

## 선삭에서 회절격자를 이용한 크레이터마모 측정장치 개발에 관한 연구

김 영 일\*, 김 세 진\*, 유 봉 환\*\*

### A Study on the Development of Measurement Setup for Crater Wear by Diffraction Grating in Turning

Young-Il Kim\*, Se-Jin Kim\*, Bong-Hwan Ryu\*\*

#### ABSTRACT

There is the high interest for sensing of tool wear with the aim of controlling machine tools productivity from the point of view of quality and quantity. Difficulties in this measurement are also known.

This study is on the development of measurement setup for crater wear by CCD image in turning. In this study, the crater wear measurement system consists of the He-Ne gas laser, diffraction grating, CCD camera, noise filter, slit, microcomputer, diverging lens, converging lens and so on. He-Ne laser beam passes through a diverging lens and a diffraction grating is positioned properly. A converging lens focuses so that the interference fringes can be obtained on the crater wear.

Performance test revealed that the developed image technique provides precise, absolute tool-wear quantification and reduces human measurement errors.

The results obtained are as follows

1. The digitizing of one image requires less than 2ses.
2. It can give detailed information on crater wear with limited times and errors
3. All parameters required by specification are easily obtained for several points of the cutting edge.

#### I. 서 론

최근 고도로 개발되고 고성능화된 공작기계와 개선된 공구에 의하여 강력화, 고도화 및 고정밀의 능률화된 절삭가공이 여러 산업 분야에서 다양하게 요구되고 있고 특히 보다 경제적인 절삭에 대한 연구의 필요성이 상당한 비중으로 요구 되고 있다.

이러한 오늘날의 흐름에 의하여 경제적 절삭을 위한

여러 방안들이 연구 되고 있고, 이러한 맥락에 의하여 마모에 대한 정확한 이해와 연구들은 오늘날 여러 문제점 해결의 중요한 요소가 된다. 즉 절삭 공구의 개발이 과거의 경험이나 직감적인 방법에 의해 발달되어 온것에 비하여 최근에는 절삭공구의 마모기구에 대한 이해를 바탕으로 하여 공구 재료의 마모특성에 기초를 둔 연구가 활발히 진행되고 있으며 또한 현대 산업사회가 요구하는 단위 시간당 다량의 공작물을 가공하기 위한 고절

\* 국립공업기술원

\*\* 숭실대학교 기계공학과

삭력 및 고절삭량의 절삭공구 개발을 위한 방향으로의 연구<sup>2)</sup>에도 공구마모 특성에 대한 분야가 지대한 공헌을 하고 있는 실정이다.

선삭시 사용되고 있는 절삭공구의 대표적인 마모 형태는 flank wear, crater wear, primary groove, secondary groove, outer chip notch, inner chip notch, 등 6가지로 분류된다. V. C. Venkatesh 등은 절삭공구의 파손은 flank wear의 증가와 crater wear의 증가에 의해서 일어 나는 것이 아니라 그 외의 4가지 형태도 공구파손에 영향을 미친다고 발표했다.<sup>3)</sup>

그러나 절삭공구의 파손요인은 주로 flank wear와 crater wear의 영향을 받는다. flank wear는 공작물 표면과 공구 여유면 사이의 마찰에 의해 발생되며 crater wear는 칩(chip)과 공구경사면의 마찰에 의한 고온, 고압상태에서 일어나며, 특히 유도형칩이 생성될 경우 더욱 현저하게 나타난다.

절삭공구의 상태와 정상적인 마모는 기계가공의 생산성을 결정하는 가장 핵심적인 요소로서 인식되고 있다. 이 같은 중요성 인식과 그에 따른 그 동안의 광범한 연구 노력에도 불구하고 이 분야는 기계 가공 mechanism에서 가장 이해가 안되고 있으며 이의 감지 기술 역시 다른 분야에 비해서 미흡하다. 이에 반해 절삭공구의 개선과 개발은 활발하여 coated carbide 공구, 세라믹 공구, 다이아몬드 팁 공구등의 분야에서 중요한 진전을 보고 있다.

이제까지 발표된 절삭공구 마모센서로는 절삭저항<sup>4)</sup>, AE 센서<sup>5)</sup>, 절삭온도<sup>6)</sup> 등이 있으며, 이 센서들은 공구 마모와 간접적인 관계를 갖고 있다. 그러나 이상의 각 센서를 이용한 공구마모 측정 시스템을 구성하기 위해서는 별도의 사전 절삭실험에 의해 공구마모량과 신호 레벨의 상관관계 및 조정이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 직접적으로 공구마모 상태를 검출하고, 신뢰성이 높은 절삭공구 마모정보를 얻기 위해 최근 그 응용범위가 확대되고 있는 영상처리 기술을 응용한 공구마모 측정용 시스템을 구성하였다. 이 시스템은 레이저로부터 발사된 빛이 beam expander를 통하여 확대되고 이 확대된 빛을 본 연구목적에 맞게 설계 제작된 회절격자를 통과시켜 회절간섭 무늬를 CCD 카메라로 마모화상을 잡아 frame memory에 저장하고, 기억된 데이터를 화상처리 및 운용 소프트웨어에 의해 필요한 마모인자 및 측정량을 단시간에 검출하는 장치를 구성하였다.

본 연구에서는 절삭공구의 파손요인 중 crater wear의 off-line마모 감지를 위해 이미지 프로세싱(image processing)을 이용한 비접촉식 측정법을 개발하고 이 개발된 측정법이 공구현미경 측정법 및 표면 거칠기에 의한 측정법<sup>7)</sup>에 비해 정밀한 공구마모 측정이 가능한지를 검토하였으며 새로운 측정법 개발에 역점을 두었다.

## II. 관련이론

### 1. 공구 경사면 마모(Crater Wear of Cutting Tool)

절삭작업 중 절삭공구의 파손(failure)은 거의 다음과 같은 과정 중의 하나 또는 그들의 조합에 의하여 복합적으로 일어난다.

- (1) 점진적 마모(여유면 마모 또는 경사면 마모)
- (2) 소성변형
- (3) Chipping 또는 파괴(fracture)

이들 과정의 중요성은 이들이 공구의 형태를 변형시키고 공구수명에 큰 영향을 미친다는 점이다.

공구의 외형으로 관찰되는 점진적 마모 형태는 여유면 마모(flank wear)와 경사면 마모(crater wear)이며 이들은 Fig. 1에 나타내었다.

