

# 용접부 균열감수성에 미치는 구속도의 영향

(Effect of restraint degree on the cracking susceptibility  
of various weldments)

윤 중근, 신 상범

현대중공업(주) 산업기술연구소

## 1. 서 론

구조용접부에서 흔히 관찰되는 저온 균열은 형태나 발생 위치에 따라서 다양하게 명명되고 있으나, 이는 용접부의 취화, 대기중이나 용접재 내에 함유된 수소가 용접 arc 에 의해 분해되어 용접부내로 유입되는 확산성 수소 및 용접부에 작용되는 구속응력(restraint stress) 등이 복합적으로 작용함으로써 발생한다. 용접부에서 발생된 저온 균열은 조업 도중 구조물 전체의 순간적 파괴나 피로 파괴의 개시점으로 작용되므로 이의 방지는 매우 중요하다. 이를 위해서는 구조 용접부의 균열감수성 평가가 선행되어야 한다. 용접부의 저온 균열 감수성은 모재 및 용접재료의 특성 그리고 용접조건에 크게 의존되므로, 이를 변수로 할 수 있는 평가 방법들이 많이 제안되어 왔다. 그러나 최근 구조물의 대형화 및 복잡화에 따라 용접부에 작용되는 구속도가 크게 증가되어 기존 균열 감수성 평가 방법의 수정이 필요하게 되었다. 즉, 균열감수성은 용접부에 작용되는 구속응력에도 큰 영향을 받음에도 불구하고 이를 간단하게 변수로 하여 평가하는 방법은 거의 없다는 점이다. 이에 따라 본 저자들은 대한 용접학회 1995년 춘계학술 발표대회에서 용접부의 균열 감수성 평가에 있어 구속력을 정량적으로 고려하고자, 기존 제안된 각종 균열감수성 평가 방법들을 상호 비교 분석하여 최대 구속력의 재현 및 구속력을 용이하게 변수로 줄 수 있는 Modified H Type 시편을 이용한 새로운 균열 감수성 평가 방법 (이하 MHT 시험이라고 칭함)을 제안하였다.

본 연구에서는 이를 보다 일반적인 방법으로 정립하기 위하여, 구속도 (restraint degree,  $R_f$ ) 에 따른 용접부의 균열 감수성 평가를 모재의 화학조성 (예, carbon equivalent,  $C_{eq}$ ) 과 용접 기법을 변수로 하여 실시하여 그 결과를 응력측면에서 정량화하고자 구속도에 따른 용접부 작용 응력의 변화를 평가하였다.

## 2. 실험

용접부의 균열 감수성 평가는 대한 용접학회 1995년 춘계학술 발표대회에서 제안된 MHT 시험법으로 실시하였다. 본 연구에서 사용된 모재는 선급용 강재인 AH32 ( $C_{eq}=0.367$ ) 와 일반 EH36 ( $C_{eq}=0.412$ ) 및 EH36 급 TMCP ( $C_{eq}=0.346$ ) 이었으며, 용접은 SMAW (E7016,  $H_D=9.4-9.8$  cc/100g) 와 FCAW (E71T-1,  $H_D=9.76$  cc/100g) 로 수행하였다. MHT 시험시 용접부의 구속조건을 변경하기 위해서 시편 길이와 구속용접장의 길이를 각각 변수로 하여 시편을 제작하였다. 용접부에서의 균열 감수성은 용접 완료 후 상온에서 48hrs 이상 경과후 얻어진 균열 발생율로 평가하였는데, PT (dye penetration test)에 의한 표면 균열 발생율과 용접부 단면 균열 발생율로 산정하였다.

