

# 유한요소법을 통한 Butterfly Valve의 Rubber-Metal Seat의 최적 설계 Optimization of Butterfly Valve's Rubber-Metal Seat Using F.E.M

\*정지훈<sup>1</sup>, #박영철<sup>1</sup>, 송학관<sup>1</sup>, 이형석<sup>1</sup>, 김동관<sup>1</sup>

\*J.H.Jung<sup>1</sup>, #Y.C.Park(parkyc67@dau.ac.kr)<sup>1</sup>, X.G.Song<sup>1</sup>, H.S.Lee<sup>1</sup>, D.K.Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 동아대학교 기계공학과

Key words : F.E.M , Contact Pressure, Sealing, Rubber, Butterfly Valve

## 1. 서론

밸브(Valve)는 현대 육상과 해상을 포함한 모든 산업 현장에 유체의 흐름과 유량을 제어하는 장치로 사용되어 있으며, 특히 버터플라이 밸브(Butterfly Valve)는 타 밸브에 비해 중량이 적고, 공간을 적게 차지하기 때문에 공간의 제약이 많은 조선 및 해양플랜트 분야에서 널리 쓰이고 있다. 선박에 들어가는 버터플라이 밸브는 주로 고압의 유체가 흐르기 때문에, 밸브의 폐쇄 시 유체가 누설되면 안전사고의 발생 위험성이 높고, 경제적 손실이 발생되므로 이를 방지하기 위해서는 고도의 밀봉기술(Sealing Mechanism)이 필요하다. 그러나 버터플라이 밸브는 타밸브에 비해 디스크(Disc)와 시트(Seat), 바디(Body)부의 접촉 면적이 적어 밀봉의 어려움이 많다.

기존의 버터플라이 밸브의 밀봉(Sealing)은 고무(Rubber) 소재를 이용하였으나, 고무의 특성상 변형이 쉽고, 마모가 잘 일어나기 때문에 이를 보완하기 위하여 밀봉 기능개선을 위한 연구가 계속 이어지고 있다. 본 연구에서는 밸브의 폐쇄 시, 고무가 외곽으로 밀리는 현상을 막으면서, 디스크와 시트의 접촉이 많이 일어나면서도 내부의 변형을 적게 하기 위해서, 고무 시트 내부에 금속(Metal) 소재의 링을 삽입하여 밸브의 폐쇄 시의 시트(Seat)의 변형 및 압착응력을 검토하였다

## 2. Sealing Mechanism의 해석

### 2.1 Sealing Mechanism의 원리

이번 Sealing Mechanism의 주요 포인트는 밀봉의 향상을 위하여 Fig.1 과 같이 시트의 윗부분 접촉 지점을 2단계로 설계, 1단계 밀봉 후 일부 누설의 경우를 대비하여 2단계에서 한번 더 밀봉이 이루어질 수 있도록 하였다. 그리고 시트가 외곽으로 늘어나는 현상을 방지하기 위하여 금속 링을 삽입하였고, 금속 링의 형상을 V자로 만들어 접촉 지점을 지지하도록 설계하였다. Table 1 과 2는 각 소재 및 물성을 나타낸 것이고, Fig. 1은 고무금속시트의 단면 사진 및 구성도이다.

Table 1 Rubber (NBR) Material Property

Seat Material	HARDNESS	Mooney-Rivlin Coefficients	
		C1	C10
BUNA-N (NBR)	90±4	0.5841	1.8723

Table 2 Metal (304SS) Material Property

Seat Material	Density (Kg/cm <sup>3</sup> )	Modulus of Elasticity (GPa)	Poissons Ratio	Tensile Strength(MPa)	
				Yield	Ultimate
304SS	8000	193	0.29	215	505

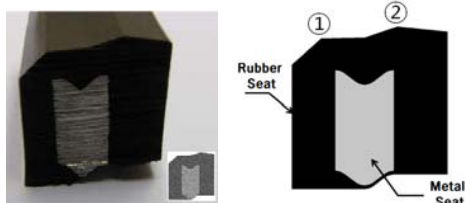


Fig 1 Rubber-Metal Seat construction

### 2.2 해석 방법

버터플라이 밸브의 Sealing Mechanism은 밸브 바디와 고정링으로 시트 부를 압축-고정시킨 후 디스크를 개폐각도6°에서부터 0.5초 동안 닫힐 때, 디스크의 외경부분과 시트의 접촉으로 인한 고무시트의 압착응력 및 내부의 응력 분포를 검토하였다. 해석 모델은 디스크와 시트가 접촉하는 부위를 대상으로 2D로 모델링 하였으며, 고무만 있는 경우와 금속이 내부에 있는 경우를 비교 검토하였다.

