

머신비전으로 패턴 인식기법에 의한 엔드밀 마모 검출에 관한 연구

이창희[#], 조택동^{*}

A Study on the End Mill Wear Detection by the Pattern Recognition Method in the Machine Vision

Chang-Hee Lee[#], Teak-Dong Cho^{*}

ABSTRACT

Tool wear monitoring is an important technique in the flexible manufacturing system. This paper studies the end mill wear detection using CCD camera and pattern recognition method. When the end mill working in the machining center, the bottom edge of the end mill geometry change, this information is used. The CCD camera grab the new and worn tool geometry and the area of the tool geometry was compared. In this result, when the values of the subtract worn tool from new tool end in 200 pixels, it decides the tool life. This paper proposed the new method of the end mill wear detection.

Key Words : tool monitoring technique(공구감시기술), vision system(비전시스템), flank wear(플랭크 마모), CCD camera(CCD 카메라), pattern recognition(패턴인식)

1. 서론

컴퓨터 기술의 급속한 발달과 더불어 CNC (computerized numerical control) 공작기계의 활용이 증가되고, 높은 수준의 분산 데이터 처리(distribution data processing), 자동 물류장치(automated material flow), 로봇(robot), 자동검사장치(automatic inspection system), 자동창고 등 생산체제의 변화에 유연하게 대응하기 위한 유연 생산 시스템 FMS(flexible manufacturing system), 각종 생산 기술들을 컴퓨터로 통합하여 제어하는 CIM(computer integrated

manufacturing)의 구축이 가속화되고 있다. 공구는 공작기계와 공작물 사이에서 중요한 역할을 담당하고 있으며, 따라서 적합한 공구를 선정하고 적합한 제어를 수행하는 것이 공작기계 사용의 효율성을 높이고 제품의 손상을 줄이므로 무엇보다 중요하다. 공구감시기술(tool monitoring technique)은 공구가 파손되거나 마멸되었을 때 이를 신속하게 검출하고, 정량적, 정성적으로 측정하여 이에 관한 정보를 상위의 시스템에 전달하는 기술로서 공구교환시기, 마멸에 의한 오차 보정, 공작물의 손상 방지 등의 정보를 제공하는 기본 기술이다. 공구상태를 검출

접수 : 2002년 7월 27일 접수

교신저자, 구미기능대학 자동화시스템과

Email 17469@kopo.or.kr Tel. (054) 468-5272

* 충남대학교 기계설계공학과

하는 기술은 공정 후(post-process)와 공정 중(in-process)의 방법으로 나눌 수 있고, 전자는 주로 공구실에서 이루어지고 있으며 후자는 공작기계상에서 가공 중에 이루어진다. 지금까지 이에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으며, 일부는 상업적인 용도로 사용되기도 하지만 센서의 신뢰도, 다양한 형태의 공구 파손 및 마멸 등으로 인해 여전히 측정의 어려움이 있으며, 복합적인 측정, 센서융합(sensor fusion)등의 기술이 도입되고 있는 실정이다.¹ 여러 가지 방법들 중 광학적 방법은 공구의 형상을 직접 관찰할 수 있기 때문에 시각적으로 사용자에게 편리하며, 정량적인 계산을 정확하게 할 수 있어서 신뢰성이 높은 장점이 있다.² 화상처리를 응용한 기술은 1970년대 이후 생산성 향상을 위해 공장 자동화에 많은 관심을 두고 자동인식 분야의 한 부분으로 발전하여 왔다. 특히 화상처리에 의한 공구의 마모 검출에 대한 연구동향은 J. Tlustý 등은 카바이드 공구(carbide tool)들의 칩핑(chipping)과 파손(breakage)에 대한 실험을 통해 얻은 파손된 공구의 SEM 사진을 이용해 공구 파손 검출에 관한 원인과 분석을 하였으며 그 후 스트레오 비전(stereo vision)과 3차원 이미지 프로세싱이라는 유용한 도구에 힘입어 매우 급속한 발전을 이루고 있다. F. Giusti 등은 TV 카메라와 광촉침(optical probe)를 NC선반에 설치하여 공구의 플랭크 마모를 측정하였다. Y. Maeda and H. Uchida 등은 디지털 이미지 프로세싱을 이용한 절삭공구 날부의 기하학적 특징계측을 할 수 있는 시스템을 개발했으며 K. J. Padersen은 직접 공작 기계 상에 카메라를 설치하여 공구의 플랭크 마모를 측정하여 일반적인 공구 수명곡선을 얻게 된다. 또한 국내의 연구동향은 권오달은 선삭에서 컴퓨터 비전을 이용한 공구 상태 검사 시스템 개발에 관한 연구를 하였으며^{2,3} 이상의 내용들은 선삭 가공에서의 공구 마모검출에 관한 것이며 단속 절삭에서 엔드밀의 마모를 화상처리로 검출하는 것에 대한 연구는 李和樹 外3人的 엔드밀 외주날의 플랭크 마모의 광학식 측정장치 개발에 관한 연구를 하였으며,⁴ 森 和男, 澤井 信重, 은 가시화에 의한 엔드밀 공구 손모의 진단과 엔드밀의 마모손상을 인 프로세스로 진단하는 것에 관하여 연구하였다.^{5,6} 국내에서는 하건호외 5명이 단속가공에서 CCD를 이용한 공구 마멸 가시화 시스템 개발에 관하여 연구한 바 있으며⁷ 이 연구의 내용들은 영상처리를 이용하여 직접 엔드밀의 플랭크마모(flank wear)를

