

## 18단 롤포밍 공정의 최적화를 위한 롤포밍 성형해석 Forming Analysis for Optimization of 18 Stage Roll Forming Process

정동원\* · 박상후\*\* · 정지현\*\*\*†

Dong-Won Jung\*, Sang-Hu Park\*\* and Ji-Hyun Jeong\*\*\*†

(접수일 : 2012년 06월 26일, 수정일 : 2012년 11월 28일, 채택확정 : 2012년 11월 29일)

**Abstract:** The under rail slide is the latest device to make accurate rectilinear reciprocating motion. In these day, 3-point type is used mostly for the products requiring high strength and performance such as refrigerator door guide or furniture drawer guide. However, It is all imported from foreign countries due to lack of the roll forming technique to make 3-point type under rail slide in domestic. Therefore, design and manufacturing technology for the 3-point type under rail slide are need to development through systematic study. In this paper, to make center member of 3-point ball-type under rail slide for the refrigerator doors, the roll forming modeling and simulation are performed using Shape-RF software. Tensile test is performed about SCP-1 1/2H for determine the mechanical properties of materials. Interference between the roll and the final shape are predicted from the results of the simulation ; this result show that the desirable performance and usefulness of the designed roll forming process.

**Key Words :** Roll Forming Process, Under Rail Slide, Center Member, Tensile Test, Ball Type

### 1. 서 론

언더 레일 슬라이드(under rail slide)는 소재를 U자 형태로 성형하고, 소재사이에 강구(steel ball)를 삽입하여 마찰을 최소화 시켜서 정밀한 직선 왕복 운동을 가능하게 하는 기계부품이다. 초기의 언더 레일 슬라이드는 저하중의 무게를 지지하면서 부드럽게 열리고 닫히는 필요성에 의해 전문 메이커가 아닌 가구회사 및 가전제품 생산 관련업체 등에 의해 단순하게 제작되어 일반 기계부품으로 취

급되던 제품이였다. 그러나 최근 언더 레일 슬라이드의 국내와 세계적인 추세는 가전제품(냉장고 내부) 및 가구(고급가구의 서랍)의 고급화와 소비자 만족도의 상승으로 이전의 단순한 서랍식 여닫이 시스템이 아닌 인테리어 기술의 고급화 발전에 따라 그 형상에서도 초 슬립화와 견고성, 부드러움 등이 구비된 고성능의 3점 언더레일 슬라이드를 장착하는 추세에 있다. 하지만 국내에서는 3점 언더레일 슬라이드의 가공 기술이나 설계 능력의 부족으로 독일(hettich)에서 전량 수입하고 있는 실정

\*\*\*† 정지현(교신저자) : 제주대학교 기계공학전공

E-mail : badaro@jeju.ac.kr, Tel : 064-754-3627

\*정동원 : 제주대학교 기계공학전공

\*\*박상후 : 부산대학교 기계공학전공

\*\*\*† Ji-Hyun Jeong(corresponding author) : Major of Mechanical Engineering, Jeju National University.

E-mail : badaro@jeju.ac.kr, Tel : 064-754-3627

\*Dong-Won Jung : Major of Mechanical Engineering, Jeju National University.

\*\*Sang-Hu Park : Major of Mechanical Engineering, Pusan National University.

이다. 따라서 체계적인 연구를 통한 고하중, 저소음형 3점 언더 레일 슬라이드의 독자설계 및 제조 기술을 구축해서 가전산업 및 가구산업의 국제 경쟁력을 향상시킬 필요성이 있다.

