

# 전자빔 용접시 자기에 의한 빔 편향과 탈자에 관한 고찰

## A study on beam deflection by magnetism and demagnetizing in electron beam welding

손현락\*, 이규식, 정인철  
한국중공업 기술연구원

### 1. 서론

전자빔 용접은 전자총에서 고속으로 가속된 전자가 모재와 충돌하면서 발생하는 열을 이용하여, 모재를 용융 접합 시키는 용접방법이다. 이 용접방법은 용입이 깊고 고정밀, 고품질 용접이 가능하다는 등의 고유 특성으로 인해 소요 경비보다 고정밀/고품질의 용접을 필요로 하는 방산, 우주/항공분야에 사용되는 진보된 용접방법에 속한다.

본 시험은 전자빔 용접시 자기에 의해 발생하는 빔 편향현상을 분석하고, 소재의 자기를 제거하는 탈자장치 및 기술을 확보하기 위해 실시되었다.

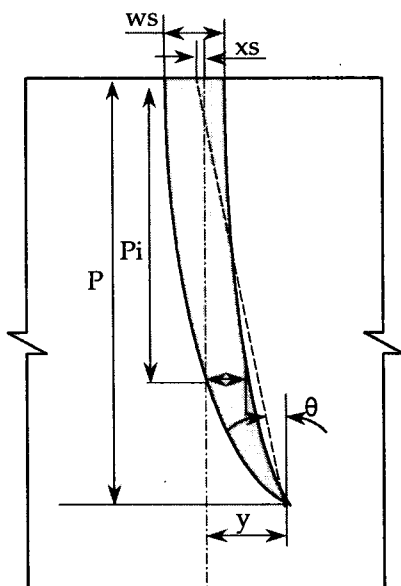
### 2. 시험

#### 2.1 용접시험

##### (1) 시험방법

시험은 t100× W60× L300mm 로 절단/가공한 후 클램프를 이용하여 고정시켰고, 자기량 측정은 Gauss meter 탐촉자의 접촉점을 20mm 간격으로 위치를 마킹한 시험표면에 접촉시키는 방법으로 측정하였다. 측정시 시험의 방향은 고려하지 않았으며, N 극을 +, S 극을 -로 표현하였다.

시험에 사용된 전자빔 용접장비는 가속전압 60kV 용량의 것이며, 동종 또는 이종재질간 용접후 절단하여 Macro 를 통해 빔 편향량을 분석하였고, 사용된 용접조건은 표 1 을 기초로 하였다.



- ws : 비드 폭(시험표면 용융부 폭)
- wi : 용접선에서 빔이 이탈하기 시작하는 지점의 용융부 폭
- xs : 표면에서 용융부 중심선과 용접선간 거리
- P : 용입깊이
- Pi : 표면에서부터 빔이 이탈하기 시작하는 지점까지의 용입깊이
- y : 용입 끝단부에서의 빔 이탈거리
- θ : 빔 편향각

Fig. 1 Macro 시험의 측정부위

표 1 적용 용접조건

| 변 수                  | 적용치                | 변 수             | 적용치  |
|----------------------|--------------------|-----------------|------|
| 시편두께(mm)             | 100                | 초점 전류(mA)       | 1180 |
| Depth. of fusion(mm) | 70                 | 표면에서 초점간 거리(mm) | -32  |
| 조인트 갭(mm)            | 0                  | 전자총과 초점간 거리(mm) | 222  |
| 빔 편향(deg)            | 0                  | 오실레이션 폭(mm)     | 0.4  |
| 진공도(torr)            | $2 \times 10^{-4}$ | 오실레이션 주기(Hz)    | 800  |
| 예열온도(°C)             | 18                 | 용접속도(mm/min)    | 200  |
| 빔 전류(mA)             | 518                | 빔 Run-in(s)     | 1    |
| 전자총 & 시편간 거리(mm)     | 190                | 빔 Run-out(s)    | 1    |

(2) 시험결과

용접전 측정자기가 -5 ~ +34G 이고 SA516-70 재질 용접에서는 약 2.9° 의 빔 편향이 발생되었고, SA387Gr11 과 SM400B 의 이중재질간 용접(측정자기 0 ~ +2G)시에는 1.7° 의 빔 편향이 발생되었다.

