

# 사파이어 의료용 나이프의 연삭가공에서 지그의 탄성계수가 날 부 형상에 미치는 영향 : 제2보 탄성계수와 칩핑 현상의 검증

신건휘\*, 강병욱\*, 곽태수\*<sup>#</sup>

\*경남과학기술대학교 기계공학과

## Effect of the Elasticity Modulus of the Jig Material on the Blade Edge Shape in the Grinding Process of Sapphire Medical Knife - Part 2 Verification of the Chipping Phenomenon and Elastic Modulus of the Jig Material

Gun-Hwi Shin\*, Byung-Ook Kang\*, Tae-Soo Kwak\*<sup>#</sup>

\*Department of Mechanical Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology,

(Received 16 August 2017; received in revised form 4 September 2017; accepted 21 September 2017)

### ABSTRACT

This study determines the selection of an appropriate jig material for the blade edge of the medical sapphire knife. The physical properties of the jig material affects the edge shape and chipping phenomenon in machining of the medical sapphire knife. If a grinding wheel is used, brittle workpieces such as sapphire are easily damaged by the propagation of cracks because the grinding force significantly increases. It is important to constantly maintain the grinding force in the grinding process of the brittle materials. The grinding force can be kept constantly by inducing the elastic deformation of the Jig material because the elastic deformation of brittle work-piece is negligibly low. The chipping phenomenon may be reduced by selecting the proper Jig material. Aluminum, copper, stainless steels and carbon steel were used as Jig materials. The experiment was conducted using a cast iron grinding wheel, which was installed on a conventional grinding machine with the ELID grinding system. The thickness and width of the chipping area were measured using an optical microscope and FE-SEM to analyze the shape of the blade edge. According to the experiment result, the chipping phenomenon decreased, and the sharp edge was formed when the jig materials with low elastic modulus were used.

**Key Words** : Sapphire Knife(사파이어 나이프), Elastic Modulus(탄성계수), Chipping(칩핑), Jig Material(지그소재), ELID Grinding(ELID연삭)

### 1. 서 론

의료용으로 널리 사용되고 있는 나이프는 비교적 제작비가 저렴하고 내식성이 우수한 스테인리스 소재가 주로 적용되고 있다. 그러나 미세 수술

<sup>#</sup> Corresponding Author : tskwak@gnitech.ac.kr  
Tel: +82-55-751-3317, Fax: +82-55-751-3319

에 적용되는 경우에는 금속 이온에 의한 세포 손상으로 절개 상처의 회복이 늦어지기도 한다. 다이아몬드 소재의 의료용 나이프를 사용하는 경우에는 높은 경도로 인하여 날 부를 가공하는데 상당한 시간이 소요될 뿐 만 아니라 고가의 재료비로 제작비용이 크게 증가한다.<sup>[1]</sup> 사파이어를 소재로 한 의료용 칼날은 우수한 내식성 및 내화학성으로 절개부의 감염 위험이 낮고 피부 손상이 적어 상처 치유가 비교적 빠르다.<sup>[2]</sup> 사파이어 역시 경취성으로 인해 제거 가공에 어려움이 있으나, 다이아몬드에 비해 가공이 용이하고 재료비가 저렴한 장점이 있다. 의료용 나이프는 수 마이크론의 예리한 칼날이 요구되고 있으며, 사파이어 재료를 가공할 때는 치핑 발생으로 인한 날 부 손상을 최소화할 필요가 있다. ELID(Electrolytic In-Process Dressing) 연삭 가공은 가공 중 스톨 표면에 생성된 산화피막이 눈매움 현상을 방지하여 드레싱을 위한 작업 중단 없이 지속적인 연삭가공이 가능할 뿐 만 아니라, 연삭 저항이 낮아 사파이어와 같은 경취성 재료의 연삭가공에 적용하기가 용이하다.<sup>[3,4]</sup> 연삭 가공에서 압축 탄성 변형은 스톨의 배분력에 의해 발생한다.<sup>[5]</sup> 사파이어와 같이 경취성 재료의 탄성 변형은 연삭 가공 중에 무시할 수 있을 정도로 작고, 가공 중 배분력이 급격히 증가하면 공작물은 순식간에 압축강도에 도달하여 파손되거나 치핑이 발생하게 된다. 이 때 탄성 변형이 비교적 큰 지그 재료를 사용하면 연삭 가공 중 배분력에 의해 발생하는 에너지를 일부 흡수하여 경취성 공작물의 파손을 저감할 수 있다.

