

## 마이크로 연마 필름을 이용한 경면 가공 시스템에 관한 연구

김 흥 배,\* 김 기 수,\*\* 남궁 석\*\*\*

### A Study on the Mirror Surface Finishing System Using Micro Abrasive Film

Hong-Bea Kim,\* Ki-Soo Kim,\*\* Suk Namgung\*\*\*

#### ABSTRACT

The surface finishing system using the micro abrasive film was designed and manufactured to make the mirror surface of the cylindrical workpieces. An experimental study of surface finishing was carried out to investigate the performance of mirror surface finishing system. The surface roughness value of stainless steel was about 0.2~0.25 $\mu$ m Rmax, 0.02~0.04 $\mu$ m Ra, using abrasive grain size of 12, 9 $\mu$ m. The surface roughness value of chrome coated workpiece was about 0.07~0.11 $\mu$ m Rmax, 0.01 $\mu$ m Ra using abrasive grain size 3 $\mu$ m. In the same condition, the chrome coated workpiece has obtained better surface roughness characteristics than the one of stainless steel.

**Key Words** : Mirror Surface Finishing System(경면 가공 시스템), Mirror Surface(경면), Abrasive Grain(연마 입자), Surface Roughness(표면 거칠기).

#### 1. 서 론

최근 산업의 급속한 발전과 더불어 첨단 정밀 기계의 핵심 부품 및 자기 테이프 제조용 로울러, 인쇄용 로울러, 복사기 드럼등 원통형 부품들은 성능 향상을 위해 나노미터 수준의 거울면과 같은 정밀한 표면과 서브 마이크론 단위의 치수 정밀도를 얻을 수 있는 가공 방법에 대한 요구가 높아지고 있다. 따라서, 최근에 초정밀 가공 및 경면 가공을 위해 여러 가지 새로운 가공 기술을 혼합하여 실현한 전해 인프로세스 드레싱법에 의한 연삭, 전해 연삭, 전해 연마, 전해 화학 연마, 전해 자력 연마법 또는 래핑,

폴리싱 등의 연삭 및 연마 시스템을 이용하면 높은 정밀도와 표면 거칠기를 갖는 매우 양호한 결과들을 얻고 있다.

그러나 이러한 가공법은 가공 시스템 및 주변 설비가 매우 고가이며, 그 운영에 있어서도 작업자의 숙련도가 필요하고 장시간 가공해야 하는 어려움이 있으며, 높은 생산성과 비교적 쉬운 기술 수준을 요구하는 현장 관점에서는 이러한 기술들을 수용 하는데 있어서 상당히 곤란을 겪고 있는 실정이다. 따라서 비교적 쉬운 가공 기술로써, 보다 짧은 가공 시간에 보다 높은 표면 정도를 얻을 수 있는 저렴한 가공 시스템을 개발할 필요성이 증대되고 있다<sup>(1-3,6)</sup>.

\* 충남대학교 대학원 기계공학과  
 \*\* 충남대학교 기술교육과  
 \*\*\* 충남대학교 기계공학과

종래의 가공방법 중에서 이와 같은 요구를 충족시킬 수 있는 가공 시스템에는 연마 입자 벨트를 이용하는 가공 시스템을 들 수 있다. 이 시스템을 이용한 연마법은 일반 연삭 공정에서의 슛돌, 벨런싱, 드레싱, 드루잉등이 필요하지 않고 시스템의 설치 및 운용이 쉽다는 장점을 가지고 있으나, 연마 벨트가 한쌍의 폴리에 의하여 안내되어 가공이 이루어지기 때문에 벨트에 도포된 연마 입자의 마모와 탈락 현상에 의하여 계속적인 사용이 불가능하고, 가공 시간의 증가에 따라 가공 현상이 일정하지 않은 단점이 있어서 버어(Burr)의 제거나 정밀을 요하지 않는 가공품의 연마에 이용되어왔다<sup>(4-5)</sup>. 그러나 최근에 연마 필름의 제조 기술 발달로 폴리싱이 가능한 초미립자 연마 필름이 시판되고 있으며, 필름의 형태도 기존의 시트형상, 벨트형상뿐만 아니라, 테이프 필름형상에 이르기까지 다양화되어 기존의 연마 입자 벨트를 이용한 연마법의 한계를 극복할 수 있는 기반을 마련하였다<sup>(7)</sup>. 그러나 이들 연마 입자를 이용할 수 있는 가공시스템은 아직 완벽하게 개발되고 있지 못한 실정이며, 그 가공 특성에 대한 체계적인 연구는 보고되지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 마이크로 연마 필름을 이용하여 원형 부품의 표면 거칠기를 향상시킬 수 있는 가공 시스템을 개발하고, 성능 평가를 통하여 경면 가공의 가능성을 확인 하기 위한 기초 연구를 수행하였다.