표 2 Macro 후 측정 결과

| 시편번호 | 자기량(G)   | ws(mm) | wi(mm) | P(mm) | Pi(mm) | y(mm) | xs(mm) | $\theta$ (°) |
|------|----------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------------|
| AA-1 | -5 ~ +34 | 8.0    | 5.0    | 70.0  | 49.5   | 3.6   | 0.7    | 2.9          |
| BC-1 | 0 ~ +2   | 9.2    | 3.2    | 68.0  | 61.0   | 2.0   | 0      | 1.7          |

2.2 탈자시험

(1) 탈자장치

탈자는 다양한 형태의 작업물에 적용 가능하도록 단면적 200 mm<sup>2</sup> 케이블을 이용한 유도자기장 이용 방식을 적용하였고, 극후판 내부 탈자가 가능한 직류 펄스형 파형(Fig.7)이 출력되도록 장치를 구성하여 사용하였다.

(2) 시험방법

먼저 설정한 탈자 변수의 출력 정도를 파악하기 위해 오실로그래픽 기록계를 이용하여, 출력 전압파형을 측정하였다. 탈자 시험은 케이블을 최대 100mm 이내 간격으로 Winding 한 상태에서 수행하였으며, 시편의 재질, 형상 및 두께 등을 변화 시키면서 탈자 전/후의 자기량을 측정하여, 비교/분석 하였다.

(3) 시험결과

출력파형은 설정치의  $\pm 5\%$  이내의 정도를 가진 것으로 나타났으나, 극변화시 약간의 Overshoot 가 존재하였다. 탈자 능력은 일반 탄소강, 저합금강, 12Cr 스테인레스강의 경우 탈자전  $\pm 35G$  범위의 자기가 탈자후 약  $\pm 2G$  이내로 탈자 되었으며, 적용 가능한 두께는 일반 탄소강의 경우 약 400mm 정도로 파악되었다.

2.3 이중재질 용접시 빔 편향방지를 위한 시험

본 시험은 이중재질간 용접시 탈자후에도 발생하는 빔 편향을 방지하기 위해 실시되었다.

(1) 시험방법

SA387Gr11 과 SM400B 재질의 시편을 2.1 항의 시험과 동일한 규격으로 절단/가공하여 이용하였

으며, 빔 조사각 변경, 2 패스 용접, 차폐판 적용의 세가지 방법에 대해 용접시험을 통해 결과를 분석하였다. 적용한 용접조건은 표 1 과 유사하며, 표 1 과 비교하여 달리 적용된 용접변수는 표 3 에 정리하였다.

표 3 시험방법별 용접조건

|             |                                    |
|-------------|------------------------------------|
| 빔 조사각 변경 용접 | 빔 편향 : 2° (용접선 기준 SA387Gr11 측)     |
| 차폐판 적용 용접   | 초점전류 : 1165mA, 전자총과 초점간 거리 : 242mm |

### (2) 시험결과

실제 접합된 용입깊이와 빔에 의해 용융된 깊이 비인  $(P_i/P) \times 100$  으로 결과를 표현해 보면, 빔 조사각을 변경한 방법의 경우 약 99~100%, 2 패스 용접을 적용한 경우 98~100%, 차폐판을 이용한 경우 90~98%의 결과를 얻을 수 있었다.

### 3. 결론

본 시험을 통해 전자빔 용접시 빔 편향은 소재의 잔류자기 및 용접시 발생하는 표류자기에 기인되며, 방지를 위해서 탈자가 필수적으로 요구됨을 확인할 수 있었다.

특히 탈자는 잔류자기에 의한 빔 편향을 최소화할 수 있는 것으로 나타났으며,  $\pm 2 \sim 3G$  이하의 탈자 품질이 요구되는 것으로 분석되었다. 그러나 이중재질간 용접시 크게 발생하는 표류자기는 탈자만으로 완전한 방지가 어려우며, 작업 및 제품 조건에 맞게 용접조건을 이용하여 빔 편향을 방지하는 방법이 추가적으로 적용되어야 함을 확인할 수 있었다.

