

레이저 표면개질에 의한 경화면과 마찰면의 차원 해석

조연상*, 원두원, 옥철호(동아대원), 박홍식, 전태옥(동아대)

Topographical of Analysis Dimension by Laser Hardened Surface

Yon-Sang Cho, Doo-Won Won, Chul- ho ok,
Heung- Sik Park, Tae- Ok Jun

ABSTRACT

The determination of surface topography is believed to be extremely important in the areas of contact mechanics, adhesion and friction. In order to describe topography of various frictional surface, the harding test was carried out under different experimental conditions in dry friction. And fractal descriptors was applied to frictional surface of laser modified steel with image processing system. These descriptors to analyze surface structure are fractal dimension. Surface fractal dimension can be determined by sum of intensity difference of surface pixel. Topography of frictional surface can be effectively obtained by fractal dimensions

Key Words : Topographical analysis, Image Processing, Fractal Dimension, Intensity Difference..

1. 서 론

일반적으로 두 고체면 사이에서의 마찰과 마멸은 고체면의 불연속적인 접촉점의 접촉에 의한 것으로 이러한 접촉은 윤활조건하에 있더라도 발생되며, 이때 마찰면의 상태는 접촉부의 응착 및 마찰과 마멸에 매우 중요하게 작용한다. 따라서 상호접촉운동을 하는 마찰면에 대한 해석은 마찰 및 마멸상태를 설명하기 위하여 오래 전부터 유용한 수단으로 사용되어 왔다.⁽¹⁾

이러한 마찰면과 경화면의 해석에 이용 방법은 크게 (1) 탐침(stylus profiling)에 의한 방법, (2) 전자현미경(electron microscope)에 의한 방법, (3) 광학적(optical) 방법으로 구분할 수 있다. 여기서 탐침에 의한 측정방법은 탐침의 접촉반경의 함수로써 산과 골 사이의 높이 상태를 측정하여 표면 거칠기와 마찰면의 형상을 해석하기 위한 가장 보편적인 방법이지만 측정하고자 하는 면의 위치에 대한 의존도가 매우 높고 세밀한 부분의 정

밀측정 시에는 탐침의 접촉반경에 의한 영향이 크며, 거칠기의 크기에 대한 규정이 매우 중요하다. 그리고 전자현미경에 의한 방법은 매우 세밀한 부분까지 정밀하게 측정할 수 있다는 장점을 가지고 있지만 장비의 설비비용이 매우 높고 장비운용에 대한 전문적인 지식이 필요하다.^(2~3)

또한, 최근 들어 광학 기기의 기술적인 발달과 더불어 디지털 영상처리 기술이 급속도로 발전함에 따라 낮은 설비비용과 간편한 조작으로 광학 현미경을 통하여 얻은 마찰면의 영상정보의 고속처리가 가능해짐으로써 광학적 방법에 의한 마찰면의 해석이 활발히 진행되고 있다. 그러나 국내에서는 마찰면의 영상으로부터 마찰 및 마멸상태를 해석하기 위하여 복잡하고 다양한 형태를 갖는 마찰면의 형상에 대한 객관적인 정보를 획득하는 알고리즘이 확립되어 있지 않고, 단지 획득한 영상정보의 저장에만 활용되고 있는 실정이다. 따라서 마찰면의 영상정보로부터 그 형상 특징을 해석하기 위한 방법이 구축되어지면

보다 효율적인 마찰 및 마멸 상태의 해석이 가능해지리라고 생각되어진다.

이에 대한 알고리즘을 확립하기 위하여 본 연구에서는 자연계의 구조적 불규칙성, 즉, 해안선이나 산의 형상과 같은 비선형적인 형상특징을 묘사하기 위하여 만델브로트 (Mandelbrot)⁽⁴⁾가 처음 제시한 개념인 프랙탈 (Fractal) 차원을 적용하였다. 프랙탈 차원이란 자연계에 존재하는 불규칙적인 물체들에 대하여 그 불규칙성을 정의하여 자연물의 특징을 수치화 하여 표현한 것으로, 유클리드 (Euclid) 기하학에서 표현하고 있는 정수차원의 개념이 아닌 소수 차원의 개념으로 명확히 정의할 수 없는 성질인 어떤 물체의 거칠 거칠한 정도, 부서진 정도, 그리고 불규칙한 정도를 나타내어 주는 값이다. 또한 프랙탈 차원에 의한 해석 방법은 면의 크기, 형상 또는 색상정보 등에 대하여 완벽하고 정확한 정보를 필요로 하지 않으며 다양하고 불규칙적인 마찰면에 대하여 쉽게 적용할 수 있기 때문에 보다 간편하고 빠르게 해석할 수 있다는 장점이 있다.⁽⁵⁻⁷⁾ 이처럼 마찰에 의하여 생성된 마멸기구를 보다 명확하게 하기 위해서는 마찰면의 미시적 관찰이 선행되어야 하지만 현재까지 마찰면의 기하모델이 확립되어 있지 않고 단순한 기하모델에 의존하고 있을 뿐이다. 이의 가장 원인은 마찰면에 형성된 미세凹凸을 3차원적으로 측정하고 데이터를 처리하는 작업이 매우 번잡하다는 것과 규격에 정해져 있는 표면거칠기의 파라미터가 마멸기구의 상관성을 정의하기가 무척 어렵기 때문이다. 이를 위해서는 표면凹凸의 특징을 제어하고 표현할 수 있는 상사모델이 가능하다면 컴퓨터의 알고리즘에 의하여 이의 해명에 큰 기여가 기대되기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 이와 같은 차원해석의 특성을 이용하여 레이저 경화강의 경화면과 마찰면의 형상적 특징을 정량적인 데이터로 수치화하여 영상정보로부터 형상해석을 하

