

자동차 리어사이드 프레임에 대한 스프링백 특성연구

김현영*, 신용승**, 이종문***, 이용익***

A Study on the characteristic of springback about an automobile rear side frame

Heon Young Kim*, Yong Seung Shin**, Jong Mun Lee***, Yong Ik Lee***

Abstract

Springback after forming is the critical factor affecting the product quality. It is very difficult to predict the amount of springback not only because of complex geometry and material characteristics of the stamping product, but because the methodology has not been established. In this study, springback mechanism is introduced, and experimental tryout and computer simulation are carried out for die design of automotive rear side frame. Futher, springback was verified by comparing the result of computer simulation with the measured tryout result.

1. 서론

자동차 대형 패널(panel)의 프레스 가공은 자동차 발전에 있어 가장 중요한 분야로 자동차 제조 공정의 60%이상을 차지하고 있다. 그러나 프레스에 의한 박판 가공은 국부적 또는 전체적으로 굽힘(bending), 드로잉(drawing), 스트레칭(stretching)등의 복합적인 변형모드의 작용과 재료의 성형성(formability), 이방성(anisotropy)과 같은 기계적 성질, 금형의 상태, 펀치 속도, 블랭크 홀딩력(blank holding force), 마찰력 등과 같은 공정 조건에 의하여 많은 성형 불량이 나타난다. 성형 불량의 대표적인 것이 주름(wrinkling), 크랙(crack), 스프링백(springback)이다. 주름과 크랙의 경우는 상호 대립 관계에 있으므로 두가지 불량 현상을 복합적으로 제거할 수 있는 설계 방안이 요구된다. 스프링백 현상은 박판이 금형

에 의하여 강제적으로 변형을 겪은 후 금형으로부터 이탈되었을 때 박판 내부의 응력이 정적 평형상태를 유지하기 위해 탄성적으로 재편되면서 발생하는 현상이다. 스프링백 현상은 제품의 치수정밀도를 떨어뜨려 자동차 각 부품사이의 조립불량의 원인이 된다. 특히, 외판(outer panel)의 경우 스프링백에 의한 조립불량은 매우 치명적이다. 최근 자동차의 경량화 및 안전성을 향상시키기 위한 고장력 강판의 사용 증가와 함께 제품에 대한 치수 정밀도 문제가 부각되면서 스프링백에 대한 관심이 집중되고 있다.

박판의 스프링백 특성에 관한 연구는 1940년대부터 현재에 이르기까지 많은 학자들에 의하여 행하여져 왔으나, 실험에 관한 한 판재의 단순굽힘에 불과한 경우가 많았다^[1]. Mattiasson^[2]은 NUMISHEET '93의 평면변형률 드로벤딩을 동식 외연적 유한요소법을 이용한 성형해석 과정에서 발생하는 응력완화 현상이 탄성복원 해석결과에 미치는 영향을 연구하였고, F.Pourboghrat^[3] 등은 평면변형률 상태에서 모멘트와 곡률 관계를 사용하여 2차원 벤딩에서의 스프링백을 예측하였으며, Kawaguchi^[4] 등은 유한요소법에 의하여 외

* 강원대학교 기계·메카트로닉스 공학부

** 강원대학교 대학원

*** 기아모텍

팔보에 대한 스프링백과 잔류응력을 계산하였다. 조진우, 양동렬^{[5][6]} 등은 유한요소 모델링 인자가 스프링백에 미치는 영향에 대하여 연구하였으며, 한수식^[7] 등은 판재성형에서 형상 동결성에 영향을 주는 인자에 대하여 연구하였다.

본 연구에서는 자동차 충돌안전 및 차체 하중 지지에 큰 영향을 주는 리어 사이드 프레임에 대하여 성형 시 나타나는 스프링백 현상을 외연적 유한요소법에 의한 성형해석 후 내연적 방법에 의하여 스프링백을 예측하고, 이를 시제품에 대하여 측정된 결과와 상호 비교하여 초기 제품 설계 시 이를 반영하고자 하였다.

