

V-벤딩 금형에서 박판 소재의 실험과 해석을 통한 스프링 백 비교 고찰

정균민¹ · 최계광[†]

공주대학교 금형설계공학과^{1,†}

A comparative study of experiment and analysis of sheet metal in V-bending

Gyun-Min Jeong¹ · Kye-Kwang Choi[†]

Department of Metal Mold Design Engineering, Kongju National University^{1,†}

(Received February 26, 2021 / Revised March 29, 2021 / Accepted March 31, 2021)

Abstract: When the product is removed from the mold after molding during the sheet metal molding process, elastic recovery causes a springback phenomenon. Much research has been done to minimize this phenomenon. In this study, V-bending experiments were conducted using galvanized steel sheets, stainless steel, and aluminum sheet materials, using a total of nine types of thin sheet materials of 1.0t, 1.5t, and 2.0t, respectively. Molding analysis and experimental data were compared and analyzed. In the case of galvanized steel sheets, it was considered that the springback phenomenon occurs more frequently in molding analysis than in experiments. It was considered that the springback phenomenon occurs greatly in the experiment, not the interpretation of the molding of the stainless steel plate and the aluminum plate. It was considered that the springback occurrence tendency of the molding analysis and the experiment was the same, and the springback occurrence error rate of the molding analysis and the experimental result was about 4.0%.

Key Words: Bending, Sheet metal forming, Spring back, Molding analysis

1. 서 론

박판 성형공정은 매우 얇은 판재를 이용하여 복잡한 형상의 제품을 생산하는 공정으로 블랭크에 소성 변형을 가하여 제품을 생산하는 성형법이다.

박판 성형 공정 시에는 금형 내에서 판재의 변형으로 의하여 제품에 잔류 응력이 발생한다. 이때 발생한 잔류 응력의 탄성 회복에 의하여 제품의 스프링 백(Spring back) 현상이 발생한다. 스프링백은 판재의 프레스 성형 시 탄성 회복으로 인한 부분적 형상 변형 현상으로서 성형품의 기하학적인 형상변수, 공정변수 및 재료변수 등에 영향을 준다. 또한 판재의 인장강도 증가에 따라 금형과 블랭크 사이의 접촉력이 증가하며, 금형의 과도한 변형에 의해 금형 형상 변화가 발생 하고 제품의 치수정밀도에 영향을 주고 간극이 발생하여 조립 공정에서 접합 특성을

을 저하시키는 원인으로 인식되고 있다. 이러한 영향으로 인해 스프링 백 현상을 최소화하기 위한 연구들이 진행 되고 있다.

Lee 외 3인은 1080 × 628 mm의 LCD TV에 사용하는 부품을 성형해석 및 스프링백 해석을 수행할 수 있는 절차를 개발하고 기초연구를 수행하여 비드 최적 설계에 활용 할 수 있는 연구를 진행하였으 며¹⁾, 또한 Lee 외 4인은 예측모델의 정밀도를 검증하기 위해 U-벤딩 실험을 통해 스프링백을 구하고, 그 경향을 비교하였다. 또한 검증된 예측모델을 이용하여 여러 공정 조건에 대한 고장력강 및 알루미늄 합금 등에 대한 스프링 백을 예측하는 연구를 진행 하였다²⁾.

Choi 외 1인은 DP780 강판의 스프링백 거동을 실험적으로 분석하였으며, 재료의 이방성, 성형속도 및 블랭크 가압력에 따른 스프링백 거동을 분석하기 위하여 재료의 유입방향, 성형속도 및 블랭크 가압력을 달리하여 U-bending 시험을 수행하였고 스프

^{1,†} 교신저자: 공주대학교 금형설계공학과
E-mail: ckkwang@kongju.ac.kr

링백 거동을 분석하기 위해 NUMISHEET '93 benchmark problem에서 제안된 U-bending 형상에 따라 시험을 수행하고 스프링백 인자를 측정하여 비교하는 연구를 진행 하였다³⁾.

