

용접 공정 자동화를 위한 센서의 개발 및 적용 Development and Application of sensors for welding automation

나 석 주*

* 한국과학기술원 기계공학과, 대전

1. 서언

용접 작업은 작업 환경이 열악하여 공정의 자동화가 시급히 필요한 분야중의 하나이다. 현재의 작업자들은 자외선 및 적외선의 강한 광선과 뜨거운 불꽃, 유해한 가스, 전자파와 함께 위빙이라는 단순 반복동작을 오랜 시간동안 해야 한다는 환경에 처해 있다. 그러면서도 용접부의 적정한 수준의 품질을 유지하기 위해서는 숙련된 용접사가 필요하다는 문제가 있다. 이와 같은 상황에 비추어 용접 공정의 자동화는 중요하게 대두되고 있다.

그러나 자동용접 시스템을 효과적으로 사용하기 위해서는 열변형 및 부품의 부적절한 위치 등으로 인한 위치공차를 보상하기 위한 다양한 종류의 센서가 요구된다.

2. 센서의 종류

자동용접시스템에서 센서는 용접시작점과 끝점의 감지, 용접선의 추적 또는 용접부의 측정 등에 사용되는 데, 여기에는 Table 1 에서와 같은 몇 가지의 물리적 원리가 이용된다¹⁾.

Table 1. Kinds of seam tracking sensors

Kinds of sensors		Units in the sensor configurations
Contact type	Contact probes	Microswitches, potentiometers and differential transformers(DTF)
	Electrode contact	Voltage and current for contract detection that is applied to the W electrode or the welding wire
	Temperature	Themocouples and thermistors
Non-contact Type	Temperature	Photothermometers and ingrated thermometers
	Arc phenomena	Welding current, arc voltage, wire feed speed, number of shorts, numbers of peak current and abnormalities
	Optics	Point sensors(phototransistors and photodiodes), Linear sensors(CCD, MOS and PSD), and area(image) sensors (CCD, MOS, PSD and ITV)
	Sound	Variable sound pressure or ultrasonic sound pressure detector probes

용접 시작점의 탐지나 비교적 단순한 형상의 용접선을 추적하는 경우 값싼 접촉식 유도센서가 많이 이용된다. 때로는 성능이 뛰어나고 복잡한 시각센서도 사용되는 데 이것은 용접선의 추적과 함께 홈단면의 정확한 측정도 가능하며, 또한 용접 시작과 종료의 결정, 용접 변수의 조절 등에 필요한 정보도 제공할 수 있다. 다이오드 레이저, CCD 카메라 및 마이크로 프로세서 등의 지속적인 성능향상, 신뢰도 향상 및 가격 하락 등에 힘입어 시각센서의 적용 범위는 빠르게 넓어지고 있다.

아크 센서는 별도의 장치가 필요없으며 가격도 비교적 저렴하기 때문에 용접 자동화에 가장 널리 이용되고 있다. 최근에는 토치 높이와 용접선 추적제어가 가능하게 설계된 간단한 아크 센서가 대부분의 아크 용접 로봇의 표준 장비에 속해 있다. 또한 많은 기능을 가진 아크 센서의 개발도 계속되고 있는데, 한 예로서 간극의 폭이 변하는 얇은 박판을 용접하는 경우에 간극의 폭을 인지하는 신경회로망이 채택된 아크 센서를 적용하여 용접선 추적을 성공적으로 수행하였다²⁾.

3. 용접공정에서 아크센서의 적용

아크센서는 용접 공정 중 전기적인 신호를 검출하여 이를 용접선의 추적과 용접토치의 높이 제어등에 이용한 센서이다. GMA 용접에서는 정전압 용접전원을 이용하기 때문에 용접전원의 특성과 아크의 특성에 의해 팁-모재간 거리에 따라 용접전류의 크기가 변한다. Fig. 1 과 같이 1의 상태에서 2의 상태로 급격히 팁-모재간 거리가 변하면 아크의 길이는 길어지고 용접전류는 급격히 떨어지게 되고 아크의 자기제어 현상으로 인하여 아크의 길이는 3의 상태와 안정화되어 다시 줄어들지만 1의 상태와 비교하여 더 작은 용접 전류의 크기를 가진다. 이와 같이 팁-모재간의 거리와 용접전류가 반비례하는 관계를 이용하여 용접선의 중심과 용접토치의 중심과의 위치관계를 알 수 있으며 이 위치관계에 따라 대표적인 용접전류의 파형을 Fig. 2 에 나타내었다.

