

## 마이크로 코어 핀 정밀 연삭 시스템

양지경<sup>1</sup>, 이인철<sup>1</sup>, 강동성<sup>1</sup>, 한봉석<sup>1</sup>, 한유진<sup>1</sup>, 이정우<sup>2</sup>, 송기혁<sup>\*</sup>  
<sup>1</sup>인하대학교 기계공학과, <sup>2</sup>(주)위시스

## Precision Grinding System for Micro Core-pin

Ji-Kyung Yang<sup>1</sup>, In-Cheol Lee<sup>1</sup>, Dong-Seong Kang<sup>1</sup>, Bong-Seok Han<sup>1</sup>, Yu-Jin Han<sup>1</sup>,  
Jung-Woo Lee<sup>2</sup>, Ki-Hyeok Song<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Inha University

<sup>2</sup>WISYS. Co. LTD

**요약** 본 사출 금형을 통해 제품 생산 시 사출 금형 내에서 제품 형상을 형성하는 코어는 금형 내부에 틀의 형태로 가공되어 설치되며 이때 부분적인 코어의 형상을 핀에 가공하여 설치하는 부품을 코어 핀이라 한다. 이러한 사출 코어 용 코어 핀은 제품의 소형화 집적화에 따라 그 크기가 마이크로의 크기로 작아지고 있다. 하지만 이를 가공 시 기존의 센터리스 연삭 장치로는 마이크로 사이즈의 피삭체를 고정하여 밀착 시켜주는 장치의 부재로 인해 진동이 발생한다. 이러한 이유로 마이크로 크기의 직경을 가지는 코어 핀의 경우 가공 시 진동에 의해 변형 발생으로 가공 불량률이 매우 높다. 따라서 본 논문에서는 마이크로 크기의 코어 핀을 가공하기 위해 기존의 평면 연삭기에 설치하여 사용이 가능한 소형의 연삭 시스템을 개발 하였다. 이를 이용하여 코어 핀에 대한 연삭 실험을 진행하였으며 표면 거칠기, 진원도, 원통도의 측정을 통해 성능을 검증하였다.

**Abstract** In the injection molding process, a core that builds a space for a product is installed at the internal place in the mold and fabricated as the frame of the mold. In this make up, the fabricating partial form of the mold at a pin is a core pin. The core pin is finer because an injection mold produces miniaturization and integration. On the other hand, when the core is manufactured using the existing centerless grinder, it generates vibrations because of the lack of a fixed zig for a micro size workpiece. For this reason, an existing centerless grinder without a micron size fixed zig, makes a defective product due to vibration and deformation. In this study, a compact grinding system that can be installed using an existing centerless grinder was fabricated to make a micro size core pin. Using the compact grinding system, grinding experiment for core pin was carried out. The performance of the system was confirmed by measuring the surface roughness, roundness, and cylindricity.

**Keywords** : Grinding, Centerless Grinder, Core-Pin, Surface Roughness, Roundness

### 1. 서론

최근 생산 및 가공 기술의 발전은 제품의 소형화 및 집적화를 가능하게 하였으며 이에 따라 이를 생산하는 금형 기술 중 초소형 제품을 가공하는 성형 기술에 대한 요구가 증대되고 있다. 특히 사출 제품의 경우 제품의 소

형화에 따라 제품의 형상부분을 표현하는 코어 내부의 형상 구현을 위한 가공 기술에 대한 가공 난이도가 높아져 작은 형상 오차에도 불량률이 높아지는 결과를 초래한다.

사출 금형의 제품 형상을 형성하는 코어는 사출 금형 내부에 틀의 형태로 가공되어 설치되며 원형 혹은 형상

본 논문은 중소기업청의 이전기술개발사업[S2335431, MR(Magnetic-rheological) Fluid를 이용한 나노급 초정밀 연마 시스템 개발] 사업의 일환으로 수행하였음

\*Corresponding Author : Ki-Hyeok Song(Inha Univ.)

