

드로오비드 인출특성에 관한 유한요소해석 및 실험적 검증

김 창만*, 임 영석*, 김 낙수**, 서 대교***

* 성균관대학교 대학원

** 홍익대학교

*** 성균관대학교

Finite element analysis and experimental verification for drawing characteristics through drawbeads

Chang-Man Kim*, Young-seok Im*, Nak-soo Kim**, Dae-Gyo Seo***

* Graduate School of Sung Kyun Kwan Univ.

** Honk IK Univ.

*** Sung Kyun Kwan Univ.

1. 서 론

자동차 산업에서 일반적인 생활용품의 제작에 이르기 까지 박판재의 성형율을 향상시키려 많은 연구를 진행하여 왔고 지금도 이러한 연구는 매우 활발히 진행되고 있는 실정이다. 판재의 성형율을 향상시키려는 방법중에서도 드로오비드 설치에 의한 방법이 간단하면서도 매우 효율적이라 할 수 있다. 드로오비드의 설치에 의해 판재의 유입을 비드형상에 따라 적절히 조절할 수 있고 부가장력에 균형을 주게되어 성형율을 향상시키는 효과가 있다.

드로오비드에 대한 연구는 1978년 H.D.Nine⁽¹⁾의 단일원형 드로오비드에 대한 연구를 시작으로 Wang⁽²⁾, B. Maker, Shyank, Samanta⁽³⁾⁽⁴⁾등의 이론해석과 실험적 검증이 있었고 공구 다이모서리에서의 접촉각도에 따른 Belt식에 의한 드로오비드의 근사해석이 S. Ujihara, T. Sakamoto와 Frubayashi⁽⁵⁾⁽⁶⁾등에 의해 진행되어 왔다.

다양한 종류의 드로오비드 중에서도 단일원형비드와 사각비드형태의 드로오비드가 일반적으로 산업현장에서 널리 사용되고 있으며 판재성형 초기 단계에 비드부가 성형되고 제품형상의 편치가 전진하면서 제품을 성형할때 공구다이 모서리부에서 편치 진행에 따른 접촉각도가 증가되는 현상을 연구하기 위해 단일원형드로오비드와 사각드로오비드를 대상으로 인출각도를 0°, 30°, 60°로 달리하여 유한요소해석과 실험결과를 비교 고찰하고자 한다.

2. 이론해석

유한요소법은 재료의 구성방정식에 따라 탄소성유한요소법과 강소성유한요소법으로 대별된다. 강소성유한요소법은 하중제거시 잔류응력에 대한 계산이 불가능하다는 단점이 있으나, 소성가공과 같은 대변형 문제에 대해서는 탄성 변형은 무시할 수 있을 만큼 작으므로 보다 효율적인 강소성 유한요소법을 많이 이용한다.

본 연구에서는 계산이 좀 더 용이하고 효율적인 4절점의 연속체요소를 사용하여 다음과 같은 해석의 기본가정을 설정하고자 한다.

1) 비드 성형시 폭방향의 변형률은 두께 방향의 변형률에 비해 무시할 수 있을 만큼 작으므로 폭 방향의 변형률을 무시하고 평면 변형상태로 가정한다.

2) 소재는 평면 이방성이나 수직 이방성에 무관한 등방성 재료이며, 아래의 유동법칙을 만족하고 강소성재료(rigid-plastic material)로 생각한다.

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{\partial f(\sigma_{ij})}{\partial \sigma_{ij}} \dot{\lambda} \quad (2.1)$$

3) 공구는 모두 강체이고 공구와 소재간의 접촉면에서 쿨롬(Columb)의 마찰법칙이 만족된다.

