

스탬핑 프레스 금형 다이페이스 설계 해석 시스템

금영탁* · 정승훈** · 이완우*** · 박성일**** · 김준환*****

(2000년 9월 7일 접수)

Design Analysis System for Dieface of Stamping Press Dies

Y. T. Keum, S. H. Jung, W. W. Lee, S. I. Park and J. H. Kim

Abstract

An analysis system for evaluating the design of dieface of stamping press dies is developed. The die design analysis system interfaced with CATIA via universal or NASTRAN data format provides the design information such as binder-wrap, punch contact status, section length change ratio, wrinkle symptom, etc., which are crucial in predicting the defects of initial shape of the sheet in the dieface design stage. The graphic post-processor of developed system, which displays 3-dimensional shapes of tool and die and analysis results, helps the interpretation of design evaluation. The dieface design analysis system was tested in draw dies of front floor panel and quarter panel of auto-body in order to verify the usefulness and validity of the system. The examples show that the developed system would be a good tool in evaluating dieface designs.

Key Words : Design Analysis System, Stamping Press Die, Binder-wrap, Punch Contact Map, Sectional Strain, Wrinkle Map, Automobile Panel

1. 서론

오늘날과 같이 제품이 다양하고 모델 변경이 빈번할 뿐 아니라 제품의 주기와 납기가 짧아지는 경향에 대비하기 위해서는 도면에 의한 금형설계를 점차 CAD/CAE 체제로 바꾸는 것이 경제적, 전략적으로 매우 중요하다. 그러나 대다수의 금형공장에서는 금형 설계 및 트라이아웃을

시행착오법이나 금형 설계자의 경험에 의존하고 있어 자동차 패널 성형용 금형의 개발비와 개발기간이 길다. 따라서 상품의 다양화와 모델 체인지 기간 단축에 따라 품질 개선, 금형개발기간의 단축과 개발비의 절감을 위해 변혁과 개선이 불가피하게 되었다. 박판성형공정에 있어서 공정 개선 및 소재 결함 방지를 위한 금형 설계·가공에 대한 연구가 필수적이며, 이를 위해 CAD/CAE를

* 한양대학교 기계공학부
** 한국항공 우주산업(주)
*** 대우전자(주)
**** 삼성전자(주)
***** 한양대학교 대학원

이용하여 금형의 설계 및 가공에 이르기까지 효율적으로 행할 수 있는 연구가 많이 진행되어야 한다.

다이페이스 설계란 프레스형 표면부의 설계를 의미하며, 앞 공정에서 만든 제품형상에 프레스 성형이 가능하도록 한 다이페이스 형상을 부가하는 것을 말한다. 다이페이스는 프레스 가공을 할 때 소재와 접촉하는 공구면을 말하며, 이는 블랭크 홀더(blank holder)면, 여육면, 제품면, 드로우비드로 구성된다. 그리고, 이 다이 페이스 형상의 양부(良否)에 의해 프레스형 생산 준비에 필요한 기간, 비용이 크게 좌우된다. 다이페이스 CAD/CAE 시스템은 다이 페이스 형상의 설계와 그 형상을 평가하는 시스템을 의미한다.

본 연구에서는 유한요소해석 및 기하학적 해석을 이용한 스탬핑 다이 다이페이스 설계해석 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템의 유용성 및 타당성을 검증하기 위해 주름 및 면 왜곡 등의 성형불량으로 다이페이스 설계가 난이한 자동차 프론트 플로어와 쿼터 패널의 다이페이스 설계해석을 수행하고 금형설계 적부를 판단하였다.

2. 다이페이스 설계 해석 시스템

본 연구에서 개발된 설계해석 시스템은 데이터 파일의 형도형 연계, 바인더 랩 생성, 편치접촉상태, 단면길이 변화 및 변형을 분포, 주름가능영역 등을 계산하고 가시화할 수 있는 유한요소법 및 기하학적 방법을 이용한 해석 프로그램이다. 또한, 이를 사용자가 편리하게 가시화할 수 있는 후처리모듈을 내장하고 있다. Fig.1은 설계해석 시스템의 구성도와 흐름도를 나타내고 있다.

