

## MIG용접을 이용한 A16061의 최적용접조건의 선정

### Optimal Selection of the Welding Parameter for Base material of A16061 by Using MIG Welding Method

최용기(한백직업훈련원), 정운교(창원대학교)

#### Abstract

Aluminum alloy has not only physical characteristic of very high activated, high thermal conductivity and high thermal coefficient expansion but also special characteristic of great difference fusibility of hydrogen between liquid and solid phase. Because of these reasons, Aluminum welding is very different. Therefore, only MIG welding method should be applied instead of other welding methods.

In this study, in order to select optimal welding conditions, It has been to investigate the effectiveness on the welding current, welding speed, flow rate of gas and welding voltage to occurrence of spatters, external shape of bead, state of penetration and width and hight of bead by using filler metal of Al5356(dia. 1.2mm) on the base material of A16061.

#### 1. 서론

알루미늄합금은 극히 활성이 높고, 열전도율이 나 열팽창계수가 매우 큰 물리적 특성을 가지며, 액상과 고상간의 수소 용해도 차이가 매우 크다는 점등 특이한 성질을 가지고 있기 때문에 용접에 있어서 기포나 미세한 용합불량이 발생하기 쉽고, 또 용접변형의 제어에도 세심한 배려를 요하는 등 용접시에 많은 점을 고려하여야 한다. 또한 알루미늄합금의 용접은 일반 철금속재료에

비하여, 접합가공에 요하는 단가가 높고, 아직도 접합공정상에서 개선되어야 할 점도 많이 가지고 있다. 또한 알루미늄합금이 가지고 있는 높은 강도 및 우수한 물리적·화학적 특성과 현재 세계적인 자원고갈 현상 및 환경공해에 따른 자원의 재활용 가능성 등이 요인이 되어 알루미늄합금의 접합 방법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.<sup>(1-6)</sup>

고강도 알루미늄합금의 용접은 Inert gas arc 용접법으로 MIG용접법, TIG용접법이 가장 일반화되어 있으며, 알루미늄합금의 MIG용접시 발생하는 용접불량은 기포발생<sup>(7)</sup>, 균열<sup>(8-9)</sup>, 불완전 용입, Spatter의 발생, Cold lap 등이 있으며, 이들 용접불량은 합금원소의 종류와 용접환경, 용접조건에 따라 많은 영향을 받게 된다.

따라서 본 연구에서는 A16061 T6 t9.5 재료에 용가재(filler metal) Al5356  $\phi$ 1.2를 사용하여 용접전압(V), 용접전류(A), 가스유량(l/min), 용접속도(cm/min)를 각각 변화시켜 용접하여, 각 용접조건이 기포발생, Spatter의 발생, Bead의 형태, 용입상태 및 Bead의 폭과 높이에 미치는 영향을 조사하여 최적의 용접조건을 검토해 보고자 하는데 그 목적이 있다.

#### 2. 실험장치 및 실험방법

본 실험에서는 WAC-350A인 MIG용접기를 사용하고 용접속도를 제어하기 위해서 SH-20M 주행대차를 제작하여 토치를 부착시켰다. Bead폭과 Bead높이는 디지털 버니어캘리퍼스를 사용하여 1/100mm까지 측정하였으며, 모든 검사는 육안검

사에 의해 관찰하였다. 실험에 사용된 모재는 Al6061 T6 t9.5mm, 용접길이 130mm이고, 용접 와이어(filler metal)는 Al5356  $\phi$ 1.2를 사용하였다. 실험조건은 용접전류, 용접전압, 가스유량, 용접속도를 제어하면서 모재에 용접하여 기포의 발생, Spatter의 발생, Bead형태, 용입상태, Bead폭, Bead높이를 검사하고 측정하여 수치를 기록하였다. Table 1은 실험조건을, Fig. 1은 본 실험장치의 개략도를, Fig. 2는 용접부의 형상을 나타내고 있다.

