

사판식 피스톤 펌프의 구조적 거동 해석에 관한 연구

A Study on the Analysis of Structural Behaviors the Swash-Type Piston Pump

김정화^{1*}, 신미정²

Jeong-Hwa Kim^{1*}, Mi-Jung Shin²

〈Abstract〉

The swash-type piston pump is a device that discharges as much volume of hydraulic oil generated as it moves the ramp by controlling the angle of the swash. This pump is suitable for high-speed high pressurization, and due to its useful characteristic being the variable capacity-type, it is used as a main pump for heavy equipment in various fields such as defense, shipbuilding, construction, etc. This study intends to obtain optimal design values by conducting a structural analysis in order to verify its reliability during the design process of the newly developed swash-type piston pump.

Keywords :

Axial Piston Pump, Structural Analysis, Swash-Type

^{1*} 정회원, 주저자, 교신저자, 경남대학교 기계공학부
(E-mail : powersid@kyungnam.ac.k)
² 정회원, (주)선진기술

^{1*} Author, Corresponding Author,
School of Mechanical Engineering, Kyungnam UNIV
² Seonjin Technology Co., Ltd., Ph.D. .

1. 서 론

최근에 자동차, 건설 중장비, 공작 기계, 선박, 군수 장비, 항공기 등 다양한 분야에서 유압을 이용한 구동이 폭넓게 활용되면서, 유압 기기 산업이 각광받고 있다. 유압 기기 중 가장 중요하고 핵심 기술인 유압 펌프는 유체 시스템의 동력원으로서, 작동 방식에 따라 Piston Pump, Gear Pump, Vane Pump 의 3가지 형식으로 분류할 수 있다.^[1]

이 중 사판 식 피스톤 펌프는 사판의 각도를 조절하여 경사로를 피스톤이 이동하면서 발생시킨 체적만큼의 유압유를 토출시키는 장치이다. 이 펌프는 고속 고압화에 적합하고, 가변 용량 형이 용이한 특징 때문에 방산, 조선, 건설 등 여러 분야의 중장비용 메인펌프로 사용되고 있다.

본 연구에서는 신규 개발되는 사판 식 피스톤 펌프를 검증하기 위해 구조 해석을 실시하여 최적의 설계 값을 확보하고자 하였다.

2. 모델 간략화 및 해석용 모델

설계된 모든 형상을 유한요소법을 통하여 구현을 하고자 하면 고사양의 컴퓨터가 필요하고, 해석 시 수렴이 잘 되지 않아 시간이 과도하게 소모된다. 그러므로 관심 영역은 디테일한 모델링이 필요하지만, 비 관심 영역에서 해석의 시간을 줄일 수 있도록 모델 간략화가 필요하다.^[2]

본 연구에서도 해석시간을 줄이기 위해 모델 간략화를 실시하였다. Fig. 1은 설계 모델이고, Fig. 2는 모델 간략화 된 해석용 모델이다.

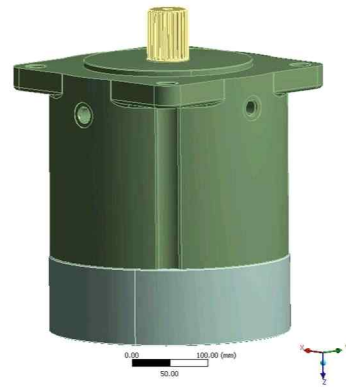


Fig. 1 Original Model

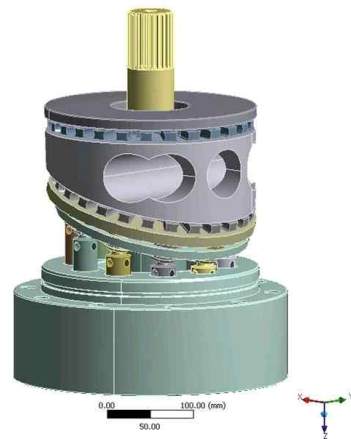


Fig. 2 Simplification for FE Analysis

3. 해석 조건 및 방법

상용 소프트웨어인 ANSYS를 활용하여 구조해석을 실시하였으며, 일반적인 동 해석을 위한 지배 방정식은 다음과 같다.[3]

$$[M]\{x''\} + [C]\{x'\} + [K]\{x\} = \{F(t)\} \quad (1)$$

여기서 $[M]\{x''\}$ 은 관성, $[C]\{x'\}$ 은 감쇠, $[K]\{x\}$ 는 강성행렬, $\{F(t)\}$ 는 외력이다.

