

3점 언더레일 슬라이드의 롤포밍 공정에 대한 성형해석연구 A Study on Forming Analysis for the Roll Forming Process of 3 Point Under Rail

정동원* · 박상후** · 정지현***†

D. W. Jung*, S. H. Park** and J. H. Jeong***†

(접수일 : 2012년 06월 27일, 수정일 : 2012년 09월 03일, 채택확정 : 2012년 09월 14일)

Key Words : Roll Forming Process(롤 포밍 공정), Under Rail Slide(언더레일 슬라이드), Center Member(센터 멤버), Tensile Test(인장실험), Ball Type(구형)

Abstract : Roll forming process is one of the most widely used processes in the world for forming metals such as a furniture drawer guide or an up and down slide guide. It can manufacture goods of the uniform cross section on a large scale throughout the continuous processing. In the domestic design and manufacture, roll forming process for production is taking most of the method of 2-point under rail slide. However, this method is vulnerable to the structural strength and stiffness is not suitable for high load conditions. Therefore, through systematic study of high load, low noise 3-point ball type of under rail slide its own design and manufacturing technology is the need to build.

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. Tensile test is performed about SCP-1 1/2H for determine the mechanical properties of materials. Modeling and simulation of roll forming is used MSC.MARC software of a dedicated analysis program used by rigid plastic finite element method. Interference between the roll and the final shape are predicted from the results of the simulation.

1. 서 론

언더 레일 슬라이드(under rail slide)는 주로 다양한 형태의 물체를 특정목적에 따라 움직이기 위한 기계부품으로 많이 사용되며 그 용도에 따라 크게 산업용 레일, 가구용 레일, 의료용 레일, 기타 주문형 레일로 구분되며, 세계적인 시장 수요는 매년 10%이상 성장하고 있는 추세이다. 이중 산업용 및 가구용 레일의 총수요가 약 60%이상 차지하고 있다. 일반적으로 언더 레일 슬라이드의 출현은 고하중의 무게를 지지하면서 부드럽게 열리고 닫히는 필요성에 의해

개발되어 초기에는 전문 메이커가 아닌 가구회사 및 가전제품 생산 관련업체 등에 의해 단순하게 제작되어 일반 기계부품으로 취급되던 제품이었다. 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 슬림화와 견고성, 부드러움 등이 구비된 고성능의 레일 슬라이드를 장착하는 추세에 있다. 언더 레일 슬라이드의 방식에 있어서도 강도와 강성이 구조적으로 취약한 2점 언

***† 정지현(교신저자) : 제주대학교 기계시스템공학부.
E-mail : badaro@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3627

*정동원 : 제주대학교 기계시스템공학부

**박상후 : 부산대학교 기계공학부

***† J. H. Jeong(corresponding author) : Major of Mechanical Engineering, Jeju National University.

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

*D. W. Jung : Major of Mechanical Engineering, Jeju National University.

**S. H. Park : Major of Mechanical Engineering, Pusan National University.

더 레일 슬라이더를 보완하여 내구성이 향상된 3점 언더 레일 슬라이드 등의 기능성 제품들이 출시되어 세계적 메이커들이 시장 우위를 확보하기 위하여 경쟁하고 있다. 특히, 현재 국내제품들의 경쟁력 저하로 고급 가전제품(김치냉장고, 드럼세탁기 등) 및 고급가구 등에 장착되는 고부가가치의 고급형 언더레일 슬라이드는 전량 수입에 의존하고 있어 고품질의 기능성 레일 슬라이드 제품 개발이 절실한 상황이다. 따라서 체계적인 연구를 통한 고하중, 저소음형 3점 ball type 언더 레일 슬라이드의 독자설계 및 제조기술을 구축해서 가전산업 및 가구산업의 국제경쟁력을 향상시킬 필요성이 있다.

