

지게차 전용 동력전달시스템의 설계 및 개발에 관한 연구

장경열* · 박중순** · 유우식*†

*인천대학교 산업경영공학과

**우영유압(주) 기술연구소

A Study on the Design and Development of the Power Transmission System for Lift Truck

Kyoungyeol Jang* · Joongsun Park** · Woosik Yoo*†

*Department of Industrial and Management Engineering, University of Incheon

**R&D Center, Wooyoung Hydraulics Corporation

In this thesis, we explain developing processes of the power transmission system for lift truck. Conventional power transmission system had some problems such as spatial constraints or low speed and high torque problem. Because conventional power transmission system was mainly designed for high speed vehicles.

In this paper we developed power shift drive axle specialized for 2.0~3.5 ton lift truck. Innovative structure of transmission which is built in inside axle, enables to reduce system weight and size by 40% compared to the conventional power transmission system. Also, it is possible to do additional functions such as auto parking system and anti-roll back system.

Keywords : Lift Truck, Power Transmission System, Power Shift Drive Axle

1. 서론

엔진의 출력을 차륜에 전달하기 위해서 구성된 시스템을 동력전달시스템이라고 한다[1, 7]. 지게차는 1945년 미국 클라크(CLACK)사에 의해 최초로 상용화 되었으며, 이후 1970년도까지 약간의 변화를 추가하고 기계식 변속기를 적용하였다. 1990년도에 파워쉬프트 형태의 지게차가 상용화 되었으며 현재까지 동력전달장치를 일체형에서 분리형으로 개선 적용하거나, 재질을 알루미늄으로 변경하는 수준의 연구가 진행되었다. 그러나 현재 지게차에서 사용되고 있는 동력전달장치는 자동차용 동력전달장치를 지게차용으로 변경하여 사용되었던 것으로 지게차에 적용하기에는 기술적인 한계가 존재한다.

왜냐하면 자동차용 동력장치는 고속주행을 목적으로 설계되었기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 연료절감 효과와 생산원가 절감 등의 목표를 달성하기 위해서 새로운 구조의 지게차 전용 동력전달시스템을 설계하고, 개발하는 과정에 대하여 소개하고자 한다.

<그림 1>은 앞에서 언급한 지게차 기술의 변화 과정을 나타내고 있다. 현재 국내에서는 지게차 동력전달장치의 개념 설계, 상세 설계, 부품 설계 및 개발, 신뢰성 시험, 실차 시험 등 일련의 개발 프로세스를 통해서 개발한 사례를 찾아보기 힘들다. 지금까지 지게차 동력전달 장치는 외국에서 도면을 수입하여 생산하거나, 기존 제품을 역설계하여 제품을 생산하고 있는 실정이다.

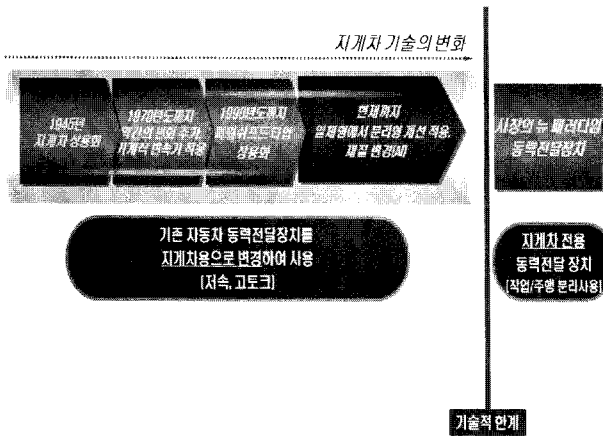
본 논문은 개념 설계에서부터 성능시험까지 지게차용

논문접수일 : 2008년 08월 04일 논문수정일 : 2008년 09월 17일 게재확정일 : 2008년 10월 21일

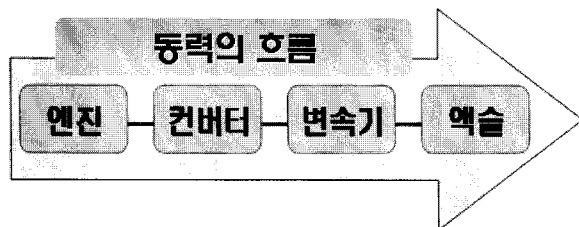
† 교신저자 wsyoo@incheon.ac.kr

※ 본 논문은 2007년도 인천대학교 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

동력전달시스템 개발에 대한 전 과정을 설명하고 있다. 아울러 본 논문에서 언급하고 있는 피에스디 액슬(PSD Axle-Power Shift Drive Axle)은 기존 지게차 동력전달장치와 구조가 다르게 새로운 개념으로 개발되었다. <그림 2>는 기존 지게차 동력전달 장치의 흐름을 표현하고 있는데, 엔진에서 발생한 회전력은 토크컨버터에서 일정한 크기의 토크로 변환된다. 이후 변속기에서 속도의 변속이 이루어지며, 액슬로 토크를 전달한다. 변속기는 차량의 주행상태에 따라 변속비를 선택하거나 회전방향을 반대로 하는 역할을 한다[3]. 액슬에서는 베벨기어를 이용하여 들어오는 토크를 수직방향으로 전환시켜 휠을 구동시키게 된다. 기존의 지게차용 동력전달시스템은 토크컨버터에서 회전력을 토크로 변환시켜 베벨기어로 전달하기 때문에 토크를 견딜 수 있도록 베벨기어 크기가 커질 수밖에 없고, 또한 재질의 강도도 높아야 했다. 따라서 지게차용 동력전달장치의 크기가 커지는 요인이 되었다. 특히, 장착공간이 협소한 2.0~3.5톤용 지게차에서는 유지보수의 어려움, 부가장치 구현의 어려움 등 여러 가지 문제가 있었다.



