(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0077170
(43) 공개일자 2022년06월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23K 31/12 (2006.01) *B23K 9/095* (2006.01)
B23K 9/32 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B23K 31/125 (2013.01)
B23K 9/095 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0163735
(22) 출원일자 2020년11월30일
심사청구일자 2022년01월04일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
조상명
부산광역시 해운대구 센텀중앙로 145, 114동 5103호 (재송동, 더샵센텀파크1차아파트)
류형창
부산광역시 사하구 오작로 46, 3동 807호(괴정3동, 신익타운아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
네이트특허법인

전체 청구항 수 : 총 2 항

(54) 발명의 명칭 **소모전극식 아크용접에서 공정신호에 의한 용접결함 평가 방법 및 그 장치**

(57) 요 약

본 발명은 용접 전류, 전압 파형에 나타난 용접상태 정보를 시계열로 나타낸 구간통계처리법에 의해 결함을 검출하는 아크용접파형의 구간통계처리법에 의한 결함검출 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다. 본 발명의 일 실시예에 따른 아크용접파형의 구간통계처리법에 의한 결함검출 방법은 모재에 용가재를 공급하고, 전류를 가하여 모재와 전극 사이에 아크를 발생시켜 용가재 및 모재를 플라즈마 용융시키는 아크용접에 있어서, 모재와 전극 사이에 인가되는 용접 전압를 측정하는 단계; 전극을 통하여 입력되는 전류를 측정하는 단계; 상기 용접 전압의 파형을 시계열적으로 분석하는 단계; 및 상기 용접 전압의 파형을 시계열적으로 분석하여 구간 통계 처리하는 단계를 구비하여, 용접 전류, 전압 파형에 나타난 용접상태 정보를 시계열로 나타낸 구간통계처리법에 의해 결함을 검출할 수 있다.

대 표 도 - 도1



Fig. 1 600A DC Inverter power source



Fig. 2 Arc welding monitoring system

(52) CPC특허분류
B23K 9/32 (2013.01)
(72) 발명자
주우현
부산광역시 사하구 다대로130번안길 46

임경섭
부산광역시 남구 수영로266번길 121-6, 202호(대연동, 애플하우스)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415167519
과제번호	20003633
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	전자시스템전문기술개발사업-지능융합전자정보기기기술개발
연구과제명	용접 공정용 증강현실 디바이스 및 지원시스템 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	(주)토탈소프트뱅크
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

모재에 용가재를 공급하고, 전류를 가하여 모재와 전극 사이에 아크를 발생시켜 용가재 및 모재를 플라즈마 용융시키는 아크용접에 있어서,

모재와 전극 사이에 인가되는 용접 전압를 측정하는 단계;

전극을 통하여 입력되는 전류를 측정하는 단계;

상기 용접 전압의 파형을 시계열적으로 분석하는 단계; 및

상기 용접 전압의 파형을 시계열적으로 분석하여 구간 통계 처리하는 단계를 구비하여,

용접 전류, 전압 파형에 나타난 용접상태 정보를 시계열로 나타낸 구간통계처리법에 의해 결함을 검출하는 아크용접파형의 구간통계처리법에 의한 결함검출 방법.

청구항 2

모재에 용가재를 공급하고, 전류를 가하여 모재와 전극 사이에 아크를 발생시켜 용가재 및 모재를 플라즈마 용융시키는 아크용접에 있어서,

모재와 전극 사이에 인가되는 용접 전압를 측정하는 전압 측정부;

전극을 통하여 입력되는 전류를 측정하는 전류 측정부;

상기 용접 전압의 파형을 시계열적으로 분석하는 파형 분석부; 및

상기 용접 전압의 파형을 시계열적으로 분석하여 구간 통계 처리하는 통계처리부를 구비하여,

용접 전류, 전압 파형에 나타난 용접상태 정보를 시계열로 나타낸 구간통계처리법에 의해 결함을 검출하는 아크용접파형의 구간통계처리법에 의한 결함검출 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 소모전극식 아크용접에서 공정신호에 의한 용접결함 평가 방법 및 그 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 용접 전류, 전압 파형에 나타난 용접상태 정보를 시계열로 나타낸 구간통계처리법에 의해 결함을 검출하는 소모전극식 아크용접에서 공정신호에 의한 용접결함 평가 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] CO_2가스를 사용하는 FCAW에서 결함이 발생하면 종합적인 Q-cost가 증가하게 된다. 결함을 검출하는 방법은 파괴검사, 비파괴검사가 있지만 이러한 방법은 비용과 시간을 소모하게 된다. 또한 보다 발전된 기술로서 용접파형을 통해 결함을 확인하는 방법이 있다.

[0003] 그러나 가공되지 않은 용접파형을 확인하게 되면 용적이행모드에 따라 정상, 비정상 파형의 구분이 어렵다. FCAW에서 단락의 발생 유무에 따라 파형이 현저히 다르게 나타나기 때문이다. 따라서 단락유무와 상관없이 파형으로부터 결함을 검출할 수 있는 알고리즘이 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 용접 전류, 전압 파형에 나타난 용접상태 정보를 시계열로 나타낸 구간통계처리법에 의해 결함을 검출하는 소모전극식 아크용접에서 공정신호에 의한 용접결함 평가 방법 및 그 장치를 제공하는 것을 목적으로 한

다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 일 실시예에 따른 소모전극식 아크용접에서 공정신호에 의한 용접결함 평가 방법은, 모재에 용가재를 공급하고, 전류를 가하여 모재와 전극 사이에 아크를 발생시켜 용가재 및 모재를 플라즈마 용융시키는 아크용접에 있어서, 모재와 전극 사이에 인가되는 용접 전압를 측정하는 단계; 전극을 통하여 입력되는 전류를 측정하는 단계; 상기 용접 전압의 파형을 시계열적으로 분석하는 단계; 및 상기 용접 전압의 파형을 시계열적으로 분석하여 구간 통계 처리하는 단계를 구비하여, 용접 전류, 전압 파형에 나타난 용접상태 정보를 시계열로 나타낸 구간통계처리법에 의해 결함을 검출할 수 있다.

[0006] 본 발명의 일 실시예에 따른 소모전극식 아크용접에서 공정신호에 의한 용접결함 평가 장치는, 모재에 용가재를 공급하고, 전류를 가하여 모재와 전극 사이에 아크를 발생시켜 용가재 및 모재를 플라즈마 용융시키는 아크용접에 있어서, 모재와 전극 사이에 인가되는 용접 전압를 측정하는 전압 측정부; 전극을 통하여 입력되는 전류를 측정하는 전류 측정부; 상기 용접 전압의 파형을 시계열적으로 분석하는 파형 분석부; 및 상기 용접 전압의 파형을 시계열적으로 분석하여 구간 통계 처리하는 통계처리부를 구비하여, 용접 전류, 전압 파형에 나타난 용접상태 정보를 시계열로 나타낸 구간통계처리법에 의해 결함을 검출할 수 있다.

