

# 사판 식 축 피스톤 펌프 밸브블록의 구조개선에 관한 연구(1)

김정화\*<sup>#</sup>, 신미정\*\*, 김명규\*\*\*

\*경남대학교 기계공학과, \*\* (주)선진기술, \*\*\*경남과학기술대학교 기계공학과

## A Study on Structural Improvement of the Swashplate Axial Piston Pump Valve Block (1)

Jeong-Hwa Kim\*<sup>#</sup>, Mi-Jung Shin\*\*, Myung-Kyu Kim\*\*\*

\*School of Mechanical Engineering, Kyungnam UNIV., \*\*SJT LTD,

\*\*\*Department of Mechanical Engineering, GNTech UNIV.

(Received 1 December 2017; received in revised form 12 December 2017; accepted 3 January 2018)

### ABSTRACT

This study aims to provide ways to achieve structural improvements of the internal flow path of the discharge plenum of a swash plate piston pump valve block vulnerable to cracks. This paper corresponds to Part I, which consists of a structural analysis of the valve block, identification of the stress distribution and stress raisers, and creation of a Simple Model of the valve block to review the optimal design. Structural analysis was performed by assigning the same conditions as those found in the valve block model, and the design was reviewed by examining three different design improvement plans for the internal flow path of the discharge plenum.

**Key Words** : Valve Block(밸브블록), Piston Pump(피스톤 펌프), Axial Piston Pump(축 피스톤 펌프), Finite Elements Method(유한요소법)

## 1. 서 론

펌프에 포함되어 있는 밸브블록은 외부에서 흡입되는 유로와 토출 유로, 그리고 토출 압력, 유량을 조절하기 위한 부품이다. 이전 연구에서 개발 중인 펌프에 적용된 밸브블록에 크랙이 발생하여 수치해석을 통한 원인 분석을 하는 연구를 수행하였다.<sup>[1]</sup>

Part I과 Part II로 나누어 정리한 이번 연구에서는 원인 분석된 밸브블록의 구조 개선을 위한 최적

화 설계 형상 검토를 위한 연구를 수행하였다. 본 논문은 연구의 Part I에 해당되며, 밸브블록의 간략화 모델로 유한요소법을 활용하여 구조 개선 방안을 검토하였다.

## 2. 현 상

내구시험 중 밸브블록의 토출 포트 나사부에서 Fig. 1과 같이 크랙이 발생하였다. 그리고 이를 보강하자 토출 부 내부 유로에서 크랙이 발생하였고, Fig. 2와 같이 성장하였다<sup>[1]</sup>.

# Corresponding Author : powersid@hanmail.net

Tel: +82-55-249-2607, Fax: +82-505-999-2160

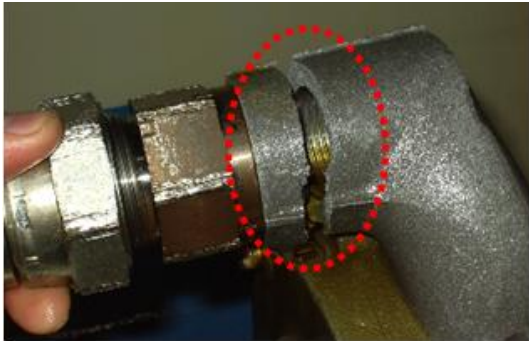


Fig. 1 The crack of the valve block on the port

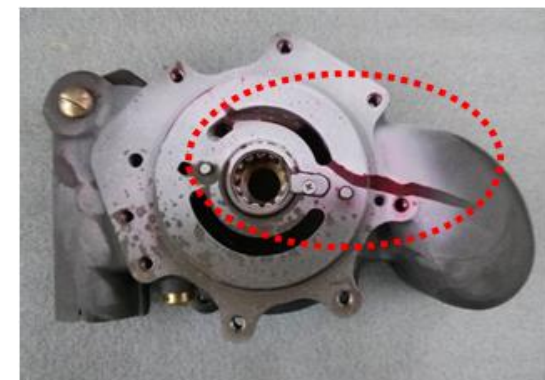


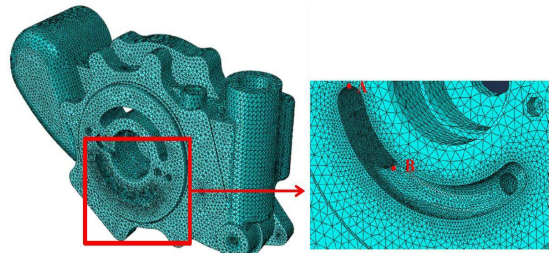
Fig. 2 The flow path crack inside the valve block

