

머신비전 기반 치석 제거용 수공구 연마 공정 자동화 연구

이정익*, 강동성**

*교수, 인하공전. 기계공학부. 기계설계과

**연구소장, (주)오엘테크

e-mail:jilee@inhatc.ac.kr

A Study on the Automation of Hand Tool Polishing Process for the Removal of Tartar Based on Machine Vision

Jeong-Ick Lee*, Dong-Sung Kang**

*Dept. of Mechanical Design, INHA Technical College

**Oltech Company

요약

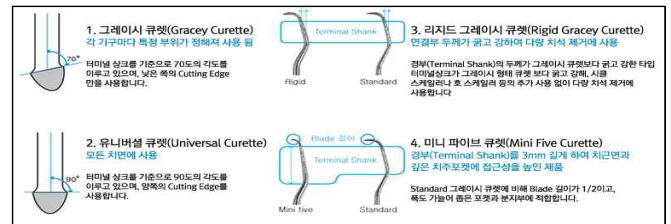
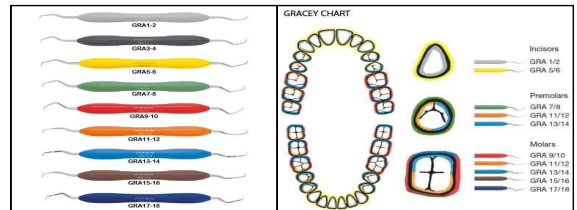
본 연구는 치석 제거용 수공구(스케일링 툴)의 연마 공정에 자동화 기술을 적용하여 기존 수작업 공정의 한계를 극복하고자 하였다. 현재의 연마 공정은 작업자의 숙련도에 의존하여 품질 편차, 높은 불량률, 안전 문제를 야기하고 있다. 이에 본 연구에서는 머신비전 기반의 고정밀 위치 인식 및 딥러닝 보정 알고리즘을 적용함으로써, 연마 각도의 정밀 제어와 불량률 저감을 동시에 달성하고자 하였다. 특히 다품종 툴을 안정적으로 공급할 수 있는 트레이 설계와 프로토타입 자동화 장비를 제작하여 실험을 통해 성능을 검증하였다. 실험 결과, 제안된 시스템은 기존 수작업 대비 연마 각도 오차를 $\pm 2.5^\circ$ 에서 $\pm 0.5^\circ$ 수준으로 감소시켰으며, 불량률은 5%에서 2% 이하로 줄어 들었다. 또한 작업 효율은 30% 이상 향상되었다. 이러한 성과는 국내 치위생학 교육 기자재 시장에서 외산 장비 의존도를 낮추고, 해외 시장 진출의 경쟁력을 확보할 수 있는 중요한 기초를 제공한다.

1. 서론

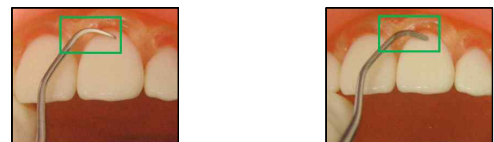
치석 제거용 수공구, 즉 스케일링 툴은 치주 질환 예방 및 치료에 핵심적으로 사용되는 기구로서, 치위생학 교육 현장과 임상 환경에서 필수적인 역할을 담당한다. 국내 치위생학과 및 관련 교육기관에서는 매년 수천 세트 이상의 실습 기자재를 확보해야 하며, 이에 따라 안정적인 품질 관리와 생산성 향상이 중요한 과제가 되고 있다.

