Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering
Vol. 32, No. 1, pp.85－93, March 2009.

CAD 소프트웨어를 활용한 3인치 PFA 라이닝 플러그 밸브 본체의 형상설계

강 신 한†

한라대학교 기계자동차공학부

A Study on the Geometric Body Design for a 3"-PFA-lined Plug Valve using CAD Softwares

Shin Han Kang†

School of Mechanical and Automotive Engineering, Halla University

In this paper, the geometric design for the body of a 3"-PFA-lined plug valve is concerned, and body model which has less deformed PFA-resin after injection molding process is proposed. A CAE software is used to simulate the deformation due to heat in cooling. To reduce the deformation, some small shapes are added to PFA-resin surfaces related on wall of the valve housing. And thermal stress simulation with FEM methodology is followed after that. Also, the 3D-CAD package is used during the design processes. In this study, I tried to present the possibility to use the FEM analysis in the solid modeling process. So, the design engineer will be able to use analysis package effectively on his job within the limited range.

Keywords : PFA-lined, Plug Valve, Solid Modeling, CAD/CAE, Deformation

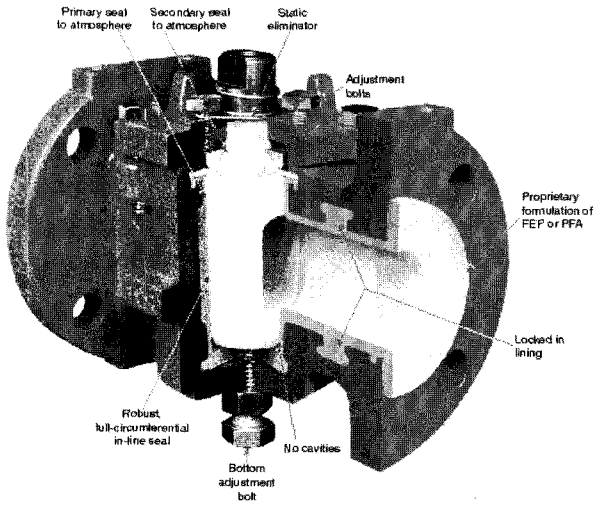
1. 서 론

통로개폐를 통하여 유체의 제어(유량, 압력, 유속), 유체방향전환, 수송 및 차단 등에 활용되는 기기를 일반적으로 밸브(valve)라 한다. 밸브는 기본적으로 유체를 제어하는 부품과 이들 제어부품을 구조적으로 안전하게 유지하는 몸체로 구성된다. 손잡이 휠 또는 레버로 작업자가 직접 작동시키는 밸브를 수동 밸브라 하며, 유동의 정지 및 개시와 같은 단순 개폐용으로 주로 사용된다. 통상적으로 수동 밸브는 설계 및 용도에 따라 회전밸브, 정지 밸브, 슬라이딩 밸브, 탄성 밸브와 같은 4가지 형식으로 분류되며, 그 중 회전 밸브는 내부에 포함되어 있는 폐쇄부품에 대해 1/4 회전운동을 활용하는 밸브로, 유로의 변화 없이 몸체와 폐쇄요소가 직선유로를 형성하고 있는 밸브이다. 회전 수동밸브의 대표적인 예가 플러그 밸브, 볼 밸브, 버터플라이 밸브로, 단순개폐, 전체유동(full flow)에 적용된다. 가격이 저렴하고 용도가 다양하여 프로세스 산업에서 가장 많이 사용되는 것이다.

플러그 밸브는 몸체를 통해 직선유로를 형성하거나 정지시키기 위해 원통형 또는 테이퍼 플러그를 1/4회전시켜 사용하는 수동 밸브로, 플러그에는 직선형 유로가 형성되어 있다. 반도체 제조 공정이나 화공 프로세스와 같이 화학약품을 취급하는 곳에는 부식성 때문에 금속제 유로를 사용할 수 없기 때문에, 내면 유로부를 불소수지로 라이닝한 파이프, 플랜지, 밸브 등 배관자재를 사용한다. 라이닝 플러그 밸브(lined plug valve)는 외형

논문접수일 : 2008년 09월 30일　논문수정일 : 2009년 01월 21일　게재확정일 : 2009년 01월 30일
† 교신저자 shkang@halla.ac.kr
※ 이 논문은 2008년도 한라대학교 교수 연구년 프로그램에 의해 작성되었음.

상 일반적인 플러그 밸브와 큰 차이가 없으나 부식방지를 위해 내면부에 PFA, ETFE, PTFE 등과 같은 불소계 수지가 가공되어 있는 것이다. 수지를 밸브 몸체에 가공하는 방법으로는 사출성형이 주로 적용된다. 불소수지를 코팅한 라이닝 밸브는 내식성, 비점착성, 내열성이 우수하여 고온고압환경인 반도체 제조 또는 화학분야의 약액 이송 프로세스에 중요하게 사용되며, 액체 및 가스, 식품, 의약품 산업에도 적용될 수 있다. <Figure 1>은 외국산 제품의 카탈로그에서 발췌한 라이닝 플러그 밸브의 사례를 보여준다[1].



