



가상생산 및 실험을 통한 폴리에틸렌관과 금속관 일체형 볼 밸브의 개발에 관한 연구

서영성 · 유제혁 · 지민욱 · 송정현 · 이재윤

한남대학교 기계공학과 역학 및 재료 연구실, *(주)대경산업기술
(2009년 11월 17일 접수, 2010년 2월 28일 수정 2010년 2월 28일 채택)

A Study on the Development of Unified Ball Valve and Polyethylene-Steel Pipe Via Virtual Manufacturing and Experimental Approach

Yeong Sung Suh · Je Hyuk Yoo · Min Wuk Ji · Jeong Hyun Song · Jae Yoon Lee

Mechanics and Materials Lab, Dept. of Mechanical Engineering, Hannam University, Daejeon, 306-791, Korea

**Daekyeong Industrial Gas Industry Co., Ltd., Daejeon, 306-791, Korea*

(Received 17. November. 2009, Revised 28. February. 2010, Accepted 28. February. 2010)

요 약

가스 파이프의 배관 작업 중 작업 공정 수 및 단가를 낮추는 방법으로 PE관과 강관 일체형 볼 밸브를 개발하였다. 이를 위하여 먼저 유한요소해석을 근간으로 한 가상생산 지원 설계를 수행하여 누설에 대한 안전성을 갖는 프로토타입 제품 설계안을 제시하고, 이를 검증하기 위하여 누설 시험을 병행하는 통합적인 방법을 취하였다. 다양한 설계 모델을 대상으로 내압에 대한 접촉해석을 수행하여 제안된 최종설계안으로부터, 여름($\Delta T = 60\text{ }^\circ\text{C}$)과 겨울($\Delta T = -50\text{ }^\circ\text{C}$)의 과장된 온도의 변화조건에도 비교적 광범위한 부분에서 최대 접촉압력이 각각 71 MPa, 및 8.1 MPa를 유지할 것을 예측하였다. 최종설계안을 바탕으로 시제품을 만들어, 열간 내압크리프 시험을 수행하였으며 사용 압력(0.25 MPa)보다 훨씬 높은 가압조건(54 MPa)에서도 기밀을 유지하는 것을 확인하였다.

Abstract - In order to reduce the number of installation processes and the cost, a unified ball valve and polyethylene-steel pipe is proposed and tested. An integrated design approach is carried out such that a virtual manufacturing based on finite-element analysis is first performed in order to examine contact conditions under exaggerated temperature variations ($\Delta T = 60\text{ }^\circ\text{C}$ and $-50\text{ }^\circ\text{C}$ for summer and winter, respectively). From the final design configuration, it was predicted that the maximum contact pressures are 71 and 8.1 MPa for summer and winter, respectively, at relatively larger contact surface. Based on this observation, a prototype model is fabricated to go through an actual leakage test. The prototype pipe passed a hydrostatic strength test successfully, showing no leakage at even much higher (54 MPa) than the operational pressure (0.25 MPa).

Key words : unified ball valve and polyethylene-steel pipe, virtual manufacturing, finite-element analysis, leakage test, thermal hydrostatic strength test

1. 서론

최근 들어 점차적으로 폴리에틸렌(이후로는 PE: polyethylene)관이 많이 사용됨에 따라, 도시가스용

PE 볼 밸브는, 특히 수도권 및 지방 도시가스사에서 수년간에 걸쳐 검증을 거치면서 PE관에 매물형 스틸 밸브를 부착하는 경향이 늘어남으로써, 그 수요가 급격히 증가하고 있는 추세이다. 더구나 볼 밸브는 일반적으로 15년 주기로 교체와 보수작업을 함으로 지속적인 수요가 이루어지고 있다.