## 2. 경면 연마 가공장치

### 2-1. 경면 연마 시스템의 구성

Fig. 1은 마이크로 연마 필름 경면 연마 가공 시스템의 구성도를 나타내고 있다. 시스템의 구성은 범용 선반, 필

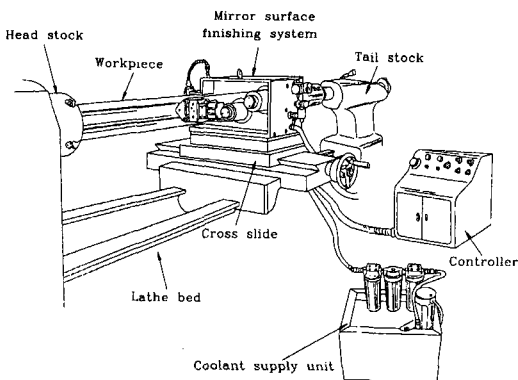


Fig. 1 Configuration of the mirror surface finishing system

름 연마 가공기, 필름 연마 가공기 제어기, 연마액 공급 시스템으로 이루어진다. 필름 연마 가공기 본체는 선반의 전후 왕복대 위에 설치되며, 진동 헤드의 전후 운동 및 좌우 진동 장치, 실제 연마 작업이 이루어지는 접촉 지지부, 연마 필름 공급 및 회수를 위한 필름 이송 장치등으로 이루어진다. 제어기는 전원 스위치, 진동 헤드의 전진 및 후진 운동을 위한 스위치, 좌우 진동을 위한 스위치 및 좌우 진동수 조절기, 필름의 이송속도 조절기, 비상 스위치로 이루어진다.

연마액 공급 시스템은 별도 설치형으로 연마액 탱크, 펌프, 필터로 구성된다. 사용된 연마액은 범용 선반의 연마액 탱크에 모아지고 펌프에 의하여 별치된 연마액 탱크에 보내어진다. 별치된 연마액 탱크에는 침전조와 부유물 제거 장치가 설치되어 있어서 이곳을 통과한 연마액은 일단정선이 되어 펌프에 의하여 필터로 공급된다. 20 $\mu$ m, 5 $\mu$ m, 1 $\mu$ m의 3중 필터로 구성되며 이 필터를 통과하여 완전히 정선된 연마액이 계속적으로 연마 지점에 공급 되도록 하였다.

### 2-2. 가공원리 및 설계제작

Fig. 2는 설계된 마이크로 연마 필름 가공기 가공 원리를 나타내고 있다. 롤형상의 마이크로 필름은 장력(Tension)조절 브레이크가 부착된 축에 장착되고, 가압 접촉 로울러를 통하여 필름회수용 구동축에 감기어지도록 설치한다. 작업 순서는 공작물을 회전시키고, 필름이 접촉 지지 로울러 위를 낮은 속도로 연속적으로 지나 가도록한다. 접촉헤드는 연마 장치의 이송 방향에 평행하게 일정진동 주파수로 진동을 하게 되며, 공압 실린더에 의하여 접촉 헤드가 동작하여 마이크로 연마 필름을 공작물 가압

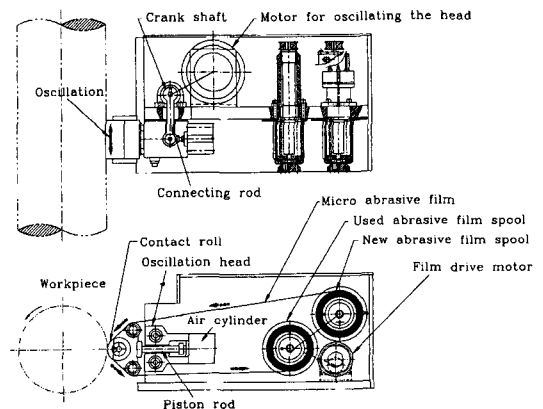


Fig. 2 Finishing principle of the mirror surface finishing system.

