

## 압출 스크류 설계를 위한 CAD 시스템 개발

윤준영\*, 황용근\*\*, 박주삼\*, 고태조\*\*\*, 박정환\*\*\*

### An Integrated CAD System for Design of Extruder Screw

Jun Young Yoon\*, Yong-Keun Hwang\*\*, Joo-Sam Park\*, Tae Jo Ko\*\*\* and Jung Whan Park\*\*\*

#### ABSTRACT

The extruder screw is a part for extruding material in a injection molding machine. The screw's geometrical shape can mathematically be described by a sweep surface which is constructed by sweeping a section curve composed of a few circular arcs, along a helical guide curve. In the paper we developed a dedicated CAD system which basically is parametric in a sense that the system initially takes several design parameters to construct the geometric elements including the final sweep surface of the screw as well as section & guiding curves, along with feasibility check of the input parameter values, without further user interaction. The system has been developed as a built-in module onto a commercial CAD system, which can further incorporate additional NC-out functions with ease.

**Key Words** : CAD(컴퓨터원용설계), extruder screw(압출 스크류), user interaction(사용자 대화형)

#### 1. 서론

현재 제조업은 대량생산이 주류를 이루어지던 과거와 달리 소비자의 요구에 맞는 다품종 소량생산으로 전환되고 있다. 제품의 설계에 있어서도 2차원 도면에 의한 제품 설계에서 컴퓨터를 이용한 3차원 CAD 시스템을 통한 설계 및 CAM 데이터 생성이 주류를 이루고 있다. 그러나 압출 스크류와 같이 형상자체가 가지는 특징으로 인하여 3차원 CAD/CAM시스템의 도입이 어려운 경우가 있다. 사출기에 사용되는 스크류는 등근 모양의 골을 가지는 나선형상이다. 또한 직경에 비해 부품의 길이가 길며 특정 파라미터에 의해서 전체 형상이 결정되는 특징을 갖고 있다. 이러한 단순한 형상임에도

불구하고 그 형상이 가지는 특징으로 인해 일반적인 3축 가공을 위한 CAM 시스템은 적합하지 않다. 그러한 이유로 통상 NC Rotary Table을 갖는 4축 머시닝 센터, 회전공구를 갖는 NC선반 또는 전용 가공기에서 가공을 하게 된다. 이 경우 각 가공기에 따라 제품 설계나 가공공정에 차이를 가지고 있어, 시스템이 변화될 경우 그 시스템에 맞추어서 설계나 가공 데이터 생성을 다르게 하고 있다.

기존의 연구들을 살펴보면 이원규 등에 의해 회전축에 수직인 단면을 가진 스크류 가공<sup>(1),(2)</sup>과 축 평행 단면 정의에 의한 스크류 가공<sup>(3),(4),(5),(6),(7)</sup>, 가공시 공구 간섭검사에 대한 연구<sup>(1),(8)</sup>가 수행되었다. 그러나 이들 2차원적인 시스템은 사용자가 최종형상을 유추해야하고, 3차원의 결과를 요구하

☞ 2002년 1월 25일 접수

\* 영남대학교 대학원 기계공학과

\*\* LG-EDS 제조-엔지니어링사업부 Non\_LG담당 C4팀

\*\*\* 영남대학교 기계공학부

는 모의 가공이나 공구간섭검사의 경우에 2차원적인 표현방법은 그 한계를 가지고 있다.

본 연구에서는 이러한 2차원적으로 표현되는 시스템이 가지는 한계를 극복하고자 3차원적으로 사용자 대화형으로 압출 스크류 설계 가능한 CAD system을 만들고자 하였다. 이를 위해 실제 사용되는 스크류 설계 도면과 먼저 스크류 형상에 대한 특징 및 치수들을 검토하여 설계 시스템에서 사용자로부터 입력받을 파라미터를 찾아내었고, 각 파라미터들이 가지는 수학적 특징들을 조사하였다. 이를 이용하여 필요한 파라미터 입력만으로 스크류 설계가 가능한 시스템을 구현할 수 있도록 하였다. 또한 다른 CAD/CAM 시스템과의 호환성을 유지하기 위해 상용 3차원 CAD/CAM 시스템인 Unigraphics V16의 API인 UG/Open을 이용하여서 사용자 파라미터 입력에 의한 압출 스크류 설계 system을 구축함으로써 효과적인 설계가 가능하도록 하였다.