4) 단축인장에서 얻어진 재료의 물성치 선도는 아래의Swift식으로 근사 한다.

$$\bar{\sigma} = C (\epsilon_0 + \bar{\epsilon})^n \quad (2.2)$$

유한요소 구성방정식은 평형방정식과 가상일률의 원리, 경계 조건(비압축성조건)으로부터 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$\int_V \sigma_{ij} \delta \dot{\epsilon}_{ij} dV - \int_{S_f} \bar{t}_i \delta v_i dS + \int_V k \dot{\epsilon}_{kk} \delta \dot{\epsilon}_{kk} dV = 0 \quad (2.3)$$

여기에서 상당변형률 속도(effective strain rate)는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \bar{\dot{\epsilon}} \bar{\dot{\epsilon}} &= \dot{\epsilon}_{11}^2 + \dot{\epsilon}_{22}^2 + \dot{\epsilon}_{33}^2 + 2(\dot{\epsilon}_{12}^2 + \dot{\epsilon}_{23}^2 + \dot{\epsilon}_{31}^2) \\ &= \dot{\epsilon}^T \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}^T D \dot{\epsilon} \end{aligned} \quad (2.4)$$

이산화과정후 텐서(tensor)형태의 식을 행렬식으로 바꾸면 다음과 같다.

$$\left\{ \int_V \frac{2}{3} \frac{\bar{\sigma}}{\dot{\epsilon}} \hat{v}^T B^T D B dV + \int_V k \hat{v}^T B^T c c^T B dV - \int_{S_f} t^T N ds \right\} \delta \hat{v} = 0 \quad (2.5)$$

위의 식을 1차 Taylor 전개한 후 선형화하면

$$K \Delta \hat{v} = L \quad (2.6)$$

로 요약되고 직접 반복법과 Newton-Raphson법으로 속도벡터를 구해 낼 수 있다. 또한 속도 벡터가 구해지면 소재의 변형된 새로운 형상을 구해 낼 수 있다. 마찰력은 쿨롬(Columb) 마찰을 적용하여 아래와 같이 모형화 한다.

$$f = -\mu p \left(\frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{|v_r|}{a} \right) \right) \frac{v_r}{|v_r|} \quad (2.7)$$

3. 실험 방법

본 실험에서 사용된 재료는 두께 0.65mm의 자동차 프레스 성형용 판재인 아연 도금 유기피막 강판을 사용했으며 재료의 기계적 성질은 아래 Table 1에 실려 있다.

Table 1 Mechanical properties for drawbead specimen

KS B 0801 제 5호 단축인장시험편 (t=0.65mm)			
항복응력(Y)	소성계수(K)	인장강도	가공경화지수(n)
15.0Kg/mm ²	50.81Kg/mm ²	28.0Kg/mm ²	0.25

드로오비드 시험편 치수는 길이 240mm, 폭 50mm의 크기로 절단하였으며, 드로비드 형상 및 치수는 Fig. 1과 같다.

판재 성형시 편치가 전진함에 따른 공구다이 모서리부에서 소재의 인출각도가 변화되는 점을 착안하여 본 실험에서는 시험편을 비드장치에 삽입한 후 인출하고자 하는 각도로 비드시험기를 setting시킨 다음 시험편 선단을 그립(grip)에 물리고 인출하였다. 인출각도는 0°, 30°, 60°로 변화시키며 분당 50mm 속도로 인출하였다. 비드 시험편 표면에 격자 무늬를 도포시킨 후 인출하여 변형률을 공구 현미경으로 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