여 레이저 경화강의 경화면 상태와 마찰면 상태를 규명하고자 하는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험방법

2.1 레이저빔 조사방법

Fig. 1은 레이저 빔 조사에 대한 개요도로써 레이저 조사는 레이저 발진장치에서 옵티컬 파이버로 유도된 레이저 빔을 포커스 헤드에 집광시키고, 이 포커스 헤드의 높이를 조절하여 디포커스 거리에 따라 시험편 표면이 렌즈의 초점 높이가 되도록 조절하였다. 그리고 시험편은 X-Y스테이지 구동 로봇 위에 시험편을 고정시켜, 일정한 속도로 회전시킴으로써 표면을 자기냉각에 의한 용해 및 냉각시켜 표면경화 처리를 행하였다. 또한 포커스 헤드의 내부의 렌즈를 보호하기 위한 실드 글라스의 보호를 위해 헤드 측면에 아르곤(Ar)가스를 분당 15 l/min로 분사시켰다. 시험편이 1회전하는 시간은 15 sec이며, 테이블의 회전속도는 10 mm/s, 펄스 수는 10 pps로 하였다. 최초 스폿(spot) 위치를 찾아 초점 위치를 정하고 (디포커스거리 0 mm), 그 위치를 기준으로 하여, 렌즈가 멀어지는 방향으로 초점거리를 이동하여 표면 경화를 행하

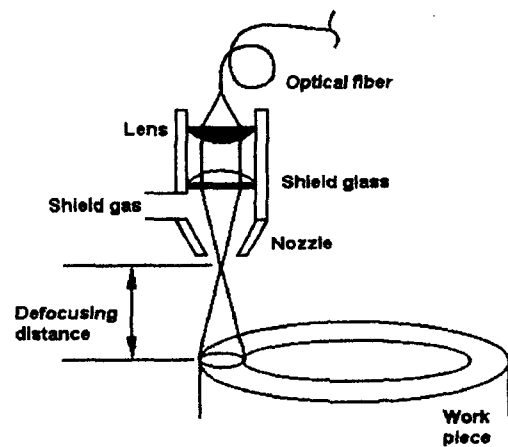
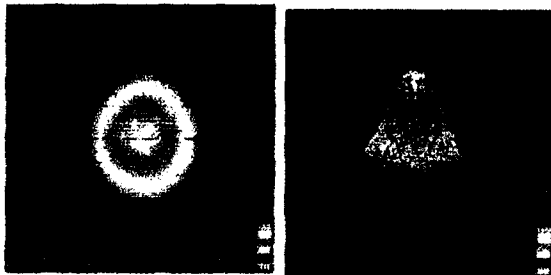


Fig. 1 Schematic view of laser irradiation

였다. 마찰·마멸시험편인 SM45C의 표면경화 조건은 디포커스 거리 8mm, 에너지밀도 3 J/s, 펄스폭 3ms 및 조사속도 10mm/s로 행하였다.

Fig. 2는 펄스 레이저의 형상을 계측하여 화상 분석한 것으로 (a)와 (b)는 각각 2차원 및 3차원 화상을 나타내고 있다. 30W 및 50Hz의 조건으로 조사하여 빔 형상을 계측한 것이다. 계측된 형상은 싱글모우드에 가우스 안 분포를 가지며 빔 직경은 연속파 YAG 레이저 빔과 비슷한 600~700 μm 정도이지만 빔의 밀도 분포는 보다 우수하게 나타나고 있다.



