

## 다층 용접부 각 변형에 미치는 용접 중 가진의 영향

The effect of vibratory stress conditioning on angular distortion of multi-pass butt welds

전 유철\*, 한 익승\*, 한 명수\*

\* 대우조선해양(주) 산업기술연구소

### 1. 서 론

다층 용접이 적용되는 후판 조립 부재에서는 각 조립단계별로 용접변형이 필연적으로 발생되고 있으며 용접변형의 교정을 위한 추가 작업도 각 조립단계 및 후 공정에서 반복적으로 수행되고 있다. 용접 구조물의 정도관리를 위해 부재의 가열에 의한 변형 방지 및 교정법이 용접 전, 후에 걸쳐 많이 사용되고 있으나 가열을 통한 변형 방지 및 교정법은 이로 인한 인접영역의 2차 열 변형을 초래하기 때문에 가급적 부재에 열을 가하지 않고 용접부재에 요구되는 조립정도를 확보할 수 있는 용접변형 제어 방법의 개발이 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 용접 잔류응력 완화법으로 알려진 VSR(Vibratory Stress Relief)법을 개량하여 후판 구조물의 다층 용접 작업과 병행하여 가진을 적용함으로써 열 응력 및 냉각과정의 수축 변형을 완화시켜 용접 구조물의 최종 조립정도를 향상시킬 수 있는 기술에 대한 실험적 검토를 수행하였다

### 2. 맞대기 다층 용접부 변형 실험

용접 변형은 용접 금속과 모재 사이에 가열과 냉각 사이클의 전 과정을 통한 불균일한 팽창과 수축으로 인하여 발생하게 된다. 이러한 용접 변형 감소를 위해 VSRDW(Vibratory Stress Relief during welding)법은 용접 중 용접부 근방에 가진기에 의한 진동 기진력을 부여하여 열 응력 및 냉각과정의 수축 변형을 완화시키는 방법이다. 본 연구에서는 맞대기 다층 용접부의

2G(수평 용접) 및 1G(아래보기 용접) 시험편을 대상으로 용접 중 가진이 각 변형형에 미치는 영향을 평가하기 위한 변형 실험을 수행하였다.

#### 2.1 시험편 형상

본 실험에 이용한 시험 재료는 30mm 두께의 EH 36 grade이며, 시험편 형상을 Fig. 1에 나타내었다.

#### 2.2 용접 조건

Table 1에 2G 용접 시험편에 적용한 용접 조건을 나타내었고, 용접 시 용접 속도를 일정하게 유지하기 위해 Carriage를 사용하였다.

#### 2.3 변형량 측정

모든 시험편에 대해 초층 및 제2층의 용접을 행한 후의 상태를 초기 상태로 정하고 용접 층수에 따른 각 측정점에서의 변위 변화를 매 용접 층 완료 후 측정하였다. 본 연구에서 측정 방향은 용접선과 평행한 방향을 X방향, 용접선의 직각 방향을 Y방향으로 정의하였다. Fig. 2는 변형 측정에 이용한 측정 장치를 보여주고 있다.

#### 2.4 가진 실험

실험에 사용한 장비는 진동 응력 완화 장치(Formular 62)이며, 장비의 기본 구성은 가진기, 진동 조절기, 증폭 조절기, 공진 지시기, 가속도계 등으로 되어 있다.[1] VSRDW법을 이용한 변형 실험을 위해서는 가진 조건의 설정이 필요하다. 따라서 VSRDW법 적용 실험 전에 시험편에 가진기를 부착하여 가진 실험을 수행하였다.

### 3 맞대기 다층 용접부 변형 실험 결과

#### 3.1 가진 조건 설정

VSRDW법 적용 시 고려되는 사항으로는 주파수 및 이에 따른 진폭, 가진 시간, 가진기의 위치 등을 들 수 있다. Munsri 등은 고 주파수 및 가진 시간은 잔류응력을 감소시키는 효과가 없으며, 가진의 진폭이 증가 하는 경우 용접 균열 발생의 우려가 있다는 결과를 보고한 바 있다 [3-5].

본 연구에서는 VSRDW법에 대한 이전의 연구 결과를 참고하여 가진 실험 결과로부터 얻은 공진 주파수에서의 최대 진폭의 10%를 나타내는 주파수를 VSRDW법 적용 실험에 대한 가진 조건으로 설정하였다.[2-6]

#### 3.2 변형 측정

##### 3.2.1 연속 측정

Fig. 3은 시험편의 용접 중 발생하는 두께방향으로의 수직 변형량( $z$  방향 변형량)의 시간적 변화를 연속 측정한 결과이다. 용접 시작부터 200초 부근까지 변형량의 급격한 증가가 나타나고 있으나, 200초 이후는 거의 변화 없이 일정한 값으로 수렴하고 있다. 용접 pass 수가 작은 초기에 변형이 크게 나타났으며 용접 층이 증가할수록 변형량이 점차로 감소 되어감을 알 수 있다.

