

저온형 LPG선용 TMCP강의 용접 특성

(Welding Characteristics of TMCP Type Low Temperature Steel for LPG Carrier Application)

RIST 용접연구센터 안 상곤*, 이 중봉, 한 재광
POSCO 품질관리부 조 형석

1. 서 론

고도의 안전성·신뢰성이 요구되는 저온형 LPG선은 저온 충격 및 파괴 인성등, 제품질 특성이 우수한 저온용강의 선택이 필수적이다. 종래에는 이러한 용도의 저온용강이 대부분 소준 또는 조질 열처리에 의해 제조되어 사용되어 왔다. 그러나 용접시공 조건의 엄격한 규제 및 대입열 용접부의 취화등 용접성 측면에서의 문제점으로 인해 용접성을 현저히 개선시킬 수 있는 TMCP법에 의한 저온용강의 제조기술 개발에 많은 노력을 기울이고 있다.

본 연구에서는 LPG선의 Tank 선각재용으로 TMCP법을 사용하여 제조한 항복강도 33kgf/mm²급 저온용강재의 용접 특성, 즉 용접 경화성, 저온균열 감수성을 조사하고, 열 Cycle 재현부 및 실 용접부에 대한 성능을 종합 평가하고자 했다.

2. 시험재 및 실험 방법

사용한 재료중 모재는 NK-KL33의 규격 범위로 제조된 두께 16mm의 TP33강 및 TP37강 3종이며, 이들의 제조 방법 및 화학조성을 Table 1에 나타냈다. TP33강은 Ti-B를 복합 첨가한 것이며, TP37강은 Cu-Ni-Nb-Ti가 기본 성분계로서 제조 방법에 따라 A와 B로 구분했다. TP33강의 용접 경화성 및 저온균열 감수성은 JIS Z3101 및 JIS Z3158에 준하여 최고 경도시험 및 y-groove시험으로 평가했다. 또 실 용접부의 성능은 실제 조선업계에서 LPG선의 건조시 적용하고 있는 용접 방법 및 용접조건, 즉 SAW의 FAB법(86kJ/cm)과 EGW의 SEGARC법(89kJ/cm)에 의한 용접 이음부에 대하여 강도 및 충격인성등을 조사했다. 한편 TP33, TP37A 및 TP37C강에 대한 용접 열 Cycle 재현시험은 최고온도를 1350°C, $\Delta t_{8/5}$ 의 냉각시간을 21~130kJ/cm의 용접입열량에 상당하는 25~155초의 조건으로 변화시켜 충격인성을 비교 검토했다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1은 TP33강에 대한 최고 경도시험 결과로서 용접 Bead길이에 따른 최고 경도값의 변화를 나타낸 것이다. 시험온도가 높고, 용접 Bead길이가 길어질수록 용접 열영향부의 최고 경도값이 감소하는 일반적인 경향을 보이고 있다. 한편 25°C, 125mm Bead길이에서 TP33강과 TMCP형 HT50급 선급재의 최고 경도값을 비교해 보면, TP33강은 Hv225로서 TMCP 선급재의

Hv300에 비해 현저히 낮음을 알 수 있다. 또 일본 강선공작법 정도표준(JSQS)에서 가접시의 Bead길이 규제 기준, 즉 허용 한계 정도가 Hv400임을 고려하면, TP33강의 경우 10mm정도의 Bead길이를 가접 시공을 실시해도 무난하다고 판단된다. 또 대기 온도가 0°C인 경우에도 무예열 시공이 가능하다고 생각된다. 한편 Fig. 2는 TP33강의 y-groove 시험결과로서, 용접금속의 확산성 수소량(H_D)과 균열 발생율과의 관계를 나타낸 것이다. H_D 는 저수소계 수동 용접봉을 대기중에 방치하거나 수침하는 방법으로 3~16ml/100g 정도의 범위로 변화시켰다. 시험 결과 용접금속의 H_D 가 15.74ml/100g로서 가장 높은 조건에서도 저온균열이 발생하지 않음을 알 수 있다. 이것은 통상 저수소계 용접봉의 H_D 가 3~8ml/100g 범위임을 감안할 때, 16mm 두께의 TP33강의 경우 실 용접시 예열을 실시하지 않아도 저온균열의 발생 가능성은 거의 없을 것으로 판단된다.

Fig. 3은 TP33강의 실 용접부에 대한 충격시험 결과를 나타낸 것이다. 여기서 T-dir.의 FAB(86kJ/cm) 및 L-dir.의 SEGARC(89kJ/cm) 용접이음부의 충격치가 모두 NK요구치인 최저 27.5 J(T-dir.) 및 61.7 J(L-dir.)을 충분히 만족시킴으로써, 실 용접시 용접부의 품질에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

이상의 시험 결과로부터 Ti-B를 기본 성분계로 하는 TP33강은 용접 경화성, 저온균열 감수성 및 대입열 용접부의 성능등이 양호하여 저온형 LPG선의 Tank선각재용으로의 적용이 기대된다.

