

복잡형상의 정밀가공을 위한 5축 기계가공



정종운

창원대학교 산업시스템공학과

1. 서 언

기존의 3축 NC 가공이 도입된 이래 생산현장에서 정밀 가공 분야에 많이 사용되어 현재에는 마이크론 단위의 정밀 가공이 보편적으로 사용되고 있다. 이런 3축 가공은 범용 장비에서 얻을 수 없는 고 정밀도의 생산이 가장 큰 장점이 되었다. 3축 가공은 간단한 기본 형상의 부품 절삭에는 매우 효과적이거나 꼬여있거나 뒤틀린 형상, undercut 형상 등 복잡한 형상은 가공에 어려움이 있거나 가공이 불가능한 경우도 있다. 이런 경우에 3축 가공기에서 가공할 경우 각 형상을 고려하여 특별한 형상의 치구를 제작하거나 또는 특수 형상의 공구를 주문제작하여 여러 방법을 고안하여 가공할 수 있었다. 이런 방법은 오차의 누적이 발생되어 정밀도 면에서 불리할 뿐만 아니라 치구나 공구를 제작하는 시간이 소요되므로 생산 시간이 오래 걸릴 수밖에 없었다.

이런 불편함과 불리함을 해결하기 위해 5축 가공에 대한 연구는 오래전부터 시작되어¹⁾ 현재에는 선진외국에서 5축 가공기와 이를 활용하는 응용 software가 많이 보급되고

있다. 국내에서도 대우종합기계, 통일중공업 등의 공기계 메이커에서 5축 가공기가 개발되어 생산 현장에서도 활용 되는 추세에 있으나 5축 가공은 어렵고 복잡한 것으로 인식하고 있어 이의 활용에 장애요소가 많이 있었다. 이에 본 논문은 5축가공과 프로그램 및 생산 과정을 소개하여 5축 가공에 대한 바른 인식과 복잡형상의 정밀 가공분야에 5축 가공의 활용에 도움을 주고자 한다.

2. 5축 가공의 용도

5축 가공은 부품의 형상이 복잡한경우의 가공에 매우 효과적이다. 기계부품으로는 임펠러 스크류 등이 좋은 예가 될 수 있다. 다음의 그림 1에서 보는 바와 같이 임펠러는 날개의 모양이 매우 심한 각도로 꼬여 있어 3축 가공으로는 거의 불가능한 형상이다. 또한 날개의 두께가 얇고 suction side와 pressure side의 표면거칠기가 매우 높게 요구되는 정밀 부품이므로 5축 가공이 요구된다.

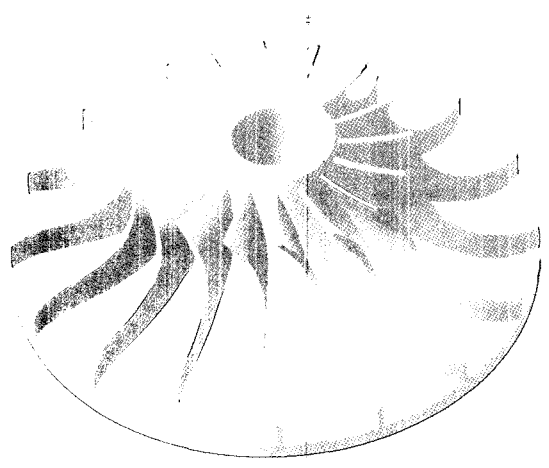


그림 1. 복잡형상의 임펠러

그림 2와 3에서 보는 바와 같이 자유 곡면으로 형성된 부품의 경우 5축 가공이 활용되고 있다. 자유 곡면으로 심하게 꼬인 경우 자유 곡면의 부드러움을 살려 내는 가공이 필요하며 이에 5축 가공이 사용된다. 이에 대한 예로서는 터빈 블레이드가 있다. 다음의 그림 2는 터빈블레이드의 modeling을 나타낸다. 그림에서처럼 airfoil 부분의 곡면이 뒤틀려있으면서 부드럽게 형성된 경우 5축 가공이 사용된다.