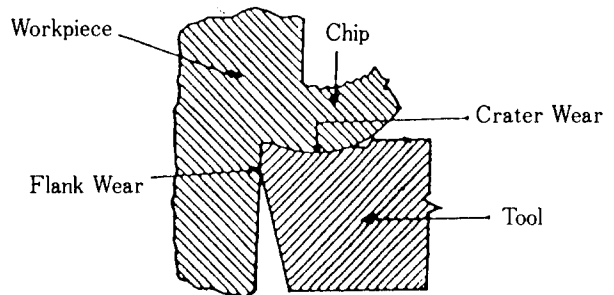


Fig. 1 Regions of tool wear in metal cutting

크레이터 마모는 경사면의 온도가 높은 부분(공구와 칩의 접촉부분 중앙)에서 발생하고 점차로 깊고 넓게된다. 크레이터는 처음에는 느린속도로 성장하나 이것이 어던크기에 도달하면 성장속도가 빨라진다. 이러한 현상은 처음보다 크레이터면이 거칠어지고 칩의 흐름에 대하여 점차 저항이 커져서 마모 작용이 증가하기 때문이다.

크레이터가 성장하면 크레이터의 앞쪽은 절삭날을 향하여 앞으로 떠나간다. 크레이터가 더욱 성장하여 절삭날 가까이 하면 절삭날은 약화되고 파괴된다.

크레이터의 곡률반경은 칩의 곡률반경과 일치하고 크레이터가 증가함에 따라서 윗면 경사각도 증가하여 공구가 파괴 되기 쉽다.

크레이터의 발생 및 성장을 지연 시키는 방법으로는 첫째, 공구 윗면에 작용하는 압력을 감소 시킨다. 둘째, 공구 윗면에서의 칩의 흐름에 대한 저항을 감소 시키기 위해 절삭유를 사용한다.

2. Diffraction Theory(회절이론)<sup>12)</sup>

회절격자가 다중-스릿(multiple slits) 구경으로 Fig. 2와 같이 구성되어 있다고 한다면 여기서 b는 동일 평행 스릿의 폭, h는 분할(separation)이고 N는 임의의 큰수(a large number)이며 이것을 회절적분식으로 나타내면

$$\begin{aligned} \int e^{iky \sin \theta} dy &= \int_0^b + \int_h^{h+b} + \int_{2h}^{2h+b} + \dots \\ &+ \int_{(N-1)h}^{(N-1)h+b} e^{iky \sin \theta} dy \\ &= \frac{e^{ikb \sin \theta} - 1}{ik \sin \theta} \left[ 1 + e^{ikh \sin \theta} + \dots \right. \\ &\left. + e^{ik(N-1)h \sin \theta} \right] \quad (2-1) \\ &= \frac{e^{ikb \sin \theta} - 1}{ik \sin \theta} \cdot \frac{1 - e^{ikN h \sin \theta}}{1 - e^{ikh \sin \theta}} \\ &= b e^{i\frac{1}{2}k(N-1)h \sin \theta} \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right) \left( \frac{\sin N\gamma}{\sin \gamma} \right) \end{aligned}$$

이 회절 적분식은 다음의 강도분포 함수에 지배된다. 즉,

$$I = I_0 (\sin \beta / \beta)^2 (\sin N\gamma / N \sin \gamma)^2 \quad (2-2)$$

여기서 인자 N은 정수값을 대입한다. 또  $\theta = 0$ 일때는  $I = I_0$ 이다.

역시, 단-스릿인자  $(\sin \beta / \beta)^2$ 는 회절 패턴의 포락선으로 표현 된다.

Principal maxima는  $\gamma = n\pi$ ,  $n = 0, 1, 2, 3 \dots$ 의 포락선으로 나타날때에는  $n\lambda = h \sin \theta$ 로 표현된다. 이 식은 파장(wave length)과 회절각 사이에서 회절 함수로 표현 된다. 또 n(적분)을 회절차수라 한다. 따라서 Fig. 3에서 fringe간 간격은  $h = 2b$ 라 할때  $\theta$ 값이 극히 미소이므로  $\sin \theta = \tan \theta = d/s$ 로 표현된다.

그러므로 fringe간 간격은

$$d = \lambda(s/2b) \quad (2-3)$$

식 (2-3)은 fringe간 간격을 결정하는 중요한 grating equation이 된다.

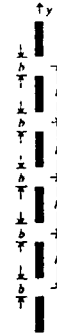
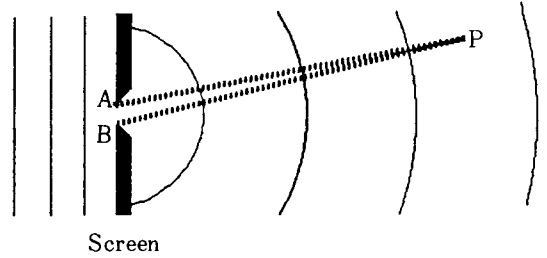


Fig. 2 Multiple-slit aperture or diffraction grating

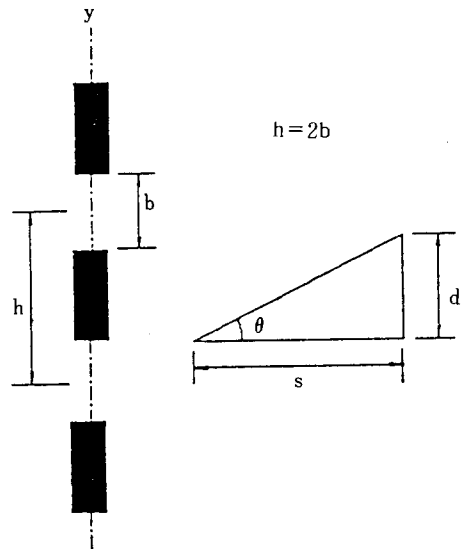


Fig. 3 Interval between one fringe and two fringes

### 3. Image Processing Techniques<sup>13)</sup>

화상의 가장 큰 특징은 인간의 시각에 호소 할 수 있다는 점이다. 여러 물체를 인간의 눈으로 볼 수 있도록 하는 매개체, 즉 카메라, 텔레비전, 비디오 테이프, 레코더 등의 보급을 생각하면 어떤 설명도 필요하지 않으리라 생각 된다. 그러나 이러한 화상을 다루고 싶어 하는 자연스러운 욕구를 electronic technique로 소화해서 범용적으로 보급시키는 데에는 많은 어려움이 있지만 microcomputer가 중심인 digital technique은 화상 기술까지도 완전하게 정복하여 더욱 비약적으로 발전할 수 있는 계기로 마련 했다.

간단한 화상처리 시스템은 입력부(칼라 비디오 카메라, 칼라 TV), 화상 입력포트(이미지프로세서 : RGB signal board), 처리부(personal computer, image display monitor), 출력부(printer, plotter)등으로 구성될 수 있다.

Pro-processing이란 화상 신호에 대한 hardware적인 전처리 회로뿐만 아니라 화상의 특징 추출을 확실하게 하기 위한 여러가지 digital process를 포함하고 있다. 예를들면 비디오 카메라와 피측정체와의 거리편차 등으로 발생하는 경사, 크기, 농담(濃淡)등을 특징으로 취급하지 않을 때에는 이들 변화에 대한 감도를 낮추기 위한 정규화를 전처리로 행한다. 또 데이터의 2치화, 미분처리, 윤곽추출, 세선화(細線化)등도 전처리 과정이다.

