

特輯 : 용접아크 현상 해석 및 응용

CO₂용접의 용접 스파터 저감을 위한 용접전류 파형제어 개념

김 희 진 · 김 용 석

Concept of Waveform Control for the Reduction of CO₂ Welding Spatter

H. J. Kim and Y. S. Kim



김희진/한국생산기술연구원/1953년생/용접재료개발 및 용접파형 연구



김용석/홍익대학교/1957년생/용접재료개발 및 용접파형 연구

1. 서 론

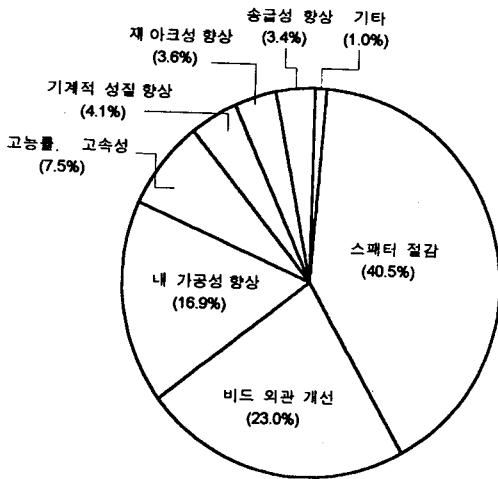
1970년대 이후 용접 생산성 향상을 목적으로, 용접의 자동화 및 기계화가 적극적으로 추진되면서, 용접기법의 주체는 피복아크용접(SMAW)으로부터 보호가스 및 와이어를 사용하는 용접법, 즉 가스메탈 아크용접(GMAW) 및 플럭스코어드 아크용접(FCAW)으로 이행되어 왔다¹⁾. 그중에서도 GMA용접은 슬래그가 생성되지 않기 때문에 용접 자동화 추세와 더불어 적용범위가 급속히 확대되었는데, 특히 CO₂가스를 보호가스로 사용하는 CO₂용접은 가스가격이 저렴하다는 장점 때문에 가장 선호하는 용접기법이 되었다²⁾.

그러나 CO₂용접의 확대 적용에 있어서 가장 큰 애로점은 스파터가 다량 발생한다는 것이다. 용접 스파터는 제거 작업에 따른 생산성 저하를 초래할 뿐만 아니라, 용접로봇으로 대표되는 자동용접장비의 가동율을 저하시키기 때문에 용접시공자들로 부터 스파터 발생량을 절감할 수 있는 용접기자재의 필요성이 강하게 제기되어 왔다.

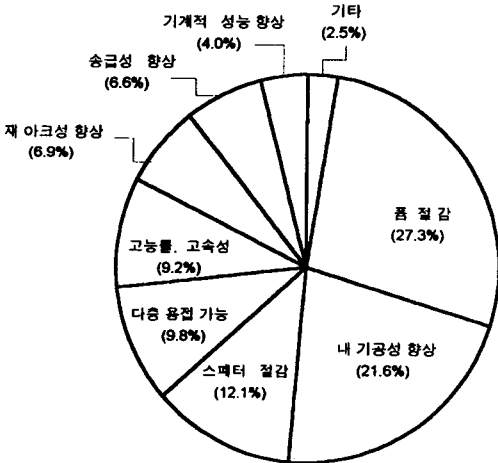
Fig. 1은 일본용접협회에서 GMA용접재료의 개발 요망사항에 대하여 설문조사한 결과를 보여주

는 것인데³⁾, FCA용접재료의 경우에는 용접품 감소(27.3%), 내기공성 개선(21.6%), 스파터 절감(12.1%) 등의 순위로 요망사항이 나타나고 있어 스파터 문제가 그다지 크게 부각되고 있지 않아 보이지만, 솔리드 와이어의 경우에는 스파터 절감(40.5%), 비드외관 개선(23.0%), 내기공성 개선(16.9%) 등의 순위를 보임으로써 스파터 절감에 대한 요망이 매우 절실하다는 것을 알 수 있다. 이와같이 스파터 발생량의 절감이 절실히 요구되고 있는 것은 스파터 제거 작업에 소요되는 시간이 실제 용접에 할애되는 시간과 거의 동일할 정도로 크기 때문이다³⁾.

용접 스파터 발생을 절감하는 방법으로는 (i) 용접재료(용접 와이어 및 보호가스)를 바꾸는 방법과 (ii) 용접 전원을 교체하는 방법등이 있을 수 있는데, 최근들어 이들 분야에서 보다 새로운 제품들이 지속적으로 개발되면서 사용자가 선택할 수 있는 폭은 더욱 넓어졌다. (i)의 한 예로써 80% Ar-20%CO₂보호가스를 사용하는 MAG용접용으로 최근 개발된 저 스파터 솔리드와이어가 있는데³⁾, 이는 와이어 성분의 조정과 제조공정의 변경을 통하여 기존의 와이어로써는 스파터가 다량 발생하는 중간 전류범위(220~280A)에서 급속이행형태



(a) 솔리드 와이어



(b) 플럭스 코어드 와이어

Fig. 1 GMA용접 와이어에 대한 품질개선 요망사항¹⁾

를 스프레이 이행화함으로써 스파터 발생을 크게 절감하였다고 보고하고 있다. 한편 용접전원 측면에서는 단락이행 현상을 제어하는 방법이 용접전원에 적용됨으로써 CO₂용접에서의 스파터 발생량을 감소시켰을 뿐 만아니라 아크안정성등의 기타 성능도 지속적으로 향상되어 왔다⁴⁾. 단락이행현상을 제어하는 방법은 근년의 일렉트로닉스(electronics) 기술이 급격히 발전하여 용접전원의 출력방식이 싸이리스터(thyristor) 제어로부터 인버터(inverter) 제어로

이행되고, 마이크로 컴퓨터 제어기술이 발전함에 따라 가능하게 되었다. 즉 용접 전원이 인버터화되면서 출력의 고속제어가 가능해 지고, 그 결과 용접전류를 순간적으로 제어할 수 있게 됨으로써, 기존의 용접전원으로서는 불가능할 수밖에 없었던 복잡한 출력의 제어도 비교적 용이하게 실현할 수 있게 되었던 것이다.

