論文 한국정밀공학회지 제 12 권 제 1 호 1995. 1
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 12. No 1. January. 1995.

# 레이저 변위 신호에 의한 채터진동의 자동감시

이 소 영*, 정 의 식**

# Monitoring of Chatter Vibration by Laser Displacement Signal

So-Young Lee*, Eui-Sik Chung**

## ABSTRACT

Automatic monitoring of cutting process is one of the most important technologies for increasing the stability and the reliability of unmanned manufacturing system. In this study, the methods which use laser displacement signals and banded energy method are proposed to monitor chatter vibration in the turning process. From this method, the monitoring system of 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, and it can be widely used in most turning processes.

**Key word** : cutting, chatter vibration, laser displacement signal, banded energy method, monitoring system.

## 1. 서 언

FMC, FMS 라는 생산시스템의 자동화 무인화가 확대 됨에 따라 공작기계의 운전상태에 대한 감시기술의 개발은 중요한 과제로 되고 있다.[1~2] 본 연구에서는 제품의 정밀도에 직접관계되는 가공프로세스의 감시에 촛점을 두어 절삭이상, 즉 기계가공시 발생하는 채터를 검출하기 위한 감시시스템의 개발을 시도하였다.

지금까지 채터검출을 위한 연구에서는 절삭음[3]이나 절삭저항,[4] AE,[5] 진동신호,[6] 공작물 변위[7] 등을 이용하는 방법이 주로 검토되어 있으나, 실용화된 예는 거의 없는 실정이며, 특히 자동화시스템을 고려하는 경우, 채터발생을 인프로세스로 검출하고, 또한 공작물에로의 영향이 문제가 되기 이전에 제어할 수 있도록 한 감시장치, 혹은 적응제어시스템을 개발하는 것은 앞으로의 중요한 과제로 되고 있다.

본 연구에서는 선삭가공에서 채터를 검출하기 위하여 비접촉 방식의 레이저 변위 센서를 이용하고, 측정된 레이저신호와 표면거칠기와의 상관관계를 조사한 다음, 채터의 검출 및 그 발생점 판정에 레이저 신호의 이용가능성을 검토하였다. 또한 채터검출용 자동감시시스템을 구성하여, 이에 대한 유용성과 실용화의 가능성을

* 대전산업대학교 기계공학과
** 대전산업대학교 기계설계공학과

실험적 검증을 통하여 확인하였다.

## 2. 반도체 레이저 신호의 특성

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 반도체 레이저 변위 측정장치의 개략도이다. 반도체 레이저에서 발생된 레이저 광은 발광렌즈를 통하여 측정물에 투사되며, 다시 수광렌즈를 통하여 들어온 레이저 광은 전기적 신호를 발생시킨다. 그리고 신호는 증폭되어 A/D 변환되고, CPU 를 거쳐 다시 D/A 변환되어 측정물 변위 정도에 따른 레이저의 출력전압을 얻게된다. 이때 레이저 빛의 파장길이는 780 ㎚이고, 최대 출력전압은 3 ㎽이며, 측정범위는 ±3 ㎜이다.

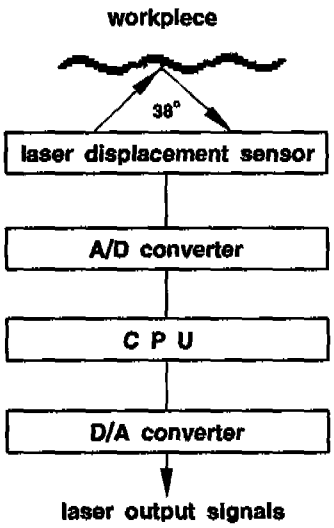



Fig. 1 Layout of the laser displacement measuring system

Fig. 2 ~ Fig. 4는 레이저 변위 측정장치에 대한 측정 감도를 조사한 결과이다. Fig. 2는 직경 45 ㎜인 환봉 (SM45C)을 P10 재종의 절삭공구로 일정한 절삭조건 (n = 890 rpm, s=0.118 ㎜/rev, t=0.5 ㎜)에서 절삭가공을 한 후, 가공면과 레이저 센서 헤드부와의 거리를 30 ㎜(이 지점을 측정기준점으로 설정함)로 유지하고, 기준점으로 부터 헤드부를 일정량씩 변위 시켰을 때 레이저 광의 출력전압을 측정한 결과이다. 그림에서 특정 변위 (거리:1.0 ㎜)에서 레이저 광의 최대 출력이 얻어지고 있음을 알 수 있다. 이와같은 변위에

