

자동차 박판부품 성형의 공정변수 결정을 위한 CAE 프로세스 적용

김세호*¹⁾ · 허 훈²⁾ · 송정환²⁾

대구대학교 자동차·산업·기계공학부¹⁾ · 한국과학기술원 기계공학과²⁾

Application of the CAE Process for the Determination of Parameters in the Stamping Process of an Auto-body Member

Seho Kim*¹⁾ · Hoon Huh²⁾ · Junghan Song²⁾

¹⁾ School of Automotive, Industrial and Mechanical Engineering, Daegu University, 15 Naeri, Jillyang, Gyeongsan, Gyeongbuk, 712-714, Korea

²⁾ Department of Mechanical Engineering, KAIST, Science Town, Daejeon 305-701, Korea

Abstract : This paper is concerned with the parameter determination for the tool design in the stamping process of the complicated auto-body member. The indicators of failure selected in this paper are wrinkling, the amount of springback and the development of the excess metal. Important process parameters are determined from the stamping analysis of the front side member inner changing the design parameters such as blank size, the draw-bead and the forming shape.

Key words : Auto-body member(자동차용 부재), Tool design(금형설계), CAE(전산원용공학), Stamping process(스탬핑 공정)

1. 서론

자동차의 구조부재는 주로 박판을 이용한 스탬핑 공정에 의하여 생산되고 있으며, 설계 데이터로부터 신속한 금형 설계 및 성형성 평가 등이 요구되고 있다. 최근 들어 연비향상 등의 목적에 따른 차량 경량화 및 충돌 법규와 상품성의 강화로 인한 안전성 향상 등의 요구되고 있으며, 구조용 부재의 형상이 복잡해지는 추세이다. 이에 따라 30 kg급 이상의 고장력 강판의 사용이 점차 확대되고 있다.¹⁾ 기존의 일반 강판에 비하여 고장력 강판은 성형 자체가 어렵고, 스프링 백 현상이 심하여 공정설계가 매우 까다롭다. 또한, 완성차 업체의 차량 품질 향상에 따라 업체 자체의 품질 기준 강화를 목적으로 외관상으로 드러나는 부위의 면품질, 주름, 크랙 발생 등의 항목이 불량

좌우하는 대상으로 선택되고 있다. 고장력 강판의 사용 및 품질기준 강화에 따라 성형의 난이도는 계속 증가하고 있는 반면 금형의 개발기간은 점점 단축되고 있어 기존 엔지니어의 경험만으로는 다양한 형태의 제품을 설계하고 개발하는 것은 어려워지고 있다.

본 논문에서는 차량용 부재의 금형 설계 시 해석을 활용하여 짧은 시간에 성형공정의 기본적인 문제점을 파악하고 개선안을 제시할 수 있는 해석 프로세스를 개발하고, 유사한 형태의 제품의 금형 설계 시 개발 일정을 단축할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 이를 위하여 제품의 설계 데이터로부터 주름 및 면불량을 개선할 수 있는 금형면 설계, 블랭크 크기 결정, 드로오 비드력 설계 등을 CAE를 이용하여 수행할 수 있는 단계별 프로세스를 제안하여 적용하였다. 이를 이용하여 프론트 사이드 멤버 (front side member)의 제품 데이터로부터의 금형설계 과정에 적용하고, 제품의 불량을 최소화할 수 있는 공정변수를 구하였다.

* To whom correspondence should be addressed.
mvksh@daegu.ac.kr

2. 금형 설계 조건

2.1 금형설계 개요

본 논문에서는 금형설계 과정에서 주요한 공정 변수들이 재료의 유동 및 불량에 미치는 영향을 파악하여 금형형상을 쉽게 수정할 수 있게 하도록 설계과정에서 CAE를 도입하고 금형설계 시에 시간과 비용을 줄일 수 있도록 하였다. 본 논문에서 해석의 대상은 RV 차량의 프런트 사이드 이너 멤버 (front side member inner)이다. 프런트 사이드 멤버는 엔진룸에서 가장 중요한 구조용 부재로 충돌사고 시 적절한 변형에 의하여 충격을 감소시키고 엔진룸 부품의 승객실 침입을 방지하는 역할을 한다.