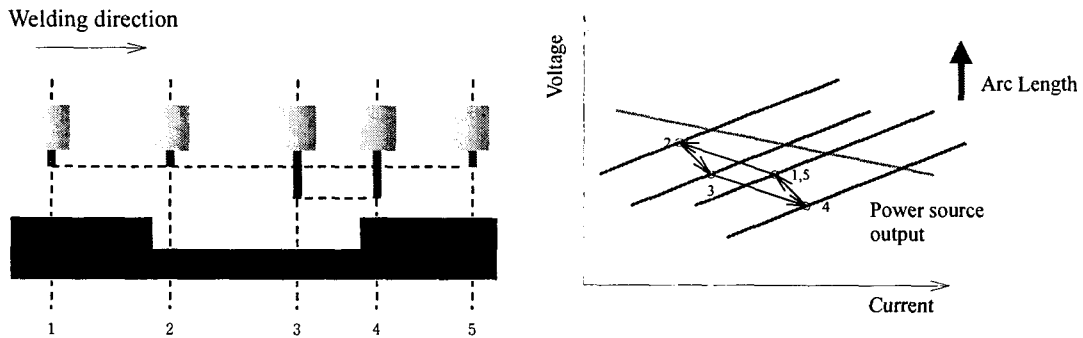


Fig.1 Arc variation over idealized stepped plate

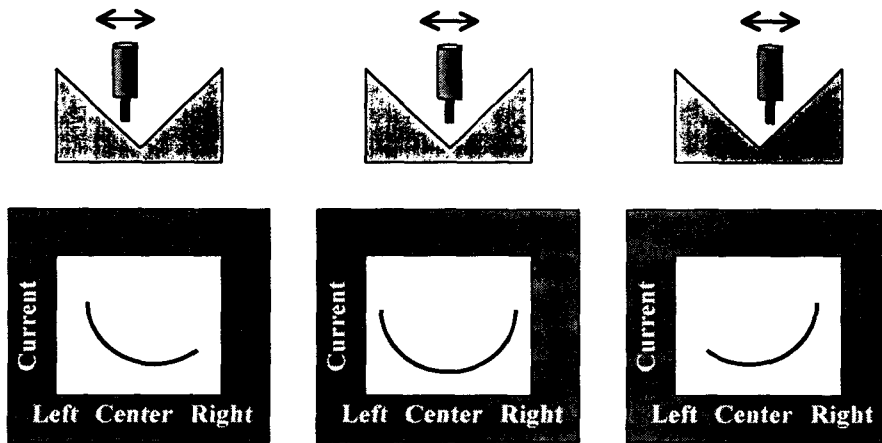


Fig.2 Representative three patterns of measured current

아크센서를 이용하여 용접선을 추적할 때 용접선의 좌우에서의 전류값을 비교하기 위하여 기계적인 위빙이나 아크의 회전이나 전자기 요동이 필요하며 이를 Fig. 3-5 에 각각 나타내었다³⁷⁾.

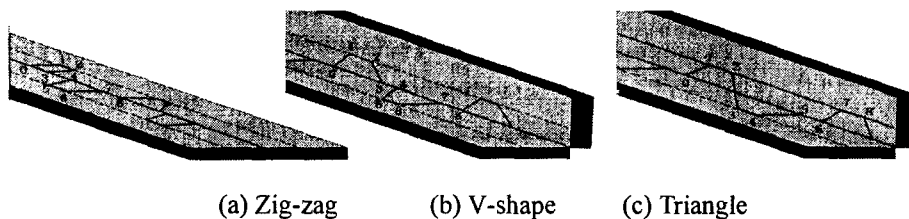
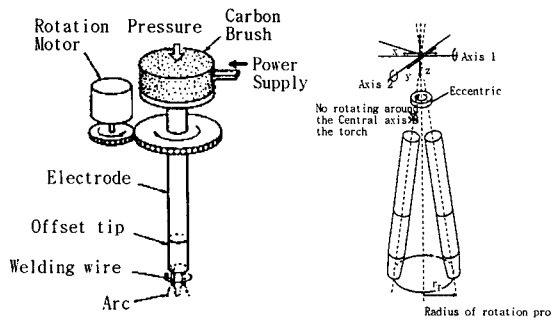


