

자동차 패널금형의 설계해석과 현장 트라이아웃

이종문* · 김영탁**

(1998년 7월 1일 접수)

Design Analysis and Field Try-out of Automotive Panel Dies

J.M.Lee and Y.T.Keum

Abstract

This study suggests the practical method which can reduce the lead time of the field trial and design of the dies. The virtual manufacturing, with which the die design is evaluated by computer analysis, reveals the impropriety of a design before die makings. Three methods for reducing the die making process occupying over 60% of the automotive development are like follows: First, the crack and wrinkle occurrence can be prevented by virtually adjusting the blank holding force and drawbead force with a computer simulation. Second, the parts which can not remove the forming defects in spite of the adjustment of forming parameters need to modify the part geometry or punch temporary shape. Third, the simulation before field trial, field trial, and field trial simulation can be effectively used in die design.

Key Words : Design Analysis, Automotive Panel Dies, Simulation Before Field Trial, Field Trial, Field Trial Simulation

1. 서론

스탬핑공정은 오늘날 가장 널리 사용되는 소성가공 분야중의 하나이다. 판재 성형의 성패를 좌우하는 요소는 금형형상, 프레스 작업조건(윤활, 편치속도, 박판의 구속상태 등) 및 재료등급 등이 있다. 이들중 재료등급의 경우에, 성형품 생산자는 원가를 절감하는 측면에서 성형성이 좋은 저등급의 재료를 요구하는 반면에 박판 생산자는 고등급의 재료를 저가로 생산하기 곤란하기 때문에 양자간에 최적의 절충점을 찾는 데 한계가 있다. 따라서 주어진 재료등급에서 금형형상이나 프레스 작업조건을 최소화하는 것이 선행되어야 한다.

지금까지는 차체패널 스탬핑 금형이 현장기술자의 경험에 의해 주로 개발되고 있기때문에 비용발생이 매우 크다. 따라서 설계 전에 성형불구합 현상을 분석하고, 설계후 현장 트라이 아웃시 발생하는 크랙, 주름, 소재변경 등을 사전에 파악하면 개발비용과 시간을 절약할 수 있다. 이를 위하여 컴퓨터 시뮬레이션이 최근 시도되고 있는데 유한요소법(FEM)이 주로 이용되고 있다. 유한요소법을 이용한 박판의 성형공정 해석은 성형중 박판의 변형된 모양, 성형부하, 변형률, 응력분포 및 성형조건을 수정하고, 경우에 따라서는 재료의 등급을 조정하여 짧은 시간에 최적의 금형을 개발할 수 있는 정보를 제공하므로 생산비절감과 리드타임을 줄이기 위해서는 이를 도입하는 것이 필요하다.

* 한양대학교 산업대학원, 현재 기아모텍 근무

** 한양대학교 기계공학부

2. 본 론

본 연구의 수치해석 예로 본넷 외부 패넬을 택하였다. 본넷 외부패넬은 차량 외관의 앞부분으로서 body part에서 가장 중요한 패넬중의 하나이며, 구매력을 유발시키기 위하여 디자인의 미려함이 요구되는 부품이다. 또한 형상의 변화가 적고 성형시 강성이 요구되기 때문에 가형상과 비드로서 충분한 강성을 가질수 있도록 해야하고, 미세한 굴곡이나 변형도 있어서는 않되기 때문에 초기 레이아웃도를 작성할 때 세심한 검토가 필요하다. 특히 패넬의 강성은 중요한 요소이기 때문에 유의해야 한다. 또한 제품도를 초기검토 할때와 레이아웃도를 작성할 때 소재에 대한 고려도 필요하다. 그리고 국부적으로 신율이 요구되는 곳은 반드시 재질의 신율을 검토해야한다.

2.1 모델링

Fig. 1은 CAD 데이터이며, Fig. 2는 CAD 데이터로부터 메쉬(mesh) 작업으로 작성된 하형다이(lower die)이고, Fig. 3~5는 펀치, 블랭크홀더, 그리고 블랭크의 유한요소 모델들이다. 유한요소 모델의 절점수와 요소수는 Table 1과 같다.

Table 1 Detail characteristics of finite element models.