계측하는 시도를 하였으나 비틀림 엔드밀의 경우 엔드밀의 랜드부 형상이 비틀림으로 되어 있으므로 랜드부의 마모(플랭크 마모)를 형상으로 얻는다는 것은 시스템이 복잡해 질 뿐 아니라 어려움이 많으므로 비용이 많이 드는 단점이 있다.^{8,9} 그러나 엔드밀로 공작물을 가공하게 되면 대부분 밀날이 관여하게 되어 밀날이 마모되어 형상이 변하게 된다. 이러한 정보를 이용하게 되면 영상을 쉽게 얻을 수 있을 뿐 아니라 비교적 저 비용의 간단한 시스템으로 엔드밀의 마모를 검출 할 수 있는 장점이 있다.

2. 비전기술

비전기술에는 컴퓨터비전(computer vision), 로봇비전(robot vision), 머신비전(machine vision) 등의 다양한 용어가 사용되고 있다. 머신비전이라고 하는 것은 기계에 시각을 부여 하고자 하는 분야로 기계에 사용하고자 하는 공장내의 공정에 대한 이해와 대상이 되는 부품이나 제품에 대한 이해를 바탕으로 하여 화상처리 기술을 응용하여 원하는 자동기계의 목적을 달성하고자 하는 기술이라 정의할 수 있다.¹⁰ 비전 시스템(vision system)의 처리 과정은 화상형성 및 취득 (image formation system & acquisition), 화상처리(image processing), 화상해석(image analysis)의 3가지 과정으로 나눌 수 있다. 화상형성 및 취득 과정은 카메라 밖의 실세계를 카메라를 통하여 디지털 화상으로 바꾸는 과정으로 머신비전에서는 일반적으로 조명계에 의하여 적당한 조명을 가하고 이의 반사 결과가 광학계를 통하여 입사되고 다시 디지털화의 과정을 거쳐서 컴퓨터와 같은 화상처리 장치로 입력되는 과정을 포함한다. 구성요소는 조명계, 광학계, 화상 입력계가 있다. 화상처리는 디지털 영상에 대하여, 계산적인 처리 기법을 시행하여, 원래의 영상과 다른 모습의 영상을 만들어 내거나 바꾸는 과정으로, 컴퓨터와 같은 화상처리장치에 의하여 이루어진다. 대부분의 화상처리 알고리즘이라 하는 것은 이 부분에 집중되어 있다고 볼 수 있다. 흑과 백으로 구성된 2차 화상에서 1가지 값을 가지는 화소들의 연속적인 선을 런(run)이라고 한다. 이러한 런의 시작점과 길이 만을 기억하고 있으면 물체 전체에 대한 충분한 정보를 가지고 있는 것이 되므로 이러한 화상 표현 방식을 런 렉스 엔코딩(run length encoding) 방법이라고 한다. 특히 면적을 구할 때 쉽게 그 결과를 얻을 수

있으므로 본 논문에서는 이 방법을 사용하였다. 2차화 과정을 거쳐서 얻어진 물체와 배경이 분리된 화상으로부터 대상물에 관한 여러 가지 특징량을 추출할 필요가 있다. 이러한 특징량의 종류는 무수히 많으나 일반적으로 기하학적인 정보와 통계적인 정보들이 널리 사용된다. 대상물에 대한 정보를 하나의 덩어리(blob)로 만들어 화상해석에 이용하게 되며 이러한 해석 방법을 덩어리 분석(blob analysis)이라 한다. 본 논문에서 덩어리의 면적(A)라고 하는 것은 경계선 내에 포함되어 있는 화소들의 합을 말한다.