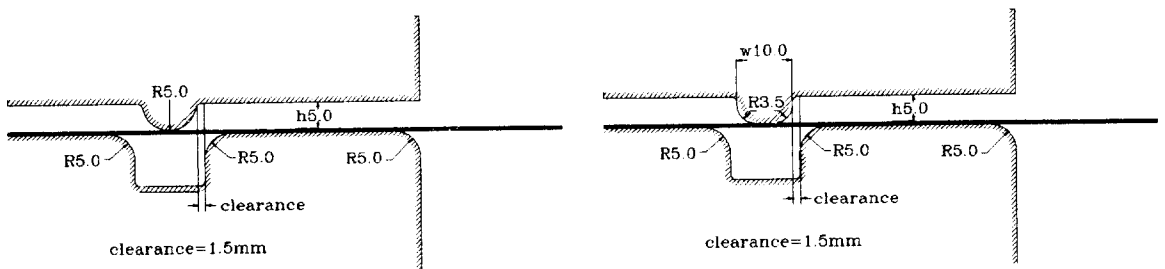
Fig. 4(a)에서 처럼 비드 左모서리를 (1), 비드부를 (2), 비드 右모서리를 (3), 그리고 다이모서리부를 (4)로 정의한다. Fig. 2는 단일원형비드 인출도중(인출길이 80mm) 시험편의 상부표면에서의 변형률분포이다. 영역 (1)에서 인장변형률을 보이고 있고, (2)에서는 반대로 압축변형률을 보이고 있다. 또한 비드를 통과한 부분은 평균 0.1정도의 변형률 값을 보이고, 비드부(2)와 비드左모서리를 통과하기 전의 재료의 변형은 거의 없음을 알 수 있다. 실험과 이론해석의 정량적인 수치와 경향은 비교적 잘 접근하고 있다. Fig. 3은 인출도중 하부표면에서의 변형률 분포선도로서 영역 (1)과 (2)에서는 Fig. 2와 반대되는 경향을 보이고 있으나 비드를 통과한 부분과 비드를 통과하기 전의 영역에서는 거의 동일하다. 이는 영역(1)과 (2)에서 인출

에 의한 변형보다 비드左모서리와 비드右모서리에서의 굽힘에 의한 변형이 커 크를 나타낸다. 인출각도를 0° 로 하여 소재를 인출할 때의 유한요소해석에 의한 단일원형비드 세트(set)형상과 변형된 재료의 형상은 Fig. 4(b) 이다. Fig. 5는 인출각도가 0° 일때의 단일원형비드의 인출길이에 대한 인출력의 선도이다. 이론결과가 상당히 큰 폭으로 진동하고 있지만 평균치는 실험치와 잘 접근한다.

Fig. 6은 인출각도가 30° 일때의 하부표면에서의 변형을 분포시키고, Fig. 7은 상부표면에서의 변형을 분포선도이다. 마찬가지로 영역(1)과 영역(2), 영역(3)에서 Fig. 6과 Fig. 7은 반대의 경향을 보인다. Fig. 6과 Fig. 7은 인출길이가 27.3mm일때의 선도이므로 재료가 비드를 통과한 부분이 작다. 따라서 영역(3)과 영역(4)사이에서 거의 변형이 없는 부분이 존재한다. 인출각도가 0° 일때는 다이모서리부(4)에서 접촉이 없기 때문에 재료의 변형은 인장에 의해서만 일어나지만, 인출각도가 0° 이 아닐 때는 인출각도에 상당하는 굽힘에 의한 변형을 동반한다. 그러므로 Fig. 6과 Fig. 7에서 처럼 영역(4)에서 변형이 Fig. 3와 Fig. 2에 비해서 상당히 큰 수치를 보이고 있다. Fig. 8은 30° 로 인출할때의 변형된 재료의 형상을 보여주는 해석결과이다. Fig. 8은 재료를 30° 로 인출할때의 인출길이에 대한 인출력의 선도로서 이론의 평균값으로 실험값을 어느 정도 예측할 수 있을 것이다.

Fig. 10과 Fig. 11에서는 각각 인출각도가 60° 일때의 하부와 상부표면에서의 변형을 분포선도이다. Fig. 3과 Fig. 2에서와 달리 재료가 다이모서리부(4)에서 60° 로 접촉하여 인출 되기때문에 영역(4)에서도 큰 인장변형을 받고있다. 또한 재료가 비드를 통과한 후 다시 다이모서리부(4)를 통과했을때 최대 변형을 값을 나타낸다. Fig. 12는 60° 로 인출될 때의 유한요소해석에 의한 변형된 재료의 형상이다. Fig. 13은 그때의 인출길이에 대한 인출력의 선도로서 비교적 실험값과 잘 접근한다.