(a) 2 dimension (b) 3 dimension
Fig. 2 Laser beam profile of pulsed YAG laser

2.2 마찰·마멸 실험

Fig. 3은 본 연구에 사용된 마찰·마멸시험기의 개략도를 나타내는 것으로서, 작용 하중은 상부 시험편 지지부에 사하중을 걸어 가압하는 구조로 되어 있으며, 미끄럼 속도는 AC모터를 이용하여 V-belt로 구동시킴으로써, 속도제어를 위해서 인버터(Inverter)를 이용하여 0.1~0.7 m/s 까지 무단구동 하였다. 이때의 다양한 마찰조건의 변화에 따른 마찰력은 상부 시험편 지지부의 판스프링에 스트레인게이지(strain gauge)를 부착하여 이를 증폭기로 증폭하고 A/D 변환기로 변환시켜 PC를 통하여 마찰계수를 측정하였다. 하부시

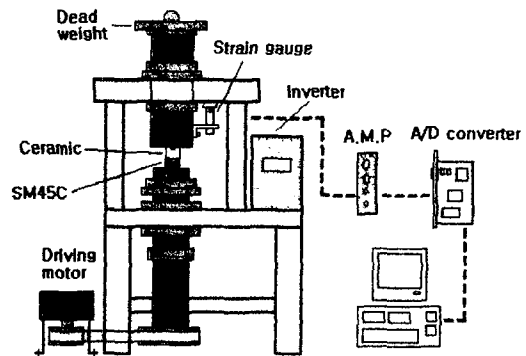


Fig. 3 Schematic diagram of experimental unit

편은 펄스 Nd-YAG 레이저⁽⁸⁾로 표면경화한 SM45C를 사용하였고, 상부시험편은 상대재료로 소결한 순도 95%의 알루미나 세라믹스(Al_2O_3 ceramics)를 사용하였다.

그리고 실험의 작동조건으로는 Table 1.에서 보는 바와 같이 작용하중을 5kg 와 10kg로 설정하여 미끄럼 거리와 미끄럼 속도의 변화에 따라 각각 마찰실험을 행하였다. 미끄럼거리를 최대 3km 까지 하였으며, 또한 이를 분할하여, 0.5 km, 1 km, 1.5 km, 2 km, 및 3 km의 5부분으로 세분화하여 마찰시험을 행하여 마찰면 상태를 조사하였으며, 미끄럼 속도는 0.1~0.7 m/s까지 0.2 m/s씩 일정한 간격으로 증가시켜 4단계로 구분하여 마찰실험을 하였다. 이 때 얻어진 레이저 표면경화강의 마찰면에 대하여 광학현미경을 이용한 영상처리 시스템으로 영상을 받아 프랙탈 차원값을 계산하였다.

Table 1. Experimental condition for SM45C

Sliding distance (km)	Load (kg)	Sliding speed (m/s)
0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0	5, 10	0.1, 0.3, 0.5, 0.7

Fig. 5는 프랙탈 해석에 필요한 경화면과 마찰면 상태의 영상정보를 얻기 위하여 사용

된 공구현미경의 광원을 나타낸 것으로 빛에 의해 생기는 그림자영역을 제거하고, 빛의 농도에 의한 표면의 굴곡상태를 얻기 위하여 90°의 방향에서 입사각 45°로 표면에 조사하였으며, 빛의 회절에 의한 오차를 최소화하기 위하여 단색에 근접한 적색 램프를 사용하였다.

그리고 각 실험조건의 시험편에 대하여 모두 대물렌즈 10배, 대안렌즈 10배로서 입의 위치에 있는 표면의 영상을 5개씩 추출하였으며, 각각의 표면의 영상에 대하여 적색 필터링(filtering)의 영상처리^(7,8)를 통해 표면의 명암에 의한 굴곡을 명확히 하였다. 이렇게 영상처리에 의해 추출되어진 표면의 명암 굴곡으로부터 표면의 형상 프랙탈 특징을 구하였으며, 경화면 영상의 명암 차이를 이용하여 3차원 영상 모델링을 행하였다.

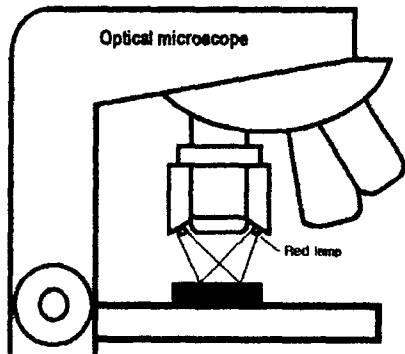


Fig. 4 Optical microscope of light source

2.3 프랙탈 차원의 계산

프랙탈 차원은 표면거칠기의 영역에 있어서 경화면의 미세형상을 완전하게 표현하지는 못하지만 미세형상의 불규칙한 정도를 나타낼 수 있다. 경화면의 불규칙한 정도는 백색잡음과 규칙적인 변동과의 사이에 존재하고, 어느 정도 불규칙한가를 정량적으로 표시하는 것이 프랙탈 차원이다.

