

# 지게차용 동력전달장치의 조립라인 전용시험기 개발

장경열<sup>1</sup> · 유우식<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>우영유압(주) 기술연구소 / <sup>2</sup>인천대학교 산업경영공학과

## Development of the Assembly Line Tester of Power Transmission for Lift Truck

Kyoungyeol Jang<sup>1</sup> · Woosik Yoo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>R&D Center, Wooyoung Hydraulics Corporation

<sup>2</sup>Department of Industrial and Management Engineering, University of Incheon

The purpose of this paper is to present the development processes of the assembly line tester of power transmission for lift truck. Because power transmission is most important part of lift truck, all assembled powertrain parts must be inspected for operational defects, pressures and RPM.

Developed assembly line tester is designed to take about 25 minutes for inspecting each assembled power transmission and located it at the end of assembled line. The assembly line no-load tester consists of three parts: (1) the driving hardware part; for installing and operating the transmission. (2) control PCB part; send data from sensors to a computer and control driving part, (3) operation software of no-load tester; for an automatic inspection or manual inspection, for database management and printing transcripts.

**Keyword:** assembly line tester, lift truck, power transmission system, power shift drive axle

### 1. 서론

차량의 동력전달장치는 원동기의 동력을 차량에 쓰이는 구동력으로 전환시켜주는 장치이다(Song *et al.*, 1997). 이런 동력전달장치의 양산 적용여부는 차량 제작 후 실차 내구시험을 시행 후에 결정된다(Joh *et al.*, 1997). 실차 내구시험에는 여러 가지 부하를 주고, 오랜 시간 동안 다양한 조건하에서 시험을 진행할 수 있는 부하시험기를 사용하고 있다. 이때 동력전달장치 부품의 이상 마멸에 의한 손상 상태를 점검하기 위하여 가혹한 시험조건에서 시험을 진행하며, 시험 후에는 분해하여 손상 상태를 분석한다(Park *et al.*, 2005).

내구성 시험 및 차량 실차 시험을 통해서 제품의 신뢰성, 경제성, 제품 경쟁력이 확보되면 비로소 양산에 들어가게 된다. 지게차에 사용되는 동력전달장치의 경우에도 일반 차량과 동

일하며, 각 부품들은 일련의 조립과정을 거쳐서 제품이 완성된다. 지게차의 중요 부품인 동력전달장치의 전수검사는 구동 중에 발생할 수 있는 여러 고장의 원인 중에서 조립불량으로 인한 누유, 소음, 진동에 따른 정상적인 작동이 불가능한 요인을 제거하여 양산제품의 신뢰성과 안정성을 높이기 때문에 매우 중요하다. 따라서 동력전달장치의 각 부품이 정상적으로 동작하는지 확인하고, 동력전달장치의 성능이 설계대로 동작하는지를 판별하여 적합, 부적합 판정을 할 수 있는 검사장비가 필요하다.

국내의 부품업체, 자동차 제조업체에서 보유하고 있는 다이노 시험기는 고가로 외국에서 제작된 것이 많으며 전수검사를 하기에는 시험장비의 내구성 문제가 발생하게 된다. 또한 생산되는 제품의 검사를 하기 위해서는 지그장치와 센서, 구동방법이 상이하야 별도로 주문, 제작을 하여야 하기 때문에

\*연락처 : 유우식 교수, 406-772 인천시 연수구 송도동12-1 인천대학교 산업경영공학과, Fax : 032-835-0777, E-mail : wsyoo@incheon.ac.kr  
투고일(2009년 10월 05일), 심사일(1차 : 2009년 11월 14), 게재확정일(2010년 01월 15일).

시간적, 비용적, 사후관리 측면에서 효율적이지 못하다.

특히 내구성 검사장비는 장시간시험, 제품의 빈번한 탈부착으로 장비에 무리가 가기 때문에 설치하기 쉬운 커플링과 지그가 필요하다. 그러나 다양한 규격의 제품에 맞추어 제작, 관리할 수 있는 업체가 많지 않을 뿐만 아니라 유지 관리가 어렵다.

따라서 본 논문에서는 지게차의 동력전달장치를 조립 한 후에 최종적으로 검사하여 제품의 기능을 점검하는 전용시험기 개발에 대해서 설명하고자 한다. 제 2장에서는 조립라인 전용시험기의 구성에 대해서 정리하였고, 제 3장에서는 전용시험기의 계측 항목을 선정하고 계측되는 데이터로 제품의 이상 유무에 대해서 판정할 수 있는 근거에 대해서 설명하였다. 제 4장에서는 전용시험기의 제작 및 검증에 대한 내용을 정리하였고 제 5장에서는 결론 및 향후 과제에 대해서 제시하였다.

## 2. 조립라인 전용시험기의 구성

본 연구에서는 중대형 상용차량, 농기계, 건설 중장비, 특장차, 군 기동장비 등에 적용 가능한 동력전달장치의 무부하 양산 시험기 개발을 목표로 하였다. 본 연구에서는 W사에서 개발한 변속기가 액슬에 내장된 지게차용 동력전달장치(PSD Axle)를 대상으로 진행하였다(Jang *et al.*, 2007; Jang *et al.*, 2009).

조립라인 전용시험기는 무부하 상태에서 점검이 이루어진다. 무부하 작동시험은 작동상태에서 있어서 기계적인 이상음, 누유 상황, 제품의 각 기능에 대한 작동 상황을 시험하기 위한 것이다(Kim *et al.*, 1998). 전용시험기의 제작은 세 가지 분야로 나누어 개발이 진행되었다. 첫째, 기계 구동부는 제품을 장착할 수 있는 지그장치와 구동장치 및 유압유 순환장치이며 둘째, 제어부는 각 구동조건(RPM) 환경으로 제어할 수 있는 속도 제어와 각 유압라인에 발생하는 압력측정을 위한 아날로그 측정 장치, 부하를 제어하는 입출력 제어 장치, 컴퓨터와 데이터 교환을 위한 인터페이스 장치, 컴퓨터와 하드웨어에 관련한 제어를 하기 위한 펌웨어가 내장된 PCB 보드로 구성된다. 셋째는 인터페이스를 통해 컴퓨터와 정보를 주고받기 위한 구동 소프트웨어로서 동력전달장치에서 계측된 시험데이터를 컴퓨터의 데이터베이스에 저장하는 프로그램, 시험기 모니터링을 위한 휴먼 머신 인터페이스(HMI, Human Machine Interface) 프로그램, 자료를 저장하고 기존자료와 분석하여 제품의 결함 요인을 발견할 수 있는 응용프로그램과 성적서 프로그램으로 나누어진다.

