

외부 전자기력을 이용한 가스메탈 아크용접법에 관한 연구

이성호[†], 이재윤*, 김재성**, 이보영**

The effect of external electromagnetic force in GMAW

Seong-Ho Lee, Jae-Yun Lee, Jae-Seong Kim, and Bo-Young Lee

Key Words: GMAW(가스메탈 아크용접), electromagnetic force(전자기력), spatter(스페터), metal transfer(금속이행), magnetic field(자기장)

Abstract

Effects of electromagnetic force which is one of the most important factor of metal transfer that affects bead geometry and microstructure of weld metal in GMAW(gas metal arc welding). In this paper, different ways of external electromagnetic forces were applied on GMAW process and their effects on the welding were studied. On certain conditions, better bead geometry, better influence on the arc and metal transfer mode and higher welding efficiency could be obtained. Experimental methods and their results will be presented.

1. 서 론

가스 메탈 아크 용접(gas metal arc welding : GMAW)은 별도의 보호가스를 사용하면서 소모 전극 와이어를 연속적으로 송급하고, 그 선단에서 아크가 발생하도록 하여 용적이 용융지로 이행되도록 하는 용접법을 말한다. GMAW는 보호가스의 종류에 따라 여러 가지 용접법으로 구분되고 있다.

국내에서는 가스의 가격이 저렴하고, 용입이 깊은 CO₂가스를 이용한 용접이 가장 광범위하게 사용되고 있으나 용접 품질이 떨어지고 매연, 스페터 발생량이 많은 단점이 있어 자동화에 의한 고속용접

이 어렵고, 이에 따른 용접 후처리에 의한 생산 원가의 상승이 문제점으로 지적되어 왔다.

CO₂용접의 경우 반발이행(Repelling transfer)⁽¹⁾⁽²⁾을 행하는 것으로 알려져 있으며, 이러한 반발이행에 의한 스페터 발생량이 많다고 알려져 있다. CO₂가스 분위기에서 반발이행이 발생하는 원인에 대해서는 몇 가지 이론이 제시되고 있는데, 대표적인 이론으로는 Cathode Jet이론과 Plasma Buoyance Force이론이 있다.⁽³⁾ 따라서 CO₂용접의 적용을 확대 시키기 위해서는 스페터 발생을 절감시켜 용접 품질을 향상 시킬 수 있는 방안이 수립되어야 한다. 현재 스페터 발생을 절감시킬 수 있는 방안 연구에는 용접기 파형 제어를 통한 용접기 특성제어에 관한 연구, 용접재료에 관한 연구, 초음파 진동에 관한 연구등 다양한 연구가 수행되고 있다.

본 연구는 용적에 작용하는 힘에 외부 전자기력을 가하여 용적 이행의 변화에 관한 해석을 통하여 스페터 발생을 최소화하는데 그 목적이 있다.

[†] 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과 대학원
E-mail : leelukas@hanmail.net

TEL : (02)300-0057 FAX : (02)3158-4429

* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과 대학원

** 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

2. 이론적 배경 및 실험 방법

2.1 이론적 배경

2.1.1 금속 이행

아크 용접에 있어서 금속이행 현상은 용접재료, 보호가스, 용접조건 등에 따라 여러 가지 형태로 나타나는데, 이것은 용접 변수들의 변화에 따라 와이어 선단의 용적에 작용하는 힘들의 크기와 방향이 변화하기 때문이다. 용적에 작용하는 힘은 Fig.1에 나타나있다. 용적에 작용하는 힘은 크게 중력, 표면장력, 전자기력, 반발력이 있으며, 표면장력은 전류의 영향을 거의 받지 않으며, 나머지 힘들은 용접전류의 크기에 따라 크게 영향을 받고 있다. 특히, 전자기력은 용접 전류가 증가함에 따라 직선적으로 증가하여 250A 이상에서는 가장 큰 힘이 된다. 따라서 낮은 전류 영역에서는 표면 장력이 가장 큰 힘으로 작용하지만, 높은 전류영역에서는 전자기력이 주도적인 역할을 하게 된다.

