

## Shadow Mask용 냉간 압연박판의 잔류응력 해석

정호승\* · 조종래\* · 문영훈\*\* · 김교성\*\*\*

### Residual Stress Analysis of Cold Rolled Sheet in Shadow Mask

H.S. Jeong, J.R. Cho, Y.H. Myun and K.S. Kim

#### Abstract

Residual stress of sheet occurs during cold rolling and it is hard to avoid and inevitable. The residual stress in the sheet cause etching curls when it suffers perforation process. The residual stress through the thickness direction in the sheet is a function of a friction coefficient, total reduction, roll size and initial sheet thickness. To estimate the residual stress and deformation due to etching curl, FEM analysis is performed. A numerical analysis is used a ANSYS 5.6 and an elastic-plastic constitutive equations. The simulation results indicate a distribution of residual stress.

**Key Words** : Shadow Mask, Residual Stress, Elastic-Plastic, Cold Rolling

#### 1. 서 론

고급 모니터에서 고화질을 요구하는 추세에 따라 CDT (Color Display Tube)의 사용과 함께 전자빔 오차 및 내부 온도 상승에 의해 새도우 마스크에서는 열변형이 일어난다. 이러한 열변형 또한 화면에서의 전자빔 오차의 한 원인이 되어 고해상도 실현을 저해하는 요인으로 작용한다. 따라서 설계상의 요구조건을 정확하게 만족시킬 수 있는 양질의 새도우 마스크의 제작을 위해서는 원 소재부터 엄밀한 품질관리가 필요하다[1,2].

새도우 마스크는 아주 얇은 박판에 에칭에 의해 구멍을 생성시키며, 이 구멍은 두께 방향으로 비대칭으로 형성된다. 냉간 박판 압연시 두께 방향의 잔류응력이 발생하

며, 비대칭적으로 형성된 구멍은 박판 자체의 잔류응력에 의해 변형이 생긴다[3].

압연강판에서 발생하는 잔류응력의 전형적인 응력분포는 Baldwin[4]에 의하면 2가지의 형태가 있다. 두꺼운 강판을 상대적으로 작은 롤을 이용하여 압연비가 적을 경우 변형은 주로 표면 근처에서 집중된다. 표면의 큰 변형은 내부의 적은 변형영역에 의해 구속되기 때문에 표면근처에 압축, 내부에는 인장응력이 발생한다. 반면에 그 반대의 경우 큰 롤로 얇은 강판에 변형을 크게 가할 경우에는 두께 방향의 변형은 더 균일해진다. 이때 롤에 접하는 금속은 중심부에서 빠르게 유동이 일어나고 표면은 마찰에 의해 구속되기 때문에 표면에 인장, 내부에 압축이 작용한다. 그러나 이 두 가지 경우는 일반적

\* 한국해양대학교 기계정보공학부  
\*\* 부산대학교 정밀정형 및 금형설계 센터  
\*\*\* 포스코(주) 기술연구소

인 관점이고, 다만 압연의 경우에 잔류응력의 분포는 압연조건에 크게 좌우된다[5,6].

이 연구의 목적은 압연 강판의 잔류응력에 영향을 미치는 인자들에 대해서 즉, 롤 패스 및 각 단의 압연비, 롤과 강판사이의 마찰 그리고 롤 직경 및 강판 두께에 따른 영향을 분석하여 잔류응력분포를 해석하고 최소화 하는데 목적이 있다.

ANSYS 코드를 이용하여 압연과정을 유한요소해석함으로써 잔류응력과 판변형의 상관성을 해석하여 이를 통해 치수품질이 우수한 극박재의 생산에 필요한 냉간압연 공정인자들의 영향도를 제시하고자 한다.

## 2. 냉연공정의 모델링 및 해석조건

### 2.1 냉연공정의 모델링

Fig. 1과 같이 2차원 평면변형 문제로 모델링하였다. 포아송비는 0.3이고 2차원 평면변형으로 가정하고 상하 대칭을 고려하여 1/2만 모델링하였다. 입구측과 출구측 장력은 항복응력의 20%(113.6 MPa)로 선택하였다.

강판은 ANSYS의 Plane182(4node)를 사용하였으며, 접촉은 CONTACT 171, 롤은 Target 169을 사용하였다. 실험결과 응력-변형률 곡선은 Fig. 2와 같다.

