

선박 유압공급 장치용 사판식 유압 피스톤 펌프의 구조적 안정성에 관한 연구

곽범섭*, 임종학*, 이인욱**, 이종섭***, 이호성****, 송철기*****.#

*경상대학교 대학원 기계설계학과, **(유)세플러코리아, ***한국승강기대학교,

****경상대학교 기계융합공학과, *****경상대학교 기계공학과, 공학연구원

A Study on the Structural Stability of the Swash Plate Piston Pump for Marine Hydraulic Power Supply

Beom-Seop Gwak*, Jong-Hak Lim*, In-Wook Lee**, Chung-Seob Yi***,
Ho Seong Lee****, Chul Ki Song*****.#

*Department of Mechanical Engineering, Gyeongsang National University, **Schaeffler Korea Corporation, ***School of Lift Engineering, Korea Lift Collage, ****Department of Mechanical Convergence Engineering, Gyeongsang National University,

*****School of Mechanical Engineering, ERI, Gyeongsang National University

(Received 07 January 2021; received in revised form 16 January 2021; accepted 27 January 2021)

ABSTRACT

In this paper, a structural stability analysis of the swash plate hydraulic piston pump installed on hydraulic supply systems in marine vessels is presented. In order to verify the integrity of the pump design, a standard structural analysis technique based on the finite element method has been applied for various operating and boundary conditions. For the maximum operational torque (223 N·m) at 5°, 10°, and 15° of the swash plate angle, the maximum deformation, equivalent stress and safety factor are evaluated. The analytical results show that under current operating conditions, the structural reliability of the design has been confirmed.

Key Words : Swash Plate Piston Pump(사판 피스톤 펌프), Hydraulic Pump(유압펌프), Structural Analysis(구조 해석), Finite Element Method(유한요소법)

1. 서 론

해양 선박 산업에 필수적으로 사용되는 선박엔진 유압 펌프는 유체를 이용하여 에너지 공급과 전송 분배하여 제어하고 필요로 하는 일의 수단으

로 사용되는 장치이다. 산업별 수요는 항공·굴삭기·산업기계·선박 등에 주로 사용되며, 유압펌프에 사용되는 기술의 핵심은 피스톤 펌프의 사판의 각도에 연동하여 전기적 신호 제어로 조절이 가능한 기술이다.

현재, 사판식 피스톤 유압 펌프에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며, 수치해석을 통해 피스톤

Corresponding Author : cksong@gnu.ac.kr

Tel: +82-55-772-1633, Fax: +82-55-772-1578

펌프 내부 유동에 대한 시뮬레이션 결과를 도출하고 있다. 특히, 제품개발에 대한 설계 검증에 많이 시도되고 있으며, 다양한 해석을 통한 결과를 근거로 실제 시제품 및 개발제품의 설계에 반영되고 있다. 또한, 제조사의 경우 실험을 통해 사판식 유압 피스톤 펌프에 대한 유량 및 압력 등에 관한 설계값을 검증하고 있다.^[1-6]

본 연구는 선박의 운항 안정성과 효율성을 증진시키기 위하여 경전각의 동작이 가변 정밀 제어 및 조절이 가능해야 된다. 고압 출력을 요구하는 엔진의 연료분사 및 배기밸브의 개폐를 위해 압력 350 bar, 용량 40 cc/rev, 회전수 2600 rpm의 성능을 낼 수 있는 고성능 유압 피스톤 펌프를 개발하기 위한 연구로서 구조해석을 통해 사판식 피스톤 펌프에 미치는 영향과 그에 대한 설계 자료를 도출하고자 한다.

2. 사판식 유압 피스톤 펌프 구조 해석

2.1 구조해석 방법

본 연구의 피스톤 펌프는 구동 중에 파손이 일어나지 않고 구조적 안정성 확보와 요구되는 성능을 충족시키기 위해서 부품 간의 간섭, 안전계수, 부하 용량을 고려한 설계가 꼭 필요하다. 이러한 사항은 구조해석을 통해 안정성과 내구성의 사전 검증이 가능하다.

유압 피스톤 펌프의 구조해석은 유한요소법(FEM, finite element method)을 기반으로 하는 ANSYS Mechanical을 활용하여 수행한다. 구조해석 수행 과정은 전처리(pre-processing), 해석(analysis), 후처리(post-processing)로 구분된다.

