

# 속도 제어형 트림의 단위 요소 유로의 유동특성에 관한 수치적 연구

김 대 권\* · 손 채 훈\*\*

\* 세종대학교 기계공학과

## Numerical Study of Flow Characteristics in Elementary Paths of Velocity-Control Trim

Dae Kwon Kim\* and Chae Hoon Sohn\*\*

\* Dept. of Mechanical Engineering, Sejong Univ.

(Received June 1, 2010 ; Revised December 14, 2010 ; Accepted December 14, 2010)

**Key Words:** Velocity-Control Trim(속도 제어형 트림), Similarity(상사성), Pressure Drop(압력 강하), Cavitation(공동 현상)

**초록:** 속도 제어형 트림을 구성하는 기본 유로 요소로서 90°의 굴곡을 갖는 유로를 선택하여 폭과 길이가 상사성을 가지도록 설정하고 0, 4, 8 회의 굴곡을 갖는 총 48개의 단위 유로 요소에 대해 유동 해석을 수행하였다. 먼저, 동일 요소에 대한 실험과 수치해석 결과를 비교하여 수치해석 접근방법의 타당성을 검증하였다. 일정한 차압에 대해 굴곡횟수에 따른 유량을 계산한 결과, 굴곡이 없으면 유로의 길이가 증가함에 따라 유량이 감소하였다. 굴곡이 있는 경우, 유로가 길어지면 유량이 증가하다가 감소하였다. 케비테이션의 억제에 관점에서 압력장을 분석하였고, 이로부터 동일한 굴곡횟수를 가질 경우 유로가 길수록 유로를 따라 발생하는 압력 강하 특성이 우수함을 알았다. 또한, 유로의 길이가 같은 경우에는 굴곡횟수가 많을수록 압력이 완만히 감소하는 특성을 가짐을 알 수 있었다.

**Abstract:** We investigate the flow characteristics of elementary-flow paths with 90° bends; a velocity-control trim consists of such paths. For geometric similarity, the width and length of each path are selected, and the number of bends is 0, 4, or 8. The flow tests are conducted with the same flow-path elements. The numerical results are in good agreement with the experimental data. In elements without bends, the volume flow rate decreases with the length of the flow path, with a constant pressure drop between the inlet and the outlet. However, in flow paths with 90° bends, it increases and then decreases with the length of the flow path. For a fixed number of 90° bends, better pressure-drop characteristics are observed as the length of the flow path increases. For a fixed flow-path length, a flow-path element with more bends has a smoother pressure drop along the path.

- 기호설명 -

- $A$  : 트림유로의 폭 [mm]
- $B$  : 트림유로의 길이 [mm]
- $C$  : 굴곡진 횟수
- $u_j$  :  $j$ -방향 속도
- $X$  : 유로의 중심을 따르는 길이방향 좌표
- $X_0$  : 유로의 중심을 따르는 총 길이
- $x_j$  :  $j$ -방향 좌표계
- $p$  : 압력
- $Q$  : 체적 유량 [cm<sup>3</sup>/s]

- $t$  : 시간
- $\tau$  : 응력
- $\rho$  : 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]

### 1. 서 론

밸브는 배관을 통과하는 유체의 압력이나 방향, 속도 등을 제어하는 유체기기로서, 특히 특수한 조건에서 사용되는 고차압 밸브의 경우에는 밸브가 고차압을 유발하는 특성을 가져야 하기 때문에 밸브 디스크에서 원하는 차압 및 유량 특성을 가져야 한다. 고차압 밸브에서는 고온 고압 유체의 압력 강하로 인하여 높은 운동에너지가 발생한다. 제어밸브 설계 조건인 ANSI/ISA-S75에서는, 단상

† Corresponding Author, chsohn@sejong.ac.kr

유체의 경우 제어밸브 내부에서 흐르는 유체의 속도를 30 m/s로 제한하여 밸브 주요 부품의 손상을 방지하도록 규정하고 있다.<sup>(1,2)</sup>

국외의 주요 제어밸브 제작 업체의 경우 유체의 운동에너지를 낮추기 위하여 고차압 제어밸브 트림을 개발하여 사용하고 있으며, 캐비테이션(cavitation)을 방지하도록 설계하여 제어밸브 주요 부품의 손상을 억제하고 있다. 이에 비해, 국내에서는 독자적인 고차압 제어밸브 트림의 개발 사례가 아주 드문 실정이다. Figure 1은 글로브 밸브의 내부 단면과 트림부분 및 트림의 유로를 나타낸다. 본 연구에서는 고차압 밸브에 초점을 두고, 고차압을 유발하는 트림유로의 유동특성을 분석하고자 한다.