Table 1 Experimental conditions

Item	Conditions
Welding current(A)	140, 150, 160, 170, 180
Voltage(V)	20, 25
Flow rate(l/min)	10, 15, 20, 25
Welding speed(cm/min)	10, 30, 50, 70

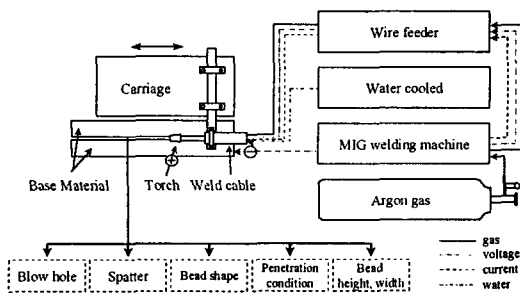


Fig. 1 Experimental setup

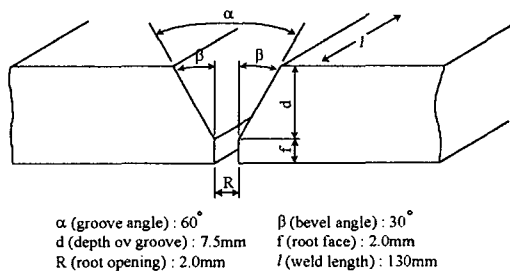


Fig. 2 The name of each part of the V-groove

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3-1 용접조건이 기포 발생에 미치는 영향

본 절은 용접조건을 변화시켜 용착부에 기포가

발생하는 영향을 검토한다. 기포발생의 검사는 육안에 의한 표면검사와 X-Ray등을 이용한 내부검사가 있는데, 본 실험에서는 육안에 의한 표면검사만 실시하였다.

Fig. 3은 용접전압 20V에서 용접전류, 용접속도, 가스유량 등의 용접조건을 변화시키면서 용접하여 기포의 발생상태를 관찰하여 그 결과를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이, 본 연구의 실험 범위에서 용접전압, 용접전류, 가스유량, 용접속도와 무관하게 기포는 발생하지 않았다. 이러한 결과는 용접전압 25V에서도 같은 결과를 나타내었다.

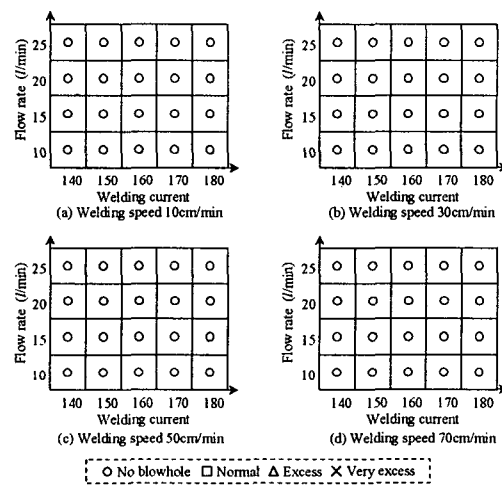


Fig. 3 Occurring state of the blowhole under various conditions (voltage 20V)

#### 3-2 용접조건이 Spatter에 미치는 영향

Spatter는 용접중 용착 금속 주위로 비산하는 극히 일부의 용융물질의 미립자를 말하며 아크열에 의하여 용접부 끝에서 비산하는 것과 단락시의 Pinch효과에 의한 것 등이 있으며, 주로 용접 아크 안정성과 관련이 있다. Spatter는 토치의 노즐 및 모재에 축적되어 모재표면의 미관뿐만 아니라 용접부 표면산화시, Spatter가 제일 먼저 산화되므로 이를 제거하기 위한 공정이 부가적으로 필요하며, 계속되는 다른 공정에도 지장을 주어 시간과 비용 면에서 효율을 저하시키는 요인으로 작용한다.

