

용접각변형에 미치는 용접길이의 영향

박 정 응* · 이 해 우**

*조선대학교 토목공학과

**한진중공업(주)

The Effects of Welding Length on the Angular Distortion

Jeong-Ung Park* and Hae-Woo Lee**

*Dept. of Civil Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

**Hanjin Heavy Industries, HHIC Technology Institute, Youngdo-gu, Busan 606-796, Korea

Abstract

To estimate welding deformation for large steel structures, either experiment result with small specimen or analysis result of FEM with small numerical model is used. Consequently, it is important to decide the welding length of specimen and numerical model not to have an effect on welding deformation for accurate estimation of whole welding deformation.

This study experimentally clarifies the effect of welding length on angular distortion due to welding by varying welding length of specimens, but fixing width and thickness of specimens on V-groove butt welding, fillet welding and bead on plate welding. As a result, the critical welding length on fillet welding and on bead on plate welding is over 500mm and on V-groove butt welding is over 1,000mm.

* Corresponding author : jupark@mail.chosun.ac.kr

(Received February 24, 2005)

Key Words : Critical welding length, Welding distortion, Large steel structure

1. 서 언

강구조물 제작 시 용접프로세스에 의해 발생하는 용접부 근방의 불균일한 온도분포와 급속가열·냉각과정에서의 열응력에 의한 소성변형으로 인하여 최종적으로 용접잔류응력과 용접변형이 발생하게 된다. 특히 용접변형은 좌굴강도와 피로강도를 저하시킬 뿐 아니라 구조물의 크기와 형상을 변화시켜 이를 교정하거나 수정하기 위해 추가작업을 실시해야함으로 생산성을 저하시키는 주된 요인이 되고 있다. 따라서 이러한 용접변형을 사전에 예측하기 위한 연구¹⁻⁵⁾가 국내/외에서 활발히 진행되고 있다.

용접변형을 예측하기 위한 수치해석은 기존 열탄소성 해석법을 이용한 소형시험편의 변형예측의 단계에서 대형 강구조물을 대상으로 한 등가하중법과 고유변형도법

에 관한 연구가 이루어지고 있다. 등가하중법은 소형시험편에서 측정된 용접변형을 등가하중으로 치환시켜 탄성수치해석을 통해 용접변형을 예측하는 방법이다. 또한 고유변형도법은 간이 열탄소성해석 또는 소형 용접모델에 대해 열탄소성해석을 수행하여 용접부의 고유변형도 분포를 구해 이를 탄성해석을 통해 용접변형을 예측하는 수치해석방법이다. 위의 두 가지방법은 해석특성상 소형시험편의 실험이나 열탄소성해석으로부터 대형 강구조물의 용접변형을 예측하기 때문에 용접변형에 영향을 주지 않도록 시험편의 크기와 해석모델의 크기(입계 용접길이)를 결정하는 것이 전체 용접변형의 정도를 향상시키는데 매우 중요하다.

입계 용접길이에 대한 연구는 Terasaki⁶⁾에 의해 수행되었으며, 그는 비드 온 플레이트(Bead On Plate) 용접을 대상으로 실험결과와 고유변형도법에 의한 수치해석결과를 비교하였다. 그의 논문에서는 용접 각변형

에 영향을 주지 않은 임계 용접길이를 500mm 로 제시하였다. 그러나 현장에 널리 적용되고 있는 필렛용접과 맞대기 그루브용접에 대한 임계 용접길이에 대한 연구가 수행되지 않아 높은 정확도의 용접변형을 예측하기 위해서는 다양한 용접부 형상에 대한 임계 용접길이에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 실험적 방법을 통해서 맞대기 V형 그루브용접, 필렛용접 그리고 비드 온 플레이트 용접에 대해, 부재의 폭과 두께를 일정하게 하고 용접길이만을 변화시킴으로써 용접 각변형에 미치는 용접길이의 영향에 대해 검토하였다. 그 결과 용접개선 형상에 따른 임계 용접길이를 도출하였다. 이를 통해 용접변형 예측을 위한 해석과 실험에 있어서 해석모델과 시험편의 크기를 결정하는 기준을 제시하였다.

