

차륜형장갑차용 유압펌프의 해석 및 시험을 통한 신뢰성 확보에 관한 연구

김원재*[#], 이호준*, 최청석*, 서석호*, 최성웅**

*국방기술품질원, **피엠씨

A Study on Ensuring Reliability of Hydraulic Pumps for Wheeled Armored Vehicles through Analysis and Testing

Won-Jae Kim*[#], Ho-Jun Lee*, Chung-Seok Choi*, Suk-Ho Seo*, Sung-Woong Choi**

*Defense Agency for Technology and Quality, **PMC

(Received 06 May 2020; received in revised form 09 July 2020; accepted 10 July 2020)

ABSTRACT

This paper introduces the structural and vibration analysis performed in the localization development process of hydraulic pumps used in wheeled armored vehicles. The maximum strain, maximum stress, maximum displacement, and minimum safety factor were calculated using structural analysis. Furthermore, it was found that the dangerous resonance frequency was avoided through vibration analysis. In addition, the reliability of the analysis results was verified by passing various tests, such as the actual vibration test and the actual durability test. The developed hydraulic pump is expected to contribute significantly to the maintenance of military vehicles in the future.

Key Words : Hydraulic Pump(유압펌프), Structural Analysis(구조해석), Vibration Analysis(진동해석), Test(시험), Reliability(신뢰성)

1. 서 론

Fig. 1과 같이 차륜형장갑차에 적용되는 가변피스톤형 유압펌프는 차체 동력장치인 변속기 출력축에 연결되어 오일냉각장치에 필요한 유압동력을 공급하는 부품이다. Table 1과 같이 3개의 그룹으로 구성되어 있는 유압펌프는 구동축이 회전할 때 피스톤의 왕복운동을 통해 유압유를 흡입 및 토출하여 시스템 조건에 따라 캠의 경사각을 조절하여 유량

을 조절한다. 만약, 유압을 사용하지 않아 설정된 압력을 초과할 경우 컷 오프(캠 경사각 최소화)하여 소요 동력을 최소화 시키는 기능을 수행한다^[1].

일반적인 피스톤형 유압펌프는 국내 유압 전문회사에서 건설기계용, 일반산업용으로 국내 개발 및 생산을 하여 적용하고 있으며 기술적, 가격 경쟁력에 있어서 높은 수준에 도달해 있다. 하지만, 군수품의 경우 체계장비에서 요구되는 제한적인 크기와 출력성능, 운용환경을 고려한 환경시험, 체계 적합성 등 다양한 시험 입증에 필요하기 때문에 그동안 국내 개발을 못하고 있었다.

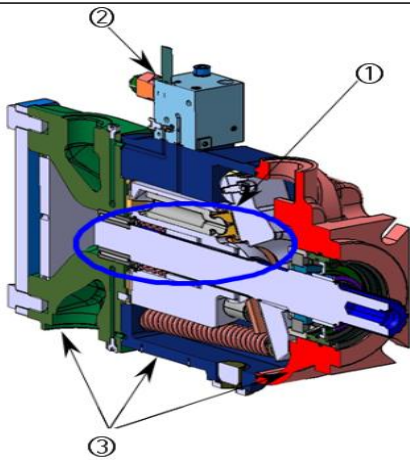
본 논문에서는 2016년~2019년에 걸쳐 국산화 개

Corresponding Author : kwonjae@dtaq.re.kr
Tel: +82-55-279-4095, Fax: +82-55-287-4780



Fig. 1 Applied vehicle and transmission

Table 1 Component of hydraulic pump



Part	Component
Rotary Part ①	Drive Shaft
	Cylinder Block
	Piston Assembly
	Yoke Cam
	Bearing
Operation Part ②	Control Block
	Valve Plate
	Control Valve
Housing Part ③	Mounting Flange
	Main Housing
	Valve Block
	Main Bearing
	Shaft Seal

발에 성공한 가변피스톤형 유압펌프의 구조 안전성 검증에 위한 해석과정을 소개한다. 또한, 안전성 향상을 위한 형상개선 및 소재 변경을 진행하여 최적화 모델을 제시하였고, 실제 시험을 통해 구조 안전성의 해석 결과를 입증하였다.

