

# 알루미늄 합금박판 온간 성형의 스프링백

한 병 엽\* · 정 기 옥\* · 금 영 탁\*\*

## Springback in Warm Forming of Aluminum Alloy Sheets

Y. B. Han\*, K. W. Chung\* and Y. T. Keum\*\*

### Abstract

In order to examine the springback of aluminum alloy sheets, AL1050 and AL5052, in the warm forming which forms the sheet above room temperature, the stretch bending and draw bending tests in various working temperatures were carried out. While the springbacks of AL5052 and AL1050 are tremendously reduced over 150°C in the stretch bending test, the springbacks in the draw bending test are rapidly reduced in 150°C-200°C for AL5052 and 200°C-250°C for AL1050. Using the FEM program, the forming and springback processes are analyzed. Though springback amounts of analysis result are slightly bigger than those of experiment, they showed the same trend in the decreasing springback as the forming temperature increases.

**Key Words** : Springback, Aluminum Alloy Sheet, Stretch Bending Test, Draw Bending Test, Warm Forming

### 1. 서 론

최근 알루미늄 합금 소재를 이용한 박판제품 경량화 연구가 상당부분 진척 되어있다. 그러나 알루미늄 합금 소재는 성형시 일반 강판소재에 비하여 스프링백이 크게 발생하는 단점이 있다. 이러한 스프링백 현상은 제품결합의 원인이 될 수 있기 때문에 스프링백의 정확한 예측은 금형 설계에 중요한 요건이다.

알루미늄 및 알루미늄 합금 소재는 200~300°C 범위에서 인장강도의 감소와 함께 높은 연성을 나타내는 성질이 있어, 소재를 가열하여 소재 강도를 성형 중에 변화시키면서 성형성을 향상시키고, 스프링백양을 줄일 수 있다.

Chu 등<sup>(1)</sup>은 모멘트와 곡률의 관계를 이용하여 스프링백과 벽젓힘 현상에 대한 연구를 박막 이론에 의한 유한 요소해석 프로그램을 이용하여 수행하였다.

Wagoner 등<sup>(2)</sup>은 박판 성형 공정에서의 정확한 응력해석이 스프링백 해석 결과에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

Yoon 등<sup>(3)</sup>은 3D hybrid membrane/shell 방법을 이용하여 스프링백을 계산하였다. 또한 2036-T4 알루미늄 합금과 6111-T4 알루미늄합금을 이용하여 Stretch-bending 과 Draw-bending 실험후 해석치와 비교하였다.

김용환 등<sup>(4)</sup>은 비등온 박판성형 공정을 3 차원

\* 한양대학교 대학원

\*\* 한양대학교 CPRC 기계공학부

유한요소 해석법을 이용하여 성형온도가 성형성에 미치는 영향을 평가하였다. 양동열 등<sup>(5)</sup>은 스프링백 현상을 유한요소법으로 해석시 스프링백에 영향을 미치는 모델링 인자인 벌칙상수, 블랭크의 요소 크기, 곡률부의 요소 수, 펀치 속도에 대해 평가하였다. 정완진 등<sup>(6)</sup>은 Zhu 와 Zacharia 의 4 절점 요소를 이용하여 탄성 복원 해석에 적합한 유한 요소 해석 기법을 제안하였고 반복 계산 해석방법 및 초기 잔류 응력에 의한 하중 부여 방법에 근거한 프로그램을 개발하여 U 형 드로우벤딩 문제와 S 레일 성형 문제를 해석하여 적용성을 비교 하였다.

본 연구에서는 알루미늄 합금 박판의 온간성형에서 스프링백을 관찰하기 위하여 스트레치 굽힘실험과 드로우 굽힘실험을 수행하고, 유한요소 프로그램을 이용하여 스프링백해석을 수행하였다.

## 2. 실험

온간성형의 스프링백을 관찰하기 위한 실험에서 가공성과 용접성이 우수하고 알루미늄의 순도가 높아 압출관 코일 등에 많이 사용되는 순수 알루미늄 계열의 AL1050-H16(이하 AL1050)과 성형성과 용접성이 우수하고 높은 강도를 가지고 있어 판금재료나 설비재, 자동차 차체판넬, 선박용 재료 등에 사용되고 있는 AL-Mg 계열의 AL5052-H32(이하 AL5052)를 사용하였고, 각 소재의 두께는 0.8mm 이었다.

