

선반가공시 채터 모델링과 분석에 관한 연구

윤문철*, 조현덕**, 김성근***, 김영국****, 조희근****

A Study on the Modeling and Analysis of Chatter in Turning Operation

M. C. Yoon* , H. D. Cho**, S. K. Kim***, Y. K. Kim****, H. G. Cho****

Abstract

In this study, the static and dynamic characteristics of turning process was modelled and the analytic realization of regenerative chatter mechanism was discussed. In this regard, we have discussed on the comparative assessment of recursive time series modeling algorithms that can represent the machining process and detect the abnormal machining behaviors in precision turning operation. In this study, simulation and experimental work were performed to show the malfunction behaviors. For this purpose, new Recursive Extended Instrument Variable Method(REIVM) was adopted for the on-line system identification and monitoring of a machining process. Also, we can apply REIVM algorithm in real process for the detection of chatter frequency and dynamic property and analyze the stability lobe of the system by changing a parameter of cutting dynamics in regenerative chatter mechanics, if it is stable or unstable. Also, The stability lobe of chatter was analysed.

Key Words : ARMA(자동회귀 이동평균), REIVM(순환확장기구변수법), diagnostics(진단), vibration mode(진동모우드), chatter frequency(채터주파수), regenerative chatter(재생채터), stability(안정성), damping ratio(감쇠계수)

1. 서 론

최근에는 정밀기계, 전기·전자, 반도체, 광학 등을 비롯한 영상, 정보 및 항공우주 산업 등의 급속한 발달로 인하여 그 구성 부품들의 고정도 가공의 필요성이 증대하고 있다. 또한, 금형산업, 항공산업, 자동차산업 등에서 매우

널리 이용되고 있는 선삭가공은 그 작업의 중요성에 비해서 가공정밀도를 개선시키기 위한 연구가 필요하다. 공작기계 사용의 궁극적인 목적은 주어진 시간내에 일정한 정밀도를 유지하면서 절삭량을 최대로 올리는데 있다.

그러나, 실제 가공에 있어서는 여러 가지 절삭 트로블에 의해서 종종 제약을 받는다. 그리고, 특히 선삭에서 채터

* 부경대학교 기계공학부(mcyoon@pknu.ac.kr)
** 경일대학교 기계공학부
*** 호서대학교 기계공학부
**** 부경대학교 기계공학부 대학원

는 공작물의 정도나 진원도 또는 여러 가지 요소에 영향을 미치는 인자이다. 이런 채터진동에 관한 연구는 Tobias⁽¹⁾에 의해 채터진동 발생기구에 대하여 최초로 연구되어진 후 많은 연구자에 의해서 다양한 연구가 진행되어지고 있다. 기계가공에 있어서는 공작기계, 절삭공구 및 공작물이 매우 복잡한 동적 특성을 가지고 있는 구조를 하고 있다고 볼 수 있으며, 따라서 이들이 상호 운동할 때는 각종 원인에 의하여 진동현상이 일어난다. 특히, 선삭에서 절삭공구와 공작물 사이의 주기적인 상대진동이 원인이 되고 있다. 이 진동이 어느 정도 과해지면 치수정밀도가 저하하고, 가공물의 표면이 악화될 뿐 아니라 공구의 마멸을 촉진하여 공구수명이 감소되고, 공작기계 성능에도 좋지 못한 영향을 미쳐서 생산성능의 저하와 원가상승의 원인이 된다.^{(1),(2)} 따라서, 이 진동을 억제하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있으나 많은 변수(parameter)와 절삭조건들이 상관하기 때문에 정확한 결과를 얻는 것은 상대적으로 어렵다.

본 논문에서는 선반가공의 채터스펙트럼 분석으로 실험적 모델링 기법인 자동회귀이동평균(ARMA : Auto Regressive Moving Average) 모델에 의한 ARMA 스펙트럼 분석으로 채터주파수를 감지하고 절삭조건에 따른 특성을 분석하고 주축의 회전속도에서 채터발생의 안정 및 불안정 영역을 구하여 채터를 피할 수 있는 절삭조건 선택 방법과 공작기계의 설계 데이터와의 관계를 분석하여 채터를 피할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. 관련이론

