

# μ-MIP를 이용한 정밀가공 기술

\*김상오<sup>1</sup>, 광재섭<sup>2</sup>, 하만경<sup>2</sup>, 이용철<sup>3</sup>, 박후명<sup>4</sup>

<sup>1</sup>부경대 대학원, <sup>2</sup>부경대 기계공학부, <sup>3</sup>연암공업대학 컴퓨터응용기계과, <sup>4</sup>한국폴리텍VII대학 자동화시스템과

## Precision Machining Technology by μ-MIP

\*S. O. Kim<sup>1</sup>, J. S. Kawk<sup>2</sup>, M. K. Ha<sup>2</sup>, Y. C. Lee<sup>3</sup>, H. M. Park<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduated school, Pukyong National Univ., <sup>2</sup>Div. of Mech. Eng. Pukyong National Univ., <sup>3</sup>Yonam Institute of Digital Tech., <sup>4</sup>Korea Polytechnic VII

Key words : μ-MIP(Micro-magnetic induced polishing), Magnetic abrasive, Surface roughness

### 1. 서론

산업이 발전됨에 따라 고정도, 고품질의 부품을 요구하는 경향이 커지고, 기계적 성질이 우수한 특수합금강, 스테인레스강, 알루미늄합금 그리고 표면 경화강 등 난삭재들이 기계부품 및 각종 설비용 부품으로 사용되면서 그 품질을 향상시키기 위해 연삭가공의 필요성은 더욱 더 증대되고 있다. 그러나 연삭가공은 각종 가공조건에 따라 얻을 수 있는 제품의 품질은 한계가 있는 실정이다. 이러한 한계를 극복하고자 제시된 방법 중 하나가 전자석을 이용한 자기연마가공법이다.<sup>1</sup> 자기연마가공법은 자기장에 의해 형성된 자력선 방향으로 미세한 자성연마 입자가 정렬하여 브러쉬(Brush)역할을 수행함으로써 금속표면을 연마하는 방법이다.<sup>2</sup> 이 방법은 공구의 형상이 정해져 있지 않아 공작물 또는 가공부위의 형상에 구애를 받지 않는 장점을 지니고 있으며, 연마입자의 특성에 따라 마이크로 단위 공작물의 버(Burr)제거나 표면 연마에도 적용이 가능하다. 현재는 평면과 자유곡면들의 경면연마, 자기배열 방식에 의한 복잡 형상부품의 광택가공이나 디버링, 그리고 스테인레스 파이프나 세라믹 파이프 등 비 자성 파이프의 내면가공영역에서 연구가 이루어지고 있다.<sup>3</sup> 본 연구에서는 이러한 자기연마가공방법을 이용한 μ-MIP(Micro-magnetic induced polishing) 장치를 구성하였다. 그리고 μ-MIP를 이용하여 공작물 표면을 연마 가공함에 있어 그 특성을 평가하고, 그 특성에 따라 최적의 가공조건을 선택하였다. 마지막으로 이렇게 선택된 가공조건에 따라 제어 알고리즘을 제시하여 자동화된 가공기술을 개발하고자 한다.

### 2. μ-MIP(Micro-magnetic induced polishing)

μ-MIP의 원리 및 장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 자기유도자 주위에 감겨있는 코일에 전류를 공급하게 되면 패러데이의 전자기 유도법칙(Faraday's law of electromagnetic induction)에 의해 자력선이 발생하게 된다. 그 자력선을 따라 일정크기의 자성연마입자가 배열하게 되고, 이렇게 배열된 입자에는 자력에 의해 입자 간에 압력이 발생하게 된다.

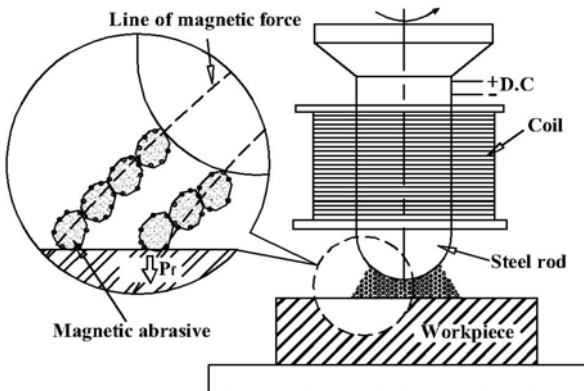


Fig. 1 Schematic of micro-magnetic induced polishing

이 압력과 자기유도자의 회전력에 의해 공작물을 연마할 수 있다. 이 압력( $P_f$ )는 각 입자간의 자화율과 유도자에 발생하는 자속밀도로 표현 되어 질 수 있다.

