

# 작동 토크를 평가 함수로 하는 사중편심 버터플라이밸브 설계 파라미터 민감도 분석

이동명\* · 김수영\*

\*부산대학교 조선해양공학과

## Sensitivity Analysis of Design Parameters for Quadruple Offset Butterfly Valve by Operating Torque

Dong-Myung Lee\*, Soo-Young Kim\*

\*Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

**KEY WORDS:** Quadruple Offset 사중편심, Butterfly Valve 버터플라이밸브, Valve Seat 밸브 시트, Sensitivity analysis 민감도 분석

**ABSTRACT:** Because of industrial development, industrial facilities are becoming more complex and diversified. Plant industries are focused on productivity improvement, cost reduction, and product uniformity by simplifying production processes using automated control. Furthermore, plant industries require higher pressures and temperatures to improve energy efficiency. For this reason, the valves used in plants are operated under harsh conditions. Globe valves and gate valves are mainly used for high pressure these days. However, these valves have various problems, including low maintainability and high cost, due to structural problems. Therefore, butterfly and ball valve applications are increasing in industrial plants. This paper suggests a quadruple-offset butterfly valve that is applicable to bi-direction use, and the principle design parameters are suggested. The selected design parameters are an eccentric flange center line and shaft centerline(Offset 1), an eccentric seat centerline and disc shaft centerline(Offset 2), the angle between the flange centerline and seat wedge angle(Offset 3), the angle between the vertical direction of the disc shaft centerline and seat centerline(Offset 4), and the seat engagement angle. To analyze the interaction effect of the design parameters, ANOM and ANOVA were performed with an orthogonal array. The parameters were found to have effects in the following order: Offset 2, Offset 1, engagement angle, Offset 3, and Offset 4. The interaction between the parameters was insignificant.

### 1. 서 론

산업의 발달에 따라 산업 시설은 더욱 복잡해지고, 다양화 되고 있다. 이에 따른 플랜트 산업 역시 에너지 효율을 높임과 동시에 자동제어를 통한 공정 단순화를 통하여, 생산성의 향상과 더불어 생산 원가의 절감, 제품의 균일성을 유지·관리하는데 중점을 두고 있는 추세이다.

플랜트를 포함한 모든 생산 설비에 사용되는 장치와 장비에는 물질, 에너지, 정보의 공급이 있어야 하며, 특히 물질과 에너지 공급의 주된 통로는 파이프를 이루어지며, 이들 파이프의 기능은 밸브로 조절된다. 담수화 플랜트, 화학 플랜트, 원자력 및 화력 발전소와 공업 단지 내에 구성되어 있는 냉각 시스템, 그리고 앞서 언급한 시스템과 비교하여 상대적으로 작은 시스템이긴 하지만 다양한 플랜트 시스템이 포함된 선박과 같은 시스템에도 다양한 유체를 수송하기 위한 파이프라인은 필수적이

다. 이러한 플랜트 및 생산 설비의 대형화로 인해 관련 시스템의 설계 요구 조건(온도, 압력, 유량 등)은 더욱 가혹한 조건으로 되어가고 있는 실정이다.

현재 주로 사용되고 있는 고압용 밸브는 글로브 밸브 또는 게이트 밸브를 주로 사용하고 있으나, 이들 밸브의 구조적인 문제점으로 기인하는 낮은 유지보수성과 높은 단가 등의 다양한 문제점들이 제기되면서 점점 버터플라이 형이나 볼 밸브의 사용이 증가추세에 있다(Kim and Kim, 2007; Jung and Kim, 2007). 하지만 현재 주로 개발되어 사용되는 버터플라이 밸브는 주로 ANSI B 16.34 Class 150 ~ 300내외의 저압용으로 개발되어 사용되고 있다. 이는 디스크(Disc)의 변형, 시트(Seat)의 탈착, 역방향 사용시 문제 등의 구조적인 문제점으로 인해 고압과 같이 넓은 범위에서의 사용은 미미하다.

