

기계 가공면의 이방성에 관한 연구

조남규*, 최한용**

A Study on the Anisotropy of Machined Surfaces

Nahm Gyoo Cho*, Han Yong Choi**

ABSTRACT

In this paper, a method for assessment of the anisotropic machined surfaces is proposed. Fractal dimension (FD) is calculated using structure function and an index of the anisotropy is obtained as a ratio of its maximum and minimum value. The upper limit of fractal region on the structure function is determined as the length of the lag where the autocorrelation function shows 20% of its maximum value. The model of the structure function is derived from that of the auto correlation function. And, it shows that the new method and the proposed index of anisotropy are useful.

Key Words : Anisotropy(이방성), Fractal dimension(프랙탈차원), Structure function(구조함수)

1. 서론

일반적인 기계 가공면은 가공 공정의 형태에 따라 그 표면이 다양한 형상을 지니게 된다. 기계 가공면은 그 표면의 형상에 따라 래핑면이나 폴리싱면과 같이 균일한 면(등방성면)과 밀링면이나 연삭면과 같이 균일하지 않는 면(이방성면)으로 나눌 수 있다.

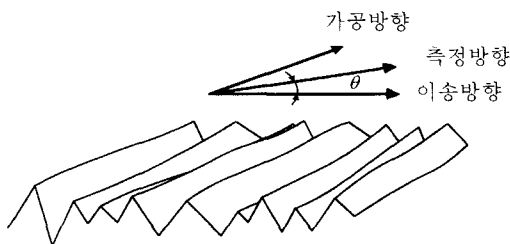


Fig. 1 General anisotropic surface

방향에 관계 없이 형상이 균일한 등방성면은 임의 방향의 프로파일에 의한 평가결과만으로도 매우 유효하며 효과적이다. 그러나, 방향에 따라 표면의 형상이 달라지는 이방성면의 경우에는 측정 방향에 따라 다른 정보를 지니며, 이와 같은 방향에 따른 특성의 차이에 의하여 윤활이나 마모·마찰 등의 해석에 매우 큰 영향을 미친다. 따라서, 이방성을 정량적으로 평가하기 위한 많은 연구들이 수행되고 있으며, 그 중에서도 방향에 따른 형상적 특성의 차이를 효과적으로 표현할 수 있는 평가 파라미터의 개발을 위한 노력이 경주되고 있다. 초기의 이방성 평가는 일반적으로 널리 사용되고 있는 높이 분포의 정보만을 중시한 거칠기 파라미터들이 사용되었으며, 여러 종류의 파라미터를 복합적으로 제시하여 이방성을 표현하였다. 그리고, 이방성 자체에 대한 평가 파라미터의 필요성이 인식됨에 따라, 거칠기 파라미터의 최소값

* 한양대학교 기계공학과

** 한양대학교 대학원 정밀기계공학과

과 최대값의 비를 이용하는 방법, rms 기울기의 최대 최소값의 비를 이용하는 방법, 자기상관함수의 상관길이의 비를 이용하는 방법 등이 제안되었다. 그러나, 이러한 방법들은 방향에 따라 미세형상이 갖는 특정한 형상적 성질에 대한 통계적 지표의 제시라는 면에서 가능성은 갖고 있으나, 방향에 따른 미세형상의 일반적인 특성 정보의 제공에는 미치지 못하고 있는 실정이다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

한편, 미세표면형상의 특성화와 접촉 이론에의 적용 가능성을 인정 받아 최근에 들어 활발하게 연구되고 있는 방법으로 프랙탈 해석법이 있다. 적용된 프랙탈 해석법의 대부분은 프랙탈차원에 관한 것으로, 프랙탈차원은 표면프로파일의 복잡성을 표현하고, 표면거칠기 파라미터인 R_a , R_q 등이 나타내지 못하는 정보를 함축적으로 제공한다.⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

본 연구에서는 이방성 평가를 위하여 표면프로파일의 형상정보의 해석에 큰 장점을 지닌 프랙탈차원을 이용하는 방법에 대하여 검토하였고, 프랙탈차원을 구하는 여러가지 방법중 이방성면과 같이 방향에 따라 분산이 다른 프로파일의 해석에 큰 장점을 가진 구조함수에 의한 방법을 사용하였다.

