

3,000psi급 소형 퀵 커플러 내부유동에 관한 수치해석

안희학*, 이종섭**,#

*디케이락(주)기술연구소, **경남과학기술대학교 산학협력단

Numerical Analysis of the Internal Flow of Small Quick Coupler at 3,000psi

Hee-Hak Ahn*, Chung-Seob Yi**,#

*Research & Development Center, DK-LOK LTD., CO

**Gyeognam National University of Science and Technology,
Industry-Academic corporation foundation

(Received 5 July 2015; received in revised form 14 December 2015; accepted 8 January 2016)

ABSTRACT

This study is a numerical analysis of the flow characteristic of a quick coupler. The quick coupler is a popular coupling tool for pipelines in hydraulic and pneumatic systems. In this study, the flow characteristic of a quick coupler outlet is conducted about the flow coefficient. The quick coupler is analyzed for improving flow and confirmed with the study results. The velocities with pressure distribution according to inlet and outlet pressure drop of the coupler are also compared. The flow coefficient is analyzed according to the flow analysis result for each pressure drop. When the pressure drop is 1 psi, the flow coefficient (Cv) matched about 98% of the value provided by the actual product.

Key Words : Quick Coupler(퀵 커플러), Flow Coefficient(유량계수), CFD(전산유체역학)

1. 서 론

퀵 커플러는 일반적으로 배관을 연결할 때 용접이나 튜브 피팅(Tube fitting)으로 외력 등을 통해 체결하는 방식이 아닌 작업자가 손으로 빠르게 배관의 체결과 분리를 할 수 있는 커넥터이다. 퀵 커플러는 작동방식이나 작동유체에 따라 다양한 산업군에서 사용하고 있다. 특히, 유공압 산업분야에 가장 많이 사용되고 있으며, 액추에이터에

연결하기 위한 방법으로 피팅과 퀵 커플러를 가장 많이 사용하고 있다.

피팅의 경우 일반적으로 배관 끝단에 단순 체결하는 고정식인 반면 커플러는 배관 끝 또는 중간에 시스템의 필요에 의해 작동유체를 차단 및 공급할 수 있도록 설계된 일종의 밸브이다.

퀵 커플러는 작동유체에 따라 내부에 설치된 밸브의 형상, 유동통로 및 기밀유지를 위한 실링 방법에 따라 다양한 형태의 모델이 존재한다.

작동유체의 제어조건에 따라 차압이 발생하지 않고 단순 연결이 필요할 경우 밸브가 설치되지 않는 커플러를 사용하고, 분리시 유체를 차단할 목적일 경우 양쪽에 각각의 밸브를 설치한 더블

Corresponding Author : csyi@gntech.ac.kr

Tel: +82-55-751-3865, Fax: +82-55-751-3865

밸브 커플러(Double valve coupler)를 사용하게 된다. 또한 특수한 목적이나 휘발성 유체 등 화재 또는 폭발의 위험성을 내제하고 있는 경우에 커플러 분리시 작동유체의 누설이 거의 발생하지 않는 Non-spill 커플러를 사용하게 된다.¹⁻³⁾

현재 커플러의 개발 트렌드는 누설발생이 거의 없는 Non-spill 커플러의 경우 실링기술과 이와 관련한 가공기술의 정밀도가 상당히 높은 부품이다.

본 연구는 계장용에 더블 밸브 퀵 커플러에 대한 내부 유동해석을 통해 유량계수인 Cv를 확인하고자 한다.

2. 수치해석 방법

2.1 수치해석 대상

본 연구에 적용되는 퀵 커플러는 Fig. 1과 같은 형상을 나타내고 있으며, 분리시 누설이 발생되지 않도록 커플러 양쪽에 밸브가 설치되어 작동유체를 차단 또는 통과시키는 구조로 되어있다. 또한 퀵 커플러가 결합되어 있을 경우 총 길이는 115mm로 비교적 소형 커플러에 해당된다.

