

위상최적설계 기법을 이용한 이중편심 버터플라이 밸브의 디스크에 대한 형상설계

양 설 민, 백 석 흠, 강 상 모*

동아대학교 기계공학과

SHAPE DESIGN FOR DISC OF A DOUBLE-ECCENTRIC BUTTERFLY VALVE USING THE TOPOLOGY OPTIMIZATION TECHNIQUE

S.M. Yang, S.H. Baek and S. Kang*

Dept. of Mechanical Engineering, Dong-A Univ.

In this paper, the shape design process is briefly discussed emphasizing the use of topology optimization in the conceptual design stage. The basic idea is to view feasible domains for sensitivity region concepts. In this method, the main process consists of two steps: as the design moves further inside the feasible domain using Taguchi method, and thus becoming more successful topology optimization, the sensitivity region becomes larger. In designing a double-eccentric butterfly valve, related to hydrodynamic performance and disc structure, are discussed where the use of topology optimization has proven to dramatically improve an existing design and significantly decrease the development time of a shape design. CFD analysis results demonstrate the validity of this approach.

Key Words : 이중편심 버터플라이 밸브(double-eccentric butterfly valve), 개념설계(conceptual design), 분산분석(analysis of variance), 위상최적설계(topology optimization)

1. 서 론

버터플라이 밸브(butterfly valve)는 게이트 밸브, 볼 밸브, 글로브 밸브보다 중량이 가볍고 먼간 거리가 짧은 장점을 가진다. 최근에는 유류 및 가스플랜트, 정·취수장 설비, 발전 설비, 소방 설비 등 산업 및 선박용으로 널리 사용된다. 특히, 밸브 재료가 다양화됨에 따라 초저온 천연가스의 유량조절에서부터 핵 처리장치, 퍼지밸브 등의 특수용도에 이르기까지 폭넓게 사용되고 있다[1,2].

초기의 버터플라이 밸브는 디스크의 축 중심과 밸브 중심이 일치하는 동심 디스크 형태(concentric type disc)로 사용되었다. 그리고 밸브 시트 접촉으로 인한 마모를 최소화하기 위

해서 이중편심과 삼중편심 디스크 개발로 전개되었다. 대부분의 산업현장에서는 구조설계 관점에서 삼중편심 디스크보다 가공의 편의성과 형상설계가 용이한 이중편심 디스크를 주로 사용하고 있다.

일반적으로 밸브 디스크의 형상은 압력강하와 유체역학적 토크(hydrodynamic torque)에 중요한 영향을 끼친다. 그러므로 전산유체역학(CFD) 해석을 통해서 이러한 밸브의 유동특성을 정확하게 예측하면 시험비용과 시간은 잠재적으로 감소될 수 있다. 이러한 이유로 최근에는 버터플라이 밸브의 성능과 내구성 향상을 위한 최적설계 기법이 많이 적용되고 있다[3,4]. Danbon 등[1], 박주엽 등[5]은 버터플라이 밸브의 유체역학적 토크의 효율적인 계산을 위한 CFD 해석방법과 수학적 모델을 연구하였다. Song 등[6]은 버터플라이 밸브의 디스크 단면에 대한 위상최적설계로부터 디스크 형상을 결정하고 최적설계를 수행하였다. 이 분야의 주요 보고들은 대칭성을 가지는 동심 디스크 형태로, 정밀한 유동제어에 사용되는 편심형 버터플라이 밸브의 효율적인 설계 방법의 개발이 필요하다.

본 논문은 이중편심 버터플라이 밸브의 디스크에 대한 중

Received: December 21, 2011, Revised: March 12, 2012,

Accepted: March 16, 2012.

* Corresponding author, E-mail: kangsm@dau.ac.kr

DOI <http://dx.doi.org/10.6112/ksce.2012.17.1.061>

© KSCFE 2012

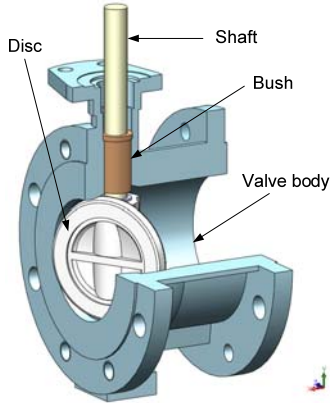


Fig. 1 Overall structure of a double-eccentric butterfly valve

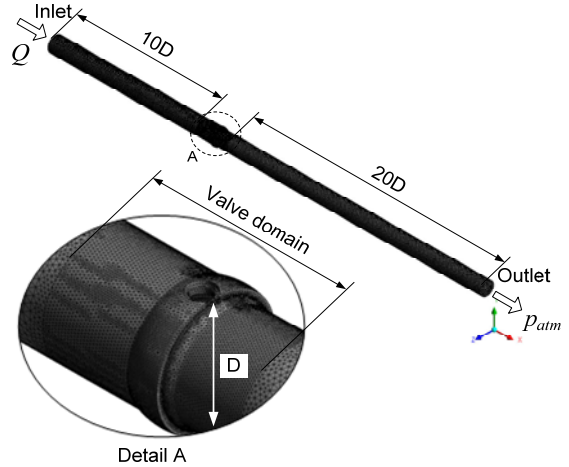


Fig. 2 Flow domain and the computational grid system

량 감소와 유동특성 향상을 위해 위상최적설계기법(topology optimization technique)[6-9]을 이용해서 형상설계 전략을 제안한다. 형상 설계는 2단계 과정으로 구성된다. 1단계는 유동특성과 중량 감소에 영향력이 있는 설계변수를 선정하고 설계 민감도 해석을 수행한다. 2단계는 디스크의 민감도 영역에 대해 균질화 방법(homogenization method)을 이용한 위상최적설계를 수행한다. 위상최적설계 결과는 밸브 디스크의 형상설계를 하기전 기초가 되는 레이아웃 결정에 사용된다. 버터플라이 밸브용 디스크의 최적 형상에 대해 제안된 형상설계 전략 방법의 효율성과 유효성을 설명하였다.