<Figure 1> An example of lined plug valve

일반적인 플러그 밸브에서는 유체누설을 억제하기 위하여 경사진 플러그를 이용하여 플러그와 밸브 본체 사이에 대한 틈을 줄이는 방법을 주로 활용한다. 상부 캡을 조이면 이에 의한 축방향 힘이 경사진 플러그를 슬리브 내부에 밀어 넣게 되어 타이트한 밀봉이 이루어지도록 되어 있다. 반도체 또는 화공 프로세스산업에 적용되는 라이닝 밸브는 미소누수(dripping)로부터 밸브를 보호하기 위해 몸체 외면에 방식성 코팅은 물론 대기로의 누출을 방지하기 위해 이중밀봉 스템(stem) 구조를 취하고 있다. 이 때 라이닝 밸브에서는 수지와 수지가 접촉함에 따라 마찰이 커져서 금속-수지 간 접촉보다 높은 시동(breakout) 토크를 요구한다[2, 3].

라이닝 플러그 밸브에 있어 밸브 몸체와 플러그 사이의 틈을 줄여서 유체 누설을 억제하기 위하여 밸브 중앙부 플러그와 밸브 몸체 내면이 억지끼워맞춤 방식으로 조립된다. 이 경우 고온으로 사출된 내면 수지부는 고온에서 상온으로 온도변화가 생김으로 인해 수축되어 플러그를 압박하게 되고 이는 플러그 회전을 방해하는 요인으로 작용하여 밸브 개폐동작 시 큰 힘을 요하게 된다. 따라서 라이닝 플러그 밸브에 있어 몸체와 플러그 간 틈새가 없어야 하며 동시에 내면 수지부 변형을 소화하여 플러그와 밸브 몸체의 회전 토크를 최소화해야 할 필요가 있다.

정밀화학 및 반도체생산 플랜트에 사용되는 배관 및 밸브, 탱크(tank) 등과 관련된 라이닝 제품의 시장규모가 매년 커지고 있으며, 이에 따른 업체 간 경쟁도 심해지고 있다. 극심한 경쟁체제 속에서 소비자의 요구를 만족시키기 위해 제조업체는 품질향상 및 가격경쟁력 확보를 위한 설계기술과 원가를 절감할 수 있는 생산기술 확보를 위한 노력이 절실히 요구된다 할 것이다.

플러그 밸브의 성능과 누설방지를 위한 개선사례는 있었으나[4], 라이닝 플러그 밸브와 관련된 사례는 아직 찾을 수 없었다. 최근, 국내에서 산학연 컨소시엄 공동기술개발사업을 통한 2인치 밸브에 대한 제품개선이 시도된 바 있다[5]. 저자가 소속된 대학 인근에는 2개 업체 이상의 라이닝 플러그 밸브 제조업체가 공단에 입주하고 있다. 각 업체는 중소기업으로 각종 라이닝 제품을 제조하여 공급하고 있다. 설계에 있어 CAD 모델링 시스템을 도입하여 적극적으로 사용하기 시작하였으며, CAD 시스템에 이어 구조해석에 대한 관심은 있으나 경험부족과 비용부담으로 인해 시도하지 못하고 있었다.

본 논문은 중소기업 애로기술 지원을 위해 컨소시엄 기술개발 및 기술지도와 같은 산학협력과제를 수행했던 경험에 기반을 두고 있으며, 해석 경험이 부족한 설계담당자가 초기설계단계에서 해석시뮬레이션 기법을 적용하여 수지부 변형이 최소화되도록 고려된 라이닝 플러그 밸브의 본체 형상을 설계하는 과정을 이해할 수 있도록 지원하는 것에 주안점을 두고 있다.

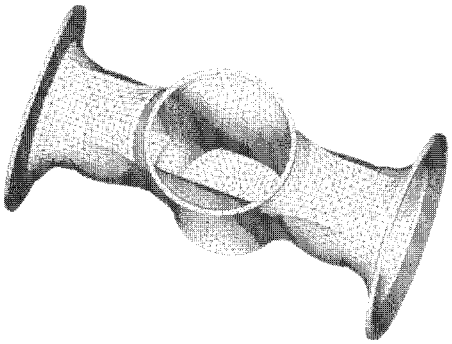
2. 연구내용

2.1 연구목표 및 방법

본 연구에서는 밸브 본체 중앙 플러그 부위에 대한 PFA 수지부의 변형이 최소화되도록 설계하여 밸브 개폐를 위한 플러그 회전 시 조작력이 과도하게 커지지 않도록 하는 밸브 본체를 설계하는 것에 초점을 맞추고 있다. PFA는 Perfluoroalkoxy의 약어로, 테프론(Teflon) 수지의 한 종류이며, 불소계 수지 중 가장 안정적이고 이상적인 재료로 알려져 있다. PFA는 200[℃] 이상의 고온에서 사용이 가능하고, 난연성, 내열성이 우수하며, 불소가스, 3불화염소, 용융 알카리금속을 제외한 모든 화학약품에 대하여 안정적인 재료이다[6, 7]. 플러그 밸브에 라이닝되는 PFA 수지는 최초 분말(rosin) 상태에서 350

[℃] 이상인 고온에서 용융된 후, 하우징에 직접 사출되어 본체 내면을 형성한다. 사출된 수지부는 상온까지 냉각되는 동안 수축현상이 나타나고 이에 의해 변형이 발생하게 된다. 본체 중앙부 플러그와 유로부에서의 변형이 <Figure 2>와 같이 다른 부위에 비해 심하게 나타나는데, 플러그부에서의 변형은 조립되는 플러그에 대한 조임현상을 가져오게 된다.

조임현상은 밸브 개폐를 위한 플러그 회전운동을 방해하여 밸브 개폐 시 과도한 조작력을 요구하게 되어 불만의 요인이 될 우려가 있다. 밸브로써의 고유한 성능은 유지하면서 조작력은 최소화하는 것이 밸브업체의 주요 목표가 되고 있다.

