

# NC선반 절삭공구마모 문제점 보정을 위한 CNC 성능개선 시스템 연구

## CNC System Improvement Research of NC Lathe Abrasion-Based on User Defined Module

박은식\*, 김한식\*\*  
Eun-Sik Park\*, Han-Sik Kim\*\*

### <Abstract>

This paper researched about Development Cutting Tool User Defined Module Based(PMCUDMS) on Simulation that was able to adapt themselves to rapid development of software and hardware to adopt. It is basic research that develops a scheme whereby technic make property. This paper theorized about to realize Cutting Tool User Defined Module Based on Simulation which is developing CNC Software flows from building Windows XP operating system's image that is possible realtime acting and multitasking to correct. And Cutting Tool User Defined Module Based on Simulation component which was consisted of basis OS, NC Code parser, Servo Motor Control, Simulator, Man-Machine Interface.

**Keywords : CNC, Precision Cutting, UDM, NC, PMC**

### 1. 서 론

자동화 기술의 발달과 자동생산시스템의 가장 기본적인 단위인 CAD/CAM 시스템은 컴퓨터를 이용한 설계·제조(Computer Aided Design & Manufacturing)이며 설계 작업 및 제품제작에 관련되는 일련의 작업을 컴퓨터가 지원하는 것이다. 또한 CAE 시스템은 설계대상의 기능, 성능과 성형성, 가공성을 검토 평가하는 것으로서 CAD에서 작성한 설계 대상물의 형상에 대하여 예를 들면 강도해석 등으로 성능을 검토할 수 있는 것이다.

NC 절삭가공 시 정밀도가 저하되어 이를 활용하여 가공 정밀도를 만족시키기 위해 재가공

해야 되는 경우가 빈번하게 발생한다. 절삭 가공에서 정밀도 저해요인은 가공 시에 발생하는 열 변형, 가공 공구 마모와 절삭력 증가에 의한 공구내구성 문제에 의한 손상, 공구의 절삭력에 의한 처짐, 금형 형상의 기울기에 따른 오차 등 다양한 원인이 있다. 이러한 원인중 공구의 절삭력에 의한 처짐은 가공 오차에 직접적인 영향을 미침으로서 이를 보정하여 오차요인을 줄이는 것은 가공 정밀도를 향상하기 위한 중요한 과제로 본 연구에서는 이를 보정 혹은 수정해주는 시스템을 활용하여 공구의 사용자는 가공 전 보정을 통해 가공 오차를 줄일 수 있는 기회를 제공받게 되고 실제 가공에서 가공 정밀도를 제고하게 된다.

\* 정희원, 한국폴리텍VI대학 대구캠퍼스 컴퓨터응용기계학과\* Prof., Prof, Faculty of Computer Aided Machinery.  
교수 Daegu Campus of Korea Polytechnic VI  
\*\* 교신저자, 정희원, 한국폴리텍VI대학, 대구캠퍼스, 메카트\*\* Corresponding Author, Prof., Faculty of Mechatronics.  
로닉스학과, 교수, E-mail : hssik0107@naver.com Daegu Campus of Korea Polytechnic VI

여기에 적용된 시스템은 공작 기계의 동적-정적 특성의 모델링과 가공 공정의 모형화에 바탕을 두어 UGM 시뮬레이션을 통해 가공 형상과 차이에 대한 검증, 가공 오차 제거를 위한 방법이 필요하다. 이를 통한 보정 시스템은 특히 정밀도가 요구되어지는 제품을 가공할 경우 미리 시뮬레이션을 통하여 얻어지는 데이터 값을 가공에 활용하여 재가공에 소요되는 다양한 비용을 감소시켜 줄 것이다.

