

## 블랭크 설계와 배치의 일체화를 통한 스탬핑 공정 최적화 시스템의 개발

심현보\* · 박종규\*\*

(2003 년 7 월 16 일 접수)

### Development of Stamping Process Optimization System through the Integration of Blank Design and Nesting

H. B. Shim and J. K. Park

#### Abstract

In the automobile industry, the design of optimal blank shape becomes a significant part of the stamping. It provides many evident advantages, such as enhancement of formability, reduction of material cost and product development period. However, the nesting process, required for the optimal usage of materials in the blanking becomes more complicated as the blank shape becomes complicated, like most optimal blank shape. In this study, stamping process optimization system for the optimal usage of material has been developed through the integration of optimal blank design and optimal nesting. For optimal blank design, a radius vector method, the modified version of the initial nodal velocity method, the past work of the present author, have been proposed. Both the optimal blank design and optimal nesting programs have been developed under the GUI environment for the convenience of engineers. The efficiency of the optimization system has been verified with some chosen problems.

**Key Words** : Radius Vector Method, Blank Design, Nesting

#### 1. 서론

오늘날 대부분의 산업에서 고객의 요구가 다양화되고 제품 생산의 주기가 짧아짐에 따라 경쟁력의 확보를 위해서 시간과 비용의 절감이 화두가 되고 있다. 특히, 생산 원가에서 소재비용의 비중이 큰 자동차부품 등의 스탬핑에서, 최적 블랭크는 소재의 유동을 부드럽게 하고, 소재가 필요 이상의 홀딩력을 받지 않게 하여 제품의 두께 편차를 줄일 수 있기 때문에 품질향상의 효과와 더불어 코일로부터 얻어지는 재료의 수율을 높여

스크랩(scrap)을 줄일 수 있으므로 원가를 줄여주기 때문에 필연적인 선택이 되고 있다. 블랭크 최적배치(nesting)는 코일형태의 원소재로부터 스탬핑에 필요한 블랭크의 형상을 얻는 블랭킹 단계에서 최적의 수율을 얻기 위해 소재의 형상을 적절히 회전시키면서, 적절한 간격으로 배치하는 과정을 의미하는데 일반적으로 배치작업의 난이도는 블랭크의 모양에 관계가 깊다.<sup>(1~3)</sup>

실제로 기존의 스탬핑 공정에서는, 블랭크의 형상 설계 및 배치작업이 현장 작업자의 경험에 주로 의존한 시행착오 과정을 이루어져 왔기 때문

\* 영남대학교 기계공학부

\*\* 영남대학교 대학원

에 제품개발기간의 제한 등에 따라 충분한 횟수의 시행착오 과정을 거치기가 어려워 작업자에 따라 다른 결과를 얻게 되는 등, 결과적으로 스탬핑 공정의 최적화에 한계를 주고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 블랭크 최적배치 프로그램을 개발하여 기존의 최적블랭크 설계 프로그램<sup>(4)</sup>과 연계함으로써 현장설계자가 쉽게 사용할 수 있도록 하는 스탬핑공정 최적화 프로그램을 개발하였고, 몇 가지 예제를 통하여 효과를 확인하였다.

2. 반경 벡터에 의한 최적 블랭크 설계

반경벡터법은 성형 후의 외곽선과 목표외곽선의 차이를 보정하기 위하여, 위치의 수정이 필요한 절점에 대하여 그 절점과 인접하는 절점들에 의해 결정되는 원의 반경방향 벡터를 이용하여 그 절점의 위치를 수정하는 방법이다. 즉, 성형 후의 제품 외곽선이 목표 외곽선과 일치하지 않을 경우, 제품의 외곽선이 목표 외곽선과 일치하도록 성형 전 블랭크 모양을 수정해 주는데 블랭크의 수정은 외곽선상에 위치한 절점의 성형전의 위치를 이동함으로써 이루어지는데 이때 절점의 이동을 위해 반경벡터를 이용한다.

이러한 반경벡터법은 본 저자에 의해 발표되어 정확도가 입증된 민감도법<sup>(5)</sup>, 초기속도법<sup>(4)</sup>등과 같은 일련의 최적블랭크 설계법의 발전된 형태로, 각 설계 단계별로 한번의 계산만으로 블랭크 수정이 가능하다는 점, 그리고 블랭크의 수정과 오차의 측정이 반경벡터방향으로 이루어진다는 점에서 기존의 초기속도법과 동일하나 블랭크의 수정에 필요한 속도계수를 상수로 두었다는 점에서 초기속도법과 차이가 있다.

