

研究論文

## 박판 GMA용접에서 단락 주파수를 이용한 이면비드의 제어에 관한 연구

안 재 현\* · 김 재 응\*\*

### A Study on the Back Bead Control by Using Short Circuit Frequency in GMA Welding of Sheet Metal

J. H. Ahn\* and J. W. Kim\*\*

**Key Words** : GMA Welding(가스금속아크 용접), Back bead(이면비드), Burn through(용락), Short circuit metal transfer(단락이행), Short circuit frequency(단락 주파수), Root gap(루트간격), Welding speed control(용접속도 제어)

#### Abstracts

In GMA welding of sheet metal, the short circuit metal transfer mode is preferred because of its low heat input and capability of bridging the root gap. The molten electrode is transferred to the workpiece during repetitive short circuit in the mode. The waveform of welding current or voltage and the frequency of short circuiting are affected by a number of factors including : magnitude of welding current and voltage, root gap, electrode extension, power supply characteristics, and so on.

In this study experimental models were proposed, which are able to determine the relationship between the root gap and short circuit frequency and the relationship between the root gap and appropriate welding speed that produces the good quality of back bead without burn through. Using the experimental models, the root gap can be obtained from measuring the short circuit frequency, and then the appropriate welding speed to the root gap can be determined. Thus a back bead control system was constructed by controlling the welding speed for maintaining the quality of back bead. The developed system has shown the successful capability of back bead control.

---

\* 비회원, 영남대학교 대학원 기계공학과

\*\* 정회원, 영남대학교 기계공학과

## 1. 서론

아크 용접 공정의 자동화는 열악한 작업 환경에서의 작업자 대체, 생산성 향상, 용접부의 우수한 품질 유지라는 요구에 의해서 지속적으로 발전하고 있는 분야이다. 이 가운데에서 용접부의 품질 유지는 용접 자동화에 있어서 가장 기본적이고 필수적인 사항으로 아크의 상태, 조인트 부의 변화 등에 따른 품질 변화에 대처하기 위한 방안이 요구된다. 수동 용접에서는 숙련된 용접사가 용접공정중에 일어나는 상황을 다양한 감각 기관을 통하여 직접 감지하고 적절한 조치를 취하므로 우수한 품질의 용접부를 만들 수 있다. 따라서 자동 용접에서도 균일한 품질의 용접부를 얻기 위하여 용접 품질에 영향을 미치는 인자를 감지하고 이것에 대처하는 제어 시스템을 구축하는 방법을 생각할 수 있다<sup>1-2)</sup>.

박판 용접에 있어서 용접부의 품질은 두꺼운 판재의 용접에 비해 다양한 용접 조건에 따라 더욱 민감한 반응을 나타낸다. 용접조건중 용접 전류, 용접 전압, 용접 속도 등은 최적의 품질을 나타내는 조건을 설정해서 적용하므로 비교적 균일한 작업조건이 유지되지만, 용접물의 준비 과정인 절단, 절곡 작업에서 발생하는 부품간의 오차에 의해 루트간격(root gap)의 변화는 흔히 나타날 수 있다. 이러한 루트 간격의 변화에 의해 용접부의 비드높이가 불균일해지거나 용락(burn through)이 발생하게 된다.

루트간격이 크게 되면 용융부가 넓어지게 되며 용융금속의 일부를 이면비드 상태로 유지하려는 금속의 표면장력이 작게 되므로 처짐이 발생하여 이면비드는 높아지게 되며 이것이 과도해지는 경우 용락이 발생하게 된다. 이때 루트간격이 커짐에 따라 용접 속도를 증가시키면 용융금속의 양이 적어지고 용융금속의 자중과 표면장력이 평형을 이루어 이면비드 높이가 과도해지거나 용락이 발생하는 현상을 방지할 수 있게 된다. 따라서 용접 공정에서 나타나는 루트간격의 변동을 감지하여 해당 루트간격에 대한 최적의 용접속도를 적용하면 우수한 품질의 이면비드를 얻을 수 있게 된다.

루트 간격의 변동을 감지하기 위한 장치는 접촉롤러를 이용하는 방법과 광학센서를 이용하는 방법을 들 수 있다<sup>3-4)</sup>. 또한 Y. Kitazawa<sup>5)</sup>는 후판(16

mm 두께)용접의 초층 용접(root pass)에서 단락 주파수를 이용한 이면비드의 제어에 관해 연구하였는데, 이면받침(backing stripe)을 사용하는 조건에서 단락 주파수가 용융지 선단과 전극간 거리의 함수로 주어지는 특성을 이용하였고, 루트 간격에 의해서 이면비드가 과도해지거나 용락이 발생하는 것을 고려하지 않았다.

본 연구에서는 박판 맞대기 용접에서 이면비드의 높이에 영향을 미치는 루트 간격의 변동을 단락 주파수로 감지하고, 실험적인 모델링으로 구한 루트간격과 적정 용접속도와의 관계를 이용하여 완전용입이 되고 이면비드가 과도해지거나 용락이 발생하는 것을 방지하여 적절한 이면비드를 나타내도록 제어하는 시스템을 구축하였다.