## 2. 초정밀가공과 NC선반 절삭공구의 문제점

정밀 가공이나 복잡한 제품의 사회적 수요 증가로 인한 가공시스템의 자동화율이 급속히 높아지면서 필요한 가공정보의 기계적 전달 환경과 공작기계의 운전조건을 일정하게 유지할 필요성이 급증하나 가공 시 절삭부하로 인한 기계구조물의 정적 처짐이나, 진동으로 인한 공구 및 공작물의 진동, 핵심부품의 발열과 HEAT TRANSFER로 인한 열 변형 ERROR 등으로 공작물의 가공정밀도는 예상보다 낮게 나타나 무인화에 대비한 공작기계의 정적, 동적, 열적 구조물 개선 대책이 시급한 상황이다.<sup>1)</sup> 정밀가공이 요구되는 경우 실제 가공 시에 발생하는 공구 절삭력에 의한 처짐, 절삭력에 의한 변형, 가공물의 변형 및 공작기계의 기하학적 오차에 의한 변형에 의해서 가공 정밀도에 영향을 미치기 때문에 정밀도를 높일 수 있는 시스템이 요구된다. 불량률은 치명적인 손실을 유발하기 때문에 사전에 가공조건, 공작기계의 특성, 절삭조건, 공작물과 공구의 변형, 절삭력 등을 고려하여 가상적으로 공정을 시뮬레이션 또는 가상가공을 수행하여 작업조건 및 가공조건을 제공함으로써 가공오차를 줄일 수 있다.

### 2.1 초정밀가공

공작기계에 대한 요구사항은 일반적으로 고정밀도화·고속가공화 그리고 고능율화로 나아가는 추세이다. 고속절삭은 가공시간의 단축으로 가공능률 향상, 절삭저항의 감소로 공구수명과 표면 거칠기의 향상 및 칩(chip)이 가공 열을 가지고 제거되기 때문에 공작물에 열이 남지 않는다는 것 등의 이점이 있으며, 국제생산공학회(CIRP)에서는 20세기에 가장 성공한 생산 공학의 결과라고 말하고 있는 초정밀고속가공

(Ultra Precision Metal Cutting UPMC) 기술은 광학, 기계 그리고 전자부품 에서 마이크로미터(micrometer:  $1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$ ) 또는 서브마이크로미터(submicrometer) 단위의 형상 정밀도를 얻고 가공표면은 수 나노미터(nanometer:  $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ ) 이내의 초정밀도를 얻는 기술이다.

### 2.2 공작기계의 문제점

초정밀 가공을 구현하기 위해서는 마멸량을 측정하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 공구의 마멸 상태를 검출하는 방법에는 직접적인 방법과 간접적 방법이 있는데, 공장 환경 하에서 보통 대단히 작은 마모간의 실시간 측정이 어렵다는 공통점이 있다.<sup>2)</sup>

그리고 간접적 방법들은 대부분 측정이 공구의 마모뿐 아니라 공작물의 물성 절삭 공구의 모양 그리고 절삭조건과 같은 공정 파라미터의 영향을 받는다. 실제 작업환경에 적용하는데 있어서 대부분 공구의 마모뿐 아니라 공작물의 물성, 절삭공구의 모양 그리고 절삭조건과 같은 공정 파라미터의 영향을 받는데 이러한 파라미터의 변화가 있을 때 신뢰성이 낮아진다는 문제점이 있다.

#### (1) Diffusion Wear

NC선반 절삭공구가 작용하는 접점에서의 고체 상태 확산은 금속결정 격자의 원자들이 높은 원자집중 지역으로부터 낮은 원자 집중지역으로 이동할 때 발생한다. 이 과정은 온도에 의존하고, Diffusion 속도는 온도증가에 따라 지수적으로 증가한다. 공작물과 공구재료 사이에서 밀접한 접촉이 일어나고 높은 온도가 존재하는 절삭에서의 Diffusion은 원자들이 공구재료에서 공작물 재료로 이동할 때 발생할 수 있다. 두 재료 사이면의 매우 좁은 지역에서 일어나고 공구표면 구조를 약화시키는 이 과정을 Diffusion 마모라고 한다.<sup>3)</sup>

#### (2) Abrasion Wear

연삭마모로 알려진 마모형태는 칩 아래 부분의 경한 입자들이 공구면을 지나가면서 기계적으로 공구재료를 제거할 때 발생한다. 이러한 경한 입자로는 불안정한 구성인선의 크게 변형 경화된 파편, 응착마모에 의하여 제거된 경한 공구재료의 파편, 공작물 재료의 경한 구성 성분 등이 있다.

### (3) Adhesion Wear

응착마모는 두 금속 사이에서 용접된 돌출부의 접합부가 파괴되어 발생한다. 절삭에서 칩과 공구재료 사이의 접합부는 일종의 마찰기구로 형성된다.<sup>4)</sup> 이런 접합들이 파괴될 때 공구재료의 작은 파편들이 칩 아래 면이나 새로운 가공면 위에서 찢어지거나 함께 떨어져 나간다. 절삭 시 산화막으로 오염되지 않은 새로운 가공면들이 연속적으로 생겨나기 때문에 절삭작업 조건은 응착마모에 적당하고, 새로운 가공면은 용접된 돌출부의 형성을 용이하게 한다.