그러나 현재의 연마 공정은 작업자의 수작업에 의존하고 있어 품질의 균일성을 확보하기 어렵다. 특히 숙련도 차이에 따른 각도 오차와 연마 불균일성은 툴의 절삭 성능과 내구성을 저하시킬 수 있으며, 이는 임상 안전성과 직결되는 중요한 문제이다. 또한 반복적이고 장시간의 수작업은 작업자의 피로와 사고 위험을 증대시키며, 생산 효율성을 저해하는 주요 요인으로 작용한다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 스마트 제조 기술과 인더스트리 4.0의 핵심 요소인 머신비전과 인공지능을 적용한 자동화 공정 도입이 필수적이다. 머신비전은 고해상도 영상과 텔레센트릭 렌즈, 정밀 조명을 활용하여 미세 형상 오차를 검출할 수 있으며, 딥러닝 기반 알고리즘은 이를 바탕으로 각도 및 위치 오차를 정밀하게 보정할 수 있다. 따라서 본 연구는 이러한 첨단 기술을 통합하여 치석 제거용 수공구 연마 공정의 자동화 시스템을 설계하

고, 실험적 검증을 통해 그 실현 가능성을 확인하는 것을 목적으로 한다.



[그림 1] 치과용 스케일링 툴의 종류 및 적용 범위



올바른 적용

잘못된 적용

[그림 2] Gracey Curette 전치부에서의 face 적용

2. 본론

2.1 연구 방법 및 시스템 구성

본 연구는 머신비전 기반 측정 모듈, 딥러닝 기반 보정 알고리즘, 다품종 대응 트레이 설계, 프로토타입 장비 제작으로 구성되었다. 머신비전 모듈은 5M급 고해상도 카메라와 텔레센트릭 렌즈, RGB 조명 시스템으로 구성되어 0.01mm 수준의 미세 형상 측정이 가능하다. 알고리즘은 영상 전처리, 특징 추출, 각도 오차 계산, 딥러닝 기반 보정, 연마 제어의 단계적 구조를 가진다.

2.2 연구과제 개발의 최종 목표 및 단계별 목표

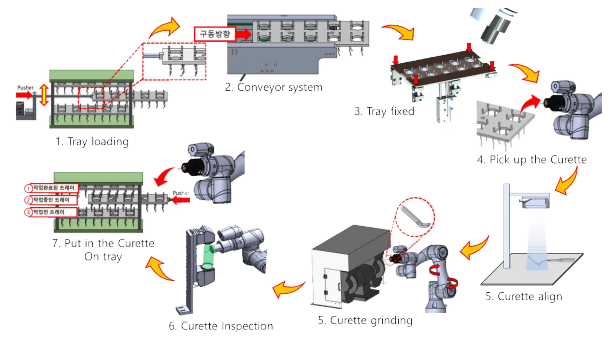
■ 현재 스케일링 툴(Curette) 연마 공정 자동화의 필요성
 - 스케일링 툴 연마는 수작업으로 진행됨으로 안전이 보장되어 있지 않음. 안전 문제를 해결하기 위해 사람이 아닌 자동화 기계를 이용하여 보다 안전하게 제품을 생산하여 안전문제를 최소화시켜야 한다.

- 환자의 치아 상태와 구강구조 및 전체 치면 치석 제거를 위해 수백여 가지 형태의 스케일링 툴이 필요함. 세밀함을 발휘해야 하는 제품의 특성상 작업 날 끝부분의 각도나 날카로운 정도가 정밀해야 하므로 수작업 시 많은 노동력과 시간이 소비됨. 또한 작업자에 따라 제품의 품질이 다르며 연마 시 불량률이 적지않다. 이에 기존 샤프닝 기구나 연마 석을 통한 수작업 방식이 아닌 자동화, 소재 손상 저감, 기구의 정밀한 연마의 기술개발에 대한 필요성이 대두되고 있으며, 본 기술개발을 통해 기술 수준이 낮은 동남아 시장 및 선진국 시장을 공략 할 수 있을 것으로 판단된다.

- 단일 스케일링 툴 제품은 산업용 다관절 로봇을 적용하여 자동화 공정으로 스케일링 툴 연마를 적용되어 있지만, 100여 가지 이상의 형상이 불규칙한 스케일링 툴의 탄성으로 인하여 연마량의 차이가 발생하여 연마 품질 불량률이 야기되고 있다.

o 본 기술개발과제에서는 스케일링 툴 연마 공정에서 스케일링 툴의 형상마다 달라져 불량률의 요인이 되기 때문에 딥러닝 기법을 적용한 위치 보정 알고리즘을 개발하여 고정밀 연마 자동화 시스템을 개발하는 것이 핵심 목표이다. 또한, 개발된 시스템을 적용하여 품질 향상 및 가격 경쟁력 향상을 기대할 수 있다.