지금까지 버터플라이밸브에 대한 연구들은 주로 밸브의 손실 계수, 토크 특성, 유량 제어 특성 등을 고려한 수치 해석적 연구

Received 21 October 2013, revised 10 February 2014, accepted 2 April 2014

Corresponding author Dong-Myung Lee: +82-51-510-2754, rockstone@pusan.ac.kr

© 2014, The Korean Society of Ocean Engineers

(Lee et al., 2002)와 밸브의 구조적인 안전성을 고려한 연구 (Park et al., 2006)가 수행되어왔다. 그리고 중심형 버터플라이 밸브에 대하여 유동특성과 구조적 안정성을 확보하기 위하여 구조해석과 유동해석을 수행하여 밸브의 특성을 평가하였고, 직교배열표(Orthogonal array)를 이용하여 디스크의 최적설계를 수행하였다(Park et al., 2005). 이들 버터플라이 밸브에 대한 연구는 주로 중심형 버터플라이 밸브에 대해 수행하였다. 하지만 고압용 밸브의 경우, 이러한 중심형 버터플라이밸브는 구조적인 문제점으로 인해 편심형 버터플라이 밸브가 주로 사용된다. 따라서 본 연구에서는 고압에서 양방향 사용이 가능한 사중 편심형 버터플라이 밸브에 대한 형상을 제안하고, 사중편심형 버터플라이 밸브의 설계 시 고려해야 할 설계 파라미터를 선정하였다. 이렇게 선정된 설계 파라미터에 대한 분석을 위해 직교 배열표를 구성하고 이에 따른 직교 배열 실험을 수행하고 밸브의 시팅 토크(Seating torque)에 대해 분산분석을 실시하여 설계 파라미터의 특성을 분석하였다.

## 2. 사중편심형 버터플라이 밸브

버터플라이밸브의 형식은 시트 구조에 따라 디스크와 디스크 구동축이 밸브 몸체의 중심과 일치하는 중심형(Concentric)구조와 구동축이 편심되어 있는 편심형(Offset)구조로 구분할 수 있다. 시트 구조에 따른 편심형 구조의 경우에는 이중 편심(Double offset), 삼중 편심(Triple offset)으로 구별된다. 이들 구조에 따른 작동 토크(Operating torque) 운전 특성은 밸브와 배관에 의해 발생하는 차압의 정도에 따라서 크게 차이가 난다. 하지만 운용하는 과정에서 가장 크게 작용하는 토크는 시팅 토크다. 시팅 토크는 닫힌 밸브를 열기 시작할 때와 디스크와 시트가 분리되는데 필요한 토크다. 일반적으로 이러한 시팅 토크는 디스크가 닫힐 경우에 더욱 크게 작용하게 된다. 따라서 밸브의 구동부를 선정하는데 있어 가장 중요한 요소는 시팅 토크를 줄이는 것이다. 밸브에서 보이는 다양한 형태의 시트 형상은 이러한 시팅 토크의 저감을 위한 중요한 대응 결과라 할 수 있다. Fig. 1은 시트 형상에 따른 시팅 토크를 비교한 그래프이다 (Tomoe Valve Co. Ltd., 2011). 이중 편심형에 비해 삼중 편심형의 시팅 토크가 매우 작은 것을 확인할 수 있다. 이는 시트

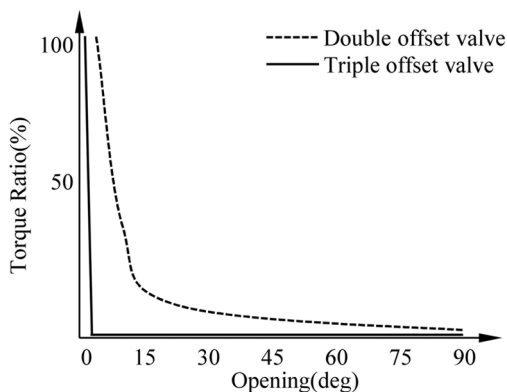


Fig. 1 Seating torque characteristics of butterfly valve

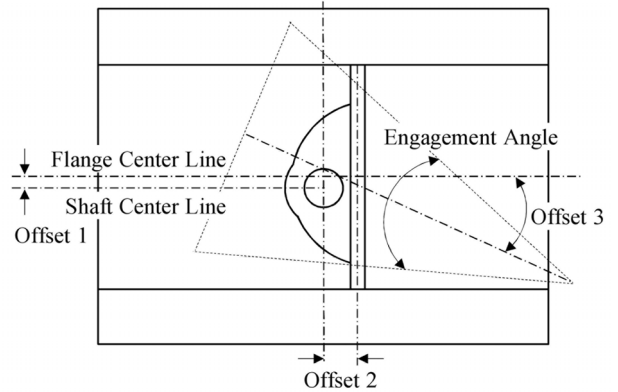


Fig. 2 Triple offset butterfly valve

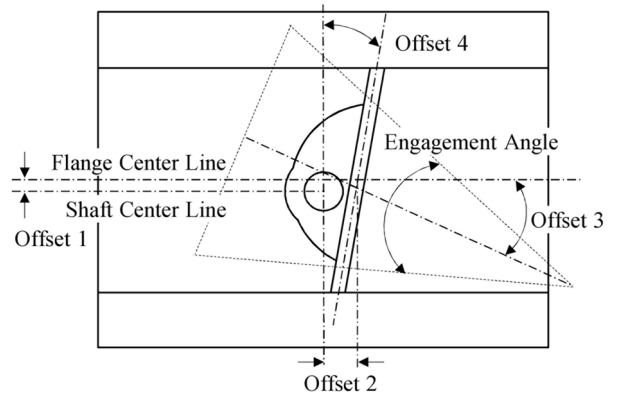


Fig. 3 Quadruple offset butterfly valve

형상에 의해 시트의 접촉면이 면접촉에서 선접촉의 형태로 변경되면서 발생하는 것이다.

