

# 산업용 볼밸브의 구조 해석 및 토크 저감 설계

하선호\*, 김상진\*, 송정일#

(#, \* 창원대학교 기계공학부)

## Structure Analysis and Torque Reduction Design of Industrial Ball Valve

Sun-Ho Ha\*, Sang-Jin Kim\*, Jung-Il Song#

(Received 17 July 2014; received in revised form 10 December 2014; accepted 30 December 2014)

### ABSTRACT

Ball valves are used as a key element in the process industries. The industrial development of valves has increased steadily, but continued improvement requires high design reliability and long service life. Currently, the development of high performance valves is not easy because of the lack of relevant technology in Korea. Valves are being imported at a level of up to 58 percent of the domestic market, which represents a value of almost 7 million US dollars. Therefore, in this work, the improvement of the design and performance of industrial valves has been studied in an attempt to achieve valves that will have longer service life and better output during operation. The structural stability was evaluated using the ANSYS FSI (Fluid-Structural Interaction) module. Moreover, to obtain maximum product reliability, torque analysis simulation was performed to compare and experimental results. The simulation results were used to predict the change in torque by changes in shape, thereby reducing the time and cost of manufacturing a number of prototypes for experimental validation.

**Key Words** : Ball valve(볼 밸브), Seat ring(시트링), Torque analysis(토크 해석), Optimization(최적화), Fluid-Structure Interaction analysis(FSI, 유동-구조 연성해석)

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경

산업분야에 프로세스의 중요한 요소로 사용되  
는 밸브는 산업의 고도화와 이에 따른 고 신뢰성  
의 요구로 날로 그 기술이 발전되고 있다. 볼 밸  
브는 90도 회전밸브로서 매우 양호한 기밀유지 특  
성을 갖고 있다. 소프트 시트인 경우는 기밀성능  
이 매우 양호하여 완전차단까지 가능하나 금속시  
트는 내열성이 우수하지만 차단성능은 소프트 시  
트에 비해서 떨어진다.

볼을 감싸고 있는 시트는 기밀을 확실하게 하  
고, 또한 비교적 작은 운전토크를 갖는다. 볼의

\* School of Mechanical Engineering, Changwon National University

# Corresponding Author :

School of Mechanical Engineering, Changwon National University

E-mail : jjsong@changwon.ac.kr

유로현상이 원형으로 밸브 입출구의 형상과 같은 모양이기 때문에 유로저항도 매우 작다. 이는 범용의 밸브 중에서 특히 저압의 상온 유체를 차단하고 제어하는 특성을 갖고 있다는 것이다. 따라서 거의 모든 볼 밸브는 full port 연결배관의 호칭직경보다 작은 구경의 유로경, 즉 reduced port 를 갖는다. 볼 밸브에 있어서 가장 핵심적인 요소는 시트이다. 대부분의 볼 밸브는 탄력성이 좋은 PTFE (polytrafluore ethylene)가 가장 널리 쓰이고 유체의 부식특성에 따라서 특별한 용도로 나일론, 성형흑연 및 PTEE에 성형흑연분말을 함유한 시트 재료가 있다.

같은 호칭 경을 가진 타 종류의 밸브보다도 간단한 구조, 보수의 용이성, 제작성의 편리성 등 경제적인 측면이 많은 반면 시트구조의 치밀성, 시트재료의 제한 및 배관 계통의 설치 시 주의 사항 등 단점도 있다. 결국 사용상의 제약은 볼을 잡아주고, 볼과 밸브 몸체의 기밀을 유지하는 씬(seal)구조의 재질사양에 달렸다. 앞으로 볼밸브의 기술적 과제는 기밀유치 접촉부위의 재질선정과정 구조의 기술혁신에 있다고 할 수 있다.<sup>(1)</sup>

따라서 볼밸브의 성능향상을 통하여 밸브시장의 국가경쟁력을 높이며, 고용창출과 기술 인력의 확보를 가능하게 할 것으로 사료된다.

## 1.2 연구동향

### 1.2.1 국내 연구동향

일부 업체와 연구소에서 소 용량의 유량으로만 시험이 가능한 부분적인 소규모 설비들을 보유하고는 있으나, 일반 산업체에서 연구개발 및 검증과 인증을 위하여 활용이 가능한 기술기반이나 체계가 국내에 구축되어 있지 않아 국내의 업체에 납품을 하는 경우에도 거액의 비용을 부담해 가면서 해외의 시험평가 기관에 의뢰를 해야만 하는 현실이다. 이러한 현실에서 고부가가치 밸브의 기술개발에는 근본적인 한계가 있다.