현재 사용되는 일반적인 고차압 트림은 90°로 굴곡진 유로의 조합으로 이루어져 있다. 이에 대한 근거로, 글로브 밸브의 케이스 형상에서 유체 통로가 구불구불할 경우 캐비테이션이 감소함을 실험적으로 보여준 Rahmeyer 등<sup>(3)</sup>의 연구 결과가 있다. Cavallo<sup>(4)</sup>은 극저온 추진 시스템에서 글로브 밸브에 대해 moving mesh를 이용하여 비정상상태 해석을 실시하였다. Davis 등<sup>(5)</sup>은 글로브 밸브의 플러그 유형 및 시트 직경변화에 따른 유량계수 변화를 실험과 수치해석을 통해 연구하였다. Jang 등<sup>(6)</sup>은 케이스 트림내부의 90°굴곡형상을 이용하여 유체압력을 감압하여 유체 속도와 운동에너지를 낮추는 방법을 보여주었다. 또한, Yoon 등<sup>(7)</sup>은 디스크 및 헬리컬 타입의 유로에서 가장 안정적인 유량분포를 도출하였다.

글로브 밸브의 트림은 내부 형상이 매우 복잡하여 밸브를 통과하면서 발생하는 압력강하를 미리 예측하는 것이 매우 어렵다. 또한, 밸브 내부의 형태와 밸브의 개도율에 따라 밸브 내부에서

의 유체 유동이 매우 복잡하고 다양한 양상을 보인다. Yoon 등<sup>(8)</sup>은, 트림을 장착한 글로브 밸브에 대해 3차원 유동장 해석 및 캐비테이션 발생 해석을 수행하였지만, 유동특성 분석을 수행하지 않았다. Ahn 등<sup>(9)</sup>은 고차압 제어밸브의 트림부 형상에 따른 캐비테이션 발생을 연구하였으며 트림형상을 바꿔가며 밸브의 전체적인 유동장을 분석하였다. 이러한 선행 연구들은 대부분 기존 트림의 유로 형상에 대한 연구와 개선점을 찾기 위한 연구로서 새로운 트림 유로 형상 설계시에는 큰 도움을 주지 못하는 한계가 있다.

고차압 밸브 설계를 위해서는 트림부분을 구성하는 유로 내부의 유동 특성을 파악하는 것이 필요하다. 트림부의 유로는 여러 형태를 가질 수 있으나 대부분 공통적으로 반복되는 단위 유로로 구성된다. 새로운 트림 유로 설계를 위한 일차적인 연구로서, 본 연구에서는 단위 유로 요소의 유동 특성을 수치적으로 연구하고자 한다. 단위 유로는 90°의 굴곡(bend)을 가지며 굴곡횟수 0, 4, 8 회를 갖는 요소로 선정하였다. 트림부 설계에 필요한 데이터로 활용하기 위해 대상 단위 유로 요소는 폭과 길이가 상사성(similarity)을 가질 수 있도록 하였다. 즉, 굴곡진 횟수와 폭-길이 비에 따른 유동특성을 분석하고자 한다. 유동 특성은 동일 차압에 대한 유량과 압력강하 양상으로 파악하고자한다.

## 2. 수치 해석

### 2.1 시험모델

본 연구에서 선정한 유로 요소를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이, 유로 요소의 형상은 직선 부분의 유로 폭(A)과 길이(B)로 나타내었으며, 길이를 폭의 일정한 비로 설계하였다. 이는 폭과 길이의 상사성에 따라 유동특성을 파악하기 위함이다. Tabel 1에 해석에 사용된 전체 요소(총 48개)를 나열하였다. 여기에서 C는 유로가 꺾인 횟수를 나타낸다. 해석 모델의 폭은 2 ~ 5 mm로 정하였고, 길이는 폭의 3 ~ 40배까지로 정하였고 꺾인 횟수에 따라 다른 비율을 적용하였다. 설계된 요소 유로의 깊이(depth)는 Fig. 2(a)에 나타낸 바와 같이 2 mm이다.

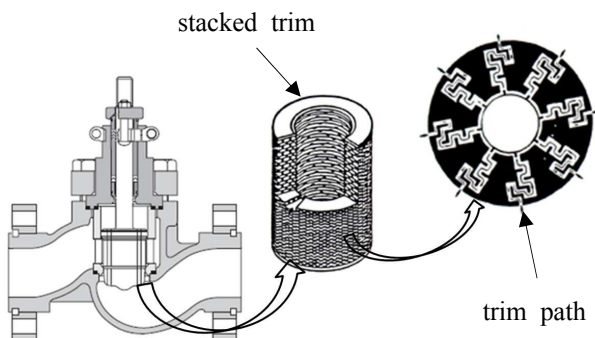
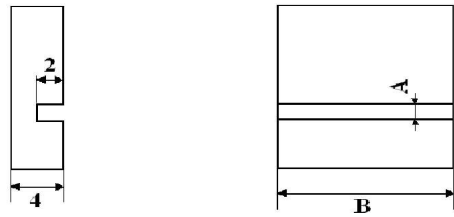
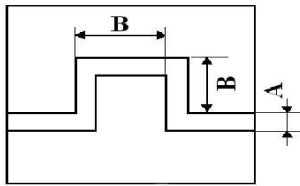


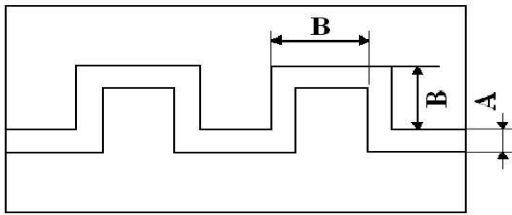
Fig. 1 Trim and trim path in a globe valve