## 2. 설계 파라미터 도출과 오류검증

### 2.1 압출 스크류 형상 특징

압출 스크류는 Fig. 1과 같이 전체적으로 helix를 guide curve로 하는 sweep형상을 가지는 스크류(screw) 부분과 압출 스크류를 사출기에 장착하는 부위인 그립(grip) 부분으로 나뉘어진다. 각 부분은 형상의 차이 및 실제 modeling작업을 통한 형상생성시 방법의 차이가 확연하다. 그러한 이유로 압출 스크류 설계시스템 구축시 각 부분에 대한 parameter 값 입력 및 생성에 관한 부분을 별도의 과정으로 분리하여 설계 시스템을 구축하도록 하였다.

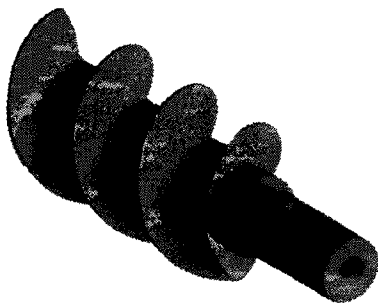


Fig. 1 General shape of extruder screw

### 2.2 스크류 파라미터 및 오류검증

#### 2.2.1 스크류 형상 특징 및 생성 파라미터

스크류는 기본적으로 나사와 비슷한 helix를 기반으로 하여 전체적인 형상이 생성된다. 그러나 나사는 축방향 단면 형상에 의해 정의되는 반면, 압출 스크류는 축에 수직인 단면형상에 의해 정의되는 차이점이 있다. Fig. 2에서 보듯이 단면은 3개의 arc로 구성이 되어있다. 각각의 arc는 스크류의 외경(arc 1), 내경(arc 3), 둥근 끝의 면(arc 2)을 이루게 된다.

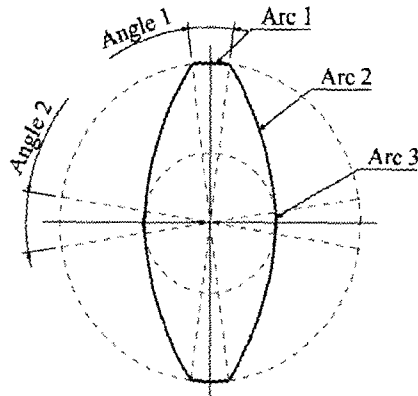


Fig. 2 Sectional curve of screw

arc2로 생성되는 면은 스크류로 수지를 이송할 때 직접적으로 영향을 미치지 때문에 스크류에서는 외경, 내경보다 끝의 면을 이루는 arc가 중요하다(arc2).

단면의 생성을 위해서는 각 arc의 중심위치, 시작 각도, 끝 각도가 필요한데 각각의 요소를 얻기 위해서는 단면에서 외경 arc가 이루는 각도(angle 1)와 내경 arc가 이루는 각도(angle 2)가 필요하게 된다. 따라서 스크류 단면은 외경, 내경, 끝의 반지름, angle 1, angle 2 등 5가지 파라미터로 표시되어진다.

이렇게 만들어진 스크류 단면 형상은 스크류의 기본을 이루는 helix를 guide curve로 하는 sweep 곡면으로 완성된다. helix는 기본적으로 반지름, pitch, 전체 길이를 입력받아 형성된다. 각 값들은 arc 1의 반지름을 helix의 반지름으로 하고, 스크류가 2줄 나사 형상임으로 스크류 pitch를 2배한 값을 heli pitch로 하며, 스크류의 길이를 helix의 길이로 한다.

