

## 선재공형이 주름흠에 미치는 영향

김준영\*, 조용근\*, 김용호\*, 임규환\*, 이영석\*\*  
선재부, 포항종합제철주식회사\*  
기술연구소, 포항종합제철주식회사 \*\*

## The influence of roll caliber design on the wire rod's Wrinkle defect

J. Y. KIM\*, Y. G. CHO\*, Y. H. KIM\*, K. H. LIM\* and Y. S. LEE\*\*  
Wire Rod Dep., POSCO\*  
Tech. Research Lab., POSCO\*\*

### Abstract

This document illustrates the relationship between the wire rod wrinkle defect and the roll caliber design. The wrinkle defect is caused by the incongruent rolling conditions of the roll caliber design, the roll adjustment, and the extracting temperature. In this document, we restrict the study scope to the roll caliber design's effect on wrinkle defect at the base of real condition of the No.2 Wire Rod mill, POSCO.

There has been wrinkle defect problem in the No. 2 Wire Rod Mill, POSCO for many years. The engineers of the wire rod mill have been making efforts to solve the problem. As one of the efforts, we take the samples of the wire rod in the each other stands of the 2'nd wire rod mill and then analyze the samples. Through the analysis, we find out the problem of the roll caliber design. So, we suggest the roll caliber design method to be more effective to weaken the wrinkle defect.

**Key words :** Wire rod, wrinkle defect, Roll Caliber Design,

### 1. 서론

주름흠은 소재의 자유압축면에 생기는 주름진 형태의 결함으로 주요 발생원인이 Roll 조정 불량, Roll Caliber Design 불량, 낮은 추출온도 및 소재의 표면거칠음등에 의해 유발된다. POSCO 2선재공장에서 수도동안 이러한 주름흠의 문제가 있어서 Engineer들이 이를 해결하기 위해 많은 노력을 해왔으며 선재 주름흠은 가열로 추출온도와 Billet표면의 Scale등과 상당한 관계가 있는 것으로 규명되었다. 그러나, 본 논문에서는 선재 Roll Caliber Design과 주름흠과의 실제적인 예를 통한 상관성분석을 연구범위로 하고 있다.

먼저 선재표면흠의 종류 및 형태를 알아보고 POSCO 2선재 주름흠 발생현황을 분석한후 실제 압연 Stand 간의 시편을 채취하여 원인을 분석해 보고, 분석결과를 근거로 주름흠과 선재 Roll Caliber Design과의 상관성을 분석한후 주름흠 최소화를 위한 공형설계방법을 제시하기로 한다.

## 2. POSCO 2선재 공장에서의 주름흠 분석

### 2.1 압연공정요인에 의한 표면흠

선재표면흠 발생원인<sup>(1)</sup>은 소재의 표면 또는 내부에 결함이 있는 경우와 가열, 압연, 정정공정의 작업중에 발생하는 경우로 크게 대별된다. 소재의 표면 또는 내부흠에 의한 표면흠은 파이프흠, Scab, 스케일 마크등이 있다. 가열공정 원인의 흠은 길이방향 크랙, 회전방향 크랙, 코너크랙, Burning 흠이 있으며, 정정요인에 의한 표면흠은 Scratch, Dent등이 있다. 이러한 표면흠의 방지를 위해 소재의 형상 및 표면흠 상태, 공형의 마모, Roll 냉각수 상태, 유도장치의 마모, 부착상태, 냉각대 및 권취기에 찰과 타박유무 등을 관리함으로써 표면흠을 최소화 할 수 있다. 압연공정의 경우는 굽힘흠, 주름흠 및 겹침흠으로 대표될 수 있다. 굽힘흠은 부적합한 유도장치의 설치와 소재의 마찰에 의해 생기는 흠으로 점검이나 정비의 강화로 발생을 방지할 수 있다. 주름흠과 겹침흠은 공형의 형상, 재로온도(강종), Roll Gap의 부적정 등으로 인해서 발생하는 흠으로써 소재의 자유압축면에서 발생한다. 본 논문에서 공형형상의 부적합에 의한 표면흠 발생에 초점을 맞추고 있으므로 공형형상 및 부적합한 Gap조정에 의한 표면흠 발생예를 상생히 살펴보면, Fig.1에서와 같이 소재가 Overfill 되면서 Overfill된 부분이 압하력을 받아 주름흠이 생기는 경우가 있고 Fig.2와 같이 공형형상 설계의 부적정에 의한 압연력의 편중으로 불균일 압하가 발생, 주름흠으로 전개되는 경우가 있다.