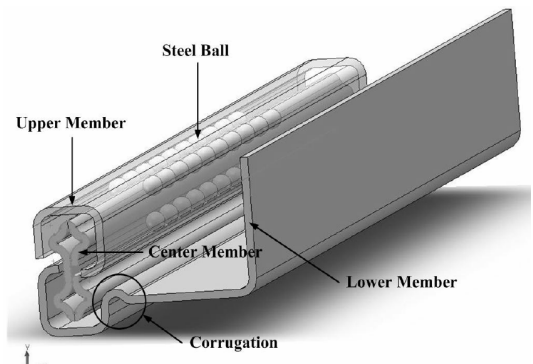
일반적으로 상위 멤버(upper member), 센터 멤버(center member) 그리고 하위 멤버(lower member)로 구성되는 3점 언더 레일 슬라이드는 형상이 복잡하고 정밀도를 요구하기 때문에 롤포밍 공법에 의해 성형된다. 롤포밍 공법은 다단의 회전롤 사이에 금속 판재를 통과시켜 점진적인 굽힘을 가하여 두께의 변화는 최소화하면서 길이가 긴 제품을 효율적으로 생산하는 공법이다<sup>1)</sup>. 롤포밍 공정은 압축과 인장이 복합적으로 나타나기 때문에 각각의 패스(pass)를 통과하는 형상의 예측이 어렵다. 또한 공정 중에 소재의 두께, 유동응력, 굽힘각 등 많은 인자의 영향을 받기 때문에 최종제품에 발생하는 주름이나 휨과 같은 버클링(buckling)현상을 정확히 예측하기가 어렵다. 외국의 경우 1930년대 코넬 대학의 Gerge Winter교수에 의해 연구가 시작된 이래 현재까지 많은 연구가 이루어지고 있다. 국내에서는 이 등<sup>2)</sup>이 2점 언더 레일 슬라이드의 롤포밍 공정 설계에 유한요소법 적용의 유용성을 고찰하였고, 정 등<sup>3)</sup>은 3점 언더레일 슬라이드의 구성품 중 상위 멤버(upper member)에 대한 변형률 분포와 버클링현상<sup>4,5)</sup>을 해석하였다. 그러나 이러한 연구들은 강도와 강성이 구조적으로 취약하여 고하중 조건에 부적합한 2점 언더레일 슬라이드이거나, 3점 언더레일 슬라이드 구성품 중 형상이 비교적 간단한 상위 멤버의 롤포밍 공정에 대해 연구하였다.

본 연구에서는 냉장고 도어용 3점 ball type 언더 레일 슬라이드의 구성품 중 형상이 복잡하여 제작이 어려운 센터 멤버(center member)의 롤포밍 공정을 시뮬레이션한다. 재료로 쓰이는 냉간 압연 강판(SCP-1 1/2H)에 대한 인장시험을 통해 재료의 기계적 물성치를 파악한다. 모델링 및 시뮬레이션은 강소성 유한 요소법을 이용한 롤포밍 전용 해석 프로그램인 Shape-RF를 사용한다. 시뮬레이션을 통해 롤 사이의 간섭과 최종형상물을 예측하여 롤의 형상을 최적화하고자 하였다.

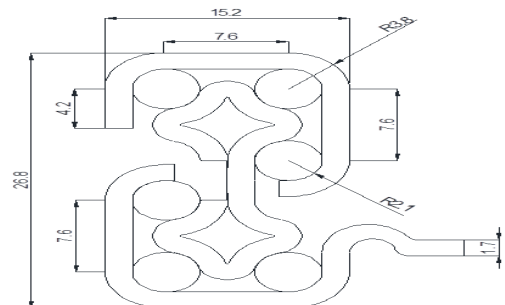
## 2. 롤포밍 공정 설계

### 2.1 3점 언더레일 모델링

냉장고 도어용으로 사용되는 3점 언더레일의 형상은 Fig. 1과 같이 상위 멤버, 하위 멤버(lower member) 그리고 센터 멤버로 구성된다. 언더레일은 하위 멤버를 고정하고 상위 멤버에 임의 케이스를 부착하여 운동하도록 모델링하였다. 본 연구에서는 공정상 가장 제작이 어려운 센터 멤버의 롤포밍 공정을 대상으로 하였다. 해석 소프트웨어(software)는 Non-Linear standard tool인 Shape-RF를 사용하였다. Shape-RF에서는 기본적으로 design modeler기능이 양호하지 못하기 때문에 CAD전용 툴인 AutoCAD 2005를 이용하여 롤의 단면을 먼저 그리고 난 뒤 Shape-RF상으로 삽입시켜서 롤을 모델링하였다. 또한 다른 3D 전용 툴(CATIA,



