

# 고화소 카메라폰 모듈을 위한 Glass 렌즈 성형용 Silicon Carbide 코어의 초정밀 가공에 관한 연구

## A Study on Ultra Precision Grinding of Silicon Carbide Molding Core for High Pixel Camera Phone Module

김현욱<sup>1</sup>, 김정호<sup>2</sup>, H. Ohmori<sup>1</sup>, 곽태수<sup>3</sup>, 정상화<sup>4,✉</sup>  
Hyun Uk Kim<sup>1</sup>, Jeong Ho Kim<sup>2</sup>, Hitoshi Ohmori<sup>1</sup>, Tae Soo Kwak<sup>3</sup> and Shang Hwa Jeong<sup>4,✉</sup>

1 이화학연구소 (Materials Fabrication Laboratory, The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN))

2 한국광기술원 초정밀광학팀 (Korea Photonics Technology Institute, Ultra Precision Optics Team)

3 진주산업대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Jinju National University)

4 조선대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Chosun University)

✉ Corresponding author: shjeong@chosun.ac.kr, Tel: 062-230-7178

Manuscript received: 2009.6.22 / Revised: 2010.3.11 / Accepted: 2010.5.13

Recently, aspheric glass lens molding core is fabricated with tungsten carbide(WC). If molding core is fabricated with silicon carbide(SiC), SiC coating process, which must be carried out before the Diamond-Like Carbon(DLC) coating can be eliminated and thus, manufacturing time and cost can be reduced. Diamond Like Carbon(DLC) is being researched in various fields because of its high hardness, high elasticity, high durability, and chemical stability and is used extensively in several industrial fields. Especially, the DLC coating of the molding core surface used in the fabrication of a glass lens is an important technical field, which affects the improvement of the demolding performance between the lens and molding core during the molding process and the molding core lifetime. Because SiC is a material of high hardness and high brittleness, it can crack or chip during grinding. It is, however, widely used in many fields because of its superior mechanical properties. In this paper, the grinding condition for silicon carbide(SiC) was developed under the grinding condition of tungsten carbide. A silicon carbide molding core was fabricated under this grinding condition. The measurement results of the SiC molding core were as follows: PV of 0.155  $\mu\text{m}$ (aspheric surface) and 0.094  $\mu\text{m}$ (plane surface), Ra of 5.3 nm(aspheric surface) and 5.5 nm(plane surface).

Key Words: Silicon Carbide (실리콘 카바이드), Ultra Precision Grinding (초정밀 연삭), Form Accuracy (형상 정밀도), Surface Roughness (표면 조도)

### 1. 서론

최근 카메라폰 및 디지털 카메라등의 정밀 광학기는 광학 부품의 고정밀도화, 소형경량화 그리고 고기능화가 필수적으로 요구되고 있음은 물론 구면 및 플라스틱 렌즈만으로는 요구되는 광학

적 성능구현이 어렵기 때문에 비구면 Glass 렌즈에 대한 요구가 증가하고 있다. 이러한 비구면 Glass 렌즈의 제작방법에는 초경합금 소재의 성형용 코어를 사용하여 고온압축 성형하는 방법과 구면 Glass 렌즈의 연삭을 통하여 직접 가공하는 방법이 있다. 최근에는 생산단가의 감소와 대량생산을 위

하여 성형용 코어를 활용한 고온압축 성형방식이 적용되는 추세이다.<sup>1-5</sup>

비구면 Glass 렌즈 성형용 금형코어로서 초경 합금(WC; Tungsten carbide)이 가장 많이 사용되고 있으며, 초정밀 연삭가공에 의해 가공되어진다. DLC 코팅은 고경도, 고탄성, 내마모성, 화학적 안정성을 가지기 때문에 다양한 분야에서 적용되고 있다.<sup>6,7</sup> 특히, 성형용 코어의 수명향상과 렌즈와의 이형성 향상을 위해 사용되는 코팅방법이다. Glass 렌즈 성형에서 Silicon Carbide(SiC)를 이용하여 성형용 코어를 제작한다면, DLC 코팅과정에서 SiC 층을 형성시키는 과정을 생략할 수 있다. 따라서, 제작공정의 간소화로 시간 및 비용을 감소시킬 수 있다. SiC 는 매우 우수한 기계적 특성을 가지고 있으나 고경도, 고취성 재료이기 때문에 연삭가공시 크랙이나 치핑이 발생하기 쉬워 고경도 가공이 어려운 단점이 있다.<sup>8</sup>