최종적으로 스크류 부분을 생성하는데 필요한 파라미터는 스크류의 외경, 내경, 끝의 반지:

angle 1, angle 2, 스크류의 pitch, 스크류 길이 등 7 개임을 알 수 있다.

### 2.2.2 스크류 생성 파라미터 오류검증 알고리즘

스크류 단면은 앞서 언급하였듯이 각 형상들의 상호 연관 관계에 의해서 전체 형상이 이루어진다. 이 중에서 특히 arc 2의 경우 arc 1, arc 3과 같이 정해진 위치가 있는 것이 아니라 arc 1, arc 3, angle 1, angle 2의 값에 따라 상대적으로 위치가 정해지는 가변적인 요소로 잘못된 치수에 의해서 에러를 일으키는 원인이 된다. 그 원인은 단면을 생성하는 과정을 살펴보면 명확히 알 수 있다.

Fig. 3는 arc 2를 생성하기 위해 생성되는 요소들을 표시한 것이다.

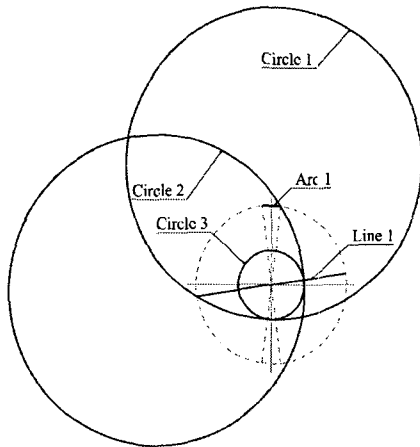


Fig. 3 Creation of screw section

arc 2를 생성하는 과정을 보면 다음과 같다. 먼저 스크류의 외경과 angle 1을 이용하여 arc 1을 생성한다. arc 1의 시작점을 중심으로 하며, arc 2의 반지름을 반지름으로 하는 원을 생성한다.(circle 1). angle 2의 절반을 기울기로 하며, 원점을 지나는 직선인 line 1을 생성한다. circle 1과 line 1의 교점을 찾는다. 이 교점이 arc 2의 중심이 된다. 교점을 중심으로 하여 arc 2의 반지름을 반지름으로 하는 원을 생성한다.(circle 2) 스크류의 내경을 지름으로 하는 원을 생성한다(circle 3). Circle 2와 circle 3의 교점을 찾는다. 교점을 시작점으로 하면서 arc 1의 시작점을 끝점으로 하는 arc를 circle 2로부터 생성한다(arc 2). arc 2의 시작점을 끝점으로 하는 arc를 circle 3에서부터 생성한다(arc 3).

이 과정에서 arc2의 바탕이 되는 circle 2의 중심이 arc 1, angle 1, angle 2에 의해서 유동적으로 변하는 것을 알 수 있다. 또한 circle 2와 circle 3의 관계를 보면 두 원은 반드시 교차하거나, 접해야지 단면이 생성된다는 사실을 알 수 있다. 각 파라미터에 의해서 변하는 arc2의 생성 여부는 위의 모든 과정을 수식적으로 표현하는 circle 2, circle 3의 교점을 구하는 식에서 알아낼 수 있다.

두 원이 각각 중심의 위치가  $(a_1, b_1)$ ,  $(0, 0)$ 이며 반지름이  $r_1, r_2$ 이라 할때 다음과 같은 원의 방정식이 만들어진다.

$$(x - a_1)^2 + (y - b_1)^2 = r_1^2 \quad (1)$$

$$x^2 + y^2 = r_2^2 \quad (2)$$

여기서  $a_1, b_1, r_1, r_2$ 는 각각 circle 2의 x, y 중심좌표, 반지름, circle 3의 반지름이다.

