

경도변화에 따른 Al합금의 밀링가공시 가공 특성에 관한 연구(I)

김성일*

(논문접수일 2005. 9. 26, 심사완료일 2005. 12. 6)

A Study on the Cutting Characteristics of Al Alloy in End Milling for Various Hardnesses(I)

Seong-Il Kim*

Abstract

The cutting tests of aluminum alloy with heat treated various hardnesses after rheo-forming were carried out using CNC milling machine. The surface roughness(Ra, Rmax) of cut surface and cutting forces are measured at various cutting conditions such as low spindle speed, feed speed and hardness. In the CNC end-milling, the surface roughness increases as feed speed increases and decreases as spindle speed increases. However, the built-up edge has occurred on in case of low hardness and low feed speed. In experimental conditions, as the hardness of aluminum alloy increases, the surface roughness(Ra, Rmax) decreases

Key Words : Heat treatment(열처리), Rheo-forming(반응고성형), Hardness(경도), Surface roughness(표면거칠기), Cutting forces(절삭력)

1. 서론

알루미늄은 가볍고 강도가 있으며, 열전도성이 좋고, 단일 금속으로서는 실용에 적합하지 않으나 다른 원소와 배합한 합금은 가볍고 인성이 풍부할 뿐만 아니라 경도도 상당히 높고, 기계적 성질을 현저하게 개선할 수 있는 재료이다. 또한 알루미늄 합금은 주조가 비교적 용이하고 다른 금속과 합금이 잘되며 상온이나 고온 상태에서 가공이 비교적 용이한 특징을 가지고 있고, 사용범위는 매우 다양하여 사용 비중이 점차 증대되고 있다¹⁾. 최근 에너지 절감 및 기계제품의 경량

화가 요구되어짐에 따라 자동차, 알루미늄 휠, 실린더 블록, 정밀기계 부품이나 전자기기 등 여러 산업 분야에서 알루미늄 재료의 이용이 증대되어 가고 있는 실정이다. 그러나 제조비용과 가공에 많은 어려움이 있어 적극적으로는 이용되지 못하고 있다. 자동차 엔진 피스톤 재료로 사용되는 알루미늄 합금의 경우는 가볍고 내식성이 양호할 뿐만 아니라 합금에 따라 기계적 성질을 현저하게 개선할 수 있어서 내마모성이 우수한 재료를 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 알루미늄 합금은 절삭가공에 있어서 절삭저항은 그다지 크지 않으나 연질재이기 때문에 저속에서는 칩이 공구 및 가공

* 대불대학교 기술교육과 (sikim@mail.daebul.ac.kr)
주소: 526-702 전남 영암군 삼호읍 삼호리

면에 부착되고, 구성인선의 발생이 많으며, 절삭 깊이가 증가하면 표면층 변화양상이 매우 복잡하게 됨에 따라 양호한 절삭 가공면을 얻을 수 없다. 그렇지만 각종 기계부품 및 전자공업 부품의 중요한 재료인 알루미늄 합금이 더욱 각광받게 됨에 따라 밀링이나 드릴, 선삭 등에서 절삭성 향상이 절실히 요구되고 있다^(2,7). 알루미늄 제작품 공정은 주로 주조 또는 단조방법이 이용되고 있는데 주조방식은 제품 내부에 기공을 포함하거나 금형 비용의 증가 및 제품간의 불규칙한 치수 등으로 기계적 성질이 떨어진다. 반면에 단조방식은 기계적 성질은 좋으나, 큰 성형하중을 요하고 단조 후 기계 가공량이 많기 때문에 프레스 등 설비비와 재료비의 비용이 증대된다^(1,3). 이러한 방법 외에 Flemings⁽⁴⁾에 의해 처음 제안된 내부결함, 기계적 성질, 치수제어, 최종 부품 가격에 있어서 다이캐스팅이나 주조 등에 능가하는 성질을 가지고 있다는 용탕의 냉각도중 형성된 반고상 슬러리(slurry)를 직접 성형가공하는 반응용성형(thixo-forming)법과 최근 사용이 증대되고 있고 연구가 필요한 반응고상상태에서 제조된 슬러리를 직접 성형가공하여 최종제품을 얻는 기술인 반응고성형(rheo-forming)법이 있다. 본 연구에서는 최근 사용이 증대되는 알루미늄합금을 직접 가압방식인 반응고성형법으로 제조한 후, 열처리하여 경도를 달리한 알루미늄 합금의 저속영역 밀링가공시 가공특성을 평가하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 시편의 형상을 보여주고 것으로, 반응고성형후 열처리하여 브리넬 경도계로 경도가 62, 95, 120인 3종류를 제작하였다. 가공실험을 위하여 가공면은 8mm, 가공면과의 폭은 10mm로 하였다. 가공 공구는 $\phi 10\text{mm}$ 2날 엔드밀(HSS, YG-1 20RS)이며, 건식절삭을 실시하였고, 시편의