2.2 금형설계를 위한 해석 조건

프런트 사이드 멤버의 성형 공정은 단단계 공정이나, 본 논문에서는 제품의 불량이 주로 발생하는 1 단계 드로우 공정의 금형설계를 대상으로 하였다. Fig. 1에 도시한 바와 같이 제품설계 단계에서 초기 제품 형상 선 데이터로부터 면 데이터를 형성하여 제품 데이터를 만들게 되며, 이 데이터를 기본으로 바인더 면을 설계하게 된다. Fig. 2에 드로우 성형용 금형의 초기 설계 형상을 도시하였다.

금형설계를 위한 성형공정의 유한요소해석은 상용 유한요소 프로그램인 LS-DYNA3D²⁾를 이용하여 수행하였다. Fig. 3에는 금형 및 블랭크의 유한요소 모델을 도시하였다. 블랭크는 40kgf 급의 강판인 SPRC40으로 $\bar{\sigma} = 734.7(0.01 + \bar{\epsilon})^{0.245}$ MPa으로 표현되는 유동응력 곡선을 가지며, 두께는 1.6mm

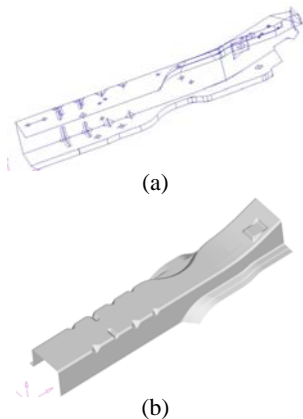


Figure 1. CAD model of the front side member inner: (a) wireframe data; (b) surface data.



Figure 2. CAD model of the tool for the stamping of the member (initial binder design).

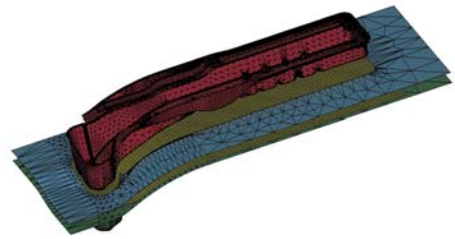


Figure 3. finite element model of tools and the blank for the analysis of the front side member inner.

이다. 박판재료는 수직 이방성을 가진다고 가정하였으며, 수직 이방성 계수는 1.78 이었다. 블랭크와 금형의 마찰계수는 0.15로 근사하여 해석을 수행하였다.

이상의 초기 금형 데이터와 해석조건을 이용하여 최종 성형품의 불량 가능성이 낮은 최적의 금형 및 공정변수로 최적화하고자 하였다. 이를 위해 해석을 수행하여 현장의 트라이 아웃을 최소화하고 빠른 시간 내에 최적의 제품을 생산할 수 있는 금형 형상 및 공정변수 조건을 구하였다.

3. 해석을 통한 설계인자 결정

본 절에서는 성형 중 파단, 주름, 여육발생, 스프링 백 등의 불량이 일어나지 않도록 하는 형상 변수 및 비형상 변수를 결정하기 위하여 유한요소해석을 수행하였다. 결정하고자 하는 주요변수로 블랭크 길이, 드로우 비드 및 국부 주름을 제어하는 포밍형상의 배치를 선택하였다.

3.1 초기 블랭크 크기 설계

블랭크 형상은 일반적으로 시험을 통한 시행 오차를 거쳐 정해지게 된다. 본 논문의 대상인

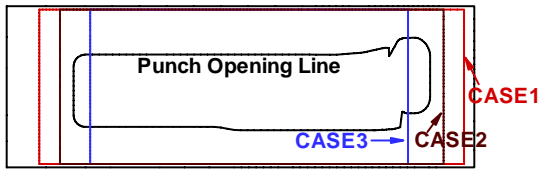


Figure 4. Initial blank types with the punch opening line after the binder-wrap forming analysis.

프런트 사이드 이너 멤버는 단면이 모자형 채널의 형태로 되어 있으므로, 폭 방향의 블랭크 크기가 성형성에 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나, 길이 방향의 블랭크 크기에 따라 재료의 유동이 민감하게 변화할 가능성이 있으므로 블랭크 크기의 설계가 매우 중요하다. 본 해석에서는 초기 블랭크의 형상을 변화시키면서 스프링백 및 주름의 발생 가능성 여부를 고찰하여 최적의 블랭크 크기를 구하였다. 해석에 사용된 블랭크 홀딩력은 100 kN 이었다.