2. 스프링백 메카니즘

자동차의 차체는 수백점의 박판 프레스 성형품으로 조립되어 있다. 따라서 차체 조립에 있어 각 부품들간의 치수정밀도 확보는 무엇보다 중요하며, 특히 프레스 성형품에 대한 치수정밀도 확보에 많은 어려움을 겪고 있다. 치수정밀도 불량의 대표적인 예로 스프링백을 들 수 있다. 스프링백은 일반적으로 Fig. 1과 같은 응력분포의 영향으로 Fig. 2와 같이 나타나며, 형상 스프링백, 각도 스프링백, 뒤틀림 등이 복합적으로 작용하기 때문에 그 특성을 파악하기가 어렵다.

스프링백은 드로잉된 벽면부에서 주로 발생한다. 스프링백은 전형적으로 바깥쪽힘 형태로 발생하고, 조건에 따라서는 안쪽쪽힘도 발생한다.

스프링백에 영향을 주는 인자로는 다이 어깨반지름, 펀치와 다이 클리어런스, 판재의 인장강도, 성형 방법 등이 있다. 특히 다이 어깨반지름은 재료가 펀치 어깨부에서 굽힘을 받을 때의 굽힘

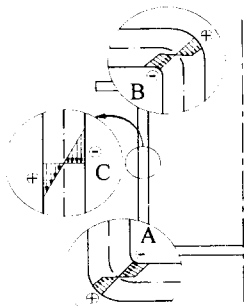


Fig. 1 Stress distribution acting on the section of sheet

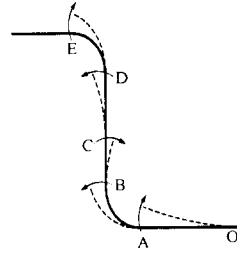


Fig. 2 Springback shape in general

지점으로서 작용한다. 따라서 다이 어깨반지름이 커지면 굽힘 지점거리가 넓어지고 굽힘 과정에서 펀치 어깨부의 굽힘 변형 영역이 넓어지므로 스프링백에 주는 영향이 현저하기 때문에 다이 어깨반지름을 충분히 작게 함으로서 스프링백을 줄일 수 있다. 펀치와 다이 클리어런스의 영향은 복잡하게 나타나기 때문에 클리어런스(c)와 판두께(t)의 비를 잘 조절함으로써 스프링백을 저감할 수 있다. 블랭크 홀딩력 증가 역시 스프링백을 감소시킬 수 있다. 그러나 과도한 홀딩력은 판재의 성형성을 저하시키므로 홀딩력 증가의 한계가 있다. 가공조건에 의한 스프링백 영향으로는 굽힘 반지름을 들 수 있다. 굽힘 반지름을 증가시키면 각도 변화가 커지므로 굽힘 반지름은 최소 굽힘 반지름보다 작아질 수는 없지만, 가능한 작은 굽힘 반지름을 채용하는 것이 정밀도가 높은 굽힘 성형에 바람직하다. 판두께의 영향은 펀치 어깨반지름의 크기에 따라서 그 경향이 크게 달라지지만, 어떤 경우라도 판두께가 두꺼울수록 스프링백은 작아진다. 항복점의 영향은 항복점이 높은 재료일수록 스프링백이 증가한다. 스프링백을 줄이기 위한 방법으로 성형공정에서 리스트라이크 공정을 추가하는 경우가 있다. 리스트라이크 공정에서는 굽힘반지름을 성형공정의 굽힘 반지름보다 작게 함으로서 바깥쪽힘의 각도 변화에 대한 역굽힘을 발생시켜 스프링백을 감소시킨다.

성형 후 판재에 대한 비틀림은 성형깊이가 작은 범위에서는 성형높이와 함께 잔류응력이 증가하여 비틀림이 커지고, 성형깊이가 커지면 비틀림 강성이 높아져 비틀림이 작아진다. 판두께의 경우 두꺼운 판재일수록 비틀림 강성이 높아지므로 비틀림 각도는 작아진다. 또한 항복응력이 커지면 성형 중 큰 응력이 발생하여 잔류 비틀림 모멘트가 커지기 쉽다^[8].