이러한 삼중 편심형 버터플라이 밸브의 경우 앞서 언급한 바와 같이 시트의 접촉형태가 선접촉에 의해 시트의 누설을 막는 형태로 되어 있어 역방향 사용 시 취약점을 보인다. Fig. 2에서 시트 간섭각도(Engagement Angle)가 크면 역방향 사용시 누수가 발생할 가능성이 높으며, 시트 간섭각도가 작으면 작동 토크가 증가하며, 시트의 내구성이 떨어지게 된다. 본 연구에서는 삼중 편심형 버터플라이밸브의 장점을 유지함과 동시에 역방향 사용의 취약점을 보완하기 위해 Fig. 3과 같이 시트에 편심을 주어 사용방향과 상관없이 디스크가 항상 닫히는 방향으로 작동하도록 하는 사중편심형 버터플라이밸브의 형상을 제안한다.

## 3. 직교배열과 분산분석을 이용한 설계 파라미터 분석

### 3.1 직교배열과 분산분석

직교배열은 설계 파라미터 수준(Level)들의 모든 조합에서 실험을 실시하는 완전요인실험(Full factorial design) 대신에 불필요한 교호작용(Interaction)을 구하지 않고 설계파라미터의 수준 조합들 중에서 일부에 대해서만 실시하는 일부실험(Fractional factorial design)의 하나이다. 일부실험 중에서 몇 가지 설계 파

라미터들을 동시에 연구하기 위하여 여러 가지 형태의 행렬 실험 (Matrix experiment)이 사용되는데 이는 설계 대상의 다양한 설계 파라미터들의 값을 변화시켜 가면서 행하는 일련의 실험들로 구성 된다(Phadke, 1992). 따라서 설계 파라미터들의 교호 작용을 무시 할 수 있는 경우에는 최소한의 실험으로 설계 파라미터들의 모든 설계 조건에 대한 실험값을 예측할 수 있다. 다구치가 정의한 직교 배열의 표기방법은 일반적으로 식 (1)로 표기한다(Park, 2007).

$$L_N \left( \prod_{i=1}^n s_i^{k_i} \right) \quad (1)$$

여기서,  $N$ 은 직교배열의 행의 수,  $n$ 은 설계 파라미터의 개수,  $S_i$ 는 수준의 수,  $K_i$ 는 수준의 수가  $S_i$ 인 설계 파라미터의 개수이다.

실험 결과로 얻어진 결과의 분석 방법에는 평균분석(Analysis of mean, ANOM)과 분산 분석(Analysis of variance, ANOVA)이 사용된다. 평균분석은 전체 특성치 평균으로부터 그 설계파라미터의 수준에서의 특성치 평균의 편차로 정의되는 수준 효과를 추정하는 분석방법으로, 설계파라미터들의 최적 수준을 선정하는데 적용된다(Phadke, 1992). 분산분석은 특성치의 산포를 제곱합(Sum of squares, SS)으로 나타내고 이 제곱합을 실험과 관련된 요인들의 제곱합으로 분해하여 오차에 비해 특히 큰 영향을 주는 요인들을 찾아내는 분석방법이다. 총제곱합은 (Total sum of squares,  $SS_T$ ) 식 (2)와 같이 나타낼 수 있으며, 평균제곱합 (Sums of squares due to the Mean,  $SS_m$ )과 오차제곱합(Error sums of squares,  $SS_e$ )의 합으로 나타낼 수 있다. 평균 제곱합은 식 (3)과 같이 표현되며, 오차제곱합은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$SS_T = \sum_{i=1}^N y_i^2 = SS_m + SS_e \quad (2)$$

$$SS_m = \frac{T^2}{N} \quad (3)$$

$$SS_e = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{T})^2 \quad (4)$$

여기서  $i$ 는 직교배열 실험번호,  $N$ 은 전체 실험 횟수,  $Y_i$ 는  $i$  번째 특성치(실험 값),  $T$ 는 특성치의 합, 그리고  $\bar{T}$ 는 특성치의 평균이다.

이들 데이터를 기반으로 설계 파라미터의 기여도를 계산할 수 있다. 식 (5)와 같이 총제곱합에 대한 각 설계 파라미터 제곱합 성분의 백분율로 전체 특성치 산포에 대한 해당 설계 파라미터의 기여도(Percentage contribution,  $\rho$ )를 나타내는 방법과, 식 (6)과 같이 설계 파라미터의 제곱평균(Mean of squares, MS)과 오차 제곱평균(Error mean of squares,  $MS_e$ )의 비로 정의되는  $F$ 값( $F$ value)은 오차에 대한 해당 설계 파라미터의 중요도를 표시한다. 분산분석에서  $\rho$ 값과  $F$ 값이 상대적으로 크게 나타나는 설계 파라미터는 수준 변동에 의한 특성치의 영향이 큰 유의인자(Significant factor)로 평가할 수 있다.

$$\rho = \frac{SS}{SS_T} \times 100 \quad (5)$$

$$F = \frac{MS}{MS_e} \quad (6)$$

여기서  $MS$ 는  $SS$ 를 자유도(Degree of freedom,  $DOF$ )로 나눈 값이며,  $MS_e$ 는  $SS_e$ 를 자유도로 나눈 값이다.

