

브러시 연삭 공구의 연삭 특성 분석

백재용*, 유송민*, 신관수**

* 경희대학교 기계 · 산업시스템 공학부

** 시립인천 전문대학

Characterization of Brush Grinding System

Jea Yong Baek*, Song Min Yoo*, Kwan Soo Shin**

* Kyunghee University of Mechanical and Industrial System Engineering

** Junior College of Inchon

ABSTRACT

In order to meet the industrial requirement, precision grinding with brush tool has been applied. To analyze the brush tool characteristics, several parameters including numbers of brush string installed in a single holder, depth of cut and brush length have been changed. Several data from various source were acquired using AE, acceleration and tool dynamometer during the process. Consistent results revealing certain trend with respect to each process condition were observed.

Key Words : Number of brush string (단위공구수),
Depth of cut (절삭깊이),
Brush length (브러시 길이),
AE (음향 방출),
Tool dynamometer (공구 동력계)

1. 서론

모든 생산공정에 있어 제품의 끝단부분에 버(burr)가 형성된다. 버는 제품의 질을 향상시키고, 사용자의 편의를 위해 제거되어야 한다. 공정의 자동화 및 산업의 고도화에 따라 정밀부품의 수요가 증가하고 다양한 가공물에 대한 부품의 고기능 및 제품의 고급화를 위해 마무리 작업이 증가되고 최근 이러한 경향에 따라 같은 부품의 성능을 향상시키기

위해 에지(edge)처리기술, 표면가공과 버 제거 가공에 많은 관심을 가지고 있다. 일반적으로 생산, 제조 공정에 있어 정도의 차이는 있지만 버나 플래시(flash)가 발생하지 않을 수가 없다. 이러한 버 제거를 위해 최근 제작과정에서의 버 형상 및 크기 계측과 제거를 위한 많은 연구가 진행되고 있다⁽¹⁾. 설계주형의 변화를 이용하여 버 크기를 감소시키거나 제거하기 쉬운 형상으로 변화시키는 연구 결과도 발표되고 있다⁽²⁾. 하지만 완전한 버 제거는 이루어지지 않고 있다. 이러한 버 제거 작업은 자동화에 한계가 있고 대부분의 작업은 수작업에 의존하고 있다. 대부분의 기계가공에 있어서도 연삭 슷들을 이용하여 디버링(deburring)을 실시하고 미소 버 제거를 위해 많은 장치를 수반하게 된다⁽³⁻⁵⁾. 이에 따라 생산부품의 비용은 증가하게 된다. 버 제거를 위한 디버링 작업의 기본은 모재(work piece)의 형상에 손상을 주지 않는데 있다. 이에 따라 공구의 선택에도 많은 제한이 뒤따른다. 이러한 상황에 따라 새로운 공구의 개발이 요구된다. 최근 이러한 경향에 따라 브러시 공구를 이용하여 많은 작업이 수행되고 있다⁽⁶⁾. 본 연구에서는 브러시 공구를 이용하여 디버링 공정을 수행하는데 있어 기초 데이터 베이스를 구축하고 이를 바탕으로 최적의 브러시 공구를 설계하는데 필요한 자료를 각종 센서를 이용하여 가공공정을 분석하고자 한다.

2. 신호처리

2-1. RMS

각종 취득된 신호를 분석함에 있어 연속형의 신호를 해석하는데 신호의 에너지량을 측정하는 것이 타당하다. 발생된 에너지 값을 비교하기 위해 RMS(root mean square)수치로 환산하여 비교한다.

$$RMS = \left[\frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} v^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

단, ΔT 는 시간간격, $V(t)$ 는 신호함수이다⁽⁷⁾.

2-2. AE신호

AE(acoustic emission)신호란 고체내에 저장되었던 탄성 응력 에너지(elastic strain energy)가 급격히 방출될 때 발생하는 탄성파이다. 재료의 탄성파의 전파는 발생원으로부터 동심원 방향으로 전파되고 모재의 표면에 도달되면 표면을 따라 전파한다. 이와 같은 탄성파는 신호의 감쇠없이 빠른 속도로 전파되며 물체의 물리적 내부 변화에 따라 나타나므로 이를 해석하는데 효과적인 도구로 사용된다. AE센서는 표면까지 전달된 탄성파를 탐지하여 전기적인 신호로 변환하여 취득할 수 있다. AE신호의 장점으로는 물체의 결함탐지 감도가 매우 높고 대상체의 구조나 결함의 크기 및 방향의 제한 없이 다른 방법으로 접근이 제한된 부위의 진단이 가능하다. 하지만 대상체의 응력이 작용하는 경우에만 적용이 가능하고 신호대 잡음비의 개선이 어려운 단점이 있다⁽⁸⁾.

