

# 유성압연공정에 의한 무계목관 성형의 유한요소해석

## FEA of Seamless Tube Forming by the Planetary Rolling Process

\*#조혜용<sup>1</sup>, 이경길<sup>2</sup>, 박진용<sup>3</sup>, 강우규<sup>3</sup>

\*#H. Y. Cho(hycho@cbnu.ac.kr)<sup>1</sup>, J. K. Lee<sup>2</sup>, J. Y. Park<sup>3</sup>, W. G. Kang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>충북대학교 기계공학부, <sup>2</sup>한국기술교육대학교 기계정보공학부, <sup>3</sup>충북대학원 정밀기계공학과

Key words : Planetary rolling mill, Finite element analysis

### 1. 서론

무계목관은 집합관에 비해 고압, 고온, 저온 등의 사용 환경에 보다 적합한 고품질, 고부가가치 자재로서 배관 및 구조용 등으로 활용범위가 매우 넓다. 일반적인 무계목관의 제조는 연속주조에 의한 빌렛가공, 빌렛절단, 압출, 다단 인발, 치수절단 등의 공정 순으로 이루어진다. 중간 성형체 가공을 위한 기존의 압출제조는 성형품 길이제한 및 설비 공간 확보 등의 문제점을 가지고 있다. 이를 신공법인 유성압연으로 대체 시에는 제조 공정의 단축과 제조원가 절감의 효과가 있어 동관제조에만 일부 활용되고 있다. 유성압연공정은 3개의 원추형 롤 사이에 연속주조 된 빌렛이 투입되어 모관을 제조하는 만네스만공법의 압연을 말한다. 공정변수로는 롤 형상, 기울임각, 비틀림각, 자전속도, 공전속도 등의 매우 다양하며 복합적인 상호작용의 특성을 갖고 있다. 유성압연의 공정변수 파악 및 영향분석 등을 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다.<sup>1-4</sup> 그러나 다양한 재질에 대하여 유성압연공정에 의한 무계목관 성형에 관한 연구는 미진하여 공정개선을 위한 관련연구가 요구되는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 동관 유성압연의 선행연구5를 토대로 해석적 방법을 통해 AISI 304 무계목관 제조에 대한 유성압연공정 적용 가능성 및 생산성 검토를 하였고, 공정변수들이 성형성에 미치는 영향 파악과 상호관계를 규명하고자 하였다.

### 2. 유한요소해석

강소성 유한요소해석 프로그램인 DEFORM-3D를 이용하여 유성압연기에 의한 스테인리스강관 압연을 시뮬레이션 하였다. Fig.1은 시스템 형상 모델링으로 사면체로 요소분할 된 빌렛을 제외한 롤, 맨드릴, 왜건은 강체로 해석에 적용된다.

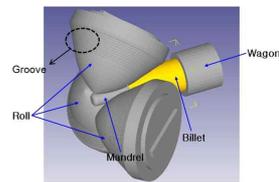
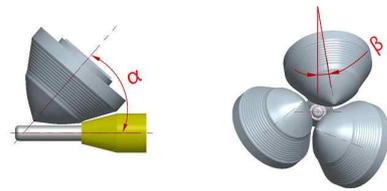


Fig. 1 Analysis model for planetary rolling

유성압연의 중요 공정변수는 롤의 형상, 자전 및 공전 속도, 왜건 속도, 압연 후 단면감소율, 초기 소재온도 등이다. Fig. 2는 유성압연기에서 롤의 기울임각과 비틀림각을 나타낸 것으로 무계목관의 성형성 및 가공속도에 영향이 큰 공정변수들이다. 공정변수의 해석범위는 선행연구<sup>4</sup>를 참고로 Table 1과 같은 조건이다.



(a) tilting angle( $\alpha$ ) (b) twist angle( $\beta$ )  
Fig. 2 Tilting angle and twist angle of roll

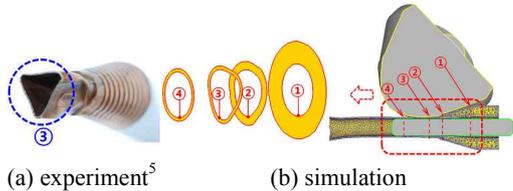
Table 1 Analysis conditions of planetary rolling for AISI 304

Rotation speed, $\omega_r$ (rpm)	130
Wagon speed, $V_p$ (mm/s)	8
Tilting angle( $\alpha$ )	45° ~ 50°
Twist angle( $\beta$ )	12°
Forming thickness, $t$ (mm)	2.5 ~ 7.5
Area reduction ratio, $Ar$ (%)	81.0 ~ 94.3
Pre-heating temperature(°C)	850

### 3. 유한요소해석 결과

Fig. 3(a)은 유성압연기에 의한 무계목관 성형과정에 대해 선행연구<sup>4</sup>의 실험결과이고, Fig. 3(b)은

AISI 304의 압연 해석결과이다. 빌렛은 롤의 표면 형상 궤적을 따라 외경이 감소하고, 원형소재는 3개 롤에 의해 큰 단면감소율로 성형되며 삼각형의 단면변형 후 원형의 성형체로 제조됨을 알 수 있다.



