

## 일반적인 형상의 스탬핑의 최적블랭크 설계를 통한 민감도법의 검증

손기찬\* · 심현보\*\* · 황현태\*

(2000년 6월 23일 접수)

## Verification of Sensitivity Method for the Design of Optimal Blanks of General Shaped Parts

K. C. Son, H. B. Shim and H. T. Hwang

### Abstract

The sensitivity method has been utilized to find initial blank shapes which transform into desired shapes after forming. From the information of die shapes, target shape and material properties, the corresponding initial blank which gives final shape after deformation has been found. Drawings of a trapezoidal cup, a cross-shaped cup and an oil pan have been chosen as the examples. At every case the optimal blank shape has been obtained only a few times of modification without any predetermined deformation path. With the predicted optimal blank, both computer simulation and experiment are performed. Excellent agreements are recognized between simulation and experiment at every cases. Through the investigation, the sensitivity method is found to be effective in obtaining optimal blank shapes in drawing of complex shapes.

**Key Words** : Optimal Blank , Sensitivity Method, Trapezoidal Cup, Cross Shaped Cup, Oil Pan

### 1. 서론

최적 블랭크는 원하는 형상으로 성형이 되는 초기 블랭크의 모양을 의미하며 엄밀한 개념에서의 최적블랭크란 드로잉 후 트리밍 공정이 없이 그대로 사용이 가능한 제품을 생산하는 초기 블랭크의 모양을 뜻한다. 그러나 실제의 박판성형 공정, 즉 복잡한 형상의 성형에서는 트리밍을 완전히 배제하기란 간단한 일이 아니다. 다시 말

하면 재질, 윤활조건, 성형속도, 홀더압력등과 같은 박판 성형공정에 영향을 미치는 공정변수들의 적은 변화에도 최종형상이 달라질 수 있기 때문에 실제로는 트리밍 여유를 두고 성형한 후 트리밍을 거친 후 제품을 생산한다. 이러한 의미에서 최적블랭크란 정형가공(net-shape forming)을 위한 초기 블랭크의 모양이라는 종래의 정의 대신 약간의 트리밍 여유를 부여하여 설정한 목적형상로의 성형이 되는 초기 블랭크의 모양이라고 정의하는

\* 영남대학교 대학원  
\*\* 영남대학교 기계공학부

것이 보다 현실적이다.

이러한 최적블랭크는 소재의 이용률 증가 및 성형성의 향상 등의 장점이 있기 때문에 실제의 박판성형 급형 개발시 최종 트라이아웃(try-out) 과정에서 급형면의 수정 작업과 더불어 최적블랭크의 모양을 결정하는 작업을 수행한다. 그런데 실제 자동차 급형의 경우 급형개발시 절삭 등의 급형가공, 조립 등에 소요되는 기간이 2~3 개월인데 비하여 트라이아웃 및 급형의 수정에 소요되는 기간은 10~13개월 정도 소요되는 것으로 알려지고 있다<sup>(1)</sup>. 따라서 최적블랭크를 설계한다는 것은 제품의 실수율 증가, 성형성 향상 등의 알려진 장점 뿐만 아니라 성형 해석을 기초로 하여 최적블랭크를 설계한다면 트라이아웃 기간도 단축시킬 수 있어 결과적으로는 제품개발 기간 단축의 효과를 얻을 수 있다.

초기 블랭크 설계 예측 방법으로 작도법에 의한 소성해법인 미끄럼선장법<sup>(2-6)</sup>을 이용한 방법과 변형된 형상에서의 표면적을 면적을 일정하게 유지시키면서 평면으로 투영하는 기하학적 사상법<sup>(6,7,8)</sup>을 들 수가 있으며, 최근의 유한요소해석 결과를 이용한 시행착오에 의한 면적감법<sup>(9,10)</sup>, 유한요소 역해석법<sup>(11,12,13)</sup>, 최소일의 원리에 입각한 이상성형이론을 이용하는 방법<sup>(14)</sup>, 유한요소 역추적법<sup>(15)</sup>을 들 수가 있다. 그밖에 플랜지 외곽의 절점의 거동을 선형적으로 보간하는 방법<sup>(16)</sup>, 그리고 롤백(roll back)법<sup>(17)</sup>도 있다.