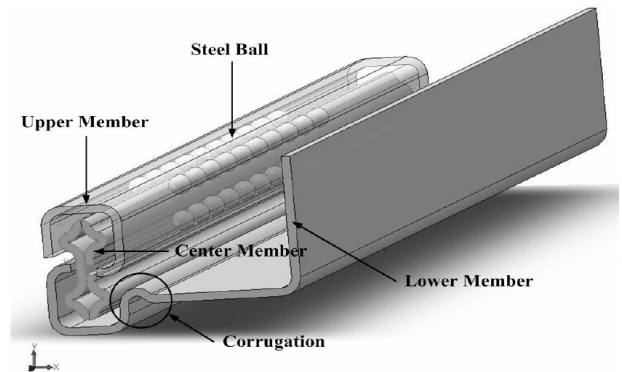
언더 레일 슬라이드는 프레스 공법에 의해서도 성형되지만 형상이 복잡하거나 정밀도를 요구하는 제품은 롤포밍 공법에 의해 성형된다. 롤포밍 공법은 다단의 회전롤 사이에 금속 판재를 통과시켜 점진적인 굽힘을 가하여 두께의 변화는 최소화하면서 길이가 긴 제품을 효율적으로 생산하는 공법이다¹⁾. 롤포밍 공정은 압축과 인장이 복합적으로 나타나기 때문에 각각의 패스(pass)를 통과하는 형상의 예측이 어렵다. 또한 공정 중에 소재의 두께, 유동응력, 굽힘각 등 많은 인자의 영향을 받기 때문에 최종제품에 발생하는 주름이나 휨과 같은 버클링(buckling)현상을 정확히 예측하기가 어렵다^{2,3)}. 이 등⁴⁾은 2점 언더 레일 슬라이드의 롤포밍 공정 설계에 유한요소법을 적용하는 것에 대한 유용성을 고찰하였고, 정 등⁵⁾은 3점 언더레일 슬라이드의 구성품 중 상위 멤버(upper member)에 대한 변형률 분포와 버클링현상을 해석하였다. 그러나 이러한 연구들은 강도와 강성이 구조적으로 취약하여 고하중 조건에 부적합한 2점 언더 레일 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 시뮬레이션하였다. 재료로 쓰이는 냉간 압연 강판(SCP-1 1/2H)에 대한 인장시험을 통해 재료의 기계적 물성치를 파악하였다. 모델링 및 시뮬레이션은 강소성 유한 요소법을 이용한 롤포밍 전용 해석 프로그램인 MSC.MARC를 사용하였다. 시뮬레이션을 통해 롤사이의 간섭과 최종형상물을 예측하여 롤 설계를 검토하였다.

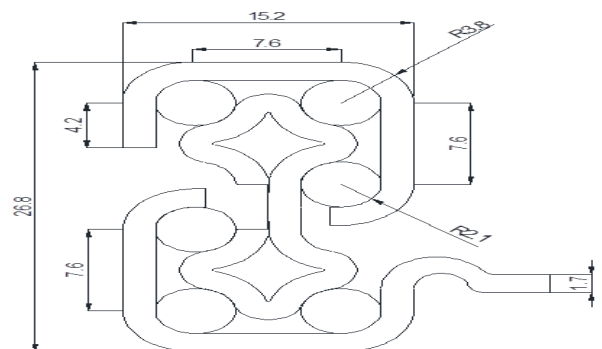
2. 롤포밍 공정 설계

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 공 정상 가장 제작이 어려운 센터 멤버의 롤포밍 공정을 대상으로 하였다. 해석 소프트웨어(software)는 Non-Linear standard tool인 MSC.MARC를 사용하였다. MARC에서는 기본적으로 design modeler기능이 양호하지 못하기 때문에 CAD전용 tool인 AutoCAD 2005를 이용하여 roll의 단면을 먼저 그리고 난 뒤 MARC상으로 삼입시켜 roll을 모델링하였다. 또한 다른 3D 전용 tool(CATIA, UG 등)을 이용하여 직접 3차원으로 삼입시키는 방법 보다는 2D.dxf형식으로 삼입시키는 것이 효과적인 방법이라고 판단하였다.



(a) Under rail



(b) Plan of under rail

Fig. 1 Analysis shape

Fig. 2는 AutoCAD에서의 단면을 MARC로 삼입시킨 첫 번째 roll의 단면형상이다. 총 roll의 개수는

12쌍으로 되어있고, Fig. 2와 같은 작업을 반복적으로 수행하여 총 roll의 단면을 Fig. 3과 같이 나타냈었고, 각각의 단면을 MARC상의 revolve 기능으로 단면을 X축을 중심축으로 하여 360도 회전하여 Fig. 4와 같이 12쌍의 롤(roll)을 체표면(surface body)으로 전부 묘사하였다. 또한 해석상의 표면은 소재와 접촉하는 부분을 외부(outside), 접촉하지 않는 부분을 내부(inside)로 결정해주어야 하기 때문에 롤이 소재와 닿는 부분을 전부 외부(노란색)로 지정하고 Fig. 5와 같이 나타내었다. 성형롤의 배열은 Table 1과 같이 나타내었다.

