

## M/C에 사용되는 내면연삭 휠의 ELID 특성

김성현\*, 방진영, 지흥기(금오공대 기계설계 대학원), 최 환, 이종찬, 정선환(금오공대 기계공학부), 제태진(한국기계연구원)

### ELID characteristics of internal grinding wheel by using M/C

S. H. Kim, J. Y. Bang, H. G. Ji(Dept. of Eng. Sci. Mech., KNUT), H. Choi, J. C. Lee, S. H. Cheong(Dept. of Mech. Eng., KNUT), T. J. Jae(KIMM)

#### ABSTRACT

In this study, in order to set ELID conditions in the internal grinding wheel, the characteristics with the variations of grit size, output voltage and peak current were examined by using conventional machining center(M/C) equipped with electrolytic in-process dressing(ELID). The initial working voltage was lowered and the working current was high with increasing grit size. The insulating layer thickness increased, as the final voltage increased with the output voltage and peak current. The initial wear rate of the wheel machined with ELID were measured indirectly by using surface roughness tracer. The initial wear rate of the wheel with ELID increased along with high grit size. In case that the grit size with ELID was low, the output voltage and peak current had to be increased to increase the insulating layer thickness. In case of the high grit size, the output voltage and the peak current were established low, which made the insulating layer thickness decreased.

**Key Words** : ELID(전해인프로세스드레싱), Internal grinding wheel(내면연삭휠), Output voltage(출력전압), Peak current(피크전류), Insulating layer(절연층)

#### 1. 서 론

연삭가공은 기계가공에서 주로 최종마무리 가공을 하는 경우에 사용되어지며, 최근 산업의 발달과 함께 제품의 고정도화, 다양화, 생산성 향상 등의 요구에 의해 가공에 있어서 고능률과 고정도 가공이 동시에 요구되고 있다. 기존의 랩핑과 같은 연마방법은 가공정도와 가공능률에 한계가 있으며 환경문제까지 대두되고 있다. 최근 이러한 문제를 개선하기 위해 연삭가공으로 연마가공을 대체할 수 있는 ELID를 이용한 가공방법이 사용되고 있다.

전해 인프로세스 드레싱(Electrolytic In-Process Dressing : ELID)연삭법은 고강도 메탈본드 슷돌을 사용하여 전해작용에 의해 드레싱이 연속적으로 이루어지도록 하는 가공법이다. 슷돌의 다이아몬드나 CBN등의 연삭입자를 결합하고 있는 금속결합체를 전기분해에 의해 적당량 제거하여 일반적인 연삭과 달리 연삭입자를 연속적으로 돌출시켜 가공이 유지

되도록 하는 연삭방법으로 가공 중 드레싱이 가능함에 따라 매우 높은 입도의 슷돌을 이용한 경면연삭이 가능하며 금속결합체의 강도가 높기 때문에 경한 재료의 가공에 큰 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 범용 머시닝센터(M/C)에 ELID 기구를 장착하여 ELID를 이용한 연삭의 기초연구로 내면연삭 휠의 ELID조건설정을 위해 입도와 출력전압, 피크전류 변화에 따른 특성을 알아보았다. 또한, 표면조도계를 사용하여 가공시 ELID가 되어진 휠의 초기 마모량을 간접적으로 측정하여 휠 입도 변화에 따른 ELID 조건을 설정해 보았다.

#### 2. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 휠은 내면연삭용으로서 입도가 #325, #1000, #2000이고, 결합도 N, 집중도 100인 Diamond 휠로서 주철계의 메탈본드를 사용하였다.

공작기계는 속도와 이송의 변화가 자유롭고 1 $\mu$ m

까지 절입이 가능한 범용 M/C(ECOMIL-43V, 7.5kW)를 사용하였고 공작물은 Quartz로서 GE에서 생산된 고순도의 214 Type을 사용하였다.

Table 1은 본 연구에 사용된 실험조건을 나타내었다.