2. 실험

가공 공정의 마무리 단계인 연삭은 일반적으로 모든 가공 단계에서 필요로 하는 대표적 기계 가공이며, 연삭에 의하여 얻어지는 면은 강한 이방성을 지닌다. 따라서 본 연구에서는 연마면을 사용하여 이방성 평가를 시도하였고, 다양한 이방성면을 얻기 위하여 다음과 같은 여러가지 가공 조건을 사용하였다.

시편의 재질은 연강, 연삭 스톨의 종류는 C-100-M-7-V 가 사용되었으며, 수평축 연삭기에 의한 연삭이 공통적으로 적용되었다. 테이블 이송속도와 이송량, 절삭깊이는 그 조건을 Table 1 과 같이 가함으로써 다양한 이방성 시편을 얻었다.

본 연구에서는 이방성 프로파일의 수집을 위하여 Fig. 2 에 보이는 바와 같이 범용의 접촉식 측정기를 이용하였다. 실험에 사용된 측정기는 Rank Taylor Hobson 사의 Talysurf Series 2 이며, 이 측정기

는 반경 $2\mu\text{m}$ 의 원추형 다이아몬드 촉침을 사용하고 수평분해능은 $0.25\mu\text{m}$, 수직분해능은 3.2nm 이다.

Table 1 Machining conditions for specimen

시편	가공 방법	Pick Feed	이송 속도	연삭 깊이
G1	Ground	0.5mm	80m/min	5 μm
G2	Ground	1mm	80m/min	5 μm
G3	Ground	2.5mm	171m/min	5 μm
G4	Ground	2.5mm	171m/min	10 μm
G5	Ground	2.5mm	171m/min	15 μm

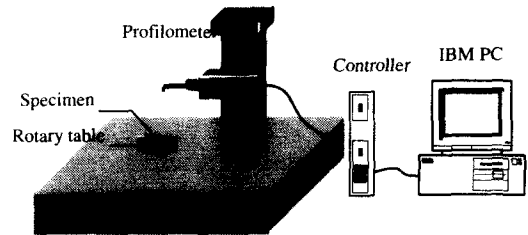


Fig. 2 Measuring system

한편, 여러 방향의 Angular profile 을 얻기 위하여 Fig. 3 과 같은 각도 회전테이블(rotary table)을 사용하였고⁽¹¹⁾, 이 기기의 각도 분해능은 0.01° 이다.

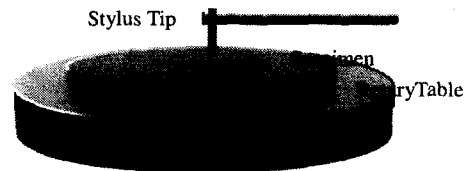


Fig. 3 Rotary table for measurement in various directions

본 연구에서는 방향에 따라 다른 형상 정보를 지닌 이방성면을 평가하기 위하여 다음과 같이 실험을 수행하였다. 방향의 기준을 설정하기 위하여 이송방향을 $\theta=0^\circ$, 연삭방향을 $\theta=90^\circ$ 와 $\theta=-90^\circ$ 로 정

하였고, 회전테이블을 이용하여 여러 방향의 프로파일을 획득하였다. 이송방향 및 연삭방향에서는 각도의 미세변화에 대한 각각의 파라미터의 변화가 상대적으로 크게 나타나므로 측정 각도를 미소하게 변화시켰으며(각각 $\theta=2^\circ, 3^\circ, 5^\circ$ 씩), 그 외의 측정 방향에서는 일정하게 변화시켰다($\theta=10^\circ$). Fig. 4 에 본 실험의 모든 측정 방향을 도시하였다.

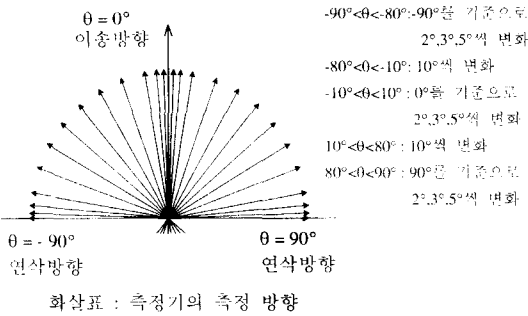


Fig. 4 Measuring directions

Table 2는 Table 1의 조건으로 가공된 연삭 시편에 대한 각각의 측정조건을 나타낸 표이다. 방향에 따른 충분한 형상정보를 제공할 수 있도록 하기 위하여 각각 10mm 구간을 측정하였으며, 10mm 구간의 데이터의 수는 40,000 개이다.