Tel: +82-32-860-7306 email: khsong@inha.edu

Received March 2, 2017

Revised (1st March 27, 2017, 2nd April 4, 2017)

Accepted April 7, 2017

Published April 30, 2017

의 일부분을 핀에 가공하여 설치하는 부품을 코어 핀이라 한다. 이러한 코어 핀은 외경치수 정밀도에 따라 코어와의 얼라이먼트가 달라져 사출 시 형상 정밀도에 큰 영향을 끼치게 된다. Fig 1은 코어 핀 및 사용 방법에 대해 나타내고 있다.

원형 코어 핀의 소재는 고속도 공구강(SKD11)이 가장 많이 사용되며 정확한 설치 위치를 제어하기 위해 높은 진원도 및 원통도를 요구 한다. 이를 구현하기 위해 마무리 가공 공정으로 센터리스 연삭공정을 이용하며 핀의 크기와 재질에 따라 연삭 가공 공정이 달라진다.

하지만 최근 들어 제품의 소형화에 따라 직경  $\varnothing 1.5\text{mm}$  이하의 외경을 가지는 코어 핀에 대한 수요가 늘고 있다. 이러한 핀의 공차는  $0\sim 5.0\mu\text{m}$  이하의 진원도, 동심도 및 원통도가 요구되며  $0\sim 2.0\mu\text{m}$ 의 표면 조도(Ra)가 요구된다. 특히  $\varnothing 0.20\text{mm}$ 의 직경을 가지는 마이크로 크기를 갖는 핀의 연삭 작업의 경우 센터리스 연삭기를 이용해 연삭 시 발생하는 외력에 의해 핀의 형태가 쉽게 변형이 발생하여 요구되는 치수 정밀도를 맞추기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 정밀 사출금형의 초정밀 원형 코어 핀을 가공하기 위해 일반적인 센터리스 연삭기가 아닌 일반 성형 평면 연삭기에 장착하여 사용이 가능한 소형 원형 코어 핀 전용 연삭 시스템을 개발하고 이에 대한 성능 평가를 수행하고자 한다.

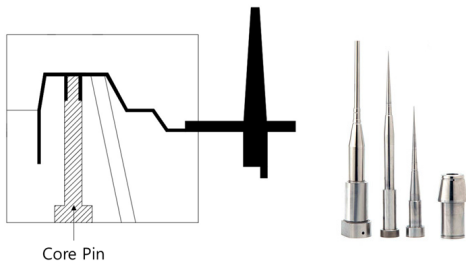


Fig. 1. Core Pin

## 2. 연삭 시스템

### 2.1 원통연삭

연삭가공은 경질의 미세 연마입자를 이용하여 피삭재의 표면을 미세한 가루 형태로 제거하는 마무리 공정을 말한다. 이러한 연삭기는 높은 가공 정밀도를 요하기 때

문에 높은 기계적 강성 및 자체 진동과 충격에 대한 안정성을 필요로 한다.

Fig. 2는 일반적인 원통 형상의 외경 연삭 메커니즘에 대한 그림이다. 연삭 깊이를 임의의 값  $Z$ 로 할 때 연삭 스톨 B의 연마입자의 간격을  $a$ 라고 하면 첫 번째 연삭 입자가 절삭한 궤적은 D-F 구간이고 두 번째 연삭 입자가 절삭을 시작할 때 까지 피삭재인 A의 이송 궤적은 C-F 이므로 두 번째 연삭 입자가 절삭하는 면적은 사선으로 표시된 DCH가 된다. 연삭 입자가 피삭재에 접촉하는 시점은 연삭 깊이가 0이며 연마 입자가 소재를 벗어나는 시점에서 최대 연삭 깊이는 G가 된다.[1,3]

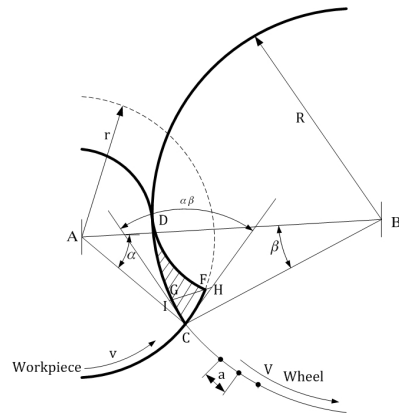


Fig. 2. Cylindrical Outer Grinding Mechanism [1]

### 2.2 센터리스 연삭(Centerless Grinding)

센터리스 연삭기는 실린더 형상의 제품에 대한 동심 조건을 필요로 하는 가늘고 긴 제품에 대한 공작물의 외경을 연삭함에 있어 척 혹은 센터를 사용하지 않고 가공이 가능하다.