프랙탈 형상의 본질인 자기유사성(self-si-

milarity)으로 형상 일부를 확대 또는 축소 한 형상이 서로 같은 모습을 유지하는 특성이 있다. 이 특성으로 인하여 다음 식 (1)에 의하여 정의되는 프랙탈 차원은 Koch곡선의 굴곡의 정도를 나타내게 된다.

여기서 F_d 는 프랙탈 차원이며, δ 는 곡선의 투영길이(initiator)를 1로 가정했을 때 특정 단계(step) 곡선에서의 직선의 구간길이이고, N 은 각 단계 곡선을 구성하고 있는 직선 구간의 개수이다. 따라서 Fig. 1에 나타낸 Koch 곡선의 프랙탈 차원은 Step 1의 경우에서 보면 $N=4$, $1/\delta=3$ 이므로 식 (1)에 의하여 $F_d = 1.2619$ 가 된다.

$$F_d = \frac{\text{Log } N}{\text{Log } (1/\delta)} \quad (1)$$

Fig. 5는 프랙탈 차원의 계산방법을 나타낸 것으로서, 컴퓨터 영상처리를 통하여 얻어진 레이저 조사면을 일정한 영역을 정하여 그 경계내에 있는 화소들에 대하여 행 또는 열의 방향으로 일정한 간격(step)만큼 떨어진 화소와의 명암의 차이를 모두 합하고, 다시 화소의 간격을 달리하여 명암 차이의 합을 구한 후 이를 대수의 값으로 변화하여 직선

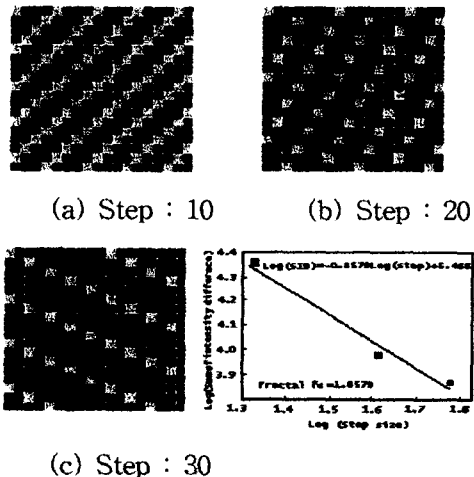


Fig. 5 Determination method of surface fractal dimension

의 기울기를 구하였다. 이 직선의 기울기는 $1 - F_d$ 값으로 정의되어지며,⁹⁾ 이것으로부터 프랙탈 차원 F_d 값을 계산하였다.

여기서 화소간격의 크기가 적을수록 미시적으로 변화하는 형태에 대한 불규칙성을 나타내며 간격의 크기가 클수록 거시적으로 변화하는 형태에 대한 불규칙성을 표현한다. 일반적으로 면의 거칠거칠한 정도, 부서진 정도와 같이 그 형상적인 특징이 거시적으로 변화하는 면에 대한 프랙탈 해석을 하기 위하여 화소의 간격을 크게 설정하고 있다.¹⁰⁾ 또한 각각의 면의 영상에 대하여 미시적으로 변화하는 면의 형상과 거시적으로 변화하는 면의 형상을 살펴보기 위하여 화소의 간격크기를 10화소씩 증가하여 10, 20 및 30의 3단계로 설정하였을 때의 레이저 경화면의 프랙탈 차원을 구하여 해석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 디포커스 거리에 따른 경화면의 표면거칠기

Fig. 6은 에너지 출력 3J/s, 펄스 폭 3ms로 일정하게 한 경우 디포커스 거리 D 의 증가에 따른 표면거칠기 Ra 값을 나타낸 것으로, D 가 증가할수록 Ra 값이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 D 가 증가함에 따라 빔의 중첩이 이루어지지 않게 되어 완전한 표면경화가 이루어지지 않았으며, 레이저 빔의 입열량의 감소에 의한 빔의 세기가 감소 인한 오브랩 현상이 줄어들어 Ra 값이 감소한 것이라 생각된다. 따라서 레이저 조사면의 일정한 경화층과 표면거칠기를 얻기 위해서는 적절한 D 의 선정이 필요하다고 생각된다

Fig 7은 디포커스 거리 D 의 증가에 따른 레이저 빔의 표면거칠기를 나타낸 광학현미경 사진으로서, $D=6$ mm의 경우에는 중심으로부터 원형 물결모양의 경화층을 형성되

