

전해 인프로세스 드레싱 연삭에서 AE를 이용한 가공안정성 감시에 관한 연구

김태완* · 이종렬* · 이득우** · 송지복** · 최대봉***
(1998년 9월 10일 접수)

A Study on the Monitoring of Grinding Stability Using AE Sensor in Electrolytic In-Process Dressing Grinding

Tae-Wan Kim, Jong-Ryul Lee, Deug-Woo Lee, Ji-Bok Song and Dae-Bong Choi

Key Words: Electrolytic In-Process Dressing Grinding Method(전해 인프로세스 연삭법), CIB-Diamond(주철본드 다이아몬드 슷돌), Mirror Surface Grinding(경면 연삭), Acoustic Emission Sensor(음향방출 센서)

Abstract

Electrolytic in-process dressing grinding technique which enables application of metal bond wheels with fine superabrasives in mirror surface grinding operations has developed. It is possible to make efficient precision machining of hard and brittle material such as ceramic and hard metal by the employment of this technique. However, in order to ensure the success of performances such as efficient machining, surface finish, and surface quality, it is important to sustain the insulating layer that has sharply exposed abrasives in wheel surface. Using AE(Acoustic Emission) sensor, this paper will show whether the insulating layer sustains stably or not in real grinding time. And by comparing AERms value and surface roughness their thresholds for stable electrolytic in-process dressing grinding will be determined.

1. 서 론

최근 산업의 발달과 더불어 세라믹 등의 경취성과 난삭성의 재료특성에 대한 기대가 커짐에 따라 이러한 공작물의 고정밀 고능률 가공에 적합한 미세한 입도를 가진 슷돌의 이용이 필수적으로 등장하고 있다.⁽¹⁾ 이러한 고정밀도 고능률가공의 한가지 방법으로서 전해 인프로세스 드레싱 연삭법은 슷돌의 금속 결합재를 전기분해에 의하여 필요 최저량을 제거하여 연삭입자를 연속적으

로 돌출시켜 안정된 가공을 유지시키는 연삭법으로 경면가공은 물론 경취성 재료의 고능률 가공이 가능하다.^(2,3) 따라서 최근에는 전해 인프로세스 드레싱 연삭법의 유용성에 관한 연구가 많이 진행되고 있으나 그 전해현상은 아직 불명확한 것이 많다. 전해 인프로세스 드레싱 연삭에서 가공이 이루어 지기 위해서는 절연피막과 그의 안정적인 유지가 관건이라 할 수 있으며 특히 경면가공시 과도한 절입이나 그 밖의 가공 트러블이 발생하면 피막이 벗겨져 가공물에 치명적인 영향을 주게 된다. 또 최근에는 전기분해 작용에 의해서 무디어진 연삭날이 제거되는 공정을 반복함으로 인해 간극의 증가 및 전해산화물에 의한 전류값의 변화가 발생하여 드레싱 효과를 저해시킨다는 연구가 이루어졌다.⁽⁴⁾ 따라서 드레싱 성능을 보상하기 위해 간극의 증가에 따라 전극을 이동

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

** 회원, 부산대학교 기계공학과

*** 회원, 한국기계연구원

시키는 장치의 개발이나 컴퓨터 인터페이스를 이용해 간극의 증가에 따른 전류값을 제어하는 시스템에 관한 연구도 이루어졌다.^(5,6)

AE 센서는 일반 연삭가공에 있어서 슷들의 드레싱의 모니터링, 슷들의 수명, 가공중의 재드레싱 시기의 결정 등의 연구에 광범위하게 이용되고 있다.^(7,8,9) 따라서 본 연구에서는 AE 센서를 이용하여 가공중에 절연피막이 안정적으로 유지하는지를 슷들의 노출된 지립과 공작물의 실제 접촉부위에서 발생하는 음향방출을 통해 직접적으로 감시하고자 하였다. 즉, 가공중에 전해 현상에 의해 본드재가 적절히 용출하여 돌출된 날카로운 지립이 공작물을 파쇄하는 경우의 음향방출과 전해작용에 의한 슷들의 결합체 제거가 미쳐 이루어지지 않아 마모된 지립과 용출되지 않은 주철본드재가 혼재하는 상태에서도 가공이 진행되는 경우의 음향방출이 큰 차이가 있음을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 AE 센서를 이용하여 가공안정성에 관한 감시를 수행하여 AE 센서가 가공안정성 판별에 유용함을 보이고 AERms 값과 표면거칠기와의 비교를 통해 그 타당성을 입증할 것이다.

