

단락파형제어형 SMAW용 용접전원 개발 및 특성평가

양 현 민* · 유 회 수*[†] · 현 승 균**

*한국생산기술연구원 용접접합그룹

**인하대학교 신소재공학과

Short Circuit Waveform Control Type SMAW Welding Power Source Development and Characteristic Evaluation

Hyun-Min Yang*, Hoi-Soo Ryoo*[†] and Soong-Keun Hyun**

*Joining R&D Group, KITECH, Incheon 21999, Korea

**School of Materials Science & Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

[†]Corresponding author : hsryoo@kitech.re.kr

(Received October 27, 2015 ; Revised December 17, 2015 ; Accepted January 12, 2016)

Abstract

The digital controlled SMA welding power source having the hot start current and short circuit waveform control was developed. The inverter power controller was used an analog circuit and the short circuit waveform controller was developed using a 8-bit MCU. For the evaluation of the developed SMA welding power source it were compared with a domestic welding power sources. Using the high titanium oxide type and low hydrogen type electrodes, the characteristics of hot start and short circuit was evaluated. Developed SMA welding power source shows good start performance. Also, arc stability and low current weldability were improved by the short circuit waveform control.

Key Words : SMAW, Short circuit control, Low current weldability, Hot start, Waveform control

1. 서 론

SMAW(Shielded Metal Arc Welding)는 금속심선에 피복제가 도포되어 있는 용접봉을 사용하는 아크 용접 방법으로써 용접봉과 모재 사이에 발생하는 고온의 아크에 의하여 용융된 용적이 용융지로 이행된다. 또한 아크열에 의하여 피복제가 연소되면서 보호가스가 발생되어 별도의 보호가스가 필요 없기 때문에 장소에 상관없이 사용할 수 있는 장점이 있다^{1,2)}.

SMAW 용접봉은 피복제의 주성분에 따라 일미나이트계, 라임티타니아계, 고셀룰로오스계, 고산화티타늄계 및 저수소계 등으로 구분하며, 이중 저수소계 용접봉은 아크의 재발생 및 유지가 어렵다고 알려져 있다²⁾. 아크 유지가 어렵다는 것은 아크안정성이 낮다는 의미이다. Cho³⁾에 의하면 아크안정성은 저항변동계수로 평가할

수 있으며, 저수소계 용접봉의 경우 전류가 낮을수록 아크안정성은 매우 낮고, 전류가 높을수록 고산화티타늄계 용접봉과 같이 아크안정성이 높아진다고 하였다.

저수소계 용접봉의 아크 재발생이 어려운 원인은 슬래그의 전도도가 낮기 때문이다⁴⁾. 즉 슬래그의 전도도가 임계값 이하인 경우 아크 재발생이 어렵다. 따라서 아크 재발생을 위해서는 용접봉 끝단에 있는 슬래그의 온도를 높여 임계값 이상으로 전도도를 증가시켜야 한다. 용접전원에서 설정전류보다 높은 전류를 일정시간 동안 유지하여 슬래그의 온도를 높이는 핫스타트 기능이 있지만 국내 용접기에는 거의 탑재되어 있지 않고 있다.

Kim 등⁵⁾은 저수소계 용접봉의 끝단에 철분을 부착시켜 아크 스타트성을 향상시킬 수 있다고 하였지만, 용접봉을 중간에서부터 사용할 경우 아크 재발생을 향상시킬 수 없는 단점이 있다.

또한 저수소계 용접봉의 아크 유지가 어려운 이유는 수소발생이 적거나 없는 염기성 산화물(탄산석회 등)의 아크 안정성이 낮은 피복제를 사용하기 때문이다²⁾.

저수소계 용접봉은 저전류 용접시 용접봉이 모재에 용착되는 현상이 자주 발생하기 때문에 용접의 난이도가 높다. 이러한 이유는 이행되는 용적이 다른 용접봉보다 큰 특징이 있어^{6,7)}, 단락이 발생할 경우 단락전류가 낮으면 단락해소가 어렵기 때문이다⁸⁾.

저수소계 용접봉의 경우 피복제로 아크특성을 개선하기 어렵기 때문에 용접전원으로 이를 극복해야 하지만 국내 용접전원은 정전류제어 기능만 있다. 반면에 외산의 경우 용접중에 전압이 떨어지면 전류를 증가시키는 아크포스(arc force) 기능이 탑재된 모델도 있어 저수소계 용접봉의 용접성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 저수소계 용접봉의 용접성을 향상시키기 위하여 핫스타트 전류 조절기능과 단락발생시 단락전류과형 제어기 가능한 디지털 제어 용접전원을 개발하였으며, 개발된 용접전원에 대하여 국내의 상용용접전원과 용접특성을 비교 평가하였다.