Table 2 Measuring conditions for specimen

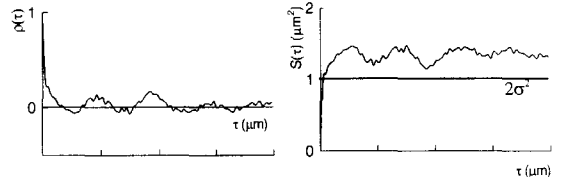
시편	가공 방법	R_a Value at $\theta=0^\circ$	평가 길이	Sampling Interval	연삭 깊이
G1	Ground	0.333 μm	10.4 mm	0.25 μm	5 μm
G2	Ground	0.542 μm	10.4 mm	0.25 μm	5 μm
G3	Ground	0.906 μm	10.4 mm	0.25 μm	5 μm
G4	Ground	0.859 μm	10.4 mm	0.25 μm	10 μm
G5	Ground	0.976 μm	10.4 mm	0.25 μm	15 μm

3. 프랙탈 차원과 이방성 지표

자기상관함수 및 구조함수는 공간적 편차(spatial variation)를 나타내는 효과적인 방법으로, 일찍부

터 표면의 미세형상 분석에 널리 이용되어 왔다.⁽¹²⁾ Fig. 5에 그 전형적인 모습을 보인다. 그러나, 표면의 상태를 나타내기 위하여 대량의 정보에 의하여 표현되는 이 함수들을 이용하는 데는 많은 어려움이 따르며, 표면 상태를 보다 간단한 방법으로 표현할 수 있는 고압축성의 평가파라미터의 필요성이 인식되어 왔다.

프랙탈차원은 형상의 복잡성을 표현하며, R_a , rms , $Rmax$ 등과 같이 널리 사용되고 있는 평가 파라미터들과 함께 사용하여, 본래의 프로파일과 유사한 형상정보를 갖는 프로파일의 재생이 가능한 정도의 유용한 정보를 제공하는 고압축성의 평가 파라미터이다. 본 연구에서는, 프랙탈차원의 산출을 위하여 현재 알려져 있는 방법들 중에서, 방향에 따른 형상정보의 차이를 잘 표현하고 있는 구조함수를 이용한 산출방법을 적용하기로 한다.⁽³⁾⁽⁴⁾



(a) Autocorrelation function (b) Structure function

Fig. 5 General representation

구조함수는 식(1)과 같이 정의되며, 공간적거리에 대해 기대되는 높이편차의 평균제곱을 나타낸다.

$$S(\tau) = E\{[y(x) - y(x + \tau)]^2\} \quad (1)$$

$$S(\tau) = E[y^2(x)] + E[y^2(x + \tau)] - 2E[y(x)y(x + \tau)] \quad (2)$$

정상적인 데이터에 대하여

$$E[y^2(x)] = E[y^2(x + \tau)] = \sigma^2 \quad (3)$$

따라서, 식 (4)와 같이 정리된다.

$$S(\tau) = 2\sigma^2(1 - \rho(\tau)) \quad (4)$$

여기에서, $\rho(\tau)$ 는 자기상관함수의 정의식이며 식 (5)와 같다.

$$\rho(\tau) = E[y(x)y(x + \tau)] / \sigma^2 \quad (5)$$

$S(\tau)$ 와 τ 를 양대수축상에 도시하면 선형성을 보이는 프랙탈 구간이 존재한다. 이 구간의 기울기를 $K_s(0 < K_s < 2)$ 라 하면, 프랙탈차원, FD 와는 아래와 같은 관계를 지닌다.

$$FD = \frac{4 - K_s}{2} \quad (6)$$

이러한 관계를 이용하여 서로 다른 방향으로 측정된 프로파일로부터 산출된 프랙탈차원은 방향에 따라 형상특성을 보이게 된다. 일반적으로 형상이 복잡할수록 프랙탈차원의 값은 커지므로, 이송방향에서 프랙탈차원은 최대값을, 연삭방향에서 최소값을 지닐 것으로 예상된다. 따라서, 본 연구에서는 표면의 형상정보를 고압축적으로 함유한 프랙탈차원을 이용하여 이방성면을 평가하며, 이방성 지표로써 프랙탈차원의 최소값과 최대값의 비를 제안한다. 이상적 등방성면의 경우, 프랙탈차원의 최소값과 최대값은 같으므로 이방성지표는 1 이 된다.