현재까지의 연구 동향은 유한요소해석 프로그램이나 실제 시험을 통한 검증이 부족한 한계가 있었으므로, 본 연구에서는 유한요소해석 프로그램을 이용하여 최적화된 설계를 제시하고, 실제 시제품을 제작하고 성능시험을 통해 그 효과를 검

증하기로 한다.

### 1.2.2 국외 연구동향

현재 전 세계 밸브시장은 약 50조원 규모로 그 중 40%를 중국과 일본을 주축으로 아시아 국가에서 생산하고 있으며, 국내는 약 3조원의 시장 규모를 가지고 있는 것으로 파악되고 있다. 그러나 안타깝게도 국내는 고부가가치 밸브에 있어 기술력 부족, 시장진입의 어려움을 겪고 있어 절반이 넘는 1조 8천억 원을 전적으로 수입에 의존하고 있는 상황이다.

제어밸브, 안전밸브와 같이 고부가가치밸브는 밸브 선진국인 미국을 중심으로, 고온 고압용 특수 밸브로는 일본, 독일 등이 생산에 주력하고 있는데 일본과 독일의 경우 독자적인 기술력에 의존하는 품질경쟁력으로 세계 밸브시장의 중추적 역할을 하고 있다.

대량수요가 요구되는 저가의 범용 밸브는 중국, 인도중심으로 생산되고 있는데 중국의 경우 몇 년 전 까지만 하더라도 원자재와 가공 수준이 떨어져 저가용 밸브 생산에 그쳤으나, 한국을 비롯한 전 세계의 밸브공장이 중국에 세워지면서 기술수준이 하루가 다르게 성장하고 있다. 또한, 세계 경쟁시

Table 1 Condition of wear test

Material	Diameter of specimen	Radius of wear	RPM	Load	Test time
Nylon6 PTFE PEEK	30mm	8mm	300	7N	1800s



a) Full model

(b) Inside model

Fig. 1 3-D modeling of industrial ball valve

대를 맞아 세계 각 국에서는 새로운 개념의 특수 밸브 개발에 심혈을 기울이고 있다.

## 2. 연구방법

### 2.1 볼밸브의 유동-구조 연성해석

#### 2.1.1 볼밸브의 개폐 각도에 따른 유동해석

볼 밸브 개폐 각도에 따른 유동 특성에 관한 해석으로서 유체는 물을 사용하고 볼과 시트링의 재질은 각각 SUS304와 Nylon6를 사용하였고, 모델의 형상은 Fig. 1 (a)와 같다. 또한 Fig. 1 (b)와 같이 입구 출구 완전 열림 상태에서의 밸브의 유동면적은 같게 설정하여 개폐 각도에 따른 압력 분포 및 속도 흐름 즉, 유동장 해석을 실시하였다. 본 연구에서는 맥동현상으로 인한 영향을 최소화하기 위해 밸브의 외부 배관을 포함하여 유동해석을 하였다. 또한 볼 밸브의 해석을 위하여 개폐각도는 완전 열림인 0°부터 15°, 45°, 60°, 완전 닫히기 직전인 70°까지 총 5가지 조건으로 유동장을 생성하였다.

#### 2.1.2 볼밸브의 개폐 각도에 따른 유동-구조 연성해석

CFD 해석을 통한 유동해석 결과 값을 이용하여 볼밸브의 구조 안전성 평가를 실시하였다. Fig. 2는 볼밸브가 45°로 열린 상태의 구조해석을 위해 유동해석결과를 불러온 모습을 나타내고 있다.

ANSYS Workbench를 이용한 유동-구조 연성해석은 유동해석 결과를 정적 구조해석으로 불러온 뒤, 재료의 물성치를 정의하고 격자생성을 하고 해석을 실시하였다. 볼밸브의 시트링 재료는 Nylon6, 볼의 재료는 SUS304의 물성을 적용시켰다.

### 2.2 시트 내마모성 실험

마모실험은 실제로 그 재료가 사용되는 조건과 유사한 조건으로 행하여야 하며, 압력을 받아서 접촉하는 두 물체가 상대운동을 하여 일어나는 재료의 손모, 손상현상을 마모라고 한다. 마모량이 어떤 한계를 넘으면, 그 기계는 사용하지 못하게

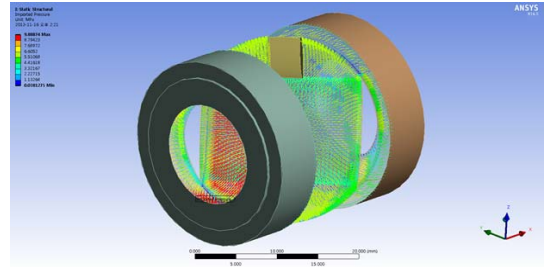


Fig. 2 Imported pressure of fluid analysis results

되므로 마모는 재료의 수명을 결정하는 가장 중요한 인자 중의 하나이다. 마모에는 두 물체가 서로 슬라이딩 운동을 통해 일어나는 소위 슬라이딩 마모 외에 전동운동, 충돌운동 등에 의한 경우도 있다. 후자에서는 피로파괴가구가 강하게 작용한다. 즉, 마모시험은 재료의 내마모성을 평가하는데 목적이 있다.