Characteristic selection과 pattern comparison은 피측정체의 폭, 주위의 길이, 중심, 경사, hole수 등을 수치화 하여 기준 데이터와의 일치 여부를 조사 하기도 한다. 또 recognition result는 personal computer 상에서 programming을 통하여 user가 원하는 결과치를 유도해 낸다. image processing board는 512×512×8 bit의 frame buffer 3벌과 16bit CPU MC 68010을 4칩(chip)으로 구성한 multi-processor이다.

이 원리는 입력측 또는 출력측의 look-up-table(데이터 변환을 위한 코드표)을 사용, 입력화상 데이터의 발전으로 용이하게 실현 할 수 있다. 8bit인 R(적), G(녹), B(청)의 각 원화 데이터를 최대 진폭의 1/2인 부분을 경계로 하여 2치화한 것이다. 이것도 look-up-table조작만으로 어떤 level이라도 순간적으로 2치화가 가능하다. 이에에서는 R, G, B. 모두 50% 이하를 "0" 그 이상을 "1"로 설정 하였다.

표준적인 화상처리 flow chart는 Fig. 4와 같다.

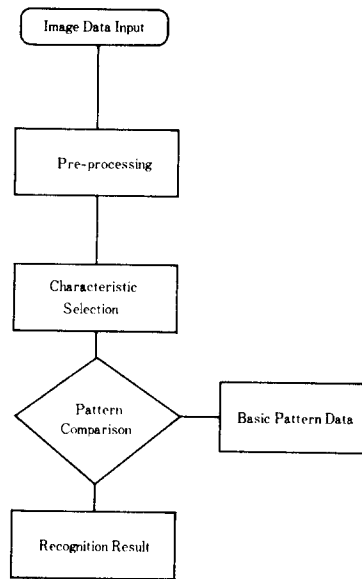
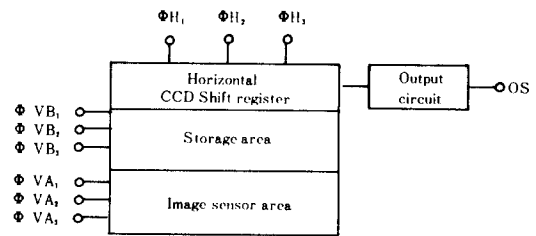
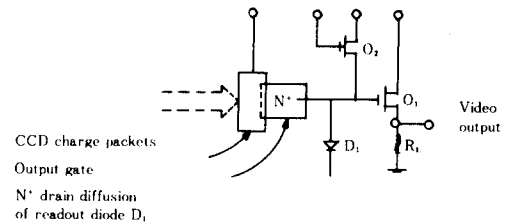


Fig. 4 Flow chart of standard image processing



(a) block diagram



(b) video output circuit

Fig. 5 CCD area image sensor

### Ⅲ. 실험

#### 1. 실험기기

##### (1) CCD Camera<sup>15)</sup>

본 연구에 사용된 CCD(charge-coupled devices) camera는 FT(frame transfer)type의 image sensor 로써 Fig. 5와 같다.

전하를 축적하고 수직 blanking기간 동안에 촬영부의 모든 신호전하는 축적부로 전송된다.

축적부는 촬영부로부터 신호전하를 받아서 저장하는 역할을 하며 수평 CCD에 가까운쪽부터 1line씩 수평 CCD로 전송하게 된다.

##### (2) Image Devices<sup>16)</sup>

##### ① Image Board & Image Display Monitor

본 연구에 사용된 image board는 Data Translation, Inc. DT 2853모델의 IBM personal computer AT 호환 기종이며 real-time으로 digital image processing이 가능하며 512×512×8 bit frame grabber board인 구조로 Fig. 6과 같다. Image display monitor는 super-sync, color monitor를 사용했다.

##### ② Micro Computer & Laser Printer

Micro computer는 IBM personal computer AT 호환기종을 사용하였으며 printer는 Hewlett Packard (Laserjet-Ⅲ)printer를 사용 하였다.

##### (3) CNC Lathe<sup>17)</sup>

공작기계의 자동화는 computer를 이용하여 지령, 펄 스로서 servomotor를 control하여 요구하는 운동을 하거나 윤곽을 제어하게 되어 있다. 이와 같이 공작기계의 이동 명령을 수치로 제어하게 되는데 이를 numerical control이라 하며 computer에 의한 수치제어라 하여 computer numerical control라고도 한다. 본 연구에 사용되어진 실험 기기는 아래와 같은 CNC Lathe으로 실험을 하였다.

CNC Late	Tongil Ltd, KOREA Type : TNL-53 CNC System : TEPS-L	규격 : Swing 530mm 센터간거리 (1050mm) Accuracy : ±0.005mm
----------	--	---

##### (4) Tool Microscope

Tool Microscope는 아래 사양과 같은 구조의 공구 현미경을 사용하였으며 다음과 같다.

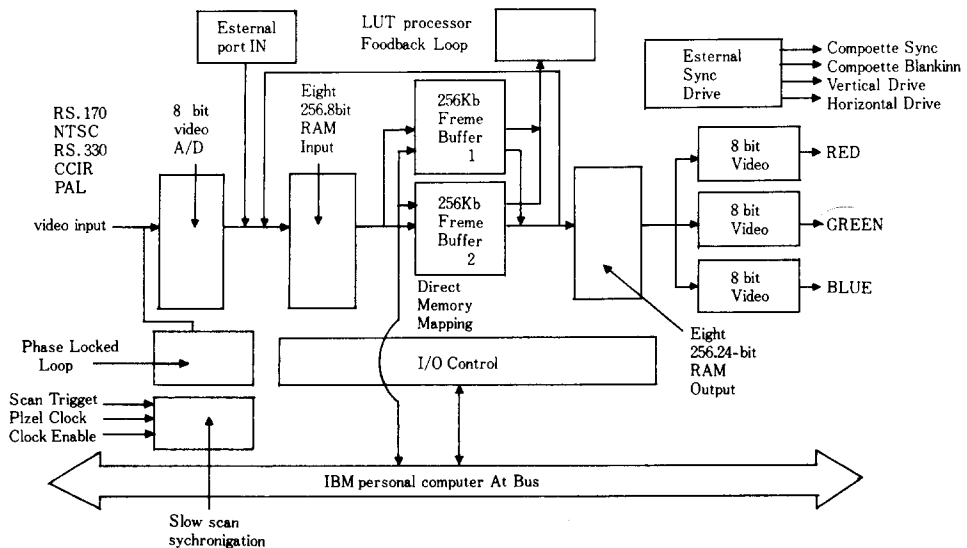


Fig. 6 DT 2853 high resolution frame grabber block

Model : Topcon  
 Magnification : 10X, 30X, 50X  
 Dimension : X : 0~200 $\mu$ m  
 Y : 0~100 $\mu$ m  
 Measyrenebt accyract :  $\pm 0.001$  $\mu$ m

(5) Stereoscopic Microscope

Model : Nikon (SMZ-2T)  
 Type : twin zooming body  
 Total magnification : 0X~415X  
 Zoom ratio : 6.3  
 Working distance : 100m  
 Focusing : rack and pinion system

(6) Surface Roughness Tester

Taylor-Hobson CO.  
 Model : Form Talysurf  
 Measurement accuracy :  $R_{max}$  (0.1 $\mu$ m)  
 $R_a$  (0.1 $\mu$ m)  
 $R_v$  (0.1 $\mu$ m)

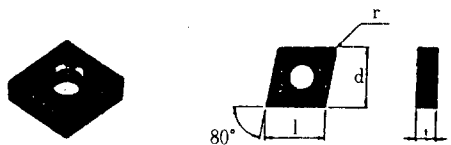
(7) SEM(Scanning Electron Microscope)

본 연구에 사용된 SEM(scanning electron microscope)은 AKSHI(Japan) ISI-DS130 model로 본 연구에서 제작한 회절격자의 정밀도 파악에 이용되었다.

