

# 운용중인 가스배관의 보수용접을 위한 허용한계 설정

## Allowable Limit of Repair Weld by Direct Deposition of Weld Metal on In-service Pipeline

김영표, 백종현, 김우식,  
한국가스공사 연구개발원, 경기도 안산시

### 1. 서론

공급중단을 방지하고 경제적 손실을 최소화하기 위해 해외 가스회사들은 지속적으로 가스를 공급 하면서 손상된 배관을 보수하는 다양한 방법을 개발해왔다. 현재 공급중인 가스배관을 보수하는 방법 으로는 용접에 의한 방법, 기계적인 클램프를 사용하는 방법 및 복합물을 손상부에 감싸주는 방법등 다양한 방법이 사용되고 있다.[1] 그러나, 현재 영구적인 보수방법으로 가장 널리 사용되는 것은 용접 으로 손상부를 보수하는 방법이다.

공급중인 가스배관 위에 용접하는 경우 용락의 발생, 수소균열의 발생과 용접 후 용접부가 원래 배관이상으로 기계적 특성을 회복할 수 있는가를 고려하여야 한다. 해외 가스회사들은 용락의 발생을 억제하고 수소균열의 발생을 최소화하며 충분한 기계적 특성을 나타내는 보수용접을 수행하기 위해서 많은 연구를 수행해왔다.[1-3] 그러나, 현재 국내에서는 공급중인 가스배관 위에 용접을 수행한 경험이 없기 때문에 손상된 배관을 보수할 때 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 공급중인 API 5L X65 가스 배관 위에 육성용접을 실시할 때 용접작업의 안전과 용접부의 건전성을 확보하기 위해서 본 연구를 시작하게 되었다. 본 연구에서는 공급중인 가스배관 위에 육성용접에 의한 보수용접부시 용접조건이 허용용접입열과 기계적 특성에 미치는 영향에 대해서 살펴보았다. 우선 육성용접시 허용용접입열을 평가하기 위해서 다양한 용접조건하에서 한패스의 비드용접(bead-on-plate welding)을 실시하였다. 또 한 다층용접을 실시한 육성용접부의 기계적 특성을 평가하였다.

### 2. 실험방법

용접방법의 영향을 비교하기 위해서 피복아크용접(SMAW, shielded metal arc welding)방법과 가스 텅스텐아크용접(GTAW, gas tungsten arc welding)방법이 사용되었다. 피복아크용접에는 E9016-G, 2.6mm 직경의 용접봉을 사용하였으며 가스텅스텐아크용접에는 ER70S-G, 2.4mm 직경의 용접봉을 사용하였다. 용접동안 용접입열을 계산하기 위해 용접전압, 용접전류 및 용접속도를 측정하였다.

비드용접은 폭이 100mm이고 길이가 200mm인 API 5L X65 후판위에 실시하였으며 후판의 두께는 4, 6, 8과 10mm로 각각 변화시켰다. 비드용접시 후판의 초기온도는 약 10℃ 이었다. 이러한 비드용접 부의 거시적인 조직 관찰과 조대화결정립열영향부(CGHAZ, coarse grained heat affected zone)의 경도를 측정하였다.

또한, 인위적으로 두께 14mm의 후판위에 깊이 7mm와 폭 12.7mm의 홈을 가공한 다음 다층으로 육성용접을 실시하였다. 육성용접부의 기계적 특성을 파악하기 위해서 경도측정, 인장시험 및 충격시험을 실시하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 비드용접시 허용용접입열의 예측

본 연구의 목적은 용락과 수소균열이 발생시키지 않는 허용용접입열을 예측하는 것이다. 이전 연구에서 주요결과는 용접부 하단의 내부표면온도가 982℃ 이상이 되면 용락이 발생한다는 것이다.[2] 따라서 내부표면의 온도를 측정하거나 거시조직관찰로 보수용접부의 용락을 예측할 수 있다. 육안으로 관찰할 수 있는 FGHAZ와 모재의 경계선이 도달하는 온도는 약 723℃ 이다. 본 연구에서는 FGHAZ와 모재의 경계가 용접부 하단 내부표면에 도달할 때 용락이 발생한다고 가정하여 허용용접

입열을 예측하였다.

그림 1은 10mm와 6mm 두께 위에 비드용접부의 용입깊이와 열영향부깊이 관찰결과를 보여주고 있다. 허용용접입열을 예측하기 위해서 그림 1에 나타난 것과 같이 각각의 데이터에 대해서 원점을 통과하는 linear regression 방법을 사용하였다. 즉 열영향부의 깊이(D, mm)는 비례상수(A)와 용접입열(Q, J/cm)의 곱으로 나타낼 수 있다. Linear regression시 직선의 기울기를 나타내는 비례상수와 이때 각각의 두께에서 용락발생없이 용접이 가능한 허용용접입열의 계산값을 표 1에 정리하였다.

