特輯 : 용접 전원 시스템의 개발 동향

Spot 용접 전원 장치

An Introduction to the Power Sources for Resistance Spot Welding

김 용 식 · 임 태 진

Yong Sik Kim and Tae Jin Lim

김용식/한국용접공업(주)/1947년생/전기용접기의 전력제어 기술개발에 관심이 있음

임태진/한국용접공업(주)/저항용접의 제어알고리즘 및 인버터용접기 개발에 관심이 있음

1. 개 요

Spot 용접의 역사는 1877년에 E. Thomson이 발명한 것이지만 1886년 처음으로 저항 용접기의 특허를 취득할 때까지는 거의 실용화 되지 못하였다. 그 후 Thomson의 전기 용접기 회사가 저항 용접의 특허를 거의 독점한 관계로 커다란 발전없이 spot 용접에 관한 특허 분쟁이 해소된 1920년 이후 보급되기 시작하여 1935년경 부터 증가하였다. 초기에는 주로 맞대기 용접에 이용되고 전선의 접합이나 크게는 rail의 용접에까지 이르렀다. 금세기에 들어와서부터 spot 용접이나 seam 용접이 실용화되고 관련 용접 장치도 개발되었다. Spot 용접은 자동차 공업과 더불어 크게 발전하였으며 오늘날에는 spot 용접 생산의 약 2/3를 자동차 공업이 점유하고 있다. Spot 용접은 고온 압접의 일종으로 각종 압접 방법중에서 가장 많이 사용되고 있는 것이다. 접합하고저 하는 부분에 직접 고전류를 통하고 그 전류에 의한 저항 발열로 용접부의 온도를 상승시켜 용접하는 것으로서 극히 짧은 시간에 용접이 가능하고 고속, 고능률이므로 특히 다량 생산에 적합하다.

2. Spot 용접 전원의 종류 및 특징

Spot 용접법에는 그림 1에 나타낸 직접통전법이 가장 널리 이용되고 있지만 그림 2에 표시한 series, indirect 방법도 상당히 이용되고 있다. Series 방법에서는 분류 전류의 영향으로 상판으로 치우치는 nugget이 형성 되기 쉬운 결점이 있고 전극 배치, 전극 형상 등에 특별히 배려를 할 필요도 있다. 전용기에서는 그림 3처럼 다점을 동시에 용접하는 multi-spot 용접법도 채용된다

2.1 단상 교류식 spot 용접기

Spot 용접기는 그림 4처럼 용접 전원 개폐기. 제어장치(timer), 가압장치, 전극으로 되어 있다. 용접 전원은 단상 교류식이 압도적으로 많다 (spot 용접기의 90% 이상). 그림 4에 나타낸 것이 그 개요로서 3상 전원 중 1상에 thryristor(S. C. R)를 역병렬 접속으로 하고 용접 변압기를 접속하고 있