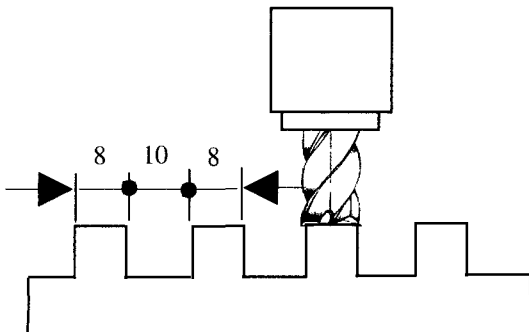


Fig. 1 The dimension and shape of specimen

중앙을 가공하였다.

Fig. 2는 실험 장치와 표면거칠기 측정모습을 보여주는 그림으로, 실험조건에 따라 NC 프로그램한 후, RS-232C 케이블을 사용하여 DNC s/w로 컴퓨터에서 CNC밀링머신에 데이터를 전송하여 가공하였다. 자세한 실험장치의 사양과 절삭조건은 Table 1과 같다. 절삭력의 측정은 공구동력계(Dynamometer, KISTLER 9257A)를 사용하였으며, 공구동력계에

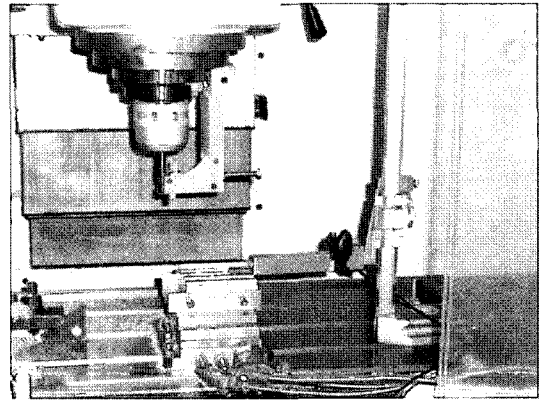


Fig. 2 The experimental apparatus

Table 1 The specifications of experimental apparatus and cutting conditions

| | |
|---------------------------------------|--|
| CNC milling machine | - HiSUPER-4(HWACHEON) - Controller : FANUC Series O-MD - Table size 1350×450mm - X/Y/Z Axis : 950/430/500mm - Spindle speed 40 ~ 4000rpm |
| Tool dynamometer | - Model : KISTLER 9257A - Maximum range : ± 5000N - Resolution : 0.01N - Resonant frequency : ≈ 4kHz |
| Toolmakers' microscope and CCD camera | - Mitutoyo TM101 * Objective magnification : 2× * Total magnification : 30× - Total magnification : 50× |
| Portable surface roughness tester | - Mitutoyo surftest 301 - Measuring range * Ra, Rq(RMS) : 0.05 ~ 40 μm * Rmax, Rz, Rt : 0.3 ~ 160 μm |
| Cutting conditions | - Spindle speed : 280, 520, 990rpm - Feed speed : 87, 187, 342mm/min - Depth of cut : 0.5mm - Center-milling |

