

MC를 이용한 연삭시 증속기의 증속효과에 관한 연구

서영일*, 김창수**, 최 환***, 이종찬***, 정선환***

Study on the Accelerating Effect of an Accelerating Unit in Grinding using Machining Center

Yeong Il Seo*, Chang Su Kim**, Hwan Choi***, Jong Chan Lee***, Seon Hwan Cheong***

ABSTRACT

A problem in the grinding with a small diametric wheel is the decrease of wheel speed. In order to resolve this problem, an accelerating unit which increases the wheel speed is recommended. In this paper, the accelerating effect of an accelerating unit has been investigated through the side-cut grinding experiments performed with a vitrified bonded CBN wheel in a machining center(MC). The static stiffness, normal force, and machining error were measured in the experiments. As the accelerating unit is attached on the column of machining center, the static stiffness of tool system is largely decreased. But as the wheel speed increased by the accelerating unit, this problem is overcome and machining efficiency is improved. The lesser the quill stiffness was, the higher the accelerating effect became.

Key Words : An accelerating unit(증속기), Accelerating effect(증속효과), Vitrified bonded CBN wheel(비트리파이드 CBN 연삭 휠), Side-cut grinding(측면연삭)

1. 서론

최근 머시닝센터(MC : Machining Center)의 정도 및 기능이 향상되어 MC를 이용한 연삭가공이 점차 산업분야에 이용되고 있다.^{1) 2)}

MC의 다양한 수치제어(Numerical control) 기능을 이용하면 종래에는 가공이 곤란한 복잡한 형상의 연삭가공 뿐만 아니라 3차원 형상의 연삭가공이 가능하게 되며, 또한 MC의 고강성, 고이송정도, ATC기능 등을 이용하면 종래 단일기계로 가공이 불가능한 복잡한 형상의 공작물을 원 칙킹(One

checking) 가공이 가능하게 된다.

MC를 이용한 대부분의 연삭가공에서는 직경이 작은 소경 휠이 사용되는 경우가 많다. 일반적으로 휠 직경이 작게되면 휠 주속도가 저하하게 되므로 가공면의 품질, 정도 또는 휠 수명에 치명적인 문제가 발생하게 된다. 그러므로 소경 휠을 이용한 연삭에서는 주축의 회전수를 증대시키기 위해 고속 가공기를 사용하거나, MC의 주축에 주축 회전수를 증속할 수 있도록 고속가공기 보다 저렴한 증속기(Accelerating unit)를 간단히 부착하여 가공하게 된다. 그러나 MC의 주축에 증속기를 부착하게 되면

* 금오공과대학교 대학원

** (주) 선익 기술연구소

*** 금오공과대학교 기계공학부

증속기에 의해서 공구계의 강성이 크게 저하하게 되어 가공에 나쁜 영향을 미치게 된다. 따라서 MC의 주축에 증속기를 사용하여 연삭가공을 수행할 경우 공구계의 강성저하와 주축 회전수의 증속에 의한 가공성능과의 관계를 규명하여 증속기의 증속효과를 살펴 볼 필요가 있다.

본 논문에서는 MC에서 증속기를 사용하여 연삭가공을 수행할 때 증속기에 의한 증속효과를 살펴보기 위하여 동일한 가공조건에서 MC의 주축 칼럼(Column)에 증속기를 부착하여 가공한 경우와 공구홀더를 부착하여 가공한 경우를 비교, 검토하였다. 실험은 비트리파이드 CBN 소경 휠을 사용하여 STD-11 (Rc 60)의 측면 연삭가공을 가공조건 및 킨(quill) 강성 등의 변화에 따라 행하였다. 그리고 연삭력 및 가공오차 등을 측정하였으며, 가공조건 및 킨 강성의 변화에 대해 주축 증속율, 실제 가공율, 이송속도 증가율 등을 검토하여 증속기를 사용한 경우의 증속효과에 관해 살펴 보았다.

