

## FTS를 이용한 나노표면개질공정의 공정변화와 소재에 따른 표면특성

김미루<sup>a</sup>, 이득우<sup>b\*</sup>, 이승준<sup>c</sup>, Li Liang<sup>a</sup>, 김종만<sup>d</sup>, 장남수<sup>a</sup>Surface Characteristics based on Material and Process Changes in  
Surface Treatment using Fast Tool ServoMi Ru Kim<sup>a</sup>, Deug Woo Lee<sup>b\*</sup>, Seung Jun Lee<sup>c</sup>, Li Liang<sup>a</sup>, Jong Man Kim<sup>d</sup>, Nam-Su Jang<sup>a</sup><sup>a</sup> Department of Nano Fusion Technology, Pusan National University,  
1268-50, Samnagjin-ro, Samnagjin-eup, Miryang, Gyeongnam-do, 50463, Korea<sup>b</sup> Department of Nanomechatronics Engineering, Pusan National University,  
1268-50, Samnagjin-ro, Samnagjin-eup, Miryang, Gyeongnam-do, 50463, Korea<sup>c</sup> Interdisciplinary Department for Innovative Manufacturing Engineering, Pusan National University,  
2, Busandaehak-ro 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan 46241, Korea<sup>d</sup> Department of Nano Energy Engineering, Pusan National University,  
1268-50, Samnagjin-ro, Samnagjin-eup, Miryang, Gyeongnam-do, 50463, Korea

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received	30	July	2015
Revised	30	September	2015
Accepted	18	November	2015

## Keywords:

Fast tool servo  
UNSM technology  
Surface treatment  
Surface characteristics  
Eco technology

## ABSTRACT

A treatment for improving the characteristics of a surface is very important in increasing the life of machine parts. Many studies have been carried out on the surface characteristics after such treatments. For enhanced eco-technology, an alternative to a conventional chemical surface treatment process is essential. Ultrasonic nano-crystal surface modification (UNSM) technology is a physical environmentally friendly surface treatment method. This technology was developed in domestic and currently being used. As the mechanism of UNSM technology, a ball tip attached to an ultrasonic vibration device strikes the metal surface at nearly 20,000 times per second. The resulting modified surface layer improves the surface characteristics. This paper describes a self-developed fast tool servo system applied to the UNSM process as a vibration module within a high-frequency bandwidth. After describing the surface modification process based on the material and process changes, the surface characteristics are compared.

## 1. 서론

최근 사용되는 기계재료 및 부품들은 고속, 고하중에서 사용되거나 정밀도를 위해 연삭 또는 연마급의 표면거칠기와 형상을 요구하는 경우가 많다. 따라서 표면 경도향상, 표면의 거칠기 향상,

내피로성 및 내마모성 증가, 마이크로 패턴 적용으로 인한 마찰저감 등 표면의 성질을 향상시켜 기계부품의 내구성 및 수명을 증가시키는 표면처리 작업은 오래 전부터 각종 산업계에서 중요시되는 핵심 기술로써 많은 연구들이 진행되고 있다<sup>[1-3]</sup>. 이러한 표면처리법 중에서는 크게 화학적, 열적 표면처리법과 물리적 표면처

\* Corresponding author. Tel.: +82-51-510-3129

Fax: +82-55-510-3129

E-mail address: dwoolee@pusan.ac.kr (Deug Woo Lee).

리법이 있는데, 화학적 또는 열적 처리법의 경우 도금처리법, 화학적 침식에 의한 침탄법, 질화법, 템퍼링과 같은 열처리 등이 있다. 이러한 표면처리 공정의 기술은 대부분 생산성 향상이나 비용절감, 품질향상 등이 우선적으로 고려되었으나 최근에는 green manufacturing 및 친환경 산업에 대한 필요성이 강조되고 있으므로 친환경을 위한 추가설비로 인해 생산비용이 오히려 높아지고 있는 편이며 여전히 화학적 처리로 인한 환경오염 문제가 대두될 수 있다. 이와 같은 이유로 인해 저비용의 친환경 설비의 개발의 필요성이 높아지고 있다. 화학적 또는 열적 처리가 아닌 물리적으로 표면을 경화시키는 대표적인 방법은 공구나 가공입자가 직접 가공품에 충격을 주거나 물리적인 힘을 가하는 방법이 있다. 이와 같은 방법으로 표면에 물리적인 힘으로 표면처리를 통해 표면특성을 향상시킬 수 있는 공정기술<sup>[3]</sup>은 대표적으로 오래전부터 사용해온 shot peening<sup>[4]</sup>과 더불어 독일의 deep rolling<sup>[5,6]</sup>, 미국의 laser shock peening<sup>[7]</sup>, low plasticity burnishing<sup>[8]</sup> 등이 있다. 이런 여러 기술들과 더불어 국내에서는 기계부품 표면의 물성을 향상시키기 위해 표면조직을 나노구조화를 시키면서 압축잔류응력을 부가, 경도향상, 표면거칠기, 내피로성 향상 등 초음파 에너지를 기반으로 하는 친환경 물리적 표면처리 공정인 ultrasonic nanocrystal surface modification (UNSM) 기술이 개발되어 응용 연구가 진행되고 있다<sup>[9]</sup>. 초음파 진동을 이용한 진동모듈은 표면의 물리적 및 기계적 특성 향상을 위한 표면처리뿐만 아니라 기능성 미세 패턴을 형성하기 위한 surface texturing 기술로도 널리 활용되고 있다. 이러한 초음파 진동모듈로써 대표적으로 상용화되어 사용되는 모듈은 fast tool servo(FTS)가 있고 이러한 상용제품을 벤치마킹하여 자체 FTS를 개발하였다<sup>[10,11]</sup>. 자체 개발된 진동모듈인 FTS를 응용한 고주파 표면개질 공정에 대한 연구는 S. J. Lee<sup>[10]</sup>에 의해 선행된 바 있다.