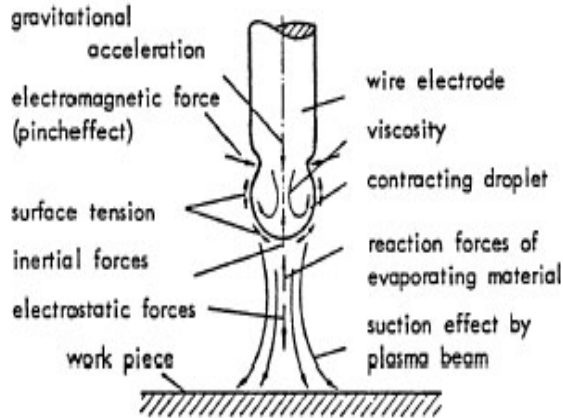


Fig. 1 Forces act on the droplet

GMAW에서 발생하는 금속 이행 모드는 국제 용접 학회(International Institute of Welding: IIW)가 고속 카메라의 관찰에 의해 크게 입상용적이행, 단락이행, 스프레이이행의 3가지 모드로⁽⁴⁾ 구분되며, 이와 같은 이행 모드는 용접 전류, 용접 전압, wire 송급 속도, 아크 길이 그리고 보호 가스의 종류에 따라 아크의 안정성과 용입 깊이 및 스패터 발생량등의 용접 품질에 큰 영향을 준다.

이행 현상 명칭	용접기법(예)
1) 자유비행(free flight)이행 ① 입상용적(globular)이행 - 드롭(drop)이행 - 반발이행(repelled)이행 ② 스프레이(spray)이행 - 프로젝티드(projected)이행 - 스트리밍(streaming)이행 - 회전(rotating)이행 ③ 폭발(explosive)이행	저전류 GMAW CO ₂ GMAW 중저전류 GMAW 중전류 GMAW 고전류 GMAW SMAW
2) 브리징(bridging)이행 ① 단락(short circuiting)이행 ② 연속브리징(bridging without interruption)	GMAW(단락조건),SMAW 용가제를 첨가하는 용접
3) 슬래그보호(slag-projected)이행 ① 플럭스유도(flux-wall guided)이행 ② 기타	SAW SMAW, FCAW, ESW

Fig. 2 Classification of metal transfer

2.1.2 Solenoid에 의한 자기장

자극과 자극 사이에 작용하는 힘을 자기력이라고 하며, 자기장은 자극 주위나 전류가 지나가는 도선 주위에 생성되는 자기력이 작용하는 임의의 공간을 말한다. 외부 자기장을 공급하기 위해 원통형으로 길게 도선을 감은 Solenoid를 토치 tip holder에 장착하면 Fig 3과 같은 자기장이 형성되며, Solenoid에 12V, 0.13A의 전압과 전류를 극성을 바꾸어 흘려줄 경우 와이어 선단에 작용하는 자속 밀도는 약 300 Gauss 정도이며 2차원적인 자기장의 이론적 분포는 Fig 4, Fig 5와 같다.

