

## 특수 압력용기용 안전밸브의 2중 구조로 디스크의 최적설계

김 창 호\*

### Optimal Design of Dual-Structured Disc of a Safety-Valve for the Specialized Pressure Vessel Considering Thermal Expansion

Chang-Ho Kim\*

#### ABSTRACT

A safety valve is used for protecting the pressure vessel and facilities by discharging the operating fluid into the valve from the accident when the pressure is over the designated value. The fluid is sulfurous acid and nitric acid. etc. in the semi-conductor assembly line. Thus the valve elements material must be acid resistance.

Teflon, which is used generally as inner parts of a valve, tends to easily sticks to sliding surface by thermal expansion under high temperature. Some studies are performed to change teflon to another material and shape to have a better fluidity under the condition.

The analysis of the thermal expansion is conducted by commercial FEM software to improve the problems. Boundary conditions were temperature and load in this study. From the analysis, the thermal expansion of stainless steel is verified to be lower than that of teflon under high temperature. Thus coupled teflon/stainless steel-made valve is applied to assembly line without danger due to thermal expansion.

**Key Words :** Safety valve(안전밸브), Teflon(테프론), Thermal expansion(열팽창), Acid(산)

#### 1. 서 론

안전밸브(safety valve)는 발전소나 일반 플랜트 계통의 유압기기, 공기압기기 및 증기기기 등의 과압에 의한 기기 및 배관계의 손상 또는 폭발을 방지하여 물리적·인적 재해를 예방하기 위한 기계장치이다.

안전밸브는 기기류에 따라 허용되는 최대압력을 한정하여, 최대압력 이상이 되면 개방되어 급속히 압력을 방출하다가 정상압력이 되면 다시 닫히는 밸브로 구조상 레버를 이용한 레버 안전밸브, 추를 밸브 위에 얹은 추 안전밸브, 스프링의 압축력을 이용한 스프링 안전밸브 등이 있다.<sup>(1),(2)</sup>

특히, 반도체 제작을 위한 조립라인에 사용되는 안전밸브는 불산, 아황산, 초산 및 용제를 보관하는 압력용기와 반도체의 특성 및 종류에 따라 적절한 산과 용제를 혼합하는 특수용기에 장착되어 있다.

\* 회원, 동의대학교 기계공학과  
E-mail : chkim21@deu.ac.kr  
TEL : (051)890-1651 FAX : (051)890-2232

맹부식성의 성질을 가진 유체에 의한 부식을 방지하기 위해서 유체와 접촉하고 있는 밸브의 부품은 테프론(teflon)으로 라이닝 되어있어, 유체가 스테인레스 강(stainless steel)으로 제작된 기타 부품 및 몸체에 접촉되는 것을 차단하여 부식이나 손상을 방지할 수 있게 만든 특수한 구조 및 용도의 안전밸브이다.

안전밸브는 주로 덮개(bonnet), 디스크(disc), 시트(seat), 몸체(body)로 구성된다. 맹부식성 유체와 접촉하고 있는 시트와 디스크는 테프론 재질로 되어있다. 특히, 디스크는 주변환경 온도에 따라 열팽창으로 인하여 디스크와 바디의 슬라이딩 부분이 붙어버리기 때문에 이것을 개선하기 위해 상용 유한요소 해석 소프트웨어를 이용하여 온도와 하중을 경계조건으로 테프론의 열팽창 해석을 수행하였다.

이러한 해석결과를 바탕으로 테프론과 스테인레스 강을 조합한 최적의 디스크를 설계하여 시작품을 개발했다.

## 2. 특수용기용 안전밸브

### 2.1 안전밸브의 구조

반도체 제작을 위한 조립라인에서는 부식성이 강한 불산, 아황산 및 초산이 사용되고 있다. 이러한 유독성 유체들이 유출되면 인명피해 등 안전사고를 일으킬 수 있다. 따라서 안전밸브가 장착된 특수용기가 필요하다.