Table 1 Experimental set-up

Grinding machine	Vertical Machining Center (ECOMIL-43V)
Grinding wheel	SD325N100M(25D × 5t) SD1000N100M(25D × 5t) SD2000N100M(25D × 5t)
Work piece	214 Type Quartz, 25 × 60 × 10mm
Grinding conditions	Wheel speed(Vs) : 200m/min
	Table speed(F) : 50mm/min
	Depth of cut(a <sub>p</sub> ) : 5μm
Grinding fluids	Noritake, CEM (1:50)
Dressing condition	Truing : GC100 stick Dressing : Vp-60V, Ip-7A, τ -2μs

Fig.1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 연삭력의 측정을 위해 압전형 공구 동력계(Kistler, 9254)를 M/C 테이블 위에 설치하고 그 위에 정밀 유니버설 바이스를 설치한 후 공작물을 고정하였다. 공작물 연삭시 공구동력계에서 발생된 신호는 다채널 증폭기(Kistler, 5019A)에서 증폭된 후 아나로그-디지털변환기(IOtech, DaqBook)를 거쳐 디지털화되어 개인용 컴퓨터(PC)로 전송되고, Grinding force software를 사용하여 실험에서 일어난 연삭력 값을 측정하였다. 표면조도와 형상은 측정식 표면조도계(Mitutoyo, SV-600)를 사용하여 측정하였으며, 이때 Cut off 값은 0.8mm로 하였다.

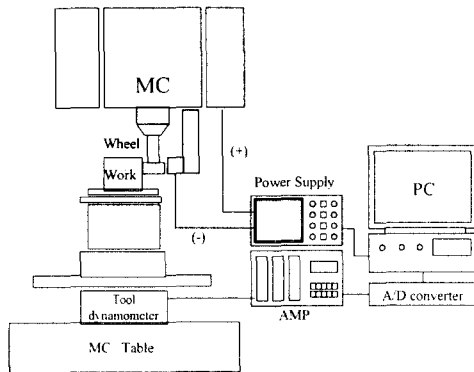


Fig. 1 Experimental conditions

ELID 장치의 출력전압(Vp)은 40~75V, 피크전류(Ip)는 1~7(A)로 변화시켰고 on-off(τ) 시간은 각각 2μs로 설정하였다. 실험에서 사용된 전극은 원주의 1/4크기인 전극용 구리로 제작되었고 전극과 스톨의 간격은 약 0.1mm로 유지시켰다. 전원의 (-)극은 전극에, (+)극은 기계의 몸체에 직접 부착하여 사용하였다. Table 2는 ELID 장치의 전원구성을 나타낸 것이다.

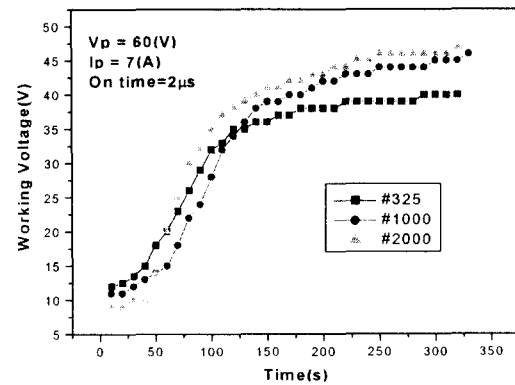
Table 2 Elid experimental set-up

Power supply	TED-910 (NANO Tech System)
Input	AC220V, 60Hz, 700W
Output	Output voltage(Vp) : 40, 60, 75 (V)
	Peak current(Ip) : 1, 4, 7 (A)
	On time(τ) : 2μs

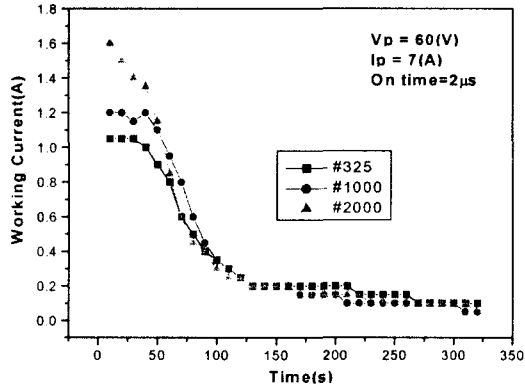
### 3. 실험 결과 및 고찰

일반 범용 M/C에서 내면연삭 휠을 장착하여 입도에 따른 전원특성과 출력전압(Vp)과 피크전류(Ip) 값에 의한 전압(Vw)·전류(Iw)변화를 관찰하였다.

Fig. 2는 휠의 입도에 따른 전압과 전류의 변화를 나타낸 것이다. 시간의 변화에 따라 전압이 상승함과 동시에 전류는 강하하는 반비례관계를 가진다. 또한, 실제 Input값에 비해 전압·전류의 Output값이 매우 작게 나오는 것은 볼 수 있는데 이는 (+)전원을 공구가 아닌 기계몸체에 부착하는데서 온 손실로 볼 수 있다.



