

룰드 곡면으로 된 임펠러의 효율적인 황삭 가공에 관한 연구

임기남*(전북대 대학원 디자인제조공학과), 장동규(전북대 대학원 기계공학과),
이희관(전북대 자동차 부품·금형 기술혁신센터), 양균의(전북대 기계항공시스템공학부)

A Study on Efficient Roughing of Impeller with Ruled Surface

K. N. Lim(DManu. Eng. Dept., CBNU), D. K. Jang(Mech. Eng. Dept., CBNU),
H. K. Lee(CAM-TIC., CBNU), G. E. Yang(Mech & Aero Sys. facu., CBNU)

ABSTRACT

This paper presents an efficient 5-axis roughing method for centrifugal impeller. The efficient roughing is minimization of cutting time through minimizing tool tilting & rotating motions. Roughing tool path plan consists of the three steps. First, machining areas are divided into sub cutting regions using ruling lines. The biggest tool diameter is, then, determined for each region. Finally, tool paths are generated after fixing the tilting and rotating axis of 5-axis machine. Experimental results showed that the proposed roughing plan considering the divided machining regions is more efficient than the conventional methods.

Key Words : Impeller(임펠러), Five-axis roughing(5축 황삭), Tool path plan(공구 경로 계획), Ruled surface(룰드 곡면), Dividing cutting area(가공 영역 분할)

1. 서론

급변하는 자동차, 항공기 산업 기술에 발맞추어 터보기기의 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있다. 연료전지 자동차, 제트엔진이나 추진체 등과 같은 터보기기의 핵심부품으로 임펠러가 많이 사용되고 있다. 임펠러는 고속회전을 하면서 유체를 압축하는 회전체로 유체의 흐름을 원활하게 할 수 있도록 설계되어 형상이 복잡하기 때문에 5축 가공에 의해서만 가공할 수 있다.

5축 가공은 항공기 부품(회전체류), 터빈 블레이드, 프로펠러 등의 방산분야와 타이어 금형, 공구 제작 업체 등에서도 포괄적으로 사용되고 있고, 그 수요 또한 증가함에 따라 5축 가공 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

임펠러 가공에 관한 연구로는 NC 데이터 생성 시에 간섭제거와 공구부하조절에 관한 연구가 많이 이루어지고 있는데 일반적으로 간섭의 확인에 많은 시간이 소요된다.^{1) 10) 11)} 계산을 줄이기 위해 영역을 나누어서 최적공구를 선정하여 가공하는 방법이 제시되었고,^{4) 9)} 3축 기계에 부가축을 부착하여 가공하

는 방법이 제시된 바 있다.^{5) 6)} 가공데이터는 매개변수 곡면을 이용하는 방법이 많이 이루어진다.^{2) 3)} 가공면의 읍셋을 이용하여 경로를 생성하는 방법에 대한 연구도 있었다.^{7) 8)}

그러나 정밀도를 요하는 정삭 가공경로 생성의 복잡한 계산법을 황삭 가공경로 생성에 적용하기보다는, 좀 더 계산이 쉽고 가공 시간을 단축하면서 생산성을 향상시킬 수 있는 황삭 가공경로 생성 방법에 대한 연구가 필요하게 되었다.

본 연구에서는 임펠러의 5축 기계에 의한 황삭 가공 시 룰링 라인(ruling line)과 뷰벡터(view vector)를 이용하여 영역을 나누고, 각 영역에 대해서 정의된 뷰벡터로 기계의 tilt와 rotate 축을 고정시키고 x, y, z축의 움직임에 의해 가공을 실시하는 방법을 제시한다. 또한 각 영역에서 최적공구를 선정하여 가공 시간을 단축함으로써 생산성을 높일 수 있는 방법을 제시한다.

2. 황삭 가공경로 계획

Fig. 1은 임펠러의 전반적인 가공경로 계획을 보

여주고 있다.

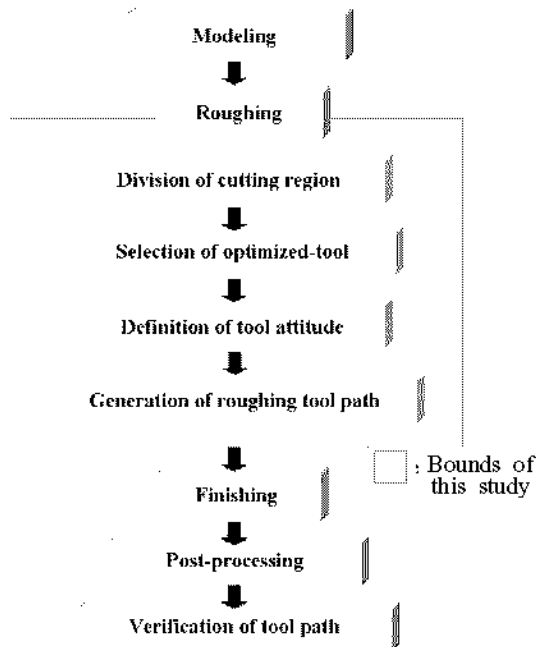


Fig. 1 Machining procedure

3. 영역정의 및 가공경로 생성

3.1 영역정의

본 논문에서 사용한 임펠러는 fig. 2에서 보는 것처럼 롤드 라인이 쉬라우드와 허브곡선을 따라서 sweep 되어 형성된 블레이드이다.