### 2.1 조립라인 전용시험기의 구성 및 사양

조립라인 전용시험기는 지게차용 동력전달장치에 대하여 적합판정을 내리기 위한 장치로 다음과 같은 조건을 충족시켜야 한다.

- 조립 라인 1일 32대(8,000대/년) 시험 수행

- 8시간 작업시간 기준 25분에 1대 시험 및 탈부착 수행 완료
- 동력전달장치 기능부 작동 상태 확인
  - 전진/후진/자동 파킹장치/제동장치/미끄럼 방지장치 오작동 여부
- 유압 작동상태 확인
  - 모듈레이션/토크컨버터/유탄라인/파킹라인/서비스브레이크 라인 압력 확인
- 누유 및 소음 상태 확인
- 제품 내부 이물질 제거
- 제품 기본 성능 확인
  - 최고 속도/토크컨버터 20% 스톱

### 2.2 기계 구동부

기계 구동부는 제품을 장착, 구동시켜 시험을 진행하기 위해 필요한 것으로 기계 구동부를 구성하기 위해서 다음과 같은 작업을 진행하였다.

- 직류 모터와 제품 축을 연결하기 위한 커플링 및 지그제작과 각 구동부의 부하를 측정할 수 있도록 유압구조물(펌프, 냉각 및 히팅 시스템, 필터, 게이지, 유압라인, 오일회수 시스템) 설계 및 제작
- 전/후진 솔레노이드 제어를 위한 디지털 출력, 유압상태를 점검할 수 있는 온도센서, 유압을 측정하기 위한 다이얼게이지, 유압센서를 통해 육안검사, 전자신호정보를 동시에 측정할 수 있도록 설계
- 유압장치와 구동장치의 전원공급 패널 설계
- 구동장치와 검사제품의 연결하기 위한 커플링과 샤프트, 지그 설계 및 가공
- 베드(메인 프레임)와 유압블럭 설계 및 가공

기계 구동부의 구성은 <그림 1>과 같이 구성되어 있다. 제품인 동력전달장치를 구동시키기 위해서 메인 구동모터와 액슬을 고정시키는 액슬 어셈블리 지그부, 토크 컨버터를 잡아주는 토크컨버터 어셈블리 지그부, 오일 필터, 유압탱크부, 유압, 회전수 측정 센서부, 제동 장치부 등으로 구성되어 있다.

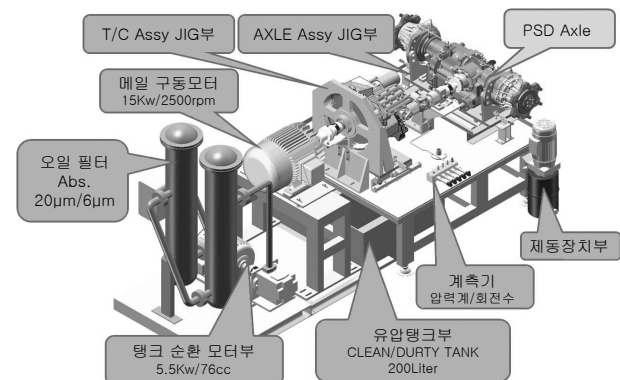


그림 1. 기계 구동부의 구성

### 2.3 제어부 구성

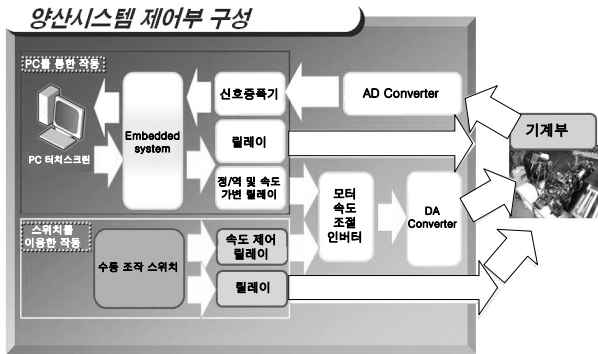


그림 2. 제어부 시스템 구성도

제어부는 기계구동부가 구동할 때 필요한 제어장치와 구동 변화에 따른 각종 데이터를 획득하여 처리하는 장치로 <그림 2>와 같이 구성되어 있다.

- 검사 장비를 구동하기 위한 속도제어를 수/자동을 통한 속도 가변, 릴레이에 의한 설정속도 제어 및 동력축과 동력전달 장치의 샤프트의 회전속도를 읽을 수 있는 펄스카운터(근접센서) 신호를 통해 시험조건을 제어하는 제어모듈 제작
- 구동 중에 각 구동장치의 부하량을 측정하기 위해, 유압라인에 장착된 압력센서를 통한 신호처리(A/D converter)모듈 제작
- 압력센서 신호처리는 아날로그디바이스사의 8ch 16bit의 분해능을 가진 AD7143과 로패스 필터와 증폭기(Op-amp) 설계
- 각 단계별로 검사를 진행하기 위해 포토커플러와 릴레이(1A1a)를 통해 솔레노이드 접점신호와 제어를 할 수 있는 디지털 입출력 모듈 설계
- 각 모듈의 신호를 컴퓨터에 전달하고, 작업자의 조작 정보를 컴퓨터에서 각 제어 모듈에 전달하여 기계 구동부를 제어하는 임베디드 시스템 설계
- 각 모듈의 신호를 컴퓨터에 전달하고, 컴퓨터에서 제어하는 신호를 각 모듈에 전달하기 위한 Atmega128을 통한 AVR 마이크로프로세서 임베디드 시스템 회로기판 제작 및 펌웨어 설계

### 2.4 구동 소프트웨어

구동 소프트웨어는 기계 구동부를 가동시키며, 획득된 정보를 실시간으로 화면에 출력하는 역할을 한다. 아울러 각 센서로부터 획득된 정보는 데이터베이스에 축적되어 제품이력정보 관리 및 시험성적서 출력이 이용된다.

- 구동 소프트웨어는 마이크로소프트사의 VB ver6.0과 C++로 응용프로그램 제작과 MDB를 구축
- 성적서 관리 프로그램은 제품의 각 시험항목을 제어 속도 대별로 압력 값을 수치와 그래프로 처리하며, 자체분석 및 대외용으로 제시할 수 있도록 성적서 양식으로 구현

- 품질도구 프로그램 설계로 제품의 불량요인관리, 관리도, 신뢰도분석, 요인분석을 통해 설계상, 제조상의 문제점을 도출할 수 있도록 설계

### 3. 전용시험기의 계측 항목 선정

동력전달장치의 내구 시험 및 실차 성능 시험을 통해서 확보된 기초 데이터와 성능 분석 자료 및 노하우를 이용하여 <표 1>과 같은 계측 항목 및 합격 범위를 선정하였다.

