

## Mn 첨가 고장력강 용접성 향상기술

이화식, 심원보, 이기동

하이스코 순천공장

### The advanced welding technology for high Strength steel adding Mn

H.S.LEE, W.B.SHIM, K.D.LEE

Hysco. Suncheon works

#### Abstract

Recently, the customer's demands for automotive steel sheet have been diversified and sterned more. Therefore, as the tendency of auto industry light-weight, one among these requirements is the trend for high strength together with the thinness of automotive steel sheet. Because Mn added essentially in producing high strength steel sheet is bonded strongly with oxygen, the Fine oxidation layer was created at the welding face after the flash butt welding operated in entry section of pickling line. Thereby it was caused the crack or breakage of welding part in process of cold rolling. At this research, in order to protect the contact Mn with oxygen in atmosphere it was considered to fire oxygen with LNG and the related researches have been gone forward with the find out concrete and to apply them to operation.

**Key words :** LNG(Liquified natural gas)

---

## 1. 서론

최근 자동차 강판에 대한 수요가의 요구가 다양하고 엄격해지고 있는 것이 현실이다. 이러한 요구사항중의 하나인 자동차의 경량화에 발맞추어 강판의 두께는 박물화 되어가는 대신 강도는 고강도화 되어 가는 추세이다. 고장력강 생산시 필수적으로 첨가되는 Mn이 산소(O<sub>2</sub>)와의 친화력이 강하기 때문에 PL 입측에서 flash butt welding시 용접후 용접면에 미세한 산화 피막이 발생하여 냉간압연시 판파단 발생의 원인이 되고 있다.

본 연구에서는 대기중에서 flash butt welding시 Mn과 산소와의 접촉을 방지하기 위하여 LNG를 사용 O<sub>2</sub>를 산화시키는 방법에 착안하여 구체적인 방법을 연구하고 이를 현장에 적용시키는 것을 목표로 삼았다.

## 2. 이론적 고찰

## 2.1 Flash butt welder의 원리

일반적으로 산세 냉간압연 연속 line(PL/TCM)에서 연속 작업을 하기 위해서 선, 후행 coil을 용접해야 하는데 이때 사용되는 용접방법이 flash butt welding 방법이다. 기본원리는 아래 그림 1에 나타내었다.

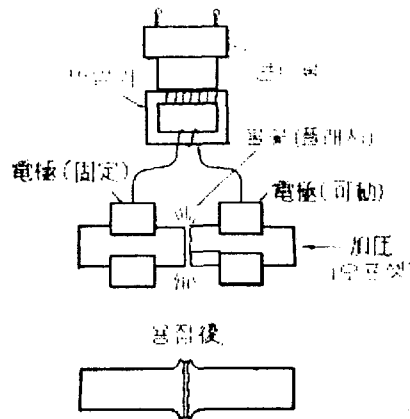


그림1 Flash butt welder 구조

상기 그림과 같이 선행 strip과 후행 strip을 가볍게 접촉 시키면서 대전류를 흐르게 함으로써 접촉면에 전기불꽃(Flash)를 발생시켜 그 열(熱)로 재료를 가열하여 적당한 시각에 용접면이 금속증기(金屬蒸氣)와 용융금속(熔融金屬)으로 덮여진 상태에 이르면 급히 가압력(upset)을 가하여 용접하는 방법이다.

용접시에는 용융금속은 용접면에서 추출되어 깨끗한 용접부가 얻어지며 특성으로서는 다음과 같은 장,단점이 있다.

### 1) 장 점

- 가. 가열범위가 높고 열영향부가 적으며 용접속도가 빠르다.
- 나. 용접부의 강도가 높으며 신뢰도가 크다.
- 다. 서로 다른 재료의 용접도 가능하다.

### 2) 단 점

- 가. 판의 두께가 0.5mm 이상이 되어야 용접이 가능하다.
- 나. 강종의 화학성분에 따라 용접성의 차이가 심하다.
- 다. 용접속도는 빠르나 열영향에 의해 기계적 성질이 변한다.