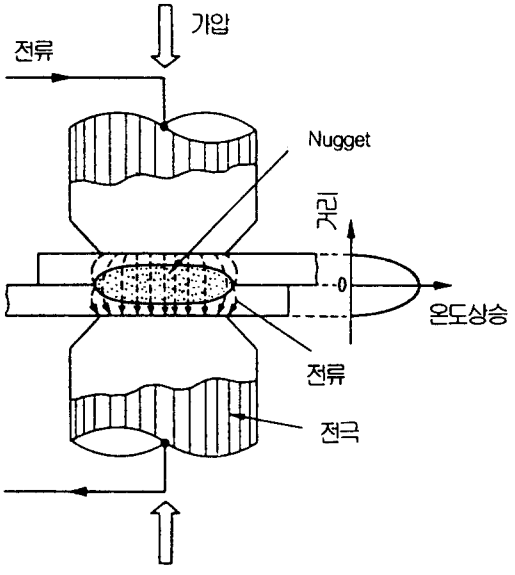

그림 1. SPOT 용접법의 원리

다. 일반 공장 동력으로서 사용되는 사용주파수 (60㎐)의 전력을 용접 변압기에 의해 저전압 대전류로 변환하는 것만으로 되기 때문에 구조가 간단하고 가격이 저렴하다는 것이 특징이지만, 상용주파수를 그대로 이용하고 있기 때문에 reactance가 커져 입력 전력 용량이 커지는 것과 3상 전원 중에서 1조만 부하가 걸리기 때문에 불평형 부하로 되는 결점이 있다. 대전류를 필요로하는 후판이나, aluminum 합금 등의 용접에서는 입력 소요 전력량이 커져 전원 설비상 여러가지 문제점이 나타난다. 이런 것을 해결하기 위하여 개발된 것이 3상저주파식, 3상 정류식 및 inverter식이다.

2.2 3상 저주파식 spot 용접기

3상 저주파식의 원리를 그림 5에 나타 내었다. 이 방식의 용접 변압기는 철심, 3조의 1차 coil과 1조의 2차 coil로 구성되어 있고 1차측에 3조의 coil은 3상 전원의 각 상에 방향이 다른 2개의 thyristor를 접속하고 있다. Thyristor A_1, B_1, C_1의 점호 위상을 제어하여 3개의 coil에 120°씩의 위상