(2)식을 (1)식에 대입하여 정리하면 식(3),(4)와 같은 교점에 대한 방정식이 생성된다.

$$x = \frac{(r_2^2 - r_1^2) + (a_1^2 + b_1^2)}{2a_1} + \frac{b_1}{a_1} y \quad (3)$$

$$y = \frac{2AB \pm \sqrt{C}}{2(B^2 + 1)} \quad (4)$$

$$\text{단, } A = \frac{(r_2^2 - r_1^2) + (a_1^2 + b_1^2)}{2a_1}$$

$$B = \frac{b_1}{a_1}$$

$$C = 4A^2B^2 - 4(B^2 + 1)(A^2 - r_2^2)$$

교점을 구하는 방정식 중에서 y를 구하는 식(4)가 실수인지 여부에 따라서 두 원의 상호위치를 알아낼 수 있다. 식(4)의 C가 판별식으로 활용이 될 수 있고, 식(5)로 표현된다.

D의 값이 양의 실수이면 주어진 파라미터에 의해서 arc 2가 생성되고, 음의 실수이면 arc 2가 생성되지 않는다. 이 조건을 설계 프로그램에 적용하여 사용자에게 현재 입력된 값이 에러를 일으킬 것인지 여부를 알려주게 된다.

$$D = 4A^2B^2 - 4(B^2 + 1)(A^2 - r_2^2) \quad (5)$$

$$\text{단, } A = \frac{(r_2^2 - r_1^2) + (a_1^2 + b_1^2)}{2a_1}$$

$$B = \frac{b_1}{a_1}$$

### 2.3 그립(grip) 파라미터 및 오류검증

#### 2.3.1 그립 형상 특징 및 생성 파라미터

그립 부분은 압출 스크류의 부분 중에서 사출기에 직접 장착되는 부분이다. 스크류가 sweep 형상인 반면에 그립부분은 Fig. 4와 같이 회전체 형상을 하고 있다.

기본적으로 지름이 다른 2개의 cylinder 형상을 결합한 것을 기본으로 하고 있다. 그 형상에 chamfer 1, chamfer 2, key, thread가 부가형상으로 존재한다. chamfer 1은 일반적인 chamfer가 하나의 치수와 45°의 각도를 가지는 형상으로 생성하는 것과 달리 두 개의 치수를 이용하는 형식으로 생성한다.

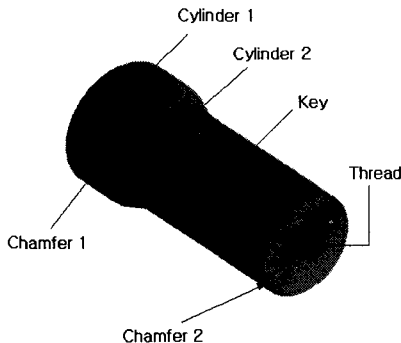


Fig. 4 Geometric feature of grip part

각각의 치수중 하나의 치수는 cylinder 1과 cylinder 2의 지름의 차이를 이용하여 구하여 프로그램 내부에서 지정되고, 다른 하나는 사용자 입력에 의해서 지정되어진다. chamfer 2는 일반적인 chamfer와 동일한 형식으로 생성되며, 사용자 입력에 의해서 치수가 결정된다.

key는 설계시 지정되는 치수를 사용자 입력에 의해서 받아서 생성되게 된다. 그 중에서 key의 위치는 thread가 위치하는 그립의 끝 면에서 key와의 거리를 입력함으로써 지정이 된다.

thread는 cylinder 2의 중심축상에 위치하는 것으로 길이와 지름, thread 머리의 지름 값을 입력함으로써 생성되어진다.

이와 같이 그립 형상 생성을 위한 파라미터는 cylinder 1과 cylinder 2의 지름과 길이, 각 chamfer의 값, key의 길이, 폭, 깊이, 위치, thread의 지름, 머리의 지름, 길이 등 11개의 파라미터가 필요하다.