형도형 연계 모듈에서는 CATIA에서 모델링된 금형데이터를 설계 해석 시스템에 적합한 데이터 형식으로 변환시키는 기능을 행하며, 순차적이지 않은 절점 번호를 순차적으로 새롭게 부여하고 절점의 커넥티비티(connectivity)를 일정한 방향(반시계방향)으로 바로 잡아 준다. 또한, 형도형 연계 모듈은 라이브러리 방식으로 구성되어 절점과 요소 이외에도 필요한 데이터를 편리하게 추출할 수 있게 하였다.

바인더 랩 모듈에서는 박판이 블랭크 홀딩 시에 변형되는 형상(binderwrap)을 유한요소법을 이용하여 구한다. 실제 바인더 랩에서는 일부분이 소성영역으로 들어가서 소성 변형을 하므로 탄소성 유한요소해석을 해야 하나, 탄소성 해석은 계산 시간이 과다하여 효율성이 떨어지며, 바인더 랩 형상에는 탄성 해석과 큰 차이가 없으므로 탄성 유한요소해석이 효과적이라고 할 수 있다. 이러한 이유로 본 연구에서는 탄성 유한요소법을 이용하여 바인더 랩을 계

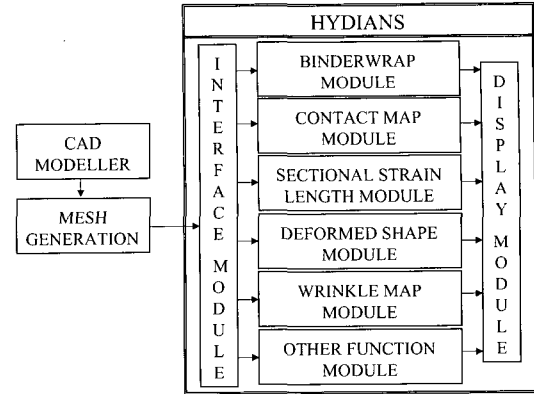


Fig. 1 Flow-chart of HY-DIANS

산하였다^(1~3).

바인더 랩 해석에서 주는 결과치를 통해 박판의 유입 정도와 휨 정도를 알 수 있다. 휨변형 문제를 해석하기 위한 요소에는 Kirchhoff의 얇은 평판에 이론에 근거하여 전단 변형을 무시하고 휨변형만을 고려한 요소와 휨변형 외에 전단변형까지 고려하는 Reissner-Mindlin 이론에 근거한 Mindlin 요소가 있다. 본 연구에서는 정식화가 간단하고 얇은 평판뿐만 아니라 두꺼운 평판에도 적용이 가능한 Mindlin 요소를 사용하여 해석을 수행하였다. 또한 변형률과 변위 관계는 Green-Lagrange 변형률을 사용하여 식 (1), 식(2)와 같이 표현하였다.

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i} + u_{k,i} u_{k,j}) \quad (1)$$

$$u_{i,j} = \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (2)$$

여기서, ϵ , u , x 는 변형률, 변위, 좌표축을 각각 나타내고 있다. 또한, Green-Lagrange 변형률과 응력벡터 사이의 관계는 다음과 같이 표현된다.

$$\delta\sigma = D \delta\epsilon \quad (3)$$

$$D = H^T \bar{D} H \quad (4)$$

여기서, D 는 재료의 물성치에 따라 결정되는 재료 행렬, H 는 좌표계에 따라 결정되는 변환행렬을 각각 나타내고 있다. 유한요소해석을 위한 강성행렬을 구성하기 위해 가상일의 원리를 도입하여 식(5)와 같이 요소의 평형방정식을 유도할 수 있다.

$$\Phi = \int_{\Omega} \delta \epsilon^T \sigma d\Omega - \int_{\Omega} \delta u^T b d\Omega - \int_{\Gamma} \delta u^T t d\Gamma = 0 \quad (5)$$

여기서, b , t 는 물체력과 분포외력벡터를 각각 나타내고 있고, Total Lagrange Description에서 $\delta \epsilon$, σ 는 각각 가상 Green-Lagrange 변형률 벡터와 2nd Piolar-Kirchhoff 응력벡터를 나타내고 있다. 식(3)과 식(5) 등을 이용해 바인더 랩을 계산할 때, 해석영역은 일정하게 주어지는 것이 아니라, 블랭크의 변형에 의해 결정되게 된다. 따라서, 바인더 랩 해석은 초기 해석영역의 경계 절점 변위에 따라 해석영역을 수정하며 계산이 진행되게 된다.