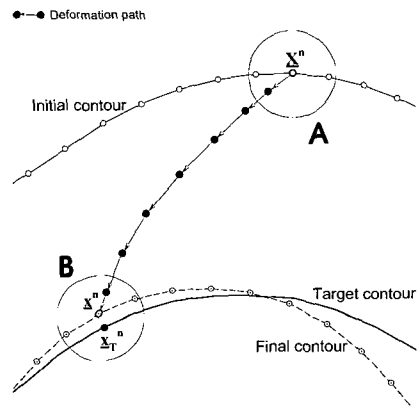
Fig. 1(a)는 블랭크 외곽선상에 있는 임의의 한 절점이 변형되는 경로를 나타낸 것으로서 성형 전 블랭크 외곽선상의 n 번째 절점의 위치를  $X^n$ 으로, 성형 후 절점의 위치를  $x^n$ 으로 표기하였다. Fig. 1(b)는 성형 전 절점 n의 위치벡터  $X^n$ 에서 그 절점과 인접하는 두 절점에 의해 결정되는 원의 반경방향 단위벡터  $\hat{R}^n$ 과 접선방향 단위벡터  $\hat{T}^n$ 을 나타낸 것이고, Fig. 1(c)는 성형 후 절점 n의 위치벡터  $x^n$ 에서 반경방향 단위벡터  $\hat{r}^n$ 과 접선방향 단위벡터  $\hat{t}^n$ 을 나타낸 것이다.

블랭크 형상의 수정을 위한 절점의 이동은 해당 절점의 위치를 적절한 방향으로 이동시켜 주

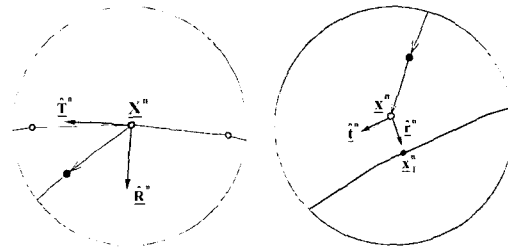
는데 이때 접선방향, 즉  $\hat{t}^n$ 방향으로의 이동은 그 절점을 외곽선 방향으로 이동시켜 주는 것이기 때문에 블랭크 형상의 수정과는 관계가 없는 반면 반경방향으로의 이동은 블랭크 형상의 변화와 관계가 있다. 따라서 블랭크 형상의 수정은 반경방향, 즉  $\hat{R}^n$ 으로 절점을 이동시켜주면 된다.

성형 후 형상과 목표형상과의 차이, 즉 형상오차도 마찬가지로 방법으로 구할 수 있다. 다시 말하자면 절점 n에서의 형상오차  $\epsilon^n$ 은 성형 후 위치벡터  $x^n$ 에서 변형후의 그 절점의 반경벡터  $\hat{r}^n$ 방향으로 측정된 목표외곽선까지의 거리로 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$x^n + \epsilon^n \hat{r}^n = X_T^n \tag{1}$$



(a) movement of boundary node



(b) detail A, initial state (c) detail B, final state

Fig. 1 Basic concept of error correction in the radius vector method

그러나 Fig. 2와 같이 금형면이 자유 곡면일 경우,  $x^n$ 으로부터  $\hat{r}^n$ 의 연장선과 목표 형상이 만나지 않을 수 있기 때문에 오차의 측정이 문제가 될 수 있다. 이 경우 형상오차  $\epsilon^n$ 은  $\hat{t}^n$ 을  $x^n$ 에서의 단위접선벡터  $\hat{t}^n$ 을 중심축으로 회전시키면서 목

표형상과 만나게 되는 점과  $x^n$  사이의 거리로 정의함으로써 해결하도록 한다.

