

대형 특수차량용 독립현가형 액슬 스루드라이버 개발을 위한 역설계 및 설계검증 적용 연구

이성근^{1*}, 박정현², 편영식², 박병수¹

¹선문대학교 대학원 기계공학과

²선문대학교 공과대학 기계공학과

A Research on the Reverse Engineering and Verification for the Development of An Independent-Suspension Type Axle Through-Drive on Heavy Duty Special Vehicles

Sung-Geun Lee^{1*}, Jeong-Hyeon Park², Young-Sik Pyoun² and Byeong-Soo Park¹

¹Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School of Sun Moon University

²Dept. of Mechanical Engineering, College of Engineering, Sun Moon University

요 약 대형 특수차량용 독립현가형 액슬은 극소수 전문업체에서 생산되며 설계, 제작, 시험평가 등 세부기술은 제 공되지 않고 있다. 또한 액슬 제작을 위한 설계기준 설정에는 시작품을 실제 차량에 탑재하여 수년 이상 소요되는 내 구성 시험이 필수적이다. 본 연구는 독립현가형 액슬의 핵심부품인 스루드라이브를 역설계방법으로 개발하였으며 개 발목표 달성 확인에 필요한 시험평가기준을 제안하였다. 또한 CAD/CAE 도구를 사용하여 제품을 설계하고 설계검증 을 거쳐 시제품을 제작하였다. 본 연구에 적용된 개발절차 및 방법은 차량의 동력전달계통 개발에 유용할 것이다.

Abstract Independent-suspension type axles for heavy duty special vehicles are usually produced by only a few specialized companies. The special techniques, such as designing, producing, testing techniques has been unveiled. The test of durability with the vehicle in which is installed a prototype taking several years is required for setting the designing parameters. In this research, through-drive the core-component of the independent-suspension type axle has been tested with the reverse engineering and the testing methods for the confirmation of the accomplishment in the development goal has been suggested. Also the prototype is developed from designing and testing the design with the CAD and CAE tools. As a result, the process and testing methods studied in this research are useful in the development of power train

Key Words : Independent suspension, Through-drive, Inter-axle differential, Reverse engineering

1. 서론

1.1 연구의 배경

최근 국내외적으로 그림 1에서 보는 바와 같이 장갑차 및 특수지형용 수송차량 등의 군수차량 뿐만 아니라 산악지형 및 비포장 험로에서의 화물수송용 및 작업용 차량 등의 민수차량 등에 모든 바퀴를 구동할 수 있도록 하

는 독립현가형 액슬 적용이 증가하고 있다.

산악, 해안, 수렁, 빙판 등 비포장 험로에서 특수 임무를 수행하거나 고중량 화물을 운송하는 차량은 화물과 차량자체의 무게를 지탱하면서 험로에서도 정상적으로 운행할 수 있도록 하는 동력전달장치로서 독립현가형 액슬 적용이 필수적이다.

본 논문은 중소기업청 중소기업기술개발지원사업에 의해 수행되었음.

*교신저자 : 이성근(leesg@kopo.ac.kr)

접수일 09년 08월 18일 수정일 (1차 09년 09월 11일, 2차 09년 09월 14일)

계재확정일 09년 09월 16일



[그림 1] 6×6 독립현가형 대형특수차량

야지용 대형 특수차량의 동력전달장치는 모든 바퀴를 구동하도록 하는 6×6, 8×8(3개, 4개의 액슬로 구성하고, 모든 액슬에 구동력 전달)등 멀티 드라이브(multi-drive) 독립현가형 액슬이 사용된다.

6×6, 8×8 등의 멀티 드라이브 액슬 차량은 엔진 구동력을 트랜스미션을 거쳐서 트랜스퍼케이스에서 프런트 액슬과 리어 액슬에 분배하게 된다. 멀티 드라이브 액슬에서는 전달되는 엔진 구동력을 현재의 액슬 뿐만 아니라 다음 위치에 있는 액슬에게도 구동력을 전달하여야 하므로, 액슬 구성품으로서 스루드라이브(through drive) 적용은 필수적으로 요구된다.

따라서 트랜스퍼케이스보다 뒤쪽에 위치한 리어액슬이 2개인 경우, 프런트/리어 액슬(F/R Axle), 리어/리어 액슬(R/R Axle) 등 리어 액슬들 간에 구동력을 주향상황에 따라 적절히 재분배하기 위한 스루드라이브 사용이 필수적이다.

그간에 독립현가형 액슬 스루드라이브는 주로 군수용 특수차량에 사용되어 왔으며 현재도 전세계적으로 10개 이하의 소수 선진업체에서만 생산하는 고부가 제품이다. 스루드라이브는 모든 대형 특수차량에 필수적으로 장착되고 관련기술은 각종 상용차량의 고급화에 활용가능하기 때문에 고유 설계기술, 제작기술 및 상용화 제품 확보가 시급하다.

1.2 연구 내용 및 범위

대형 특수차량용 독립현가형 액슬은 극소수 선진업체에서 독과점형태로 생산되며 설계, 제작, 시험평가 등 세부기술은 제공되지 않고 있다. 또한 대형 특수차량용 액슬의 설계기준 설정을 위한 각종 시험평가를 수행하기 위해서는 시작품을 실제 적용할 개발차량에 탑재하여 수년 이상의 내구성 시험이 소요되는 관계로 개발 소요기간 단축과 개발예산 절감을 위하여 선진제품의 역설계 방법을 적용하는 것이 바람직하다.