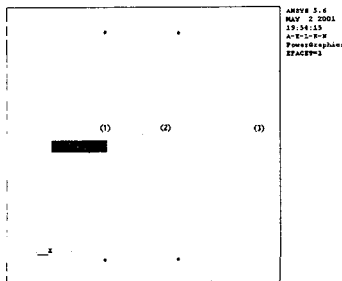


Fig. 1 Cold rolling modeling by FEM analysis

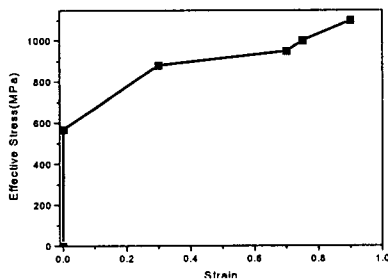


Fig. 2 Stress-Strain curve

### 2.2 냉연공정의 해석조건

박판의 압연시 롤 직경, 마찰계수, 압연비, 초기 두께에 따른 잔류응력의 영향을 분석하기 위해 Table 1과 같은 해석조건으로 수행하였다.

롤 직경은 2가지, 마찰계수는 0.08~0.16로 하여 해석하였다. 입구측 두께는 0.236mm와 0.5mm이고, 압하율은 15, 30%이다.

Table 1 Rolling schedule

Roll Diameter (mm)	D1 = 260	D2 = 500
Initial thickness (mm)	0.5, 0.236	
Number of Rolling Pass	1	
friction coefficient	0.08, 0.12, 0.16	
Total Reduction (%)	15, 30	

## 3. 극박 냉간압연공정 해석 및 결과 고찰

### 3.1 압연 해석 결과 및 고찰

Fig. 3은 D=260mm,  $\mu=0.10$  일 때의 압연방향의 응력 분포를 나타낸 것이고, Fig. 4와 Fig. 5는 단면 B~G에서의 강판 단면의 압연방향 변형량과 응력을 나타낸 것이다. Fig. 4에서 나타나 듯이 롤과 접하는 단면 B에서 F까지 변형량은 증가한다. 그러나 롤을 벗어나는 단면 G에서는 탄성회복에 의해 변형량이 감소함을 알 수 있다. 반면에 Fig. 5는 복잡한 양상을 나타낸다. 중립점(Neutral point)인 D를 중심으로 좌우의 응력은 강판의 중심에서 더 큰 압축응력을 나타낸다. 롤을 벗어나기 직전에도 응력값은 작아 지지만 그 경향은 동일하다. 따라서 롤을 벗어나면서(단면 G) 표면에는 인장응력 중심에는 압축응력의 잔류응력인 존재한다.

Fig. 6은 롤과 강판사이의 마찰응력을 나타낸 것으로 Neutral Zone을 중심으로 마찰력 방향이 바뀌는 현상을 알 수 있다.

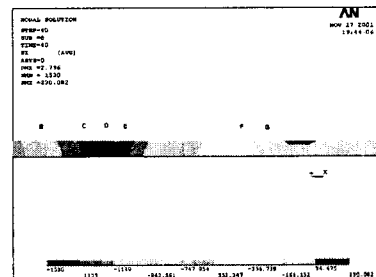


Fig. 3 Distribution of stress to rolling direction through the sheet thickness

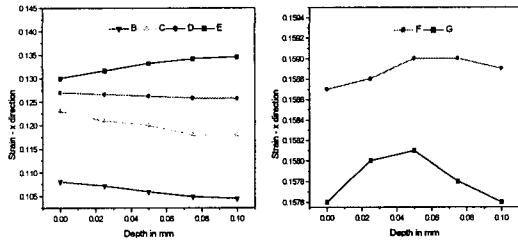


Fig. 4 Distribution of strain to rolling direction through the sheet thickness at each position

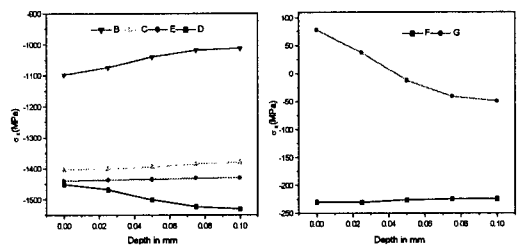


Fig. 5 Distribution of stress to rolling direction through the sheet thickness at each position

