

박용프로펠러생산정보시스템개발
Development of a Production Information System for Marine Propellers

박재성*, 김동수*, 전차수*, 박정환**, 주상윤***

*경상대학교 산업시스템공학부, 항공기부품기술연구센터

**영남대학교 기계공학부

***울산대학교 산업정보경영공학부

Jaeseong Park, Dong-Soo Kim Cha-Soo Jun, Jung W. Park and Sang-yoon Ju
*Division of Industrial and Systems Engineering, and Research Center for Aircraft
Parts Technology, Gyeongsang National University
**School of Mechanical Engineering, Yeungnam University
**School of Industrial Engineering, University of Ulsan

Abstract

Developed in this research is a production information system for marine propellers. The paper deals with surface modeling and tool path generation modules of the system. Since the input point data may have some errors, the data is examined using the 2nd divided difference. The point data is interpolated to a G^2 chord length spline surface with some end conditions. The effects of the various end conditions on the interpolated surface are discussed in the paper. The tool paths for blade, fillet, and boss of the propeller are generated. Some illustrative examples from an industry are presented.

1. 서론

최근에는 선박의 초대형화 및 초고속화에 따라 high skew, high pitch 및 tip rake를 요

구하는 고효율 프로펠러가 증가하고 있는데 기존의 시스템으로 이러한 프로펠러들을 안정적으로 가공하는 것은 어려운 실정이다. CAM 시스템 내부에서 계산되는 프로펠러의 곡면 모델은 가공된 blade의 품질에 매우 중요한 역할을 하는데, 입력되는 데이터에 따라서는 블레이드 곡면에서 굴곡이 발생하는 경우도 있다.

블레이드 가공은 blade, edge, fillet 및 boss 가공으로 나누어지는데, 기존 시스템에서는 이들 공정에 적합한 생산 정보를 적절하게 제공하지 못하였고, fillet 영역과 boss 영역을 가공하지 않아 발생하는 사상 작업으로 인해 과도한 공수가 필요 하였다.

본 연구에서는 기존 시스템의 문제를 해결하기 위한 박용 프로펠러 생산 정보 시스템을 개발하였다. 여기서는 곡면 모델링과 blade, fillet 및 boss 가공 데이터 생성에 대해서만 자세하게 다루고자 한다.

2. 프로그램 구조

본 연구에서 개발한 프로그램의 구조는 그림 1과 같다. 이 프로그램은 3차원 설계 데이터와 boss 데이터, 가공조건 데이터를 입력 받아 곡면 모델과 CC(cutter contact) data를 출력한다.

프로그램은 크게 (1) 입력데이터 오류 검사 모듈, (2) 블레이드 및 경계곡면(connecting surface) 모델링, (3) Boss 곡면 모델링, (4) blade 및 fillet 가공 경로 생성 모듈, 그리고 (5) boss 가공 경로 생성 모듈로 구성된다.

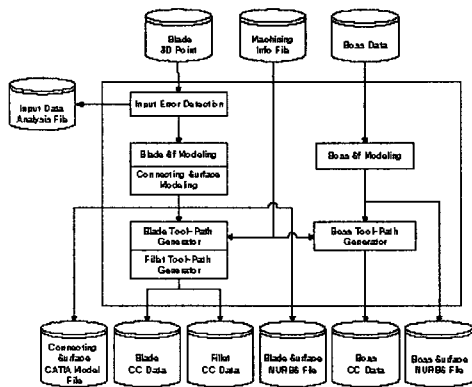


그림 1. 프로그램의 구조

3. 입력데이터 오류검사

입력되는 3차원 점 데이터는 사용자의 실수 등 여러 가지 이유로 오류를 포함할 수 있으며 이러한 오류가 포함된 데이터를 이용하여 곡면을 생성할 경우 이후 공정에 문제가 발생할 수 있다.

입력데이터의 오류는 대부분 입력데이터 자체나 생성된 곡면을 화면에 그려봄으로써 알 수도 있으나 여러 방향으로 그림을 돌려보고 여러 구석을 면밀히 살펴봐야 하므로 많은 시간이 소요되며 발견하지 못하고 넘어갈 우려도 있다. 본 검사 모듈에서는 이러한 오류를 확대하기 위하여 제2차 차분을 이용하여 그림으로 확인함으로써 오류 검사를 보다 용이하게 하였다.

