6 Modeling of the proportional control valve

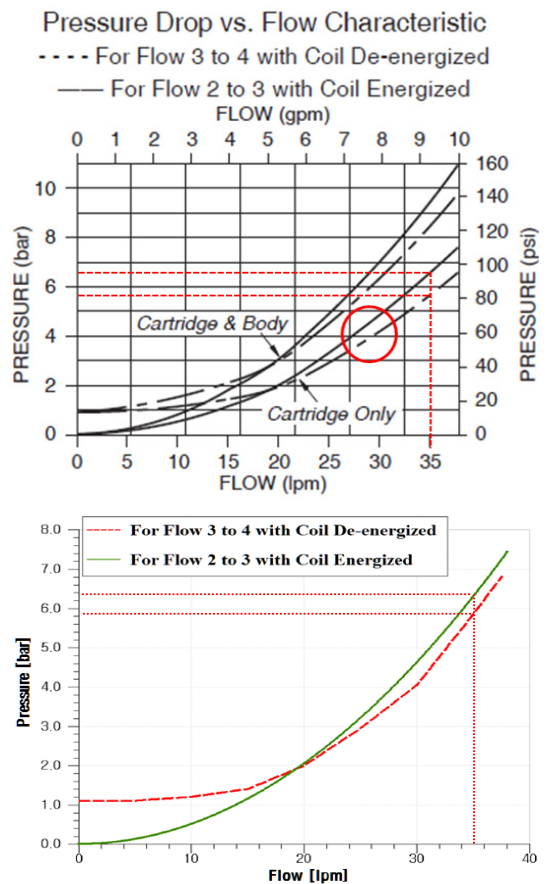


Fig. 7 Simulation and catalog comparison of proportional control valve

비례제어밸브의 유압 시뮬레이션은 밸브 제조사의 카탈로그를 이용하여 압력유량선도(PQ선도)를 비교 하였으며 비례제어밸브의 성능을 비교하면 Fig. 7과 같다.

비례제어밸브 모델링의 시뮬레이션 결과는 전반적으로 카탈로그와 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있었고 그래프의 압력이 0.1bar~0.2bar의 차이를 나타냈다.

3.3 클러치 팩 모델링

클러치 팩의 구성은 마찰판과, 플레이트 판, 피스톤, 리턴 스프링 등으로 구성된다. 피스톤의 압력과 마찰면의 압력은 피스톤의 면적과 마찰재의 면적으로 결정되며 피스톤과 마찰재의 파라미터를 입력하면 된다. 그리고 피스톤의 직경과 리턴 스프링의 반력에 의하여 클러치 팩의 압력을 설정한다. 클러치 팩의 모델링은 Fig. 8과 같다.

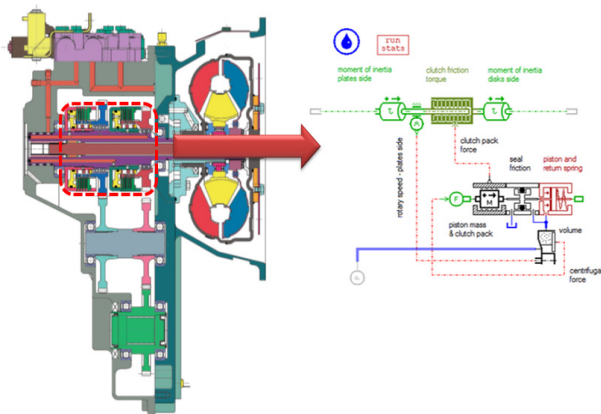


Fig. 8 Modeling of clutch pack

3.4 직접제어 변속기 모델링

직접제어 변속기의 구성은 메인릴리프밸브 전진,

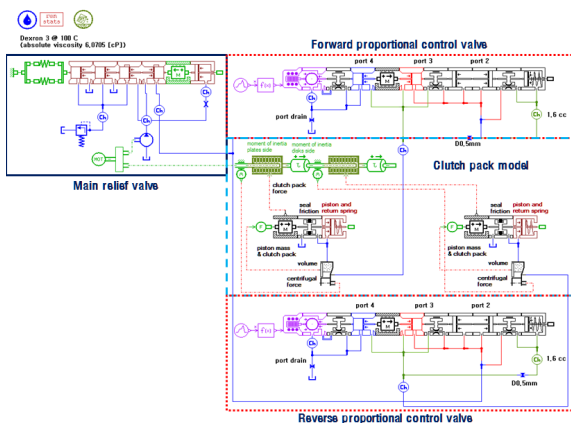


Fig. 9 Modeling of direct control transmission

후진 비례제어밸브 클러치 팩 등으로 구성되며 단품의 모델링을 완성하면 Fig. 9와 같다.

