

# 배관용접시 단관삽입길이에 따른 용접부 특성 평가

김철만, 김우식, 김영섭\*, 권정락\*

한국가스공사 연구개발원, 한국가스안전공사 가스안전시험연구원\*

## Evaluation of weld joint properties with length of inserted short pipe at the time of pipeline welding

Cheol-man Kim, Woo-sik Kim, Young-seob Kim\*, Jeong-rock Kwon\*  
KOGAS R&D Center, KGS Institute of Gas Safety technology.

### 1. 서론

배관 시공 및 결함 배관의 보수방법으로 단관을 삽입하는 경우가 있다. 단관을 연결하기 위하여 GTAW와 SMAW 방식의 용접을 적용한다. 단관을 삽입하여 용접할 경우 상대적으로 배관 길이가 짧기 때문에 용접 후 용착금속의 응고수축으로 인하여 비틀림 및 잔류응력이 심하게 발생하게 된다. 이와 같은 응력은 배관을 변형시키거나 균열을 생성시키기 때문에 단관 삽입시 인접한 원주용접부 사이의 거리를 파이프직경(D) 이상을 유지하도록 규정하고 있다. 단관삽입시 원주용접부의 거리에 대한 사항은 현장에서 종종 겪는 애로사항으로서, 다양한 조건과 실제 크기의 배관으로 시험을 하여 안전성 검증과 더불어 최소 원주용접부 이격거리를 제시할 필요가 있다.

원칙적으로 단관삽입시 원주용접부 간격은 배관 직경 이상으로 규정하고 있으나, 국내외적으로 근거가 모호하고 단관 시공시 법규적용이 현실적으로 어려운 상황이다. 특히 정압기실과 같은 협소한 지역에서는 모든 단관을 배관 직경 이상의 길이로 할 경우 건축면적이 확대되어 비용이 상승되고, 공급설비 시설의 확장 설계시 부지면적의 부족으로 시공이 불가능할 경우가 발생하며, 신설시설의 경우는 배관자재 및 소요면적이 증가되어 공사비가 필요이상으로 상승하게 된다.

따라서 본 연구에서는 공급관리소에서 사용되고 있는 가스 배관에 단관을 삽입하여 용접으로 연결하였을 경우, 용접부의 기계적 특성과 잔류응력을 평가하여

최적의 단관 삽입 길이에 대한 기술적 근거를 제시하고자 한다.

## 2. 실험방법

API 5L X65등급의 직경 26inch, 두께 15.9mm 가스배관을 300mm의 길이로 절단하여 두 배관사이에 길이 50, 100, 150mm의 단관을 삽입하여 원주용접을 실시하였다. 표 1은 배관사양 및 원주용접공정을 나타낸 것이다. 모든 용접은 KS B0845에 따라 방사선 검사를 실시하여 1등급의 판정을 얻었다.<sup>(1)</sup>

표 1. 배관사양 및 용접공정

재질	배관사양	단관길이 (mm)	패스	용접방법	입열량(kJ/cm)
API 5L X65	직경 26inch, 두께 15.9mm	50,	1	GTAW ER70S-G, 2.4 $\Psi$	14.8
			2		14.4
		100, 150	3	SMAW E9016-G, 3.2 $\Psi$	40.1
			4	SMAW E9016-G, 4.0 $\Psi$	43.0
			5		38.1

그림 1은 가스배관에 150mm의 단관을 삽입하여 원주용접을 실시한 것을 나타낸 것이다. 단관삽입길이에 따라 기계적 특성의 변화를 관찰하기 위하여 거시적으로 조직을 관찰하였고, 경도시험, 인장시험, 굽힘시험 및 잔류응력 평가를 수행하였다. 잔류응력은 ASTM E837규격에 의하여 측정하였다.<sup>(2)</sup> Hole cutter에 의한 천공법을 사용하여 3축의 rosette strain gauge에 RS-200 milling guide를 사용하여 strain gauge의 중심부분을 gauge circle 직경(D)의 0.4배 깊이까지 천공하였다. 천공 전과 후의 변형량을 측정하여 잔류응력을 계산하였다.

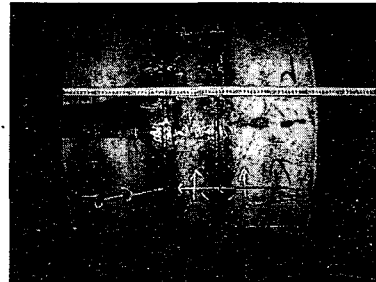


그림 1. 단관 삽입 후 원주용접(단관길이 150mm)

### 3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 단관을 삽입하여 원주용접한 두 용접부에 대한 거시적 사진을 나타낸 것이다. 다층 용접을 실시하였기 때문에 용접회수에 따른 조직변화가 열영향부에 잘 나타나 있다. 열영향부의 최대 길이는 약 7mm 이내로 측정되었고 단관을 삽입하여 용접을 하였을 때 이웃한 원주용접부에 미치는 영향은 없는 것으로 관찰되었다.