본 논문은 독립현가형 액슬에 적용되는 스루드라이브

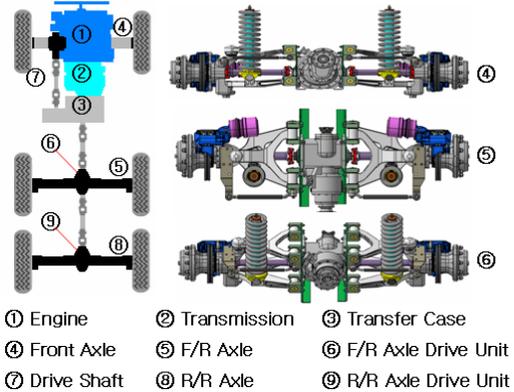
를 대상으로 하고 있으며, 개발절차는 1)역설계 및 기술자료 확보 → 2)설계사양 선정 및 시험평가기준 개발 → 3)개념설계 (설계검증 포함) → 4)상세설계 (설계검증 포함) → 5)시제작 → 6)시험평가 6단계로 구분하여 진행하고 있다. 시험평가는 실시시험(field test)에 장시간이 소요되므로 본 논문에서는 1차로 제품 시제작 단계까지를 대상으로 하고 있다.

연구 진행단계별로 CAD/CAE 도구를 사용하여 부품별 강도 및 안전계수를 산출하고 상세치수 결정에 적용한다. 또한 부품형상을 모델링하여 부품의 조립 및 간섭 확인뿐만 아니라 유한요소해석을 이용한 설계검증을 수행한다. CAD 도구로는 CATIA V5를, CAE 도구로는 ANSYS 및 APM WinMachine[1]을 사용한다.

2. 독립현가형 액슬

2.1 액슬 스루드라이브

그림 2는 6×6 독립현가형 대형특수차량의 동력전달계(drive line) 및 여기에 장착되는 액슬의 형상을 보여주고 있다.

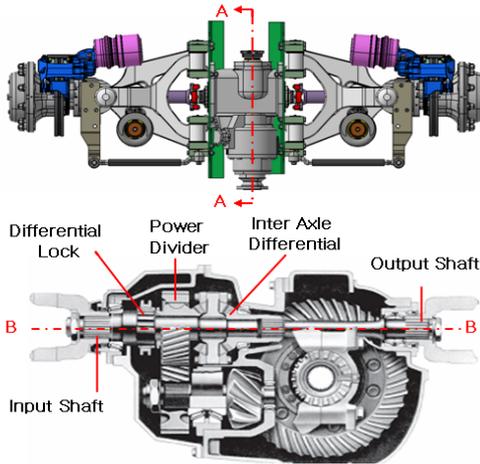


[그림 2] 6×6 독립현가형 대형특수차량의 동력전달계

엔진의 구동력을 바퀴에 전달하는 액슬은 일체형(rigid type)과 독립현가형(independent suspension type)이 있다. 일체형 액슬은 포장도로용 상용차량에 주로 사용되고 있다. 반면 독립현가형 액슬은 포장도로는 물론 비포장도로, 산악, 해안 등 특수지형에서도 장시간 운행하게 되는 상용차량에 적용하는 것으로, 구조 역시 일체형에 비해 복잡하게 되며, 부품의 강도 및 신뢰성이 높도록 설계된다.

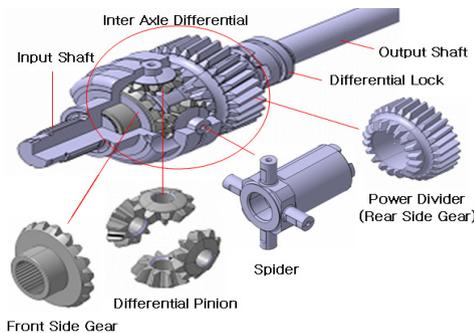
그림 3은 독립현가형 F/R액슬의 외부형상 및 단면을

나타내며 스루드라이브는 중심축(BB) 선상에 장착된 인풋 샤프트(input shaft), 인터액슬 디퍼런셜(inter-axle differential), 디퍼런셜 로크(differential lock), 파워디바이더(power divider), 아웃풋 샤프트(output shaft) 등으로 구성된다[2].



[그림 3] 독립현가형 F/R액슬 및 스루드라이브

그림 4는 인터액슬 디퍼런셜의 구조로서 인풋샤프트와 아웃풋샤프트에 장착되는 2개의 사이드기어와 스파이더에 장착되는 4개의 디퍼런셜 베벨기어로 구성된다. 제품에 따라 프론트 사이드기어 또는 리어 사이드기어는 파워디바이더와 일체형으로 제작되기도 한다.



[그림 4] 인터액슬 디퍼런셜의 구조

2.2 인터액슬 차동 및 차동 멈춤

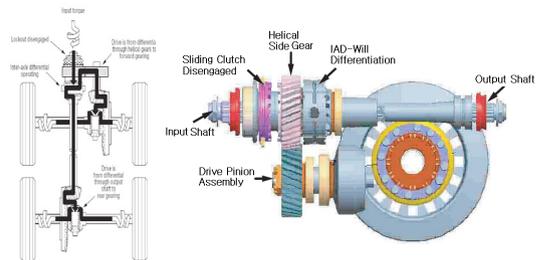
차량은 커브를 돌거나 요철이 심한 노면을 주행할 때 좌우측 바퀴와 앞뒤 바퀴에서 생기는 회전속도 차이를 보상시켜주는 차동장치가 필요하다. 이때 좌우측 바퀴간 차동장치는 액슬 디퍼런셜(axle differential)이라 하고, 앞

뒤 바퀴간 차동장치는 인터액슬 디퍼런셜이라고 한다.