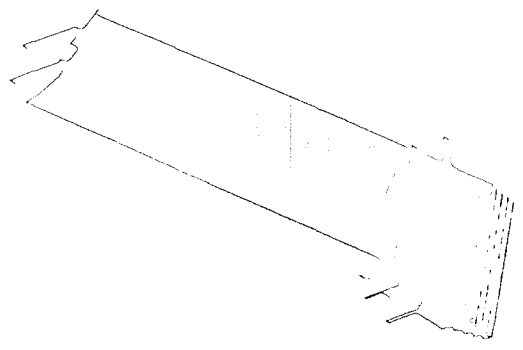


그림 2. 곡면으로 형성된 터빈 블레이드

여러 개의 경사면과 각 면에 구멍을 뚫을 경우에도 5축 가공이 적합하다. 자동차 엔진블럭의 헤드 부분은 여러 경



그림 3. 곡면으로 형성된 등속 조인트

사면이 있어 3축 가공을 사용할 경우 다양한 각도의 생산에 어려움이 따르게 되나 5축 가공에서 공구의 tilting을 사용하여 가공한다. 다음의 그림 4는 엔진 블럭의 5축 가공을 보여 준다.

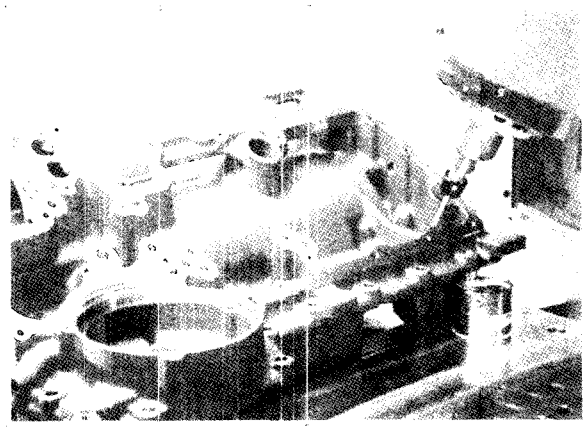


그림 4. 자동차 엔진블럭의 5축 가공

항공기 부품의 경우 5축 가공을 많이 사용한다. 경사면이 여러 각도로 이루어져 있고 각 형체는 rib로 연결되어있으며 형체가 장형으로 구성된 부품이 많이 있다. 경사면의 pocket 가공이나 구멍가공 등에 5축 가공을 사용한다. 다음 그림5는 항공기 부품의 5축 가공을 보여 준다.

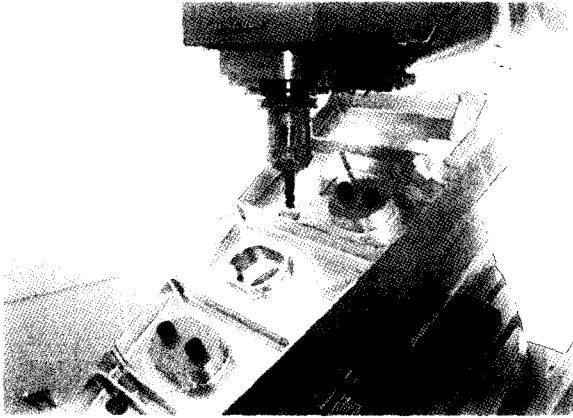


그림 5. 항공기 부품 5축가공

그림 6과 7에서처럼 tire mold 금형과 신발금형 등에도 5축 가공이 많이 사용된다. 특히 tire mold의 경우 곡면 부위가 다양한 각도를 형성하고 있어 5축 가공이 유용하게 쓰인다. 다음의 그림 6은 tire mold 금형의 모습을 보여 준다.

