

스탬핑 공정 최적화 시스템의 개발 : 최적블랭크 설계와 최적배치의 일체화

심현보* 이상현** 박종규*** 김홍업****

Development of Stamping Process Optimization System: Integration of Optimal Blank Design and Optimal Nesting

H. B. Shim, S. H. Lee, J. K. Park and H. U. Kim

Abstract

In recent years, design of an optimal blank shape is very important for sheet metal forming process in the automobile industry because the raw material cost rate is significant part in the automobile industry. With the design of an optimal blank shape, the engineer can protect a blank from an excessive holding force to improve the quality and reduce the ratio of material scrap. Therefore design of an optimal blank shape is inevitable in sheet metal forming process. However, if it causes a complicated shape of blank, it may be difficult to do the blank layout optimally.

In this study, we developed software of optimal blank layout connected with the software of optimal blank shape design which was created in the past by the present authors. And by using these softwares, we would like to present the method in order to get optimal utilization ratio easily and precisely within short time for the sequence of works from design to blank layout.

Key Words : Radius Vector, Optimal Blank Design, Optimal Blank Layout

1. 서론

오늘날 대부분의 산업에서 고객의 요구가 다양화되고 제품 생산의 주기가 짧아짐에 따라 시간과 비용의 절감을 위한 노력은 경쟁력 확보를 위한 필수적 사안이다. 특히, 원가가 차지하는 비중이 큰 자동차 산업 등의 박판 프레스 성형에 있어, 최적 블랭크의 설계는 소재가 필요 이상의 홀딩력을 받지 않게 하여 제품의 품질을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 코일로부터 얻어지는 재료의 수율을 높여 스크랩(scrap)을 줄일 수 있으므로 필연

적 선택이 되고 있다. 그러나 이로 인해 블랭크의 형상이 복잡해지게 된다면 코일로부터 블랭크 형상을 얻기 위해 최적의 블랭크 배치를 하는데 오히려 어려움이 따를 수 있다.

기존의 박판 성형공정에서는 현장 작업자의 숙련된 경험과 이에 따른 시행착오로써 블랭크의 형상 설계 및 블랭크의 배치가 행하여져 많은 시간과 비용이 소비되어왔다. 따라서, 본 연구에서는 최근 이상현 등이 개발하여 검증한 바 있는 최적 블랭크 형상 설계 프로그램과 연계하여 블랭크 최적 배치 프로그램을 GUI로 구현하였으며,

* 영남대학교 기계공학부
** Altair Engineering
*** 영남대학교 대학원
**** (주)평화발레오

이를 오일팬 등의 문제에 적용하여 블랭크 설계에서 블랭크 배치에 이르기까지 일련의 작업들에 대해 짧은 시간 내에 쉽고 정확하게 최적의 수율을 얻을 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. 반경 벡터에 의한 최적 블랭크 설계

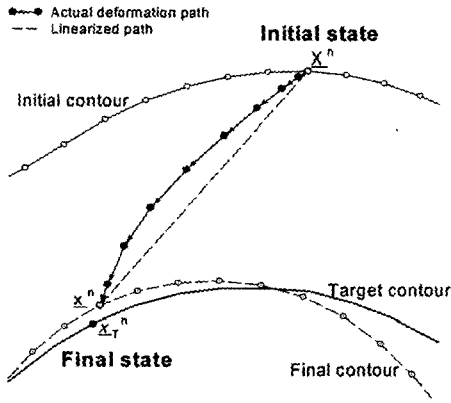


Fig. 1 Movement of a material point

Fig. 1은 초기 블랭크 외곽선상 임의의 한 점이 변형되는 경로를 나타낸 것이다. 성형 전 단계인 블랭크 외곽선상의 n번째 절점을 X^n 으로, 성형 후 절점을 x^n 으로 표기하며 성형 후의 위치 x^n 에서 원끝조건에 의해 찾은 원의 중심점 방향의 벡터 x^n 의 연장선과 목표형상의 외곽선과 만나는 점을 x_T^n 로 표현하였다.

