

사판식 축 피스톤 펌프 밸브블록의 구조 해석에 관한 연구

김정화*.#

*경남대학교 기계공학부

Structural Analysis of the Valve Block of a Swash Plate-Type Axial Piston Pump

Jeong-Hwa Kim*.#

*School of Mechanical Engineering, Kyungnam UNIV.

(Received 20 March 2016; received in revised form 29 March 2016; accepted 14 April 2016)

ABSTRACT

A swash plate-type piston pump is a device used to discharge hydraulic fluid as the volume generated through the piston moves in the direction of the slope by adjusting the angle of its swash plate. In addition, the valve block internalized in the pump includes a flow path for intake from outside, a flow path for discharge, and a pilot conduit line to control discharge pressure and flux. In this study, a numerical analysis is conducted to improve the cracking of the valve block generated during process testing, and the developed pump is evaluated.

Key Words : Valve Block(밸브블록), Piston Pump(피스톤 펌프), Axial Piston Pump(축 피스톤 펌프)

1. 서 론

사판식 피스톤 펌프는 사판의 각도를 조절하여 경사로를 피스톤이 이동하면서 발생시킨 체적만큼의 유압유를 토출시키는 장치이다. 그리고 펌프에 포함되어 있는 밸브블록은 외부에서 흡입되는 유로와 토출 유로, 그리고 토출 압력, 유량을 조절하기 위한 파일럿 관로를 포함하고 있다. 금번 개발된 펌프에 적용된 밸브블록은 금형비용 절감 등의 이유로 생산 중인 펌프에서 사용 중인 밸브블록과 동일 부품이 적용되어 있다. 개발 완료된 펌프의 성능 시험평가 중 밸브블록에 크랙이 발생하여 이것을 개선하기 위한 수치해석 연구를 수행하였다.

2. 현 상

내구시험 중 밸브블록의 토출 포트 나사부에서 Fig. 1과 같이 크랙이 발생하였고, 이를 보강하자 토출부 내부 유로에서 크랙이 발생하여 Fig. 2와 같이 성장하였다.

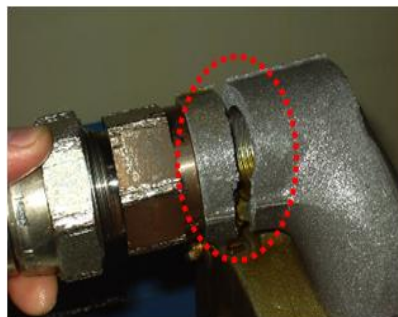


Fig. 1 The crack of the valve block on the port

Corresponding Author: powersid@hanmail.net
Tel: +82-55-249-2607, Fax: +82-505-999-2160

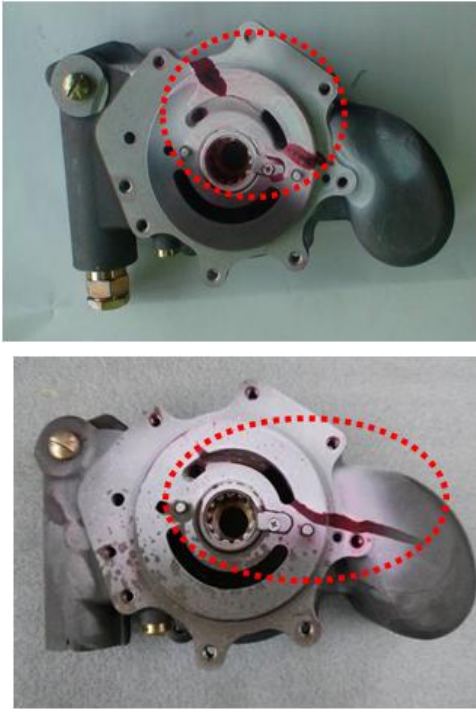


Fig. 2 The flow path crack inside the valve block

3. 모델링 및 해석 조건

본 논문에서는 밸브블록 재질이 AC4A-T6이며, 내부 압력은 $\pm 350\text{psi}$ 의 맥동을 가지는 1700psi 와 4000psi 두 케이스를 해석하였다. 신규 개발된 펌프에 적용된 밸브블록과 이미 생산 중인 펌프에 적용되어 있는 밸브블록이 동일 품을 사용하기 때문이다. Fig. 3은 해석을 실행하기 전의 모델링이다.