한편 저온형 LPG선용으로 제조된 Ti-B계 및 Cu-Ni-Nb-Ti계 저온용강에 대해 대입열 용접부의 충격 특성 및 편면 단층 용접시의 최대 허용 입열량을 검토했다. Fig. 4는 냉각시간($\Delta t_{8/5}$)을 25~155초까지 변화시킨 경우 -51°C에서의 충격치 변화를 나타낸 것이다. TP33 및 TP37강 모두 냉각시간, 즉 용접입열량이 증가함에 따라 충격치가 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 시험한 전 냉각조건 범위내에서의 각 성분계의 충격치는 TP33이 가장 우수하고, TP37A, TP37C의 순으로 저하하고 있음을 알 수 있다. 특히 NK의 최저 요구 충격치인 61.7 J을 기준으로 할 때, TP33과 TP37A는 기준치를 충분히 상회하였으나 TP37C는 21kJ/cm에 상당하는 냉각시간인 $\Delta t_{8/5}=25$ 초만이 NK 규격치를 만족시킴으로써 실 용접부의 충격인성을 확보하는데 다소 문제가 예상된다. 결국 Ti-B계 강이 Cu-Ni-Nb-Ti계 강에 비해 전반적으로 우수한 대입열 용접부의 충격 특성을 나타내고 있다. 이러한 결과는 미세조직의 차이에 의한 것으로 생각된다. 즉 Ti-B계가 거의 대부분 충격인성에 유효한 Polygonal ferrite 및 Acicular ferrite 조직인 반면, Cu-Ni-Nb-Ti계는 조대한 Grain boundary ferrite 및 결정립 내부에 상부 bainite 조직을 나타냄으로써 충격치를 저하시킨 것으로 생각된다. 한편 16mm 두께의 시험재에 적용 가능한 편면 용접시의 최대 허용입열량은 TP33강 및 TP37A강이 130kJ/cm 정도였고, TP37C는 21kJ/cm였다. 그러나 TP37A강의 경우, 130kJ/cm의 용접입열량 조건에서 용접부의 충격인성을 확보하기 위해서는 용접시 특히 인성이 우수한 용접재료의 선정등 품질특성을 향상시키기 위한 배려가 필요하다고 생각된다.

Table 1 Chemical composition of materials used

(Thickness:16mm)

| Material Making Process | Chemical composition (wt.%) | | | | | | | | | | | Ceq* (WES) | |
|-------------------------|-----------------------------|--------|-------|------|-------|--------|-----|-----|------|--------|--------|------------|------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cu | Ni | Nb | Ti | B(ppm) | N(ppm) | | |
| NK-KL33 | - | ≤0.014 | 0.10 | 0.70 | ≤0.03 | ≤0.025 | - | - | - | - | - | - | |
| | | -0.50 | -1.60 | | | | | | | | | | |
| TP33 | CR+Acc | .08 | .23 | 1.35 | .016 | .002 | - | - | .010 | 9 | 62 | 0.30 | |
| TP37A | CR+Acc | .07 | .25 | 1.41 | .014 | .004 | - | .27 | .010 | .011 | - | 43 | 0.32 |
| TP37C | CR | .09 | .27 | 1.49 | .018 | .003 | .21 | .21 | .012 | .014 | - | 43 | 0.35 |

* Ceq.(WES)= C+Si/24+Mn/6+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14(%)

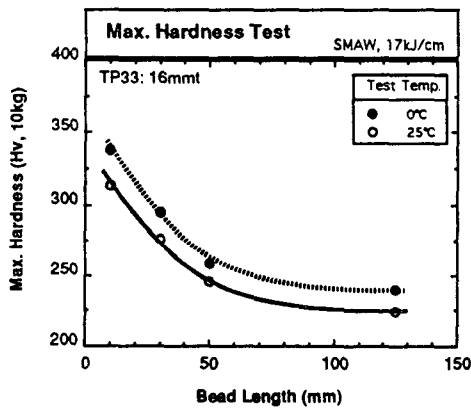


Fig. 1 Effect of weld bead length on max. hardness in the HAZ

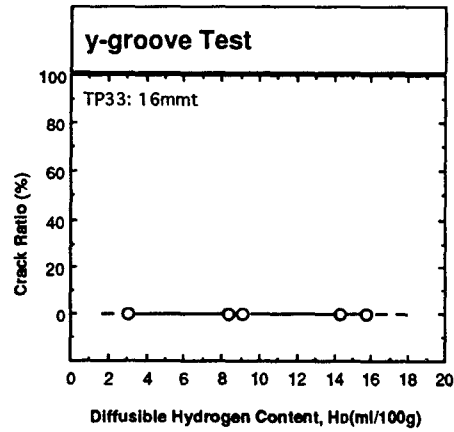


Fig. 2 Effect of diffusible hydrogen content on cold cracking

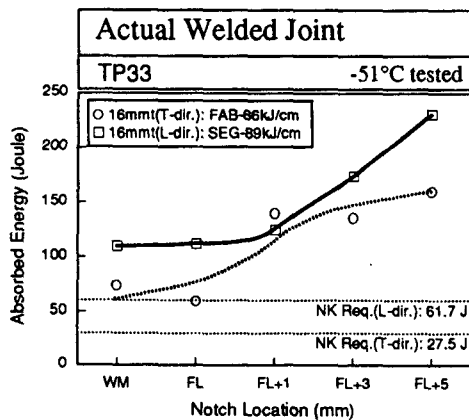


Fig. 3 Variation of absorbed energy with various notch location

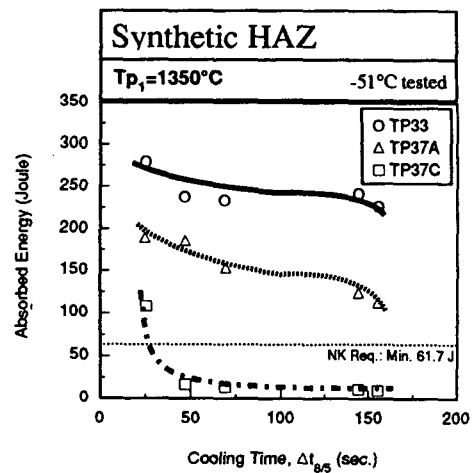


Fig. 4 Effect of cooling time on absorbed energy for single cycle simulation