

◆ 특집 ◆ 차세대 하이브리드 연삭 시스템 개발

## 자동차 크랭크샤프트 멀티 연삭시스템 개발에 관한 연구

### A Study on the Development of Multi Grinding Machine for Automotive Crankshaft

최윤서<sup>1</sup>, 박휘근<sup>1</sup>, 황인환<sup>1</sup>, 조현택<sup>2</sup>, 송순태<sup>2</sup>, 최준석<sup>3</sup>, 이남두<sup>3</sup>, 이종찬<sup>1,✉</sup>  
Yun Seo Choi<sup>1</sup>, Hwi Keun Park<sup>1</sup>, In Hwan Hwang<sup>1</sup>, Hyun Taek Cho<sup>2</sup>, Soon Tae Song<sup>1</sup>, Jun Seok Choi<sup>3</sup>,  
Nam Doo Lee<sup>3</sup>, and Jong Chan Lee<sup>1,✉</sup>

1 금오공과대학교 기계설계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Kumoh Univ.)

2 ㈜에스케이엠 (SKEM.)

3 (주)현대자동차 (Hyundai Motor Company)

✉ Corresponding author: jcleee@kumoh.ac.kr, Tel: +82-54-478-7372

Manuscript received: 2013.9.30 / Accepted: 2013.10.16

*A Crankshaft Multi Grinding Machine is developed for manufacturing of high precision crankshaft. The grinding head part of the developed machine should be moved precisely during grinding of work materials. In this paper, structural and modal analysis for the crankshaft multi grinding machine is carried out to check the design criteria of the machine.*

Key Words: Crankshaft (크랭크축), Multi Grinding Machine (멀티연삭기), Wheel Head (지석대), Structural analysis (구조 해석), Modal analysis (모달해석)

#### 1. 서론

공작기계는 기계를 만드는 기계로써 국가산업 발전의 기초가 되는 동시에 산업발전을 주도하는 핵심 첨단 기간설비이다. 공작기계를 생산하기 위해서는 여러 가지 기술, 예를 들어 설계기술, 가공 기술, 제어기술 등과 같은 고도의 전문기술이 복합적으로 요구된다. 이러한 공작기계중 연삭기는 제품의 마지막 가공 공정을 담당하는 기계로, 제품의 품질에 많은 영향을 미친다.

산업기술의 발달에 기인하여 각종 첨단 제품들이 개발되면서 기계 부품의 정밀가공에 대한 수요가 증가하고 있다. 이러한 기계 가공품의 공정밀화 추세에 따라 연삭 가공 기술도 빠르게 발전하고 있다. 절삭가공 기계들이 고속화 및 고정밀화 되어가면서 과거의 연삭가공을 대체하는 경우도 많이 발생하고 있으나 다른 한편으로는 제품의 고

정밀화 요구에 따라 연삭가공의 수요가 늘어나고 있으며 높은 생산성과 고정밀, 고품위 연삭표면을 동시에 요구하고 있다.

특히 Crankshaft는 직선운동을 회전운동으로 전달하여 자동차의 동력을 제공하는 엔진의 주요 부품으로서 높은 정밀도와 표면품위를 요구한다.

이러한 Crankshaft 연삭의 경우에는 가공면의 형상이 복잡하고, 완전한 원의 형상이 아니므로 연삭기의 연삭숫돌 주축과 공작물 회전축의 회전 정밀도 그리고 지석 이송축의 이송 정밀도에 의하여 가공품의 정밀도가 크게 영향을 받게 된다. 이러한 이유로 Crankshaft 연삭기는 연삭 휠 주축도의 고속화와 더불어 지석대 이송의 높은 가속도에 대응하기 위해 베드 등의 구조체 강성을 원통연삭기와 비교하여 현저히 높일 필요성이 있다.<sup>1,2</sup>

