

스폿용접기의 용접품질 향상을 위한 동저항 데이터 베이스 구축

조승진*, 김재문*, 원충연*, 최규하**, 김규식***, 목형수**

*성균관 대학교 전기공학과, **건국 대학교 전기공학과

***서울 시립대학교 제어계측공학과

Implementation of Dynamic Resistance Database for Weld Quality Improvement of Spot Welder

S. J. CHO*, J. M. KIM*, C. Y. WON*, K. H. CHOI**, K. S. KIM***, H. S. MOK**

*Sung Kyun Kwan University, **Kon-kuk University

***University of Seoul

Abstract

A dynamic electrical parameter monitoring device was designed to simultaneously record the instantaneous value of voltage, current, power, and resistance during spot welding. The data obtained using this technique have been analyzed in term of the relationships of these parameters to the phenomena occurring during the formation(surface break-down, nugget formation and mechanical collapse) of spot weld.

Finally, a database implementation is undertaken to develop techniques for improving weld quality of the resistance spot welder.

그러므로 스폿용접기의 소형, 경량화를 위해 최근에 인버터 제어 방식의 적용이 많아지고 있다. 그러나 널리 사용되고 있는 스폿용접기의 정전류 제어방식은 용접과정에서 부하단의 동저항특성(Dynamic Resistance Characteristics)을 고려하지 않아 스파터(Spatter)가 많이 발생하여 용접품질의 저하를 가져온다.

스파터가 발생하는 원인을 들면, 피용접물의 상태 및 결합 불량, 전극팁(Tip)불량, 가압력 계통의 불안정 및 부적절한 용접 조건 등을 들 수 있다. 이러한 스파터의 억제를 위해 최근 새로운 전극의 개발과 가압 장치에 서보모터의 적용 및 정전력제어 등 여러 방법으로 연구가 이루어지고 있다[3].

본 논문에서는 스폿용접기의 용접품질 향상을 위하여 정전력 제어 모드에서 용접부하단의 전압 및 전류를 순시적으로 검출하여 용접모재에 대한 동저항 데이터베이스를 구축하여 동저항 제어에 의한 스파터 저감을 실현하고자한다.

1. 서론

국내 자동차 산업 및 가전업계의 성장과 더불어 최근에 저항용접기의 대표적인 스폿용접기(Spot Welder)의 수요가 늘고 있다. 스폿용접은 작업속도가 빠르므로 자동화가 가능하여 대량생산에 적합하며, 소모품이 비교적 적어 원가를 절감할 수가 있다.

또한 작업자의 숙련된 기량에만 의존하지 않으므로 안정된 품질을 얻을 수 있으며, 용접품질이 깨끗해지는 점 등으로 자동차 생산라인에 많이 사용되고 있다.

그러나 피용접물의 두께 증가와 더불어 용접기의 전기적 용량이 증가되므로 가격이 고가이며, 적당한 비파괴검사법이 없고, 전원 공급설비에 비용이 많이 든다. 특히 용접전류, 용접시간, 가압력, 전극형상과 피용접물의 재질이나 판두께 등 각각의 용접조건을 선정해야 하는 어려움이 있다[1-2].

일반적으로 산업현장에서는 상용전원을 이용한 다이리스터식 위상제어교류전원을 사용하고 있는데, 용량이 커지면 용접변압기의 중량이 증가되어 자동화의 핵심기술인 로봇장착에 한계가 있게 된다.

2. 스폿용접의 원리 및 동저항 특성곡선

그림 1에서와 같이 주울열을 이용하는 방법으로, 금속판(피용접물)을 전극(電極) 사이에 놓고 가압(加壓)하면서 전류를 흘리면 용접부는 주울열에 의해 가열되어 국부적으로 용융되고 피용접물은 접합(接合)된다. 용접저항 $R(\Omega)$, 용접전류 $I(A)$, 용접시간 $t(sec)$ 에 대해 발열량 Q 는 식(2-1)과 같이 되고 이 열로 인해 용접부가 용융되면서 가압력에 의해 용접된다[1].

