

# 손상된 Rod Type Coupler 주강재의 보수용접에 따른 열영향부특성

## A Characteristics of Heat Affected Zones of the Damaged Rod Type Cast Steel Coupler According to Repair Weldment Conditions.

\* 현창용

Hyun, Chang-Yong

\*\* 박수중

Park, Soo-Choong

---

### ABSTRACT

Cast steels have been mainly in rod type couplers which connect railway vehicles. These components, as important members, are exposed to repeat to repeated stresses and impact loading during stop and departure service for a long tie. The coupler suffers fatigue crack initiations and damage that cause need to repair weldment due to these loading conditions. Therefore, the heat affected zone of cast steel couple in rod type were evaluated in view of metallurgical weld characteristics after repair welding at laboratory. The specimens with two different welding techniques were evaluated after several welding conditions and post-heat treatments. Micro-vickers hardness and tensile tests and microstructural observations were conducted on heat affected zone of the weldment according to repair weld and post-heat treatment.

---

### 1. 서 론

철도 차량에서 주강은 주로 차량을 연결해주는 봉 연결기 등에 사용되어지고 있다. 이 연결 부품들은 차량과 차량을 연결해주는 핵심 부품으로 차량의 출발 및 정차 시 반복적인 응력과 충격에 장시간 노출 되어있다. 이와 같은 영향으로 부품에 피로 균열 및 피로 손상이 발생 되어 이에 대한 대책이 요구 되어지고 있다. 따라서 부품에 손상이 발생한 경우 부품의 완전교체와 용접을 통한 보수, 두 가지 방법이 고려될 수 있다. 완전 교체의 경우 안전을 최우선적으로 고려한다면 가장 좋은 방법이라 할 수 있으나 비용 적 측면을 살펴볼 경우 결코 좋은 방법이라 할 수 없다. 보수용접의 경우 손상된 부분이나 또는 재료의 본래의 설계 수명에 접근된 제한 된 부분만을 제거 후 부분적으로 용접에 의해 보수 할 수 있다면, 용접에 의한 취약점이 있더라도 매우 효과적인 방법이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 실험실 규모의 실제 용접을 통하여 Rod type coupler주강의 용접성 중에서 열영향부의 특성을 평가 하였다. 평가는 두 가지의 용접방법과, 몇 가지의 용접 변수와 후열처리에 방법에 의해 만들어진 용접시험편들에 대해 미소경도시험, 인장시험 등의 기계적 시험과 미소조직 관찰, 그리고 잔류응력을 측정 함으로써 보수용접 및 후열처리에 따른 열영향부의 특성을 평가 하였다.

---

\* 서울산업대학교 신소재공학과 정교수

\*\* 서울지하철공사, 금속재료기술사. 정회원

## 2. 실험방법

### 2.1 재료 및 용접

본 연구에 사용된 모재는 실험실 규모의 보수용접에 목적을 두고자 8년간 사용된 봉연결기중 중정비 과정에서 비파괴검사를 통해 피로균열이 발견되어 폐품처리된 봉연결기로부터 채취되었다.

Table. 1은 채취된 모재로부터 분석된 화학 조성을 나타내고 있다.

Table. 1 chemical composition of specimen. (wt %)

C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Mo	V
0.35	0.16	0.66	0.0486	0.081	0.0150	0.0305	0.0185	0.0012

용접시편은 가로 200mm, 세로 70mm, 높이 10mm의 시편으로 중앙부에 90° 홈을 깊이 3mm와 5mm의 두가지 방법으로 용접법과 후열처리 방법을 고려하여 각각 8개씩 가공하였다. 용접법은 SMAW법과 GMAW법으로 수동으로 용접되었다. 용접전류와 전압은 Table.2 같다.