그러나 본 연구에서는 관성과 감쇠는 무시하고, 시간에 따라 변하는 하중조건을 사용하여 구조적인 동적 거동만 해석하는 약식 동 해석을 실시 할 것이다. 관성과 감쇠를 고려하지 않는 지배 방정식은 다음과 같다.

$$[K]\{x\} = \{F(t)\} \quad (2)$$

Fig. 3은 해석시간을 줄이기 위하여 관심 영역과 비 관심 영역으로 나누어 설정한 것을 도시한 것이고, Fig. 4와 Table. 1은 관심 영역 부품의 재질정보를 나타낸 것이다.

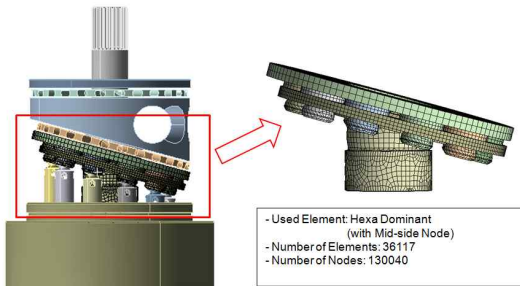


Fig. 3 Models in Interested Areas & Mesh

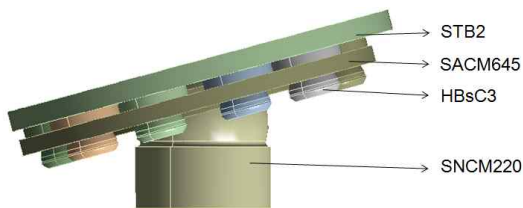


Fig. 4 Material property of flexible body

Fig. 5는 Flexible body로 정의된 관심 영역 부품들의 상관관계를 정의하기 위한 Contact이 부여된 것을 도시한 것으로 Frictional contact 으로 정의하여 부품 모델간의 침투를 막고 마찰없는 슬라이딩을 표현하였다.^[4]

Table 1 Material property of flexible body

Divide	HBsC3	STB2	SACM645	SNCM220
Young's modulus (MPa)	117	210	210	210
Poisson's ratio	0.34	0.3	0.3	0.3
Yield Stress(MPa)	500	541	686	708

Fig. 6과 Fig. 7은 Joint 조건을 부여하여 Rigid body로 정의된 비 관심 영역 부품들의 상관관계가 정의된 것을 도시한 것이다.

펌프의 각속도는 1650rpm 이며, 피스톤의 하중 조건은 CFD의 결과 값을 불러와서 적용하였다. Fig. 8은 회전조건을 도시한 것이고, Fig. 9는 피스톤의 하중 조건을 도시한 것이다. 그리고 Fig. 10은 CFD로 나온 압력 값을 도시한 것이다.

