

주파수 분석에 의한 선삭면의 표면 거칠기 인자 해석

김 경 년
거제전문대학 기계과

요 약 본 연구의 목적은 선반 작업에 있어서 공구 형상과 작업 조건 변화에 대한 표면 거칠기 곡선의 형성 인자를 규명하기 위한 것이다. SNMG120404, SNMG120408과 DNMG150404, DNMG150408의 공구가 사용되었고, 절삭 속도와 이송의 작업 조건이 변화되었다. 즉, 절삭 속도는 150, 200, 250 m/min, 이송은 0.05, 0.1, 0.3mm/rev으로 변화시켰다. 주파수 분석 결과에 의하면, 표면 거칠기는 이송에 가장 큰 영향을 받았다. 또한 바이트의 떨림은 표면 거칠기뿐만 아니라 파상도에도 영향을 미치고 있었다. 아울러 이송이 감소할수록 표면 거칠기에 미치는 영향이 증가함을 알았다. 끝으로, 정상적인 경우의 주축 떨림은 표면 거칠기에 거의 영향을 미치지 않았으며, 공구 형상은 표면 거칠기 곡선 형성 인자의 생성 변수가 되지 않는다.

1. 서 론

표면 거칠기의 정확한 표현과 측정은 기계 부품의 설계와 생산에 있어서 대단히 중요한 역할을 한다. 즉, 생산 단가를 최소화하기 위하여 표면 거칠기는 요구 조건 범위내에 존재하여야 함은 물론이고 각각에 대하여 정확하게 정의될 필요가 있다. 아울러 표면 거칠기 측정에 있어서의 관심 역시 여러가지 이유로 해서 최근 십 수년동안 증가되고 있다. 특히 surface structure는 윤활, 크랙 형성의 가능성, 부식에 영향을 주기 때문에 가공면의 기능과 수명에 중요한 역할을 한다고 알려져 있다.^{1), 2), 3)}

현재까지 표면 거칠기 연구에 있어서 대부분의 노력은 surface profile의 특성을 묘사하는 R_{max} , R_a 등과 같은 단순 변수들에 집중되어 왔다.^{4), 5)} 한편, 기계 부품의 생산 단가는 특정한 거칠기에 밀접한 관계가 있기 때문에 만약 재료가 필요 이상으로 정밀하게 가공된다면 많은 경비가 낭비될 것이다. 따라서 지금까지 연구된 표면 거칠기의 수직 성분에 대한 해석

만으로는 표면 거칠기 곡선에 미치는 인자들에 대한 규명은 불가능하므로 이들 인자에 대한 규명은 현대 산업 사회에서 경비 절감 및 성능의 측면에서 필수적이다.

본 연구에서는 주파수 분석기를 이용하여 표면 거칠기 곡선을 주파수 영역에서 해석함으로써 측정식 표면 거칠기 측정기에서 분석할 수 없었던 작업 조건, 바이트의 떨림, 주축의 떨림 등과 같은 성분들을 분석하고자 한다.⁶⁾ 이를 위하여 주축 및 바이트의 떨림을 가속도계(accelerometer)에서 속도 성분으로 분석하여 GP-IB를 통하여 컴퓨터로 전송하여 그 경향을 도시하였으며, 이 결과들을 공정 설계의 기초 자료로 이용하고자 한다.

2. 관계 이론

푸리에 적분(Fourier integral)은 임의의 신호를 주파수 영역에서 분석하는 방법으로서 신호 성분에 대한 물리적 의미는 좁은 대역 필터(narrow band

(접수: 1995. 9. 23)

filter)에 의하여 여과된 각 신호 성분의 rms값이라고 할 수 있다.

다른 주파수로 조절된 많은 수의 좁은 대역 필터를 사용함으로써 rms값들은 이러한 주파수 영역에서 결정된다. 그러나 주파수 스펙트럼을 얻기 위하여 좁은 대역 필터 대신에 푸리에 변환으로써 주파수 성분의 분석이 가능하다.

표면 거칠기 곡선의 스펙트라(spectra)를 취급할 때 가공물 표면의 거칠기를 쉽게 이해할 수 있도록 주파수 축을 파장축으로 변환시키는 것이 편리할 때도 있다. 표면 거칠기 곡선 형성 인자의 파장 λ 는

$$\lambda = \frac{V_{trav}}{f} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, λ : 표면 거칠기 곡선 형성 인자의 파장(μm)
 V_{trav} : 측정의 횡단 속도(m/sec)
 f : 표면 거칠기 곡선 형성 인자의 주파수(Hz)

으로 나타낼 수 있다.

