

딤피 드로잉 제품의 블랭크 설계를 위한 표면적 계산 시스템의 적용

박동환*, 최병근*, 박상봉**, 강성수***

Application of Surface Area Calculating System for Design of Blank Shape of Deep Drawing Product

Dong Hwan Park*, Byung Keun Choi*, Sang Bong Park**, Sung Soo Kang***

ABSTRACT

One of the most important steps to determine the blank shape and dimensions in deep drawing process is to calculate the surface area of the product. In general, the surface area of axisymmetric products is calculated by mathematical or graphical methods. However, in the case of non-axisymmetric products, it is difficult to calculate the exact surface area due to errors as separated components. Fortunately, it is possible for elliptical products to recognize the geometry of the product in the long side and short side by drafting in another two layers on AutoCAD software. So, in this study, a surface area calculating system is constructed for a design of blank shape of deep drawing products. This system consists of input geometry recognition module and three dimensional modeling module, respectively. The suitability of this system is verified by applying to a real deep drawing product. The system constructed in this study would be very useful to reduce lead time and cost for determining the blank shape and dimensions.

Key Words : Surface Area(표면적), Deep Drawing(딤피 드로잉), 3-Dimensional Modeling(3차원 모델링)

기호설명

A = 제품의 표면적
D = 블랭크의 직경
t = 소재의 초기 두께

1. 서론

프레스를 이용하여 박판금속을 딤피 드로잉하

는 공정은 일상생활에 쓰이는 주방기구, 가전제품에서부터 자동차의 차체부품 등에 널리 이용되고 있으며, 그 형상에 따라 축대칭 원통형 컵, 비축대칭 컵 등으로 나누어진다. 현재까지 원통형 딤피 드로잉 제품은 딤피 드로잉 가공의 기본으로 하여 많은 응용형상들이 이에 근거하여 제작되고 있다.^(1,2) 예를 들어, 타원형과 각형을 생각해 보면, 원형에 장축과 단축의 호가 생기면 타원으로 되고, 장축과 단축이 직선으로 되면 각형이 된다.⁽⁵⁻⁹⁾

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과
** 동의공업대학 금형설계과
*** 부산대학교 기계공학부

일반 생산현장에서는 금형제작 시 숙련된 기술자의 경험이나 기존의 작업 방식에 근거하여 설계하고, 시행착오를 통하여 제품을 완성한다. 그러므로, 생산비용도 증가하고 납기단축에 대한 대응이 어려운 실정이다. 그런데, 최근 컴퓨터의 발전과 더불어 신속한 금형 제작, 고품질, 저비용을 위한 자동화에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.⁽¹⁰⁻¹⁵⁾ 디프 드로잉 공정에서 블랭크^(3,4)의 크기와 형상을 설계하기 위해서는 우선 제품의 표면적을 알아야 한다. 제품의 표면적 계산은 축대칭의 원통형 제품에서 계산법^(7,8)이나 작도법⁽⁸⁾에 의해 표면적 계산이 가능하지만, 복잡한 형상의 비축대칭 제품에 있어서는 계산법이나 작도법에 의한 표면적 계산이 어렵고, 설령 계산이 된다하더라도 시간이 많이 소요된다. 이와 같이 비축대칭 제품은 정확한 표면적 계산이 거의 불가능하다. 3차원 형상의 표면적을 계산하는 기능은 AutoCAD, IDEAS 등 대부분이 상업용으로 제공되고 있지만, 이것은 CAD의 기능을 이용하여 직접 제품을 3차원 모델링하여 표면적을 계산하나, 개발된 시스템은 기존 CAD의 기능을 이용하여 AutoCAD 상에 입력된 형상을 자동 인식하여 실행하면 자동적으로 3차원 모델링이 되어 정확하고 신속한 표면적 계산이 가능하도록 하였다.

따라서 본 연구에서는 축대칭의 원통형 제품과 비축대칭의 타원형 디프 드로잉 제품에서 블랭크의 크기와 형상을 설계하기 위하여 제품의 표면적을 3차원 모델링에 의해 정확하고 신속한 계산이 가능하도록 표면적 계산 자동화 시스템을 구축하였다.

