

## 6K21 알루미늄 판재의 레이저 겹치기 용접 시 발생하는 기공에 관한 연구

양현석, 이경돈, 김용, 박기영

고등기술연구원 로봇/생산기술센터

### Study on the porosity formation in the lap joint CW Nd:YAG laser welds of 6K21 aluminum alloy sheet

Hyunseok Yang, Kyoung-Don Lee, Yong Kim and Ki-Young Park

Institute for Advanced Engineering

#### Abstract

The lap joint welding of 6k21 aluminum sheets by Nd:YAG laser were performed with an aluminum 5183 filler wire or without a filler wire. The porosity of laser welding beads were observed through an optical microscope and X-ray photography with various levels of welding speed and gap size. The porosity was observed in the gap between upper and lower sheet near a heat affected zone when autogenous welding. Decrease of welding speed and use of AA5183 filler wire reduced porosity significantly.

**Key Words:** 6K21 Aluminum alloy, Porosity, Nd:YAG Laser welding, Overlap joining

## 1. 서론

전 세계적으로 자동차 산업에서의 연료 절감과 배기가스 배출 감소 등의 요구가 커짐에 따라, 차체 경량화를 통해 이를 해결하고자 하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 차체 경량화를 위해 알루미늄 합금이 많이 쓰이고 있는데, 이는 높은 비강도와 내식성, 인성을 보유하기 때문이다. 이러한 알루미늄합금 판재의 차체 적용이 증가되면서, 레이저 용접의 적용을 통해 플랜지 길이를 감소하는 등의 차체 경량화에 대한 연구가 국내에서도 활발하게 진행되고 있다.

하지만 알루미늄합금 판재는 일반적인 아크 용접 뿐만 아니라, 레이저 용접 시에도 용접부의 기공과 응고균열, 합금원소 감소 등의 문제점이 여전히 존재하며, 적용될 용접 구조물의 형상에 따라서 존재하는 결함의 중요성 또한 달라진다 [1-3]. 본 연구에서는 서로 다른 두께의 6K21 알루미늄합금 판재에 대해 레이저 겹치기 용접을

실시하였고, 용접 조건에 따른 용접부에 존재하는 기공에 대해 관찰한 결과를 기술하고자 한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 시편 준비

150 × 60mm 크기의 각각 1.0 mm(상판), 1.4 mm(하판) 두께를 갖는 두 종류의 6K21-T4 합금에 대해 상판 아래로 40 mm를 겹친 후 20 mm 겹침 중앙부위에 대해 레이저용접을 실시하였다. Table 1은 6K21-T4 알루미늄 합금 및 AA5183 용접 와이어의 화학적 조성 및 기계적 성질을 나타낸다.

일반적으로 겹치기 용접이 적용되는 용접 구조물은 높은 전단강도를 요구한다. AA6xxx계열 합금은 고온에서 높은 크랙저항성을 갖는 AA4043 와이어를 많이 사용하지만, AA5183 와이어는 그에 비해 전단강도가 매우 뛰어나다. 또한 Mg의 첨가

로 인한 용융금속 내 강도와 연성, flow 향상 및

**Table 1** Chemical composition and mechanical properties of 6K21 aluminum sheet and AA5183 filler wire (wt.%).

Chemical composition of 6K21-T4 sheet and AA5183 filler wire							
	Al	Mg	Si	Fe	Zn	Mn	Ti
6K21-T4	Bal.	0.60	1.05	0.11	0.01	0.01	0.02
AA5183	Bal.	4.5	0.5	0.4	0.25	0.75	0.15

Mechanical properties of AA6K21-T4 and AA5183

	Tensile strength (kgf/m <sup>2</sup> )	Yield strength (kgf/m <sup>2</sup> )	Elongation (%)
6K21-T4	>21	>11	18
AA5183	>28 ~ 36	>11	14

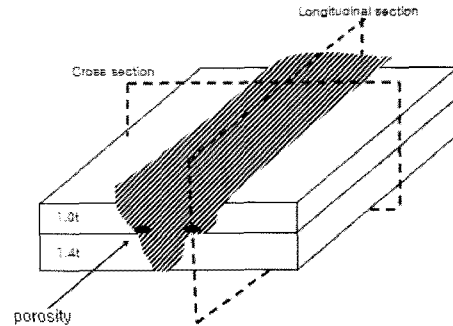
크랙저항성을 높여주는 특성을 가지고 있으며 내 부식성이 뛰어나다[4]. 따라서 본 연구에서는 제살용접과 함께 AA5183 용접와이어를 사용하여 용접을 진행하였다.