본 연구에서는 고주파 진동모듈을 이용한 표면개질 기술이 표면 특성 향상에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행되었으며, 가공 경로의 변수를 포함한 기존의 S. J. Lee의 선행 연구에서 고려되지 않은 진동모듈의 변위에 따른 표면을 타격하는 깊이변화에 의한 표면 특성 차이와 대상 소재의 변화에 따라 다르게 나타나는 표면 특성에 대해 알아보았다. 진동모듈로는 안정 주파수 4 kHz, 최대 5.6 kHz, 최대변위는 10~20  $\mu\text{m}$ 의 성능을 가지는 자체 개발된 FTS를 이용하여 고주파 표면개질 공정에 응용하였고, FTS 변위 조건에 따른 표면타격 시 실제 접촉 깊이와 기준시편에 따른 가공 경로를 공정변수로 두어 표면개질 공정을 적용하였다. 표면처리 대상 소재로는 부품산업에서 많이 쓰이는 STS304와 SKD61 두 가지를 사용하였고, 표면처리 후 표면 개질층의 형성에 따라 나타나는 표면특성을 분석하였다.

## 2. 초음파 나노 표면개질 메커니즘

### 2.1 초음파 나노 표면개질(UNSM) 기술

국내의 초음파나노표면개질(UNSM: ultrasonic nanocrystal surface modification) 기술은 20 kHz급의 초음파 진동에너지를 공구의 선단인 볼에 작용시켜 10~30  $\mu\text{m}$ 의 변위를 갖는 아주 큰 정적 및 동적 하중이 부가된 볼이 1초에 20,000번 이상의 타격을 금속 표면에 가해져 표면의 탄성변형 및 강소성을 발생시키고, 이로 인해 표층부의 조직을 나노결정 조직으로 개질함과 동시에 표면 경화, 표면거칠기 변화, 압축잔류응력 등을 부가하는 한국 특허 기술이다<sup>[12]</sup>.

### 2.2 고주파 영역에서 표면개질 기술의 평면가공 적용

UNSM 기술은 일반적으로 원통 및 원형소재의 회전가공에 적용이 되며 인가주파수, 공작물의 회전수, 가공속도, 가공경로에 따라 타격수가 결정된다<sup>[13]</sup>. 본 연구에서는 자체 개발된 진동모듈인 FTS system을 이용하여 고주파 영역에서 평면 가공에 UNSM 기술을 적용시켰다. 평면가공에서 단위 면적에 따른 표면 타격 수  $N$ 은 가공속도( $V$ )와 고주파 진동모듈의 주파수( $f$ ), 피치( $p$ )의 함수로 아래와 같이 정의된다.

$$N = \frac{f}{pV} \quad (1)$$

여기서,  $N$ 은 단위 면적 당 타격 수,  $f$ 는 인가 주파수,  $V$ 는 이동속도,  $p$ 는 가공 pitch이다.

## 3. 실험 방법

### 3.1 표면의 타격깊이에 따른 실험

고주파 진동을 이용한 표면개질 실험은 타격 깊이 변화에 따른 표면특성 및 형상 변화를 알아보기 위해 자체 개발한 FTS의 변위를 2가지로 나누어 타격 깊이를 다르게 하여 실험을 진행하였다. 실험진행은 타격깊이가 FTS의 변위보다 작게 설정하였다. Fig. 1은 본 연구에서 고주파 나노 표면개질이 평면가공에 적용되어 진행되는 개념도를 나타낸다<sup>[10]</sup>.

### 3.2 가공경로에 따른 실험

금속으로 이루어진 기계부품은 보통 절삭가공 공정인 밀링(milling)에 의해 1차 가공이 진행되고 이후 후처리 공정에 의해 표면과 형상의 정밀도를 높인다. 밀링 가공을 하게 되면 회전하는