#### 2.3.2 그립 생성 파라미터 오류검증 알고리즘

그립 형상도 스크류에서와 마찬가지로 잘못된 치수기입에 의해 가공이 불가능하거나 형상 생성이 불가능하거나 원하지 않는 형상이 생성되는 오류가 존재한다. 그러한 오류를 막기 위한 조건은 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 1) thread의 길이가 스크류 전체 길이보다 짧을 것.
- 2) thread의 머리가 그립의 cylinder 2의 지름에서 chamfer 2를 뺀 값보다 작을 것.
- 3) key의 길이와, thread가 있는 면에서 key까지 거리의 합이 cylinder 2의 길이보다 작을 것.
- 4) key의 폭이 cylinder 2의 작은 지름보다 작을 것.
- 5) key와 thread가 교차하지 않도록 key의 깊이를 조절할 것.
- 6) chamfer 1의 값이 cylinder 1의 길이보다 작을 것.
- 7) chamfer 2의 값이 thread면에서 key까지의 거리보다 작을 것.

이러한 조건을 설계 프로그램에 적용하여서 그립 생성시 사용자 파라미터 입력 오류에 의한 형상 오류를 검출해내도록 하였다.

## 3. 압출 스크류 설계 프로그램

### 3.1 설계 프로그램 처리 순서

#### 3.1.1 사용자측면 프로그램 사용 순서

Fig. 5와 같이 사용자는 각 부분별로 별도의 파라미터 입력과정을 거치게 되며, 각 과정마다 program 내부 연산에 의해 파라미터를 검증함으로써 모델 생성시 발생하는 오류를 방지하게 된다. 사용자는 스크류부분과 그립부분의 치수입력과 오류 발생시 파라미터의 재입력을 통해서 스크류 모델을 생성하게 된다.

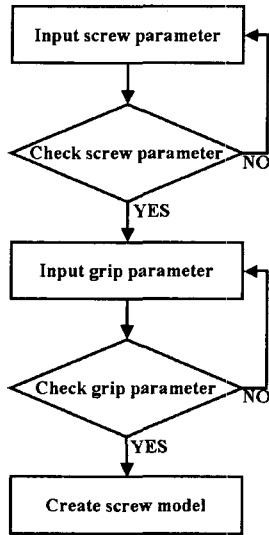


Fig. 5 Modeling process with user interaction

### 3.1.2 프로그램 내부 처리 순서

프로그램 내부는 Fig. 6과 같이 사용자의 편의를 위해서 모델 생성에 관한 모든 부분을 처리할 수 있도록 하였다. 좀더 빠른 처리를 위해서 base model을 이용하는데 이는 모델생성에 필요한 각종 정보를 포함하고 있다. 사용자의 스크류 부분 파라미터정보가 입력되면 base model에 포함된 수식을 이용하여, 프로그램 내부에서 검증을 하여 오류발생여부를 판단한다.

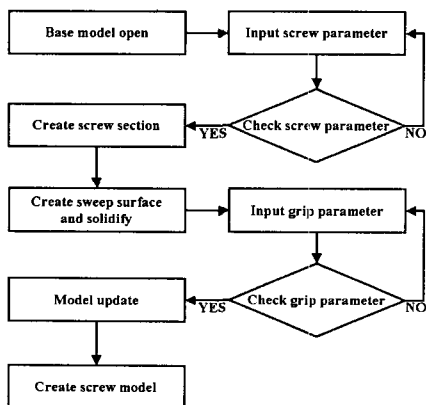


Fig. 6 Procedure of internal program process

오류 검증후 스크류 단면 생성, sweep 곡면 생성 및 solid화를 거치면서 스크류 부분을 생성한 후 그림 생성단계로 넘어간다. 그림 생성단계에서도 사용자의 파라미터를 입력받아서 스크류부분과 마찬가지로 오류검증을 한 후 최종적으로 압출 스크류 모델이 완성된다.

### 3.2 설계 프로그램 구현 환경

설계 프로그램은 자체적인 정확성 및 효율성과 함께 다른 시스템과의 호환성, 그리고 Digital Mock-Up 등 컴퓨터 상에서의 제품의 조립과 시뮬레이션, 해석 등이 이루어지는 CAE(Computer Aided Engineering)로의 확장성을 고려해야한다. 이에 상용 CAD/CAM 소프트웨어인 Unigraphics solutions사의 Unigraphics V16의 API인 UG/Open을 이용하여 프로그램을 작성하였다.<sup>(12)(13)(14)</sup>

사출 스크류 전체 형상이 스크류부분과 그림 부분으로 나뉘어지므로 각각의 독립된 dialog windows를 사용하여 생성하도록 하였다.