2. 용접각변형 시험편 및 실험조건

용접 각변형에 미치는 용접길이의 영향을 검토하기 위해 서로 다른 용접부 그루브형상에 대해 시험편의 폭과 두께를 일정하게 하고 용접길이만을 변화시켜 용접 실험을 실시하였다. 용접부 그루브형상은 일반적으로 많이 사용하는 V그루브 용접, 필렛용접 그리고 비드 온 플레이트 용접이다.

2.1 시험편 형상 및 치수

맞대기 V 그루브 용접의 시험편 형상을 Fig. 1(a)에 보여주고 있다. 시험편의 폭(B)은 600mm, 두께(t)는 10mm 로 일정하게 하고 용접길이(L)만을 500, 700, 1,000 1,500mm 로 변화시키면서 용접하였다. 필렛용접의 시험편 형상을 Fig. 1(b)에 보여 주고 있다. 시험

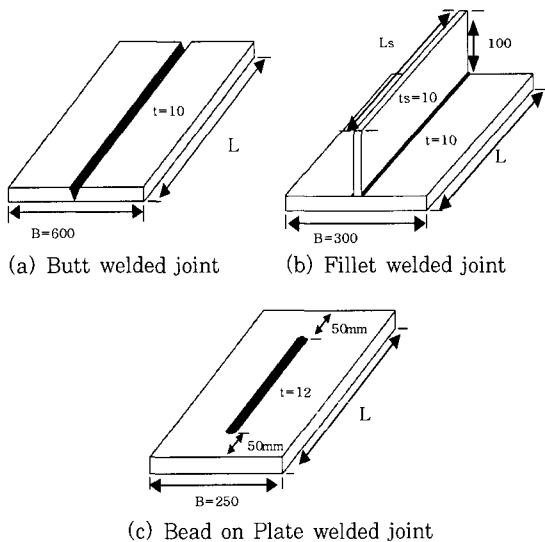


Fig.1 Type of welded joint

편의 폭(B)은 300mm, 두께(t)를 10mm 로 일정하게 하고 용접길이(L)만을 500, 1,000mm로 변화시켜 용접하였다. 비드 온 플레이트용접의 시험편 형상을 그림.1(c)에 보여 주고 있다. 시험편의 폭(B)은 250mm, 두께(t)는 12mm로 일정하게 하고 용접길이(L)를 200, 300, 400, 500, 1,000, 1,500mm로 변화시켜 용접하였다.

2.2 용접조건

시험에 사용한 강재는 모두 KSD 3515 이고, 맞대기 그루브용접은 플릭스 코어드 아크용접기를 이용하여 40° V그루브를 총 3 Pass로 용접하였다. 용접조건은 초층은 전류 220(A), 전압 28(V), 용접속도 3(mm/s) 이고, 2 ~ 3Pass-용접조건은 전류 290(A), 전압 32(V), 용접속도 5.5(mm/s)이다. 용접와이어는 맞대기용접과 필렛용접에서 모두 DW- 100(1.4φ), 맞대기 그루브용접시 백킹재는 세라믹 BS-1을 사용하였다. 필렛용접에서는 각장이 4.5mm, 용접조건은 전류 240(A), 전압 26(V), 용접속도 8(mm/s)이다. 비드 온 플레이트용접은 1Pole 서브머지드 아크용접(4.8φ)을 사용하였고, 용접조건은 전류 250A, 전압 40(V), 용접속도 8.5 (mm/s)이다. 필렛용접과 맞대기용접의 가용접은 간격 500mm, 가용접길이 50mm로 하였다. 단 용접길이가 500mm 인 경우 양 단부만 가용접하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 맞대기 그루브용접을 수행한 각 시험편에 대하여, 용접길이의 변화에 따른 용접선방향의 각변형량을 측정된 결과를 나타낸 것이다. 용접선 길이방향의 각변형량은 전체적으로 거의 일정한 값을 보여주고 있다. 한편, 용접길이가 증가함에 따라 각변형량은 전체적으로 증가하는 경향을 따른다. Fig. 3은 맞대기 그루브용접시 각 시험편에 있어서 용접길이의 변화에 따른 중앙부의 각변형을 보여 주고 있다. 결과에 의하면 용접길이가 1,000mm 이내의 경우 용접길이가 증가함에 따라 각변형량도 증가하나, 용접길이가 1,000mm 이상에서는 용접 각변형이 용접길이에 영향을 받지 않고 거의 일정하게 발생하는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 필렛용접에서 용접선 길이의 변화에 따른 용접선 방향의 각변형량을 나타낸 것이다. 용접선 방향의 각변형은 용접시단부와 종단부에서 거의 일정한 크기로 발생되고 있다. 또한 용접길이의 변화에 따른 각변형의 증감은 나타나지 않았다. Fig. 5는 필렛용접에서 용접길이의 변화에 따른 중앙부의 용접 각변형을 나

