

가스용 금속 플렉시블 호스의 용접방법 개선에 관한 연구

김완진[†] · 이영섭* · 최진림**

한국가스안전공사 가스안전연구원 · *서울산업대학교 안전공학과 · **동아금속주름관(주)
(2008. 4. 2. 접수 / 2008. 9. 9. 채택)

An Improvement of Welding Method for the Corrugated Stainless Steel Tubing(CSST)

Wan-Jin Kim[†] · Yeong-Seop Yi* · Jin-Lim Choi**

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

*Department of Safety Engineering, Seoul National University of Technology

**Dong-A Flexible Metal Tubes Co., Ltd.

(Received April 2, 2008 / Accepted September 9, 2008)

Abstract : The corrugated stainless steel tubing(CSST) for the fuel gas piping system can be installed easily and quickly. It is often constructed under the ceiling and the wall which has a good flexibility and installation in comparison with iron pipe. However, the quality of the CSST is determined to depend upon the welding skill of stainless steel tubing. In this study, it is tested by controlling jet point of Ar as inert and cooling gas, and also compared with the bead state of welding point and the performance. As a result, it has the best condition when the jet point of Ar is located behind 5~10mm of the welding point.

Key Words : corrugated stainless steel tubing(CSST), iron pipe, flexibility, installation

1. 서론

가스용 금속 플렉시블 호스(CSST; corrugated stainless steel tubing)는 시공성, 안전성, 내구성이 양호하여 연소기용뿐만 아니라 배관용으로도 많이 사용되는 대표적인 가스기기 중의 하나이다. 특히 최근에는 주택의 미관을 고려하여 배관의 노출시공을 피하기 위해 가스용 금속 플렉시블 호스를 사용해 천장이나 공동구에 매몰하여 시공하는 신규주택 및 대단위 아파트가 많이 증가하고 있다.

가스용 금속 플렉시블 호스는 크게 튜브와 각링, O-링, 이음쇠로 이루어져 있다. 이음쇠는 주로 KS D 5101(동 및 동합금봉) C3771을 사용하여 제작하고 튜브는 KS D 3700(냉간압연스테인리스 강대) STS 304를 사용하여 튜브를 제작한다. 튜브는 두께가 약 0.25mm의 스테인리스 강대를 둥글게 성형한 후 용접하여 주름을 성형하여 튜브를 제작하기 때문에 용접불량으로 인해 제품의 불량이 발생

하기가 쉽다. 특히 얇은 스테인리스 강대를 용접 및 냉각하는 기술은 튜브의 성능을 결정하는 중요한 공정이라고 할 수 있다.

하지만 플렉시블 튜브의 생산방식에 대한 조사 및 연구가 미흡하여 튜브의 생산방식이 개선되지 않음에 따라 튜브의 성능을 향상시키기가 어려운 환경이었다. 따라서 본 연구는 기존의 스테인리스 튜브의 용접방법 개선을 통하여 제품의 품질과 용접불량으로 인해 발생하는 가스 사고를 예방하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1. 튜브 용접방식의 문제점

가스용 금속 플렉시블 호스의 부품인 튜브의 생산과정은 관성형-용접-공기냉각-주름성형-열처리 의 절차를 거쳐 생산된다. 이 중 가장 중요한 절차 중에 하나인 관성형, 용접, 공기냉각은 하나의 공정으로 진행된다. 이를 튜브의 용접공정이라고 하는데, 용접공정은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 STS

[†] To whom correspondence should be addressed.
wanjin@kgs.or.kr

304 오스테나이트계 스테인리스 코일을 원형으로 말아서 코일의 접합부를 플라즈마 또는 Tig용접도 오치의 전극봉으로부터 아크를 발생시켜 모재 또는 용접재를 용융시킴으로써 관을 성형하는 방식이다. 이때 용접시 용접부의 비드면 과열영향부면이 산소와 접촉하여 산화되는 것을 방지하기 위하여 용접부의 내면과 외면의 표면에 불활성가스인 Ar가스를 약 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압력으로 분사함으로써 용접부를 공기로부터 차폐시켜 산화가 방지된다.