본 기술보고에서는 인버터 용접전원에서 출력파형을 제어하여 스파터 발생을 감소시키고자 연구·개발되고 있는 내용에 대해서 기술하고자 한다.

지금까지 스파터 저감과 관련하여 문헌에 보고되었거나 개발된 용접전원을 보면, 표면적으로는 CO₂용접의 단락이행현상을 어떠한 방법을 적용하여 어떠한 형상으로 만들 것인가에 초점을 맞추고 있다⁵⁾. 그러나 용접 전류 파형제어의 궁극적인 목적이 스파터 발생을 억제코자 하는 것이기 때문에, 제어기술의 기본은 금속이행과정에서 스파터 발생순간과 원인을 명확히 규명하는 것이라고 할 수 있다. 다음으로는 규명된 결과를 기초로 하여 스파터 발생을 억제할 수 있는 제어개념을 수립하고, 이를 최적의 파형으로 구현해 나가는 것이다. 따라서 과거 10여년 동안 단락이행현상에 대한 이해가 깊어짐에 따라 보다 효과적인 제어개념이 수립될 수 있었고, 마이크로 컴퓨터를 이용한 제어기술이 발전함에 따라 제어방법도 점진적으로 발전되어 보다 고성능의 용접전원이 지속적으로 개발될 수 있었다.

따라서 본 기술보고에서는 먼저 CO₂용접에서 발생하는 스파터의 유형에 대하여 보다 구체적으로 기술하고, 다음으로는 최근까지 제안되어 실용화·상품화되고 있는 용접전류 파형제어 개념과 스파터 발생현상과의 관계에 대해서 기술하고자 한다.

2. CO₂용접에서 스파터 발생 형태

스퍼터 발생량은 금속이행 모드와 직접적인 관계가 있는데, CO₂용접의 금속이행모드는 사용전류에 따라 저전류영역의 단락이행(short-circuit transfer), 중전류영역의 천이이행(transient transfer), 고전류영역에서의 입상용적이행(globular transfer)모드로 구분되는데, 스파터 발생량은 단락이행과 입상용적이행이 혼재되어 나타나는 천이이행조건에서 가장 많음을 보여주었다⁶⁾.

단락이행 모드에서의 금속이행은 아크기간동안 와이어 선단에서 형성된 용적(molten drop)이 단락 기간에 용융풀(molten pool)과 물리적으로 접촉되어 중력의 작용으로 용융금속이 용융풀로 이행하는 것이다. 결국, 단락이행 조건에서의 용접은 아크상태와 단락상태가 교대로 반복되면서 진행되는 것인데, 이러한 반복과정으로 용접 전류와 전압의 변화는 Fig. 2와 같은 독특한 파형형상으로 나타난다.

용접전압은 단락이 시작되는 시점과 아크가 재생되는 시점에서 급격한 변화를 보여주어 단락기간과 아크기간을 명확히 구분할 수 있도록 하여준다. 한편 용접전류는 단락기간동안 계속 증가하여(단락이 개방되어) 아크가 재생되는 순간에 피크 전류에 도달하고, 아크가 재생된 이후에는 지속적으로 감소한다.

Fig. 3은 파형제어기능을 갖추지 않은 인버터 용접전원에서 얻어진 단락이행의 실제 파형을 보여

주는데, 이 결과로부터 CO₂용접의 단락이행현상은 제어기능이 없으면 매우 불규칙적으로 일어난다는 것을 알 수 있다.

그런데 이와같은 단락이행 과정에서 스파터가 발생하는 형태를 살펴보면 Fig. 4~7과 같다. Fig. 4는 용접 전류가 최대가 되는 시점에서, 즉 단락이 개방되고 아크가 재생되면서(마치 전기 퓨즈가 터지듯이) 발생하는 스파터의 형상을 보여주며, Fig. 5는 아크기간중에 와이어 선단에 형성된 용적이 극히 단시간(일반적으로 2msec 이하)동안 용융풀과 접촉되면서(이를 순간단락이라고함) 발생하는 스파터이다. 순간단락은 중 전류영역(~250A)에서 발생하는 스파터의 주된 원인으로 보고되고 있다⁷⁾. Fig. 6은 용적 내부에서 가스가 폭발하면서(마치 풍선이 터지듯이) 발생하는 스파터이며, Fig. 7은 용융풀 내부에서 가스가 폭발하면서 발생하는 스파터현상이다.

그 밖에도 CO₂용접에서 발생하는 스파터에는 상용적이행(CO₂용접에서는 아크의 반발력으로 용적이 비대칭적으로 형성됨) 과정에서 생성되는 여러 가지 형태의 스파터가 있다. 일반적으로 반발이행에서는 아크가 용적 하단부에 위치하고 있다가, 용적이 이탈하는 순간 와이어 선단으로 이동하게 된다. 이때 와이어 선단부는 전기 퓨즈가 터지듯이 비산되어 많은 양의 스파터를 발생시킨다. 그리고 Fig. 8과 같이 가교가 절단된 후에 와이어 선단과 용적사이에서 아크가 재발생하게 되면, 그 사이에 있는 가스가 급격히 팽창하게되고 이에 의한 압력으로 말미암아 옆에 위치한 용적이 분산되어 스파터화한다. 그 밖에도 아크 압력에 의해 용융풀이 요동치면서 용융풀의 일부가 스파터화 하기도 한다.