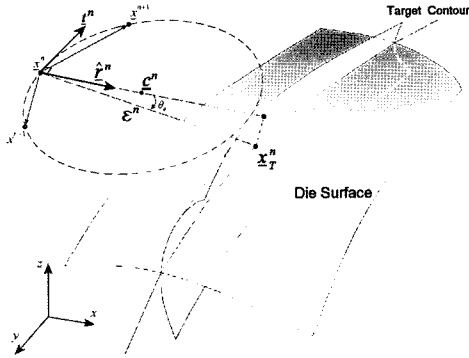


Fig. 2 Shape error measurement at the curved surface

블랭크 형상의 수정은 식 (1)을 통해 구한 그 절점에서의 형상오차값과 그 절점에서의 반경벡터를 이용하여 식 (2)와 같이 절점위치를 이동한다.

$$\mathbf{X}_{(n)}^n = \mathbf{X}_{(n-1)}^n + \beta \cdot \epsilon^n \cdot \hat{\mathbf{R}}^n \quad (2)$$

본 연구에서 사용한 반경벡터법은 기존의 초기속도 법<sup>(4)</sup>과 비교하면, 반경벡터를 그대로 채택하였다는 점에서 유사하지만 절점 이동속도에 의해 결정되는 절점속도계수  $\Gamma^n$  ( $0 < \Gamma^n \leq 1$ ) 대신 일정한 값을 가진다는 점에서 그 차이가 있다.

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

### 3. 최적블랭크 설계와 연계한 블랭크 최적배치

블랭크의 최적 배치는  $0^\circ \sim 180^\circ$  또는  $0^\circ \sim 360^\circ$  사이에서 일정한 각도로 블랭크를 회전시켜 가면서 블랭크와 블랭크 사이의 거리를 설정된 브릿지 폭으로 맞추어 주고 각각의 각도에서의 수율, 즉 재료사용율을 계산한다. 이때 최적배치는 수율이 최대일 때의 각도와 간격으로 배치가 되었을 경우를 의미한다.

Fig. 3은 블랭크 최적 배치를 위해 블랭크와 블랭크 사이의 거리를 설정된 브릿지 폭(bridge width)만큼 유지해 주기 위한 알고리즘을 그림으로 나타낸 것이다. 이는 기본적으로 같은 각도의 두 블랭크

크, 즉 블랭크 A와 블랭크 B 사이의 최소 거리를 구하고 이 최소거리가 원하는 간격, 즉 브릿지 폭과 같아질 때까지 블랭크 A를 기준으로 블랭크 B의 위치를 좌우로 이동시켜 주는 것이다.

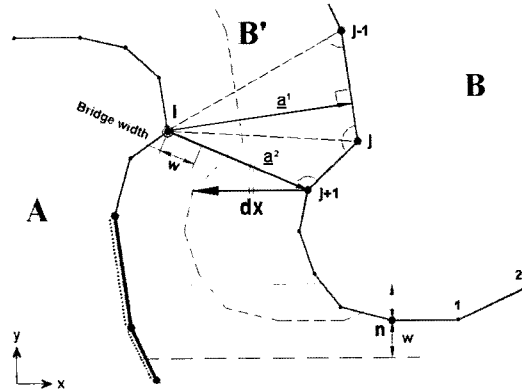


Fig. 3 Distance measurement between two blanks

두 블랭크 간의 최소 거리는 두 블랭크 A와 B 상호간의 점과 선분 사이의 거리를 비교하여 가장 작은 값으로 정의한다. 이때 점과 선분사이의 거리는 블랭크 A의 절점과 블랭크 B의 선분사이의 거리와 블랭크 B의 절점과 블랭크 A의 선분사이의 거리를 모두 고려하도록 한다.

$a_1^j$ 를 블랭크 A의 i번째 절점과 블랭크 B의 j번째 절점과 j-1번째 절점으로 결정되는 선분까지의 최소 거리라고 하자. 이때 최소거리는 그림에서의  $a^1$ 과 같이 어떤 점에서 선분까지의 수직 거리가 되는 경우와  $a^2$ 와 같이 절점까지의 거리가 되는 2가지 경우를 모두 고려하도록 한다.

계산시간의 단축을 위해 블랭크 A 상의 임의의 절점 i에 대하여 블랭크 B의 모든 선분을 하는 대신 블랭크 B가 x 방향만으로 이동한다는 점을 이용하여 다음의 식을 만족하는 블랭크 B의 절점 j를 포함하는 선분만 대상으로 계산을 수행한다.

$$y_A^i - w \leq y_B^j \leq y_A^i + w \quad (3)$$

여기서  $y_A^i$ ,  $y_B^j$ 는 각각, 블랭크 A의 i번째 절점의 y좌표, 그리고 블랭크 B의 j번째 절점의 y좌표를 나타내고, w는 브릿지 폭을 나타낸다.

즉 식 (3)을 만족하는 블랭크 B의 절점의 위치를 포함하는 선분에 대해서만 거리를 측정하도록 한다.