*주저자:suhy@hannam.kr

통상 가스 파이프의 배관 작업 중 주거지로 들어오는 부분의 강관으로부터 플라스틱 파이프로 연계되는 부분은 4단계의 설치공정과 중간에 TF(일체형 금속 및 합성수지 연결 부속품)를 연결하고 다시 소켓에 결합하는 과정을 거쳐야만 시공이 가능하였다 (Fig. 1(a)). 이 방법은 공정 수가 많고 추후 유지보수비용이 많이 들며, 용접과 용착의 공정이 적지 않음에 따라 누수의 위험이 더욱 높아진다는 단점과 시공 단면적이 커짐으로 인한 안전사고의 위험과 보수비용의 문제 또한 더욱 높아지고 있다는 점에서 개선이 필요했다. 본 연구에서는 이런 문제점을 해결하고자 PE관과 강(steel)관 일체형 볼밸브를 Fig. 1(b)와 같이 제안하였다. 이는 한 쪽에는 다른 PE관과 연결된 PE관이 볼밸브와 일체로 부착되고 이와 반대쪽엔 다른 강관과 연결되는 강관을 부착시키는 방법으로 일괄 생산하여, 현장에

서 배관작업을 간편하게 하는 방법이다. 이렇게 함으로써 PE관과 강관 일체형 볼 밸브의 복잡한 설치공정을 2단계의 공정으로 축소시켜줌으로써 기존 대비 50% 이상 작업시간을 단축 할 수 있으며 작업의 편리성을 대폭 강화하여 작업자들이 좀 더 편리하고 안전하게 시공 할 수 있다. 또한 작업 단면적이 대폭 줄어들어 시공비용 및 추후 도로 복구비용이 대폭 절감되는 효과를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 이와 같은 일체형 PE관-강관 볼밸브를 개발하기 위하여 유한요소해석을 근간으로 한 가상생산(virtual manufacturing) 지원 설계[1]를 수행하여 프로토타입 제품 설계안을 제시하고, 제품의 신뢰성, 특히 기밀성을 확인하기 위하여 누설시험을 병행하는 통합적인 방법을 취하였다. 즉, 강관 표면에 PE를 사출성형시킨 후, 볼 밸브의 본체에 용착시키는 과정에 있어서, 통상 PE가 강에 부착되지 않기 때문에 열응력을 고려한 유한요소해석을 통하여 두 재료 간의 접착이 잘 유지 될 것인지에 대한 점을 고려하고, 이에 수반된 문제점을 연구하여 최종 설계안을 제시하였다. 이를 근간으로 하여 프로토타입을 제조한 후, 누설시험을 수행함으로써 제품의 기밀에 대한 신뢰성을 검증하였다.

II. 가상생산 모델링 및 결과분석

2.1 배경

강(steel)과 폴리에틸렌(PE)은 극성(polarity)이 상이하기 때문에 잘 부착되지 않는다. 이 경우 접착면의 분리에 의하여 가스가 누설될 수 있다. 효과적인 부착을 위해서는 PE보다 강도가 높은 나일론(nylon)과 같이 강과 극성이 유사한 재료를 사용할 수 있으나, 이 경우, 강관에 나일론을 사출 성형하여 부분적으로 입히고 이를 PE와 용착시키게 됨으로 공정수가 늘어나는 단점이 있다. 또한 나일론을 사용할 경우, 가스에 대한 내식성을 유의해야한다. 또 다른 방법으로서 비극성인 PE에 첨가제(additive)를 가하여 극성을 높임으로서 강에 대한 부착도를 높일 수는 있으나, 이 경우, 생산비가 상승하므로, 이러한 화학적인 방법보다는 기계적인 방법을 선택하였다. 즉, 강 파이프에 구멍이 뚫린 플랜지를 부착하고 여기에 사출성형물을 둘러싸는 방법을 고려하였다. 이 과정에서 플랜지에 적절한 구멍을 배치하여 사출성형 후 PE 파이프 부분이 분리되지 않게 하고자 하였다.

제품이 현장에 설치되었을 때, 사계절 온도 변화에 따라 제품의 치수가 변화할 수 있고, 이에 따라 누설이 발생할 수 있으므로 개념설계안 몇 가지를

