特 輯

아크용접공정에서의 로봇 응용

유 중 돈 (한국과학기술원)

'80 서울대 기계설계학과(학사)
'82 한국과학기술원, 기계공학과(석사)
'90 Ohio State Univ. 용접공학과(박사)
'82~'85 한국기계연구원
'90~'91 Edison Welding Institute
'92~ 한국과학기술원, 자동화 및 설계공학과

1. 서 론

최근, 산업 현장에서의 인력난을 해소하고 생산성을 향상시키기 위하여 자동화에 관한 관심이 높아지고 있으며, 자동화의 한 방법으로 프로그래밍이 가능하고 유연하게 사용할 수 있는 산업용 로봇의 이용도가 높아지고 있다. 로봇은 조립, 도장, deburring, 용접 등의 다양한 제조공정에 응용될 수 있으며, 이중에서 용접공정은 고도의 숙련이 필요하고 작업환경이 열악하여 로봇을 이용한 자동화에 적합한 분야이다. 용접용 로봇의 이용도는 미국의 경우 70년대와 80년대에 급격히 증가하였지만 80년대 후반에 들어와서 그 증가세가 급격히 감소하였다. 이는 80년대 초반에 자동차 생산 라인에 산업용 로봇을 대량 설치하였기 때문에 신규수요가 증가하였으나, 80년대 후반에는 자동차 산업에서의 수요가 정체되어 기존의 설치 로봇의 대체하는 분량만 요구되고 있으며 아울러 자동차 산업 이외의 다른 분야에서 새로운 수요가 발생하지 않고 있기 때문이다. 그러므로 자동차 산업에서 주로 사용되는 점 용접(spot welding)용 로봇을 통한 수요의 증대는 기대하기 어려운 실정이다. 산업용 로봇의 새로운 수요가 증대할 분야로 다품종 소량생산의 비중이 큰 아크 용접 분야가 기대되고 있으나 여러가지 문제점으로 인하여 널리 보급되고 있지 않은 실정이다. 본 원고에서는 아크 용접 분야에서 가장 많이 쓰이는 GTA(Gas Tungsten Arc) 및 GMA(Gas Metal Arc) 용접공정에서 로봇 응용을 증대시키기 위하여 필요한 사항과 추세에 대하여 언급하고자 한다.

2. 로봇 사용에 필요한 사양

2.1 로봇 사용의 전제조건

로봇은 다용도 고가의 장비이지만 이를 사용하기 위하여는 기본적으로 필요한 조건이 있다. 본 절에서는 로봇을 성공적으로 사용하는데 필요한 기본조건에 관하여 언급하고자 한다.

로봇을 사용한 용접의 가장 큰 장점은 생산성 향상에 있다. 일반적인 아크용접의 경우 수작업에 의한 arc-on time, 즉 용접공이 실제로 아크를 발생시켜 용접을 수행하는 시간, 은 전체 시간의 30% 미만이지만, 로봇을 사용하는 경우에는 arc-on time을 70% 이상으로 증가시킬 수 있기 때문에 생산성을 높일 수 있다. 그러나 이와 같은 생산성의 증가도 다른 용접방법과 경제성을 비교하여 결정하여야 한다. 용접을 수행하는 방법으로는 크게 수작업, 전용장비나 로봇을 이용하는 방법의 3가지로 분류하여 경제성을 비교하면, 각 방법의 개략적인 사용 범위를 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 로봇의 사용구간은

