

전압손실 보상용 CO₂ 인버터 용접기 콘트롤러 개발

배종일[#]

Development of the CO₂ Inverter Welding Controller for Compensation of Voltage Loss

Jong-Il Bae[#]

ABSTRACT

In a CO₂ inverter welding machine, stable arcs can be generated and a welding performance that is a goal of welding can be improved when stable electric power with a low voltage and a high current is supplied to a electrode that is the secondary part (output terminal) and the base metal. For such a stable power supply, therefore, the AC arc welding machine, the thyristor welder, and the inverter welder have been developed in order according to development of the power electronics techniques. Up to now, the thyristor welding machine is still broadly used but the application volume is gradually reduced by development of the inverter welder.

Because the welding performance of the inverter welder is very good and the weight and size of the welder is remarkably light and small. The final goal of this research is to develop the voltage loss compensator that is a drawback of the inverter welder and improve the welding performance using the developed compensator.

Key Words : CO₂ Inverter Welder(CO₂ 인버터 용접기), Multi-functional PCB(다기능 PCB)

1. 서 론

CO₂ 인버터 용접기의 용접 전원은 2차측인 전극봉과 모재에 저전압, 대전류의 안정된 전력을 공급해야만 아크를 원활히 발생시킬 수 있으며 용접의 목표인 용접품질을 향상시킬 수 있다. 따라서 이러한 안정된 전원을 공급하기 위한 전력전자 기술의 발달에 따라 교류아크 용접기, 사이리스터 용접기, 인버터 용접기 순으로 발전하여 왔다. 현재까지 사이리스터 용접기가 많이 사용되어지고 있으나, 인버터 용접기의 등장

으로 인하여 그 규모가 점차 줄어들고 있는 실정이다^[1-2]. 이러한 추세는 인버터 용접기의 용접품질이 우수하며 용접기가 경량화될 수 있기 때문이다. 이러한 장점에도 불구하고 인버터의 제어 기술이 아직 미흡한 상태라 많은 문제점을 안고 있다^[3-7]. 본 연구에서는 이러한 문제점 중에서 용접품질을 향상시킬 수 있는 전압손실 보상용 콘트롤러 개발을 목표로 하였다.

2. CO₂ 인버터 용접기 설계

CO₂ 인버터 용접기를 개발하기 위해서는 여러 가지의 기술적인 면을 고려해야한다. 특히, 출력단 고주파 변

* 부경대학교 전기제어계측공학부
E-mail: jibae@pknu.ac.kr

압기와 직류단 리액터의 설계는 전기적인 특성 뿐만 아니라 용접 성능과 직결되는 부분인 만큼 용접 특성을 고려해서 설계해야 한다. 이외에도 주의해야 할 회로 설계 항목은 다음과 같다.

- IC의 배열은 같은 방향으로 설계한다
- 저항 및 다이오드는 가로 혹은 세로의 방향을 가급적이면 맞추도록 설계한다. 즉, 세로 방향과 가로 방향의 규칙성을 따른다.
- 전해 콘덴서 및 극성이 있는 부품은 같은 극성으로 배열한다. 이는 노이즈와도 관계가 있지만 회로의 점검 및 수리가 용이하다.
- AC와 DC의 라인은 최소 4mm 이상 간격을 유지하면서 설계를 한다. 단 DC와 DC는 3mm 이상 라인의 간격을 유지한다.
- Comp면과 Solder면의 설계 시 윗면이 세로 방향이면 아래면은 반드시 가로 방향으로 설계하여 확실적인 설계를 유지한다.
- 라인과 라인이 붙어 있는 경우 중간에 라인으로서 연결이 필요한 부분은 제일 가까운 패더 Solder면에서 연결을 원칙으로 설계한다.

2.1 입력 및 출력단 설계

인버터 입력 전압인 DC 링크단 전압을 V_d , 변압기 1차측 전압을 V_1 이라고 할 때 인버터에 사용되는 스위칭 소자의 전압 및 전류의 정격을 선정할 수 있다. 인버터에 사용되는 스위칭 소자의 콜렉터와 에미터 사이에 인가되는 전압정격인 V_{ces} 는 최대 인가 전압인 V_{cep} 나 스파크 전압의 피크치인 V_{cesp} 보다 커야만 시스템이 안정적으로 동작한다. 일반적으로 V_{cesp} 는 입력 전압에 대하여 과전압 설정치를 1.15배로 선정하고, 선로 리액턴스에 의한 스파이크 전압의 변동분을 1.5배로 선정하여 조건에 알맞은 스위칭 소자의 정격전압을 결정한다. 스위칭 소자의 주파수는 가칭주파수와 스위칭에 의한 전류 리플을 고려하여 일반적으로 15-20 KHz 정도로 한다.