실험적인 방법으로는 전압분포장과 금속변형속도장의 상사성에 입각한 방법<sup>(18)</sup> 그리고 고점성 유체유동과 금속변형속도장의 상사성에 입각한 방법<sup>(19)</sup> 등도 있다.

최근 심현보 등은 민감도법<sup>(20-24)</sup>에 의한 최적블랭크 설계기법을 제안하고 이를 간단한 형상인 정사각형 컵, 클로버형 컵, 그리고 L형상의 컵을 대상으로 성형 후 균일한 플랜지폭을 가지는 최적블랭크 형상을 설계하고 이를 실험으로 확인하여 타당성을 입증한 바 있다.

본 논문에서는 사다리꼴 형상의 컵 성형, 십자형 컵 성형, 오일팬의 성형에 민감도법을 적용하여 블랭크를 예측하고 예측된 블랭크로 실험을 하여 타당성을 확인하고자 한다. 특히 오일팬의 성형의 경우 실제 생산현장에서는 블랭크 설계의 난이도가 가장 높은 공정 중의 하나로 인식되고 있다. 따라서 본 논문은 민감도법의 타당성과 아울러 실제 문제의 적용 가능성을 조사하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 민감도에 의한 초기 블랭크 설계법

민감도 해석은 성형후의 외곽선과 목표외곽선의 차이

를 보정하기 위해 민감도로 정의되는 성형전의 소재 외곽선의 변화량과 성형후의 소재 외곽선의 변화량의 비를 이용하여 성형전의 블랭크 모양을 수정해 주는 방법이다<sup>(21)</sup>. 즉 성형후의 외곽선이 목표 외곽선과 일치하지 않을 경우 제품의 외곽선이 목표 외곽선과 일치하도록 성형전의 블랭크의 모양을 수정해 주는데 이때 성형전의 블랭크 모양을 수정할 때 민감도를 이용한다.

민감도는 각 절점마다 구하는데 최초 블랭크 형상과 이 블랭크로부터 외곽선상의 절점을 미소량 오프셋(offset)시킨 블랭크로 변형 해석을 2번 수행하여 구한다.

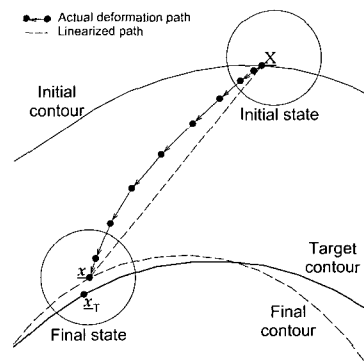


Fig. 1 Movement of a material point

Fig. 1은 초기 블랭크 외곽선상 임의의 한 점이 변형되는 경로를 나타낸 것으로, 실선은 블랭크 외곽선상의 절점들이 이동하는 경로, 점선은 절점의 최초위치와 최종위치를 직선으로 연결한 것으로 실제 변형경로는 비선형적임을 보여준다. 실제 시행착오에 의해 이루어지는 현재 트라이아웃 단계에서는 작업의 간편화 등의 이유로 주로 직선경로로 택하고 있는데 실제의 변형경로와 상당한 오차가 있다. 변형기구가 복잡해질수록 양 변형경로의 차이가 커지기 때문에 형상이 복잡한 제품일수록 블랭크의 설계가 어려워지는 이유가 이 오차에 기인한다고 판단된다.

그림에서  $X$ 는 변형전의 블랭크 외고가선상의 임의의 점,  $X_T$ 는 최종형상으로 성형된 후의 위치를 나타낸다.

최종위치  $X_T$ 에서 최종단계의 성형방향으로의 연장선과 목표형상의 외곽선과 만나는 점을  $X_T$ 로 표현하였다.