2. 전해 인프로세스 드레싱 연삭의 메커니즘

약대전성 연삭액에 의한 전해 드레싱을 인프로세스스로 부여함으로써 메탈 본드 초지립지식을 안정하게 이용할 수 있는 가공원리를 <전해 인프로세스 드레싱(Electrolytic In-Process Dressing)연삭법>이라 한다. Fig. 1은 전해 인프로세스 드레싱 연삭법의 메커니즘을 나타낸 것으로서 미세한 다이아몬드 연마재를 가진 메탈본드 휠은 트루잉작업 후에는 연마재나 본드재는 평탄화되고(①) 절삭성은 아주 나빠졌다. 그래서 전해현상에 의해 주철본드재를 용출하여 연마재를 돌출시킨다.(②) 이 전해현상에서는 수 μm 용출한 후 빠르게 부도체 피막(수산화철, 산화철 등)에 의한 절연층이 휠면에 형성되고 과도한 용출은 방지된다.(③) 그리고 연삭을 시작하면 공작물이 이 부도체 피막에 접촉하고 연마재가 마모된 분량만큼 피막이 벗겨진다.(④) 때문에 피막에 의한 절연이 저하되고 또 본드재가 필요량만큼 용출하여 연마재 돌출이 유

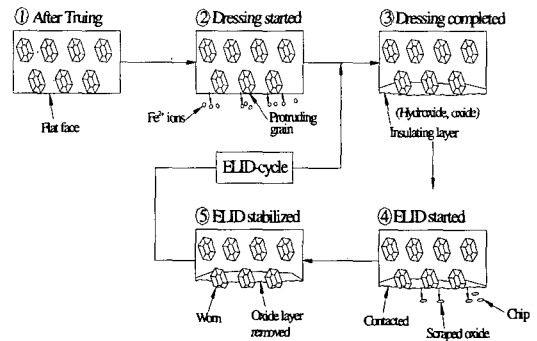


Fig. 1 Electrical behavior of electrolytic in-process dressing grinding.

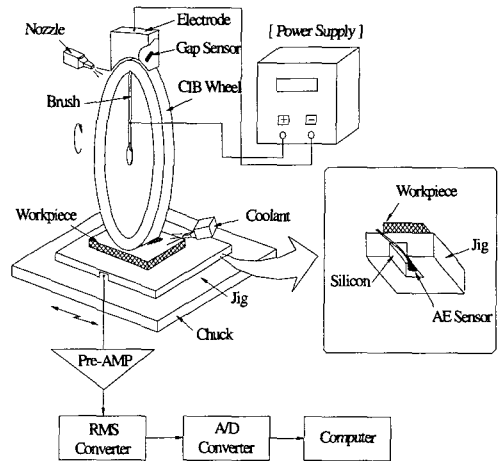


Fig. 2 Schematic drawing of electrolytic in-process dressing experimental setup.

지되고(⑤), 이 천이상태(전해 인프로세스 드레싱 사이클)에 의해 다시 새로운 연마재가 갖추어져 안정된 가공이 진행된다. 이러한 전해 인프로세스 드레싱 연삭의 자율적인 제어 기능에 의해 고정밀도의 가공이 유지된다.

3. 실험장치 및 방법

Fig. 2는 본 실험의 장치 구성도를 나타낸 것이다. 신뢰성과 안정성있는 실험을 위해 AE센서의

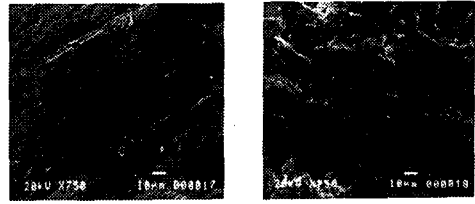
Table 1 Specifications of electrolytic in-process dressing grinding system.

Grinding Machine	Surface Grinding. YGS-50A, 1.5KW [Youil Co.]
Grinding Wheel	Cast Iron Fiber Bonded(CIFB) Diamond Wheel (Straight: $\phi 180 \times W10mm$); #325conc.100, #2000conc.100 [Fuji Die Co.]
Power Supply	ELID Power Supply ; EPD-10A [Seung-Kwang Electro Co.]
Material	60×60mm SiC(Hv2300)
Fluid	Shell Green + Tap Water (1:50)
Others	Surface Masurement : Surfptest-SV501 [Mitutoyo Co.] : Olympus BH-2UMA
	Acoustic Emission Sensor : NANO-30
	Gap Sensor : VT102 [Ono Sokki Co.]
	Multimeter [John Fluke MFG Co.]
	A/D Board : DAQ-BOOK