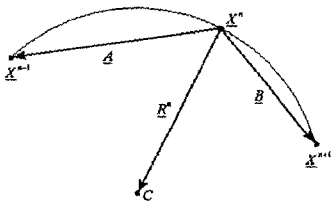


Fig. 2 Radius vector under circle end condition

Fig. 2에서 원의 반경 방향 벡터 R^n 은 변형의 초기 단계에서 인접하는 3 절점에 의해 결정되며 R^n 의 단위 벡터 \hat{R}^n 은 다음 단계에서 블랭크 수정 방향으로 사용되며 \hat{x}^n 은 성형 후 외곽 절점에서의 법선 단위벡터로 최종형상에서 목표형상과의 오차 측정을 위해 사용된다.

형상오차 ϵ^n 은 \hat{x}^n 방향의 연장선과 목표형상의 외곽선 x_T^n 가 만나는 점 x_T^n 와 최종 변형 후의 위치인 x^n

사이의 측정 거리로써 다음의 식으로부터 구할 수 있다.

$$x^n + \epsilon^n \hat{x}^n = x_T^n \quad (1)$$

그러나 Fig. 3과 같이 굽은면이 자유곡면일 경우, x^n 으로부터 x^n 의 연장선과 목표형상인 x_T^n 가 만나지 않을 수 있기 때문에 오차의 측정이 문제가 된다. 이때 형상 오차 ϵ^n 은 x^n 을 x^n 에서의 접선벡터를 중심축으로 회전시켜줌으로써 목표형상과 만나게 되는 점과 x^n 사이의 거리로 정의하도록 한다.

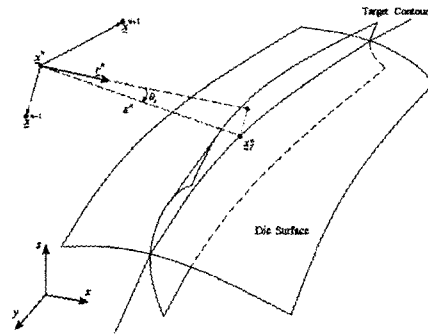


Fig. 3 Measurement of Shape Error

새로운 절점의 위치는 식(2)와 같이 각 절점에서의 형상오차 및 반경방향 벡터로 구하여진다.

$$X^n_{(0)} = X^n_{(i-1)} + \beta \cdot \epsilon^n \cdot R^n \quad (2)$$

본 연구에서는 기존의 초기 속도법⁽¹⁾에서 적용한 반경 벡터는 그대로 이용하였으나 절점이동 속도에 의해 결정되는 절점속도 계수를 채택하는 대신 일정한 값을 가지는 감속계수 β ($0 < \beta \leq 1$)를 도입하여 수식의 간단화를 도모하였다. 본 연구에서는 감속계수 β 를 0.7로 택하였다.

최적 블랭크는 형상오차 ϵ^n 이 모든 절점에서 허용오차 이하가 될 때까지 해석 및 블랭크 수정을 수 차례 반복하여 구한다.

3. 최적 블랭크 설계와 연계한 블랭크 최적 배치

Fig. 4는 반경 벡터에 의한 최적 블랭크 설계 기법을 현장 사용자의 편의를 위해 상용 성형 해석 프로그램인

Pam-Stamp와 상용 격자 생성 프로그램인 HyperMesh와의 호환 기능 및 자체 요소 생성 모듈을 가진 최적 블랭크 설계 프로그램(OptiBlank로 명명)의 GUI 환경이다.

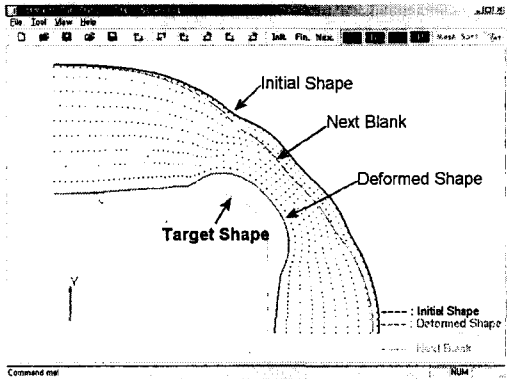


Fig. 4 OptiBlank program window

상기 프로그램에서 구한 최적 블랭크는 본 연구에서 소개하는 블랭크 최적 배치 프로그램(OptiNest로 명명)의 입력 파일로 이용된다. 따라서 블랭크 최적 배치 프로그램 역시 Pam-stamp 및 HyperMesh와 호환 기능을 가지도록 하였으며, 또한 성형 해석에서 1/4 또는 1/2 모델링한 블랭크를 직접 입력받아서 전체 모델로 재구현하여 실행시킬 수 있도록 하였다. 아울러 단일 배치 뿐만 아니라, 버(burr)의 방향을 고려하여 입력된 블랭크 형상의 단순 복열 배치에서 x-mirror, y-mirror, xy-mirror 형상까지 옵션(option)으로 선택할 수 있도록 하였다. Fig. 5는 블랭크 최적 배치 프로그램의 GUI 환경이다.