4. 실차 실험과 시뮬레이션의 비교

실차 테스트는 메인릴리프밸브의 압력 변화와 지게차가 전진할 때의 압력 변화를 측정하여 차량의 감도와 출발성능을 측정하였다. 측정된 데이터를 시뮬레이션과 비교하였다.

4.1 메인릴리프밸브 시뮬레이션

메인릴리프밸브는 클러치의 압력을 일정하게 유지하는 역할을 하며 엔진 rpm이 800, 1200, 1600, 2000 일 때의 압력의 변화를 측정하여 시뮬레이션과 비교하면 Fig. 10과 같다.

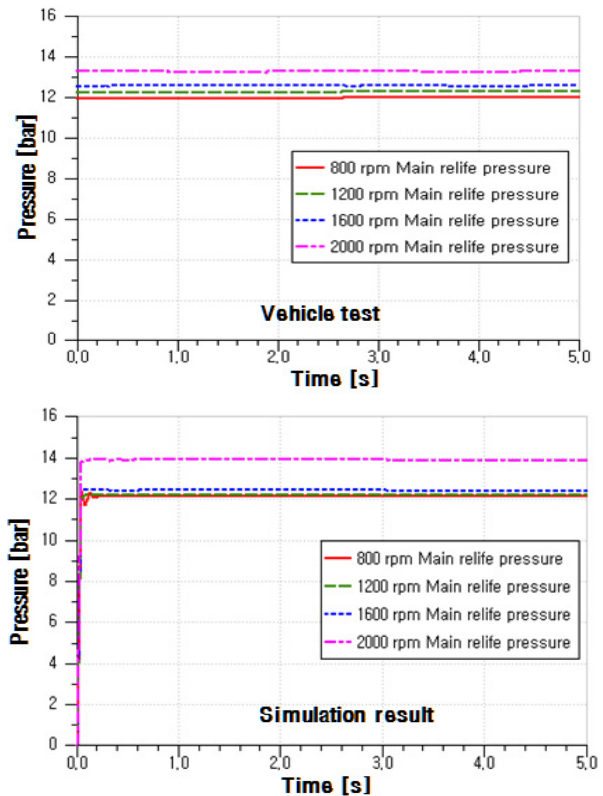


Fig. 10 Vehicle test and simulation comparison of main relief pressure

실차 테스트 결과 메인릴리프압력은 2000rpm까지 상승하였을 때 압력이 13bar선을 유지하지만 2000rpm에서 압력이 실차의 압력보다 높게 나타났다. 시뮬레이션 결과가 실차의 결과보다 높게 나온 부분은 엔진 rpm이 상승할 때 펌프에 공급되는 유량이 많아지고 탱크로 빠지는 유량을 조절해야 일정한

압력을 유지 할 수 있는데 시뮬레이션에서는 펌프에서 공급된 유량이 탱크로 빠지지 않아 이러한 결과나 나타난 것으로 판단된다.

4.2 클러치 압력 비교 시뮬레이션

직접제어 변속기는 입력 프로파일에 따라서 클러치에 압력을 조절하는 것이 특징이다. 실차 실험의 데이터는 입력 프로파일을 변화시키면서 실험 결과를 획득하였고 변속감도와 출발성능이 B이상으로 구성된 Case20~22의 압력 그래프를 실차 실험과 동일한 입력 프로파일을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 실차 그래프와 시뮬레이션 그래프는 Fig. 11과 같다.⁹⁻¹⁰⁾