2. 해석

2.1 해석 기본 조건

제품의 소성변형 및 파괴여부를 판단하고, 공진 주파수 영역을 회피하기 위해 실제 제작에 앞서 해석(Structural, Mode, Harmonic analysis)을 실시하였다. 해석에 필요한 주요 구성품의 재질정보는 Table 2에 기계적 물성 데이터는 Table 3에 나타내었다. 이 외에 추가로 고려한 해석조건은 아래와 같다. ※ 3) ~ 8) 차량 실제 운용조건

- 1) ISO 898-1^[2]의 나사강도 하중표(호칭 M12, 나사 강도 3.6)를 참조하여 체결력을 27.8kN으로 설정
- 2) 부품 사이의 접촉면에서 슬라이드가 발생 조건을 고려하여 마찰계수 0.2 적용
- 3) 로터리 파트의 압력부하 조건은 부하압력 30MPa, 모멘트 350N·m로 적용(Fig. 2)
- 4) 하우징 파트의 압력부하 조건은 제어압력 1MPa, 작업압력 30MPa를 복합적으로 적용(Fig. 3)
- 5) 20g의 기계적 충격을 고려하여 하우징 파트 무게중심에 3.5kN이 작용하는 것으로 설정
- 6) 회피할 공진주파수는 실제 운용조건인 1,750rpm으로 설정
- 7) 메인하우징과 마운팅 플랜지의 외부 가진 요소는 내부에 작동압력 1MPa이 주기적으로 작동하는 것으로 설정
- 8) 밸브 블록의 외부 가진 요소는 내부에 펌핑압력 30.0MPa과 작동압력 1MPa이 동시에 주기적으로 작동하는 것으로 설정

Table 2 Material data of component

Component	Material
Main Housing	GCD 450
Mounting Flange	GCD 450
Control Valve Block	GCD 450
Cylinder Block	GCD 500
Valve Block	GCD 600
Piston Assembly	STB 2
Drive Shaft	SCM 415
Cam	SCM 440
End Flange	AL-6061

Table 3 Mechanical property data

Property	Material	GCD 450	GCD 500	GCD 600	STB 2
Density (kg/m ³)		7,900	7,860	7,860	7,810
Elasticity (GPa)		170	200	200	207
Poisson's ratio		0.29	0.29	0.275	0.29
Tensile strength (MPa)		450	500	600	520
Yield strength (MPa)		280	340	370	415
Hardness (HB)		140	150	170	201
Elongation (%)		10	7	3	5

Property	Material	SCM 415	SCM 440	AL 6061
Density (kg/m ³)		7,850	7,860	2,700
Elasticity (GPa)		205	205.8	68.9
Poisson's ratio		0.3	0.305	0.33
Tensile strength (MPa)		655	980	310
Yield strength (MPa)		415	830	278
Hardness (HB)		285	235	73
Elongation (%)		16	12	10

※ Reference temperature : ordinary temperature

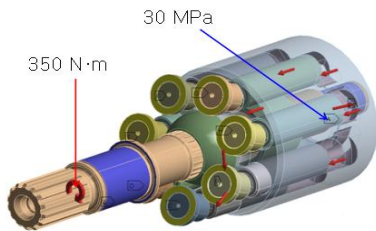
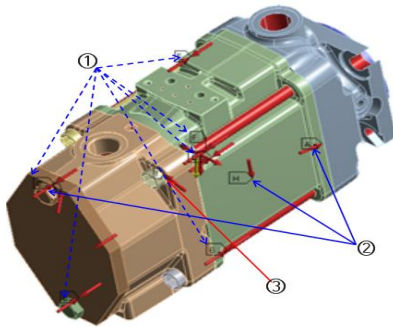