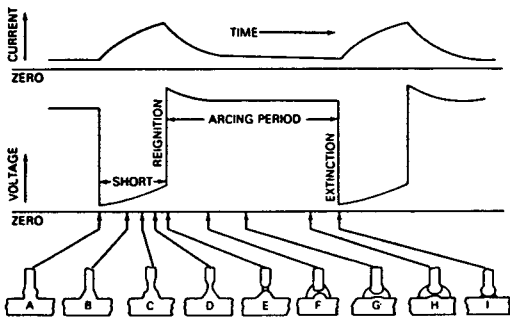


Fig. 2 단락이행의 용접전압·전류파형

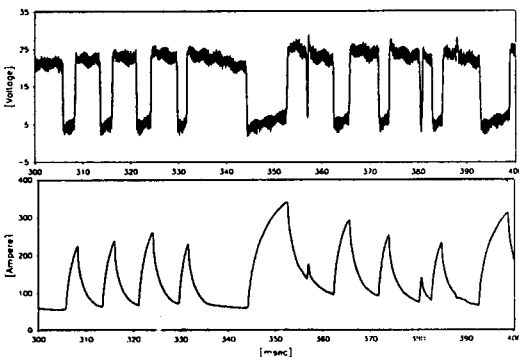


Fig. 3 파형제어 기능을 갖추지 않은 인버터 용접전원의 파형

3. 스파터 발생 억제를 위한 제어 개념

앞에서 설명한바와 같이, 단락이행과정에 발생하는 스파터는 4가지 유형이 있는데, 고속촬영에 의해 각각의 빈도수를 살펴보면 유형별로 차이가 많음을 알 수 있다. 가장 빈도수가 높은 유형은 아크가 재생되는 순간에 발생하는 Fig. 4과 같은 스파터이다. 다음으로는 순간단락에 의한 Fig. 5와 같은 스파터의 빈도수가 높는데, 이때 발생하는 스파터는 크기가 크다는 특징을 가진다. 따라서

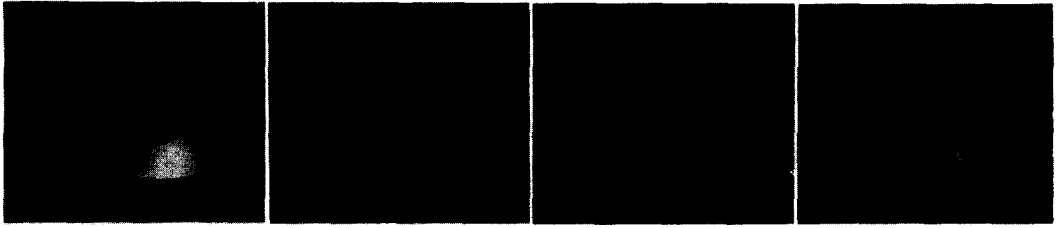


Fig. 4 아크 재생 순간에 발생하는 스패터 현상

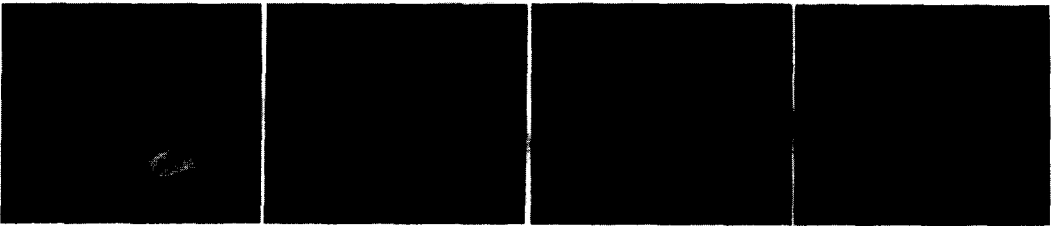


Fig. 5 순간단락에의해 발생하는 스패터 현상

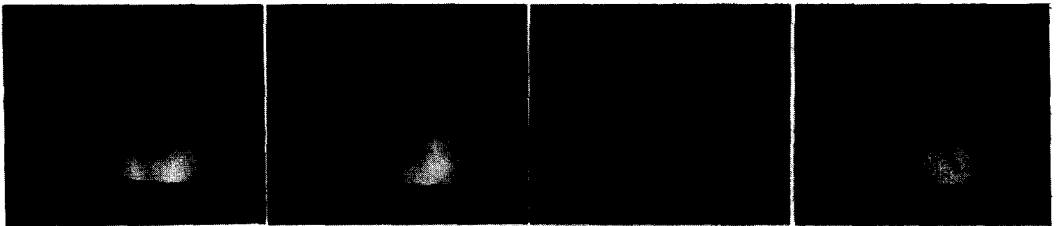


Fig. 6 용접의 가스폭발에의해 발생하는 스패터 현상

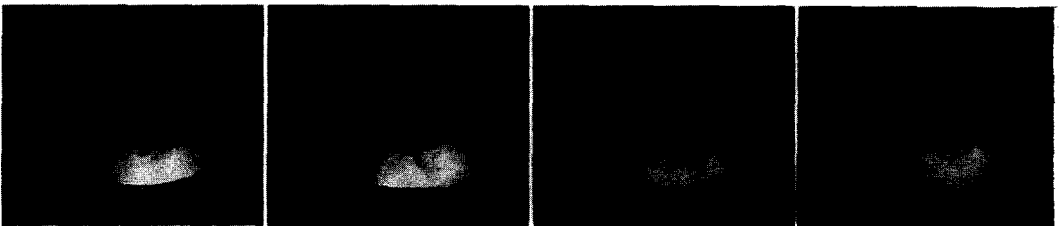


Fig. 7 용융풀의 가스폭발에의해 발생하는 스패터 현상

최근까지 제안되고 있는 파형제어 개념은 이상의 두가지 유형의 스패터에 한정되어 있는데, 개념 자체는 이들 스패터가 발생하는 순간에 용접전류에 변화를 주어 이들이 발생하지 않도록 하는 것이다. 이를 위하여 다음과 같은 개념을 가지고 여러 가지 형태의 파형이 제안되거나 실용화되어 있다.