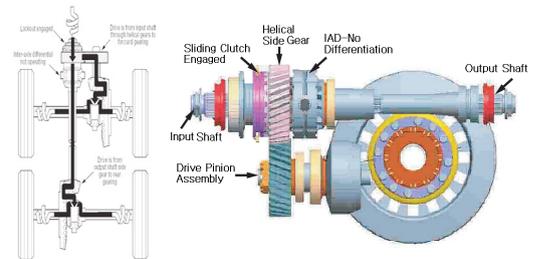
6×6 차량의 경우 인터액슬 디퍼런셜은 F/R액슬 스루드라이브에 장착된다. 따라서 F/R액슬 드라이브에는 스루드라이브(인터액슬 디퍼런셜 포함)와 F/R액슬 디퍼런셜이 함께 설치된다.

한편 모래밭이나 수렁에 바퀴가 빠져 공회전하면 정상적인 노면의 바퀴나 액슬은 회전력을 전달받지 못해 차량 전체가 구동할 수 없게 된다. 이때 운전자는 차동장치의 작동을 일시적으로 제한하기 위하여 차동멈춤장치를 사용하게 되며 그림 5(a)→5(b)는 차동멈춤장치 작동에 따른 엔진 구동력의 전달 경로를 나타낸다[3,4].

차동멈춤장치가 작동하면 스루드라이브의 인터액슬 디퍼런셜은 F/R액슬과 R/R액슬에 구동력을 강제적으로 동일하게 배분함으로써 모래밭, 수렁에서도 미끄러지지 않고 원활히 주행할 수 있게 된다[5,6].



(a) 인터액슬 디퍼런셜 로크 미작동(Disengaged/Unlock)



(b) 인터액슬 디퍼런셜 로크 작동(Engaged/Lock)

[그림 5] 차동멈춤장치 사용에 따른 구동력 전달경로

한편 엔진에서 출력된 구동력이 트랜스퍼 케이스와 드라이브 샤프트를 통해 F/R액슬 스루드라이브에 전달되는 최대토크(TD_{Max})는 다음 식 (1)과 같다.

$$TD_{Max} = TE \cdot TM_R \cdot TC_P \cdot \eta_D \quad (1)$$

여기서 $\begin{cases} TE : \text{엔진 토크} \\ TM_R : \text{트랜스미션 감속비} \\ TC_P : \text{트랜스퍼케이스 파워스플릿비율} \\ \eta_D : \text{드라이브샤프트까지 동력전달효율} \end{cases}$

3. 개발절차 및 개발요구사항

3.1 역설계 절차

스루드라이브와 같이 기존제품이 있으나 산악, 해안, 수렁 등 특수환경에서 사용되고 설계사양이 불명확한 제품을 개발하기 위해서 일반적으로 사용되는 방법이 유사 제품 분석을 통한 역설계(reverse engineering) 방법이다. 액슬 스루드라이브 개발절차 및 역설계 작업순서와 주요 작업내용은 그림 6과 같다.



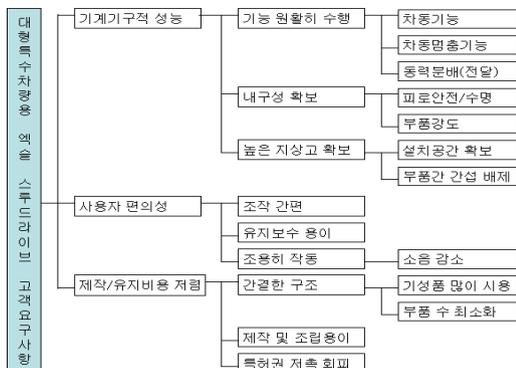
[그림 6] 역설계에 의한 스루드라이브 개발절차

3.2 고객요구사항분석

제품의 개발방향은 제품을 사용하는 고객의 요구를 명확히 파악한 토대 위에 그 요구를 수행할 수 있는 방법, 기능 등에 대해서 정의를 하면 명확하게 수립할 수 있다.

대형 특수차량용 액슬 스루드라이브는 첫째, 기계기구적인 기능 측면에서 ①액슬간 차동, ②차동멈춤, ③구동력 배분 3가지 기능을 원활히 수행할 수 있어야 하고 둘째, 사용이 편하며 셋째, 제작 및 관리 비용이 저렴해야 한다 [7,8].

그림 7은 대형 특수차량용 액슬 스루드라이브 개발방향 정의를 위한 고객 요구사항 분석내용이다.



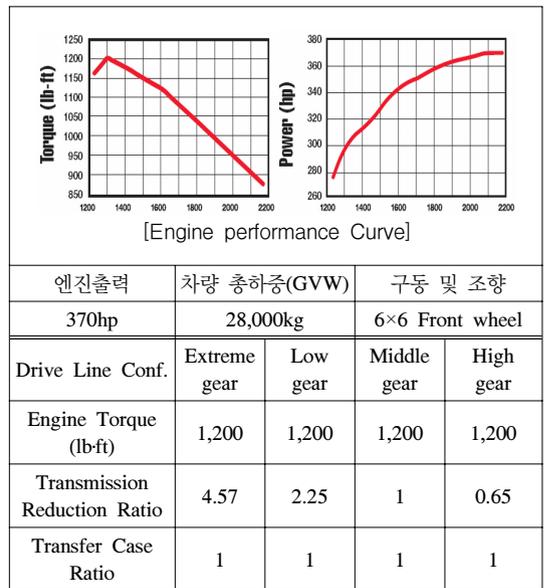
[그림 7] 대형 특수차량용 액슬 스루드라이브 고객 요구사항

4. 역설계

4.1 유사제품 분석

스루드라이브를 설계하기 위해서는 엔진 출력특성, 트랜스미션 감속비, 동력전달계 효율 등의 차량성능 제원이 고려되어야 한다. 표 1은 벤치마킹 차량의 엔진 성능곡선 [9], 트랜스미션[10] 등 동력전달계의 구성을 나타낸다.