Fig. 2(a)와 Fig. 2(b)는 각각 변형의 초기와 최종단계에서의 절점의 움직임을 벡터형태로 표현한 것이다.  $N$ 은 첫 번째 스텝에서의 절점이 움직이는 방향의 단위백

터, 그리고  $\mathbf{n}$  은 최종단계에서의 절점이 움직이는 방향의 단위벡터이다.  $\mathbf{X}_\delta$ 는 오프셋 블랭크의 외곽선상의 절점의 위치를 나타내고 있으며 이는 원래의 블랭크의 모양을 표현하는 외곽선상의 절점의 위치  $\mathbf{X}$ 로부터  $\mathbf{N}$  방향으로 미소량  $\delta$ 만큼 오프셋 시킨 것으로 다음과 같이 구한다.

$$\mathbf{X}_\delta = \mathbf{X} + \delta \cdot \mathbf{N} \quad (1)$$

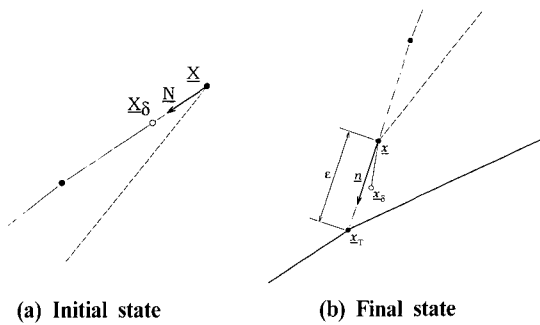


Fig. 2 Sensitivity and Error Correction

$\mathbf{x}_T$ 는 목표 형상 외곽선상의 점으로 최종변형단계에서의 변형이 진행되는 방향의 단위벡터  $\mathbf{n}$  의 연장선과 만나는 점으로 결정되며,  $\mathbf{x}$  와  $\mathbf{x}_T$  사이의 거리를 형상오차  $\epsilon$ 으로 하였다.  $\mathbf{x}_\delta$  는  $\mathbf{X}_\delta$ 의 최종 변형된 점의 위치로 식 (2)의 과정을 거쳐 각 절점에서의 민감도(S:sensitivity)가 구하여진다.

$$S = \frac{|\mathbf{X} - \mathbf{X}_\delta|}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}_\delta|} \quad (2)$$

(2)에서 얻은 민감도를 이용하여 변형경로를 고려하여 절점의 새로운 위치  $\mathbf{X}^{(i)}$  는 다음의 식으로부터 구하여진다.

$$\mathbf{X}^{(i)} = \mathbf{X}^{(i-1)} + \epsilon \cdot S \cdot \mathbf{N} \quad (3)$$

최적블랭크는 형상오차  $\epsilon$ 이 모든 절점에서 허용오차 이하가 될 때까지 해석 및 절점 이동의 방법을 Fig. 3에 표시한 순서대로 모든 절점에서의 형상 오차가 허용치 이하로 될 때까지 수 차례 반복하여 구한다.

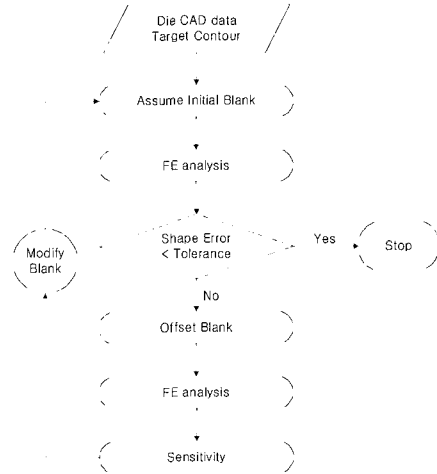


Fig. 3 Flow Chart for optimal blank design

### 3. 일반적인 금형에의 적용

#### 3.1 사다리꼴 컵의 성형

본 연구에서 금형면은 Fig. 4에 표시한 순서대로 상용 CAD system인 I-DEAS<sup>®</sup>에서 모델링 하였고 금형면을 I-DEAS FE 호환 형태인 유니버설 파일(universal file)의 형태로 변환하여 HyperMesh<sup>®</sup>에서 읽어들이고 이를 다시 PAM-STAMP<sup>®</sup>의 입력파일 형식인 ps 파일로 변환한 후 SAIT-STAMP<sup>®(25)</sup>에서 읽어 들었다.