##### 3.2.2 각변형량

Fig. 4는 2G 시험편 각변형량의 변화를  $x=800\text{mm}$ 인 지점에서 용접선 직각 방향 ( $y$  방향)을 따라 측정한 결과를 보여주고 있다. 무 구속 조건 2G 시험편에 대한 최종 변형 측정 결과를 보면 VSRDW법 적용 결과는 미 적용 결과에 비해 최종 각변형량이 크게 나타났으며, 최종 용접 시공 pass 수는 감소함을 보였다. 이는 가진기에 의한 동적 기진력이 용접부 부근의 횡 수축(transverse shrinkage)에 영향을 주기는 하지만 각변형량을 줄이기보다 오히려 증가시키는 방향으로 작용한다는 결과를 나타내며, 이러한, 횡 수축의 증가로 인해 동일한 용접 조건에서 최종 용접 시공 pass 수는 감소하는 결과를 나타내었다고 판단된다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 후판 다층 용접부의 각 변형에 미치는 용접 중 가진의 영향을 평가하기 위해 용접 잔류응력 완화법으로 알려진 VSR(Vibratory Stress Relief)법을 개량한 VSRDW(Vibratory Stress Relief During welding)법을 다층 용접부에 적용하였으며 일련의 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 용접 변형은 용접에 의해 높은 열이 발생하게 되는 용접 중에 급격히 증가하며, 용접 종료 후에는 거의 변화가 없이 일정한 값을 나타내었다.

2) 용접 pass 수가 작은 초기에 상대적으로 변형이 크게 나타났으며 용접 층이 증가할수록 변형량이 점차로 감소 되어감을 알 수 있다. 이는 용착 금속이 모재 두께 방향으로 적층 될수록 시험편의 굽힘 강성이 증가하기 때문이다.

3) VSRDW법 적용 시 가진기의 위치 및 가진 시간은 변형량에 영향을 미치지 않았다.

4) VSRDW법 적용 시 가진기에 의한 동적 기진력이 용접부 부근의 횡 방향 수축 현상을 발생시켜 변형량은 증가하며, 최종 용접 층수는 감소하였다.

5) 다층 용접부 VSRDW법의 유효성에 대한 최종적인 판단을 위해서는 VSRDW법 적용으로 인해 각변형량이 증가한 이유를 밝히고 그 결과를 이용하여 변형량 감소를 위한 제 조건을 설정한 실험적인 평가가 필요하다.

### 참고문헌

1. Resonant vibration method for reducing residual stresses in welded or machined fabrications, Schelde Exotech
2. Summary of research data using META-LAX technology, BONAL Technology Inc.
3. A.S.M.Y.Munsi, A.J.Waddell, and C.A.Walker, Modification of welding stresses by flexural vibration during welding, Science and Technology of Welding and Joining 2001 Vol.6 No.3
4. A.S.M.Y.Munsi, A.J.Waddell, and C.A.Walker, Vibratory weld conditioning : treatment of specimens during cooling, Proc Instn Mech Engrs Vol. 214 Part L
5. A.S.M.Y.Munsi, A.J.Waddell, and C.A.Walker, Vibratory weld conditioning the effect of rigid body motion vibration during welding, Department of Mechanical Engineering, University of Strathelyde, Glasgow, Scotland
6. Fabrication accuracy through distortion control, Ingalls Shipbuilding Inc., NSRP No. 0314, 1990

Table 1 Welding conditions applied for 2G specimen of unrestrained state

Layers	Process	Position	Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)
Root (1 Pass)	FCAW	1G	220	26	19
Root (2 Pass)			280	31	32
Fill & Cap (3 ~ 24 Pass)		2G	260	26	45

