

## 후판 파이프 제작시 잔류응력

### Residual stress analysis of thick plate pipe

최 광\*, 임 성우\*\*

\* 포항산업과학연구원 강구조 연구소

\*\* 포항산업과학연구원 강구조 연구소

**ABSTRACT** This study was aimed at evaluation of residual stress of steel pipe structures. The production process of pipes was complex (at first bending was done by roll forming or press forming and welding was final process of making of steel pipes). So there could be expected high residual stresses in steel pipes. In order to evaluate the changes of residual stress the locations of measurement were selected carefully. Measurements of residual stress were done for various kinds of pipes (shapes in circular and square). For the evaluation of residual stress, hole-drilling method (ASTM E837) was applied. The results showed that along the weld line high tensile stress were measured as expected, and high tensile stresses were measured where large plastic deformation developed. Through these efforts, experimental results could be more effectively assisted by numerical method.

## 1. 서 론

본 연구에서는 원형강관 및 각관의 제작시 가공 및 용접에 의하여 일어나는 잔류응력의 측정 및 해석을 수행하여 제작시 발생하는 잔류응력의 예측 가능성을 검토하였다. 본 연구에서는 제작시 발생하는 잔류응력을 유한요소법을 이용하여 해석하였다.

## 2. 실 험

시험에 사용된 소재는 KS SN490B (판두께 16 mm)강 이며, 원형 및 4각형의 2종류의 파이프를

제작하였다..

### 2.1 소재 성질

소재의 화학적 성분 및 기계적 성질은 다음과 같다.

C :0.15 Mn:1.24 Si:0.385 Ni:0.014 Cr:0.013

Mo:0.19 V:0.028, B:0.002 S:0.035 P:0.035

Ceq=0.425 Pcm=0.251

항복응력=397 MPa , 인장응력= 530 MPa, EL=27.8 % 이었다. 이 소재를 이용하여 원형과 각관의 2가지 형태의 파이프를 제작하였으며, 제작은 프레스 굽힘 및 3점 롤을 이용하였으며, 그 치수는 다음과 같다.

원형 파이프 450 mm (외경) X 4500 mm (길이)

각 파이프 340 mm (폭) X 4500 mm (길이)

### 2.2 용접 실험

용접은 서브 머지드 아아크 용접으로 하였으며 용접봉은 인장강도 500 MPa 급의 직경 4mm 로 하였다. 입열량 35.7 KJ/cm으로 3 패스의 용접을 수행하였으며 용접 시 층간 온도는 200 °C 이하로 하였다.

### 2.3 잔류응력 측정

가공 및 용접 시 발생하는 잔류응력의 측정은 ASTM E837의 홀 드릴링 법에 의하여 측정을 수행하였다. 잔류응력의 측정은 가공 시 큰 소성 변형을 받는 굽힘부 및 주변부에서 잔류응력의 변화가 예상되는 용접부에 대하여 수행하였다.

### 2.4 경도 실험

파이프 제작이 완료 된 후 가공 부위 및 용접 부에 대한 조직 및 경도시험을 실시하여 조직 및 경도의 변화를 확인하였다.

## 3. 해 석

파이프 제작시에는 판재를 굽히는 과정에서 소성변형이 일어나게 되며, 이러한 판재의 가공과정을 접촉해석을 이용하여 계산을 수행하였다. 해석에 있어서 가공 시는 3차원 해석을 수행하였으며, 가공후에 용접 시 일어나는 열응력에 대한 해석은 2차원 형상으로 하여 유한요소법을 이용하여 계산을 수행하였다. 제작시 얻어진 형상을 기본으로 하여 모델을 만들었으며, 해석은 범용 비선형 프로그램인 Msc/Marc를 사용 하였다.

### 3.1 가공 해석

해석은 판재를 굽히는 경우의 변형에 대하여 수행하였다. 3차원 고체 요소를 사용하여 계산하였으며, 상부의 펀치가 소재를 굽히는 과정에서 일어나는 응력과 가공후에 일어나는 응력 및 변형률에 대한 해석을 수행하였다. 그림1은 해석과정중 90° 굽힘에 대하여 수행한 결과를 나타낸다.