본 연구는 탄성 계수가 다른 지그 소재를 이용하여 사파이어 소재의 의료용 나이프 연삭 가공 실험을 수행하고, 날 부의 치핑 정도를 측정 및 평가함으로써 지그 소재가 날 부 치핑에 미치는 영향을 확인하고자 한다.

## 2. 실험 및 측정

### 2.1 사파이어 시편과 지그

사파이어 나이프 시편은 가로 3mm, 세로 10mm, 두께 0.5mm이며, 날 세움 각도는 편측 18°이다. 시편의 치수와 형상은 Fig. 1과 같다.

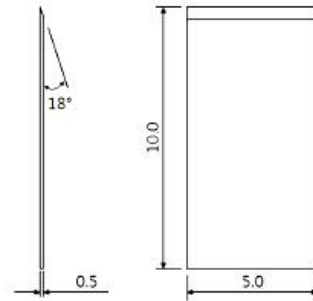


Fig. 1 The drawing of sapphire knife specimen

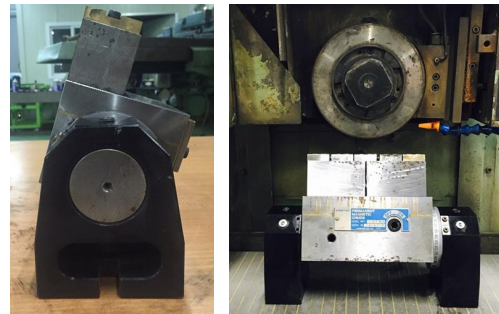


Photo 1 Rotary type electro-magnetic chuck for ELID grinding experiment of knife edge

Table 1 Mechanical properties of jig materials

Material symbol		Al6061	Cu	STS304	STS420J2	SM45C
Hardness [Kg/mm <sup>2</sup> ]	Brinell	30	-	123	594	167-229
	Vickers	-	50	129	641	-
Tensile Strength, Ultimate [MPa]		124	210	505	2,025	569
Tensile Strength, Yield [MPa]		55.2	33.3	215	1,360	343.0
Elongation at Break [%]		25.0	60.0	70.0	2.5	20.0
Modulus of Elasticity [GPa]		68.9	110.0	193.0	200.0	205.0
Poisson's Ratio		0.330	0.343	0.290	0.240	0.290
Shear Modulus [GPa]		26.0	46.0	77.0	80.7	80.0

시편 고정용 지그는 알루미늄(Al6061), 동(Cu), 스테인리스강(SUS304), 스테인리스강(SUS420J2), 탄소강(SM45C) 등 5종의 소재로 가로 30mm, 세로 40mm, 두께 10mm 블록 형상으로 제작하였다. 시편을 고정한 지그는 회전형 마그네틱 척에 올린 후 날 세움 각 18°로 기울여 연삭 가공 실험을 수행하였다. Photo 1은 시편 고정용 지그를 회전형 마그네틱 척에 부착한 사진이다. 지그로 사용된 재료의 기계적 물성은 Table 1과 같다.

## 2.2 실험 및 측정방법

사파이어 나이프의 연삭 실험을 위하여 범용 평면연삭기(YGS-63A, YOUIL)에 ELID연삭 시스템을 구축하고 입도 #2,000의 주철 결합제 다이아몬드 스톨을 사용하였다. 가공 중 연삭 특성 분석을 위해 ELID모니터링 시스템을 이용하여 ELID드레싱 전류 및 저항변화 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 이용하여 기준전류 또는 기준저항에 도달했을 때 수동으로 절입하는 방식으로 실험하였다. ELID 연삭을 위한 전압은 90V로 고정하였으며, 공작물 테이블의 좌우 이송속도는 12m/min, 전후 이송속도는 13mm/min 조건으로 하였다. Table 2는 실험을 위한 연삭가공 조건표이다. 날 부 연삭가공이 완료된 시편은 치평 현상 여부를 확인하기 위해 가공면의 표면 거칠기와 날 부 형상을 측정하였다. 표면 거칠기는 접촉식 표면 거칠기 측정기(SJ-400, Mitutoyo)를 사용하였으며, 날 부 형상은 주사전자현미경(SEM-II, Jeol)을 사용하여 측정하였다. 사파이어 시편은 5종의 소재로 제작된 지그에 왁스를 이용하여 부착한 후, 입도 #2,000의 다이아몬드 스톨을 이용하여 연삭 가공하였다. 1회 절입량은 1 $\mu$ m으로 하고, ELID드레싱 저항이 300 $\Omega$ 에 도달하면 1회씩 절입하였다. Fig. 2는 ELID 드레싱 과정 중에 출력저항을 모니터링한 결과이다. ELID드레싱 저항을 통해 스톨 표면의 산화층 두께를 간접적으로 확인할 수 있다. 실험을 통해 기준 저항은 300 $\Omega$ 으로 설정하였으며, 저항이 클수록 산화층이 두꺼워 지는 것을 의미한다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 지그 소재와 변형률

