

B-10

고압용 지시압력계의 제조

김종삼, 신영천*

한국소방검정공사, 스탠다드엔지니어링사*

Production of Pressure Indicator Using High-pressure

Jong-sang Kim, Young-cheon Shin*

*Korea Fire Equipment Inspection Corp., Standard Engineering Co.**

1. 서 론

최근 보급이 크게 확대되고 있는 가스계 소화설비에는 고압의 소화약제 저장용기가 필수적으로 설치되고 있는데, 축압식 소화기의 충전 압력표시를 위한 지시압력계와 같이 저장용기내의 압력상태를 표시하기 위한 지시압력계 부착이 점차 확대되고 있으며, 이러한 지시압력계는 일반압력계와는 달리 고도의 내구성과 기밀(밀폐)성이 요구되고, 저장용기에 부착되는 설치특성상 크기에 제한을 받는 특성이 있다.

현재 국내에는 최고 16bar까지 사용되는 지시압력계가 개발 시판되고 있는데, 핵심부품인 부르돈관(Bourdon Tube)과 압력계 샹크(shank)의 접합 기술이 납땀이나 접착제를 이용한 방식으로, 고압에 적용할 경우 접합부의 내구성과 신뢰성에 문제가 있어 고압용 게이지 제작에 적용하는데 어려움이 있어 가스계 소화설비용 고압용기에 등에 부착되는 25bar 이상의 고압용 지시압력계는 생산에 어려움을 겪고 있다.

향후 CO₂ 저장용기와 가스계소화설비 등의 고압가스 저장용기에 내부압력 상태를 표시하기 위한 고도의 기밀유지 성능과 내구성을 가진 지시압력계가 필수적으로 부착될 것으로 예상되는데, 이에 따른 고압용 게이지의 수요가 크게 증가할 것으로 예상되고 있어 안정적 기술개발이 절실히 필요한 실정이다.

고압용 게이지를 제작하는데 있어 가장 큰 문제점은 기존 게이지 제작 방법에 있어 접착제나 납땀에 의한 접합은 내구성과 신뢰성이 떨어져 고압용 게이지를 제작하는데 적용하기에는 부적합하다는 점이다. 고압용 게이지 제작을 위해서는 고도의 기밀성을 유지하고, 또 고압에 견디는 내구성을 가지는 접합 방법의 개발이 필요하다.

따라서 본 기술개발에서는 초정밀 특수용접기술을 개발하여 극히 얇은 부르돈관과 샹크를 초정밀 용접 접합하여 일체형을 이룸으로써 완벽한 접합 신뢰성과 고도의 밀폐성을 가지는 고압용 게이지를 개발하고자 하였다.

- 시도오차 4% 이내이고 외형이 33mm 이하인, 25, 42 & 150bar 용 스텐레스 지시압력

계 개발

- 부르돈관과 부착 나사부(Shank) 접합부가 완벽한 용접 구조형으로 내식성과 내구성, 밀폐성이 우수한 구조의 고압용 지시압력계 개발.

본 연구에서는 적정형태의 압력 검출부(부르돈관)를 설계하여 제작하고 초정밀 미세용접기술을 개발하고자 하였다.

따라서 부르돈관으로 사용되는 스테레스 튜브의 적정 외경과 두께를 분석하고 이를 바탕으로 부르돈관의 변형을 실험적으로 분석하여 최적 상태의 부르돈관 길이와 형태를 설계하였다.

또한 두께 0.1mm의 스테레스 튜브를 초정밀 미세용접장치를 개발하여 적용하였으며, 제작된 고압압력계를 실험할 수 있는 시험 장치를 개발하고 정밀압력측정기기를 도입하여 성능을 분석하였다.

2. 실험

2.1 압력 검출부 (Bourdon tube) 개발

2.1.1 구조

압력측정 기능 외에 기밀성측정기능을 가진 지시압력계류는 대부분 압력검출부인 부르돈관의 형태가 압축코일 스프링형과 태엽형 2종류로 구분되는데 전자의 압축코일 스프링형은 변형량이 상대적으로 작고 높은 강성으로 초고압용에 주로 적용되고, 후자인 태엽형은 압력계의 케이스를 상대적으로 작게 할 수 있고 변형량이 상대적으로 많아서 지침의 움직임을 크게 할 수 있는 관계로 본 연구개발에서는 그림1과 같은 태엽형 부르돈관을 적용하여 설계하였다.