이러한 용접방식이 가스용 금속플렉시블 호스를 제조하는 대부분의 제조사가 사용하는 방식으로 그 중에는 하방의 Ar가스 분사구가 없는 제조사 제품도 있었다. 하지만 이러한 용접방식은 용접부의 온도가 1350°C 이상인 용융금속상태에서 고온·중압의 Ar가스를 분사함으로써 관의 내부 용접부에는 Fig. 2에서 보는 바와 같은 'B'형상의 오목한 덴트부를 만들어 액화석유가스안전관리기준 통합고시 제9-1-15호(가스용 금속플렉시블호스의 제조기준)와 KS D 3625(가스용 금속 플렉시블 호스)에서 정한 튜브의 두께기준인 0.25mm 보다 얇게 제조될 뿐 아니라, 모재와 용융부와의 금속성분의 함양을 변화시켜 금속과의 용착력을 저하시키고 급속냉각으로 인해 용접열 영향부위에서 발생하는 용접응력을 제거하지 못하여 입계부식(intergranular corrosion)이 촉진되어 탄화물을 석출하는 문제가 발생될 수도 있다.

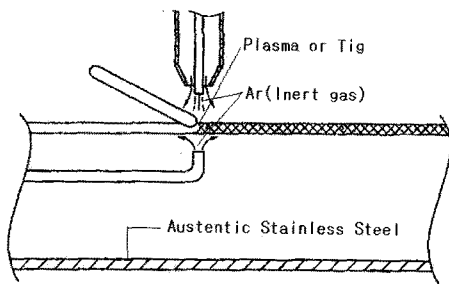


Fig. 1. Welding method of CSST.

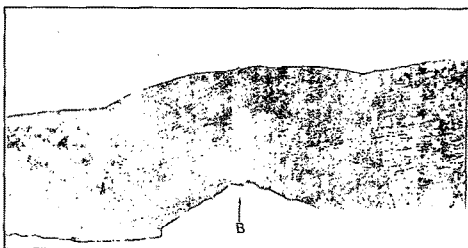


Fig. 2. Welding point of CSST.

오스테나이트계 스테인리스강의 용접부의 용접 온도는 1000°C 이상에서 용접이 실시된다. 이러한 용접부에 저온의 Ar가스를 분사하게 되면 용접부의 온도가 $500\sim 800^\circ\text{C}$ 로 저감되게 된다. 하지만 이 온도는 탄화물이 석출되는 예민화(sensitization)의 온도범위에 해당되는 온도로, 이 과정으로 인해 용접부에 탄화물이 석출될 수 있다. 또한 탄화물 석출로 인해 강관의 용접비드부 및 용접열 영향부위는 경도가 모재에 비해 높아질 수 있고 금속조직도 변화가 가능하다. 금속조직이 변화가 되면 모재와 용접부가 서로 이원화되어 이원화된 금속조직의 전위차가 발생하게 되고 이로 인해 부식이 발생할 수 있게 된다. 이러한 현상을 방지하기 위해서는 용접후 일정한 시간동안 용접 풀림 시간을 부여하고 풀림이 끝난후 바로 급속냉각하는 방식을 채택하게 되면 탄화물 석출온도를 최단시간으로 줄일 수 있기 때문에 탄화물 석출을 예방할 수 있게 된다. 그 이유는 오스테나이트계 스테인리스 강의 가공경화 또는 용접응력 풀림온도는 1050°C 정도가 적당하고 입계부식을 촉진시키는 탄화물이 석출되는 예민화의 온도범위는 $425\sim 870^\circ\text{C}$ 이므로 정상적인 용접의 풀림처리를 위해서는 용접후 $1050\sim 1150^\circ\text{C}$ 까지 가열한 다음 425°C 이하가 될 때까지 급속하게 냉각시켜야 하나, 현재 사용중인 용접방식은 $1350\sim 1500^\circ\text{C}$ 로 용접후 용접부위를 서서히 냉각시킴으로써 용접응력이 제거되지 않을 뿐 아니라 탄화물이 입계에 석출되는 문제점이 발생하였다.

