

# 저탄소강 용접열영향부 미세조직에 따른 항복비 변화에 대한 연구

## Microstructure effect on the yield ratio in a low carbon steel weld HAZ

이윤기\*, 문준오\*, 장용성\*\*, 주성민\*\*, 이창희\*

\*한양대학교 신소재공학부

\*\* 포항산업과학연구원 용접센터

### 1. 서 론

건축 구조용 강관재의 경우 높은 항복강도와 인장강도 및 낮은 항복비를 요구 한다. 하지만 이에 적합하게 설계된 모재의 우수한 특성에도 불구하고 극심한 열사이클의 용접 공정을 거치면서 모재의 미세조직이 크게 변하게 된다. 특히 용접 열영향부는 취약한 저온상의 발생으로 구조물의 안정성을 떨어뜨리며 이때 이러한 저온상들은 Local brittle zone (LBZ) 으로 작용한다고 일반적으로 알려져 있고 이에 관한 많은 연구가 진행되어왔다<sup>1)</sup>. 그러나 용접 열영향부의 LBZ에 관한 기존의 연구들은 인성에 집중되어 있으며 인장강도와 항복강도에 관한 연구는 미비한 실정이다. 특히 중요한 인자로 인식되어온 항복비에 대한 고려는 간과되어왔다.

따라서 본 연구에서는 용접 열영향부의 미세조직 변화에 따른 강도(인장, 항복) 및 항복비의 변화를 살펴보았다. 특히 용접 열사이클 조건에 따른 미세조직의 변화와 항복비 사이의 상관관계를 분석하였다.

### 2. 실험 방법

본 연구에서는 구조용 강관재로 개발된 저합금강을 이용하였으며, 합금의 화학 성분은 Table 1 과 같다.

Table 1 Chemical compositions of experimental steel (w%)

C	Si	Mn	S	P	Other elements	Ceq
0.04	0.15	1.55	0.01	0.005	Ni, Cr, Mo, Ti, B	0.36

용접부 재현을 위하여 DSI사의 Gleeble-1500을 사용하여 열처리를 하였으며, OM 및 SEM을 이용하여 미세조직을 관찰하였으며, M-A 상 관찰을 위하여 2단 전해 에칭을 실시하였다. 전해 에칭 조건은 다음의 Table 2와 같다.

Table 2 2 stage electrolytic etching method <sup>[2]</sup>

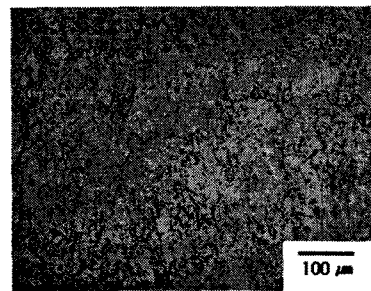
1 stage	Solution A : Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 1g + distilled water Solution B : picric acid 4g + 100ml ethanol ● 1:1 proportion of mixing just before etching
2 stage	NaOH 25g + picric acid 5g + distilled water 100ml

ZWICK 사의 UTM을 이용하여 인장강도를 측정하였으며, 경도 측정을 위하여 Micro-Vickers tester와 Nanoindentation 을 사용하였다.

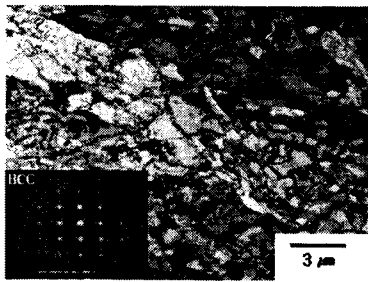
### 3. 실험결과

#### 3.1 초기 조직

Fig. 1에서 확인할 수 있듯이 초기 조직은 적정 항복강도와 높은 인장강도를 위해 Granular 페라이트, Quasi-polygonal 페라이트와 미량의 M-A 상으로 구성되어있다.



