

3/8" 유압 퀵 커플러의 피스톤형상을 고려한 최적설계에 관한 연구

김남용*,§, 우위팅*,§, 진진*, 조용민**, 류성기*,#

*경상대학교 기계항공공학부, **천마기계(주)

A Study on the Optimal Design According to the Piston Shape of the 3/8" Hydraulic Quick Coupler

Nam-Yong Kim*,§, Yu-Ting Wu*,§, Zhen Qin*, Yong-Min Cho**, Sung-Ki Lyu*,#

*School of Mechanical & Aerospace Engineering, Gyeongsang National University,

**Chunma Machine CO., Ltd.

(Received 27 December 2020; received in revised form 05 January 2021; accepted 08 January 2021)

ABSTRACT

A hydraulic quick coupler is a component used to easily connect or disconnect pipes or hoses that transfer high pressure fluid without leakage in various mechanical devices. In this study, to obtain an optimal design of a 3/8" hydraulic quick coupler, the effect of different shapes of the internal piston on the internal flow characteristics of the coupler was analyzed and evaluated through numerical analysis based on computational fluid dynamics. Subsequently, the optimal shape design of the internal piston was obtained by comparing the flow characteristics results such as velocity distribution, temperature distribution, and the pressure drop of the hydraulic quick coupler.

Key Words : Flow Simulation(유동 시뮬레이션), Coupler(커플러), Quick Coupler(퀵 커플러), Velocity Distribution(속도 분포), CFD(전산유체해석), Pressure Drop(압력강하)

1. 서론

유압 퀵 커플러는 기계적인 동력전달이 어렵고 제한된 공간 내에서 동력전달장치로서 제어가능하고 큰 출력을 얻을 수 있는 부품이다. 현재

유압 기술은 높은 출력비를 요구하는 건설 중장비, 트랙차, 농기계, 자동차, 선박, 항공기 등 광범위하게 응용될 수 있는 기술이다.^[1-3] 이는 유압이 현존하는 기계시스템에서 가장 출력밀도가 높기 때문이다.^[4] 이러한 특징 때문에 기계 산업 전반에 활용되는 핵심부품으로 그 사용범위와 활용범위가 매우 넓다.^[5]

Corresponding Author : sklyu@gnu.ac.kr

Tel: +82-55-772-1632, Fax: +82-55-772-1578

§ These authors equally contributed to this work as first author

일반적으로 유압 퀵 커플러의 설계 특성상 경제성, 효율성, 내구성, 정숙성, 에너지 절약성과 공간 절약성 등의 장점이 많으며 원활하게 결합, 분리 및 작동을 할 수 있다.¹⁶⁾ 특히 유압 퀵 커플러는 배관의 효율성과 취급이 용이성 등의 특징이 있으며, 이 부품은 이미 국내 다수의 업체에서 생산하고 있다. 수 많은 기존 업체들과의 경쟁력을 갖기 위하여 제품의 차별화가 필요하며 독창적인 기술을 확보하여야 기존업체와의 경쟁에서 우위를 점할 수 있다. 수요시장의 변화로 국제적인 경쟁력을 갖기 위하여 효율이 높고 싼 제품이 선호되고 있다. 이미 기술적인 보편화가 이루어진 현 시점에서 제품을 제작할 때 기술적으로 보다 싼 제품을 생산할 수 있는 능력이 필요하다.

본 설계는 피스톤부의 형상을 변경하는 설계를 통해 경제성과 효율성에 초점을 두었다. 설계모델에 있어서 구조해석을 통해 안정성을 검증하였다. 그리고 유동흐름에서 내부 입출구의 압력차에 따른 온도와 속도분포, 내부 난류를 비교하여 경제성을 검증하였다.