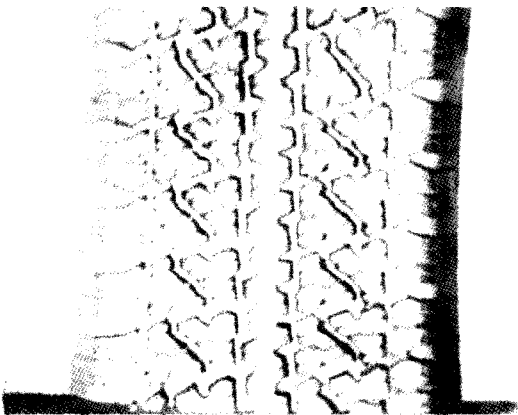


그림 6. Tire mold 금형



그림 7. 신발 금형

3. 5축 가공의 장점

5축 가공의 첫째 장점은 3축 가공에서 얻을 수 없는 복잡형상의 부품을 가공하는데 있다. 3축 가공에 치구를 사용하여도 가공이 불가능한 undercut 부분의 가공과 심하게 꼬여 있어 공구의 tilting이 필요한 경우 5축 가공을 사용하여야 한다. 다음의 그림 8은 undercut에서 5축 가공의 경우 공구축의 tilting을 보여 준다.

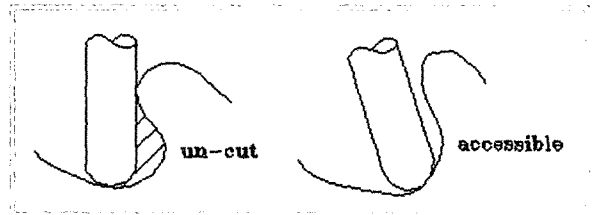


그림 8. 3축가공의 un-cut과 5축가공의 tool accessibility

두 번째 장점은 생산시간의 단축이다. 경사면 가공에서 3축 가공에서는 치구나 특수형태의 공구를 주문제작하여야 하지만 5축 가공에서는 이런 것들이 필요 없으므로 생

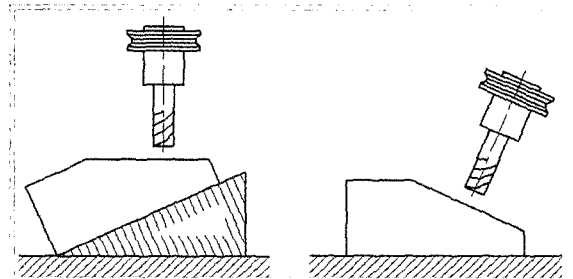


그림 9. 3축가공의 치구 사용과 5축가공의 공구 축 tilting

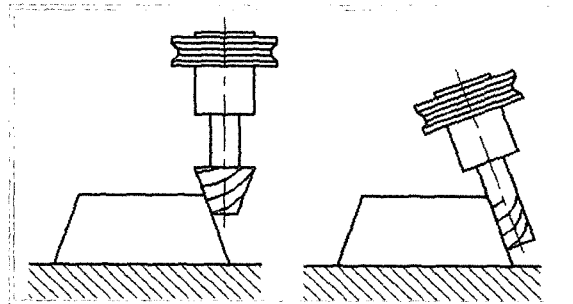


그림 10. 3축가공의 특수공구사용과 5축가공의 공구 축 tilting

산 시간이 절약된다. 그림 9와 10에서 이를 설명하고 있다.

3축 가공에서 ball end-mill 공구를 사용할 경우 공구의 정 중심에서 절삭속도가 0이 되어 공구와 피삭재 사이의 마찰이 발생하게 된다. 연질 재질을 사용할 경우 buffing 효과가 발생되어 표면거칠기가 나쁘게 되며 마찰로 인한 공구의 마모가 심하게 된다. 5축 가공에서는 공구 축을 tilting 하여 이를 해결할 수 있다. 다음의 그림 11은 이를 보여 준다.

