

공구자세의 연속제어를 위한 이론적 고찰

A Theoretical Consideration for Continuity Control of Cutter Posture

*박기범¹, 정현철², 황종대³, #정윤교⁴

*K. B. Park¹, H. C. Jung², J. D. Hwang³, #Y. G. Jung⁴(ygjung@changwon.ac.kr)
^{1,2} 창원대학교 대학원 기계공학과, ³창원대학교 TIC, ⁴창원대학교 기계공학과

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

1. 서론

블레이드 사이의 폭이 좁고 깊은 임펠러와 같은 부품을 5축가공에 적용할 때 공구와 이웃하는 곡면과의 간섭 문제가 제기된다. 따라서 볼 엔드밀을 사용한 5축제어 가공 시에 원하는 가공점 어디에서나 간섭이 없는 공구자세를 명확하게 파악하고 그로부터 단 하나의 가장 적합한 자세 제어를 결정해 주는 알고리즘의 개발이 요구된다.

안전성을 확보하기 위한 간섭 회피처리에 관한 연구는 간섭 문제를 커뮤 높이를 이용한 최적화문제로 다룬 연구¹와 미분기하학적인 개념인 곡률을 이용한 연구²가 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 연구^{3,4}가 있으나 3축가공에 국한되어 있거나 간섭영역에 공구자세점이 검출될 경우 소극적인 간섭회피 대책만을 제시하며, 급격한 공구자세 변화에 의해 표면조도가 나빠지는 단점이 있다.

기존의 공구간섭 회피에 관한 연구는 대부분 간섭회피의 편의성과 용이성 위주로 진행되었다. 그러나 간섭회피 이후에도 공구경로상의 급격한 공구자세 변화에 따른 표면조도 및 표면형상 저하의 문제가 꾸준히 제기되어 왔으며, 이러한 단점들을 개선하기 위한 공구자세의 연속성을 고려한 연구⁵가 있으나 실질적인 구현상의 어려움이 있었다.

따라서 본 연구는 임펠러와 같이 간섭이 심한 모델을 대상으로 하여 능동적으로 간섭이 회피 될 뿐만 아니라 공구자세변화의 연속성을 고려하여 표면품위를 개선 할 수 있는 알고리즘 개발을 통하여 안전성 확보, 표면조도 개선, 표면형상 개선, 시간 절감의 측면에서 5축가공의 효율성을 증대하는 것을 연구의 목적으로 한다. 이를 위하여 기존에 연구된 MC-space 알고리즘⁶을 이용한 능동적인 간섭회피 처리와 MB-spline 알고리즘⁷을 이용한 공구자세 변화의 연속성을 도모하고자 한다.

2. MC-space 알고리즘을 통한 간섭회피

Fig. 1과 같이 C-space는 실공간상의 공구자세벡터, \mathbf{T} (이하 CPV)를 2차원 Configuration 공간상의 공구 자세점, \mathbf{P} (이하 CPP)으로 맵핑함으로써 이웃하는 장애물들과의 간섭유무를 쉽게 판별하고 간섭이 발생할 경우 간섭영역내의 CPP를 자유영역으로 이동할 수 있도록 한다. 여기서 C는 공구와 가공곡면 사이의 접촉점인 Cutter Contact 점 (이하 CC점)이고 O는 공구의 중심점인 Cutter Location 점 (이하 CL점), R은 공구 반경, \mathbf{n} 은 C점에서의 단위 법선벡터며 \mathbf{T} 는 공구의 단위 자세벡터이다. \mathbf{n} 과 \mathbf{T} 가 이루는 각을 경사각, θ 라 하고 z축을 중심으로 회전하는 각을 회전각, ϕ 라 하며 CPP점들을 구할 수 있다.

본 연구에서는 간섭이 발생한 CPP만이 아니라 간섭이 발생하지 않은 CPP까지 포함하여 가장 안전한 공구 자세점으로 변환하는 방법으로 Fig. 2와 같은 방법을 제안한 바 있다. 먼저 간섭이 발생하지 않은 경우이다. 간섭이 발생하지 않은 경우에도 Fig. 2의 (a)와 같이 CA1에 치우쳐 있으므로 안전하다고 하기 힘들다. CPP를 CA1의 경계곡선상의 최단거리점에 수선을 내리면 \mathbf{P}_i^a 가 생성되고 CA2의 최단거리점에 수선을 내리면 \mathbf{P}_i^b 가 생성된다.