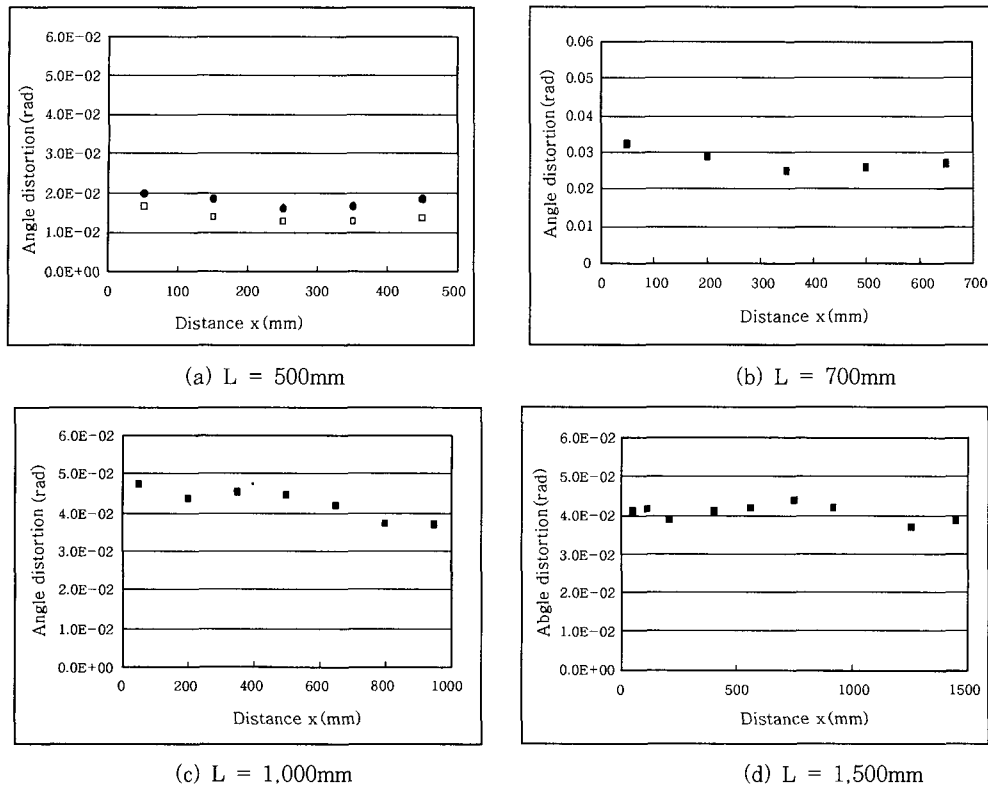


Fig. 2 Angular distortion resulting from butt welding

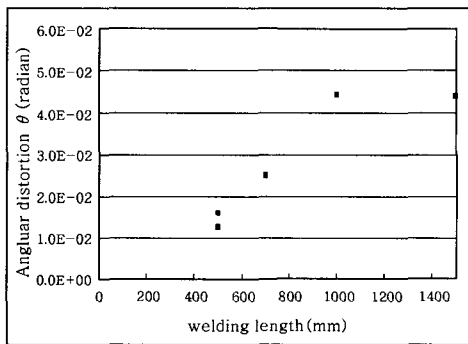


Fig. 3 Angular distortion resulting from butt fillet welding at center of specimen