$$Q = 0.24 I^2 R t (cal) \quad (2-1)$$

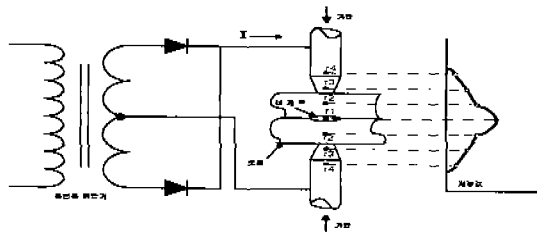


그림 1. 스폿용접기의 저항분포

스폿용접은 용접시간이 극히 짧은 시간내에 끝나며 금속이 접촉한 상태에서 내부의 융합이 생기므로 용접중에 관측하는 것은 어렵다. 따라서 영향을 주는 요인을 찾아서 적정조건하에서 용접을 해야 하는데 이중 용접품질에 가장 큰 영향을 주는 용접전류, 가압력, 용접시간을 저항용접의 3대요소라고 하고 그 밖에 몇 가지 요인들이 더 있다[1][4].

용접전류는 전기저항에 의해 발생한 발열량은 전류의 제곱에 비례하는데 단순히 전류의 크기가 중요한 것이 아니라 용접부의 전류밀도가 높은 것이 중요하며, 용접시간동안 발열량은 전도(傳導)에 의해 방산함으로 열의 총발생량은 일정해도 용접시간이 변화하면 용접부의 최고온도가 달라지므로 용접결과도 달라진다.

가압력은 용접부에 가해지는 물리적인 힘으로, 가압력의 크기에 따라 접촉부의 저항이 변한다. 가압방식에는 가압원의 종류에 따라 전동 가압, 인력가압, 공기가압, 전자력가압이 있다.

특히, 공기가압은 저항 용접기의 가압원으로 일반적으로 가장 널리 사용되고 있는데, 특징으로는 큰 가압력을 얻기 쉬우며 압력의 조정이 용이하고 그 범위가 넓다. 사용된 스폿 용접기 IP-215A는 공기 가압방식이다.

한편 용접공정중의 동저항특성곡선용접을 하는 과정에서 용접시편의 저항이 변함에 따라 전압, 전류가 동시에 변한다. 그러나 기존의 정전류 제어방식은 저항변화에 따른 전류밀도의 변화를 일정하게 유지시켜주지 않아 스파터(Spatter)가 발생한다.

이러한 문제점은 정전력 제어방식에 의해 해결될 수 있다. 즉, 정전력 제어방식은 전압과 전류가 반비례의 관계에 있으므로 저항변화에 따라 일정한 전류밀도를 유지시켜주게 된다.

그 결과 스파터가 발생하지 않아 양호한 용접품질을 얻을 수 있다. 그림 2는 너게트가 형성되는 과정에서 저항값의 용접시간에 따른 변화를 설명하고 있다[5-9].

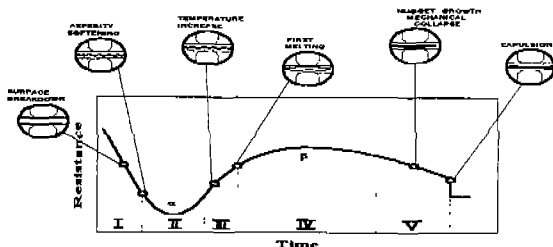


그림 2. 전형적인 동저항특성곡선

3. 동저항특성을 모니터링하기 위한 시스템구현

용접너게트의 형태는 모니터링 과정에서 사용되는 변수에 밀접한 관계가 있다. 용접중에 열은 용접접합면에 대해 퍼져 있으며, 이 열은 용접전류의 제곱과 전류의 흐름에 따른 저항, 용접시간의 곱에 비례한다. 따라서 용접전압, 용접전류와 저항은 용접의 질을 조절하는 변수로써 사용될 수 있다.

이 밖에 모니터링을 통한 기존의 연구로는 용접중의 온도측정에 의한 모니터링, 열팽창에 의한 모니터링, 초음파기법에 의한 모니터링, 전기적인 변수를 이용한 모니터링 기법 등이 있다[9].

본 논문에서는 동저항에 근거한 모니터링 시스템으로 스폿용접에서 열의 생성은 저항에서 발생하는 주열에 기초를 둔다. 그러므로 전기적인 저항은 너게트의 형성을 제어하는 중요한 요소이다. 이러한 동저항은 고정저항과 차이가 있다. 동저항은 매 샘플링주기마다 용접전류와 전압의 비율로 정의된다.