Fig. 2 Load condition of rotary part



- 1. Bolt Pretension : 27.8 kN
- 2. Inside-Pressure : 1 MPa
- 3. Inside-Pressure : 30 MPa

Fig. 3 Load condition of housing part

2.2 구조 해석

Fig. 4~7과 같이 하우징 파트의 해석 결과 최대 변형률은 0.0049mm/mm, 최대 응력은 980.65MPa이며, 발생부위는 볼트 체결부 홀 가장자리에서 나타났다. 특이사항으로는 최대 변위가 고정부 마운팅 플랜지로부터 가장 멀리 떨어진 자유단 엔드-카버 파트에서 0.475mm로 나타났는데, 이는 제품 자체의 변형이라기보다는 하중이 접촉경계면(마찰 계수 0.2)에서 미소한 슬립이 누적되어 나타난 결과로 판단된다. 마지막으로 최소 안전율은 0.42가 발생하였지만, 전체적인 하우징 파트의 안전율은 1.3이상을 확보하였다. 또한, 해당 조건이 20g의 극한적인 기계적인 충격임을 고려했을 때 하우징 파트는 현 사용조건에서 충분한 강도를 가지는 것으로 알 수 있다.

그 외에 메인 하우징, 마운팅 플랜지, 밸브 블록 등의 해석 결과는 Table 4~7에 정리하였다.

A: Housing Assembly Structural Analysis
Equivalent Elastic Strain
Type: Equivalent Elastic Strain
Unit: mm/mm

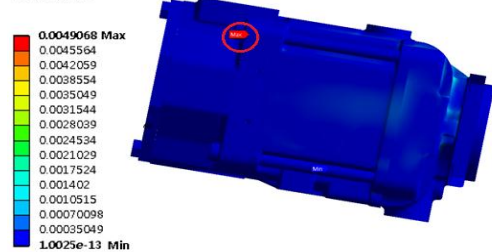


Fig. 4 Structural analysis result of housing part (Maximum strain 0.0049mm/mm)

A: Housing Assembly Structural Analysis
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa

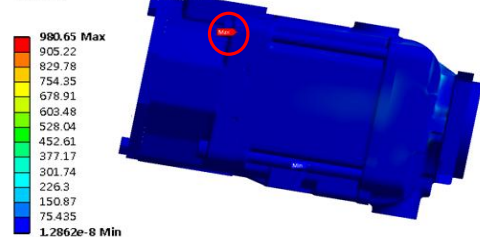


Fig. 5 Structural analysis result of housing part (Maximum stress 980.65MPa)

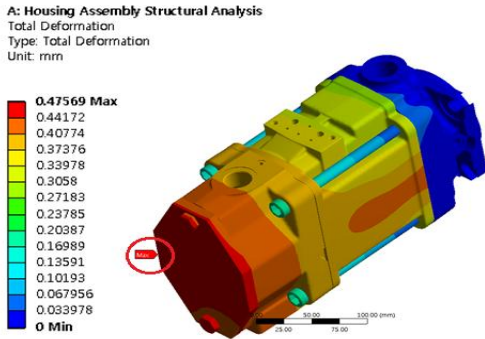


Fig. 6 Structural analysis result of housing part (Maximum displacement 0.475mm)

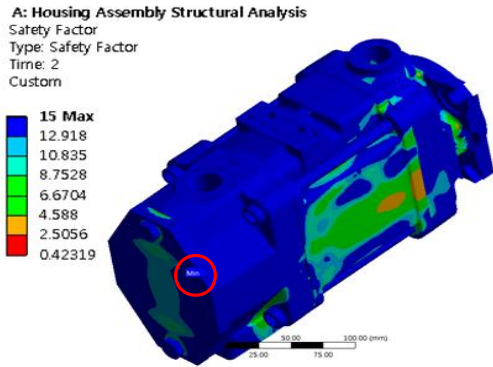


Fig. 7 Structural analysis result of housing part (Minimum safety factor 0.42)