## 2.2 강종 성분이 용접에 미치는 영향

용접부의 품질 즉 crack에 가장 밀접하게 영향을 미치는 것이 탄소(carbon)이며 다음이 망간(Mn)이다. crack 발생에 미치는 합금원소의 영향을 탄소 당량으로 표시하면 아래(1)식과 같다.

$$ceq = C + \frac{1}{6} Mn + \frac{1}{24} Si + \frac{1}{28} Mo + \frac{1}{14} V + 0 \times Cr \dots\dots (1)$$

위에서 나타낸 것과 같이 Si, Mo, Cr은 용접부의 품질에서 별로 영향이 없음을 알 수 있다. 용접금속은 고온이므로 극히 단시간내 다량의 gas(O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>)를 흡수하기 쉽다.



흡수된 gas는 유해한 산화물을 만들뿐만 아니라 온도 강하에 수반하여 용해도가 감소하므로 용접금속에 여러가지 악영향을 미친다. 과포화된 gas는 직접 또는 간접으로 기공, 균열 및 취성의 원인이 된다.

특히 강중의 산소(O<sub>2</sub>)는 FeO, MnO등으로 산화물이나 규산염등 불순물로서 존재한다. 또한 특별한 경우 예를 들어 Rimmed강에서는 기공중의 Co gas로서 존재한다.

용접금속중의 산소는 연신 및 충격치를 감소시키고, 또한 적열(赤熱)취성의 원인이 된다. 따라서 냉연강판중 특히 고장력 강판에 함유된 성분중 Mn과 O<sub>2</sub>의 결합을 차단하여 산화피막을 방지하는 것이 용접부 파단 방지의 핵심임을 알 수 있다.

### 3. 용접성 향상을 위한 test

#### 3.1 고장력강 작업현황

##### 3.1.1 소재조건

당사에서 자동차용 강판중 고장력강에 대한 소재조건을 살펴보면 아래표 1과 같다. 당사의 hot coil수급구조상 일본 5대 고로사에 의존하고 있는 실정이며, 각 공급사별 화학성분이 전부 다르기 때문에 용접후 용접품질이 차이가 발생할 수밖에 없는 실정이다.

표1 hot coil 공급사별 고장력강 화학성분

공급사	강종	Chemical composition					
		C	Si	Mn	P	S	Nb
N사	60kg	800	2600	15600	270	30	200
K사		700	100	20700	140	40	-
S사		900	7600	14100	110	20	350
C사		750	100	19000	130	50	-

상기 표에서 알수 있듯이 hot coil 공급사에 따라서 화학성분이 크게 다름을 알수 있다. 특히 K사 hot coil 의 경우 Mn 함량이 2.0% 에 육박함을 알 수 있다.

### 3.1.2 용접작업 결과

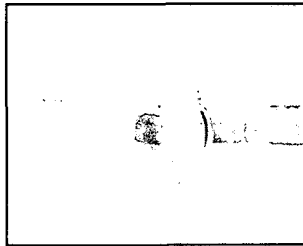
일반강과 동일 조건에서 용접하여 기계적 성질을 test 하여 압연기 통과 가능성을 예측하여 본 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

표 2 공급사별 용접부 ericsen test 결과

공급사	Ericsen value(bar)			remark
	w/s	center	d/s	
N사	110	125	120	압연기 통과 가능한 압력 : 120bar
K사	60	70	55	
S사	115	120	120	
C사	65	80	60	

표2에서 나타낸 것과 같이 공급사 N사와 S사의 경우는 압연이 가능할 것으로 판단되었으나 C사 및 K사의 경우는 압연기 통과가 불가능 함을 알 수 있었다. 아래 그림은 test 결과 양호한 용접부와 불량한 용접부를 구분하여 표시하였다.

(양 호)



(불 량)



그림2 ericsen test 결과

### 3.2 용접성 향상 test

#### 3.2.1 grease 도포 test

용접이 진행되는 순간에는 용접점을 중심으로 급격한 온도차이가 발생하므로 극심한 소용돌이가 발생하게 되는데, 이때 공기중에 포함되어 있는 산소(O<sub>2</sub>)가 침투하여 Mn과 결합하게 된다. 이때 산소를 차단하기 위하여 용접부 단면에 oil(grease EP1)을 도포하여 용접 test를 실시 하였다.