<그림 1> 지게차 기술의 변화

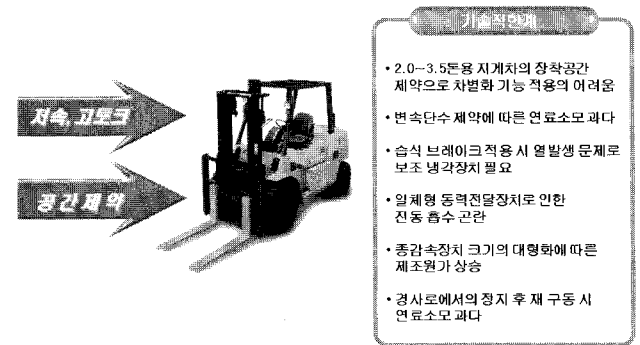


<그림 2> 기존 지게차 동력의 흐름

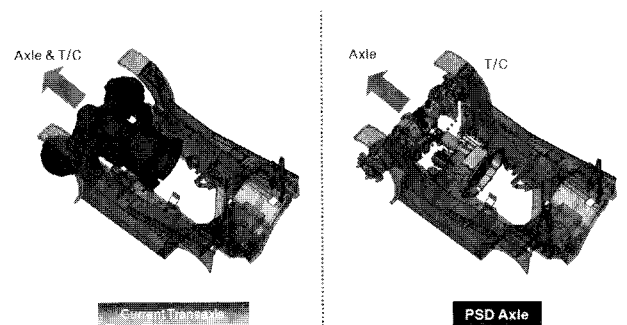
이에 본 논문에서는 위에서 언급한 저속 고토크 문제와 공간제한 문제를 해결 할 수 있는 새로운 개념의 지게차 전용 동력전달시스템인 피에스디 액슬의 설계와 개발에 대해서 설명하고자 한다.

2. 동력전달시스템의 설계 및 개발

논문에 소개할 지게차 전용의 동력전달시스템은 <그림 3>과 같은 기술적 한계를 극복하고자 개발되는 신개념의 동력전달시스템이다. 지게차용 동력전달시스템의 기존 연구로 연료절감을 위하여, 알루미늄 소재를 사용한 경량화를 시도하였지만, 전체 중량 감소 수준이 미약한 실정이다. 중량 감소는 제조 원가 절감에도 관련이 깊다. 최근 원자재 값 상승으로 인한 중량감소 요구가 절실한 실정이다. <그림 4>에서 보면 기존 2.0~3.5톤 지게차와 기존 동력전달시스템의 공간적 제약으로 고객이 원하는 유지보수성을 확보할 수 없었으나, 본 연구의 개발품인 피에스디 액슬은 유지보수성이 수월한 공간을 확보할 수 있는 것을 확인할 수 있다.



<그림 3> 기존 지게차용 동력장치의 기술적 한계



<그림 4> 기존동력전달장치와 PSD Axle의 유지보수성 비교

본 논문에서 설명하고자 하는 지게차 전용 동력전달시스템은 변속기를 액슬에 내장한 시스템이다. 2단 유성기어를 이용하여 최종 휠 부분에서 감속을 시킴으로써 변속기를 액슬에 내장시킬 수 있다. 변속기로부터 출력된 구동토크는 종감속장치에서 다시 증대되어야 한다[4]. 기존 시스템에서는 토크컨버터와 토크컨버터에 같이 붙어 있는 변속기에서 감속이 이루어져 고토크가 액슬에 있는 베벨기어로 오게 되는데, 들어오는 토크를

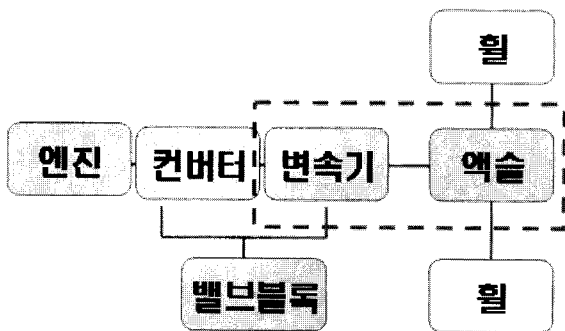
견디기 위해서는 베벨기어의 크기가 커지고, 강도도 강해야 한다. 피에스디 액슬은 베벨기어까지 감속이 거의 일어나지 않으며, 휠 부분에서 2단 유성기어를 이용하여 대부분의 감속이 이루어지게 된다. 따라서 베벨기어의 크기는 기존 대비 90%정도 감소하였고, 여유 공간에 변속기를 내장할 수 있게 된 것이다. 2단 유성기어를 이용한 시스템 구성은 부품의 수는 증가하나, 부품크기는 작아져서, 전체적으로 시스템의 크기가 기존 동력전달 시스템에 비해 40% 정도 감소 시켰다. 아울러 중량 또한 40% 정도 감소되었다.

제 2.1절에서는 기존 동력전달장치와 피에스디 액슬의 비교에 대해서 설명하고, 제 2.2절에서는 신개념 동력전달장치 개발에 대해서 설명하도록 하겠다. 제 3장에서는 개발된 시스템의 시험에 대해서 설명하고자 한다.

2.1 기존 동력전달장치와 피에스디 액슬의 비교

본 지게차용 동력전달 시스템을 개발함에 있어 3가지 형태를 고려하였다[5]. 즉, 기존시스템을 개선하는 형태와 휠 부분에 트랜스미션을 내장시키는 형태, 액슬 부분에 트랜스미션을 내장한 형태이다.

① 고려모델 A 기존시스템 개선형 모델



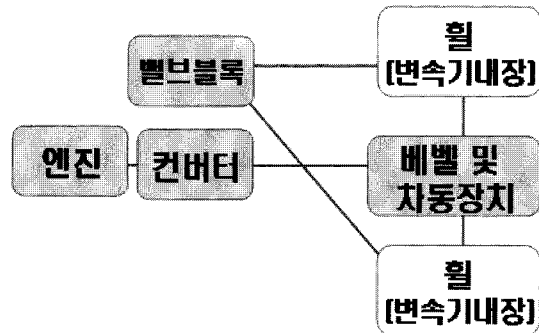
<그림 5> 고려모델A 기존시스템 개선(T/M+Axle 분리형)

<그림 5>는 기존시스템을 개선한 모델이다. 이러한 형태는 진동의 영향이 줄어드는 장점이 있지만, 기존 지게차용 동력전달장치와 큰 차이점이 없다. 구조적인 문제는 지속되고 있으며, 시스템의 체적이 줄지 않아서 중량의 감소에 어려움이 있다. 또한 시스템이 복잡해져서 원가 절감의 효과도 없다. 이러한 형태의 모델은 공간 제약과 제조비용의 상승으로 추가적인 기능의 구현이 어렵다.