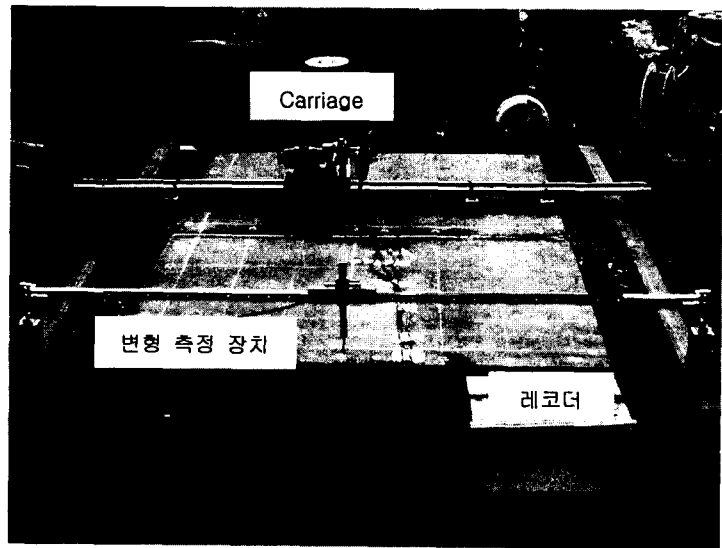
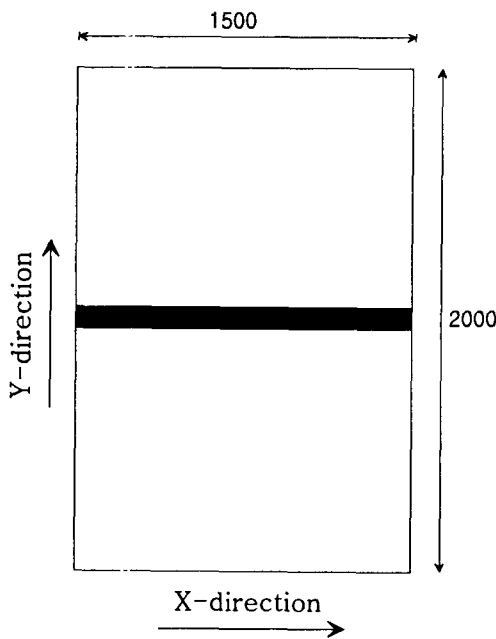


Fig. 1 Configuration of specimen

Fig. 2 Equipment set-up for deflection measurement

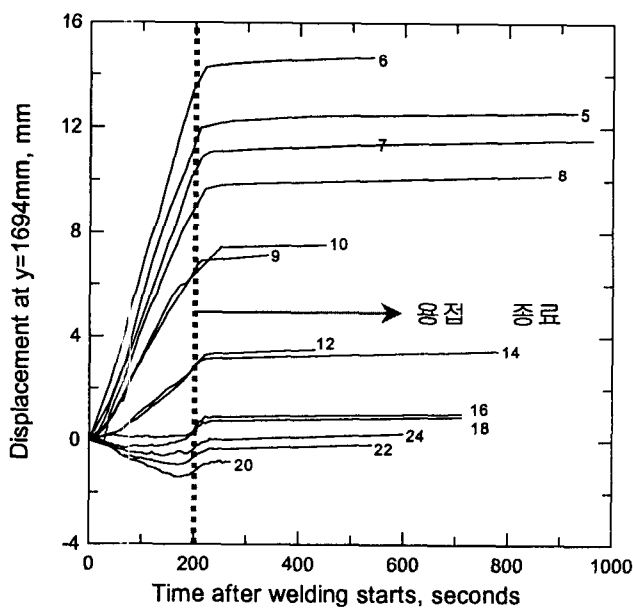


Fig. 3 Variation of deflection perpendicular to the weld line

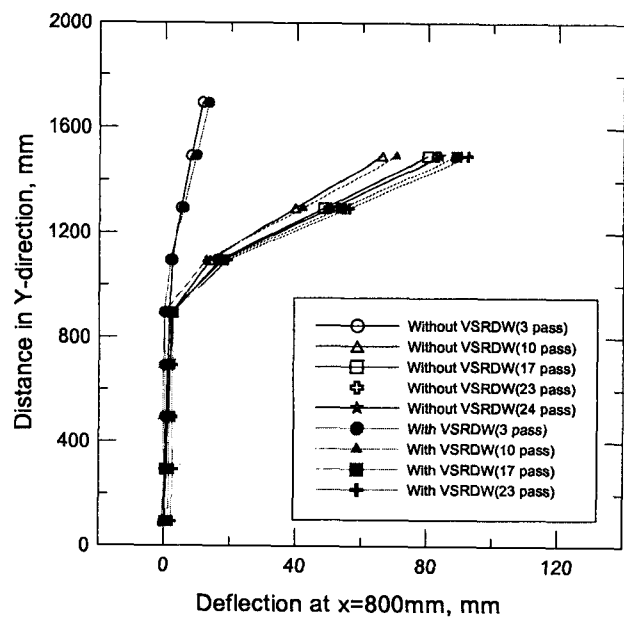


Fig. 4 Comparison of transverse deflection with and without VSRDW