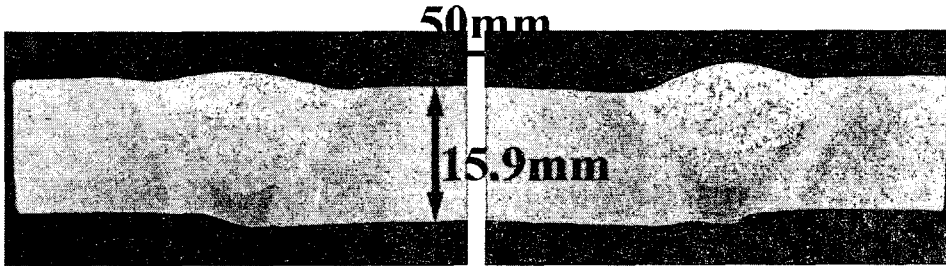


그림 2. 용접부 거시적 관찰(단관길이 50mm)

그림 3은 50mm 길이의 단관을 삽입하여 용접하였을 때 경도측정결과를 나타낸 것이다. 용착금속은 모재보다 본질적으로 강도가 큰 재질을 사용하였기 때문에 경도도 높게 나타났다. 열영향부는 지속적으로 용접열을 받아 모재부의 조직이 변화한 것으로 경도가 감소하는 연화현상이 일부 나타났다.

경도는 높을수록 강도측면에서는 우수하지만 취성과파괴를 일으킬 수 있다. BSI 4515 규격에서는 용착금속의 경도를 275Hv이하로 규정하여 취성과파괴를 방지하고 있다.<sup>(3)</sup> 단관 길이가 50mm인 배관에서 용착금속의 경도는 BSI규격을 만족시켰고 단관 길이 변화가 경도에 미치는 영향은 거의 없었다.

그림 4와 같이 단관 삽입 용접부에 대하여 인장시험을 할 경우, 용착금속부 인지에서 소성변형이 발생하여 파단되었고 이에 대한 결과를 표 2에 나타내었다. 단관을 삽입하여 용접을 하였을지라도 용접부의 인장강도가 모재보다 높게 나타났고, 단관 길이가 작을수록 오히려 강도가 약간 증가하였다. 단관을 삽입하여 용접을 하였을 경우 인장강도가 더 높게 평가되었고 강도적인 측면에서 전혀 문제가 발생하지 않았다.

그림 5는 50mm의 단관을 삽입하여 용접한 용접부에 대하여 측면 굽힘시험을 한 후 거시적으로 관찰한 것이다. 단관길이가 50, 100, 150mm의 세 종류가 있지만 가장 작은 길이에 대한 용접부를 굽힘시험 하였을 때 규격을 만족한다면 다른 두 종류에 대한 것도 유효한 것을 판단하였다. 결과적으로 API 1104<sup>(4)</sup>에서 인

급한 용접결함은 발견되지 않았기 때문에 단관길이를 50mm로 한 후 용접하여도 굽힘에는 전혀 문제가 없는 것으로 평가되었다.

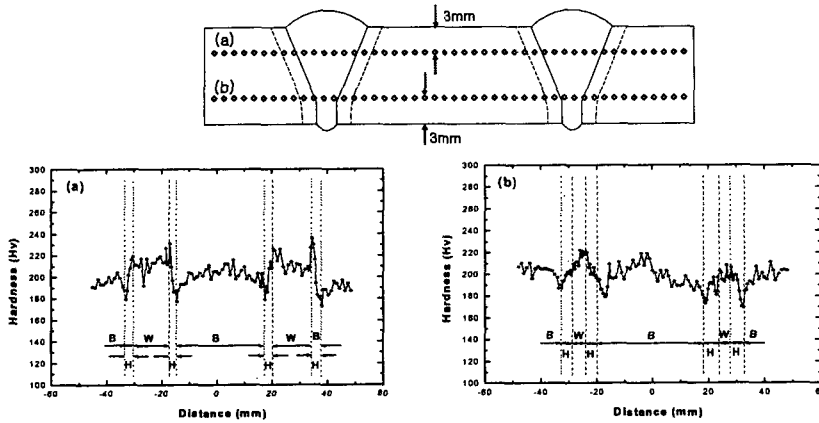


그림 3. 직경 26inch 배관의 거리에 따른 경도변화  
(두께 15.9mm, 단관길이 50mm)  
(a) 상부 (b) 하부

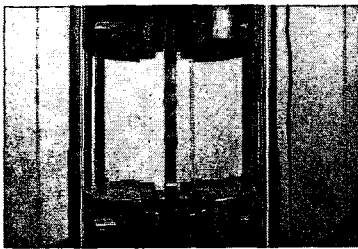


그림 4. 용접부 인장시험

표 2. 배관 모재 및 용접부 인장특성

	단관길이	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)
모재	-	492	570
용접부	50	-	585
	100	-	586
	150	-	574