### 3.2 교호 작용

교호 작용이란 2 개 이상의 설계 파라미터의 특정한 수준의 조합에서 일어나는 효과를 교호작용이라 부른다. 즉 설계 파라미터들이 독립적으로 반응에 영향을 미치지 않고, 서로 종속적으로 영향을 주는 것을 말한다(Phadke, 1992; Yoon, 2007). 예를 들면, 설계 파라미터  $A$ 의 효과가 설계 파라미터  $B$ 의 수준의 변화에 따라 변화하는 경우에 설계 파라미터  $A, B$  사이에 교호작용  $A \times B$ 가 존재한다고 볼 수 있다. 시스템의 응답 특성치( $\eta$ )를  $A_i$ 와  $B_j$ 의 함수로 볼 때,  $\eta = f(A_i, B_j)$ 로 표현할 수 있다. 이 때 모든  $i, j$ 에 대하여 임의의 함수  $g, h$ 가 존재하여 식 (7)과 같이 표현되면,  $A, B$  사이에 교호작용은 존재하지 않는다. 즉, 응답과 인자 수준과의 관계를 근사적으로 나타내기 위해서 필요한 가법 모델(Additive model)의 성립을 의미한다. 하지만 식 (7)이 성립하지 않으면 교호작용이 있다고 말한다.

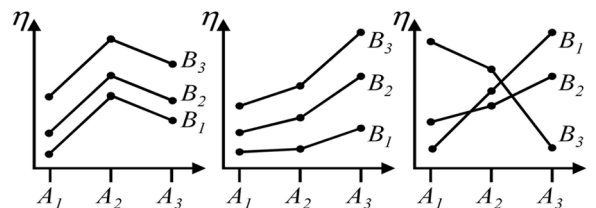
$$\eta = f(A_i, B_j) = h(A_i) + g(B_j) \quad (7)$$

Fig. 4(a)는 인자  $A, B$  사이의 교호 작용이 없는 경우를 보여주고 있으며, 식 (7)와 같은 가법모델이 완벽하게 일치하는 모델이 된다(Phadke, 1992). Fig. 4(b)는 동향적 교호작용(Synergistic Interaction)으로 각 선들이 평행하지는 않지만  $\eta$ 의 변화 방향은 일치하며, 이 경우, 가법 모델로부터 찾아낸 최적 수준은 타당성을 갖는다. 반면에 Fig. 4(c)는 반향적 교호작용(Antisynergistic Interaction)으로 선들이 평행하지 않을 뿐 아니라  $\eta$ 의 변화 방향도 일관성이 없다. 이 경우는 가법 모델의 적용으로 최적 조건을 잘못 판단할 수 있다. 그러므로 교호 작용  $A \times B$ 가 유의한 경우에는 수준 조합  $A_i B_j$ 에서 모평균을 추정하는 것이 실제로 의미가 크다고 볼 수 있다.

## 4. 교호작용을 고려한

### 사중편심 버터플라이밸브 설계 파라미터 분석

본 연구에서 제안한 사중편심형 버터플라이밸브에 대한 설계 파라미터와 시팅 토크의 관계를 직교배열과 분산분석을 통해



(a) No Interaction (b) Synergistic Interaction (c) Antisynergistic Interaction

Fig. 4 Examples of interaction

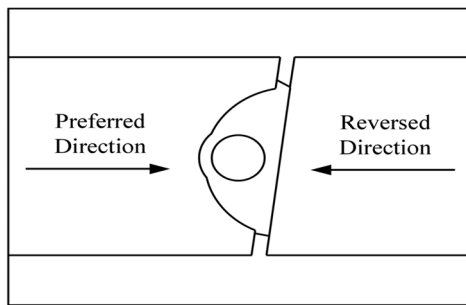


Fig. 5 Valve operating direction

분석하고자 한다. 이를 위해 유한요소해석을 통해 정방향과 역방향에 대해 디스크 축(Shaft)에 작용하는 토크를 계산하였다. Fig. 5는 압력의 방향에 대한 정의를 나타낸 그림으로, 본 연구에서는 디스크 축이 있는 좌측에서 우측으로 유체가 흐르는 방향을 정방향으로 정의하였다.