Fig. 4와 Fig. 5는 각각 용접전압 20V와 25V인

경우 용접조건이 Spatter의 발생에 미치는 영향을 나타낸 그림으로, ○는 단위면적당 Spatter의 발생 비율이 0~10% 정도일 때, □는 11 ~ 20%, △는 21 ~ 30%, ×는 30%이상일 때를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있는바와 같이, 어느 경우에 있어서도 가스유량이 25l/min 일 때 Spatter가 가장 적게 발생하였으며, 가스유량이 적어질수록 Spatter의 발생은 현저하게 증가하였다. 용접속도에 관해서는 10cm/min에서 Spatter의 발생이 가장 적었으며 용접속도가 빨라질수록 Spat

ter의 발생이 증가하였다. 용접전류를 변화시키면서 관찰한 결과, 용접전압이 20V에서는, 용접전류의 변화가 Spatter의 발생에 영향을 미치지 않았으나, 25V에서는 용접전류가 증가할수록 Spatter의 발생이 감소하는 경향을 보였다.

### 3-3 용접조건이 Bead형태에 미치는 영향

본 절에서는 용접조건이 Bead형태에 미치는 영향을 검토한다. 모재는 완전히 평평한데 용접부에는 Bead가 있으므로 울퉁불퉁해서 Bead에 날카로운 골, 언더 컷, Over lap 등의 용접결함은 응력을 집중시켜 균열이 발생 할 수 있다.

Fig. 6과 Fig. 7은 용접조건이 Bead형태에 미치는 영향을 나타내는 그림으로 ○은 매우 양호한 상태, □는 우수한 형태, △는 보통의 형태, ×는 불량한 형태를 나타낸다. Fig. 6은 용접전압 20V, Fig. 7은 용접전압 25V일 경우 용접전류, 용접속도, 가스유량을 변화시키면서 용접하여 Bead형태를 관찰한 결과를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있는바와 같이, 용접속도가 10 cm/min일 때는 용접속도가 너무 느려 오버 랩 현상이 나타났으며, 70cm/min에서는 용접속도가 너무 빨라 용융 금속의 표면장력에 의하여 Bead가 뾰족하게 나타났다. 그러나 용접속도가 30 cm/min일 때에 용접 전류 140A에서는 Bead형태는 불량하였으나, 용접전류가 증가할수록 Bead

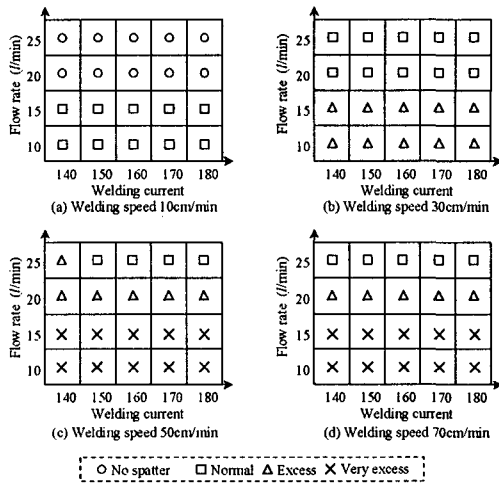


Fig. 4 Occurring state of the spatter under various conditions (voltage 20V)

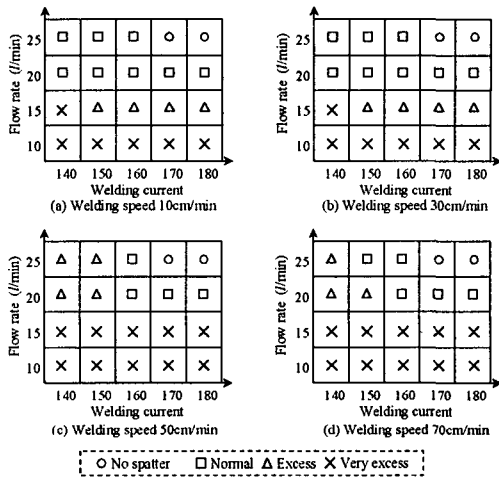


Fig. 5 Occurring state of the spatter under various conditions (voltage 25V)