Fig. 2에서와 같이 롤드 라인이 쉬라우드, 허브곡선과 만나는 점을 각각 exducer로부터 inducer까지 n 개의 점으로 정의하였다.

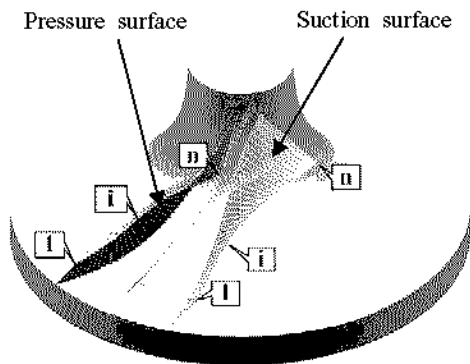


Fig. 2 Impeller modeling.

Pressure surface의 쉬라우드 i 번째 P_{psi} 점과 suction surface의 쉬라우드 P_{ssi} 점과의 중점 P_{msi} 를 찾고, 허브 곡선 위의 점에 대해서도 같은 방법으로 중점 P_{mhi} 점을 찾아서, 이 두 중점을 P_{mhi} 로부터 P_{msi} 로

연결하여 뷰벡터 V_{mi} 를 정의한다. Fig. 3은 블레이드의 쉬라우드와 허브곡선에 있는 n 개의 점과 그 점들로부터 구한 뷰벡터들을 보여준다.

여기서 P 는 점(point)를 의미하며 V 는 뷰벡터(view vector)를 의미한다. 그리고 첫 번째 첨자 p 는 pressure surface, s 는 suction surface, m 은 middle surface를 나타내고 두 번째 첨자 h 는 허브 곡선(hub curve), s 는 쉬라우드(tip shroud)를 의미한다.

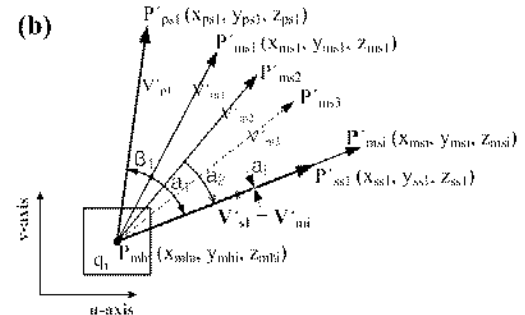
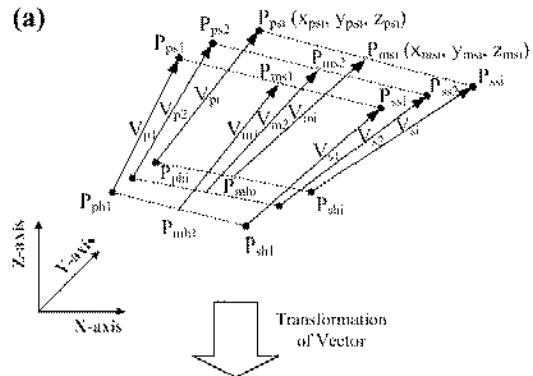


Fig. 3 Analysis of view vector.

Fig. 3에서 뷰벡터 V_{mi} 를 살펴보면, (a)는 3D 상에서 허브와 쉬라우드 곡선 위의 점을 각각 연결한 V_{pi} 와 V_{si} 그리고 이 점들을 이용하여 중점을 구한 후 이를 연결한 벡터 V_{mi} 을 나타내고 있다.

여기서 각 벡터들의 시작점(허브 곡선 위의 점)에서 P_{mhi} 점으로 각 벡터를 공간 이동시키고, 이때 생성된 P'_{psi} 과 P'_{ssi} 과 P_{mhi} 을 지나는 평면 q_i 를 구해서 이 평면에 V_{pi} , V_{si} , V_{mi} 을 평면에 수직으로 투영시키면 (b)와 같이 V'_{pi} , V'_{si} , V'_{mi} 을 얻는다. 여기서 V_{mi} 으로부터 V'_{pi} 의 CCW 방향의 각도를 β_i , V_{mi} 으로부터 V'_{si} 의 CW 방향의 각도를 α_i 이다. i 번째 뷰벡터 V'_{mi} 에 대해서 V'_{pi} , V'_{si} 와 비교하여보면, 임펠러의 회전방향이 CCW 이므로 각도 α_i 는 작아지는 경향을 보이고, 각도 β_i 는 커지는 경향을 볼 수 있다. 각도 α_i 가 작아져서 0이 된 후 (-)의 각도를 가지게 되는데, 이 0이 되는 각도까지의 점에서 I 영역을 정의한다. 왜냐하면 α_i 가 (-)의 각도가 되면 suction surface에서 언더컷이 발생하기 때문에 이 면을 가공

할 수 없기 때문이다. a_i 가 0일 때의 뷰벡터 V'_m 를 제 I 영역의 가공 축벡터로 정의한다.