3.1 전류 상승 지연 제어

단락 직후 바로 아크가 재생되는 순간단락에서는 실질적인 금속이행이 미처 진행되기 전에 단락이 순간적으로 개방되어 아크가 재생되는데, 이 과정에서 대립의 스패터가 주로 발생한다고 보고

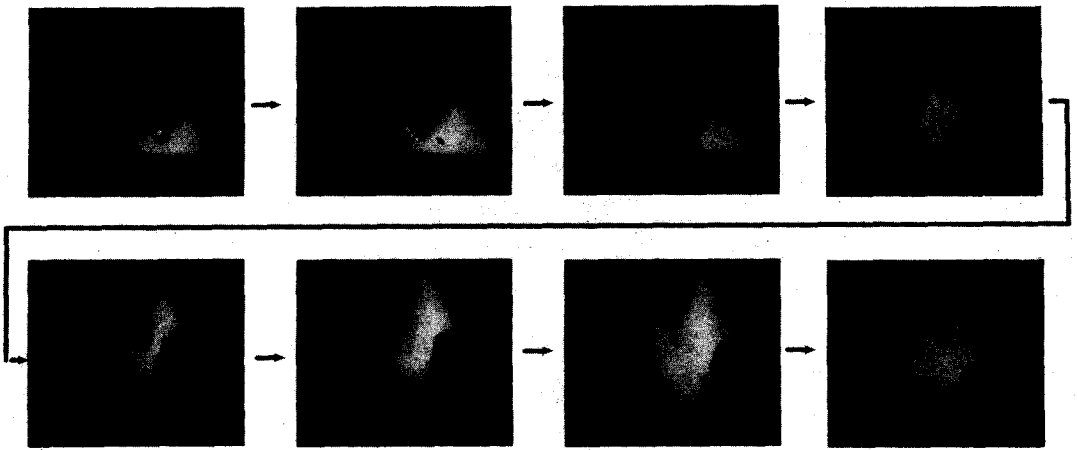


Fig. 8 반발이행과정에서 발생하는 스패터 현상

되고 있다⁹⁾. 따라서 이러한 스패터는 순간단락이 일어나지 않도록하면 발생을 억제할 수 있을 것이다. 이를 위하여, Fig. 9에서 보는 바와 같이, 단락 초기에 일정시간 전류상승을 지연시키는 방법이 적용되고 있다. 이는 단락형성 직후에 일정시간동안(T_d) 전류의 상승을 억제하거나 또는 전류를 낮추어 주게 되면, (저전류에서는 아크 발생이 어렵기 때문에) 순간단락으로 진행될 상황이 정상 단락화 될 것이라는 개념이다.

Fig. 10는 전류상승지연시간(T_d)에 따른 스패터

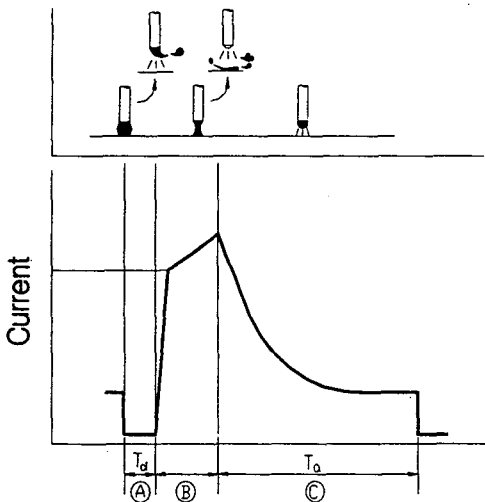


Fig. 9 전류상승 지연제어 및 전류상승 속도제어 개념도

발생량의 변화를 보여주는 Mita⁹⁾의 실험결과인데, T_d 가 약 3.5msec에서 최소치를 보여주고 있다. 그리고 Fig. 11은 상품화 되어 있는 인버터 용접전원에서 측정된 실제 파형을 보여주는데, 본 용접전원에서의 T_d 는 약 0.8msec로 셋팅되어 있음을 알 수 있다.

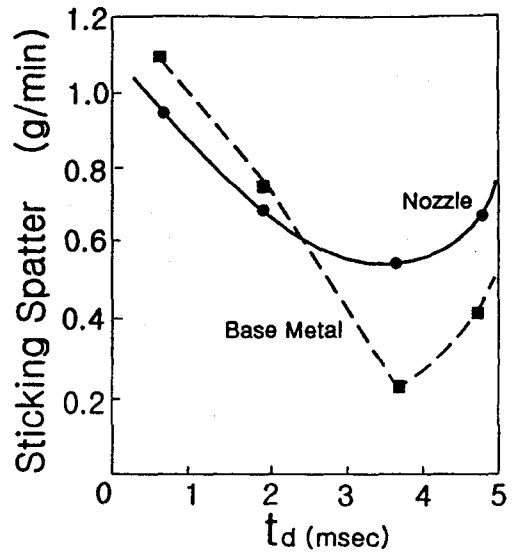


Fig. 10 전류상승 지연시간(T_d)에 따른 스패터 발생량의 변화⁹⁾

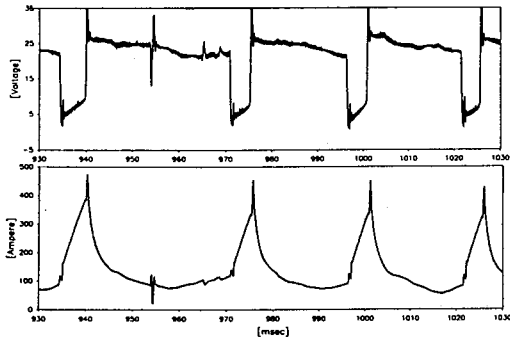


Fig. 11 전류상승 지연제어 기능을 갖춘 인버터 용접전원의 파형

3.2 단락기간 전류 상승속도 제어

단락이행에 있어서, 아크 재생 순간에 발생하는 스파터(Fig. 4)의 발생 빈도수가 가장 높다고 하였다. 단락과 동시에 또는 지연시간(Td) 경과 후부터 상승하기 시작한 전류는 단락기간 동안 계속 증가하여, 개방시(재아크시점에서) 최대치에 도달하게 되는데, 피크전류에서 아크가 재생되면서 발생하는 스파터현상은 전기 퓨즈(fuse)가 과전류에 의해 터지면서 발생하는 스파터 현상과 동일하다고 설명되고 있다. 따라서 단락기간 동안에 최대에 도달하는 전류치를 되도록 낮게 유지할 수 있다면, 즉 피크 전류치(peak current)를 낮게 유지하게 되면 스파터 발생을 다소나마 억제할 수 있을 것이라는 개념이다. 이러한 개념으로부터 여러가지 파형이 제안되고 있는데, Fig. 9에서 보는 바와 같이, 단락 초기에는 상승속도를 크게 하고 어느시점 이후부터는 상승속도를 낮추어(상승속도 제어) 궁극적으로 개방시의 피크전류치를 낮게 유지토록 하는 방법, 또는 Fig. 12와 같이 처음부터 최대 전류치를 설정하여 그 이상으로는 용접전류가 상승하지 않도록 하는 방법(peak 전류치 제어) 등이 있다.