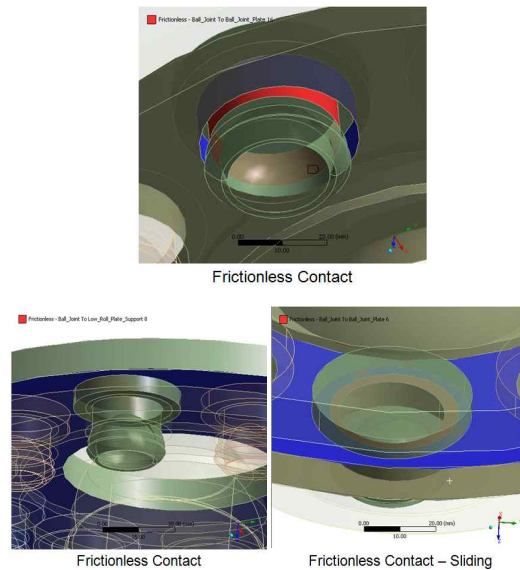
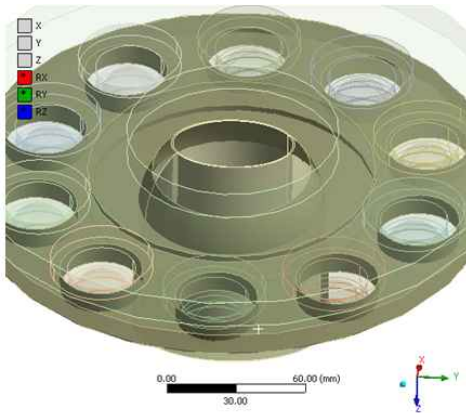
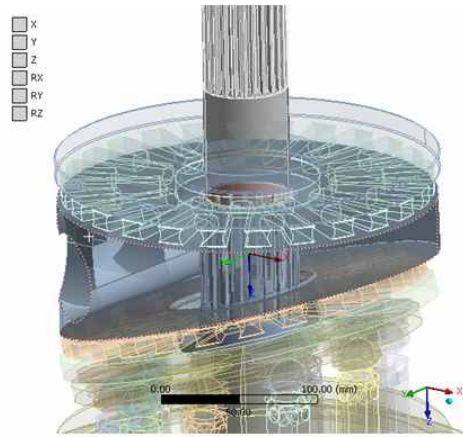


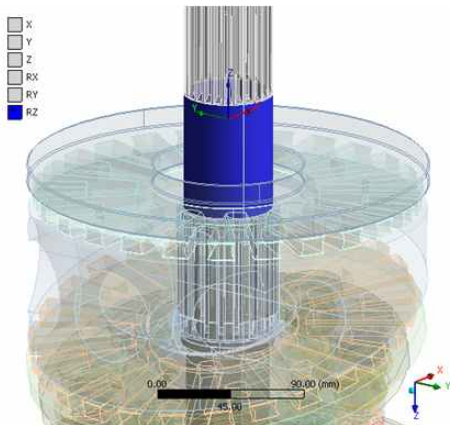
Fig. 5 Contact Conditions of the Analyzed Model



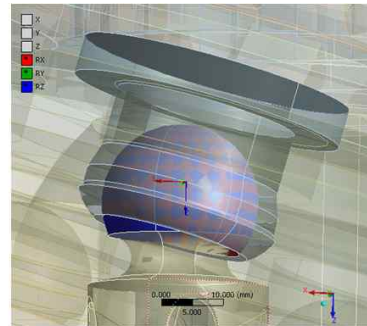
Spherical Joint – Support Panel



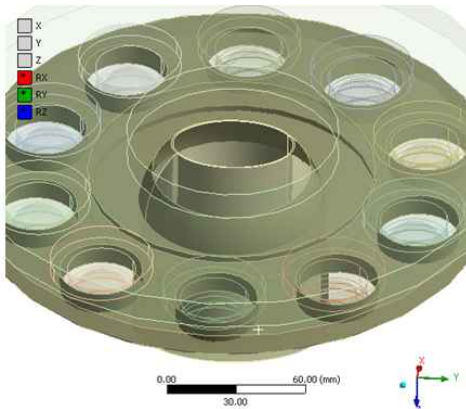
Fixed Joint – Axis and Swash



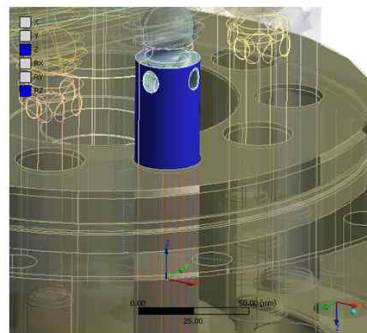
Revolution Joint – Axis Rotation



Spherical Joint – Piston and Piston Boots



Spherical Joint – Support Panel



Piston Joint – Piston

Fig. 6 Joint Conditions of the Analyzed Model 1

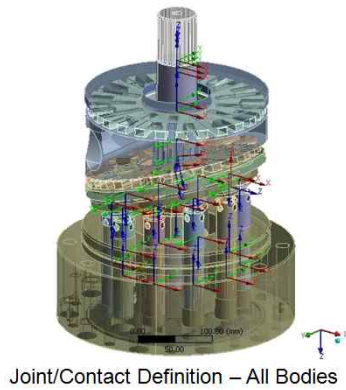
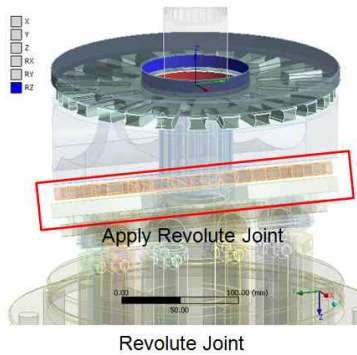


