

이 논문은 1990년도 문교부지원 한국학술진흥재단의 지방대육성 학술연구조성비에 의하여 연구 되었음. ;

선삭가공에 있어서 채터진동의 인프로세스 검출에 관한 연구(II)

구 연 옥*, 정 의 식 **, 남궁 석***

A Study on In-Process Detection of Chatter Vibration in a Turning Process

Youn-Yoog Koo*, Eui-Sik Chung**, Suk Namgung***

ABSTRACT

There have been many studies on chatter vibration in machining but there seems to be no regulations to decide the commencing point of chatter objectively. The development of an objective method which can estimate and detect chatter commencement is very much in need for automatic manufacturing systems, dynamic performance tests for machine tools, and so on. In this study, an approach for in-process monitoring and for deciding commencing point of the chatter vibration using the frequency band-energy method was proposed. From this method, in-process monitoring system for detection the chatter vibration was developed, and investigated its practical possibility. As a result, it is shown by experiments that the chatter vibration can be detected accurately. Since the changing pattern of the signal energy in certain frequency band during chattering is seldom affected by the variation of cutting conditions, if adequate pre-measures are taken, this method can be widely used in most machining processes.

1. 서 언

기계가공시 발생하는 채터진동에 대한 발생기준과 발생 후의 거동, 그리고 방지방법에 대한 연구는 많이 이루어지고 있으나¹⁻³⁾, 그 발생점의 판정을 위한 엄밀한 규정은 아직 마련되어 있지 않은 실정이다.

특히, 최근 FMS 또는 FA 등의 고도로 자동화된 가공시스템에서는 실용적인 채터진동의 검출방법과 그 억제방법에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다. 그리고 이와같은 상황에서, 자동화된 공작기계에서 어떤 물리량

을 측정하여 채터진동의 발생을 인프로세스로 검출하고, 이를 실시간으로 감시할 수 있는 온-라인 자동 감시장치를 구축하는 것은, Feedback 제어를 행하지 않는 경우라도, 공학상 그 의미가 매우 크다고 할 수 있다.

이러한 관점에서, 전보⁴⁾에서는 절삭 중 채터진동의 인프로세스 검출 및 그 발생점의 판정에 절삭저항의 이용 가능성에 대하여 보고하였다. 즉, 절삭시 검출된 절삭저항의 신호를 주파수 분석하고, 칩-공작물체의 고유진동수에 대응하는 특정 주파수대역의 평균최대진폭 (peak값)의 거동을 조사한 결과, 절삭저항의 동적성분

* 충남대학교 대학원 (정회원)

** 대전공업대학 기계설계학과 (정회원)

*** 충남대학교 기계공학과 (정회원)

은 채터진동의 검출과 그 발생점 판정에 유용하게 이용할 수 있다는 결론을 얻었다.

따라서, 본 연구에서는, 위의 결과를 더욱 발전시키기 위한 단계로서, 절삭저항 신호를 이용하여 채터진동의 발생상황을 인프로세스로 검출하기 위한 구체적인 방법을 제안하고, 온-라인 자동감시장치를 구성하여 그 실용화의 가능성을 검토하였다.

2. 신호처리방법

본 연구에서는, 신호의 특징추출을 위한 신호처리방법에 주파수대역 에너지법(Frequency Band-Energy Method)⁵⁾을 이용하였으며, 검출된 신호의 평균에너지(E_a) 값을 구하여, 그 거동을 관찰함으로써 채터진동의 발생을 인프로세스로 검출하는 방법을 제안하였다.

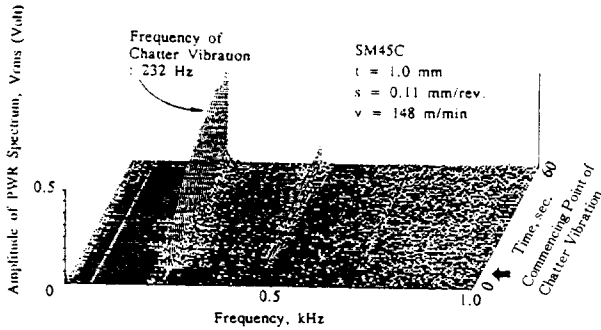


Fig.1 Example of measured amplitude spectrum of cutting force

Fig.1은 채터진동발생시 검출된 절삭저항의 신호를 주파수 분석한 결과의 대표적인 일예이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 채터가 발생하면 특정대역의 주파수 성분에서 채터진동에 대응하는 특징적인 거동이 나타난다. 이와같은 결과는, 주파수 축에 대하여 샘플링된 절삭저항의 신호 $X(t)$ 의 파워스펙트럴 G_x 가운데 어느 특정의 주파수대역(f_L ~ f_H)에 포함되어 있는 평균에너지 값을 구하고, 그 거동을 감시함으로써 채터진동의 검출이 가능함을 의미한다. 그리고 이때의 평균에너지는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$E_a^2 \chi_B = \int_{f_L}^{f_H} G_x(f) df \quad (1)$$

