

가공의 진전에 따른 표면의 프랙탈 차원 해석

Fractal dimension analysis of machined surface according to machining progress

최임수*, 이기용(부산대 대학원), 강명창(부산대 기계기술연구소), 이득우, 김정석(부산대 ERC/NSDM)
Im-Su Choi, Ki-Yong Lee(Graduate School, Pusan Univ.), Myeong-Chang Kang(RIMT, Pusan Univ.),
Deug-Woo Lee, Jeong-Suk Kim(ERC/NSDM, Pusan Univ.)

Abstract

The quality and functionality of machined products is determined by surface finish. The surface roughness is characterized by roughness parameters such as R_a and R_{max} . While such parameters are useful to define the quality of surface, they are not sufficiently descriptive characteristics of surface.

The fractal dimension which can describe characteristics of surface roughness than conventional roughness parameters has been applied.

In this work, Relation between fractal dimension and surface roughness will be examined as a means of characterizing surface roughness.

Key Words : Surface roughness(표면 거칠기), Fractal dimension(프랙탈 차원), Box-count(박스 카운트), Tool wear(공구 마멸)

1. 서론

표면 거칠기는 마찰, 소음, 광택 등에 영향을 크게 미치며, 기계제품의 기능과 품질을 좌우하는 중요한 요소이다. 이러한 표면 거칠기는 중심선 평균 거칠기 R_a 와 최대높이 거칠기 R_{max} 이외에 많은 파라미터로 표현되지만 이러한 파라미터들로는 표면의 특징을 설명하는데 부족한 점이 존재한다.^[1]

표면 거칠기의 특성을 더욱 명확히 나타내고자 하는 시도로서 프랙탈 차원을 통한 표면 거칠기의 특성에 대한 연구들이 수행되었는데^[2], 확장된 개념인 다중 프랙탈 차원(multiple fractal dimension)을 도입하여 해석하면 좀 더 많은 정보를 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 엔드밀 가공에서의 공구 마멸에 따른 표면 거칠기의 변화와 다중 프랙탈 차원에 대한 관계를 살펴보고 프랙탈 차원이 공구 마멸

에 따른 가공 표면의 거칠기의 특성을 설명할 수 있음을 알아보려고 한다.

2. 프랙탈 차원

2.1 프랙탈 차원 해석

프랙탈 차원 알고리즘 중에서 박스카운트(box-count)차원은 가장 보편적으로 사용되는 것 중 하나로 원리는 다음과 같다.^[3] Fig. 1 처럼 프로파일이 2차원 평면상에서 존재할 때, 곡선을 가로와 세로의 길이가 1인 정사각형내에 위치시킨 후 1/2의 크기로 분할시키며 격자의 크기는 분할횟수와 반비례하여 작아지게 된다. 분할을 계속하여 격자가 어느 이상 작아지면 격자의 분할 수와 데이터를 포함한 격자 개수의 로그좌표 그래프(Richardson plot)는 거의 근사적인 직선으로 나타나게 되며 그 기울기로써

박스카운트 차원 D 를 정한다. 일반적인 식은 식 (1)과 같으나 실제 데이터의 개수가 제한적이므로 식 (2)로 표현된다. 여기서 ε 은 격자의 크기이며 N 은 데이터를 포함한 격자의 총개수이다.

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log(1/\varepsilon)} \quad (1)$$

$$D \approx \frac{\Delta[\log N(\varepsilon)]}{\Delta[\log(1/\varepsilon)]} \quad (2)$$

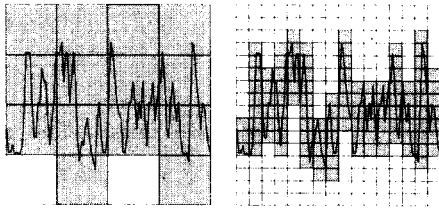
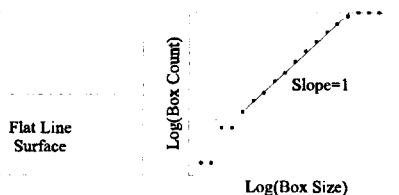


