

인공치아 제작을 위한 지르코니아 소재의 가공특성 분석

Analysis of the Machining Condition for Zirconia Prosthesis

백재용¹, *김보현¹, 정소영¹, 이상철², 박태석³

J. Y. Baek¹, *B. H. Kim(bhkim@kitech.re.kr)¹, S. Y. Jung¹, S. C. Lee², T. S. Park³

¹ 한국생산기술연구원, ²(주)레이, ³텐탈포스트(주)

Key words : artificial teeth, zirconia prosthesis, machining condition, analysis of machining characteristics

1. 서론

인공치아란 손상된 치아를 대신하는 보철물로서, 일반적으로 금, 은 등 금속성 지지체인 코핑(coping) 위에 치아 색깔과 유사한 세라믹(ceramic)을 적층하여 제작한다. 그렇지만 이러한 금속소재는 반투명한 세라믹을 통하여 금속색상이 드러나는 단점이 있기 때문에 최근에는 비금속 재료 즉, 지르코니아와 같은 세라믹 재료를 이용하여 코핑을 제작하는 비율이 점차 증가하고 있다. 금속 코핑은 치기공사가 주물공정을 수행해야 하지만, 지르코니아 코핑은 기계가공(절삭 혹은 연삭)을 통하여 제작되기 때문에 소재특성에 따른 가공특성 분석이 필요하다.

지르코늄의 산화물인 지르코니아는 열전도율이 매우 낮고 색깔이 뛰어나며 1500℃이상의 고온에서 소결 시 500Mpa 이상의 높은 강도를 유지하기 때문에 우주, 항공, 전자, 의료 등 응용범위가 다양하다. 초기에는 약 1500℃정도에서 완전 소결된 고강도 지르코니아를 연삭숫돌로 가공하는 연구¹⁻⁵가 많이 수행되었으나, 가공시간이 길고 잦은 공구교체를 유발하는 등 여러 가지 문제점을 야기시키기 때문에 최근에는 600℃정도에서 반소결된 지르코니아를 가공하는 연구가 활발히 진행되고 있다⁶. 그렇지만, 반소결 소재는 완전 소결체와 달리 부서지기 쉽기 때문에 기계가공 시 세심한 주의가 필요하다.

본 연구에서는 반소결 소재인 지르코니아를 이용한 코핑제작에 있어서 가공조건에 따른 절삭력 변화를 분석하고, 가공 안정화를 위한 절삭조건 모델을 제시하고자 한다. 다음 장에서는 지르코니아 특성에 대한 이해를 돕고자 인공치아를 제작하는 과정을 간단하게 소개하고, 이후 가공특성 분석을 위한 실험계획법에 대하여 설명한다. 수행된 실험결과에 대해서는 통계 분석모델을 이용하여 결과를 확인하고, 가공 안정화를 위한 가공조건 모델을 제시하고자 한다.

2. 인공치아 제작 과정

반소결된 지르코니아를 이용하여 인공치아를 제작하는 과정은 Fig. 1과 같다. 지르코니아 분말을 일정한 틀에 넣어 1차 프레스로 가압한 후 등방성(isotrope)을 유지하기 위하여 CIP(cold isostatic press) 공정을 통해 모든 방향에 동일한 압력을 가하여 성형한다. 이후 약 600℃에서 반소결한 후 NC 가공을 통하여 코핑을 제작하게 된다. 제작된 코핑 위에 포세린(porcelain)이란 세라믹 재질을 적층하여 인공치아를 완성하게 된다.