Fig.3 Various weave patterns



(a) by NKK (b) by RWTHAachen (c) by KAIST

Fig.4 Developed arc rotating mechanisms

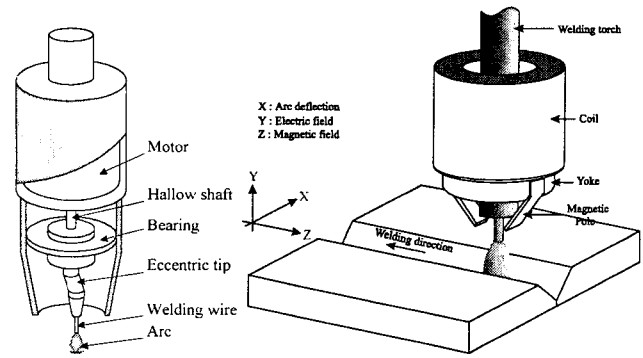


Fig.5 Magnetic arc oscillation

GMA 용접에서 용접 전류 신호를 용접선의 추적과 용접 토치의 높이 제어에 이용할 때, 일반적으로 용접 토치 위빙의 중심을 기준으로 용접 전류 파형에서 양쪽의 면적을 비교하여 위빙의 중심을 이동하여 용접선을 추적할 수 있으며, 전류 파형의 면적을 계산하여 용접토치의 높이 제어에 이용할 수 있다⁸⁾. 이 때, 용융풀 형상으로 인하여 실제로 팁-모재간 거리는 2차 곡선의 형태를 가지므로 최소자승법을 이용하여 용접신호를 2차곡선으로 회귀하여 효율적으로 용접선의 추적과 용접토치의 높이제어에 이용할 수도 있다. Fig.6은 용접신호와 2차 최소자승법을 이용하여 회귀한 신호를 비교하고 있으며, Fig.7과 같이 용접선 추적시 퍼지 알고리즘을 이용하여 추적 성능을 향상시킬 수 있다⁹⁾.

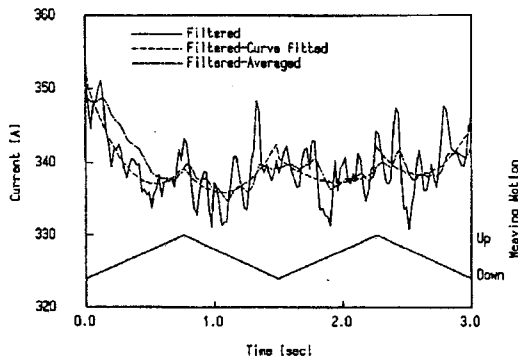


Fig.6 Welding current signal in GMA

welding with CO₂ gas

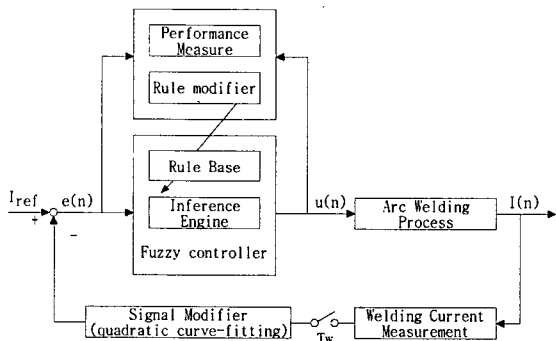
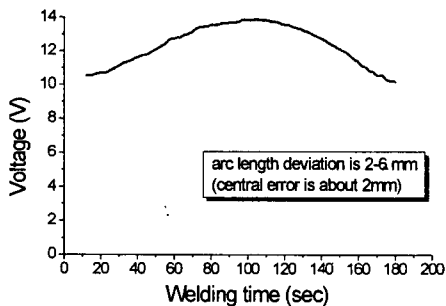