### 2.3 경계조건 및 구속조건

디스크의 아랫면과 시트의 윗부분에서의 접촉조건, 시트 내부의 고무와 금속이 만나는 면의 접촉조건, 시트와 바디 및 고정링이 만나는 부분에 접촉조건을 설정하였다. 시트의 구속조건은 바디와 고정링은 전체 구속을 주었고 시트 내부의 금속 소재 역시 원형 소재 이면서 변형을 고려하여 금속 밀면에만 Y축 구속조건을 설정하였다.

Mesh의 품질이 우수하면 프로그램의 해석 수행 시 수렴이 수월하며, 정확한 결과 값을 얻을 수 있다. 더욱이 비선형 탄성 대변형 모델이므로 Mesh의 품질은 매우 중요하다. Mesh의 품질을 높이기 위하여 Fig.3과 같이 모든 Mesh를 Hexa-Model로 생성하였으며, 변형이 많이 일어나는 디스크와 시트가 만나는 부분의 Mesh는 세밀하게 형성하여 정확도를 높였다.

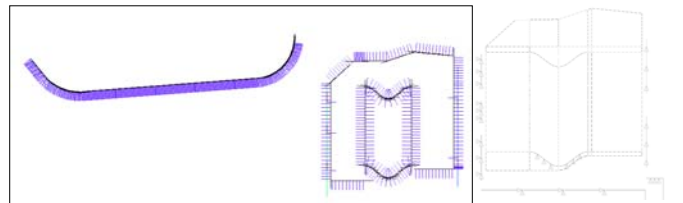


Fig 2 Boundary Condition

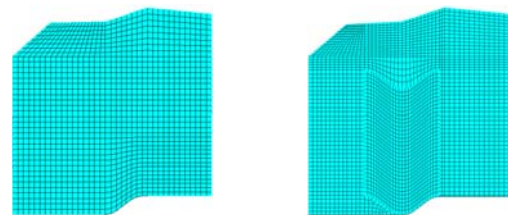


Fig 3 Mesh (Only Rubber - Metal in Rubber)

### 2.3 금속링 (Metal Ring)의 위치

금속 링을 고무시트의 중심에 위치시킨 후, 금속 링의 위치에 따라 변하는 압착응력 및 내부응력을 분석하기 위하여, 상하좌우 차이를 두고 연구를 진행하였다.

Table 3 Seat List

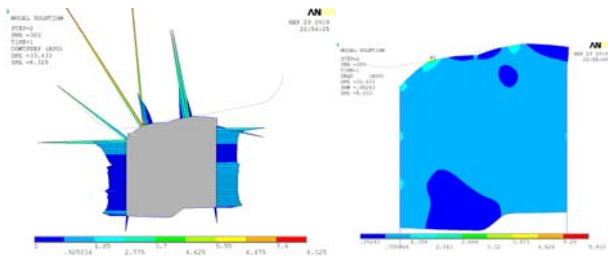
Seat Name	No Ring	Seat 1	Seat 2	Seat 3	Seat 4
X(mm)	-	0	+2	-2	+2
Y(mm)	-	0	0	0	-1

### 3. 해석 결과

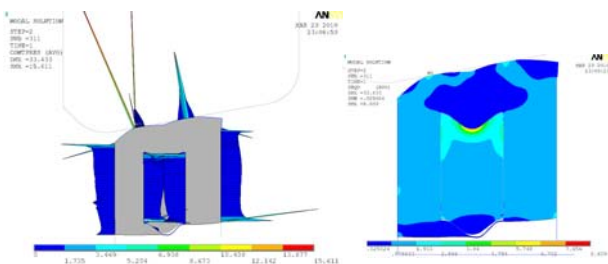
Fig4 (a)는 금속이 내부에 적용되지 않은 고무 시트의 압착응력 및 내부응력의 분포이다. ①지점의 압착응력은 8.609MPa이고 ②지점의 압착응력은 3.927MPa 이다. 접촉부분의 응력은 5.933MPa이다.