② 고려모델B 휠 트랜스미션 모델

<그림 6>은 휠(Wheel)에 변속기를 내장한 형태를 나타낸 그림이다. 이 모델의 경우 휠 부분에 변속기를 내

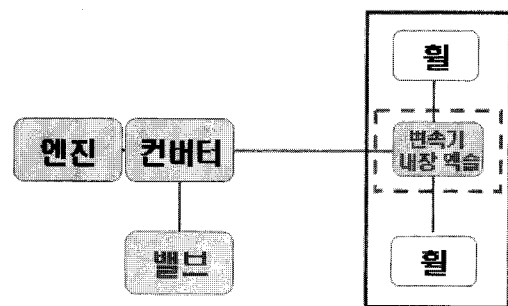
장한 새로운 동력전달장치이다. 크기나 중량감소 및 부가기능구현이 가능한 장점이 있다. 하지만, 시스템이 복잡해져서 제조원가 절감효과가 어렵다. 또한 시스템의 복잡성으로 동력전달효율이 기존 동력전달장치에 비하여 감소하는 문제점이 있다.



<그림 6> 고려모델B 휠 트랜스미션

③ 고려모델C 피에스디 액슬-액슬 내부에 변속기 내장 모델

<그림 7>은 본 연구에서 사용되는 모델을 도식화한 것이다. 변속기부분을 액슬 내부에 내장한 형태로 그 구성이 혁신적이다. 이는 기존 동력전달장치와 구별되는 형태로 구조변경을 통해 새로운 동력전달장치 시스템을 구성하고 있다. 토크(Torque)분산을 통해 부품을 소형화시켰다. 부품 수는 증가하나 전체 부품 사이즈는 줄어든다. 이 모델에서는 2단 유성기어를 사용하여 감속비를 조정하였다.



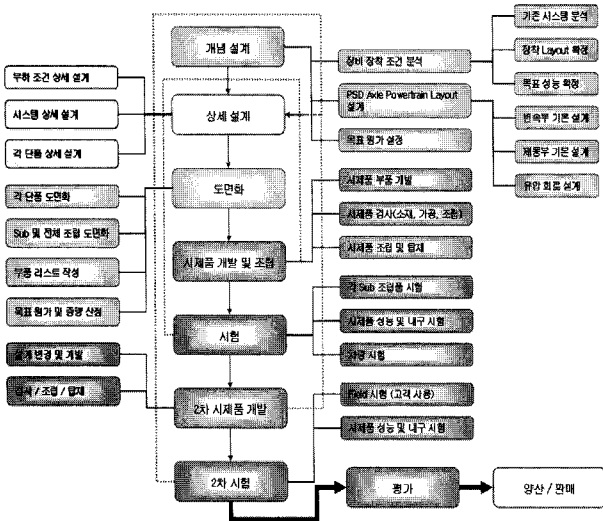
<그림 7> 고려모델C 액슬 내부에 변속기 내장 모델

2.2 개발과정

양산 개발 프로세스는 <그림 8>과 같은 순서로 진행된다.

개념설계에서는 기존시스템 분석, 장착 레이아웃 확정, 목표 성능 확정 등 장비의 장착 조건에 대해서 분

석한다. 이를 바탕으로 상세 설계를 진행하게 되는데, 상세 설계 내용은 부하조건 상세 설계, 시스템 상세 설계, 각 단품에 대한 상세 설계 등이 있다. 상세 설계가 완료 되면, 각 단품에 대하여 도면화 하고 아울러 서브 및 전체 조립에 대해서도 도면화 한다. 도면을 가지고 시제품 부품 개발을 진행한 후에 제작된 개발 부품을 조립하여 시제품을 완성한다. 시제품에 대하여 내구시험 및 차량 시험을 통해 부족한 부분 및 설계 변경 사항을 분석하고, 설계에 반영하여 2차 시제품을 개발하게 된다. 2차 시제품을 고객에 의한 필드 테스트 및 자체 성능 시험과 내구성 시험을 진행하여 지속적으로 보완 작업이 이루어지게 된다. 이런 일련의 과정을 통하여 제품의 양산화가 이루어진다.



<그림 8> 개발 프로세스

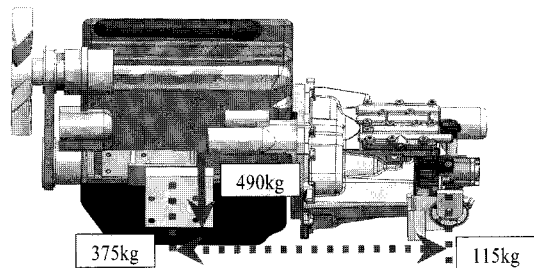
2.2.1 설계 및 소재 개발

설계는 설계전용 소프트웨어(솔리드웍스)를 이용하여 설계를 진행하였다. 설계를 하기 위해서 각 부품 및 하우징에 대한 필요 강도 계산을 진행하였고, 계산된 데이터를 가지고 각 부품 및 소재에 대하여 3차원설계를 진행하였다. 3차원 캐드가 제품 개발 공정의 최적화를 위한 도구로[2] 3차원 설계를 통해서 개발 기간을 획기적으로 단축시켰으며, 설계 변경에도 즉각적으로 대응을 할 수 있었다. 그리고 미처 파악되지 못했던 문제에 대하여도 사전에 검토해 볼 수 있었고, 유한요소법(FEM) 해석을 통해 부품 및 소재를 가공하기 전에 어느 정도 강도를 예측 할 수 있었다. 하우징, 기어 등 중요 부품들에 대해서 3차원 설계와 유한요소법 해석, 소재 개발, 가공 등을 진행하였다. 본 논문에서는 토크컨버터 하우징 개발에 대해서만 언급하였다. 액슬 하우징, 기어 등

다른 부품들도 같은 프로세스로 개발과정이 진행되었다. <표 1>은 설계를 하기 위한 항목들을 정리한 것이다.