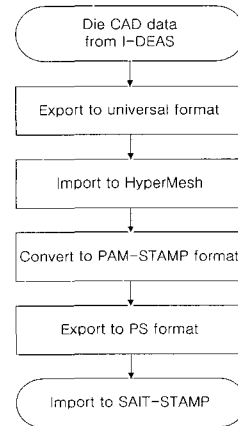


Fig. 4 Flow Chart for file format converting

Fig. 5는 사다리꼴 컵 디프 드로잉 공정에 사용된 금형의 형상을 나타내고 있으며 목표 형상은 펀치 행정이 20mm일 때 1.75mm의 균일한 트리밍 여유폭(trimming



### 3.2 십자형 컵의 성형

십자형 컵의 성형은 오목한 구석부위가 있어 유동이 복잡할 뿐만 아니라 최종 성형 모양이 초기 블랭크의 모양에 따라 민감하게 변화하는 특성을 지니고 있다.

Fig. 8은 사다리꼴 컵 디프 드로잉 공정에 사용된 금형의 형상을 나타내고 있다. 블랭크 모양의 초기 가정으로 직경 110mm의 원형 블랭크를 택하였고 목표형상은 펀치행정 20mm에서 1.75mm의 균일한 플랜지 트리밍 여유폭을 가지는 형상으로 설정하였다.

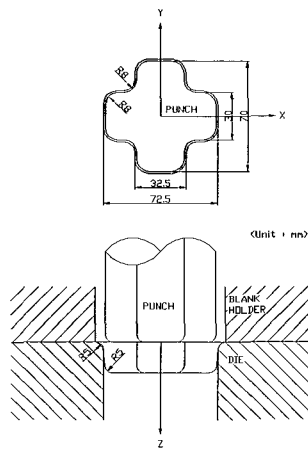


Fig. 8 Die geometry for square cup drawing

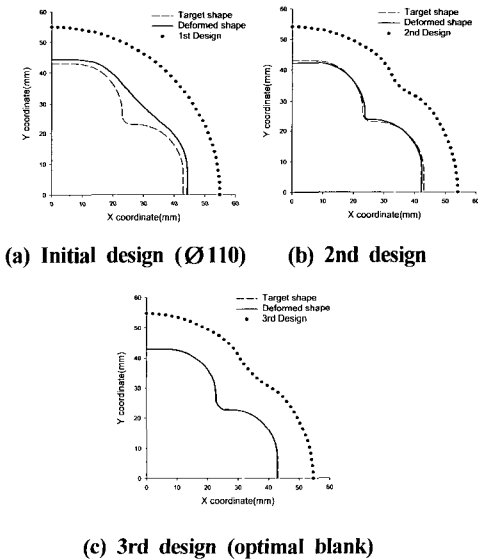
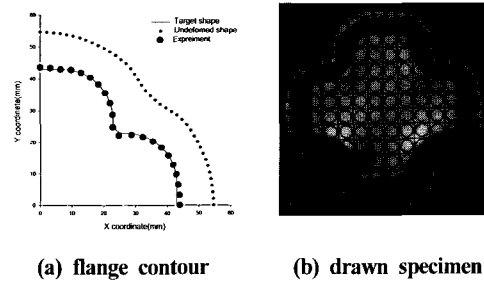


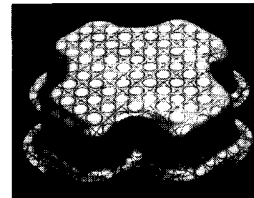
Fig. 9 Flange contours after deformation

Fig. 9는 최초로 가정한 직경 110mm의 원형 블랭크로부터 최적 블랭크의 설계단계 별 성형후 플랜지 외곽선 모양의 변화과정을 나타낸 것이다. 2차 수정후 최종적으로 Fig. 9(c)의 결과를 얻었는데 플랜지 외곽선의 모양이 모든 절점에서 허용오차인 0.5mm 이내에 들어가므로 이때 변형전의 블랭크 모양을 최적블랭크로 결정하였다.

Fig. 10은 최적블랭크로 성형실험한 제품의 모양을 나타내고 있다. Fig. 10(a)는 최적블랭크의 실험과 수치해석 결과에서 얻은 외곽선의 형상을 비교한 것이다. 실험 결과와 수치해석 결과가 거의 일치하고 있어 민감도법에 의한 최적블랭크 설계방법이 오목한 구석이 있어 유동이 복잡한 문제에도 적용될수 있음을 보여준다. Fig. 10(b)와 (c)는 최적블랭크를 사용하여 성형된 제품의 모양으로 최적블랭크를 사용할 경우 균일한 폭의 플랜지가 남아 있음을 보여주고 있다.



