

초정밀 가공시스템의 연마 가공 특성에 관한 연구

배명일*, 김홍배**

A Study on the Finishing Characteristics of Ultra-precision System

Myung Il Bae*, Hong Bae Kim**

ABSTRACT

In this study, Ultra-precision finishing system using micro abrasive film experimented using experimental variable film feed speed and grinding speed and structural steel(SM45C) with respect to 12~3 μ m micro abrasive film. the result are follows; (1) Experimental condition must setup dissimilar about each micro abrasive film. (2) To measurement deviation the smallest machined condition are 20mm/min in 12 μ m, 5mm/min and 15mm/min in 9 μ m and 5 μ m, 5mm/min in 3 μ m in film feed speed. (3) To measurement deviation the smallest machined condition are 180m/min in 12 μ m, 84m/min in 9 μ m, 56 and 84m/min in 5 μ m, 104m/min in 3 μ m in grinding speed.

Key Words : ultra-precision finishing system(초정밀 경면 연마 가공 시스템), micro abrasive film(마이크로 연마 필름), grinding speed(연마 속도), film feed speed(필름 이송 속도), SM45C(기계 구조용 탄소강), surface roughness(표면 거칠기), measurement deviation(측정 편차), machined condition(가공조건)

1. 서론

초정밀 기술의 발달과 함께 제품의 생산성과 품질을 높이기 위하여 자기 테이프 제조용 로울러, 인쇄용 로울러, 복사기 및 레이저 프린터용 드럼 등의 원형 표면 가공에 대한 요구가 증대되고 있으며, 이들 제품은 서브 마이크론 단위의 치수 정밀도와 표면 거칠기를 필요로 하고 있고, 이러한 초정밀 가공품을 생산 하기 위해서 고강성 및 높은

정밀도를 가진 가공 시스템 및 계측장비, 그리고 가공기술의 필요성이 증대되고 있다⁽¹⁾.

연마 스톨 및 초정밀 연마 필름을 사용하여 초정밀 가공품을 생산 하는 경우, 균일한 표면 정밀도를 가진 제품을 얻는 것은 매우 힘든 일이다. 이것은 제품을 가공하는 공구가 많은 수의 연삭날의 가지고 있고, 또한 연삭날의 형상이 매우

* 충남대학교 기계공학과 대학원

** 도립 단양대학 기계과

다르기 때문이다. 이러한 문제점들을 극복하는 방법은 연마 가공시 발생할 수 있는 많은 오차를 없애고, 또한 연삭 날을 가지지 않는 진해 연마나 자기 연마등과 같은 가공방법을 이용하는 길이다. 하지만 이러한 가공 방법들은 신규장비와 장비의 유지보수에 새로운 인력이 투입되어야 한다는 문제점을 가지고 있기 때문에, 대부분 영세한 중소기업형태로 운영되고 있는 기업의 입장에서는 적용하기에 매우 곤란한 점이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 시스템을 이용하여 가공시 발생할 수 있는 오차를 최소한으로 줄이고, 단시간에 균일한 표면 정밀도를 가진 제품의 가공에 관한 연구를 수행 하였다.

2. 실험장치 및 방법

초정밀 연마를 수행하는 경면 연마 시스템은 Fig. 1과 같다.

경면 연마 가공 시스템은 범용선반, 필름 연마 가공기, 제어기, 연마유 공급장치로 구성되어 있다. 필름 연마 가공기는 연마 필름을 좌우로 진동시키는 진동헤드, 연마 필름을 시험편에 가압시키는 가압부, 연마 필름의 공급을 담당하는 연마 필름 이송장치로 구성되어 있다. 제어기는 연마 가공기의 헤드의 좌우진동, 연마 필름의 이송 속도, 전원을 제어하고, 연마유 공급장치에서는 사용된 연마유의 침전, 부유, 여과의 단계를 거치며 여과필터는 20 μ m, 5 μ m, 1 μ m로 구성되어 있으며 연마 작업시 발생하는 연마칩과 연마입자가 다시 가공에 사용되어 표면 정밀도를 저하시키지 않도록 하였다. 실험 및 측정에 사용된 장비는 Table. 1에 나타나 있다.

