

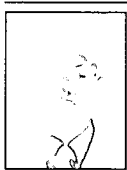
特報 : 쾌속 시작 기술

# GMA 용접공정을 이용한 금속 쾌속조형 기술개발

김 철 희 · 나 석 주 · John Norrish

Development of Metal Based Rapid Prototyping by Using GMA Welding Processes

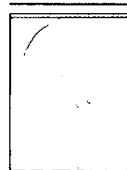
C.H. Kim, S.J. Na and John Norrish



김철희/한국과학기술원  
기계공학과/1973년생/  
아크센서개발 및 용접공  
정해석



나석주/한국과학기술원  
기계공학과/1952년생/  
아크 용접공정해석 및 지  
능화, 레이저 정밀 접합



John Norrish/U. of  
Wollongong(호주) 기계  
공학과/1943년생/용접 공  
정변수 모니터링, GMAW  
를 이용한 쾌속조형

## 1. 서 론

현대 산업 사회에서는 소비자의 다양하고 빠른 기호 변화에 부합하기 위하여 제품의 모델이 수시로 바뀌고 있다. 이러한 산업 분야에서 제품 모델의 다양화와 제품 수명(Product life cycle)단축, 치열한 국내외 시장 경쟁에 따른 납기 단축에 유연하게 적응하기 위하여 제품의 설계에서부터 시작품의 생산까지 쾌속하게 진행시킬 필요가 요구된다. 기존의 시행착오를 거친 시작품의 생산은 시작품의 개발에 걸리는 시간이 너무 길어 시장의 요구에 부합하기에 너무 많은 자원과 시간을 필요로 하고 이에 따라 국가경쟁력의 강화와 개별 기업의 경쟁력에 부담이 되고 있다.

이러한 요구에 상응하여 최근 10년 동안 쾌속조형(Rapid Prototyping, RP)법에 대한 연구는 시작단계에서의 혁신적인 효율화를 주도하고 있다. 그러나 기존의 RP는 주로 광경화성 수지, 왁스, 플라스틱, 종이 등의 비기능성 재료를 이용하여 원하는 시작품을 제작하는 기술을 중심으로 개발되어 금속 등의 기능성 재료에 비해 강도나 인성이 떨어지기 때문에 대부분 디자인의 검증 및 조립성 평가에 이용되고 있다<sup>1)</sup>.

용접 공정을 이용한 RP에서는 직접 금속을 용융시켜 짧은 시간내에 기능성 시작품을 얻게 하는 장점이 있다. GMA 용접 공정은 금속 모재에 용가재를 녹여 접합부의 접합을 하는 것이지만 이를 쾌속조형에 이용

할 때는 모재 위에 적층을 통해 원하는 형상을 얻게 된다. 적층을 하는 동안 이전의 적층에서는 위층의 열이 전달되어 템퍼링(tempering)의 효과를 얻을 수 있어 재료의 성질이 향상된다. 그러나, 공정의 특성상 용융풀에 작용하는 중력, 표면장력으로 인하여 각진 형상의 제작이 불가능하며, 적층을 통한 형상 제작으로 인하여 계단모양의 가공 단차가 존재하게 된다. 또한 조형후 응고시의 수축, 뒤튐림의 발생은 형상 정밀도를 나쁘게 하는 요인이 된다. 따라서 정밀한 3차원 조형물을 제작하기 위하여 형상오차를 수정할 수 있는 2차 가공이 요구된다.

## 2. 본 론

RP 공정기술은 짧은 시간 내에 CAD 데이터로부터 3차원 형상의 시제품을 만들어내는 기술인데 쾌속조형을 이용하여 실제 파트를 만들기 위해서는 데이터 준비 단계, 모델 제작단계, 후처리 단계의 3단계로 나눌 수 있다. 먼저 데이터 준비 단계에서는 3차원 CAD 소프트웨어상의 모델을 쾌속 조형 시스템에서 이용할 수 있도록 슬라이스 모델을 만들게 된다. 용접 공정을 이용한 RP에서 자동으로 슬라이스 모델을 만드는 슬라이스 루틴을 이용할 때 용접 공정의 특징을 입력으로 주어야 한다.