$$P_f = \frac{B^2}{2\mu_0} \left( 1 - \frac{1}{\mu_m} \right) \quad (1)$$

$$B = \mu_m H \quad (2)$$

식 (1)은 압력을 자속밀도( $B$ )와 진공상태에서의 물질의 자화율  $\mu_0$ , 물질( $m$ )이 가지는 자화율  $\mu_m$ 으로 정의하였다. 여기에서 알 수 있듯이 자화율의 크기는 매우 작은 값이므로 결국 연마압력은 자속밀도에 큰 영향을 받고 있다. 또한 자속밀도는 식 (2)와 같이 전류의 세기가 클수록 증가하므로 전류량으로 가공능력을 조정할 수 있음을 예측 할 수 있다.

### 3. 실험 및 평가

실험 장치는 Fig. 2와 같이 구성되었다. 실험은 SKD11 재질의 평면을 자기연마 가공하여 표면거칠기의 향상 정도를 평가하였다. 실험 조건은 Table 1에 나타난 것과 같다. 표에 나타난 것과 같이 주축 회전속도, 자성연마입자의 크기, 전류의 세기에 따른 가공특성을 평가하였다.

먼저, 회전속도에 따른 실험결과를 Fig. 3에서 알 수 있듯이 일정 회전 속도까지는 속도가 증가함에 따라 표면 거칠기가 향상되나 3,000rpm 이상에서는 오히려 원심력의 증가로 자성입자가 이탈하게 되어 가공능력이 저하됨을 알 수 있다.

두 번째로 자성연마입자의 크기에 따른 실험결과를 Fig. 4에 나타내었다. 자성연마입자는 크게 두 가지 종류로 나눌 수 있는데 하나는 단순히 연마입자와 철과 같은 자성입자를 무게 비율로 단순혼합하여 사용하는 것이다. 다른 하나는 본 실험에서 사용되어진 것과 같이 연마입자와 철 분말을 일정 비율로 골고루 배합한 후 이 원료분을 플라즈마용접기에서 용융시켜 비드(Bead)를 만든 다음 잘게 분쇄하여 자성연마 입자로 사용하는 것이다.



Fig. 2 Experimental equipments

Table 1 Experimental conditions

| Items                 | Conditions                        |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Magnetic flux density | 0.2 Tesla                         |
| Traverse speed        | 6mm/min                           |
| Magnetic abrasive     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe |
| Grain size            | 0.5-0.1, 50-100, 150-200 (μm)     |
| Revolution speed      | 970~3,600 rpm                     |
| Workpiece             | SKD11                             |
| Current               | 1.5~3A                            |
| Working gap           | 1.5 mm                            |