$$K_{FD} = \frac{FD_{max}}{FD_{min}} \quad (7)$$

4. 이방성 평가지표의 산출

Fig. 6 에 프랙탈 차원을 계산하기 위하여 구조함수를 양대수축으로 도시한 그래프를 보인다. 프로파일의 프랙탈영역은 구조함수가 선형성을 갖는 구간이며, $\tau(\text{lag})$ 가 어느 한계값보다 커지면 선형성이 보장되지 못하게 되며, 구하려 하는 프랙탈차원의 값을 왜곡시킨다. 이러한 구조함수의 특성으로부터, 프랙탈차원을 산출하기 위해서는 표면의 형상특성이 프랙탈적인 구간을 명확히 할 것이 요구된다. 이에 대응하기 위하여 다음과 같은 방법으로 적절한 구간 설정에 의한 프랙탈차원값의 산

출을 시도하였다.

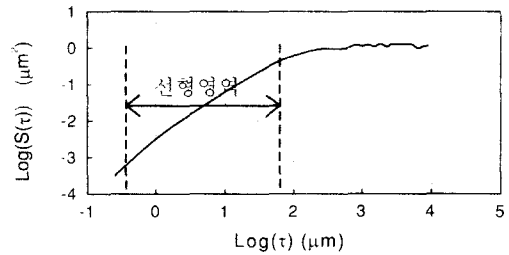


Fig. 6 Problem of log plot of structure function

1. 프랙탈차원 계산을 위한 구조함수의 프랙탈 영역에 해당하는 자기상관함수의 Lag limit 를 제안하고 계산한다.
2. 자기상관함수의 근사식을 제시하며, 자기상관 함수와 구조함수의 관계식으로부터 구조함수의 근사식을 구한다.
3. 구조함수를 양대수축상에 도시하며, 이로부터 프랙탈차원의 값을 계산한다.

실제 시편의 측정시, 이송방향은 육안으로 결정되며 실제 연삭방향과는 오차각을 지닌다. 이러한 각도 오차로 인하여 프랙탈차원 모두 왜곡되게 된다. 이러한 오차를 제거하고 정확한 이방성지표를 제시하기 위하여 다음과 같은 방법을 적용하였다.

1. 초기 시편 측정시 발생한 각도 오차량을 계산하기 위하여, 측정 방향과 프랙탈차원 사이에 근사식을 제안한다.
2. 보정된 각도에 의하여 실제 프랙탈차원을 재산출하고, 이로부터 이방성지표값을 계산한다.

4.1 자기상관함수의 Lag limit 값 계산

자기상관함수는 프로파일의 상관성 정도에 따라 Fig. 7 과 같이 -1 부터 1 까지의 수치를 보이며 변화한다. 그러나, 구조함수의 선형구간, 즉 프랙탈 영역에 해당하는 자기상관함수의 영역은 $\tau(\text{lag})$ 가 상대적으로 적은 초기 부분이며, 이방성지표 산출을 위한 프랙탈차원의 정확한 계산을 위하여 자기상관함수에서의 프랙탈 구간이 설정되어야 한다. 따라서, 구조함수를 양대수축상에 도시할 때 선형

성을 갖는 최적 구간을 설정하기 위하여 다양한 τ 값에 대하여 평가할 필요가 있다.

본 연구에서는 자기상관함수의 값이 각각, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 일 때의 τ 값을 한계값으로서 제안하고 모든 시편에 대하여 적용하였다. Fig.7(a)와 (b)에 시편 G04의 -90° (연삭방향)와 0° (이송방향) 방향에서의 프로파일에 대한 자기상관함수를 각각 도시하였고, $\rho(\tau)=0.3$ 일때의 Lag limit를 각각 나타내었다. 자기상관함수의 그래프는 각각의 방향에서 완전히 다른 경향을 나타내고 있다.

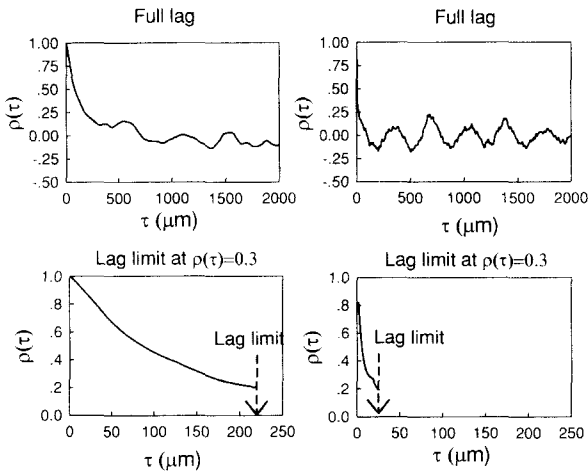


Fig. 7 Autocorrelation function in case of full length and lag limit

4.2 구조함수의 근사화 모델

본 연구에서 자기상관함수의 일반적 형태로부터 구조함수의 근사화 모델을 제안하기 위하여 다음과 같은 과정을 적용하였다. 자기상관함수의 근사식은 랜덤한 표면해석에 가장 일반적으로 식 (8)을 채택하였다.⁽¹²⁾

