

임펠러의 역공학과 5축가공에 관한 연구

장동규*, 신재광*, 홍성균*, 이희관**, 양균의#

A Study on Reverse Engineering and 5-axis NC Machining of Impeller

Dong Kyu Jang*, Jae Kwang Sin*, Sung Kyun Hong*, Hi Koan Lee**, Gyun Eui Yang#

ABSTRACT

This paper presents a method for impeller modeling and 5-axis machining by the reverse engineering. The impeller is composed of pressure surface, suction surface and leading edge, and so on. The surfaces can be modeled by using the characteristic curves such as hub curves, shroud curves and fillet curves. The characteristic curves are extracted from the scanned data and the inspection is performed between the surfaces generated by using the characteristic curves and the scanned data. Then, An impeller is machined by 5-axis macinining and post-processing with inverse kinematic solution.

Key Words : Impeller(임펠러), Reverse Engineering(역공학), Characteristic curve(특성곡선), Ruled surface(룰드곡면), Tool path generation(공구경로 생성)

기호설명

$R(u,v)$ = ruled surface

$H(u)$ = hub curve

$S(u)$ = shroud curve

$S_b(t)$ = shroud boundary

$L_i(u)$ = line equation

1. 서론

임펠러는 터보엔진이나 제트엔진과 같은 터보 기기류의 중요한 부품이다^{1,2}. 임펠러의 형상 복원을 위해서는 임펠러를 측정하고 그 형상의 특성을 파악하여 모델링하는 절차가 필요하게 된다. 이때

사용하는 방법이 역공학인데 역공학(Reverse Engineering)이란 이미 존재하는 제품형상을 디지타이저를 이용해 측정하여 공학적 개념이나 형상 모델을 추출하는 기술이며, 물리적인 모델로부터 수학적인 모델을 얻는 기술이라 말할 수 있다³. 이것은 새로운 모델을 개발하거나 수정하는 과정에서 RP(Rapid Prototyping)나 NC가공 등에 적용되어 개발기간을 단축 하며, 기존의 금형이나 제품의 복제 또는 검사(inspection), 더 나아가서 의료분야에도 적용될 수 있다. 역공학의 공정은 주로 4단계로 이루어지는데, 먼저 대상물의 측정 데이터를 얻고 그 다음 단계로, 얻어진 측정 데이터를 전처리(preprocessing)하고, 이를 바탕으로 영역을 분할하여 곡면생성 단계를 거

* 접수일: 2003년 8월 23일; 개재승인일: 2004년 3월 12일

* 전북대학교 대학원 기계공학과

** 전북대학교 자동차부품·금형기술혁신센터

교신 저자: 전북대학교 기계항공시스템공학부

E-mail geyang@chonbuk.ac.kr Tel. (063) 270-2322

쳐 최종적으로 하나의 모델을 생성하게 된다.

임펠러의 가공은 형상특성상 5축으로 가공하게 되는데 임펠러와 같은 터보기기의 5축가공에 대한 연구 등은 공구경로 생성 및 공구간섭 제거에 관한 연구들이 수행되어 왔다.^{4,5,6,7,13}

본 논문은 역공학을 이용하여 측정된 데이터에서 임펠러의 특성곡선을 추출하여 모델링하는 방법과 임펠러 가공경로 생성에 대해 제시하고 있다.

2. 역공학을 이용한 임펠러 모델링

2.1 레이저 스캐너를 이용한 측정전략

비접촉식 레이저 스캐너는 짧은 시간에 많은 데이터를 얻을 수 있는 장점이 있는 반면 레이저의 주사방향이 한 방향으로 고정되어 있기 때문에 임펠러와 같이 복잡한 면들로 구성된 제품은 한번의 측정으로 필요한 형상 데이터를 얻을 수 없다. 따라서, 임펠러 측정을 위한 측정전략으로 효과적인 측정자세와 터링볼의 위치 결정이 필요하다.

임펠러 측정시 모델링에 필요한 특징형상에 대한 정보를 얻기 위해선 최소 2번 이상의 측정이 필요한데 각각 측정된 데이터는 어느 한 부분의 측정정보만을 가지고 있기 때문에 필요한 모든 정보와 형상을 얻기 위해서 각각의 측정 데이터를 레지스트레이션 시켜준다⁸.

