

< 기술논문 >

자동차 웨더스트립 심재 경량화를 위한 강선(Steel Wire)의 소성변형 연구

최 보 성¹⁾ · 이 덕 영^{*2)} · 진 찬 규³⁾

울산테크노파크 자동차부품기술연구소¹⁾ · 대구대학교 기계·자동차공학부²⁾ · 일신하이텍 기술연구소³⁾

Study of Plastic Deformation of Steel Wire for Weight Reduction of Automotive Weather Strip

Bosung Choi¹⁾ · Dugyoung Lee^{*2)} · Chankyu Jin³⁾

¹⁾Automotive Parts Institute Center, Ulsan Technopark, Automotive Parts Institute Center, 35 Maegok-ro, Buk-gu, Ulsan 683-420, Korea

²⁾School of Mechanical and Automotive Engineering, Daegu University, Daegu 712-714, Korea

³⁾R&D Center, Ilshin-Hitech.co, 948-4 Daebok-ri, Ungchon-myeon, Ulju-gun, Ulsan 689-873, Korea

(Received 28 August 2012 / Revised 11 March 2013 / Accepted 15 March 2013)

Abstract : The automotive weather strip has the functions isolating of dust, water, noise and vibration from outside. The core of weather strip is made of steel with stiffness. By using the wire formed as the core of weather strip, weight can be reduced as much as 35% by comparing with existing steel core. For this reason, forming wire is necessary to keep the zigzag shape as it is. The deformation which is occurred during forming process can be predicted and it can be used in case of manufacturing dies through CAE. In this paper, rolling process conditions are deduced and the springback amount is predicted after rolling process by using the simulation. The springback amount of product is measured by using optical microscope, and measurement result is compared with the simulation result of springback as the same condition. The suitable gap between dies to compensate springback after rolling process is predicted through simulation and it is used for manufacturing dies.

Key words : Weather strip(웨더 스트립), Steel core(스틸 코어), Steel wire(강선), Extrusion(압출), Finite element Analysis(유한 요소 해석), Springback(스프링백)

1. 서 론

현재 자동차의 경량화는 세계적인 이슈이다. 예컨대 미국의 PNGV(Partnership for New Generation of Vehicles) 계획을 들 수 있는데 자동차의 연비를 10년 내에 3배 향상시키는 것을 목표로 하고 있으며, 실천 방안 중의 하나가 연비 향상을 위해 차체의 대폭적인 경량화(20~40% 감량)이다. 차체, 새시, 플랫폼 등 부분별 경량화를 위해 철강계 및 알루미늄 합금계 신재료 개발, 구조기술 및 생산기술의 개발 등에 대한 연구를 활발하게 추진하고 있다.

자동차 웨더스트립(weather strip)은 앞 유리 와 같은 고정된 창유리부나 도어와 같은 개폐 부위에 취부되어 차체 내부로의 비바람, 먼지, 오물 등의 유입을 방지함과 동시에 차외부로부터의 소음의 차음, 도어 개폐시의 자동차의 진동을 차단하는 역할 등을 한다. 일반적으로 탄성력이 강한 고무재료 또는 발포 고무(foam) 형태로 압출하여 제조되며,^{1,2)} 충분한 실링(sealing) 성능을 가지고 내후성, 내마모성 등도 우수해야 한다. 또한 차체의 플랜지부에 취부되므로 상대부품과의 접촉시 압축영구변형이 작아야 하며, 차량의 도장막을 침해하지 않고, 외관성도 양호해야 하는 기능성 부품으로서, 자동차의 감성적

*Corresponding author, E-mail: dylee@daegu.ac.kr

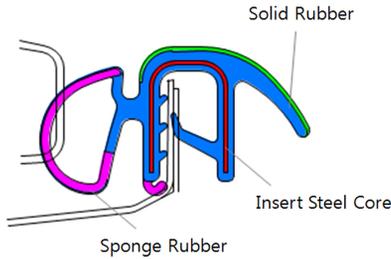


Fig. 1 Structure of body side weather strip

품질과 밀접한 관련이 있다.

자동차용 웨더 스트립의 영구변형 예측^{3,4)}과 웨더 스트립 재료에 따른 특성 예측⁵⁾에 대해서는 연구된 바가 있으나, 경량화에 관한 연구는 미흡하다. 본 연구는 도어나 트렁크 리드 개폐부위에 적용되는 바디 사이드(body side) 웨더스트립의 경량화에 대한 것이다. Fig. 1에서는 바디 사이드 웨더스트립의 구조도를 나타내었다.