하고, 선반에 좌우 이송을 주면서 작업이 시작된다. 가공 시 연마 필름의 연속적인 공급으로 새로운 입자가 연속적으로 가공물 표면과 접촉하므로 가공면 전체에 대하여 일정한 표면 거칠기를 갖는 연마 가공이 이루어진다.

마이크로 연마 필름 가공기를 설계함에 있어서 가장 중요한 사항은 전가공 공정에서 발생한 이송 마크, 채터 마크, 연삭 마크 등을 쉽게 제거할 수 있는 메커니즘의 설계이다. 따라서 본 마이크로 필름 연마 가공기에서는 기존의 슈퍼 피니싱 시스템에서 이용하는 스프링 변형량에 의한 가압력 조절 방법을 개선하여 점탄성 물질인 고무(Rubber)의 탄성 변형과, 압축성 유체인 공기의 체적 탄성 변형 및 압력을 이용하여 가압력을 조절할 수 있도록 점탄성 고무 로울러와 공압 실린더를 이용하여 가압력 조절장치를 설계하였다. 선정된 공압 실린더는 실린더 직경  $\phi 63\text{mm}$ , 스트로크 25mm인 복동 실린더로 입력 공기압의 조절에 의하여 0~185kgf의 가압력을 줄 수 있다. 전가공 공정에서 발생한 이송 마크, 채터 마크, 연삭 마크 및 필름 연마 가공중에 발생하는 이송 마크를 제거하기 위한 횡방향 진동 메커니즘은 구동 모터에 의하여 타이밍 벨트와 연결된 편심축을 회전 운동시키며, 이 편심축과 가압 장치가 부착된 진동 헤드를 링크로 연결하여 편심축이 갖는 편심량 만큼의 진폭으로 진동 하도록 설계되었다. 구동 모터에 걸리는 토오크는 공작물의 재질, 연마 필름, 입자 크기, 가압력 등에 의하여 지배 되므로 이들 인자를 고려하여 구동 모터의 사양이 결정 되어야 한다.

본 연마기에는 0.4KW, 4극 유도 전동기를 사용하였으며, 속도 조절기를 부착하여 진동 헤드를 0~30Hz로 진동할 수 있도록 하였다. 또한 진동 헤드의 운동을 안내하는 안내 장치는 마찰 손실 및 발열을 줄이기 위해 그리이스 급유형의 볼부쉬(Ball bush)와 원형축을 사용하여 원활한 미끄럼 운동이 이루어 지도록 하였다. Fig. 3은 가압 및 횡방향 진동 메커니즘의 상세도를 나타내고 있다.

Fig. 4는 진동 헤드에 장착되어 공작물에 필름을 접촉시켜 가공부를 형성하는 접촉 로울러와 접촉 패드의 설계도이다. 접촉 로울러는 필름을 안내하는 2개의 가이드 로울러의 가공부를 형성하는 주 로울러로 구성되던, 진동 헤드에 탈착이 가능 하도록 하였다. 또한 로울러의 재질은 점탄성 계열의 우레탄 고무를 사용하였고, 공작물의 전가공 상태, 재질, 경도 등의 가공 조건에 대응하여 쉽게 교환 가능 하도록 설계 하였다.

Fig. 5는 설계된 연마 필름 이송 시스템의 설계 상세도이다. 필름 이송 장치의 구성은 사용하지 않는 연마를

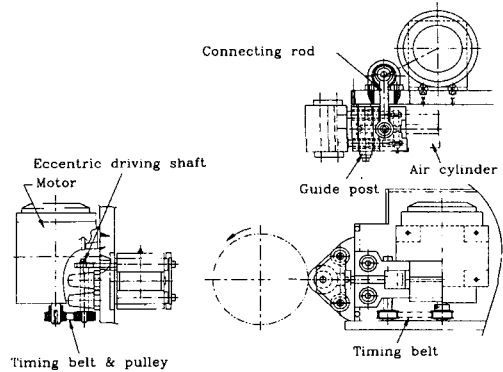


Fig. 3 Drawings of the oscillation head and pressure mechanism.

