

## Al5083-O 알루미늄합금의 보호가스 혼합비율 및 입열량에 따른 GMA용접 특성에 관한 연구

정재강\* · 양훈승\*\* · 이동길\*\*\*

\*조선대학교 공과대학 기계공학부

\*\*목포기능대학 산업설비과

\*\*\*조선대학교 대학원 기계공학과

### A Study on the GMA Welding Characteristics of Al5083-O Aluminum Alloy According to the Shield Gas Mixing Ratio and Heat Input

Jae-Kang Chung\*, Hoon-Seung Yang\*\* and Dong-Gil Lee\*\*\*

\*Dept. of Mechanical Engineering, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea

\*\*Dept. of Industrial Installation Technology, Mokpo Polytechnic College Mokpo 530-400, Korea

\*\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Chosun Graduate School, Kwangju 501-759, Korea

#### Abstract

This study was to evaluate GMA welding characteristics of the Al5083-O aluminum alloy according to the shield gas mixing ratio and heat input change. The GMA welding of the base metal was carried out with four different shield gas mixing ratios(Ar100%+He0%, Ar67%+He33%, Ar50%+ He50%, and Ar33%+He67%). Regarding the influence on the bead shape of the shield gas mixing ratio and heat input, the bead width was greatest in Ar100%+He0% mixture. But the penetration depth and area were greatest in Ar33%+He67% mixture considering that the lower Ar gas ratio, the higher bead depth and area. Also, dilution was also best in the shield gas mixing ratio.

The size and number of defects were least in Ar33%+He67% mixture. Higher He gas ratio resulted in less defects detected by the radiographic inspection.

(Received September 1, 2001)

Key Words : Mixing shield gas ratio, Heat input, Bead width, Bead height, Penetration depth, Bead area, Dilution, Radiographic inspection

#### 1. 서 론

대체 에너지원으로서 액화천연가스(Liquefied Natural Gas:LNG)는 저공해, 경제성 등의 장점으로 인하여 급격한 수요 증대를 가져오게 되었다. 이에 따른 LNG의 수송, 저장 및 공급 등 시설의 수요가 커지고 있다<sup>1)</sup>.

LNG탱크의 제조과정에서 용접은 주요한 부분을 차지하며, 최적의 용접기술 확보는 안전성 및 생산성, 경제성 측면에서 중요한 과제라고 할 수 있다.

현재 국내에서 제조 중인 LNG선은 크게 Moss방식과 Membrane 방식 2종류로 구분하며, Moss방식의

LNG 탱크의 재료로서는 9% Ni강 또는 Al5083-O의 Al합금을 사용하여 왔으나 최근의 건조실적을 고찰하여 보면 취성파괴의 방지가 더욱 용이한 Al5083-O 알루미늄 합금을 사용하는 경향이 두드러지고 있다<sup>2)</sup>.

Al-Mg계 알루미늄합금 중에서 Al5083-O은 약 4.5%의 Mg을 함유하고 있는 대표적인 용접구조용 합금으로서 비열처리합금 중에서는 강도가 높고, 용접성, 내식성 및 저온취성 등이 우수하므로 LNG 운반선의 화물탱크 및 육상기지, 고압의 압력용기 등에 사용하고 있다. 그러나 Al-Mg 후판 용접에 사용하는 보호가스는 Ar과 He의 혼합가스로서 고가의 He 가스를 사용하므로 용접 비용이 증가하는 원인이 되고 있으므로 저비용

용접을 위한 He가스의 사용비율을 줄이거나 대체가스를 사용하는 방법 등을 통한 비용절감이 요구되고 있다. 그러나 He가스의 사용량 감소는 용접성에 매우 큰 영향을 미치므로 용접비용 및 용접 결함을 최소화하고, 생산성을 향상시키기 위한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 He가스의 사용량을 적절히 제어함으로써 용접성과 용접비용을 최적화하기 위한 방법의 일환으로서 보호가스의 혼합비율 및 입열량에 따른 비드 형상을 고찰하고 용접결함을 방사선 투과검사를 실시하여 분석함으로써 저비용 고효율의 용접을 얻을 수 있는 불활성 가스의 혼합비와 입열량을 찾고자 한다.

