

# ELID 연삭에서 부도체 피막의 실시간 계측

김화영\* · 안중환\* · 서영호\*\*

## In-Process Measurement of Insulating Layer in ELID-Grinding

Young Ho Seo, Hwa Young Kim, Jung Hwan Ahn

**Key Words:** Electrolytic-In-Process Dressing(전해 인프로세스 드레싱), Grinding(연삭), Insulating Layer(부도체 피막), Gap Sensor(변위 센서)

### Abstract

In general, it is known that the wear rate of the abrasive and the removal rate of the metal bond of the grinding wheel should be balanced to maintain the depth of the insulating surface layer to an appropriate level. In order to accomplish, the high quality ELID grinding, therefore, it is necessary to measure the depth of the insulating layer in real-time and then to control the electrolytic conditions to keep the depth to a certain level. In this study, an in-process measurement system of the insulated layer using two gap sensors - a capacitor type and an eddy current type - developed and the change of the status of the insulated layer during ELID grinding is detected. And from the experimental data, we have chosen the best mathematical model to predict the depth of the insulating layer.

### 1. 서 론

ELID연삭은 연삭가공 중 연속적인 드레싱을 통해 메탈본드 다이아몬드 스톨의 눈 막힘을 방지하고 안정된 상태에서 가공을 진행하는 연삭 가공법으로 세라믹스, 석영과 같은 경취재료의 고능률, 초정밀 연삭 가공법으로 널리 쓰이고 있다.<sup>(1)(2)</sup>

ELID연삭가공에서의 가공면의 품위는 공작물의 재질을 포함한 가공조건과 전해조건의 적절한 결합에 의해 결정되는데, 현재로는 이러한 가공조건에 따른 전해조건의 설정이 전적으로 작업자의 경험과 감에 의존하므로 신뢰성 있는 면 품위를 얻는 것이 힘들다.<sup>(3)</sup> 특히 ELID연삭에서의 가장 중요한 현상은 부도체 피막의 생성 메커니즘으로

고품위 면을 얻기 위해서는 가공 중 가공조건에 따른 연삭스톨입자의 마모율과 전해에 의한 메탈본드의 제거율의 적절한 균형을 통해 부도체 피막의 두께를 적절한 수준에서 유지시키는 것이 중요하다. 따라서 고품위 ELID연삭가공을 실현하기 위해서는 가공 중 가공상태의 변화 특히 부도체 피막의 상태 변화를 실시간에 계측하고 이를 이용하여 전해조건을 제어해 주는 것이 필요하다. ELID 연삭에서 센서를 이용한 가공 중 부도체 피막의 계측이 어려운 것은 전해에 의한 부도체 피막의 생성이 비선형적이고, ELID 연삭시스템이 전기적 노이즈에 굉장히 취약한 구조로 되어 있기 때문이다.

본 연구에서는 용량형 갭센서와 와전류형 갭센서를 이용하여 부도체 피막 계측 시스템을 개발하였으며 이를 이용하여 가공중 부도체 피막의 상태 변화를 신뢰성 있게 검출하였다.

\* 부산대학교 기계공학부

\*\* 부산대학교 대학원

## 2. ELID 연삭의 메카니즘

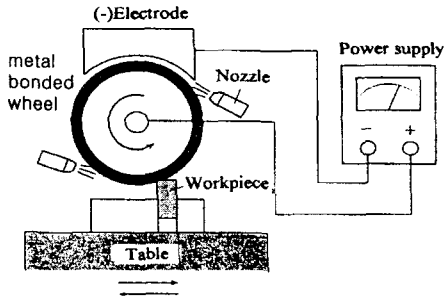


Fig. 1 Principle of ELID-grinding

Fig. 1은 ELID 연삭가공의 원리를 나타낸다.(4) 슛돌을 (+)극, 슛돌면에 대한 위치에서 (-) 전극을 두고 양전극 사이에 수용성 연삭액을 흘리고 직류 펄스 전원을 가하면 전기분해가 일어난다. 이 전해를 이용하여 슛돌입자의 돌출을 유지시키므로 연속적인 가공이 가능하게 된다.