그림 6은 rosette strain gauge의 중심부분에 대한 천공작업을 나타내었고, 배관 외부 표면에 내재되어있는 잔류응력 분포를 그림 7에 나타내었다. 두 용접부 사이에서는 압축 잔류응력이, 용착금속부에서는 인장 잔류응력이 발생되었다. 인장 잔류응력은 주기적으로 외력이 가해지는 피로가 발생할 때 재료의 파괴를 야기시킬 수 있는데, 두 용접부 사이에서는 인장방향이 아닌 압축방향의 잔류응력이 존재하고 있어 오히려 피로특성에 좋은 효과를 초래하였다. 원주방향의 용착

금속부에서는 약 150MPa정도의 인장 잔류응력이 존재하고 있었는데, 이것은 API 5L X65 배관 모재 항복강도의 1/2수준으로서 단관 삽입 용접부의 건전성에는 문제가 없을 것으로 생각된다.

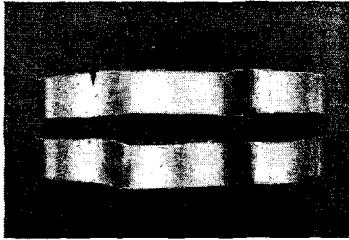
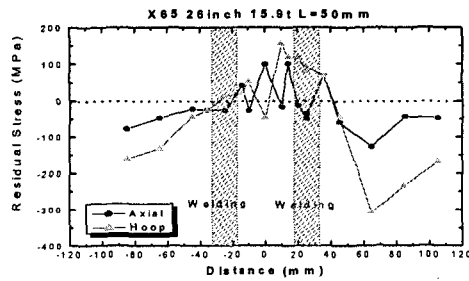


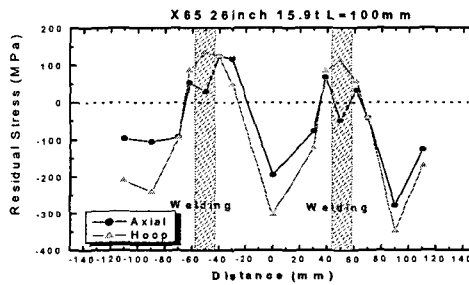
그림 5. 측면 굽힘시험



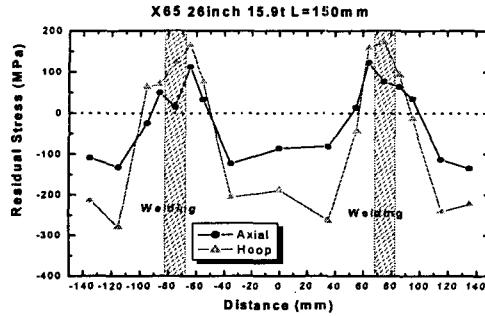
그림 6. Drilling 작업



(a)



(b)



(c)

그림 7. 단관삽입 용접부 잔류응력 분포

(a) 단관길이 50mm (b) 단관길이 100mm (c) 단관길이 150mm

#### 4. 요약

API 5L X65 배관에 50mm이상의 단관을 삽입하여 용접하였을 경우, 삽입된 단관 길이 변화에 따른 용접부 기계적 특성 평가 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 단관삽입 용접부위의 거시적 조직관찰, 미소경도측정, 인장시험, 굽힘시험을 수행한 결과, 단관삽입 용접부의 건전성에는 문제가 없는 것으로 평가되었다.

2. 단관삽입 용접부의 원주방향 최대 인장 잔류응력의 크기는 단관 삽입 길이에 관계없이 약 150MPa로서 그리고 최대 압축 잔류응력은 약 300MPa로 측정되었다. 모재의 항복강도가 492MPa인 것과 비교하여보면 단관 삽입 용접에 의한 잔류응력의 영향은 매우 작은 것으로 평가되었다.

#### 5. 참고문헌

1. KS B0845 “강용접부의 방사선 투과시험 방법 및 투과사진의 등급 분류 방법”
2. ASTM E837-95, “Standard test method for determining residual stresses by the hole-drilling strain-gage method”
3. British Standard Institution, BS4515, 1984, “Process of welding of steel pipelines on land and offshore”
4. API STANDARD 1104, 1994, “Welding of Pipelines and Related Facilities”