## 2. 사용재료 및 실험방법

시험재료는 소형고속선박과 LNG 저장용기용 재료로 많이 사용되고 있는 Al-Mg계 알루미늄 합금재인 Al5083-O이다. 모재 및 본 용접에 사용된 용접와이어 Al5183-WY(직경 1.2mm)의 화학적 성분은 Table 1에, 기계적 성질은 Table 2에 나타내었다. GMA용접은 Fig. 1에 도시한 바와 같이 V-Butt 용접을 하였으며, 이 때 루트간격은 1.0mm로하고, 전면 3패스, 후면 1패스 아래보기 용접을 실시하였다<sup>3)</sup>. 용접조건은 Table 3과 같다. 이 때 사용된 불활성가스는 Ar과 He으로서 혼합비율을 Ar100%+He0%, Ar67%+He33%, Ar50%+He50% 및 Ar33%+He67%의 4종류로 분류하였다. 각각의 혼합비율은 다시 Table 3에 표시된 바와 같이 저(L), 중(M), 고입열량(H)의 3종류로 나누어 용접을 실시하였다. 혼합된 불활성가스는 순도 99.995%의 He과 Ar을 혼합비율에 맞게 미리 혼합 주문하여 제조함으로써 혼합비의 오차를 최소화하였다. 한편, 시험편의 채취는 (사)한국선급의 규정<sup>4)</sup>에 따라 용접된 판재로부터 고루 채취하여 시험의 정

Table 1 Chemical compositions(wt. %)

Materials	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
Al5083-O (base metal)	0.40	0.40	0.10	0.70	4.45	0.15	0.25	0.14
Al5183-WY (wire $\phi$ 1.2mm)	0.10	0.27	0.01	0.58	4.55	0.11	0.06	0.11

Table 2 Mechanical properties

Materials	Y. S. (kg/mm <sup>2</sup> )	T. S. (kg/mm <sup>2</sup> )	Elong. (%)	E (kg/mm <sup>2</sup> )
Al5083-O	19.0	34.2	14	7.0×10 <sup>3</sup>
Al5183-WY	18.6	32.7	14	7.0×10 <sup>3</sup>

Table 3 GMAW conditions

Condition Gas ratio	Heat input	Speed (cm/min)	Voltage (V)	Current (A)
Ar100%+He0%	L	50	21	220
	M	40		
	H	30		
Ar67%+He33%	L	50	23	
	M	40		
	H	30		
Ar50%+He50%	L	50	26	
	M	40		
	H	30		
Ar33%+He67%	L	50	29	
	M	40		
	H	30		

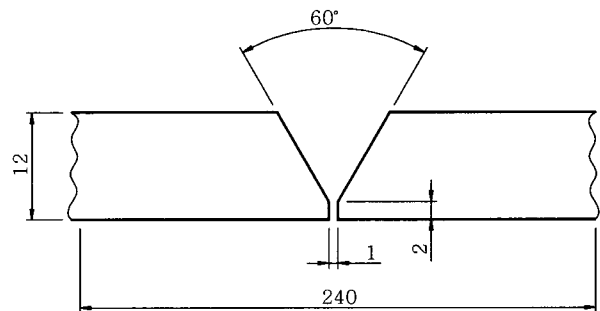


Fig. 1 GMAW method

확도를 높이고자 하였다.

