

## Ruled Surface로 형성된 임펠러 블레이드 전용 CAD/CAM 시스템 개발 I (모델링에 관한 연구)

조현덕\*, 정대일\*, 윤문철\*\*, 최두선\*\*\*, 신보성\*\*\*, 이응숙\*\*\*, 董玉革\*\*\*\*

### The Development of Exclusive CAD/CAM System for Impeller Blades Formed by Ruled Surface I (A Study on the Modeling)

Hyun-Deog Cho\*, Dae-Il Jung\*, Moon-Chul Yoon\*\*, Doo-Sun Choi\*\*\*, Bo-Sung Shin\*\*\*,  
Eung-Soog Lee\*\*\*, Yu-Ge Dong\*\*\*\*

#### Abstract

We have developed the exclusive CAD/CAM system for the machining of impeller blades. This study is about the modeling method for the effective machining of impeller blades formed by ruled surface. As the impeller is consisted of boss part and blade part, the boss is modeled by rotational surface of hub curve on z-axis and the blade is described by ruled-surfaces between hub curve and shroud curve. This modeling process can be carried out on the software developed in this study. And, the developed software can describe the impeller as a solid model through interface with Solid-Works software. The developed software containing the interface method proposed in this study was very effective for impeller modeling.

**Key Words :** Impeller(임펠러), Boss part(몸체 부), Blade part(날개 부), Hub curve(허브 곡선), Shroud curve(쉬라우드 곡선), Pressure part(가압 부), Suction part(저압 부)

## 1. 서 론

임펠러는 고속 회전체로서 유체를 압축시키거나 이송시키는 기능으로 사용되는데, 보통 고속, 고압에서 운전

되고 경우에 따라 고온에서도 사용된다. 임펠러는 밸런싱(balancing)이 매우 중요하며 밸런싱이 정확하지 않으면 소음 및 진동을 유발하여 파손의 주된 원인이 될 수 있다.<sup>(1,2,3)</sup> 그래서 밸런싱을 정확하게 하기 위하여 몸체와

\* 경일대학교 기계공학부  
(조현덕: hdcho@bear.kyungil.ac.kr)  
\*\* 부경대학교 기계공학부  
\*\*\* 한국기계연구원 정밀가공그룹  
\*\*\*\* Heifei University of Technology, in China

블레이드(blade)가 일체형이 되도록 일괄 가공하고 있다. 임펠러는 대부분 5-축 가공을 하여야 하는데, 일반적으로 임펠러 5-축 가공은 사용될 기계의 5-축 구성 특성에 따라 다른 기하학적 알고리즘을 적용해야 하기 때문에 NC-code 작성이 어렵다.<sup>(1~6)</sup> 이로 인해 상용 CAM 소프트웨어들은 지금까지 5-축을 지원하는 모듈을 추가하지 않다가 근래에 들어서 상당 부분 추가되고 있으나, 특수한 형상 가공에 5-축 전용 CAM 시스템이 나오고 있는 실정이다. 1990년대에 NREC사에서 임펠러 전용 CAD/CAM 시스템이 나오고 있으나 가격이 매우 비싸 쉽게 구입하여 사용할 수 없으며 시스템의 구입을 하였다고 하나 사용자가 임펠러와 5-축 가공에 전문성이 없으면 사용이 불가능한 실정이다. 국내외적으로 일반 상용 CAM 소프트웨어에 임펠러 가공이 가능한 옵션을 첨가하려는 연구가 이루어지고 있으며, 산업 현장에서의 임펠러 가공 수준은 삼성중공업에서 NREC 시스템을 구입하였고 사용상에서도 외국기술에 의존하여 임펠러를 가공하고 있으며 자체적으로도 전용 소프트웨어를 개발하고 있는 것으로 알려져 있다. 그리고, 현대자동차에서 생산되는 자동차에 적용되는 터보 인터쿨러에 장착되는 임펠러의 경우 ruled surface로 이루어지는 블레이드를 갖는 임펠러인데 이것은 러시아에서 마스트를 직접 가공하여 정밀 주조하여 사용하고 있으며 앞으로는 임의의 자유 곡면을 갖는 임펠러로 대체하려고 시도하는 것으로 알려져 있다.