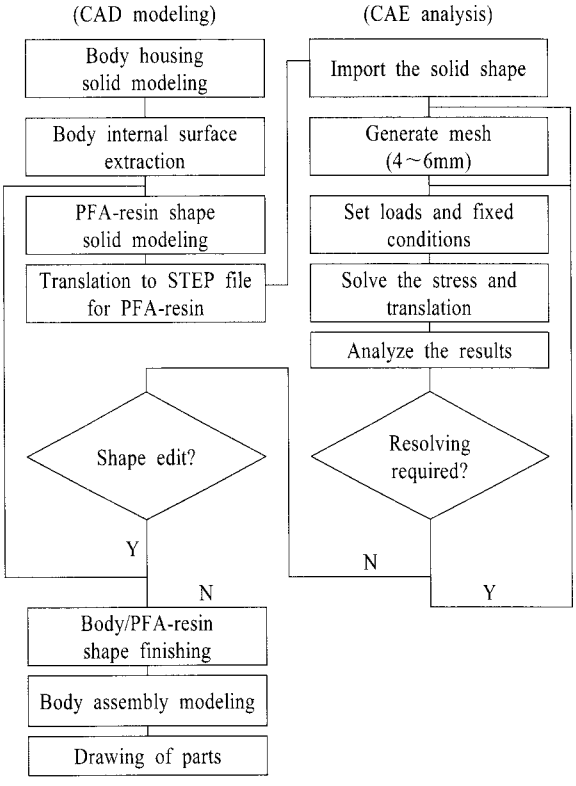


<Figure 2> Simulated deformation of PFA-liner

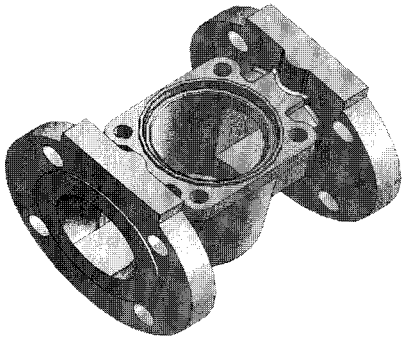
온도변화에 따른 수지부의 변형예측을 위해 해석기법을 적용한다. 구조해석(structure analysis)은 전문적인 지식을 요구하는 기법으로 제품설계 담당자가 짧은 시간에 획득할 수 있는 것은 아니다. 그리고 변형값을 정확하게 예측하기 위해서는 소프트웨어와 각종 이론이 요구되므로 비용도 크게 증가한다. 본 연구에서는 정확한 변위값을 구하는 것이 아니라 초기설계단계에서 단순화된 해석 시뮬레이션을 통해 설계담당자가 변형의 경향을 파악하여 짧은 시간에 반영할 수 있도록 하기위해 선형해석기법을 적용하였다. 모델링작업에는 회사에서 사용하는 'Solidworks'를, 해석작업에는 대학이 보유한 'MSC Nastran for Windows'를 이용하였다[8, 9, 10]. 형상 모델링 후 이를 step 파일로 변환하고 해석프로그램에 입력하여 변형 시뮬레이션을 수행하고 변형억제를 위한 형상변경 및 이에 따른 변형을 시뮬레이션 하였다. <Figure 3>은 개략적인 기본적인 CAD/CAE 작업 흐름을 보여준다. 이를 통해 해석기술이 부족한 설계담당자가 초기설계과정에서 제한된 범위 내에서 짧은 시간에 반복적인 시뮬레이션을 통해 변형이 줄어드는 변형억제형상의 위치를 결정하고, 설계에 적용하는 과정을 이해하고 응용할 수 있도록 지원하고자 하였다.

2.2 형상 모델링

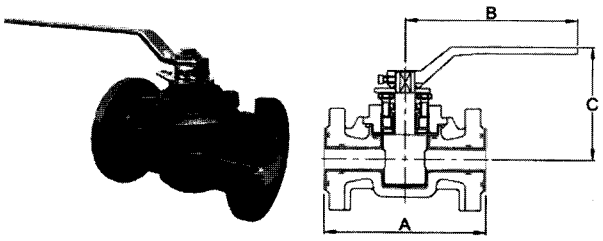
연구 진행을 위해 먼저 <Figure 4>와 같이 밸브 하우징에 대한 솔리드 모델링을 수행하였다. 밸브의 윤곽은 기존 제품의 형상을 최대한 유지하며 개선방안을 찾도록 추진하였다. 밸브 하우징은 주조공정을 통해 제작되며 이 과정에서 기존 금형의 변경을 최소화하기 위해 노력하였다. <Figure 5>와 같은 기본치수는 업체 홈페이지 또는 카탈로그에서 확인할 수 있다[11]. 본체 내면에 사출되는 수지부 모델링을 위해 밸브 본체에서 내부 서피스를 추출한다(<Figure 6(a)>). 대부분의 솔리드 모델러는 솔리드에서 서피스를 추출하는 기능을 제공하고 있으며, 'knit surface' 또는 'offset surface' 등이 있다. 'knit surface' 명령을 이용할 때는 솔리드 내부의 서피스를 클릭하면 되고, 'offset surface' 명령인 경우에는 해당 면을 선택한 후 offset 값에 '0(zero)'을 설정하면 동일한 서피스가 추출된다. PFA 수지부 해석에 필요한 솔리드 모델은 추출된 서피스에 'thicken' 기능을 적용하면 손쉽게 생성된다. <Figure 6(b)>는 두께로 3[mm]를 설정하여 얻어진 솔리드 형상이다. 서피스 추출과 두께변환 기능을 활용하면 본체내면 수지부에 대한 솔리드 모델링을 위해 스케치를 비롯한 피처를 새로 생성하지 않아도 되므로 작업시간이 단축되고, 향후 간섭이 없는 정확한 조