(a) flange contour (b) drawn specimen



(c) drawn specimen(Iso View)

Fig. 10 Experimental results for the optimal blank (cross-shape cup)

### 3.3 Oil-Pan의 성형

오일팬은 깊이가 2단으로 되어 있기 때문에 깊이가 얇은 쪽과 깊은 쪽과의 드로잉속도 차이가 있어 얇은 쪽에서는 주름 현상, 깊은 쪽에서는 찢어짐 현상등이 발생되기 쉽다. 따라서 불량률 없는 제품을 얻기 위해서는 드로잉 비드의 설치나 블랭크의 모양을 조절함으로써 해결하고 있다. 오일팬 형상의 최적블랭크를 설계하기 위해서는 컵의 높이차 및 드로잉에서 생기는 여러가지 문제를 모두 고려해야 하기 때문에 성형 후 목표형상으

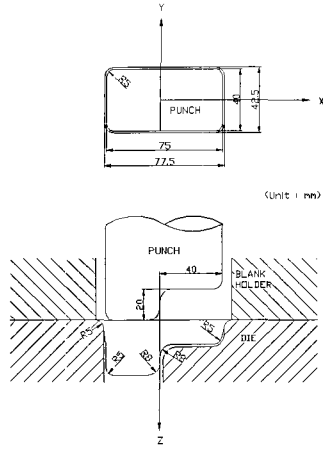


Fig. 11 Die geometry for oil-pan drawing

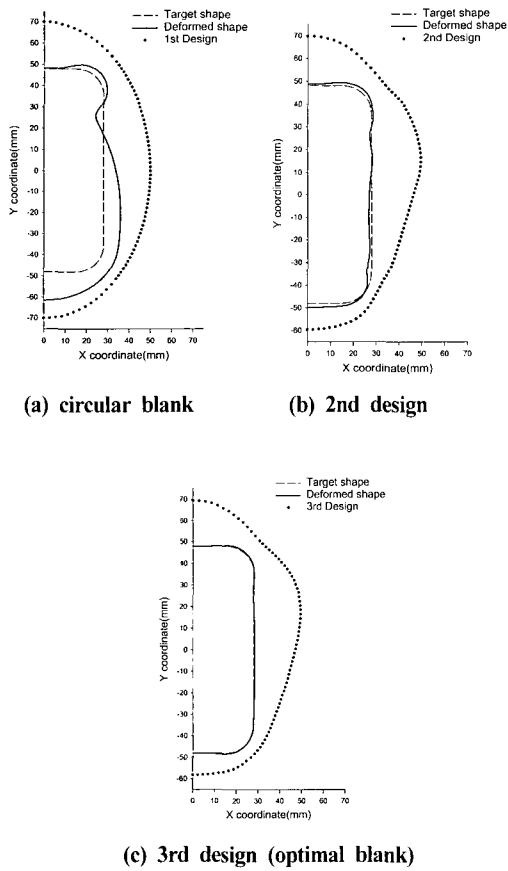


Fig. 12 Flange contours after deformation

Fig. 12(a)는 최초로 가정된 블랭크로 성형 해석한 로 되는 최적블랭크를 설계하기가 까다롭기 때문에 실제로 오일팬 생산업체에서는 금형의 트라이아웃 과정에서 시행착오법으로 블랭크의 모양을 결정하고 있고 이로 말미암아 재료의 실수율이 낮고 이에 따른 소재 원가부담이 상당히 크다. 이러한 매우 복잡한 변형역학을 지닌 오일팬의 성형에 민감도법을 적용하여 보았다

Fig. 11은 수치해석에 사용된 오일팬 드로잉 공정에 사용된 금형의 형상을 나타내고 있다. 블랭크 모양의 초기 가정으로 장축 방향으로 140mm, 단축 방향으로 100mm의 타원형 블랭크를 택하였고 앞의 사다리꼴 컵의 성형에서와 같이 민감도를 구하기 위한 미소 편차량은 1.0mm로 택하였으며 목표형상은 편치행정 20mm에서 1.75mm의 균일한 플랜지 트리밍 여유폭을 가지는 형상으로 설정하였다. 결과인데 최종상태에서 플랜지 외곽선의 모양으로 성형모양이 목표형상과 많은 차이가 나타났는데, Fig. 12(c)에서 2회의 수정으로 플랜지 외곽선의 형상이 목표형상과 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 즉 2회 수정 후 블랭크의 모양이 본 공정에서의 최적블랭크가 된다.