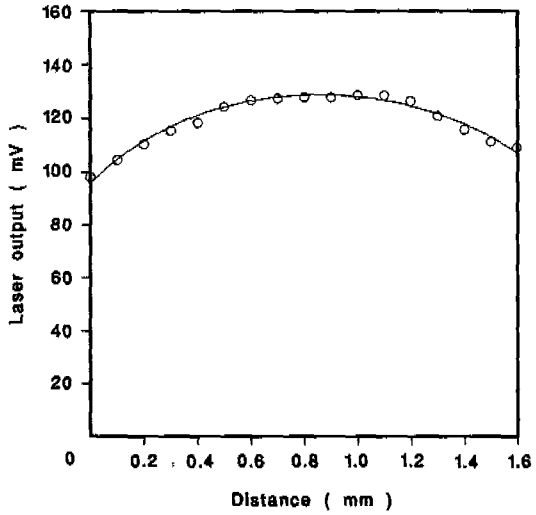



Fig. 2 Laser output vs distance

따른 출력전압의 변화 패턴은 I. Inasaki[8]의 Optic fiber를 이용한 실험결과와도 일치하고 있음을 확인할 수 있었으며, 본 측정장치를 이용하는 경우 적어도 1.0 ㎜ 이내의 채터마-크를 정확하게 검출해 낼 수 있을 것으로 판단된다.

또한, Fig. 3은 선반의 주축 회전수 변화에 따른 레이저 출력전압를 조사한 결과로서, 주축 회전수가 증가함에 따라 레이저 출력전압이 비례적으로 감소하고 있으며, 주축회전수가 측정감도에 직접적인 영향을 미치

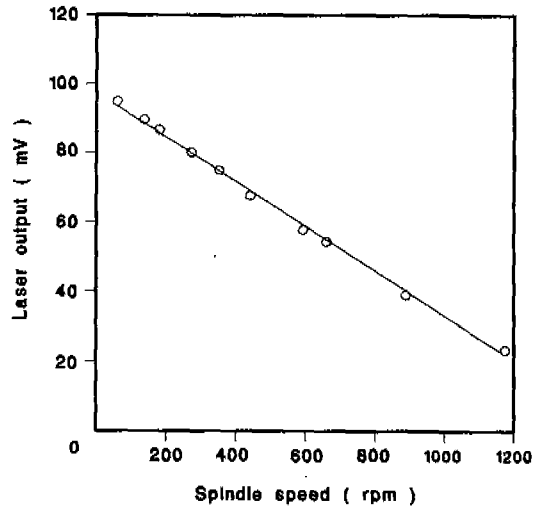



Fig. 3 Laser output vs spindle speed

고 있음을 알 수 있다.

한편, Fig. 4는 레이저 신호의 출력전압이 가공면의 표면상태를 어떻게 반영하고 있는가를 알아보기 위하여, 표면거칠기의 측정조건(tracing speed = 0.3 ㎜/sec)과 동일한 속도로 공구대에 설치된 레이저 헤드부를 이송시켰을 때, 비교적 광범위한 절삭조건(t = 0.5 ㎜, n = 352 rpm ~ 1,174 rpm)에 대하여, 각 이송량에 따른 표면거칠기 $R_{max}$ 과 레이저 출력전압과의 상관관계를 조사한 결과이다. 그림에서, 표면거칠기 $R_{max}$ 가 증가함에 따라 레이저 신호의 출력전압은 비례적으로 증가하고 있으며, 이들 사이에는 양호한 상관관계가 성립하고 있음을 알 수 있다. 그리고 이와같은 결과는 선삭가공시, 레이저 신호를 검출하는 것에 의해, 표면거칠기를 평가함수로 하는 채터진동의 검출이 가능함을 의미한다.