Table. 2 The welding conditions

	Arc Voltage(V)	Welding Current(A)	polarity
SMAW	105	150 - 200	DCSP
GMAW	105	150 - 190	DCSP

용접이 완료된 용접물은 기계적 성질 시험과 잔류응력 측정에 알맞게 가공 완료하여 아르곤 분위기에서 풀어닐링의 방법으로 후열처리 되었다.

용접 시험편중 다른 한조는 후열처리 하지 않은 상태로 위와 같은 방법으로 가공되어 후열처리 된 용접물과 성질이 비교되도록 준비되었다.

### 2.2 미세조직의 관찰

용접과 후열처리가 완료된 용접부는 용접법 및 후열처리 방법에 따라 생성된 용접부의 미세조직이 관찰되었다. 용접의 특성상 용접부의 전체영역 용입금속부 열영향부 모재에 이르는 광범위한 부분 연속적으로 관찰하여 미세조직의 전반적인 상태와 결정립의 크기 변화를 관찰하였다. 미세조직관찰시 시편의 에칭에는 10% 질산 알코올 용액이 사용되었다.

### 2.3 기계적 성질 평가.

만들어진 용접물은 용접방법 및 후열처리 방법에 따른 용접부의 기계적 성질에 미치는 영향을 조사하기위하여 용접물로 부터 각각의 시험에 적합하도록 준비 되었다. 기계적 성질 평가는 미소경도 측정과 인장시험이 실시되었다. 미소경도 시험은 용접금속 중앙으로부터 열영향부 열 영향을 받지 않은 모재부 까지 0.5mm 간격으로 측정하였다.

인장시험은 KS B 0801 13호 비례인장시험편 가공법에 따라 용접부가 인장시험편 중앙에 위치하도록 에칭을 통해 확인 후 가공 처리 하였다. 인장시험을 통해 용접법 및 후열처리 방법에 따른 항복점, 인장강도, 연신율 등의 변화가 측정하였다. 경도값 및 인장값은 5회 측정후 최저,최소값은 버리고 나머지 3개의 평균값을 취했다.

## 2.4 잔류응력의 측정

잔류응력의 측정은 용접부의 특성을 고려하여 비접촉식의 비파괴 방법인 X선 회절법 (X-ray diffraction) 을 이용하여 측정 하였다. 시편 가공 중 발생된 잔류응력의 영향을 최소화하고 순수한 용접 및 후열처리에 의한 잔류응력을 측정하기 위하여 용접부 윗부분의 표면에서 용접금속부, 열영향부, 열 영향을 받지 않은 모재부분으로 나누어 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 미세조직 특성