2. 유동모델 및 수치해석

2.1 밸브 디스크의 모델 설명

Fig. 1은 H사 제품으로 100A 규격의 이중편심 버터플라이 밸브 해석 모델을 나타낸 것이다. 주요 부품으로서 밸브 몸체 (valve body), 축(shaft), 디스크(disc)로 이루어져 있으며, 축 방향으로의 누설을 방지하기 위한 부시(bush)가 결합되어 있다. Table 1은 주요 제원을 나타낸 것이다.

Table 1 Main specifications of the double-eccentric butterfly valve

Type	Face to face : ISO 5752
Operation conditions	
Valve size	100A
Design pressure (kgf/cm ²)	10
Operating temperature (°C)	20
Operating fluid	Water
Material properties	
Body and disc	CF8M steel
Shaft and bush	SUS 316L

Fig. 2는 밸브 유동 해석에 대한 경계조건과 계산 격자를 나타낸 것이다. 유동 해석의 수렴 정도를 높이기 위해 입구 및 출구 영역을 각각 10D와 20D로 충분히 확장시켜 유입된 작동 유체가 완전 발달한 유동(fully developed flow)의 형태를 이루도록 하였다. 격자계는 격자생성 프로그램인 ANSYS CFX Mesh를 이용하여 사면체 및 프리즘 격자 형태를 혼용하여 생성하였다. 유동해석에 영향을 주지 않을 것으로 판단되는 범위 내에서 작은 모서리와 같은 부분을 단순화하고 디스크 주위에는 격자 밀도를 조밀하게 하였다. 요소 수는 밸브 영역이 약 230만개이고, 파이프 영역은 약 160만개이다.

2.2 수치해석 방법

밸브 내부에 발생하는 난류 유동을 해석을 위한 지배방정식은 연속방정식과 Navier-Stokes 방정식을 사용한다. 그리고 정확한 유동특성을 평가하기 위한 난류모델로는 SST(shear stress transportation) 모델[10-12]을 사용하였다. SST 모델은 두 난류 모델이 조합된 형태로서 벽면 근처에서는 k- ω 모델을 사용하고 바깥쪽(자유전단유동)은 k- ϵ 모델을 사용한다. 이는 경계층 안에서 계속되는 난류 운동에너지의 반동으로 인한 난류 전단응력을 강화시켜 난류 점성을 수정하고 강한유동의 역 압력 구배와 박리의 예측을 향상시킨다.

밸브 내부의 경계층은 복잡한 3차원 유동으로써 모든 벽에 동일한 수준으로 격자를 생성하는 것은 불가능하다. 따라서 벽 경계조건에서 격자 크기에도 민감하지 않게 해를 얻을 수 있도록 ANSYS CFX에서 지원하는 자동벽처리(automatic wall treatment)[10] 기법을 적용하였다.

CFD 해석조건에서 작동 유체는 상온의 물로 비압축성 유동으로 가정하였고 입구에서는 유량 조건(Q), 출구에서는 대

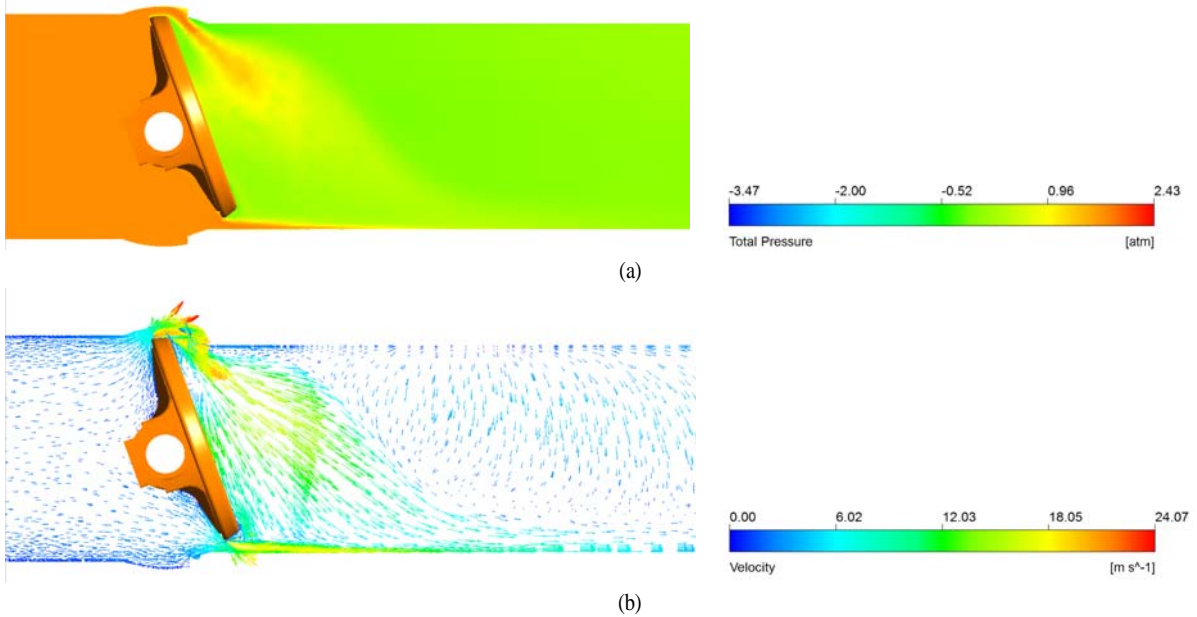


Fig. 3 CFD results of valve disc at 20° opening; (a) pressure, (b) velocity magnitude

