

가압상태 가스배관 보수를 위한 슬리브뒹개 및 육성용접 방안에 관한 연구

Development of sleeve and direct deposit welding procedure for repair on pressurized gas pipeline

김영표, 백중현, 김우식
한국가스공사 연구개발원, 경기도 안산시

서론

한국가스공사는 천연가스를 전국적으로 공급하기 위하여 가스배관의 총 연장을 계속 확장하고 있다. 천연가스 공급배관이 점차 길어지고 기 건설된 배관이 노후화 됨에 따라 유지, 관리시 피복층이 아닌 가스배관 자체에 손상이 생길 여러 가지 상황이 발생할 수 있다. 이러한 손상은 주로 건설장비, 부식, 지반이동 및 기후에 의한 열변형등에 의해 발생한다.¹⁾

손상된 가스배관은 우선 손상 형태, 부위, 크기 및 배관의 운전조건에 따라 계속적으로 가스공급이 가능한지 보수해야 할지를 평가해야 한다. 공급중인 가스배관은 가스를 차단하고 손상배관을 절단한 다음 새로운 배관을 연결시키는 통상의 보수이외에 공급중인 상태에서 보수하는 여러 가지 방법이 알려져 있다. 천연가스 배관을 보수할 때 가스 차단 및 배관의 교체는 가스공급을 중단시켜 안정적인 가스공급이 어렵고 천연가스를 대기중에 방출함에 따라 경제적 손실이 클 뿐만 아니라 대기환경에서 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 천연가스를 공급하는 세계 각국의 가스회사들은 가스를 공급하고 있는 상태에서 배관을 보수하는 방법에 대하여 연구해왔다.^{2),3),4)} 또한 공급중인 가스배관의 보수용접에 대하여 ASME B31.8, API RP 1107 및 BS 6990등의 규격이 제정되어 있는 상태이다. 그러나, 이러한 규격은 공급중인 가스배관의 보수용접에 대한 작업시 주의사항 및 안전조치등 일반사항만을 규정하고 있으며 실질적인 용접절차는 가스회사들이 자체 경험을 바탕으로 정립한 상태로써 세부적인 사항은 문헌을 통하여 발표하지 않고 있다.

본 연구에서는 가압상태 가스배관 보수를 위한 각종 용접절차서 개발의 일환으로 우선 대기압 상태에서 배관위에 육성용접한 용접부의 용접입열에 따른 용입깊이 및 용접부 경도를 관찰하였다. 이러한 결과를 토대로 가압상태에 있는 시험용 Vessel 위에 슬리브뒹개 용접을 실시하여 필릿용접부와 맞대기용접부의 기계적 특성을 살펴보았다.

실험방법

대기압하에서 육성용접시 용접조건에 따른 용입깊이 및 용접부 경도변화를 살펴보기 위하여 표 1과 같이 다양한 조건에서 용접을 실시하였다. 가압상태에서 용접을 실시하기 위하여 시험용 Vessel을 제작하였으며 내압은 질소가스를 사용하여 35kgf/cm^2 를 유지한 상태에서 슬리브뒹개 용접을 실시하였다. 각각에 대한 용접시 배관 및 슬리브는 예열을 실시하지 않았으며 용접전류, 용접전압 및 용접속도를 측정하여 용접입열을 계산하였다. 용접조건에 따른 용접부 용입깊이 및 열영향부 깊이는 시험편을 연마하여 5% Nital로 에칭한 다음 정밀만능투영기를 사용하여 측정하였다. 슬리브뒹개 용접부의 기계적특성을 관찰하기 위하여 그림 1과 2와 같이 인장시험편을 제작하여 인장시험을 실시하였다. 인장시험은 INSTRON 8504를 사용하였으며 변형속도는 2mm/min 로 하였다. 경도측정은 미소비어 커스경도기를 사용하였으며 부가하중은 500g 으로 하였다.

