

IF강의 페라이트역 압연시 전·후방 인장이 집합조직에 미치는 영향

신형준, 이동녕
재료공학부, 서울대학교

The Influences of Front and Back Tensions on The Development of Rolling Textures in IF Steel

Hyung-Joon Shin and Dong Nyung Lee
School of Materials Science and Engineering, Seoul National University

Abstract

The texture inhomogeneity during rolling is one of the greatest problems. Especially, shear texture develops more easily during ferritic rolling of steel sheets at high temperatures due to friction between rolls and the material. In this study, the influence of front and back tensions on the texture development during ferritic rolling has been studied. The rolling textures were simulated using the full constraints Taylor-Bishop-Hill model with the strain history obtained from finite element analysis. The calculated textures showed that the back tension rolling could reduce the shear component more effectively than front tension or rolling without tension. However, the experimental results showed that the tension effect was very small compared to our prediction. It might be attributed to initial texture and difference in frictions between simulation and experiments.

Key words : ferritic rolling, shear textures, inhomogeneity, back tension, front tension

1. 서론

페라이트역 압연이란 슬라브의 재가열온도를 기존의 열간압연보다 200~300℃ 가량 낮추어 압연을 시작하여 압연 후반 여러 패스를 페라이트 구간에서 행하는 방법이다. 페라이트역 압연은 오스테나이트 구간에서 열간압연한 후, 다시 냉간압연을 하는 기존의 방법에 비해 슬라브를 재가열하는 온도를 낮출 수 있어서 에너지를 절약할 수 있고, 이에 따른 표면 스케일의 양도 감소시켜 생산성을 높일 수가 있다. 또한 열연시 판재 가장자리의 균열에 의한 불량도 감소시킨다고 보고되어 있다(1-2). 그러나 이런 장점에도 불구하고 페라이트역 압연은 냉연에 비해 윤활이 여의치 않아 마찰계수가 증가하고, 고온에서의 강판의 물성이 약하므로 불균질 변형이 증가하게 된다. 이와 같은 불균질 변형은 강판의 표면층에 전단집합조직을 발달시키고, 이는 결국 성형성 악화와 재결정시 불균질한 기동을 유발하게 된다.

압연시 전단집합조직의 발달에 대해서는 많은 연구자들에 의해 보고가 되어있다(3-6). 전단집합조직형성에는 미치는 요인은 시편과 불과의 마찰계수, 압연온도, 압연변형형상(l/d parameter)등 여러 가지가 있다. 이와 같은 원인으로 시편의 중심층과 표면층에서의 변형이력이 달라지게 되며 중심층에서는 평면변형집합조직이, 그리고 표면층에서는 전단변형에 의한 전단집합조직이 발달하게 된다. 이번 연구에서는 페라이트역 압연시 전방 또는 후방인장을 가하여 이에 따른 집합조직의 변화를 알아보는 것이다.

2. 실험방법 및 집합조직 모사

2.1 실험 방법

압연시 롤의 지름은 127mm, 실험에 사용된 시편은 두께 1.5mm의 극저탄소강이며 시편의 조성은 표1과 같다. 초기 시편이 강한 집합조직을 갖지 않게 하기 위하여, 다음과 같은 준비작업을 하였다. 3.4mm 두께의 열간압연판재를 950℃에서 약 3분간 유지시킨 후, 30% 압연 후 급랭하고, 이를 다시 상온에서 30% 압연하고 700℃에서 10분간 재결정시켰다. 이와 같은 열간압연과 냉간압연 및 열처리를 1.5mm두께까지 반복하였다. 이렇게 준비된 시편을 700℃에서 무윤활 압연으로 1.2mm로 압연하였고 재결정을 억제하기 위해 압연 직후 물로 급랭하였다. 후방인장의 영향을 알아보기 위해 압연 중 시편 끝에 80kg의 추를 달아 시편에 약 50MPa의 응력을 가해 주었다(그림 1). Ti함유 극저탄소강의 항복응력은 약 50MPa이다(7).