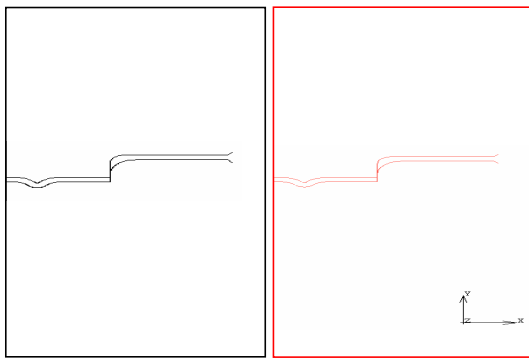
(a) Under rail



(b) Plan of under rail

Fig. 1 Analysis shape

UG 등)을 이용하여 직접 3차원으로 삽입시키는 방법 보다는 2D.dxf형식으로 삽입시키는 것이 효과적인 방법이라고 판단하였다. Fig. 2는 AutoCAD에서의 단면을 Shape-RF로 삽입시킨 첫 번째 롤의 단면형상이다. 총 롤의 개수는 18쌍으로 되어 있고, Fig. 2와 같은 작업을 반복적으로 수행하여 총 롤의 단면을 형상화시키고, 각 각의 단 면을 X축을 중심축으로 360도 회전하여 Fig. 3과 같이 18쌍의 롤을 체표면(surface body)으로 전부 묘사하였다.



(a) Working AutoCAD (b) Working Shape-RF

Fig. 2 Import data to Shape-RF

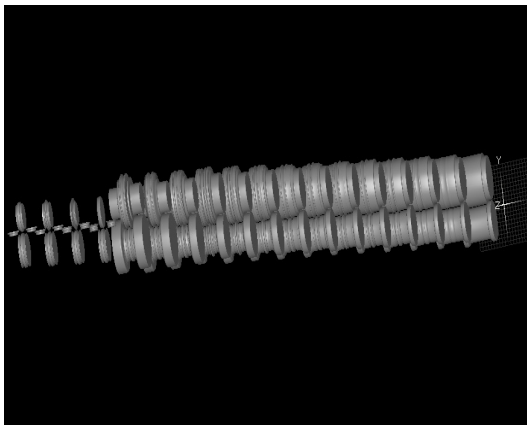


Fig. 3 Total of forming roll

## 2.2 경계조건해석

대부분의 유한요소해석에서 절점(node)과 요소(element)의 수가 많아지면 해석시간이 길어지고,

수치적으로 국부적인 에러(error)가 발생하는 경우가 많다<sup>6,7)</sup>. 즉, 유한요소해석은 해석하는 모델을 어떻게 메쉬(mesh)로 분할하여 표현하느냐에 따라서 해석값의 차이가 발생한다. 이렇듯 본 해석에서 대상이 되는 센터 멤버는 Fig. 1과 같이 Y축 좌,우 대칭성을 가지기 때문에 Y축을 기준으로 대칭면(symmetry plane)을 설정하여 Fig. 4와 같이 대칭면을 기준으로 오른쪽만 해석하였다. 이것은 해석시간을 줄일 수 있고, 수치적 에러도 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 롤포밍의 실제공정에서는 장비의 양끝단 부분에서 소재를 팽팽하게 하는 기본 롤 장치가 있는데 이는 소재가 평행을 유지하면서 병진운동을 하게 해주기 위함이다. 기본적으로 롤과 소재의 마찰에 의한 토크(torque)가 소재를 앞으로 이동시킬 수 있겠지만 장비의 양단