알루미늄 합금의 표면에는 보통 아주 얇은 층의 알루미늄 산화막이 형성되는데 이 막의 용점은 약 2050℃로 매우 높기 때문에 막이 있는 상태에서 용접을 실시하면 산화막을 포함한 용융 알루미늄이 입상(粒狀)으로 응집되어 서로가 용합을 하여 건전한 용접이 되지 않는다<sup>5)</sup>. 따라서 용접 전처리로서 산화피막 및 청결을 위해 그라인더 및 스테인리스강제 와이어 브러쉬를 용접 바로 직전에 연마를 실시하였다. 용접변형을 방지하기 위하여 강성이 높은 지그로 용접선 부근을 강하게 구속하여 용접을 실시하였다. 그리고 용접 후처리로서 그라인더를 이용하여 용접비드 시종단에 결함이나 노치를 제거함으로써 산화피막, 용접변형에 따른 용접부 결함을 최소화하도록 하였다.

또한 다층용접의 경우 첫 패스는 용탕이 빨리 식으므로 가스나 슬래그가 미처 빠져나가지 못하고 용착금속부내에 갇히는 경우가 많다<sup>6)</sup>. 따라서 본 실험에서는 엔드 탭을 가접한 후 용접하여 예열효과를 얻음으로서 이러한 결함을 최소화하였다.

용접은 작업장 환경 즉, 온도, 습도 및 풍속 등에 큰

영향을 받으므로 온도 23℃, 습도 60% 및 풍속 0.6m/sec 이하의 조건에서 실시함으로써 용접 작업장 환경에 따른 결함을 최소화하였다.

비드형상을 고찰하기 위한 용접은 각각의 불활성 가스 혼합비율에서 100×200×12mm의 판을 bead on plate로 1 패스 용접한 다음 용접된 판재의 상·중·하 부분에서 각각 3개씩 시험편을 채취하였다. 용접비드의 명확한 관찰을 위해 단면을 연마 및 Kellers 용액을 사용하여 부식 후 비드 폭과 높이 및 용입깊이를 측정하였으며, 구적계(KP-90)를 이용하여 덧살면적 및 용입면적을 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 비드형상에 미치는 영향

일반적으로 비드의 형상은 용접전류, 아크전압, 이송 속도, 보호가스, 용접자세, 토치의 각도, 와이어의 직경 및 표면의 산화청정 정도 등에 의해 영향을 받는다. 이 중에서 가장 영향을 많이 미치는 주 용접공정변수로는 용접전류, 아크전압, 이송속도 등을 들 수 있다<sup>7)</sup>.

용접조건에 따른 비드의 형상 변화를 고찰하기 위하여 용접된 부재의 단면을 채취하여 용접부의 비드 폭, 높이, 면적, 용입깊이 및 희석률(dilution) 등을 세분하여 Fig. 2와 같이 측정·평가하였다.

여기서 희석률은 비드형상비를 나타내는 계수의 하나로써 비드 전체 단면적과 덧살 단면적의 비를 말하며 0.5에 가까울수록 이상적인 형태로 평가할 수 있다<sup>8)</sup>. 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$Dilution = \frac{A_1}{A_1 + A_2} \times 100 [\%] \quad (1)$$

Photo. 1은 각각의 용접조건으로부터 얻어진 비드의 단면을 연마 후 부식한 사진을 나타낸 것이며, Fig. 3~6은 불활성가스의 혼합비 및 입열량에 따른 비드형상 변화의 결과를 나타낸 그림이다.

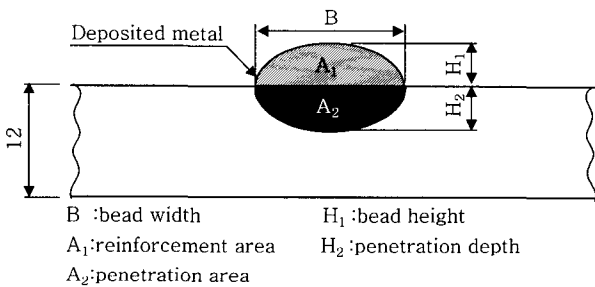


Fig. 2 Schematic diagram of bead shape

Photo. 1에 나타난 바와 같이 모든 불활성가스 혼합비율에서 입열량이 증가함에 따라 비드폭, 용입깊이 및 면적은 증가하는 경향을 보였으며, Ar만을 100% 사용한 경우 비드폭은 큰 반면 용입깊이 및 면적은 작았다. He의 혼합비율이 증가할수록 비드폭은 감소하면서 용입깊이 및 면적은 증가하여 Ar33%+He67%의 경우 Ar만을 100% 사용했을 때 보다 약 2배 정도 크게 증가함을 알 수 있다.