이상과 같이 블랭크 A의 모든 절점에서 측정된 블랭크 B까지의 거리 중 최소의 값을 두 블랭크 사이의 최소거리로 한다.

마찬가지 방법으로 블랭크 B의 절점에 대하여 블랭크 A의 선분까지의 거리를 최소거리를 구하고 두 값 중 작은 값을 두 블랭크 간의 최소거리로 한다.

두 블랭크 사이의 최소거리를 브릿지 폭이 되도록 하기 위해서 블랭크 B를 x 방향으로 적절히 이동시켜주는데 이를 위해 이분탐색법(bisection search method)을 사용하였고, 이 알고리즘에 따라 최적블랭크 설계 프로그램과 연계한 최적배치 프로그램을 개발하였다.

Fig. 4는 반경벡터법을 적용하여 개발한 최적 블랭크 설계 프로그램(OptiBlank로 명명)의 흐름도를 나타내고 있다. 본 프로그램은 상용 성형 해석 프로그램인 PAM-STAMP, LS-Dyna, SAIT-STAMP의 결과를 그대로 읽어 들일 수 있으며, 수정된 블랭크로 재해석을 쉽게 할 수 있도록 프로그램 내부에 격자 생성 기능을 가지고 있다. 또한 보다 양질의 격자를 얻기 위해 사용되는 상용 격자 생성 프로그램인 HyperMesh와도 호환이 될 수 있도록 하여 현장 사용자의 편의를 도모하고 있다.

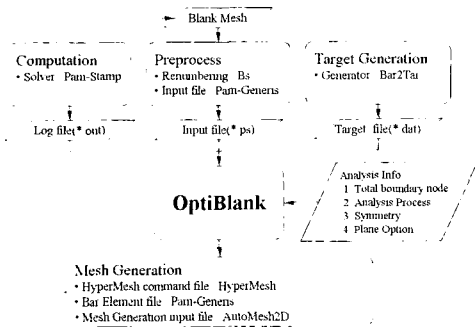


Fig. 4 OptiBlank program window

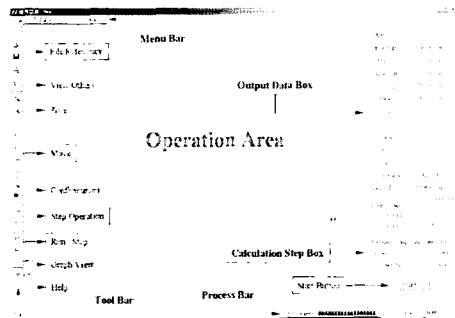


Fig. 5 OptiNest program window

상기 프로그램에서 구한 최적 블랭크는 Fig. 5의 블랭크 최적 배치 프로그램(OptiNest로 명명)의 입력 데이터로 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, 또한 코일 폭도 자유, 제한으로 선택할 수 있도록 하였다.

Fig. 6은 블랭크 최적 배치 프로그램의 개략적인 흐름도이고, Fig. 7은 소재이용률의 최적화를 위해 블랭크 최적설계와 최적배치를 연계하는 과정을 보여주고 있다. 최적블랭크를 사용할 경우 그렇지 않을 경우에 비해 성형 후 두께변형률의 분포가 양호하기 때문에 일반적으로 주름이나 터짐의 가능성이 낮아 성형성이 좋아진다는 점은 이미 알려져 있다.<sup>(5)</sup> 따라서 최적블랭크 설계와 최적배치의 연계활용은 최적블랭크의 장점인 양호한 성형성과 더불어 소재이용률의 최적화를 기할 수 있어 스탬핑공정 전체를 최적화가 가능해진다.