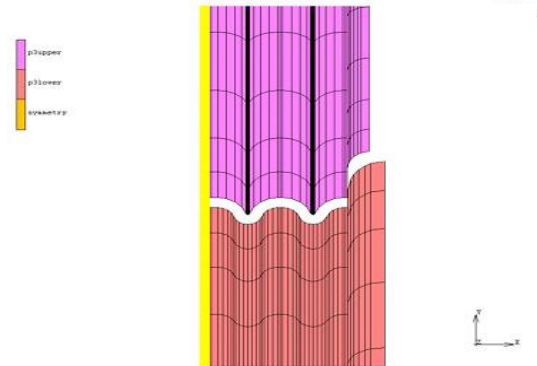


Fig. 4 Symmetry plane

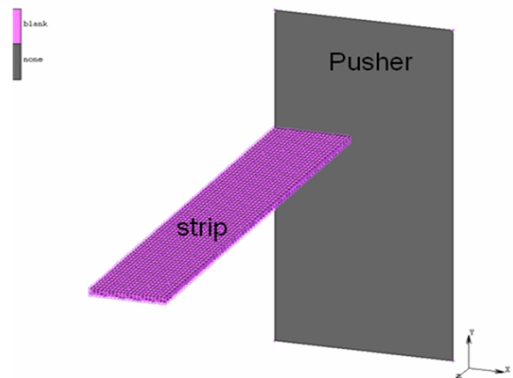


Fig. 5 Pusher

끝의 롤이 소재를 당기기 때문에 소재가 성형된다. 이를 해석상의 표현으로 해주기 위해서 소재의 뒤에 Fig. 5와 같이 소재를 뒤에서 밀어주는 푸셔(pusher)를 넣어 주었다.

Table 1 Division number

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
B L A N K	L	2	3.35	1.91	2.5	1.91	2.5	1.91	3.35	0.5
	Angle		1.26	2.51	0.94	2.51	0.94	2.51	1.25	
	Ri		2.1	0.2	2.1	0.2	2.1	0.2	2.1	
	Ro		3.8	1.9	3.8	1.9	3.8	1.9	3.8	
	Division	4	8	15	6	15	6	15	8	2

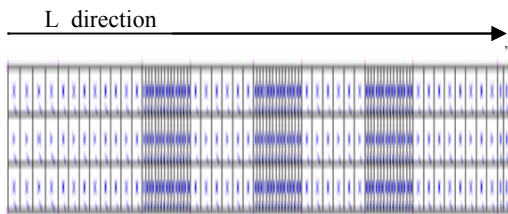


Fig. 6 Finite-element modeling

### 2.3 요소 선정 및 유한요소 모델링

제품이 생산되는 동안 힘에 의해 재료에 변형이 발생하기 때문에 힘을 고려한 요소 선정은 중요한 역할을 한다. 롤포밍 공정시 재료는 두께, 넓이, 길이 방향으로 인장/압축이 일어나고 또한 굽힘(bending)이 발생하기 때문에 본 해석에서는 8절점 육면체 요소를 사용하였다. 공정시 재료에 두께방향으로 굽힘이 일어나기 때문에, 유한요소 모델링을 위해서 우선 재료를 3단계로 나누고, 제품의 최종 형상 단면을 고려하여 초기방향의 길이 방향으로 굽힘이 많이 일어나는 부분을 Fig. 6과 같이 유한요소 모델링하였다. Table 1은 대칭면을 기준으로 오른쪽 길이 방향으로 제품의 최종 형상을 고려하여 요소망의 수를 예측하고 작게 나누어 나타내었다.

