

MC-space 알고리즘을 이용한 역공학 및 5축가공 효율성 증대에 관한 연구

*황종대¹, 정윤교²

¹ 창원대학교 기계공학과, ² 창원대학교 기계공학과

A Study on The Efficiency Improvement of Reverse Engineering and 5-axis Control Machining Using MC-space Algorithm

*J. D. Hwang¹, Y. G. Jung²

¹ Dept. of Mech. Eng., Changwon Univ., ² Dept. of Mech. Eng., Changwon Univ.

Key words : C-Space, Reverse Engineering, 5-axis Control Machining, B-spline

1. 서론

블레이드 사이의 폭이 좁고 깊은 임펠러와 같은 부품을 역공학 및 5축가공에 적용할 때 공구(혹은 프로브)와 이웃하는 곡면과의 간섭 문제가 제기된다. 따라서 CMM의 회전프로브를 사용한 5축 제어 측정이나, 볼엔드밀을 사용한 5축제어 가공 시에 원하는 측정 점이나 가공점 어디에서나 간섭이 없는 프로브 및 공구자세를 명확하게 파악하고 그로부터 단 하나의 가장 적합한 자세 제어를 결정해주는 알고리즘의 개발이 요구된다. 또한 수동측정 시 측정경로 곡선은 필연적으로 꾸불꾸불하게 피팅되므로 부정확한 수동측정점의 사이를 매끄럽게 근사하기 위한 곡선 순정 기법이 요구된다.

CMM을 사용하여 임펠러의 역공학을 수행할 때 수동측정에 의한 정밀도 저하 문제가 발생하므로 측정경로의 순정(Fairing) 기법이 요구되며 다양한 연구가 선행되었다. 각각의 장단점이 존재하는데 본 연구는 이전연구¹에서와 같이 설계자의 주관이 개입되지 않고도 간단한 수치해석적 기법을 사용하여 근사효과를 극대화할 수 있는 Modified B-spline에 의한 순정법을 사용한다.

안전성을 확보하기 위한 간섭검사 회피처리에 관한 연구는 간섭 문제를 커슴높이를 이용한 최적화문제로 다룬 연구들^{2,3}과 미분기하학적인 개념인 곡률을 이용한 연구⁴가 있으나 근사해에 의한 오차누적 문제나, 회전각만을 고려하므로 틸팅각의 변화에 따른 이점을 충분히 살리지 못하는 단점 등이 있다. 본 연구에서와 같이 C-space를 사용한 간섭회피 처리에 관한 연구로는 가공데이터 생성 시 유사한 개념을 활용한 연구⁵가 있으나 3축가공에 국한되어 있다. 5축가공시 공구 간섭을 고려한 연구⁶가 있으나 간섭영역에 공구자세점이 겹칠 경우 소극적인 간섭회피 대책만을 제시한 단점이 있다.

따라서 본 연구는 임펠러를 대상으로 하여 능동적으로 간섭이 회피되고 곡선순정기법을 통하여 정밀도를 높일 수 있는 알고리즘의 개발을 통하여 안전성 확보, 정밀도 향상, 시간 절감의 측면에서 역공학 및 5축가공의 효율성을 증대하는 것을 연구의 목적으로 한다.

2. MC-space 알고리즘

Fig. 1과 같이 C-space는 실공간상의 프로브(혹은 공구) 자세벡터(이하 PPV)를 2차원 Configuration 공간상의 프로브 자세점(이하 PPP)으로 맵핑함으로써 이웃하는 장애물들과의 간섭유무를 쉽게 판별하고 간섭이 발생할 경우 간섭영역내의 PPP를 자유영역으로 이동할 수 있도록 한다. 여기서 C는 프로브와 측정곡면 사이의 접촉점이고 O는 프로브의 중심점, R은 프로브의 반경, n은 C점에서의 단위 법선벡터며 t는 프로브의 단위 자세벡터이다. n과 t가 이루는 각을 경사각, θ 라 하고 z축을 중심으로 회전하는 각을 회전각, ϕ 라 하며 식 (1)을 통하여 구할 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{t_x^2 + t_y^2}}{t_z}\right), \quad \phi = \cos^{-1}\left(\frac{t_x}{\sqrt{t_x^2 + t_y^2}}\right) \quad (1)$$

본 연구에서는 간섭이 발생한 PPP만이 아니라 간섭이 발생하지 않은 PPP까지 포함하여 가장 안전한 프로브 자세점으로 변환하는 방법으로 Fig. 2와 같은 방법을 제안한다. 먼저 간섭이 발생하지 않은 경우이다.

