

유한요소법에 의한 드로오비드 인출특성 연구

신양호 · 심현보 / 영남대학교 기계공학부

A study on the drawing characteristics of drawbead by F.E.M.

Yang-Ho Shin, Hyun-Bo Shim

Abstract

In this study, the drawing characteristics of circular drawbead are examined with the plane strain elastic-plastic FE Method by varying the process variables such as friction coefficient, drawbead radius, and closing depth. Numerical analysis are carried out by 2-D elastic-plastic F.E.M. The results are compared with the existing experimental results about the drawing force, the die clamping force, and the strain distribution of upper and lower sheet faces

1 서론

일반적으로 박판성형시 유동을 조절하기 위하여 여러 가지 형태의 드로오비드를 설치하게되며 드로오비드 형상의 작은 변화에도 판재의 유입, 전체 판재의 장력변화등 판재성형에 많은 영향을 준다.

드로오비드에 관한 연구로는 국외의 경우, 1978년 Nine에 의해 단일원형드로오비드를 대상으로 한 연구를 시작으로 1982년 Wang은 수학적 모델을 제안하여 인출력을 예측했으며 1982년 Nine은 드로오비드 홈에 우레탄을 삽입하여 실험하였고 1983년 Levy는 Nine과 Wang의 인출력결과를 인용, 가상일의 원리를 이용하여 좀 더 정확한 인출력을 예측하려 했고 1984 Yellup과 Painter는 좁은 드로오비드의 형상을 컴퓨터 모델화하여 소재의 인출력을 예측하였고 1986~1987년 Triantafyllidis등은 탄소성 셀 모델을 사용하여 인출력과 변위의 관계와 변형률 분포를 예측하였으며 1994년

Micher와 Weinmann은 feedback 제어를 이용, 블랭크 홀딩력과 드로오비드 깊이를 조정하여 띠판의 드로잉 과정을 예측하고 박판 성형에서 feedback 제어의 유효성을 연구하였으며 1996년 Chabrand 등은 탄소성 대변형을 유한요소법으로 공식화한 수치적 모델링을 제안하였으며 1996년 Sanchez와 Weinmann은 Wang의 해석을 기초로한 해석적 모델을 제안, 원형비드를 통과하는 재료의 흐름을 해석하고 인출력을 예측하였다. 국내에서는 서대교 등이 단일 원형드로오비드와 사각드로오비드에 대한 인출특성을 실험과 유한요소해석으로 예측하였다.

본 연구에서는 원형드로오비드에 대하여 다이와 판재와의 마찰계수, 드로오비드의 크기, 드로오비드의 전진깊이 등을 변화시켜 각각의 변화에 따른 드로오비드의 체결력(clamping force), 판재의 인출력(drawing force)과 드로오비드 영역에서의 변형, 변형률 분포 등을 2차원 탄소성 유한요소 해석을 통해 알아보았다.

2. 이론해석

본 연구에서는 굽힘효과를 고려할수 있는 4절점의 연속체요소를 사용하였고 해석에 대한 기본가정은 다음과 같다.

- (1) 재료의 변형은 평면 변형을 상태로 가정한다.
- (2) 소재는 등방성 재료라고 가정한다.
- (3) 다이, 블랭크 홀더와 비드는 강체로 가정하고 소재와 비드, 다이, 블랭크 홀더의 접촉면에서는 Coulomb 마찰법칙을 만족한다.
- (4) 물성치 선도는 Swift식으로 표현하였다.