## 3. 재료의 물성 및 경계조건 입력

### 3.1 인장시험

Table 2 Material properties of SCP-1 1/2H

Material	SCP-1 1/2H
Young's modulus	60GPa
Yield stress	420Mpa
Poisson' ratio	0.3

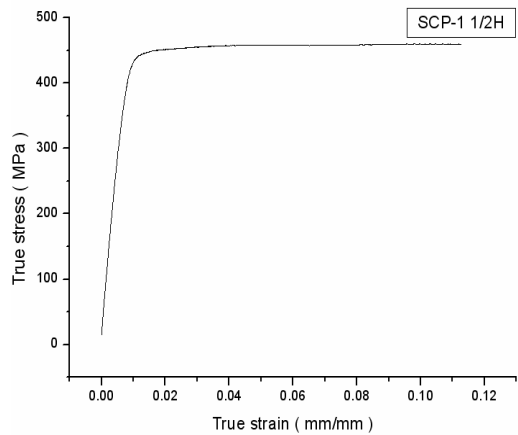


Fig. 7 True strain/stress curve

대부분의 언더레이를 성형하기 위해서 사용하고 있는 재질은 냉간 압연 강판(SCP-1)이다. 냉간 압연 강판은 열간 압연 강판에 비해 두께가 얇고 표면이 매끄러우며 가공성이 우수하기 때문에 대부분의 롤포밍 공정에 많이 사용되는 재료이다. 그러나 센터 멤버를 생산하는 재료는 경도가 반 정도 작은 (SCP-1 1/2H)이다. 이는 기존의 냉간 압연 강판의 기계적 물성치는 나와 있지만 경도가 반으로 작아진 것은 잘 나와 있지 않아서 직접 인장 시험을 하였다. 스트립(Strip) 되어 있는 재료를 직접 KS B 0501(금속재료 인장 시험편 규격)을 참고하여 표준 시험편 5호로 제작하여 시험하였다. 인장시험 결과 얻어진 시험편의 기계적 특성을 Table 2에 나타내었으며 소성가공에서 필요한 진응력-진변형률 곡선(True strain/stress curve)을

Fig. 7에 나타내었다.

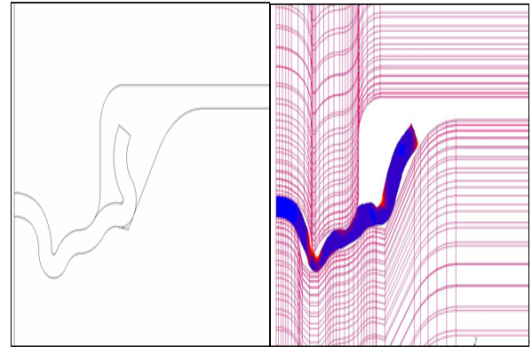
### 3.2 해석조건 입력

Table 3 Boundary condition

Item	Value
Initial thickness(mm)	1.7
Strip width(mm)	20.75
Friction coefficient	0.2
No. of roll pass	11
Angular velocity(rad/s)	2.13

실제 공정과 비슷하게 구현하기 위해서 요소 뒤에 푸셔를 만들어 요소가 병진운동을 하게 하고 병진운동에 따른 롤에 각속도를 부여해 주었다. 또한 롤과요소는 마찰력이 생기기 때문에 각각의 롤에 마찰계수를 주었고, 요소와 롤이 해석 시 경로 이탈

방지를 위해 대칭면에 전부 접촉을 시켰다. 롤은 변형을 하지 않기 때문에 강체(rigid body)로 설정하고 요소는 변형을 하기 때문에 변형체(deformable body)로 설정하였다. Table 3에 유히롤(idle roll)은 없다고 가정하고 성형의 공정조건을 표시하였다.