전처리 과정에서는 유압 펌프의 3D 모델링을 바탕으로 해석에서 필요하지 않은 요소들을 제거하여 해석이 가능하도록 재설계를 한다. 구조해석 수행 후, 후처리 과정을 통해 사판식 유압 펌프에서 발생하는 등가응력(equivalent stress) 및 변형량(total deformation) 등 구조적 안전성 판단에 필요한 정보를 확인할 수 있다.^[6-8]

2.2 해석 모델링 선정

2.2.1 모델링 및 재질

본 연구에 사용된 사판식 피스톤 펌프는 Fig. 1과 같이 선박엔진의 유압공급장치에 사용되는 유압펌프이며, Fig. 2와 같은 형태를 나타내고 있다.

연구에서 고려한 사판 플레이트(swash plate)의 재질은 FCD600이며, 실린더 블록과 하우스(housing)의 재질은 FCD400이며, 밸브 플레이트(valve plate)의 재질은 SCM440으로 기계구조용 저합금강재이며, 피스톤의 재질은 SACM645로 기계구조용 합금강재이며, 슈의 재질은 P31CE이며, 축의 재질은 SNCM420H로 재료의 물성치는 Table 1과 같다.

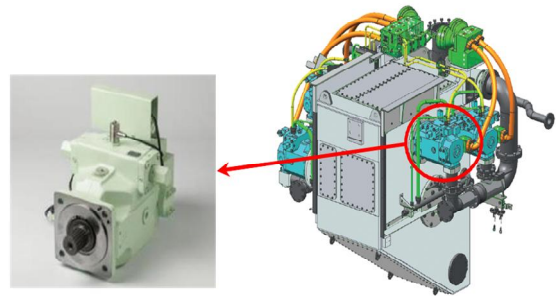


Fig. 1 The swash-plate piston pump

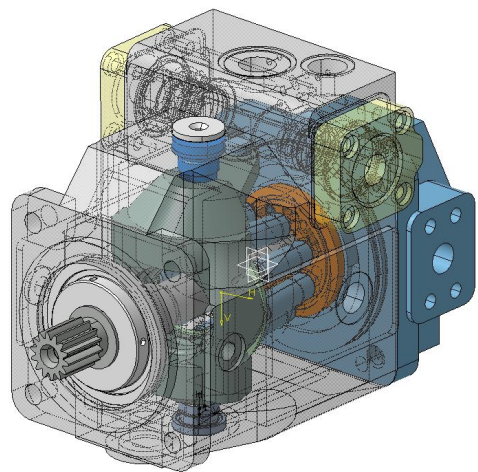


Fig. 2 Analytical model for the swash-plate piston pump

Table 1 Material properties for the structural analysis

Material	Density [kg/m ³]	Young's modulus [GPa]	Poisson's ratio	Yield stress [MPa]
FCD400	7,000	140	0.25	450
FCD600	7,850	200	0.3	460
SACM645	7,700	200	0.29	450
SCM440	7,850	204	0.29	415
P31CE	8,920	115	0.33	130
SNCM420	7,800	210	0.29	450

Table 2 Finite element modeling data

Element type	Nodes	Elements
Solid	1,042,740	666,384

본 연구에서 사판식 유압 피스톤 펌프에 대한 구조해석을 위하여 사판식 유압 피스톤 펌프 전체의 3D 모델링을 Fig. 3과 같이 수행하였다. 사판식 피스톤 펌프는 크게 사판 플레이트, 하우징, 축, 실린더 블록 등으로 구성되어 있다. 축은 유압 피스톤 펌프의 내·외부에 동력을 전달하는 역할을 한다. 그리고 하우징은 외부에서 가해지는 영향으로부터 내부 기계 부품들을 보호하는 역할을 한다.

유한요소법 기반의 구조해석을 수행할 경우 절점과 요소의 수는 해석 시간에 절대적인 영향을 미친다. 따라서 해석시 불필요한 구조물은 제외하고 구조해석이 수행되어야 하며, 적절한 경계조건을 통해 전체 시스템 해석과 유사한 해석 결과를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 CATIA V5를 활용하여 펌프 이외의 구조해석에 영향을 미치지 않는 불필요한 부분을 삭제하였다.⁹⁻¹⁰⁾

유한요소 모델링은 Fig. 4와 Table 2에 나타내었다.