펀치접촉상태 해석은 바인더 랩 해석만으로는 성형성 측면에서 제품면과 블랭크 홀더 곡면간의 최적 설계 형상을 판단할 수 없는 단점을 보완하기 위한 해석 방법이다. 펀치접촉상태 해석은 블랭크 홀더 부위의 형상을 설계 전에, 성형성 측면에서 제품면과 블랭크 홀더 곡면간의 상대적 위치를 조정하여 제품의 최적 성형방향을 결정할 수 있도록 펀치이동에 따른 성형깊이(drawing depth)의 균일 분포 및 펀치와 바인더 랩 곡면간의 초기접촉영역을 확인하는 과정이다⁽¹⁻³⁾. 이는 펀치와 박판의 접촉상태 정보로부터 드로잉 성형의 진행 거동을 전체적으로 파악할 수 있을 뿐만 아니라, 프레스 성형 불량중의 하나인 면 왜곡을 야기시키는 불균일 인장 등을 다이페이스 설계단계에서 예측할 수 있는 역할을 한다.

평균 단면선 길이 변화율은 지정 구간에서 성형 전후 판의 단면선 길이의 비율을 계산함으로써 얻어지는 정보이다. 즉, 어느 구간의 평균적인 판의 연신율에 해당한다. 펀치와 바인더 랩의 X방향과 Y방향으로 각각 복수 단면을 취하고 상호간의 평균 단면선 길이 변화율을 구하는 연산을 복수 단면에 걸쳐 실시한다. 서로 인접하는 단면간에 이 평균 단면선 길이 변화율의 차가 큰 경우에는 변형이 균일하게 이루어지지 않는다고 추정할 수 있다. 즉 X, Y방향 변형률을 각각 나타낼 때, Y방향 변형률은 편차가 거의 없이 균일하고, X방향 변형률은 인접한 단면 사이에 편차가 있다면, X방향 변형률 편차가 심한 부분에서 주름 발생 가능성이 크다고 예측할 수 있다⁽¹⁻³⁾.

일반적인 주름 판단 방법인 성형 해석후 변형 형상을 셰이딩(shading) 처리하거나 모아레(moire) 선도를 사용하여 주름 부위를 판별하는 방법은 성형해석시 주름의 기하학적 모양이 계산되어질 때만 유효하므로 요소의 크기가 충분히 작고 계산이 정확해야 하므로 계산 시간상으로는 외연적 코드의 정확도로는 적용에 한계가 있다. 또한 이러한 방법은 사용하기 편하고 해석 후 결과를 바로 사용할

수 있는 장점이 있지만 각각의 요소 두께로부터 계산된 결과이기 때문에 면적 영향을 고려하지 못하며, 또한 벽부와 같이 두께가 얇아지면서 주름이 발생하는 것을 예측할 수 없는 단점이 있다. 따라서, 개발된 시스템에 도입된 주름 해석 모듈에서는 성형해석 후의 변형형상을 이용하여 다음과 같이 주름 가능성 정도를 정량화하였다⁽⁴⁾.

먼저, 주름발생은 하나의 요소단위가 아닌 여러 개의 요소가 모인 영역에서 발생하게 된다. 따라서, 주름 영역은 평면이고, 이 영역에서 금형과의 접촉은 고려하지 않는다는 가정 하에 압축응력을 받고있는 부분의 주름발생을 예측하기 위해 주름 영역내의 요소가 같은 평면내에 존재함을 나타내는 식(6)의 조건을 사용하여 주름 영역을 정의하였다.

$$\cos^{-1} \frac{|\vec{n}_i \cdot \vec{n}_j|}{|\vec{n}_i| |\vec{n}_j|} < \delta \quad (6)$$