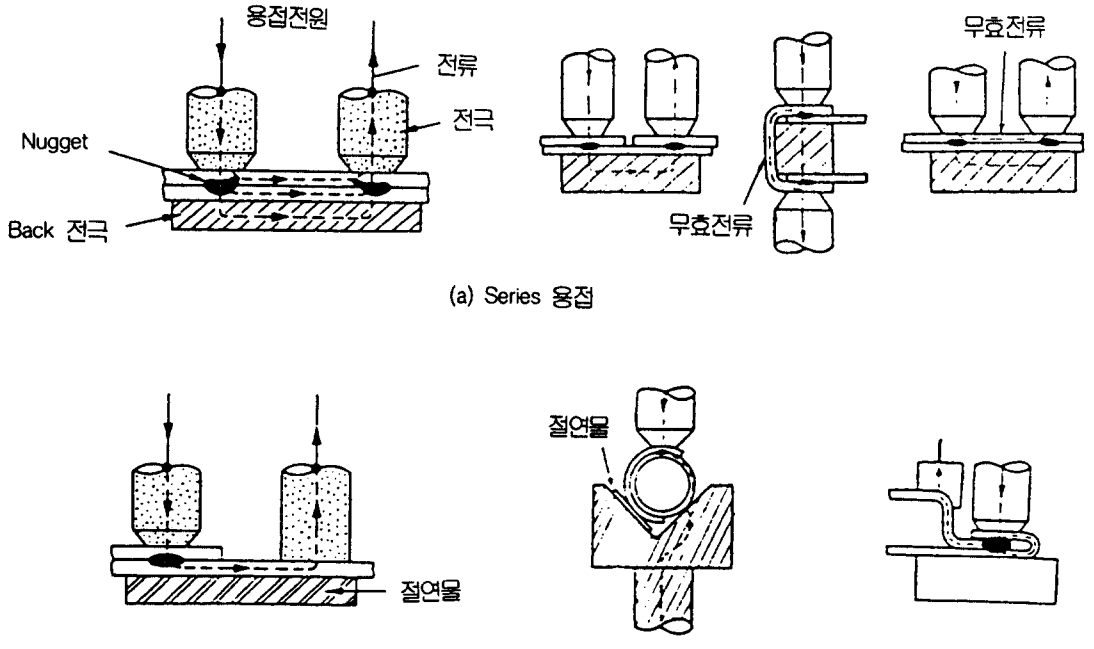

그림 2. Series 및 indirect spot 용접법

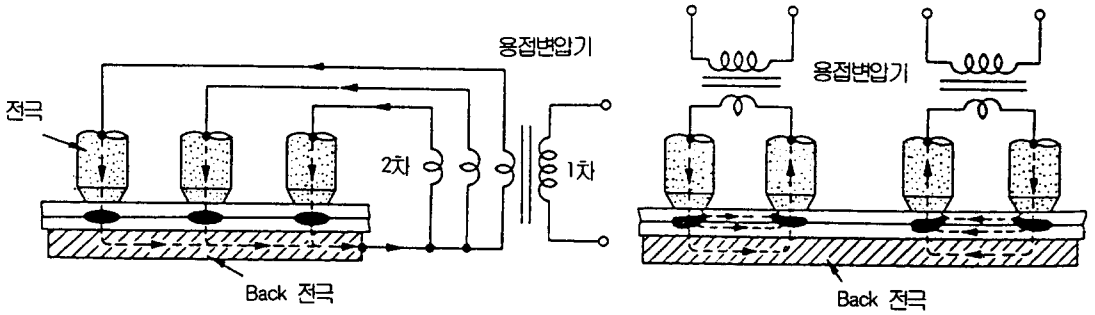

그림 3. Multi-spot 용접법

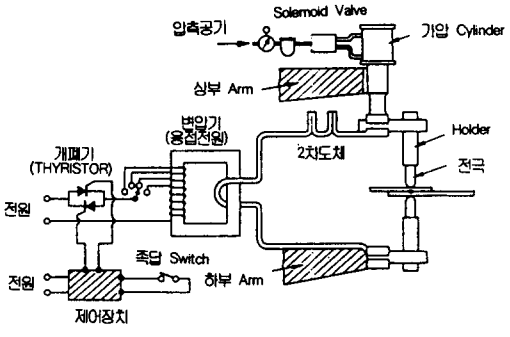

그림 4. 단상교류식 spot 용접기

차가 있는 동방향의 전압을 가하면 2차 coil에는 3상반파정류의 전압이 유기된다. 이 직류 기전력에 의해 2차 전류는 회로의 시정수에 따라 점차 증가하고 정상치에 달한다. 이 상태를 길게 유지하고 있으면 철심은 같은 방향으로 여자가 계속되어 자기포화가 일어나기 때문에 그 전에 다른 3조의 thyristor A_2, B_2, C_2를 점호하여 역방향의 전압을 1차 coil에 가해 여자방향을 절환하여 역방향의 전류를 흘린다. 이 조작을 반복하므로서 2차 전류는 3~15Hz의 저주파 전류가 얻어진다. 실제로는 정방향과 역방향의 전류 절환점에서 전압을 일시 인가하지 않는 시간 (cool time)을 만들기 때문에 용

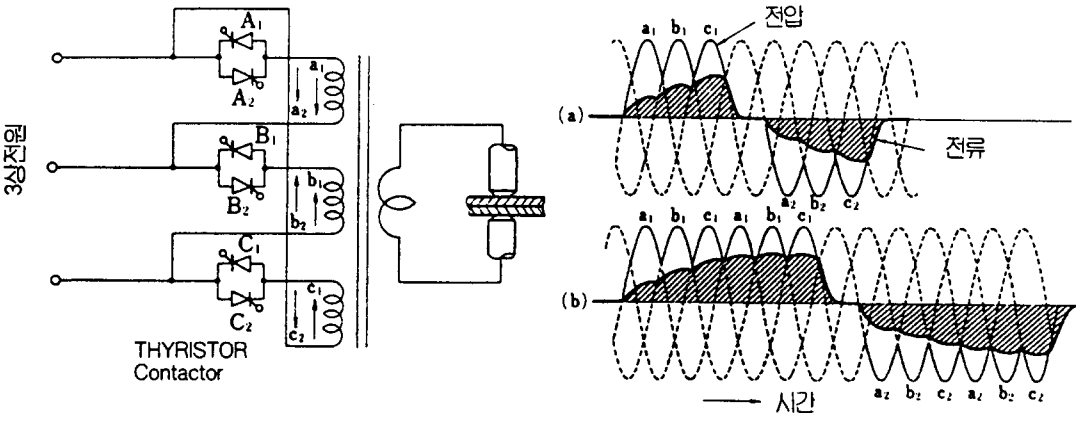

그림 5. 3상 저주파 용접기

접 전류는 통전과 휴지를 반복하는 pulse 통전으로 된다.