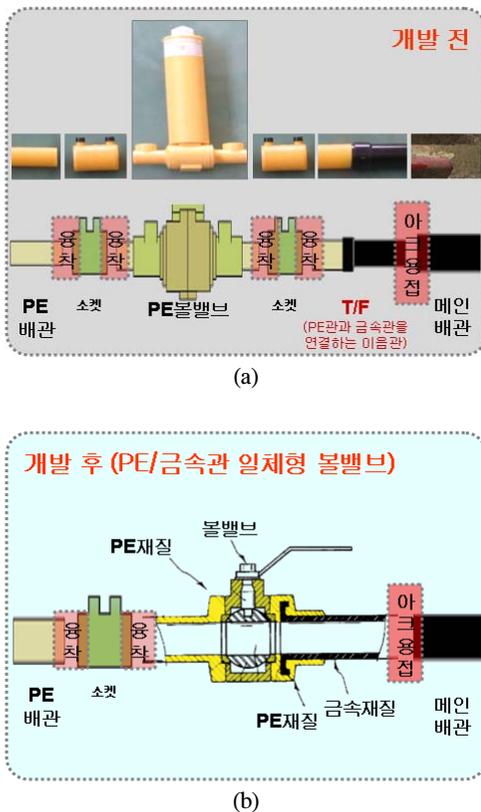


Fig. 1. (a) Typical practice of ball valve installation and (b) proposed concept.

유한요소 모델링하여 접촉 및 열응력 해석을 수행하였다.

2.2 유한요소 모델링

유한요소법은 공학문제를 수치적으로 분석할 수 있는, 매우 효율적인 방법 중 하나이며 이를 통해 최적의 제품을 설계할 수 있다. Pro-E를 사용하여 PE관과 강관을 모델링하였고, 해석은 Abaqus 6.7[2]을 사용하여 3차원으로 계산하였다. 재료의 단면이 축대칭(axisymmetric)인 점을 활용, 해석시간과 계산시간을 줄이기 위하여 1/4모델을 해석에 적용하였다. 요소당 4개의 절점을 가지는 사면체요소(C3D4)를 적용하였다. 파이프에는 다양한 기하적 형상의 플랜지를 붙여 사출성형 후 PE재료가 가능한 한 분리되지 않도록 고려하였다. 파이프의 양단 축 방향은 고정시켰으며 반경 방향으로만 움직임이 가능하도록 경계 조건을 부여하였다. 접촉이 예측되는 부분은 온도 변화에 의한 접촉 여부를 확인할 수 있도록 접촉처리를 하였다. 계산은 정확한 내연적(implicit)계산을 위하여 Abaqus standard 모듈을 사용하였고, 하중은 열하중과 내압을 고려하였는데, 온도는 $-30^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 로 변화한다고 가정하였다. 강관의 내부에는 가정용 표준 가스 배관 압력인 0.25 MPa보다 높은 0.4 MPa의 압력을 가하였으며, 가스가 누설이 되는지 확인하기 위하여 취약 부위로 예측되는 플랜지와 사출된 PE파이프의 접촉 압력을 중점적으로 관찰해 보았다. 파이프의 안쪽에서 0.4 MPa의 압력을 Step-1에서 가하고, 온도의 변화 과정은 Step-2에서 적용하였다. 해석에 적용된 기계적 물성치는 Table 1 과 같다. PE의 열팽창계수는 온도에 따라 변화하나, 본 연구에서는 개략적인 예측을 위해서 상온에서의 상수 값으로 적용하였다.

온도 변화에 따라 수축이나 팽창이 일어나고, 표면 간의 마찰에 의한 열이 발생할 수도 있지만, 이는 무시할 만한 것으로 가정하였으며 따라서 접촉면 간의 열저항에 의한 열전도 조건은 고려하지 않았다.

Table 1. Mechanical properties of steel and PE pipes.

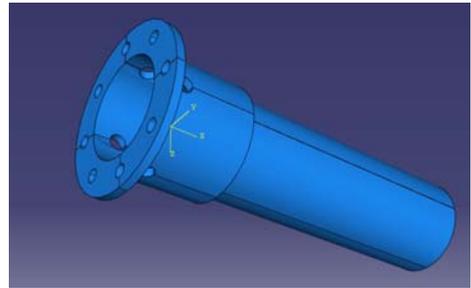
	Steel	PE
Elastic modulus	210 GPa	600 MPa
Poisson's ratio	0.3	0.46
Coefficient of thermal expansion	$1.1 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$	$1.4 \times 10^{-4} / ^{\circ}\text{C}$

2.2.1 경계조건

유한요소 모델은 원주 방향으로 1/4 대칭을 활용하였으므로 이에 상응하는 대칭 경계 조건을 부여하였다. 또한 PE관의 볼 밸브 접촉 부분은 축 방향으로 고정시켰으며 강관의 바깥쪽 부분은 모든 방향으로 고정시켰다(Fig. 2 (d) 참조).

