

# 철도차량 하부구조의 적정 용접조건에 관한 연구

정상호\*, 김해지\*\*,#

\*경상국립대학교 자동차공학과 대학원, \*\*경상국립대학교 자동차공학과

## Study on Optimal Welding Conditions for Underframe of Railway Vehicles

Sang-Ho Jung\*, Hae-Ji Kim\*\*,#

\*School of Automotive Engineering, Gyeongsang National University,

\*\*Department of Automotive Engineering, Gyeongsang National University

(Received 02 December 2020; received in revised form 06 January 2021; accepted 21 January 2021)

### ABSTRACT

In this study, MIG welding was performed on extruded 6005A-T6 material, which is used in the base panel of railway vehicles. The material was considered as the experimental base material, and argon shielding gas and ER5356 and ER4043 filler metals were used as the consumable welding materials. Welding coupons were prepared under various welding conditions by using an auto-welding system that various welding conditions applied 2.5Hz and 4.5Hz the pulse frequency of SynchroPuls function of welding machine and 1.0mm and 1.5mm of root face affect the weld penetration of welding joint. The welding current and voltage were also varied for this testing. On the basis of the results obtained, optimum welding conditions are proposed.

Key Words : Railway Vehicle(철도차량), Aluminium Welding(알루미늄 용접), Welding Condition(용접 조건)

### 1. 서 론

국내·외에서 운행되고 있는 철도차량 전동차의 차체에 주로 사용되는 오스테나이트계 스테인레스강(SUS301L, SUS304 등)은 비중이 약 7.9인데 비해, 알루미늄 합금은 약 2.7로 비중이 약 66%가 낮다. 비중을 고려한 측면에서 보면, 철도차량의 운영에 사용되는 전기에너지 절감을 고려한 차체의 경량화 측면에서 매우 유리하기 때문에 고속철도차량, 경전철, 승객 수송용 철도차량 등에 널리 사용되어지고 있다.

철도차량의 차체는 크게 하부구조(Under frame), 측면구조(Side frame), 옥상구조(Roof frame), 전두부구조(Cab frame), 단부구조(End frame)로 구성되어 있으며, 각 구조물을 소조립품(Sub-assembly)으로 제작한 후 완성 차체인 대조립품(Completed carbody assembly)으로 조립하게 된다. 알루미늄 합금 재료의 차체 조립 시 MIG용접(Metal Inert Gas Welding)이나 TIG용접(Tungsten Inert Gas Welding) 공법을 주로 적용하고 있는데, 용접 생산성을 고려했을 때 용접 속도가 TIG용접 대비 약 3-4배 이상 빠른 MIG용접을 주로 사용하고 있다. 철도차량 차체는 약 20m 전·후 길이의 대형 구조물로 해당 하부구조의 Base Panel 소조립품을 용접 조립할 경우 차체 전체 길이의 상·하부 약 8개 용접

# Corresponding Author : khji@gnu.ac.kr

Tel: +82-55-772-3647, Fax: +82-55-772-3649

이음부에 용접이 수행되어야 한다. 이러한 이유 때문에 일관성 있는 품질의 대량 용접 생산을 위해 용접 자동화 시스템을 적용하고 있다. 이 시스템은 용접 생산을 위해 미리 설정된 용접 공법, 용가제, 용접 전류 전압 조건, 용접 속도, 보호가스 등의 용접 공정 필수 변수(Essential variable)에 의해 용접을 수행하게 된다. 용접 품질 또한 이 변수에 의해 결정되며, 용접 변수의 설정이 적절하지 않아 용접 결함이 발생할 경우 용접 조립된 제품을 사용하지 못하는 상황이 생길 수도 있다.

현재 알루미늄 합금의 용접 시공 기술에 대한 연구 결과나 자료는 많이 발표되어 있으나, 실제 현장의 제품 용접은 설계적 제품 특성이나 용접 장비 및 용접 변수 등의 용접 제조 환경에 따라 제품의 품질 기준을 만족시킬 수 있는 특성화된 데이터가 필요하다. 또한 제품의 효율적인 용접 품질 관리 측면에서 MIG용접 공법을 부분적으로 대체할 수 있는 신기술 용접 공법으로, 용접 변형이 비교적 적고 보호가스를 사용하지 않으며 여러 가지 MIG용접 결함의 발생 문제를 개선할 수 있는 마찰교반용접(FSW, Friction Stir Welding) 자동화 시스템에 대한 철도차량 제품의 적용성도 검토되고 있다. 그러나 장비 시스템에 대한 초기 투자 비용이 MIG용접 생산 시스템과 비교하여 약 10배 이상으로 높고, 용접 이음 구조에 신규 설계를 적용해야 하며 선점된 특허와 관련된 공구의 선행 개발 필요성으로 인해 국내 철도차량 차체 생산에는 적용하지 않고 있다.<sup>[1-6]</sup>