(a) Front and side views of C0 element



(b) Side view of C4 element



(c) Side view of C8 element

Fig. 2 Diagrams of flow-path elements

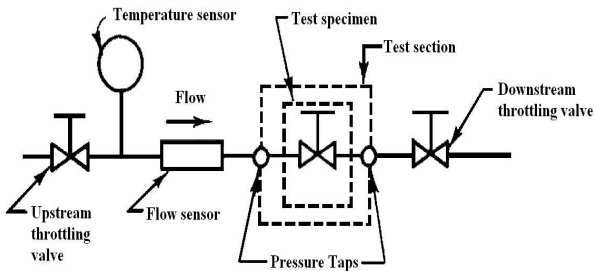


Fig. 3 Schematic diagram of flow test for a valve

2.2 지배방정식

연속방정식과 운동량방정식, 즉 Navier-Stokes 방정식의 풀이를 통해 유로 내부의 유동장을 모사하였다. 지배방정식은 다음과 같다.<sup>(10,11)</sup>

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0 \tag{1}$$

Table 1 Dimensional relations of flow-path elements

A	B	C	element
2	A×10, A×20, A×30, A×40	0	C0
3	A×10, A×20, A×30, A×40	0	C0
4	A×10, A×20, A×30, A×40	0	C0
5	A×10, A×20, A×30, A×40	0	C0
2	A×3, A×5, A×7, A×10	4, 8	C4, C8
3	A×3, A×5, A×7, A×10	4, 8	C4, C8
4	A×3, A×5, A×7, A×10	4, 8	C4, C8
5	A×3, A×5, A×7, A×10	4, 8	C4, C8

$$\frac{\partial(u_j u_i)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \tag{2}$$

고차압 밸브내 유동의 경우, 계산 영역내의 매우 작은 구간에서 변화가 큰 유동현상이 일어나게 된다. 이러한 상황에서 경계층과 경계층 밖의 유동현상을 잘 모사할 수 있는 난류 모델로서 SST (Shear Stress Transport) 모델을 선정하였다. 이 모델에서는 Bradshaw의 가정을 통하여 전단응력을 설정하고, 점성계수 값을 정한다.<sup>(11,12)</sup>

지배방정식을 이산화 과정을 통하여 대수방정식으로 변환한 후 전산해석을 통해 해를 구한다. 정상상태 유동, 비압축성 유동 및 점성유체를 가정하였고, 작동유체를 물로 정하였다. 계산격자로 정렬격자계를 채택하였다. 벽근처(경계층 이내) 격자수는 약 5개로 생성하였고, 격자 의존성을 검토하여 이에 따른 수치적 오차가 작음을 확인하였다. 경계조건으로 입구압력 500 kPa, 출구압력 100 kPa를 부여하여 압력차를 400 kPa로 설정하였다. 압력은 모두 절대압력으로 표시하였다. 위의 지배방정식의 풀이를 위해 유체해석 코드인 ANSYS-CFX<sup>(13)</sup>를 사용하였다.

수치해석 방법과 수치모델의 유도에 관한 자세한 내용은 참고문헌<sup>(14-16)</sup>에 자세히 기술되어 있으므로 여기에서는 생략한다.

### 3. 유량 실험

수치해석 결과의 검증을 위해 유량 실험을 수행하였다. 수치해석에 사용된 유로 요소와 동일한 90°로 굴곡진 형태의 유로를 사용하였다. 요소 유로의 재질은 알루미늄 계열인 두랄류민이다. 한국표준협회에서 지정한 밸브 유량 계수 시험 방법을 따라 유량 실험을 수행하였다. Fig. 3에 한국표준협회에서 지정한 밸브 유량계수 시험 방법<sup>(15)</sup>을 도식화하여 나타내었다. 공시밸브라고 나타낸 곳에 테스트 밸브 또는 트림(여기서는 유로 요소)을 두고 유량을 흘려보내며, 시험구간 앞에서 유량계로 유체의 유량과 온도를 측정하고 유체가 시험구간을 통과한 후 하류쪽 스크롤 밸브로 향하게 하여 실험을 진행한다. 시험구간 전후방 약 50 mm와 70 mm 떨어진 부분에 압력센서를 장착하여 테스트 트림의 차압 및 유량을 측정한다. 현재 많은 밸브 또는 트림의 성능평가에서 중요한 인자인 차압과 유량을 측정하기 위해 이러한 실험을 거친다.

실험 방법은 다음과 같다. 유체가 시험구간에 가득 찼다고 판단할 수 있을 만큼 상류의 스크롤 밸브를 개방한 후 하류 스크롤 밸브를 개방한다. 정상상태 유동을 나타낼 때의 유량과 밸브 전체의 차압 데이터를 획득하는 것으로 한 번의 실험을 종료한다. 입구측 압력을 500 kPa로 일정하게 유지하고, 출구는 대기압 100 kPa 상태로 열어두고 유량을 측정하였다. 이때 유체의 온도는 약 16 °C이며, 1개의 모델에 대해 약 5회 이상의 실험을 수행하였다. 약 1 ~ 2 %이내의 실험 오차 범위를 확보하면 1개의 유로 요소에 대한 실험을 마치는 방식으로 총 48개의 모든 요소에 대한 실험을 수행하였다.