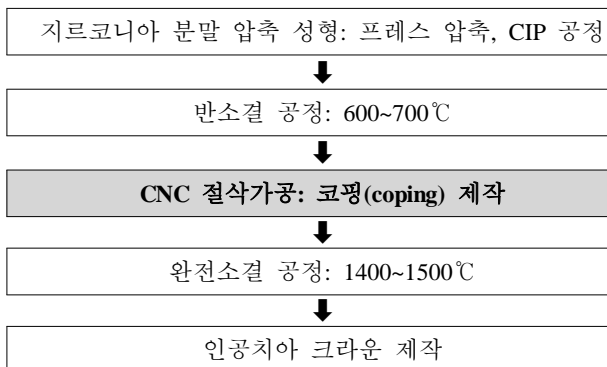


Fig. 1 Manufacturing process of zirconia prosthesis

3. 가공특성 실험

엔드밀을 이용한 절삭공정에 관한 연구는 크게 가공조건 변화에 따른 공구부하 예측⁷ 및 절삭 거동에 관한 분석^{8,9}으로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 반소결 지르코니아 소재를 가공할 때 참조할 수 있는 절삭조건 모델을 제시하고자 한다.

지르코니아 소재의 가공특성을 분석하기 위해 NC가공에 영향을 미치는 4개 인자(factor)를 선정하여 1차 실험을 수행하고, 여기서 절삭력에 크게 영향을 미치는 2개 주요인자를 선택한다. 2개의 주요인자에 대해서 2차 실험을 실시하고 반응표면분석(RSM: response surface method)을 수행한다. 1차 실험에서는 주축 회전속도(RPM), 이송속도(feed), 절삭폭(cutting width), 절삭깊이(cutting depth)의 4인자, 2수준의 일부실험(2회 반복)으로 실험계획을 수립하였다. 실험결과데이터의 주효과 분석을 통하여 절삭폭과 절삭깊이를 주요인자로 선정하였다. 2개 주요인자에 대해서는 중심합성계획(central composite design)을 수립하고, 결과데이터는 반응표면분석을 실시하였다. 인자별 수준은 지르코니아를 이용하여 코핑을 제작하는 업체의 가공조건을 참조하여 설정하였다.

실험이 진행되는 동안 공구 및 공작물 위치변화에 따른 절삭력 오차를 최소화하기 위해 한 시편에서 모든 실험이 종료될 수 있도록 Fig. 2와 같은 형상의 시편을 제작하였다. 1차 실험의 경우에는 반복 실험이 수행될 때 이송방향이 서로 반대가 되도록 실험계획을 수립하여 시편 형상당차에 대한 오차를 최소화할 수 있도록 하였다. 또한 1차 실험과 2차 실험의 일관성을 유지하기 위하여 동일한 시편을 적용하여 실험을 수행하였다. 절삭력 측정을 위한 공구동력계(dynamometer)는 Kisler사의 9256C 모델을 이용하였고, 샘플링 조건은 10000Hz, 30초를 적용하여 절삭력을 측정하였다. NC기계의 기계적 특성을 최소화하기 위해서 실험 전 1시간 정도 무부하 가공을 수행한 후, 절삭유를 공급하는 환경에서 실험을 수행하였다.



Fig. 2 A workpiece of zirconia for machining experiment

4. 실험결과 및 분석

각 실험조건에서 취득된 신호는 일정한 구간을 선정하여 X, Y, Z방향의 제곱합평균(RMS: root mean square)을 산출한 후 통계적 검증방법을 이용하여 가공조건에 따른 절삭력 변화를 확인하였다. 반소결 지르코니아의 경우 절삭가공 시 절삭과 파단이 동시에 이루어지기 때문에 절삭력 변화가 매우 크며, 이로 인해 취득된 절삭신호 분석이 매우 어려웠다. 본 연구에서는 절삭력

변화가 최소화된 구간을 추출하기 위해서 측정구간 내에서 표준편차가 최소화되는 구간을 선정하여 분석하였다. Fig. 3은 주축회전속도, 이송속도, 절삭폭, 절삭깊이에 따른 절삭력 RMS 값에 대한 주효과 분석 그래프이다. 개별인자의 수준간 변화를 검증하기 위해서 95% 신뢰수준에서 t-검증을 수행하였다. t-검증 수행결과를 요약하면, 주축 회전속도와 이송속도는 절삭력에 미치는 영향은 미미하고, 절삭폭과 절삭깊이가 절삭력에 영향을 주는 주요요인으로 분석되었다.

