

# 연속 전해드레싱을 적용한 세라믹재의 초정밀 래핑에 관한 연구

이은상\*, 송지복\*\*, 최재영\*\*\*

## A Study on Ultra-precision Lapping of Ceramics with In-Process Electrolytic Dressing

Eun Sang Lee\*, Ji Bok Song\*\*, Jae Young Choi\*\*\*

### Abstract

Application of ceramics has grown considerably due to significant improvement in their mechanical properties such as light weight, chemical stability and superior wear resistance. Despite these character, the use of ceramics has not increased because of poor machinability. The method of using of super-abrasives metal bond wheel was proposed. But it is difficult that super-abrasives metal bond wheel can be dressed. Recently, the technology of in-process electrolytic dressing is developed to solve this problem. If this method is applied, loading and glazing are disappeared apparently. The aim of this study is to determine the machining characteristics in terms of lapping wheel speed, machining time, pressurized weight to the workpiece and peak current using in-process electrolytic dressing applied to the CIB-diamond lapping wheel to achieve ultra-precision lapping machining technique.

**Key Words :** In-Process Electrolytic Dressing(연속 전해 드레싱), Glazing(날무디어짐 현상), CIB-Diamond Lapping Wheel(주철본드 다이아몬드 래핑숫돌), Loading(누막힘현상), Ultra-Precision Lapping Machining(초정밀 래핑가공)

### 1. 서론

세라믹스는 우주 개발, 원자력 산업, 일렉트로닉스 산업 분야 등에 걸친 눈부신 발전을 이루게 되면서 보다 극한적인 환경 조건하에서도 뛰어난 내열성, 내식성, 기계적 강도, 전자기적 특성을 가지며 치수의 정밀도가 좋은 재료로 각광을 받고 있다.

그러므로 최근 수년 동안 제품의 경도나 경량화, 화학적 안정성 그리고 우수한 내마멸성과 같은 기계적 물성치들의 향상과 관련해 관심이 증가되어 왔다.

그러나 많은 장점에도 불구하고 세라믹스의 활용은 공작기계의 한계에 부딪쳐 다양한 분야에 적용이 제한되어 왔으며, 이 문제를 해결하기 위하여 세라믹스 부품의 가공이 가능한 기술이 공작 기계 분야에서 많이 요구되는 실

\* 인하대학교 기계공학과  
\*\* 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소  
\*\*\* 부산대학교 정밀기계대학원

정이다.<sup>(1)</sup>

이러한 세라믹스와 같은 난삭성과 경취성을 가진 재료의 초정밀 가공에 초지립 메탈 본드 스톨(super-abrasives metal-bonded wheel)의 이용이 필수적으로 요구되어 지고 있다.<sup>(2)</sup>

초지립 메탈 본드 스톨은 레진(resin-bonded), 비트리파이트(vitrified-bonded)결합제로 제작된 휠에 비해 고강성, 자기윤활성을 가지며 연삭비가 현저히 높지만 이러한 초지립 메탈 본드 스톨의 이용에 있어서 가장 큰 문제는 드레싱 방법의 어려움에 있다.

따라서 최근에는 이러한 문제를 해결하기 위해서 연속 전해 드레싱 기술이 개발 되었다.<sup>(3,4)</sup>

본 연구에서는 래핑 머신에 초지립 메탈 본드 래핑 스톨 장착하여 전해 드레싱 기법을 적용하여 화학적 안정성, 전기 절연성이 커 전자 공업용, 접착용, 기계 재료로 널리 사용되는  $Al_2O_3$ 의 초정밀 가공 방법을 제시 하였다.

## 2. 연속 전해드레싱 래핑의 원리

약전도성 전해액에 의한 전해드레싱에 연속성을 부여함으로써 초지립 지식을 안정적으로 가공에 이용할 수 있는 드레싱 방법을 연속 전해드레싱(In-Process Electrolytic Dressing)이라고 한다.