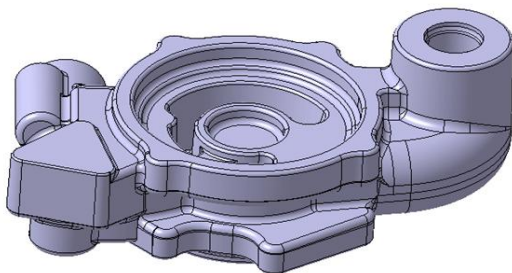


Fig. 3 Modeling of valve block

Table 1 Material property of AC4A-T6

Young's modulus(MPa)	7×10^4
Poisson's ratio	0.3
Density(kg/m ³)	2710
Yield Stress(MPa)	180

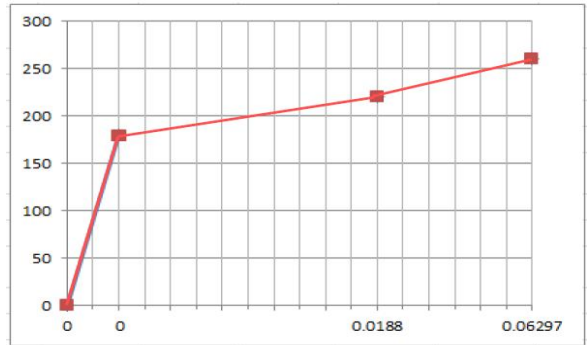


Fig. 4 Stress-strain curve of AC4A-T6

Case-1 (1700psi)

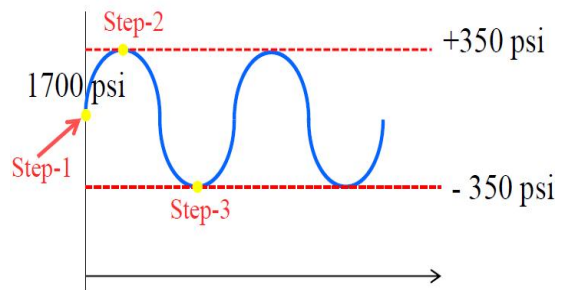


Fig. 5 Load conditions when the internal pressure is 1700psi

Table 1은 밸브블록의 재질인 AC4A-T6의 물성치를 나타낸 것이다.

Fig. 4는 밸브블록의 재질인 AC4A-T6의 응력-변형률 선도를 나타낸 것이다.

Fig. 5는 밸브블록이 내부압력 1700psi 일 때의 하중 조건이다. Fig. 6는 밸브블록이 내부압력 4000psi 일 때의 하중 조건이다.

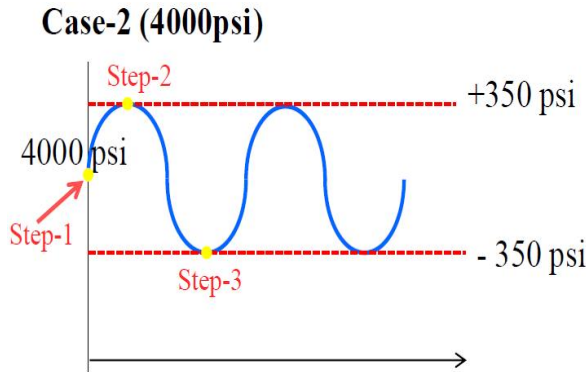


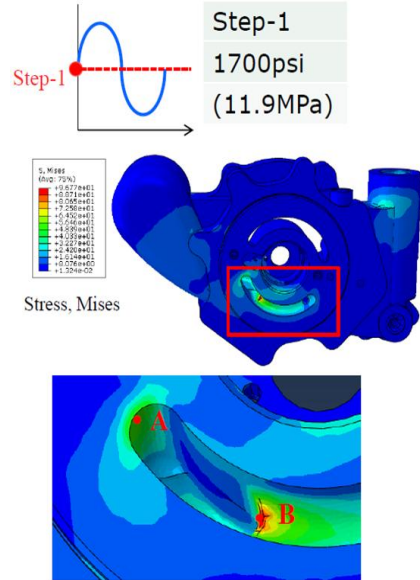
Fig. 6 Load conditions when the internal pressure is 4000psi