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

3. 결과 및 고찰

본연구에서 사용될 드로오비드형상은 단일원형드로오비드이며 드로오비드 성형과 인출해석은 드로오비드가 설치될 플랜지 부분에 대하여 두 단계로 나누어 해석하였다. 제 1 단계에서는 시험편이 드로오비드 형상으로 성형되는 과정이고 제 2 단계는 성형된 시험편이 인출되는 과정으로 해석하였다. 이러한 성형, 인출 해석 과정에서 드로오비드 반지름, 시험편과 접촉면에서의 마찰계수, 드로오비드의 전진깊이를 달리하여 각각의 변화에 따른 인출특성을 알아보았다. 해석에 사용된 재료의 기계적 성질은 소성계수는 50.81kgf/mm^2 이고 가공경화지수는 0.25로 하였고 두께는 0.65mm이다. 이 해석을 위하여 시험편을 160개의 요소와 322개의 절점으로 단층으로 분할하였다.

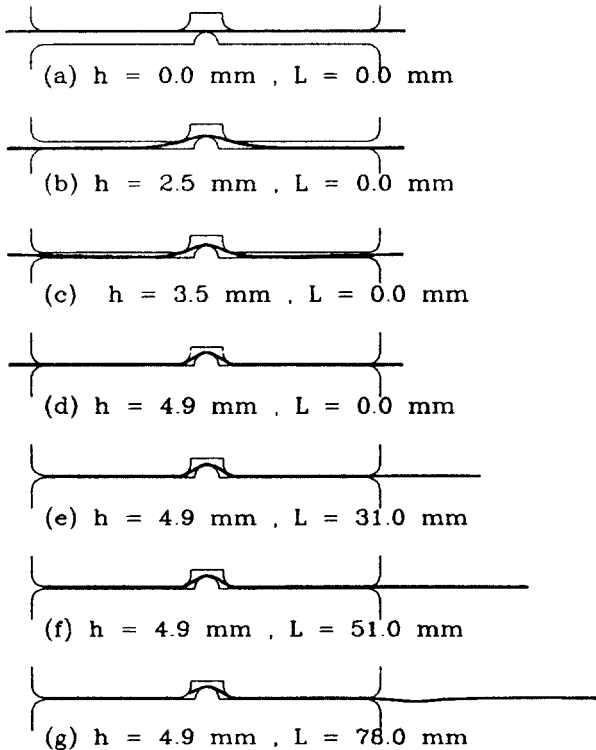


Fig. 1 Deforming & drawing specimen by F.E.M.

Fig. 1에서 (a) (b), (c), (d)까지는 단일원형드로오비드가 비드로오비드홈으로 2.5mm, 3.5mm, 4.9mm까지 전진하였을때의 형상이고 (e), (f), (g)

