

## 490MPa급 고장력강 탄뎀 가스메탈아크 용접부에 대한 기계적 성질과 미세조직 비교

이희준\*<sup>†</sup> · 강성수\* · 유금빈\* · 배원학\*\* · 문현수\*\*

\*부산대학교 기계기술 연구소 미시소성 연구실

\*\*현대로템 주식회사 품질기획팀

### Comparison of Mechanical Properties and Microstructural Characteristics of Tandem GMAW Weld Metal in 490MPa Grade Steel

Hui-Jun Yi\*<sup>†</sup>, Sung-Soo Kang\*, Gum-Bin Yu\*, Won-Hak Bae\*\* and Hyun-Soo Moon\*\*

\*Research Institute of Mechanical Technology, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

\*\*Quality Planing Team, Hyundai Rotem Company, Chang-Won 641-200, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author : heejunjjang@hotmail.com

(Received December 3, 2008 ; Revised March 22, 2009 ; Accepted March 25, 2009)

#### Abstract

Tandem GMAW is one of the high performance welding process and used in many industries to increase the productivity. An evaluation is presented of the mechanical properties and microstructural characteristics of the Tandem GMAW and conventional Single GMAW welds in 30mm thickness 490MPa grade steel by comparison method. Welding sequence and bead with and hight was kept, avoiding the effect of the bead shape and welding sequence. Tension, bending, hardness and Charpy impact test results of Tandem GMAW met the requirement of specification and showed similar distribution with conventional Single GMAW. Volume fraction of ferrite phase in weld metal showed little difference between Tandem GMAW and Single GMAW

Key Words : Productivity, Tandem GMAW, Mechanical properties, Microstructural charateristic, Acicular ferrite

#### 1. 서 론

가스 메탈 아크 용접 기법을 사용하는 용접 구조물의 생산 공정에서 능률 문제는 전체 원가 절감을 위해 항상 연구되는 문제이며 생산성 향상을 위해 다양한 용접 기법들이 개발·연구 되어지고 있다. 현재까지 개발되어진 용접 기법 중 가스 메탈 아크 용접 방식을 이용하는 것은  $\Phi 3.2$  이상의 와이어를 사용하는 대구경 용접, 사각 대상 형상의 와이어를 사용하는 대상 용접, 두 개의 와이어를 이용 하나의 용융지를 형성하는 탄뎀 가스메탈 아크용접, 레이저 용접의 장점과 가스메탈아크 용

접의 장점을 혼합한 레이저 아크 하이브리드 용접과 아크의 이행 현상 중 회전 이행을 이용한 회전 아크 용접 등이 있으며 이들을 묶어 고 효율 용접 혹은 고 생산성 용접이라 칭하기도 한다. 이번 연구에서는 현재까지 개발되어진 고 효율 용접 중 효율성과 적용성이 높다고 판단되는 탄뎀 가스메탈아크용접을 이용, 자동차 외판 성형에 사용되는 2400ton급, 1200ton급 프레스 설비 용접구조물 용접 공정의 생산성 향상을 꾀하고자 하며 이를 위해 프레스 용접구조물에 소요되는 490MPa급 강재에 대해 기존에 사용되는 전통적인 가스메탈아크용접(이하 일반 가스메탈아크용접) 방식과 탄뎀 가스메

탈아크 용접 방식을 이용 30mm 두께의 시험편을 제작한 후 인장 시험, 충격 시험, 경도측정과 굽힘 시험과 같은 기본적인 기계적 성질 시험을 통하여 정적 강도 측면을 고찰하고, 용접부 미세 조직 관찰을 통하여 각 용접 기법에 따른 용접부의 미세 조직 변화를 검토하고자 한다<sup>1-5)</sup>.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1 실험재료 및 용접조건

본 연구에서 사용된 피용접재는 2400ton, 1200ton 프레스 및 제철 설비에 사용되는 용접구조용 강재 KS D 3515, SM 490YB(두께 30mm)를 사용하였으며 규격상 피용접재의 기계적 물성치와 화학 성분을 Table 1과 Table 2에 각각 정리하여 나타내었다. 사용 용가재는 AWS 5.18, ER70S-6 현대중합금속의 SM 70을 사용하였으며 용가재의 기계적 물성치와 화학 성분을 Table 3과 Table 4에 정리하여 나타내었다. 보호가스는 Ar 80%+CO<sub>2</sub> 20%를 사용하였으며 가스의 유량은 25ml/min으로 공급하였다.