2.2 수치해석 모델

본 연구에 사용된 수치해석은 내부 유로에 대한

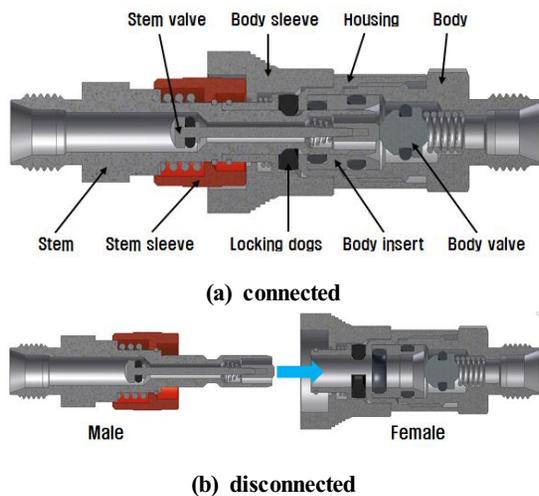


Fig. 1 Parts name of double valve type quick coupler

유동해석을 수행하였다. 유동현상을 기술하는 지배 방정식은 아래의 식 (1)에서 (4)와 같이 정상상태의 난류유동으로 가정하였다.^{4,5)}

지배방정식에서 압력과 속도의 연결은 SIMPLE 알고리즘을 적용하였고, 본 연구를 위해 적용되는 수치해석 코드인 STAR-CCM+는 킥 커넥터를 해석하기 위해 다음과 같은 수치알고리즘으로 계산을 수행하게 된다.

해석결과를 취득하기 위한 수치해석의 환경은 정상상태에서 반복 계산 시 종속변수들의 수렴 판정은 출구 유량이 변하지 않고 안정적인 값으로 고정된 계산결과가 나타날 때와 정상상태에서 반복 계산 시 종속변수들의 수렴 판정은 잔차 값이 10^{-3} 이하에 도달하면 수렴 판정의 기준으로 삼았다.

1) 연속 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

2) 운동량 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) = \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i} + S_u \quad (2)$$

3) 난류에너지 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} + u_i G - \sigma \epsilon \quad (3)$$

4) 난류에너지 소산방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} + \frac{\epsilon}{k} (C_1 \mu_t G - C_2 \rho \epsilon) \quad (4)$$

2.3 경계조건

퀵 커플러가 체결되어있을 경우에 대하여 유동 해석을 수행하였고, Fig. 2와 같이 계산격자를 구성하였다. 입구와 출구에서 경계조건은 압력조건을 부여하였다. 압력조건을 부여한 이유는 유량계수 Cv를 계산하기 위함이다. 유량계수 Cv의 정의는 밸브의 개도를 일정하게 하고, 60°F(16°C)의 청수를 밸브 입,출구 전후의 차압을 1psi (0.0703kgf/cm²)로 유

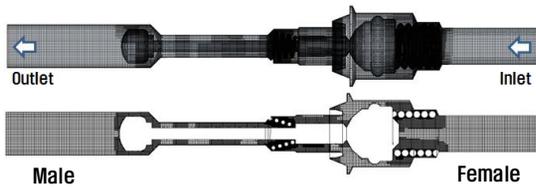


Fig. 2 Mesh system

Table 1 Boundary conditions

Inlet(psi)	Outlet(psi)	ΔP (psi)
3,000	2,999.5	0.5
3,000	2,999	1
3,000	2,998	2
3,000	2,995	5
3,000	2,993	7.5
3,000	2,990	10

지한 상태로 1분 동안 흐른 유량을 US Gallon으로 표시한 계수이다.

따라서 Table 1.과 같이 입출구에 압력차를 변수로 설정하였고, 압력차에 따른 퀵 커플러 내부 유동특성과 출구지점에서의 유량계수를 확인하고자 한다.