(a) Original design (b) Analysis result

Fig. 8 Between designed shape and analysis result

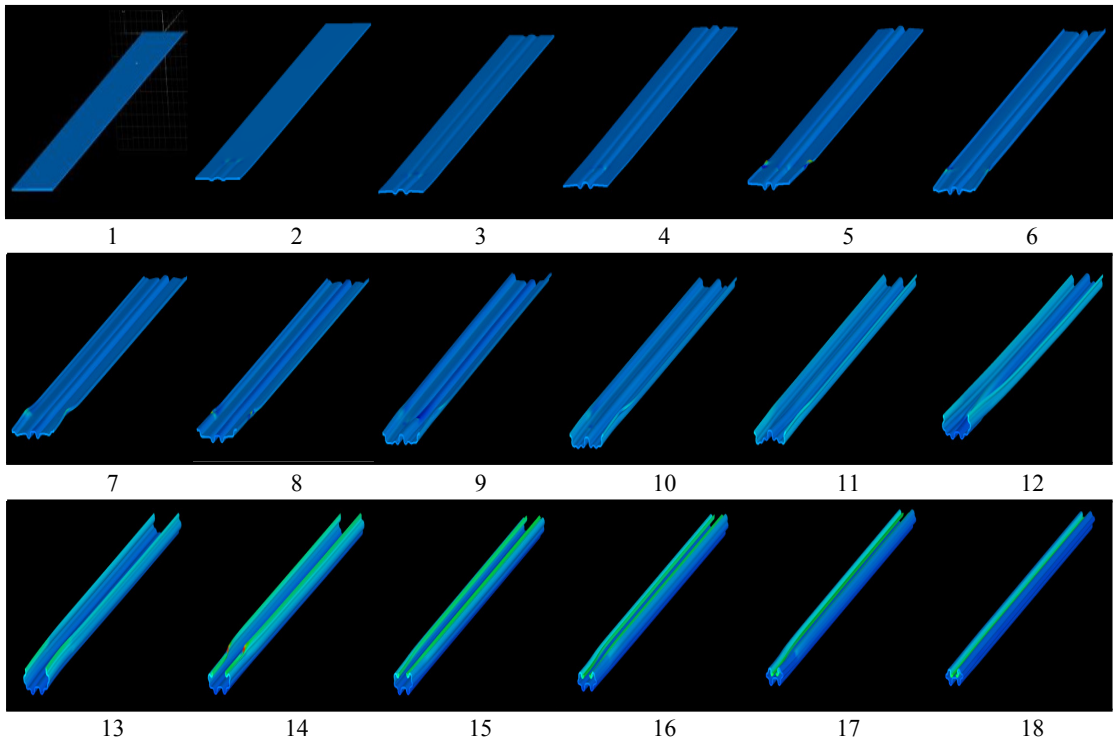


Fig. 9 Longitudinal strain distribution and deformed shape

#### 4. 해석결과 및 고찰

총 공정을 12공정으로 설계한 후 시뮬레이션한 결과 1공정부터 제품에 무리한 변형을 일으켜 6 단 롤을 통과하는 순간 Fig. 8과 같이 원래의 설계형상과 다르게 굽힘을 하지 못하고 형상 또한 고르지 않았다. 따라서 롤 사이의 간섭을 최소화 하고 무리한 변형을 일으키지 않게 하기 위해서 공정을 모두 18공정으로 설계하고 시뮬레이션하였다. 롤포밍 해석 시에 각 공정에서 발생하는 단면 변형형상을 롤의 설계변형에 반영하였고, 각 공정에서 롤의 형상과 단면 변형형상을 Fig. 8에 연속적으로 나타내었다. 여기서 앞 공정의 롤을 통과한 후 다음 공정의 롤에 물려 들어가는 순간 대부분의 소재에서 발생하는 롤의 간섭이 전혀 발생하지 않음을 확인하였다. 또한 소재를 1공정에서 18공정까지 서서히 성형한 결과 설계형상과 최종형상이 정확하게 일치함을 알 수 있었다. Fig.