실험결과 및 고찰

공급중인 가스배관을 보수용접할 때 가장 주의해야 할 것은 용락(burnthrough)과 수소균열 발생이다. 용접부 하단이 용융되어 떨어지는 용락은 배관두께, 용입깊이, 배관내

부압력 및 가스유속과 관계하며 저수소계 용접봉을 사용하는 경우에 배관내부온도가 982℃ 일 때 발생한다고 보고하고 있다.⁴⁾ 수소균열의 발생은 용접봉의 수소함량, 용접부 미세조직 및 용접부 구속력과 관계한다.

그림 3은 피복아크용접(SMAW)방법과 가스텅스텐아크용접(GTAW)방법을 사용하여 육성용접한 용접부의 거시적 조직사진이다. 용접방법의 용접입열, 용접자세 및 배관두께는 동일하며 용입깊이 및 열영향부깊이는 비슷하게 나타났다. 용접부의 미세조직은 크게 용착 금속부에서부터 용착금속부에 접한 결정립이 조대한 열영향부, 결정립이 미세한 열영향부와 모재로 나눌 수 있다. 그림 3의 용접부에 대하여 각각의 부위에서 측정된 경도값은 표 2에 정리하였으며 GTAW 용착금속부의 경도값이 SMAW 용착금속부보다 크게 나타났다.

그림 4는 다양한 조건에서 육성용접한 용접부의 용접입열에 따른 용입깊이 및 열영향부깊이 변화를 보여주고 있다. 용입깊이 및 열영향부 깊이는 용접입열이 증가함에 따라 대체적으로 증가함을 알 수 있었다. 그림 4(a)에 모든 육성용접부는 각각의 용접입열에서 열영향부가 배관내부 표면까지 도달하였다. 그러나 그림 4(b)에서 배관두께가 8.7mm와 11.1mm인 경우에는 열영향부 최대 깊이가 배관내부에 있으며 11.1mm 두께에서 용접입열이 가장 큰 10.4kJ/cm에서 용입깊이는 2.4mm이고 열영향부깊이는 6.0mm로 나타났다.

35kgf/cm²의 내압이 존재하는 시험용 Vessel 위에 슬리브덧개 용접을 실시하였다. 슬리브덧개 용접시 용접부의 파피나 내부 가스의 누출등이 발생하지 않았으며 용접부에서 균열등의 결함은 관찰할 수 없었다. 그림 5는 가압상태에서 슬리브 덧개로 보수용접한 필릿 용접부와 맞대기용접부의 거시적 조직사진을 보여주고 있다.

슬리브 덧개 용접에 사용된 배관과 슬리브의 기계적 특성은 표 3과 같고 가압상태에서 슬리브덧개 용접한 필릿용접부와 맞대기용접부의 기계적 특성은 표 4와 같다. 필릿용접부 A형 시험편의 인장강도는 인장시험시 용접부에 부가되는 전단응력으로 인하여 배관의 인장강도값과 비교하여 87% 정도로 나타났으며 인장시험편은 용착금속부 혹은 배관 모재부에서 파단되었다. 필릿용접부 B형의 인장강도는 배관의 인장강도와 비슷하게 나타났으며 맞대기용접부의 인장강도는 슬리브 재료의 인장강도값 보다 크게 나타났다.