기압(P_{atm})으로 설정하였다. 벽면에 대해서는 점착조건(no-slip condition)을 적용하였고 유량 제어를 위한 밸브 개폐 각도($20^\circ \sim 90^\circ$)중에서 압력 강하와 유체역학적 토크가 크게 발생할 것으로 예상되는 20° 개폐 각도에 대해서 해석을 수행하였다. 압력 강하는 밸브를 중심으로 전방 및 후방에 각각 2D, 6D 위치에서의 압력 평균값의 차이로 계산하였다. 유체역학적 토크는 밸브 축을 중심으로 디스크 면에서 계산하였다.

일반적으로 밸브로 유입되는 유동의 흐름은 디스크의 열림 각도에 의해 좁은 유동 영역을 통과하면서 압력 변화가 발생한다. 압력 변화는 밸브 입구로부터 유입된 동압이 밸브 디스크 영역에서는 정압, 디스크를 통과하면서는 다시 동압으로 에너지 변환 과정이 일어난다. Fig. 3은 초기 형상에 대해서 CFD 결과를 나타낸 것이다. 디스크를 지나는 유동에서는 디스크 형상에 의해 밸브 후류에서 부분적인 와류가 발생한다. 따라서 디스크 형상을 변경하여 이러한 와류를 줄이고 압력 강하 및 유체역학적 토크를 감소시키는 것이 요구된다.

3. 형상 설계 과정의 제안

본 논문에서 제안하는 형상설계과정의 초점은 설계공간의 정보를 잘 알지 못하는 경우에 유용설계영역을 먼저 선택하고 이 영역을 기초로 위상최적설계 기법을 이용해서 효율적인 형상설계를 수행하는 것이다. Fig. 4는 본 논문에서 제안하는 버터플라이 밸브 디스크에 대한 형상설계 과정의 순서를

나타낸다. 이 과정의 중요한 두가지 방법은 다구찌 실험계획 (Taguchi experimental design)[13, 14]과 위상최적설계 과정이다. 직교배열표(orthogonal array)를 이용하여 CFD 해석을 수행하고 디스크의 설계 민감도 해석을 수행한다. 설계 민감도 해석으로부터 유동특성의 향상과 중량 감소를 위한 디스크의 형상설계영역을 정의하고 위상최적설계로 얻은 밀도분포에 의해 디스크의 형상을 결정한다. 이하의 절은 CFD 결과를 기반으로 압력강하, 유체역학적 토크의 성능을 높이고 중량 감소를 위한 디스크 형상의 결정 과정을 상세히 설명한다.

3.1 유용설계영역의 결정

이중편심 버터플라이 밸브에 대한 유동특성(압력강하 및 유체역학적 토크)의 향상과 중량감소를 위해 가장 영향을 많이 끼치는 설계영역을 찾기 위해 다구찌 실험계획을 이용해서 설계민감도 평가를 수행하였다. 이 과정은 직교배열표, SN 비(signal-to-noise ratio: SN 비), 분산분석(analysis of variance)을 이용하여 설계영역과 설계 방향을 결정하는 정보를 얻는다. SN 비는 목적함수의 평균과 산포를 동시에 고려하는 척도로서 분산 예측 값에 대한 모평균 제곱의 비로 나타낸다. SN 비는 문제에 따라 망목(nominal the best), 망소(smaller the better), 망대(larger the better) 특성으로 정의된다. 본 논문의 버터플라이 밸브는 압력강하, 유체역학적 토크, 중량이 작을수록 좋은 망소 특성을 가지므로 SN 비는 다음의 식 (1)과 같이 정의된다[13].