2. 단락과형제어 형 SMAW용 용접전원

2.1 핫스타트 및 단락과형제어 기능

국내 상용용접전원의 용접 평가를 통하여 핫스타트 기능의 부재 및 단락발생시 낮은 단락전류로 인하여 단락해소를 못하는 문제점이 파악되었으며, 이를 바탕으로 핫스타트제어와 단락과형제어기 가능한 SMAW용 용접전원을 개발하였다.

Fig. 1과 같이 핫스타트 기능은 용접봉이 모재와 접촉하면 일정한 기울기로 전류를 상승시키고, 핫스타트 전류에 도달하면 일정시간동안 유지한 다음 설정한 용접전류로 복귀되도록 제어하였다. 핫스타트 전류는 설정용접전류에 핫스타트 설정전류를 더하도록 하였다. 예를 들면 설정용접전류가 100A이고 핫스타트 설정전류가 50A라면 핫스타트 출력전류는 150A가 된다. 단

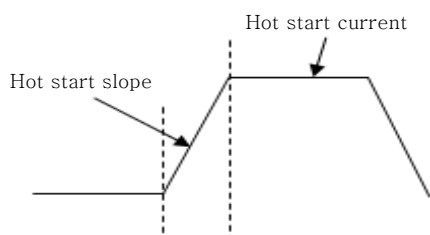


Fig. 1 Waveform for hot start control

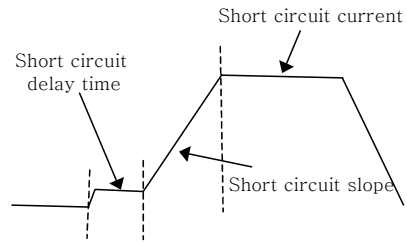


Fig. 2 Waveform for short circuit current control

락전류도 또한 용접설정전류에 단락설정전류를 더하도록 하였다. 즉 전류설정에 따라서 핫스타트 전류와 단락전류가 연동되도록 하였다.

Fig. 2에 보인 바와 같이 단락과형제어는 단락이 발생할 경우 일정시간 전류상승을 지연시켜 순간단락을 억제하고, 단락이 빨리 해소될 수 있도록 용접전류보다 높은 전류를 유지하도록 제어하였다. 그러나 단락시 급격히 전류가 상승되면 오히려 스파터 발생량이 증가하기 때문에 전류상승기울기를 조절할 수 있도록 제어하였다.

2.2 전격방지모드

SMAW 용접기는 평상시 출력단에 무부하 전압(60~70V)이 계속 흐르기 때문에 감전의 위험이 있다. 감전의 위험을 방지하기 위하여 별도의 전원으로 15V를 출력단에 공급하고 용접봉과 모재가 접촉이 감지되면 별도전원을 차단하고, 메인전원을 공급하여 용접이 시작되도록 하였다.

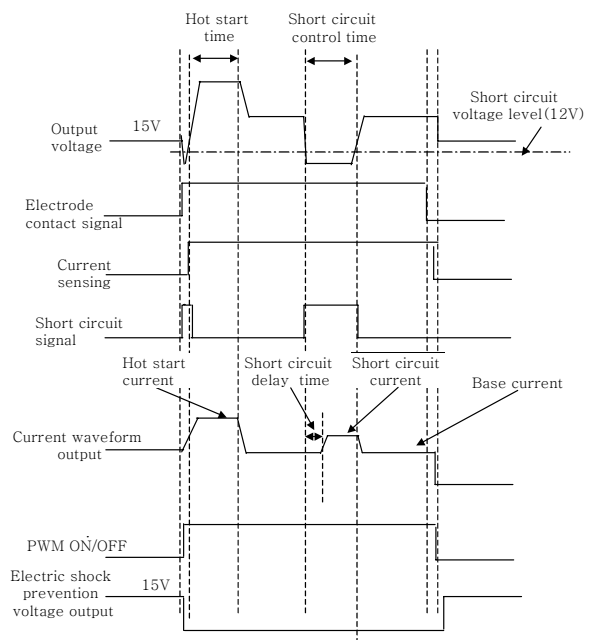


Fig. 3 Welding sequence for digital controlled SMAW power source at electric shock prevention mode