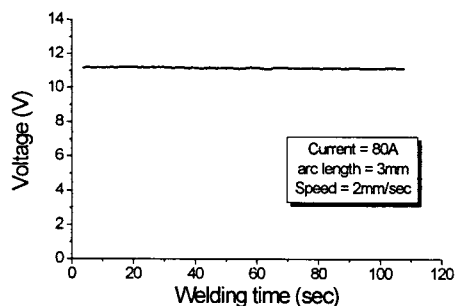
Fig.7 Self-organizing fuzzy control system

for weld seam tracking

GTA 용접에서는 용접 전원이 수하특성을 가지므로 용접 전원을 측정하여 Fig.8과 같이 전극의 높이 제어에 이용할 수 있다¹⁰⁾.



(a) without AVC

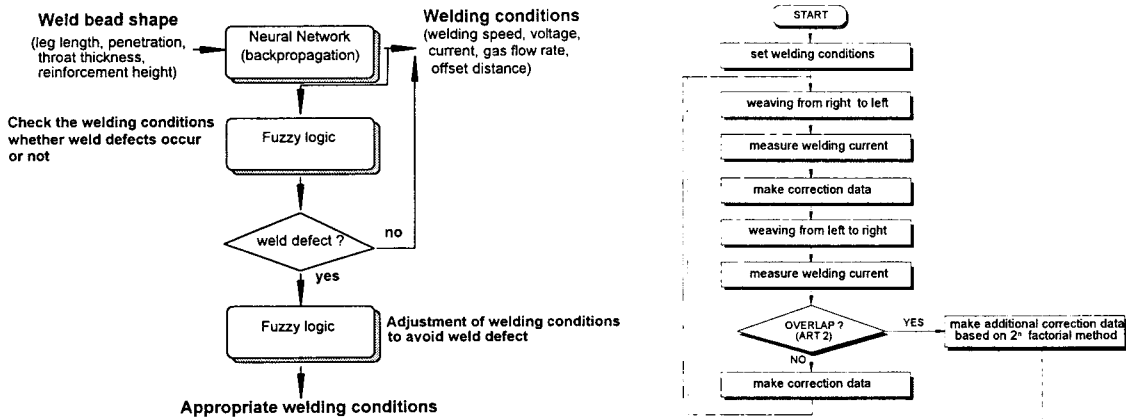


(b) with AVC

Fig.8 Torch height control in GTAW

아크 센서에서 이용하는 용접신호는 용접공정중 팁-모재간의 거리를 반영한다. 그러므로 용접 신호는 용융풀의 형상과 밀접한 관계를 가지고 있어 용접 신호 파형을 이용하여 용접 결함 유무를 예측하고 용접 품질의 제어를 수행할 수 있다.

Fig.9는 신경회로망과 퍼지 알고리즘을 이용하여 용접 결함이 생기지 않은 적절한 용접 조건을 선정하고, 용접 수행시 용접신호를 이용하여 용접선의 추적과 함께 오버랩을 방지하는 용접조건을 적용하여 원하는 용접품질을 얻을 수 있는 알고리즘을 보여준다¹¹⁾.



(a) determining welding conditions to avoid weld defects (b) flow chart for seam tracking by considering overlap

Fig.9 Weld quality control using arc sensor

위와 같은 아크센서의 기능을 범용 로봇에 적용하여 Fig.10 과 같은 시스템을 구성할 수 있으며, 로봇의 timing diagram 에 따라 Fig.11 과 같이 교정신호를 전송하여 원하는 용접선 추적을 수행 할 수 있다¹²⁾.

