



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

입력속도 제어를 통한
전후진 파워시프트 변속기의 변속성능
개선

Improvement of Shift Quality of
Power Shuttle Transmission by
controlling Input Speed

2016년 8월

서울대학교 대학원

바이오시스템 소재학부 바이오시스템공학전공

홍 원 선

입력속도 제어를 통한
전후진 파워시프트 변속기의 변속성능
개선

지도교수 김 경 욱

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함
2016년 8월

서울대학교 대학원
바이오시스템소재학부 바이오시스템공학전공
홍 원 선

홍원선의 석사 학위논문을 인준함
2016년 8월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

입력속도 제어를 통한 전후진 파워시프트 변속기의 변속성능 개선

Improvement of Shift Quality of Power Shuttle Transmission by controlling Input Speed

홍 원 선

국문 초록

전후진 파워시프트 변속기는 트랙터 구동 시에 높은 작업능률과 전동 효율을 높일 수 있어 보급이 점차 늘어나는 추세이다. 그러나 이에 비해 전후진 파워시프트 변속기에 관한 연구는 미흡하며, 전후진 파워시프트 변속기로 인해 발생하는 변속충격 완화에 관한 연구도 많지 않다. 따라서 본 연구는 전후진 파워시프트 변속기에 의한 변속충격 및 변속시간 개선에 관한 연구를 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

실차실험을 통해 트랙터 변속충격을 예측할 수 있는 해석모델을 개발하였고, 이를 통해 입력속도를 제어하여 변속충격 및 변속시간을 감소시켰다. 해석모델은 엔진, 전후진 파워시프트 변속기의 클러치 및 피스톤, 기어를 포함한 전동라인의 요소로 구성되었으며 대상 트랙터의 제원을 사용하였다. 엔진 속도 및 오일 압력은 실차실험에서 계측한 데이터를 입력변수로 사용하였다. 완성된 해석모델은 실차 실험 결과와 비

교하여 차량 상태를 모방하는 것을 검증하였다. 해석결과가 실차결과를 완전히 모방하지 못하는 이유는 해석 프로그램이 실제 환경을 완벽하게 구현하지 못하기 때문으로 판단하였다.

변속성능 지표를 개발하여 입력속도 제어 전후의 변속충격과 변속시간을 비교하였다. 변속충격은 트랙터 진행방향의 가속도변화, 변속시간은 오일압력 인가 시점부터 엔진속도와 변속기 피동축의 동기화까지의 시점으로 정의하였다.

입력속도 제어를 위해 스로틀 열림량 신호를 작성하였다. 오일 압력신호가 인가되었을 때 스로틀 열림량 신호를 통해 엔진속도를 감소시켜 변속 충격 및 변속시간을 개선하였다.

변속충격 및 변속시간은 대부분의 경우에서 개선되었으나, 변속충격이 개선되는 비율이 변속시간보다 컸다. 또한 오일압력이 인가될 때 입력속도를 초기속도의 50% 이하로 급작스럽게 감소시키면, 변속충격 및 오버슈트가 생겨 제어 전보다 변속성능이 떨어졌다.

입력속도제어가 실제로 변속성능을 개선시키는지 확인하기 위하여 전후진 파워시프트 변속기가 장착된 시험 장치를 개발하였다. 시험장치는 크게 유압부, 시험부, 제어부로 구성하였다. 시험장치에서 오일압력은 비례제어밸브로, 입력속도는 서보모터로 제어하였다. 시험장치의 규모에 적절한 오일압력을 인가하기 위해 시험 조건에 따라 압력프로파일을 조정하였으며, 적용된 압력프로파일을 바탕으로 입력속도를 제어하였다. 100 rpm의 일정한 간격으로 입력속도 감소시켜 입력속도에 따른 변속성능의 경향성 및 최적 속도 감소(drop) 수준을 규명하였다.

주요어 : 전후진 파워시프트 변속기, 변속성능, 입력속도제어,
해석모델

학 번 : 2014-20058

목 차

제 1 장 서론	1
제 1 절 연구의 배경	1
제 2 절 연구의 목적	3
제 3 절 연구사	4
제 2 장 트랙터 해석 모델 개발	5
제 1 절 개요 및 대상 트랙터	5
제 2 절 변속성능 해석모델	6
2.2.1 습식다판클러치 시스템 및 모델 개요	6
2.2.2 엔진 모델	8
2.2.3 클러치 및 피스톤 모델	11
2.2.4 전동라인 및 댐핑과 강성 모델	15
2.2.5 데이터 블록 모델	20
제 3 장 해석모델 입력속도제어	21
제 1 절 실차실험	21
제 2 절 해석모델 검증	27
제 3 절 입력속도 제어 예비시험	33
제 4 절 입력속도 제어에 따른 변속성능	47
제 4 장 시험장비 개발	50
제 1 절 개요	50
제 2 절 시험장비 계측시스템 구성	50
제 3 절 시험장비 개발	53

제 5 장 입력속도 제어를 통한 변속성능 개선	59
제 1 절 유압프로파일	59
제 2 절 입력속도 제어 방법	62
제 3 절 결과 및 분석	64
제 6 장 요약 및 결론	75
참고문헌	77
부 록 A. 트랙터 실차 실험 데이터	79
Abstract	103

List of Tables

Table 2.1	Specifications of L7030 tractor	6
Table 2.2	Gear ratio of all gear steps	15
Table 2.3	Angular velocity and acceleration of the driving wheel and torsional damping coefficient of the drive-line	18
Table 3.1	The experimental conditions of the practical testing	22
Table 3.2	Specifications of the accelerometer	22
Table 3.3	Specifications of the pressure sensor	22
Table 3.4	Specifications of the DAQ for practical testing	23
Table 3.5	The RMSE of shift shock in initial speed 1000 rpm and oil temperature 30°C	29
Table 3.6	The RMSE of shift shock in initial speed 1000 rpm and oil temperature 80°C	29
Table 3.7	The RMSE of shift shock in initial speed 1500 rpm and oil temperature 30°C	30
Table 3.8	The RMSE of shift shock in initial speed 1500 rpm and oil temperature 80°C	30
Table 3.9	The RMSE of shift shock in initial speed 2000 rpm and oil temperature 30°C	31
Table 3.10	The RMSE of shift shock in initial speed 2000 rpm and oil temperature 80°C	31
Table 3.11	The RMSE of shift shock in initial speed 2500 rpm and oil temperature 30°C	32
Table 3.12	The RMSE of shift shock in initial speed 2500 rpm and oil temperature 80°C	32

Table 3.13	The improvement of shift shock and shift time by engine control in neutral to forward and initial speed 2500 rpm	40
Table 3.14	The improvement of shift shock and shift time by engine control in neutral to forward and initial speed 2000 rpm	41
Table 3.15	The improvement of shift shock and shift time by engine control in neutral to forward and initial speed 1500 rpm	41
Table 3.16	The improvement of shift shock and shift time by engine control in neutral to forward and initial speed 1000 rpm	42
Table 3.17	Shift shock and shift time comparison between controlled and non-controlled in gear step M2, initial speed 2500 rpm and oil temperature 80°C	49
Table 4.1	Specifications of the pressure sensor	51
Table 4.2	Specifications of the torque meter	52
Table 4.3	Specifications of the temperature sensor	52
Table 4.4	Specifications of the oil flowmeter	52
Table 4.5	Specifications of the variable capacity oil pump	55
Table 4.6	Specifications of the hydraulic motor	55
Table 4.7	Specifications of the oil cooler	55
Table 4.8	Specifications of the servo motor	57
Table 4.9	Specifications of the servo motor controller	58
Table 4.10	Specifications of the DAQ for bench tester	58
Table 5.1	The experimental conditions of bench tester	62

Table 5.2	The angular acceleration value in every drop level of engine speed	63
Table 5.3	The optimum engine speed drop level and decrease ratio by initial input speed	69
Table 5.4	The improvement percentage of shift shock in initial speed 1000 rpm	70
Table 5.5	The improvement percentage of shift time in initial speed 1000 rpm	70
Table 5.6	The improvement percentage of shift shock in initial speed 1500 rpm	71
Table 5.7	The improvement percentage of shift time in initial speed 1500 rpm	71
Table 5.8	The improvement percentage of shift shock in initial speed 2000 rpm	72
Table 5.9	The improvement percentage of shift time in initial speed 2000 rpm	72
Table 5.10	The improvement percentage of shift shock in initial speed 2500 rpm	73
Table 5.11	The improvement percentage of shift time in initial speed 2500 rpm	74

List of Figures

Fig. 2.1	L7030 tractor	5
Fig. 2.2	Elements of Multi-plate wet clutch	7
Fig. 2.3	Overview of tractor simulation model	8
Fig. 2.4	Full-load PTO performance curve of L7030 tractor	9
Fig. 2.5	Full and partial loads performance curve of engine model	9
Fig. 2.6	Detail view of engine model	10
Fig. 2.7	Detail view of clutch model	11
Fig. 2.8	Detail view of piston model	12
Fig. 2.9	Pressure profile in neutral to forward, L1 gear step, engine speed 1000 rpm, and oil temperature 80°C	14
Fig. 2.10	Schematic diagram of drive-line resistance test for torsional damping coefficient	16
Fig. 2.11	The overview of drive-line model	19
Fig. 2.12	Data block of gear ratio, torsional damping coefficient, and friction coefficient of the friction plate	20
Fig. 3.1	Acceleration and engine speed data in forward to reverse, gear step L1, initial speed 1000 rpm, and oil temperature 30°C	23
Fig. 3.2	Acceleration and engine speed data in forward to reverse, gear step H3, initial speed 1500 rpm, and oil temperature 80°C	24
Fig. 3.3	Acceleration and engine speed data in forward to reverse, gear step L1, initial speed 2000 rpm, and oil temperature 80°C	24

Fig. 3.4	Acceleration and engine speed data in forward to reverse, gear step M2, initial speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C	25
Fig. 3.5	The synchronization of engine and shuttle speed and acceleration in same oil pressure supply	26
Fig. 3.6	Verification of measured and simulated results in neutral to forward, H3 gear step, engine speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C (acceleration)	27
Fig. 3.7	Verification of measured and simulated results in neutral to forward, H3 gear step, engine speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C (engine speed)	28
Fig. 3.8	The control signal of throttle position in neutral to forward, gear step M2, initial speed 1000 rpm, and oil temperature 80°C	33
Fig. 3.9	The control signal of throttle position in neutral to forward, gear step L3, initial speed 1500 rpm, and oil temperature 80°C	34
Fig. 3.10	The control signal of throttle position in neutral to forward, gear step M4, initial speed 2000 rpm, and oil temperature 30°C	34
Fig. 3.11	The control signal of throttle position in neutral to forward, gear step M2, initial speed 1000 rpm, and oil temperature 80°C	35
Fig. 3.12	Acceleration change with abrupt throttle position signal change in neutral to forward, gear step M4, initial speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C	35

Fig. 3.13	Throttle position signal profile for engine speed control in neutral to forward, initial speed 2500 rpm, and oil temperature 30°C	36
Fig. 3.14	Throttle position signal profile for engine speed control in neutral to forward, initial speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C	37
Fig. 3.15	Throttle position signal profile for engine speed control in neutral to forward, initial speed 2000 rpm, and oil temperature 30°C	37
Fig. 3.16	Throttle position signal profile for engine speed control in neutral to forward, initial speed 2000 rpm, and oil temperature 80°C	38
Fig. 3.17	Throttle position signal profile for engine speed control in neutral to forward, initial speed 1500 rpm, and oil temperature 30°C	38
Fig. 3.18	Throttle position signal profile for engine speed control in neutral to forward, initial speed 1500 rpm, and oil temperature 80°C	39
Fig. 3.19	Throttle position signal profile for engine speed control in neutral to forward, initial speed 1000 rpm, and oil temperature 30°C	39
Fig. 3.20	Throttle position signal profile for engine speed control in neutral to forward, initial speed 1000 rpm, and oil temperature 30°C	40
Fig. 3.21	Shift shock comparison between controlled and non-controlled in neutral to forward, gear step L3, initial speed 1000 rpm, and oil temperature 80°C	42

Fig. 3.22	Shift shock comparison between controlled and non-controlled in neutral to forward, gear step L1, initial speed 1500 rpm, and oil temperature 30°C	43
Fig. 3.23	Shift shock comparison between controlled and non-controlled in neutral to forward, gear step H1, initial speed 1500 rpm, and oil temperature 30°C	43
Fig. 3.24	Shift shock comparison between controlled and non-controlled in neutral to forward, gear step M4, initial speed 2000 rpm, and oil temperature 30°C	44
Fig. 3.25	Shift shock comparison between controlled and non-controlled in neutral to forward, gear step M2, initial speed 2500 rpm, and oil temperature 30°C	44
Fig. 3.26	Shift shock comparison between controlled and non-controlled in neutral to forward, gear step M2, initial speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C	45
Fig. 3.27	Shift shock comparison between controlled and non-controlled in neutral to forward, gear step M4, initial speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C	45
Fig. 3.28	Acceleration comparison between non-controlled and throttle position signal up-leveling in neutral to forward, gear step M2, initial speed 2000 rpm, and oil temperature 80°C	46
Fig. 3.29	Throttle position signal graph in forward to reverse, gear step M2, engine speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C	47

Fig. 3.30	Throttle position signal graph in neutral to forward, gear step M2, engine speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C	48
Fig. 3.31	Throttle position signal graph in neutral to reverse, gear step M2, engine speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C	48
Fig. 3.32	Throttle position signal graph in reverse to forward, gear step M2, engine speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C	49
Fig. 4.1	Schematic diagram of the bench tester	50
Fig. 4.2	Hydraulic circuit diagram of hydraulic power unit	53
Fig. 4.3	The view and composition of hydraulic power unit	54
Fig. 4.4	Operation window of Indraworks DS and CatmanEasy ..	56
Fig. 4.5	The view and composition of testing and controlling section	57
Fig. 5.1	Pressure profile parameters	60
Fig. 5.2	Before and after pressure profile in neutral to forward, initial rpm 1000 rpm	61
Fig. 5.3	Average shift shock in initial speed 1000 rpm depending on drop level	64
Fig. 5.4	Average shift time difference in initial speed 1000 rpm depending on drop level	65
Fig. 5.5	Average shift shock in initial speed 1500 rpm depending on drop level	65
Fig. 5.6	Average shift time difference in initial speed 1500 rpm depending on drop level	66

Fig. 5.7	Average shift shock in initial speed 2000 rpm depending on drop level	66
Fig. 5.8	Average shift time difference in initial speed 2000 rpm depending on drop level	67
Fig. 5.9	Average shift shock in initial speed 2500 rpm depending on drop level	67
Fig. 5.10	Average shift time difference in initial speed 2500 rpm depending on drop level	68
Fig. 5.11	The relation between initial speed and input speed reduction rate	70

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경

트랙터의 다양한 변속단수는 적절한 상황에 맞은 변속을 가능하게 하며, 이러한 부하변동을 견딜 수 있도록 한다. 로더작업과 같은 경우에는 전후진 변속이 많다. 또한 운반작업과 쟁기작업에서도 전진과 후진을 하는 경우가 많다. 이와 같이 농작업에서 전후진 작업의 필요성이 증가함에 따라 농기계업체들은 2008년부터 전후진 파워시프트 변속기를 출시하였으며, 현재는 중형 이상의 트랙터에는 기본으로 채택하고 있다.

전후진 파워시프트 변속기가 채택됨에 따라 로더작업과 같은 트랙터의 전후진 작업의 능률은 크게 향상되었다. 그러나 전후진 파워시프트 변속기는 그 특성상 변속 시 큰 변속충격이 발생한다. 신체가 변속충격에 장시간 노출되면, 혈류공급 및 세포에 영향을 줌으로 인해 척추질환과 만성질환이 발생할 수 있다.(Niranjan, 1995) 이러한 편의성과 안정성의 이유로 변속충격의 개선이 지속적으로 요구되었다. 변속시간 또한 변속충격 개선에 있어 고려해야 할 중요한 인자다. 그러나 변속충격과 변속시간은 반비례관계이므로 동시에 개선하기 어렵다. 따라서 전후진 파워시프트 변속기의 변속충격과 변속시간, 즉 변속성능 개선에 관한 연구가 필요하다.

국내외적으로 전후진 파워시프트 변속기의 변속성능 개선은 대체로 변속기 내부의 유압제어 시스템을 통해 이루어졌다. 유압제어 시스템은 변속기 내부로 유입되는 유체의 유압 프로파일을 조정함으로써 최적화된 변속성능을 가지는 유압곡선을 만든다. 그러나 Tier 4 배기규제로 인한 전자엔진의 도입으로 인해 엔진의 출력속도 제어도 가능하게 되었다. 따라서 엔진속도제어는 변속성능 개선의 새로운 방법으로 제시되었다. 이전 연구에 따르면 차량의 변속시에 엔진속도의 변화에 따른 변속기 입력속도 조절은 변속성능에 많은 영향을 미친다.(Jianguo zhang, 2010) 따라서 전후진 파워시프트 변속기 내부로의 입력속도 변화에 따른 변속성능의 개선을 확인하기 위한 실험과 분석이 필요하다.

본 연구의 목적은 전후진 파워시프트 변속기를 이용한 변속 시에 입력속도 제어를 통한 변속성능을 개선시키는 것에 있으며, 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 입력속도와 변속성능간의 관계를 구명하고자 한다.

제 2 절 연구의 목적

본 연구는 전후진 파워시프트 변속기가 장착된 트랙터 변속 시에 입력속도 제어를 통한 변속성능을 개선시키기 위한 연구로서 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 1) 전후진 파워시프트를 장착한 농업용 트랙터의 변속성능을 해석하기 위한 해석 모델을 개발한다.
- 2) 동일한 작업조건에서 해석모델을 이용하여 변속기 입력속도를 제어하여 변속성능을 비교 평가한다.
- 3) 전후진 파워시프트 변속기가 장착된 시험기에서 입력속도제어를 통해 변속성능 개선의 가능성을 살펴본다.

제 3 절 연구사

Tanelli 등 (2010)은 농용트랙터에서 변속성능개선의 일환으로 변속기 입력 압력 프로파일 이외에도 엔진속도를 조정하여 변속시간이 줄어들었다고 보고하였다. 엔진속도신호가 일정한 것보다 변속기의 피동축 속도와 엔진속도가 동기화되는 과정에서 엔진속도신호를 일시적으로 감소시킨 후 속도를 동기화시키면 슬립을 감소시키며, 클러치의 손상을 줄일 수 있다고 보고하였다.

양 등 (2000)은 자동변속기가 장착된 일반차량에서 변속성능을 향상시키기 위해 엔진-변속기 통합 강건 제어를 하였다. 본 연구에서는 1단에서 2단으로의 상향변속만을 살펴보았다. 제어 전후로 나누어 저크량은 그래프 비교를 통해 그리고 변속시간은 단축된 시간을 통해 변속성능 개선의 지표로 설정하였다. 그 결과, 변속시간은 0.145초 증가하였지만 무시할만한 수치였으며, 저크량은 현저히 감소하였다고 보고하였다.

Walker 등 (2010)은 일반 차량에서 듀얼클러치의 변속반응 및 주행 시 변속성능을 개선시키기 위해 변속기 유입압력과 엔진스로틀을 제어 가능한 해석 모델을 개발하였다. 이 연구에서는 3단에서 4단으로의 상향 변속에 관한 연구만 진행하였으며, 그 결과 제어 전후의 회전토크 감소를 통해 변속성능의 개선을 확인하였다고 보고하였다.

Gao 등 (2009)은 일반차량 자동변속기의 변속성능을 개선시키기 위해 변속 중일 때 관성상태에서 클러치 슬립을 제어하는 해석모델을 개발하였다고 보고하였다.

Zhong 등 (2012)은 일반차량의 자동변속기에서 상향변속과 하향변속을 할 때 엔진속도제어를 통해 변속성능과 연료소모를 줄이는 연구를 진행하였다. 그 결과 jerk량의 최댓값이 감소함을 통해 변속성능이 개선되었음을 보고하였다.

Pettersson 등 (2000)은 중장비차량의 수동변속기에서 엔진제어를 통해 변속 시 구동축의 회전토크를 0으로 제어하면 변속성능의 개선과 동력전달체계의 마모를 줄일 수 있다고 보고하였다.

제 2 장 트랙터 해석모델 개발

제 1 절 개요 및 대상 트랙터

본 연구에서는 트랙터 해석 모델을 이용하여 입력속도 제어가 변속성능에 미치는 영향을 살펴보고, 개선시키고자 하였다. 해석모델의 장점은 시간과 장소에 대한 제약이 없으며, 외부조건을 설정할 수 있으나 유효성 검증을 해야 하는 단점이 있다.

연구에 사용된 전후진 파워시프트 변속기는 LS엠트론의 L7030 트랙터 변속기로서 L7030 트랙터의 외형과 주요 제원은 각각 Fig. 2.1과 Table 2.1에서와 같다.



Fig. 2.1 L7030 tractor.

Table 2.1 Specifications of L7030 tractor

Item		Specifications
Tractor model		L7030
Manufacturer		LS mtron Co., Ltd, Korea
Weight		34.53kN
Engine	Model	FPT F5C-65TAA
	Rated power	61 kW@2300 rpm
	Max torque	350 Nm@1400 rpm
T/M	Main gear	4 gears (Synchro)
	Auxiliary gear	3 gears (Constant)
Tire	Front	11.24-24 8PR
	Rear	16.9-30 8PR

제 2 절 변속성능 해석모델

2.2.1 습식다판클러치 시스템 및 모델 개요

전후진 파워시프트 변속기는 습식다판클러치 시스템으로 구성되어있다. 습식다판클러치는 다양한 부품으로 구성되어 있으며 변속성능과 밀접한 피스톤(piston)과 일련의 판(plate)들이 핵심 부품이다. 디스크 모양의 클러치판들은 마찰판(friction plate) 사이사이에 분리판(separator plate)으로 구분되어있으며, 각 판은 피스톤에 의해 압력이 작용하면 엔진의 동력이 전달되어 변속기 피동축으로 전달된다. 압력이 피스톤을 통해 인가되면, 일련의 판들이 마찰을 일으켜 슬립이 일어나며, 일정한 압력에 도달했을 때 완전히 동기화(engage)되어 엔진과 피동축의 속도가 같아지게 된다. 클러치판들이 해제(disengage)되기 위해서는 리턴스프링(return spring)이 작용할만한 힘으로 피스톤압력이 감소한 후 그 힘이 피스톤의 반대방향으로 작용하여 구동축과 피동축이 해제된다. Fig. 2.2은 습식다판클러치의 내부 구성품을 나타낸다.

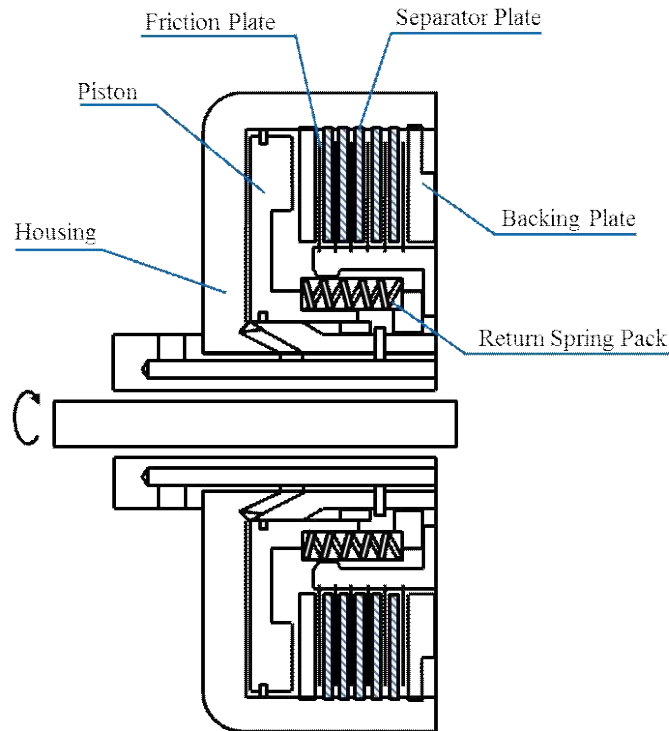


Fig. 2.2 Elements of Multi-plate wet clutch.

해석모델은 ITI (Dresden, Germany)사의 상용 1D-dynamics 소프트웨어인 SimulationX를 사용하여 개발하였다. 본 해석모델을 개발하기 위해 전후진 파워시프트 변속기 작동 시 나타나는 물리적 현상을 구현 가능하도록 농용트랙터의 동력전달체계를 구성하였다. 변속성능 해석모델의 전체 구성도는 Fig. 2.3와 같으며 엔진, 클러치, 기어비, 댐핑, 타이어 5개의 부모모델과 스로틀 위치 신호, 속도신호, 클러치 압력신호, 관성모멘트 요소로 구성하였다.

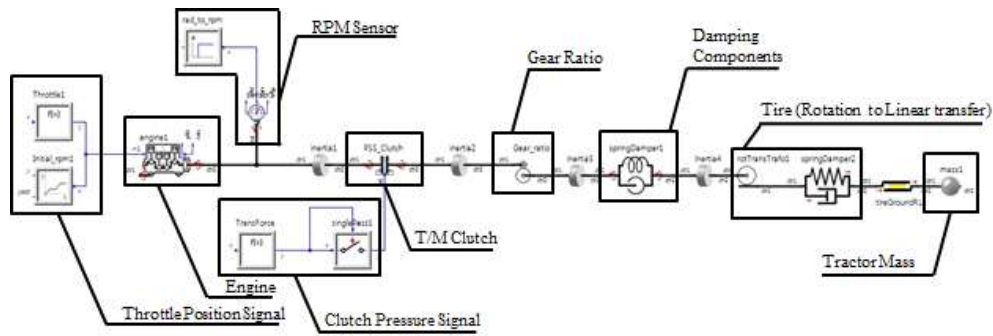


Fig. 2.3 Overview of tractor simulation model.

2.2.2 엔진 모델

엔진 모델은 L7030 트랙터의 전부하 PTO성능곡선 Fig. 2.4을 이용하여 모델링하였으며(농업실용화재단, 2011), 정격속도 이외의 엔진속도에서 부분부하 선도는 Fig. 2.5에서와 같이 정격엔진속도에서 부분부하선도와 평행하게 설정하였다(김수철, 2010). 엔진 모델은 스로틀 열림량과 엔진속도의 초기값을 설정하기 위한 블록을 포함하였으며, 엔진 회전체의 질량관성모멘트는 모델의 유효성 검증을 위한 튜닝방법으로 결정한 $0.6kg \cdot m^2$ 로 설정하였다. 엔진모델의 세부구성은 Fig. 2.6에 나타내었다.

PTO시험결과

출력 (kW)	회전속도		연료			비에너지 (kW·h/L)
	기관 (rpm)	PTO (rpm)	시간당소비량 (kg/h)	소비율 (L/h)	소비율 (g/kW·h)	
1.1 최대출력 - 2시간시험						
60.71	2300	634	15.97	19.19	263	3.164
1.2 기관 정회전속도에서의 출력						
60.71	2300	634	15.97	19.19	263	3.164
1.3 표준PTO회전속도(540 ± 10 rpm)						
58.38	1938	540	14.32	17.21	245	3.392
1.4 부분부하시험						
1.4.1 기관 정회전속도에서 최대출력에 해당하는 토르크						
60.71	2300	634	15.97	19.19	263	3.163
1.4.2 1.4.1에서 얻은 토르크의 85 %						
53.10	2064	622	14.04	16.87	264	3.147
1.4.3 1.4.2에서 얻은 토르크의 75 %						
40.57	2414	666	11.75	14.12	290	2.874
1.4.4 1.4.2에서 얻은 토르크의 50 %						
27.75	2473	682	9.10	10.94	328	2.537
1.4.5 1.4.2에서 얻은 토르크의 25 %						
13.83	2494	688	6.24	7.50	451	1.844
1.4.6 무부하						
-	2533	699	3.79	4.55	-	-

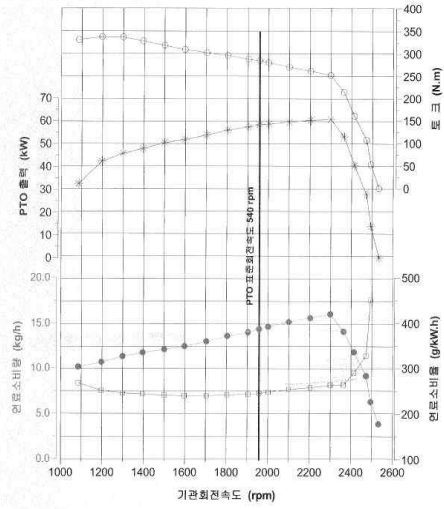


Fig. 2.4 Full-load PTO performance curve of L7030 tractor.

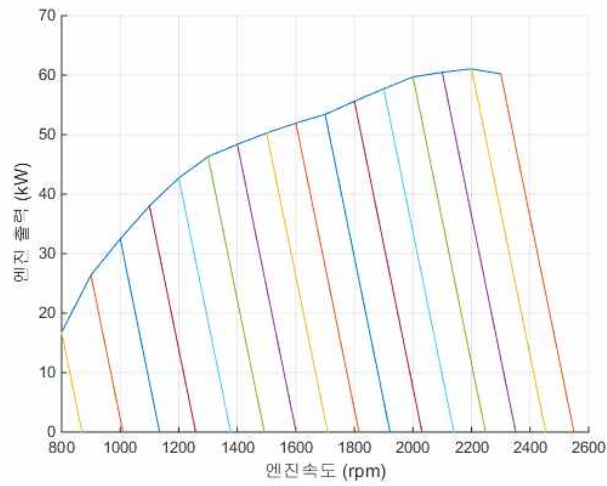


Fig. 2.5 Full and partial loads performance curve of engine model.