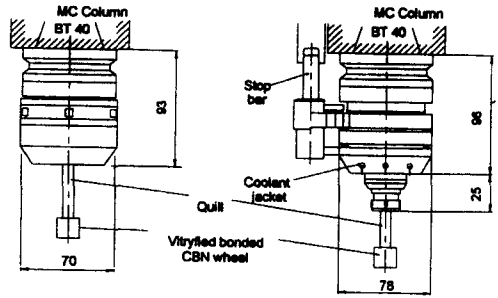
2. 실험 장치 및 방법

본 실험에 사용한 비트리파이드 CBN 소경 휠은 입도 #230, 집중도 100, 결합도 G이며, 휠 크기를 직경 $\phi 20$ mm, 폭 15 mm로 제작한 후 정밀가공된 킨(quill) 축에 부착하여 사용하였다.

공작물은 금형재료로 널리 사용되고 있는 STD-11을 길이 76 mm, 폭 48 mm, 높이 14 mm로 제작하고, 경도 Rc 60으로 열처리하였다.

실험에 사용된 공작기계는 수직형 MC(화천기계, ECOMIL 35V, 7.5kW)를 사용하였으며, 주축증속에 따른 증속효과를 살펴보기 위하여 Fig. 1과 같이 MC에서 보통 사용되고 있는 공구 홀더를 사용한 경우와 5 배의 증속비(기어식, NXG5)를 갖고 있는 증속기를 사용한 경우의 두가지 다른 툴링(Tooling) 방법을 사용하였다. Fig. 1에 본 실험에서 사용된 공구 홀더와 증속기의 사양에 관하여 나타내었다.

실험 장치의 구성은 측면 연삭가공시 발생하는 연삭력을 측정하기 위하여 MC 테이블 위에 압전형 공구동력계(Kistler, 9257B)를 설치하고, 그 위에 지그를 장착하여 공작물을 고정하였으며, Fig. 2와 같은 방법으로 Table 1의 실험조건에 따라 습식 상향 측면연삭을 행하였다. 또한, 실험을 하기 전에 단석 다이아몬드 드레서(1/2")를 사용하여 트루잉을 행하



(a) Tool holder (b) Accelerating unit

Fig. 1 The shapes of a tool holder and an accelerating unit

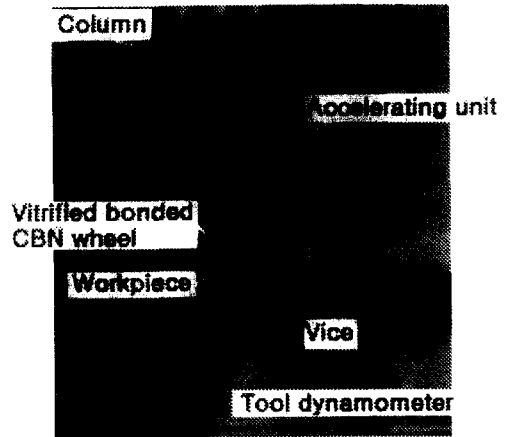


Fig. 2 Experimental set-up with an accelerating unit

였고, 매 실험마다 Table 1의 조건으로 드레싱을 행하였다.

Fig. 2에 본 실험의 실험장치의 개요를, Table 1에 실험조건을 각각 나타내었다.

측면 연삭가공시 발생하는 휠의 접선방향의 연삭력 F_t 와 법선방향의 연삭력 F_n 은 연삭시 공구동력계로부터 발생하는 각각의 연삭력 신호를 다채널 증폭기(Kistler, 5019A)에서 증폭한 후 아나로그-디지털 변환기(10tech, DaqBook)를 거쳐 개인용 컴퓨터의 Grinding force software를 사용하여 분석하였다.