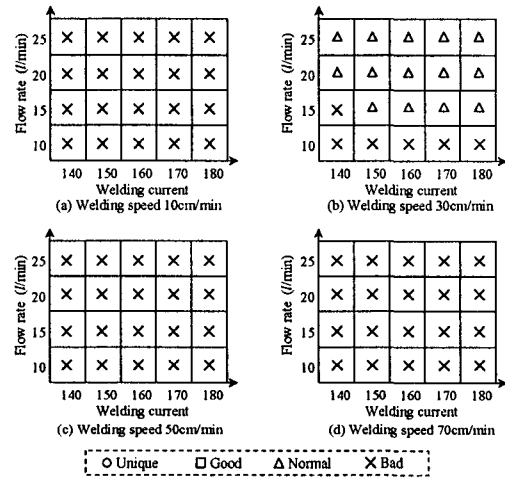


Fig. 6 Occurring state of the bead shape under various conditions (voltage 20V)

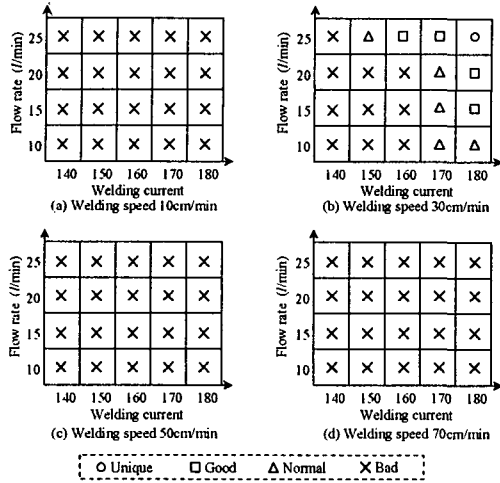


Fig. 7 Occurring state of the bead shape under various conditions (voltage 25V)

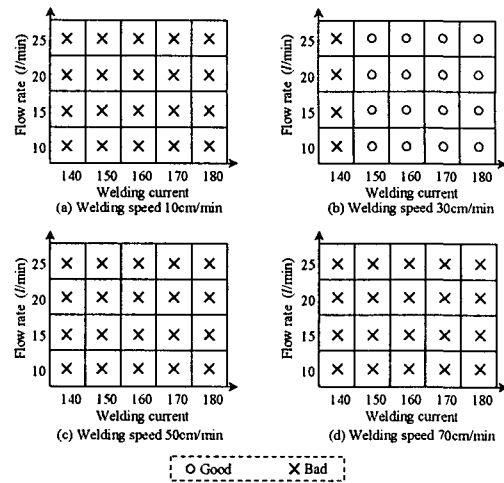


Fig. 8 Occurring state of the penetration state under various conditions (voltage 20V)

형태가 양호하게 형성되었다. 그림에서 보는 바와 같이, 이와 같은 결과는 용접전압 20V, 25V 어느 쪽도 같은 결과를 얻을 수 있었다.

또한, 용접속도 30cm/min, 가스유량 25l/min일 때 용접전류와 용접전압을 변화시키면서 용접한 결과, 20V일 때가 25V일 때에 비하여 비교적 양호한 Bead형태를 얻을 수 있었다.

### 3-4 용접조건이 용입상태에 미치는 영향

용입부족은 용접전류가 낮고, 용접속도가 빠르기 때문에 야기되므로, 용접전류를 증가시키거나 용접속도를 낮추어야 하며, 이면Bead가 형성되지 않을 때에는 용접부의 강도가 떨어지는 원인이 되므로 용접시에 Bead는 모재보다 약간 높게 형성되어야 하고, 이면Bead도 충분히 형성되어야 한다.