이전의 연구결과에 따르면 비드밀균열의 관점으로 부터 저수소계용접봉을 사용하는 경우 열영향부의 경도가 400HV 이상이 되면 수소균열에 민감하게 된다고 보고하고 있다[2]. 또한 산성의 성분을 포함한 가스를 수송하는 경우에는 열영향부의 경도가 248HV 이상이 되면 응력부식균열에 민감하게 된다고 보고하고 있다.[3]

그림 2는 SMAW와 GTAW 용접부의 용접입열에 따른 CGHAZ 경도변화를 보여주고 있다. 모든 용접조건에서 CGHAZ 경도는 400HV 이하로 나타났으며 따라서 이러한 모든 용접부는 수소균열에 민감하지 않다고 판단할 수 있다.

### 3.2. 육성용접부의 기계적 특성

SMAW에 의해 육성용접된 용접부와 GTAW에 의해 육성용접된 용접부의 기계적 특성을 비교해 보았다. 그림 3은 각각의 육성용접부의 경도변화를 보여주고 있다. 용접방법에 관계없이 비슷한 경도 분포를 나타내고 있다. 표 2에는 API 5L X65강, SMAW 육성용접부 및 GTAW 육성용접부의 인장시험결과를 정리하였다. 인장시험결과 보수용접부의 인장강도는 모재의 인장강도보다 크게 나타났으며 모든 시험편은 모재부에서 파단되었다. 그림 4는 용접방법과 노치위치에 따른 충격인성의 변화를 보여주고 있다. 용착금속의 중심과 용융선에 노치가 위치하는 시험편에서는 GTAW 용접부의 충격인성이 조금 크게 나타났으며, 다른 위치에서는 용접방법에 관계없이 비슷한 충격인성값을 나타내었다.

육성용접부의 기계적 특성을 평가한 결과, SMAW와 GTAW 방법을 사용한 육성용접부는 원래 배관의 인장강도 및 충격인성을 회복하는 것으로 나타났다.

## 4. 결 론

(1) 비드용접을 실시하여 용접조건이 용입깊이, 열영향부깊이와 CGHAZ 경도에 미치는 영향을 관찰한 결과, 공급중인 가스배관위에 용락과 수소균열을 발생시키지 않고 보수용접이 가능한 허용용접입열값을 예측하였다.

(2) 다층으로 SMAW와 GTAW 방법을 사용한 육성용접부의 기계적특성을 관찰한 결과, SMAW와 GTAW 방법을 사용한 육성용접부는 원래 배관의 인장강도 및 충격인성을 회복하는 것으로 나타났다.

## 5. 참고문헌

- 1) J. F. Kiefner, "Pipeline Repair Manual", American Gas Association, December 31, 1994.
- 2) J. F. Kiefner, "Effects of Flowing Product on Line Weldability", Oil & Gas Journal, July 18, 1988, pp. 49~54.
- 3) R. D. Felix, W. A. Bruce and P. L. Threadgill, "Development of Procedures for Hot Tap Welding Onto Sour Service Pipelines", Society of Petroleum Engineers, SPE 22098, 1991, pp. 349~359.

Table 1. The proportional constant of linear regression through origin and calculated allowable heat input on the basis of the depth of HAZ.

Plate thickness	SMAW		GTAW	
	Proportional constant(A)	Allowable heat input(kJ/cm)	Proportional constant(A)	Allowable heat input(kJ/cm)
10mm	0.339	29.5	0.210	47.6
8mm	0.367	21.8	0.192	41.7
6mm	0.457	13.1	0.335	17.9

Table 2. Tensile properties of API 5L X65 plate and repair welds by direct deposition of weld metal(at room temperature).