해석은 Fig. 4 에 도시한 바와 같이 블랭크 길이가 1260 mm (CASE1), 1140 mm (CASE2), 945 mm (CASE3)의 3 가지 경우로 수행하였으며, 각 경우의 변형 형상은 Fig. 5 에 도시하였다. CASE 1 은 직사각형 형상과 유사한 닫힌 블랭크(closed blank)가 형성되었으며, 길이방향 끝부분의 폭 벽면부위인 A 부위에 재료의 유동이 증첩되면서 발생하는 살물림 및 주름이 발생하였다. 또한, 국부적인 살물림에 의한 블랭크 홀딩력의 국부 집중으로 인하여 플랜지부에 큰 주름이 발생하여 불량으로 판정되었다. CASE 2 는 A 부위의 벽면에 재료가 유입되면서 완전성형 후 일부분만 남아있도록 반열림(semi-open) 형태의 블랭크가 형성되었다. CASE 3 는 열린 채널(open channel)형태의 블랭크 설계로서 주름이나 파단의 문제점 없이 성형이 완료되었다.

CASE2 와 CASE3 의 변형양상을 비교하기 위하여 Fig. 6 에 도시된 단면에서의 두께분포를 Fig. 7 에 도시하였다. 두께는 거의 유사한 분포를 보이고 있으며, 드로잉 비가 크고 단면형상의 변화가 심한 단면 C-C'와 D-D'에서 두께가 두꺼워지고 있음을 알 수 있다. 두께 증가의 원인을 살펴보기 위하여 성형중의 단면 C-C'와 K-K'에서의 변형형상을 Fig. 8 에 도시하였다. 단면부위의 블랭크가 펀치에 접촉하지 못하는 부위가 발생되며, 접촉되지 못한 블랭크는 성형중 인장력을 받

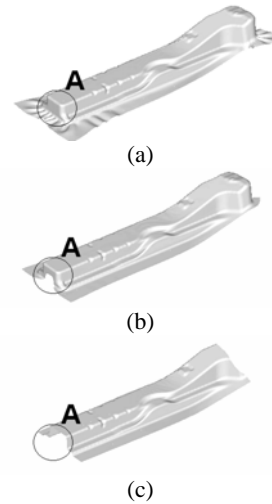


Figure 5. Comparison of deformed shapes with respect to the initial blank types with the initial tool design.

지 못하게 되고 여유로 남게 된다. 여유는 성형 후 두께의 증가 원인이 되고, 주름이 발생될 가능성이 높아지게 된다. 또한, 충분한 인장력을 받지 못하였기 때문에 가공경화가 되지 않아 강도가 약한 부분으로 남게 된다. Fig. 9 에 CASE2 와 CASE3 의 변형형상을 도시하였으며, 단면 C-C'과 D-D' 부근의 블랭크가 많이 찌그러지면서 성형 후에도 주름이 발생함을 확인할 수 있다.

성형 후 형상동결성을 비교하기 위하여 스프링백 해석을 수행하고, 탄성복원 후 플랜지 부의 각도 변화를 CASE2 와 3 에 대하여 Fig. 10 에 비교하였다. CASE 3 의 경우 플랜지 부 형상변화가 매우 심한 것을 알 수 있으며, CASE2 의 경우에도 1-2 도 정도의 형상변화가 발생하였다.

본 절의 해석결과 완전 닫힘형의 블랭크를 사용할 경우 제품의 주름 불량이 발생함을 알 수 있었다. CASE2 와 CASE3 는 과도한 스프링백 현상 및 펀치 평면부의 여유 발생 등의 문제를 보였다.

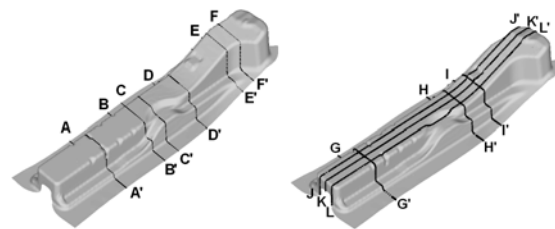


Figure 6. Locations of the cross sections for the comparison of the thickness, the springback shape and the contact condition.