### 3. 시뮬레이션을 통한 보정모듈과 NC선반 절삭공구의 개선

시스템의 구성은 상용시스템을 기본으로 user defined module을 활용, 상용시스템과 연계가 가능하도록 하였다. 이를 이용하여 가공물과 절삭공구의 충돌, 최적 절삭조건, 작업공정의 시뮬레이션이 가능케 하고 금형 형상의 기울기에 의해 초래되는 오차를 보정될 수 있도록 모듈을 설계한 것이 특징이다.

활용된 상용시스템은 Windows XP환경에서 사용 가능하고, UGP 16과 UFUNC, UI-Styler을 기본 TOOL로 하였다. 사용자 정의 모듈은 가공물과 공구의 형상정보가 입력되면 공구에 작용하는 절삭력을 산출하는 절삭력 산출 모듈, 공구의 절삭력에 의한 처짐량 산출모듈 및 금형 형상의 기울기 보정모듈에 의해서 가공 중에 발생하는 가공정도 특성을 검출하고, 이러한 특성을 기초로 최적 작업 조건과 최적 공구궤적 데이터를 제공 할 수 있게 구성되었다. 절삭력 산출모듈은 절삭공구의 1회전 절삭을 할 때 절삭공구와 가공물의 절삭량을 고려하여 날에 의해서 절삭되는 칩의 두께를 이용하여 절삭력을 산출하도록 하였고 공구의 절삭력에 의한 처짐량 산출모듈은 산출된 절삭력과 공구형상을 이용하여 공구의 절삭력에 의한 처짐량을 산출하였다. 금형의 형상 기울기 보정모듈은 3축 동작기계에서 금형의 형상 기울기에 의해 발생하는 공구의 진입 각을 보정 활용하였으며 진행했던 가공공정 검증 및 보정시스템의 기본 개념은 CAD/CAM시스템을 기본으로 하여 절삭가공 중에 발생하는 오차를 가상가공 방법을 이용하여 해석한 후 오차가 최소화 되도록 공

구궤적을 수정하여 가공프로그램을 제공하도록 구성하고 있다. 사용자정의 모듈의 시뮬레이터에서 절삭력, 공구 처짐, 공구궤적 해석을 기반으로 절삭 가공 중에 발생하는 가공오차를 해석하고, 오차가 반영되지 않은 표준 공구궤적과 오차가 보정된 공구궤적을 비교하여 실제 가공시에 동작기계의 진동이나 회전 혹은 절삭재료의 하중에 의해 발생하는 오차를 최소화할 수 있도록 하였다.

### 3.1 개발 TOOL과 구조

가상 가공 시스템은 가공 정보가 포함된 제품 모델로부터 가공 정보를 획득하고 이를 이용하여 가공 시뮬레이션을 수행하는데 이를 위해 CAD/CAM을 지원하는 상용 시스템의 사용이 필요하다. 따라서 시스템 개발에 있어 추가적으로 CAD 기능의 개발에 필요한 시간, 비용을 절감 할 수 있으며 가상 가공 시스템개발과 모듈화가 가능하도록 자체적으로 프로그래밍 언어를 지원하여야 한다. 이때 UG는 개별 모듈 개발을 지원하기 위해 UI-Styler와 UFUNC을 포함한다. UI-Styler는 시스템 개발에 있어 윈도우 제작에 필요한 다양한 컨트롤들을 포함한다. UFUNC은 UG의 다양한 기능들은 함수화시켜 놓은 것으로서 시스템의 기능에 필요한 다양한 함수를 지원한다. 이러한 상용 시스템을 기반으로 가상 가공 시스템을 개발하기 위한 전체적인 구조는 Fig. 1과 같다.

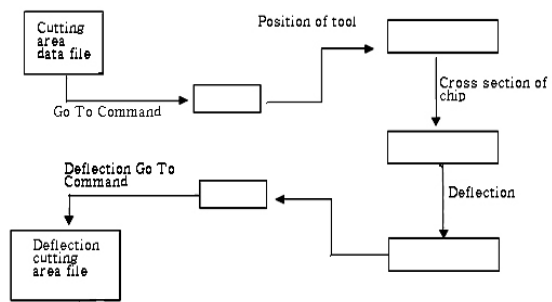


Fig. 1. System flow chart.