2.3 3상 정류식 spot 용접기

3상저주파 방식은 용접 변압기의 1차측에서 정류하는 방식인데 비해 3상정류방식은 용접 변압기의 2차 회로에서 용접 전류를 직접 정류하는 방식이다. 그림 6에 3상 정류 방식의 원리도를 나타내고 있다. 이 방식의 용접 변압기는 3상용 변압기가 사용되고 3상에 thyristor를 넣어 전류의 개폐와 전력제어(위상제어)를 하여 용접전류를 제어한다. 용접 변압기의 2차 coil에 정류기를 접속하여 2차 전류를 직접 정류하여 대전류의 용접전류를 얻는다.

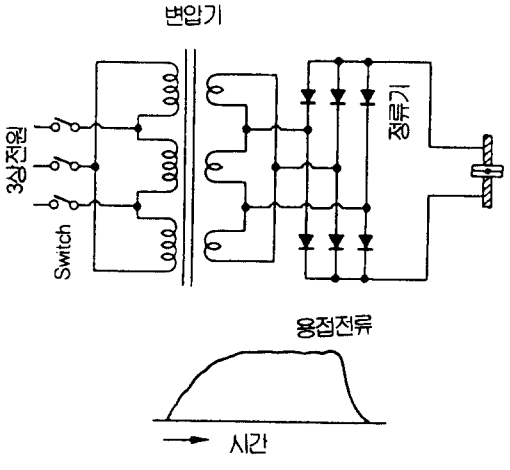

그림 6. 3상 정류식 용접기

2.4 Inverter식 직류 spot 용접기

Inverter식 직류 spot 용접기의 전기적 구성을 그림 7에 나타낸다. 기본적 구성은 현재 실용화 되어 있는 아크 용접기의 inverter전원 system과 거의 같다. 3상 상용전원에서 취해진 전류는 정류기로 먼저 직류화되고, 이것을 전해 condenser로 평활시킨후 switching 동작하는 GTO 소자나 transistor를 이용해 상용주파수보다 높은 주파수로 다시 교류화하고 이 교류 전류를 변압기 1차 회로에 공급한다. 그리고 이 변압기로 전압 변환후 2차 회로 전류를 전파 정류하는 구조로 되어 있으며, 각 부위의 전류 파형을 회로 구성도의 대응을 위해 각각 도식적으로 나타내었다. 저항 spot 용접기용 inverter 부위의 발진주파수는 의외로 낮아 600Hz~1KHz의 것이 대부분이다. 전원부나 용접부위로 부터 발생하는 소음을 억제할 목적으로 20KHz 근방의 발진주파수의 것이 채용되고 있는 아크 용접기에 비하면 저항용접기용은 상당히 낮은 주파수로 동작하고 있다. 저항 용접용에서는 아크 용접용에 비해 대전류를 switching 하는 것과 용접 현상으로 보더라도, 또한 주위의 소음으로 보더라도 그만큼 높은 주파수 전원을 필요로 하지 않으므로 두께 0.2mm 정도 이상의 강판을 spot 용접대상으로 하는 경우에는 현재 채용되고 있는 inverter 주파수로도 충분하다고 판단되고 있다.

2.5 Condenser식 spot 용접기

Spot 용접기의 최대 입력을 억제하기 위한 방식으로서 condenser식 spot 용접기가 있다. 이것은 낮은 입력으로 어느 시간동안 energy를 서서히 condenser에 축적해 놓고 이것을 순간적으로 방출하는 방식으로서 이것은 그림 8에 알리듯이 교류를 정류하여 얻어진 직류로서 condenser를 충전하고 여기에 축적된 1/2 CV^2의 energy를 용접 변압기에 순간적으로 방출하여 변압기의 권선비만큼의 증폭된 용접전류를 얻을 수 있다. 입력(kVA)을 극히 낮게 할 수 있다는 것이 최대의 특징이다. 또 0.001~0.005초 정도의 단시간 통전이기 때문에 접촉저항을 최대한으로 이용할 수 있고 열용량이 작은 소물 부품이나 aluminum의 spot에 적당하다. Condenser식 spot 용접기의 장점을 열거해 보면,

* 전원입력이 작고 소용량의 전원에서 쉽게 대전류를 얻을 수 있다.
* 3상 평형 부하이다.
* 역율이 좋다.
* 제어회로가 간단하다

단점으로는,

* 대용량의 condenser를 필요로 하고 용접변압기가 크게 되어 고가로 된다.
* 용접 속도가 늦다.