표 1. 전용시험기의 계측 항목

항 목	합격 범위
메인 압력 (kPa)	◦ 1,500kPa~1,800kPa
T/C 압력 (kPa)	◦ 700RPM 구간 : 200kPa ◦ 1,500RPM 이상 구간 : 450kPa ~ 900kPa
윤활 압력 (kPa)	◦ 50kPa~400kPa
과징압력 (kPa)	◦ 700RPM 구간 : 1,000kPa ◦ 1,500RPM 이상 구간 : 1,600kPa ~ 2,150kPa
최대 속도	◦ 엔진 속도가 2,000RPM일 때 P-shaft 속도가 2,185RPM 이상
모듈레이션	◦ 압력 상승 시간 2sec 이내 ◦ 압력 200kPa~1,100kPa

PSD Axle의 구성은 기계부분(기어, 축, 하우징, 베어링 등)과 유압부분(토크컨버터, 클러치, 밸브, 펌프, 필터 등)으로 구성되어 있다. PSD Axle은 유압부분을 제어하는 컨트롤 밸브 블록을 이용하여 기능을 통제하고 있다. 컨트롤 밸브 블록은 토크 컨버터에 오일 공급을 담당하는 T/C 릴리프 밸브, 클러치부분에 토크 용량을 유지시켜주는 메인 릴리프 밸브, 클러치의 압력을 점진적으로 상승시켜 변속 충격을 감소시켜주는 모듈레이션 밸브, 클러치의 압력을 사용자가 임의로 감소시켜 반클러치 상태를 유지시켜 주는 인칭 밸브 등으로 구성되어 있다.

각각의 밸브들의 기능을 조합하여 PSD Axle이 엔진에서 발생한 동력을 구동 휠에 전달하여 차량을 구동한다. 따라서 컨트롤 밸브 블록의 각 기능 밸브들을 점검함으로써 PSD Axle의 정상 상태를 확인 할 수 있다.

<그림 3>은 전용시험기에서 측정하는 PSD Axle의 측정부위를 나타내고 있다.

#### (1) 메인(클러치 압력) 압력 측정

메인 릴리프 밸브는 클러치에 작용하는 압력을 조절하여 클러치 토크 용량을 항상 일정하게 유지시키는 역할을 한다. 만일 메인 압력이 특정한 압력 이하로 떨어질 경우 클러치 토크

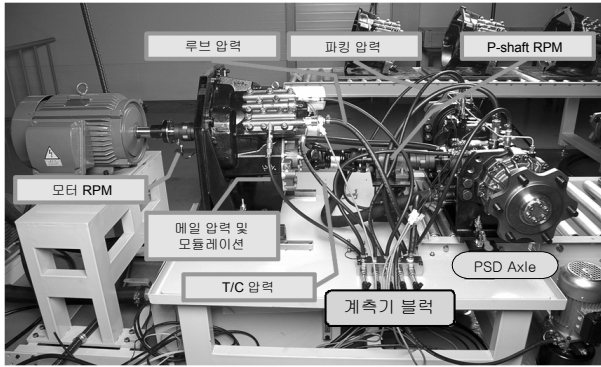


그림 3. 전용시험기 측정 위치

용량이 감소하여 클러치의 슬립이 발생할 수 있다. 이는 곧 시스템의 오일 온도의 급격한 상승을 유발하여 클러치 디스크의 소착, 또는 마모를 발생시키고, 오일 온도 상승으로 인한 윤활막 파손으로 기어 및 베어링에 피로 파손을 유발 시킨다. 따라서 메인 릴리프 밸브에 적절한 압력을 항상 일정하게 유지시키는 것이 필요하며 이를 측정하고 관리함으로써 PSD Axle의 시스템 안정성을 유지시킬 수 있다.

① 클러치 토크 용량의 하한치 결정

하한치의 결정은 엔진 및 토크 컨버터의 매칭에 의해 결정되며, 클러치에 입력되는 최대 토크는 약 661.82N.m이다. 또한 엔진의 출력 토크는 통상 약 30%의 오버 토크를 나타낼 수 있으므로 860.37N.m 이상의 클러치 토크 용량을 유지해야 한다.

따라서 클러치 토크 용량을 설계 계산식에 의해 계산한 결과 클러치 토크 용량은 873.79N.m으로 클러치 입력 토크 용량 860.37N.m보다 크므로 슬립이 발생하지 않는다. 이때 메인 압력은 1,500kPa이다. 만약 1,500kPa보다 낮은 1,450kPa로 메인 압력을 설정하면 설계 계산식에 의해 842.49N.m의 클러치 토크 용량을 가져서 엔진 토크 용량 보다 낮게 되어 슬립이 발생하게 된다.

표 2. 메인 압력 설정 비교

메인 압력	클러치 입력 토크	클러치 토크	비고
1,500kPa 설정	860.37(N.m)	$T_c \approx 873.79(N.m)$	슬립 미 발생
1,450kPa 설정		$T_c \approx 842.49(N.m)$	슬립 발생
1,400kPa 설정		$T_c \approx 811.2(N.m)$	슬립 발생

<표 2>는 메인 압력 변화에 따른 클러치 토크 용량을 계산한 것이다. 클러치 토크 용량이 1,500kPa 이하로 떨어질 경우 슬립이 발생할 수 있으므로 클러치 압력을 최소 1,500 kPa로 설정하였다.

② 클러치 토크 용량의 상한치 결정

<그림 4>는 메인 밸브의 단면도이다. 클러치 토크 용량의

상한치는 스프링 포스의 설계 기준에 의해서 결정되며, 이때 기본 설정 값은 1,600kPa로 설계 기준으로 하였다. 스프링 포스를 계산식에 의해서 최대 1,760kPa이 나왔으나, 안전을 고려하여 1,800kPa로 설정하였다.

전용시험기에서 메인 압력의 제한치를 검증하여 하한치 이하로 유압이 계측되면 펌프, 밸브, 오일 필터, 스프링 포스 등에 이상이 발생한 것이다. 상한치 이상으로 오일 압력이 측정된다면 펌프, 스톱 스틱, 밸브 및 스톱 가공 불량, 스프링 미작동, 기타 관로 막힘을 의심할 수 있다.

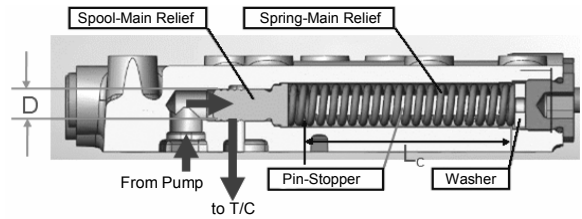


그림 4. 메인 밸브 단면도

(2) 토크컨버터(T/C) 공급유량 압력 측정

T/C 공급 압력 측정의 목적은 첫째, T/C 릴리프 밸브의 정상 작동 여부 확인으로 2,500RPM(Max RPM)에서 T/C 공급 압력이 900kPa 이상 넘지 않도록 제어 하는 것이다. 둘째, T/C 공급압력을 적절히 제어하고 T/C 공급유량을 확보하여 동력전달효율을 증가시키는데 있다. T/C 공급압력이 설정된 압력을 초과하여 장시간 운전될 경우 T/C를 파손시킬 수 있다. 본 연구에 사용된 동력전달장치의 공급유량 압력은 450kPa~900kPa로 설정되어 있다.