## 2. 박판 용접공정의 실험적 해석

소모성 전극을 사용하는 GMA(gas metal arc)용접공정에서 금속이행 형태(metal transfer mode)는 전극에서 모재로의 용적이행 형태에 따라 크게 단락이행(short circuit metal transfer), 입상이행(globular transfer), 스프레이 이행(spray transfer)으로 나누어진다. 이러한 각 금속이행 형태에서 시편으로의 입열량은 단락이행, 입상이행, 스프레이 이행 순으로 커지게 된다. 따라서 박판 용접에서는 전류, 전압 범위가 낮아서 입열량이 적은 단락이행 형태를 사용하게 된다.

단락이행의 특성은 용접전류와 전압의 파형, 단락 주파수(short circuit frequency)로 나타나는데 초당 단락 횟수인 단락 주파수는 금속의 단락이행을 구성하는 여러 인자(용접 전압, 전류, 용접전원 회로의 인덕턴스등)에 민감한 반응을 나타내고 아크의 상태를 대변하게 된다<sup>6-7)</sup>. 일반적으로 아크의 상태는 단락 주파수가 높고 규칙적으로 나타날 때 안정된다.

박판 용접공정에서 용접부의 품질을 1차적으로 나타내는 것은 표면비드의 높이와 폭, 이면비드 높이와 폭, 비드의 균일성 그리고 용락의 유무 등이다. 특히 이면비드는 완전한 용입을 나타내는 척도로서 품질을 나타내는 주요한 인자가 된다. 일반적으로 박판 맞대기 용접에서 루트간격에 대해 상대적으로 용접속도가 너무 빠르면 완전용입이 일어나지 않고 반대로 너무 느리면 이면비드가 과도해지거나 용락이 발생하게 된다. 용락이 발생되

면 보수 용접을 해야 하기 때문에 생산성을 저해하는 주요한 원인이 된다.

### 2. 1 실험 방법

단락 주파수를 측정하여 루트간격의 변화를 감지하고 각각의 루트간격에서 적정의 이면비드를 나타내는 용접속도를 적용하기 위하여 먼저 루트간격에서의 단락 주파수의 변화를 모델링하고 적정 이면비드를 나타내는 루트간격과 용접속도와의 관계를 실험적으로 구하는 것이 본 실험의 목적이다.

본 실험에서 사용된 실험 조건을 Table.1에 나타내었다.

Table 1. Welding condition

Workpiece	mild steel (2mm thickness)
Electrode wire	1.2mm $\phi$
Shielding gas	CO <sub>2</sub> gas
Welding current	90 A
Welding voltage	19 V
Tip-to-workpiece distance	12 mm
Welding speed	4mm/s ~ 11mm/s
Root gap	0mm, 0.5mm, 1mm

용접전류와 전압은 2mm두께 연강의 용접에서 최적의 단락 주파수를 나타내는 조건으로 선정하였다<sup>6)</sup>. 그리고 루트간격에 의한 영향을 정확히 관찰하기 위해서 모재의 접합부는 밀링머신을 사용해서 가공하였다.

Fig.1에 실험 장치의 개략도를 나타내었다.

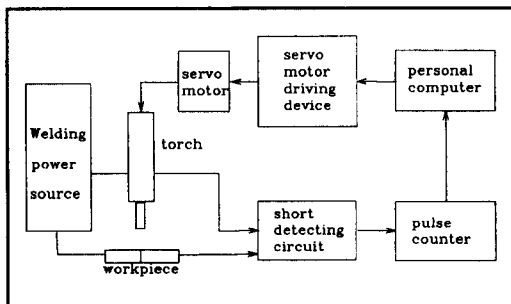


Fig. 1 Schematic diagram of experimental system

단락이행 용접에서는 초당 수십회(20~100Hz)의

단락이 일어난다. Fig.2는 이러한 단락이행 용접에서의 전압 신호를 A/D 컨버터로 받은 데이터이다.

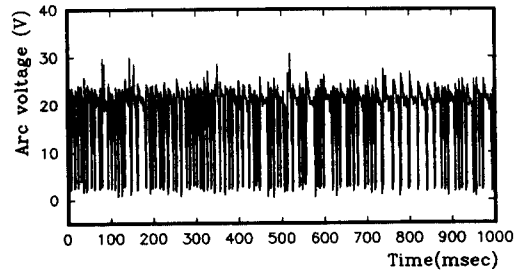


Fig. 2 Typical welding voltage signal in short circuit metal transfer mode

이때의 샘플링 시간은 1msec이며, 샘플링 시간보다 단락 시간이 작아지면 단락에 대한 정보를 얻을 수 없게 된다. 이때 샘플링 시간을 더욱 작게하면 되나 데이터 양이 방대해지므로 제어에 적용하는데는 무리가 있다. 이러한 이유로 단락 횟수를 측정하기 위해서 단락 감지 회로와 펄스 카운터(pulse counter) 회로를 제작하였다. 단락 감지회로는 비교기를 사용해서 용접 전압과 소정의 기준 전압을 비교함으로써 단락을 감지하게 되고 이때의 기준 전압은 10V로 하였다<sup>6)</sup>. 그리고 펄스 카운터에서는 74LS193 2개를 사용하여 8bit의 데이터를 출력하게 하였다.

단락 감지회로에서 출력되는 펄스 형태의 신호를 펄스 카운터로 입력시켜 단락의 수를 알 수 있으며, 이러한 단락의 수를 PC의 대기시간(bios time, 0.5sec)으로 나눔으로써 단락 주파수가 계산된다. 그리고 제어 시스템에서는 단락 주파수로 루트간격을 감지하여 최적의 용접속도를 토치 이송용 구동장치를 통하여 출력하게 된다.