Fig. 14와 Fig. 15는 인출각도가 0° 일때의 사각비드에 대한 결과로서 Fig. 14는 인출길이에 대한 인출력의 선도이고, Fig. 15는 변형된 재료의 형상과 사각비드 세트(set)형상이다. Fig. 14에서 인출력의 평균값은 단일원형비드의 수치(Fig. 5)보다 비교적 크를 볼 수있다. 상대적인 수치는 거의 60Kgf 정도로 사각비드의 경우가 단일원형비드보다 크다.0



a) 단일원형비드

b) 사각비드

Fig. 1 Drawbeads geometry and dimension

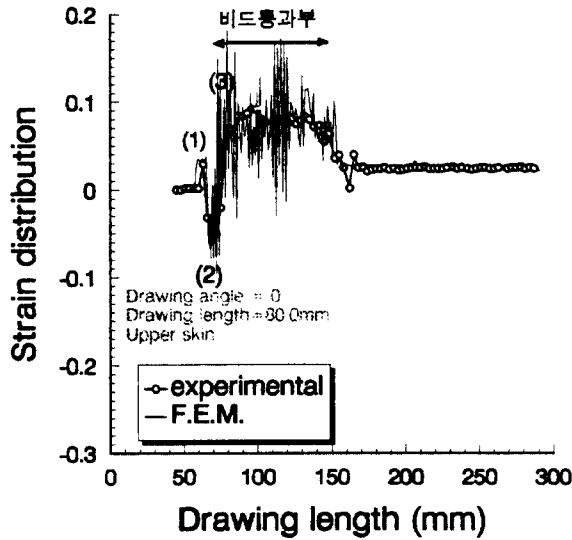


Fig. 2 Upper skin strain distribution of length direction When drawing length = 80mm

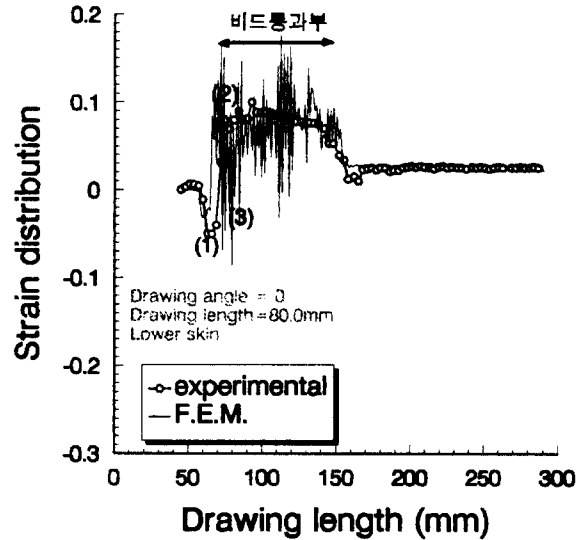


Fig. 3 Lower skin strain distribution of length direction When drawing length = 80mm

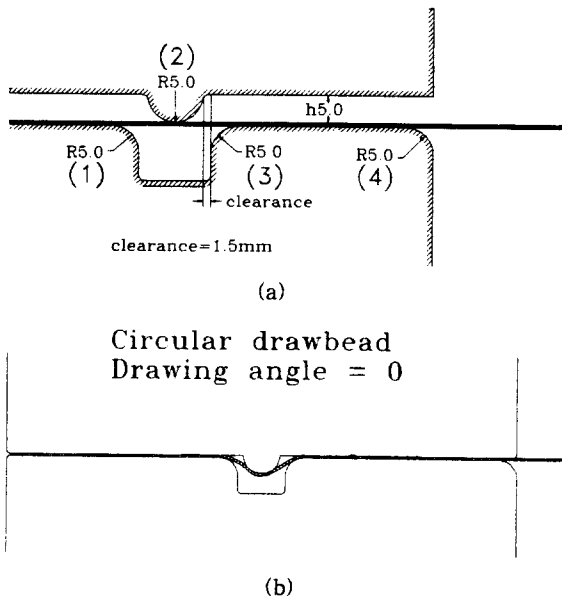


Fig. 4 (a) Drawing position for circular drawbead
Fig. 4 (b) Circular drawbead set, specimen geometry of F.E.M. analysis (drawing angle=0°)