Figure 4는 검증 실험을 위해 구성한 실험장치를 나타낸 사진으로, 시험구간인 유로 요소 장착 부분과 압력센서 부분을 상세히 나타내었다. 실험

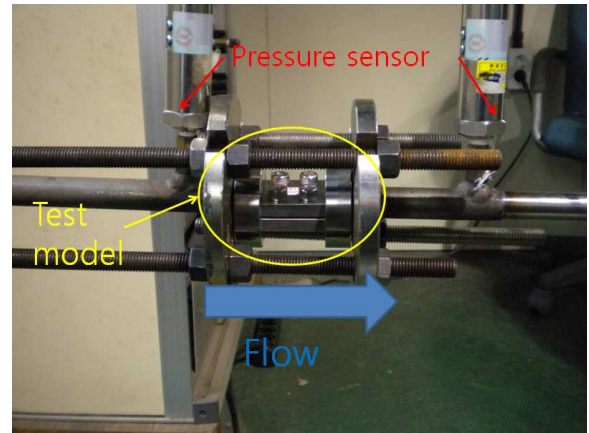


Fig. 4 Photo of experimental apparatus for flow test of flow-path element

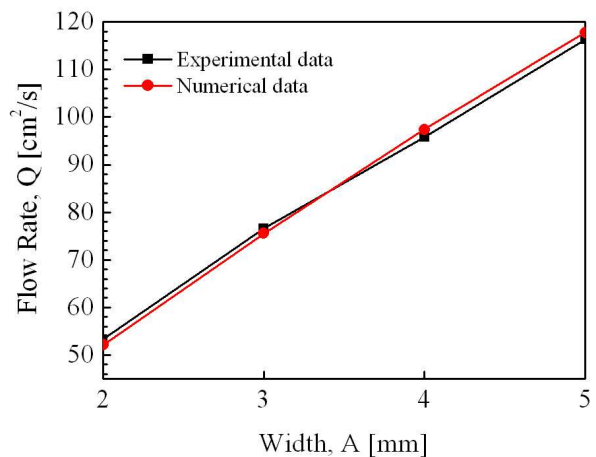


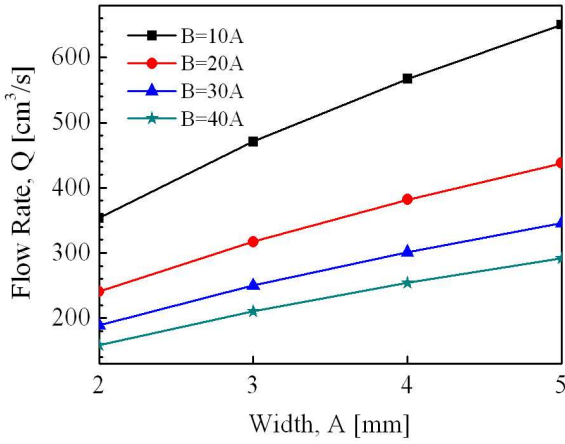
Fig. 5 Calculated and measured flow rates in C4 element with  $B/A = 7$

에 사용된 압력센서는 0 ~ 800 kPa의 측정범위를 갖고, 유량계의 측정범위는 16.7 ~ 833.3 cm<sup>3</sup>/s (1 ~ 50 lpm)이다.

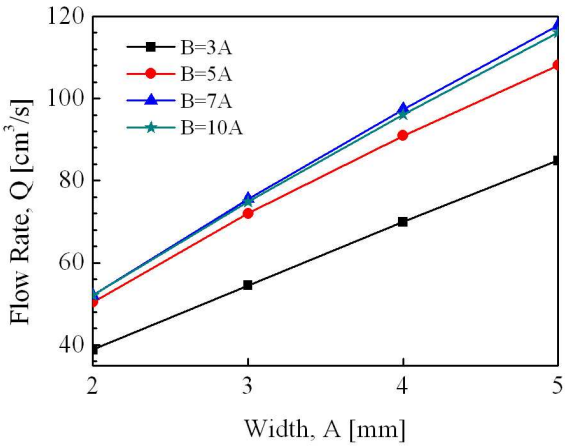
## 4. 결과 및 검토

### 4.1 수치해석 결과 검증

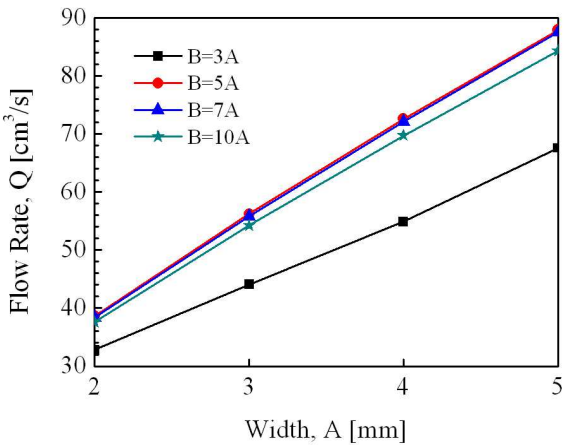
수치해석 결과의 타당성을 검증하기 위해 수치해석으로 구한 유량과 실험에 의해 측정된 유량을 비교하였다. 모든 단위 유로에서 실험결과와 수치해석결과는 서로 잘 일치하여, 약 2 % 이내의 작은 오차를 보였다. 이로부터 수치해석 결과의 정확도를 확인할 수 있다. Fig. 5에 꺾인 횟수 4의 요소(즉, C4 element) 중 길이가 폭의 7배인 유로 요소 4개에 대해 폭,  $A$ 에 따른 유량을 나타