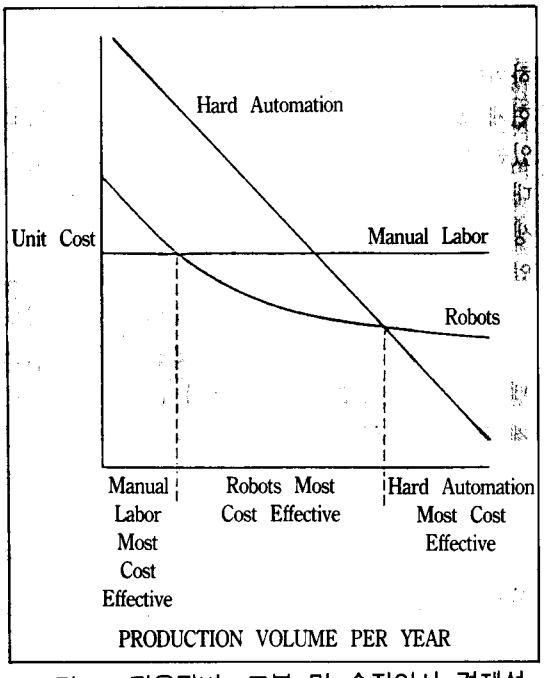

그림 1. 전용장비, 로봇 및 수작업시 경제성 비교

수작업과 전용장비의 중간에 분포하며, 다양한 형상의 용접이 가능하므로 유연성 (flexibility) 면에서 다른 방법에 비하여 유리하다. 로봇을 사용하고자 하면, 생산 갯수 및 단가를 고려하여 다른 방법에 비하여 경제적으로 타당하여야 한다. 예외적으로, 로봇을 처음 설치하여 사용하는 경우에는 이와같은 경제성은 무시할 수도 있으며 로봇과 주변장비 및 실제 응용을 일괄 발주하는 turn-key 방식이 시행착오를 줄일 수 있어 바람직하다.

이와 같이 경제성을 고려하여 타당성이 있다고 판단되면 로봇을 이용하여 가공이 가능한지의 여부를 검토하여야 한다. 이에 필요한 기준은 용접공정에서 허용하는 공차와 로봇 시스템에서 발생하는 오차에 의하여 결정된다. 즉, 로봇을 이용하여 용접을 하는 경우, 로봇 시스템에 의한 오차는 용접공정이 허용하는 공차보다 작아야 한다. 이 조건은 아래의 간단한 식으로 표시할 수 있다.

(Welding Process Tolerence)〉(Sum of Errors in Robot System)

위의 식에서 welding process tolerence는 용접부위의 강도를 만족시키는 범위 내에서 용접공정이 허용하는 공차이며, 공정 방법과 용접자세에 영향을 받는다. 로봇 시스템에서 발생하는 오차는 로봇과 주변장치, 치공구 및 전가공에서 발생한 오차의 합을 나타낸다. 예를 들어 절단된 판을 용접하는 경우에 절단된 판의 치수가 절단기에 의하여 가공오차가 생기거나 용접 도중에 열영향으로 오차가 발생하여 로봇이 허용하는 공차보다 크게 되면, 원하는 품질의 용접이 이루어질 수 없다. 적용 공정에 따라 오차의 발생원인이 다를 수 있으나 일반적으로 오차의 원인 중에서 전가공에서 발생하는 오차를 줄이는 것을 마지막에 고려하여야 한다. 이는 오차를 줄이는 데는 비용이 많이 들고 어떤 경우에는 기존의 설비로는 불가능하기 때문이다. 공정의 허용 공차를 증가시키기 위하여 센서를 사용하는 방법을 고려할 수 있다. 예를 들어 아크용접시 열에의해 용접선이

변화하게 되면 용접선 추적센서를 이용하여 변화된 용접선을 따라가게 함으로써 오차를 줄일 수 있다.

추가로 생산성을 높이기 위하여 수작업 용접에 적합한 기존의 설계를 로봇을 이용한 용접공정에 적합하도록 변경하는 것이 바람직한 경우가 많다. 그림 2는 기존 구조물의 설계를 로봇을 이용한 용접에 적합하도록 변경시킨 것을 보여주고 있다[1]. 필요한 모든 용접을 가능하면 외부에서 수행하여 접근성(accessibility)을 높이도록 설계하여야 한다. 위에서 언급한 사항들은 상식적인 간단한 원리이지만, 이를 미리 고려하지 않음으로써 생산라인에 로봇을 설치한 후에 사용하지 못하는 경우가 종종 발생하고 있으므로 로봇 설치 전의 계획단계에서 충분한 고려가 요구된다.