	Element Type	No. of Nodes	No. of Elements
Lower Die	Shell	15,434	15,587
Punch		8,798	9,557
Blank Holder		6,942	6,604
Blank		4,005	3,872

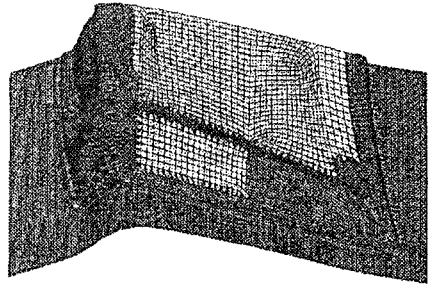


Fig. 2 FE model of the lower die

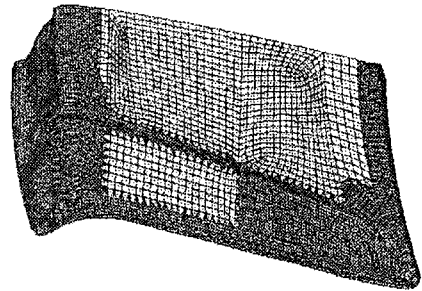


Fig. 3 FE model of the punch

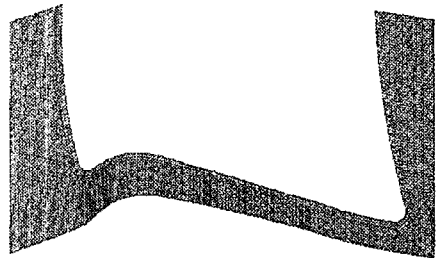


Fig. 4 FE model of blank holder

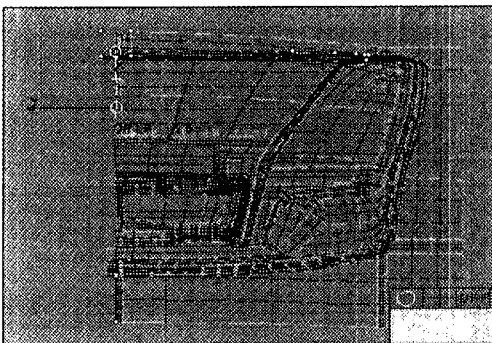


Fig. 1 CAD data of bonnet outer panel

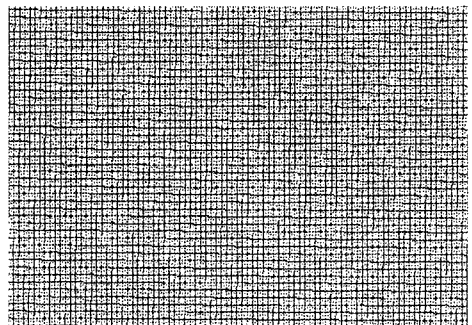


Fig. 5 FE model of the blank

2.2 경계조건

해석에서 정도있는 해석결과를 얻기 위하여는 실제 프레스 작업때와 같은 성형조건을 해석에서 경계조건으로 부과하여야 한다. 그러나 3차원 해석 소프트웨어의 특성상 실제 작업조건을 정량화시키는 데에는 한계가 있기 때문에 실제와 가장 가까운 값을 적용하였다. Table 2는 해석에 적용된 경계조건과 공정조건이다.

Table 2 Boundary conditions and process conditions used in the finite element analysis.

Condition Analysis	Boundary Condition	Process Condition
Gravity	Die: All Fixed Blank: Symmetric (y Fixed)	Gravity: Z dir -0.00981GPa
Binder Wrap	Die: All Fixed B/H: U_x Free Blank: Symmetric (y Fixed)	B/H: Z-dir 2m/sec μ : 0.1
Draw	Die: All Fixed Punch, B/H: U_x Free Blank: Symmetric (y Fixed)	Die Vel: Z-dir 10m/sec μ : 0.09 BHP: 0.00078GPa