2. 표면적 계산 방법

금형 설계를 수행하는데 있어서 가장 먼저 해야 할 단계가 제품의 표면적을 정확하게 계산하는 것이다. 일반적으로 제품을 전개할 때 최초 판 두께가 변하지 않는다는 가정에서 표면적 일정조건을 만족해야 한다. 즉 제품의 표면적과 블랭크의 표면적은 같아야 한다. 디프 드로잉 가공을 한 원통용기의 표면적은 가공전의 블랭크의 표면적과 거의 같다는 경험에서 블랭크 치수를 결정한다. 드로잉 한 용기가 제품으로 되기 전에 트리밍(trimming)을 하는 경우, 그것만큼 블랭크 치수는 제품보다 크게 하여야 한다. 트리밍 여유는 블랭크의 판 두께, 용기형상, 드로잉 공정 등에 따라서 다르지만, 적당한 여유를 두어야 한다.

2.1 수학적 계산 방법

축대칭의 원통형 제품에서 제품의 표면적 계산은 핸드북^(7,8)에 정의된 공식을 이용하여 계산하는데, Fig. 1의 형상 요소(shape element)를 공식으로 정의하였다. Fig. 2, 3은 축대칭의 원통형 제품을 나타낸다. Fig. 4는 비축대칭의 타원형 제품을 나타낸다. 비축대칭의 타원형 제품에서 제품의 표면적 계산은 축대칭 원통형 제품과 달리 형상이 복잡하므로 수학적 계산이 거의 불가능하다.

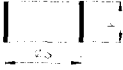



Name	Shape	Surface Area
Cylinder		$A=3.1416dh$
Ring		$A=0.7854(d2*d2-d1*d1)$
Convex		$A=4.9348rd+6.2832r*r$
Concave		$A=4.9348rd-6.2832r*r$

Fig. 1 A calculating formula of axisymmetric deep drawn products

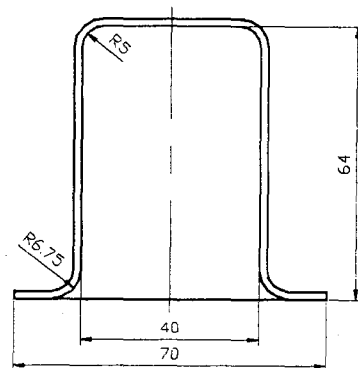


Fig. 2 Geometry of axisymmetric cylindrical deep drawn product (t=1.75mm)

2.2 작도(graphical layouts)에 의한 방법⁽⁸⁾

복잡한 원통용기의 표면적을 구하려면 작도에 의한 방법이 비교적 간단하다. Fig. 5, 6은 작도에

의한 제품의 표면적 계산방법을 나타낸다. 이와 같이 축대칭의 원통형 제품에서 작도에 의한 방법으로 제품의 표면적을 근사적으로 구하였다. 비축대칭의 제품에는 적용이 불가능하다. Fig. 6을 기준으로 한 작도 순서는 다음과 같다.

(순서 1) 제품의 중심선을 긋는다.

(순서 2) 제품두께의 중립 면을 긋고, 직선부분과 곡선부분을 나눈다.

(순서 3) 각 구성부분의 중심에서 회전축과 평행한 선을 긋는다.

(순서 4) 회전축과 평행한 선 X-Y를 긋고, 그 선상에 각 구성부분의 길이를 합하여 합계길이 L을 결정한다.

(순서 5) X-Y 선상에 임의 점 P를 정하여 X-Y 선상의 각 구성부분과 점 P를 선으로 연결한다.

(순서 6) 선1에 평행한 1' 선을 긋고, 계속해서 선2, 3, ...8에 평행한 2', 3', ...8' 선을 긋고, a와 1'와의 교점에서 0선에 평행한 0' 선을 긋고, i와 8'와의 교점에서 9선에 평행한 9' 선을 그어 교점 Z를 구한다.

(순서 7) 회전체의 표면적은 다음 식을 이용한다.

$$F = 2\pi R_Z L \quad (1)$$

여기서, F는 표면적, R_Z 는 회전축과의 거리, L은 각 구성부분의 합계길이 이다.