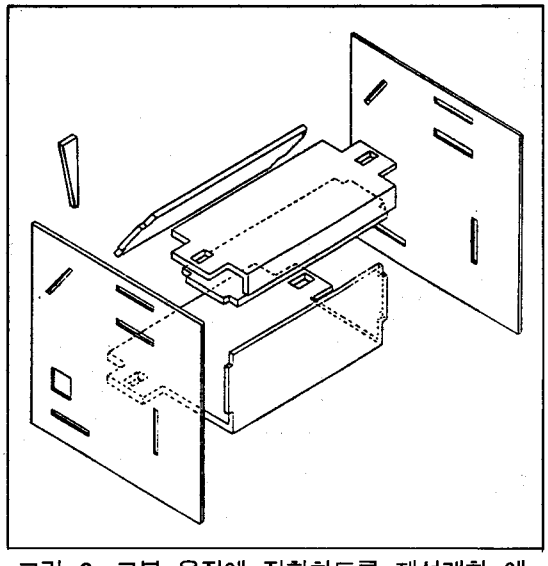

그림 2. 로봇 용접에 적합하도록 재설계한 예

2.2 용접로봇 CELL의 구성

일반적으로 아크용접에서는 cell을 구성하여 작업을 수행한다. Cell은 로봇과 용접장비를 기본으로 구성되며, 이외에도 필요에 따라 positoner, Off-Line Programming 시스템등의 주변장치를 첨가하여 구성할 수 있다. 용접 토치(torch)를 원하는 위치로 어동시키고 용접에 필요한 자세를 취하기 위하여 아크용접용 로봇은 최소 5 자유도를 보유하고 있어야 하지만, 센서등을 장착시키거나 복잡한 형상에서도 작업이 가능하도록 하기 위하여는 일반적으로 6 자유도 로봇이 권장되고 있다. 또한 용접에 필요한 weaving 등의 기능을 수행할 수 있는 software가 내장되어 있어야 한다. 아크 용접용 로봇의 경우에도 TIG 용접의 경우는 high frequency start 방법이나 pulse 방법으로 아크를 발생시켜야 하므로 고주파나 고압에 의한 전기적 간섭을 고려하는 것이 요구된다. 로봇을 사용하는 경우의 arc-on time은 수작업에 비하여 상당히 높으므로 용접장비는 duty cycle이 높은 제품을 사용하여야 한다.

주변장비로 중요한 것은 positioner로써 로봇의 용접자세를 아래보기나 수평(flat or horizontal) 자세로 용접하도록 한다. 용접자세는 용접의 질(quality)과 속도에 큰 영향을 미치며, 아래보기 자세를 이용하면 overhead나 수직자세보다 용접속도를 최대 2배까지 증가시킬 수 있다. Positoner는 2 자유도 내지 3 자유도를 갖을 수 있으며, 수동으로 혹은 로봇 controller와 연결하여 제어가 가능한 제품도 있는데, 필요한 가격에 따라 선택하여야 한다. Off-Line Programming(OLP) 시스템은 현재 로봇 프로그래밍 방법으로 주로 사용되고 있는 teach-pendant를 이용한 프로그래밍 방식을 대체하고, 프로그래밍에 사용하는 시간을 단축시켜 생산성을 증가시킬 수 있는 방법으로 기대되고 있다. 또한 teaching시 주로 발생하는 안전사고를 방지할 수 있다. 이와 같은 OLP시스템의 장점에도 불구하고 널리 사용되고 있지 못한 이유는 시스템의 가격이 높고 실제 사용시 calibration에 문제점이 있기 때문이다. 국내에서도 PC를 이용한 저가의 금형연마용 로봇에 필요한 OLP 시스템을 개발한 사례가 있으므로[2], 이와같은 시스템을 아크 용접용 로봇에 적용하는 것도 바람직한 것으로 생각된다.