$$\rho(\tau) = e^{-\tau/\beta} \tag{8}$$

τ 값이 상대적으로 큰 구간에서는 실제 자기상관함수의 곡선과 자기상관함수의 근사식과는 큰 오차가 생성된다. 그러나, 본 논문에서는 구조함수의 프랙탈 영역이 적용되며, 이 영역은 τ 값이 상대적

으로 작은 초기 영역에 해당된다. 식 (8)을 식 (4)에 대입하면, 구조함수의 근사화 모델은 다음과 같다.

$$S(\tau) = 2\sigma^2(1 - e^{-\tau/\beta}) \tag{9}$$

식 (9)의 상수값 β 를 결정하기 위하여 최소제곱법이 적용되었으며, 그 평가함수는 식 (10)와 같다.

$$E = \sum (S_i - \hat{S}_i)^2 \tag{10}$$

식 (10)에서, S_i 는 식 (9)에 의하여 구한 근사값이며, \hat{S}_i 는 프로파일의 이산 데이터에 의하여 구한 실험값이다.

4.3 구조함수의 Line Fitting 과 프랙탈 차원 계산

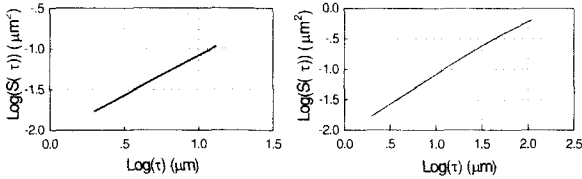
프랙탈차원은 식 (5)의 관계에 의하여 구조함수를 양대수축으로 도시한 그래프의 기울기로부터 구함을 앞서 서술하였다. 그러나, Fig. 6에서 나타나듯이 구조함수는 모든 구간에서 선형적(프랙탈적)인 것은 아니다. 따라서, 정확한 프랙탈차원을 구하기 위하여 적절한 평가구간이 설정되어야 한다. 한편, 위의 방법으로 구한 평가구간을 적용하는 것은 문제점을 지니고 있다. 이방성 면의 프로파일은 방향에 따라 상이하고 이로부터 구하여진 구조함수의 프랙탈적 구간이 서로 상이하다는 점이다. 따라서, 본 연구에서는 다음과 같은 두가지 방법을 검토하였다.

(방법 1) 프랙탈적인 평가영역의 하한값은 $2\mu\text{m}$, 상한값은 모든 각도의 데이터로부터 결정된 영역 중에서 최소값으로 하여 동일한 평가구간을 적용한다.

(방법 2) 하한값은 $2\mu\text{m}$ 로 방법 1과 동일하며, 측정방향에 따라 산출된 각 평가구간을 그대로 적용한다.

데이터처리를 위한 프랙탈적 영역의 하한은 측정에 이용된 측정의 선단반경이 $2\mu\text{m}$ 인 것을 고려하여 이 값을 하한값으로 설정하였다.

위와 같은 방법으로 설정한 구간에서 프랙탈차원을 계산하기 위하여, Line fitting 이 필요하다. 그러나, 양대수축에 최소제곱법을 적용하는 것은 데이터의 형평성에 문제를 야기한다. 따라서, 총 평가구간을 동일한 10 개의 평가구간으로 나누어 평균기울기값을 구하였고, 이로부터 식 (6)에 의하여 프랙탈차원을 계산하였다.