그밖에도 단락기간동안 일정속도로 전류를 증가시키다가 규정된 전류치에 도달하여도 단락이 개방되지 않는 경우에 한하여 보다 높은 전류치로 급격히 상승시켜 단락개방을 촉진하는 제어방법도 적용되고 있다. 이와같은 제어 개념이 실제 적용되고 있는 전류파형을 Fig. 13에서 보여주고 있는데, 여기서는 용접전류가 300A에 도달하여도 단락이 개방되지 않으면 전류를 급격히 증가시켜 단락개방을 촉진시키고자 하고 있다.

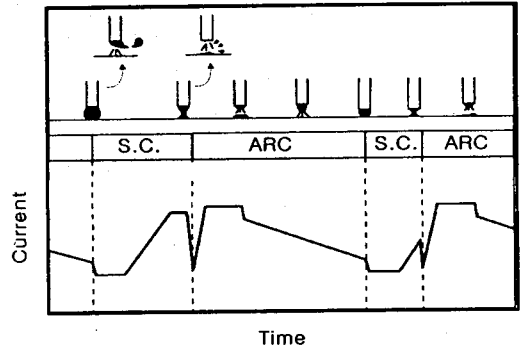


Fig. 12 피크전류치 제어 개념도

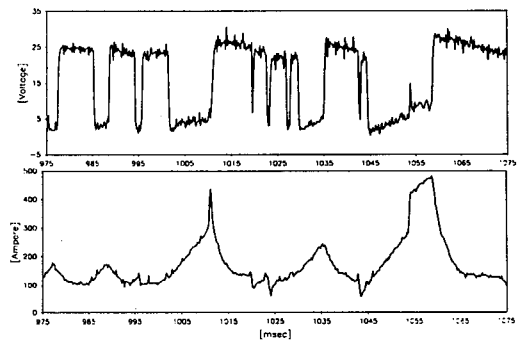


Fig. 13 단락개방 촉진제어 개념의 인버터 용접전원의 파형

3.3 아크 재생 전류 제어

전절에서 설명한 단락기간 전류 상승 속도 제어의 기본 개념은 아크 재생시의 peak 전류치를 되도록 낮게 유지하기 위하여 단락기간동안 전류가 상승하는 것을 억제하는 것이다. 이는 결국 아크가 언제 재생될지 모르기 때문에 그 전부터 전류를 일정 수준 이상으로 상승하지 못하도록 억제하는 것이다. 그런데 만약 아크가 재생되는 순간을 사전에 감지할 수만 있다면, Fig. 12에서 보는 바와 같이, 감지되는 순간에 전류치를 급격히 저하시켜 낮은 전류에서 아크가 재생되도록 할 수 있을 것이다. 실제로 최근 단락개방 직전의 상태를 용접전압의 변화로부터 감지하여 전류를 제어하는 방법이 개발되어 실용화 되어 있다¹⁰⁾.

3.4 아크기간 전류 제어

아크기간 전류 제어는 스파터 발생과 직접적인 관계는 없지만 용적의 형성을 정형화하고, 용적이나 용융풀의 거동을 안정화하여 스파터발생을 억제하는데 도움이 되고자 하는 것이다. 이러한 목적으로 제안된 개념중에는, 아크 재생으로부터 일정시간이 경과하여도 단락이 발생하지 않을 경우에 출력전류를 강제적으로 낮추어 단락을 촉진함으로써, 대립의 용적이 형성되는 것을 억제하여 단락 해방시 발생하는 스파터량을 감소시키고자 하는 개념이 있으나⁹⁾, 실제 이를 적용하고 있는 용접전원은 아직 없는 것 같다.

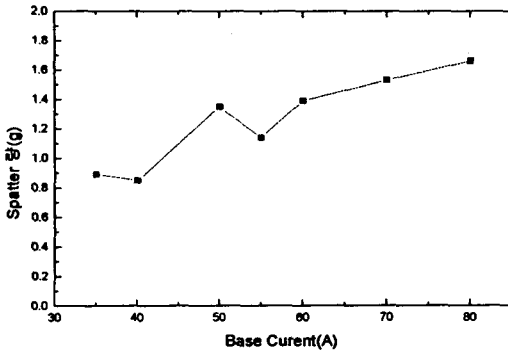
한편, Fig. 13에서는 아크 재생 직후에도 일정시간 최대전류를 유지하고 있는데, 이는 높은 아크 압력으로 용융풀을 밀어내어 용융풀과 와이어가 재접촉되는 것을 방지코자하는 것이다¹⁰⁾.

3.5 펄스파형에 의한 전류제어 개념

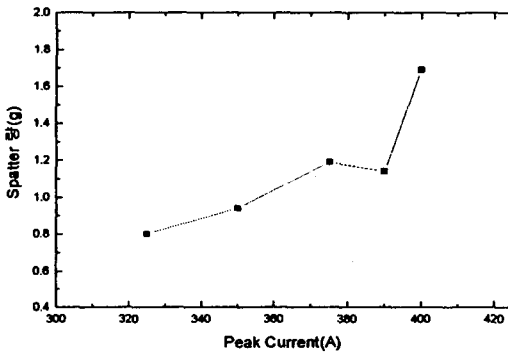
기존의 전류 파형 제어에 의한 스파터의 발생을 감소하는 방법으로는 단락 이행에서 발생하는 전류 파형을 적절하게 이용함으로써 스파터를 제어하고자 하는 연구가 진행되었다. 그러나 발표된 많은 논문에서 Pulsed Current GMAW(Gas Metal Arc Welding) 법은 다른 용접법에 비해 에너지 절감을 얻을수 있을 뿐만 아니라 스파터 발생이 거의 없는 깨끗한 용접부 비드를 얻을수 있다고 알려져 있다.¹¹⁾ 그러나 CO₂ 가스를 이용하는 용접에서 Pulse형태의 전류 파형을 이용하여 연구한 사례가 거의 전무하여 이에 대한 기초적인 자료가 매우 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 새로운 전류 제어 방법으로 Pulse 형태의 전류 파형을 이용하여 스파터를 감소하고자 하였다. 이러한 CO₂용접시 앞절에서 살펴본바와 같이 스파터의 발생이 대부분 단락 이행 거동에 의해 발생하기 때문에 Pulse형태의 전류 파형을 이용하여 단락 이행이 일어나기 전에 용적을 이행시킴으로서 스파터 발생을 감소시키고자 하였으며 또한 용적이 위로 들리는 형태의 Repelling mode의 용적 이행에 의해 원하지 않는 곳으로 이행되면서 스파터로 작용하는데¹²⁾ 이러한 Repelling force를 감소시키기 위해 이러한 force가 발생하지 않을 정도로 낮은 Base Current를 적절하게 용적이 용융될 정도로 설정하