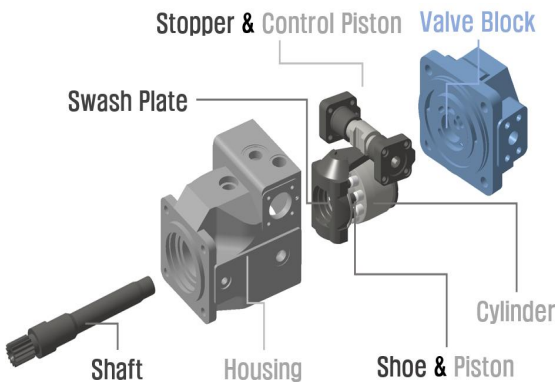


Fig. 3 Components of the swash-plate piston pump

2.2.2 경계조건

본 연구에서는 사판식 유압 피스톤 펌프의 구조적 안정성의 검증이 목적이기 때문에 펌프의 사판의 각도(5°, 10°, 15°)에 따른 모델에 대하여 해석을 수행하였다.

사판식 유압 피스톤 펌프의 경계조건으로는 축에 의해 토크가 최대 223 Nm로 전달된다. 또한, 토출되는 압력과 실린더 내부에서 실린더와 피스톤에 가해지는 압력 성분들은 서로 작용과 반작용의 관계이므로 피스톤 펌프의 최대 압력을 정적 작용력으로 적용하였다. 구속조건은 하우징과 스톱퍼(stopper)에 설정하였다.

구조해석 경계 조건은 Fig. 5과 같다.

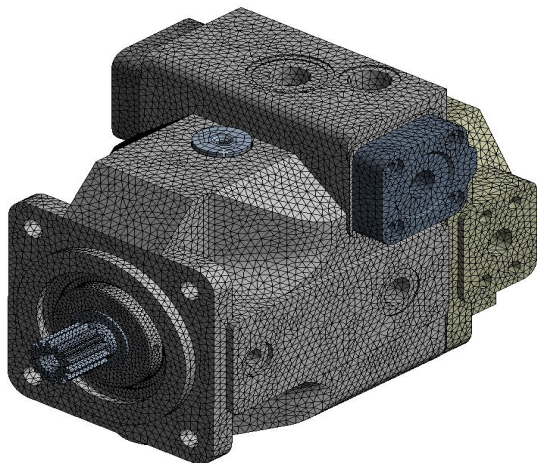


Fig. 4 Finite element modeling of the piston pump

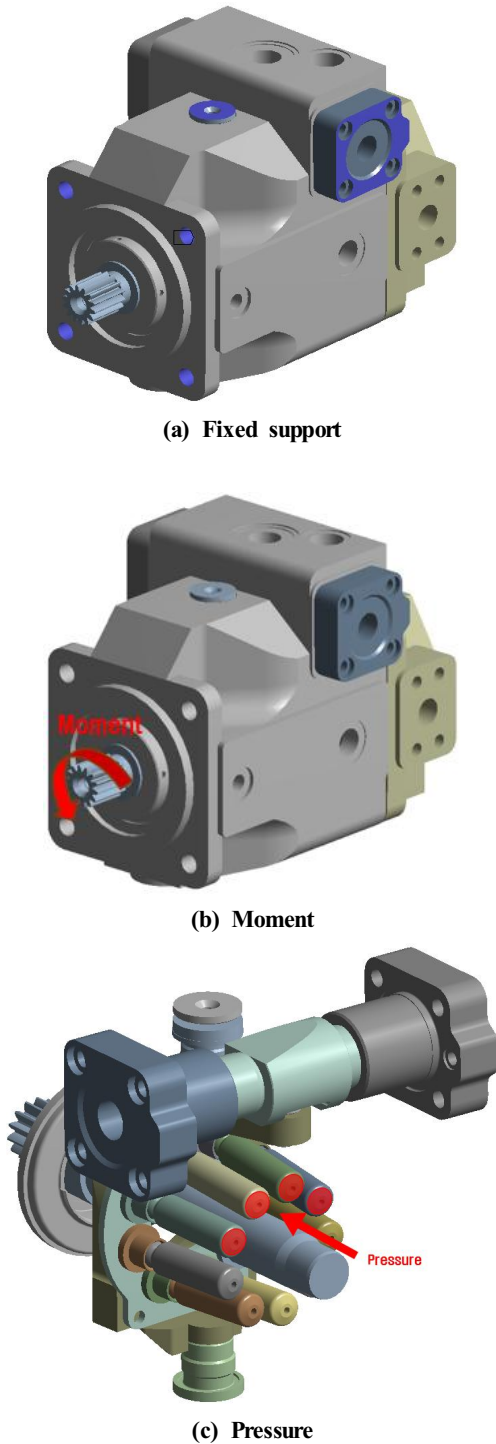


Fig. 5 Conditions for structural analysis

2.3 결과 분석

유한요소 해석 결과는 Fig. 6~14와 같이 나타나며, 사판의 각(5°, 10°, 15°)에 따라 엔진의 회전수 및 토크가 펌프에 전달되었을 때의 결과는 아래와 같다.