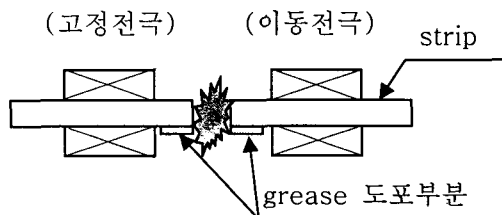


그림 3 grease 도포 test

상기 그림과 같이 strip 하면에 oil 을 수동으로 도포하여 용접중에 발생하는 열에 의해 점화가 되고 연소가 되는 과정에 산소와 Mn이 결합되는 것을 방지하는 원리이다.

본 test는 용접 작업중 manual로 oil을 도포하여야 하기 때문에 handling time 이 길어져 생산성에 상당한 영향을 미치며, 효과 또한 일본 냉연업계 에서 상당히 널리 사용되고 있다는 정보를 가지고 test 하였으나 실제 결과 에서는 만족 할 만 한 효과를 얻지 못하였고 test 과정에서도 oil 도포 작업 또한 공간협소로 균일하게 도포하는 것이 상당히 난이한 작업이었다.

### 3.2.2 Argon welding test

Argon 용접 작업은 종래의 피복 arc 용접 또는 gas 용접방법으로는 용접이 곤란한 각종 금속의 용접에 널리 쓰이는 중요한 용접 방법이다.

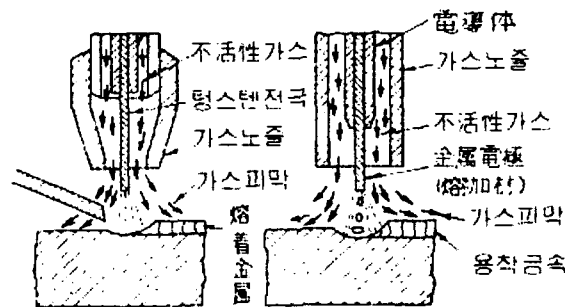


그림 4 Argon 용접원리

이 방법은 그림 4와 같이 불활성 gas인 Argon gas를 사용하여 용접하는 방법으로서 고온에서도 금속과 반응하지 않는 원리를 이용하여 특수강 용접에 많이 사용되는 방법이다.

불활성 gas를 사용한 arc 용접부의 용접 품질은 일반 arc 용접부에 비해 연신, 강도, 밀착성 및 내식성이 뛰어난 것으로 알려져 있다.

이러한 장점을 활용하고자 실제 on-line 적용 test를 실시 하였다. 용접 방법은 60Kg급 고장력강을 line에 투입후 flash butt welder에서 1차로 용접을 실시한후, 그용접부에 2차로 불활성 gas 인 Argon gas를 사용 manual로 재용접을 실시하는 방법으로 test를 진행하였다.

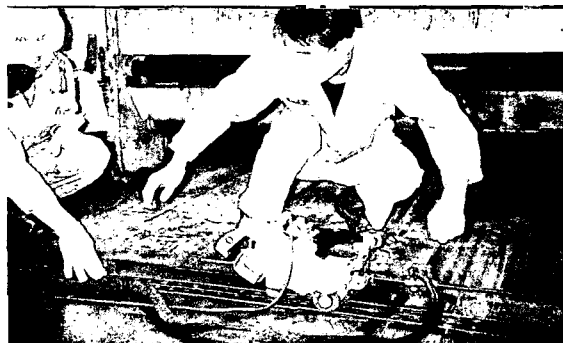


그림 5 Argon 용접장면

그림 5 는 실제 Argon 용접 장면이다. Test 결과 용접성은 상당히 우수한 것으로 나타났으나, 수동 용접이므로 용접시간이 장시간 소요되고, 용접시 발생하는 gas 및 광선이 인체에 유해하므로 작업성 측면이나 작업환경 측면에서 볼때 실제 작업에 적용하기는 불합리한 것으로 판단되었다. 아래 사진은 60Kg급 고장력강을 flash butt 용접기와 Argon gas 용접후 단면을 촬영한 사진이다. Flash butt 용접기에서 용접한 sample에서는 산화막에 의한 crack 이 선명하게 나타남을 알수가 있다.