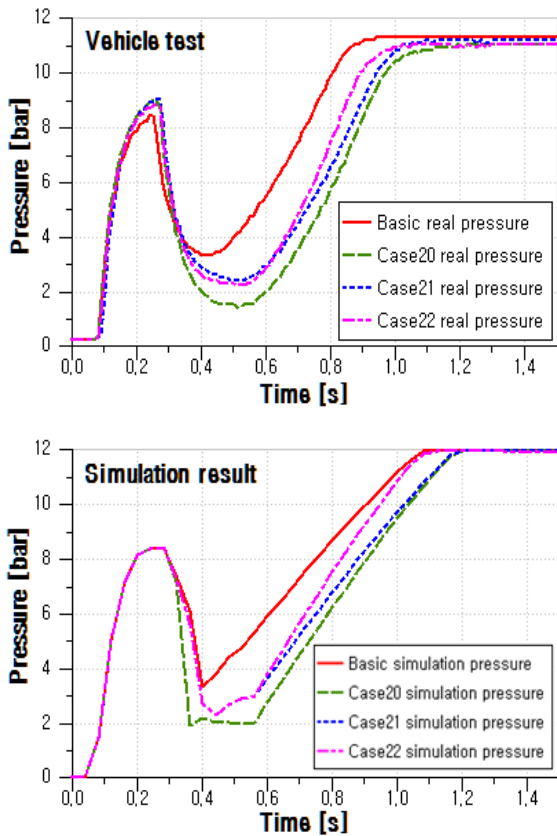


Fig. 11 Compare of vehicle test and simulation

각 Case별 결과를 비교해 보면 실차 테스트 결과와 시뮬레이션과의 결과는 유사한 경향을 나타내며 각 Case별 실차 테스트와 시뮬레이션을 비교하면 Fig. 12와 같다.

실차 테스트와 시뮬레이션 비교 결과 동일한 입력 프로파일을 사용했을 유사한 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있었으며 실린더가 완전하게 결합되는 시점이 시뮬레이션이 0.1초 느린 부분은 수정이 필요하다.

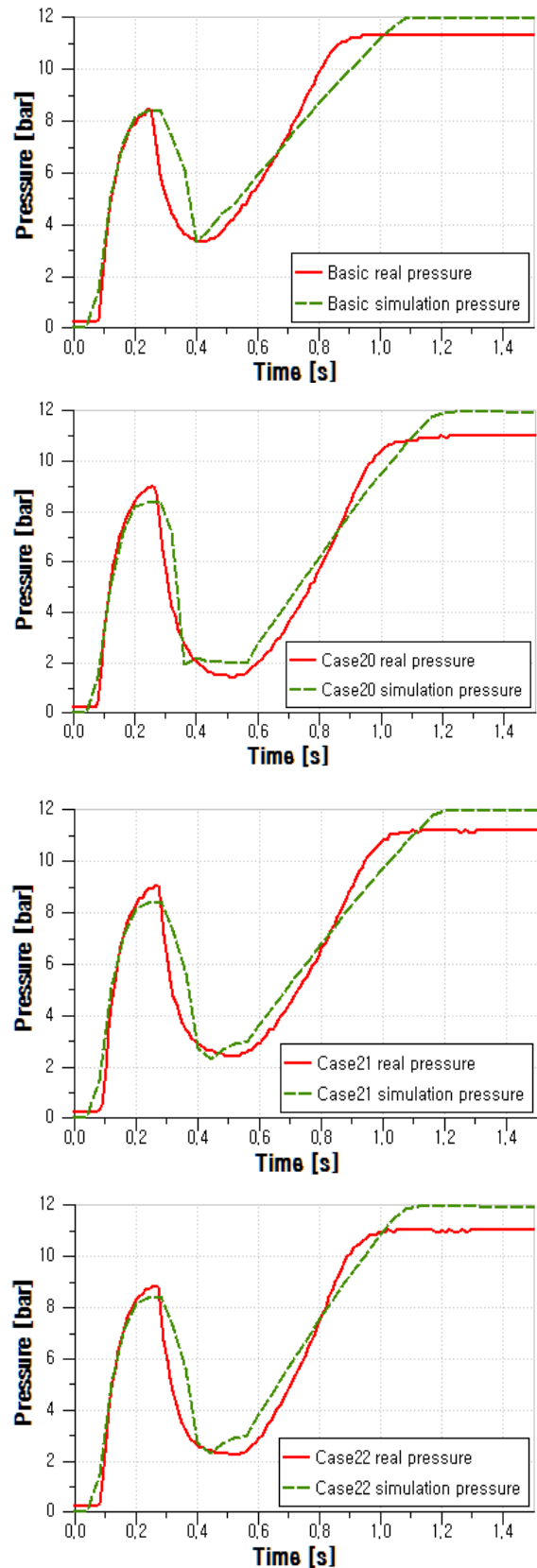


Fig. 12 Pressure comparison of each case

실차 테스트의 결과 각 Case별 변속감도와 출발성능은 Table 2와 같다.

Table 2 The results of the complex test

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

시뮬레이션 결과가 실차 테스트와 유사하지만 변속감도나 출발성능의 개선에 대한 객관적인 데이터가 부족한 실정이다.

이 부분은 실린더의 변위와 속력의 변화를 분석하여 압력 파형의 변화에 따른 변위와 속력의 변화는 Fig. 13과 Fig. 14와 같다.

