

# AL5083 합금에 대한 Plasma-GMA 용접에서 분산분석을 이용한 공정변수의 특성 평가

정진수\* · 이종중\* · 이희근\*\* · 박영환\*·†

\*국립부경대학교 공과대학 기계공학과

\*\*대우조선해양(주) 산업기술연구소

## Weldability Evaluation in Plasma-GMA Hybrid Welding for Al-5083 Using Analysis of Variance

Jin Soo Jung\*, Jong Jung Lee\*, Hee Keun Lee\*\* and Young Whan Park\*·†

\*Department of Mechanical Engineering, Pukung National University, Busan 608-739, Korea

\*\*Industrial Application R&D Institute, DSME Co., LTD., Okpo 656-714, Korea

†Corresponding author : parkyw@pknu.ac.kr

(Received January 20, 2014 ; Revised February 13, 2014 ; Accepted February 19, 2014)

### Abstract

In this paper, I-butt welding with 6mm thickness using Plasma-GMA welding was carried out. And weld characteristics of the Al-5083 aluminium alloy for Plasma-GMA hybrid welding was evaluated. The orthogonal experimental design was used to investigate the influence of plasma-MIG welding parameters such as plasma current, wire feeding rate, MIG-welding voltage and welding speed on the weld bead geometry and tensile strength using the ANOVA(Analysis of Variation). Then we conducted evaluation of contribution for process parameters. ANOVA results show that bead dimensions are affected by wire feeding speed, welding voltage and welding speed and tensile strength is mainly affected by welding speed and plasma arc current. Tensile strength was decreased by rise in plasma welding current because GMA welding current was decreased by plasma arc.

Key Words : AL5083 alloy, Plasma-GMA welding, ANOVA, Hybrid welding, Orthogonal design

## 1. 서 론

최근 세계적으로 해양환경 오염규제 및 에너지 절감 등에 대한 요구가 높아짐에 따라 중소형선의 경우 경량화, 높은 내식성, 재활용이 가능한 환경 친화적인 선박에 대한 수요가 증가하고 있다. 특히 중소형 선박에 사용되어 왔던 FRP(fiber reinforced plastic) 소재는 생산비용이 낮은 장점은 있으나, 폐선처리가 문제가 되면서 알루미늄 선박에 관심이 고조되고 있다<sup>1)</sup>.

선박에 주로 사용되는 알루미늄은 Al-Mg계 비열처리 합금의 5000계열과 Al-Mg-Si계 열처리합금의 6000 계열이다. 특히 Al 5000계열 합금 중 약 4.5%의 마

그네슘을 함유하고 있는 AL5083재는 FRP 소재보다 높은 강도와 밀도비, 내식성, 인성, 저온 특성을 보유하고 있어 자동차, 항공 산업뿐만 아니라 경량구조를 요구하는 선박에도 많이 적용되고 있다<sup>2)</sup>.

조선소에서는 알루미늄 합금을 용접하기 위해서 미그(MIG)용접과 티그(TIG)용접에 의한 의존성이 매우 높으며, 그 외에 레이저 빔 용접(laser beam welding: LBW), 마찰교반용접(friction stir welding: FSW), 레이저 아크 하이브리드 용접, 플라즈마 아크 하이브리드 용접 등 알루미늄 합금에 대한 용접성을 개선하기 위하여 여러 용접 공법에 대한 연구가 활발히 진행 중이다<sup>3-5)</sup>.

본 논문에서는 중소형선박과 LNG 극저온 탱크에 주로

사용되는 AL5083 합금에 대하여 Plasma-GMA(gas metal arc) 하이브리드 용접을 적용하여 I형 맞대기 용접을 진행하였다. 용접 후 분산분석을 통하여 비드형상과 인장강도에 미치는 영향력을 각 주요 공정변수로 평가하였고, 플라즈마 용접 전류에 의한 GMA 용접 특성과 AL5083 알루미늄 합금의 용접 특성을 관찰하였다.

## 2. 실험 장치 및 조건

### 2.1 실험 장치 및 재료

실험에 사용된 용접장치는 플라즈마 노즐과 GMAW 컨택트팁이 동축으로 구성되어 있으며, 각 용접전원의 최대출력은 각각 400A이다. 그리고 용접을 수행하기 위한 시스템으로 Fig. 1 과 같이 시편은 고정 장치(fit-up device)로 고정하였으며, 토치(torch)는 고정되어 있고 지그의 베드(bed)를 용접 진행 방향의 반대 방향으로 이송시키면서 용접을 수행하였다. 용접은 3축 캐리저 로봇 시스템을 사용하였다.