(a) Method 1 (b) Method 2

Fig. 8 Log plot of structure function at $\theta = -90^\circ$

4.4 시료설정의 각도오차 보정과 이방성 평가지표의 산출

일반적으로, 시료로부터 2 차원 프로파일을 얻기 위한 측정에 있어서의 측정방향은 정보량이 많은 프로파일을 얻어질 수 있도록 결정된다. 즉, Fig. 1 에 보이는 연삭면에서의 측정은 이송방향과 동일한 방향으로 수행되며, 본 논문에서는 이 방향을 $\theta = 0^\circ$ 인 방향으로 정의하였다. 그러나, 실제의 프로파일 획득과정에서는 이러한 시료상에서의 방향을 명확히 알기가 어려우므로, 측정은 작업자의 육안에 의존하여 결정된 방향을 기준으로 수행된다. 그러므로, 이와 같이 측정된 측정데이터를 이용하여 이방성 평가지표를 산출할 경우에는 신뢰성의 문제가 발생하게 된다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 다음과 같은 방법으로 측정프로파일의 측정방향값을 보정하였다.

Fig. 9 에 구조함수를 사용하여 실험적으로 구한 프랙탈차원과 각도 사이의 관계를 보인다. 프랙탈차원값은 정보량이 많을 것으로 예상되는 $\theta = 0^\circ$ 인 방향에서 최대값을 가질 것이므로, 각각의 프로파일로부터 산출된 프랙탈차원과 측정방향을 식(11)의 2 차식으로 근사하면, 이 근사식의 정점의 위치하는 지점이 실제로 $\theta = 0^\circ$ 가 되는 위치를 추정한다고 할 수 있다.

$$FD(\theta) = a\theta^2 + b\theta + c \quad (11)$$

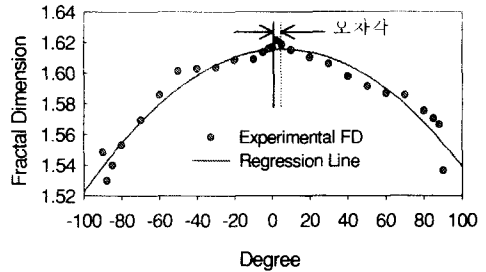


Fig. 9 Fitting of degree vs fractal dimension by method 2

따라서, 최종적인 이방성 지표는 이와 같은 방법으로 보정된 $\theta = 0^\circ$ 과 $\theta = 90^\circ$ 에서의 프랙탈차원을 이용하여 식(6)으로부터 구해진다.

5. 실험결과 및 고찰

5.1 자기상관함수의 Lag Limit 값 계산

4.1 절에서, 구조함수의 최적 구간을 설정하기 위하여 자기상관함수가 각각, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 일 때의 τ 값을 한계값으로서 제안하였다. 각각의 한계값에 대한 이방성 지표의 변화추이를 Fig. 10 에 도시하였다. 그림에서 가로축은 구조함수의 평가구간 설정의 기준이 되는 자기상관함수의 기준값을 나타내며, 세로축은 각각의 기준값에 대한 이방성지표값을 나타낸다.

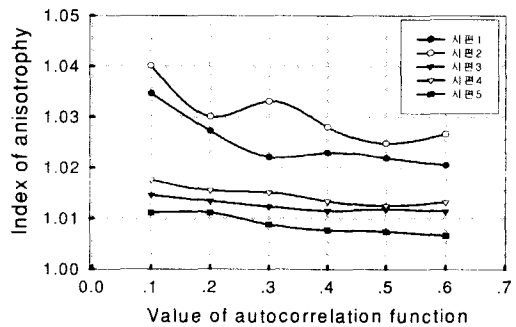


Fig. 10 Trend of index of anisotropy for various lag limit

이방성지표는 자기상관함수의 기준값이 커질수록 점점 작아졌으며 각각의 기준값에서의 경향은 유사함을 알 수 있다. 그러나, 위 그래프 경향만으로 어떤 기준값이 프랙탈차원과 이방성지표를 구할 때 최적임을 판별하기 어렵다. 따라서 적절한 평가기준이 필요하다. 본 논문에서는 다음과 같은 두가지 방법으로 평가기준을 마련하였다.

첫째, 이방성지표의 변화 추이를 상대적 관점에서 평가한다. 이방성지표가 최소값을 나타내는 시편 G10을 1로 설정하고 다른 시편의 이방성지표값을 이에 대한 상대값으로 나타내어 그 경향을 비교함으로써 이방성지표가 어떤 기준값에서 가장 잘 나타나는지를 평가한다.

둘째, 프랙탈차원 계산 결과의 정확성을 평가한다. Fig. 9에 도시한 측정 방향에 따른 프랙탈차원의 fitting 정도를 평가함으로써 기준값에 의하여 정확한 프랙탈차원을 산출되었나를 판별한다.