2.3 해석결과 및 고찰

2.3.1 자중처짐

처짐평가는 초기에 소재의 안착상태를 관찰하기 위한 것으로서 프레스타입과 모델내에서 중력방향이 결정되면 소재물성치와 중력가속도 값으로 평가가 가능하다. 자중에 의한 처짐량이 전체해석결과와 신뢰도에 미치는 영향은 크지 않지만, 초기 변형상태를 확인하는 바인더랩을 평가하는 중요한 데이터이다. 또한 현장 트라이얼에서 패널의 초기 안착위치와 초기 처짐양에 의해 불량현상이 많이 발생하기 때문에 자중처짐평가는 반드시 실시되어야 한다. 대부분의 경우 처짐평가는 해석상의 안정을 위해 소재와 금형을 수치적으로 접촉시키는 데 목적이 있다. 또한 이것은 소재 자중만에 의한 처짐이기 때문에 소재물성치의 검증에 좋은 수단이 될 수 있다. 패

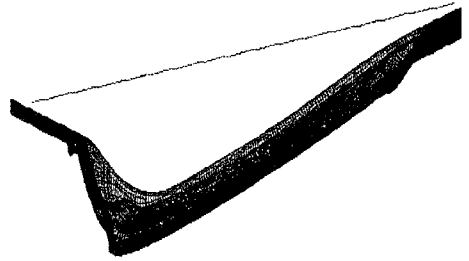


Fig. 6 Layout of the lower die, blank holder and blank

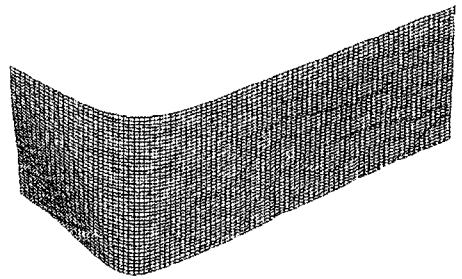


Fig. 7 Blank shape deflected by gravity

널 처짐량을 예상하기 어려운 경우 처짐시간을 충분히 크게 주면 처짐완료 이후는 그상태를 유지하기 때문에 정확한 처짐형상을 얻는데는 어려움이 없다. 그러나 처짐시간의 크기는 실제 해석시간에 지대한 영향을 미치기 때문에 경제성을 고려하여 적절한 처짐시간을 정하도록 한다.

Fig. 6은 처짐평가를 위한 하형다이와 블랭크의 초기 위치를 나타내고, Fig. 7은 처진 블랭크의 모양을 나타내고 있다.

2.3.2 바인더랩

성형과정에서 블랭크는 크고 작은 초기 주름들이 발생하고 소멸하게 되는데, 발생한 주름들의 교차지점에서 소재의 꺾임현상이 발생되는 경우를 볼 수 있다. 특히 외부패널 바인더랩 공정에서의 소재 꺾임이 드로우성형 완료시까지 남게되어 면형상 불량이 자주 발생하고 불구합현상이 성형완료시까지 남아 트라이얼이 반복되어 금형제작기간이 길어지는 경우가 많다.

바인더랩 해석의 목적은 블랭크 소재의 처짐 이후에 프레스의 운동에 의해 금형의 상형과 하형쪽에 블랭크홀더

가 접촉하였을때 cavity내에서 블랭크 소재의 변형상태를 관찰하기 위함이다. Fig. 8은 자중평가 이후 바인더랩 해석을 하기 위한 다이와 블랭크의 초기 상태를 나타내고, Fig. 9는 바인더랩 해석결과이다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 바인더랩 상태에서 블랭크 형상은 주름 및 기타의 성형 불구합 상태는 없다. 바인더랩의 현장 트라이얼결과 (Fig. 10)와 비교하면 Fig. 9의 해석결과는 실제패널과 매우 유사하며 현장트라이얼에서 신빙성있게 사용될 수 있음을 알 수 있다.

바인더랩 해석에서는 아주 복잡한 형상의 패널을 제외하고 해석시간과 데이터 크기를 줄이기 위해 적응해석용 adaptive mesh를 사용하지 않는것이 일반적이다.

