

알루미늄 경량차체 제작을 위한 MIG용접 용가재 별 성형성 평가

김 용·박 기 영·이 경 돈

Evaluation of Formability Depend on Aluminum Filler Wire to Make Lightweight Vehicle for MIG Welding Process

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

1. 서 론

2010년 미국 오바마 행정부가 제안한 자동차 연료 경제성 향상 및 오염물질 배출 규제 강화에 대해 알루미늄 운송그룹 회장인 Randall Scheps는 다음과 같이 발표하였다. “이러한 조치가 자동차 연료 경제성과 오염물질 배출 규제에 대한 대책을 요구하게 될 때 알루미늄은 큰 역할을 할 수 있다. 무거운 재료는 연료 효율성을 낮추기 때문에 엔진기술 및 다른 기술들과 함께 자동차 부피가 아닌 자동차 무게는 오늘 발표된 조치에서 앞으로 새로운 연료 경제성 향상 및 배출 규제 요구 강화에 대응하기 위해 많이 감소시켜야 한다”.

무거운 자동차를 운행하는 데에는 보다 많은 에너지가 사용된다는 것은 당연한 현상으로, 고강도이며 경량인 알루미늄은 무게를 감소시켜 연료 효율을 높이고 탄소배출을 줄이는데 기여할 수 있다. 알루미늄은 경쟁 대상이 되는 다른 재료들 중에서 가장 탄소배출을 적게 할 수 있다. 사실상 알루미늄을 사용하여 무게를 15% 감소시키면 같은 크기, 안전성 및 성능을 가지는 자동차에 비해 연료 효율을 10%까지 향상시킬 수 있다. 즉 알루미늄은 전체적으로 이산화탄소 배출을 가장 많이 줄이면서 안전성에 대한 보장과 함께 강철을 대신해서 사용할 수 있는 현존하는 가장 우수하고 현실적인 대체 재료로 사료된다.

한편 차세대 자동차에서 무게를 줄이는 잠정적인 방법으로 최근 독일의 아헨 대학은 자동차의 Fig. 1과 같은 주요 부품에 알루미늄을 사용하는 것은 고강도 강철을 11% 줄임으로써 자동차 무게를 안전하게 40%까지 줄일 수 있다는 연구결과를 보고하였다. 하이브리드 및 전기자동차의 보급이 확대됨에 따라 보다 많은 알루미늄을 자동차에 사용하면 경량인 자동차는 무겁고 비싼 배터리를 보다 작은 것으로 사용할 수 있기 때문에 소비자들에게 전체 자동차 비용을 줄여줄 수 있다. 이산

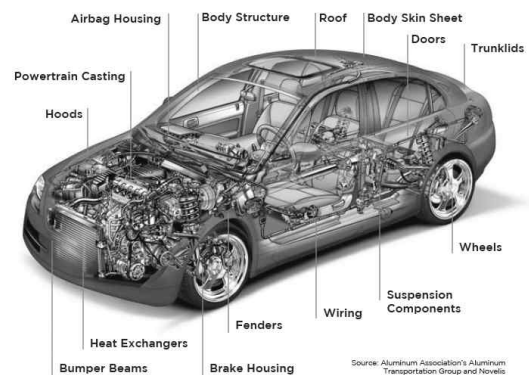


Fig. 1 Aluminum component in lightweight vehicle

화탄소 배출과 관련하여 마그네슘 산업에서 실시한 개별적인 분석에 의하면 강철이 아닌 알루미늄은 생산, 제조, 도로운행, 폐기, 재활용의 전주기 사이클에서 이산화탄소 배출을 가장 적게 할 수 있다.