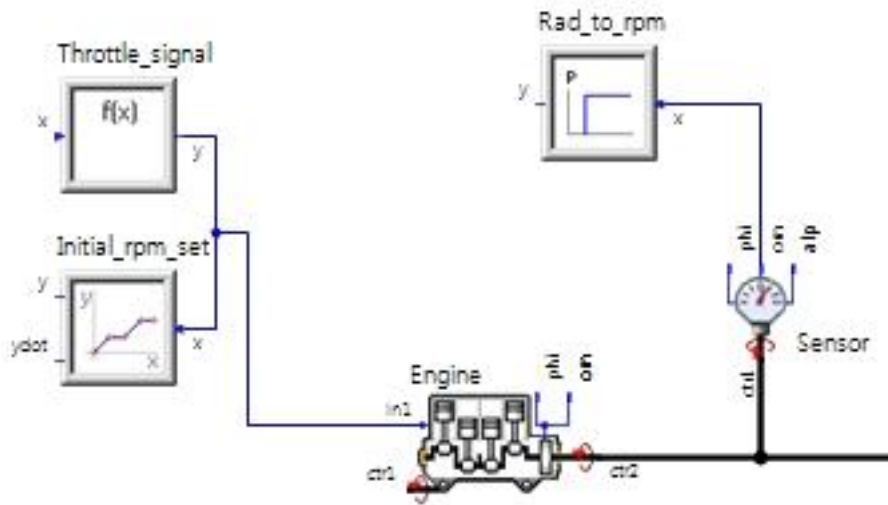


Fig. 2.6 Detail view of engine model.

엔진 모델의 세부 구성은 Fig. 2.6과 같고 스로틀 신호 블록, 초기속도 블록, 엔진 블록, 엔진속도 센서블록, 속도신호 변환 블록으로 구성되어 있으며, 각 구성요소에 대한 상세 설명은 다음과 같다.

(1) Throttle signal

엔진 제어신호로 원하는 스로틀 제어신호를 형성할 수 있다.

(2) Initial rpm set

초기입력속도를 지정해주는 역할을 한다.

(3) Engine

엔진의 기본 사양을 결정하는 역할을 하며, 엔진성능곡선을 포함한다.

(4) Sensor

엔진 출력축의 속도를 계측하는 블록이다.

(5) Rad to rpm

본 해석 툴의 회전체 기본 속도 단위인 rad/s를 rpm으로 변환한다.

2.2.3 클러치 및 피스톤 모델

클러치 모델은 Fig. 2.7과 같다. 클러치 양쪽에는 관성 요소가 부착되어있으며, 내부 힘은 클러치 작동 시 피스톤 모델에서 계산되어 클러치와 연결된다.

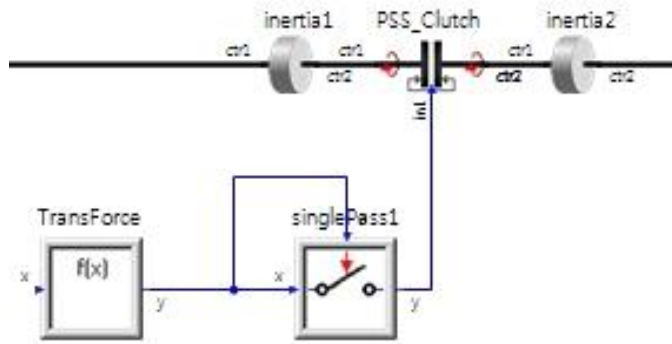


Fig. 2.7 Detail view of clutch model.

각 요소에 대한 세부설명은 다음과 같다.

(1) PSS Clutch

클러치 요소로서 기본적으로 마찰면의 수, 마찰계수, 마찰판의 두께, 외경, 내경 등을 설정할 수 있다.

(2) Inertia(1,2)

클러치 양쪽에 연결된 관성량을 나타내며, 본 모델에서는 축의 관성을 포함하고 있다. 임의로 관성체의 초기속도를 설정 할 수 있다.

(3) TransForce, Singlepass

클러치 내부로 유입되는 압력신호를 피스톤모델에서 전달받아 인가된다.

피스톤 모델은 습식다판클러치 시스템을 구현한 것으로서, 변속신호가 인가될 때 피스톤이 마찰판에 작용하는 힘을 계산하기 위한 4개의 블록으로 구성하였다. 4개의 블록은 Fig. 2.8에서와 같이 피스톤의 작동거리를 구현하기 위한 Clutch contact, 클러치가 해제될 때의 마찰판의 분리력을 구현하기 위한 Clutch spring, 마찰판의 마찰력을 구현하기 위한 Seal friction, 클러치가 결합 또는 분리될 때의 저항력을 구현하기 위한 Damping으로 구성하였다.

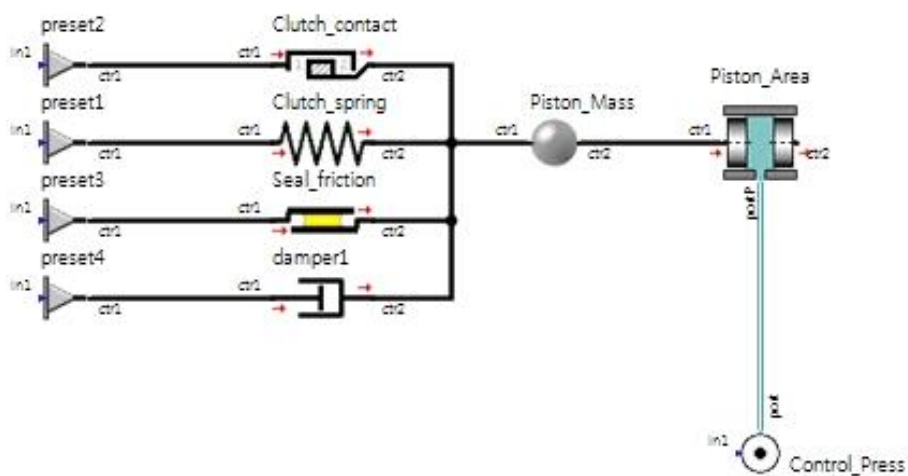


Fig. 2.8 Detail view of piston model.

클러치 내부 힘 계산 블록은 제어 압력, 클러치 피스톤, 피스톤 면적 등으로 구성되어있으며 각 요소에 대한 상세 설명은 다음과 같다.

(1) Control press

제어압력으로 클러치 내부의 피스톤이 클러치판에 가해지는 압력을 형성할 수 있다.

(2) Piston area

피스톤에 공급되는 압력과 외부에서 작용하는 힘에 따른 운동 해석이 가능하며 피스톤의 기본 제원을 입력하면 피스톤의 힘을 계산한다.

(3) Piston mass

피스톤의 질량을 나타낸다. 피스톤 면적과 피스톤 이외의 요소와 연결 되어있다.

(4) Clutch contact

피스톤의 행정을 결정하기 위한 요소로서 피스톤의 최대 이동거리를 결정한다.

(5) Clutch spring

피스톤 작동이 멈춘 후 초기 위치로 돌아가기 위한 스프링으로 스프링 탄성계수를 결정할 수 있다.

(6) Preset

스프링의 초기 압축량을 나타낸다.

(7) Seal friction

클러치 내부에 장착된 마찰요소로 피스톤의 움직임에 따라 마찰력을 발생시킨다.

클러치 내부로 유입되는 오일압력은 오일의 온도에 따라 변하므로 본 연구에서는 트랙터에서 실제 작동하는 유압 프로파일을 계측하여 이용하였다. 유압 프로파일은 변속단수 및 변속방향별, 오일 온도별, 엔진속도별로 측정하여 적용하였다. Fig. 2.9는 변속단수 L1, 변속방향 중립에서 전진, 오일 온도가 80°C, 엔진속도가 1000 rpm일 때 측정된 유압 프로파일을 나타낸 것이다. 마찰관의 마찰계수는 시행착오법으로 튜닝하여 결정하였다. 일반적으로 마찰관의 마찰계수는 0.11에서 0.13이나 본 모델에서는 실차데이터와 해석모델데이터를 맞추기 위해 0.2로 설정하였다. 이는 해석모델이 실차실험의 모든 환경을 구현하기 어렵기 때문으로 판단된다.

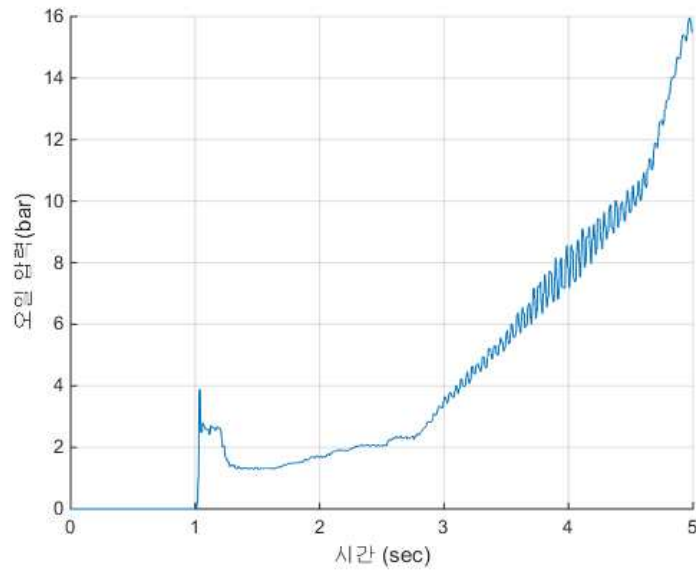


Fig. 2.9 Pressure profile in neutral to forward, L1 gear step, engine speed 1000 rpm, and oil temperature 80°C.

기어비 모델은 주변속기어(1, 2, 3, 4단), 부변속기어(L, M, H단), 전후진기어, 차동장치, 최종구동장치 기어비를 곱하여 엔진에서 구동륜까지 총기어비로 모형화 하였으며, 각 변속단수별 전후진 총 기어비는 Table 2.2와 같이 설정하였다.

Table 2.2 Gear ratio of all gear steps

Gear step	Forward (F)	Reverse (R)
L1	0.0029	0.0030
L2	0.0041	0.0043
L3	0.0059	0.0061
L4	0.0085	0.0087
M1	0.0080	0.0083
M2	0.0113	0.0116
M3	0.0161	0.0166
M4	0.0231	0.0238
H1	0.0250	0.0211
H2	0.0289	0.0298
H3	0.0413	0.0426
H4	0.0592	0.0611

2.2.4 전동라인 및 댐핑과 강성 모델

엔진에서 구동륜까지의 전동라인에 대한 댐핑과 강성은 스프링-댐퍼 시스템으로 모델링하였다. 스프링-댐퍼 시스템의 비틀림댐핑계수는 변속단수와 변속기내부의 오일 온도에 따라 변하므로 변속단수와 오일 온도별로 전동라인의 저항을 측정하여 구하였다. 저항측정실험은 Fig. 2.10에서와 같이 경사도가 6°인 아스팔트 노면에서 실시하였으며, 구동륜의 슬립과 회전속도를 측정하고, 이 측정값과 식 2.4를 이용하여 비틀림댐핑계수를 구하였다.

트랙터에 대한 수평방향의 운동식은 식 2.1과 같이 나타낼 수 있으며, 구동륜의 회전운동은 식 2.2와 같이 나타낼 수 있다.

$$ma = F_r - R + W_t \cdot \sin\beta \quad (2.1)$$

$$I\alpha = F_r r - c_t \omega \quad (2.2)$$

여기서, a = 트랙터의 가속도, m/s^2

α = 구동륜의 각가속도, r/s^2

m = 트랙터 질량, kg

I = 구동륜을 포함한 전동라인의 질량관성모멘트, kgm^2

- ω = 구동륜의 각속도, rad/s
- r = 구동륜의 동반경, m
- β = 노면의 경사도, °
- W_t = 트랙터의 중량, kN
- F_r = 구동륜의 추진력, kN
- c_t = 전동라인의 비틀림댐핑계수, Nms/rad
- R = 구동륜의 운동저항, kN

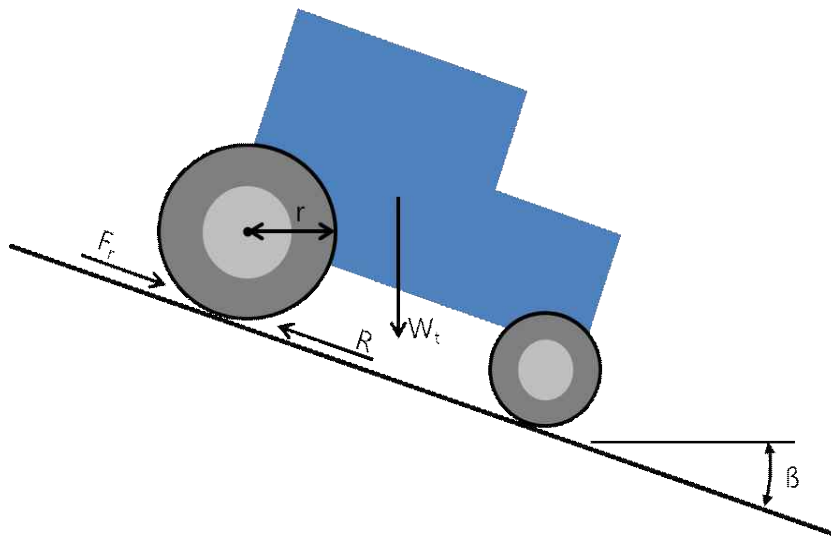


Fig. 2.10 Schematic diagram of drive-line resistance test for torsional damping coefficient.

구동륜의 운동저항은 식 2.3에서와 같이 바이어스 플라이 타이어에 대한 미국 농업생물공학회의 표준 D497.7(ASABE, 2011)을 적용하여 구하였다.

$$R = W_t \left(\frac{1}{B_n} + 0.04 + \frac{0.5s}{\sqrt{B_n}} \right) \quad (2.3)$$

여기서, B_n = 주행성상수

s = 구동륜의 슬립, 소수

식 2.2와 2.3을 식 2.1에 대입하여 전동라인의 비틀림댐핑계수를 구하면

$$c_t = \frac{1}{\omega} [(mr\alpha - W_t \sin\beta + W_t (\frac{1}{B_n} + 0.04 + \frac{0.5s}{\sqrt{B_n}}))r - I\alpha] \quad (2.4)$$

가 된다. 식 2.4에서 구동륜의 각가속도 α 는 시간함수로 측정된 구동륜의 속도 ω 를 미분하여 구하였으며, 전동라인의 질량관성모멘트는 mr^2 으로, 아스팔트 노면의 주행성상수는 단단한 노면임을 고려하여 80 (ASABE Standard D497.7, 2011)으로 하였다. 다른 변수의 값은 L7030 트랙터의 제원이었으며, 각 변수의 값은 다음과 같이 결정되었다..

$$m = 3520 \text{ kg}$$

$$r = 0.760 \text{ m}$$

$$W_t = 34.53 \text{ kN}$$

$$\beta = 6^\circ$$

$$B_n = 80$$

$$s = 0.05$$

$$I = 2033.15 \text{ kgm}^2$$

오일 온도가 30°C와 80°C일 때 각 변속단수별로 측정된 구동륜의 각속도와 각가속도 및 측정값으로써 구한 비틀림댐핑계수는 Table 2.3에서와 같다.

Table 2.3 Angular velocity and acceleration of the driving wheel and torsional damping coefficient of the drive-line

Gear step	Oil temperature 30°C			Oil temperature 80°C		
	ω , r/s	α , r/s ²	c_t , kNms/r	ω , r/s	α , r/s ²	c_t , kNms/r
L1	0.04	0.07	144.34	0.07	0.09	83.01
L2	0.04	0.10	154.81	0.11	0.16	53.16
L3	0.06	0.09	93.45	0.17	0.25	35.58
L4	0.17	0.10	34.41	0.24	0.36	25.92
M1	0.22	0.17	27.95	0.29	0.36	21.43
M2	0.22	0.30	27.31	0.35	0.51	17.69
M3	0.34	0.43	18.40	0.47	0.64	13.50
M4	0.38	0.45	16.19	0.50	0.67	12.64
H1	0.46	0.52	13.40	0.65	0.72	9.77
H2	0.41	0.64	15.33	0.55	0.78	11.46
H3	0.47	0.71	13.44	0.59	0.80	10.74
H4	0.49	0.72	12.96	-	-	-

전동라인의 비틀림스프링계수는 시뮬레이션 프로그램 ((Simulation X, ITI)에서 제공하는 식 2.5를 이용하여 결정하였다.

$$k = \left(\frac{c_t}{B}\right)^2 \quad (2.5)$$

여기서, B = 무차원수로서 0.01

k = 비틀림스프링계수

클러치 이후의 트랙터 후륜까지의 전동라인은 댐핑 요소와 회전력을 트랙터의 주행으로 바꿔주는 요소로 이루어져있고, 타이어와 지면과의 접촉 또한 설정한다. Fig. 2.11은 전동라인 모델을 나타낸다.

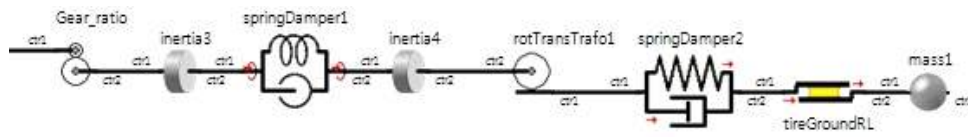


Fig. 2.11 The overview of drive-line model.

(1) Gear ratio

주변속과 부변속의 기어비와 차륜까지의 기어비 데이터를 전달받아 적용한다.

(2) Spring damper

비틀림댐핑계수 데이터를 전달받아 전동라인에 적용한다. 스프링, 댐퍼, 백래쉬 각각의 적용여부를 선택할 수 있다. 본 모델에서는 스프링, 댐퍼, 백래쉬 세 가지 모두를 적용하였다.

(3) Rot trans trafo

엔진으로부터 얻은 회전력을 직선운동으로 전환하는 역할을 한다. 또한 트랙터 후륜의 직경을 설정할 수 있으며, 본 모델에서는 0.76 m/rad으로 설정 하였다.

(4) Spring damper

트랙터 바퀴 자체의 댐핑 역할을 한다.

(5) Tire ground

트랙터의 바퀴와 주행로간의 마찰 및 슬립을 결정하는 모델이다.

(6) Mass

트랙터 차체의 질량을 설정 할 수 있다.

(7) Inertia(3,4)

각 요소들 간의 축 관성량을 나타낸다.

2.2.5 데이터 블록 모델

이상에서 구한 변속단수별 전후진 기어비, 마찰판의 마찰계수 전동라인의 비틀림댐핑계수는 Fig. 2.12에서와 같이 각각의 블록에 입력하여 시뮬레이션을 수행할 때 변속단수와 오일 온도의 조건에 따라 해당되는 값을 블록에서 출력하도록 하였다.

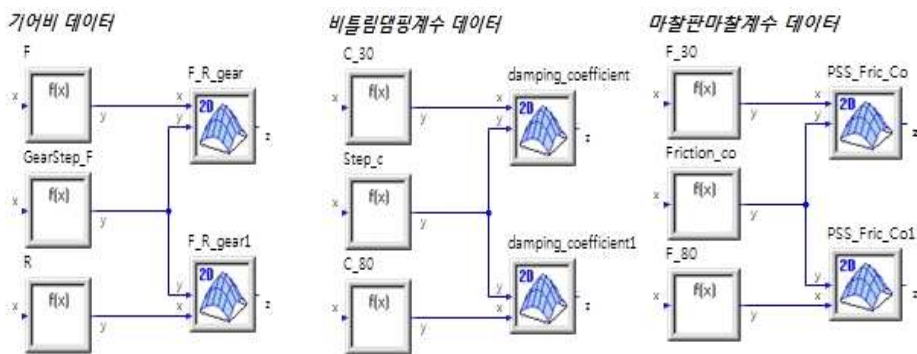


Fig. 2.12 Data block of gear ratio, torsional damping coefficient, and friction coefficient of the friction plate.

제 3 장 해석모델 입력속도제어

제 1 절 실차실험

트랙터 시뮬레이션 모델을 검증하기 위하여 L7030 트랙터로 실차실험을 수행하였다. 실차실험은 아스팔트 평지에서 L7030 트랙터의 전후진 파워시프트 변속기를 중립(N)에서 전진(F), 중립(N)에서 후진(R), 전진(F)에서 후진(R), 후진(R)에서 전진(F)으로 변속할 때, 즉 4가지 형태로 변속할 때 트랙터 가속도의 변화를 구명하여 이를 시뮬레이션 결과와 비교하기 위한 것이었다. 실차실험은 Table 3.1에서와 같이 주행 변속단수를 L1, L3, M2, M4, H1, H3 6가지 조건으로, 엔진속도를 1000 rpm에서 500 rpm 간격으로 2500 rpm까지 4조건으로, 오일 온도를 30°C와 80°C 2조건으로 진행하였으며, 엔진속도, 변속기 피동축 속도, 전진(F)클러치 압력, 후진(R)클러치 압력, 유압시스템 압력, 전후진 방향의 가속도, 변속기 토출 오일의 온도를 계측하며 진행하였다. 계측은 변속방향, 변속단수, 엔진속도, 오일온도의 조건을 조합한 조건에서 250Hz의 변속 신호가 인가된 후부터 5초간 실시하였다.

전후진 방향의 가속도는 변속충격을 구명하기 위한 것이었으며, 변속기 피동축 속도는 엔진속도와 비교하여 동기화가 완료되는 시점, 즉 변속시간을 구하기 위한 것이었다. 전후진 클러치의 압력은 트랙터 시뮬레이션 모델의 입력 변수로 사용하였으며, 유압시스템 압력은 트랙터 실차실험 중 시스템의 정상적인 작동여부를 모니터링하기 위한 것이었다. 토출 오일의 온도는 일정한 오일 온도의 유지여부를 모니터링하기 위한 것이었다.

Table 3.1 The experimental conditions of the practical testing

Item	Experimental conditions						No. of conditions
Shift direction	N to F		N to R		F to R	R to F	4
Engine speed, rpm	1000		1500		2000	2500	4
Gear step	L1	L3	M2	M4	H1	H3	6
Oil temp, °C	30			80			2

엔진속도와 클러치의 피동축 속도는 L7030 트랙터의 엔진과 클러치 자체에 설치된 속도센서를 이용하여 측정하였다. 온도 센서로는 K-type 열전대를 이용하였으며, 가속도와 오일압력을 측정하는데 사용된 가속도센서, 압력센서 및 자료수집장치(DAQ)의 제원은 각각 Table 3.2, Table 3.3, Table 3.4와 같다.

Table 3.2 Specifications of the accelerometer

Item	Specifications
Manufacturer	Measurement specialities
Model	4801A
Dynamic range	± 2 - ± 500 g
Exciting Voltage	8 - 36 VDC

Table 3.3 Specifications of the pressure sensor

Item	Specifications
Manufacturer	Sensor system technology Co.
Model	PSHH0020BAAG
Measuring Principle	Piezoresistive silicon cell
Measuring range	0 - 20 bar
Supply input	11 - 28 VDC
Output range	4 - 20 mA
Accuracy	$\pm 0.15\%$ FS
Compensated temperature range	-10 - 80 °C

Table 3.4 Specifications of the DAQ for practical testing

Item	Specifications
Manufacturer	IPETRONIK
Model	M-SENS 8plus
Input	Voltage/Current(SENS)
Measuring range	+/-0.01 V bis +/-100V covered with different range
Working temp range	-40°C ~ 125°C
IPC-Cod (Ingress protection)	IP 67 (acc. to DIN EN 60529)

Fig. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4는 실차실험의 결과로서 변속단수, 엔진속도, 오일 온도가 각각 L1, 1000 rpm, 30°C일 때, H3, 1500 rpm 80°C일 때, L1, 2000 rpm 80°C일 때, M1, 2500 rpm, 80°C일 때 측정된 엔진속도와 변속형태별 가속도의 변화를 나타낸 것이다. 가속도 변화는 1차로 실린더 내부에 오일이 채워질 때 먼저 일어났으며, 2차로 구동축과 피동축이 동기화되기 직전에 일어났다. 2차 가속도의 변화가 1차 가속도의 변화보다 컸으며, 중립에서 전진 또는 후진 변속시의 가속도 변화가 전진과 후진간의 변속 시 가속도 변화보다 1초 정도 먼저 일어났다. 엔진속도는 가속도 변화가 최대일 때 최소가 되었으며, 오일 온도는 일정한 수준이 유지되었음을 확인하였다.

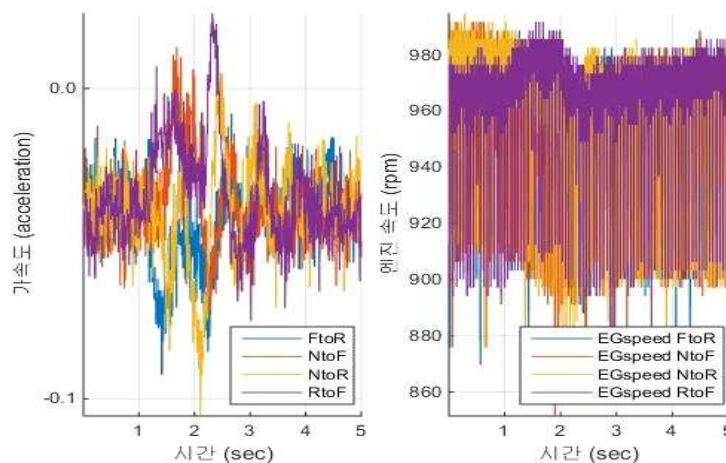


Fig. 3.1 Acceleration and engine speed data in forward to reverse, gear step L1, initial speed 1000 rpm, and oil temperature 30°C.

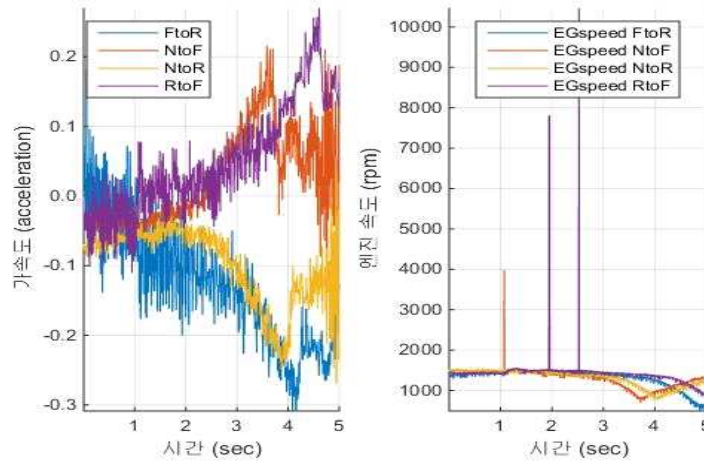


Fig. 3.2 Acceleration and engine speed data in forward to reverse, gear step H3, initial speed 1500 rpm, and oil temperature 80°C.

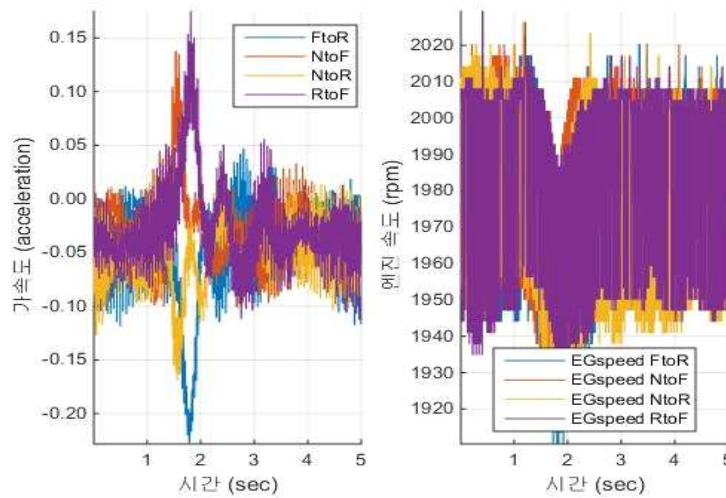


Fig. 3.3 Acceleration and engine speed data in forward to reverse, gear step L1, initial speed 2000 rpm, and oil temperature 80°C.

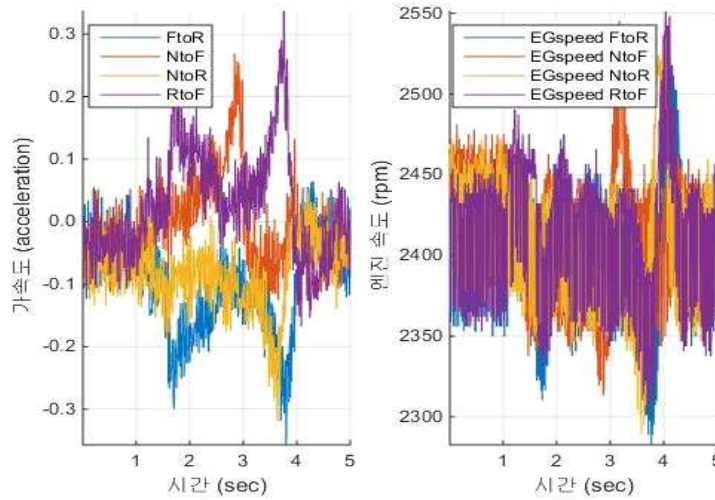


Fig. 3.4 Acceleration and engine speed data in forward to reverse, gear step M2, initial speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C.