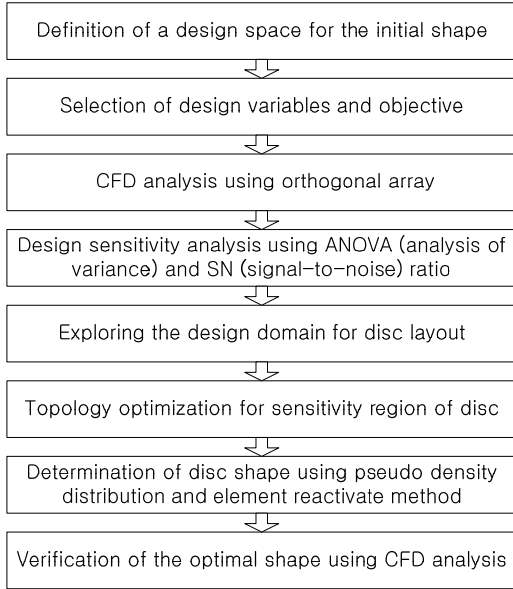


Fig. 4 Flowchart of the valve disc optimization procedure

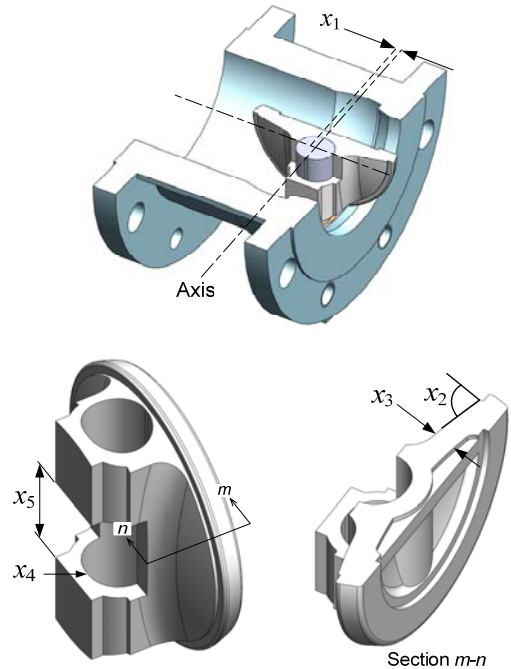


Fig. 5 Design variables of a double-eccentric butterfly valve

$$SN_{smaller} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

여기서 n 은 반복회수, y_i 는 반응 값을 나타낸다. 일반적인 SN 비에 대한 분산분석을 이용해서 설계변수의 민감도 크기를 평가한다.

Fig. 5는 버터플라이 밸브 디스크에 대한 설계변수를 나타낸다. 이차 편심(x_1), 디스크 시트에서부터 축 하우징까지 이루는 각도(x_2), 디스크 두께(x_3), 축 지름(x_4)과 축 하우징 사이의 간극 (x_5)으로 결정하였다. 일반적으로 디스크의 형상과 체결 구조가 압력강하와 유체역학적 토크에 영향을 주기 때문에 디스크의 중량을 감소시키고 제작 가능한 범위 내에서 설계변수의 범위를 결정하였다. Table 2는 설계변수와 그 수준값을 나타낸다. 본 논문은 디스크의 초기값인 수준 3을 기준으로 x_1, x_3, x_5 의 설계 변수는 상한과 하한의 범위가 $\pm 15\%$ 로 설정하였고 x_2 와 x_4 는 디스크 형상의 제약으로 인해서 각각 $\pm 10\%, \pm 13\%$ 의 범위를 갖는다.

Table 2 Design variables and their levels

Design variable	Unit	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
x_1	mm	0	1.25	2.5	3.75	5
x_2	Deg.	80	76.5	73	69.5	66
x_3	mm	5.5	7	8.5	10	11.5
x_4	mm	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5
x_5	mm	51	42.5	34	25.5	17

3.2 위상최적설계

위상최적설계는 균질화법의 이론으로 Kikuchi의 연구[7,15]에 의해 널리 적용되었다. 위상최적설계는 주어진 설계영역과 재료의 범위 안에서 구조물의 강성이 최대가 되도록 재료의 분포를 결정하는 것으로 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} &\text{Maximize} && \text{Static stiffness of structure} \\ &\text{subject to} && \text{Volume} \end{aligned} \quad (2)$$

구조물에 대한 식 (2)의 최대 정적강성설계는 주어진 하중에 대해 탄성변형 에너지 또는 컴플라이언스(compliance)에 대한 최소에너지를 찾는 문제로 변환된다. 컴플라이언스를 최소화하는 것은 정적강성을 최대로 하는 것과 동일하며, 체적을 최소로 설계하는 것이 유리하다. 따라서 위상최적설계문제는 아래의 식 (3)으로 정식화된다.

$$\begin{aligned} &\text{Minimize} && V = \sum_i^n \eta_i v_i \\ &\text{subject to} && 0 \leq \eta_i \leq 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \\ &&& \frac{U_c^j}{V} \leq \frac{U_c^j}{V^*} \leq \frac{\overline{U_c^j}}{V^*} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \\ &&& V \leq V_0 - V^* \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 η_i 는 유한요소의 가밀도(pseudo density), v_i 는 체적을 나타낸다. U_c^j 는 1 부터 m (제약조건의 수)까지의 제약조건하에서 하중에 대한 컴플라이언스를 나타내며, $\underline{U_c^j}$ 와 $\overline{U_c^j}$ 는 각각 컴플라이언스의 하한과 상한을 나타낸다. 구조물의 전체 체적 V 는 각각의 유한요소에 해당하는 가밀도와 단위 체적의 곱으로 나타낸다. 목표 체적은 초기 체적 V_0 와 체적 제거량을 나타내는 V^* 의 차이로 계산된다. 설계변수는 유한요소 가밀도로 0 (재료가 제거된 상태)부터 1 (재료가 보전된 상태)까지의 범위를 가진다. 식 (3)으로부터 버터플라이 밸브의 디스크에 대한 개념설계 단계에서 구조의 레이아웃을 결정하는데 적용할 수 있고, 현재 설계가 과도설계인 경우에 성능을 크게 악화시키지 않고 중량을 감소시키는데 이용될 수 있다.