2. 알루미늄 저입열 아크용접

알루미늄의 용융용접 방법으로는 GMAW, GTAW 및 레이저 용접 등이 가능하지만, 레이저 용접은 초기 설비투자비가 고가인 단점이 있으며, GTAW의 경우는 생산성이 매우 낮다는 단점이 있어 제품의 경쟁력이 근본적으로 저하된다. 또한 일반적인 GMA 용접의 경우 후판에서는 우수한 용접성 및 고속 용접이 가능하지만, 박판 용접에서는 소모전극을 사용하기 때문에 아크에 의한 열량과 이행하는 용적이 보유하는 열량이 더해져 모재에 입열되고, 이로 인해 박판의 경우 용락이 발생할 가능성이 매우 높으며 적정 용접조건에서 용접을 실시하더라도 열변형이 매우 큰 단점이 있다. 이를 방지하기 위해 저전류 용접범위를 사용할 경우에는 다량의 스파터가 발생하게 되어 기존의 GMA 용접을 2mm 이

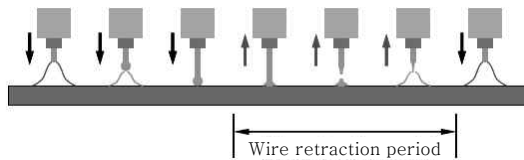


Fig. 2 Schematic diagram of wire retraction to make short circuit transfer mode

하 박판에 적용하기에는 많은 무리가 따른다.

이와 같은 알루미늄 박판 용접의 한계를 극복한 프로세스 개발을 위해 여러 연구자들의 노력이 있어 왔으며, 최근 이에 대한 결과 중 하나로 저입열 단락이행 (Short circuit transfer) 용접기법이 개발되었다. 본 기법은 기존의 GMA 용접방식에 비해 상대적으로 낮은 온도에서 단락 형태의 금속이행이 이루어진다. 기존의 GMA 용접방식은 전류가 단락단계에서 상당량 증가하지만, 이 용접 방식을 사용하면 Fig. 2와 같이 단락단계에서 와이어가 역인(Retraction)되어 전류가 아주 낮게 유지된다. 이에 따른 용적이행 시 용적의 표면장력을 높여주어 저 전류에서도 안정적인 아크 유지가 가능하며 스패터가 거의 발생하지 않아 알루미늄 박판 용접에 적합한 프로세스로 판단된다.

이에 본 기고에서는 이러한 저입열 단락이행 형태의 용접 프로세스를 이용하여 차체 부품에 널리 쓰이는 6천계열 알루미늄 합금의 MIG 용접 시 기계적 접합강도 측면에서 용가재 선택 따른 성형특성을 검토하고자 하였으며, 이에 대한 결과를 기술하고자 한다.

3. 실험 방법

실험에 사용된 용접기는 와이어의 송급이 단락이 감지는 순간 역인되어 저입열 용적이행이 가능한 GMA 용접기로서 모델명은 CMT TPS3200이다. 실험 소재로 사용된 알루미늄은 차체 부품에 많이 적용되는 6천계열 합금인 6K21-T4로서 시편 크기는 200×100mm, 두께는 각각 1.4t, 1.6t를 사용하여 맞대기 용접하였다. 본 연구에 사용된 소재의 화학조성 및 기계적 성질은 각각 Table 1 및 Table 2와 같다. 용가재는 A4043, A4047, A5183 및 A5356이 각각 검토되었으며, 용가재의 지름은 기본적으로 1.2∅를 사용하였다. 단 용가재 직경이 성형성에 미치는 영향을 파악하기 위해 1.0∅ 용가재도 일부 사용되었다.