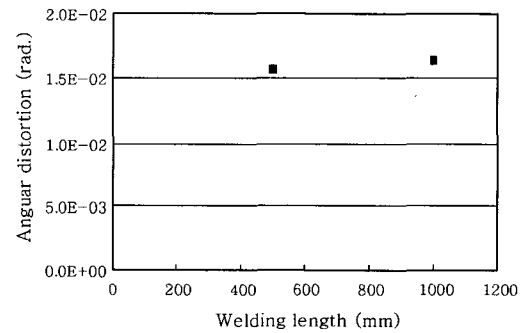
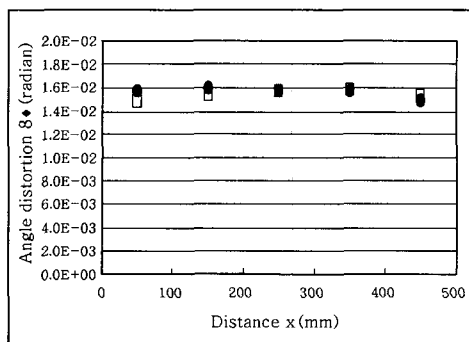
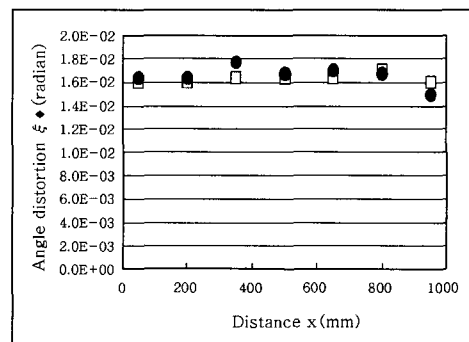


Fig. 5 Angular distortion resulting from welding at center of specimen



(a) $L = 500\text{mm}$



(b) $L = 1,000\text{mm}$

Fig. 4 Angular distortion resulting from fillet welding

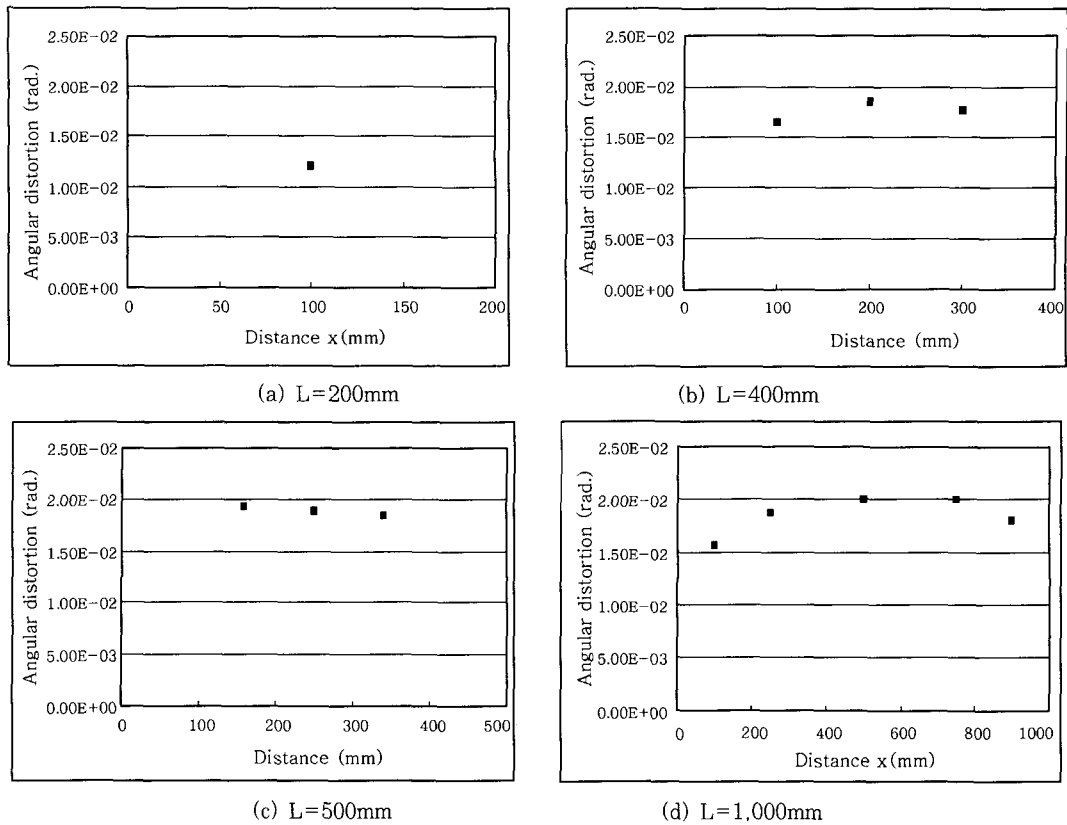


Fig. 6 Angular distortion resulting from bead on plate welding

타낸 것이다. 결과에 의하면 용접길이가 500mm 이상의 경우 용접 각변형은 용접길이에 관계없이 일정한 값을 보여주고 있다.