<Figure 3> The process flow for CAD/CAE

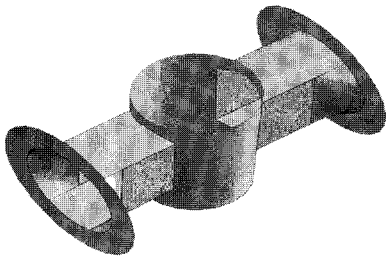


<Figure 4> A solid model of body housing

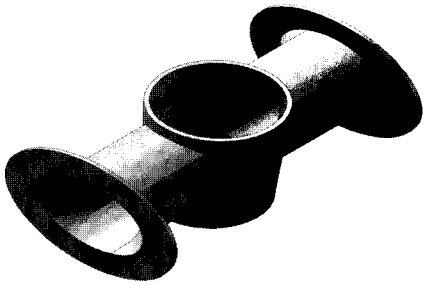


To suit pipework NB		Face - Face A	CL to end of wrench	CL to top of wrench
Inches	mm	mm	mm	mm
1/2"	15	108	260	139
3/4"	20	117	260	139
1"	25	127	260	139
1.1/2"	40	165	260	145
2"	50	178	410	165
3"	80	203	410	179
4"	100	229	674	222
6"	150	267	G/O	G/O

<Figure 5> A case of dimension of lined plug valve



(a) Surface extracted from body housing



(b) Solid thickened from surface

<Figure 6> The CAD model for PFA-resin

립모델을 얻을 수 있다. PFA 수지부 모델에 변형을 억제할 수 있는 형상을 추가한 후 시뮬레이션을 통해 변형이 최소화되는 결과가 얻어지면, 라운딩과 같은 다듬기 작업을 거쳐 최종 형상을 확정한다.

2.3 시뮬레이션의 배경

구속되어 있는 물체의 온도가 증가하거나 감소하게 되면 길이가 늘어나거나 줄어드는 변형이 발생하게 되는데 a를 선팽창계수(linear coefficient of expansion), Δt를 온도차라 하면, 변형율과 응력은 다음과 같다.

change in length : $\Delta L = La\Delta t$ (1)

temperature strain : $\varepsilon = a\Delta t$ (2)

temperature stress : $\sigma = E\varepsilon = Ea\Delta t$ (3)

만일, 바(bar)나 빔(beam)에 있어 1보다 작은 분수 n만큼 변형이 허용되면 식 (1)~식 (3)은 다음과 같이 된다.

$$\Delta L = (1-n)La\Delta t \quad (4)$$

$$\varepsilon = \Delta L/L = (1-n)a\Delta t \quad (5)$$

$$\sigma = (1-n)aE\Delta t \quad (6)$$

한 예로 1/3정도의 변형이 자유롭게 허용되는 구조물에서는 변형의 전체를 억제하는 경우 대비 2/3만큼의 열응력과 변형이 나타남을 의미한다[12].

구조물해석에 있어 많은 경우 von Mises응력을 사용한다. 설계하는 구조물은 3차원 응력상태를 가지게 되지만 3축 방향응력을 이해하기 쉽게 스칼라(scalar) 값으로 변환한 von Mises 응력은 재료의 항복여부를 점검하는데 사용할 수 있다. 이 응력값과 항복응력을 비교하여 계산된 응력값이 더 크면 그 재료는 소성변형한다고 생각하는 것이 좋다[13]. 이 내용을 참조하여 수지부의 변형을 억제하기 위한 보조형상의 위치와 수에 따라 전체 변형이 달라질 수 있으므로, 전체 변형을 최소화하는 형상을 찾고자 하였다. 대부분의 라이닝 플러그 밸브에서 변형억제를 위한 형상을 볼 수 있으나 크기와 모양은 제조사마다 다르다. <Figure 1>을 살펴보면, 흰색으로 보이는 수지부에서 플러그와 플랜지 사이 유로의 중간위치에 T자형 형상이 있는 것을 볼 수 있다. <Figure 5>에 나타난 밸브에서는 플랜지부와 밸브 양 끝면에 변형억제 형상이 나타나 있다. 이 부분에 대한 적절한 명칭을 확인할 수 없어 본체 하우징 슬롯에 사출되어 수지부와 하우징 표면이 벌어지는 것을 억제하며 수축에 의한 수지부 형상 변형을 억제해 주는 점을 감안하여 설계담당자와 협의를 통해 '변형억제부'라 이름을 붙여 사용하기로 하였다. 국내외 대다수 제품이 변형억제부를 채택하고 있으나, 주로 유체 유로(passage)

에 설치된 형상 위주로 확인되었으며, 플러그 부위에서의 변형억제 형상은 수집된 자료만 가지고는 확인이 곤란하였다.

2.4 시뮬레이션 과정

CAD 모델링 소프트웨어와 해석 소프트웨어는 각각의 전문성에 따라 독립적으로 운영되었기 때문에 캐드데이터를 바로 읽어 들이지 못하는 경우가 대부분이다. 해석 소프트웨어에 형상정보를 얻기 위한 모델링 모듈이 있기는 하나 상용 CAD 소프트웨어가 갖는 다양하고 편리한 기능을 제공하지는 못한다. CAD 모델이 존재하는 경우 해석작업을 위해 다시 모델링하는 것은 매우 비효율적이므로 즉시 활용할 수 있는 방법이 필요하게 된다. 일반적인 방법이 표준파일로 변환하여 사용하는 것으로, step, iges, para-solid 등이 해당된다. 모델 생성 후 'save as' 명령을 이용하여 저장 포맷을 선택하면 해당 파일로 변환하여 저장한다.

