

# 자동차 패널에 대한 스프링백의 일반적인 특성

이종문\*

## General characteristic of springback about an automobile Panel

Jong Moon Lee\*

### Abstract

Springback after draw and flange 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 an automobile panel is carried out for die design of automotive hood panel. Further, introduce adapting design and field springback was verified by trial experimental with the measured tryout result. Finally, introduced about general method in order to predict springback in computer simulation.

Key Words : Springback(스프링백), Automotive Hood Panel(자동차 후드패널)

### 1. 서론

자동차 패널(panel)의 프레스 가공은 국부적 또는 전체적으로 드로잉(drawing), 스트레칭(stretching), 굽힘(bending)등의 복합적인 변형모드의 작용과 재료의 기계적 성질, 금형의 상태, 성형력, 펀치 속도, 블랭크 홀딩력(blank holding force), 마찰력 등과 같은 공정 조건에 의하여 많은 성형 불구합 현상들로 인하여 금형이 완성된 후에 트라이얼에 전체금형비용의 20~30%이상이 금형수정 비용으로 소요되고 있다. 이러한 불구합 현상들 중에 치수정밀도 불량은 각도변화, 편치측벽부로의 꺾힘, 비틀림, 편치 위로의 꺾힘, 편치 상단부에서의 형상불량 등으로 나타나는데 특히 스프링백(springback) 현상은 치수정밀도 불량에 전반적으로 발생하는 현상으로써 박판이 금형에 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.

이러한 중요한 스프링 백에 대해서 대학과 연구기관 그리고 산업체 등에서 꾸준히 연구를 하고 있지만 공식같은 정답을 찾기엔 아직도 힘든 상황이고 최근 산업체등에서는 자동차의 경량화 및 안전성을 향상시키기 위한 고장력 강판의 사용 증가와 함께 제품에 대한 치수 정밀도 문제가 부각되면서 스프링백에 대한 관심이 집중되고 있지만 사람마다 지나온 경험에 의해서 각각 다른 판단과 기준으로 예측을 하거나 일부만이 적용을 하고 있는 추세이다.

박판의 스프링백 특성에 관한 연구는 1940년대부터 현재에 이르기까지 국내외의 많은 학자들에 의하여 행하여져 왔으나, 실험에 관한 한 판재의 단순굽힘에 불과한 경우가 많았다<sup>[1]</sup>. Mattiasson<sup>[2]</sup>은 NUMISHEET '93의 평면변형을 드로벤딩을 동적 외연적 유한요소법을 이용한 성형해석 과정에서 발생하는 응력완화 현상이 탄성복원 해석결과에 미치는 영향을 연구하였고, F.Pourboghra<sup>[3]</sup> 등은 평면변형을 상태에서 모멘트와 곡률 관계를 사용하여 2차원 벤딩에서의 스프링백을 예측하였으며, Kawaguchi<sup>[4]</sup> 등은 유한요소법에 의하여 외팔보에 대한 스프링백과 잔류응력을 계산하였다. Chu 등<sup>[5]</sup> 은 평면 변형을 상태에서 인장, 굽힘 변형

\* 성철사 기술연구소

을 일으키는 박판의 굽힘 해석에서, 모멘트와 곡률의 관계를 이용하여 스프링백과 벽젓힘 현상에 대한 연구를 박막 이론에 의한 유한 요소해석 프로그램을 이용하여 수행하였다. Zhang과 Lin<sup>[6]</sup>는 스프링백을 예측하는 새로운 수학적 모델을 제시하고 기존의 모델과 비교하였다. 또한 공정변수와 재료 상수를 차례대로 변화시켜가며 스프링백에 미치는 영향에 대해서 연구하였다. Wagoner 등<sup>[7]</sup>은 박판 성형 공정에서의 정확한 응력해석이 스프링백 해석 결과에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 상용 프로그램인 Z-Band와 LS-Nike/Dyna를 통한 모사실험결과를 비교 분석하였다. 또한, 2차원 박막요소를 이용한 성형해석 프로그램에 굽힘효과를 묘사할 수 있는 알고리즘을 도입하여 모사결과와 실험치를 비교하는 연구를 수행하였다.

Leu 등<sup>[8]</sup>은 스프링백에 소성변형률비( $\bar{R}$ )와 가공경화지수( $n$ )의 영향을 고려하여 스프링백 예측에 대한 연구를 수행하였고 연구결과를 실험치와 비교하였다.