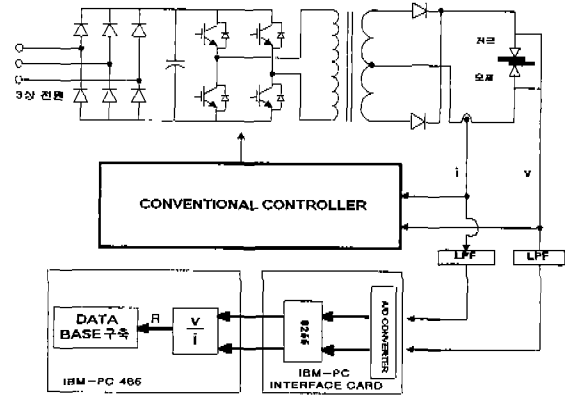


그림 3. 동저항을 모니터링 하기 위한 시스템 구현

그림 3은 동저항을 모니터링하기 위한 전체적인 시스템이다. 동저항특성은 용접시간에 대해 일정주기마다 전극팁사이에 걸린 전압과 전류를 통해 모체에 흐르는 전류를 샘플링하여 마이크로프로세서내에서 계산이 되어 D/A로 판측한다. 동저항특성은 용접의 품질을 결정하는 가변적인 요소에 영향을 받는다.

따라서 이러한 저항특성은 모니터링 시스템에서 기준값으로 이용된다. 진행중의 동저항특성은 기준동저항과 비교된다. 그리고 만일 그것이 허용값(tolerance limit) 범위내에 있다면 용접품질은 양호하다고 판단할 것이고 이 범위를 벗어나면 용접품질이 불량판정을 받게 된다. 기준 동저항특성과 제한값에 대한 설정은 오프라인으로 계산된다.

그림 3에서 기존의 제어기(Conventional Controller)로는 미야찌코리아 스폿용접기인 IP-215A를 사용하였다. IP-215A는 용접조건(용접시간, up-slope, 제어방식 등)들을 설정키를 사용함으로써 프로그램으로 가능하고 변압기 2차측에 흐르는 용접전류, 전극간의 전압 및 용접전력을 동시에 모니터링 할 수 있다.

4. 용접전류 및 전압을 검출하기 위한 절대값회로 및 저주파 필터회로 설계

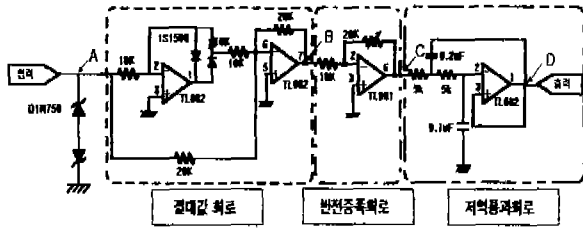


그림 4. 절대값 및 저주파 필터회로

필터회로의 입력값으로써 순시적인 용접전류와 전압을 받는다. 이때 용접전류는 토로이달 코어를 통해 용접부하에 흐르는 전류를 전압으로 변환된 값으로 검출하게 되고 용접전압은 전극팁 사이에서 검출된다.

제너다이오드(DIN750)을 양방향 직렬로 연결하여 입력전압 5V이상을 차단한다. 여기서 제너다이오드(DIN750)는 정격전압은 5.2V이며 용접부하단의 무부하전압은 6.7V이다.

용접부하에 흐르는 용접전류는 대전류가 흐르기 때문에 증간탭변압기 2차측의 전과정류회로를 통과하게 되면 구형파에 가까운 파형이 검출된다.

절대값회로를 통과한 출력전압파형이 음의 값을 가지므로 이 파형을 반전증폭기를 써서 양의 값을 취하도록 한다. 이때 반전증폭기의 이득은 절대값회로에서 다이오드 전압강하분을 고려한다.

스폿용접기의 인버터 스위칭주파수가 2kHz이므로 고주파 성분을 제거하기 위하여 저역통과필터(Low Pass Filter)를 설계한다.