Fig. 7 Joint Conditions of the Analyzed Model 1

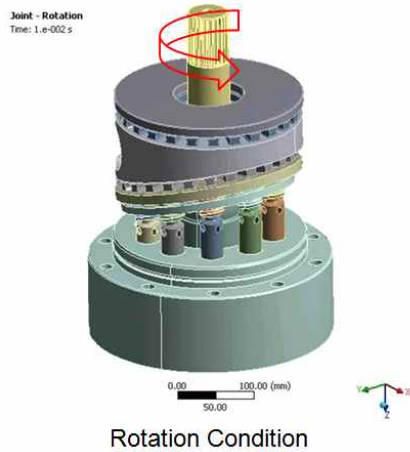


Fig. 8 Rotation Condition of the Analyzed Model

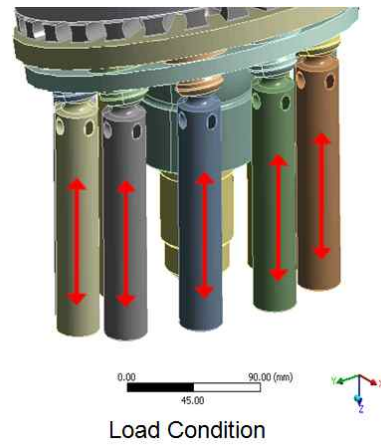


Fig. 9 Load Condition of the Analyzed Model

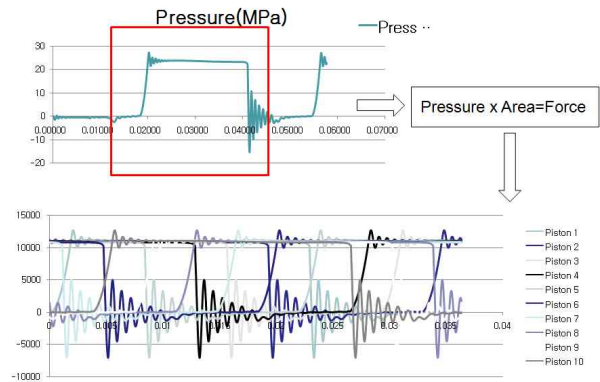


Fig. 10 Pressure Exerted to the Piston Extracted by CFD

4. 해석 결과

Fig. 11은 모델 전체의 해석 결과이다. 펌프가 구동할 때 최대 등가 응력은 2814.6MPa 이다. 여기서 도출된 최대 등가 응력은 선형 탄성 해석의 결과 값이므로 실제 펌프에서 발생한 응력 값과는 차이가 있다. Fig. 12의 응력 변형률 선도를 보면 선형 탄성 해석 시 응력 값과 실제 응력 값의 차이를 나타내어 준다.[4]

Fig. 13는 Lower Plate의 해석 결과이다. 최대 등가 응력은 2814.6MPa이고, 이것은 Lower Plate의 재질 SACM645의 항복강도 686MPa를 넘어서는 값으로 안전율은 0.24이다. Lower Plate의 힘이 크게 발생하였고, 그로 인해 최대 응력이 크게 증가 하였다.

