

상용code와의 비교를 통한 드로오비드 인출 특성에 관한 연구

A study on the drawing characteristics of drawbead by commercial code

신양호 (영남대 대학원), 심현보 (영남대 공대)

Yang-Ho Shin (Yeungnam Graduate School), Hyun-Bo Shim (Yeungnam Univ.)

Abstract

In this study, using DEFORM and PAM-STAMP drawbead analysis is carried out for the commercial code availability. The three drawbead types, single circular drawbead, single square drawbead and double circular drawbead, are examined. The clamping force, drawing force and effective strain of sheet metal which is passed by drawbead are checked on each drawbeads

1. 서 론

주름이나 파단이 없고 원하는 치수와 강도를 가진 박판성형품을 제작하기 위해서는 많은 시행착오를 거쳐 비로소 금형이 개발된다. 특히 드로잉제품의 경우 주름이나 파단은 플랜지의 유입속도와 매우 밀접한 관계를 지니고 있다. 펀치의 진행속도에 비해 플랜지의 유입이 빠를 경우, 주름이 발생되기 쉽고, 반대로 너무 느릴 경우 파단을 유발할 가능성이 높다. 플랜지의 유입속도를 조절하는 방법으로는 윤활제의 변화, 쿠션압력의 변화, 블랭크 크기의 변화, 금형의 라운딩변화, 드로오비드의 설치등이 일반적으로 사용된다. 특히 사각형 컵형상의 제품의 경우, 모서리 부위와 벽면부위의 플랜지 유입속도의 차이가 매우 크기 때문에 모서리 부근에서는 파단발생 가능성, 아울러 벽면부근에서는 주름발생 가능성이 높아지는 등 부위별로 유입특성이 달라지는 특성이 있다. 따라서 이러한 문제점을 개선하여 성공적인 드로잉 제품을 생산하기 위하여는 플랜지의 유입속도를 부위별로 조절할 필요가 있다.

드로오비드는 유입속도가 빠른 벽면 부위에 설치하여 이 부위의 유입속도를 감소시켜 모서리부위와 벽면부위의 유입속도를 비슷하게 해줌으로써 결함을 억제시켜주기 위한 목적으로 사용된다. 아울러 관재전체에 적절한 장력을 부가시켜줌으로써 탄성복원

을 억제해 주는 등 부가적인 효과도 가져다 주는 장점이 있기 때문에 널리 사용되고 있다.

최근 자동차산업의 급격한 발전과 컴퓨터속도의 향상등에 따라 박판성형품의 개발분야에도 CAD/CAM/CAE 기술이 널리 보급되고 있다. CAE를 통하여 드로잉 공정을 해석하기 위해서는 금형면의 정보를 이용한다. 특히 드로오비드가 설치된 금형의 경우, 드로오비드의 역할을 정확하게 고려하기 위해서는 드로잉도중 이 부위를 통과할 플랜지부위의 유한요소 격자를 미세하게 설정해 주어야 하기 때문에 전체적으로 요소의 개수가 증가하여 계산시간이 과도하게 소요되는 문제점이 있다. 따라서 드로오비드를 직접 모델링하는 대신 드로오비드 통과에 필요한 장력의 크기를 별도의 계산을 통하여 구하여, 드로오비드가 설치된 부위에 외력경계조건으로 사용하는 것이 현실적으로 사용되고 있는 방법이다.

드로오비드에 관한 연구로는 국외의 경우, 1978년 Nine에 의해 단일원형드로오비드를 대상으로한 연구를 시작으로 1982⁽³⁾년 Wang은 수학적 모델을 제안하여 인출력을 예측했으며 1982년 Nine⁽²⁾은 드로오비드 홈에 우레탄을 삽입하여 실험하였고 1983년 Levy⁽⁴⁾는 Nine과 Wang의 인출력결과를 인용, 가상일의 원리를 이용하여 좀 더 정확한 인출력을 예측하려 했다. 1984년 Yellup과 Painter⁽⁵⁾는 좁은 드로오비드의 형상을 컴퓨터 모델화하여 소재의 인