그림 5는 그림 4에 대해 용접할 때, 필터부의 각부 파형으로, (A)의 파형은 제너다이오드를 거쳐서 6V로 제한된 파형으로 외부에서 높은 서지전압이나 무부하상태의 전압이 입력되면 제너다이오드에서 차단한다. (B)의 파형은 (A)의 파형에 대해 절대값회로를 거쳐 출력되는 값으로 입력된 값에 대해 음의 절대값을 갖는다. (C)의 파형은 절대값회로에서의 다이오드 전압강하 및 절대값회로로 입력된 값에 대해 (B)의 파형을 반전증폭기를 사용하여 반전하여 얻은 파형이다. (D)의 파형은 저역통과필터로 많이 사용되는 버터워스 필터를 사용하여 출력된 결과파형으로 정상상태까지의 도달시간은 8ms이고 이 때의 차단주파수는 225Hz이다.

그림 6은 보오드선도를 통한 필터회로부의 안정도 해석 파형으로 차단주파수에서 입출력 이득이 0db이며, 위상여유 및 이득여유를 보면 필터회로가 안정하다는 것을 알 수 있다.

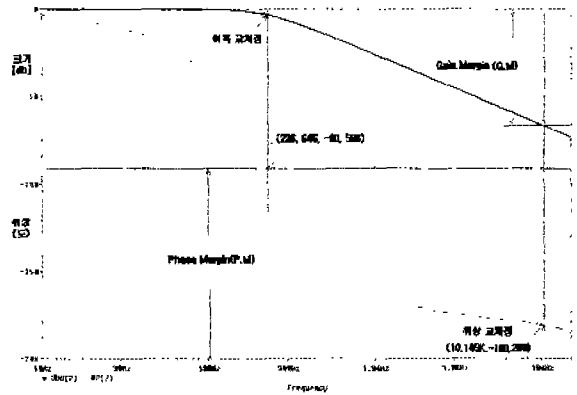


그림 6. 필터회로의 안정도 해석

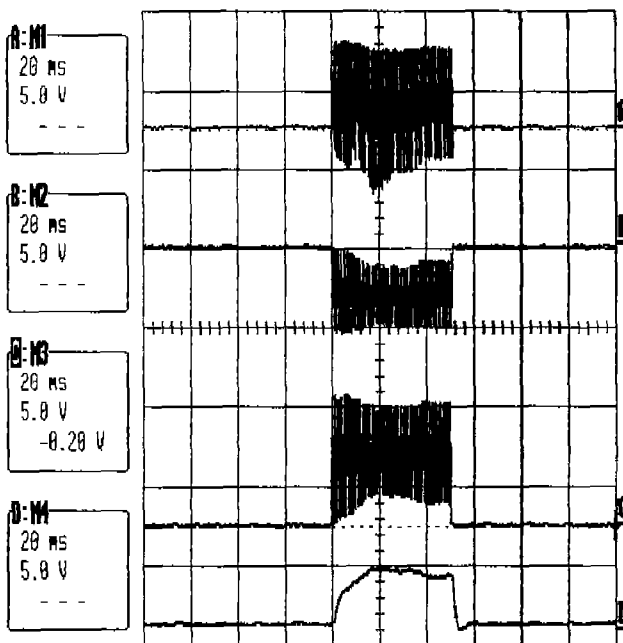


그림 5. 그림 4의 각 부의 전류파형

5. 사용된 스폿용접기 사양과 용접시편의 재질

▶용접기사양

- 입력전원 : 3상 AC 220V +10% ~ 20%, 50/60Hz
- 인버터스위칭주파수 : 2kHz
- 제어방식 : 정전류, 정전압, 정전력
- 변압기(IT-510A)용량 : 9kVA
- 무부하 2차측 전압 : 65V, 냉각방식 : 강제공냉
- 최대전류 : 4000A, 사용률 : 6%

본 논문에서 사용되고 있는 용접재질은 다음과 같고 주로 캐패시터 leg부분의 접합용으로 많이 사용된다.

- Cu(순동) : 0.114 mm
- 도금층 Solder(63%Sn - 37%Pb) 합금 : 0.01mm

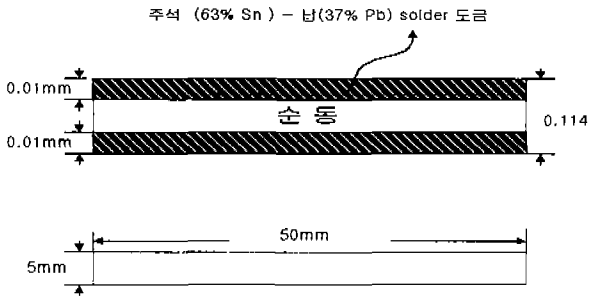


그림 7. 용접시편의 재질

6. 용접조건에 따른 용접전압 및 전류파형

그림 8과 그림 9는 주석-납 합금인 모재를 사용하고 기준전력값을 1kW, 용접시간을 40ms로 설정하여 정전력제어를 한 경우에 필터회로 입력값과 출력값에 대한 모재에 흐르는 전류 및 전극팁사이의 전압파형이다.