바디 사이드 웨더스트립의 스틸 코어(steel core)는 캐리어부에 삽입되어 지지역할을 하며 중량 비중이 높으므로, 대체 소재 개발로 30% 경량화를 이루고자 한다. 또한 웨더스트립의 캐리어 외관에 노출되는 스틸 코어 자국을 제거할 수 있으므로 외관 품질을 향상시킬 수 있다. Fig. 2에서와 같이 강선을 지그재그 형태로 굽혀 제작(knitting)하여 웨더스트립 형상을 유지하게 하는 강선 심재는 해외 일부 고급 차종에 적용 중이며 경량화 추세에 맞추어 적용이 늘고 있다. 하지만 이러한 강선 심재는 제작 방향으로 탄성적 유동을 하게 되어 웨더스트립 합성고무 압출시 외관의 찌그러짐 등이 발생하고 압출속도를 높이는 데 한계가 있어 생산성이 매우 낮다.

또한 제작으로 인하여 강선 심재의 원가가 높으며 제작된 섬유가 고무와의 부착성이 떨어지는 점, 그리고 외관에 강선의 자국이 크게 나타나는 등의 단점으로 인하여 적용이 확대되지 못하고 있다.

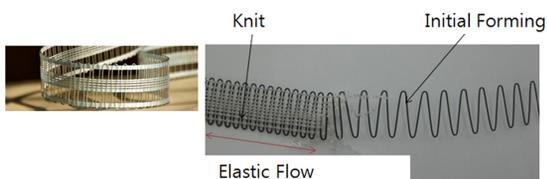


Fig. 2 Shape of steel core

본 연구에서는 이러한 여러 가지 단점을 극복한 강선 심재를 개발코자 한다. 섬유로 제작하지 않고도 지그재그 형상이 그대로 유지될 수 있도록 강선을 포밍작업으로 성형하고자 하며, 해석을 통해 성형공정에서 발생하는 스프링백을 예측하고 금형 제작에 활용한다. 본 연구로 경량화 강선 심재의 원천 기술 및 적용기술을 확보하면 기존 차량의 경량화는 물론 향후 전기차, 연료전지차 등 경량화 실용화에 크게 이바지 할 수 있을 것이다.

2. 웨더스트립 강선의 소성변형 연구

2.1 웨더스트립 적용 강선 심재

웨더스트립 제작 시 지그재그로 성형된 강선 자체로 지그재그 형상이 유지된다면 굳이 제작의 과정이 필요 없다. 성형 후 지그재그 형상이 압출공정 상에서 그대로 유지되도록 Fig. 3과 같이 상·하면에 올레핀계 수지(PP 또는 PE 계열) 필름을 열 융착하여 부착한다. 이 올레핀계 수지 필름으로 인하여 강선 진행 방향의 유동이 제한되며, 이 수지는 웨더스트립 고무와 잘 융착되어 자연스럽게 압출공정 상에서 부착이 일어나게 되고 외관의 강선 자국 또한 감소하게 된다.

자동차 웨더스트립 스틸 코어로 강선을 포밍성형하면 기존 스틸 코어에 비해 중량을 35% 줄일 수 있다. 그러므로 자체적으로 형상 유지가 가능한 강선 심재의 소성변형 해석 및 공법 개발이 필수적이며 강선의 포밍된 형상이 최종 형상이 되어 별도의 제작이 필요없도록 포밍시 강선의 소성변형에 대한 해석 및 포밍 장치, 금형에 대한 개발이 필요하다. 본 연구에서 제안한 포밍장치는 Fig. 4와 같다.

원금형(fixed die) 아랫부분에서 금형 속으로 공급된 강선은 회전금형(rotational die)의 회전에 의하여 감기며 원금형의 나선꼴(screw shape)을 따라 위로

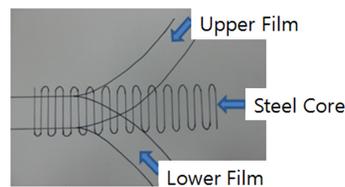


Fig. 3 Overviews of making steel core with PP or PE films

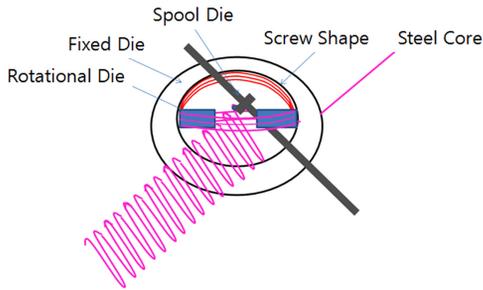


Fig. 4 Suggested die of steel wire forming

진행한다. 나선골이 끝나는 위치에서 감긴 강선의 끝단이 회전금형에서 빠져나오며, 이때 중앙부위에서 회전하는 스푼골형(spool die)에 의하여 강선 중앙부위가 꺾여 빠져나오면서 지그재그 형상이 연속 성형된다.