Fig. 1은 연속 전해 드레싱 래핑법의 원리를 나타낸 것으로서 미세한 다이아몬드 연마재를 가진 메탈본드 스톨은 트루잉 작업 후에는 연마재와 결합재는 평탄화되며 ①연마성이 저하 된다.

그래서 초기 전해 드레싱을 통하여 결합재를 용출하여 연마재를 돌출시킨다.②

이 전해현상에서는 래핑 스톨의 결합재가 수  $\mu m$  용출한 후 빠르게 부도체 피막(수산화철, 산화철 등)에 의한 절연층이 래핑 스톨 표면에 형성되고 과도한 용출은 방지된다.③

그리고 래핑을 시작하면 공작물이 이 부도체 피막과 접촉하여 연마재가 마멸된 분량만큼 피막이 벗겨진다④. 이렇게 되면 피막에 의한 절연이 저하 되고 또다시 결합재가 필요한 양만큼 용출되어 연마재의 돌출이 유지된다.⑤

이 천이 상태(연속 전해드레싱 사이클)에 의해 다시 새로운 연마재가 돌출되어져 안정된 가공이 진행된다 이러한 연속 전해드레싱 래핑의 자율적인 제어 기능에 의해 초정밀의 가공이 유지된다.

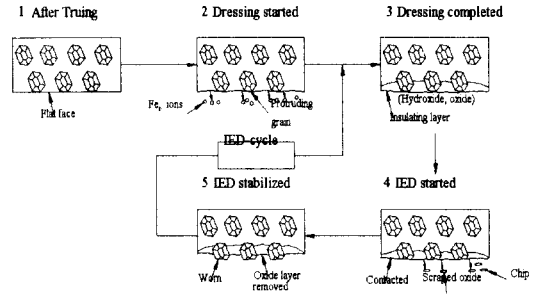


Fig. 1 Mechanism of IED lapping

## 3. 실험 장치 및 방법

Fig. 2는 본 실험장치의 구성도를 나타낸 것이다.

전원 공급 장치의 양극은 흑연 브러시를 사용하여 초지립 메탈 본드 래핑 스톨에 장착하고, 음극은 순동으로 제작된 전극에 장착하여 초지립 메탈 본드 래핑 스톨 표면과 전극사이를 0.4mm로 유지하고 이 사이로 약전도성의 전해액을 공급하여 전해현상을 발생시켰다.

또한 공작물을 고정시키기 위해 주철로 된 리테이너(retainer)와 일정한 가압력을 가할 수 있는 지그(jig)로 구성되어 있다.

이러한 일정한 정압을 가하는 방법은 공작물의 표면거칠기와 평탄도를 쉽게 얻을수 있는 가공 방법이다.<sup>(5)</sup>

Fig. 3은 본 연구에서 사용한 실험장치의 사진이다

Table 1은 본 실험 전체에 사용된 시스템의 사양을 나타낸 것이다.