[표 1] 벤치마킹 차량 성능 및 규격 제원



4.2 치수형상 측정 및 재질분석

스루드라이브 벤치마킹 제품에 대한 치수형상 측정, 재질 및 열처리 분석 등 역설계를 통해 파악된 부품별 재질, 물성치, 열처리 유형별 기어 강도는 표 2와 같다.

[표 2] 부품별 재질, 물성치, 열처리 유형 및 강도

스루드라이브 구성 부품		인풋샤프트	
		SAE4130H [11]	SAE8620H [12]
물성치	극한강도(UTS)	1,610MPa	1,250MPa
	항복강도(TYS)	1,447MPa	926MPa
열처리부 표면경도	열처리방법	고주파경화	침탄경화
	표면경도	HRc48이상	HRc58~63

4.3 부품별 안전계수 산출

차량의 부품별 안전강도는 제품의 품질수준, 보증수리 기간 등과 밀접한 관계가 있기 때문에 업체별 노하우를 활용하거나 비공개 자체 설계기준을 마련하여 적용하고 있다. 특히 기계 구조물에서는 재료에 변동하는 외력이 반복적으로 가해지면 파괴하중보다 낮은 값에서도 파괴되는 피로파괴가 매우 많다. 피로파괴는 재료의 크기, 표면상태, 응력집중, 비대칭주기 등에 영향을 받는다. 피로 안전계수(fatigue safety factor)는 차량의 품질 보증수리기간과 밀접한 관계가 있다.

스루드라이브와 같이 기존 제품이 있으나 관련 기술정보를 확보할 수 없으며, 특수한 용도로 특별한 조건에서 사용되는 제품을 개발하기 위해서는 역설계를 통하여 기존 제품에 적용되는 안전계수(설계기준)를 도출하고 이를 기초로 설계사양을 결정하는 것이 무엇보다 중요하다. 설계기준을 도출하는 역설계과정에서 구성부품에 작용하는 최대하중조건을 분석하여 안전계수를 산출하는 과정은 필수적이다.

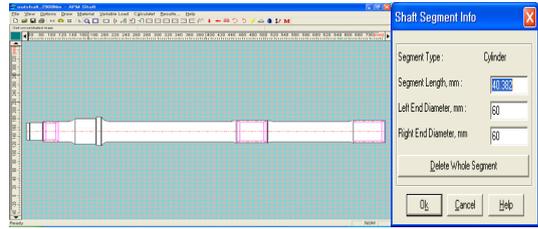
부품별 안전계수를 산출하는 역설계과정은 “벤치마킹 제품의 1)동력전달 매커니즘 분석 → 2)부품별 치수형상 측정 → 3)소재 물성 및 열처리분석 → 4)부품별 작용하중 산출 → 5)1)~4)과정을 통해 분석된 값을 이용하여 부품별 피로안전계수를 산출(CAE S/W인 APM WinMachine 활용)”하는 순서로 진행된다.

그림 8은 CAE S/W인 APM WinMachine을 활용하여 스루드라이브 아웃풋샤프트의 피로안전계수 산출방법으로서 1)형상 모델링(작도) 및 치수입력 → 2)사용 소재의 기계적 특성치 입력(소재 선정) → 3)하중조건 입력 → 4) 피로안전계수 산출 순서로 진행된다.

아웃풋샤프트의 안전계수를 도출하기 위해서는 아웃풋샤프트의 형상과 구동력 전달경로에 대한 분석이 필요하다. 아웃풋샤프트에는 양단부(디퍼런셜 사이드기어와 R/R 액슬 드라이브샤프트에 연결)와 중간부(디퍼런셜 로크 착탈)에 총 3개의 스플라인이 적용되어 있다.

그림 9는 그림 8에 의한 스루드라이브 아웃풋샤프트를 100개 구간으로 나누어 구간별 피로안전계수를 산출한 결과 60~62구간(460~474mm)과 90~92구간(602~623mm)의 피로안전계수가 1.67842(약 1.7)로서 가장 작게 나타났다.

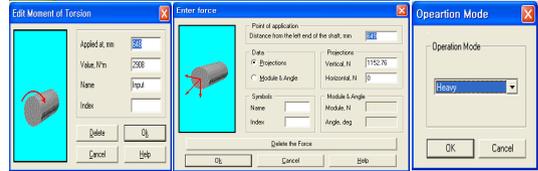
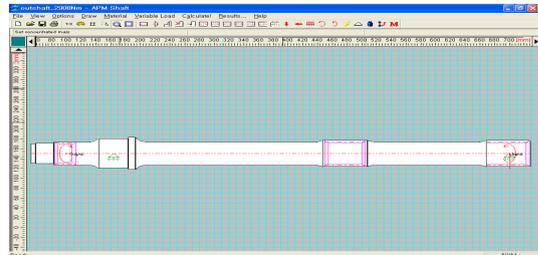
이것은 입력측 끝단의 스플라인을 통해 구동력을 전달받고 이를 다시 출력측 끝단의 스플라인을 통해 구동력을 전달하는 아웃풋샤프트의 형상 특성상 중간부(60~62구간)에는 축의 처짐에 의한 회전진동이 발생하고 끝단부에는 비틀림 모멘트에 의한 변형이 가장 크기 때문으로 파악되고 있다.