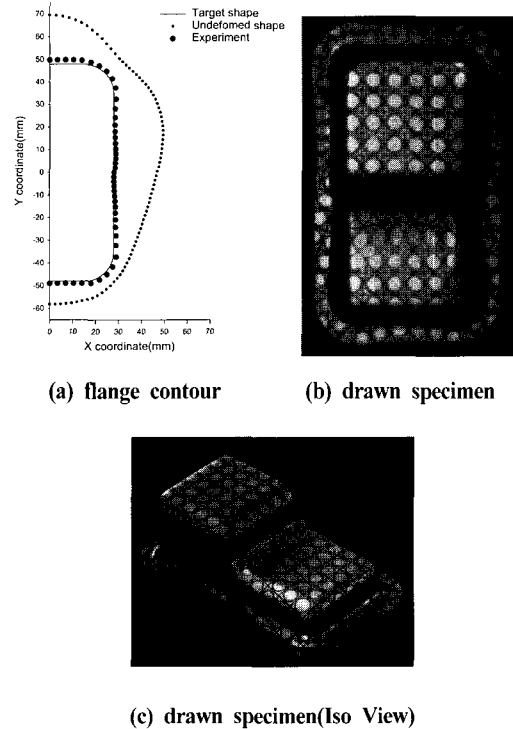


Fig. 13 Experimental results for the optimal blank (oil pan)

Fig. 13은 최적블랭크를 사용하여 성형한 제품의 모양을 나타내고 있다. Fig. 13(a)는 최적블랭크의 실험과 수치해석 결과에서 얻은 외각선의 형상을 비교한 것으로 실험 결과와 수치해석 결과가 거의 일치하고 있음을 보여주고 있다. 이 결과로부터 민감도법에 의해 설계된 최적블랭크가 성형후 원하는 형상으로 성형이 이루어지고 있음을 확인할 수 있다. 실제로 시행착오법에 의해 수행되는 현장 트라이 아웃과정에서 오일팬의 최적블랭크는 가장 까다로운 형상중의 하나로 인식되고 있는데 이러한 문제에도 성공적으로 적용됨이 판명되어 민감도법에 의한 블랭크 설계법이 실제문제에도 적용이 가능할 뿐만 아니라 매우 우수한 정확도를 보여주고 있음이 확인되었다. Fig. 13(b)와 (c)는 최적블랭크를 사용하여 얻은 제품의 모양으로 최적블랭크를 사용할 경우 목표형상인 균일한 폭의 플랜지가 남아 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 사다리꼴 형 컵, 십자형 컵 그리고 오일팬을 예제로 하여 이 제품의 성형에 필요한 최적블랭크를 민감도법을 이용하여 설계하고 실험결과와 비교하였다. 그 결과, 실험결과와 예측결과가 잘 일치하였으며, 오일팬과 같이 비교적 복잡한 형상에서도 민감도법이 성공적으로 적용될수 있음을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 武藤一夫, 1995, 高精度 3次元 金型技術, CAD/CAE/CAM/CAT 入門, 日刊工業新聞社.
- (2) Gloeckl, H., and Lange, K., 1983, "Computer Aided Design of Blanks for Deep Drawn Irregular Shaped Components", Proceeding of the 11th NAMRC, pp. 243~251.
- (3) Vogel, J.H., and Lee, D., 1990, "An Analytical Method for Deep Drawing Process Design", International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 32, No. 11, pp. 891~907.
- (4) Chen, X. and Sowerby, R., 1992, "The Development of Ideal Blank Shapes by the Method of Plane Stress Characteristics", International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 2, pp. 159~166.
- (5) Chen, X. and Sowerby, R., 1996, "Blank Development and the Prediction of Earing in Cup