4. 해석 결과

4.1 정적 선형 해석

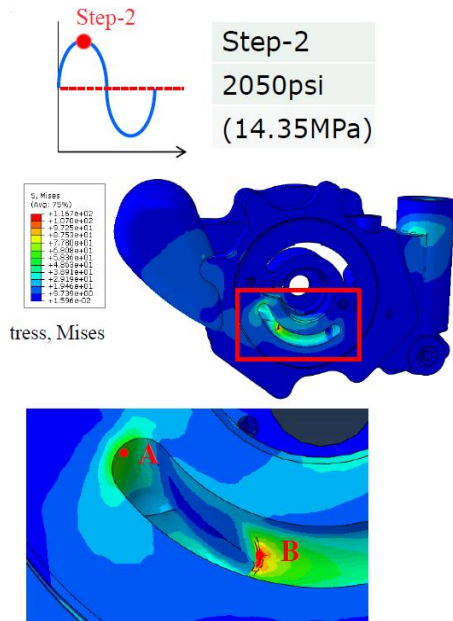
정적 선형 해석은 Hooke's Law인 $\sigma = E\epsilon$ 를 기반으로 하중-변위-변형률-응력이 모두 선형비례관계로 가정을 한 해석이다. 이를 위해 재료는 선형탄성(Linear elastic)이어야 하고, 하중은 재료의 항복을 발생시키지 않는 범위 내에서 작용하여야 한다.^[1]

Fig. 7은 기존의 생산하고 있는 펌프에서 1700psi의 압력이 밸브블록에 가해졌을 때 정적 선형 해석결과이다.^{[2][3]} 맥동에 의해 순간적으로 가해지는 서지압을 고려한 2050psi의 압력이 밸브블록에 가해졌을 때 최대 등가 응력은 116.7MPa 이다. Fig. 8은 신규 개발된 펌프에서 가해지는 4000psi의 압력이 밸브블록에 가해졌을 때 정적 선형 해석결과이다. 맥동에 의해 순간적으로 가해지는 서지압을 고려한 4350psi의 압력이 밸브블록에 가해졌을 때 최대 등가 응력은 204.2MPa 이다. 정적 선형 해석 결과 1700psi의 압력이 가해지는 기존에 생산되고 있는 펌프에 장착된 밸브블록의 최대 등가 응력은 116.7MPa로 안전율이 1.54이다. 4000psi의 압력이 가해지는 신규 개발된 펌프에 장착된 밸브블록은 최대 등가 응력이 204.2MPa로 안전율이 0.88이다.



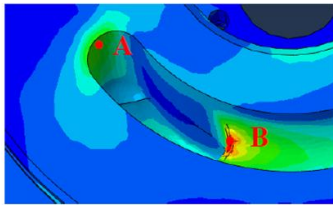
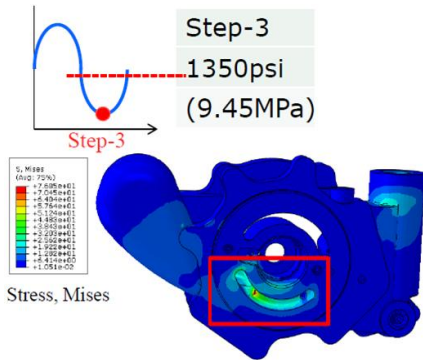
A: 56.26 MPa B: 96.77 MPa

(a) The results of linear static analysis at 1700psi



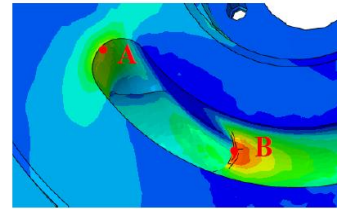
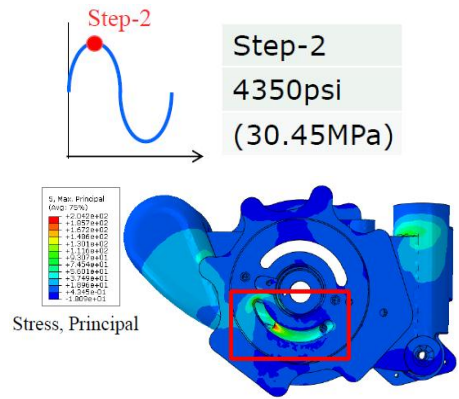
A: 73.85 MPa B: 116.7 MPa

