

프런트 엔드 모듈 캐리어 어퍼 부재의 면품질 개선을 위한 금형설계 변경

김세호[#]

Design Modification of the Stamping Die for the Improvement of Surface Quality of the Front End Module Carrier Upper Member

S. H. Kim

(Received October 5, 2004)

Abstract

Design modification of the stamping die for the upper member of a front end module carrier is carried out in order to improve the surface quality of the final product. The small inferiority induced by wrinkling near the wall of the upper member has been inspected after the draw-forming process. The finite element analysis is pursued with the whole geometry in order to consider the complicated shape. The simulation shows that the excess metal is developed by the irregular contact of the blank the tool and it remains after the final stroke. This paper proposes two guidelines for the modification. One is to add the draw-bead near the critical region in order to increase the draw-in force. The other is to modify the tool shape such as the forming shape at the wall in order to absorb the excess metal before the final stroke. Simulation results show that the proposed guidelines both guarantee the improved surface quality.

Key Words : Surface Quality, Design Modification, Front End Module Carrier

1. 서 론

현재 자동차 업계에서는 소비자 중심으로 기능뿐만 아니라 미관이 매우 수려하고 면품질이 우수한 제품을 개발하기 위한 노력이 계속되고 있다. 이에 따라 유선형의 스타일링 및 제품의 곡률반경이 매우 작은 제품들을 설계에 많이 반영하고 있는 실정이다. 또한, 최근 들어 연비 향상의 목적으로 차량의 경량화가 이루어 지고 있으며, 각종 충돌안전 법규의 강화에 의하여 고강도 강판의 사용이 높아지고 구조용 부재의 형상이 복잡해지는 추세이다. 업체 자체의 품질 기준 강

화에 의하여 외관상으로 드러나는 부분의 면품질, 주름 및 크랙의 발생 등 기존의 제품에서는 거의 무시되었던 문제들이 불량 판정의 대상으로 선정되고 있다. 이러한 제품은 미관 및 성능의 관점에서는 매우 우수한 제품성을 가지나 금형 설계 및 생산의 관점에서는 난이도가 점점 높아져 설계에 부담이 가중되고 있다.

프런트 엔드 모듈 (front end module: FEM)은 Fig. 1에 도시한 바와 같이 차량 전단부에 장착되는 부품을 모듈화한 부품으로 범퍼 백빔, 헤드램프, 라디에이터 및 캐리어를 포함한다. 캐리어는 라디에이터 및 헤드램프 등을 지지하며, 범퍼와 차체를

[#] 교신저자: 대구대학교 자동차·산업·기계공학부
E-mail: mvksh@daegu.ac.kr

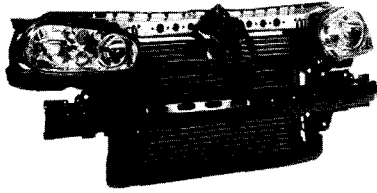


Fig. 1 Front end module in the auto-body

연결하는 기능을 하는 부품으로서 수리 시 후드를 열었을 때 소비자에게 외관상으로 드러나는 제품이므로 도장 등의 시각 측면도 고려해야 한다. 기존에는 강판을 프레스 가공하고 용접하여 제작하였던 라디에이터 서포트(radiator support) 개념에서 차량의 경량화, 모듈화에 따라 프론트 엔드 모듈로 점점 장착이 증가되는 추세이다. FEM은 기존 제품에 비해 조립 비용 절감, 저속 충돌 수리비 저감, 미려한 외관 등의 장점이 있다.

FEM 캐리어 어퍼 부재는 프레스 가공 후 해당 제품에 사출을 하여 타부재와 조립하는 방식인 인서트 사출을 하고 있는데, 인서트 사출을 하기 위해서는 전단계인 박판성형 공정이 매우 정밀하게 수행되어야만 한다. 따라서, 금형의 곡률 반경 등 미세한 부분의 공차가 정확하게 지켜져야 한다. 또한, 제품의 길이가 차폭과 거의 동일한 수준이며, 금형 최소 반경이 1-2mm 수준으로 성형시 국부의 문제점 발생의 가능성을 가지고 있다.