본 논문 연구에서는 알루미늄 철도차량 차체 하부구조의 품질 기준을 만족하는 안정적인 자동화 용접 생산을 위해 MIG용접 공정 필수 변수에 대한 최적화된 적절한 용접 조건을 검토하고 검증하기 위한 실험 변수를 선정하였다. 이에 따라 제작된 다양한 조건의 용접 시편으로 용접 비드 외관 및 매크로 단면 분석을 실시하여 기계적 특성 시험을 수행할 수 있는 적합한 용접 조건을 분류하는데 목적이 있다.

## 2. 실험 내용 및 방법

### 2.1 실험 대상 및 재료

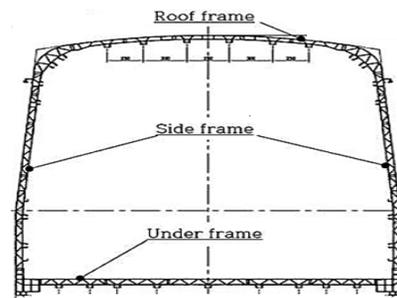
실험 대상은 철도차량 하부구조의 Base panel 소조립품에 사용되는 6005A-T6 알루미늄 프로파일 압출재이다. 이 소재는 대형 압출성이 우수하고, 525℃ 부근에서

**Table 1 Chemical composition of 6005A-T6 Aluminium profile raw material(Al: remainder)**

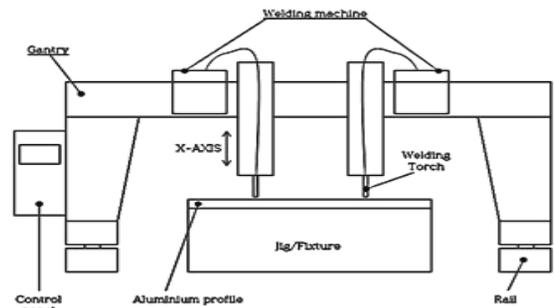
Sec.	Chemical composition(wt,%)							
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
Spec.	0.5~0.9	Max. 0.35	Max. 0.3	Max. 0.5	0.4~0.7	Max. 0.3	Max. 0.2	Max. 0.1
Act.	0.612	0.134	0.016	0.125	0.511	0.071	0.035	0.021

**Table 2 Acceptance criteria of tensile testing and hardness testing for unwelded 6005A-T6 Alloy**

Sec.	T/S (N/mm <sup>2</sup> )	Y/S (N/mm <sup>2</sup> )	E/L (%)	Hardness (HV)
Spec.	Min. 255	Min. 215	Min. 6	Min. 98
Act.	272~275	238~242	7.4~9	107~109



**Fig. 1 Cross-section view of aluminium railway vehicles**



**Fig. 2 Configuration of auto MIG welding system**

고용화 처리 후 170℃ 부근에서 3~15시간 인공시효한 소재이다.

Table 1과 Table 2에서는 6005A-T6 합금의 성분과 기계적 성질에 대한 합격 기준 및 실제 원소재의 시험 결과 값을 나타내었다. Fig. 1에서는 알루미늄 합금 재질의 철도차량 차체 폭방향 단면도를 나타내고 있다.

## 2.2 실험 장치의 구성

Fig. 2에서는 자동 용접 시스템의 구성을 나타내었다.

지그(Jig/Fixture)는 좌, 우 레일의 중앙에 길이 방향으로 위치하여 프로파일 압출재를 클램프에 의해 고정시키고, 시스템의 구동 제어를 하는 콘트롤 판넬(Control panel)과 용접기를 탑재하고 이송하며 용접을 수행하는 갠트리(Gantry)로 구성되어 있다,

알루미늄 프로파일 압출재를 용접하기 위한 용접기는 Fronius社의 TPS 5000 MV로 마이크로 프로세서에 의해 제어되는 디지털 인버터 용접기 500A급을 적용하였다.