(순서 8) 원형 블랭크 직경은 다음 식을 사용한다.

$$D = \sqrt{8 R_Z L} \quad (2)$$

2.3 3차원 모델링 방법

2.3.1 시스템의 구성 및 특징

개발된 표면적 계산 시스템(Surface Area Calculating System; SAC System)은 AutoCAD가 지원하는 파일 형식으로 된 입력파일을 받아들여, AutoCAD가 지원하는 파일 형식으로 출력할 수 있도록 AutoLISP 언어로 개발하였다. 시스템은 수정과 확장의 편이를 위해 모듈화(modularity) 하였으며, Fig. 7은 시스템의 구성을 나타낸다. 이 시스템은 입력된 도면을 AutoCAD 상에서 자동인식 하는데, 입력된 형상이 축대칭의 원통형 제품이거나 비축대칭의 타원형 제품인지 자동인식 하여 축대칭의

원통형 제품과 비축대칭의 타원형 제품을 3차원 모델링에 의한 방법으로 표면적 계산 시스템을 구축하였다.

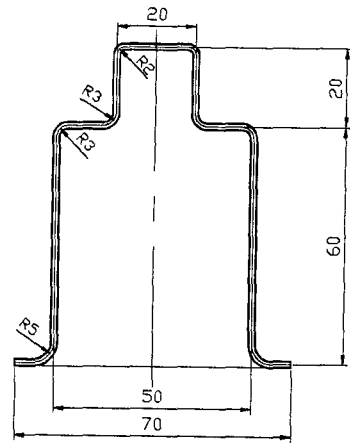


Fig. 3 Geometry of axisymmetric cylindrical deep drawn product ($t=1.6\text{mm}$)

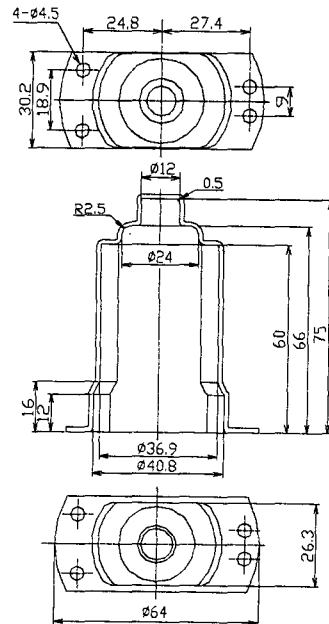


Fig. 4 Geometry of non-axisymmetric elliptical deep drawn product ($t=1.6\text{mm}$)

2.3.2 계산 규칙 및 데이터베이스

본 연구에서는 축대칭의 원통형 디프 드로잉 가공기술을 기본으로 하여 소성이론, 관련논문, 보고서 등의 지식을 정식화하여 시스템의 규칙베이스를 구성하였다. 표면적 계산 자동화 시스템에 관한 규칙베이스는 관련논문과 보고서 등에 제시된 규칙을 이용하였고, 새롭게 추가된 중요 규칙들은 다음과 같다.

(규칙 1) 축대칭은 원통형 디프 드로잉 공정이고, 비축대칭은 타원형 디프 드로잉 공정으로 정의한다.

(규칙 2) 장변은 원형, 단변은 직선인 몸통을 타원형으로 정의한다.

(규칙 3) 완제품 형상과 크기로부터 표면적을 계산하는데, 표면적은 완제품을 두께의 중립 면(축)을 기준으로 3차원 모델링 하여 계산한다.

(규칙 4) 표면적 계산 시 블랭크 설계를 위한 트리밍 여유를 적용한다.

(규칙 5) 제품의 표면적으로부터 블랭크의 표면적을 등가 전개하여 블랭크의 형상과 크기를 설계한다.

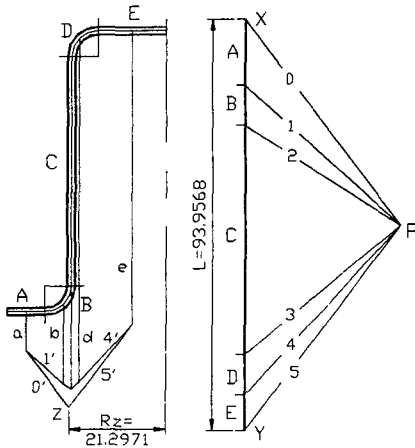


Fig. 5 Graphical layouts for calculating total surface area ($t=1.75\text{mm}$)

2.3.3 입력형상 모델

시스템의 입력은 AutoCAD 상의 실제도면으로 한다. 입력 모듈은 입력된 도면을 자동 인식하여

도면 데이터를 시스템에서 취급이 용이한 데이터 형태로 변환한다. 제품이 축대칭의 원통형 제품인 경우에 AutoCAD 상에서 1개의 레이어(layer)를 입력하고, 형상을 자동 인식하여 얻어진 데이터를 이용하였다. 또한, 제품이 비축대칭의 타원형 제품인 경우에 기하학적으로 2축 대칭을 나타내므로, 기존의 축대칭 시스템으로는 제품의 기하학적 특성을 받아들일 수 없다. 그러므로, 본 연구에서는 AutoCAD 상에서 2개의 레이어(layer)에 장변과 단변을 각각 입력하고, 형상을 자동 인식하여 얻어진 데이터를 이용하였다.