출력단 고주파 변압기와 직류단 리액터의 설계는 용접기 변압기의 정전류특성이 수하특성을 갖고 있으므로 공극을 갖는 누설 변압기의 구조로 한다. 반면, 인버터 용접용 고주파 변압기의 경우 수하특성 등을 인버터제어에 의해 구현하는 방법을 택한다.

직류 리액터는 용접중 아크 전류를 안정하게 해주는

역할을 하는데 직류 리액터가 커질수록 스파터의 발생량은 줄어들지만 아크의 기동성이 저하된다. 따라서 직류 리액터가 너무 커지게 되면 아크의 발생이 어려워지므로 적절한 선정이 필요하다.

용접기에서 사용하는 PWM 기법은 중·대용량 통신용 DC/DC 컨버터와 유사하여 스위칭 기법도 같은 방법으로 적용한다. 출력전압 기준치와 삼각파의 비교에 의해서 듀티비를 결정하고 듀티는 펄스열의 형태로 나오게 된다. 그러나 실제로 인버터의 출력단은 변압기에 연결이 되어 있으므로 인버터의 출력은 +와 -가 교번되어야 하며 출력이 교번되는 중간에는 0이 포함되어 환류 모드를 제공하여야 한다. 따라서 인버터의 출력은 $+V_d$ 에서 0으로 다시 $-V_d$ 에서 0으로 되어야 한다. 이와 같은 스위칭 패턴을 인가하기 위해서는 위상제어 변조기법을 사용한다. 위상제어는 스위칭 함수를 실제로 인가하기 위한 gating 신호로 변환하기 위한 방법으로 PLL 회로를 이용한 방법과 프리플롭을 사용하는 방법이 있다.

2.2 전류 전압 제어

전류 상승 기율기제어, 전압 전류 최적제어, 순시 전류제어, 펄스 전류제어, 단락 지연제어, 아크 재생 검출제어는 파형제어 기법으로 급속 이행에 다른 스파터량 콘트롤 기능을 추가한 것으로 단순하게 전류의 급속한 상승 및 하강에 따른 핀치력을 저감하여 스파터량을 줄일 목적으로 제시된 전류 상승 기율기제어, 최적의 전압 및 전류 파형을 미리 선정하여 놓고 이를 추종하도록 인버터를 제어하는 전압 전류 최적제어 기법이 있다. 그리고 최적의 전류조건을 정하여 놓고, 순시적인 전류제어 기법을 통하여 기존 전류를 추종하도록 제어하는 기법과 한 스파터의 발생량이 단락 발생 시점과 아크의 재발생 시점에서 가장 크므로 전류 상승을 지연시키는 단락 지연제어 기법 및 아크 재발생 직전에 전류를 저전류로 제어하여 과도한 에너지가 아크발생 시 투입되지 않도록 제어하는 아크 재생제어 기법이 있다.

인버터 출력 전압제어는 단순하게 출력 전압 지령치와 송급 속도의 지령치에 의해서 용접 전원을 제어하는 방법이다. 일반적인 제어 기법은 전압 지령치에 의해서 인버터의 듀티비를 조절하여 출력 전압을 제어하고, 전류 지령치에 의해서 송급 속도를 제어하는

방법이 있다. 또한 용접 전류를 센싱하여 출력전압제어부에 전향제어하여 전원의 속응성을 확보하여 아크의 안정성을 도모한다.