(a)



(b)

Fig. 1 Microstructure of base metal (a) OM (b)TEM observation

### 3.2 항복비

구조용 강관재의 인장시험 결과는 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 인장 강도와 항복강도 모두 열처리 후 시편의 경우 초기 모재의 값 보다 높게 나타났는데 이는 베이나이트 및 마르텐사이트 등의 저온상의 영향으로 판단된다. 또한 기존의 연구에서 보고된 바와 같이 높은 경도값을 갖는 저온상의 영향으로 항복비 역시 모재에 비하여 증가하였음을 알 수 있다<sup>3)</sup>. 이때 항복강도와 인장강도의 비율을 나타내는 항복비는 항복점으로부터 소성변형에 대한 저항성을 나타내며 그 값이 작을수록 높은 저항성을 의미한다. 특히, 구조용 강관재의 경우 80%이하의 낮은 항복비를 요구하지만, 실험을 통해서 분석한 결과 용접 열영향부에서는 모든 조건에서 이보다 높은 값으로 나타남을 확인할 수 있었다.

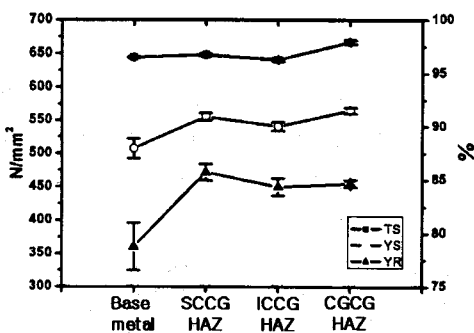


Fig. 2 Mechanical properties of HAZ

### 3.3 항복비에 미치는 M-A 상의 영향

흔히 Martensite-Austenite (M-A)상이 생성된다고 알려진 ICCGHAZ의 경우 같은 선행 열사이클을 경험한 SCCGHAZ, CGCGHAZ에 비하여

항복비가 낮음을 알 수 있는데 이는 후행 열사이클 중에 Ferrite/Austenite 이상영역을 거치는 동안 생성된 M-A상에 의한 영향으로 판단된다<sup>4)</sup>. 즉, CGCGHAZ와 SCCGHAZ는 Martensite, Austenite, Tempered Martensite, Tempered bainite와 같은 경한저온상들 만으로 이루어진 반면에 ICCGHAZ의 경우, 이상영역으로의 재가열 중에 생성된 M-A상 및 일부 Polygonal ferrite, Banitic ferrite등의 존재로 인해 상대적으로 CGCGHAZ 및 SCCGHAZ에 비해서 낮은 항복강도를 가지며, 이러한 특성으로 인해 보다 낮은 항복비를 보이는 것으로 판단된다. 한편 CGCGHAZ의 경우는 SCCGHAZ 보다 낮은 항복비를 보이는데 이는 상대적으로 미세한 결정립에 의한 인장강도의 증가에 의한 영향으로 생각된다.

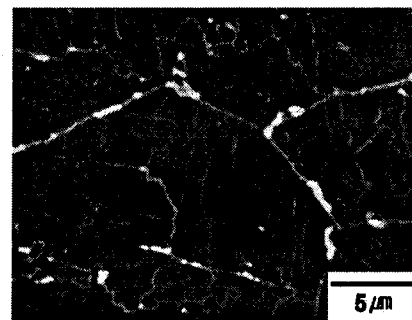


Fig. 3 ICCGHAZ Microstructure with M-A constituent, SEM micrograph

## 4. 결 론

1) 열처리 후의 용접 열영향부에서는 인장강도, 항복강도, 항복비가 모두 모재에 비하여 증가하였다. 특히 항복비의 경우 모재에 비하여 그 특성이 저하되는 것을 확인하였다.

2) ICCGHAZ의 경우, SCCG 및 CGCGHAZ에 비해서 이상영역에서의 재가열 중에 M-A상 및 Quasi-Ferrite 조직의 생성으로 인해 낮은 항복강도 및 항복비를 갖는 것을 확인하였다.

## 후기

본 연구는 산업 자원부 “중기거점 기술개발사업”의 지원 하에 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Fukuhisa Matsuda, Yasuto Fukada, Hitoshi Okada, Chiaki Shiga, Kenji Ikeuchi, Yukuhiko Horii, Toyoaki Shiwaku and Shinichi Suzuki: Transactions of JWRI 24(1) (1995), 1-24
2. F. S. Lepera: Metallography 12 (1979), 263-268
3. Nobuo SHIKANAI, Hiroyuki KAGAWA and Masayoshi KURIHARA : ISIJ International, Vol.32 (1992), No. 3, 335-342
4. Y. M. KIM, S. K. KIM, Y. J. LIM and N. J. KIM : ISIJ International, Vol. 42 (2002), No. 12, 1571-1577