(a) 형상 모델링(작도) 및 치수 입력

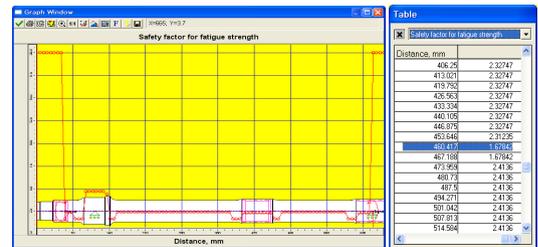


(b) 소재선정



(c) 하중조건 입력

[그림 8] 아웃풋샤프트 피로안전계수 산출



[그림 9] 아웃풋샤프트 피로안전계수 산출 1.7(Min)

표 3은 그림 9와 같이 CAE S/W 등을 이용하여 산출된 대형 특수차량용 독립현가형 액슬 스루드라이브 주요 구성부품의 피로안전계수를 나타낸다.

[표 3] 액슬 스루드라이브 구성부품별 피로안전계수

구분	구성부품	피로안전계수(최소)
샤프트류	인풋 샤프트 아웃풋 샤프트	1.7
기어류	디퍼런셜 기어 파워 디바이더	1.2
클러치류	디퍼런셜 로크 스파이더	1.7

5. 설계사양 및 시험평가기준 개발

본 연구에서는 고객요구사항, 역설계 결과, 차량수명(주행거리), 특수차량 구동차축 신뢰성 평가기준[13], 군수용 트럭 설계사양(U.S. Military Specification)[14-16] 등에 기초하여 설계사양 및 시험평가기준을 제안하며 제안된 설계사양 및 평가기준의 적용범위는 표 4와 같다.

[표 4] 설계사양 및 시험평가기준 적용범위

구분	시험항목	세부기준
적용범위	차량 동력	370hp급
	차량 중량	28,000kg급
	운용환경	실외사용 -33~50℃
	구동 및 조향	6×6, Front wheel Steering

5.1 설계사양

최근 완성차 업체별로 제공하는 보증수리기간은 계속 연장되는 추세이며 특히 동력전달계통의 부품은 내구성을 충분히 고려하여 수명이 설계되어야 할 것이다.

한편 야지 주행용 미군 전술트럭의 경우 설계요구 내 용연수(service life)는 20년 이상(또는 25년 8,000km/년 이상)이며 보증수리기간 2년에 시스템 설계 또는 소재결함으로 발생한 문제에 대해서는 그 기간이 연장되고 있다[17,18].

여기에 역설계과정에서 도출된 부품별 피로안전계수를 적용한 대형특수차량용 액슬 스루드라이브 설계사양은 표 5와 같다.

[표 5] 액슬 스루드라이브 설계사양

구분	항목	세부내용
설계사양	설계수명	20만km(최소주행거리)
	소음	90dB이하
	운용환경	실외사용 -33~50℃
	샤프트류	피로안전계수 1.7이상
	기어류	피로안전계수 1.2이상
	클러치류	피로안전계수 1.7이상

5.2 시험평가기준

차량 동력전달계통의 부품 시험평가방법에는 기능시험, 강성시험, 소음측정시험, 내구성시험 등이 있다. 그러나 험로를 주행하는 대형 특수차량의 내구성은 실지시험(field test)을 통하여 이상여부를 평가하는 것이 바람직하다.

따라서 기능, 강성, 소음의 이상 유무를 평가하는 “종합성능평가”와 실지시험을 통한 “내구성평가”로 구분하여 적용하고자 한다.

표 6은 본 연구에서 제안한 스루드라이브 성능평가 시험방법 및 기준 개요로서 종합성능시험은 2개의 시료를 랜덤 샘플링하여 시험하고 실지시험은 초도생산품을 대상으로 32,000km를 실지 주행한 이후에 마모, 파괴 등 성능저하 여부를 비교 평가한다.

[표 6] 액슬 스루드라이브 시험평가 방법 및 기준 개요

구분	시험항목	시험방법	평가기준
종합성능 시험평가	작동시험	■무부하 운전 ■최소속도~최대속도까지 단계적 상승	■작동이 원활하고 이상 소음이 없을 것
	차동잠금	■정지상태에서 수동구동	■잠금/해제시 차동기능 해제/작동
	소음시험	■무부하 운전 ■1m이내 4개소시험	■90dB(A) 이하
	효율시험	■정격토크 시 정격동력 해당속도	■90% 이상
	기계적 충격시험	■충격가속도 400m/s ² , 11ms, 3축 양방향 3회	■외관손상(파손, 균열, 변형 등)이 없어야 함
	수명시험	■시험단계별(부하율 4~100%) 실시	■시료2개를 5,200km까지 가속시험한 후 2개모두 고장이 없을 것
내구성 시험평가	실지시험	■포장도로, 비포장도로, 야지를 30% : 28% : 42% 비율로 32,000km주행	■부품교체, 분해정비 없이 주행완료

6. 개념설계

6.1 개념설계안 작성

여러 설계방법 중 모듈방식 설계는 하나의 시스템을 기능별로 여러 개의 모듈별로 나누어 설계하는 방법이다.

스루드라이브 구성부품을 기능별로 모듈화하고 모듈별로 사용되는 여러 형식 중에서 설계사양과 비교하여 적용 가능한 모듈별 형식을 결정하면 간편하게 개념설계안을 도출할 수 있다. 그림 10은 스루드라이브 개념설계안 도출을 위한 기능별 모듈형식을 나타낸다.