본 연구에서는 유압기계에 많이 사용되고 있는 3/8" 유압 퀵 커플러를 바탕으로 상용 기계요소 설계 및 검증 소프트웨어 프로그램인 Solidworks를 사용하여 모델링 구축 및 CFD(Computational Fluid Dynamics) 유동특성 검증해석을 진행하였다. 내부 피스톤형상의 영향을 고려하여 최적설계를 수행하였다.

2. 유압 퀵 커플러 구조 및 연구방법

2.1 유압 퀵 커플러 구조

기존 포핏(poppet) 커플러의 제품 이미지와 작업 원리를 Fig. 1에 나타냈다. 소켓과 플러그 사이에 잔여 공간이 생겨 기름이 고여 누유 현상이 많이 발견되었다.

누유로 인한 환경문제를 해결하기 위하여 기존 포핏 커플러 기술대비 탈부착시 소켓과 플러그 사이에 잔여 공간이 없으므로 누유 현상을 완전제거할 수 있는 새로운 유압 퀵 커플러의 구조를 설계하였다. 새로운 퀵 커플러의 구조 및 유동특성을 검토 및 보완하기 위하여 수치해석을 수행하였다.

2.2 연구방법

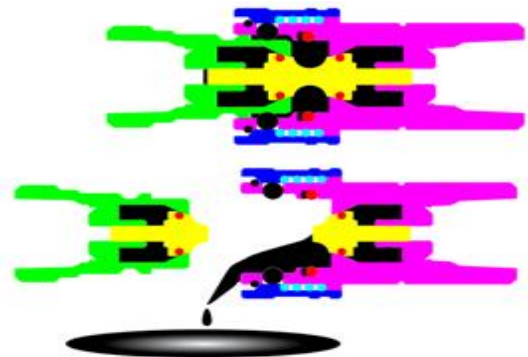
유압유가 커플러를 통과할 때 압력강하가 발생한다. 압력강하는 크게 마찰로 인한 발생과 형상으로 인한 발생이 있다. 마찰은 벽과 유체의 마찰로 인하여 발생하는 것으로 접촉조건에 의하여 발생하게 되며 매끄러운 벽일수록 압력강하는 낮아진다.

한편, 형상으로 인한 발생은 유로가 축소되거나 확대되는 경우와 유로 내에 이물질 등으로 인하여 발생하는 경우이다. 내부 구성부품은 유압 라인의 연결을 목적으로 한다. 하지만 유압유의 내부 유동의 흐름에 있어 저항체로 작용하며, 압력강하를 유발한다. 저항 발생시 발열이 되어 유압시스템에 장애를 줄 수 있다.

이론적으로 ‘마찰에 의한 에너지 손실이 없다고 가정하면, 유체가 가지고 있는 위치에너지, 운동에너지, 압력에너지의 합은 항상 일정하다’라는 유체에



(a) Poppet product



(b) Schematic diagram of poppet product

Fig. 1 Conventional hydraulic quick coupler

대한 에너지 보존법칙에서 다음의 베르누이 방정식을 이용하여 커플러 통과시 발생하는 유압유의 압력강하를 예측할 수 있다.^[8]

$$\frac{P_{in}}{\gamma} + \frac{V_{in}^2}{2g} + h_{in} = \frac{P_{out}}{\gamma} + \frac{V_{out}^2}{2g} + h_f \quad (1)$$

여기서 in과 out은 유체가 흐르는 커플러의 입구와 출구를 의미한다. h_f 은 마찰 손실 수두로 이때 유체의 마찰 손실은 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$h_f = \lambda \times \frac{P_{out}}{\gamma} \times \frac{V_{out}^2}{2g} \quad (2)$$

위의 식을 달시-바이바흐의 식이라고 하며 무차원량 λ 를 유체의 마찰계수(press loss coefficient)라고 하고, 층류와 난류 모두 적용이 가능하다. 이때, λ 와 레이놀즈 수 Re와의 관계는 아래의 수식으로 표현할 수 있다.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (3)$$

$$\lambda = 0.3164Re^{-\frac{1}{4}} \quad (4)$$

유체의 흐름에 있어서 유로의 단면적이 일정하고 균일하게 하여 내부 난류와 속력의 변화를 억제해야 압력강하를 줄일 수 있다. 이에 내부 구성부품의 형상으로 인한 압력강하 발생을 줄이고 난류개선을 통해 최적화할 수 있는 구조로 피스톤 부품설계를 진행하였다.