2.3 파형제어기능이 포함된 용접시퀀스

Fig. 3은 전격방지 모드에서의 용접시퀀스를 나타내었다. 앞서 언급한 바와 같이 출력단자에 15V를 유지하다가, 용접봉이 모재에 접촉하면 단락으로 전압이 급격하게 낮아진다. 이때의 전압을 감지하고 IGBT를 구동하여 핫스타트를 시작하도록 제어하였다. 핫스타트 제어가 완료되면 본 전류로 유지되도록 제어하였으며, 단락이 발생하면 단락제어를 수행하고 단락이 해소되면 본 전류를 다시 유지되도록 제어하였다. 그리고 일정시간 전류가 검출되지 않으면, IGBT 구동을 종료하고 다시 15V를 출력시키도록 하였다.

2.4 디지털 파형 제어기 하드웨어 구성

개발된 용접전원은 Fig. 4에 도시한 바와 같이 전력 제어부, 전력을 제어하는 아날로그 PCB 그리고 용접시퀀스와 파형을 제어하는 디지털 파형제어 PCB로 구성하였다. 디지털 파형제어 PCB는 8bit MCU를 사용하였다. 기본 구조는 상용용접기와 동일하고 디지털 파형제어 PCB와 단락감지회로를 추가하였다.

3. 실험 방법

3.1 상용용접기 특성평가

상용용접기 특성을 평가하기 위하여 상용 SMAW 용접기를 2대 사용하였으며, 고산화티탄계(2.4 ϕ , KS E4313)와 저수소계(3.2 ϕ , KS E4316) 용접봉을 사용하였다. 연강(mild steel)을 모재로 사용하여 BOP(bead on plate) 용접을 실시하였으며, 파형측정은 WELD GOOD WAVE를 사용하였다.

국산A와 국산B의 경우 고산화티탄계 용접봉을 사용

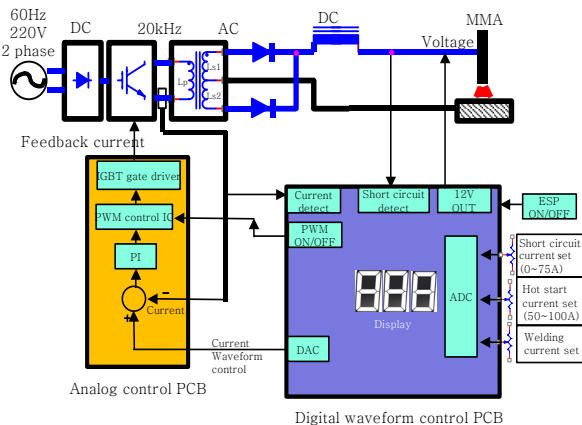


Fig. 4 Schematic diagram of SMAW power source for short circuit waveform control

하여 용접실험을 진행하였다. 70~100A의 전류 범위에서 실험 후 용접파형분석을 통하여 아크스타트, 아크기간 및 단락전류 구간을 분석하였다.

3.2 개발된 SMAW용 용접전원 특성 평가

개발된 SMAW용 용접전원의 주요 특성인 핫스타트 및 단락제어 특성을 평가하기 위하여 저수소계 용접봉(3.2 ϕ)을 사용하였다. 용접전류는 100A로 설정하였고, 핫스타트전류는 용접전류 보다 50A 및 100A 높게 설정하였다. 단락파형제어 전류는 각각 0A, 40A, 75A로 설정하여 각각의 조건에서 전류파형 특성을 비교 분석하였다.

저전류 용접특성평가를 위하여 3.2 ϕ 와 2.4 ϕ 두 가지의 저수소계 용접봉을 사용하여 단락파형제어의 유무에 따른 용접 가능한 최저 전류를 확인하였다. 단락파형제어를 적용하지 않은 경우 100~120A (3.2 ϕ), 60~80A (2.4 ϕ)의 용접영역에서 용접을 실시하였으며, 단락파형제어를 적용한 경우 60~80A(3.2 ϕ), 40~60A (2.4 ϕ) 용접영역에서 용접을 실시하였다.