3. 수치해석 결과 및 분석

퀵 커플러에 대한 유동해석을 수행한 결과 Fig. 3과 같이 각 압력차에 따른 내부 정압분포를 확인할 수 있었다. 전반적으로 살펴보면 압력차가 작을 경우 입출구 지역에서 압력구배가 완만한 반면 압력차가 증가할수록 입출구 사이의 압력구배가 급하게 발생함을 확인할 수 있었다. 특히, 입구쪽 압력변화는 비교적 작은 반면 출구로 빠져나가면서 급격한 압력변화가 발생함을 확인할 수 있었다. 또한 입구쪽의 경우 스프링이 유로저항으로 작용하고 있어 압력차가 커질수록 유동저항 때문에 스프링 통과 전후의 압력 기울기가 크게 발생함을 확인할 수 있었다.

Fig. 4는 속도크기를 나타낸 것으로 압력차가 증가할수록 퀵 커플러 내부 유로의 속도가 급격하게 증가함을 확인할 수 있었다. 앞서 언급한 입구쪽인 Female측에 설치한 스프링이 유체 거동을 막고 있는 형국이므로 그 사이로 빠져나가는 유속이

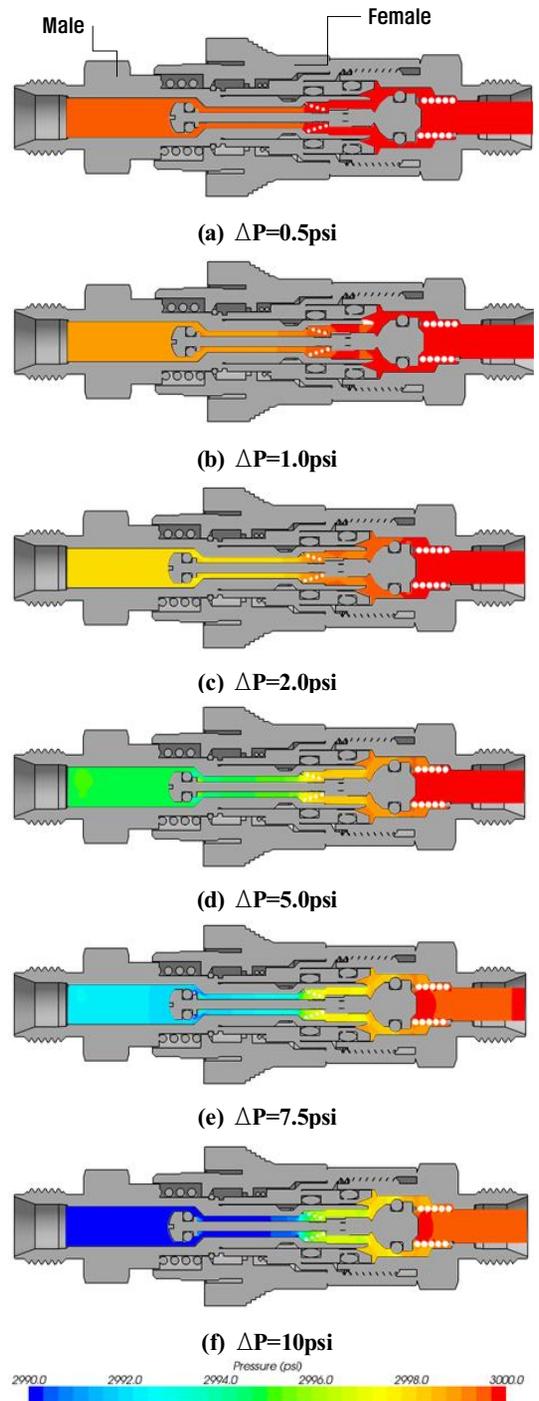


Fig. 3 Results of static pressure contour

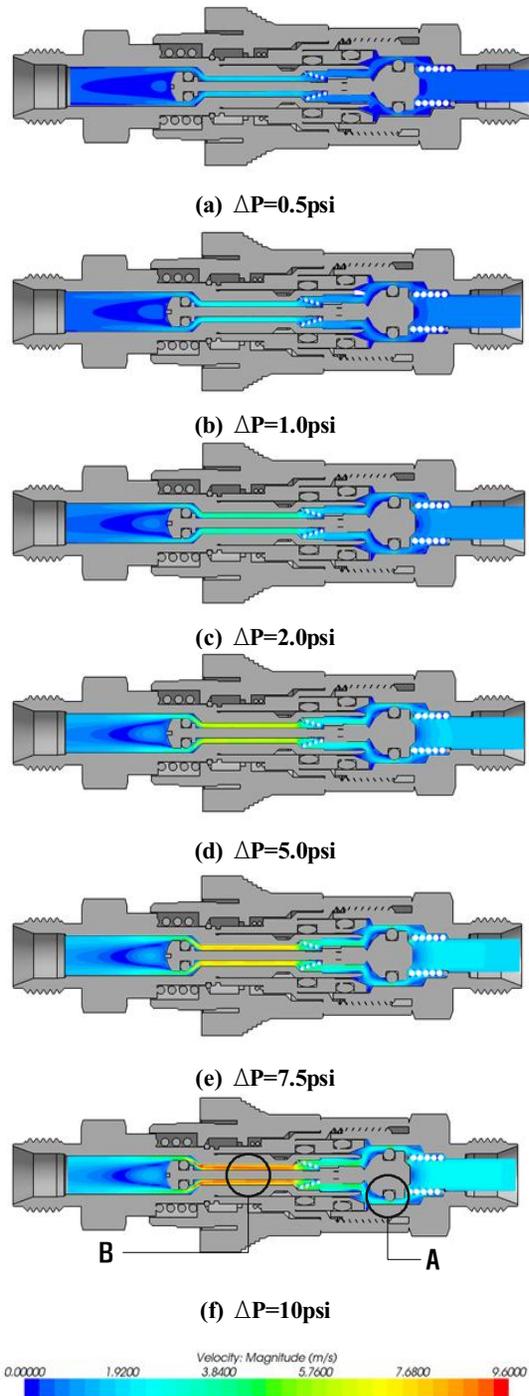