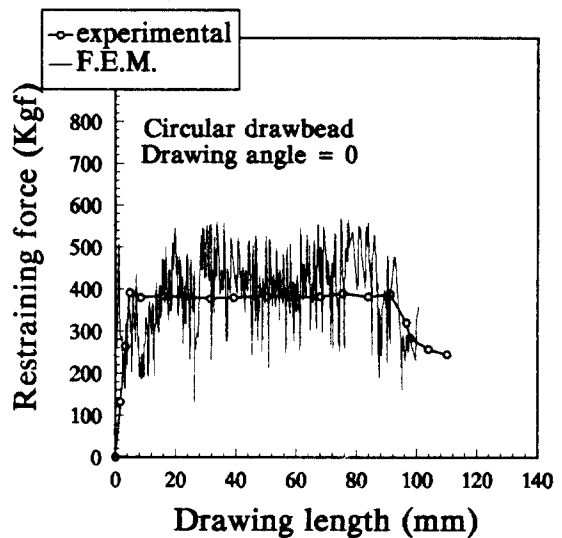


Fig. 5 Circular drawbead restraining force When drawing length = 120mm

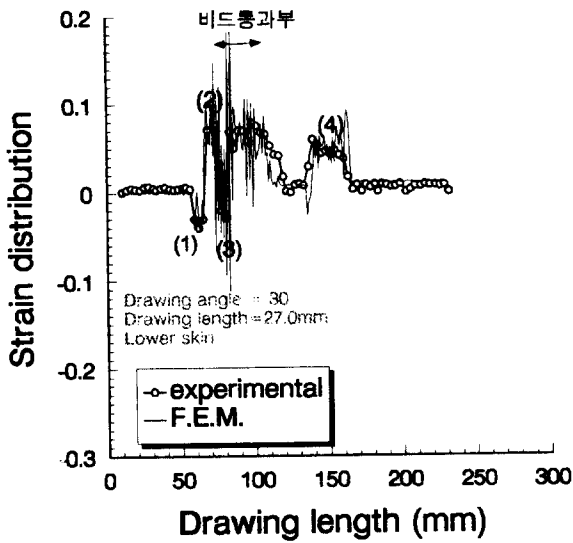


Fig. 6 Lower skin strain distribution of length direction When drawing length = 27mm

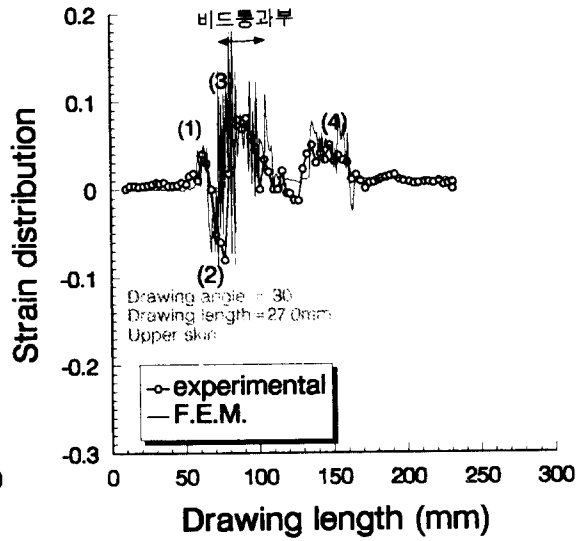


Fig. 7 Upper skin strain distribution of length direction When drawing length = 27mm

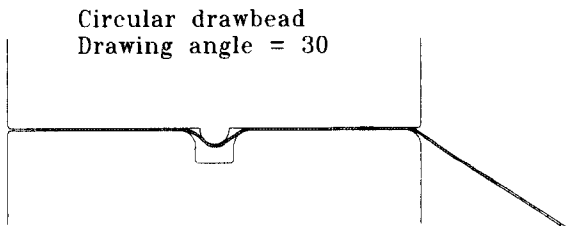


Fig. 8 Circular drawbead set, specimen geometry of F.E.M analysis (drawing angle=30°)