여기서, \vec{n}_i 은 임의로 선정된 기준요소의 법선벡터, \vec{n}_j 는 검색중인 요소의 법선벡터를 각각 나타내고 있으며, δ 는 수치오차를 고려한 오차범위를 나타내고 있다. 선정된 영역이 압축응력을 받고 있는지를 확인하여 최종적으로 변형형상에서 주름영역을 사각평판으로 모델링한다. 주름 발생은 과도한 막응력이 주된 원인이므로 평면방향의 응력만이 주름을 발생시키며, 경계면내 평균 응력이 균일하게 작용한다는 가정하에, 모델링된 사각 평판에 대한 임계 좌굴응력을 고정경계조건을 사용하여 식(7)과 같이 구하였다.

$$\begin{aligned} \sigma_{cr} &= \sigma_{ave,2} \\ &= -\frac{\pi^2 D^p}{t} \left[\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{a}{m}\right)^2 \left(\frac{n}{b}\right)^4 + \frac{2}{3} \left(\frac{n}{b}\right)^2 \right] \\ &\quad - \left(\frac{na}{mb}\right)^2 \sigma_{ave,1} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서, m 은 압축방향의 파장수, n 은 압축방향에 수직인 방향의 파장수를 각각 나타내고 있으며, 경계조건을 만족하기 위해 n 은 항상 2의 값을 가진다.

한편, $\sigma_{ave,1}$, $\sigma_{ave,2}$ 는 주름영역에서의 평균 주응력을 나타내고 있다. 이 식에서 임계응력은 임의의 정수 m 중 σ_{cr} 의 값이 최대(최소압축응력)가 되는 m 의 값을 선택하고 그때의 m 값이 이 영역에서 주름이 발생할 때 주름 파장수가 된다.

식(7)을 이용하여 주름 발생 가능성을 나타내는 주름지수, WI를 다음과 같이 정의하였다.

$$\sigma_{ave,2} > 0 \quad WI = 0 \quad (8)$$

$$\sigma_{ave,2} < 0 \quad WI = \left| \frac{\sigma_{ave,2}}{\sigma_{cr}} \right| \quad (9)$$

$$\sigma_{ave,2} < \sigma_{cr} \quad WI = 1 \quad (10)$$

여기서, 식(8)은 주름영역의 최소 주응력이 양의 값으로 주름이 발생하지 않는 경우를, 식(10)은 주름영역의 최소 응력값이 임계 압축응력보다 작아 주름 발생이 확실한 경우를 각각 나타내고 있으며, 식(9)는 최소 주응력값이 0보다 작은 경우를 나타내고 있다. 이와 같이 정의된 주름 지수를 통해 사용자가 쉽게 주름발생 가능성 부위를 판단할 수 있다.

개발된 시스템의 하드웨어는 산업체에서 널리 이용되는 IBM 기종의 EWS(RS6000)상에서 운용되며 소프트웨어는 산업계 표준 윈도우 시스템인 X 윈도우 시스템과 유닉스 오퍼레이팅 시스템에서 작동하도록 개발되었다. 또한 개발된 설계해석 시스템을 위한 전용 후처리 프로그램이 개발되었다. 후처리 프로그램에서는 여러 모듈을 통한 해석 결과를 시각적으로 터미널 상에서 구현하도록 제작되었다.

3. 적용 사례

개발된 다이페이스 설계해석 시스템의 기능 및 유용성을 검증하기 위하여 자동차용 외관재중 금형 설계 및 성형이 비교적 까다로운 것으로 알려진 프론트 플로어 패널(front floor panel)과 쿼터 패널(quarter panel)을 대상으로 설계 해석을 수행하였다.

3.1 프론트 플로어 패널(Front Floor Panel)

평면 방향의 변형이 많이 일어나지 않는 제품의 블랭크 홀더부는 대부분 평평하게 구성하는 것이 일반적이지만, 본 연구에서는 블랭크 홀더부를 제품의 펀치 형상에 따라 설계한 경우의 성형성을 판단하기 위해 개발된 시스템을 이용해 프론트 플로어의 설계해석을 수행해 보았다.