본 논문에서는 우수한 기계적 특성을 가진 SiC 를 사용하여 비구면 성형용 코어를 제작하였다. 가공조건의 변화를 통하여 SiC 성형용 코어의 연삭가공조건을 규명하였다. 또한, 규명된 연삭가공 조건을 활용하여 비구면 Glass 렌즈 성형용 SiC 코어를 초정밀 연삭가공하였다.

## 2 실험장비 및 실험방법

### 2.1 실험장비

본 연구에서는 초경합금을 연삭가공 할 때 초정밀 가공기 (Japan, Nachi Co., ASP01)를 사용하여 실험을 수행하였다. 초정밀 가공기는 2 개의 유정압 슬라이드(X, Z 축)가 직교 형태를 이루며 구동하는 5 축 가공기로서 유정압 베어링에 의해 구동되는 B 축 Rotary Table 에 공기 터빈 스피들이 장착되어 소구경 코어연삭이 가능한 초정밀 가공기이다. 안내면의 위치정밀도는 1 nm 의 성능을 가지며, 최대 가공직경 150 mm 까지의 공작물 가공이 가능하다. 안내면의 구동은 AC servo motor 에 의해 구동된다. 초정밀 가공기는 크린룸(Class 10,000)의 항온실 내에 설치되어져 환경온도를 22±1℃로 일정하게 유지하고 진동에 의한 영향을 피하기 위하여 특수 설계된 제진대 위에 설치하였다. 또한, 가공된 SiC 성형용 코어의 표면조도(Ra)를 측정하기 위하여 초정밀 자유곡면 3-D 형상측정기 (Japan, Panasonic Co., UA3P)와 3 차원 표면조도 측정기 (USA, Zago Co., NewView5000)를 사용하였다.

Fig. 1 과 Fig. 2 는 본 연구에 사용된 초정밀 가공기와 초정밀 자유곡면 3-D 형상측정기를 각각 나타낸다.

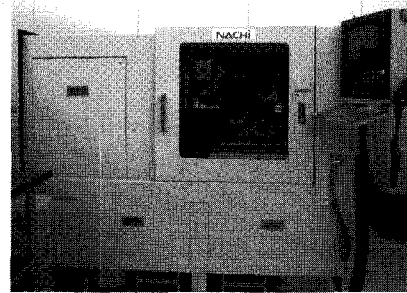


Fig. 1 Microlens Process Machine (Japan, Nachi Co., ASP01)

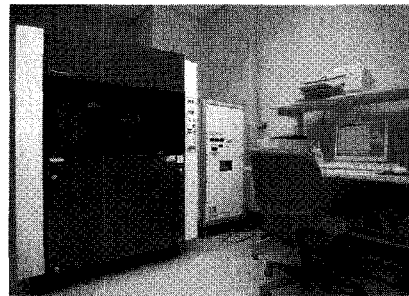


Fig. 2 Ultra Precision Non-axisymmetric Aspheric Generator (Japan, Panasonic Co., UA3P)

### 2.2 실험방법

본 연구에서는 축 대칭 비구면 가공법의 하나인 한 점 평행축 (Single point Parallel) 연삭법을 사용하였다. 평행축 연삭법은 현재 많이 사용되고 있는 수직축 (Cross) 연삭법이나 경사 크로스 (Slant Cross) 연삭법에 비해 가공 효율과 가공정밀도가 향상된 가공방법이다. Fig. 3 에 나타난 바와

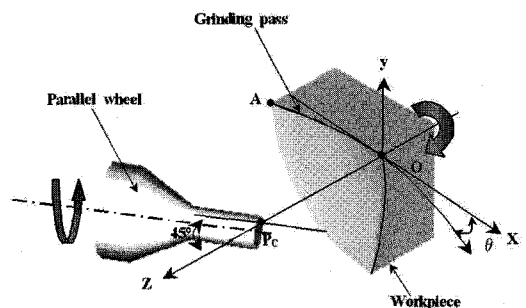


Fig. 3 Single point parallel grinding method

같이 다이아몬드 휠과 공작물이 평형을 이루며, X, Z, B 축의 3 축 동시제어에 의한 연삭경로를 따라 가공된다. 연삭점에 있어서 공작물의 중심축과 다이아몬드 휠의 주축 벡터가 평행하는 것이 이 방식의 특성이다.