실험에 사용된 모재는 AL5083 알루미늄 합금으로 시편의 치수는 250mm × 150mm × 6mm이며, 용접 와이어는 모재의 Mg함량과 비슷한 직경 1.2mm의 ER 5183을 사용하였다. 용접은 I형 맞대기 용접으로 수행하였으며, 용접 길이는 130mm 였다. 실험에 사용된 알루미늄 합금 AL5083과 용접와이어 ER5183의 조성은 Table 1 과 같다.

### 2.2 실험 조건

전체 실험 영역에서 전수 실험을 하는 완전요인배치법(full factorial design)이 일반적으로 가장 많이 사

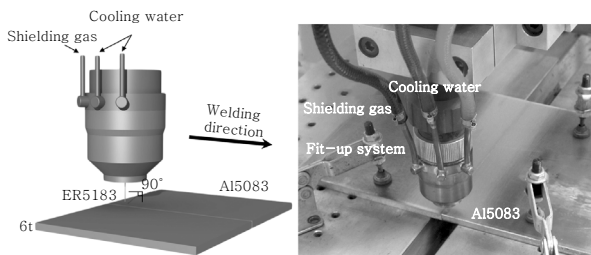


Fig. 1 The apparatus for welding experimentation employed

Table 1 Chemical composition of Al alloys(wt.%)

	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
AL5083	0.4	0.1	0.7	4.5	0.25	0.15	0.15	Bal.
ER5183	0.4	0.1	0.75	4.75	0.15	0.11	0.15	Bal.

용되고 있으나, 이는 인자의 수가 많을 경우 모든 조합을 실험하게 되면 상당히 많은 실험을 진행하여야 되므로, 실험의 비용과 시간이 소요된다.<sup>(6)</sup> 그러므로 본 실험에서는 일부실험법(fractional factorial design)중 하나인 직교 배열법(orthogonal design)을 이용하여 실험을 진행 하였다. 직교 배열표(table of orthogonal arrays)에 의하여 3수준계  $L_{27}(3^{13})$  을 사용하여 구성된 실험은 총 27회를 수행하였다. 실험에서 사용된 설계 변수와 그 수준은 Table 2 과 같다.

Plasma-GMA 용접의 고정인자로는 Fig. 2 와 같이 플라즈마 전극과 모재간 거리(torch standoff: SO)는 10mm로 설정하였으며, 토치가 모재와 수직으로 용접을 수행하도록 진행하였고, 플라즈마 용접과 GMA용접 모두 연속모드(continuous wave mode)를 이용하여 용접을 진행하였다. 보호가스는 MIG 아크, 플라즈마 아크 그리고 용접보호를 위하여 세 가지의 보호가스를 사용하였다. 보호가스 모두 아르곤(Ar: 99.99%)를 사용하였으며, MIG 가스(center gas)를 10L/min, 플라즈마 가스를 10L/min 그리고 차폐가스를 15L/min으로 공급하였다.

용접부 루트면(root face)을 밀링(milling)으로 1.5mm 가공하여 일정한 상태를 유지하였고, 용접 직전에 아세톤으로 모재를 닦고, 스테인리스 브러쉬로 알루미늄 산화막(oxidation film) 제거하여 용접부 청결 상태를

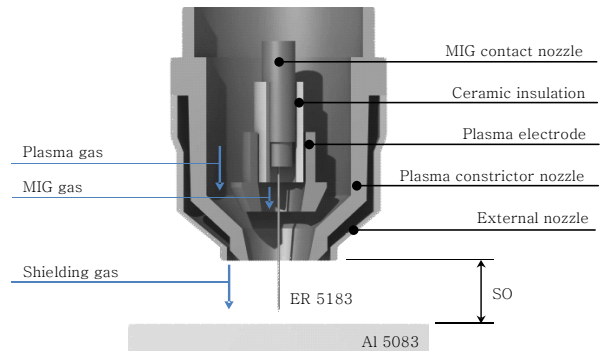
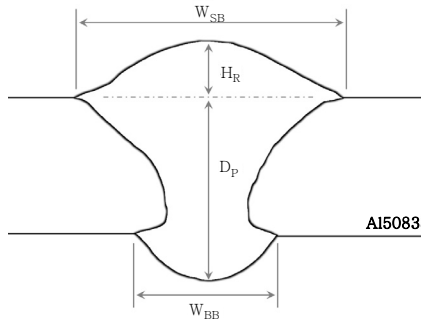


