

사판식 유압 피스톤 펌프의 실린더블록과 밸브 플레이트의 응력해석

김지홍, 조인성, 백일현, 정재연*, 오석형**

전북대학교 대학원

*전북대학교 기계항공시스템공학부, 부설 공학연구원 공업기술연구소

**군산대학교 기계공학부

Stress Analysis of the Cylinder Block and the Valve Plate of the Swash Plate Type Oil Hydraulic Piston Pump

J. H. Kim, I. S. Cho, I. H. Baek, Jae-Youn Jung*, Suk-Hyung Oh**

Graduate School, Chonbuk Nat'l Univ.

*Division of Mechanical & Aerospace Sytem Eng, ndustrial Technology Research Institute
Chonbuk Nat'l Univ..

**Faculty of Mechanical Eng., Kunsan Nat'l Univ.

Abstract

Recently, the technologies related to the swash plate type oil hydraulic piston pump are requiring extreme technologies to overcome the limit of high efficiency in cope with high speed and pressure, and are devoted to compact the unit, to gain low noise level, and to adopt electronic technologies, and the question regarding to maximize the mechanical efficiency, that is, to minimize the torque loss by minimizing the leakage loss in the relative sliding region but these are in trade-off relation that tribological responding is very difficult.

Cylinder block-valve pate in high speed relative sliding motion has the characteristics that should be extremely controlled for the optimization of these leakage loss and mechanical efficiency, and pressure resistance designing of them is important for high pressure performance. But, studies on the stress analysis of these parts have not been performed briskly, so in this paper the stress distribution and the region where the highest displacement appears are described through the static stress analysis using CATIA V5. Through the future studies on these theme, it has the purpose of finding the suitable materials for the other parts as well as cylinder block and valve plate, in cope with high pressure operation through the stress analysis with the most similar conditions for the practical operation.

Keywords : Cylinder Block(실린더 블록), Valve Plate(밸브 플레이트), Stress Analysis(응력 해석), Finite Element Method(유한요소법)

1. 서론

유압시스템은 전기, 전자 시스템에 비해 제어성, 소음, 가격 등의 면에서 열세이지만, 동력밀도가 높아 소형·경량화에 유리하기 때문에 우주항공 분야에서부터 건설기계, 선박, 공작기계, 자동차, 산업기계 등 광범위한 분야에서 사용되어져 왔다. 피스톤 펌프가 갖고 있는 여러 가지 장점 중 고압에 적합하고, 가변 토출 제어가 가능하다는 특성과, 높은 체적효율과 전효율 그리고 높은 작동압력 특성 및 높은 사

용 회전수 등 때문에 피스톤 펌프는 유압 펌프들 중에서 가장 광범위하게 사용되고 있다.

유압 피스톤 펌프에 있어서 끊임없는 고성능화, 소형·경량화, 신뢰성 향상, 저소음화 등의 연구를 통해 오늘에 이르렀고, 고성능·고출력화에 대한 끊임없는 요구로 보다 가혹한 조건하에서도 더욱 신뢰성 있는 운전을 가능하도록 하기 위한 많은 연구가 진행 되어왔다.

유압시스템을 적용하는 모든 장비에 있어서 고압화는 꾸준히 진행되고 있는 부분이며,

따라서, 고압화를 위한 각종 소재의 개발, 기구의 개량 등이 필요하다.

현재 일본과 한국에서 생산하는 피스톤 펌프는 주로 35MPa까지 사용가능하나 주요 메이커들을 중심으로 끊임없는 발전을 거듭해온 유럽의 경우는 이미 40MPa이상까지 사용가능한 펌프를 생산하고 있다.

그러나, 지금까지 유압펌프의 응력해석에 대한 연구는 그렇게 활발하게 이루어지지 않았다[1]. 따라서, 본 연구에서는 이와같은 고압화에 대응하기 위해 사판식 피스톤 펌프의 실린더 블록과 밸브 플레이트에 대해 정적 응력해석을 수행하였다. 이 연구를 통해 실린더 블록과 밸브 플레이트에 있어서 응력분포와 변위의 형태에 관하여 살펴보았다.