### 3.3 Base model

Unigraphics의 API인 UG/Open을 이용하여 설계 프로그램에서 모든 형상을 처음부터 생성할 수 있다. 그러나 형상을 생성시키는데 필요한 반복적인 형상 및 수식 등을 모두 프로그램에서 처리한다는 것은 데이터 처리 측면에서 비합리적이다. 이에 Fig 7.와 같은 base model을 생성하여 활용하도록 하였다.

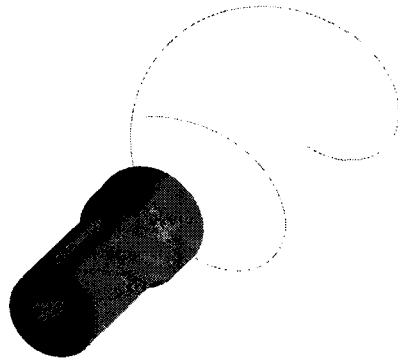


Fig. 7 Base model of screw

base model은 압출 스크류 생성에 필요한 수식 및 형상을 포함하는 형태로 생성되어져있다. 수식은 Unigraphics에서 제공하는 expression이라는 기능을 이용한다. 표준화된 수식을 이용하여 설계를 하는 경우, 그 값을 CAD 시스템에서 계산하여 모델

에 적용할 수 있도록 해주는 기능으로 식(6)과 같은 형태로 입력된다.

$$\begin{aligned} \text{ARC\_2\_yt} &= \text{ARC\_2\_R} * \cos(\text{ARC\_2\_S}) \\ \text{ARC\_2\_Cz} &= \text{V\_A1} * \text{ARC\_2\_Cy} - \text{V\_A2} \\ \text{ARC\_2\_S} &= (1-t) * \text{ARC\_2\_AS} + t * \text{ARC\_2\_AE} \end{aligned} \quad (6)$$

base model에 포함되어있는 수식들은 스크류 모델을 생성하는데 필요한 단면 생성치수, guide curve인 helix 치수 계산식, 생성 단면 검증 수식, 값 수정을 통한 모델 재생성에 필요한 수식이다.

base model에 포함된 형상은 스크류 부분과 그립 부분으로 나눌수 있다. 스크류 부분의 형상으로는 sweep surface 생성을 위한 helix가 있다. 그립은 cylinder, chamfer, key, thread 형상이 있다. 각 형상들은 수식과 파라미터들에 의해서 형성되어 있어서 구성 파라미터값을 수정하면 수정값에 맞게 모델이 수정된다.

