

# 고강도·고인성강 용접금속의 저온균열 감수성

## Cold Cracking Susceptibility of Weld Metal in High Strength-Toughness Steel

산업과학기술 연구사업\* 이 중봉, 장 래용  
국방과학기술 연구사업 심 인옥, 김 영우

### 1. 서론

심해 잠수선용 HY강은 고강도 및 고인성의 확보를 위해 Ni-Cr-Mo 등의 합금원소가 비교적 다량으로 첨가됨으로써, 실 용접시 용접 열영향부에서의 용접균열 감수성이 매우 높다고 알려져 있다. 특히 용접금속의 경우, HY강 모재와 동등 수준 또는 그 이상의 고강도가 요구됨에 따라 저온균열의 발생 가능성이 증가함을 쉽게 예상할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 실 구조물의 제작시 주로 사용되는 HY강용 GMA 용접 와이어에 대한 저온균열 감수성을 평가하고, 또 용접금속의 저온균열 발생에 직접적인 영향을 미치는 제 인자들에 대해 검토하였다.

### 2. 실험 방법

사용한 용접재료는 HY80, HY100 및 HY130강용 시판의 MIG 와이어로서, 이들의 화학조성을 Table 1에 나타냈다. 또 모재는 국산의 시판 강재를 사용했다.

Table 1. Chemical composition of deposited metals for HY steels

Material	Chemical composition (wt.%)						Ceq.(%)*	Remarks
	C	Mn	Ni	Cr	Mo	V		
MG 95	0.040	1.39	1.78	0.11	0.34	0.002	0.43	HY 80
MG120	0.076	1.44	2.40	0.33	0.54	0.003	0.58	HY100
MG140	0.063	1.57	2.28	0.95	0.65	0.009	0.74	HY130

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

용접재료의 저온균열 감수성은 自拘束型의 G-BOP(Gapped Bead on Plate)<sup>1)</sup> 시험으로 평가했다. 이때 용접조건은 300A-30V-32cm/min 이며, 예열온도를 상온에서 175°C까지 25°C 간격으로 변화시켜 균열이 발생하지 않는 한계 예열온도 및 10% CPT(Crack preheating temperature)<sup>2)</sup>로서 균열 감수성을 평가했다. 한편 Gas-chromatograph법을 이용하여 용접금속중의 확산성 수소량을 측정하고, 용접금속의 미세조직 관찰 및 G-BOP시험편의 파면 검사와 함께, 변태 팽창 용력에 의한 영향을 검토하기 위해 각 용접재

료의 Martensite 변태 개시온도도 조사했다. 또 이들 각 용접재료를 이용하여 y-groove시험에 의한 HY강의 한계 예열온도도 조사했다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1은 G-BOP시험 결과로서, 예열온도의 변화에 따른 저온균열의 발생율을 나타낸 것이다. 저온균열이 발생하지 않는 예열조건, 즉 한계 예열온도는 MG95가 75°C로서 150°C의 동일한 온도를 나타내는 MG120 및 MG140보다 낮음을 알 수 있다. 그러나 한계 예열온도가 동일한 MG120 및 MG140의 경우, 50~100°C 구간에서의 양자의 균열 발생율은 큰 차이를 보이며, 실제로 75°C의 예열온도에서 MG120 및 MG140의 균열 발생율이 각각 80% 및 40% 정도임을 확인할 수 있다. 따라서 이러한 용접재료간의 저온균열 감수성의 상호 비교평가를 위한 하나의 기준인 10%CPT에 의하면, 각 용접재료의 저온균열 감수성은 MG95, MG140, MG120의 순으로 증가함을 알 수 있다. 이와같은 저온균열 감수성은 일반적으로 그 재료의  $C_{eq}$ 로도 추측 가능하다. 즉 MG95는 사용 재료중  $C_{eq}$ 가 0.43%로서 가장 낮기 때문에 용접시 저온균열의 발생 가능성도 가장 낮을 것으로 예상되며, 이것은 상기의 시험 결과와도 일치하고 있다. 그러나 MG120과 MG140을 비교해 보면, MG120의  $C_{eq}$ 가 0.58%로서 MG140의 0.74%보다 낮음에도 불구하고, MG120의 저온균열 감수성이 상대적으로 높음을 알 수 있다. 따라서 일반적으로 저온균열 감수성의 주요 인자로 알려져 있는 용접부 조직, 구속도 및 확산성 수소량에 대한 검토를 행했다. 그 결과 용접부 구속도( $5 \times 10^5 \text{N/mm}$ )와 미세조직(하부 Bainite)은 거의 동일한 반면, Gas-chromatograph법에 의해 측정된 용접부 확산성 수소량은 MG120의 5.93ml/100g이 MG140의 0.86ml/100g에 비해서 7배 정도 높음이 확인됨으로써, 이들 두 재료의 저온균열 감수성에는 확산성 수소량이 지배적인 역할을 한 것으로 판단된다.