5°일 때, 전체 변형량은 최대 0.022 mm로 구조적 변형이 거의 없다는 것을 알 수 있다. 그리고 하중이 전달되었을 때 펌프를 구성하고 있는 요소 중에 하우징을 고정하는 부위에 최대 응력 167.52 MPa이 발생하였고 축의 최대 허용응력인 250 MPa과 비교하였을 때 안전율 1.49를 가지는 것을 확인할 수 있다.

10°일 때, 전체 변형량은 최대 0.048 mm로 구조적 변형이 거의 없다는 것을 알 수 있다. 그리고 하중이 전달되었을 때 펌프를 구성하고 있는 요소 중에 하우징을 고정하는 부위에 최대 응력 203.5 MPa이 발생하였고 축의 최대 허용응력인 250 MPa과 비교하였을 때 안전율 1.23를 가지는 것을 확인할 수 있다.

15°일 때, 전체 변형량은 최대 0.119 mm로 구조적 변형이 거의 없다는 것을 알 수 있다. 그리고 하중이 전달되었을 때 펌프를 구성하고 있는 요소 중에 피스톤에 최대 응력 286 MPa이 발생하였고 피스톤의 최대 허용응력인 450 MPa과 비교하였을 때 안전율 1.57를 가지는 것을 확인할 수 있다.

구조해석 결과로 Table 3에 나타내었으며, 사판의 각(5°, 10°, 15°)에 대하여 최대 토크(223 N·m)에 의해 생기는 응력에 대하여 구조적 안정성을 확인하였다.

Table 3 The results of structural analysis

Degree [°]	Deformation [mm]	Equivalent stress [MPa]	Yield stress [MPa]	Safety
5°	0.022	167.52	250	1.49
10°	0.048	203.5	250	1.23
15°	0.119	286	450	1.57