2.3 PCB(Printed Circuit Board) 구현

전압손실 보상용 콘트롤라의 각종 인버터 용접기에 접목할 수 있는 다기능제어 PCB구현은 본 개발에서 중요시하는 부분으로 CO₂ 인버터에 국한되지 않고 회로 설계와 Art-Work 시 여러 종류의 인버터 용접기의 설계 사항을 고려하여 설계한다. 휴대용 인버터 용접기의 경우 CO₂ 인버터 용접기에서 빠지는 회로 부분인 경우를 감안하여 설정부와 제어부를 따로 설계하며 부품 배열을 확일적으로 한다. 즉 인버터 용접기에 공통으로 들어가는 회로의 경우 PCB가 작아지는 것을 감안하고 또한 PCB가 커질 경우를 감안하여 중앙 콘트롤 부분은 PCB의 가장 자리에 위치하도록 설계하며 콘트롤라의 제어 목적인 전원 부분의 경우는 오른쪽 하단부터 설계하고, 설정 부분의 경우는 CO₂ 인버터, 휴대용 아크 용접기, 프라즈마 용접기는 각기 다르므로 왼쪽부분으로 설계하면서 언제든지 PCB를 조절하여 사용할 수 있도록 설계한다. 외부와의 연결

잭은 콘넥터로 연결하며 콘넥터의 방향과 위치는 위에서 설명한 바와 같은 방법으로 설정 설계한다. 이로서 CO₂ 인버터 용접기, 휴대용 아크 용접기, 프라즈마 용접기 등 여러 요소의 용접기에 한 콘트롤라의 PCB로서 제어 할 수 있다.

콘트롤라 PCB의 경우 노이즈로 인해서 실질적인 기능을 다할 수 없는 경우가 발생하므로 PCB의 설계는 Poly PCB를 기본으로 설계를 하여 PCB상에서 발생하는 노이즈와 외부로 부터 노이즈 차폐효과를 기대한다. Poly PCB는 PCB 상에 Comp면과 Solder면의 양면을 그라운드 처리하고 부품의 위치는 앞에서 설명한 바와 같이 다기능 PCB를 감안하여 배열한다. 부품의 위치가 결정되면 먼저 콘트롤라의 전원부터 설계한 다음 신호선들을 설계한다.