Fig. 3은 혼합가스 비율에 따른 비드폭과 입열량의 관계를 나타낸 것이다. 입열량이 증가함에 따라 비드폭은 증가하는 경향을 보였으며, Ar33%+He67%가 가장 높고 Ar67%+He33%가 가장 낮은 값을 나타냈다.

Fig. 4는 비드 높이 및 용입깊이와 입열량의 관계를 나타낸 것이다. 입열량이 증가함에 따라 비드 높이 및 용입깊이는 증가하는 경향을 보이며, Ar100%+He0%가 가장 낮고 Ar33%+He67%가 가장 높은 값을 나타냈다. 특히, Ar33%+He67%에서 용입깊이가 크게 증가함을 알 수 있다.

Fig. 5는 덧살면적 및 용입면적과 입열량의 관계를 나타낸 것으로서 입열량이 증가할수록 면적이 증가함을

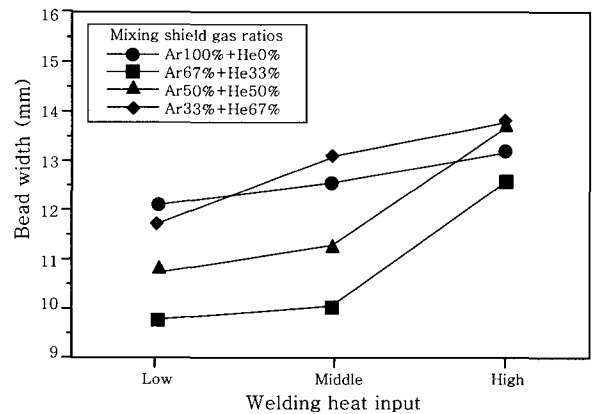


Fig. 3 Relation between the bead width and the heat input