GMA 용접 공정에서 고려할 용접 변수는 와이어 송급속도(용접전류), 용접 전압, 용접속도, 토치의 진행

각도, 텀-모재간의 거리, 보호가스의 종류 및 유량, 용접와이어의 종류, 용접 전원의 종류 등이 있다. 이 중 용접 전류, 용접 전압, 용접속도, 텀-모재간 거리, 토치의 진행각도등은 실험 중 조절이 가능하다.

용접 로봇을 이용한 RP의 수행시에는 모재와 용접 로봇사이의 상대적인 위치관계와 토치 방향과 관계된 좌표가 슬라이스 루틴에 필요하다. 또한 적층시 각 용접층에서 용접 비드의 높이와 폭과 같은 형상정보가 슬라이스 루틴에 입력되어야 한다. 일반적으로 용접 변수의 변화에 따른 초층 비드의 형상의 변화는 그림 1과 2와 같은 관계를 참고하여 얻을 수 있다. 적층을 할 경우 같은 용접 조건에 대해서도 모재 온도의 변화와 경계조건 변화에 따라 초기층과 상위의 층에서 다른 비드형상을 나타낼 수 있다. 따라서 일정한 비드형상을 가지기 위해서 초기층과 상위층에서 다른 용접 조건들이 필요하게 되고 이에 대한 선행 연구가 요구된다<sup>2,3)</sup>.

용접 비드의 형상이 정해지면 이에 적절한 용접 변수는 자동으로 설정될 수 있도록 미리 데이터베이스로 입력할 필요가 있다.

슬라이스 루틴을 이용하면 3차원 모델이 각 용접층에서 용접 로봇이 추종할 경로를 포함하는 슬라이스 데이터로 변환된다. 이 때 슬라이스데이터에는 용접변수들과 용접로봇의 경로, 용접토치의 자세 등이 포함된다. 슬라이스데이터를 이용하여 용접 로봇 프로그램을 작성하고 이를 수행할 때 사용자들은 오프라인 틀을 이용하는 것을 선호한다. 오프라인 틀은 이전의 슬라이스 데이터를 이용하여 자동으로 로봇 프로그램을 생성하고 이를 컴파일하여 통신을 통해 PC에서 로봇

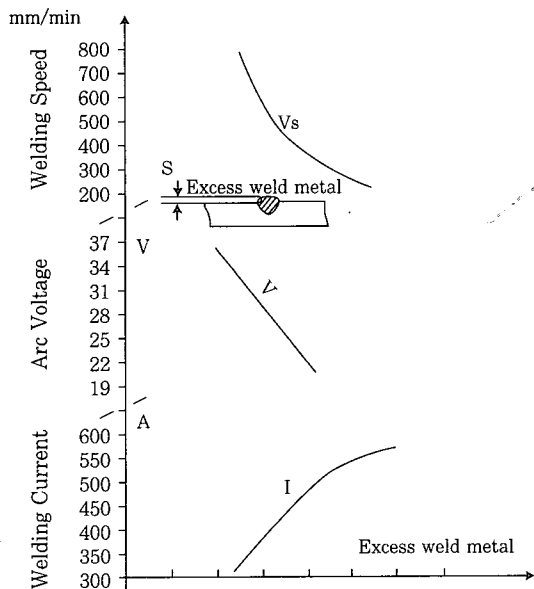


Fig. 1 용접 변수와 비드 높이와의 관계

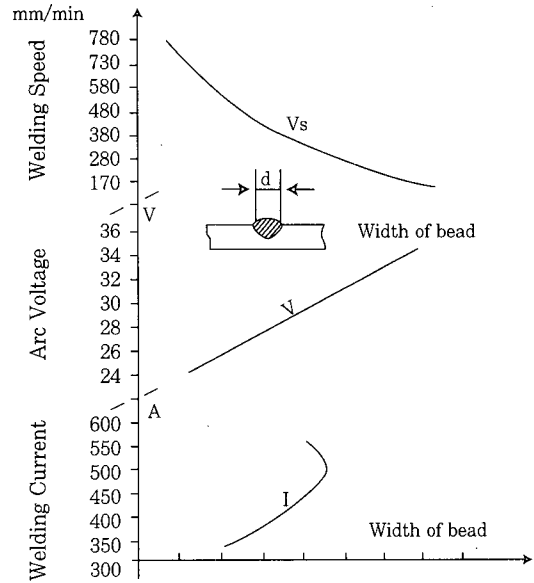


Fig. 2 용접 변수와 비드 폭과의 관계

으로 프로그램을 전송한다. 로봇 응용 모의실험 프로그램을 이용해서 실제 동작중 일어날 수 있는 층들이나 간섭을 미리 확인할 수 있다.