### 2. 2 용접 속도와 단락 주파수의 관계

루트간격이 0 mm, 0.5 mm, 1 mm에서 용접속도를 변화시키면서 단락 주파수를 측정하였다. 본 연구에서 사용한 시편의 두께는 2mm이고 전극의 직경은 1.2mm이므로 전극의 직경보다 큰 루트간격 즉 1.5mm이상의 루트간격에서 적정의 비드를 얻는 것은 불가능하였다. Fig.3에 각 루트간격에서 용접속도에 따른 단락 주파수의 관계를 나타내었다.

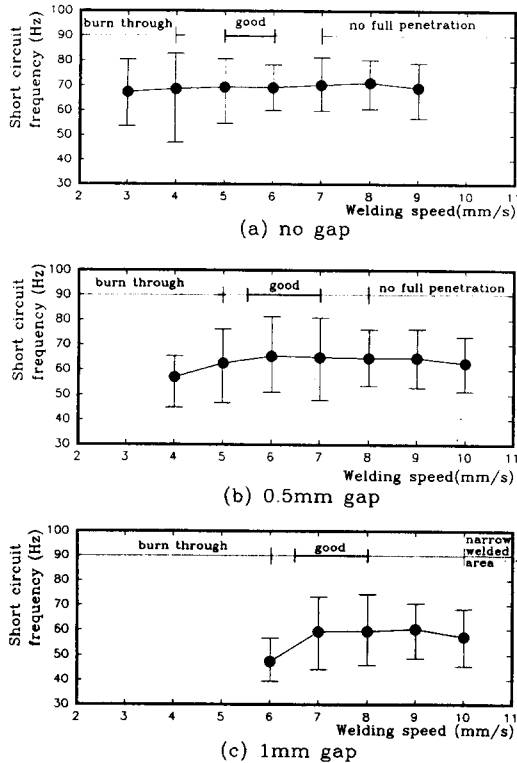


Fig. 3 Short circuit frequencies versus welding speed at various root gaps

그림으로부터 루트간격이 클수록 용락이 발생하지 않는 최저속도가 증가함을 볼 수 있다. 또한 루트간격에 대해서 용접속도에 따라 이면비드의 상태가 변하게 되는데, 0 mm gap에서 5~6 mm/sec, 0.5 mm gap에서는 5.5~7 mm/sec, 1 mm gap에서는 6.5~8 mm/sec의 용접속도 범위에서 용락이 없고 완전 용입이 일어나는 이면비드를 얻을 수 있었다. 각 루트간격에서 용락이 발생하는 용접속도 범위에서는 단락 주파수가 작은 값을 나타내었으나 양호한 이면비드를 나타내는 적정의 용접속도 범위내에서는 단락 주파수의 평균값이 속도에 따라 거의 변하지 않는 것으로 나타났다. 즉, 이면비드의 품질은 루트간격과 용접속도에 의해 큰 영향을 받지만 일정한 루트간격에서 완전용입과 부분용입간의 구분을 단락 주파수로 감지하는 것은 곤란하다는 것을 알 수 있다. 반면 일정한 용접속도에서 루트간격이 증가할수록 단락 주파수가 감소하는 것을 볼 수 있다. 따라서 단락 주파수를 이용해서 루트간격을 추정할 수 있을 것으로 기대되며, 단락 주파수로 이면

비드를 제어하기 위해서는 루트간격과 적정 용접속도의 관계가 미리 설정되어야 한다는 것을 알 수 있다. 이런 관계에 대한 설명은 다음 두절에 서술하였다.

### 2. 3 루트 간격과 단락 주파수의 관계

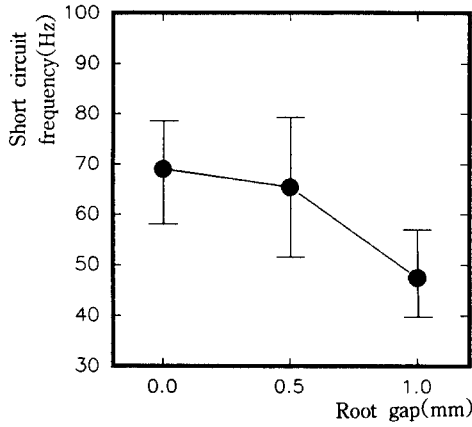
Fig.4는 각 용접속도에서 루트간격에 따른 단락 주파수의 변화를 나타내고 있다. 각각의 루트간격에 대해서 표시된 범위는 단락 주파수의 변화 범위로서 측정된 단락 주파수의 최대, 최소 범위를 나타낸 것이다.

각각의 용접속도에서 루트간격이 증가함에 따라 단락 주파수의 평균값이 감소하는 것을 볼 수 있다. 여기서 각각의 루트간격에 대응되는 단락 주파수의 평균값은 no gap인 경우 69.7Hz, 0.5 mm gap인 경우 64.4Hz, 그리고 1 mm gap인 경우 57.8Hz를 나타내고 있다. 이때의 평균값은 각 루트간격에서 용락이 없고 완전 용입이 일어나는 용접속도에서의 단락 주파수 평균값이다.