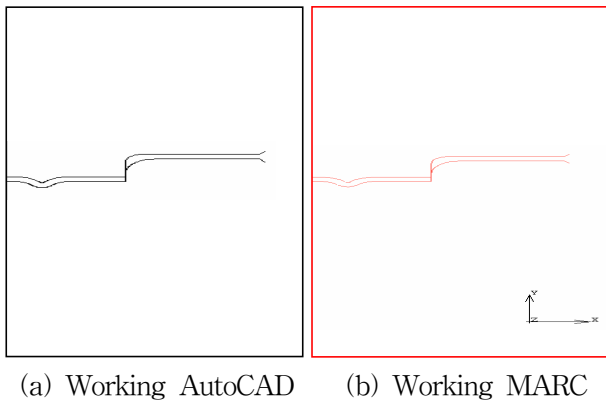


Fig. 2 Import data to MARC

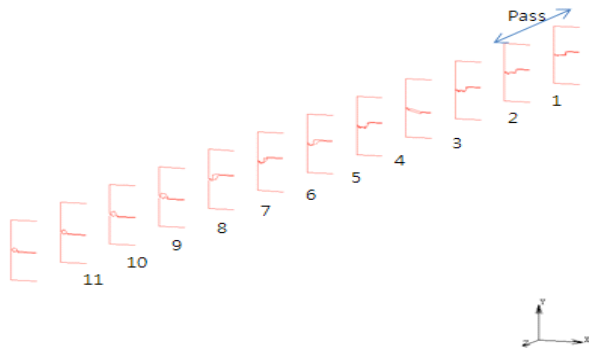


Fig. 3 Total of forming roll

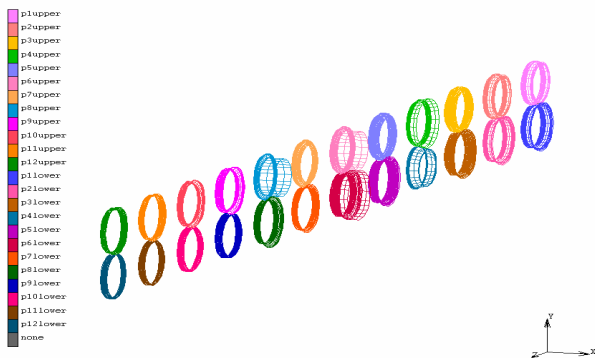


Fig. 4 Surface body of roll

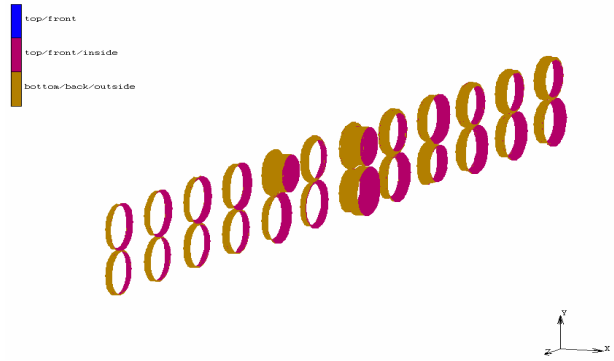


Fig. 5. Check the surface of roll

Table 1 Arrangement of roll

No. of Pass	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Distance (mm)	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240

2.2 경계조건해석

대부분의 유한요소해석에서 절점(node)과 요소(element)의 수가 많아지면 해석시간이 길어지고, 수치적으로 국부적인 에러(error)가 발생하는 경우가 많다^(6,7). 즉, 유한요소해석은 해석하는 모델을 어떻게 메쉬(mesh)를 나누어서 그 모델을 표현하는데 기인한다. 이렇듯 본 해석에서 대상이 되는 센터 멤버는 Fig. 1과 같이 Y축 좌,우 대칭성을 가지기 때문에 Y축을 기준으로 대칭면(symmetry plane)을 설정하여 Fig. 6과 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 롤장치가 있는데 이는 소재가 평행을 유지하면서 병진운동을 하게 해주기 위함이다. 기본적으로 롤과 소재의 마찰에 의한 토크(torque)가 소재를 앞으로 이동시킬 수 있겠지만 장비의 양단 끝의 롤이