2.2.2 하중조건

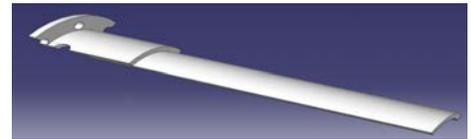
본 연구에서 하중조건은 2단계 과정으로 적용시켰으며 step 1에서는 가스에 의한 내압을 0.4 MPa로 주었으며, step 2에서는 전체 조립체에, 주변 온도를 실제보다 과장하여 부가하되, 여름에는 $20 \sim 80^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T = 60^{\circ}\text{C}$) 겨울에는 $20 \sim -30^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T = -50^{\circ}\text{C}$)로 변화하는 것을 가정하였다.



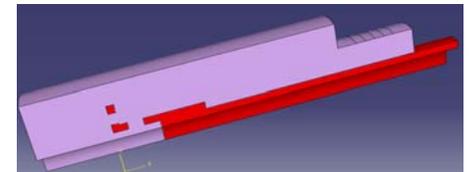
(a) Steel pipe



(b) Injected PE pipe (1/4)



(c) Steel pipe (1/4)



(d) Assembly of steel and injected PE pipes (1/4)

Fig. 2. Type-1 steel-PE pipe model.

2.3 다양한 설계안의 해석결과

2.3.1 Type-1 모델

2.3.1.1 특징

Fig. 2와 같이 강관 한쪽 끝부분에 폭 50 mm의 플랜지를 설치하고, 플랜지에는 원주 상으로 8개의 원형 구멍을 내고, 강관에는 4개의 원형 구멍을 내어 사출물이 통과할 수 있게 하였다.

2.3.1.2 해석결과

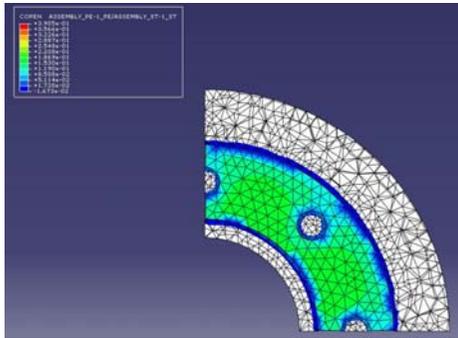
접촉의 여부를 일목요연하게 관찰하기 위해서 접촉의 열림도(COPEN: contact opening) 분포도를 통하여 예측하였다. 접촉의 열림도란 각 절점의 매스터 표면으로부터 슬레이브 표면 사이의 상대적 거리를 나타내며, “음”의 값은 접촉면이 닫혀져 있음을 나타낸다. 본문에서 설명한 바와 같이 푸른색으로 나타난(어두운) 부분이 “음”의 COPEN값을 가지며, 이는 이 부분이 접촉이 잘 이루어져 있음을

보인다. Figs. 3 (a), (b)의 PE 파이프와 플랜지 접촉 부를 보면 겨울에는 PE관의 수축으로 인해 축 방향 평면 전체 거의 모든 부분에서 양호한 접촉(푸른색)이 이루어지나, 여름에는 PE관의 반경 및 길이방향 팽창으로 인해 플랜지의 축 방향 코너부만 접촉이 되어, 기밀에 대한 안전도가 높지 않을 것으로 예측하였다.