서 나온 절삭력 신호를 증폭하기 위하여 증폭기를 사용하였다. 절삭시 발생하는 데이터는 A/D converter를 통하여 5초간 1kHz로 샘플링하여 IBM-PC에 저장하였다. 표면거칠기의 측정에는 표면조도계(Surface roughness tester, Surftest 301)로 절삭실험 종료 후, 시편의 정해진 중앙 3곳의 위치에서 측정하였으며, 중심선 표면 거칠기(Ra)와 최대 높이 표면 거칠기(Rmax)를 측정하였다. 표면 거칠기 측정시 cut-off는 0.8mm, 측정반복상수(n)는 5로 설정하였다. 절삭공구와 절삭 표면의 형상은 공구현미경을 사용하여 관찰하였고, 50배의 CCD카메라로 절삭면의 표면거칠기 부분을 촬영하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 280rpm, feed speed 342mm/min인 조건으로 경도를 달리한 시편의 Fx, Fy, Fz 방향의 절삭력을 보여준다. 경도가 62인 경우는 절삭시 가공재가 연질재이기 때문에 가공면이 경작 형상이 되고 엔드밀에 칩이 붙고 탈락하는 구성인선(BUE, Built-up edge)이 발생하였다. 이런 구성인선의 발생과 칩의 부착으로 인하여 절삭력이 커졌지만, 경도 증가에 따라 구성인선이 줄면서 경도가 95인 경우에는 절삭력 값이 낮다가, 경도가 120으로 증가함에 따라 Fx, Fy방향의 절삭력이 증가하였다.

Fig. 4은 경도 95, feed speed 187mm/min인 조건에서 Fx, Fy, Fz 방향의 절삭력과 주축회전수와의 관계를 보여주는 것으로, 주축회전수가 증가할수록 3방향의 절삭력은 감소하는 경향을 보여주는데 주축회전수 520, 990rpm에서는 거의 미소하게 감소하고 있다.

Fig. 5는 경도변화에 따른 X방향의 절삭력 Fx, Y방향의

절삭력 Fy와 주축회전수와의 관계를 보여주는 것으로, 주축회전수의 증가에 따라 절삭력은 감소하는 경향을 보여주고 있다. 그러나 경도가 낮은 62, 95일 때는 주축회전수 520, 990rpm의 경우 절삭력의 차이가 미소하지만, 경도가 120일 경우는 절삭력이 감소함을 알 수 있다. 따라서 경도가 낮은 알루미늄의 절삭력은 주축회전수에 크게 관계되지 않으나, 경도가 높으면 주축회전수가 증가함에 따라 절삭력이 차이가 나면서 감소한다는 것을 보여준다. 이는 알루미늄 합금의 가공시 절삭력은 경도가 높은 경우, 주축회전수가 증가할 수록 절삭력이 경도가 낮은 때보다 큼을 보여준다.

Fig. 6은 경도 120인 시험편을 주축회전수의 변화에 따른 중심선 표면 거칠기(Ra), 최대높이 표면 거칠기(Rmax)와 이송속도와의 관계를 보여주는 그림이다. 이송속도가 증가

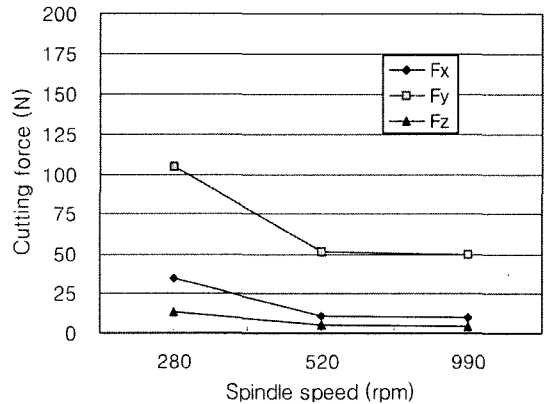


Fig. 4 Cutting force vs. spindle speed(HB 95, feed speed 187mm/min)

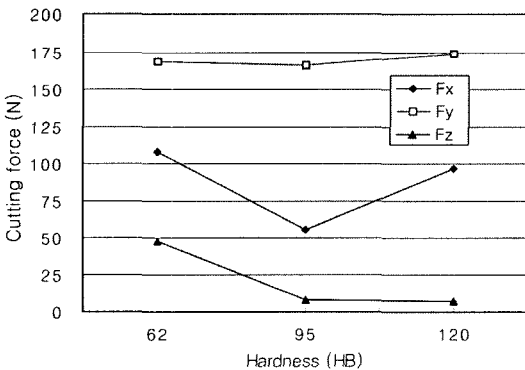


Fig. 3 Cutting force vs. hardness(280rpm, feed speed 342mm/min)