또한, 공구계의 강성 변화가 가공정도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 각각의 가공조건에 따른 실제 절입깊이를 측정하였다. Fig. 3은 본 실험에서

Table 1 Experimental conditions

Accelerating unit	NXG5 (Accelerating speed ratio : × 5)
Wheel	CBN 230 100 G V
	Diameter : Φ 20 mm Width : 15 mm
Quill	Diameter : Φ 8, 10, 15 mm Length : 10, 20, 30 mm
Wheel speed	Normal : 3,000 rpm
	Accelerating : 3,000~15,000 rpm
Feed speed	20, 40, 60, 80 mm/min.
Depth of cut	5, 10, 20, 30 μ m
Dressing condition	Wheel speed : 143 m/min
	Feed speed : 200 mm/min
	Depth of cut : 5 μ m × 2 passes
	Dresser : single point diamond
Grinding fluid	Syntilo-9954 (Castrol, 40:1)

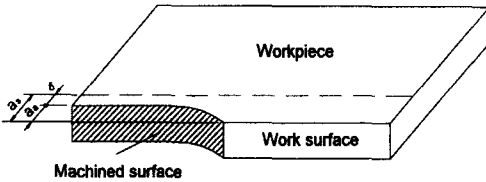


Fig. 3 Illustration of a machining error

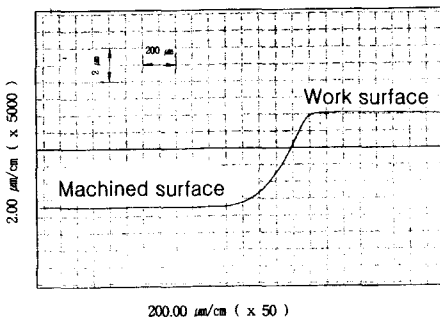


Fig. 4 A measuring example of an actual depth of cut

의 실제 절입깊이의 측정방법을 나타낸다. Fig. 3에서 a_s 는 MC에서 주어지는 슷돌의 설정 절입깊이 (Setting depth of cut)를, a_a 는 휠이 실제로 가공한 실제 절입깊이(Actual depth of cut)를 나타내며, 이들의 차가 가공오차 δ 가 된다. 휠의 실제 절입깊이의 측정은 먼저 공작물의 기준면을 정밀하게 연삭한 후 주어진 가공조건에 따라서 공작물 길이방향으로 1/2지점까지만 연삭가공을 행하고, 공작물의 기준면과 실제 가공된 면의 단 차이를 접촉식 표면조도계(Mitutoyo, TV-600)를 사용하여 측정하였다. Fig. 4는 이 때 표면 조도계로부터 계측된 실제 절입깊이의 측정결과와 일 예를 나타낸다.

3. 실험결과 및 검토

3.1 공구계의 정강성

MC 주축에 증속기를 부착하므로써 공구계의 강성이 어느 정도 감소하는가를 알아보기 위하여 쉘 축을 공구 홀더에 장착한 경우(Normal로 표기)와 증속기에 장착한 경우(Accelerating로 표기)와의 정강성(Static stiffness)을 실험을 통해 살펴보았다. Fig. 5는 쉘 축 길이와 쉘 축경의 변화에 대해 증속기를 장착한 경우와 공구홀더를 사용한 경우에 있어서 각각의 정강성에 대한 결과이다. 정강성은 정하중을 휠 중앙부에 작용시키고 그 때의 힘을 공구 동력계로부터 측정하였으며, 쉘의 변형량을 전기 마이크로미터로 계측한 후 측정된 힘을 변형량으로 나눈 값이다. Fig. 5에서 정강성은 쉘 길이가 크고 쉘 직경이 작을수록 크게 감소하였으며, 증속기를 장착한 경우가 공구홀더를 사용한 경우에 비해 약 66 ~ 45 %정도로 정강성이 크게 감소한다는 것을 알 수 있다.