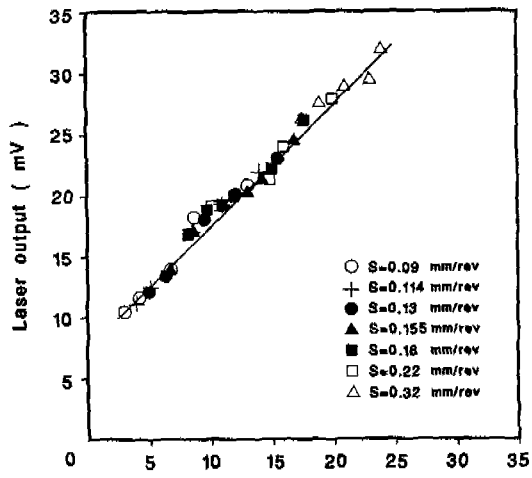



Fig. 4 Laser output vs surface roughness for various feed rates

## 3. 채터진동의 검출 실험

### 3.1 실험장치 및 방법

Fig. 5는 본 연구에 이용한 실험장치의 개략도이다. 실험에서 공작물은 선반의 주축에 설치된 척에 외팔보 상태로 매 시편마다 일정한 체결력으로 고정하였으며, 절삭은 채터진동의 거동과 발생점 판정을 용이하게 관찰하기 위하여 척의 선단에서 자유단 쪽으로 역이송 방식을 택하였다.[4] 또한 검출된 레이저 신호는 Fig. 1에서 언급한 바와같이 처리하였으며, 이를 데이타 레코더에 수록한 후, 다시 재생하여, 주파수분석 및 자료처리를 행하였다. 그리고 채터진동의 발생점 판정을 위한 객관적 수단으로서 절삭후 매시편마다 표면거칠기 $R_{max}$ 를 측정하였다. 한편, Table 1에는 실험조건들을 나타내었다.

Table 1. Experimental conditions

| | |
|---|---|
| engine lathe | Misal 820T PR(1500×400 ㎜, 7.5 kw) |
| chucking conditions | 3-jaw scroll chuck(8")<br>chucking torque: 1800 kgf.㎝<br>chucking length 50 ㎜ |
| tool | tip: SNMA432 (p20)<br>shank type: PSDNN2525M12<br>overhang length: 30 ㎜ |
| workpiece | size: dia.×300 ㎜<br>material:SM45C<br>diameter: 35 ~ 60 ㎜ |
| cutting conditions | cutting speed:v = 56 ~ 150 m/min<br>feed rate:s = 0.09 ~ 0.18 ㎜/rev<br>depth of cut:t = 0.2 ~ 1.3 ㎜ |

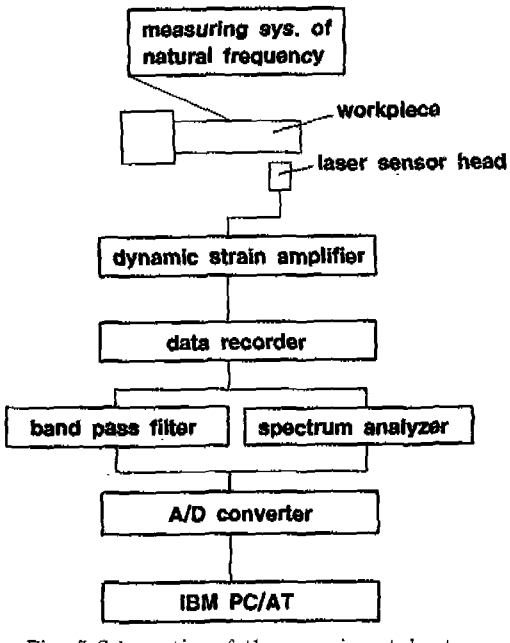



Fig. 5 Schematics of the experimental set up

### 3.2 검출결과 및 고찰

Fig. 6은 채터진동 발생시 절삭실험에서 얻은 레이져 신호를 시간대역에 대하여 주파수 분석한 결과의 일례이다. 그림에서, 절삭개시 후 약 4초(척 선단에서 약 138 ㎜ 지점) 경과한 후, 주파수 약 262.5 Hz 부근에서 스펙트럼의 최대값 이 나타나고 있음을 알 수 있다. 이 주파수는, 척-공작물계의 고유진동수에 매우 근접하고 있기 때문에, 채터진동수에 대응하는 주파수로 생각된다.[4]