마모 실험의 종류는 편 온 디스크, 볼 온 디스크, 왕복동 등 여러 가지가 있는데, 본 연구에서는 볼 온 디스크 방법으로 마모실험을 하였다. 실험의 조건은 Table 1과 같이 직경 30mm의 Nylon 6, PTFE, PEEK 시편은 7N 하중 하에서 16mm의 마모 직경, 300RPM 속도로 회전하여 1800s의 시간 동안 실험을 실시하였다.

### 2.3 볼밸브의 토크 측정

#### 2.3.1 압축하중 토크 측정

실험 방법은 시트링과 볼을 실험을 위해 제작한 지그에 고정을 시킨 후, 지그를 장비에 고정시킨다. 고정시킨 지그에 힘을 가하고 힘을 받은 볼이 시트 위에서 회전하는데 필요한 토크를 측정하는 실험이다. Fig. 3은 실험의 개념을 나타내고 있다. 압축하중 토크 실험은 비틀림 토크 시험기를 이용하여 실시하였다. 실험의 조건은 Table 2와 같이 지지대에 고정된 Nylon 6 시트링에 볼을 올리고 볼에 볼에 500N의 하중을 가한 뒤, 90°회전

Table 2 Condition of torque measurement

Material of Seat	Rotational Angle	Rotational Speed	Load
Nylon6	90°(30~120°)	0.5Hz	500N

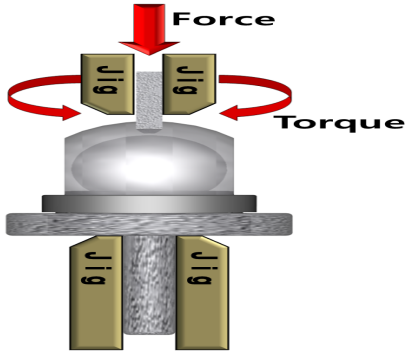


Fig. 3 Schematic diagram of torque test



Fig. 4 Schematic diagram of torque test

하는데 필요한 토크를 측정하였다.

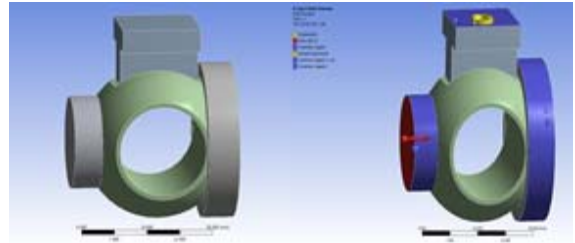
### 2.3.2 토크 게이지를 이용한 토크 측정

돌림힘(torque,  $\tau$ ) 또는 회전력은 물체를 회전시키는 효력을 나타내는 물리량이며, 힘과 받침점까지 거리의 곱이다. 돌림힘은 힘과 거리를 곱한 차원을 갖고 있으며, 국제단위는 뉴턴미터(N·m)를 가진다.

볼밸브의 작동 시, 캡의 결합력에 의해 시트에 변위가 발생하고, 변위로 인해 볼에 하중이 가해진다. 그 결과 볼을 회전 할 때, 볼과 시트의 상대마찰계수에 의해 토크가 발생한다.

토크의 크기를 측정하기 위해 토크게이지를 이용하여 토크를 측정한다. 토크게이지의 측정은 Fig. 4와 같이 실험을 위해 제작한 커넥터를 이용하여 밸브와 토크게이지를 연결하여 밸브를 개폐시키는데 필요한 힘, 즉 토크를 측정한다.