실제 적층시 나타나는 비드 형상의 몇 가지 예는 다음과 같다. 먼저 단일층을 적층할 때 나타나는 형상이 그림 3에 나타나있다. 이 단면 형상에서 위쪽 적층층에서의 기공과 옆면의 원하지 않는 굴곡이 생긴 것을 알 수 있다. RP공정의 경우 적층간의 시간 간격이 작아 아래층이 충분히 냉각되기 전에 위층의 적층이 시작될 수 있고 이경우 용접시 생긴 기포가 외부로 빠져

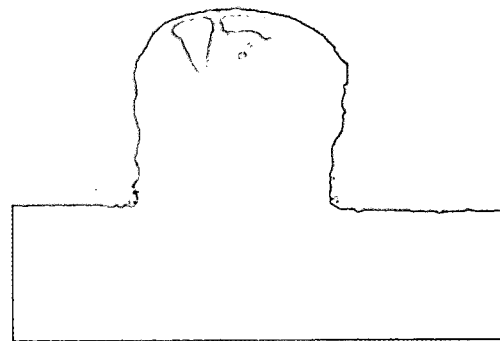


Fig. 3 적층부 단면 I



Fig. 4 적층부 단면 II

나가지 못하고 위층에 존재할 수 있다. 이 기포들이 가장 위의 적층에 모여있는 것을 보여준다. 이를 방지하기 위해서 층과 층 사이에서 냉각에 충분한 시간을 확보할 필요가 있다. 또한 단일층 적층의 경우 위쪽의 적층에서는 시편이나 치구가 정확히 이전 위치에 있지 않은 경우 용접경로와 용접비드 위의 선단이 일치하지 않아 용접시 흘러내림이 생길 수 있어 이를 방지하기 위해 시편이나 치구를 확실하게 고정시켜야 한다. 옆면의 굴곡의 경우 적절한 용접 변수의 선정을 통하여 최소화할 수 있지만 이의 완전한 제거는 어렵기 때문에 표면 정도를 필요로 하는 시작품에서는 절삭 가공 공정이 이용될 수 있다. 적층간에서 충분한 간격을 가지고 실험한 결과가 그림 4에 보여지고 있다. 그림 4의 왼쪽 형상은 여러 부분에서 용접하여 넓게 비드를 형성한 다음 그 위에 용접 비드의 폭을 줄이면서 적층하고 최종적으로 단일층의 용접을 수행한 결과이며 오른쪽 형상은 초기 층에서 마지막 상위층까지 하나의 층으로 용접한 용접부 단면이다. 이 실험결과에서 용접에 의한 적층 재료의 특성이 균일하고 또한 단일층으로 연속적으로 용접을 행하더라도 흘러내림이나 결함 등을 방지하는 용접조건을 찾을 수 있음을 알 수 있었다. 그림 5는 단일층 적층의 중간에서 원하지 않은 아크 꺼짐으로 생긴 결함으로 인해 적층이 수행될수록 그림 왼쪽의 비드높이가 계속 낮아지면서 결함이 커짐을 알 수 있다. 이의 방지를 위하여 안정된 용접 변수 선정과 결함 발생시에는 뒤에 소개하는 절삭 가공이 필요할 수 있다.

