

드로우비드 전문모델에 관한 연구

금영탁* · 김준환**

Study on the Drawbead Expert Models

Y.T. Keum and J.H. Kim

Abstract

Drawbead expert models are developed for calculating drawbead restraining force and drawbead-exit thinnings, which are boundary conditions in FEM stamping simulation, employing the linear multiple regression method by which the deviation of drawing characteristics between drawing test and mathematical model is minimized. In order to show the efficiency and accuracy of an expert drawbead model, a finite element simulation of auto-body panel stamping is carried out. The finite element simulation shows that the expert drawbead model provides the accurate solution, guarantees the stable convergence, and has the merit in the computation time.

Key Words : Expert Drawbead Model, Sheet Forming Analysis, Finite Element Method, Drawbead Restraining Force, Bead-exit Thinnings

1. 서 론

본 연구에서는 드로우비드 인출특성인 드로우비드 저항력 및 비드 인출시 발생하는 두께변형률을 계산할 수 있는 드로우비드 전문모델을 개발하였다. 또한, 개발된 모델의 타당성을 알아보기 위하여 드로우비드 인출실험과 원형-계단형 조합비드를 가진 자동차 후드 내부 패널의 단면 성형해석을 실시하였다.

2. 드로우비드 전문모델

2.1 원형 비드

원형 드로우비드를 통과하기 위해 필요한 드로우비드 저항력은 드로우비드에 수직한 방향으로 작용하는 저항력($DBRF_n$)과 수평한 방향으로 작용하는 저항력($DBRF_t$)으로 나눌 수 있다.(Fig.1 참조)

$DBRF_n$ 은 재료가 곡물부를 지나면서 굽힘, 미끄러짐, 되굽힘의 과정에 의해 기인된다고 가정하였다. $DBRF_n$ 은 드로우비드 인출시 소재가 받는 힘들을 플랜지부에서의 마찰력, 금형의 건부에서의 굽힘, 되굽힘력, 그리고 재료 전체에 작용하는 탄성복원력 등을 고려하여 구할 수 있다. 그리고, $DBRF_t$ 는 재료가 드로우비드와 평행한 방향

* 한양대학교 기계공학부

** 한양대학교 대학원

으로 이동할 때 발생하는 마찰력으로 가정하여 이를 구하였다. 한편, 드로우비드 모델에서 비드부를 빠져나올 때의 소재 변형률은 굽힘과 인장에 의한 영향을 나누어서 고려한다. 본 연구에서는 금형 곡률부에 의한 굽힘의 영향과 드로우비드 저항력에 의한 인장의 영향을 나누어 변형률을 구하였다. 또한, 가공경화 축적 상수를 도입하여 연속적인 재료의 가공경화를 고려하였다.

2.2 계단형 비드

계단형 드로우비드도 원형 드로우비드와 마찬가지로 드로우비드 저항력은 드로우비드에 수직한 방향으로 작용하는 저항력(DBRF_n)과 수평한 방향으로 작용하는 저항력(DBRF_t)으로 구성된다.(Fig.2 참조)

DBRF_n과 DBRF_t는 원형 드로우비드와 같은 가정에서 계단형 비드의 기하학적 형상을 고려하여 구할 수 있다.

계단형 비드에서 비드 인출시 변형률도 원형 비드에서의 비드 인출시 변형률을 구하는 것과 동일한 방법을 이용하여 구하였다.

2.3 사각 비드

설계자가 드로우인이 전혀 없는 스트레치 상태를 원할 때 사각 비드를 설치한다. 본 연구에서는 사각 비드의 이러한 특수성 때문에 모델링을 실시하지 않았다. 사각 비드를 가진 단면을 성형해석할 때는 드로우비드 저항력을 임의의 큰 값으로 주며 인출이 일어나지 못하므로 비드 인출시 변형률을 계산할 필요가 없다.

2.4 조합형 비드

본 연구에서 조합형비드의 드로우비드 저항력과 굽힘에 의한 변형률은 그 조합을 이루는 기본형 비드들의 드로우비드 저항력 합과 굽힘에 의한 변형률의 합으로 구할 수 있다고 가정하였다.(Fig.3 참조) 즉, 조합형비드 C가 기본형 비드 A와 B로 구성되어 있다면 조합형 비드 C의 드로우비드 저항력 DBRF_C와 굽힘에 의한 변형률 ϵ_C 는 다음과 같다.

$$DBRF_C = DBRF_A + DBRF_B \quad (1)$$

$$\epsilon_C = \epsilon_A + \epsilon_B \quad (2)$$

여기서 DBRF_A, ϵ_A 는 기본형 비드 A의 비드 저항력과 굽힘에 의한 변형률이고 DBRF_B, ϵ_B 는 기본형 비드 B의 비드 저항력과 굽힘에 의한 변형률이며, 이 값들은

각 기본형 비드에서 오차를 최소화하기 위해 다중선형회귀분석법을 사용하여 구한 값이다. 또한 연속적인 재료의 가공경화를 고려하여 ϵ_C 를 계산하였다.