가속도는 중립에서 전진, 후진에서 전진으로 변속할 때 보다, 전진에서 후진, 후진에서 전진으로 변속할 때 더 컸으며, 변속단수가 클수록 변동량이 더 컸다. 이는 주행 중 방향변속 시 트랙터의 관성이 더 크게 작용하며, 주행속도가 빠를수록 트랙터의 변속충격이 관성에 더 큰 영향을 미치기 때문으로 판단하였다. 또한 전후진 압력 밸브로 오일압력이 유입될 때 순간적으로 변속충격이 증가하다가 감소하는데, 이는 변속기 내부로 오일압력이 유입되면서 변속기의 구동축과 피동축의 속도가 달라 클러치판들 간의 속도 동기화가 이루어지는 과정에서 동력전달체계에 회전토크가 전해지기 때문으로 판단된다.

엔진속도가 순간적으로 감소하는 것은 구동축과 피동축이 접촉하여 피동축의 큰 부하가 구동축에 순간적으로 작용하기 때문인 것으로 판단된다. 이때 고단일수록 속도가 감소하는 폭이 커졌으며, 변속기의 구동축과 피동축이 동기화되면서 점차적으로 속도가 증가하였다.

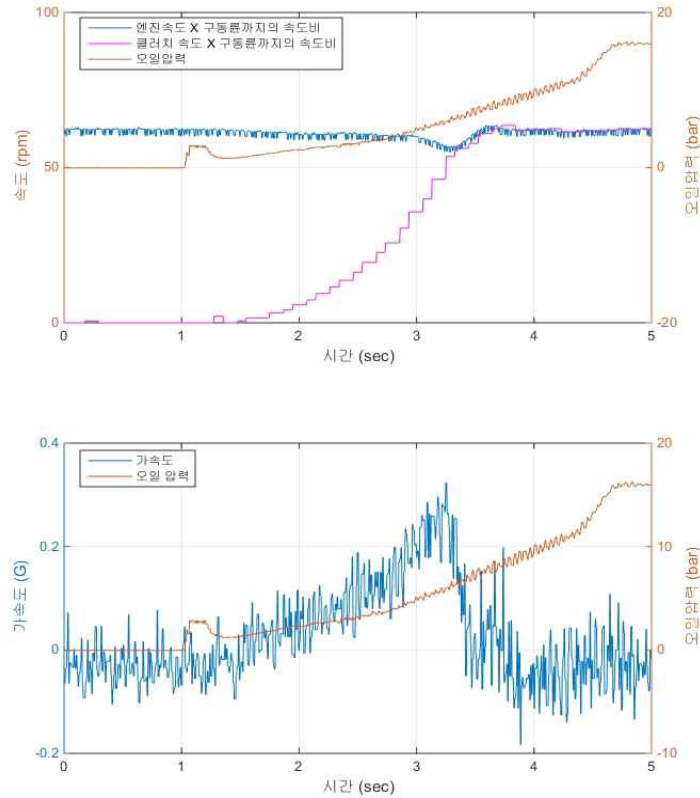


Fig. 3.5 The synchronization of engine and shuttle speed and acceleration in same oil pressure supply.

Fig. 3.5의 상단 그래프는 중립에서 전진, 변속단수 H1, 초기입력속도 2500 rpm, 오일온도 30°C일 때 엔진속도와 클러치 속도가 동기화됨을 보여준다. Fig. 3.5의 하단 그래프는 엔진속도와 클러치속도가 동기화 될 때의 가속도 변화를 나타낸다. 그래프에서는 오일압력이 인가 된 후 엔진속도와 클러치의 속도가 동기화되는 것을 알 수 있으며, 동시에 변속충격이 가장 큰 지점에서 변속이 완료됨을 알 수 있다. 이는 실차실험의 모든 조건에서 동일하였다.

제 2 절 해석 모델 검증

해석 모델 검증은 L7030 트랙터의 변속 시험 데이터를 이용하여 검증하였다. 변속 조건은 전부하 상태에서 중립에서 전진으로 변속하는 것으로 설정하였다. 시험결과로 엔진 속도와 전후진 방향의 가속도 변동을 획득하였다. Fig. 3.6, 3.7은 동일 시험조건에서 해석결과와 실차시험의 결과를 비교한 것이다. 방향 변속이 시작된 후 오일압력이 변속기내부로 들어가는 필링구간 변속충격과 가속도의 오실레이션이 약간의 차이가 있었으나, 해석모델이 시험결과와 대체적으로 일치하는 양상을 보였다. 따라서 해석모델이 실제 트랙터의 변속 충격을 모사하고 있으며 이를 사용하여 충분히 변속성능을 비교 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

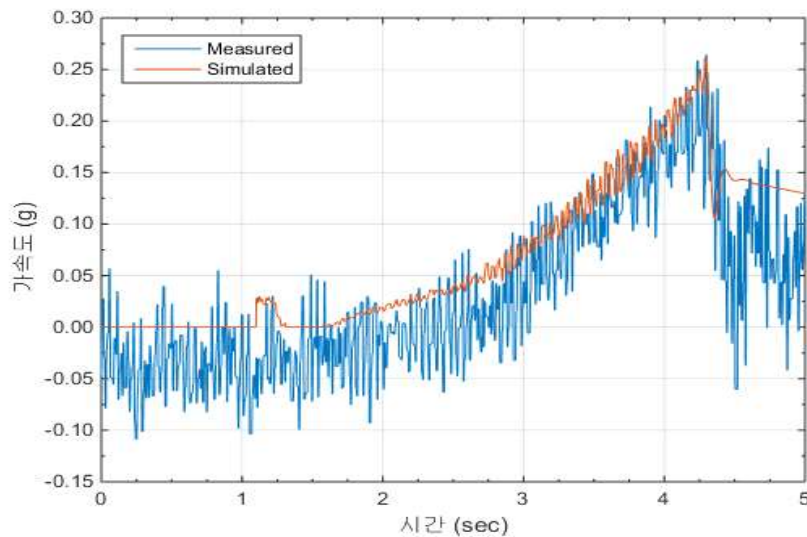


Fig. 3.6 Verification of measured and simulated results in neutral to forward, H3 gear step, engine speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C (acceleration).

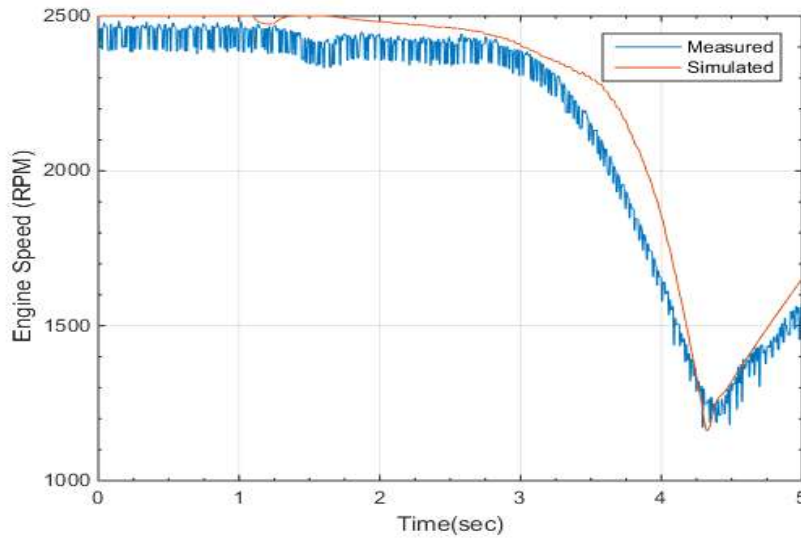


Fig. 3.7 Verification of measured and simulated results in neutral to forward, H3 gear step, engine speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C (engine speed)).

실차실험과 해석모델에서 나타나는 오차를 비교하기 위해 RMSE를 이용하여 각 조건별로 수행된 실험결과와 해석결과의 오차 수준을 비교하였다. 192가지의 실험조건에서 대부분의 RMSE는 0.1 내외로, 해석된 변속충격이 어느 정도 유효성을 가지고 계측한 변속충격을 추종하는 것을 확인 할 수 있었다. 각 조건 별로 비교한 RMSE수치는 Table 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12에 정리하였다.

Table 3.5 The RMSE of shift shock in initial speed 1000 rpm and oil temperature 30°C

Gear step	Shift direction	RMSE, G	Gear step	Shift direction	RMSE, G
L1	F to R	0.047	L3	F to R	0.043
	N to F	0.047		N to F	0.060
	N to R	0.049		N to R	0.054
	R to F	0.045		R to F	0.049
M2	F to R	0.054	M4	F to R	0.070
	N to F	0.054		N to F	0.118
	N to R	0.045		N to R	0.043
	R to F	0.038		R to F	0.040
H1	F to R	0.073	H3	F to R	0.093
	N to F	0.038		N to F	0.048
	N to R	0.051		N to R	0.057
	R to F	0.037		R to F	0.053

Table 3.6 The RMSE of shift shock in initial speed 1000 rpm and oil temperature 80°C

Gear step	Shift direction	RMSE, G	Gear step	Shift direction	RMSE, G
L1	F to R	0.110	L3	F to R	0.057
	N to F	0.073		N to F	0.054
	N to R	0.087		N to R	0.052
	R to F	0.080		R to F	0.046
M2	F to R	0.063	M4	F to R	0.085
	N to F	0.050		N to F	0.052
	N to R	0.050		N to R	0.059
	R to F	0.041		R to F	0.046
H1	F to R	0.079	H3	F to R	0.093
	N to F	0.041		N to F	0.048
	N to R	0.054		N to R	0.057
	R to F	0.036		R to F	0.053

Table 3.7 The RMSE of shift shock in initial speed 1500 rpm and oil temperature 30°C

Gear step	Shift direction	RMSE, G	Gear step	Shift direction	RMSE, G
L1	F to R	0.047	L3	F to R	0.057
	N to F	0.052		N to F	0.068
	N to R	0.052		N to R	0.058
	R to F	0.043		R to F	0.054
M2	F to R	0.071	M4	F to R	0.095
	N to F	0.056		N to F	0.050
	N to R	0.053		N to R	0.059
	R to F	0.050		R to F	0.059
H1	F to R	0.097	H3	F to R	-
	N to F	0.048		N to F	0.047
	N to R	0.055		N to R	0.063
	R to F	0.052		R to F	-

Table 3.8 The RMSE of shift shock in initial speed 1500 rpm and oil temperature 80°C

Gear step	Shift direction	RMSE, G	Gear step	Shift direction	RMSE, G
L1	F to R	0.056	L3	F to R	0.700
	N to F	0.054		N to F	0.054
	N to R	0.060		N to R	0.056
	R to F	0.049		R to F	0.044
M2	F to R	0.077	M4	F to R	0.102
	N to F	0.048		N to F	0.050
	N to R	0.057		N to R	0.061
	R to F	0.045		R to F	0.058
H1	F to R	0.097	H3	F to R	0.112
	N to F	0.038		N to F	0.047
	N to R	0.060		N to R	0.064
	R to F	0.051		R to F	0.053

Table 3.9 The RMSE of shift shock in initial speed 2000 rpm and oil temperature 30°C

Gear step	Shift direction	RMSE, G	Gear step	Shift direction	RMSE, G
L1	F to R	0.059	L3	F to R	0.075
	N to F	0.053		N to F	0.071
	N to R	0.069		N to R	0.055
	R to F	0.058		R to F	0.072
M2	F to R	0.073	M4	F to R	0.112
	N to F	0.054		N to F	0.052
	N to R	0.063		N to R	0.061
	R to F	0.058		R to F	0.068
H1	F to R	0.115	H3	F to R	0.127
	N to F	0.051		N to F	0.044
	N to R	0.068		N to R	0.073
	R to F	0.053		R to F	0.075

Table 3.10 The RMSE of shift shock in initial speed 2000 rpm and oil temperature 80°C

Gear step	Shift direction	RMSE, G	Gear step	Shift direction	RMSE, G
L1	F to R	0.070	L3	F to R	0.088
	N to F	0.064		N to F	0.064
	N to R	0.074		N to R	0.062
	R to F	0.063		R to F	0.062
M2	F to R	0.241	M4	F to R	0.112
	N to F	0.048		N to F	0.048
	N to R	0.071		N to R	0.064
	R to F	0.047		R to F	0.064
H1	F to R	0.113	H3	F to R	0.121
	N to F	0.051		N to F	0.044
	N to R	0.068		N to R	0.073
	R to F	0.059		R to F	0.066

Table 3.11 The RMSE of shift shock in initial speed 2500 rpm and oil temperature 30°C

Gear step	Shift direction	RMSE, G	Gear step	Shift direction	RMSE, G
L1	F to R	0.110	L3	F to R	0.147
	N to F	0.083		N to F	0.090
	N to R	0.091		N to R	0.113
	R to F	0.090		R to F	0.111
M2	F to R	0.114	M4	F to R	0.133
	N to F	0.062		N to F	0.060
	N to R	0.082		N to R	0.082
	R to F	0.075		R to F	0.087
H1	F to R	0.137	H3	F to R	-
	N to F	0.070		N to F	-
	N to R	0.080		N to R	-
	R to F	0.085		R to F	-

Table 3.12 The RMSE of shift shock in initial speed 2500 rpm, oil temperature 80°C

Gear step	Shift direction	RMSE, G	Gear step	Shift direction	RMSE, G
L1	F to R	0.079	L3	F to R	0.086
	N to F	0.081		N to F	0.069
	N to R	0.067		N to R	0.081
	R to F	0.068		R to F	0.057
M2	F to R	0.043	M4	F to R	0.127
	N to F	0.055		N to F	0.055
	N to R	0.034		N to R	0.081
	R to F	0.069		R to F	0.079
H1	F to R	0.130	H3	F to R	0.132
	N to F	0.070		N to F	0.050
	N to R	0.080		N to R	0.082
	R to F	0.080		R to F	0.090

제 3 절 입력속도 제어 예비시험

트랙터 해석 모델을 이용하여 예비시험을 진행하였다. 엔진속도 제어의 입력신호로서 스로틀 열림량을 변화시키며 트랙터의 변속성능을 해석하였다. 스로틀 열림량은 일반적으로 전압신호로써 제어하므로 해석 모델에서도 스로틀 열림량 프로파일은 계단형 전압 신호로 작성하였다.

예비시험에서는 중립에서 전진으로 변속 시 스로틀 열림량 프로파일이 변속성능에 미치는 영향을 살펴보았다. 스로틀 열림량 제어는 Fig. 3.8, 3.9, 3.10, 3.11에서와 같이 클러치의 구동축과 피동축 속도가 동기화되기 0.8-1초 전에 열림량을 현재 열림량의 50%까지 감소시킨 후 동기화가 이루어지면 다시 원래상태로 증가시키는 방법으로 수행하였다. 열림량의 감소가 크면 클수록 변속충격과 변속시간을 감소되었으나, 열림량 감소가 50% 이하로 적었을 경우에는 가속도 변화, 즉 변속충격이 심하였다. 또한 Fig. 3.12에서와 같이 스로틀 열림량을 급격히 감소시킨 후 증가시킨 경우에도 변속충격이 심하였다.

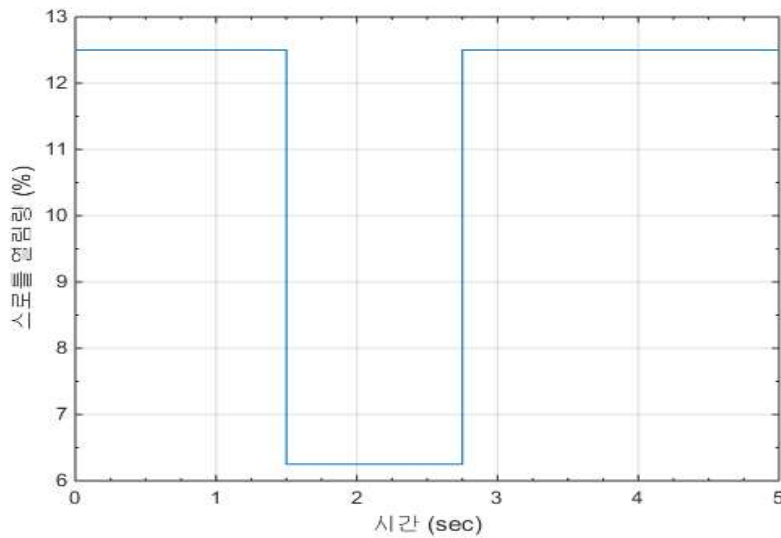


Fig. 3.8 The control signal of throttle position in neutral to forward, gear step M2, initial speed 1000 rpm, and oil temperature 80°C.

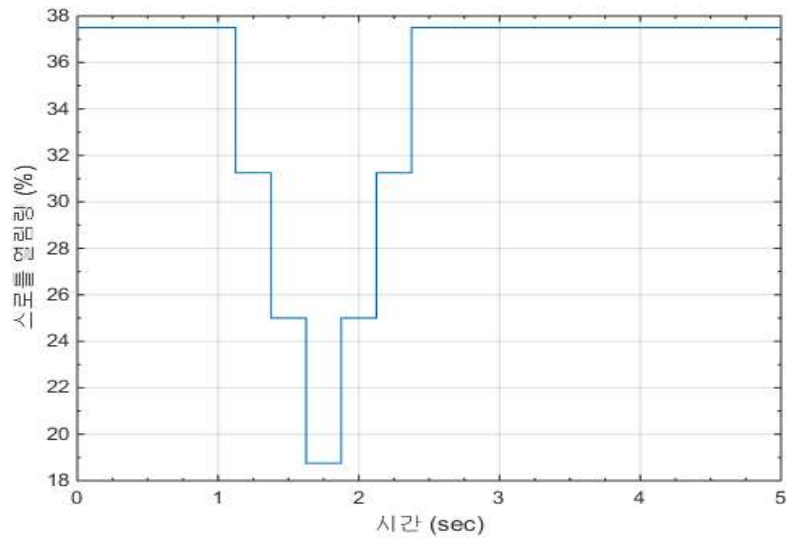


Fig. 3.9 The control signal of throttle position in neutral to forward, gear step L3, initial speed 1500 rpm, and oil temperature 80°C.

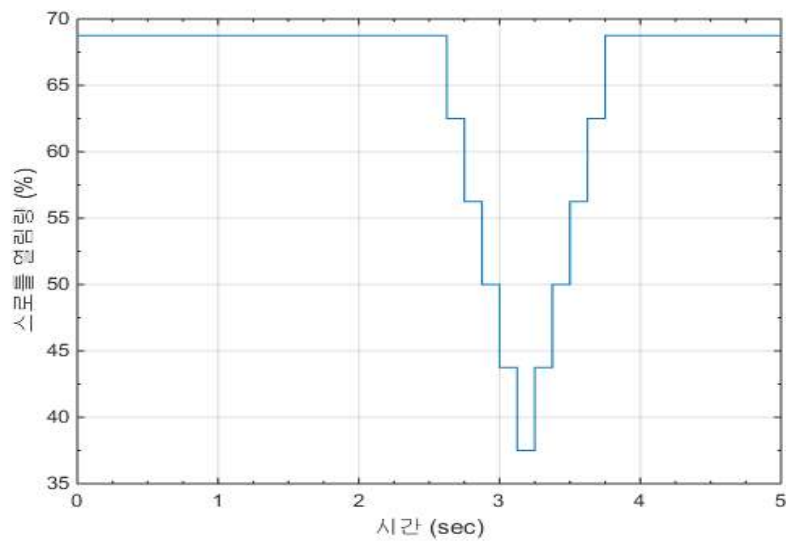


Fig. 3.10 The control signal of throttle position in neutral to forward, gear step M4, initial speed 2000 rpm, and oil temperature 30°C.

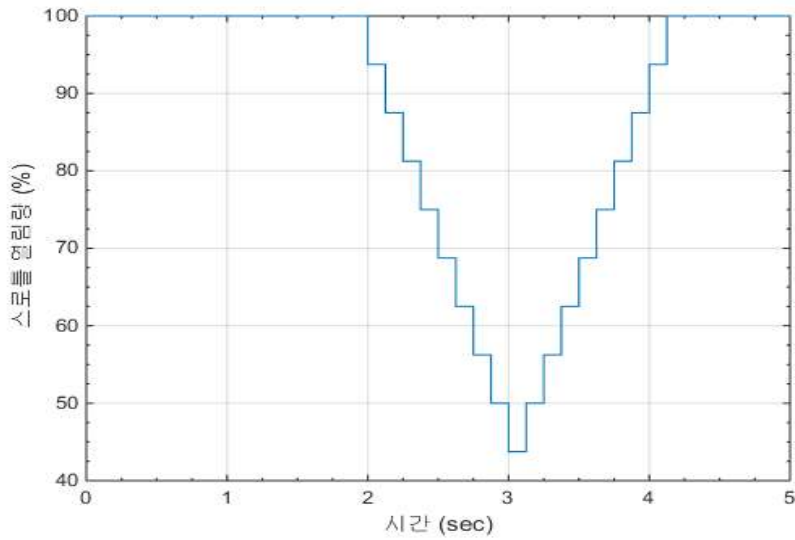


Fig. 3.11 The control signal of throttle position in neutral to forward, gear step M2, initial speed 1000 rpm, and oil temperature 80°C.

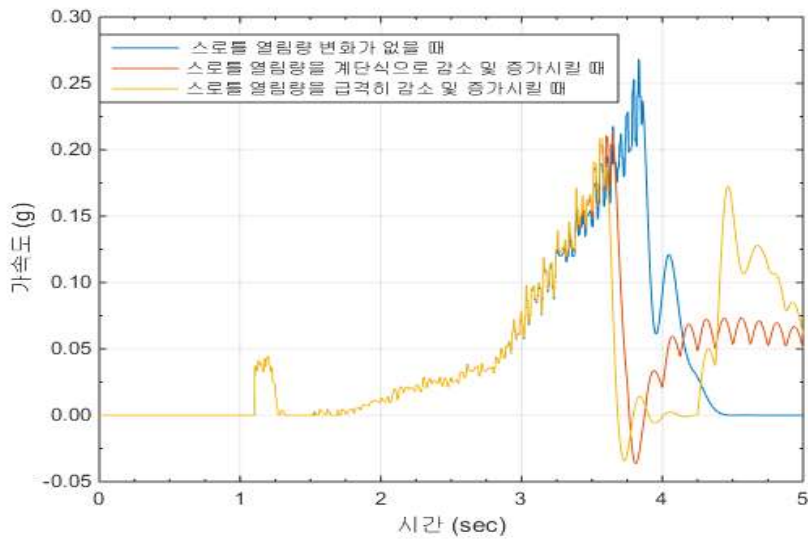


Fig. 3.12 Acceleration change with abrupt throttle position signal change in neutral to forward, gear step M4, initial speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C.

Fig. 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20는 변속단수별 스로틀 열림량 프로파일을 나타낸 것이다. 그 결과 변속충격은 최소 0.001g에서 최대 0.06g가 감소하였으며, 변속시간은 0.01 - 0.3초까지 감소하였다. Table 3.13, 3.14, 3.15, 3.16은 엔진속도를 제어하기 전후의 트랙터 가속도, 즉 변속충격과 변속시간을 나타낸 것이다. 변속단수가 H3이고 엔진속도가 2500 rpm, 오일 온도가 30 °C인 경우에는 과부하로 인하여 엔진이 정지하였기 때문에 변속충격과 변속시간을 측정하지 못하였다.

Fig. 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 3.25, 3.26, 3.27은 스로틀 열림량 프로파일을 이용한 엔진속도 제어의 효과 즉, 트랙터 가속도의 감소를 그래프로 나타낸 것이다.

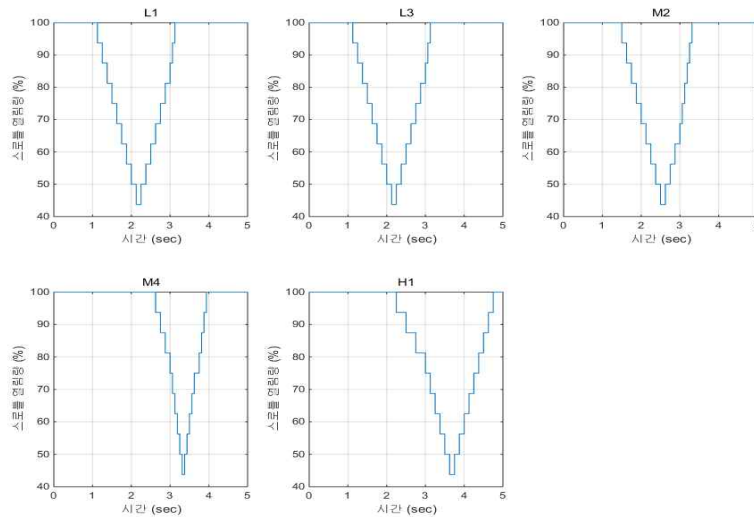


Fig. 3.13 Throttle position signal profile for engine speed control in neutral to forward, initial speed 2500 rpm, and oil temperature 30°C.

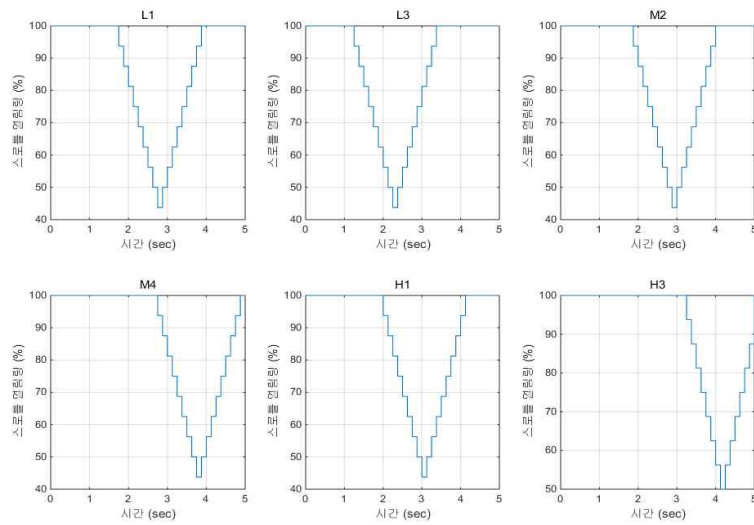


Fig. 3.14 Throttle position signal profile for engine speed control in neutral to forward, initial speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C.

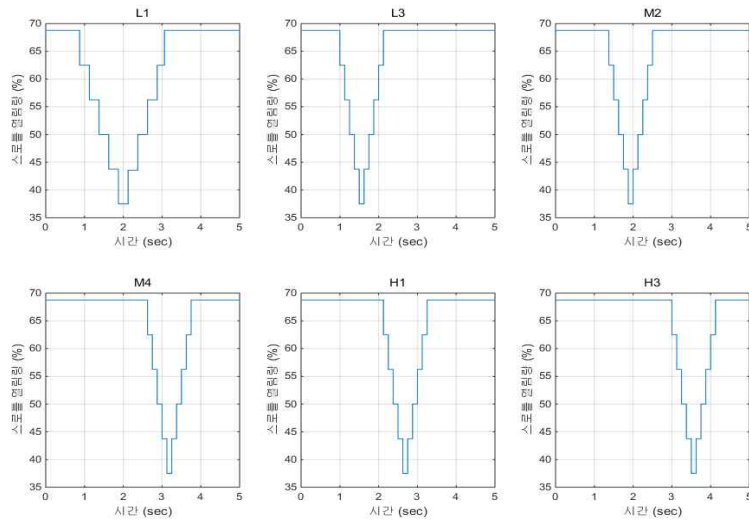


Fig. 3.15 Throttle position signal profile for engine speed control in neutral to forward, initial speed 2000 rpm, and oil temperature 30°C.

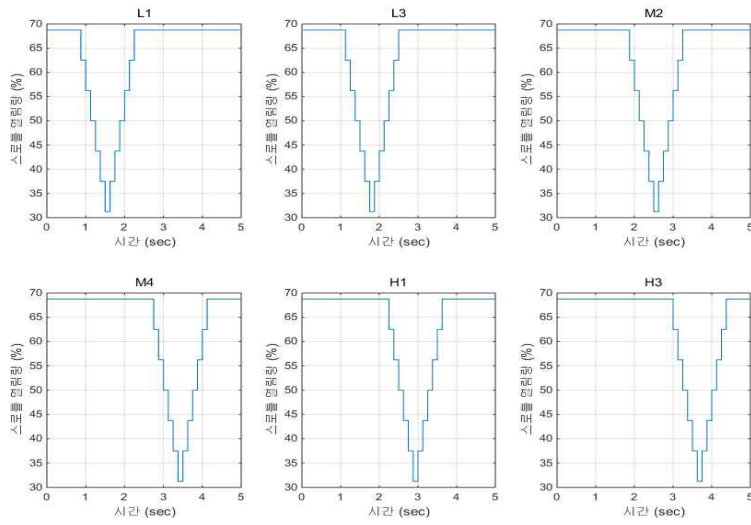


Fig. 3.16 Throttle position signal profile for engine speed control in neutral to forward, initial speed 2000 rpm, and oil temperature 80°C.

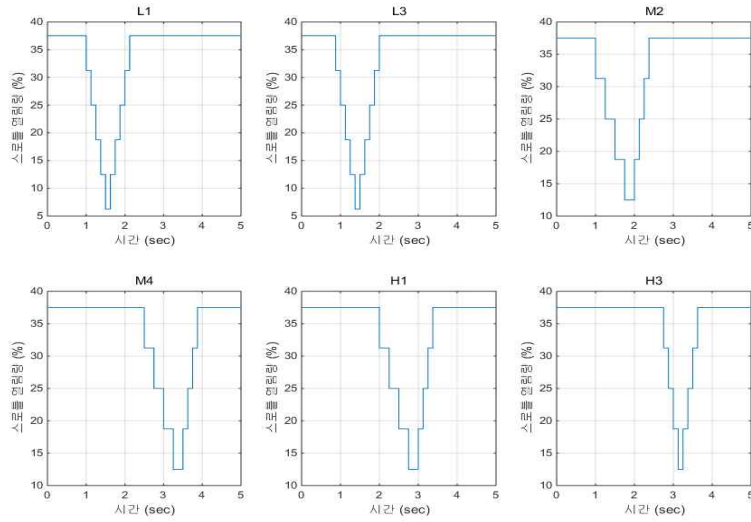


Fig. 3.17 Throttle position signal profile for engine speed control in neutral to forward, initial speed 1500 rpm, and oil temperature 30°C.