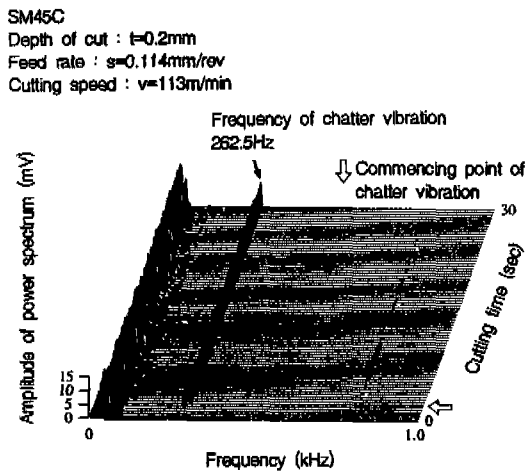



Fig. 6 Power spectra of laser signals

이번에는, Fig. 6의 주파수분석 결과를 바탕으로 하여, 척-공작물계의 고유진동수를 포함하는 주파수대역(200 ~ 300 Hz)으로 벤드 폭을 설정한 후, 검출된 레이져 신호의 출력전압 $dF_L$과 측정한 표면거칠기 $R_{max}$를 공작물 돌출길이에 대하여 조사하였다. Fig. 7(a), (b) ~ Fig. 8(a), (b)는 그 결과로서, 레이져 신호는 공작물 길이방향의 강성 변화에 따른 채터발생 현상과 이에 대응하는 공작물 표면거칠기의 변화상태를 명확히 반영하고 있음을 알 수 있다. 그리고 이와같은 실험결과는 채터진동의 검출에 레이져 신호의 이용 가능성을 잘 입증해 주고 있다.

한편, 앞의 실험결과를, 채터진동의 발생 여부를 판별하기 위한, 레이져 신호의 안정 및 불안정 영역별로 표면거칠기 $R_{max}$와의 대응관계로서 나타내어 정리해 보면 Fig. 9 ~ Fig. 10과 같다. 그림에서 공구의 돌출길