3. 용접용 로봇의 센서

아크용접분야에 로봇이 널리 사용되고 있지

못하는 가장 큰 이유는 센서가 실용화되고 있지 못하기 때문이다. 또한 로봇을 이용하여 아크용접공정을 자동화 시키고자 하는 수요자 중에서 로봇이 숙련공만큼 용접을 할 수 있다고 오해하고 있는 경우가 많다. 로봇은 용접공의 자세를 모방하여 장시간 반복적으로 균일한 품질의 용접은 가능하지만, 사람의 시각 등의 기능을 대체할 센서가 실용화 되어 있지 않으므로 외란(disturbance)이 발생하였을 경우 이의 측정과 이에 따른 제어가 불가능하므로 숙련공과 비교하여 더 좋은 품질의 용접은 가능하지 않은 실정이다. 용접용 센서의 실용화가 어려운 이유는 용접시 발생하는 고온 강력한 아크빛 및 spatter의 발생 등으로 주위의 조건이 센서 사용에 적합하지 않기 때문이다. 본 장에서는 가장 널리 사용되고 있는 용접선 추적(seam tracking)센서와 용입량 측정 센서 및 기타 개발 중인 센서를 소개한다.

3.1 용접선 추적 센서

용접선 추적 센서는 현재 가장 널리 사용되고 있는 센서로써, 용접의 특성에 맞게 선택적으로 사용하면 상당한 효과를 거둘 수 있다. 용접선 추적 센서는 접촉식과 비접촉식으로 나눌 수 있으며, 접촉식 센서는 토치 앞에 guide를 부착시켜 guide가 용접하고자 하는 홈(groove)을 따라 가며 홈의 변화를 감지하여 로봇이 용접선의 변화를 감지하여 토치의 위치를 홈의 중심에 위치하도록 제어한다. 접촉식 센서는 가격이 저렴하다는 장점이 있으나, 용접부위를 오염시킬 수 있고 guide가 가접부(tack weld)와 접촉할 때 충격에 의하여 용접 홈에서 이탈할 수 있다.

비접촉식 센서는 아크 자체의 특성을 이용한 아크 센서와 시각기능(vision)을 이용한 센서로 나눌수 있다. 아크 센서는 용접 아크와 용접기의 특성을 이용하여 용접 전류나 용접 전압을 측정하여 용접선을 추적한다[3]. 이 센서의 원리는 용접 전류나 전압이 아크의 길이에 의하여 변화하는 것을 이용하며, 아크의 길이를 변화시키기 위하여 항시 weaving을 하여야 한다(그림 3). 아크 센서는