그림 6과 같은 기하학적 형상의 적층에서는 모서리부가 더 두꺼워지는 현상을 볼 수 있는데 이것은 용접 로봇이 이동하면서 모서리부에서 속도가 약간 늦춰지

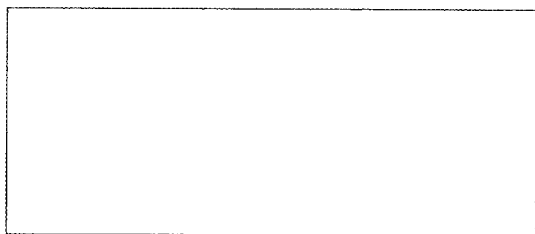


Fig. 5 단일층 적층의 옆면

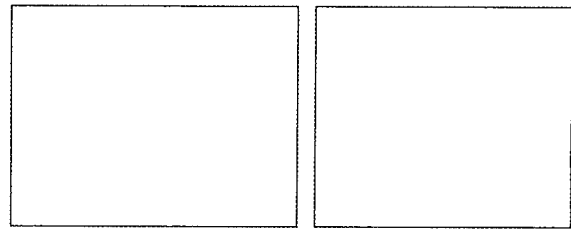


Fig. 6 형상 적층

기 때문에 생기는 현상으로 이 현상은 적층이 계속될수록 가중된다<sup>4)</sup>.

그림 7과 8은 각 단면이 사각형형상을 가지고 옆면이 기울어진 형상위에 원통형의 형상을 다시 적층하는 예이다. 이 예에서는 각 층에서 용접비드가 1.4mm의 높이와 6.5mm의 폭을 가지도록 용접변수가 선정되었다. 전체 144개의 적층에서 29개의 적층이 사각형 형상에 이용되었고, 115개의 적층이 나머지 형상의 조형에 이용되었다. 적층에서 예측값과 실제값의 비교는 표 1과 같다<sup>5)</sup>.

적층시 높이가 높아질수록 용융금속이 흘러내릴 가능성이 커지고 또한 적층형상이 일정한 높이를 가지지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 게다가 이러한 문제점은 다음 층의 적층시에 영향을 주어 적층할수록 결함이 커지게 한다. 적층후 절삭가공을 통하여 일정한 비드 높이를 유지하고 용접표면에 생길 수 있는 결함에 대비할 수 있다. 가로 40mm, 너비 1.5mm, 높이 22mm의 벽을 적층시켰을 때 절삭 가공전과 후의 비교를 그림 9에 나타내었다. 절삭 가공전에도 얇은 두께의 제품을 만들 수 있었으나 표면 조도 및 정밀도가 떨어지므로 곡면 형상의 비드 윗 부분을 절삭가공을

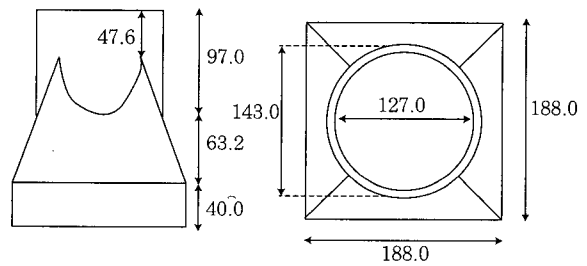


Fig. 7. 적층 형상 개략도(단위 : mm)

Table 1. 형상적층시 예측값과 실제값의 비교

	예측값	실제값	차 이	단 위
용접장의 길이	80.889	80.889		M
와이어 길이	1060.00			M
무 게	6.894	7.020	0.044	Kg
소요 시간	2:44:10	2:44:27	00:00:17	시:분:초