2.2. 시험방법

기존의 스테인리스 스틸 튜브의 용접과정에서 발생하는 문제점을 개선하기 위하여 Ar892 적외선 고온온도계를 이용하여 용접부와 냉각부를 Fig. 3과 같이 용접장치를 재설치하였다. 재설치된 용접장치는 내부의 Ar가스 분사구를 용접부보다 후방에 설치한 구조이다. Fig. 3의 용접장치는 용접부의 온도가 $1350\sim 1500^\circ\text{C}$ 로 유지되었고, 1차 냉각부는 용접면 상방에서 분사되는 Ar가스에 의해 냉각되는 구조로 용접의 풀림과정을 유지하기 위하여 냉각온도가 약 1100°C 정도 유지되었다. 2차 냉각부는 하방에서 Ar가스를 분사하는 구조로 용접부의 온도가 약 425°C 를 유지하도록 설계하였다. 제조장치의 용접부의 용접은 플라즈마용접으로 실시하였으며 Ar의 분사압력은 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 고정하였다. 용접부 내면의 Ar가스의 분사구는 온도의 조절을 통하여 T의 길이를 기존의 위치보다 $5\sim 10\text{mm}$ 후방에 설치하였다.

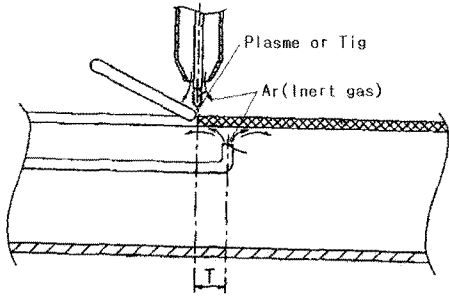


Fig. 3. New welding method of CSST.

이러한 형태로 제작한 이유는 하방의 Ar가스의 압력으로 인한 오목한 덴트부의 생성을 방지하고 용접부의 저온의 Ar가스로 인한 용접부의 온도저하로 금속의 입계부식이 발생하는 것을 예방하기 위한 구조이다.

또한 새로운 조건에서 생산된 제품(시료B)과 기존의 조건에서 생산된 제품(시료A)의 성능을 평가하기 위하여 각각의 조건에서 생산된 제품을 확대현미경을 사용하여 용접면 상태를 비교하였으며, 용접면과 모재의 금속성분분석 및 경도를 측정하여 상호 비교하였으며, 파열시험기를 사용하여 각각 튜브에 대하여 파열압 시험을 실시하였다.

3. 실험 결과

3.1. 비드상태 평가

용접후 생성되는 스테인리스 스틸 튜브의 용접면 비드상태를 확인하기 위하여 올림푸스 SZX-FOF 현미경을 이용하여 용접부를 63배 확대하여 조사하였다. 확대부분은 기존의 용접방식으로 용접을 실시하였을 때 내부표면에 오목한 덴트부가 발생하는 현상을 확인하였으므로 용접작업 후 튜브를 절개하여 튜브내부의 용접면을 확대하였으며, 확대된 내부용접면은 A시료는 Fig. 4, B시료는 Fig. 5와 같다.

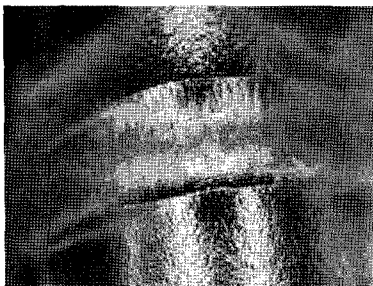


Fig. 4. Inner welding bead of specimen A.

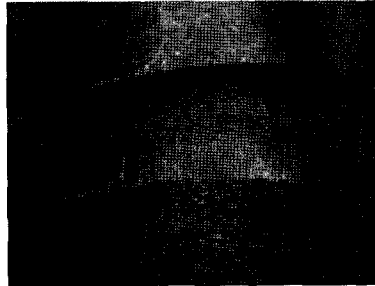


Fig. 5. Inner welding bead of specimen B.