용접시험은 V형 groove를 60° 로 루트 간격과 이면

Table 1 Mechanical properties of base metal

Material	Mechanical properties		
	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
SM490YB	355 ↑	490~610	19 ↑

Table 2 Chemical composition of base metal

Material	Chemical composition (wt. %)				
	C	Si	Mn	P	S
SM490YB	0.200 ↓	0.550 ↓	1.600 ↓	0.035 ↓	0.035 ↓

Table 3 Mechanical properties of filler metal

Filler metal	Mechanical properties		
	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
SM-70	430	540	28

Table 4 Chemical composition of filler metal

Filler metal	Chemical composition (wt. %)				
	C	Si	Mn	P	S
SM-70	0.060	0.410	1.100	0.012	0.011

받침재 없이 맞대기 다층용접으로 제작하였다. 각 시험편에 대한 용접조건은 Table 5와 같으며 용접 적층방법 및 순서에 따른 영향<sup>6)</sup>을 최소화하기 위하여 매 패스마다 용접 후 비드 높이를 측정하여 최대한 동일 조건 하에서 용접 적층이 가능하도록 하였다. 그 형상은 Fig. 1과 같이 나타내었으며 Table 5에 측정한 비드 높이를 나타내었다. 두 용접 방식 모두 펄스 모드를 적용하였으며 용접 조건 중 전류 조건의 경우 평균 전류 조건을 나타내었다.

### 2.2 실험방법

맞대기 용접이음의 인장 시험편의 형상은 KS B 0801 1호 시험편이며 용접선 직각 방향으로 채취하였으며 KS B 0833을 기준으로 시험하였다. 굽힘 시험편의 형상은 KS B 0832에 준하여 제작하였고 KS B 0832를 기준으로 시험하였다. 충격 시험편의 형상은 KS B 0821 4호 시험편으로 용접선 직각방향으로 채취하였고 충격 시험방법은 KS B 0810에 의거 수행하였다. 충격 시험편 채취 위치는 용접금속 중심(W.M), 용접선(F.L), 용접선에서 2mm 떨어진 지점과(F.L+2) 5mm 떨어진 위치(F.L+5)이며 0°C 조건에서 실시하였다. 경도 측정은 비커스 경도기를 이용하여 KS B 0811에 근거하여 10Kgf의 하중을 사용하여 용접부의 위 표면에서 2mm 떨어진 위치, 아래 표면에서 2mm 떨어진 위치와 아래 표면에서 15mm 떨어진 중심부에서 측정하였다. 미세조직 관찰은 나이탈 2%에 침한 후 500배 전자현미경을 이용하여 관찰하였고 ASTM E 112를 기준으로 결정립 크기를 확인하였으며 IIW에서 규정한 방법에 따라 용접 금속부 내 미세

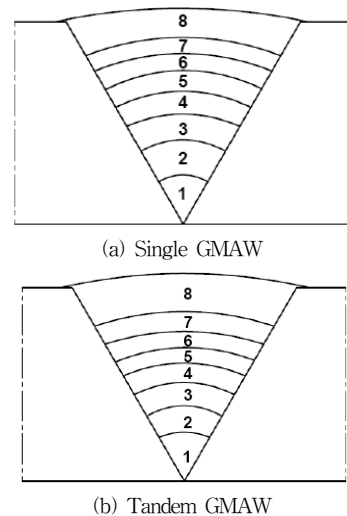


Fig. 1 Shapes of cross sections and welding process in each weld specimen

Table 5 Welding condition of each specimen

Pass No.	Ampere (A)	Volt (V)	Speed (cm /min)	Heat Input (KJ/cm)	Bead height (mm)	Weld mode
1	255	27.8	35	12.2	7.3	Pulse
2	311	30.7	30	19.1	12.5	Pulse
3	316	30.6	26	22.3	16.3	Pulse
4	319	30.6	23	25.5	19.7	Pulse
5	317	31.8	22	27.5	22.8	Pulse
6	317	31.6	19	31.6	25.3	Pulse
7	323	31.4	18	33.8	27.7	Pulse
8	323	31.4	17	35.8	32.0	Pulse