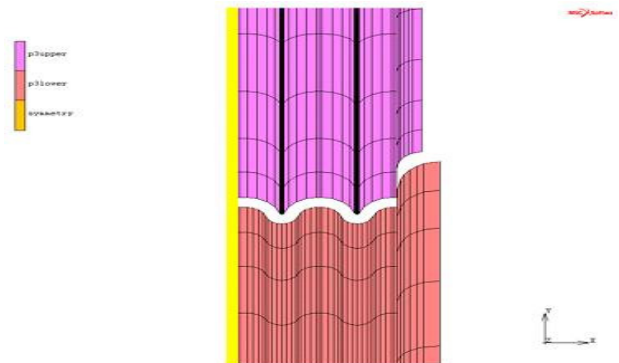


Fig. 6 Symmetry plane

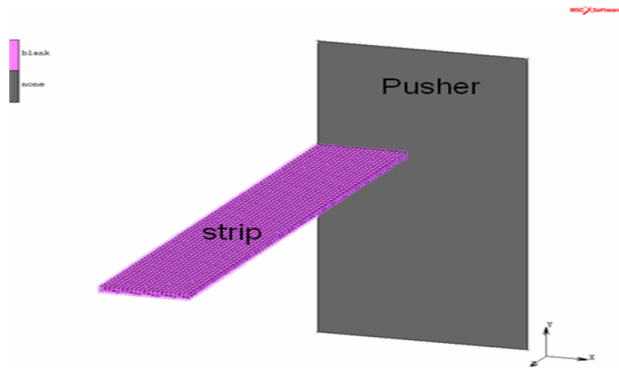


Fig. 7 Pusher

Table 2 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

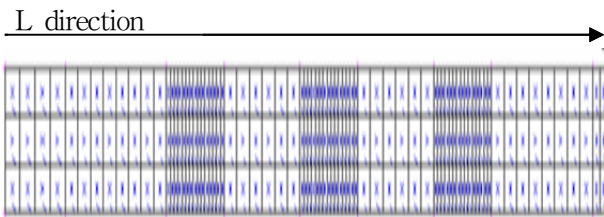


Fig. 8 Mesh

소재를 당기기 때문에 소재가 성형된다. 이를 해석상의 표현으로 해주기 위해서 소재의 뒤에 Fig. 7과 같이 소재를 뒤에서 밀어주는 푸셔(pusher)를 넣어 주었다.

2.3 요소 선정 및 메쉬

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, 메쉬 분할을 위해서 우선 재료를 3단계로 나누고, 제품의 최종 형상 단면을 고려하여 초기방향의 길이 방향으로 굽힘이 많이 일어나는

부분을 Fig. 8과 같이 메쉬로 분할하였다. Table 2는 대칭면을 기준으로 오른쪽 길이 방향으로 제품의 최종 형상을 고려하여 메쉬 수를 예측하고 작게 나누어 나타내었다.

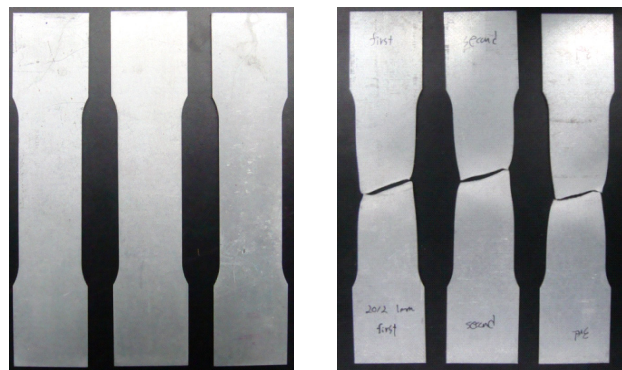
3. 재료의 물성 및 경계조건 입력

3.1 인장시험

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 반정도 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 인장시험 시편을 Fig. 9에 나타내었고, 시편의 기계적 특성을 Table 3에 나타내었으며 소성가공에서 필요한 진응력-진변형률 곡선(True strain/stress curve)을 Fig. 10에 나타내었다.