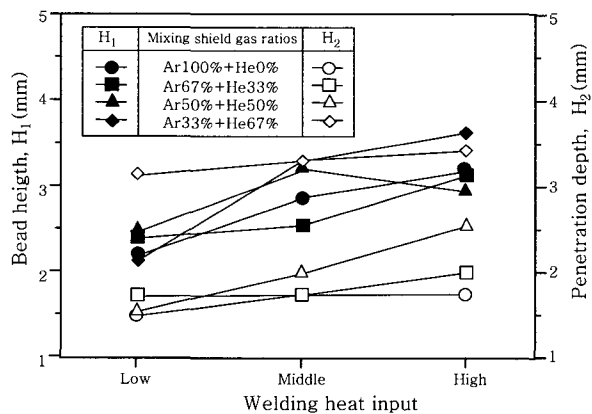


Fig. 4 Relation between bead geometry and the heat input

Photo. 1 Photographs of the bead shape measurement

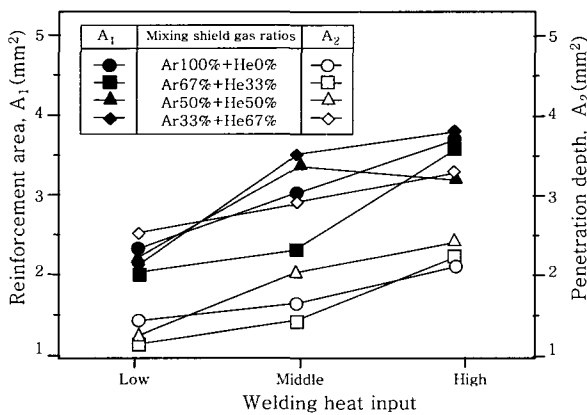
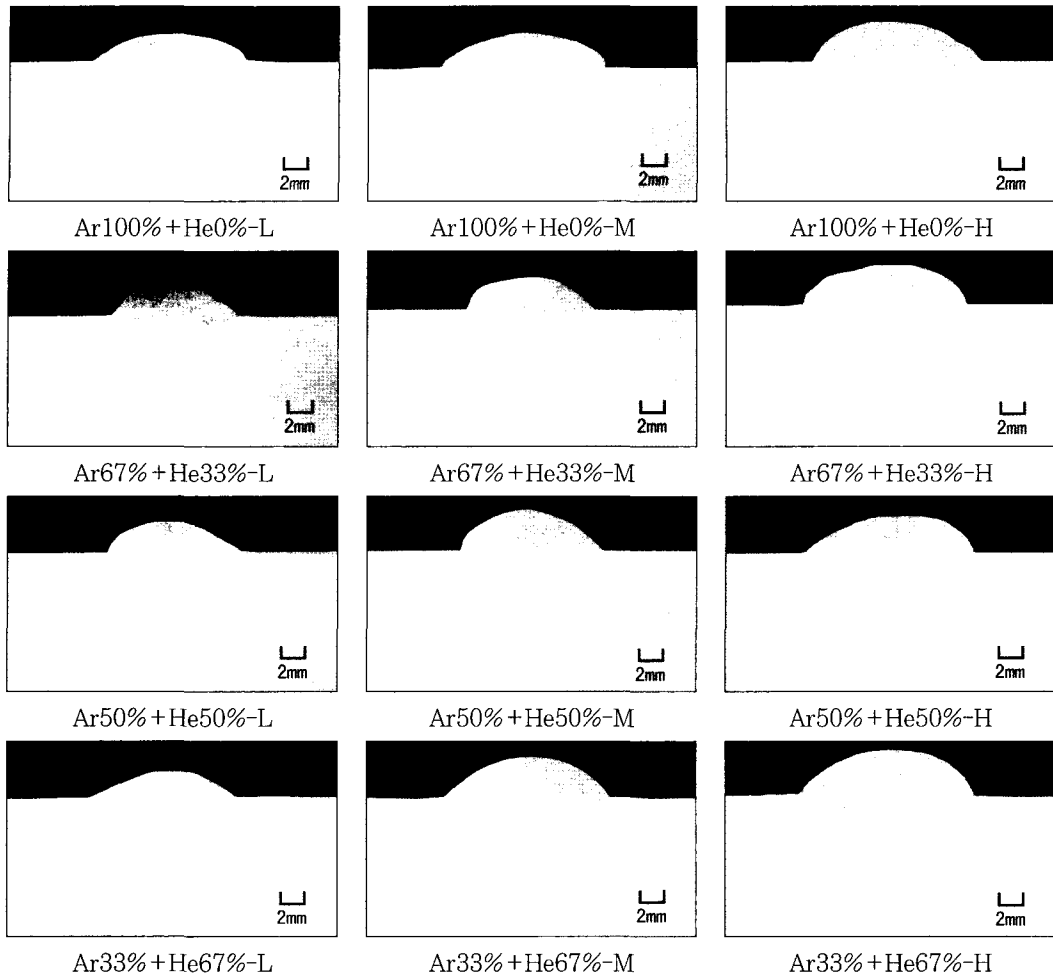


Fig. 5 Relation between bead geometry and the heat input

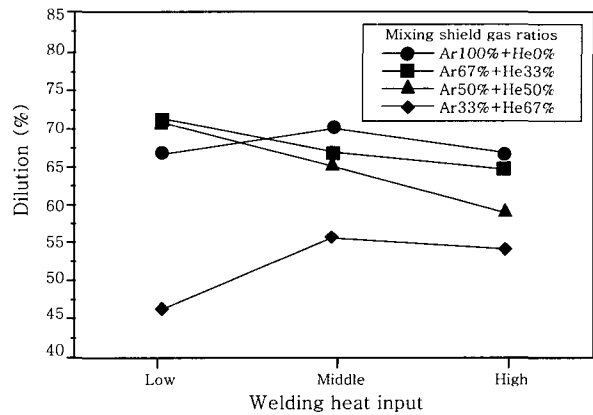


Fig. 6 Relation between dilution and the heat input

알 수 있으며, Ar67% + He33%에서 가장 낮고 Ar33%+He67%에서 가장 높게 나타났다. 특히, Ar33%+He67%에서 용입면적이 크게 증가함을 알 수 있다.