여기서, $G_x(f)$ 는 신호 $X(t)$ 의 파워스펙트럴 밀도함수이다.⁶⁾

그러나, 위식에 의한 주파수 영역에서의 신호처리방법은 주파수 분석하는데 시간이 요구되기 때문에 데이터를 실시간으로 처리하는데 문제가 있는 것으로 지적되고 있다.⁷⁾

만일, 대역통과필터(Band-Pass Filter)에서 f_L 과 f_H 를 차단주파수로 설정하고, 출력신호 $X(t)_{BPF}$ 를 직접 측정하는 경우, 이 신호의 평균에너지는

$$E_a^2 \chi_{BPF} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T X^2(t)_{BPF} dt \quad (2)$$

$$= \int_{f_L}^{f_H} G_x(f) df$$

로 표시할 수 있으며, 이는 신호 $X(t)$ 의 이송 평균 값이 된다.

그리고, 마이크로컴퓨터의 디지털시스템의 신호 $X(t)$ 의 샘플링과 양자화를 하기 위하여 데이터의 총수 N 을 갖는 불연속 시간급수를 $\{X_n\}$ 로 표시하는 경우, 평균에너지는

$$E_a^2 \chi_{BPF} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n^2 \chi_{BPF} \quad (3)$$

가 된다. 여기서 X_n 는 시간 t_n 에서 절삭저항신호의 채터진동 주파수성분이고, N 은 이산화된 신호의 샘플링수이다.

결국, 이상과 같은 변환과정을 통하여 데이터를 주파수영역에서 처리하지 않고, 식(3)을 이용하여 시간영역에서 평균에너지 값을 구함으로써 데이터의 실시간 처리가 가능하다. 또한, 16bit 마이크로 컴퓨터를 이용하는 경우, $N=100$ 으로 할때 식(3)의 계산시간은 약 7.6ms 정도로, 식(1)이 갖는 데이터 처리시간의 문제는 해결할 수 있다.

3. 채터진동의 검출

3.1 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용한 실험장치의 개략도를 Fig.2에 나타내었다. 실험에서, 공작물은 선반의 주축에 설치된 척(3-jaw scroll chuck)에 외팔보 상태로, 매 시편마다 일정한 체결력으로 고정하였다. 또한 절삭 중 절삭저항의 배분력을 선반의 공구대 대신에 고정 설치한 압전형 공구동력계에서 검출하고, 얻어진 신호를 Fig.2에

나타낸 바와 같이 Data recorder에 수록한 후, 신호를 재생하여, Spectrum analyzer 및 Signal processor, Micro-computer를 이용하여 절삭저항의 동적성분을 분석하였다.

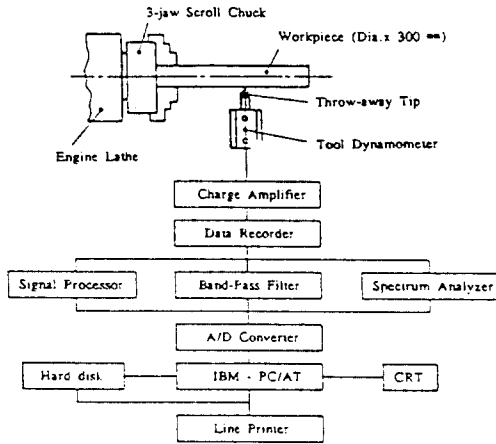


Fig. 2 Experimental set-up and monitoring system

그리고 채터진동의 거동과 그 발생점을 용이하게 관찰하기 위하여, 절삭은 척 선단에서 자유단 쪽으로 역이송방식을 택하였으며, Table 1에 나타난 절삭조건으로 절삭실험을 행하였다.