우선적으로 공구궤적 파일에서 가공 경로를 획득한다. 가공 경로를 따라 공구를 이동시키면서 가공 시뮬레이션을 행한다. 이에 따른 절삭 단면적과 절삭력이 계산되며, 절삭력으로부터 공구 처짐을 계산한다. 계산된 공구 처짐량 원래의 공구궤적 파일을 수정하여 가공 경로를 향상시킨다.

본 연구에서 시도하는 실제 시스템 구축은 간단하고 유용한 방법이 적용된다. UG에서 모델링된 제품 모델의 정보와 CAM에서 생성된 가공정보를 이용하기 위하여 UG에서 지원하는 다양한 UFUNC을 이용하면 공구와 가공물이 교차하는 부분으로부터 단면적을 계산하는 함수를 이용하여 간단하고 빠르게 절삭 단면적을 계산할 수 있다.

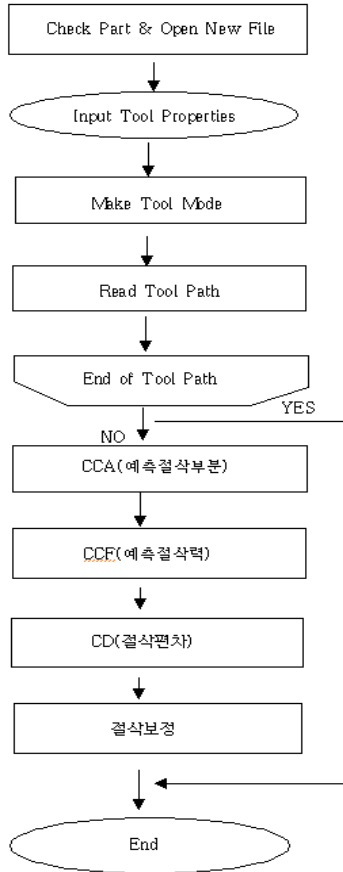


Fig. 2. System algorithm by Specified Cutting Condition in Turning.

이 함수를 통해 얻어진 절삭 단면적을 대입하여 절삭력을 계산한다<sup>주)</sup>. 공구 처짐량은 공구 홀더에 고정된 공구가 절삭력에 의해 처지는 양이다. 이 때, 공구 홀더에 고정된 공구는 외팔보의 형태로 가정한다. 초기의 생성된 공구 경로를 계산된 공구 처짐량 만큼 보정하여 새로운 공구 경로를 생성한다. 절삭력 예측시스템의 알고리즘은 Fig. 2와 같다.

#### 4. 구축방법

##### 4.1 함수

- Vncs\_main( ) check file error, Call sub function
- Load\_workpiece( )
  - import\_workp\_file( ) Tool Path을 읽어 들인다.
- Load operation( )
  - read\_oper\_path( ) Tool Path을 읽어 들인다.
- Make tool( ) 입력된 값으로 Tool을 생성시킨다.
  - Move\_tool( ) Tool Path에 따라 Tool을 이동시킨다.
  - Rotate\_tool\_mode( ) Tool을 회전시킨다.
- Error\_function( ) 시스템에 입력 값 중에 잘못 입력된 것이 있는지 확인한다.
- Find\_intersect\_points( ) 공구의 Integration Limits을 구한다.
- Calc\_cutting\_force( ) 절삭력과 Deflection을 계산한다.

주) 미소두께 dz에 단면적에 작용하는 절삭력의 계산식. 아래 식의 각각의 좌변은 RAKE FACE 상에 작용하는 힘의 의

$$\begin{aligned}
 dF_{nr}(\theta, z) &= K_{nr}(z) dA_r(\theta, z) \\
 dF_{fr}(\theta, z) &= K_{fr}(z) dA_r(\theta, z) \\
 dF_{ne}(\theta, z) &= K_{ne}(z) dS(z) \\
 dF_{fe}(\theta, z) &= K_{fe}(z) dS(z)
 \end{aligned}$$

미하며(위식으로 산출) 이 힘들에 대응하는 각각의 절삭 계수들은 실험을 통해 얻어질 수 있다. 이식을 각각의 공구단면

$$\begin{aligned}
 F(\theta) = \int_{Z_{out}}^{Z_{in}} [ &K_{fr}(z) n_r(\theta, z) + K_{fr}(z) n_{fr}(\eta_c, \theta, z)] dA_r(\theta, z) \\
 &+ [K_{ne}(z) n_e(\theta, z) + K_{fe}(z) n_{fe}(\theta)] ds(z)
 \end{aligned}$$

에 의해서 위의 두 번째 식으로 적분함으로써 공구 전체에 걸리는 절삭력을 구할수 있다.