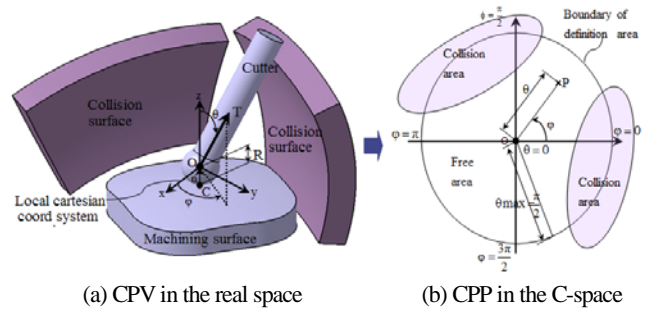


Fig. 1 Concept of 2-D C-space

이 때 $(\mathbf{P}_i^a + \mathbf{P}_i^b)/2$ 인 점, \mathbf{M}_i 를 새로운 CPP로 설정하는 방법이다. 간섭이 검출된 경우도 동일한 프로세스로 간섭을 회피한다. 그 처리 과정은 아래와 같으며 이 방법을 기존의 방식과 구별하기 위하여 Modified C-space(이하 MC-space)알고리즘이라 한다. Fig. 3은 MC-space 알고리즘을 이용한 공구의 간섭회피를 보여준다.

- step1) Searching point vector, \mathbf{P}_i^a on the boundary of CA1 in the minimum distance, $\min|\mathbf{CPP}_{ij} - \mathbf{CPP}_i|$, where $\mathbf{CPP}_{ij} = j^{\text{th}}$ Cutter Posture Point
- step2) Searching point vector, \mathbf{P}_i^b on the boundary of CA2 in the minimum distance, $\min|\mathbf{CPP}_{ij} - \mathbf{CPP}_i|$
- step3) \mathbf{M}_i is defined by $\mathbf{M}_i = (\mathbf{P}_i^a + \mathbf{P}_i^b)/2$
- step4) \mathbf{PPP}_i converts with \mathbf{M}_i

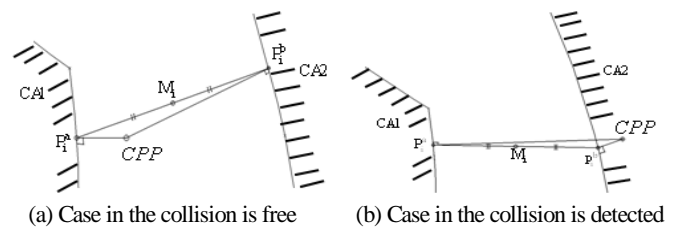


Fig. 2 Collision avoidance method

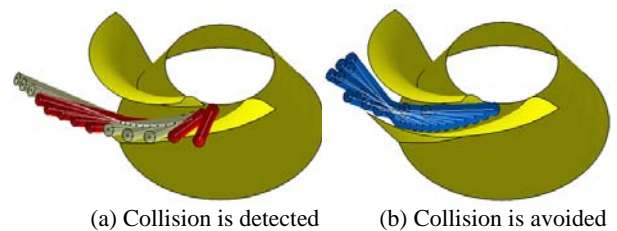


Fig. 3 Collision free cutter posture By MC-space

3. MB-spline 알고리즘을 이용한 공구자세의 연속제어

MC-space 알고리즘을 적용한 결과 Fig. 3의 (a)와 같이 간섭된 공구들이 Fig. 3의 (b)와 같이 간섭 회피되어 블레이드 사이에서 안전한 공구자세벡터를 나타냄을 알 수 있다. 그러나 공구자세 벡터 끝점(Cutter posture vector end: 이하 CPVE점)을 보면 간섭은 회피되었으나 급격하게 변화되어 불연속적임을 알 수 있다. 이러한 공구자세 벡터의 불연속은 필연적으로 가공표면의 품위를 저하시킬 것으로 예상되므로 공구자세 벡터의 연속성을 부여하여 안전하면서도 매끄러운 공구 경로를 생성할 필요성이 제기된다.

B-spline 곡선은 주어진 점을 모두 지나는 보간 곡선이다. 그런데 본 논문에서 필요로 하는 곡선은 Fig. 5의 (b)와 같이 불연속적인 CPVE 점들의 사이를 지나는 매끄러운 근사곡선이다. 따라서 CPVE 점들을 조정점으로 하면서도 기존의 B-spline 근사곡선에 비하여 순정도가 양호한 곡선을 만들기 위하여 조정점의 경계조건을 수정함으로써 아래의 식 (1) 및 Fig. 4와 같이 도출된 MB-spline 모델을 사용하였다.

$$r(u) = UNR^i \quad \text{with } 0 \leq u \leq 1 \quad (1)$$

$$\text{여기서 } N = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 0 \\ -2 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad R^i = [P_i P_{i+1} P_{i+2} P_{i+3}]^T$$