집합조직의 측정은 X-선 디프랙토미터를 사용하여 (110), (200), (111) 반사면에 대해 극점도를 측정하였다. 시편의 각 층별로 발달하는 집합조직 변화 양상을 알아보기 위해 모든 시편에 대해 $s=0.1$, $s=0.5$, $s=0.9$ 층에 대해 측정하였다. 여기서 s 는 시편 두께방향으로 각층의 위치를 나타내는 인자로 $s=\Delta x/(d_0/2)$ 로 표현되며, Δx 는 시편 중심층으로부터의 거리를, d_0 는 시편의 두께를 나타낸다. 즉 $s=0.0$ 은 시편의 중심층을, $s=1.0$ 은 표면층을 나타낸다.

Table 1. Chemical compositions of IF steel sheets.

C	N	Mn	P	S	Al	Ti
0.0025	0.0025	0.1	0.01	0.01	0.04	0.04

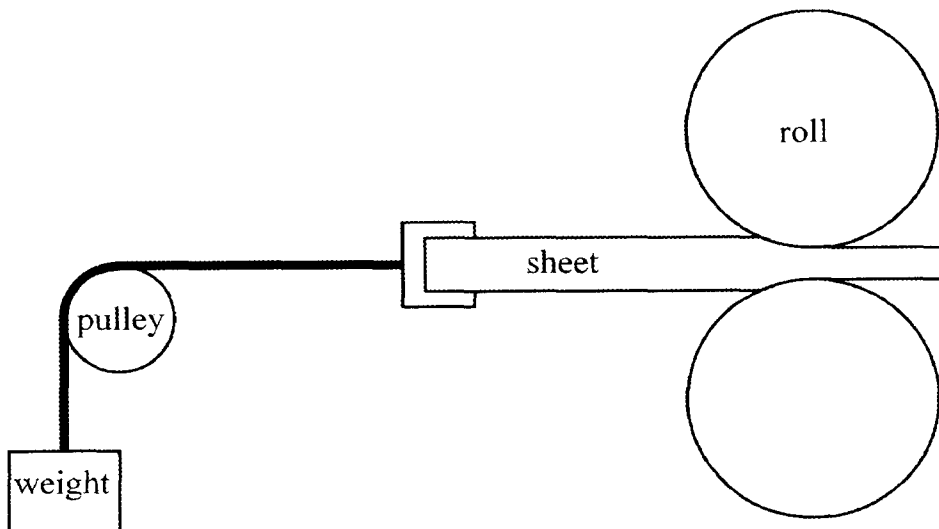


Fig. 1 Process of back tension applied rolling

2.2 변형집합조직 모사

압연 공정 모사는 2차원 등방성 탄소성 유한 요소법으로 계산하였다. 시편과 물과의 마찰계수는 다른 연구자들에 의해 사용된 값을 기본으로 하여 0.35로 가정하였다(8,9). 계산은 20%와 40%의 두 경우에 대해 하였으며, 각각에 대해 50MPa의 전방인장 혹은 후방인장을 가한 경우, 그리고 인장을 가하지 않은 경우를 계산하였다. 변형집합조직 모사는 표면층과 중심층, 중간층의 요소들에 대해 각각 유한요소법으로부터 구한 변형 이력으로부터 Taylor-Bishop-Hill 완전구속모델[10, 11]을 사용하여 계산하였다. 이때 작동하는 슬립계는 $\{110\}\langle 112\rangle$, $\{112\}\langle 111\rangle$ 로 가정하였고, 각 요소당 978개의 무질서한 방위를 갖는 결정들을 초기 조건으로 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실험결과