그리고 일부 가공 전문 회사에서 임펠러 가공의 시도는 원인분석과 기본 이론적 연구보다 일반적 CAD 시스템에 의한 모델링 후 공구 축 방향 벡터를 수동으로 지정하여 가공하는 방법을 취하고 있는데 이 역시 쉽지 않다. 일반적으로 임펠러 가공에 관한 연구 발표는 많지 않으며 거의 대부분이 거시적인 이론 정립에 지나지 않아 실제 가공에 적용할 수 있는 심층적 연구가 부족한 실정이다. 그래서 본 연구는 특정화된 임펠러를 5-축 가공하기 위한 선행 연구로서 모델링과 설계 소프트웨어 개발에 대하여 연구하였다.

본 연구에서의 임펠러 블레이드는 비록 유체공학적인 측면에서 효율이 다소 떨어지나 가공의 용이성으로 많이 사용되는 ruled surface로 형성되는 블레이드(blade)로 한정하였으며, ruled surface로 형성되는 블레이드는 Ferguson 커브 보간 방법으로 각각 보간된 허브 곡선(hub curve)과 쉬라우드 곡선(shroud curve)에 대하여 ruled surface로 압력 부(pressure part) 곡면과 흡입 부(suction

part) 곡면으로 각각 묘사된다. 이러한 ruled surface 모델링에서 정의된 직선 축은 블레이드의 5-축 가공에서 공구 축 방향 벡터(cutter axis direction vector)를 구하는데 사용될 수 있다. 본 연구에서의 모델링은 임펠러의 5-축 가공에 맞도록 알고리즘을 정리하였고, 모델링된 형상을 솔리드로 형상화할 수 있도록 기존 상용 CAD 소프트웨어인 Solid-Works에 설계 데이터를 전달할 수 있도록 하였다. 본 연구는 임펠러의 가공 데이터를 얻기 위한 것에 모델링 초점이 맞추어졌기 때문에 CAD 시스템으로서의 장점보다 임펠러 가공을 위한 모델링을 편리하게 하기 위한 것에 유리하다. 본 연구의 결과로 임펠러 모델링은 기본 곡선 데이터에 의해 쉽게 전체를 모델링할 수 있었으며 Solid-Works에 모델링 결과를 띄울 수 있다는 것은 범용 소프트웨어에서의 이용 가능성을 알려 준다.

## 2. 임펠러 형상 정의

임펠러는 Fig.1에서와 같이 몸체(boss)와 블레이드(blade)로 구성되는데, 블레이드는 압력(pressure)부와 흡입(suction)부 2개의 곡면으로 이루어지며 각 곡면에서 몸체와 만나는 부분의 곡선을 허브(hub) 곡선이라 하고 끝 부분의 곡선을 쉬라우드(shroud) 곡선이라 한다. 그리고 몸체

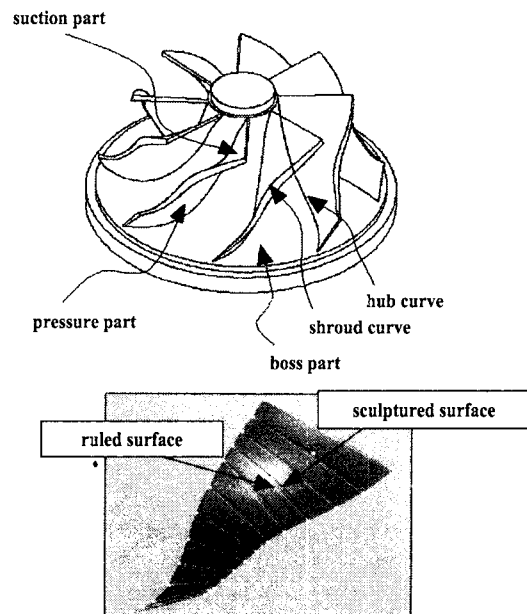


Fig 1. The representation of impeller

부는 허브 곡선의 임펠러 축에 대한 회전면이 되는데 가공면을 균일하게 하기 위해서는 설계에서 두 개의 허브 곡선의 회전면이 서로 일치하도록 지정할 필요가 있다.

본 연구에서는 Fig. 1의 임펠러 블레이드의 곡선을 설계하기 위하여 임의로 설정된 점 데이터(point data)를 입력 데이터로 사용하였다. 점 데이터의 결정은 유체역학적 설계분야로 본 연구에서는 입력 데이터의 효율성 문제는 다루지 않고, 주어진 입력 데이터에 따른 임펠러의 형상 모델링에 대해서만 다루게 된다.