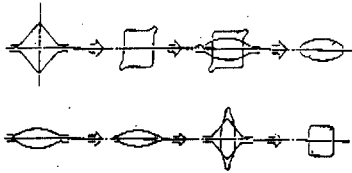


Fig.1 Wrinkle defect caused by overfill. <sup>(1)</sup>

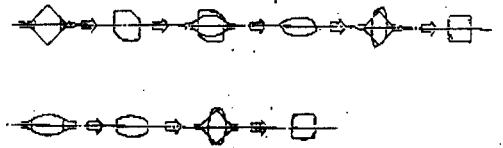


Fig.2 Wrinkle defect caused by unbalanced rolling force distribution. <sup>(1)</sup>

### 2.2 POSCO 2선재 공장에서의 주름흠 발생

2선재공장에서 주름흠은 선재제품을 냉간압조시 터짐현상이 발생됨으로써 문제가 제기되기 시작했고 이로인해 Claim이 많이 제기되어 손실이 발생하게 되었다. 주름흠의 형태는 Fig.3의 최종 제품이 Up-Set된 시편의 사진처럼 여러줄의 잔주름속에 외출터짐 현상이 발생하는 형태로 나타나고 있다. 외출 터짐현상은 선재 Tail부 터짐으로 분석되며 이는 중간사상압연에서의 부적정한 Roll gap 조정에 기인하는 것으로 분석되나, 잔주름은 전형적인 주름흠의 형태로 조압연에서의 부적합한 압연조건에 의해 발생하는 것으로 분석된다. 잔주름은 특히 탄소강 보다 합금강계통에서 많이 발생되고 있는데 이는 합금강의 추출온도가 탄소강의 추출온도에 비해 다소 낮은점에 기인하는 것으로 주름흠이 온도에 민감하게 영향을 받는다는 사실을 알수있다. 그래서, 합금강의 경우 주름흠의 최소화를 위해 추출 온도를 높여주면 주름흠이 감소하나 제품 재질상의 문제가 발생하게 된다. 따라서, 근본적인문제해결을위한 Hardware 적인 접근방식이 요구되어졌다.



Fig.3 Wrinkle defect of an up-set sample

### 3. 주름힘의 원인 분석

POSCO 2선재공장의 주름힘 발생원인 분석을 위해 조업비상사태에 의한 압연중지 상황시 조압연 각 Stand에서 Sample을 채취 분석하여 보았다. Stand 별로 채취한 소재의 자유면의 육안 검사를 통해 적절한 위치를 선정하여 다음 단면에 대해 수직으로 절단하고 단면부위(Roll 접촉면, 자유면) 별로 절개하여 주름힘의 발생정도를 광학현미경을 이용 분석하여 보았다.

#### 3.1 No.1 Stand출측 시편의 분석

Fig 4는 No.1 Stand 출측에서 채취한 소재 단면형상으로 자유면의 형상이 약간의 폭퍼짐을 나타내고 있다는 것을 알수 있으며, Fig 5의 Macro사진에서 알수 있듯이 롤이 접촉하지 않는 자유면에서 소재의 주름힘이 관찰되지 않았다.