요약

1. 대기압하에서 육성용접하여 용접입열에 따라 용입깊이 및 열영향부깊이 변화를 관찰한 결과, 용접입열이 증가함에 따라 용입깊이 및 열영향부깊이가 증가함을 알 수 있었다. 11.1mm 두께 위에 용접입열이 가장 큰 10.4kJ/cm에서 용입깊이는 2.4mm이고 열영향부깊이는 6.0mm로 나타났다.
2. 35kgf/cm²의 내압이 존재하는 상태에서 슬리브덧개 용접을 안전하게 수행하였으며 슬리브 아래 배관이 완전히 파단된 상태에서 축방향 하중이 부가된 경우에 필릿용접부는 배관 인장강도값의 87% 정도를 견딜 수 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 김우식, 김철만, 홍성호, "외국 배관손상 사례분석", 한국산업안전학회지, Vol. 12, No.3, 1997, pp.185-191
2. British Gas Engineering Standard, BSG/PS/P9, "Specification for the welding fittings to gas pipelines under pressure and having a wall thickness not less than 5mm", 1984
3. 日本가스協會, JGA指-204-89, "高壓導管指針", 1989
4. J.F.Kiefner, W.A.Bruce and D.R.Stephens, "Pipeline repair manual", American Gas Association, No. PR-218-9307, 1994

Table 1. Welding conditions for the direct deposition of weld metal.

Welding process, Welding rod spec(diameter, mm ϕ)	Welding position	Thickness of pipeline(mm)
GTAW, ER70S-G(2.4) SMAW, E9016-G(2.6, 3.2, 4.0)	Flat Vertical Overhead	4.0, 5.2, 8.7, 11.1

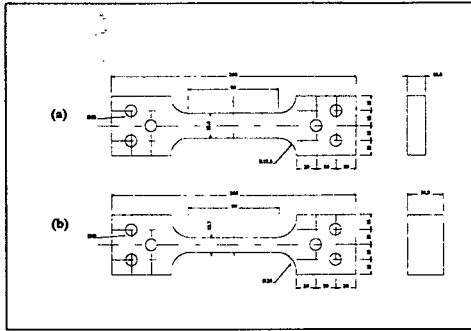


Fig. 1. Tensile specimens of parent metal for (a) pipeline and (b) sleeve.

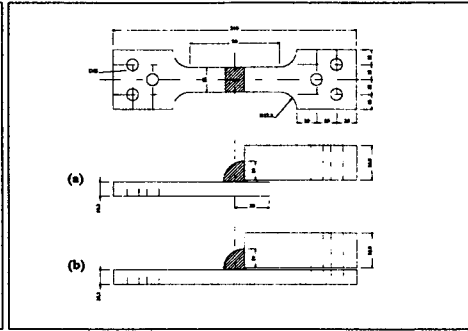
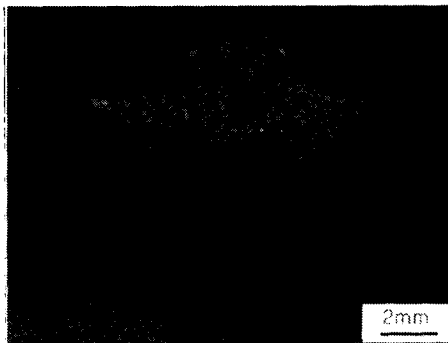
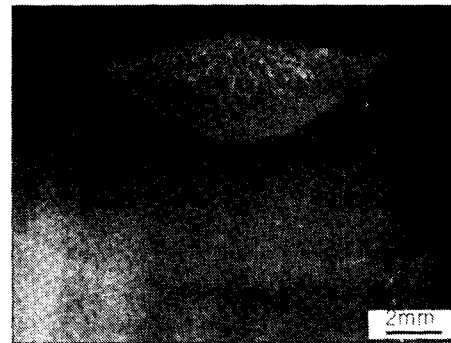


Fig. 2 Tensile specimens of (a) A type and (b) B type for fillet weld.



(a)



(b)

Fig. 3. Macrographes for direct deposition of weld metal with (a) SMAW(Heat Input=4.45kJ/cm, Pipeline thickness=11.1mm, Weld penetration=1.60mm, HAZ depth=2.65mm) and (b) GTAW process(Heat Input=4.58kJ/cm, Pipeline thickness=11.1mm, Weld penetration=1.43mm, HAZ depth=2.83mm).

Table 2. Vickers hardness measurements for welds of Fig. 3.