패턴매칭(pattern matching)이란 일반적으로 미리 저장된 패턴영상과 똑같은 패턴의 위치를 찾는 것을 말한다. 두 패턴의 상관관계(일치정도)를 구하는 방법은 여러 가지가 있는데 패턴의 변화유형을 비교하는 것으로 정규화 상관관계(normalized correlation) 방법이 있다. 이 방법은 패턴간 빼기연산(sub pixel)방법에 비하여 그레이(gray)영상과 같은 복잡한 영상에서 사용할 수 있으므로 이 방법을 사용하였다. 계수(coefficient) ρ_{xy} 의 계산은 다음과 같다.¹⁰

$$\rho_{xy} = \frac{Cov(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

$$Cov(x, y) = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (2)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}} \quad (3)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{n \sum y^2 - (\sum y)^2}{n(n-1)}} \quad (4)$$

$Cov(x, y)$ 는 두 데이터의 상관 관계를 나타내는 값이다. $Cov(x, y)$ 를 $\sigma_x \sigma_y$ 로 나누는데 이것이 바로 정규화 상관계수(normalized correlation coefficient) ρ_{xy} 이다. 이 값은 -1과 1사이의 값을 가지며 가장 잘 일치할 때에 그 값은 1이고 일치정도가 낮을수록 그 값도 낮아진다. 이 방법은 조명이 선형(linear)으로 변할 때에도 잘 대응하는 장점이 있다. 위의 식들을 정리하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad (5)$$

서치(search) 방법 중 피라미트 방법은 패턴서치(pattern search) 영역을 몇 단계로 압축한 다음 단계별로 비교하는 방법이다. 서치 영역과 패턴영역의 크기가 처음에 비하여 줄어들었기 때문에 계산 시간을 획기적으로 줄일 수 있으므로 이 방법을 채택하였다.

3. 실험

3.1 실험 장비와 실험방법

본 실험에 사용된 절삭가공 실험장비는 Table 1과 같으며 머시닝센터(machining center)에서 $\phi 12$ 엔드밀 (SKH 51, 2 flute, standard, YG-one(주))을 사용하였으며 피삭재는 연강(KS-SM490B)을 사용하였다. 시험재료의 크기는 (200(L)×180(W)×40(H))로 하였으며 절삭유는 수용성(1종1호 삼육 특수유제)을 사용하여 습식 절삭을 하였다, 엔드밀 공구와 피삭재의 주요 조성은 Table 2와 같으며 절삭 조건은 Table 3과 같이 일정하게 하여 반복적인 작업이 되도록 N.C 프로그램(program)하여 절삭 가공을 하면서 밀날과 플랭크 마모(flank wear)를 관찰하였다. 머신비전 시스템은 삼성전자(주)의 Fara vision Master를 사용했으며 Fig. 1은 그 시스템 구성도를 나타내고 있다. Table 4는 실험에 사용한 비전시스템(vision system)의 사양을 나타낸 것이다.

Table 1 Experimental equipment

Equipment	Size and manufacturing company
Machining center	TNV 40 SAIL HEAVY INDUSTRIES
Tool wear measure system	Hanra Micro Measure System 및 Mitutoyo TF510
End mill	$\phi 12$ SKH51, 2Flute, Standard, YG-one
Collet chuck	Nikken BT40-032-90

Table 2 Components of the tool and work piece

구분	기호	C	W	CO	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
공구	SKH 51	1.10	1.5	8.0					3.75	9.5	1.15
공작물	KS-S M49 0B t40	0.167			0.38	1.49	0.019	0.05			

먼저 CCD 카메라로부터 새 엔드밀의 밀날 영상을 잡아 화면에 나타나게 하였다.