본 연구에서 사용한 SiC는 상압소결 SiC를 사용하였다. 경도는 HV2600, 압축강도는 4900 Mpa를 가진다, 특히, 최고사용온도가 1400 도로 고온에서 사용가능하므로 Glass 렌즈 성형용 코어로 사용하면 고온에서 Glass 렌즈를 성형할 수 있는 장점을 가진다. SiC의 초정밀 연삭특성을 파악하기 위하여 다이아몬드 휠 #2000, #5000 및 #8000을 사용하여 연삭가공을 수행하였다. 연삭조건은 초경합금의 최적가공조건을 규명하는 과정에서 연삭주축의 회전수와 공작물의 회전수는 35,000 rpm 과 350 rpm 을 얻었고 각각의 조건이 표면도도에는 큰 영향이 없다는 것을 알았다. 초경합금과 SiC가 가공경도가 HV2400 과 HV2600 으로 비슷한 가공경도를 가지므로 위의 결과를 SiC 연삭실험에 사용하였다. 또한, 이송속도와 연삭깊이가 표면조도에 가장 큰 영향을 미치는 것을 실험을 통하여 알았다.<sup>9-11</sup> 따라서, SiC 성형용 코어의 연삭가공조건을 규명하기 위하여 이송속도와 연삭깊이를 변화시키면서 연삭가공을 수행하여 이송속도와 연삭깊이가 표면조도에 미치는 영향을 평가하였다. 또한, 다이아몬드 휠 메쉬의 변화가 표면조도에 미치는 영향을 평가하였다.

실험에서 구한 연삭조건을 활용하여 고화소 카메라폰 모듈용 비구면 Glass 렌즈 성형용 SiC 코어

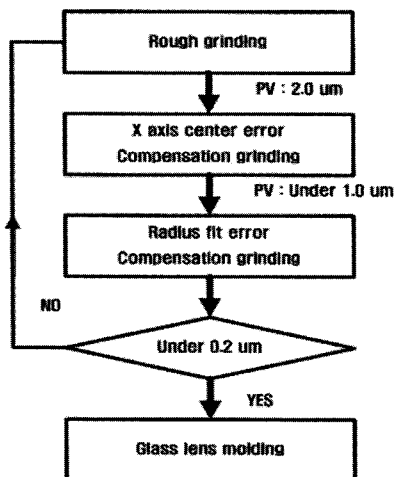


Fig. 4 Grinding process of molding core

를 연삭가공하였다. 비구면 Glass 렌즈 성형용 SiC 코어는 한 면의 비구면 코어와 한 면의 평면 코어로 구성이 되어 있다. 비구면 성형용 코어의 가공은 공구좌표 생성, 비구면 가공 및 측정, 보정가공으로 구분된다. 비구면 성형용 코어의 가공 경로는 비구면 렌즈 식에서 구한다. 구해진 경로를 NC 코드화하여 CNC 제어로 연삭가공을 수행하고 측정, X 축 에러 보정가공 및 R fit error 보정가공을 통하여 원하는 형상정도를 얻는다. Fig. 4는 보정가공 순서를 나타낸다.

### 3 실험결과

#### 3.1 이송속도가 표면조도에 미치는 영향

이송속도가 표면조도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 연삭주축의 회전수 (35,000 rpm), 공작물의 회전수 (350 rpm) 및 연삭깊이 (0.3 μm) 를 고정하고 이송속도를 0.5 mm/min, 0.3 mm/min, 0.1 mm/min 으로 변화시켜 초정밀 연삭가공 후 표면조도를 측정하였다. 표면조도 측정결과 치평현상에 의해 부분적으로 표면에 급격한 변화가 나타나는 것을 확인하였고, 이송속도가 감소할수록 치평현