세라믹과 같은 취성 재료는 압입력이 0.01N 또는 굵기 깊이가 0.1 $\mu$ m수준에 있어서는 취성 재료에 소성유동 파괴, 즉 연성파괴가 발생한다고 보고된 바 있다.<sup>[6]</sup> 취성 재료의 연삭 가공에서 연성파괴에 의해 생성된 가공표면은 매우 고우며, 높은 치수정밀도와 표면 거칠기를 얻을 수 있다. 연삭 가공에서 압입력은 주로 절입 깊이와 지그의 압축 탄성변형에 영향을 받는다. 동일한 절입 깊이에서 지그 재료의 압축 변형은 다르게 나타나므로 사파이어칼날 가공 시에 지그 재료가 날 부에 미치는 영향을 평가하고 실험 결과를 비교하였다. Fig. 3은 지그 5종의 응력-변형률 곡선을 나타낸 것이다. Table 1에서와 같이 탄성계수는 탄소강(SM45C), 스테인리스강(SUS420J2), 스테인리스강(SUS304), 동(Cu), 알루미늄(Al6061) 순으로 각각 205GPa, 200GPa, 193GPa, 110GPa, 68.9GPa이다. 연삭가공 중 동일한 배분력 하에서 지그의 탄성 변형은 알루미늄이 가장 높다.

Table 2 Experimental condition for ELID grinding

Grinding machine		YGS63A
Grinding wheel	Mesh No.	#2,000
	Abrasive	Diamond
	Bonding material	Cast iron
ELID power supply		K-ELID 910
ELID voltage		90V
Reciprocal table speed		12 [m/min]

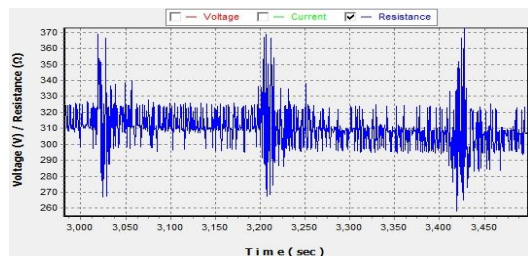


Fig. 2 Resistance graph monitored by ELID Monitoring system

사파이어의 탄성계수는 400 ~ 480GPa이며, 가공 중에 동일한 압축 하중에서는 시편 고정용 지그 재료에 비해 최소 15%, 최대 50% 수준의 탄성 변형이 일어날 것임을 알 수 있다. 따라서 가공 시 알루미늄(Al6061) 지그를 사용하면 연삭가공 중 탄성변형의 80% 이상이 지그에서 발생하므로 치핑 발생을 저감할 수 있을 것으로 사료된다.

### 3.2 사파이어 가공표면 분석

범용 연삭 장치에 ELID 연삭 시스템을 구축하고, 입도 #2,000의 주철결합제 다이아몬드 슛들을 사용하여 실험을 수행하였다. 저입도 슛들의 경우 슛들의 입자 크기로 인해 가공 부하가 커고 표면의 노치효과로 인해 치핑 발생 확률이 높아진다. 날 세움 가공에서 지그가 치핑 발생에 미치는 영향을 최소화하기 위해 비교적 일정한 가공 압력을 유지할 수 있도록 고입도의 슛들을 이용하여 실험하였다. Fig. 4는 가공 후 사파이어 나이프 시편의 표면 거칠기를 측정된 결과와 각 지그의 탄성계수를 비교한 그래프이다. Fig. 4 (a)와 (b)에서와 같이 지그의 탄성계수가 증가할수록 사파이어의 표면 거칠기는 증가한다. 특히 최대 높이 표면 거칠기(Rmax) 그래프에서 이와 같은 현상이 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다. 최대 높이 거칠기는 일반적으로 가공면의 상태를 비교하는 지표로 활용되며 재료의 취성에 의한 치핑 발생 여부를 평가하는데도 유용하게 활용될 수 있다. 취성 재료에 있어서 가공 흔적은 노치효과에 의하여 치핑이 유발되기 때문에 최대 높이 거칠기(Rmax) 측정 결과에 따르면 탄소강(SM45C)에서 치핑 발생 가능성이 높을 것으로 사료된다. 산술평균 표면 거칠기(Ra) 측정 결과에서는 차이가 미세하나 탄성계수가 클수록 표면이 거칠게 나타남을 확인할 수 있었다. 따라서 표면 거칠기 실험 결과에 따르면 탄성 변형이 높은 지그를 사용 할 경우 치핑 발생 가능성이 낮을 것으로 예상된다.

