

형상가공을 통한 고속가공 시스템 평가방법에 관한 연구

손덕수*(한국기술교육대학교 대학원 기계공학과), 유중학(한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부),
최성주, 이우영(한국기술교육대학교 기계공학부)

A Study on the High Speed Machining Evaluation Method through Shape Machining

D. S. Son*(Graduate School, Dept. of Mechanical Eng. KUT), J. H. RYU(Dept. of Mechatronics Eng. KUT),
S. J. CHOI, W. Y. LEE (Dept. of Mechanical Eng. KUT)

ABSTRACT

Several evaluation methods of conventional machine tools have been proposed by KS and ISO. Even though the accuracy of the tools can be evaluated with those methods, there are still no proper evaluation method of high speed machining. Because it is hard to evaluate characteristics of high speed machining such as decrease of cutting temperature, cutting force, and reduced machining time. Therefore, new evaluation method for high speed machine should be developed.

In this paper, several shapes of model have been proposed to evaluate cutting accuracy of high speed machine.

Key Words : High Speed Machining(고속가공), Shape Machining(형상가공), Cutting Condition(절삭조건), Machining Accuracy(가공 정밀도)

1. 서론

최근 공작기계의 측면에서 강성 및 성능이 증가하고 고속 절삭용 공구의 발전, 그리고 금형 산업의 생산성과 정밀도 향상의 요구로 머시닝센터를 중심으로 고속가공에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다. 현재의 고속가공은 알루미늄 합금의 가공시 주축회전수가 100,000rpm 이상의 절삭속도에서 가공이 행하여지고 있고, 금형강 등 고경도 재의 적용은 최근에 이루어지고 있으나, 연구의 초기 단계라 고속단속절삭을 대상으로 한 절삭현상의 메커니즘이 아직 명확히 규명되지 않았다. 그러므로 고속가공은 고능률, 고정도의 가공을 실현한다는 측면에서 그 효용가치가 매우 높은 분야이므로 여러 이점을 가진 고속가공을 원활히 수행하기 위해서는 고속가공의 평가기술이 우선적으로 개발되어야 한다.

공작기계의 고정밀화, 고속화로 되어가는 과정에서 최종 공작물의 가공오차를 줄이는 것은 매우 중요하다. 공작기계의 가공정밀도는 요소부품의 기

하학적 정도와 조립정도에 의해 결정이 된다고 볼 수 있으며, 실제의 가공에 있어서는 가공에 따른 절삭력 및 기계의 내외에서 전달되는 진동 등 여러 가지 외부환경이 가해져 피가공물의 표면조도, 표면형상 등의 가공정밀도가 저하된다. 또한 공구경로는 NC data의 입력치로 가공 형상이 생성되나 여러 요인으로 가공 오차가 발생한다.

현재 공작기계의 평가 방법은 KS B 4001(공작기계의 시험 방법 통칙), KS B 4204(수치제어 공작기계의 시험 방법 통칙), KS B 4404(머시닝센터의 시험 및 검사 방법)등에 시험항목 및 방법이 제시되어 있다. 이러한 평가방법은 공작기계의 정밀도를 평가할 수는 있으나, 절삭온도 감소, 절삭력 감소, 가공정밀도(거시적, 미시적) 향상, 칩처리 용이, 가공시간 단축 등의 여러 가지 고속절삭 특징 및 Fig. 1에서와 같이 재질별 절삭속도 범위에서 고속가공 시스템을 평가하기에는 여러 가지 문제점을 가지고 있다.

특히, 고정밀 고속가공 시스템에 의한 정밀 가공분야에서는 직선운동 및 원주 보간운동 등 이송

에 따른 운동정도 및 주축의 회전정도가 가장 문제가 되며, 따라서 운동정밀도를 측정할 수 있는 표준 형상과 평가방법의 확립이 필요하다.