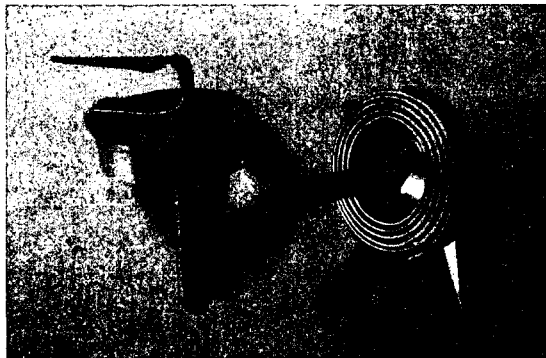


그림 1. 태엽형 부르돈관

2.1.2 지침이동 각도

부르돈관은 원재료인 스테레스 튜브의 외경과 두께 그리고 태엽의 감김 길이가 지침이

동각도의 크기와 서로 상관관계를 가지고 있는데, 본 개발에서는 지침의 이동각도가 0부터 사용압력(21℃ 충전 압력) 범위에서 최소 60°가 되고, 지침의 이동거리는 10mm 이상 되도록 설계하였다.

이를 위해 부르돈관으로 사용되는 STS304 스텐레스 튜브의 외경과 두께는 압력에 따른 변형량을 상대적으로 측정하여 적정 범위를 분석하고 적용하였다. 참고로 그림2는 그 결과를 개략적으로 도시한 그래프이다. 적용된 변형량 식 가운데 하나는 다음과 같다.

$$\delta_R = \frac{Pr^2}{tE}$$

여기서, δ_R ; 변형량
 r ; 반지름
 E ; 탄성계수
 P ; 압력
 t ; 두께

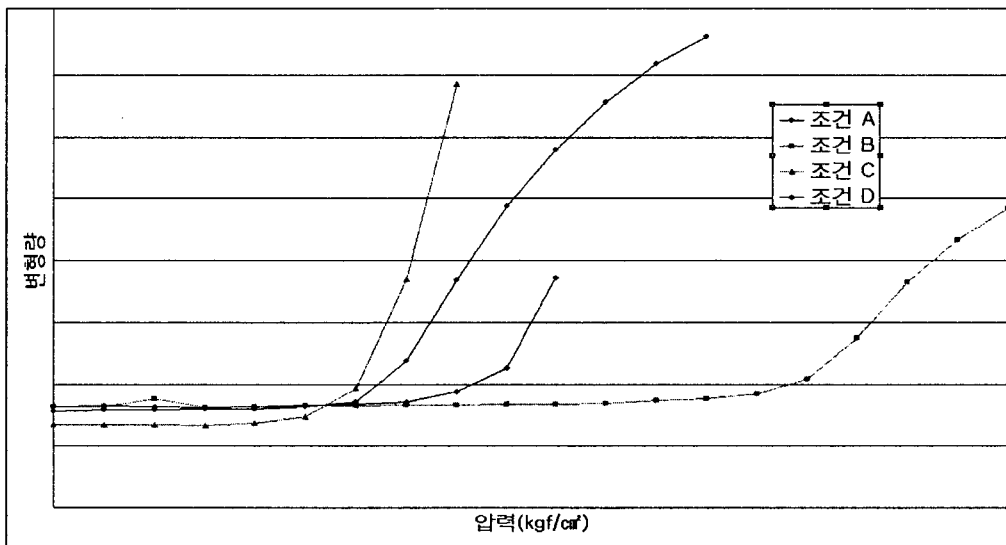


그림 2. 압력에 따른 스텐레스 튜브의 변형량 상관 도표

2.2 부르돈관 초정밀 미세용접 기술개발

본 개발에는 2개소의 미세용접이 필요한데 하나는 부르돈관의 말단부를 밀봉하기 위한 용접작업이고, 다른 하나는 부르돈관을 압력계 몸체인 상크에 용접하는 작업이다.

스텐레스 용접에 아르곤(TIG)용접을 적용하면 좋은 결과를 얻을 수 있지만 용접시작점과 끝나는 점에서 아아크(Arc) 불균일로 인한 용접 불균일과 고열로 인한 변형 및 균열 발생이 우려되는 등 고도의 용접 정밀도가 요구되는 두께 0.1mm 정도의 스텐레스를 용접하는데 매우 세심한 관리와 주의가 요구되는 문제가 예측 되는 관계로, 본 개발에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 레이저용접방법을 적용하였다. 레이저용접은 정확한 용접조

건이 갖춰지면 고품질 고정밀도의 용접품질 확보가 가능한 장점이 있다.