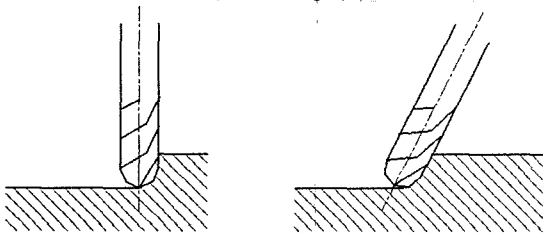


그림 11. 3축가공의 절삭속도 0과 5축가공의 공구 축 tilting

또 다른 장점은 3축가공과 비교할 때 경사면 가공에서 표면 품질이 높아진다. 다음의 그림 12에서와 같이 3축 가공의 경우 경사면이 계단모양을 하게 되어 표면거칠기가 불량해 지나 5축 가공의 경우 공구 축을 tilting하여 공구 측면으로 가공하여 표면 거칠기가 좋아지며 사상 작업 등의 수작업을 제거함으로써 생산 시간을 단축시킬 수 있다.

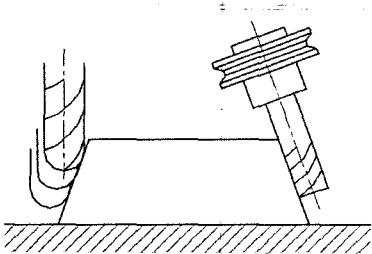


그림 12. 3축 가공의 계단 형성과 5축 가공의 공구 축 tilting

4. 5축 가공 장비

4.1 3D CAD Modeler

복잡형상에 대한 5축 가공은 3D CAD modeling data

가 있어야만 가능하다. 3D CAD modeler인 CATIA, Pro-Engineer, Uni-Graphics 등이 많이 활용된다. 복잡형상의 부품은 곡면으로 형성된 부분이 많이 있어 이를 modeling 할 경우 surface의 활용이 요구된다. 보편적으로 surface의 조각 (patch)들이 이웃하는 patch 들과 서로 부드럽게 연결되도록 modeling 되어야 심미적인 곡면을 얻을 수 있고 이런 곡면의 modeling에 3D modeler의 활용이 필요하다. 다음 그림13은 CAD를 이용한 곡면의 modeling을 보여준다.

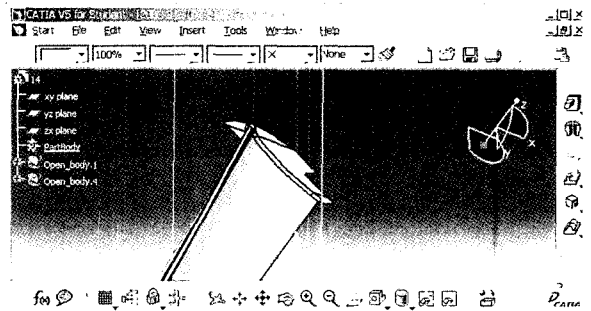


그림 13. 곡면의 modeling

4.2 5축 동작기계

5축 가공기는 구동축이 5개인 동작기계를 말한다. 3축 가공기의 경우 X, Y, Z 축 방향의 운동 3축이 구동축이 되나 5축 가공기는 2개의 구동축을 추가하여 장비의 운동 축

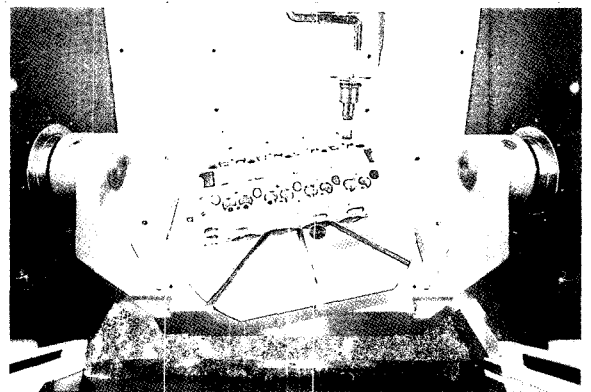


그림 14. Tilting-rotation type의 5축 가공기

을 형성한다. 추가되는 2개의 축에 따라 매우 다양하게 5축 가공기의 configuration이 형성된다. 5축 가공기는 회전축을 X, Y, Z 축에 부가하느냐에 따라 A, B, C 축 회전으로 나타낸다. 크기는 spindle tilting type과 table tilting 및 rotation type이 있다.