Fig. 4 Results of velocity magnitude contour

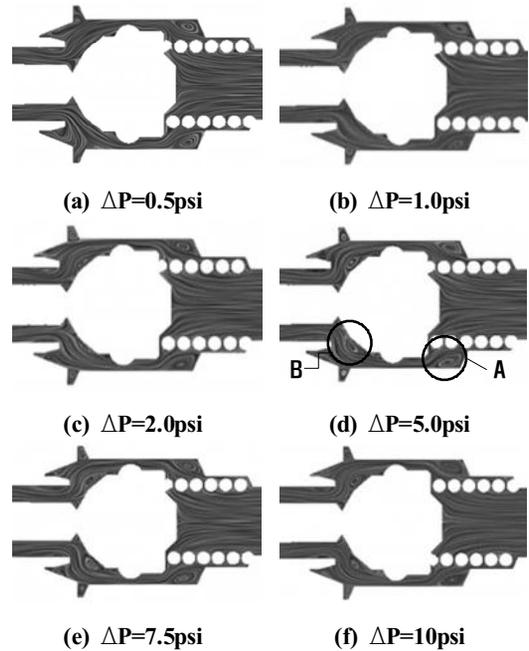


Fig. 5 Comparison of streamline at female part

증가하고, 그 후 A지점이 벤투리 역할을 하여 유속이 다소 증가함을 확인할 수 있었다. Male측인 출구쪽의 경우 유로 체적이 감소함에 따라 B 지점에서 유속이 급격하게 증가함을 확인할 수 있었다.

Fig. 5는 입구쪽 밸브의 유선을 비교한 것으로 압력차가 5psi 이상 될 경우 A지점에서 유동박리가 형성되어 출구쪽으로 빠져나가는 유동의 유로를 방해하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 요인은 퀵 커플러의 성능을 저해하는 요소로 작용할 것으로 판단된다. 전반적으로 Female측에서 유입되어 지나갈 때 퀵 커플러 가공 및 조립상의 이유로 작동유체가 지나가는 유로가 유체관점에서는 다소 불합리하게 설계되어 있었고, 퀵 커플러가 연결될 때 발생하는 틈새구간으로 인해 유동저항이 발생할 수 있는 구조적인 문제를 가지고 있었다.