2.1 REIVM 스펙트럼 분석

가공시스템의 데이터의 수학적 모델링과 실시간으로 실험적인 데이터를 수집하여 시계열모델링을 하였으며, 이 모델의 모델링 변수의 거동으로 그 가공시스템의 특성을 판단하고 가공상태를 진단하기 위하여 ARMA 모델링 기법 중 REIVM (Recursive Extended Instrument Variable Method : 순환확장기구변수법) 모델링을 이용하였고, 이 시스템의 가공현상을 on-line 감지를 위한 진단시스템을 구성하였다. 이 방법으로 가공상태의 특성 및 이상현상을 확인할 수 있도록 하였다. 이때 시계열 모델링을 위해 사용된 신호로는 공구동력계의 절삭력 신호를 사용하였다. 또한, REIVM ARMA 스펙트럼 분석으로 이상상태를 감지하였다. REIVM 알고리즘은 선삭, 보링, 드릴링, 연삭, 특수가공 등 제가공 분야에도 적용하기 가능하고, 본 논문에서 사용된 절삭력 신호 이외에 다른 신호를 이용해도 시스템

의 온라인분석이 가능하다. 따라서, 일반적으로 선반가공 시스템은 다음과 같은 이산형태의 ARMA 시계열 모델로 나타낼 수 있고, 자동회귀, 이동평균 차수를 각각 n, m이라고 하면, ARMA(n,m) 모델은 다음과 같다.⁽³⁾

$$\begin{aligned} (1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_nz^{-n})x(t) \\ = (1 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_mz^{-m} + a(t)) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, $a_i, i = 1, 2, \dots, n$: 자동회귀변수

$b_i, i = 1, 2, \dots, m$: 이동평균변수

$z^{-1}x(t) = x(t-1), z^{-1}$: 지연연산자

$a(t)$: 백색잡음, $E[a(t)] = 0$

$E[a(t) a(t-u)] = \sigma_a^2 \delta_u, \delta_u$: Kronecker Δ 함수

ARMA 모델링법 중에서 스펙트럼을 분석하기 위한 방법에는 on-line 방법과 off-line 방법이 있는데, on-line 감지를 위한 스펙트럼 분석법으로 REIVM을 사용하였다. 간략히 정리하면, 시계열 신호 데이터 $x(t)$ 는 차수(n, m)의 ARMA 모델로 모델링할 수 있고, 일반적인 순환확장기구 변수법의 알고리즘은 다음과 같이 정의된다.⁽³⁾

$$\phi(t) = [-x(t-1)K, -x(t-n), \hat{e}(t-1)K, \hat{e}(t-m)]^T \quad (2)$$

$$e(t) = [-x(t-1-m)K, -x(t-n-m), \hat{e}(t-1)K, \hat{e}(t-m)]^T \quad (3)$$

$$e = x(t) - \phi^T(t)\theta(t-1) \quad (4)$$

$$R(t) = \left(I - \frac{R(t-1)z(t)\phi^T(t)}{\lambda(t) + \phi^T(t)R(t-1)Z(t-1)} \right) \frac{R(t-1)}{\lambda(t)} \quad (5)$$

$$K(t) = \frac{R(t-1)Z(t)}{\lambda(t) + \phi^T(t)R(t-1)Z(t-1)} \quad (6)$$

$$\theta(t) = \theta(t-1) + K(t)e(t) \quad (7)$$

$$e(t) = x(t) - \phi^T(t)\theta(t) \quad (8)$$

단, $\lambda(t+1) = \lambda(t) + (1-\lambda)$ ($\lambda = 0.99, \lambda(0) = 0.95$)
여기서, 파라메타 $\lambda(t)$ 는 망각지수이고, 일반적으로 그 크기를 1에 가깝게 한다. 알고리즘의 초기 조건은 상

수 α 가 상당히 큰 임의의 수치이고 다음과 같이 선택할 수 있다.

$$R(0) = \alpha I, \quad \theta(0) = 0, \quad \varphi(0) = 0$$

ARMA모델링 상수를 REIVM 알고리즘에 의해 구한 후 다음 식에 의하여 스펙트럼을 얻을 수 있다. 스펙트럼을 Direct form 형태로 표현하였다.

$$H(z) = \frac{N(z)}{D(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + K + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + K + a_n z^{-n}} \quad (9)$$

식에서 $z = e^{i\omega T}$ 를 대입하여 파워스펙트럼과 위상스펙트럼을 구할 수 있다.