Fig 3은 일반적인 센터리스 연삭의 원리를 나타낸다. 조정 스톨(Regulating Wheel)과 연삭 스톨(Grinding Wheel) 사이에 피삭재를 위치시키고 지지판(Blade)로 지지 후 가공하는 연삭법이다. 고무 소재(Rubber bond)로 구성된 조정 스톨의 회전은 마찰력을 통해 피삭재를 회전시키며 회전 속도를 조절한다.[2,4,5] 하지만 조정 스톨의 회전 속도가 증가할수록 피삭재의 단면은 진원으로 가공되지만 가공 시 피삭재를 위로 들어 올리는 분력이 증가하여 피삭재의 진동을 유발한다. 특히 직경이 작은 피삭재의 경우 이러한 진동에 의해 변형이 쉽게 발생하며 이로 인해 제품 불량률이 높아지게 된다.

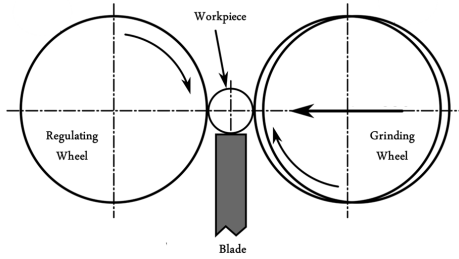


Fig. 3. Centerless Grinding Mechanism [2]

### 2.3 연삭 시스템

기존의 센터리스 연삭기를 통해 가공이 어려운 마이크로 크기의 코어 핀 제작을 위해 연삭 시스템을 제작하였다. 유닛은 기존의 평면 성형 연삭기에 설치되어 사용될 수 있도록 소형으로 설계하였으며 기존의 센터리스의 단점을 보완하여 진동을 줄여 피삭재의 변형을 최소화하도록 설계하였다. 또한 기존의 센터리스 연삭기에서 불가능했던 단차, 테이퍼 등을 사인 베이스(Sine Base)를 적용하면 성형 할 수 있도록 고안 하였다.

#### 2.3.1 연삭 시스템

Fig 4는 개발된 연삭 시스템의 개념도를 나타낸다. 지지판(Blade)은 위치 조절 기구가 설치되어 있어 피삭재의 직경 크기에 관계없이 연삭숫돌과 조정 숫돌에 밀착될 수 있도록 설계하였다. 또한 압력 롤을 설치하여 피삭재를 지지판 쪽으로 밀착시켜 가공 및 회전에 의한 진동을 최소화 할 수 있도록 하였다.

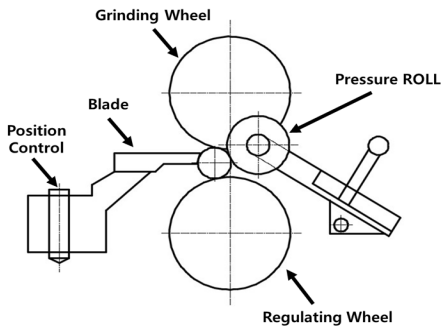


Fig. 4. Grinding System Concept

#### 2.3.2 주축

Fig 5는 주축에 대한 구조를 나타낸다. 유정압 베어링을 통해 조정 숫돌을 양쪽에서 지지하도록 설계하였으며

경사각에 따른 절삭력을 고려하여 트러스트 베어링을 끝단에 설치하였다. 또한 주축의 회전수는 일반적인 연삭 가공의 회전 속도인 300rpm의 범위에서 무단 변속이 가능하도록 설계하였다.

마이크로 크기의 직경 원통 연마 시 절입량은 평균 5  $\mu\text{m}$  이내로 따라서 조정 숫돌의 처짐은 수  $\mu\text{m}$  보다 작아야 한다. 따라서 주축의 재질은 SCM435를 적용하였으며 표면에는 칩탄처리를 통해 표면 경도를 높여 주었다.