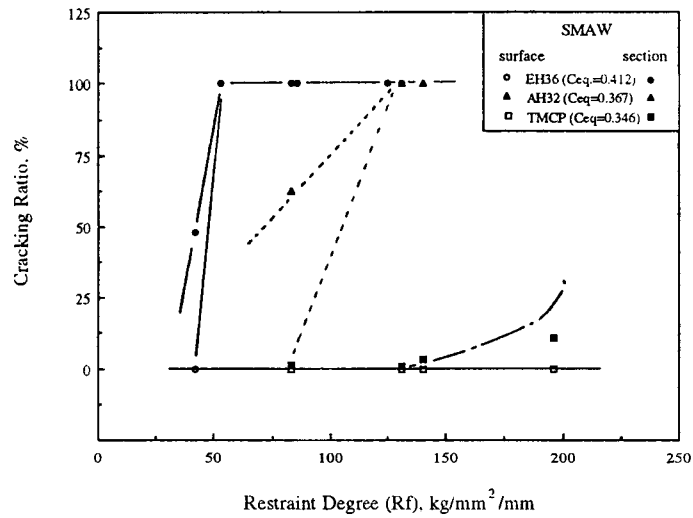
## 3. 결과 및 고찰

Fig. 1 (a) 는 탄소 당량(carbon equivalent,  $C_{eq}$ )이 각기 상이한 모재에 대한 수동 용접시 구속도에 따른 용접부의 표면 균열 발생율 및 단면 균열 발생율을 나타내었다. 용접부에서 관찰된 균열들은 공히 root 부에서 발생되어 결정립조대화 열영향부를 따라 성장된 저온 균열들이다. Fig. 1에서 보여주듯이 용접조건이 동일할지라도 각 강재별 수동용접부에서의 균열발생율은 구속도에 크게 의존되어, 구속도가 클수록 균열의 발생정도가 증가되고 있다. 균열 발생율과 구속도간의 관계에 있어 천이 영역이 존재하고 있으며 이 천이 영역의 값은 강재 종류에 의존되고 있음을 알 수 있다. 즉, 탄소당량이 높을수록 구속도의 천이점이 증가되고 있다. Fig. 1 (b)는 FCAW 용접부에 있어 구속도에 따른 각 강재용접부의 균열 발생율을 도시한 것이다.  $C_{eq}$  가 높은 EH36의 경우에는 수동용접부와 유사한 균열 발생율의 천이거동을 보여 주고 있으나 천이되는 구속도는  $150$  kg/mm<sup>2</sup>/mm 정도로 수동용접부에 비하여 크게 증가되었다. TMCP와 AH32 즉,  $C_{eq}$ 가 0.37 이하인 강재의 용접부에서는 공히 표면 균열이 발생하지 않았다. 단면 균열의 경우 AH32 에서는 구속도가 약  $130$  kg/mm<sup>2</sup>/mm 에서 부터 관찰되었는데, 이들은  $\mu$ m 단위의 매우 미세한 것들이었으며 구속력의 증가에 따른 균열 발생율의 변화는 거의 없었다. 한편, TMCP의 경우에는 전혀 균열이 발생하지 않았다.

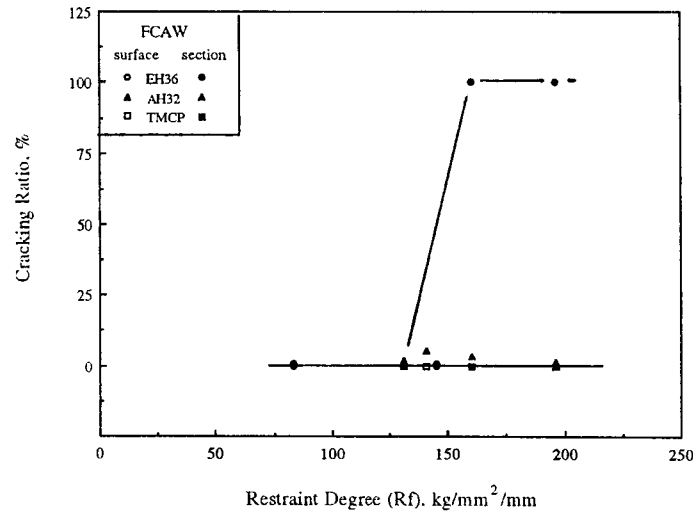
## 4. 결론

동일한 용접조건 및 모재에 있어, 용접(열영향)부의 저온균열감수성은 구속도에 크

계 의존되어, 구속도가 클수록 증가된다. 균열 발생율과 구속도간의 관계에 있어 천이 영역이 존재하고 있으며 이 천이 영역의 값은 강재의 화학조성 및 용접기법에 의존된다.



(a)



(b)

Fig.1 Effect of restraint degree on (HAZ) cracking susceptibility : (a) SMAW, (b) FCAW