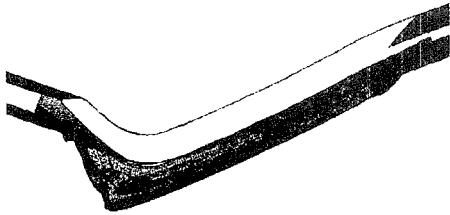


Fig. 8 Tooling configuration for binder wrap analysis

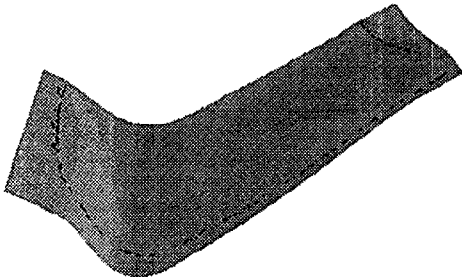


Fig. 9 Binder wrap obtained from the simulation

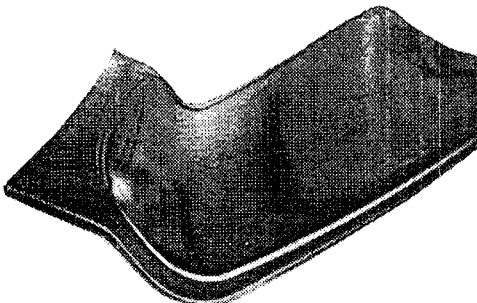


Fig. 10 Real binder wrap produced in field try-out

2.3.3 트라이얼 전 시뮬레이션

본 연구에서는 현장 트라이얼전에 성형공정변수를 맞추기 위하여 3회의 전산해석을 실시하였다. 본넷 외부 패널은 성형상 큰 어려움은 없지만 성형불구합이 한 부분이라도 발생해서는 안될 중요한 패널이고 특히, 강성을 충분히 유지시켜 성형하여야 하는 부품이다. 따라서 공정변수를 변화시키면서 요구되는 성형 및 기계적 특성을 점검하는 것이 필요하다. Fig. 11은 전산트라이얼 1회째 패널의 성형된 모양을 나타내고 있다. 유입 형태는 현장 트라이얼과 유사하며, FLD에서 보는 바와같이 파손부위가 FLD₀값 위로 많이 분포되어 있어 본넷 전면 형상부 대부분이 크랙이 발생되고 다이페이스에서도 부분적으로 주름이 발생되었음을 알 수 있다. 또한 두께변화 분포도에 나타나 있는 바와같이 두께의 분포가 0.2738 mm~0.832 mm이므로 패널의 최고 신율을 34%로 보았을때 0.52 mm이하의 두께는 크랙이 발생되었음을 알 수 있다. 패널 중앙부는 큰

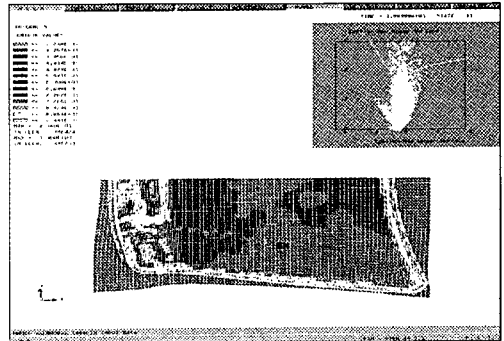


Fig. 11 Strain distribution of draw panel after the first trial simulation

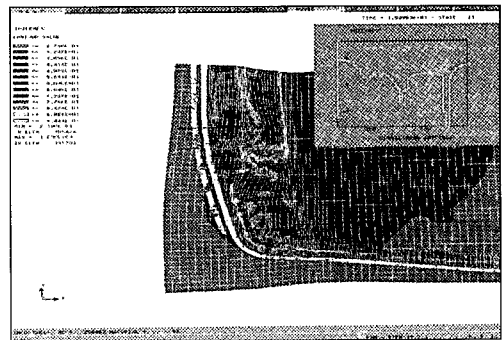


Fig. 12 Thickness distribution of draw panel after the first pre-trial simulation