측정데이터의 레지스트레이션은 터링볼의 상대 위치를 이용하는데 서로 다른 방향에서 측정되더라도 각 측정데이터에 포함된 터링볼의 상대 위치는 변하지 않는다. 이러한 특징을 이용해 각각의 측정데이터에서 적어도 3쌍 이상의 터링볼이 일치하도록 데이터의 위치를 변환시켜 전체적인 형상을 완성한다.

임펠러는 하나의 블레이드가 허브면을 따라 일정 각도로 회전하여 만들어지기 때문에 측정 역시 하나 또는 두 개의 블레이드를 대상으로 실시해 필요한 정보를 얻는다. 또한 임펠러에 부착한 터링볼에 의한 가림현상으로 인해 특정형상의 데이터 손실을 막기 위해서 데이터가 없어도 충분히 예측 가능한 위치에 터링볼을 부착한다. 본 논문에서는 허브의 측면 실린더 부분과 위쪽의 평면부가 가림현상을 피할 수 있는 위치에 해당하기 때문에 터링볼 부착위치로 결정했다.

2.2 임펠러의 특성곡선

역공학을 이용해 측정물체의 CAD데이터를 구하는 방법은 형상의 특성곡선을 이용하는 방법이 주로 쓰인다⁹. 진행 과정은 복잡한 곡면으로 구성되어 있는 물체를 몇 개의 특징적인 영역으로 나누고 이 부분을 형성하는 주요 특성곡선을 찾는다. 이렇게 구해진 특성곡선을 이용해 각 영역의 면을 만들어 최종적인 CAD데이터를 얻는다. 이 방법은 특정 영역을 구분하고 각각의 특성곡선을 찾는 과정에서 어려움이 있지만 양질의 면을 얻을 수 있는 장점이 있다.

Fig. 1에서 보는바와 같이 임펠러는 크게 허브면과 블레이드로 나눌 수 있다. 허브면은 허브 boundary가 임펠러 중심축을 중심으로 회전해서 만들어진 회전체이기 때문에 허브면의 CAD데이터를 구하기 위해 필요한 특성곡선은 임펠러의 중심축과 허브 boundary가 된다.

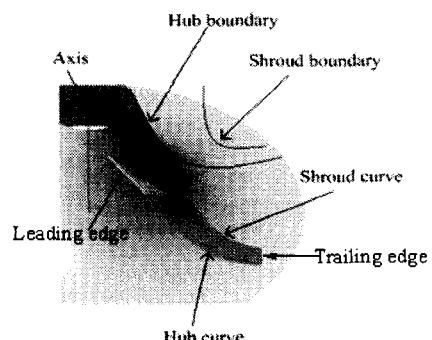


Fig. 1 Characteristic curves of impeller

다음으로 블레이드의 구성요소에 대해서 살펴보면 블레이드는 pressure면, suction면, leading edge, trailing edge로 구성되어 있고 pressure면과 suction면은 허브곡선과 shroud곡선을 이용한 ruled surface로 식 (1)과 같이 표현된다.

$$R(u, v) = H(u)(1 - v) + S(u)v \quad (1)$$

여기서, $H(u)$: hub curve, $S(u)$: shroud curve

따라서, pressure면과 suction면을 만들기 위한 특성곡선은 곡선 $H(u)$ 와 $S(u)$ 가 된다.

Leading edge는 shroud축과 허브축에서 곡선을 만들어 loft로 생성한 곡면이다. 그렇기 때문에 leading edge의 특성곡선은 블레이드의 shroud축과 허브축에서 곡선을 찾으면 된다. Trailing edge는 블레이드 출구쪽 곡면과 허브 아랫쪽 실린더 형상의 교차 곡선이 특성곡선이 된다.

2.3 임펠러의 특성곡선 추출

2.3.1 허브면 특성곡선 추출

임펠러의 중심축은 측정데이터에서 허브아랫쪽 실린더 형상과 윗쪽의 평면을 이용하는데 먼저 허브면 윗부분의 원형 데이터에서 세 점을 추출해 평면 PN을 생성한다. 다음으로 아랫쪽 실린더 형상에서 평면 PN과 평행한 단면 데이터를 생성하고 이 데이터를 이용해 원을 만든다. 이 원의 원점 $P_o(x_c, y_c, z_c)$ 를 평면 PN에 투영시킨 점 $P'_o(x'_c, y'_c, z'_c)$ 를 구하고 점 P_o 와 P'_o 를 연결한 $\overline{P_oP'_o}$ 가 임펠러 중심축이 된다(Fig. 2).