2.2 chatter 해석

Fig. 1에서 바이트의 날이 공작물을 깎고 한바퀴 회전 후에 공구와 공작물 사이의 진동에 의해서 동적인 칩두께의 성분으로 표현될 수 있고, y 축만의 1자유도의 2차 시스템의 모델로 단순화 할 수 있다. 따라서, 이 경우의 공작물과 공구사이의 절삭동역학은 동적인 절삭력의 변화

가 가해지는 2차 시스템으로 표현할 수 있다. 공구가 현재의 절삭날이 가공되는 절삭깊이를 $y(t)$, 1 회전전의 T시간 이전에 절삭하였을 때의 절삭깊이를 $y(t-T)$ 라 하면, 이 모델의 동적 칩 두께(dynamic chip thickness)는 선반가공의 경우 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$h(t) = h_0 - [y(t) - y(t-T)] \quad (10)$$

chatter 진동의 안정성에 대해서는 바이트의 날과 공작물에서의 절삭동역학은 다음과 같은 2차 방정식으로 표현된다.

$$m_y \frac{d^2 y}{dt^2} + c_y \frac{dy}{dt} + k_y y(t) = F_f(t) = K_f a h(t) = K_f a [h_0 + y(t-T) - y(t)] \quad (11)$$

여기서, 만약 연속되어 가공되는 두 절삭날의 상대위치가 $y(t) - y(t-T) > h_0$ 가 되면 동적인 칩 두께와 절삭력은 음이 아니고 0이 된다고 할 수 있다. 식(10)을 라플라스 변환하여 정리하면,

$$h(s) = h_0 - y(s) + e^{-sT} y(s) = h_0 + (e^{-sT} - 1)y(s) \quad (12)$$

이고, 동적절삭력은 $F_f(s) = K_f a h(s)$ 이며, 진동변위 $y(s)$ 는 $y(s) = F_f(s)\Phi(s) = K_f a h(s)\Phi(s)$ 이다.

식(11)의 양변을 라플라스 변환하고, 식(12)을 대입하면 모델의 전달 함수는 다음과 같다.

$$\Phi(s) = \frac{y(s)}{F_f(s)} = \frac{\omega_n^2}{k_y (s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2)} \quad (13)$$

또, $y(s)$ 를 $h(s)$ 로 대입하여 정리하면 전달함수는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\frac{h(s)}{h_0(s)} = \frac{1}{1 + (1 - e^{-sT})K_f a \Phi(s)} \quad (14)$$

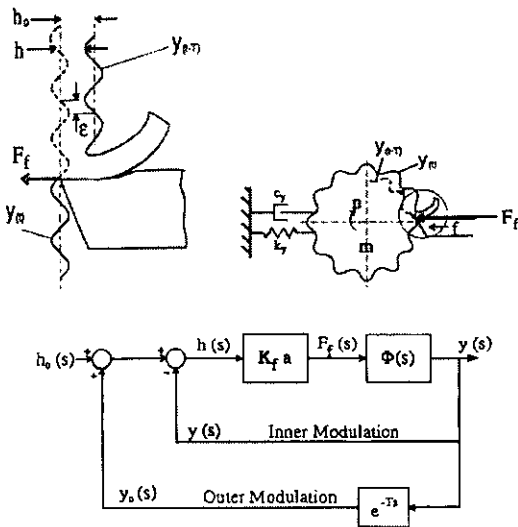


Fig. 1 Wave generation and block diagram of chatter dynamics

이 전달함수의 특성방정식에 의해 안정성을 판별할 수 있고 즉,

$$1 + (1 - e^{-sT})K_f a \Phi(s) = 0 \quad (15)$$

임계경계영역을 구하기 위한 ($s = \sigma + j\omega_c$) 특성방정식은 다시 다음과 같이 된다.

$$1 + (1 - e^{-j\omega_c T})K_f a_{lim} \Phi(j\omega_c) = 0 \quad (16)$$

여기서, a_{lim} 는 채터 진동에서 안정 경계영역의 축 방향의 절삭깊이이고, 이 조건의 특성방정식은 다음과 같다. 여기서, 전달함수를 실수부와 허수부로 표현하면 전달함수 $\Phi(j\omega_c) = G + jH$ 이 된다. 이것을 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\{1 + K_f a_{lim} [G(1 - \cos \omega_c T) - H \sin \omega_c T]\} + j\{K_f a_{lim} [G \sin \omega_c T + H(1 - \cos \omega_c T)]\} = 0 \quad (17)$$

이 조건을 만족하기 위해서는 실수부와 허수부가 각각 0 이어야 한다. 우선 허수부분이 0 이어야 하는 조건을 다시 정리하면

$$G \sin \omega_c T + H(1 - \cos \omega_c T) = 0$$

$$\tan \Psi = \frac{H(\omega_c)}{G(\omega_c)} = \frac{\sin \omega_c T}{\cos \omega_c T - 1} \quad (18)$$

이 된다. 또한, 전달함수의 위상차 Ψ 는 식(18)로 주어진다. T 시간 이전에 지나간 공구날과 현재날과의 위상차는 주축의 회전속도(n[rev/s])와 채터주파수(ω_c)와의 관계는 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$f_c [Hz] \cdot T[s] = \frac{f_c}{n} = k + \frac{\epsilon}{2\pi} \quad (19)$$