(a) experiment<sup>5</sup> (b) simulation  
Fig. 4 Deformation process of planetary rolling

Fig. 5는 가공 전 빌렛 초기온도가 20℃일 때, 성형두께에 따른 종단면 온도분포의 결과를 나타낸 것이다. Fig. 5(a)의 성형두께 2.5mm를 제외함 5mm, 7.5mm의 경우는 롤과 빌렛사이에 슬립이 발생되었다. 이는 AISI 304의 경우 열간가공에 적합한 재료로 유도가열장치에 의한 빌렛을 예열하는 공정이 필요할 것으로 판단된다.

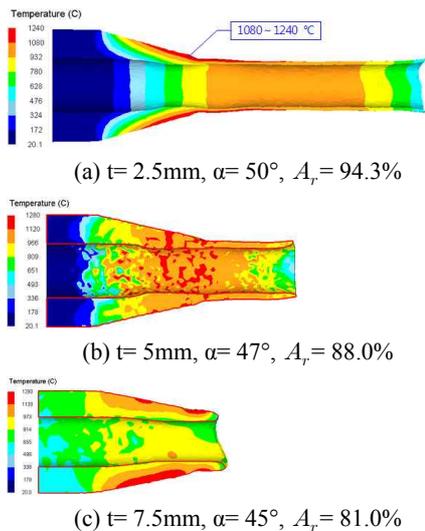


Fig. 5 Temperature distributions according to tube forming thickness for 20℃ initial temperature ( $\mu_c = 0.9, \beta = 12^\circ, \omega_r = 130\text{rpm}, V_p = 8\text{mm/s}$ )

Fig. 6은 가공 전 예열을 통한 빌렛 초기온도가 850℃일 때 성형두께에 따른 해석에서 종단면 온도 분포 결과를 나타낸 것이다. Fig. 5의 빌렛 초기온도가 상온으로 압연 시 발생하는 슬립현상을 방지할 수 있었다. 이는 가공 전 빌렛을 열간가공 온도의 약 70%로 예열함으로써 압연 중 내외부의 온도차를 줄였기 때문에 균질한 변형이 된 것이다.

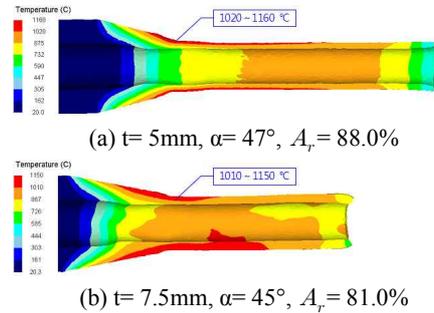


Fig. 6 Temperature distributions according to tube forming thickness for 850℃ initial temperature ( $\mu_c = 0.9, \beta = 12^\circ, \omega_r = 130\text{rpm}, V_p = 8\text{mm/s}$ )

AISI 304의 열간가공 온도범위는 1150~1250℃이며, Fig. 6의 성형온도는 1000~1200℃로서 열간가공의 범위를 만족함을 확인할 수 있다. 따라서 유도가열온도 850℃는 초기온도가 적합함을 알 수 있다. 또한, 스테인리스강관 제조의 압출공정을 유성압연공정으로 대체 시 성형성 및 생산성 향상 통한 제조원가 절감의 효과가 기대된다.

#### 4. 결론

빌렛소재의 예열을 통해 두께 7.5mm까지 81% 이상의 단면감소율로 AISI 304 스테인리스 강관의 압연가공이 가능함을 해석적으로 검토할 수 있었고, 스테인리스강과 같이 변형속도민감도지수가 높은 재료의 압연 시에는 유도가열장치에 의해 초기성형온도를 높임으로서 성형성을 크게 향상시킬 수 있으며, AISI 304 스테인리스 강 경우 적정 예열온도는 약 850℃일 것이다.

#### 참고문헌

1. Y. M. Hwang, H. H. Hsu and G. Y. Tzou, "A Study of PSW Rolling Process Using Stream Functions", Journal of Materials Processing Technology, 80-81, 341-344, 1998.
2. S. J. Wu, Y. M. Hwang and M. H. Chang, "A Three-Dimensional Finite Element Analysis of the Three-Roll Planetary Mill", Journal of Materials Processing Technology, 123, 336-345, 2002.
3. C. Hung and C. K. Shih, "Experimental and Numerical Analyses on Three-Roll Planetary Rolling Process", Journal of Materials Processing Technology, 142, 702-709, 2003.
4. J. K. Lee, K. B. Han, K. W. Kim, J. W. Choi, J. H. Kim and H. Y. Cho, "FEA of Copper Tube Rolling Process Using the Planetary Rolling Mill", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 34, 303-309, 2010.