한편, 국내 연구 동향으로는 김용환 등<sup>[9]</sup>은 비등온 박판 성형 공정을 3차원 유한요소 해석법을 이용하여 변형 중 온도가 성형성에 얼마나 영향을 미치는지 평가하였다. 양동열 등<sup>[10]</sup>은 스프링백 현상을 유한요소법으로 해석시 스프링백에 영향을 미치는 모델링 인자인 벌칙상수, 블랭크의 요소 크기, 곡률부의 요소 수, 펀치 속도에 대해 평가하였으며, 이종문과 김현영<sup>[11]</sup>은 개발중인 자동차 리어 사이드 프레임을 스프링백 해석과 공정별 스프링백 현상을 측정하여 설계에 적용하여 효과적인 금형개발을 수행하였다.

본 논문에서는 실제 자동차 패널 개발시 스프링백을 없애거나 줄이기 위해 설계에 적용하는 일반적인 방법과 현장에서 적용하는 방법 등에 대해서 정리하였고, 또한 성형 시뮬레이션에서 사전에 스프링백을 확인하여 설계에 반영하여 해석에서 중요하게 적용해야 하는 일반적인 사항 등에 대해서 기술하고자 한다.

## 2. 스프링백 메카니즘

자동차의 차체는 300점 이상의 박강판의 프레스 성형품을 수천점 전후의 스폿용접과 아아크 용접 그리고 볼트결합 및 기계적인 결합으로 조립되어 있다. 따라서 차체 조립에 있어 각 부품들간의 치수정밀도 확보는 무엇보다 중요하며, 특히 프레스 성형품에 대한 치수정밀도 확보에 많은 어려움을 겪고 있다. 치수정밀도 불량 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. Fig. 3은 가공전후에 발생하는 스프링백의 발생상태와 각도변화를 나타내고 있다. 스프링백은 드로잉 된 벽면부와 곡면이 큰 부분에서 주로 발생한다. 스프링백은 전형적으로 바깥쪽

힘 형태로 발생하고, 조건에 따라서는 안쪽젓힘도 발생한다. 스프링백에 영향을 주는 인자로는 다이 어깨 반지름, 재료  $t$  클리어런스, 판재의 인장강도, 성형방법

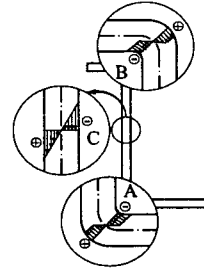


Fig. 1 Stress distribution acting on the section of sheet

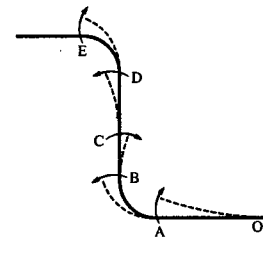


Fig. 2 Springback shape in general

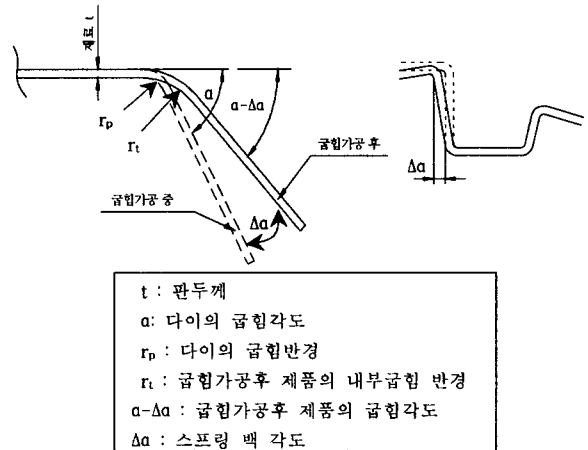


Fig. 3 State occurring spring back

등이 있다. 특히 다이 어깨반지름은 재료가 펀치 어깨부에서 굽힘을 받을 때의 굽힘지점으로서 작용한다. 따라서 다이 어깨반지름이 커지면 굽힘 지점거리가 넓어지고 굽힘 과정에서 펀치 어깨부의 굽힘 변형영역이 넓어지므로 스프링백에 주는 영향이 현저하기 때문에 다이 어깨반지름을 충분히 작게 함으로서 스프링백을 줄일 수 있다. 펀치와 다이 클리어런스 즉 재료  $t$  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.

## 2.1 가공조건에 의한 스프링백 영향

### ① 굽힘 반지름의 영향

굽힘 반지름을 증가시키면 각도 변화가 커지므로 굽힘 반지름은 최소 굽힘 반지름보다 작아질 수는 없지만, 가능한 작은 굽힘 반지름을 적용하는 것이 정밀도가 높은 굽힘 성형에 바람직하다.

### ② 판두께의 영향

펀치 어깨반지름의 크기에 따라서 그 경향이 크게 달라지지만, 어떤 경우라도 판 두께가 두꺼울수록 스프링백은 작아진다.

### ③ 항복점의 영향

항복점이 높은 재료일수록 스프링백이 증가한다.