푸리에 변환의 특성상 rms값으로 표시되는 진폭 축은 표면 거칠기 해석에 있어서 R_{rms} 값으로 해석될 수 있다. 이 진폭축을 대수 눈금으로 변환함으로써 훨씬 넓은 동적인 범위(dynamic range)에서의 스펙트럼 해석이 가능하며 이러한 대수 눈금이 사용될려면 기준(reference)이 선택되어야만 한다. 따라서 표면 거칠기(dB)는

$$dB = 20 \times \log\left(\frac{\text{output}}{\text{reference}}\right) \dots\dots\dots (2)$$

와 같이 정의되지만 본 연구에서는 기준을 $0.001\mu m$ 로 선택하였기 때문에

$$dB_r = 20 \times \log\left(\frac{R_{rms}}{0.001}\right) \dots\dots\dots (3)$$

dB_r : 고정된 기준에 대한 상대적인 표면 거칠기(μm)

이다. 한편, 정현파로 나타나는 표면 거칠기 곡선은 단지 하나의 파장을 포함하기 때문에 하나의 정점을 가진 스펙트럼으로 변경된다. 일반적인 표면 거칠기 곡선은 몇개의 다른 주파수 성분을 가진 곡선의 조합으로 간주할 수 있으므로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (a_n \sin nx + b_n \cos nx) \dots\dots\dots (4)$$

a_n : $\sin nx$ 의 진폭 (dB)

b_n : $\cos nx$ 의 진폭 (dB)

식(4)에서 진폭 $a_1, a_2, \dots, a_n, b_1, \dots, b_n$ 등보다 훨씬 크다면 곡선은 $a_1 \sin x$ 만의 함수로 간주할 수 있다. 결국,

$$R_{rms} = 0.001 \times 10^{\frac{m(f_1)}{20}} \quad (m(f_1) \geq 10m(f_2))$$

$$R_{rms} = \sqrt{\sum_{i=1}^n [m(f_i)]^2} \quad (m(f_1) \leq 10m(f_2))$$

..... (5)

으로 표시할 수 있다.

$m(f_1)$: 특정 주파수에서의 진폭 (dB)

R_{rms} : 자승 평균 거칠기(μm)

서로 다른 몇개의 주파수 성분을 가진 파형들이 조합되어 이루어진 표면 거칠기 곡선은 정점과 골짜기 사이의 높이 및 중심선을 선정할 수 없으므로 R_{rms} 와 R_{max} 및 R_a 를 서로 연관시킬 수 없다. 그러나 식(5)의 $m(f_1) \geq 10m(f_2)$ 인 경우에는 f_1 을 제외한 모든 다른 주파수에서의 진폭은 "0(zero)"으로 간주할 수 있으므로 R_{rms} 값은 정점의 높이와 같다.

이 경우에는 표면 거칠기의 다른 변수들과 연관시킬 수 있다. 즉, 한개의 주파수 성분만을 갖고 있는 표면 거칠기 곡선은

$$y(x) = a \sin \frac{2\pi x}{L} \dots\dots\dots (6)$$

L : 표면 거칠기 곡선의 파장(μm)

$y(x)$: 표면 거칠기 곡선 중심선으로부터의 이탈량(μm)

로 표시할 수 있다.

R_{rms} 는 정의에 의하여

$$R_{rms} = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y(x)^2 dx} = \frac{a}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (7)$$

이고 R_a 역시 정의에 의하여

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx = \frac{2a}{\pi} \dots\dots\dots (8)$$

으로 표시된다.

R_{max} 는 표면 거칠기 곡선의 정점으로부터 골짜기 사이의 높이이므로 한개의 주파수 성분만 갖는 경우에는

$$R_{max} = 2a \dots\dots\dots (9)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 따라서 R_{rms} 와 R_a , 또한 R_{rms} 와 R_{max} 와의 상관 관계를 각각 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$R_a = R_{rms} \times \frac{\sqrt{2}}{\pi}$$

$$R_{max} = R_{rms} \times 2\sqrt{2} \dots\dots\dots (10)$$

3. 실험 및 측정 방법

본 연구는 수치 제어식 공작 기계중 가장 일반적으로 사용되고 있는 NC선반에서 공구 형상, 절삭 속도 및 이송 변화에 따라 표면 거칠기 곡선 형성 인자의 거동을 규명하기 위한 것이다. 시험편은 일반 기계 요소에서 가장 많이 사용되고 있는 기계 구조용 탄소강(SM45C)을 사용하였으며, 시험편 치수는 가공시 떨림이나 굽힘 등의 영향을 고려하여 $\phi 38 \times l 190$ 으로 하였다. 가공 조건에 따라 동축에 시험편을 5개씩 절취하였으며 공작 기계는 NC선반(PUMA6, 대우)을 사용하였다.

