

# AI 기반의 5축치아가공기 모니터링 시스템 개발

김홍윤\*, 김서홍\*, 박해련\*

\*주식회사 제우기술

[kimhongyoon@naver.com](mailto:kimhongyoon@naver.com), [seuhong999@naver.com](mailto:seuhong999@naver.com), [irene0112@nate.com](mailto:irene0112@nate.com)

## Development of AI-based 5-axis tooth processing machine monitoring system

Hong-youn Kim\*, Seu-hong Kim\*, Hai-lian Piao\*

\*R&D Lab, Zeus tech co.,ltd

### 요 약

본 논문에서 기존의 치아가공기는 회전하는 모터를 사용하여 구성하였으나 이러한 모터는 정밀도, 반복정밀도가 50um 이하로 가공물 가공시에 치기공사나 치과의사가 사람에게 맞추어 다시 작업을 해야하는 불편함과 시간적, 작업자의 피로도를 높일수 있는데 이러한 모터에 스크류나 벨트를 연결하여 선형적으로 움직일 수 있는 리니어모듈과 리니어모터를 적용하게되면 20um수준의 고정밀의 위치제어가 가능한 5축 치아가공기를 만들 수 있었다. 또한 MEMS센서를 이용하여 스피들의 상태를 모니터링 하고 임계값을 지정하여 이상 신호 발생시 모터를 멈추어 위험상황에 대해서 인공지능기법을 이용하여 정지하거나 관리자에게 알림을 주어 효과적으로 5축치아가공기를 운영할 수 있도록 하였다.

### 1. 서론

최근 5축 치아가공기의 기술 및 시장은 공작기계, 로봇, PLC등의 기술들이 점차 발전하고 노령화가 진행됨에 따라서 발전하고 있다.

또한, 치과에서 3D스캔을 이용해서 데이터를 받아 치기공소로 보내지게 되고 이후 가공기를 이용해서 작업하는 순서를 현재는 치과에 간단히 가공할 수 있는 장소를 통해서 치기공소에 의뢰하지 않고 자체 임플란트나 보철물을 제작하는 일도 많아지고 있는 실정이다.

이렇게 기술이 발전하면서 단순히 가공솔루션 뿐만 아니라 관리자나 작업자가 실제 기기를 운영하면서 재료나 가공속도의 변수가 있어서 작업자가 설정하는 값이 달라서 실제 임플란트를 이식하고서 임플란트 및 보철물의 탈락이나 깨지는 현상이 발생하여 임플란트 시술 10건중 4건이 부작용으로 인한 분쟁이 발생하고 있다. 이러한 문제는 회전형 모터를 사용하기 때문에 낮은 정밀도를 갖게 되고 동시에 업무의 분업화 및 작업장비의 분리가 되어있어서 지르코니아, 티타늄 재료를 별도 작업함으로 인해서 작업시간이 증가되고 출력물이 다른 사이즈로 출력되는 문제가 발생하고 있다.

이러한 문제점을 인식하여 티타늄과 지르코니아를 하나의 장비로 작업이 가능할 수 있도록 하고 고정밀 위치제어가 가능한 리니어모터를 이용하여 20 $\mu$ m 수준의 정밀도로 가공이 가능한 5축 치아가공기를 개발하였다. 또한 이러한 문제점을 모니터링하고 임계값을 정하여 확인할 수 있도록 MEMS센서를 스피들에 부착하여 실제 운용을 하면서 데이터를 확인하고 이러한 데이터를 기반으로 AI기반의 5축치아가공기를 개발해보았다.

### 2. 5축 치아가공기의 문제점 및 해결방안

본 논문에서는 크게 두 가지로 나뉜다. 하나는 기존 CAD/CAM장비의 편의성을 증대시켜 유저의 생산성을 향상시키고, 물적/인적 자원의 소요를 감소시켜 비용을 절감할 수 있는 밀링장비를 개발이며 다른 목표는 현재 소재 및 형태에 따라 용도별로 사용하고 있는 CAD/CAM장비를 개선하여 한 대의 장비로 소재의 형태나 재질에 상관없이 모두 가공할 수 있는 범용장비를 개발하고자 하는 것이다. 이러한 핵심 목표를 달성하기 위해서는 카트리지가 이송 및 장착시의 정확도와 가공용 스피들의 고출력으로 인한 진동을 제어하여 가공 정밀도를 향상시키는 방안에 대한 개발이 핵심사항이다.

카트리지 장착 위치의 정확도는 디스크형태의 소재 가공 시에는 원점을 디스크의 어느 부위로 선정하더라도 동일한 형상으로 가공되기 때문에 제품에 미치는 영향이 없지만, 어버트먼트를 가공하는 환봉형태의 소재의 경우 커넥터부분이 이미 가공되어있기 때문에 커넥터부위를 원점으로 하여 가공되어야 하므로 가공 전 원점의 선정이 필수적이다. 기존의 로터 타입 밀링머신의 경우 지그에 장착 시 원점의 오차가 발생하였기에 디스크형태의 가공은 가능하였으나, 어버트먼트 가공에 있어서는 정밀도가 충분하지 못하여 적용이 어려웠다. 따라서 카트리지 장착 시그 위치오차를 20 $\mu$ m 이내로 감소시켜 디스크형태 및 환봉형태 모두를 가공할 수 있는 범용성을 확보하고자 한다. 또한 Loader에 대한 지그의 적재 수량은 최대 8개를 장착 할 수 있도록 개발하였다.