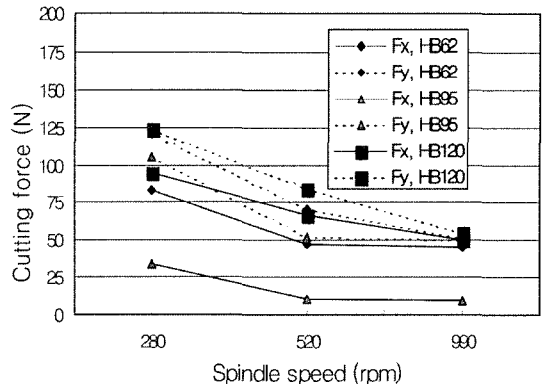


Fig. 5 Cutting force vs. spindle speed for various hardness(feed speed 187mm/min)

함에 따라 중심선 표면 거칠기와 최대높이 거칠기가 증가함을 보여주고 있다. Fig. 5와 종합하여 경도 120의 경우를 살펴보면, 절삭력과 표면 거칠기는 주축회전수의 증가함에 따라 감소한다. 또한 같은 이송속도에서 주축회전수가 증가함에 따라서 표면 거칠기가 감소함을 보인다. 절삭력의 경우, 경도가 낮을 때는 주축회전수의 변화에 민감하지 않으나 경도가 높을 때는 주축 회전수의 증가에 따라 감소한다.

Fig. 7은 이송속도의 변화에 따른 중심선 표면 거칠기(Ra), 최대높이 표면 거칠기(Rmax)와 경도와의 관계를 보여주는 그림이다. (a)는 주축회전수가 280rpm, (b)는 주축회전수가 520rpm, (c)는 주축회전수가 990rpm인 경우로 경도가 높아짐에 따라 표면 거칠기가 감소하는 경향을 보여주고 있다. 경도가 낮은 경우(62, 95), 표면 거칠기 변화가 심하지만 경도가 증가(95, 120)하면 거칠기 변화가 크지 않음을 보인다. 경도가 낮은 시편의 가공에서는 엔드밀에 칩이 부착되고 가공면도 뜯기는 현상, 구성인선 발생 등 여러 가지 원인으로 표면 거칠기가 상당히 좋지 않음을 보이다가 경도가 증가함에 따라서 표면 거칠기도 좋아짐을 볼 수 있었다. 저속 주축회전수(280, 520rpm)영역에서의 표면 거칠기는 경도변화(95, 120)에 미소하게 차이가 나지만, 990rpm에서는 경도가 증가함에 따라 표면 거칠기가 양호한 감소 경향을 보이고 있다. 따라서 고속의 주축회전수에서는 경도의 변화가 표면 거칠기에 밀접한 관련이 있음을 보여준다.

Fig. 8은 경도가 62인 시편을 990rpm, feed speed 342 mm/min로 가공한 후, 엔드밀의 정면(a)와 측면(b), 가공후의 표면상태(c)를 보여주는 사진으로, 가공표면이 상당히 거칠음을 볼 수 있다. 이는 사진에서 보듯이 연질의 알루미늄 가공시 구성인선(BUE, Built-up edge)이 발생하여 절삭면을 파고

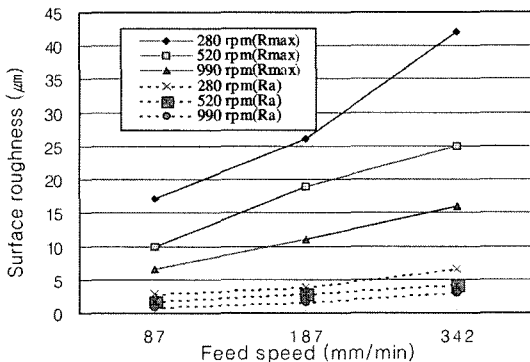
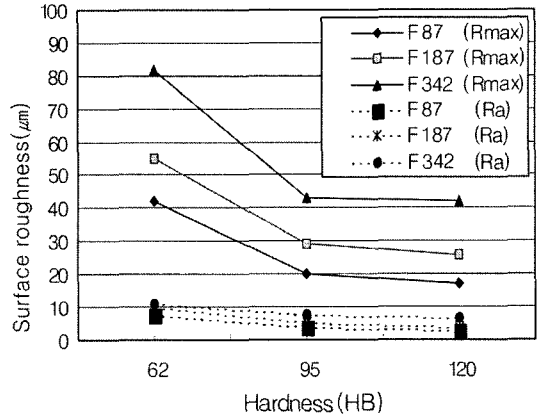
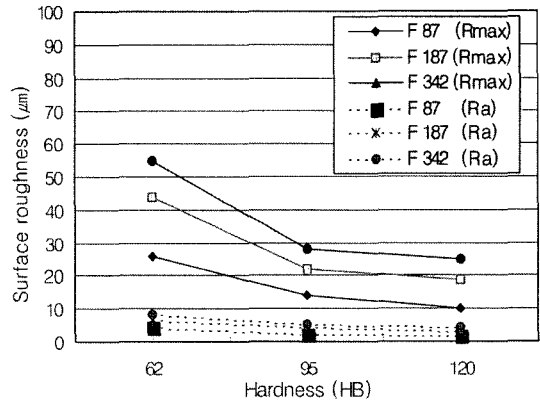