Fig. 8과 Fig. 9는 용접조건이 용입상태에 미치는 영향을 나타내는 그림으로 ○는 용입상태가 매우 양호하게 형성된 상태, ×는 용입상태가 불량하게 형성된 상태이다. Fig. 8은 용접전압 20V인 경우, Fig. 9는 용접전압 25V인 경우의 용입상태를 나타낸 그림이다. 가스유량에 관계없이 양쪽모두 용접속도 30cm/min, 용접전류 150A이상에서 용입상태가 양호한 용접부를 얻을 수 있음을 나타내고 있다.

또한 본 실험에서 용접속도가 10cm/min일 때

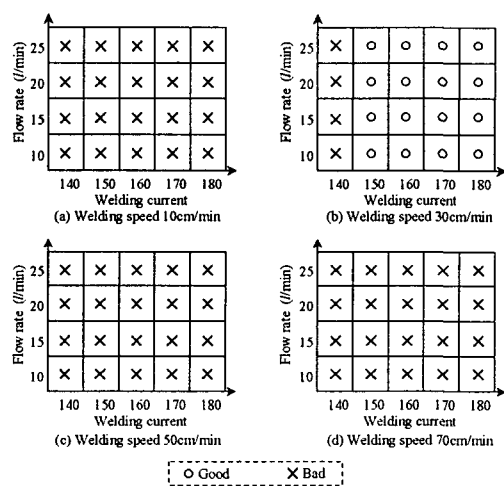


Fig. 9 Occurring state of the penetration state under various conditions (voltage 25V)

는 용접속도가 느리기 때문에 용입이 과다하여 오버 랩 현상이 나타났으며, 70cm/min에서는 용접속도가 너무 빨라 용입이 제대로 이루어지지 않고 용착현상이 발생하여 모재의 두께보다 낮게 용입이 이루어졌다.

### 3-5 용접조건이 Bead폭과 높이에 미치는 영향

Bead의 높이는 모재두께의 1/4~1/5 정도가 용접부의 강도를 최대를 하는 최적치라고 알려져 있으며<sup>(10)</sup>, Bead폭은 V형 홈에 충분히 용입시켜

모재표면보다 조금 불룩하게 Bead가 형성되면 양호한 상태이다. 일반적으로 Bead의 높이는 용접속도가 느릴 때 높게 나타난다. Bead의 높이가 높으면 용접봉의 과다소모 및 중량과다의 요인이 되고, 다른 용접조건에 비하여 용접속도가 느린 경우이므로 용접부에 용접입열 과다로 모재에 변형을 초래하는 동시에 열영향부가 변질되어 기계

적 강도가 떨어지는 원인이 될 수가 있다.

Fig. 10은 용접속도 30cm/min, 용접전압 25V의 조건에서 유량과 용접전류의 변화에 대한 Bead의 폭과 높이의 변화를 관찰한 그림이다. 그림에서 중앙 점선의 위치는 모재두께(9.5mm)의 위치를 나타내고 있다. 용접전류의 변화에 대하여 Bead의 폭과 높이는 점차 증가하고 있으며, 용접전류 170~180A 정도에서 모재두께의 1/4~1/5 정도의 Bead높이가 형성되어 있음을 알 수 있어, 이때의 전류치가 최적의 Bead상태를 나타내고 있다고 사료된다. 비교를 위하여 Bead의 높이와 폭이 불량한 상태의 결과를 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 10은 용접속도 30cm/min, 용접전압 20V의 조건에서 가스유량과 용접전류의 변화에 대한 Bead의 폭과 높이의 변화를 관찰한 그림이다. 그림에서 알 수 있는바와 같이 용접속도가 빨라지고 용접전압이 떨어지면 Bead를 형성하는데 충분한 시간적 여유가 없기 때문에, Bead의 폭과 높이가 최적의 상태에(중앙 점선위치) 상당히 미달되어짐을 알 수 있다.