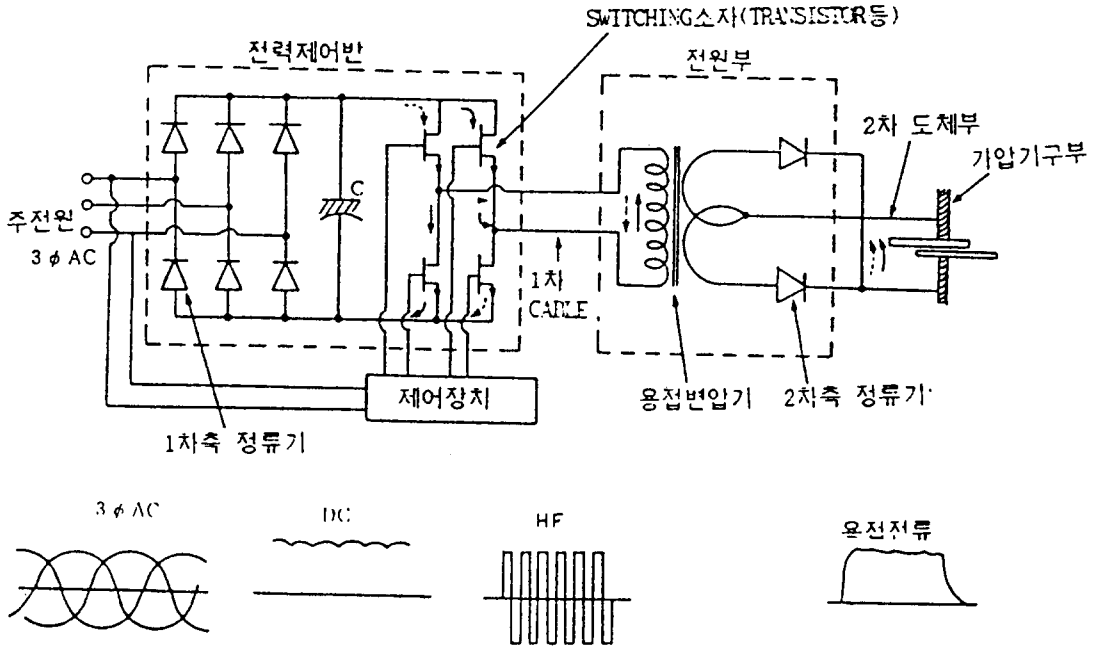

그림 7. Inverter식 직류 spot 용접기의 구성과 전류 파형

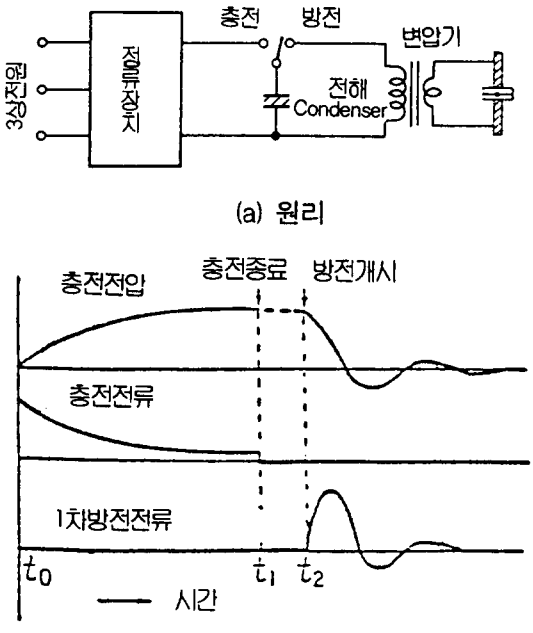

그림 8. Condenser식 spot 용접기의 구성과 전류 파형

* 방전전류의 감쇠가 빠르므로 용접시 열발생 기간을 길게 하는 것이 곤란하다.