2-3. 가속도 센서

기계가공에 의해 가공물을 제작하는 과정에서 공구의 움직임과 이송에 의해 공작물에 전해지는 진동을 가속도 센서를 이용하여 측정할 수 있다. 일반적으로 진동은 정지 위치에서 변화하는 물리적인 변위로 측정하기도 하지만 변위 이외에도 속도와 가속도로 표시하기도 한다. 진동의 모양과 주기는 그것이 변위, 속도, 가속도 중 표시방법에 상관없이 동일하다. 주요한 차이는 시간에 따른 위상차만 있을 뿐이다. 이러한 속도 변화를 측정하

여 공정진행간에 발생하는 가공물의 움직임을 분석함으로써 정적인 응력과 변형률 측정을 보정해 주는 동적특성을 추가할 수 있다⁽⁹⁾.

2-4. 공구동력계

공정이 진행되는 동안 절삭력의 변화는 가공 조건에 따라 특정 패턴을 지니고 있으며 대부분의 센서도 그 기본은 절삭력과 관련된 신호를 측정하는 것이 일반적이다. 공구동력계(dynamometer)를 이용하여 공정간에 발생하는 절삭력을 측정하면 공구에 미치는 역학적인 관계를 유추할 수 있다. 이를 바탕으로 공구의 형상 변화 및 마모, 파괴등을 예측할 수 있다⁽¹⁰⁾.

3. 실험장치 및 방법

3-1. 실험장치의 구성

본 실험에서는 브러시 공구를 직접 제작하여 공구의 제작에 있어 필요한 기초자료를 구축하는데 있다. 단위공구수(number of brush string)와 브러시 길이(brush length) 및 절삭깊이(depth of cut)에 따른 신호차이를 분석하여 디버링 공정에 있어 최적의 공구형상을 설계하는데 적합하도록 구성하였다. 가공 모재로는 너비(width)×높이(height)×두께(depth) 기준으로 40×100×2의 SC40 탄소강을 이용하였고, 공정간의 절삭력을 분석하기 위해 공구동력계를 이용하고 가공간 모재의 영향을 분석하기 위해 가속도 및 AE센서를 이용하여 측정하였다. 실험장치 및 브러시 공구는 다음과 같다(Fig. 1-2).

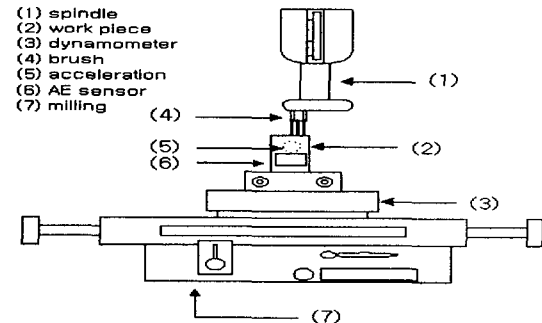


Fig. 1 Experimental apparatus diagram

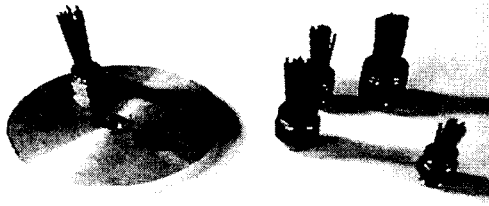


Fig. 2 Image of brush tool

3-2. 실험방법

브러시 수의 증가에 따른 신호차이를 분석하기 위해 브러시 단위공구수를 20, 30, 50으로 증가시키고, 브러시 길이를 20mm, 30mm, 40mm로 변화를 주어 신호를 취득하였다. 각 단위공구수에 따른 절삭깊이를 2~10mm까지 2mm씩 증가시켜 가공간의 변화를 확인하였다. 실험은 각 모듈(module)당 3회씩 실시하여 RMS 평균값을 취하였다.

4. 실험결과 및 분석

4-1. 가공조건별 AE

각 가공조건에 따른 AE신호를 취득하여 RMS 평균값을 취해 분석해 본 결과 브러시 단위공구수가 같을 경우에는 절삭깊이를 증가시켜도 AE신호의 변화는 크지 않았다. 하지만 브러시 길이의 증가에 따라서는 선형적인 변화추이를 나타내었다. 브러시 길이변화는 가공물의 내부 응력에 직접적인 영향을 주는 요소임을 확인할 수 있는 실험결과이다. 단위공구수 20의 브러시를 이용하여 절삭깊이 4mm가공을 수행한 실험결과를 Fig. 3에 나타내었다.