2. 응력해석

2.1 유한요소해석과 해석프로그램

유한요소해석(FEA, Finite Element Analysis)이란 구조물내에 있는 무한개의 미지수점을 절점(Node)으로 이용하여 유한계의 이산화된 위치로 나타내고, 이들간에 서로 유기적 관계를 맺어주는 요소(Element)라는 블록을 이용하여 전체 구조물이나 실제의 물리적 시스템 내의 임의의 점에서의 원하는 값을 수치적인 근사화를 통해 얻어내는 것을 말한다. 즉, 유한요소해석이란 유한요소법의 이론 체계에 기초하여 개발된 Software를 이용하여 Computer상에서 다양한 공학문제의 수치해석을 실시하는 것을 말한다. 전반적인 구조물이나 부품의 변형 모양이나 응력 분포를 빠르고 경제적인 방법으로 확인하기 위하여 수치해석에 의한 방법이 설계의 초기나 설계 변경 단계에서 가장 경제적이면서 설계시간의 단축이 가능하여 널리 이용되고 있다. 수치해석의 방법에는 몇가지가 있지만, FEM(Finite Element Method)은 그 우수한 특징 때문에 현재 다양한 공학분야에서 가장 널리 사용되고 있으며, 시판되고 있는 software도 상당히 많다.

본 연구에서는 Dassault Sytems사의 CATIA V5를 사용하였으며, 본 프로그램은 설계개념에서부터 제품생산까지 전과정에 걸쳐 설계, 시뮬레이션, 구조해석 등을 수행할 수 있는 프로그램으로서 널리 사용되어지고 있다.

Fig. 1 Drawing of the Cylinder Block

Fig. 2 Drawing of the Valve Plate

2.2 해석모델

실린더 블록과 밸브 플레이트의 상대 슬라 이딩부는 사판식 펌프에서 대표적인 유회부분으로, 고정된 밸브 플레이트 위를 실린더 블록이 고속고압의 상태로 회전할 때, 실린더 블록을 왕복 운동하는 피스톤에 의해 작동유가 밸브 플레이트의 흡입 및 토출 포트를 통해 흡입·토출되기 때문에 액셀 타입의 펌프 중 가장 중요한 부분이 되며, 최소마찰과 최소 누설, 높은 체적 효율을 위해 힘의 밸런스가 요구되는 부분이다.

본 연구에서 사용된 모델은 배출용적 140cc/rev인 펌프의 실린더 블록과 밸브 플레이트이며, 실린더 블록의 응력해석에 사용된

재질은 steel(ASM-A36)이고, 밸브 플레이트에 사용된 재질은 황동으로 그 기계적 성질은 Table 1과 같고, Fig. 1~2에 본 해석에 사용된 실린더 블록과 밸브 플레이트의 형상을 보여주고 있다.

Cylinder Block	
Material	Steel : Structural (ASTM-A36)
Young Modulus	2e+ 011Nm ²
Poisson Ratio	0.266
Density	7860kg/m ³
Thermal Expansion	0.0000117
Yield Strength	2.5e+ 008N/m ²
Valve Plate	
Material	Yellow Brass (65 % Cu , 35 % Zn)
Young Modulus	1.05e+ 011N/m ²
Poisson Ratio	0.346
Density	8470kg/m ³
Thermal Expansion	0.00002
Yield Strength	4.35e+ 008N/m ²

Table 1. Mechanical Properties of the Models

2.3 해석방법

Fig. 3, Fig. 4는 각각 본 해석을 위해 구성된 실린더 블록과 밸브 플레이트의 유한 요소 모델을 도시한 것이다. 사용된 요소는 Octree Tetrahedron구조, 여기서 Octree란 하위노드가 8개인 트리구조를 말하고 Tetrahedron은 요소의 모양 즉, 사면체요소임을 나타낸다. 요소의 수는 실린더 블록의 경우 182,475개이고 절점의 수는 40,027, 밸브 플레이트의 경우는 요소의 수는 33,079이고 절점의 수는 8,033개이다.

하중조건으로서 실린더 블록의 경우는 Table 2와 같이 4가지 경우의 압력 분포 조건을 정의하였다. 크게 2가지 경우로 분류하여 A의 경우는 9개의 실린더 보어 모두에 압력이 작용하였을 경우이며, B의 경우는 5개의보어

에 토출압력이 작용한다고 가정하였을 경우에 해당된다. 그리고 A의 경우는 3가지(실린더 보어 전면, 반경방향, 수직방향)로 분류하였고 Table 2와 같다.

물론, A-2, A-3와 같은 가정은 이론적으로만 가능하며, 응력을 지지하는 방향을 정확히 파악하기 위한 것이 그 목적이다.