출력을 예측하였고 1986~1987년 Triantafyllidis^(6,7) 등은 탄소성 셀 모델을 사용하여 인출력과 변위의 관계와 변형률 분포를 예측하였으며 1994년 Micher와 Weinmann⁽⁹⁾ 은 feedback 제어를 이용, 블랭크 홀딩력과 드로오비드 깊이를 조정하여 띠판의 드로잉 과정을 예측하고 박판 성형에서 feedback 제어의 유효성을 연구하였다. 1996년 Chabrand⁽¹⁰⁾ 등은 탄소성 대변형률 유한요소법으로 해석하였고, 드로오비드가 설치된 금형에서 원통형 펀치에 의한 드로잉 공정을 해석하였다. 1996년 Sanchez와 Weinmann⁽¹¹⁾ 은 Wang의 해석을 기초로한 해석적 모델을 제안하여 원형비드를 통과하는 재료의 흐름을 해석하고 인출력을 예측하였다. 국내에서는 서대교⁽⁸⁾ 등이 단일 원형드로오비드와 사각드로오비드에 대한 인출특성을 실험과 강소성 유한요소해석을 통하여 조사하였다.

비드의 인출 특성을 조사하기 위하여 잘 알려진 상용 code인 DEFORM과 PAM-STAMP이며 두 프로그램 모두 벌칙(Penalty)방법을 사용하여 접촉 문제를 처리하였으며, 사용되는 요소는 DEFORM은 연속체(continuum)요소를 사용하고, PAM-STAMP는 쉘(shell)요소를 사용하고 있다.

본 연구에서는 단일원형드로오비드와 단일사각드로오비드와 이중원형드로오비드에 대하여 DEFORM과 PAM-STAMP를 이용하여 드로오비드 각각에 대한 체결력(clamping force), 판재의 인출력(drawing force)와 드로오비드를 통과한 시편의 유효변형률을 알아보았다. 또한 드로오비드 해석에서의 상용프로그램의 유용도를 알아보았다.

2. 이론해석

해석에 대한 기본 가정은 다음과 같다.

- (1) 폭방향의 변형률은 두께방향의 변형률에 비해 무시할 수 있을만큼 작으므로 폭방향의 변형률은 무시한 평면변형률 상태로 가정한다.
- (2) 소재는 등방성 재료로 가정한다.
- (3) 다이와 블랭크 홀더, 비드는 강체로 가정하고 시편과의 접촉면에서는 Coulomb 마찰법칙을 사용하였다.
- (4) 소성영역에서의 가공경화식은 다음의 Swift식을 만족하도록 하였다

$$\bar{\sigma} = C(a + \bar{\epsilon})^n \quad 0 \leq n \leq 1$$

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 단일 원형 드로오비드와 단일 사각 드로오비드, 이중 원형 드로오비드를 대상으로 하였다. PAM-STAMP에서는 자체프로그램에서 제공하는 드로오비드 모듈을 사용하였고 DEFORM에서는 PAM-STAMP의 모델을 모델링하여 사용하였다. Fig. 1은 각각의 기하학적 형상을 나타낸 것이다. 이중 원형 비드는 단일 원형비드를 10mm의 간격으로 설치한 것이다. 해석에 사용된 재료의 기계적 성질은 소성계수는 508.1MPa 이고 가공경화지수는 0.25로 하였고 두께는 0.65mm이다. 이 해석에서 DEFPRM은 시편을 192개의 요소와 386개의 절점으로 단층분할하였고 비드는 강체로 하였으며, PAM-STAMP는 단일 원형비드를 64개의 요소와 130개의 절점으로 분할했고, 단일 사각비드는 74개의 요소와 150개의 절점으로 분할했으며, 이중 원형비드는 76개의 요소와 154개의 절점으로 분할하였고 각각의 비드의 높이에 대하여 블랭크홀더를 90% 하강하여 해석하였다.

Fig.2~Fig. 4는 블랭크홀더의 하강이 끝난후 인출과정에서 단일원형비드, 단일사각비드 이중원형비드를 통과하는 시편에 대한 블랭크홀더의 체결력의 크기를 나타낸 것이다. Fig. 2(a)는 단일 원형비드에서의 체결력이다. PAM-STAMP에서는 0.05KN으로 거의 일정한 체결력을 나타내었고, DEFORM에서는 인출초기의 하중의 증가를 보인후 PAM-STAMP와 거의 비슷한 크기의 체결력을 보여주고 있다. 인출초기의 순간적인 인출력변화는 블랭크홀더가 하강하면서 시편이 비드모양으로 성형된 부분이 비드영역을 통과하기까지 나타나는 일시적인 현상이며 이 부분이 비드영역을 완전히 통과한 후부터 인출력이 정상상태의 값을 보여주고 있다. PAM-STAMP에서는 초기하중변화 같은 현상이 나타나지 않는데 이는 블랭크 홀더가 하강하며 시편을 비드모양으로 성형하는 단계에서 조금씩 인출을 하는 방법을 사용하고 있기 때문이다. PAM-STAMP의 드로오비드 모듈에서의 인출방법과 달리 블랭크 홀더가 하강하여 시편을 비드모양으로 성형하는 단계와 성형된 시편을 인출하는 단계로 나누어 해석하면 Fig. 2(b)의 결과에서 나타난 것과 같이 DEFORM의 해석결과와 같은 초기의 하중증가를 볼 수 있다.