2.3.4 형상인식 모듈

AutoCAD 상에 각각의 레이어로부터 엔티티들의 속성을 인식하고, 설계에 필요한 도면요소를 추출하여 도면의 엔티티를 정렬한다. 도면요소의 형상데이터를 정렬하기 위해 좌표 값의 최대 값을 구하고 이를 이용하여 형상데이터를 정렬한다. 정렬된 데이터는 내측과 외측으로 구분되며, 내측과 외측의 중립 면(축) 데이터를 이용하여 제품의 표면적 계산에 유용한 데이터로 활용하였다. 이를 본 시스템에서는 Entity_List라 하며, 그 구성과 항목은 Table 1과 같다.

각 행에서 첫째 자리는 요소(entity)의 이름으로 "flange"는 플랜지 요소를, "walln" (n은 1,2,3, ...)은 벽 요소이며, "bottom"은 바닥 요소를 나타낸다. 둘째 자리는 요소의 형태로 HL은 수평, VL은 수직, TL은 테이퍼 형태를 나타낸다. 셋째 자리는 요소의 두께를 나타낸다. 넷째 자리는 요소의 외경을 나타내고, 다섯째 자리는 요소의 내경을 의미한다. 여섯째 자리는 요소의 높이를 의미하며 수평의 요소는 0이 된다. 일곱째 자리는 Null을 나타내고, 마지막 자리는 요소의 필렛 반경을 나타낸다. 모두 8개의 정보로 Entity_List를 확정하였다. Entity_List가 입력되면 중심 축에 대해서 자동으로 도면을 생성할 수 있도록 하였다.

제품 형상과 Entity_List의 적용 예를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8의 위 부분은 제품의 입력 형상과 중심을 직교하는 2축에 대한 정면도, 그리고 평면 단면도를 나타내고, 아래 부분은 장변과 단변의 엔티티 리스트를 나타내고 있다.

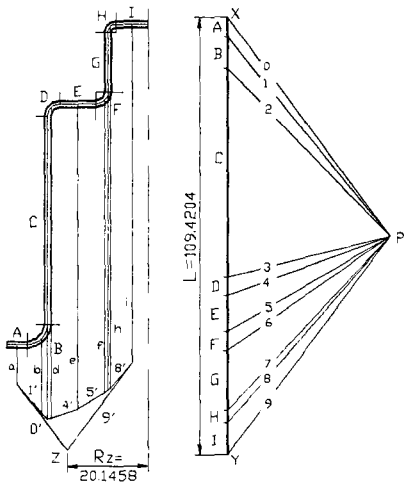


Fig. 6 Graphical layouts for calculating total surface area (t=1.6mm)

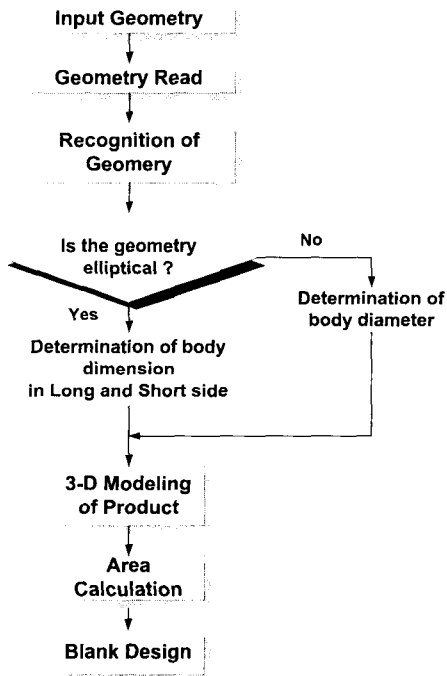


Fig. 7 Procedure of SAC system for calculating total surface area

2.3.5 3차원 모델링 모듈

디프 드로잉 공정에서 블랭크 설계 시 표면적일 정조건에 근거하여 직경을 결정한다. 축대칭 원통 제품에 대한 표면적 계산은 간단한 형상인 경우에 수학적 계산 방법을 이용하고, 복잡한 형상인 경우는 작도법을 이용하기도 한다. 하지만, 비축대칭 제품의 경우는 이런 구체적인 방법이 없기 때문에 면적 계산이 가능한 요소로 분리하여 근사적인 계산을 할 수밖에 없다.