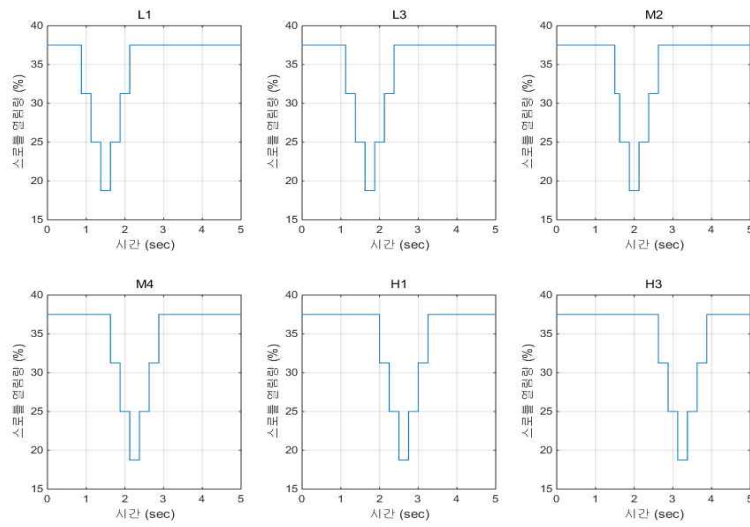


Fig. 3.18 Throttle position signal profile for engine speed control in neutral to forward, initial speed 1500 rpm, and oil temperature 80°C.

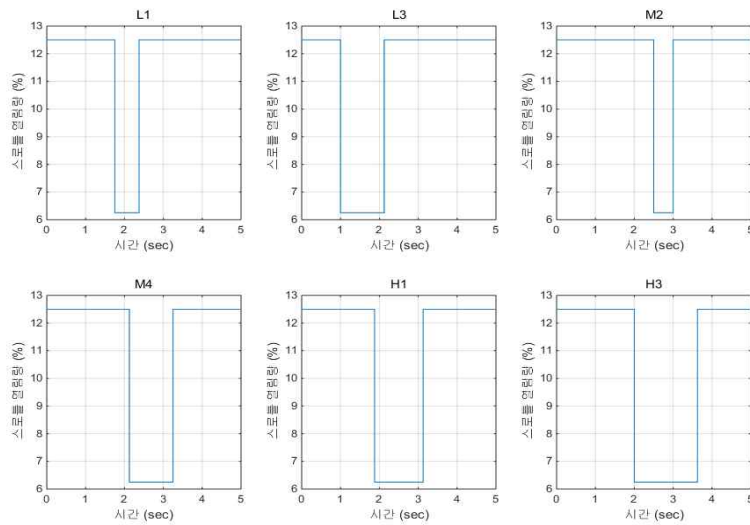


Fig. 3.19 Throttle position signal profile for engine speed control in neutral to forward, initial speed 1000 rpm, and oil temperature 30°C.

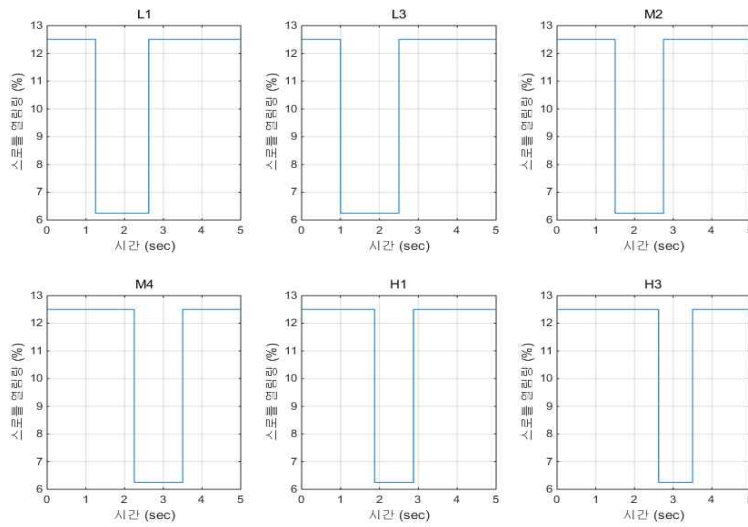


Fig. 3.20 Throttle position signal profile for engine speed control in neutral to forward, initial speed 1000 rpm, and oil temperature 30°C.

Table 3.13 The improvement of shift shock and shift time by engine control in neutral to forward and initial speed 2500 rpm

Gear step	Oil temperature 30°C				Oil temperature 80°C			
	Shift shock, G		Shift time, s		Shift shock, G		Shift time, s	
	Non	Controlled	제어 무	제어	제어 무	제어	제어 무	제어
L1	0.188	0.181	1.176	1.153	0.139	0.138	0.814	0.811
L3	0.240	0.235	2.203	2.1780	0.210	0.185	1.270	1.226
M2	0.241	0.169	1.509	1.404	0.233	0.184	1.964	1.835
M4	0.257	0.206	2.682	2.3890	0.261	0.227	2.888	2.684
H1	0.249	0.229	2.256	2.174	0.263	0.202	2.006	1.797
H3	-	-	-	-	0.262	0.242	3.308	3.237

Table 3.14 The improvement of shift shock and shift time by engine control in neutral to forward and initial speed 2000 rpm

Gear step	Oil temperature 30°C				Oil temperature 80°C			
	Shift shock, G		Shift time, s		Shift shock, G		Shift time, s	
	제어 무	제어	제어 무	제어	제어 무	제어	제어 무	제어
L1	0.054	0.040	0.840	0.803	0.136	0.133	0.921	0.902
L3	0.146	0.116	1.072	0.983	0.104	0.083	1.194	1.153
M2	0.135	0.112	1.402	1.3120	0.171	0.096	1.875	1.702
M4	0.230	0.199	2.655	2.529	0.242	0.195	2.779	2.564
H1	0.228	0.198	2.177	2.076	0.217	0.176	2.318	2.094
H3	0.192	0.174	3.023	2.889	0.253	0.234	3.111	2.926

Table 3.15 The improvement of shift shock and shift time by engine control in neutral to forward and initial speed 1500 rpm

Gear step	Oil temperature 30°C				Oil temperature 80°C			
	Shift shock, G		Shift time, s		Shift shock, G		Shift time, s	
	제어 무	제어	제어 무	제어	제어 무	제어	제어 무	제어
L1	0.043	0.043	0.933	0.931	0.055	0.046	0.954	0.934
L3	0.082	0.068	0.958	0.863	0.142	0.131	1.227	1.142
M2	0.080	0.070	1.324	1.146	0.088	0.079	1.680	1.595
M4	0.168	0.141	2.448	2.258	0.186	0.160	1.687	1.591
H1	0.175	0.125	2.017	1.789	0.235	0.206	2.031	1.905
H3	0.166	0.127	2.811	2.457	0.238	0.217	2.674	2.426

Table 3.16 The improvement of shift shock and shift time by engine control in neutral to forward initial speed 1000 rpm

Gear step	Oil temperature 30°C				Oil temperature 80°C			
	Shift shock, G		Shift time, s		Shift shock, G		Shift time, s	
	제어 무	제어	제어 무	제어	제어 무	제어	제어 무	제어
L1	0.019	0.018	0.788	0.786	0.219	0.210	1.280	1.268
L3	0.066	0.060	1.043	0.976	0.078	0.063	1.086	1.052
M2	0.049	0.047	1.617	1.567	0.058	0.049	1.697	1.583
M4	0.132	0.114	2.135	2.051	0.137	0.129	2.348	2.257
H1	0.119	0.103	1.897	1.796	0.115	0.103	1.919	1.841
H3	0.180	0.168	2.608	2.593	0.174	0.162	2.628	2.561

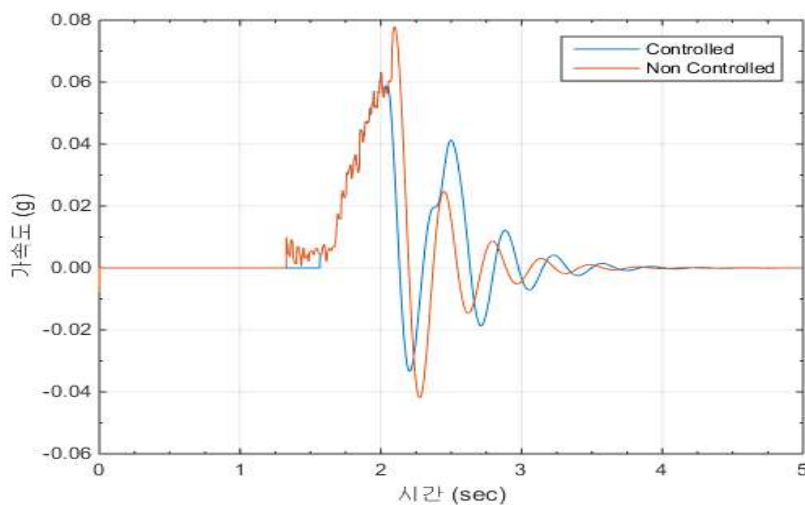


Fig. 3.21 Shift shock comparison between controlled and non-controlled in neutral to forward, gear step L3, initial speed 1000 rpm, and oil temperature 80°C.

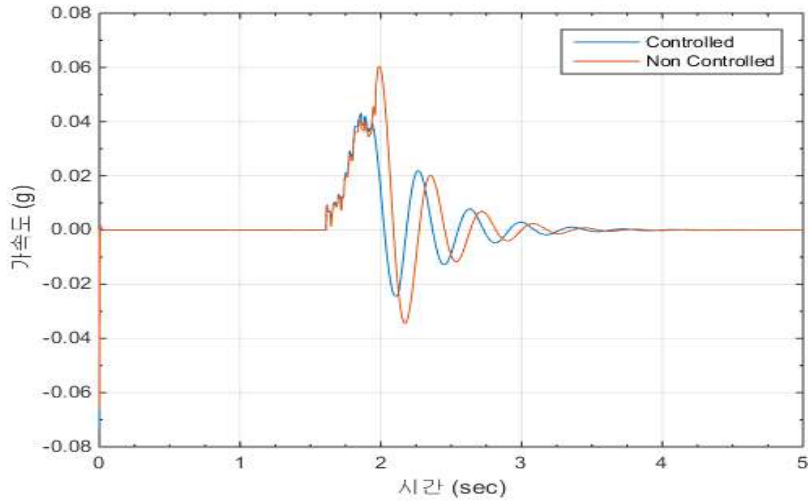


Fig. 3.22 Shift shock comparison between controlled and non-controlled in neutral to forward, gear step L1, initial speed 1500 rpm, and oil temperature 30°C.

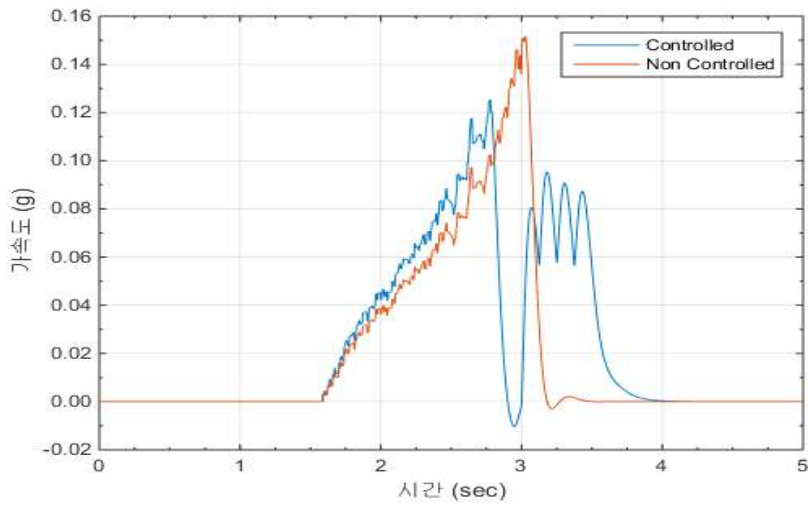


Fig. 3.23 Shift shock comparison between controlled and non-controlled in neutral to forward, gear step H1, initial speed 1500 rpm, and oil temperature 30°C.

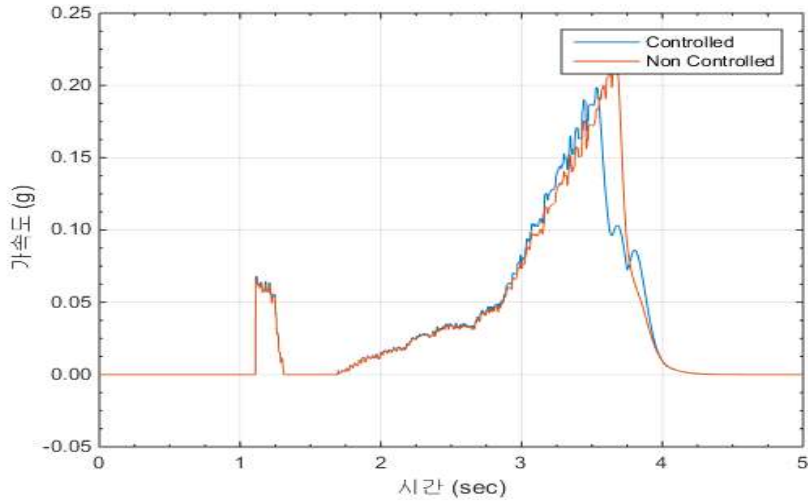


Fig. 3.24 Shift shock comparison between controlled and non-controlled in neutral to forward, gear step M4, initial speed 2000 rpm, and oil temperature 30°C

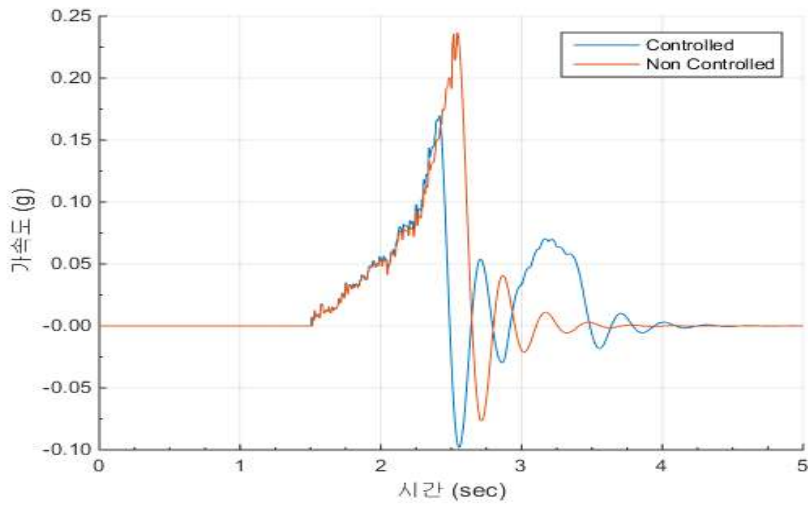


Fig. 3.25 Shift shock comparison between controlled and non-controlled in neutral to forward, gear step M2, initial speed 2500 rpm, and oil temperature 30°C

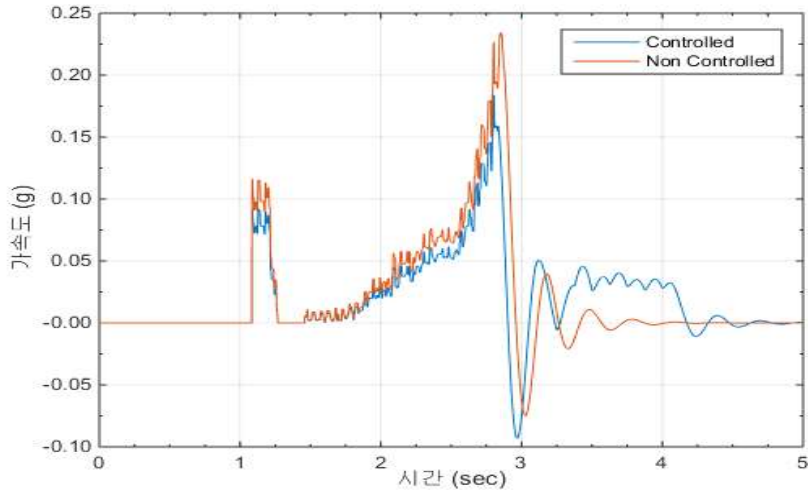


Fig. 3.26 Shift shock comparison between controlled and non-controlled in neutral to forward, gear step M2, initial speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C.

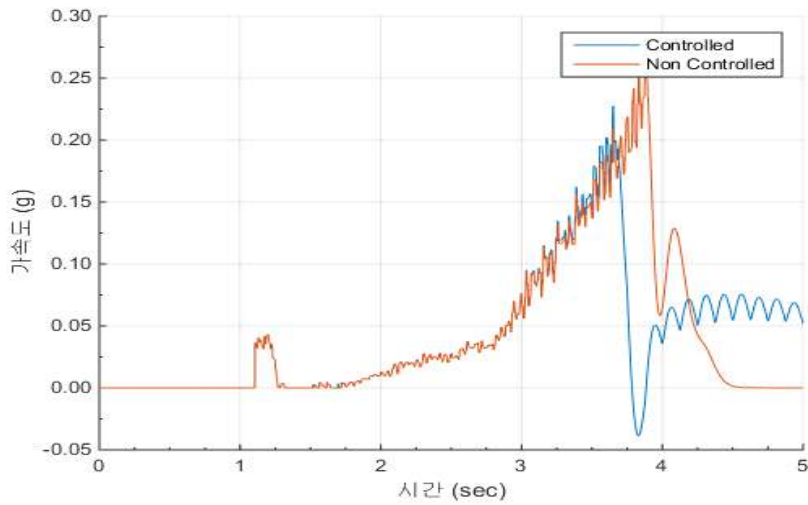


Fig. 3.27 Shift shock comparison between controlled and non-controlled in neutral to forward, gear step M4, initial speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C.

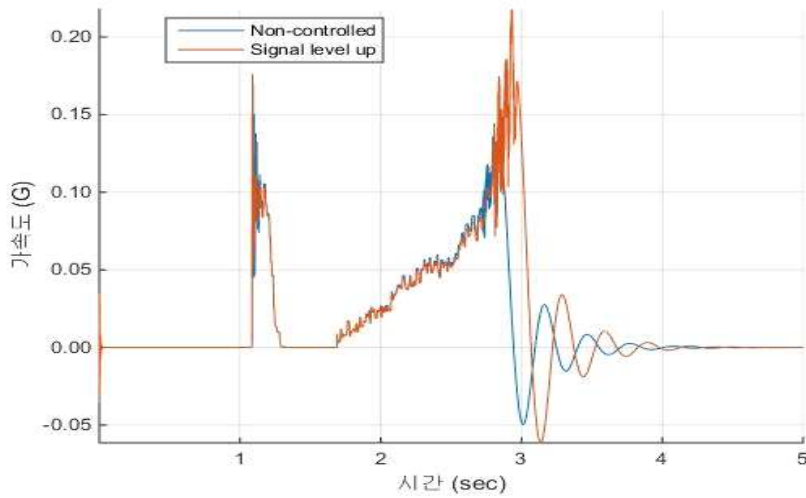


Fig. 3.28 Acceleration comparison between non-controlled and throttle position signal up-leveling in neutral to forward, gear step M2, initial speed 2000 rpm, and oil temperature 80°C.

Fig. 3.28에서는 방향변속을 할 때, 스로틀 열림량을 증가시키면 변속충격이 증가함을 보여준다. 따라서 변속성능 개선을 위해 스로틀 열림량을 감소시키는 방향으로 스로틀 열림량 프로파일을 작성하였다.

압력이 인가되기 전에 스로틀 열림량을 감소시키면 변속충격에는 영향을 거의 주지 않으므로 압력이 인가된 시점 이후로 스로틀 열림량을 감소시켰다. 또한 압력이 인가된 시점으로부터 1.5초 이후에 스로틀 열림량을 감소시키면 오히려 변속충격이 증가하므로 1.5초 이내에 스로틀 열림량을 감소시키기 시작하였다.

제어 전의 변속시간을 기준으로, 엔진속도와 클러치 속도의 동기화되는 시점까지 스로틀 열림량을 감소시켰다. 변속이 완료되는 시점을 기준으로 하여 시행착오법으로 가장 적합한 입력속도 감소수준을 도출하여 스로틀 열림량 프로파일을 작성하였다.

제 4 절 입력속도 제어에 따른 변속성능 개선

입력속도 제어 예비시험을 통해 스로틀 열림량 제어로 변속성능개선이 가능하다고 판단되어 로더작업 시 가장 많이 이용되는 단수에서 스로틀 열림량 신호를 변화시키며 변속성능을 해석하였다. 변속단수는 로더작업 시 트랙터의 주행속도는 대부분 4 - 7km/h이므로 주행속도가 6.38km/h인 L7030 트랙터의 M2단으로 설정하였고, 오일온도는 변속충격에 영향을 적게 주는 80°C 조건에서 진행하였다. 입력초기속도는 변속방향별 RMSE의 평균이 0.050으로 가장 낮은 2500 rpm으로 설정하였다.

각 변속방향별로 작성한 입력속도 그래프는 Fig. 3.27, 3.28, 3.29, 3.30과 같다. 입력속도 drop 수준은 오일압력 인가시점이 drop되는 수준에 도달하도록 작성하였으며, 초기입력속도로 다시 증가하는 시점은 제어 전 변속이 완료된 시점인 4.147 s(전진에서 후진), 3.165 s(중립에서 전진), 4.092 s(중립에서 후진), 3.854 s(후진에서 전진)으로 정하였다.

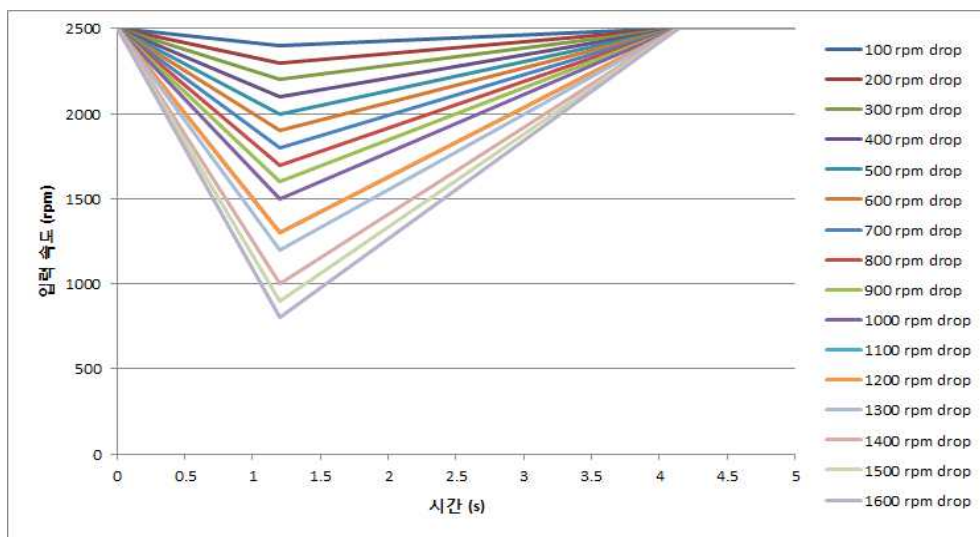


Fig. 3.29 Throttle position signal graph in forward to reverse, gear step M2, engine speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C.

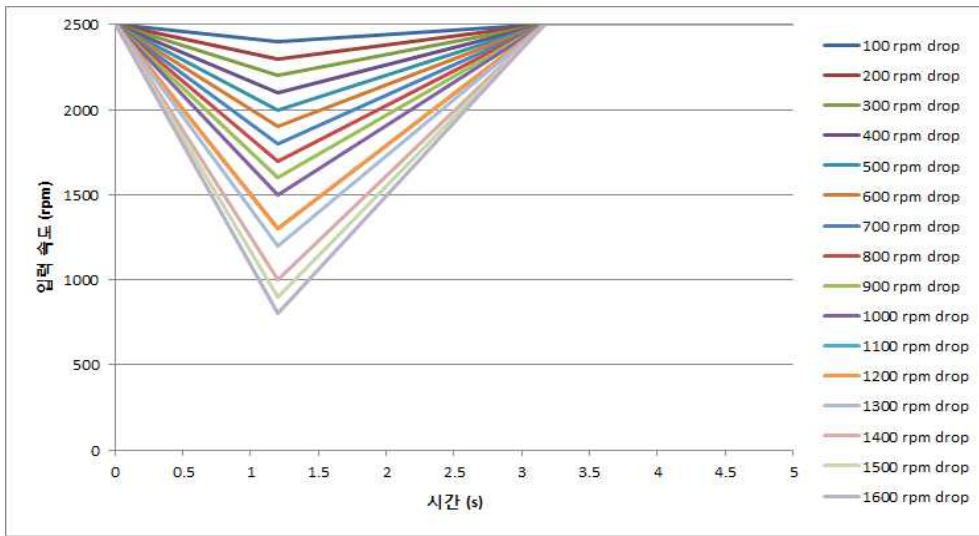


Fig. 3.30 Throttle position signal graph in neutral to forward, gear step M2, engine speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C.

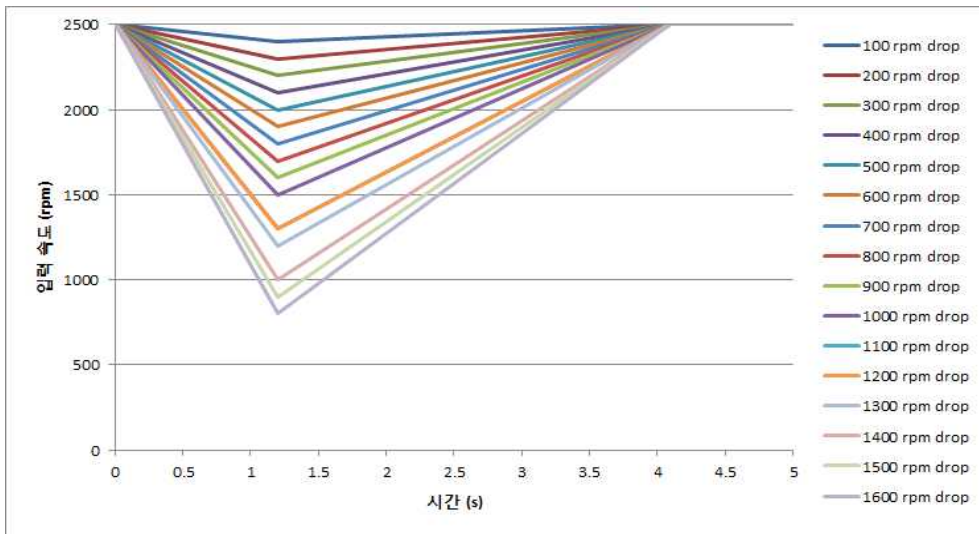


Fig. 3.31 Throttle position signal graph in neutral to reverse, gear step M2, engine speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C.

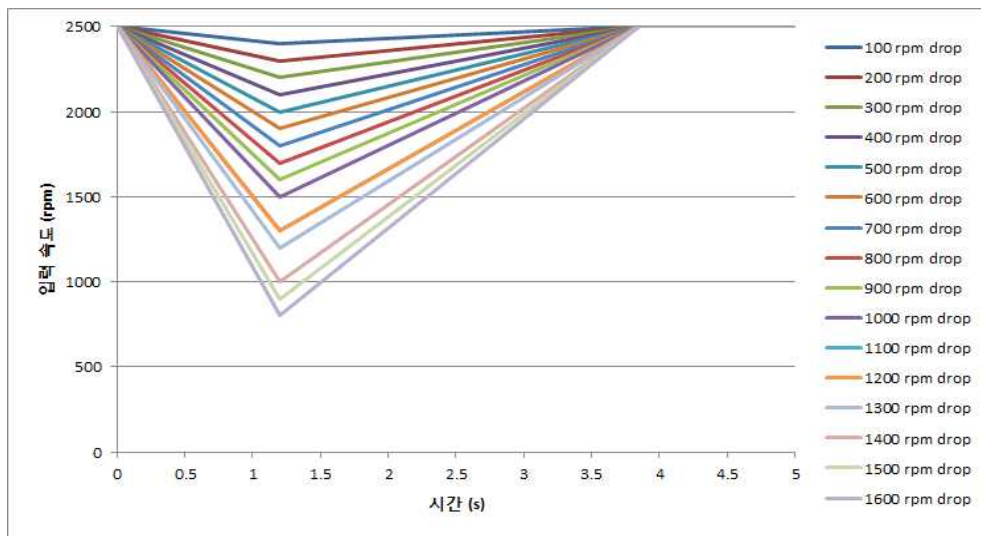


Fig. 3.32 Throttle position signal graph in reverse to forward, gear step M2, engine speed 2500 rpm, and oil temperature 80°C.

입력속도에 따라 변속성능을 해석하였다. 해석결과 본 모델에서는 입력속도 감소수준에 관계없이 비슷한 수치의 변속충격과 변속시간으로 개선되었다. 유의할만한 점은 모든 경우에서 변속충격과 변속시간이 개선되었다는 것이다. 제어 전후의 변속시간과 변속충격은 Table 3.17과 같다.