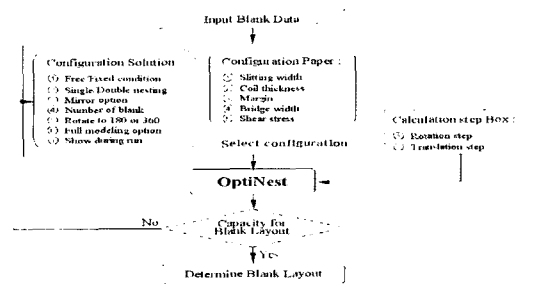


Fig. 6 Flow diagram of OptiNest

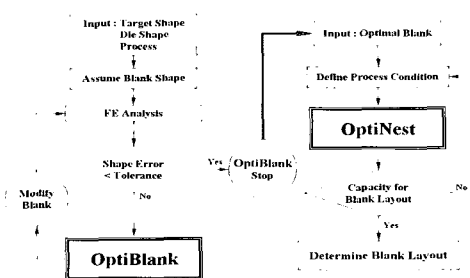


Fig. 7 Integration of optimal blank design and optimal nesting

#### 4. 적용 사례

##### 4.1 L 형 컵(L-shaped cup)

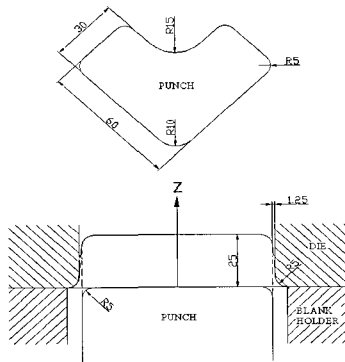


Fig. 8 Die geometry for L-shaped cup drawing

Fig. 8 은 L 형컵 드로잉을 위한 금형으로 이 예제는 반경벡터법의 수렴성을 확인하기 위해 선택하였는데 목표형상을 컵의 깊이 25mm 일때 폭 2mm 의 균일한 플랜지 폭을 갖는 형상으로 하였다. 최적블랭크 설계를 위한 블랭크 형상의 초기 가정은 목표형상의 표면적과 블랭크의 표면적이 같다는 가정하에 현장에서 주로 사용하고 있는 블랭크 설계법인 전개장법으로 결정하였다. 전개장법에서는 소재의 유동을 고려하지 않기 때문에 전개장법으로 결정된 블랭크로 성형할 경우 일반적으로 목표형상과는 차이가 있어 성형후 트리밍이 필요하지만 블랭크의 초기형상을 결정하는 방법으로 널리 사용되고 있다.

성형후 모양과 목표형상과의 차이인 형상오차가 모든 절점에서의 0.5mm 로 설정된 허용치이내로 들때까지 반경벡터법을 반복 적용하여 최적블랭크를 설계함으로써 반경벡터법의 타당성과 아울러 블랭크 최적배치와의 연계를 통해 소재의 사용율도 함께 비교하도록 한다.

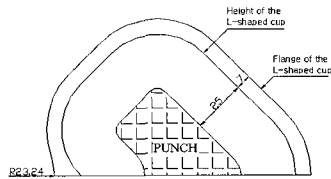


Fig. 9 Initial blank by the development method

Fig. 9 는 전개장법으로 결정된 블랭크 형상을 모습을 나타낸 것으로 펀치로부터 컵의 높이 25mm 와 다이라운드 5mm, 플랜지 폭 2mm 를 고

려하여 최적블랭크 설계를 위한 초기형상을 도출하였다.

Fig. 10 은 전개장법으로 결정된 블랭크로 반경벡터법을 적용하여 최적블랭크 설계 과정을 단계별로 성형 후의 모습과 목표형상을 비교한 것으로 설계단계가 진행됨에 따라 성형 후 모습이 목표형상에 수렴하고 있는 모습을 보여주고 있다.

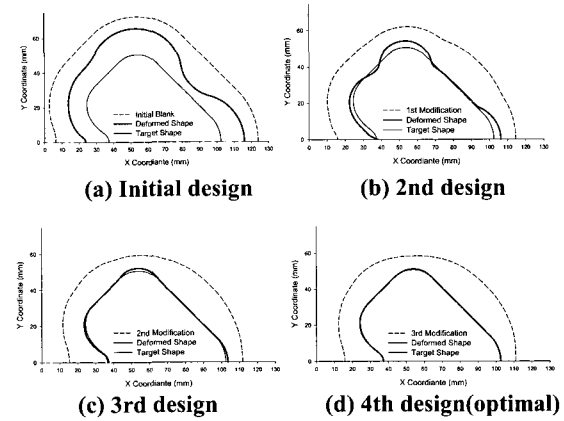


Fig. 10 Change of blank shapes and flange contours during the optimal blank design

Fig. 11 은 각 설계단계별로 형상 오차의 감소 추이를 보여주고 있는데, 3 회의 수정 만에 모든 절점에서의 형상오차가 허용치인 0.5mm 이내 들었기 때문에 이때의 블랭크 형상이 이 공정에서의 최적블랭크가 된다.