Fig. 14은 Upper Plate의 해석 결과이다. 최대 등가 응력은 1129.3MPa 이고, 이것은 Upper Plate의 재질 STB2의 항복강도 541MPa를 훨씬 넘어서는 값으로 안전율은 0.48이다. Fig. 13의 제일 아래 그림을 보면 Lower Plate의 힘에 따라 Upper Plate로 불균일한 하중이 전달되어 모서리 부분에 최대응력이 비정상적으로 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 15은 Ball Supporter의 해석 결과이다. 최대 등가 응력은 391.63MPa이고, 이것은 Ball Supporter의 재질 SNCM220의 항복강도 708MPa에 비해 낮은 값으로 충분한 여유를 가지며, 안전율은 1.81이다. Fig. 15의 제일 아래 두 그림을 보면 Lower Plate의 힘에 의한 Ball Supporter와 비정상적인 접촉으로 특정 부위에 하중이 집중되어 응력이 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 16는 Piston Boot의 해석 결과이다. 최대 등가 응력은 1705.4MPa이고, 이것은 Piston Boot의 재질 HBsC3의 항복강도 500MPa를 넘어서는 값으로 안전율은 0.29이다. 모서리 부에 집중 응력이 발생하여 최대응력이 재질의 항복강도를 초과 하였다. Fig. 16의 하단 오른쪽 그림을 보면 Piston Boot가 공간에서 지렛대처럼 작용을 하여 모서리 부분에서 응력이 증가하였음을 알 수 있다.

전체적으로 Lower Plate의 힘에 영향을 받아 다른 부품의 응력이 국부적으로 과도하게 발생하였고, 전반적으로 최대응력이 재질의 항복응력을 초과하였다.