가공 조건은 절삭 깊이를 2mm로 일정하게 하고, 절삭 속도를 150, 200, 250 m/min, 이송 0.05, 0.1, 0.3 mm/rev으로 변화시키고, 절삭 공구를 바꾸면서 앞의 가공 조건을 반복하여 습식 가공하였다.

공구는 SNMG120404, SNMG120408, DNMG150404, DNMG150408(KORLOY)의 4 종류를 선정하였으며 그 형상은 각각 Fig. 1의 (a), (b)와 같다.

위와 같은 조건으로 가공된 시험편의 표면 거칠기 곡선을 주파수 분석기에서 Y축을 dB, X축을 주파수 영역으로 설정하여 분석하였다. 이때 표면 거칠기 측정기의 축침 선단반경은 5 μ mR, 축침 횡단 속도는 0.12 mm/sec, 컷오프(cut off)값은 0.8 mm로 조정하였으며, 주파수 분석기의 주파수 범위를 0~20 kHz, 감도범위를 0~120 dB로 고정시켰다. 또한 표면 거칠기 곡선 형성 인자를 분리하기 위하여 속도 0.01 m/sec가 2.18 mV로 출력되도록 조정된 가속도계를 사용하였

다. 표면 거칠기 곡선 형성 인자들중 주축과 바이트의 떨림에 대한 영향을 규명하기 위하여 바이트 상면과 주축대에 가속도계를 부착하여 떨림 성분을 속도성분으로 출력시켜 이를 주파수 분석하였으며 이 결과를 표면 거칠기 곡선의 주파수 분석 결과와 비교 검토 하였다.

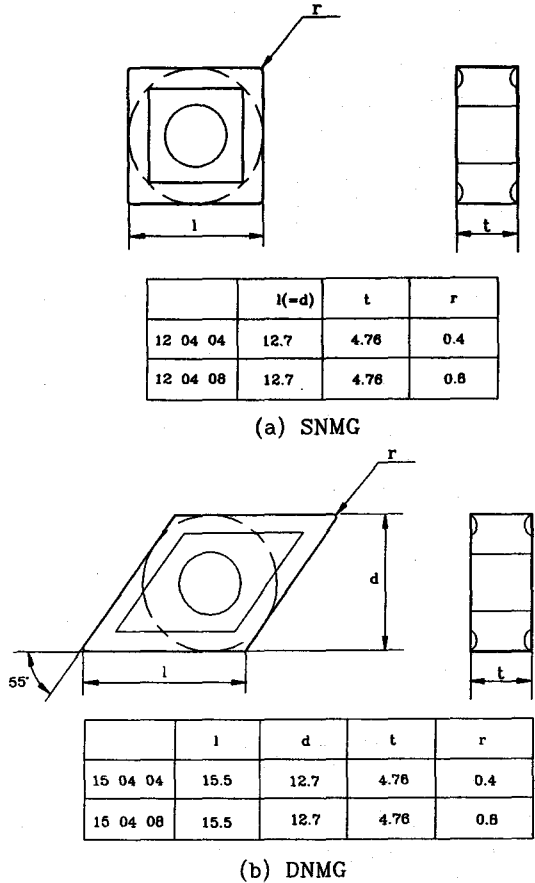


Fig. 1. Tool configuration (unit : mm).

Fig. 2는 표면 거칠기 측정을 위한 블록 선도로써 표면 거칠기 측정기에서 분석된 표면 거칠기 곡선을 증폭시켜 주파수 분석하였다. 한편, 가속도계에서 검출된 바이트와 주축의 떨림은 증폭기를 거쳐 주파수 분석하여 인터페이싱 카드(interfacing card)에 의하여 컴퓨터로 전송될 수 있도록 하였다. 그리고 분석 결과들을 정성적으로 도시하기 위하여 auto-cad와 연계하여 일괄 작업이 가능하도록 프로그래밍하였다.