(b) The results of linear static analysis at 2050psi



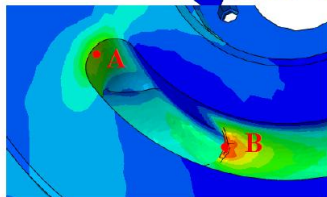
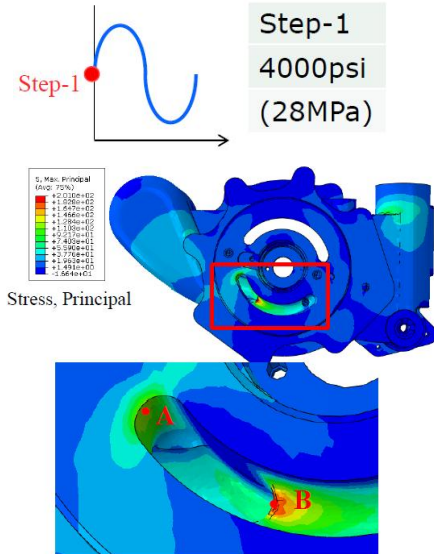
A: 49.13MPa B: 76.85MPa

(c) The results of linear static analysis at 1350psi
Fig. 7 Linear static analysis considering pulsatory motion at the pressure of 1700psi



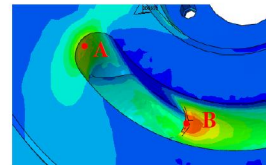
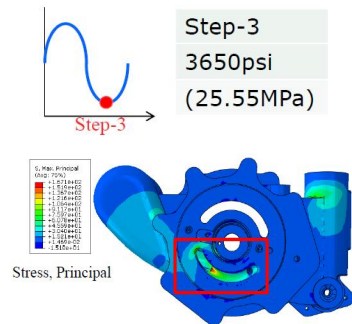
A: 137.2MPa B: 204.2MPa

(b) The results of linear static analysis at 4350psi



A: 126.1MPa B: 201.0MPa

(a) The results of linear static analysis at 4000psi



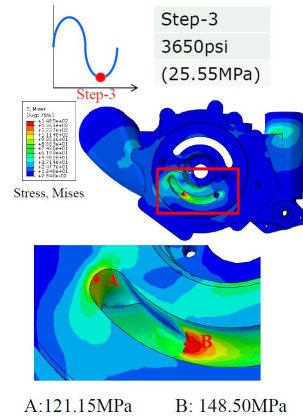
A: 115.1MPa B: 167.10MPa

(c) The results of linear static analysis at 3650psi
Fig. 8 Linear static analysis considering pulsatory motion at the pressure of 4000psi

4.2 탄소성 해석

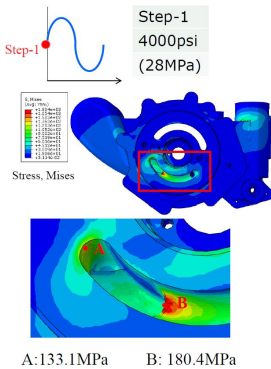
정적 선형 해석은 응력-변형을 선도에서 항복점 이전의 탄성영역의 선형해석만을 담당한다. 4000psi의 압력이 가해지는 신규 개발된 펌프에 장착된 밸브블록은 정적 선형 해석에서 최대 등가 응력이 항복 강도를 넘어섰으므로, 항복점 이후의 부분을 검토하기 위해 탄소성 해석을 실시하였다.^[4]

Fig. 9는 신규 개발된 펌프에서 4000psi의 압력이 밸브블록에 가해졌을 때 탄소성 해석결과이다. 맥동에 의해 순간적으로 가해지는 서지압을 고려한 4350psi의 압력이 밸브블록에 가해졌을 때 최대 등가 응력은 180.6MPa 이다.