제 I 영역을 결정한 next point로부터 $i=1$ 을 대입하면서 위의 과정을 반복하여 II, III 영역에 대해서 정의한다.

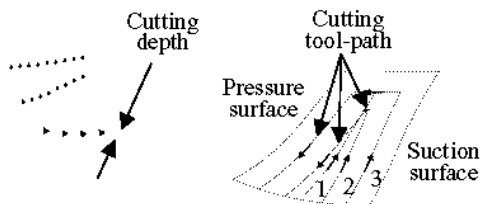
3.2 가공경로 생성

가공경로 생성 시 고려해야 할 사항은 가공하는 동안 공구에 일정한 절삭력이 가해질 수 있도록 하는 것과 황삭 가공을 완료한 후의 잔삭량이 각 면에 일정하게 남도록 하는 것이다.

Fig. 4의 (a)는 n개의 영역으로 나눈 영역 분포와 각 영역에 대한 최적의 절삭 공구를 선정 한 후 각 공구에 따른 축방향으로의 절삭 깊이를 나타낸다.

Fig. 4의 (b)는 가공 축방향에서 보았을 때의 경로로써, 양쪽 블레이드 면에서의 잔삭량을 일정하게 하기 위해 블레이드를 따라가는 경로를 생성하였다.

결국, 공구의 절삭력을 일정하게 유지하면서 블레이드 면에서의 잔삭량은 황삭 가공 여유량과 공구 깊이 방향으로 cusp 만 남는다는 것을 알 수 있다.



(a) Cutting depth (b) Path interval
Fig. 4 Tool path strategy.

4. 가공 및 실험 고찰

4.1 가공 및 검증

본 연구에서 제시한 황삭 영역분할 방식의 효율성 검증에 위해 전체영역을 단일공구로 가공한 경로를 산출하여 영역분할 방식과 비교, 검토하였다. 단, 단일공구의 경로는 데이터 산출을 통해 수치적으로만 제시하여 결과를 비교하였다.

Fig. 5는 황삭 가공 장면을 보여주고 있다.



Fig. 5 Machining of roughing

Fig. 6은 I, II, III 영역의 가공된 모습을 보여주고 있다.

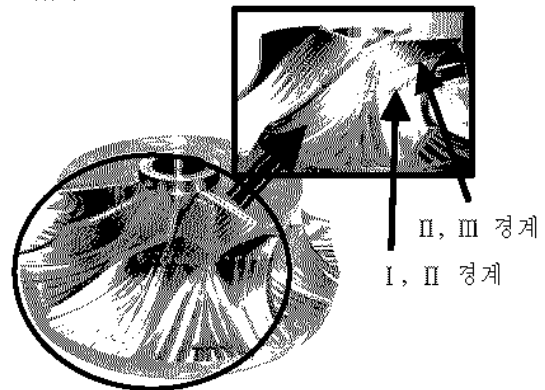


Fig. 6 Machining of roughing region I, II, III

생성된 가공경로를 이용하여 가공을 한 후의 잔삭량에 대해서 검증에 위해 CGTech 사의 Vericut V5¹²⁾ 소프트웨어를 사용하여 시뮬레이션을 실시하였다.

Fig. 7은 STL형식의 fig. 2의 모델과 가공할 stock을 Vericut 소프트웨어에 입력하여 시뮬레이션을 한 결과로써 황삭 여유량 0.2mm를 초과한 부분을 나타내고 있다.

결과적으로, 시뮬레이션을 통하여 전반적인 잔삭량은 1mm 이내에 있음을 확인하였다.

Original surface(STL format) model Residue



Fig. 7 Analysis of residue with 0.2mm offset.

4.2 실험 고찰

기존의 황삭 가공에 관한 방법들과 가공경로의 거리, 가공시간, 그리고 잔삭량에 대해 비교하였다.

Table 1은 영역을 분할하지 않고 하나의 공구를 가지고 전체 영역을 가공한 일반적인 방법과 비교한 것이다. 하나의 날개에 대해서 기존의 연구에서의 가공시간은 31.11 min인 반면에 본 논문에서 제시한 방법에 의한 가공 시간은 17.50 min으로 43.75% 절감된 것을 확인할 수 있다. 여기서 BEM은 Ball End

Mill 공구를 나타낸다.