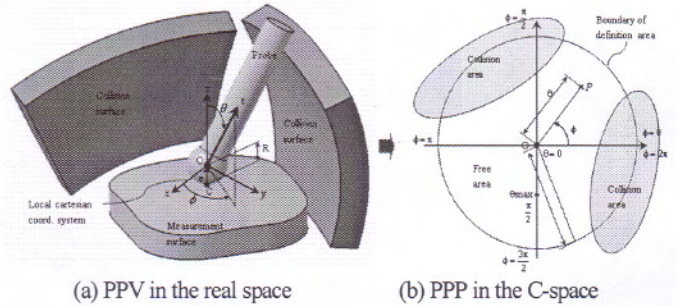


Fig. 1 Concept of 2-D C-space

간섭이 발생하지 않은 경우에도 Fig. 2의 (a)와 같이 CA1에 치우쳐 있으므로 안전하다고 하기 힘들다. PPP를 CA1의 경계곡선상의 최단거리점에 수선을 내리면 P_i^a 가 생성되고 CA2의 최단거리점에 수선을 내리면 P_i^b 가 생성된다. 이 때 $(P_i^a + P_i^b)/2$ 인 점, M_i 를 새로운 PPP로 설정하는 방법이다. 간섭이 겹칠 경우도 동일한 프로세스로 간섭을 회피한다. 그 처리 과정은 아래와 같으며 이 방법을 기존의 방식과 구별하기 위하여 Modified C-space(이하 MC-space) 알고리즘이라 한다.

- step1) Searching point vector, P_i^a on the boundary of CA1 in the minimum distance, $\min|PPP_j - PPP_i|$, where $PPP_j = j^{th}$ Probe Posture Point
- step2) Searching point vector, P_i^b on the boundary of CA2 in the minimum distance, $\min|PPP_j - PPP_i|$
- step3) M_i is defined by $M_i = (P_i^a + P_i^b)/2$
- step4) PPP_i converts with M_i

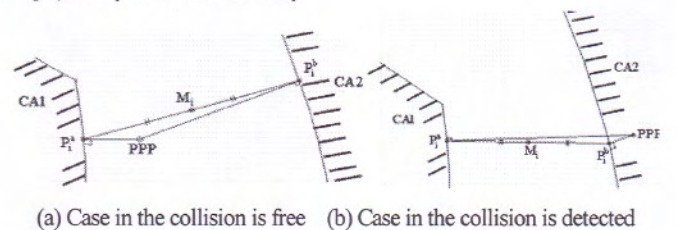


Fig. 2 Collision avoidance method

Fig. 3은 MC-space 알고리즘을 적용한 모습으로 간섭영역 내부에 PPP가 겹칠 경우 자유영역으로 간섭이 회피된 것을 알 수 있다. 또한 수치해석적으로도 각 점들간의 길이를 비교해가면서 가장 짧은 점을 탐색해가는 과정이므로 계산 시간이 매우 적게 소요되는 장점을 갖는다.