박판성형공정의 해석기술은 현재 자동차, 전자, 선박, 항공 등의 산업현장에서 사용되는 부품들의 생산공정에서 널리 사용되고 있다. 해석을 통해서 각 공정의 전단계에서 실제공정에서 일어날 수 있는 파단, 주름 등의 불량을 파악하고 공정을 개선하는데 주로 이용되며 현장의 트라이 아웃의 횟수 및 금형 제작 비용을 감소시키는데 긍정적인 효과를 보고 있다[1~3].

주름발생은 해석을 통하여 어느 정도 예측이 가능하나 주름형상의 정확한 예측은 매우 어려우며, 주름의 발생의 원인을 찾는 방법이 효율적으로 알려져 있다. Kim 과 Yang[4]은 일반적인 박판성형공정에서 내연적 유한요소법과 분기좌굴이론을 사용하여 주름발생을 예측하였으며, Nordlund [5]는 유한요소해석 결과중 응력과 변형률을 이용한 주름발생 예측계수를 이용하여 주름을 예측하였다.

본 논문에서는 FEM 캐리어 어퍼 부재의 성형 과정에서 발생한 국소 부위의 면불량에 의한 품

질 저하 문제를 해결하기 위하여 성형공정의 유한요소해석을 수행하였다. 길이 대 곡률반경이 매우 큰 제품의 형상 특성상 많은 요소를 사용하여 금형 및 블랭크의 유한요소 모델링 및 해석을 수행하고, 변형기구의 문제점을 파악하여 원인을 분석하였다. 본 논문에서 찾고자 하는 결과는 미세한 면불량으로 제품의 일부분에 국소적으로 발생하므로 정확한 면불량의 모사는 매우 어렵다. 본 논문에서는 국소 면불량의 원인을 밝혀내고자 접촉의 불균일이라는 금형설계 관점에서 접근하였다. 파악된 문제점을 바탕으로 금형의 수정안을 제시하였다. 수정안의 타당성을 확인하기 위하여 유한요소해석을 실시하여 검증하였다. 변형형상만으로는 설계변경의 효과를 알기가 어려우므로 접촉양상을 통하여 정성적으로 주름발생 가능성을 검토하였으며, 편차와 블랭크의 거리를 이용하여 설계변경의 효과를 정량적으로 검증하였다.

2. 유한요소 해석 및 분석

2.1 해석 대상물

본 논문의 대상은 SUV 차량의 FEM 캐리어 어퍼 부재로서 Fig. 2의 형상을 가지고 있다. 성형중 Fig. 3과 같이 부재 측부 벽면 부위의 면불량 등의 국부 결함이 발생하였다. 불량 발생 부위는 Fig. 2의 A와 B 부위에 해당한다. 제품은 프레스 성형 후 전착도장을 하게 되는데 도장면의 빛 반사에 의하여 결함이 두드러져 보이는 문제점이 발생한다. 불량은 성형 공정 설계 중에 발견되었으며 현장에서 금형 수정 및 시험을 위주로 한

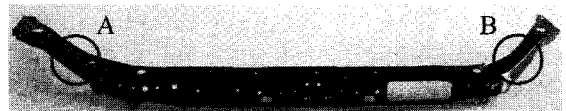


Fig. 2 Upper member of the front end module carrier

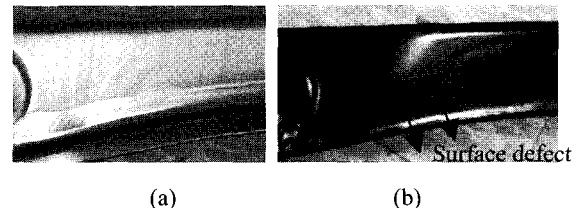


Fig. 3 Surface inferiority and small wrinkling in the side member part A and B: (a) before painting; (b) after painting

트라이 아웃 과정에서 개선되지 않았다. 어퍼 부재는 제품의 특성상 성형 시 벽면이었던 방향이 부품 장착 시에 상향으로 장착하게 되어 벽면의 아이어닝에 의한 굽힘 및 면불량의 발생은 곧 면품질의 저하로 이어지게 된다.