본 연구에서는 Crankshaft를 정밀하게 연삭할 수 있는 멀티 연삭기의 개발을 위해 CBN 숫돌을



Fig. 1 Crankshaft grinding machine

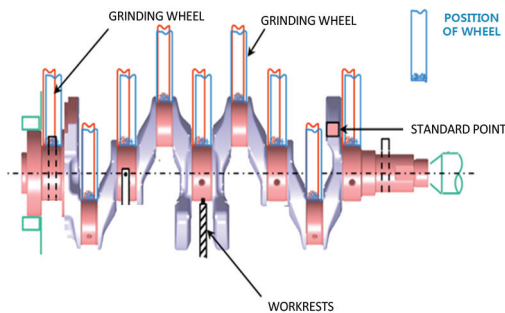


Fig. 2 Process of crankshaft manufacture

이용한 원통연삭 기초실험으로 가공특성을 분석하고 구조 설계 및 해석, 모달해석을 통한 연삭시스템의 구조적 특성 분석을 목표로 하였다.

위의 Fig. 1은 Crankshaft Grinding Machine을 보여주며, Fig. 2는 Crankshaft 제조공정을 보여준다

## 2. CBN 원통연삭 기초실험

### 2.1 개요

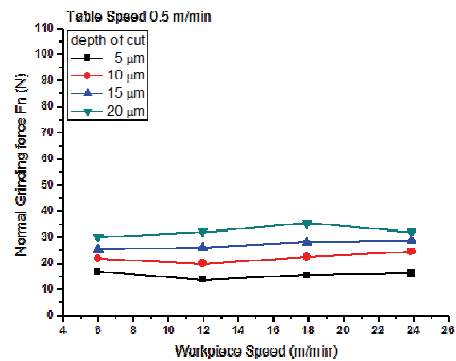
본 연구에서는 CBN숫돌을 장착한 원통연삭기로 SCM415 시편을 연삭하는 실험을 통해 연삭 가공의 변수인자들이 미치는 영향을 연구하고 그에 따른 표면거칠기와 연삭저항을 측정하여 비교, 고찰하고자 한다.

### 2.2 실험장치 및 방법

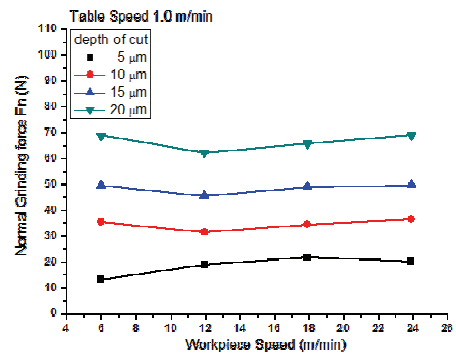
본 실험에서 사용한 연삭기는 GUP32×50 모델로 유정압 베어링을 장착하여 휠을 구동시키는 장비를 사용하였다.

Table 1 Experimental conditions

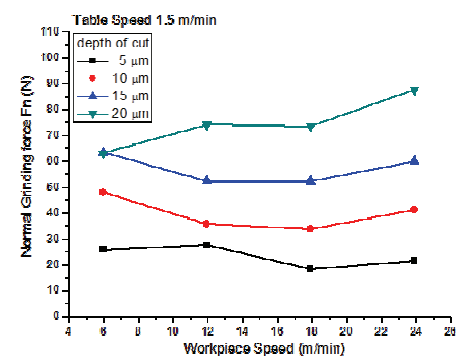
Grinding Machine	Cylindrical grinding machine
Workpiece	SCM415
Workpiece speed	6, 12, 18, 24 m/min
Wheel dia.	Ø305 mm
Wheel speed	1,790rpm (28.6m/s)
Table speed	0.5, 1.0, 1.5 m/min
Depth of cut	5, 10, 15, 20 $\mu\text{m}$