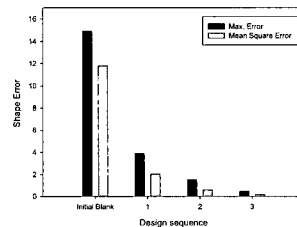


Fig. 11 Decrease of shape error

이상의 과정으로 결정된 최적블랭크 형상과 전개장법으로 결정된 블랭크 형상을 본 연구에서 개발한 최적배치 프로그램을 이용하여 최적배치한 후 소재이용율을 비교하도록 한다.

본 예제에서 블랭크 최적 배치를 위해 마진과 브릿지 폭은 각각 5mm, 2mm 로 설정하여 전개장법에 의한 블랭크와 최적 블랭크 형상에 대한 단열 자유 배치를 수행하였다.

Fig. 12는 전개장법에 의해 결정된 블랭크와 최적블랭크 형상을 각각 최적배치 프로그램을 이용하여 최적배치된 모습을 나타내고 있다.

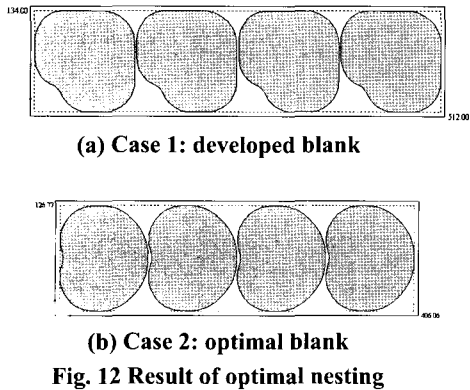


Table 1 The comparison of the utilization ratio between the developed blank and optimal blank (unit : %)

	utilization			relative
	nesting	trimming	overall	
Case 1	76.62	73.24	56.19	74.54
Case 2	75.38	100	75.38	100

Table 1은 전개장법에 의한 블랭크와 최적 블랭크를 각각 최적배치한 후 소재의 이용율을 비교한 것이다. 전개장법에 의한 블랭크는 배치단계의 소재이용율이 76.62%로 최적블랭크의 소재이용율 75.38%보다 약간 높게 나타났으나 이는 최적블랭크의 형상이 전개장법에 의한 블랭크의 형상보다 복잡하기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 그렇지만 전개장법에 의한 블랭크는 성형 후 형상이 목표형상과 차이가 있기 때문에 목표형상을 얻기 위해 트리밍을 실시할 필요가 있다. 이때 트리밍에 의한 소재이용율이 73.24%로 최적배치와 트리밍을 종합하면 전체적인 소재이용율은 56.19% 정도로 나타났다. 그런데 최적블랭크의 경우 성형 후 형상이 목표형상과 일치하기 때문에 트리밍이 필요없어 전체적인 소재이용율은 75.38%로 나타났다. 따라서 최적블랭크를 기준으로 하였을 때 전개장법에 의한 블랭크는 74.54%로 나타나 최적블랭크에 비해 1/4 정도 낮게 나타나고 있다.

4.2 오일팬 (Oil-pan)

본 예제에서는 오일팬 형상의 드로잉을 대상으

로 최적블랭크와 최적배치의 효과를 비교하도록 한다. 특히 최적배치는 앞서 적용한 단열배열 뿐만 아니라 복열배치의 효과를 알아보도록 한다.

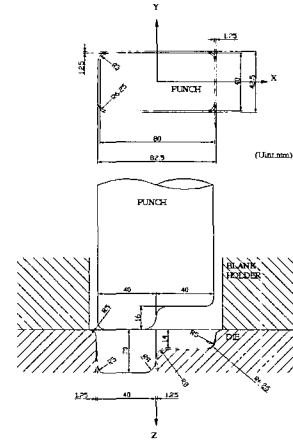


Fig. 13 Die geometry for oil-pan drawing

Fig. 13은 오일팬 금형 형상으로, L형 컵과 마찬가지로 금형 및 블랭크를 1/2 모델링 하였으며 최적 블랭크를 얻기 위한 플랜지 외곽선의 형상 허용 오차는 0.5mm로 설정하였다. 최초 해석에 사용된 블랭크는 장축 140mm, 단축 100mm의 타원형으로 선정하였다.

오일팬의 경우 Fig. 14와 같이 초기 타원형 블랭크로부터 4회의 설계 과정을 통해 성형 후 형상이 목표 형상과 거의 일치하게 되었다.