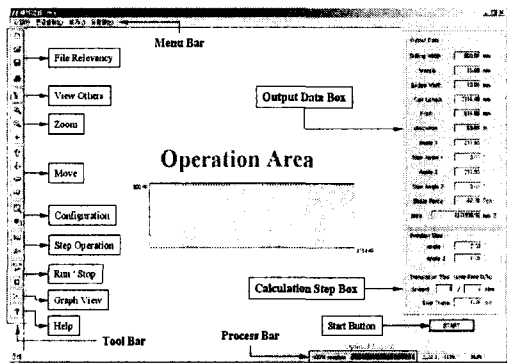


Fig. 5 OptiNest program window

Fig. 6과 Fig. 7은 각각 최적 블랭크 설계 프로그램과 블랭크 최적 배치 프로그램의 개략적인 작업 순서도이고, Fig. 8은 소재 사용률을 높이기 위해 이 두 프로그램을 사용한 작업의 전반적인 내용을 나타내고 있다.

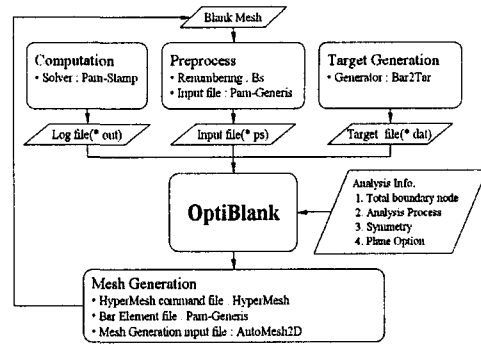


Fig. 6 Flow diagram of OptiBlank

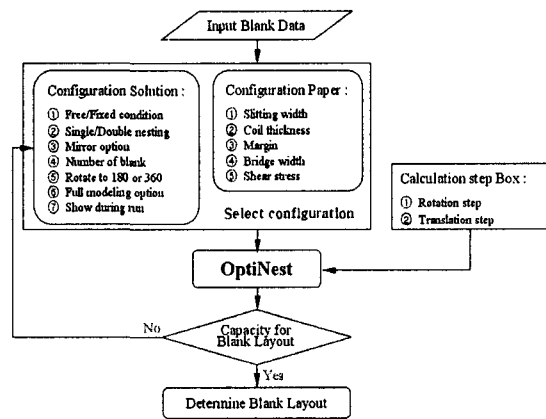


Fig. 7 Flow diagram of OptiNest

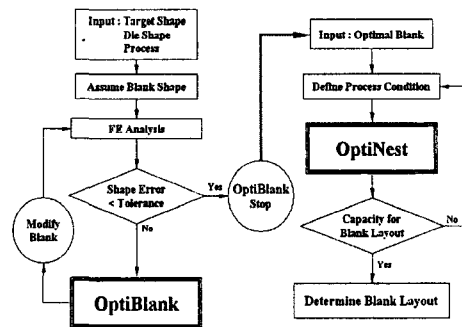


Fig. 8 Optimization of material utilization ratio through OptiBlank & OptiNest

4. 적용 사례

소재 이용률의 최적화를 위한 문제로서 오일팬을 본

연구에서 개발한 프로그램들에 적용해 보았다. Fig. 9는 적용된 오일팬의 금형으로, 본 예제에서는 대칭성을 이용하여 금형 및 블랭크를 1/2 모델링 하였으며 최초 해석에 사용된 블랭크는 장축 140mm, 단축 100mm의 타원형으로 외곽 절점은 82개가 사용되었다. 최적 블랭크를 얻기 위한 플랜지 외곽선의 형상 허용 오차는 0.5mm로 설정하였다.