(a) Table Speed 0.5m/min

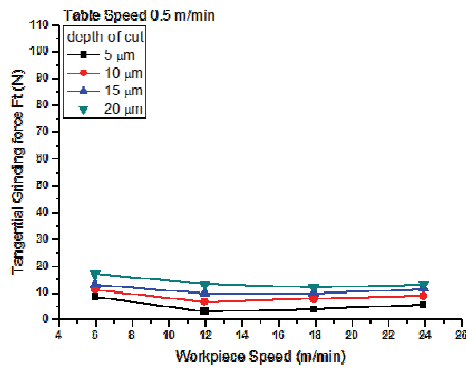


(b) Table Speed 1.0m/min

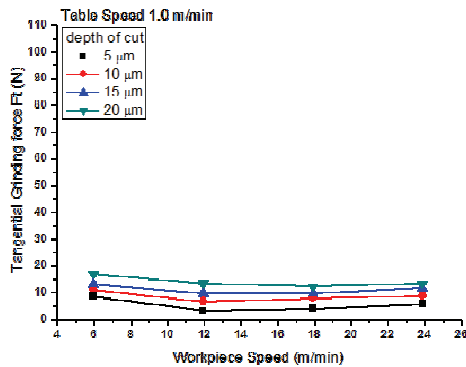


(c) Table Speed 1.5m/min

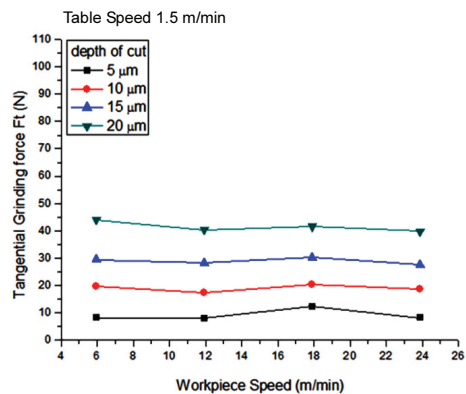
Fig. 3 Normal Grinding force versus Workpiece speed & depth of cut



(a) Table Speed 0.5m/min



(b) Table Speed 1.0m/min



(c) Table Speed 1.5m/min

Fig. 4 Tangential Grinding force versus Workpiece speed & depth of cut

연삭저항력 측정 장치로는 Kistler사의 압전형 공구동력계(Piezo-electric tool dynamometer), 다채널 증폭기(Multichannel charge amplifier), 아날로그-디지털 변환기(Analog-digital Converter), Grinding Force Software가 내장된 개인용 컴퓨터(PC)로 구성되어 사용하였다.

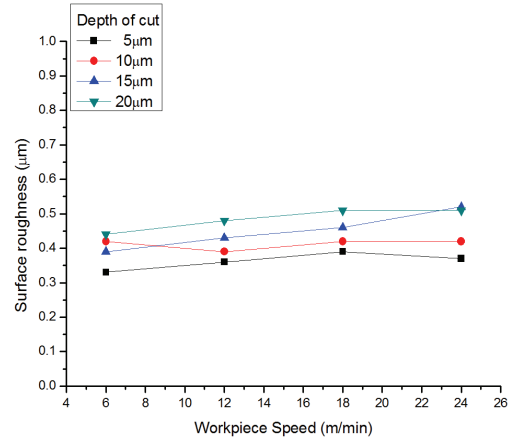


Fig. 5 Normal Grinding force versus Workpiece speed & depth of cut

실험은 SCM415의 가공물을 트레이스 이송속도, 연삭 깊이, 가공물의 주속도를 변화시켜 연삭저항을 측정하였는데, 측정값의 오차를 줄이기 위해 똑같은 조건에서 실험을 8회씩 실시하여 평균값을 연삭저항 값으로 정하였다. Table 1은 실험 조건을 나타낸다.

### 2.3 실험결과 및 고찰

SCM415 연삭가공에 있어서 일정한 휠 주속도에서 절입깊이, 테이블 이송속도, 공작물 주속도의 변화에 따른 연삭저항( $F_n, F_t$ )의 변화를 알아보았다.