Table 1 Comparison of roughing path.

Path	Proposed path		Conventional path
	Ø6 BEM	Ø10 BEM	
Tool diameter(mm)	Ø6 BEM	Ø10 BEM	Ø6 BEM
Step-over(mm)	2	3	2
Cutting depth(mm)	2.5	4	2.5
Feedrate(mm/min)	300		300
Cutting time(min)	17.50		31.11

Table 2는 영역을 분할하여 최적 공구를 선택하여 동시 5축 가공을 이용한 가공 경로⁹⁾와 비교한 것이다.

Ø10mm와 Ø6mm인 공구를 이용하여, 같은 조건 하에서 가공한 결과를 분석해 보면, 가공 시간이 기존의 방식은 24.78 min인 반면에 본 논문에서 제시하는 방법은 가공시간은 17.5 min으로 29.4% 절감되는 것을 알 수 있다. 또한 잔삭량에 대해서는 분석한 결과 1.0mm 이내에 같은 분포로 형성된다.

Table 2 Comparison of roughing methods.

Tool	Machining parameter	Proposed method	Previous study
Ø10 BEM	Cutting distance (mm)	4123.46	28596.47
	Cutting time (mm)	6.02	8.03
Ø6 BEM	Cutting distance (mm)	9810.79	41890.37
	Cutting time (mm)	11.48	16.70
Total time (min)		17.50	24.78
Residue (mm)		1.00	1.00

5. 결론

본 논문에서는 룰드 곡면으로 이루어지고 splitter가 없는 경우의 임펠러의 황삭 가공시간의 감소를 위한 방안을 제시하였다.

허브 곡선과 쉬라우드가 곡면 위의 룰드 라인과 만나는 교차점을 이용하여 축벡터를 정의하고, 영역을 나누어 각 영역에서의 최적공구를 정의하여 가공 경로를 생성한 방법으로 동시 5축 가공의 가공 시간을 줄일 수 있었다.

앞 절의 실험 결과에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제시하는 방법은 잔삭량은 기존의 방법과 비슷하게 남으면서, 가공시간에 대해서는 영역을 나누는

방법은 20.35%정도, 가공축을 정의하는 방법은 43.75%정도의 감소효과를 가져오는 것을 확인하였다.

참고문헌

1. 홍성의, 이건우, "자유곡면의 NC 황삭가공을 위한 자동 공구 선정과 경로 생성.", 한국정밀공학회지, 제 11권, 제 6호, pp.28-41, 1994.
2. Bohez ELJ, Senadhera SDR, Pole K, Duflou JR and Tar T, "A geometric modeling and five-axis machining algorithm for centrifugal impellers.", J Manufact Sys 16(6), pp.422-436, 1997.
3. Morishige K and Takeuchi Y, "5-axis control rough cutting of an impeller with efficiency and accuracy." Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1241-1246, 1997
4. 강지훈, 서석환, 이정재, "低軸 CNC 환경에서의 황삭가공." 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제 2권 제 1호, pp.19-27, 1997.
5. S.-H. Suh, J.-J. Lee and S.-K. Kim, "Multiaxis machining with additional-axis NC system : theory and development", Int J Adv Manuf Technol 14, pp.865-875, 1998.
6. S.-H. Suh and J.-J. Lee, "Five-axis part machining with three-axis CNC machine and indexing table", Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 120, pp.120-128, 1998.
7. 이재현, 이철수, "선박용 소형 프로펠러의 곡면 모델링 및 단일 셋업에 의한 4축 NC가공 데이터 생성에 관한 연구", 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제 7권 제 4호, pp.254-261, 2002.
8. 조현덕, 정대일, 윤문철, 최두선, 신보성, 이승숙, 유제동, "Ruled Surface로 형성된 임펠러 블레이드 전용 CAD/CAM 시스템 개발 II : 5축 가공에 관한 연구", 한국공작기계학회 논문집, 제 11권 제 3호, pp.1-7, 2002.
9. 조환영, 장동규, 이희관, 양근의, "임펠러의 효율적인 5축 NC 가공에 관한 연구", 대한기계학회논문집 A권, 제 27권 제 11호, pp.1917-1924, 2003.
10. Robert Gian, T.-W. Lim and Alan C. Lin, "Planning of tool orientation for five-axis cavity machining", Int J Adv Manuf Technol 22, pp. 150-160, 2003.
11. H.-T. Young, L.-C. Chuang and K. Gerschwiler, "A five-axis rough machining approach for a centrifugal impeller.", Int J Adv Manuf Technol, pp.233-239, 2004.
12. CG-Tech Inc. Vericut V5, 2001.