Table 1 Definition of Entity_List

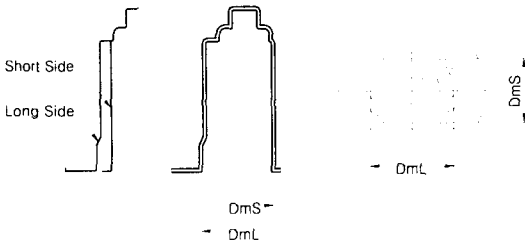
Entity_list	Contents
Entity_name	Feature that the entity represents (e.g. bottom, wall, flange)
Entity_type	Class of entity (e.g. HL, VL, TL) (HL: Horizontal, VL: Vertical, TL: Taper List)
T	Thickness
OD	Outside Diameter of entity
ID	Inside Diameter of entity
H	Height
N	Null (not used in the system)
FR	Fillet Radius of entity

그러므로, 이런 문제를 해결하기 위해서 3차원 모델링을 이용하였다. 두께 변화를 무시하고, 제품 형상을 받아들인 리스트를 두께의 중립 면으로 3차원 모델링 하여 AutoCAD에서 직접 표면적을 계산할 수 있는 기능을 이용하였다.

3. 3차원 모델링 시스템의 적용 및 고찰

본 시스템은 체적일정조건에서 두께의 변화를 무시하고, 제품 두께의 중립 면으로 3차원 모델링 하여 표면적을 계산할 수 있도록 구축하였다. 적용된 비축대칭의 타원형 제품은 자동차용 모터 프레임으로 디프 드로잉 공정 이후 피어싱, 트리밍 등의 후가공을 거친다. 본 연구에서는 디프 드로잉 마지막 공정을 최종 형상으로 적용하였다. 즉, 피어

싱, 트리밍 등의 후가공은 제품의 표면적에서 제외되므로 블랭크를 설계할 때 표면적 일정 조건을 만족하지 못하게 된다. 그러므로 디프 드로잉 마지막 공정을 최종 형상으로 적용하였다. Fig. 9는 본 연구에서 적용한 비축대칭의 타원형 디프 드로잉 제품을 나타낸다. 본 연구에서는 판재의 두께변화를 무시하여 제품의 중립 면에 대한 표면적을 계산하였다. 여기서 구한 표면적은 표면적 일정조건에 의해 블랭크 설계 시에 유용한 값으로 활용된다.



```
< Entity_List in the Long Side >
(("flange" HL 1.6 70.8 41.8 0.0 0.0 0.5)
("wall1" VL 1.6 40.8 40.8 11.3846 0.0 0.5)
("wall2" TL 1.6 40.6989 37.0011 3.7926 0.0 0.5)
("wall3" VL 1.6 36.9 36.9 43.2846 0.0 0.6)
("wall4" HL 1.6 35.7 25.0 0.0 0.0 0.5)
("wall5" VL 1.6 24.0 24.0 3.0 0.0 2.5)
("wall6" HL 1.6 19.0 13.0 0.0 0.0 0.5)
("wall7" VL 1.6 12.0 12.0 7.6 0.0 0.5)
("bottom" HL 1.6 11.0 0.0 0.0 0.0 0.0))
< Entity_List in the Short Side >
(("flange" HL 1.6 35.0 27.3 0.0 0.0 0.5)
("wall1" VL 1.6 26.3 26.3 59.2 0.0 0.3)
("wall2" HL 1.6 25.7 25.0 0.0 0.0 0.5)
("wall3" VL 1.6 24.0 24.0 3.0 0.0 2.5)
("wall4" HL 1.6 19.0 13.0 0.0 0.0 0.5)
("wall5" VL 1.6 12.0 12.0 7.6 0.0 0.5)
("bottom" HL 1.6 11.0 0.0 0.0 0.0 0.0))
```

Fig. 8 Characteristics and entity_list of product for input modeling

3.1 축대칭 원통형 제품 비교 및 고찰

Table 2는 Fig. 2의 원통형 디프 드로잉 제품에

서 구한 표면적 계산 결과를 나타낸다. 표면적 계산에서 수학적 계산에 의한 방법과 3차원 모델링에 의한 방법이 같게 나타나고, 작도법에 의한 방법은 두 방법보다 크게 나타난다.