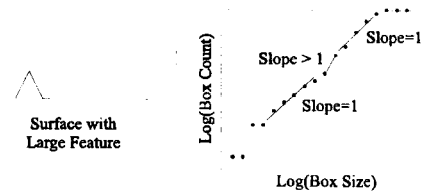
Fig. 1 Counting all boxes that intersect the profile

2.2 다중 프랙탈 차원

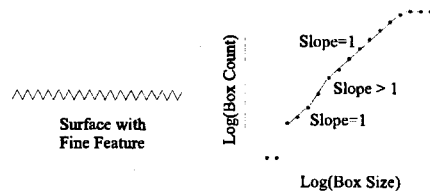
Mandelbrot가 정의한 원래의 프랙탈 구조는 확대율에 상관없이 유사한 패턴이 무한히 반복되고, 이들은 동일한 프랙탈 차원을 가진다. [4] 일반적인 데이터나 형상의 프로파일에서는 크기의 범위에 제한이 있으며 유사하지만 가로와 세로의 비율이 다른 패턴으로 관측된다. 실제의 표면 거칠기 프로파일에서는 큰 거칠기 성분과 작은 거칠기 성분이 동시에 분포하는데, 크기가 다른 거칠기 성분에 대한 프랙탈 차원 값이 Richardson plot에 함께 존재하게 된다. 즉 거칠기 성분의 크기에 대한 격자의 크기에서 프랙탈 차원에 영향을 미치는 것이다. 예를 들어 (b)와 (c)은 기울기가 1보다 큰 지점(transition zone)의 격자 크기에 해당하는 거칠기 성분을 가진다. 위의 내용을 그림으로 설명하면 Fig. 2와 같다.



(a) Flat line surface



(b) Surface with large feature



(c) Surface with fine feature

Fig. 2 Location of transition zone corresponding to the feature size

3. 실험장치 및 구성

3.1 실험장치의 구성

본 실험을 위한 장치도는 Fig. 3과 같다.

NC 밀링에서 네 날의 평 엔드밀을 사용하여 측면 가공을 행하였으며, 촉침식 표면 측정기를 사용하여 표면 거칠기 데이터를 PC로 전송하였으며, 확대렌즈와 CCD를 이용하여 표면의 형상을 획득하였다. 사용된 공작물의 재질은 금형강 STD11이다.

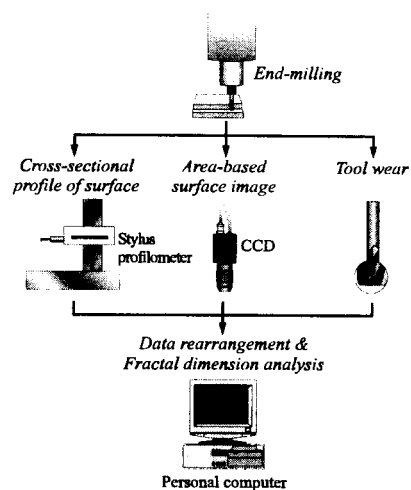


Fig. 3 Schematic diagram of experimental setup

3.2 실험방법

본 실험은 프랭크 마멸이 빠르게 일어날 수 있도록 조건을 선정하였다. 8000RPM의 절삭 속도와 0.01mm의 날 당 이송량을 주었고, 공구 날에 충격을 최소로 주기 위해 공구 반경 방향의 절삭깊이를 0.05mm로 하여 하향 및 건식절삭을 하였다. 가공은 시편 한 개 당 500mm씩 절삭한 후 공구마멸을 측정하여 버닝(burning)현상이 일어나 더 이상의 가공이 어려울 때까지 절삭을 수행하였으며 표면 거칠기는 0.8mm 차단 필터를 사용하여 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 절삭길이에 따른 표면 거칠기와 공구마멸의 변화