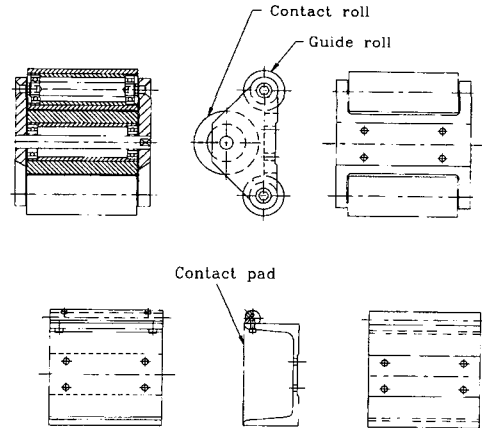


Fig. 4 Drawings of the contact roll and pad.

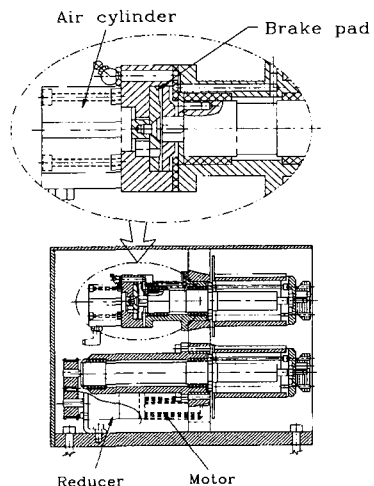


Fig. 5 Drawings of the abrasive film feeding mechanism.

을 장착하는 축과 사용된 연마 입자를 회수하는 필름 이송축으로 구성하였다. 사용 하지 않은 연마 필름을 장착하는 축에는 연마 필름이 일정한 장력이 가하여진 상태로 연속적으로 공급될 수 있도록 원판 마찰 브레이크를 부착하였다. 브레이크는 마찰 제동력을 조절할 수 있도록 직경 직경  $\phi 40\text{mm}$ , 스트로크 5mm인 공압 실린더를 이용하였다. 필름 이송축은 사용된 연마 필름을 회수하고 가동부에 항상 새로운 입자가 연속적으로 공급될 수 있도록 필름 이송용 모터와 타이밍 벨트로 연결하였다. 구동 모터는 4극 25W 유도 전동기로 이용 하였으며, 1800 : 1의 감속비를 갖는 감속기와 속도 제어기를 부착하여 필름 이송축이 0~1rpm으로 회전 하도록 설계 하였다. Fig. 6은 설계 제작된 필름 연마기를 나타내고 있다.

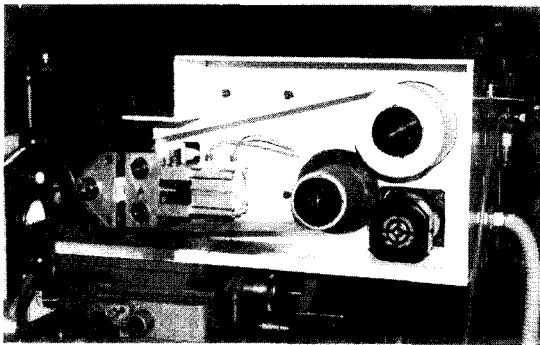


Fig. 6 Photographs of the manufactured mirror surface finishing system.

### 3. 실험결과

#### 3-1. 실험방법

설계 제작된 마이크로 연마 필름 가공기를 이용하여 가공 실험을 실시하였다. 실험에 사용한 선반은 580mm x 2,000mm의 가공 능력을 갖는 남산 정공제이며, 표면 거칠기 측정기는 Taylor-Hobson사의 Surtronic 표면 거칠기 측정기로 분해능은 0.01 $\mu\text{m}$ 이다. 마이크로 연마 필름 가공기는 선반의 복식 공구대를 제거하고 왕복대의 전후 이송대에 설치하였다. 시험편은 스테인레스강(SUS304) 표이프와 알루미늄 합금파이프에 경질크롬을 도금한 것으로 직경 60mm 길이 90mm크기이고, 시험편의 고정은 양센터 지지법을 이용 하였다.