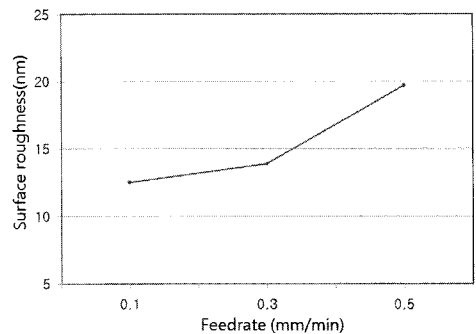


Fig. 5 Surface roughness variation according to feedrate

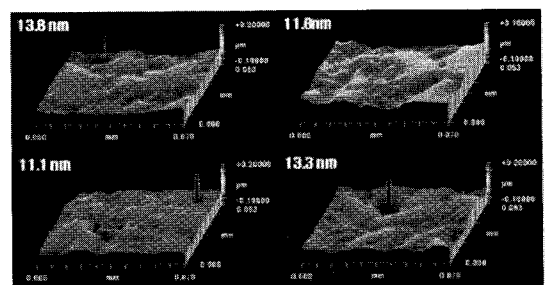


Fig. 6 Surface roughness according to feedrate 0.1mm/min (chipping phenomena)

상이 줄어들고 더불어 표면조도가 향상되는 것을 알았다. 치핑 현상은 성형용 SiC 코어가 취성재료로써 난삭재임을 나타내는 결과이다. Fig. 5 와 Fig. 6 은 이송속도에 따른 표면조도의 변화와 이송속도 0.1 mm/min 으로 가공했을 때 치핑 현상을 각각 나타낸다.

**3.2 연삭깊이가 표면조도에 미치는 영향**

연삭깊이가 표면조도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 연삭주축의 회전수 (35,000 rpm), 공작물의 회전수 (350 rpm) 및 이송속도 (0.1 mm/min) 를 고정하고 연삭깊이를 0.5 μm, 0.3 μm, 0.1 μm로 변화시켜 초정밀 연삭가공 후 표면조도를 측정하였다.

표면조도 측정결과 치핑현상에 의해 부분적으로 표면에 급격한 변화가 나타나는 것을 확인하였고, 연삭깊이가 감소할수록 치핑현상이 줄어들고 더불어 표면조도가 향상되는 것을 알았다. Fig. 7 은 연삭깊이에 따른 표면조도의 변화를 각각 나타낸다.

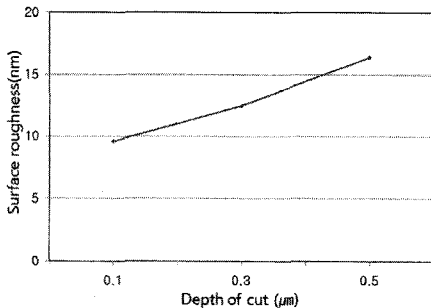


Fig. 7 Surface roughness variation according to depth of cut

**3.3 다이아몬드 휠 메쉬가 표면조도에 미치는 영향**

다이아몬드 휠 메쉬가 표면조도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 연삭주축의 회전수 (35,000 rpm), 공작물의 회전수 (350 rpm), 이송속도 (0.1 mm/min), 그리고, 연삭깊이 (0.1 μm) 를 고정시키고 다이아몬드 휠을 #2000, #5000, #8000 으로 변화시켜 초정밀 연삭가공 후 표면조도를 측정하였다.

표면조도 측정결과와 다이아몬드 휠 메쉬가 클수록 표면조도가 향상되는 것을 알았다. Fig. 8 은 다이아몬드 휠 메쉬에 따른 표면조도를 나타낸다. Table 1 은 이송속도, 연삭깊이 및 다이아몬드 휠 메쉬가 표면조도에 미치는 영향을 평가한 후 얻은

SiC 성형용 코어의 초정밀 연삭가공조건을 나타낸다.