그림 2는 초기 시편의 표면부의 $\{110\}$ 극점도이다. 집합조직 발달을 약하게 하기 위하여 전처리를 해주었으나 다소 강한 집합조직이 발달하였다. 그림 3은 20% 단면 감소율로 압연후 각 층별로 측정된 $\{110\}$ 극점도이다. 중심층에서는 50MPa의 후방인장을 가해주었을 때와 가하지 않은 경우 모두 BCC급속의 전형적인 평면변형집합조직을 나타내고 있다. 표면층에는 전단변형집합조직인 $\{110\}\langle 001\rangle$, $\{112\}\langle 111\rangle$ 성분들이 발달하고 있다. 후방인장을 가해준 경우는 전단집합조직의 성분들의 발달한 정도가 인장을 가해주지 않은 경우보다 다소 약하다. 그러나 두께에 따라 집합조직의 발달양상은 거의 동일하다.

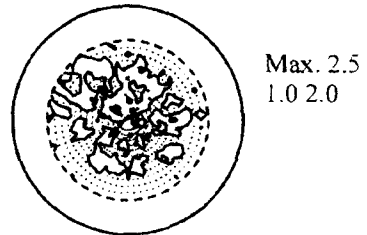


Fig. 2 $\{110\}$ pole figure of initial steel specimen($s=0.9$).

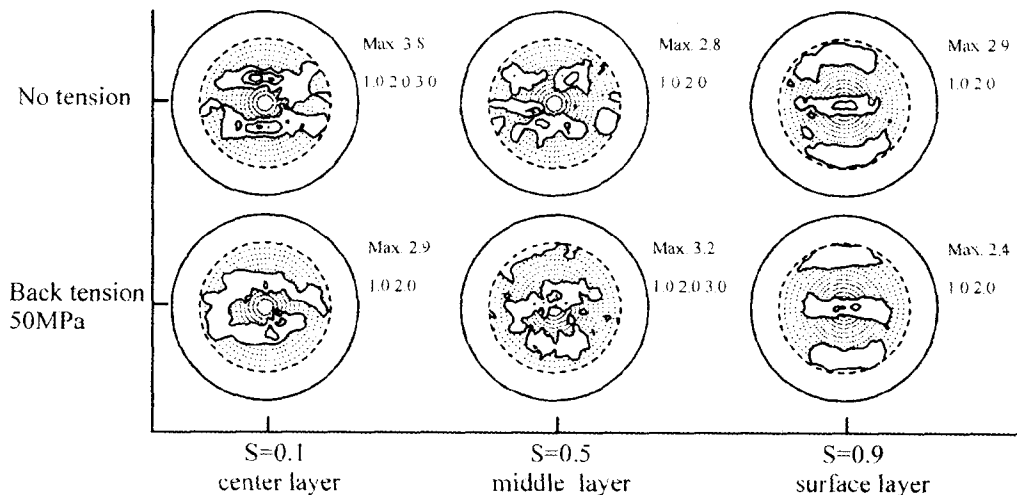


Fig. 3 Measured $\{110\}$ pole figures of 20% rolled Ti bearing extra low carbon steel sheet.

3.2 유한요소해석 결과

그림 4는 20% 압연에 대해 유한요소법으로 얻은 변형중분이력으로부터 계산된 극점도이다. 압연시 후방인장을 가하지 않은 경우는 실험결과와 비슷한 양상을 보인다. 그러나 후방인장을 가한 경우 계산결과에서 얻어진 극점도는 두께 전반에 걸쳐 전단성분들의 발달이 상당히 억제되어 중심부에서 표면부에 걸쳐 거의 동일한 평면변형압연집합조직을 갖는다. 전방인장을 가해준 경우는