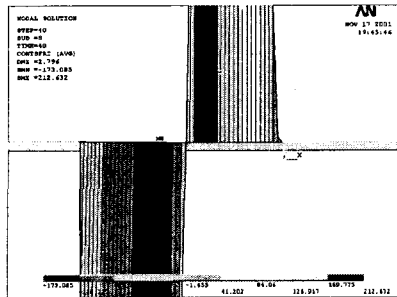


Fig. 6 Distribution of friction stress between roll and sheet

### 3.2 잔류응력 해석 결과 및 고찰

Fig. 7~9은 압연방향의 잔류응력을 도시하였다. Fig. 8과 9에서와 같이 압하율이 같을 때 초기 두께가 작고, 롤 직경이 크고, 마찰력이 클수록 표면에서는 압축, 내부에서 인장이 나타남을 알 수 있다. Fig. 7과 8에서와 같이 초기 두께가 같을 때, 압하률, 롤 직경과 마찰력이 커질수록, 표면에서는 인장에서 압축응력으로 바뀌며, 내부 응력은 복잡한 형태로 바뀌는 것을 알 수 있다.

동일한 압연비에서도 두께가 얇을수록 표면 인장응력의 절대값은 낮아지고 압축응력이 쉽게 발생한다. 롤 직경이 큰 경우에 변형이 균일하고 표면에 변형률을 증가시키므로 표면에 압축응력을 발생시키기 쉽다는 사실을 확인하였다.

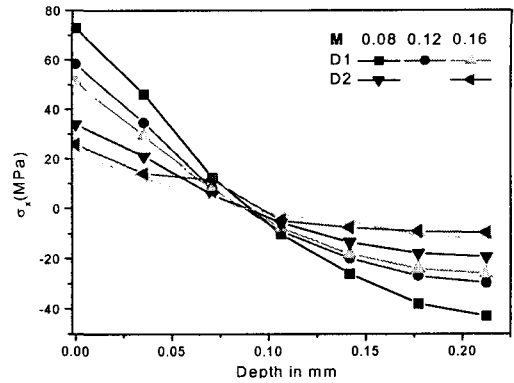


Fig. 7 Residual stress to rolling direction (15% reduction, Initial thickness=0.5mm)

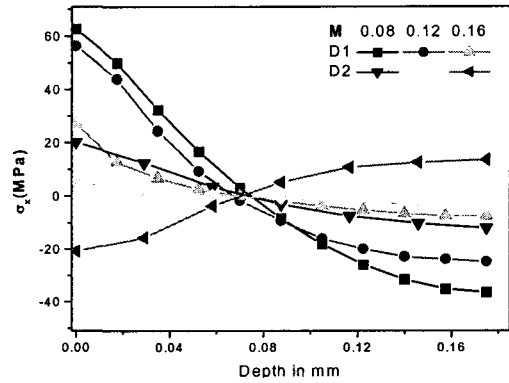


Fig. 8 Residual stress to rolling direction (30% reduction, Initial thickness=0.5mm)

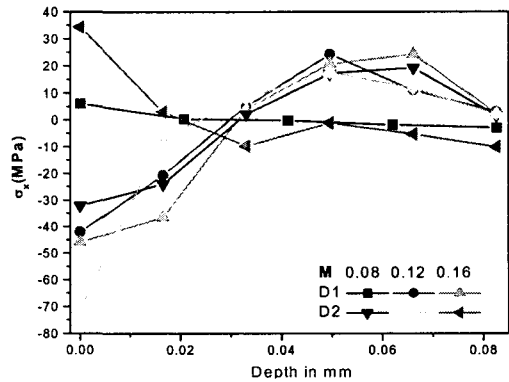


Fig. 9 Residual stress to rolling direction (30% reduction, Initial thickness=0.236mm)

### 3.3 잔류응력에 의한 변형 해석

잔류응력을 받고 있는 강판이 에칭이 되어 재료가 없어진다면 국부적으로 강성이 달라지고 잔류응력이 회복되기 때문에 변형이 발생한다. Fig. 10은 0.8mm 강판의 경

우 표면에 압축응력, 내부에 인장응력일 경우와 반대일 경우, 비대칭적으로 제거되었을 경우에서 변형 양상이 달라짐을 보여준다.