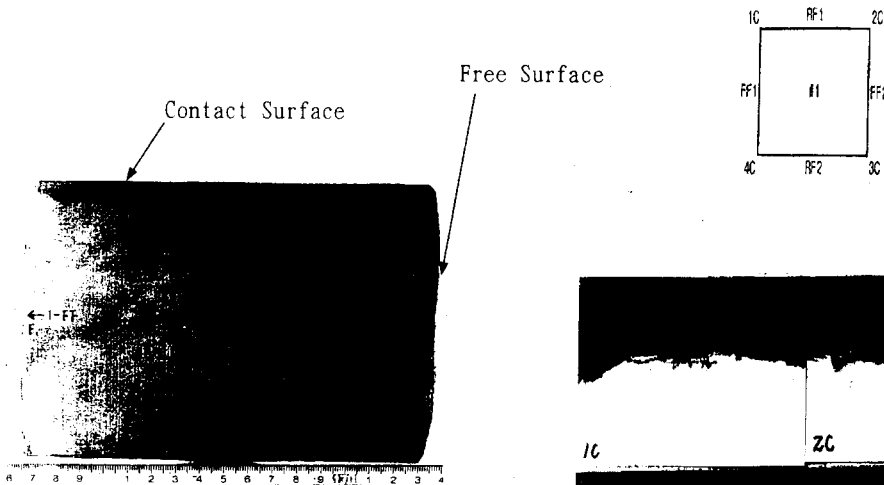


Fig. 4 Material Shape at No.1 Stand

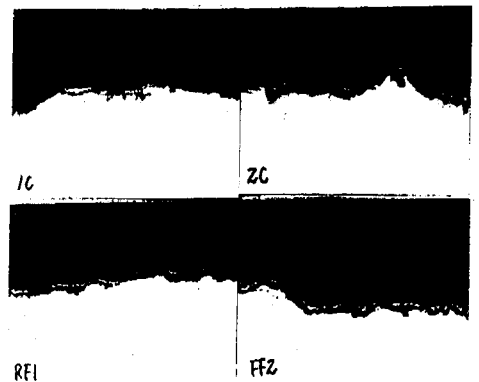


Fig.5 Macro Shape of No.1 Stand's Material

#### 3.2 No.2 Stand출측 시편의 분석

Fig.6은 스탠드 출측에서 채취한 소재단면의 형상이다. 롤 접촉면은 Oval 형상으로서 자유면 쪽으로 폭퍼짐이 나타나고, 롤이 접촉하지 않는 자유면 중심부에서는 Corner부 보다 폭퍼짐이 적으면서 오히려 안쪽으로 말려 들어간 형상으로 관찰되었다. 사진 Fig.7은 압연소재 Macro 사진으로서 롤접촉평면에서는 주름힘이 관찰되지 않지만 Roll이 접촉하지 않았던 자유면에서는 주름힘과 Crack이 관찰되었다. 주름이 깊은 것은 약 0.5mm정도이며, 여기에 Crack의 깊이까지 합하면 약1mm정도가 된다.

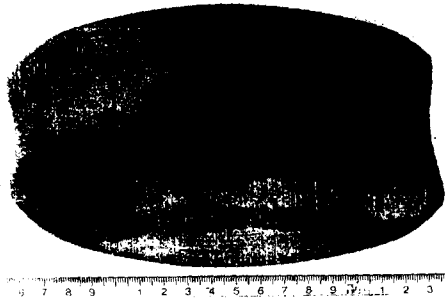


Fig. 6 Material Shape at No. 2 Stand

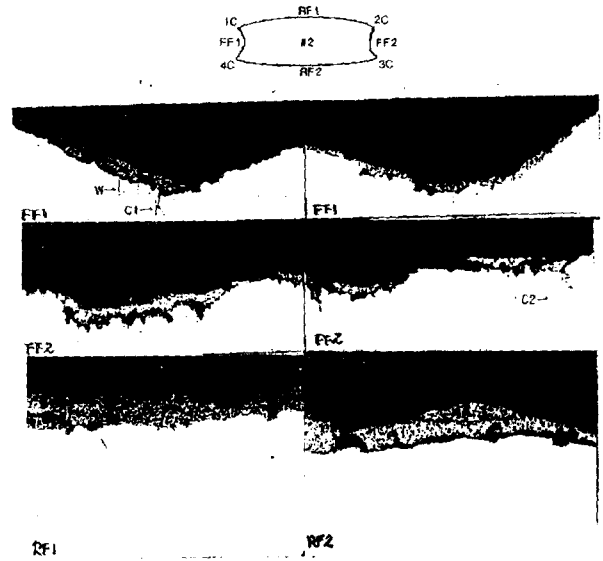


Fig. 7 Macro Shape of No. 2 Stand's Material

### 3.3 No. 3 Stand출측의 시편분석

Fig. 8은 No. 3 스텐드 출측에서 채취한 소재의 단면이며 Fig. 9는 소재 측면의 Macro사진으로 No. 2스텐드 출측의 자유면에서 관찰되었던 주름이 그대로 잔류하고 있다. No. 2 스텐드에서 주름 흡이 발생되지 않았던 곳에서는 No. 3 Stand를 통과해도 주름흡이 새로 발생되지 않으며 No. 2 스텐드에서 발생되었던 주름흡도 소멸되지 않고 크기도 변하지 않은채로 그대로 잔류하고 있음을 알수있다.