일반적으로 절삭이 진행되면 공구마멸이 커지고 그와 더불어 표면 거칠기가 나빠지게 된다. 본 실험에서도 어느 정도의 공구마멸에 대해서 표면 거칠기가 거의 일정하다가 3000mm 절삭 이후에 급격한 변화를 보였는데 이 때의 표면 패턴은 변화 이전의 상태와 비교하여 다른 형태를 보였으며 버닝 현상의 조짐이 보이기 시작하였다. 공구마멸이 0.14mm까지 진행되었을 때 표면 거칠기가 급격히 나빠지고 공구의 칩핑(chipping)이 심하게 나타났다.

절삭길이에 따른 가공 표면의 사진과 표면 거칠기 그래프를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다.

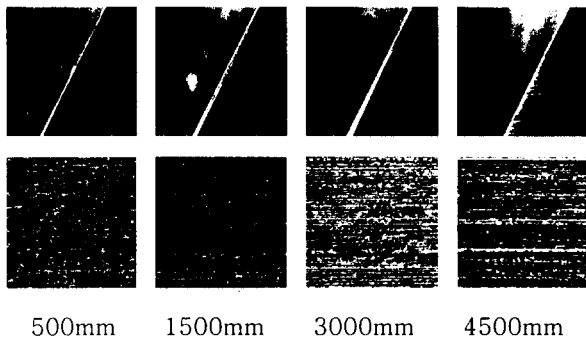


Fig. 4 Photographs of Tool wear and machined surface

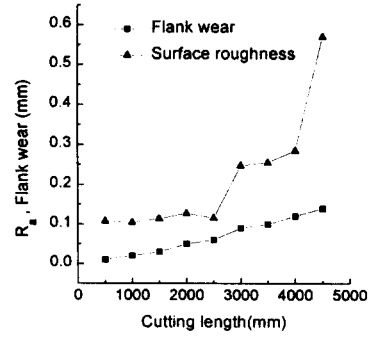


Fig. 5 Variation of surface roughness and flank wear depending on cutting length

4.2 표면 거칠기의 다중 프랙탈 분석

공구마멸에 따른 표면 거칠기와 단일 프랙탈 차원과의 비교는 유사한 경향을 보이지만, 다중 프랙탈 차원을 사용하여 분석하면 거칠기 성분에 대한 격자의 크기에 대응되는 기울기에 따라 표면 거칠기가 어떠한 크기의 성분들로 이루어져 있는지를 알 수 있다. 먼저 Fig. 6에서 표면 거칠기 R_a 와 프랙탈 차원과의 전체적인 경향을 볼 수 있다.

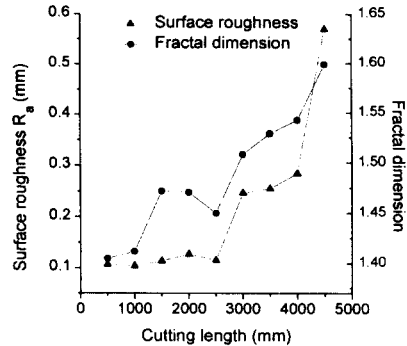


Fig. 6 Variation of surface roughness and fractal dimension depending on cutting length

각 절삭길이에 대해서 Fig. 7 거칠기 프로파일과 Fig. 8의 Richardson plot을 살펴보면 각 거칠기 성분에 대한 프랙탈 차원을 알 수 있다.

표면이 거칠어 질수록 Fig. 8의 프랙탈 곡선의 유효구간이 우측으로 이동함과 동시에 부분적인 프랙탈 차원값이 커짐을 볼 수 있다. 프랙탈 차원이 크다는 것은 해당되는 거칠기 성분이 더 조밀하다는 것

으로 생각할 수 있다.