## 2.4 볼밸브 토크의 이론적 해석



a) Modeling of ball valve (b) Boundary conditions

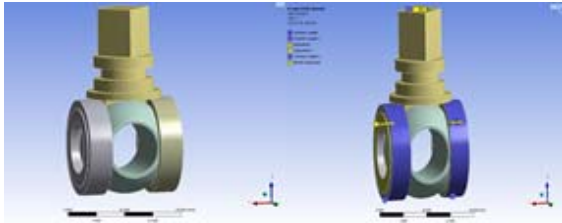
Fig. 5 Modeling for torque analysis

### 2.4.1 압축하중 토크 측정의 이론적 해석

Fig. 5의 (a)는 볼밸브의 볼과 시트링, 그리고 스템을 모델링 한 모습이다. 실제 실험과의 유사성을 위해 가상의 부재를 모델링하고 가상의 부재에 하중을 가한다. (b)는 하중 조건 및 경계조건을 적용한 모습이다. 토크해석을 위해 실제 사용 환경을 고려하여 입력하였다. 실제 밸브가 유체의 압력을 받게 된다. 이 때, 시트와 볼이 시트쪽으로 밀려나게 되고 스템을 회전하는데 토크가 필요하게 된다. 따라서 볼과 스템부에 조인트 고정 조건을 부여하고 스템을 90°(-45~45°) 회전하는데 필요한 토크를 해석한다. 시트는 볼밸브의 바디와 맞는 부분에 고정시킨다. 볼에 가해지는 하중은 토크 실험 시 가한 하중과 같은 500N을 적용하여 해석결과와 실험결과를 비교하여 해석의 신뢰도를 판단한다.

### 2.4.2 토크게이지를 이용한 토크 측정의 이론적 해석

Fig. 6의 (a)는 볼밸브를 모델링한 모습이고, (b)는 토크해석을 위해 적용한 경계조건을 나타낸 모습이다. 먼저 볼밸브의 최대 회전 변위인 90°를 스템의 상부에 적용하였고, 그 다음 볼밸브가 조립될 때, 캡과 맞는 시트의 면에 0.06mm의 변위를 적용하였다. 또한 시트링의 외면에 앞뒤의 이동은 자유로우나 상하이동이 구속되어 있는 무마찰지지 조건을 적용하여 경계조건을 설정하였다. 마지막으로 시트와 볼과의 마찰계수는 실험을 통하여 얻은 Nylon 6와 스테인리스 스틸의 상대마찰계수인 0.15를 적용하였다. 격자는 신뢰도 높은 해석을 위해 균일한 격자를 생성하였다.



a) Modeling of ball valve (b) Boundary conditions  
Fig. 6 Modeling of industrial ball valve

### 2.5 최적화 설계

산업용 볼밸브의 토크 최소화를 위한 최적화 설계에서 최적화 기법은 해석시간의 단축과 역설계를 통한 기존 형태의 변형 없이 토크감소를 위하여 최적화 크기조정(Sizing Optimization) 방법을 사용하였다. 최적화를 위한 매개변수는 최대토크를 최우선으로 그다음 최대응력을 목표로 실시하였다.

최적화를 위한 표본 추출은 CCD(중심합성설계)기법을 사용하였다. CCD기법을 이용하여 표본 추출 후 대표 표본 15개를 정리하였으며, Parameters Parallel Chart, Response chart, Local sensitivity, Tradeoff chart, Correlation scatter Chart 등을 이용하여 최적화 설계를 실시하였다.

## 3. 연구결과

### 3.1 유동-구조 연성해석

#### 3.1.1 볼밸브의 유동해석

Fig. 7은 개폐 각도에 따른 유동 압력 분포를 나타낸 것이다. 입구에 10MPa를 가하였을 때, 각각의 개폐 상황에 따라 압력 분포가 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 유동해석을 수행한 결과, 개폐각도가 커질 경우 와류를 형성하는 것을 확인하였으며, 개폐각도가 15°이하에서 비교적 균일한 흐름을 확인 할 수 있다.