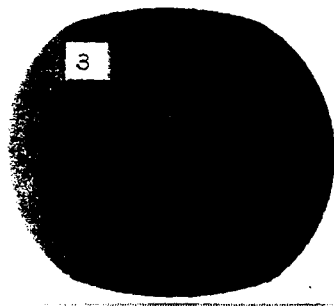


Fig. 8 Material Shape at No. 3 Stand

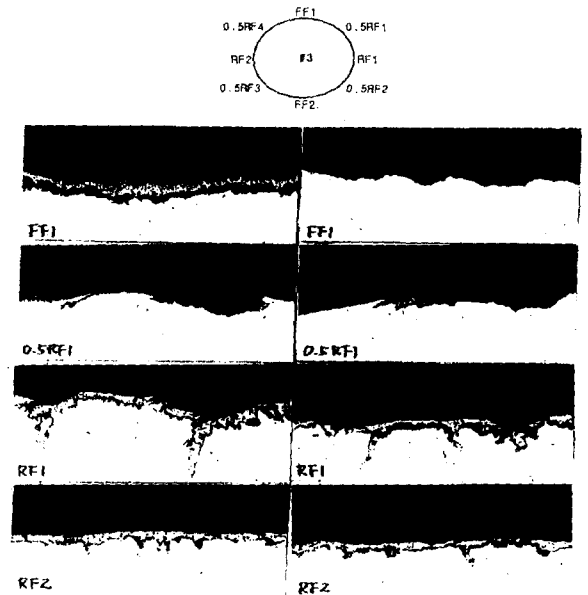


Fig. 9 Macro Shape of No. 3 Stand's Material

### 3.4 No. 3 Stand이후의 시편분석

주름힘의 깊이는 압연 Stand 를 통과하면서 점점 작아져서 No. 9 Stand를 통과한 소재의 단면에서 관찰된 주름힘의 깊이는 0.1mm이하로 작아지는데 이는 No. 2 Stand에서 발생하는 주름힘들이 연속적으로 압연되는 과정에서 팽창과 압연 과정이 반복됨에 따라 주름힘의 깊이가 줄어드는 것으로 분석되어졌다. 각 Stand에서 시편분석을 통해 주름힘의 발생원인을 고찰해보면 2선재공장에서 발생하는 주름힘은 No. 2 Stand의 톨과 접촉하지 않은 자유면, 즉 압연소재의 폭퍼짐이 원활하지 않은 부분에서 주로 발생되며 이후의 Stand에서의 압연과정을 거치면서 그 깊이가 점점 알아지는 것으로 분석되었다.

## 4. 선재 Roll Caliber Design과 주름힘의 상관 관계

### 4.1 선재의 변형과 표면흠과의 관계

住友金屬<sup>(1)</sup>에서 선재 모핑 TEST를 통해 소재변형과 표면흠과의 관계를 규명하였는데, Fig10에서와 같이 Billet의 Corner Radius를 3mm, 6mm, 12mm로 변형 Square-Oval-Round Pass에서 TEST를 시행하였다. TEST결과 압연Corner Radius가 3mm인경우에 선재표면흠이 6mm와 12mm인 경우대비 주름힘이 심해지는 나타남에 따라, 선재의 주름힘은 일반적으로 원주방향의 압축변형이 비정상적으로 큰경우에 입계의 파단발생으로 인해 발생하는 것으로 분석되고 있다.