### 3. 블레이드 모델링(blade modeling)

임펠러 블레이드(impeller blade)의 설계는 압력부와 흡입부의 2개의 곡면 모델링을 어떻게 하느냐에 따라 2가지 방법이 있는데, Fig. 1과 같이 2개의 ruled surface로 한정되는 경우와 2개의 임의의 자유곡면(sculptured surface)으로 모델링되는 경우가 있다. 그리고 임펠러의 설계적 측면에서 블레이드의 한 쪽 곡면에 대한 정보를 주고 주어진 곡면 위에서의 블레이드 두께가 주어지는 경우가 있는데, 이 경우에는 한 쪽 곡면을 형성하고 주어진 두께 위치 점에서 단위 법선 벡터(unit normal vector)를 구하여 두께를 곱하여 벡터 합으로 다른 쪽 곡면의 점 데이터(point data)들을 구하여 곡면을 모델링할 수 있다.

본 연구에서는 2개의 ruled surface로 블레이드를 형성하는 임펠러를 대상으로 하며 블레이드 정보 데이터의 입력 방법으로는 압력부와 흡입부에서 각각 쉬라우드(shroud) 및 허브(hub) 곡선을 위한 점 데이터로 주어지는 경우와 압력부나 흡입부의 어느 한 쪽에서의 쉬라우드(shroud) 및 허브(hub) 곡선을 위한 점 데이터와 각 점에서의 두께를 입력함으로써 블레이드를 형성할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 사용된 블레이드(blade)의 쉬라우드(shroud) 및 허브(hub) 곡선의 표현은 일반적으로 많이 사용되는 Ferguson curve fitting 방법을 사용하였는데 주어진 점(point) 데이터와 계산된 접선 벡터<sup>(6)</sup>에 대하여 (1)식과 같이 각 구간에서의 임의의 위치 점  $C_{ab(i)(j)}(u)$ 의 계산이 가능하다. 여기서 첫 번째 첨자 a는 p와 s이며 p는 압력부이고 s는 흡입부를 의미하고, 두 번째 첨자 b는 h와 s가 있는데 h는 허브 부이고 s는 쉬라우드 부를 의미한다. 그리고, i는 i번째 블레이드를 의미하며 j는 주어진 점 데이터의 j번째와 j+1 번째의 구간을 의미하고, u는 0에서 1까지의 범위를 갖는 매개변수이다.

$$C_{ab(i)(j)}(u) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 2 & -2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ t_0 \\ t_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

압력부의 허브 곡선  $C_{ph(0)(j)}(u)$ 와 압력부의 쉬라우드 곡선  $C_{ps(0)(j)}(u)$ 이 구성하는 ruled surface를  $S_{p(0)(j)}(u,t)$ 라고 하고, 흡입부의 허브 곡선  $C_{sh(0)(j)}(u)$ 와 흡입부의 쉬라우드 곡선  $C_{ss(0)(j)}(u)$ 이 구성하는 ruled surface를  $S_{s(0)(j)}(u,t)$ 라 하면 블레이드 곡면을 구성하는  $S_{p(0)(j)}(u,t)$ 와  $S_{s(0)(j)}(u,t)$ 는 아래와 같이 표현된다. 여기서, 첨자 p는 압력부 곡면을 의미하고 첨자 s는 흡입부 곡면을 의미하며, i는 i번째 블레이드를 의미하고, j는 입력 시 주어진 곡선 위의 점 데이터의 순서인 j번째를 의미하며, u와 t는 0에서 1까지의 범위를 갖는