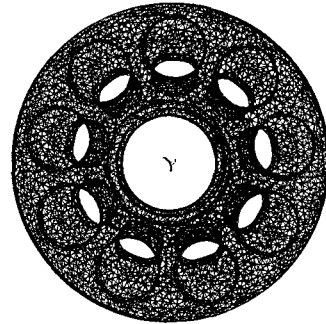


Fig. 3. Finite Element Model of the Cylinder Block

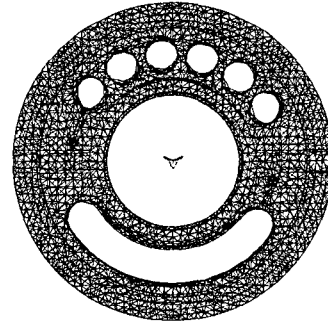


Fig. 4. Finite Element Model of the Valve Plate

압력 조건	
A-1	9개의 실린더 보어에 압력이 전체적으로 작용
A-2	9개의 실린더 보어에 실린더 반경방향으로만 압력이 작용
A-3	9개의 실린더 보어에 축방향과 평행하게만 압력이 작용
B	토출부인 5개의 실린더 보어에만 압력이 작용

Table 2. Analysis Condition

밸브 플레이트의 경우에는 토출포트 부위에

만 압력이 작용한다는 가정하에 응력해석을 수행하였다. 작용압력은 40MPa, 45MPa, 50MPa로 주었다.

3. 해석 결과 및 고찰

3.1 실린더 블록

위와 같은 해석조건을 설정한 후, 압력값에 40MPa, 45MPa, 50MPa의 압력을 주어 구한 최대 응력과 변위량을 각각 Table 3, Fig. 5와 Table 4, Fig. 6에 나타내었다.

	40MPa	45MPa	50MPa
A-1	58	65.2	72.5
A-2	52.9	59.6	66.2
A-3	31.4	35.4	39.3
B	69.4	78	86.7

Table 3 Max. Stress(MPa) of the Cylinder Block

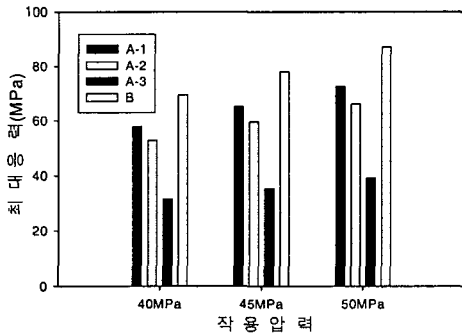


Fig. 5 Max. Stress of the Cylinder Block

각각의 경우에 대해서 작용압력이 5MPa씩 증가할 때에 최대 응력과 최대 변위량도 그에 따라 비례적으로 증가함을 알 수 있다.

네 가지의 경우 중 최대 응력 및 변위량이 나타나는 경우는 5개의 실린더 보어에 토출압력이 작용한다고 가정한 B의 경우이지만 50MPa이 작용했을 경우에도 최대응력이 86.7MPa로 이 재질의 항복강도인 250MPa에

는 훨씬 미치지 않는 것을 볼 수 있다.

반복적인 응력을 받는 부품의 경우에 통상적으로 사용 재질 항복응력의 30~40%이내가 되고 최대 변위량이 설계허용치 이하가 되어야 함이 바람직하다. 50MPa이 작용했을 경우는 본 해석에 사용된 재질 항복강도의 34.7% 정도로 안전하다고 할 수 있다.

	40MPa	45MPa	50MPa
A-1	0.002	0.00225	0.0025
A-2	0.00172	0.00193	0.00215
A-3	0.00139	0.00156	0.00173
B	0.0029	0.00327	0.00363

Table 4 Max. Displacement(mm) of the Cylinder Block

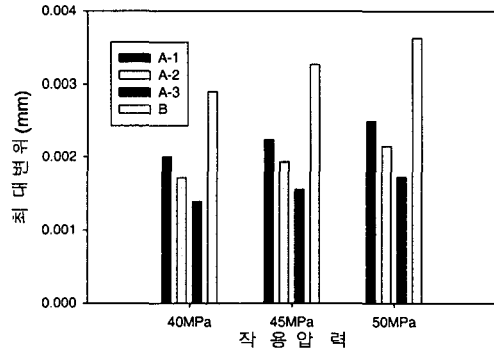


Fig. 6 Max. Displacement of the Valve

9개의 실린더 보어에 압력이 작용한다고 가정했을 경우(A-1)보다 토출부에 해당되는 5개의 실린더에 압력이 작용한다고 한 경우(B)에 최대응력이 발생함을 알 수 있다, 그 이유는 전체적으로 압력이 작용할 경우는 축을 중심으로 균형을 이루는 하중 및 모멘트를 받기 때문이고, 5개의 실린더 보어에만 압력이 작용하였을 경우에는 축을 중심으로 압력이 가해지는 토출부로 하중 및 모멘트를 치우치게 받기 때문이라고 생각된다.