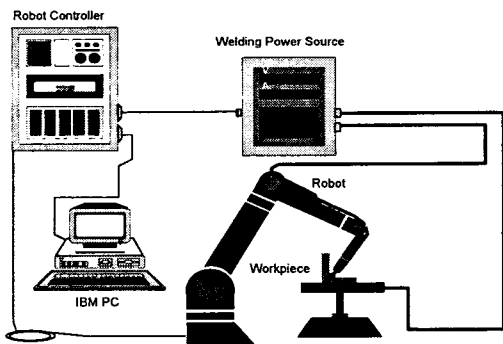


Fig.10 Robotic welding system with arc sensor

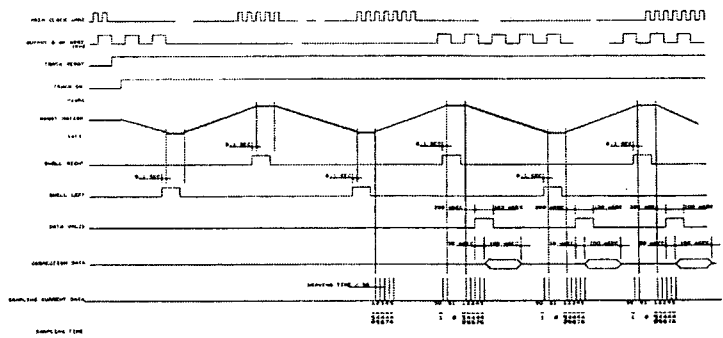


Fig.11 Timing chart for transferring correction data

4. 용접공정에서 시각센서의 적용

용접공정에 사용되는 여러가지 센서중에 용접부의 3 차원 형상정보를 얻을 수 있다는 점에서 시각센서의 적용범위가 넓어지고 있다. 시각센서는 적용방법에 따라 Fig.12 와 같이 분류할 수 있다. 일반적으로 용접에 사용되는 방법은 레이저를 보조광으로 사용하고 광삼각법(optical triangulation)의 원리를 이용하는 방식을 주로 사용하는데 이 방식은 용접선의 위치 정보뿐 아니라 형상정보도 얻어낼 수가 있어서 용접선 추적과 용접공정 모니터링 및 용접변수 제어에 많이 이용되고 있다. 광삼각법을 이용하는 방식에는 구조화된 빔(structured light)을 사용하거나 주사빔(scanning beam)을 사용하는 방법이 있다. 구

조화된 빔을 이용하는 방식은 레이저 빔을 원통형 렌즈를 통과시켜 평면의 형태로 대상물에 조사시켜 나타나는 형태를 2차원 카메라로 측정하는 방법으로 용접시 노이즈의 영향을 많이 받고 전처리 시간이 많이 걸리는 단점이 있으나 구조가 간단하고 주사빔을 이용한 방법에 비해 상대적으로 저렴한 가격으로 시스템을 꾸밀 수 있어서 용접공정에 적용이 많이 되고 있다.

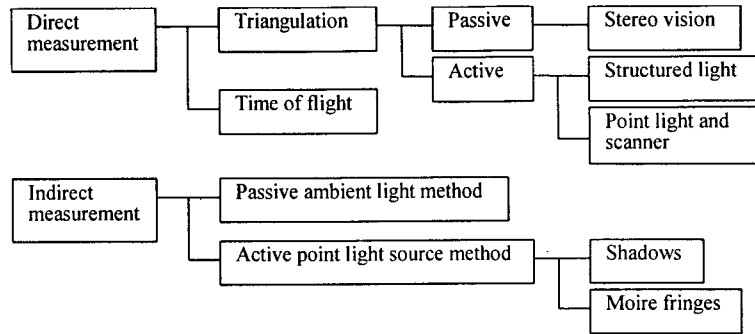


Fig.12 시각센서의 분류

4.1 적재함(container) 자동용접에의 적용

컨테이너의 자동용접은 Fig.13 에서와 같이 컨테이너의 사이드 및 루프 판넬을 자동으로 이송하여 정해진 위치에서 맞대기를 한 다음에 시각센서로 용접선을 자동으로 추적하여 용접을 수행하게 된다. 적용된 시각센서는 용접선의 시작점과 끝점을 찾고 얇고 긴 박판 - 컨테이너 사이드 및 루프 판넬 - 용접 중 열변형에 의해 나타날 수 있는 간극(gap), 단차(misalignment) 및 겹침(overlap)에 따른 용접선의 변화를 추적하고 단차 및 간극변화에 따른 용접 변수 제어에 적용되었다¹³⁾.