Fig. 6은 불활성가스 혼합비율에 따른 희석률과 입열량의 관계를 나타낸 것이다. 희석률은 Ar100%+

He0% 혼합비에서 가장 높게 나타났으며, Ar67% + He33%에서 가장 낮으며 50%에 근접함을 알 수 있다.

다층 용접 시 비드 높이가 깊이에 비해 지나치게 높으면 다음 패스 용접에 불리하며, 비드 깊이 및 용융면적이 적으면 용융성이 부족하여 역시 우수한 비드형상을 얻을 수 없다. 따라서 비드의 단면형상은 희석률이

50%정도 되면서 비드폭, 깊이, 높이 및 용입면적이 균형을 이루어야 양호한 비드형상이라 할 수 있으므로 본 연구에서 수행한 결과 불활성 가스의 혼합비율 Ar33% + He67%인 조건에서 가장 양호한 비드형상을 얻었다고 할 수 있다.

### 3.2 기공발생에 미치는 영향

현재 알루미늄합금 용접부에 대한 기공 검사 및 평가 방법에는 방사선 투과검사, 확대 투영기에 의한 단면검사, 비중측정 및 가스분석의 4가지 방법이 실시되고 있으나 주로 방사선 투과검사를 사용하고 있다<sup>9)</sup>. 방사선 투과검사법은 광범위한 검사가 가능하고 방법이 매우 간편하여 대량처리가 가능하기 때문에 공업적 목적은 물론 연구목적으로도 널리 이용되고 있다. 알루미늄 및 알루미늄합금의 용접부에 대한 방사선 투과검사는 KSD 0242<sup>10)</sup>에 규격화되어 있고, 투과 사진에 의해 산출된 결함점수에 따라 1급에서 4급까지 등급을 정한다.

우선 시험시야 10mm×10mm를 시험부의 전체면적 중에서 결함점수가 가장 높은 부분에 적용하여 0.4mm 이하의 결함크기는 점수화하지 않고 전체 결함점수를 산출하였으며, 이를 기준으로 등급 평가를 실시하였다. 또한, 기공이외의 결함인 산화피막 혼입 등에 대해서도 조사를하였으나 발견되지 않았으며, 일반적으로 알루미늄합금 용접에 있어서 가장 많이 발생하는 기공만이 검출되었다.

Photo. 2는 방사선 투과 필름 중 등급판정에 사용한 시야 10×10mm(□mark)를 포함하는 부분의 사진으로서, 산출된 결함점수 및 등급은 Table 4와 같다.

Photo. 2 및 Table 4에 나타난 바와 같이 He의 혼합량 및 입열량이 증가할수록 기공의 크기 및 숫자는 크게 감소하여 결함점수가 낮아지는 경향을 보였으며, 등급 판정결과 Ar100%+He0% 및 Ar67%+He33%의 경우는 모든 입열량에서 2등급으로 조사된 반면, Ar50%+He50%의 경우 중입열과 고입열량 및 Ar33%+He67%의 모든 입열량에서 1등급으로 판정

Photo. 2 Photographs of radiographic test film ( □ : test sight(10mm×10mm))