본 해석에서 구조물은 기하학적인 비선형성을 포함하고 있으므로 반복해석을 통하여 구조물의 변형을 얻었다. Fig. 2는 펀치 라인 형상을 따라 설계한 블랭크 홀더를 이용한 경우의 바인더 랩 해석결과를 나타내고 있다. 바인더 랩 해석을 통해 다이페이스부가 굴곡져 있으므로 그에 따른 판재의 휨변형이 일어나고 in-plane 방향으로의 유입도 발생함을 알 수 있었다. 또한 해석 영역의 수정 등을 통해 블랭크내의 변형률이 균일하게 분포되게 하여 국부적인 응력 상승을 완화시키는 효과를 얻을 수 있었다.

펀치와 바인더 랩이 접촉할 때는 접촉 타이밍이 매우 중요하다. 접촉 타이밍이 늦게 되면 면 왜곡부가 생기기

쉬우므로 될 수 있으면 접촉타이밍을 빠르게 하여 다이축 성형에서 생기기 쉬운 면 왜곡을 억제할 수 있다.

Fig. 3은 펀치접촉상태도 해석 결과를 나타내고 있으며, 그림은 펀치가 진행됨에 따라 바인더 랩의 접촉부위를 잘 보여주고 있다. 참고적으로 최대 드로잉 깊이와 최소 드로잉 깊이와의 차는 269mm이다. 펀치접촉상태도 해석에 통해 프론트 플로어 금형은 비교적 펀치 접촉이 고르게 일어나고 있으며, 펀치가 접촉할 때 판재의 유입이 각 방향에서 자연스럽게 일어날 수 있는 형상임을 알 수 있었다. 또한, 각 방향에서 접촉 타이밍 조절을 통해 면왜곡 현상을 감소시킬 수 있었다.

또한, 바인더 랩 단면과 펀치 단면간의 길이 변화율을 복수 단면에 걸쳐 실시하였다. 서로 인접하는 단면간의 변화율 차가 큰 경우에서 변형이 균일하게 일어나지 않는다고 볼 수 있다. Fig. 4와 Fig. 5는 바인더 랩과 펀치접촉상태도의 해석결과를 이용하여 계산한 평균단면선 길이 변화율과 두께 변형을 분포를 각각 나타내고 있다. 평균단면선 길이변화율 해석결과에서 좌부와 하부의 선은 단면에 따른 펀치의 길이를 나타낸 것이고, 상부와 우부의 선은 그에 따른 변화율을 나타낸 것이다. 평균단면선 길이 변화율 해석의 목적은 정량적인 변형을 차이보다도 이웃하는 두 단면간의 변형을 차이를 보고 그 단면부위의 주름현상을 예상하는데 있다. 또한, 주름가능영역 해석을 통해 주름발생 가능성을 정량적으로 나타낼 수 있으며, Fig. 6은 프론트 플로어 패널의 주름지수를 나타내고 있다. Fig. 4와 Fig. 6을 통해 프론트 플로어의 좌측 상부와 하부에서 주름발생을 예측할 수 있었다. 먼저, 단면선 길이변화해석 결과를 통해 펀치 좌부에서 변형을 차가 발생함을 알 수 있으며, 주름가능영역 해석 결과에서도 동일 영역의 주름지수가 다른 영역에 비해 높음을 볼 수 있었다.