Fig. 3, 4를 보면 절입 깊이가 증가함에 따라 테이블 이송속도가 0.5 m/min일 때 연삭저항( $F_n, F_t$ ) 값의 변화가 적은 반면 1 m/min, 1.5 m/min일 때 변화 폭이 더 커지는 경향을 보이고 있다. 그리고 동일한 절입 깊이에서 공작물 주속도 변화에 따른 연삭저항( $F_n, F_t$ )값의 변화가 적은 경향을 보이고 있다.

Fig. 5를 보면 공작물의 주속도, 절입 깊이가 증가함에 따라 공작물 표면이 거칠어지는 경향을 보이나 변화 값이 미세하여 CBN 슛돌을 이용한 SCM415의 연삭 가공에서 공작물의 표면 거칠기는 공작물 주속도와 절입 깊이에 그다지 큰 영향을 받지 않는 것으로 확인되었다.

## 3. 멀티 연삭시스템의 구조해석

### 3.1 개요

본 연구에서는 Crankshaft를 정밀하게 연삭할 수 있는 멀티 연삭기의 개발을 위해 구조 설계 및

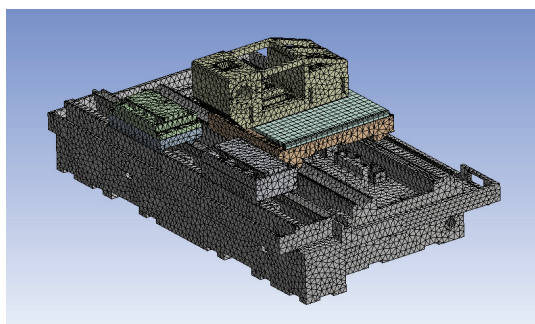


Fig. 6 A Modeling of Multi Grinding

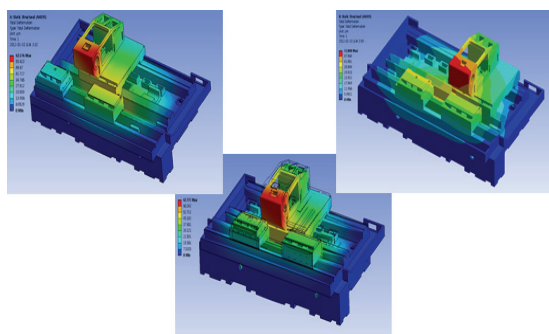


Fig. 7 Result of Structural analysis

해석과 모달해석을 통한 연삭시스템의 구조적 특성 분석을 목표로 하였다.

### 3.2 구조설계 및 해석

Crankshaft의 고정밀 연삭가공을 실현하기 위해서는 고속회전 중에도 진동 특성이 우수하며, 높은 회전 정밀도를 유지하도록 충분한 강성을 가진 베드와 지석대가 필요하다.

Crankshaft Multi Grinding Machine의 구조적 특성과 동특성을 분석하기 위해 Inventor2012를 이용하여 모델링을 실시하였으며, 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS Workbench V12.1을 사용하였다.

Bed의 위치별 변위해석 결과 중앙 편중 시 지석대 부분에서 최대 67.77 $\mu$ m 발생하였고, Table의 위치별 응력해석 결과 우 편중 Z1축 리브 부분에서 최대 6.91 MPa 발생하였다.

### 3.3 고유진동수 해석

Modal해석 결과 1차 Mode는 117.5 Hz의 Z1축과 Z2축의 전후 진동이 발생하는 것으로 나타났다.

Table 2는 각 Mode에서 Modal해석 결과를 정리한 것이고 Fig. 8과 같이 나타났다.