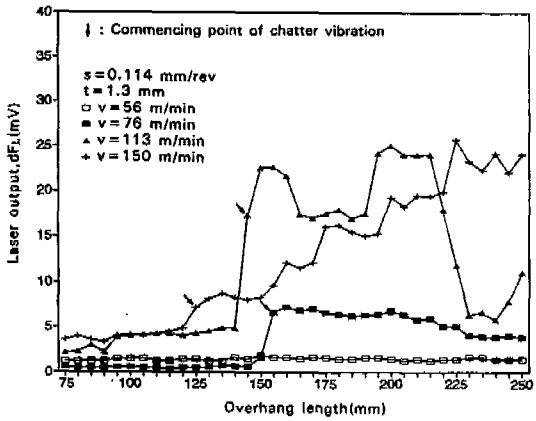



Fig. 7(a) Laser output vs overhang length for various cutting speeds

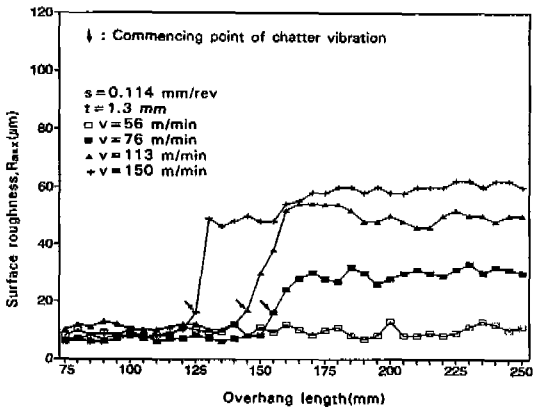



Fig. 7(b) Surface roughness vs overhang length for various cutting speeds

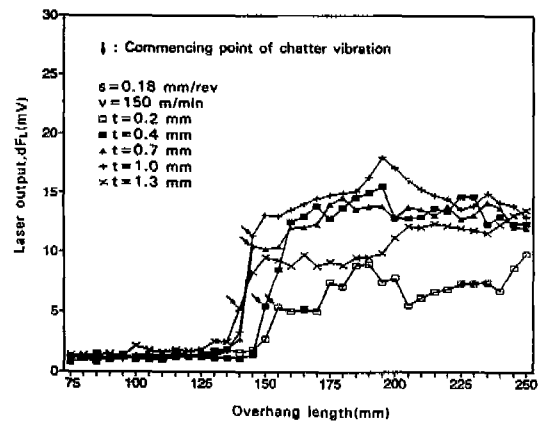



Fig. 8(a) Laser output vs overhang length for various depths of cut

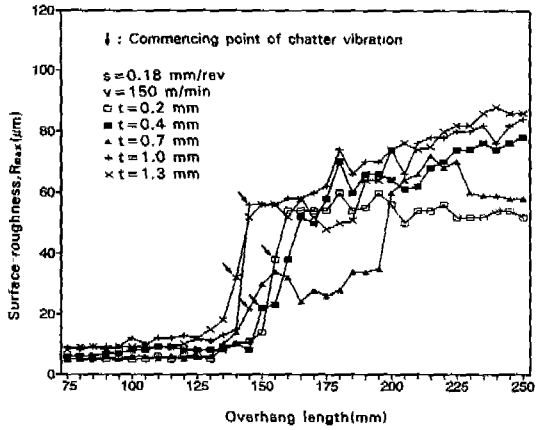



Fig. 8(b) Surface roughness vs overhang length for various depths of cut

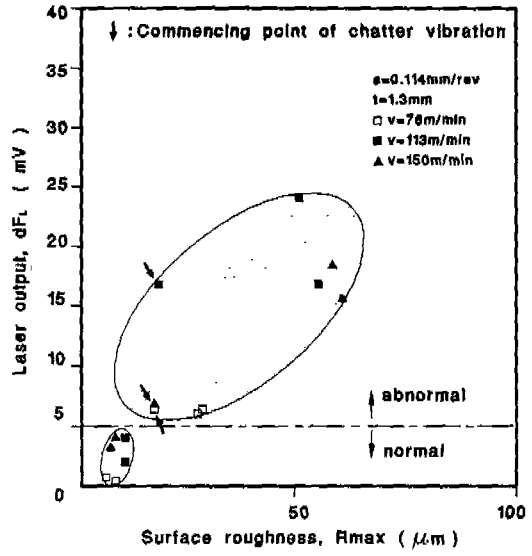



Fig. 9 Laser output vs surface roughness for various cutting speeds

이에 따른 $dF_L$과 $R_{max}$의 거동은 거의 동일한 패턴으로 변화하고 있으며, 각 절삭조건에 대하여 채터가 발생하는 불안정 상태에서는 $dF_L$이 안정 상태에 비하여 수배 정도 급격히 증가함을 알 수 있다. 이와같은 결과는, $dF_L$에 임계값(threshold)을 설정하고, 그때의 레이져 출력전압을 감시하는 것에 의해, 적어도 채터진동의 발생 여부를 명확히 구별하여, 실시간으로 검출해 낼 수 있음을 명백히 보여주고 있다.