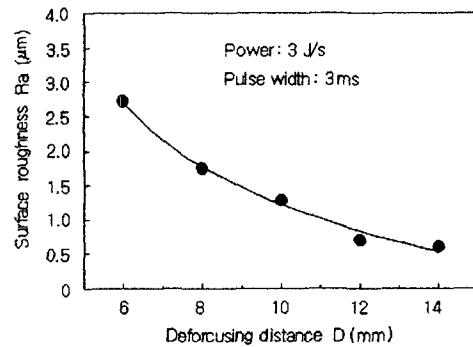


Fig. 6 Surface roughness of surface roughness vs. defocusing distance

어 표면이 거칠게 나타나고 있지만, D 가 증가할수록 레이저 경화면 넓이와 면적이 증가하여 표면거칠기는 좋아지는 것을 볼 수 있다. 특히, $D=12$ mm가 되면 원형의 경화형상을 유지하지 못하여, 완전히 경화되지 못하고 있다는 것을 볼 수 있다. 따라서 레이저 빔의 초점거리가 12mm 이상이 되면 빔의 강도저하로 인하여 에너지 밀도가 감소하여 표면거칠기는 좋아지지만 거의 표면 경화층이 나타나지 않았다.

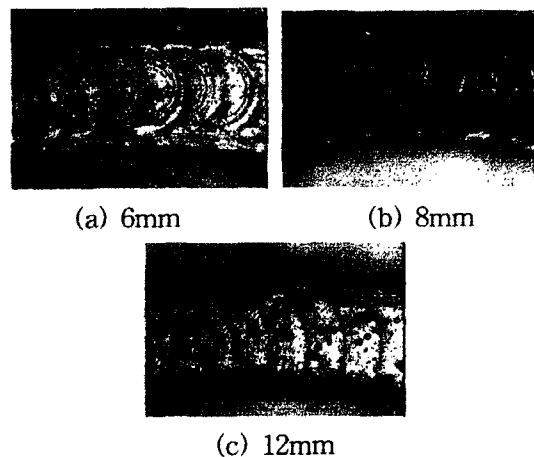


Fig. 7 Micrographs of cross section on defocusing distance

Fig. 8은 Fig. 6과 동일한 조건에서 D 의 증

가에 따른 컴퓨터 화상처리에 의한 픽셀 수에 대한 각각 프랙탈 차원값 (F_d)을 나타낸 것으로, 이 값은 식 (1)의 계산으로 구한 것이다. D 의 증가에 따른 프랙탈 차원값은 Fig. 6의 표면거칠기 Ra 값과 유사한 경향을 가지고 있으며, 또한 알고리즘으로 계산된 프랙탈 차원값은 경화면 표면거칠기의 정도를 측정하는데 매우 유용한 수단이라고 생각된다.

3.2 프랙탈 차원의 특성

레이저 빔을 조사한 가공물의 표면거칠기는 생산속도와 직접관련이 있으며, 생산속도를 증가시키기 위해서는 후가공을 배제해야 한다. 현재까지 가공물의 표면거칠기는 기존의 표면거칠기 시험기를 사용하여 거시적인 표면형상에 대하여 조사하였지만 이 방법은 프루브(probe)를 사용하기 때문에 프루브가 닿지 않는 미세한 요철부는 측정하지 못하는 단점을 가지고 있었다. 따라서 레이저 조사한 경화면의 후가공을 배제하기 위하여 보다 새로운 계측방법인 프랙탈 차원값을 구하는 알고리즘을 구축함으로써 기존의 표면거칠기와 비교함으로써 경화면의 표면의 형상정보를 보다 빠르고 정확한 표면의 형상정보를 얻고자 하였다.

Fig. 8은 Fig. 6과 동일한 조건에서 D 의 증가에 따른 컴퓨터 영상처리에 의한 픽셀 수에 대한 각 프랙탈 차원값 (F_d)을 나타낸 것으로, 이 값은 식 (1)의 계산으로 구한 것이다. D 의 증가에 따른 프랙탈 차원값은 Fig. 8의 표면거칠기 Ra 값과 유사한 경향을 가지는 것에서 본 연구의 알고리즘으로 계산된 프랙탈 차원값은 경화면 표면거칠기의 정도를 측정하는데 매우 유용한 수단이라고 생각된다. 본 연구에서 구축한 프랙탈 차원값은 화소 수는 20 화소가 가장 표면거칠기의 가장 잘 나타내 준다는 것을 알 수 있다.