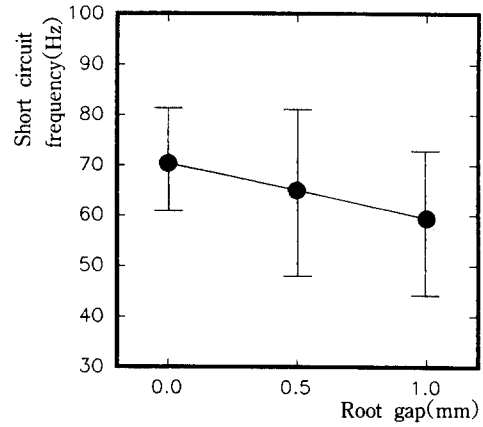
루트간격이 증가함에 따라서 단락 주파수가 감소하는 이유는 다음과 같이 추정된다. Fig.5에서와 같이 gap이 있는 경우 아크 아래 전반부의 모재 측면이 아크에 의해서 용융되어 시편과 아크의 접촉 면적이 줄어들게 되고 따라서 전극과 시편의 접촉 횟수 즉 단락 횟수가 줄어들게 된다. 이러한 경우 용접중에 시편의 밑쪽을 관찰하면 아크의 일부가 gap을 통해서 빠져나가는 것을 볼 수 있었다. 이와 아울러 루트간격이 커짐에 따라 표면비드의 높이는 낮아지고 이면비드의 높이는 높아지게 된다. 따라서 전극과 용융시 사이의 거리는 커지게 되어 전류가 감소하고 아크 유지시간이 길어지게 되어 단락 주파수가 감소하게 된다.

루트간격이 커짐에 따라 아크 유지시간이 길어지는 것은 다음과 같이 확인할 수 있었다. 아크상태가 불안하여 아크가 끊어지지 않는 한 단락이 되지 않은 상황은 아크 유지시간이 된다. 따라서 용접전압 신호로부터 아크 유지시간과 단락시간을 측정할 수 있다. Table.2는 0 mm, 0.5 mm, 1 mm gap에서 10초 동안 7 mm/sec의 용접속도로 용접하는 경우의 아크 유지시간과 단락시간을 나타내고 있다.

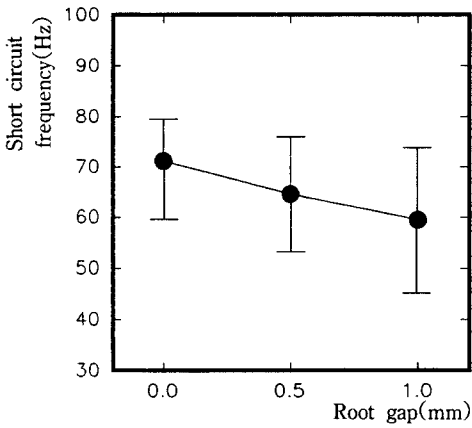
여기서 루트간격이 커짐에 따라 아크 유지시간이 늘어나고 따라서 총 단락 시간이 줄어들게 된다. 이것으로 루트간격이 증가함에 따라 단락 주



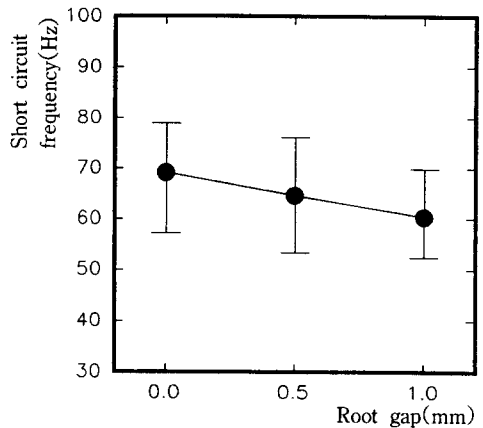
(a) Welding speed 6mm/s



(b) Welding speed 7mm/s



(c) Welding speed 8mm/s



(d) Welding speed 9mm/s

Fig. 4 Short circuit frequencies versus root gaps at various welding speed

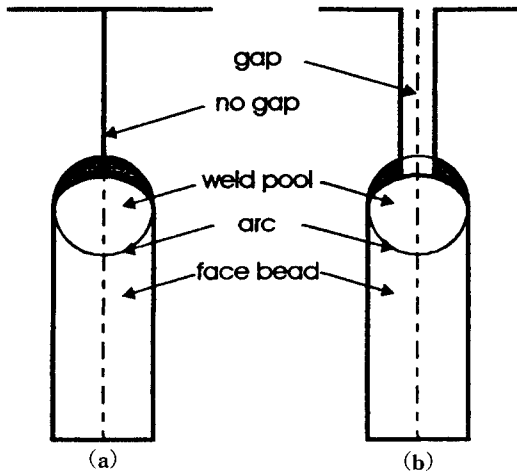


Fig. 5 Schematic diagram of weld pool

Table 2. Arcing time and short circuit time at each root gap

Root gap	Arcing time(msec)	Short circuit time
0 mm	7960	2040
0.5 mm	7987	2013
1 mm	8073	1927

파수가 감소함을 알 수 있다.