[그림 10] 모듈설계방식에 의한 스루드라이브 개념설계안

6.2 개념설계안 검토

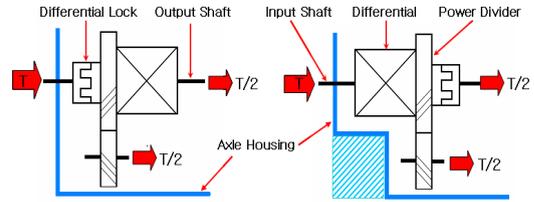
그림 10에서 차동장치에는 센터 디퍼런셜과 인터엑셀 디퍼런셜이 있으나 센터 디퍼런셜은 SUV 등 고급수형 4×4차량의 트랜스퍼케이스에 장착되며 6×6이상의 대형 차량의 차동장치로는 인터엑셀 디퍼런셜이 사용되므로 이를 적용하였다.

차동멈춤장치로는 디퍼런셜 로크(도그클러치)와 NSD(Non Slip Differential)가 있다. NSD는 디퍼런셜 로크에 비해 고가이고 구조가 복잡하며 소음이 크지만 노면 상황에 따라 자동으로 로킹되는 장점이 있기 때문에 군수용 차량 등에 제한적으로 사용되고 있다. 따라서 여기에서는 대형차량에 일반적으로 사용되는 도그클러치 형식을 적용하였다.

스루샤프트는 인풋샤프트와 디퍼런셜 케이스를 일체형으로 제작하는 것이 부품 수 및 구조측면에서 유리한 것으로 나타났다.

한편 디퍼런셜 로크는 인풋샤프트 또는 아웃풋샤프트에 가공된 스플라인을 통해 클러치가 부착된 파워디바이더와 결합하여 차동멈춤기능을 한다. 그림 11은 디퍼런셜 로크가 파워디바이더의 클러치와 결합하여 차동기능이 정지된 상태를 나타낸다. 이때 디퍼런셜 로크에 작용하는 회전토크 T는 그림 11(b)에서와 같이 아웃풋 샤프트 측에 설치된 것이 전달된 회전토크의 1/2만 작용하게 되므로 디퍼런셜 로크의 설계 및 제작 측면에서 유리하다. 또한 빗금 친 부분만큼 액셀 하우징의 체적을 축소할 수

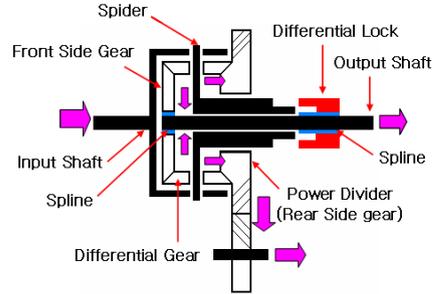
있어 액셀 드라이브 설치공간 활용 측면에서도 유리한 것으로 나타났다.



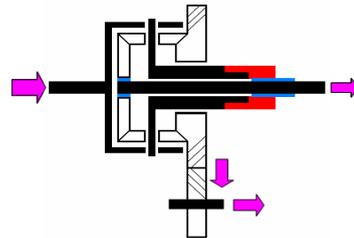
(a) 인풋샤프트에 설치 : T (b) 아웃풋샤프트에 설치 : T/2

[그림 11] 디퍼런셜 로크 작용하중(T) 및 설치공간 비교

그림 12는 액셀 스루드라이브의 개념설계안에 의한 구동력 전달과정을 나타낸다. 그림 12(a)는 인터엑셀 디퍼런셜의 작동에 의해 F/R액셀과 R/R액셀 간 회전속도 차이를 보상하여 전달하고 그림 12(b)는 디퍼런셜 로크가 로킹되어 F/R액셀과 R/R액셀에 회전력을 강제적으로 균등하게 배분하게 된다.



(a) 인터엑셀 디퍼런셜 작동



(b) 디퍼런셜 로크 작동

[그림 12] 액셀 스루드라이버 개념설계안

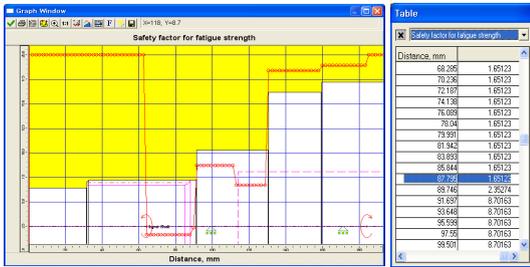
7. 상세설계

7.1 주요부품 치수결정

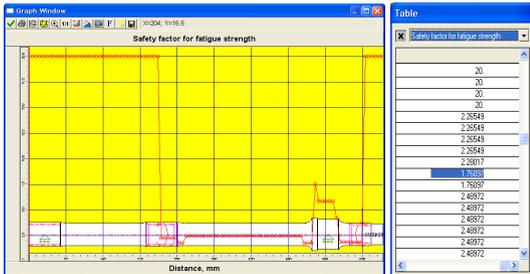
스루드라이브 구성부품별 상세치수는 우선 개념설계 안에서 도출된 부품별 형상치수, 재질 및 물성치, 하중조건을 APM WinMachine에 입력하여 부품별 피로안전계수를 산출하고 이때 산출된 피로안전계수가 역설계를 통해 산출된 부품별 설계기준과 비교하여 적합하면 그때 입력된 부품별 상세치수가 최종치수로 결정된다. 이때 부품별 상세치수는 액슬의 경량화 및 체적공간 최소화를 위하여 최소치수로 결정하였다.