이 실험에서 사용된 전극은 래핑스톨 크기의 1/8크기로 구리로 제작되었고, 연속 전해 드레싱을 위한 전원은 펄스

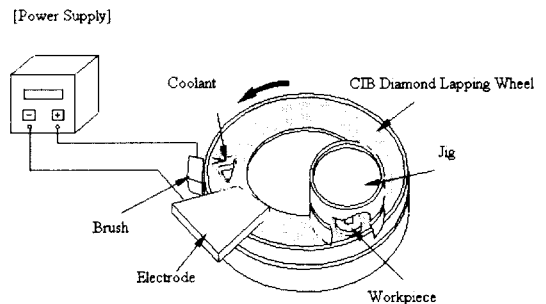


Fig. 2 Schematic drawing of In-Process Dressing lapping experimental setup

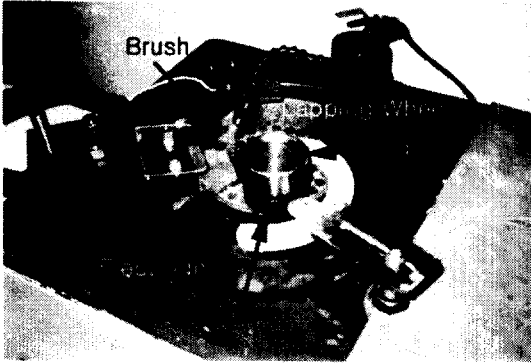


Fig. 3 Experimental units

Table 1 Specifications of In-Process Electrolytic Dressing lapping system

Lapping Machine	Single-sided Lapping Machine [Alpha precision IND.CO.]
Lapping Wheel	Cast Iron Bonded Diamond Lapping Wheel(CIB-D) ( $\varnothing$ 180 X W25 mm #3000 conc.100)
Power Supply	IEDS Power Supply
Workpiece	Ceramics ( $Al_2O_3$ $\varnothing$ 31 mm)
Electrolytic fluid	Solution type(20:1)
Measuring Instrument	Taylor-Hobson

유지, 휴지 시간( $\tau_{on/off}$ )을  $10\mu s$ 로 하고 전압은 최대 90V 까지이며 피크전류( $I_p$ )값은 0-19A사이에 조정이 가능하다.

전극과 스톨의 간격은 간극게이지(Gap Gage)를 사용하여 0.4mm를 유지시켰으며 트루잉을 시킨 후 물로 희석 시킨 전해액을 사용하여 피크전류( $I_p$ )를 10A, 펄스 유지, 휴지 시간( $\tau_{on/off}$ )을  $10\mu s$ 로 초기 드레싱을 30분 동안 실시하였다. 시편은 #325 래핑 스톨을 사용하여 초기 가공을 실시하였다.

실험은 우선 #3000 래핑 스톨을 사용하여 전해드레싱을 적용시키지 않고 래핑 스톨 속도와 그리고 가공 시간에 따른 표면 거칠기 값을 측정 하였다.

그런후 연속 전해 드레싱을 적용후 초기 드레싱시 전압과 전류의 거동을 조사 하였고, 래핑 스톨 속도와 가공 시간에 따른 표면 거칠기 값을 전해 드레싱을 적용하지 않았을 때와 비교분석하고 또한 공작물에 가하는 하중에 따른 표면 거칠기 값의 변화와 피크 전류( $I_p$ )값의 변화에 따

른 표면 거칠기 값의 변화를 분석하였다.

표면거칠기 값은 시편의 4 부위를 지정하여 측정하여 최대값과 최소값의 범위와 평균값을 표시하였다

## 4. 실험 결과 및 고찰

### 4.1 초기 드레싱시의 전해 특성

연삭 작업에 들어가기 전에 모든 스톨은 트루잉과 초기 드레싱 과정을 거치게 된다.

실험에 앞서 먼저 래핑 스톨을 트루잉 하였다. Fig. 4는 초기 전해 드레싱시 시간에 지남에 따라 전압과 전류의 거동을 표시한 것이다.

초기 전해드레싱을 시작한지 15분이 지남에 따라 전류 값은 급격히 감소 하고 전압값은 증가 하고 있다. 40분이 경과 하면 거의 일정한 전류값과 전압값을 유지하게 된다.

이렇게 전류값과 전압값이 변화하는 것은 초기 전해드레싱이 진행됨에 따라 금속이온이 용출 되고 산화철 등의 생성물로 스톨 표면에 쌓이게 된다. 이 절연 피막의 증가로 인하여 스톨과 전극간의 전도성의 저하로 연결되고 드레싱 전류는 저하 되는 반면에 전압은 상승하게 된다