여기서, k는 각각의 안정영역의 경계를 나타내는 채터로브를 나타내는 정수이고, $\epsilon/2\pi$ 는 완성되지 못한 웨이브 위상차를 나타내는 부분이다. 각도 ϵ 는 내·외부형상의 위상차로 표현된다. 만일 $\epsilon/2\pi$ 가 정수이면, 이전회전의 상태와 현재상태에서 바이트에 의해 생성되는 칩 표면의 내·외부 웨이브의 위상차는 0 또는 2π 의 배수가 된다. 이 경

우, 내부 $y(t)$ 와 외부 $y(t-T)$ 웨이브는 서로 평행하다. 내·외부 웨이브의 위상차는 $\epsilon = 3\pi + 2\Psi$ 이다. 절삭 주기(T[s])와 회전속도(n[rev/min])의 상관관계는 다음과 같다.⁶⁾

$$T = \frac{2k\pi + \epsilon}{2\pi f_c} \rightarrow n = \frac{60}{T} \quad (20)$$

또한, 특성방정식의 실수부를 0으로 하여 경계 조건을 구하면, 경계영역을 나타내는 축방향 절삭깊이 식 a_{lim} 은 다음과 같다.

$$a_{lim} = \frac{-1}{K_f G[(1 - \cos \omega_c T) - (H/G) \sin \omega_c T]} \quad (21)$$

3. 실험 및 실험방법

본 실험에서는 주축모터의 소비동력이 10kW인 범용선반을 사용하였고, 공작물의 외경은 100mm, 길이는 250mm인 SM45C 시편을 편심이 없도록 하기 위하여 전가공을 실시하고, 절삭저항측정에 있어서 마찰특성이나 공작물의 진동영향을 일정하게 유지하기 위하여 절삭유는 사용하지 않았다. 선삭가공시 절삭력과 채터진동을 측정하기 위하여 구성된 실험장치는 Fig. 2와 같다. 선삭가공에서 공구동력계를 장착할 수 있도록 지그를 설계하여 부착하였다. 지그에 대한 설계도는 Fig. 3에 도시하였다. 실험은 대구 텍에서 제작한 PSBNR 2020M 12 선삭 홀더와 SNMG120408/TT2500의 초경 인서트를 사용하였다. 선반에 설치된 Kistler 압전소자형 공구동력계 (3-Component Dynamometer)-9272B를 이용하여 얻은 절삭신호를 Amp.로 증폭한 후 아날로그 신호를 A/D 변환기를 거쳐 cassette data recorder (TEAC MR-10), oscilloscope (HUNGCHANG 5504 40MHz)에서 관찰할 수 있었고, 이 신호는 PC로 전송하여 데이터를 처리 하였다 (DT3001, Global Package). 공구동력계와 시편을 설치하여 절삭력을 측정하는 실험장치를 Photo 1에 나타내었다. 채터진동과 절삭력을 측정하여 특성을 파악하기 위한 가공조건으로 회전수 440 ~ 660rpm, 이송속도 0.105 ~ 0.33 mm/rev, 절삭깊이 1 ~ 2 mm의 범위를 택하였다. 정확한 데이터를 산출하기 위하여 절삭조건에 증감을 규칙성 있게 선택하여 실험을 하였다. 선반의 동력의 한계성이 있어서 절삭깊이가 깊은 강력 절삭은 곤란하였다.

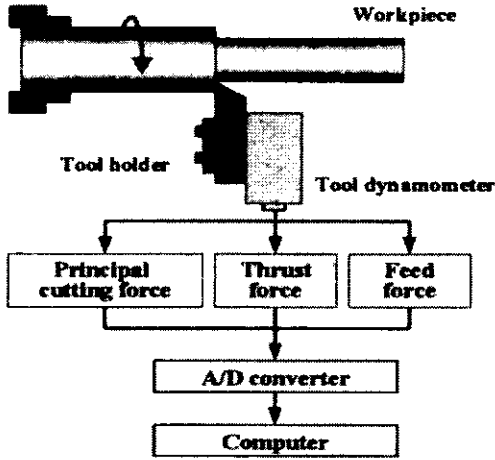


Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup.