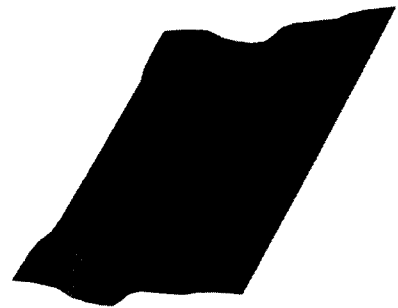


Fig. 2 Binderwrap of front floor panel

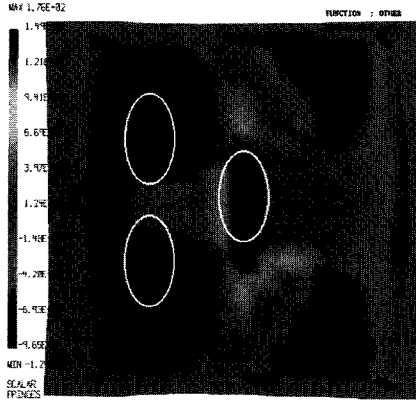


Fig. 3 Contact map of front floor panel

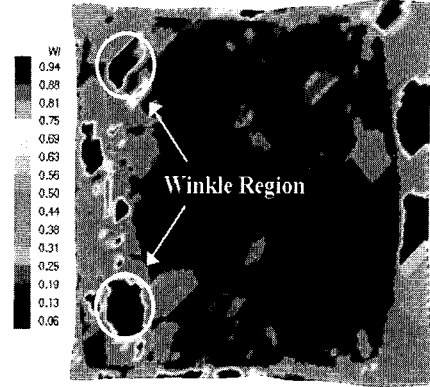


Fig. 6 Wrinkle map of front floor panel

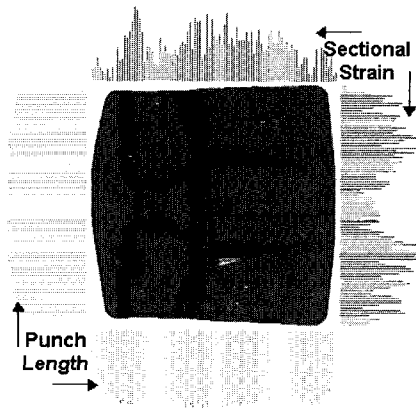


Fig. 4 Sectional strain of front floor panel

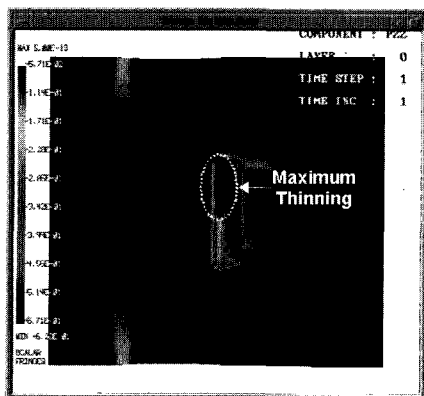


Fig. 5 Thickness strain distribution of front floor panel

3.2 쿼터 패널(Quarter Panel)

쿼터 패널의 성형에서는 주름현상이 문제시되고 있으며, 이러한 주름현상은 차체 패널 내판일 경우에는 큰 문제가 되지 않지만 외판일 경우에는 도장을 하여도 표시가 나는 중대한 성형결함이 된다. 물론 주름 영역을 후처리를 통해 제거한다고 해도 전체적인 성형에 좋지 않은 영향을 끼치는 것은 사실이다. 개발된 시스템을 이용한 쿼터 패널의 설계 해석에서 이러한 주름 현상을 최소화하고자 하였다.

바인더 랩 해석은 정확한 해를 얻기 위하여 15단계의 하중단계를 주고 허용 수렴기준을 0.00001로 주어 해석을 수행하였다. 블랭크 홀더부의 경사도를 낮추어 다이캐비티 내의 주름현상을 억제하고자 했으며, Fig. 7은 이에 따른 바인더 랩 해석결과를 나타내고 있다.

프론트 플로어와 마찬가지로 최대 드로잉 깊이와 최소 드로잉 깊이 차가 228.8mm로 접촉 타이밍이 짧음을 알 수 있다. Fig. 8은 펀치접촉상태도 해석결과를 나타내고 있으며, 펀치가 진행됨에 따라 바인더 랩의 접촉부위를 잘 보여주고 있으며, 펀치의 접촉상태가 전체적으로 좋음을 알 수 있다. 이는 블랭크 홀더부의 비선형성을 줄이고자 양 끝단의 Z값을 10~20mm 정도의 단차를 두어 설계하여 얻은 결과이다. 펀치접촉상태도 해석을 통해 펀치와 소재 간의 접촉 확산이 모든 방향으로 균일하게 일어나는 것을 알 수 있다.