실험에 사용한 마이크로 연마 필름은 3M사의 초정밀 래핑 필름으로 폭100mm의 롤(Roll)형을 이용하였다.

연마 입자는 산화알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )이고, 연마 필름은 입자의 크기에 따라서 60, 30, 20, 12, 9, 5, 3 $\mu\text{m}$ 의 7종류를 이용 하였다. 실험은 습식 가공으로 연마유는 수용성으로 유시로켄 S-60H(범우화학) 1 : 40(물)으로 희석하여 사용 하였다. 실험을 위한 연마 가공 조건은 Table 1과 같다.

Table 1 Experimental conditions

item	operating condition
grinding speed[m/min]	95
polishing force[kgfl]	85
film feed speed[mm/min]	75
oscillation frequency[Hz]	25
oscillation amplitude[mm]	5
contact roll hardness[HS]	45
carriage feed speed[mm/rev]	0.20
film grain size[ $\mu\text{m}$ ]	60, 30, 20, 12, 9, 5, 3

#### 3-2. 실험결과 및 고찰

Fig. 7은 표면 거칠기 8~10 $\mu\text{m}$  Rmax, 0.8~1.0 $\mu\text{m}$  Ra로 선삭 가공한 스테인레스 강(SUS304) 표면을 연마 필름의 연마 입자 크기를 변화시켜 연마 가공한 후 표면 거칠기를 측정 한 결과이다. 실험은 선삭 가공 표면을 입자 크기 60 $\mu\text{m}$ 의 연마 필름으로 연마하여 표면 거칠기를 측정하고, 다시 이 표면을 30 $\mu\text{m}$ 의 연마 필름으로 연마하고 측정하는 방법, 즉, 한개의 시험편에 대하여 순차적으로 연마 입자의 크기를 변화 시켜 연마 가공을 수행하고, 각 공정마다의 표면 거칠기와 표면 생성 상태를 조사하는 방법으로 이루어졌다.

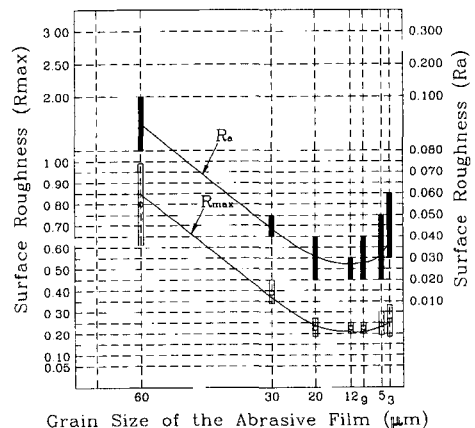


Fig. 7 Surface roughness of the stainless steel with respect to grain size.

그림에서 알 수 있는 것처럼 연마 입자 크기 60~9 $\mu\text{m}$  범위에서는 입자의 크기가 작아질 수록 표면 거칠기 값이 감소하며, 연마 입자 크기 9~3 $\mu\text{m}$  범위에서는 연마 입자 크기가 작아 질수록 표면 거칠기 값이 증가하는 결과를 얻을 수 있었으며, 입자 크기 60 $\mu\text{m}$  와 5 $\mu\text{m}$ , 3 $\mu\text{m}$ 의 경우 표면 거칠기 값의 분산이 커지는 결과를 얻을 수 있었다.

입자 크기 60 $\mu\text{m}$ 에서 표면 거칠기 값의 분산이 심해지는 것은 경면 연마 가공 시스템의 문제점과 연마 현상에 기인하는 것으로 확인되었다. 입자크기 60 $\mu\text{m}$  경우 연마 입자가 크기 때문에 동일한 가압력에서 입자의 크기가 작은 경우에 비하여 연마 제거량이 많고, 이로 인하여 연마력의 증대와 제거된 칩에 의한 눈매움 현상을 발생시킨다. 가공 시스템 측면에서 연마력의 증가는 장력 조절 브레이크가 부착된 축에 장착되어 연마 지점에 연속적으로 공급되는 연마 필름에 장력을 증가시키는 결과를 초래한다. 연마 필름에 너무 큰 장력이 걸리면 필름이 절단되거나, 마찰 브레이크 형식으로 설계 제작된 장력 조절 브레이크에서 스틱 슬립(stick slip) 현상을 발생시켜 연마 지점에 필름 공급이 불안정해지며, 이로 인하여 연마 표면의 표면 거칠기 값이 크게 분산되고 있음을 확인할 수 있었다.