연마 필름을 이용하여 가공을 실시하는 경우, 가공 제품의 표면 정밀도는 연마 필름 입자의 크기에 크게 의존하고 있지만 동일한 크기의 연마 입자에서 필름의 이송속도, 연마 헤드가 공작물에 연마 필름을 가압하는 가압력, 진동 주파수, 연마 속도 등의 조건 변화에 따라 시험편의 표면 정밀도가 달라진다. 따라서 본 실험에서는 연마 가공시 표면 정밀도에 영향을 미치는 실험 조건으로 추정되고 있는⁽²⁾ 연마 속도와 필름 이송속도를 가공 변수로 하여 연마입자의 크기가 12~3 μ m의 연마 필름에 대하여 실험을 실시 하였으며, 15 μ m의 연마 필름을 이용하여 초기화한 Ra 0.019~0.029

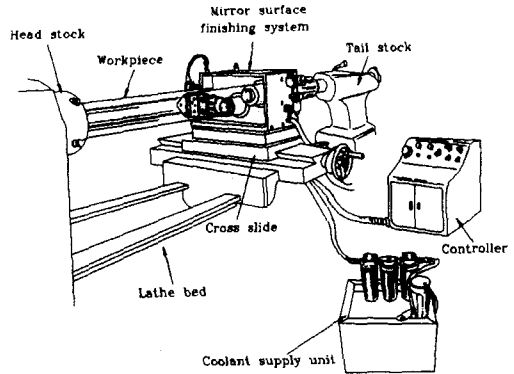


Fig. 1 Configuration of ultra-precision finishing system

Table 1 Specification of experimental apparatus

No	Name	Description & Specification
1	Ultraprecision Finishing System	Manufactured
2	Lathe	GEMA LZ200
3	Surface Roughness Tester	Mitutoyo Surfpak SV-500
4	Precision balance	Satorius-98
5	Scanning Electron Microscope	JSM-5410

Table 2 Experimental condition

Fixed Component			Moving Component				
Grinding Speed : 180 m/min	Applied Force : 170kgf	Oscillation Frequency : 25Hz	Film Feed (mm/min)				
			5	10	15	20	25
Film Feed : 5mm/min	Applied Force : 170kgf	Oscillation Frequency : 25Hz	Grinding Speed(m/min)				
			180	131	104	84	56

μ m, Rmax 0.16~0.27 μ m의 기계구조용 탄소강 (SM45C) 시험편을 사용하였고, 연마 입자는 산화 알루미늄(Al₂O₃), 시험편의 크기는 \varnothing =100mm,

L=100mm이며, 연마 가공시간은 120sec로 설정 하였으며 조성밀 연마 필름을 이용하여 실험을 실시한 후 표면 거칠기 값을 동일 시험편의 각각의 부분에 대하여 10회 측정하고, 현미경 및 SEM사진 촬영을 실시하였으며 실험 조건은 Table. 2에 나타내었다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 2~5는 12 μ m~3 μ m의 연마 필름을 이용하여 연마 속도와 가압력의 실험 조건을 180m/min, 170kgf로 각각 고정한 상태에서 연마입자의 크기와 필름 피드를 변화시켜 실험하여 얻은 결과를 나타낸 것이다.

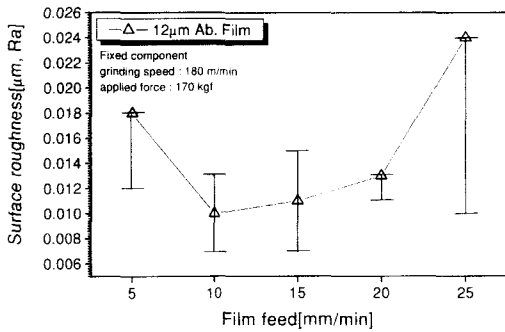


Fig. 2 Surface roughness of 12 μ m abrasive film with respect to film feed

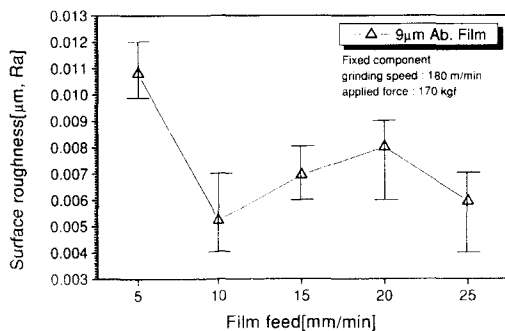


Fig. 3 Surface roughness of 9 μ m abrasive film with respect to film feed

그림에서 나타난 바와 같이 표면 거칠기의 측정값은 각각의 연마 필름에서 매우 심한 분산을 나타내고 있으며, 5 μ m의 연마 필름을 이용하여 실험을 수행한 Fig. 4에서는 연마 가공 특성이 나타나지 않고 있다.