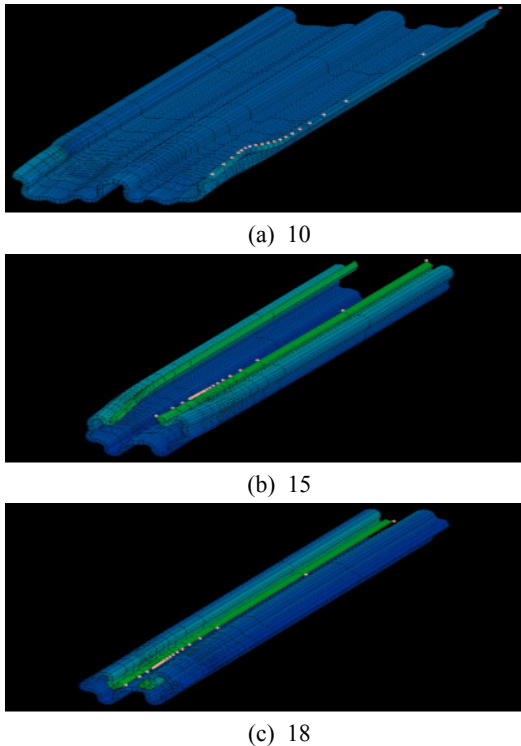


Fig. 10 Selected point of 10, 15, 18 process

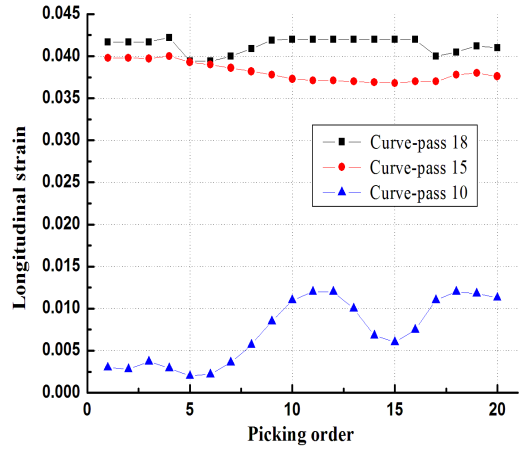


Fig. 11 Longitudinal strain of the selected point

9는 각 공정에서의 세로변형률(longitudinal strain) 분포를 나타내는데 이것은 롤포밍 설계 시에 가장 중요한 데이터라고 할 수 있다. 롤포밍 해석 결과로 얻은 세로변형률 데이터를 이용하여 롤형상설계를 최적화 할 수 있었다. Fig. 10에 나타난 10, 15, 18공정의 선택된 점들을 이용한 세로변형률 분포를 Fig. 11에 나타내었다. 10단에서 선택된 점들은 공정 앞부분으로 갈수록 세로변형률이 작아짐을 알 수 있었으나, 15단에서는 앞으로 갈수록 약간 커지고 18단에서는 거의 균일한 세로변형률분포가 나타남을 알 수 있었다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 냉장고 도어용 3점 ball type 언더 레일 슬라이드의 구성품 중 형상이 복잡하여 제작이 어려운 센터 멤버를 모델링하고 롤포밍 공정을 시뮬레이션하였다. 유한요소 해석에 사용된 재료는 냉간 압연 강판(SCP-1 1/2H)이고 인장시험을 통해 재료의특성을 파악하였다. 모델링 및 시뮬레이션은 강소성 유한 요소법을 이용한 롤포밍 전용 해석 프로그램인 Shape-RF를 사용하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 롤포밍 공정 시 굽힘을 18공정으로 나누어서 천천히 성형한 결과 무리한 굽힘에 의한 이상 형상을 보완할 수 있었다.

2) 롤포밍 해석결과로 얻은 각 공정에서의 세로 변형률 자료들을 이용하여 롤의 설계형상을 최적화할 수 있었다.

3) 최적화시킨 각 공정 사이의 거리와 롤의 설계형상을 이용해서 롤과 롤 사이의 간섭을 최소화시켰고 최종형상 또한 설계형상과 같은 성형을 만들 수 있었다.

4) 이 롤포밍 해석기술을 사용해서 롤포밍기를 제작한다면 사전예측에 따른 시행착오를 줄일 수 있고, 원가절감 및 품질향상 등의 획기적인 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

이 논문은 2013학년도 제주대학교 학술진흥연구비 지원사업에 의하여 연구되었음.

## References

1. C. Wick, J. T. Benedic and R. F. Veilleux, 1984, "Tool and Manufacturing Engineers Handbook", Society of Manufacturing Engineers, Michigan, Vol. 2, Chapter 8.
2. T. S. Lee and G. H. Kim, 2009, "Finite Element Analysis for Precision Roll Forming Process of Stainless Slide Rail", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 26, No. 8, pp. 96-103.
3. S. H. Jeong, S. H. Lee, G. H. Kim, J. S. Kim and J. T. Kim, 2008, "A Study on Roll Forming Simulation of Under Rail", Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers", Vol. 17, No. 3, pp. 78-85.
4. M. S. Tehrani, P. Hartley, H. M. Naeini and H. Khademizadeh, 2005, "Localised Edge Buckling in cold Roll-Forming of symmetric Channel Section", Thin-Walled Structures, Vol. 44, No. 2, pp. 1-13.
5. S. Y. Lee, 2001, "Analysis of Roll Forming Process for Pipe using Rigid-Plastic Finite

element Method", Thesis of Degree of M. SC. Sogang Univ., pp. 50-61.

6. D. W. Jeong and K. B. Yang, 1999, "A Study the Criterion for Membrane/Shell Mixed Element and Application to the Rigid-Plastic/Elastic-Plastic Finite Element Analysis", The Korean Society of Ocean engineers, Vol. 13, No. 2, pp. 1-10.
7. D. G. Ahn, D. W. Jung, D. Y. Yang and W. J. Jung, 1996, "Rigid-Plastic Explicit Finite Element Formulation for Two-Dimensional Analysis of Sheet Metal Forming Processes", The Korean society of Mechanical Engineers, Vol. 20, No. 1, pp. 88-99.