접합부의 기계적 특성 평가를 위해 선행 실험을 통해 용가재에 따른 적정 맞대기용접조건을 도출하여 분석 시편을 제작하였다. 분석시편은 모두 1.2∅ 용가재를 사용하였으며 루트간격(root gap)은 0.5mm로 하

Table 1 Chemical composition of 6K21-T4 alloy

Material	Si	Mg	Mn	Fe	Ti	Others
6K21-T4	1.05	0.6	0.07	0.15	0.01	0.02

Table 2 Mechanical properties of 6K21-T4 alloy

Material	Y.S (MPa)	T.S (MPa)	E.L (%)	Hv (Vickers)
6K21-T4	130	223	27.5	73

Table 3 Chemical composition of 6K21-T4 alloy

Type	Current (A)	Voltage (V)	Feeding rate (m/min)	Welding speed (m/min)	Heat input (J/cm)
4xxx	78	12.4	4.5	1.3	446.4
5xxx	83	12.7	5.4	1.5	421.6

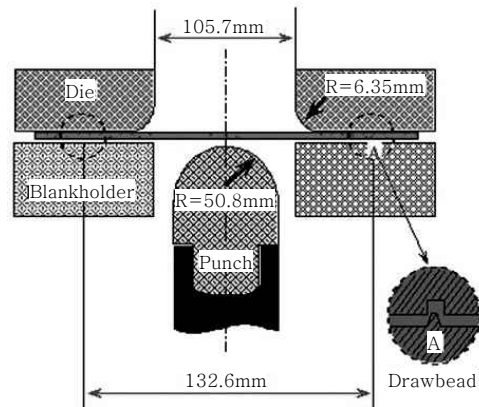


Fig. 3 Tool geometry for dome stretching test

였다. 도출된 용접조건은 4천계열 용가재의 경우, 78A에서 안정적인 비드를 얻을 수 있었던 반면 5천계열의 경우, 83A에서 적정 비드가 형성되었다. 이와 같이 적정 조건으로 용접된 맞대기 용접 시편의 성형성 (Formability) 평가를 위해 20ton 용량의 만능박판성형시험기를 사용하여 20mm/min의 시험 속도로 돔장출시험(Dome stretching test)을 실시하였다. 본 시험은 Fig. 3과 같이 50.8mm의 반지름을 갖는 펀치를 일정한 속도로 가압하여 각 시편에 대한 균열발생시점까지의 높이를 기록하여 비교하는 것으로 이는 최대펀치높이(limit punch height, 이하 LPH)로 표현할 수 있다. 성형성 시험은 용가재 종류에 따른 비교 뿐 아니라 입열량, 비드 형상 및 희석률에 따른 성형성 또한

Table 4 Dimension of backing groove

Type	Grooving width, W (mm)	Grooving depth, H (mm)
Backing 1	3	0.3
Backing 2	4	0.5
Plate backing	0	0

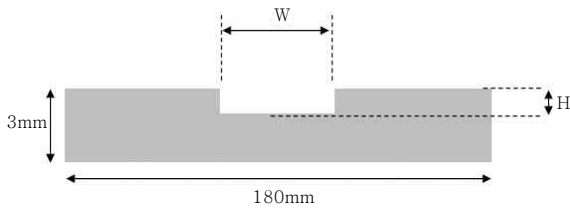


Fig. 4 Schematic diagram of Backing plate design for bead shape control

비교되었으며, 특히 비드 형상을 제어하기 위해 일정 폭(W)과 깊이(H)를 갖는 그루브 백킹재를 제작하여 실험하였다. 백킹재는 일반 탄소강판을 사용하였으며, 총 세 종류가 제작되었다. 백킹재에 대한 디자인 및 치수는 Fig. 4 및 Table 5에 제시하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 비드형상에 따른 성형성 평가

비드형상에 따른 성형성을 평가하기 위해 백킹 그루브(backing groove) 크기를 변화시켜가며 Fig. 5와 같이 4가지 형태의 비드를 형성시켰다. 이 때 사용된 용가재는 A4047로서 모두 동일한 용접조건을 적용하였으며, 이에 따라 형성된 용융금속의 면적은 모두 동