2.2 강선 소성변형 해석

유한요소해석을 위해 바(bar)를 이용하여 강선을 잡아주고 그 후 롤링(rolling)을 수행함으로써 강선의 밀림 현상을 방지하였을 뿐 아니라 해석의 정정도 높일 수 있었다. 성형해석 및 스프링백 해석을 위해 상용 유한해석 프로그램인 Pam-Stamp 2G V2011을 이용하여 해석을 수행하였으며 실제 강선 포밍을 구현하기 위해 Fig. 5와 같이 틀 구성을 하였다.

강선 심재로 사용할 강선은 해외 선진 웨더스트립 제품의 제작 강선의 강도를 분석하여 이와 유사하게 인장강도 800MPa (실제 81.6 kg/mm²), 지름 0.75mm로 결정하여 해석을 수행하였으며, Fig. 6에 강선 DP800에 대한 진응력, 진변형률 곡선을 나타내었다.

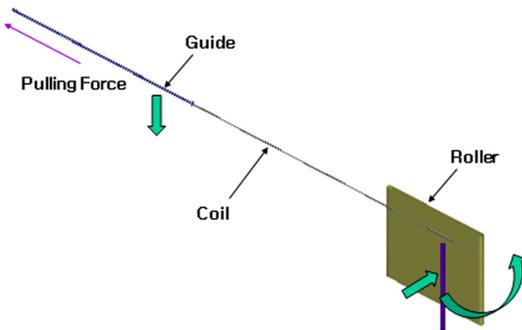


Fig. 5 Tool setting of wire forming

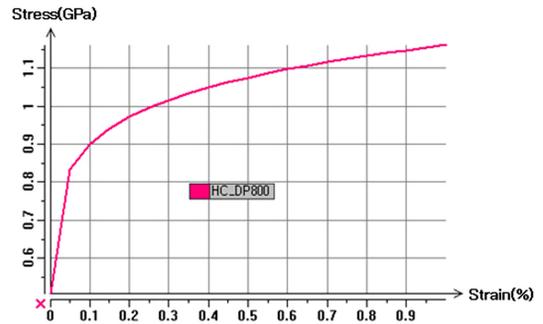


Fig. 6 Stress strain curve of DP800

당김력(pulling force)은 롤링 공정시 나선 형상 및 스프링백량을 결정하는 중요한 요소로서, 금형 속으로 공급된 강선이 회전금형의 회전에 의하여 감길 때 빨리 들어가는 것을 막아주며 올바른 나선 형상을 만들어 주므로 해석을 통한 당김력 결정은 매우 중요하다. 롤링 공정 해석시 당김력을 사용하여 일정한 하중을 제공하였고, 강선이 동일한 경로로 진행될 수 있게 가이드(guide)를 설치하였다. 롤러의 회전 각속도는 관성효과(inertia effect)를 고려하여 0.314159 rad/sec, 초당 18°씩의 각속도로 회전하게 하였다.

롤러는 Fig. 7과 같이 두께 3t, 폭 65mm, 끝단 형상이 라운드 0.5R이 되게 하였으며, Table 1에서와 같이 강선 공급시 당김력은 2 kg_f, 1 kg_f, 0.5 kg_f, 0.1 kg_f의 4 가지 경우로 결정하여 진행하였다.