## 2.2 각도변화에 따른 성형치수의 영향

### ① 굽힘반지름의 효과

일반적인 굽힘성형에서 굽힘반지름의 증가와 함께 굽힘부의 각도변화가 커진다. 따라서 각도변화는 굽힘반지름의 크기로서 규정한다.

### ② 판두께의 효과

각도변화에 주는 판두께의 영향은 펀치어깨 반지름의 크기에 따라서 그 경향이 크게 달라지지만, 어떤 경우라도 판두께가 두꺼울수록 각도변화가 작아진다.

### ③ 다이 어깨반지름의 효과

다이어깨반지름은 재료가 펀치어깨부에서 굽힘을 받을 때의 굽힘지점으로서 작용한다. 다이어깨반지름이 커지면 굽힘지점거리가 넓어지기 때문에 정규플랜지 각도보다 커진다.

### ④ 펀치와 다이의 클리어런스

다이가 마모되면 플랜지 시키는 펀치와의 클리어런스가 증가되기 때문에 각도가 커지는 것이 일반적이다.

## 3. 스프링백 예측 및 측정

### 3.1 Hood Panel

후드 패널은 외관을 중요시 하는 자동차에서 가장 중요한 패널중의 하나이다. 외부패널(outer panel)과 내부패널(inner panel)이 hemming 금형에서 결합되어 bumper, fender, pillar 등과 합체되어 차체의 전면부를 형성한다. 후드는 자동차 외판에서 큰 패널에 해당되며 일반적으로 성형이 되면서 중앙부는 재료두께 변화가 거의 발생되지 않기 때문에 강성에 문제가 있다.

이러한 장강성의 문제로 인하여 드로잉 후에 스프링백과 같은 패널 면변형이 발생된다.

### 3.2 드로잉 공정 후 스프링백

드로잉 공정 후에 발생하게 되는 후드의 스프링백 현상은 재료가 금형에 의하여 강제적으로 변형을 겪은 후 금형으로부터 추출되면서 새로운 정적 평형상태를 유지하기 위하여 변형하기 때문이다. 그러나 실제 공

정에서 드로잉 공정 후 스프링백을 측정하기는 쉽지 않다. 왜냐하면 별도의 공정별 검사구를 만들기가 어렵기 때문이다. 검사구는 일반적으로 모든 공정이 완료된 제품에 대하여 스프링백 및 제품 형상 불구합을 측정하기 위하여 만들어진다.

후드패널에서 스프링백을 줄이기 위한 가공방법 중의 하나가 inner panel과 outer panel의 결합은 hemming공정에서 가공을 하는데 두 패널을 접촉시킬 때 접촉면을 좋게 하기 위해서 접촉면 부위에 리스트라이크 공정을 추가하여 재성형을 시키는 경우가 일반적이다. 리스트라이크 공정에서는 굽힘반지름을 성형공정의 굽힘 반지름보다 작게 함으로서 바깥젓힘의 각도변화에 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<sup>[12]</sup>.

### 3.3 트림 및 피어스 공정 후 스프링백

후드패널의 스프링백 발생의 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 공정을 묘사하기가 어렵다.

Fig. 4는 본넷의 제품도로써 단면 A,B,C,D는 스프링백과 면 그리고 측벽부에서 발생하는 일반적인 불량현상을 나타내기 위한 그림이고, Fig. 5~Fig. 8은 본넷 각 단면에서 발생하는 일반적인 불량원인과 현상들을 나타내었다.

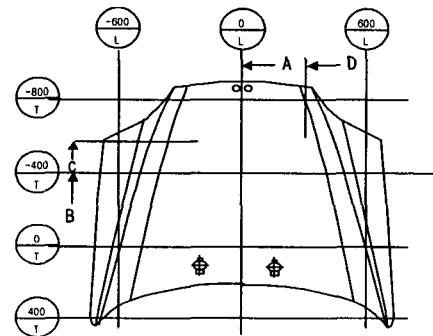


Fig. 4 Bonnet outer

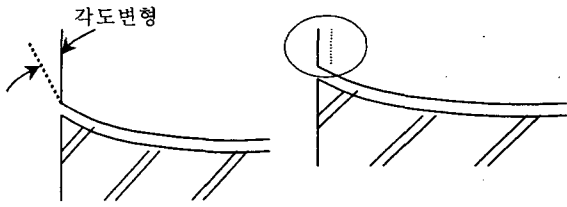


Fig. 5 Section A

Fig. 6 Section B

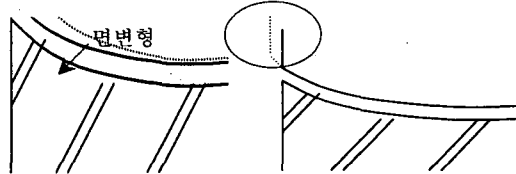


Fig. 7 Section C

Fig. 8 Section D

Fig. 5는 성형이 완료된 수직벽에서 스프링백에 의한 각도변형이고, Fig. 6은 형상 뒤틀림이나 성형의 불안정으로 플랜지 길이가 짧은 경우이고, Fig. 7은 형상면 변형을 나타내고, Fig. 8은 플랜지다이의 형합불량에 의한 헤밍면이 도출된 현상이다. 이러한 현상들은 패널마다 조금씩의 차이는 있겠지만 본넷의 경우에 발생하는 일반적인 플랜지 및 면 불량들이다.