본 논문에서 사용되는 스폿용접 시스템은 모니터상을 통해 용접부 하단의 평균전류와 전압 그리고 전력값을 볼 수 있는데 이때 용접전류는 810A, 전극팁사이의 전압값은 1.22V이고 기준전력 1kW에 대한 실제전력값은 0.99kW이다.

필터회로를 통해 측정된 용접전류는 810A일 때 2.2V정도이고 필터 후의 전극팁간 전압은 0.5V이다.

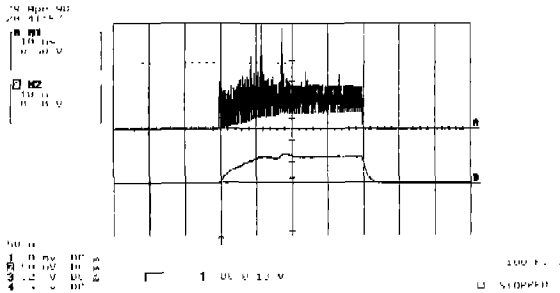


그림 8. 필터전후의 용접전압 파형
(상단: 필터 전 파형, 하단: 필터 후 파형)

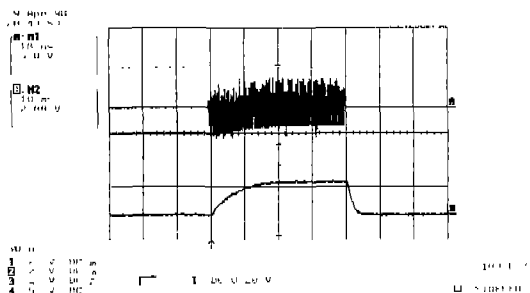


그림 9. 필터전후의 용접전류파형
(상단: 필터 전 파형, 하단: 필터 후 파형)

그림 8은 전극팁간 사이에서 검출된 전압파형으로써 모니터상으로는 1.22V임을 확인할 수 있지만 실제 파형에서는 1.22V에 못미침을 알 수 있다. 이것은 필터부 설계시 달아준 가변저항을 증가시킴으로써 조절할 수 있다.

7. 용접조건과 동저항특성곡선

그림 10과 그림 11은 Fe(철)를 모재로 사용하고 기준전력 1kW, 용접시간을 50ms로 설정하였을 때의 PC에서 읽어들이는 데이터값을 가지고 그린 용접전압/전류파형이다.

이때 스폿용접기의 모니터를 통해 나타내는 실제 용접전류는 670A이고 용접전압은 1.31V이다. 그리고 이 때의 용접전력값은 0.88kW이다. 그림 12는 전압과 전류파형의 동저항곡선이다.