또한 상용용접전원과 개발된 SMAW용 용접전원의 아크안정성을 평가하기 위해 용접전류를 실험변수로 하였다. 실험변수는 80A, 100A, 120A로 하였다. 개발 용접전원의 경우 아크 끊김과 장기단락 억제에 위하여 낮은 전류에서는 단락파형제어 전류를 최대로 설정하였고, 높은 전류에서는 스패터 발생을 억제하기 위하여 낮게 설정하여 용접을 실시하였다.

4. 실험 결과

4.1 상용용접기 특성평가

고산화티탄계(2.4 ϕ) 용접봉을 사용하여 각각 국산A와 국산B 용접전원으로 90A 전류조건에서 용접을 수행한 용접비드와 전체 파형을 Fig. 5에 나타내었다. 그리고 아크스타트, 아크기간, 그리고 단락기간을 확대하여 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다.

국산A 용접전원의 아크스타트 전류는 Fig. 6(a)에서 보는 바와 같이 약 190A로 높게 보였지만, 순간적으로 상승한 오버슈트로 판단되었다. 또한 Fig. 7(a)의 국산 B 용접전원은 260A까지 높게 상승되었지만 마찬가지로 핫스타트 제어가 아닌 오버슈트로 판단되었다.

국산A 용접전원의 단락발생시, Fig. 6(c)에서 보는 바와 같이 오버슈트가 확인되며, 설정전류보다 약 10A 높은 상태로 6.5msec 동안 유지 후 재아크 되었다.

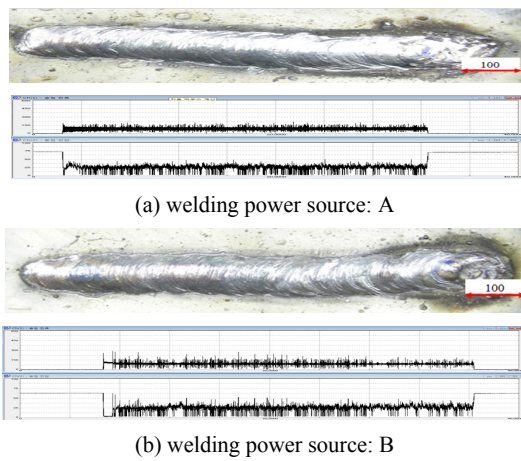


Fig. 5 Welding bead and waveform domestic welding power source at 90A

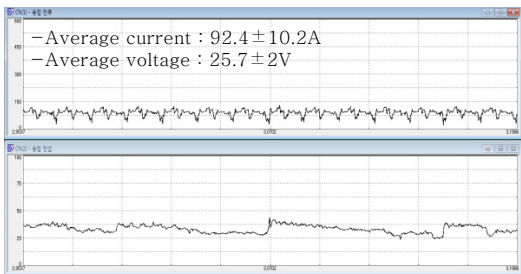
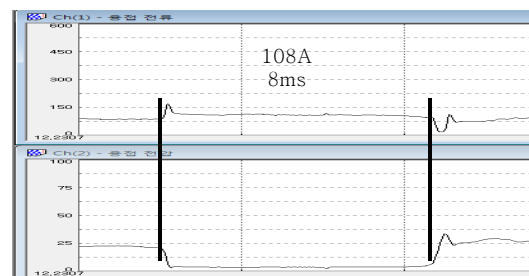
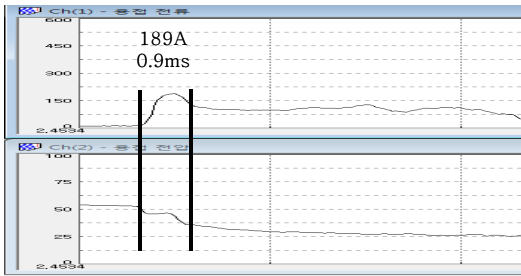
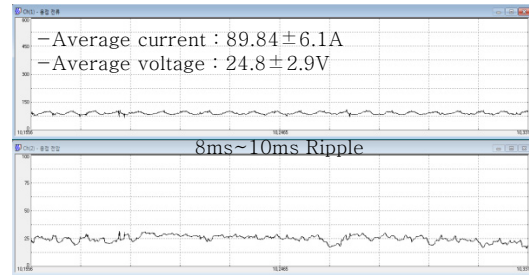
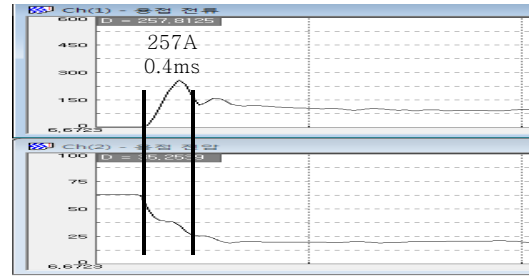


Fig. 7 Waveform analysis of domestic welding power source B at 90A



Fig. 6 Waveform analysis of domestic welding power source A at 90A

낮은 전류에서 단락이 발생하면 단락전류가 낮아서 단락을 해소하지 못하고 융착현상이 자주 발생하는 것으로 판단되었다.