한편, 본 연구에서는 채터진동의 주파수 범위를 $f = 200\text{Hz}$, $f = 250\text{Hz}$ 로 설정하였으며 Fig. 1, 검출된 절삭저항의 신호를 A/D 변환기에서 2.5kHz로 샘플링하여 마이크로컴퓨터에서 처리하였다. 그리고 채터진동발생판정의 목표값(E_c)은, 지금까지의 실험결과'를 바탕으로, $E_c = 0.3$ 으로 설정하였다.

3.2 검출결과 및 고찰

Fig. 3(a)와 (b)는 채터진동 발생시 측정된 절삭저항과 동일 절삭조건에서 식(3)에 의해 구한 평균에너지값 E_c 를 절삭점 길이 L 과의 관계로 나타낸 것이다. 이들 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 채터진동이 발생하는 절삭점 길이 $L = 210\text{mm}$ 부근에서 절삭저항의 정적성분이 급격히 증가하며, 파형의 진폭(혹은 절삭저항의 동적성분)도 크게 증가하고 있다. 이와같은 채터발생에 따른 절삭저항의 변화현상은 표면 거칠기 R_a 및 평균에너지 E_c 의 경우에도 동일한 경향을 나타내고 있다. 즉, 앞절의 식(3)에 의해 산출된 평균에너지 E_c 의 거동변화는, 채터의 발생상황을 명확히 반영하고 있으며, 공작물 길

Table 1. Experimental conditions

Engine Lathe	Misal 820T PR (1500×400mm, 7.5kw)
Chucking Conditions	3-jaw scroll chuck (8") Chucking torque : 1800kgf · cm Chucking length : 40mm
Tool	Tip : SNMA432 (P20) Shank type : PSDNN2525M12 Overhang length : 45mm
Workpiece	Size : Dia. × 300mm Material : SM45C Diameter : 55.60mm Effective length : 110mm
Cutting Conditions	Cutting speed : 89.147m/min Feed rate : 0.11.0.22 mm rev. Depth of cut : 1.0mm
Tool Dynamometer	Kistler (Type 9257A)
Charge Amplifier	Kistler (Type 5807A)
Torque Wrench	Tohnichi Mfg. Co. CED
Band-Pass Filter	Suwagare Co. VFA-3
A/D Converter	Super Lab Card (Model PCL-714) Conversion time : 40ms Resolution : 14 bit Input range : ±5V
μ-Computer	IBM PC/AT : 16 bit

이의 증대에 기인하는 계의 강성저하에 의한 채터발생 현상을 잘 나타내고 있다.

그리고, 이와같은 결과는, E_c 에 적당한 목표값 E_c 을 설정하고, 이를 감시함으로써 채터진동의 발생을 인프로 세스로 검출할 수 있음을 시사해주고 있다. 따라서, 이하에서는, 마이크로컴퓨터를 바탕으로 한 감시장치를 구성하고, 이 장치의 실용 가능성에 대하여 검토하였다.

Fig. 4는 채터진동을 검출하기 위한 감시장치의 프로그램 순서도를 나타낸 것이다. 그림에서 점선의 바깥부분과 안쪽부분은 각각 하드웨어와 소프트웨어적으로 신호처리하는 부분을 나타낸다. 즉, 센서에서 검출된 신호를, 신호변환부에서 증폭하여, 통과대역주파수 200-250Hz의 대역통과필터를 통과시킨 후, A/D 변환하였다. 그리고 컴퓨터에서 식(3)의 알고리즘에 의해 평균 에너지값 E_c 를 산출한 다음, 미리 설정한 목표값과 비교하도록 하였다. 이러한 연산과정을 계속적으로 반복하는 동안에 산출된 E_c 의 최대값 E_{cmax} 가 E_c 보다 클때,

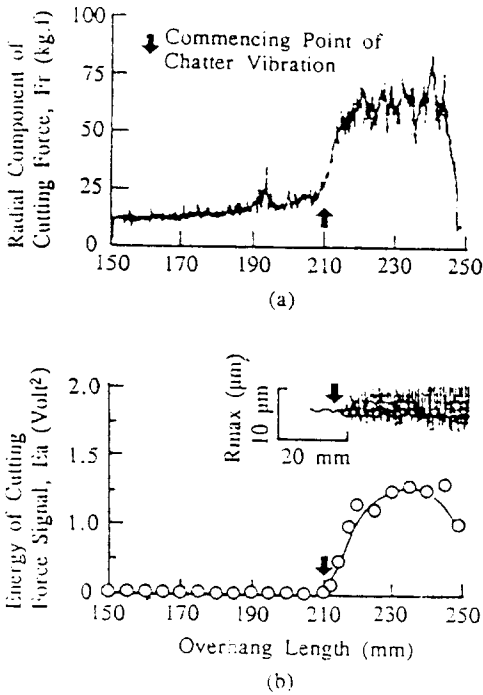


Fig. 3 Relations between radial component and energy of cutting force with overhang length of workpiece ($s=0.22\text{mm/rev}$, $t=1.0\text{mm}$, $v=147\text{m/min}$, $D=55\text{mm}$)