3. 제어기술의 전망

저항 spot 용접은 박강판에 대하여 고능률의 신뢰성이 있는 용접 방법으로서 자동차, 전기기기, 박판 제관업계 등 공업품에서 가정용품에 이르기까지 폭넓게 이용되어 왔다. Spot 용접기도 공장 자동화, 설비의 보수, 신뢰성 향상 등의 요구에 대해 커다란 변화를 맞이하고 있다. 이를테면 robot에 탑재하는 spot 용접기는 gun의 head 부위 중량을 줄이고 입력 용량을 낮추기 위한 inverter 식 spot 용접기로 바뀌어가는 추세이다. 또, spot 용접기 제어부의 고기능화도 진행되어 조건 기능을 갖추고 통신기능도 장착된 programmable micom timer 가 주류로 되어 있다. 그러나, spot 용접기 분야에서 용접성의 개선은 주요한 것으로 입력 전압 변동에 대한 용접성 개선을 목적으로 한 정전류 timer가 과거에 개발 실용화 되었고 제어 응답성이 좋은 inverter 전원 채용 등이 있지만 본질적인 개

선에는 이르지 않고 있다. Micom timer가 주류로 되어 있지만 실제는 설정 기능이 computer 처리될 뿐이고 용접성을 개선하기 위한 적극적인 기능은 갖고 있지 않다. 이것은 종래 spot 용접은 표면처리 하지 않은 나강판이 주체이었기 때문에 통상의 용접 시공에서는 문제가 없었기 때문으로 생각된다. 그후 자동차 업계를 중심으로 표면 처리 강판, 고장력 강판 등이 많이 사용되고 있고 이러한 재료에 대해 용접 시공법의 개선을 필요로 되고 있다. 동시에 용접 작업의 자동화가 진행됨에 따라 용접 품질의 균일화, 고품질의 요구, 더우기는 용접 중에 발생하는 expulsion의 억제가 작업 환경 개선을 위해 문제로 되고 있다.

3.1 Fuzzy 적응 제어 방식의 용접기

3.1.1 Nugget 생성과정의 monitoring

용접 품질을 제어하려고 하면 nugget 생성 과정을 monitoring 할 필요가 있다. 저항 spot 용접에서 용접부의 품질 즉, nugget 경을 용접중에 정확히 monitoring 하려는 시도는 종래부터 많은 연구자들에 의해 행하여졌지만 나강판의 경우를 제외하고 아연 도금강판의 경우에는 용접품질을 정확히 monitoring 하는 것은 곤란하였다. 이 원인은 현재까지 개발 실용화 되어 있는 monitoring 장치는 용접 중의 검출량과 nugget경을 실험식을 이용해 결부시키기 위해 monitoring 장치의 사용에 앞서 많은 실험이 필요하고 더우기 적용 범위가 실험을 행한 범위에 한정되기 때문이라 판단된다. 이처럼 복잡한 현상에 대해서는 용접부에 수학적인 열 전달 model을 적용하고 가능한 용접 입력을 이용함에 따라 nugget의 생성 과정이 좀더 정확하게 추정 가능한 것은 이미 밝혀져 있다. 이 monitoring 장치의 기본 원리는 미리 피용접재의 종류와 물리적 재료정수, 판의 표면 상태, 전극의 전압 검출 위치 및 기용접점의 유무에 관한 정보를 주어놓고 용접중의 전극간 저항과 용접 전류의 계측 data에서 수