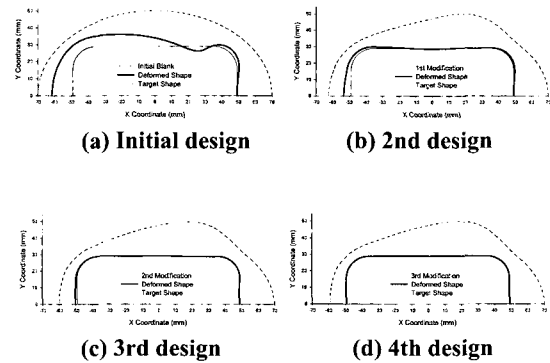


Fig. 14 Change of blank shapes and flange contours during the optimal blank design

Fig. 15(a)는 코일폭을 자유로 하여 최적블랭크 형상을 단열배열한 것이며, Fig. 15(b)는 코일폭을 자유로 하고 복열배열한 것이고, Fig. 15(c)는 코일폭을 180mm로 고정시킨 후 복열배열한 형상을 나타낸 것이다. Table 2는 각각의 경우에 대한 소

재 이용율을 나타낸 것으로 코일폭을 자유로 하고 복열배열한 것이 80.93%로 소재이용율이 최대가 되고 있다.

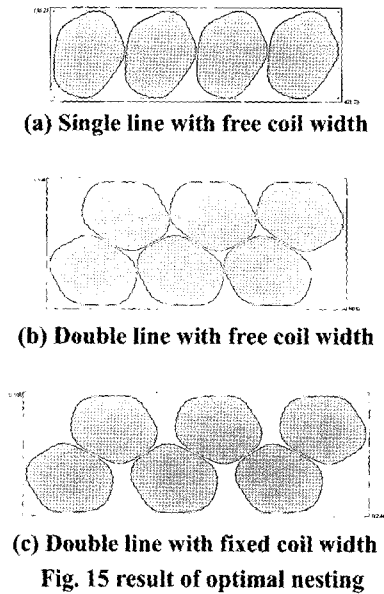


Table 2 Result of optimal nesting for oil pan

	1 line free	2line free	2 line fixed
coil width[mm]	136.25	189.49	180.00
utilization [%]	70.04	80.93	70.51

#### 4.3 프론트 펜더 패널 (Front fender panel)

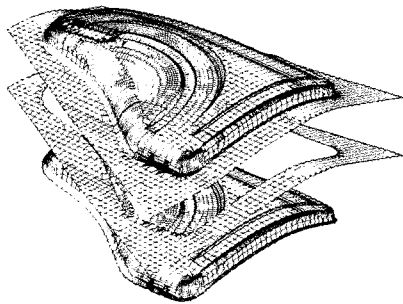


Fig. 16 Die geometry for front fender panel

자동차부품의 스탬핑과 같은 현장문제를 통하여 확인하기 위해 Fig. 16 과 같은 프론트 펜더 패널을 예제로써 채택하였다. 프론트 펜더 패널은

차량 외관에 적용되는 부품으로 국부적인 주름이나 두께 감소로 인한 성형성이 제품의 품질에 결정적인 영향을 미치게 되므로 정확한 해석과 안정성을 고려한 블랭크 설계가 이루어질 필요가 있다.

최적 블랭크 형상 설계를 위한 초기 블랭크의 형상은 실제 현장에서 사용되어지는 사다리꼴로 하였으며, 목표 형상에 대한 수렴 허용 오차는 5mm 로 설정하였다

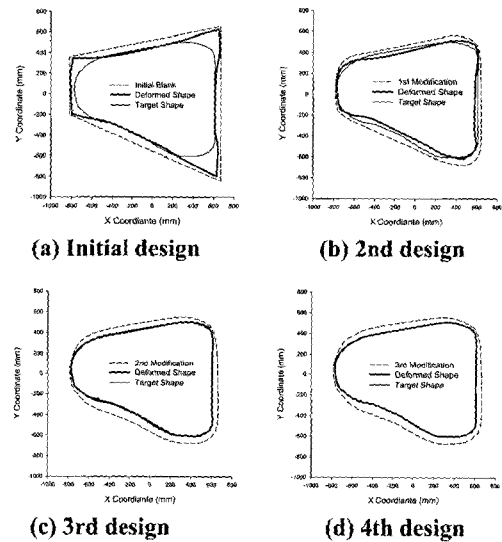


Fig. 17 Change of blank shapes and flange contours during the optimal blank design

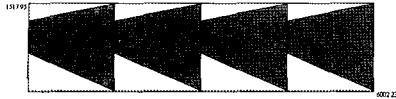
Fig. 17 은 프론트 펜더의 최적블랭크 설계과정을 보여주고 있는데 반경벡터법을 적용하여 사다리꼴의 초기 블랭크로부터 총 3 회의 수정 후 최적블랭크를 얻을 수 있었다.