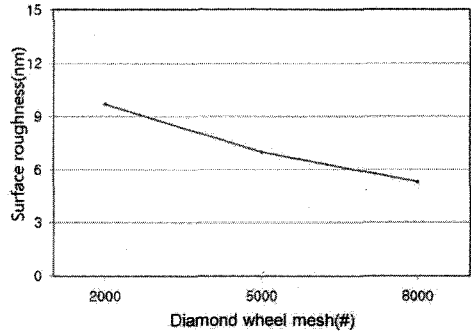


Fig. 8 Surface roughness variation according to diamond wheel mesh

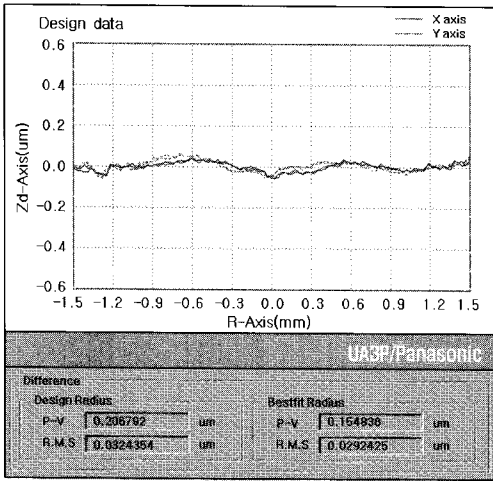
Table 1 Grinding conditions of SiC molding core

Diamond wheel	#8,000, D 2.0 mm, resin bond			
Grinding condition	Turbine spindle speed(rpm)	Work spindle speed(rpm)	Depth of cut(um)	Feedrate (mm/min)
Finish grinding	35,000	350	0.1	0.1

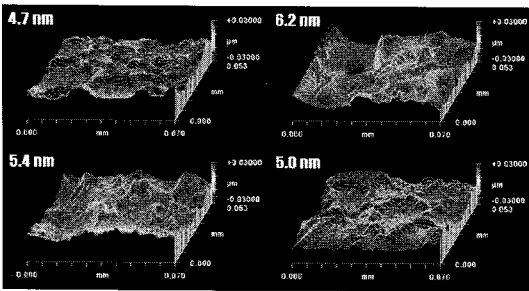
**3.4 Silicon Carbide 성형용 코어 초정밀 연삭가공**

일반적으로 비구면 Glass 렌즈 성형용 코어는 형상정도 0.3 μm, 표면조도 0.03 μm이하의 성능이 요구된다. 본 연구에서는 고화소 카메라폰 모듈용 비구면 Glass 렌즈 성형용 SiC 코어로써 형상정도 0.2 μm, 표면조도 0.01 μm이하의 가공정도를 위하여 초정밀 연삭가공을 수행하였다. Table 1 에 나타낸 연삭조건을 활용하여 비구면 Glass 렌즈 성형용 SiC 코어를 초정밀 연삭가공하였다.

초정밀 연삭가공결과 유효경 3.3 mm 의 범위에서 형상정도는 0.155 μm(비구면)와 0.094 μm(평면), 표면조도는 5.3 nm(비구면)와 5.5 nm(평면) 결과를 얻었다. 가공된 결과는 비구면 Glass 렌즈 성형용 코어의 규격을 충분히 만족함을 알 수 있다. 또한, 그림 9 에 나타난 바와 같이 성형용 코어 표면에 칩핑현상도 없는 것을 알 수 있었다. Fig. 9 와 Fig. 10 은 초정밀 연삭가공된 성형용 코어(비구면)의 측정결과와 비구면 SiC 성형용 코어를 각각 나타낸다.



(a) Form accuracy of aspheric molding core



(b) Surface roughness of aspheric molding core

Fig. 9 Measurement result of aspheric molding core

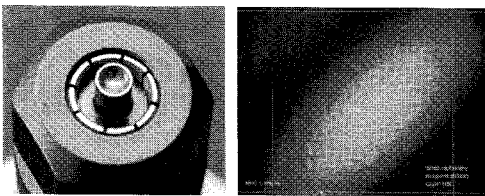


Fig. 10 Photograph of aspheric SiC molding core and ground surface

#### 4. 결론

본 연구에서는 고화소 카메라폰 모듈용 비구면 Glass 렌즈 개발을 목적으로 초정밀 연삭가공기를 이용하여 SiC 성형용 코어의 초정밀 연삭가공을 수행하였다.