Fig.6은 루트간격이 단계적으로 0 mm, 0.5 mm, 1 mm로 증가할 때의 단락 주파수를 나타내고 있다. 그림으로부터 루트간격이 증가할 수록 단락 주파수가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

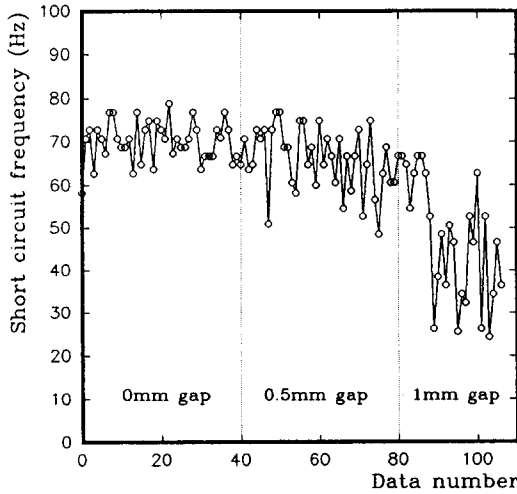


Fig. 6 Short circuit frequencies at stepwise increasing root gap(welding speed 6 mm/s)

2. 4 이면비드와 용접속도와의 관계

이면비드의 크기는 동일한 용접전류, 전압조건에서 루트간격과 용접속도에 의해 변하게 된다. 이러한 조건이 적합하지 않으면 용락이 발생하거나 완전 용입이 형성되지 않는 좋지 않은 이면비드를 나타내게 된다. 이면비드의 품질을 평가하기 위하여 정량적인 판단 기준을 정하는데는 많은 어려움이 따르며 본 연구에서는 외관 평가에 의해 2mm 이내의 높이가 균일하게 유지되는 비드를 양호한 이면비드의 조건으로 하였다. Table.3은 이면비드의 상태와 용접 속도와의 관계를 보여준다.

Table.3에서 알 수 있듯이 루트간격에 대해서 속도가 너무 느리면 이면비드가 너무 높게 되거나 용락이 발생하고 속도가 너무 빠르면 완전용입이 일어나지 않는다. 따라서 각 루트간격에 대해서 적절한 이면비드를 나타내는 용접속도가 존재함을 알 수 있다.

Fig.7은 양호한 이면비드를 나타내는 루트간격과 최적 용접속도와의 관계를 나타내고 있다.

각 용접속도에서 루트간격과 단락 주파수와의 관계(Fig.4), 그리고 최적 용접속도와의 관계(Fig.7)로부터 단락 주파수와 적정의 이면비드를 나타내는 용접속도와의 관계를 구할 수 있으며, Fig.8에 그 관계를 나타내었다. 이때 각 루트간격에 대한

Table 3. Estimate of back bead at various welding condition

root gap (mm) \ welding speed(mm/s)	0	0.5	1
3	burn through	burn through	burn through
4	too high	burn through	burn through
5	good	too high	burn through
6	good	good	too high
7	too low	good	good
8	no full penetration	too low	good
9	no full penetration	to low or no full penetration	low
10	no full penetration	no full penetration	low
11	no full penetration	no full penetration	narrow welded area

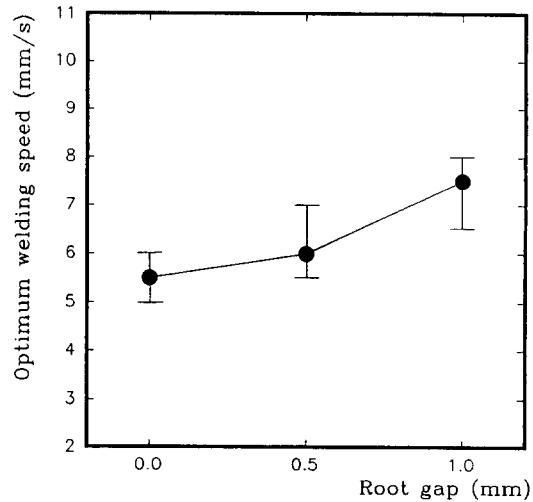


Fig. 7 Optimum welding speed at various root gap

단락 주파수는 용락이 발생하지 않고 완전용입이 일어나는 각 용접속도에서의 단락 주파수 평균값으로 나타낸 것이다. 또한 여기서 나타낸 각각의 주파수에 대한 용접속도 범위는 적정의 이면비드를 나타내는 용접속도 허용 범위로서 각 루트간격에서 다양한 용접속도로 용접한 결과를 나타낸 Table.3에 기초하여 나타낸 것이다.

이 관계를 2차 방정식으로 근사화하여 수식으로 나타내면 다음과 같고, 이것을 그림에 실선으로 나타내었다.

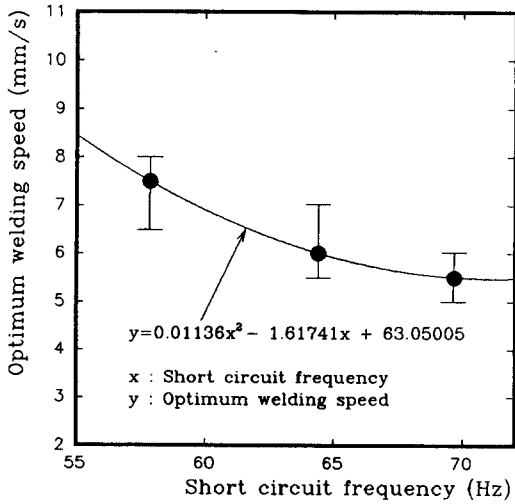


Fig. 8 Relationship between welding speed and short circuit frequency for good quality of back bead

$$y = 0.01136x^2 - 1.61741x + 63.05005 \quad (1)$$

여기서, x는 단락 주파수, y는 x로 대변되는 루트간격에서 최적의 이면비드를 나타내는 용접 속도이다. 이러한 2차 회귀식은 Fig.8에서 표시한 단락 주파수가 나타내는 각 루트간격에서 적정의 이면비드를 형성하는 용접속도에 대해 최소 자승법을 이용해서 구한 것이다. 각 적정 용접속도 범위 내에서 다양한 용접속도를 선정하여 적용해 본 결과 Fig.8에 나타낸 용접속도에서 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다. (1)식을 이용하면 단락 주파수를 측정함으로써 루트간격을 추정하고 그에 적절한 용접속도를 출력시킴으로써 양호한 이면비드를 얻을 수 있는 제어 시스템을 구축할 수 있게 된다.