Fig. 2 Schematic view of the positioning of the main elements of the plasma-GMA welding torch

Table 2 Factors and levels of orthogonal experiment

No.	Factor	Level 1	Level 2	Level 3
A	Plasma welding current: PWC(A)	120	140	160
B	GMA welding Voltage: GWV(V)	25	26	27
C	Wire feed rate: WFR(m/min)	16	18	20
D	Welding speed: WS(mm/sec)	14	15	16



**Fig. 3** Parameters of weld bead geometry at I-Groove joint

유지하였다. 용접 시 두 모재간의 갭(gap)이 없이 용접을 하였다.

각 공정변수에 대한 Plasma-GMA 하이브리드 용접의 특성을 알아보기 위하여 용접부의 단면형상을 관찰하였다. 단면부의 치수 측정 인자로는 Fig. 3 와 같이 비드의 폭, 비드의 높이, 용입깊이, 이면비드의 폭의 치수를 측정하였다. 그리고 용접성을 정량적으로 평가하기 위하여 27개의 시편모두 인장강도시험을 수행하였다.

### 3. 용접 단면부에 대한 분산분석

#### 3.1 용접부 외관 및 비드형상

Plasma-GMA 용접으로 AL5083 알루미늄 합금을 용접한 비드의 형상과 비드폭, 비드높이, 용입깊이, 이면비드의 폭을 관찰하였다. 용접부의 외관은 크게 Fig. 4에서처럼 3가지 형태로 나눌 수 있다. Type I 은 용접

Type I			
	Top view of bead	Back view of bead	Macro
	Condition: PWC=140A, GWV=26V, WFR=16m/min, WS=14mm/sec		
Type II			
	Top view of bead	Back view of bead	Macro
	Condition: PWC=120A, GWV=27V, WFR=18m/min, WS=14mm/sec		
Type III			
	Top view of bead	Back view of bead	Macro
	Condition: PWC=160A, GWV=25V, WFR=20m/min, WS=14mm/sec		

**Fig. 4** Types of bead shape at different welding condition

조건에 의한 낮은 입열로 인해 부분 용입이 발생하여 상면비드(upper bead)는 형성되었지만, 이면비드(back bead)가 형성되지 않은 경우이고, TypeII 는 충분한 입열에 의해 상면비드와 이면비드가 미려하게 형성된 경우이다. 그리고 TypeIII 는 이면 비드는 형성되었지만, 용접 조건에 의한 과입열로 용접 중 험핑(humping)이 발생되어 이면비드에 심한 용락(burn through)이 형성되었다. 실험 조건내에서 험핑은 플라즈마 용접 전류 160A 에서 대부분 관찰 되어졌다. 또한 플라즈마 용접 전류 120A에서 대부분 완전 용입이 이루어 졌다.

#### 3.2 분산분석

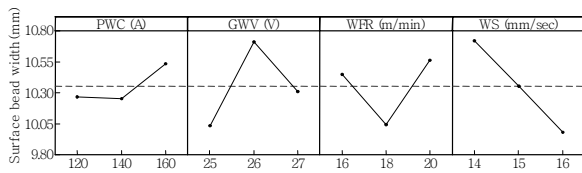
실험에서 사용된 입력변수들에 대한 용접 단면부의 형상에 어떠한 영향을 주는지 그 영향력을 통계적 유의성으로 평가하기 위해 분산분석(analysis of variance: ANOVA)을 수행하였다. 실험에 사용된 변수의 직교 배열법에 의한 교호작용의 여부는 플라즈마 전류를 제외한 나머지 3개의 인자에 대하여 2차 교호작용을 분산 분석에 포함하였다. 여기서 DF(Degree of freedom)는 제곱합의 자유도이며, SS(sum of square)는 특성치 산포의 제곱합, MS(mean square)는 평균제곱,  $F_0$  는 평균제곱의 비 그리고  $F(0.1)$  과  $F(0.05)$  는 F-검정(F-test)의 유의수준(level of significance)을 나타내는 것으로 90%와 95%의 유의수준을 의미한다. 직교 배열표를 사용한 실험계획에서는 오차변동이 크게 나오는 경우가 많으므로 신뢰구간의 신뢰율을 90%를 흔히 사용하기 때문에 신뢰율을 90%와 95%를 모두 이용하였다. 분산분석 후 변동은 무시할 수 있을 만큼 작은 인자를 고차의 교호작용부터 차례대로 풀링(pooling) 하였으며, 주인자는 풀링하지 않고 그 영향력의 유무를 확인 하였다.