본 연구에서는 DN400의 사중편심 버터플라이 밸브에 대해 시팅 토크를 계산하기 위해 ANSYS Workbench V14.0을 사용하여 구조해석을 실시하였다. Fig. 7과 같이 경계 조건을 설정하여 밸브의 시트에 작용하는 토크 값을 계산하였다. 시트 토크 값은 디스크의 시트부와 밸브 몸체의 시트부의 접촉부에서 발생하는 밸브 축 방향(Z 축)반력 모멘트를 시트 토크 값으로 사용하였다. 밸브의 양단에 완전구속을 적용하였으며, ASME B16.34 (ASME, 2004)의 조건에 따라 밸브의 내부에 Class 900에 해당하는 16.85MPa의 압력이 작용하는 것으로 가정하였다. 밸브 몸체와 디스크의 재료는 ASTM A216 WCB이며 디스크 축은 ASTM A479 T410을 적용하였다. 유한요소의 형태(Finite element Type)는 사면체 요소(Tetra element)와 육면체 요소(Hexa element)를 사용하였으며, Fig. 6은 해석 모델의 절반을 나타낸 그림이며, 유한요소 모델링에서 정점(Node) 수는 111,409개, 요소(Element) 수는 62,386개로 해석을 수행하였다. Contact 조건은 Fig. 8과 같이 밸브의 디스크와 밸브 몸체의 시트부는 “No Separation” 조건을 설정하였으며, 밸브 몸체와 Stem, 밸브 디스크와 Stem은 “Bonded” 조건으로 설정하였다.

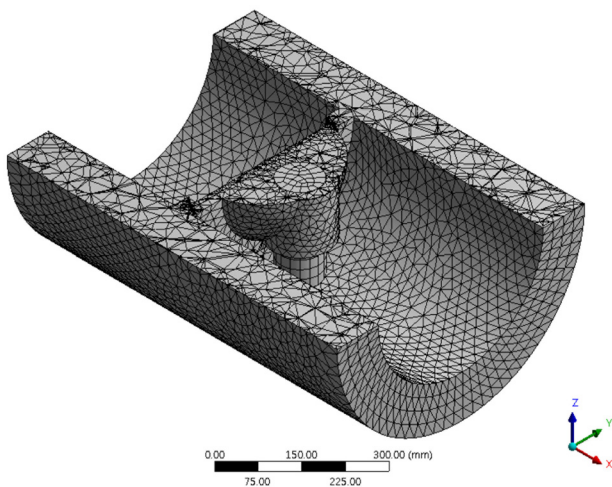
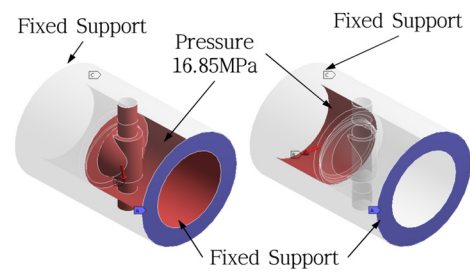
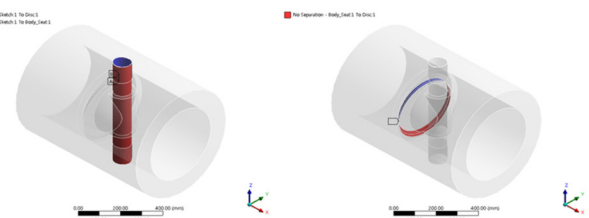


Fig. 6 Finite element model



(a) Preferred Direction (b) Reversed Direction  
Fig. 7 Boundary condition for structural analysis



(a) Bonded (b) No Separation  
Fig. 8 Contact condition for structural analysis

Table 1 Material properties

Material	A216 WCB	A479 T410
Density (kg/m <sup>3</sup> )	7,820	7,800
Young's modulus (GPa)	200	200
Poisson ratio	0.29	0.24
Yield strength (MPa)	250	585
Tensile strength (MPa)	485	760

4.1 사중편심형 버터플라이밸브의 설계 파라미터의 설정

본 연구에서 제안한 사중편심형 버터플라이밸브의 설계 파라미터로 Fig. 6과 같이 5개의 주요 설계 파라미터를 선정하였다. 주요 설계 파라미터는 면간 중심선(Flange center line)과 디스크 축 중심선(Shaft center line)의 편심(Offset 1), 시트 중심선(Seat center line)과 디스크 축 중심선의 편심(Offset 2), 면간 중

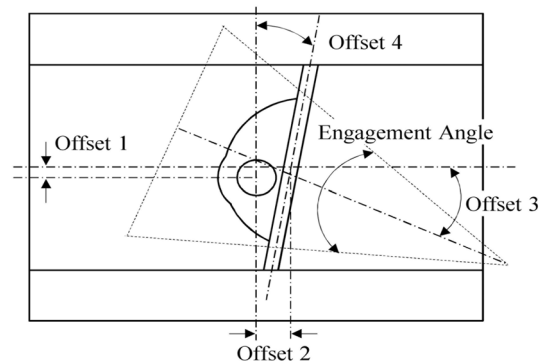


Fig. 9 Quadruple offset butterfly valve design parameters

**Table 2** Design parameters and levels

Design parameters			Level		
Symbol	Description	Unit	1	2	3
A	Offset 1	mm	45	47.5	50
B	Offset 2	mm	4	7	10
C	Offset 3	Deg	12	15	18
D	Offset 4	Deg	1	4	7
E	Engagement angle	Deg	4	7	10

심선과 시트 췌기 각도(Offset 3), 수직 방향의 디스크 중심선과 시트 중심선의 각도(Offset 4) 그리고 시트 간섭각도(Engagement angle)이다.