Park 외 2인은 초고강도강을 적용한 차량 사이드 시일 부품용 금형구조의 구조강도를 평가를 위하여 성형해석과 금형구조해석 연계 방안을 제안하여, 제안된 기법을 이용하여 금형의 구조평가를 수행하였으며, 스프링 백 해석의 예측 정확도를 평가하는 연구를 진행 하였다⁴⁾.

Yun 외 2인은 각통 드로잉 시 각 인자들이 성형품의 두께 변화에 어떠한 영향을 미치는지를 성형해석을 통해 고찰하고, 각통 드로잉 코너부 중심의 라디얼 라인을 선정하여, 각 인자들을 변환시키며, 소재의 두께변화에 어떠한 영향을 미치는지 해석을 통해 검증하고자 하였다⁵⁾.

Jeon 외 3인은 굴삭기 엔진룸에 위치한 요소수 탱크 외장품을 대상으로 판재 성형해석 기반의 신규 부품 개발공정을 수행 하였다. 초기 설계안을 기초로 성형공정 중 취약점을 검토하고, 블랭크 형상, 크기 및 공정 중 블랭크 홀딩력을 변수로 하여 성형성이 확보되는 성형 공정 조건을 선정 하였고 최종적으로 설계된 형상과 공정을 대상으로 스프링백 해석을 통해 뒤틀림 변형을 확인하고 양산 적용 가능성을 검토 진행하였다⁶⁾.

선행 연구들을 분석한 결과 여러 가지 제품의 형상에 따른 스프링백의 발생과 변화량에 대한 연구는 많은 결과를 나타내었으나, V형 굽힘의 제품을 실제 실험과 해석을 비교하여 스프링백을 비교한 사례는 부족한 것으로 조사되었다. 그러므로 본 연구에서는 벤딩 가공을 할 때 여러 요인의 영향을 받아 스프링 백이 발생하는데 스프링 백 현상을 최적화하기 위해 벤딩 설계 전 성형 해석을 통해 스프링 백의 량을 도출한 성형 해석 데이터를 참고하여 설계에 적용하는 경우가 있다. 성형 해석프로그램의 데이터와 실제 성형 데이터의 결과 값의 차이를 비교 연구하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1. 실험방법 및 조건

본 실험에 사용된 박판 소재의 종류는 전기아연 도금강판(EGI), 스테인리스강판(STS304), 알루미늄 강판(AL5052)의 두께 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm로

총 9종의 박판 소재를 사용하였으며 각 소재에 대한 기계적성질은 Table. 1에 나타내었다. V-벤딩 실험을 위하여 가로 80 mm, 세로 20 mm의 시편을 가공하였다. 이때에 재료의 결에 의한 방향은 굽힘에 대하여 90° 방향의 길이 방향으로 일정하게 설정하였으며, 성형해석 프로그램은 Auto Form R7을 사용하였으며 마찰계수 0.15 μ m, 성형속도 0.2 $\frac{m}{s}$ 를 적용하였으며 해석에 사용된 재료의 기계적 성질을 Table. 1에 나타내었다.

Table. 1 Mechanical properties by material

Material	Modulus of elasticity	Yield strength
EGI	209 GPa	175 MPa
STS304	193 GPa	205 MPa
AL5052	70.3 GPa	191 MPa

실험에 사용된 프레스는 Fig.1에 나타낸 것과 같이 35TON의 C형 크랭크 프레스를 사용하였고, 실험에 사용된 금형(금형크기 : 200x100x150)은 다이 바닥 면을 R7을 적용하였으며, 펀치 선단 부분에는 재료의 두께를 고려하여 R6을 적용하였다. 또한 다이 입구의 견 폭은 실험 소재 두께의 중간 크기인 1.5 mm의 8배인 12 mm를 적용하였으며, 펀치와 다이 모두 동일하게 90° 각도가 되도록 제작하였다.