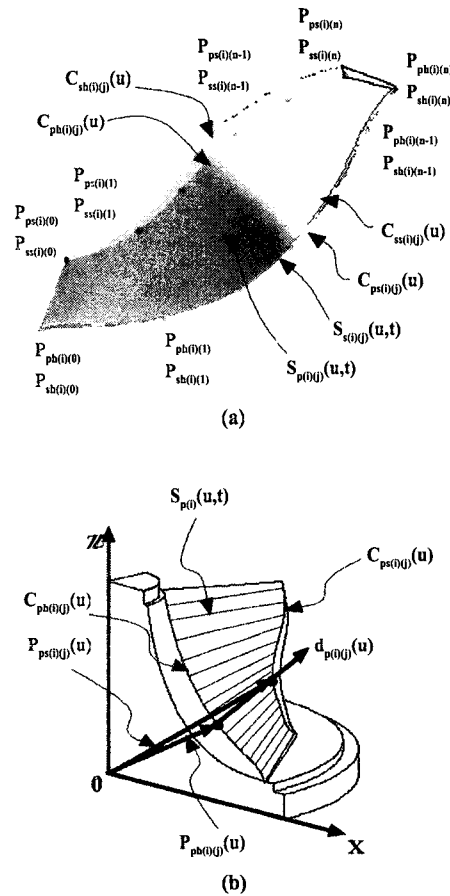


Fig. 2 Blade modeling method by ruled surface

매개변수이다. 그리고,  $\mathbf{P}_{ph(i,j)}(\mathbf{u})$ 와  $\mathbf{P}_{ps(i,j)}(\mathbf{u})$ 는 곡선  $C_{ab(i,j)}(\mathbf{u})$  위의 위치 점으로서 Fig. 2(b)에서와 같다.

$$\mathbf{S}_{p(i,j)}(\mathbf{u}, t) = \mathbf{P}_{ph(i,j)}(\mathbf{u}) + t\mathbf{d}_{p(i,j)}(\mathbf{u}) \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (2)$$

$$\mathbf{d}_{p(i,j)}(\mathbf{u}) = \mathbf{P}_{ps(i,j)}(\mathbf{u}) - \mathbf{P}_{ph(i,j)}(\mathbf{u}) \quad (3)$$

$$\mathbf{S}_{s(i,j)}(\mathbf{u}, t) = \mathbf{P}_{sh(i,j)}(\mathbf{u}) + t\mathbf{d}_{s(i,j)}(\mathbf{u}) \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (4)$$

$$\mathbf{d}_{s(i,j)}(\mathbf{u}) = \mathbf{P}_{ss(i,j)}(\mathbf{u}) - \mathbf{P}_{sh(i,j)}(\mathbf{u}) \quad (5)$$

(2)~(5)식으로 Fig. 2의 (b)와 같이 허브 곡선(hub curve)과 쉬라우드 곡선(shroud curve)을 경계로 하나의 직선이 서로 대응되는 점을 연결하여 곡면이 생성되며 직선  $\mathbf{d}_{p(i,j)}(\mathbf{u})$  벡터와  $\mathbf{d}_{s(i,j)}(\mathbf{u})$  벡터는 쉬라우드 곡선과 허브 곡선간의 변위 벡터이다.

블레이드의 설계시 입력조건에 따라 빈번하게 사용되는 블레이드 면을 형성하는 또 다른 방법은 한 쪽 면의 곡면에 대한 정보가 주어지고 곡면에 대한 여러 점에서의 블레이드 두께가 주어질 경우이다. 이 경우에는 Fig. 3(a)와 같이 표현되며 압력부의 곡면이 주어진 경우 압력부의 곡면을 생성한 후  $\mathbf{S}_{p(i,j)}(\mathbf{u}, t)$ 에서 단위법선 벡터(unit normal vector)  $\mathbf{n}_{(i,j)}(\mathbf{u}, t)$ 를 구하여 새로운 위치 점 데이터를 구한 후 구해진 점 데이터로부터 새로운 곡면인 흡입부의 곡면을 구하는데, Fig. 3(a)의 새로운 위치 점 벡터  $\mathbf{S}_{s(i,j)}(\mathbf{u}, t)$ 는 다음 식과 같이 표현된다.

$$\mathbf{P}_{s(i,j)}(\mathbf{u}, t) = \mathbf{P}_{p(i,j)}(\mathbf{u}, t) - T\mathbf{n}_{(i,j)}(\mathbf{u}, t) \quad (6)$$

Fig. 3(b)는 한 곡면과 곡면 위에서의 법선벡터(normal vector)방향으로의 주어진 두께만큼 떨어진 새로운 위치 점들을 보여주고 있다.