고 짧은 시간의 Peak Current를 증가하는 조건을 설정하고자 하였다. 또한 CO₂가스는 가스 특성상 아크가 매우 불안정한데 이러한 아크 불안정성을 개선하기 위해 High Frequency를 증가하여 안정된 아크를 통해 용적 이행을 균일하게 하고자 하였다.¹³⁾ 그러나 이러한 Pulse형태의 전류 파형을 이용하는 경우에는 기존의 용접 변수와는 달리 새로운 용접 변수-Peak Current, Base Current, Peak Current Duration Time, Pulse Frequency-가 발생하는데 이러한 새로운 용접 변수의 적절한 설정이 용적 이행 및 스파터 발생에 많은 영향을 미친다고 알려져 있다.¹⁴⁾ 따라서 본 실험에서는 이러한 용접 변수들이 CO₂ 용접시 스파터 발생에 어떠한 영향을 미치는 지에 대해 알아 보고자 하였고 또한 용접 전류-용접 전압 관계곡선을 이용하여 용적 이행의 안정성을 알아보고자 하였다.

먼저 Base Current와 Peak Current의 변화에 따른 용적이행의 안정성과 스파터 발생량을 살펴보면 Base Current가 증가하여도 용적 이행에 큰 영향을 미치지 않는 것을 관찰할수 있었는데 이는 Base Current가 80A정도까지 증가하여도 Repelling force의 발생에 영향이 크지 않음을 알수 있다. 또한 Peak Current를 345A에서 414A까지 변화하는 경우에 Peak Current의 증가에 의해 Pinch force의 증가로 단락 이행 거동이 약간 감소하는 것을 알수 있으나 Peak Current의 증가에 의해 Repelling force가 증가함으로 스파터 발생량이 Peak Current가 증가함에 따라 증가하는 것을 관찰할수 있었다. 이러한 Base Current와 Peak Current의 변화에 따른 스파터 발생량은 Fig. 14이다. 그리고 아크의 안정성을 도모하기 위해 Pulse Frequency를 256Hz에서 500Hz까지 변화하면서 용적 이행의 안정성을 용접 전류-용접 전압 관계곡선을 이용하여 관찰한 것이 Fig. 15이다. 그림에서 보면 Pulse Frequency가 증가함에 따라 단락 이행 거동이 감소하는 것을 알수 있으며 용적 이행이 천이하는 것을 알수 있다. 이러한 Pulse Frequency의 변화에 따른 스파터 발생량을 Fig. 16이다. Pulse 형태의 전류 파형을 이용하여 용접을 행한 경우 용적 이행에 가장 많은 영향을 미치는 용접 변수가 Peak Current Duration Time임을 알수 있는데 이러한 용접 변수에 따른 용적 이행의 안정성을 용적 이행 단계별에서의 용접 전류와 용접 전압의 관계곡선을 통해서 평가하



(a) Base Current의 변화

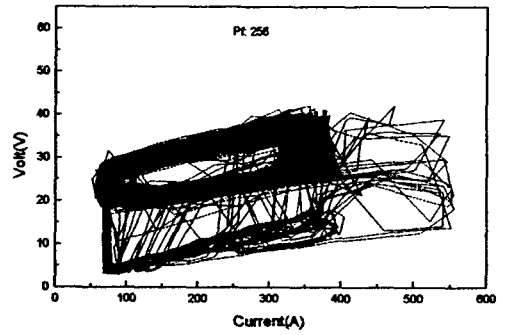


(b) Peak Current의 변화

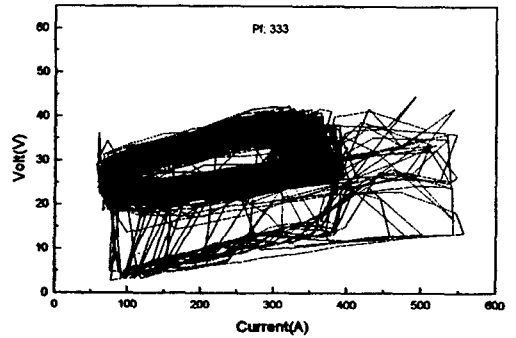
Fig. 14 Base Current와 Peak Current의 변화에 따른 스패터 발생량

였다. Peak Current Duration Time을 1.2msec에서 2.2msec까지 변화 시킬 경우의 용접 전류- 용접 전압 관계곡선을 나타낸 것이 Fig. 17이다. 그림에서 보면 Peak Current Duration Time이 1.2msec에서는 단락 이행의 발생이 매우 많은 것을 관찰할수 있으나 Peak Current Duration Time이 점점 증가함에 따라 단락 이행 거동이 감소하는 것을 알수 있으며 1.8msec에서는 단락 이행이 없는 용적 이행으로 천이된 것을 관찰할수 있었다. 이는 Peak Current Duration Time이 증가함에 따라 인가되는 Duty Cycle이 증가하기 때문이라고 생각 되어진다. 이러한 Peak Current Duration Time의 변화에 따른 스패터 발생량은 Fig. 18이다.