Fig. 3은 단일사각비드에서의 체결력이다. PAM-STAMP의 결과에서는 0.045KN으로 일정한 체결력을 나타내었다. DEFORM에서는 20mm까지는 체결력의 증가하다가 일정상태로 되었다. DEFORM에서 이러한 하중의 증가를 보인 것은 단일사각비드

의 크기가 단일원형비드보다 2배정도 크고, 비드상단의 반지름의 크기가 원형비드보다 70%정도 작으므로 시편이 비드를 통과하는 과정에서 저항력이 커지면서 체결력도 증가하였다. Fig. 4는 이중원형비드에서의 체결력이다. DEFORM의 10mm이후 하중이 증가하는 것은 첫 번째 비드를 통과한 시편이 두 번째 비드영역으로 들어가면서 다시 굽힘과 역굽힘작용을 받기 때문이다. PAM-STAMP에서는 하중의 변화가 서서히 증가하는 경향을 보이다가 시편이 첫 번째 비드영역을 벗어나면서 하중이 감소하는 경향을 보였다.

Fig. 5 ~ Fig. 7은 각각의 비드를 통과하는 시편의 인출력의 결과이다. PAM-STAMP에서는 시편요소의 단면력(section force)으로부터 인출력을 구하였으며 DEFORM에서는 상,하비드영역에 미치는 하중의 수평분력으로부터 인출력을 구하였다. Fig. 5는 단일원형비드의 인출력을 나타낸 것이다. DEFORM의 인출력크기가 PAM-STAMP의 결과와 거의 비슷하게 나타났다. Fig. 6은 단일사각비드에서의 인출력 결과이다. DEFORM에서 인출초기에 하중변화는 원형비드와 달리 비드좌우 모서리에 미치는 압력의 차이가 나타나는데 상부비드에서 마찰력과 반대방향으로 시편의 인장에 의한 하중변화가 나타나 인출초기의 하중의 감소가 나타났다.

Fig. 7은 이중원형비드의 인출력 결과이다. DEFORM의 인출력변화는 첫 번째 비드영역에서 굽힘과 역굽힘을 받은 시편이 두 번째 비드영역을 통과할 때 인출력이 증가하였다. PAM-STAMP에서는 단일원형비드의 인출력하중보다 2배정도 크게 나타났으며 단일사각비드도 2배정도 크게 나타났다. DEFORM에서는 단일원형비드보다 2배정도 크게 나타났으며 단일사각비드와도 2배정도 크게 나타났다. 두 프로그램 모두 인출력의 크기가 단일비드보다 이중비드가 2배정도 크게 나타났다. 이는 동일한 형상의 비드 개수 증가로 전체적으로 접촉각도가 증대되면서 마찰저항에 의한 인출력이 증가하였다.

전체적으로 DEFORM의 하중이 PAM-STAMP보다 크게 나타나는데 이는 DEFORM에서는 연속체요소를 사용하고 있고, PAM-STAMP에서는 쉘요소를 사용하고 있는데 기인하는 것으로 생각된다.

표1은 DEFORM에서 각각의 비드영역을 통과한 후에 시편에 나타나는 유효변형률로써 단일 원형비드의 유효변형률이 가장 적게 나타났으며 이중원형비드가 가장 큰 유효변형률을 나타내었다. Fig2 ~ Fig. 4에서 DEFORM의 결과에 나타난 체결력과 비드의 형상에 대한 유효변형률과의 관계를 볼 때, 체

결력이 커지면 인출력도 같이 증가하며 축적되는 유효변형률의 크기도 증가함을 알 수 있다.