4.2 개발된 SMAW용 용접전원 특성 평가

개발된 용접전원으로 저수소계(3.2 ϕ) 용접봉을 사용하여 BOP 용접을 수행하였다. 핫스타트 전류는 100A, 용접전류는 90A로 고정하였다. 단락설정전류를 0, 45, 75A 변수로 하여 용접을 실시하였다. 해당조건에서의 아크스타트 과형과 단락과형을 Fig. 8에 확대하여 나타내었다. 개발된 용접전원의 아크스타트 전류는 190A까지 상승하였고 설정값(90A+100A)과 일치하였다. 용접전원의 최고전류를 200A로 제한하였기 때문에 200A이상 상승하지 않았음을 확인하였다. 단락제어를 수행하지 않았을 경우 Fig. 8(a)에서 보는 바와 같이 용접전류가 약 10A가 상승되었고, 단락시간은 11ms으로 상용용접기 특성과 유사하였다. 단락설정 전류를 40A로

그리고 Fig. 7(c)에서 보는 바와 같이 국산B 또한 유사한 형태를 보였다. 따라서 국산 용접전원의 경우

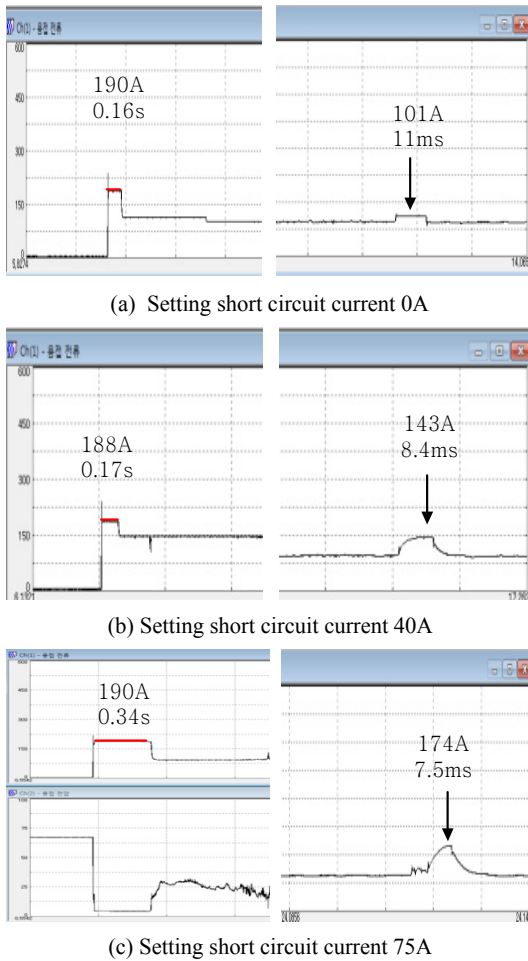


Fig. 8 Waveform of the developed welding power source for given short circuit current at 100A welding current and 100A hot start current(left: hot start waveform, right: short circuit waveform)

하였을 경우 Fig. 8(b)에서 보는 바와 같이 설정값 130A(90A+40A)보다 약 10A 높았으며, 이는 단락 무제어시 상승한 10A가 더해진 것으로 판단되었다. 단락기간은 8.4ms로 단락 무제어에 비하여 감소되었다. 또한 단락전류가 더 높을 경우 Fig. 8(c)에서 보는 바와 같이 단락기간이 7.5ms로 감소됨을 알 수 있다. 따라서 단락전류가 높은 수록 단락기간이 감소됨을 확인하였다.

4.3 저전류 용접특성 비교

저전류 용접시 단락발생 빈도가 높아지기 때문에 단락제어를 통하여 상용용접전원보다 더 낮은 전류에서 용접이 용이하다. 따라서 단락제어를 적용하였을 때, 용접 가능한 최소전류를 시험하였다.