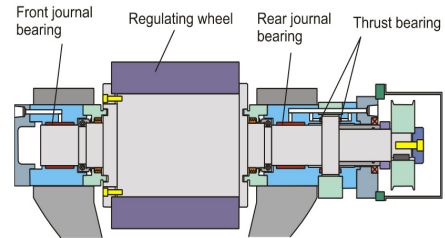
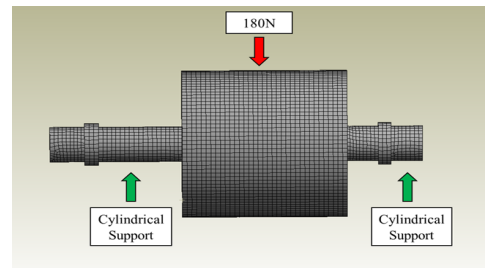
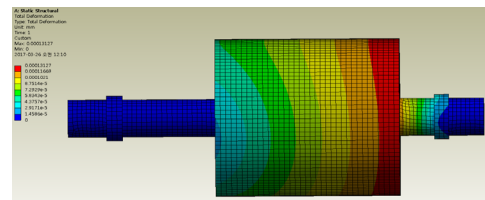


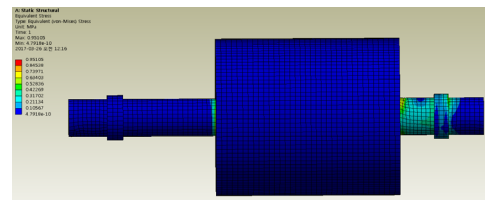
Fig. 5. Rotation System Concept



(a)



(b)



(c)

Fig. 6. Result for Structure Analysis of Main Shaft  
(a) Boundary Condition (b) Deformation Result  
(c) Von-mises Stress Result

조정 슷들을 회전 시켜주는 주축에 대한 설계 안전성을 평가하기 위해 구조 해석을 진행하였으며 Fig 6은 해석 조건 및 결과이다. (a)는 해석을 위한 경계 조건 및 mesh를 나타낸다. 저널 베어링 부에서 주축의 회전 위치를 고정시켜 주므로 이 부분을 Cylindrical Support 조건을 통해 회전에 대한 자유도는 존재하지 위치에 대한 고정 조건을 주었으며 폭 10mm의 연삭스틀을 통해 연삭 시 수직으로 발생하는 응력은 약 180N이 발생하므로 이를 적용하여 중심부에 하중을 인가하였다. Mesh는 사각 mesh 형태를 적용하였으며 요소의 크기는 3mm를 적용하였다. 이때 요소의 수는 55,705개 이며 노드 수는 205,339개 이다.

(b)는 주축에 대한 등가 응력 해석 결과이다. 이를 통해 조정 슷들과 주축을 연결하는 부분에서 최대 0.95MPa의 응력이 발생했으며 이는 소재의 항복강도인 675Mpa에 비해 매우 작은 크기이며 (c)의 변형해석 결과 또한 최대 0.13 $\mu$ m의 처짐량을 보여 주축의 설계 안전성을 확인하였다.

### 3. 실험 및 결과

#### 3.1 실험

개발된 연삭 시스템에 대한 검증을 위해 실험을 수행하였다. 실험은 초소형 금형용으로 사용되는 일반적인 원형의 코어 핀을 설계하고 이를 본 연구에서 개발한 연삭 시스템을 이용하여 연삭공정을 수행하였다.

##### 3.1.1 소재

실험에 사용된 소재는 일반적으로 코어 핀에 많이 사용되는 SKH-51을 사용하였으며 물성은 Table 1에 나타내었다. 경도는 HRC 59~61이며 열처리하는 담금질을 약 760~820 $^{\circ}$ C 사이에서 진행 후 뜨임을 150~200 $^{\circ}$ C 사이에서 진행한 소재를 사용하였다.

Table 1. Material Property for SKH-51

Material	SKH-51
Hardness	HRC 59~61
Quenching	760 ~ 820 $^{\circ}$ C
Tempering	150 ~ 200 $^{\circ}$ C

##### 3.1.2 가공 형상

가공 형상은 일반 센터리스 연삭기로는 가공 할 수 없

는 단차가공 형태로 설계하였으며 가공 전 핀의 직경은 1.5mm이고 끝 부분에 길이 2mm에 직경 200 $\mu$ m ~ 400 $\mu$ m의 크기를 가지는 형상으로 설계하였다. Fig 7은 가공 도면을 나타낸다.