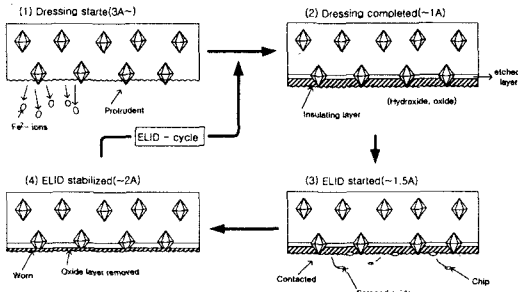


Fig. 2 In-process Dressing Mechanism

Fig. 2는 ELID 연삭 메커니즘을 나타낸다. 초기 드레싱시 트루잉된 슛돌 표면은 전기 전도성이 높기 때문에 드레싱을 개시하면 전원에 설정한 최대 전류에 가까운 전류가 흐르고 전해가 발생한다. 수분 후, 전해에 의해 슛돌의 메탈본드재가 용출되어  $Fe_2O_3$ 의 부도체 피막이 슛돌 표면에 덮게 된다. 슛돌 표면에 덮는 부도체 피막의 영향으로 전해전류가 점점 감소하여 약 30분 정도 지나면 전해전류가 작아져 전해가 멈추게 된다. 초기 드레싱 후 연삭을 개시하면 슛돌입자와 더불어 피막도 같이 떨어지며 이로 인해 슛돌면의

전기 전도도가 증가하여 전해가 다시 일어나 부도체 피막이 어느 정도 재생된다. Fig. 2에서 에칭층(etched layer)은 메탈본드의 용출로 인해 생기는 부식층을 나타내며 이 층에 의해 연삭 슛돌 입자의 탈락이 쉽게 일어나게 된다.

## 3. 부도체 피막의 측정 원리

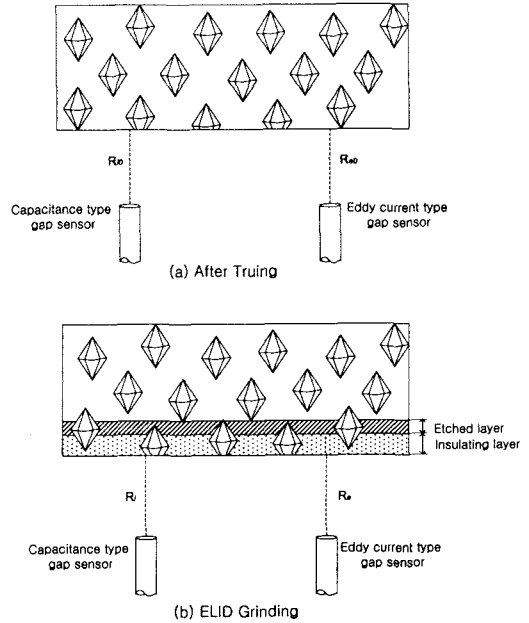


Fig. 3 The principle of measurement

Fig. 3은 부도체 피막의 측정원리를 나타낸다. ELID 연삭이 진행되면 먼저 메탈본드가 떨어져 나가면서 부도체 피막이 슛돌면에 덮이므로 부도체 피막의 두께를 측정하기 위해서는 본드재 용출로 인한 슛돌 직경의 감소분과 피막의 덮임으로 인한 슛돌 외경의 증가분을 같이 검출해야 한다. 부도체 피막의 두께  $t_i$ 에 대해 부도체 피막으로 인한 슛돌의 외경 증가분을  $R_i$  그리고 본드재 용출로 인한 슛돌 감소분을  $R_0$ 로 하였을 때 (1)와 같은 식이 성립한다.

$$t_i = R_i - R_0 \quad (1)$$

본 연구에서는 용량형 갭센서를 이용하여 부도체 피막에 의한 슛돌 외경을 측정하였으며 와전류형 갭센서를 사용하여 슛돌 본드재 용출로 인

한 슷돌 감소량을 측정하였다.