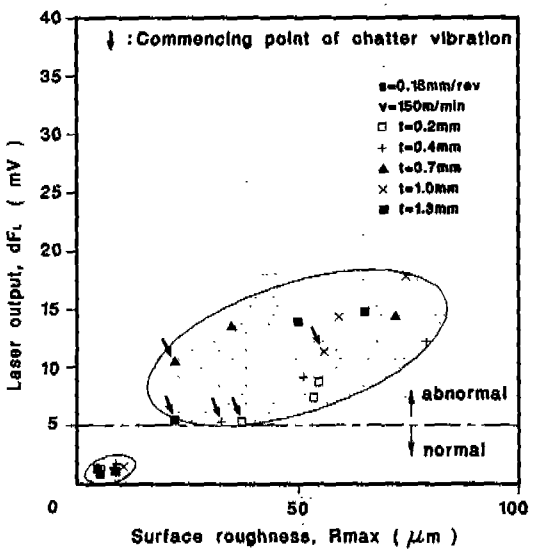



Fig. 10 Laser output vs surface roughness for various depths of cut

## 4. 자동감시시스템의 구성

무인 자동화된 기계가공 현장에서 공작기계의 고장이나 절삭 이상상태가 발생하였을 경우, 이를 실시간 감시할 수 있는 시스템의 개발이 무엇보다도 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 Fig. 11에 나타낸 바와 같은 감시시스템을 구성하여 그 실용성 여부를 검토하였다. 이 감시시스템에서의 신호처리방법과 시스템의 특징에 대하여는 이미 소개된 바 있으므로,[9] 여기에서는 그 구성 개요만을 간단히 설명하기로 한다. 본 시스템에서 채터 검출용 센서로는 레이저 변위 센서를 사용하였으며, 검출된 레이져 신호를 ×10배로 증폭한 다음, 차단주파수 200 ~ 300 Hz를 갖는 대역통과필터를 거쳐 2.5 kHz로 샘프링하고, 일련의 연산과정을 통하여 산출된 대역 평균 에너지 값($E_a$;banded energy)을 컴퓨터의 CRT에 나타내어 채터진동의 발생 여부를 실시간으로 감시할 수 있도록 구성하였다.

본 감시시스템을 통하여 채터진동을 검출한 결과를 Fig. 12(a), (b), (c)에 나타내었다. 여기서 채터발생을 판정을 위한 임계값은 앞의 실험결과 (Fig. 9 ~ Fig. 10)를 바탕으로 $E_{th}$ = 5.0로 설정하였다. 그림에서 볼 수 있는 바와같이, 채터가 발생되면 대역 평균 에너지 값 $E_a$가 급격히 증대하며, $E_a$가 임계값 $E_{th}$에 도달하

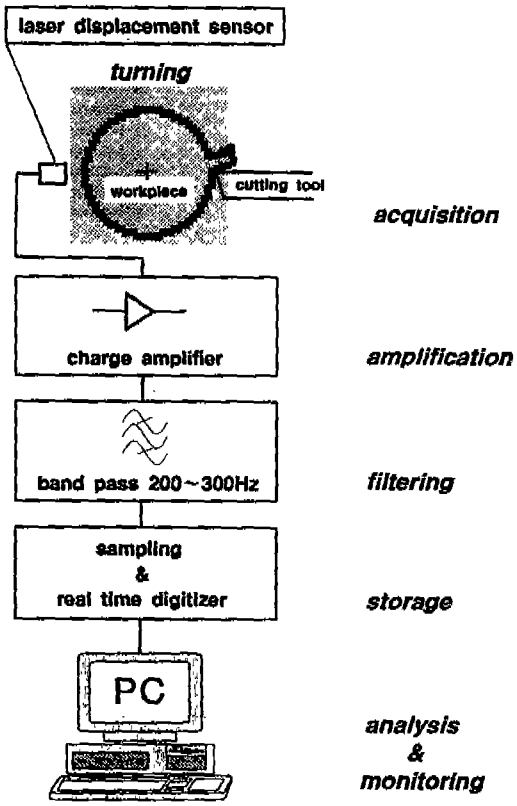
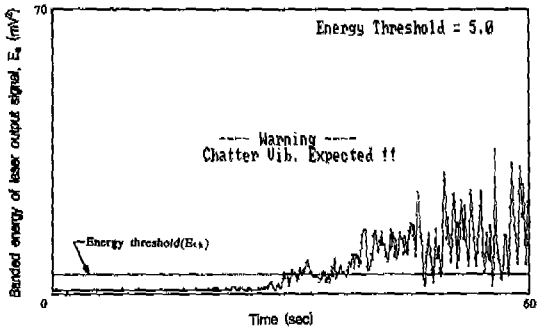
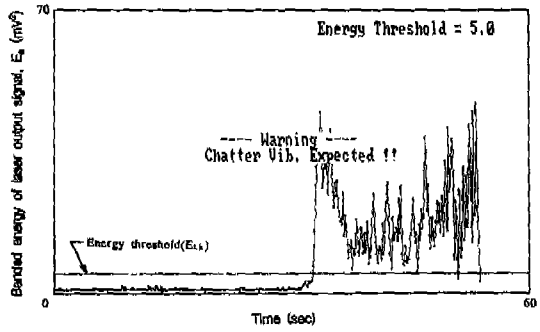