(unit : HV 0.5)

Welding process	Weld metal	HAZ near weld metal	Grain fined HAZ	Parent metal
SMAW	224	217	200	192
GTAW	299	245	225	190

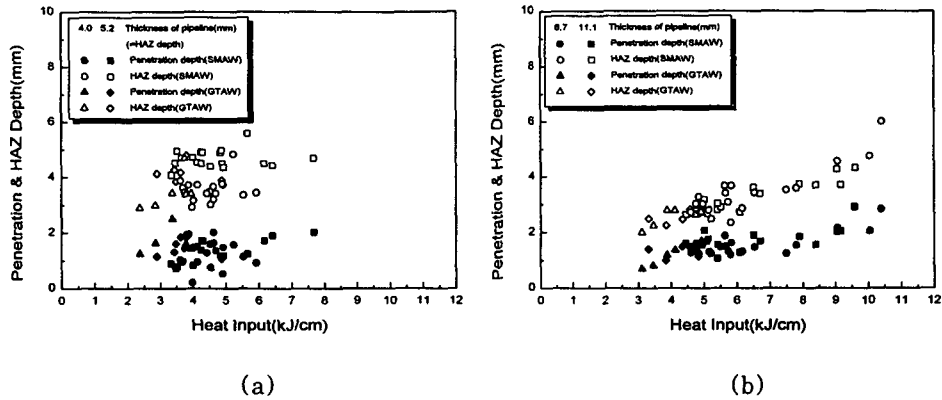


Fig 4. Effect of heat input on weld penetration and HAZ depth for direct deposition of weld metal made in (a) 4.0mm, 5.2mm, (b) 8.7mm and 11.1mm wall pipe.

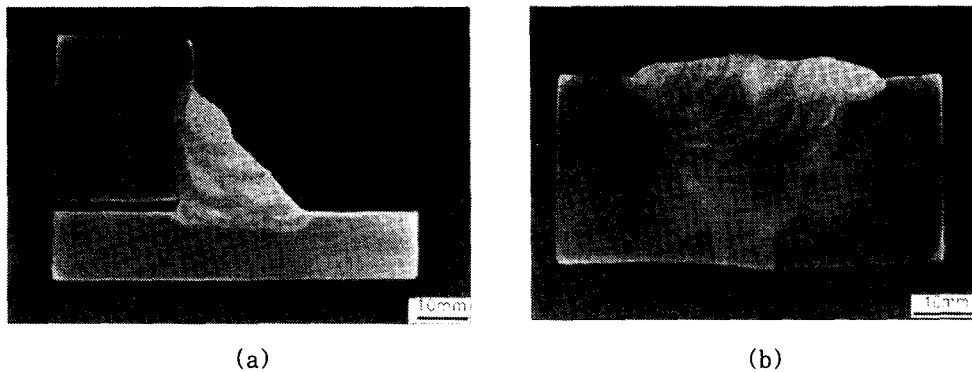


Fig. 5. Macrographes of (a) fillet weld and (b) butt weld onto pressurized gas pipeline.

Table 3. The results of tensile test for the pipeline and sleeve.

Materials	direction of test specimen	Yeile strength (MPa)	Tensile sterngth (MPa)	Elongation(%) (G.L. = 50mm)
Pipeline (API 5L X65)	Longitudinal	502.0	575.7	43.9
	Transverse	510.5	593.9	42.4
Sleeve (API 5L X42)	Longitudinal	317.9	504.1	52.7
	Transverse	378.1	512.8	49.7

Table 4. The results of tensile test for the fillet weld and butt weld onto pressurized gas pipeline.

Weld type	Specimen type	Tensile strength (MPa)	Fracture region
Fillet weld	A type(Fig. 2(a))	498.9	Weld metal or parent metal of pipeline
	B type(Fig. 2(a))	584.2	Parent metal of pipeline
Butt weld	Fig. 1(b)	538.4	Parent metal of sleeve