4.2 LNG 탱크 제작에의 적용

LNG 탱크 내벽과 같이 무게를 감소시키면서도 요구되는 강도를 유지하기 위해서는 성형된 박판이 많이 사용된다. 이 때 각각의 성형된 부품들을 결합시킬 때는 연속적인 직선용접과 함께 용접부의 높이변화가 수반된다. 광학삼각법을 이용한 시각센서는 경면 반사와 그림자 효과 등의 문제가 있다. 모재가 경면 반사 성질을 가질 경우 모재의 기술기에 따라 레이저 빔기의 차이가 심하여 모재의 정확한 3차원 형상을 얻을 수 없고 2차 반사에 의한 이미지는 틀린 정보를 생성한다. 또한 카메라와 광원 사이의 기준선이 클 경우 센서로 측정할 수 없는 사각지대가 발생한다. 그리고, 모재의 높이 변화가 심할 경우 측정 대상이 측정 범위를 벗어나 그 부분을 측정할 수 없는 경우가 생겨서 데이터 부족을 야기시킨다. 따라서 높이 변화가 있는 용접부를 시각센서로 추적하기 위해서 센서의 신뢰도와 데이터 부족 현상등을 고려하여 적절한 센서의 배치와 토치의 경로를 결정해야 한다. 이를 위해 데이터 부족 현상과 모재의 반사 성질에 의한 센서의 신뢰도에 대한 연구와 Fig.14 와 같이 독자적으로 높이 방향으로 이동할 수 있는 메카니즘을 이용한 센서가 설계되어 적용되었다¹⁴⁾.

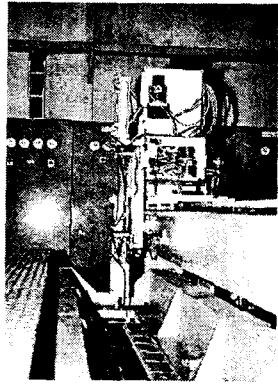


Fig.13 Automatic welding system for container

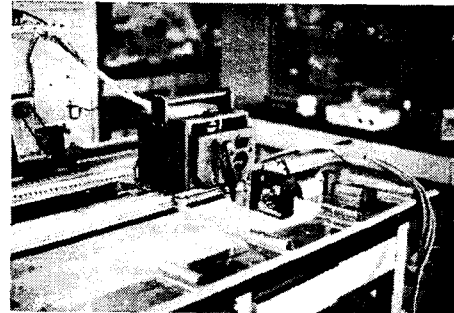


Fig.14 Automatic welding system for LNG tank

4.3 비원형 압축기 케이스 자동용접에의 적용

비원형 압축기 케이스의 용접선을 추적하기 위하여 두개의 시각센서가 사용되었다. 압축기 케이스가 회전부에 고정이 되고 두개의 용접 토치가 1 자유도를 가지게 된다. 비원형이므로 회전하면서 회전반경이 매 회전각도마다 변하게 된다. 이를 위해 화상에 맺힌 레이저 띠가 내포하는 회전반경과 사잇각의 관계를 함수형태로 구하여 대상물의 기하학적인 형상을 회전반경으로 표현하기 위해 곡선정합 등의 방법을 적용하였다¹⁵⁾. Fig.15는 비원형 압축기 케이스 자동용접을 위한 시스템의 사진이다.

4.4 선박 건조를 위한 자동용접에의 적용

Fig.16은 선박 소조립 라인에 적용된 시각센서가 로봇에 장착된 모습이다. 시각센서는 부재의 용접 시작점을 인식하여 용접을 시작하고 부재의 가용접된 부분을 인식하면서 용접선 추적을 하다가 끝점을 인식하여 용접을 완료하게 된다. 로봇은 20m×40m의 영역을 움직이는 갠트리형의 용접 시스템에 장착되어 용접을 수행하게 된다. 모재가 길어서 아크열에 의한 시각센서에의 영향을 줄이기 위해 냉각 시스템을 시각센서에 적용시켰다¹⁶⁾.