Table 3 Material properties of SCP-1 1/2H

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



(a) Before test

(b) After test

Fig. 9 Tensile test

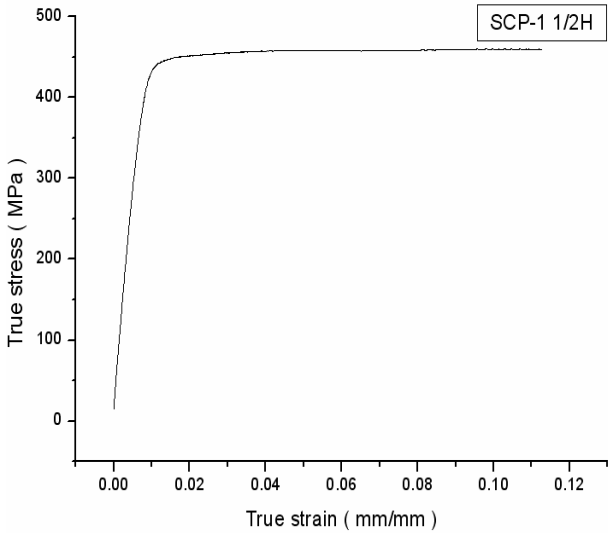


Fig. 10 True strain/stress curve

Table 4 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

3.2 해석조건 입력

실제 공정과 비슷하게 구현하기 위해서 요소 뒤에 푸셔를 만들어 요소가 병진운동을 하게 하고 병진운동에 따른 롤에 각속도를 부여해주었다. 또한 롤과 요소는 마찰력이 생기기 때문에 각각의 롤에 마찰계수를 주었고, 요소와 롤이 해석시 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. Fig. 11에 전체적인 해석 완성모델을 표현하였고 Table 4에 유힬롤(idle roll)은 없다고 가정하고 성형의 공정조건을 표시하였다.

4. 해석결과 및 고찰

1차 시뮬레이션 결과 소재가 1단 롤을 통과한 후 2단 롤에 물려 들어가는 순간 롤의 간섭이 발생하였다. 간섭으로 인해서 최종 형상제품인 Fig. 1과 다르

게 비틀림이 발생하였다. 이는 제품을 1단 롤에서부터 너무 무리하게 변형을 시켰기 때문에 롤의 형상 설계와 제품이 다르게 나타났다고 판단된다. 대안으로 같은 형상을 2번 성형하게 되면 간섭이 생기지 않을 것으로 판단하고 1~2단과 2~3단 사이에 보조롤(assist roll)을 Fig. 12와 같이 설계하였다. 보조롤을 생성하여 1차와 같은 경계조건을 부여하고 해석한 결과 Fig. 13과 같이 롤의 간섭이 생기지 않고 3단까지 설계형상과 정확하게 물려가는 현상을 볼 수 있었다.