(a) Flow rates in C0 elements



(b) Flow rates in C4 elements



(c) Flow rates in C8 elements

Fig. 6 Flow rate as function of flow width, A in C0, C4 and C8 elements ( $\Delta p = 400$  kPa)

내었다. 그림에서 보듯이, 실험으로 측정된 값과 본 수치해석으로 계산된 값이 잘 일치하였다.

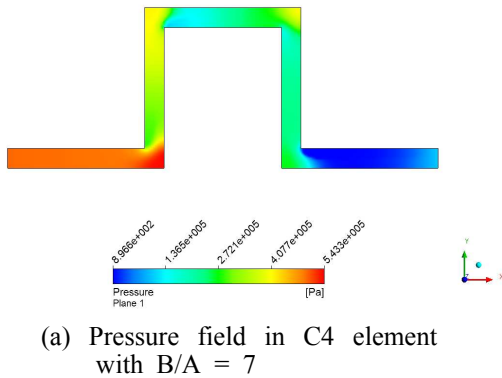
굽은 횡수가 같은 요소에서, 폭-길이 비가 일정한 요소들은 서로 상사성을 갖는다. 상사성을 갖는 요소들은, 일정한 차압에서 폭이 증가함에 따라 유량이 증가함을 알 수 있다.

4.2.1 유량 특성

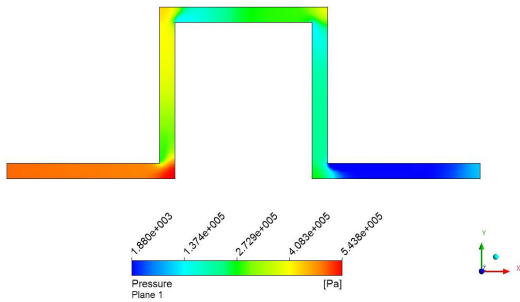
굴곡 횡수에 따른 세 가지 유로 요소, 즉 C0, C4, C8 요소에 대해서 상사성을 갖는 요소들의 폭에 따른 유량을 계산하여 Fig. 6에 나타내었다. 굴곡이 없는 C0 요소는 직선관 형상을 갖는다. 폭-길이 비,  $B/A$ 가 증가하면 유량이 감소하였다. 이는 유로의 길이가 길어지면 유로내의 점성 마찰력이 증가하기 때문이다. 굴곡을 가진 요소의 경우, 굴곡 횡수가 증가하면, 유로의 길이가 길어지고 유동의 방향 전환으로 인해 유량이 감소하였다. 즉, C0, C4, C8 요소를 비교하면, 동일한 폭의 유로 요소를 가질 때 굴곡 횡수가 제일 많은 C8 요소의 유량이 가장 작다.

Fig. 6(b)에 나타낸 C4 요소는, Fig. 6(c)에 나타낸 요소보다 더 높은 유량을 나타내는데, 이는 짧은 유로와 굴곡에 의해 나타나는 굽은(curved) 유로의 유동 특성이라고 볼 수 있다. 또한, Fig. 6(b)를 보면 일정한 유로 폭에서 폭-길이 비가 증가할수록 유량이 증가하다가, 비율이 7을 넘어서면 유량이 감소하였다. Fig. 6(c)에서도 같은 경향을 보이고, 폭-길이 비가 5를 넘어서면 유량이 감소하였다. 이로부터 굴곡 횡수가 증가하면 최대 유량을 보이는 폭-길이비가 낮아짐을 예상할 수 있다.

Figure 6에 나타낸 계산 결과를 요약하면 다음과 같다. 굴곡이 있는 유로 요소에서는 유동 저항을 일으키는 두 가지 요인으로 유로의 길이와 굴곡이 있다. 유로의 길이는 유동의 저항을 증가시키고 굴곡진 형상에 의해서도 저항이 증가한다. 저항의 증가는 유량의 감소를 유발한다. 그러나, 굴곡진 유로 요소에서 폭-길이비가 증가하면 임계 비율까지는 유량이 증가하지만 그 이상의 비율로 유로가 길어지면 유량이 감소한다. 즉, 굴곡이 있을 경우에는 폭-길이비가 어느 정도 확보되어야