## 2.2 레이저 장비 및 용접 조건

최대출력 3 kW를 갖는 Trumpf HASS HL3006D Nd:YAG 레이저와 초점거리 200 mm인 레이저 헤드를 Yaskawa 6축 로봇에 장착하여 용접하였다. 용접속도는 2.0, 2.5 m/min, 판재 사이의 간격은 0, 0.1 mm, 0.3 mm으로, 제살용접(autogenous welding)과 AA5183 용접와이어를 사용하여 용접한 경우 각각에 대하여 용접부를 비교하였다. 제살 용접부는 보호가스를 사용하지 않았으며, 용접 와이어 공급 시에는 Ar 보호가스를 사용하였다. 본 연구에 사용된 레이저 용접조건을 Table 2에 나타내었다.

## 2.3 실험 및 관찰 방법

Table 2의 레이저용접 조건에 따라 알루미늄합금 판재의 겹치기 용접을 실시하였다. Fig. 1과 같이 용접 후 비드부의 단면을 용접방향에 수직인 종단면을 절단하고, 용접 길이방향으로 상부비드 좌우 끝단으로부터 기공이 존재하는 0.5 mm 안쪽 지점까지 연마하여 광학현미경 및 방사선 투과시험을 통해 기공을 관찰하였다.



**Fig. 1** Specimen extractions.

**Table 2** Welding Condition.

Beam condition	CW Laser Full penetration
Beam power	3kW
Welding speed(m/min)	2.0, 2.5
Filler wire & feeding rate(m/min)	autogenous AA5183 1ø, 3.0m/min
Ar flow rate(l/min)	0, 10
Defocusing(mm)	-1
Gap(mm)	0, 0.1, 0.3

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 용접부 결합에 미치는 용접속도 및 와이어의 영향

Fig. 2는 제살용접부의 용접속도 2.0 m/min과 2.5 m/min의 용접부 단면을 광학현미경으로 관찰한 결과를 보여준다. (a), (c)는 용접방향에 대하여 수직인 횡단면을, (b)와 (d)는 용접방향과 평행인 종단면을 나타낸다. 수직 횡단면은 제살 용접부의 단면 비드의 형상을 나타내며 평행 종단면은 용접방향에서의 기공을 관찰하였다.

Fig. 3은 AA5183 용접와이어를 사용하였을 때의 용접속도 2.0과 2.5 m/min의 용접부 단면을 광학현미경으로 관찰한 결과를 보여준다. Fig. 2와 같이 용접 속도에 따른 수직 종단면과 평행 종단면을 관찰하였다.

Fig. 2와 3 모두 용접속도에 관계없이 기공을 형성하고 있으며 주로 상하판 겹침부와 모재 사이에 기공이 존재하고 있다. 횡단면을 통해 기공이 연속적으로 분포하고 있음을 알 수가 있고, 용접부에 알루미늄 5183 용접와이어를 공급하였을 때 기공의 발생 빈도는 줄었으나, 기공의 크기가 증가하였다.

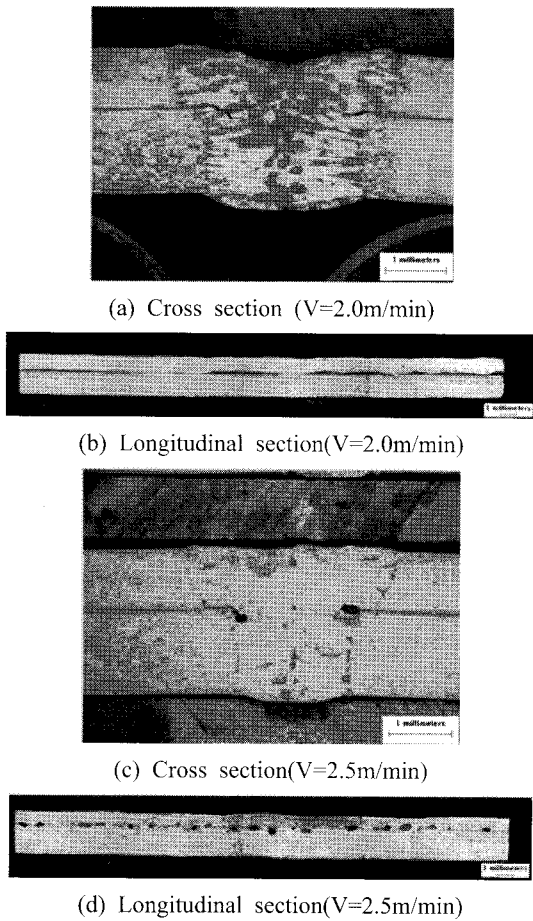


Fig. 2 Cross section image of 6K21 autogenous weld metal.

Fig. 2의 제살용접에서 용접속도의 영향을 관찰하면, 용접속도가 빠를 때는 (b) 와같이 상하판 사이의 모재와 용접부 경계에 기공이 발견되었고 평행 종단면에서는 용접부 경계의 기공이 용접 방향으로 존재하고 있음을 확인하였다.