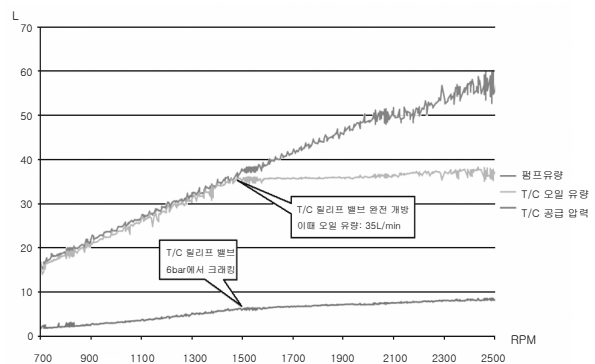


그림 5. RPM별 T/C 공급 압력 및 T/C 오일 유량

<그림 5>는 RPM별 T/C 공급 압력 및 T/C 오일 유량을 나타낸 것으로 아이들링 상태에서 점진적으로 RPM이 높아갈수록 펌프 유량 또한 비례해서 T/C로 오일이 공급되고 있는 것을 알 수 있다. 하지만 600kPa에서 T/C 릴리프 밸브가 완전 개방되어 오일 유량이 많이 공급 되지만 필터 바이 패스(Filter By pass)되어 T/C쪽으로는 약 35L/min가 일정하게 공급되고 있는 것을 알 수 있다.

전용시험기에서는 T/C 입력라인의 공급유량 압력을 측정하여 T/C로 오일이 제조사 기준대로 공급되어 T/C의 성능이 제대로 발휘되고 있는지를 확인한다. T/C 오일 유량은 동력전달장치의 내구 시험에서 압력별 공급 유량을 확인했기 때문에 압력 측정만으로도 공급유량을 알 수 있다. <그림 5>에서 보듯이 1,500RPM 이후에는 T/C 공급 유량이 필터 바이 패스 되기 때문에 일정하게 공급되게 된다. 따라서 700RPM에서 1,500RPM 구간에서 T/C 공급 압력이 T/C 오일 유량에 유의적인 영향을 미치는지 알아보았다. T/C 공급 압력을 독립변수로, T/C 오일 유량을 종속변수로 선정하여 단순회귀분석을 실시하였다.

회귀 모형 :  $Y = a + bX$

X(독립변수): T/C 공급 압력

Y(종속변수): T/C 오일 유량

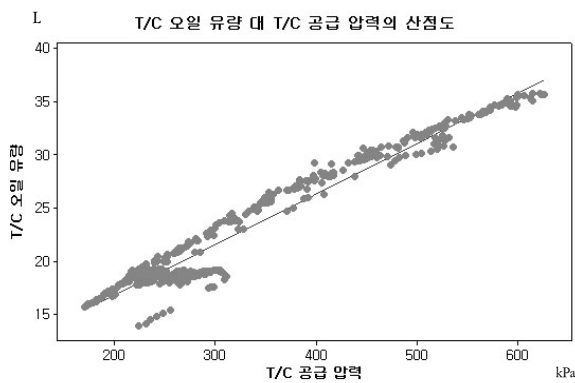


그림 6. T/C 공급 압력과 T/C 오일 유량 산점도

<그림 6>은 T/C 공급 압력과 T/C 오일 유량의 산점도이다. 그림에서 보듯이 T/C 공급 압력과 T/C 오일 유량은 양의 상관관계를 보이고 있으며 피어슨 상관 계수가 0.975378로 T/C 공급 압력과 T/C 오일 유량이 선형 관계를 보이고 있는 것을 알 수 있다(Lee, 1996; Park, 2005).

<표 3>은 T/C 공급 압력에 따른 T/C 오일 유량에 대한 회귀분석을 통계 프로그램을 이용하여 얻은 결과표다. 시험은 총 1,068개의 관측수를 가지고 실시하였다. 결정 계수(R-square)는 독립 변수와 종속 변수와의 관계를 나타내는 것으로 결정 계수(R-제곱)가 1에 가까울수록 회귀방정식의 적합성이 있다. 수정된 결정 계수가 0.951317임으로 회귀방정식이 적합하다고 할 수 있다.

<표 3>에서 t분포를 고려할 때 p 값이 0.000으로 통계적으로 극히 유의하다는 것을 알 수 있다. 이는 T/C 공급 압력이 T/C 공급 유량에 영향을 미친다는 것을 의미한다. 따라서 T/C 오일 유량 =  $7.25 + 0.0477 \times \text{T/C 공급 압력}$ 의 회귀방정식이 성립한다.

양산 전 시험을 통해서 지게차에 장착했을 때도 T/C 성능에 대해서 데이터를 수집하였고, 오일이 T/C로 일정하게 35L/min 이상 공급되고 있는 것으로 분석되었다. 아울러 양산 전 시험

을 통해서 압력변화에 따른 공급 유량의 변화를 기초데이터로 확보하여 설계에 반영하였기 때문에 T/C 공급 압력으로 T/C 오일 유량을 점검할 수 있는 것이다.

표 3. T/C 공급 압력에 따른 T/C 오일 유량의 회귀분석

회귀분석 통계량					
다중 상관계수	0.975378				
결정계수(R-제곱)	0.951363				
수정된 결정계수(R-제곱 수정)	0.951317				
표준 오차(S)	1.072032				
분산 분석					
	DF	SS	MS	F	P
회귀	1	23986	23986	20870.85	0.000
잔차 오차	1067	1226	1		
계	1068	25212			
	계수	표준 오차	t 통계량	p	
상수	7.2548	0.1009	71.90	0.000	
T/C공급압력	0.0476867	0.0003301	144.47	0.000	

### (3) 루브(윤활) 압력 측정

루브 압력을 측정하는 이유는 윤활 유량이 설계치대로 공급되고 있는지 확인하기 위해서다. 지게차 시스템 차량 운행 중 가장 가혹한 조건인 인칭 작업(강제로 클러치에서 슬립이 발생하여 시스템 온도 상승)시에 오일은 쿨러 순환을 통해 적정한 온도가 되면 열평형을 이루게 된다. 따라서 오일의 적정한 공급 유량을 확인하여 윤활 상태를 파악하는 것이 필요하다. 전용시험기에서는 윤활 압력을 측정하여 윤활 유량을 확인한다. 양산 전 시험을 통해서 압력별 유량 데이터를 확보하고 있어 엔진 RPM과 윤활 압력만으로 유량을 판단할 수 있다. PSD Axle의 경우 Max RPM에서 약 40~42L이다.