3. 실험장치 및 조건

3.1 입-출력 및 제어회로 설계

Fig. 1은 CO₂ 인버터 용접기의 회로 블록선도를 나타낸 것이다. CO₂ 인버터 용접기를 위한 콘트롤라를

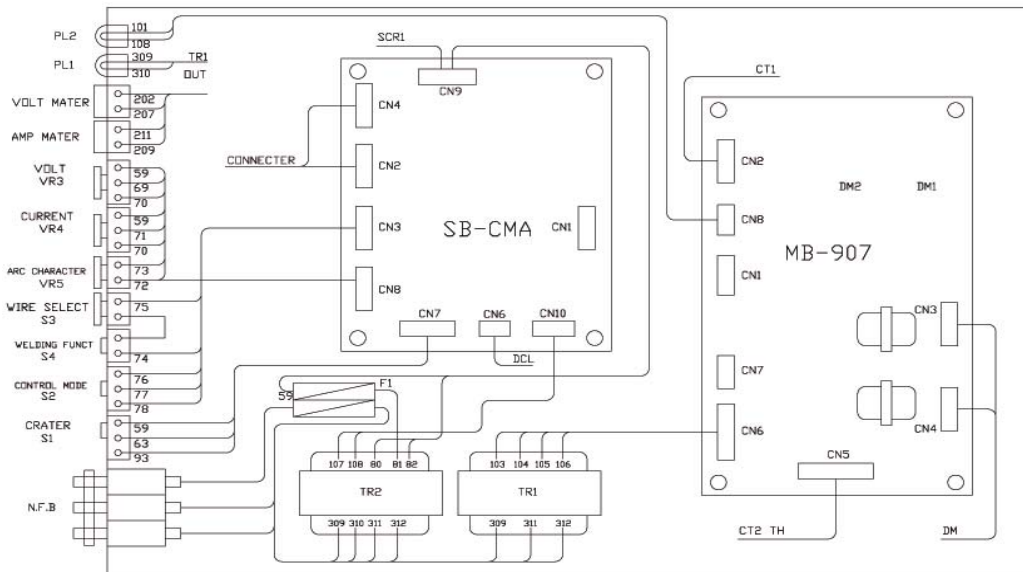


Fig. 1 Circuit diagram of the proposed CO₂ inverter welder and controller

개발하기 위하여 주요 회로들의 성능 특성을 고려하여 설계하였다. 회로의 제작은 크게 세부 회로의 설계와 설계된 회로를 보드로 제작하기 위한 PCB Art-Work으로 나뉜다. 출력단 고주파 변압기와 직류단 리액터는 변압기의 권선비율에 따라 설계하고 정격부하 실험에 의하여 적절하게 설계하였다. PWM 기법을 구현하기 위하여 SCH에 의한 회로설계용 P-Cad를 이용하여 Art-Work을 수행하여 제작하였다. 전류 상승 기율기제어, 전압 전류 최적제어, 순시 전류제어, 펄스 전류제어, 단락 지연제어, 아크 재생 검출제어, 그리고 인버터 출력 전압제어를 위한 회로 또한 P-Cad를 이용하여 회로도설계하고 각 부분의 모듈을 제작하였다.

전압손실 보상용 콘트롤러의 각종 인버터 용접기에 접목할 수 있는 다기능제어 PCB는 설정부 제어기, 제어부 제어기, 그리고 전원부 제어기를 위하여 각각 제작하였다. 모든 PCB는 자체적으로 SCH 설계와 Art-Work을 수행하여 제작하였다.

3.2 개발 PCB 사양 및 특성

본 연구에서는 용접기 제어용 PCB를 자체 설계 후 제작하여 사용하였다. PCB는 크게 다기능 제어 PCB와 Poly PCB로 구성된다. 다기능 제어용 PCB는 용접기의 전류 및 전압을 적절하게 제어하기 위한 제어용으로 사용하였다. Poly PCB는 PCB 자체의 노이즈 현상을 줄여 회로의 안정성을 높이도록 특별히 설계하여 제작한 PCB이다.

3.2.1 다기능제어 PCB 구현

다기능 제어용 PCB는 설정부 콘트롤러 PCB, 제어부 콘트롤러 PCB, 전원부 콘트롤러 PCB로 구성되는데, 각 보드의 사양을 Table 1과 Table 2에서 보여주고 있다.

Table 1 PCB for controller of setting part

Multi-functional PCB		
Type	Standard	Remark
Carrying Inverter Welder	90mm×110mm	SCH Design
Air Plasma Welder	100mm×110mm	SCH Design
CO2 Inverter Welder	120mm×110mm	SCH Design
Inverter Welder	90mm×110mm	SCH Design

Table 2 PCB for controller of control part

Multi-functional PCB		
Type	Standard	Remark
Carrying Inverter Welder	80mm×100mm	SCH Design
Air Plasma Welder	120mm×110mm	SCH Design
CO2 Inverter Welder	60mm×110mm	SCH Design
Inverter Welder	80mm×110mm	SCH Design

전원부 콘트롤러 PCB는 120mm×110mm로 SCH 설계와 Art-Work 후 제작하였다. 전원부 콘트롤러는 각종의 용접기에 공용으로 사용되는 것이며 다만 양전원이 필요할 경우를 대비하여 PCB 상에 양전원의 설계는 하되 한쪽 전원만 부품을 삽입하여 사용하는 것을 기본으로 한다. 나머지 한쪽의 전원 부품을 삽입하지 않은 상태로 사용한다.

3.2.2 Poly PCB구현

Poly PCB는 설정부 콘트롤러 PCB, 제어부 콘트롤러 PCB, 전원부 콘트롤러 PCB로 구성된다. Comp Side에서 Poly의 간격은 0.3mm 이며 Solder Side의 간격은 0.1mm이며 형태는 해치형으로 제작하였다. 각 보드의 사양은 Table 3과 Table 4에서 보여주고 있다.