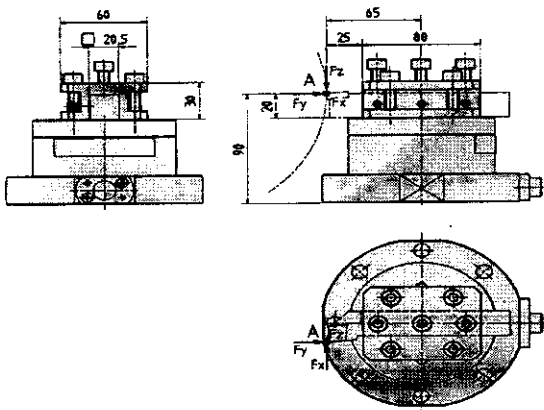


Fig. 3 Jig design for measuring 3 component force

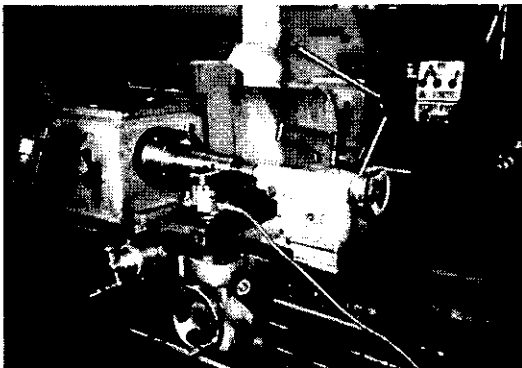


Photo 1 Setup for the experiments

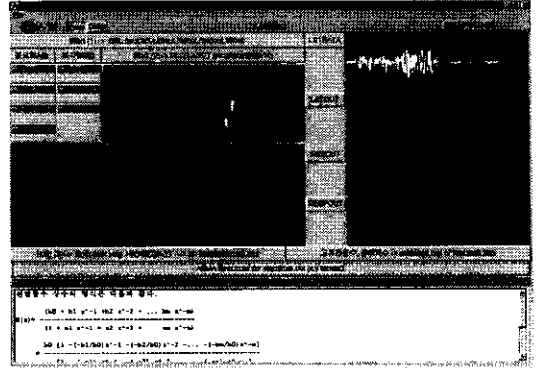


Fig. 4 Main menu of the developed software

Fig. 4는 PC 소프트웨어를 이용하여 A/D 변환기(DT:3001)를 사용하여 실험한 데이터를 변환하여 컴퓨터에 저장하여 REIVM(순환확장기구변수법)으로 ARMA 알고리즘으로 변환시켜 분석한 프로그램 메뉴를 보여 주고 있다. Start (2) 버튼에서 프로그램이 수행되어 ARMA 변수 a(i), b(i)가 계산되고, 스펙트럼이 계산된다. 또한, 실제 실험데이터의 잔차(residual)와 잔차예측치 그리고, 신호의 예측치도 볼 수 있다.

4. 해석결과 및 고찰

4.1 절삭력 신호 분석

Fig. 5는 실제 공구동력계에서 검출한 실제 신호와 노이즈를 보여주는 것이다. 직경이 96 mm 인 공작물을 이용하여 (a)는 절입량이 1 mm이고, 회전속도가 440 rpm, 이송속도가 0.105 mm/rev일 때의 채터가 거의없는 신호이고, (b)는 절입량이 1 mm이고, 절삭속도는 440 rpm, 이송속도가 0.30 mm/rev일 때의 채터 발생 신호를 나타내며, (c)는 절입량이 2 mm이고, 절삭속도가 660 rpm, 이송속도가 0.30 mm/rev인 채터 발생 신호이다. (d)의 신호는 절입량이 1.5 mm이고, 주축 회전이 440 rpm, 이송속도가 0.30 mm/rev 일 때의 채터 발생 신호를 보여준다. Fig. 5의 전체 신호를 살펴보면 시간영역에서의 채터진동, 동적 성질을 잘 예측하거나 판단할 수 없다.

4.2 채터 스펙트럼 분석 비교

본 논문에서는 REIVM 순환알고리즘으로 절삭조건에 따라서 나타나는 채터의 주파수 분석을 비교하였다. Fig.