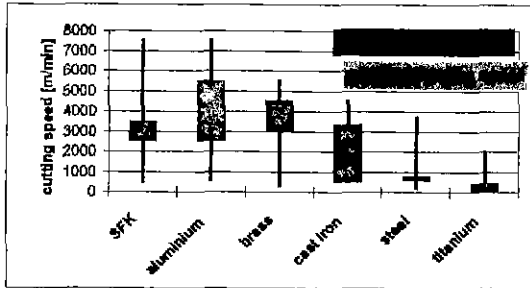


Fig. 1 Investigated and optimized cutting speed range for different materials.

이런 관점에서 본 연구에서는 고속가공 시스템의 가공정밀도를 평가하기 위한 여러 가지 형상 모델 및 평가방법을 제시한다.

2. 평가방법

2.1 가공 정밀도 평가

가공정밀도 시험은 공작물을 가공하여 그 다듬질 가공한 공작물의 정밀도를 측정하여 공작기계의 다듬질 가공 성능을 시험하는 것으로서, 본 연구에서는 진직도·직각도, 평면도·평행도, 위치결정 정밀도, 회전운동 정밀도, 형상 가공 정밀도 등을 평가하기 위한 형상 및 평가방법을 제시한다.

2.1.1 진직도 및 직각도

가공된 공작물의 진직도로 하여야 할 부분이 기하학적 직선으로부터 어긋난 정도로서, 이송테이블이 이송시 윤곽으로 식별되지 않지만 이송방향에 수직인 두 개의 좌표축에 대하여 수십 μm 이내의 병진운동을 하고 있으며 이 크기를 측정하는 것이 진직도이며, 직각도는 가공된 공작물이 서로 직각이어야 할 직선부분과 직선부분, 직선부분과 평면부분 또는 평면부분과 평면부분의 각 조합에서 그들 중 한쪽을 기준으로 하고, 기준직선 또는 기준평면에 직각인 기하학적 직선 또는 기하학적 평면에 대한 다른 쪽 직선부분 또는 평면부분의 어긋남의 크기이다.

이 두 가지 항목을 평가하기 위한 방법으로서는 Fig. 2 와 같이 공작물을 X 축에 대하여 30° 기울여서 테이블에 설치하고 엔드밀을 사용하여 X 축 및 Y 축을 동시에 이송하여 Fig. 2 와 같이 단차의 외주면을 평면절삭으로 직선 및 단차가공의 다듬질

절삭을 통하여 진직도 및 직각도를 평가한다.

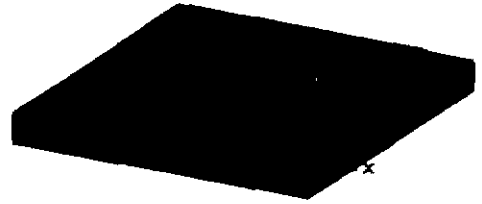


Fig. 2 Model shape for evaluation of straightness and perpendicularity

Table. 1 Cutting Conditions for straightness and perpendicularity

공구	TiAlN coated Solid End Mill $\phi 10\text{mm}$
공작물	45HRc
절삭속도(V_C)	150 (m/min)
절삭깊이 (Axial depth)	1 mm

또한, 기존 공작기계의 가공정밀도를 평가하기 위한 공구(초경정면 밀링 $\phi 75\sim 100\text{mm}$), 공작물(GC20) 및 절삭조건(절삭속도(V_C)=60~100 (m/min), 절삭깊이=3 mm)을 고속가공시스템에 적용하기에는 여러 가지 문제점이 있다. 따라서, 고속가공시스템을 평가하기 위한 Table. 1 와 같은 절삭조건을 제시한다.

Table. 1 의 절삭조건에서 가공 후, 각각의 직선 다듬질면의 진직도 및 단차 부분 모서리에서의 직각도를 평가하게 된다.