(a) Single GMAW

Pass No.	Ampere (A)	Volt (V)	Speed (cm /min)	Heat Input (KJ/cm)	Bead height (mm)	Weld mode
1	M 230	25.9	65	5.5	7.6	Pulse
	S 176	25.2		4.1		Pulse
2	M 298	29.8	58	9.2	11.7	Pulse
	S 242	29.1		7.3		Pulse
3	M 310	30.0	55	10.1	15.3	Pulse
	S 261	29.9		8.5		Pulse
4	M 301	30.3	49	11.4	18.3	Pulse
	S 259	30.3		9.6		Pulse
5	M 310	30.3	45	12.5	20.7	Pulse
	S 266	30.1		10.7		Pulse
6	M 313	30.1	38	14.9	23.2	Pulse
	S 269	29.3		12.4		Pulse
7	M 307	30.0	32	17.3	26.3	Pulse
	S 261	30.1		14.7		Pulse
8	M 309	30.1	19	29.4	32.2	Pulse
	S 269	30.3		25.7		Pulse

(b) Tandem GMAW  
(M : master / S : slave)

조직을 AF(Acicular ferrite), PF(Primary ferrite), FS(Ferrite with second phase)로 분류하여 체적 분률로 나타내었다<sup>7)</sup>.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 인장 시험 및 굽힘 시험 결과

인장 시험은 일반 가스메탈아크용접 방식과 탄뎀 가스메탈아크용접 방식 시험편에 대하여 각각 3번씩 실시하였으며, 그 결과를 평균 내어 Table 6에 나타내었다. 인장 강도는 일반 가스메탈아크용접의 경우가 502.7 MPa로 496.9MPa를 나타낸 탄뎀 가스메탈아크용접에 비해 5.8MPa 정도 높게 나타났으며 항복 강도의 경우

Table 6 Results of tension test

welding specimen	Yield strength(MPa)	Tensile strength(MPa)	Elongation (%)
Single	385.8	502.7	25
Tandem	381.2	496.9	26
Requirement	355 ↑	490~610	19 ↑
Criterion	satisfaction	satisfaction	satisfaction

Table 7 Results of bending test

welding specimen	Test time	Crack occurrence	critierion	
Single	face bend	4	No	satisfaction
	side bend	4	No	satisfaction
Tandem	face bend	4	No	satisfaction
	side bend	4	No	satisfaction

에도 일반 가스메탈아크용접 방식이 385.8MPa로 381.2 MPa를 나타낸 탄뎀 가스메탈아크용접 방식에 비해 4.6 MPa정도 높게 나타났다. 연신율의 경우에는 탄뎀 가스메탈아크용접 방식이 26%로 일반 가스메탈아크용접 방식에 비해 1% 정도 높게 나타내었다. 하지만 전체적으로 일반 가스메탈아크용접 방식과 탄뎀 가스메탈아크용접 방식의 결과 값에서 큰 차이를 보이지 않았고 모든 인장 시험에서 용접부가 아닌 열영향부에서 파단이 발생하였으며 인장 강도, 항복 강도, 연신율이 모재의 규격 치 이상의 강도를 나타내어 규격에 만족하였다.

그러므로 490MPa급 SM490YB 소재에 대하여 전통적인 가스메탈아크용접 방식을 대신하여 탄뎀 가스메탈아크용접 방식을 사용하여 용접하여도 정적 강도에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

굽힘 시험의 경우 표면 굽힘과 측면 굽힘을 각각 4회씩 실시하였으며 균열이 발생되지 않았다. 시험 결과는 Table 7과 같이 나타내었다.