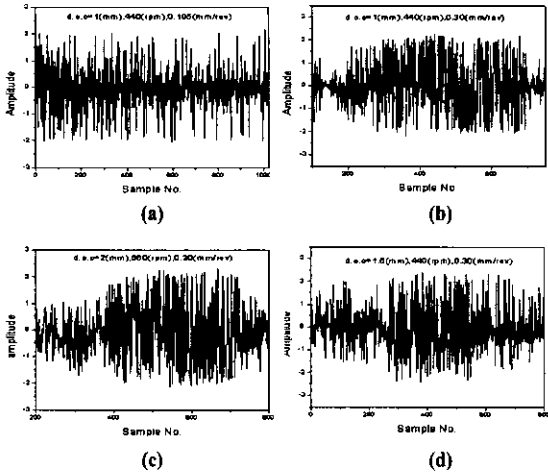


Fig. 5 Signal with dynamic properties and noise

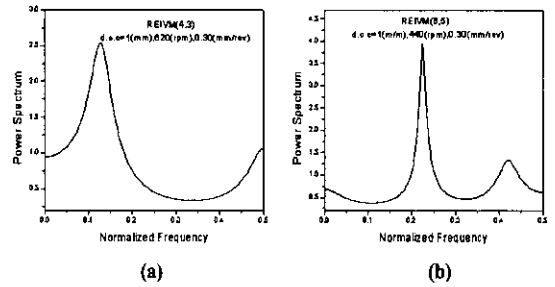


Fig. 7 Power spectral density for experiments

는 것을 알 수 있다. Fig. 6 (a), (b), (c)에서 주파수의 이동이 REIVM에서 잘 보여지는데 각각의 그림에서 주파수가 각각 0.21(210Hz), 0.13(130z) 그리고, 0.25(250Hz)에서 채터주파수가 보여진다.

따라서, 절입량이 증가할수록 오른쪽으로 이동(shifting)하는 경향을 알 수 있다. 즉, 채터 주파수 같은 이상 주파수의 영역이 낮은 주파수 범위에서 높은 주파수의 영역으로 이동되고 있음을 보여주고 있다. Fig. 7은 절삭속도에 따라서 주파수가 이동되는 경향을 알아 볼 수 있도록 분석한 것이다.

Fig. 7 (a), (b)는 절입량 1 mm이고, 이송속도 0.3 mm/rev에서 주분력 신호의 파워스펙트럼을 얻은 결과이다. 채터진동과 동적성질 등을 분석한 것인데, 대체적으로 REIVM기법에서 채터주파수 분석이 잘 나타나는 것을 알 수 있다. 그림에서 채터주파수의 이동이 REIVM에서 잘 보여지는데 각각의 그림에서 주파수가 각각 0.32 (320Hz), 0.3 (300Hz), 0.13 (130Hz) 그리고, 0.24 (240Hz)에서 채터주파수가 보여진다. 따라서, 절삭속도가 감소할수록 오른쪽으로 채터모우드가 이동(shifting)되는 경향을 알 수 있다. 그러므로, 주속이 감소할수록 고주파 채터가 일어나기 쉬움을 알 수 있다.

Fig. 8은 채터가 일어난 경우로서 이송량의 증가에 따른 채터주파수의 거동을 알아보기 위하여 절입량이 1mm, 절삭회전속도가 440rpm의 조건에서 각각의 이송속도를 증가시켜 주분력 신호를 처리하여 REIVM으로 파워스펙트럼을 얻은 결과이다. REIVM으로 고유주파수의 변동을 가지고 채터진동과 동적성질 등을 분석한 것인데, 여기서도 위의 실험에서와 마찬가지로 REIVM기법에서 주파수 분석이 잘 나타나는 것을 알 수 있다. 주파수의 이동이 잘 보여지는데 Fig. 8 (a)에서는 0.34 (340Hz)에서 나타나며, Fig. 8 (b)에서는 0.21 (210Hz) 그리고, Fig. 8

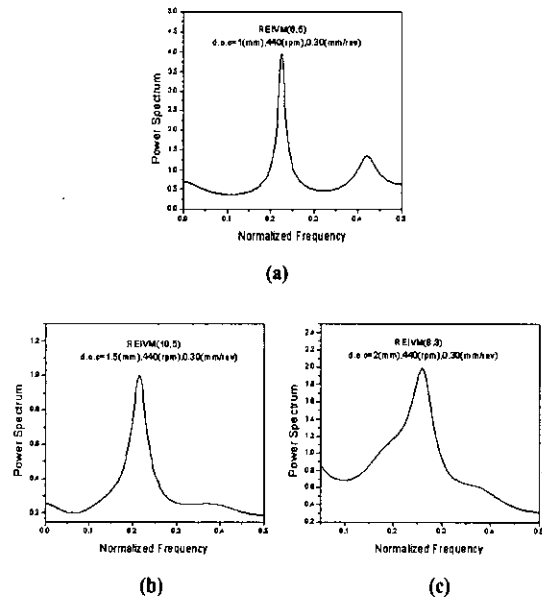


Fig. 6 Power spectral density

6 (a)는 절입량이 1 mm, 회전수가 440 rpm이며, 이송속도가 0.30 mm/rev의 조건에서 주분력 신호를 처리하여 REIVM으로 파워스펙트럼을 얻은 결과이다. Fig. 6 (b), (c)는 절입량을 증가시킨 각각의 경우, 그 파워스펙트럼을 구한 결과이다. Fig. 6은 REIVM 고유주파수의 변동을 분석한 것으로서 REIVM기법에서 주파수 분석이 잘 나타나