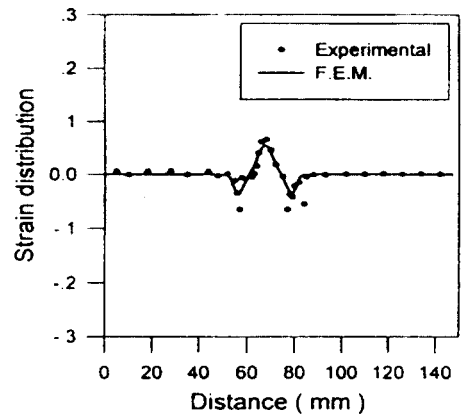


Fig. 2 Strain distribution of upper skin for the 4.9mm, bead depth

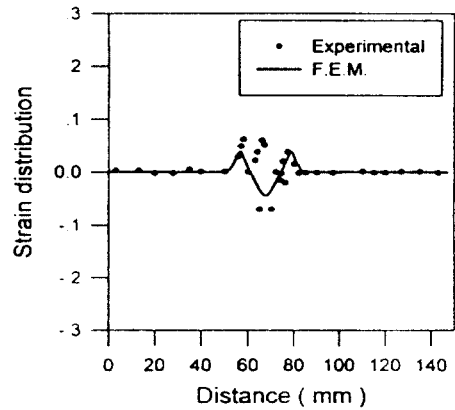


Fig. 3 Strain distribution of lower skin for the 4.9mm, bead depth

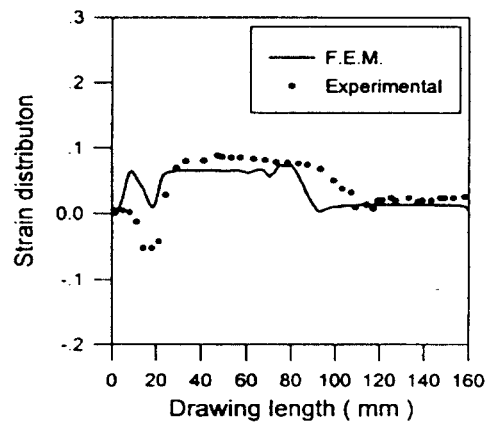


Fig. 4 Upper skin strain distribution of 80mm drawn specimen

는 단일원형드로오비드가 4.9mm까지 전진이 끝난 후 31mm, 51mm, 78mm까지 인출하였을때를 유한요소 상자에 의한 형상으로 나타내었다.

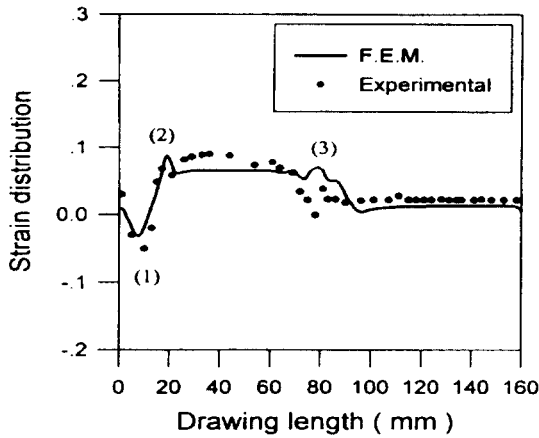


Fig. 5 Lower skin strain distribution of 80mm drawn specimen

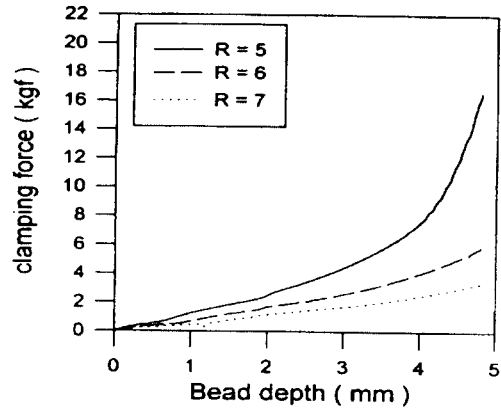


Fig. 6 Comparison of clamping force during the clamping state with respect to various bead radii

Fig 2.와 Fig 3.은 드로오비드의 전진깊이를 4.9 mm까지 전진하였을때의 시편 상부표면과 하부 표면에서의 유한요소해석 결과의 변형률분포와 실험결과의 변형률분포이다. 전체적으로 두 결과가 비교적 잘 일치함을 볼 수 있다. 시편의 상부 표면에서는 비드 가운데 부분이 최대변형률을 보여주고, 하부표면에서는 비드 좌우모서리부분과 비드 가운데부분이 거의 같은 크기를 나타내고 있다. Fig 4.와 Fig 5.는 드로오비드의 전진깊이가 4.9mm일 때 시편을 80mm까지 인출하였을때의 시편상부표면과 하부표면에서의 유한요소해석과 실험결과의 변형률 분포이다. Fig 5.에서 (1)의 부분은 드로오비드의 가운데부분의 압축변형률을 보이고 (2)의 부분은 드로오비드의 모서리부분의 인장변형률을 보인다. (3)의 부분은 제1단계에서 시편이 드로오비드 형상으로 만들어질때에 생긴 변형률이 인출되었을때도 남아있음을 나타내어주고 있다. 드로오비드 영역을 통과하지 않은 부분은 변형이 거의 없음을 알 수 있고 전체적으로 실험결과와 유한요소해석의 결과가 비교적 잘 일치하고 있다. Fig 6.은 드로오비드의 성형단계에서 반지름 변화에 따른 블랭크 홀더의 체결력을 나타낸 것이다. 드로오비드 반지름이 작을수록 블랭크 홀더의 체결력이 크게 나타나는데 이는 드로오비드의 반지름이 작아지면서 이에 따른 곡률이 작아지므로 굽힘응력이 커진다는 것을 알 수 있다. Fig 7.은 시편과의 마찰계수 변화에 따른 블랭크홀더의 체결력을 나타낸 것인데 블랭크홀더의 체결력이 거의 비슷한 크기로 나타