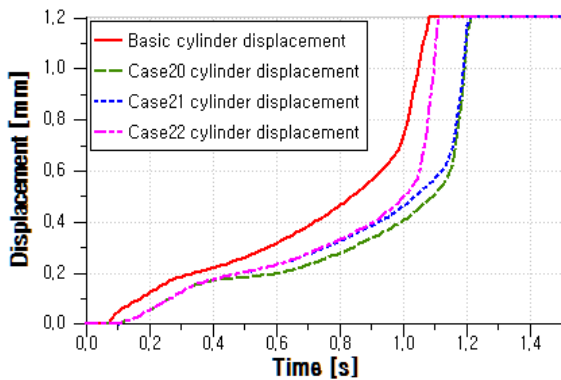


Fig. 13 Displacement comparison of each case

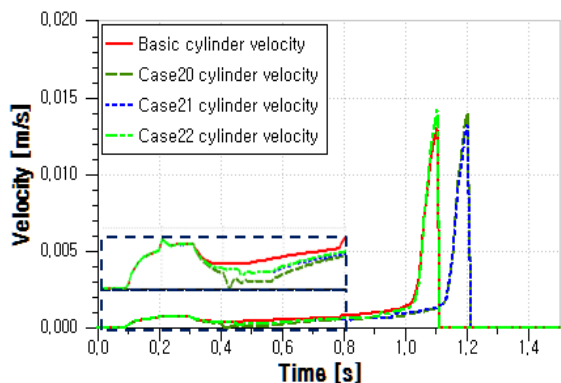


Fig. 14 Velocity comparison of each case

시뮬레이션의 결과와 실험 결과를 분석해 보면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

변속 시 변속감도와 출발 성능이 결정되는 시간은 실험을 통하여 0.6초 이내에 결정되는 것을 알 수 있다.¹⁰⁾ 이 시간을 시뮬레이션을 통해 클러치의 거동을 보면 실제로 클러치가 움직인 거리가 매우 작다. 클

러치가 이동거리가 작는데 변속감도와 출발성능에 미치는 영향이 큰 원인은 클러치의 구조를 보면 알 수 있다. Fig. 15는 클러치 구조를 나타낸 것이다.

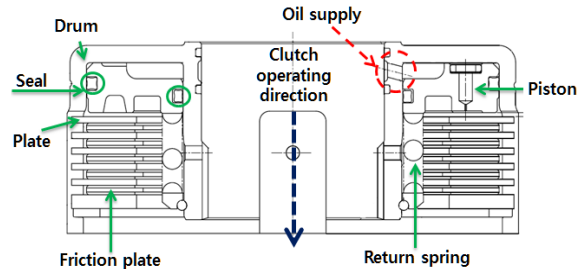


Fig. 15 Structure of clutch

변속 시 클러치 안의 실린더는 리턴 스프링과 각각의 실(Seal)등에 움직임이 제한된다. 그래서 입력 프로파일의 구성에서 초기에 많은 전류를 비례제어 밸브에 인가하여 초기 움직임을 원활하게 하는 역할을 필요하고 중기에는 실린더가 일정한 속도로 움직이게 하여 말기에 완전한 결속을 시키는 것이 변속감도와 출발성능을 개선하는데 도움이 된다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 소형 지게차 직접제어 변속기를 실차 실험과 시뮬레이션을 비교하여, 지게차의 변속감도와 출발성능을 판단하는 객관적인 데이터를 획득하는 연구를 하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

- (1) 직접제어 변속기의 구조를 분석하여 유압 시뮬레이션을 구성하였다.
- (2) 직접제어 변속기의 실차 실험과 시뮬레이션을 비교한 결과로 두 데이터가 유사한 경향을 나타남을 확인 하였다.
- (3) 시뮬레이션을 통하여 실제 변속하는 과정 중의 클러치의 움직임을 파악할 수 있었다.
- (4) 실차 데이터와 시뮬레이션을 분석한 결과로 지게차의 변속감도와 출발성능에 영향을 미치는 부분은 클러치 실린더의 초기 거동이 어떻게 원활하게 움직이는 것에 따라서 변속감도와 출발성능에 영향을 미치는 것을 확인하였다.

향후 변속감도와 출발성능을 개선하는 실험과 시뮬레이션을 수행할 예정이다.

References

- 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
- 10) Y. M. Jeong, K. Lim, S. Y. Yang, "A Study on Applying the Direct Control Method for Small Forklift Transmission System", KSFC, Vol 10, No. 4, pp. 34~40, 2013