3. 스프링백 예측 및 측정

3.1 제품 모델링 및 성형해석

리어 사이드 프레임은 차량의 중간과 뒷부분의 차체를 지지해주는 역할을 하며, 강도상의 문제와 조립되는 상판 패널과의 관계를 고려해야 하는 매우 중요한 부품으로서 일반 차체 패널과 비교할 때 상당히 두꺼운 소재(1.6t)가 사용되어 많은 성형불량이 발생한다. 특히, 폭이 좁고 길이가 폭보다 매우 크고, 또한 제품 깊이가 최대 180 mm이며, 제품형상이 변곡되는 프레임 중간부분에 큰 주름이 발생하는 성형이 매우 까다로운 패널이다. Fig. 3은 성형 트라이아웃에 대한 시제품 결과이다. Fig. 4는 유한요소해석을 위하여 사용되는 금형과 패널의 배치를 나타내고, 해석에 사용된 재료 물성치 데이터는 Table 1과 같다. Fig. 5는 유한요소해석 결과 단계별 변형 양상이다.^[9]



Fig. 3 Prototype after forming tryout

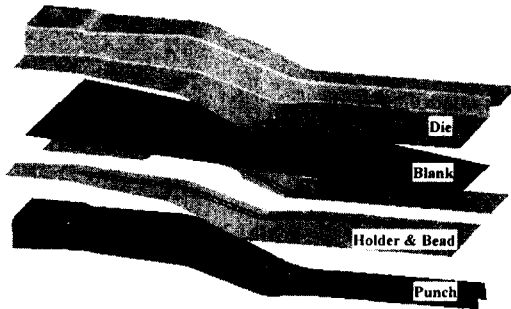


Fig. 4 Tool configuration for stamping simulation of rear side frame

Table 1 Material properties

Item	Value	Item	Value
Blank Material	SHCP40	Hardening Coeff.	0.726 Gpa
Density	7.8e-06 kg/mm ³	Offset Strain	0.002
Thickness	1.6 mm	Hardening Exponent	0.189
Young's Modulus	210 Gpa	Poisson's Ratio	0.3
Lankford Coeff.	1.24	Holding Force	3.5 kgf/cm ²

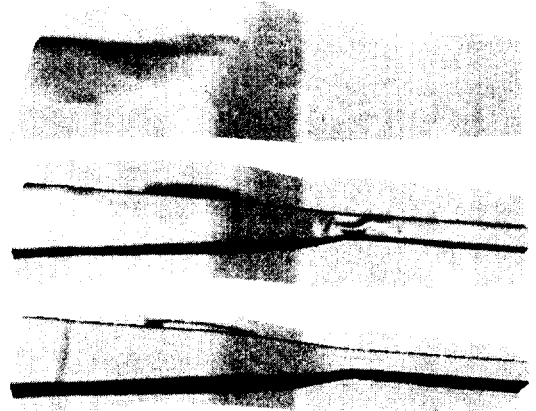


Fig. 5 Deformed shapes during forming simulation

3.2 드로잉 공정 후 스프링백 예측

스프링백의 대부분이 드로잉 공정 후에 발생하게 되는데, 이것은 재료가 금형에 의하여 강제적으로 변형을 겪은 후 금형으로부터 추출되면서 새로운 정적 평형상태를 유지하기 위하여 변형하기 때문이다. 그러나 실제 공정에서 드로잉 공정 후 스프링백을 측정하기는 쉽지 않다. 왜냐하면 별도의 검사구를 만들기가 어렵기 때문이다. 검사구는 일반적으로 모든 공정이 완료된 제품에 대하여 스프링백 및 제품 형상 불구합을 측정하기 위하여 만들어진다. 그러므로 유한요소해석을 이용하여 드로잉 공정 후 스프링백을 측정하고 이것을 트리밍 후의 스프링백과 비교하고자 하였다. Fig. 6은 드로잉 공정 후 스프링백 측정 위치를 나타내고 Fig. 7은 각 단면에서의 스프링백 변형양상을 나타낸다. 드로잉 공정 후 각 위치에서의 스프링백량은 Table 2와 같다.