## 2.3 실험 변수 선정

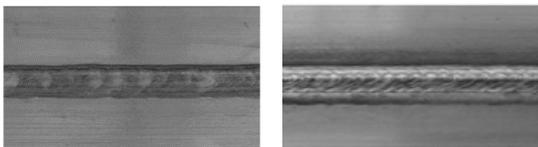
용접 시편 제작을 위한 주요 변수로 다음의 4가지 항목을 선정하여 각 변수에 따라 용접기의 출력 기준으로 전류, 전압의 평균값을 변경하여 실험을 위한 시편을 제작하였다.

첫째, 용가재는 AWS D1.2/D1.2M(Structural Welding Code-Aluminum) 규격에서 추천하는 ER4043, ER5356의 2가지 사양을 적용하였다.

둘째, 용접기의 SynchroPuls 기능의 Pulse 주파수를 2.5Hz, 4.5Hz의 2가지로 적용하였다. SynchroPuls 기능은 MIG용접 시 용접기의 Pulse 주파수를 0.5-5Hz 범위에서 선택하여 용입 깊이와 비드의 형상에 변화를 줄 수 있는데 주파수가 높을수록 용입 깊이가 깊다.

Fig. 3에서는 일반 MIG용접과 SynchroPuls 기능을 적용한 MIG용접 비드의 외관을 비교해 보았고, 후자의 경우가 용접 비드 외관이 더 미려한 것을 알 수 있다. 펄스 전류 MIG 용접법은 경량화를 위한 박판 재료 용접에 적용하여 모재의 열변형을 최소화하고 고온 균열의 발생을 방지할 수 있는 것으로 알려져 있다.

셋째, 용접 이음부의 루트 페이스(R/F, Root Face)를 1.0mm, 1.5mm의 2가지로 적용하여 용접 조건에 따른 용입의 차이를 검토하였다.



(a) General MIG (b) SynchroPuls MIG

Fig. 3 Welding bead shape comparison of two type

Table 3 Welding test coupon item

	Section	ER5356				ER4043			
		2.5Hz		4.5Hz		4.5Hz		2.5Hz	
		1.5	1.0	1.5	1.0	1.5	1.0	1.5	1.0
Lower	150A,20V		●		●		●		●
	160A,20.5V		●		●	●	●	●	●
	170A,21V	●	●	●	●	●	●	●	●
	180A,21.5V	●	●	●	●	●	●	●	●
	190A,22V	●	●	●	●	●		●	
	200A,22.5V	●		●		●		●	
	210A,23V	●		●					
Upper	165A,20.5V						●		●
	175A,21V		●		●	●	●	●	●
	185A,21.5V	●	●	●	●	●	●	●	●
	195A,22V	●	●	●	●	●	●	●	●
	205A,22.5V	●	●	●	●	●	●	●	●
	215A,23V	●	●	●	●	●		●	
	225A,24V	●		●					

Stiffener of aluminium profile

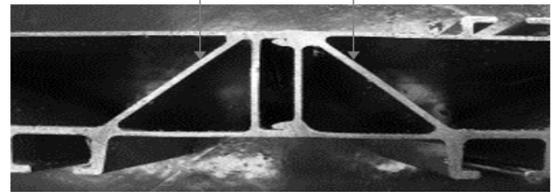


Fig. 4 Stiffener of under frame aluminium profile

넷째, 알루미늄 프로파일 압출재의 상부와 하부의 용접 조건을 각각 검토하였다. Fig. 4와 같이 압출재의 상부에는 용접 이음부 부근에서부터 사선으로 하부까지 연결된 보강재가 좌우에 위치하고 있어 하부 이음부와 비교하여 상부 이음부를 용접할 경우에는 용융을 위한 입열량이 더 필요하다고 판단하였다.

상기의 4가지 주요 변수에 대한 용접 시편 제작 항목을 “●”로 표현하여 Table 3에 나타내었다.