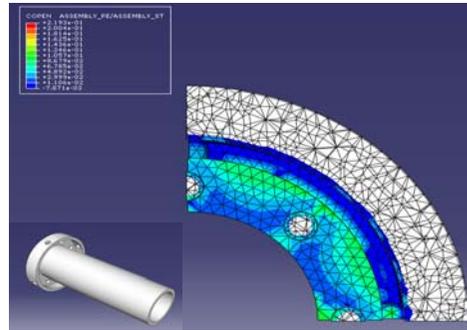
2.3.2 Type-2 모델

2.3.2.1 특징

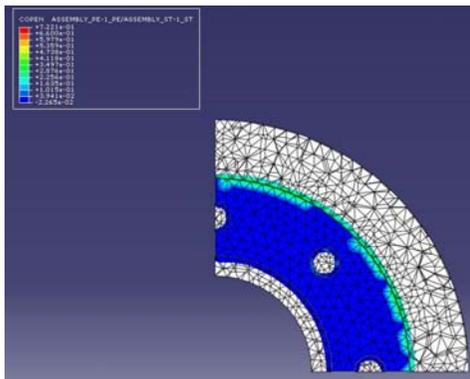
Fig. 4(a) 왼쪽 아래에서 보듯이, 강관 끝 부분에서 50 mm의 폭을 갖는 T자형의 플랜지를 설치하였고 강관을 축 방향으로 바라볼 때 플랜지에는 원주 상으로 8개의 원형 구멍을 내었다. 플랜지의 끝 부분은 T자 형태로 꺾였다. 꺾어진 부분에는 그림에서 보는 바와 같이, 4개의 원형 구멍을 내어 역시 사출성형물이 통과하게 하였다.



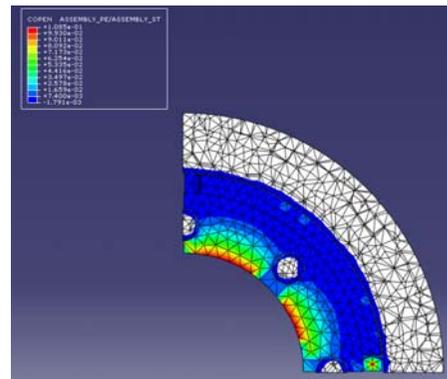
(a) Flange section for $\Delta T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$



(a) Flange section for $\Delta T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$



(b) Flange section for $\Delta T = -50 \text{ }^\circ\text{C}$



(b) Flange section for $\Delta T = -50 \text{ }^\circ\text{C}$

Fig. 3. Contour of contact opening for Type-1 model.

Fig. 4. Contour of contact opening for Type-2 model.

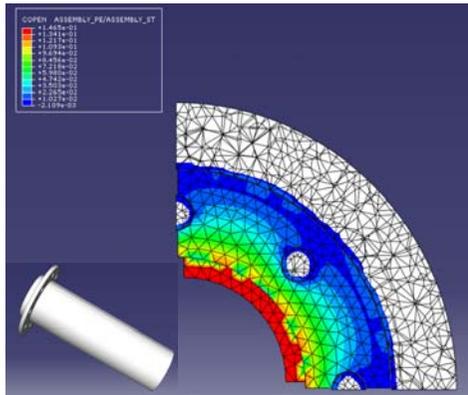
2.3.2.2 해석결과

Fig. 4에서 보듯이, PE관의 접촉 부위가 겨울에는 Type-1 모델의 경우보다 약간 감소하였으나, 여름에는 접촉 부분이 좀 더 증가하여 Type-1 모델보다는 기밀에 대하여 양호함을 보인다. 이 모델에서는 사출된 PE와 강관의 접촉 면적이 넓은 것으로 고려되므로 축 방향 평면의 접촉 면적을 좀 더 넓이는 방법을 고안한다면 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 보인다.

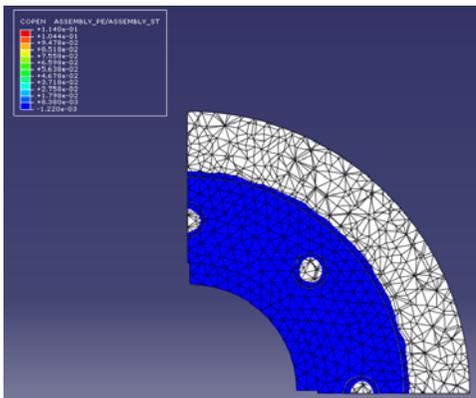
2.3.3 Type-3 모델

2.3.3.1 특징

Fig. 5(a)에서 보듯이, 강관의 왼쪽 끝에서 평플랜지를 설치하고, 플랜지에는 원주 상으로 8개의 원형 구멍을 내었다.