### 3.3 사파이어 날 부 형상 평가

시편의 날 부 형상은 날 부 치핑 두께와 치핑 폭을 주사전자현미경(FE-SEM II)으로 측정하였다.

5종의 소재별 지그에 시편을 각각 2개씩 총 10개의 시편을 부착하여 실험하였다.

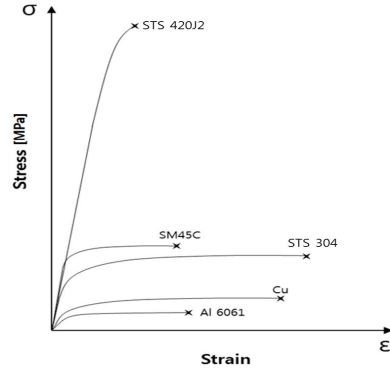
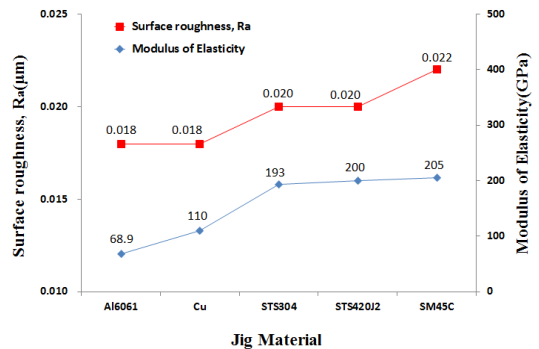
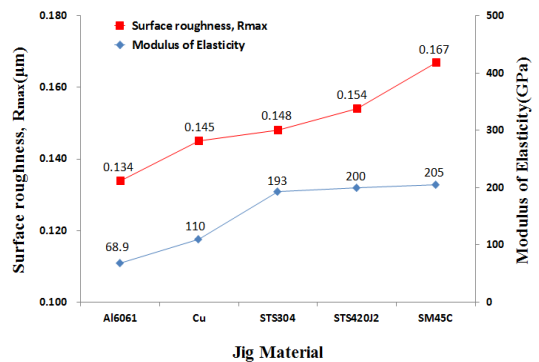


Fig. 3 Stress-Strain curve of jig materials



(a) Modulus of Elasticity VS Surface roughness(Ra)



(b) Modulus of Elasticity VS Surface roughness(Rmax)

Fig. 4 Measurement results of surface roughness

가공된 시편은 각 시편마다 4개소를 촬영하여 치핑부의 두께와 폭을 측정하였다. Photo 2와 Photo 3은 탄성계수가 가장 낮은 알루미늄(AI6061) 지그와 탄성계수가 가장 높은 탄소강(SM45C) 지그를 이용하여 가공한 시편의 날 부 두께와 폭을 측정하고 비교한 사진이다. Fig. 5는 가공한 시편의 치핑 부 두께를 측정한 결과와 지그의 탄성계수를 비교한 그래프이다. 탄성계수가 가장 높은 탄소강(SM45C) 지그를 이용한 경우에 치핑 부 두께가 가장 크게 나타났으며, 탄성계수가 가장 낮은 알루미늄(AI6061) 지그에서 가공한 시편의 치핑 부 두께가 가장 낮게 나타났다. 실험 결과에서 지그 재료의 탄성계수가 증가할 수록 치핑 부 두께도 증가하는 것을 알 수 있었다. Fig. 6은 가공한 시편의 치핑 부 폭을 측정한 결과와 지그의 탄성계수를 비교한 그래프이다. 치핑 부 폭을 측정한 결과, 탄소강(SM45C) 지그를 제외하고 정성적 경향은 치핑 부 두께의 결과와 동일하게 탄성계수가 증가함에 따라 치핑 부 폭이 증가함을 알 수 있었다.