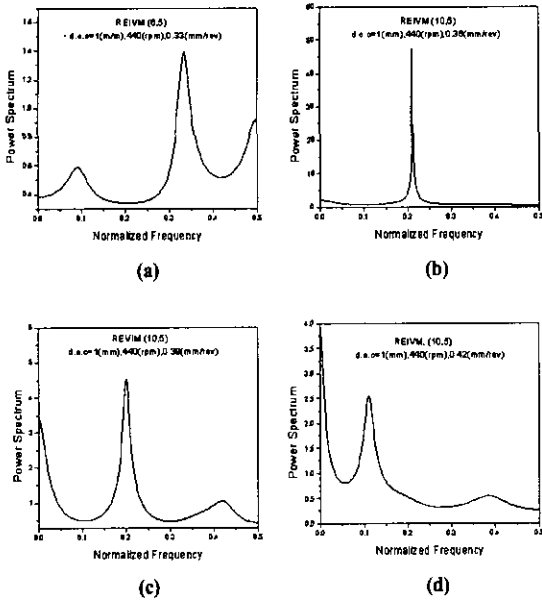


Fig. 8 Power spectral density for experiments

(c)에서는 0.2 (200Hz)에서 Fig. 8 (d)에서는 0.13 (130Hz) 부근에서 채터주파수가 보여진다. 따라서, 이송량이 증가할수록 저주파의 채터가 일어나고 있음을 알 수 있다.

4.3 채터의 안정성 해석

Fig. 9는 식(21)에 의해 절삭동력학의 ω_n 을 210Hz, ζ 를 0.12, K_f 는 2100 N/mm²로 하여 안정성을 나타내는 채터로브 영역을 구한 결과이다. 양의정수 k 가 0~5 일 때의 경우의 각각 안정영역과 불안정영역의 경계선을 보여주고 있으며, 경계영역의 아래영역은 안정영역을 나타내고, 위 영역은 불안정영역을 나타낸다. 채터 주파수는 불안정영역에 해당되는 회전수에서 나타나게 되며, 이를 Hz로 환산하면 채터 주파수가 된다. 따라서, 채터 주파수는 저주파 및 고주파의 채터가 모두 있을 수 있고, 그때의 절삭동력학의 고유진동수, 감쇠계수, 비절삭저항에 따라 그 발생 범위가 변동된다. 절삭상수 K_f 를 증가시키면, 임계절삭폭의 경계영역이 줄어들어 그 속도에서 조금만 절삭깊이를 더 주어도 채터가 일어날 가능성은 더욱 많아진다. 예를 들면, 알루미늄의 경우는 $K_f = 500 \sim 800$ N/mm² 정도이고, 사용한 강 의 경우는 약 $K_f = 1500 \sim 2500$ N/mm²이다. 여기서, 강의 경우가 크므로 알루미늄

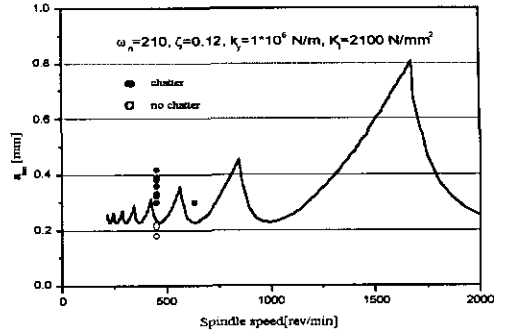


Fig. 9 Stability lobe of chatter boundary for turning

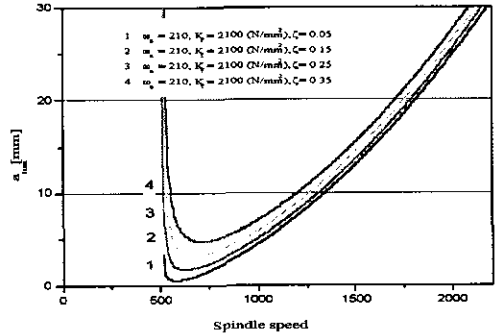


Fig. 10 Stability lobe for variable factor of cutting dynamics

을 가공하는 경우 전체적인 임계절삭폭 경계영역이 위로 이동하여 안정영역이 증가하며, 따라서 절삭깊이를 증가 시킴으로서 채터가 일어나게 된다.

Fig. 10은 절삭동력학 모델의 고유진동수가 210Hz, 비절삭저항이 2100 N/mm²인 경우 안정성 로브의 변화를 보여주고 있다. 감쇠계수를 증가시킬수록 안정경계영역이 위로 움직이며 안정영역이 넓어짐을 알 수 있으며, 또한 전체적으로 우측으로 이동되어진다는 것을 알 수 있다. 마찬가지로, 감쇠계수를 증가시킬수록 안정경계영역이 위로 움직이며 안정영역이 넓어짐을 알 수 있다.