(a) Flange section for $\Delta T = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$



(b) Flange section for $\Delta T = -50 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Fig. 5. Contour of contact opening for Type-3 model.

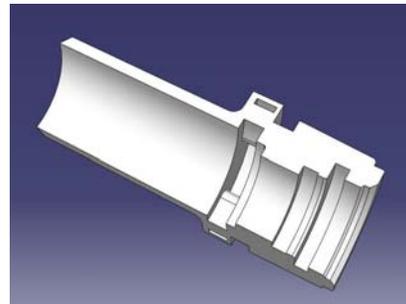
2.3.3.2 해석결과

각 단계별로 성형 해석을 통해 얻은 최종 형상은 Fig. 5와 같다. 이 경우에도 특히 여름의 경우, PE관의 접촉 부위가 Type-1 모델의 경우보다 대폭 감소하여, 이 유형은 채용하기 어려운 것으로 판단된다.

2.4 최종 설계안

2.4.1 특징 및 해석결과

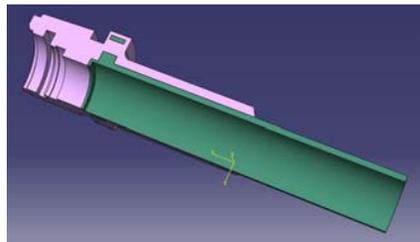
Type-1~3까지의 해석 결과를 토대로, 최종 설계안을 제시하고, 다시 해석을 통한 검토를 하였다. 온도 변화에 비교적 잘 대처할 수 있을 것으로 보이는 Type-2 모델을 근간으로 하여, 플랜지에 더 많은 사출물이 유동될 수 있도록 구멍의 면적을 확대하



(a) Injected PE pipe (1/4)

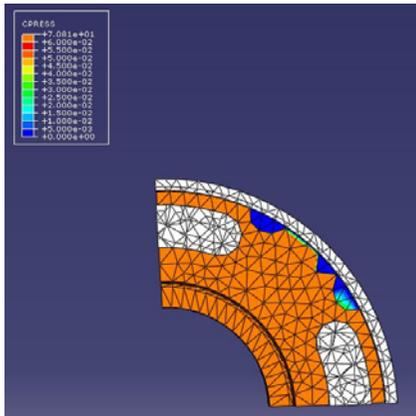


(b) Steel pipe (1/4)

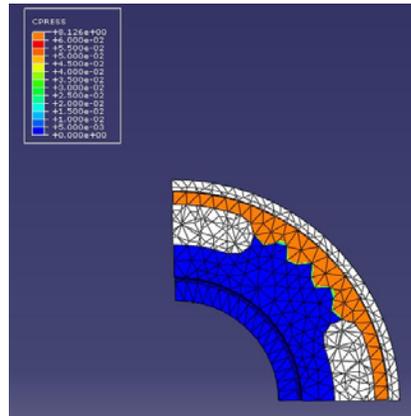


(c) Assembly of steel and injected PE pipes (1/4)

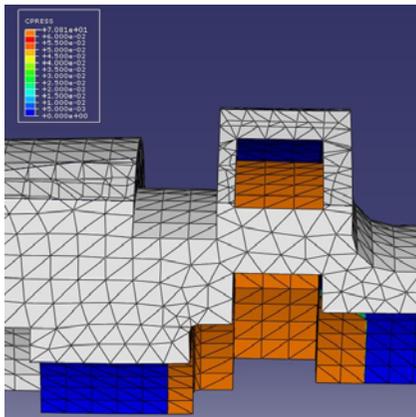
Fig. 6. Modeling of steel-PE pipe - final design.



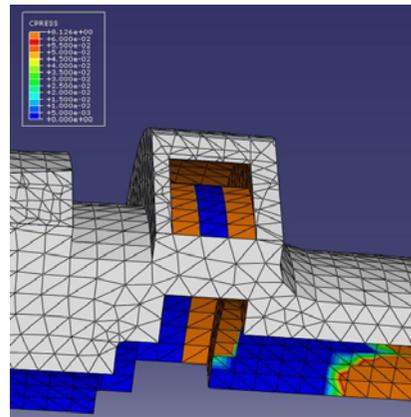
(a) Flange section for $\Delta T = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$



(b) Flange section for $\Delta T = -50 \text{ }^{\circ}\text{C}$



(c) PE-pipe section for $\Delta T = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$



(d) PE-pipe section for $\Delta T = -50 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Fig. 7. Contact pressure at flanges and PE-pipe section under different temperature variation based on the final design.