저수소계 용접봉(2.4 ϕ , KS E4316)으로 단락 무제

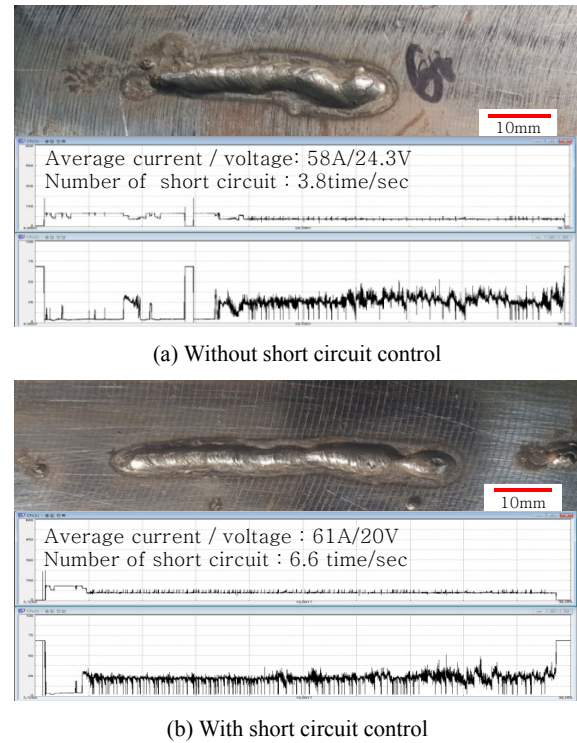


Fig. 9 Welding bead and waveform at 60A using low hydrogen type electrode of 2.4 ϕ

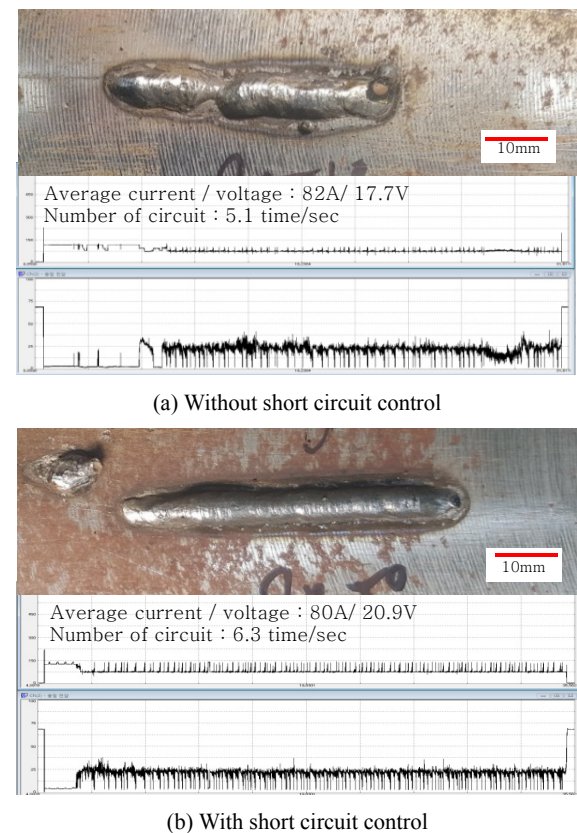


Fig. 10 Welding bead and waveform at 80A using low hydrogen type electrode of 3.2 ϕ

어에서 용접한 결과 약 70A까지 용접이 가능하였다. Fig. 9(a)에 보이는 바와 같이 용접봉 제조사에서 추천하는 최저 전류인 60A에서는 용착으로 인하여 용접이 불가능 하였다. 그러나 단락제어를 할 경우 Fig. 9(b)에 보이는 바와 같이 60A까지 용접이 가능하였다. 더 굵은 3.2 ϕ 저수소계 용접봉으로 단락 무제어에서

용접한 결과 실제 용접봉 제조사에서 추천하는 최저 전류 90A로 용접이 가능하였다. 그러나 더 낮은 전류인 80A에서는 Fig. 10(a)에 나타난 바와 같이 용접이 진행되다가 중간에 용착되었다. 단락제어를 할 경우 Fig. 10(b)에 보이는 바와 같이 80A까지 용접이 가능하였다.