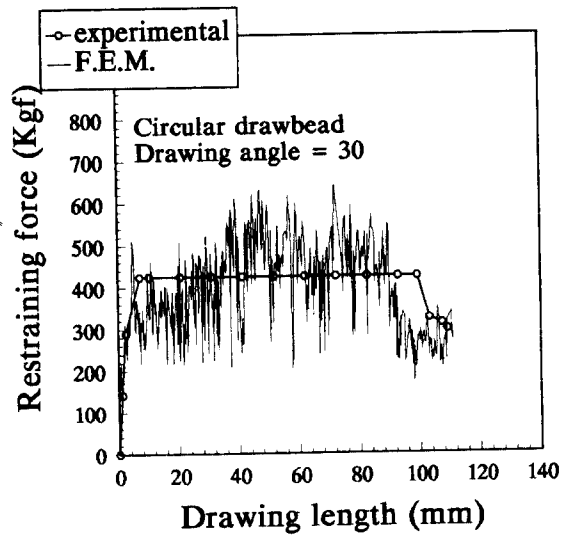


Fig. 9 Circular drawbead restraining force When drawing length = 120mm

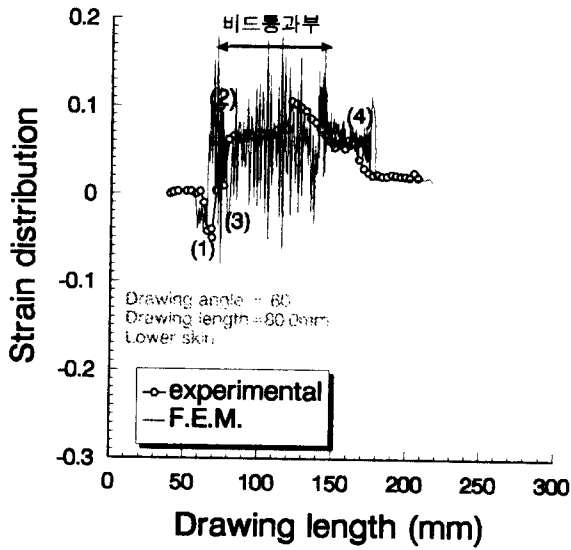


Fig. 10 Lower skin Strain distribution of length direction When drawing length = 80mm

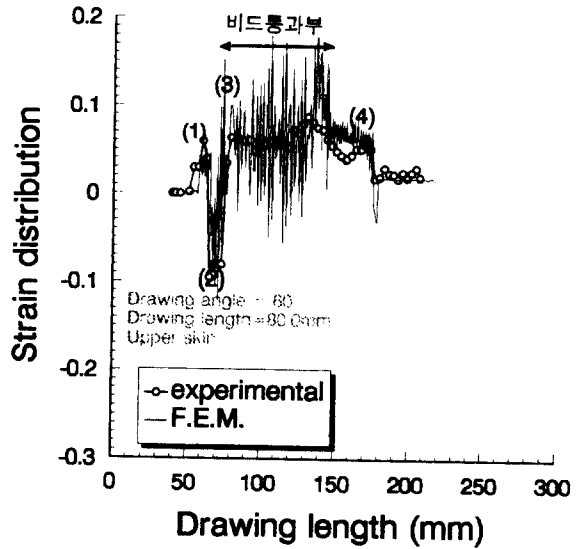


Fig. 11 Upper skin strain distribution of length direction When drawing length = 80mm

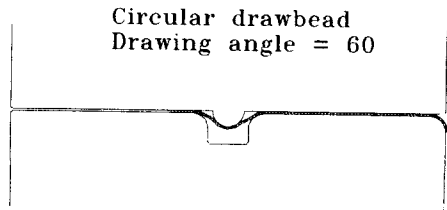


Fig. 12 Circular drawbead set, specimen geometry of F.E.M analysis (drawing angle=60°)

