

## 양방향 삼중편심 버터플라이 밸브 개발

김수영\*, 이동명\*, 배정훈\*, 신성철†\*, 설창호\*\*

부산대학교 조선해양공학과\*  
㈜ 시퍼스파이프라인\*\*

Development of Bi-directional Triple-eccentric Type Butterfly Valve

Soo Young Kim\*, Dong Myung Lee\*, Jung Hoon Bae\*, Sung Chul Shin†\*  
and Chang Ho Sul\*\*

Deptartment of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University\*  
CEPHAS PIPELINES Corp.\*\*

### Abstract

In naval architecture and offshore engineering, the development and a broad use has been achieved in the field of flow control valves for pipe system. Butterfly valves are also widely used for flow control, but there are not many studies for triple-eccentric butterfly valves. Moreover, if the fluid of pipeline flows in the bi-direction then it makes more complicate to adapt triple-eccentric butterfly valves to flow control. In this study, we are trying to develop a bi-directional triple-eccentric butterfly valve through sealing mechanism and stem design study. Digital mockup using 3D CAD was constructed for shape interference check and structural analysis was conducted for structural safety. Also we performed leakage test to check out the durability of the bi-directional pressure for the developed valve.

※Keywords: Triple eccentric(삼중편심), Valve(밸브), Butterfly(버터플라이), Bi-directional(양방향)

### 1. 서론

조선 및 해양플랜트산업을 포함해 모든 생산 설비에 사용되는 장치와 장비에는 물질, 에너지, 정

보의 공급이 있어야 한다. 이들 가운데 특히 물질과 에너지 공급의 주된 통로는 배관 설비로 이루어지며, 이러한 배관설비의 핵심은 밸브이다. 밸브는 목적에 따라 여러 종류가 개발되어 사용되고 있으며, 특히 정교한 유량조절과 내구성을 만족시키기 위해 삼중편심 버터플라이 밸브(Triple-eccentric butterfly valve)가 개발되어 사용되고 있

접수일: 2009년 2월 2일, 승인일: 2009년 9월 7일

†교신저자: scshin@pusan.ac.kr, 051-510-2525

다(Ko 2007).

밸브에 대한 조선분야에서의 국,내외 연구로 DMU기법을 사용한 LNG 선박용 극저온 버터플라이 밸브 설계에 대한 연구 Lee et al.(2006)와, 버터플라이 제어밸브에 대한 연구 Lee et al.(2008)가 대표적이다. 그러나 이들 연구에서는 밸브의 설계 방법을 중점적으로 다루었고, 연구 대상이 되는 밸브는 이중편심 방식의 단방향 밸브였다.

삼중편심 버터플라이 밸브의 경우 기존의 동심축형이나 이중편심 방식에 비해 작동 토크(Torque)가 낮고, 수밀성이 우수한 장점을 가지고 있지만, 양방향(Bi-directional) 사용에는 불리하다.

그러므로 양방향에서 사용이 가능한 삼중편심 버터플라이 밸브를 연구, 개발할 수 있다면 선박, 및 플랜트에서 활용도가 높고, 국외 수출효과도 있을 것이다.

본 연구의 목표는 기존 단방향 삼중편심 버터플라이 밸브를 토대로 실링메커니즘(Sealing mechanism) 개발, 스템(Stem) 설계변경을 통하여 양방향에서 사용이 가능한 삼중편심 버터플라이 밸브를 개발하는 것이다.

Fig. 1은 본 연구에서의 밸브 개발 과정을 요약한 것이다. 밸브에 사용 될 소재를 선정하고, 설계를 변경한 후, 디지털 목업(Digital mockup)을 제작한다. 구조 해석을 통하여 양방향에 적합한 시트(Seat), 디스크(Disc) 및 바디(Body) 형상, 실링 메커니즘을 개발하였다.

마지막으로 시제품을 제작한 후 성능시험을 통해 양방향 삼중편심 버터플라이 밸브의 승용성을 확인하였다.

이 후 본 논문은 Fig. 1의 각 단계를 상술하도록 한다.

**2. 설계 요구 조건**

양방향 버터플라이 밸브는 실제로 다양한 환경에서 사용되나 특히 사용 빈도가 높은 시스템을 기준으로 설계요구조건을 다음 Table 1과 같이 설정하였다.