윤활 압력이 윤활 유량에 유의적인 영향을 미치는지 알아보기 위해서 독립변수로 윤활 압력을, 종속변수로 윤활 유량을 선정하여 단순회귀분석을 실시하였다.

회귀 모형 :  $Y = a + bX$

X(독립변수): 윤활 압력

Y(종속변수): 윤활 유량

<그림 7>은 윤활 압력과 윤활 유량의 산점도를 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 윤활 압력과 윤활 유량은 피어슨 상관 계수가 0.99062로 선형 관계라는 것을 알 수 있다. <표 4>는 윤활 압력에 따른 윤활 유량에 대한 회귀분석을 통계 프로그램을 이용하여 얻은 결과표다. 이를 분석해 보면 시험은 총 1,462개의 관측수를 가지고 실시하였고 수정된 결정 계수가 0.981312임으로 회귀모형이 매우 적합하다고 할 수 있다.

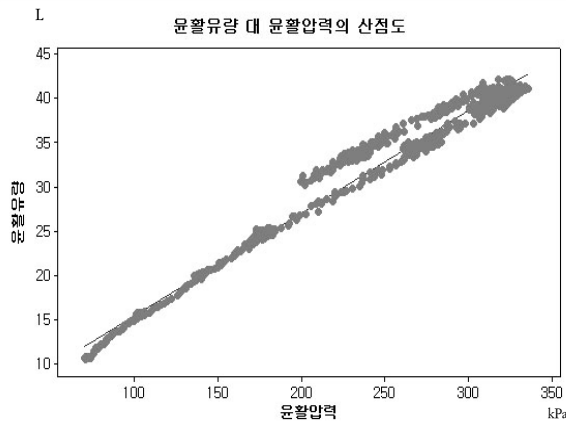


그림 7. 윤활 압력과 윤활 유량의 산점도

표 4. 윤활 압력에 따른 윤활 유량의 회귀분석

회귀분석 통계량					
다중 상관계수					0.990621691
결정계수(R-제곱)					0.981331334
수정된 결정계수(R-제곱 수정)					0.981318556
표준 오차(S)					1.305981911
분산 분석					
	DF	SS	MS	F	P
회귀	1	130987	130987	76798.47	0.000
잔차 오차	1461	2492	2		
계	1462	133478			
	계수	표준오차	t 통계량	p	
상수	3.7357	0.1029	36.32	0.000	
윤활 압력	0.115955	0.000418	277.13	0.000	

<표 4>에서 t분포를 고려할 때 p 값이 0.000으로 통계적으로 극히 유의하다는 것을 알 수 있다. 즉, 윤활 압력이 윤활 유량에 영향을 미친다는 것을 의미한다. 따라서 윤활 유량 = 3.74 + 0.116×윤활 압력의 회귀방정식이 성립한다.

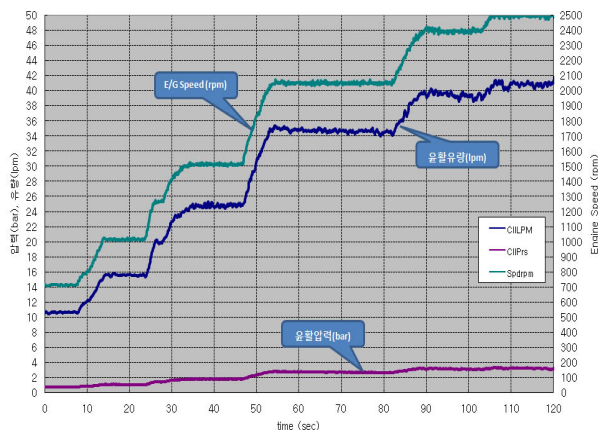


그림 8. 엔진 RPM과 윤활 압력에 따른 윤활 유량

또한 정해진 관로를 RPM에 따라서 윤활 오일이 빠져나가므로 RPM에 따라 윤활 압력이 비례적으로 변한다. 따라서 윤활 압력을 측정하여 RPM과 윤활 유량을 알 수 있기 때문에 전용 시험기에서는 윤활 압력을 측정하는 것이다. <그림 8>은 엔진 RPM, 윤활 압력, 윤활 유량을 측정하는 것이다. 엔진 RPM에 따라서 윤활 압력이 비례하고 있는 것을 알 수 있다.

(4) 파킹 브레이크 압력 측정

PSD Axle은 파킹 브레이크라인의 압력 및 슬레노이드 밸브를 이용하여 파킹 브레이크 해제와 미끄럼 방지 기능을 수행하게 된다.

파킹 브레이크 압력은 <표 5>의 시험 조건을 만족하여야 한다. 특히 차량의 아이들링 상태(RPM700~750)에서 파킹 브레이크 해제 및 미끄럼방지장치가 정상 작동 되어야 하므로 아이들링 상태에서 특정 압력 이하로 떨어질 경우, 차량을 움직일 수 없거나 언덕에서 미끄러지는 현상이 발생할 수 있다.

표 5. 파킹 브레이크 시험조건 및 점검 내용

시험 항목	시험 조건	점검 내용
파킹 브레이크 압력 측정	압력 측정 측정 위치: 파킹 브레이크 호스	<ul style="list-style-type: none"> <li>700RPM 구간 : 1,000kPa</li> <li>1,500RPM 이상 구간 : 1,600kPa~2,150kPa</li> </ul>
파킹 슬레노이드 작동 확인	슬레노이드밸브 ON/OFF 작동	<ul style="list-style-type: none"> <li>파킹 브레이크 작동시 휠 정지 상태 확인</li> </ul>
미끄럼방지장치용 슬레노이드 작동 확인		<ul style="list-style-type: none"> <li>후진 구동 중 슬레노이드 밸브 작동 및 휠 정지 상태 확인</li> </ul>

파킹 브레이크 압력 범위는 메인 압력과 필터 바이패스의 압력을 합친 것이다. 따라서 파킹 브레이크 압력 범위는 1,600 kPa~2,150kPa이다.

$$\text{파킹 브레이크 압력} = \text{메인 압력} + \text{필터 바이패스 압력}$$

$$(1,600 \sim 2,150 \text{ kPa}) \quad (1,500 \sim 1,800 \text{ kPa}) \quad (100 \sim 350 \text{ kPa})$$

파킹 브레이크 압력의 이상은 흡입측 스트레이너 막힘, 펌프 이상, 필터 바이패스 스펴 및 스프링 이상, 오일 필터 막힘, 슬레노이드 밸브 내부 누유, 하우징내 유로 기포, 피스톤 D-Ring 파손 등에 따라 나타날 수 있다.

