

**천연가스배관 모재 및 용접부의 파괴인성에 관한 연구**  
**Study on the Fracture Toughness of Base Metal and Weldment**  
**of Natural Gas Pipeline**

김철만\*, 백중현, 정현호, 김우식  
 한국가스공사 연구개발원

1. 서론

한국가스공사에 의해 전국에 공급되고 있는 천연가스는 깨끗하고 안전한 에너지라는 인식이 확산되면서 수요가 급증하고 있다. 천연가스 공급은 지하매설배관을 통하여 이루어지고, 고장력강인 배관끼리는 용접으로 연결된다. 배관은 사용압력이나 사용위치에 따라 여러종류가 있으며 배관 생산 공정에도 많은 차이가 있다. 이렇게 다양한 배관을 용접하면서 생기는 용접부와 열영향부의 특성은 각 배관과 용접공정별로 다르게 나타난다. 즉 배관제작공정시 필요한 심용접과 건설현장에서 배관용접시 필요한 원주용접은 용접공정 자체가 다르며 배관의 종류에 따라 원주용접방안도 변화한다. 본 고에서는 가스배관의 안전성 및 건전성 확보에 중요한 의미를 지니는 재료의 파괴인성치를 배관의 취약부분인 주배관 각 용접부위에 대하여 측정하였으며 그 결과분석 및 평가방안에 대하여 알아보았다.

2. 실험방법

2.1 천연가스수송용 강관의 용접방법

Table 1.은 현재 한국가스공사에서 사용하고 있는 API 5L X65, X42 두 종류의 고압배관에 대한 심 및 원주용접에 대한 공정을 나타내고 있다. X65 및 X42 원주용접은 각각 E9016과 E7016의 용접봉을 사용하고 있다. X65배관의 심은 SAW방법으로 내면 및 외면을 용접하고, X42배관은 ERW방법으로 용접하고 있다. 원주용접은 100℃이상으로 예열하지만 심용접은 예열을 하지 않는다.

Table 1. Welding procedure of pipeline

	Seam welding procedure	Girth welding procedure
API 5L X65	- GTAW + SAW (inside+outside) (F8A4-EA3K-A4, F8A4-EA3-G) - X groove - No preheat, No PWHT - Shielding gas : CO <sub>2</sub> , 40 ℓ/min - Multiple 2 electrodes(AC+DCEP)	- GTAW(2) + SMAW (ER70S-G + E9016-G) - V groove - Amp./Volt. : 80~130A / 12~23V - Speed : 6~20cm/min. - Preheat : 100℃ - No PWHT - Welding RT : First grade (KS B0845)
API 5L X42	- ERW - Amp./Volt. : 8~17A / 9~16.5V - Speed : 10~22m/min - Welding distance : 15~25cm - Frequency range(Max. Hz) : 400K - No preheat, - PWHT : Normalizing	- GTAW(1) + SMAW (ER70S-G + E7016) - V groove - Amp./Volt. : 90~130A / 24~32V - Speed : 8~12cm/min. - Preheat : 100℃, - No PWHT - Welding RT : First grade (KS B0845)

## 2.2. 충격 및 파괴인성

본 연구는 시험온도 및 노치 위치 변화에 따라 X65 및 X42배관의 심용접부와 원주용접부의 충격 및 파괴인성 변화를 각각 비교하고자 하였다. 충격시험은  $-120^{\circ}\text{C}$ 부터  $40^{\circ}\text{C}$ 까지  $20^{\circ}\text{C}$ 간격으로 ASTM A370에 따라 각각 3개씩 시험하였다. 배관 길이방향으로 균열이 전파하도록 용착금속, 용융선, 열영향부 및 모재에 노치를 가공하였다.

모재 및 용접부의 파괴인성을 측정하기 위하여 CTOD 시험을 채택하였고 시험 온도 및 노치 위치에 따른 파괴인성 변화를 파악하였다. 배관 설계온도가  $-29\sim 38^{\circ}\text{C}$ 인 것을 감안하여  $-30, 0, 40^{\circ}\text{C}$ 에서 BS 7448, Part 1(1991)에 따라 각각 3개씩 시험하였다. 피로균열은  $0.45\text{W}\leq a_0\leq 0.55\text{W}$ 가 되도록 하였으며 최종 균열길이는 시험후 파면을 9등분하여 구한 각각의 길이에 대한 평균값을 취하였다. 그리고 SEM으로 CTOD 시험편의 파면을 분석하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 X65 배관 심용접부의 노치 위치 및 시험온도에 따른 충격에너지 변화를 나타내고 있다.  $-29\sim 38^{\circ}\text{C}$ 의 설계온도에서 모재에 대한 충격에너지가 가장 높게 나타났고 연성-취성 천이온도는 순수 열영향부가  $-80^{\circ}\text{C}$  정도로 가장 낮게 나타났다. 용착금속부분은 연성-취성 천이온도가 뚜렷이 나타나지 않고 있으며 설계온도에서 가장 낮은 충격에너지를 보이고 있다. 그림 2는 X65 배관 원주용접부에 대한 충격특성을 나타내고 있다. 심용접부와는 달리 모재부가  $-60^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮은 연성-취성 천이온도를 나타내고 있고 설계온도에서도 가장 높은 충격에너지를 보이고 있다. 반면 심용접부와 동일하게 용착금속부의 충격특성은 매우 취약하게 나타나고 있다.