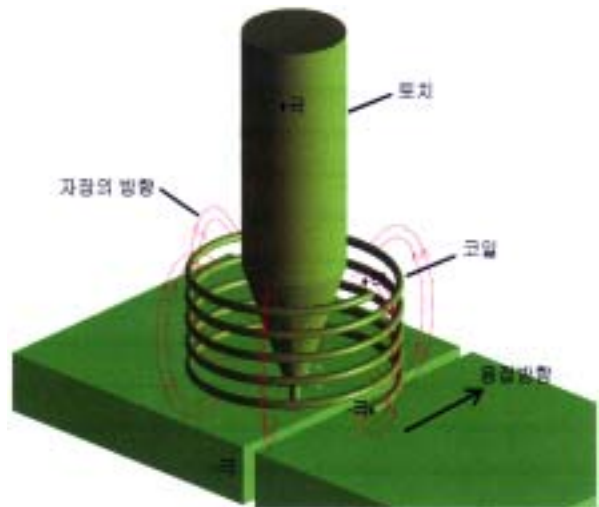


Fig. 3 Schematic of solenoid on torch tip

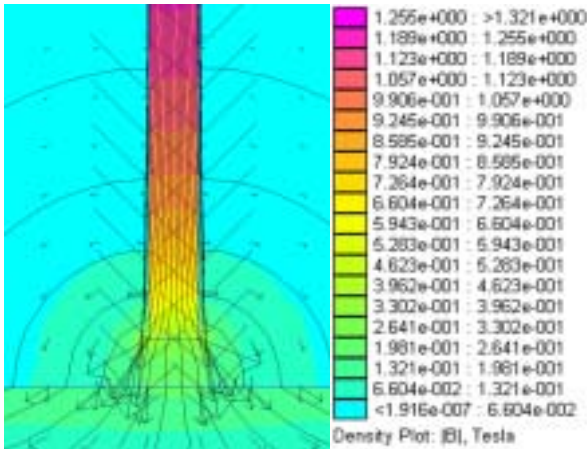


Fig. 4 Distribution of 2-dimensional magnetic field(North pole)

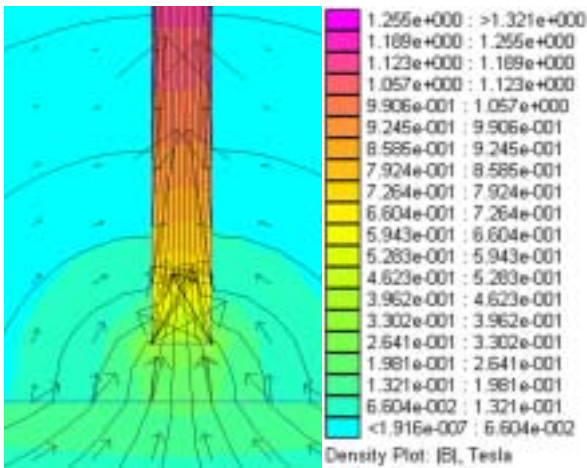


Fig. 5 Distribution of 2-dimensional magnetic field(South pole)

2.2 실험 재료 및 장치

2.2.1 시험 재료

모재는 일반 구조용 압연 강재를 사용하였으며, 용접 모재는 100(W)×200(L)×10(t) 크기로 기계 가공하였다. 용접 와이어는 직경 1.2mm, 연강 CO₂ 용접용 solid wire를 사용 하였다. 보호가스는 CO₂ 가스를 사용하고 유량은 15L/min으로 하였다.

2.2.2 실험장치

실험 장치는 Fig. 6에 나타난 것과 같이 400A급 용접기와 와이어 송급장치, 자동용접용 대차를 사용하였다. 외부 자기장 공급은 원통형으로 길게 도선을 감은 Solenoid와 직류 전원 공급장치를 사용하였다.

2.3 실험 방법

모든 용접 변수가 동일한 상태에서 자속밀도의 방향과 크기를 Table 5와 같이 변화시켜 bead on plate 용접하였으며, 자속 밀도의 세기는 용접 와이어 끝단에서 Gauss Meter를 사용하여 측정였다.