##### 3.1.3 연삭 슷들

실험을 위한 연삭 슷들은 일반적으로 많이 사용되는 WA계열의 연마석과 GC계열의 연마석을 선정하였으며 연마석의 크기는 외경 180mm에 두께 10mm로 선정하였다. 또한 WA석의 경우 입도를 #150으로 선정하였고 GC의 경우 입도를 #150 과 #240으로 선정하였다. Table 2는 연마석의 특징을 나타내고 있다.

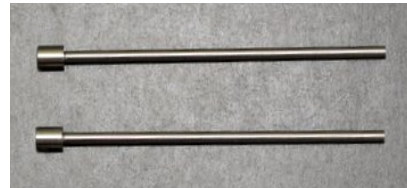
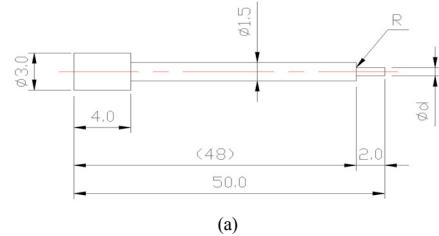


Fig. 7. Design Drawing & Workpiece  
(a) Drawing (b) Workpiece

Table 2. Grinding Stone Information

Division	WA	GC
Mesh (#)	150	150, 240
Thickness (mm)	10	10
Outer DIA (mm)	180	180

##### 3.1.4 실험

본 연구에서 개발한 연삭 시스템을 이용하여 연삭공정을 수행하였다. 연삭 시스템은 일반적으로 많이 사용되는 평면 성형 연삭기에 설치하였으며 Fig 8은 개발된 연삭 시스템의 설치된 모습이다.

실험 조건으로 슷들의 회전수는 3460rpm으로 선정하였고 조정 슷들의 회전수는 30rpm으로 선정하였다. 절입량은 1 $\mu$ m로 하였으며 절삭유는 수용성 절삭유를 다량 분사 하였다. Table 3은 실험조건을 나타낸다.

Table 3. Experimental Condition

Division	WA	GC	GC
Mesh (#)	150	150	240
Grinding Wheel (rpm)	3460		
Regulating Wheel (rpm)	30		
Depth of Cut ( $\mu\text{m}$ )	1		



Fig. 8. Grinding System

### 3.2 결과

개발된 연삭 시스템을 이용하여 실험을 진행하였으며 이에 대한 분석을 수행하였다.

원통 형상으로 제작된 시편에 대해 표면 거칠기 분석을 수행하였으며 진원도 분석을 통해 기하학적 원 형상에 대한 분석을 수행하였다. 또한 원통도 분석과 동심도 분석을 통해 원통 형상에 대한 분석을 수행 하였다.

Fig 9는 실험을 통해 제작된 코어 핀 형태의 시편을 나타내고 있다. 이를 통해 일반 센터리스 연삭기에서는 가공 할 수 없는 단차 형상이 구현된 것을 확인 할 수 있다.

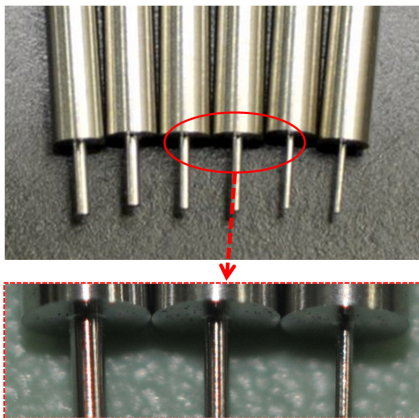


Fig. 9. Processing Result

### 3.2.1 표면거칠기(Surface Roughness) 분석

표면거칠기는 소재의 표면을 가공 시 공구 날 혹은 연마재에 의해 표면에 생기는 미세한 요철의 정도를 말하며 측정 방법은 크게 비접촉식과 접촉식이 있다.[7] 본 연구에서는 Taylor Hobson社의 접촉식 측정기인 Talysurf PGI 1240를 사용하여 표면거칠기를 측정하였으며 게이지의 분해능은 0.8nm이다.