안전밸브는 Fig. 1과 같이 스프링(spring)과 스테인레스 강으로 제작된 덮개, 몸체 등으로 구성되어 있고, 부식을 방지하기 위하여 시트와 디스크는 내부식성이 강한 테프론으로 제작되고 있다. Fig. 2와 같이 슬라이딩 존(sliding zone)은 안전밸브의 원활한 작동을 위해 간격(gap)을 0.1mm 정도 두고 있다. 기존 안전밸브의 디스크는 테프론을 사용한 단일 재질로 제작되고 있다. 이러한 구조는 온도 변화가 큰 지역에서는 온도에 의한 열팽창으로 디스크의 변형 크기 때문에 슬라이딩 존이 허용영역 내에 있지 못하고 간섭이 발생하여 동작이 원활하지 못하고, 작동불량의 원인이 되고 있다. Fig. 3과 같이 디스크를 단일 구조가 아닌 테프론과 상대적으로 열팽창계수가 작은 스테인레스 강을 조합한 복합 구조로 이러한 문

제점을 제거하고자 했다.

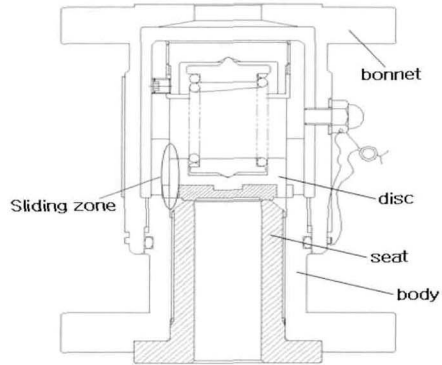


Fig. 1 Structure of a safety valve

### 2.2 안전밸브의 작동원리

안전밸브의 작동은 Fig. 4와 같이 용기 내에 있는 유체의 압력이 증가하여 스프링이 지지할 수 있는 허용압력보다 커지게 되면 닫혀있던 디스크가 열리면서 유체를 외부로 분출하여 용기내의 압력을 일정하게 유지하여 용기의 파손 및 손상을 방지한다.<sup>(3)</sup>

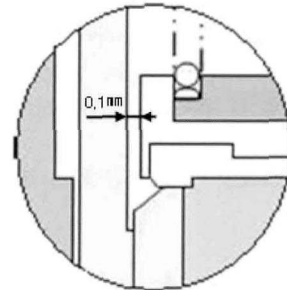


Fig. 2 Sliding zone

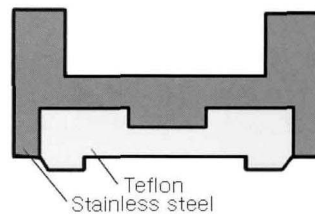


Fig. 3 Structure of a disc

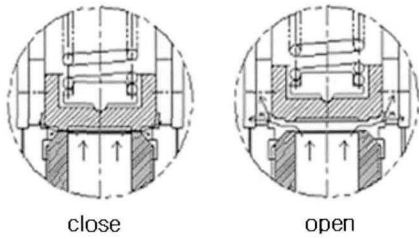


Fig. 4 Operation procedure of a safety valve

### 3. 유한요소 해석

#### 3.1 유한요소 모델 및 경계조건

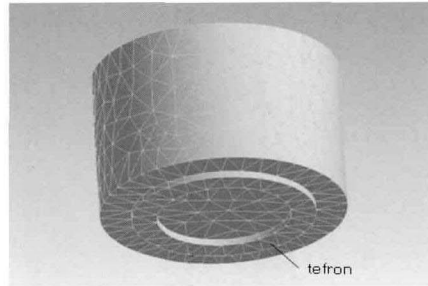
유한요소 모델인 두 종류의 디스크와 바디의 슬라이딩 부분은 3D 캐드 프로그램을 사용하여 모델링 하였으며, Fig.5와 같이 이를 상용 유한요소 해석 소프트웨어와 연계하여 유한요소 모델을 완성하였다.