2.1.2 평면도 및 평행도

평면도는 가공된 평면의 기하학적 평면으로부터 어긋남의 크기이며, 평행도는 가공된 공작물이 서로 평행이어야 하는 직선부분과 직선부분, 직선부분과 평면부분 또는 평면부분과 평면부분의 각 조합에서 그들 중 한쪽을 기준으로 하고 기준직선 또는 기준평면에 평행인 기하학적 직선 또는 기하학적 평면에 대한 다른 쪽 직선부분 또는 평면부분이 벗어난 정도이다.

Fig. 3 와 같은 형상의 계단식 단차를 Table. 1 의 조건으로 평면 다듬질 가공하여, 각각의 계단식 단차에서 평면도를 측정하며, 또한 하나의 평면을 기준으로 하여 다른 평면의 평행도를 동시에 측정한다.

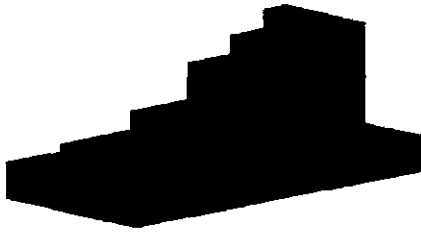


Fig. 3 Model shape for evaluation of flatness and parallelism

2.1.3 위치결정 정밀도

위치결정 정밀도는 수치제어 지령에 따라 실제 가공치수가 지령치수로부터 어긋난 정도를 평가하는 것으로, 제어되는 기계측의 오차와 그것을 구동하는 제어계의 오차도 포함된다. 직선운동의 위치결정 정밀도와 회전운동의 위치결정 정밀도로 구분할 수 있다.

직선운동의 위치결정 정밀도를 평가하기 위하여, Fig. 4(a)과 같이 직경이 작은 hole 을 같은 방향으로 X, Y 방향 각각에 대하여 일정간격으로 급속이속으로 가공한 후 각각의 hole 의 중심에서 기준 위치로부터 실제로 이동한 거리와 이동해야 할 거리의 차를 측정하여 정밀도를 평가한다.

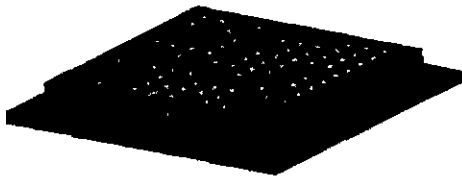


Fig. 4(a) Model shape for evaluation of position accuracy of translation movement

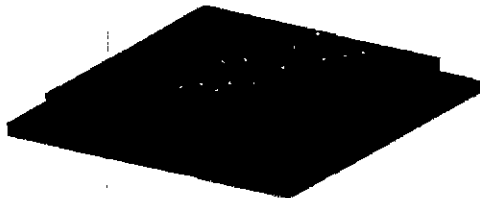


Fig. 4(b) Model shape for evaluation of position accuracy of rotational movement

또한 직선운동의 위치결정 정밀도와 같은 방법으로 회전운동의 위치결정 정밀도를 평가하기 위하여, Fig. 4(b)와 같이 직경이 작은 hole 을 회전운동

의 (+) 및 (-)방향의 각각에 대하여 같은 방향으로 급속 이속으로 회전 범위의 전역에 걸쳐서 30° 마다 차례로 가공한 후, 각각의 hole 의 중심에서 기준 위치로부터 실제로 회전한 각도와 회전해야 할 각도의 차를 측정하여 회전 운동의 위치결정 정밀도를 평가한다.

2.1.4 회전운동 정밀도

회전운동 정밀도를 평가하는 방법으로서 진원도는 가공된 원통의 축선에 직각인 1 단면 모양의 진원으로 부터 어긋남의 크기로서 정의되는데, 고속가공에서 진원도를 평가하기 위한 방법으로 엔드밀을 사용하여 Fig. 5와 같은 여러 개의 지름으로 이루어진 원추형 공작물의 원형 외주면을 다듬질 절삭하여 각각의 지름의 외주면에 대하여 진원도를 측정하여 정밀도를 평가한다.