Fig 10은 가공 후 표면을 중심선 평균거칠기(Ra) 값으로 측정한 결과이다. 표면거칠기 측정 결과 피삭재의 직경 크기에 따른 차이는 거의 없는 것으로 분석되었으며 WA의 표면거칠기가 약 0.15 $\mu\text{m}$ 로 가장 거친 값을 나타냈으며 GC(#240)이 평균 약 0.8 $\mu\text{m}$ 로 가장 좋은 표면 거칠기를 나타내었다.

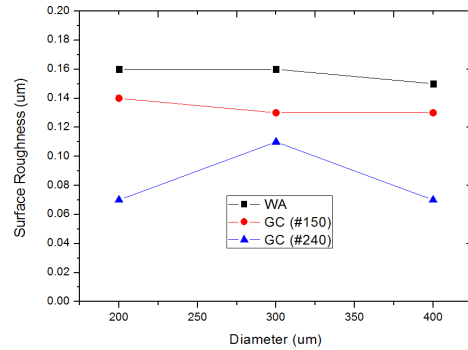


Fig. 10. Result of Surface Roughness

### 3.2.2 진원도(Roundness) 분석

진원도는 형상이 기하학적 원으로부터 벗어난 정도를 말하며 측정 형상을 2 개의 동심을 갖는 기하학적 원 사이로 위치시켰을 때 가장 최소가 되는 두 원의 반지름 값의 차로 나타낸다. [6]

진원도는 Taylor Hobson社의 정밀 원형 측정기 인 Talysround 365를 이용하여 측정하였다.

Fig 11은 가공 후 표면에 대한 진원도를 측정된 결과이다. 진원도 측정 결과 직경의 크기에 따른 값의 차이는 거의 없었으며 GC(#240)에서 가장 작은 진원도 오차 값을 나타냈다. 또한 직경 400 $\mu\text{m}$ 에서 WA의 결과가 높게 나온 이유는 일반적으로 고속도 공구강에 사용되는 연마석이 아니기 때문에 가공 시 눈매움>Loading) 현상에 의해 부분적으로 가공 오차가 발생했을 것으로 판단되었다.

### 3.2.3 원통도(Cylindricity) 분석

원통도란 형상 전체가 두 개의 동심을 갖는 원통 사이에 위치하는 공차로서 진직도와 평행도 및 진원도의 복합공차라고 할 수 있다. [6]

원통도는 Taylor Hobson社의 정밀 원형 측정기 인 Talyround 365를 이용하여 측정하였다.

Fig 12는 가공 후 표면에 대한 원통도를 측정된 결과이다. 원통도 측정 결과 직경에 따른 측정 결과의 큰 차이는 없는 것으로 나타났으며 연마석의 종류에 따른 측정 결과 또한 크지 않았으며 전체적으로 약 3.5 $\mu$ m의 값을 나타냈다.

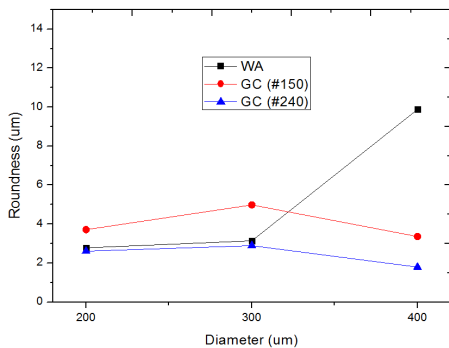


Fig. 11. Result of Roundness

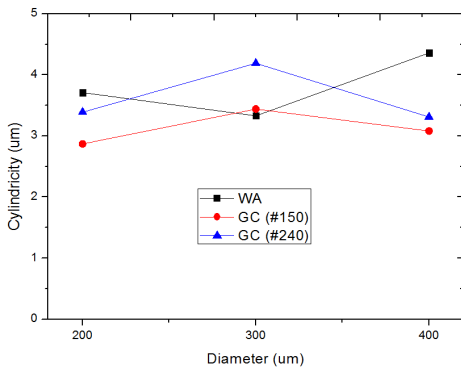


Fig. 12. Result of Cylindricity

## 4. 결론

본 연구는 200 $\mu$ m에서 400 $\mu$ m의 직경을 갖는 초소형 금형용 원형 코어 핀을 가공하기 위해 연삭 시스템을 개발하고 가공실험을 진행하였으며 다음과 같은 결론을 도출 할 수 있었다.