7.1.1 스루샤프트 상세설계

그림 13은 스루드라이브 인풋샤프트 및 아웃풋샤프트의 상세치수에 대한 피로안전계수 산출결과로서 인풋샤프트 1.7, 아웃풋샤프트 1.8로서 설계기준 (1.7이상)을 충족하였다.



(a) 인풋샤프트 : 피로안전계수 1.7(Min)

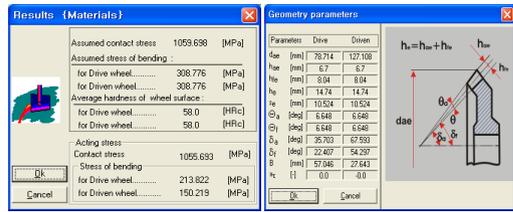


(b) 아웃풋샤프트 : 피로안전계수 1.8(Min)

[그림 13] 인풋샤프트 및 아웃풋샤프트 치수 산출

7.1.2 디퍼런셜기어 및 파워디바이더 상세설계

그림 14는 디퍼런셜기어 및 파워디바이더의 상세치수에 대한 피로안전계수 산출결과로서 디퍼런셜기어와 파워디바이더의 피로안전계수는 각각 1.3, 1.2로 설계기준 (1.2이상)을 충족하였다.



(a) 디퍼런셜기어: 피로응력 1,056MPa(피로안전계수 1.3)

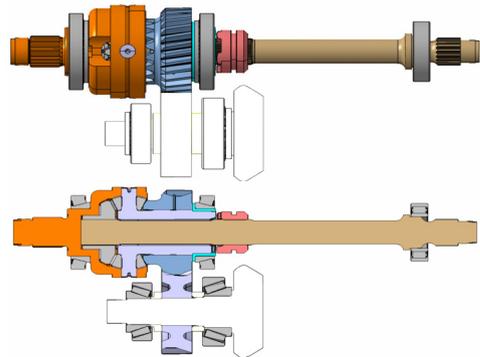


(b) 파워디바이더: 피로응력 1,071MPa(피로안전계수 1.2)

[그림 14] 디퍼런셜기어 및 파워디바이더 치수 산출

7.2 형상 CAD 모델링

결정된 상세치수는 시제품 제작에 앞서 부품간 조립관계 및 간섭여부를 사전에 검토할 필요가 있다. 이를 위해 스루드라이브를 CAD 모델링하여 조립관계 및 부품간 간섭여부를 확인하였으며 그림 15는 모델링 및 조립단면도이다.



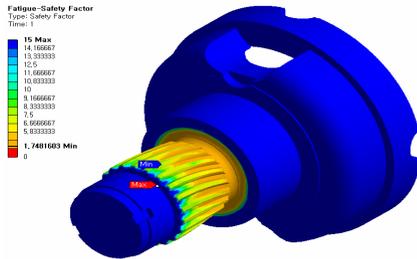
[그림 15] 스루드라이브 CAD 모델링 및 조립단면도

7.3 유한요소해석(FEA)

CATIA V5로 CAD 형상 모델링된 스루드라이브 구성부품을 ANSYS에 적용하여 하중조건과 재질을 입력하여 등가응력(von-Mises stress), 변위량, 정적안전계수, 피로안전계수를 산출하였으며 산출된 피로안전계수가 설계기준에 충족되는지 여부를 확인하는 방법으로 설계내용을 검증하였다.

7.3.1 인풋샤프트 및 디퍼런셜 케이스 해석

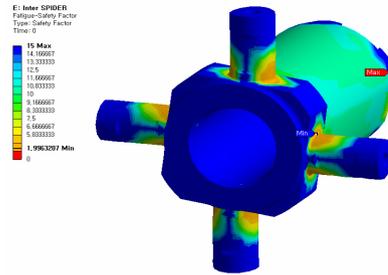
그림 16은 일체형 인풋샤프트 및 디퍼런셜 케이스의 상세치수에 대한 유한요소해석 결과로서 설계기준(피로안전계수 1.7이상)을 충족하는 것으로 나타났다.



[그림 16] 인풋샤프트 및 케이스 유한요소해석

7.3.4 스파이더 해석

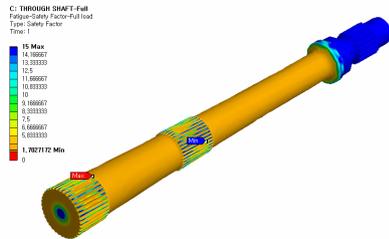
그림 19는 스파이더의 상세치수에 대한 유한요소해석 결과로서 설계기준(피로안전계수 1.7 이상)을 충족하는 것으로 나타났다.



[그림 19] 스파이더 유한요소해석

7.3.2 아웃풋샤프트 해석

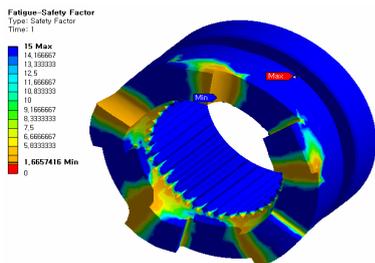
그림 17은 아웃풋샤프트 상세치수에 대한 유한요소해석 결과로서 설계기준(피로안전계수 1.7이상)을 충족하는 것으로 나타났다.