[0007] CO2 가스를 사용하는 FCAW 결함의 영향은 용접 부품의 품질 저하뿐만 아니라 유지 보수 및 용접으로 인한 전체 Q- 비용 증가이다. 파괴 검사와 비파괴 검사는 결함을 감지하는 두 가지 방법이지만 이러한 방법은 비용과 시간이 많이 걸린다. 더욱 발전된 기술로 용접 파형을 사용하여 결함을 감지하는 방법도 있다. 그러나 처리되지 않은 용접 파형을 확인할 때 금속 이송 모드에 따라 정상 파형과 비정상 파형을 구분하기 어렵다. 이는 단락이 발생할 때와 발생하지 않을 때 파형이 크게 다르기 때문이다. 따라서 단락 유무에 관계없이 파형에서 결함을 감지할 수있는 알고리즘이 필요하다. 본 발명은 용접 파형을 이용하여 결함을 감지 할 수있는 방법을 제공한다. 본 발명에서는 용접 모니터링 시스템에 표시되는 용접 데이터의 시계열에 따른 간격 통계 처리 방법을 이용하여 결함을 검출하는 방법을 제공한다.

발명의 효과

[0008] 본 발명을 따르면, 전압 파형에 나타난 용접상태 정보를 시계열로 나타낸 구간통계처리법에 의해 결함을 검출할 수 있다. 본 발명에서는 실험을 통하여 FCAW로 bead on plate 용접하였을 때 일정한 용접전류에서, CTWD와 전압을 조절하여 불안정한 용접상태를 만들었다. 이에 따른 결함발생 유무와 검출알고리즘에 대한 검증을 수행하였다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1 내지 도 13은 본 발명의 실시예에 따른 소모전극식 아크용접에서 공정신호에 의한 용접결함 평가 방법 및 그 장치와 그로 인한 효과를 개략적으로 도시한 도면들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

[0011] 본 발명에서 사용되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있으므로, 이러한 용어들에 대한 정의는 본 발명의 기술적 사항에 부합되는 의미와 개념으로 해석되어야 할 것이다.

[0012] 아울러, 본 발명의 실시예는 본 발명의 권리범위를 한정하는 것이 아니라 본 발명의 청구범위에 제시된 구성요소의 예시적인 사항에 불과하며, 본 발명의 명세서 전반에 걸친 기술사상에 포함되고 청구범위의 구성요소에서 균등물로서 치환 가능한 구성요소를 포함하는 실시예이다. 또한, 본 발명의 하나의 실시예에 사용되는 요소 기술은 다른 실시예에서도 동일하게 적용 가능하다.

[0013] 또한, 아래 실시예에서의 선택적인 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로서, 구성요소가 하기 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다.

[0014] 한편, 본 발명을 설명함에 있어서, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 관련된 공지기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0015] 본 발명은 용접 전류, 전압 파형에 나타난 용접상태 정보를 시계열로 나타낸 구간통계처리법에 의해 결함을 검출하는 아크용접파형의 구간통계처리법에 의한 결함검출 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다. 본 발명의 일 실시예에 따른 아크용접파형의 구간통계처리법에 의한 결함검출 방법은 모재에 용가재를 공급하고, 전류를 가하여 모재와 전극 사이에 아크를 발생시켜 용가재 및 모재를 플라즈마 용융시키는 아크용접에 있어서, 모재와 전극 사이에 인가되는 용접 전압를 측정하는 단계; 전극을 통하여 입력되는 전류를 측정하는 단계; 상기 용접 전압의 파형을 시계열적으로 분석하는 단계; 및 상기 용접 전압의 파형을 시계열적으로 분석하여 구간 통계 처리하는 단계를 구비하여, 용접 전류, 전압 파형에 나타난 용접상태 정보를 시계열로 나타낸 구간통계처리법에 의해 결함을 검출할 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 따른 소모전극식 아크용접에서 공정신호에 의한 용접결함 평가 장치는, 모재에 용가재를 공급하고, 전류를 가하여 모재와 전극 사이에 아크를 발생시켜 용가재 및 모재를 플라즈마 용융시키는 아크용접에 있어서, 모재와 전극 사이에 인가되는 용접 전압를 측정하는 전압 측정부; 전극을 통하여 입력되는 전류를 측정하는 전류 측정부; 상기 용접 전압의 파형을 시계열적으로 분석하는 파형 분석부; 및 상기 용접 전압의 파형을 시계열적으로 분석하여 구간 통계 처리하는 통계처리부를 구비하여, 용접 전류, 전압 파형에 나타난 용접상태 정보를 시계열로 나타낸 구간통계처리법에 의해 결함을 검출할 수 있다.

[0017] CO2 가스를 사용하는 FCAW 결함의 영향은 용접 부품의 품질 저하뿐만 아니라 유지 보수 및 용접으로 인한 전체 Q- 비용 증가이다. 파괴 검사와 비파괴 검사는 결함을 감지하는 두 가지 방법이지만 이러한 방법은 비용과 시간이 많이 걸린다. 더욱 발전된 기술로 용접 파형을 사용하여 결함을 감지하는 방법도 있다. 그러나 처리되지 않은 용접 파형을 확인할 때 금속 이송 모드에 따라 정상 파형과 비정상 파형을 구분하기 어렵다. 이는 단락이 발생할 때와 발생하지 않을 때 파형이 크게 다르기 때문이다.

[0018] 따라서 단락 유무에 관계없이 파형에서 결함을 감지 할 수있는 알고리즘이 필요하다. 본 발명은 용접 파형을 이용하여 결함을 감지 할 수있는 방법을 제공한다. 본 발명에서는 용접 모니터링 시스템에 표시되는 용접 데이터의 시계열에 따른 간격 통계 처리 방법을 이용하여 결함을 검출하는 방법을 제공한다.

[0019] 본 발명에서 사용된 모재는 길이 150mm 폭 125mm 두께 9mm의 SS400을 사용하였으며 용가재는 ø1.2mm flux cored wire(AWS A5. 20)을 사용하였다. 용접전원으로 Fig. 1에 나타낸 600A, DC inverter 용접기를 사용하여 bead on plate 용접하였다. 용접파형의 계측에는 Fig. 2에 나타낸 아크 용접모니터링 시스템을 사용하였으며, 용접현상의 적절한 표현을 위해 신호 필터링을 하였고 계측 주파수는 10KHz로 하였다. 모재 판재 위에 용접선 길이를 130mm로 하였고, 용접속도는 30cm/min 이었다. Table 1에 전압 별로 CTWD를 달리 설정한 실험 조건을 나타내었다.

[0020] 용접파형과 결함 간의 관계를 살펴보면, FCAW를 사용하는 본 연구에서는 단락 유지 시간을 10ms 기준으로, 그 이하는 정상단락으로 정의하고, 그 이상은 장기단락으로 정의하였다. Fig. 3는 전압 29.0V, 표준CTWD 15mm 조건 (이하 조건A) 으로 용접하였을 때의 용접파형, RT필름 결과를 나타낸 것이다. 단락이 없는 자유비행(Free flight)으로 나타났으며 결함도 발생하지 않았다.

[0021] Fig. 4는 전압 21.5V, CTWD 10mm 조건 (이하 조건B) 으로 용접하였을 때의 용접파형, RT필름결과를 나타낸 것이다. 단락이 다수 발생하였으나 결함은 발생하지 않았다. Fig. 5은 전압 19.0V, CTWD 20mm 조건 (이하 조건C) 으로 용접하였을 때의 용접파형, RT필름결과를 나타낸 것이다. 이때는 장기단락과 아크꺼짐위치에서 결함이 발생한 것을 알 수 있었다.