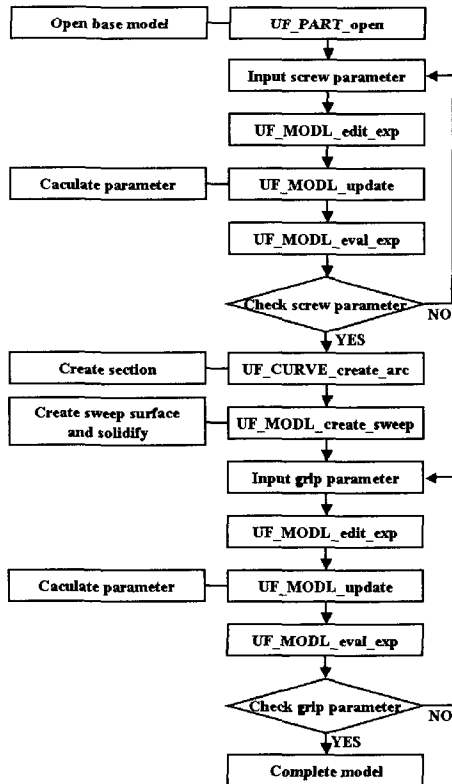


Fig. 8 Function procedure

### 3.4 UG/API를 이용한 처리순서

본 연구에서는 Fig.8에서와 같은 API 함수들이 스크류 설계를 위해 사용되었다. 기본적으로 제공되는 base model을 열어서 사용자로부터 스크류 부분의 파라미터값을 입력받는다. 입력된 파라미터는 base model에 미리 입력된 수식을 통해 계산되고, 결과를 이용하여 입력 파라미터를 검증한다. 검증된 결과에 따라 사용자로부터 재입력을 받거나, 스크류 부분을 생성한다. 스크류 부분이 생성된 후 그립부분의 파라미터를 입력받고, 스크류와 같은 계산과 검증과정을 거친후 모델 생성 또는 사용자 재입력을 하게 된다. 모든 과정을 거치면 스크류 모델이 완성되게 된다.

## 4. 압출 스크류 설계 프로그램

### 4.1 스크류부분 생성 프로그램

앞서 정의된 파라미터들을 적용하여서 스크류 생성프로그램을 작성하였다. 프로그램을 실행하면 base model이 Fig. 7과 같이 열리고, 파라미터 수치값을 입력 받는 창이 Fig. 9와 같이 생성된다. 사용자의 파라미터 입력후 내부적인 오류검사를 하게 되어있고, 오류 발생시 에러 메시지와 함께 파라미터 입력창이 다시 나타나게 된다. 이로서 작업자의 실수에 의한 모델생성 에러를 방지하면서 스크류 설계가 가능하게 되었다. Fig. 10은 모델링된 스크류의 형상을 나타내고 있다.

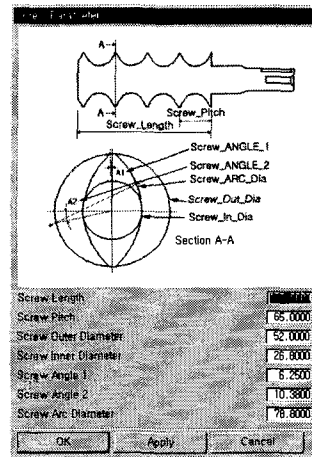


Fig. 9 Dialog box of creating screw part

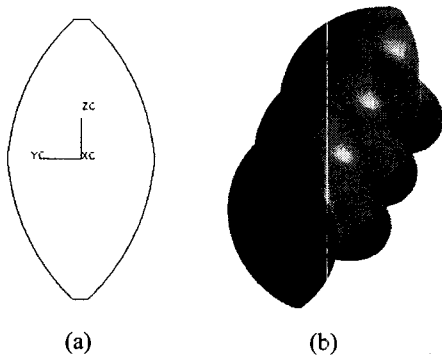


Fig. 10 (a) Section profile, (b) Modeled screw part

#### 4.2 그립부분 생성 프로그램

그립 생성 프로그램 또한 스크류 생성 프로그램과 마찬가지로 앞서 정의된 파라미터들과 오류 처리 알고리즘을 이용하여서 작성되었다. 이 프로그램 역시 사용자의 입력 오류가 발생하면 에러 메시지와 함께 파라미터 입력창이 Fig. 11과 같이 나타나면서 사용자 재입력을 요구하게 되어있다.

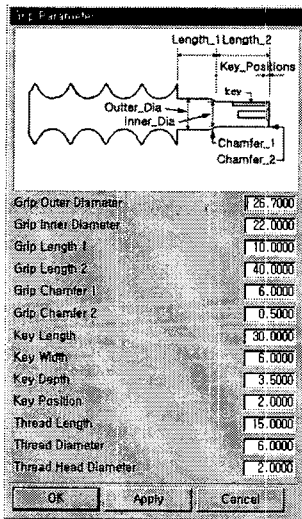


Fig. 11 Dialog box of creating grip part

#### 5. 적용사례

설계에 이용된 압출 스크류는 외경  $\phi 52$ , 내경

$\phi 26.8$ , pitch 32.5mm, 골 반경이 R39.4, 스크류 길이가 560.5mm이다. 스크류와 그립은 프로그램의 사용 순서에 따라 파라미터 입력을 통해서 이루어졌다. 사용중 잘못된 파라미터를 입력받았을 때는 각 부분 생성시 즉시 에러 메시지를 내면서, 재입력을 할 수 있도록 창이 나타났다. Fig 12.는 각각의 치수를 앞서 작성한 압출 스크류 설계 프로그램에 입력하여 생성한 모델이다.