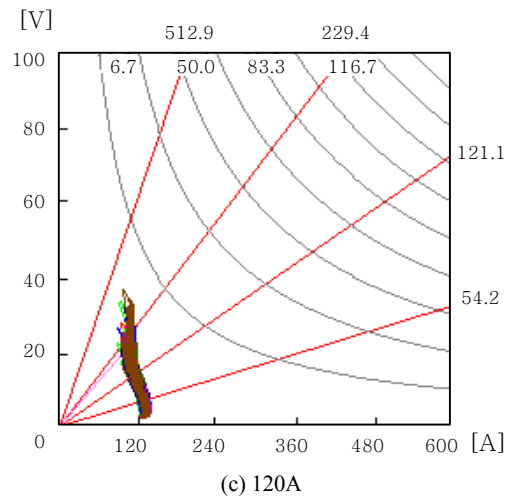
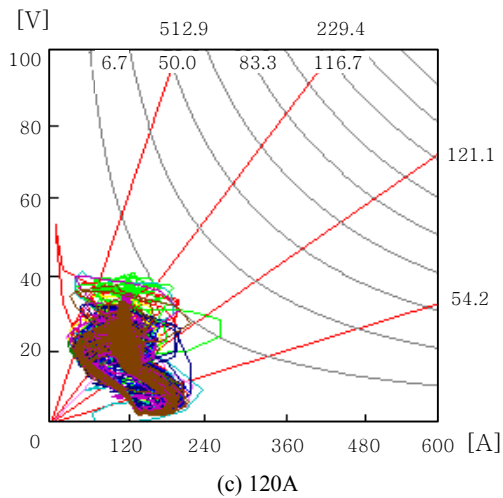
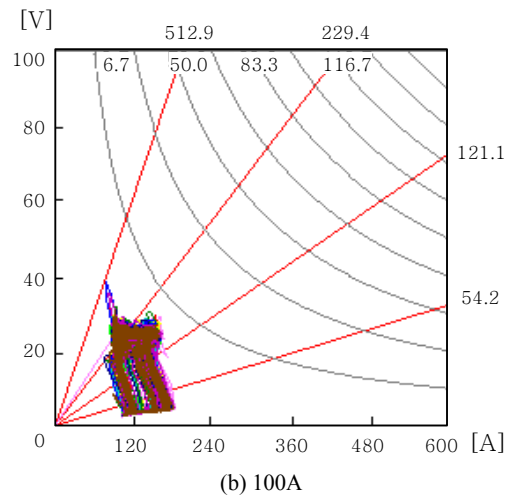
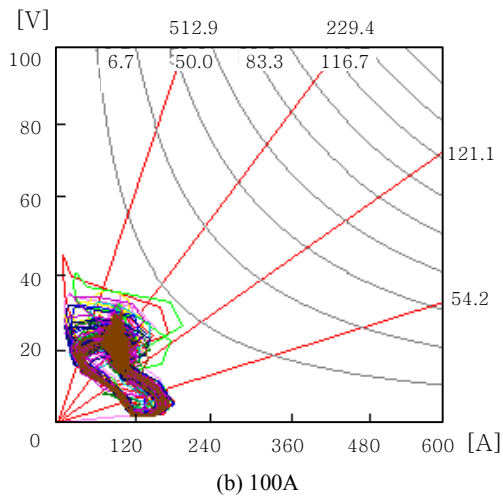
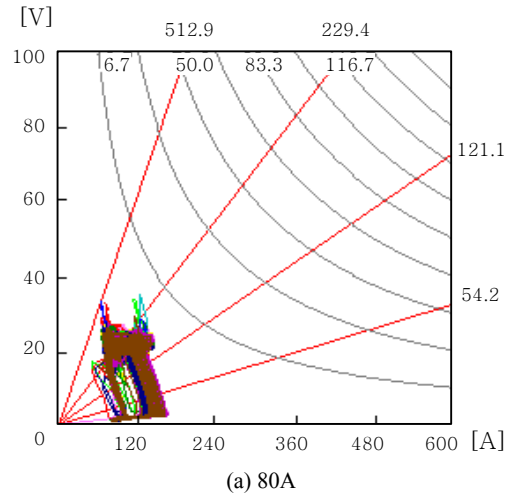
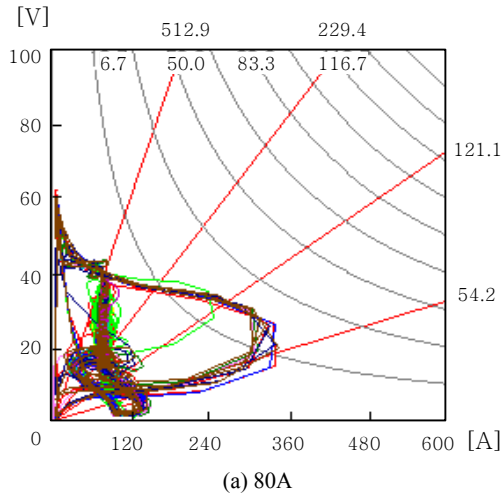