실험 중 소재의 유동에 의한 불량 발생을 방지하기 위하여 제품의 4면에 대하여 위치 결정용 핀을 설치하였으며, 실험진행 중 프레스 기계의 하사점 변위를 최소화하기 위하여 금형의 모서리 4개소에 스트로크 엔드 블록(Stroke end block)을 설치하였다. V-벤딩 금형 구조는 Fig.2에 나타내었다.



Fig. 1 Press used in the experiment(C type, 35TON)

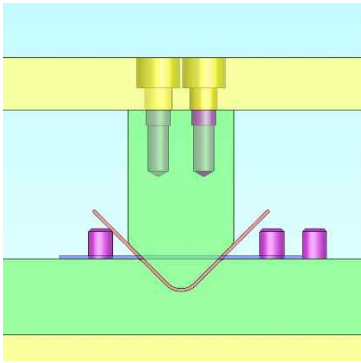


Fig. 2 Experimental V-shaped bending Die

2.2. 실험 결과 및 고찰

실험에서 발생하는 오차를 줄이기 위하여 모든 실험용 재료에 대하여 프레스의 굽힘 속도와 굽힘 압력을 동일하게 적용하였다. 또한 박판을 실제 성형한 제품의 경우 유동 오차를 줄이기 위해 5회 성형하여 평균값을 도출하여 적용하였으며, 실제 성형한 제품의 Data와 성형 해석한 Data의 Spring back을 비교하여 차이 값을 확인하였다.

2.2.1. EGI 박판재의 Spring back

EGI(전기아연도금강판) 박판재를 사용하여 실험한 결과를 Fig.3 에 나타난 것과 같이 실제 성형한 제품의 평균 측정값 ㉠는 92.12° , ㉡는 91.83° , ㉢는 90.88° 로 나타났으며, 성형 해석한 제품 ㉣는 94.44° , ㉤는 93.56° , ㉥는 91.12° 로 확인하였으며, 실험과 해석 모두의 경우에서 스프링 백 현상에 의한 굽힘 각도의 변형이 발생한 것으로 고찰되었다.

EGI 박판재의 실제 성형한 제품의 data와 성형 해석한 제품의 data를 비교하였고, Fig.4 같은 결과를 도출하였다.

실제 성형과 성형해석의 스프링 백이 발생하는 흐름은 동일하고 재료의 두께 1.0 mm의 차이는 2.32° , 1.5 mm의 차이는 1.73° , 2.0 mm의 차이는 0.24° 로 나타났으며, 성형 제품과 성형 해석 데이터의 차이 값은 1.0 mm는 2.45%, 1.5 mm는 1.88%, 2.0 mm는 0.26%로 확인되었다.

실제 실험에 의한 벤딩과 성형해석에 의한 스프링 백 발생량이 서로 다르게 발생하는 원인으로 프레스 기계의 압축력에 의한 모서리의 압력 집중이 해석에 의한 경우보다 크게 작용하여 발생하는 것으로 사료되며, 이는 기계의 하사점 변동에 의한 원인일 것으로 사료된다.