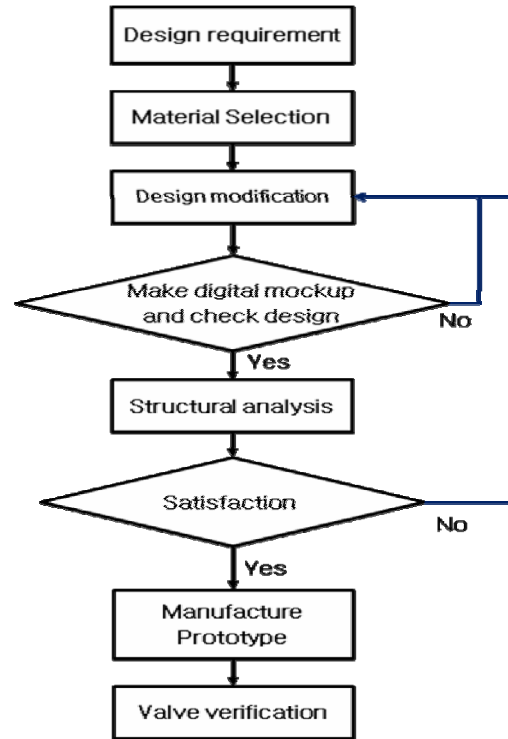


Fig. 1 Flow chart of valve development in this research

Table 1 Design requirements of the valve

Fluid	Gas, Oil
Pressure	0~16 Bar
Temperature	15 °C
Leakage rate	No leak
Flow direction	Front, Back(Both)

적용유체는 Gas, Oil, 적용압력은 0~16bar로 설정하였으며 온도는 상온, 누수는 없는 것으로 설정하였다. 그리고 사용 방향은 양방향 모두 사용이 가능하도록 하였다.

### 3. 소재 선정

온도와 설계 압력에 적합한 재료를 선정하기 위해 ASTM A351과 ASME B16.34의 규정을 참조하였다. 스템과 시트를 제외한 바디, 디스크 등의 부품은 내식성과 내강도성이 우수한 ASTM A351 (CF8M)로 선정하였다. 통상적으로 디스크와 스템이 체결되는 부분에서 최대 응력이 발생하므로, 스템은 내강도성이 더욱 우수한 Stainless steel 630-H1150을 사용하였다. 그리고 바디시트(Body seat)와 디스크시트(Disc seat)의 소재는 부식성, 강도, 가공적인 측면을 고려하여 SUS316을 사용하였다. 수밀성을 위해 탄성이 필요한 패킹(Packing)은 흑연소재(Graphite)를 사용하였으며, 개스킷(Gasket)은 석면소재(Nonabestos)로 각각 선정하였다. 아래 Table 2는 밸브에 사용된 소재의 물성치들을 나타낸 것이다.

Table 2 Material properties

Material	630 - H1150	SUS316	A351 CF8M
Yield strength	869MPa	290MPa	205 MPa
Modulus of elasticity	197GPa	193GPa	200 GPa
Poisson's ratio	0.272	0.25	0.28

### 4. 밸브 설계 변경

#### 4.1 디스크 설계 변경

일반적으로 삼중 편심 밸브에서 디스크가 닫히는 경우 디스크와 바디부의 체결형태는 쐐기형태이며, 이때의 접촉은 면 접촉이다. 이는 동작 시 힘이 적게 들어 효율적이다. 하지만 역방향의 압

력이 가해지는 경우, 바디 시트와 디스크 또는 바디시트와 디스크시트가 쉽게 떨어져 누수를 유발시키는 단점이 있다. 이에 스템 소재의 특성, 전문가의 견해, 역학적 지식을 바탕으로 Fig. 2의 25mm에서 Fig. 3의 36mm로 직경의 지름을 크게 하여 지지력을 강화시켰다. 지지력이 강화되면 역방향 유압에 대한 변형량이 적어지고 누수의 가능성도 줄어든다.