쿼터 패널에 대하여 바인더 랩 단면과 펀치 단면선의 길이 변화율을 복수 단면에 걸쳐 실시하였다. 본 해석은 프론트 플로어와는 달리 그 단면이 가로나 세로 방향 공히 해석하기 힘든 임의의 형상을 가진 펀치와 바인더 랩 예제이다. 또한 블랭크 데이터의 중앙부에 구멍을 뚫어 성형 난이에 편이를 도모하려고 하였기에 단면의 길이 분포

와 평균단면선 길이변화율은 구멍이 난 단면에서 직선과 점선으로 디스플레이 하였다. Fig. 9와 Fig. 10은 쿼터 패널의 평균단면선 길이 변화율 해석결과와 두께 변형률 분포를 각각 나타내고 있다. 쿼터 패널의 좌측 상단부와 우측 하단부에서 단면선 길이의 상대적 변화가 심한 것을 알 수 있다. 이는 쿼터 패널의 주름가능 영역해석 결과를 나타내고 있는 Fig. 11에서도 확인할 수 있었다. Fig. 11에서 원으로 표시되어진 부분이 주름 발생 가능성이 높은 영역을 나타내고 있다.

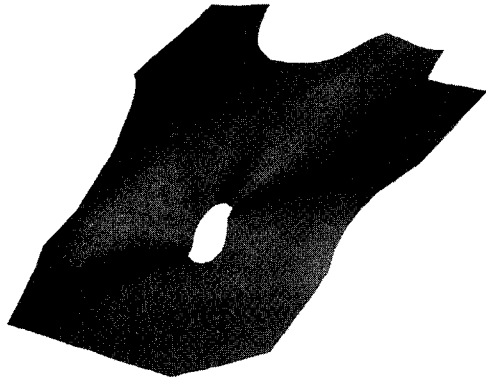


Fig. 7 Binderwrap of quarter panel

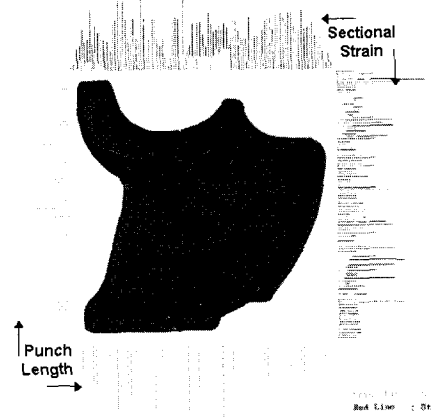


Fig. 9 Sectional strain of quarter panel

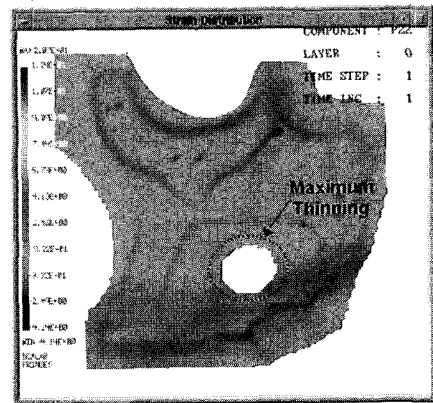


Fig. 10 Thickness strain distribution of quarter panel

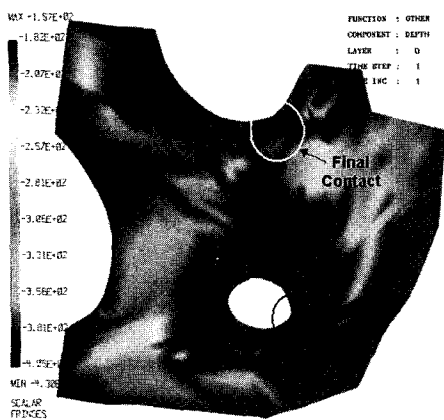


Fig. 8 Contact map of quarter panel

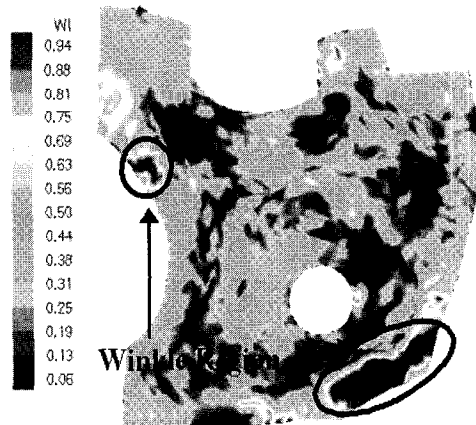


Fig. 11 Wrinkle map of quarter panel

4. 결론

자동차 패널 성형용 금형의 설계해석을 위해, 유한요소 해석법과 기하학적인 방법을 이용한 다이페이스 설계 해석 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템의 유용성을 검증하기 위해 자동차용 프레스 금형 부품인 프론트 플로어와 쿼터 패널에 대한 해석을 수행하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 개발된 설계해석 시스템은 다이페이스 설계 단계에서 설계 적부를 판단할 수 있는 바인더 랩, 펀치점촉상태도, 단면선길이변화율, 주름지수 등의 종합적인 정보를 빠르게 제공한다.

(2) 개발된 시스템을 이용한 설계해석 정보를 통해 성형시 발생하는 면왜곡, 주름 등의 문제를 비교적 간단하게 예측할 수 있었다.

(3) 주름 해석 모듈은 정량화된 주름지수를 통해 두께분포로는 확인하기 힘든 부분의 주름 발생을 효과적으로 예측하였다.

(4) 블랭크 홀더부의 변화에 따른 프론트 플로어 금형의 적부를 개발된 시스템을 통해 해석한 결과 수정된 다이페이스 설계가 비교적 타당함을 알 수 있었다.

(5) 쿼터 패널의 설계해석결과를 통해 주름발생 등의 원인과 해결책을 규명할 수 있었다.