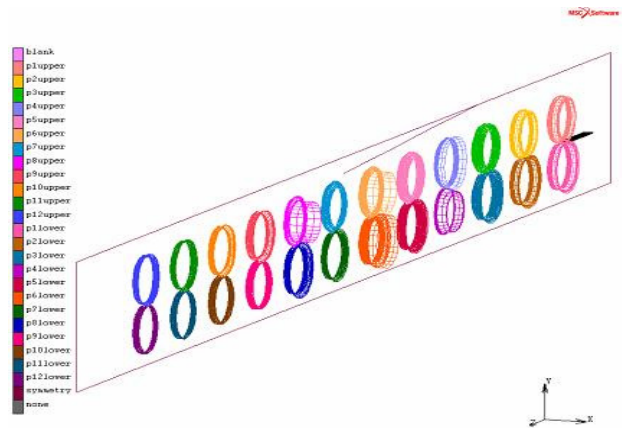


Fig. 11 Entire model

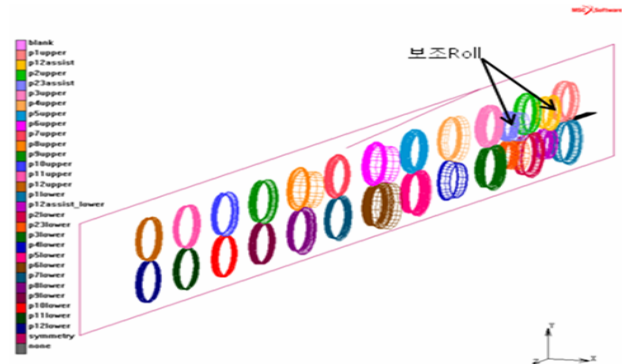


Fig. 12 Insert assist roll

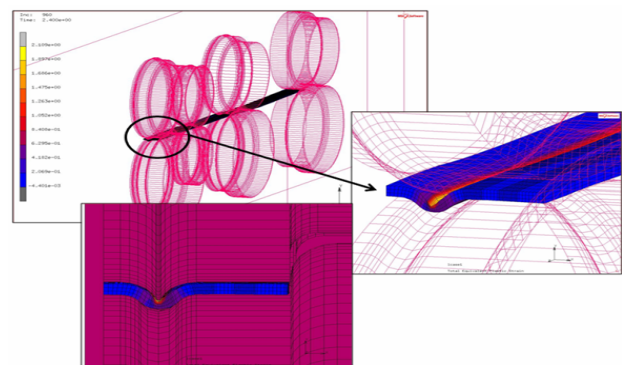
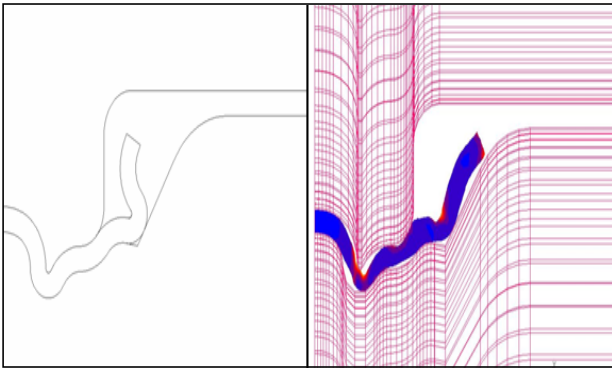


Fig. 13 Result of passing 1st~3rd roll



(a) Original design (b) Analysis result

Fig. 14 Between designed shape and analysis result

이로써 실제 공정시에도 보조롤을 삽입하여 언더 레일을 생산하고, 해석을 계속 실행하였다. 그 결과 5단 롤까지는 성형이 제대로 되었지만 6단 롤을 통과하는 순간 Fig. 14와 같이 원래의 설계형상과 다르게 재료가 굽힘을 하지 못하고 형상 또한 고르지 않았다. 이러한 결과는 롤포밍 공정을 수행할 때 굽힘을 여러 단으로 나누어서 천천히 성형을 해야 되는데 1단부터 너무 무리하게 굽힘을 시키기 때문에 나타나는 현상이다. 최종 형상단면은 초기의 재료에 대하여 거의 180도 굽힘이 되는 형상인데 이러한 형상을 12단으로 설계를 하였기 때문에 결함이 나타난 것으로 판단된다.

5. 결 론

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 재료의 특성을 파악하였다. 모델링 및 시뮬레이션은 강소성 유한 요소법을 이용한 롤포밍 전용 해석 프로그램인 MSC.MARC를 사용하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 센터 멤버는 Y축 좌,우 대칭성을 가지기 때문에 Y축을 기준으로 대칭면을 설정하고 오른쪽만 해석하여 해석시간을 단축시킬 수 있었다.

2) 롤 포밍 공정 시 굽힘을 여러 단으로 나누어서 천천히 성형하지 않으면 비틀림 현상이 발생함을 알 수 있었다.

3) 1~2단과 2~3단 사이에 보조 롤을 삽입시킨 결과 1~5단까지는 롤과 롤사이의 간섭을 최소화시

키고 최종형상 또한 설계형상과 같은 성형을 만들 수 있었다.

4) 6단부터는 설계형상과 다른 성형결과를 얻었다. 이는 추가적인 롤을 설계하고 롤의 형상 단면을 검토하여 설계한다면 더욱 우수한 형상의 제품을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구를 위해 많은 자료들과 재정적 지원을 아끼지 않으신 옥창산업 관계자분들께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. Wick, C., Benedic, J. T., and Veilleux, R. F., 1984, "Tool and Manufacturing Engineers Handbook", Society of Manufacturing Engineers, Michigan, Vol. 2, Chapter 8.
2. Tehrani, M. S., Hartley, P., Naeini, H. M. and Khademizadeh, H., 2005, "Localised Edge Buckling in cold Roll-Forming of Symmetric Channel Section", Thin-Walled Structures, Vol. 44, No. 2, pp. 1-13.
3. Lee, S. Y., 2001, "Analysis of Roll Forming Process for Pipe using Rigid-Plastic Finite Element Method", M. S. Dissertation, Sogang Univ., pp. 50-61.
4. Lee, T. S., and KIM, G. H., 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.
5. Jeong, S. H, Lee, S. H., Kim, G. H., Kim, J. S. and Kim, J. T., 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.
6. Jeong, D. W. and Yang, K. B., 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. Ahn, D. G., Jung, D. W., Yang, D. Y., and Jung, W. J., 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.