어퍼 부재는 길이 1400mm 이며, 높이가 330mm, 다이 어깨부 최소 반경이 1.5mm 인 형상을 가지고 있다. 따라서, 유한요소 해석을 하기에는 매우 복잡한 형상이며 많은 요소 분할이 필요한 제품이다.

2.2 해석 조건

부재의 실제 스탬핑 공정은 OP10-OP50에 이르는 다섯 단계로 이루어 지나, 불량률이 시작되는 OP10 드로우 성형 공정만을 해석 대상으로 하였다. Fig. 4에는 OP10 드로우 성형용 금형 다이면의 3차원 CAD 데이터를 도시하였다. 드로우 비드는 제품면을 따라 원형 및 사각형의 형상으로 되어 있으며, 제품 하면의 변형률을 크게 하기 위하여 단비드를 부과하였다. Fig. 5에는 금형 및 블랭크의 형상을 도시하였다. 금형 및 블랭크는 셀요소로

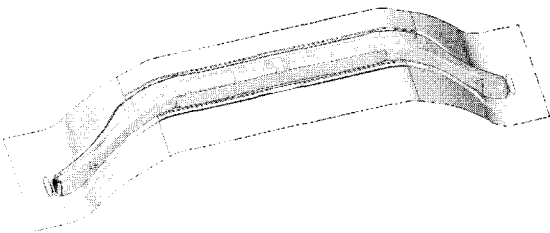


Fig. 4 3D CAD model of the tool for the stamping of the upper member of FEM carrier

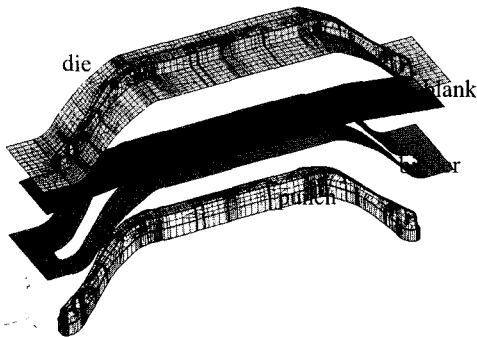


Fig. 5 Finite element model of tools and the blank for the analysis of upper member of FEM carrier

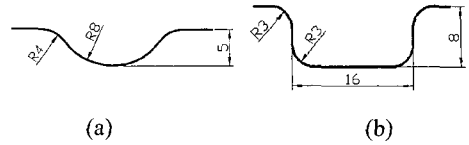


Fig. 6 The schematic diagram of draw-beads: (a) circular bead; (b) rectangular bead

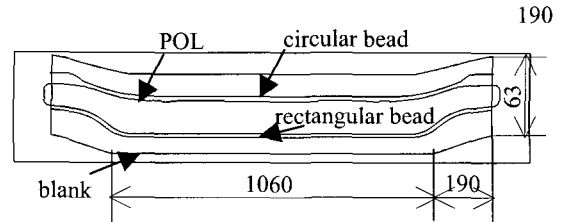


Fig. 7 Draw-bead line with the punch opening line (POL) at the binder-wrap stage

모델링하여 해석하였다. 펀치와 다이의 곡률부 반경을 정확히 모사하기 위하여 곡률부에 최소 6개의 요소를 사용하였다. 금형 모델링에 사용된 절점 수는 52,113개이며, 요소 수는 34,750개이다. 초기 블랭크는 요소 한변의 크기가 5mm 이며, 17,862개의 절점과 17,514개의 요소가 사용되었다. 해석은 상용유한요소 프로그램인 LS-DYNA3D[6]를 사용하였다. 블랭크는 아연도금 강판인 SGA RC 350이며 두께는 0.6mm 이다. 강판의 항복곡선은 $\sigma = 639(0.01 + \epsilon)^{0.255}$ MPa 으로 표현된다. 재료는 수직 이방성으로 가정하였으며, 이방성 계수는 1.6 이다. 블랭크와 금형은 무윤활 조건이며, 해석에서는 쿨롱 마찰계수 0.15로 근사하였다. 초기설계의 블랭크 홀딩력은 400 kN 로 부과하였다.