첫번째 방법을 사용한 그래프를 Fig. 11에 도시하였다. 가로축은 자기상관함수의 기준값, 세로축은 이방성지표의 상대적 비를 나타낸다. 기준값이 0.1~0.3에서는 이방성지표의 상대적 변화량이 크게 분포하며, 0.4 이상에서는 상대적 비율이 작고 서로 거의 유사함을 확인하였다. 즉, 0.3 이하의 기준값이 비교적 적절하다.

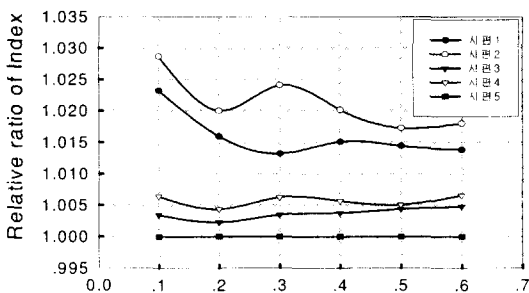


Fig. 11 Relative value of index various lag limit

두번째 방법을 사용한 그래프를 Fig. 12에 도시하였다. 가로축은 자기상관함수의 기준값, 세로축은 Fig. 9와 같은 프랙탈차원의 fitting 그래프에서

fitting data와 line 사이의 편차들(프랙탈차원의 편차)의 표준편차를 의미한다. 기준값 0.1~0.2일때는 그 편차가 0.3~0.6보다 상대적으로 크게 나타났으며, 0.3 이상에서는 비교적 안정적으로 표준편차가 나타남을 확인할 수 있다.

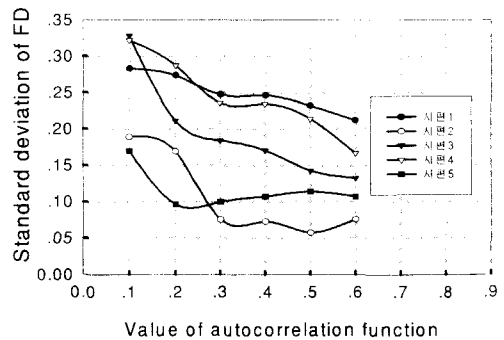


Fig. 12 Fitting error of FD for various lag limit

두가지 방법을 종합하면, 첫번째 그래프에서는 0.1~0.3 구간이 적합하며, 두번째 그래프에서는 0.3~0.6 구간이 적합하다. 두가지 방법 모두 미소한 차이를 나타내었고, 한편 서로 반대 구간에서 더 좋은 결과를 나타내므로, 두 결과가 중간값인 0.3을 최적값으로 설정하였다. 즉, $\rho(\tau)=0.3$ 일 때의 τ 값을 Lag limit로 설정하고, 이 기준값에 의하여 구조함수의 평가구간을 설정한다.

5.2 구조함수의 line fitting 과 프랙탈 차원 계산

3.3 절에서 제안된 두가지 방법의 대한 결과로써 각도 오차량, 보정된 프랙탈차원값, 그리고 이방성지표의 값을 Table 3과 Table 4에 각각 정리하였다. 방법 1(동일 구간을 적용한 경우)과 방법 2(다른 구간을 적용한 경우)를 이용한 프랙탈차원 및 이방성지표값에는 차이가 나타났다. 방법 1을 사용한 경우 방법 2보다 더 작은 값이 출력되었다. 이것은 동일 구간을 사용하는 경우, τ 의 하한값은 같으나 상한값을 최소값으로 설정하였기 때문이다. 실제 양대수 그래프는 미세하지만 위로 조금씩 볼록한 형태를 지니고 있고, 평가구간이 좁아지면 기울기는 상대적으로 커지게 되어 결과적으로 프

랙탈차원의 값은 작아진다.

실제 각도의 변화에 따른 프랙탈차원의 변화량과 이방성지표의 변화는 두가지 방법 모두 비슷한 경향을 나타내었다. 각각 시편 G04 에서 최대값을 보이고 G10 시편에서 최소값을 나타낸다.