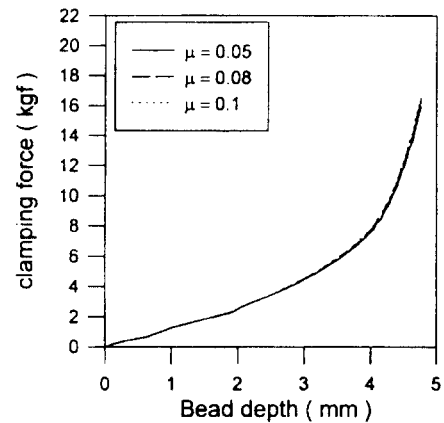


Fig. 7 Comparison of clamping force during the clamping state with respect to various frictional coefficients

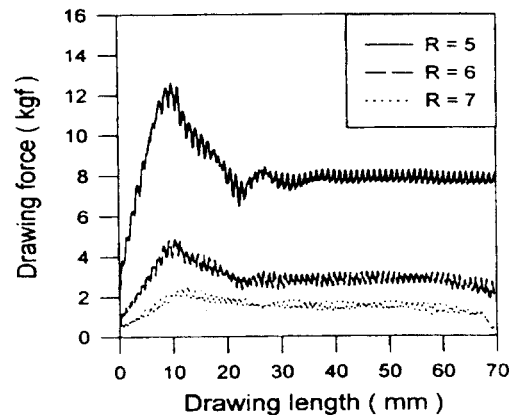


Fig. 8 Comparison of drawing force during the drawing state with respect to various bead radii

남을 볼 수 있다. 이것은 마찰계수가 블랭크 홀더의 체결력에는 상대적으로 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

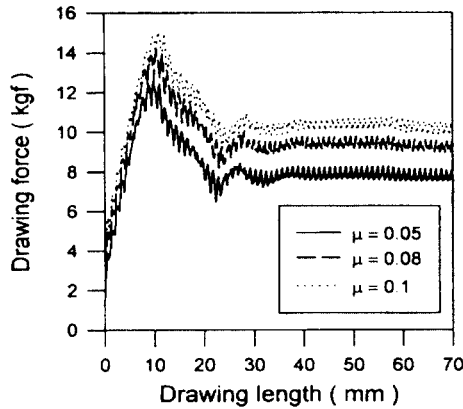


Fig. 9 Comparison of drawing force during the drawing state with respect to various frictional coefficients

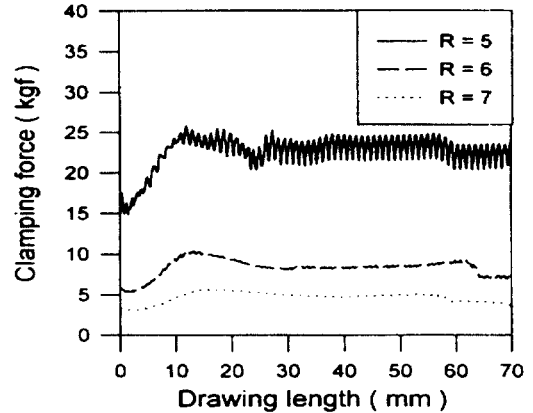


Fig. 11 Comparison of clamping force during the drawing state with respect to various bead radii