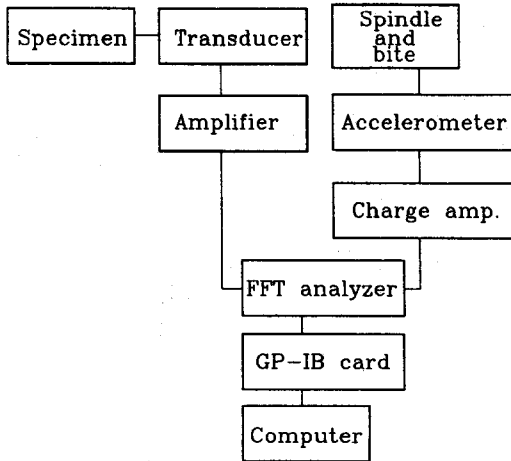


Fig. 2. Diagram of experimental set-up for measurement of surface roughness.

4. 실험 결과 및 고찰

4. 1 이송의 영향

Fig. 3, 4, 5는 절삭 속도를 150 m/min로 일정하게 하고 공구는 SNMG120408을 사용하여 이송 0.3, 0.1, 0.05 mm/rev으로 변화시킨 경우 표면 거칠기 곡선의 주파수 분석 결과 및 바이트의 떨림 상태를 도시한 것이다. Fig. 3의 (a)는 표면 거칠기 곡선의 주파수 분석 결과로써 0.4 Hz에서 한 개의 정점(peak)을 가

지고 있다. 식(1)에 의하여 이 정점의 파장을 계산하면 0.3 mm로 이송량과 동일하므로 이 영역의 표면 거칠기는 이송에 의한 영향임을 알 수 있다. (b)는 바이트 떨림을 가속도계에서 속도 성분으로 출력시켜 이 파형을 주파수 분석한 그림으로 5000, 5800 Hz의 주파수 영역에서 32, 25 mV의 정점이 나타나고 있다. 이 주파수 영역의 파장을 계산하기 위하여 먼저 주기를 계산하면 0.0002, 0.00017 sec이다.

파장은 속도와 주기의 곱으로 표현되므로 속도 0.1468, 0.114 m/s에 대한 각각의 파장은 0.029, 0.019 mm이다. 이 파장으로 보아 바이트의 떨림에 의한 표면 거칠기는 표면 거칠기 측정기에서 분석되어질 수 있으나 (a)그림에서 그 영향이 나타나지 않음을 관찰할 수 있다. 이는 이송이 크기 때문에 이송에 의한 무늬(layer) 내에 바이트 진동에 의한 무늬가 포함되었기 때문으로 추정된다.

Fig. 4의 (a)에서 1.25 Hz에서의 정점은 이송에 대한 영향이며 (b)그림의 0.5 Hz부근의 주파수 영역은 파장 분석에 의하여 파상도에 대한 영향임을 알 수 있었고 4000, 5700 Hz부근에서 발생하는 정점의 파장이 약 0.03 ~ 0.04 mm로 (a)그림의 2 ~ 3 Hz에서의 파장과 일치하고 있다. 그러나 (a)그림에서 뚜렷한 독립된 정점을 갖지 못하는 것은 이송과 바이트 떨림 이외에 불확정 인자들이 복합되어 나타나기 때문으로 사료된다.