Fig. 11 Monitoring system of the chatter vibration




(a) v = 56 m/min, s = 0.13 mm/rev, t = 0.7 mm




(b) v = 113 m/min, s = 0.15 5mm/rev, t = 0.2 mm

Fig. 12 Monitoring results of the chatter vibration by laser signals

면, 컴퓨터의 CRT상에는 채터의 발생을 알리는 경고음과 함께 경고메세지가 나타나고 있다. 따라서, 본 연구에서 구성한 레이저 신호를 이용한 채터검출용 감시시스템은 채터 검출 뿐만아니라 그 발생점 판정에 매우 유용하게 이용할 수 있으며, 실용화의 가능성이 있는 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는, 레이저 신호를 이용하여, 선삭가공시 발생하는 채터진동을 자동 검지할 수 있는 감시시스템을 개발하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 채터진동이 발생하는 경우에 얻어진 레이저 신호를 주파수 분석하면, 채터진동수에 대응하는 현저한 크기의 스펙트럼의 최대값을 갖는 주파수가 나타난다. 이 현상을 이용하여, 채터진동의 발생을 대역 평균 에너지 값으로 평가하는 방법을 고안하였다.

(2) 레이저 신호에 의해 채터진동을 검지를 할 수 있는 자동 감시시스템을 개발하였다.

## 후 기

본 연구는 1992년도 대전산업대학교 기성회 학술연구비의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. J. Tlusty, G. C. Andrews, "A Critical Review of Sensors for Unmanned Machining", Annals of the CIRP, Vol. 32, No. 2, 1983, pp. 563~572.
2. H. K. Tonshoff, J. P. Wulfsberg, H. J. Kals, W. Konig, "Developments Trends in Moni-

toring and Control of Machining Processes", Annals of the CIRP, Vol. 37, No. 2, 1988, pp. 611-621.

3. 中澤 弘, 外2名, "びびり振動發生限界の檢出(第1報)", 精密機械, 45, 11, 1979.
4. 구연욱, 정의식, 남궁 석, "선삭가공에 있어서 채터진동의 인프로세스 검출에 관한 연구(I)", 한국정밀공학회지, 제8권, 제3호, 1991, pp. 73~81.
5. H. Takeshita, I. Inasaki, "Monitoring of Milling Process with an Acoustic Emission Sensor", JSPE, Vol. 59, No. 2, 1993, pp. 91-96.
6. D. W. Cho, K. F. Eman, "Pattern Recognition for On-Line Chatter Detection", Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 2, No. 3, 1988, pp. 279-290.
7. M. Rahman, "In-Process Detection of Chatter Threshold", Trans. of the ASME, Vol. 110, 1988, pp44~50.
8. I. Inasaki, "Development of In-Process Sensor for Surface Roughness Measurement", Proc. 23rd Int. MTDR Conf., 1983.
9. 구연욱, 정의식, 남궁 석, "선삭가공에 있어서 채터진동의 인프로세스 검출에 관한 연구(II)", 한국정밀공학회지, 제9권, 제3호, 1992, pp. 117-121.