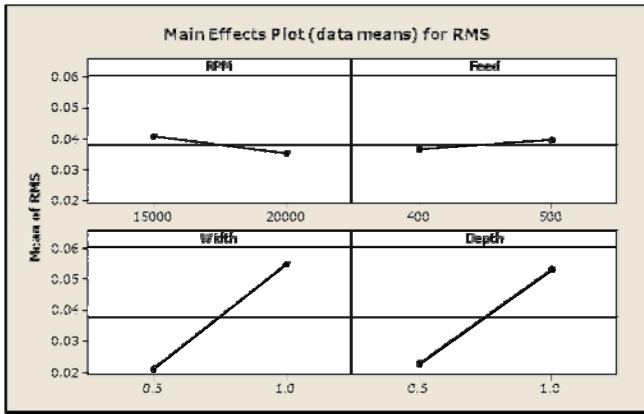


Fig. 3 Main effect plot for RPM, feed rate, width, and depth

Fig. 4는 1차 실험결과로부터 선정된 절삭폭과 절삭깊이에 의한 2차 실험결과를 반응표면법으로 분석한 내용이다. 절삭폭과 절삭깊이의 변화에 따라 절삭력이 거의 선형으로 변화되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 절삭폭과 절삭깊이 변화율에 따른 절삭력 변화는 거의 동일한 것으로 확인되었다.

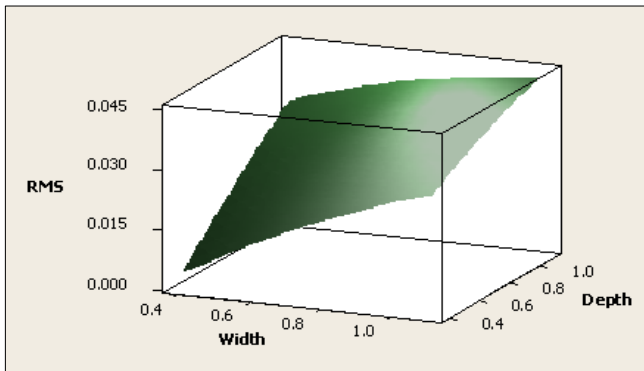


Fig. 4 Surface Plot of RMS vs. cutting depth & width

반응표면법이란 실험인자의 수준을 변동시켜 어떤 조합이 가장 최적의 반응값을 나타내는지 확인할 수 있는 방법으로 반응값 즉, 일정한 절삭력을 유지하기 위해서 절삭폭과 절삭깊이를 어떻게 설정해야 하는지 알 수 있다. Fig. 5는 절삭력의 RMS 값이 0.035로 주어졌을 때, 이를 달성하기 위해서는 절삭폭과 절삭깊이는 0.7504mm와 0.9061mm로 조건을 설정해야 한다는 것을 나타내고 있다. 이러한 절삭조건 모델을 이용하면 소재의 내부결함을 최소화하거나 가공효율을 최대화할 수 있는 가공조건을 설정할 수 있다. 이러한 절삭조건 모델을 실제적으로 적용하기 위해서는 소재특성 변화, 공구마모 등에 대한 연구가 추가적으로 진행되어야 한다.