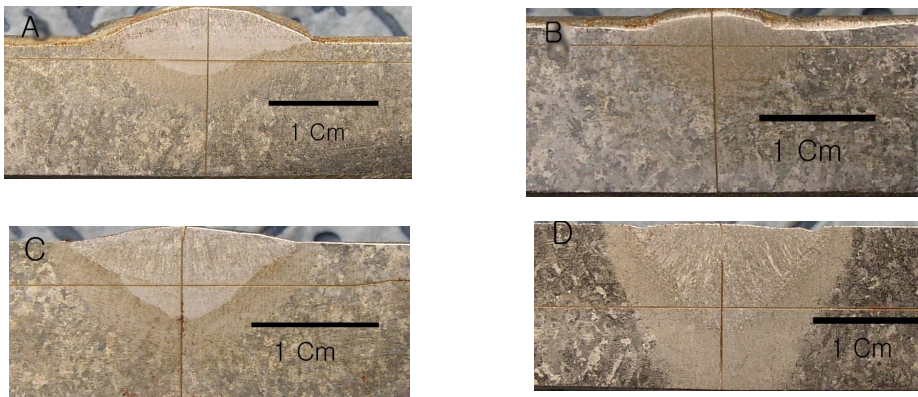
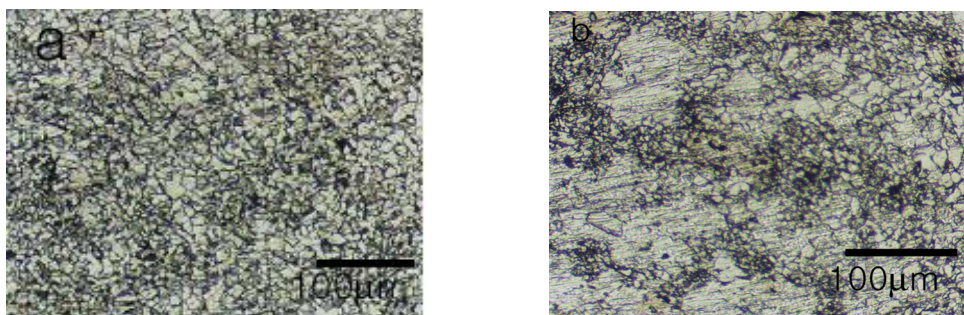
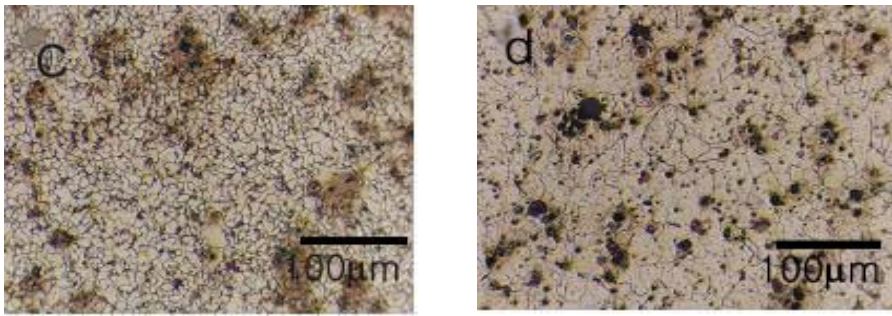


Fig.1 Macrostructure at weldment

a)SMAW 3mm b)GMAW 3mm  
c)SMAW 5mm d)GMAW 5mm

용접된 시험편은 각각의 용접조건과 후열처리조건별로 용접금속 열영향부 열영향을 받지않은 모재부의 미세조직관찰이 이루어졌다. Fig. 1 은 GMAW법과 SMAW법에 의해 각각 홈깊이 3mm와 5mm로 만들어진 용접부의 단면을 2배 배율로 관찰한 것이다. GMAW법으로 만들어진 용접부가 SMAW법으로 만들어진 용접부에 비해 좁은 용접폭과 깊은 용입을 보여 주고 있으며 열영향부도 1mm 정도 넓은 것을 알 수 있다. 이는 GMAW법의 전류밀도가 SMAW법에 비해 높아 깊은 용입이 이루어진 것으로 보인다.



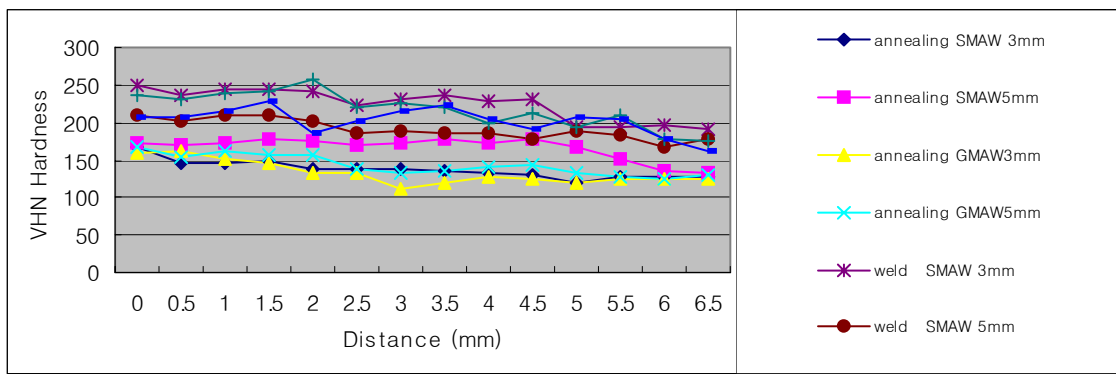


**Fig2 Microstructure of the HAZ**

- a)GMAW 5mm HAZ                      b)SMAW 5mm HAZ  
 c)GMAW HAZ (annealing)            d)SMAW HAZ (annealing)