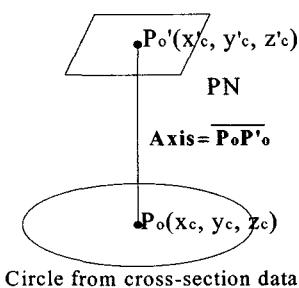


Fig. 2 Axis of impeller

허브 boundary를 구하기 위해 허브면의 단면 데이터가 필요한데 하나의 단면으로는 전체의 데이터를 얻기가 어렵기 때문에 Fig. 3과 같이 레지스트레이션 데이터에서 임펠러 블레이드의 간섭이 없는 두 부분으로 나눠 허브면의 단면 데이터를 얻는다.

이 데이터를 바탕으로 B-spline 곡선을 생성하고 생성된 곡선을 회전시켜 임시 허브면을 생성한 후 이 회전면과 임펠러 중심축을 지나는 임의의 평면과의 교차 곡선을 찾는다. 이 곡선에서 Curve segment length 방법⁸을 이용해 점을 샘플링하고 근사 B-spline 곡선을 만들면 허브 boundary가 된다.

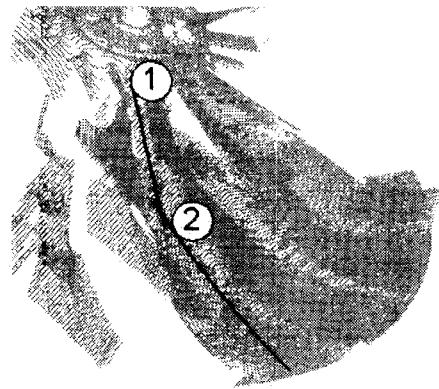


Fig. 3 Cross-section data of hub surface

B-spline 근사화는 측정점을 이용해 조정점을 찾아 곡선을 만들고 매개변수를 구하면 된다. 이를 위해 먼저 식(2)를 이용해 조정점을 구하한다¹².

$$[B] = [[N]]^T [N]]^{-1} [N]^T [Q] \quad (2)$$

식(2)는 점을 이용한 B-spline 곡선 근사화에 사용되는 기본식이고 여기에서, $[B]$ 는 B-spline 곡선의 조정점이고 $[Q]$ 는 측정점이고 $[N]$ 은 $(k-1)$ 차 i 번째 B-spline 기본 함수로 식 (3)과 같이 정의 된다.

$$N_{i,1}(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_i \leq t < x_{i+1} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$N_{i,k}(t) = \frac{(t-x_i)N_{i,k-1}(t)}{x_{i+k-1}-x_i} + \frac{(x_{i+k}-t)N_{i+1,k-1}(t)}{x_{i+k}-x_{i+1}}$$

식(2)에서 구한 조정점에 의해 만들어진 곡선을 이용해 식(4)에 의해 매개변수 u_j 를 오차값에 대해 최적화 시킨다¹⁰.

$$e_{av} = \sum_{j=0}^m (Q_j - M(u_j))^2 \quad (4)$$

여기서, e_{av} 는 측정점 Q_j 와 각 측정점에 대응하는 근사곡선 상의 점 $M(u_j)$ 과 거리를 제곱의 합으로 나타낸 것이다.

2.3.2 블레이드 특성곡선 추출

블레이드의 특성곡선을 찾기 위해서는 먼저 shroud boundary 곡선 $S_b(t)$ 가 있어야 한다. Shroud boundary는 shroud 곡선을 임펠러의 축을 중심으로 회전시켰을 때 생기는 회전체와 축을 지나는 평면의 교차 곡선이 된다. $S_b(t)$ 를 구하기 위해서 측정 점의 shroud 영역에서 측정점 $Q_j = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_m\}$ m 개를 추출하고 식 (2)와 식 (4)를 이용한 B-spline 곡선 근사화를 통해서 shroud boundary 곡선 $S_b(t)$ 를 만든다¹⁰.