Table 1 Chemical composition of base metal (KS D 3503 : SS400)

성분	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni
%	0.15	0.03	0.69	0.013	0.007	0.041	0.087	0.503

Table 2 Chemical composition of solid wire

성분	C	Si	Mn	P	S
%	0.08	0.50	1.05	0.014	0.010



Fig. 6 Schematic diagram of the experiment set-up

Table 3 Charateristic of solenoid

코일의 지름(mm)	권수(N)	길이(mm)	두께(mm)
0.3	3400	50	10

Table 4 Bead on plate CO₂ welding condition

극성	전류(A)	전압(V)	CTWD(mm)	용접속도(cm/min)
직류역극성	250	28	15	30

Table 5 Experimental conditions

실험 번호	용접 와이어 끝단의 자기장의 방향	전압 (V)	전류 (A)	자속밀도 (Gauss)
1	-	-	-	-
2	S	12	0.13	300
3	S	29	0.26	500
4	N	12	0.13	300
5	N	29	0.26	500

3. 실험 결과

3.1 비드외관과 마크로 사진

500 Gauss의 자속밀도를 공급한 3번과 5번 시편의 경우 1번 시편과 특별한 차이점을 찾을 수 없지만 300 Gauss(S극)의 자속밀도를 공급한 2번 시편의 경우 스패터 비산량과 각각의 스패터의 크기가 1번 시편 보다 확연하게 감소함을 알 수 있다.

마크로사진을 통해 시편의 용입 깊이, 비드 폭, 덧살 높이를 분석한 결과, 용입 깊이는 자장을 가하지 않은 1번 시편보다 대부분 얇게 나타났지만, 2번 시편의 경우 깊게 나타났다. 덧살 높이는 자장을 가하지 않은 1번 시편의 경우가 가장 높게 나타났다.

3.2 스패터 포집

동일 용접 조건으로 용접 중 발생된 스패터의 양을 측정하여 스패터 발생율(Spatter Generation Ratio:SGR %)을 계산하였으며 결과는 Table 7과 같다.

$$SGR(\%) = \frac{\text{스패터무게}(g)}{\text{용접재료소모량}(g)} \times 100$$

Table 6 Result of penetration, bead width and bead height

시편 번호	용입 깊이 (mm)	비드 폭 (mm)	덧살 높이 (mm)
1	3.9	11.9	3.9
2	4.5	12.1	3.8
3	3.3	12.2	3.6
4	3.5	11.5	3.6
5	3.7	11.7	3.1

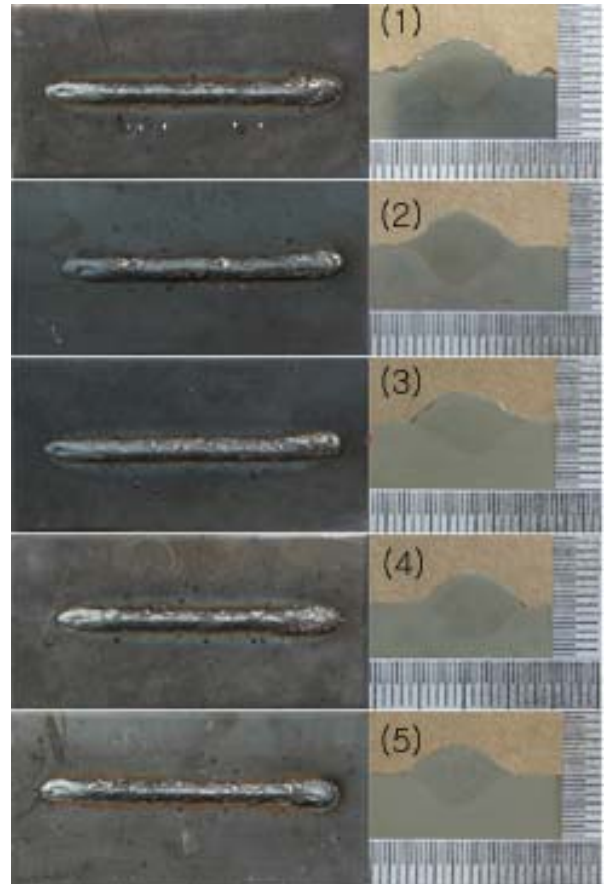


Fig 7. Bead appearance and macrostructure of its cross-section

Table 7 Spatter generation rate

조건	스패터 무게(g)	스패터 발생율(%)
1	3.293	10.95
2	2.634	8.76
3	3.121	10.38
4	3.012	10.02
5	3.293	10.95