또한 Fig. 2~5를 살펴보면 어느 특정한 필름 이송조건에서 표면 거칠기의 측정값에 대한 편차가 적은 것이 아니라 각 필름 입자별로 표면 거칠기의 편차가 작은 실험 조건이 존재한다는 것을 알 수 있다.

연마 필름을 이용하여 공작물을 연마 가공할 경우 연마 필름은 연마 필름 회수 장치에 의하여 연속적으로 새로운 입자가 나타나며, 새로운 입자를 이용하여 연마 가공이 이루어지게 된다. 따라서 연마 필름의 이송속도가 너무 적다면 연마 가공으로 인하여 연마 필름에 부착된 연마 입자가 모두 마모되어 버리고 심한 경우에는 연마 입자와 연마 필름을 결합하는데 사용되는 수지 접착제 부위까지도 연마 가공에 참여하기 때문에 연마 필름을 이용하여 연마 가공을 수행할 때 연마 필름의 마모를 발생시키는 요인이 되는 연마 필름의 이송속도와 연마 가공 시간, 연마속도의 가공 변수는 매우 중요하다고 할 수 있다.

Fig. 2의 12 μ m의 연마 필름으로 연마 가공한 경우 연마 필름의 이송속도가 20mm/min일 때 측정값의 편차가 가장 적으며, 최소의 표면 거칠기 값은 연마 필름의 이송속도가 10mm/min일 때 얻을 수 있었고, 9 μ m의 연마 필름으로 연마 가공한 경우 측정값의 편차가 뚜렷하게 구별되지 않는 거의 일정한 편차를 유지하고 있으며, 연마 필름의 이송속도가 10mm/min일 때 가장 양호한 표면 거칠기 값을 얻을 수 있었고, 5 μ m의 연마 필름으로 연마 가공을 수행한 경우 5mm/min, 15mm/min의 연마 필름의 이송속도에서 표면 거칠기 측정값의 분산이 가장 적고 10mm/min, 20mm/min의 연마 필름의 이송속도에서 최소의 표면 거칠기 값을 얻었으며, 3 μ m의 연마 필름을 이용하여 연마 가공을 수행한 경우 5mm/min의 연마 필름의 이송속도에서 표면 거칠기 값의 분산이 가장 적고 15mm/min의 연마 필름의 이송속도에서 최소의 표면 거칠기 값을 얻을 수 있었다.

연마 필름을 이용하여 연마 가공을 수행할 경우 연마 필름에 부착된 연마 입자가 12 μ m일 때에는 연마 필름의 이송속도를 20mm/min으로, 9 μ m의 연마 필름에서는 10mm/min으로, 15 μ m에서는 15mm/min으로 빠르게 하는 것이 5 μ m의 연마 입자에서는 연마 필름의 이송속도를 5, 15mm/min으로

로, $3\mu\text{m}$ 의 연마 입자에서는 연마 필름의 이송속도를 5, 10mm/min으로 설정하는 것이 표면 거칠기 측정값의 분산이 적어진다. 이것은 연마 필름의 이송속도가 연마 필름에 부착된 연마 입자의 마모를 결정하는 즉 불균일하게 분포되어 있는 연마 입자를 양호한 표면 거칠기를 얻을 수 있는 일정한 형태의 입자 크기로 마모시켜 일정한 크기로 마모된 연마 입자가 연마 가공에 참여하기 때문에 표면 거칠기 측정값의 분산이 적어지고 연마 입자의 크기가 클수록 연마 필름의 이송 속도를 빠르게 하는 것이 연마 입자의 마모를 촉진시키는 결과를 가져온다는 것을 알 수 있다. 따라서 연마 필름의 이송속도를 연마 가공 변수로 할 때에는 연마 필름의 입자가 클 때에는 연마 필름의 이송 속도를 빠르게, 연마 필름의 입자가 작을 때는 연마 필름의 이송 속도를 느리게 하는 것이 측정값의 편차가 적어지며 양호한 표면 거칠기 값을 얻을 수 있는 확률이 높아짐을 알 수 있다.