(6) 개발된 설계해석 시스템은 계산속도의 절감과 정확한 해를 구할 수 있어 다이페이스 설계 트라이아웃에 의한 시간과 비용을 절감하는데 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2000년 한양대학교 교내연구비 지원으로 연구 되었음

참 고 문 헌

- (1) 정승훈, 1995, "차량 금형 설계해석용 CAD시스템 개발에 관한 연구", 한양대 석사학위논문.
- (2) 이완우, 1995, "스탬핑 금형의 다이페이스 설계평가를 위한 CAD/CAE시스템 개발에 관한 연구", 한양대 석사학위논문.
- (3) 박성일, 1997, "자동차패널 금형용 다이페이스 설계 해석시스템 개발", 한양대 석사학위논문
- (4) 황보원, 금영탁, 2000, "박관 스탬핑 공정의 주름 발생 예측에 관한 연구", 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 474-479, 서울산업대학교
- (5) 금영탁, 임장근, 인홍진, 1992, "박관 성형해석 모듈", 프레스금형의 CAD/CAE 시스템 개발, MOST보고서, UCN 883-4630-2.
- (6) 전기찬, 유동진, 이정우, 1990, "기아다이페이스 CAD/CAE 시스템 개발", 한국자동차공학회 논문집, 제12권, 제5호, pp. 14~18.
- (7) 오형석, 금영탁, 임장근, 1993, "바인더 랩의 대변형 계산을 위한 효과적인 반복법", 한국자동차공학회 논문집, 1(1), pp. 140~148.
- (8) Tang, S.C., 1986, "Verification and Application of a Binder Wrap Analysis", In N.-M. Wang and S.C. Tang(eds.), Computer Modeling of Sheet Metal Forming Process, The Metallurgical Society, Inc., pp. 193~208.
- (9) Chen, K.-K., 1989, "Evaluation of a Finite Element for Calculating Binder Wrap Surface in Sheet Metal Forming Analysis", Finite Elements in Analysis and Design 5, Elsevier Science Publishers B.V., pp. 57~71.
- (10) 송인섭, 유동진, 윤정환, 양동열, 허훈, 이장희, 1993, "곡면 경계조건을 이용한 바인더 랩의 유한요소 해석", 한국자동차공학회 춘계학술대회, pp. 284~289.
- (11) Keum, Y.T., Park, S., In, H.J., and Jun, Y.T., 1992, "CAD/CAM/CAE System for Autobody Stamping Dies", Pacific Conf. on Manufacturing, Japan.
- (12) 김태수, 금영탁, 인홍진, 이승열, 1993, "관재정형가공을 위한 전산원용기술 개발", MOST 보고서, UCN954-4945-7.

(1) 정승훈, 1995, "차량 금형 설계해석용 CAD시스템 개발에 관한 연구", 한양대 석사학위논문.