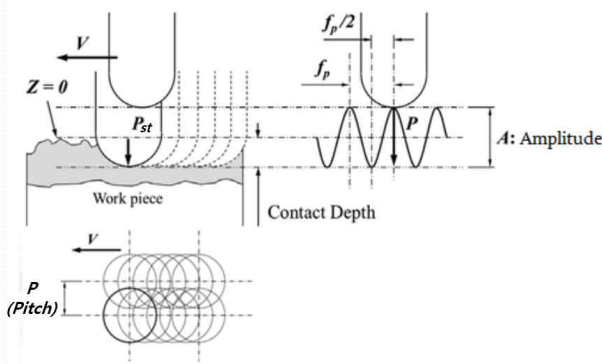


Fig. 1 Schematic of UNSM in flat surface

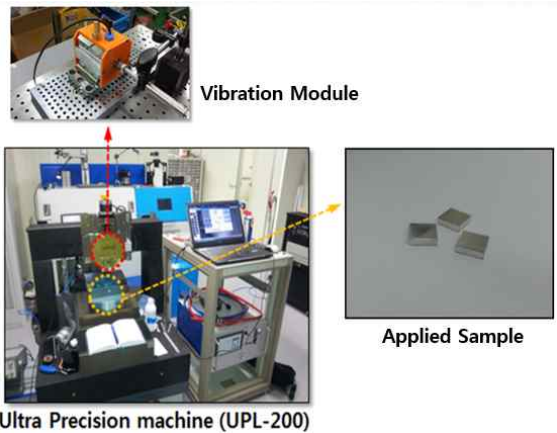


Fig. 2 Experimental set-up

공구의 날에 의해 밀링 가공방향으로 발생하는 스크래치와 같은 흔적이 가공물의 표면 위에 남게 된다. S. J. Lee에 의해 선행연구된 바에 의하면 밀링공정 이후 표면에 발생하는 가공흔적의 방향에 따른 표면개질 공정의 가공 경로에 대한 영향을 알아보기 위해 sample 표면 위 밀링의 가공 흔적과 평행한 방향과 수직방향의 두 가지의 가공경로를 나누었고<sup>[10]</sup> 본 연구에서도 동일하게 밀링으로 생긴 가공 흔적의 방향을 기준으로 가공경로를 평행, 수직으로 나누어서 실험을 진행하였다.

3.3 소재의 종류에 따른 실험

본 연구의 초음파표면개질의 대상 시편으로는, 산업계에서 널리 알려져 있고 일반적으로 사용되는 소재 중 STS304와 SKD61 두 가지를 선정하였다. STS304는 자동차부품, 내식성을 요구하는 화학계 부품 등 다양한 분야에 적용되고 있으며 SKD61은 금형분야에서 주로 사용이 된다. 따라서 본 연구에서는 두 시편의 초음파표면개질공정을 적용한 후 달라지는 표면특성을 살펴보았다.

3.4 실험장치 Set-up 및 실험조건

Fig. 2는 본 실험에서 진행 된 고주파 표면개질 실험의 장치 구성을 나타낸다. 표면 개질을 위해 사용된 진동모듈은 자체 개발된 FTS(fast tool servo)이다. 주로 4 kHz급의 주파수 영역대에서 약 이송거리 10 μm의 성능을 가지며 5.6 kHz 영역에서 고유진동 영역을 가진다. 표면타격에 사용된 ball tip은 선단부와 체결부가 일체형인 구조에 직경 5.8 mm의 반구 형상의 선단부로 이루어진 열처리된 SKD11의 재질을 갖는 ball tip이 공구로써 사용되었다. 표면개질을 위한 대상 시편으로는 12×12×3 (mm)의 크기인 직육면체 형상으로 밀링 된 STS304 시편과 SKD61시편 두 가지를 사용하였다. 표면개질 실험을 위한 장비로는 분해능이 100 nm인 (주) 테크맥의 에어 가이드를 이용한 UPL-200 정밀 가공기를 사용하였다. 먼저 STS304 시편의 표면개질 실험을 먼저 진행하였다. STS304 시편의 실험을 위한 가공조건은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Surface treatment conditions of STS304

	STS8	STS16		
FTS frequency	4 kHz	5.6 kHz		
Machining pitch	50 μm			
FTS amplitude	10 μm	20 μm		
Contact depth	8 μm	16 μm		
Tool path	Parallel	Vertical	Parallel	Vertical
Machining speed	3 mm/s	4.2 mm/s		
Contact count per mm <sup>2</sup>	26,000	26,000		

Table 2 Surface treatment conditions of SKD61

	SKD8
FTS frequency	4 kHz
Machining pitch	50 μm
FTS amplitude	10 μm
Contact depth	8 μm
Tool path	Parallel
Machining speed	3 mm/s
Contact count per mm <sup>2</sup>	26,000

타격깊이 변화를 위한 FTS의 변위에 따라 인가주파수를 4 kHz와 5.6 kHz로 나누었다. 4 kHz에서는 10 μm의 변위를 가지며 표면 타격깊이를 8 μm로 주었으며, 고유진동 영역인 5.6 kHz에서는 20 μm의 변위를 가지며 타격 깊이를 16 μm로 설정을 하였다. 가공 경로는 시편의 밀링 흔적의 방향을 기준으로 평행, 수직의 2방향으로 하였다. 그리고 타격깊이만을 변화 조건으로 주기 위해 표면 타격 횟수를 동일하게 하였으며 그에 따라 이송 속도를 다르게 설정하였다. 이어서 SKD61 시편의 표면개질 효과를 알아보기 위해 Table 2와 같은 가공조건으로 실험을 진행하였다. SKD61의 경우는, 표면개질공정의 효과를 STS304와 비교를 위해 10 μm의 변위를 가지는 4 kHz의 FTS 주파수에 표면 타격깊이를 8 μm로 동일

하게 하였고 표면 타격방향은 밀링 흔적의 방향과 평행한 방향으로 진행하였다.