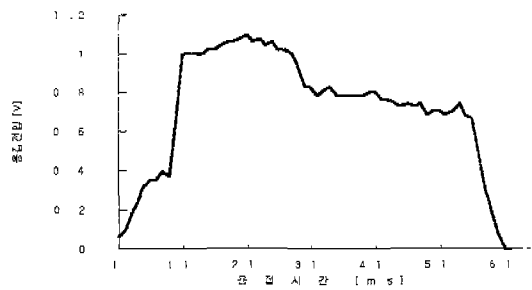


그림 10. 기준 전력 1kW일 때의 용접전압파형

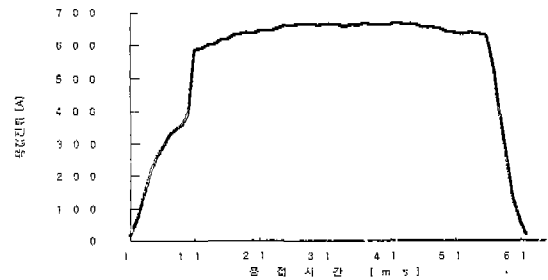


그림 11. 기준전력값 1kW로 주었을 때 용접전류파형

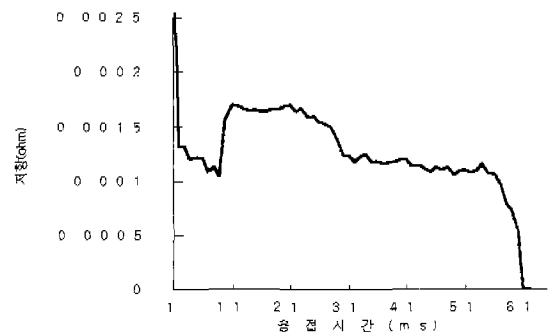


그림 12. 그림 10, 11의 전압/전류에 따른 동저항곡선

그림 13은 Fe(철)를 용접모재로 사용하고 용접전류값을 620A, 830A, 930A로 변화를 주었을 때의 동저항곡선으로 용접시간을 50ms로 설정하고 용접시간중 일정압력으로 200kgf를 주었다. 용접전류값을 600A-1000A로 제한을 두어서 용접을 하였는데 이는 600A이하로 했을 때는 너게트 형성이 이루어지지 않고 1000A이상으로 했을 때는 용접시 너게트가 파괴되었다. 기준전류값이 높아질수록 동저항곡선이 낮아지는데 이는 전류값에 비해 전압값의 변화는 거의 없으므로 간주할 수 있다.

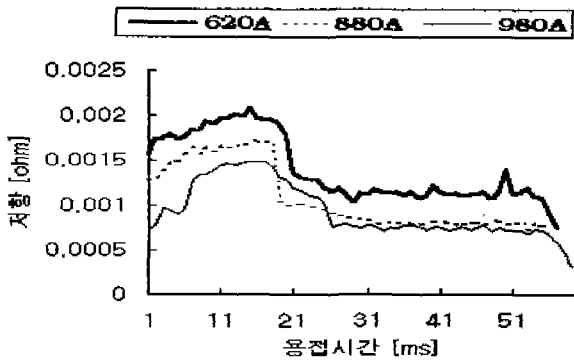


그림 13. 기준전류값의 변화에 따른 부하단 저항곡선(모재:Fe)

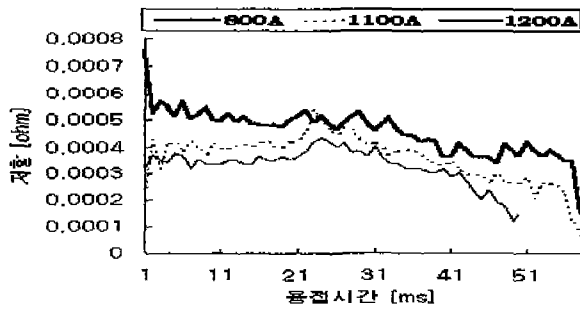


그림 14. 기준전류값을 변화 시켰을 때, 동저항곡선(모재:주석-납)

그림 14는 주석-납을 용접모재로 사용하고 용접전류값을 800A, 1100A, 1200A로 변화를 주었을 때의 동저항곡선으로 용접시간을 50ms로 설정하고 용접시간중 일정압력으로 200kgf를 주었다. 용접전류값을 800A-1200A로 제한을 두어서 용접을 하였는데 이는 위와 마찬가지로 800A이하로 했을 때는 너게트 형성이 이루어지지 않고 1200A이상으로 했을 때는 용접시 너게트가 파괴되었다.

그림 15에서 굵은 실선은 가압력 400kgf를 주었을 때, 실선은 300kgf, 점선은 150kgf의 가압력을 주었을 때의 동저항특성곡선이다. 모재는 주석-납을 사용하고 정전력 제어시 기준전력값을 1.2kW, 용접시간을 50ms로 설정하였다. 이때 모니터상을 통해 나타난 용접전류는 1,040A, 전극팁사이의 전압값은 1.22V이고 실제전력값은 1.27kW이다.