강선의 롤링 현상을 구현하기 위해 강선은 솔리드 메시(solid mesh)를 사용하였으며, 길이는 577mm,

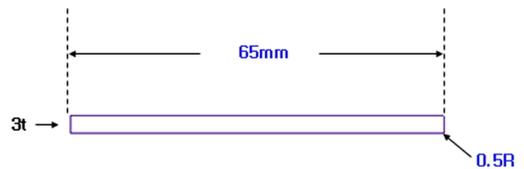


Fig. 7 Roller shape

Table 1 Simulation cases for choosing pulling force

	Roller Shape	Pulling Force
Case 1	0.5R Round	2 kg _f
Case 2	0.5R Round	1 kg _f
Case 3	0.5R Round	0.5 kg _f
Case 4	0.5R Round	0.1 kg _f

길이방향의 메시 크기는 균일하게 0.25mm로 진행하였다. 항복합수는 Hill의 1948항복모델⁶⁾을 사용하였고 경화식으로는 등방 경화식(Isotropic Hardening)을 사용하였다. 사용된 강선 소재는 항복강도 0.506GPa, 인장강도 0.816GPa, K=1.161GPa, n=0.111, $\bar{R}=0.88$ 의 기계적 물성을 가진다.

바를 이용한 성형과정이 끝나고 롤링 성형해석 후 4가지 경우에 대한 툴과 강선과의 거리를 확인하였다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 해석결과 Case 1의 경우 당김력이 가장 적당함을 확인할 수 있었고 Case 2, 3, 4의 경우 당김력이 약함을 확인할 수 있었다.

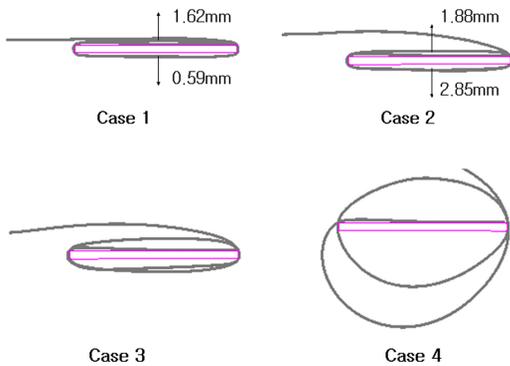


Fig. 8 Distance between tool and wire after rolling

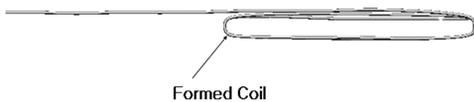


Fig. 9 Automatic rigid body removal condition

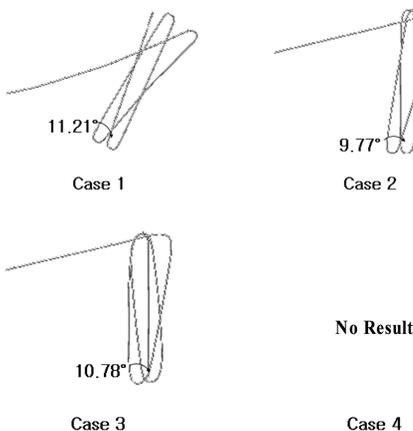


Fig. 10 Analysis results of springback amount

실제 현상을 반영한 각 조건별 강선의 스프링백 결과를 확인하기 위하여 Fig. 9와 같이 경계조건을 아무런 구속조건이 없는 상태로 설정하고 해석을 수행하였다. 스프링백 해석 결과는 각도로 나타내었고 Fig. 10과 같다.

2.3 실 제품에서의 스프링백량 분석

실제 툴 제작시 당김력은 2 kgf로 하였고, 성형 후 실 제품 측정량을 Fig. 11에 나타내었다. 스프링백량은 광학현미경(OM)을 이용하여 측정하였고, 측정결과 11.34°의 각도를 가짐을 알 수 있었다. 이는 동일 조건에서의 스프링백 해석결과(11.21°)와 거의 일치함을 확인할 수 있다.

롤링 공정 후 Fig. 12와 같은 보정틀을 이용하여 롤링 공정에서 생긴 스프링백량을 보정한다.

이 때 금형 툴간의 최적 거리 ①를 구하기 위해 해석에서 Fig. 13과 같이 툴을 구성하였다. Table 2에서와 같이 첫 번째 성형에서 15mm를 성형한 후 0.1mm 간격으로 추가 성형을 하고 각 조건에서 생기는 스프링백 현상을 분석하여 최적의 툴간 거리 ①를 구하였다.