Table 3 Degree error , fractal dimension and index

시편	Method 1			
	각도오차량	FD _{min}	FD _{max}	K _{FD}
G02	2.71°	1.4924	1.5546	1.035
G04	3.54°	1.5095	1.5729	1.042
G06	3.11°	1.5219	1.5569	1.023
G08	0.74°	1.5067	1.5474	1.027
G10	-3.19°	1.4988	1.5243	1.017

Table 4 Degree error , fractal dimension and index of anisotropy in various specimen by method 2

시편	Method 2			
	각도오차량	FD _{min}	FD _{max}	K _{FD}
G02	5.39°	1.5407	1.5746	1.022
G04	2.67°	1.5445	1.5958	1.033
G06	6.73°	1.5464	1.5654	1.012
G08	2.75°	1.5325	1.5563	1.016
G10	-1.59°	1.5367	1.5399	1.009

위 결과만으로는 방법 1 과 방법 2 중 어느 것이 적절하다고 결론 내리기는 어렵다. 그러나, 실제 측정방향에 따른 프로파일의 프랙탈 영역이 다르며, 구조함수의 평가 구간이 넓어질수록 오차가 커진다는 점을 고려할 때, 동일한 평가구간을 사용하는 것보다 각각의 평가구간을 사용하는 방법 2 가 더 적절하다고 판단된다.

5.3 고 찰

실험 결과, G04 시편의 이방성 정도가 가장 크게 나타났으며, G10 시편의 이방성 정도가 가장 작게 나타났다. 이는 R_a 값이(Table 2 참조) 클수록 즉, 진폭 성분이 클수록 이방성 파라미터가 항상 더

크지 않음을 나타낸다. 즉, 프랙탈차원에 의한 이방성지표는 최소 형상성분과 최대 형상성분의 상대적 변화량을 나타낸다.

6. 결 론

이방성을 지니는 기계가공면에 대하여, 프랙탈 차원을 이용한 이방성평가법의 개발을 위한 본 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

1. 프랙탈차원 산출을 위한 구조함수의 구간 설정 기준 및 모델을 제안하였다.
2. 방향에 따른 프랙탈차원을 이용하여 이방성면 측정데이터의 각도 보정이 가능함을 확인하였다.
3. 프랙탈차원을 이용한 이방성 평가지표를 제안하고, 그 산출기법을 개발하였다.

참고 문헌

1. Xu Wenhai, Tadao Tsukada and Kazuyuki Sasajima, "Development of Measuring Instrument and Its Control System to Assess Anisotropic Properties of Engineering Surface," 設計工學, Vol. 28, No. 3, pp. 124-129, 1993.
2. Xu Wenhai and Tadao Tsukada, "A Study on Anisotropy of Surface Roughness (Part3)," 트라이보로지스트, 第 38 卷, 第 6 號, pp. 539-544, 1993.
3. 精密學會 光を用いた工學表面の性狀評價分科會, "非接觸方式によ精密加工表面の性狀評價," pp. 45-49, 1985.
4. Xu Wenhai and Tadao Tsukada, "A Study on Anisotropy of Surface Roughness (Part1)," 트라이보로지스트, 第 38 卷, 第 3 號, pp.287-292, 1993.
5. Xu Wenhai and Tadao Tsukada, "A Study on Anisotropy of Surface Roughness (Part2)," 트라이보로지스트, 第 38 卷, 第 6 號, pp. 533-538, 1993.
6. L.He, J. Zhu, "The Fractal character of processed metal surfaces," Wear, Vol. 208, pp. 17-24, 1997.
7. Noriaki Itoh, Tadao Tsukada and kazuyuki sasajima, "Properties of Engineering Surface Irregularities Based on Fractal Dimension (1st Report)," JSPE, Vol.

- 58, No. 5, pp. 865-870.
8. Noriaki Itoh, Tadao Tsukada and kazuyuki sasajima, "Properties of Engineering Surface Irregularities Based on Fractal Dimension (2nd Report), " JSPE, Vol. 58, No.10, pp. 1735-1740.
 9. Nahm Gyoo ChO, Tadao TSKADA and Masaaki TAKAHASHI, "Correction of Specimen Orientation in Three-Dimensional Measurement of Surface Roughness with Small Waviness by Contact Stylus Instrument (1st Report)," Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., Vol. 29, No. 2, pp. 156-161, 1995.
 10. A.majumdar and C.L. Tien, "Fractal Characterization and Simulation of Rough Surfaces," Wear, Vol. 136, pp. 313-327, 1990.
 11. Motoyoshi Hasegawa, Jiancheng Liu, Koichi Okuda, Masayuki Nunobiki, "Calculation of the fractal dimensions of machined surface profiles," Wear, Vol. 192, pp. 40-45, 1996.
 12. T. R. Thomas, "Rough Surface," Longman, 1982.