(a) Working voltage



(b) Working current

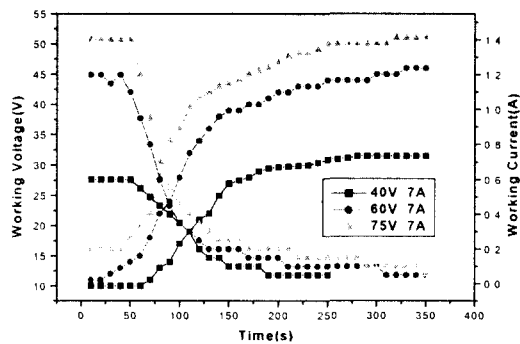
Fig. 2 Electrical behavior of pre-dressing (Vs=200m/min)

Fig. 2(a)는 전압의 변화를 나타낸 것으로 입도가 높아짐에 따라 초기전압은 낮은 값을 나타내었고 Fig. 2(b)의 전류변화를 살펴보면 입도가 높아짐에 따라 초기전류는 높은 값을 나타내었다. 이상의 결과를 검토해 보면 각 입도별 전압·전류의 비교값은 반비례하여 동력(W)값은 Table 3과 같이 서로 비슷한 값을 가지는 것을 볼 수 있다.

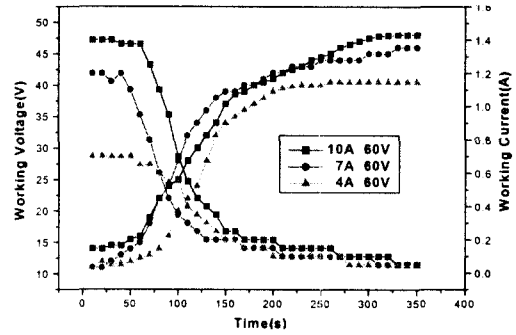
Table 3 Power with mesh size(Vs=200m/min)

	#325	#1000	#2000
Voltage(Vw)	12.5	11	8.5
Current(Iw)	1.05	1.2	1.6
Power (Vw× Iw,W)	13.125	13.2	13.6

Fig. 3은 출력전압과 피크전류를 조정하여 그 변화를 관찰한 것으로 Fig. 3(a)는 출력전압에 따른 전압과 전류의 변화, Fig. 3(b)는 피크전류에 따른 전압·전류의 변화를 나타낸 것이다.



(a) Output voltage



(b) Peak current

Fig. 3 Working voltage and current with output condition change(Vs=200m/min, #1000)

전류의 값은 드레싱 후 모든 조건에서 비슷한 값을 나타내지만 전압은 출력전압과 피크전류가 높을수록 드레싱후의 값이 높게 나타나고 드레싱 시간 또한 길어지는 것을 볼 수 있다.

이 현상을 설명하기 위해 옴의 법칙(Ohm's law)을 적용하면

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (1)$$

여기서,  $R_1$  : 기계자체의 저항

$R_2$  : 전해액의 저항

$R_3$  : 절연층의 저항(두께)

$R_1$ 과  $R_2$ 는 일정하다고 가정하면

$$I = \frac{V}{R_3} \quad (2)$$

로 표현할 수 있다.

ELID는 전기작용에 의해 메탈본드가 산화되어 절연층을 형성하고 절연층의 두께가 증가할수록 저항이 증가하여 전류가 거의 흐르지 않게 된다. ELID 장치로 드레싱을 실행했을 때 전류(Iw)의 최종값은 조건마다 비슷하게 0.05(A) 정도의 값을 가지나 전압(Vw)의 최종값은 출력전압(Vp)과 피크전류(Ip)를 높게 설정했을 때 그 값을 Table 4와 같이 증가를 보이고 있다.

Table 4 Initial working voltage with output condition (Vs=200m/min, #1000)

Output condition		Vw(V)
Vp(V)	Ip(A)	
60	4	40.5
60	7	46
60	10	48
40	7	31.5
75	7	46

위의 결과를 식(2)에 적용시켜 보면  $I$ 는 일정하므로  $V$ 가 증가한다면  $R_3$ 도 증가하게 된다. 그러므로 출력전압과 피크전류를 높이면 절연층의 두께도 증가한다.

Fig. 4는 ELID 연삭시 입도에 따른 초기 가공오차를 알아보기 위해 Quartz를 가공하여 표면조도계를 이용한 표면 Profile을 나타낸 것이다.