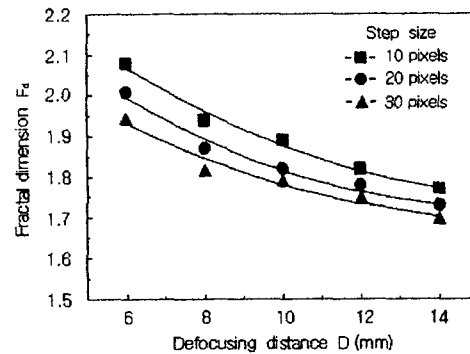


Fig. 8 Fractal dimension vs. defocusing distance

Fig. 9는 디포커스 거리 D 에 따른 경화면의 3차원 모델링 형상을 나타낸 것으로 디포커스 거리가 증가함에 따라 경화면의 표면거칠기가 좋아짐을 알 수 있다. 그리고 Fig. 9에 따른 경화면의 프랙탈 차원값을 보여주고 있다. D 가 증가할수록 프랙탈 차원값은 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 디포커스 거리

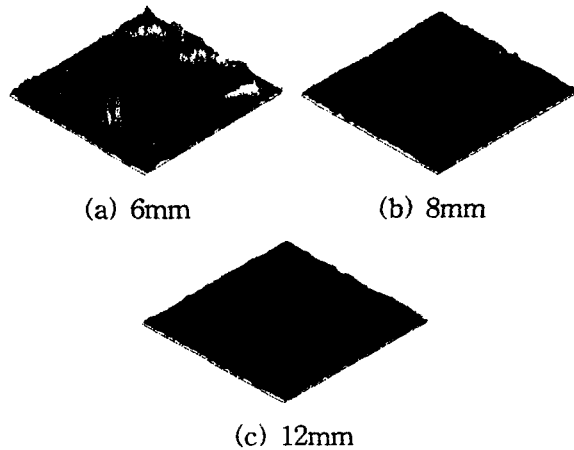


Fig. 9 Simulation of rubbed surface by image processing

가 감소할수록 프랙탈 차원의 값이 크다는 것을 알 수 있다. 이는 초점거리가 증가함에 따라 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 경화면의 굴곡형상이 작게 나타내고 있으며, 에너지의 입열량이 감소로 인한 표면의 거칠기가 좋아짐을 보여준다고 생각한다.

3.3 미끄럼거리에 따른 프랙탈 차원과 표면거칠기

Fig. 10은 미끄럼속도 0.1 m/sec, 작용하중 10 kg로 일정하게 하고, 화소 간격의 크기 2 화소와 20화소에 대한 미끄럼거리 변화에 따른 마찰면의 프랙탈 차원의 값(F_d)을 나타낸 것이다.

여기서 화소간격의 크기를 2화소씩 증가시켰을 경우 미끄럼 거리가 증가함에 따라 프랙탈 차원의 값이 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 화소간격의 크기를 20화소씩 증가시켰을 경우에는 프랙탈 차원의 값이 감소하고 있음을 알 수 있다. 프랙탈 차원값은 그 값이 클수록 면의 형상적 특징이 매우 불규칙적이고 복잡하며 면의 굴곡의 변화가 심하다는 것을 나타내는 것으로써 화소간격의 크기를 20화소씩 증가시켰을 경우 Fig. 10에서 나타낸 바와 같이 미끄럼거리가 증가할수록 마찰면의 굴곡변화가 복잡한 형상에서 점차 완만해지고 있음을 나타낸다고 생각된다. 그리고 마찰면의 미세적인 형상변화를 살펴보기 위하여 화소간격의 크기를 2화소씩 증가시킨 경우는 미끄럼 거리가 증가함에 따라 미세한 마멸입자 또는 산화물 입자의 생성이 증가하고 마찰면에 고르게 개재됨으로써 미세적으로 복잡한 굴곡변화를 나타내어 프랙탈 차원값이 오히려 증가한다고 생각한다.

Fig. 10과 동일조건 하에서 미끄럼 거리에 대한 마찰면의 표면거칠기 Ra값을 Fig. 11에 나타내었다. 미끄럼거리에 따른 Ra값의 변화는 Fig. 10에서 화소간격의 크기가 20화소 일 때의 프랙탈 차원값의 변화와 거의 유사한 경향을 나타내고 있다. 이는 전술한 바와 같이 화소간격의 크기를 크게한 경우의 프랙탈 차원은 마찰면의 Ra값을 대신하여 표면의 거칠기 특성을 잘 나타낸다고 볼 수 있다. 그리고 Fig. 10과 Fig. 11의 결과에서 프랙탈 차원은 복잡하고 다양한 형태를 갖는 마찰면의