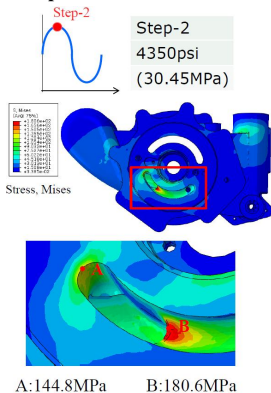


(c) The results of analyzing elasto-plasticity at 3650psi

Fig. 9 Elasto-plasticity analysis in consideration of pulsatory motion at the pressure of 4000psi



(a) The results of analyzing elasto-plasticity at 4000psi



(b) The results of analyzing elasto-plasticity at 4350psi

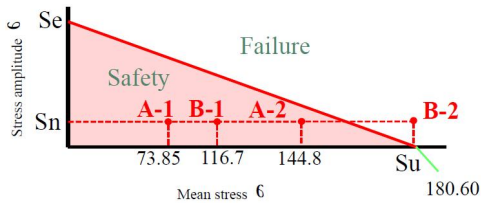
5. 피로 수명 검토

굵은 철사를 한번 구부렸다가 펴면 쉽사리 끊어지지 않지만 반복하중을 지속적으로 가하면 결국은 끊어지게 된다. 이처럼 극한 하중보다 작은 하중이 반복적으로 작용 할 때 파손되는 현상을 피로파괴라고 하고, 파손될 때까지 가한 반복하중의 횟수를 해당 물체의 피로 수명이라고 한다.^{[5][6]}

이 피로수명은 일반적으로 S-N 선도를 이용하여 예측하며, 본 논문에서는 4장에서 실행된 구조 해석 결과를 이용하여 피로검토를 하였다. Fig. 9는 선형으로 근사화한 S-N 선도를 조금 더 단순하게 만든 것이다. 일반적으로 피로 한계 응력 S_e 는 아래와 같이 성립된다.

$$S_e = \frac{1}{2} S_u \quad (1)$$

극한강도 S_u 의 절반 값이 피로 한계 응력 S_e 라는 뜻이다. 그러므로 AC4A-T6의 항복강도를 극한강도 S_u 에 대입하고 4장에서 해석하여 도출된 최대 등가 응력과 피로 한계 응력 S_e 를 비교하면 무한수명을 가지는지 여부를 확인 할 수 있다.



$$S_u = 180MPa$$

$$S_e = \frac{1}{2} S_u = 90MPa$$

$$S_n = 2.62MPa$$

A-1: Part A of Case1-Step1 in Case-2

B-1: Part B of Case1-Step1 in Case-2

Fig. 10 Examining fatigue life using the results of analyzing elasto-plasticity

6. 결론

본 연구에서는 신규 개발된 사판식 피스톤 펌프의 밸브블록에 대한 구조해석을 실시하였다. 이에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

1. 기존 펌프에 장착된 밸브블록은 필드에서 사용 중에 문제가 없고, 해석 결과도 항복강도 대비 안전율이 1.54이므로 문제가 없음을 알 수 있다.
2. 신규 개발된 펌프에 장착된 밸브블록의 해석 결과 안전율이 0.88로 최대 등가 응력이 재질의 항복강도보다 더 높아서 설계적으로 안전성이 보장되지 않으며, 설계형상 변경이나, 재질의 변경을 통한 개선이 필요해 보인다.
3. 피로 수명 검토 결과 기존 펌프에 장착된 밸브블록과 신규 개발된 펌프에 장착된 밸브블록 모두 $\sigma > S_e$ 이므로 기존 펌프에 장착된 밸브블록도 현재까지 문제가 발생하지 않았으나, 무한수명을 보장하지는 못한다.

REFERENCES

1. Crandall, S. H., Lardner, T. J., Archer, R. R., Cook, N. H., and Dahl, N. C., An Introduction to the Mechanics of Solids, McGraw-Hill, 1978.
2. SolidENG Co. Ltd., ABAQUS Fundamentals and Applications, Yeamoonsa, pp. 83-98, 2015.
3. Han, M. S. and Cho, J. U., "Structural Safety Analysis on Bicycle Suspension Seat Post", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 4, pp. 72-81, 2012.
4. V-ENG Co. Ltd., ABAQUS Tutorial for Beginners and Intermediate Users, BB-Media, pp. 197-213, 2013.
5. Bannantine, J., Fundamentals of Metal Fatigue Analysis, Prentice Hall, 1990.
6. Shin, J. M., Han, S. H., and Han, D. S., "Investigation of Stress Concentration and Fatigue Life of Axle Drive Shaft with Relief Groove", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 1, pp. 88-94, 2012.