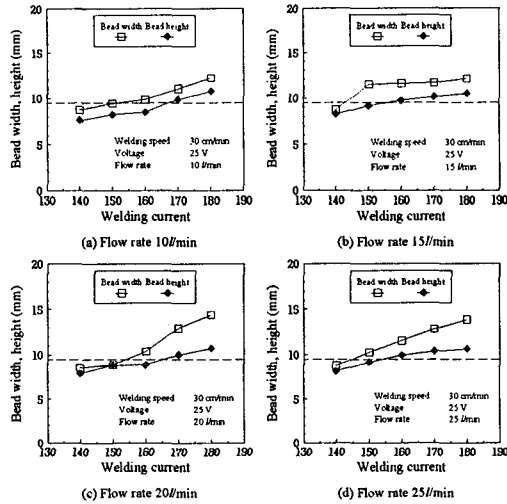


Fig. 10 The relationship between welding current bead width and height (voltage : 25V, welding speed : 30cm/min)

### 3-6 최적 용접조건 선정

본 절은, 본 연구에서 고찰하여온 기포발생, Spatter의 발생, Bead의 형태, 용입상태 및 Bead의 폭과 높이에 대하여 가장 최적의 상태를 얻기 위한 용접조건 선정에 대하여 종합적인 고찰을 수행한다. 또한 육안검사에 의한 용접표면의 그을음현상에 대한 고찰도 동시에 행하였다.

Fig. 12 (a)(b)는 본 실험에서의 용접조건 범위 내에서, 각 결과에 대한 최적의 조건들을 종합적으로 표시한 그림이다. 즉, 용접전압과 용접전류의 변화에 관계없이, 용접속도와 가스유량이 기공에 미치는 영향은 없었으며, 용입상태는 유량에 관계없이 용접속도 30cm/min일 때가 최적 이었고, 그을음현상은 용접속도에 관계없이 유량 25l/min일 때가 전혀 없었으며, Spatter의 발생은 용접속도에 무관하게 유량 20l/min와 25 l/min일 때 발생하지 않았다.(Fig. 12 (a))

또한, 용접속도 30cm/min, 용접전압 25V일 때 가스유량에 관계없이 용접전류 170~180A일 때 Bead의 폭과 높이가 최적의 상태였으며, Bead의 형태는 용접전류에 거의 관계가 없이 유

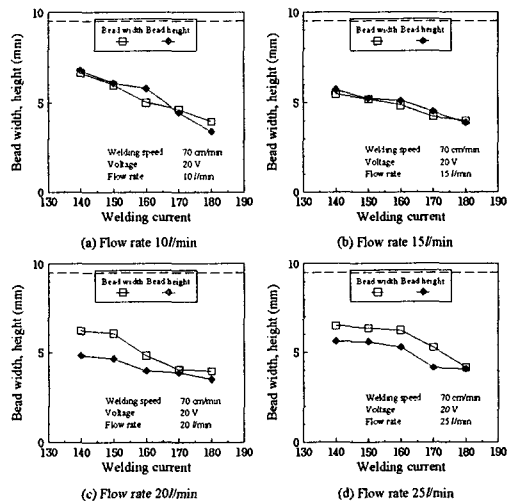
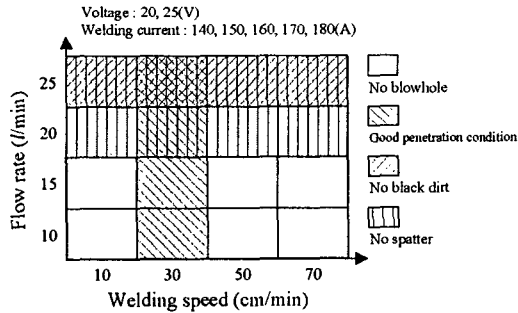
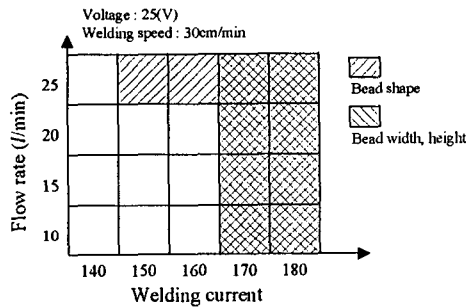