3. 유압 퀵 커플러 구조해석 및 유동해석

3.1 해석대상 및 모델

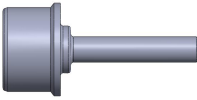
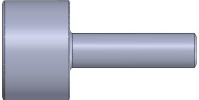
본 연구에 적용되는 유압 퀵 커플러에서 Table 1은 유압 퀵 커플러의 내부유동흐름에 영향을 미치는 형상 중 피스톤 부분을 나타내었다. 일반적으로 사용되는 피스톤형상 case 1과 개선을 위해 모델링한

것이 case 2이다. case 2는 유로존에 있어 비교적 완만한 형상을 나타내면서 넓이를 넓히고 난류가 발생하지 않도록 적절한 형상을 설계하였다.

Fig. 2는 구조해석에 사용된 모델을 나타내며 총 27,115개의 Mesh 중 고체와 접촉하는 유체 셀은 85,164개로 구성하였다.

Fig. 3은 유동해석에 사용된 모델에서 실제 내부 유체면적에 대한 셀을 나타내며 총 286,124개의 Mesh 중 고체와 접촉하는 유체 셀은 86,114개, 곡률 기준은 0.317 rad으로 구성하였다.

Table 1 Information of 2 kinds of piston design

	Piston Modeling	
	case 1	case 2
Shapes		
Weight(g)	14.11	11.83
Area(mm ²)	1040.72	1012.31

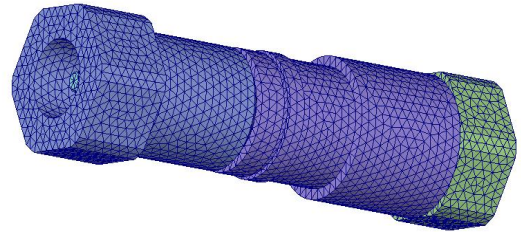


Fig. 2 Meshing for Solidworks simulations

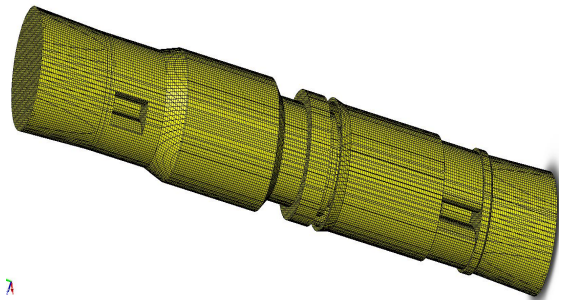


Fig. 3 Meshing for Solidworks flow simulation

3.2 유압 킥 커플러 피스톤구조해석

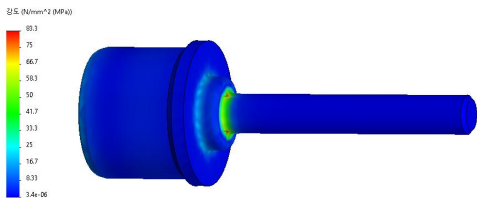
Table 2는 스테인레스 316L 소재의 물성값이다. 구조해석시 사용된 물성치는 일반적으로 사용되는 스테인레스 316L 소재를 적용하고 각 상태량은 온도 의존성 없이 일정한 것으로 하였다. Solidworks 구조해석에 사용된 경계조건으로 28 MPa의 내압을 piston에 가하여 고압 유압 킥 커플러에 대해 사용되는 정격사용압력을 적용 및 확인하였다. Table 3은 위의 압력강하를 줄이기 위하여 2가지 형상을 모델링, 각 28 MPa의 내압을 주고 해석한 결과이다.