이러한 과정을 통하여 정의한 간섭회피된 PPP는 다시 정기구해 문제 풀이를 통하여 원래의 PPV로 변환해야 하며 식 (2)와 같이 구할 수 있다. 구형결과 Fig. 4와 같이 간섭회피된 PPV를 얻을 수 있었다.

$$\text{Collision free PPV, } t = (t_x, t_y, t_z) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } t_x &= \frac{t_z \times \tan \theta}{\sqrt{1 + \tan^2 \phi}}, \quad t_y = \cos \theta t_x, \quad t_z = \cos \theta \\ \theta_1 &= \sqrt{x_1^2 + y_1^2}, \quad \phi_1 = \cos^{-1}(x_1/\theta_1) \end{aligned}$$

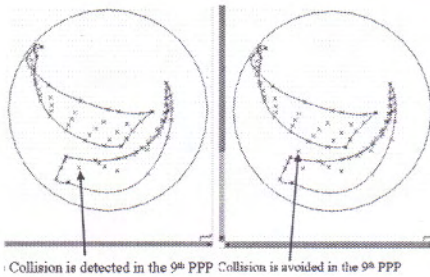


Fig. 3 Collision avoidance method by MC-space algorithm

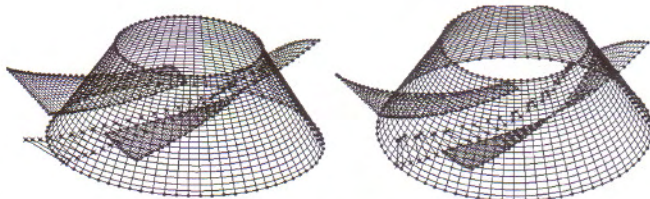


Fig. 4 Collision avoided PPV using MC-space algorithm

3. MC-space 알고리즘을 사용한 역공학 및 5축가공

MB-spline 알고리즘과 MC-space 알고리즘에 의한 역공학 정밀도 향상효과를 검증하기 위하여 Master model(이하 MM)과의 거리 오차를 측정하였다. 측정 결과 적합화하지 않은 Improper reverse model(이하 IPRM)과 MM과의 오차는 최대 1.64mm, 최소 -0.316mm인 반면 MB-spline을 사용하여 단면곡선을 순정한 후 MC-space 알고리즘에 의한 간섭회피 및 정확한 법선벡터 방향으로의 자동 프로그램 측정을 수행한 Proper reverse model(이하 PRM)은 최대오차 0.013mm, 최소오차 -0.055로 허용오차인 0.1mm를 만족하고 있음을 확인하였으며 Table 1과 같다.

Table 1 Comparison of maximum deviation between MM and RMs

Deviation(mm)	MM vs	
	IPRM	PRM
Max. deviation	1.64	0.013
Min. deviation	-0.316	-0.055

Fig. 5의 우측그림은 5축가공 시 MC-space 알고리즘을 사용하여 공구의 간섭을 회피한 공구 경로로 각 CL 점에서의 CPV(Cutter posture vector) Set을 보여주고 있다. 반면 MC-space 알고리즘을 사용하지 않은 Fig. 5의 좌측그림은 무수한 간섭을 일으키고 있음을 알 수 있다. MC-space 알고리즘을 사용함으로써 간섭 없는 공구자세의 획득과 더불어 모듈개발에 의한 자동화를 통한 작업시간 절감 효과를 얻을 수 있었다. 보통 숙련된 엔지니어가 허브곡면에 대한 간섭을 CAM S/W에서 수작업으로 회피처리할 경우 최소 300분의 작업시간이 소요되는 반면 본 연구에서 구축한 MC-spacer 모듈을 사용할 경우 소요되는 시간은 약 40분 정도였다. 간섭이 회피되면서 자동으로 공구경로를 생성함으로써 약 260분의 작업 시간 절감 효과를 얻을 수 있었다.