### 3.4 패널 스프링백 측정

기존의 스프링백 측정은 트리밍을 한 제품을 Fig. 9과 같은 검사구에 올려놓고 별도의 측정 게이지(gage)를 사용하여 검사구와 시제품사이의 간극을 측정함으로써 스프링백량을 측정할 수 있었다. 검사구에 제품을 위치시킬 때에는 수평 방향으로의 이동을 금지시키기 위해 제품에 뚫어놓은 기준홀과 부기준홀 검사구의 핀에 끼우고, 패널을 고정시키기 위해 Fig.9의 A,B와 같은 클램퍼(clamper)를 사용하여 제품을 검사구에 완전히 밀착시킨다. 검사구의 고정점은 제품 설계시 결정된 기준면 위에 위치하게 되며, 스프링백 해석시 경계조건이 부여되는 부분이다.

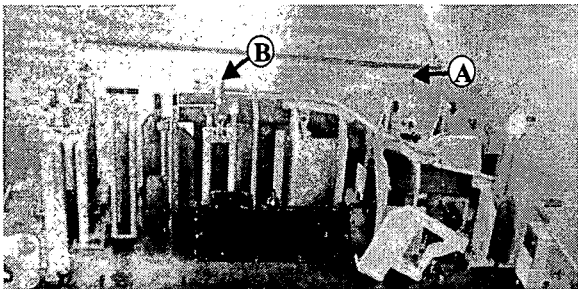


Fig. 9 Checking feature for springback measurement

최근의 스프링백에 대한 측정은 기존의 검사구와 제

품 사이의 간극은 측정에 대한 오차가 있고 작은 변형량이라도 문제가 크게 발생되기 때문에 측정기에 의해서 자동으로 측정되는 시스템(CMM : Coordinate Measuring Machine)을 사용하고 있다. Fig. 10은 산업현장에서 사용하고 있는 변형량 자동측정 설비인 3차원 측정기가 패널의 변형량을 측정하고 있는 모습이다. 3차원 측정기에 의해서 자동으로 변형량을 측정하는 곳은 제품면부분과 트림라인의 에지부분이다. 스프링백이 발생하면 3차원적으로 면에서의 길이 차이가 발생하고 트림라인의 변화가 있다면 플랜지에서 스프링백 발생치를 파악할 수 있고, 또한 제품도 수치와 측정치에 대한 차이를 자동으로 계산하여 제공되기 때문에 매우 편리한 측정장비이다.

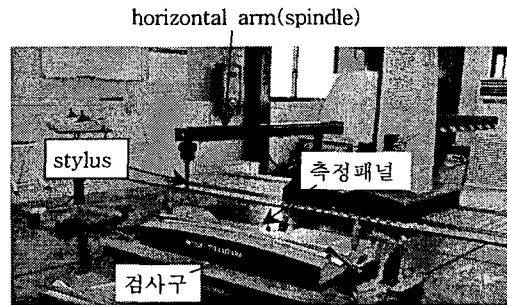


Fig. 10 Coordinate measurement machine

3차원 측정기의 측정순서는 다음과 같다.

- ① 제품 data 입력  
컴퓨터에 측정하고자 하는 제품의 3차원 데이터를 입력한다.
- ② 제품측정 개소를 선정한다.  
직선구간에서는 100mm 단위로 측정개소를 정하고 corner부에서는 10mm 간격이나 R중심에서 3개의 point를 선정한다.
- ③ 기하 공차를 입력한다.  
측정부위에 대한 상한공차값과 하한공차값을 입력한다.
- ④ stylus에 의해서 측정한다.  
제품면과 트림라인부의 변형량을 측정한다.
- ⑤ 제품도 치수와 측정치수의 차이에 대한 상한치와 하한치를 분석한 후 편차를 나타내고, 그에 따른 판정을 하여 측정치가 상한치와 하한치에서 벗어나면 그 값을 나타내고 수정을 위한 data로 제공한다.  
Table 1은 가공이 완료된 패널을 검사구에 셀팅시킨 후 3차원 측정기로 면과 트림라인에 대한 검사결과를 나타낸 것이다. 3차원 측정기는 1/10000까지 표현이 가능하며, 1개 면의 측정치는 X,Y,Z와 윤곽도등의 측정치로 표현이 되고, circle일 경우에는 X,Y,Z,와 diameter 측정치가 표현된다. 3차원 측정의 결과로 표현되는 항목들에 대한 설명을 간단히 하면 다음과 같다.