3.3 트림 및 피어스 공정 후 스프링백 예측

스프링백의 다른 원인은 트림 및 피어스 공정 후 소재에 남아있던 잔류응력에 의한 2차 변형이다. 일반적으로 자동차 패널은 어느 일정한 수직·수평방향으로의 트리밍만 있는 것이 아니라 예각의 불규칙한 방향에서 트리밍이 되는 경우가 많다. 그리고 성형 공정 완료 후 제품은 차체와의 결합 및 이웃하는 부품과의 결합을 위하여 여러 각도에서 트림 및 피어스 공정이 수행되어지고 있으나, 유한요소해석에서는 이러한 복잡한

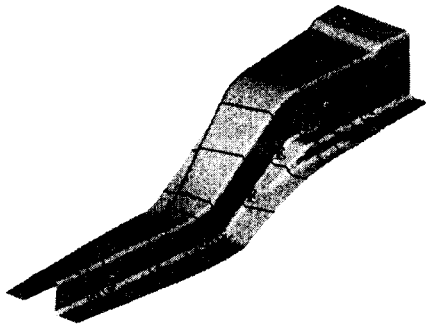


Fig. 6 Position for measuring spring-back after drawing process

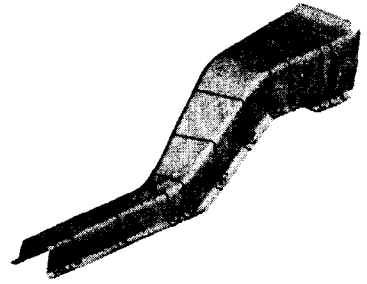


Fig. 8 Position for measuring spring-back after trimming process

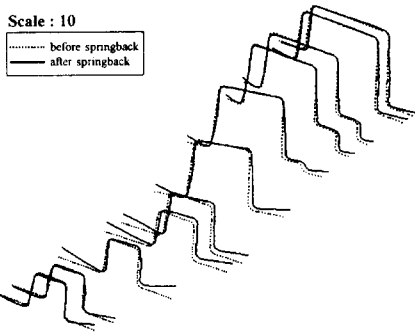


Fig. 7 Section view after drawing process

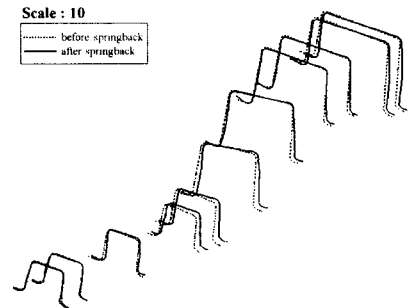


Fig. 9 Section view after trimming process

공정을 묘사하기가 어렵다. 때문에 본 해석에서는 제품의 형상부분에 대하여만 트리밍 해석과 스프링백 해석을 수행하였다. Fig. 8은 트리밍 해석 후 스프링백량을 측정하기 위한 위치를 나타내며, Fig. 9는 각 단면에서의 스프링백 변형양상을 나타낸다. 그리고 각 위치에서의 스프링백량은 Table 2와 같다.

완전히 밀착시킨다. 검사구의 고정점은 제품 설계시 결정된 기준면 위에 위치하게 되며, 스프링백 해석시 경계조건이 부여되는 부분이다. 시제품에 대한 스프링백 측정 결과는 Table 2와 같다. Table 2에서 유한요소해석에 의한 스프링백 측정값이 시제품에 대한 측정값 보다 과소평가 되었으나, 스프링백 경향은 같음을 알 수 있다.