Fig. 5 Model shape for evaluation of circularity

Table. 2 Cutting Conditions for circularity

Diameter of circle	20mm, 40mm, 60mm, 80mm
공구	TiAlN coated Solid End mill φ 10mm
공작물	45HRc
이송속도(v_f)	5000mm/min
절삭깊이 (Radial depth)	0.3mm
가공방향	Positive(+), negative(-)

또한, 고속가공은 낮은 절삭력에 의하여 박막 (thin-wall) 형상의 공작물을 가공할 수 있다는 특징을 가지고 있다. 이러한 특징과 회전운동의 정밀도를 평가하기 위한 방법으로서 Fig. 6과 같은 나선선 (spiral) 형상을 알루미늄과 흑연의 두 재질에 대하여 Table. 3의 절삭조건으로서 가공하여 정밀도를 평가하는 방법을 제시한다.



Fig. 6 Spiral shape for evaluations of rotational movement accuracy

Table 3 Cutting conditions for spiral shape

형상		Diameter	100mm		
		Aluminum		Depth	8mm
				Thin-wall width	1mm
공작물	Aluminum	Tool	5mm end mill		
		Cutting depth	4passes, 2mm each		
		Feed rate	8000mm/min		
		RPM	42000rpm		
	Graphite	Tool	5mm end mill		
		Cutting depth	1pass, 8mm		
		Feed rate	22000mm/min		
		RRM	42000rpm		

2.1.5 형상 가공 정밀도

형상 가공 정밀도를 평가하는 방법으로서 Fig. 7에서와 같이 공작물을 Z 축에 대하여 30°의 경사로 테이블에 설치하고 공구경로를 등간격으로하여 한 방향으로 다듬질 가공을 한다. 이때 30°의 경사각을 주어 가공하는 것은 실제 급형을 가공하는 것처럼 공구날의 접촉각을 유지하면서 3 축(X, Y, Z 축)의 운동 정밀도를 평가하기 위해서 이다.

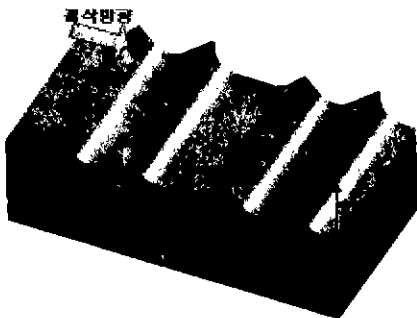


Fig. 7 Contour for evaluation of shape machining accuracy

Table 4 Cutting conditions for shape machining accuracy

공구	TiAlN coated Solid End Mill φ 10mm
공작물	STD11(금형강)
주축회전수	20,000 RPM
절삭깊이 (Axial depth)	1 mm

이때, 기계의 고속가공 능력을 평가하기 위하여 3 방향의 절삭력, 토크, 표면 정밀도, 형상 정밀도, 공구마모, 칩의 형태 및 색깔 등을 측정한다.

4. 결론

본 연구에서는 고속가공 시스템을 평가하는 방법으로서 여러 가지 형상모델의 가공을 통한 가공 정밀도 평가방법을 제시하였다.

본 연구에서 제시된 모델은 실절삭 실험 및 측정방법의 연구수행을 통하여 더욱 개선된 모델로 발전시켜 나갈 것이며 향후, 고속가공에서 적용가능한 다양한 재질별 및 가공형상별 평가방법에 대하여도 인구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 산자부 산업기반기술개발사업에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

1. David A. Stephenson, John S. Agapiou, Metal Cutting Theory and Practice, MARCEL DEKKER, INC, US, 1996
2. Miles Arnone, High Performance Machining, Hanser Gardner Publications,
3. 한국표준협회, 공작계의 시험 방법 통칙, 1990
4. H. Schut, "High-Speed milling of Dies and Moulds-Cutting Condition and Technology", CIRP, Vol144, 1995