#### 4. 실험 장치 및 방법

Table 1 Specifications of experimental equipments

Machine Tool	Reciprocating surface grinder EPG52S : [Nagase Co.]
Grinding wheel	#4000 cast iron bonded CBN wheel (grit size 5 $\mu$ m)
Workpiece	SKD11
Power supply	FUJI ELIDER ED910 [Fuji Dies Co.]
Fluid	AFG-M + tap water (1.28% dilution of water)
Gap sensors	Eddy current type : AEC-5706PS, Resolution max.0.02 $\mu$ m Capacitance type : VE133[Ono Sokki Co.], Resolution max.1 $\mu$ m
Surface measuring instrument	Surftest SV501 [Mitutoyo Co.]

Table 2 Grinding/electrolytic conditions for experiments

Grinding conditions	Spindle speed(rpm) : 2000 Depth of cut( $\mu$ m/pass) : 0.1
Electrolytic conditions	Condition① : Eo 100V, Ip 10A, $\tau_{on/off} = 5\mu$ s Condition② : Eo 50V, Ip 5A, $\tau_{on/off} = 5\mu$ s

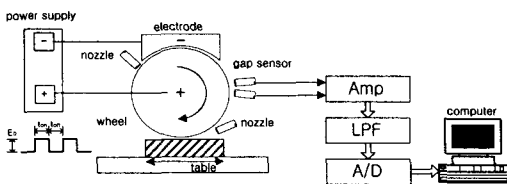


Fig. 4 Schematic Diagram of Experimental Setup

Table 1는 실험에 사용한 장치의 사양이다. 가공기는 정밀평면 연삭기를 사용하였으며, 트래버

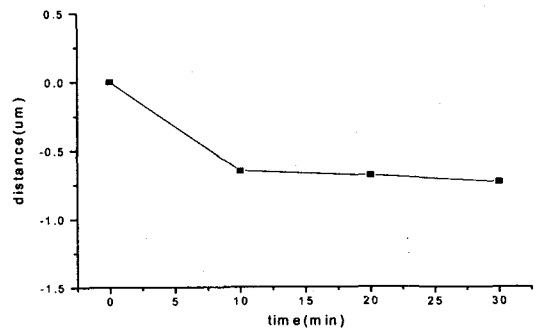
스 방식으로 가공하였다.

Table 2는 전해조건이다. 연삭액은 수용성 연삭액(AFM-M, Noritake Co.)을 슷돌물로 80배 희석해 사용하였다. 일반적으로 경면 연삭에서는 50배 희석을 하나 고능률 가공에서는 이보다 높게 희석을 하여 피막의 두께를 줄여야 하는 것으로 알려져 있다.

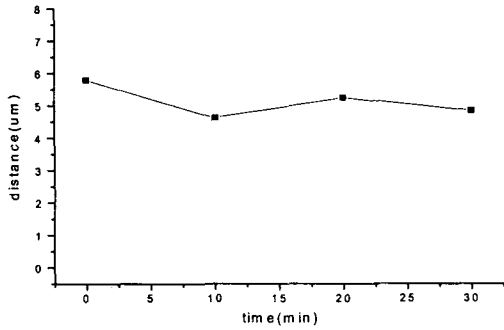
Fig. 4는 실험 장치의 구성도이다. 실험 방법은 가공 중 검출한 두 종류의 갭센서 신호를 저역통과 필터를 거친 후 컴퓨터로 A/D하여 저장한다.

#### 5. 실험 결과 및 고찰

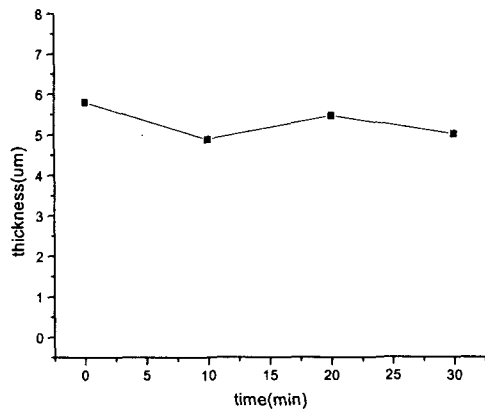
전해조건 변화에 따른 부도체 피막의 상태변화를 보기 위해 약 30분간 pre-dressing한 후 전해조건①에 따라 가공하였으며, ELID 사이클이 충분히 안정한 된 상태에서의 측정값을 얻기 위해 약 30분 지난 후 갭센서를 이용하여 가공 중 부도체 피막의 상태 변화를 계측하였다. 전해조건②의 경우도 동일한 방법으로 측정하였다. Fig. 5는 전해조건①에서의 가공 중 갭센서를 이용하여 측정된 슷돌 마모량, 피막 생성으로 인한 슷돌 외경 변화량 및 부도체 피막의 변화를 나타낸다. Fig. 5(a)(b)는 각각 와전류형 갭센서와 용량형 갭센서를 이용한 결과이며 Fig. 5(c)는 이 두 데이터를 이용하여 구한 부도체 피막의 상태 변화량이다.