[0022] 파형분석을 통한 결함 발생 모델링하면, Fig. 7은 단락이 발생한 조건C의 0.5초간 확대파형을 나타낸 것이다. (b_1~b_2) 구간은 17ms동안 단락이 발생하여 장기단락으로 분류된 곳이다. Fig. 8은 장기단락이 발생하였을 때 와이어의 용융현상을 모델링 한 것이다. 장기단락으로 와이어 중간지점에서 좌굴이 발생하여 아크 재점호가 일어났을 때 정상용접에 비해 아크길이가 커졌다. 그 결과 전압이 증가하고 전류가 감소하여 저항은 증가하였다. 이때 융합불량 또는 기공 발생의 위험이 있다.

[0023] Fig. 9는 아크꺼짐이 발생한 조건 C의 0.5초간 확대파형을 나타낸 것이다. Fig. 10 은 아크꺼짐이 발생할 때 와이어 용융현상을 모델링한 것을 나타내었다. 장기단락 후(a) 와이어 sticking에 의해 contact tip 선단에서 와이어가 좌굴을 일으켜 탈락하였다.[4-5)] 그 순간 아크가 소멸하여(b_1) 융합불량 또는 기공이 발생한다. 그 후 아크재점호를 하기 위해 와이어가 slow down되어(b_2), 모재에 접촉하여 아크재점호가 이루어 진다(c). 와이어 slow down이 일어나는 동안 전류는 0, 무부하전압이 발생하며 저항은 무한대가 된다.

[0024] 구간통계처리법에 의한 용접파형을 살펴보면, 구간통계처리법은 연속된 시계열에 의해 나타난 데이터를 일정한 시계열 구간으로 분할하여 구간별 데이터의 통계값을 얻어 해당구간 내 비정상적 상태를 판단하는 방법이다. FCAW의 용접파형에서 전류, 전압, 저항은 짧은 시간 동안 발생하는 용적이행 현상에 따라 급격하게 변동한다. 그러므로 파형을 이용하여 결함을 검출하기 위해 용접데이터를 가공하여 분석해야 한다.

[0025] 구간통계처리에서 적절한 구간의 길이는 용접현상의 주파수특성을 고려하여 설정해야 된다. 너무 짧은 구간을 설정하면 정상단락과 장기단락을 구분할 수 없게 되며 너무 긴 구간을 설정하면 결함검출 정확도가 낮아지게 된다. 따라서 이 구간은 망목특성을 여기서는 장기단락 직후와 아크꺼짐 시 증가하는 용접저항의 파형을 이용하여 결함을 검출할 수 있는 적절한 구간을 파악하기 위해 위에서 비교한 조건 A, B, C 용접저항의 5초간 데이터를 구간별 구간통계처리 하여 비교하였다.

[0026] Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16 는 구간통계처리에 사용된 조건 A, B, C의 용접저항 파형과 RT필름 결과를 나타내었다. 용접모니터링 시스템을 이용하여 초당 10KHz의 샘플링속도로 획득한 5초간 50,000개의 용접저항 데이터를 분석하였으며 적정 시계열구간을 분석하기 위해 1초, 0.5초, 0.1초, 0.05초, 0.01초로 총 5개의 구간을 비교 분석하였다.

[0027] 구간통계처리 결과를 살펴보면, Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17은 용접저항의 1초, 0.5초, 0.1초 0.05초, 0.01초 구간별로 평균, 표준편차, 최대, 최소를 분석한 것을 나타내었다. Table 2 는 저항의 구간통계처리 결과를 시계열 구간별로 비교하여 나타내었다. 저항평균을 분석한 결과 0.05, 0.01초 시계열구간에서 결함일치도가 높게 나타났다. 저항표준편차를 분석한 결과 0.05초 구간에서 결함일치도가 높게 나타났다. 저항최대를 분석한 결과 0.1초, 0.05초, 0.01초 구간에서 결함일치도가 높게 나타났다. 저항최소를 분석한 결과 0.01초 구간에서 결함일치도가 높게 나타났다.

[0028] 저항최대를 분석하였을 때 0.01초 구간, 0.05초 구간, 0.1초 구간 모두 결함검출이 가능하였으나 데이터처리 효율성 면에서 0.1초 구간이 가장 바람직한 것으로 판단되었다. 따라서 결함을 검출함에 있어 실제 결함위치와 가장 분별력이 높은 분석 파라미터는 저항최대이며 이때 적정 시계열 구간은 0.1초인 것으로 판단된다.

[0029] 한편, 용접부 품질분석을 위해 용접데이터에 이동평균필터를 적용하여 용접결함을 분석하는 방법을 제시하였다. 10Khz의 샘플링 주파수일 때 2000개의 데이터를 선택하여 신호의 불규칙성이 사라지게 처리하여 용접현상의 변화를 뚜렷하게 관찰할 수 있도록 하였다. 그러나 본 발명에서는 용접저항의 최대치를 0.1초 구간으로 계산하여 결함발생 여부와 위치를 판단할 수 있는 기본적 알고리즘을 제시하였다.

[0030] 탄소강의 FCAW에서 아크용접파형의 구간통계처리법에 의한 결함검출 알고리즘을 개발하여 결함발생시편의 RT결과와 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 1) 장기단락이 발생한 후 아크 재점호시 아크길이가 길어지고 전류가 현저히 낮아지고 저항이 커져 융합불량 또는 기공이 발생한다는 모델을 제시하였다. 2) 스티킹에 의해 아크가 소멸하면 전류는 0, 전압은 무부하전압이 되어 저항은 무한대가 되므로 아크꺼짐의 검출은 저항으로 쉽게 할 수 있고, 그로 인한 융합불량 또는 기공발생의 모델을 제시하였다. 3) 용접파형에서 구간별 저항최대를 쓸 때 0.01초 구간, 0.05초 구간, 0.1초 구간 모두 결함검출이 가능하였으나 데이터처리 효율성 면에서 0.1초 구간이 가장 바람직한 것으로 판단되었다.