※용접재료소모량 30.053g

3.4 금속이행의 고속촬영

금속이행의 고속 촬영 결과 Fig 8과 같이 1번 실험의 경우 용적이 와이어 선단에서 일정한 방향 없이 움직이지만 외부 자기장을 준 경우 용적이 와이어 선단에서 일정한 방향으로 회전하는 것을 관찰 할 수 있다. 즉 2번과 3번 실험과 같이 와이어 선단이 S극인 경우 시계 방향으로 회전하면서 용적이 이행되며, N극의 경우에는 반시계 방향으로 회전하면서 용적이 이행되는 현상을 나타낸다.

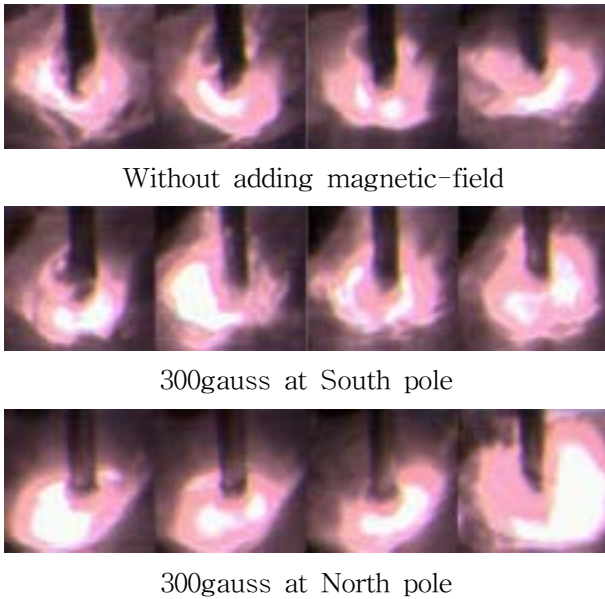


Fig 8. Droplet transfer phenomena

3.5 용접파형

전체 용접 시간 25초 중 15초에서 15.5초까지 0.5초 동안의 파형을 2500회로 나누어 측정된 값은 Table 8과 같다.

단락이 이루어지면 브리지를 통과하는 전류는 열 에너지의 축적을 가져오고, 폭발을 일으키며 아크가 발생하는데, 순간적으로 발생하는 충격파에 의해 브리지와 용융지의 용융급속이 비산되어 스패터가 된다.⁽⁵⁾ 아크의 단락횟수가 가장 많은 것은 자장을 걸어주지 않은 1번 실험의 경우에 나타났으며, 2번 실험의 경우 단락횟수가 가장 적게 나타났다.

Table 8 Measured output data by arc monitoring system

실험 번호	단락 횟수 (회/초)	비율 (%)	정상 /순간	용접 전류 (A, 평균값)	용접 전압 (V, 평균값)
1	62.0	15.12	11/20	250.90	27.27
2	36.0	10.68	8/10	251.49	28.10
3	44.0	14.48	14/8	255.41	27.49
4	46.0	8.96	8/15	253.68	28.63
5	48.0	10.76	8/16	253.75	28.14