또한 칩 배출 문제는 일반 연삭에서 연삭숫돌의 속도가 고속이고, 공작물의 운동이 저속인 상대 운동으로 연마 가공이 이루어지므로 제거 가공된 칩에 의한 눈매움 현상이 크지 않지만 마이크로 필름 연마 가공 시스템은 공작물의 속도가 고속이고, 연마 필름의 속도가 저속인 상대 운동에 의하여 연마 가공이 이루어 지기 때문에 제거 가공된 칩이 탈락되지 못하고 눈매움 현상을 야기시키며, 이로 인하여 연마 표면의 스크레치가 발생하고, 표면 거칠기 값의 분산이 크게 되는 것으로 사료된다.

스티크 슬립과 연마 필름의 절단, 스크레치 발생은 연마 필름에 큰 장력이 걸리지 않도록 가압력을 작게 하여 연마력을 증가 시키지 않는 방법을 고려할 수 있으나 연마 효율이 감소된다. 따라서 연마 효율을 감소시키지 않으면서 이와 같은 문제를 해결하는 방법으로는 보다 높은 탄성계수 값을 갖는 접촉 로울러를 이용하여 연마부의 접촉 길이를 작게 하거나, 필름의 이송 속도를 증가시키는 방법을 고려할 수 있다.

입자 크기 30 $\mu\text{m}$  ~ 9 $\mu\text{m}$  범위에서는 연마 입자가 작아질 수록 일정한 수준으로 표면 거칠기 값이 작아지고, 측정값의 분산도 작아지는 예측 가능한 정도의 표면 거칠기를 얻을 수 있었다. 그러나 연마면의 일부에는 약간의 스크레치가 존재하며, 또한 진동 마크가 존재한다.

입자 크기 5 $\mu\text{m}$ 와 3 $\mu\text{m}$ 의 경우, 다시 표면 거칠기 측정값이 증가하고 분산이 심해진다. 이것은 연마 표면에 스크레치 발생이 심해지는 현상에 기인한다. 입자 크기 60 $\mu\text{m}$  필름에서는 눈매움 현상에 의하여 스크레치가 발생하였지만 입자 크기 5 $\mu\text{m}$ 와 3 $\mu\text{m}$ 에서는 탈락된 연마 입자에 의하여 스크레치가 발생하는 것으로 사료된다. 연마 입자가 매우 작은 경우, 연마 입자 및 결합제의 탈락 현상이 심하게 일어나며, 탈락된 연마 입자가 표면에 스크레치를 발생시키면서 시험편 표면 속으로 삽입되는 현상을 관찰할 수 있었다. 이상의 실험결과 표면 거칠기 8~10 $\mu\text{m}$  Rmax, 0.8~1.0 $\mu\text{m}$  Ra로 선삭 가공된 스테인레스강을 연마 입자 크기가 60, 30, 20, 12, 9, 5, 3 $\mu\text{m}$ 인 필름을 순차적으로 연마하여 9 $\mu\text{m}$  공정에서 표면 거칠기 0.20 $\mu\text{m}$  ~0.25 $\mu\text{m}$  Rmax, 0.02~0.04 $\mu\text{m}$  Ra 인 가공면을 얻을 수 있었다.