Fig. 5 (a) ~ (c)의 세 종류의 유한요소 모델은 테프론으로 제작된 디스크(a), 테프론과 스테인레스 강의 조합으로 제작된 디스크(b) 및 스테인레스 강으로 제작된 바디를 간략화 시킨 모델 (c)를 보여준다. 그리고, 테프론과 스테인레스 강의 물성치를 Table 1에 나타내었다.

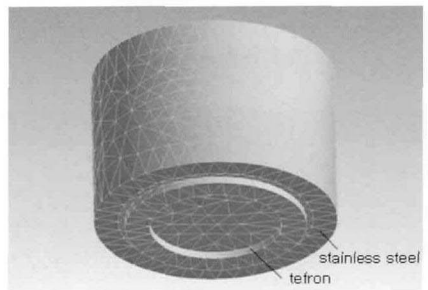
Table 1 Physical Properties of materials

Material	Teflon	SSC13
Young's Modulus	392.2 MPa	200 GPa
Poisson's Ratio	0.46	0.29
Density	2150 kg/m <sup>3</sup>	8000 kg/m <sup>3</sup>
Thermal Expansion	1.0×10 <sup>-4</sup> 1/°C	1.73×10 <sup>-5</sup> 1/°C
Thermal Conductivity	0.25 W/m·°C	16.2 W/m·°C

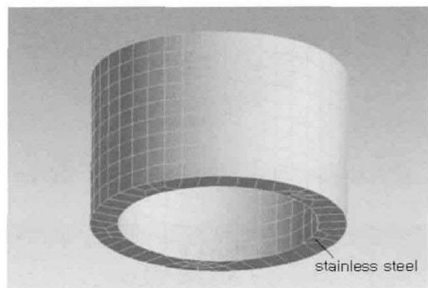
경계조건으로는 시트와 접촉되어 있는 디스크 면을 구속하였고, 디스크의 안쪽에 스프링에 의한 실제 하중 70N을 주었다. 그리고, 주변환경 온도는 열대기후의 국가를 기준으로 하여 직사광선을 연속적으로 받는다는 가정 하에 디스크 자체에 50°C, 60°C, 70°C의 온도를 적용하였다.



(a) teflon disc



(b) teflon and stainless steel disc



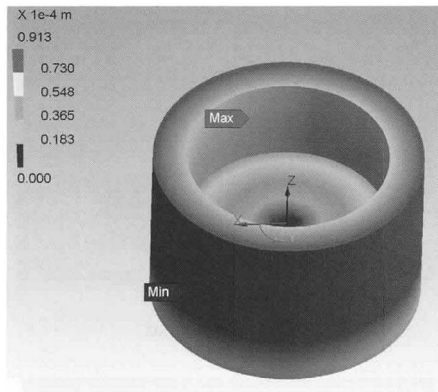
(c) stainless steel body

Fig. 5 FEM model for each materials<sup>(4),(5)</sup>

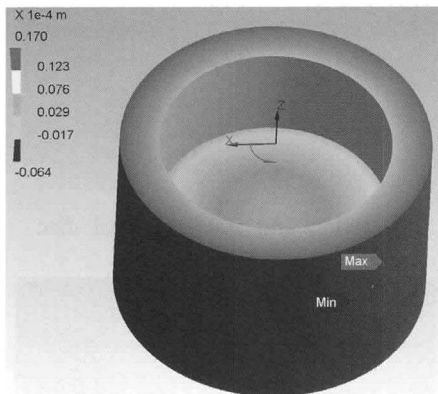
본 연구에서는 이러한 경계조건 하에서 디스크의 외경과 바디의 내경에 대한 변형을 해석하였다.