설계 파라미터를 2 수준으로 설정하는 경우는 보통 선형효과를 파악하는 경우에 주로 사용하며, 3수준은 비선형성, 즉 곡률효과와 큰 값과 작은 값으로 이루어진 구간을 탐색하는데 용이하다 (Park et. al, 2007). 본 연구에서는 각 설계 파라미터의 비선형성을 고려하기 위해 설계 파라미터의 수준은 3 수준으로 설정하였다. Table 2은 각 설계 파라미터별 수준을 나타낸 표이며, 이들 설계 파라미터는 물리적 간섭이 발생하지않는 최대최소 범위를 결정하고 이를 토대로 각 설계 파라미터의 수준을 결정하였다.

**4.2 설계 파라미터 분석을 위한 직교 배열**

본 연구에서는 Table 1에 정의된 5개의 3수준 설계 파라미터들을 최소의 실험횟수로 추정하기 위해 직교배열  $L_{27}(3^5)$ 을 선택하였다. Table 2에 5개의 설계 파라미터 가운데 시팅 토크에 많은 영향을 주는 설계 파라미터로 알려진 A와 B 파라미터를 제외한 C, D, E의 교호 작용을 고려하여 직교 배열표를 구성하고, 구조해석을 수행한 결과를 나타내었다.

**4.3 분산 분석**

Table 3은 직교배열 실험에서 계산된 토크로부터 설계파라미터들의 수준별 평균을 계산한 평균분석의 결과이다. 평균분석에서 수준별 평균의 최대차이( $\Delta$ )가 크게 나타나는 B, A, E, C, D 순서로 수준 변화에 따라 토크에 대한 영향력이 큰 것으로 평가되었으며, 특히 설계 파라미터 A, B의 영향력이 매우 크게 나타났다. Fig. 8은 설계파라미터들의 수준별 평균 토크를 그래프로 표시한 것이다. Table 3에서 시팅 토크에 대한 영향력이 크게 나타난 설계파라미터 A, B의 경우에 수준변화에 따른 기울기가 크음을 알 수 있다.

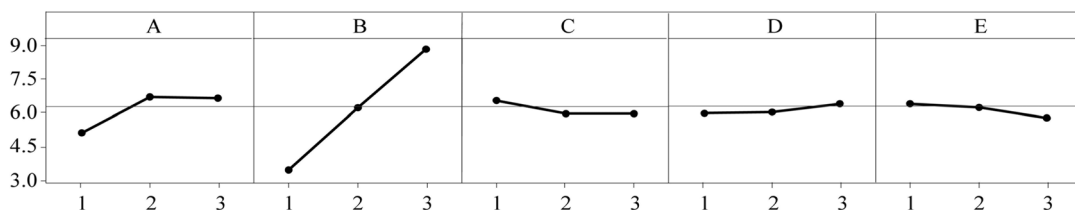
시팅 토크에 대한 유의인자를 보다 엄밀한 수치적 계산에 의

**Table 3** Orthogonal array design and the experimental results

Run	A	B	C	D	E	Response (kN·m)	
						Preferred direction	Reversed direction
1	1	1	1	1	1	1.08	2.62
2	1	1	1	1	2	3.78	3.71
3	1	1	1	1	3	3.52	3.48
4	1	2	2	2	1	7.48	7.30
5	1	2	2	2	2	6.87	6.66
6	1	2	2	2	3	6.32	6.13
7	1	3	3	3	1	10.35	10.07
8	1	3	3	3	2	9.51	9.21
9	1	3	3	3	3	8.76	8.52
10	2	1	2	3	1	3.85	5.20
11	2	1	2	3	2	3.87	5.44
12	2	1	2	3	3	6.39	6.29
13	2	2	3	1	1	10.22	9.91
14	2	2	3	1	2	9.37	9.09
15	2	2	3	1	3	11.04	10.56
16	2	3	1	2	1	3.99	3.88
17	2	3	1	2	2	3.69	3.59
18	2	3	1	2	3	4.25	4.08
19	3	1	3	2	1	6.51	8.09
20	3	1	3	2	2	5.59	7.72
21	3	1	3	2	3	8.88	8.75
22	3	2	1	3	1	3.61	3.56
23	3	2	1	3	2	4.06	3.96
24	3	2	1	3	3	3.74	3.62
25	3	3	2	1	1	6.76	6.55
26	3	3	2	1	2	7.77	7.47
27	3	3	2	1	3	7.07	6.70