2. 공구 및 재료

(1) 공구와 공구 Holder

본 실험에서 사용된 공구는 초경합금공구(TOSHIBA TUNGALOY CO., LTD) T 802tip(CNMA 120404)을

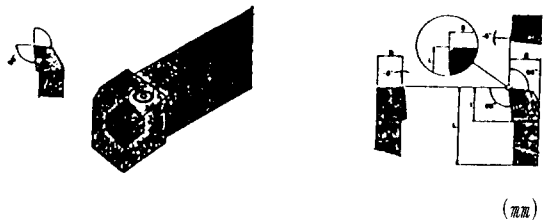


Dimensions		i	d	t	r
Type					
CNMA		12.9	12.7	4.76	0.4
120404					

Fig. 7 Dimensions of T 802 cutting tip

PCLNR/L type의 tool holder에 고정시켜 사용하였으며, 그 제원과 형상치수는 Fig. 7와 같다. 또 Fig. 8은 tool holder의 형상 치수를 나타내고 있다.

Fig. 9는 화학적 증착방식(CVD)으로 코팅한 alumina type T802 tip을 SEM으로 촬영한 조직사진이다.



Dimensions		H	W	L	S	h	I
Type							
PCLNR/L		25	25	150	32	25	28
2525-M12							

Fig. 8 Dimensions of PCLNR/L tool holder



Fig. 9 SEM photograph of T 802 cutting tool

(2) 재료

실험 재료는 일반적으로 현장에서 많이 사용되어지고 있는 기계구조용 탄소강 SM45C를 설정하였으며 재료의 화학적 성분 및 기계적 성질을 Table1과 Table2에서 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions of testing material (%)

Chemical Composition		C	Mn	Si	P	s	Fe
Material							
SM45C		0.46	0.84	0.37	0.023	0.018	Residual

Table 2 Mechanical Properties of testing material

Tensile Strength	Yielding Point	Hardness (HB)	Elongation
65.4 kg/mm <sup>2</sup>	47.54 kg/mm <sup>2</sup>	198	24.6%

3. 절삭 실험장치 및 방법

(1) 시편가공

실험용 시편으로 기계구조용 탄소강(SM 45C)의 직경 110mm인 환봉을 길이 330mm로 절단하였다. 그리고 CNC lathes의 주축에 부착된 universal chuck에 시편을 고정시킬 때의 고정여유와 연삭가공의 여유를 고려하여 선삭가공으로 가공면의 직경 X길이(100X330mm)로 치수공차 ±0.1mm의 범위에서 Fig. 15와 같이 연삭가공을 하여 사용하였다.

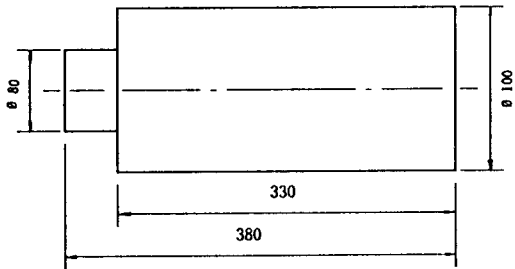


Fig. 10 Dimensions of SM45C workpiece

(2) 절삭 실험 방법

Fig. 11와 같은 절삭 실험장치를 이용하여 시험편 중심선과 공구선단을 일치시킨후 축방향 선삭시험을 시행하였다.

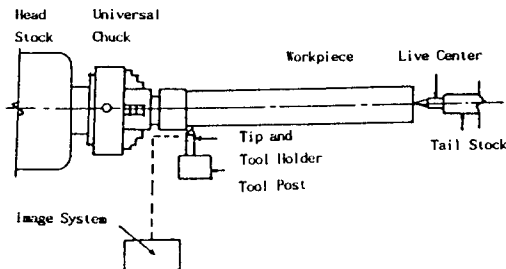


Fig. 11 Setup of cutting experiment

절삭조건은 일본 기계진흥협회 기술연구소에서 발간된 절삭시험방법에 따라 절삭시간을 0, 1, 2, 5, 7, 5, 10, 15, 20분으로하고 절삭속도(V)는 180m/min, 절삭깊이(depth of cut)는 1.0mm, 이송(feedrate)은 0.2mm/rev으로하여 절삭유를 사용하지 않고 건식 절삭시험을 하였으며 절삭 시간에 따른 crater wear깊이를 측정하였다.

IV. Optical Design and Manufacture

1. Diffraction Grating 제작

회절 격자는 파의 위상, 크기 혹은 위상-크기의 주기적인 변동 효과를 주는 aperture나 장애물을 가지는 회절원의 반복적인 배열이다.

광학 회절격자는 만드는 방법에 따라 유리판 위에 알루미늄을 증착한 후 다이아몬드 groove를 형성하는 ruled grating, silver emulsion등과 같은 감광 재료를 사용하여 레이저에 의한 간섭에 의하여 제작하는 holographic grating 그리고 master회절격자를 사용하여 복사하는 replica grating으로 크게 분류할 수 있다. 본 연구에 사용되어진 diffraction grating은 투과형 echen-grating을 사용하였으며 제조 공정도를 보면 Fig. 12와 같다.

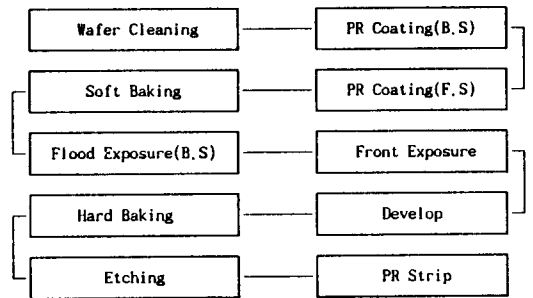


Fig. 12 Fabrication flow chart of the grating

회절격자에 의한 간섭현상의 줄무늬 변화를 측정하여 공구의 경사면 마모 깊이를 측정하는 실험 장치를 개발하였으며 회절격자를 mounting시켜 실험 편리도를 높였다.