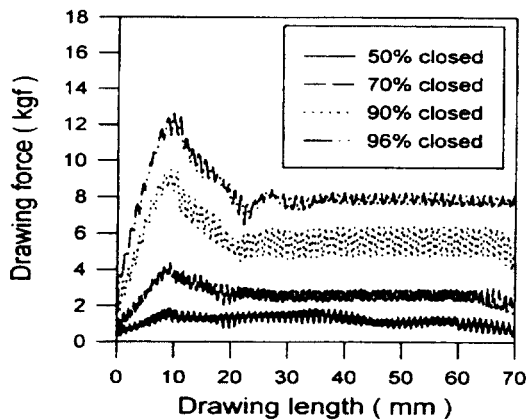


Fig. 10 Comparison of drawing force during the drawing state with respect to various bead depths

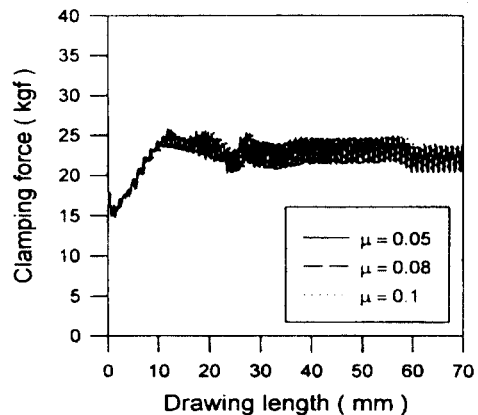


Fig. 12 Comparison of clamping force during the drawing state with respect to various frictional coefficients

Fig 8.과 Fig 9. Fig 10.은 드로오비드 반지름과 마찰계수, 드로오비드 전진 깊이를 달리하였을 때의 인출력을 해석한 것이다. 드로오비드와 시편과의 마찰계수 변화에 따른 하중의 변화는 드로오비드의 반지름변화와 전진깊이 변화에 의한 하중변화보다 상대적으로 차이가 크지않음을 알 수 있다. 3가지 변화에서 공통적으로 나타나는 인출초기의 하중증가는 드로오비드 성형단계에서 비드형상으로 만들어진 시편이 인출되면서 나타나는 형상으로 이부분이 드로오비드 영역을 통과한 후부터 정상적인 하중상태를 나타낸다. Fig. 11과 Fig. 12, Fig. 13은 드로오비드 반지름, 마찰계수, 드로오비드 전진 깊이를 달리하여 인출할때 블랭크 홀더에서의 체결력에 대한 결과이다. 마찰계수 변화에 따른 블랭크 홀더의 체결력은 거의 비슷한 크기를 나타내고 있고, 드로오비드의 반지

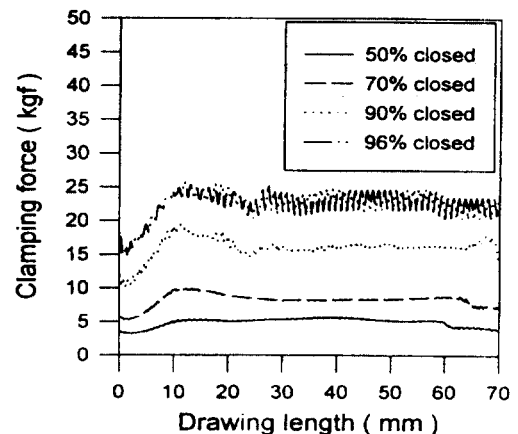


Fig. 13 Comparison of clamping force during the drawing state with respect to various bead depths

름과 전진깊이의 변화에 대한 결과는 하중의 변화도 크게 나타나고 하중증가율의 크기는 거의 비슷한 것을 볼 수 있다. Fig. 14, Fig. 15, Fig.