### 3. 이면비드 제어시스템

#### 3. 1 제어 알고리즘

Fig.9에 이면비드 제어 시스템의 블록 선도를 나타내었다.

초기의 용접속도는 루트간격이 0 mm일때의 최적 속도로 설정되며, 용접중에 루트간격이 변하게 되면 단락 주파수가 변하게 된다. 따라서 단락 주파수를 감지함으로써 Fig.4에 나타낸 관계로 루트간격을 예측하게 되며, 각 루트간격에 대한 적정 용

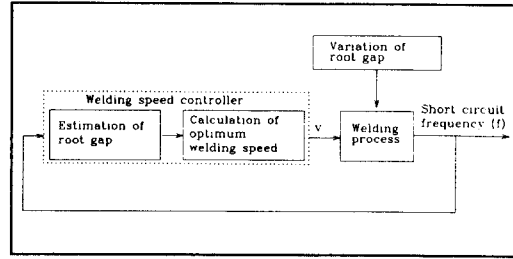


Fig. 9 Block diagram of back bead control system

접속도는 Fig.7의 관계로부터 산출할 수 있게 된다. 즉 앞의 두 관계를 결합하여 만든 임의의 단락 주파수에 대한 적정 용접속도의 관계(Fig.8)를 이용하여 최적 용접속도를 출력하게 된다. 이러한 절차를 통하여 루트간격이 변하더라도 각 루트간격에 대한 적정의 용접속도를 출력하므로써 균일한 이면비드를 나타내는 제어 시스템을 구축하게 된다.

본 시스템에서는 단락 주파수의 편차에 의한 영향을 줄이기 위해 이동 평균법과 데이터 필터링을 사용하게 되는데 하나의 단락 주파수 데이터를 얻을 때마다 이전의 이동 평균값을 기준으로 분산 허용범위를 설정하여 필터링을 하며 이렇게 필터링된 데이터로 이동 평균을 취해 루트간격을 대변하는 단락 주파수를 구하게 된다.

#### 3.1.1 이동 평균법

모델링할 때의 단락 주파수를 보면 동일한 조건에서 편차가 상당히 크기 때문에 하나의 단락 주파수만으로 루트간격을 예측하는 것은 무리가 따른다. 따라서 데이터 습득 시간인 0.5초마다 단락 주파수의 이동 평균값을 구하고 이것으로부터 모델링식에 의해서 용접 속도를 산출한다. 이동 평균법에 관한 식은 다음과 같다.

$$\bar{f}(n) = \left( \sum_{i=n-k+1}^n f(i) \right) / k \quad (2)$$

여기서  $\bar{f}$ : 이동 평균을 취한 단락 주파수  
 $f$ : 실시간으로 획득한 단락 주파수  
 $k$ : 이동 평균 구간  
 $n$ : 데이터의 순번

이때 이동 평균 구간이 너무 작으면 평균 단락

주파수의 변화가 커지게 되고 출력되는 용접속도의 변동이 커지게 된다. 반면, 이 구간이 크면 용접 속도의 변동은 줄어드나 루트간격의 변화에 대한 응답 시간이 느려지게 된다. 따라서, 본 실험에서는 모의 계산을 통해서 적정 이동 평균 구간으로  $k=14$ 를 적용하였다.

### 3.1.2 데이터 필터링

이동 평균법만을 사용한다면 감지된 데이터가 평균값 보다 크게 벗어나게 될때 이 데이터는 루트간격의 정보를 가진다고 볼 수 없다. 또한 이러한 데이터는 이후로 14번째 데이터의 평균값에까지 영향을 미치게 된다. 따라서 루트간격에 대한 정보를 가지지 않는 데이터에 대해 필터링할 필요가 있으며, 그 방법으로 이동 평균값에 대해 분산 허용 범위를 설정하고 범위를 넘어서는 데이터에 대해서 이전의 이동 평균값을 대치하였다.

이때 분산의 허용 범위가 너무 적으면 단락 주파수의 평균값이 초기의 값을 유지하게 되고, 범위가 너무 크게 되면 필터링의 효과가 나타나지 않으므로 분산의 허용 범위는 모의 계산을 통해서 설정하였다. 이러한 필터링의 효과를 나타내는 분산 허용 범위는  $\pm 13\text{Hz}$ 인 것으로 나타나 이것을 제어 시스템에 적용하였다. 위에서 나타낸 바와 같이 루트간격을 나타내는 단락 주파수를 얻기 위해서 이전의 이동 평균값을 중심으로 분산 허용범위를 설정해서 필터링된 데이터로 이동 평균을 취하게 된다.