Table 3 PCB for controller of setting part

POLY PCB		
Type	Standard	Remark
Carrying Inverter Welder	90mm×110mm	SCH Design
Air Plasma Welder	100mm×110mm	SCH Design
CO2 Inverter Welder	120mm×110mm	SCH Design
Inverter Welder	90mm×110mm	SSCH Design

Table 4 PCB for controller of control part

POLY PCB		
Type	Standard	Remark
Carrying Inverter Welder	80mm×100mm	SCH Design
Air Plasma Welder	120mm×110mm	SCH Design
CO2 Inverter Welder	60mm×110mm	SCH Design
Inverter Welder	80mm×110mm	SCH Design

전원부 콘트롤러 PCB는 120mm×110mm로 자체 SCH 설계와 Art-Work 후 제작하였다. 전원부 콘트롤러는 각종 용접기에 공용으로 사용되는 것이며 다만 양전원이 필요할 경우를 대비하여 PCB 상에 양전원의 설계는 하되 한쪽 전원만 부품을 삽입하여 사용하는 것을 기본으로 한다. 나머지 한쪽의 전원 부품을 삽입하지 않은 상태로 사용한다. Comp Side 의 Poly의 간격은 0.3mm 이며 Solder Side의 간격은 0.3mm이다. 공히 Comp Side와 Solder Side는 해치형을 원칙으로 설계한다.

4. 연구 결과 및 고찰

4.1 연구 결과

본 연구에서는 인버터 입력 전압인 DC 링크단 전압을 고려하여 스위칭 소자를 선정하고 출력단 고주파 변압기와 직류단 리액터 설계하여 정전류 수하특성을 구현하였다. 또한 PWM 기법구현으로 출력전압 기준치와 삼각파의 비교에 의해서 듀티비를 결정하여 전류 상승 기율기제어, 전압 전류 체적제어, 펄스 전류 제어, 단락 지연제어, 아크 재생 검출제어 및 파형제어 기법을 적용하였다. 이와 함께 인버터 출력제어로 출력전압 제어와 송급 속도의 지령치에 의해서 용접전원을 제어하는 전압손실 보상용 콘트롤러로 각종 인버터 용접기에 접목할 수 있는 회로를 개발하였다. 이러한 회로 특성의 개선과 함께 전압손실 보상용 콘트롤러를 각종 인버터 용접기에 접목할 수 있는 다기

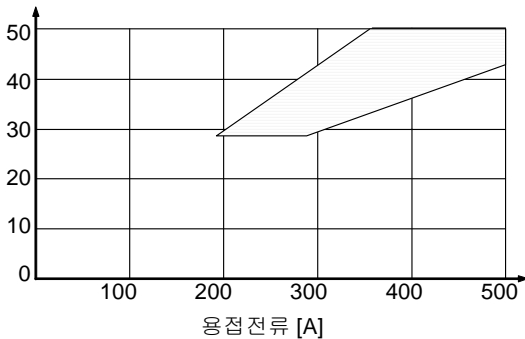


Fig. 2 Gradient curve of welding current based on the proposed control circuit

능제어 PCB구현, 설정부와 콘트롤러부의 노이즈 현상을 줄이는 Poly PCB 구현를 통하여 Fig. 2와 같이 개선된 용접 기율기 곡선을 얻었다.

이와 같이 전압과 전류의 관계를 고려하여 지속적인 실험을 한 결과 전류의 관계에 따라서 스위칭 소자의 전류별 결과는 각각 Fig. 3, Fig. 4, 그리고 Fig. 5와 같다.