Table 2 Stainless 316L properties

Properties	Metric
modulus of elasticity	192999.997 N/m^2
Poisson's ratio	0.3
Density	8000.000 kg/m^3
Tensile strength	550.000 N/mm^2
Yield strength	137.895 N/mm^2

Table 3 Maximum stress for 2 types of piston

	Case 1	Case 2
Features (piston)	General model	Fluid flow area at constant
Flow Distance	1.85 mm	2.6 mm
Max. Stress	83.3 MPa	114.0 MPa



(a) case 1



(b) case 2

Fig. 4 Stress distribution at flow pressure of 35 MPa

Fig. 4에서 확인할 수 있듯이 28 MPa의 외압이 걸릴 경우 최대응력은 83.3, 71, 114 MPa로 나타났으며 case 2가 case 1 대비 유로존의 면적, 최대 응력이 개선되었다는 것을 확인할 수 있다.

개선을 위해 사용된 모델링 case 2를 구조해석을 통하여 안정성을 검증하였고, 일반산업에서 사용되고 있는 case 1과 비교하여 내부 형상에 따른 유동 특성 연구를 진행하였다.

3.3 유압 킥 커플러 유동해석

Dassault사의 Solidworks 소프트웨어의 Flow simulation을 사용하여 유압 킥 커플러 내의 유동해석을 진행하였다. 해석에 적용되는 유체로는 740 kg/m^3 의 밀도와 2300 $J/(kg \cdot K)$ 의 비열을 가지고, 열전도율이 0.235 $W/(m \cdot K)$ 인 Exxon사의 Exxon 3002.23 LLDPE를 사용하였다. 이 유체의 경우 Solid works Flow Simulation 내 비뉴턴 액체 정의를 사용하였다. Scale은 모델링 상태와 같도록 [mm]를 적용했다. 경계조건으로는 층류유동, 온도는 20.05°C로 하였다. Table 4와 같이 입출구에 압력차를 변수로 설정하였고, 입구압력 28 MPa로 고정시키고 출구압력은 25 MPa에서 27 MPa까지 각 1 MPa씩 변화시켜 유량을 측정하였다. 반복횟수는 500 회로 모든 조건들에 대해 똑같이 적용하고 해석 도중 수렴시 그때의 값을 결과로 정하였다.

우선 case 1과 case 2에 대해 비교를 하였고 그 결과는 Table 4와 같다. 입구에서 28 MPa을 두고 출구에서 25 MPa로 하여 비교를 하였다. 기존 모델 대비 개선 모델에 대한 결과값이 비교적 우수하다는 것을 확인하였다. 이후 case 2에 대해 진행하여 각각 속도, 압력, 내부 유동흐름에 대한 난류에 대해 분석 및 진행하였다.

해석결과 Fig. 5는 내부 유동흐름에 대한 유선을 나타낸 것이다. 입구, 출구에서의 1~3 MPa 압력차와 무관하게 동일한 흐름을 나타내었다. Guide 부품에서 내부 공간에 와류가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 와류는 유동의 유로를 방해하는 요인 중의 하나이나, 부품 가공상의 이유로 형성되어 있어 구조적으로 개선이 어려운 부분으로 파악된다. 따라서 와류개선 여부를 확인하기 위해 속도, 온도, 압력에 대한 해석결과에 따라 판단해야 할 것으로 사료된다.

Fig. 6에서 압력차에 따른 내부 정압분포를 확인하였다. 이를 기준으로 Fig. 7의 온도 분포를 확인하였을 때 입구, 출구에서의 압력차가 클수록, 즉 압력구배가 급하게 발생하고 출구에서의 온도구배가 상승하였음을 알 수 있다. 마찬가지로 Fig. 8에서 압력차가 클수록 유속이 급격하게 상승함을 알 수 있다.