Fig. 5에서 A-2(실린더 보어의 반경방향으

로만 압력을 가한 경우), A-3(실린더 보어의 밀부분으로 축방향과 평행하게 압력을 준 경우)에 최대 응력값이 A-2의 값이 훨씬 크게 나온 것으로 보아 실린더 블록에서 발생하는 응력은 반경방향으로의 작용압력이 더 큰 영향을 주고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 7, Fig. 8에서 조건 B의 경우에 있어서 각각 응력의 분포를 보여주고 Fig.7 A점에서 최대응력이 발생하는 곳을, Fig. 8 B에서 최대 변위가 발생하는 지점을 보여주고 있다.

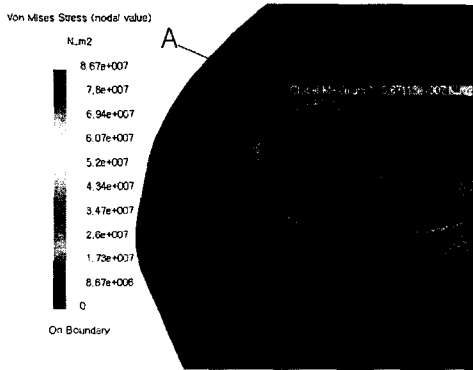


Fig. 7 The Point Max. Stress of the Valve Plate appears(Case B at 50MPa)

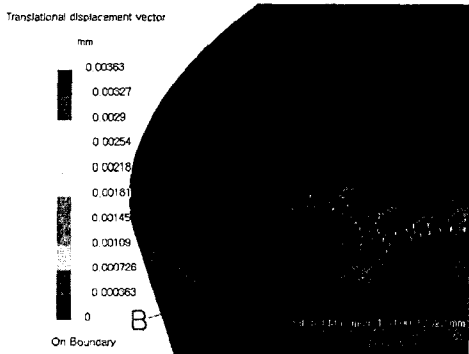


Fig. 8 The Point Max. Displacement of the Cylinder Block appears(Case B at 50MPa)

최대응력 발생 지점은 5개의 실린더 중 가장 바깥쪽의 실린더에서 나타나고, 실린더 블록의 뒤쪽, 밸브 플레이트의 토출포트로 연결되는 부분이며 대략 실린더 중심에서 포트로 접선을 그었을 때의 접점 부근에서 최대응력이 발생한다. 최고 변위가 발생하는 곳은 역시

5개의 실린더 중 앞쪽에서 보았을 때 오른쪽 끝 실린더로 그 중심에서 150°(실린더 중심에서 실린더 보어 중심을 지나가게 선을 그었을 때 그 선과의 접점에서 실린더를 중심으로)이고 깊이 14mm정도에서 실린더 벽에 수직하게 최대변위가 발생함을 알 수 있다.

3.2 밸브 플레이트

밸브 플레이트에 있어서도 실린더 블록의 해석과 마찬가지로 압력값에 40MPa, 45MPa, 50MPa의 압력을 적용하여 구한 최대응력과 변위량을 각각 Table 5에 표시하였다.