<표 1> 설계 항목 리스트

주요 항목		내용
시스템 구조 개념 설계	목표성능 설정	적용 엔진 용량 및 성능 검토
		차량 목표 성능 검토 및 설정
		토크컨버터 용량 및 성능 검토
		총 감속비 결정
	동력전달 시스템 설계	기어트레인 개념 설계
		부가기능 구현 개념 설계
		관련 핵심 특허 분석
	시스템 쿨링 및 운환 검토	시스템 운환 검토(기어트레인/베어링/클러치/브레이크/토크컨버터 등)
		동력전달장치 쿨링 용량 검토
		시스템 유량 검토
핵심 부품 개념 설계	기어트레인 검토	기어트레인 제원 설계
		기어트레인 강도 분석
	습식 클러치 검토	습식 다판 클러치 제원 및 용량 검토
		습식 다판 브레이크 제원 및 용량 검토
	베어링 레이아웃	베어링 선정 검토
		베어링 용량 및 수명 검토
	하우징 레이아웃	토크컨버터 하우징 강도 및 변형량 검토
		PSD Axle 하우징 강도 및 변형량 검토
	실차 탑재 개념 설계	차량 탑재 레이아웃 설계
		마스트 장착 조건 검토
휠 림 및 차폭 등 PSD Axle 장착 조건 검토		
제동 방식 및 용량 검토		
링키지 컨트롤 연계 시스템 구축		
엔진 및 T/C Part 마운팅 관련 설계		
차체 및 PSD Axle 장착 조건 설계		



<그림 9> 엔진에 결합된 토크컨버터 모델링

<그림 9>와 같이 토크컨버터 하우징은 피에스디 액

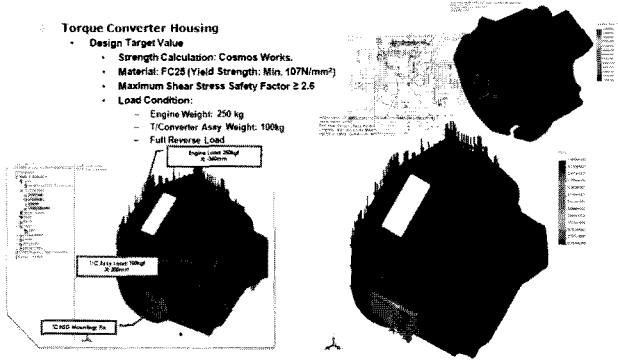
슬을 엔진과 결합시켜주는 역할을 하는 부품으로 엔진의 플라이휠 하우징과 조립되며, 차량에 장착된 엔진의 중량을 지지해 주어야 한다. 또한 엔진에서 발생한 진동 및 중량을 흡수 할 수 있는 충분한 강성을 지녀야 한다.

토크컨버터 하우징에 작용하는 엔진 중량은 약 245kg 이고, 엔진이 작용할 때는 진동에 의한 다이내믹 로드(Dynamic Load) 작용에 따라 하중은 정지 상태의 약 2 배 정도가 됨을 고려하여 490kg의 하중을 적용하였다. <표 2>는 토크컨버터 하우징의 재질에 대한 내용이다.

<표 2> 토크컨버터 하우징 재질표

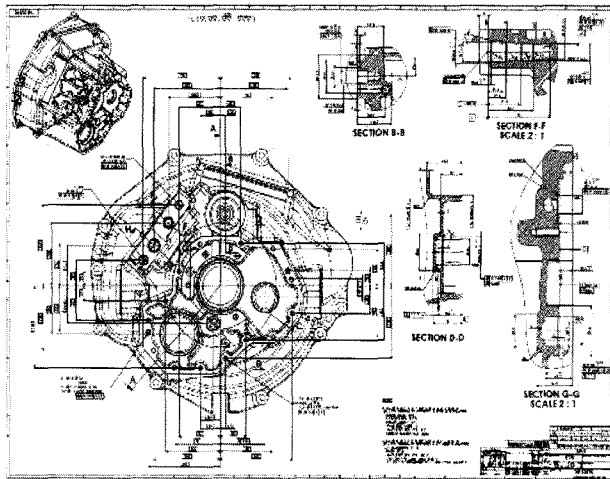
Part Name	Material	Yield Stress	Tensile Stress	Tensile Fatigue Stress
TC HOUSING	FC25	15 kg/mm ²	25 kg/mm ²	12kg/mm ²