다음으로, 블레이드의 특성곡선을 생성하기 위해 먼저 pressure면과 suction면에서 임시 loft곡면을 생성한다. 임시 loft곡면 생성시 lofting에 사용할 직선을 구하기 위해서는 블레이드의 단면데이터가 필요한데 이를 위해서 앞에서 만든 shroud boundary 곡선 $S_b(t)$ 에 수직한 평면을 이용한다. 이 평면들의 위치는 Fig. 4와 같이 chord height 방법¹¹을 이용해 샘플링 한 점으로 하는데 이렇게 하면 곡률이 작은 부위에서는 평면들의 간격이 넓고 곡률이 큰 부분에서는 간격이 작게 나눠져 블레이드의 곡률이 크게 변하는 부위에서 데이터 획득이 많이 되어 측정점과 생성곡면의 오차를 줄일 수 있다.

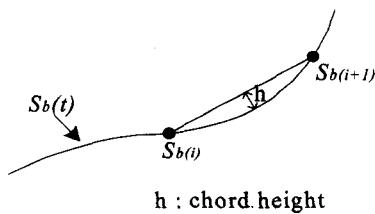


Fig. 4 Sampling point on a curve

각 점의 위치에서 shroud boundary곡선에 수직한 평면을 만들고 이 평면들과 블레이드의 측정데이터와 교차하는 데이터를 구하면 필요한 단면데이터가 생성된다. 이렇게 생성한 단면 데이터에서 hub쪽에 가까운 데이터를 시작점 Q_s 로 하고 shroud boundary쪽에 가까운 점을 끝점 Q_e 으로 해서 loft 곡면을 생성하기 위한 직선을 구한다. 허브면과 shroud면에 교차하도록 하기 위해서 식 (5)를 이용해 Fig. 5(b)에서 보이는 것처럼 직선을 d만큼 양쪽으로 연장한다.

$$L_i(u) = \{Qs_i - \vec{V}d\}(1-u) + \{Qe_i + \vec{V}d\}u \quad (5)$$

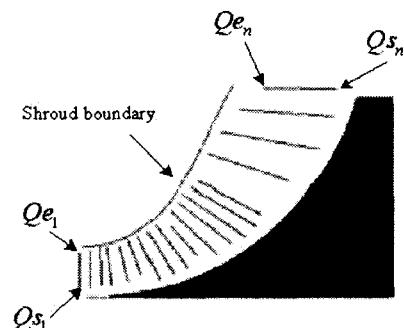
여기서, Q_s = 직선의 시작점

Q_e = 직선의 끝점

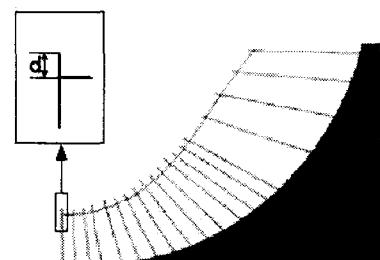
$$\vec{V} = \frac{Q_e - Q_s}{|Q_e - Q_s|}$$

이와 같이 생성한 n개의 직선을 단면으로해서 블레이드의 임시 loft 곡면을 만든다.

생성된 임시loft 곡면과 shroud boundary의 회전면과의 교차 곡선을 찾아 교차된 점을 샘플링해 근사 곡선을 구하면 shroud 곡선 $S(u)$ 가 되고 허브 면과의 교선을 찾아 점을 샘플링해 근사 곡선을 구하면 허브 곡선 $H(u)$ 가 된다. 블레이드면은 식 (1)과 같이 $S(u)$ 와 $H(u)$ 를 이용한 ruled surface로 생성한다.



(a) cross section line



(b) Extend the line

Fig. 5 Generating the cross-section line

2.3.3 Leading edge와 trailing edge의 특성곡선 추출

Leading edge의 특성곡선은 shroud축과 허브축에서 각각의 특성곡선을 구해 lofting 시키면 된다. Shroud축의 곡선을 구하는 과정은 먼저 블레이드

양쪽의 특성곡선인 2개의 shroud 곡선의 접선을 식 (6), (7)을 이용해 구한다¹².

$$\frac{dS(u)}{du} \Big|_{u=t_{k-1}} = \frac{k-1}{t_k - t_1} (B_1 - B_0) \quad (6)$$