Fig. 6에 해석에 사용된 드로우 비드 단면 형상을 도시하였다. 드로우 비드를 근사하기 위하여 Song 등[7]의 방법에 따라 비드 중심선의 형상과 드로우 비드의 2차원 성형 해석에서 구한 상당 드로우 비드 구속력을 부과하였다. 원형 비드의 경우 0.5kN/mm의 구속력을 부과하였으며, 사각 비드의 경우 0.6kN/mm의 구속력을 부과하였다. Fig. 7에는 펀치 오프닝선과 비드력이 부과되는 비드의 중심선을 함께 도시하였다. 펀치 성형공정 경우 금형의 최소 곡률반경에 비하여 블랭크의 요소가 너무 크므로 적응적 요소 세분화 기법을 사용하여 해석이 진행됨에 따라 접촉이 일어나는 부위의 요소가 세분화되도록 하였다. 해석 시간을 단축시키기 위하여 재료의 밀도를 10배 증가시켜

시간 증분의 크기를 증가시켰다. 펀치의 속도로 2 m/s를 부과하였다. 해석은 블랭크 홀더를 다이먼으로 내려 블랭크를 고정시키는 바인더랩 해석과 펀치성형 공정의 해석으로 나누어 2단계로 실시하였다.

2.3 해석 결과 및 분석

2.2절에서 기술한 해석조건을 바탕으로 해석을 수행한 결과로 Fig. 8에 바인더랩 공정 및 펀치 성형 공정의 변형형상을 도시하였으며, Fig. 9에 1단계 공정 후의 제품형상과 비교하였다. 전체적으로 변형형상이 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있으며, 특히 외곽 플랜지부의 형상이 잘 일치하고 있다. Fig. 10에는 실제 제품에서 면불량 및 미소 주름이 발생하였던 측면 부위의 형상을 해석과 실제 제품을 비교 도시 하였다. 해석의 경우 실제 제품과 거의 동일한 위치에서 유사한 형태의 면불량을 보이고 있음을 알 수 있으며, 이는 본 해석이 매우 복잡한 형상을 가지는 공정에서도 국부적인 문제점을 잘 모사하고 있음을 보인다. 면불량을 정량적으로 알아보기 위하여 최종성형 완료 후 Fig. 11에 도시한 단면 C-C'에서 측벽부를 따라 블랭크의 절점과 펀치사이의 수직 거리를 Fig. 12에 도시하고, 블랭크의 주름 정도를 고찰하였다. 블랭크의 중립축과 펀치면의 접촉 거리 편차가 최대 0.22mm였으며 접촉거리가 불균일하게 변화하는 경향을 보인다. 이는 작은 주름형태의 면불량이 발생하였음을 정량적으로 보여준다.

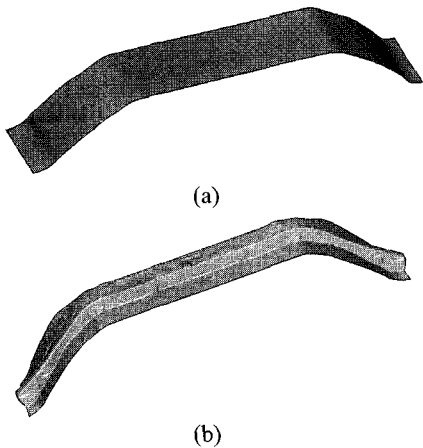


Fig. 8 Deformed shape of the blank in the stamping process of the upper member of FEM carrier: (a) binderwrap; (b) punch forming