16은 80mm 인출한 후의 시편 하부표면의 변형률 분포를 해석한 것이고 Fig. 17, Fig. 18, Fig. 19는 인출후의 시편 하부표면의 변형률 분포를 해석한 것이다. Fig. 14에서 (1)의 부분은 드로오비드 영역근처이고 (2)의 부분은 플랜지영역이고 (3)의 부분은 드로오비드를 통과하지 않는 영역으로 볼수 있다. (3)의 영역에서의 변형률은 인출에 의한 인장만에 의한 것이고, (2)의 영역에서는 드로오비드를 통과하면서 굽힘과 펴(unbending) 변형을 받은 후의 상태이고 (1)의 영역은 드로오비드 영역에 남아있어 드로오비드 형상에 의한 변형된 부분이다. (2)와 (3)사이에 나타나는 변형률 감소는 드로오비드 반지름이 작거나 비드 전진깊이가 깊을수록 낮게 나타남을 볼수 있는데 이는 시편에 대한 인출저항이 커져 상대적으로 시편의 인출이 늦어지는 것이다.

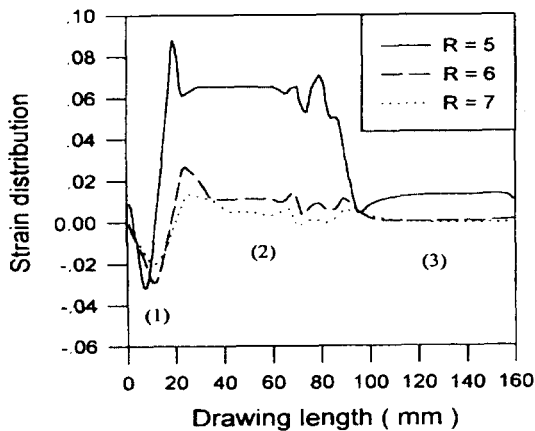


Fig. 14 Comparison of lower skin strain by drawing state with respect to various bead radii

시편의 상부표면의 변형률 분포에서 마찰계수를 달리 했을 경우에 따르는 변형률의 변화는 드로오비드 반지름이나 전진깊이의 변화에서 나타나는 변형률 변화보다 적음을 볼수 있어 마찰의 영향이 상대적으로 적음을 알 수 있다. Fig. 17, Fig. 18, Fig. 19의 하부표면의 변형률분포도 드로오비드 영역에서의 변형을 제외하고는 상부표면과 유사한 경향을 나타내고 있다.

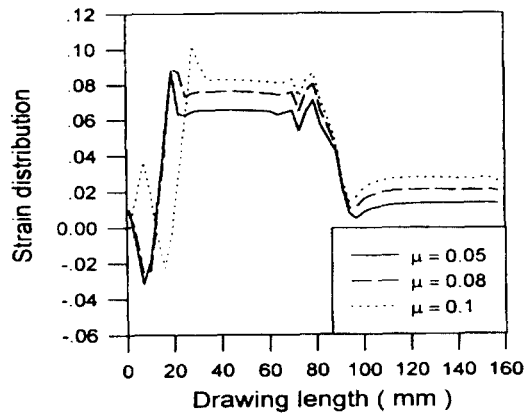


Fig. 15 Comparison of lower skin strain by drawing state with respect to various friction coefficients

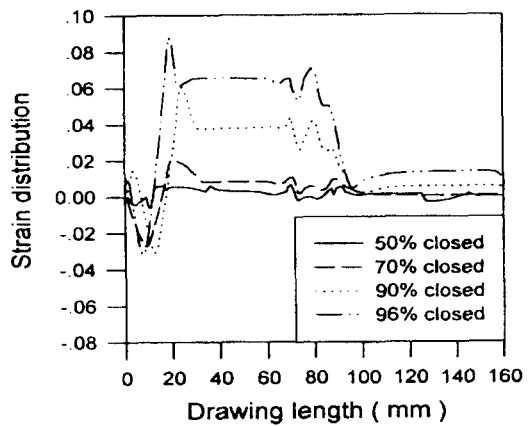


Fig. 16 Comparison of lower skin strain by drawing state with respect to various bead depths