(a) Pressure field in C4 element with  $B/A = 7$



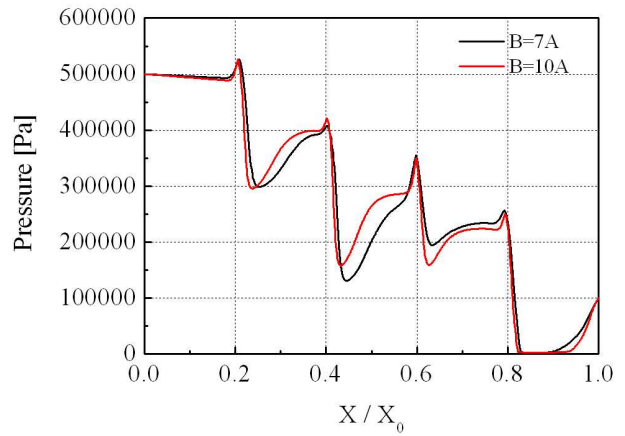
(b) Pressure field in C4 element with  $B/A = 10$

**Fig. 7** Pressure fields in C4 elements with  $B/A = 7$  and  $10$  ( $A = 2$  mm)

유동 저항을 작게 할 수 있음을 의미한다. 지나치게 유로가 길어지면 직선관에서처럼 점성 마찰의 증가로 다시 저항이 증가한다.

4.2.2 압력강하 특성

유로에서 급격한 압력강하가 일어나게 되어 유체의 압력이 포화증기압 이하로 내려가게 되면 캐비테이션이 발생하며 캐비테이션 기포가 붕괴되면 단시간에 고압의 충격이 발생한다.<sup>(17)</sup> 따라서, 밸브 트림의 유로 설계시 주안점은 캐비테이션의 발생을 최소화하는 것이다. 따라서, 유로 내부 압력을 조사하였다. Figure 7에 C4 요소에 대한 압력장을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 굴곡진 부분에서 압력상승이 나타난다. 유동이 직선 유로를 따라 흐르다 벽에 가까워지면서 정체됨에 따라 압력이 상승하는 것이다. 그 이후, 계속하여 유로를 따라 흐르면서 가속되면서 서서히

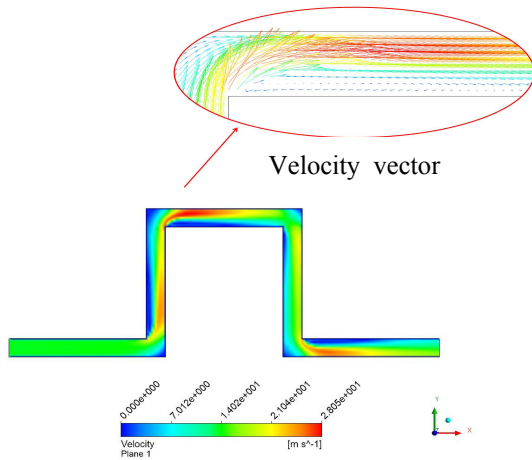


**Fig. 8** Pressure profiles along the centerline in C4 elements with  $B/A = 7$  and  $10$  ( $A = 2$  mm)

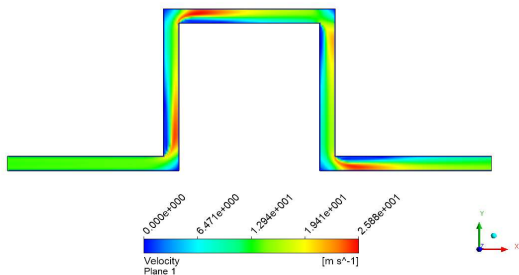
압력이 낮아지고 다시 굴곡진 부분을 만나면서 압력이 상승한다. 이러한 과정을 계속 반복하여 유체가 유로를 따라 이동하면서 전반적으로 압력이 낮아진다. 벽에 부딪힌 후, 압력이 하강할 때 캐비테이션이 발생할 가능성이 존재하고 이로 인해 트림 및 배관부분이 손상될 수 있다.<sup>(18,19)</sup> 베르누이 법칙에 의하면 압력이 높아지면 속도가 낮아지고 속도가 증가하면 압력이 낮아진다. 물론 이상적인 유동 상황이 아니기는 하나 대략적인 속도와 압력의 변화는 이를 따라 일어나는 것을 Fig. 7로부터 확인할 수 있다.

앞에서 설명한대로 굴곡진 유로 요소 내에서는, 유체가 입구로부터 출구로 흐름에 따라 전반적인 압력 강하가 일어나면서 국부적으로 압력의 상승과 하강이 반복된다. 캐비테이션의 억제 관점에서 살펴보면, 입구와 출구 사이의 압력변화가 선형적으로 낮아지는 패턴을 보이는 것이 가장 이상적이다. Figure 8에 유로의 중심선을 따라가면서 계산된 압력을 나타내었다. 3번째 직선 유로 구간에서  $A \times 7$ 인 경우가  $A \times 10$ 인 경우보다 압력회복이 작음을 알 수 있다. 5번째 구간에서의 압력강하도 비교적 크다. 이로부터 폭-길이 비가 작으면 압력강하가 크고 압력 회복도 작으며, 캐비테이션 발생 가능성이 상대적으로 큼을 알 수 있다.