(5) 최대 속도 측정

최대 속도를 측정하는 이유는 T/C Speed ratio를 확인하여 PSD Axle 최고 속도를 알기 위해서이다. PSD Axle의 경우 2300 RPM에서 <그림 9>와 같이 95% 이상의 Speed ratio를 나타내야 하는데, 만일 엔진과 T/C 출력축 사이에 속도차가 5% 이상이 된다면 T/C 공급 압력에 문제가 없을 때에 T/C의 Speed ratio에 문제가 있다고 판단할 수 있다. 따라서 최대 속도를 측정하여



T/C의 문제점을 점검한다.

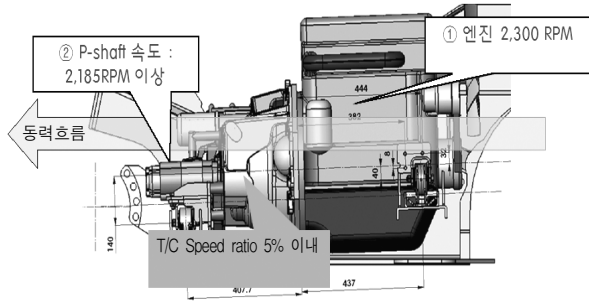


그림 9. T/C Speed ratio 측정

(6) 모듈레이션 압력 측정

모듈레이션 압력 측정으로 차량의 전/후진 변속충격을 알 수 있다. 압력 상승커브가 기준 범위 내에 존재하는 것으로 정상 판정하고 있으며, 기준 범위는 양산 전 실차시험 때 P-shaft에 무선 토크 메타를 설치하여 토크를 측정한 데이터와 메인 압력을 기준으로 산출되었다.

변속 충격은 상당히 주관적인 평가를 거치게 되므로 각 제조사별로 그 관리 영역이 다르다. 즉, 압력 상승시간, 피크 토크 크기 등의 설정이 다르다.

모듈레이션 압력이 과도하게 늦어지거나 빨라진다면 이는 모듈레이션 스플의 오리피스 오일 오염으로 인한 문제가 발생한 가능성이 가장 크고, 오일 온도에 따른 미션 오일의 점도에 따라서도 영향을 많이 받는다. 그러므로 전용시험기에서 시험은 오일의 기준 온도를 50℃로 설정한 상태에서 진행하게 되며, 시료에 대한 조립 정보가 함께 기록 관리되어야 한다.

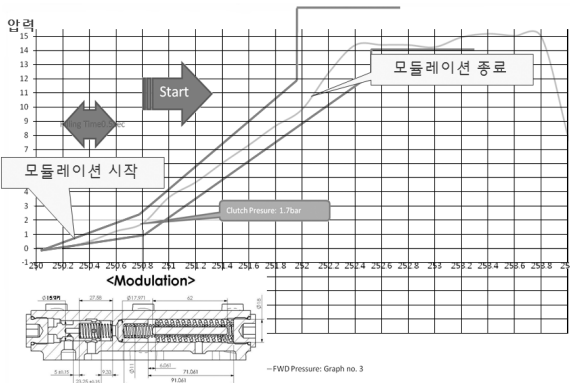


그림 10. 변속 단계 분석

<그림 10>은 변속 단계에서 일어나는 변화를 나타낸 것이다. 변속을 하기 위해서 클러치에 압력을 갑자기 주면 변속 충격이 발생하기 때문에 모듈레이션 밸브를 통해서 압력 변화를 천천히 해준다. 그러면 클러치 디스크가 밀착 되는 시간이 조정되어 변속 충격이 줄어들게 된다. 이때 모듈레이션 타임은 2 sec 정도이고, 압력 구간은 200kPa~1,100kPa로 설계 되어 있으며 설계의 오차 범위 내에서 모듈레이션이 일어나는지 점검한다.

4. 조립라인 전용시험기의 제작 및 검증

4.1 조립라인 전용시험기의 제작

조립라인 전용시험기는 조립라인 끝에 위치하게 되고, 조립라인을 거쳐 조립된 최종 제품을 장착하여 이상 유무를 점검하게 된다.

(1) 기계 구동부 구축

주요부품 제원은 <표 6>과 같다. 조립라인 전용시험기에는 3개의 모터가 사용되고 있다. 메인모터는 토크컨버터를 구동시키고, 이에 연결된 액슬을 움직이게 한다. 오일탱크 모터는 토크컨버터와 액슬에서 사용된 오일이 더티탱크로 모아지면 이를 오일필터를 거쳐서 클린탱크로 오일을 옮기는 역할을 한다. 브레이크모터는 지게차에서 브레이크를 밟는 역할을 대신하여 브레이크 오일 공급을 조정함으로써 브레이크 시스템을 작동하게 된다.

표 6. 조립라인 전용시험기의 주요부품 제원

항 목		수량 및 제원	
제어 모터	메인모터	1EA	15kw, AC 380V
	오일탱크 모터	1EA	7.5kw, AC 380V
	브레이크 모터	1EA	0.75kw, AC 220V
제어 솔레노이드 (POSITION -TYPE (ON/OFF))	액슬 제어용 (전진/후진/파킹브레이크/원웨이클러치)	4EA	DC 12V, 1.5A 이내
	서비스 브레이크용	1EA	AC 220V
계측기	압력계(메인/토크 컨버터/루브/파킹브레이크)	5EA	3,000kPa 이내
	온도계(더티오일탱크/클린오일탱크/루브)	3EA	섭씨 120도 이내

<그림 11>은 조립라인 전용시험기의 기계 구동부를 구현한 것이다.

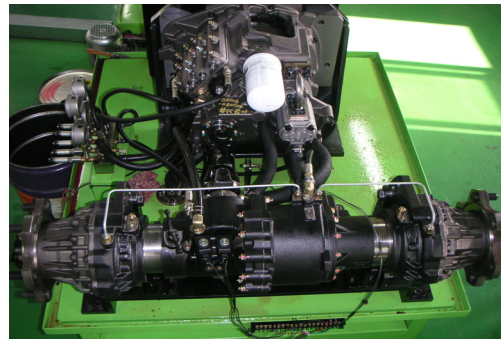


그림 11. 조립라인 전용시험기의 기계 구동부

(2) 제어부 구축

조립라인 전용시험기의 제어부는 각 구동조건(RPM)환경에서 제어할 수 있는 아날로그 제어, 각 유압라인에 발생하는 압력을 측정하기 위한 아날로그 측정, 버튼/스위치의 점접 입력과 솔레노이드/릴레이를 제어하는 입출력 제어장치, RPM메터 장치/인버터 통신(RS485), 컴퓨터와 데이터 교환을 위한 인터페이스 장치(RS232/RS485)로 구성되어 있다. <그림 12>는 입출력릴레이와 임베디드 메인 회로기판이다. 아울러 수동으로 조립라인 전용시험기를 작동할 수 있게 수동 컨트롤 패널과 터치스크린 모니터, 컴퓨터, 컨트롤 제어 피씨비 패널 등이 구성되어 있다.