(a) etched layer surface



(b) insulating layer surface

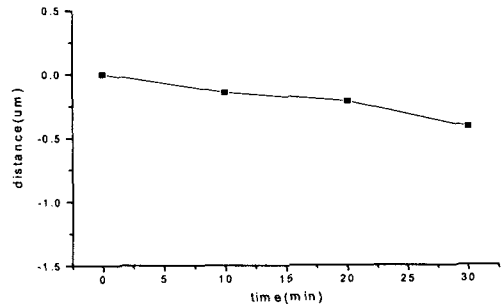


(c) estimated thickness of insulating layer from (a), (b)

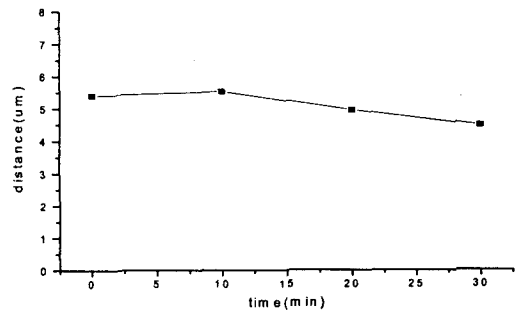
Fig. 5 The data measured by the condition ①

Fig. 6은 전해조건②에서의 측정된 결과이다. 측정된 값은 트루잉이 끝난 후 검출된 값을 기준으로 하여 구한 값으로 실제 숫들의 직경 감소 및 피막에 따른 외경 변화를 나타낸다. pre-dressing 때 얻은 측정값은 비교적 안정된 상태에서 완만하게 변하는데 비해 가공 중 검출된 값에서는 변화가 심하게 일어난다. 이는 pre-dressing이 끝난 상태에서는 이미 부도체 피막이 전 숫돌면에 걸쳐 덮혀있기 때문에 전해 전류의 흐름도 미약하여 더 이상의 전해 없이 비교적 안정된 상태를 유지하나 가공 중의 경우 피막 및 숫돌 입자의 불규칙적인 탈락에 의해 전해 전류의 변동이 심하게 일어나기 때문이다. 이는 부도체 피막 생성 메카니즘이 비선형적임을 나타낸다.

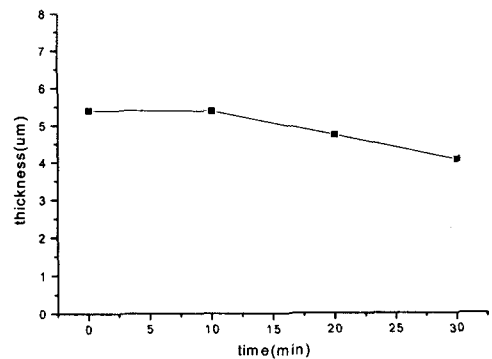
Fig. 5, 6에서 두 경우 모두 동일한 조건에서 pre-dressing을 행하였기 때문에 pre-dressing 후의 상태는 거의 같으며 가공 중 전해조건의 변화에 따라 부도체 피막의 상태가 변하게 된다.