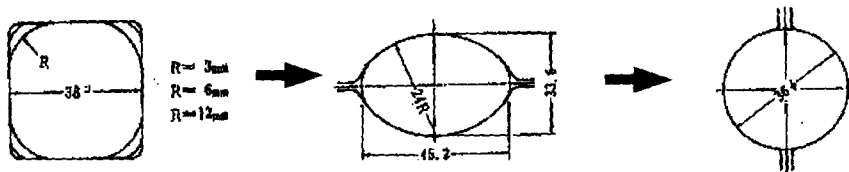


Fig.10 Model test to examine the relationship between deformation and wrinkle defect. <sup>(3)</sup>

### 4.2 압연법과 표면흠과의 관계

#### 4.2.1 중앙압하방식

Square-Dia, Round-Oval, Oval-Square와 같은 중앙압하방식<sup>(2)</sup>에서는 Fig. 11과 같이 소재가 Roll하부에서 압하되어 압하율이 큰 소재중앙부가 연신된다. 따라서, 폭퍼짐 방향의 평균변형  $\epsilon_m$ 과 표면층의 변형  $\epsilon_s$ 를 비교하면  $\epsilon_s < \epsilon_m$  이 된다. 따라서, 자유면에서의 흠은 전개되지 않는다.

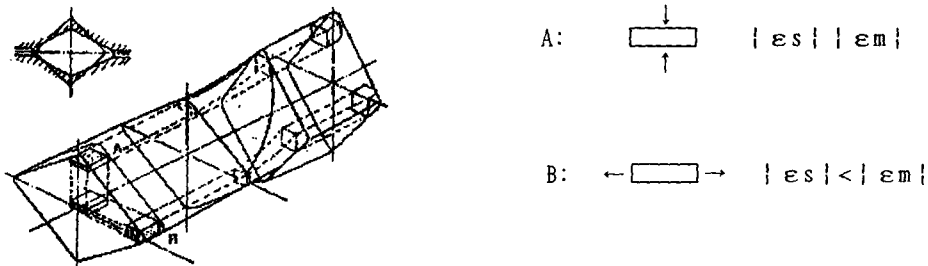


Fig.11 The deformation with the center rolling method. <sup>(2)</sup>

#### 4. 2. 2 양단압하방식

Square-Oval과 같은 양단압하방식<sup>(2)</sup>의 경우 Fig12에서와 같이 소재가 Roll 접촉면에서 압하되어 소재자유면이 연신된다. 따라서, 폭퍼짐 방향의 평균변형  $\epsilon_m$ 과 표면층의 변형  $\epsilon_s$ 를 비교하면  $\epsilon_s > \epsilon_m$  이 된다. 따라서, 자유면의 표면에는 주름힘이 발생하는 요인으로 작용한다.

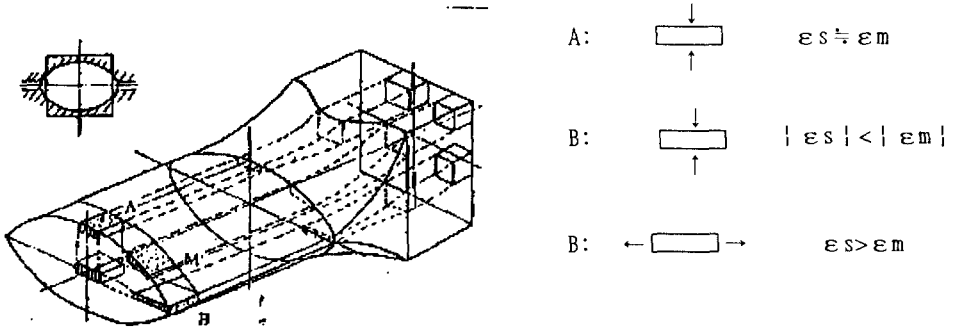


Fig. 12 The deformation with the both side rolling method. <sup>(2)</sup>

### 5. POSCO 2선재 공장의 주름힘 원인분석

#### 5. 1 POSCO 2선재공장의 공형설계 특성

2선재공장의 공형설계는 초기에 No. 1, 2, 3번 Stand의 공형설계가 Box-Box Oval-Round 로 되어져 있으며 양단압하방식의 공형으로 설계가 되어져있으며 이후의 공형은 Round-Oval-Round로 중앙압하방식의 공형이다.