Fig. 2 는GMAW법과 SMAW법에 의해 용접된 시료의 열영향부 조직과 이를 어닐링한 열영향부의 미세조직이다. 용접된 미세조직을 살펴보면 GMAW법에 의해 만들어진 열영향부의 미세조직이 SMAW법에 의해 만들어진 열영향부의 미세 조직에 비해 훨씬 미세한 것을 알 수 있다. 이는 GMAW법의 전류밀도가 높아 국부적가열에 따른 급랭에 의해 조직이 미세화 된 것으로 보인다. 반대로 SMAW법 에의해 만들어진 열영향부는 GMAW법에 비해 광범위한 가열로 인해 냉각속도가 느려 조대한 조직을 나타낸 것으로 보인다. 열처리 후에도 거의같은 양상을 보여주고있다. 열처리에 따라 조직이 조대해 진것을 알수있는 데 이는 가열에 의한 결정립 성장에 기인한 것으로 보여지며 모재와 거의 같은 pearlite 와 ferrite의 혼합조직을 나타내고 있음을 알수있다.

### 3.2 기계적 시험



**Fig. 3 VHN Hardness with welding conditions and annealing**

Fig. 3 은 용접종류 및 조건에 따른 용접부의 미소경도 값을 나타내고 있다. 그림에 서보는 바와같이 용접법 및 열처리 여부에 관계없이 열영향부에서 멀어질 수 록 경도값이 감소하고있다. 용접부 중심에서 부터 2mm - 3mm 사이에 높은 경도값을 나타내는데 이는 이 부근의 조직이 Ac3 변태점이상 고온 으로 가열된 조직이 Austenite로 변환된 뒤 급랭에 의해 격자변형 에너지를 내부응력으로 갖여 경도값이 큰 Martensite로 변화했기 때문으로 사료

된다. GMAW법이 SMAW법에 비해 경도값이 높게 나타나는데 이는 GMAW법이 전류밀도가 높아 조직이 더 미세한 것에 영향으로 생각되어진다. Annealing전 시료의 경도 값은 높으나 불안정한 Martensite가 Annealing에 의해 안정한 Pearlite로 변화함에 따라 경도값이 열처리조건에 관계없이 일정해 지고 있다.

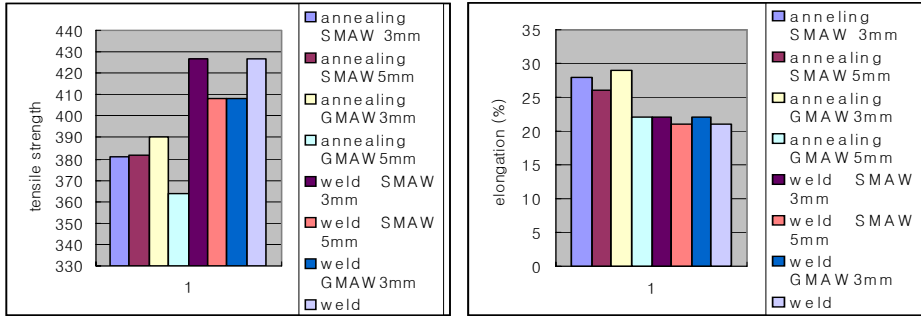


Fig.4 tensile strength and elongation with welding conditions and annealing

Figure 4는 용접 조건 및 종류, 열처리 여부에 따른 인장강도와 연신율의 변화를 나타내었다. 용접법 및 용접조건에 의한 인장강도 및 연신율의 차이는 작게 나타나고 있으며 열처리에 따른 인장강도 및 연신율의 차이는 크게 달라진 것을 볼 수 있다. 이는 annealing에 의해 열영향부에 martensite가 없어지고 재결정화 되어 인장강도는 감소하고 연신율은 증가 한 것으로 생각되어진다.