### 3. 개선 전 밸브블록의 유한요소해석

#### 3.1 해석조건 및 방법

Fig. 3은 밸브블록의 요소망 형상이다. 요소망 수는 601,019개이고, 응력 집중이 예상되는 부위에

요소망을 조밀하게 생성하였다<sup>[2,3]</sup>. 적용되는 밸브블록 재질은 AC4A-T6 알루미늄 합금 주조이고, Table 1은 AC4A-T6의 물성정보이다. 이 밸브블록은  $\pm 350$ psi의 맥동을 가지는 4000psi이 내부 압력이 가해진다. Fig. 4는 밸브블록에 가해지는 하중 값이다. 제품 해석 시에는 내부 압력 4000psi에 맥동이 가해지는 350psi를 감안하여 4350psi의 압력이 일정하게 가해지는 것으로 입력하였다. Fig. 5는 밸브블록에 가해지는 하중 영역이다. 밸브블록의 토출 부 내부유로를 하중 영역으로 부여하였다. Fig. 6은 밸브블록의 경계 조건을 나타낸 것이다. 밸브블록이 펌프에 조립되는 영역을 고정시키는 경계조건을 부여하였다.



Stress concentration locations A and B

Fig. 3 Mesh of valve block

Table 1 Material property of AC4A-T6

Young's modulus(MPa)	$7 \times 10^4$
Poisson's ratio	0.3
Density(kg/m <sup>3</sup> )	2710
Yield Stress(MPa)	190

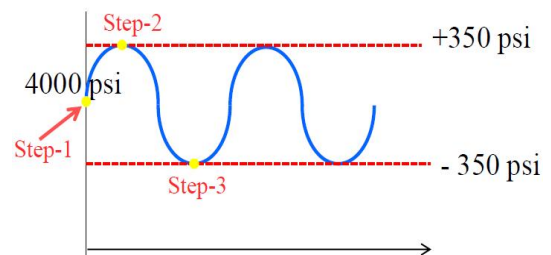


Fig. 4 Load conditions when the internal pressure is 4000psi

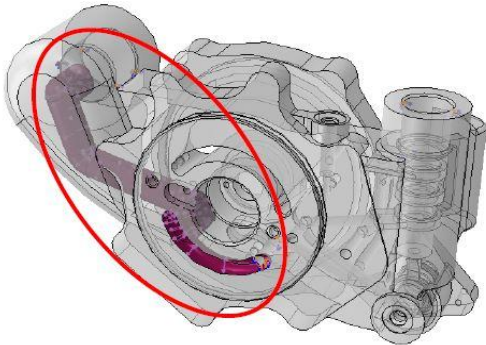


Fig. 5 Load condition of valve block

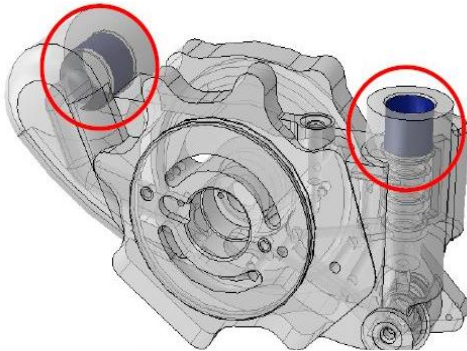


Fig. 6 Addition of Boundary Condition details -Fix

### 3.2 해석 결과

정적 선형 해석은 Hooke's Law인  $\sigma = E\epsilon$ 를 지배 방정식으로 한 하중-변위-변형률-응력이 모두 선형비례 관계로 가정을 한 해석이다<sup>[4]</sup>. 이를 위해 재료는 선형 탄성(Linear elastic)이어야 하고, 하중은 재료의 항복을 발생시키지 않는 범위 내에서 작용하여야 한다.