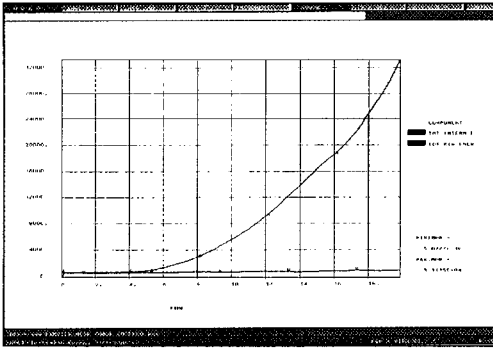


Fig. 13 Energy distribution of draw panel after the first pre-trial simulation

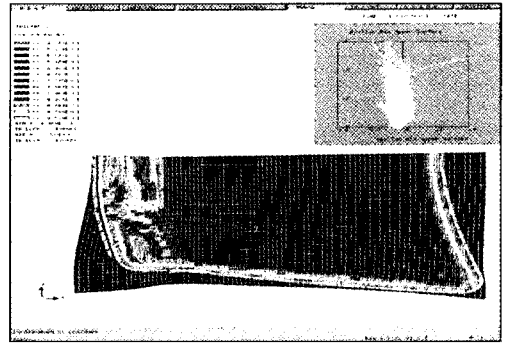


Fig. 16 Strain distribution of draw panel after the third pre-trial simulation

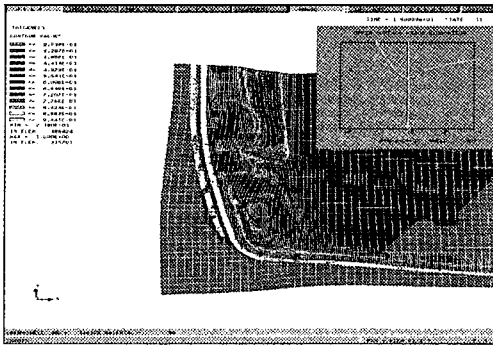


Fig. 14 Strain path of grill upper place after the first pre-trial simulation

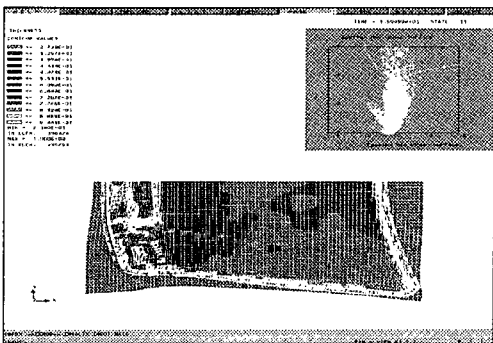


Fig. 15 Strain distribution of draw panel after the second pre-trial simulation

두께변화가 없는 것으로 보아 외판에서 가장 중요한 강성유지에 큰 효과를 나타내지 못함을 알 수 있다. Fig. 12는

두께변화 곡선으로 본넷 전면부의 두께변화를 알아 본 결과, grill 상단부와 하단부에서 크랙이 발생되었음을 알 수 있었다.

Fig. 13은 에너지 분포로서 운동에너지가 내부에너지의 10%이하이기 때문에 좋은 해석과정을 알 수 있었다. Fig. 14는 grill 상단부의 변형경로 곡선으로서 이부분은 평면변형상태이었고 크랙이 생겼음을 알 수 있었다.

전산트라이얼 1회의 해석결과는 grill 상단부의 형상이 R1.5로서 작은 형상이기 때문에 터졌고, 전면 lamp부도 R(R75)이 작아서 터진것으로 추정되어 홀딩력과 비드력을 낮춰 다시 2회 전산시물레이션을 시도하였다. Fig. 15는 사전시물레이션 2회때의 해석 결과이며 2회때의 해석 결과도 1회때와 같이 전면부에서 터진 것으로 나타났다. 그러나 패널전체에서 두께변화(0.42 mm~0.866 mm)는 두꺼운 것으로 나타났다. 두께변화에 대한 개선이 더 요구되어 홀딩력과 비드력을 더 낮추어 다시 3회 전산시물레이션을 시도한 결과, 3회때의 해석결과에서는 재료가 전면 드로우비드 부분에서 더 많이 유입되었고(Fig. 16) 두께변화(0.477 mm~0.879 mm)도 각 형상부의 성형특성에 맞게 개선되었다. 특히 패널중앙부의 두께변화가 약5% 정도의 신율을 나타내었고, 외곽에서는 최고 9%의 신율이 적용되어 외판의 특성을 고려한 충분한 강성이 유지될 것으로 판단되었다. 따라서 불구함 현상(주름, 크랙)과 강성효과가 홀딩력과 비드력에서 좌우된다는 것을 알 수 있었다.