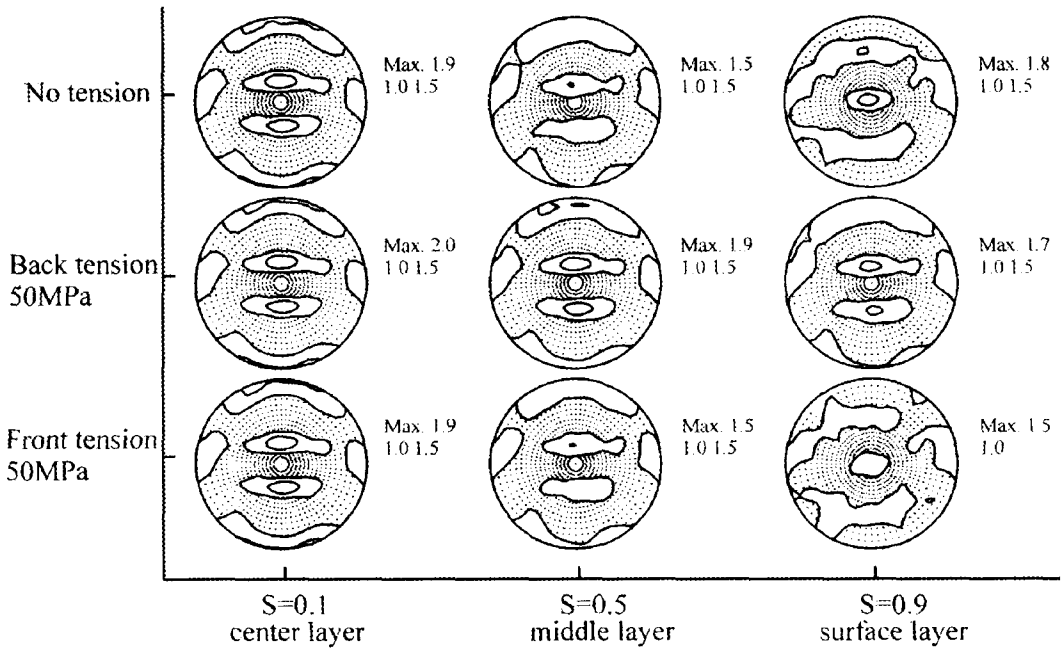


Fig. 4 Calculated (110) pole figures of 20% rolled Ti bearing extra low carbon steel sheet

표면층에서 방위 성분들의 발달 강도가 인장을 가하지 않은 경우보다 다소 낮아졌다. 그러나 후방 인장을 가해준 경우와는 달리 두께에 따른 발달 양상은 인장을 가하지 않은 경우와 거의 동일하며, 표면층에는 여전히 전단집합조직이 발달한다. 그림 5는 40% 압연에 대해 계산된 (110) 극점도