Fig. 8 (a), (b), (c)에서는 작은 거칠기 성분에 해당되는 구간의 좌측 끝이 거의 동일하지만 (d)에서는 다른 것보다 커졌음을 알 수 있으며 가공의 진행에 따라 구간의 우측 끝이 큰 격자 크기쪽으로 이동함을 알 수 있으며 Fig. 9에서 확인할 수 있다. 다중 프랙탈 차원의 이러한 경향은 표면의 프로파일과 비교했을 때 R_a 같은 파라미터와는 다른 정보를 제공한다고 할 수 있다.

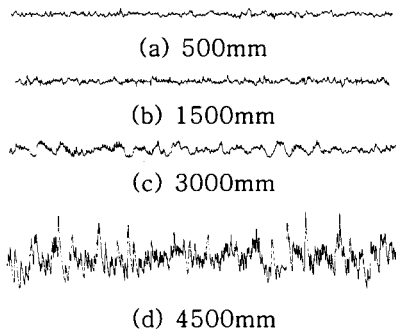


Fig. 7 Surface profiles according to each cutting length

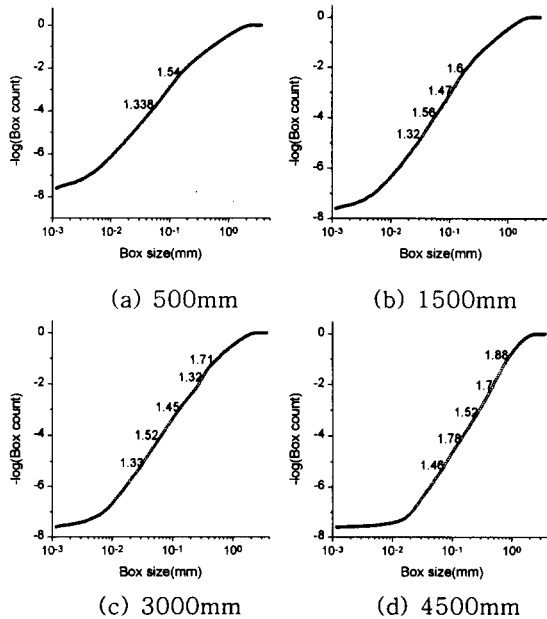


Fig. 8 Variation of fractal dimension according to each cutting length

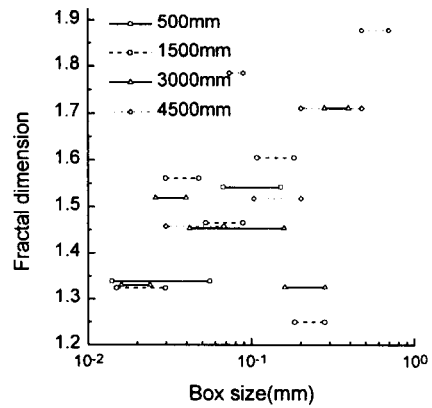


Fig. 9 Comparison of fractal dimensions for each cutting length

5. 결론

- (1) 프랙탈 차원과 표면 거칠기 파라미터 R_a 는 유사한 경향을 보인다.
- (2) 다중 프랙탈 차원 분석은 표면 거칠기의 성분에 대한 특성을 나타내고 있으며, 표면의 상태 변화에 따라 뚜렷한 차이를 보였다.
- (3) 프랙탈 차원을 사용하여 거칠기 패턴을 분석한다면 공구마멸에 따른 가공상태를 설명할 수 있다.

참고문헌

1. S.Chesters, H.Y.Wen, etc., "Fractal-based Characterization of Surface Texture", Applied Surface Science 40, pp. 185-192, 1989
2. A.Majumdar, C.L.Tien, "Fractal characterization and simulation of rough surface", Wear, 136, pp. 313-327, 1990
3. H.Jurgens, et al. "Chaos and Fractals : New Frontier of Science", New York, John Wiley, 1993
4. B.B.Mandelbrot, "The Fractal geometry of Nature", Freeman, San Francisco, CA, 1983.