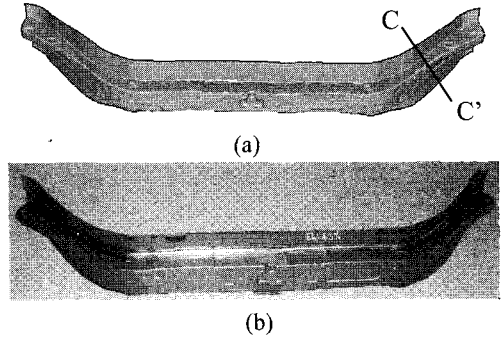


Fig. 9 Comparison of the deformed shape in the stamping process of the upper member of FEM carrier: (a) analysis of the forming process; (b) experiment after the OP10 stage

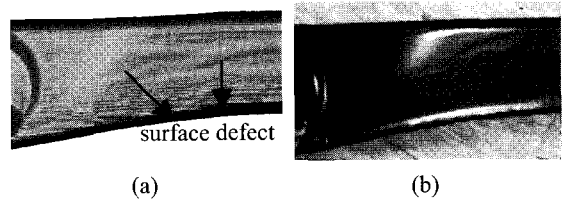


Fig.10 Surface defects inspected in the final product: (a) analysis; (b) experiment

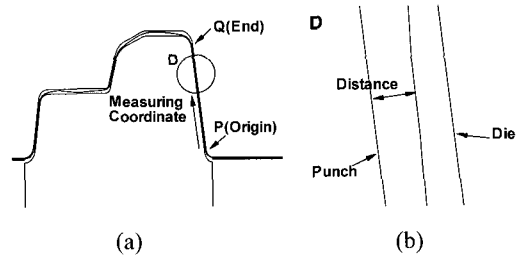


Fig.11 Geometric information for measuring surface inferiority: (a) measuring point and direction; (b) measuring method

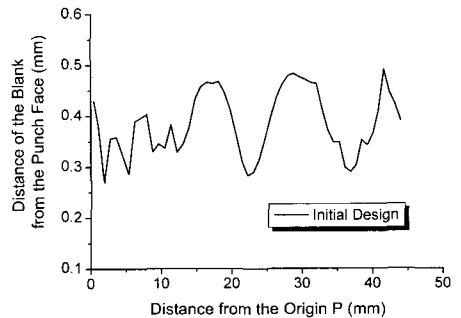


Fig.12 Distance of the blank with the initial design at the wall from the punch face

2.4 불량률의 원인 분석

불량률의 원인을 파악하기 위하여 성형이 완료되기 전 중간단계의 펀치행정에서의 블랭크의 변형 형상을 검토하였다. Fig. 13에는 펀치행정이 각각 55.5mm, 73.5mm, 81mm 일 때 블랭크의 변형 형상을 도시하였다. 펀치행정 55.5mm 일 때, 불량률 발생하는 부재 측면의 블랭크는 펀치 및 다이에 접촉하고 있으나 불량 부위는 금형과 접촉하지 않고 여유(excess metal)이 발생하는 것을 알 수 있다. 펀치행정 73.5mm 에서 여유가 벽면부로 물리는 현상이 심화되고 있으며, 성형이 거의 종료되는 펀치행정 81mm 에서는 벽면부의 여유가 면불량으로 남게 된다. 최종 펀치 행정이 될 때 직벽부에 있는 여유가 인장력을 거의 받지 못하여 주름의 형태로 남게 된다.

Fig. 14에는 Fig. 8의 C-C' 단면에서 성형중 블랭크와 금형의 변형 및 접촉 상태를 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 성형초기에 블랭크가 펀치 윗면에 균일하게 접촉하지 않는다. 또한, 접촉하지 못하는 부분의 드로잉 비가 가장 크며 반대쪽 단면이 완만하게 깎여 있어 펀치행정이 진행되어도 펀치와의 접촉이 지연된다. 이러한 현상으로부터 여유가 벽면부로 집중되게 된다. 최종 펀치행정 시에 여유가 인장되어 벽면부를 형성하나 성형 공정 중 충분한 인장력을 받지 못하므로 형상 동결성이 저하되어 면불량이 발생된다. Fig. 15에 OP10 성형이 완료된 제품의 내부면을 도시하였다. 블랭크의 일부분이 금형과 접촉되지 않아 굽지 않은 흔적을 확인할 수 있었다.