4. 결 론

상용프로그램을 이용하여 단일원형비드, 단일사각비드, 이중원형비드의 인출특성에 대한 해석으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 드로오비드 인출과정에서의 체결력과 인출력은 굽힘과 역굽힘의 영향을 많이 받을수록 증가하므로 기하학적인 형상의 영향이 크게 작용한다.
- (2) DEFORM과 PAM-STAMP의 해석결과가 단일원형비드와의 비드에서는 비교적 큰 차이를 나타내고 있어 비드를 포함하는 드로잉 공정의 해석에 직접 사용하기 위해서는 드로오비드 해석에 적합한 해석요소와 적절한 접촉처리방법이 고려된 드로오비드 전용 해석 모듈이 필요하다

5. 참고 문헌

- (1) Harmond D. Nine, "The Applicability of Coulomb's Friction Law to Drawbeads in Sheet Metal Forming", J. Applied MetalWorking, Vol. 2, No. 3, pp. 200~210, (1982)
- (2) Harmond D. Nine, "New Drawbead Concepts for Sheet Metal Forming", J. Applied MetalWorking, Vol. 2, No. 3, pp. 185~192, (1982)
- (3) Neng-Ming Wang, "A Mathematical Model of Drawbead Forces in Sheet Metal Forming", Vol. 2, No. 3 pp. 193~199, (1982)
- (4) B. S. Levy, "Development of a Predictive Model for Drawbead Restraining Force Utilizing Work of Nine and Wang", J. Applied MetalWorking, Vol. 3, No. 1, pp. 38~44, (1983)
- (5) J. M. Yellup and M. J. Painter, "The Prediction of Strip Shape and Restraining Force for Shallow Drawbead Systems", J. Applied Metal Working, Vol. 4, No. 1, pp 30~38, (1985)
- (6) N. Triantafyllidis, B. Maker and S. K. Samanta, "An Analysis of Drawbead in Sheet Metal Forming : Part I - Problem Formulation", J. of Eng. Materials and Technology, Vol. 108, pp. 321~327, (1986)
- (7) B. Maker, S. K. Samanta, G. Grab and N.

Triantafyllidis, "An Analysis of Drawbead in Sheet Metal Forming : Part II - Experimental Verification", ASME, J. of Appl. Mech., Trans. ASME, Vol. 109, pp. 164~170, (1987)

(8) 김창만, 임영석, 김낙수, 서대교. "드로오비드 인출특성에 관한 유한요소해석 및 실험적 검증", 대한기계학회논문집, 제19권, 제8호, pp. 1844~1853, (1995)

(9) J. R. Michler, K. J. Weinmann, A. R. Kashani and S. A. Majlessi, "A strip-drawing simulator with computer-controlled drawbead penetration and blankholder pressure", J. Materials Processing Technology, Vol. 43, pp. 177~194, (1994)

(10) P. Chabrand, F. Dubois and J. C. Gelin, "Modeling Drawbeads in Sheet Metal Forming", Int. J. Mech. Sci., Vol. 38, No. 1, pp. 59~77 (1996)

(11) L. R. Sanchez and K. J. Weinmann, "An Analytical and Experimental Study of the Flow Sheet Metal Between Circular Drawbeads", Trans. of the ASME, J. of Eng. for Industry, Vol. 118, pp. 45~54 (1996)

(12) 신양호, 심현보. "유한요소법에 의한 드로오비드 인출특성 연구", 한국공작기계학회 '97 춘계학술대회 논문집, pp. 42-47 (1997)

TABLE. 1 Effective strain of the drawn specimen

	Effective strain
single circular drawbead	0.08
single square drawbead	0.23
double circular drawbead	0.47

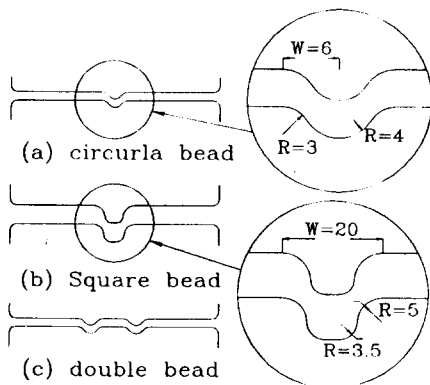


Fig.1 Drawbeads geometry & dimension

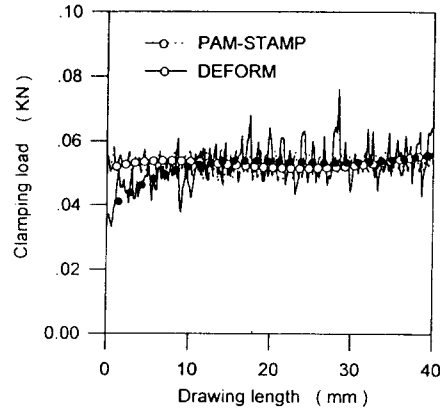


Fig. 2(a) Comparison of clamping load between PAM-STAMP and DEFORM on the drawing state by single circular bead (PAM-STAMP: default model)