Table 3은 Fig. 3의 원통형 디프 드로잉 제품에서 구한 표면적 계산 결과를 나타낸다. 표면적 계산에서 수학적 계산에 의한 방법과 3차원 모델링에 의한 방법이 같게 나타나고, 작도법에 의한 방법은 두 방법보다 작게 나타난다. 이것은 축대칭의 원통형 제품에서는 수학적 계산에 의한 방법과 3차원

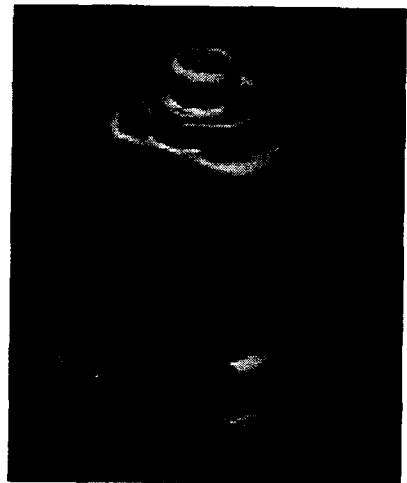


Fig. 9 Product of non-axisymmetric elliptical deep drawing process

모델링에 의한 방법이 정확한 표면적 계산이 가능하나, 작도에 의한 방법은 약간의 근사적인 차이가 난다는 것을 알 수 있다. 이러한 작도에 의한 방법은 Fig. 2, 3과 같이 유사한 원통형 제품이라도 크기와 형상에 따라 정확한 면적 계산이 이루어지지 않아 블랭크 설계 시 정확한 블랭크 설계가 어렵게 된다. 수학적 계산에 의한 방법은 정확한 표면적 계산이 가능하지만, 계산시간이 많이 소요되고, 작도에 의한 방법과 마찬가지로 축대칭의 원통형 제품에만 적용이 가능하다.

Fig. 10, 11은 축대칭 원통형 제품의 3차원 모델링에 의한 시스템 결과를 나타낸다. 이와 같이 축대칭의 원통형 제품에서 3차원 모델링에 의한 방법은 수학적 계산에 의한 방법, 작도에 의한 방법과

마찬가지로 제품의 표면적 계산은 가능하지만, 정확하고 신속한 표면적 계산이 가능한 것이 특징이다.

Table 2 Calculated results of surface area for axisymmetric deep drawn product

Method	Surface Area [mm ²]
Mathematical Calculation	11,581.3
Graphical Layouts	12,572.7
3-D Modeling	11,581.3

Table 3 Calculated results of surface area for axisymmetric deep drawn product

Method	Surface Area [mm ²]
Mathematical Calculation	13,865.0
Graphical Layouts	13,850.4
3-D Modeling	13,865.0

3.2 비축대칭 타원형 제품 비교 및 고찰

Table 4는 비축대칭의 타원형 디프 드로잉 제품의 표면적 계산 결과를 나타낸다. 수학적 계산에 의한 방법은 우선 계산시간이 많이 소요되었고, 타원형상인 장변의 원호와 단변의 직선부가 만나는 모서리부와 단변의 끝단이 만나는 불연속부에서의 정확한 표면적 계산이 불가능하였다. 그러므로 여기서는 근사적으로 표면적을 계산하였다. 작도에 의한 방법은 표면적 계산이 불가능하였다. 그러나, 3차원 모델링에 의한 방법은 표면적 계산 자동화 시스템 구축에 의해서 비축대칭 제품의 표면적을 계산할 수 있었고, 실제 제품에 적용하여 시스템에 반영하였기 때문에 복잡한 형상의 비축대칭 제품에 대해 적용이 가능할 것으로 판단된다. Fig. 12는 비축대칭 타원형 제품의 3차원 모델링에 의한 시스템 결과를 나타낸다. 이와 같이 3차원 모델링에 의한 방법은 축대칭 디프 드로잉 공정에 제한되어 있던 표면적 계산을 비축대칭 제품으로 확대 적용하였고, 수학적 계산에 의한 방법과 작도에 의한 방법이 비해서 그 응용범위가 넓고, 또한 표면적 계산

이 정확하며, 무엇보다도 신속한 표면적 계산이 가능하여 금형 설계기간 단축과 원가 절감이 기대된다.