Fig. 5의 (a), (b)를 비교하면 (a)그림의 1.25, 8 Hz영역의 파장이 (b)그림의 5700, 11000 Hz에서의

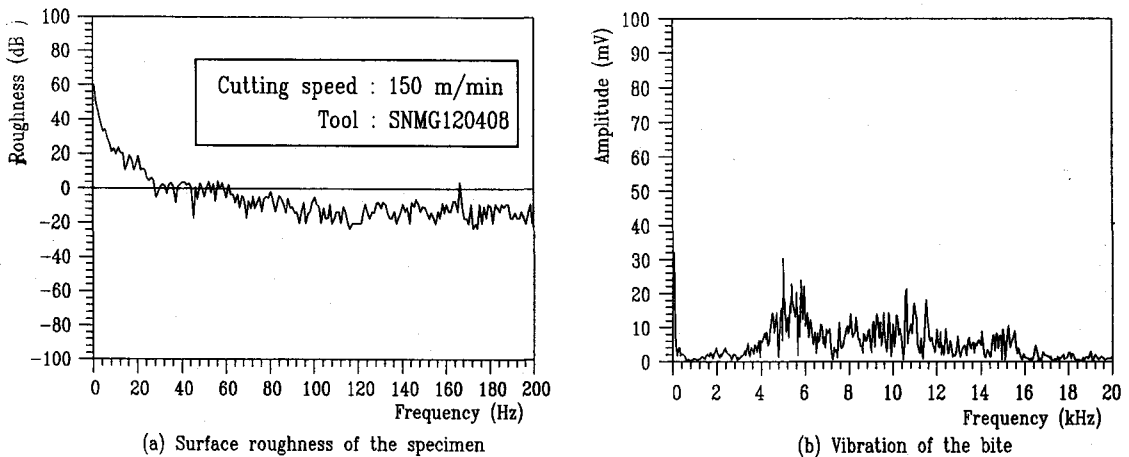
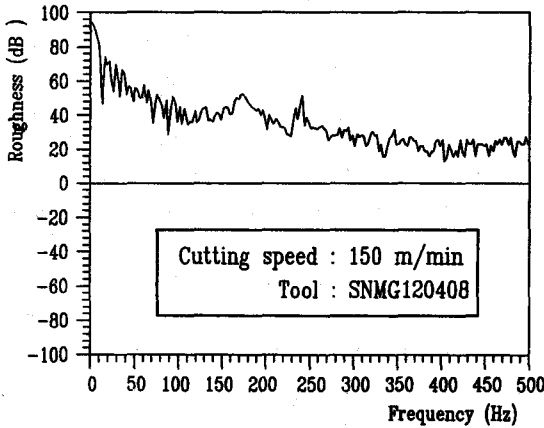
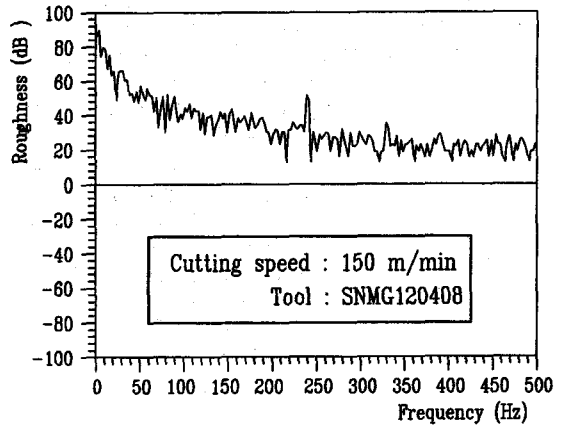


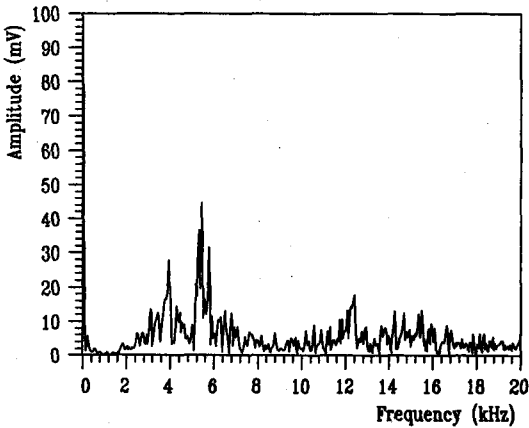
Fig. 3. Characteristics of components affecting surface roughness at feed of 0.3 mm/rev.



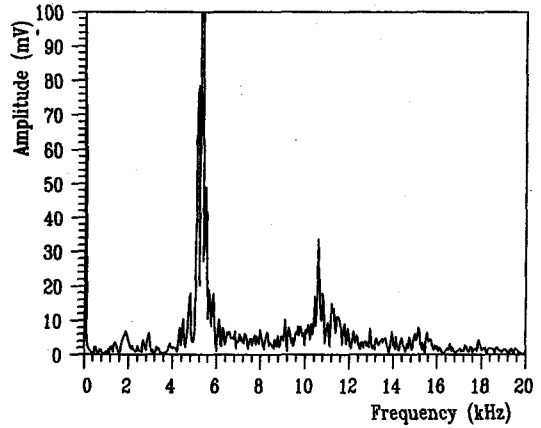
(a) Surface roughness of the specimen



(a) Surface roughness of the specimen



(b) Vibration of the bite



(b) Vibration of the bite

Fig. 4. Characteristics of components affecting surface roughness at feed of 0.1 mm/rev.

Fig. 5. Characteristics of components affecting surface roughness at feed of 0.05 mm/rev.