Fig. 7은 개발 중인 펌프에서 가해지는 4000psi의 압력이 밸브블록에 가해졌을 때 정적 선형 해석 결과이다. 맥동에 의해 순간적으로 가해지는 서지압을 고려한 4350psi의 압력이 밸브블록에 가해졌을 때 유체의 흡입 부에 응력이 집중되어 밸브블록 재질인 AC4A-T6의 항복 강도인 190MPa을 초과한 247.6MPa의 최대 등가 응력, 안전율 0.76의 결과가 나오는 것을 알 수 있다.

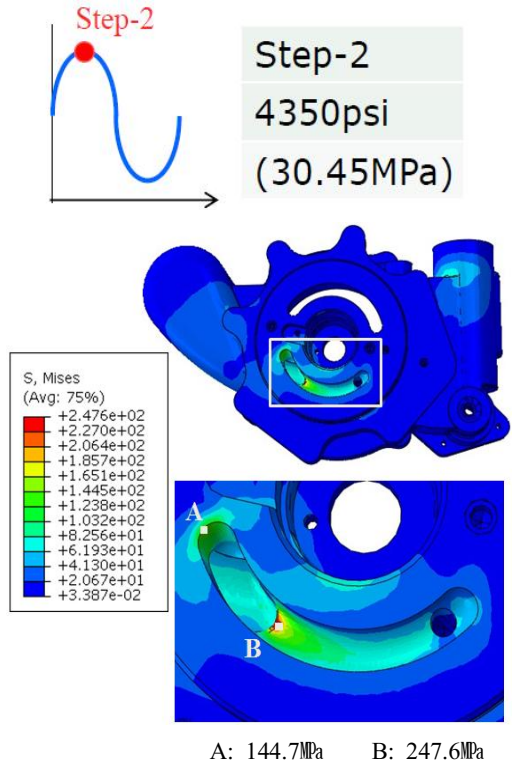


Fig. 7 Linear static analysis considering pulsatory motion at the pressure of 4000psi

### 4. 간략화 모델을 이용한 구조 개선 검토

Chapter 3의 밸브블록 해석 결과를 보면 안전율 0.76이므로, 현재의 구조에서는 사용이 불가능함을 알 수 있다. 그래서 형상 변경에 따른 응력 값의 변화를 검토하기로 하였으며, 현재 모델을 기준으로 하여 설계변경 안 3가지를 제시하였다. 이것을 유한요소법을 활용하여 빠른 해석적 검토를 위하여 간략화 모델을 제작하여 설계변경 안을 검토하고 이것을 밸브블록 모델에 적용하여 세부적인 검토를 할 것이다<sup>[5,6]</sup>.

Fig. 8은 현재 밸브블록의 간략화 모델 및 해석 결과이다. 전체적인 응력 분포 경향은 Chapter 3의 밸브블록 해석과 비슷하게 나오지만, 응력집중 부의 응력 값이 261.3MPa로 실제 모델의 해석결과와 비교하면 15MPa 가량 더 높게

나오는 것을 볼 수 있다. 하지만 각 Case 별로 비교 검토를 하여 최적결과를 찾을 것이기에 보수적인 결과 검토를 생각하면 초기 간략화 모델로 사용가능한 해석 결과로 판단된다.

Fig. 9는 설계변경 안 1의 간략화 모델 및 해석결과이다. 초기의 간략화 모델에서 내부 유로 입구의 안쪽을 경사지게 하여 응력 분산을 기대하였고, 해석결과도 응력 집중 부의 최대 등가 응력이 211.4MPa로 50MPa 가량 감소하였다. 하지만 여전히 AC4A-T6의 항복강도인 190MPa을 초과한 결과가 나타남으로 이대로 적용이 불가능함을 알 수 있다.

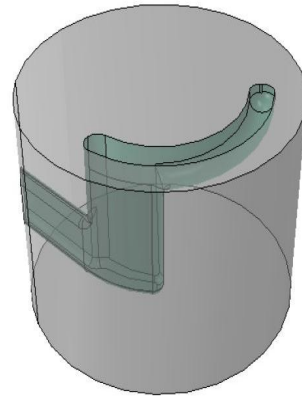
Fig. 10은 설계변경 안 2의 간략화 모델 및 해석결과이다. 설계변경 안 1에서 응력 집중 부의 라운드 반경 값을 크게 하여 설계변경 안 1보다 응력 분포 결과의 개선을 기대하였다. 해석결과 응력 집중 부의 최대 등가 응력 값은 192.6MPa로 설계변경 안 1보다 20MPa 가량 감소하였으나, 여전히 AC4A-T6의 항복강도인 190MPa을 초과한 결과를 보여 이대로 적용이 불가능함을 알 수 있다.