5. 결론

반소결된 지르코니아 소재의 경우 부서지기 쉽기 때문에 기계가공이 진행되는 동안 절삭과정과 파단과정이 동시에 발생되고, 이에 따라 절삭력 변화가 매우 유동적이다. 이러한 현상은 가공실

험에서도 잘 나타나지만, 전체 데이터 취득범위에서 편차를 최소화 할 수 있는 적정한 신호구간을 선정한다면 가공조건에 따른 절삭력 변화추이를 분석할 수 있다. 또한 1차 주효과 분석 실험과 2차 반응표면분석 실험을 통하여 도출된 절삭조건 모델을 이용하면, 절삭폭과 절삭깊이에 따라 일정한 절삭력을 유지할 수 있는 가공 안정성을 확보할 수 있다. 이러한 연구를 실제적으로 활용하기 위해서는 소재특성 변화, 공구마모 등을 고려한 절삭조건 모델 수립에 대한 연구가 진행되어야 한다. 또한 소재 내부결함 최소화, 가공속도 최적화, 공구수명 최대화 등의 사용목적에 따라 응용범위를 확대하는 방안도 고려되어야 한다.

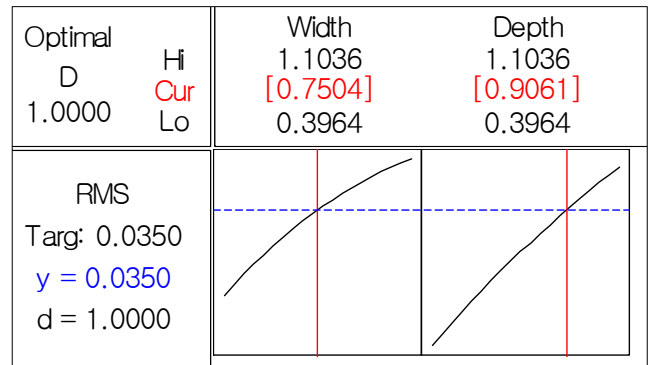


Fig. 5 Response optimization for RMS (target value: 0.035)

후기

본 연구는 중소기업청이 지원하는 선도형기술혁신전략과제인 “3D 영상처리 기술을 활용한 쾌속 치아보철물 가공시스템 개발”에 의해 수행되었다.

참고문헌

- Huang, H., "Machining characteristics and surface integrity of yttria stabilized tetragonal zirconia in high speed deep grinding", *Materials Science & Engineering*, 345, 155-163, 2003
- Huang, H., Liu, Y., "Experimental investigations of machining characteristics and removal mechanisms of advanced ceramics in high speed deep grinding", *Machine Tools & Manufacture*, 43, 811-823, 2003
- Luthardt, R., Holzhter, M., Rudolph, H., Herold, V., Walter, M., "Abrasive machining of porcelain and zirconia with a dental hand-piece", *Wear*, 255, 975-989, 2003
- Luthardt, R., Holzhter, M., Rudolph, H., Herold, V., Walter, M., "CAD/CAM-machining effects on Y-TZP zirconia", *Dental Materials*, 20, 655-662, 2004
- Luthy, H., Filser, F., Loeffel O., Schumacher M., Gauckler, L., Hammerle, C., "Strength and reliability of four-unit all-ceramic", *Dental Materials*, 21, 930-937, 2005
- Denry, I., Kelly, R., "State of the art of zirconia for dental applications", *Dental Materials*, 24, 299-307, 2008
- 김영국, 윤문철, 하만경, 심성보, "엔드밀에서의 채터모델링과 진단법에 관한 연구", *한국기계가공학회지*, 1, 123-132, 2002
- 이영문, 장승일, 이동식, 전정운, "독립성분 해석을 이용한 절삭력 예측", *한국기계가공학회지*, 2, 22-30, 2003
- 김정석, 강명창, 김전하, 정연식, 이종환, "고속가공에서 상태 감시를 위한 계측시스템의 신호특성", *한국기계가공학회지*, 2, 13-19, 2003
- 박홍식, 이상재, 배효준, 진동규, 김영희, "실험계획법을 이용한 엔드밀 가공시 주축 진동에 대한 정량적 분석 및 수학적 모델링", *한국기계가공학회지*, 3, 37-42, 2004
- 조병무, 이동주, "볼 엔드밀 가공시 공구경로에 따른 절삭특성에 관한 연구", *한국공작기계학회논문집*, 16, 191-197, 2007