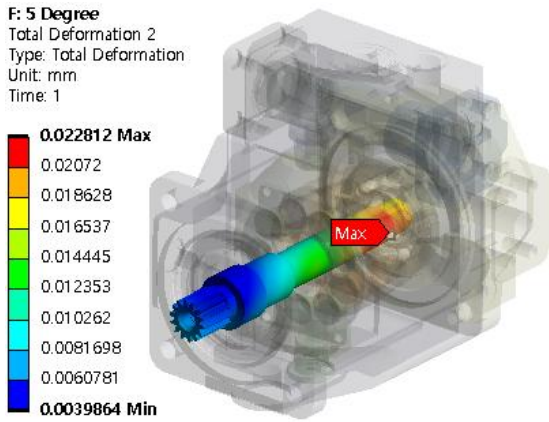


Fig. 6 Maximum deformation at 5°

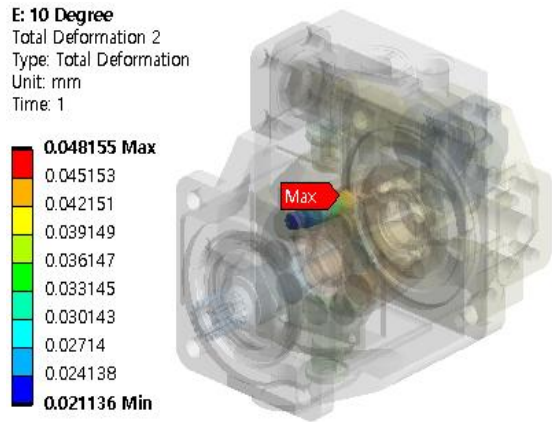


Fig. 9 Maximum deformation at 10°

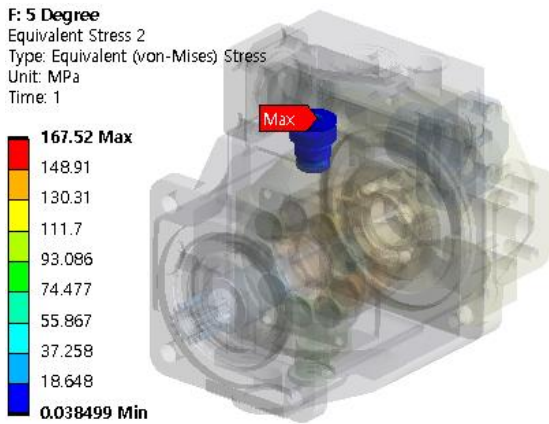


Fig. 7 Equivalent stress at 5°

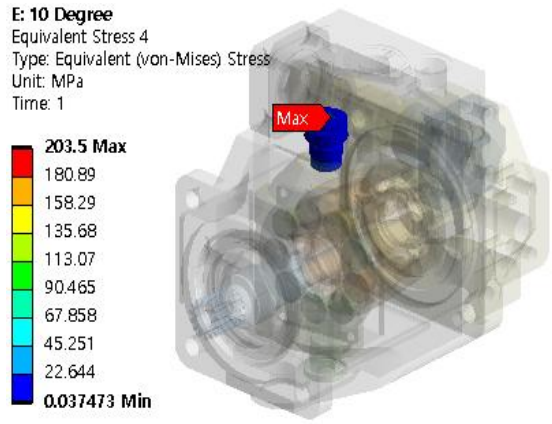


Fig. 10 Equivalent stress at 10°

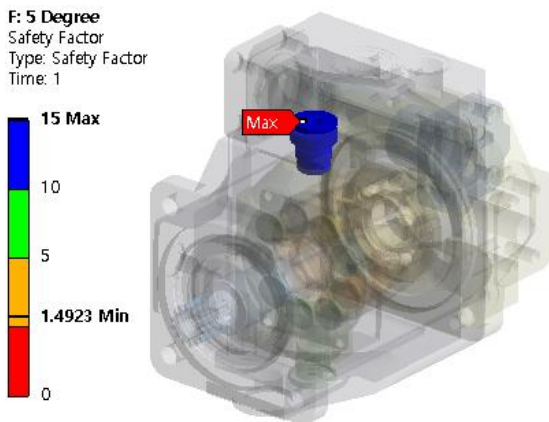


Fig. 8 Safety factor at 5°

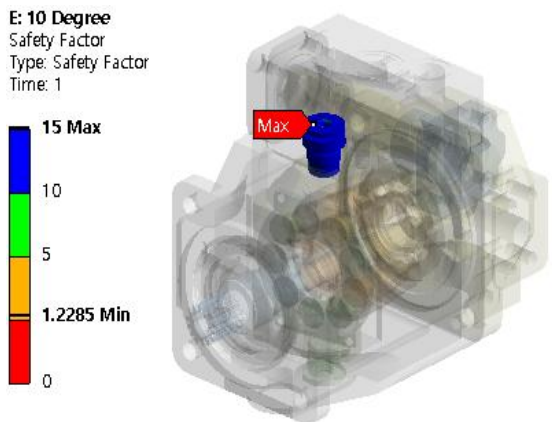


Fig. 11 Safety factor at 10°

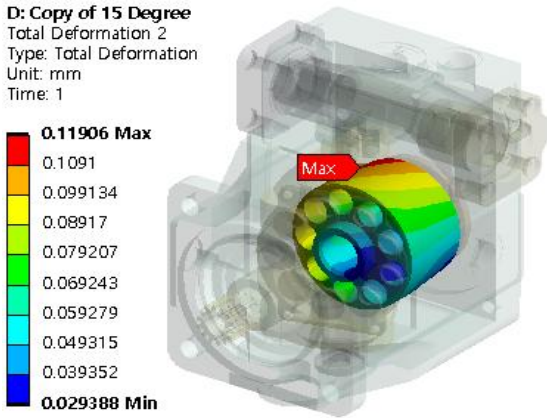


Fig. 12 Maximum deformation at 15°

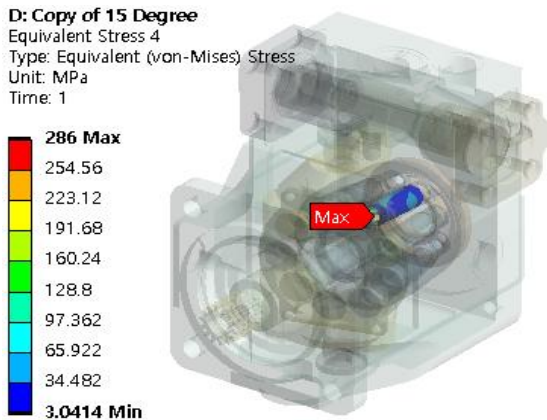


Fig. 13 Equivalent stress at 15°

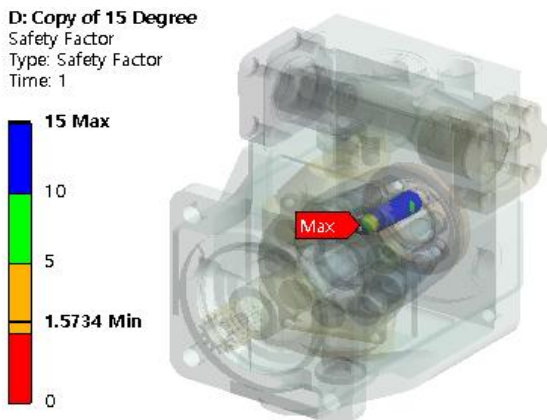


Fig. 14 Safety factor at 15°

3. 결론

본 연구에서는 사판식 유압 피스톤 펌프에 대한 구조해석을 수행하여 사판의 각도(5°, 10°, 15°)에 따라 최대 토크(223 N·m)에 대해 각 구조물의 안전율을 확보하였고 구조적 안전성을 확인하였다. 이를 통해 사판식 유압 피스톤 펌프 설계 신뢰성을 가질 수 있었다.

사판식 유압 피스톤 펌프에 대한 해석 결과는 다음과 같다.

1. 사판의 각이 5°일 때, 최대 토크(223 N·m)에 대해 재질의 안전율(1.49)을 확보했고, 구조적 안정성을 확인하였다.
2. 사판의 각이 10°일 때, 최대 토크(223 N·m)에 대해 재질의 안전율(1.23)을 확보했고, 구조적 안정성을 확인하였다.
3. 사판의 각이 15°일 때, 최대 토크(223 N·m)에 대해 재질의 안전율(1.57)을 확보했고, 구조적 안정성을 확인하였다.

후 기

“이 논문은 2020년도 한국산업단지공단의 현장맞춤형기술개발사업과 2020년도 경상남도지역혁신플랫폼 스마트제조엔지니어링사업단의 산업응용 공유연구소 기업연계기술개발사업의 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

1. Yi, C. S., Suh, J. S., Song, C. K., Shin, Yun. J. H., and Chung. K. T., “A Study on the Flow Characteristic of Lubrication Oil System in Manual Transmission System for Large Commercial Vehicle,” Journal of Korean Society for Fluid Machinery, Vol. 13, No. 6, pp. 77-82, 2010.
2. Kim, D. M., Kim, S. D., Gu, J. S., and Oh, S.,