- 1) 마이크로 단위의 직경을 갖는 코어 핀 가공을 위해 연삭 시스템을 개발 및 제작하였으며 가공 시 피삭재의 밀착 및 진동 최소화를 위해 압축롤을 설치하였다.
- 2) 개발된 연삭 시스템을 통해 코어 핀 형상에 대한 연삭 실험을 진행하였으며 가공 변수 및 조건에 따른 측정 결과 값의 차이는 크지 않음을 알 수 있었다.
- 3) 개발된 연삭 시스템을 통해 가공된 소재의 표면거칠기의 값은 약 0.8~0.16 $\mu$ m의 값을 가져 코어 핀에 요구되는 표면거칠기 2 $\mu$ m보다 매우 작음을 알 수 있었다.
- 4) 개발된 연삭 시스템을 통해 가공된 소재의 진원도 및 원통도의 값은 대부분 5 $\mu$ m 이하의 값을 나타내 코어 핀에 요구되는 5 $\mu$ m 보다 작음을 알 수 있었다.

위 실험을 토대로 개발된 연삭 시스템의 초소형 금형용 원형 코어 핀 가공에 대한 적용 가능성을 확인 할 수 있었다.

## References

- [1] S. Malkin, "Grinding Technology: Theory and Application of Machining with Abrasives" Ellis Horwood Limited, Chapter 1-3, 1990.
- [2] Y. Wu, T. Kondo, M. Kato "A new centerless grinding technique using a surface grinder" Journal of Materials Processing Technology 162-163, pp. 709-717, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.02.168>
- [3] J. S. Kwak "Application of Taguchi and response surface methodologies for geometric error in surface grinding process" International Journal of Machine Tools & Manufacture 45, pp. 327-334, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmactools.2004.08.007>
- [4] I. Garitaonandia, M.H. Fernandes, J. Albizuri "Dynamic model of a centerless grinding machine based on an updated FE model" International Journal of Machine Tools & Manufacture 48, pp. 832-840, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmactools.2007.12.001>
- [5] H. Ohmori, W. Li, A. Makinouchi, B.P. Bandyopadhyay "Efficient and precision grinding of small hard and brittle cylindrical parts by the centerless grinding process combined with electro-discharge truing and electrolytic in-process dressing" Journal of Materials Processing Technology 98, pp. 322-327, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(99\)00348-9](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(99)00348-9)
- [6] D. K. Park, J. S. Lee, "Evaluation of the Shape Accuracy of Turning Operations" Journal of the Korea Academia-Industrial vol. 16, no. 3, pp. 1645-1651, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.3.1645>

- [7] D. K. Park, J. S. Lee, "Comparison of the Surface Roughness according to the Workpiece Materials of Turning Operations" Journal of the Korea Academia-Industrial vol. 16, no. 2, pp. 940-946, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.2.940>

**송 기 혁(Ki-Hyeok Song)** [정회원]



- 2015년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 박사과정

<관심분야>  
정밀가공, 금형

**양 지 경(Ji-Kyung Yang)** [정회원]



- 2010년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 박사과정

<관심분야>  
연삭, 정밀가공, 금형부품

**이 인 철(In-Cheol Lee)** [정회원]



- 2009년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 박사과정

<관심분야>  
가공, 자동화 생산 시스템

**강 동 성(Dong-Seong Kang)** [정회원]



- 2015년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 대학원 박사과정

<관심분야>  
연마, 마이크로 생산 시스템

**한 봉 석(Bong-Seok Han)** [정회원]



- 2017년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 박사과정

<관심분야>  
생산 자동화, 정밀 가공

**한 유 진(Yu-Jin Han)** [정회원]



- 2017년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 박사과정

<관심분야>  
마이크로 생산 시스템, 연삭

이 정 우(Jung-Woo Lee)

[정회원]



- 2007년 8월 : 숭실사이버대학교 벤  
치경영학과 (학사)
- 2004년 7월 ~ 현재 : (주) 위시스  
대표이사

<관심분야>

자동화 생산설비, 정밀 가공