형상 특징을 표현하는데 매우 유용한 수단이 된다고 생각된다

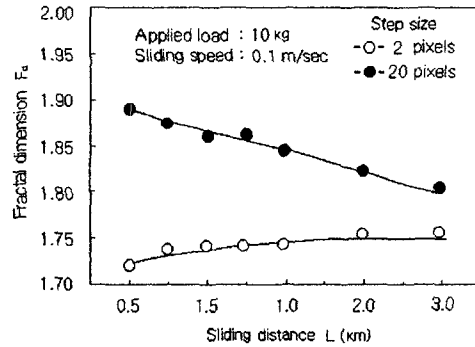


Fig. 10 Influence of sliding distance on fractal dimension

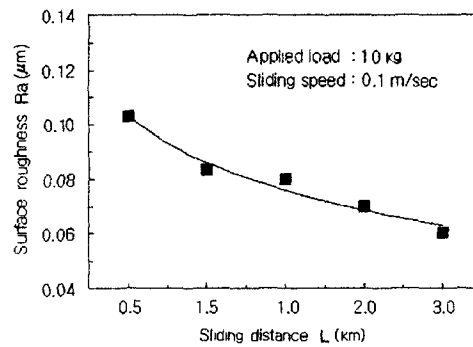


Fig. 11 Relationship between surface roughness and sliding distance

Fig. 12는 미끄럼속도 0.1 m/sec, 작용하중 10 kg에서의 미끄럼거리에 대한 마찰면 영상의 3차원 모델링 형상으로 마찰면 영상에서 각 화소의 농도 값을 이용하여 3차원형상을 나타낸 것이다. 미끄럼거리 0.2 km에서의 마찰면의 형상을 보면 면의 굴곡이 심하게 나타나고 있으며 미끄럼거리가 증가함에 따라 그 굴곡이 완만해지고 있음을 알 수 있다. 이는 미끄럼거리가 짧은 경우 양시험편의 실제 접촉부의 응착에 의한 소성변형이 진행되는 초기마멸상태로 응착마멸이 진행되고 있는 결과라고 생각되어지며, 미끄럼 거리의 증가

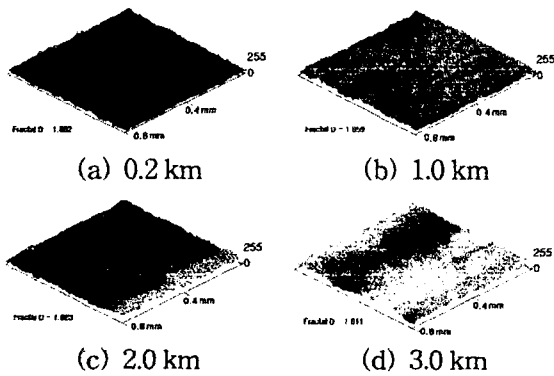


Fig. 12 Simulation of frictional surface by image processing

에 따라 실제 접촉부의 온도상승으로 레이저 경화강의 표면에 산화물에 의한 보호막이 형성되어 마찰면의 굴곡이 완만한 형태를 나타낸다고 생각된다.

3.4 미끄럼 속도에 따른 마찰면의 프랙탈 차원

Fig. 13은 화소수를 20화소로 일정하게 두고, 작용하중 5 kg 과 10 kg 로 변화를 주었을 때 미끄럼 거리 1km 대한 미끄럼 속도 V 에 따른 마찰면의 프랙탈 차원값 (F_d)을 보여주고 있다. 작용하중 5 kg과 10 kg 모두 미끄럼 속도가 증가할수록 프랙탈 차원값은 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 또한 하중이 증가할수록 프랙탈 차원의 값이 크다는 것을 알 수 있다. 이는 미끄럼속도 V 가 증가함에 따라 마찰면의 형상이 굴곡변화가 복잡하다는 것을 나타내고 있으며, 하중이 증가할수록 이 경향을 더욱 심해진다는 것을 나타내 준다고 생각된다. 이 결과는 역시 일반적으로 표면거칠기(Ra)의 결과와도 동일한 것이다.

