

# 유한요소해석을 이용한 자동차용 박판부재의 감성품질 개선

김세호\*

## Improvement of Feeling Quality of a Stamped Member for an Autobody with the Finite Element Analysis

S. H. Kim

### 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 feeling quality of the final product. The small inferiority induced by wrinkling near the wall of the FEM upper member has been inspected after the draw-forming process. The finite element 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; and the other is to modify the tool shape such as the forming shape at the wall. Simulation results show that the proposed guidelines both guarantee the improved feeling quality.

**Key Words** : Feeling Quality(감성품질), Front End Module Upper Member(프런트 엔드 모듈 어퍼 멤버)

### 1. 서론

현재 자동차 업계에서는 소비자 중심으로 기능뿐만 아니라 미관이 매우 수려하고 감성품질이 우수한 제품을 개발하기 위한 노력이 계속되고 있다. 또한, 최근 들어 연비 향상의 목적으로 차량의 경량화가 이루어지고 있으며, 각종 충돌안전 법규의 강화에 의하여 고강도 강판의 사용이 높아지고 구조용 부재의 형상이 복잡해지는 추세이다. 업체 자체의 품질 기준 강화에 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. 이중 캐리어는 라디에이터 및 헤드램프 등을 지지하며, 범퍼와 차체를 연결하는 기능을 하는 부품으로서 수리시 후드를 열었을 때 소비자에게 외관상으로 드러나는 제품이므로 도장 등의 시각 및 감성 측면도 고려해야 한다. 기존에는 강판을 프레스 가공하고 용접하여 제작하였던 라디에이터 서포트 (radiator support) 개념에서 차량의 경량화, 모듈화에 따라 프런트 엔드 모듈로 점점 장착이 증가되는 추세이다. FEM은 기존 제품에 비해 조립 비용 절감, 저속 충돌 수리비 저감, 미려한 외관 등의 장점이 있다.

FEM 어퍼 멤버(upper member)는 프레스 가공 후 사출을 하여 타부재와 조립하는 방식인 인서트

\* 대구대학교 자동차·산업·기계공학부

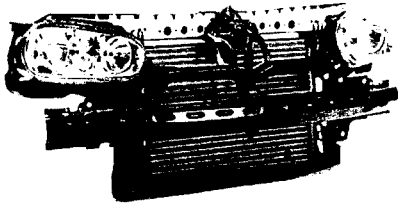


Fig. 1 Front end module in the auto-body

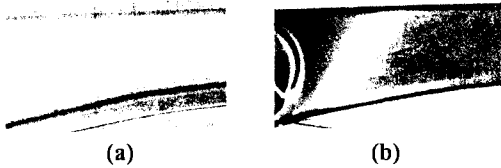


Fig. 2 Surface inferiority and small wrinkling in the side member part: (a) before painting; (b) after painting

사출을 하고 있는데, 이를 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 1-2 mm 수준으로 성형 시 국부의 문제점 발생의 가능성을 가지고 있다.

본 논문에서는 FEM 어퍼 멤버의 성형과정에서 발생한 국소 부위의 면불량에 의한 감성품질 저하 문제를 해결하기 위하여 성형공정의 유한요소 해석을 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. 파악된 문제점을 바탕으로 금형의 수정안을 제시하였다. 수정안의 타당성을 확인하기 위하여 유한요소해석을 실시하여 검증하였다.

## 2. 유한요소해석

### 2.1 해석 대상물

본 논문의 대상인 프런트 엔드 모듈 어퍼 멤버(front end module upper member)는 차량의 라디에이터를 지지하는 구조물로서 진동 및 충동에 관련된 중요한 역할을 하고 있다. 또한, 차량 후드를 열었을 때 소비자에게 외관상으로 드러나는 부분이며, 인서트 사출의 전단계 공정이므로

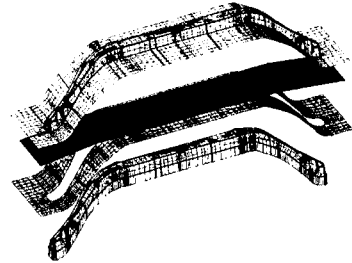


Fig. 3 Initial setting of tools and the blank for the analysis of the FEM upper member

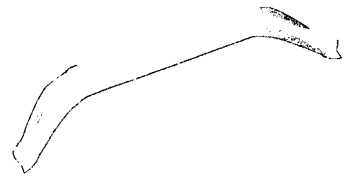


Fig. 4 Deformed shape in the stamping process for the FEM upper member with FE analysis

프레스 가공 시 정밀도를 만족해야 한다.