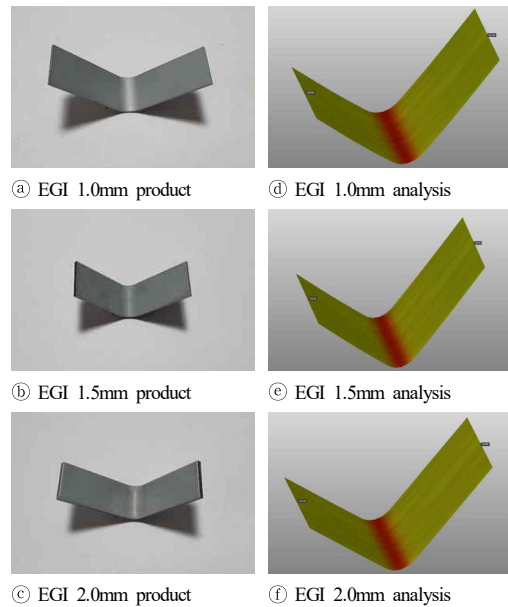


Fig. 3 EGI sheet metal spring back state

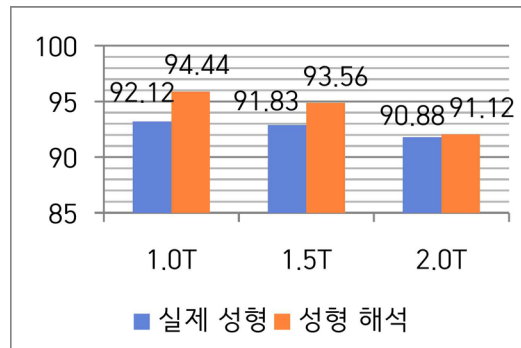


Fig. 4 EGI sheet metal spring back comparison

2.2.2. STS304 박판재의 Spring back

1차 실험에 의한 조건과 동일한 조건으로 프레스 기계의 속도와 압력을 적용하였으며, STS304(스테인리스강판) 박판재를 사용하여 실험한 결과를 Fig.5 에 나타난 것과 같이 실제 실험에 의하여 성형한 제품의 평균 측정값 ㉠는 92.79° , ㉡는 92.96° , ㉢는 92.88° 로 나타났으며, 성형 해석한 제품 ㉣는 91.11° , ㉤는 91.86° , ㉥는 89.99° 로 확인하였으며, 실험과 해석 모두의 경우에서 스프링 백 현상이 발생한 것으로 고찰되었다.

STS304 박판재의 실제 성형한 제품의 data와 성형 해석한 제품의 data를 비교하였고, Fig.6 같은 결과를 도출하였다.

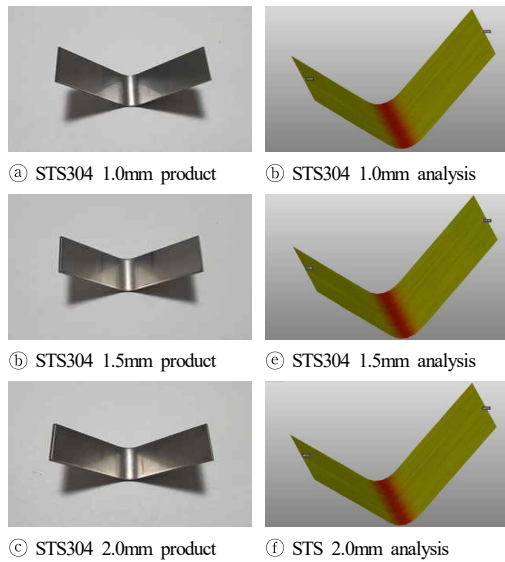


Fig. 5 STS304 sheet metal spring back state

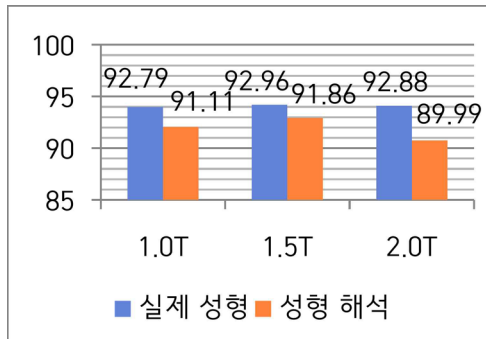


Fig. 6 STS304 sheet metal spring back comparison

실제 성형과 성형해석의 흐름은 동일하고 1.0 mm의 차이는 1.68° , 1.5 mm의 차이는 1.10° , 2.0 mm의 차이는 2.89° 로 나타났으며, 오차율은 1.0 mm는 1.84%, 1.5 mm는 1.19%, 2.0 mm는 3.21%로 확인되었다.