4. 버터플라이 밸브용 디스크의 형상설계

4.1 SN비를 이용한 설계 민감도 영역

Table 3은 L_{25} 직교배열표의 실험배치(design matrix)와 그 CFD 해석결과를 나타낸다. 직교배열표의 각 설계변수의 수준의 배치에 따라 디스크 3D 형상을 만들고 이에 대한 유동해

Table 3 DOE Layout and CFD result for L_{25} orthogonal arrays

Exp.	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	ΔP [kPa]	Torque [Nm]	Volume [mm ³]
1	1	1	1	1	1	153	44.5	67702
2	2	2	2	2	2	158	45.8	81557
3	3	3	3	3	3	172	47.5	95679
4	4	4	4	4	4	213	54.0	110390
5	5	5	5	5	5	225	46.4	126640
6	1	2	3	4	5	190	51.1	100710
7	2	3	4	5	1	212	52.6	109410
8	3	4	5	1	2	240	50.7	114330
9	4	5	1	2	3	151	44.0	71998
10	5	1	2	3	4	153	44.8	86254
11	1	3	5	2	4	303	54.5	118020
12	2	4	1	3	5	142	39.7	76754
13	3	5	2	4	1	169	49.1	83506
14	4	1	3	5	2	183	51.2	96392
15	5	2	4	1	3	188	51.0	104780
16	1	4	2	5	3	174	46.9	89556
17	2	5	3	1	4	181	49.3	97552
18	3	1	4	2	5	189	51.0	109500
19	4	2	5	3	1	274	56.6	111720
20	5	3	1	4	2	147	42.9	75521
21	1	5	4	3	2	231	53.8	105710
22	2	1	5	4	3	298	56.4	116910
23	3	2	1	5	4	161	46.7	78530
24	4	3	2	1	5	162	47.1	87080
25	5	4	3	2	1	173	48.6	91113

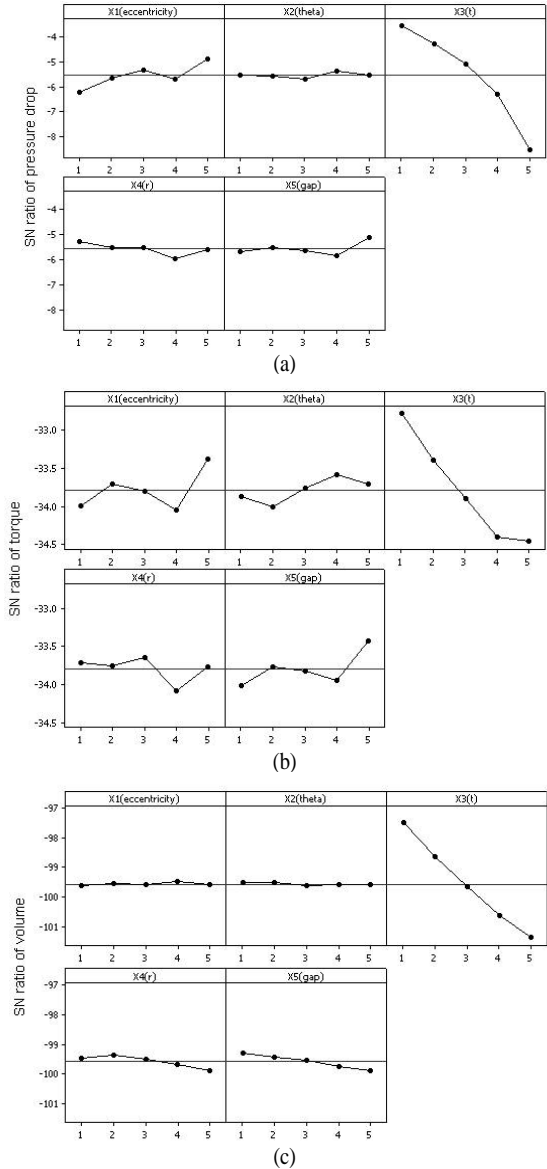


Fig. 6 Main effect plot of design variable; (a) pressure drop, (b) hydrodynamic torque and (c) volume

Table 4 Design variables affecting the pressure drop

D.V.	Effect					Deviation	P.C (%)	Rank
	Level1	Level2	Level3	Level4	Level5			
x_1	-6.225	-5.65	-5.329	-5.688	-4.883	1.343	16.7	2
x_2	-5.561	-5.603	-5.698	-5.376	-5.538	0.322	4.0	5
x_3	-3.574	-4.279	-5.109	-6.294	-8.519	4.945	61.6	1
x_4	-5.259	-5.505	-5.507	-5.93	-5.574	0.671	8.4	4
x_5	-5.678	-5.509	-5.638	-5.847	-5.104	0.743	9.3	3
Total						8.024	100	

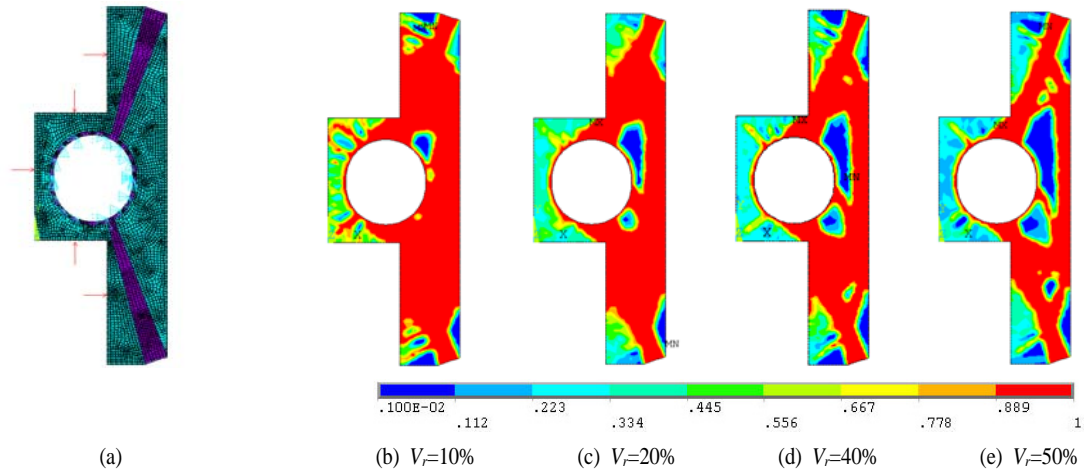


Fig. 7 (a) Design domain and boundary conditions for the disc, (b)-(e) density distributions for volume reduction (V_r) at topology optimization result. The material constants are $E=196$ GPa, $\nu=0.29$ and the pressure is $p=1$ MPa