유체의 입구 측 평균속도는 0° 에서 140m/s, 15° 에서 120m/s, 45° 에서 25m/s, 60° 에서 7m/s,

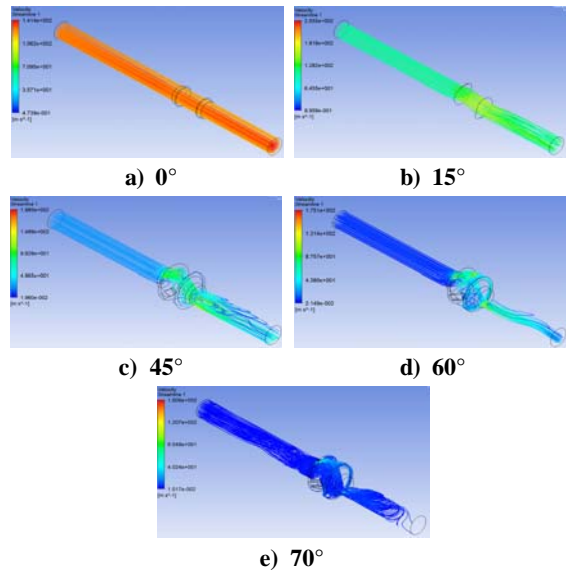


Fig. 7 Results of fluid analysis

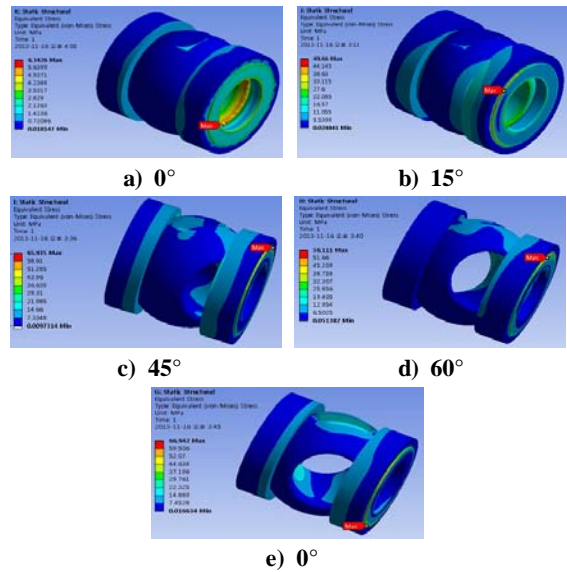


Fig. 8 Results of FSI analysis

유속이 닫히기 직전의 개폐 각도인 70° 에서 2m/s의 속도 분포를 보였는데 이를 통하여 개폐각도가 커짐에 따라 점차 감소하는 경향을 보이는 것을 확인 할 수 있다.



### 3.1.2 연성해석

Fig. 8은 유동해석의 결과를 이용하여 유동-구조 연성해석을 실시한 결과를 나타낸다. 0°에서 가장 낮은 응력 값인 6.3MPa를 나타내었고, 개폐 각도가 증가함에 따라 응력이 커지는 양상을 볼 수 있다.

또한 유로가 닫히기 직전의 개폐 각도인 70°에서 시트와 바디가 맞닿는 부위에서 최대응력인 66.4MPa이 발생 하였는데, 이는 재료의 항복 강도인 78MPa보다 낮은값이 때문에 구조적으로 안전하다고 판단된다.

### 3.2 시트의 내마모성 실험

내마모성 실험 시편은 실험 전 분석저울을 사용하여 총 3차에 걸쳐 무게를 측정하여 기록하고, 실험을 실시한 후 다시 무게를 측정하여 무게 변화량을 통해 재료의 내구성을 판단하였다. Fig. 9에 나타난 결과와 같이 마모 실험의 결과 마찰계수는 PTFE, PEEK, Nylon6의 순으로 낮게 나왔으며, Nylon6, PEEK, PTFE의 평균 마모량은 각각 0.15, 0.09, 66.41mg으로 PTFE의 마모량이 가장 큰 것을 알 수 있다. 실험의 결과를 통하여 PTFE의 마찰계수는 가장 낮으나 직접적인 접촉이 잦은 기계부품의 재료로 사용 하였을 때, 마모량이 많아 내구성이 떨어진다고 할 수 있다. 따라서 산업용 볼밸브의 핵심 부품인 시트의 재료로 부적합하다고 판단된다.

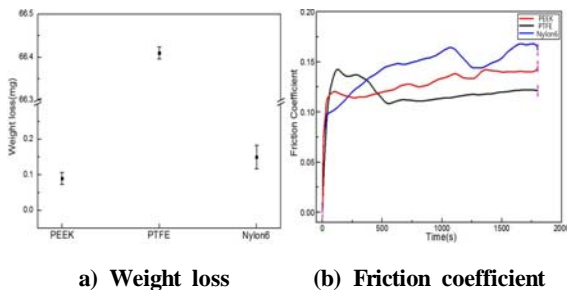


Fig. 9 Results of wear test

### 3.3 볼밸브의 토크측정

#### 3.3.1 압축하중 토크측정 실험

Fig. 10은 압축 하중 토크 실험의 결과로써, 볼

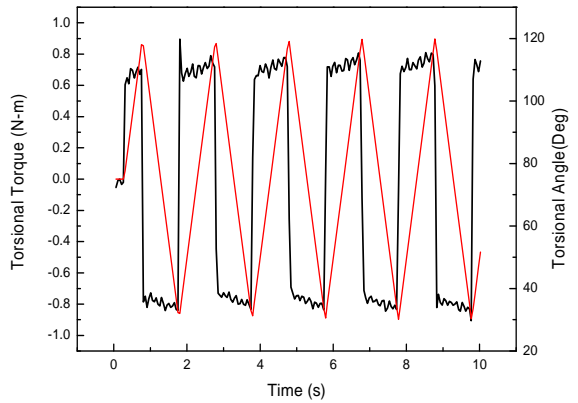


Fig. 10 Torsional torque and torsional angle of nylon 6

Table 3 Results of torque measurement

Number	Max. Torque(N·m)
1	4.80
2	3.19
3	3.14
4	4.56
5	3.19
Ave.	3.78(±0.74)