(a) etched layer surface



(b) insulating layer surface



(c) estimated thickness of insulating layer from (a), (b)

Fig. 6 The data measured by the condition ②

Table 3 The variations of average value during grinding

전해 조건	① 100V 10A	② 50V 5A
본드재 감소량	1.4 $\mu$ m	0.4 $\mu$ m
숫돌 외경 감소량	1.0 $\mu$ m	0.9 $\mu$ m
추정된 부도체 피막 두께	5 $\mu$ m	4 $\mu$ m

Table 3는 pre-dressing이 끝난 후부터 가공이 30 여분 진행 된 후의 한 시점에 대한 본드재와 숫돌 외경 감소량의 평균값이다. 본드재 감소량과 숫돌 외경 감소량은 pre-dressing이 끝난 후 가공이 30여분 진행되는 동안에 일어난 전체 변화량을 나타낸다. 그리고 부도체 피막의 추정치는 가공이 30여분 진행된 시점에 숫돌면을 덮고 있는 피막의 두께를 가리킨다. 본드재 감소량은 전해 조건 ②에서 적으며 전해 조건 ①에서 크다. 본드재가 감소되는 것은 메탈본딩재가 전해 작용에 의해 용출이 되는 것에 기인한 까닭으로 보인다.

Table 4 Surface roughness of the ground surface

전해 조건	Ra	Rmax
① 100V 10A	10.7nm	72nm
② 50V 5A	9.4nm	67nm
③ 30V 2A	20nm	200nm

Table 4는 가공면의 표면 정도를 나타내었다. 전해 조건 ②에서 표면 정도가 우수하며 반면에 전해 조건 ①은 상대적으로 떨어진다.

가공 조건이 똑같았음에도 불구하고 이러한 결과가 나타난 것은 부도체 피막의 두께에 근거하여 생각해 볼 수 있다. 부도체 피막의 두께는 결론적으로 숫돌의 지립 돌출량을 결정하며 Table 3로부터 전해 조건 ②의 경우에는 숫돌의 지립이

약 1 $\mu$ m정도 돌출되어 원활한 가공면의 질삭이 행해졌음을 알 수 있다. 반면에 전해 조건 ①의 경우에는 돌출량이 부족하여 숫돌면과 가공면 사이에서 부도체 피막이 질삭 저항으로 작용하여 가공면이 상대적으로 나쁘다. 따라서 가공중 부도체 피막의 실시간 계측을 통한 전해조건의 적절한 제어를 통해 보다 신뢰성 있는 고품위 가공이 가능함을 알 수 있다.

## 6. 결론

본 연구에서는 ELID 연삭 가공중 부도체 피막의 실시간 계측을 위한 시스템을 개발하고 실제 평가 실험을 수행하였다. 본 연구를 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

(1) 와전류형 갠센서와 용량형 갠센서를 이용하여 ELID 연삭가공중 숫돌의 감소량과 피막 생성에 따른 숫돌 외경 변화량을 측정하였다.

(2) 측정된 와전류형 및 용량형 갠센서 신호를 이용하여 실시간에 부도체 피막의 변화를 계측하였다.

(3) 가공 조건이 같을 때에는 ELID 연삭 가공면의 표면 정도는 부도체 피막의 두께에 영향을 받는 것을 알 수 있으며 5 $\mu$ m 크기의 숫돌 지립에 대해 약 1 $\mu$ m 정도를 돌출시킨 것이 우수한 가공면 정도를 나타냄을 알아내었다.

## 참고문헌

- (1) H. Ohmori and T. Nakagawa, 1995. "Analysis of Mirror Surface Generation of Hard and Brittle Material by ELID Grinding with Superfine Grain Metallic Bond Wheels", Annals of the CIRP, vol. 44, pp 287-290
- (2) H. Y. Kim and H. Ohmori, 1997. "Development of Mirror Surface Slicing Machine Installed with Grinding System Using Metallic Bond Diamond Blades and ELID", Proceedings of the 8th ICPE, pp. 252-262

- (3) H. Ohmori and I. Takahashi, 1994. "Efficient Grinding Technique Utilizing ELID for Precision Machining of Hard Materials", Advancement of Intelligent Production, JSPE, pp. 315-320
  
- (4) H. Ohmori, 1993. "Electrolytic In-Process Dressing(ELID) Grinding Technique for Ultraprecision Mirror Surface Machine", J. of JSPE, vol. 59, No. 9, pp. 1451-1457 (In Japanese)