Table 3.17 Shift shock and shift time comparison between controlled and non-controlled in gear step M2, initial speed 2500 rpm and oil temperature 80°C

Shift direction	Shift shock, G		Shift time, s	
	Non-controlled	Controlled	Non-controlled	Controlled
F to R	-0.277	-0.217	2.947	2.718
N to F	0.207	0.144	1.965	1.576
N to R	-0.268	-0.226	2.892	2.609
R to F	0.247	0.185	2.654	2.453

제 4 장 시험장비 개발

제 1 절 개요

이상에서 해석모델의 입력속도제어를 통해 변속성능의 개선을 확인하였다. 실제 차량에 사용되는 전후진 파워시프트 변속기에서도 입력속도제어를 통해 변속성능이 향상되는지를 살펴보기 위해 전후진 파워시프트 변속기를 장착한 시험장비를 제작하였다. 시험장비는 크게 압력부, 시험부, 제어부로 구성하였으며 그 개략도는 Fig. 4.1과 같다.

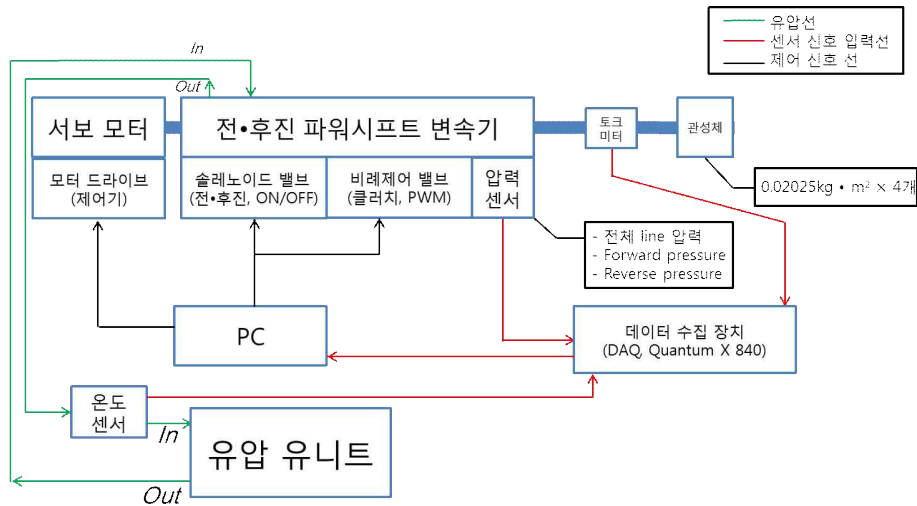


Fig. 4.1 Schematic diagram of the bench tester.

제 2 절 시험장비 계측시스템 구성

전후진 파워시프트 변속기가 장착된 시험장비에서 변속성능을 비교하기 위해서는 변속기 피동축의 토크를 구하는 것이 필수적이다. 피동축의 순간토크

를 통해 변속충격을 비교할 수 있기 때문이다. 또한, 변속기 유입압력이 증가함에 따라 클러치판이 압착되며, 구동축과 피동축이 동기화되기 시작한다. 이때 피동축의 순간토크의 최대치 지점이 변속이 완료되는 시점임을 실차실험에서 확인하였으므로 이를 통해 변속시간을 구할 수 있다.

변속충격과 변속시간을 구하기 위해서 전진압력, 후진압력, 피동축 순간토크, 변속기 토출오일 온도 4가지를 측정하였다. 변속충격을 측정하기 위해 토크 미터를 이용하여 피동축의 순간토크를 측정하였으며, 오일압력 인가시점을 구하기 위해 전진과 후진압력을 측정하였다. 변속충격은 변속기 내부 오일의 점성에 따라 변하므로 일정한 온도에서 시험을 진행하기 위해 변속기 토출 오일온도를 측정하여 온도가 일정한 상태에서 실험을 진행 하였다.

압력센서는 전후진 파워시프트 변속기의 비례제어밸브에 장착하여 측정하였으며, 자세한 제원은 Table 4.1과 같다.

Table 4.1 Specifications of the pressure sensor

Item	Specifications
Manufacturer	Sensor system technology Co.
Model	PSHH0020BAAG
Measuring Principle	Piezo resistive silicon cell
Measuring range	0 - 20 bar
Outpur range	4 - 20 mA
Accuracy	±0.15% FS
Compensated temp range	-10 - 80°C

토크미터는 전후진 파워시프트 변속기의 피동축에 연결하였으며, 그 뒤에 관성체를 장착하여 피동축이 받는 순간토크를 측정가능 하도록 구성하였다. 토크미터의 제원은 Table 4.2와 같다.

Table 4.2 Specifications of the torque meter

Item	Specifications
Manufacturer	Dacell, Korea
Model	TRE-100K
Type	Slipring
Measuring range	0 - 1000 Nm
Max. Torque	1300 Nm
Rated speed	2000 rpm

온도센서는 접촉식 온도센서를 이용하였으며, 연결을 용이하게 하기 위하여 온도센서가 장착 가능한 기어식 오일 유량계를 오일 토출구에 연결하여 설치하였다. 온도센서와 오일 유량계의 제원은 Table 4.3, 4.4와 같다.

Table 4.3 Specifications of the temperature sensor

Item	Specifications
Manufacturer	HYDROTECHNIK, Germany
Model	TE 110
Measuring range	-50 - 200°C
Output range	4 - 20 mA
Supply voltage	10 - 30 VDC

Table 4.4 Specifications of the oil flowmeter

Item	Specifications
Manufacturer	HYDROTECHNIK, Germany
Model	GFM-30Alu
Type	Gear
Measuring principle	displacement
Output signal & range	frequency(rectangle)/4 - 20 mA
Supply voltage	12 - 24 VDC

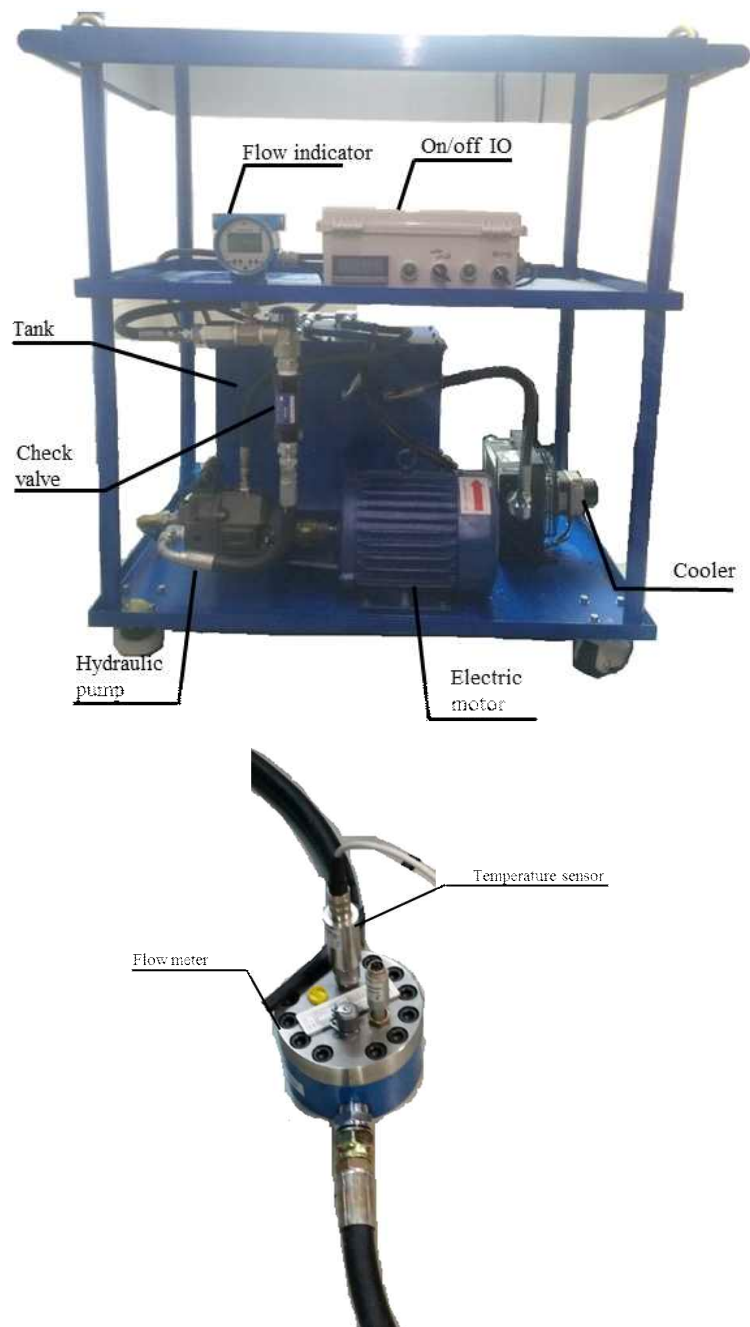


Fig. 4.3 The view and composition of hydraulic power unit.

Table 4.5 Specifications of the variable capacity oil pump

Item	Specifications
Manufacturer	Yuken, United Kingdom
Model	AR16
Rated pressure	16 MPa
Permissible rpm	600 - 1800 rpm
mass	9.8kg

Table 4.6 Specifications of the hydraulic motor

Item	Specifications
Manufacturer	Higen, Korea
Model	KMH-05HK1
Rotor type	Squirrel cage
Output	3.7 kW
No. of poles	4
Frequency	60 Hz

Table 4.7 Specifications of the oil cooler

Item	Specifications
Manufacturer	Flow Force, Korea
Model	FA-030-2-5-00-1-0-0
Type	AC motor type
No. of poles	2
Voltage and Frequency	single phase 220 V 50/60 Hz
Max. working temp	120°C

시험부는 유압부와 제어부를 통해 시험을 진행할 수 있도록 구성하였다. 서보모터를 통해 변속기 구동축에 동력이 전달되며, 비례제어밸브가 변속기에 부착되어있어 제어부의 신호를 받아 오일압력이 인가된다. 또한 변속기 피동축에는 토크미터와 관성체가 순서대로 연결되어있다.

제어부는 크게 PC, 오일압력 제어기 그리고 서보모터 제어기로 구성하였다. 오일압력 제어기는 CAN통신을 이용한 USB drive로 압력신호가 전달되며, 서보모터 제어기는 Rexroth 社의 Indraworks DS 프로그램을 이용하였으며, 자

료수집장치(DAQ)를 통해 얻은 데이터는 HBM 社의 CatmanEasy-AP(version 3.1)프로그램을 통해 cvs파일로 저장하였다. 표본추출비율(sampling rate)은 100 Hz로 설정하여 데이터를 습득하였다. Fig. 4.4에 시험 진행 중인 Indraworks와 CatmanEasy의 작업창을 나타낸다. 시험부 및 제어부의 구성 및 외형은 Fig. 4.5와 같으며 서보모터, 서보모터 제어기 제원은 Table 4.8, 4.9와 같다. 계측하는 신호와 자료수집장치 등의 사양은 Table 4.10과 같다.

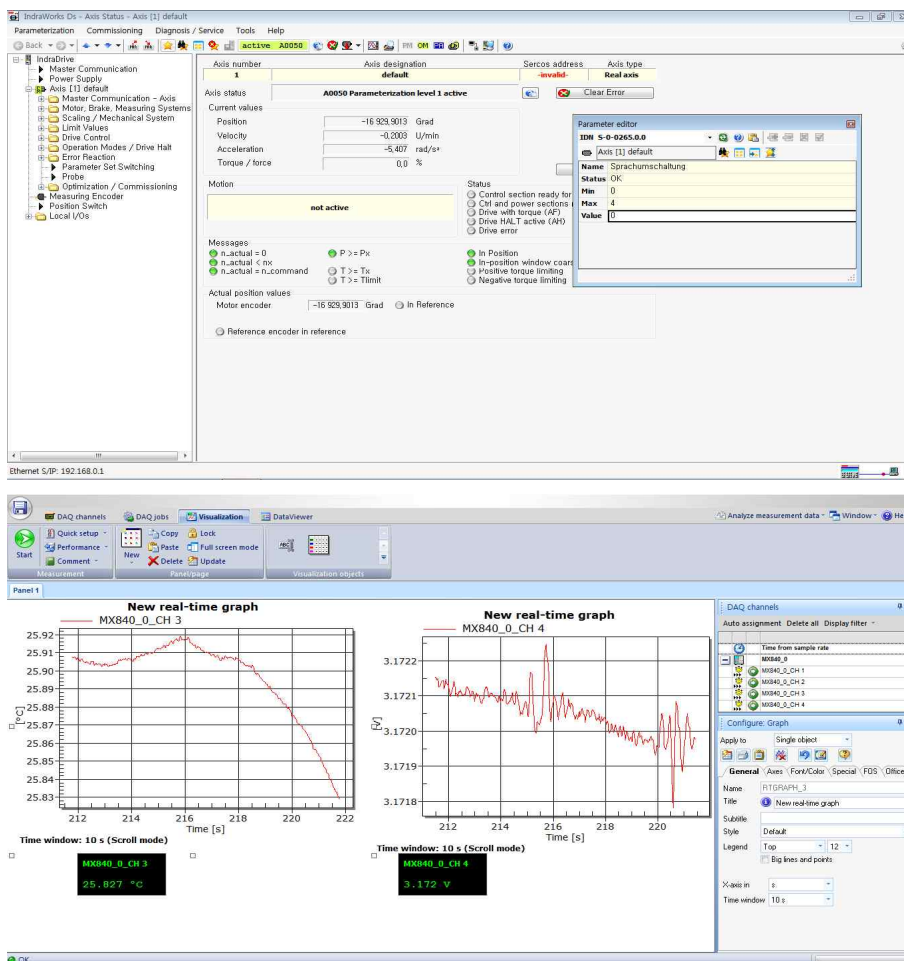


Fig. 4.4 Operation window of Indraworks DS and CatmanEasy.

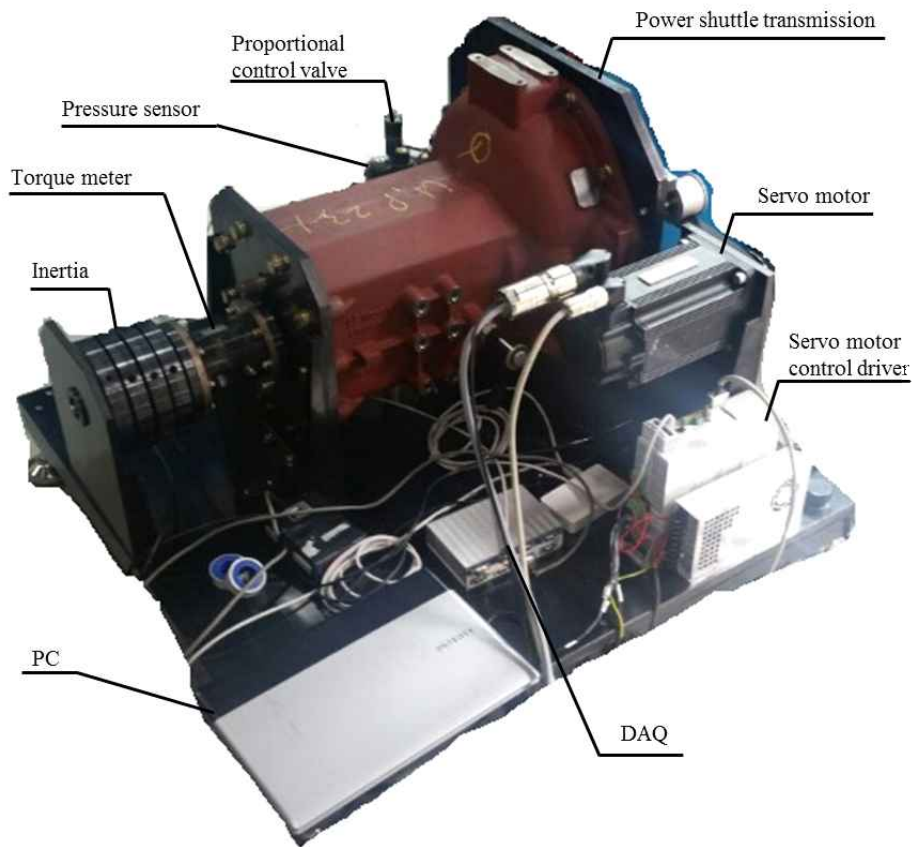


Fig. 4.5 The view and composition of testing and controlling section.

Table 4.8 Specifications of the servo motor

Item	Specifications
Manufacturer	Rexroth, Germany
Model	MSK-070D-0300-NN-M1-UG0-NNNN
Max. torque	52.5 MPa
Max. rpm	4900 rpm
No. of pole pairs	6
Rated voltage	24 V
Moment of inertia of rotor	0.00375 kg.m ²

Table 4.9 Specifications of the servo motor controller

Item	Specifications
Manufacturer	Rexroth, Germany
Model	HCS01.1E-W0028-A-03
Rated input voltage	3×AC 200 - 500
Rated input current	10 A
Output voltage	3×AC 0 - 500
Output current	11.5 A

Table 4.10 Specifications of the DAQ for bench tester

Measured signal	Channel	DAQ Specification
Temperature	- Outlet temp × 1 ch	DAQ : HBM QuantumX MX840 Sampling rate : 50 Hz
Torque	- Clutch × 1 ch	
Pressure	- Forward × 1 ch	
	- Reverse × 1 ch	

제 5 장 입력속도제어를 통한 변속성능 개선

제 1 절 유압프로파일 조정

본 시험장치는 실제 트랙터의 주행 중에 나타는 변속성능을 구현하기 힘들며, 실차실험에 이용하는 압력프로파일은 시험장치에 무리를 줄 수 있어 적합하지 않다. 그러므로 본 시험에서는 초기속도와 변속방향의 조건에 따라 적절하게 압력프로파일을 조정하였다. 초기속도는 1000rpm, 1500rpm, 2000rpm, 2500rpm 으로 4조건, 변속방향은 중립(N)에서 전진(F), 중립(N)에서 후진(R), 전진(F)에서 후진(R), 후진(R)에서 전진(F) 4조건으로 설정하여 16개의 압력프로파일을 작성하였다.

압력프로파일은 Fig. 5.1에서와 같이 4가지 변수를 조정하여 작성하였다. 각 변수는 오일압력이 증가함에 따라 변속기 내부에 나타나는 물리적 현상을 고려하여 조정하였다. a와 b는 변속기 내부가 오일로 유입되기 전의 빈 공간을 빠르게 채우기(filling) 위한 변수다. a와 b가 포함된 구간은 순간적으로 압력을 증가시켜 최대한 빠르게 변속기 내부를 오일로 채웠다. c는 클러치의 마찰판들이 오일압력에 의해 마찰을 일으킬 때 갑작스러운 토크전달로 인한 충격을 방지하기 위한 변수다. c구간에서는 압력을 서서히 증가시켜 순간토크를 최소화하여 변속충격을 줄였다. d는 변속기의 구동축과 피동축이 동기화가 된 후 최대압력으로 증가시키는 인자이다. 이때는 이미 클러치와 서보모터의 속도가 동일하므로 최대한 빠르게 초기속도로 복구시켜 변속시간을 줄였다.

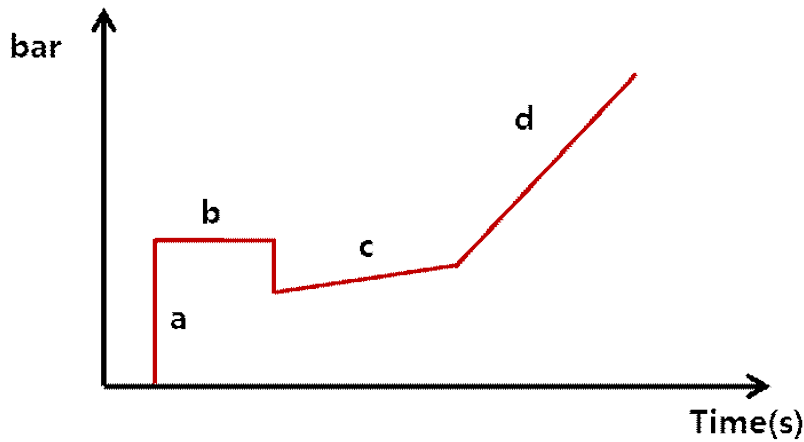


Fig. 5.1 Pressure profile parameters.

전후진 파워시프트 변속기의 유압프로파일은 오일온도에 따라 그 형상이 달라진다. 그러므로 본 시험에서는 오일온도가 10 - 13°C일 때 유압프로파일을 작성하였다.

Fig. 5.2은 초기속도 2000 rpm, 중립(N)에서 후진(R)으로 방향변속 일 때 조정 전후의 압력프로파일을 나타낸다. 조정 전후의 가장 큰 차이는 프로파일의 최대압력이 약 18 bar 에서 10 bar로 감소하였다는 점이다. 이는 100마력대의 트랙터 방향변속에 쓰인 조정 전의 압력프로파일이 본 시험기의 실정에 맞지 않아 시험기에 알맞은 압력프로파일로 조정하였기 때문이다. 그래프에서의 a와 c는 각각 약 2.3 bar와 3.5 bar로 압력이 비례제어밸브에 전압신호가 가해졌을 때 압력이 튀는 현상을 최대한 줄이기 위해 시행착오법으로 구한 수치이다. 그럼에도 불구하고 압력이 튀는 현상이 발생한 이유는 본 비례제어밸브의 고유 특성 때문으로 판단된다. 피동축 토크는 b가 끝나는 시점에서 발생하므로 최대한 b의 시간을 단축하는 방향으로 압력프로파일을 조정하였다. d의 기울기는 피동축의 순간토크에 거의 영향을 주지 않는 것으로 판단되어 기울기를 2.3 bar/s로 모든 경우에서 기울기를 동일하게 설정하였다.

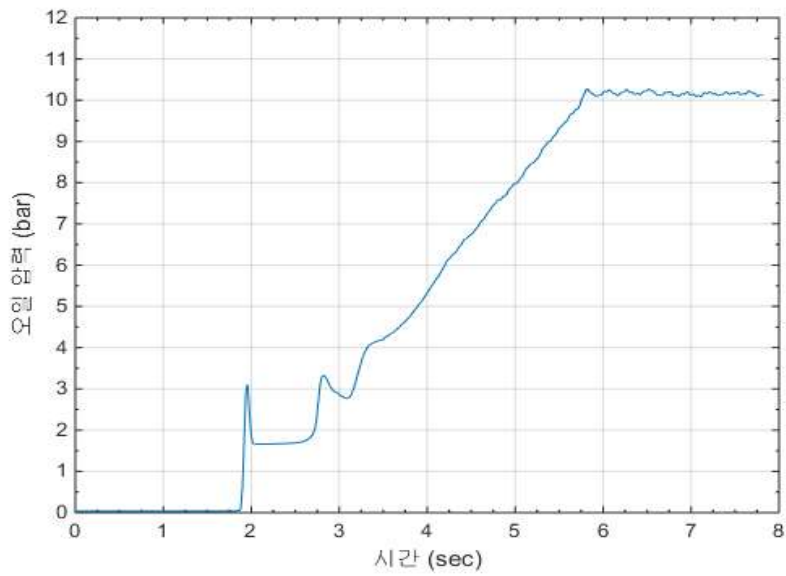
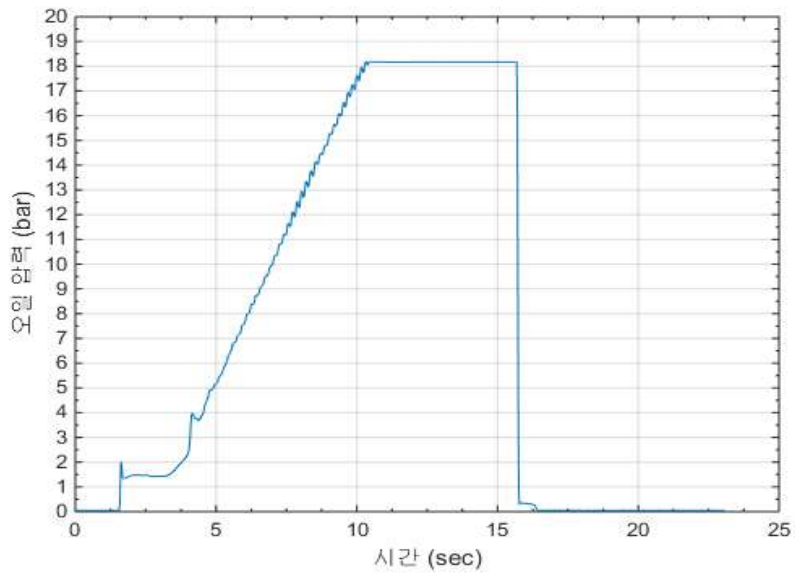


Fig. 5.2 Before and after pressure profile in neutral to forward, initial rpm 1000 rpm.

제 2 절 입력속도 제어 방법

전후진 파워시프트 변속기의 입력속도 감소(drop) 수준에 따른 변속성능의 경향을 알아보기 위해 입력속도 제어 방법을 설정하였다. 입력속도는 조정된 압력 프로파일을 기준으로 감소시켰다. 서보모터의 초기속도는 1000 rpm에서 2500 rpm 까지 500 rpm간격으로 4조건에서 실시하였다. 각 초기속도에서는 100 rpm 간격으로 감소시키면서 변속성능을 비교하였다. 농용트랙터 엔진의 무부하속도가 800 rpm임을 감안하여 감소된 입력속도의 최저 속도를 800 rpm까지로 설정하였다. 초기속도와 입력속도 감소수준의 조건별로 변속방향은 중립(N)에서 전진(F), 중립(N)에서 후진(R), 전진(F)에서 후진(F), 후진(R)에서 전진(F)의 조건으로 실험을 진행하였다. 각 실험에 대해서는 3회 반복 실험을 하였다. 실험의 조건 수는 Table 5.1에 자세히 나타내었다.

Table 5.1 The experimental conditions of bench tester

Initial speed, rpm	Shift direction No. of conditions	Drop level No. of conditions	Total No. of conditions
1000	4	2	8
1500		7	28
2000		12	48
2500		17	68

입력속도의 감소 수준은 압력프로파일을 기준으로 작성하였기 때문에 각 조건에 따른 가속도는 일정한 수치로 정해지게 된다. 이는 조정된 압력프로파일에 따른 변속시간을 구했기 때문이다. 입력속도 제어에 따른 가속도는 Table 5.2에 정리하였다.

Table 5.2 The angular acceleration value in every drop level of engine speed

drop level, rpm	Angular acceleration after shift begins, rad/s ²			
	Initial speed 1000 rpm	Initial speed 1500 rpm	Initial speed 2000 rpm	Initial speed 2500 rpm
100	-10.49	-10.49	-10.49	-10.49
200	-20.94	-20.94	-20.94	-20.94
300	-	-31.42	-31.42	-31.42
400	-	-41.89	-41.89	-41.89
500	-	-52.36	-52.36	-52.36
600	-	-62.83	-62.83	-62.83
700	-	-73.30	-73.30	-73.30
800	-	-	-83.78	-83.78
900	-	-	-94.25	-94.25
1000	-	-	-104.72	-104.72
1100	-	-	-115.19	-115.19
1200	-	-	-125.66	-125.66
1300	-	-	-	-136.14
1400	-	-	-	-146.61
1500	-	-	-	-157.08
1600	-	-	-	-167.55
1700	-	-	-	-178.02

제 3 절 결과 및 분석

입력속도 제어 방법에 따라 다음과 같은 변속성능 자료를 습득하였다. 변속 충격은 변속기 피동축의 순간토크의 최대값으로 정했으며, 변속시간은 압력신호가 인가된 시점부터 변속기 피동축의 순간토크의 최대값이 나타나는 시점으로 정하였다. 시험을 3회 반복하였으므로 변속충격은 각 수치의 평균값을 구하였으며, 변속시간은 입력속도 제어 전후 변속시간차의 평균을 구하여 결정하였다. 각 조건에 따라 구한 변속평균과 제어 전후 변속시간차의 평균은 Fig. 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10에 나타냈다.

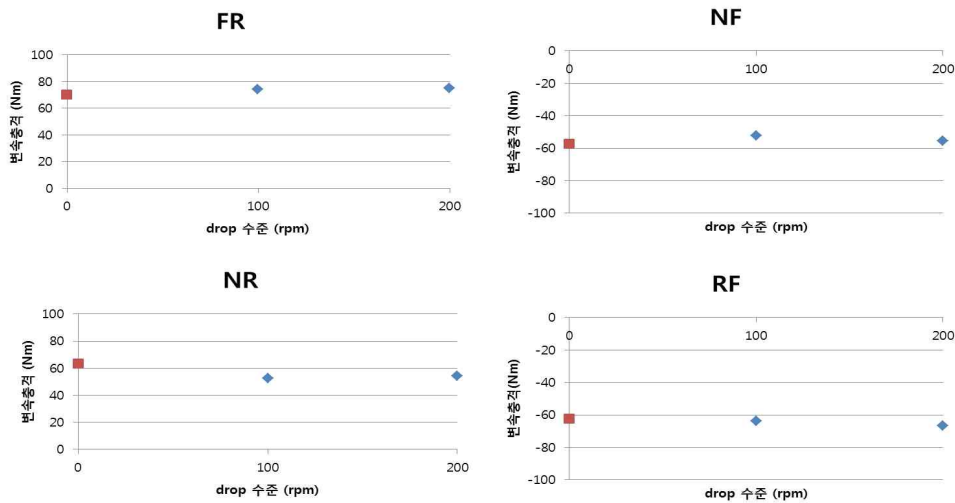


Fig. 5.3 Average shift shock in initial speed 1000 rpm depending on drop level.