의 회전방향이 변하는 지점에서 토크 값이 급격히 변화함을 알 수 있다. 그래프의 직선은 볼의 회전 방향으로써 양수의 값이 반시계 방향, 음수의 값이 시계방향의 회전을 의미한다. 그래프를 통해 반시계 방향으로 회전 할 때의 최대토크 값은 0.89N·m, 시계 방향으로 회전 할 때의 최대 토크 값은 0.84N·m이다. 이러한 결과를 통하여 하중을 받는 밸브의 개폐 시, 토크가 발생한다는 것을 알 수 있다.

### 3.4 볼밸브 토크의 이론적 해석

#### 3.4.1 압축하중 토크해석

토크 해석의 결과는 Fig. 11과 같이 실험결과와 흡사한 형태로 나타났다. 실험결과에서와 같이 회전방향이 변할 때 토크의 값이 급격하게 변화하였는데, 반시계방향(CCW)으로 회전할 때의 최대 토크는 0.81N·m, 시계방향으로 회전 할 때의 최대 토크는 0.78N·m임을 알 수 있다. Table 4는 실험

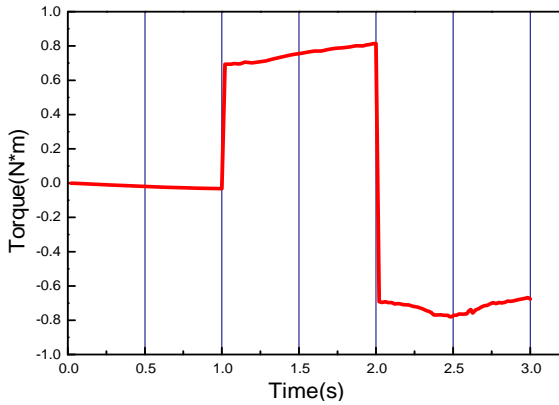


Fig. 11 Result of torque analysis

Table 4 Comparison of maximum measured torque and analysed torque

	Counterclockwise (CCW)	Clockwise (CW)
Max. analysis torque(N·m)	0.81	0.78
Max. measured torque(N·m)	0.89	0.84
Error factor(%)	8.9	7.1

결과와 해석결과를 나타낸 표로써 토크 최댓값과 비교한 오차율을 각각 반시계 방향에서 8.9%, 시계방향에서 7.1%로 신뢰성 높은 해석 결과를 나타내었다.

결론적으로 해석의 신뢰도가 높다고 판단하였으며, 해석결과를 시트의 형상 설계에 이용가능하다고 판단된다.

### 3.4.2 개폐 토크해석

산업용 볼밸브의 최적화 설계를 위하여 토크해석을 실시하였다. 산업용 볼밸브의 모델링은 Solid edge를 이용하여 모델링하였다. ANSYS Workbench로 모델을 불러온 후 경계 조건을 적용하였다. 경계조건은 실제 산업용 볼밸브와 같은 환경을 적용하였으며 볼밸브의 최대 변위인 90° 회전조건을 적용하였다. 마지막으로 시트의 외면에 회전 운동 및 앞뒤의 이동이 자유로운 무마찰지지 조건을 적용하여 경계조건을 설정하였다.

Fig. 12은 산업용 볼밸브의 토크해석 결과이다.

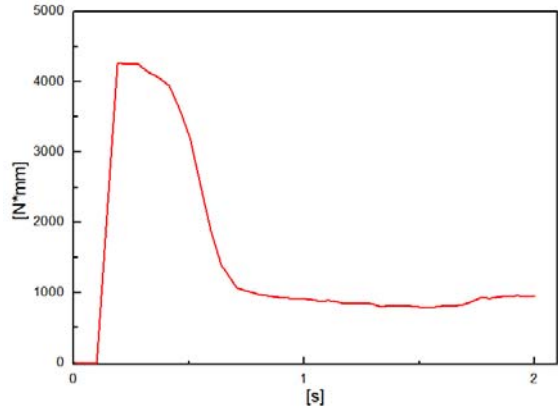


Fig. 12 Revolution process of ball valve

Table 5 Results of torque measurement

Contents	Value
Max. Analysed Torque(N·m)	4.26
Max. Measured Torque(N·m)	3.78
Error Factor(%)	12.78

최대 토크 값은 4.26N·m이다. Table 5는 토크 측정 결과와 해석결과를 비교한 표이다. 측정값 대비 해석의 오차는 12.78%로 해석의 신뢰도가 높다고 판단된다. 결론적으로 신뢰성 높은 해석의 결과를 이용하여 시트의 형상 변화에 따른 토크의 변화를 예측하고 최소의 토크 값을 가지는 시트의 형상설계에 해석 결과의 이용가능하다.