여 플랜지와 사출물이 보다 광범위하게 접촉하도록 유도하였다. Fig. 6은 기존 볼밸브 엔드에 부착을 고려한 최종 강-PE 파이프 모델링이다. Fig. 7은 PE 파이프와 볼 밸브 엔드가 체결되는 부분을 고정시켜 내압을 가하고 온도의 변화를 주어 해석한 결과이다. 이번에는 표면 절점의 접촉 압력(CPRESS: Contact PRESSure at surface node)을 관찰하여 PE 파이프와 강관의 접촉 여부를 확인하였다. 또한 앞의 경우와 동일하게, 주변온도를 변화시키며 열 거동 해석을 수행하였다. 이번에는 과량(어두운 부분)이 아닌 여러 가지 색깔 부분(최대 압력은 주황색-밝은 부분)이 임의의 압력으로 강관과 PE관의 접촉되는 부분으로서, Fig. 7을 보면 플랜지와 사출된 PE 파이프가 전반적으로 잘 접촉됨으로 파이프

조립체에 동적인 움직임이 없는 한, 누설이 없을 것으로 예측된다. 즉, $\Delta T = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 일 때에는 온도 팽창에 의한 최대 접촉 압력이 71 MPa, $\Delta T = -50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 일 때에는 온도 감소에 의한 최대 접촉압력이 8.1 MPa 정도 되며, 이는 Fig. 7에서 황색(밝은 부분)으로 표시되는 부분에서의 수치이다. 접촉 응력은 표면에 대하여 수직으로 작용하므로, 이 크기에 따라, 누설이 저감 또는 방지가 된다. 여기서 보인 결과는 이미 내압을 고려하여 계산한 것이기에, 접촉응력이 “0”이 되지 않고, 임의의 방향으로 상기 압력보다 큰 압력이 가해지지 않는 한, 모델링으로 나타난 상태에서는 누설이 일어나지는 않는 것으로 추정할 수 있다.

2.4.2 가상생산 결과의 결론 및 토론

본 연구에서의 분석 방향은, 일단 구조적으로는 안전할 것으로 판단되어, 응력해석이 아닌 접촉 압력의 분포에 중점을 두었다. 접촉 압력은 가스 누설과 밀접한 관계에 있으므로 일정 단면에서 연속적으로 임의의 압력을 유지하는 것이 바람직하다. 제시된 초기 개념설계안의 여러 유형에서 대체적으로 양호해 보였으나, 일부의 경우, 접촉 부분이 불연속적이라 누설의 가능성이 예측되었다. 최종 개념설계안에서는 볼 엔드에 대한 접촉 형상에 변화를 주고, 사출물이 좀 더 활발하게 유동하여 접촉 면적을 넓히도록 플랜지 모양을 개선하였다. 최종 설계안을 분석한 결과, 접촉압력의 관점에서는 누설 방지가 가능할 것으로 보인다. 다음 단계로서, 최종설계안을 바탕으로 프로토타입 제품을 제조하여 실제 누설여부를 확인하였다.

III. 기밀 시험

볼밸브에 관한 누설 시험은 이미 KSJ[3] 및 ISO[4] 규격에 규정이 되어 있다. 대연정공(주)에 의뢰하여 Fig. 8과 같은 프로토타입 제품을 제조하고, 기밀 시험을 실시하였다. 시험방법 및 기준에 대한 관련 규격으로 EN 1555-4[5], EN 917[6], 및 EN 921[7] 등을 추가로 고려하여 열간 내압 크리프(thermal hydrostatic strength) 시험을 수행하였다. 이는 제품이 장기간 가압상태 사용시의 보증을 위한 시험으로 3가지 시험 방법 중 80°C/165시간 정수압 강도시험을 실시하였다.

시험 과정을 요약하면 다음과 같다.



Fig. 8. Unified ball valve and polyethylene-steel pipe with partial dissection.