Table 4 Structural analysis result of main housing

Specification	Result
Maximum strain	0.0011mm/mm
Maximum stress	181.43MPa
Maximum displacement	0.051mm
Minimum safety factor	1.54

Table 5 Structural analysis result of mounting flange

Specification	Result
Maximum strain	0.0028mm/mm
Maximum stress	213.46MPa
Maximum displacement	0.14mm
Minimum safety factor	1.31

Table 6 Structural analysis result of end flange

Specification	Result
Maximum strain	0.0016mm/mm
Maximum stress	99.9MPa
Maximum displacement	0.05mm
Minimum safety factor	2.76

Table 7 Structural analysis result of cylinder block

Specification	Result
Maximum strain	0.0015mm/mm
Maximum stress	185.79MPa
Maximum displacement	0.119mm
Minimum safety factor	1.83

2.3 진동 해석

구조 해석에 사용한 데이터를 바탕으로 메인하우징, 마운팅 플랜지, 밸브 블록에 대해 진동해석을 수행하였다.

메인하우징의 해석 결과 Fig. 8~9와 같이 6차례의 고유진동수 범위는 4,020~6,710Hz 사이에서 나타났으며, 그 중 위험 공진 주파수 영역은 Fig. 10과 같이 1차 4,027Hz, 4차 6,2100Hz, 6차 6,702Hz 근처로 나타났다. 유압펌프의 회전수 241,638rpm에서 최초 공진주파수 발생하여 실제 사용조건인 1,750 rpm에서는 안전한 것으로 판단된다.

그 외에 마운팅 플랜지, 밸브 블록의 해석 결과는 Table 8~9에 정리하였다.

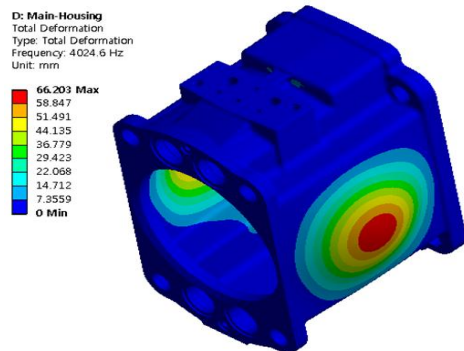


Fig. 8 Natural frequency result(1st mode, 4,020Hz) of main housing

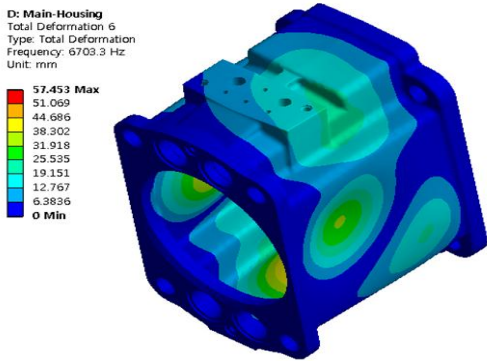


Fig. 9 Natural frequency result(6th mode, 6,703Hz) of main housing

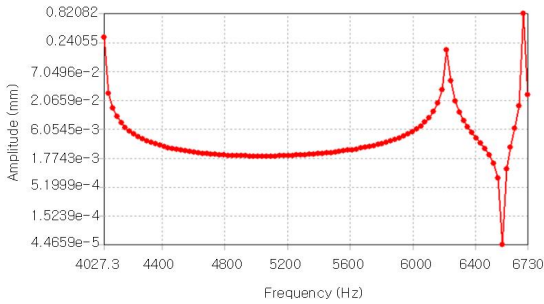


Fig. 10 Resonant frequency result of main housing

Table 8 Vibration analysis result of mounting flange

Mode	Natural Frequency	Mode	Natural Frequency
1st	2,879.2Hz	4th	4,438.2Hz
2nd	2,880.3Hz	5th	4,790.3Hz
3rd	3,210.1Hz	6th	4,837.2Hz

· resonance frequency : 3,210Hz, 4,790Hz
· location of resonant frequency : 192,600rpm