#### 3.2 경도 시험 결과

각 용접시험편의 경도 측정 위치와 결과를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 위 표면부 2mm와 아래 표면부 2mm 위치에서의 위치별 최고 경도값은 큰 차를 보이지 않으며 전체적으로 비슷한 경도 분포를 나타내고 있다. 중심부의 경우 일반 가스메탈아크용접 방식의 열영향부 최고 경도값이 탄뎀 가스메탈아크용접 방식에 비해 12 Hv(10)정도 높게 나타났으며 평균 10 Hv(10)

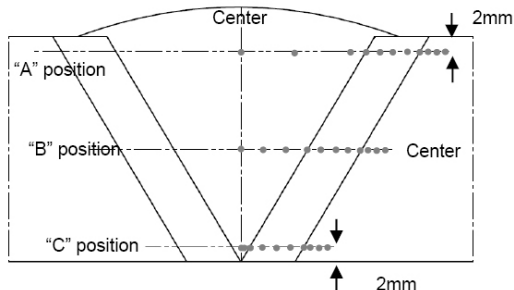
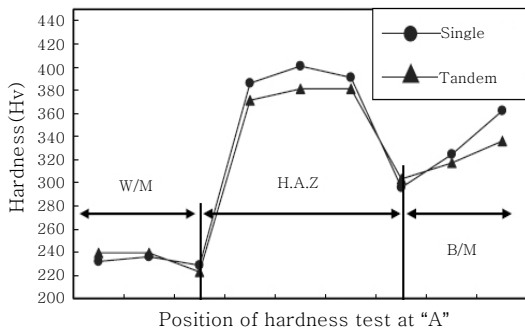
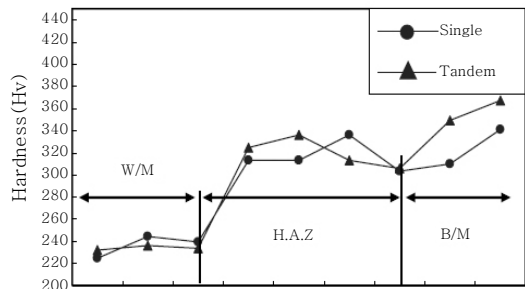


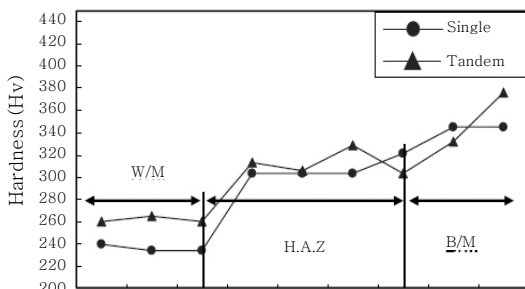
Fig. 2 Position of hardness test



(a) "A" Position



(b) "B" Position



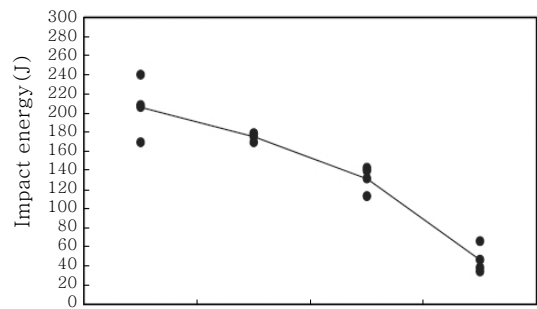
(c) "C" Position

Fig. 3 Result of hardness test in each specimen

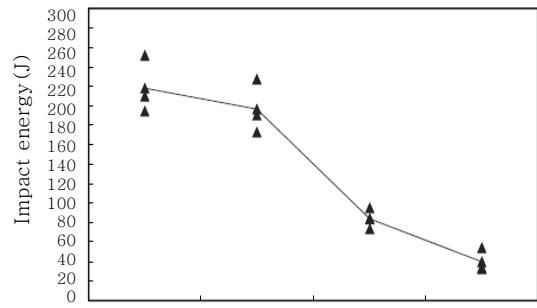
정도 높으나 용접부의 경우 비슷한 분포를 나타내었다. 또한, 일반 가스메탈아크용접부와 탄뎀 가스메탈아크 용접부의 열영향부 경도 시험결과 KS B ISO 9956에서 규제하고 있는 용접부, 열영향부 최대 경도값 350 Hv(10) 이하의 기준을 모두 만족하였다.