3.2 주축 증속

휠 주속도가 증가하면 연삭력과 가공오차가 감소하여 가공성능이 높아지므로³⁾ Fig. 5에서 살펴본 바와 같이 증속기의 장착에 의한 공구계의 강성 저하와 주축 증속에 의한 가공성능과의 관계를 규명할 필요가 있다. 그러므로 본 실험에서는 같은 가공조건에서 MC 주축 칼럼에 증속기(최고 5배 증속)를 부착하여 휠 주속도를 증속하여 가공하는 경우와 공구홀더를 부착하여 가공한 경우를 비교, 검토함으로써 증속기를 사용했을 때의 증속효과를 규

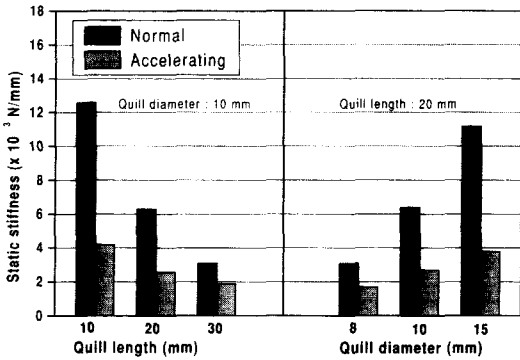


Fig. 5 The static stiffness for the quill length and diameter

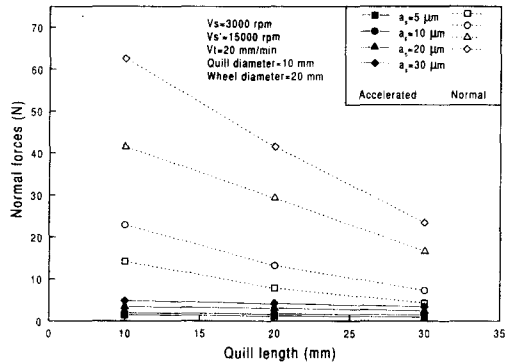


Fig. 6 Normal forces for the quill length at accelerated and normal speeds

명하고자 하였다.

Fig. 6과 Fig. 7은 주축에 공구홀더를 사용하여 주축 회전수 $V_s = 3,000$ rpm으로 회전하면서 가공한 경우와 동일한 가공조건에서 증속기(최고 5배 증속)를 부착하여 증속기의 회전수 $V_s' = 15,000$ rpm으로 가공한 경우에 있어서 공구계의 강성에 주로 영향을 미치는 법선 연삭력(F_n) 및 실제 절입 깊이(a_s)를 살펴 본 결과이다. 실험조건은 이송속도 $V_i = 20$ mm/min하고, 설정 절입깊이 $a_s = 5, 10, 20, 30$ μ m로 변화 시켰으며, 킨의 조건을 킨 축경 $d = 10$ mm, 킨 축길이 $L = 10, 20, 30$ mm로 변화시키면서 실험하였다. Fig. 6과 Fig. 7에서 실선(Accelerating)은 증속기를 사용하여 가공하는 경우이며, 파선(Normal)은 공구홀더를 사용하였을 때의 실험결과이다.

Fig. 6과 Fig. 7의 실험 결과에서 알 수 있듯이 증속기를 사용하여 주축을 15,000 rpm으로 증속하게 되면 법선 연삭력은 크게 감소하고, 실제 절입 깊이는 증가하는 경향을 나타내었다. 또한, 공구홀더를 사용한 경우가 증속기를 사용한 경우보다 킨 축길이가 증가할수록(즉, 공구계의 강성이 감소할수록) 법선연삭력 및 실제 절입깊이의 감소율이 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 위의 Fig. 6과 Fig. 7의 결과로부터 증속기를 이용하여 킨 주축도를 증가시키게 되면 연삭력과 가공오차가 감소하게 되므로 증속기로 인해 발생하는 공구계의 강성저하에 대한 문제점들이 해결되고, 가공성능이 오히려 향상된다는 것을 확인 할 수 있었다.