Fig. 6 Surface roughness vs. feed speeds for various spindle speed (Hardness : HB 120)

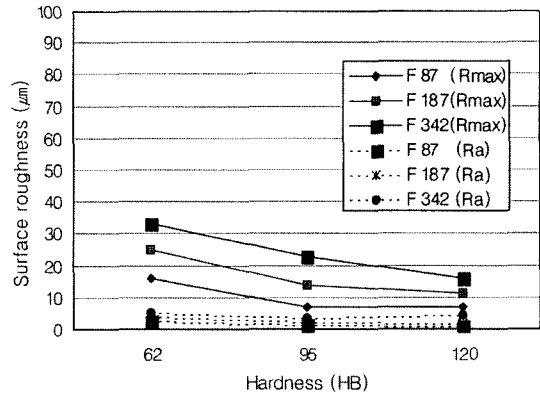
들어가는 현상과 칩이 엔드밀의 헬릭스 경사면에 부착된 후



(a) 280rpm



(b) 520rpm



(c) 990rpm

Fig. 7 Surface roughness vs. hardness for various feed speed

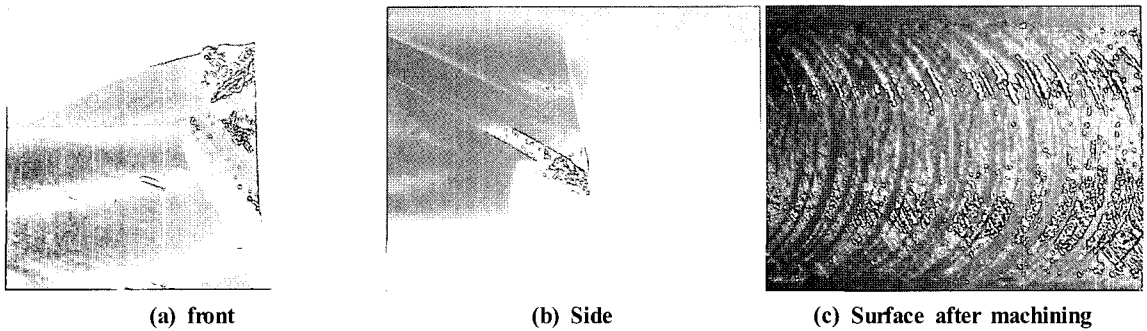


Fig. 8 The built-up edge after end-milling(990rpm, feed speed:342mm/min, Hardness : 62)

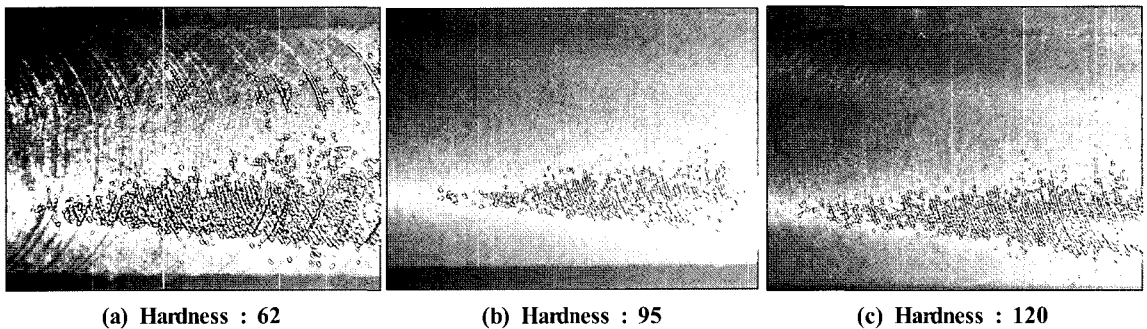


Fig. 9 The cut surface for various hardness(990rpm, feed speed : 87mm/min)