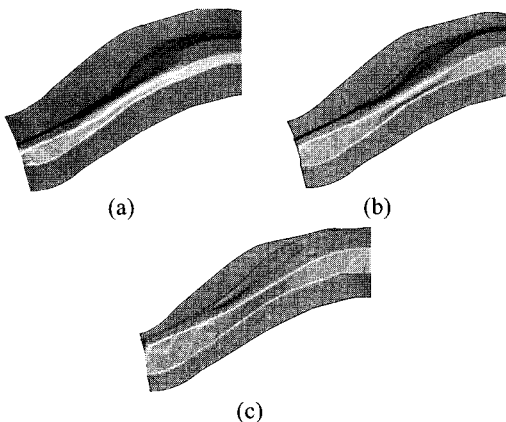


Fig.13 Deformed shape of the blank during the stamping process with the initial design at the punch stroke of (a) 55.5 mm; (b) 73.5 mm; (c) 81 mm

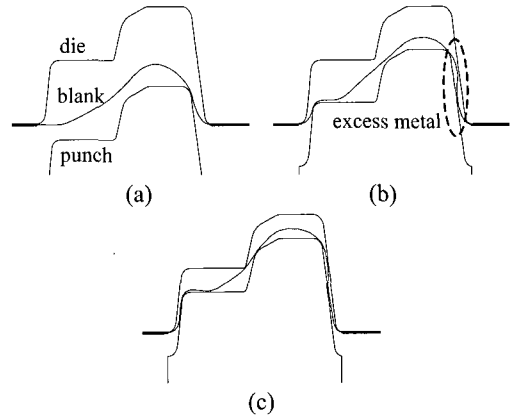


Fig.14 Cross section of the blank and the tools along the section C-C' with the initial design at the punch stroke of (a) 55.5 mm; (b) 73.5 mm; (c) 81 mm



Fig.15 Inner side of the blank after stamping for the confirmation of the contact condition

3. 해석을 이용한 금형 설계 변경

2 절에 기술한 바와 같이 제품 성형상의 문제는 불규칙한 접촉 및 드로잉 비의 변화이다. 이러한 문제점을 해결하는 가장 쉬운 방법은 제품면 형상을 수정하는 것이나, 이는 제품 설계 시에 성형성을 동시에 고려하여야만 가능하다. 제품설계 이후에는 차량 부품 설계 및 생산의 특성상 제품의 형상을 변경하는 것을 어렵다. 대안으로 기존의 형상을 기능성 면에서 이상이 없는 한도 내에서 약간 변경하거나 경계조건을 변경하는 방법이 대안으로 제시될 수 있다. 본 논문에서는 면불량을 제거하기 위한 방법으로 블랭크 홀딩력의 증가, 더블 비드의 추가, 제품면의 포밍 (forming) 형상 추가를 제안하고 설계 변경의 효과를 유한요소해석을 통하여 검증하였다.

3.1 블랭크 홀딩력 증가

첫번째 경우로 블랭크 홀딩력을 550 kN 으로 증

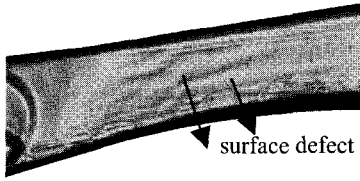


Fig.16 Deformed shape of the blank with the increased blank holding force

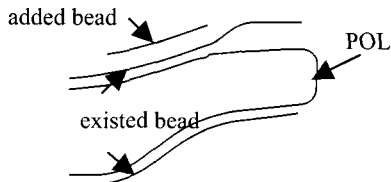


Fig.17 Location of the draw-bead with the punch opening line with the double draw-bead

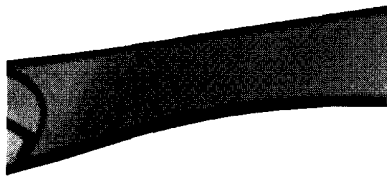


Fig.18 Deformed shape of the blank with double draw-bead near the critical region

가시켜 해석을 수행하였다. Fig. 16 에서 알 수 있듯이 불량 부위가 크게 개선되지 않았으며, 타 부위 파단의 가능성만 증가하게 된다. 블랭크 홀딩력은 전반적인 재료의 유동에 영향을 주나, 국부적인 문제점을 해결할 수 없으므로 이러한 결과가 얻어진다고 분석되었다.