최근 3D-CAD 소프트웨어의 기능이 강화되는 추세에 맞추어 해석기능을 포함하거나 전문 해석프로그램과 연계한 모듈을 제공하기도 한다. 그러나 해석모듈은 CAD 모듈에 비해 상대적으로 가격이 높아 중소기업에서 구매하여 사용하기가 부담스러운 현실이므로 기업과 대학이 산학협력체제를 구축한 후 대학측이 해석작업을 지원하는 것이 효율적인 접근법으로 생각된다.

해석을 위해 입력된 솔리드모델을 요소로 분할해야 하는데, 사용이 간편한 솔리드 자동 메쉬생성 기능을 이용한다. 전체요소 수는 솔버(solver)의 계산량을 지배하는 주요 인자가 되며 기본크기 값이 너무 작으면 전체 요소수가 증가하며, 요소수가 너무 많으면 결과산출 시간이 길어지게 된다. 본 연구에서는 몇 가지 비교사례를 통해 4[mm]로 설정하였다. PFA의 물성값(property)은 <Table 1>과 같이 입력하였다. 입력된 물성 중 프와송비(Poisson's ratio)는 정확한 값을 얻기가 곤란하여 0.33으로 설정하였다. 이는 플라스틱 계열 재료에서 0.3~0.4인 것을 반영한 것으로, 전반적인 경향을 보고자 하는 점에서 무리는 없는 것으로 판단하였다[14, 15, 16]. 요소크기와 물성값을 정의하면 약 31,000개 내외의 요소로 구성된 해석모델이 얻어지며, 이를 이용하여 해석한 첫 번째 사례가 <Figure 2>이다.

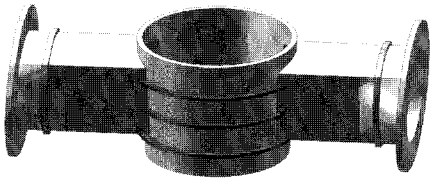
<Table 1> Properties of PFA

Term	Symbol	value	unit
Young's Modulus	E	600	MPa
Compressive yield strength	σ_{yc}	5.5	MPa
Poisson's ratio	ν	0.33	-
Linear thermal expansion coeffient	a	13×10^{-5}	$℃^{-1}$

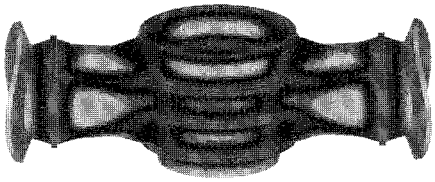
이어서 하중(load)과 구속조건(constraint)을 설정해 주어야 하는데, 본 연구에서는 PFA 수지부가 고온에서 용융된 후 사출공정에 의해 외형이 형성된 후 상온에서 냉각 및 조립하는 과정에서 발생하는 수축(temperature contraction)현상의 경향을 살펴보고자 하는것이 주된 내용이므로 절점(node)에서의 온도가 하중조건이 된다. 수지부가 고온에서 상온으로 냉각되는 것을 고려하여 초기온도를 부여한 후, 절점의 온도를 정의한다. 구속조건으로 모든 변형억제부에 포함되는 요소를 완전구속(fixed)시키고, 하중온도는 20[℃], 최초온도는 350[℃]로 입력하였다. 수지부에 정의되는 변형억제부의 위치에 따라 냉각 시 변형이 달라지므로 고려할 수 있는 여러 가지 경우에 대한 시뮬레이션을 거쳐 최종 위치를 결정하여 밸브 본체에 대한 초기설계를 완성하였다.

2.5 시뮬레이션 결과

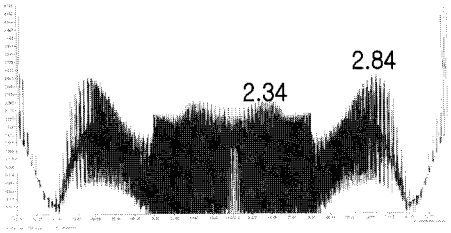
<Figure 6(b)>와 같은 수지부 기본형상은 변화가 없는 상태에서 외부에 추가되는 변형억제부의 위치와 수를



(a) Shape of PFA-resin



(b) Total translation contour

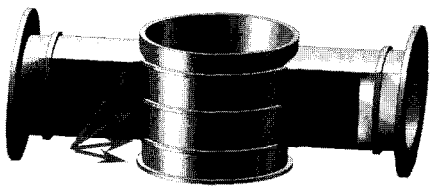


(c) Total translation(unit : mm)

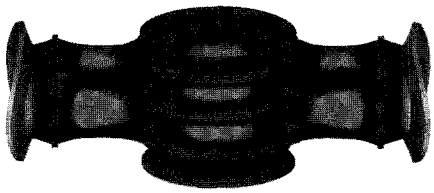
<Figure 7> Simulation with anchor model

변화해 가며 계산을 수행한 후, 변위를 기준으로 결과를 분석하였다. 플러그가 조립되는 부위에 대한 변위를 우선 고려하여 개폐를 방해하는 요인을 줄인 후 유로부에서의 변형을 최소화하는 방향으로 진행하였다.