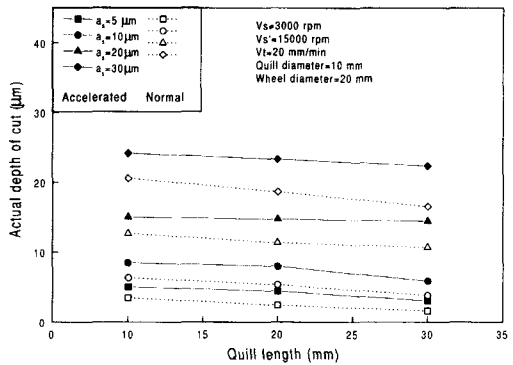


Fig. 7 Actual depth of cut for the quill length at accelerated and normal speeds

3.3 주축 증속율

Fig. 8에서는 증속기의 증속효과를 명확하게 하기 위하여 증속기의 증속율에 따른 가공성능을 실제가공율로 살펴보았다. 여기서 증속율(V_s'/V_s)은 공구홀더를 사용하여 주축 회전수(V_s) 3,000 rpm으로 회전한 경우와 같은 가공조건에서 증속기를 사용하여 주축을 3,000, 7,000, 11,000, 15,000 rpm으로 각각 증속한 경우의 주축 회전수(V_s')와의 비를 말한다. 실제 가공율(Actual machining ratio, a_s'/a_s)은 증속기를 사용하여 킨 주축도를 증속시켜 가공할 경우의 실제 절입깊이(a_s')와 동일한 가공조건에서 공구홀더를 사용하여 주축 회전수 3,000 rpm으로 가공한 경우의 실제 절입깊이(a_s)와의 비를 의미한다. 킨 축 길이 변화에 따른 실제가공율(a_s'/a_s)과 증

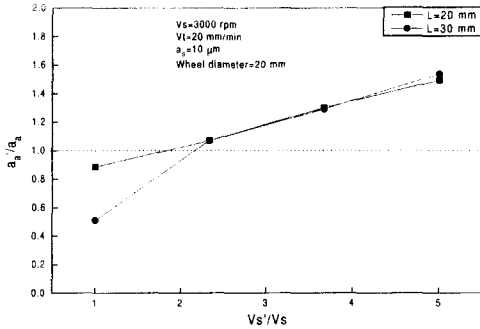


Fig. 8 Actual machining ratio versus accelerating ratio of wheel speeds

속율(V_s'/V_s)과의 관계를 살펴보기 위하여 휠 축경을 $d = 10 \text{ mm}$ 로 하고, 휠 축 길이를 $L = 20, 30 \text{ mm}$ 로 각각 변화시켰으며, 이송속도를 $V_t = 20 \text{ mm/min}$ 로, 설정절입깊이를 $a_s = 10 \mu\text{m}$ 로 하였다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 실제 가공율은 증속율이 증가할수록 점차 증가하는 경향을 나타냈으며, 증속율이 약 2 이하에서는 실제가공율이 1보다 작은 값을 나타내었다. 이와같이 실제 가공율이 1보다 작은 값을 나타내게 된 이유는 증속기를 사용하지 않으므로써 Fig. 5에서와 같이 공구계의 강성이 저하하게 되므로 증속기를 사용했을 때의 실제 절입깊이가 공구홀더를 사용했을 때의 실제 절입깊이의 값 보다 작게 되기 때문이다. 본 실험에서는 증속율이 약 2 이상이 되도록 즉, 증속기를 사용하여 휠 회전수를 약 2 배 이상으로 증속하게 되면 실제가공율의 값이 1보다 큰 값을 가지게 되므로 증속기에 의해 주축을 증속시키면 가공성을 크게 향상시켜 고 정도 가공이 가능하다는 것을 알 수 있다. 또한, 휠 축 길이의 변화에 따라서는 휠 축 길이가 큰 $L = 30 \text{ mm}$ 인 경우가 $L = 20 \text{ mm}$ 에 비해 실제가공율의 증가폭이 약간 크게 되므로 휠 강성이 작을수록 증속기에 의한 증속효과가 더 크다는 것을 알 수 있다.