- 항목 : X, Y, Z, 윤곽도
- 측정값 : 자동차의 제품도에 나타난 X,Y,Z에 대한 측정결과 값
- 기준값 : 자동차의 제품도에 나타난 X,Y,Z에 대한 기본 위치값
- 상.하한공차 : 금형을 제작할 때 제품도에 나타난 0 공차를 적용하기는 힘들기 때문에 면내에서 일정한 공차를 패널마다 ±기준값을 설정한다.
- 편차: 측정값을 상.하한공차값과 비교하여 나타낸 값
- 판정 : 측정값이 상.하한공차값과 비교하여 벗어난 측정치를 나타내고 불량일 경우에는 보정을 위한 data로 활용한다

Table 1 Measurement data

번호	항목	측정값	기준값	상한공차	하한공차	편차	판정
1기계좌표계		5767.161	5767.300	0.7000	-0.7000	-0.1391	-
2좌표계-대부름							
3PNT1	X	5767.1616	5767.3007	0.7000	-0.7000	-0.1391	-
	Y	-441.2517	-441.2302	0.7000	-0.7000	0.0215	+
	Z	1130.3046	1130.2907	0.7000	-0.7000	0.0139	+
	윤곽도	-0.1391	0.0000	0.7000	-0.7000	-0.1391	-
	SMm	1p	0.0000	0.0000	0.0000		
15circle	X	5738.7932	5739.3077	0.8000	-0.8000	-0.5145	-
	Y	-225.2397	-225.0677	0.8000	-0.8000	0.1720	+
	Z	1324.6888	1324.6346	0.8000	-0.8000	0.0542	+
	D	8.0128	8.1041	0.4000	-0.4000	-0.0913	-
	SMm	3p	0.0000	0.0000	0.0000		
16circle	X	5748.4194	5749.2726	0.8000	-0.8000	-0.8532	-0.0532
	Y	-0.7572	-0.0864	0.8000	-0.8000	0.6708	+
	Z	1321.6431	1321.1477	0.8000	-0.8000	-0.4954	+
	D	8.0128	8.1041	0.4000	-0.4000	-0.0913	-
	SMm	3p	0.0000	0.0000	0.0000		

#### 4. 스프링백 발생에 대한 설계 및 현장 적용

일반적으로 스프링백은 드로우와 굽힘가공후에 발생한다. 드로우와 굽힘가공후에 발생하는 스프링백을 줄이거나 없애기 위한 방법은 설계기술과 현장기술로 구분할 수 있고 명칭에 있어서도 스프링백 “저감방법” 또는 “없애기 위한 적용방법” 정도이고 특별한 명칭은 없다. 이 논문에서는 “성형변형보정치”(산업체에서는 일명 “미꾸미 적용“이라고 명명함)라고 명명하고 이에 대한 산업체에서 일반적으로 많이 적용하고 있는

설계와 현장적용 방법들에 대해서 기술한다. 드로우가공후에 스프링백이 발생하는 경우는 패널의 장강성 과도 무관하지 않기 때문에 굽힘가공후의 스프링백 보다 더 중요하게 다루어지고 있다. 즉 패널의 중앙부 일수록 편지와 맞닿은 면적이 작아서 패널이 실제적으로 성형이 되지 않고 인접부만 성형이 되기 때문에 패널전체 길이에서 각 구간별로 성형길이가 다르므로 패널 변형이 발생된 부분이라고 판단한다. 예를들어 Fig. 11과 같은 플로어 패널에 있어서도 중앙부에서는 성형 깊이가 다르게 되어 패널 변형이 발생하므로 패널 하단부에 편지 타입으로 구조를 만들고 패널이 성형될 때 중앙부에서도 편지와 맞닿아서 일정한 성형깊이와 길이로 성형되어 변형이 저감되는 방법을 적용하고 있다.