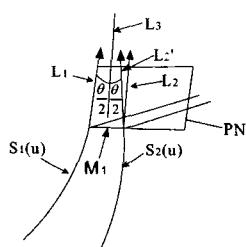
$$\frac{dS(u)}{du} \Big|_{u=t_{n+1}} = \frac{k-1}{t_{n+k-1} - t_n} (B_n - B_{n-1}) \quad (7)$$

여기에서 B_i = 곡선 $S_i(u)$ 의 조정점

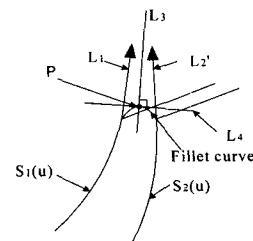
n = 조정점 개수

k = 오더값

Fig. 6(a)에서와 같이 shroud 곡선의 시작점이 trailing edge부에서 시작되므로 식 (6)에서 $S_1(u)$ 와 $S_2(u)$ 를 넣고 각 곡선에 해당하는 조정점 B_i 를 이용해 각 shroud 곡선의 접선 L_1 , L_2 를 구한다. 이 두 개의 선이 같은 평면에 있도록 하기 위해 L_1 과 두 개의 shroud 곡선의 끝점을 연결한 M_1 을 이용해 평면을 만들고 L_2 를 이평면에 수직한 방향으로 투영시켜 L_2' 를 구한다. 이 평면상에서 L_1 과 L_2' 가 이루는 각 θ 를 이등분하는 직선 L_3 를 찾고 shroud측 leading edge 측정 데이터에서 곡선의 극점에 해당하는 점P를 지나고 직선 L_3 와 수직한 직선 L_4 를 생성한 후 L_4 와 L_1 , L_2' 를 모두 접하는 fillet 곡선을 찾으면 shroud측 leading edge의 특성곡선이 된다(Fig. 6(b)). 허브측에서도 같은 방법으로 fillet 곡선을 찾고 이렇게 찾은 두 곡선을 이용하여 생성한 loft 곡면이 leading edge가 된다.



(a) Extend the shroud curve



(b) Tritangent fillet curve

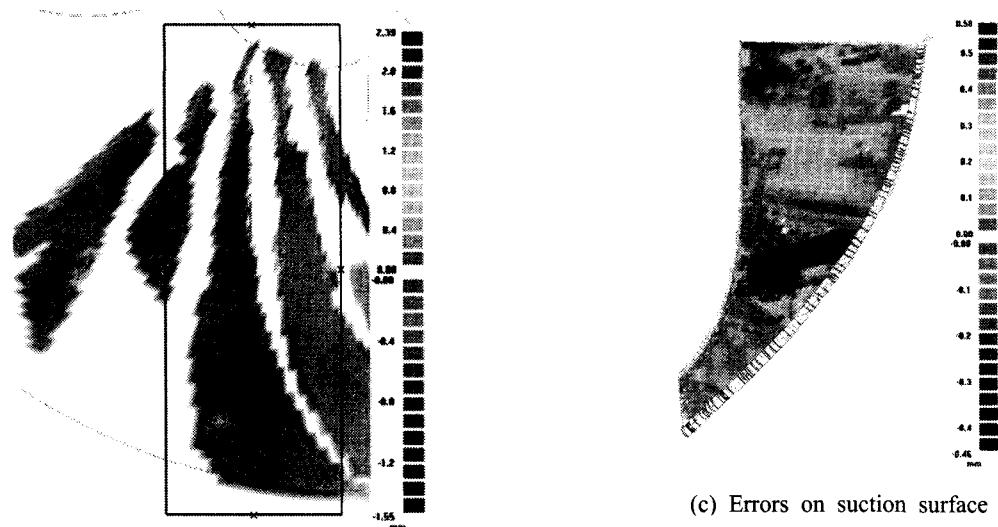
Fig. 6 Characteristic curve of leading edge

Trailing edge는 식 (5)를 이용해 shroud 곡선과 허브 곡선의 시작 위치에서 접선을 구해 접선 방향으로 곡선을 연장하고 연장선을 이용해 면을 만든다. 이 연장된 면과 허브 바닥면 실린더 형상과의 교차선을 찾으면 trailing edge가 된다.