## 2.4 용접 시편 제작

Table 4는 용접 공정 고정 변수를 나타내었다. 고정 변수에서 CTWD(Contact tip to work distance)는 디지털 용접기가 용접 수행 시 아크 길이의 조정이 양호하여, 용접성이 안정적으로 유지된다고 판단한 16mm로 하였다. 용접용 보호가스는 헬륨 가스 대비 10-20% 수준의 가격으로 경제성과 수급(Supply and demand)이 좋고 모재 두께와 관계없이 용접성이 좋아 용접 품질이 용이

한 아르곤(Ar) 가스를 선정하였다. 용접 시 보호가스의 유량과 용접 속도는 기초 실험에 의해 선정되었다.

Fig. 5와 Table 5에서는 용접 이음부의 상세 형상과 치수를 나타내었다. Fig. 6에서는 용접을 완료한 시편의 외관을 나타내었다.

### 2.5 용접부 평가 방법

용접 구조용 Base Panel 알루미늄 압출재의 각 부품은 크기가 폭이 550mm 내·외이고, 길이가 20,000mm 내·외로 5개의 부품을 전체 조립하기 위해 가조립을 실시하면 개별 압출재의 부품 공차에 의해 용접 이음부의 루트 간격(Root Gap)이 발생할 수 밖에 없다.

용접 시편은 이를 고려하여 0-0.2mm의 루트 간격을 기준으로 가조립을 하였으며, 용접 입열량이 다소 부족한 용접 조건의 경우에는 루트 간격에 따라 용입량에 영향을 주어 상부 비드의 외관 형상도 변화하게 된다. 경우에 따라서 용입이 되지 않아 상부 비드가 불록하게 되거나, 용입이 과도하여 이면 비드는 많이 형성된 반면에 상부 비드는 편편하거나 부족한 현상이 생기게 된다. 또한 이런 현상이 혼재되어 발생하는 경우도 있는데 이것을 상부 용접 비드나 이면 비드의 형상으로 가늠할 수 있다. 다만 본 실험에 적용되는 용접 이음은 이면 백킹(Backing) 구조로 육안으로 이면을 확인할 수 없고, 용접 매크로 분석은 용접부에서 국부적으로만 이음부 단면의 용입성을 확인할 수 있으므로 상부 비드의 형상과 함께 전체 용접 품질을 판단해야 한다. 따라서, 용접 외관 검사와 매크로 분석 결과를 연계하여 검토하고 기계적 특성 시험을 위한 용접 조건을 분류하였다. 그리고 Fig. 5의 “S” 두께 이상으로 용입이 되었을 경우 설계의 강도 기준은 만족한 것으로 판단하였다.

Table 4 Fixed welding variable for welding coupons

Section		Fixed variable
Welding method	Process	MIG(Pulse)
	Type	Auto welding
	CTWD	16 mm
Parent material specification		6005A-T6
Polarity		DCRP
Welding position		PA
Filler metal	Diameter	∅ 1.2 mm
	Type	Ar 99.99%
Shielding gas	Flow late	25 l/min
	Welding speed	

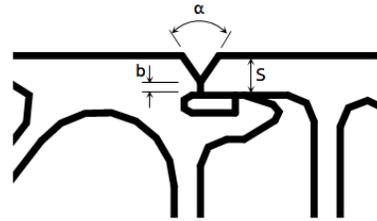


Fig. 5 Shape of welding joint

Table 5 Dimensions of welding joint

Section	$\alpha$	b	S	Root gap
Welding joint	70° (35°×2)	1mm or 1.5mm	4.5mm	0 ~ 0.2mm

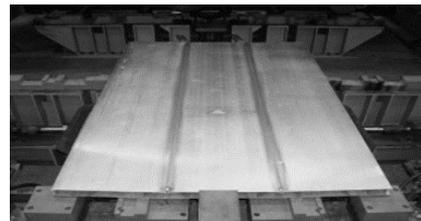


Fig. 6 Welded coupon for mechanical property testing

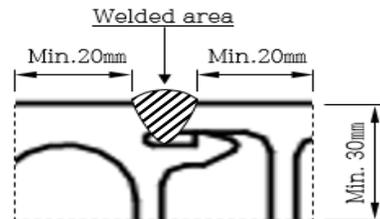


Fig. 7 Specimen for Macro testing of aluminium profile

## 3. 실험 결과 및 적정 용접 조건

### 3.1 용접 비드 외관 및 매크로 분석

용접 외관 검사는 KS B ISO 10042(알루미늄 및 그 합금의 아크 용접이음-불완전부의 품질등급지침) 규격에 따라 용접부에 균열, 기공 등의 결함이나 용접 시공이 설계 기준을 만족하고 품질 기준에 적합한지를 확인하였다.