마진과 브릿지 폭을 모두 10mm 로 설정하여 원래 블랭크 모양과 최적블랭크를 대상으로 단일배열과 복열배열하여 소재의 이용율을 비교하였다.

Fig. 18(a)는 현장에서 사용하고 있는 사다리꼴형상의 블랭크로 단일배열했을 때, Fig. 18(b)는 최적블랭크 단일배열시 소재이용율이 최대일 때, 그리고 Fig. 18(c)는 최적블랭크 복열배열시 소재이용율이 최대일때의 배치모습을 나타낸 것이다.

Table 3 은 Fig. 18 의 각 경우에 대한 소재이용율을 비교한 것이다. 최적배치와 트리밍을 모두 감안한 전체 소재이용율은 최적 블랭크의 복열배치를 기준으로 하여 사다리꼴 형상의 초기 블랭크는 소재 이용률이 전체 68.75%, 최적 블랭크를 단

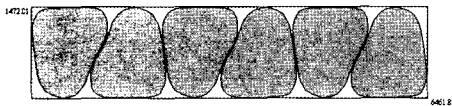
열 배치했을 때 85.88%로써, 본 예제에서는 최적 블랭크 설계 시스템과 블랭크 최적 배치 시스템의 연계를 통하여 기존의 설계방식에 비해 소재 이용율이 30% 이상 높게 나타났다.



(a) Case 1: single line (initial blank)



(b) Case 2: single line (optimal blank)



(c) Case 3: double line with free width (optimal blank)

Fig. 18 Optimal blank layout at each conditions

Table 3 Comparison of the utilization ratio between the developed blank and optimal blank (unit : %)

	Utilization			relative
	nesting	trimming	overall	
Case 1	67.43	90.55	61.06	68.75
Case 2	76.27	100	76.27	85.88
Case 3	88.81	100	88.81	100

### 5. 결론

스탬핑 공정의 최적화는 최소의 소재를 사용하여 주름이나 터짐이 없는 양질의 제품을 생산하기 위한 일련의 과정을 의미한다. 본 연구에서는 최적블랭크의 장점인 양호한 성형성을 그대로 유지하면서 스탬핑을 위한 소재준비단계인 블랭킹시의 소재이용율을 향상시키기 위해 최적배치프로그램을 개발하여, 기존의 최적블랭크 설계프로그램과 연계하였다.

사용자의 편의성을 도모하기 위해 GUI 환경으로 상용 S/W의 결과를 그대로 이용할 수 있도록 하였다. 최적블랭크 설계프로그램에 사용한 수식은 새롭게 개발한 반경벡터법을 적용하였으며 예제를 통하여 확인한 결과 수렴성이 우수한 것으로 판명이 되었다. 몇 가지 예제를 통하여 최적블랭크와 최적배치의 연계활용은 기존의 블랭크 설계법에 비해 소재이용률이 크게 증대시키는 것으로 판명되어 소재원가절감 뿐만 아니라 사용자의 작업편의성의 향상에 힘입어 스탬핑 공정 개발기간도 크게 단축될 수 있을 것으로 기대된다.

### 후 기

이 논문은 2003년도 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원 되었음.

### 참 고 문 헌

- (1) 오진용, 오수익, 김상주, 임지열, 이종문, 2001, 판재성형을 위한 블랭크 최적 배치 알고리즘 개발, 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집 pp. 32~35.
- (2) 김영석, 손현성, 서상구, 1999, 스탬핑 블랭크의 효율적 배치를 위한 소프트웨어 개발, 대한기계학회논문집 A 권, 제 23 권, 제 8 호, pp. 1380~1387.
- (3) 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.
- (4) 심현보, 이상현, 손기찬, 2002, 초기 속도법을 이용한 최적 블랭크 설계 프로그램의 개발, 한국소성가공학회지 제 11 권, 제 6 호, pp. 487~494.
- (5) H.B. Shim, K.C. Son and K.H. Kim, 1999, Optimum Blank Shape Design by Sensitivity Analysis, Proc. Numisheet'99, Besancon, France pp. 523~528.
- (6) Choi. B.K., 1991, Surface Modeling for CAD/CAM, El Sevier.