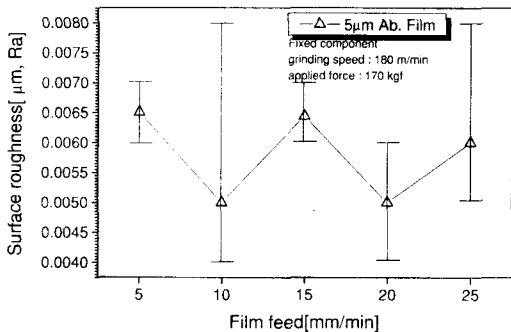


Fig. 4 Surface roughness of $5\mu\text{m}$ abrasive film with respect to film feed

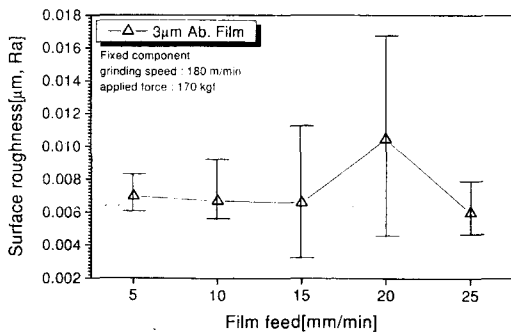


Fig. 5 Surface roughness of $3\mu\text{m}$ abrasive film with respect to film feed

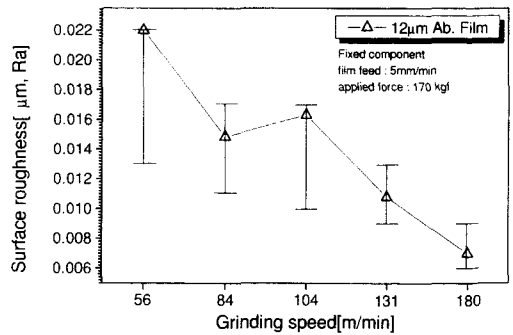


Fig. 6 Surface roughness of $12\mu\text{m}$ abrasive film with respect to grinding speed

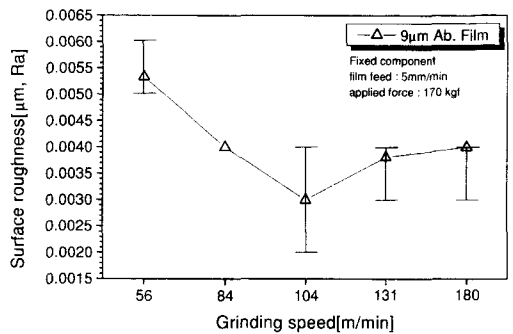


Fig. 7 Surface roughness of $9\mu\text{m}$ abrasive film with respect to grinding speed

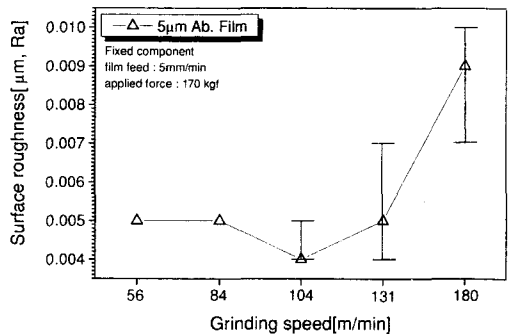


Fig. 8 Surface roughness of $5\mu\text{m}$ abrasive film with respect to grinding speed

Fig. 6~9는 $12\mu\text{m}$ ~ $3\mu\text{m}$ 의 연마 필름에 대하여 가압력과 필름이송의 실험조건을 각각 가압력 170kgf, 필름이송속도 5mm/min으로 고정시킨다음 연마 속도를 56~180mm/min으로 변화시켜 가공한 다음 얻은 시험편의 표면 거칠기 측정 결과이다.