도면

도면1

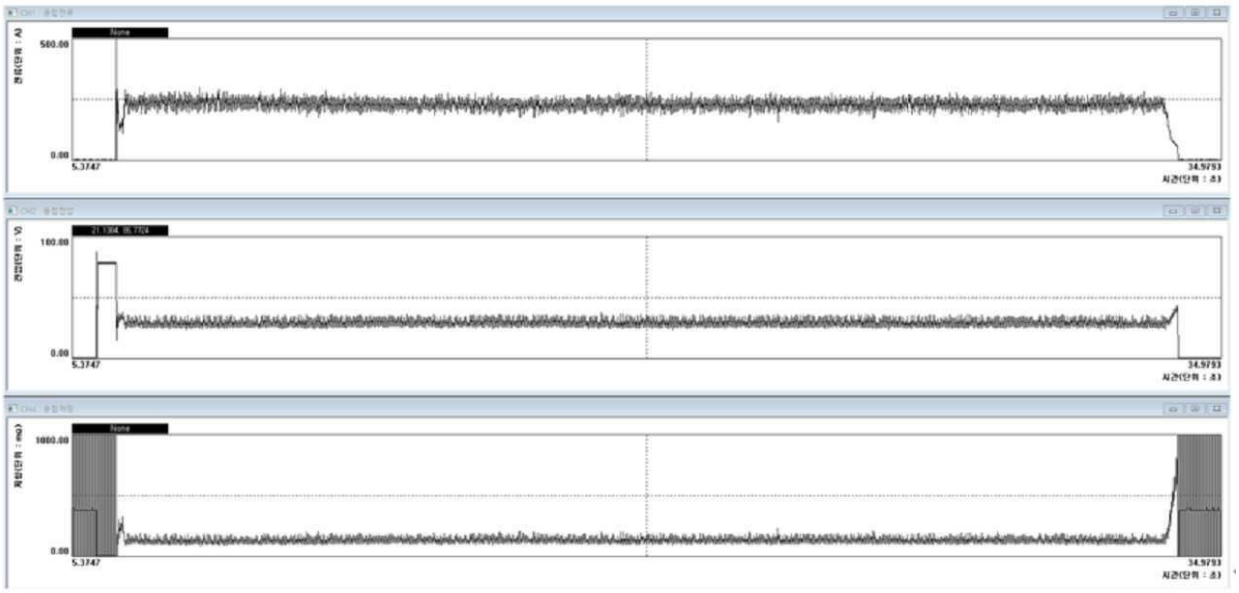


Fig. 1 600A DC Inverter power source

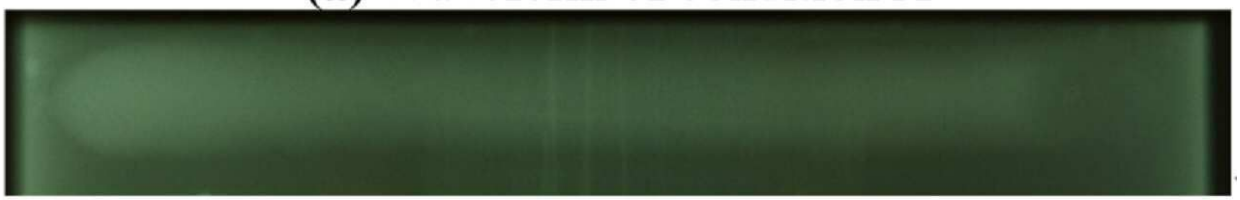


Fig. 2 Arc welding monitoring system

도면2



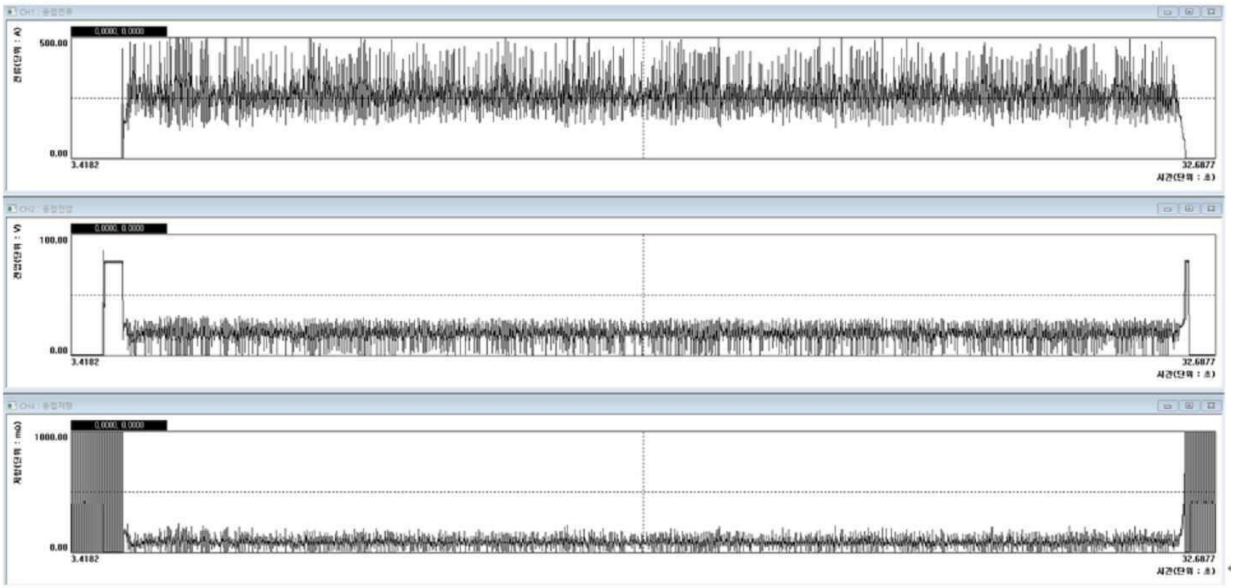
(a) Waveform of condition A



(b) RT film of condition A

Fig. 3 Waveform and RT film of condition A

도면3



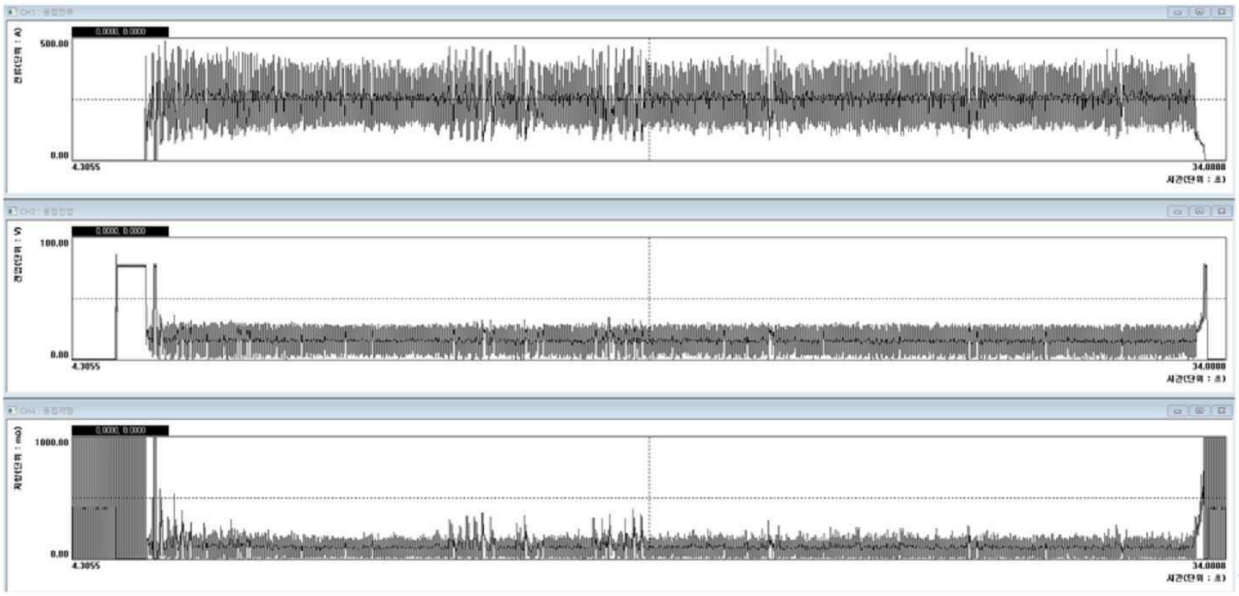
(a) Waveform of condition B



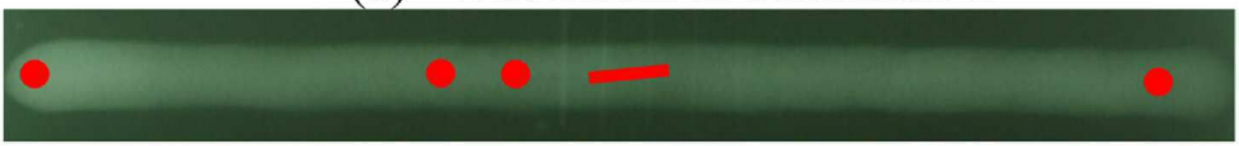
(b) RT film of condition B