Fig. 6은 Male측의 출구지점에 대한 유선을 비교한 것이다. 압력차가 2.0psi 까지 증가할수록 후류에 의한 영향으로 유동박리가 형성되는 거리가 증가하였지만 그 후 증가되지 않고 일정한 거리가

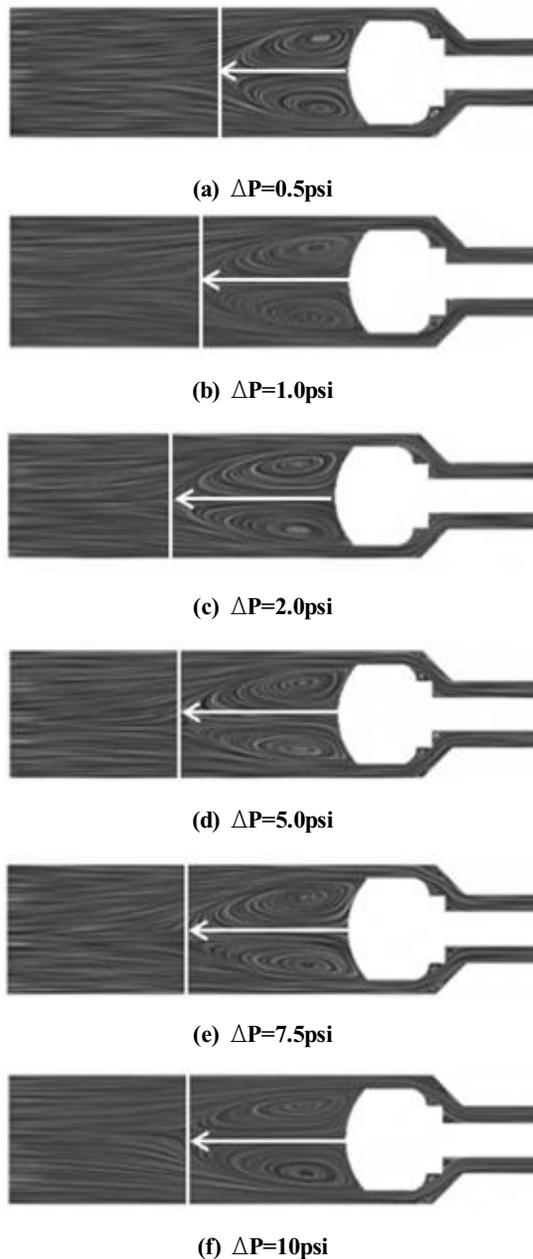


Fig. 6 Comparison of streamline at male part

지만 유동박리가 형성되었다. 실제 유체유동에서는 후류에서 칼만볼텍스 유동이 발달하여 ‘와’의 생성으로 인한 출구유량의 변동이 발생할 것으로

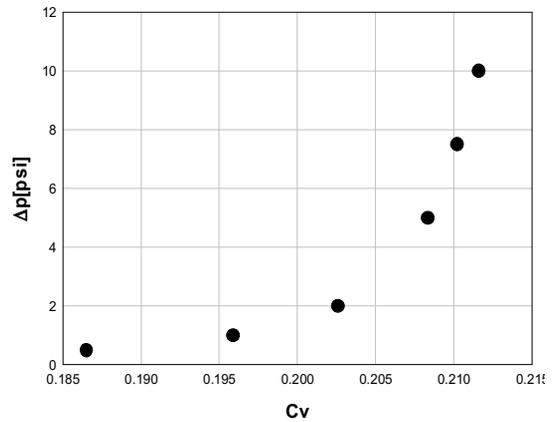


Fig. 7 Distribution of Cv according to pressure drop

예상된다.