Base metal(API 5L X65 plate)			SMAW	GTAW
Yield stress (MPa)	Tensile stress (MPa)	Elongation (% , 50mm)	Tensile stress (MPa)	Tensile stress (MPa)
465.8	550.2	48.4	600.3	587.9

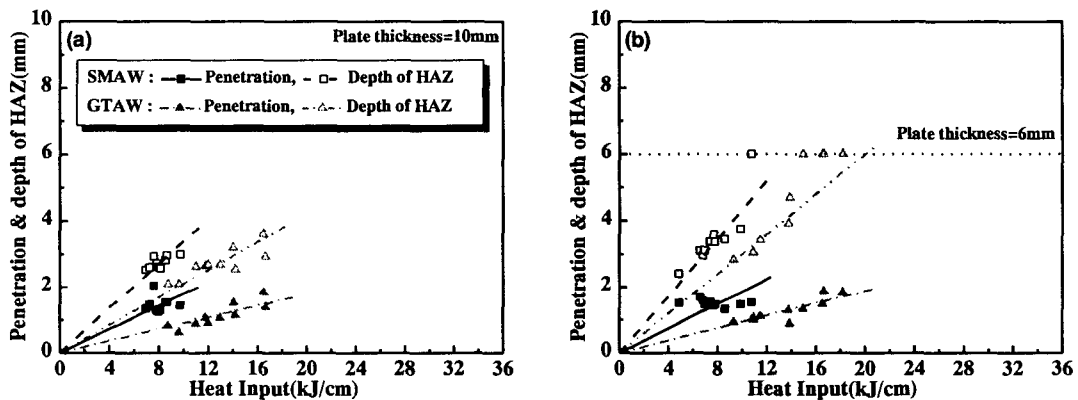


Figure 1. The effects of heat input and welding process on the penetration and depth of HAZ in bead-on-plate welds on (a) 10mm and (b) 6mm thickness plates.

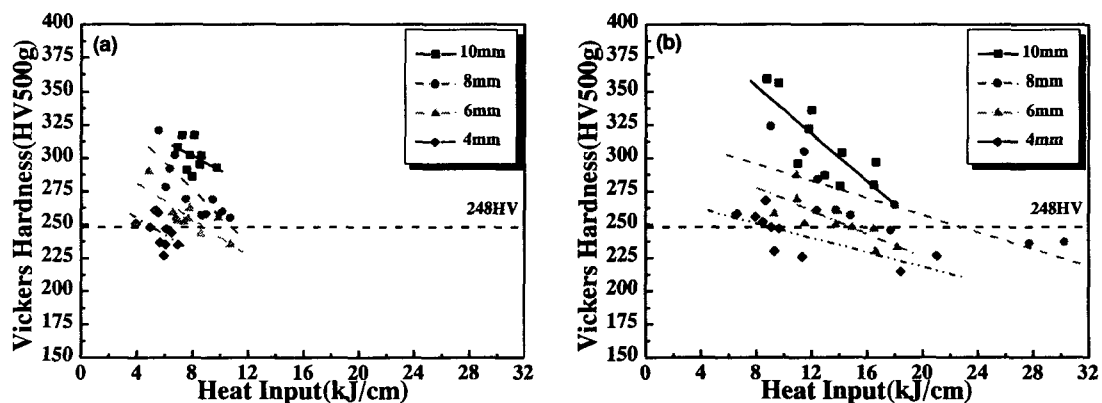


Figure 2. Vickers hardness of CGHAZ for (a) SMAW weld and (b) GTAW weld on various plate thicknesses according to heat input.

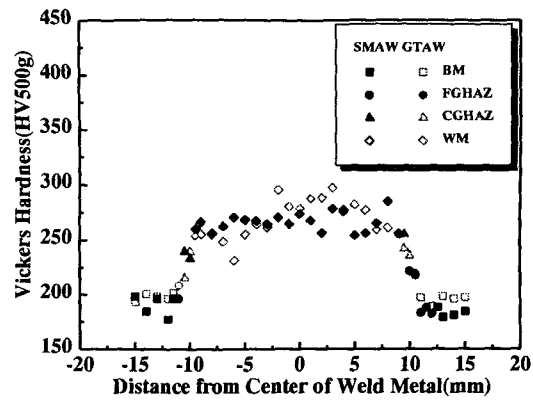


Figure 3. Vickers hardness distribution of repair welds made by direct deposition of weld metal using SMAW and GTAW processes.

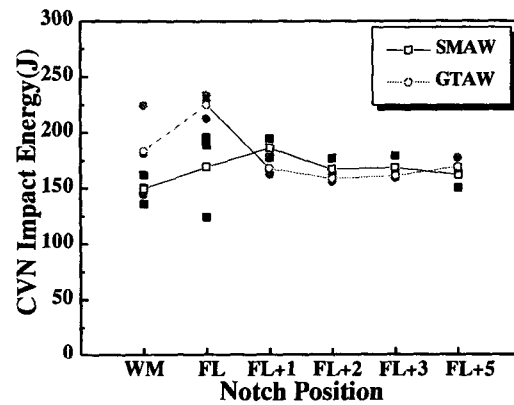


Figure 4. Impact toughness of repair welds according to notch position and welding process at 0°C.