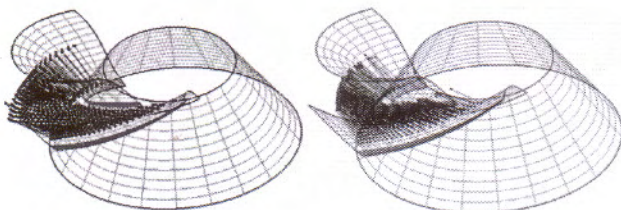
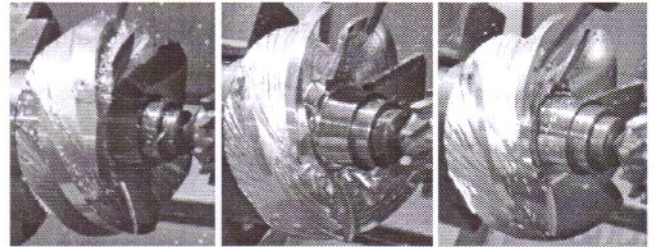


Fig. 5 Cutter posture vector sets of the tool path for the hub surface

MC-space 알고리즘을 사용하여 구한 간섭회피된 CPV Set을 자체 개발한 5축가공용 포스트프로세서인 E-POST를 사용하여 NC-code로 변환한 후 Fig. 6과 같이 5축가공을 수행하였다. 또한 최종적인 역공학 및 5축가공 정밀도 향상효과를 검증하기 위하여

MM과 PRM 및 IPRM 각각에 대하여 145개의 포인트를 샘플링하여 비교측정검사를 수행하였다. 그 결과 Table 2와 같이 PRM의 평균 오차가 0.126mm 줄어든 것을 알 수 있다.



(a) Roughing (b) Blade finishing (c) Hub finishing

Fig. 6 5-axis control machining for the impeller

Table 2 Comparison of average deviation between MM and RMs

Deviation(mm)	MM vs	
	PRM	IPRM
Ave. deviation	0.022	0.148

4. 결론

1. 본 연구에서 제시한 MB-spline에 의한 곡선 순정 결과 곡률 변화가 적고 매끄러운 단면곡선을 얻을 수 있었다.
2. 프로브 및 공구의 간섭 회피를 위하여 근접 간섭 곡면들간의 최소 거리 점을 탐색하여 구한 후 그 중점을 새로운 공구자세점으로 설정하는 방법으로 MC-space 알고리즘을 제안하였다. 제안한 MC-space 알고리즘은 기존의 방법과 비교하여 계산시간이 매우 짧고 구현 방법이 간단하여 실용성이 있을 것으로 판단되었다.
3. MC-spacer를 사용하여 역공학 및 5축가공에 적용한 결과 역공학 곡면에서는 최대 1.58mm의 오차감소를, 5축가공된 모델간 비교 측정에서는 0.126mm의 오차감소를 나타내었으며 공구경로 생성 시간도 약 260분 가량 줄었다. 따라서 본 연구에서 제시한 알고리즘 및 프로세스에 의한 역공학 및 5축가공 수행 결과 안전성 확보, 정밀도 개선 효과, 시간절감 효과등 종합적인 효율성 증대 효과를 획득한 것으로 판단되었다.

후기

본 연구는 2006 중소기업 기술혁신 개발사업 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 황중대, 정종윤, 정윤교, "수정 B-spline을 이용한 기능성곡면의 Modeling", 한국정밀공학회지, Vol. 20. No. 14, pp. 156-163, 2003.
2. Choi, B. K., Park, J. W. and Jun, C. S., "Cutter location Data Optimization in 5-Axis Surface Machining", Computer Aided Design, Vol. 25, No. 6, pp. 377-386, 1993.
3. 전차수, 차경덕, "복합곡면의 5축 NC가공을 위한 공구자세 최적화", 한국 CAD/CAM 학회 논문집, Vol. 5, No. 4, pp. 393-402, 2000.
4. Lee, Y. S., "Non-isoparametric tool path planning by machining strip evaluation for 5-axis sculptured surface machining", Computer Aided Design, Vol. 30, No. 7, pp. 559-570, 1998.
5. Choi, B. K., Kim, D. H. and Jerard, R. B., "C-space Approach to Tool-path Generation for Die and Mould Machining", Computer Aided Design, Vol. 29, No. 9, pp. 657-669, 1997.
6. Morishige, K., Kase, K. and Takeuchi, Y., "Collision free Tool Path Generation Using 2-Dimensional C-space for 5-Axis Control Machining", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 13, No. 6, pp. 393-400, 1997.