### 3.3 충격 시험 결과

각 용접시험편에 대한 충격 시험 결과를 Fig. 4에 나타내었으며 평균값을 Table 8에 정리하였다. 일반 가스메탈아크용접 시험편과 탄뎀 가스메탈아크용접 시험편 모두 용접부에서 가장 높은 충격치를 보이며 용접선에서 5mm 지점으로 갈수록 충격값이 낮아지는 현상을 보이고 있다. 두 시험편을 비교하면 용접부와 용접선에서는 탄뎀 가스메탈아크용접 시험편이 높은 충격치를 보이나 용접선에서 2mm 지점에서는 일반 가스메탈아크용접 시험편의 충격치가 탄뎀 가스메탈아크용접 시험편의 충격치 보다 훨씬 높은 수치를 보이고 있다.



(a) Single GMAW



(b) Tandem GMAW

Fig. 4 Result of impact test in each specimen

Table 8 Average of impact energy in each specimen

Position of specimen	Welding process	Single GMAW	Tandem GMAW
	Average of impact energy (J)		
Weld Metal		205.5	218.5
Fusion Line		175.1	197.0
2mm from Fusion Line		131.3	84.3
5mm from Fusion Line		46.1	40.2

이는 상대적으로 용접 속도가 빠른 탄뎀 가스메탈아크용접 방식의 열영향부가 일반 가스메탈아크용접 방식의 열영향부에 비해 좁기 때문이며 나이탈 2%로 에칭한 후 육안으로 마크로 시편을 관찰하여 게이지로 열영향부를 측정된 결과 탄뎀 가스메탈아크용접 방식은 1.8mm, 일반 가스메탈아크용접 방식은 2.5mm 정도로 나타났다. 이 원인으로 인하여 탄뎀 가스메탈아크용접 방식의 용접선에서 2mm 구간의 충격치는 용접부와 열영향부에 비해 상대적으로 충격 인성이 낮은 모재부의 영향으로 인해 충격치가 낮게 나타나는 것으로 사료된다.

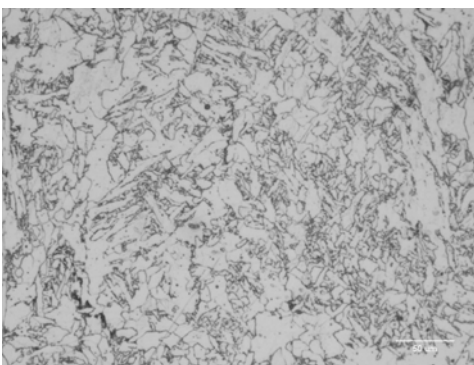
하지만, 모든 시험편에서 KS D 3515에 명시한 샤르피 충격에너지가 27J 이상을 만족하고 있다. 그러므로 탄뎀 가스메탈아크용접 방식을 사용하여 용접하여도 파괴 인성 부분에서는 규격 이내에 상당하는 값을 나타내리라 판단된다.

### 3.4 미세 조직 관찰

시편을 나이탈 2% 용액으로 에칭한 후 500배 전자현미경을 통해 용접부의 미세조직을 관찰하였다. 관찰 결과 일반 가스메탈아크용접 방식과 탄뎀 가스메탈아크용접 방식의 용접부 구 오스테나이트 결정입도는 15.6 $\mu$ m이며 용접부 미세 조직을 Fig. 5와 같이 나타내었다.