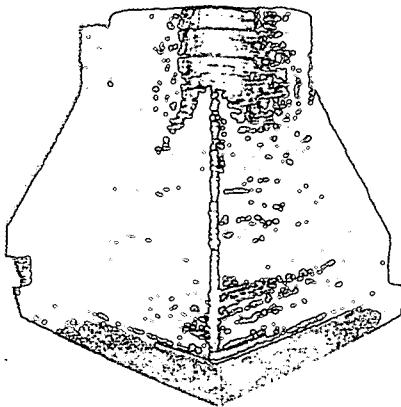


Fig. 8 실제 형상 적층의 예

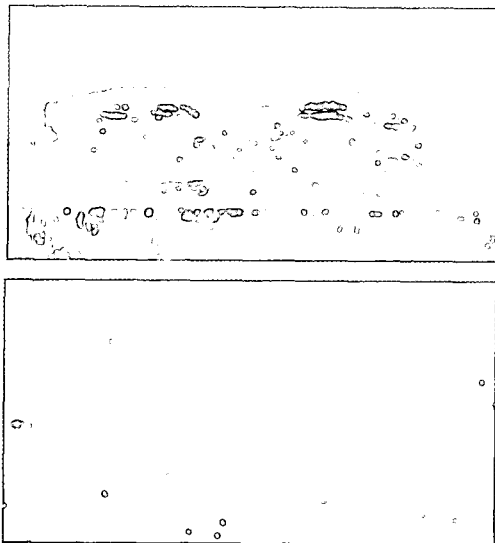


Fig. 9 적층부의 절삭 가공 전과 후

하여 용융금속의 흘러내림을 방지할 수 있고 비드의 높이도 일정하게 유지할 수 있었다<sup>6)</sup>.

용접공정을 이용한 적층에서는 용접풀에 작용하는 중력, 표면장력으로 인하여 각진 형상의 제작이 불가능하고 그림 5에서 보는 것과 같이 표면에 계단형상의 가공단차나 굴곡이 나타날 수 있다. 또한 용융금속이 응고되면서 수축, 뒤틀림이 생길 수도 있다. 이러한 원인으로 인하여 고정밀도 조형을 위해서는 형상적층 후 절삭 가공 공정을 추가할 필요가 있을 수 있다. 그림 10은 밀링가공을 통하여 고정밀도의 표면을 갖는 시작품의 제작의 한 예를 보여주고 있다<sup>7)</sup>.

### 3. 결론 및 향후과제

비금속 RP방법에 대하여 장점을 가지고 있는 금속 RP방법중 GMA용접공정을 이용한 RP방법을 소개하였다. 용접을 이용한 RP 공정에서 나타날 수 있는 문

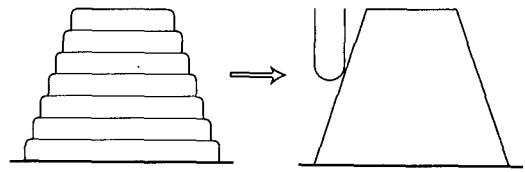


Fig. 10 적층표면의 절삭가공

제점은 내부 기공의 발생, 옆면의 굴곡 발생, 비드 윗면의 결함 발생시 이후 적층에서 결함의 심화, 모서리부의 두께 증가등이라 할 수 있다. 이러한 문제점들은 앞에서 제기한 것과 같이 적절한 용접 공정변수의 선정과 적층 공정 후 절삭 공정을 거쳐 해결이 필요하다. 또한 용접 공정의 특성상 용접 공정만으로 조형이 불가능한 형상 - 예를 들어 형상의 너비가 급격히 커지는 경우에는 용접공정후 절삭 가공이 반드시 필요하다. 그럼에도 불구하고 양산 재료와 같은 금속으로 짧은 시간에 시작품을 제작할 수 있기 때문에 용접 공정을 이용한 RP 방법은 국내외적인 개발이 활발히 이루어지고 있는 분야이며 시작품의 제작뿐 아니라 기존 금형의 개조나 수리등에도 응용될 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. 양동열, 손현기, "직접식 금속 패속 조형 공정 개발에 관한 연구", 패속시작기술연구회 98년도 춘계 학술대회, pp. 1-7
2. 우혁제, 이관행, "리버스 엔지니어링으로 생성된 데이터를 이용한 패속 조형 기술 연구", 한국정밀공학회지, 제 16권, 제 1호, pp.95-107
3. J. Cornu, "Consumable Electrode Processes", Advanced Welding Systems, Vol2, 1988
4. "직접식 3차원 형상 제조법의 개발", 한국과학기술원 기계공학과 보고서, 1995
5. A. F. M. Ribeiro and J. Norrish, "Metal based rapid prototyping for more complex shapes", Computer Technology in Welding, Lanaken, Belgium, June 9-12, 1996, paper No. 60
6. 송용익 외, 용접과 절삭 가공을 이용한 패속 금속 조형기술 개발, 패속시작기술연구회 98년도 춘계 학술대회, pp. 24-29
7. "정밀 기능성 시작품의 패속 조형공정의 개발", 한국과학기술원 기계공학과 보고서, 1997