#### 4. 몸체부 모델링(boss modeling)

임펠러의 몸체부(boss) 형상은 몸체 하단부와 상단부를 연결하는 임의의 곡선이 정의되면 임펠러 회전축에 대하여 360° 회전시킴으로써 얻을 수 있다. 본 연구에서는 블레이드 면과 몸체 면을 부드럽게 하기 위하여 블레이드의 허브 곡선을 따르는 것으로 정의하였는데, Fig. 4(a)에서 허브 곡선에 의하여 형성될 경우 임펠러의 몸체부(boss) 형상을 보여주고 있다. 여기서 압력부와 흡입부에서의 허브 곡선이 동일 z-축 상에서 z-축까지의 거리가 같아야 하는데, 이는 모델링할 때 입력 조건으로 알맞게 지정되어야 한다. Fig. 4(b)는 Fig. 4(a)의 평면 A에서의 단면을 보여주는데, 평면 A에서의 블레이드의 두께  $t_b$ 는 다음과 같이 된다.

$$t_b = |\mathbf{P}_{sh(i,j)}(\mathbf{u}) - \mathbf{P}_{ph(i,j)}(\mathbf{u})| \quad (7)$$

따라서, 블레이드 두께에 의한 회전축에 대한 필요 각  $\theta_t$ 는 다음과 같이 된다.

$$\theta_t = 2\sin^{-1}\left(\frac{t_b}{2r_{(i,j)}(\mathbf{u})}\right) \quad (8)$$

만일, 임펠러의 블레이드의 개수가  $n_b$ 라면  $\theta_b$ 는 다음과

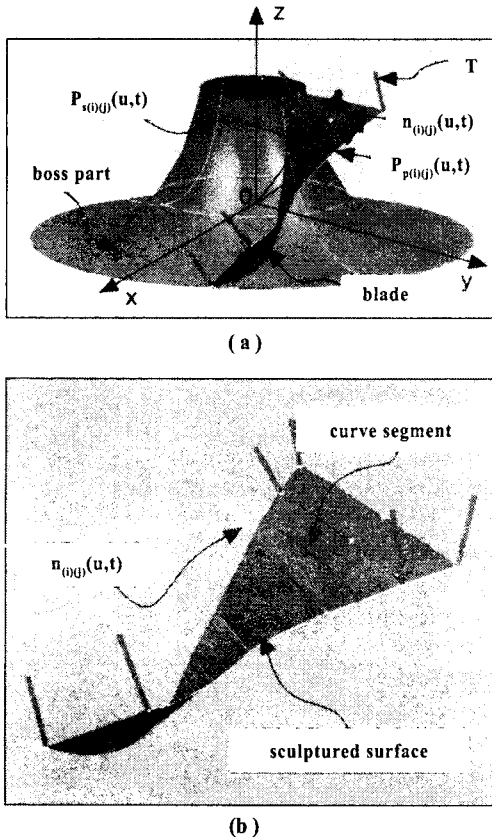


Fig. 3 Blade modeling method by the thickness data at points on a blade surface

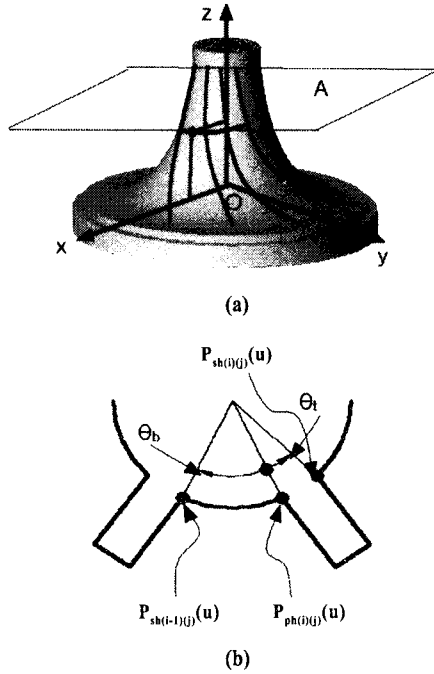


Fig. 4 The definition of impeller boss

같은 식으로 구할 수 있으며,  $\theta_b$  영역만큼 허브 곡선을 회전 변환하여 몸체부를 모델링할 수 있다.

$$\theta_b = \frac{2\pi}{n_b} - \theta_t \quad (9)$$

Fig. 5(a)는 임펠러 몸체부의 모델링 방법을 표시하는데 압력부의 허브 곡선과 흡입부의 허브 곡선 사이 영역에서  $r_{(i)(j)}(u)$ 의 회전체로 몸체부를 구성하고 있다. 여기서  $r_{(i)(j)}(u)$ 는 (10)식과 같이 표현되며, Fig. 5(b)는 본 연구에서 개발한 소프트웨어에서의 몸체부의 모델링 결과를 와이어 프레임 형상으로 표현하고 있다.