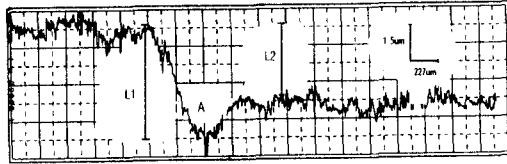


Fig. 4 Surface profile  
(Vs=200m/min, F=50mm/min, #325)

Fig. 4에서 Quartz 표면을 Spark-out하고 절입깊이  $5\mu\text{m}$ 으로 가공했을 때의 표면 Profile로서 L2는 실제 가공량이고 A지점은 공구이송이 정지되어 Spark-out이 일어난 지점이다. L1과 L2의 차는 Spark-out과 공구계의 변형량으로 생성된 가공오차이다.

Table 5는 입도에 따른 실제절입깊이와 입자직경을 나타낸 것으로 입도가 높을수록 절연층 마모에 의한 가공오차가 커진다. 그 이유는 절연층의 두께는  $30\sim 40\mu\text{m}$ 정도로서 입자크기가 이보다 작아지면 약한 절연층에 의해 입자는 지지력을 잃고 연삭력에 의해 떨어져 나가므로 높은 입도의 휠은 마모가 커지고 실제가공량은 작아진다는 것을 알 수 있다.

Table 5 Actual depth of cut(Vs=200m/min, 50mm/min, Vp=60V, Ip=7A,  $\tau = 2\mu\text{s}$ )

	#325	#1000	#2000
Setting( $\mu\text{m}$ )	5		
Actual( $\mu\text{m}$ )	3.12	1.94	0.423
Grit size( $\mu\text{m}$ )	63	15	6.88

ELID에 의해 생성된 절연층이 Fig. 5(a)와 같이 입자의 크기에 비해 너무 얇을 경우 연삭가공시 입자가 마멸되어도 결합력이 강한 메탈본드에 의해 마멸입자 탈락이 잘 일어나지 않으므로 ELID의 장점인 연속드레싱의 효율이 감소하게 되고 연삭력 또한 증가된다. 그러므로, 낮은 입도의 휠을 사용할 경우 출력전압과 피크전류를 높임으로 절연층 두께를 증가시킬 필요가 있다. 반대로, 높은 입도의 휠을 사용할 경우 Fig. 5(b)와 같이 절연층에 비해 입자가 작아 휠의 소모가 많게됨으로 출력전압과 피크전류를 낮게 설정하여 절연층 두께를 감소시켜야 한다.

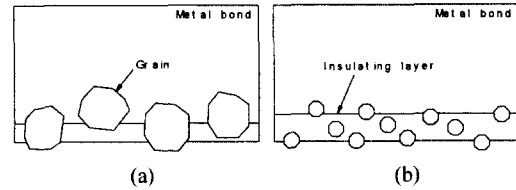


Fig. 5 Insulating layer

#### 4. 결론

ELID 기구를 장착한 범용 머시닝센터(M/C)에서 내면연삭 휠의 ELID 조건설정을 위해 입도와 출력전압, 피크전류 변화에 따른 특성을 알아 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 입도가 커질수록 초기 전압( $V_w$ )은 낮은 값을 보이거나 초기 전류( $I_w$ )는 높은 값을 가진다.
- 2) 출력전압과( $V_p$ ) 피크전류( $I_p$ )를 높이면 절연층의 두께가 증가하여 최종전압( $V_w$ )의 값이 높아진다.
- 3) ELID 작업 후 연삭가공시 입도가 높을수록 절연층에 비해 입자의 크기가 작아지므로 휠의 초기 마모량은 증가한다.
- 4) ELID 연삭시 입도가 낮은 휠은 출력전압과 피크전류를 높여 절연층 두께를 증가시키고 높은 입도일 경우 출력전압과 피크전류를 낮게 설정하여 절연층 두께를 감소시키는 것이 효율적이다.

#### 참고 문헌

1. Jun Quan, Wei Li, Hitoshi Ohmori, "Precision internal grinding with a metal-bonded diamond grinding wheel," Journal of Material Processing Technology, Vol. 105, pp. 80-86, 2000.
2. Chunhe Zhang, Hitoshi Ohmori, Teruko Kato, Noboru Morita, "Evaluation of surface characteristics of ground CVD-SiC using cast iron bond diamond wheels," Journal of the JSPE, Vol. 25, pp. 56-62, 2001.
3. 이은상, 김정두, "최적 연속 전해드레싱에 의한 연삭기구의 규명에 관한 연구," 대한기계학회논문집(A), 제21권, 제8호, pp. 1298-1310, 1997.
4. 이웅숙, 제태진, 강재훈, "전해 인프로세스 드레싱에 의한 경면 연삭기술 개발," KSPE, 춘계학술대회, pp. 57-60, 1997.