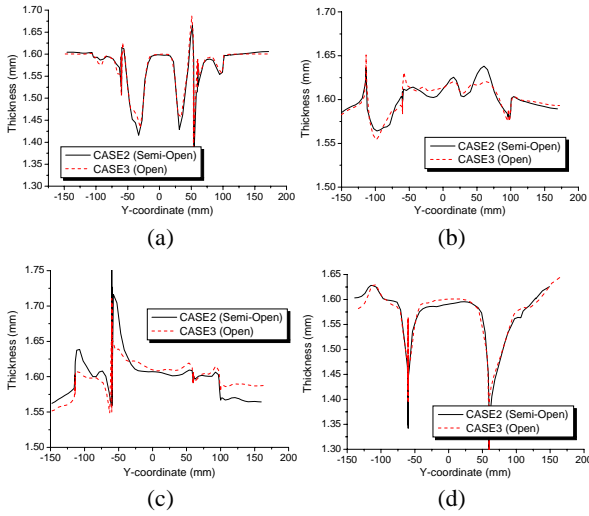


Figure 7. Comparison of the thickness distribution with respect to the blank size with the initial tool design: (a) section A-A' with the initial tool design; (b) C-C'; (c) D-D'; (d) E-E'.

3.2 드로오 비드 설계

3.2 절의 해석결과 CASE3 의 블랭크는 과도한 스프링백 현상 및 펀치 평면부의 여유 발생 등의 문제를 보이며, CASE2 의 경우도 과도한 여유 발생 문제에 의한 주름발생 현상을 보였다. 해결책으로 바인더면에 드로오 비드를 설치하여 해석을 수행하였다. 일반적으로 박판 성형공정 해석 시에 드로오비드의 영향을 고려하기 위하여 등가의 경계조건으로 구속력을 부가하는 방법³⁾이 사용되며 본 논문에서도 구속력을 등가의 경계조건으로 부가하여 해석을 수행하였다. 본 논문에서는 드로오 비드를 원형으로 설계하였으며, 해당 구속력을 0.226N/mm 로 설정하여 해석을 수행하고, CASE2 와 CASE3 두경우에 대하여 성형품의 두께분포, 여유발생, 스프링백 등을 비교하였다.

Fig. 11 에 두께를 CASE2 와 CASE3 의 두께변형률을 비교하였다. 비드를 적용한 결과 여유발생으로 두께가 두꺼워지던 경향을 보이는 단면 C-C' 부근의 두께가 감소한 것을 알 수 있으며, 이는 CASE2 의 경우가 더 향상된 결과를 보여주고 있다. Fig. 12 에 도시된 바와 같이 비드를 적용하지 않은 경우보다 변형률이 크게 발생하며, 20% 이상의 감소가 벽면에서 발생하였다. 또한 단면 C-C' 부근의 두께증가가 완화되는 좋은 결과를 보여주고 있다.

여유 발생 문제점의 확인을 위하여 Fig. 13 에 단면 C-C'과 K-K'에서의 블랭크와 금형의 접촉상

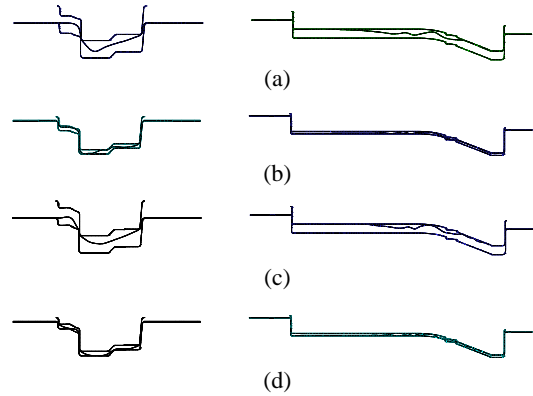


Figure 8. Comparison of the contact condition between tools and the blank along the section C-C' and K-K' with the initial tool design: (a) CASE2, stroke =118mm; (b) CASE2, stroke =150mm; (c) CASE3, stroke =150mm; (d) CASE3, stroke =150mm.