(a) Single GMAW



(b) Tandem GMAW

Fig. 5 Optical microstructures weld metal

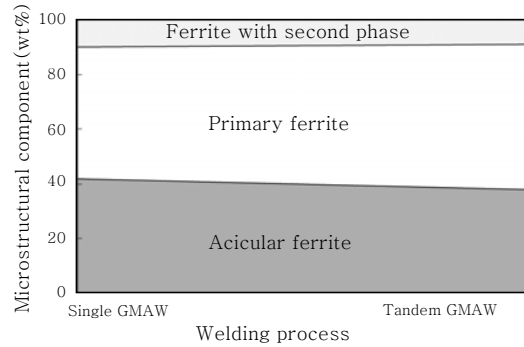


Fig. 6 Volume fraction of ferrite phase in weld metal

미세조직의 정량화는 IIW에서 규정한 방법에 따라 AF(Acicular ferrite), PF(Primary ferrite), FS (Ferrite with second phase)로 분류하였으며 체적분률 Fig. 6 과 같이 나타내었다. 용착 금속의 강도와 인성을 동시에 향상시킬 수 있으며 저온 균열 저항성을 확보하는데 필수적인 조직이라고 인식되고 있는 침상형 페라이트(Acicular ferrite)조직의 분율이 탄뎀 가스메탈아크용접방식이 일반 가스메탈아크용접 방식에 비해 4%정도 낮은 것으로 나타났으며 이는 비슷한 범위의 입열량에서 침상형 페라이트(Acicular ferrite)의 분율이 용접속도가 높은 쪽에서 낮게 나타나는 기존의 연구와 동일한 결과를 보이고 있다<sup>8-10)</sup>.

## 4. 결 론

생산 현장에서 일반적으로 사용되고 있는 전통적인 가스메탈아크용접 방식의 생산성 향상을 위해 본 연구에서 고효율/고용착 용접 방식 중 탄뎀 가스메탈아크용접 방식에 대한 정적강도와 용접부 미세조직을 기존의 일반 가스메탈아크용접 방식과 비교 평가하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 인장 시험결과 모든 시험편이 규격 이상의 강도를 만족하였으며 굽힘 시험결과 모든 시험편에서 균열이 발생하지 않았으며 규격을 만족시켰다.
- 2) 경도 시험결과 일반 가스메탈아크용접 방식과 탄뎀 가스메탈아크용접 방식의 용접부, 열영향부에서 규격의 최고치 이하 규격에 만족하는 경도값을 보였다. 충격 시험결과 용접선 2mm 지점에서 탄뎀 가스메탈아크용접 방식이 낮은 충격치를 보이나 이는 좁은 열영향부의 영향으로 사료되며 두 방식 모두 용접부와 열영향부에서 규격의 규제 충격치 이상의 결과를 나타내었다.
- 3) 용접부 미세 조직관찰 결과 구 오스테나이트 결정입도는 15.6 $\mu$ m이며 침상형 페라이트(Acicular ferrite)의 분율이 탄뎀 가스메탈아크용접 방식에서 약간 낮게

나타났지만 전체적으로 비슷한 수준을 나타내었다.

그러므로, 490MPa급 SM490YB 강재를 이용한 용접구조물 제작의 경우 탄뎀 가스메탈아크용접 방식을 사용하는 것이 기존에 사용하고 있는 전통적인 가스메탈아크용접 방식의 사용보다 생산성 향상 측면에서 효과적이라고 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. Bertil PEKKARI and ESAB AB : Where and how are the welding process developing, ASR International Conference-2003-Bucharest, 13-24
2. K. J Matthes and S. Thurner : Using cored wires for tandem gas metal arc welding of high alloyed steels, Welding and Cutting, 12-14 (2005), 461-466
3. Gerd Trommer : High-performance welding, One ctchphrase, four alternatives, Institute of Production Engineering&Welding Technology at the Technical University of Chemnitz
4. NAVY JOINING CENTER : NJC developing cost-effective tandem arc welding process for shipbuilding, Welding Journal, 86-2 (2007), 85
5. J. Dierksheide, D. Harwig, N. Evans and L. Kvidashi : New automated tandem process for agile fillet welding of ship structures, Journal of Ship production, 21-2 (2005), 81-91
6. Ji-chul Byun, Kook-soo Bang and Woong-sung Chang : Effect of heat input and interpass temperature on the strength and impact toughness of multipass weld metal in 570MPa grade steel, Journal of KWS, 24-1 (2006), 64-70 (in Korean)
7. Guide to the light microscope examination of ferritic steel weld metal, Weld World, 29-7/8 (1991), 160-176
8. Hee Jin Kim and Bong Young Kang : Microstructural characteristics of steel weld metal, Journal of KWS, 18-5 (2000), 565-572 (in Korean)
9. D. M. Viano, N. U. Ahmed and G. O. Schumann : Influence of heat input and travel speed on microstructure and mechanical properties of double tandem submerged arc high strength low alloy steel weldments, Science and Technology of Welding and Joining, 5-1 (2000), 26-34
10. G .S. Barrite, R. A. Ricks and P. R. Howell : The effect of inclusion on the structure and properties of HSLA steel weld metals, 6th International Conference 16-20 (2000), 121-126