온간 성형 온도에 따른 스프링백 거동을 관찰하기 위해 스트레치 굽힘실험과 드로우 굽힘실험을 성형 온도를 조정하면서 수행하였다.

### 2.1 스트레치 굽힘실험

성형 온도에 따른 알루미늄 합금 박판 소재에 대한 스트레치 굽힘실험을 위해 스트레치 굽힘 성형용 축소금형을 제작하였다. 다이의 어깨 반경은 10mm 이고 펀치 반경은 2mm 로 하였으며, 클리어런스는 1.2mm 이었다.

제작된 축소금형에 AL1050 과 AL5052 시편을 장착하여 실험을 수행하였으며 각각 압연방향으로부터 0°,

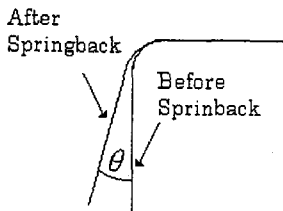


Fig. 1 Springback,  $\theta$ , in stretch bending test specimen.

45°, 90° 의 방향에서 추출된 시편의 크기는 150mm×30mm 이다. 축소 금형에 시편을 장착하고 온도조절이 가능한 가열로 안에 넣고 상온부터 50℃ 간격으로 350℃까지 온도 변화에 따른 굽힘 실험을 실시 하였다. 시편의 성형 온도가 목표 온도에 도달하도록 수 십분동안 목표 온도를 유지시켜 주었고, 열전대를 이용하여 시편의 온도를 직접 측정하였다. 스프링백의 크기는 Fig.1와 같이 굽힘 성형 전·후의 굽힘 각도( $\theta$ )를 측정하여 구하였다.

### 2.2 드로우 굽힘실험

스트레치 굽힘실험과 마찬가지로 성형온도를 상온에서부터 시작하여 350℃까지 50℃간격으로 조정하면서 굽힘성형 실험을 실시하였다. 성형 온도에 따른 알루미늄 합금 박판 소재에 대한 드로우 굽힘실험을 위해 축소 금형을 제작하였다. 다이의 어깨 반경은 10mm 이고 펀치 코너 반경은 2mm 로 하였으며, 클리어런스는 1.2mm 로 하고 뒤쪽에 무게추를달아 BHF 를 조정하였다. 시편은 인장 시편 모양으로 제작하였으며 게이지부 길이는 60mm, 폭 14mm, 두께 0.8mm 이며 각각 압연방향으로부터 0°, 90° 의 방향에서 추출하였고 준비된 축소금형에 AL1050 과 AL5052 시편을 장착하여 가열로 안에 넣고 상온부터 50℃간격으로 350℃까지 온도 변화에 따른 굽힘실험을 실시하였다.

스프링백의 크기는 굽힘 성형 전·후의 굽힘 각도( $\Delta\theta_2 = 90 - \theta_2$ )를 측정하여 구하였다.(Fig. 2 참조)

## 3. 해석

### 3.1 스트레치 굽힘 해석

본 연구에서 제안한 실험적 연구의 타당성을 검증하기 위하여 스트레치 벤딩 해석을 수행하였

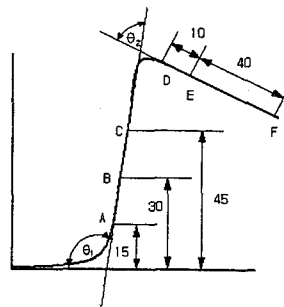


Fig. 2 Measurement of  $\theta_2$  for calculating springback in draw bending test.

다. 다이의 굽힘반경 10mm, 펀치코너 반경은 2mm, 펀치와 다이의 클리어런스는 0.4mm 로 하여 실험적 연구에서 제작한 축소 힘반 금형과 일치되게 모델링 하였다. 시편의 크기는 실험시 150mm×30mm 이었던 반면 해석 모델에서는 해석 시간 단축을 위해서 소재를 폭방향 대칭경계조건을 이용하여 150mm×15mm 의 크기로 모델링하였다.