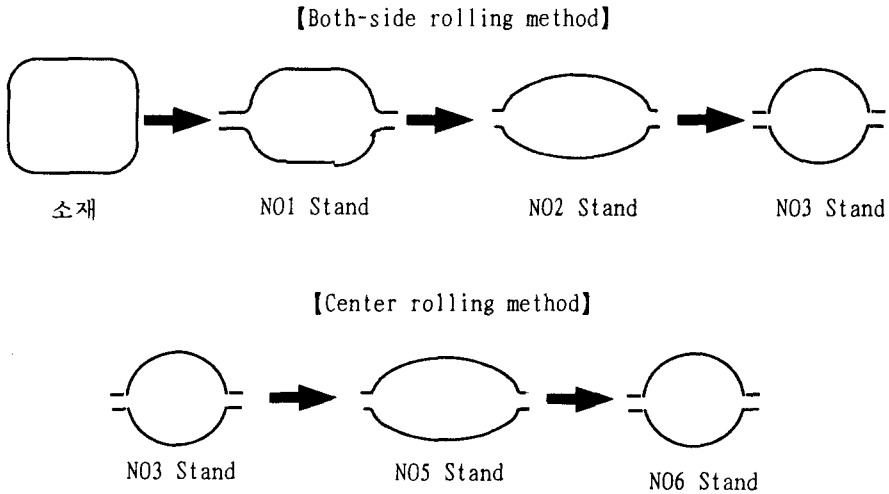


Fig. 13 Specific character of roll caliber design at 2nd wire rod mill, POSCO.

## 5.2 POSCO 2선재 주름힘의 원인 분석

2선재공형의 특성에서 잘 알수 있듯이 NO 1, 2, 3 Stand의 공형이 양단압하 방식으로 주름힘에 절대적으로 불리한 공형형상을 하고 있다. Fig. 15의 (a)에서 소재 초기 치입시에는 소재 Corner 부위의 압축으로 인해 Roll 상부의 Convex부위는 인장변형을 받고 자유표면은 압축변형을 받게 된다. Fig. 15의 (b), (c)에서 소재가 ROLL Center부위에 가까와 질 수록 롤상부 Convex부위로 소재가 차게되면서 자유면은 인장응력을 받게 된다. 따라서 초기의 압축응력을 받다가 인장응력을 받게됨에 따라 소재진행 방향의 입계분할이 발생하고 이것은 주름힘의 형태로 최종 소재에 영향을 미치게 되는 것이다.

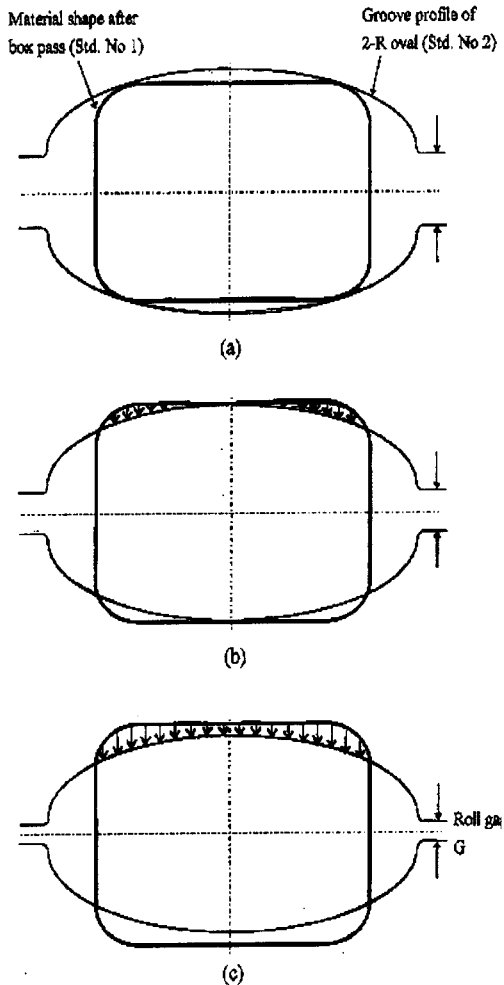


Fig. 14 Rolling process analysis at No. 2 stand, 2nd wire rod mill, POSCO.