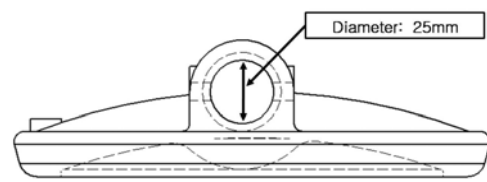


Fig. 2 Conventional disc type

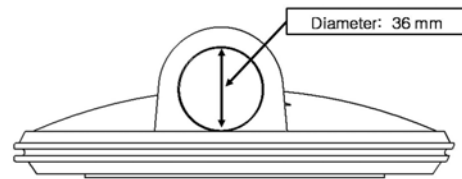


Fig. 3 Modified disc type

#### 4.2 실링 메커니즘 개발

실링 타입(Sealing type)은 기존의 단일 시트를 사용하여 디스크와 면 접촉 형태로 작동되었으나, 양방향으로 사용할 시 누수의 가능성이 있다. 개발 제품에는 시트를 바디, 디스크 부에 각각 설치하여 작동 시 선 접촉 하도록 설계하였다. 또한 디스크 시트단면을 U자 형태로 하여 2중 실링이 가능하도록 설계하였으며 U자형 홈 사이에 탄성 재료의 시트링(Seat ring)을 설치하여 수밀성을 더욱 향상시켰다. 시트와 바디 혹은 디스크와 시트 사이로 누수가 생기지 않도록 개스킷을 각각 설치하였다. Fig. 4는 개발된 실링 타입의 단면형상을 보이고 있다.

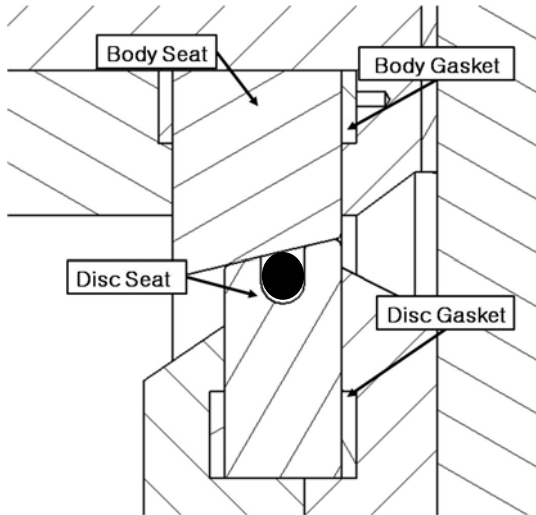


Fig. 4 Developed sealing mechanism

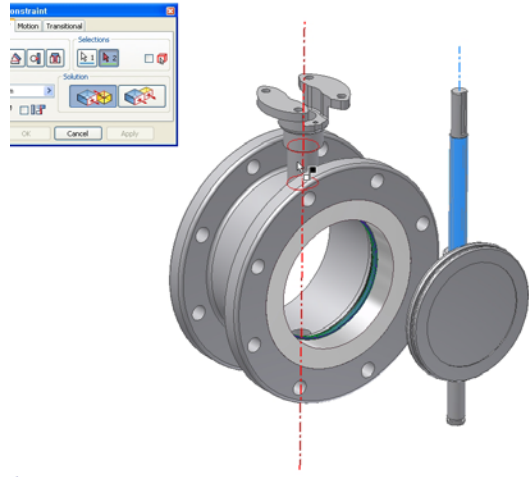


Fig. 6 Set constrain condition

5. 디지털 목업을 통한 간섭체크

설계단계에서 디지털 목업을 제작하여 사용하면 다음과 같은 이점이 있다 (Lee et al. 2008).

- BOM 자동생성
- 부품간의 간섭 및 단차 체크
- 유동해석 및 구조해석을 위한 입력데이터 작성 용이
- 밸브의 직관적인 설계 및 이해 가능
- 설계변경 시 연관된 파라미터의 자동변경

2차원 생산도면으로부터 Fig. 5와 같이 개별 부품들을 모델링을 한 후, 부품 간 구속조건을 설정하여 Fig. 6과 같이 조립을 진행하였다.

모델링은 상용프로그램인 Autodesk사의 Autodesk Inventor 2008을 이용하였다.



Fig. 5 Valve part modeling

디지털 목업으로 밸브를 구성하는 부품들 간의 간섭검사를 수행한 결과 부품 간에 중첩이 몇 군데 있었다. 밸브의 기능과 구조적 안전성에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 밸브의 설계를 변경하고 간섭을 확인 하는 작업을 반복적으로 수행하여 간섭이 없는 최종 설계 안을 결정하였다.

최종 설계 안의 간섭체크 결과 Fig. 7과 같은 간섭이 없는 모델을 완성하였다.