Fig. 4 Waveform and RT film of condition B

도면4



(a) Waveform of condition C



(b) RT film of condition C

Fig. 5 Waveform and RT film of condition C

도면5

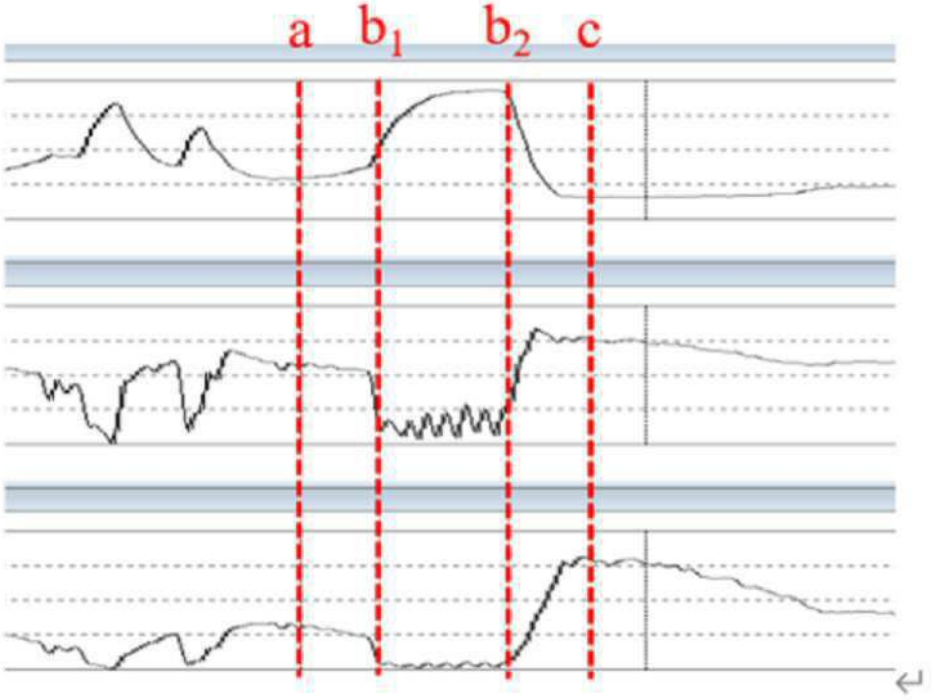


Fig. 7 Waveform of long term short circuit transfer (Condition C for 0.5 sec)

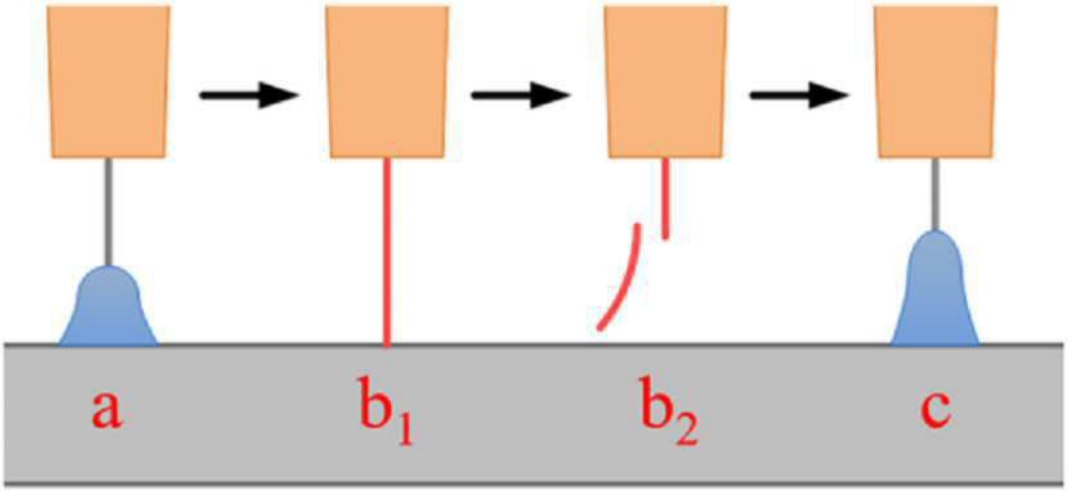


Fig. 8 Schematics of prolonged short circuit

도면6

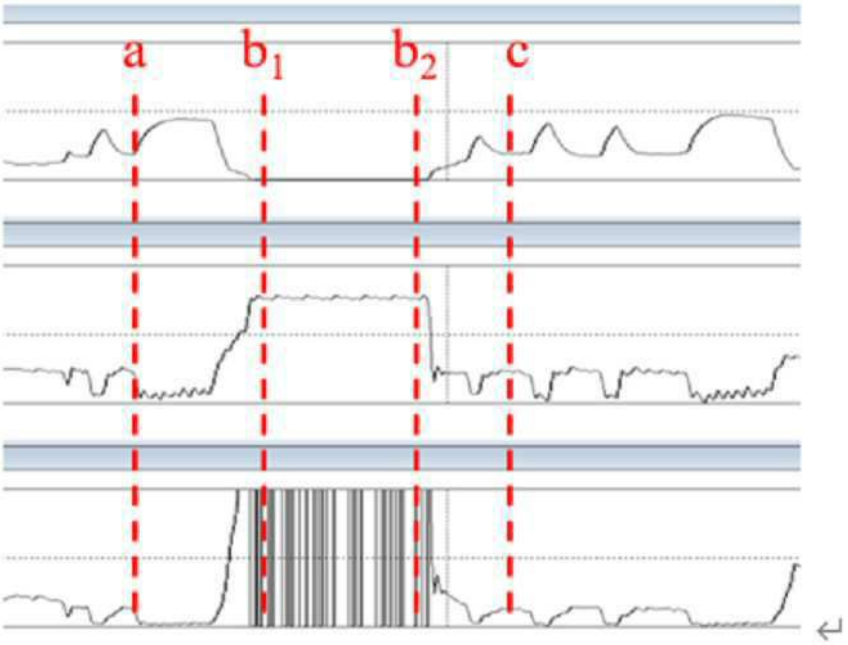


Fig. 9 Waveform of arc extinguish
(Condition C for 0.5 sec)