매크로 분석 시험은 용접 시편의 전, 후위 각 200mm

범위를 폭방향으로 절단하여 육안으로 비교 관찰한 결과, 예열 현상에 의한 용입 깊이 차이는 미미하여 후위 용접부에서 상·하부의 단면 시편을 Fig. 7과 같이 제작하였다. 그리고 샌드 페이퍼(#220~#1,200)를 사용하여 폴리싱(Polishing) 한 후, 알루미늄 부식액(증류수 +0.5%HF)으로 에칭(Etching)하여 금속광학현미경으로 저배율(x1.5) 단면조직을 촬영하였다.

Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11은 선정된 주요 용접 변수에 따라 항목 별로 제작된 용접 시편 총 78종의 매크로 분석 결과이다. 생산에 부적합한 용접 조건은 “×”, 품질 기준은 만족하나 생산에 적용은 어렵다고 판단한 용접 조건은 미흡의 의미로 “△”, 비드 외관과 용접 단면의 용입이 양호하여 생산에 적합한 용접 조건은 적합한 의미로 “○”로 표현하였다.

부적합 용접 조건(×)과 미흡한 용접 조건(△)에 대해 각 항목에 따라 “① ~ ⑦”로 구분 표기하여 Table 6에 나타내었고, 구분한 기준을 아래에 설명하였다.

1) 용접 입열량이 부족하여 이음의 루트부가 완전히 용융되지 못하는 용입 부적합이 발생하였고, 완전 용입의 설계 기준을 만족하지 못하여 부적합 용접 조건으로 분류된 조건은 총 20종으로 결과가 나타났다. : ①

2) 품질 기준은 만족하나 이면 비드가 작아 생산 중 공정 변수에 의해 불완전 용입이 발생할 수 있으므로 미흡(△)으로 분류된 조건은 총 2종으로 나타났다. : ②

3) 품질 기준은 만족하나 상부 비드가 작아 생산 중 공정 변수에 의해 불완전 충전 결함이 발생할 수 있으므로 미흡(△)으로 분류된 조건은 총 16종으로 나타났다. : ③

4) 상부 비드가 편편하고 부족한 불완전 충전 결함이 있어 부적합(×)으로 분류된 조건은 총 2종으로 나타났다. : ④

5) 상부 비드가 편편하고 과용융이 되어 생산 중 공정 변수에 의해 불완전 충전 결함이 발생할 수 있으므로 부적합(×)으로 분류된 조건은 총 6종으로 나타났다. : ⑤

6) 품질 기준은 만족하나 상부 비드가 작고 편편하여 생산 중 공정 변수에 의해 불완전 충전 결함이 발생할 수 있으므로 미흡(△)으로 분류된 조건은 총 4종으로 나타났다. : ⑥

7) 상부 비드의 불완전 충전이 생겨 부적합(×)으로 분류된 조건은 총 5종으로 나타났다. : ⑦

상기 항목 외 용접 비드와 용입 품질이 양호하여 생산에 적합한 용접 조건은 “○”으로 나타내었다.

Lower	170A,21 V	180A,21, 5V	190A,22 V	200A,22, 5V	210A,23 V
2.5Hz					
Result	×	×	○	○	○
4.5Hz					
Result	△	○	○	○	○

(a) Root face 1.5mm, 170A~210A, 2.5Hz and 4.5Hz

Lower	150A,20 V	160A,20, 5V	170A,21 V	180A,21, 5V	190A,22 V
2.5Hz					
Result	×	×	×	×	△
4.5Hz					
Result	×	○	○	×	×

(b) Root face 1.0mm, 150A~190A, 2.5Hz and 4.5Hz

Fig. 8 Macro section of lower welding by ER5356

Upper	185A,21, 5V	195A,22 V	205A,22, 5V	215A,23 V	225A,24 V
2.5Hz					
Result	×	○	○	○	○
4.5Hz					
Result	○	○	○	○	△

(a) Root face 1.5mm, 185A~225A, 2.5Hz and 4.5Hz

Upper	175A, 21V	185A, 21.5V	195A, 22V	205A, 22.5V	215A, 23V
2.5Hz					
Result	×	△	○	○	○
4.5Hz					
Result	○	○	○	×	×