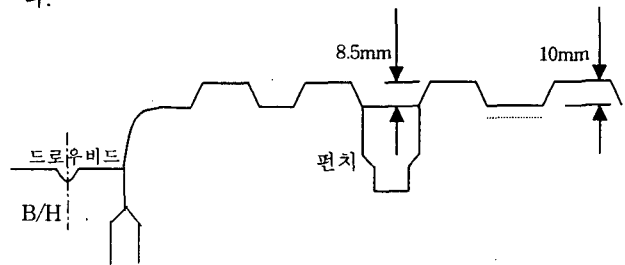


Fig. 11 Plane transformation of floor panel

면변형의 경우에는 부분적 리스트라이크 성형이나 외부패널의 변형이 심하지 않을 경우에는 inner panel과 outer panel을 접합시키는 헤밍금형에서 그 보정치를 일부 저감시키는 경우도 있다. 즉 outer panel은 형상들에 의해서 소성변형이 완료된 inner panel과 헤밍이 되면서 패널 공차내에서 변형을 일부 보정하는 방법이다. Fig. 12는 inner panel과 outer panel이 서로 접합되어 리스트라이크 성형이 되는 부분을 나타내고 있다.

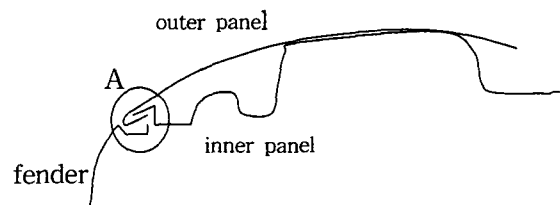


Fig. 12 Panel assembling

Fig. 12에서 A부의 접측면에서는 면의 부드러움을 위하여 리스트라이크 성형을 하는 부분들이다. 굽힘 성형에서는 패널을 단순히 굽히는 단순굽힘과 플랜지 굽힘으로 분류할 수 있는데, 단순굽힘의 경우에는 단면과 평면상으로 변화가 없는 직선구간에서의 성형이고 단면과 평면상으로 변화가 있는 직각플랜지(Fig. 13 참조)와 각도를 가진 굽힘(Fig. 14참조)의 경우에는 플랜지 가공을 한다.

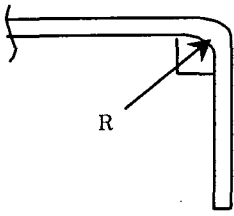


Fig. 13 90° flange

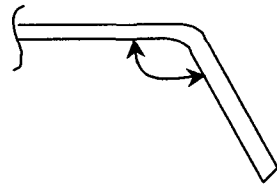


Fig. 14 Flange bending

단순굽힘과 직각굽힘 후 발생하는 변형량에 대한 보정치 대책으로써 설계적인 대책과 현장적용 대책으로 적용하고 있다. 굽힘부와 수직으로 된 단순굽힘의 경우에는 재료 t clearance를 "0"(제로) 또는 "-"(마이너스)로 적용하여 스프링백에 대한 보정치를 감안하는데, Fig. 15는 굽힘부에서 "0" 또는 "-" 클리어런스를 적용하는 방법에 대한 그림이다. 그리고 직선구간에서 단순 굽힘의 경우에는 Fig. 16과 같이 back량을 감안하여 초기에 굽힘에 약 1° 정도의 go를 적용하고 있다.

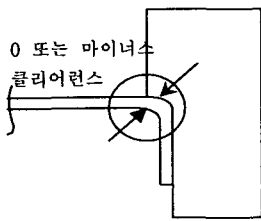


Fig. 15 Zero clearance

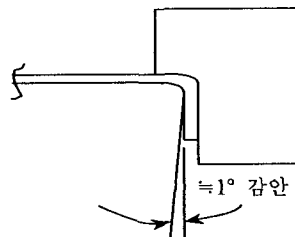


Fig. 16 Application of 1°

Fig. 15에서 bending할 때 bending R 부분의 스프링백량을 줄이는 방법으로 펀치의 재료 t에 "0" 또는 "-" 공차를 적용하여 강하게 순간충격을 가하여 스프링백량을 줄이는 방법에 대한 그림이다. 이 방법은 패널에 강하게 순간적으로 충격성형을 가함으로써 탄성복원력을 줄이기 위한 방법으로 현장에서 품질육성적인 측면에서 스프링백을 저감하거나 없애기 위한 대책기술이다.

일반적으로 자동차 패널들에 적용하는 panel 면공차는 ±0.5~0.7mm 정도를 적용하는데 이것은 프레스에 의한 패널생산에서 제품도와 같이 "0"공차를 적용하는 것이 불가능하기 때문에 설계시 면불량을 보정하기 위해서 일정한 면공차를 적용하고 있다. 이것은 수직플랜지 가공에서 수평과 수직선의 접점을 기준으로 ±0.5~0.7mm 이내의 변형량에 대해서는 스프링 백이나 스프링 고우(spring go)를 인정한다는 의미이다. 즉 Fig. 17에서 적용하는 플랜지부 R의 수평과 수직이 접하는 접점에서 A부까지는 변형량에 대해서 인정을 하지만 B부에서 패널의 끝부분이 A부를 벗어나기 때문에 즉 ±0.5~0.7까지의 스프링백은 설계 면변형 치수공차에서 벗어나기 때문에 이에 대한 대책방안으로 적용하는 방법이 C에서와 같이 R point를 공차가 허용하는