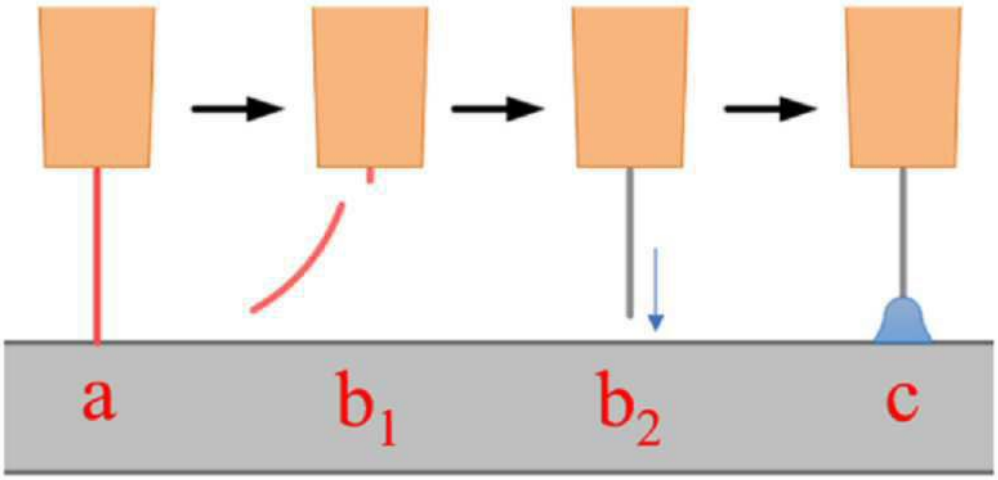


Fig. 10 Schematics of extinguished arc by wire sticking

도면7

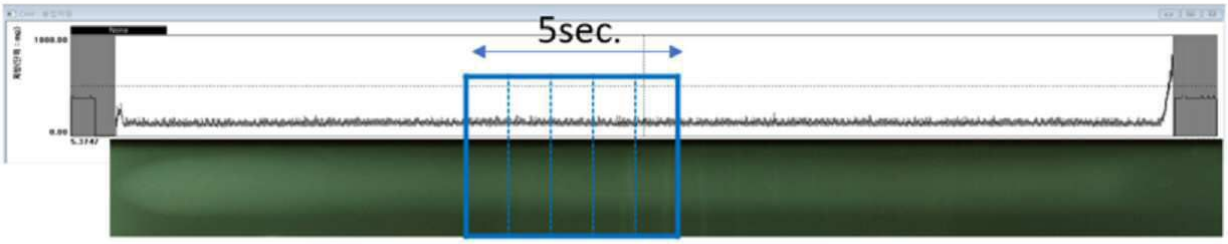


Fig. 11 Waveform and RT film of condition A

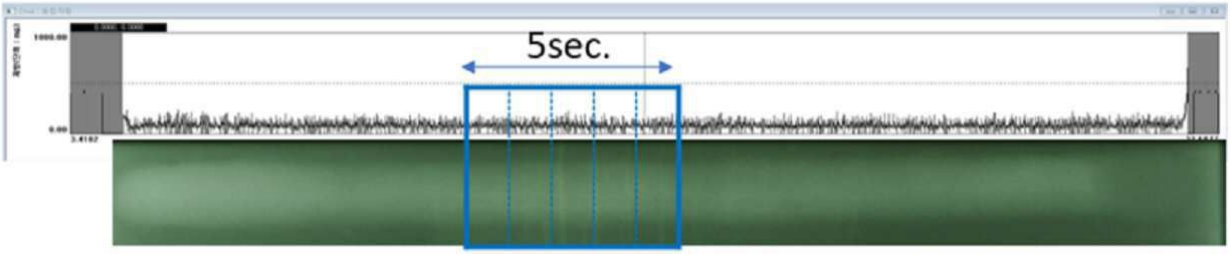


Fig. 12 Waveform and RT film of condition B

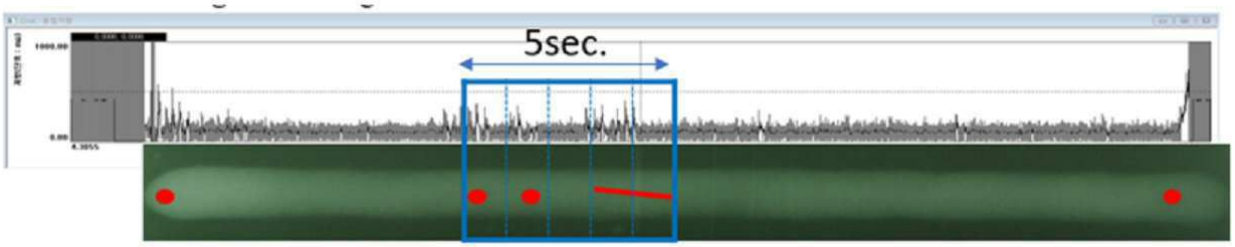
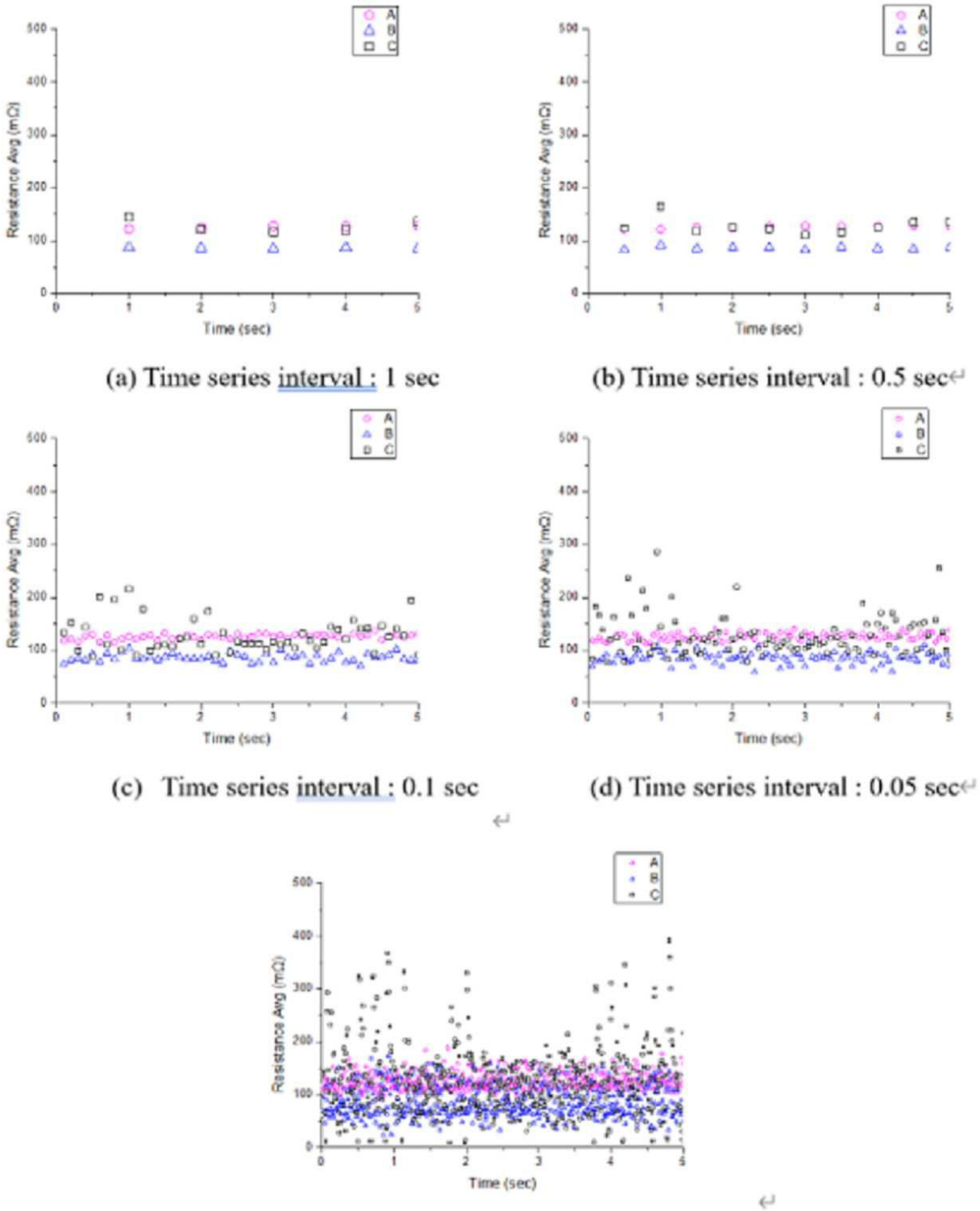