반대로 용접속도가 느릴 때는 (a)와 같이 단면 비드의 용융이 증가하여 전체적으로 면적이 더 크며, 용접부의 기공은 크게 줄어든 반면 응고균열 형태로 발견되었다. 이 응고균열은 평행 종단면에서는 균열이 연속적으로 이어져 있는 형태의 결함으로 관찰된다.

Fig. 3의 (a)와 (b)는 용접속도 2.0 m/min의 용접부를, (c)와 (d)는 용접속도 2.5 m/min의 용접 비드 길이방향에 수직인 종단면과 평행한 종단면에 존재하는 기공을 보여준다. 이때 용접속도가 빠를 경우 지름 0.2 mm 이상의 큰 기공이 다수 발생하였으나 용접속도가 느릴 때는 그 개수가 감소하였다. 하지만 제살용접부에서와 같은 균열

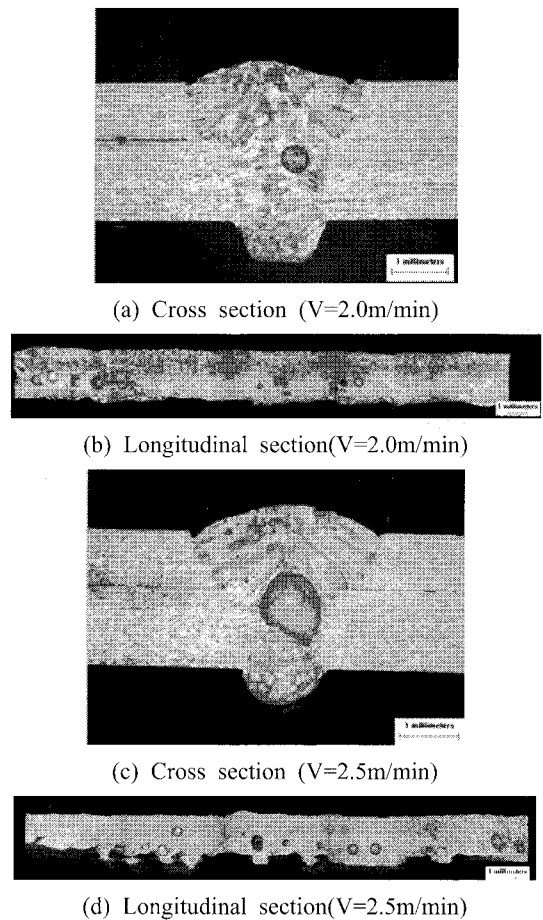
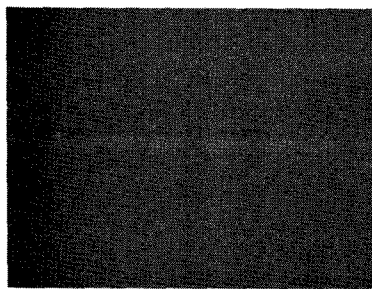


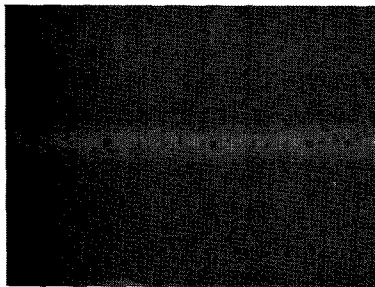
Fig. 3 Cross section image of 6K21-AA5183 filler wire weld metal.

형태의 결함은 나타나지 않았다. 그 이유는 5183 용접와이어를 사용한 경우에는 제살용접에 비해 레이저 빔이 모재에 조사됨과 동시에 용접 와이어가 공급됨으로써 용접부가 용융되기 위한 입열량이 감소되었기 때문으로 판단된다. 또한 빠른 용접속도는 상대적으로 용접부의 냉각속도 증가에 따라 용융금속 내 발생된 기공이 밖으로 빠져나가지 못하고 남아있게 되는 것으로 판단된다.

한편, Fig. 2와 Fig. 3의 2.5 m/min의 용접속도인 (c)의 두 경우에 대하여 용접와이어의 영향을 살펴보면, 2.5 m/min의 용접속도인 (c)의 두 경우 모두 기공을 형성하고 있으며 용접 방향으로 연속적으로 분포하고 있다. 제살용접에서는 상하판 겹치기 부위와 모재 경계면에 기공이 존재하고 있으며, 용접부에 알루미늄 5183 용접와이어를 공급하였을 때는 기공의 발생 빈도는 줄었으나, 기공의 크기가 증가하였다.