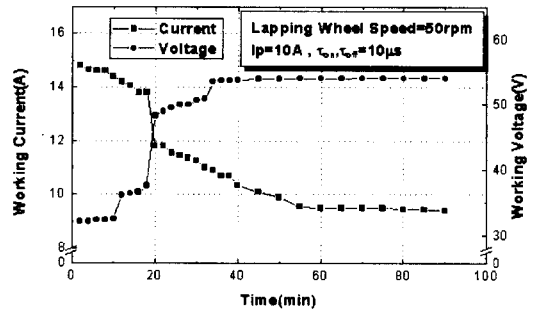


Fig. 4 Electrical behavior of pre-dressing

### 4.2 래핑 스톨 속도에 따른 표면 거칠기

Fig. 5의 경우는 연속 전해 드레싱을 적용한 경우의 평균 표면 거칠기를 표시한 것이고, Fig.6의 경우는 적용하지 않은 경우로 표면 거칠기에서 차이가 있음을 알 수 있다. 그리고 래핑스톨의 속도를 높일수록 표면 거칠기 값이 향상됨을 알 수 있다.

이는 래핑 스톨의 속도가 증가할수록 래핑저항이 감소하므로 발생하는 결과로 Fig. 5에서 나타난 바와 같이 표면거칠기가 Ra 0.20 $\mu m$  까지 향상 되었다.

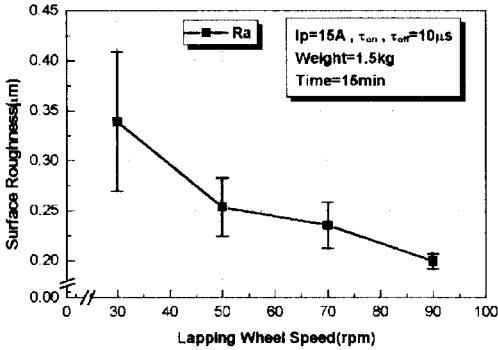


Fig. 5 Relationship between surface roughness and lapping wheel speed.(with IED)

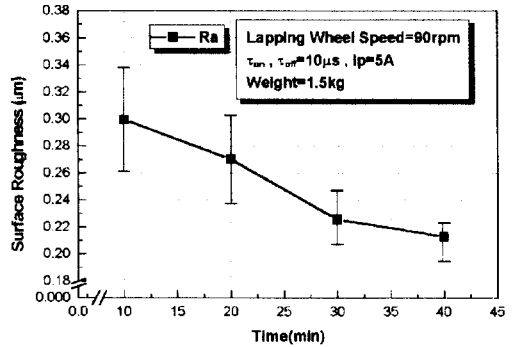


Fig. 7 Relationship between surface roughness and lapping time(with IED)

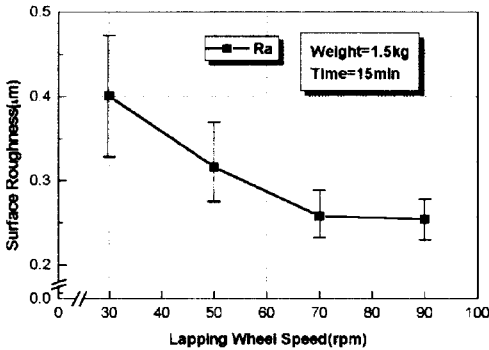


Fig. 6 Relationship between surface roughness and lapping wheel speed.(without IED)

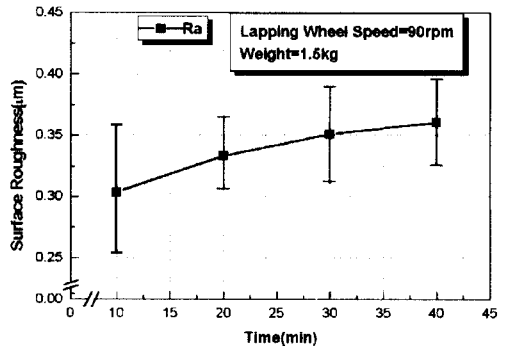


Fig. 8 Relationship between surface roughness and lapping time (without IED)

### 4.3 가공시간에 따른 표면거칠기 변화

Fig. 7 와 Fig. 8은 연속 전해 드레싱을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우에 가공시간에 따른 표면 거칠기 변화를 나타낸 것이다.