5mm×6mm 와 5mm×1mm 인 두가지 요소를 같이 사용하여 총 87 개의 요소로 해석을 수행 하였다.

해석시 펀치의 위치를 제어하는 방법으로 박판을 성형시켜 시편의 응력 및 변형량을 계산한뒤 펀치를 제거한후 성형시킴으로써 스프링백 해석이 되도록 하였다. 펀치와 시편 사이의 마찰계수는 0.25, 시편과 다이 사이의 마찰계수는 0.25 그리고 홀더와 시편 사이의 마찰계수를 0.30 으로 가정하였다. 온도에 따른 마찰계수의 변화가 거의 없다는 연구 결과<sup>(7)</sup>를 토대로 마찰계수를 일정한 값으로 사용하였다. 블랭크홀더의 경우 변위를 고정시켜 마찰으로 블랭크를 고정하도록 모델링하였다.

### 3.2 드로우 굽힘 해석

다이의 어깨반경 10mm, 펀치 코너 반경은 2mm, 펀치와 다이의 클리어런스는 0.4mm 로 하여 실험적 연구에서 제작한 축소 금형과 일치되게 모델링 하였다. 시편의 크기는 실험시 60mm×14mm 이었던 반면 해석 모델에서는 폭방향 대칭 경계조건을 이용하여 80mm×7mm 의 크기로 모델링 하였다. 5mm×6mm 와 5mm×1mm 인 두가지 요소를 같이 사용하여 총 276 개의 요소로 해석을 수행 하였다.

해석시 시편을 펀치에 고정시킨뒤 펀치의 위치를 제어하는 방법으로 박판을 성형시켜 시편의 응력 및 변형량을 계산한뒤 펀치를 제거한후 성형시킴으로써 스프링백 해석이 되도록 하였다. 펀치와 시편 사이의 마찰계수는 0.25, 시편과 다이 사이의 마찰계수는 0.25 그리고 홀더와 시편 사이의 마찰계수를 0.30 으로 가정하였다. 온도에 따른 마찰계수의 변화가 거의 없다는 연구 결과<sup>(7)</sup>를 토대로 마찰계수를 일정한 값으로 사용하였다.

## 4. 토의 및 고찰

### 4.1 스트레치 벤딩

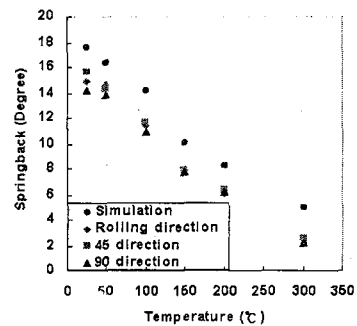
Fig. 3 는 온도에 따라 개발한 프로그램을 이용하여 스트레치 벤딩 성형공정에서 측정된 스프링백 크기와 실험적 연구에서 측정된 실험값과 비교한 그래프이다. AL1050, AL5052 두 소재 모두 각 성형 온도

에서 해석값과 실험값이 차이를 보이고 있으나 온도가 증가함에 따라 스프링백의 감소 경향은 대체적으로 일치하고 있음을 알 수 있다. AL1050 는 해석 온도별로 비슷한 크기의 오차가 나타나는 반면 AL5052 는 200℃ 근처에서 실험값과 해석값의 차이가 가장 크게 나타난다.

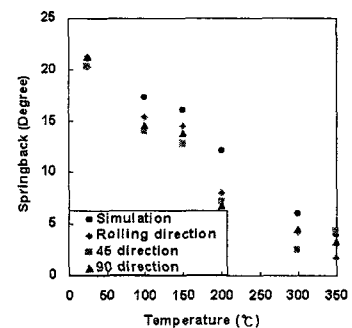
AL1050 의 경우 AL5052 에 비해 상대적으로 스프링백양이 작기 때문에 이러한 결과가 확연하게 나타나지 않지만 급격한 스프링백의 변화를 나타내는 AL5052 의 경우엔 완벽하게 묘사하지 못하는 것을 알 수 있다. 또한 계산 시간을 줄이기 위해서 요소의 크기를 충분히 작게 하지 못한 것이 오차 발생의 한 요인이라 추정된다.