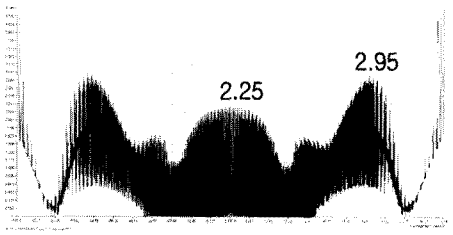
먼저 <Figure 7>과 같은 형상을 고려하였다. 이는 산학연컨소시엄과제를 통해 2인치 밸브 모델에 적용되었던 형상을 기준으로 비례적으로 생성한 모델이다. 2인치 밸브에 비해 3인치 밸브는 <Figure 5>에서와 같이 길이와 지름 등 외형적 치수가 커져 총변위의 절대값이 2인치 밸브 경우보다는 크게 나타났다. <Figure 7> 중앙부 그림은 총변위 분포(contour)이고, 하단부 그래프는 밸브 길이방향 절점위치별 총변위값을 표현한 것으로 단위는 'mm'이다. 밸브 유로와 플러그 부가 원통형이므로 변위 예측값은 그래프에 표시된 값의 2배로 고려해야 한다. 플러그부의 상부 방향으로 변형억제부가 분포되어 유로를 구성하는 플러그 부위에 대한 변위는 감소할 것으로 보이나 플러그부 바닥면 변위가 클 것으로 예측되었다. 바닥면이 위로 향하는 변형을 억제하기 위해 <Figure 8>과 같이 형상을 추가하였다.



(a) Modified PFA-resin model 1



(b) Total translation contour of modified model 1

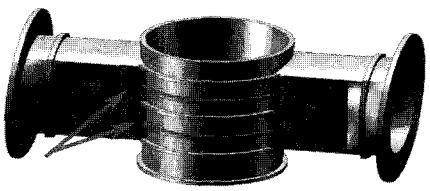


(c) Total translation of modiefied model 1(unit : mm)

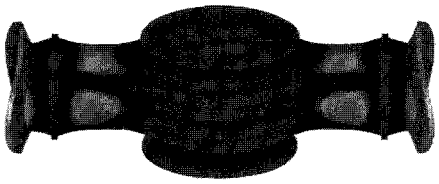
<Figure 8> Simulation for 3-plug/1-bottom anchor

<Figure 8>에 나타난 결과를 보면 플러그 부위 변형의 변화를 볼 수 있는데, 이는 플러그 바닥부가 고정되어 상하방향 변형이 억제됨으로써 나타난 결과라 할 것이다. 따라서 플러그부 바닥면을 고정하기 위한 형상추가는 효과가 있는 것으로 판단된다. 이어서 중앙 플러그 홀의 지름방향 변형을 억제하기 위하여 <Figure 9>와 같이 사이에 형상을 추가하였다. 계산결과를 통해 변위가 상당히 개선될 수 있음을 보았다. 좌우측 유로부에 형성되는 변위는 비슷하거나 소폭 증가하는 경향을 보이는데, 이는 중앙부 변형이 억제됨에 따라 주변부로 변형이 전달되어 생긴 결과로 생각된다. 고정부 사이에서 변형이 주로 생기는 것으로 볼 때 변형억제부의 간격을 줄이는 것이 변형을 억제하는 우선적인 방안이 될 수 있으나, 고정되는 형상이 늘어남에 따라 주변에 또 다른 변형을 가져올 수 있으므로 신중을 기해야 한다.

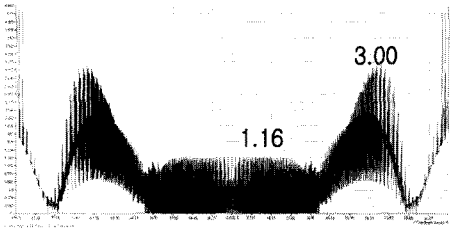
밸브 내 유로를 형성하는 수지부의 변형을 줄이기 위해 새로 고정할 부위를 추가하는것 보다는 기존 형상위치만 변경하여 좌우측으로 변형을 분산시키는 효과를 얻도록 시도하였다. 길이방향으로 중앙부에 변형억제부가 존재하게 되면 유로부의 변형이 고정점을 기준으로 좌우로 분산될 것이므로 한 쪽 변형이 다른 쪽 보다 과도하게 커지는 것은 막을 수 있을 것이라는 판단에 따른 것이며, 형상과 결과가 <Figure 10>에 나타나 있다. <Figure 9(c)>와 <Figure 10(c)>를 비교해 보면 유동통로



(a) Modified PFA-resin model 2



(b) Total translation contour of modified model 2

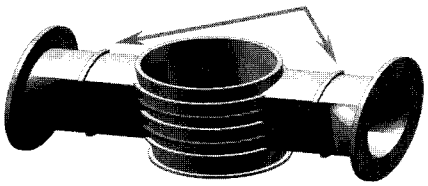


(c) Total translation of modiefied model 2(unit : mm)

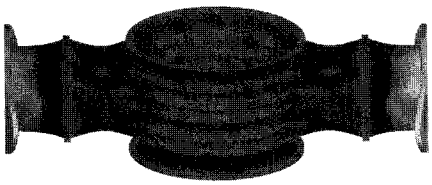
<Figure 9> Case of mid-5 anchor

부에서의 변형이 상당부분 개선됨을 알 수 있다. 이는 변형억제부가 중앙으로 이동함에 따라 변형이 유로부에서 플렌지부로 분산된 결과임을 예측할 수 있다.