2.3.4 트라이얼 대응 시물레이션

1차 현장 트라이얼결과 본넷 전면 grill 상단부 형상 R(R1.5)이 작고 또한 lamp부 형상 R(R75)이 작아서

크랙이 발생되었기 때문에 본넷 전면부 패널 유입량을 많게 하기 위하여 드로우비드 형상 R을 크게 하고, lamp부는 trim line 밖의 형상이기 때문에 R110으로 형상설변하여 1회 시뮬레이션 하였다. Fig. 17은 해석 결과를 FLD에 나타낸 그림이다. Fig. 17에서 보는바와 같이 FLC curve 아래에 몇 개의 요소들이 나타나 있는 것으로 보아 전면부에서 크랙이 발생할 것으로 예측되었다.

2차 현장 트라이얼결과 grill 상단부에 발생된 선밀림과 grill 우측 상단 코너부에 발생된 형상 부풀음을 없애기 위해서 1차 현장트라이얼 후 사상했던 드로우비드를 원래되로 회복시켰고, grill 우측 상단 코너부 R끝을 정점으로 하여 10 mm정도의 가형상을 만들어 유입을 흡수할 수 있도록 설변하고 2회 시뮬레이션 하였다. 2회 시뮬레이션결과, 1회 시뮬레이션보다 다소 안정된 상태로 나타났다. Fig. 18은 grill 우측 상단 코너부가 성형

이 진행되는 변형경로를 나타내고 있다. Fig. 18에서 보는바와 같이 최고 변형 안전영역을 10%를 감안하면 neck이 발생할 수 있을 것으로 예측되었다.

3차 트라이얼에서의 불구합 현상은 grill 상단 corner부에서 2차 해석에서 발생한 살물림 현상이 여전히 발생하였

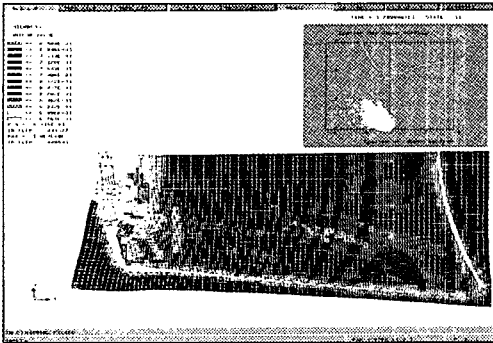


Fig. 17 Strain distribution of draw panel after the fourth trial simulation

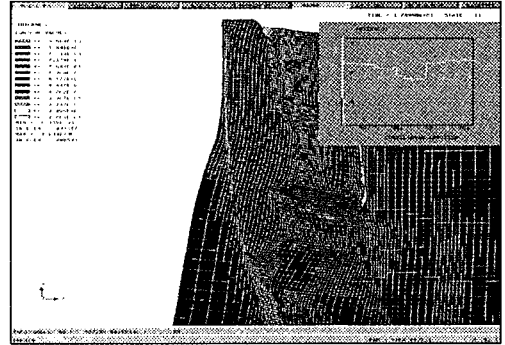


Fig. 19 Thickness distribution of grill upper place after the third trial simulation