**Table 4** Mean effect response table

Factor \ Level	A	B	C	D	E
1	5.264	3.568	6.706	6.168	6.56
2	6.862	6.339	6.098	6.187	6.42
3	6.79	9.009	6.111	6.561	5.936
$\Delta$ (=Max - Min)	1.598	5.441	0.608	0.393	0.623
Rank	2	1	4	5	3



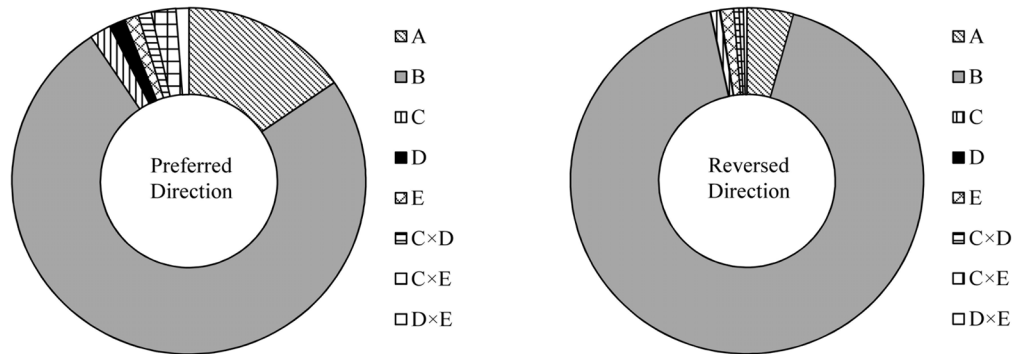
**Fig. 10** Mean effect response graph

**Table 5** ANOVA table for preferred direction experimental results

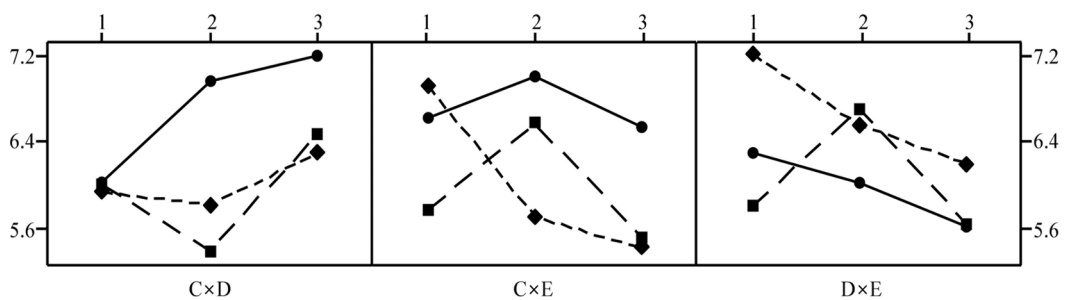
Source	DOF	SS	MS	F value	Percentage contribution(%)
A	2	26.677	13.339	8.12	14.8
B	2	130.701	65.351	39.8	72.5
C	2	3.405	1.702	1.04	1.9
D	2	2.51	1.255	0.76	1.4
E	2	2.283	1.141	0.7	1.3
C×D	4	2.069	0.517	0.31	1.1
C×E	4	3.892	0.973	0.59	2.2
D×E	4	2.053	0.513	0.31	1.1
Error	4	6.569	1.642		
Total	26	180.159			100.0

**Table 6** ANOVA table for reversed direction experimental results

Source	DOF	SS	MS	F value	Percentage contribution(%)
A	2	3.1129	6.09	6.2258	4.2
B	2	67.9165	132.8	135.833	92.4
C	2	0.6152	1.2	1.2304	0.8
D	2	0.0484	0.09	0.0968	0.1
E	2	0.8851	1.73	1.7701	1.2
C×D	4	0.1808	0.35	0.7232	0.5
C×E	4	0.1459	0.29	0.5837	0.4
D×E	4	0.1244	0.24	0.4975	0.3
Error	4	0.5114		2.0456	
Total	26			146.9605	100.0