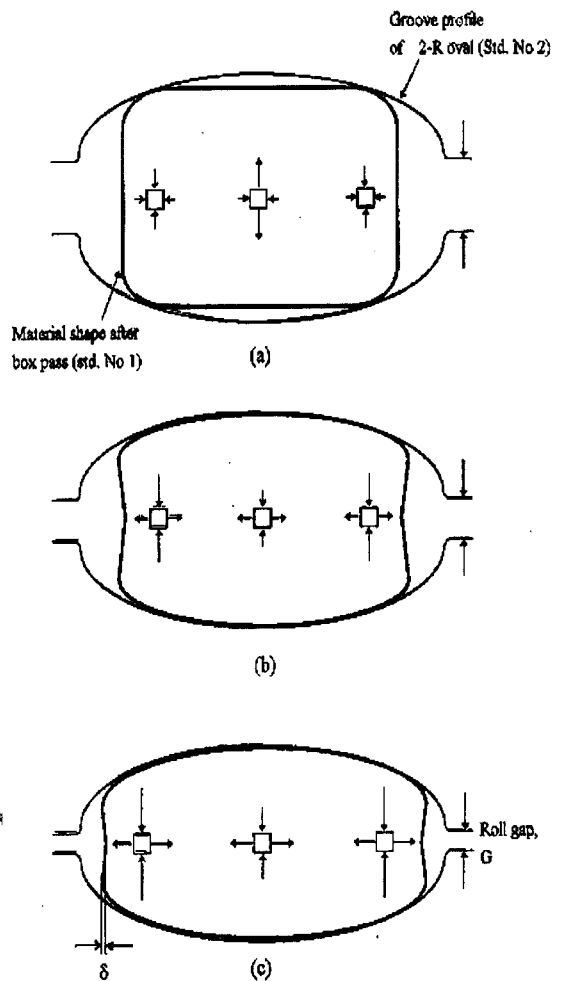


Fig. 15 Material deformation analysis at No. 2 stand, 2nd wire rod mill, POSCO.

## 6. 주름흠 개선을 위한 공형설계 방법

자유면에서의 흠깊이 방향의 인장변형을 적게하여야 하며, 따라서 폭퍼짐을 구속하는 듯한 공형을 설계하여야 한다. 중앙압하 방식은 이러한 측면에서 흠이 감소하는 경향이 있으므로 흠대책상 유효한 공형설계라고 할 수 있으며, 양단압하방식은 자유면에서 인장변형의 과다에 의한 흠이 증대하는 경향이 있다고 말할 수 있다. 극단적으로 양단압하방식이 되면 흠이 증가하고 중앙압하방식인 경우는 흠이 감소한다고 말할 수 있다. 또한 양단압하형의 접촉방식의 경우 (Square-Oval)에도 Oval공형을 소재가 접촉하는 부분을 인장응력을 균일하게 받을 수 있도록 설계하여  $|\epsilon_s - \epsilon_m|$  값을 최소화 시키는 방향으로 공형을 설계하여야 한다.

POSCO 2선재공장의 공장의 초기 1, 2, 3 Stand의 공형설계는 기본적으로 양단압하방식의 공형설계가 되어져 있어서 중앙압하방식으로 공형설계를 변경하는 것이 가장근본적인 해결방법이다. 그러나, 중앙압하 방식으로 공형설계를 전폭적으로 개선하게 되면 설비적으로 전면보완이 이루어져야 하며 공형설계변형에 따른 제품생산에 차질이 발생할 수 있다는 점을 감안해야한다. 따라서, 양단압하형으로 공형의 형상을 최소화 하는 방향을 공형을 설계하는 것이 바람직할 것으로 고려되어 진다.

## 7. 결론

이상에서 선재공형이 주름흠에 미치는 영향을 알아보고 POSCO 2선재의 주름흠현상 분석을 통해 주름흠 개선을 위한 적정 공형 Design방법을 알아 보았다. 가장최적의 주름흠 방지를 위한 공형설계는 중앙압하방식의 공형설계가 가장 바람직할 것으로 분석되었으나, 양단압하방식에서도 주름흠방지를 위해서는 폭구속 증대를 통한 적정 공형설계로 불균일 압하의 영향을 최소화 할 경우 주름흠을 최소화 할 수 있다.

## 참고문헌

1. 吉田 : 鐵と鋼, 37(1951) P.145
2. 柳本 : 塑性と加工, 9-94(1968-11) P.797
3. 松井利光: 住友金屬, Vol 26, No. 3(1974)