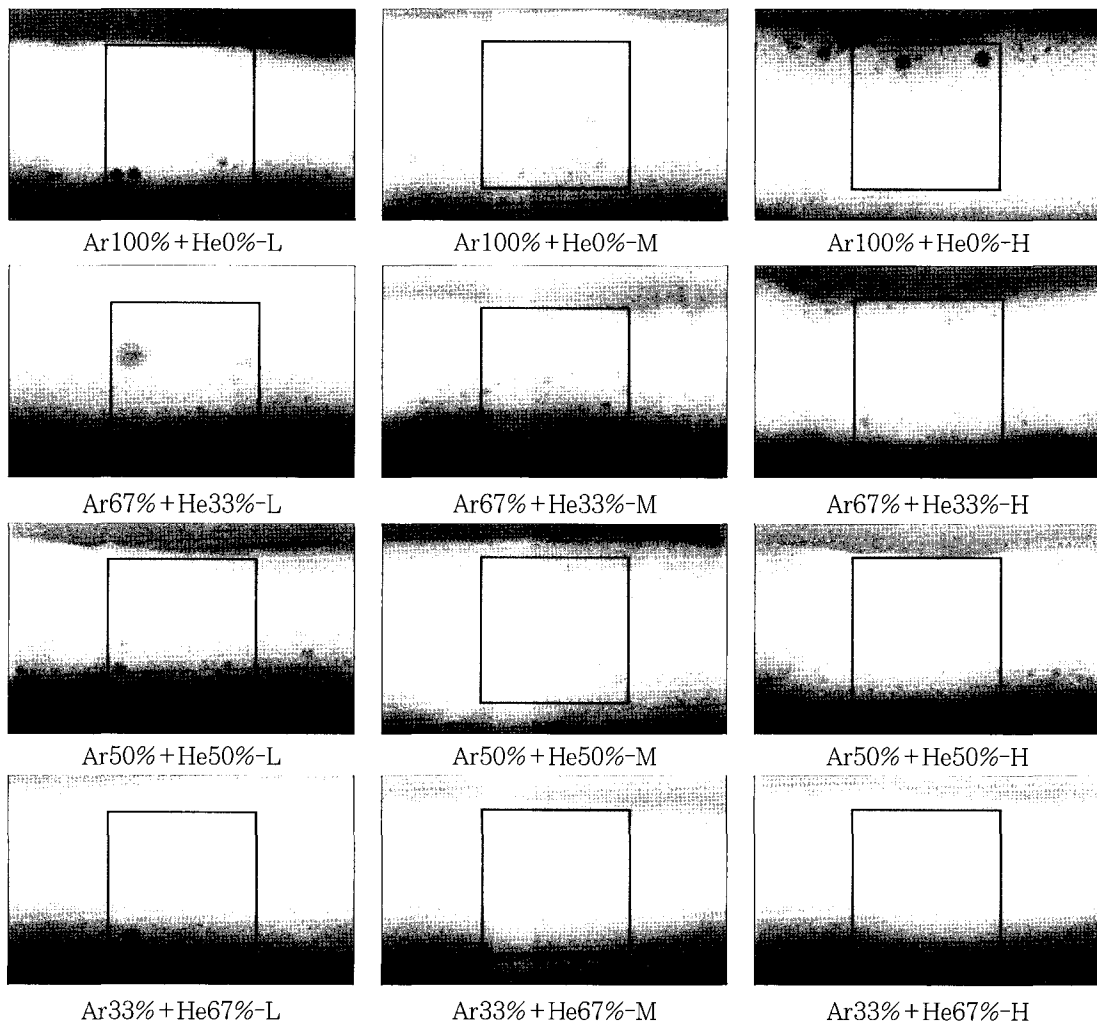


Table 4 Radiographic inspection results

Mixing shield gas ratios		Defect size and numbers		Total defect score	Evaluation result
		under 1.0	1.0~2.0		
Ar100%+He0%	L	12	0	12	grade 2
	M	7	2	11	
	H	4	2	8	
Ar67%+He33%	L	8	2	12	
	M	9	0	9	
	H	5	0	5	
Ar50%+He50%	L	7	0	7	grade 1
	M	4	0	4	
	H	3	0	3	
Ar33%+He67%	L	2	0	2	
	M	0	0	0	
	H	0	0	0	

되었다. 특히, Ar33+He67%의 조건에서는 결합접수에 반영되는 결합크기 0.4mm이상의 크기를 갖는 결합이 발견되지 않아 가장 양호한 용접을 얻을 수 있었다.