Table 9 Vibration analysis result of valve block

Mode	Natural Frequency	Mode	Natural Frequency
1st	6,232.5Hz	4th	7,798.2Hz
2nd	7,278.4Hz	5th	9,401.1Hz
3rd	7,398.8Hz	6th	11,738Hz

· resonance frequency : 7,245Hz, 11,750Hz
· location of resonant frequency : 434,730rpm

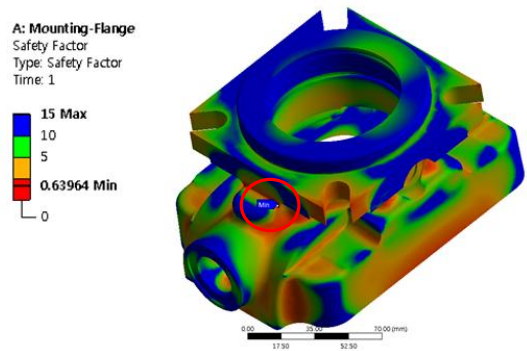


Fig. 11 First result(minimum safety factor : 0.64)

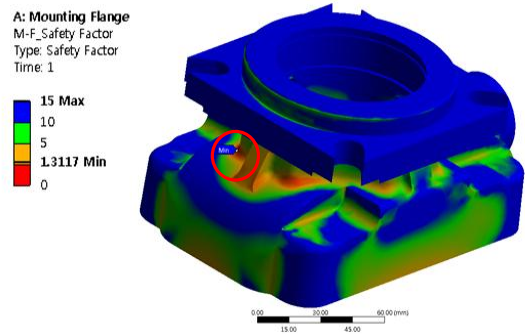


Fig. 12 Final result(minimum safety factor : 1.31)

3. 형상 개선 및 소재 변경

3.1 마운팅 플랜지

마운팅 플랜지의 최초 구조해석 결과 Fig. 11과 같이 플랜지와 바디의 각진 모서리 부분에서 최소 안전율 0.64, 최대 응력 437.74MPa이 확인되었다. 해당 부분의 최소 안전율을 개선하기 위해 해당 부분을 라운딩으로 설계 변경하여 응력이 집중되는 것을 분산되도록 보완하였다. 그 결과 Fig. 12와 같이 최소 안전율 1.31, 최대 응력 213.46MPa로 안전율이 개선되었음을 확인하였다.

3.2 실린더 블록

실린더 블록의 최초 선정 소재인 SCM440으로 실시한 해석 결과 Fig. 13과 같이 구동축 조립부 끝단의 날카로운 모서리 영역에서 최대 응력이

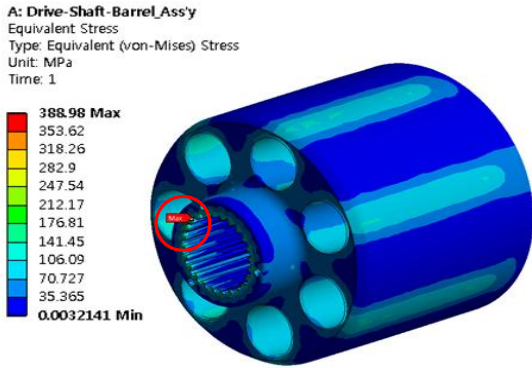


Fig. 13 First result (maximum stress : 388.98MPa)

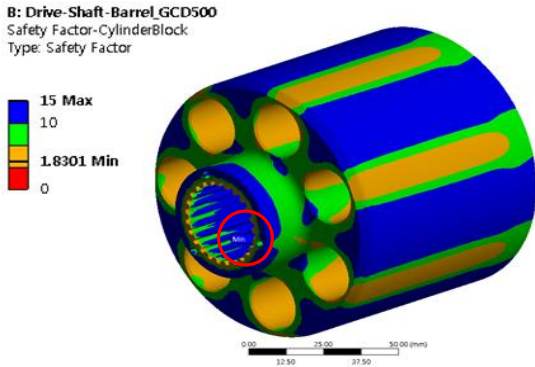


Fig. 14 Final result (minimum safety factor : 1.83)

389MPa로 높게 나타났다. 이를 개선하기 위해 끝단부를 모따기하여 불합리한 응력이 걸리는 것을 개선하고 소재를 GCD500으로 변경하였다. 그 결과 Fig. 14와 같이 동일 위치에서 최소 안전율 1.83, 최대응력 185.79MPa로 안전율이 개선되었음을 확인하였다.