어퍼 멤버 성형 시 Fig. 2 와 같이 부재 사이드 벽면 부위의 면불량 등의 국부 결함이 발생하였다. 제품은 프레스 성형 후 전착도장을 하게 되는데 도장면의 빛 반사에 의하여 결함이 더욱 잘 보이는 문제점이 발생한다. 이러한 불량에 성형 공정 설계 중에 발견되었으며 시험 및 금형수정을 위주로 한 트라이 아웃 과정에서는 해결되지 못하였다. 어퍼 멤버는 제품의 특성상 성형 시 벽면이 부품 장착 시에 상향으로 장착하게 되어 면불량의 발생은 곧 감성품질의 저하로 이어지게 된다.

### 2.2 해석 조건

FEM 어퍼 멤버의 실제 스탬핑 공정은 OP10-OP50 에 이르는 다섯 단계로 성형이 이루어 지나, 불량이 발생하는 OP10 드로잉 공정만을 해석 대상으로 하였다. Fig. 3 에는 금형 및 블랭크의 형상을 도시하였다.

블랭크는 35kgf 급 아연도금 강판인 SGARC 350 이며 두께는 0.6 mm 이다. 해석에 사용한 블랭크 홀딩력은 400 kN 이다. 드로오 비드를 근사하기 위하여 Park 등<sup>(1)</sup>의 방법에 따라 비드 중심선의 형상과 비드의 2 차원 성형 해석에서 구한 상당 비드 구속력을 부과하였다. 적응적 요소 세분화 기법을 사용하여 해석이 진행됨에 따라 접촉이 일어나는 부위의 요소가 세분화 되도록 하였다.

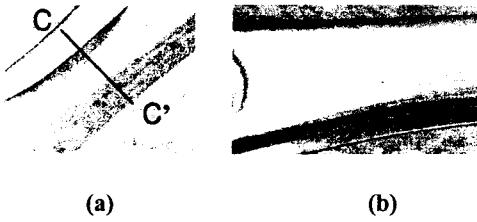


Fig. 5 Surface defect inspected in the final product: (a) analysis; (b) experiment

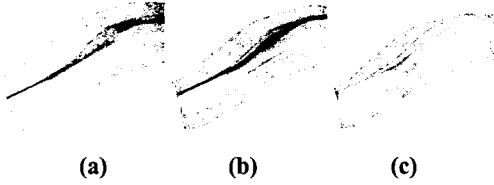


Fig. 6 Deformed shape of the blank during the forming process at the punch stroke of (a) 55.5 mm; (b) 73.5 mm; (c) 81 mm

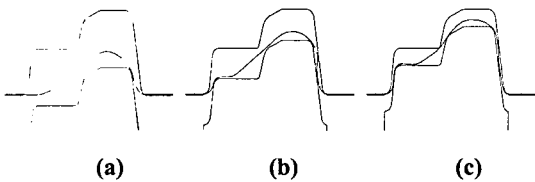


Fig. 7 Cross section of the blank and the tools at the punch stroke of (a) 55.5 mm; (b) 73.5 mm; (c) 81 mm

### 2.3 해석 결과 및 분석

2.2 절에서 기술한 해석조건을 바탕으로 해석을 수행한 결과로 Fig. 4 에 펀치 성형 공정의 변형형상을 도시하였다. Fig. 5 에는 실제 제품에서 면불량 및 미소 주름이 발생하였던 사이드 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.

### 2.4 불량량의 원인 분석

불량의 원인을 파악하기 위하여 성형이 완료되기 전 중간단계의 펀치행정에서의 블랭크의 변형형상을 검토하였다. Fig. 6 에는 펀치행정이 각각 55.5 mm, 73.5 mm, 81 mm 일 때 블랭크의 변형형상을 도시하였다. 펀치행정 55.5 mm 일 때, 불량

이 발생하는 부재 사이드의 주위의 블랭크는 펀치 및 다이에 접촉하고 있으나 불량 부위는 금형과 접촉하지 않고 여육이 발생하는 것을 알 수 있다. 펀치행정이 진행되면 여육이 벽면부로 물리는 현상이 심화되고 있으며, 벽면부의 여육이 면불량 및 주름으로 남게 된다.

Fig. 7 에는 단면 C-C'에서 블랭크와 금형의 접촉상태를 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 성형 초기에 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 여육이 벽면부로 집중되게 되어 최종성형 시 여육이 어느 정도 인장되어 벽면부를 형성하나 성형 공정 중 충분한 인장력을 받지 못하므로 면불량이 발생된다.