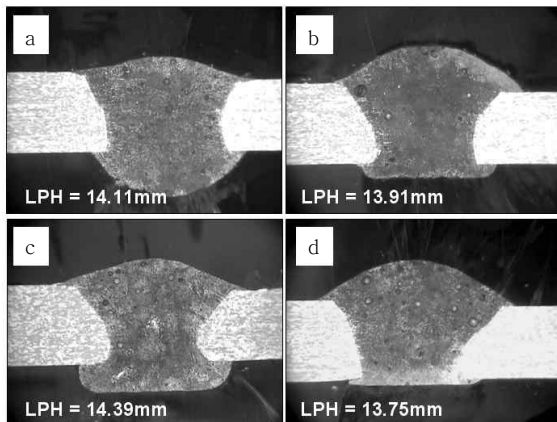


Fig. 5 Bead shape control using various backing plate

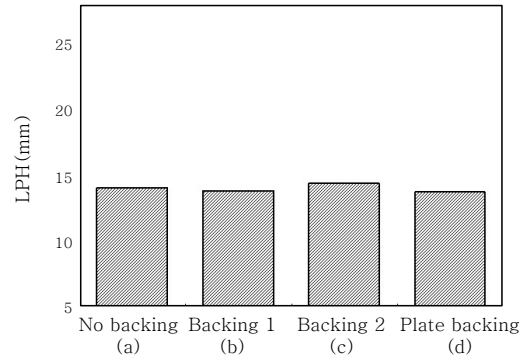


Fig. 6 Results of dome stretching test depend on bead shape

일하다. Fig. 5 (a)는 백킹없는 일반적 용접부 단면이며, (b) 및 (c)는 백킹 그루브의 크기를 각기 달리한 형태이다. 마지막으로 (d)는 백킹재에 별다른 그루브 가공 없이 덧댄 후 용접한 결과이다. 이와 같이 각기 다른 비드형상을 갖는 시편에 대해 돔장출시험을 실시하였으며 이에 따른 시험 결과는 Fig. 6에 나타내었다. 시험결과 최대편치높이(LPH)는 비드형상과 상관없이 5% 이내의 오차범위 내에서 모두 비슷한 결과를 나타냈으며, 본 시험결과를 토대로 맞대기 용접에서 용융부의 면적이 동일한 경우 비드형상은 성형성에 영향을 주지 않는 것을 확인할 수 있었다.

4.2 공정변수에 따른 성형성 평가

MIG 용접의 맞대기 용접에 있어서 대표적인 용접 공정변수로는 입열량과 루트간격을 들 수 있다. 일단 입열량이 성형성에 미치는 영향을 확인하기 위해 동일한 전류에서 루트간격 및 용접속도만 변화시켜 용접 후 성형성을 비교하였다. 마찬가지로 사용된 용가재는 A4047이었으며, 그 결과는 Fig. 7에 나타내었다.

일단 입열량에 따른 성형성은 증가하다가 약간 감소되는 경우를 볼 수 있었는데, 이는 적정수준의 입열 조

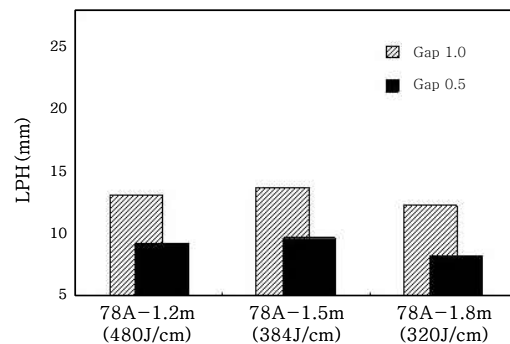


Fig. 7 Formability depend on heat input and root gap condition

건이 강도에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 상대적으로 용접속도가 빠른 경우 용가재에 첨가된 합금원소가 용접부에 희석되는 시간이 충분치 않기 때문에 강도가 저하된 것으로 판단된다.

한편 동일 입열량에서 루트간격만 각각 0.5, 1.0mm로 달린 후 성형성을 평가한 결과 최대편치높이 값이 40% 이상 차이가 발생하였다. 이렇게 성형성에 차이가 나는 이유는 같은 맥락으로 모재와 용가재의 모재 희석 정도의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 이에 따라 루트간격은 일정 수준 이상 확보되어야 하나 용접 안정성 측면에서 볼 때는 루트간격의 증가가 아크 솔림이나 험평비드를 만들 수 있기 때문에 적정 수준으로 유지되어야 한다.