4. 시험평가

해석을 통해 설계 안전성을 검증한 후 제작한 시제품이 실제 사용에 적합한지를 확인하기 위해 시험평가를 실시하였다. 수입품의 카탈로그, MIL-STD-810F^[3], KDS 2355-0001^[4], KDS 2355-0002^[5] 등을 근거로 성능, 환경, 750시간 내구도, 체계장비 부착 등의 시험평가계획서를 수립하여 시험을 수행하였

으며, 수행한 Table 10~13의 시험 항목에 대해 “기준 충족”함으로써 개발품의 성능을 입증 하였다.

Table 10 Performance requirements

Specification	Requirement
Cut-off pressure	300±7bar
Case internal pressure	No leakage and deformation
Driving torque	315N·m or less
Peak pressure	400bar or less
Weight	29kg or less
Noise	75dB or less
Shaft leakage	0.05cc or less

Table 11 Environmental requirements

Specification	Requirement
High temperature	MIL-STD-810F, Method 501.4
Low temperature	MIL-STD-810F, Method 502.4
Vibration	MIL-STD-810F, Method 514.5
Shock	MIL-STD-810F, Method 516.5
Humidity	MIL-STD-810F, Method 507.4

· After the test, performance test must be satisfied

Table 12 Durability requirement

Specification	Requirement
Durability	750 hours durability test at 500 ~ 1,746 rpm at 10 ~ 270 bar

· After the test, performance test must be satisfied

Table 13 System suitability requirements

Specification	Requirement
Mounting compatibility	Compatibility should be normally when installed
Operation inspection	Operation inspection function should be work normally
Leakage test	No leakage during operation

5. 결 론

5. KDS 2355-0002, LIGHT ARMORED VEHICLE, 8x8, Korea Defence Standard, 2018.

본 연구에서 유압펌프 개발을 통해 얻은 연구내용 및 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 구조, 진동 해석을 통해 설계 측면에서 문제가 없음을 수치적으로 검증하였다.
2. 충격시험(20g), 내구도시험(750시간) 등의 실제 시험을 통해 수치적으로 검증한 유압펌프의 안전성을 입증하였다.
3. Table 10~13의 시험을 통해 유압펌프의 성능뿐만 아니라 차륜형장갑차에 장착한 경우에도 문제가 없음을 입증하였다.

본 연구를 통해 국산화 개발에 성공한 유압펌프는 적합한 시험결과를 바탕으로 우수한 품질의 제품으로 입증되어, 현재 차륜형장갑차 국방규격에 등재되어 전용장비로 사용되고 있다. 아직 군수용으로는 개발 실적이 미진한 유사 유압펌프가 향후 본 연구에서 서술된 절차 및 기술을 통해 개발에 도움이 될 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2016년에 구매조건부 신제품 개발 사업으로 승인(개발관리번호 : DG160002)되어 개발에 성공한 국산화 결과 중 일부임.

REFERENCES

1. Kim, K. S., "An Oil Pressure Supply Device of a Car", KR Patent 1020130029156, filed 19, March, 2013, and issued 26, July, 2013.
2. ISO 898-1, "Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel - Par 1 : Bolts, screws and studs with specified property classes, International Standardizing Organization", 2009.
3. MIL-STD-810F, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, Department of USA, 2000.
4. KDS 2355-0001, LIGHT ARMORED VEHICLE, 6x6, Korea Defence Standard, 2018.