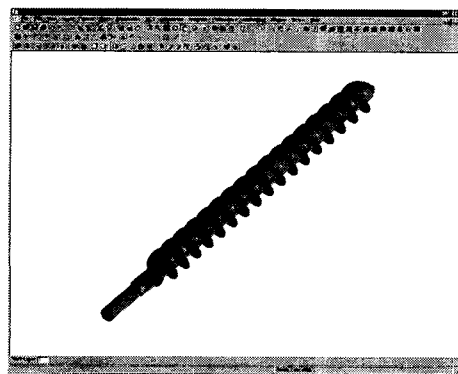


Fig. 12 Model of extruder screw

#### 6. 결론

UG/Open 기능을 이용하여 형상 파라미터 입력으로 압출 스크류를 설계할 수 있는 압출 스크류 전용 설계 시스템을 완성하였다. 본 시스템의 특징을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 형상 파라미터 입력에 의한 스크류 및 그립 모델 자동 생성과 동시에 형상 파라미터 오류 검출 기능을 부여할 수 있었다.
- 2) 사용자 대화형 입력방식 구현에 의해서 프로그램 내부 연산에 의한 자동 설계 작업으로 수작업에 비해 획기적으로 작업 시간 단축이 가능하였다.
- 3) 상용 CAD/CAM 시스템을 기반으로 하여 타 시스템과의 호환성 및 확장성을 부여함으로써 2차 가공을 용이하게 할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. W.K.Lee, J.H.Ahn, "Tool Interference Check for Lage Screw Machining on a CNC Turning Machine," KARUS '97, pp. 59~62, 1997.

2. 이원규, 안중환, "3축 선반에서의 스크류 가공을 위한 CAM시스템 개발," 한국정밀공학회지, 제15권 제2호, pp. 21~27, 1998.
3. 이민환, 이원규, 안중환, "회전공구를 사용한 축 평행단면 정의에 의한 screw 가공용 CAM 시스템 개발," 한국정밀공학회 '98 추계학술대회 논문집, pp. 629~632, 1998.
4. 최낙현, 이원규, 안중환, "터닝센터에서 스크류 가공을 위한 기존 CAM system의 개선," 한국정밀공학회 '99 추계학술대회논문집 pp. 440~443, 1999.
5. W.K.Lee, J.H.Ahn, "Development of a CAM for 3-Axis NC Machining for Screws," KARUS '99, pp. 315~319, 1999.
6. 이원규, 이민환, 안중환, "축 평행단면의 형상정의에 의한 대형 스크류 가공프로그램 생성에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제17권 제6호, pp. 83~88, 2000.
7. W.K.Lee, J.H.Ahn, "Development of a CAM System for 3 Axis NC Machining for Large Screws," AFDM '99, pp. 635~640 1999.
8. 이원규, 안중환, 박규열, "축 수직단면 형상정의에 의한 대형 스크류의 가공시 공구간섭검사," 한국공작기계학회지, 제9권, 제3호, pp. 169~177, 2000.
9. Byoung K. Choi, Surface Modeling for CAD/CAM, ELSVIER, 1991.
10. Byoung K. Choi, Sculptured Surface Machining, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 1998.
11. 이철수, CAD/CAM - 형상 모델링에서 NC가공까지, 터보테크 출판부, 1997.
12. "UNIGRAPHICS MODELING," LG-EDS 시스템, 2000.
13. UNIGRAPHICS USER FUNCTION STUDENT GUIDE, EDS, 1996.
14. UNIGRAPHICS V16 UG Online HTML Help, Unigraphics solutions, 1996.