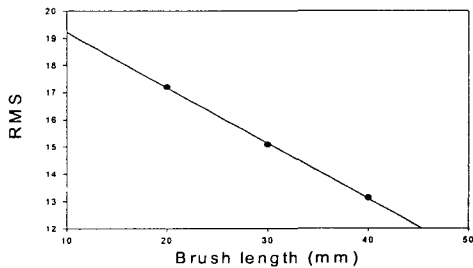


Fig. 3 AE signal

4-2. 단위공구수 변화

브러시 단위공구수를 20, 30, 50으로 변화를 주어 그에 따른 신호를 취득하였다. 단위공구수의 증가에 따라 절삭력의 선형적인 변화를 확인할 수 있었다. 같은 절삭평면에서의 Y축 방향의 경우에도 동일한 현상을 나타내었다. 다음은 브러시 길이 30mm, 절삭깊이 6mm에서 신호취득 결과이다(Fig. 4).

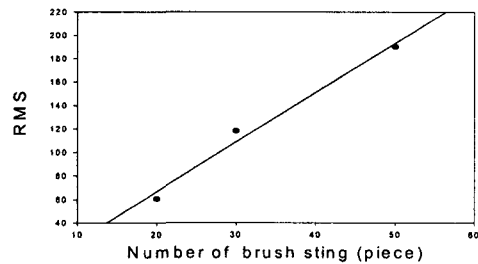


Fig. 4 X-axis dynamometer signal

가속도 센서의 경우에도 동일한 결과를 나타내었다(Fig. 5). 동일한 가공 조건하에서 절삭력 증가를 위해서는 브러시의 단위공구수와 절삭력과의 선형적인 관계를 이용하여 공구를 선택할 수 있다.

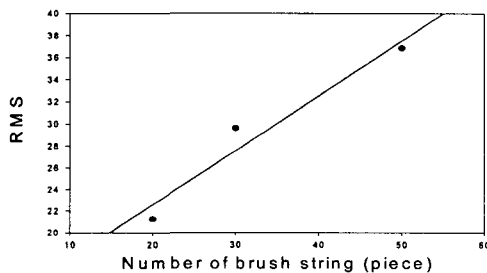


Fig. 5 X-axis acceleration signal

4-3. 절삭깊이 변화

절삭깊이와 절삭현상과의 상호관계를 확인하기 위해서 단위공구수는 20, 30, 50단위로 브러시 길이 30mm의 공구를 제작하여 절삭깊이를 2mm에서 10mm까지 2mm단위로 증가시켜 취득된 신호의 RMS 평균값을 구하였다. 절삭깊이의 증가에 따라서는 절삭력의 선형적인 증가

를 확인할 수 있었다. 절삭역학에서 절삭깊이에 따른 절삭력의 관계는 다양한 가정하에 이론식으로 많은 관계식이 유추되었다. 이번 실험을 통하여 브러시 연삭 가공에서도 같은 현상을 다시 한번 확인할 수 있었다. 다음 그림은 단위공구수 30, 브러시 길이 30mm의 공구동력계의 신호이다. (Fig. 6)

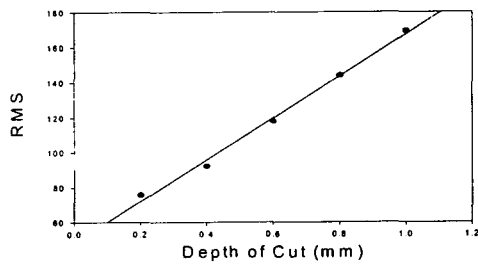


Fig. 6 X-axis dynamometer signal

단위공구수의 증가에 따른 실험결과와 마찬가지로 절삭깊이 증가에 따라 가속도 센서의 경우 동일한 결과를 나타내었다.(Fig. 7)

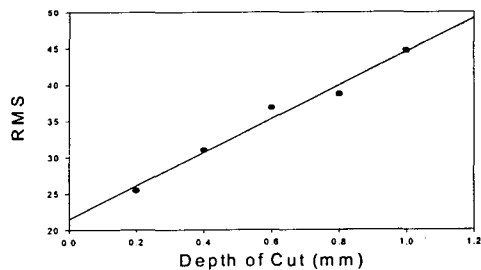


Fig. 7 X-axis acceleration signal

4-4. 브러시 길이 변화

브러시 길이 증가에 따른 취득 신호의 변화는 선형적인 결과를 나타내지 않고 2차 함수 형태를 나타내었다. 브러시 길이가 짧아짐에 따라 절삭력이 급격히 증가하는 현상을 확인할 수 있었다. 많은 절삭력이 요구되는 가공 조건하에서는 브러시 길이를 짧게 하는 것이 보다 효과적인 방법임을 확인할 수 있었다. 단위공구수 20, 절삭깊이 6mm의 브러시길이에 따른 실험 결과는 다음과 같다(Fig. 8).