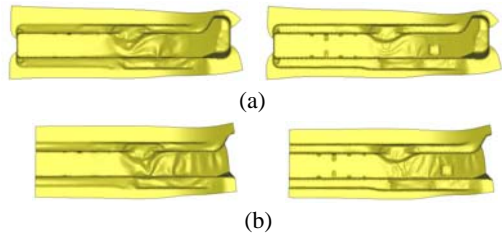


Figure 9. Deformed shape of the blank with the initial tool design : (a) CASE2; (b) CASE3.

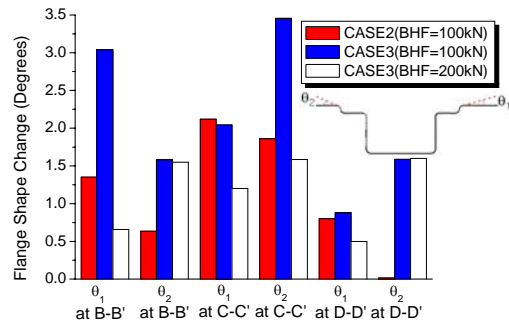


Figure 10. Comparison of the amount of springback after the forming process with respect to the blank shape with the initial tool design.

태를 도시하였다. 드로오 비드를 부과한 결과 폭방향의 인장력이 증가하여 전반적으로 여유 발생이 감소하고 있음을 알 수 있으나 Fig. 14 에서 알 수 있듯이 여전히 여유와 주름이 발생함을 알 수 있으며, CASE2 의 경우가 더 심하다.

스프링백 해석 결과를 Fig. 15 에 도시하였으며, CASE 3 의 경우 스프링백 문제를 어느 정도 해결하였으나, 여전히 형상동결성을 확보할 수 없었다.

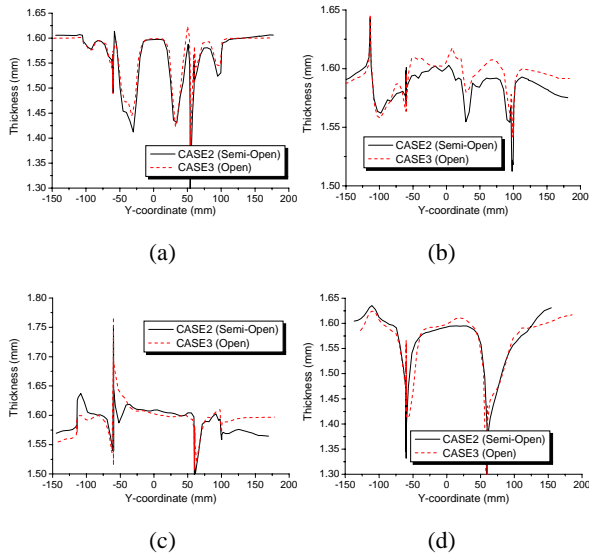


Figure 11. Comparison of the thickness distribution with respect to the blank size with the draw-bead: (a) section A-A'; (b) C-C'; (c) D-D'; (d) E-E'.

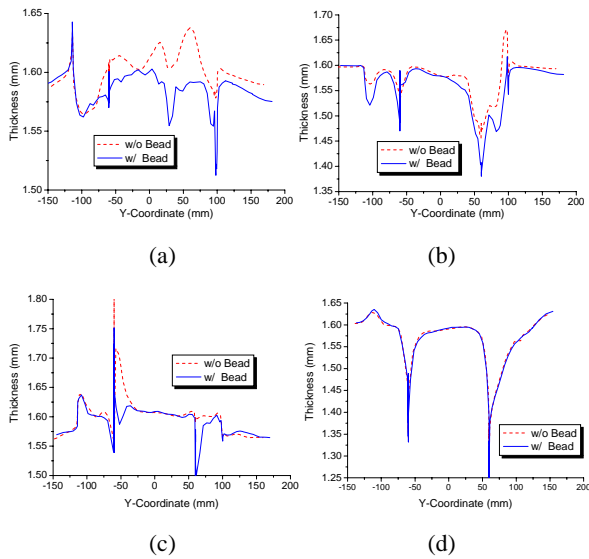


Figure 12. Comparison of the thickness distribution with respect to the presence of the draw-bead (CASE 2): (a) section B-B'; (b) C-C'; (c) D-D'; (d) E-E'.