Fig. 8은 알루미늄 모재에 경질 크롬 도금을 하고, 표면 거칠기 1.4~2.2 $\mu\text{m}$  Rmax, 0.25~0.27 $\mu\text{m}$  Ra로 연삭 가공한 시험편 표면에 대하여 순차적으로 연마 입자의 크기를 변화시켜 연마 가공을 수행하고, 각 공정 마다의 표면 거칠기를 측정한 결과이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 연마 입자의 크기가 작아짐에 따라 표면 거칠기 값이 작아지며, 측정값이 분산되지 않고 매우 일정하게 된다. 또한 각각의 공정 마다의 표면은 스크레치 없이 양호한 가공면이 생성되었다. 그러나 최종의 경면을 생성시키기 위하여는 세심한 작업이 필요로 되며, 특히 10 $\mu\text{m}$ 이하의 마무리 경면 공정에서는 연마유의 필터링(Filtering)과 각 공정마다 공작물의 표면에 남아있을지도 모르는 연마

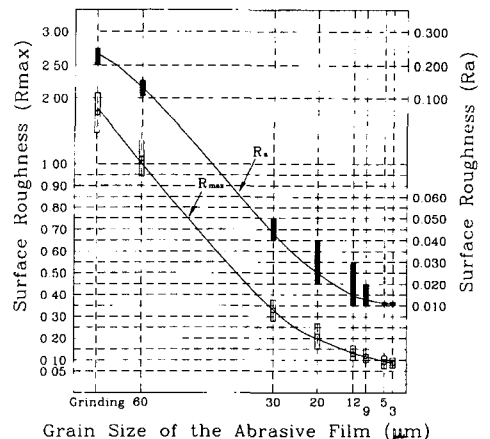


Fig. 8 Surface roughness of the chrome coated workpiece with respect to grain size.

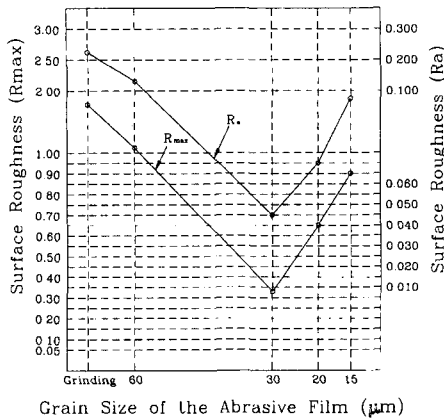


Fig. 9 Surface roughness of the chrome coated workpiece with respect to grain size.

칩이나 탈락된 연마 입자를 완전히 제거하는 것이 경면 생성에 있어서 중요한 변수가 됨을 확인할 수 있었다.

Fig. 9는 표면 거칠기 1.4~2.2μm Rmax, 0.25~0.27μm Ra로 연삭 가공된 표면을 마이크로 연마 필름에 의하여 연마 가공할 경우 초기 연마 필름의 선정 조건을 알아보기 위하여 입자 크기가 60, 30, 20, 15μm인 필름을 이용하여 연마 가공한 후 표면 거칠기를 조사한 결과이다. 입자 크기 60μm의 경우 연삭 마크를 쉽게 제거되었으나 입자가 크기 때문에 재 연삭과 거의 동일한 연마 특성을 나타내며 표면 거칠기는 크게 향상되지 못하였다. 30μm의 경우는 연삭 마크가 모두 제거 되었으며, 표면 거칠기가 초기 연삭 가공된 표면의 표면 거칠기 값에 비하여 약 5배 정도 작아지는 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 20, 15μm의 경우에는 완전하게 전가공 연삭 마크를 제거하지 못하며, 이와 같이 연삭 마크가 완전히 제거되지 않은 상태의 표면을 입자 크기 12, 9, 5, 3μm의 연마 필름을 이용하여 순차적으로 연마 가공을 수행하여도 연삭마크가 제거되지 않기 때문에 경면을 생성할 수 없음을 확인할 수 있었다. 따라서 표면 거칠기 1.4~2.2μm Rmax, 0.25~0.27μm Ra로 연삭 가공한 크롬 도금층의 연마 가공시 초기 연마 가공을 위한 필름의 입자 크기는 30μm정도가 유용함을 알 수 있었다.