## 3.5 최적화 설계

### 3.5.1 최적화 해석 조건

토크 해석 결과를 바탕으로 토크의 최소화를 위한 최적화 설계를 실시하였다. 최적화를 위한 입력변수는 Fig. 13과 같다.

최적화 입력변 수 UL은 시트 좌측면과 곡률까지의 길이로 그 범위는 2.35~2.41mm, SC는 시트 우측면과 곡률까지의 길이로 그 범위는 0.2~0.24 mm, CC는 곡률의 길이로 그 범위는 3~3.4mm로 정의한 후 최적화를 실시하였다.

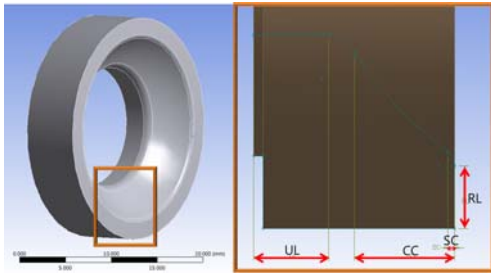


Fig. 13 Input parameter of optimization

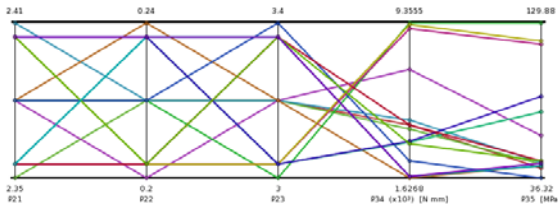


Fig. 14 Parameters parallel chart

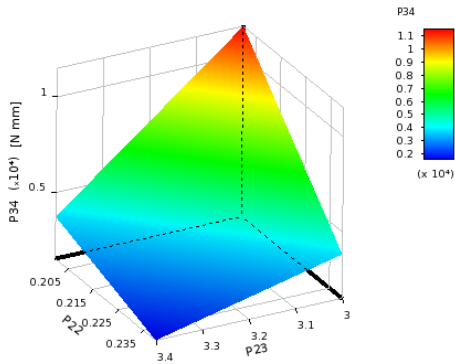


Fig. 15 Response surface

### 3.5.2 최적화 해석 결과

Fig. 14는 최적화 설계의 CCD기법을 이용하여 추출한 대표 표본 15개를 나타낸다. Parameters Parallel Chart로 실험점을 추출한 분포를 보여주는 그래프이다. 각 변수들의 최솟값과 최댓값의 상대적인 범위를 알 수 있다. Fig. 15는 각 출력 변수에 따른 Response Surface를 나타낸 3차원 그래프이다. 3차원 그래프의 아랫면은 입력 변수 SC, CC로 변수의 변화에 따라 최대 토크, 최대 응력이 어떻게 변하는지를 파악할 수 있다.

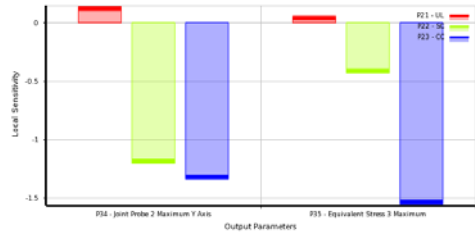


Fig. 16 Local sensitivity

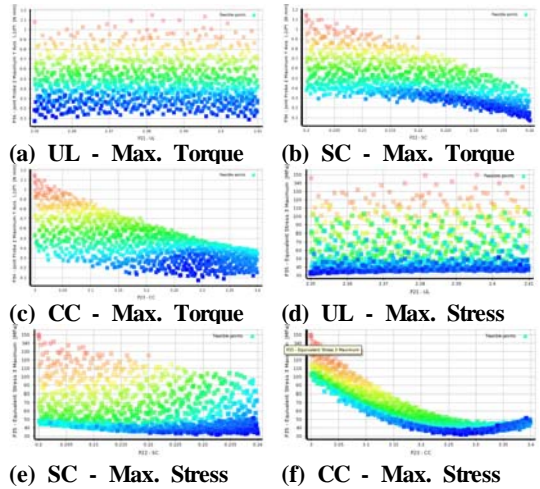


Fig. 17 Local sensitivity

Table 6 Results of optimization analysis

	UL	SC	CC	Max.Torque (N·m)	Max.Stress (MPa)
Previous ball valve	2.38	0.22	3.20	4.26	42.5
Design A	2.35	0.24	3.29	1.62	43.7
Design B	2.35	0.24	3.26	1.72	44.5
Design C	2.41	0.24	3.26	1.67	44.1

Response Surface에 따르면 입력 변수 SC가 3mm에서 증가 할 때 최대 토크는 감소함을 알 수 있다. 또한 입력 변수 CC도 마찬가지로 2mm에서 증가할 때 최대 토크는 감소함을 알 수 있다. 이는 두 입력 변수의 상대적 영향에 의한 것으로 판단된다.