Table 4 Calculated results of surface area for non-axisymmetric deep drawn product

Method	Surface Area [mm ²]
Mathematical Calculation	9,557
Graphical Layouts	-
3-D Modeling	9,504.55



Fig. 10 3-D modeling of axisymmetric deep drawn product (t=1.75mm)

4. 결론

본 연구에서는 축대칭 디프 드로잉 공정에 제한되어 있던 표면적 계산 자동화를 비축대칭 제품으로 확대 적용하였다. 축대칭의 원통형 제품과 비축대칭의 타원형 디프 드로잉 제품을 실 예로 들어 표면적 계산을 실시하여 검증하였다. 비축대칭 형상의 특징상 문제가 되었던 표면적 계산을 3차원 모델링 방법에 의해 시스템을 구축하였고, 또한 표면적 일정조건에 의한 블랭크 설계 시에 유용한 자료로 활용이 가능하다. 현재 3차원 모델링 방법은 수학적 계산에 의한 방법과 작도에 의한 방법에 비해서 비축대칭의 제품까지 그 응용범위가 넓고, 또한 표면적 계산이 정확하며, 무엇보다도 신속한 표면적 계산으로 금형 설계 시 신속한 납기대응이 가능하리라 기대된다.

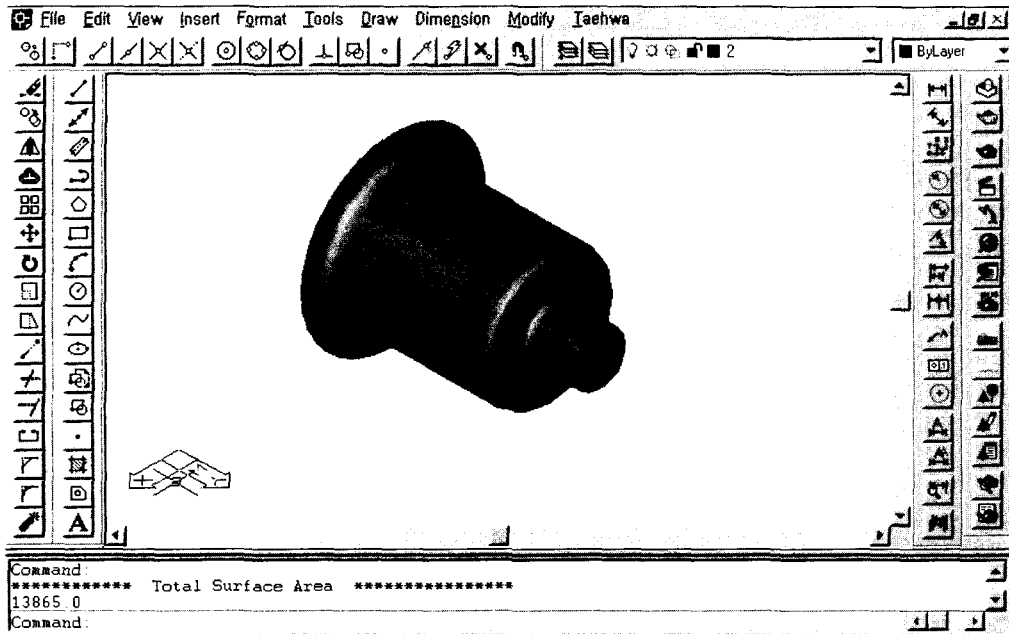


Fig. 11 3-D modeling of axisymmetric deep drawn product ($t=1.6\text{mm}$)