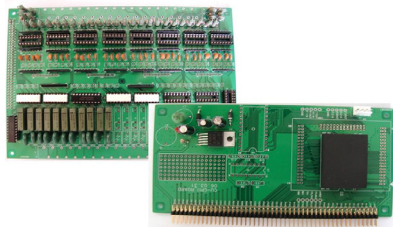


그림 12. 입출력릴레이와 임베디드 메인 회로기판

(3) 구동 소프트웨어 구축

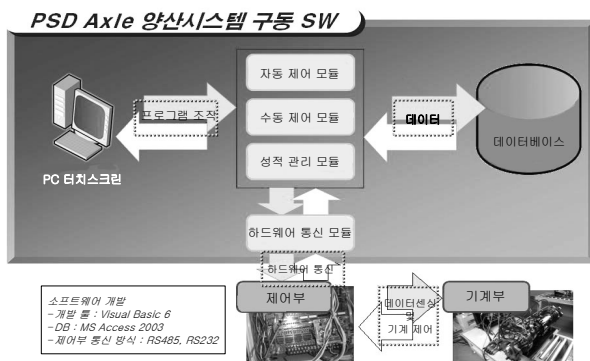


그림 13. 구동 소프트웨어 구성

<그림 13>은 구동 소프트웨어의 구성을 표현하고 있다. 구동 소프트웨어는 자동제어모듈, 수동제어모듈, 성적관리모듈과 하드웨어통신모듈로 구성되어 있다. 자동제어모듈과 수동제어모듈은 작업자가 터치스크린을 통해서 작업모드를 선택하면 작업지시를 하드웨어통신모듈을 통해서 제어부에 전달하여 기계 구동부를 작동시키게 된다. 성적관리모듈은 시험결과를 저장하거나 불러와 시험성적을 관리한다.

조립라인 전용시험기의 구동 소프트웨어는 수동제어, 자동제어, 성적서 인쇄, 간이 자동 시험, 간이자동제어 분석으로 구성되어 있다. <그림 14>는 구동 소프트웨어의 자동 제어, 수동제어 화면이다. 자동제어는 제품을 장착 후에 일련의 시험과정을 진행하고, 시험결과와 저장 및 성적서 출력을 자동으로 수행 한다. 수동제어로는 작업자가 수동으로 시험을 진행할 수 있다.

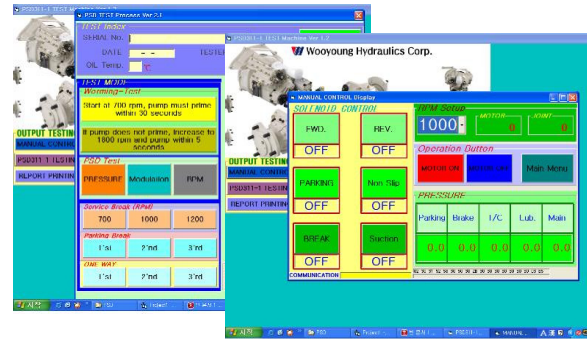


그림 14. 자동제어 및 수동 제어 화면

구동 소프트웨어는 각 센서로부터 데이터를 전달받아 화면에 출력시키고, 데이터베이스에 데이터를 축적시켜 시험성적서 등 제품관리에 이용되게 한다.

컴퓨터가 오작동 또는 운영체제가 불능 시에는 수동버튼에 의한 작업자의 조작으로도 조립라인 전용시험기를 구동시킬 수 있도록 수동 제어 패널을 별도로 두고 있다.

4.2 조립라인 전용시험기 검증

조립라인 전용시험기는 조립불량으로 인한 손실 발생 방지, 공정시간 내 모든 검사 진행의 필요성, 검사성적서 출력 및 관리 필요성 때문에 제작되었다. 따라서 각 목적에 맞게 제작이 되었는지 검증이 필요하다.

조립라인 전용시험기는 양산 라인 1일 32대(8,000대/년)를 시험하는 것을 설계 기준으로 삼았다. 8시간 작업시간 기준 25분에 1대 시험 및 탈부착을 수행해야 한다.

조립라인 전용시험기의 검증으로 2.1 구성 및 사양에서 언급한 조건들을 만족하기 위해 전용시험기에 장착된 압력센서, 온도센서와 RPM메터기 및 압력계측기는 검·교정을 받고 설치하였다.

전용시험기에 제품을 장착하는 시간은 현재 평균 15~20분 정도 소요되고 있다.

메인 압력, 토크컨버터 압력, 루브 압력, 파킹 압력 등은 한번의 구동시에 각 부착된 센서에서 동시에 측정된다. 각각 700RPM, 1500RPM, 2300RPM에서 20초간 측정하는데 360초가 소요 된다. 최고 RPM 점검, 모듈레이션 점검, 그밖에 서비스 브레이크, 파킹 브레이크, 윈웨이 클러치 작동 확인 및 누유 점검은 작업자가 육안 검사 후 정보를 입력한다.

<표 7>에 언급된 전용시험기 구동 점검 사항에 대해서 6분 38초가 소요 되고, 동력전달장치를 탈부착 하는 시간이 15~20분가량 소요 되고 있어 제품 하나의 총 점검시간은 22~27분가량 소요되었다. 이는 조립라인 전용시험기의 제작 전에 대응으로 이용해오던 다이아모 시험기(제품 내구 성능평가용 시험기)에서 제품을 시험 했을 때보다 약 1시간 30분가량 단축되었다. 아울러 내구성 시험을 목적으로 만든 다이아모 시험기는 제품의 기능 작동유무를 시험하기 위해서 각 기능별로 별도



표 7. 구동 점검 시간

	점검	측정 시간
Main Pressure(bar)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 한번 구동에 Main, T/C, Lube, Parking Pressure 측정</li> <li>○ 700, 1500, 2300 RPM에서 각각 전진/후진 구동시 압력 점검</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 20초간 전진/후진 측정</li> <li>○ 총 360초 측정</li> </ul>
T/C Pressure(bar)		
Lube Pressure(bar)		
Parking Pressure(bar)		
Max RPM	최대 속도 점검	20초
Modulation	모듈레이션 점검	3초
기타 점검	Service Brake, Parking Brake, One Way 누유, 소음 등을 육안 및 청음 점검	메인, T/C, 루브, 파킹 압력 측정시 작업자가 육안 및 청음 점검

설정을 한 후 시험을 진행해야 하는 등 양산 점검에 부적합하다. 이에 비해 조립라인 전용시험기는 양산 제품의 기능을 점검하기 위해 탈부착이 용이하고, 점검시간 또한 라인설계 기준에 맞게 제작 되었다. 또한 전용시험기에서 제품을 검사한 후 시험 성적서를 출력하여 제품 출하시에 첨부하게 된다. 이렇듯 전용시험기에서 획득된 데이터는 데이터베이스에 저장되어 제품의 관리 및 시험성적서 출력에 이용된다.