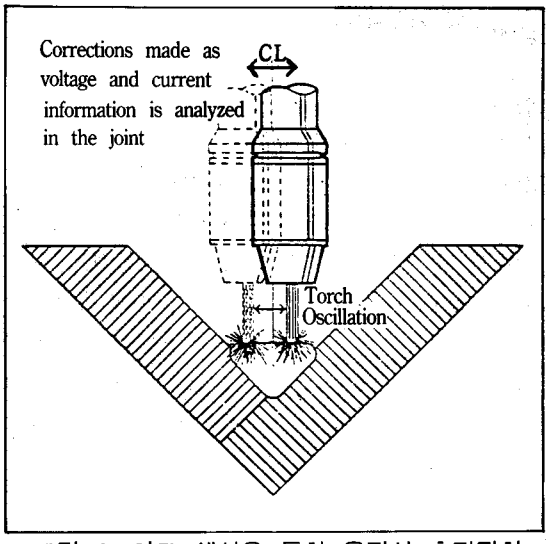

그림 3. 아크 센싱을 통한 용접선 추적장치

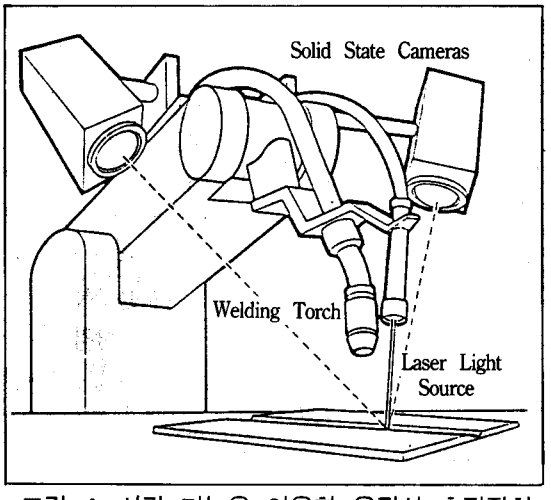

그림 4. 시각 기능을 이용한 용접선 추적장치

장치가 간단하지만 항시 weaving을 하여야 하는 단점이 있다. 그러므로 weaving이 필요없는 박판의 용접이나, 홈이 작은 경우에는 사용할 수 없다. 또한, 심한 noise로 인하여 용접선이 로봇의 주어진 용접선에서 일정각도(약 15도) 이상 벗어나는 경우에는 error 신호를 발생하게 하는 경우도 많다.

이에 비하여 시각기능을 이용한 센서는 많은 경우에 laser를 torch 앞에서 용접 홈에 비추고, CCD camera를 통하여 홈의 형상을 측정한다(그림 4). 이와 같은 센서는 용접선의 추적 뿐만 아니라

groove의 형상에 관한 정보도 얻을 수 있다[4]. 다른 종류의 시각 센서로는 coaxial vision torch가 있다. 이는 CCD camera를 용접 torch의 내부에 부착시켜 용융 풀과 그 주위를 볼 수 있도록 설계되어 있다. 이 센서는 용접선 추적 외에도 용융 풀의 크기를 측정할 수 있으므로 풀의 크기를 제어할 수 있고 torch와 센서가 한 몸체로 되어 있어 compact하다는 장점이 있다. 이와 같은 장점에도 불구하고 시각기능 센서가 널리 사용되고 있지 못한 이유는 센서의 가격이 고가이기 때문이다.

3.2 용입량 측정 및 기타 센서

용입량은 용접공정에서 제어하고자 하는 중요한 변수이다. 용입량을 측정하기 위하여 사용할 수 있는 센서는 실험실 수준에서 몇가지 종류가 개발되어 있으나 상용화에 성공한 사례는 극히 제한되어 있다. 이에 사용되는 센서는 용입량을 직접 측정하지 못하므로, 온도나 용융풀 표면의 형상으로 부터 용융 풀 주변의 온도를 측정하여 측정된 온도와 용접조건을 이용하여 이론적 모델을 통한 계산으로 용입량을 계산한다. 온도는 복사열을 이용하여 구하고, 풀 표면의 형상은 시각기능을 가진 센서를 사용한다. 이와 같은 센서는 GTA나 GMA 공정에 모두 적용이 가능하지만 실제 현장에서 사용되고 있지 못하다. 최근 용융풀의 진동을 이용한 용입량 측정방법이 개발되어 GTA 용접에 사용되고 있으며, 상용화된 예로는 영국의 MELODY(Marchwood Eng. Lab. Oscillation Dynamic) 시스템으로 발전소용 파이프 용접에 응용되고 있다(그림 5)[5].

기타의 상용화된 센서로는 GTA 용접에서 아크의 길이를 제어하기 위하여 사용되는 AVC(Automatic Voltage Contol)를 들 수 있다. GTA 용접은 constant current 용접기를 사용하므로, 아크의 길이는 아크 전압에 비례하여 변화한다. 이 원리를 이용하여 아크전압을 원하는 값으로 유지함으로써, 아크길이를 변화시킬 수 있다. GMA용접의 경우에는 constant voltage type의 용접기를 사용하여 "self-regulation" 효과에 의하여 아크의 길이가 자동으로 제어되므로 AVC의 사용이 필요가 없다. 최근에 GMA 용접에서도 입열량을 제어하여 용입을 일정하게 하기 위하여 constant current type 용접기를 사용하는 추세이며 이와같은 경우에는 "self-regulation"효과를 기대할 수 없으므로 아크길이를 제어하기 위하여 AVC의 사용이 불가피하다. 또한, 아크의 소리(arc sound)나 초음파를 이용하여 용접질을 제어하려는 연구가 시도되고 있다.