3. 모델링 검사

역공학을 이용하여 특성곡선을 이용해 구한 임펠러의 모델링 정밀도를 확인하기 위하여 모델링 검사를 실시하였다. 모델의 정밀도 검사는 레이저스캐너를 이용해 획득된 데이터와 CATIA를 이용하여 생성한 모델데이터를 이용했고 비교 대상은 임펠러의 주요 부위인 허브면과 블레이드를 가지고 수행했다. 측정데이터의 레지스트레이션 발생하는 오차의 값이 기본적으로 0.05mm정도가 발생⁸하고 블레이드의 곡률변화를 고려할 때 역공학에 의한 모델링 오차범위를 0.1mm로 정하였다.

Fig. 7은 측정점과 생성면의 데이터를 비교한 것이다. Fig. 7(a)의 허브면의 생성면과 측정데이터 와의 데이터를 비교해 보면 임펠러 trailing edge부의 실린더 형상에서 여러 방향에서 측정한 데이터의 레지스트레이션에 의하여 오차 범위가 -1.55 ~ 2.39mm로 크게 나왔지만 임펠러 허브면 생성에 이용한 부위인 박스 부분의 오차값은 평균 0.1mm로 양호한 값을 가지며 면상태도 고르게 나온걸 확인 할 수 있다.



(a) Errors on hub surface



(b) Errors on pressure surface

(c) Errors on suction surface

Fig. 7 Errors between measured point and CAD data

블레이드의 데이터 비교는 suction면과 pressure 면에서 수행했는데 suction면 오차값은 평균 0.07mm이고 pressure면 평균 오차값은 0.095mm이다. 이것을 볼때 블레이드 역시 양호한 오차값이며 면도 깨끗하게 생성되었음을 알 수 있다. Table 1은 각 부위의 평균 오차값을 정리한 것인데 특성곡선을 이용해 생성한 임펠러의 허브면과 블레이드의 CAD 데이터는 측정데이터가 겹쳐진 부분을 제외하고 0.1mm이내의 오차가 나왔다. 측정데이터를 이용한 역설계 과정에서 레지스트레이션 오차를 보정해 주더라도 곡선 생성을 위해 샘플링한 점의 위치등에 의해서 오차값에 차이가 생길수 있다. 따라서 측정 데이터를 이용해 만든 면이 허용오차 값을 벗어날 경우 반복작업을 통하여 원하는 데이터를 얻어야 한다.

Table 1 Average error between measured point and CAD data of impeller (Unit : mm)

Area	Positive	Negative
Hub surface	0.091	-0.311
Pressure surface	0.091	-0.099
Suction surface	0.065	-0.075

4. 임펠러 가공

4.1 가공경로 계획^{7,13}

본 연구에서는 가공경로 계획으로 황삭과 정삭의 2단계로 나누어 수립하였다. 황삭가공에서 생산성 향상을 위하여 가공영역에서 간섭이 없는 최대 크기의 공구를 선정하였다. 영역구분은 블레이드면의 twist point를 기준으로 상단과 하단으로 자동으로 분할한다. Twist point란 ruling line의 각 변화를 기준으로 다음 ruling line이 음의 방향이 되거나 각 변화가 급격히 변화하는 부분이다. 공구크기 선정은 가공영역에서 이웃하는 블레이드의 최단거리를 구해 그 최단거리에서 공구간섭을 고려한 허용공차를 제거한 크기로 선정한 후 선정된 공구로 가공 경로를 생성한다. 이때, 공구 축 방향 벡터는 ruled surface상의 직선과 평행하도록 하고 공구 경로상의 공구 축 방향 벡터는 간섭을 일으키지 않으며 최대한 공구 축 방향 벡터의 각 변화가 적도록 하여 구하였으며 경로간격 4mm, 절삭깊이는 3mm가 되도록 iso-parametric 경로를 산출하였다. 공구간섭 검사는 공구축과 룰링라인 사이의 최단거리를 계산하여 공구반경과 값을 비교하는 검사를 수행하였다.

정삭가공의 수행은 세 부분으로 구분하여 허브면 가공, 블레이드면 가공 그리고 leading edge 가공으로 나누어 고려하였다. 가공은 먼저 leading edge 정삭을 수행한 후 블레이드면 가공을 수행하고 마지막에 허브면의 정삭가공을 수행한다.