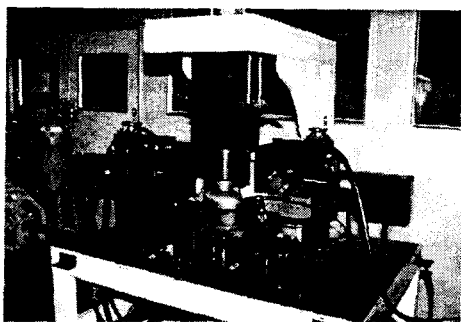


Fig.15 Automatic welding system for compressor case

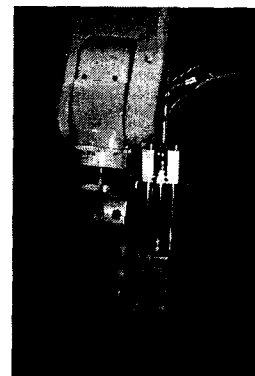


Fig.16 Vision sensor in shipbuilding

4.5 벨로우즈 생산을 위한 레이저 용접에의 적용

일반적인 금속 벨로우즈는 두께가 0.025 - 0.254mm의 워셔 형태(washer-shaped)의 얇은 디스크(스테인리스 스틸)로 얇은 콘(cone) 모양을 하고 있다. 이를 용접하기 위해서는 이런 디스크 두 장의 내부 모서리를 용접하여 한 쌍을 만든 후 용접된 쌍끼리 외 부 모서리를 용접하여 일정한 길이를 가지는 벨로우즈를 제작하는 방법이 사용된다. 벨로우즈 용접을 위한 시스템은 내부와 외부용으로 구분되고 두 가지 모두 2축 구동부, CW형 Nd:YAG 레이저, PC(영상처리보드, 모터구동보드), 시각센서로 구성된다.

내부 용접을 위한 시스템은 Fig.17 과 같이 내부 용접의 특성상 용접부에 레이저가 45도의 각도로 조사되게 설계하였다. 시각센서는 10 μ m의 분해능을 가지고 CCD 카메라, 마이크로 렌즈, 레이저 다이오드, 대역통과필터, 미러(mirror)로 구성되고 Nd:YAG 레이저의 집광장치와 일체형으로 구성된다¹⁷⁾.

4.6 금형 개조 용접 자동화에의 적용

로봇을 이용하여 금형 개조 용접을 자동화 할 때에, 시각 센서를 사용하여 로봇에 대한 금형의 위치 자세를 파악한 후, 미리 계획된 위치에 대해 현재의 위치를 보정한다. 특히 금형의 경우 대응되는 특징점을 찾기 어렵기 때문에, 특징점을 사용하지 않는 방법으로 직선과 평면으로부터 직접 위치를 보정해 줄 수 있는 변환행렬(transformation matrix)을 구하는 방법을 사용하였다¹⁸⁾. Fig.18은 금형 개조 용접 자동화를 위한 모의 실험을 실시 중인 사진이다.