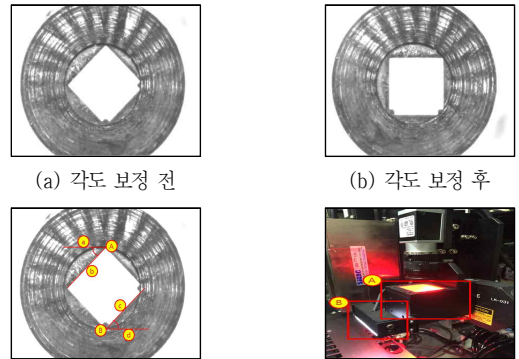
o 아래 기술개발에서는 스케일링 툴 자동 연마 공정 장비 내 툴 위치 보정(5번) 알고리즘 개발이 필요하다.



[그림 3] 스케일링 툴 자동 연마 장비 공정순서

2.3 연구개발 과제의 내용

- o 스케일링 툴 위치 및 형상 측정을 위한 머신비전 모듈 설계 및 제작(참여기관)
 - 0.5mm 이하의 스케일링 툴 끝단 형상 측정을 위한 5M급 카메라 및 렌즈 모듈 선정
 - 빛 산란이 심한 스테인레스 강인 스케일링 툴의 이미지 추출을 위한 RGB 조명 형상 및 위치 설계 및 제작
 - 연마 위치 불량 최소화를 위한 각도 보정을 위한 알고리즘 개발

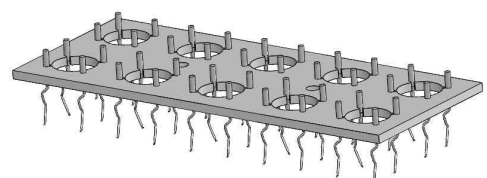


(a) 각도 보정 전 (b) 각도 보정 후 (c) 각도 보정 추출 알고리즘 구성 (d) 카메라, 렌즈, 조명 구성안

[그림 4] 각도 편차 값 측정 이미지 및 보정 후 이미지

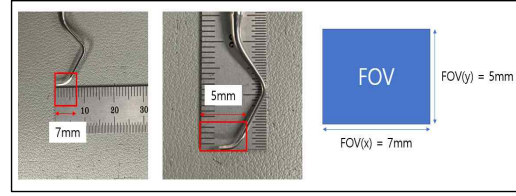
- o 다품종 스케일링 툴의 공급이 가능한 트레이 설계 및 제작 (주관기관)

- 다양한 각도의 스케일링 툴이 장착이 가능하도록 테이퍼 홈 방식의 스케일링 툴 안착 트레이 설계 및 제작
- 컨베이어 모듈에서 이송과 매거진 적재가 용이한 구조 도출



[그림 5] 다양한 각도의 스케일링 툴 장착이 가능한 트레이 구성안

- 스케일링 툴 연마량 검사를 위한 머신비전 모듈 설계(주관, 참여기관)
 - 스케일링 툴 날부 연마량 측정을 위한 머신비전 시스템 설계 및 제작
 - 측정 정밀도 향상을 위한 고픽셀 칼라 카메라 및 텔레센트릭 렌즈 선정
 - 스케일링 툴 연마 각도 비전 검사 통한 양품, 불량품 판정 알고리즘 개발