제2차 차분(2nd divided difference)은 다음과 같이 정의 된다.

$$\Delta_{i,j}^2 z_y = \frac{\Delta_j z_{i+1,j} - \Delta_j z_{i,j}}{|r_{i+2,j} - r_{i,j}|}, \quad \Delta_j^2 z_y = \frac{\Delta_j z_{i,j+1} - \Delta_j z_{i,j}}{|r_{i,j+2} - r_{i,j}|}$$

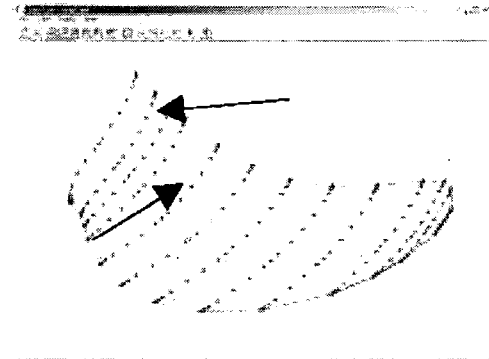
$$\Delta_i z_y = \frac{z_{i+1,j} - z_{i,j}}{|r_{i+1,j} - r_{i,j}|}, \quad \Delta_j z_y = \frac{z_{i,j+1} - z_{i,j}}{|r_{i,j+1} - r_{i,j}|}$$

$\Delta_i^2 z_y$: 제2차 차분(2nd divided difference)

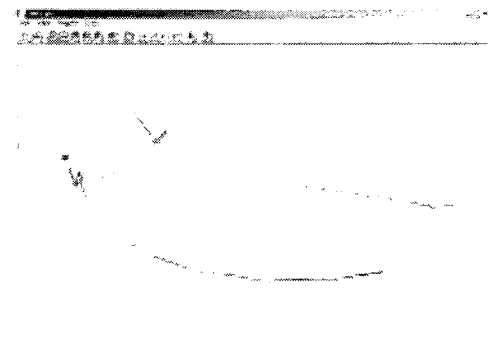
$\Delta_i z_y$: 제1차 차분(1st divided difference)

r_{ij} : i,j번째 입력점, z_y : r_{ij} 점의 z 값

그림 2(a)는 3차원 점 데이터이다. 그림 오른쪽에 화살표로 표시된 부분에서 데이터의 변화가 부드럽지 못한 부분이 있다. 그림 2(b)는 2차 차분 그래프인데 표시 부분의 굴곡이 확대되어 보인다.



(a) 입력 점 데이터



(b) 오류 검사: 2nd divided difference

그림 2. 입력 데이터와 2차 차분 그래프

4. Blade 및 fillet 곡면 모델링

점군 데이터를 곡면으로 보간하는 방법은 점군의 배열에 따라 달라지며, 블레이드의 설계 데이터와 같이 준균일한 점군에 대해서는 현길이 곡면 보간이 적합한 것으로 알려져 있다. (블레이드 곡면과 같이 준균일한 곡면은 현길이 곡면으로 보간하면 적합한 것으로 알려져 있다[2].)

Ferguson (Hermite) surface patch의 식은 다음과 같다[7].

$$\mathbf{r}(u, v) = \mathbf{U} \mathbf{A} \mathbf{V}^T$$

$$= \mathbf{U} \mathbf{C} \mathbf{Q} \mathbf{C}^T \mathbf{V}^T \quad 0 \leq u, v \leq 1$$

여기서

$$\mathbf{U} = [1 \ u \ u^2 \ u^3], \quad \mathbf{V} = [1 \ v \ v^2 \ v^3]$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 2 & -2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{00} & \mathbf{P}_{01} & \mathbf{t}_{00} & \mathbf{t}_{01} \\ \mathbf{P}_{10} & \mathbf{P}_{11} & \mathbf{t}_{10} & \mathbf{t}_{11} \\ \mathbf{s}_{00} & \mathbf{s}_{01} & \mathbf{x}_{00} & \mathbf{x}_{01} \\ \mathbf{s}_{10} & \mathbf{s}_{11} & \mathbf{x}_{10} & \mathbf{x}_{11} \end{bmatrix}$$