컴퓨터의 CRT 상에는 경고음의 발생과 동시에 경고 메시지가 표시되도록 하였다.

Fig. 5-7은, 이상과 같은 방법으로 구성된 감시장치를 이용하여, 채터진동을 검출한 결과이다. 이들 결과에서 명백히 나타나는 바와 같이, 채터가 발생하면 평균에너지 E_a 가 급격히 증대하며, 이때 E_a 값이 설정한 목표값에 도달하게 되면, CRT 상에는 채터의 발생을 알리는 경고메세지와 함께 경고음이 발생하고 있다. 그리고 이들의 감시결과로부터도 정확한 채터진동의 발생점 위치를 검출할 수 있을 것으로 생각된다. 따라서, 위에서 구성한 감시장치는 채터진동의 검출 및 발생점 판정에 직접 활용될 수 있을 뿐만아니라, 실용에의 응용이 가능할 것으로 판단된다.

이상의 검출결과를 바탕으로, 본 연구에서 제안한 감시장치의 특징과 그 적용범위에 대하여 요약해 보면 다음과 같다.

- (1) 본 연구에서 설정한 채터진동의 주파수 범위는 칩-공작물계의 고유진동(200-250Hz)에 대응하는

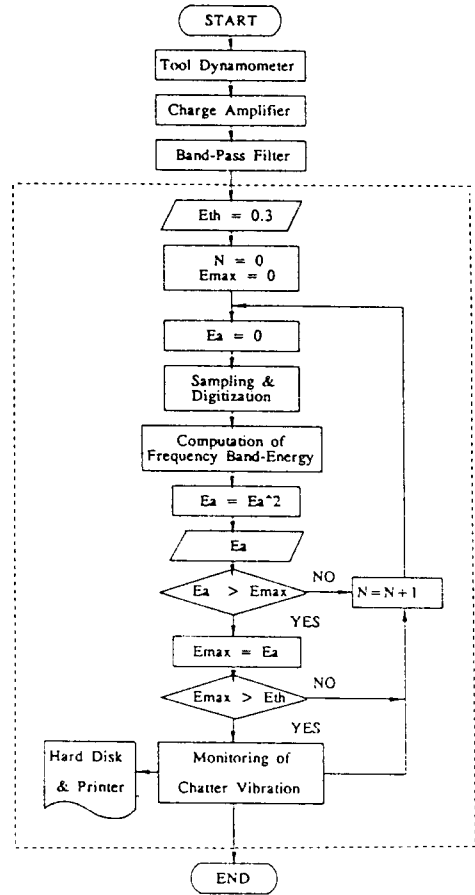


Fig. 4 Flow chart of monitoring system

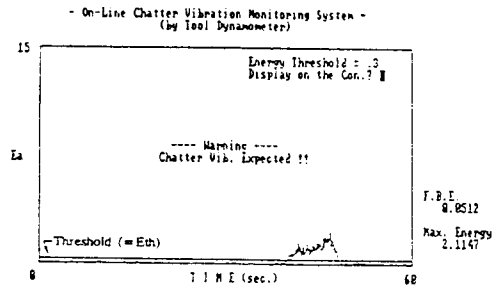


Fig. 5 Monitoring result (I)
($s=0.22\text{mm/rev}$, $t=1.0\text{mm}$, $v=147\text{m/min}$, $D=55\text{mm}$)

것으로, 이는 가진시험에 의해 용이하게 구할 수 있기 때문에 채터진동의 주파수 대역을 용이하게 추정할 수 있다.