A시료는 상부와 하부의 냉각점을 용접점에 설치하여 생산된 튜브로서 Fig. 4에서와 같이 용접면의 중심부에 오목한 덴트부가 튜브 내면에 생성이 된 것을 알 수 있다. 오목한 덴트부가 생성됨으로 인해 튜브의 두께기준인 0.25mm보다 튜브가 얇아져 내압 성능의 저하될 수 있으며, 이로 인해 압력조정기 다이어프램 손상으로 인한 LP 가스 직압을 받거나 및 외부충격에 쉽게 파열됨으로 가스사고의 원인이 될 수도 있다. 이렇게 튜브내면에 오목한 덴트부가 생성되는 원인은 약 1400℃의 높은 용접열로 용융된 스테인리스 튜브에 저온·중압의 Ar가스가 용접부에 직접 분사되면 용융된 스테인리스강이 Ar가스의 압력으로 오목한 덴트부가 생성되는 것이다. 하지만 내부 Ar가스의 분사점을 5~10mm 후방에 설치된 작업조건에 생산된 스테인리스 튜브는 Fig. 5와 같이 비드면이 모재보다 두꺼운 것을 확인할 수 있다. 비드면이 모재보다 두꺼운 경우에는 튜브내부의 가스압력이 상승하더라도 모재보다 내압성능이 높고, 외부의 충격에도 쉽게 파손되지 않으므로 보다 안정성이 높다고 할 수 있다.

3.2. 용접면 경도 측정

A시료와 B시료의 용접면의 금속성분변화를 조사하기 위하여 용접면에 대한 금속성분분석과 비커스 경도를 측정하였다. 금속성분분석은 Shimadzu 사 GVM-1014 Spark/arc-AES 분석기를 사용하여 각 시료별로 5회씩 분석하여 산술평균을 구하였다. 각 시료에 대한 금속성분은 Table 1과 같다.

Table 1. Metal constituents(%) of specimens

Specimens \ Con.	C	Cr	Ni
A base material	.0783	18.72	8.691
A welding material	.1298	17.41	8.164
B base material	.0683	18.62	8.562
B welding material	.0798	19.52	8.143

Table 2. Hardness(HV) of specimens

Specimens	Parts	
	Welding surface	Base surface
Specimen A	210	182
Specimen B	176	172

각 시료에 대한 금속성분을 분석한 결과 Cr과 Ni의 함량은 A시료와 B시료가 약간의 차이가 있는 것으로 분석되었으나 대체적으로 함량이 유사했다. 하지만 탄소강의 성질에 중요한 영향을 미치는 C의 함량은 A시료는 용접부가 모재부에 비해 약 2배가량 높았으며, B시료는 약 1.2배 가량 높은 것으로 조사되었다. C의 함량이 0.08%보다 높아지게 되면 일부 스테인리스 스틸 튜브의 종류가 오스테나이트(austenite)계에서 마르텐사이트(martensite)계로 변태가 된 것을 추정할 수 있는데 변태가 되면 금속이 경화되고 자성을 나타낸다. 이렇게 되면 오스테나이트계 스테인리스강은 탄화물이 입계에 석출되어 부식하기 쉬운 예민화과정을 거치게 되고 입계부식을 일으킬 수 있다.

금속조직이 탄소함량의 변화로 인한 경도변화를 측정하기 위하여 비커스경도를 측정하였다. 비커스 경도는 모재부와 용접부로 나누어 각각 3회 경도를 측정하여 측정값을 산술평균하여 Table 2와 같이 나타내었다. 경도측정점은 모재는 튜브의 몸체부분을 측정하였으며 용접부는 용접면의 비드면을 측정하였다.

비커스경도를 각 시료의 모재와 용접면을 측정해 본 결과 시료B는 용접부가 HV176, 모재는 HV172로 약 HV4 정도의 감소가 있었으나, 기존의 용접 방식으로 제작한 시료A는 용접부의 비커스경도는 HV210이었고 모재는 HV182로 측정되어 HV38 정도의 경도가 저감하는 것으로 측정되었다. 시료A의 경우에는 용접부가 용접과정에서 Ar가스에 의해 냉각부의 온도가 약 750℃ 정도로 유지되면서 C함량의 변화로 인해 경도 변화가 생긴 것으로 추정할 수 있다.

3.3. 파열상태 평가

플렉시블 호스의 파열시험은 유체(물)를 이용하여 분당 10kgf/cm²의 속도로 튜브내 유체의 압력을 서서히 가압하여 파열압력까지 올려 파열될 때의 압력과 파열된 부위의 파열상태를 상호 비교하였다. 실험은 A시료와 B시료를 3개씩 제작하여 각 시료에 대하여 파열시험을 실시하였으며 각 파열시험에 대한 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Bursting pressure of CSST

Specimens	No.		
	#1	#2	#3
Specimen A	125kgf/cm ²	127kgf/cm ²	122kgf/cm ²
Specimen B	175kgf/cm ²	176kgf/cm ²	174kgf/cm ²



Fig. 6. Bursting part of specimen A.