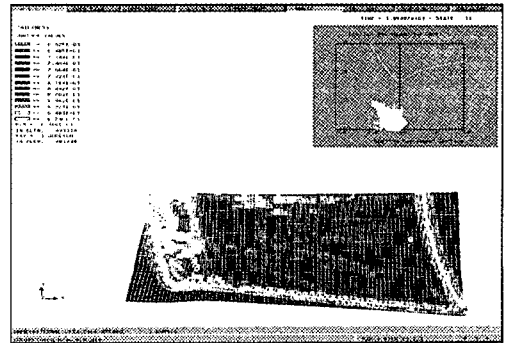


Fig. 20 Strain distribution of draw panel after the fourth trial simulation

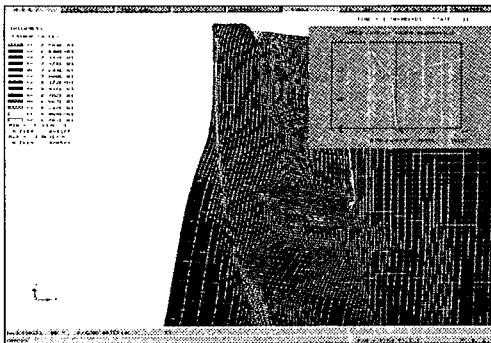


Fig. 18 Strain path of grill upper place after the second trial simulation

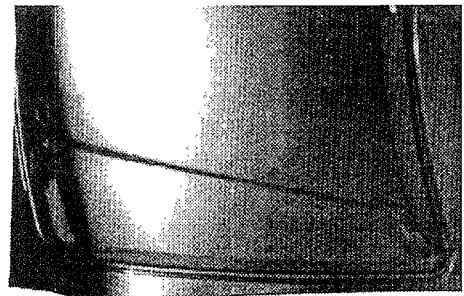


Fig. 21 Draw panel after the fourth try-out

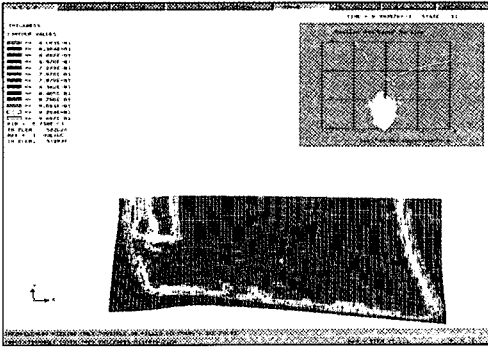


Fig. 22 Strain distribution of draw panel in case of SCP3 sheet

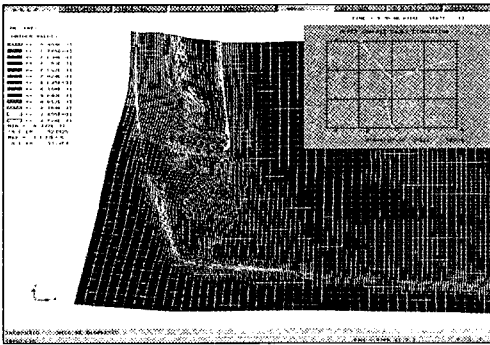


Fig. 23 Strain path of grill upper place in case of SCP3 sheet

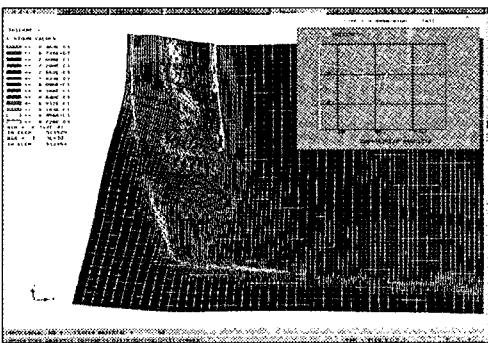


Fig. 24 Thickness distribution of grill upper place in case of SCP3 sheet

고, 측벽부에 크랙이 계속 발생되어 grill 코너부를 6 mm 더 성형시켰다. 그리고 다시 3회 시뮬레이션 해보았다. Fig. 19는 grill 상단 코너부에서의 두께변화를 보여주고

있다. Fig. 19에서 보는 바와 같이 코너부에서 약 1 mm 이상의 두께변화 현상을 볼 수 있다. 이곳은 현장 트라이얼에서 살물림이 발생된 부분으로서, 국부적인 성형불구합 현상이 발생된 곳이다.

4차 현장트라이얼에서는 grill 측면부 크랙이 약간의 neck으로 변했다. 따라서 4회 시뮬레이션 해석에서 적용시킨 사항은 grill 측면 lamp부를 R110에서 R170으로, grill 상단 코너부 안쪽으로 20 mm 더 성형시키는 조건으로 모델링하였다. Fig. 20은 4회 시뮬레이션 결과의 FLD이다. 4회 시뮬레이션결과 1, 2, 3차 현장트라이얼에서 발생된 성형불구합 현상은 grill 상단 코너부를 제외하고는 해결되었다. 즉 FLD에서 결과를 살펴보면 크랙의 안정영역을 10%로 보았을때 성형상 문제가 없는것으로 나타났고 실 트라이얼에서도 주름 및 크랙이 발생되지 않았다. Fig. 21은 현장트라이얼 결과 패널의 형상이다.