### 4.2 드로우벤딩

Fig. 4 은 온도에 따라 개발한 프로그램을 이용하여 드로우 벤딩 성형공정에서 측정된 스프링



(a) AL1050



(b) AL5052

Fig. 3 Comparison of springback amount of (a) AL1050 and (b) AL5052 after stretch bending between simulation and experiment associated with various test temperatures.

백 크기와 실험적 연구에서 측정한 실험값과 비교한 그래프이다. 스트레치 밴딩과 비슷하게 각 성형 온도에서 해석값과 실험값이 차이를 보이고 있으나 온도가 증가함에 따라 스프링백의 감소 경향은 대체적으로 일치하고 있음을 알 수 있다. 그러나 AL1050 과 AL5052 두 소재 모두 급격한 스프링백의 변화를 해석 결과에서 완벽하게 묘사하지 못하는 것을 알 수 있다. 이는 요소의 크기를 충분히 작게 하지 못한 것이 오차 발생의 한 요인이라 추정된다.

## 5. 결 론

온도에 따른 스프링백 특성을 비등온 박판성형 공정의 실험적, 해석적 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 스트레치 굽힘실험을 통하여 AL5052 소재는 AL1050 소재 보다 스프링백양이 크게 나타났고, 성형

온도 150℃ 이후로 두 소재의 스프링백양은 크게 감소하는 것을 확인 할 수 있었다.

(2) 드로우 굽힘실험을 통하여 AL5052 소재는 150℃-200℃, AL1050 소재는 200℃-250℃에서 스프링백이 급격히 감소함을 알았다. 또한 AL5052 소재는 AL1050 소재보다 더 많은 양의 스프링백 저감효과를 볼 수 있었다.

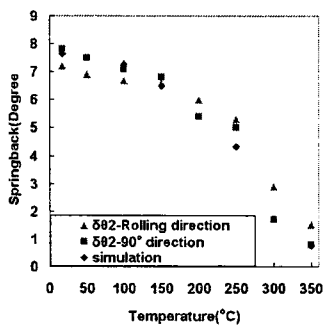
(3) AL1050 소재와 AL5052 소재가 모두 온도가 증가함에 따라 스프링백양이 감소하는 경향을 실험과 전산 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

## 후 기

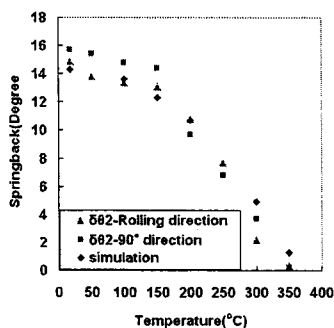
이 논문은 2001 년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2001-041-E00097)

## 참고문헌

1. F.Pourboghtrah 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
2. N. He and R. H. Wagoner, 1996, "Springback simulation in sheet metal forming", NUMISHEET '96, pp.308-315
3. Jong-Wan Yoon, Farhang Pourboghtrah, Kwansoo Chung, Dong-Yol Yang, 2002, "Springback prediction for sheet metal forming process using a 3D hybrid membrane/shell method", International Journal of Mechanical Sciences 44, pp.2133-2153
4. 김용환, R.H. Wagoner, 1990, "비등온 박판성형 공정의 유한요소 해석", 대한기계학회 논문집 제 14 권 제 5 호, pp.1119-1128
5. 양동열, 이상욱, 윤정환, 유동진, 1999, "박판 성형에서의 스프링백 해석과 산업적 응용", 한국소성가공학회지 제 8 권 제 1 호, pp.22-28
6. 정완진, 1999, "박판 성형시 탄성복원에 대한 유한요소 해석" 대한 기계학회 논문집 A 권, 제 23 권 제 12 호, pp.2197-2208
7. 송광현, 이재동, 최이천, 서대교, 1999, "금형의 온도와 처리 상태에 따른 판재의 마찰특성" 한국소성가공학회지 제 8 권 제 3 호, pp.245-251



(a) AL1050



(b) AL5052

Fig. 4 Comparison of springback  $\theta_2$  amount of (a) AL1050 and (b) AL5052 after draw bending between simulation and experiment associated with various test temperatures.