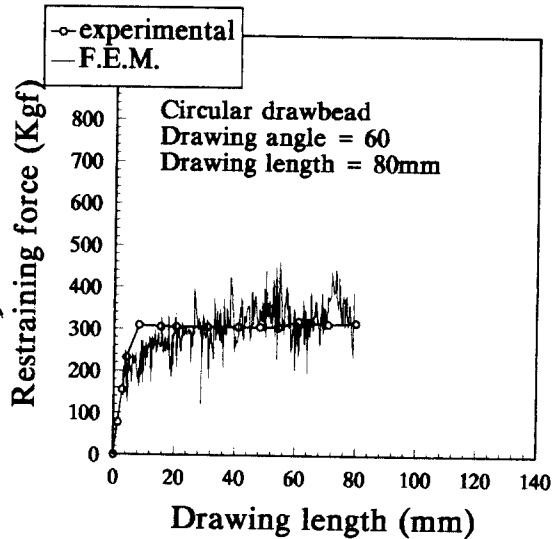


Fig. 13 Circular drawbead restraining force When drawing length = 80mm

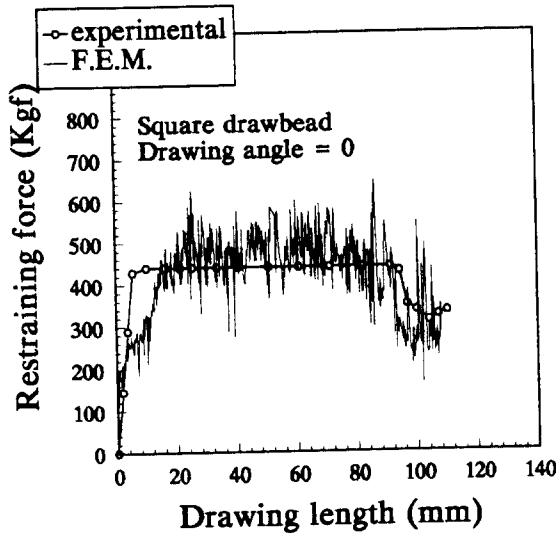


Fig. 14 Square drawbead restraining force
When drawing length = 120mm

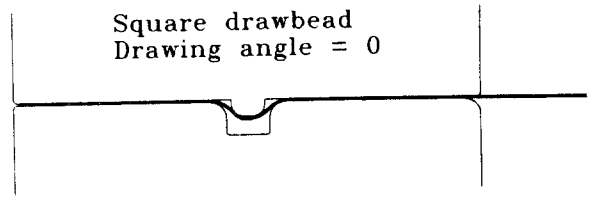


Fig. 15 Square drawbead set, specimen geometry
of F.E.M analysis (drawing angle=0°)

5. 결론

단일원형비드와 사각비드에 대한 유한요소해석 결과와 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 단일원형비드와 사각비드를 통하여 재료가 인출될 때의 재료의 상, 하부표면에서의 변형은 실험결과와 이론해석 결과가 비교적 잘 접근함을 알 수 있다.
2. 비드 左모서리부, 비드부, 비드右모서리와 다이모서리부에서의 굽힘에 의한 변형이 인출될 때의 마찰과 인장에 의한 변형보다 상당히 큼을 알 수 있다.
3. 재료가 비드부를 통과할때의 인출길이에 대한 인출력은 이론해석값이 상당히 큰 폭으로 진동하고 있으나 그 평균값은 실험값과 비교적 일치된다.
4. 동일한 조건에서 단일원형비드 보다 사각비드의 인출력이 비교적 큼을 이론 및 실험을 통하여 검증하였고, 정량적인 값도 알 수 있었다.

* 후기: 본 연구는 한국 과학 재단 (과제번호:93-10-00-04-3)의 지원과 기아 자동차 (주)의 협력에 의하여 수행중에 있으며 지원에 감사 드립니다.