4.3 용가재 종류에 따른 성형성 평가

각 용가재의 특성을 고려한 적정 용접조건을 도출하여 시험편을 만든 후 성형시험을 실시하였다. 별다른 백킹은 실시하지 않았으며, 루트간격은 1.0mm로 동일하게 하였다. 시험결과 Fig. 8과 같이 5천계열 용가재의 LPH가 4천계열 대비 40% 이상 향상된 결과를 나타냈으며, 용가재 직경과 성형성 간 상관성은 찾을 수 없었다. 이와 같은 성형성은 전단강도를 나타내는 척도로서 인장강도와는 다른 양상을 보이는데, 성형성 향상을 목적으로 한 6천계열 합금의 용접 시 Mg의 고용효과에 의한 기계적 강도 향상이 본 성형성에 상당부분 영향을 미치는 것으로 사료된다.

5. 결 언

6천계열 알루미늄 합금의 용접에 적합한 용가재의 선택은 스틸 용가재의 선택과 달리 여러 가지 사용 환경이 고려되어야 한다. 즉 알루미늄 용가재의 선택에 있어서 가장 중요하게 고려되어야 하는 용접부의 성능 또

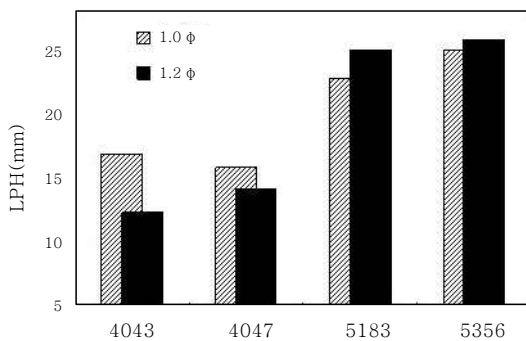


Fig. 8 Formability of welded joint depend on filler wire type

Table 5 Filler wire selection of 6xxx aluminum

Base metal	Filler	W	S	D	C	T	M
Al-Mg-Si	A4043	A	D	B	A	A	-
	A5183	B	A	A	C	-	A
	A5356	B	B	A	C	-	A

는 성질이 무엇인지를 잘 판단하여야 한다. 이러한 아크 용접의 용가재 선택에 있어서 크게 다음과 같은 변수들이 고려되어야 할 것이다.

A. 용접성(Easy of welding)

이것은 쉽게 말해 용접균열과 관계된다. 일반적으로 Si 함량이 5% 또는 12%를 표준조성으로 하는 Al-Si 계(4천계열) 용가재의 경우 Si가 용접이 낮은 공정을 생성하여 용탕의 유동성을 좋게 하기 때문에 용접금속의 고온균열에 대한 저항성이 크며, 이에 따라 5천계열 용가재에 비해 용접이 비교적 수월하게 이뤄질 수 있다.

B. 용접강도(Strength of welded joint)

일반적으로 맞대기 용접부에서의 인장강도는 용가재의 종류와 상관없이 HAZ 연화에 의해 용접부가 아닌 HAZ에서 파단된다. 그러나 전단강도 측면에서 Mg을 포함한 5천계열 용가재가 4천계열보다 약 50% 정도 강도가 우수한 것으로 알려져 있다.

C. 연성(Ductility)

본 기고에서 중점적으로 검토된 성형성을 지칭하는 것으로 5천계열 용가재에 첨가된 Mg은 고용량에 따라 경도 및 강도를 향상시키는 효과가 있다.