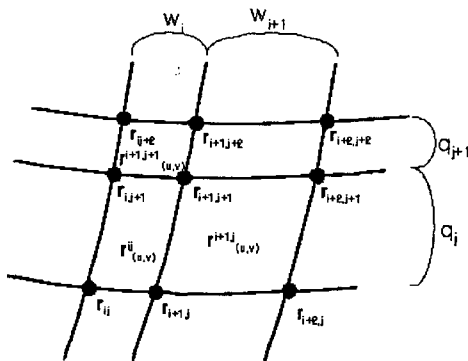


그림 3. 조합곡면에서 patch의 연결

그런데 주어진 입력점 r_{ij} 을 지나는 곡면을 만들기 위해서는 앞의 그림 3과 같이 여

러 개의 패치로 형성된 조합곡면(composite surface)을 만들게 된다. 이때 입력점은 패치의 모서리가 되며 모든 모서리에서 벡터 t_{ij} , s_{ij} , x_{ij} 를 알아야 한다. 인접한 두 패치의 경계에서는 경계곡선이 공유되므로

$$\mathbf{r}^{i+1,j}(0, v) = \mathbf{r}^i(1, v)$$

$$\mathbf{r}^{i,j+1}(u, 0) = \mathbf{r}^j(u, 1)$$

이고, 접평면 연속 조건에 따라

$$\mathbf{r}^{i+1,j}_u(0, v) = w_{i+1} \mathbf{r}^i_u(1, v)$$

$$\mathbf{r}^{i,j+1}_v(u, 0) = q_{j+1} \mathbf{r}^j_v(u, 1)$$

이다. 여기서 접선벡터 크기의 비는 현길이를 이용하여 아래와 같이 정한다.

$$w_0 = 1 \quad w_i = \frac{\sum_{j=0}^N |\mathbf{r}_{i+1,j} - \mathbf{r}_{i,j}|}{\sum_{j=0}^N |\mathbf{r}_{i,j} - \mathbf{r}_{i-1,j}|} \quad i = 0, 1, 2, \dots, M-1$$

$$q_0 = 1 \quad q_i = \frac{\sum_{j=0}^N |\mathbf{r}_{i,j+1} - \mathbf{r}_{i,j}|}{\sum_{j=0}^N |\mathbf{r}_{i,j} - \mathbf{r}_{i,j-1}|} \quad j = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

이때 인접한 패치 간에 곡률 연속조건이 되기 위해서는

$$\mathbf{r}^{i+1,j}_{uu}(0, v) = w_{i+1}^2 \mathbf{r}^i_{uu}(1, v) \quad i = 0, 1, 2, \dots, M-1$$

$$\mathbf{r}^{i,j+1}_{vv}(u, 0) = q_{j+1}^2 \mathbf{r}^j_{vv}(u, 1) \quad j = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

를 만족해야 한다.

한편 곡면의 경계에서는 별도의 조건이 필요한데 이를 end condition이라 하며 이에선 다음과 같은 방법이 있다[4,5,6,7].

(a) Natural end condition (N):

$$\mathbf{r}^{0,j}_{uu}(0) = 0, \quad \mathbf{r}^{M-1,j}_{uu}(1) = 0$$

(b) Quadratic end condition (Q):

$$\mathbf{r}^{0,j}_{uuu}(1) = w_1^3 \mathbf{r}^{1,j}_{uuu}(0),$$

$$\mathbf{r}^{M-2,j}_{uuu}(1) = w_1^3 \mathbf{r}^{M-1,j}_{uuu}(0)$$

(c) Parabola end condition (P):

$$\mathbf{r}^{0,j}_{uuu}(0) = 0, \quad \mathbf{r}^{M-1,j}_{uuu}(1) = 0$$

(d) Circular end condition (C): 끝의 세

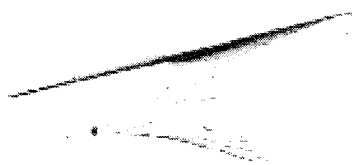
점을 지나는 원호에 접하는 접선벡터를
 줌.

여기서는 u 방향의 경우만을 언급하였는
 데 v 방향도 u 방향과 유사하다. 식(1) 과
 위의 end condition들의 조합으로 연립 방정
 식으로 풀면 곡면형성 정보인 모서리에서의
 t_{ij} , s_{ij} , x_{ij} 를 모두 구할 수 있다.

그림 4는 앞에서 보여준 입력데이터를
 fitting한 곡면을 보여주고 있으며 그림 5는
 end condition에 따른 blade tip에서의
 tangent vector와 음셋된 곡면을 보여주고
 있다. blade 곡면의 경우는 natural end
 condition이 가장 무난한 것으로 조사되었다.



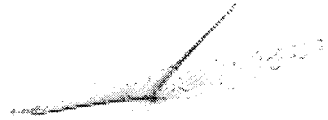
그림 4. 입력 점데이터와 곡면 모델



(a) End tangent C spline



(b) Offset surface C spline



(c) End tangent N spline



(d) Offset surface N spline

그림 5. End condition에 따른 곡면
 생성결과 비교

5. 가공경로 생성

5.1 Blade 와 Fillet 가공경로 생성

이 논문에서 다루고 있는 프로펠러의 가공
 경로는 blade, fillet, boss의 세 가지로 나누
 어진다. Blade와 fillet의 가공경로는 원통과
 Blade 곡면의 교선으로 구한다. 우선 공차를
 충분히 만족하도록 촘촘한 점열의 곡선을 구
 한 후, 공차 원통 방법[8]을 이용하여 공차
 범위 내의 점열을 슈아낸다.