#### 4. 실험 결과

##### 4.1 표면형상의 측정 결과

자체 개발된 FTS를 이용하여 고주파 표면개질 실험을 수행한 후 먼저, 광학현미경을 이용하여 시편의 표면형상을 측정하였다. Fig. 3은 표면개질 실험을 수행하기 전과 후의 STS304 시편의 광학현미경 사진을 나타낸다. Fig. 3의 (a)는 표면개질 수행 전 시편의 모습을 보여준다. 밀링 후 스크래치와 같이 한 방향으로 가공 흔적을 가지는 거친 표면을 형성한다. 표면 처리를 하지 않고 밀링에 의한 가공의 흔적만 가지는 STS304 시편을 STSM이라고 명명하였다. 초음파 표면개질 실험을 수행 한 후의 시편의 경우, 먼저 Fig. 3(b)는 밀링 흔적의 방향과 평행한 방향으로 접촉 깊이를 8  $\mu\text{m}$ 로 표면을 타격한 결과를 나타내고 STSP8로 명명하였다. 표면 처리 타격방향과 밀링 흔적이 ball tip에 의해 압착된 흔적과 혼합되어 균일한 표면을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 반면에 Fig. 3(c)는 밀링 흔적의 방향과 평행한 방향으로 접촉 깊이를 16  $\mu\text{m}$ 로 타격한 결과(STSP16로 명명)를 나타내고 Fig. 3(b)에 비해 표면이 균일하지 못한 것을 볼 수 있다. 하지만 Fig. 3(c)는 Fig. 3(b)보다 가공방향으로 나타나는 50  $\mu\text{m}$  pitch 가공선이 더 선명하게 보

이는 것을 확인할 수 있다. 이는 타격 깊이가 더 깊기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. 또한 밀링 흔적의 방향과 수직인 방향으로 접촉 깊이를 8  $\mu\text{m}$ 로 표면타격을 수행(STSV8로 명명)한 Fig. 3(d)는 표면 타격에 의해 압착된 밀링 흔적과 평행한 방향의 가공경로와 비교하여 비교적 선명하게 남아있지만, 밀링 흔적과 수직방향으로 16  $\mu\text{m}$  접촉 깊이로 타격한(STSV16로 명명) 결과인 Fig. 3(e) 보다 더 균일하고 micro-crack이 더 작게 형성된 모습을 보여준다. Fig. 3(b), Fig. 3(c)와 마찬가지로 타격깊이 차이로 인해 Fig. 3(e)가 Fig. 3(d)보다 더 선명한 pitch 가공선을 나타낸다. 공정변수 중 접촉 깊이에 따른 두 표면을 비교해 보면 16  $\mu\text{m}$ 의 접촉 깊이로 타격하였을 때 8  $\mu\text{m}$ 로 타격하였을 때보다 많은 micro-crack이 형성되어 있으며 8  $\mu\text{m}$ 의 표면이 좀 더 균일한 것을 확인할 수 있다. 또한 가공 경로에 따른 두 표면을 비교해 보면 밀링 흔적의 방향을 기준으로 수직방향의 가공이 평행한 방향의 가공보다 micro-crack이 더 많이 형성된다.

Fig. 4는 표면개질 실험을 수행하기 전과 후의 SKD61 시편의 광학현미경 사진을 나타낸다. Fig. 4의 (a)는 표면개질 수행 전 시편의 모습이고 마찬가지로 밀링 후 스크래치와 같이 한 방향으로 가공 흔적을 가지는 거친 표면을 형성한다. 표면 처리를 하지 않고 밀링 흔적만 가지는 SKD61 시편을 SKDM이라고 명명하였다. 초음파 표면개질 실험을 수행 한 후의 결과인 Fig. 4(b)는 밀링 흔적의 방향과 평행한 방향으로 접촉 깊이를 8  $\mu\text{m}$ 로 표면을 타격한 결과를 나타내고 SKDP8로 명명하였다. 표면개질 적용 전 표면은 STS304와 SKD61과 관계없이 가공흔적을 가지는 일반적인 거친 표면을 나타내었고, 접촉 깊이를 8  $\mu\text{m}$ 로 표면처리 후 표면은 밀링 흔적이 표면개질 공정과 평행한 방향으로 ball tip에 의해 압착된 흔적과 표면 타격 시 ball tip에 의해 발생하는 타격흔적이 혼합되어 균일한 표면을 나타내는 것을 확인할 수 있었고 micro-crack을



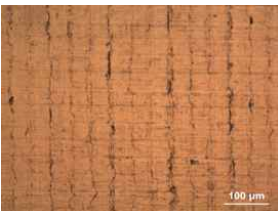
(a) Before treatment including milling lay (STSM)