$$r_{(i)(j)}(u) = |P_{ph(i)(j)}(u)| \quad (10)$$

### 5. 소프트웨어 및 결과

블레이드와 몸체로 구성되는 임펠러의 모델링을 편리하

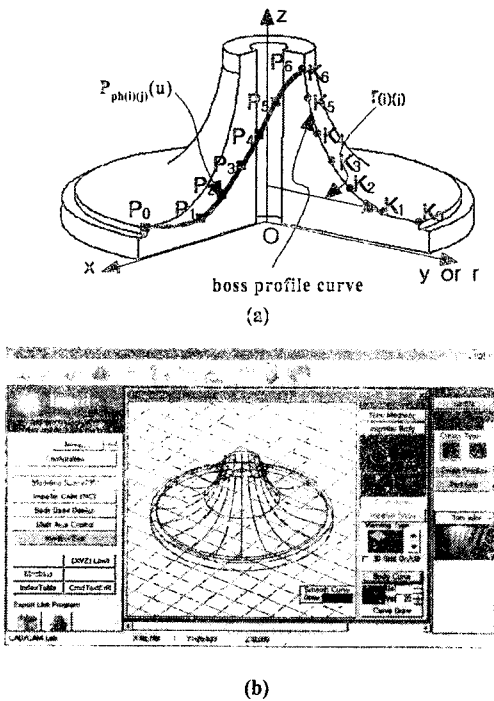


Fig. 5 Modeling of impeller boss

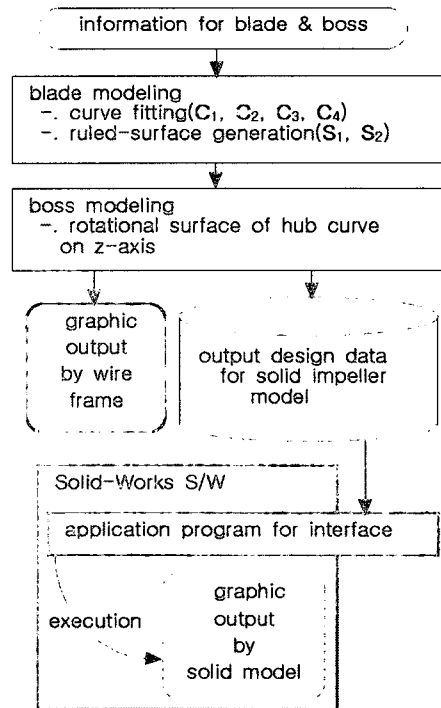


Fig. 6 Software structure of developed CAD system for impeller

게 수행하기 위해 개발한 전용 CAD/CAM 소프트웨어는 Visual BASIC 프로그램 언어로 구성되었으며 전체적인 구성은 Fig. 6과 같다.

Fig. 6에서와 같이 개발한 소프트웨어에서는 몸체 부와 블레이드 부를 각각 모델링하여 임펠러 전체에 대하여 모델링되도록 하였다. 개발된 소프트웨어는 모델링 결과를 와이어 프레임으로 보여 줄 수 있도록 하였으며, 동시에 별도의 데이터로 구성된 설계 데이터가 출력되도록 하여 Solid-Works에 넘겨주어 솔리드 모델링이 가능하도록 하였는데 이것은 범용 소프트웨어의 장점을 최대한 활용하기 위해서이다. 즉, Solid-Works에 있는 API(application program for interface)를 이용하여 Solid-Works의 메뉴(menu)를 추가하여 본 연구에서 개발된 소프트웨어의 결과 데이터를 Solid-Works에서 자동으로 모델링되도록 하였다.