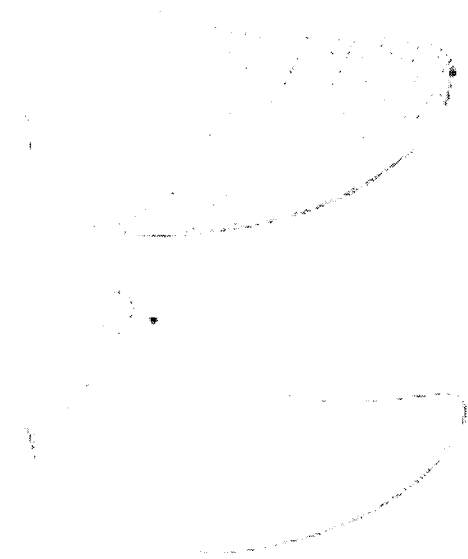


그림6. blade CC data and Fillet CC data

5.2 Boss 가공 경로 생성

여기서는 Blade와 Blade 사이의 보스면을 가공하는 가공경로를 생성한다. Boss 가공경로 생성절차는 다음과 같다.

- 1) Boss와 Face면의 교선 1(Boss의 domain curve)을 구한다.
- 2) Boss와 Back면의 교선 2(Boss의 domain curve)를 구한다.
- 3) domain에서 교선 1과 교선 2의 ruled surface를 구한다.
- 4) ruled surface의 isoparametric curve를 Boss 곡면에 mapping하여 CC data를 생성한다.

그림 7은 Boss 곡면과 CC data를 보여주고 있다.

그림 7. Boss 가공 경로

6. 결론

본 논문에서는 대형 선박용 고효율 프로펠러 가공을 위한 정보시스템 중 곡면 모델링과 가공 경로 생성에 대해 다루었다. 블레이드 및 필릿 곡면 모델링에서는 3차원 점데이터를 곡률연속의 현길이 스플라인 곡면으로 보간 하였다. 이때 여러 가지 end condition에 대해서 조사를 하였는데 natural end condition이 가장 적합한 것으로 판단되었다. 입력 점 데이터의 오류를 검사하기 위하여 2차 차분을 이용한 오류 검사방법을 제시하였으며, 이는 입력데이터의 오류발견에 유용한 것으로 나타났다.

가공경로 생성에서는 가공 효율을 극대화하기 위해 각 부분에 적합한 공구 경로를 적절하게 생성하였다. blade 및 fillet 부분에 대해서는 원통과 곡면의 교선을 따라 공구 경로를 생성하였고, Boss가공 경로는 두 날개의 사이의 영역을 구한 후 윗부분과 아랫부분을 나누어 가공 경로를 생성하였다.

본 연구의 결과는 실제 제품의 가공에 시험적용 되어 만족할 만한 결과를 얻었다.

7. 참고문헌

- [1] 한국과학기술원, 박용프로펠러 익면 9축 가공 전산시스템의 공동개발에 관한 연구, 연구보고서, 1991.
- [2] 전차수, 주상윤, 전명길, "허미트 보간을 이용한 곡률 연속 현길이 스플라인 곡면",

한국경영과학회/대한산업공학회 2003 춘계공동학술대회
2003년 5월 16일-17일 한동대학교(포항)

대한산업공학회지, 제 20권 1호, pp.87-98,
1994.

[3] Wolfgang Renz, Interactive smoothing
of Digitized Point Data, Computer Aided
Design, 14(5), 267-269.

[4] Les Piegl and Wayne Tiller, The
NURBS Book, Springer, 1995.

[5] Gerald Farin, Curves and Surfaces for
Computer Aided Geometric Design A
Practical Guide, 4th ed. Academic Press,
1997.

[6] 최병규, 전차수, 유우식, 편영식, 정연찬,
CAD/CAM 시스템과 CNC 절삭 가공 (제3
판), 사이텍미디어, 2001.

[7] B.K. Choi, Surface Modeling for
CAD/CAM, Elsevier, 1991.

[8] 전차수, 자유곡면 NC 가공에서의 공구간
섭 방지, 박사학위논문, 한국과학기술원,
1989.