3.4 시제품에 대한 스프링백 측정

시제품에 대한 스프링백 측정은 트리밍을 한 제품을 Fig. 10과 같은 검사구에 올려놓고 별도의 측정 게이지(gage)를 사용하여 검사구와 시제품사이의 간극을 측정함으로써 스프링백량을 측정할 수 있다. 검사구에 제품을 위치시킬 때에는 수평 방향으로의 이동을 금지시키기 위해 제품에 뚫어놓은 기준홀과 부기준홀 검사구의 핀에 끼우고, 패널을 고정시키기 위해 Fig. 10의 A,B와 같은 클램퍼(clamper)를 사용하여 제품을 검사구에

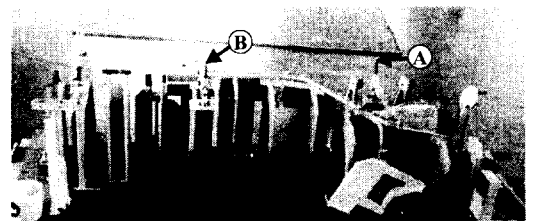


Fig. 10 Checking feature for springback measurement

Table 2 Amount of springback after tryout and FE analyses

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
시제품 측정값	0.6	0.93	1.21	1.43	1.1	0.95	1.1	0.95	0	0.9	0.7
해석값 (draw)	0.37	0.4	0.47	0.5	0.61	0.68	0.58	0.52	0.43	0.14	0
해석값 (trim)	0.48	0.42	0.44	0.48	0.63	0.84	0.94	0.9	0.15	0.2	0.3

4. 결론

자동차 리어 사이드 프레임의 성형 후 발생하는 스프링백에 대하여 트라이아웃 후 시제품에 대한 스프링백량과 유한요소해석에 의한 스프링백량을 측정 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 유한요소해석을 통하여 드로우 성형 후 발생하는 스프링백과 트리밍에 의한 2차 스프링백의 발생을 예측하였으며, 트리밍 후의 스프링백이 시제품 측정값에 근사하였다.

둘째, 유한요소해석에 의한 스프링백이 시제품에 발생하는 스프링백에 비하여 과소평가 되었으나, 스프링백 양상은 같게 나타났다.

본 연구에서는 수행하지 않았지만 리어사이드 프레임 아우터(outer)와 함께 스프링백 영향이 큰 인너(inner)에 대하여 계속적인 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

1. N. He, R.H. Wagoner, 1996, "Springback simulation in sheet metal forming", NUMISHEET '96, pp. 308-315
2. K.Mattiasson, A.Strange, P.Thilderkvist and A.Samuelsson,1995,"Spring back in Sheet Metal Forming" , NUMIFORM '95, pp. 115-124.
3. F. Pourboghrat, E. Chu, 1995, "Prediction of spring-back and side-wall curl in 2-D draw bending", Journal of Materials Processing Technology 50(1995), pp. 361-374
4. T. Kawaguchi, S. Imatani, and K. Yamaguchi, "An Elasto-Viscoplastic Finite Element Analysis of Sheet Metal Bending

Process." J. JSTP, Vol. 35, No. 1994, pp. 125-130.

5. 조진우, 정완진, 1997, "판재성형의 탄성복원해석에 대하여", 한국소성가공학회지, 제6권 제5호, pp 386-394
6. 양동렬, 이상욱, 윤정환, 유동진,, 1998, "박판성형에서의 스프링백 해석과 산업적 응용", 한국소성가공학회지, 제8권 제1호, pp22-28
7. 한수식, 박기철, 남재복, 1998,"판재 프레스 제품의 형상동결성 연구", 한국소성가공학회지, 제8권 제1호, pp 38-46
8. 박강판성형기술연구회 "프레스 성형난이 핸드북" 기전연구사
9. 이종문, 이용익, 신용승, 김현영, 1998, "리어사이드 프레임의 금형설계를 위한 성형해석과 트라이아웃" 한국소성가공학회 '98추계학술대회 논문집, pp. 17-21