Fig. 13 Waveform and RT film of condition C

도면8



(a) Time series interval : 1 sec

(b) Time series interval : 0.5 sec

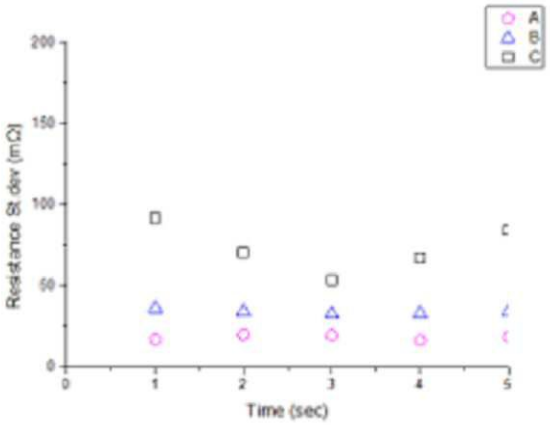
(c) Time series interval : 0.1 sec

(d) Time series interval : 0.05 sec

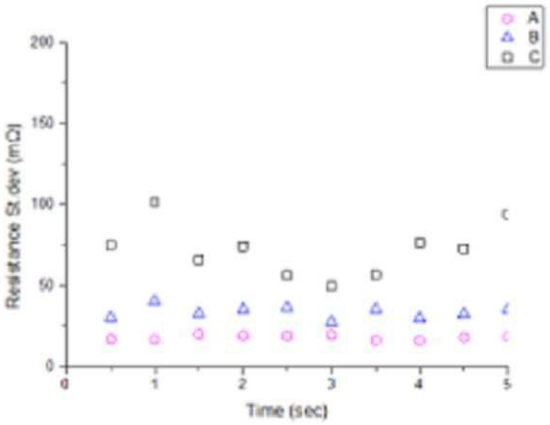
Time series interval : 0.01 sec

Fig. 14 Interval statistic results of resistance average

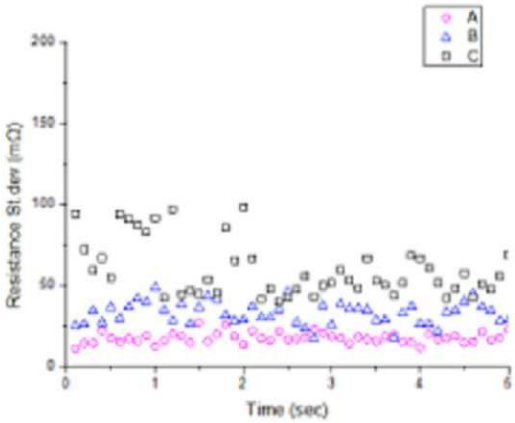
도면9



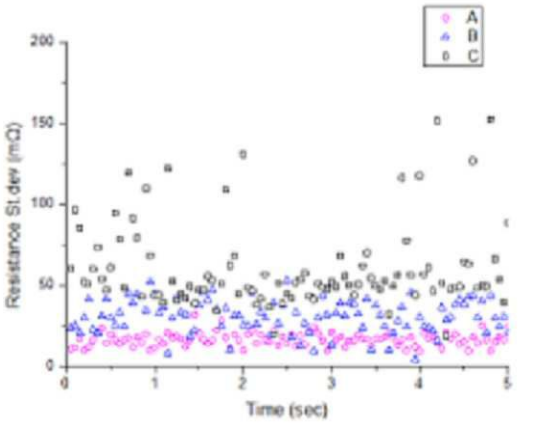
(a) Time series interval : 1 sec



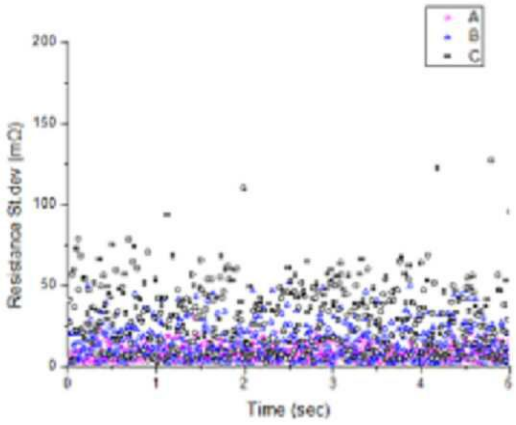
(b) Time series interval : 0.5 sec



(c) Time series interval : 0.1 sec



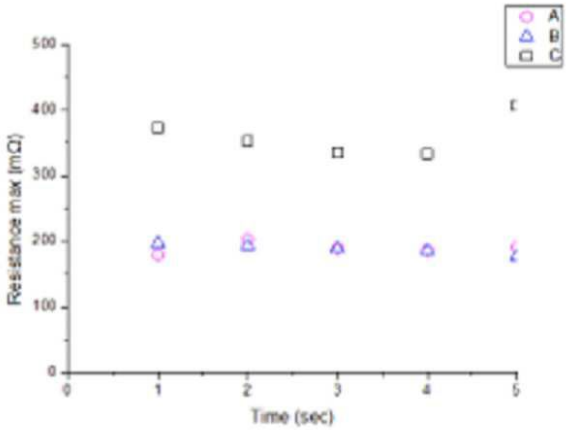
(d) Time series interval : 0.05 sec



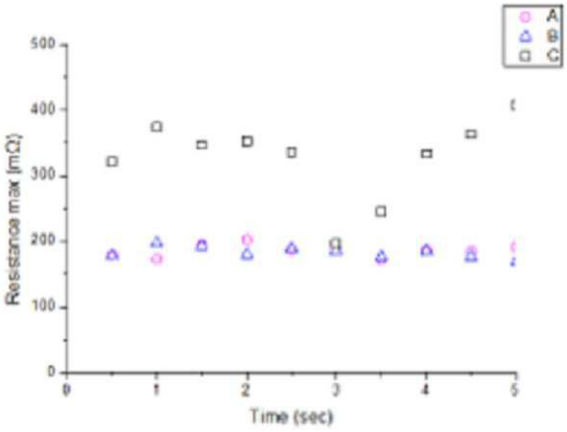
(e) Time series interval : 0.01 sec

Fig. 15 Interval statistic results of resistance st.dev

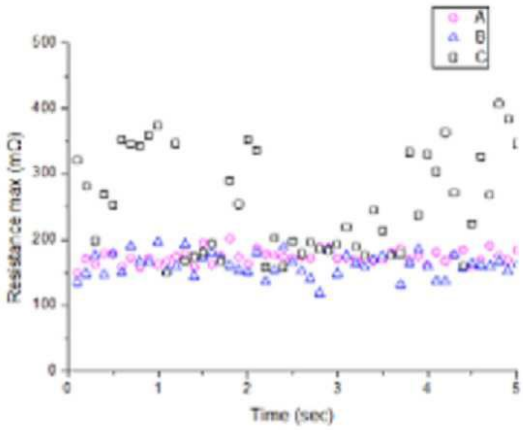
도면10



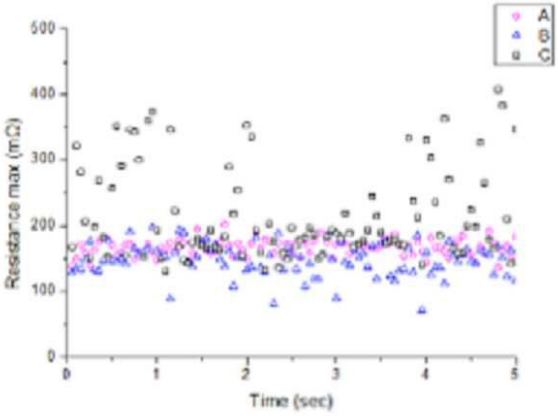
(a) Time series interval : 1 sec



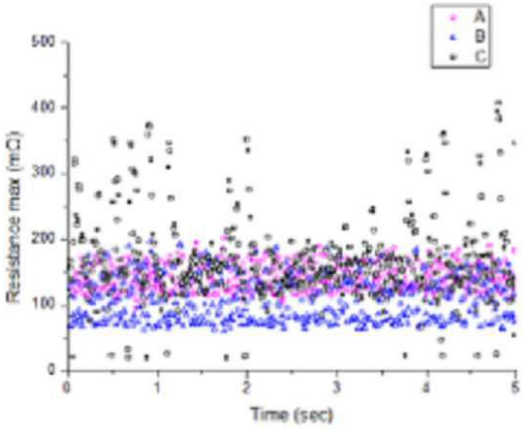
(b) Time series interval : 0.5 sec



(c) Time series interval : 0.1 sec