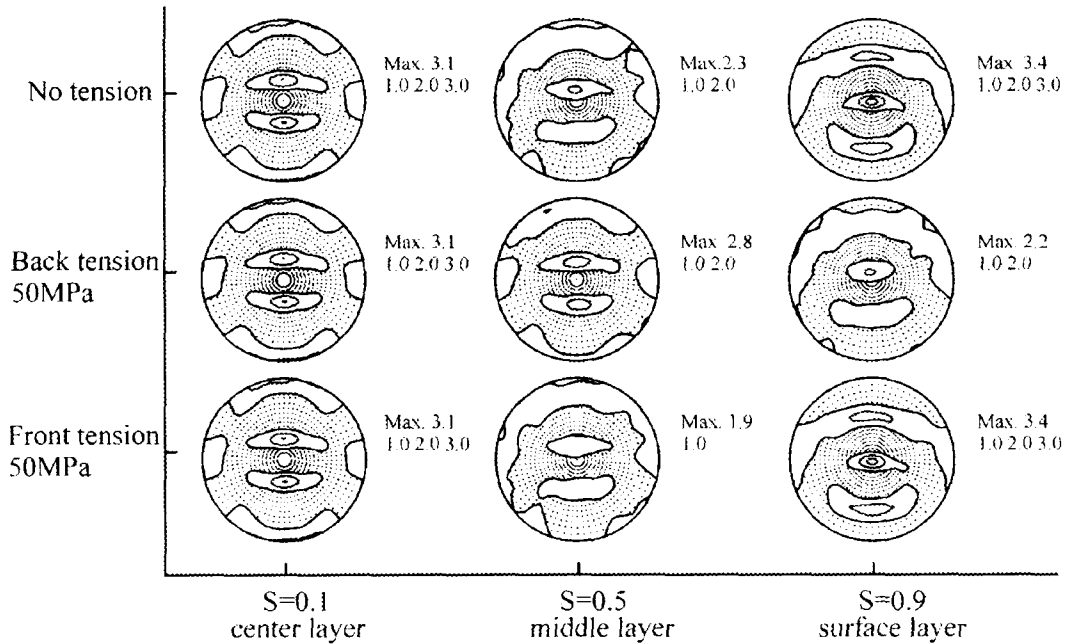


Fig. 5 Calculated (110) pole figures of 40% rolled Ti bearing extra low carbon steel sheet.

를 나타낸다. 압하율이 증가할수록 강한 집합조직이 발달하였고, 인장에 의한 전단성분의 억제 효과는 줄어들었다. 특히 전방인장을 가한 경우는 거의 효과가 없었다.

3.3 고찰

압연 중 전,후방인장은 중립점의 위치를 변화시킨다(12, 13). 압연시 중립점을 전후로 하여 시편과 롤과의 상대속도가 바뀐다. 따라서 중립점 이전에서는 양의 방향의 전단변형을, 중립점 이후에는 음의 방향의 전단변형을 각각 받게 된다(그림 6). 그러므로 전,후방인장에 따라 양의 전단변형과 음의 전단변형의 양을 변화시킬 수 있다. 그림 7은 20% 및 40% 압하율로 압연했을 경우 롤압력 분포를 나타낸다. 기존의 연구결과에서 보고된 바와 같이 전방인장을 가한 경우 중립점의 위치가 롤입구 쪽으로, 후방인장을 가한 경우 중립점의 위치가 롤출구 쪽으로 이동함을 볼 수 있다. 그러나 20% 압하율에 비해 40% 압하율에서는 전,후방인장에 의한 중립점의 이동은 그 변화가 작아서 인장의 효과가 매우 미약하다. 또한 인장을 가해줌에 따라 롤압력의 값도 줄어들었다. 이때 롤압력의 감소 역시 후방인장의 경우가 더 효과가 컸다.

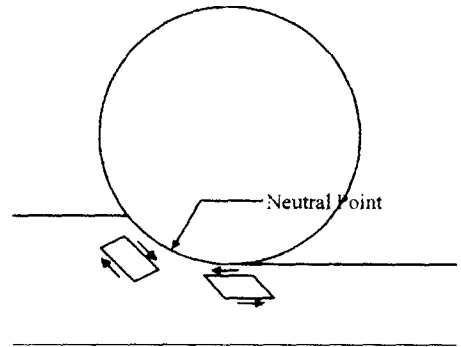
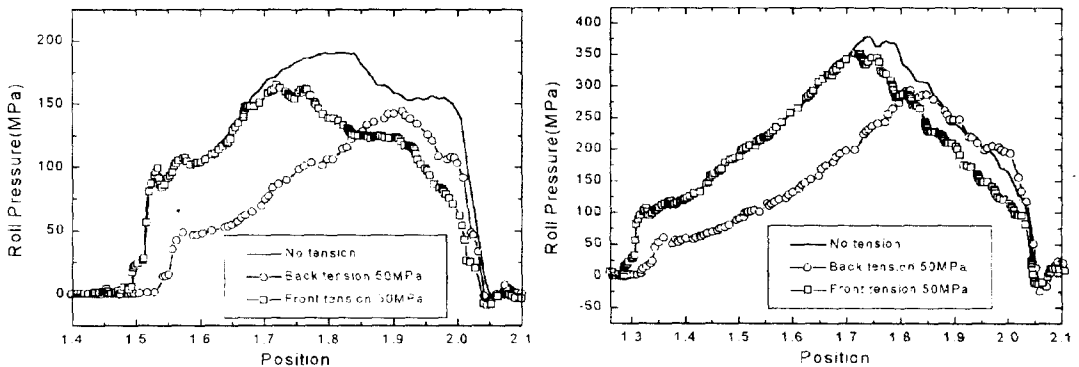