### 4. 참고문헌

- (1) The origin and effects of magnetic fields in electron beam welding : P. J. Blakeley, A. Sanderson
- (2) Application of electron beam welding to steam turbine diaphragm : Y. Akutsu, H. Kita, T. Nakazaki, S. Ninomiya, T. Shida,
- (3) EB welding residual magnetism problems-Proposed solutions : Framatome technical center

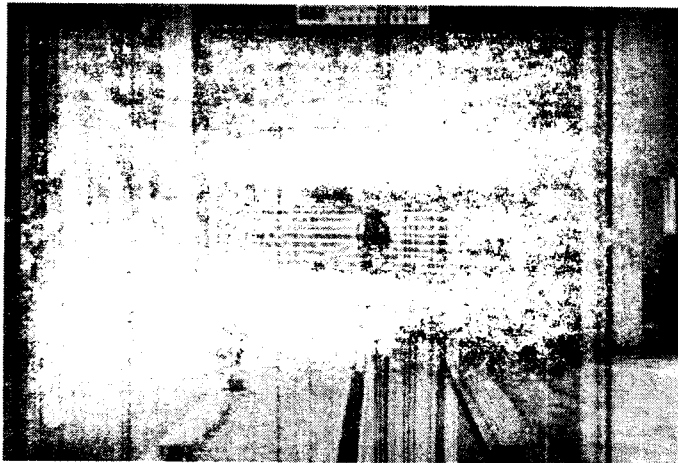


Fig. 2 전자빔 용접장치

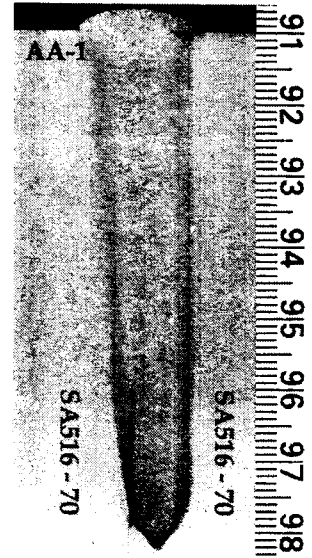


Fig. 3 자기분포(-5~34G)

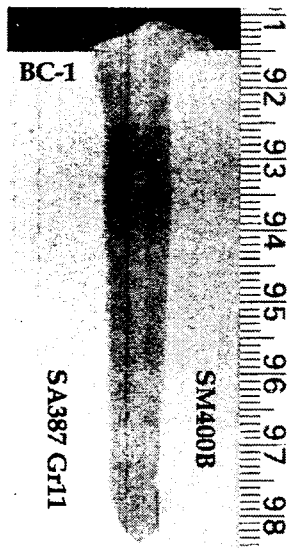


Fig. 4 자기분포(0~2G)



Fig. 5 자기분포(0~2G)

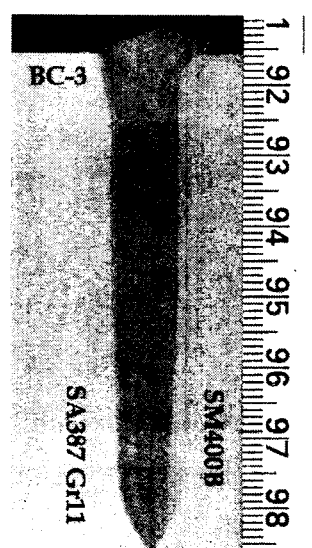


Fig. 6 자기분포(0~2G)  
빔 조사각 : 2°

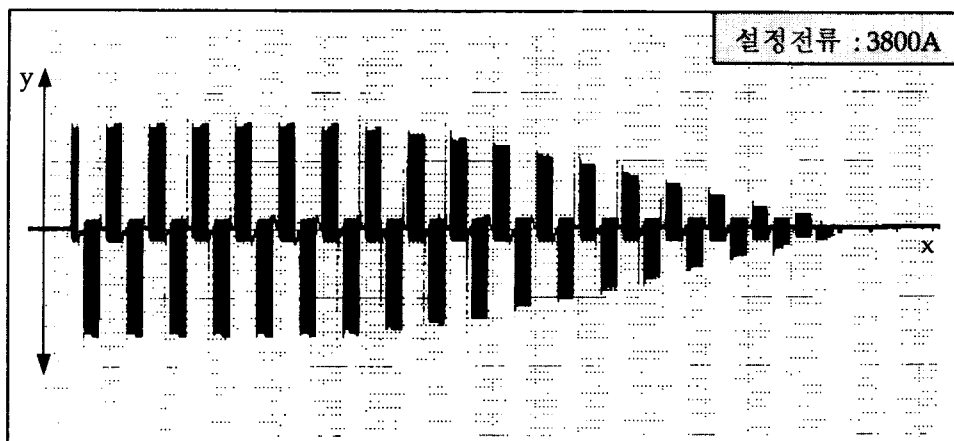


Fig. 7 탈자시 전압(전류)파형 변화(x 축 : 시간, y 축 : 전압)