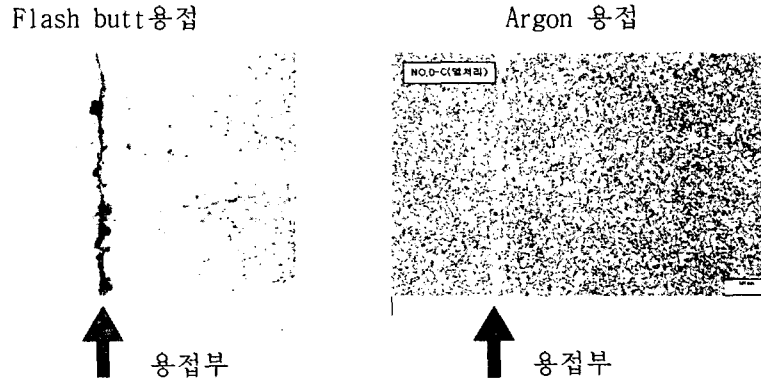


그림 6 용접단면 사진 비교

### 3.2.3 LNG spray method

지금까지 실시한 test 방법은 on-line 상에서 manual 용접하는 방법으로 대형 연속 압연에서는 생산성이 최우선 과제이므로 적용이 불가함을 알수 있다. 따라서 on-line 상에서 자동작업이 가능하고 생산성 또한 전혀 지장을 주지 않는 방법을 생각한 결과 용접순간 연료를 태워 대기중의 산소를 차단하는 방법을 고안하였다

아래 그림 7에 나타낸 것과 같이 기존 전극 holder ass'y 작은 hole 을 가공하여 그hole을 통하여 연료를 분사함으로써 공기중의 산소( $O_2$ )를 차단할수 있을 것으로 판단하였다. 또한 여기에 사용 되는 연료는 기존 설비에 공급되고 있고 원가 측면에서도 가장 유리한 LNG를 사용하였고 따라서 ARP 에서 사용되고 있는 LINE 에 별도의 배관을 연결하여 사용 하도록 하였다. 아래 그림 7 은 전극 holder assembly 가공 개요도를 나타내고 있다.



그림 7 electrode holder ass'y 가공도

또한 용접 완료후에는 용접순간 방출된 LNG는 거의 연소되어 없어지지만 조금만 잔존 하여도 화재 및 폭발의 위험이 있기 때문에 용접 완료시점에는 자동으로 AIR 가 PURGE 되도록 하여 안전 상 위험이 전혀 없도록 하기 위하여 AIR 배관을 설치하였다.

전체적인 장치 개요를 아래 그림8에 나타내었다. 설비를 구성하고 있는 장치를 살펴보면 용접이 시작되면 용접불꽃(flash)이 발생되게 되는데 이때 불꽃을 감지하는 sensor(flame detector)가 감지한 signal을 PLC로 보내어 LNG control valve를 open 하게 되는데 이를 위해 photo-cell형 감지기가 설치 되어있다.

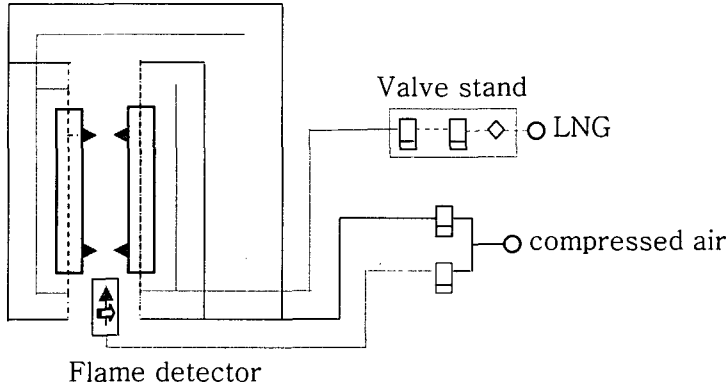


그림 8 oxygen depletion sys' lay-out

용접이 시작되면 flame detector에서 불꽃을 감지하여 signal을 PLC에 보내면 PLC는 valve stand에 부착된 solenoid valve open signal을 보낸다. 용접이 완료되면 flame detector sensor로부터 signal을 받아 5sec 동안 air valve를 open하여 용접기 내부에 있는 LNG를 purge하게 된다.