범위내에서 안쪽으로 이동시키는 방법이다. 즉 변형량에 대한 굽힘이 되는 R point를 -방향으로 이동시켜 성형후에도 면변형이 치수공차내에 있도록 하는 것이다. 이러한 방법은 패널에 따라서 경험에 의해서 설계적용하거나 성형시물레이션에 의한 해석치를 판단하여 적용할 수 있다. Fig. 18은 자동차 outer panel과 inner panel이 접하는 부분에서의 면 공차의 일반적인 작성방법을 나타내었고, Fig. 19는 outer panel과 inner panel 그리고 fender의 면 공차 적용표시를 나타내었다.

그리고 수직플랜지에서 패널에 스프링백이 발생된 수직부분을 보정하기 위해서 Fig. 20과 같이 CAM으로 강하게 별도의 가공을 하여 보정하기도 한다.

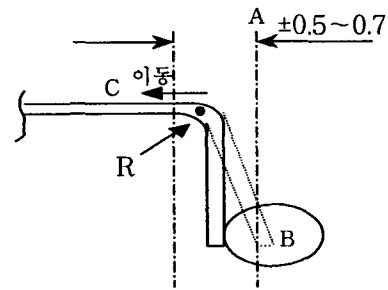


Fig. 17 Transfer of R point

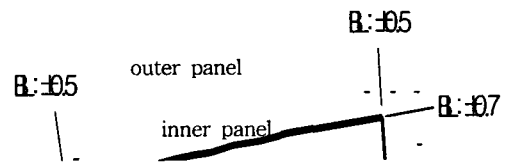


Fig. 18 Plane clearance of outer panel and inner panel

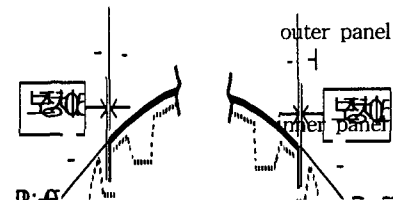


Fig. 19 Plane clearance of outer, inner and fender panel

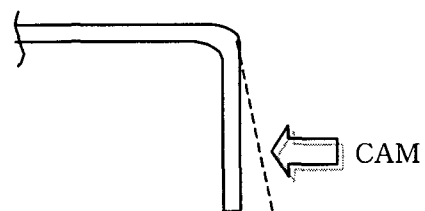


Fig. 20 Application of CAM

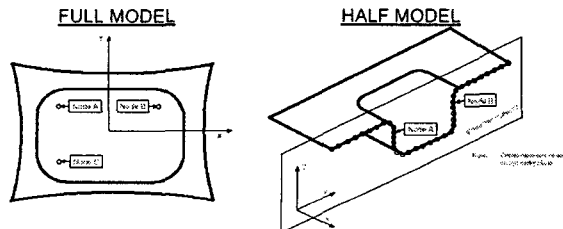
#### 4. 스프링백 시뮬레이션 적용

##### 4.1 해석적 접근방법

스프링백에 대한 성형시뮬레이션 해석적 접근방법에는 implicit 과 explicit 방법이 있는데, 박판성형해석은 정적문제에 가깝기 때문에 implicit로 풀어야 하지만 implicit는 접촉이 주문제인 박판성형문제의 결과를 만들수는 있지만 해석시간이 많이 걸려 아직까지 박판문제의 성형해석에는 explicit로 적용을 하며, 간혹 작은 모델에 대해서는 implicit로 해석을 하고 있다. 따라서 explicit와 implicit를 이용하여 패널 성형해석을 한 후 springback 해석을 수행할 수 있는데 springback해석도 implicit와 explicit code 두 가지 모두를 사용할 수 있지만 보통 상용코드에서는 implicit를 사용하고 있는 경향이 있다. Explicit springback은 판재에 critical damping을 주어 강제로 평형상태에 도달하는 방법인데, 나름대로 좋은 결과를 낼 수가 있기 때문에 무조건 결과를 얻을 수 있다는 장점과, 시간이 많이 걸린다는 단점이 있다. Implicit는 explicit보다 해석시간은 보통 적게 걸리지만 수렴이 안 되는 경우는 explicit보다 더 걸릴 수도 있기 때문에 어떤 문제의 해를 구하지 못할 수도 있다. 두 가지 code의 정확도적인 측면에서 Numisheet 1993 문제인 U-Bending을 풀었을 때는 explicit나 implicit나 결과 차이는 크게 없는 것으로 확인되었으나 정확도가 100%라고 판단하기엔 쉬운 결론이 아니다. 따라서 explicit code와 implicit code 중 "어떤 것이 맞다"라고 말하기는 힘들지만 보편적으로 springback 해석에서는 implicit로 풀고 있고, implicit에서 수렴을 하지 않은 경우는 explicit에서 결과를 얻을 수가 있다는 점이 일반적인 견해이다.