Table 3 은 비드폭에 대한 통계적 유의성을 나타내고 있다. 분산분석을 통해 유의한 인자는 WS(welding speed), GWV(GMA welding voltage), WFR(wire feed rate) 순으로 용접속도가 가장 큰 영향력을 갖고 있음을 알 수 있으나, PWC(plasma welding current)는 유의하지 않은 인자로 나왔다. Fig. 5 에서 각 인자별 주효과(main effects)의 경향을 볼 수 있다. 용접속도가 증가함에 따라 단위 길이당 용융된 와이어의 양이 줄어들어 비드의 폭이 감소하는 것을 알 수 있으며, GMA 용접 전압이 증가함에 따라 비드의 폭은 증가하나, 27 V에서 감소하는 경향을 보이는 것은 27 V 조건에서 대부분 높은 아크 압력에 의해 험핑이 발생되었기 때문이라고 사료된다.

Table 4 는 비드높이에 대한 통계적 유의성이다. 비

**Table 3** ANOVA for surface bead width about welding process parameters

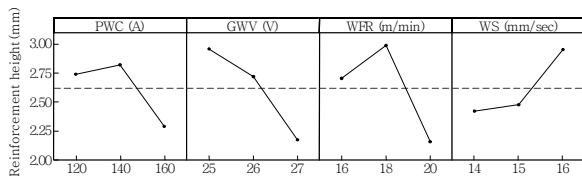
Factor	DF	SS	MS	F <sub>0</sub>	F(0.1)	F(0.05)
PWC	2	0.4530	0.2265	1.70	2.62	3.55
GWV	2	2.0689	1.0345	7.77*	2.62	3.55
WFR	2	1.3375	0.6687	5.02*	2.62	3.55
WS	2	2.4642	1.2321	9.26*	2.62	3.55
Error	18	2.3961	0.1331			
Total	26	8.7197				



**Fig. 5** Main effects plot for surface bead width (Data means)

**Table 4** ANOVA for reinforcement about welding process parameters

Factor	DF	SS	MS	F <sub>0</sub>	F(0.1)	F(0.05)
PWC	2	1.4998	0.7499	2.87	2.62	3.55
GWV	2	2.8993	1.4496	5.56*	2.62	3.55
WFR	2	3.2150	1.6075	6.16*	2.62	3.55
WS	2	1.5223	0.7611	2.92	2.62	3.55
Error	18	4.6961	0.2609			
Total	26	13.8325				

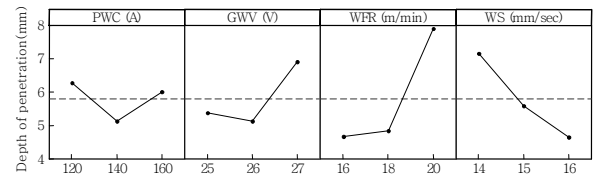


**Fig. 6** Main effects plot for reinforcement height (Data means)

드높이에 관하여 유의한 인자는 WFR, GWV, WS, PWC 순으로 와이어 송급속도가 가장 큰 영향력을 갖고 있음을 알 수 있다. Fig. 6 에서 각 인자별 주효과와 경향을 볼 수 있다. 와이어 송급속도가 증가하면 비드높이가 증가하다가 20m/min에서 급격한 기울기를 보이는 것은 20m/min에서 대부분 완전 용입이 되어 용착량이 대부분 이면비드를 형성하는데 소요되었기 때문에 비드의 높이가 급격히 감소한 것으로 사료된다. 또한 GMA 용접 전압이 증가 할수록 비드의 높이가 감소 하는 경향을 보인다.