본 연구를 위해 제작된 회절격자를 SEM(5000x)으로 측정하는 사진을 보면 Fig. 13와 같다.

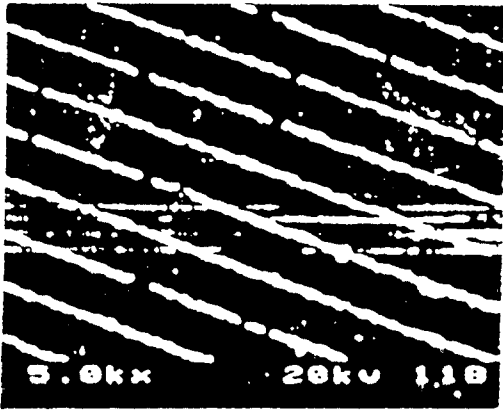


Fig. 13 SEM photograph of diffraction grating (5000x)

## 2. Beam Expander 제작

본 연구에 사용된 He-Ne gas laser의 beam diameter는 1mm로 이 빛을 가지고는 전마모 면적을 주사시킬 수 없으므로 beam diameter를 3mm 정도로 확장시켜 사용하였으며 평행광을 만들기 위해 Fig. 14과 같이 20배 beam expander를 제작하였다.

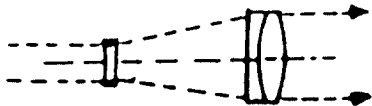
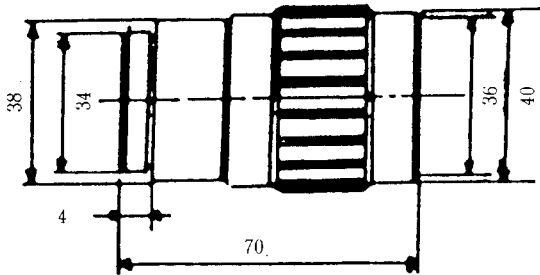


Fig. 14 Dimensions of laser beam expander

## 3. Compensating and Focusing Lens

Compensating lens는 확장된 beam이 평행광을 유지시켜 투과한 빛이 선명한 상을 얻기 위한 방법으로 사용하였으며 focusing lens는 cutting tip에 주사되어

반사된 빛의 초점을 모아 선명한 상이 맺도록 하기 위한 방법으로 두 렌즈를 사용하였다.

## 4. Special Filter 제작

완전하고 둥근 레이저 상을 얻기 위해서 50 $\mu$ m짜리의 pin hole을 제작하여 실험에 사용한 결과 더 선명한 상을 얻을 수 있었다. 본 실험에 사용된 pin hole를 보면 Fig. 15과 같다.

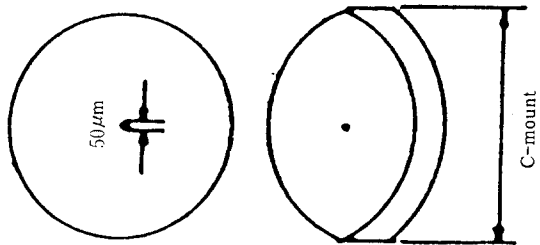


Fig. 15 Special filter design

## 5. Band Pass Filter Mount 제작

본 실험은 일반 작업장에서도 사용가능하도록 노이즈 제거용 광학 필터를 사용하였으며, 이 필터는 He-Ne gas laser용 band pass filter를 사용하였다. 본 실험에서 사용된 mount는 일반적으로 많이 사용하는 C-mount로 제작하였으며 Fig. 16와 같다.

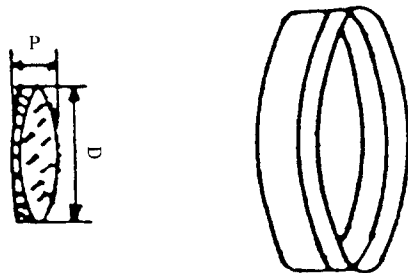


Fig. 16 Design of band pass filter mount



## V. Crater Wear 측정법 개발

### 1. Crater Wear 마모량 측정 Hardware

초경합금 공구인 일본 TOSHIBA TANGALOY CO., LTD. T802 tip을 CNC선반의 tool holder에 고정시키고 절삭시간 조건을 일본 기계진흥협회 기술연구소에 발간한 방법에 따라 절삭시험을 하여 절삭시간에



Fig. 17 Photo of new developed measurement set-up

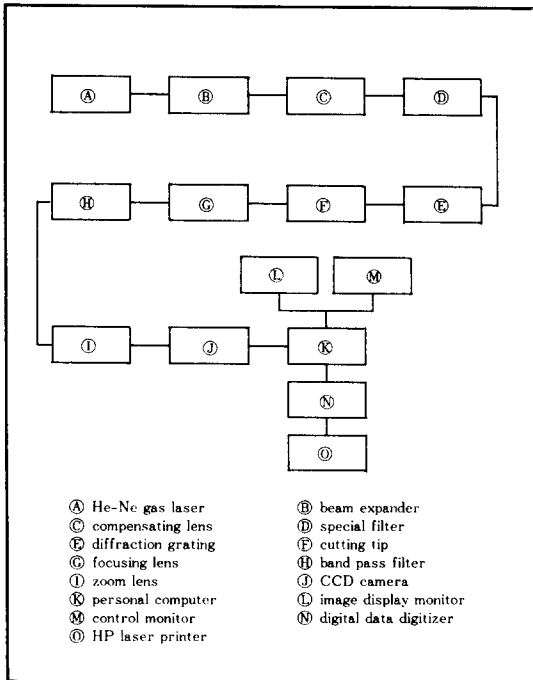


Fig. 18 Block diagram of new developed measurement method

다른 crater wear깊이를 공구 경사면 각각의 폭상에서 측정하였다.

절삭공구의 경사면 마모량을 측정하기 위해 개발된 측정법을 사진으로 보면 Fig. 7과 같고 계략도를 보면 Fig. 18와 같다.

### 2. Alignment

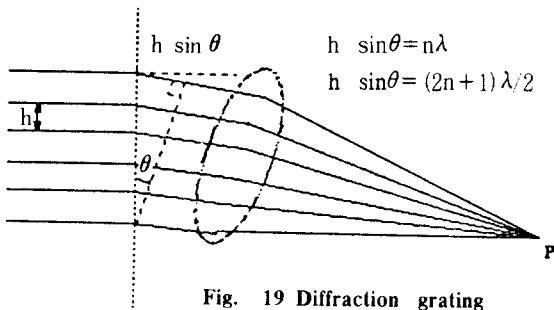
Crater wear 측정 장치의 alignment는 다음과 같은 순서에 의해 행하였다.