Figure 9는 Fig. 7에 나타낸 유로 요소의 유동을 속도벡터로 나타낸 그림이다. 해석 모델 모두 속도의 크기가 30 m/s이하이므로 앞에서 언급했던



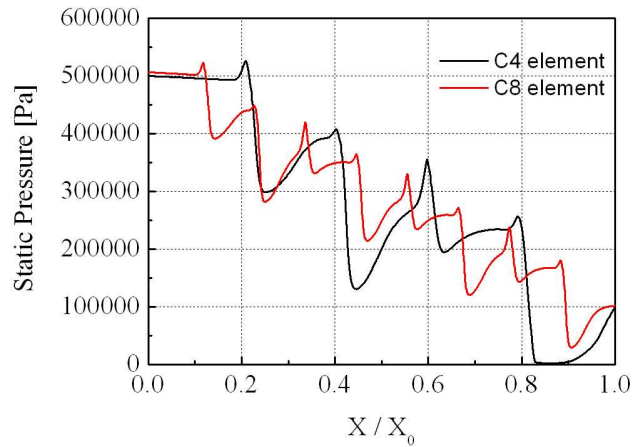
(a) Velocity magnitude in C4 element with  $B/A = 7$



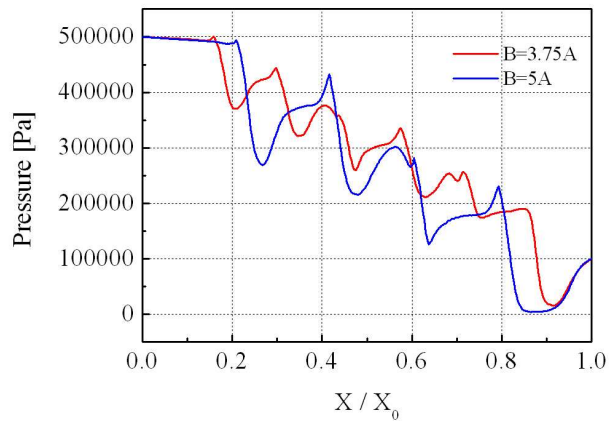
(b) Velocity magnitude in C4 element with  $B/A = 10$

**Fig. 9** Velocity magnitude in C4 elements with  $B/A=7$  and  $10$  ( $A = 2$  mm)

ANSI/ISA-S75를 만족한다. Fig. 9(a), (b)에서 볼 수 있듯이 두 경우에는 서로 유사한 유동 패턴을 가지고 있다. 하지만 굴곡 부분에서 형성된 와류의 크기는 Fig. 9(a)에서 더 크게 나타났다. 와류 생성이 활발한 지역에서의 압력강하가 넓게 나타나고 와류강도와 압력강하는 서로 밀접한 관계를 갖기 때문에 이러한 사실로부터 Fig. 8에 나타낸 결과(즉, 폭-길이 비가 작으면 압력 강하가 크고 압력 회복도 작음)를 설명할 수 있다. Fig. 9(a)에서 볼 수 있는 훨씬 큰 와류영역 형성으로부터, 차압이 같을 때 상대적으로 길이가 짧은 유로 요소가 더 큰 압력강하율을 나타내고 그만큼 섭동이 크고 강한 와류가 형성됨을 알 수 있다. 이로부터, 트림 설계 시 각 유로의 길이를 짧게 조합



**Fig. 10** Pressure profiles along the centerline in C4 and C8 elements with  $B/A = 7$  ( $A = 2$  mm)



**Fig. 11** Pressure profiles along the centerline for several ratios of  $B/A$  with the same total length ( $A = 2$  mm)

한 트림은 긴 유로의 트림보다 상대적으로 압력 강하 특성이 나쁠 것으로 예상된다.

Figure 10에 굴곡 횟수가 4회와 8회로 서로 다르고 길이와 폭은 서로 같은 두 유로 요소의 중앙 압력선을 유로를 따라가며 나타내었다. 전-후단(즉, 입구-출구) 차압이 같을 경우 굴곡횟수에 따라 압력강하 특성이 달라짐을 볼 수 있다. 트림 유로 설계시 굴곡 길이뿐 아니라 굴곡횟수가 유동흐름을 바꿔 놓을 수 있다는 것을 의미한다. 동일한 폭-길이비를 가지면 전체 유로의 길이가 동일하다. 이 경우에 굴곡횟수가 많으면 압력이 유로를 따라 상대적으로 완만히 감소함을 알 수 있다. 즉, 케비테이션 억제에 관점에서 C4 요소보다 C8 요소가 더 유리하다. 이 그림과 Fig. 6의 결과

를 종합하면, 굴곡횟수가 증가함에 따라 유량이 감소하는 단점이 있지만 압력이 완만히 감소하는 장점을 얻을 수 있다.

Figure 11에 유로의 총 길이는 같고 굴곡횟수, 즉 B/A가 다른 모델 2개에 대한 중앙압력선을 나타내었다. 이로부터 총 길이가 같을 때 굴곡횟수가 많아질수록(즉, B/A가 작을수록) 압력강하 폭이 작아 국부압력강하로 인한 캐비테이션 현상이 줄어들 것으로 예상된다. Figs. 8, 10 및 11의 결과로부터, 유로의 길이보다는 굴곡횟수가 완만한 압력강하에 큰 영향을 끼침을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 고차압 속도 제어형 밸브 트림의 기본 형상인 90° 굴곡진 형상의 단위 유로 요소에서의 유동특성을 파악하였다. 굴곡특성을 살피기 위해 4회와 8회의 굴곡형상의 유로 요소에 차압 400 kPa를 주어 유량 특성을 파악하였다.