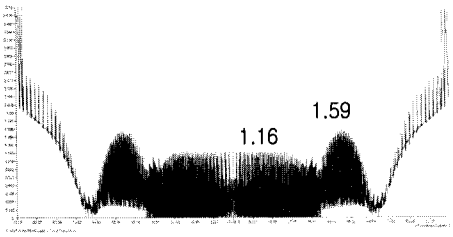
전체사례에서 좌우측 플랜지 부분에 대한 변형은 모두 나타나고 있는데, 억제된 내부 변형이 상대적으로 자유로운 부위로 전달되어 발생한 결과일 것이다. 좌우측 플랜지부는 향후 플랜트에서 파이프 또는 배관 부품과 가스켓을 통해 조립되므로 큰 영향을 주지 않는다. 따라서 밸브 양 끝면에서의 변형을 약간 허용하는 것은 유로부의 변형을 줄이는데 도움이 될 것으로 사료된다.



(a) Modified PFA-resin model 3



(b) Total translation contour of modified model 3

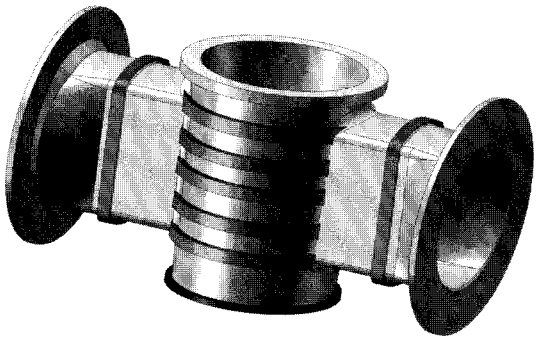


(c) Total translation of modiefied model 3(unit : mm)

<Figure 10> Modification position of side duct anchor

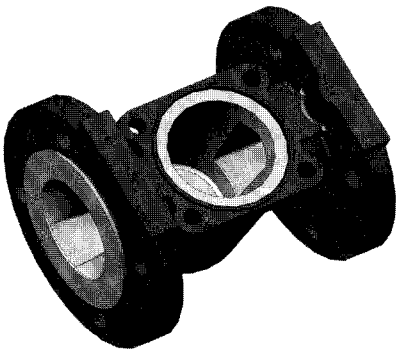
2.6 수지부 최종형상 및 조립모델 생성

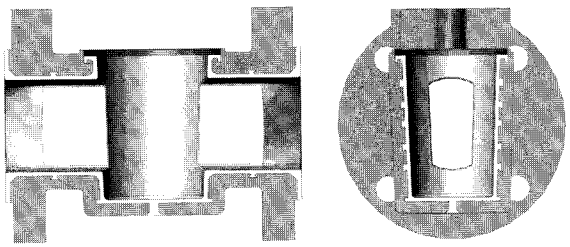
사례를 통해 <Figure 10>과 같은 수지부 모델을 채택하기로 하였다. 해석에는 모따기, 라운딩 등과 같은 부수적인 형상이 없는 모델이 사용되므로, 형상이 결정되면 다듬기 작업을 한다. <Figure 11>는 수정작업이 완료된 수지부 형상이다. 변형억제부가 추가되어 수지부 형상에 변화가 생겼으므로, 변화된 형상을 본체 하우징에 반영하는 작업이 요구된다. 본체 하우징에 변형억제형상을 추가하기 위해 스케치를 작성하고 하나하나 형상을 제거하는 과정을 거치면 번거롭고 시간을 요하며, 향후 조립모델 생성 시 간섭이 발생할 수 있다.



<Figure 11> Repaired solid part for PFA-resin

두 솔리드 형상 사이에 발생하는 공통부분은 불연산(Boolean operation)을 통해 효과적인 작업이 가능하다. 밸브 하우징 파트에서 교차되는 수지부 형상을 제거하는 'subtract' 기능을 활용하면 적절한 하우징 파트를 얻을 수 있다. 생성된 모델로 조립작업을 한 결과 간섭이 발생하지 않음을 확인하였다. 밸브 하우징과 수지부 형상이 완성되면 조립모델링을 수행한다. 연구결과 얻어진 3인치 본체부 조립모델(assembly model)을 <Figure 12>에 나타내었다.





<Figure 12> Modification position of side duct anchor

3. 결과 및 검토

앞에서 언급된 과정과 같이 3인치 PFA 라이닝 플러그 밸브 본체에 대한 형상을 완성하였다. 수지부 형상 정의를 위해 여러 가지 형태와 방법으로 30여 가지가 넘는 경우에 대한 'try and error' 방식의 시뮬레이션을 통해 온도변화에 따른 변형이 가장 작은 형상을 결정하였다. 이 과정에서 라이닝 플러그 밸브 수지부에 대한 정적해석모듈의 적용 가능성을 제시하였다. 이와 동시에 CAD 시스템을 사용할 수 있는 설계자가 자신의 아이디어가 반영된 형상을 정의하고 상대적으로 적은 시간과 비용을 투입하여 변형의 양상을 파악하여 초기설계 단계에서 오류를 제거하는 최근의 설계 경향에 적합한 접근방향을 설정하는 것을 지원하고자 하였다. 사출성형에 사용되는 플라스틱 계열 제품의 냉각 변형 자체는 비선형 범주에 들어가는 문제로, 정확한 결과를 시뮬레이션하는 것이 시간이나 비용 측면에서 수월하지 않은 것이 사실이다. 본 연구에서는 수지부 형상의 변형을 고려함에 있어, 사출성형 공정이 아니고 사출이 정상적으로 진행되어 설계된 형상을 갖추었다는 전제하에, 상온까지 냉각되는 온도변화에 따른 선형변형을 살펴보고 가장 변형이 작은 형상을 설정하는 시도를 하였다. 수지부 사출성형에 대한 냉각변형 해석은 이후 과정인 상세설계단계에서 본체 하우징과 금형을 설계하는 단계에서 고려될 수 있을 것으로 판단된다.