	40MPa	45MPa	50MPa
최대응력(MPa)	163	184	204
최대변위량(mm)	0.0111	0.0125	0.0139

Table 5 Max. Stress and Max. Displacement of the Valve Plate

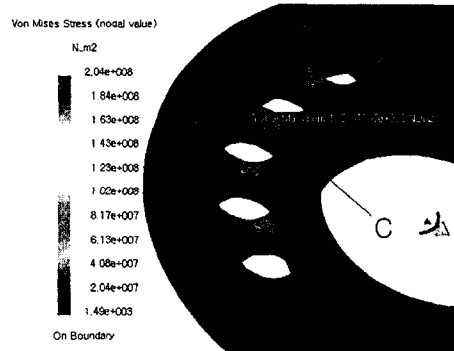


Fig. 9 The Point Max. Stress of the Valve Plate appears

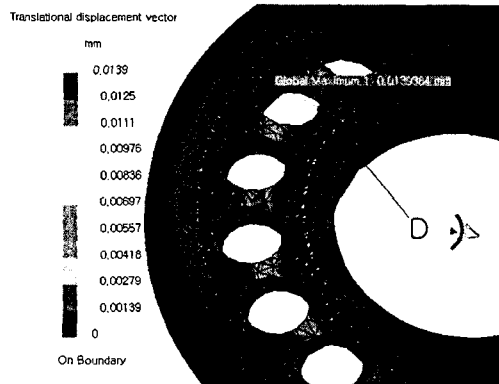


Fig. 10 The Point Max. Displacement of the Valve Plate appears

밸브 플레이트의 경우에는 최대응력 값이 실린더 블록에 비해 상당히 크게 나오는 것을 볼 수 있다. 사용 재질인 황동의 항복강도가 435MPa이므로 40, 45, 50MPa의 경우에 최대응력은 항복강도의 각각 37.5, 42.3, 46.9%를 나타내고 있다.

따라서 본 해석에 사용된 황동은 40MPa정도까지는 안전하게 사용될 수 있을 것이라 생각되나 그 이상의 압력에서의 사용을 위해서는 재질의 변경이나 설계변경이 요구됨을 알 수 있다. Fig. 9와 Fig. 10은 각각 50MPa일 때의 응력의 분포를 보여주고, Fig. 9의 C점에서 최대응력, Fig 10의 D점에서 최대변위 발생지점을 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 최대응력과 변위는 모두 뒷면에서 나타남을 알 수 있다.

Fig. 11은 응력에 의해 변형이 일어나는 형상을 프로그램 내의 deformation scale factor라는 값을 조정하여 이해하기 쉽게 표현한 것으로 밸브 플레이트는 주로 뒷부분에서 실린더 중심쪽으로 쏠려 올라가는 형상으로 변형이 일어남을 볼 수 있다.

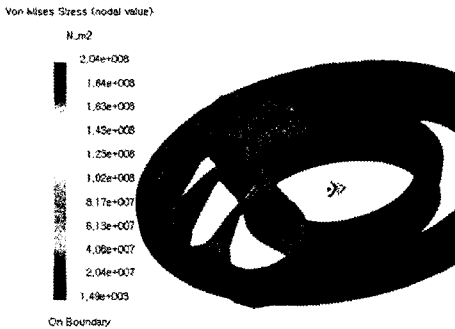


Fig. 11 The Shape of the deformation of the Cylinder Block

4. 결론

사판식 피스톤 펌프의 실린더 블록과 밸브 플레이트에 대하여 응력해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 실린더 블록의 경우 5개의 실린더 보어에 압력이 작용한다고 가정했을 경우에 전체 실린더 보어에 압력이 작용한다고 가정했을 때 보다 더 큰 응력값과 변위값을 가짐을 알 수 있었고, 이것은 축에 대해 비대칭에 의한 결과라고 생각된다.

2. 밸브 플레이트의 경우 사용재질에 대해 45, 50MPa이 작용시에는 허용응력 값을 넘어 사용에 부적절함을 알 수 있었고, 재질에 대한 검토가 요구됨을 알 수 있었다.

따라서, 본 연구를 통하여 정적인 조건에서 사판식 피스톤 펌프의 실린더 블록과 밸브 플레이트에 발생하는 응력 및 변형량을 명확하게 얻어낼 수 있었고 이를 실제 설계 자료로 적용할 수 있을 것으로 여겨진다.

그러나, 더 정확한 해석결과를 얻기 위해서는 이번 해석에서는 제외한 cylinder bush를 결합한 상태로서의 실린더 블록에 대해 이중 재질간의 접합요소에 대한 응력해석법을 적용시켜야 하겠고, 펌프가 정지상태에서 힘을 받는 물체가 아니므로 실제운전시에 해당하는 해석 조건을 찾는게 앞으로의 연구 목적이다.

참고문헌

1. 小林俊一, 池谷光榮, 斜板式 アキシナル 피스톤모터内の 피스톤球面・스리ッパ軸受部の彈性靜壓潤滑 (第1報, 理論解析), 油壓と空氣壓, 第21卷, 第6号, pp.78~84(1990)
2. J. B Akin, "Application and Implementation of Finite Element Methods", Academic Press, 1982
3. K. H. Huebner, E. A. Thornton, "The Finite Element Method for Engineers", John Wiley & Sons, 1982