상사성이 적용된 유로 요소에 대해 각 굴곡횟수에 따른 유량특성을 관찰하여, 폭-길이 비가 증가할수록 유량이 증가하다가 감소하는 경향이 나타남을 알 수 있었다. 이는 굴곡을 4회, 8회 갖고 있는 요소에서 모두 동일하게 나타나지만 4회의 굴곡을 갖는 요소는 폭의 7배까지 유량이 증가하고, 8회의 경우에는 길이가 폭의 5배까지 유량이 증가하였다. 폭과 길이가 같을 때 굴곡횟수가 많을수록 유량이 감소하지만, 차압은 입구에서 출구까지 비교적 선형적으로 감소하였다. 이러한 결과를 새로운 트림 설계시 유량조절과 압력강하 양상의 측면에서 적용하여 트림 내부 형상 및 크기 결정에 반영할 수 있을 것이다.

## 후 기

본 연구는 키벨브기술(주)의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Jang, H., Yoon, I. S. and Kim, Y. B., 2008, "The Intact Evaluation of High Pressure Control Valve Trim Parts," *Proceedings of KSME Fall Conference*, pp. 581~584.
- (2) ANSI/ISA, 2002, "ANSI/ISA-S75: Flow Equations for Sizing Control Valves."
- (3) Rahmeyer, W. J., Miller, H. L. and Sherikar, S. V., 1995, "Cavitation Testing Result for a Tortuous Path Control Valve," in *Cavitation and Multiphase Flow* (Edited by J. Katz and Y. Matsumoto), American Society of Mechanical Engineers, FED-Vol. 210, pp. 62~66.
- (4) Cavallo, P. A., 2005, "Transient Simulations of Valve Motion in Cryogenic System," *35th AIAA Fluid Dynamics Conference and Exhibit*, AIAA-2005-5152.
- (5) Davis, J. A. and Stewart, M., 2002, "Predicting Globe Control Valve Performance Part I: CFD Modeling," *Journal of Fluid Engineering*, Vol. 124, pp. 772~777.
- (6) Jang, H., Kim, Y. B., Kwon, K. J., I. S. Yoon, J. W. Yoon, 2009, "Development of the Control Valve Helical Trim Under High Pressure Drop for Nuclear Power Plant," *Proceedings of KSME fall Conference*, pp. 2309~2314.
- (7) Yoon, I. S., Kim, Y. B., Jang, H., Hwang, J. H. and Kang, Y. M., 2008, "The Performance Comparison Evaluation of Control Valve Shape," *Proceedings of KSME fall Conference*, pp. 2771~2776.
- (8) Yoon, J. Y., Byun, S. J., Yang, J. M. and Lee, D. H., 2001, "Numerical Analysis of the 3-D Flow Field in a Globe Valve Trim under High Pressure Drop," *Transactions of Korean Fluid Machinery Association*, Vol. 4, No. 3, pp. 14~20.
- (9) Ahn, Y. J., Kim, B. J. and Shin, B. R., 2007, "Numerical Analysis on Flow Characteristics of High Pressure Drop Control Valve with Anti-Cavitation Trim," *Journal of Korean Fluid Machinery Association*, Vol. 10, No. 4, pp. 61~70.
- (10) Alexandrou, A., 2002, *Principles of Fluid Mechanics*, Prentice-Hall, New Jersey.
- (11) Menter, F. R., Kuntz, M. and Langtry, R., 2003, "Ten years of Industrial Experience With the SST turbulence Model," in *Turbulence Heat*



- and Mass Transfer 4* (Edited by K. Hangalic, Y. Nagano, and M. Tummers), Begell House Inc., New York, pp. 625~632.
- (12) Kim, T. Y., Lee, B. S. and Lee, D. H., 2005, "Study on the Unsteady Wakes Past a Square Cylinder near a Wall," *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 19, No. 5, pp. 1169~1181.
- (13) ANSYS Inc, 2009, *CFX User Manual*, Ver. 12, Southpointe.
- (14) ANSYS Inc, 2009, *CFX Advanced Turbulence Models*, Southpointe.
- (15) Mentor, F., Ferreira, J. C., Esch, T. and Konno, B., 2003, "The SST Turbulence Model with Improved Wall Treatment for Heat Transfer Predictions in Gas Turbines," *Proceedings of the International Gas Turbine Congress*, IGTC-2003-TS-059.
- (16) KS, 1999, "KS B 2101: Test Procedures for Flow Coefficient Valves."
- (17) Skousen, P. L., 2005, *Valve Handbook*, Mc-Graw Hill, New York.
- (18) Brennen, E. C., 1995, *Cavitation and Bubble Dynamics*, Oxford Univ. Press, Oxford.
- (19) Franc, J. P., Michel, J. P., 2004, *Fundamentals of Cavitation*, Springer, New York.