탈락되지 않아 가공면의 뒷부분도 함께 가공하여 거친 표면이 나타나기 때문이다. 이러한 경향은 알루미늄의 선삭가공에서도 유사한 결과를 보였다⁽⁶⁾. 그러나 알루미늄 합금의 경도를 증가시키면 이러한 구성인선도 감소함을 볼 수 있었다.

Fig. 9는 경도변화에 따른 알루미늄 합금을 990rpm, feed speed 87mm/min 조건으로 가공한 후, 가공된 표면을 촬영한 것으로 경도가 증가함에 따라 표면이 양호해짐을 볼 수 있다. 경도가 62인 (a)는 구성인선과 뒤 부분이 뜯긴 흔적을 보이고 있고, 경도가 증가시킨 (b), (c)는 표면이 좋아짐을 볼 수 있다. 절삭력과 표면거칠기를 종합하여 살펴보면 절삭성을 향상시키기 위한 한 인자로 가공물의 경도가 밀접한 관련이 있음을 보여 준다.

4. 결론

반응고성형 후, 가공성 평가를 위해 열처리하여 경도를 달리한 알루미늄 합금의 저속영역 밀링가공시 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 반응고성형후 제품으로 사용되는 경도가 낮은 알루미늄

합금의 밀링가공시, 칩이 표면과 공구에 눌러 붙어 가공면의 표면거칠기가 불량함으로 인하여 양호한 절삭 가공면을 얻기가 어려움으로, 기계가공성 향상을 위해서는 열처리에 의한 경도의 증가가 필요하다.

- (2) 경도가 낮은 알루미늄 합금의 가공시 절삭력은 구성인선의 발생으로 인하여 크고 불균일하지만, 고속회전 시는 미세한 차이를 보이면서 감소한다. 경도가 높으면 주축회전수의 증가에 따라 절삭력은 감소한다.
- (3) 절삭력과 표면거칠기를 종합하여 살펴보면, 반응고성형 알루미늄 합금의 밀링가공시 가공물의 경도는 기계가공성평가의 중요한 한 인자이다.

참고 문헌

- (1) Lee, H. I. and Han, Y. S., etc, 2005, "The understanding and application of aluminium practical technique," *the korean metal journal*.
- (2) Kaldor, S., Ber, A. and Lenz, E., 1979, "On the Mechanism of Chip Breaking," *ASME J. of Eng. for*

Ind. Vol. 101, pp. 241.

- (3) Lee, S. M., Wang, S. I., Kim, H. R. and Bae, W. B., 2002, "A Study on the Production of a Compressor Piston for an Automobile Air-Conditioner using Aluminum casting/Forging," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 17, No. 8, pp. 53~58.
- (4) Spencer, D. P., Meharabian, R. and Flemings, M. C., 1972, "Rheological Behavior of Sn-15%Pb in the Crystallization Range," *Met. Trans.*, Vol. 3, pp. 1925~1932.
- (5) Choi, H. M., Kim, K. W., Kim, W. S., Kim, Y. H., Kim, D. H. and Chae, W. S., 2002, "A Study on the Characteristics of Machining for AC8A-T6 Aluminum Alloy," *KSMTE Autumn Conference Proceeding*, pp. 192~197.
- (6) Chae, W. S., Kim, K. W., Choi, H. M. and Kim, D. H., 2002, "Machining Characteristics Elevation by Microstructure Improvement of Aluminum Alloy," *The Korean Society of Machine Tool Engineers Spring Conference Proceeding*, pp. 290~295.
- (7) Kim, H. S.I, Ko, T. J. and Oh, M. S., 2000, "Drill Shape and Cutting Conditions for Environmentally Conscious Drilling," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 9, No. 2, pp. 36~44.