아래 사진9는 실제 용접장면을 촬영한 사진이다. 황색으로 나타낸 배관이 LNG 배관이며 흰색으로 나타낸 배관이 air 배관으로서 중앙 상면에 부착되어 있는 것이 flame detector sensor로서 오염을 방지하기 위해서 용접하는 순간에는 용접 flash 차단을 위해 air가 purge 되도록 설계하였다. 전극 holder에 가공된 hole 또한 gas mode를 사용하지 않을 경우 용접시 비산되는 flash에 의해 막힐 우려가 있기 때문에 용접순간 air가 purge 되도록 설계 하였다.

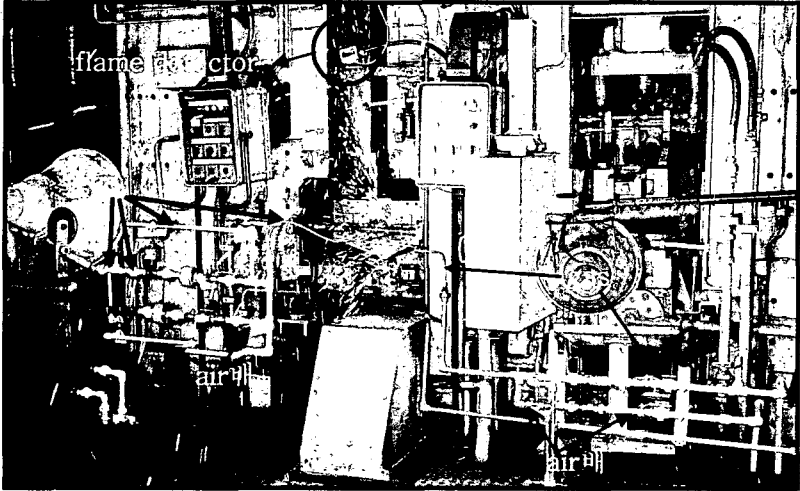


그림 9 용접기 전면 배관설치도

아래 사진은 용접기 뒷면에 설치되어 있는 valve stand 및 main LNG 배관을 나타낸 사진이다.

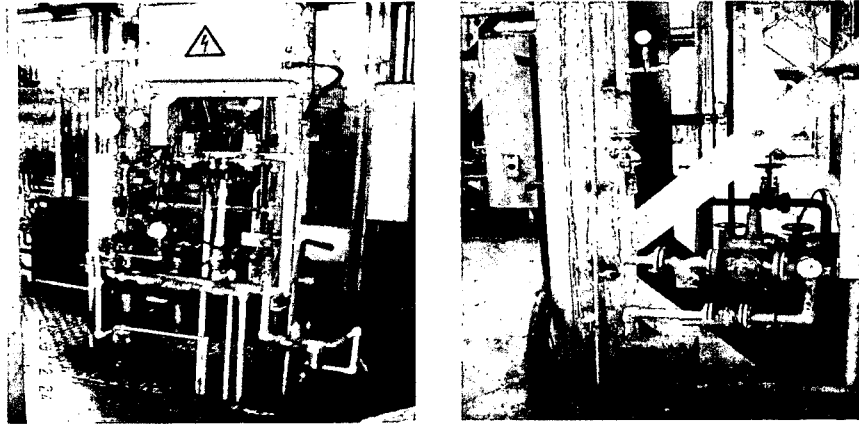


그림 10 용접기 후면 valve stand 및 LNG 배관

#### 4. TEST 결과 및 고찰

##### 4.1 test 방법에 따른 ericsen 측정결과

이상에서 실시한 실험방법에 따른 용접부의 강도를 측정하기 위하여 널리 사용되고 있는 ericsen 시험기를 사용하여 시험을 실시하였다. 아래 그래프에 그 결과를 나타내었다.

ericsen test 결과가 120 bar 이상이 되어야 pickling tank 전단에 설치 되어 있는 tension leveller 및 압연기 통과가 가능하게 된다.