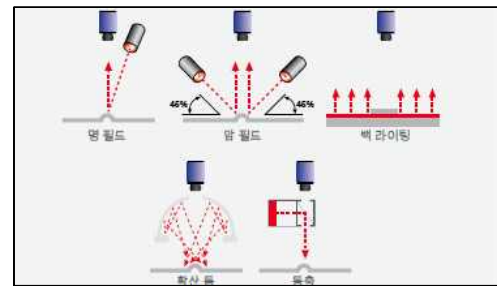


[그림 8] 스케일링 툴 이미지

- 머신비전의 주요 목표는 검사가 필요한 특징과 배경 사이의 대비를 최적화하는 것인데, 이를 위해 빛의 상호 작용 원리를 이해하고 적절하게 이용해야 한다. 물체의 특성은 빛이 얼마나 반사되고 흡수되는지에 따라 결정되며 스케일링 툴 표면 난반사나 이미지가 뭉개짐으로 인해 제대로 된 검사가 이루어지지 않을 수 있는데, 이를 해결하기 위해선 다양한 색상과 모양의 조명 Test를 진행하고 선정이 필요하다.



[그림 6] 측정용 머신비전 모듈 구성 예시



[그림 6] 조명 특성 비교



[그림 7] 위치 및 측정용 머신비전 공정 순서

3. 결론 및 향후 연구

본 연구는 치석 제거용 수공구 연마 공정의 자동화 가능성을 실험적으로 검증하였다. 머신비전과 딥러닝 기술의 결합은 각도 오차 감소, 불량률 저감, 효율성 향상이라는 세 가지 측면에서 기존 수작업 대비 현저히 우수한 성과를 나타냈다. 따라서 본 연구는 치과 기구 산업의 국산화와 고부가가치화를 위한 실질적인 대안을 제시한다고 평가할 수 있다.

향후 연구 과제는 다음과 같다. 첫째, 다양한 소재와 형상의 툴에 대한 데이터셋을 확대하여 알고리즘의 범용성을 강화할 필요가 있다. 둘째, 로봇 제어 기술과의 융합을 통해 완전 무인 자동화 시스템을 구축해야 한다. 셋째, 공정 자동화 장비의 경제성 분석을 수행하여 중소 규모 업체에서도 도입 가능한 최적화 방안을 마련해야 한다. 넷째, 국제 표준화와 해외 시장 진출 전략을 수립하여 산업적 파급효과를 극대화할 필요가 있다.

이와 같은 연구가 지속적으로 이루어진다면, 치과 산업 뿐만 아니라 정밀 가공 분야 전반에서 스마트 제조 혁신을 주도할 수 있을 것으로 기대된다.

■ 머신비전 시스템 제작

- 머신비전은 고성능 카메라, 이미지 프로세서, 소프트웨어 등으로 구성된 시스템으로 카메라, 렌즈, 조명을 사용하여 적절한 이미지를 획득한 후 수행하고자 하는 작업의 목적에 맞춰 이미지 프로세서, 소프트웨어가 영상처리 및 분석 과정을 거쳐 원하는 작업을 수행할 수 있는 정보를 제공해주는 시스템이다.
- 머신비전에서 카메라는 입력된 빛의 밝기를 컴퓨터가 이해할 수 있게 전기적인 신호로 변환하여 프로세서에 전송해주는 역할로 인간의 눈에 해당하는 가장 핵심적인 구성요소임. 카메라 선정은 센서 소자의 종류, 센서의 배열 모양, 센 칩의 개수에 따라 구분할 수 있다.
- 본 과제에서는 머신비전을 이용하여 스케일링 툴의 이미지 데이터를 수집 및 분석을 통해 자동화 프로세스의 기초가 되는 스케일링 툴의 기준 위치 선정 및 형상 치수 측정, 양불 판정 등의 다양한 목적으로 사용하기 위한 머신비전 시스템을 구현하고자 한다.

참고문헌

- [1] 이정익 외, 스마트 제조를 위한 치석 제거용 수공구 위치 보정 기술 연구계획서, 인하공업전문대학, 2025년
- [2] Business Research Insights, Dental Hand Instrument Market Analysis 2024-2033, 2024년
- [3] KSMT, 용접 및 생산공학 관련 논문집, 2000년-현재