Fig. 10은 크롬 도금된 시험편을 표면 거칠기 1.4~2.2μm Rmax, 0.25~0.27μm Ra로 연삭 가공한 후, 입자 크기 30, 20, 12, 9, 5, 3μm의 연마 필름을 이용하여 순차적으로 연마 가공하여 3μm 공정에서 얻은 연마 가공된 표면 상태를 나타낸 것으로써 0.07~0.11μm Rmax,

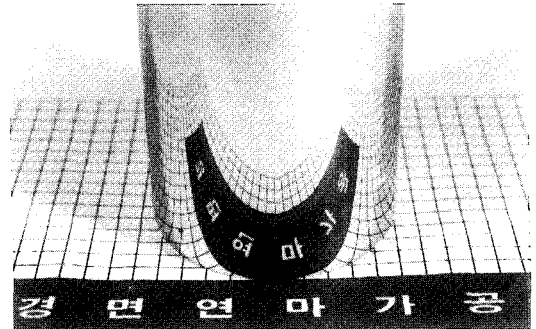


Fig.10 Mirror finished surface of the chrome coated work-piece in the grain size 3μm (0.07μm ~ 0.11μm Rmax, 0.01μm Ra).

0.01μm Ra 표면 거칠기 값을 갖는 경면을 생성할 수 있었다.

이상의 연구 결과 본 연구에서 설계 제작한 마이크로 연마 필름을 이용한 경면 가공 시스템은 자기 테이프 제조용 로울러, 인쇄용 로울러, 복사기 드럼등의 각종 원통형 부품의 초정밀 경면 연마 가공을 실현할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 각종 원형 제품을 보다 빠르고 손쉽게 경면 가공할 수 있는 가공 시스템을 개발할 목적으로 범용 선반에 설치할 수 있는 마이크로 연마 필름을 이용한 경면 가공 시스템을 설계 제작하였다. 이 가공 시스템을 이용하여 스테인레스강(SUS304) 및 크롬 코팅된 로울러의 연마 가공 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 표면 거칠기 8~10μm Rmax, 0.8~1.0μm Ra로 연삭 가공된 스테인레스강을 연마 입자 크기가 60, 30, 20, 12, 9, 5, 3μm인 필름을 순차적으로 연마하여 9μm공정에서 표면 거칠기 0.20μm~0.25μm Rmax, 0.02~0.04μm Ra 인 가공편을 얻을 수 있었다.
2. 경질 크롬 코팅 후, 표면 거칠기 1.4~2.2μm Rmax, 0.25~0.27μm Ra로 연삭한 표면을 연마 입자 크기가 60, 30, 20, 12, 9, 5, 3μm인 필름을 순차적으로 연마하여 연마 입자 3μm공정에서 표면 거칠기 0.07μm~0.11μm Rmax, 0.01μm Ra인 경면을 얻을 수 있었다.

3. 마이크로 연마 필름을 이용하여 경질 크롬 도금된 표면을 연마 가공할 경우 표면 거칠기는 연마 입자의 크기가 작아짐에 따라 작아지고, 예측 가능한 표면 거칠기 값을 갖는 가공면을 생성할 수 있었다.
4. 설계 제작한 경면 가공 시스템으로 각종 로울러 등의 원통형 부품을 성능 평가를 통해 초정밀 경면 연마 가공 가능성을 확인할 수 있었다.

### 5. 참 고 문 헌

1. Norman J. Brown, "Lapping: Polishing and Shear Mode Grinding", JSPE-56-05, pp.24~29, 1990.
2. P.A.McKeewn, K.Carlisle, P.Shore and R.F.J.Read, "Ultra-precision, High Stiffness CNC Grinding Machines for Ductile Mode Grinding of Brittle Materials", JSPE-56-05, pp.30~37, 1990.
3. H.Ohmori, T.Nakagawa, "Mirror Surface Grinding of Silicon Wafers with Electrolytic In-Process Dressing", Annals of the CIRP, Vol.39/1, pp. 329~332, 1990.
4. G.Kuppuswamy, "An Investigatin of the effect of magnetic Filed on Electrolytic Diamond Grinding", Wear, Vol. 54, 1979.
5. T.Hanaoka, K.Sakamiya, A.Kobayashi and M. Harada, "Abrasive Belt Grinding Performance", Annals of the CIRP, Vol. 25, pp.225~228, 1976.
6. S. Yonetsu, I. Inasaki, J. Shibata, T.Kurosaki, "Wear Process and Grinding Performance of Coated Abrasive Belt", JSPE, Vol. 40, pp. 211~226, 1974.
7. 3M Microabrasive Film Catalogue.