3. 드로우비드 인출실험

개발된 모델의 유효성과 타당성을 알아보기 위하여 원형 비드와 계단형 비드에 대하여 인출 실험을 실시하였다.

3.1 드로우비드 저항력

Fig.4는 원형 비드에서 두께 0.6mm, 블랭크 가압력 165N/mm, 건조 마찰 조건으로 인출하였을 때 인출방향의 드로우비드 저항력을 경사 각도에 따라 나타내고 있다. 원형 드로우비드 저항력은 경사각이 30° 정도까지는 증가하는 추세를 나타내고 있으며, 경사각이 더 커지면 감소하는 경향을 보인다.

Fig.5는 계단형 비드에서 두께 0.6mm, 블랭크 가압력 165N/mm, 건조 마찰조건으로 인출실험을 실시하였을 때의 드로우비드 저항력을 경사각도에 따라 나타내고 있다. 계단형 비드 저항력도 작은 경사각에서는 증가하는 추세를 보이다가 30° 를 전후하여 감소 추세를 보이고 있다. 하지만 계단형 비드에서는 원형비드 보다 상대적으로 작은 경사각에서 최대값에 도달함을 볼 수 있다.

3.2 변형률

본 절은 드로우비드 인출실험에서 사용하였던 시편의 두께 변형률을 측정하여 본 연구에서 제안한 비드 인출 변형률에 대한 이론치와 실험치를 비교하였다.

Fig.6은 건조 마찰조건과 블랭크 홀링력 165N/mm에서, SPCC 0.6t를 사용한 경우의 두께 변형률을 나타내고 있다. 비드 인출 전변형률은 드로우비드 경사각에 대해서는 최대 2~3% 정도의 차이를 보이고 있다. 즉, 두께 변형률은 경사각에 대해 민감하지 않음을 실험치와 예측치의 비교를 통해 알 수 있었다.

4. 적용 사례

드로우비드 전문모델의 타당성과 유용성을 입증하기 위하여 원형-계단형 조합비드를 포함하는 자동차 후드 내부 패널의 단면에 전문모델을 적용하여 성형해석을 실시하였다.

Fig.7은 해석된 후드 내부 패널의 단면 형상을 나타낸

다. 원형-계단형 조합비드의 형상은 원형 비드부분에서 비드 높이 5mm, 하형 비드 건부 반경 8mm이며 계단형 비드 부분에서 비드 높이 4mm, 상형 비드 건부 반경 7.5mm, 하형 비드 건부 반경 5mm이다. 블랭크 가압력이 115N/mm인 경우 원형-계단형 드로우비드 전문모델로 계산된 드로우비드 저항력은 67.7N/mm이며 비드 인출 전변형률은 10.7%이다. 최종 편치진행거리는 43.7mm이며 사용된 박판의 기계적 물성치는 Table 1과 같다.

Fig.8에서 점 A는 드로우비드의 위치이며 드로우인은 왼쪽에서 23.3mm, 오른쪽에서 0.99mm가 각각 발생하였다. 전문모델을 적용한 경우에 비드를 통과한 박판의 두께변형률은 10.4%, 일반적인 방법으로 마찰력만을 고려해 사용하는 힙-경계조건을 사용한 경우 1.4%로서, 측정치 10.5%와는 서로 차이를 보이고 있다.

드로우비드 전문모델을 적용한 경우의 두께변형률이 측정치와 근사한 결과를 보이지만 기존의 힙-경계조건에서 사용되던 시חק오 방법으로 구한 경우에는 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

또한 원형-계단형 드로우비드 전문모델을 적용한 유한요소 해석결과가 블랭크 홀더부근의 변형을 잘 묘사하고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 패널 성형해석에 있어서 경계조건이 되는 드로우비드 저항력과 비드 인출시 변형률을 드로우비드의 형상과 재료 물성치, 공정 변수 등을 통해 계산할 수 있는 드로우비드 전문모델을 개발하였고, 개발된 모델의 유효성과 타당성을 입증하기 위하여 드로우비드 인출실험과 자동차 패널의 단면성형해석을 수행하였다. 이로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 드로우비드 전문모델을 개발하였다.
- (2) 드로우비드의 인출 특성을 규명하였다.
- (3) 원형-계단형 조합비드를 가진 자동차 후드 내부 패널의 유한요소 해석에서 드로우비드 전문모델을 적용한 경우, 두께변형률이 적용하지 않은 경우보다 정확함을 알 수 있었다.
- (4) 박판성형해석 프로그램의 수치적 안정성과 정확도를 향상시켰다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수 연구 센터 지원금에 의한

것입니다. 또한 드로우비드 인출 실험에 협조해 주신 포항제철 기술연구소 한수식 박사님과 박기철 선임 연구원님께 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

- (1) T. B. Stoughton, 1988, "Model of Drawbead Forces in Sheet Metal Forming", 15th IDDRG, pp.205~215.
- (2) B. D. Carleer, T. Meingers, and H. Huetink, 1996, "Equivalent Drawbead Model in Finite Element Simulations", NUMISHEET '96, pp.25~31.
- (3) H. Sunaga and K. Yoneda, 1996, "Finite Element Modeling of Drawbead in Sheet Metal Forming", NUMISHEET '96, pp.186~190.
- (4) 이재우, 금영탁, 1998, "박판성형공정의 유한요소해석을 위한 드로우비드 전문모델 개발(1부:실험)", 한국소성가공학회지, 제7권, 1호, pp.3~11.
- (5) 금영탁, 이재우, 1998, "박판성형공정의 유한요소해석을 위한 드로우비드 전문모델 개발(2부:모델링)", 한국소성가공학회지, 제7권, 1호, pp.12~22.