Fig. 7와 Fig. 8을 비교해 보면 서로 상반되는 현상임을 알 수 있는데, 이는 연속 전해 드레싱을 적용한 경우는 래핑 가공 중에 일정 하게 연속적으로 드레싱이 되므로, 눈막힘, 날무덤과 같이 공작물의 표면거칠기 값에 좋지 못한 영향을 주는 현상이 발생되지 않아 표면 거칠기가 향상케 된다. 연속 전해드레싱을 적용하지 않은 경우는 가공 중 눈막힘, 날무덤 현상으로 가공시간이 증가함에 따라 표면 거칠기가 나빠짐을 알 수 있다.

### 4.4 하중에 따른 표면 거칠기 변화

Fig. 9는 연속 전해 드레싱을 적용한 가공물에 가해지는

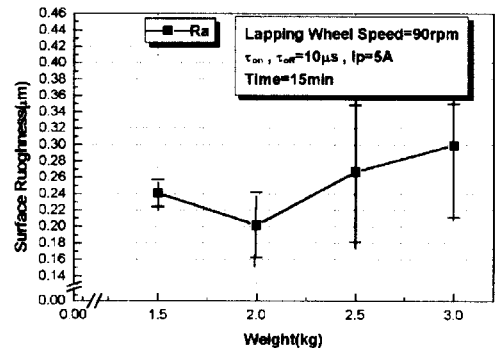


Fig. 9 Relationship between surface roughness and weight

하중의 크기에 따른 표면 거칠기의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 9에서 나타낸 바와 같이 1.5kg(Ra=0.24 μm)에서 2.0kg(Ra=0.22 μm)까지는 표면 거칠기가 좋아지다가

3.0kg(Ra=0.29 μm)에까지 증가함을 알 수 있다. 이는 하중이 2.0kg까지는 표면을 연화 시켜 래핑 하는 입자의 수가 증가하고 또한 마멸에 의해 입자의 크기가 작아져 표면 거칠기가 좋아지지만, 그 이상의 하중을 가하게 되면 표면이 너무 연화 되어 표출되는 입자가 커져 표면 거칠기가 나빠진다

#### 4.5 피크 전류( $I_p$ )값에 따른 표면 거칠기의 변화

Fig. 10은 피크전류( $I_p$ )값에 따른 표면 거칠기의 변화를 나타낸 것이다. 피크 전류 값이란 전해 공급 장치에서 나오는 펄스의 크기 값을 나타낸다. 피크 전류( $I_p$ )값을 증가시키에 따라 표면 거칠기 Ra값은 0.32 μm에서 최고 Ra 0.22 μm까지 좋아짐을 알 수 있다.

이는 피크 전류( $I_p$ )값이 증가함에 따라 전해량이 많아지고 이에 따라 산화막이 두껍고 보다 빠르게 생성되어, 연속 전해 드레싱 작용이 안정화 되어 표출되어지는 다이아몬드 래핑 입자가 고르게 돌출 되어짐에 따른 현상이다.