Fig. 7은 모델링된 몸체부와 블레이드의 단면 profile curve들을 보여 주는 창으로 몸체부 커브 데이터와 외곽 형

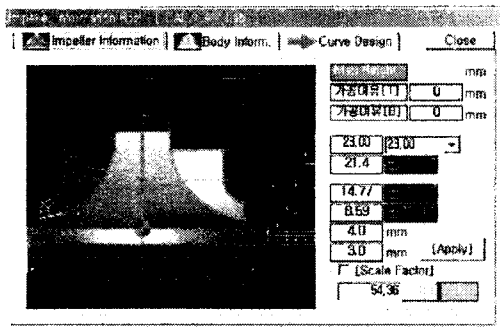


Fig. 7 Section profile dimensions of impeller

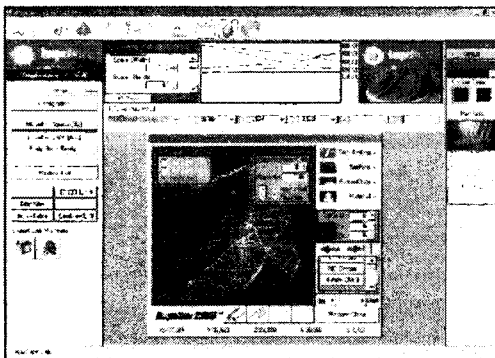


Fig. 8 Impeller modeling result on the S/W

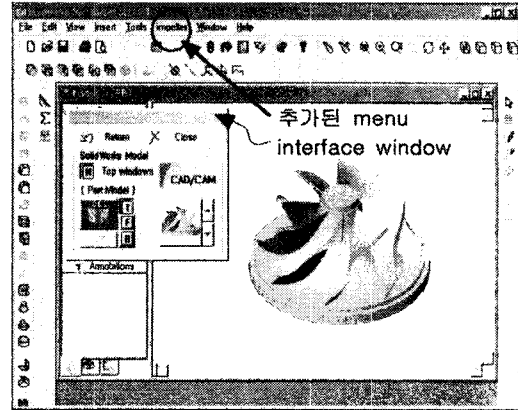


Fig. 9 Impeller modeling result on Solid-Works CAD system using with API function

상 데이터를 표시하고 있는데, 이것은 모델링된 임펠러의 외곽 및 전체적인 단면 치수들을 알려주는 기능을 한다.

Fig. 8은 블레이드와 몸체 부분의 설계 조건에 의하여 임펠러의 모델링 결과를 와이어 프레임으로 표현하고 있다. 그리고 모델링 표현을 좀 더 시각화하기 위하여 상용 CAD 소프트웨어인 Solid-Works에 솔리드로 표현된 결과를 Fig. 9에서 보여 주고 있다. Fig. 9에서의 전체 프레임은 Solid-Works이며 Solid-Works 메뉴에 <Impeller>항을 추가하여 Solid-Works에 필요한 모델링 명령을 수행할 수 있도록 하였고 필요한 설계 데이터는 별도로 개발한 중상부에 있는 창에서 넘겨줄 수 있도록 하였다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 ruled-surface로 형성된 블레이드를 갖는 임펠러의 모델링 알고리즘을 정립하였고, 정립된 알고리즘을 적용할 수 있는 CAD 시스템을 개발하였으며, 모델링 결과를 상용 CAD 시스템과 인터페이스 할 수 있도록 함으로서 범용성을 갖게 하였다.

## 참 고 문 헌

- (1) 조현덕 외, "Ruled-Surface로 형성된 임펠러 블레이드의 5-축 가공에 관한 연구", 한국공작기계학회 추계학술대회, 2000
- (2) 조현덕 외, "임펠러 5-축 CNC 가공에 관한 연구", 한국공작기계학회, 제6권, 제4호, 1997

- (3) 전용태, 박세형, "Impeller 가공용 전용 CAM 시스템 개발", 대한기계학회 춘계학술대회, 1994
- (4) Gershon Elber, "Accessibility in 5-Axis milling environment" Computer-Aided Design, Vol.26, No.11, 1994
- (5) Idemura, "Machining and Grinding By 5-Axis control machining center - for the workpiece with convex sculptured surface" JSPE, Vol.57, No.11, 1991
- (6) H.D.Cho, Y.T.Jun and M.Y.Yang, "Five- Axis CNC Milling for Effective Machining of Sculptured Surfaces", Int. J. Prod. Res., Vol.31, No.11, 1993
- (7) Suk-Hwan Suh, Jung-Jae Lee, and Sung-Ku Kim, "Flank Milling of Ruled Surfaces by the Additional-Axis Machining Method0117, J. of Manufacturing Systems, Vol.18, No.1, 1999
- (8) Byoung K. Choi, "Surface Modeling for CAD/CAM", ELSEVIER, 1991, pp. 62~67