수지부 변형을 억제하기 위해 부가된 형상을 적용하면 본체 하우징 내면을 깎아내 슬롯(slot)을 생성하는 것이 되고, 이는 하우징에 대한 노치(notch)로 볼 수 있다. 고체 내부에 노치가 존재하면 응력집중 현상으로 구조적으로 약해질 가능성이 있으므로, <Figure 12>에 보인 수지부가 조립된 본체 조립모델에 대한 인장, 굽힘, 열잔류응력, 비틀림 등 전형적인 구조안정성 검토작업이 이어져야 할 것이다.

제안된 형상이 제품으로 실용화되기 위해 고려해야 할 사항이 제조원가이다. 본체 하우징은 주조과정을 통해 제작되기 때문에 변형억제 형상을 반영하기 위한 슬롯형상을 생성하는 제조공정 및 가공방법에 따라 제조원가가 달라진다. 중소기업형태인 제조업체간 가격경쟁이 극심한 시장환경 하에서 제조원가의 증가는 제조업체에 대한 압박요인으로 작용할 수 있다. 제조원가 범위 결정은 업체에서 수행해야 하며, 형상변경이 요구되더라도 시뮬레이션 과정을 통해 변경의 방향 및 정도를 결정할 수 있다. 그러나 해석작업에는 조건부여, 진행과정 등에 있어 가정과 간략화가 병행되어 있으므로, 결과 자체를 거르지 않고 모든 것을 완전히 신뢰할 수는 없다. 향후 신뢰도를 높이기 위해 설계자에게는 결과에 대한 이해와 분석을 위한 전문적 지식과 경험축적이 요구되며, 제품에 있어서는 최적화에 관련된 연구가 이어져야 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구를 통해 3인치 PFA 라이닝 플러그 밸브에 대한 개선된 본체모델을 제안하였다. 본체모델은 밸브 하우징과 PFA 수지부 모델로 구성되며, 수지부는 사출성형 후 냉각과정에 따른 변형으로 플러그를 압박하여 조작력을 증대시키는 것을 최소화하기 위한 형상을 갖고 있다. 제안된 모델은 시작품이 제작되어 성능시험 과정에 있다. 라이닝 플러그 밸브 초기설계 과정에 있어 제한된 범위이기는 시간과 비용 측면에서 가장 경제적인 선형해석 모듈을 PFA 수지부 변형 시뮬레이션에 적용할 수 있음을 제시하였다. 해석과정을 통해 변형의 경향을 파악하고, 캐드작업을 통해 형상을 변경함으로써 초기설계의 효율 증대가 기대된다.

향후 본 연구에 이어 수지부와 하우징이 결합된 조립모델에 대한 강성해석과 구조안정성 관련 연구와 최적화 및 제조원가를 낮추기 위한 공정계획에 관련된 검토가 이어져야 할 것이다. 그리고 상세설계를 위한 해석기법에 대한 연구가 요구된다.

참고문헌

[1] Tufline lined plug valve, Xomox Co., USA, 2, "http://www.dacriswell.com/PDFs/TuflineLinedPlugValves_329705_%207-04.pdf."

[2] 박한영, 정태희; 밸브핸드북, 홍릉과학출판사, 64-71, 2005.

[3] 편집부; 밸브 및 배관을 통한 유체흐름, 신기술, 23-24, 2003.

[4] Durco UK Limited; "Plug valve designed for low emissions," Sealing Technology, 38 : 6, 1997.

[5] 강신한; "PFA-lined 플러그 밸브의 내면수지부 형상설계", 한라대학교 논문집, 9 : 39-46, 2006.

[6] Dupont Co.; Teflon PFA, Internet web site, "http://www2.dupont.com/Teflon_Industrial/en_US/products/product_by_name/teflon_pfa/index.html."

[7] 동양프론테크(주); 불소수지의 특성, Internet web site, "http://www.dfc21.com/data/d_001.htm."

[8] 정인선 외 3인 공저; SolidWorks Bible and Training, 도서출판 과학기술, 2005.

[9] MSC/NASTRAN for Windows Quick Start Guide, The

MacNeal-Schwendler Corporation, 2000.
[10] 권진회 외 5인 공저; NASTRAN으로 배우는 전산구조해석, 경문사, 90-116, 2004.
[11] Corrosion Resistant Products Ltd.; "T4E-PFA Lined Plug Valve," Internet web site, UK, "http://www.crp.co.uk/plugvalves.aspx?page=19."
[12] Hearn, E. J.; Mechanics of Materials 1-3rd ed, Butterworth-Heinemann, UK, 13-14, 1997.
[13] 민승재; "설계자를 위한 해석입문-제7회(최종회) : 해석결과 확인", 한국 CAD/CAM학회지, 14(2) : 19-23, 2008.
[14] Cardarelli F.; Materials Handbook-A concise Desktop Reference, 2nd Ed., Springer, UK, 722-725, 2008.
[15] Waterman N. A. and Ashby M. F.; CRC-ELSEVIER MATERIALS SELECTOR, 3, CRC Press Inc., US, 1712-1715, 1991.
[16] Rosato, D. V. and Rosato, D.; Plastics Engineered Product Design, Elsevier Ltd., UK, 172-173, 2003.