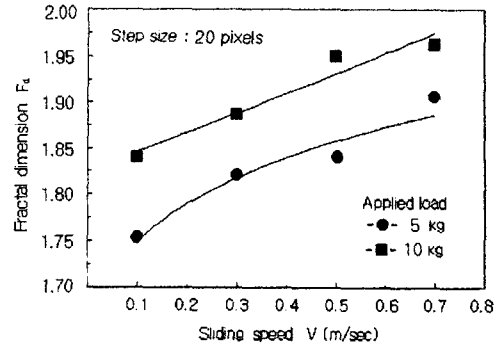


Fig. 13 Influence of sliding speed on fractal dimension

Fig. 14는 화소수를 20화소로 일정하게 두고, 작용하중 5 kg 과 10 kg 로 변화를 주었을 때 미끄럼 거리 1 km 대한 미끄럼 속도 V 에 따른 마찰면의 3차원 모델링 형상을 나타낸 것으로, 그림에서처럼 미끄럼속도 V 가 증가함에 따라 마찰면의 굴곡형상이 점점 복잡해짐을 볼 수 있다. (a) $V=0.1$ m/s의 경우 마찰면은 응착마멸의 영향으로 전 부분이 고르게 마멸된 것을 볼 수 있다. (b) $V=0.3$ m/s의 경우에는 마찰면에 형성된 산화물이 전 부분에 덮혀 있지만 마찰트랙에 부분적으로 상태 재료인 세라믹스의 돌기가 지나간 부분이 나타나 있다. 그리고 (c) $V=0.5$ m/s 및 (d) $V=0.7$ m/s의 경우는 미끄럼속도의 증가에 따라 세라믹스의 돌기에 의한 연삭마멸의 흔적이 보다 강하게 나타나 있어 이것에 의하여 프랙탈 차원 값의 증가에 기인한 결과라고 생각된다. 이상의 결과에서 프랙탈 차원 값 (F_d)과 이의 경향을 조사함으로써 기존의 표면거칠기(Ra)의 경향을 대체할 수 있고, 또한 보다 신속하게 컴퓨터의 알고리즘을 사용함으로써 표면거칠기를 추정할 수 있어 프랙탈 차원 값의 유효성을 검증할 수 있었다.

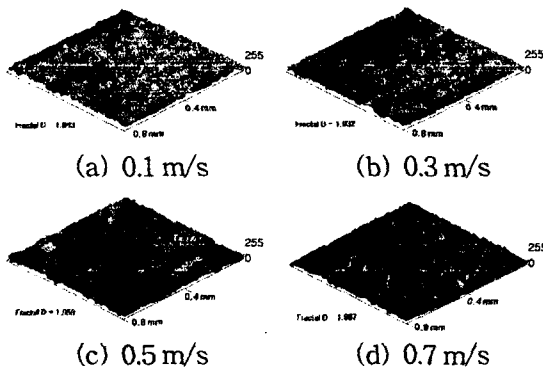


Fig. 14 Simulation of frictional surface by image processing

4. 결론

마찰조건에 따른 레이저 경화강의 마찰면의 형상 특징을 해석하기 위하여 상대재료 세라믹스를 이용하여 건조마찰을 통한 경화강의 마찰면을 화상처리하고, 마찰면의 영상 정보를 추출하여 이 영상정보로부터 프랙탈 차원값 및 3차원 형상 통하여 마찰면 형상을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 프랙탈차원에 의한 마찰면의 미시적 형상 해석은 화소간격 2 화소, 거시적 형상 해석은 20화소를 이용하는 것이 편리하다.
- (2) 면의 3차원 형상과 거시적 프랙탈 해석에서 미끄럼 거리 초기는 초기마멸상태로 프랙탈차원이 높고, 미끄럼거리가 증가함에 따라 이 값은 감소한다.
- (3) 미끄럼속도와 작용하중이 크게 되면 프랙탈 차원이 증가하며, 표면거칠기 Ra 값의 변화와 프랙탈 차원값과의 유사성을 확인함으로써 프랙탈 차원값은 마찰면의 형상 정보 해석의 적용이 가능하다.

참고문헌

(1) Mandelbrot, B. B., "National Academy of Science," USA 72, p. 3825 (1975)

(2) 高安秀樹, "フラクタル理論による幾何學と統計性", トライボロジスト, 第40卷, 第7号, pp. 527~532, (1995)

(3) S. Vandenberg, C. F. Osborne, 1992, "Digital image processing techniques, fractal dimensionality and scale-space applied to surface roughness", Wear, 159, pp.17~30.

(4) 塚田忠夫, 1995, "表面凹凸の フラクタルシミュレーション", トライボロジスト, 第40卷, 第7号, pp.533~538.

(5) Heinz-Otto Peitgen, Dietmar Saupe, 1988, "The Science of Fractal Images", Springer Verlag, pp.21~70.

(6) P. R. Stupak, J. H. Kang, J. A. Donovan, 1990, "Fractal characteristics of rubber wear surfaces as a function of load and velocity", Wear, 141, pp.73~84.

(7) A. Majumdar, B. Bhushan, 1990, "Role of Fractal Geometry in Roughness Characterization and Mechanics of Surfaces", ASME, Vol. 112, pp.205~216.

(8) 오동석, 조연상, 서영백, 박홍식, 전태욱, "마멸입자 형태해석을 위한 Fractal 차원의 적용", 한국윤활학회논문집, 1998, 제28회, pp. 115~123.

(9) 精密工學會表面改質に關する 調査研究分科會, 1988, "表面改質技術", 日刊工學新聞社, pp.124~130.

(10) 八木伸行, 井上誠喜, 林正樹, 1992, "C言語で學ぶ 實戰畫像處理", オム社, pp.2~10.