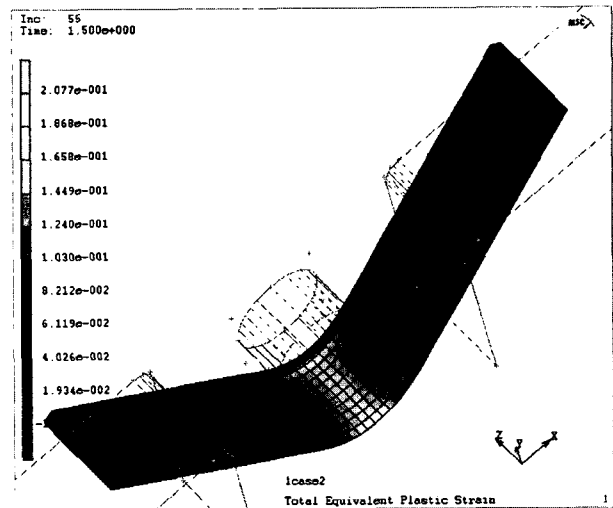


그림 1

### 3.2 용접 해석

파이프 제작시 용접공정은 열 탄소성 해석을 수행하였으며, 해석에서 인장강도는 고온인장실험결과를 이용하였고, 다른 물성 값들은 온도의존성을 고려하여 계산을 수행하였다.

그리고 3층의 용접을 하는 경우에 있어서는 3층의 용접이 적층되는 것을 모사하여 계산을 수행하였으며, 계산에서는 실제 용접에서 수행한 층간온도를 고려하여 계산을 수행하였다.

그림 2에 용접후 냉각과정에 있어서의 축방향 응력의 결과를 나타낸다. 해석결과 파이프의 길이 방향 용접 결과에서와 같이 용접부 주변에는 용접선 방향으로 큰 인장응력이 나타나고 있음을 알 수 있었다.

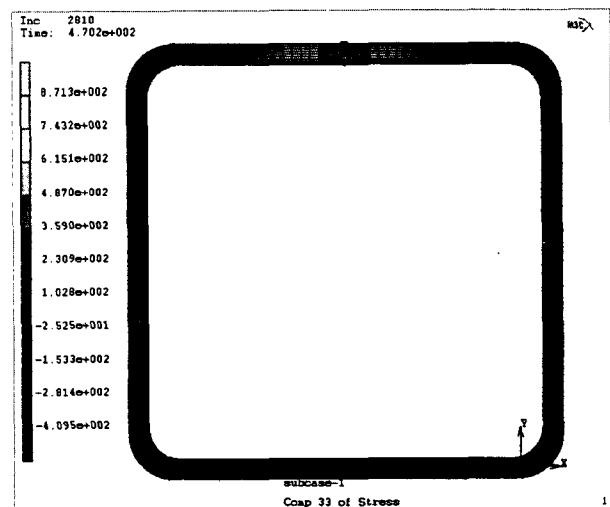


그림 2

#### 4. 결 론

파이프 제작시에 있어서 발생하는 잔류응력에 대하여 실험 및 해석을 수행한 결과 다음과 같은 사항을 알 수 있었다.

1) 가공시에 있어서 굽힘부에 발생하는 응력 및 변형율에 대하여 보다 상세한 과정을 알 수 있었다.

2) 열탄소성 해석 결과 온도상승 및 냉각과정을 무시하면 결과는 탄소성 해석과 근사한 것으로 나타났다.

3) 이러한 결과는 실험과 좋은 상관성이 있음을 확인하였다.

앞으로 가공과 용접을 동일한 3차원 해석을 수행하면 보다 정확하게 제조시의 응력 및 변형율의 거동을 파악할 수 있을 것이라 생각된다.

simplified numerical analysis of residual stresses in aluminum welded plates, Computers and Structures (1996), Vol.58, No.1, 59-69.

8. 春日 幸生, 神馬 敬: SUS304 TIG熔接管殘留應力の簡易 解釋法, 塑性加工(日本 塑性加工 學會誌), 第30卷 第338號, 1989-3

#### 참고문헌

1. N.Enzinger, H.Cerjak: The influence of weld pattern on the welding residual stresses, 6th International trends in research conference proceedings, 15-19, April, 2002, Pine Mountain, GA, ASM, 850-854
2. D.Berglund, H.Runnemulm: Comparison of deformation pattern and residual stresses in finite element models of a TIG-welded stainless steel plate, 6th International trends in research conference proceedings, 15-19, April, 2002, Pine Mountain, GA, ASM, 827-831
3. ASTM E 837: Determining residual stress by hole drilling strain gage method (2002)
4. B.A.B. Anderson: Thermal stresses in a submerged arc welded joint considering phase changes, ASME J.Engineering Materials and Technology, Vol.100 (1978), 356-362
5. J.B.Roelens, F.Maltrud, J.Lu: Determination of residual stresses in submerged arc multi-pass welds by means of numerical simulation and comparison with experimental measurements, Welding in the world, (1994), Vol.33 No.3, 152-159
6. J. Arnold, R.F.D. Porter Goff: Predicting residual stresses in multi-pass weldment with the finite element method, Computers and Structures (1989), Vol.32, No.2, 365-378.
7. J.Canas, R.Picon, F.Paris, A.Blasquez, J.C.Martin: A