Fig. 6 Schematic change of a volume element during a pass through roll gap.

압연 중 어떠한 방위 성분의 발달이 안정한 것인가는 $d\epsilon_{13}/d\epsilon_{11}$ 의 값에 의존한다. 여기서 $d\epsilon_{13}$ 와 $d\epsilon_{11}$ 은 각각 전단변형증분 및 수직변형증분을 나타내며 첨자 1과 3은 압연방향과 면방향을 나타낸다. $d\epsilon_{13}/d\epsilon_{11}=0$ 이면 평면변형조건이 된다. 따라서 평면변형압연집합조직을 얻기 위해서는 최대한 전단변형을 줄여야 한다. 그림 8은 20% 및 40% 압연시 각 층별로 전단변형속도의 분포를 나타낸다. 20% 압연의 경우 후방인장을 가해준 경우, 표면층에서 전단변형속도가 인장을 가하지 않은 경우보다 50%이하로 줄었고(그림 8a, c), 이로 인해 표면층에서의 전단집합조직발달 억제의 효과가 크게 나타났다. 그러나 전방인장에 의한 전단변형감소는 작아서 전단집합조직발달의 억제에 효과가 작은 것으로 보인다(그림 8e, f). 40% 압연의 경우 인장을 가하지 않은 경우 전단변형속도값이 20% 압하율보다 훨씬 크므로(그림 8a, b) 50MPa의 후방인장을 가하여도 여전히 그 값



(a) 20% reduction

(b) 40% reduction

Fig. 7 Roll pressure distribution of (a) 20% and (b) 40% reductions during rolling.