① 3차원 설계 및 유한요소법(FEM) 해석



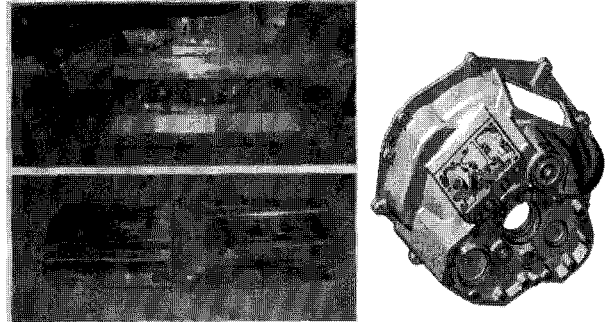
<그림 10> 3차원 설계 및 FEM해석

② 도면화



<그림 11> 토크컨버터 하우징 도면

③ 소재 구조



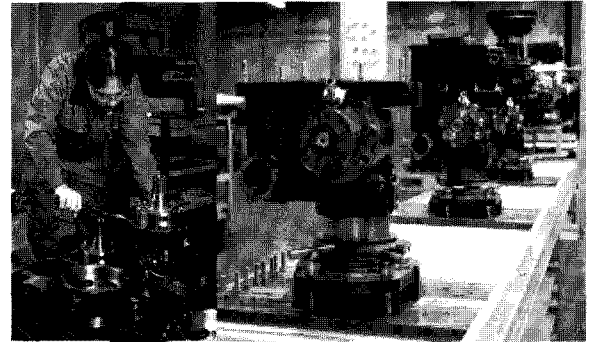
<그림 12> 토크컨버터 하우징 금형 및 모델링

④ 가공



<그림 13> 토크컨버터 하우징 가공품 이미지

⑤ 조립

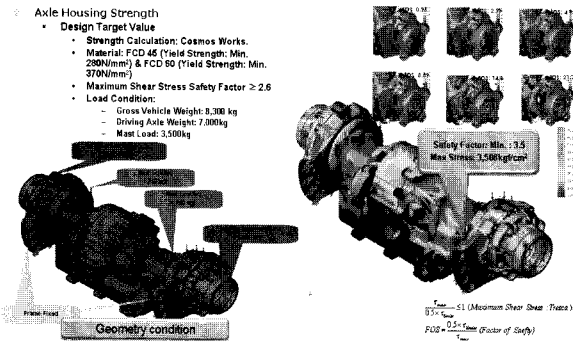


<그림 14> 시제품 조립

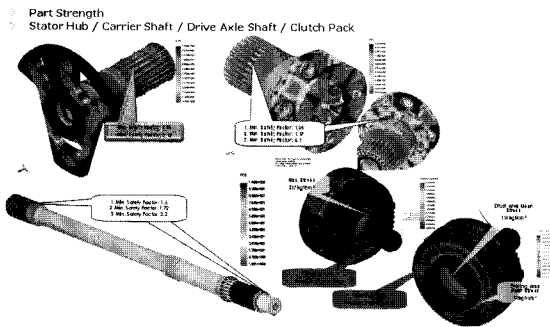
<그림 10>은 토크컨버터 하우징의 3차원 모델링 및 유한요소법(Finite Elements Method) 해석을 한 그림이다. 사용 환경에 대한 부하 조건 분석 및 형상 모델링을 완료한 후, 유한요소법(FEM) 해석을 진행한다. 유한요소법 해석을 통해서 설계 단계에서 취약부분을 보완하여 재설계를 진행한다. 형상모델링을 기준으로 하우징을 제조하여 개별 파트 별로 피로 시험과 하우징 조립 후 실차 시험을 진행한다. 이를 통해서 취약 부분을 파악하고 보완 설계를 하여 재개발하는 일련의 프로세스를 진행하는 것으로 하우징 개발을 완료한다. <그림 11>은 3차원 설계를 진행 후에 부품 제작 및 가공을 위해서

도면화한 것이다. <그림 12>는 토크컨버터 3차원 모델과 하우징 제작을 위한 주조금형을 보여주고 있으며 <그림 13>은 주조된 토크컨버터 하우징형상을 NC머신을 이용하여 면, 홀 등을 가공하여 얻어진 하우징 완성품이다. 소재 개발을 통해서 얻어진 하우징, 기어 등 여러 부품들은 <그림 14>와 같은 조립과정을 통하여 시제품이 완성 된다.

<그림 15>와 <그림 16>은 그 밖의 중요 부품에 대한 요요소법 해석을 진행한 것을 나타내고 있다.



<그림 15> 액슬하우징 개발



<그림 16> 중요 부품 개발

3. 개발 제품의 검증

3.1 기존 개발품 벤치마킹

<표 3>은 기존 기술개발 현황에 대해서 설명한 것이다. 선진사인 일본의 M사, O사, T사는 분리형 동력전달장치이며, 건식브레이크 시스템이 적용 되어 있다. M사의 경우 중량을 줄이기 위하여 하우징 일부를 알루미늄 소재로 적용하고 있다. 이태리의 G사는 일체형 동력전달장치이며, 건식브레이크 시스템이 적용 되어 있다. 한국의 D사는 분리형 동력전달장치이며, 습식브레이크 시스템이 적용되어 있다. 분리형 동력전달 장치는 일체형 동력전달 장치보다 진동이 감소한다.

<표 4>는 벤치마킹 항목을 나타낸 것이다. 지게차 및 동력전달장치의 벤치마킹을 위해서 일본 N사 및 T사 지게차, 경쟁사 제품으로는 중국 H사의 지게차에 대한 벤치마킹 시험 및 분석을 실시하였다. 그리고 일본 O사의 동력전달장치를 구입하여 시험 및 분해 점검을 통해 경쟁사 제품에 대한 장단점을 파악하고 부족한 부분에 대하여는 설계에 반영하도록 하였다.

<표 3> 기존 기술개발 현황

기존 기술개발 현황	
제조사	기존 기술개발 현황
M사 (일본)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 분리형 Transaxle ◦ 일부 AI계열 하우징 적용 ◦ 건식 브레이크 적용 ◦ 최근 습식 브레이크 개발 중
O사 (일본)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 분리형 Transaxle ◦ 건식 브레이크 사용
T사 (일본)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 분리형 Transaxle ◦ 건식 브레이크 사용
G사 (이태리)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 일체형 Transaxle ◦ 건식 브레이크 사용
D사 (한국)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 분리형 Transaxle ◦ 습식 브레이크 사용

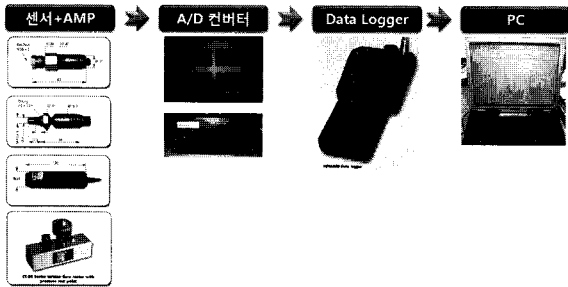
<표 4> 벤치마킹 항목 선정

항 목	기술개발 내용	
벤치 마킹 항목	차량 성능시험	◦ 견인력/등판력/가속성/제동성능/방열성능/소음/진동/주행저항
	동력전달 장치시험	◦ 동력전달효율 ◦ 신뢰성 시험조건 선정 ◦ 수명시험
	차량 탑재 및 구조 분석	◦ 엔진 및 동력전달장치 탑재 관련 ◦ Cooling 시스템 ◦ 페달 및 링크지 시스템 ◦ 각 연결부 시스템(호스, 튜브 등)
	변속장치 구조 분석	◦ 동력전달시스템 해석 ◦ 주요 부품 역설계
	계측 시스템 구성	◦ 토크 측정/견인력 측정 ◦ 속도/압력/온도/유량 측정 ◦ 데이터 수집 장비 구축

차량 시험에 있어 데이터의 계측방식이 틀리게 되면 제어무리 고기능의 분석 소프트웨어 및 장치를 사용한다 해도 원하는 결과를 얻을 수가 없다. 따라서 연구, 시험 목적에 따른 데이터의 계측 수법이 중요한 문제가 된다.

시험 목적에 맞는 적합한 벤치마킹 시험을 위해서는 시험 전 시료선택, 시험 계획 수립, 계측 항목 선정, 계측

기 선정, 센서 장착 및 운용에 대한 적합한 모델이 있어야 한다. <그림 17>은 차량 성능 시험에 필요한 계측 시스템 구성 예이다. 지게차 주행 시험 중 차량상태에 대한 정보를 얻기 위해서는 다양한 형태의 센서 장착 및 데이터 변환, 기록이 유지되어야 한다. 일반적으로 지게차 주행 시험을 위해서는 각 부위에 압력, 온도, 회전수, 토크 등 센서를 장착하고 센서에서 나오는 아날로그 신호를 디지털신호로 변환하는 아날로그/디지털(A/D) 컨버터 및 데이터 로거를 거쳐 컴퓨터에 저장하게 된다.