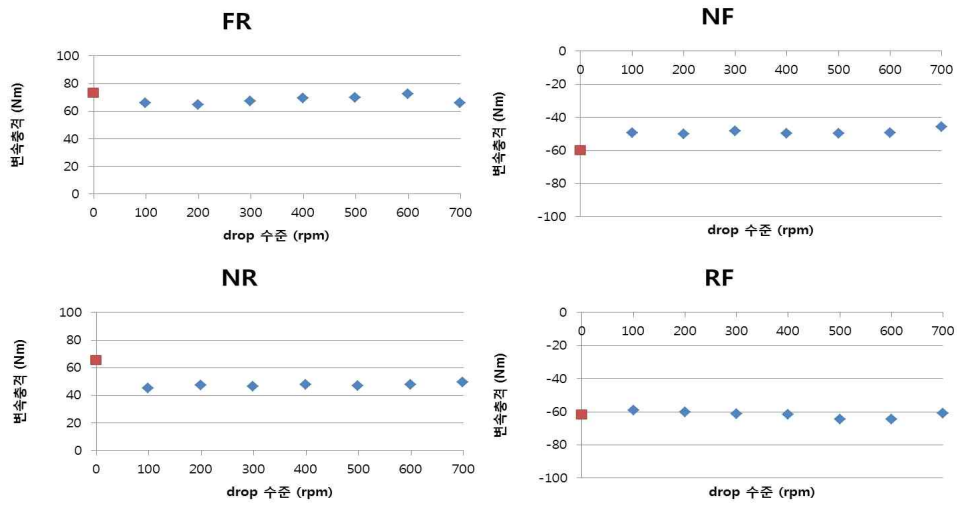


Fig. 5.4 Average shift time difference in initial speed 1000 rpm depending on drop level.

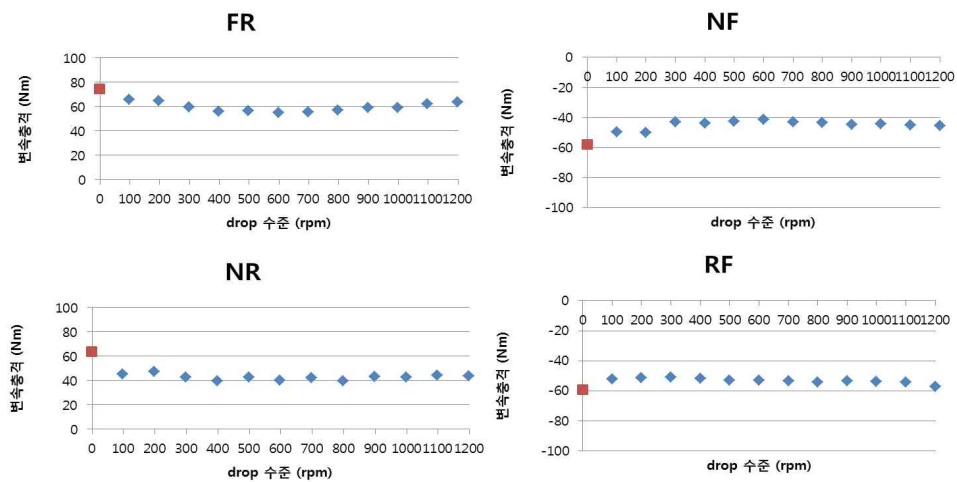


Fig. 5.5 Average shift shock in initial speed 1500 rpm depending on drop level.

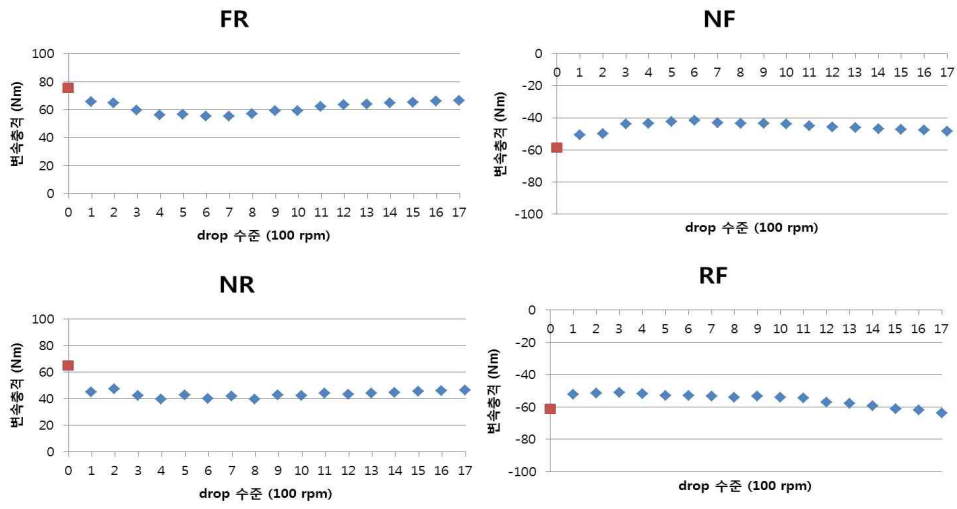


Fig. 5.6 Average shift time difference in initial speed 1500 rpm depending on drop level.

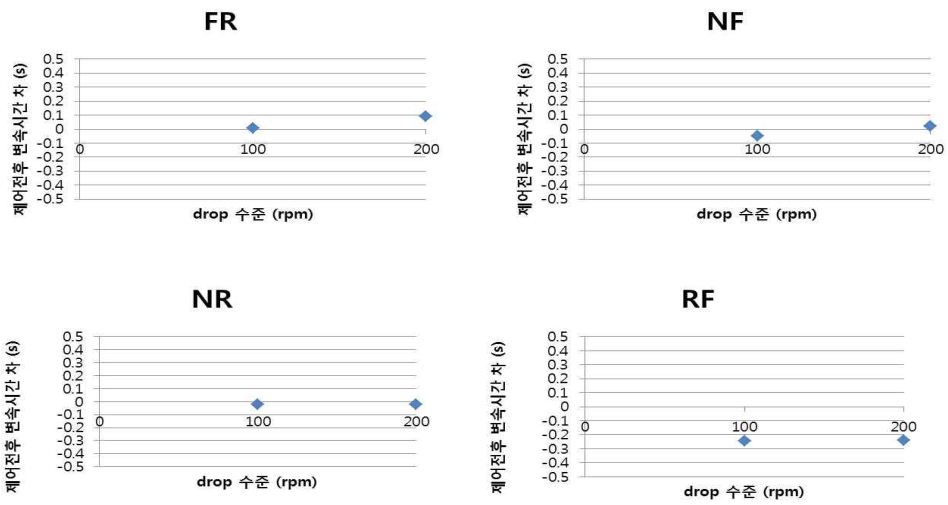


Fig. 5.7 Average shift shock in initial speed 2000 rpm depending on drop level.

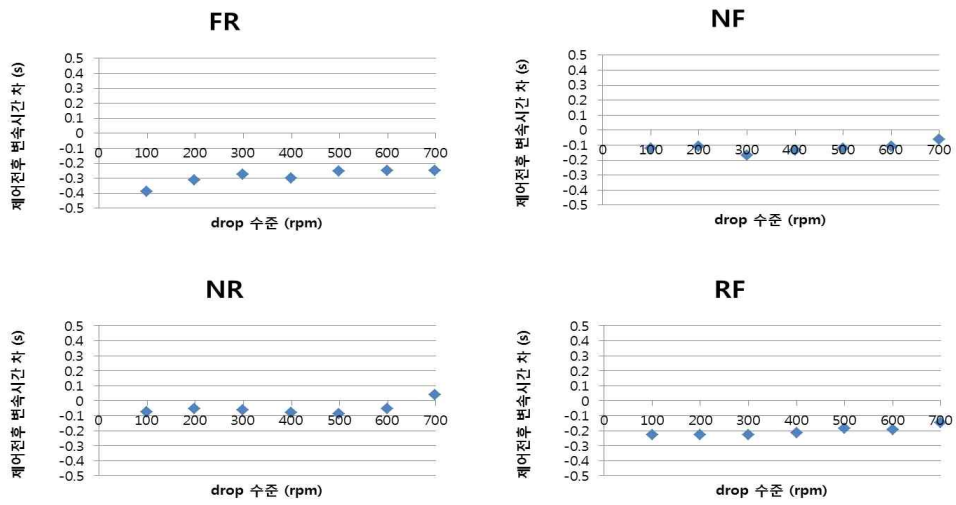


Fig. 5.8 Average shift time difference in initial speed 2000 rpm depending on drop level.

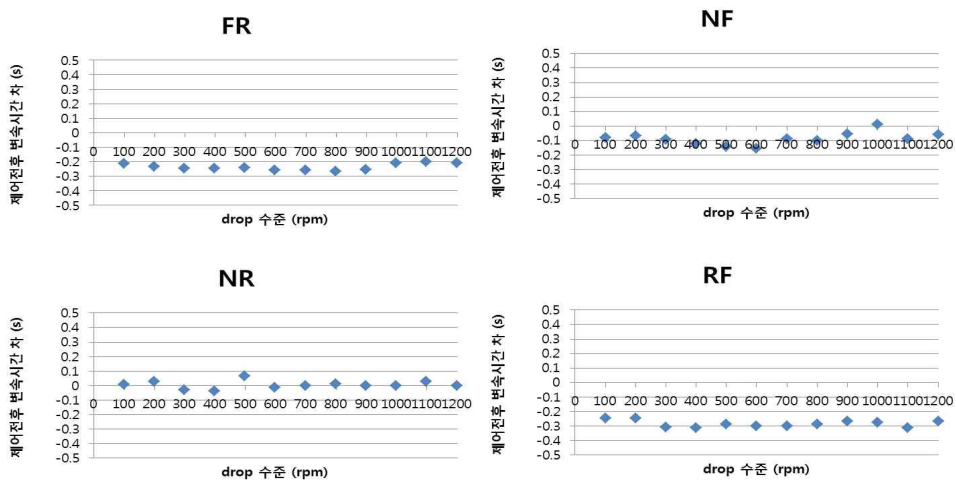


Fig. 5.9 Average shift shock in initial speed 2500 rpm depending on drop level.

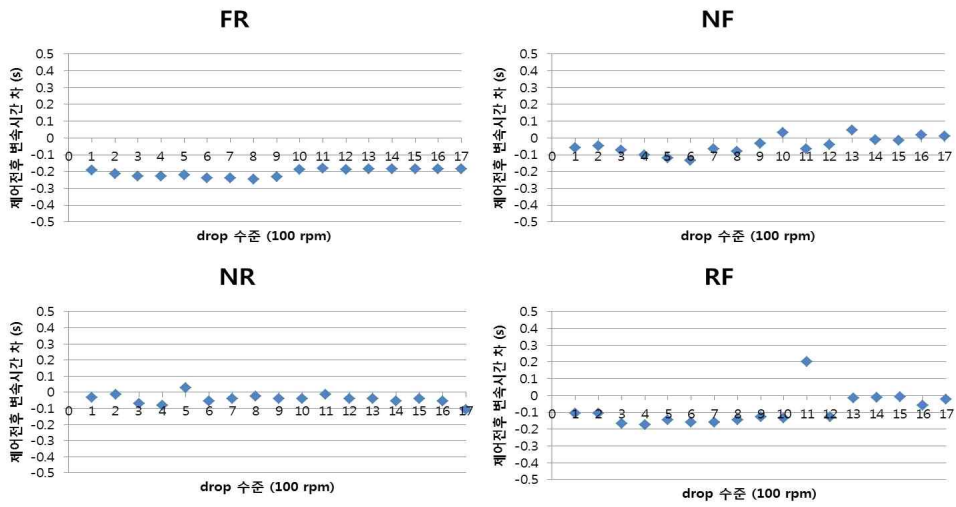


Fig. 5.10 Average shift time difference in initial speed 2500 rpm depending on drop level.

변속충격과 변속시간 모두 감소 수준에 비례하여 개선되지 않았으며, 각 초기입력속도에 따라 가장 적절한 감소 수준이 있었다. 초기입력속도가 1000 rpm일 때는 변속성능의 경향을 보기 어려웠으나, 1500 rpm 부터는 가장 적합한 감소 수준을 알 수 있었다. 변속충격은 대부분 감소 수준에 관계없이 개선이 되었으나, 변속시간은 그렇지 않았다. 또한 변속충격이 개선되는 비율보다 변속시간이 개선되는 비율이 상대적으로 높기 때문에 변속성능은 변속시간 보다 변속충격의 영향을 더 많이 받는 것으로 해석하였다. 각 초기 입력속도에 따라 가장 적합한 감소 수준 및 개선정도를 Table 5.3에 나타내었다.

Table 5.3 The optimum engine speed drop level and decrease ratio by initial input speed

Initial speed, rpm	Shift direction	Shift shock		Shift time	
		Optimum drop level, rpm	Reduction ratio, %	Optimum drop level, rpm	Reduction ratio, %
1000	F to R	-	-	-	-
	N to F	100	10	100	10
	N to R	100	10	200	20
	R to F	-	-	100	10
1500	F to R	200	13	100	7
	N to F	300	20	300	20
	N to R	100	7	500	33
	R to F	100	7	100	7
2000	F to R	600	30	800	40
	N to F	600	30	600	30
	N to R	400	20	400	20
	R to F	300	15	400	20
2500	F to R	600	24	800	32
	N to F	600	24	600	24
	N to R	800	32	400	16
	R to F	300	12	400	16

Table 5.3을 바탕으로 초기입력속도에 대한 입력속도 감소비율을 그래프로 나타내면 Fig. 5.10와 같다. 이는 각 방향 변속에 따라 변속성능개선에 가장 적합한 감소 수준을 나타낸다. 중립(N)에서 후진(R)으로의 변속 시 변속시간의 최적 감소 수준 추세선은 경향이 달랐다. 이는 입력속도제어에 따른 변속시간의 개선비율이 낮으므로 변속기 피동축의 순간토크나 입력속도의 작은 변화에도 민감하기 때문으로 판단된다. Fig. 5.10에 의하면 초기입력속도의 변화에 따라 적절한 감소 수준을 따라가는 추세선을 구할 수 있다. 즉 변속성능개선을 위한 입력속도 감소 정도의 기준을 제시하였다. Table 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11은 각 시험조건에서 변속충격과 변속 시간의 개선 정도를 나타내었다.

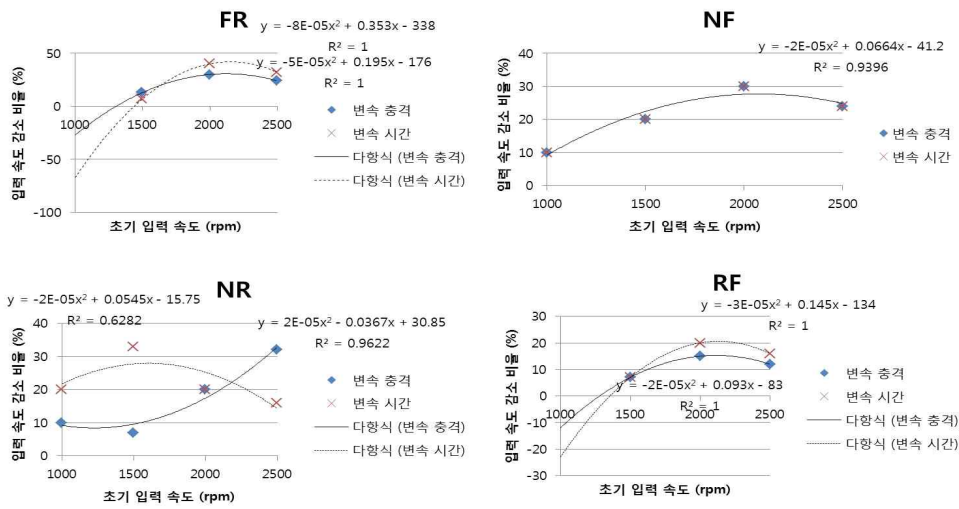


Fig. 5.10 The relation between initial speed and input speed reduction rate.

Table 5.4 The improvement percentage of shift shock in initial speed 1000 rpm

drop level, rpm	Shift direction			
	F to R	N to F	N to R	R to F
100	-6.0	8.9	17.2	-2.5
200	-6.8	3.2	14.2	-7.2

(Unit : %)

Table 5.5 The improvement percentage of shift time in initial speed 1000 rpm

drop level, rpm	Shift direction			
	F to R	N to F	N to R	R to F
100	-1.1	5.4	2.0	22.7
200	-9.8	2.2	2.0	21.8

(Unit : %)

Table 5.6 The improvement percentage of shift shock in initial speed
1500 rpm

drop level, rpm	Shift direction			
	F to R	N to F	N to R	R to F
100	10.0	16.8	31.0	3.9
200	11.5	16.1	28.0	2.1
300	8.0	19.2	29.4	0.6
400	5.0	17.0	27.2	-0.1
500	4.2	16.8	28.5	-4.5
600	1.0	17.4	27.1	-4.7
700	9.5	16.5	24.3	0.9

(Unit : %)

Table 5.7 The improvement percentage of shift time in initial speed
1500 rpm

drop level, rpm	Shift direction			
	F to R	N to F	N to R	R to F
100	26.5	6.3	-3.9	21.7
200	24.2	11.5	4.9	18.6
300	21.2	14.5	5.8	18.6
400	25.4	13.5	6.8	19.6
500	22.9	12.7	7.9	21.5
600	26.3	11.5	4.9	20.5
700	24.6	12.5	6.9	21.5

(Unit : %)

Table 5.8 The improvement percentage of shift shock in initial speed
2000 rpm

drop level, rpm	Shift direction			
	F to R	N to F	N to R	R to F
100	11.8	14.4	29.2	12.1
200	13.3	13.2	26.0	13.4
300	20.1	25.7	33.3	14.0
400	24.6	24.3	38.0	12.8
500	24.3	26.3	33.1	10.6
600	26.1	28.1	37.3	11.1
700	25.7	25.6	34.1	10.0
800	23.6	24.6	37.7	9.0
900	21.0	22.4	32.6	10.2
1000	20.4	23.7	33.3	9.1
1100	16.8	22.2	31.0	8.5
1200	14.6	21.0	31.8	3.7

(Unit : %)

Table 5.9 The improvement percentage of shift time in initial speed
2000 rpm

drop level, rpm	Shift direction			
	F to R	N to F	N to R	R to F
100	19.1	8.7	-1.1	24.0
200	20.9	7.6	-3.2	24.0
300	22.7	9.8	3.2	29.8
400	22.7	13.0	4.3	29.9
500	21.8	15.2	-7.4	27.9
600	23.6	16.3	1.1	28.8
700	23.6	9.8	0	28.8
800	24.5	10.9	-1.1	27.9
900	22.7	5.4	0	26.0
1000	19.1	-1.1	0	26.0
1100	18.2	9.8	-3.2	29.8
1200	19.1	6.5	0	26.0

(Unit : %)

Table 5.10 The improvement percentage of shift shock in initial speed
2500 rpm

drop level, rpm	Shift direction			
	F to R	N to F	N to R	R to F
100	13.1	13.8	30.5	14.7
200	14.6	15.0	27.4	16.0
300	21.3	24.9	34.6	16.5
400	25.7	25.5	39.1	15.4
500	25.4	27.5	34.4	13.2
600	27.2	29.2	38.5	13.8
700	26.8	26.7	35.3	12.6
800	24.7	26.0	38.9	11.7
900	22.1	25.9	33.8	12.8
1000	21.6	24.9	34.5	11.8
1100	18.1	23.4	32.3	11.2
1200	15.9	22.2	33.1	10.8
1300	15.8	21.6	31.9	10.2
1400	14.7	20.3	30.9	11.2
1500	14.1	19.1	30.0	10.0
1600	12.6	18.4	29.5	9.8
1700	12.4	17.2	28.6	9.9

(Unit : %)

Table 5.11 The improvement percentage of shift time in initial speed
2500 rpm

drop level, rpm	Shift direction			
	F to R	N to F	N to R	R to F
100	13.9	0	-8.2	3.3
200	19.4	6.7	3.1	12.2
300	21.3	7.8	7.1	18.7
400	21.3	11.1	8.2	18.9
500	20.4	13.3	-3.1	16.7
600	22.2	14.4	5.1	17.8
700	22.2	7.8	4.1	17.8
800	23.1	8.9	3.1	16.7
900	21.3	3.3	4.1	14.4
1000	17.6	-3.3	4.1	14.4
1100	16.7	7.8	1.0	-22.2
1200	17.6	4.4	4.1	14.4
1300	16.0	-5.6	4.1	2.2
1400	15.0	1.1	6.1	1.1
1500	15.0	2.2	4.1	1.1
1600	16.0	-2.2	5.1	6.7
1700	14.0	-1.1	11.2	2.2

(Unit : %)

제 6 장 요약 및 결론

최근 농용트랙터의 편의를 위해 전후진 파워시프트 변속기가 장착된 트랙터의 수요가 증가하였으며, 이에 따라 변속성능 개선에 관한 요구도 지속적으로 증가하고 있다. 기존에는 유압프로파일을 통해 변속성능을 향상시켰으나, 전자식 엔진이 도입됨에 따라 입력속도 제어를 통해 변속성능을 개선시킬 수 있게 되었다. 그러나 전자식 엔진이 도입된 기간이 짧아 입력속도 제어를 통한 변속성능 개선에 관한 연구는 아직 미흡하다. 따라서 본 연구는 입력속도 제어를 통해 변속성능을 개선하고자 하였다.

이를 위하여 전후진 파워시프트 변속기가 장착된 농용 트랙터를 대상으로 해석모델을 만들고, 입력속도 제어를 하여 변속성능이 향상됨을 확인 하였다. 또한 전후진 파워시프트 변속기가 장착된 시험 장비를 제작하여 구동 시 변속성능의 향상 가능성을 살펴보았다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 전후진 파워시프트 변속기가 장착된 트랙터를 대상으로 해석모델을 개발하였다. 해석모델은 엔진, 클러치와 기어를 포함한 전후진 파워시프트 변속기, 피스톤, 댐핑 및 강성, 기어비, 비틀림댐핑계수, 마찰계수의 요소들로 구성되어 있으며 대상 트랙터의 제원을 이용하였다. 엔진의 관성량, 마찰판의 마찰계수 등과 같이 제원을 통해 얻을 수 없는 수치는 시행착오법으로 구하였다. 완성된 해석모델은 실차 실험 결과와 비교하여 차량을 이상적으로 모방하는 것을 검증하였다.
- 2) 대부분의 경우 입력속도 제어를 통한 변속성능의 개선 효과가 있었으나, 급작스러운 입력속도의 감소나 증가는 제어 전의 변속성능보다 좋지 않았다. 초기입력속도가 클수록 변속충격의 개선정도는 큰 경향이 있었으나 변속시간은 개선의 효과가 크지 않았다.

3) 전후진 파워시프트 변속기가 장착된 시험 장치에서도 입력속도 제어가 변속성능 개선에 영향을 미치는지 분석하였다. 오일유압이 변속기에 인가되었을 때 입력속도를 100 rpm 간격으로 감소시켜 최적의 입력속도 감소 수준을 도출하였다. 네 가지의 방향변속과 초기입력속도에 따라 최적 감소 수준은 모두 달랐으며, 초기입력속도에 따른 최적 입력속도감소비율의 관계는 다항식의 형태로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 김수철. 2010. 농업용 트랙터의 에너지 소비 효율 등급화. 서울대학교 대학원 석사학위논문
2. ASABE, 2011. Standard D497.7 Agricultural machinery management data. ASABE. St. Joseph MI 49085-9659. USA.
3. 농업기술실용화재단. 2011. LS엠트론 L7030 농업기계 변경검정 성적서.
4. Simulation X. ITI, Italy. Spring-Damper-Backlash. Damping of anelement equation.
5. Mara Tanelli, Giulio Panzni, Sergio M. Savaresi and Carlo Pirola. 2011. Transmission control for power shift agricultural tractors : Design and end-of-line automatic tuning. Mechatronics 21: pp285-297.
6. Magnus Pettersson and Lars Nielsen. 2000. Gear shifting by engine control. IEEE transactions on control systems technology 8(3)
7. Zaimin Zhong, Qiang Lv and Guoling Kong. 2012. Engine Speed Control For The Automatic Manual Transmission During Shift Process. Consumer Electronics, Communication and Networks(CECNet) 2nd international conference 1014-1017
8. Paul D. Walker, Nong Zhang and Richard Tamba. 2011. Control of gear shifts in dual clutch transmission powertrains. Mechanical Systems and Signal Processing 25:1923-1936
9. Bingzhao Gao, Hong Chen and Kazushi Sanada. 2009. Clutch Slip Control of Automatic Transmission Using Backstepping Technique. ICROS-SICA International Joint Conference 3015-3019

10. Kyung-Jinn Yang, Keum-Shik Hong and Dong-il Cho. 2001. A robust control for engine and transmission systems : enhancement of shift quality. JSME International Journal 44(3):697-707

부 록 A. 트랙터 실차 실험 데이터

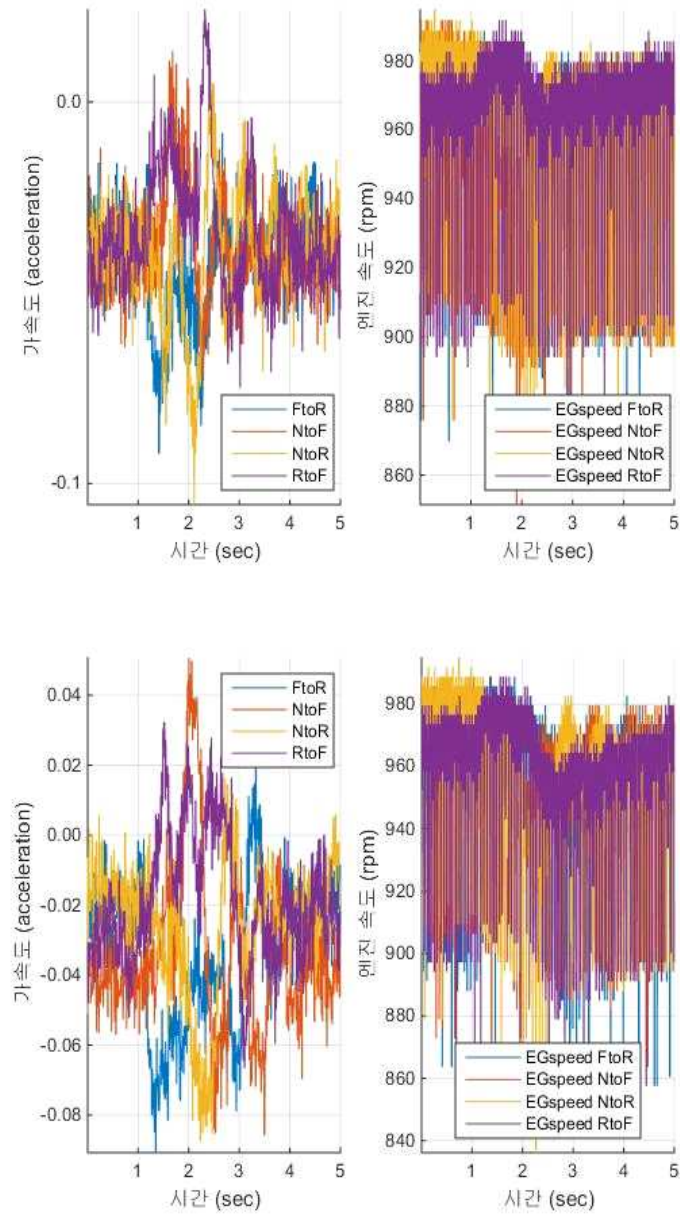


Fig. A.1 Initial speed 1000 rpm, Oil temperature 30°C, and Gear step L1, L3.

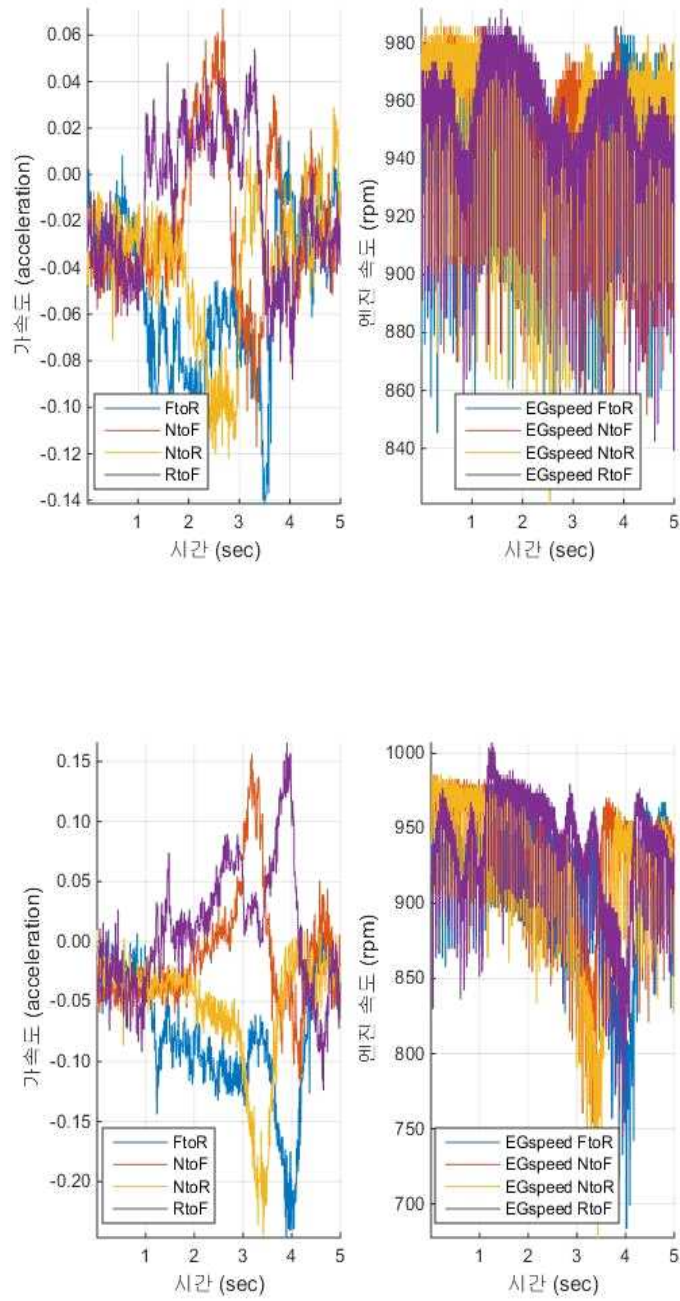


Fig. A.2 Initial speed 1000 rpm, Oil temperature 30°C, and Gear step M2, M4.