3.2 더블 비드의 설치

두번째 경우로 Fig. 17과 같이 문제가 발생하는 부위의 바인더에 더블 비드를 설치하여 해석을 수행하였다. Fig. 18에 도시한 해석 결과에서 알 수 있듯이 불량 부위 블랭크에 구속력이 증가하면서 여육의 발생이 줄어들어 불량률이 감소하고 있음을 확인할 수 있다. 본 해석에서는 비드를 상당 구속력으로 모사하여 부과하였으므로, 국부에 비드를 설치할 경우 블랭크 홀더면의 형상변화에 의한 재료 유동의 변화가 발생하여 비드 주위에 살물림 및 파단 등의 문제점이 발생할 수도 있다.

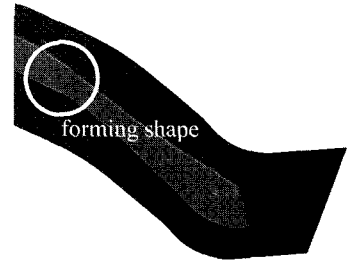


Fig.19 Shape of the forming at the wall of the punch for the absorption of the excess metal

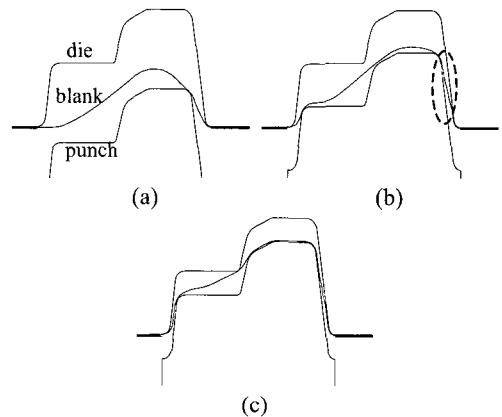


Fig.20 Cross section of the blank and the tools along the section C-C' with the forming shape at the punch stroke of (a) 55.5 mm; (b) 73.5 mm; (c) 81mm

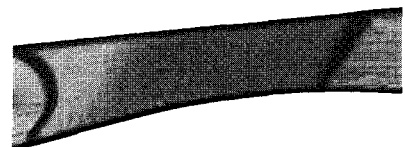


Fig.21 Deformed shape of the blank with the forming shape

3.3 포밍형상 추가

세번째 경우로 Fig. 19와 같이 금형의 벽면에 포밍 형상을 추가하여 해석을 수행하였다. Fig. 20에 도시한 단면 C-C'에서의 중간단계 변형형상에서 알 수 있듯이 포밍이 여육을 흡수하고, 포밍을 설치한 금형면에 블랭크가 접촉하여 충분한 인장력을 받게된다. 따라서, 제품면 형상을 수정할 경우 면불량이 쉽게 제거됨을 확인할 수 있다. Fig. 21에는 불량률이 제거된 최종설계안의 면을 도시하였다. 여육의 흡수에 따라 면불량이 제거된 것을

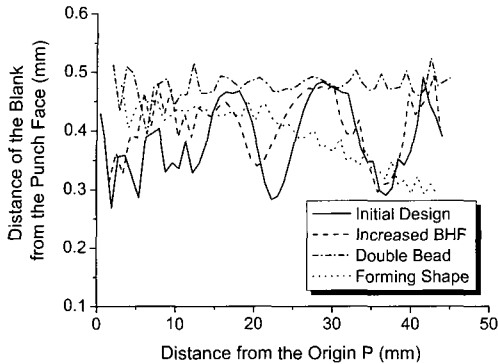


Fig.22 Distance of the blank at the wall from the punch face with the initial and modified design