Table 2 Results of Modal analysis

Mode Number	Natural Frequency(Hz)
1'st	117.5
2'nd	177.9
3'rd	209.7
4'th	238.2

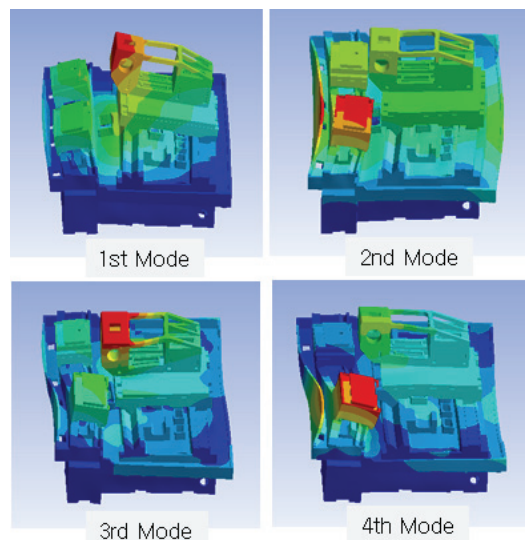


Fig. 8 Result of Modal analysis

## 4. 결론

본 연구에서 실시한 CBN 슛돌을 이용한 SCM415의 원통연삭실험과 구조해석 및 Modal 해석의 결과는 다음과 같다.

1. SCM415의 표면거칠기는 공작물의 주속도, 절입깊이가 증가함에 따라 표면이 거칠어지는 경향을 보이나, 변화량이 미세하여 그다지 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

2. 동일한 테이블 이송속도, 절입깊이에서 공작물 주속도의 변화에 따른 연삭 저항값의 차이가 적은 반면, 동일한 공작물 주속도, 절입깊이에서는 테이블 이송속도의 변화에 따라 연삭저항값의 변화폭이 커짐을 알 수 있었다. 이는 연삭량이 많을 때는 공작물 주속도를 변화시키고, 연삭량이 적을 때는 테이블 이송속도를 변화시키는 것이 효율적이라는 것을 보여준다.

3. 연삭기의 변위량이 67.77 $\mu$ m로 요구되는 가공 정밀도에 비하여 많은 변위량이 발생되므로 추후 연삭가공에 영향을 미칠 것으로 판단되며, 추후

보정이 필요할 것으로 사료된다.

4. 연삭기에 발생하는 응력은 항복강도에 견주어 장비의 응력 발생을 계산한 결과 안전율 10이상으로 연삭기의 안정성에 문제가 없을 것으로 사료된다.

5. Modal analysis를 통해 공진에 대한 분석을 진행한 결과 연삭기의 주축의 회전속도가 공진영역 밖에 포진하고 있어서 공진가능성은 낮은 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 산업통상자원부 산업원천기술개발사업의 “차세대 하이브리드 연삭시스템 개발” 과제로 수행되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Ko, T. J., Kim, W. I., Kim, H. S., Park, D. S., Lee, J. C., and Cho, M. W., “Machine Tools for the 21st Century,” Munundang, pp. 12-32, 2004.
2. Won, J. H., Kim, G. H., Park, W. K., An, B. M., Park, S. S., and et al., “Grinding Characteristics of Resinoid bond CBN Grinding Wheel,” Proc. of KSPE Autumn Conference, pp. 870-874, 2001.
3. Kim, W. J., Lee, C. S., Chae, S. S., Kim, T. S., Lee, S. M., and et al., “Structural Analysis of CNC Micro Center,” Proc. of the KSMPE Spring Conference, pp. 239-244, 2009.
4. Lee, C. M. and Lim, S. H., “A Study on the Structural and Modal Analysis of Cam Profile CNC Grinding Machine,” Proc. of the KSME Spring Annual Meeting, pp. 1002-1007, 2005.
5. Lee, T. H. and Choi, J. W., “Structural Analysis on Horizontal CNC Lathe,” Journal of Manufacturing Engineering & Technology Vol. 20, No. 3, pp. 298-303, 2011.