실제 실험에 의한 성형과 해석에 의한 스프링 백을 비교한 결과, 재료의 두께가 증가하면 스프링 백은 감소하여야 하나, 실험에서 동일한 금형을 사용하여 실험하면서 두께가 증가함에 따라 V-벤딩의 모서리 부분에 압축력이 작용되는 것보다 측벽부분의 90° 면 부분에 높은 압축력이 작용하여 두꺼운 재료에서 스프링 백이 크게 발생한 것으로 사료된다.

2.2.3. AL5052 박판재의 Spring back

1차 실험에 의한 조건과 동일한 조건으로 프레스

기계의 속도와 압력을 적용하였으며, 실험을 수행한 결과를 Fig.7에 나타난 것과 같이 실제 성형한 제품의 평균 측정값 ㉠는 92.60° , ㉢는 92.38° , ㉤는 92.31° 로 나타났으며, 성형 해석한 제품 ㉡는 92.25° , ㉣는 90.70° , ㉥는 89.42° 로 나타난 것을 확인하였다.

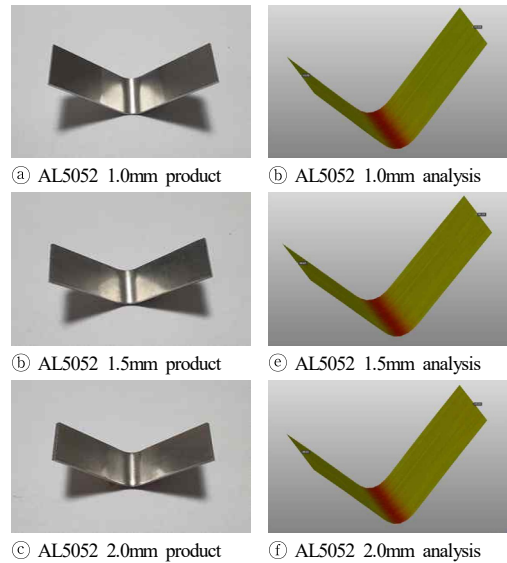


Fig. 7 AL5052 sheet metal spring back state

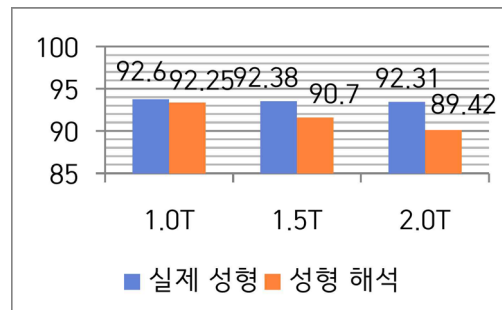


Fig. 8 AL5052 sheet metal spring back comparison

AL5052 박판재의 실제 성형한 제품의 data와 성형 해석한 제품의 data를 비교하였고, Fig.8 같은 결과를 도출하였다. 실제 성형과 성형해석의 흐름은 동일하고 1.0 mm의 차이는 0.35° , 1.5 mm의 차이는 1.68° , 2.0 mm의 차이는 2.89° 로 나타났으며, 오차율은 1.0 mm는 0.37%, 1.5 mm는 1.85%, 2.0 mm는 3.23%로 확인되어, 재료의 두께가 증가하면서 실험과 해석에 의한 스프링 백의 차이는 증가하는 것으로 고찰되었으며, 재료의 두께가 증가함에 따라 스프링백은 감소하는 것으로 고찰되었다.

3. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 AUTO FORM 해석과 실제 성형 실험을 통해 V-벤딩 성형 후 발생하는 Spring back 을 비교 실험하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) EGI 박판재의 성형 제품과 성형해석 데이터의 차이는 1.0 mm는 2.32°, 1.5 mm는 1.73°, 2.0 mm는 0.24°로 나타났다. 차이 값은 1.0 mm에서 2.45%, 1.5 mm에서는 1.88%, 2.0 mm는 0.26%로 확인하였다. 실험과 해석의 흐름은 동일하였고, 재료 두께가 얇아질 수록 스프링백량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.
- 2) STS304 박판재의 성형 제품과 성형 해석데이터의 차이는 1.0 mm는 1.68°, 1.5 mm는 1.10°, 2.0 mm는 2.89°로 나타났다. 차이 값은 1.0mm는 1.84%, 1.5 mm는 1.19% 2.0 mm에서는 3.21%로 확인하였다.
- 3) AL5052 박판재의 성형 제품과 성형 해석데이터의 차이는 1.0 mm는 0.35°, 1.5 mm는 1.68°, 2.0 mm에서는 2.89°로 나타났다. 차이 값은 1.0 mm는 0.37%, 1.5 mm는 1.85%, 2.0 mm에서는 3.23%로 확인하였다.
- 4) 성형해석과 실제 성형제품의 스프링 백의 흐름은 동일한 것으로 나왔으나 차이 값은 최소 0.26% 최대 3.23%까지 발생하는 것으로 고찰되었다.

본 실험을 통해 실제 성형 시에는 변수들이 발생할 수가 있다. 그래서 성형 해석을 진행 할 때 그런 변수들을 최대한 고려하여 진행하면 보다 나은 데이터를 얻을 수 있을 것이다. 실험에서는 실제 성형시 벤딩 R값을 고정으로 진행하여 소재의 두께별 R부의 압축량을 고려하지 못하였다. 추후 실험에서는 각 소재 두께 변화에 따른 벤딩 R값을 적용하여 실제 성형실험에 의한 정확한 DATA를 도출하여 실업무에 적용 시킬 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) S G Lee, J O Jung, S G Kim, W J Jung. "A springback analysis of LCD TV bottom chassis", Journal of the Korean Society for Mold Engineering, Vol.6 No.1, pp. 63-66, 2012.
- 2) J H Lee, D W Kim, S M Sohn, M Y Lee, Y H Moon. "Analysis of Springback of Sheet Metal(II): Experimental Validation of Analytical Model", Korean Society of Plasticity and Technology,

Vol.16 No.7, pp. 516-520, 2007.

- 3) M K Choi, H Huh. "Investigation of Springback Behavior of DP780 Steel Sheets after the U-bending Process", P Korean Society of Plasticity and Technology, Vol.21 No.6, pp. 384-388, 2012.
- 4) J S Park, H J Choi, S H Kim. "Improvement in Prediction Accuracy of Springback for Stamping CAE considering Tool Deformation", Korean Society of Plasticity and Technology, Vol.23 No.6, pp. 380-385, 2000.
- 5) J W Yun, S H Cho, C K Lee. "A study on the factors influencing at corner area material thickness changes of rectangular drawing products", Journal of the Korean Society for Mold Engineering Vol.14 No.1, pp. 22-29, 2020.
- 6) Y J Jeon, Y M Heo, S H Yun, D E Kim., "Stamping process design to develop a urea tank cover for excavators based on sheet metal forming analysis", Journal of the Korean Society for Mold Engineering, Vol.14 No.2, pp. 49-55, 2020.

저자 소개

정 균 민 (Kyun-Min Jeong)

[정회원]



- 2010년 9월~2017년 9월 : 넥스플러스
- 2017년 10월~현재 : 도원테크 재직
- 2021년 2월 : 공주대학교 금형공학 과(공학사)

< 관심분야 >
프레스 금형 및 설계

최 계 광(Kye-Kwang Choi)

[정회원]



- 2005년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계공학과(공학박사)
- 2005년 8월 : ㈜현대배관 기술부장
- 2006년 4월~현재 : 공주대학교 금형 설계공학과 교수
- 2013년 2월~현재 : 공주대학교 글로벌금형기술연구소 소장

< 관심분야 >
3D CAD, CAM Programing, Reverse Engineering