Fig. 7 Valve assembly

## 6. 구조해석

### 6.1 해석 조건

ASME B16.34의 규정에 따라 작동압력에 따른 설계압력 조건을 적용하였다(The American Society of Mechanical Engineers 2004). 개발될 밸브의 작동 최대 압력은 16Bar이며, 설계압력은 안전율 1.5를 고려하여 24Bar로 결정하였다. 온도는 상온 15° C를 적용하였으며, 밸브의 설계 허용응력은 소재의 허용응력을 기준으로 안전율 1.5를 고려하여 설정하였다. 이렇게 결정된 설계 허용응력은 ASTM A351(CF8M)소재를 사용한 디스크, 바디의 경우 136.7MPa이다. 스템은 Stainless steel 630-H1150의 소재를 사용하였으며, 소재의 항복응력은 869MPa로 설계 허용응력은 약 580MPa이다

FEM해석은 ANSYS Workbench 11을 사용하였으며, 자동 메쉬 생성을 통하여 28,000여 개의 사면체의 요소를 생성하여 해석을 수행하였으며 경계 조건은 다음 Fig. 8과 같이 밸브 내부에 압력조건을 설정하였으며, 구속조건은 양 플랜지 부분을 고정지지로 설정하였다.

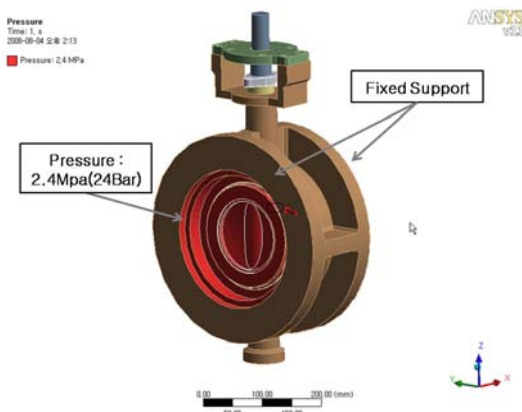


Fig. 8 Boundary condition

### 6.2 해석 결과

각 부품 별 구조해석 결과는 다음 Fig. 9~Fig. 12와 같다.