2.2.1 부르돈관 말단부 밀봉용접

부르돈관은 스텐레스 튜브를 압연 롤(Roll) 사이를 통과시켜 넓적하게 눌러진 형태로 압연한 후 태엽형으로 감아서 형성하는데 부르돈관 말단부를 밀봉하는 용접작업이 필요하다. 용접 조건은 원재료의 두께와 용접속도 그리고 레이저의 펄스 에너지량 등에 상관 관계를 가지고 있어 최적의 조건을 다수의 실험을 통하여 확립 하였고 그 용접상태를 그림 3과 4에 도시하였다.

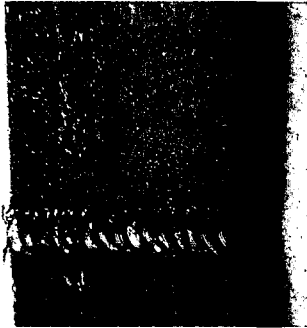


그림 3. 용접부 앞면

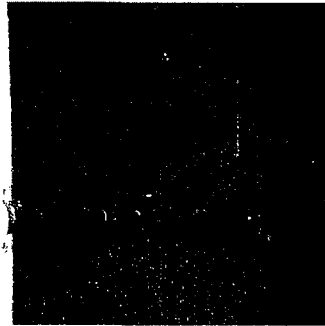


그림 4. 용접부 뒷면

2.2.2 부르돈관과 상크 용접

부르돈관과 상크와의 용접은 두께가 매우 얇은 튜브를 두꺼운 상크에 용접하여야 하는 관계로 부르돈관 부분에 큰 열이 가해지지 않고 상크 부분에는 보다 큰 열에너지가 전달 될 수 있게 다양한 방법으로 실험하여 적합한 용접조건을 개발하였다. 또한 용접의 정밀도 향상을 위해 반자동 정밀용접 지그장치를 개발하여 활용하였다.(그림5 & 6)



그림 5. 부르돈관과 상크 용접



그림 6. 부르돈관과 상크 용접부 절단부분

3. 결과 및 토론

제작된 시작품 가운데 충전압력 25bar, 사용 상한압력 35bar인 제품과 충전압력42bar, 사용 상한압력 58bar인 제품은 현재 국내에서 가스계 소화설비용기에 사용되고 있는 압력

계이지만 축압식 소화기를 기준하여 제정된 “지시압력계 제품승인기술기준”의 일부를 준용하여 성능시험을 실시하였으며, 150bar용은 국내에서 처음 개발된 제품으로 지시압력계 기술기준적용이 어려운 관계로 KS B 5305 부르돈관 압력계의 성능시험 중 시도시험, 정압시험을 준용하여 성능시험을 실시하였다.

3.1 충전압력 25bar, 42bar용 지시압력계 성능시험

3.1.1 시도시험

지시압력계의 압력을 사용압력의 상한값 2배의 압력으로 가압한 상태에서 30분간 유지한 다음 감압하였을 때의 사용 압력범위의 상한값의 압력을 측정한다.

표 1. 시도시험 데이터

충진압 (kg/cm ²)	상한압 (kg/cm ²)	시료번호									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	35	34.5	34.7	34.5	34.3	35.2	35.0	34.3	35.0	34.7	35.0
		-1.5%	-1%	-1.5%	-2.0%	+1%	0%	-2.0%	0%	-1%	0%
42	58	57.0	56.8	57.0	58.2	57.2	56.8	57.5	58.0	57.0	56.8
		-1.8%	-2.2%	-1.8%	+0.4%	-1.4%	-2.2%	-0.9%	0%	-1.8%	-2.2%

기술기준의 허용오차 ; ±10%/ 기술개발목표 오차 ; ±4%

3.1.2 반복시험

지시압력계의 지시압력을 0kg/cm²로부터 사용압력 상한값까지 가압한 후 다시 0kg/cm²까지 감압하는 조작을 매분 15회 비율로 1천회 반복하여 시험한 후 사용압력범위의 상한값의 압력을 측정한다.

표 2. 반복시험 데이터

충진압 (kg/cm ²)	상한압 (kg/cm ²)	시료번호									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	35	34.5	34.7	34.5	34.0	35.2	35.0	34.3	35.0	34.7	35.0
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	58	57.0	56.5	57.0	58.2	57.2	56.5	57.5	58.0	57.0	56.8
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

기술기준의 허용오차 ; ±10%

3.1.3 기밀시험

지시압력계를 사용압력의 상한치의 2배 압력으로 가압한 상태로 사용상한온도의 물에 30분 침지하였을 경우 새지 않아야 한다.