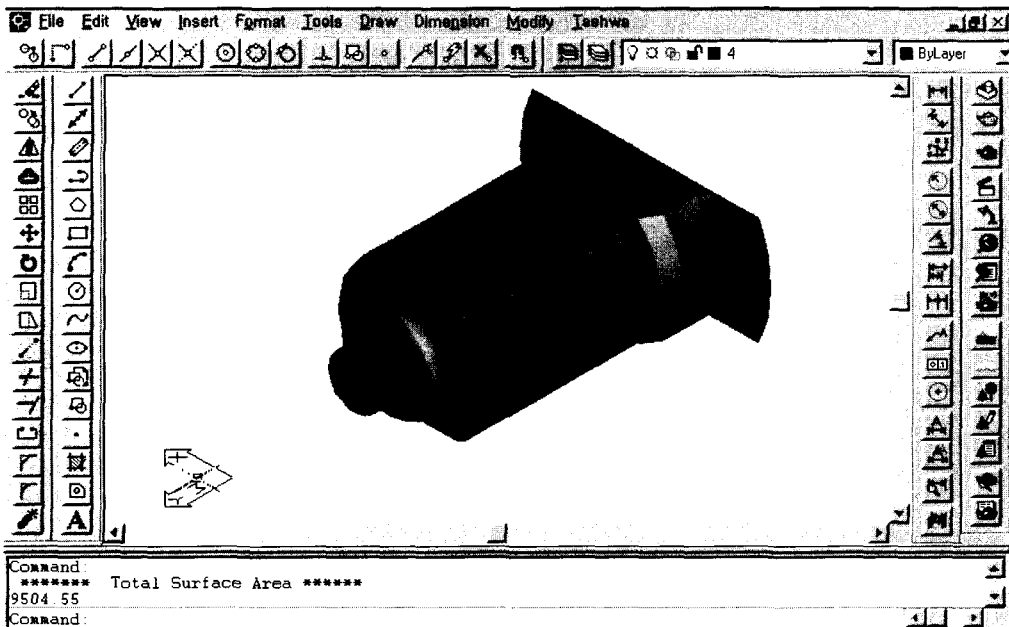


Fig. 12 3-D modeling of non-axisymmetric deep drawn product ($t=1.6\text{mm}$)

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터(ERC/NSDM)의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 박상봉, 최 영, 김병민, 최재찬, 김보환, "축대칭 디프 드로잉 제품의 공정설계 시스템에 관한 연구(I)," 한국소성가공학회지, 제5권, 제1호, pp. 27-36, 1996.
2. 김두환, "원통형 용기의 다단계 딥드로잉 공정설계에 관한 사례 연구," 한국소성가공학회지, 제7권, 제3호, pp. 225-232, 1998.
3. 김종엽, 김낙수, 허만성, "롤백방법을 이용한 박판성형공정에서의 블랭크 설계," 한국소성가공학회지, 제8권, 제5호, pp. 454-464, 1999.
4. 김진무, 유호영, "정사각용기 성형에서 변형률완화에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제16권, 제2호, pp. 31-38, 1999.
5. 太田 哲, "프레스 絞り加工 工程設計," 日刊工業新聞社, pp. 157-167, 1972.
6. 金世煥, 韓允熙, 李承熙, "프레스 金型設計 資料集," 大光書林, pp. 340-343, 1988.
7. David Alkire Smith, "DIE DESIGN HANDBOOK," Society of Manufacturing Engineers(SME), pp. 10.1-12.44, 1990.
8. 橋本 明, "프레스 絞り加工," 日刊工業新聞社, pp. 118-139, 1974.
9. Edward M. Mielnik, "Metalworking science and engineering," McGraw-Hill, New York, pp. 779-871, 1991.
10. 오준환, 이재원, 조성진, 남배중, 양재우, "Deep Drawing의 후가공 특징형상 공정설계 및 전문가 시스템 개발에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제15권, 제11호, pp. 46-57, 1998.
11. S. K. Sitaraman, G. L. Kinzel and T. Altan, "A knowledge-based system for process-sequence design in axisymmetric sheet-metal forming," J. Mat. Proc. Tech., Vol. 25, No. 3, pp. 247-271, 1991.
12. S. K. Esche, S. Khamitkar, G. L. Kinzel, T. Altan, "Process and die design for multi-step forming of round parts from sheet metal," J. Mat. Proc. Tech., Vol. 59, pp. 24-33, 1996.
13. M. Tisza, "EXPERT SYSTEMS FOR METAL FORMING," J. Mat. Proc. Tech., Vol. 53, pp. 423-432, 1995.
14. S. A. Majlessi, D. Lee, "Deep Drawing of Square-Shaped Sheet Metal Parts, Part 2 : Experimental Study," Journal of Engineering for Industry, Vol. 115, pp. 110-117, 1993.
15. S. B. Park, Y. Choi, B. M. Kim, J. C. Choi, "A CAD/CAM system for deep drawing dies in a simple-action press," J. Mat. Proc. Tech., Vol. 87, pp. 258-265, 1999.