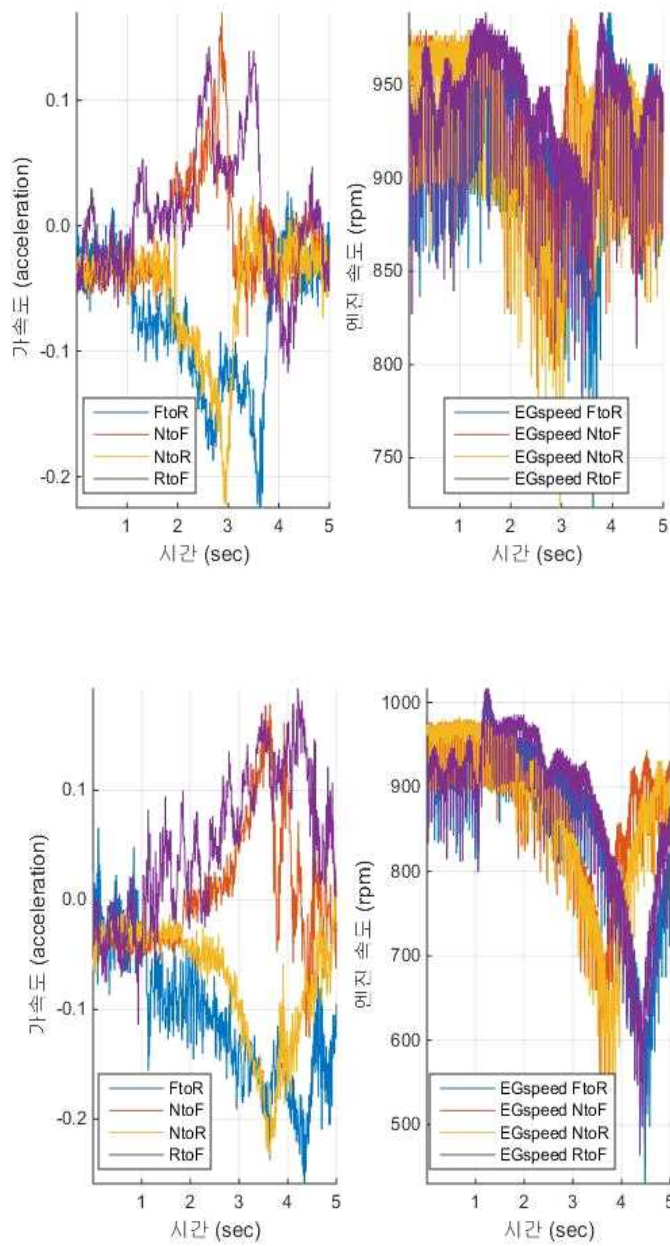


Fig. A.3 Initial speed 1000 rpm, Oil temperature 30°C, and Gear step H1, H3.

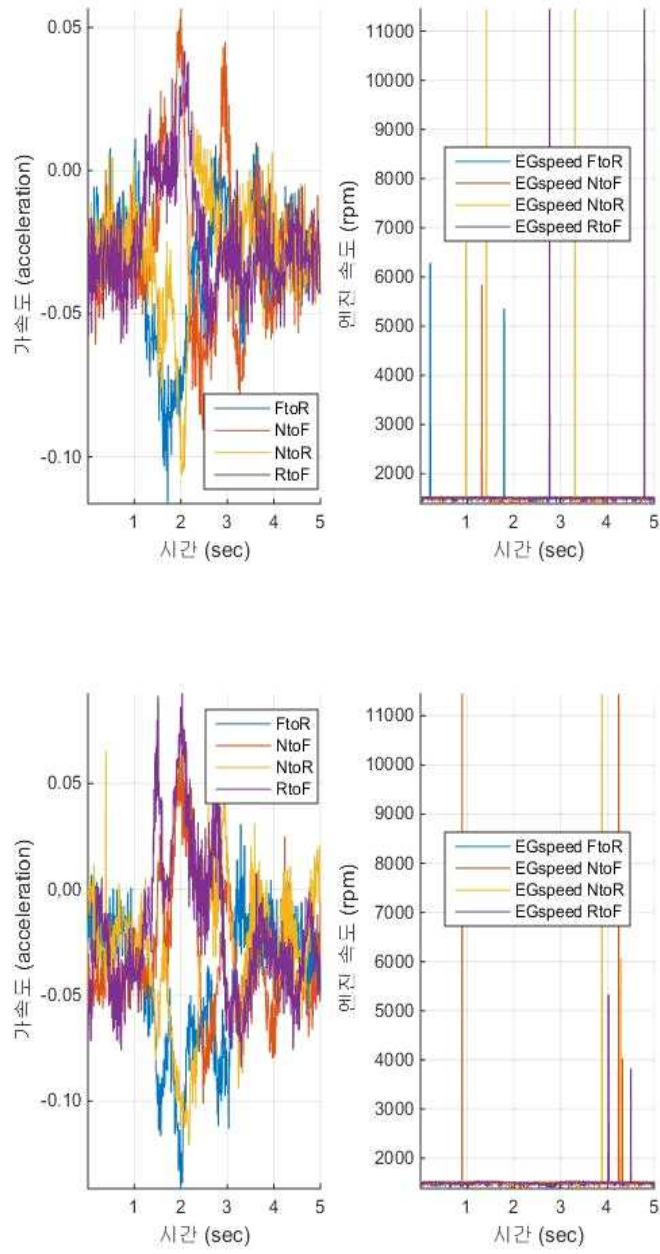


Fig. A.4 Initial speed 1500 rpm, Oil temperature 30°C, and Gear step L1, L3.

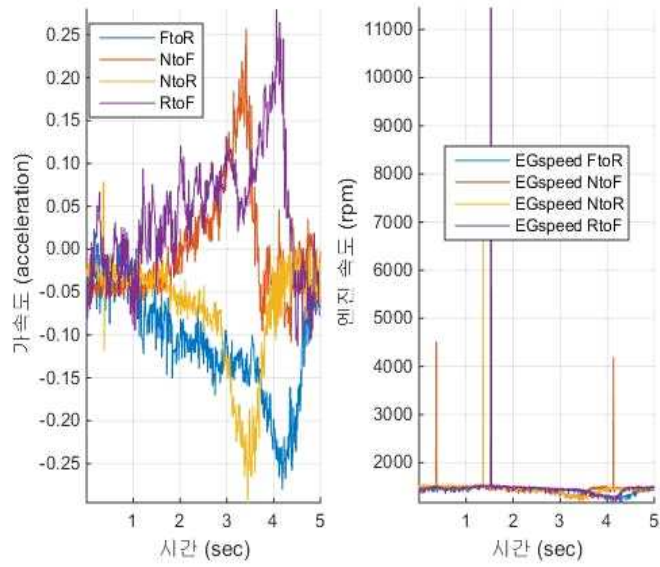
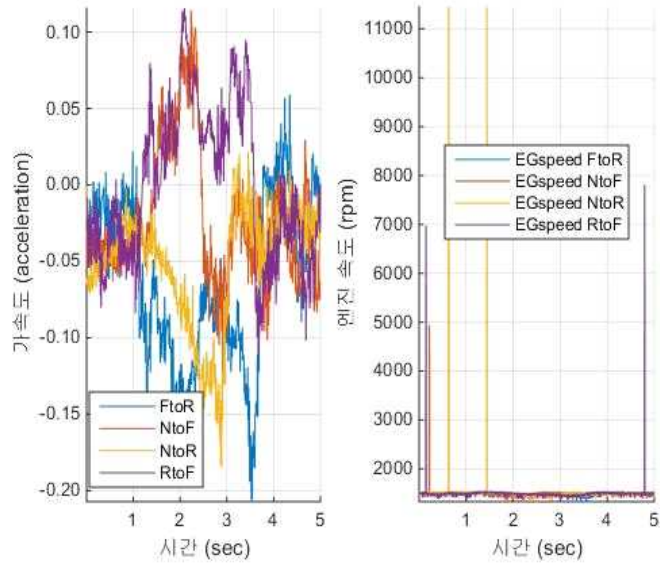


Fig. A.5 Initial speed 1500 rpm, Oil temperature 30°C, and Gear step M2, M4.

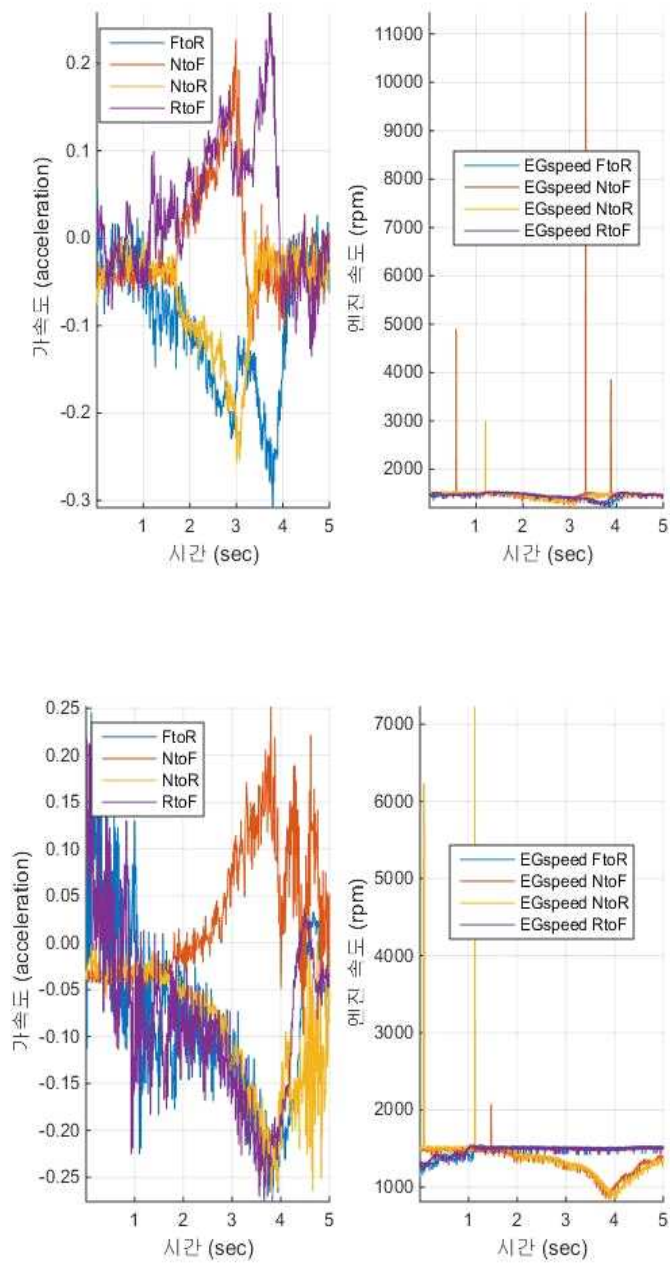


Fig. A.6 Initial speed 1500 rpm, Oil temperature 30°C, and Gear step H1, H3.

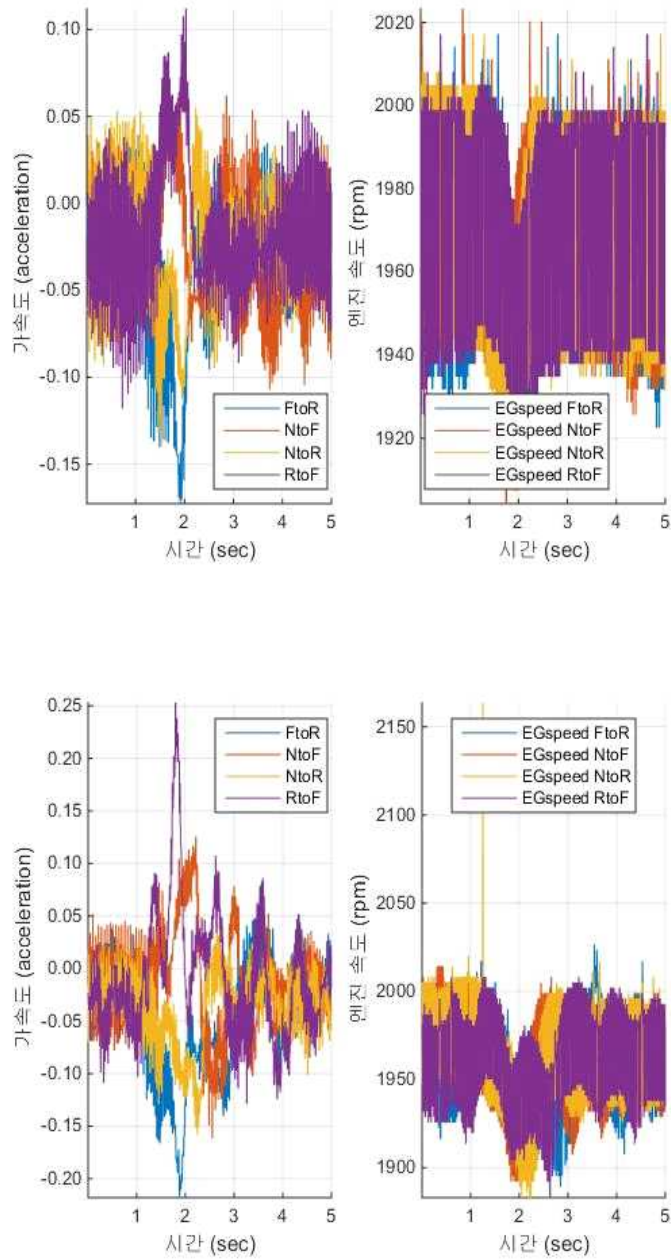


Fig. A.7 Initial speed 2000 rpm, Oil temperature 30°C, and Gear step L1, L3.

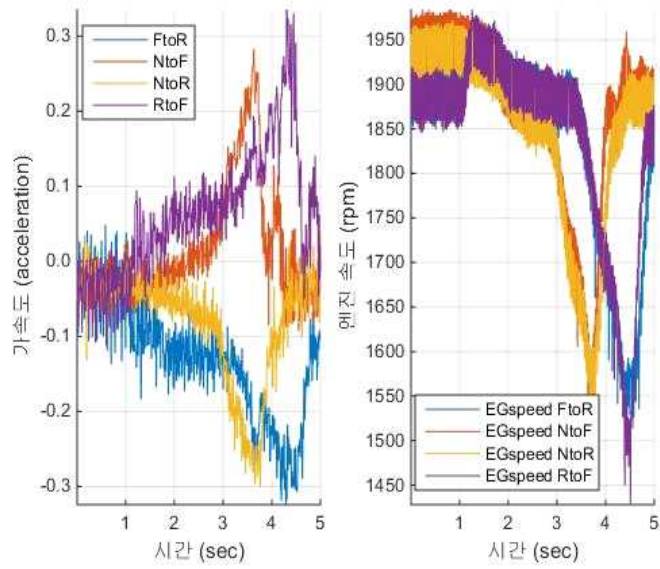
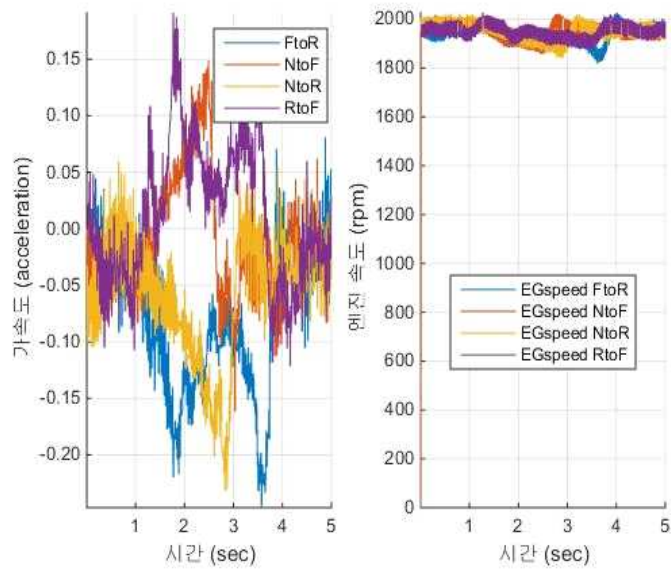


Fig. A.8 Initial speed 2000 rpm, Oil temperature 30°C, and Gear step M2, M4.

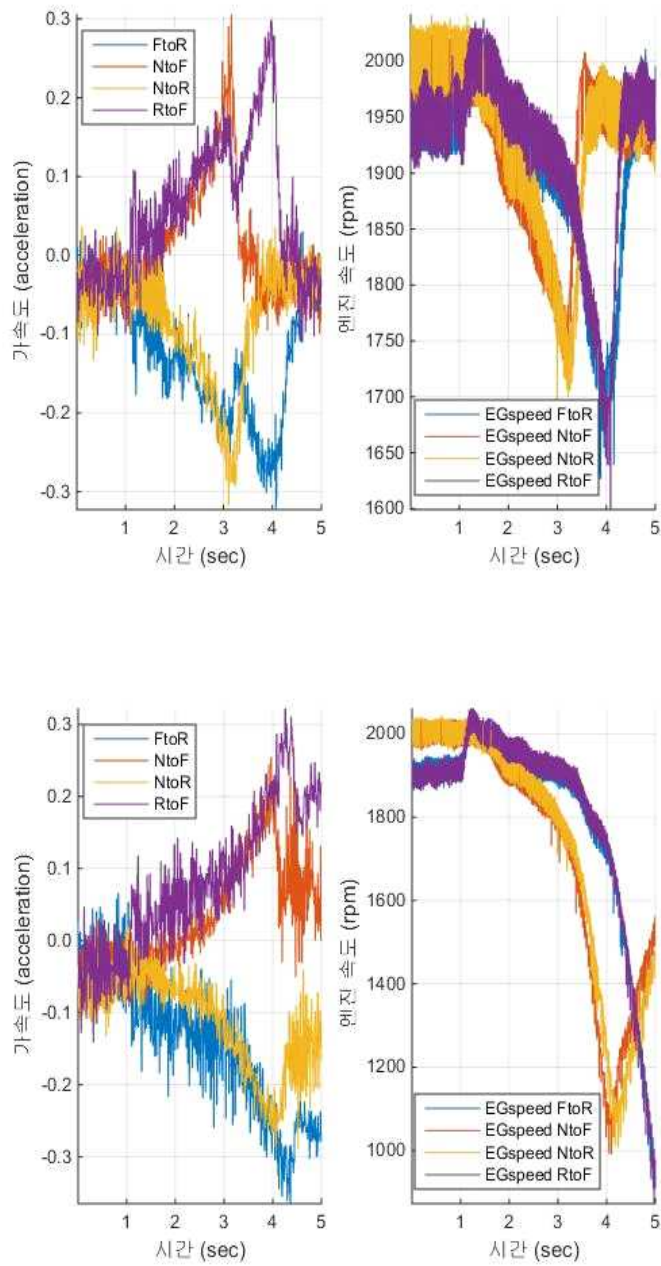


Fig. A.9 Initial speed 2000 rpm, Oil temperature 30°C, and Gear step H1, H3.

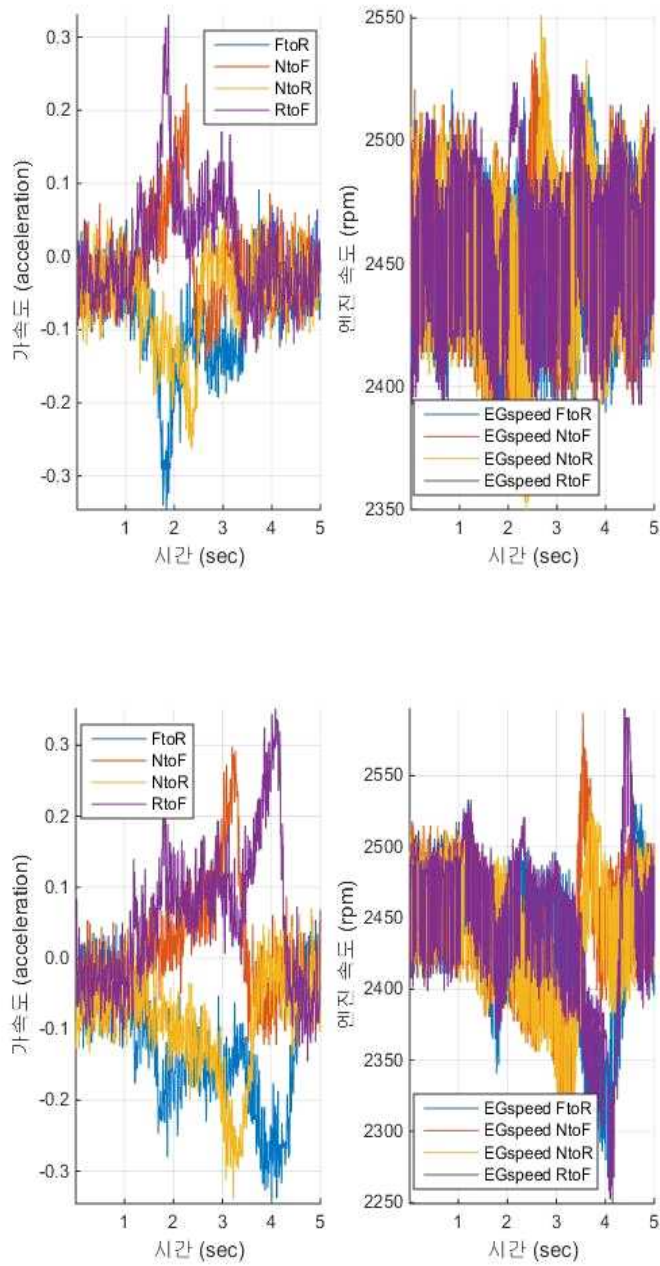


Fig. A.10 Initial speed 2500 rpm, Oil temperature 30°C, and Gear step L1, L3.

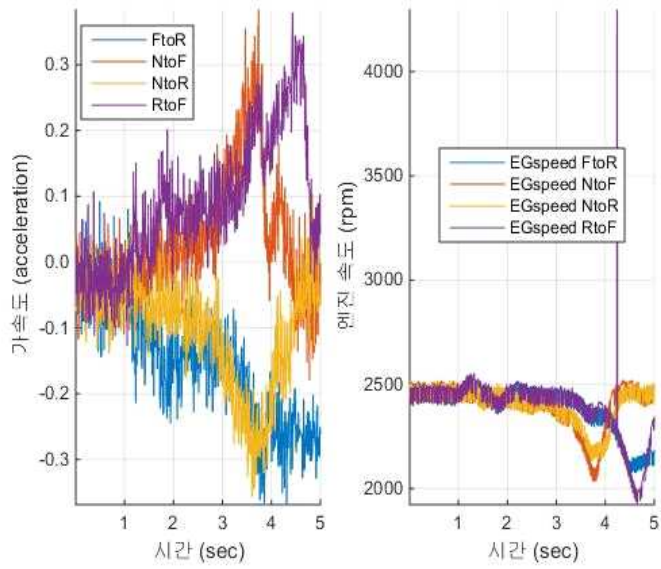
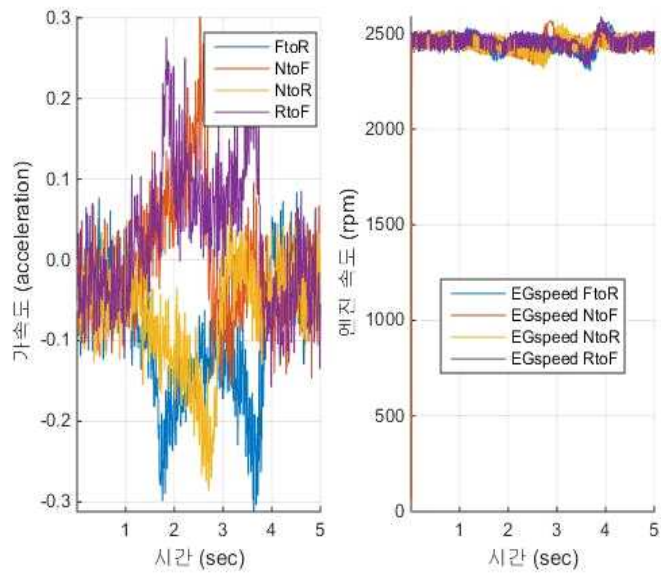


Fig. A.11 Initial speed 2500 rpm, Oil temperature 30°C, and Gear step M2, M4.

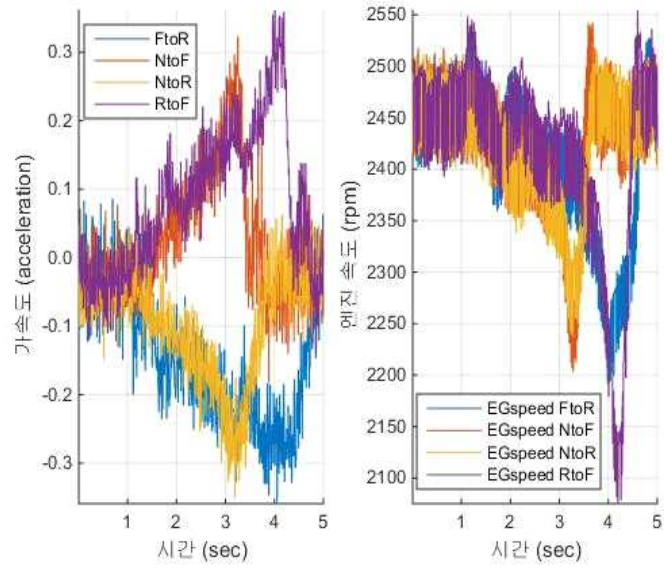


Fig. A.12 Initial speed 2500 rpm, Oil temperature 30°C, and Gear step H1.

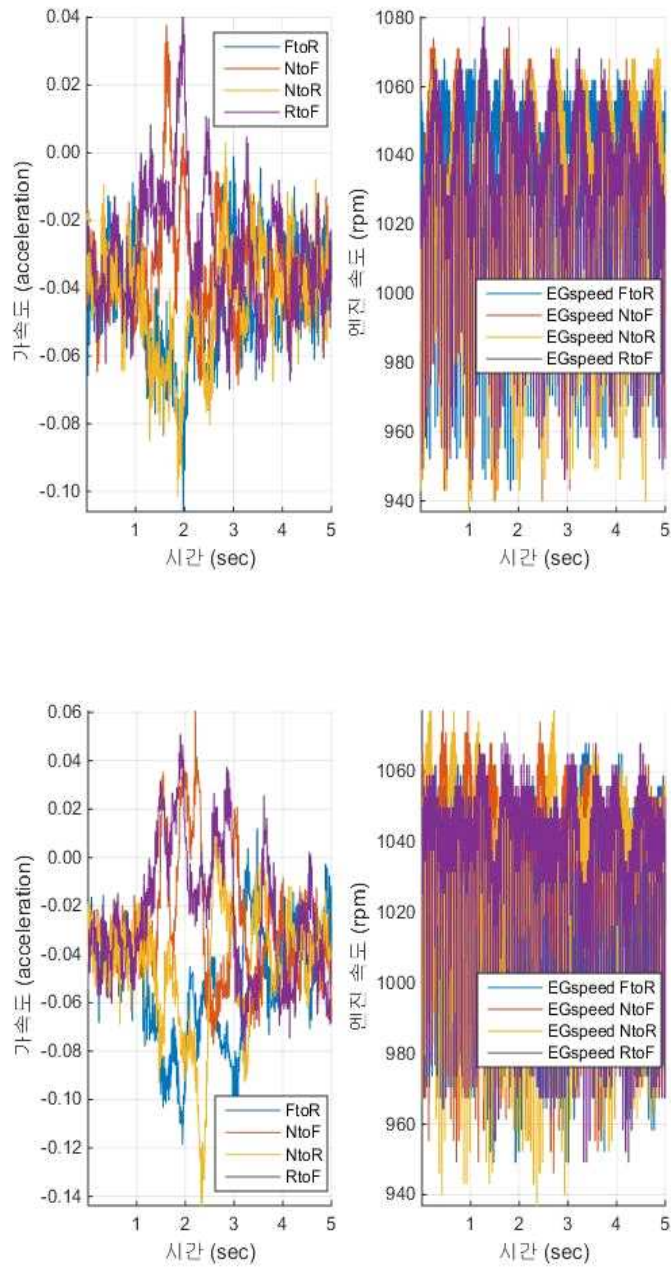


Fig. A.13 Initial speed 1000 rpm, Oil temperature 80°C, and Gear step L1, L3.