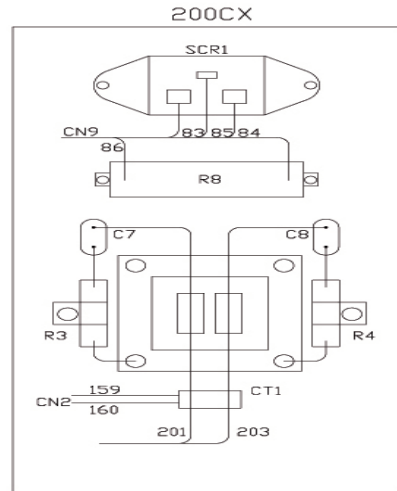


Fig. 3 Switching circuit for 200A

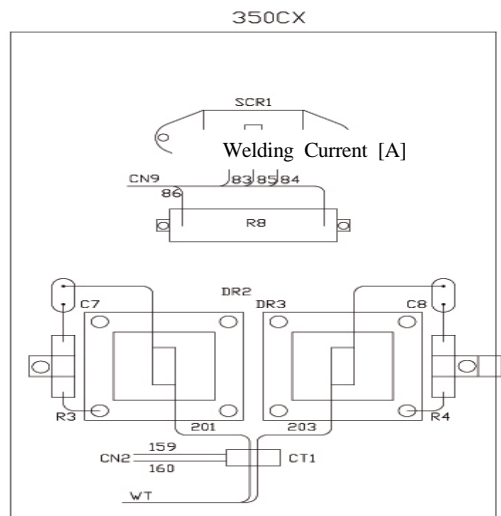


Fig. 4 Switching circuit for 350A

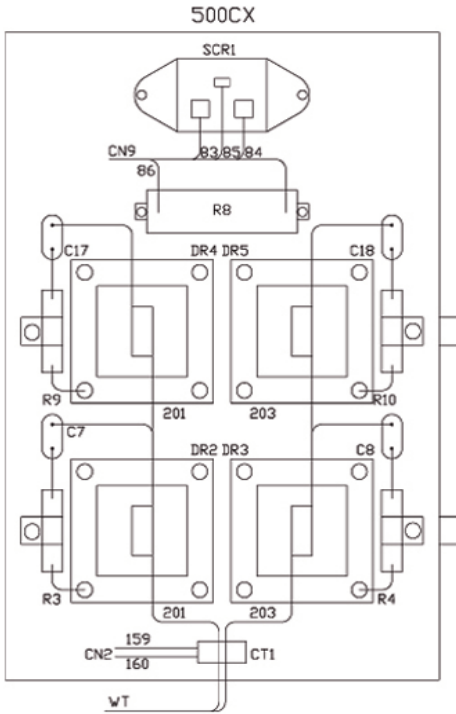


Fig. 5 Switching circuit for 500A

4.2 고찰

본 연구에서는 CO₂ 인버터 용접기의 컨트롤러의 호환성 검토와 피치간격과 전압의 제어 및 PCB의 노이즈 측정에서 Table 5 ~ Table 8 같은 결과를 얻었다.

용접봉과 모재의 간격은 2mm ~ 6mm에서 전압의 변동이 가장 작았으며, 이는 전압이 모재의 간격에 따라 전압 변동률이 발생한다는 결과도 함께 얻을 수 있

Table 5 Line gap of PCB interfered by welding current on circuit

Classification	Thickness	Line Gap
AC - AC	0.2mm Poly Type	3mm
DC - DC	0.2mm Poly Type	3mm
AC - DC	0.2mm Poly Type	4mm

Table 6 Relation between wire diameter and current

Wire Diameter [mm]	Load Current [A]
0.8 ~ 1.0	75A ~ 175A
1.2	125A ~ 300A
1.6	150A ~ 500A

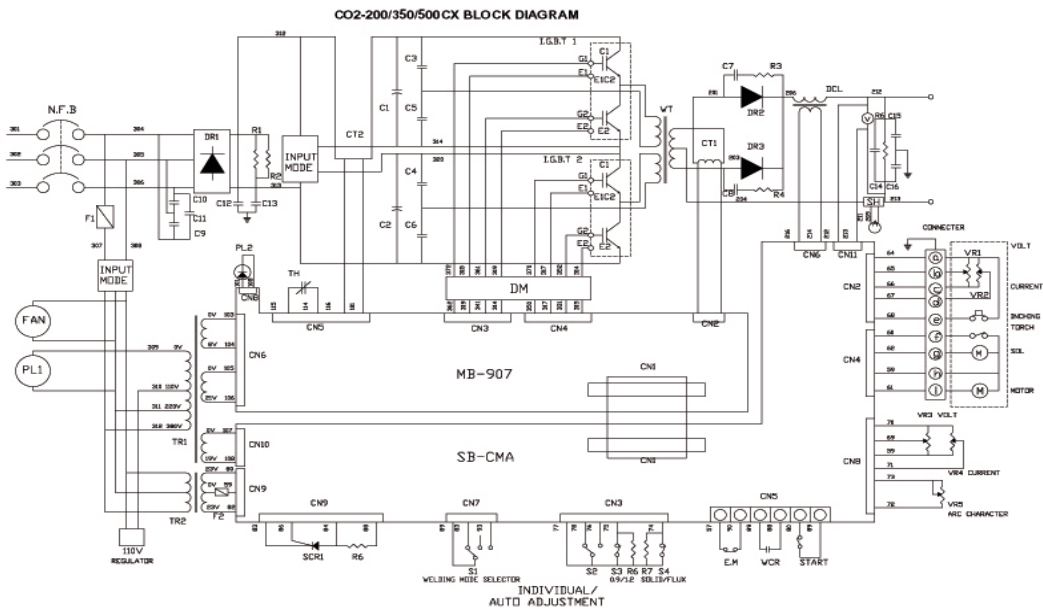


Fig. 6 Integrated circuit diagram of the a welding machine and the proposed controller