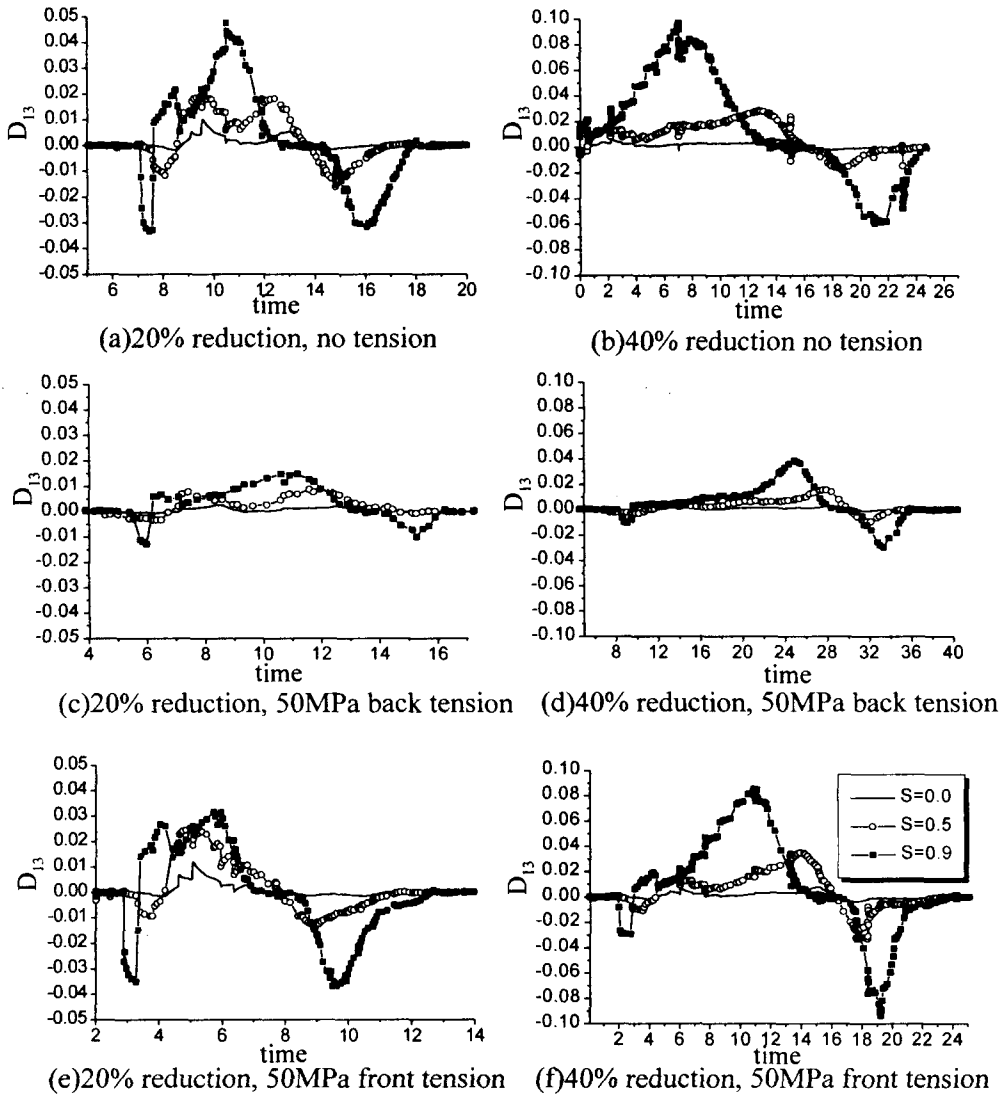


Fig. 8 Rate of deformation, D_{13} , during rolling

이 20% 압하율에서 인장을 가하지 않은 경우만큼 큰 값을 갖게된다. 따라서 압하율이 큰 경우, 후방인장에 의한 전단집합조직발달의 억제에 큰 효과가 없음을 알 수있다.

그러나, 앞에서 보여진 실험 결과는 계산 결과에서와 같이 후방 인장에 의한 뚜렷한 차이점이 나타나고 있지 않다. 실험에서는 후방인장에 의해 표면층의 전단성분의 세기가 약해지는 것 외에 큰 효과가 나타나지 않는다. 이와 같은 차이의 원인으로서는 첫째로 초기 시편의 영향을 생각할 수 있다. 계산상에서는 무질서한 방위를 가정하고 변형집합조직을 모사한 반면, 실험에 사용한 초기 시편은 전처리에도 불구하고 표면에 전단성분이 상당히 발달하여(그림 2) 후방인장에 의한 효과가 두드러지게 보이지 않았다. 또 한가지의 원인으로서는 계산과 실험상에서의 시편과 롤 사이의 마찰계수 값의 차이를 들 수 있다. 그림 9는 후방인장을 가하고 압연할 때, 마찰계수값이 변화함에 따라, 표면층에 발달하는 집합조직을 나타내는 극점도이다. 마찰계수가 증가할수록, <110>/ND 전단성분들이 증가하여, $\mu=0.5$ 인 경우에는 인장의 효과가 거의 없어졌다. 롤과 판재 사이의 마찰계

수 값은 매우 알기 어려워, 많은 연구자들의 관심사가 되어 왔지만, 보고된 값들은 실험 조건이나 연구자에 따라 매우 다양하다. 본 계산에서 가정한 $\mu=0.35$ 는 참고문헌에 보고된 값들 중 본 실험 조건과 가장 가까운 조건에 해당하는 값을 평균하여 채택한 값이다(8, 9). 따라서 실제의 실험에서는 마찰계수가 0.35보다 커서 후방인장의 효과가 작게 평가될 수 있다.