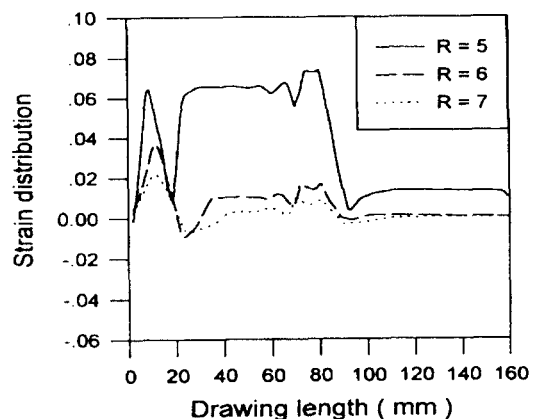


Fig. 17 Comparison of upper skin strain by drawing state with respect to various bead radii

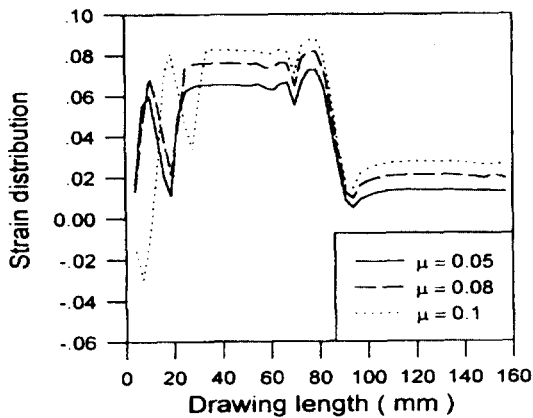


Fig. 18 Comparison of upper skin strain by drawing state with respect to various friction coefficients

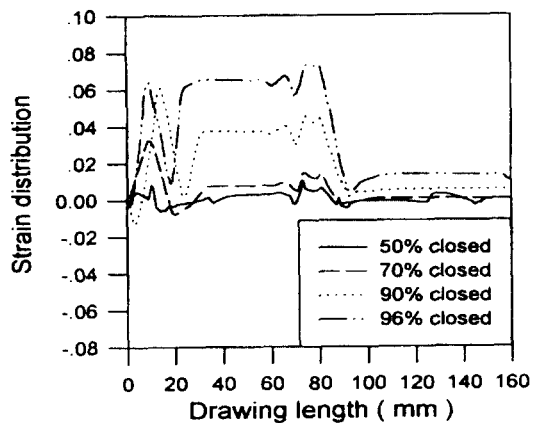


Fig. 19 Comparison of upper skin strain by drawing state with respect to various bead depths

4. 결론

단일원형드로오비드의 성형과 인출특성에 대하여 2차원 탄소성유한요소해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 드로오비드의 인출력과 변형률은 드로오비드 반경이 작을수록, 드로오비드의 전진깊이가 깊을수록 크게 증가하였다.
- (2) 드로오비드 성형후 상부표면과 하부표면의 변형률분포는 마찰계수변화에 관계없이 일정하였고, 인출시 블랭크 홀더의 체결력도 마찰계수의 영향없이 일정하였으나 인출력과 인출후의 변형률 분포에는 비교적 큰 증가를 보였다.
- (3) 드로오비드의 체결력과 인출력은 비교한 논문에서 사용한 시편의 폭을 알 수 없어 비교할

수 없었지만 드로오비드 성형후의 변형률이나 인출후의 변형률은 비교적 잘 일치하였다.

5. 참고문헌

- (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) H. B. Shim, "An elastic-plastic finite element analysis of single-and multi-layered degenerated shells with application to sheet metal forming", Ph.D Thesis, KAIST, (1990)
- (9) 김창만, 임영석, 김낙수, 서대교. "드로오비드 인출특성에 관한 유한요소해석 및 실험적 검증", 대한기계학회논문집, 제19권, 제8호, pp. 1844~1853, (1995)