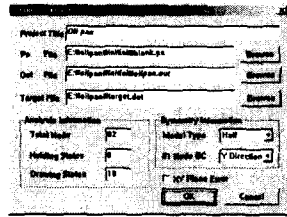
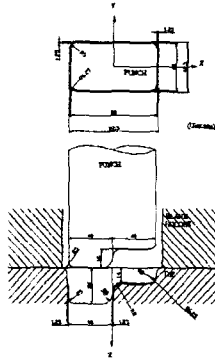


Fig. 9 Die geometry Fig. 10 OptiBlank input dialog

Fig. 10은 최적 블랭크 설계 프로그램의 입력창으로 Pam-Stamp의 *.ps, *.out 파일과 목표 형상 정보 *.dat 파일, 외곽 절점 개수, 해석 결과 출력 정보와 대칭 정보가 입력되는 모습을 보여주고 있다.

Fig. 11은 설계 단계별로 수정된 블랭크 형상에 대한 성형 후의 모습을 목표형상과 비교한 것으로 본 예제에서는 3회의 수정 후 플랜지 외곽선의 형상 오차가 허용치인 0.5mm 이내에 들어 목표 형상과 거의 일치하게 되었다. Fig. 12와 Fig. 13은 각각 최적 블랭크의 성형 전·후의 모습을 보여주고 있다.

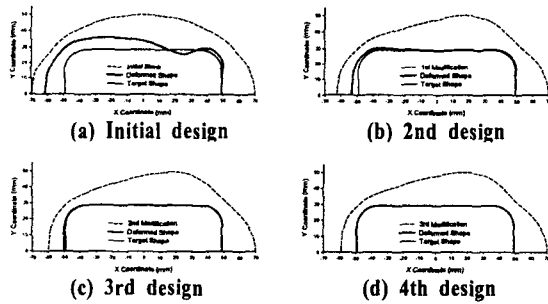


Fig. 11 Blank shapes and flange contours at each design stages

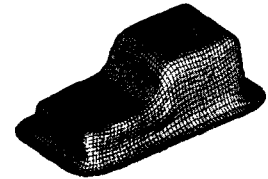
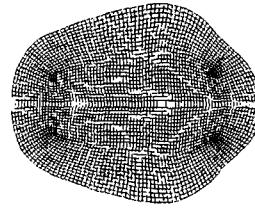
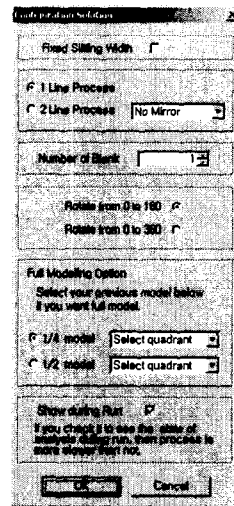
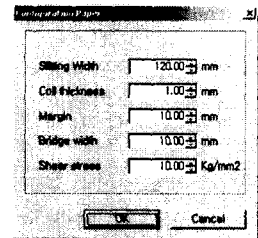


Fig. 12 Optimal Blank Fig. 13 Deformed Shape

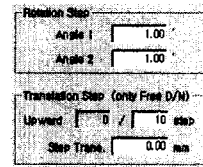
이렇게 최적 블랭크 설계 프로그램을 통해 구한 최적 블랭크는 블랭킹 작업 시 좀 더 높은 소재 사용률을 얻기 위해 블랭크 최적 배치 프로그램에 입력된다. 이 때 입력되는 파일은 Pam-Stamp 해석 시에 사용되었던 블랭크 형상에 관한 입력 파일을 그대로 사용할 수 있는데 이는 자동적으로 외곽 라인 상의 절점들을 순서대로 추출해 낼 수 있고, 본 예제에서처럼 1/2 모델링 성형 해석한 블랭크를 전체 모델로 재구현 가능하기 때문이다. Fig. 14(a)는 슬리팅(slitting) 폭의 고정 여부, 단열 배치 또는 복열 배치 선택 기능과 복열 배치 시 대칭 기능, 1/2 또는 1/4 모델인 경우 전체 모델 재구현 기능 설정 등의 환경 설정창을 보여주고 있으며, Fig. 14(b)는 사용되는 코일의 슬리팅 폭과 두께 및 전단강도와 블랭킹 시 코일의 이송을 위한 마진(margin), 블랭크와 블랭크 사이의 브릿지(bridge) 폭을 설정하는 환경 설정창이며, Fig. 14(c)는 최적 배치 연산 속도 및 연산 결과의 정확성과 관련한 단위 회전각 및 단위 이동량을 설정할 수 있는 대화창이다.