[그림 17] 아웃풋 샤프트 유한요소해석

7.3.3 디퍼런셜 로크

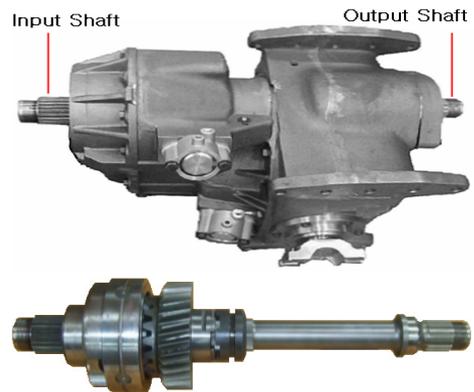
그림 18은 디퍼런셜 로크(도그클러치) 유한요소해석 결과로서 설계기준(피로안전계수 1.7이상)을 충족하는 것으로 나타났다.



[그림 18] 디퍼런셜 로크 유한요소해석

8. 시제품 제작

그림 20은 스루드라이브의 상세치수 및 CAD 모델링 결과를 기초로 시 제작된 F/R액셀 드라이브 유닛 및 스루드라이브를 나타낸다.



[그림 20] 시제작 F/R액셀 드라이브 유닛 및 스루드라이브

9. 결론

본 연구내용 및 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 역설계 및 CAE S/W를 활용하여 하중조건을 분석한 결과 대형 특수차량용 스루드라이브 구성부품의

설계사양을 파악할 수 있었다.

- 2) 개념설계 단계에서 스루드라이브 구성부품을 기능별로 모듈화하고 모듈별로 적용가능한 형식중에서 설계사양과 비교함으로써 간편하게 개념설계안을 도출할 수 있었다.
- 3) 상세설계 단계에서 CAE S/W에 설계사양을 적용하여 스루드라이브의 상세치수를 결정할 수 있었고 CAD 형상모델링을 통해 조립 및 부품간 간섭 여부를 체크할 수 있었다.
- 4) 설계결과물에 대한 유한요소해석 결과 역설계를 통해 설정된 부품별 피로안전계수 등 설계사양을 충족하는 것으로 나타났다.

본 연구결과를 통해 시제작된 스루드라이브의 성능시험(실지시험)을 진행 중에 있으며 제안된 설계사양과 시험평가기준의 유효성 검증도 추가로 진행 중이다.

참고문헌

- [1] 편영식 외, "CAE S/W를 활용한 기계설계(APM WinMachine 매뉴얼)", (주)디자인메카, 2005.
- [2] AxleTech, "Tandem Axle Forward Drive Units Maintenance Manual 5P, 1998.
- [3] DANA, "Service Manual" AXSM0041, 2007.
- [4] DANA, "Driver Instruction" AXDR0126, 2008.
- [5] Crouse Anglin, Automotive Mechanics Tenth Edition, McGraw-Hill, 2004.
- [6] Sisu Axles Inc. service Manual, "Operation of the Inter-Axle Differential Lock in Through Drive Rear Axles", 2007.
- [7] Scott Danlel, "Feasibility & design study of a drive box for application in a tandem rear axle light truck", The Ohio State University, 2005.
- [8] Military Standardization Handbook Trucks And Truck Tractors; Military Design Characteristics OF MIL-HDBK-134A, pp. 16-17, October, 1965.
- [9] <http://www.everytime.cummins.com/assets/pdf/4103989.pdf>
- [10] Allison Transmission, International 3500 Series Specification Sheet(SA5342EN), 2009.
- [11] <http://www.metalsbank.com> (물성정보통합검색/SCM430)
- [12] <http://www.matweb.com/search/QuickText.aspx> (AISI8620/steel direct quenched pot)
- [13] 기술표준원, "특수차량용 독립현가형 구동차축 신뢰성 평가기준(RS B 2032), 2008.

- [14] 산업자원부, "야지차량의 미끄럼 제한 차동장치 개발연구", pp. 108~134, 2003.
- [15] U.S. Department of Defense, "Military Specification : MIL-T-740G", 1983.
- [16] U.S. Department of Defense, "Military Specification : MIL-T-62012A", 1968.
- [17] <http://www.militaryphotos.net/forums/showthread.php?t=143575>
- [18] <http://www.plasansasa.com/pdf/UCMilitaryTrucks.pdf>

이 성 근(Sung-Geun Lee)

[정회원]



- 1994년 8월 : 서울산업대학교 대학원 기계설계학과 석사
- 1998년 1월 ~ 현재 : 한국폴리텍 I 대학 자동화시스템과 교수
- 2000년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 대학원 기계공학과 박사과정

<관심분야>

CAD/CAM/CAE, Factory Automation

박 정 현(Jeong-Hyeon Park)

[정회원]



- 1996년 8월: KAIST 산업공학과 공학박사
- 1985년 3월 : 한국기계연구원 CAD/CAM실 연구원
- 1988년 5월 ~ 1996년 8월: (주)협동감속기 전무이사
- 1999년 10월 ~ 2008년 3월 : (주)디자인메카 전무이사
- 1997년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 공과대학 기계공학과 부교수

<관심분야>

CAD/CAM/CAE, 기계설계자동화, 생산시스템제어

편 영 식(Young-Sik Pyoun)

[정회원]



- 1992년 4월 ~ 현재: 선문대학교 공과대학 기계과 교수
- 1994년 3월 ~ 현재 :선문대 생산시스템기술연구소장
- 1999년 10월 ~ 2008년 3월 : (주)디자인메카 창업 및 대표이사

<관심분야>

Design Engineering, Nano Technology, Surface Technology

박 병 수(Byeong-Soo Park)

[정회원]



- 2002년 3월 ~ 2004년 2월 : 선문대학교 대학원 기계및제어공학과 석사과정 졸업
- 2004년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 대학원 기계공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

CAD/CAE, 기계설계, API