일반적인 형태의 configuration은 수직형 공작기계에서 table의 rotation 및 tilting이다. 그림 14와 같이 table의 360도 rotation과 ± 120 도 tilting하면 공구의 접근성을 높여 임펠러와 같이 꼬여있는 부품의 가공에 적합하다.

X, Y, Z 선형축 조합의 순서는 관계없으나 A, B, C 회전축의 순서는 회전축이 table과 spindle에 추가되는가에 따라 configuration에 영향을 미쳐 순서 조합의 수는 총 18가지가(2) 된다. 그 중의 일부로서 다음의 그림 15는 수직형 BC 형태와 그림 16의 수평형 AB 형태, 그림 17은 수직형 AC 형태의 5축 가공기를 나타낸다.

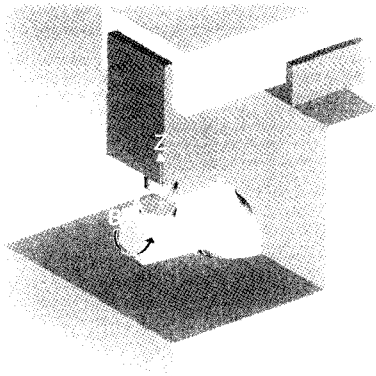


그림 15. BC type의 5축 가공기

4.3 5축 가공 Software

3축 이하의 저축 가공에서는 공구경로 생성의 software가 없어도 가능하나 다축 가공에서는 software의 도움 없이는 경로 생성이 거의 불가능하다. 선형축과 회전축의 조합에 따라 공구의 CL point가 매우 다르게 되며 이에 대한 정확한 계산이 요구되므로 software의 사용이 필수적이다. 더욱 심각한 문제는 rotation과 tilting에 의한 공구축

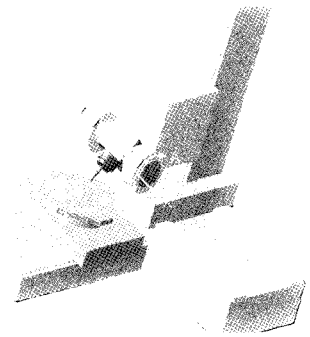


그림 16. AB type의 5축 가공기

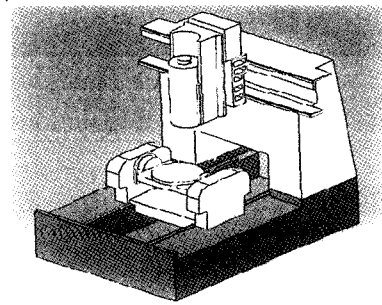


그림 17. 수직형 AC type 5축 가공기

의 충돌 (collision)이 발생할 우려가 높다. 충돌의 회피는 물론 과절삭 미절삭 (gouging)의 방지도 필수적이다 (3,4). 이러한 문제를 회피하기 위해 적절한 software의 사용과 simulation을 이용한 검증이 반드시 선행되어야 한다.

5축 가공 software의 사용은 기계의 configuration에 따라 크게 달라지므로 software에 기계의 configuration이 정의된 machine file이 입력되어야 한다. 이는 software의 setup 시에 이루어지므로 machine의 type에 따라 software의 setup을 변경하여야 하며 타 software를 사용할 수 없는 이유가 여기에 있다.

5축 가공의 가장 일반적인 software는 CATIA와 같은 범용이 있다. CATIA의 장점은 부품의 modeling과 경로 생성이 가능하다는데 있다. 일반적으로 복잡한 형상의 부품은 3D modeler를 이용하고 경로 생성은 전용 software를 이용한다. CATIA는 복잡한 형상의 modeling에 유용하게 쓰이며 공구경로 생성은 APT source file을 generate한다.

5축 공구경로 생성 전용 software로는 EUKLID,

CAMAX, MAX5 등이 사용된다. MAX5는 임펠러 전용생산 용이고 EUKLID와 CAMAX는 일반 5축 용으로 쓰인다. EUKLID는 꾸준히 software의 기능을 update시켜 사용자에게 편리를 도모하고 있다.