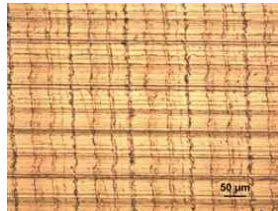
(b) Contact depth 8  $\mu\text{m}$ , Parallel (STSP8)



(c) Contact depth 16  $\mu\text{m}$ , Parallel (STSP16)

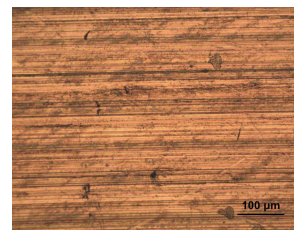


(d) Contact depth 8  $\mu\text{m}$ , Vertical (STSV8)

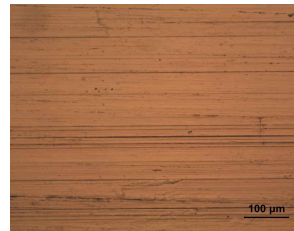


(e) Contact depth 16  $\mu\text{m}$ , Vertical (STSV16)

Fig. 3 Photograph of 2D surface morphology of STS304



(a) Before treatment including milling lay (SKDM)



(b) Contact depth 16  $\mu\text{m}$ , Parallel (SKDP8)

Fig. 4 Photograph of 2D surface morphology of SKD61

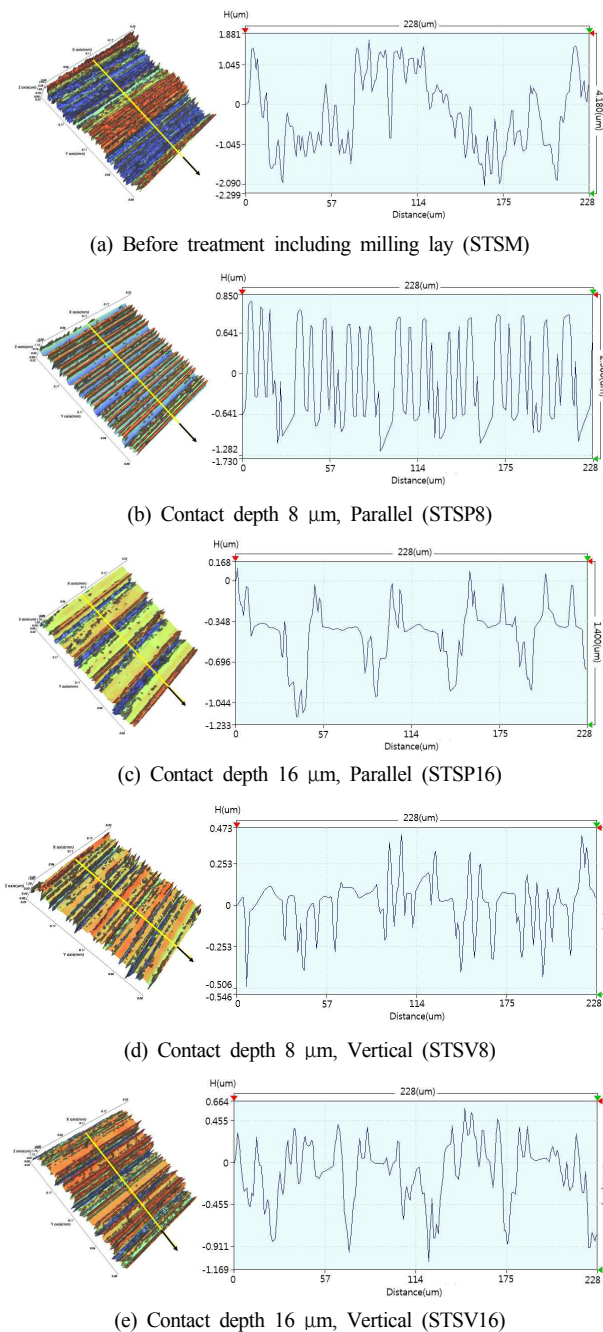


거의 형성하지 않았다. 전반적으로 표면형상은 STS304와 SKD61이 유사한 현상을 보였다.

광학현미경 측정에 이어서 표면개질 전과 후 각 조건에 따른 표면거칠기를 파악하기 위해 3차원 표면 profiler를 통해 각 시편 표

**Table 3 Results of STS304 surface roughness**

	STSM	STSP8	STSP16	STSV8	STSV16
Ra (μm)	0.75	0.13	0.17	0.11	0.25
Rq (μm)	0.9	0.16	0.24	0.15	0.32



**Fig. 5 Measurement results of 3D surface profile of STS304**

면의 표면거칠기를 측정하였다. 측정면적은 230×230 (μm)의 동일면적으로 하였고 표면거칠기는 표면개질 공정 이송방향의 수직, 즉 피치방향으로 측정하였다. STS304의 표면거칠기 평가를 위한 측정 결과를 Table 3과 Fig. 5에 나타내었다. STS304의 경우는 표면거칠기가 표면처리 전보다 후가 모두 향상이 되었으며 표면처리 전인 밀링 시편 대비 8 μm의 표면처리 경우 최고 7배까지 향상되었고 16 μm의 표면처리의 경우 최저 3배가 향상되었다. 가공경로에 따라서는 평행한 방향과 수직방향이 표면거칠기에 큰 경향을 나타내지 않고 비슷한 결과를 보였다. 그러나 접촉 깊이에 따른 결과는 16 μm의 접촉 깊이가 8 μm보다 더 거칠어지는 결과가 나타났다.