**Table 5** ANOVA for penetration about welding process parameters

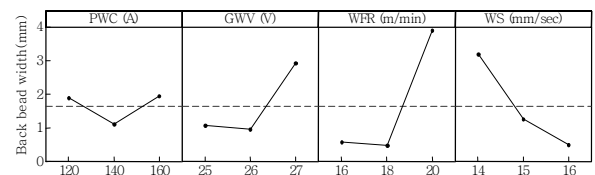
Factor	DF	SS	MS	F <sub>0</sub>	F(0.1)	F(0.05)
PWC	2	6.518	3.259	2.31	2.62	3.55
GWV	2	16.641	8.32	5.9*	2.62	3.55
WFR	2	59.321	29.661	21.03*	2.62	3.55
WS	2	28.879	14.439	10.24*	2.62	3.55
Error	18	25.386	1.41			
Total	26	136.745				



**Fig. 7** Main effects plot for penetration(Data means)

**Table 6** ANOVA for back bead width about welding process parameters

Factor	DF	SS	MS	F <sub>0</sub>	F(0.1)	F(0.05)
PWC	2	4.097	2.049	1.04	2.62	3.55
GWV	2	21.919	10.959	5.59*	2.62	3.55
WFR	2	68.721	34.36	17.52*	2.62	3.55
WS	2	34.993	17.497	8.92*	2.62	3.55
Error	18	35.311	1.962			
Total	26	165.041				



**Fig. 8** Main effects plot for back bead width(Data means)

Table 5 는 용입깊이에 대한 통계적 유의성이다. 용입깊이에 관하여 유의한 인자는 WFR, WS, GWV 순으로 와이어 송급속도가 가장 큰 영향력을 갖고 있음을 알 수 있다. Fig. 7 에서 각 인자별 주효과와 경향을 볼 수 있다. 와이어 송급속도는 전류에 비례하기 때문에 송급속도가 증가함에 따라 전류의 증가로 인해 용입 깊이가 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 용접속도는 증가할수록 입열을 감소하는 요인으로 작용하기 때문에 용입 깊이가 줄어드는 것을 볼 수 있다.

Table 6 은 이면비드의 폭에 대한 통계적 유의성이

다. 이면비드의 폭에 관하여 유의한 인자는 WFR, WS, GWV 순으로 와이어 송급속도가 가장 큰 영향력을 갖고 있음을 알 수 있다. Fig. 8 에서 각 인자별 주효과와 경향을 볼 수 있다. 이면비드의 폭 역시 와이어 송급속도가 전류에 비례하기 때문에 결국 가장 중요한 인자는 와이어 송급속도임을 확인 하였다.

#### 4. 인장강도에 대한 분산분석

인장시험은 KS B ISO 4136 의 판재 시험의 경우를 참고하여 가공 및 인장시험을 진행하였다. Fig. 9 은 시험편의 형상 및 치수를 나타낸다. 와이어커팅 가공(wire electric discharge machining)을 이용하여 시험편의 형상을 제작 하였으며, 용접부의 덧살은 시험편 두께와 동일하게 가공하였다.

용접한 시험편의 인장강도를 비교하기 위해서 3장의 AL5083 판재를 인장시험 샘플에 포함시켰다. 그 결과 모재의 인장강도는 모두 351N/mm<sup>2</sup> 이다. AL5083 모재의 최소 인장강도는 AWS(american welding society)에서 270N/mm<sup>2</sup>로 규정하고 있다<sup>7)</sup>. 용접 시험편의 파단은 모두 용접부 혹은 열영향부에서 파단이 발생하였으며, 본 실험의 조건에서 가장 높은 인장강도를 갖는 시험편은 293.37N/mm<sup>2</sup>이고, 가장 낮은 인장강도 값을 갖는 시험편은 85.91N/mm<sup>2</sup>이다. 비열처리 합금의 경우 덧살을 제거할 경우 인장강도가 약간 저하한다<sup>8)</sup>. 그렇기 때문에 모재보다 높은 인장강도를 갖는 시험편은 발생 하지 않았고, 매우 낮은 인장강도 값을 나온 이유는 그 조건에서 과도한 입열로 인하여 Fig. 4 의 Type III의 형상과 같이 용접 중에 발생한 험핑(humping)으로 사료된다. 험핑의 발생으로 인해 상면 비드에 심한 용락(burn through)이 발생하였기 때문이다. 인장시험 결과 대부분 플라즈마 전류가 낮은 120A, 와이어 송급속도가 높은 20m/min에서 최소인장강도보다 높은 결과가 나왔으며, 플라즈마 전류가 높고, 와이어 송급속도가 낮은 조건에서 최소인장강도를 만족하지 않는 결과가 나왔다.