<그림 17> 측정 시스템 레이아웃 구성

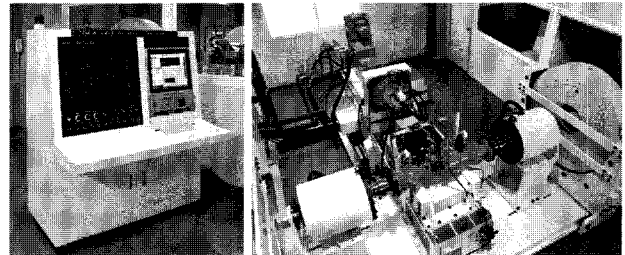
3.2 성능 시험

<표 5> 내구성 시험 종류

항 목	기술개발 내용
내구성 시험 항목	급 변속시험 ◦ 휠에 4.4톤을 중량을 부과 후 시속10km로 구동하다가 전진, 후진을 변경 ◦ 클러치, 기어트레인 내구성 시험
	브레이크 마모시험 ◦ 브레이크 마모 점검 ◦ 브레이크 시스템 쿨링 성능 점검
	인칭 시험 ◦ 클러치 디스크 마모 ◦ 윤활 오일 흐름 점검
	급제동 및 스톱 시험 ◦ 스톱 토크 점검 ◦ T/C 오류 점검 ◦ 기어트레인 오류 점검
	차동장치 시험 ◦ 차동 기어 오류 점검 ◦ 스파이더 오류 점검 ◦ 와셔 점검 ◦ 노이즈 점검

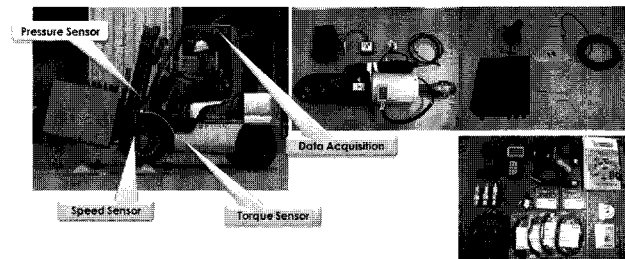
본 연구에서는 개발된 피에스디 액슬을 지게차에 장착하여 성능을 시험하는 실차 시험을 수행하였다. 내구성 시험은 <표 5>와 같이 급변속 시험, 브레이크 마모 시험, 인칭시험, 급제동 및 스톱 시험, 차동장치 시험 등이 있다. 시험 코드는 회사마다 설계 기준에 맞게 시험 코드를 설정한 후 시험을 진행하고 있다. 본 논문에서 설명하고 있는 피에스디 액슬은 다른 회사 시험코드보다 가혹한 조건에서 시험을 진행하였고, 만족한 결과

를 얻었다. <그림 18>은 내구성 시험을 진행하고 있는 모습이다.



<그림 18> 내구성 시험

실차 시험은 벤치마킹과 같은 방법으로 시제품에 대해서 실차 시험을 진행하였다. 각 실차 시험은 <그림 19>와 같은 장비를 장착하여 테스트 코드에 의하여 진행되었다.



<그림 19> 실차 시험 장비

① 차량 주행 시험

<표 6>에서 보듯이 시제품을 일본N사, 중국 H사 지게차에 장착하여 시험 해본 결과 만족스러운 성과를 보였다.

<표 6> 차량 주행 성능 시험결과

시험 종류	시험 사양	
주행 시험	차량 중량 : 적차 7,510kgf/공차 4,510kgf 동력전달장치 : 전진 1단/후진 1단 PSD AXLE 제동 장치 : WET DISC BRAKE 타이어 동하중 반경 : 적차 0.325m/공차 0.345m 1CYCLES : 5MINS 측정 항목 : 압력/온도/속도/토크	
	시험 결과	
	일본 N사 지게차 주행 시험(사내 시험)	동가 부하 산정 기초 데이터 획득
중국 H사 지게차 주행 시험(고객 시험)	200시간 내구 주행 시험 통과	

② 견인력 시험

<표 7>은 견인력 시험 결과이다. 견인력 시험은 각

사별 차량의 엔진 및 동력전달장치와의 결합성능에 의해 나타나는 지표이므로 각 사별 견인력 차이는 크게 의미가 없으며, 기존 동력전달장치와 개발품 교체 후 견인력 차이를 비교하는 것이 타당하다. <그림 20>은 견인력을 진행하고 있는 그림이다.

<표 7> 견인력 시험 결과

시험 종류	시험 사양	
견인력 시험	차량 중량 : 적차 6,510kgf(Load 2TON) 동력전달장치 : 전진 1단/후진 1단 PSD AXLE 또는 기존 동력전달장치 제동 장치 : WET DISC BRAKE 또는 건식 드럼브레이크 타이어 동하중 반경 : 0.325m 측정 항목 : 압력/온도/속도/토크/견인력	
	시험 결과	
	일본 N/T사 및 중국 H사 지게차 견인력 시험(사내 시험)	기존 동력전달장치 장착 차량과 동일 견인력 확인 : 2,000kgf
	중국 H사 지게차 주행 시험(고객 시험)	2,040kgf



<그림 20> H사, N사, D사 견인력 측정 시험

<표 8> N사 지게차 동력전달장치 교체 전/후 견인력 비교 시험

	견인력	엔진 출력	GEAR RATIO	T/C STALL RATIO	동력전달장치 종류
교체 전	19.7kN (2,008kgf)	60PS	16.02 : 1	3.0	M사
교체 후	20.7kN (2,110kgf)	60PS	16.01 : 1	3.1	PSD AXLE

<표 8>에서 보듯이 동일 차종에서 동력전달장치만 교체하여 견인력을 측정한 결과 견인력이 약 5% 상승하였음을 알 수 있다. 또한 시제품의 경우 기존 동력전달장치와 전체 감속비가 같다는 것을 감안한다면 시제품의 전체적인 효율 및 차량과의 결합성능에서 더 우수함을 나타낸다고 할 수 있다.