D. 내식성(Corrosion Resistance)

해수나 또는 부식 매개체에 노출되어 있는 환경에 있는 용접부인지 고려되어야 하며, 갈바닉 부식을 고려하여 모재에 대해 음극이 되는 용가재를 기본적으로 선택하여야 한다. 이에 Mg의 경우(5천계열) 알루미늄 모재에 비해 양극(Anodic)의 성질을 지니고 있어 부식성에 취약함을 보인다.

E. 사용 온도(Sustained Temp. services)

응력부식균열에 대한 감수성을 의미하며, 6천계열과 같은 열처리형 합금에서는 사용온도가 65℃ 이상 시 4천계열 용가재의 사용이 응력부식균열 방지에 매우 효과적으로 알려져 있다.

F. 색조변화(Color match) 및 비드 외관

4천계열 용가재는 용접 후 양극처리(anodizing)를 하게 되면 모재와 다른 색조를 띄게 되므로 미관이 중

요시되는 용접부의 경우는 5천계열 용가재를 사용한다. 그러나 Mg은 산소와의 결합력이 강해서 용접 후 표면에서 Mg 산화물이 생성되는 경우가 있으며, 용접 비드의 형상 또한 4천계열 보다는 미려함이 떨어진다.

이와 같이 보다 깨끗하고 보다 안전하며 보다 우수한 성능을 가지는 차세대 자동차를 개발하기 위해 알루미늄을 자동차에 사용하는 해결안은 점점 확대될 것으로 예상되며, 차체 최종 품질에 많은 비중을 차지하는 용접기술 또한 이에 발맞춰 개발되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 지식경제부 및 울산광역시에서 주관한 “울산과학연구단지육성사업”의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. <http://www.aluminumtransportation.org>
2. Hui-Chi Chen. et. al. : Fiber laser welding of Zn-coated steel on Al alloy for next generation lightweight vehicles, ICALCO, 2009, 1426-1434
3. J.W.Yoon et. al., : Laser welding of Aluminum alloys. TWI Report 517, TWI, Cambridge, UK. 1995
4. S. M. Cho et., al. : Design and output characteristic of AC pulse current waveform for MIG welding of Al sheet, Journal of KWS, 21-2 (2003), 187-193 (in Korean)
5. B. Altshuller : A guide to GMA welding of aluminum. Welding Journal, June 1998, 49-55
6. J. R. Davis : Aluminum and aluminum alloys, ASM specialty handbook (4th Edition), ASM Int. 1998, 376-415
7. C. H. Lee and R. W. Chang : Weldability of Al alloys, Part 1 : Cracking and porosity, Journal of KWS, 10-3 (1992), 1-12 (in Korean)
8. K. H. Youn and Y. S. Han : Gas metal arc welding of aluminum alloys, Journal of KWS, (1994), 12-16-27 (in Korean)
9. Dudas J H et al., : Preventing weld cracks in high strength aluminum alloys, Welding Journal, 45-6 (1966), 241-249
10. William R. Oates : Welding handbook, Materials and applications part 1 (8th Edition). AWS, 3 (1996), 23-25
11. 대한용접학회 : 용접·접합편람(1st Edition), 대한용접학회, 1998, 242-253 (in Korean)
12. 한국철강신문 : 알루미늄 응용기술의 이해와 활용(3rd Edition), (주)한국철강신문, 2009, 70-79 (in Korean)
13. Sindo Kou : Welding metallurgy (2rd Edition), Wiley Co. 2003, 250-252
14. G. E. Dieter : Mechanical metallurgy (SI Metric Edition), McGraw-Hill Co. 1988, 145-150



·김 용
·1979년생
·고등기술연구원 로봇/생산기술센터
·용접가공
·e-mail : welding@iae.re.kr



·이경돈
·1957년생
·고등기술연구원 로봇/생산기술센터
·레이저 용접 및 자동화
·e-mail : kdlee@iae.re.kr



·박기영
·1962년생
·고등기술연구원 로봇/생산기술센터
·레이저 용접 및 자동화
·e-mail : young@iae.re.kr