Table 7 은 인장강도에 대한 통계적 유의성으로써 가장 큰 영향을 주는 인자로는 플라즈마 용접 전류가

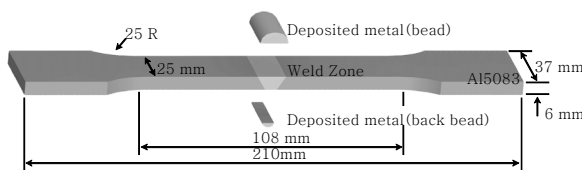


Fig. 9 The shape of test piece

Table 7 ANOVA for measured GMA welding current about welding process parameters

Factor	DF	SS	MS	F <sub>0</sub>	F(0.1)	F(0.05)
PWC	2	36503	18252	6.36*	2.62	3.55
GWV	2	373	186	0.06	2.62	3.55
WFR	2	13304	6652	2.32	2.62	3.55
WS	2	5504	2752	0.96	2.62	3.55
Error	18	51685	2871			
Total	26	107369				

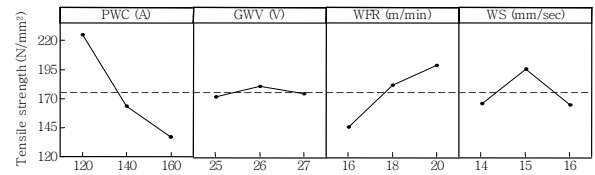


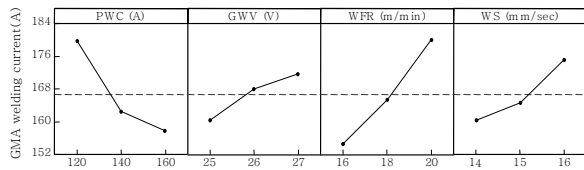
Fig. 10 Main effects plot for tensile strength(Data means)

나왔다. 용접 내부 기공에 의해서 인장강도에 큰 영향을 주지 않는다는 가정 하에 최소인장강도보다 높은 인장강도를 얻기 위해서는 완전 용입이 되어야 하며, 이를 위해서는 깊은 용입이 되어야 한다. Table 5 에서 처럼 와이어 송급속도는 용입 깊이를 증가시키는 변수이지만, 플라즈마 용접 전류는 용입깊이를 감소시키는 변수로 사료된다. Resende 등은<sup>9)</sup> 플라즈마 용접 전류가 증가함에 따라 용입깊이와 용착금속의 단면적이 감소하는 영향을 규명하였다.

용입 깊이에 대하여 통계적 유의성이 가장 높은 인자는 와이어 송급속도이다. 이는 GMA 용접 전류와 비례하므로, 어떤 공정변수가 측정된 GMA 용접 전류에 대하여 큰 영향을 미치는지 확인하기 위해서 분산분석을 수행하였다. GMA 용접 전류에 대하여 통계적으로 유의한 인자는 Table 8 과 같이 와이어 송급속도가 가장 큰 영향력을 주는 인자로 나왔지만, 그 다음으로 플라즈마 용접 전류가 큰 영향력을 갖고 있음을 알 수 있다. Fig. 11 에서처럼 와이어 송급속도가 GMA 용접 전류를 증가 시키지만, 플라즈마 용접 전류는 반대로 GMA 용접 전류를 감소시키는 영향을 갖고 있는 것을 확인 하였다. Ton등은<sup>10)</sup> GMA 아크 주위에 플라즈마 아크가 있기 때문에 GMA의 용접 전류를 감소시키는 이유를 설명하였다. 플라즈마 용접 전류가 증가 할수록, GMA 용접 전류가 감소하는 경향을 보이며, 그 결과 완전 용입을 얻지 못하거나, 또는 높은 아크 압력에 의해 비드표면에 험핑이 발생되어 인장강도가 감소된 것으로 사료된다.