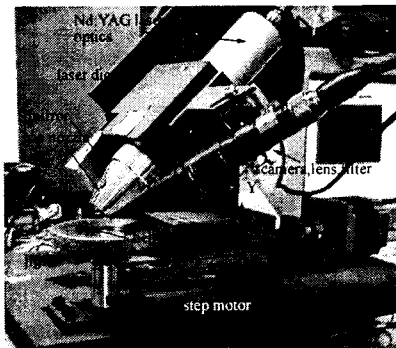


Fig.17 Laser welding system for bellows

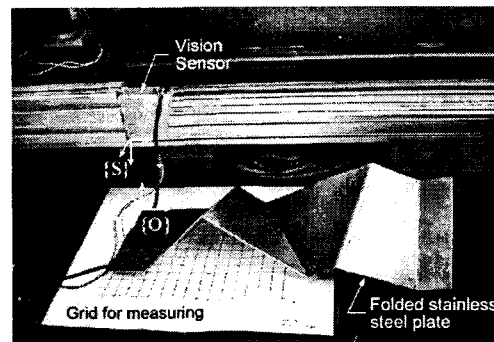


Fig.18 Vision sensor for die repair welding

5. 결론

위에서 살펴본 바와 같이 아크센서와 시각센서는 용접자동화에 많이 적용되고 있다. 아크센서를 적용하기 위해 용접선의 좌우에서 전류값을 얻기 위한 기계적인 위빙, 아크의 회전, 전자기 요동등에 관한 연구가 수행중이다. 또한, 신경회로망과 퍼지 알고리즘 등을 이용하여 용접 결함이 생기지 않은 적절한 용접 조건을 선정하고, 용접 수행시 용접신호를 이용하여 용접선의 추적과 함께 용접조건을 조절하여 원하는 용접품질을 얻을 수 있는 알고리즘이 개발되어 왔다. 시각센서는 용접선 추적, 용접 토치의 높이 제어, 용접변수 제어 등에 계속 적용되어 왔으며, 아크 용접에서 뿐만 아니라 레이저 용접, 금형 개조 용접 등 그 적용대상이 다양해져 가고 있다. 주변 노이즈의 영향을 많이 받는 용접공정에서의 적용을 위한 강건한 신호처리 알고리즘과 다양해져 가는 적용대상에 능동적으로 대처할 수 있는 시스템의 개발이 필요할 것이다.

참고문헌

1. H. Nomura, "Sensors and control systems in arc welding", Chapman & Hall, London, 1994, pp. 1-7
2. 나석주, "용접공정의 장래성과 그 자동화의 잠재력", 독일 첨단과학기술개발 동향 조사보고서, 한국과학재단, 1997, pp.37-51
3. 용접 접합 편람, 대한용접학회, 1998, pp. 651
4. Y. Sugitani, Y. Kobayashi and M. Murayama, "Development and application of automatic high speed rotation

- arc welding”, *Welding International*, May, 1991, pp. 577-583
5. U. Dilthey, M. Oester and J. Gollinick, “Mechanized metal-gas-shielded arc welding with high-speed rotary wire electrode”, *Welding & Cutting*, 48-11(1996), pp. 866-875.
 6. 김철희, 나석주, “수평필릿용접에서 회전아크를 이용한 아크센서에 관한 연구”, 대한용접학회 춘계 학술대회, 1997, pp. 129-132
 7. 강윤희, 나석주, “자기장에 의한 아크 요동의 수학적 모델링과 용접선 추적에의 응용에 관한 연구”, 대한용접학회 춘계 학술대회, 2000(발표예정)
 8. 김재웅, 나석주, “아크센서를 이용한 용접선 추적장치”, 대한용접학회지, 6-4(1998), pp. 1-6
 9. J.-W.Kim and S.-J.Na, “A study on an arc sensor for gas metal arc welding of horizontal fillets”, *Research Supplement, Welding Journal*, 70-8(1991), pp. 216/s-221/s
 10. 나석주 외, “안전주입계통 역지 밸브 시트링 교체 기술 개발”, 한국과학기술원보고서, 1999
 11. H.-S.Moon, J.-W. Kim and S.-J.Na, “Application of artificial intelligence for arc welding automation”, *Australasia-Pacific Forum on Intelligent Processing and Manufacturing of Materials*, Gold Coast, Australia, July 14-17, 1997, Technical Session-1B1, pp.36
 12. 나석주 외, “Arc welding robot 을 위한 arc sensor 개발에 관한 연구”, 한국과학기술원보고서, 1992
 13. 나석주 외, “적재함 자동용접 시스템 기술개발에 관한 연구”, 한국과학기술원 보고서, 1995
 14. 나석주 외, “ Membrane 형 LNG 탱크 제작을 위한 자동 용접기술의 개발”, 한국과학기술원 보고서, 1995
 15. 나석주 외, “시각센서를 이용한 비원형 압축기 케이스의 자동용접시스템 개발에 관한 연구”, 한국과학기술원 보고서, 1996
 16. 나석주 외, “선박건조를 위한 자동 용접 시스템용 시각센서의 개발”, 한국과학기술원 보고서, 1997
 17. 이승기, 나석주, “시각센서를 이용한 벨로우즈 레이저 용접시스템”, 대한용접학회 추계학술대회, 1999, pp.58-59
 18. 김지태, 나석주, “금형 개조 용접시 시각 센서를 이용한 대상물 위치 파악에 관한 연구”, 한국과학기술원 석사학위논문, 2000