Fig. 16은 Local sensitivity로서 입력 변수에 대한 출력 변수의 전역 민감도(Global sensitivity)를



보여준다. 각 입력 변수들에 따라 출력 변수들의 경향을 쉽게 파악할 수 있으므로 최적화 설계를 보다 수월히 진행할 수 있게 도와준다.

Fig. 17은 Trade off chart로 반응 표면을 기반으로 생성된 실험점으로부터 Pareto front를 보여준다.

Table 6은 최적화 최종 결과를 나타낸 표이다. 임의의 여러 실험점 중에서 가장 효율적인 출력변수 3가지를 도출한 결과를 나타내고 있다. 3가지의 결과 중에서 Design A의 최대토크가 1.62 N·m로 변수들 중에서 최솟값을 나타내었는데, 이는 기본 밸브의 토크 최댓값인 4.26N·m에 비하여 62% 감소하였음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 다양한 산업현장에서 사용되는 산업용 볼밸브의 유동-구조 연성해석, 토크의 측정 및 수치적 해석을 실시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

볼밸브의 유동해석을 통해 밸브의 개폐각도가 증가함에 따라 유입되는 유체의 속도가 감소하는 경향을 보였으며, 와류구간이 증가함을 확인하였다. 볼밸브의 유동-구조해석 결과 구조적 안정성 정성은 확보하였으나, 장기간의 사용으로 인한 피로파손이 발생할 수 있는 가능성이 높기 때문에 피로해석이 추가로 수행되어야 한다고 판단된다.

산업용 볼밸브의 시트의 재료로 사용되는 재료인 PTFE, PEEK, Nylon6에 대하여 내마모성 실험을 실시한 결과, PTFE의 마찰계수가 가장 낮은 값을 나타내었지만, 다른 재료와 비교하여 마모량이 크기 때문에 높은 내구성을 필요로 하는 산업용 밸브의 시트 재료로는 부적합하다고 판단하였다. 또한 본 연구의 해석에 사용된 재료인 Nylon6의 평균 마찰계수는 0.15로 측정되었다.

압축하중 토크해석 및 개폐 토크해석은 측정결과와 비교하여 오차율이 각각 8%, 12.78%로 해석의 신뢰도가 높다고 판단된다. 가장 효율적이라고 판단되는 3개의 케이스에서 모두 토크 값을 감소하였는데, 최적화 Design A(UL : 2.35mm, SC : 0.24mm, CC : 3.29mm)에서 토크가 62%감소하여

가장 효율적인 디자인이라고 판단된다.

본 연구를 통해 볼밸브에서 시트링이 받는 하중 및 개폐토크 감소 최적 설계 형상을 제시를 통하여 설계방안이 정립되었으며, 측정값과 해석 값의 비교를 통한 신뢰도 높은 토크해석 방법을 제시하였다.

#### 후 기

“이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0030058).”

#### REFERENCES

- (1) Bruckent, F. W., “Using Ball Valves in Control Applications,” Hydrocarbon Processing, 2002
- (2) Ryu, C. U., Park, J. H., Park, H. W., Lim, J. I. and Kim, J. R., "The Evaluation on Structural Safety of Ball Valve use in Cryogenic Environment," 2008 spring conference Proceeding of the KSME, pp. 414~419, 2008
- (3) H. Y. Song, K. A. Park, S. Ko., "Performance Analysis of Emergency Shut-Off Safety Valve," Proceedings of KFMA 2001 Conference, pp. 413~418, 2001
- (4) Kazuhiko Ogawa, Takeyoshi Kimura, "Hydrodynamic characteristics of a butterfly valve-Prediction of torque characteristics", ISA Transactions 34, pp. 327~333, 1995
- (5) H. M. Chae, C. N. Kim., "A numerical study with FSI mode on the characteristics of pressure fluctuation and discharge valve motion in rotary compressors with single and dual muffler", International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Volume 11, Issue 4, pp. 589~596, 2010
- (6) David Burreis. and Brian Holtkanmp., "Finite element analysis and experiments of metal/metal wear in oscillatory contacts," Wear, No. 258, pp.1787-1793, 2005