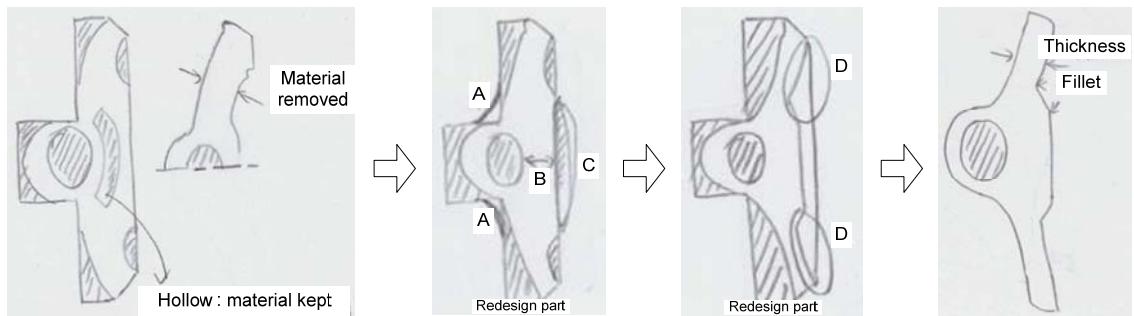


Fig. 8 Representative drawings for sketch tasks using topology optimization

석을 수행하였다. 이 결과로부터 설계변수의 민감도 평가를 수행하였다. Table 4와 5는 식 (1)의 SN 비를 이용하여 압력 강하와 토크에 대한 설계변수의 수준별 효과를 계산한 것이다. 여기서 수준차(deviation)는 각 설계변수의 수준별 효과의 최대값과 최소값의 차이이고, 기여율은 전체 수준차의 합에 대한 백분율(percentage contribution)로 나타낸 것이다[6]. 5개의 설계변수들 중에서 디스크 두께(x_3)가 압력강하와 토크에 각각 61.6%, 44.8%로 영향을 가장 많이 미치고 있다. 이차 편심 (x_1)도 유동특성에 영향을 미치고 있지만 x_3 에 비해 영향은 작다. 따라서 x_3 은 다른 설계변수들보다 밸브의 유동특성을 결정하는데 지배적인 영향을 미치고 있다.

Fig. 6은 설계변수에 대한 SN 비 주효과(main effect)를 나타낸 것이다. SN 비에 대한 주효과는 설계변수의 설계 방향을 결정하는데 효과적인 정보를 얻을 수 있다. 전체적으로 x_3 이 수준 1 방향으로 줄어들어야만 유동특성이 좋아지고 중량을 줄일 수 있다. 이러한 결과로부터 본 논문에서 밸브 성능

의 개선을 위해서는 디스크 두께의 설계변수만으로는 설계 자유도가 낮고 제한된 결과만을 얻을 수 있다고 판단된다. 따라서 디스크 두께에 대한 레이아웃을 다시 검토하고 설계 자유도를 높일 수 있는 형상의 결정이 필요하다.

4.2 형상설계

디스크의 레이아웃을 결정하기 위해 초기 형상의 복잡한

Table 5 Design variables affecting the hydrodynamic torque

D.V.	Effect					Deviation	P.C (%)	Rank
	Level1	Level2	Level3	Level4	Level5			
x_1	-33.99	-33.71	-33.8	-34.05	-33.38	0.67	17.9	2
x_2	-33.88	-34	-33.77	-33.58	-33.71	0.42	11.2	5
x_3	-32.78	-33.4	-33.9	-34.4	-34.46	1.68	44.8	1
x_4	-33.71	-33.75	-33.64	-34.07	-33.76	0.43	11.5	4
x_5	-34	-33.76	-33.81	-33.94	-33.42	0.58	15.5	3
Total						3.78	100	

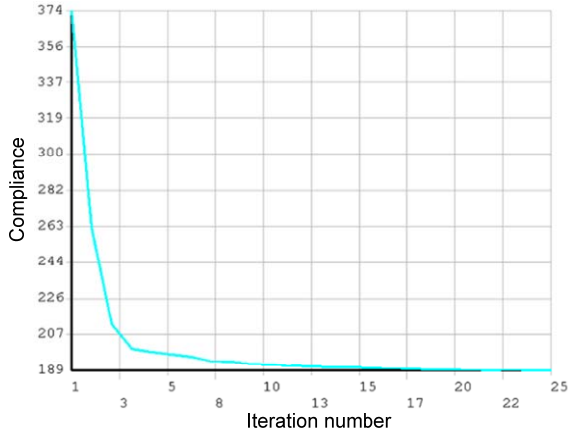


Fig. 9 Convergence history of the compliance objective function

부분을 수정하고 디스크의 단면을 단순화시킨 원형모델 (primitive model)을 만들었다. Fig. 7(a)는 ANSYS[16]를 이용한 디스크의 위상최적설계에 대한 설계영역과 경계조건을 나타낸 것이다. 디스크 상하면의 경사진 시트 영역은 형상의 변화 없이 재료가 보전되어야 하는 부분이다. 또한 디스크와 결합되는 축의 지름 부분도 최소한의 재료가 보전되는 영역으로 설정하였다. CF8M의 기계적 재료 물성치는 탄성계수($E=196$ GPa)와 푸아송비($\nu=0.29$)를 적용하였다. 유동방향을 고려하여 디스크 후면에 대해서 단위하중으로 설계 압력인 1 MPa를 적용하였다. Fig. 7(b)-(e)는 디스크 설계영역에 대해 체적 감소율을 10%-50% 증가에 대한 밀도분포를 나타낸 것이다. 설계영역에 대해 밀도분포가 0 인 영역은 디스크 형상의 체적 (또는 유한요소의 탄성계수)을 감소시킬 수 있으며, 1 인 영역은 반드시 체적을 유지해야 하는 부분이다.