3.3 금형내부 포밍 형상 설계

블랭크 형상을 CASE2 와 같은 Semi-open 형태로 하고, 드로오 비드를 부과한 결과 향상된 제품을 얻을 수 있으나, 여유의 발생을 제거할 수 없었다. 이에 대한 대책으로 본 논문에서는 금형면에 포밍(forming)형상을 추가하여 여유 발생 문제를 해결하고자 하였다. 프런트 사이드 멤버는 외관상으로 드러나는 부품이 아니므로 제품의 체결

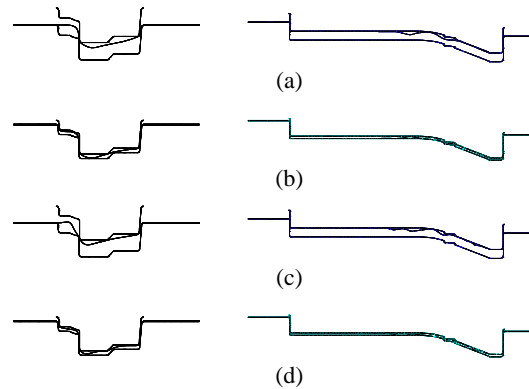


Figure 13. Comparison of the contact condition along the section C-C' and K-K' with draw-bead: (a) CASE2, stroke =118mm; (b) CASE2, stroke =150mm; (c) CASE3, stroke =150mm; (d) CASE3, stroke =150mm.

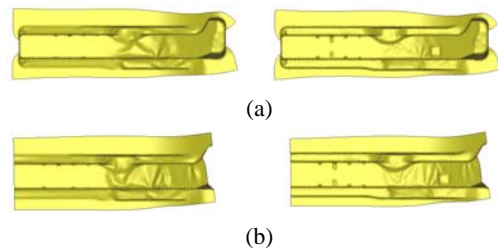


Figure 14. Deformed shape of the blank with draw-bead : (a) CASE2; (b) CASE3.

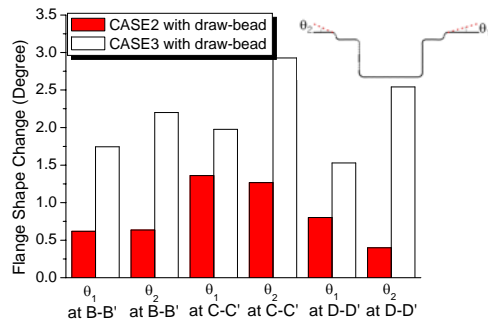


Figure 15. Comparison of the amount of springback after the forming process with respect to the blank shape with the draw-bead.

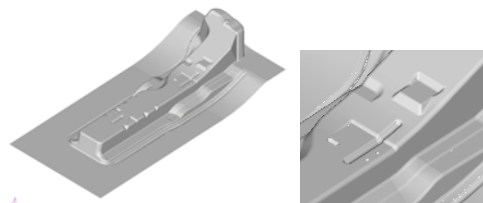


Figure 16. CAD model of the modified tool surface for the stamping of the front side member inner.

에 영향이 없는 위치에 형상 설계변경을 한다면 큰 문제가 없을 것으로 판단되었다. 포밍은 주

로 두께가 크게 증가하고 있는 중심부에 부과하였다. 포밍과 비드가 반영된 금형의 형상은 Fig. 16에 도시하였다. 설계변경된 금형 형상을 이용하여 기존과 동일조건으로 해석을 수행하였다.