- (2) 신호의 특징을 주파수영역이 아닌 시간영역에서 추출함으로써, 데이터 처리에 소비되는 시간을

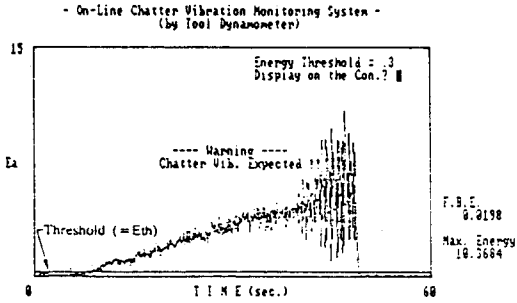


Fig. 6 Monitoring result (II)
 (s=0.11mm/rev, t=1.0mm, v=147m/min,
 D=60mm)

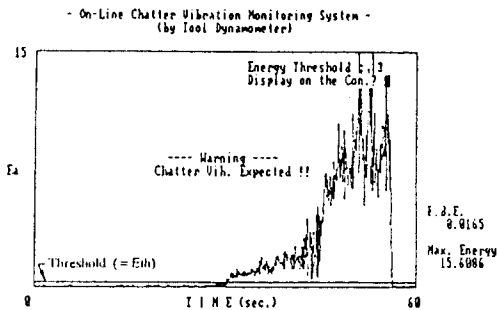


Fig. 7 Monitoring result (III)
 (s=0.22mm/rev, t=1.0mm, v=89m/min,
 D=60mm)

절약할 수 있으며, 채터진동의 인프로세스 검출이 가능하다.

- (3) (1)의 방법에 의해 차단주파수를 설정하여 검출된 출력신호에서 구한 평균에너지값 E_n는 채터진동 이외의 다른 외란을 포함하지 않는다.
- (4) 채터가 발생하지 않는 절삭영역에서, E_n 값은 절삭조건의 변화에 거의 영향을 받지 않는다.
- (5) 설정한 목표값을 요구되는 가공 정밀도에 따라 설정이 가능하기 때문에, 상황에 따라 적절히 변화시킴으로써 그 적용범위를 확대할 수 있다.

따라서, 본 연구에서 제안한 신호처리방법 및 감시장치는, 채터진동을 인프로세스 검출하기 위한 정보를 얻는데 유용한 방법이 될 것으로 생각되며, 비교적 광범위한 절삭조건에 대하여 적용이 가능할 뿐만 아니라, 채터 검출용 센서로서의 활용이 기대된다.

4. 결론

본 연구에서는, 채터진동을 인프로세스로 검출하기 위한 신호처리의 방법을 제안하고, 동시에 감시장치를 구성하여, 실용화의 가능성 여부를 실험적인 방법으로 검토하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 본 연구에서 제안한 신호처리방법에 의해 구한 절삭저항의 평균에너지값 E_n은, 채터진동의 발생 상황을 정확히 반영하고 있으며, 이를 이용한 채터진동의 인프로세스 검출 및 발생점 관정이 가능하다.
- (2) 구성한 감시장치는, 채터진동의 검출에 유용하게 이용될 수 있으며, 실용화의 가능성이 있다.

참고문헌

- 1) 土井雅博, 益子正己, 荒井康雄, "旋削加工における自動振動の検出とその抑止に関する研究". 日本機械學會論文集(C編), 第54卷, 第505號, 1987, pp.2065~2068.
- 2) H. Nakazawa, Y. Miyoshi, K. Shigemura, "Peak Interval Method for Detection Onsets of Chatter Vibration", Bull. Japan Soc. of Prec. Engg., Vol. 18, No. 3, 1984, pp.243~248.
- 3) M. Rahman, "In-Process Detection of Chatter Threshold", Trans. of the ASME, Vol. 110, 1988, pp. 44~50.
- 4) 구연옥, 정의식, 남궁석, "선삭가공에 있어서 채터진동의 인프로세스 검출에 관한 연구(I)", 한국정밀공학회, 제8권 제3호, 1991, pp.73~81.
- 5) C. Y. Jiang, Y. Z. Zhang, H. J. Xu, "In-Process Monitoring of Tool Wear Stage by the Frequency Band-Energy Method", Annals of the CIRP, Vol. 36, No. 1, 1987, pp. 45~48.
- 6) J. S. Bendat, A. G. Piersol, "Random Data, Analysis and Measurement Procedures", Wiley, 1971.
- 7) 桶口峰夫, 土井雅博, 益子正己, "旋削加工における振動の發生判定に関する研究", 日本機械學會論文集(C編), 第52卷, 第77號, 1985, pp. 1697~1700.