스핀들 모터의 출력에 대한 가공 출력물의 정밀도는 덴탈용 소재를 재질의 측면에서 볼 경우 가공이 용이한 세라믹, PMMA등이 있고, 가공이 용이하지 않은 Co계열의 합금 등으로 나눌 수 있다. 난삭재인 합금을 가공하기 위해서는 스핀들 모터의 출력이 어느 이상이 되어야 하나, 출력이 증가 할 경우 진동이 동반되어 가공물의 정밀도가 떨어지게 되므로 진동에 의한 가공성도 고려되어야 한다. 본 개발에서는 가공물을 양측에서 고정시킬 수 있도록 실린더를 장착시킴으로써 고출력의 스핀들모터를 채용함에 있어서도 가공물의 출력정밀도를 2/100mm 수준으로 제어하였다.

### 3. 5축 치아가공기 구조개선

치과의 보철물 및 임플란트를 만들기 위한 5축 치아가공기이며 재료는 총 2가지가 사용되며 석고분말 재료인 지르코니아와 인체에 최적화 되어진 합금인 티타늄이 사용한다.

임플란트의 경우 치아 모양을 가공하기 위해서 지르코니아 재료가 사용되고 치주의 역할을 하는 티타늄으로 구성된다. 제우기술에서 구성하고 있는 5축 치아가공기의 경우 2가지 재료(지르코니아, 티타늄)를 동시에 사용이 가능한 5축 치아가공기를 제작하였다.

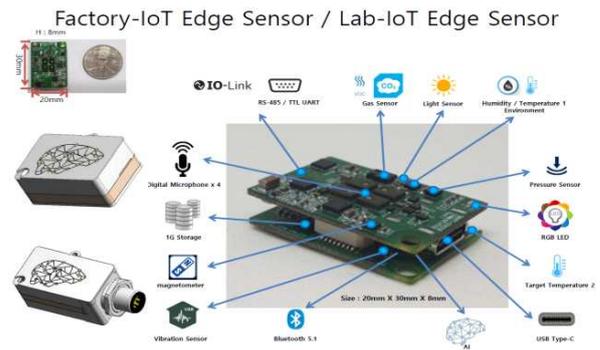
기존의 치아가공기는 회전하는 모터를 사용하여 구성하였으나 이러한 모터는 정밀도, 반복정밀도가 50 $\mu$ m 이하로 가공물 가공시에 치기공사나 치과의사가 사람에게 맞추어 다시 작업을 해야하는 불편함과 시간적, 작업자의 피로도를 높일수 있는데 이러한

모터에 스크류나 벨트를 연결하여 선형적으로 움직일 수 있는 리니어모듈과 리니어모터를 적용하게 되면 20 $\mu$ m수준의 고정밀의 위치제어가 가능한 5축 치아가공기를 만들 수 있었다.

### 4. 5축 치아가공기 모니터링 기술

5축 치아가공기의 Spindle을 제작하였으며, 설계를 통해서 기존의 선진사 제품을 분석, 해석(Reverse engineering)하였으며[1,2], 모터내에 MEMS센서를 부착하여 스핀들상태를 모니터링 할 수 있도록 구축하였다. 이를 통해서 최적 센서, application 기술 선별할 수 있었으며, 스핀들 개인값 최적화, 모터 드라이브 파라메타 연구할 수 있었다.

온도, 습도, 기압, RPM, FFT신호[3,4]를 자체 개발한 MEMS센서를 이용하여 스핀들에 부착하고 아래 그림과 같이 모니터링 할 수 있는 프로그램을 만들어 확인할 수 있었으며 스핀들 운용시 관련 데이터를 직접 모니터링 할수 있도록 구현하였다.



(그림 1) MEMS 센서 구조도



(그림 2) 개발한 MEMS 센서

### 5. 결론

MEMS센서를 이용한 AI기반의 5축치아가공기와 모니터링 시스템을 개발하여 스핀들을 개발함과 동시에 센서 최적 위치에 부착하여 온도, 습도, RPM, FFT신호를 볼 수 있었다. 또한 MEMS 센서의 신호

를 통해서 들어오는 데이터를 그래프화 하여 관리자가 쉽게 인식할 수 있도록 구현하였으며 동시에 임계값을 정하여 모터에 전달되는 외력 즉, 심각한 문제를 발생시킬 수 있는 요인에 대해서 미리 모니터링하여 장비에 문제가 없고 스피들에 문제가 없도록 데이터를 축적할 수 있었으며, 이러한 데이터를 기반으로 하여 AI기반의 5축 치아가공기를 제작 및 구성할 수 있었다.



(그림 3) 구현한 스피들 모듈

#### 참고문헌

- [1] Hoon Heo, Yun Hyun Cho, Dae Jung Kim, "Stochastic control of Flexible beam in Random flutter. Journal of Sound and Vibration" Vol. 267, No. 2, pp335 ~ 354, 2003.
- [2] 김홍윤, "복합시스템의 모델링 및 제어", 고려대학교, 2016.
- [3] K. Ogata, Modern Control Systems, Prentice Hall, 2010.
- [4] N. S. Nise, Control Systems Engineering, Wiley, 2010.