허브면의 정삭가공은 유체의 흐름을 방해하지 않을 정도의 표면거칠기를 유지하면서 가공속도를 향상시키는 것에 중점을 두어 가공경로를 생성하였다. 유체의 흐름과 같은 방향을 주기 위하여 공구경로는 iso-parametric 가공 경로로 cusp높이가 0.01mm가 되게 경로간격을 설정하여 생성하였다. 블레이드면의 정삭가공은 side cutting 가공방법으로 경로를 생성하였다. 블레이드면은 ruled surface로 모델링되어 있으므로 공구축 벡터는 ruling line과 평행하도록 설정하여 경로를 생성하였다.

Leading edge부는 두께가 얕아 가공시 파단을 일으키기 쉬우며 측면날 절삭시 가공부하로 인한 휨이 발생하게 된다. 이러한 파단이나 가공부하로 인한 휨을 방지하기 위해서는 공구가 leading edge의 수직방향에서 접근하여 가공하는 방법을 수행한다. 절삭 부하를 줄이기 위하여 공구는 leading edge의 수직 방향으로 접근하여 shroud에서부터 허브로

가공이 되도록 one-way 가공 경로를 산출하였다.

4.2 후처리(Post-processing)

공구경로 생성에서 생성된 데이터는 CL데이터(P_x, P_y, P_z)와 공구축벡터(u_x, u_y, u_z)로 생성된다. 이러한 데이터를 NC가공이 가능한 NC code로 변환하기 위해서는 계산된 공구 경로를 기계 형태에 맞게 NC format으로 바꾸어 주어야 한다. 이러한 작업을 후처리라고 한다. 5축 공작기계는 pivot point의 위치가 기계마다 서로 다르며 어느 축이 경사되거나 회전되는가에 대한 변화량을 공구 축 벡터로부터 구하는 kinematic solution이 필요로 하게 된다. 이러한 kinematic solution은 기계의 구조를 이용하여 변환행렬을 구하게 된다.

본 연구에서 사용된 5축 기계는 Mazak VARIAXIS-630으로 Fig. 8과 같이 X축으로 경사되고 Z축으로 회전이 되는 형태이며 주어진 공구축 벡터에서 경사각 및 회전각을 구하는 식은 (8)과 (9)를 이용하여 구하게 된다.

$$A = -\tan^{-1}\left(\frac{u_y}{u_z}\right) \quad (8)$$

$$C = \sin^{-1}(u_x) \quad (9)$$

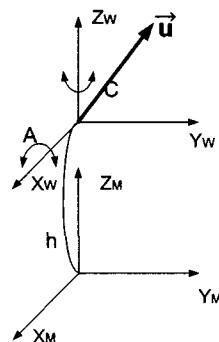


Fig. 8 Machine coordinate for calculating kinematic

좌표계가 형성이 되면 이동해야 할 좌표는 변환 행렬을 이용하여 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$(X, Y, Z, 1) = (P_x, P_y, P_z, 1) M_z(-h) M(\theta) M(\phi) M_z(h) \quad (10)$$

여기서, θ : X축 방향의 경사각(-A)

ϕ : Z축 방향의 회전각(-C)

h : pivot distance

$M_z(h), M_z(-h)$: h에 대한 z축방향 위치변환

$M(\phi)$: 로테이션 각에 의한 z축방향 회전변환

$M(\theta)$: 틸팅각에 의한 x축 회전변환

5. 임펠러 가공

임펠러 가공은 Mazak VARIAXIS-630 5축 가공 기기를 사용하여 가공하였다. 임펠러 가공은 먼저 소재를 선반을 이용하여 원추형으로 가공한 후 5축 가공을 수행하였다. 사용공구는 ball-end mill을 사용하였으며 jig는 임펠러 5축가공기의 stroke와 간섭을 고려하여 바닥면에 설치하였으며 가공 조건은 Table 2와 같다. Fig. 9는 모델링한 임펠러의 가공경로를 보여주고 있으며 Fig. 10은 가공 결과를 보여주고 있다.