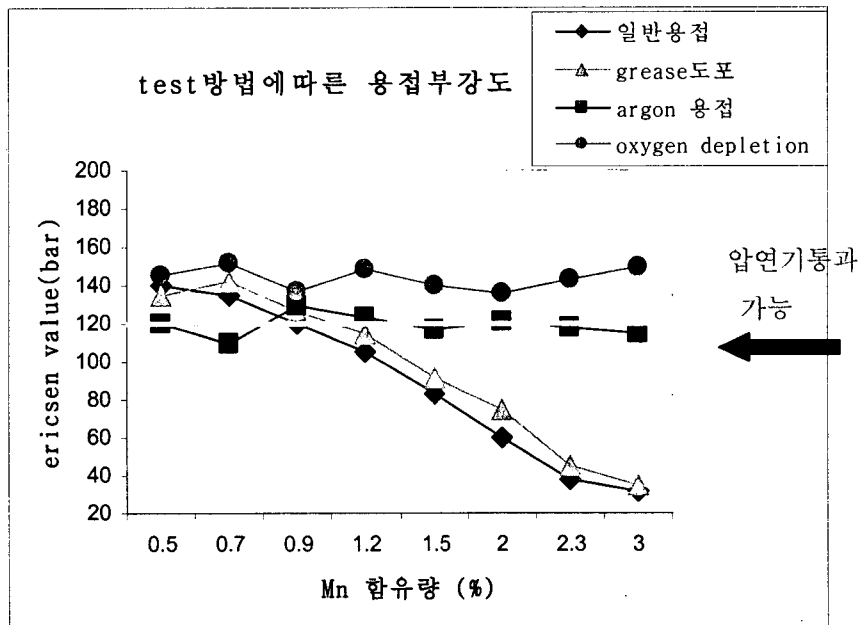


그림 11 test 방법에 따른 용접부 강도



위의 그래프에서 알수 있듯이 Mn 함유량 1.0% 이상에서는 일반용접 방법과 grease 도포방법으로서는 압연이 불가능함을 알수 있다.

#### 4.2 용접방법에 따른 생산성

당사 산세 냉간압연 설비는 연간 180만톤을 처리할수 있는 연속 압연 설비로서 무엇보다도 중요한 것이 생산성이다. 지금까지 test한 용접부 품질은 물론이고 연속작업이 가능하여야만 상업생산이 가능하다. 아래 표에 test 방법에 따른 생산성을 표시 하였다.

표 3 용접방법에 따른 생산성 비교표

Test 방법	용접소요시간/분	생산성(T/H)	비 고
일반용접	30sec	320	
grease 도포	5min	250	
argon 용접	35min	40	
LNG spray	30sec	320	

위에서 알수 있듯이 일반용접 방법과 LNG spray 방법이 1분당 소요시간 및 T/H 측면에서 동일한 결과를 도출하여 100 kg급 이상 고장력강도 생산성 하락없이 상업생산이 가능함을 알수있었다.

### 5. 결론

현재까지 방법으로는 Mn 함량이 1.5 % 이상 함유된 고장력강은 기존 Flash butt welder로 용접한 용접부는 압연기를 통과할수 없어 상업생산이 불가능 하였다. 따라서 수동용접 (argon)으로 생산성 하락은 물론 수동 용접시 발생하는 유해광선 및 gas에 작업원이 노출되어 안전작업 측면에서도 상당한 문제를 가지고 있었다.

LNG spray 방법을 적용하여 Test한 결과 다음과 같은 결론을 얻을수 있었다.

- 1) 현재까지 수동작업에 의존하던 고장력강 자동용접이 가능하게 되었다.
- 2) 소재 화학성분에 관계없이 모든 강종에 대해 적용이 가능 하므로 소재수급 다변화 및 신 강종 개발에도 상당한 기대효과가 예상됨.

향후 자동차 경량화 추세에 부응하기 위해서는 초고장력강의 생산량 증가가 필연적이며 이에 대응하기 위해서 실시한 본 연구는 고장력강의 대량 상업생산 가능성을 확인 하였다.