( ツールエンジニア, NC旋盤活用マニュアル ; でお版機能ボックス, ツールエンジニア, 1993, P 234)

### 4.2 Cutting Condition

처짐에 따른 오차 보정은 공구의 진입각 때문에 절삭력에 의한 공구의 오차 보정시스템에 적용하기 위한 프로그램을 만들기 위하여 사용된다. 실제 적용을 하려면 2-3회의 가공 후 측정된 데이터를 가지고 사용하고 검사면이 혼잡할 때 발생할 수 있는 여러 가지 오차의 특성을 예측하기 위해 민감도 함수를 정의해야하고 이 함수를 이용하여 보정치가 생산된다.<sup>5)</sup> 이를 활용하여 새로운 절삭경로를 설정하고 이러한 방법의 접근은 보정오차를 제공해줄 수 있다. 실험과 수정 오차의 파악을 위한 Cutting Condition은 Table. 1에 명시하였다.

Table 1. Cutting Condition & Procedure

Procedure	Method & Test	Others
Material	CrMnMo7	
Tool Spec	0.013/m	diameter
Flute	2	
Feed	100mm/min	
RPM	1200	Spindle

### 5. 그래픽 모의시험(Simulation) 기능 개발

그래픽 모의시험이란 프로그래머가 작성한 가공프로그램의 내용을 검증 및 확인을 위하여 가공물의 형상 및 가공경로를 그래픽으로 표시하면서 실제 가공 중 기계 동작 상태를 나타내는 여러 가지 정보를 실시간으로 표시해 주므로 CAM으로 생성된 파트 프로그램의 오류를 검증하기 위해 반드시 필요한 기능이라 하겠다. 그래서 본 연구에서는 이런 기술을 나타내는 방법으로서 빈 공간(half-space)의 집합으로 물체를 표현하며, 실제로는 모델의 내부와 외부를 구분한 솔리드 모델기법을 사용하여 3D 모의시험 기능을 구현하였다. 이 솔리드 모델링 기법을 이용하여 3차원 그래픽 모의가공 기능을 적용함에 따라 사용자에게 보다 친숙하고 생동감 있는 작성 프로그램의 가공 경로의 확인이 가능하였다.

### 6. 시뮬레이션 측정과 측정기구의 정밀도

시뮬레이션의 측정 시 다이얼 인디케이터에 대한 지시한 정밀도는 사용범위 안에서 0.003mm

이하로 하였으며 테스트 바아의 직선도 허용차는  $(0.001 + \frac{L}{200,000})mm$  로 하고 테스트 바아의 원통부와 테이퍼부의 흔들림 허용차는 0.004mm로 고정하였다. 또 테스트 바아의 센터구멍과 원통부와의 흔들림 허용차는 0.004mm로 하며 테스트 바아의 지름의 자중에 의한 처짐이 측정치에 영향을 미치지 않도록 정하였다. 직선자 및 직각 평면대의 직선도 허용차는  $(0.001 + \frac{L}{500,000})mm$  로 하고 직선도 측정에 사용하는 강선의 지름은 0.16mm, 소요하중으로 당겼을 때의 직선도는 직선자의 경우에 준하였다. 필요한 정밀 측정 현미경의 오차는 ±0.002mm로 하며 표준 바아 게이지 치수의 정밀도는 블록 게이지 B급에 준하였다. 직각자 및 직각 평면대의 직각도 허용차는 정점부터 L(mm) 떨어진 변위의 위치에서  $\pm(0.001 + \frac{L}{200,000})mm$  로, 정밀 수준기의 감도는 1m마다 0.05mm의 것을 사용하고 강선과 정밀측정 현미경을 사용하여 운동의 수직면 상에서의 직각도를 측정 할 때는, 다음식에 의하여 강선의 처짐에 의한 보정을 한다.

$$\delta = L1L2 W/2T$$

여기서,  $\delta$  : 강선 임의의 처짐(mm), L1 : 한쪽 지점으로부터 점 P까지의 거리(mm), L2 : 다른쪽 지점으로부터 점 P까지의 거리(mm), W : 강선의 무게(kg), T : 강선의 장력(kgf)이며 마찰이 적을 때는 무게를 강선의 장력으로 간주 하였다.