파장과 일치하고 있으며 (a)그림에서 이송에 대한 영향이 거의 나타나지 않고 있다. 이 현상으로 보아 바이트 떨림이 이송보다 표면 거칠기에 더 많은 영향을 미침을 알 수 있다. 그리고 (a)그림의 곡선이 완만한 것으로 보아 바이트 떨림 이외의 여러 인자에 의한 영향이 복합되어 있음을 추정할 수 있다.

결과적으로 바이트의 떨림은 이송이 적을수록 표면 거칠기에 미치는 영향이 커짐을 알 수 있다. 즉, 이송이 적으면 바이트의 떨림에 대한 영향이 뚜렷하며, 이송 이외의 다른 인자들이 표면 거칠기에 미치는 영향 역시 커진다.

4. 2. 절삭 속도의 영향

Fig. 6, 7, 8은 이송을 0.3 mm/rev, 공구 형상 DNMG 150408로 고정하고 절삭 속도를 150, 200, 250 m/min로 변화시킨 경우의 표면 거칠기 곡선을 주파수 분석한 결과이다. 각 그림의 (a)에서는 약 0.5 Hz 부근에서만 정점을 갖고 있으며 이는 이송과 일치하는 파장을 나타내고 있다. 또한 (b) 즉, 주축의 떨림에 대한 영향은 300 Hz 부근에서 정점을 갖고 있으나 그 파장이 0.0022 mm 정도로 극히 적어 주축에 어떤 결함이 존재하지 않는 한 본 연구의 작업 조건 범위내에서는 표면 거칠기에 영향을 미치지 않음

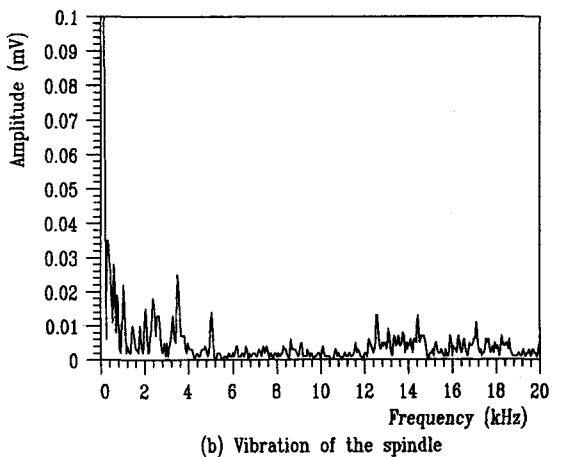
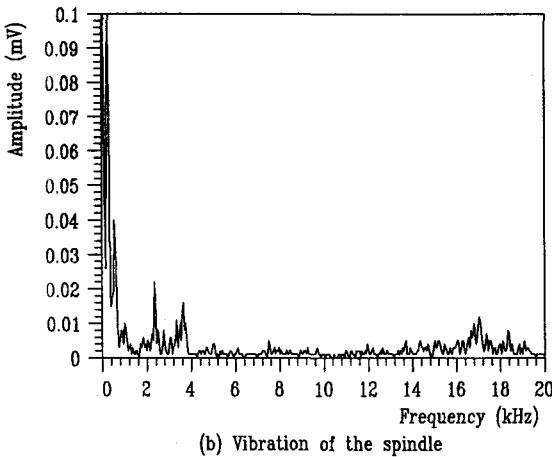
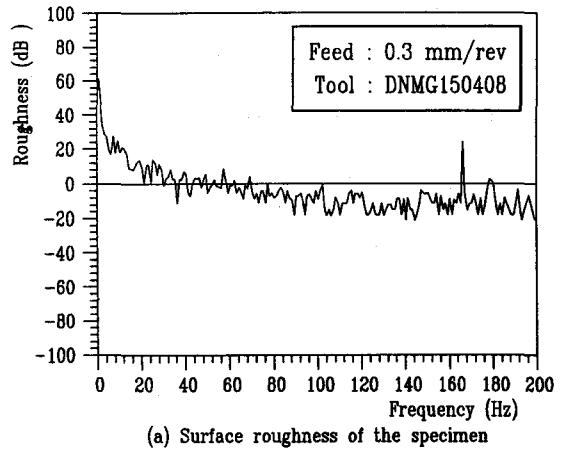
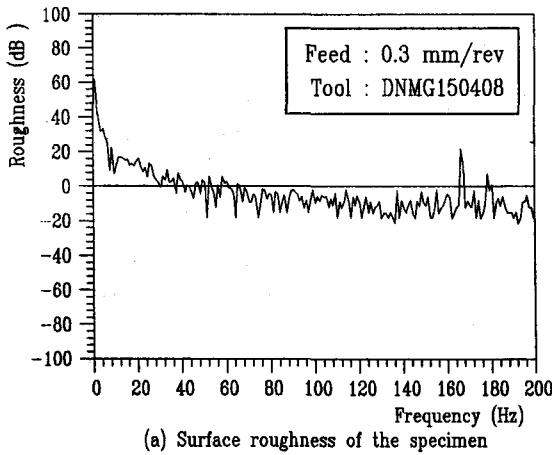


Fig. 6. Characteristics of components affecting surface roughness at feed of 150 mm/rev.