Table 3 Cutting condition

end mill	rpm	feed (mm/min)	da (mm) (axial depth of cut)	dr (mm) (radial depth of cut)	돌출부 길이 (mm)
Φ12	1180	202	18	1.2	47.88

Table 4 Machine vision system specification

item	name	specification
hard ware	Blue eye	PCI Bus 2.1 Grab & Display per 30 frames
	Blue gate	24 opto-isolated output channel 16 opto-isolated output channel
	Motion board	stepping motor
	Stand	support the camera and illuster
	Camera	SONY XC-75
	Lense	16, 25, 35mm
	Illustrater	square, back light
	Index table	rotation table
	Moter	stepping motor
	Control board	motor driver, illuster driver
	Tower lamp	Red(stop), Yellow(stop), Green (continue) Output signal
soft ware	VTM2	pattern matching for programming etc

밀날 부분의 형상이 잘 나타나도록 영상처리를 한 후 티칭(teaching) 한다. 티칭을 할 때에는 주위 환경을 검사할 때와 같게 고정시켜 놓아야 한다. 엔드밀을 일정한 위치에 있도록 테이블 위에 브이블록(V-block)을 올려놓고 공구를 고정하였으며 조명상태를 일정하게 유지했다. 카메라의 렌즈의 초점거리와 조리개도 일정한 상태가 되도록 고정하였다. 엔드밀 절삭 작업을 할 때 인선의 변화가 가장 많이 나타나는 밀날 부위를 관심영역(ROI : region of interesting)으로 Photo. 1과 같이 설정했다. 2치화(binairization) 과정을 거쳐서 얻어진 물체와 배경이 분리된 화상으로부터 대상물에 관한 여러 가지 특징량을 추출할 필요가 있다. 이러한 특징량의 종류는 무수히 많으나 일반적으로 기하학적인 정보와 통계적인 정보들이 널리 사용된다. 이처럼 2치화상으로부터 대상물에 대한 정보만을 효과적으로 얻어내기 위하여 런 렉스 엔코딩(Run-Length Encoding)에 의하여 물체의 경계선에 대한 정보를 하나의 덩어리(blob)로 만들어 화상해석에 이용하였다. 이렇게 하여 새 엔드밀에서 덩어리의 면적(A)을 구하였다.

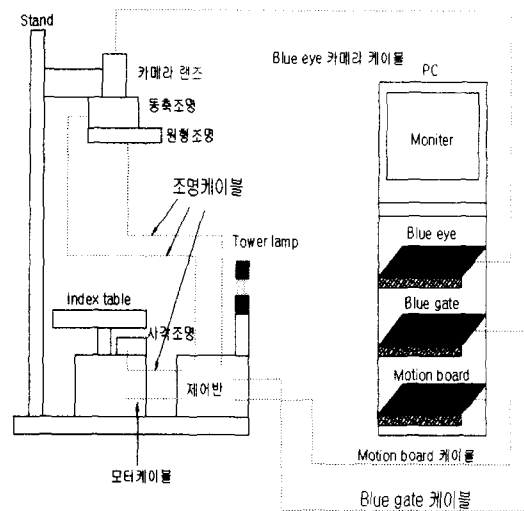


Fig. 1 Vision system

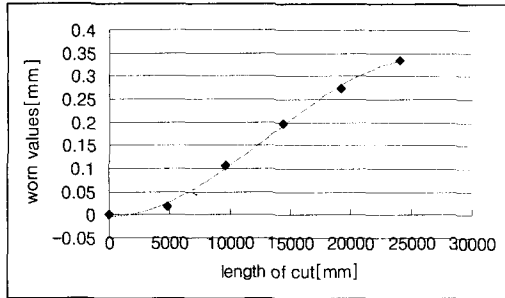


Fig. 2 Cutting length vs worn values of tool (material : KS-SM490B, end mill:φ 12)