- “Design of a Gerotor Pump and Experimental Investigation of Its Volumetric Displacement Characteristics,” Journal of Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 35, No. 11, pp. 1383-1389, 2011.
3. Lee, J. W., Moon, J. S., Kim, J. G., Sung, K. K., and Kim, H. M., “Acoustic Structure Interaction Analysis of the Core Support Barrel for Pump Pulsation Loads,” Journal of Korean Society of Mechanical Engineers C, Vol. 5, No. 2, pp. 127-134, 2011.
4. Choi, S. W., Lee, C. D., and Yang, S. Y., “A Study on Simulation of Piston Number for Development of Axial Piston Pump for Wheeled Armored Vehicle,” Journal of Drive and Control, Vol. 16, No. 1, pp. 14-21, 2019.
5. 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.
6. An, J. W., "Development of Analytical Model of Spindle and Rack Gear Systems for Knuckle Boom Crane," Journal of Drive and Control, Vol. 14, No. 2, pp. 23-29, 2017.
7. Park, I. S., Jang, H., Song, C. K., and Suh, J. S., “ Numerical Study on Flow Characteristic of Axial Swash-Plate Hydraulic Motor For Excavator,” The spring conference of Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 237-238, 2014.
8. Choi, S. W., Kim, Y. S., and Yang, S. Y., “A Study on the Structural Analysis and Design Verification of Variable Swash Plate Piston Pump Case for Wheeled Armored Vehicle,” Journal of Drive and Control, Vol. 16, No. 2, pp. 43-50, 2019.
9. TSNE Co. Ltd., "ANSYS 14.0 Escape from the base," ver. 14.0, pp. 157, 207, 271
10. Yi, C. S., Jang, H., Park, I. S., and Song, C. K., “Development of Swash Plate Type Hydriodic Motor for Middle-class Excavator Driving System,” Proceedings of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers Conference, pp. 118, 2013.