Fig. 7. Characteristics of components affecting surface roughness at feed of 200 mm/rev.

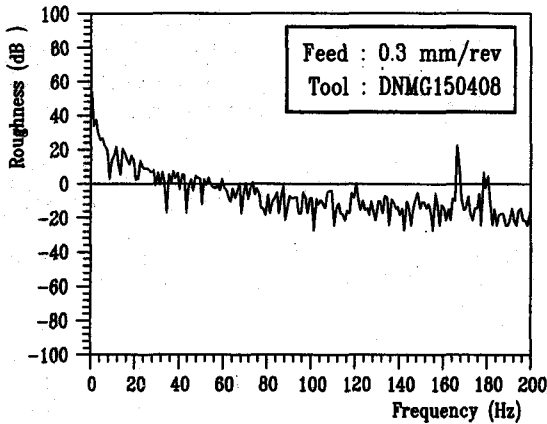
을 알았다. 이는 촉침 (stylus tip)의 선단 반경이 5 μmR 이었으므로 0.0022 mm의 파장은 측정되어질 수 없기 때문이다. 그러나 메인 베어링과 지어닐의 여유가 커지고, 베어링 강도가 적으면 떨림의 가능성이 많아지므로 피삭재의 탄성 변형이 커질 수 있다. 따라서 진동을 줄이기 위해서는 절삭 속도를 높게 하고 주축 베어링의 길이를 길게하는 등의 대책이 필요하다.

4. 3. 공구 형상의 영향

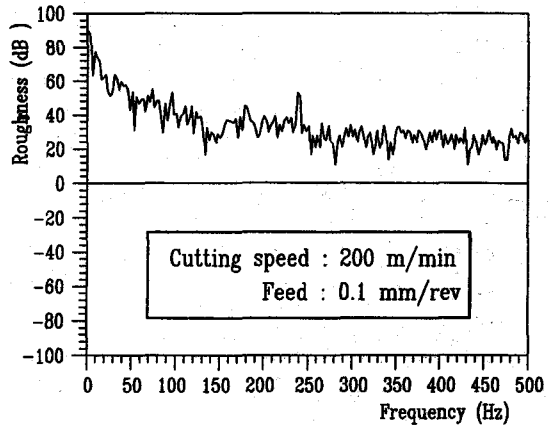
Fig. 9는 절삭 속도 200 m/min, 이송을 0.1 mm/rev으로 고정시키고 공구 형상을 SNMG120408, DNMG150408로 변화시킨 경우 표면 거칠기 곡선을 주파수

분석한 결과이다. 이 그림에서 보면 이송에 대한 영향은 첫번째 정점에서 뚜렷이 나타나고 있으며, 약 160 Hz 부근에서 정점을 갖고 있으나 앞 절에서의 분석 결과에서도 같은 현상을 보이고 있는 것으로 보아 이는 표면 거칠기 측정기 작동시 기계 자체의 떨림에 의한 영향으로 사료된다.

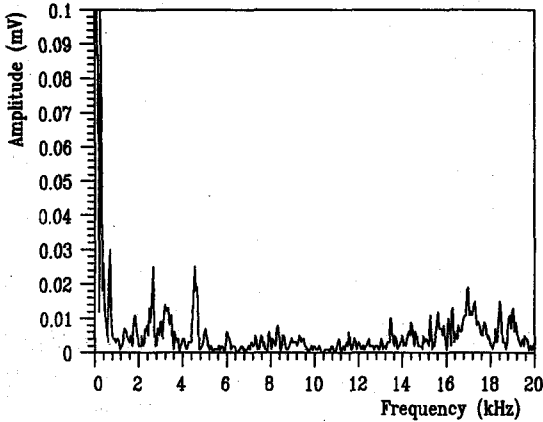
한편, 공구 선단 반경이 적을수록 표면 거칠기는 거칠어 지고, SNMG계열이 DNMG계열보다 더 큰 표면 거칠기를 나타내었다. 아울러 화이트 떨림은 작업 조건, 샹크(shank)의 돌출량, 인선 각도 등에 영향을 받지만 본 연구에서는 화이트의 주된 떨림을 분석하기 위하여 가속도계를 화이트 상면에 부착하여 실험하였으나 공구 형상 변화에 따른 표면 거칠기 곡선 형성 인자에는 뚜렷한 변화를 보이지 않았다.