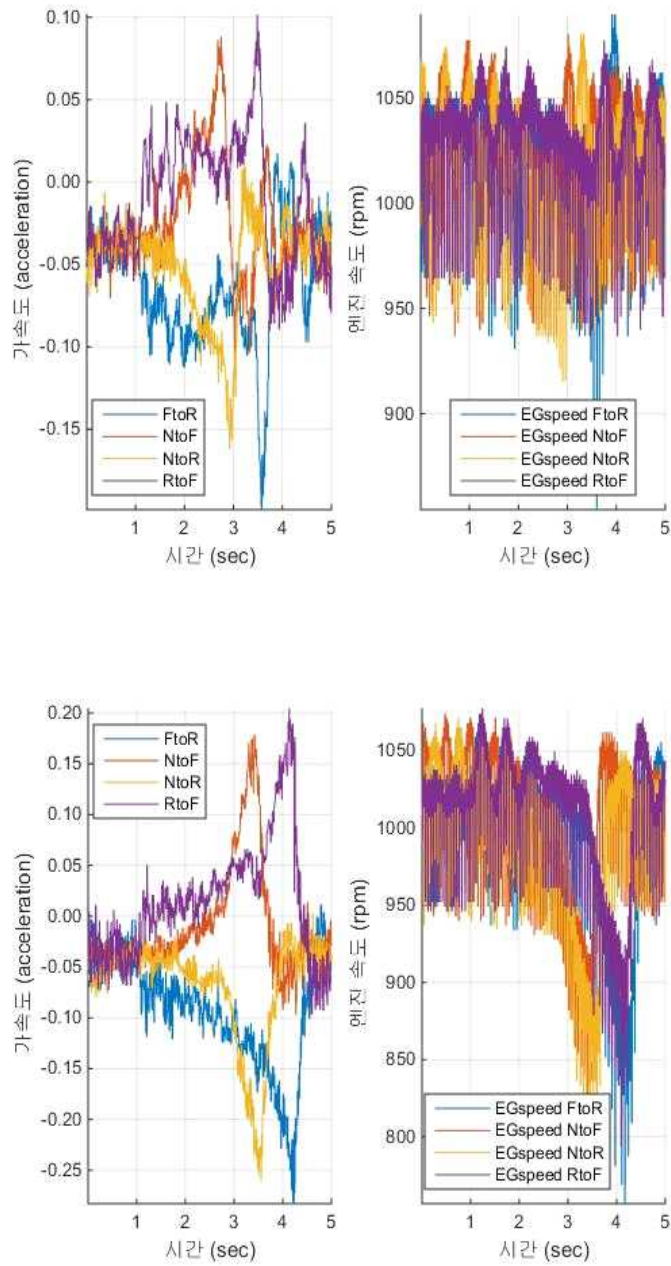


Fig. A.14 Initial speed 1000 rpm, Oil temperature 80°C, and Gear step M2, M4.

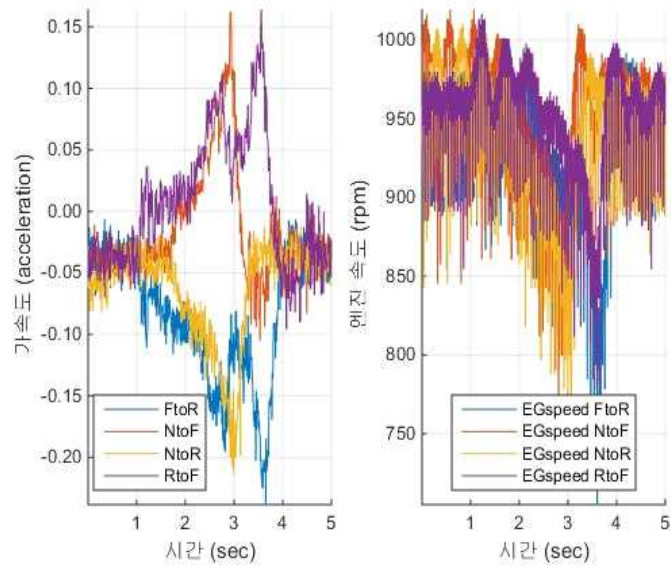


Fig. A.15 Initial speed 1000 rpm, Oil temperature 80°C, and Gear step H1.

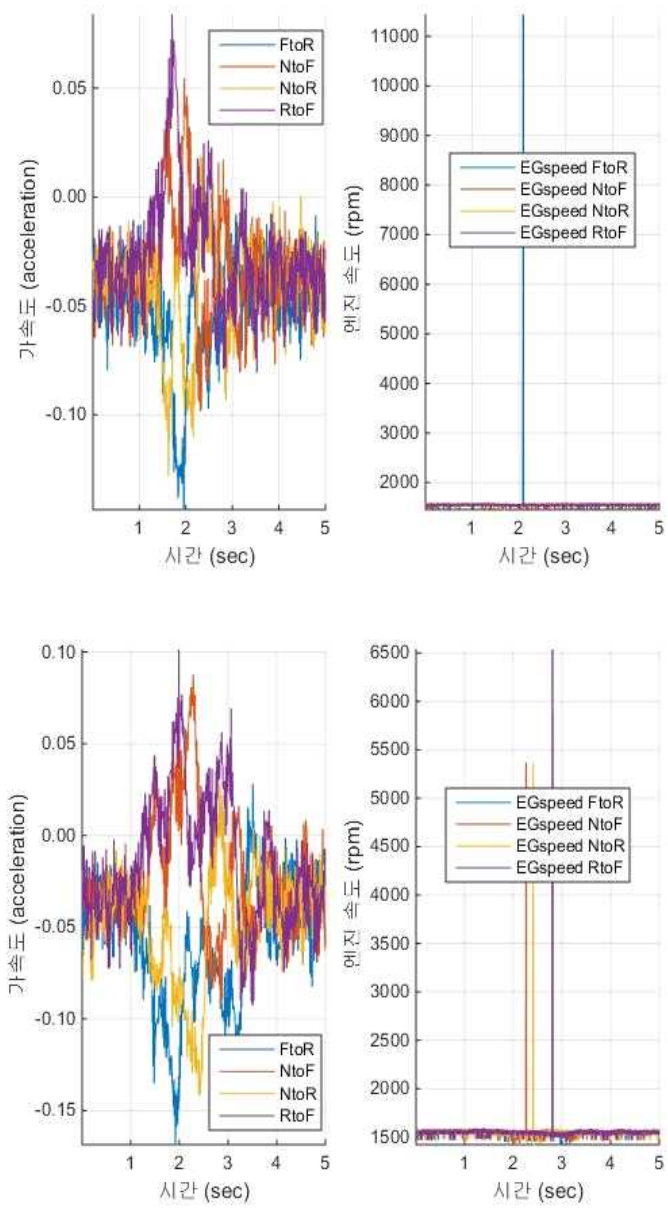


Fig. A.16 Initial speed 1500 rpm, Oil temperature 80°C, and Gear step L1, L3.

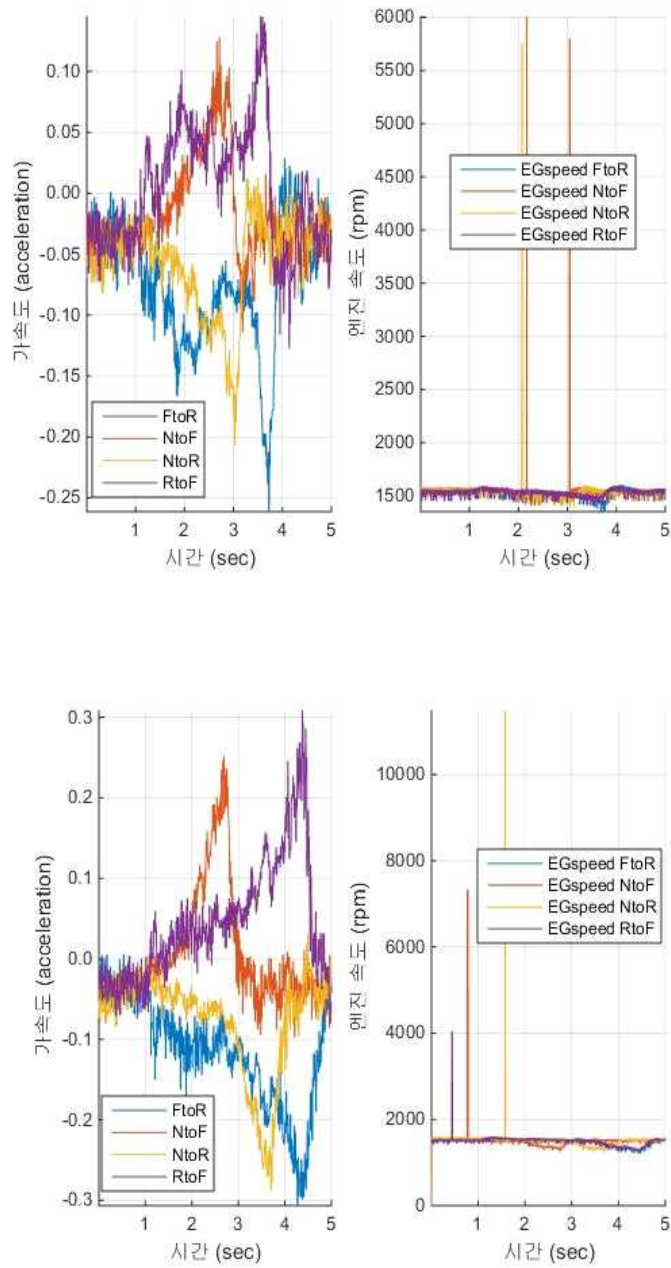


Fig. A.17 Initial speed 1500 rpm, Oil temperature 80°C, and Gear step M2, M4.

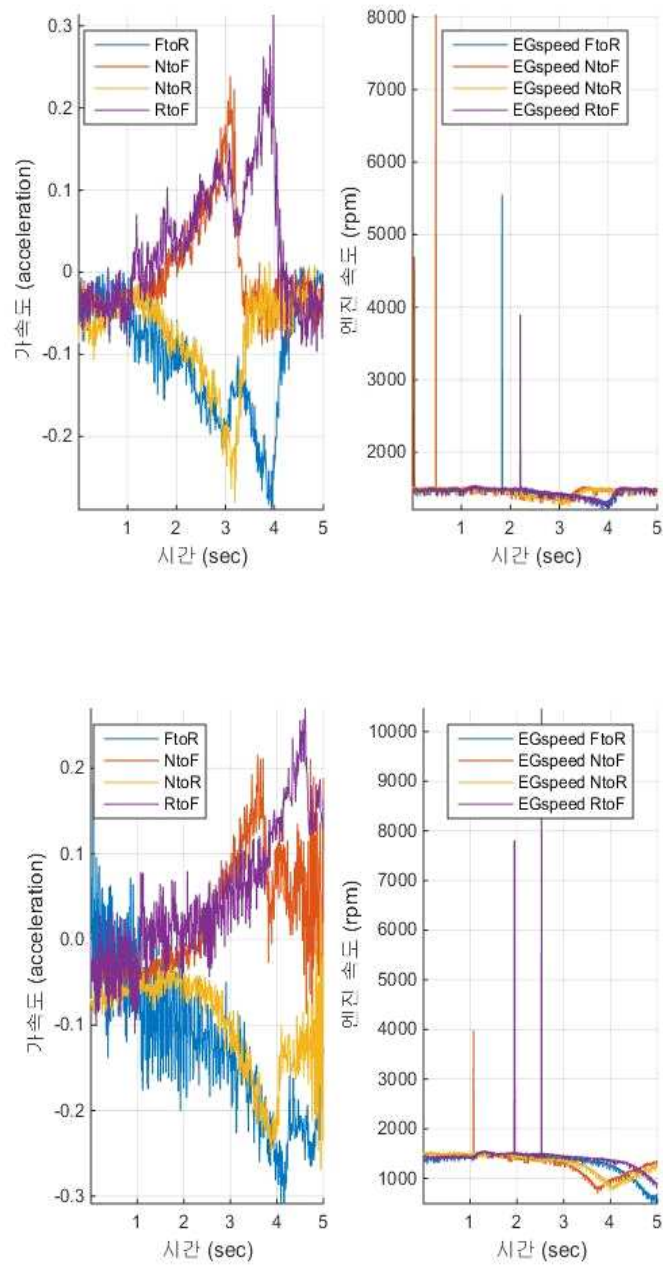


Fig. A.18 Initial speed 1500 rpm, Oil temperature 80°C, and Gear step H1, H3.

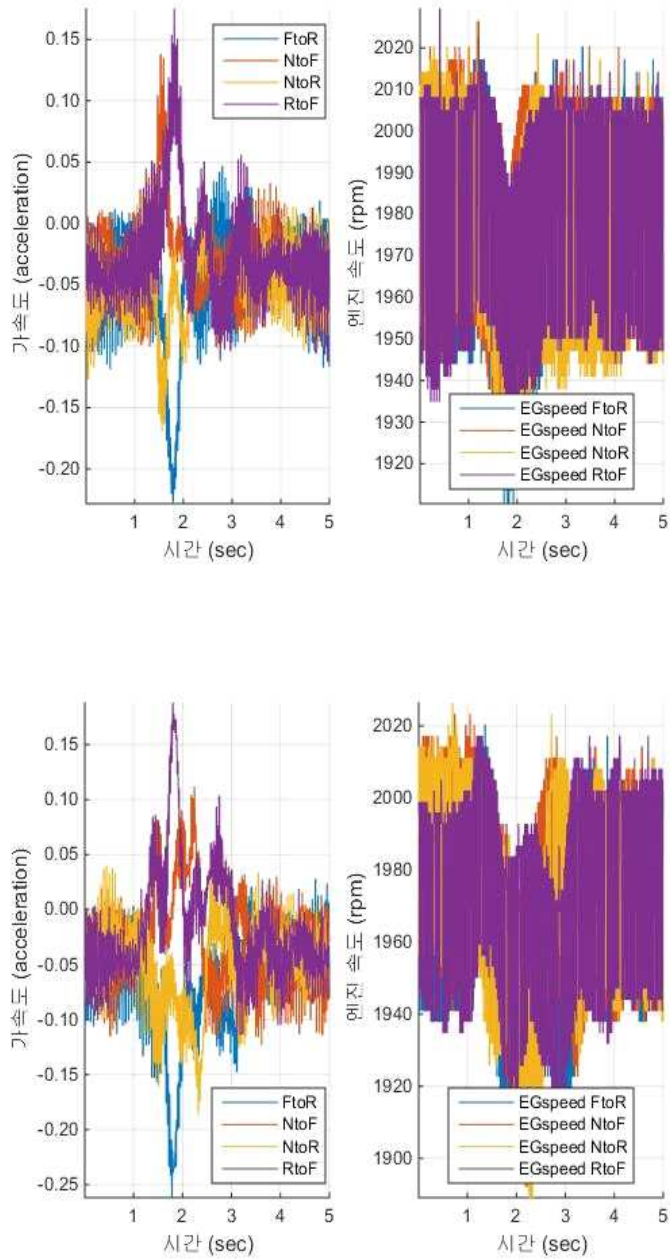


Fig. A.19 Initial speed 2000 rpm, Oil temperature 80°C, and Gear step L1, L3.

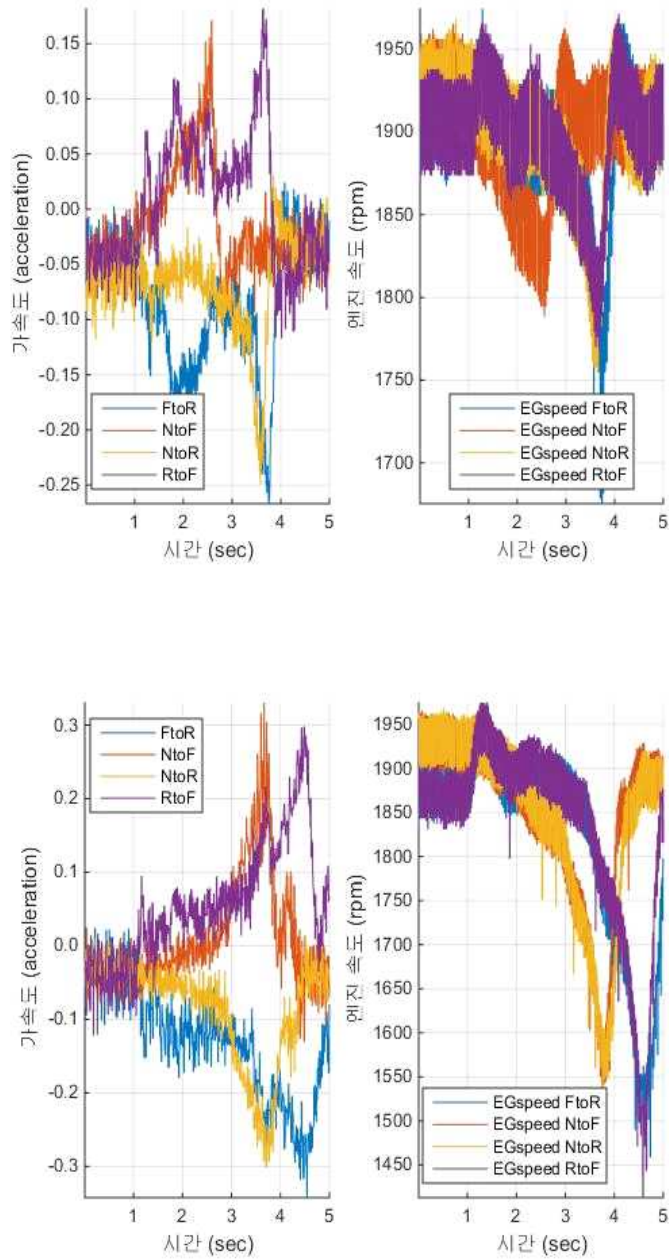


Fig. A.20 Initial speed 2000 rpm, Oil temperature 80°C, and Gear step M2, M4.

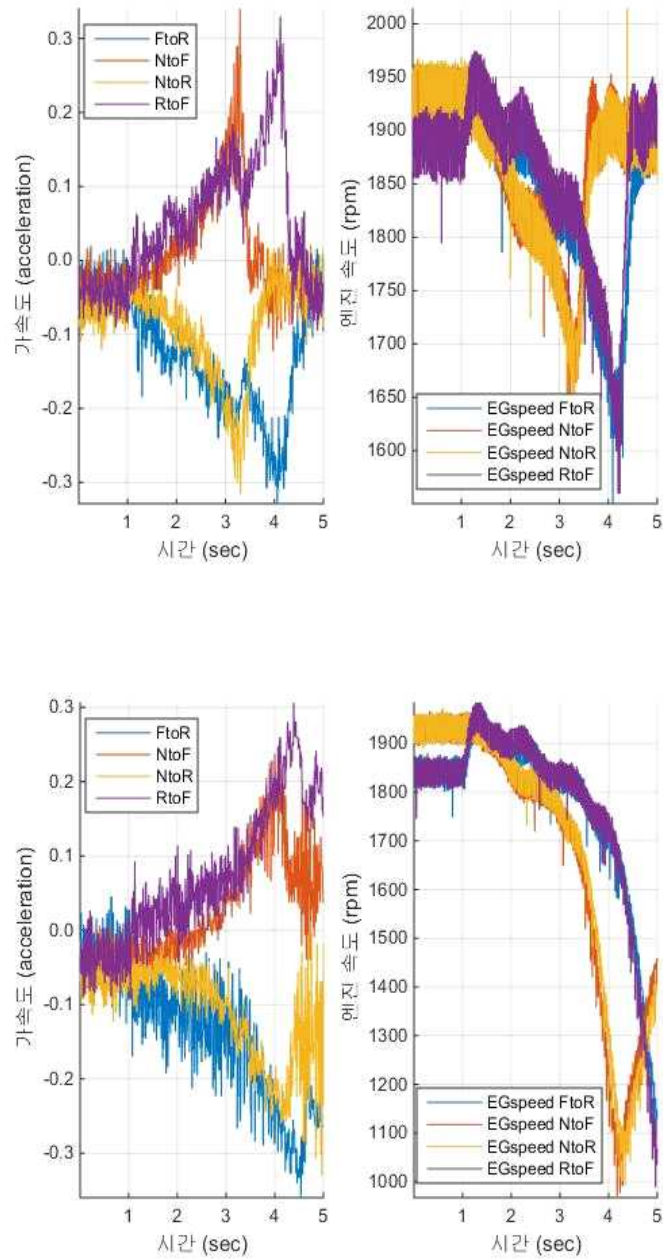


Fig. A.21 Initial speed 2000 rpm, Oil temperature 80°C, and Gear step H1, H3.

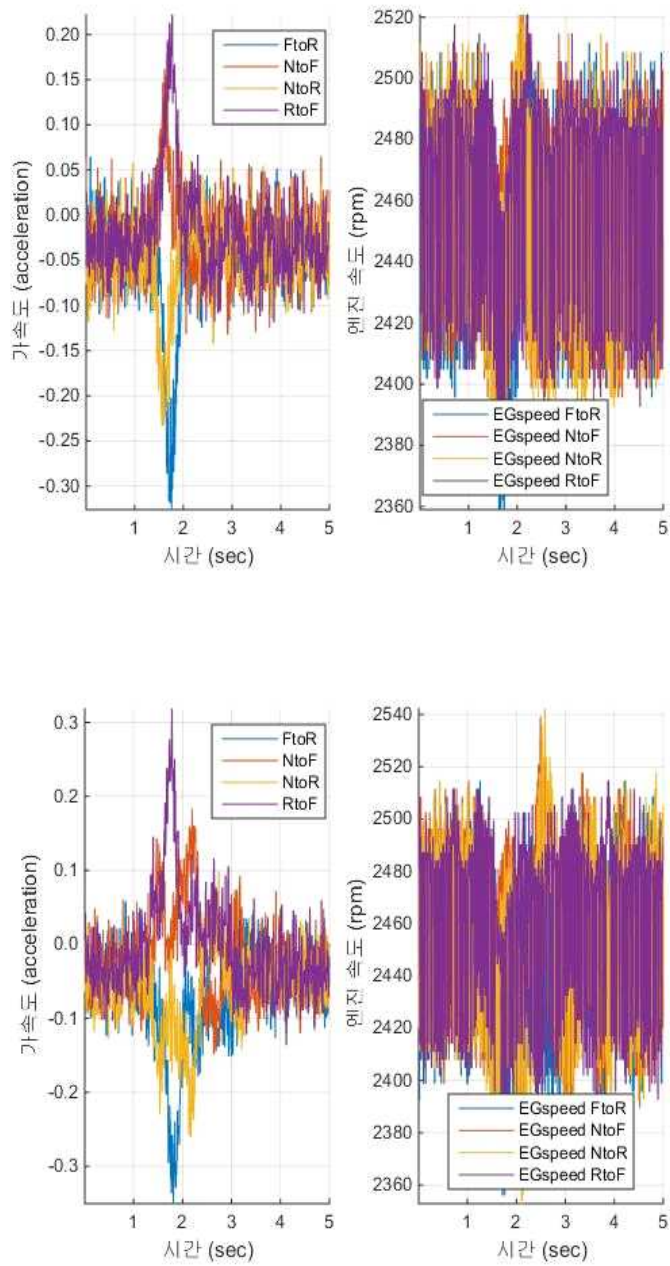


Fig. A.22 Initial speed 2500 rpm, Oil temperature 80°C, and Gear step L1, L3.

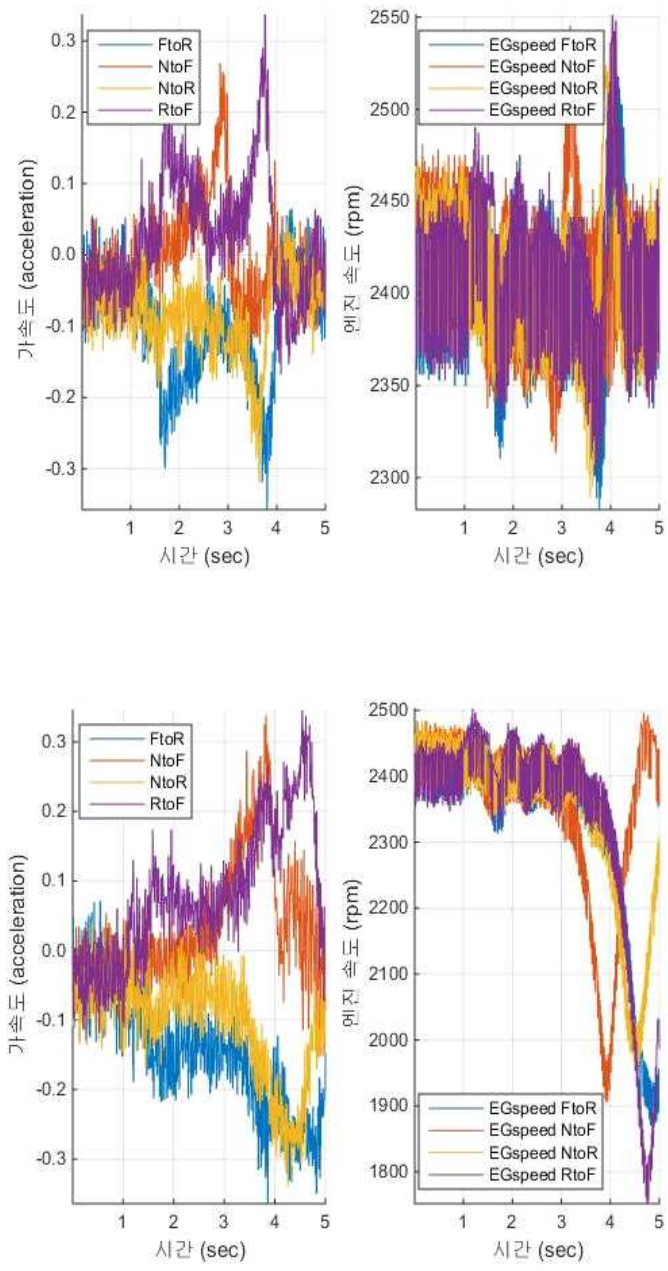


Fig. A.23 Initial speed 2500 rpm, Oil temperature 80°C, and Gear step M2, M4.

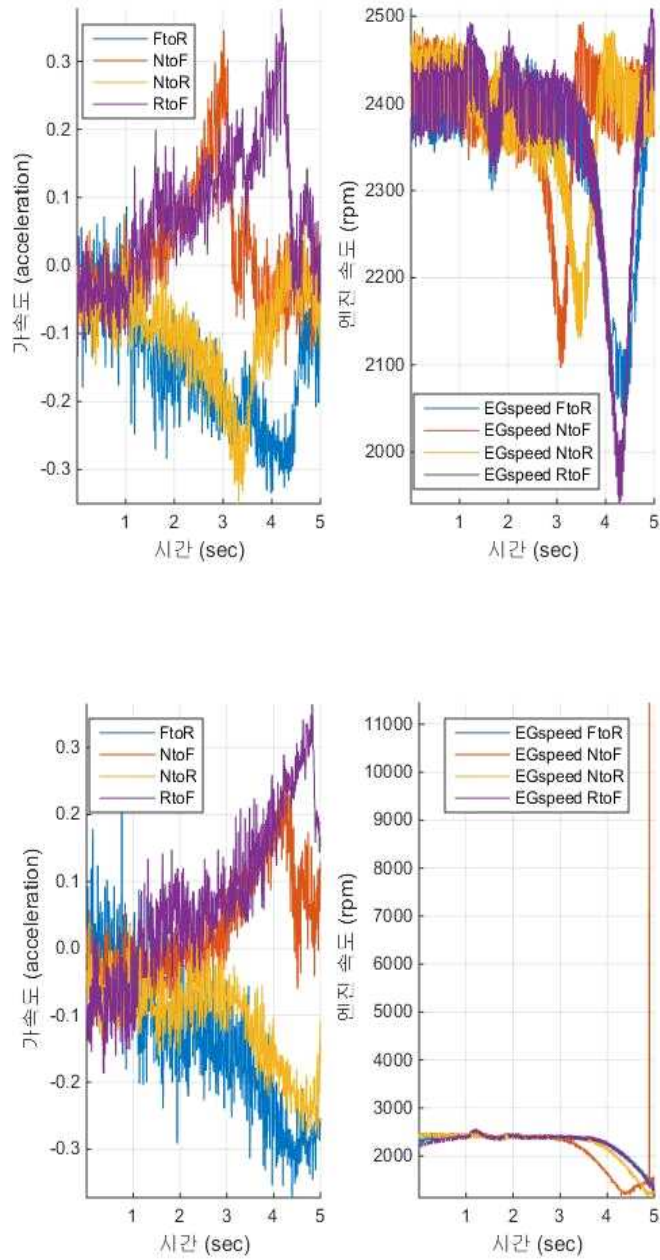


Fig. A.24 Initial speed 2500 rpm, Oil temperature 80°C, and Gear step H1, H3.

Abstract

Improvement of Shift Quality of Power Shuttle Transmission by controlling Input Speed

Wonsun Hong

Biosystems engineering

The Graduate School

Seoul National University

The demand of power shuttle transmission is gradually increasing since the operating and drive-line efficiency. However, Study on power shuttle transmission is low and research on shift quality of power shuttle transmission is rare. In this study, for this reason, improvement of shift shock and shift quality has been complemented. The results of this study are summarized as follows.

An simulation model was developed through practical testing of a tractor and shift quality was enhanced by controlling input speed. The simulation model is consisted of several components as engine, clutch and piston of power shuttle transmission, gears and drive-line elements. The tractor specifications were used for developing the model. Engine rpm and oil pressure were used as a input variable for the simulation model. The developed simulation model was verified by comparison with field test data.

The reason why the simulated results could not follow the measured results accurately was because the simulation model could not construct the exact environment of the practical testing.

Shift quality index were developed to compare the controlled and non-controlled results. Shift shock was defined as the acceleration change in for and after direction, Shift time was defined as from the time the oil pressure begins to the synchronization of the input speed and driven shaft of the transmission.

Throttle position signal was modified to control the input speed. When the oil pressure rise the Throttle position signal was decreased to improve the shift quality. In most cases, shift shock and shift time were enhanced. However, The enhanced rate of shift shock were higher than shift time. Also, when the throttle position signal was dropped significantly such as more than 50% comparing the initial rpm, shift quality was poor since overshoot and shift shock appears.

Bench tester was developed to find out whether shift quality improves in actual power shuttle transmission through controlling input speed. The tester contains hydraulic part, testing part and control part. Oil pressure and input speed were controlled by proportional control valve and servo motor respectively by control part. The oil pressure profile were modified to adapt it adequately to the bench tester. The input speed was controlled on the basis of the modified oil pressure profile. The interaction formula between drop level of the input speed and shift quality was concluded by the bench tester.

keywords : Power shuttle transmission, Shift quality, Input speed control, Simulation model

Student Number : 2014-20058