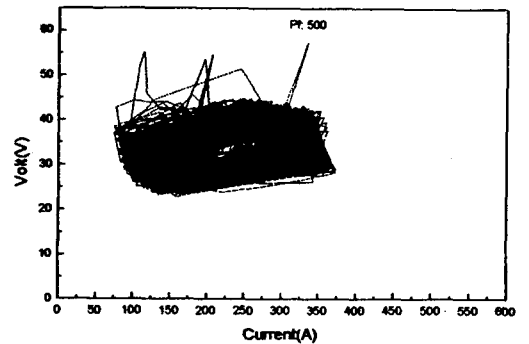
적정 조건으로 설정된 Pulse 형태의 전류 파형을 이용하여 용접한 경우의 스패터 발생량을 살펴본 것이 Fig. 19이다. 이러한 스패터 발생량을 비교하



(a) 256Hz



(b) 333Hz



(c) 500Hz

Fig. 15 Pulse Frequency에 따른 용접 전류-용접 전압 곡선

기 위해 평균 용접 전류가 동일한 단락 이행 형태로 용접한 경우에서의 스패터 발생량을 같이 나타내었는데 그림에서 보면 Pulse 형태의 전류 파형을 이용하여 용접을 행한 경우가 단락 이행 형태로 용접을 행한 것보다 스패터 발생량이 1/2-1/3정도까

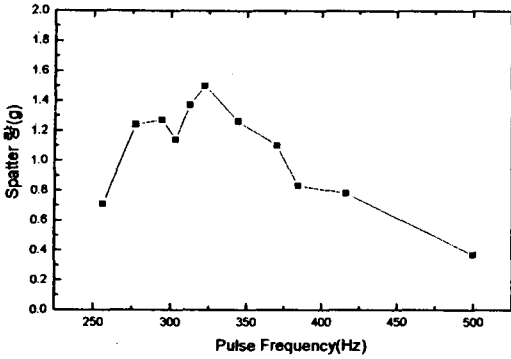


Fig. 16 Pulse Frequency에 따른 스페터 발생량

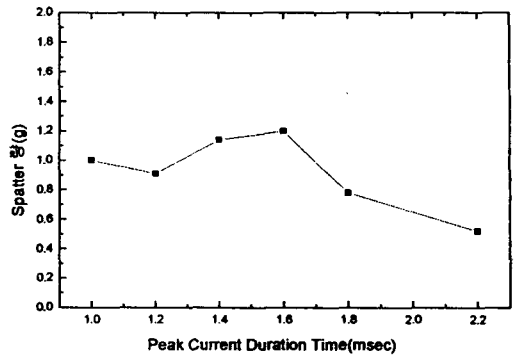
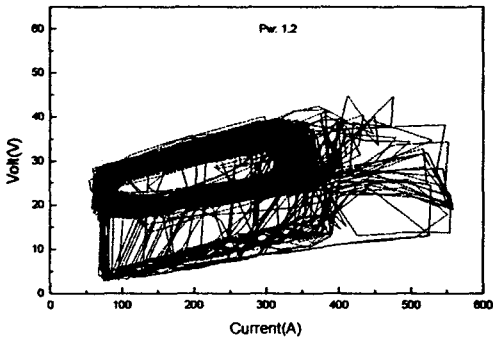
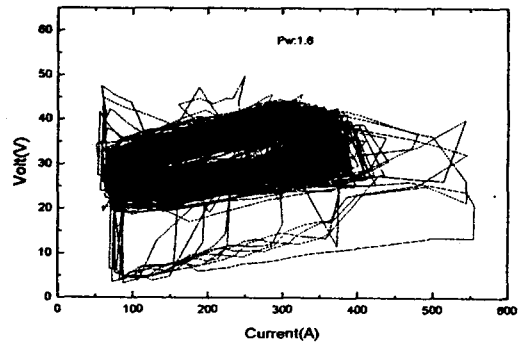


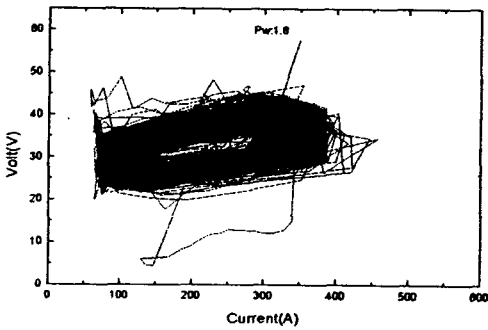
Fig. 18 Peak Current Duration Time에 따른 스페터 발생량



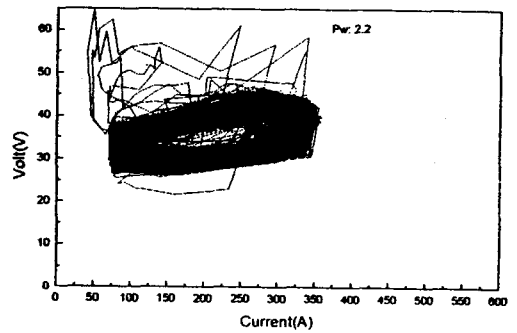
(a) 1.2msec



(b) 1.6msec



(c) 1.8msec



(d) 2.2msec

Fig. 17 Peak Current Duration Time에 따른 용접 전류-용접 전압 관계

지 감소하는 것을 관찰할수 있었다. 이러한 Pulse 형태의 전류 파형을 이용하여 용접한 경우와 단락 이행 형태로 용접한 경우에서의 용접부 비드를 나타낸것이 Fig. 20이다. 그림에서 보는 바와 같이

단락 이행 거동으로 용접을 행한 경우에는 용접부 비드 형상이 불규칙하고 용접 비드 주변에 스페터의 발생이 매우 많은 것을 관찰할수 있었다. 그러나 Pulse형태의 전류 파형을 이용하여 용접을 행한

경우에서는 용접부 비드가 매우 고르고 깨끗한 것을 볼수 있으며 용접 비드 주변에 스패터가 거의 없는 것을 볼수 있다.