Table 4는 SKD61의 표면거칠기 측정 결과를 나타낸다. 표면거칠기 측정은 STS304와 동일한 방법으로 측정하였다. SKD61도 표면처리 전보다 후가 더 향상되었으며 약 4배 향상되었다. 표면처리 전두 시편의 표면거칠기는 다르지만 표면처리 후 결과인 SKDP8는 STS304와 같은 실험조건에서의 결과인 STSP8과 유사한 결과를 나타내었다.

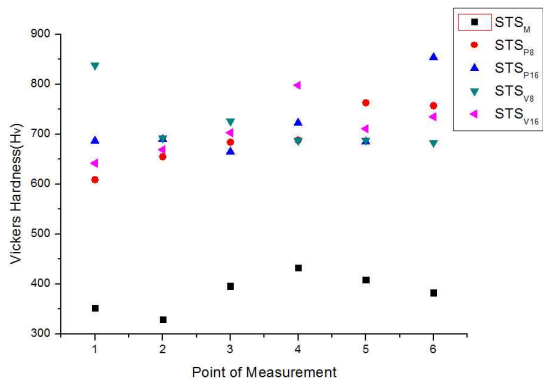
**4.2 표면 경도와 마모량 측정 결과**

표면 형상의 측정에 이어서 좀 더 표면의 물리적인 특성을 비교하기 위해 각각 시편의 경도와 마모량 측정을 수행하였다. 표면 경도의 측정은 nano indenter 측정기기를 통해 비커스 경도를 측정하였다. 경도의 측정은 표면개질에 의한 표면 경화층에서의 측정을 위해 압입자의 압입하중을 100 mN로 가하였고 시편 전체 면적에 걸쳐 6개의 포인트를 임의로 찍어 결과값을 평균하여 계산하였다. 먼저 STS304의 각 포인트에서의 측정결과는 Fig. 6(a)와 같다. 평균값은 Fig. 6(b)와 같이 나타났고 각 조건에서의 시편들은 표면처리를 하기 전 시편인 STSM과 같이 위에서 명명된 것으로 나타내었다. 표면 개질 후의 경도는 조건에 관계없이 표면 개질 전보다 모두 약 1.8배정도 높아졌으며, 표면개질 후인 가공경로와 타격깊이의 공정변수에 따른 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

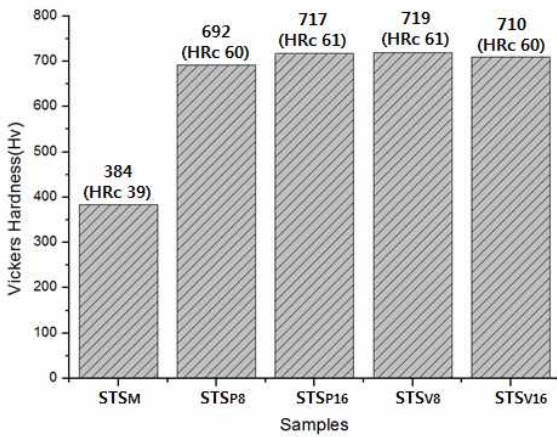
Fig. 7은 각 포인트에서의 값을 평균한 SKD61 시편의 경도 측정결과를 나타낸다. 표면경도는 약 1.4배 높아졌으나 같은 조건으로 표면타격을 한 STSP8과 비교했을 때 SKD61은 STS304만큼의 경도증가는 나타나지 않았다. 소재의 고유물성에 따라 적절한 경도의 증가를 위해서는 소재에 맞는 표면타격 조건이 필요할 것으로 판단된다.

**Table 4 Results of SKD61 surface roughness**

	SKDM	SKDP8
Ra (μm)	0.47	0.12
Rq (μm)	0.59	0.15



(a) Measurement of each point



(b) Average of Surface hardness

Fig. 6 Measurement results of Vickers hardness of STS304

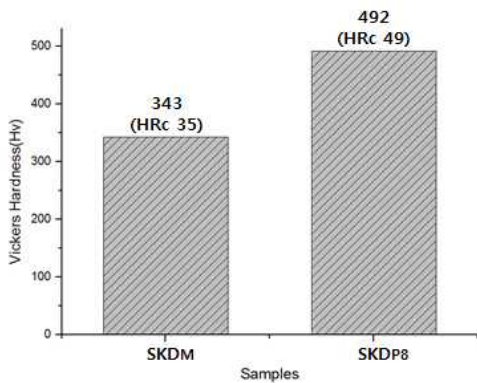
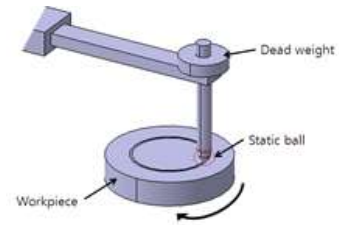
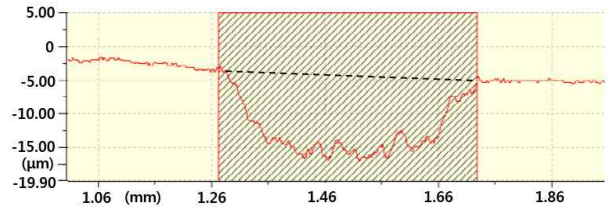