Fig. 11은 설계변경 안 3의 간략화 모델 및 해석결과이다. 설계 변경 안 1의 라운드 반경 값을 크게 한 설계 변경 안 2를 적용하여 응력 분산을 시켰으나, 응력 집중 부의 최대 등가 응력 값은 여전히 밸브블록의 재질인 AC4A-T6의 항복강도를 초과하는 상황에서 현재의 설계 변경 안 1 과 2의 구조로는 더 이상의 응력 분산효과를 노리기는 힘들다고 판단되었다.

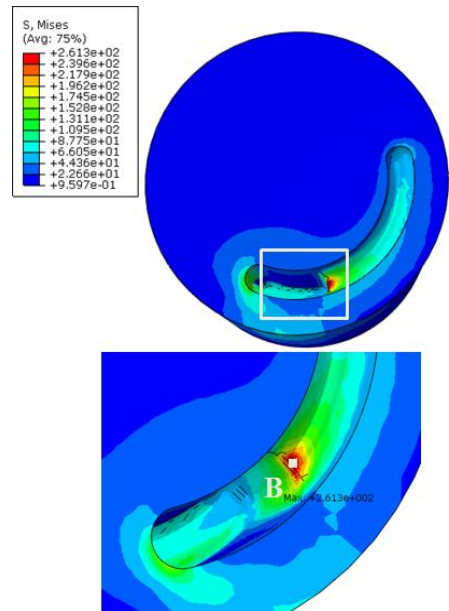
그래서 적용된 것이 설계 변경 안 3이다. 이것은 초기의 간략화 모델에서 보강 바를 설치한 모델로 이 보강 바를 통한 응력 분산 효과를 기대하였다. 해석 결과 기존의 응력 집중 부의 최대 등가 응력 값은 123.9MPa로 크게 감소하였으나, 보강 바의 아랫부분은 응력은 185.1MPa로 여전히 개선이 필요한 것을 볼 수 있다.

설계 변경 안1의 검토 결과 현재 밸브블록 간략화 모델 대비 응력이 감소하였으나, 항복강도를 초과하므로 적용이 불가하다. 설계 변경 안2의 검토결과 기존 밸브의 해석결과 및 설계 변경 안1 대비 응력 개선이 이루어졌으나, 최대 등가 응력

이 항복강도를 초과하므로 적용이 불가능하다. 설계 변경 안3의 검토 결과 기존 밸브의 해석결과 및 설계 변경 안1, 설계 변경 안2 대비 응력 분포 개선이 이루어졌고, 최대 등가 응력이 항복 점 이하로 분포되었다. 그러나 최대 등가 응력 값이 재질의 항복 강도와 크게 차이가 나지 않아 추가적인 검토가 필요하다.