Table 6 Relation between using used current and permissible ratio

Used Ratio	Permissible Current		
	200A	350A	500A
60%	200A	350A	500A
70%	180A	320A	460A
80%	170A	300A	430A
90%	160A	280A	400A
100%	150A	270A	380A

Table 7 Gap between material and tip

Wire Diameter [mm]	Gap [mm]
0.9 ~ 1.0	10 ~ 15
1.2	15 ~ 20
1.6	25 ~ 30

었다. 그리고 모재와 용접봉의 수하특성과도 밀접한 관계를 유지함으로써 PWM제어로 극대화 할 수 있었다. PCB 상의 노이즈는 Art-Work에서 Poly형태를 취하고 패더 Solder는 데이터 라인을 제외한 나머지 동박을 Poly형태를 구현함으로써 AC-AC는 3mm DC-DC는 3mm AC-DC는 4mm일 때 간섭을 받지 않았다. 수하특성의 기울기 제어에서는 용접봉과 모재의 간격을 제어한 곡선을 평활하고 그 데이터 값을 전류의 순차적 제어 형태를 구현함으로써 용접의 품질인 전압곡선이 일정하게 변화였다.

5. 결 론

전압손실 보상용 콘트롤라는 전극봉과 모재에 저전압, 대전류의 안정된 전력을 공급함으로써 아크를 원활히 발생하여 고품질의 용접을 가능하게 한다. 이는 현존하는 용접기에서 발생하는 용접기 자체의 끊김 현상과 용접기의 중심 소자인 IGBT를 치명적인 손상으로부터 보호하고 한 종류의 전압 보상용 콘트롤라 PCB로 휴대용 인버터 용접기, 에어 플라즈마 용접기 등에도 간편히 접목할 수 있어 다기능적인 콘트롤라를 구현한다.

본 연구에서 개발된 전압손실 보상용 콘트롤라는 용접 피치의 불균일성으로 인하여 발생하는 문제점을

보안하였기 때문에, 한 종류의 제품에만 적용되는 것이 아니라 인버터 방식을 채택하는 대부분의 용접기에 적용할 수 있다. 무엇보다 용접기의 생명인 용접 품질을 향상시킴으로써 휴대용 아크 용접기, 에어 플라즈마 용접기 등에 같은 종류의 PCB로 사용을 할 수 있어 편리하다. 나아가 한층 진보된 캐리지 용접기에도 용접 피치의 불균일성을 해소하여 고품격적인 용접기를 개발할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 연구되었음에 감사함을 전합니다.

참고문헌

1. 高木相, 應用計測通論, 啓學出版.
2. 日本機械學會編, センサと信號處理システム, 朝倉書店.
3. Belliger, J. G., Duffie, N. A., Computer Control of Machine and Processes, Addison Wesley.
4. Ulsoy, A. G., and Devries, W. R., Micro-Computer Application in Manufacturing, John Wiley & Son.
5. Handbook of Machine Tools, Vol 3, Automation and Controls, Manfred Weck, John Wiley & Son.
6. Groover, M. P., and Zimmer, E. W., CAD/CAM Computer Aided Design and Manufacturing, Prentice Hall.
7. Jazwinski, A. H., Stochastic Processes and Filtering Theory, Academic Press.
8. Jung, S. K., and Lee, S. H., "A Guide of shot peening Processing," Se Hwa Pub, pp. 6-12, 2001.
9. Gillespie, R. D., "Its Effect on Process Consistency and Resultant Improvement in Fatigue Characteristics," Proc. of the 5th International Conference on Shot peening, Vol. 1, Oxford, pp. 81-90, 1993.
10. Wohlfahrt, H., "The Influence of Peening Conditions on the Resulting Distribution of Residual Stress," Proc. of the 2th International Conference on Shot peening, Vol. 1, Chicago, pp. 316-331, 1984.