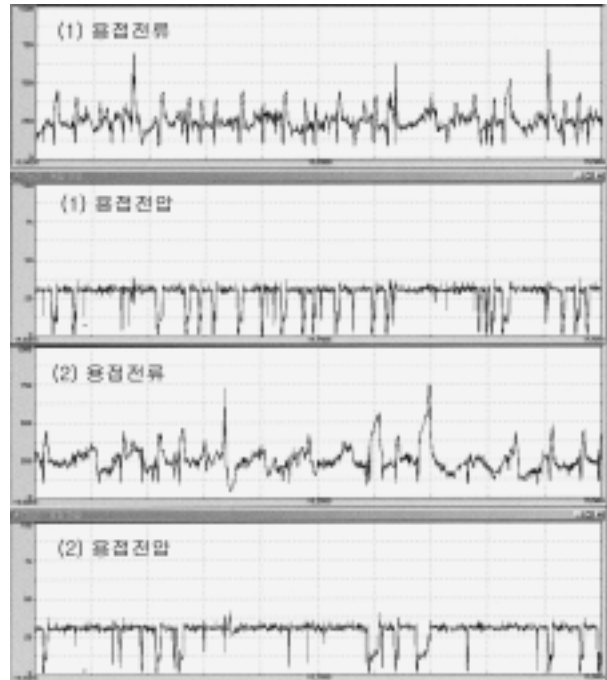


Fig 9. Waveforms by arc monitoring system

용접 파형 측정 결과에서 알 수 있듯이, 자기장을 가해준 경우 용적이 회전하면서 이행하여 단락 횟수가 감소하였으며, 와이어 선단에 300 Gauss S극의 자속 밀도를 가해준 경우 스패터 발생량이 적어짐을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 외부 자기장으로 발생된 자기력을 이용한 가스메탈 아크용접시 비드 외관, 용적이행 모드, 단락, 스패터 발생량등에 대하여 분석 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 용접시 300 Gauss의 낮은 자속 밀도를 가해준 경우가 가해주지 않은 경우 보다 비드 외관이 깨끗 하며, 특히 와이어 선단이 S극인 경우 더욱 깨끗하고, 용입 깊이도 깊음을 확인하였다.
- (2) 용접 중 발생된 스패터의 양을 측정한 결과 와이어 선단에 S극 300 Gauss의 낮은 자속 밀도를 가해준 경우가 가해주지 않은 경우 보다 스패터 발생량이 적었으며, 동일 자속 밀도 조건에서 와이어 선단이 S극인 경우가 스패터 발생량이 적었다.

(3) 용접 파형 측정 결과 와이어 선단에 300 Gauss S극의 자속 밀도를 가해준 경우에 단락 횟수가 가장 적은 것으로 나타났으며, 이것이 스패터 발생량을 줄이는 원인으로 판단된다.

(4) 고속 촬영 결과 자기장을 준 경우에는 용적이 와이어 선단에서 회전을 하였으며, 자속 밀도가 높아 짐에 따라 회전 속도가 빨라지는데, 이것이 단락 횟수를 줄이는데 큰 역할을 한 것으로 판단된다. 이에 따라 300Gauss에서 스패터 발생량이 자기장을 가하지 않은 경우 보다 적은 것을 확인하였다. 또 500Gauss 이상의 자속 밀도를 준 경우에는 회전 속도가 빨라짐에 따라 원심력이 작용하여 용적이 바깥으로 튀는 현상이 생기기 때문에 스패터의 발생량을 줄이지는 못한 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국항공대학교 용접공학연구실에서 이루어졌으며, 함께 고생한 연구원들과 아낌 없는 지원을 해주신 대보마그네틱 이준각 사장님께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Sehun Rhee, and Elijah Kannatey-Asibu Jr., 1991, Observation of Metal Transfer during Gas Metal Arc Welding, Welding Journal, Vol. 51, p.203-213.
- (2) T. Mita, 1989, Reducing spatter in CO₂ gas shielded arc welding, Quarterly J. of Japan welding society, Vol. 6, No.2, p209.
- (3) J.C. Amson, 1989, Lorentz force in the molten tip of an arc electrode", Brit, J. appl Phys. Vol. 3 (1989), p227-232.
- (4) Anon, 1977, Classification of metal transfer on arc electric welding processes, Welding in the world, Vol. 15, No 5/6, p113-117.
- (5) V. A. Bukarov and S. S. Ermakov, 1993, Dynamics of energy characteristics of the arc in the consumable electrode short-circuiting welding, Welding International, Vol.7 No. 2, p.129-133.