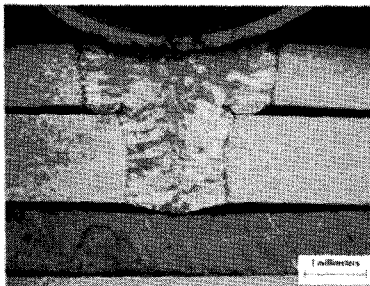


(a) autogenous welding

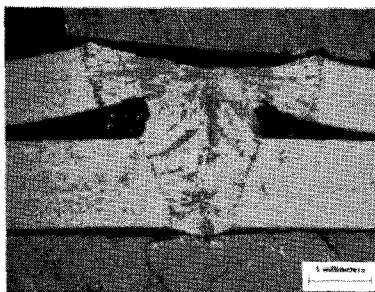


(b) filler wire welding

Fig. 4 X-ray photograph of 6K21 aluminum weld metal.



(a) V=2.5m/min, 0.1mm gap



(b) V=2.5m/min, 0.3mm gap

Fig. 5 Cross section image of 6K21 autogenous weld metal with gap.

Fig. 4는 제살 용접부와 AA5183 용접와이어를 사용하여 용접속도 2.5 m/min에서의 용접부에 대해, 미세한 기공을 좀 더 관찰하기 위하여, 방사선 투과검사를 실시한 필름의 이미지를 나타낸 것이다. (a)는 제살용접부에 대해서, (b)는 AA5183 용

접와이어를 사용한 용접부에 대하여 비드 위에서 수직방향으로 X-ray를 투과시킨 결과이다. 각 용접부에는 모두 0.2 mm 이상의 큰 기공이 존재하나 제살 용접부는 겹치기 부위와 모재 경계면에 기공이 연속적으로 존재하며 다른 지역에는 미세 기공(0.2 mm 이하)만 관찰되었다. 또한 AA5183 용접와이어를 사용하였을 때는 제살용접과는 달리 용접부 중앙에 주로 큰 기공이 존재하고 있을 수 있다.

### 3.2 용접부 결함에 미치는 gap의 영향

Fig. 5의 (a)와 (b)는 용접속도 2.5 m/min의 제살용접에서(Fig. 2) 용접부에 gap이 존재할 때의 단면 형상을 보여준다. Fig. 5의 (a)와 같이 0.1 mm 미만의 gap이 존재할 때는 상하판 경계에 기공이 존재하는 반면, (b)의 경우와 같이 그 이상의 gap이 존재할 때는 기공의 크기가 감소하거나 존재하지 않게 된다. 이는 용융금속의 유동으로 인해 gap 주변으로 기공이 빠져나가기 때문으로 판단된다. 따라서 허용범위내의 강도를 갖는 알루미늄 겹치기 용접부에서는 gap을 부여함으로써 용접부의 기공을 줄일 수 있다고 판단된다.

하지만 과도한 gap으로 인한 용접부의 언더필 발생으로 인한 용접외관 품질 또는 상판으로 이어지는 용융부의 형상은 또 다른 결함으로 작용하여 용접부 강도 저하의 원인이 될 수 있기 때문에 바람직하지 않다.

## 4. 결론

Nd:YAG 레이저를 이용하여 6k21 알루미늄 겹치기 용접을 실시하였고, 용접부에 존재하는 기공에 대해 용접와이어, gap 그리고 용접속도가 어떤 영향을 미치는지 관찰하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) AA5183 용접와이어를 공급하였을 때 제살용접부에 비해 기공의 발생빈도는 줄었으나 그 크기는 증가하였다.
- (2) 용접부에 gap이 존재할 때는 기공이 gap 사이로 빠져나가면서 그 크기가 감소하거나 없앨 수 있다. 하지만 과도한 gap은 용접 품질에

영향을 미칠 수 있기 때문에 주의해야 한다.

- (3) 용접속도가 빠를 때, 모든 용접부에서는 크레이터 형태의 기공이 연속적으로 분포한다. 특히 0.2 mm 이상의 큰 기공이 다수 발생한다.
- (4) 용접속도가 느릴 때, 제살용접부에서는 기공이 아닌 균열이 연속적으로 이어진 형태의 결함으로 발견되기도 한다. 또한 AA5183 용접와이어를 사용한 경우 기공의 개수가 크게 줄어든다.

### 참고문헌

- 1) 이창희, 장래용, 알루미늄 합금의 용접특성, 대한용접학회 10권 3호, 1992.
- 2) M. Eibl, Fatigue assessment of laser welded thin sheet aluminum, International Journal of Fatigue, 2003.
- 3) M. Pastor, Porosity, Underfill and Magnesium Loss during Continuous Wave Nd:YAG Laser Welding of Thin Plate of Aluminum Alloys 5182 and 5754, Welding Research Supplement, 1999.
- 4) 양현석, 김용, 박기영, 이경돈, Nd:YAG 레이저를 이용한 6K21-T4 알루미늄 합금의 겹치기 용접 특성, 대한용접접합학회 추계학술발표대회, 2007.