1, 2, 3, 4차 현장트라이얼후 grill 상단 코너부에 미세한 살물림현상이 남아있어 더 이상의 금형수정이 어려워 소재를 고장력강판(SHCP35)에서 일반 자동차용 냉연강판(SCP3)으로 대체하고 시뮬레이션하였다. Fig. 22는 시뮬레이션한 패널의 모양과 FLD를 나타내고있다. Fig. 22에서 보는바와 같이 안정영역을 10% 감안하여 작성된 FLC 아래에 요소들이 분포되어 있기 때문에 성형불구합 현상은 발생되지 않을 것으로 예측되었다. Fig. 23은 해석된 결과를 평가하기 위해서 grill 상단 코너부에서의 소성변형 경로를 나타낸 것이다. 이부분은 고장력강판을 사용했을 경우에는 현장 트라이얼과 시뮬레이션에서 살물림이 발생되었으나 일반강판을 사용하여 해석을 실시한 결과는 전혀 문제점이 없이 성형이 가능하다는 것으로 나타났다. Fig. 24는 grill 상단 코너부에서 두께분포를 나타낸 것이다. Fig. 24에서 보는바와 같이 SCP3 0.8t 패널 성형 안전신율을 34%로 보았을때 성형상 문제가 없는 것으로 나타났다.

3. 결 론

사전 시뮬레이션으로 설계평가를 하여 성형불구합 발생이 예측되는 부위를 알아보고, 설계안으로 제작된 금형의 현장트라이얼에 참가하여 현장트라이얼후 불구합이 발생된 부위를 설계변경과 아울러 유한요소 모델링에 반영하여 트라이얼 대응 전산해석을 실시하였다. 그리고 전산해

석과 현장트라이얼에서 블랭크홀딩력, 드로우비드력등의 공정변수가 전체성형공정에 어떠한 결과로 나타나는지도 알아보았으며, 공정변수의 조정으로도 성형이 되지않는 부분은 가형상 및 형상설변에 의한 전산해석도 실시하였다. 본 연구에서 얻은 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) 블랭크홀딩력과 드로우비드 형상에 의한 비드력의 변화에 따라 크랙 및 주름 발생을 사전에 예방할 수 있음을 전산해석과 현장트라이얼에서 알 수 있었다.

(2) 공정변수의 조정에 의해서도 성형이 되지않는 부분은 빠른 설계변경과 전산해석으로 트라이얼 횟수를 줄일 수 있었다.

(3) 사전 시뮬레이션에 의해서 설계 평가하여 성형불구합이 예측되는 부위를 파악한 후 현장트라이얼에 참가하여 트라이얼 횟수를 줄일수 있는 방안을 제시하였다.

(4) 현장 트라이얼 결과, 성형불구합이 발생된 부위에 대한 대책을 CAD 및 유한요소 모델링에 반영하여 트라이얼 대응 시뮬레이션을 해 봄으로서 전산해석 적용이 가능하다는 것을 입증하였다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참고문헌

- (1) 이종문, 김종원, 안병직, 금영탁, 1997, "자동차 패널 성형공정의 3차원 유한요소 해석에 관한 연구", 한국소성가공학회지, 제 6권 2호, pp. 152~160.
- (2) 이승열, 금영탁, 정관수, 박진무, 1994, "평면 이방성 박판 성형공정의 3차원 유한요소해석", 대한기계학회논문집, 제 18권, 제 18호, pp. 2113~2122.
- (3) 김현영, 김중재, 1993, "Explicit Code를 이용한 차체 Stamping 공정해석", KSAE'93 춘계학술대회논문집, pp. 290~297.
- (4) 이종문, 이한수, 문요희, 1996, "본네트 외부 패널의 현장 트라이와 설계해석에 관한 연구", 서해기보 제 2호, pp.1~22.
- (5) N.Rebel, J.C Nagtegaal, L.M. Taylor, and R. Passman, 1992, "Comparison of Implicit and Explicit Finite Element Method in the Simulation of Metal Forming Process", NUMIFORM92, pp. 290~297.
- (6) A. Honecker and K. Mattiasson, 1989, "Finite Element Procedures for 3D Sheet Forming", NUMIFORM89, pp. 457~463.
- (7) PAM-STAMP User's Manual.