③ 제동력 시험

제동장치는 운전자 및 화물의 안전한 운송을 위한 핵

심부품이라 할 수 있다[6]. 제동력 시험은 공차/적차 상태에서 시험하며 최고 속도 주행 중 급제동시 제동거리와 브레이크 라인 압력을 측정하여 판단한다.

<표 9> 제동력 시험 사양 및 시험 결과

시험 종류	시험 사양	
제동력 시험	차량 중량 : 적차 7,310kgf/공차 4,510kgf 동력전달장치 : 전진 1단/후진 1단 PSD AXLE 제동 장치 : WET DISC BRAKE 적차 및 공차, SPEED : 10km/h(적차) 20km/h(공차) 측정 항목 : 압력/온도/속도/거리 규정 : 적차 2.5m 이내/공차 5m 이내	
	시험 결과	
	일본 T사 지게차(사내 시험)	공차 시 : 3.6m 제동
중국 H사 지게차(고객 시험)	공차 시 : 4.3m 제동	

지게차 제동거리에 대한 규정 및 시험 결과는 <표 9>이다. 제동력 시험은 T사와 H사 2모델을 실시하였으며 T사 모델은 사내에서 시험하였고 H사 모델은 중국에서 시험하였다. 시제품의 제동력은 충분한 것으로 판단된다.

④ 방열시험

<표 10> 방열 성능 시험표

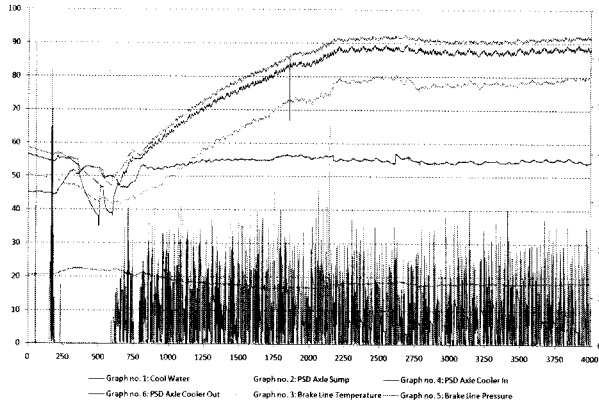
시험 종류	시험 사양	
방열 성능 시험	차량 중량 : 적차 7,310kgf/공차 4,510kgf 동력전달장치 : 전진 1단/후진 1단 PSD AXLE 제동 장치 : WET DISC BRAKE 1CYCLES : 1MIN 40SEC TEST TIME : 2HRS 측정 항목 : 압력/온도/속도	
	시험 결과	
	일본 T사 지게차 (사내 시험)	AXLE SUMP TEMPERATURE : 79℃
	일본 N사 지게차 (사내 시험)	AXLE SUMP TEMPERATURE : 95℃

<표 10>은 방열 성능 시험표를 나타낸 것이고, <그림 21>는 T사 지게차에 시제품을 장착하여 방열 성능 시험을 한 결과 그래프로 시험 시작 후 초기 30분간 온도 상승 후 특별한 변화 없이 일정 온도 유지되었다. 이는 만족한 결과로 판단되어진다.

⑤ 진동 시험

엔진에서 발생한 진동은 엔진 마운트 러버와 트랜스

미션 마운트 리버를 거치며 진동을 흡수하여 차체에 전달을 최대한 줄이도록 설계 되어있다.



<그림 21> 방열 시험 결과 그래프

<표 11> 진동 시험 현황 및 시험 결과

시험 종류	시험 사양	
진동 시험	측정 항목 : 진동	
	시험 결과	
	일본 T사 지게차(사내 시험 비교 시험)	마운팅 리버 위치 조정 : 진동 감소
진동 센서 측정 위치		
<ul style="list-style-type: none"> 우측 전방을 제외하고는 마운트 통과 후 진동 값은 유사하다. 각각의 엔진 마운트에 작용하는 진동 값이 다를 수 있다. 		

<표 11>을 살펴보면 각 엔진에서 발생한 진동이 위치에 따라 다르나, 우측전방을 제외하고는 마운트를 통과한 이후의 진동 값은 유사한 것으로 나타났다.

각각의 엔진 마운트에 작용하는 진동 값이 다를 수 있다. 마운팅 리버의 위치 조정을 통해서 진동을 감소시켰다.

⑥ 요철 시험

지게차는 차량 특성상 구동축과 프레임을 연결하는 부위에 외부 충격을 흡수할 수 있는 댐퍼(쇼버)가 존재하지 않는다. 따라서 차량이 주행 중 요철이나 장애물을 지나갈 때 발생하는 위치 에너지에 대하여 그대로 차체에 전달되게 되며 이는 구동축 하우징의 수명에 큰 영향을 미칠 수 있다.

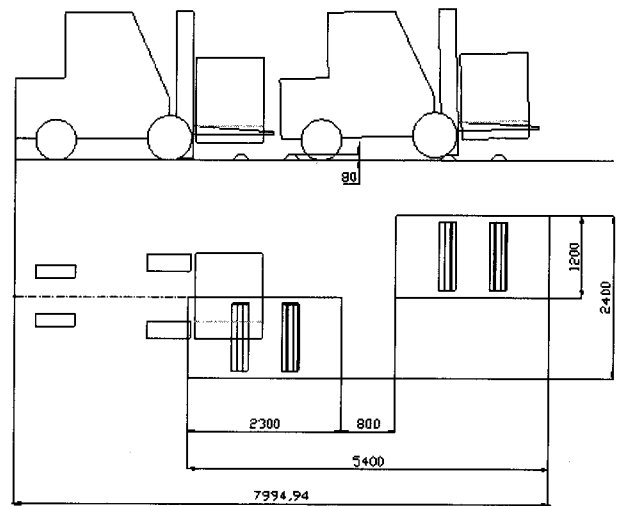
따라서 지게차 회사는 주행 시험 중 요철을 통과하는 시험 및 구동축 하우징 피로 시험을 통해 구동축 하우징의 수명을 판단한다.