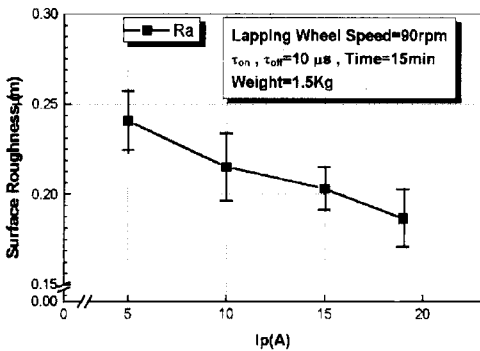


Fig. 10 Relationship between surface roughness and peak current

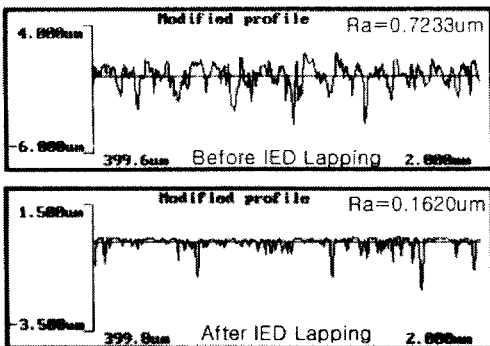


Fig. 11 Comparison of surface roughness profiles

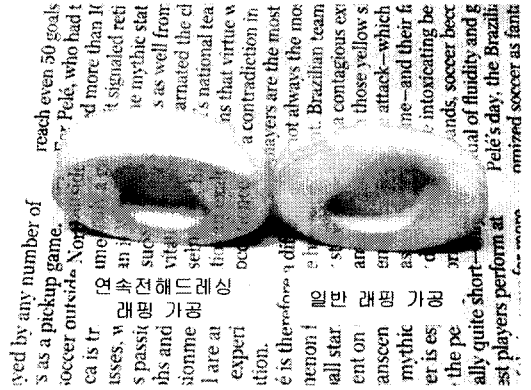


Fig. 12 Comparison of workpiece

Fig. 11은 연속 전해 드레싱 전후의 표면 형상(Roughness Profile)사진이다. 그림에서 보는 바와 같이 초기 표면 거칠기 값의 5배 향상 되었음을 알 수 있다.

Fig. 12는 연속 전해드레싱을 적용하기 전 공작물의 가공된 표면과 연속 전해 드레싱을 적용한 후 가공한 표면의 사진을 나타낸 것이다

## 5. 결론

본 연구에서는 연속 전해 드레싱을 적용한 세라믹재 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )의 초정밀 래핑 가공에서 래핑 스톨의 속도, 가공 시간, 가압 하중, 피크 전류에 따른 표면 거칠기 값과의 고찰을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 연속 전해드레싱을 적용한 경우 일반 래핑 스톨로 공작물을 가공한 것에 비하여 휠속도 따른 표면거칠기 값은 조금 차이가 있지만 가공 시간에 따른 표면거칠기 값은 시간이 지남에 그값의 차이가 많이 난다.
- (2) 연속 전해 드레싱을 적용한 래핑에서 래핑 스톨의 속도를 빠르게 할수록 가공물의 표면 거칠기가 좋아짐을 알 수 있다.
- (3) 연속 전해 드레싱을 적용한 래핑에서 가공 시간을 변화하였을 때 일정 시간까지 표면 거칠기가 좋아지다가 점차 안정된 표면 거칠기를 유지한다.
- (4) 연속 전해 드레싱을 적용한 래핑에서 가공물에 가하는 하중은 적정선 이상으로 가압 하였을 경우 표면 거칠기가 나빠지는 경향을 보인다.

## 참 고 문 헌

- (1) H.Ohmori, "Mirror Surface Grinding of  $ZrO_2$  by Metal Resin Bonded Wheel with ELID" International Journal of JSPE, Vol.31,1997, pp. 55~57.
- (2) Matsuo.T and Okamura, "Wear Characteristic of General and Superhard Abrasive Grain against Various Hard Materials" Annals of the CIRP, Vol.30,1981, pp. 233~237.
- (3) E.S.LEE and J.D.Kim, "A Study on the Analysis of Grinding Mechanism and Development of Dressing System by using Optimum In-Process electrolytic Dressing" Int.J.Mach. Tools. Manufact, Vol. 37, No. 12, 1997, pp. 1673~1681.
- (4) N.Itoh and H.Ohmori, "Finishing Characteristics of ELID-lap grinding Using Ultra Fine Grain Lapping Wheel" International Journal of JSPE, Vol.30, 1997, pp. 305~308.
- (5) N.Itoh and H.Ohmori, "Mirror Surfaces Finishing on Double Sided Lapping Machine with Elid" International conf. and general meeting of the european society for precision engineering and nano-technology 1999, pp. 266~269.