표 3. 기밀시험 데이터

충진압 (kg/cm ²)	상한압 (kg/cm ²)	시료번호									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	35	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합
42	58	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합

3.2 최고압력 150bar용 지시압력계 성능시험

3.2.1 시도시험

지시압력계의 압력을 최대압력으로 가압한 상태에서 30분간 유지한 다음 감압하여 0으로 되돌리고 최대압력 및 임의의 3곳 이상의 눈금에 있어서의 시도 압력을 읽는다.

표 4. 시도시험 데이터

	압력 (kg/cm ²)	시료번호									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
150 (kg/cm ²)	60	59.5	60.7	58.0	59.0	60.7	60.3	59.7	58.9	60.5	60.0
		-0.8%	1.2%	-3.3%	-1.7%	1.2%	0.5%	-0.5%	-1.8%	0.8%	0%
	90	89.0	90.5	88.0	88.7	90.5	90.7	90.1	89.0	90.3	90.2
		-1.1%	0.6%	-2.2%	-1.4%	0.6%	0.8%	0.1%	-1.1%	0.3%	0.2%
	120	119.0	120.7	118.5	118.8	121.0	120.7	119.7	119.0	120.5	120.2
		-0.8%	0.6%	-1.3%	-1.0%	0.8%	0.6%	-0.2%	-0.8%	0.4%	0.2%
150	149.0	150.7	147.5	148.9	150.5	151.0	150.2	149.1	150.5	150.3	
	-0.7%	0.5%	-1.7%	-0.7%	0.3%	0.7%	0.1%	-0.6%	0.3%	0.2%	

기술개발목표 오차 ; ±4%

3.2.2 정압시험

처음으로 최대압력 달했을 때의 시도오차 P1과 최대압력의 90~100%를 연속으로 5 시간 유지 시킨 후 최대압력으로 하였을 때의 시도오차 P2를 읽어 편차를 측정하고, 누설이 없어야함.

표 5. 정압시험 데이터

		시료번호									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
150 (kg/cm ²)	P1	150.2	149.5	149.3	150.7	148.7	150.5	149.2	150.3	151.2	149.5
	P2	147.0	148.7	146.3	145.7	145.8	148.5	147.5	148.3	150.3	149.0
	편차	-2.2%	-0.6%	-2.0%	-3.4%	-2.0%	-1.3%	-1.2%	-1.3%	-0.6%	-0.4%
	누설	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

기술개발목표 오차;±4%

3.3 연구개발 성과

3.3.1 개발성과

약 0.1mm 내외의 스텔레스 부르돈관과 샹크를 용접 접합하여 일체형으로 제조하는 초정밀 미세 SEAM 용접기술을 개발하여, 완벽한 접합 구조와 신뢰성, 그리고 미세한 핀홀 등의 틈새가 전혀 없는 고도의 밀폐성을 가지는 고압용 게이지를 개발하였다.

- 외경 33mm의 소형이고 지침 판독성이 매우 우수한 디자인 도입.
- 성능시험 결과 시도오차가 4%이하인 성능이 크게 개선된 고압용 지시압력계 개발.
- 접착제나 납을 사용하지 않는 무공해 생산기술 개발.
- 350bar용 지시압력계 생산의 기본 기술을 확보

3.3.2 기대효과

기술적인 측면으로 보면 초박판의 스텔레스 부르돈관 용접기술이 확보되어 다양한 형태의 부르돈관을 적용한 초고압 압력계 개발의 기본기술이 확립되었다. 또한 공해문제로 무연재료 사용이 세계적 추세인 점을 감안하면 납땜을 사용하는 압력계를 대체할 수 있게 되었다.

경제적 산업적 측면에서 보면 소비자의 요구에 따른 즉각적인 제품개발이 가능해지고, 다양한 용도의 무연(無鉛) 압력계를 국내외 시장에 공급하게 됨으로서 적극적인 시장 확대가 가능해지고 해외시장 개척의 기회가 마련될 것으로 사료된다.

4. 참고 문헌

- 1) 수동식소화기의 형식승인및검정기술기준·시험세칙(KOFEIS 0101), 2005. 8. 10
(소방방재청고시-2005-54호)
- 2) 지시압력계의성능시험기술기준, 1998. 8. 24(행정자치부고시제1998-72호)
- 3) KS B 5305, 부르돈관 압력계, 2004. 11. 23