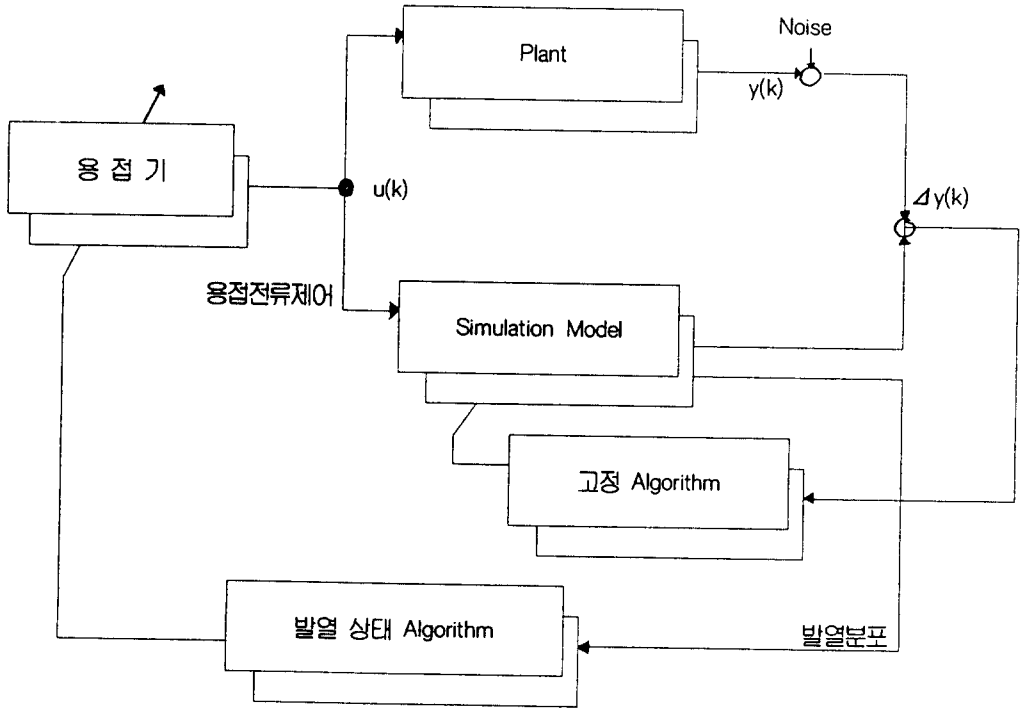

그림 9. Fuzzy 적응 제어 방식의 block diagram

치 계산을 하므로써 용접부의 온도 분포를 산출하여 nugget 생성 과정을 monitoring 하고 있다. 또, 이 monitoring 장치를 용접 품질 개선에 응용하는 것도 가능하여 monitoring 한 용접 타점의 data에서 다음 타점의 용접 조건을 제어하는 방법이 보고 되고 있다. 이처럼 열전도 model을 이용한 monitoring 방법은 fuzzy에 적응제어를 실행하는데 가장 적당한 방법으로 판단되지만 열전도 model을 이용한 종래의 monitoring 방법은 용접 data를 입력할때부터 수치, 연산처리를 종료할 때까지 1 cycle이상 걸려서 monitoring이 곤란하였다. 이 과제에 대해 계산격자수의 최적화, 연산 algorithm의 수정, DSP 회로의 처리 속도 고속화 등에 의해 fuzzy 적응 제어가 가능한 연산 속도까지 고속화 하는 것이 실현되었다.