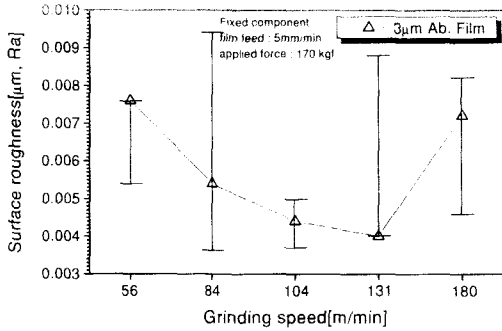


Fig. 9 Surface roughness of 3 μ m abrasive film with respect to grinding speed

12 μ m의 연마 필름으로 연마 가공을 수행한 Fig. 6을 보면 연마 속도 56m/min에서는 표면 거칠기 측정값의 분산이 크고 좋지 않는 표면 거칠기 값을 얻었지만 연마 속도가 빨라질수록 측정된 표면 거칠기 값의 분산이 적어지고 표면 거칠기도 좋아지는 경향을 나타내고 있으며 연마 속도 180m/min에서는 표면 거칠기 측정값의 분산이 56~131m/min에 비하여 매우 적어진 것을 볼 수 있다. 9 μ m~5 μ m의 연마 필름을 이용하여 연마 가공을 실시한 Fig. 7~8을 보면 표면 거칠기 측정값이 연마 속도가 104m/min일 때 가장 양호한 표면 거칠기 값을 얻었지만 연마 속도가 104m/min보다 빠르거나 느릴 때에는 좋지 못한 표면 거칠기 값을 얻었지만 9 μ m의 연마 필름에서는 연마 속도가 84m/min일 때 5 μ m의 연마 필름에서는 연마 속도가 56~84m/min일 때 표면 거칠기 측정값의 분산이 없는 일정한 값의 표면 거칠기 측정값을 얻을 수 있었다. 3 μ m의 연마 필름으로 연마 가공을 수행한 Fig. 9에서는 연마 속도 131m/min에서 양호한 표면 거칠기 값을 얻을 수 있었지만 오히려 표면 거칠기 측정값의 분산이 심하고, 104m/min의 연마 속도로 연마 가공한 경우 표면 거칠기의 분산의 폭이 적어짐을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 연마 속도가 커지면 공작물의 빠른 회전 속도로 인하여 연마 입자의 마모 속도가 커지면서 각 연마 입자별로 연마 가공에 최적의 크기로 마모되기 때문에 12 μ m~3 μ m의 연마 입자를 이용한 가공에서 일정한 특성이 없는 결과를 가져 왔다고 생각된다.

Fig. 6~9를 살펴보면 측정값의 분산이 필름

의 이송을 변수로 하여 실험한 결과보다 크지 않음을 알 수 있다. 또한 Fig. 7에서는 연마 속도가 84m/min일 때, Fig. 8에서는 연마 속도가 각각 56m/min, 84m/min일 때 측정값은 분산되지 않고 있으며, 이것은 앞에서 말한 각각의 연마 필름마다 연마 가공 조건을 달리해야 한다는 것을 입증해 주고 있다. Fig. 3 및 4에서 측정값의 편차가 작은 5mm/min의 필름 이송 속도로 연마 가공을 실시한 Fig. 7 및 8에서 측정값의 편차가 없는 값을 얻을 수 있었기 때문이다. 그러나 Fig. 5에서 측정값의 편차가 적은 5mm/min의 필름 이송 속도로 연마 가공한 결과인 Fig. 9에서는 표면 거칠기 측정값의 편차가 적은 가공 조건을 얻을 수 있었다. 이것은 3 μ m의 연마 필름으로 가공한 시험편이 5 μ m의 시험편으로 가공된 시험편의 연삭 마크를 완전히 제거하지 못했기 때문이며 또한 연마유를 뿌려 연마 가공시 발생하는 연마칩 및 탈락된 연마 입자는 효과적으로 가공물로 부터 분리 되지만 이들 연마 칩 및 연마 입자를 부유, 침전, 여과하는 여과시스템의 필터보다 작은 즉 1 μ m의 여과 필터보다 작은 연마 칩 및 연마 입자가 연마액에 첨가되어 시험편에 뿌려지게 되고 이들이 연마 가공에 참여하여 시험편의 표면에 스크래치를 발생시켜 가공후 측정값의 분산이 커지게 된다. 이 때문에 5 μ m의 연마 필름으로 연마 가공하여 측정된 결과와 3 μ m의 연마 필름으로 가공한 결과를 볼 때 5 μ m의 연마 필름으로 가공한 경우에는 측정값의 분산이 없는 측정값을 얻었지만 3 μ m의 연마 필름으로 가공을 실시한 경우에는 얻지 못하였으며 측정값 또한 5 μ m의 연마 필름으로 가공한 경우보다 좋아지지 않는다.