(1) 시료의 양끝에 물을 채워 기밀이 새지 않도록 판을 용접한다. 용접한 판은 시료에 압력을 가압할 수 있도록 니플을 연결한다.

(2) 시료 안에 물을 채운다.

(3) 열간 내압 크리프 시험기 물의 온도를 $80 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 세팅한다.

(4) 열간 내압 크리프 시험기에 시료를 넣고 가압수 있는 압력 라인을 연결한다.

(5) 12시간 동안 80°C 의 물에서 상태조정(상태조정 12시간에 대한 규정은 EN 917[6]에 의거) 한 후 가압(54 MPa)한다. 시험기는 $80 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 상태로 밀폐시킨 상태로 가압한다.

시험 결과 일체형 볼밸브는 실제 사용압력인 0.25 MPa보다 훨씬 높은 54 MPa의 수압을 주어도 기밀을 잘 유지 하는 것을 확인하였다.

IV. 결론

본 연구에서는 합성수지(PE)관과 금속(steel)관 일체형 볼 밸브에 대한 3차원 열 및 구조 유한요소 해석에 적용하여 기계적 개념 설계안에 대한 누설의 발생 가능성을 조사하였고, 누설시험을 수행하여 시제품의 안정성을 확인하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결과는 다음과 같다.

1) 제시된 여러 유형의 초기 개념설계안들 (Type-1 ~ Type-3)을 유한요소해석을 활용한 가상생산으로 관찰한 결과, 일정한 내압과 다양한 온도의 변화 조건에서, 대체적으로 누설을 방지하기 위한 기계적 접촉상태가 양호해 보였으나, 일부의 경우, 접촉 부분이 불연속적이라 누설의 가능성이 예측되었다. 세 유형의 설계안으로부터 예측된 결과를 참조하여, 볼 엔드에 대한 접촉 형상에 변화를 주고, 플랜지의 형상에 변화를 줌으로써 최종 설계안을 제시하였고, 다시 유한요소해석을 통하여 플랜지와 사출된 PE 파이프가 전반적으로 잘 접촉됨을 확인하고 파이프 조립체에 동적인 움직임이 없는 한, 누설의 우려가 없음을 예측하였다.

2) 제안된 최종설계안을 바탕으로 시제품을 만들어 열간 내압크리프 시험을 수행하였으며, 이 경우, 사용 압력보다 훨씬 높은 가압조건에서도 기밀을 유지하는 것을 확인하였다.

비록 시제품이 기밀을 유지한다하나, 기존의 볼밸브에 강관 및 PE 사출성형물이 새로운 부속장치로 포함됨에 따라, 기존 볼밸브의 누설 기준을 적용

할 수는 없으며, 새로운 누설시험 절차가 필요하다. 따라서 앞 절에서 언급한 ISO 표준을 토대로 일체형 볼밸브에 대한 새로운 누설시험 기준을 세우도록 후속 연구를 수행하는 것이 바람직하다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 시행한 중소기업 기술혁신개발사업의 기술개발결과이며 지원에 감사를 드립니다. 첫 번째 저자는 2009학년도 한남대학교 학술연구조성비를 지원받아 본 논문을 작성하였으며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] Suh, Y. S., Lee, J. Y., Kim, Y. H. and Kim, S. W., Applications of Virtual Manufacturing to Combined Stamping -Structural Analysis, Computer Modeling and Simulation in Engineering, **2**, 83-98, (1996).
- [2] Abaqus. Version 6.7, www.simulia.com, 2007.
- [3] 기술표준원, 가스 배관용 폴리에틸렌(PE) 밸브, KS M ISO 10933:2008, (2008).
- [4] ISO, Polyethylene (PE) valves for gas distribution systems, ISO 10993:1997, (1997).
- [5] British European Standards, BS EN 1555-4. Plastics piping systems for the supply of gaseous fuels. Polyethylene (PE). Part 4. Valves, (2008).
- [6] British European Standards, BS EN 917:1997, Plastics piping systems. Thermoplastics valves. Test methods for resistance to internal pressure and leaktightness, (1997).
- [7] British European Standards, BS EN 921:1995, Plastics piping systems. Thermoplastics pipes. Determination of resistance to internal pressure at constant temperature, (1995).