금속 링을 삽입한 Fig5 (b)는 내부의 압착응력 및 내부응력의 분포를 나타내었다. 시트의 중심부에 금속 링을 설정하고 해석을 수행하였으며, 15.218MPa의 압착응력을 보여 금속 링이 없는 시트에 비해 81.3%의 향상을 이루었다. 그리고 상하로 2mm 씩 이동하여 해석을 수행하였으며, 아래쪽으로 이동하면 압착응력이 감소하고 위쪽으로 이동하면 압착응력이 증가한다는 것을 알 수 있다. 상층부로 이동하였을 경우 15.611MPa로 기존 위치보다 2.58% 상승하였다. 상층부로 갈수록 압착응력은 상승하나 고무의 양이 감소하여 내구성의 문제가 생길 가능성이 있다. 그리고 좌로 1mm 이동하였을 경우, 압착응력이 증가됨을 알 수 있다. 최종 압착응력은 21.919MPa로 154.6%의 향상을 얻어내었다. 좌측으로 이동하면 압착응력이 증가하나 ①지점의 지지점 이상을 통과 할 경우에 다시 감소할 것으로 예측되며 압착응력의 최대점을 찾는 것이 관건이라 하겠다.

Fig.5,6의 (b)는 시트의 응력분포를 나타내었으며, 바디와 고정링의 체결로 고무만 있는 경우 탄성에 의해 내부에는 응력이 거의 분포하지 않으나, Rubber-Metal 시트의 경우는 금속 링의 상부 중간에서 압축으로 인해 8.66~10.55 MPa의 응력을 보였다. 이는 304SS의 항복강도인 215 MPa에 크게 미치지 않는 응력이므로 충분히 안전한 범위에 있음을 알 수 있다.



(a) Contact Pressure (b)Stress  
Fig 4 Analysis Result (Only Rubber)



(a) Contact Pressure (b)Stress  
Fig 5 Analysis Result (Rubber-Metal Seat)

Table 3 Result List

Seat Name	Contact Pressure (MPa)		Von-Mises Stress (MPa)	Von-Mises Strain
	①	②		
No Ring	8.609	3.927	5.933	0.393
Seat 1	15.218	3.867	8.661	0.503
Seat 2	15.611	3.945	8.857	0.523
Seat 3	14.058	3.881	8.795	0.482
Seat 4	21.919	4.642	10.548	0.574

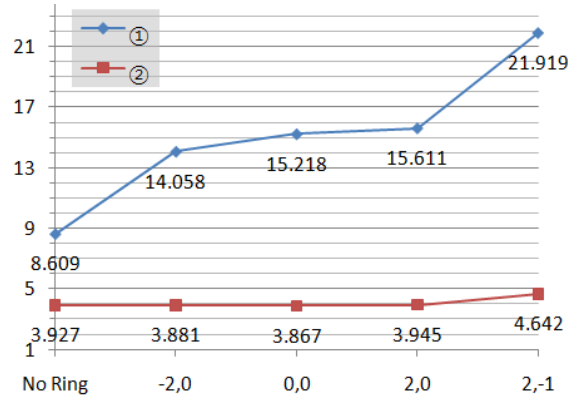


Fig 6 Contact Pressure Graph

### 4. 결론

금속 링을 이용한 고무금속시트의 동적 밀봉 해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 밀봉의 능력을 나타내는 고무금속시트의 최대 압착응력은 21.919MPa로 기존대비 154.6%의 향상을 이루었다.
2. 시트 내부의 응력은 8.857MPa이므로 금속소재의 항복강도와 비교하였을 경우, 시트의 구조가 충분히 안전함을 알 수 있다.
3. 본 연구를 통하여 금속 링의 필요성을 입증하였고, 차후 금속 링의 위치 변경 및 회전을 통하여 고압에서도 밀봉이 사용 가능한 것으로 예상된다.

### 후기

본 연구는 지식경제부 지정 고기능성밸브기술지원센터(RIC)의 지원으로 수행 되었음.

### 참고문헌

1. Philip L. Skousen, "밸브 HANDBOOK SE", Mc Graw Hill, New York, pp.134~141, 2005.
2. Taesung S&E Co., "ANSYS Classic-Nonlinear Analysis Training Book", Lesson6-Hyper elasticity, pp.1~42, 2008.
3. 박영철, 정대석, 김지영, 이종문, "CFD 기반의 비선형 초탄성 재료의 구조 설계", 대한기계학회(A), 30권, 4호, pp.379~386, 2006.