Fig. 7은 본 연구의 주 목적인 압력강하 대비 유량계수에 대한 변화를 나타낸 것이다. 유량계수가 증가할수록 압력강하 기울기는 2차 함수의 형태를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

유량계수(Flow coefficient : Cv)는 밸브의 사이즈를 결정하기 위해 사용되는 수치이며, 모든 밸브에는 유량계수에 대한 정격사양이 있다. 본 연구에서는 아래의 식 (5)와 같이 일반적으로 가장 많이 사용하는 Cv 계산식을 사용하였다.⁶⁻⁸⁾

$$C_v = Q \sqrt{\frac{S_g}{\Delta P}} \quad (5)$$

여기서 Q는 유량(gpm), Sg는 비중량 그리고 ΔP는 압력차(psi)를 나타낸다.

실제 제품의 제조사에서 제공하는 Cv값은 0.2인 반면 본 유동해석에서 계산된 Cv값은 0.197로 약 98%가 일치함을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 논문은 공유압 시스템에서 유체 이송과 차단

목적으로 설치되는 퀵 커플러에 발생하는 압력차에 대한 유량계수 C_v 를 예측하고, 3,000psi급 소형 퀵 커플러에 대한 내부 유동해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 작동유체의 유입방향인 Female측에 설치된 스프링이 유동저항의 요소로 작용하고 있었다. 이로 인해 높은 압력이 형성되고 있었다.
2. 속도분포의 경우 압력차가 증가할수록 내부의 유속은 증가하였다. 특히, Female에서 Male측으로 이동하여 출구로 빠져나가기 전에 설치된 직선구간에서 압력이 낮아지면서 유속이 급격하게 증가되었다.
3. 유선분포를 비교할 때 Female측의 경우 유동박리가 발생하는 구간이 많이 발생하는데 이는 스프링이나 O-링, Male과 결합시 발생하는 틈새 등의 영향으로 작동유체의 거동에 많은 장애요소로 작용하였다.
4. 유량계수 C_v 는 압력차가 1psi일 경우 실제 제품에서 제공하는 값의 약 98%가 일치하였고, 압력차가 증가할수록 2차 함수 형태를 가지고 있었다.
4. Kim. K. W., Jung. I. S., Chung. H. T., Park. T. J. and Cho. Y. M., "Flow Analysis of Industrial Hydraulic Coupler Using CFD Methods", Proceedings of KSME 2009 Spring Annual Meeting, pp. 383-387, 2009.
5. Ahn, Y. J., Kim, B. J. and Shin, B. R., "Numerical Analysis on Flow Characteristics of High Pressure Drop Control Valve with Anti-Cavitation Trim," Journal of Fluid Machinery, Vol. 10, No. 4, pp. 61-70, 2007.
6. Kwak. K. M., Cho. J. S., Kim. J. D. and Lee. J. H., "A Study on Flow Coefficient and Flow Characteristics for Butterfly Valve by Numerical Analysis," Journal of Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 4, pp. 62-65, 2012.
7. Park. S. W., Choi. I. S., Noh. K. C., Ryu. S. P. and Yoon. K. S., "An Experimental Study on Measurement of Flow Coefficient Using the Steady-Flow Test Rig," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 36, No. 4, pp. 423-429, 2012.

후 기

본 연구는 2014년 중소기업 기술혁신개발사업 (S2167120) 지원에 의해 수행된 연구결과임

REFERENCES

1. Kim. B. S., Ryu. J. K. and Baek. J. H., "A Design of Quick Coupler in the Drive Mechanism for Unmanned Robot" Proceedings of KSPE Autumn Conference, pp. 798-790, 2011.
2. Skousen, P. L., Valve Handbook, Second Edition, McGraw-Hill, 2009.
3. Lee. J. H. and Sung. J. K., "A Comparative Study on the Improvement of the Performance of Swivel Valve Tube Couplers," Journal of Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 9, No. 5, pp. 20-27, 2010.