**Fig. 11** Contribution of factors



**Fig. 12** Interaction plot for preferred direction

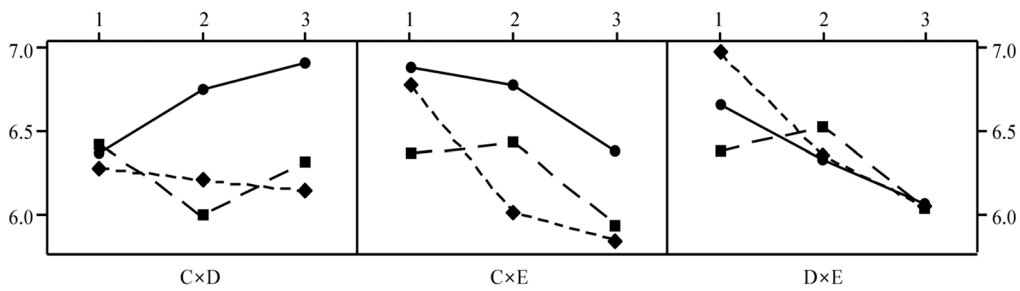


Fig. 13 Interaction plot for reversed direction

해 결정하기 위해서 분산분석을 실시하였다. Table 4, Table 5는 직교 배열 실험에서 얻어진 시팅 토크에 대한 데이터로부터 설계파라미터들의 분산분석 결과이다. 분석 결과, F값과 제공합의 기여율이 크게 나타난 설계파라미터 A, B를 시팅 토크에 미치는 영향이 큰 유의인자로 판정하였다. 분산분석에 의한 유의인자 판단 결과는 평균분석의 결과 Table 3과 Fig. 8의 결과와 일치하는 것으로 나타났다. 시트의 형상을 나타내는 설계 파라미터인 C, D, E의 영향은 설계 파라미터 A, B에 비해 미미한 것으로 나타났으며, 이들 설계 파라미터 사이의 교호 작용 역시 미미한 것으로 나타났다. Fig. 9는 작동 방향에 따른 설계파라미터의 기여도를 나타낸 그래프이다. Fig. 10, Fig. 11은 작동 방향에 따른 설계파라미터 C, D, E의 교호작용을 나타낸 그래프로 설계 파라미터 사이의 교호 작용에 따른 효과가 일관적이지 않음을 알 수 있다.

### 5. 결 론

본 연구를 통해 수행한 연구내용과 결론은 다음과 같다.

- (1) 삼중 편심형 버터플라이밸브의 장점을 유지함과 동시에 역방향 사용의 취약점을 보완하기 위해 시트에 편심을 주어 사용방향과 상관없이 디스크가 항상 닫히는 방향으로 작동하도록 하는 사중편심형 버터플라이밸브의 형상을 제안하였다.
- (2) 사중편심형 버터플라이밸브의 설계 시 고려해야할 주요 설계 파라미터를 선정하였다.
- (3) 직교 배열과 분산분석을 통해 사중 편심형 설계 파라미터의 관계를 분석하였고, 그 결과 디스크 중심축의 편심으로 설정된 Offset 1, Offset 2가 주요 인자로 확인되었다. 시트의 형상을 나타내기 위한 설계 파라미터인 시트 췌기의 기울기인 Offset 3, 시트의 경사각도인 Offset 4, 시트 췌기의 각도인 시트 간섭각도의 영향은 미미한 것으로 나타났으며, 이들 설계 파라미터 사이의 교호작용 역시 미미한 것으로 나타났다.
- (4) 직교 배열과 분산분석을 통해 사중편심형 버터플라이밸브의 설계시 고려해야할 설계 파라미터의 중요도를 분석하고, 최적의 시팅 토크를 가지는 사중편심형 버터플라이밸브의 설계를 위한 설계 지침이 될 수 있을 것으로 기대 된다.
- (5) 향후 본 연구에서 제안한 결과를 바탕으로 관련 실험의 수행을 통해 연구의 타당성을 검증할 필요가 있다.

### 후 기

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

### References

The American Society of Mechanical Engineers (ASME), 2004. ASME B16.34. Three Park Avenue New York NY10016.

Jung, H.S., Kim, Y.H., 2007. Miniature Cryogenic Globe Valve Using Finite Element Study on the Design of the Structure. Journal of the Korean Society of Marine Engineers, 52, 145-152.

Kim, D.G. and Kim, J.H., 2007. LNG Analysis of Marine Globe Valve. Journal of the Korean Society of Marine Engineers, 52, 129-136.

Lee J.U., Lee D.H., Choi Y.H., 2002. Numerical Analysis of Incompressible and Compressible Flow Around a Butterfly Valve. Journal of Energy Engineering, 11(1), 26-33.

Park G.J., 2007. Analytic Methods for Design Practice. Springer, 325-340.

Park Y.C., Choi J.S., Kang J., 2005. A Optimization of Butterfly Valve using the Characteristic Function. Journal of Ocean Engineering and Technology, 19(3), 59-65.

Park Y.C., Kang J.H., Lee J.M., Kang, J., 2006. Optimization of Butterfly Valve's Disc Using the DACE Model Based on CAE. Journal of Ocean Engineering and Technology, 20(3), 96-102.

Phadke, M.S., 1992. Quality Engineering Using Robust Design. AT&T Bell Laboratories, 41.

Tomoe Valve Co., Ltd., 2011. General Catalog Valves & Actuator Selection Guide. [online] Available at: <[http://www.tomoevalve.com/english/digital\\_catalog/pdf/general\\_catalogue.pdf](http://www.tomoevalve.com/english/digital_catalog/pdf/general_catalogue.pdf)> [Accessed 01 Jan. 2014]

Yoon S.W., 2007. 6-Sigma Quality Innovation using Minitab. FreedomAcademy, 382.