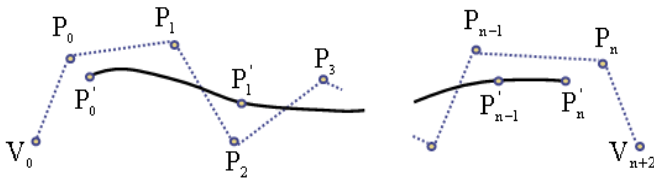
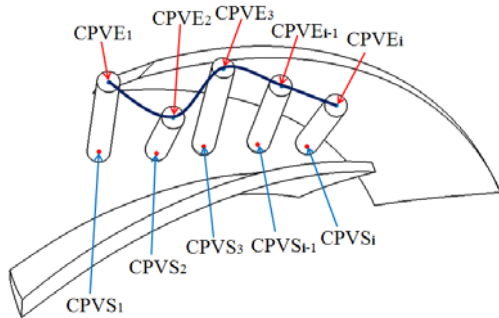


Fig. 4 Construction of Composite MB-spline curve

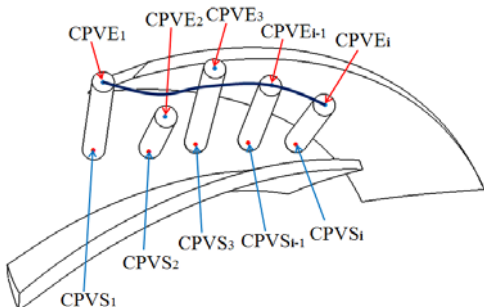
4. 공구자세 벡터 수정을 통한 공구경로의 연속성

Fig. 5는 공구자세 벡터의 연속성을 부여하기 위한 개념도이다. Fig. 5의 (a)는 Fig. 3의 (b)와 같이 간섭을 회피되었으나 CPVE점들이 급격한 변화를 하고 있음을 알 수 있으며 CPVE점들을 연결한 보간곡선 또한 급격한 곡률변화를 보임을 알 수 있다. 본 연구에서는 이러한 CPVE점들의 사이를 지나는 매끄러운 근사곡선을 Fig. 5의 (b)와 같이 생성한 후 Fig. 5의 (c)와 같이 공구자세 벡터 시작점 (Cutter posture vector start : 이하 CPVS점)과 새롭게 생성된 CPVE' 점들을 연결하는 새로운 공구자세 벡터를 생성함으로써 공구경로의 연속성을 부여하고자 하며 이를 위한 근사 알고리즘으로는 기 연구된 MB-spline 알고리즘을 이용하기로 한다.

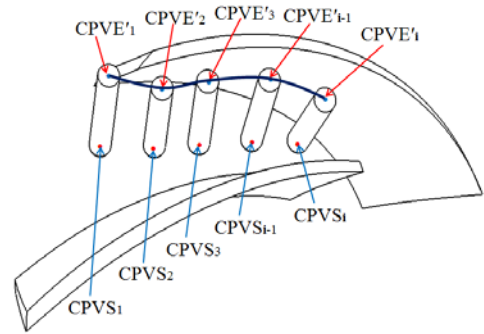
본 연구에서는 MC-space 알고리즘의 간섭회피 특성과 MB-spline의 근사 특성을 이용하여 안전하면서도 공구자세의 연속성이 부여된 공구경로를 생성할 계획이며 다음의 Fig. 5의 (c)와 같이 매끄러운 공구경로를 생성하고자 한다.



(a) Collision free cutter posture By MC-space



(b) Construction of approximation cutter path between CPVEs



(c) Construction of continuing cutter path by CPVE's

Fig. 5 Schematic of continuing cutter path

5. 결론

1. 5축가공시 간섭을 회피하기 위한 알고리즘으로 MC-space 알고리즘을 이용하며, 공구자세 벡터의 연속제어를 통한 연속적인 공구경로 생성을 위한 알고리즘으로 MB-spline 알고리즘을 이용하기 위한 기반 연구가 진행되었다.
2. 본 연구에서 제시한 프로세스에 준하여 Visual BASIC 및 CATIA 그래픽 인터페이스를 활용하여 안전성과 연속성이 부여된 공구경로를 구현하고자 한다.
3. 구현된 공구경로를 활용한 5축가공을 통하여 표면조도, 표면형상 및 가공시간 비교 등의 방법으로 5축가공의 효율성 증대 효과를 검증할 계획이다.

후기

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신산업(RT104-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Morishige, K., Wakayama, H., "Optimum Tool Path Generation for 5-Axis Control Machining Considering Tool Attitude Change", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 71, No. 5, pp. 639-643, 2005.
6. 황중대, 정윤교, "MC-space 알고리즘을 이용한 역공학 및 5축가공 효율성 증대에 관한 연구", 한국정밀공학회 춘계 학술대회 논문집, pp103-104, 2006.10.18
7. 황중대, 정중윤, 정윤교, "수정 B-spline을 이용한 기능성곡면의 Modeling", 한국정밀공학회지, Vol. 20. No. 14, pp. 156-163, 2003.