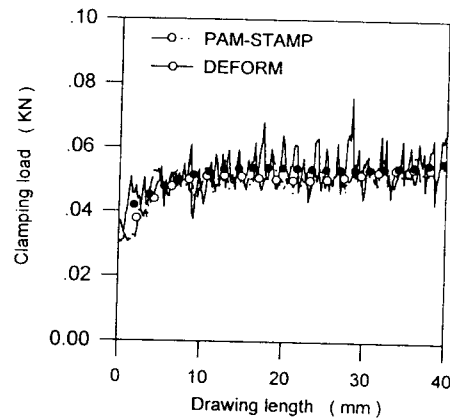


Fig. 2(b) Comparison of clamping load between PAM-STAMP and DEFORM on the drawing state by single circular bead (PAM-STAMP: modify model)

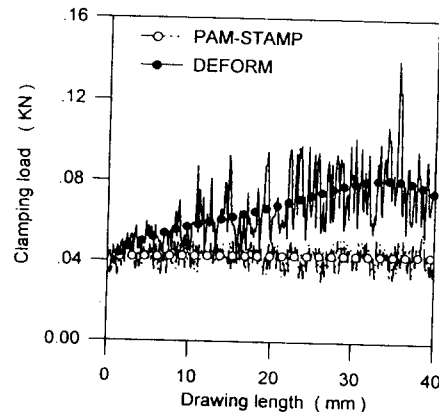


Fig. 3 Comparison of clamping load between PAM-STAMP and DEFORM on the drawing state by single square bead

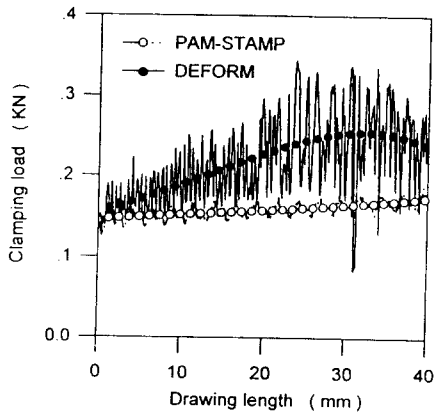


Fig. 4 Comparison of clamping load between PAM-STAMP and DEFORM on the drawing state by double circular bead

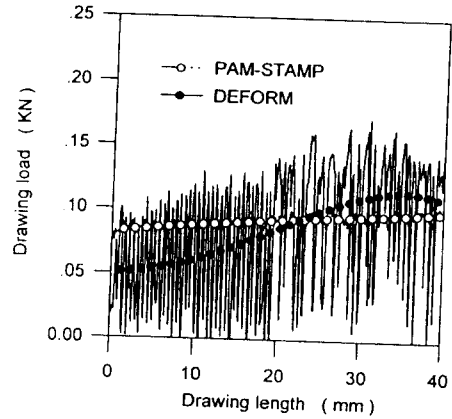


Fig. 7 Comparison of drawing load between PAM-STAMP and DEFORM on the drawing state by double circular bead

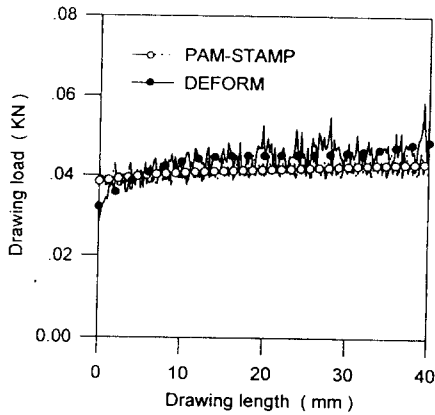


Fig. 5 Comparison of drawing load between PAM-STAMP and DEFORM on the drawing state by single circular bead

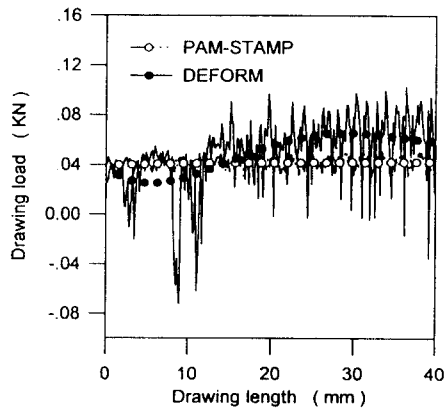


Fig. 6 Comparison of drawing load between PAM-STAMP and DEFORM on the drawing state by single square bead