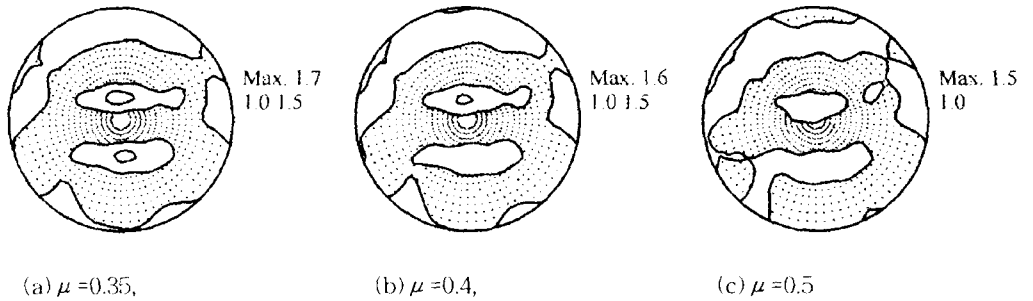


Fig. 9 (110) pole figures of surface layer, calculated with various friction coefficients in the case of 20% reduction with back tension of 50MPa.

4. 결론

압연시 변형집합조직에 미치는 후방인장 및 전방인장의 영향에 대하여 실험 및 계산을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 유한요소법으로 구한 변형이력으로부터 변형집합조직을 계산해 본 결과, 전방인장 및 후방인장 모두 압연 중에 전단변형속도와 롤압력을 감소시켰으며, 중립점의 위치도 변화시켰다. 그 결과 표면층에서의 전단집합조직 성분의 발달을 억제하는 효과를 가져왔다. 20% 압연의 경우 후방인장이 전방인장보다 전단집합조직 억제에 더욱 큰 효과가 있었다. 압하율이 증가할수록, 전단변형속도의 증가가 커져서 40% 압연의 경우 인장에 의한 전단집합조직 억제는 미약하였다. 실험에서는 20% 압연시 인장에 의한 집합조직 변화양상이 계산에 의해 예측된 것보다 미약하였다. 이는 초기 시편의 표면에 다소 강한 전단집합조직이 존재하였고, 롤과 판재 사이의 마찰계수가 계산에 사용된 값보다 더 큰 값을 가지기 때문으로 생각된다.

참고문헌

1. A. Sander et al., Iron and steel making, Feb, p.21(1995)
2. W. H. Parks, C. S. Haggerty and T. R. Rock, Iron and steel engineer, Oct, p.35(1997)
3. T. Sakai, Y. Saito, M. Matsuo and K. Kawasaki, ISIJ, vol. 31, no. 1, p.86(1991)
4. A. I. Fedosseev, D. Raabe and G. Gottstein, Mat. Sci. Forum, vol. 157-162, p.1771(1994)
5. T. Sakai, Y. Saito, K. Hirano and K. Kato, Trans. ISIJ, vol. 28, p.1028(1988)
6. G. Kim and O. Kwon, Proc. Thermec 88, Tokyo, p.668(1988)
7. K. K. Um, Ph.D. Thesis, Seoul National University, p.146(1998)
8. W. L. Roberts, Iron and Steel engineer, July, p.56(1974)
9. S. Matsuoka, M. Morita, O. Furukimi and T. Obara, ISIJ, vol. 38, no. 6, p.633(1998)
10. G. I. Taylor, J. Inst. Met., vol. 62, p.307(1938)
11. J. F. W. Bishop and R. Hill Phil. Mag. vol. 42, p.414(1951)
12. D. N. Lee, Deformation Processing, MoonWoon-dang, p.330(1995)
13. G. G. Shlomchack, I. Mamuzich and F. Vodopivec, Mat. Sci. Tech., vol. 11, no. 3, p.312(1995)