Table. 3 Experimental result of ultra-precision finishing

Micro Film	Experimental condition			
	Film feed	Grinding speed	Fixed condition	
12 μ m	20mm/min	180m/min	Applied pressure	Oscillation frequency
9 μ m	15mm/min	84m/min		
5 μ m	5mm/min	84m/min	170kgf	25Hz
3 μ m	5mm/min	104m/min		

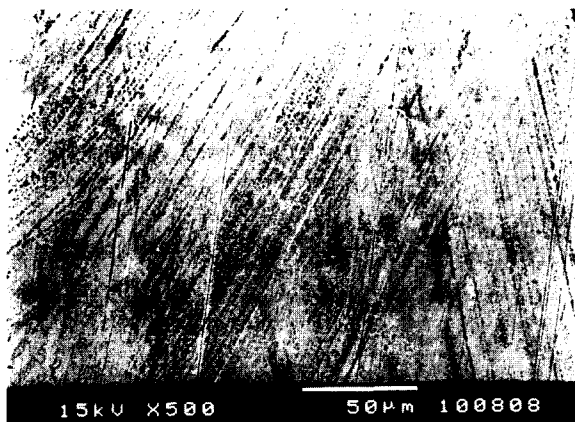


Fig. 10 The microphotographs of machined surface of 3 μ m abrasive film

Fig 10은 12~3 μ m의 연마필름에 대하여 표면 거칠기의 편차가 가장 적다고 판단되고 있는 연마 가공 조건인 Table. 3의 결과를 이용하여 각 연마 필름에 대하여 순차적인 연마 가공 실험을 실시한 결과의 SEM사진이다. 사진에서 나타난 바와 같이 흠이 길게 파인 부분, 즉 5 μ m의 연마 필름으로 연마 가공할 때의 연삭 마크가 제거 되지 않고 남아있는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 마이크로 연마 필름을 이용한 초정밀 경면 연마 가공 시스템을 이용하여 원통형 기계구조용강(SM45C)을 연마 입자의 크기가 12~3 μ m의 연마 필름에 대하여 필름 이송속도 및 연마 속도를 가공 변수로 하여 가공실험을 실시하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 마이크로 연마 필름을 이용하여 연마 가공을 실시하는 경우 각각의 연마 필름에 대하여 각기 다른 실험 조건을 설정하는 것이 타당하다.

2) 연마 필름 입자 크기가 12 μ m일 때에는 필름이송속도를 20mm/min으로, 9 μ m, 5 μ m일 때에는 5 또는 15mm/min으로, 3 μ m일 때에는 5mm/min으로 설정하는 것이 표면 거칠기 측정값의 편차가 적은 일정한 표면을 가진 가공면을 얻을 수 있다.

3) 연마 속도는 연마 필름 입자의 크기가 12 μ m일 때에는 180m/min으로, 9 μ m일 때에는 84m/min

으로, 5 μ m일 때에는 56m/min 또는 84m/min으로, 3 μ m일 때에는 104m/min으로 설정하는 것이 표면 거칠기 측정값의 편차가 적은 일정한 표면을 가진 가공면을 얻을 수 있다.

참고문헌

1. Nobuyo Yasunaga, "Recent Advances in Ultraprecision Surface Finishing Technologies in Japan," Int. J. Japan. Soc. Prec. Eng, Vol. 28, No. 3, pp. 23~28, 1994.
2. 배명일외, "실험 계획법을 이용한 초정밀 경면 연마 가공에서 표면 거칠기에 영향을 미치는 인자의 검출," 한국정밀공학회지, Vol.15, No. 2, pp. 53~60, 1998.