(b) Root face 1.0mm, 175A~215A, 2.5Hz and 4.5Hz

Fig. 9 Macro section of upper welding by ER5356

Lower	160A, 20.5V	170A, 21V	180A, 21.5V	190A, 22V	200A, 22.5V
2.5Hz					
Result	×	×	△	△	△
4.5Hz					
Result	△	△	△	×	×

(a) Root face 1.5mm, 160A~200A, 2.5Hz and 4.5Hz

Lower	150A, 20V	160A, 20.5V	170A, 21V	180A, 21.5V
2.5Hz				
Result	△	△	△	×
4.5Hz				
Result	×	△	×	×

(b) Root face 1.0mm, 150A~180A, 2.5Hz and 4.5Hz

**Fig. 10 Macro section of lower welding by ER4043**

Upper	175A, 21V	185A, 21.5V	195A, 22V	205A, 22.5V	215A, 22.5V
2.5Hz					
Result	×	×	△	△	△
4.5Hz					
Result	△	△	△	△	×

(a) Root face 1.5mm, 175A~215A, 2.5Hz and 4.5Hz

Upper	165A, 20.5V	175A, 21V	185A, 21.5V	195A, 22V	205A, 22.5V
2.5Hz					
Result	×	×	×	×	×
4.5Hz					
Result	×	×	×	×	△

(b) Root face 1.0mm, 165A~205A, 2.5Hz and 4.5Hz

**Fig. 11 Macro section of upper welding by ER4043**

**Table 6 Result of Macro&Appearance of welded coupon**

Section	ER5356				ER4043				
	Sync. Hz	2.5Hz		4.5Hz		4.5Hz		2.5Hz	
	R/F(mm)	1.5	1.0	1.5	1.0	1.5	1.0	1.5	1.0
Lower	150A,20V		①		①		⑦		③
	160A,20.5V		①		○	⑥	③	①	③
	170A,21V	①	①	②	○	⑥	⑦	①	③
	180A,21.5V	①	①	○	④	③	⑦	⑥	⑦
	190A,22V		○	③	○	④			⑥
	200A,22.5V		○		○		⑤		③
	210A,23V		○		○				
Upper	165A,20.5V						①		①
	175A,21V		①		○	③	①	①	①
	185A,21.5V	①	②	○	○	③	①	①	①
	195A,22V	○	○	○	○	③	①	③	⑤
	205A,22.5V	○	○	○	⑤	③	③	③	⑤
	215A,23V	○	○	○	⑤	⑦		③	
	225A,24V	○		③					

**Table 7 Classification of three different welding quality**

Section	ER5356				ER4043				
	Sync. Hz	2.5Hz		4.5Hz		4.5Hz		2.5Hz	
	R/F(mm)	1.5	1.0	1.5	1.0	1.5	1.0	1.5	1.0
Lower	150A,20V		×		×		×		△
	160A,20.5V		×		○	△	△	×	△
	170A,21V	×	×	△	○	△	×	×	△
	180A,21.5V	×	×	○	×	△	×	△	×
	190A,22V	○	△	○	×	×			△
	200A,22.5V	○		○		×			△
	210A,23V	○		○					
Upper	165A,20.5V						×		×
	175A,21V		×		○	△	×	×	×
	185A,21.5V	×	△	○	○	△	×	×	×
	195A,22V	○	○	○	○	△	×	△	×
	205A,22.5V	○	○	○	×	△	△	△	×
	215A,23V	○	○	○	×	×			△
	225A,24V	○		△					

**Table 8 Quantity of three different welding quality**

Section	○	△	×
ER5356	23	4	13
ER4043	0	18	20

### 3.2 용접 조건 분류

용접 시편 총 78종의 용접 비드 외관 및 매크로 분석을 통해 품질을 기준으로 생산 적용성 측면에서 아래의 3가지 종류로 분류하였다.

- 1) 생산에 부적합한 용접 조건(×) : 총 33종
- 2) 품질 기준은 만족하나 생산에 적용이 어려운 미흡한 용접 조건(△) : 총 22종

- 3) 생산에 적합한 용접 조건(○) : 총 23종

Table 7은 상기와 같이 분류된 3가지 항목의 용접 조건을 하나의 표로 구분하여 나타내었다.

Table 8은 2가지의 용가재를 기준으로 세 가지 품질 기준에 대한 용접 조건 수량을 나타내었다.