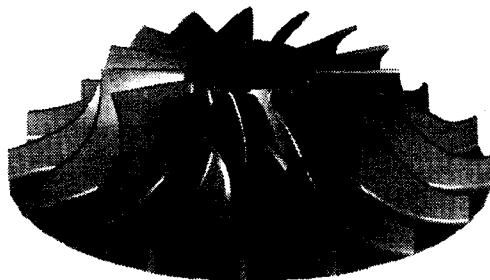


Fig. 9 Tool path of impeller



Fig. 10 Machined result

Table 2 Machining conditions

	Region	Tool	FeedRate (mm/min)	Spindle rate(rpm)
Roughing	Hub surface	Ball ø6, ø10	1,400	3,500
	Leading edge	Taper Ball ø3	250	4,000
	Hub surface	Taper Ball ø3	1,000	4,000
		Blade	150	2,000

6. 결론

본 논문은 역공학을 이용하여 임펠러의 측정된 점데이터에서 특성곡선을 추출하여 모델링하는 기법과 임펠러 가공을 위한 가공경로 생성에 대하여 연구하였다.

임펠러 측정을 위해서 측정전략으로 한번의 측정데이터군에서 세 개이상의 톤링볼이 포함되도록 하여 측정하였으며 측정된 데이터에서 허브 곡선, shroud 곡선과 leading edge를 모델링하기 위한 fillet 곡선 등의 특성곡선을 error tolerance를 만족하도록 하여 추출하였고 이 특성곡선을 사용하여 임펠러를 모델링하였다. 추출한 특성곡선으로 모델링한 ruled surface와 측정점과의 오차는 평균 0.1mm이하로 레지스트레이션 오차를 고려하면 양호한 오차를 보였다.

임펠러 가공은 황삭과 정삭으로 나누어 고려하였으며 허브면 정삭에서는 유체의 흐름을 고려하여 iso-parametric 가공을 수행하였으며 블레이드면 가공은 side cutting을 수행하였다.

참고문헌

- Jun, Y. T., Park, S. H., "Development of a CAM system for Impeller Machining," Proceedings of the KSME Spring Annual Meeting, pp. 217-220, 1994.
- Cho, H. D., Park, J. B., Yoon, M. C., Choi, D. S., Shin, B. S., Lee, S. C., "A Study on the 5-Axis CNC Machining of Impeller," Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 6, No. 4, pp. 19-26, 1997.

3. Varady, T., Matrin, R. R., Cox, J., "Reverse engineering of geometric models - an introduction," Computer-Aided Design, Vol. 29, No. 4, pp. 255-268, 1997.
4. Jun, C. S., Park, J. S., "Development of dedicated CAM system for turbine blades," Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Annual Meeting, pp. 181-186, 2001.
5. Lee, C. S., Lee, J. H., Park, S. D., "Generation of 4-axis NC Data for Single Setup of Ship's Propeller Machining," Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Annual Meeting, pp. 187-194, 2001.
6. Cho, H. D., Jung, D. I., Yoon, M. C., Choi, D. S., Shin, B. S., Lee, E. S., Dong, Y. G., "The Development of Exclusive CAD/CAM System for Impeller Blades Formed by Ruled Surface II(A Study on the 5-axis Machining)," Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 11, No. 3, pp. 1-7, 2002
7. Jang, D. K., Shin, J. K., Lee, H. K., Ryo, S. H., Yang, G. E., "A Study on Tool Path Generation for Machining Impellers with 5-Axis Machine," Asia-Pacific Forum on PSFDT, pp. 253-261, 2003.
8. Hong, S. K., Kim, Y. S., Lee, H. K., Kim, H. C., Yang, G. E., "A study on Reducing Errors in Scanning Object and Registration using a Laser Scanner," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 20, No. 9, pp. 197-204, 2003.
9. Chen, S. L., Wang, W. T., "Computer aided manufacturing technologies for centrifugal compressor impellers," Journal of Materials Processing Technology 115. pp. 284-293, 2001.
10. Lin, C. Y., Liou, C. S., Lai, J. Y., "A surface-lofting approach for smooth-surface reconstruction from 3D measurement data," Computer in Industry 34, pp. 73-85, 1997.
11. Park, H. J., Kim, K. S., "Approximate lofting by B-spline curve fitting based on energy minimization," Journal of the Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 4, No. 1, pp. 32-42, 1999.
12. Rogers, D. F., Adams, J. A., "Mathematical Elements for Computer Graphics," McGRAW-HILL Int. Editions pp. 348-351, 1990.
13. Jang, D. K., Cho, H. W., Lee, H. K., Kong, Y. S., Yang, G. E., "A Study on Tool Path Generation for Machining Impellers with 5-Axis Machine," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 3, pp. 83-90, 2004.