5축 가공용 software의 요건은 공구경로 생성에서 1) collision free tool path generation, 2) gouging-free tool path generation, 3) 가공면의 표면거칠기를 향상시키는 tool path generation, 4) 형상에 따라 가공부하를 고려하여 feed를 조절하여 생산시간을 단축하는 tool path generation이 필요하다.

5축 가공에서 software의 역할은 CAD model으로부터 data를 받고 기계와 공구, 가공정보 등에 대한 user의 input data를 기본으로 하여 model 형상의 표면을 생성하는 point data (Cutter Contact data)의 generation이 필수적이다. Point data는 model data로부터 얻어지나 tool이 CC point 에 놓여있을 때 collision과 gouging이 반드시 배제되도록 하는 CL (Cutter Location) point 경로가 생성되어야 한다. 추가적으로는 축 변환을 적게 하고 smooth axis movement를 이용하여 절삭면의 거칠기를 향상하는 기능이 필요하다.

5. 5축 가공 Process

5축 가공의 기본적인 과정은 1) 형상의 3D modeling 2) APT source file의 생성 3) CL data 생성 inverse kinematics 4) graphic simulation의 과정을 거쳐 가공이 이루어진다. 이상의 과정을 flowchart 로 나타내면 다음의 그림 18과 같다.

복잡한 형상의 3D modeling은 2D drafting 또는 section curve 등을 이용하여 형상을 modeling하거나 처음부터 3D modeler를 이용하여 형상을 modeling 한다. 공구경로 생성은 3D CAD model을 이용하여 APT source file을 생성한다. 이때 입력 사항으로는 좌표계 정보, 공구정보, machining strategy, speed and rates, tool approach 등의 정보를 입력하여 tool animation을 볼 수 있다. 중삭과 정삭에서도 위와 같은 방법으로 가공에 필요한 정보를 입력하여 경로를 생성하고 이를 animation

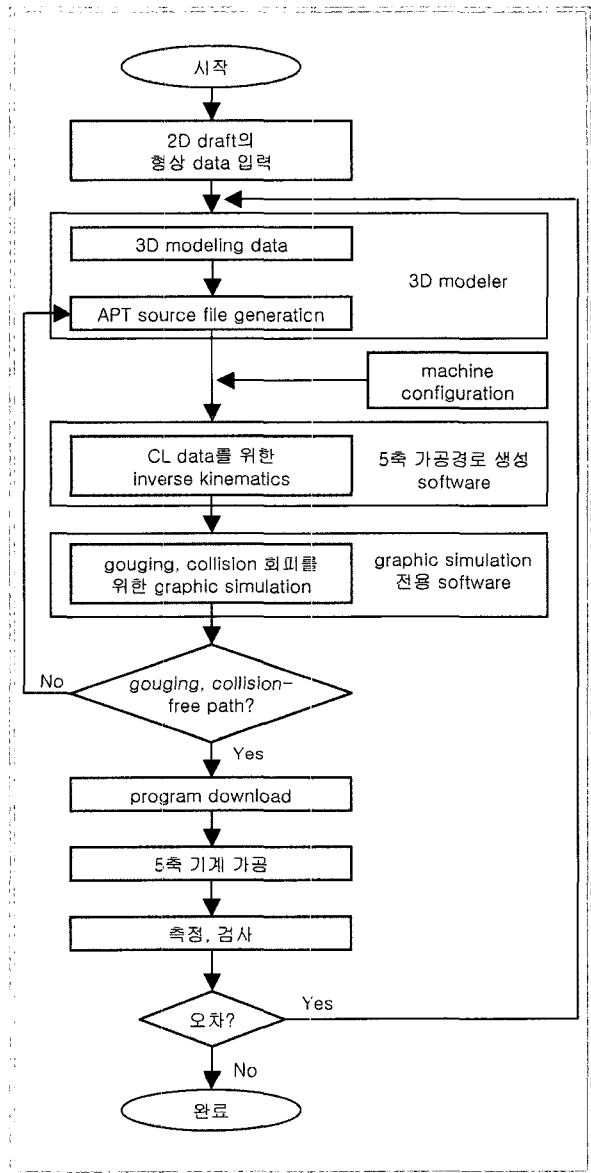


그림 18. 5축 가공 과정의 flowchart

으로 확인한다. 다음 그림 19는 software를 이용한 impeller의 공구경로 생성을 보여준다.