ER5356 용가재를 사용한 용접 조건에서 총 23종의 조건이 양호한 것으로 분류되었고, ER4043의 경우는 양호한 조건이 없었다. 미흡한 조건은 ER5356이 총 4종이고 ER4043이 총 18종으로 확인되었다. 따라서 ER4043 용가재와 비교하여 용접 비드의 외관과 용접 단면의 품질이 양호한 조건이 많은 ER5356 용가재가 생산에 적합하다고 판단하였다.

ER4043 용가재를 사용한 용접 조건들은 용입 부적합이 발생하거나, 용접 이음부의 루트부까지 용융되어 완전 용입의 품질 기준은 만족하나 이면 비드가 작고 상부 비드가 편편하거나 불완전 충전(Under fill)이 생겨 강건한 용접 조건으로는 미흡하기에 생산에 적용은 어렵다고 판단하였다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 철도차량 차체 하부구조에 구성되어 있는 6005A-T6 Base Panel 소조립품의 품질 기준을 만족하는 안정적인 자동화 용접 생산을 위해, 용접 공정의 주요 변수가 용접 비드 형상과 용입성 등의 품질에 미치는 영향에 관하여 체계적인 실험을 실시하였다. 주요 변수로 MIG용접에 적용할 용가재, 용접기의 SynchroPuls 기능의 Pulse 주파수(변동폭) 입력값 및 용접 이음부의 루트 페이스, 용접 전류, 전압 조건 등이 고려하여 최적의 용접 조건을 도출하고자 하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1. 총 78종의 용접 실험 조건에서 생산에 적합한 용접 조건이 총 23종, 품질 기준은 만족하나 생산에 적용이 어려운 미흡한 용접 조건이 총 22종으로 검토되었고 그 외 33종은 부적합한 조건으로 나타났다.
- 2. ER5356 용가재를 적용한 용접 조건에서 용접 비드의 외관과 용접 단면의 품질이 양호한 조건이 23종, 미흡한 조건이 4종으로 확인되어 ER4043 용가재의 조건

보다 생산에 적용성이 좋은 것으로 나타났다.

- 3. ER4043 용가재를 사용한 용접 조건에서 부적합한 조건이 20종이고, 생산에 적용이 미흡한 조건이 18종으로 확인되었다. ER4043 와이어는 주 합금원소인 Al에 약 5% 내외의 Si가 포함되어 있어, Mg이 약 5%로 구성된 ER5356에 비하여 연성이 높고, 용융물의 유동성이 좋아서 이면 비드는 과한 반면에 상부 비드의 형성은 미흡하여 생산에 적용이 가능한 양호한 조건은 없었다.
- 4. SynchroPuls 기능의 Pulse 주파수 변수는 4.5Hz의 조건이 2.5Hz 보다 10A-20A를 더 낮게 사용해도 용입 품질을 만족할 수 있는 효율적인 조건으로 확인되었다.

#### REFERENCES

- 1. Joo, Y. H., Park, Y.C., Lee, Y.M. and Kim, K.H., "The Weldability of a Thin Friction Stir Welded Plate of Al5052-H32 using High Frequency Spindle," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 1, pp. 90-95, 2017.
- 2. Park, K. D., Lee, H. J., Lee, D. Y. and Kang, D. M., "Dissimilar Friction Stir Welding Characteristics of Mg Alloys(AZ31 and AZ61)," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 5, pp. 99-104, 2017.
- 3. Lee, D. Y., Park, K. D. and Kang, D. M., "A Study on the Finite Element Analysis in Friction Stir Welding of Al Alloy," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14 No. 5, pp. 81-87, 2015.
- 4. Won, S. T. and Kim, W. K., "Optimum Design of the Friction Stir Welding Process on A6005 Extruded Alloy for Railway Vehicles to Improve Mechanical Properties," Journal of Welding and Joining, Vol. 27 pp. 81-87, 2009.
- 5. Kim, Y., Park, K. Y. and Lee, K. D., "Evaluation of Formability Depend on Aluminum Filler Wire to Make Lightweight Vehicle for MIG Welding Process", Journal of Welding and Joining, Vol. 29, pp. 30-34, 2011.
- 6. Douglas S. and Baesoo J., "Shielding Gases for Welding Aluminum," Journal of Welding and Joining Vol. 31, pp. 38-42, 2013.