## 3. 금형설계 변경

2 절에 기술한 바와 같이 제품 성형상의 문제는 불규칙한 접촉 및 드로잉 비의 변화이다. 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 경우 (CASE 1) 로 블랭크 홀딩력을 550 kN 으로 증가시켜 해석을 수행하였다. Fig. 8 에서 알 수 있듯이 불량 부위가 개선되지 않았으며, 타 부위 파단의 가능성만 크게 증가하게 된다. 블랭크 홀딩력은 전반적인 재료의 유동에 영향을 주나, 국부적인 문제점을 해결할 수 없으므로 이러한 결과가 얻어진다고 분석되었다.

### 3.2 드로우 비드 추가

두번째 경우(CASE 2) 로 문제가 발생하는 부위의 블랭크 홀더에 Fig. 9 와 같이 더블 비드를 설치하여 해석을 수행하였다. Fig. 10 에 도시한 해석 결과에서 알 수 있듯이 불량 부위 블랭크에 구속력이 증가하면서 여육의 발생이 줄어들어 불량이 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 등의 문제점이 발생할 수도 있다.



Fig. 8 Deformed shape of the blank when the blank holding force is increased (CASE 1)

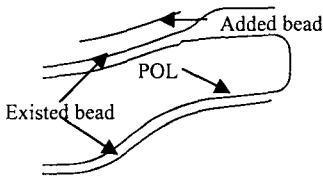


Fig. 9 Location of the draw-bead with the punch opening line in the CASE 2

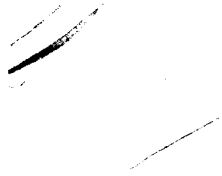


Fig. 10 Deformed shape of the blank when the double bead is added near the critical region (CASE 2)

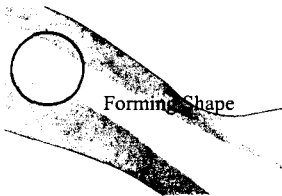


Fig. 11 Shape of the forming at the wall of the punch and the die in the CASE 3

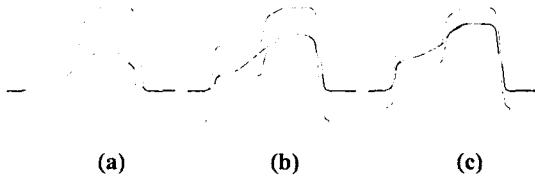


Fig. 12 Subsequent deformed shapes of the blank when the forming is added near the critical region (CASE 3) at the punch stroke of (a) 55.5 mm; (b) 73.5 mm; (c) 81 mm

### 3.3 포밍 추가

세번째 경우(CASE 3)로 Fig. 11 과 같이 금형의 벽면에 포밍 형상을 추가하여 해석을 수행하였다. Fig. 12 에 도시한 중간단계 변형형상에서 알 수 있듯이 포밍이 여유를 흡수하고, 포밍을 설치한 금형면에 블랭크가 접촉하여 충분한 인장력을 받게된다. 따라서, 제품면 형상을 수정할 경우 면불량이 쉽게 제거됨을 확인할 수 있다.

## 4. 결론

본 논문에서는 길이 대 최소 곡률 반경이 매우 크고 복잡한 형상을 가지는 자동차 구조용 박판 부재의 유한요소 성형해석을 수행하여 국소부위의 면불량에 의한 감성품질 불합격 문제를 개선하였다. 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 프런트 엔드 모듈 어퍼 멤버의 성형 공정을 유한요소 해석하고 제품의 성형과정 중 발생하는 측면부 면불량의 원인을 찾기 위하여 성형공정의 변형기구를 분석하였으며, 그 결과 금형과 블랭크의 불균일한 접촉 및 드로잉 비 변화가 원인을 밝혀 내었다.

(2) 제품의 불량률을 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.

## 참고 문헌

- (1) 박종세, 김승호, 허 훈, 2002, “박판 성형공정에서의 등가 경계조건 계산을 위한 드로우 비드 성형의 탄소성 유한요소해석 -Part I: 등가 경계조건 계산”, 한국소성가공학회 논문집, 제 11 권, 제 6 호, pp. 503~512.
- (2) S. H. Kim, S. H. Kim and H. Huh, 2002, “Tool Design in a Multi-stage Drawing and Ironing Processes of a Rectangular Cup with a Large Aspect Ratio using Finite Element Analysis”, Int. J. Mach. Tools and Manufac., Vol. 42, pp. 863~875.
- (3) H. Huh, K. P. Kim, S. H. Kim, J. H. Song, H. S. Kim and 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.