3.4 이송속도 증가율

Fig. 9는 증속기의 증속효과를 이송속도 증가율을 이용하여 살펴 본 결과이다. 여기서 이송속도 증가율(V_t'/V_t)은 주축에 증속기를 부착하여 증속기 회전수 $V_s' = 15,000 \text{ rpm}$ 으로 가공한 경우의 이송속도(V_t')와 공구홀더를 사용하여 주축 회전수 $V_s =$

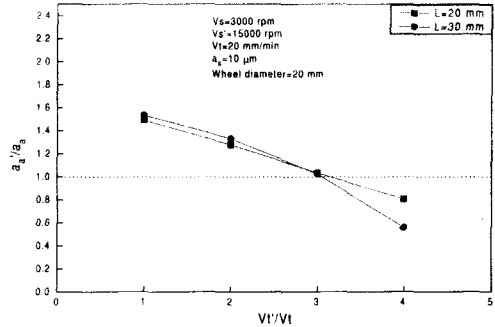


Fig. 9 Actual machining ratio versus accelerating ratio of feed speeds

3,000 rpm으로 회전하면서 가공한 경우의 이송속도(V_t)와의 비이다.

휠 축 길이 변화에 따른 실제가공율(a_a/a_s)과 이송속도 증가율(V_t'/V_t)과의 관계를 살펴보기 위하여 휠 축경을 $d = 10 \text{ mm}$ 로 하고, 휠 축 길이를 $L = 20, 30 \text{ mm}$ 로 각각 변화시켰으며, 설정절입깊이를 $a_s = 10 \mu\text{m}$ 하였다. 또한, 이송속도증가율을 위해 공구홀더를 사용한 경우는 $V_t = 20 \text{ mm/min}$ 로 하였으며, 증속기를 사용한 경우는 $V_t' = 20, 40, 60, 80 \text{ mm/min}$ 로 증가시켜 가공하였다.

Fig. 9에서 실제가공율은 이송속도 증가율이 증가함에 따라 점차 감소하는 경향을 보였으며, 휠 축 길이에 따라서는 휠 축 길이가 큰 $L = 30 \text{ mm}$ 인 경우가 $L = 20 \text{ mm}$ 보다 실제가공율의 감소폭이 약간 크게 나타났다. 그리고 이송속도 증가율이 약 3 이하까지는 실제가공율이 1보다 큰 값을 나타낼 수 있으며, $V_t'/V_t = 3$ 일 때 a_a/a_s 가 1을 나타내고 있다. 이러한 결과는 같은 체적을 제거하는데 있어서 증속기를 사용하여 주축을 15,000 rpm으로 증속하였을 경우가 공구홀더를 사용한 경우에 비해 이송속도를 약 3배 정도 증가하여 가공할 수 있다는 것을 의미하며, 따라서 증속기를 이용하면 고 능률 연삭가공이 가능하다는 것을 알 수 있다.

3.5 휠 강성 변화

Fig. 10과 Fig. 11은 휠 축강성의 변화에 따른 실제가공율(a_a/a_s)의 변화를 살펴보기 위하여 휠 축 길이(L)와 휠 축경(d)을 각각 변화시켜가며 실험한 결과이다. Fig. 10과 Fig. 11에서 공구홀더를 사용한 경우의 실제 절입깊이(a_s)는 주축 회전수 $V_s = 3,000$

rpm, 이송속도 $V_t = 20$ mm/min, 설정절입깊이 $a_s = 5, 10, 20, 30 \mu\text{m}$ 일 때의 값이며, 증속기를 사용한 경우의 실제절입깊이(a_a)는 주축 회전수 $V_s' = 15,000$ rpm, 이송속도 $V_t' = 20$ mm/min, 설정절입깊이 $a_s' = 5, 10, 20, 30 \mu\text{m}$ 일 때의 값이다.