<표 12> 요철 시험 결과

시험 종류	시험 사양	
요철 시험	LOAD : 3TON/ICYCLES : 10SEC 측정 항목 : 압력/온도/속도/토크	
	시험 결과	
	일본 N사 지게차(사내 시험)	10,000사이클 통과
	중국 H사 지게차(고객 시험)	200시간 내구 주행 시험 통과

요철 시험은 <표 12>와 같은 시험조건으로 요철 장애물이 설치된 코스를 왕복 주행하는 시험으로 본 연구에서는 시제품에 대한 실차 주행 시험 및 요철 시험을 통해 시제품의 내구 강도를 1차적으로 확인하였다. <그림 22>은 요철 시험 코스를 나타낸 것이다. 요철 시험 통해서 만족한 내구 성능을 확인 하였다.

3.3 개발 제품의 검증 결과



<그림 22> 요철 시험 코스

<표 13>은 피에스디 액슬의 장단점을 나타낸 것이다. 본 개발품은 변속기를 액슬에 내장한 혁신적인 구조를 가진 동력전달장치로 시스템 중량의 감소와 크기의 감소로 유지보수가 우수하다. 아울러 시스템 점검 및 정비성이 향상되었다. 습식 브레이크가 건식 브레이크 보다 성능이 우수하고, 브레이크 시스템의 크기는 작지만, 발열문제로 인해 별도의 냉각 시스템이 구축되어야 한다.

<표 13> 피에스디 액슬의 장단점

PSD Axle 장/단점	
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 부가기능(Auto Parking brake/Anti-Rollback) 적용으로 안전성 및 편의성 향상 • 시스템 중량 감소로 차량주행성능 향상 • 습식 브레이크 적용으로 유지보수비용 감소 • T/M 펌프 효율 감소시 교체 용이 • 시스템 점검 및 정비성 향상 • 기어트레인 소음 감소 • 차량 부품 구성 간소화(Brake system/Parking Brake System) • 차량 고급화 • 습식 브레이크 냉각 비용 감소
단점	<ul style="list-style-type: none"> • PSD Axle 적용에 따른 수정 비용발생 • 기존 Cooling System 변경

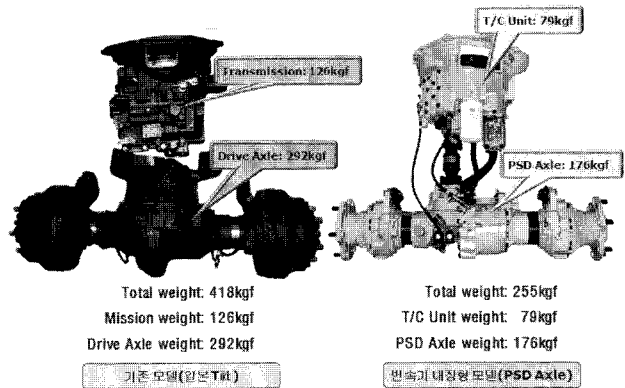
따라서 기존 동력전달장치는 건식 브레이크 시스템이 주로 적용되고 있다. 하지만 본 개발품은 습식 브레이크 시스템이 적용되어 있으며, 별도의 냉각장치가 필요 없는 형태로 추가적인 냉각장치 구성으로 인한 비용 발생이 없다. 그 밖에 자동주차 시스템, 비탈면 미끄럼 방지 기능 등 부가기능이 구축되어 있어, 제품 경쟁력에서 커다란 이점으로 작용 할 것이다.

4. 기대효과 및 추후 연구

본 논문에서는 지게차 전용으로 새로운 구조의 동력전달시스템 개발하는 과정을 기술하였다. 개념 설계에서부터 성능 시험까지 모든 개발 프로세스를 진행하여 동력전달시스템을 개발한 것이 본 논문의 의의라고 하겠다.

본 개발 시스템은 변속기를 액슬에 내장하는 형태로, 기존 동력전달장치와 전혀 다른 구조이다. <그림 23>은 기존 동력전달장치와 피에스디 액슬을 비교한 그림이다. 개발품은 기존 동력전달장치에 비해 중량 및 크기가 40% 정도 감소하였다. 이는 제조 원가 절감 효과를 나타낼 것이다. 그림에서 보듯이 크기의 감소는 유지보수에도 유리하다. 아울러 비탈면 미끄럼 방지 기능 및 자동 주차 브레이크 시스템 등 고객의 요구를 반영한 기

능을 첨가한 제품으로 기존 제품보다 경쟁우위에 있다.



<그림 23> 기존 제품과 PSD Axle과 비교

본 피에스디 액슬은 현재 양산 시제품이 나와 있는 상태로 일본, 중국의 지게차 회사와 양산 계약 단계에 있고 양산이 이루어지면 곧, 매출이 발생할 것이다.

본 연구의 추후 연구 과제로는 전자제어장치(TECU)를 장착한 전진 2단/후진 2단의 동력전달장치를 개발하는 것이다. 장착 공간 협소로 인해 기존 2.0~3.5톤 지게차용 동력전달장치에서는 다단변속장치의 적용이 불가능하였다. 하지만 본 연구로 여유 공간이 확보되었고, 다단변속기의 적용이 가능하게 되었다. 이는 2.0~3.5톤 지게차에서 최초로 다단변속이 이루어지는 것으로 주행 및 작업 모드를 구분하여 지게차를 구동함으로써, 연료 절감효과를 가져 올 것이다.

참고문헌

- [1] 김정준, 임채홍; “동력전달장치 개요”, 오토저널, 29(5) : 18-23, 2007.
- [2] 이주호, 유한중, 최형우, 이승구; “산업차량 설계의 최적화”, 자동차공학회지, 15(5) : 1-7, 1993.
- [3] 이형복, 한문식, 김영철, 최인근; 자동차설계학, 원창출판사, 313-317, 1998.
- [4] 김재희; 자동차새시, 중원사, 169-172, 1997.
- [5] 장경열, 박중순, 유우식; “지게차용 동력전달장치의 개발 사례연구”, 대한산업공학회 2007년도 추계학술대회 발표논문집, 건국대학교 산학협동관, 서울, 1031-1052, 2007.
- [6] 유희희, 박근배, 신상호, 김태일; “지게차량 제동장치 시스템 강도설계를 위한 주요 내력 계산 프로시저 개발”, 한국자동차공학회논문집, 5(5) : 27-36, 1997.
- [7] 日本自動車技術會編輯部, 自動車工學技術大辭典, 科學技術, 199-205, 1996.