Fig. 11 The relationship between welding current bead width and height (voltage : 20V, welding speed : 70cm/min)

량 25 l/min일 때가 가장 양호하였다. 이러한 결과로부터 모든 조건을 만족하는 최적의 용접상태를 얻기 위한 용접조건으로서는 용접전류 170~180A, 유량 25l/min, 용접전압 25V, 용접속도 30cm/min일 때 입을 알 수가 있다.(Fig. 12 (b))



(a) Optimal welding conditions for blowhole, penetration state, black dirt and spatter



(b) Optimal welding conditions for bead shape and bead width and height

Fig. 12 Optimal welding conditions

#### 4. 결론

본 연구에서는 MIG용접에서 A16061의 최적용접조건을 선정하기 위하여 용접전류와 용접전압, 가스유량, 용접속도를 변화시키면서 실험하여 기포의 발생, Spatter의 발생, 용입상태, Bead형태, Bead폭과 높이를 육안으로 관찰함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

(1) 본 실험 전 조건에서 기포는 발생하지 않았다. 용입상태는 용접전류, 용접전압, 가스유량의 변화에 관계없이 양호한 상태를 보이거나 용접속도 30cm/min일 때 최적의 조건이었다. 그을음현상은 유량이 25l/min인 경우를 제외하고 다른 조건의 변화에 관계없이 나타나지 않았다.

(2) Spatter의 발생은 용접전류, 용접전압에 무관하며 용접속도가 30cm/min이상의 조건과 가스유량 25l/min이하의 조건에서 심하게 발생하였다.

(3) Bead의 높이 및 폭은 용접전압 25V, 용접속도 30cm/min일 때, 용접전류 170A, 180A, 가스유량 20l/min, 25l/min가 가장 양호하였다.

(4) 본 실험에서의 용접조건중 각종 용접상태에서, 용접전류 170A, 180A, 용접전압 25V, 용접속도 30cm/min, 가스유량 25l/min인 조건이 가장 최적의 용접상태라고 결론 지을 수 있었다.

#### 참고문헌

- (1) Singer A. R. and Jennings P. H., "Welding Aluminum", Journal of Institute of Metals, 72, pp. 212, 1947.
- (2) Singer A. R. and Jennings P. H., "Welding Aluminum", Journal of Institute of Metals, 74, pp. 274, 1947.
- (3) Pumphrey W. I. and Lyons J. V., "Welding Aluminum", Journal of Institute of Metals, 74, pp. 439, 1947.
- (4) 윤광희, 한용섭, "알루미늄합금의 GMAW 용접", 대한용접학회지 제12권 1호, pp. 23, 1994.
- (5) Seperstein Z. P., Prescott G. R. and Monroe E. W., "A Study of Mechanical Properties for Aluminum GMA Weldments", Welding Journal 43 10, pp. 443, 1964.
- (6) Giachino, Weeks, Johnson, "Welding Technology", American Technical Society, pp. 190-241, 1973
- (7) 김종희, 박동환, "후판 알루미늄합금 용접의 기공 발생과 방지 대책", 대한용접학회지 12권 1호, 1994.
- (8) 이창희, 장웅래, "알루미늄합금의 용접특성 part I, 균열 및 가공", 대한용접학회지 제10권 제13호, pp. 7, 1992.
- (9) 이창희, 장웅래, "알루미늄합금의 용접특성 part II, 열영향부의 특성", 대한용접학회지 제11권 제1호, 1993.
- (10) 김일수, 권옥현, 박창언, "GMAW 공정중 용접변수들이 용접폭에 미치는 영향에 관한 연구" 대한용접학회지 14권 4호, 1996.