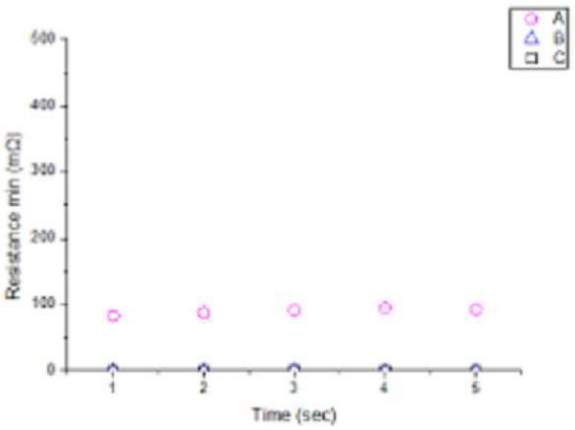
(d) Time series interval : 0.05 sec



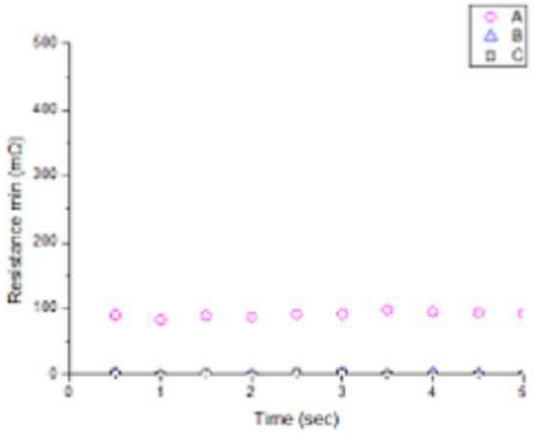
(e) Time series interval : 0.01 sec

Fig. 16 Interval statistic results of resistance max

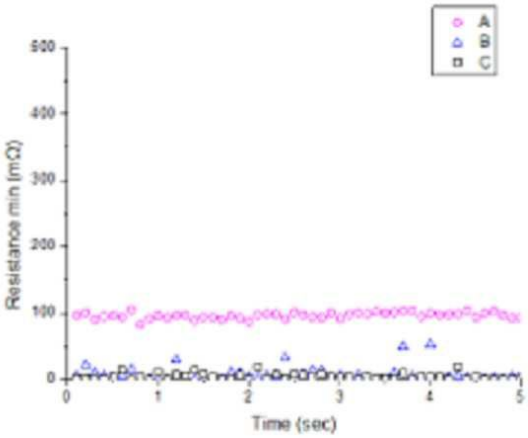
도면11



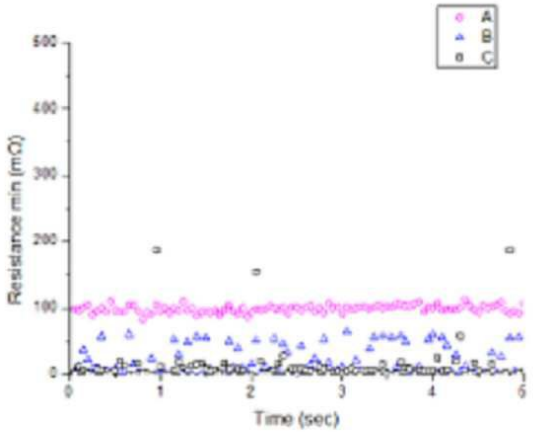
(a) Time series interval : 1 sec



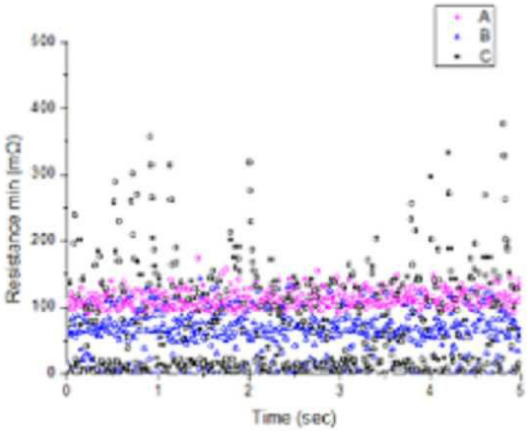
(b) Time series interval : 0.5 sec



(c) Time series interval : 0.1 sec



(d) Time series interval : 0.05 sec



(e) Time series interval : 0.01 sec

Fig. 17 Interval statistic results of resistance min

도면12

Table 1 Bead on plate experiment condition

Filler metal	AWS A5.20 E71T-1C 1.2mm
Base metal	SS400 150 x 125 x 9 mm
Shield gas	100% CO_2 (15 L/min)
Current	200 A
Welding speed	30 cm/min
Voltage [V]	19, 21.5, 24, 26.5, 29
CTWD [mm]	10, 15, 20, 25, 30

도면13

Table 2 Comparison of resistance statistics according to time series interval

	Time series Interval (sec)				
	1	0.5	0.1	0.05	0.01
R_{avg}	X	X	△	O	O
$R_{st.dev}$	X	X	X	O	X
R_{max}	X	X	O	O	O
R_{min}	X	X	X	X	O