따라서 이러한 결과들을 통해 기존의 단락 이행

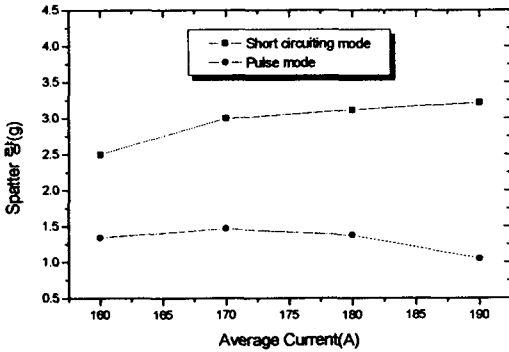
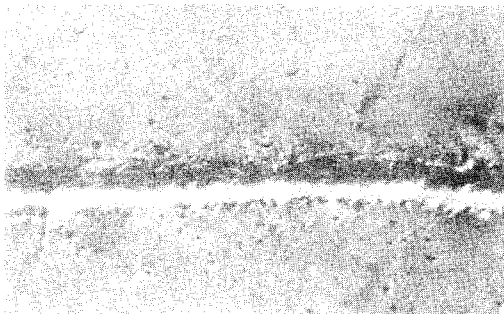
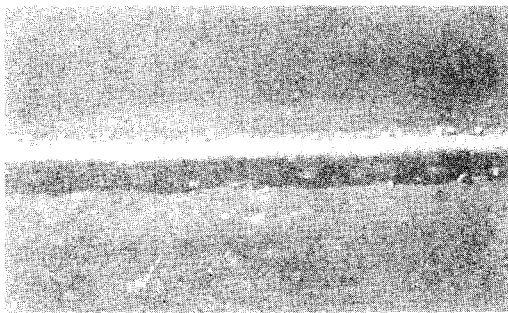


Fig. 19 Pulse 형태의 전류 파형과 단락 이행 모드의 스패터 발생량



(a) 단락 이행 모드로 용접부 비드



(b) Pulse 형태의 전류 파형으로 용접한 용접부 비드

Fig. 20 용접부 비드 형상

형태의 전류 파형 단계별로 제어하는 CO₂ 전용 용접기를 이용하지 않고 기존의 용접기를 이용함으로써 Pulse 형태의 전류 파형을 인가함으로써 CO₂용접시 발생하는 스패터를 감소시킬수 있을 뿐만 아니라 용접 비드의 형상 또한 매우 균일하고 깨끗하게 얻을수 있음을 알수 있다.

4. 맺 음 말

용접전원의 파형제어기술은 기본적으로 단락이행조건에 한정되어 발전되어 왔는데, 구체적으로는 보다 완벽한 최적의 파형을 도출해 내는 연구분야와 도출된 파형을 출력시킬 수 있는 제어기법의 개발분야로 구분되어 진다. 최근 power electronics 기술과 마이크로 컴퓨터를 이용한 제어 기술의 발전으로 아크 용접전원의 출력제어 기술은 상당한 수준에 도달되어 있기 때문에 어떠한 형태의 파형도 비교적 용이하게 실현시킬 수 있게 되었다. 따라서 앞으로의 과제는 모든 유형의 스패터를 보다 확실히 억제할 수 있는 제어개념을 도출해 내는 것이라고 하겠다. 이를 위해서는 스패터 발생현상에 대한 관찰과 해석을 통하여 제어 대상이 되는 특징적인 현상을 도출해 내는 노력이 계속 되어야 할 것이다. 이렇게 노력하는 과정에서 최적의 파형형태는 앞으로도 보다 최적의 모양으로 발전되어, 궁극적으로는 스패터 발생이 없는 저전류 CO₂용접이 실현될 수 있을 것이다.

그러나 불행하게도 고전류영역(입상용적이행 조건)에서 발생하는 스패터에 대해서는 아직 어디에서도 연구된바 없어, 스패터 발생기구의 해석이나 제어개념의 수립등이 전혀 이루어지지 못하고 있다. 따라서 고전류조건에서 발생하는 스패터는 앞으로도 오랜동안 감수할 수 밖에 없는 문제점으로 남아 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. Y. Sakai, T. Suga : Trend of MAG/MIG Welding, Welding Technique, Vol. 41, No. 2 (1993), p. 62
2. T. Ogasawara, T. Maruyama, M. Sato, Y. Hida: A newly Developed Arc Welding

- Power Source and Its Application in Combination with Arc Welding Robots, IIW Doc. XII-930-86(1986)
3. M. Sugisaki, M. Kosyou : Adoption of Spatterless Wire, Welding Technique, Vol. 44, No. 11 (1966), p. 109
 4. H. Yamamoto : Recent Advances in the Welding Power Systems for Automated Welding, Journal of the Japan Welding Society, Vol. 64, No. 6 (1995), p. 45
 5. T. Mita : Recent Gas Shielded Arc Welder (3) Output Control and its Effects in GMA Welder, Welding Technique, Vol. 39, No. 7 (1991), p. 120
 6. 강봉용, 김희진 : CO₂ 용접의 스패터 발생에 미치는 용적이행 모드의 영향, 대한용접학회지, 제15권, 제2호 (1997) pp.140-148
 7. 강봉용, 이창한, 김희진, 장희석 : CO₂용접의 첩이이행조건에서 스패터 발생과 파형인자와의 관계, 대한용접학회지, 투고중
 8. Y. Shuyian, G. Zheng : Effect of Arc Physics on Developing CO₂ Arc Welding, China Welding, Vol. 3, No. 1 (1994), p. 1
 9. T. Mita : Waveform control method in CO₂ gas shielded arc welding, Quarterly Journal of the Japan Welding Society, Vol. 6, No. 2 (1988), p. 209
 10. 佐藤英市 : CO₂ · MAG 溶接접機“SENSARC LS350”, 기술Guide(神戸製鋼), Vol. 37, No. 330(1997), p. 8
 11. America Welding Society “ Welding Handbook ” 1991. Eighth edition.
 12. H. Yamamoto, S. Harada, T. Yasuda, “ The development of welding current control systems for spatter reduction” Welding International. Vol.9(1990). pp677-683
 13. W. Shimada, J. Ukai, “Effect of pulsed current control on welding quality improvement” IIW, Doc. 22-B-11-81 (1981), pp1-24
 14. M. Amin, P. V. C. Watkins, “Synergic Pulse MIG welding” Welding Institute. 1997. pp1-11