## 3. 2 제어 결과 및 토의

루트간격이 단계적으로 0 mm, 0.5 mm, 1.0 mm로 변화하는 시편과 0 mm에서 1.2 mm까지 연속적으로 변화하는 시편에 대해 이면비드 제어 실험을 행하였다. 이 실험은 분산의 허용 범위를 평균값에서  $\pm 13\text{Hz}$ 로 정하고 14개의 데이터를 0.5초마다 이동 평균을 취하여 루트간격을 감지하고 이때의 루트간격에서 적절한 이면비드를 생성할 수 있는 용접 속도를 산출하여 이면비드를 제어하는 것이다.

Fig.10 (a)는 루트간격이 단계적으로 증가하는 시편에서 제어하지 않고 용접한 결과이다. 0 mm gap에서는 적절한 이면비드가 나타났으나 1 mm gap에서는 연속적인 용락이 발생하였다. Fig.10 (b)와

(c)는 루트간격이 0 mm에서 1.2 mm로 연속적으로 변화하는 시편에서 각각 5.5 mm/sec와 7 mm/sec의 용접 속도로 제어하지 않고 용접했을 때의 결과이다. Fig.10 (b)를 보면 0 mm gap부근에서 좋은 이면비드가 형성되었으나 루트간격이 커지면서 이면비드의 높이가 점점 증가하여 1 mm gap부근에서는 용락이 발생하였다. 그리고 그림.10 (c)를 보면 1 mm gap부근에서 좋은 이면비드가 형성되었으나 0 mm gap부근에서는 완전용입이 일어나지 않아 이면비드가 거의 형성되지 않았음을 알 수 있다.

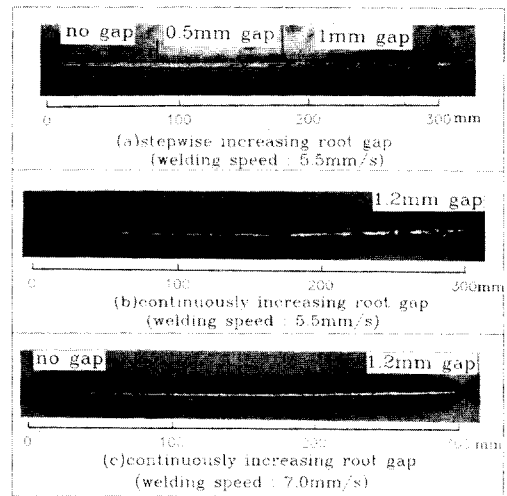


Fig. 10 Back bead shape with constant welding speed

Fig.11은 루트간격이 0 mm, 0.5 mm, 1 mm로 단계적으로 증가할 때의 제어 결과이다.

(a)는 용접하는 동안 얻은 단락 주파수이고 (b)는 필터링과 이동 평균을 취했을 때의 단락 주파수이고 (c)는 (b)에서 나온 결과를 모델링 식에 의해서 출력한 용접 속도이고 (d)는 이렇게 제어된 용접속도에서 용접한 결과이다. 이때의 이면비드를 보게 되면 루트간격이 변화한 후 약 2cm구간에서 이면비드 높이가 높아졌다가 적절한 이면비드로 형성됨을 알 수 있다. 이것은 단락 주파수가 분산이 커서 평균을 취해야 하기 때문에 루트간격이 변화하기 이전 데이터에 영향을 받기 때문이다. 루트간격이 급격히 변화할 때의 이러한 영향과 더불어 루트간격이 연속적으로 변화할 때 평균을 취하는 구간에 의해서 용접 속도의 기울기가 영향을 받을 수 있다. 그러나 본 실험에서 사용한 14개의



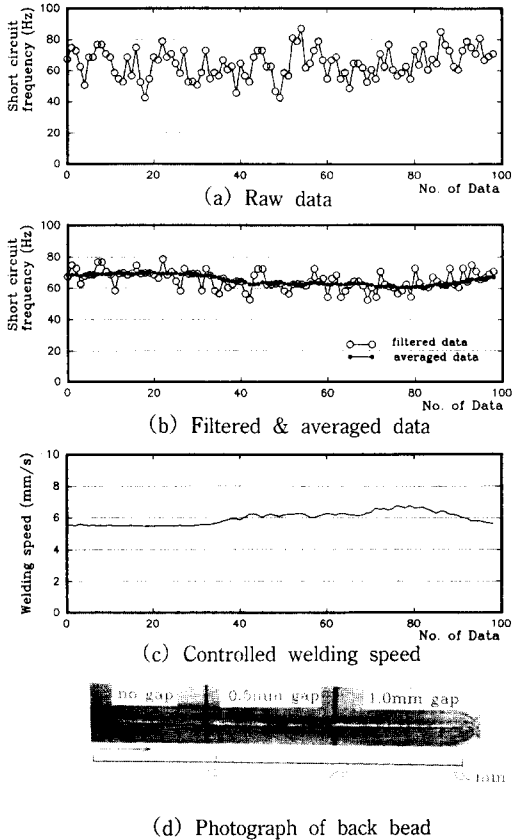


Fig. 11 Result of welding speed control at stepwise increasing root gap

구간에 영향을 받아 출력된 용접 속도는 Fig.7에서 제시한 각 루트간격에 대한 적정의 용접 속도 구간에 들게 되므로 이면비드의 급격한 변화는 발생하지 않는다.

Fig.12는 루트간격이 0mm에서 1.2mm로 연속적으로 증가할 때 제어한 결과이다.