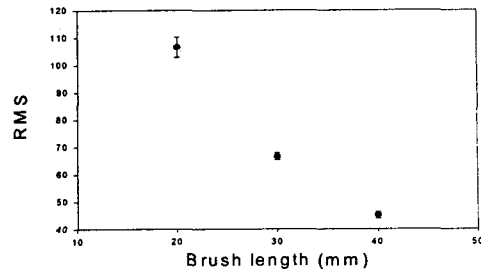


Fig. 8 X-axis dynamometer signal

브러시 길이에서도 다른 조건과 마찬가지로 공구동력계와 가속도센서의 신호변화 추이는 거의 비슷한 결과를 나타내었다(Fig. 9).

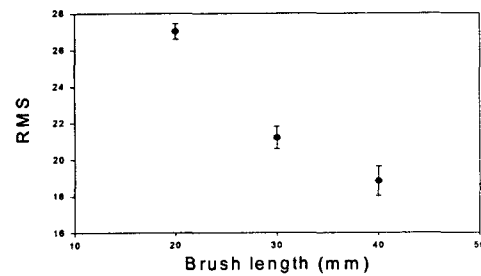


Fig. 9 X-axis Acceleration Signal

5. 결론

가공조건 및 브러시 공구의 특성 변화에 따라 신호취득 결과에 대해 알아보았다. AE신호의 경우 절삭깊이에 따른 신호변화는 거의 없었으나 브러시 길이 변화에 따라서는 민감한 반응을 보였다. 공구의 특성상 가공중에 모재와 공구의 접촉에서 공구의 변형, 즉 브러시의 휨 현상 때문에 절삭깊이에 따라서는 큰 영향이 없는 것으로 분석된다. 하지만, 브러시 길이의 증가에서는 공구동력계의 신호취득 결과에서 나타난 절삭력의 급격한 증가가 가공물 내부응력 증가에 큰 영향을 주는 것으로 확인할 수 있었다. 브러시 단위공구수의 증가는 절삭력의 선형적인 증가를 나타냈지만, 브러시 길이의 증가에 따라서는 절삭력의 급격한 감소현상을 보였다. 단위공구수를 감소시키고 브러시 길이를

증가함으로써 브러시 변형을 예방하고 수명을 연장할 수 있다는 결론을 얻었다. 하지만, 디버링 효과는 결과적으로 적어지는 효과가 발생했다. 버의 형상과 디버링 공정을 위한 최소한의 절삭력을 사전에 분석할 수 있다면, 그에 적합한 브러시 공구의 설계에 많은 도움을 주리라 예상된다.

단일 브러시 연삭 가공에서 공구의 특성 변화 요인 즉, 단위공구수, 브러시 길이 및 절삭깊이 변화에 따른 가공공정간에 신호 차이에 대해 알아보았다. 브러시 균을 추가 제작하여 브러시 각도에 따른 가공공정을 분석하고 이를 바탕으로 구축된 데이터 베이스를 이용하여 최적의 공구형상과 공정을 설계, 예측하는 프로그래밍을 개발할 예정이다. 신경망 기법을 도입하여 가공 조건 변화에 따른 신호차이를 분석하고 이를 바탕으로 학습을 통해 브러시 연삭공정을 보다 효율적으로 해석하는 접근 방법을 구현할 것이다. 여기에 화상처리 시스템을 이용하여 브러시 공구 변형을 해석하고 가공 조건과의 상관관계에 대한 알고리즘 구현을 적용할 것이다.

참 고 문 헌

1. 박동삼, "Burr의 In-process 계측에 관한 연구", 한국정밀공학회 96년도 춘계학술논문집, pp.242~246, 1996.
2. Laroux K. Gillespie, "Design to reduce deburring", American machinist, Nov. 1985.
3. F. M. Proctor, K. N. Murphy "Advanced deburring system technology".
4. 신상운. "숙련자 기술을 이용한 디버링 공정의 자동화에 관한 연구", 한국정밀공학회 96년도 춘계학술논문집, pp. 685~688, 1996.
5. M. G. her, H. kazerooni "Automated robotic deburring of parts using compliance control", Transactions of the ASME, Mar. 1991.
6. Robert J. Stango, Lienfing Chen, Vikram Cariapa " Automated deburring with a filamentary brush : Prescribed burr geometry,

Journal of manufacturing science and engineering, Vol. 121, pp385~392, Aug. 1999.

7. 이두수, 박제택, 디지털 신호 처리의 기술, 탐 출판사.
8. Acoustic emission, Physical acoustics corporation.
9. Vibration and noise, Principle and practice.
10. 양민양, 절삭가공 이론과 실체, 청문각, 1997.