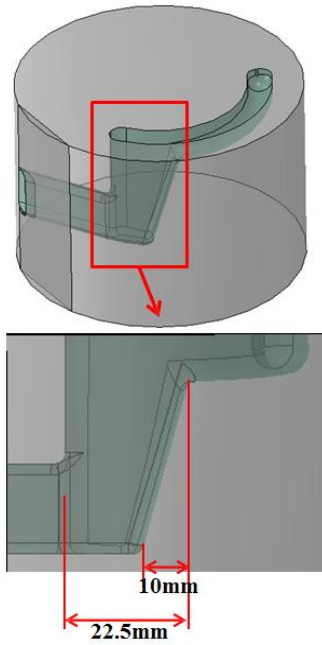
(a) Simple model of valve block



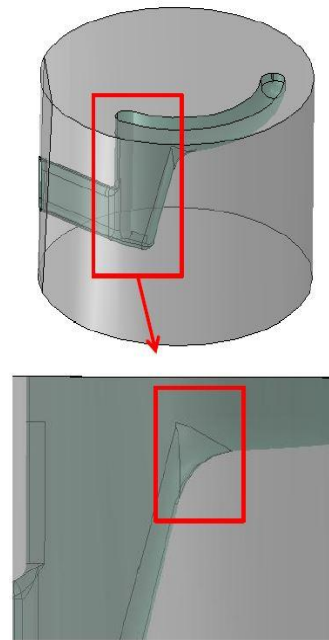
B(Max) : 261.3MPa

(b) Analysis of valve block

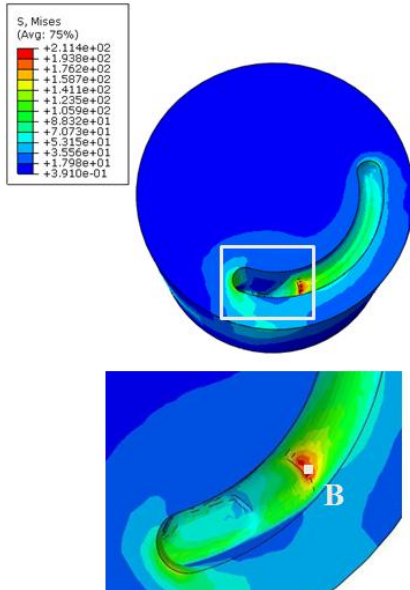
Fig. 8 Simple model and analysis of valve block



(a) Add a gradient feature below position B

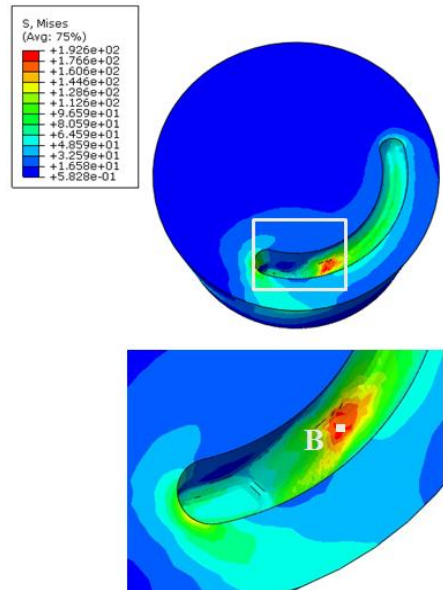


(a) Increase R value from design change plan 1



B(Max) : 211.4MPa

(b) Analysis of the design change plan 1



B(Max) : 192.6MPa

(b) Analysis of the design change plan 2

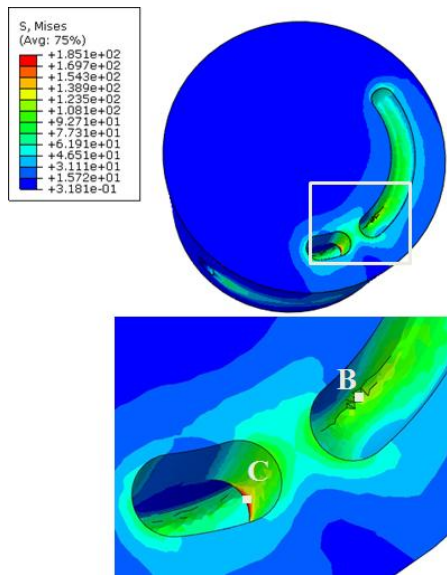
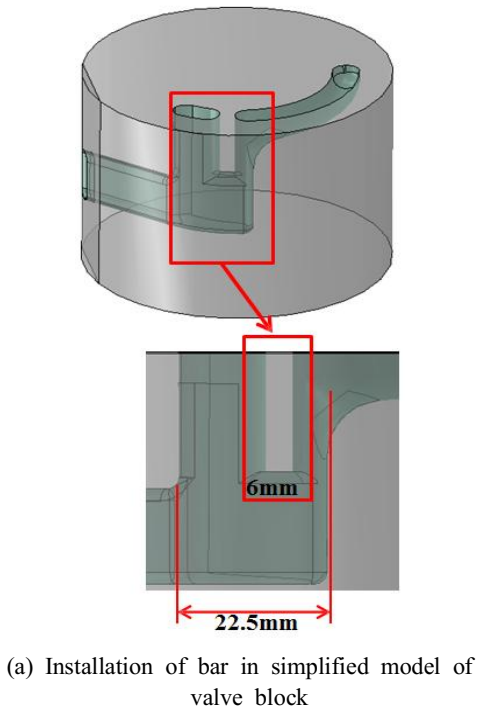
Fig. 9 Simple model and analysis of the design change plan 1