표 2는 그림 1과 같은 노치위치에서 온도변화에 따른 X65배관 심용접부의 CTOD시험 결과를 나타낸 것이다. 일반적으로 온도가 감소하고 용착금속으로 노치 위치가 이동함에 따라 CTOD 값이 작아지고 있음을 알 수 있다. 결국 시험온도  $-30^{\circ}\text{C}$ 에서 용착금속부의 CTOD가  $0.1\text{mm}$ 로 가장 작게 나타났다. 표 3은 표 2와 노치 위치 및 시험온도가 같은 조건에서 X65 배관 원주용접부에 대한 CTOD 변화를 나타낸 것이다. 심용접부의 결과와 비슷한 경향을 나타내고 있고  $-30^{\circ}\text{C}$ 에서 용착금속부의 CTOD값은 가장 낮은  $0.13\text{mm}$ 를 나타내고 있다.

그림 3은 X42배관 원주용접부의 노치 위치 및 시험온도에 대한 충격 에너지 변화를 나타내고 있다. X65배관 원주용접부에 대한 것과 동일하게 모재부가 가장 충격특성이 좋게 나타났고  $-50^{\circ}\text{C}$  온도에서 연성-취성 천이가 나타나고 있다. 표 4는 X42배관의 모재 및 용착금속부의 온도변화에 따른 CTOD값을 나타내고 있다. 역시 위에서 언급한 대로 온도감소에 따라 CTOD값의 감소를 보이고 있고 용착금속부가  $0.25\text{mm}$ 로 가장 낮은 CTOD값을 나타내고 있다.

## 4. 요약

- 1) X65배관의 심 및 원주용접 부분과 X42배관의 원주용접 부분에 대하여, 노치 위치 및 시험온도 변화에 따른 충격 및 파괴인성 변화를 비교, 분석하였다.
- 2) 모든 경우에 용착금속부에 대한 충격 및 파괴인성이 가장 취약하게 나타났다.

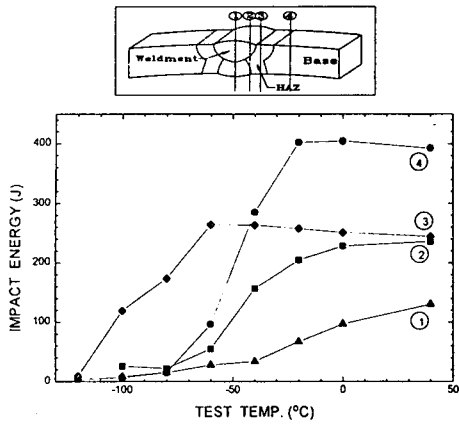


Fig. 1. Impact energy variations according to notch position and test temperature in X65 seam welded pipe.

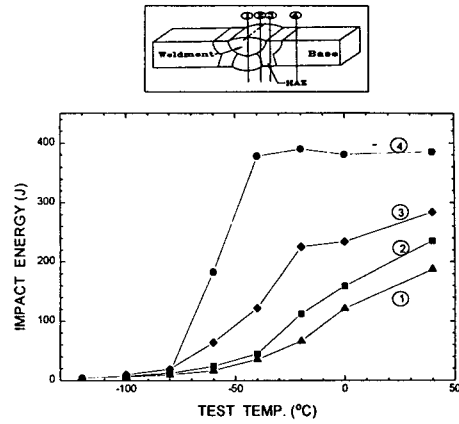


Fig. 2. Impact energy variations according to notch position and test temperature in X65 girth welded pipe.

Table 2. CTOD variations according to notch position and test temperature in X65 seam welded pipe.

notch °C	Weld	Weld + HAZ	HAZ	Base
40	0.79	0.80	0.83	1.31
0	0.72	0.98	0.98	1.31
-30	0.10	0.80	0.98	1.12

unit : mm

Table 3. CTOD variations according to notch position and test temperature in X65 girth welded pipe.

notch °C	Weld	Weld + HAZ	HAZ	Base
40	0.23	0.78	0.81	0.96
0	0.19	0.38	0.71	0.93
-30	0.13	0.27	0.95	0.65

unit : mm

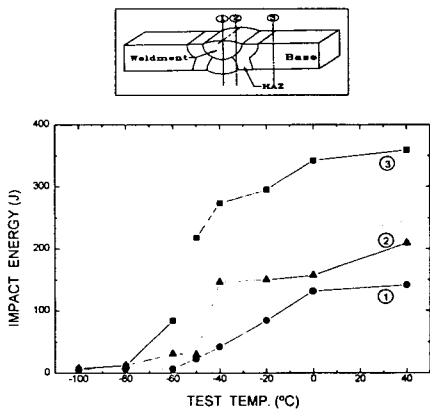


Fig. 3. Impact energy variations according to notch position and test temperature in X42 girth welded pipe.

notch °C	Weld	Base
40	0.73	1.18
0	0.73	1.16
-30	0.25	1.24

unit :mm

Table 4. CTOD variations according to notch position and test temperature in X42 girth welded pipe.