### 3.3 잔류응력 측정

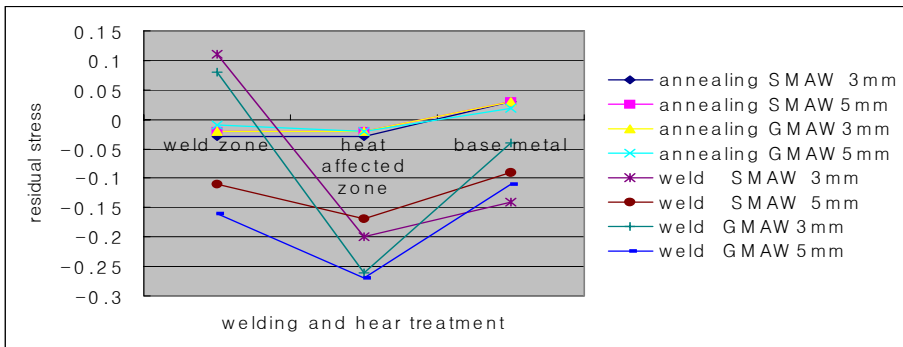


Fig. 5 The residual stress with welding conditions and annealing

Figure 5는 용접부 열영향부, 모재의 용접 및 열처리후 잔류응력을 측정된 결과이다. 비열처리시 열영향부에 압축잔류응력이 발생했음을 알 수 있다. 이는 용접시 발생한 열에 의해 열영향부에 열응력 및 변태응력이 주어지면서 큰 잔류응력을 나타낸 것으로 보여진다. 이를 annealing 했을 경우 열영향부의 압축 잔류응력은 제거되면서 용접부, 모재, 열영향부가 거의 일정한 잔류응력 값을 나타냄을 알 수 있다.

#### 4. 결론

이상과 같이 손상된 Rod Type Coupler의 보수용접에서 용접법 및 용접조건 열처리여부에 따른 열영향 부의 특성에 관한 실험연구결과를 요약 하면 다음과 같은 결론 을 얻을 수 있다.

1. 용접 열영향부의 미세조직은 소량의 martensite조직과 pearlite 와 ferrite의 혼합조직을 나타내고 있음을 알 수 있다. GMAW법으로 용접된 시험편의 용입이 깊고 열영향부의 미세조직도 미세한 것을 알았다. Annealing된 열영향부의 조직은 모재와 거의 같은 pearlite 와 ferrite의 혼합조직을 나타냈으며 조직 크기는 열처리전과 같은 양상을 나타내었다.

2. 열영향부의 미세경도 값은 모재와 열영향부 사이부분에서 높게 나타났으며 이는 용접과정에 발생된 martensite의 영향으로 사료된다. 인장강도 및 연신율은 용접법 및 용접조건에서는 그 차이가 적으나 후열처리 이후에는 인장 강도는 감소하고 연신율은 증가함을 알 수 있다.

3. 용접에 의해 열영향부에 압축잔류응력이 발생했음을 알 수 있다. 잔류응력은 Full annealing에 의해 효과적으로 제거됨을 알았다.

#### 참고문헌

Howard B. Cary. Modern Welding Technology.

Kenneth Easterling. 용접야금학.

용접시편 변형률 및 잔류응력의 유한요소해석. 한국철도학회 논문집 제7권 제2호p.85-95

김광수, 오영근증기 터빈 로터의 용접보수기술의 동향.

과학기술처. 장치산업 설비 고압용기의 보수용접 기술개발.

김광수,오영근.손상된 CrMoV터빈로터강의 보수용접 후열처리 온도에 따른 열영향부특성.