Fig. 8은 위상최적설계의 밀도분포를 이용하여 디스크 형상의 스케치 과정을 나타낸 것이다. 밀도분포가 0.6-0.7 이하는 강성을 0(near zero)으로 설정하는 요소 불활성화(deactivates of element) 프로그래밍 과정[16]을 거쳐 디스크 중심부 형상에 대해 저밀도 구간은 면적을 지우고 디스크 두께가 작아지도록 프로파일을 그렸다. 디스크 후면 모서리의 응력 집중을 피하기 위한 곡면 형상을 추가 하였다. 또한 가공의 문제가 예상되므로 디스크 중심부의 중공은 제거하였다. Fig. 9는 요소 불활성화 과정에 대한 위상최적설계의 수렴과정을 나타낸 것이다. 최적화 알고리즘은 최적기준법(optimal criteria method)

Table 6 Initial design vs. optimal design

Step	ΔP [kPa]	Torque [N·m]	Volume [mm ³]
Initial design	172	47.5	95679
Optimal design	159	45.2	85507

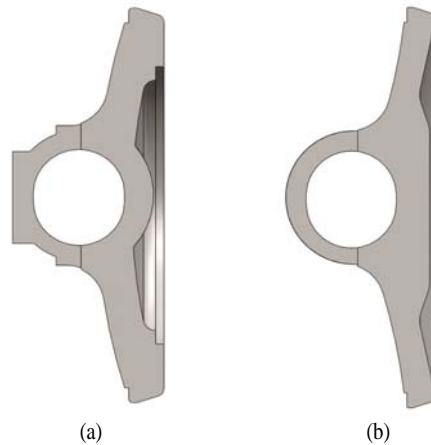


Fig. 10 Comparison of disc shape between (a) the initial design and (b) the optimal design

[16,17]을 사용하였다. 설계영역에 대해 재료를 재분배하는 동안 컴플라이언스 구배가 일정한 구간에서 수렴한다. 본 논문은 수렴한도 2.5×10^{-4} 조건에서 25번의 반복 후에 수렴하였다.

Fig. 10은 디스크의 초기 형상과 최적 형상의 단면을 비교한 것이다. 전체적으로 디스크의 두께가 얇아지면서 전면 중심부는 굴곡이 줄어들고 단순한 형태로 변경되었다. Fig. 11은 초기 형상과 최적 형상의 CFD 결과를 비교한 것이다. 초기 형상은 디스크를 지나는 유동이 국소적으로 와류를 발생시킨다. 이러한 현상은 유동의 흐름을 방해하고 압력 강하를 증가시킨다. 유선의 분포를 살펴보면 최적 형상에서는 초기 형상에 비해 와류의 분포가 줄어들고 전체적인 속도 변화도 작은 것을 알 수 있다. Table 6은 초기 형상과 최적 형상에 대한 CFD 결과로부터 얻은 유동특성을 비교한 것이다. 압력 강하는 약 8%, 토크는 약 5% 정도의 효과가 개선되면서 디스크의 체적은 약 10% 감소하였다. 향후 밸브 설계에 대한 개념 및 형상 설계를 체계화하는 과정으로 디스크 단면에 대한 설계변수 위치와 범위를 세분화하고 구조해석을 고려한 형상최적설계가 요구된다.

5. 결론

산업용 버터플라이 밸브에 있어서 디스크의 형상은 유동 특성에 대한 영향이 매우 크다. 따라서 다양한 밸브에 요구되는 기능을 만족하는 효율적인 설계를 위해서는 디스크 설계에 있어서 빠르고 정확한 형상설계과정이 필요하다. 본 논문은 다구저 실험계획을 이용해서 디스크의 설계 민감도 영역을 결정하고 위상최적설계기법을 이용하여 이중편심 버터플라이 밸브용 디스크에 대한 효율적인 형상설계과정을 제안하