Fig. 6은 비드 온 플레이트 용접시 용접길이의 변화에 따른 용접선 방향의 각변형량을 보여주고 있다. 용접선 방향의 각변형은 전체적으로 거의 일정한 크기로 발생되었다. 한편 용접길이가 200mm 인 시험편의 각변형량이 제일 작게 발생되었으며, 그 밖의 시험편에서는 거의 일정한 각변형이 발생되었다. Fig. 7은 비드 온 플레이트용접에서 용접길이의 변화에 따른 중앙부의 용접 각변형을 나타낸 것이다. 결과에 의하면 용접길이가 500mm이내의 경우 용접길이가 증가함에 따라 각변형도 증가하고, 용접길이가 500mm 이상에서는 용접 각변형은 용접길이에 관계없이 거의 일정하게 발생하는 것을 알 수 있다.

이와 같이 용접부 개선형상에 따라 임계 용접길이가 다르게 나타나는 것은 Tuzi⁷⁾의 연구결과로부터 설명될 수 있다. Fig. 8은 열탄소성해석에 의해 두께 15mm, 폭 180mm의 중앙에 반경 5mm의 반원영역에 7,500J/cm의 열량을 0.8초간 가열한 후 실온까지 냉각되었을 때의 용접각변형의 발생과정을 나타낸 것이다. 이때 용접길이는 단위길이이고, 열탄소성해석은 평면응력문제

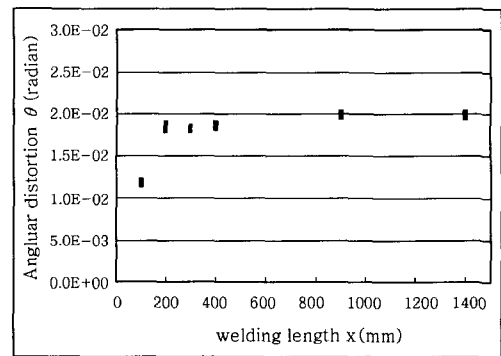


Fig. 7 Angular distortion resulting from bead on plate welding at center of specimen

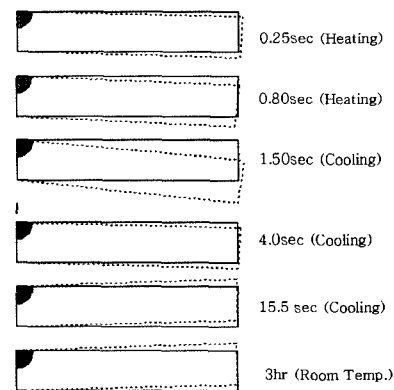


Fig. 8 Generation step of angular distortion

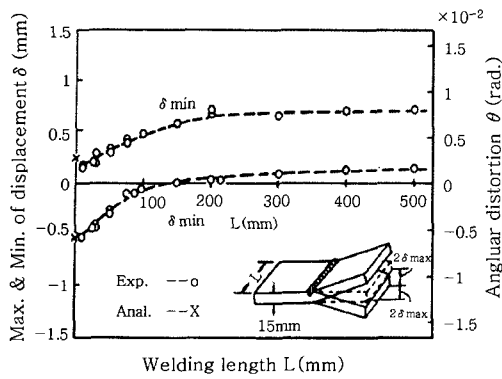


Fig. 9 Max. and Min. of angular distortion at center of specimen according to welding length