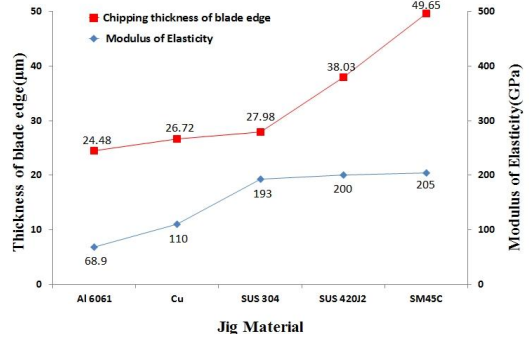


Fig. 5 Graph of Thickness of blade edge

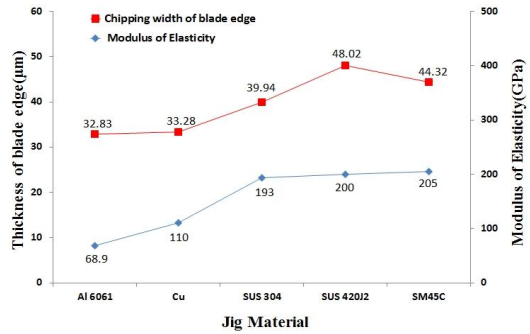
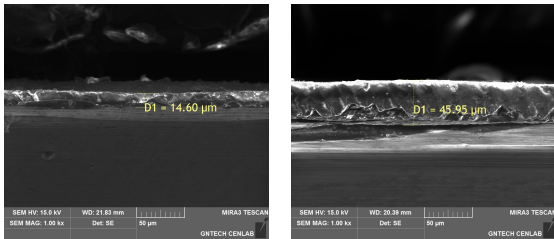


Fig. 6 Graph of chipping width of blade edge

#### 4. 결론

사파이어 나이프의 날 세움 가공에서 지그의 탄성계수가 날 부 치핑에 미치는 영향을 확인하기 위하여 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

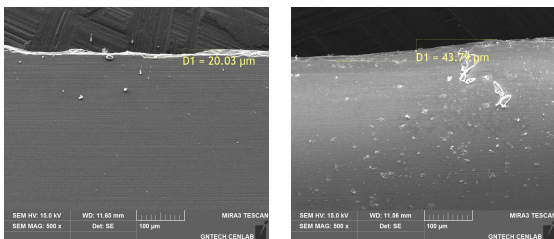
1. 표면 거칠기 측정 결과에 따르면, 산술 평균 표면거칠기(Ra)와 최대 높이 표면거칠기(Rmax)는 탄성계수가 큰 지그를 사용할수록 사파이어 시편의 표면 거칠기는 증가하였다.
2. 치핑 부 두께를 측정한 결과, 지그 재료의 탄성계수가 증가함에 따라 치핑 부 두께도 증가하였다.
3. 치핑 부 폭을 측정한 결과, 치핑 부 폭은 탄소강(SM45C) 지그를 제외하면 탄성계수가 증가함에 따라 치핑 부 폭이 증가하였으며, 스테인리



(a) AI6061

(b) SM45C

Photo 2 SEM photograph of blade edge Thickness



(a) AI6061

(b) SM45C

Photo 3 SEM photograph of chipping area in blade

스강(STS420J2) 지그에서 가공할 때 치핑 부 폭이 가장 크게 나타났다.

4. 탄성 계수가 낮은 지그를 사용할수록 사파이어 시편의 표면 거칠기는 우수하였으며, 날 부에서 치핑 현상은 적게 나타나는 것을 확인하였다.

## REFERENCES

1. Kwak, G., Kim, Y., Lee, H., Ohmori and T. Kwak, "Properties of ELID Mirror-Surface Grinding for Single Crystal Sapphire Optics", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 29, No. 3, pp. 247~252, 2012.
2. Kwak, T. S., Han, T. S., Jung, M. W., Kim, Y. J., Uehara, Y. and Ohmori, H., "A Study on Characteristics of ELID Lapping for Sapphire Wafer Material," Journal of the Korean Society for Precision Engineering Vol. 29, No. 12, pp. 1285-1289, 2012.
3. Kim, Y. Y., Kwak, T. S. and Kim, K. N., "Mirror-surface Machining Properties of Structural Ceramics using Diamond Abrasives," Journal of the Korean Ceramic Society, Vol. 47, No. 4, pp. 290-295, 2010.
4. Koo, Y. and Kim, K. N., "High Precision and Effective Grinding using Super Abrasives and ELID," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 2, No. 4, pp. 25-32, 2003.
5. Lim, G. H. and Kim, K. S., "Effects of the Surface Grinding Conditions on the Machining Elasticity Parameter," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 15, No. 8, pp. 26-32 1998.
6. Kwak, J. S. and Kwak, T. S., "Review of Technology Trends for Ceramics Removal-Machining," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 30, No. 12, pp. 1227-1235, 2013.
7. Chi, L. Z., Lee, S. J., Park, H. M., Oh, S. L. and Ha, M. K., "Effect of Change of Grinding Force on Geometric Error," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 3, No. 2, pp. 10-17, 2004.
8. Shin, G. H., "Effect of elasticity modulus of Jig materials on Shape of blade Edge in Grinding Process of Medical Sapphire Knives," A Thesis for a Master's degree, Gyeongnam National University of Science and Technology, Republic of Korea, 2017.