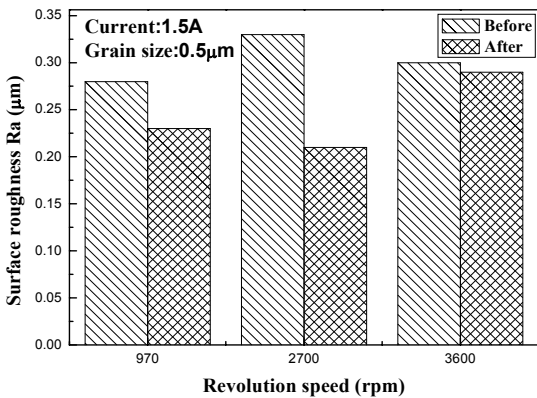


Fig. 3 Relationship between rpm and surface roughness

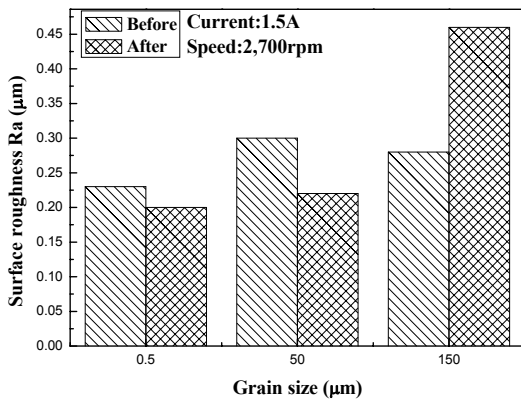


Fig. 4 Relationship between grain size and surface roughness

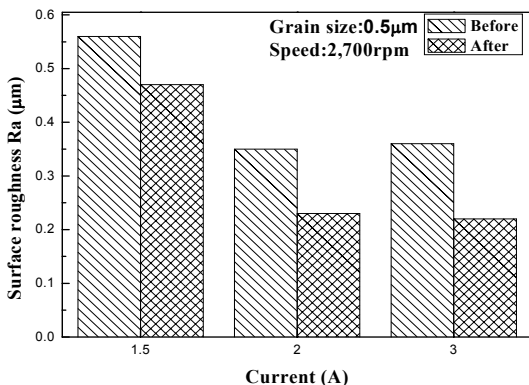


Fig. 5 Relationship between current and surface roughness

본 실험의 자성연마 입자 크기는 혼합된 덩어리의 크기이다. 결과는 입자의 크기가 작을수록 표면거칠기의 향상이 두드러짐을 알 수 있다. 이것은 입자의 크기가 작아짐에 따라 표면에 발생하는 Scratch의 크기도 작아져서 표면거칠기가 향상되는 것으로 볼 수 있다. 그러나 일정크기 이하의 연마입자면 그 효과가 크지 않음을 알 수 있다.

마지막으로 전류의 세기에 따른 실험결과는 Fig. 5에 나타내었다. 전류의 세기가 증가할수록 연마압력이 증가하여 가공성능이 좋아지므로 그에 따라 표면거칠기도 향상됨을 알 수 있다.

#### 4. 제어 알고리즘 제안

μ-MIP 실험장치를 이용한 평면 연마를 통해 μ-MIP의 가공특성을 평가하였다. 이를 통해 최적의 가공조건을 선정 할 수는 있겠으나, 공작물의 형상이나 가공 조건에 따라 상이한 결과를 얻을 수도 있다. 따라서 얻고자 하는 결과를 위해 제어 알고리즘을 Fig. 6과 같이 제안하였다.

가공조건 중 전류세기의 변화에 대한 가공 특성을 볼 때 가공장치에서 쉽게 변화시킬 수 있는 요소이며, 연마압력을 직접적으로 변화시킬 수 있는 요소이다. 따라서 전류의 세기의 변화를 이용하여 제어 알고리즘을 제안하여 향후 가공 공정에서 원하는 목표치(표면거칠기)를 얻을 수 있는 자동화된 시스템을 완성하고자 한다.

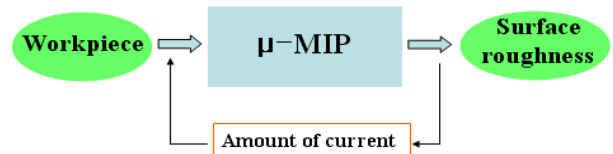


Fig. 6 μ-MIP process control algorithm

#### 5. 결론 및 향후계획

μ-MIP를 이용한 SKD11의 가공특성을 평가하기 위하여 회전속도, 자성연마입자 크기, 전류의 세기 변화를 주면서 실험을 하였다. 그 결과 회전속도가 증가할수록, 자성연마 입자의 크기가 작을수록, 전류의 세기가 증가할수록 표면거칠기가 향상됨을 알 수 있었다. 그리고 이와 같은 실험결과 중 전류의 세기의 변화에 대한 가공 특성을 이용하여 일정한 결과를 얻을 수 있는 자동화된 시스템 개발의 가능성을 찾을 수 있었다. 이에 따라 향후에는 경사면을 가진 공작물이나 자유곡면의 가공 특성을 평가하고 그에 따라 자동화된 가공기술을 얻고자 한다.

#### 후기

본 논문은 한국학술진흥재단 선도연구자 과제[과제번호: D00075]의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 조종래, 박성률, 양순철, 정윤교, "자기연마기술을 이용한 고속 절삭공구 성능향상에 관한 연구," 한국기계공학회 춘계학술대회, 135-138, 2004.
2. D. K. Singh, V.K. Jain, "Analysis of surface texture generated by a flexible magnetic abrasive brush," WEAR, 259, 1254-1261, 2005.
3. 최민석, 김정두, "자유곡면 금형가공면의 급속자력 폴리싱 시스템에 관한 연구," 한국정밀공학회 추계학술대회, 102-107, 1995.