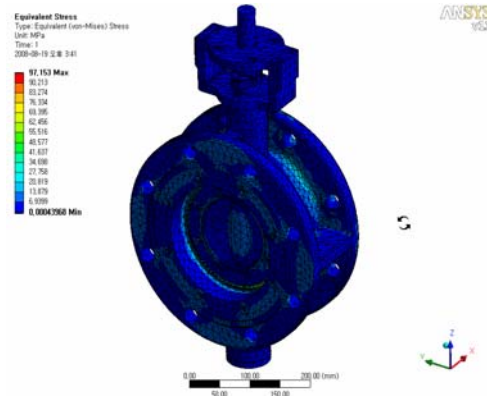


Fig. 9 Structural analysis of valve-total

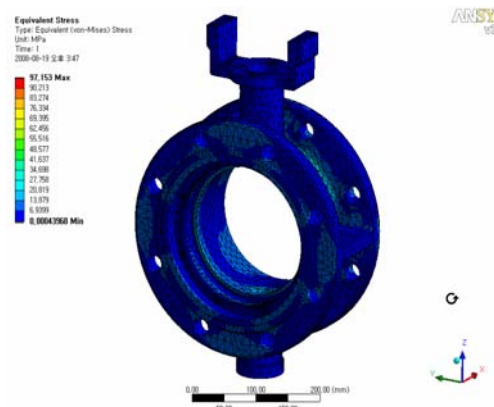


Fig. 10 Structural analysis of valve-body

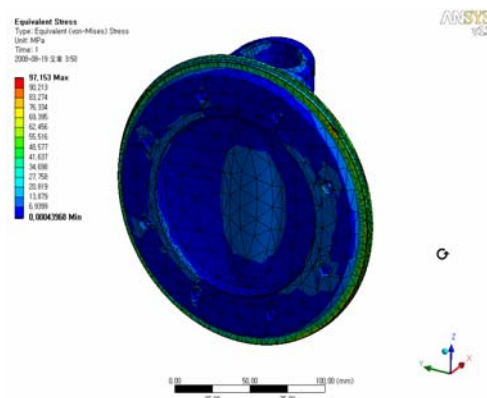


Fig. 11 Structural analysis of valve-disc

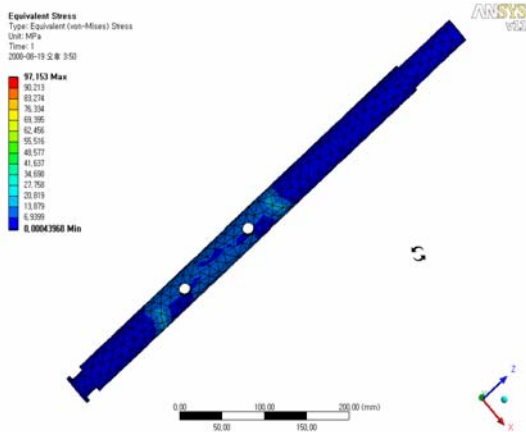


Fig. 12 Structural analysis of valve-stem

구조해석 결과 응력이 가장 높게 나타난 부분은 약 97MPa로 디스크, 바디의 설계 허용응력보다 낮으며, 이때 안전계수는 약 2.1이다. 스템의 경우도 마찬가지로 최대 응력이 약 97MPa이며, 약 8.9의 안전계수를 가진다. 따라서 밸브의 주요 부품인 디스크, 바디, 스템 모두 안전율을 만족하므로 밸브가 구조적으로 안전하다고 할 수 있다.

7. 시제품 제작 및 성능 시험

7.1 시제품 제작

밸브 성능 시험을 위해 Fig. 13과 같이 시제품을 제작하였다.



Fig. 13 Manufacture of prototype

7.2 성능 시험

성능시험으로는 내압시험 및 Packing시험을 실시하여 누수의 유무를 확인하였다. 시험 조건은 다음 Table 3과 같으며 시험기기의 제원은 Table 4, 시험장면은 Fig. 14와 같다.

Table 3 Test conditions

Test	Test pressure MPa(kgf/cm <sup>2</sup> )	Duration (sec)
Inner pressure test	2.4(24.4)	180
Packing test	2.4(24.4)	180

Table 4 Test equipment

Equipment name	Model	Spec.
Hydraulic pressure test equipment	Small hydraulic pressure test equipment	3.43 MPa (35 kgf/cm <sup>2</sup> )



Fig. 14 Test equipment

성능시험은 다음과 같은 방법으로 수행하였다.

- ① 수압시험기에 밸브를 설치한 후 밸브의 양면을 시험 플랜지로 밀봉한다.
- ② 밸브의 디스크를 조금 열어 시험밸브의 내부에 공기가 완전히 제거되도록 물을 채운다.
- ③ 2.4MPa(24.4 kgf/cm<sup>2</sup>)의 압력을 가한다.
- ④ 180sec 동안 시험압력을 유지한 후 패킹부분을 포함하여 누설 유무를 확인한다.

**7.3 성능시험결과**

Table 5과 같이 내압시험 및 패킹시험결과 모두 사용 압의 1.5배인 2.4MPa(24.4 kgf/cm<sup>2</sup>)의 압력에서 누설이 없음을 확인함으로써 해당 밸브의 수밀 성능을 검증하였다.

**Table 5** Test results

Test	Result
Inner pressure test	No leakage
Packing test	No leakage

**8. 결론**

이상의 연구 내용으로부터 다음의 결론을 얻었다.

- ① 선박, FPSO 및 해양플랜트에 사용 가능한 양방향 삼중버터플라이 밸브를 개발, 검증하였다.
- ② 본 연구를 통해 수밀성능이 우수한 실링 메커니즘의 개발이 가능하였다.
- ③ 양방향 삼중편심 버터플라이 밸브의 개발로 배관시스템에서 밸브의 호환성을 높였으며, 적용 분야를 확대하였다.
- ④ 국내 조선, 해양플랜트 산업에 직접적 경제 효과를 제고시킬 수 있으며, 국외 수출효과도 예상 가능하다.

**후 기**

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

**참 고 문 헌**

- Lee, D.H, Kim, D.E, Kim, S.Y and Park, G.Y, 2006, " 3D Digital Mockup Application of Cryogenic Butterfly Valve, LNG Carrier," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 5, pp. 611-618.
- Lee, D.M, Bae, J.H, Kim, S.Y, Shin and S.C, Sul, C.H, 2008, " Improvement and verification of Control-Valve design process using DMU(Digital Mockup) and Numerical Calculation," Proceeding of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 3, pp. 308.
- Ko, K.C , 2007, Control Valve Handbook, Hong-leung Science Publisher, Su-yoo 5-dong Kang-buk Seoul Korea.
- The American Society of Mechanical Engineers, 2004, ASME B16.34, Three Park Avenue New York NY10016.