APT source file은 NC data가 아니므로 machine configuration에 맞도록 CC data를 CL data가 되도록 inverse kinematics로 공구의 위치와 자세를 결정하여

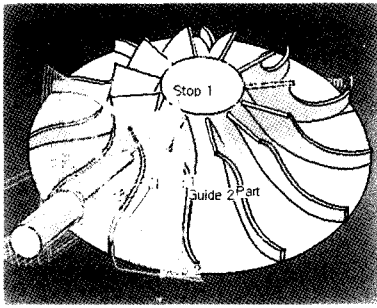


그림 19. Software를 이용한 공구경로 생성

NC data를 산출한다. 산출된 NC data를 graphic simulator 전용 software를 이용하여 이상 유무를 확인한다. 그림 20은 생성된 경로를 VERICUT simulator로 graphic 검증하는 그림으로서 gouging과 collision을 확인할 수 있다.

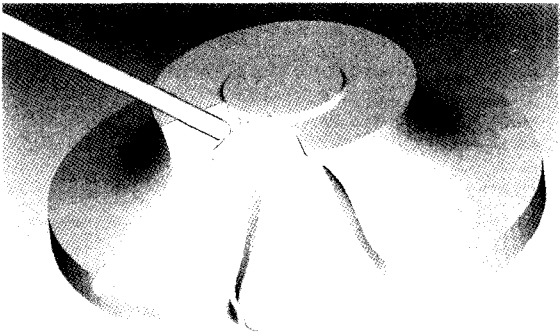


그림 20. Software를 이용한 공구경로 생성

6. 결 언

5축 가공은 복잡형상의 정밀가공에 유용하다. 적용 분야는 자동차 부품, 항공기 부품, 금형 등의 engineering 분야는 물론 치아형상가공 등의 의료분야에도 활용된다. 이

런 5축 가공은 delivery time과 setup time을 단축시키는 동시에 표면거칠기를 향상시킴으로서 가공면의 품위를 높일 수 있다. 이런 장점을 살리기 위해 공구경로 생성에 높은 수준의 지식과 know-how의 숙련도가 요구되며 collision과 gouging을 회피하는 검증은 충분히 하여야 하는 어려움이 따른다. 이러한 작업들은 관련 있는 적절한 software를 사용함으로써 가능해 진다.

5축 가공은 복잡형상의 정밀 가공에 적합하여 금형가공, 부품가공 등에 많이 활용되나 5축 가공기가 고가이고 또한 NC program을 생성하는데 어려움이 많이 따르게 되어 생산 현장에서 5축 가공의 보급이 미흡한 실정이다. 3축 가공의 활용분야가 광범위하여 5축 가공 분야에 확대하지 않은 것도 사실이나 5축 가공에 관한 관심과 투자가 이에 대한 기술 수준을 upgrade할 것이며 또한 5축 가공에 대한 소개를 통해 가공 기술인의 관심이 고조될 것이다.

참 고 문 헌

1. Kwangsoo Kim and John E. Biegel, "An Integrated Approach to Sculptured Surface Design and Manufacture", Computers and Industrial Engineering, Vol. 14, No. 3, pp. 271-280, 1988.
2. 강재관, 서석환, "머신 컴피규레이션에 따른 자유곡면의 5축 가공성과 셋업 자세", 대한산업공학회지, Vol. 21, No. 1, 1995.
3. Takeuchi Y., and Watanabe T., "Generation of 5 Axis Control Collision Free Tool Path and Postprocessing for NC Data", Annals of CIRP, Vol. 41, No. 1, pp. 539-542, 1992.
4. Yuan-Shin Lee, "Admissible Tool Orientation Control of Gouging Avoidance for 5-Axis Complex Surface Machining", Computer Aided Design, Vol. 29, No. 7, pp. 207-521, 1997.