##### 4.2 경계조건 적용

성형해석후의 결과는 금형내에서의 판재 변형현상이고, 금형을 제거하였을 때가 springback이다. 그런데 경계조건이 없다면 판재는 springback과 rigid body motion을 동시에 같은 조건으로 문제를 풀게 될 것이다. 따라서 경계조건이 없는 경우는 실제 판재의 displacement는 순수한 springback과 rigid body가 포함된 것이라고 할 수 있다. Rigid body motion을 제어하기 위하여 reference point를 보통 Fig. 21에서와 같이 3절점을 구속하는데, 한점을 구속하면 shell이기 때문에 rotation을 구속할 수가 없으므로 3절점을 구속한다.



Displacement B.C	A: Translation in X,Y,Z Rotation about Y,Z
A: Translation in X,Y,Z	B: Translation in Y,Z Rotation about Y,Z
B: Translation in Y,Z	Sym.Plane : Translation in Z and
C: Translation in Z	Rotation about Y,Z

Fig. 21 Application of boundary condition

##### 4.3 해석의 정확도 평가

Springback은 변형된 판재내에 존재하는 잔류응력의 완화에 의하여 결정되기 때문에 최종 성형후의 stress가 얼마나 정확한가에 따라 그 정확도가 차이난다. 따라서 springback 해석의 정확도를 평가하기 위해서는 forming해석을 잘하여 stress 표현을 정도있게 하는 것이 매우 중요하다.

#### 5. 결론

이상과 같이 스프링백의 발생 메카니즘과 스프링백을 줄이기 위한 설계 및 현장에서 일반적으로 적용하는 방법 그리고 스프링백 예측을 위한 성형시뮬레이션에 적용하는 일반적인 사항들에 대해서 기술하였다.

현재 자동차 패널 성형에 있어서 주름(wrinkle)이나 크랙(crack)발생 기타 성형불구합 현상들은 기존의 경험치와 시뮬레이션으로 예측하여 금형제작에 95% 이상의 정확성으로 적용하고 있다. 이것은 불과 수년 전에는 연구나 기타 일부 패널에 적용하는 단계에서 벗어나서 자동차사에서는 시뮬레이션에 의한 사전 예측치를 설계에 적용하지 않은 금형개발은 인정하지 않는 단계까지 접근해있는 것이다. 스프링백도 경험치와 시뮬레이션으로 일부 적용하고 있지만 여러 조건들에 의해서 발생하는 불량이기 때문에 지금으로서는 100% 적용하기는 힘든 상황이다. 그러나 자동차 패널들의 스프링백 발생에 대한 현재의 경험치와 성형시뮬레이션과 같은 예측으로 수년 내에 설계와 동시에 스프링백을 저감하거나 없앨 수 있는 방안이 적용될 것으로 본다.

#### 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. Pourboghra, 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. F.Pourboghraat and E. Chu, "Prediction of springback and sidewall curl in 2D-draw bending" *Journal of Materials Processing Technology*, Vol 50, Issues 1-4, March 1995, pp.361-374
  6. L.C.Zhang and Z.Lin, "An analytical solution to springback of sheet metals stamped by a rigid punch and an elastic die" *Journal of Materials Processing Technology*, Vol 63, pp.49-54
  7. N. He and R. H. Wagoner, 1996, "Springback simulation in sheet metal forming", *NUMISHEET '96*, pp.308-315
  8. Daw-Kwei Leu, 1997, "A simplified approach for evaluating bendability and springback in plastic bending of anisotropic sheet metals", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol 66, pp.9-17
  9. 김용환, R.H. Wagoner, 1990, "비등온 박판 성형 공정의 유한요소 해석", *대한기계학회논문집 제 14권 제 5호*, pp.1119-1128
  10. 양동렬, 이상욱, 윤정환, 유동진, 1998, "박판 성형에서의 스프링백 해석과 산업적 응용", *한국소성가공학회지*, 제8권 제1호, pp22-28
  11. 이종문, 이용익, 신용승, 김현영, 1998, "리어사이드 프레임의 금형설계를 위한 성형해석과 트라이아웃" *한국소성가공학회 '98추계학술대회 논문집*, pp. 17-21
  12. 박강판성형기술연구회 "프레스 성형난이 핸드북" 기전연구사