#### 4.3 타사 동력전달장치 전용시험기와 비교

지게차용 동력전달장치를 생산하고 있는 국내 A사의 전용시험기와 PSD Axle 전용시험기를 <표 8>과 같이 비교하여 보았다. A사의 전용시험기도 PSD Axle 전용시험기와 마찬가지로 메인 모터의 RPM을 제어하여 각 부분의 RPM과 압력을 측정하게 된다. 하지만 자동제어모드가 없고, 수동으로 버튼을 눌러 각 부분을 작업자가 확인하며 점검하고 있다. 또한 성적서도 단순히 측정된 데이터를 출력하는 수준인데 반해서 PSD Axle 전용시험기는 자동제어모드와 수동제어모드를 갖추고 있어

표 8. 타사 전용시험기와 PSD Axle 전용시험기 비교

항목	A사 전용 시험기	PSD Axle 전용시험기
작동 모드	○ 수동 모드	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 자동모드</li> <li>○ 수동모드</li> <li>○ 별도의 수동패널 적용</li> </ul>
탈부착 시간	○ 30분 이상	○ 15~20분
점검 시간	○ 20분 이상 (일정하지 않음)	○ 6분 30초
데이터베이스 저장	○ 저장 기능 없음	○ 데이터베이스 적용
기타		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 이력 관리</li> <li>○ 생산 관리에 활용</li> </ul>

서 자동으로 각 부분을 성능 및 기능 점검을 할 수 있고 또한 수동제어모드를 이용하여 작업자가 수동으로 전용시험기를 동작시킬 수 있다. 그리고 측정 데이터는 데이터베이스로 저장되어 생산된 동력전달장치를 이력 관리할 수 있고, 성적서를 출력할 수 있다. 아울러 데이터베이스에 저장된 데이터를 분석하여 생산관리에 이용하게 된다.

#### 5. 결론 및 향후과제

본 연구에서 제작한 조립라인 전용시험기의 개발로 다음과 같은 성과를 얻었다.

첫째, 제품의 안정된 품질 유지와 신뢰성을 향상시켰다. 지게차는 중량물의 화물을 취급하는 차량이기에 동력전달장치 안전성을 높이기 위해 품질이 매우 중요하다. 전용시험기의 도입으로 동력전달장치의 전수검사 실시가 가능해졌기 때문에 제품의 신뢰성을 높일 수 있었다.

둘째, 생산 증대 효과를 얻었다. 자동화된 양산 제품의 전용시험기의 구축으로 시간, 비용 등의 절감이 가능해졌고, 빠른 시간 내에 제품 검사가 가능해져 생산 증대 효과를 볼 수 있다.

셋째, 시험기 설계 및 제작기술을 확보했다. 동력전달장치의 전용시험기를 제작하기 위해서는 보유하고 있는 지게차 동력전달장치의 고유의 설계, 제작기술을 활용하고, 전기·전자 부분에 대한 기술을 첨가하여 지게차용 동력전달장치 전용시험기를 개발하였다. 이 연구를 통해서 기계 및 전기·전자 설계 기술 축적하였고, 향후 다양한 종류 클래스의 동력전달장치 및 다른 건설중장비, 농기계의 동력전달장치에 대한 시험기 제작이 가능하게 되었다.

본 연구에서는 양산되는 지게차용 동력전달장치에 대한 기능점검을 위해서 전용시험기를 제작하였다. 현재 양산라인에서는 25분에 제품하나를 점검하여야 하나, 현재 전용시험기를 양산라인에 적용할 때 점검시간이 부족한 경우가 있다. 그러나 평균시간은 25분 이내이므로 현재의 생산에는 문제가 없다. 향후 생산량이 증대되면 현재 전용시험기 한 대에서 토크컨버터와 액슬을 일체형으로 점검하고 있는 것을 두 대의 전용시험기로 토크컨버터와 액슬을 각기 전용으로 점검함으로써 대처할 필요가 있다. 향후 연구 과제로 토크컨버터 전용과 액슬 전용 양산 시험기 개발 과제를 남겨둔다.

#### 참고문헌

- Kim, O. S. (1998), No-load actuation Test of Hoist Cylinder using Dump Truck, *KSPSE Fall Conference*, 232-235.
- Park, H. S., Bae, H. J., Lee, S. J., Lee, C. K., and Kim, Y. H. (2005), An Influence of Frictional Factors on the Friction Characteristics of Automobile Transmission Gear Materials by using Design of Experiment, *Journal of the KSTLE*, 21(2), 93-99.
- Joh, W. S. and Kim, K. H. (1997), Development of Software for the Measurement

of Fatigue Limit of Automobile Rear Axle, *KSAE Spring Conference*, 557-562.  
 Jang, K. Y., Pang, J. S., and Yoo, S. K. (2007), A case study on development of the power transmission system for lift truck, *KIIE Fall Conference*.  
 Jang, K. Y., Pang, J. S., and Yoo, S. K. (2009), A Study on the design and development of the power transmission system for lift truck, *Journal of Society of Korea*

*Industrial and Systems Engineering*, 32(1), 34-43.  
 Song, H. L. and Kim. H. S. (1997), A Study on Multi Pass Transmission System for a Flywheel Hybrid Vehicle, *Transactions of the KSAE*, 5(3), 106-116.  
 Lee, W. G. (1996), *The principles of statistics*, Yulgok publishing co., Seoul, Korea.  
 Park, S. H. (2005), *Design of experiments*, Minyeongsa, Seoul, Korea.



**장경열**

인천대학교 산업경영공학과 학사  
 인천대학교 산업경영공학과 석사  
 인천대학교 산업경영공학과 박사  
 현재 : 우영유압(주) 기술연구소 선임연구원  
 관심분야 : CAD/CAM, 제조시스템, 물류정보 시스템



**유우식**

서울대학교 산업공학과 학사  
 한국과학기술원 산업공학과 석사학위  
 한국과학기술원 산업공학과 박사학위  
 현재 인천대학교 산업경영공학과  
 관심분야 : 물류정보시스템, CAD/CAM, 제조시스템공학 등