Table 3 Results at pressure difference of 3MPa

	Case 1	Case 2
Inlet velocity	0.015 m/s	
Outlet velocity	0.88 m/s	0.04 m/s
Inlet temperature	20.05 °C	
Outlet temperature	22.08 °C	21.5 °C

Table 4 Boundary conditions for flow simulations

Inlet(MPa)	Outlet(MPa)	ΔP (MPa)
28	25	3
28	26	2
28	27	1

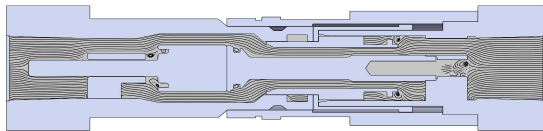


Fig. 5 Results of streamline

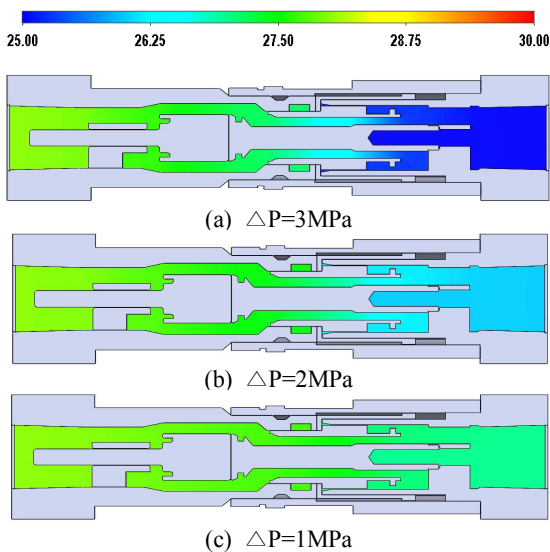


Fig. 6 Results of static pressure contour

유로단면적의 변화가 큰 guide-connect 사이에서 유로체적이 급격히 감소하는 구간에서 속도가 높게 형성되고, 비례적으로 압력이 높게 형성되어 유동 에너지손실이 크게 발생한다는 것을 알 수 있다.