Fig. 7 Measurement results of Vickers hardness of SKD61

마모량 측정시험은 먼저 tribometer장치를 사용하여 Fig. 8(a)와 같이 ball-on-disk 방식으로 마모시험을 진행을 한 후 마모량 측정기기를 이용하여 Fig. 8(b)와 같이 마모된 면적을 측정하여 각 시편의 마모량을 계산하였다. 마모시험은 알루미늄( $Al_2O_3$ ) ball을 사용하여 2 N의 하중을 적용하고 마모의 회전반경은 3 mm, 회전속도 60 rpm으로 90분 동안 회전시켜 수행하였다. 마모량 측정 시험은 STS304 시편만 사용하여 측정하였으며 공정변수의 영향에 의한 마모량 비교는 타격깊이에 따른 영향만을 고려하여 수행하였다.

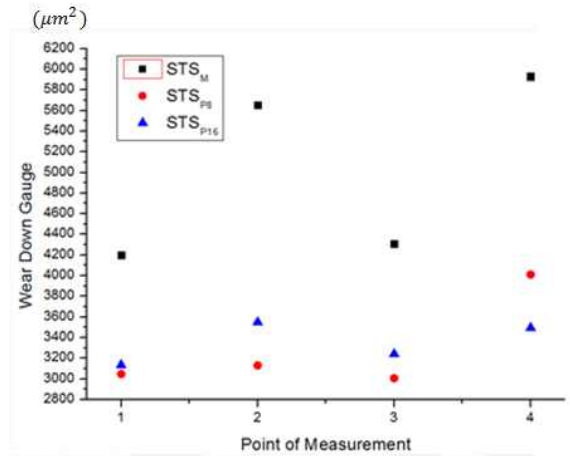


(a) Schematic of Ball-On-Disk

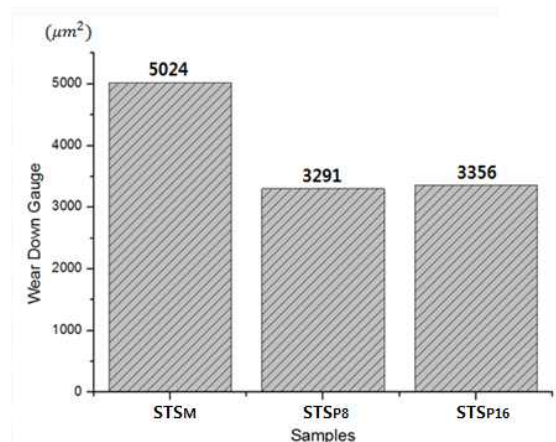


(b) Measurement of Wear area

Fig. 8 Method of wear test



(a) Measurement of wear loss



(b) Average of wear loss

Fig. 9 Measurement results of Wear test of STS304

마모된 트랙의 면적의 측정은 90도 간격으로 총 4개의 포인트를 측정된 결과의 평균값을 계산하였다.