3절점 아이소 파라메트릭요소로 해석하였다. 초기에는 가열부가 열팽창하여 단부가 아랫방향으로 용접변형이 발생한다. 그 후 냉각이 진행됨에 따라 단부가 윗 방향으로 변형되어 최종적으로 각변형이 발생된다. Fig. 9는 용접길이가 변화함에 따라 발생하는 각변형의 최대값과 최소값을 실험에 의해 측정된 것이다. 용접길이가 단위길이인 경우 그림.8의 해석결과(X기호)와 같이 가열 중에는 단부가 아랫방향으로 변형이 발생하다가 냉각됨에 따라 윗방향으로 각변형이 발생된다. 이러한 가열 중에 발생하는 과도변형은 용접길이가 증가함에 따라 단부가 아랫방향으로 발생하는 변형(최소변형)이 점점 감소하다가 용접길이가 150mm 이상되면 오히려 위쪽방향으로 변형이 발생되고 용접길이가 400mm 이상에서는 위쪽으로 일정한 최소변형(과도변형)이 발생한다. 또한 최대변형과 최소변형의 차이는 용접길이에 관계없이 일정하다. 이와 같이 용접길이가 길어짐에 따라 아랫방향으로 변형이 발생하지 않은 것은 열원이 이동하면서 먼저 용접된 용착금속이 냉각되어 강성을 회복하여 용접열에 의한 변형을 구속하기 때문이다. 따라서 용접 그루브가 없는 경우(필렛용접이나 비드 온 플레이트용접)는 모재가 일체화되어 있어 모재에 의한 구속과 먼저 용접된 용착금속의 냉각에 의한 강성회복에 의한 구속이 맞대기 그루브용접의 구속보다 강하여 임계용접길이가 짧으나, 맞대기 그루브용접의 경우는 두 개의 별도의 모재가 가용접되어 있어 먼저 용접된 용접금속의 냉각에 의한 구속만으로 열원에 의한 각변형을 구속해야함으로 임계용접길이가 길어진다.

4. 결 론

실험을 통해 V 그루브 맞대기용접, 필렛용접 그리고 비드 온 플레이트 용접에 있어서 부재의 폭과 두께를 일정하게 하고 용접길이만을 변화시킴으로써 용접 각

변형에 미치는 용접길이의 영향에 대해 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 비드 온 플레이트용접 실험결과로부터 제시한 기존 연구의 임계용접길이가 200mm 보다 더 길었으며, 용접부 그루브형상에 따라 임계용접길이에 차이를 보였다.

2) 본 연구에서 사용한 부재 및 용접조건에 경우 그루브 맞대기용접의 임계 용접길이는 1,000 mm 이상임을 알 수 있었다.

3) 한편 필렛용접과 비드 온 플레이트용접의 임계 용접길이는 500mm 이상임을 알 수 있었다.

4) 따라서 수치해석과 실험을 통해 용접변형을 예측하기 위한 해석모델과 시험편의 용접길이(임계용접길이)를 결정하는 기준을 제시할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2004년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음

참 고 문 헌

1. T. Nomoto, S. Takechi, and K. Aoyama, "Basic Studies on Accuracy Management System Based on Estimating of Weld Deformations", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, **181-4**(1997), 249-260
2. H. Murakawa, Y. Luo, and Y. Ueda, "Prediction of Welding Deformation and Residual Stress by Elastic FEM Based on Inherent Strain (First Report) Mechanism of Inherent Strain Production", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, **Vol. 180** (1996), 739-751
3. H. Murakawa, Y. Luo, and Y. Ueda, "Prediction of Welding Deformation and Residual Stress by Elastic FEM Based on Inherent Strain (Second Report) Deformation and Residual Stress under Multiple Thermal Cycles", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, **Vol. 182**(1997), 873-793
4. H. Murakawa, Y. Luo, and Y. Ueda, "Prediction of Welding Deformation and Residual Stress by Elastic FEM Based on Inherent Strain (Third Report) Deformation and Residual Stress in Narrow Gap Welding", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, **Vol. 183**(1998), 323-333.
5. S.I. Seo, C.D. Jang, "A Study on the Prediction of Deformations of Welded Ship Structures", Journal of Ship Production, Vol. 15, No.2(1999), 73-81
6. T. Terasaki : 構造用材料の溶接残留応力溶接変形におよぼす溶接諸条件の影響に関する研究, 大阪大學博士論文, 53-54, 1976 (in Japanese)
7. I.Tsuiji, K. Ogawa: An Analysis on Transient Stress and Deformation of a Steel Strip Subjected to Local Heating, Quarterly Journal of Japanese Welding Society, **45-1**(1976), 36-41