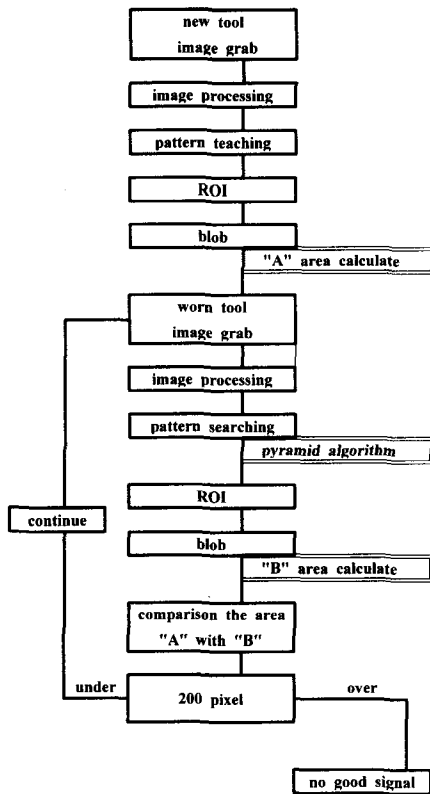


Fig. 3 Flow chart for the detection

새 엔드밀을 활용하여 머시닝 센터에서 절삭가공을 실시한 후 플랭크 마모 측정값이 0.23mm가 됐을 때를 공구 수명으로 하였다. 이는 공구 제작 회사와 ISO규정에서 flank 마모량이 0.2mm가 될 때

공구 수명으로 하고 있으므로 본 실험에서도 이 값을 적용하였다.^{11,12} 또한 ISO규정에서 랜드폭에서 수직거리를 마모량으로 표시하므로 경사각(helix angle)이 30° 이므로 실제 측정된값은 0.23mm가 됐을 때를 공구 수명으로 하였다. Fig. 2는 절삭길이와 플랭크 마모 측정값을 그래프로 나타낸 것이다. 이 그림에서 그래프에 의한 보간법으로 16000mm를 절삭했을 때가 공구 수명이 됨을 알 수 있다. 이때 공구의 끝 날 영상을 그랩(grab)하여 영상처리한 후에 패턴서칭(pattern searching) 하였다. 새 엔드밀을 티칭 할 때와 같은 환경에서 실시하였으며 패턴매칭(pattern matching)에 사용된 알고리즘은 피라미트 알고리즘을 사용하였다. 공구의 위치가 어떠한 각도로 이동하여 있어도 패턴서칭이 잘될 수 있도록 하기 위하여 로테이션 매칭(rotation matching)기법을 사용하였다. 패턴매칭 된 영역에서 덩어리의 면적(B)를 구해서 면적(A)와 픽셀단위 빼기(subtract)연산을 하였다. Fig. 3은 공구 마모검출을 위한 알고리즘을 나타내고있다.

3.2 실험결과 분석

Table 5는 절삭길이에 대한 플랭크마모값과 밑날의 외경 변화를 나타낸 것이다.

Table 5 The length of cut vs flank wears and change of diameters(unit : mm)

the length of cut	4800	9600	14400	19200	24000	remark	
flank wear	0.0175	0.1055	0.198	0.274	0.336	2 end mills average	
change of diameter	A	0.345	0.45	0.548	0.591		0.722
	B	0.075	0.105	0.151	0.208		0.266

밑날의 외경변화는 절삭하기 전에 새 엔드밀의 외경을 측정하고 일정한 양을 절삭한 후에 공구의 외측부(Fig. 4의 B부)와 내측부(Fig. 4의 A부)가 마

모된 직경을 측정하여 그 차를 변화값 즉 마모값으로 하였다. 본 실험은 오프라인으로 실시하였으며 플랭크마모와 밀 날 부분의 공구 형상 변화(마모)와는 밀접한 관계가 있어 밀날 부분의 형상변화를 이용하여 엔드밀의 마모를 검출할 수 있었다. 새 엔드밀과 16000mm 절삭한 엔드밀에 대한 티칭과 써칭된 상태를 Photo. 1에 나타내고 있으며 5개의 엔드밀을 실험한 결과 평균값이 200픽셀(pixel) 이상이 되었을 때 엔드밀 수명이(재 연삭 시기) 다한 것으로 판단 할 수 있었으며 Table 6 은 그 결과 값을 나타내고 있다. 면적차가 200픽셀 이상이 되면 타워램프(tower lamp)에 신호가 출력되도록 하였다.