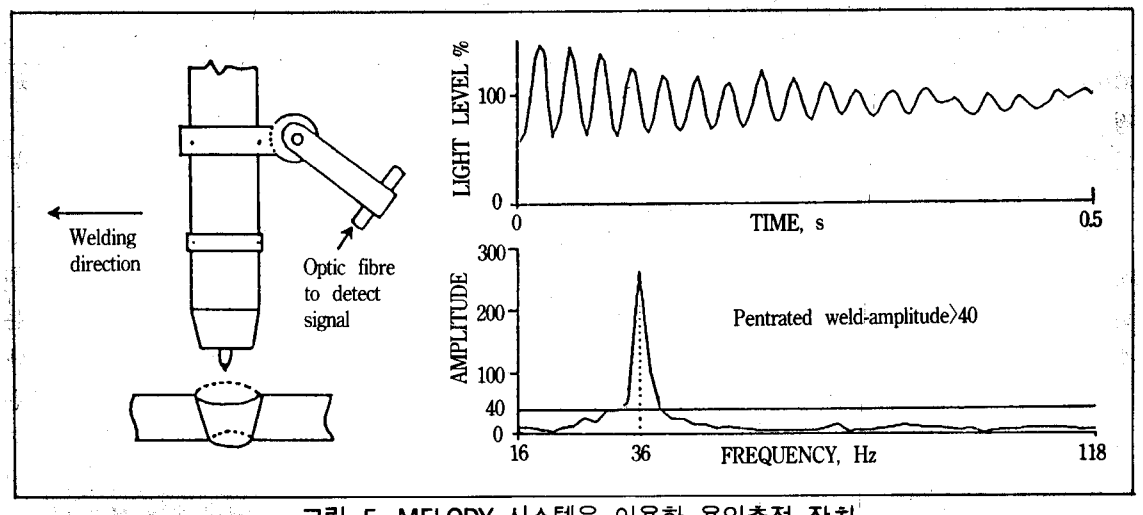

그림 5. MELODY 시스템을 이용한 용입측정 장치

4. 결 론

앞에서 언급한 바와 같이 용접분야에서 로봇 사용을 증가 시키기 위하여 아크용접분야에서의 새로운 수요가 창출되어야 한다. 아크용접분야에서의 로봇 사용을 증가시키기 위한 사항을 요약하며 아래와 같다.

(1) 로봇을 설치하기 전에 로봇의 사용구간 및 용접물의 가공공차를 예측하여 로봇의 사용의 타당성을 검토하여야 한다.

(2) 로봇이 positioner 등의 주변 장비를 적절하게 선택하여야 한다.

(3) 응용의 특성을 고려하여 목적에 적합한 센서를 선택하여야 하고, 새로운 센서에 대한 연구 개발이 요구된다.

(4) PC를 이용한 저가의 Off-line programming 시스템의 개발이 요구된다.

참 고 문 헌

1. Wadsworth, P.K., "Feasibility studies for small batch robot arc welding", SME 13th ISIR, 1983
2. "로봇 프로그래밍 시스템 개발", 한국기계연구원, 1991
3. 김재웅, "GMA 용접에서의 아크길이의 특성을 고려한 용접부의 열 및 유체유동해석과 용접선 자동 추적에 관한 연구", 한국과학기술원 박사학위논문, 1991
4. Gutow, D. and Richardson, R., "A vision based system for arc weld pool size control", Measurement & Control for Batch Manufacturing, ASME, 1982
5. Deam, R.T., "Weld pool oscillation : A new way to define a weld procedure", Proceeding of 2nd Int. Conf. on Trend in Welding Research, Tennessee, 1989