제어한 결과를 보게 되면 루트간격이 변함에 따라 Fig.7에서 제시한 적절한 용접속도 범위 내의 값을 출력하여 변화하는 루트간격에 따라 좋은 이면비드를 형성하였다. 그리고 Fig.10과 비교해 보면 루트간격에 대한 적절한 용접속도를 출력하여 각 루트간격에 대해서 용락이 발생되지 않고 완전 용입이 일어남을 알 수 있다. 이렇게 변화하는 루트간격에 대해 적정의 용접속도를 출력하는 제어 시스템을 적용하여서 양호한 이면비드를 얻을 수 있었다.

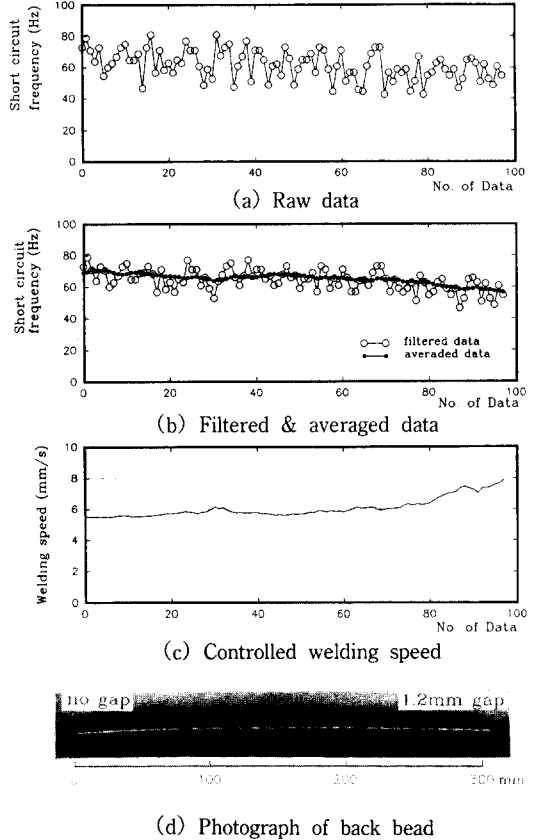


Fig. 12 Result of welding speed control at continuously increasing root gap

본 연구 결과를 용접 조건 즉 모재 두께 및 와이어 공급속도가 다른 경우에 적용하기 위해서는 그에 따른 실험 모델을 구해야 하며, 제어 시스템의 파라미터를 적절히 조정하여 적용하면 양호한 제어 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

#### 4. 결 론

2mm두께 판재의 맞대기 용접에서 루트간격의 변동을 단락 주파수로 감지하고, 실험적인 모델링으로 구한 루트간격과 적정 용접속도와의 관계를 이용하여 이면비드를 제어하는 시스템을 구축하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 루트간격이 커질수록 전극과 용융지 사이의 거리가 상대적으로 커지고 시편과 아크의 접촉 면적이 줄어들게 되어서 단락 주파수는 감소하게 된

다. 이것에 의해서 루트간격과 단락 주파수와의 관계를 설정할 수 있으며 실험적으로 구한 단락 주파수의 평균값은 0 mm gap에서 69.7Hz, 0.5 mm gap에서 64.4Hz, 1 mm gap에서 57.8Hz이었다.

2. 0 mm, 0.5 mm, 1 mm 루트간격에서 적정의 이면비드를 형성하는 용접속도를 실험을 통하여 구하였다. 이때 각 루트간격에 대한 적정의 용접 속도는 0 mm gap에서 5~6 mm/sec, 0.5 mm gap에서 5.5~7 mm/sec, 1 mm gap에서는 6.5~8 mm/sec였다.

3. 위의 모델을 기초로 하여 변화하는 루트간격에 대해 적정의 이면비드를 형성하기 위해서 용접속도를 제어하는 시스템을 구축하였다. 루트간격이 단계적으로 증가하는 시편과 연속적으로 증가하는 시편에서 용접속도는 점차 증가되어 용락이 없고 적절한 이면비드를 나타내는 용접결과를 얻을 수 있었다.

### 참 고 문 헌

1. T. Araya and S. Saikawa : Recent Activities on Sensing and Adaptive Control of Arc Welding, 3rd Int'l Conf. on Trends in Welding Research, Gatlinburg, USA, June(1992), pp. 833-842
2. H. Nomura, Y. Sugitani, Y. Suzuki, N. Tamaoki, Y. Kobayashi and M. Murayama : Automatic Control of Arc Welding by Arc Sensor System, Nippon Kokan Technical Report, Overseas No. 47(1986)
3. H. Wakamatsu, A. Iochi, K. Wakamatsu, H. Nomura and Y.Sato : Development and Application of Sensors and Sensor Systems for Arc Welding in Japan (part2), Doc. IIW-XII-962-86(1986)
4. K. J. Matthes and W. Renuat : Automating the MAG welding of butt joints, Schweisstechnik(Berlin), Vol.36, No.12, (1986), pp.536-538
5. Y. Kitazawa, Y. Nagai and T. Watanabe : Through the Arc Sensing System for GMA One Side Welding, (1986) IIW Doc. XII-931-86
6. S. Liu and T. A. Siewert : Metal Transfer in Gas Metal Arc Welding : Droplet Rate, Welding Journal, Vol.68, No.2, (1989), pp. 52.s-58.s
7. A. F. Manz : The "One Knob Welder", Welding Journal, 20-725 Vol.47, No.9, (1968), pp. 720-725
8. T. Mita, A Sakabe : Quantitative estimates of arc stability for CO<sub>2</sub> gas arc welding, Welding International, No.2 (1988), pp.152-159