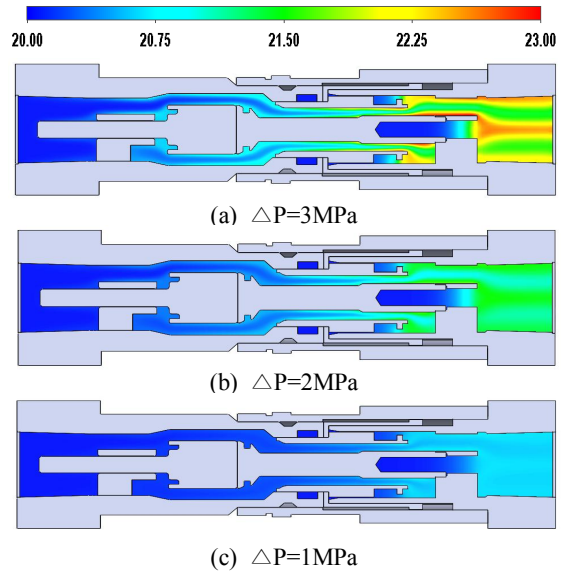


Fig. 7 Results of temperature contour

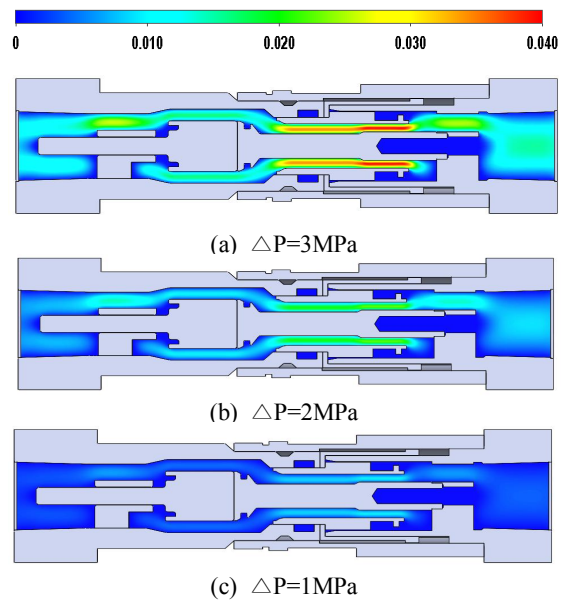


Fig. 8 Results of velocity contour

4. 결 론

본 연구에서는 유체이송 및 차단을 목적으로 사용하는 3/8" 유압 콕 커플러에서 일반적으로 널리 사용하는 산업용 수치를 적용하여 타당성을 검증하였다. 그리고 유압 콕 커플러의 구조해석 및 유동해석을 통해 내부 피스톤형상에 따른 유동특성을 연구하여 최적설계안을 도출하였다.

1. 유압 콕 커플러에 대하여 동일한 내압이 부여될 때 파괴 압력에 대한 응력 분포 및 최대응력점을 확인하였다.
2. 각 모델에 대한 최대응력값을 확인하고 유로에 대한 넓이 및 무게를 확인하여 최적설계 표준모델을 제안하였다.
3. 속도분포의 경우 입구와 출구에서의 압력차가 증가할수록 내부의 유속은 증가하였다. 특히, 출구에서 빠져나갈 때의 직선구간에서 유속이 빨라지면서 압력이 낮아졌다. 이와 반대로 유로존의 넓이가 넓어질수록 내부의 유속은 줄어들었음을 확인하고, 유로존의 넓이에 따른 내부 압력은 반비례 관계에 있음을 알 수 있었다.
4. 유선분포의 경우 형상변경에 따라 개선될 수 있으나 press drop, 속도분포, 온도 등에 있어 크게 영향을 끼치지 않았다.

후 기

본 논문은 산학연 Collabo R&D 기술개발 사업(과제 번호 : S2848080) 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Qin, Z., Wu, Y. T., Kim, D. S., Kim, S. B., Lyu, S. K., "Study on Stiffness of High Pressure Hydraulic Cylinder for Special Construction Equipment", KSME 2019 Spring Conference, p. 230, 2019.
2. Qin, Z., Wu, Y.-T., Kim, D.-S., Kim, S.-B., Lyu,

- S.-K., "Study on Design of Hydraulic Pump with High Temperature and High Pressure Resistance for Cable-Stayed Bridge", Master's thesis in Korea, Department of Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 11, 109-114, 2019.
3. Choi, Y. H., Lee, S. H., "Temperature Variation Characteristics of Oil Flow Field in Hydraulic System", Jou. of Korean Soc. of Mechanical Technology, Vol. 15, No. 2, pp. 255-261, 2013.
4. Park, T. J., Cho, Y. M., "Development of Hydraulic and Air Conditioning Couplers", KSTLE 1999 Conference, Vol. 29, pp. 354-358, 1999.
5. Heo, J. H., Kim, S. S., Kim, K. S., Kee, C. D., "A Study on Position Control of Pinch Roll Hydraulic System using MATLAB/SIMULINK" KSAE 2009 Fall Conference, pp. 21-24, 2009.
6. Park, J.-H., Jung, I.-S., Jo, H.-D., Park, T.-J., Chung, H. T., "Computational Analysis of Seal Problems in Hydraulic Coupler for Aircrafts", KSME 2009 Spring Conference, pp. 365-370, 2009.
7. Ahn, H. H., Yi, C. S., "Numerical Analysis of the Internal Flow of Small Quick Coupler at 3,000psi", Journal of Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 2, pp. 16-21, 2016.
8. Kim, K. W., Jung, I. S., Chung, H. T., Park, T. J., Cho, Y. M., "Flow Analysis of Industrial Hydraulic Coupler Using CFD Methods", KSME 2009 Spring Conference, pp. 383-387, 2009.