Fig. 9에서 (a)와 같이 각 포인트별로 나타낸 마모량 값과 평균값

인 Fig. 9 (b)를 보는바와 같이, 마모량 측정 결과는 표면경도와 마찬가지로 표면개질 전보다 표면개질 후가 더 향상되었다. 표면처리 공정으로 형성된 표면 개질층에 의해 마모된 면적, 즉 마모량은 더 낮아진 것을 확인 할 수 있었으며 약 1.5배 향상된 것을 알 수 있었다. 그러나 경도측정과 유사하게 표면 타격깊이에 의한 공정변수의 영향은 마모량 변화 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 이로써 표면거칠기, 표면경도와 마모량 측정시험을 통해 초음파표면개질 공정이 표면에 개질층을 형성함으로써 표면의 물리적 특성을 향상시키는 것을 확인할 수 있었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 자체 개발된 FTS를 이용한 초음파표면개질 공정 연구에서 STS304 시편을 이용하여 FTS 변위가 8  $\mu\text{m}$ 와 16  $\mu\text{m}$ 인 2가지로 인한 표면 타격깊이 변화와 표면처리 전 밀링에 의한 가공 흔적을 가진 시편을 기준으로 가공흔적과 평행, 수직 방향으로 표면 타격경로 변화를 공정변수로 두고 표면처리 결과를 관찰하였고 SKD61 시편을 이용하여 소재의 종류에 따른 표면개질 공정효과를 살펴보았다. 표면 형상을 관찰한 결과, 표면처리 공정에서 가공 경로는 표면처리 전 밀링 흔적을 기준으로 수직방향 타격이 평행한 방향보다 더 많은 micro-crack을 발생시켰고 접촉 깊이가 깊을수록 micro-crack이 더 많이 형성되었다. 그리고 같은 공정조건에서 두 소재간의 표면형상은 유사한 현상을 나타냈다. 표면거칠기는 표면처리 전 거친 밀링 흔적을 가진 시편보다 표면처리 후가 공정변수와 관계없이 모두 향상되었다. 표면처리 후 가공경로에 따라서는 유사한 표면거칠기를 형성하나 타격 깊이가 깊어질수록 더 거칠어지는 모습을 나타냈다. 표면 타격깊이가 깊어질수록 micro-crack의 발생이나 타격 시 충격으로 인한 열 발생의 영향 등으로 인해 표면거칠기가 더 거칠어진 것으로 생각되나 후속연구가 필요한 부분으로 판단된다. 같은 공정조건에서 타격 후 두 소재의 표면거칠기는 유사한 결과를 나타냈다. 두 금속시편의 고유의 성질이 다르더라도 ball-tip에 의한 같은 조건의 표면타격에 의해 유사한 표면거칠기를 형성한 것으로 판단되나 마찬가지로 정확한 원인분석을 위한 후속연구가 필요하다고 생각된다. 표면경도와 마모량 또한 표면처리 전보다 후가 모두 더 향상이 되었으나, 표면처리 후 경도와 마모량은 타격깊이와 가공경로의 공정변수에 따라 모두 유사한 결과가 도출되었다. STS304의 경우 SKD61보다 더 큰 표면경도 향상을 보였다. 따라서 공정변수에 따른 표면의 물리적 특성은 표면거칠기와 micro-crack에만 영향을 미치는 것으로 나타났고 소재에 따라서는 각 소재에 최적화된 표면타격 조건이 필요할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 산업통상자원부 신성장동력장비경쟁력강화 사업인 “초음파 진동을 이용한 나노표면개질 공정기술 및 장비 개발”사업과 산업원천기술개발 사업인 “Eco/Bio 산업의 기능성 부품 생산용 차세대 융복합 가공시스템 개발”사업의 지원으로 수행되었습니다.

## References

- [1] Suh, C. M., Kim, S. H., 2008, Effect of Static Load Level of Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification Technology on Fatigue Characteristics of SKD61, Journal of Ocean Engineering and Technology, 22:2 99-105.
- [2] Nachman, G., 1999, Shot Peening-past, Present, and Future, International Conference on Shot Peening; Shot peening present & future, 1-4.
- [3] Pyoun, Y. S., Cho, I. S., Hong, J. H., Lee, C. S., Park, I. K., Seo, C. M., Cho, I. H., Kim, C. S., 2007, Application of Ultrasonic Nano Crystal Surface Modification Technology for Increasing the Fatigue Strength, Weight Reduction and Decreasing the Friction Loss, Proc. of KSAE Symposium, 44-53.
- [4] Schulze, V., 2003, Characteristics of Surface Layers Produced by Shot Peening, Proceeding of International Conference on Shot Peening ICSP-8 in Garmisch-partenkirchen DGM., 145-160.
- [5] Mader, S., Klocke, F., 2005, Fundamentals of the Deep Rolling of Compressor Blades for Turbo Aircraft Engines, Proceeding of Modelling and Simulation ICSP-9., 125-130.
- [6] Altenberger, I., 2005, Deep Rolling the Past, the Present and the Future, International Conference on Shot Peening, 144-155.
- [7] CURTISS - WRIGHT, n.d., viewed 16 October 2014, <www.metalimprovement.com>
- [8] Prevéy, P. S., Jayaraman, N., Cammett, J., 2005, Overview of Low Plasticity Burnishing for Mitigation of Fatigue Damage Mechanisms, International Conference on Shot Peening, 267 - 272.
- [9] Suh, C. M., Pyoun, Y. S., Cho, I. H., Baek, U. B., 2011, UNSM Surface Technology for Manufacturing and Remanufacturing Torsion Bars for Crawler Vehicles, Journal of Ocean Engineering and Technology, 25:6 80-85.
- [10] Lee, S. J., Lee, D. W., Kim, J. M., Lee, S. M., Kim, M. R., Jang, N. S., 2014, A study on Process Characteristics Using Fast Tool Servo based Surface Texturing, Journal of the Korean Society for Precision

- Engineerin, 31:12 1127-1132.
- [11] Lee, S. J., Lee, D. W., Lee, S. M., Kim, M. R., Li, L., 2015, Characteristics of FTS according to Leaf-spring Designs, Proc. of KSPE Spring Conference. 1047-1047.
- [12] Pyoun, Y. S., Park, J. H., Cho, I. H., Kim, C. S., Suh, C. M., 2009, A Study on the Ultrasonic Nano Crystal Surface Modification(UNSM) Technology and It's Application, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-A, 33:3 190-195.
- [13] Kim, K. S., 2002, A Study on the Surface Treatment of Injection Mold and Die using Ultrasonic Micro-burnishing Process, A Thesis for a Master, Sunmoon University, Republic of Korea.