- (1) Laser power를 on시킨다.
- (2) Beam expander와 compensating lens의 높이와 방향이 제대로 되도록 optical component의 방향을 조절한다.
- (3) 광축선상에 special filter가 오도록 조절한다.
- (4) Special filter의 pin hole를 통과한 laser가 diffraction grating에 주사될 수 있도록 grating의 격자선을 정확히 맞춘다.
- (5) Grating이 간섭 줄무늬를 형성시킨 부위에 절삭 시험을 한 절삭팁을 놓는다.
- (6) Focusing lens로 절삭팁에서 45°로 반사된 빛을 image가 잘 형성될 수 있는 위치에 focusing lens를 놓는다.
- (7) 형성된 image가 노이즈를 받지 않도록 하기 위해 He-Ne gas laser광앞에 bandpass filter를 사용하였으며 형성된 image를 선명하게 잡기 위해 zoom lens를 설치한다.
- (8) 형성된 image를 CCD camera로 잡아 digital data digitizer에 저장시킨다.
- (9) 저장된 이미지를 personal computer를 이용하여 산술 계산을 통한 마모량(KT Values)을 측정하고 laser printer로 그 결과를 출력한다.

### 3. Calibration

빛의 회절 현상은 파면의 일부가 어떤 좁은 틈(slit)이나 장애물에 의하여 제한을 받을때 생기며, slit이나 장애물의 크기가 작을수록 잘 일어난다. 또 파장이 어느 정도의 크기일때 강하게 나타난다.

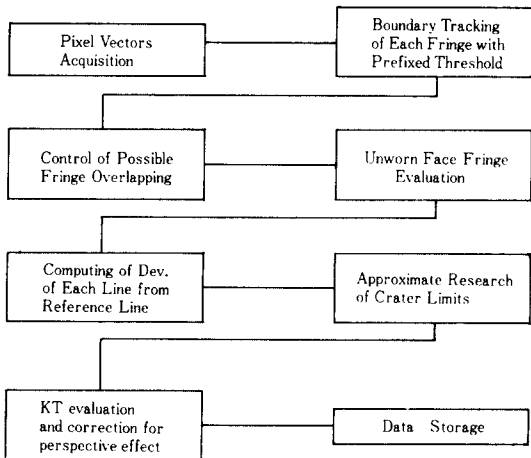
본 연구에 사용된 slit은 multi-slit으로 그림으로 나타내면 Fig. 19와 같다.



$h \sin \theta = n\lambda$ : 파장과 회절각 사이에서 회절합수  
 여기서  $h = 10 \text{ ipm} = 1/10 \text{ mm} = 100 \mu\text{m}$   
 $n = 1$ 차 회절 (회절차수)  
 $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$   
 $\sin \theta = 1 \times 6 \times 10^{-3}$   
 $\therefore \theta = 6 \times 10^{-3} \text{ rad}$   
 $d = \lambda (s/2b)$  에서  
 $d = \tan \theta \times f$  (if  $\tan \theta = \sin \theta = \theta$ )  
 $= f \times \theta$   
 $= (20 \text{ mm}) \times 6 \times 10^{-3} \text{ rad}$   
 $= 0.12 \text{ mm}$   
 예 if pixel = 100ea면  
 $d = 0.0012 \text{ mm}$ 이다.

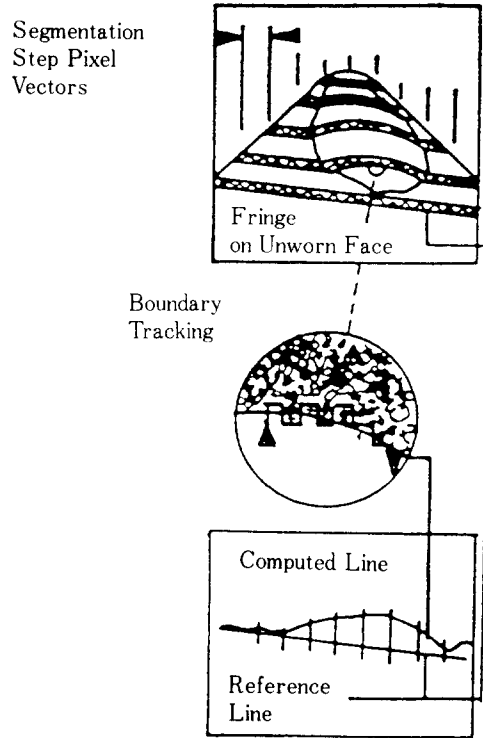
**4. Crater Wear 마모량 측정 Software 개발**

Crater wear 마모량 깊이 측정을 위한 hardware 및 alignment를 개발한 후 형성된 image analysis을 위해 개발된 software는 Fig. 20와 같다.



**Fig. 20 Flow chart for crater wear image analysis**

본 연구에서 개발된 S/W를 이용하여 마모량을 계산하는 방식은 회절이론 (I 관련이론, 2. 회절이론)에서 언급한 대로 (2-3) 식으로 표현되며 그 측정법을 보면 Fig. 21와 같다.



**Fig. 21 Measurement method of crater wear values**

**VI. 성능평가**

**1. 개요**

절삭 시험 조건 즉 절삭 속도 ( $V = 180 \text{ m/min}$ ), 절삭 깊이 (depth of cut =  $1.0 \text{ mm}$ )와 이송 속도 (feedrate =  $0.2 \text{ mm/rev}$ ), 절삭시간 (0, 1, 2, 5, 5, 7, 5, 10, 15, 20분)에 따라 각 시간대별 절삭 tip을 교환시켜 가면서 절삭시험을 행한다. 절삭 시험을 한 결과 8개의 절삭 tip을 얻을 수 있었으며 이 얻어진 절삭 tip을 기존의 측정법 (dial gauge, tool microscope, surface roughness tester)과 새로이 개발된 방법을 비교 측정함으로써 개발된 system의 performance test를 행하였다.

### 2. Dial Gauge에 의한 Measurement

최소 눈금이 0.001mm dial gauge를 이용한 crater wear 마모량을 Fig. 22과 같은 방법으로 측정된 결과를 보면 Table 3과 같다.

이 측정법은 기본적인 측정법으로 crater wear의  $K_T$  값을 측정하였으며 측정 data의 정밀도를 향상시키기 위해 4회 측정을 하여 최대값을 나타냈다.

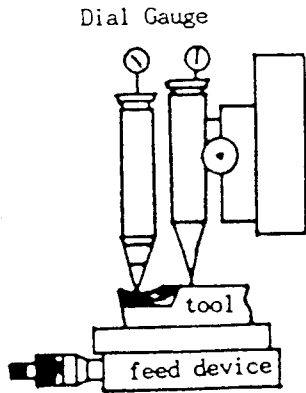


Fig. 22 Crater wear measurement by 0.001 dial gauge

Table 3 Crater wear values by 0.001mm dial gauge

Cutting Time(min)	Parameter (KT : $\mu\text{m}$ )				
	1	2	3	4	Max. Value
0	0	0	0	0	0
1	3	3	3	2	3
2.5	3	3	4	4	4
5	5	6	6	6	6
7.5	7	6	8	8	8
10	8	9	9	8	9
15	10	11	11	11	11
20	14	15	15	15	15

### 3. Tool Microscope에 의한 Measurement

이 측정법은 공구 현미경(tool microscope)의 초점 심도를 이용하여 측정하는 방법으로 공구 경사면의 마모량에 따른 측정결과 중 가장 마모 깊이가 크게 진행된 절삭시간 20분대를 나타내면 Fig. 23과 같고, 각 시간대별 측정 결과는 Table 4와 같다.