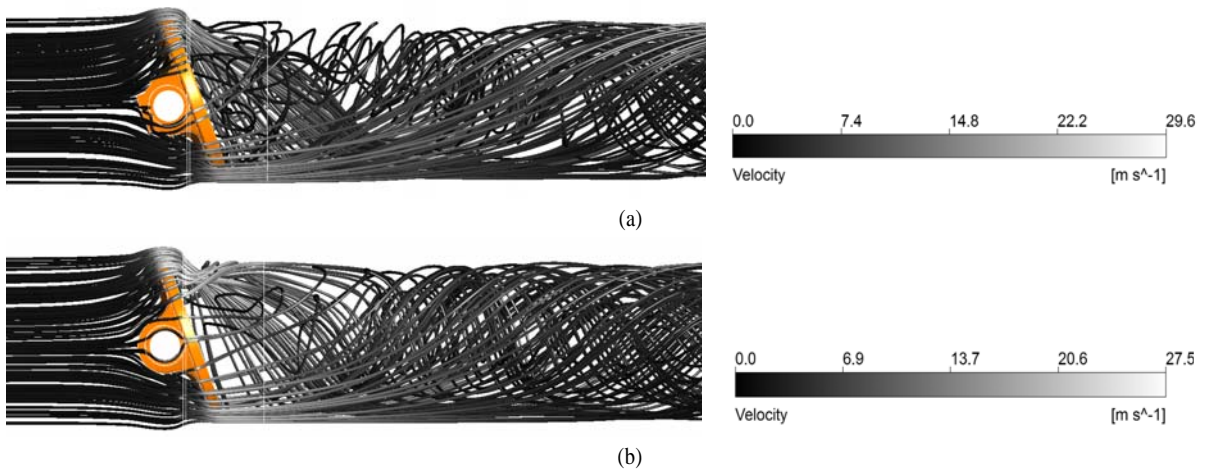


Fig. 11 CFD results of velocity magnitude for valve disc at 20° opening; (a) initial design (b) optimal design

였다. 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 다구찌 실험계획의 결과로부터 이중편심 버터플라이 밸브에 대한 압력강하와 유체역학적 토크는 편심위치나 밸브 각도, 축에 관련된 설계변수보다는 디스크 두께가 지배적인 영향을 미친다.

(2) 위상최적설계기법을 이용해서 디스크 두께에 대한 형상을 결정하였다. 디스크 밀도 분포와 스케치 작업에 의해 좀 더 효율적인 디스크 형상을 결정할 수 있었다. 이러한 작업으로부터 최적 모델은 초기 모델과 비교해서 압력 강하는 8%, 토크는 약 5% 정도의 효과가 개선되면서 디스크의 체적은 약 10% 감소하였다.

후 기

본 논문은 지식경제부 지역혁신 센터사업(RIC) 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] 2000, Danbon, F., and Sollic, C., "Aerodynamic Torque of a Butterfly Valve-Influence of an Elbow on the Time-Mean and Instantaneous Aerodynamic Torque," *ASME J. Fluids Eng.*, Vol.122, No.2, pp.337-344.
- [2] 006, Leutwyler, Z., and Dalton, C., "A Computational Study of Torque and Forces Due to Compressible Flow on a Butterfly Valve Disk in Mid-stroke Position," *ASME J. Fluids Eng.*, Vol.128, No.5, pp.1074-1082.
- [3] 2004, Tsai, C.C., Chang, C.Y., and Tseng, C.H., "Optimal Design of Metal Seated Ball Valve Mechanism," *Struct. Multidisc. Optim.*, Vol.26, No.3-4, pp.249-255.
- [4] 2010, Duda, P., and Dwornicka, R., "Optimization of Heating and Cooling Operations of Steam Gate Valve," *Struct. Multidisc. Optim.*, Vol.40, No.1-6, pp.529-535.
- [5] 2006, Park, J.Y., and Chung, M.K., "Study on Hydrodynamic Torque of a Butterfly Valve," *ASME J. Fluids Eng.*, Vol.128, No.1, pp.190-195.
- [6] 2009, Song, X.G., Wang, L., Baek, S.H., and Park, Y.C., "Multidisciplinary Optimization of a Butterfly Valve," *ISA Trans.*, Vol.48, No.3, pp.370-377.
- [7] 1988, Bendsoe, M.P., and Kikuchi, N., "Generating Optimal Topologies in Structural Design Using a Homogenization Method," *Comput. Meth. Appl. Mech. Eng.*, Vol.71, No.2, pp.197-224.
- [8] 1997, Frecher, M.I., Ananthasuresh, G.K., Nishiwaki, S., Kikuchi, N., and Kota, S., "Topological Synthesis of Compliant Mechanisms Using Multi-Criteria Optimization," *ASME J. Mech. Des.*, Vol.119, No.2, pp.238-245.
- [9] 2004, Baek, S.H., Lee, K.Y., Cho, S.S., Jang, D.Y., and Joo, W.S., "Optimal Design of Electric Vehicle Cross Beam for Adaptive Design of Homogenized Structure," *Trans. of the KSAE*, Vol.12, No.5, pp.85-93.
- [10] 2011, ANSYS CFX, User Manual Release 12.1, ANSYS Inc.
- [11] 1989, Barth, T.J., and Jespersen, D.C., "The Design and Application of Upwind Schemes on Unstructured Meshes," *AIAA J.*, Vol.89, No.89-0366, pp.1-12.

- [12] 1994, Menter, F.R., "Two-equation Eddy-viscosity Turbulence Models for Engineering Applications," *AIAA J.*, Vol.32, No.8, pp.1598-1605.
- [13] 1989, Phadke, M.S., *Quality Engineering Using Robust Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [14] 2010, Baek, S.H., Hong, S.H., Cho, S.S., Jang, D.Y., and Joo, W.S., "Optimization of Process Parameters for Recycling of Mill Scale Using Taguchi Experimental Design," *J. Mech. Sci. Technol.*, Vol.24, No.10, pp.2127-2134.
- [15] 1992, Diaz, A.R., and Kikuchi, N., "Solutions to Shape and Topology Eigenvalue Optimization Problems using a Homogenization Method," *Int. J. Numer. Methods Eng.*, Vol.35, pp.1487-1502.
- [16] 2007, ANSYS Theory Reference Release 11.0, SAS IP, Inc.
- [17] 1999, Behrooz, H., and Ernest, H., *Homogenization and Structural Topology Optimization: Theory, Practice and Software*, Springer-Verlag.