각 조건별 스프링백 결과를 확인하기 위하여 실제 현상을 반영하여 경계조건을 아무런 구속조건이

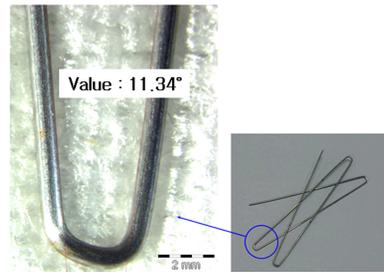


Fig. 11 Measurement of springback amount

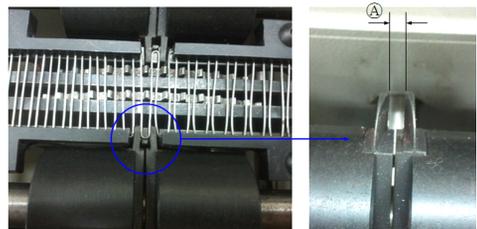


Fig. 12 Compensation tool of springback

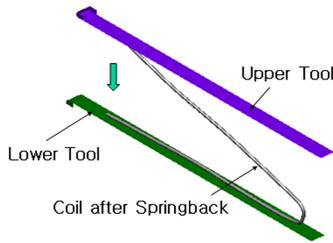


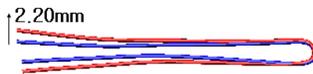
Fig. 13 Tool setting for springback compensation process

Table 2 Simulation cases of compensation process

	1 st Stamping	2 nd Stamping
Case 1	15mm	0.1mm
Case 2	15mm	0.2mm
Case 3	15mm	0.3mm
Case 4	15mm	0.4mm

Table 3 Results of springback analysis

	Amount	Remarks
Case 1	2.20mm	Springback
Case 2	1.43mm	Springback
Case 3	0.65mm	Springback
Case 4	0.26mm	Springgo



Case 1

Fig. 14 Results of simulation for case 1

없는 상태로 설정하고 해석을 수행하였으며, 전 경우의 해석결과 값을 Table 3에, Fig. 14에는 Case 1의 결과를 나타내었다.

스프링백 해석 결과 Case 1, 2, 3에서는 스프링백, Case 4에서는 스프링고(spinggo)가 생김을 확인할 수 있었다. 해석결과 Case 1의 경우가 제품으로서 가장 적합한 형상을 가지고 그때의 틀간 거리 Δ 는 4.1mm로 실 금형 제작에 반영하였다.

3. 결론

본 연구를 통하여 강선에 대한 롤링 공정 소성변형 해석 및 스프링백 해석을 수행하였으며 다음과 같은 연구 결과를 얻었다.

- 1) 소성변형 해석을 통하여 인장강도 800MPa, 지름

0.75mm인 강선의 지그재그 형상 포밍 성형을 위해 회전금형 끝단부가 직각에 라운드 0.5R이고, 강선 당김력이 2 kg일 경우, 제품으로서 가장 적합한 결과가 나타남을 확인하였다.

- 2) 스프링백 해석 공정조건은 실제 현상을 반영하여 아무런 구속조건이 없는 상태로 하였으며, 광학현미경(OM)을 이용한 스프링백 측정 결과 11.34°의 각도를 가짐을 알 수 있었고 스프링백 해석결과 11.21°와 거의 일치함을 확인할 수 있었다.
- 3) 롤링 공정 후 발생한 스프링백을 보정하기 위한 금형의 최적의 간격을 해석을 통해 예측하였고 실 금형 제작에 반영하였다.

후 기

본 연구는 울산과학연구단지 기초·원천 R&D 과제의 지원을 받았다.

References

- 1) H. Y. Kim, J. Y. Choi and J. C. Shim, “Non-linear Finite Element Analysis for the Shape Design of Automotive Weather Strips,” Autumn Conference of KSME, pp.448-455, 1997.
- 2) H. I. Moon, B. K. Min, J. S. Oh, J. C. Park, S. H. Lee and H. Y. Kim, “Prediction of Door Closing Performance,” KSAE Annual Conference Proceedings, pp.1678-1683, 2008.
- 3) H. I. Moon, H. Y. Kim, J. C. Park, B. K. Min and J. S. Oh, “Prediction of Permanent Deformation for Door Weather Strip,” KSAE Annual Conference Proceedings, pp.2149-2154, 2009.
- 4) J. C. Park, B. K. Min, J. S. Oh, H. I. Moon and H. Y. Kim, “Numerical Prediction of Permanent Deformation of Automotive Weather Strip,” Transactions of KSAE, Vol.18, No.4, pp.121-126, 2010.
- 5) C. Y. Han, W. J. Jang and S. B. Lee, “Prediction of Material Property for Weather Strip,” KSAE Annual Conference Proceedings, pp.72-75, 2008.
- 6) R. Hill, “A Theory of the Yielding and Plastic Flow of Anisotropic Metals,” Proc. Roy. Soc., pp.281-297, 1948.