Table 6 Comparison of the blob A with blob B
(unit : pixel)

end mill NO.	blob A(new tool)	blob B(worn tool)	A-B
1	3953	3748	205
2	4013	3815	198
3	4214	4002	212
4	3895	3702	193
5	3980	3778	202
average	4011	3810	202

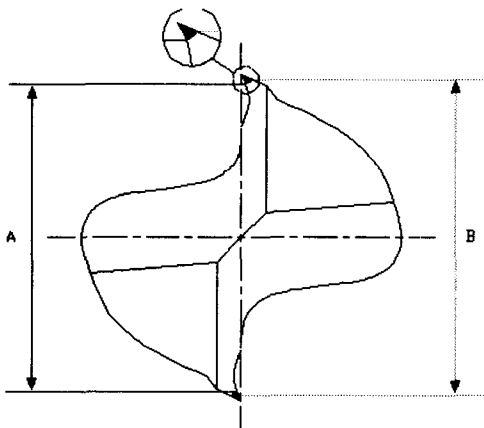


Fig. 4 Tool diameter measuring position

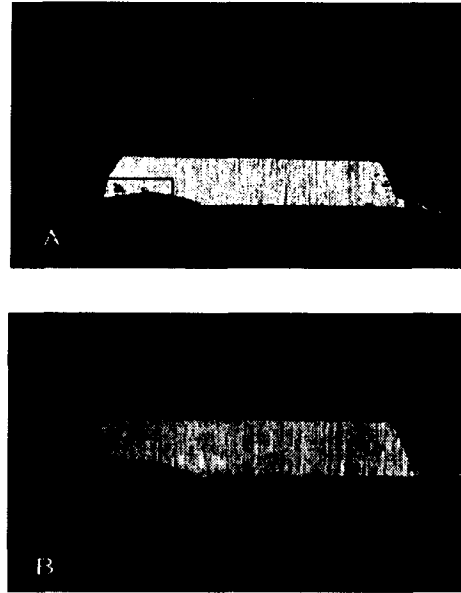


Photo. 1 Teaching & Searching
(A: new tool teaching, B: Worn tool searching, 16000[mm]cut)

4. 결론

본 연구의 실험 결과 CCD 카메라와 패턴인식 기법을 이용한 새로운 방법으로 엔드밀 공구의 마모를 검출 할 수 있었다. 엔드밀의 마모는 절삭 가공시 밀 날 부분의 형상이 변화하는 정보를 이용하였으며 $\phi 12$ SKH51, 2날 엔드밀의 경우에 면적 차이가 200픽셀(pixel) 이상일 때 수명이 다된 것으로 판정 할 수 있었으며 직경과 재종이 다른 엔드밀에서도 면적차이는 다르더라도 검출이 가능하며 로봇장치가 설치되어 있는 자동화 라인에서도 로봇 팔에 CCD카메라를 장착하여 인프로세스(in process)로도 엔드밀의 마모 검출이 가능 할 것으로 기대 된다.

참고문헌

1. 정태성, "중소형 CIM을 위한 공구관리 시스템의 개발에 관한연구," 한국과학기술원 석사학위논문, 1997.
2. 권오달, "컴퓨터 비전을 이용한 공구 상태 검

- 사 시스템 개발에 관한 연구," 한국과학기술원 박사학위논문, 1996.
3. 이연신 외5인, "최신기계공작법," 원창출판사, pp. 293-313, 2000.
 4. 李和樹外3人, "光學式エンドミル外周刃逃げ面磨耗測定装置の試作," 日本機械學會論文集 (C編) 66卷645號(2000-5), pp. 1681-1686, 2000.
 5. 森 和男, 澤井 信重, "可視化によるエンドミル工具 損耗の診断," 機械技術, 46(7), pp. 42-48, 1988.
 6. 森 和男, "エンドミルの損耗をインプロセスで診断," ツールエンジニア, 37(10), pp. 105-109, 1996.
 7. 하건호외 5명, "단속가공에서 CCD를 이용한 공구 마멸 가시화 시스템," 한국정밀공학회 춘계 학술논문집, pp. 128-2201, 1998.
 8. LI Dan, CHEN Ming-jin, YANG Jian-ming, "In-process tool wear monitoring using laser-CCD," Journal of Harbin Institute of Technology (New Serier), Vol. 6, NO. 3, 1999.
 9. HAJIME YAMASHINA, SUSUMU OKUMURA, HIROMITSU KUMAMOTO, "Automatic detection of wear and chipping of cutting tools by image processing techniques," INT. J. PROD. RES., Vol. 28, No. 4, pp. 47-660, 1990.
 10. 삼성전자(주), "Machine vision application," pp. 157-174, 2000.
 11. YG1(주), "technical data," pp. 254-278, 2002.
 12. ISO 8688-2, "Tool life testing in milling - Part2 : End milling," 1989.