초경합금 성형용 코어 가공의 선행 실험을 바탕으로 SiC 성형용 코어를 레진 본드 다이아몬드 휠을 사용한 평행축 연삭법으로 연삭조건과 가공 표면에 작은 손상을 주는 연삭조건을 구하였다.

또한, 비구면 Glass 렌즈 설계를 기초로 NA-CAM 소프트웨어에 의한 NC 프로그램의 생성, 초정밀 연삭가공, 비구면 형상측정기를 활용한 측정 평가에 의한 형상 보정가공으로 비구면 Glass 렌즈 성형용 SiC 코어를 제작하였다.

SiC 소재의 가공조건은 레진 본드 다이아몬드 휠로 공작물의 회전속도 350 rpm, 연삭주축의 회전속도 35000 rpm, 이송속도 0.1 mm/min, 연삭 깊이 0.1 μm 일 때 표면거칠기 Ra 5.3 nm 로 우수하였다.

초정밀 연삭가공결과 유효경 3.3 mm 에서 형상정도(PV)는 0.155 μm (비구면)와 0.094 μm (평면), 표면조도(Ra)는 5.3 nm(비구면)와 5.5 nm(평면) 결과를 얻었다. 이 결과는 비구면 Glass 렌즈 성형용 코어의 설계 규격에 만족한 값이며 제작된 SiC 성형용 코어는 비구면 Glass 렌즈 성형용 코어로 유효할 것으로 사료된다.

#### 후 기

이 논문은 2008 년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임.[KRF-2008-357-D00012]

#### 참고문헌

- Chen, M. J., Li, D. and Dong, S., "Research on a large depth-to-diameter ratio ultra-precision aspheric grinding system," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 129, No. 1-3, pp. 91-95, 2002.
- Hyun, D. H. and Lee, S. J., "A Study on Grinding Characteristics of Aspherical Glass Lens Core of High-pixel Digital Camera in Diamond Grinding Process," Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 12, No. 2, pp. 31-36, 2003.
- Kim, H. T., Yang, H. J. and Kim, S. C., "Control Method for the Tool Path in Aspherical Surface Grinding and Polishing," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 7, No. 4, pp. 51-56, 2006.
- Lee, J. S., Saeki, N., Kuriyagawa, T. and Syoji, K., "A Study on the Mirror Grinding for Mold of a Small Aspherical Lens," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 4, No. 3, pp. 48-54, 2003.

5. Huang, H., Chen, W. K. and Kuriyagawa, T., "Profile error compensation approaches for parallel nanogrinding of aspherical mould inserts," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 47, No. 15, pp. 2237-2245, 2007.
6. Kim, H. U., Jeong, S. H., Park, Y. P., Kim, S. S., Kim, H. H. and Kim, J. H., "DLC Coating Effect of WC Mold Surface for Glass Molding Lens," *The Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, Vol. 19, No. 11, pp. 1050-1053, 2006.
7. Kim, H. U., Cha, D. H., Lee, D. K., Kim, S. S., Kim, H. J. and Kim, J. H., "Coating Effect of Molding Core Surface by DLC and Re-Ir Coating," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 26, No. 1, pp. 51-56, 2009.
8. Suzuki, H., Kodera, S., Nakasuji, T., Ohta, T. and Syoji, K., "Precision Grinding of Aspherical CVD-SiC Molding Die," *International Journal of Japan Society for Precision Engineering*, Vol. 32, No. 1, pp. 25-30, 1998.
9. Lee, E. S. and Baek, S. Y., "A study on optimum grinding factors for aspheric convex surface micro-lens using desing of experiments," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 47, No. 3-4, pp. 509-520, 2007.
10. Kim, H. U., Jeong, S. H., Ahn, J. H., Cha, D. H., Lee, D. K., Kim, S. S., Kim, H. J. and Kim, J. H., "Optimal Grinding Condition of Tungsten Carbide(WC) for Aspheric Glass Lens Using DOE," *Journal of the Korean Socidty of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 5, No. 4, pp. 41-45, 2006.
11. Kim, H. U., Jeong, S. H., Lee, D. K., Kim, S. S., Kim, H. J. and Kim, J. H., "A Study on Improvement of WC Core Surface Roughness by Feedrate Control," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 26, No. 1, pp. 57-62, 2009.