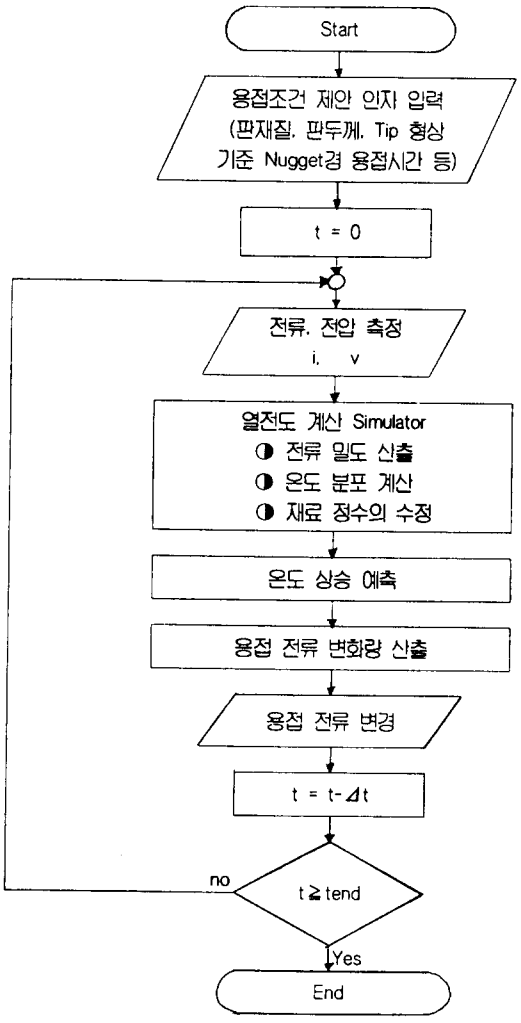

그림 10. 동작 flow chart

3.1.2 Fuzzy 적응제어 방식의 원리

열전도 model을 이용한 적응제어의 원리를 나타내는 것을 그림 9에 나타낸다. 용접부로부터 관측 가능한 물리량 u(k)를 검출하고 검출한 물리량 u(k)를 이용해서 열전도 model에 의한 수치 해석을 한다. 수치해석으로 얻어진 고정 algorithm을 이용해서 그 오차가 최소가 되도록 열전도 model을 수정하고 복잡한 용접상태를 정도좋게 추천할 수 있다. 더우기 이 연산을 용접개시부터 현실의 용접 과정과 같은 시각에 하므로써 진행중의 용접 상태를 real time으로 monitoring 하는 것이 가능하게 된다. 이 용접 과정 중에 추정되는 용접 상태에서 nugget의 생성에 관계하는 상태량 c(k)를 산정하고 그 값에 대응하여 용접 조건 제어를 한다. 이처럼 용접중에 real time으로 추정되는 용접 상태를 용접 종료까지 feedback하여 최적의 용접조건으로 제어하면 용접 종료시에는 안정한 nugget경의 확보가 실현되며 이것을 계통도로 표시하면 그림 10과 같다. 열전도 model에 의한 수치해석 및 제어

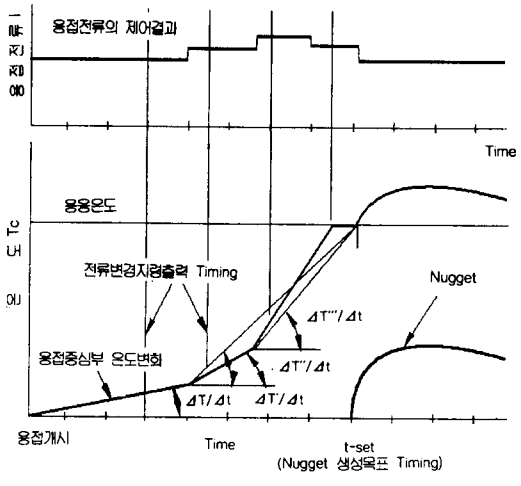

그림 11. 온도 구배에 의한 feedback

는 용접 과정중에 일정 간격의 시간 단위(Δt)마다 행한다. 수치해석에 필요한 기하학적 조건 (판두께 h, 전극 형상)과 물리적 성질을 나타내는 정수를 미리 입력하고 먼저 거론한 관측 가능한 물리량으로서 시간 단위 마다 용접 전류와 전극간 전압을 측정한다. 그리고, 양 검출값을 이용해서 열전도 model에 의한 수치해석을 하면 용접부의 온도 분포를 구할 수 있다. 이렇게 열 전도 model을 이용하면 외관에서 관측할 수 없는 spot 용접의 용접 상태가 보다 구체적인 온도 분포로서 관측 가능해진다. 여기서 용접부의 온도 시간 변화 (온도 구배)에 착안하면 그것을 용접부 발열상태를 나타내고 있고 이 용접부의 온도 구배에 의해 품질 확보에 필요한 nugget경이 생성되는가를 추정할 수 있다. 또 온도구배에 따라서 적정한 용접 전류를 변화시키면 용접부에 필요한 nugget경이 생성되도록 발열 상태를 제어할 수 있다. 그림 11에 나타낸 시간 단위 마다의 발열 상태를 표시한 온도 구배를 feedback 하므로써 보다 확실하게 고정도의 nugget경 확보를 실현하고 있다.