- Drawing", International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 8, No. 5, pp. 509~516.
- (6) Kuwabara, T., and Si, W.H., 1997, "PC-Based Blank Design System for Deep-Drawing Irregularly Shaped Prismatic Shells with Arbitrarily Shaped Flange", Journal of Material Processing Technology, Vol. 63, pp. 89~94.
- (7) Sowerby, R., Duncan, J.L., and Chu, E., 1986, "The Modelling of Sheet Metal Stampings", International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 28, No. 7, pp. 415~430.
- (8) Blount, G.N., and Fischer, B.V., 1995, "Computerised Blank Shape Prediction for Sheet Metal Components Having Doubly-Curved surfaces", International Journal of Production Research, Vol. 33, No. 4, pp. 993~1005.
- (9) Guo, Y.Q., Batoz, J.L., Detraux, J.M., and Duroux, P., 1990, "Finite Element Procedures for Strain Estimations of Sheet Metal Forming Parts", International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 30, pp. 1385~1401.
- (10) Toh, C.H., and Kobayashi, S., 1985, "Deformation Analysis and Blank Design in Square Cup Drawing", International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 25, No. 1, pp. 15~32.
- (11) Kim, N., and Kobayashi, S., 1986, "Blank Design in Rectangular Cup Drawing by an Approximate Method", International Journal of Machine Tools & Manufacturing, Vol. 26, No. 2, pp. 125~135.
- (12) Iseki, H., and Sowerby, R., 1995, "Determination of the Optimum Blank Shape when Deep Drawing Non-axisymmetric Cups Using a Finite Element Method", JSME International Journal. Series A, Vol. 38, No. 4 pp. 473~479.
- (13) Barlat, O., Batoz, J.L., Guo, Y.Q., Mercier, F., Naceur, H., and Knopf-Lenoir, C., 1996, "Optimum Blank Design of Blank Contours Using the Inverse Approach and a Mathematical Programming Technique", Proceeding Numisheet 96, pp. 178~185.
- (14) Lee, C.H., and Huh, H., 1997, "Blank design and strain prediction of automobile stamping parts by an inverse finite element approach", Journal of

- Material Processing Technology, Vol. 63, pp. 645~650.
- (15) Barlat, F., Chung, K., and Richmond, O., 1994, "Anisotropic Plastic Potentials for Polycrystals and Application to the Design of Optimum Blank Shapes in Sheet Forming", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 25A, pp. 1209~1216.
- (16) Kim, S.D., Park, M.H., Kim, S.J., and Seo, D.G., 1998, "Blank Design and Formability for Non-Circular Deep Drawing Processes by the Finite Element Method", Journal of Material Processing Technology, 75, pp. 94~99.
- (17) Kim, J.Y., Kim, N.S., and Huh, M.S., 1997, "Blank Design of Automobile Cross Member Using the Computer Aided Engineering", Journal Korean Society of CAD/CAM Engineers '97, pp. 239~246.
- (18) Kim, J.Y., Kim, N.S., and Huh, M.S., 1998, "Optimum Blank Design of Automobile Sub-Frame", Korean Society for Technology of Plasticity Spring Annual Meeting, pp. 185~195.
- (19) Zhaotao, Z., and Bingwen, L., 1986, "Determination of Blank Shapes for Drawing Irregular Cups Using an Electrical Analogue Method", International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 28, No. 8, pp. 499~503.
- (20) Xueshan, L., and Bingwen, L., 1986, "Modelling of Flange Deformation of Irregular Drawn Cups Using a Fluid Analogy", International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 28, No. 8, pp. 491~497.
- (21) Shim, H.B., Son, K.C., and Kim, K.H., 1999, "Optimum Blank Shape Design by Sensitivity Analysis", Proceedings of Numisheet '99, pp. 523~528.
- (22) 심현보, 손기찬, 2000, "민감도법에 의한 최적블랭크 형상설계에 관한 연구", 대한기계학회 논문집 A권 제 24권 제 1호, pp. 79~86.
- (23) 심현보, 손기찬, 황현태, 2000, "민감도법을 이용한 최적블랭크 설계법의 일반적인 모양의 금형에의 적용", 한국소성가공학회지 제9권 제3호, pp. 226~232.
- (24) H.B. Shim, K.C. Son and K.H. Kim, 2000, "Optimum Blank Shape Design by Sensitivity Analysis", J. Mater. Proc. Tech., 104, pp. 191~199.
- (25) SAIT-STAMP Version 2.0, 1999, User's Manual. Samsung Advanced Institute of Technology