**Table 8** ANOVA for measured GMA welding current about welding process parameters

Factor	DF	SS	MS	F <sub>0</sub>	F(0.1)	F(0.05)
PWC	2	2382.66	1191.33	16.63*	2.62	3.55
GWV	2	590.82	295.41	4.12*	2.62	3.55
WFR	2	2950.81	1475.41	20.59*	2.62	3.55
WS	2	1047.71	523.86	7.31*	2.62	3.55
Error	18	1289.77	71.65			
Total	26	8261.77				

**Fig. 11** Main effects plot for measured GMA welding current(Data means)

## 5. 결 론

본 논문에서는 AL5083 합금에 대하여 Plasma-GMA 하이브리드 용접을 분산분석을 통해 비드형상과 인장강도에 대하여 주요공정변수의 특성을 관찰하였다. 요약된 결론은 다음과 같다.

1) 분산분석을 이용한 용접 단면부 대하여 주요공정변수의 통계적 유의성을 유의수준 95%에 대하여 확인한 결과, GMA 용접 전압은 비드 폭( $F_0$ :7.77)과 비드 높이( $F_0$ :5.56), 와이어 송급속도는 용입 깊이( $F_0$ :21.03), 이면비드의 폭( $F_0$ :17.52), 비드 높이( $F_0$ :5.02) 그리고 용접속도는 비드 폭( $F_0$ :9.26), 용입 깊이( $F_0$ :10.24), 이면비드의 폭( $F_0$ :8.92)에 대하여 영향력을 갖고 있는 것을 확인 하였다.

2) 분산분석을 이용한 인장강도에 대한 통계적 유의성은  $F_0$ 가 6.36으로 플라즈마 용접 전류가 가장 큰 영향력을 갖고 있는 것을 확인 하였다. 이는  $F_0$ 가 16.63의 유의성으로 플라즈마 용접 전류가 GMA 용접 전류를 감소시키는 반비례적인 경향을 갖고 있기 때문이다.

## Reference

- B.Y. Kang and J.H. Jo : Consideration for Structure and Fabrication Procedure of Aluminum Boat, Journal of KWJS, **22-3** (2004), 39-44 (in Korean)
- G. Mathers : The Welding of Aluminum and Its Alloys, Woodhead Publishing Ltd., 2002
- S.J. Kim, S.K. Jang and M.S. Han : Evaluation of Mechanical Characteristic of Al Alloy for Ship's Welded with Various Welding Techniques, Journal of the KSME & Safety, **13-3** (2007), 223-228 (in Korean)
- S.K. Jang and J.S. Park : Mechanical Characteristics and Macro-and micro-structures on Friction Stir Welded Joints with 5083O Al Alloys, Journal of the KSME, **33-1** (2009), 104-111 (in Korean)
- Y.W. Park : A Study of the Process Variables Optimization Methodology and Intelligent Quality Estimation for the Manufacturing Automation in Laser Material Processing, Ph. D. Dissertation Hanyang University, 2006 (in Korean)
- D.C. Montgomery : Design and Analysis of Experiments (7th Edition), John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- ANSI, AWS D1.2 : Structural Welding Code-Aluminum (3th Edition), 1997
- Welding & Joining Handbook, KWJS. 2008, 317-320 (in Korean)
- A.A. Resende, V.A. Ferraresi, A. Scotti and J.C. Dutra : Influence of Welding Current in Plasma- MIG Weld Process on the Bead Weld Geometry and Wire Fusion Rate, Welding International, **25-12** (2011), 910-916
- H. Ton : Physical Properties of the Plasma - MIG Welding Arc, Appl Phys., **8-4** (1975), 922 - 933



- 정진수
- 1985년생
- 국립부경대학교 대학원생(석사과정)
- 용접공정, 용접자동화, 용접모니터링
- e-mail : j2s.pknu@gmail.com



- 이회근
- 1975년생
- 대우조선해양 용접기술연구그룹
- 용접 야금, 용접 공정, 용접 시공
- e-mail : zetlee@dsme.co.kr



- 이종중
- 1986년생
- 국립부경대학교 대학원생(석사과정)
- 용접공정, 용접자동화, 용접모니터링
- e-mail : roql0629@naver.com



- 박영환
- 1972년생
- 국립부경대학교 기계공학과
- 용접공정 및 모니터링, 레이저 용접
- e-mail : parkyw@pknu.ac.kr