또한 이러한 확산성 수소량의 차이는 용접 열영향부의 저온균열 감수성에도 영향을 미친다. Fig. 2는 y-groove시험의 결과로서, MG140을 사용한 HY130강은 예열을 생략하여도 저온균열의 발생 위험성은 없지만, MG120을 사용한 HY100강의 경우에는 저온균열의 발생을 방지하기 위해서 약 125°C의 예열이 필요함을 알 수 있다. 따라서 예열 생략에 의한 생산성의 향상 및 건전한 용접부를 얻기 위해서는 수소량이 낮은 용접재료의 선정 및 적정 예열온도의 준수가 수반되어야 할 것이다.

한편 사용한 용접재료와 같이 합금원소가 비교적 많이 첨가된 경우, 저온균열 발생에는 전술한 수소량 외에도 용접시 용융금속으로 부터 응고하는 도중에 일어나는 Martensite 변태시의 변태 팽창 응력도 다소 영향을 미칠 것으로 생각된다. 즉 G-BOP시험과 같이 시험편 자체의 구속도가 동일

한 경우에도 용접금속의 화학 조성에 따라 변태온도가 다르고, 그 온도에서의 변태 팽창 응력에 따라 시험 bead에 작용하는 최종 응력도 상이할 것이다. 통상 용착금속의 변태 온도가 낮을수록 G-BOP시험편의 노치를 통과하는 시험 bead가 완전히 냉각되었을 때 부가되는 최종 응력은 감소한다. 즉 합금원소의 첨가량이 증가할수록 변태온도는 낮아지며, 변태 팽창 응력의 증가에 따라 시험 bead의 최종 응력은 감소한다. 본 시험에 사용한 MG120 및 MG140의 경우, 이러한 화학조성에 따른 변태 팽창 응력의 영향은 이들의 확산성 수소량의 현저한 차이 때문에 쉽게 확인할 수 없었다. 그러나 전술한 바와 같이, MG140의 경우 MG120에 비해  $C_{eq}$ 가 높음에 따른 최종 응력의 저하가 쉽게 예상됨으로써 저온균열 감수성에 다소의 영향을 미쳤으리라 생각된다.

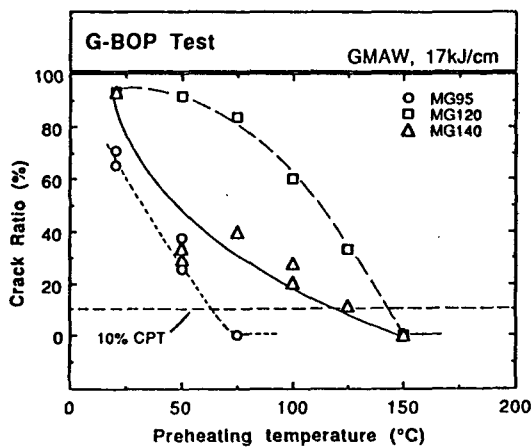


Fig.1 Effect of preheating temperature on crack ratio in weld metal

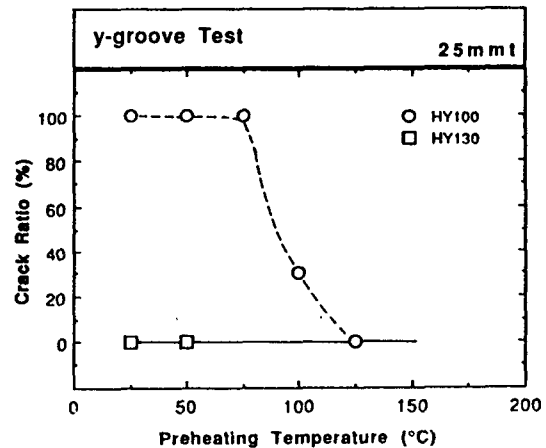


Fig.2 Comparison of cold crack susceptibility of HY100 and HY130 steel

### 참고 문헌

1. M. Mcparlan et al., "Hydrogen Cracking in Weld Metal", *Welding J.*, 55-4 (1976), 95s-102s
2. A.P. Chakravardi et al., "Evaluation of Weld Metal Cold Cracking Using the G-BOP Test", *Welding J.*, 71-1 (1989), 1s-8s