새로운 부착방법이 필요하였다. 본 실험에서는 공작물을 강력 접착제를 사용하여 지그의 윗면에 부착하였고 AE 센서는 지그의 아래면에 홈을 파고 그 안쪽면에 부착시켰다. 또 연삭유제의 영향을 없애기 위해 센서주위를 실리콘으로 실링하였다. AE센서는 잡음에 강한 차동형(Differential Type)으로 응답주파수특성이 넓은 주파수 범위에서도 균일한 감도를 내는 광대역 센서를 사용하였다. 센서에서 프리엠프로 입력되는 신호는 100~1200kHz의 대역 통과 필터를 거치고 증폭비가 40dB인 앰프를 통해 증폭하여 RMS처리를 하였다. AErms 값은 획득한 원신호로부터 AErms로 변환시켜 이동평균법을 통해 평활화 시켰으며 샘플링비(Sampling rate)는 AE신호가 고주파인 점을 감안하여 2MHz로 하였다.

그리고 전극과 슷들의 간격을 일정하게 유지시키기 위해 전극의 모서리 부분에 관통하여 간극 센서(Gap Sensor)를 설치하여 매회 가공시 초기에 0.3mm로 조절하여 일정한 극간격을 유지시켜 극간격에 의한 드레싱효과의 저하를 방지하였다.

Table 1은 본 실험 전체에 사용된 시스템의 사양을 나타낸 것이다. 이 실험에서 사용된 전극은 원주에 1/4크기로 황동으로 제작되었고, 전해 인



(a) Before pre-dressing. (b) After pre-dressing.

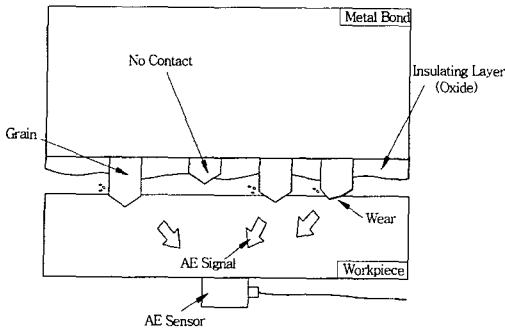
Fig. 3 Scanning electron micrograph of wheel surface.

프로세스 드레싱 전원은 60V/90V 겸용이며, on-off 시간은 2μs이다. 전극과 슷들의 간격은 약 0.3mm로 유지시켰다. 그리고 #100의 GC스틀로 트루잉을 한 후 수용성 연삭유제 대 슷들의 비율이 1:50인 전해액을 사용하여 초기의 절연 피막을 형성하기 위하여 초기 드레싱을 20분동안 실시하였는데, 전해작용의 활성화를 위해서 슷들의 회전속도를 500rpm으로 낮춘 상태에서 수행하였다. 전해조건은 Eo 60V, Ip 10A, τ on 2μs, τ off 2μs로 하였다. 공작물은 경취성 재료인 탄화규소(Hv2300)를 사용하여 가공하였다. 실험은 #325와 #2000의 두가지 슷들을 사용하여 절입을 증가시켜 가면서 각 절입별로 가공횟수를 더함에 따라 AErms 값을 획득하였고 그때의 전류치의 거동과 공작물의 표면 거칠기를 비교 분석하였다. 가공시 휠의 속도는 수차례 실험적인 경험상이 속도가 연삭기 스핀들상의 진동의 영향이 가장 적은 조건이기 때문에 1800rpm으로 하였다.

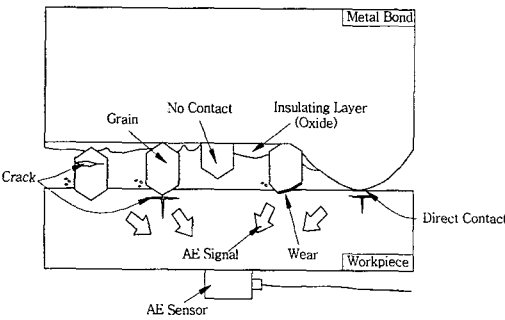
4. 실험결과 및 고찰

4.1 전해 인프로세스 드레싱의 슷들표면

Fig. 3은 주철 본드재의 드레싱 상태를 분석하기 위하여 전해 드레싱을 하지 않은 슷들의 표면상태와 전해 드레싱을 한 슷들의 표면상태를 전자 주사 현미경(SEM)사진을 사용하여 도시하였다. Fig. 3(a)는 전해 드레싱을 하지 않은 슷들의 표면으로 다이아몬드 입자가 상당히 마모되어 있고 또 주철 본드재에 의해 강하게 결합되어 돌출되어 있지 않음을 볼 수 있다. Fig. 3(b)는 초기 전해 드레싱을 수행한 후의 슷들의 표면으로 짙은 갈색의 절연 피막이 형성되어 있는데, 주철 본드재가 충분히 용출되어 다이아몬드 입자가 적절



(a) Stable state



(b) Unstable state

Fig. 4 Interactions between wheel and workpiece.