Fig. 11은 감쇠계수가 0.2, 비절삭저항이 2100 N/mm²인 경우 모델의 고유진동수의 변화를 증가시키에 따라 안정성 로브의 변화를 보여주고 있다. 고유진동수를 크게 할수록 같은 양의정수 $k=2$ 인 두 번째 로브인 경우 안정경계영역이 오른쪽으로 움직이며 안정영역이 좁아짐을 알 수가 있다. 따라서, 이것을 기초로 공작기계를 설계하고, 절삭동력학의 조건을 선정될 수 있도록 공구, 공작물, 공

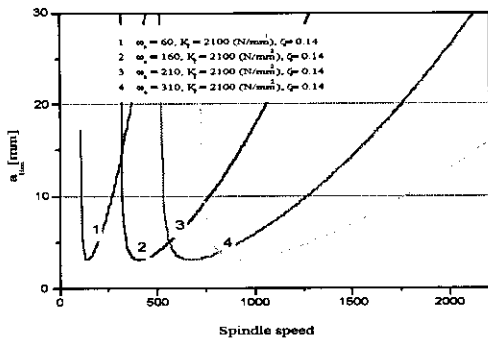


Fig. 11 Stability lobe for variable factor of cutting dynamics

작기계를 선택하여 가공하면, 가공하는 주축회전수에서 각각의 공작물인 경우 채터가 일어나는 임계절삭깊이를 알 수 있고, 따라서 이 깊이를 고려하여 절삭조건을 선택하면 채터를 피하여 가공할 수가 있다.

5. 결 론

본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 절입량이 커지고 절삭속도가 감소할수록 채터가 잘 발생하고, 저주파 채터 주파수 발생이 적어지며, 고주파의 채터가 발생하기 쉽게 된다. 즉, 440rpm일 때 채터의 주파수가 고주파 영역에서만 나타났다. 또한, 이송속도가 증가할수록 저주파의 채터가 잘 일어났다.
- (2) on-line 알고리즘 REIVM으로 절삭력의 동적성분을 분석할 수 있었다. 또한, 데이터 수가 적어도 REIVM 알고리즘에서는 정확하게 파워스펙트럼을 얻을 수 있었다.
- (3) 채터의 안정, 불안정영역을 경계영역 해석을 통하여 회전수와 임계절삭폭 간의 안정 및 불안정영역을 구분하여 판별, 분석할 수 있었다. 채터 동역학 시스템의 감쇠계수와 절삭상수가 증가할수록 안정영역이 넓어졌고, 또한 고유진동수가 증가할수록 각 로브가 오른쪽으로 이동하는 경향을 보였다. 따라서, 이런 결과는 채터를 피하면서 NC선반 등 공작기계와 관련된 공구제작 및 설계에 중요한 자료로 사용할 수 있다.

참 고 문 헌

- (1) Das, M. K. and Tobias, S. A., "The Relation between the Static and the Dynamic Cutting of Metal", Int. J., MTDR, Vol. 17, pp. 63~89, 1967.
- (2) F. Koengsberger and J. Tlusty., "Machine Tool Structure", Vol. 1, Pergamon Press, Oxford, 1970.
- (3) M. C. Yoon, H. D. Cho, S. K. Kim, "A Study on Diagnostics of Machining System with ARMA Modeling and Spectrum Analysis", KSMTE, Vol. 8, pp. 42~51, 2000.
- (4) Y. Altintas, "Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibration and CNC design" Cambridge univ. press, 1998.
- (5) J. Tlusty and M. Polacek, "The Stability of Machine Tools Against Self Excited Vibration in Machining", Int. Res. in Prod. Eng. ASME, pp. 465~474, 1963.
- (6) Y. Altintas, S. Engin, "Analytical Stability Prediction and Design of Variable Pitch Cutter", vol. 121, pp. 173~178, ASME, 1999,
- (7) S. M. Pandit and S. M. Wu, "Time Series and System Analysis with Applications", John Wiley and Sons, 1993
- (8) B. C. Rao, Y. C. Shin "A Comprehensive Dynamic Cutting Force Model for Chatter Prediction in Turning" Machine Tools & Manufacture, pp. 1631~1654, 1999.
- (9) Y. K. Kim, M. C. Yoon, M. K. Ha and S. B. Sim, "A Study on the Modeling and Diagnostics on Chatter in Endmilling Operation", KSPE Conference, pp. 971~974, 2001.