Fig. 23 Photo of stereoscopic microscope (20x). Cutting time (20 min)

Table 4 Crater wear values by tool microscope

Cutting Time(min)	Parameter (KT : $\mu\text{m}$ )				
	1	2	3	4	Max. Value
0	0	0	0	0	0
1	15	15	14	15	15
2.5	16	16	15	16	16
5	17	15	16	17	17
7.5	17	17	16	17	17
10	18	15	16	18	18
15	18	17	17	18	18
20	17	19	21	18	21

### 4. Surface Roughness Tester에 의한 Measurement

이 측정법은 표면 거칠기(surface roughness tester)를 이용하여 측정하는 방법으로 공구 경사면의 마모량에 따른 측정결과 중 가장 마모 깊이가 크게 진행된 절삭시간 20분대를 나타내면 Fig. 24와 같고, 각 시간대별 측정 결과는 Table 5과 같다.



Fig. 24 Profile curve of Taylor-Hobson. Cutting time (20 min)

Table 5 Crater wear values by the profile curve

Cutting Time (min)	Parameter (KT : $\mu\text{m}$ )				
	1	2	3	4	Max. Value
0	0	0	0	0	0
1	7	8	8	8	8
2.5	10	10	10	10	10
5	11	13	11	13	13
7.5	17	17	16	14	17
10	18	18	17	16	18
15	17	16	19	19	19
20	20	18	19	20	20

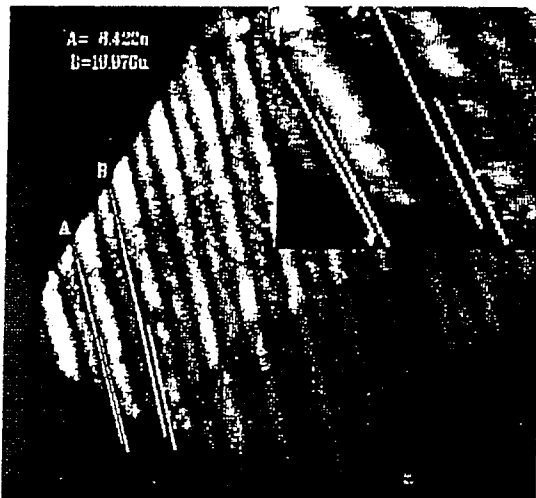


Fig. 25 Crater wear measurement for the image processing technique. Cutting time (20 min)

Table 6 Crater wear values by the image processing technique

Cutting Time (min)	Parameter (KT : $\mu\text{m}$ )		
	A Part	B Part	Max. Value
0	0.000	0.000	0.000
1	4.463	6.679	6.679
2.5	7.665	9.331	9.331
5	12.186	8.133	12.186
7.5	15.487	13.930	15.487
10	16.820	10.090	16.820
15	10.941	18.235	18.235
20	8.422	19.976	19.976

## 5. New Developed Method에 의한 Measurement

Image processing techniques에 의해 측정된 대표적인 결과를 살펴보면 Fig. 25와 같고, 각 시간대별 측정 결과를 종합하면 Table 6과 같다.

## Ⅶ. 실험 결과 및 고찰

### 1. Dial Gauge vs. New Developed Measurement Method

Dial gauge를 이용한 측정법과 새로 개발된 측정법을 비교해 본 결과 다음과 같은 장점을 들 수 있었다.

Dial gauge 측정법에 비해

- ① 측정자의 숙련도에 따른 개인 오차를 줄일수 있다.
- ② 미숙련자도 간단한 computer 조작을 통하여 쉽게 측정이 가능하다.
- ③ 한 screen 상에 마모 형태를 볼 수 있으므로 최대 깊이를 찾는 데 어려움이 없고 짧은 시간에 측정이 가능하다.
- ④ 여러번 반복 측정이 불필요하다.
- ⑤ Dial gauge를 이용한 측정법에서는 probe의 nose radius 이하의 크기에서는 측정이 불가능하나 새로 개발된 측정법은 nose radius의 크기에 무관하다.
- ⑥ 작업중에 측정이 가능하다.

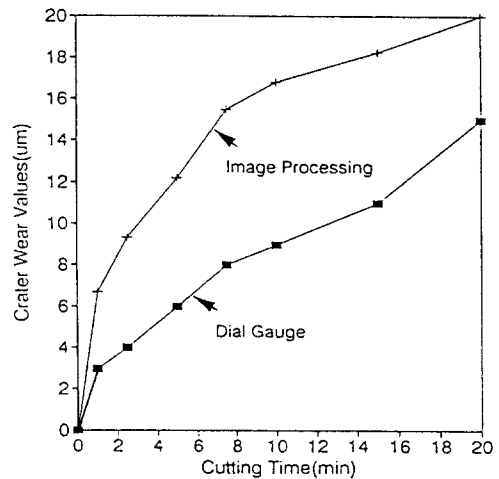


Fig. 26 Comparison of the crater wear values (KT) : dial gauge vs. new developed method

이 두가지 측정 결과를 도표로 나타내 보면 Fig. 26과 같으며 image processing 측정치와 dial gauge 측정치를 비교해보면 절삭시간 10분대에는 약  $8\mu m$  측정오차가 발생되었으며 절삭시간이 경과 되므로 편차가 좁혀지는 현상이 나타났다.

## 2. Tool Microscope vs. New Developed Measurement Method.

Tool microscope에 의한 측정법은 현미경의 초점 심도를 맞추기가 상당히 어려워 숙련자가 아니면 측정 데이터를 잡을수 없으며 측정하기가 까다로운 결점을 안고 있다.

또 숙련자라 할지라도 장시간 공구 현미경을 쳐다보면 쉽게 피로가 오며 측정상의 능력이 저하된다.

공구 현미경에 의해 측정한 데이터를 보존하기 위해서는 공구현미경에 카메라를 부착하거나 실제 현미경으로 측정하여 보관해야 하는데 많은 시간 및 숙련도가 요구된다.

따라서 본 연구에서 개발된 방법으로 측정하면 간단한 방법으로 측정이 가능하다.

공구현미경과 개발된 방법에 의한 측정 결과를 비교해 보면 Fig. 27와 같으며, 이 두 방법은 절삭시간 10분대까지는 많은 편차를 나타내고 있으나 절삭시간 15분대에서는 잘 일치됨을 알 수 있다.