Fig. 10 Simple model and analysis of the design change plan 2

## 5. 결론

밸브블록의 내부유로 설계변경에 따른 응력분포 값을 검토하기 위하여 간략화 모델 설계변경안 3가지를 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 기존 밸브블록의 내부유로 형상을 적용한 간략화 모델의 해석결과 최대 응력 집중부의 응력 값이 261.3MPa로 밸브블록 모델보다 15MPa가량 더 높게 나왔다. 하지만 전체적인 응력 분포 경향이 기존 밸브블록 모델과 동일하고, 최대 등가 응력 값이 밸브블록 모델보다 높게 나왔으므로, 보수적으로 평가를 한다면 비교 검토하는 기준으로는 문제가 없어 보인다.
2. 설계 변경 1안은 내부 유로 입구의 안쪽을 경사지게 하여 응력 분산을 기대하였다. 해석 결과 기존 간략화 모델 대비 응력 감소의 효과를 보였으나, 최대 응력 집중부의 응력 값은 211.4MPa로 AC4A-T6 의 항복강도인 190MPa를 초과하여 적용하는데 무리가 있어 보인다.
3. 설계 변경 2안은 설계 변경 1안의 간략화 모델에서 응력 집중부의 라운드 값을 크게 하여 응력 분산 효과를 기대하였다. 해석 결과 설계 변경 1안 대비 응력 감소의 효과를 보였으나, 최대 응력 집중부의 응력 값은 192.6MPa로 여전히 AC4A-T6 의 항복강도인 190MPa를 초과하여 적용하기 무리가 있어 보인다.
4. 설계 변경 3안은 기존 간략화 모델에서 보강 바를 설치하여 응력 분산 효과를 기대하였다. 해석 결과 보강 바 설치 시 이전까지 검토한 모델의 응력 집중부인 'B'부위의 응력은 123.9MPa로 크게 감소하였으나, 보강 바의 아랫부분인 'C'의 응력은 185.1MPa로 여전히 높아 아직 개선이 필요함을 알 수 있다. 이것은 Part II에서 밸브블록 모델에 보강 바를 적용하여 계속 진행할 것이다.



(b) Analysis of the design change plan 3

Fig. 11 Simple model and analysis of the design change plan 3

## 후 기

“이 논문은 2016년도 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

## REFERENCES

1. Kim, J. H., "Structural Analysis of the Valve Block of a Swash Plate-Type Axial Piston Pump", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 3, pp. 52-57, 2016.
2. SolidENG Co., Ltd., "ABAQUS Fundamentals and Applications", Yeamonsa, pp. 83-98, 2015.
3. V-ENG Co., Ltd., "ABAQUS tutorial for beginners and intermediate users", BB-Media, pp. 197-213, 2013.
4. Thomas, J., Norman, C., Crandall, H., An Introduction to the Mechanics of Solids, Mcgraw-Hill College, pp. 36-63, 1972.
5. Kwak, J. Y., Jeon, I. J., Park, S. E., Lee, Y., "Improvement of the Performance of the Supersonic Abrasive Blastion Nozzle", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 2, pp. 9-15, 2016.
6. Nam, K. S., Choi, J. K., Choi, H. M., Kim, J. K., Yeum, S. H., Lee, S. S., "Study on the Improvement of Strength of Excavator Attachments Considering the Field Environment", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 1, pp. 122-128, 2016.
7. Nam, K. S., Choi, J. K., Choi, H. M., Kim, J. K., Yeum, S. H., Lee, S. S., "Study on the Improvement of Strength of Excavator Attachments Considering the Field Environment", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 1, pp. 122-128, 2016.
8. Lee, W. S., An, B. S., Kim, J. H., Lee, Woo, J. C., Lee, B. G., "A Study on Structural Safety of Integrated Machine for Grindin Wheel Forming", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 2, pp. 84-88, 2016.
9. Kim, B. H., Ahn, K. C., Chung, S. W., Kim, Y. H., "Development of the Linear Piston Pump Driven by the Hydraulic Power for the Solid Transferring", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 9, No. 2, pp 82-89, 2009.