(a) Input dialog for layout process



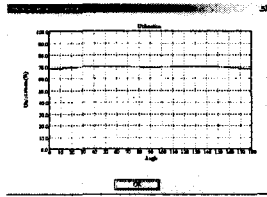
(b) Input dialog about coil, margin, bridge etc.



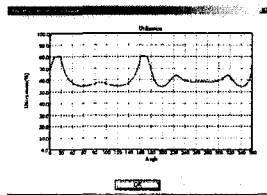
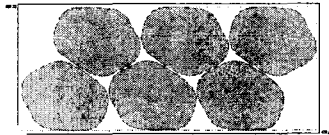
(c) Calculation step box

Fig. 14 OptiNest input dialog

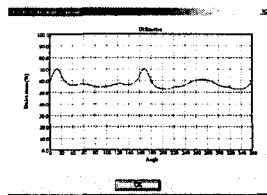
블랭크 최적 배치를 위해 사용된 소재는 두께 0.8mm, 전단강도 26.5kgf/mm²을 가지는 SPEN으로 설정하였으며, 마진과 브릿지 폭은 각각 5mm, 2mm로 설정하여 본 예제의 최적 블랭크 형상에 대한 단일 배치 및 xy 대칭 후 복열 배치를 수행하였다. Fig. 15는 각각의 경우에 대한 최적 배치 형상과 블랭크 회전 각도에 따른 소재 사용률의 변화 그래프이다.



(a) Single line layout at free slitting width condition



(b) Double line layout at free slitting width condition



(c) Double line layout at fixed slitting width condition

Fig. 15 Blank optimal layout at each conditions

Fig. 15(a)의 단일 배치를 수행했을 경우 슬리팅 폭 118.18mm, 피치(pitch) 118.12mm, 전단력 7.62ton, 그리고 70.20% 소재 사용률의 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 15(b)는 슬리팅 폭은 가변 조건으로 하고 원본 블랭크에 대해 짝수번째 블랭크를 xy 대칭시켜 복열 배치 연산한 경우로서 슬리팅 폭, 피치, 전단력은 각각 189.53mm, 127.84mm, 15.24ton으로 나타났고 소재 사용률은 80.89%로 나타났다. Fig. 15(c)는 슬리팅 폭을 180mm로 고정시키고 Fig. 15(b)와 같은 조건으로 복열 배치 연산한 경우인데, 이때 피치는 154.35mm, 소재 사용률은 70.54%로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 블랭크 최적 배치 프로그램을 기존의 이상현 등이 개발하여 검증한 바 있는 최적 블랭크 설계 프로그램과 연계하여 개발함으로써 최적 배치 프로그램의 블랭크 형상 입력 시스템을 단순히 CAD 시스템뿐만 아니라 CAE 시스템까지 확장하여 현장 작업자들이 쉽고 빠르면서도 정확한 방법으로 최적 블랭크 형상 설계에서 블랭크 최적 배치에 이르기까지 일련의 작업들에 적용할 수 있도록 하였다. 이렇게 각각 개별적으로 행해져 오던 블랭크 설계 및 배치 작업을 연계시킴으로써 작업 시간의 단축 및 소재 사용률의 극대화를 가져올 수 있을 것이다.

참고 문헌

- (1) 심현보, 이상현, 손기찬, 2002, 초기 속도법을 이용한 최적 블랭크 설계 프로그램의 개발, 한국소성가공학회지 제 11권, 제 6호, pp. 487~494.
- (2) 오진용, 오수익, 김상주, 임지열, 이종문, 2001, 판재 성형을 위한 블랭크 최적 배치 알고리즘 개발, 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집 pp.32~35.
- (3) 김영석, 손현성, 서상구, 1999, 스탬핑 블랭크의 효율적 배치를 위한 소프트웨어 개발, 대한기계학회논문집 A 권, 제 23권, 제 8호, pp. 1380~1387.
- (4) T.J.Nye, 2001, "Stamping Blank Optimal Layout And Coil Slitting Widths For Single And Multiple Blanks", ASME Journal of Engineering Materials Technology, Vol. 123 No. 4, pp. 482~488.