Fig. 7. Bursting part of specimen B.

기존의 방식으로 제작한 시료A의 파열압력은 Table 3에서와 같이 125kgf/cm², 127kgf/cm², 122kgf/cm²에서 시료가 파열되었고, 새로운 용접방식으로 제작한 시료B의 파열압력은 175kgf/cm², 176kgf/cm², 174kgf/cm²의 압력에서 시료가 파열되었다. 각 시료에 대한 파열부위는 A시료는 Fig. 6, B시료의 파열부위는 Fig. 7과 같다.

각 시료에 대한 파열부위는 A시료는 모재부분에서 파열이 발생하였으며 용접부는 파열로 인한 손상이 전혀 발생하지 않았다. B시료의 파열부위는 용접된 부위를 따라서 파열이 발생하였다.

본 파열시험에 의하면 기존의 스테인리스 스틸 튜브 생산방식인 Ar가스 용접부 직사방식으로 생산된 제품보다 튜브내면의 Ar가스 분사구를 용접부 후방 5~10mm에 설치하여 제조한 스테인리스 스틸 튜브가 내압 강도가 약 50kgf/cm² 정도 높은 것으로 조사되었다.

4. 결론 및 검토

가스용 금속 플렉시블 호스의 주요부품인 스테인리스 스틸 튜브는 용접공정의 용접·냉각 등의 과정에 의해 성능 및 안전성이 좌우되나 기존의 제조공정에서 제작되는 스테인리스 튜브는 용접면의 상·하부에 Ar가스를 직접 분사하여 튜브를 제작함으로써 튜브의 내면에 오목한 텐트부를 생성하였다. 또한, 용접부가 스테인리스강의 예민화온도에서 냉각되어 용접부의 입계부식을 촉진하여 제품의 품질을 저하시키는 원인이 되었다.

이러한 문제점을 개선하기 위하여 용접부 하단의 Ar가스 분사점을 5~10mm 후방에 설치하여 1차냉각부의 온도가 약 1000℃, 2차냉각부의 온도를 약 450℃로 유지하도록 제조시설을 설계하였다. 이렇게 제조시설을 변경한 튜브를 제조한 결과 튜브내부에 Ar가스에 의한 오목한 덴트부가 생성되는 현상을 방지할 수 있었고, 2차냉각부에서 용접부의 온도를 500℃ 이하로 급속하게 냉각함으로써 스테인리스강의 탄화물 석출에 따른 입계부식을 예방할 수 있었다.

시료에 대한 파열시험을 실시한 결과, 새로운 방식으로 제작한 시료가 기존의 방식에서 제작한 시료보다 약 50kgf/cm²의 높은 내압성능을 가지는 것으로 조사되었다. 파열부위도 기존제작방식으로 제작된 튜브는 용접부에서 파열이 발생한 반면, 새로운 제작방식으로 제작된 튜브는 용접부는 이상이 없고 모재에서 파열이 발생하였다.

참고문헌

- 1) ANSI LC 1-2005/CSA 6.26-2005, Fuel Gas Piping Systems Using Corrugated Stainless Steel Tubing.
- 2) LIA300, “金屬フレキシブルース検査規程”.
- 3) LIA310, “液化石油ガス配管用フレキシ官検査規程”.
- 4) 김희진, 유희수, “Ways to Improve Reliability against Stress-Relief Cracking in Weld Metal”, 대한용접학회 논문집, Vol. 25, pp. 105~107, 2007.
- 5) 김문영, 양성호, 박상열, 최희숙, 고원, 채나현, “열처리조건에 따른 Ni기지 초합금 용접부의 기계적 특성”, 대한기계학회 논문집, Vol. 31, pp. 525~527, 2007.
- 6) 양동영, 신금속재료학, 문운당, pp. 279~282, 2007.
- 7) 김정근, 김기영, 박해웅, 금속현미경조직학, 도서출판골드, pp. 226~237, 1999.
- 8) 연윤모, 금속재료 용접성, 기전연구사, pp. 56~60, 2003.