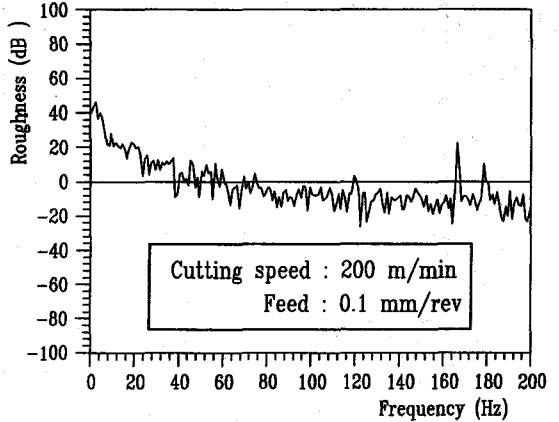
(a) Surface roughness of the specimen



(a) SNNMG120408



(b) Vibration of the spindle



(b) DNMG150408

Fig. 8. Characteristics of components affecting surface roughness to the tool configuration.

Fig. 9. Characteristics of components affecting surface roughness to the tool configuration.

5. 결론

본 연구는 기계 구조용 탄소강(SM45C)에 대하여 공구 형상, 절삭 속도, 이송을 변화시키면서 NC선반 작업한 경우 표면 거칠기 곡선 형성 인자의 거동을 규명한 것이다. 이를 위하여 주파수 분석기에 의하여 표면 거칠기 곡선을 주파수 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 각 조건 모두 이송의 영향이 가장 뚜렷하였으므로 이송이 표면 거칠기에 가장 큰 영향을 미친다.

2. 바이트의 떨림은 표면 거칠기 및 파상도 등에 동시에 영향을 미치며, 이송이 적을 수록 표면 거칠기에 미치는 영향은 커진다.
3. 정상적인 경우, 주축의 떨림은 표면 거칠기에 거의 영향을 미치지 않는다.
4. 공구 형상은 표면 거칠기 곡선 형성 인자의 생성변수가 되지 않는다.

<후 기>

본 연구는 1995년도 거제전문대학 교내연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참고 문헌

- 1) 田中義信, 津和秀夫, 精密工作法(上), 共立出版株式會社, 1974, pp.4-7.
- 2) 高澤考哉, 研削加工精度, 精密機械, 39卷 2號, 1983, pp.186-193.
- 3) M. Brock, Technical Review, New York, 1983, pp.3-6.
- 4) Motoyoshi Hasegawa, Statistical Analysis for the Generating Mechanism of Grinding Surface roughness, *Wear*, Vol. 29, 1974, pp.31-39.
- 5) S. J. Pande and G. K. Lal, Effect of Dressing on Grinding Wheel Performance, *Machine Tool Design and Research*, Vol. 19, 1979, pp.171-179.
- 6) G. Staufert, Description of Roughness Profiles by Separation the Random and Periodic Components, *Wear*, Vol. 57, 1989, pp.185-194.

Components Analysis of Surface Roughness in Turning Process by Frequency Analysis

Gyung-Nyun Kim
Koje Junior College

Abstract The purpose of this paper is to investigate components of surface roughness in turning with respect to the tool configuration and the changes of working conditions. Tool configurations of SNMG120404, SNMG120408 and DNMG150404, DNMG150408 are used, and working conditions such as cutting speed and feed are varied. That is, the changes of cutting speed and feed were 150, 200, 250 m/min and 0.05, 0.1, 0.3 mm/rev, respectively. From the results obtained by the frequency analysis with spectrum, it is noted that the surface roughness was influenced most significantly by the feed. It is also observed that the vibration of bite had an effect on both the surface roughness and the surface waviness. Moreover, the influence of surface roughness increases as the feed decreases. Lastly, the vibration of the spindle was found to have little influence on the surface roughness in normal cases and the tool configuration was not the components of the surface roughness.

(Received : September 23, 1995)