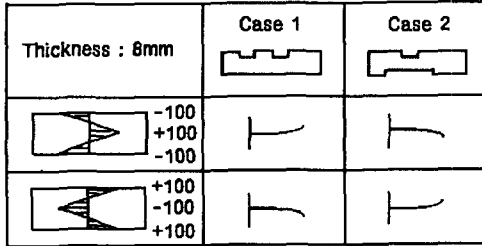


Fig. 10 Deformation shape in a several case

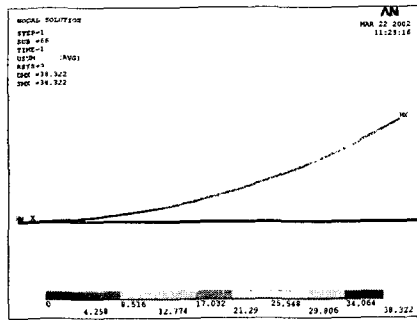


Fig. 11 Deformation shape due to residual stress

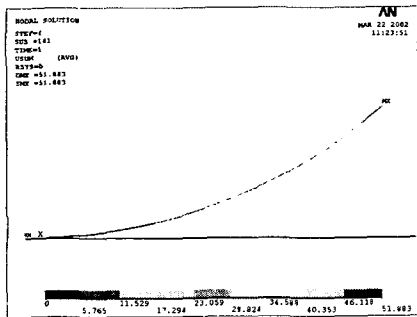


Fig. 12 Deformation shape due to residual stress

Fig. 11와 12은 길이 150mm, 두께 0.5mm, 0.2mm를 가지고 해석한 결과 표면에 압축(-250MPa), 내부에 인장잔류응력(250MPa)이 있을 경우 case1와 같이 윗면의 일부가 제거된 방향으로 휘었으며, 두께가 얇을수록 변형값이 더 커졌다.

#### 4. 결론

(1) ANSYS로 극박강판의 냉간압연과정과 압연 후의 잔류응력을 해석하는 것이 가능함을 확인하였다. 압연비가 작을 경우(30%이하) 압연방향 변형량이 강판의 표면보다 중심에서 더 많기 때문에 중심에서는 압축응력, 표면에서는 인장응력이 발생한다. 그러나 압연비가 큰 경우에는 중심보다 표면에서 변형량이 많기 때문에 반대 현상이 발생한다.

(2) 롤 직경이 큰 경우(직경 500mm)와 마찰계수가 클수록 표면에 압축응력이 발생하기 쉽다. 또한 롤 직경이 작을수록 인장응력의 절대값도 증가한다.

(3) 총 압연비가 일정할 때, 잔류응력의 관점에서 패스의 횟수와 각 패스당의 압연비의 비율에 따른 영향을 적을 것으로 판단된다.

(4) 강판에 남아있는 잔류응력의 유형을 분류하여 FEM 해석한 결과, 표면에 압축이 작용할 경우 에칭단면이 많은 쪽으로 굽힘변형이 발생하고, 반대로 표면에 인장응력이 존재하면 반대방향으로 굽힘변형이 발생한다. 이 경향은 실험과 잘 일치하고 있다.

#### 참고 문헌

- (1) 차서욱, 1990, "칼라테레비전의 기초", 가남사.
- (2) 김의선, 1998, "Shadow mask의 열변형 해석", 한양대학교 산업대학원 석사학위 논문.
- (3) 백승철, 1995, "인바 새도마스크 원판의 집합조직과 새도마스크용 천공판재의 성형해석", 서울대학교 박사학위 논문.
- (4) Baldwin, W.M., "Proceedings of the ASTM", 49, pp. 539~583.
- (5) Wu, T, Haltley, C.s., Wang, X.M., Tsai, C.T., 1994, "Residual stress distribution in cold rolled brass sheet", J. Mater. Process. Technol., Vol. 45, pp. 111~116.
- (6) Yonetani, S., Imai, K. and Notoya, H., 1990, "Residual stress in cold-rolled sheet", J. Japan Inst. Metal, Vol. 54, No. 10, pp.1120~1130.