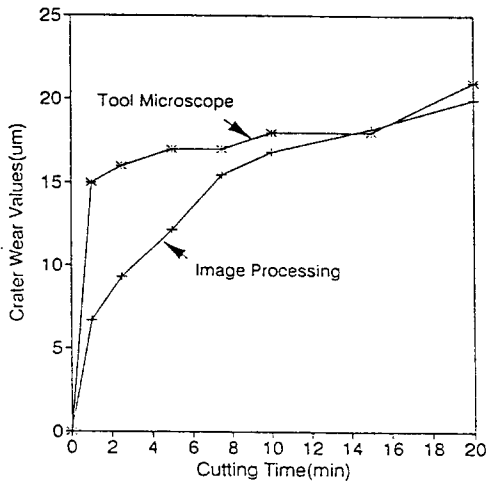


Fig. 27 Comparison of the crater wear values (KT) : tool microscope vs. new developed method

## 3. Surface Roughness tester vs. New Developed Measurement Method

표면거칠기로 마모깊이를 측정하는 방법은 dial gauge를 이용하는 방법을 개선한 방법이라고 보면 타당할 것이며, 따라서 이 측정법도 최대깊이를 찾기위해 여러번의 측정데이터를 구해야 하며 또한 숙련도가 요구된다.

본 연구에 사용된 표면 거칠기는 측정압이 laser에 의해 자동으로 결정되는 아주 정밀한 측정기기이지만 역시 깊이를 측정하는데는 많은 어려움이 있다.

그러나 본 연구에 개발한 방법은 아주 편리한 측정법으로서 누구나 손쉽게 측정이 가능하다.

Fig. 28은 profile curve vs. new developed measurement method의 비교 결과를 나타내고 image processing과 surface roughness에 의한 최대 측정 오차가  $1.5\mu m$ 으로 상당한 정밀한 결과를 얻었다.

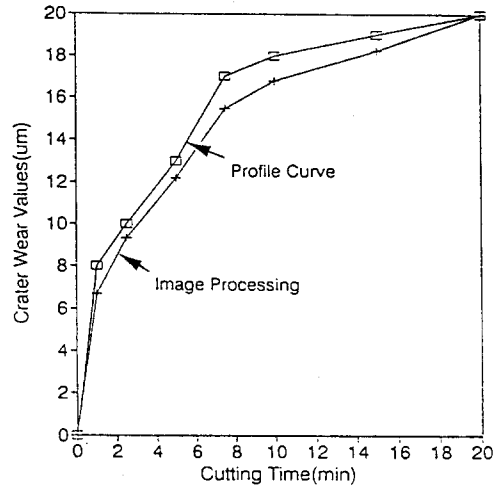


Fig. 28 Comparison of the crater wear values (KT) : profile curve vs. new developed method

## Ⅷ. 결 론

이상과 같이 실험 결과를 분석 고찰하여 이를 정리하고 요약하면 본 실험에서 선정된 절삭조건(절삭속도, 절삭깊이, 이송)을 일정하게 놓고 절삭시간 및 절삭팁만을 교환시켜 가면서 각각의 정해진 시간으로 절삭시험

을 행하여 절삭 중 마모과정을 비교해 볼 수 있도록 하였으며 기존의 측정법과 새로이 개발된 방법과의 관계에 대하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- ① 측정자의 개인오차를 줄일 수 있다.
- ② Crater wear 측정시간이 짧다. 즉 최대깊이를 찾는 데 시간이 걸리지 않으며 2~3초면 가능하다.
- ③ 미숙련자도 측정이 가능하며 여러번 반복 측정이 불필요하다.
- ④ Computer에 의해 자동측정되므로 정밀도를 향상시킬 수 있다.
- ⑤ 본 측정법을 응용하면 in-process중에 real time으로 측정이 가능하며 현장의 작업장에서도 손쉽게 공구마모량을 측정하여 workpiece의 정밀한 가공이 가능하다.

본 연구에서는 crater wear의 마모량 깊이를 측정하는 방법을 개발하였지만 flank wear량을 측정할 수 있는 system을 개발하여 초정밀 가공에 기여할 수 있으며 in-process중에 정밀측정이 가능할 것으로 사료된다.

## REFERENCE

1. C. Rubenstein, "An Analysis of Crater Wear Based on the Adhesive Wear Mechanism", pp. 585-593
2. J. Oakes, "A Comparative Evaluation of Hfn, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Tic and Tin Coatings on Cemented Carbide Tools", Thin solid films, 107(1983) pp. 159-165
3. V.C Venkatesh and M. Satchithan, "A Discussion Tool Life Criteria and Total Failure Causes", Ann., CRIP, Vol, 291(1980) pp. 19-22
4. Giusti, F. Santochi, M., 1979, "Development of a Fibre Optic Sensor for In-process Measurement of Tool Wear", proc. of 20th MTDR conf., Birmingham, pp. 351-360
5. Kunio UEHARA, Fumiyata KIYOSAWA, Hideo TAKESHITA, 48. "In-Process Measurement of the Flank Wear of Cutting Tools", JSPE, 39-8, 825
6. Giusti, F. Santochi, M. Tantussi, G., 1987 "On-Line Sensing of Flank and Crater Wear of Cutting Tools", Annals of the CIRP, Vol. 36/1 pp. 41-44
7. 廉永夏, "工作機械의 切削理論" 東明社(1982) pp. 160-179
8. TOSHIBA TUNGALOY CO., LTD. "Cutting Tools" '90-'91, pp. 383-385
9. N.H. Cook, "Tool Wear and Tool Life", J. of Eng. Ind., ASME, (1973) pp. 931-938
10. N.H. Cook, P.N. Nayak, "The Thermal Mechanics of Tool wear", Trans, ASME, Feb, 1966, pp. 93-100
11. D. Kececioğlu, A.S. Sorensen, Jr. "Comparative Effect of Land and Crater Wear on Tool Life when Dry Cutting, Mist cooling and Flood cooling", Trans, ASME, Feb, 1962 pp. 49-52
12. G.R. Fowles, "Introduction to Modern Optics", 1968, Holt, Rinehart and winston.
13. R.C Gronzalez and P. wintz, "Digital Image Processing", Addisonwesley publishing company, 1987.
14. J.O. Hirschfelder, C.F. Curtiss and R.B. Bird(1954), "Molecular Theory of Gases and Liquids", John wiley and sons, New pork.
15. Junichi ISHIDA et al : "Automatic Focusing of CCD Camera" NHK Technical Journal Vol, 86 no. 17 pp. 21-37
16. Data Translation, Inc. "User Manual for DT 2853 : High Resolution Frame Grabber for the IBM personal Computer AT", 1988
17. M.P. Groover and E.W. Zimmers, JR, "CAD/CAM" Prentice-Hall, Inc.
18. 日本 機械振興協會 技術研究所, "切削 試驗 方法에 관한 symposium : 旋削試驗方法(旋削 工具 壽命試驗 任意書)", 1976
19. T.K. Gaylord "Analysis and Applications of Optical Diffraction by Gratings" Proceedings of the IEEE, Vol. 73, No. 5, May 1985.