#### 3.2 유한요소 해석 결과

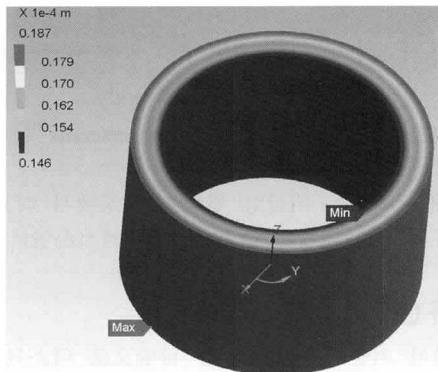
위에서 기술한 경계조건을 바탕으로 디스크의 변형을 해석하였다. Fig. 6의 (a) 및 (b)는 각각 테프론으로 제작된 디스크와 테프론과 스테인레스 강의 조합으로 제작된 디스크의 변형 후 형상과 변형량을 나타내고 있다. 최대 변형은 디스크 상단의 외곽에



(a) teflon disc



(b) teflon and stainless steel disc



(c) stainless steel body

Fig. 6 The FEM simulation for deformed shapes and deformation amount of each materials<sup>(4),(5)</sup>

서 가장 큰 것을 볼 수 있다. Fig. 6의 (c)는 바디의 변형 후 형상과 변형량을 나타내고 있다. Table 2에 변형량과 온도에 따른 디스크별 간격을 나타내었다.

제작시 디스크와 밸브의 겹은 0.1mm이지만, 온도가 70℃일 때 테프론으로 제작된 디스크의 경우 겹이 -0.0059mm로 바디와 간섭을 일으켜 작동불량의 원인이 될 수 있는 반면에 테프론과 스테인레스 강의 조합으로 제작된 디스크의 경우 겹이 0.0684mm로 작동에 영향을 끼치지 않는다.

Table 2 The results by FEM simulation

	temperature (°C)	strain (mm)	gap (mm)
body (stainless steel)	70	0.0146	·
	60	0.0115	·
	50	0.0085	·
disc 1 (teflon)	70	0.0913	-0.0059
	60	0.0723	0.0162
	50	0.0534	0.0381
disc 2 (teflon and stainless steel)	70	0.0170	0.0684
	60	0.0135	0.0750
	50	0.00995	0.08155

#### 4. 결 론

(1) 제작시 디스크와 바디간의 간격은 0.1mm이다. 온도가 70℃일 때, 테프론과 스테인레스 강의 조합으로 제작된 디스크는 간격이 0.0684mm로 밸브의 작동에 문제가 없으나, 테프론만으로 제작된 디스크는 간격이 -0.0059mm로 바디와 접촉된다. 또한, 마찰로 인하여 밸브의 허용압력이 원래의 허용압력보다 높아지므로 용기의 압력이 허용압력을 초과하여도 밸브가 작동하지 않아 안전사고를 일으킬 수 있다.

(2) 테프론은 열팽창계수가 크기 때문에 디스크의 슬라이딩 부분은 상대적으로 열팽창계수가 작은 스테인레스 강을 사용하고 부식성이 강한 유체와 접촉하는 부분은 테프론으로 제작하였다. 그 결과 열팽창에 의한 변형에 따른 간섭의 문제점뿐만 아니라 부식에 의한 문제점도 제거할 수 있다.

## 후 기

본 연구는 중소기업청 산학연 공동기술개발사업으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. PHILIP L. SKOUSEN., 2006, "Valve Handbook", *McGraw-Hill*, Vol. 1, pp. 190~195.
2. C. S. Kim., H. S. Roh., K. T. Kim., J. H. Kim. and J. S. Kim., 2005, "Experience for Development and Capacity Certification of Safety Relief Valves", *Fluid Machinery Journal*, Vol. 8, No. 3, pp. 16~25.
3. M. H. Lee., H. B. Park., 1999, "Oil.-air hydraulics", *Bo Sung Gak*, Vol. 1, pp. 188~191.
4. ANSYS Workbench User's manual, ANSYS Inc.
5. Tae Sung S&E FEA Dep., 2006, "Escape from a Ansys Workbench Clumsier ", *Sigma press*, Vol. 1, pp. 213~217