Fig. 17에 두께분포를 최종실험 결과와 함께 도시하였다. 실험결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있으며, 본 해석이 타당성을 가진다는 것을 의미한다. 단면 B-B' 부위의 일부분의 두께가 증가하는 경향을 보이고 있으나, 타 부위는 두께 증가 경향이 완화되었다. Fig. 18에서는 단면 H-H'과 J-J'의 접촉상태를 비교하였다. 비드를 부과하였을 때 여유가 감소하고, 포밍형상을 추가하면 성형의 최종 단계에서 여유가 흡수되는 것을 알 수 있다. Fig. 19에 도시한 바와 같이 여유를 포밍부에서 흡수하며, 인장력을 부과하여 주름발생이 없는 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

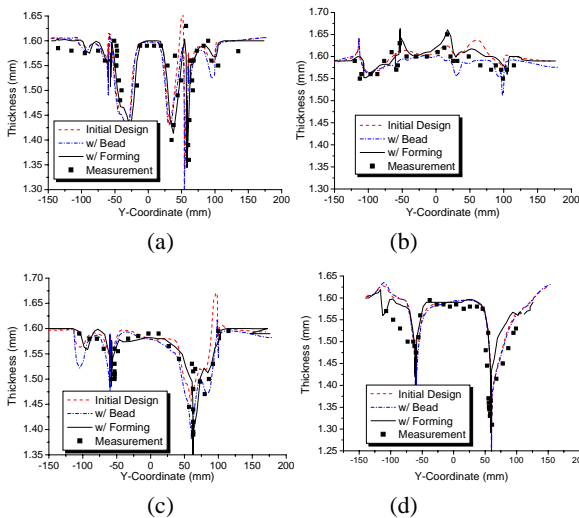


Figure 17. Comparison of the thickness distribution with respect to the presence of the draw-bead and the forming shape (CASE 2): (a) section A-A'; (b) B-B'; (c) C-C'; (d) E-E'.

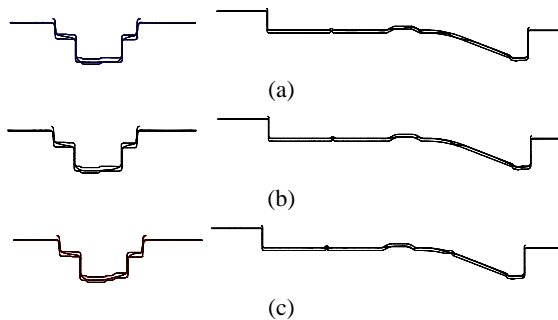


Figure 18. Comparison of the contact condition between tools and the blank along the section H-H' and J-J' (CASE2): (a) initial design; (b) with draw-bead; (c) with forming shape.



Figure 19. Deformed shape of the blank with forming shape.

4. 결론

본 논문에서는 복잡한 형상의 자동차 부재용 금형설계에 있어서 중요 공정변수를 결정하는데 소요되는 시간과 비용을 단축하기 위한 CAE 프로세스 개발에 관련된 연구를 수행하였다. 주요 불량 원인인 파단, 주름, 여유 발생, 스프링백의 개선을 위한 공정변수인 블랭크 크기를 변화시키고, 드로오 비드, 포밍 형상을 추가하여 해석을 수행하여 초기설계의 문제점을 해결하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 스프링 백 감소 및 접촉형상 개선을 위하여 semi-open 형태의 초기 블랭크를 사용하는 것이 가장 좋은 성형성을 얻었다.
- 2) 드로오 비드를 부과한 결과 스프링 백의 감소 및 접촉상태를 향상시킬 수 있었으나, 여유 발생을 제거하지는 못하였다.
- 3) 금형면에 여유를 흡수하기 위한 포밍형상을 추가한 결과 접촉조건을 향상시켜 여유가 감소하였으며, 향상된 품질의 제품을 얻을 수 있었다.
- 4) 유사한 형상의 부품의 금형개발 단계에서 접촉상태, 스프링 백 개선을 위한 제안한 단계별 CAE의 적용이 이루어 진다면 빠른 시간안에 금형의 설계변경이 가능할 것으로 판단된다.

References

- 1) 김성주, 진광근, “자동차용 고강도 냉연강판 개발”, 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 349-356, 2004.
- 2) J. Hallquist, “LS-DYNA Keyword User's Manual - Version 960”, Livermore Software Technology Corporation, 2001.
- 3) J. S. Park, S. H. Kim and H. Huh, “Elasto-plastic Finite Element Analysis of Drawbead Forming for Evaluation of Equivalent Boundary Conditions in Sheet Metal Forming”, Transactions of Materials Processing, Vol. 11, pp. 503-518, 2002.