이와 같은 결과는 Ar에 He을 약 50% 이상 혼합하여 사용하면 Ar의 장점인 보호효과 및 He의 장점인 용융성이 우수하게 되어 양호한 비드가 얻어졌다고 판단된다.

따라서 AI5083-O재의 GMA 용접 시 혼합 보호가스에 He을 50%이상 혼합하여 사용함으로써 용접결합의 발생이 적은 우수한 용접비드를 얻을 수 있으리라 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 GMA용접 시 불활성가스 혼합비율 및 입열량에 따른 용접 비드 단면의 형상변화를 고찰하고, 방사선 투과검사를 실시하여 용접결합 발생과의 관계를 분석하여 가장 우수한 불활성 가스의 혼합비와 입열량을 얻고자 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 시험한 불활성가스 혼합비율에서 입열량 및 He의 혼합량이 증가할수록 용입깊이 및 면적은 증가하는 경향을 보였으며, Ar만을 100% 사용한 경우 비드폭은 큰 반면 비드깊이 및 면적은 He을 혼합하여 사용한 경우보다 매우 작게 나타났다.

2) 입열량 및 He의 혼합량이 증가할수록 희석률은 50%에 근접하는 경향을 나타내었으며, Ar33%+He67%에서 가장 양호한 비율로 나타났다.

3) 방사선 투과검사 결과 Ar100%+He0% 및 Ar67%+He33%의 경우는 기공의 크기가 크고 그 숫자도 많이 관찰되어 모두 2등급으로 조사된 반면, Ar50%+He50% 중, 고입열 및 Ar33%+He67%의 모든 입열량에서 1등급으로 판정되어 He의 혼합량이 증가할수록 기공이 적게 발생되었다.

4) 용접부의 비드의 형상 및 기공발생과 불활성가스 혼합비율과의 관계를 종합하여 볼 때 Ar33%+He67% 혼합비에서 기공발생이 가장 적었으며, 비드형상도 가장 우수하게 나타났다.

#### 참 고 문 헌

- S.H. Hong : Present Status and Prospect of LNG Storage Tank, Journal of KWS, 13-3 (1995), 1-7 (in Korean)
- J.M. Han, Y.S. Han : Review on Welding Technology and Welded Joint Strength of GT Membrane Type LNG Carrier, Journal of KWS, 11-4 (1993), 24-25 (in Korean)
- K.H. Youn, Y.S. Han : Gas Metal Arc Welding of Aluminum Alloys, Journal of KWS, 12-1 (1994), 19-20 (in Korean)
- Rules for Classification Steel Ships : Part 2, Material and Weld, Korean Register of Shipping (1998), 68 (in Korean)
- S.S. Kang : Prospect and Reality of Aluminum Alloy Resistance Welding Technology, Journal of KWS, 15-2 (1997), 19-23 (in Korean)
- J.E. Park, Y.S. Yoon : Porosity in Aluminum Alloy Weld, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 15-1 (1978), 19-27 (in Korean)
- J.B. Lee, Y.W. Bang, S.W. Oh, H.S. Chang : Control of Bead Geometry in GMAW, Journal of KWS, 15-6 (1997), 116-123 (in Korean)
- R.S. Chandel : Mathematical modeling of melting rates for submerged arc welding, Welding Journal, 66-5 (1987), 135-s-140-s
- J.H. Kim, D.H. Park : Porosity in Thick Aluminium Alloy Welds(Causes and Prevention), Journal of KWS, 12-1 (1994), 14-15 (in Korean)
- Methods of Radiographic Test and Classification of Radiographs for Aluminium Welds (KS D 0242) (1987), 266-274 (in Korean)