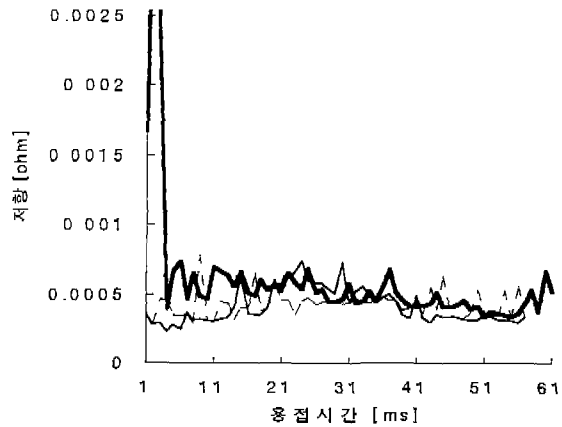


그림 15. 가압력 변화에 따른 동저항 곡선

그림 16은 주석-납을 모재로 사용하고 기준전력값을 1.2kW, 350kgf의 동일한 압력을 주고 정전력제어를 했을 때의 용접시간을 20ms, 40ms, 60ms로 변화시켜주면서 읽어들이는 데이터값으로 동저항특성곡선을 나타내었다.

이때 모니터상을 통해 나타난 용접전류는 1,040A, 전극팁사이의 전압값은 1.22V이고 실제전력값은 1.27kW이다.

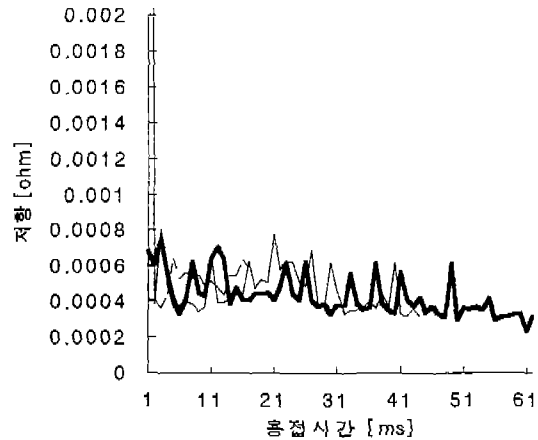


그림 16. 용접시간에 따른 동저항곡선

8. 결 론

본 논문에서는 필터설계를 통하여 전극 양팁간 전압과 전류 파형을 검출하였고 보오드선도에 의해 안정도를 해석하였다. 또한, 인터페이스카드를 사용하여 용접시편에 흐르는 용접전류와 전극팁 사이의 전압을 IBM-PC로 데이터를 읽어들이어 용접저항값을 계산하였다.

모재로는 Fe(철)같은 단일 성분의 금속과 주석-납과 같은 합금을 가지고 용접전류, 용접시간, 가압력을 변화시켜가면서 저항곡선을 구하였다.

모재의 따라서는 모양의 차이가 있지만 같은 모재일 경우 동저항 곡선은 용접전류, 용접시간, 가압력에 따라 거의 같은

패턴으로 변화함을 알 수 있었다.

향후에 용접결과에 대한 용접시편을 파괴검사하고자 하고 용접기 내부에 회로를 수정하고 PCB분석을 통해 용접품질 향상을 위한 하드웨어를 설계를 할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 '97 특정기초 연구비 (97-01-01-01-3) 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 김명준, 저항용접, 기문사, 1995.
- [2] SPOT 저항 용접 제어 기술, 금원사, 1994. 6.
- [3] '95 국제용접기술세미나 교재, 한국용접공업협동조합, 1995.
- [4] Spatter Less 관련자료II, 금원사, 1995.
- [5] David W. Dickinson, Metals Handbook, Ninth Edition Vol. 6, Welding, Brazing, and Soldering, pp. 469 ~ 493, 1983.
- [6] The ASM Committee on Resistance Welding of Steel, Resistance Welding, 17th Edition Vol. 6, The Welding Encyclopedia, 1983.
- [7] D. W. Dickinson, J. E. Franklin And A. Stanya, " Characterization of Spot Welding Behavior by Dynamic Electrical Parameter Monitoring ", Welding Journal, pp. 170_s ~ 176_s, June, 1980.
- [8] J. G. Kaiser, G. J. Dunn And T. W. Eagar, " The Effect of Electrical Resistance on Nugget Formation During Spot Welding ", Welding Journal, pp. 167_s ~ 174_s, June, 1982.
- [9] S. A. Gedeon, C.D. Sorensen, K. T. Ulrich And T. W. Eagar, " Measurement of Dynamic Electrical and Mechanical Properties of Resistance Spot Welds ", Welding Journal, pp. 378_s ~ 385_s, Dec., 1987.