확인할 수 있다. Fig. 22에는 불량 발생하였던 단면 C-C에서 블랭크의 절점과 펀치면 사이의 수직 거리를 비교 도시하였다. 블랭크 홀딩력을 증가시킨 경우에는 벽면에서 블랭크 절점과 펀치면의 거리가 불규칙하게 변화하고 있어 불량이 개선되지 않은 점을 확인할 수 있었다. 반면에 더블비드를 설치한 경우와 포밍 형상을 추가한 경우에 펀치와의 거리변화 편차가 현저하게 감소하여 불량이 개선됨을 확인할 수 있었다.

더블비드를 추가한 경우가 포밍 형상을 추가한 경우보다 우수한 면품질을 보이고 있으나 바인더의 국부적인 영역에 비드를 설치할 경우 비드 주변의 살물림 등의 불량이 발생할 가능성도 있다. 포밍 추가의 경우는 설계초기에서 적용한다면 가장 쉬운 방법이 될 수 있지만 양산중 발생한 문제일 경우 제품형상을 수정하여야 하는 문제점이 생기므로 실제 공정변수 수정의 경우에 생산 및 설계의 측면을 모두 고려하여 결정하여야 할 것이다.

4. 결론

본 논문에서는 길이 대 최소 곡률 반경이 매우 크고 복잡한 형상을 가지는 자동차용 프런트 엔드 모듈 캐리어 어퍼 부재의 유한요소 성형해석을 수행하여 국소부위의 면불량에 의한 품질 불합격 문제를 개선하였다. 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 프런트 엔드 모듈 캐리어 어퍼 부재의 성형

공정을 유한요소 해석하고 불량이 발생하는 부위의 형상을 실제와 비교하여 해석의 정확성 및 타당성을 검증하였다.

(2) 제품의 성형공정 중 발생하는 측면부 면불량의 원인을 찾기 위하여 성형공정의 변형기구를 분석하였으며, 그 결과 금형과 블랭크의 불균일한 접촉 및 드로잉 비 변화가 원인임을 밝혀 내었다.

(3) 제품의 불량을 개선시킬 방안으로 블랭크 홀딩력 증가, 더블 비드 국부 설치, 제품면 상에 포밍 설치 등의 세가지 안을 제시하여 해석을 수행하였다. 해석결과 비드 설치 및 제품면 수정이 성형상의 문제점을 해결하였음을 보였다.

후 기

이 논문은 2004학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임.

참 고 문 헌

- [1] 전기찬, 1993, 박판금속의 성형 -이론과 실제-, 반도출판사.
- [2] H. Huh, K. P. Kim, S. H. Kim, J. H. Song, H. S. Kim, S. K. Hong, 2003, Crashworthiness Assessment of Front Side Members in an Auto-body considering the Fabrication Histories, Int. J. Mech. Sci., Vol. 45, pp. 1645~1660.
- [3] 김영석, 이택근, 김성태, 2000, 로우암 프레스 성형 조건의 최적화를 위한 CAE 기술의 적용, 한국소성가공학회지, 제 9 권, 제 3 호, pp. 257~264.
- [4] J. B. Kim, D. Y. Yang, 2003, Prediction of Wrinkling Initiation in Sheet Metal Forming Processes, Eng. Comput., Vol. 20, pp. 6~39.
- [5] P. Nordlund, 1998, Adaptivity and Wrinkling Indication in Sheet Metal Forming, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg., Vol. 161, pp. 127~143.
- [6] J. Hallquist, 2001, LS-DYNA3D Keyword User's Manual-Version 960, Livermore Software Technology Corporation.
- [7] 송정환, 허 훈, 김세호, 김승호, 2005, 해석적인 방법을 이용한 복잡한 형상의 자동차 부재 스탬핑 공정에서의 주요 설계인자 연구, 한국소성가공학회지, 제 14 권, 제 1 호, pp. 21~28.