### 7. 실험결과

시뮬레이션 결과는 Fig. 3와 같고 절삭력에 의한 공구의 처진 보정시스템을 가동시킨 상태에서 처짐에 따른 오차 보정시스템의 시뮬레이션을 한 결과이다. 한번 한 것 보다 2-3회 한 것이 오차의 폭이 줄어들었다. 그러나 Sensitivity Function Approach 방법을 사용하는 것이 Direction Compensation 방법을 적용시키는 것보다 오차가 적게 나타난다.<sup>6)</sup> 최적의 결과를 얻기 위해서는 Direction Compensation 방법을 적용시킨 후 Sensitivity Function Approach 방법을 사용하는 것이 최적의 방법을 얻을 수 있다.

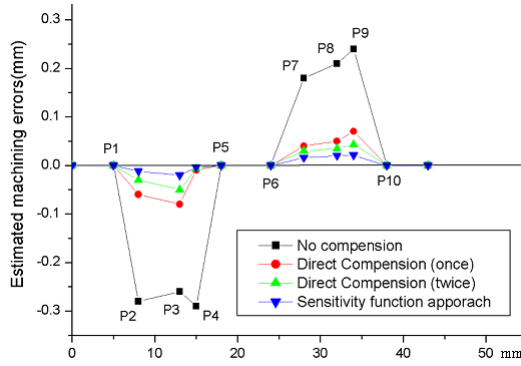


Fig. 3. Simulation Result by sink error correction system.

## 8. 결론

본 연구에서 개발한 방법을 활용하면 가공 부품의 정도 향상 및 가공시스템의 신뢰성 향상에 기여를 할 것으로 추측되며 가공 전에 가공공정을 검증함으로써 최적의 작업조건 제공이 가능하다. 또 기존 CAD/CAM 시스템과 연계한 가공공정의 검증기술 확보로 실제 가공공정에 맞는 작업 조건 및 절삭조건 제시가 수행될 것이다. 그러나 오차요인을 줄여 실제 적용하기 위해서는 아직 몇가지의 검증과정을 거쳐서 신뢰성을 검증하는 과정이 필요하다. 그래서 실제 가공을 적용이 되면 실제 가공 전에 가상가공을 실시할 수 있게 하여 가공조건을 최적화함으로써 시간과 비용 측면에서 매우 유용한 결과를 얻을 수 있게 할 것으로 기대된다.

따라서 본 연구는 CAD 데이터를 가지고 실제로 가공하지 않고 시뮬레이션을 통해서 CAM 시스템을 사용하여 생성된 공구 경로를 시뮬레이션하고 이를 보정하는 모듈을 개발하였다는데 의의가 있으며 개발된 보정 시스템은 사용자에게 가공 전 시뮬레이션을 통해 가공오차를 줄일 수 있는 기회를 제공할 수 있다. 실제 가공에서 보다 높은 가공 정밀도를 얻을 수 있도록 하며, 가공 전에 미리 불량률을 낮출 수 있도록 함으로써 재가공으로 인한 비용 및 시간 비용을 줄일 수 있을 것이다.

## 참고 문헌

- 1) 김영석, 한국공작기계학회논문집 **14**, **5**, 21, (2005)
- 2) 이재필 : 개방형 CNC 컨트롤러의 고속, 고정도 가공을 위한 실시간 선독 보관 및 NURBS 보관 알고리즘, 박사학위논문, 전남대학교, (2001)
- 3) 이원규, 안중환, *Journal of Korean Society of Precision Engineering*, **5**, **7**, 21, (1998)
- 4) 三澤俊明, *機械技術*, **32**, **7**, 60, (2005)
- 5) Pedersen, K. B., *Mech. Tool Manufact*, **30-1**, 131, (1990)
- 6) 스키 토시유키, *機械技術*, **33**, **6**, 108, (2006)

(2008년 3월 17일 접수, 2008년 8월 22일 채택)