Fig. 10과 Fig. 11에서 실제가공율(a_a/a_s)은 킬 축 길이가 증가하고, 킬 축경이 감소할수록(즉, 킬 축 강성이 감소함에 따라) 증가하는 경향을 나타냈다. 또한, 설정절입깊이가 증가함에 따라 실제가공율은 감소하는 경향을 나타냈다.

따라서 이와 같은 결과로 볼 때 킬 축강성 및 설정 절입깊이가 감소할수록 증속기에 의한 증속효과가 크게 나타남을 알 수 있으며, 특히 강성이 작은 소경 휠을 사용하여 가공하는 경우일수록 증속기를 사용하면 가공성능이 보다 더 향상되어 그 효과가 크다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 증속기의 증속효과를 알아보기 위하여 MC에서 비트리파이드 CBN 휠을 사용하여 STD-11(Rc 60)의 측면 연삭가공을 하였으며, 동일 조건에서 증속기를 사용한 경우와 공구홀더를 사용한 경우의 결과를 비교, 검토하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) MC의 주축에 증속기를 부착하므로써 공구계의 정강성이 크게 감소함을 알 수 있었다.

(2) 증속기를 사용하여 주축을 증속한 경우에 법선 연삭력은 현저히 감소하였으며, 실제 절입깊이는 크게 증가하는 경향을 나타내었다.

(3) 주축 증속율을 크게 할수록 실제가공율은 증가하였으며, 본 실험의 범위내에서는 주축 증속율이 약 2이상 될 경우 실제가공율의 값이 1보다 큰 값을 가지게 되므로 증속기에 의한 고 정도 연삭가공이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

(4) 이송속도 증가율이 증가함에 따라 실제가공율은 점차 감소하였으며, 본 실험의 범위 내에서는 이송속도 증가율이 약 3 이하에서는 실제가공율이 1보다 큰 값을 나타내어 고 능률 연삭가공이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

(5) 킬 축강성 및 설정절입깊이가 작을수록 증속기에 의한 증속효과가 더 크다는 것을 알 수 있었다.

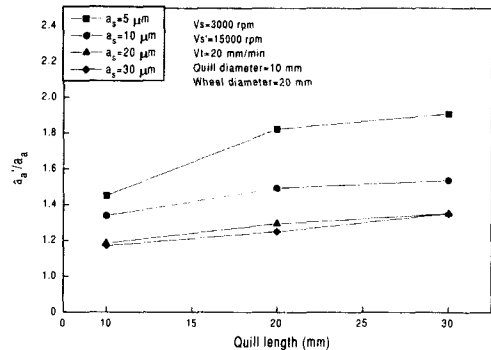


Fig. 10 Actual machining ratio for the quill length and setting depth of cut

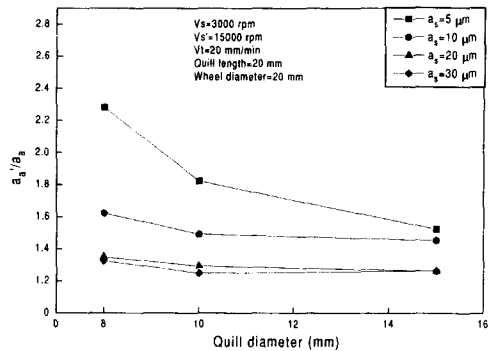


Fig. 11 Actual machining ratio for quill diameter and setting depth of cut

참고문헌

1. 垣野義昭, 喜田義宏, 中川平三郎, “マシニングセンタによる研削加工に関する研究調査,” GC研究会報告書, 1990.
2. 垣野義昭, 喜田義宏, 中川平三郎, “グライデイングセンタ,” 日刊工業新聞社, pp. 118-121, 1993.
3. 喜田義宏, 川口格, 崔桓, 坪田守人, 垣野義昭, 中川平三郎, “T/Dを用いたMC研削に関する基礎的研究,” 精密工學會誌, Vol. 60, No. 5, pp. 835-841, 1992.