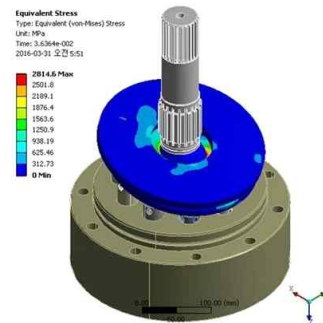


Fig. 11 Comprehensive Results of the Analysis

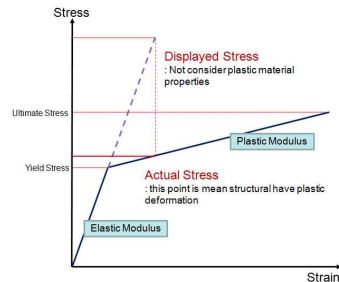


Fig. 12 Stress-strain curve

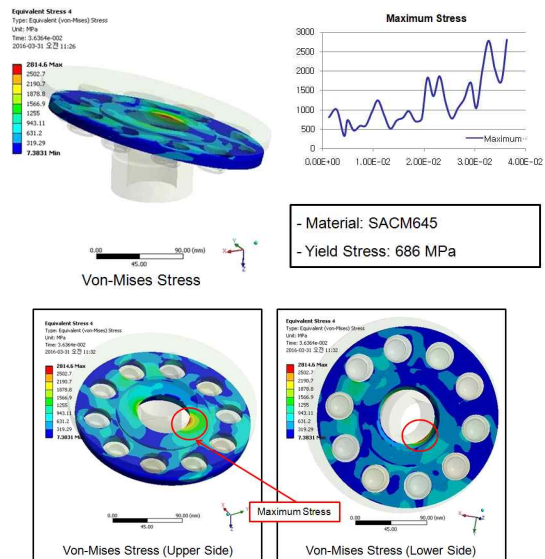


Fig. 13 Analysis Results of the Lower Plate

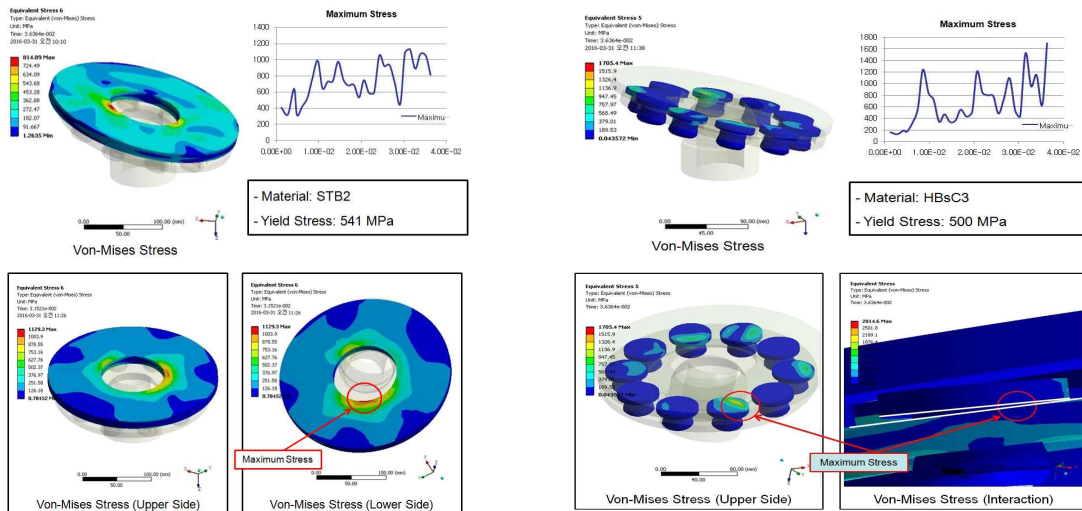


Fig. 16 Analysis Results of the Piston Boot

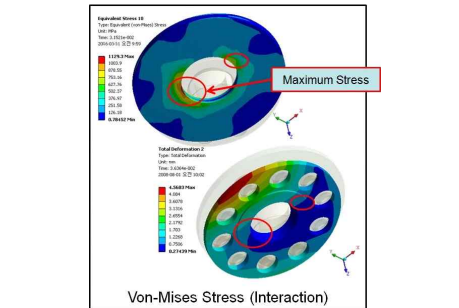


Fig. 14 Analysis Results of the Upper Plate

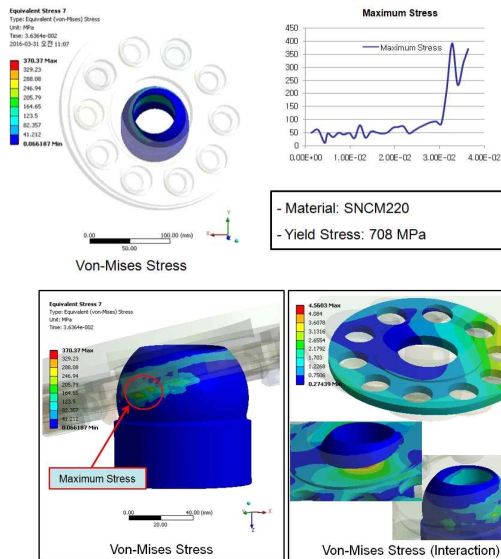


Fig. 15 Analysis Results of the Ball Supporter

5. 결론

본 연구에서는 신규 개발되는 사판 식 피스톤 펌프의 설계과정에서 신뢰성을 검증하기 위해 동적 구조 해석을 실시하여 최적의 설계 값을 확보하고자 하였다. 이에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 전반적으로 응력이 항복응력 이상으로 소성 변형이 발생하였다.
- (2) 특히 Hole이 많은 Lower Plate의 경우 Bending에 대해 다소 취약한 것으로 보인다.
- (3) 큰 부품의 경우 Lower Plate의 변형의 영향에 의해서 응력이 국부적으로 과도하게 발생하였다.

본 연구에서는 Lower Plate의 변형으로 전체적인 해석결과가 좋지 않았다. Lower Plate가 보강이 될 경우전체적인 시스템이 안정화 될 수 있을 것으로 판단되며 그에 대한 연구는 향후 과제로 남긴다.

참고문헌

- [1] Song, J. H, Kim, S, Chung, J. Y, “A Experimental Study on the Performance and Noise Characteristics of Axial Piston Pump with Pespect to the Configuration of Valve Plate”, Research of Engineering, Vol. 25, No. 0, pp. 131-138, 1994.
- [2] 2) Swanson, J., “ANSYS 12.0”, ANSYS Inc., U.S.A. 2010.
- [3] 3) J. Thomas, C. Norman, Stephen H. Crandall, “An Introduction to the Mechanics of Solids”, Mcgraw-Hill College, pp. 78-93, 1972.
- [4] 4) Kim, J. H “A Study on the Structural Analysis of the Valve Block of Axial Piston Pump with a Swash Plate Type”, J.of KSMPE, Vol. 15, No. 3, pp. 52-57, 2016.

(접수:2016.08.10.,수정:2016.09.02, 게재확정:2016.09.07)