Table 1 Material properties used in FEM simulation of a inner hood panel

Properties	Values
Plastic anisotropy parameter	$r = 1.72$
Hill's yield function parameter	$M = 2.0$
Stress-strain relation (MPa)	$\bar{\sigma} = 489(\bar{\epsilon} + \epsilon_0)^{0.228}$
Yield stress (MPa)	$\sigma_y = 169$
Young's modules (GPa)	$E = 139$
Sheet thickness (mm)	$t = 0.6$
Coulomb friction coefficient	$\mu = 0.18$

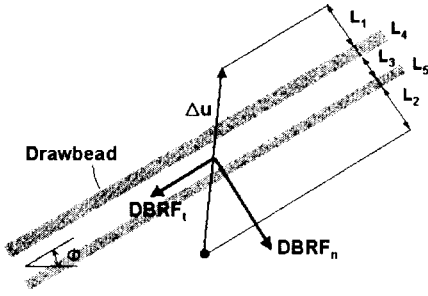


Fig. 1 Free body diagram for an inclined circular bead

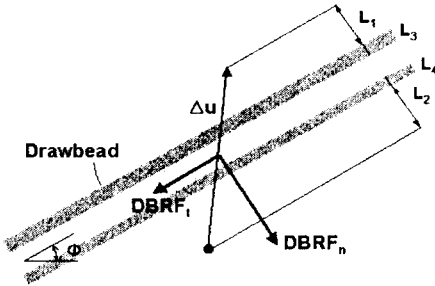


Fig. 2 Free body diagram for an inclined stepped bead

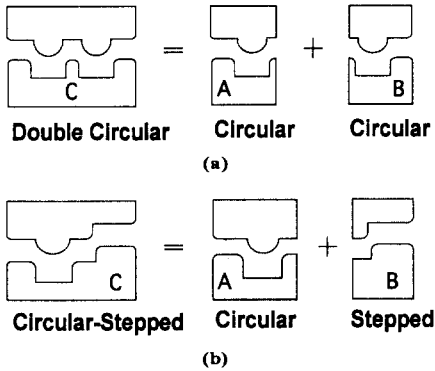


Fig. 3 (a) Partition of a double circular bead into two single circular beads
(b) Partition of a circular-step bead into a single circular and a step bead

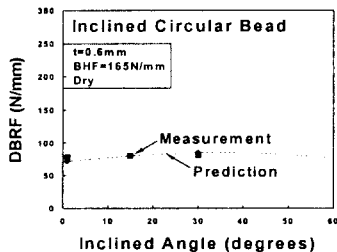


Fig. 4 Comparison of drawbead restraining force of circular drawbead with SPCC 0.6t between prediction and measurement

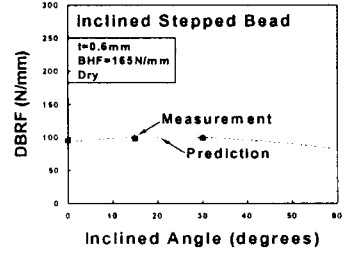


Fig. 5 Comparison of drawbead restraining force of stepped drawbead with SPCC 0.6t between prediction and measurement

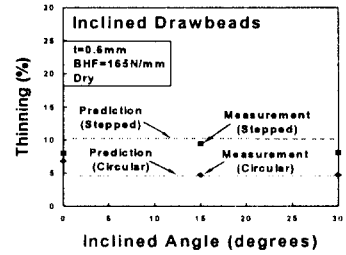


Fig. 6 Comparison of bead-exit thinnings of drawbead between measurement and prediction

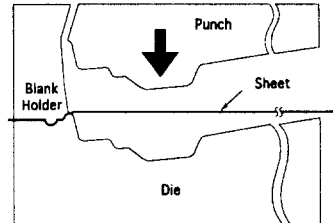


Fig. 7 Sectional view of tooling of an inner hood panel with a circular-stepped drawbead

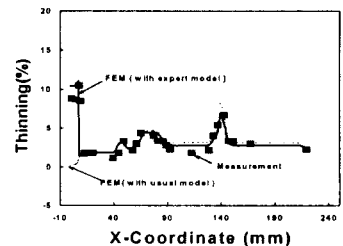


Fig. 8 Comparison of strain distribution among FEM simulations and measurement in an edge section of the inner hood