Fig. 11 V-I curve of domestic welding power source

Fig. 12 V-I curve of developed welding power source

4.4 용접전류별 아크특성

아크특성을 분석하기 위하여 3.2 ϕ 저수소계 용접봉을 사용하여 용접을 수행하고, 이때 용접시간에 따른 전류와 전압의 변화를 V-I선도로 나타내었다. 루프의 면적이 좁을수록 아크의 안정성이 높음을 의미한다. 상용용접전원의 경우 Fig. 11(a)에서 보는 바와 같이 상단과 V-I선도 우측이 돌출되어 일정한 루프를 만들지 못하였다. 이는 저전류 용접시 용접중에 용착이 발생하였기 때문이다. 용적이 용융풀과 단락이 발생한 경우 단락전류가 낮아 단락을 해소 못하여 용접봉이 용융풀에 용착된 후 장기간 용접봉을 저항열로 가열시킨 후 재아크가 되면서 아크가 끊어지고 무부하 상태로 된다. 즉 V-I선도에서 전류가 0으로 내려가면서 용접전압이 60V로 올라가는 형태를 볼 수 있다. 그리고 아크가 끊어진 이후 아크스타트로 인하여 약 350A 까지 상승한 것을 확인할 수 있다. 중전류 용접시 Fig. 11(b)에서 보는 바와 같이 일정한 루프를 만들고 있지만 저전류와 고전압 루프도 관찰되었다. 이는 용접중에 짧은 시간동안 아크 끊김이 발생되었기 때문이다. Fig. 11(c)는 전류가 너무 높아 순간단락이 발생하고 용접봉의 용융속도가 빨라 아크 길이 유지가 어려워 루프면적이 다소 증가하는 경향을 나타내었다.

개발된 SMAW용 용접전원의 V-I 선도는 Fig. 12에 나타내었다. 개발된 용접전원은 상용용접기에 비하여 Fig. 12에 보는 바와 같이 루프면적이 좁았다. 이는 아크특성이 상용용접전원에 비하여 우수함을 의미한다. 특히 고전류의 경우 Fig. 12(c)에서 보는 바와 같이 더 안정된 아크특성을 보였다.

5. 결 론

본 연구에서는 국산 SMAW 용접전원의 용접특성 및 개발된 SMAW 용접전원의 용접특성을 평가하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 국내 SMAW 용접기는 대부분 정전류 제어기능만 있으며, 단락제어 기능은 탑재되어 있지 않았다.
- 2) 단락제어는 용접봉의 용착을 억제하고, 저전류 용접성을 향상시켰다.
- 3) 단락제어시 상용용접전원에 비하여 약 10A보다 낮은 전류에서 용접이 가능하였다.

References

1. C.D. Yoo, S.J. Na, Arc Welding, *Korean Welding and Joining Society* (2011), 172 (in Korean)
2. The Korean welding and joining society, I ferrous & non-ferrous metals, *Manual of welding and joining*, (2008), 204-208 (in Korean)
3. S.M. Cho, A study on the quantitative evaluation of arc stability in AC SMAW, *Journal of KWJS*, 16(4), (1998), 125-391 (in Korean)
4. U. Dilthey, Welding Technology 1, *RWTH Aachen University*
5. J.S. Kim, R.D. Hee and B.Y. Lee, The improvement of characteristic initial arc ignition in the SMAW, *Proceedings of KWJ*, 47 (2006), 69-71 (in Korean)
6. Van Adrichem, Metal Transfer, *IHW DOC*, (1969), 212-171-69
7. X. Xu, S. Liu and K.S. Bang, Comparison of metal transfer behavior in electrodes for shielded metal arc welding, *International Journal of KWS*, 4(2), (2004), 15-22
8. H.M. Yang, H.S. Ryoo, The current control characteristic evaluation of welding power source for SMA welding, *Abstracts of JWJS*, 59 (2013), 163 (in Korean)