히 돌출되어 있음을 알 수 있다.

4.2 AE신호의 획득

Fig. 4는 전해 인프로세스 드레싱 연삭시 메탈 본드 슷돌과 공작물 사이의 상호 작용을 모식적으로 나타내었다. Fig. 4(a)는 전해 드레싱이 가공 중에 정상적으로 수행되었을 때의 상태를 보여주는 것으로 메탈 본드재가 충분히 용출하여 연삭입자를 적절히 유지시키고 있다. 이에 반해 Fig. 4(b)는 전해 드레싱이 가공 상태를 충분히 따라가지 못하는 상태인데, 이는 과도한 연삭깊이 나 전해 드레싱 현상의 불량, 그 밖의 바람직하지 못한 트러블에 의해 절연 피막이 제거되고 연삭 입자의 마멸이 증가되고 또 슷돌의 본드재 제거가 미처 이루어지지 않아 표면에 악영향을 미칠수 있는 상태를 보여준다.

Fig. 5와 Fig. 6은 전해 인프로세스 드레싱을 수행하면서 가공을 한 경우와 그렇지 않은 경우의 AE 원신호를 도시하였다. Fig. 5는 트루잉 후 초기 전해 드레싱을 실시하지 않고 절연피막이 완

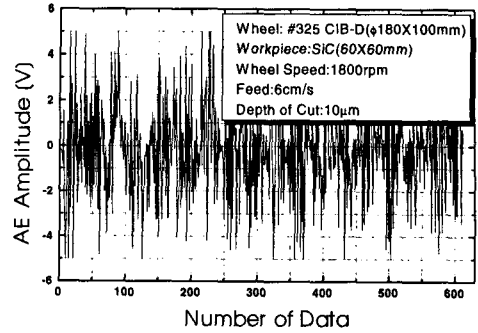


Fig. 5 AE raw signal (without ELID).

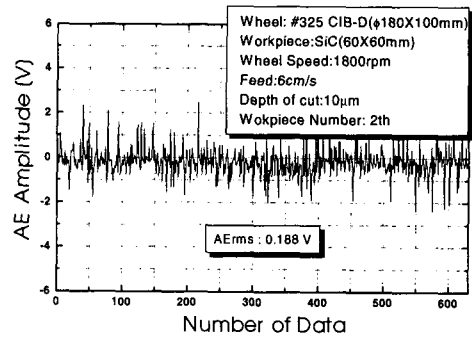


Fig. 6 AE raw signal in stable state (with ELID).

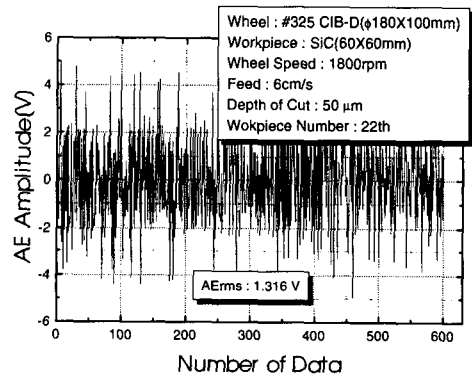


Fig. 7 AE raw signal in unstable state (with ELID).

전히 제거된 상태에서 연삭가공을 실시하였을 때의 AE 원신호를 나타낸 것이고 Fig. 6은 트루잉 후 초기 전해 드레싱을 20분간 실시하여 절연피막을 용출시켜 초기의 연삭날을 충분히 세운 뒤 전해 인프로세스 드레싱 상태에서 절입 10μm로

하여 2번째 시편을 가공하였을 때의 AE 원신호로서 진폭의 차이가 명확히 구분됨을 알 수 있고 이로부터 AE 센서를 통한 전해 인프로세스 드레싱 연삭법의 안정된 전해상태 감시의 가능성을 확인할 수 있었다. 그리고 Fig. 7은 절입 50 μm 로 하여 가공정지 직전의 상태인 22번째 시편을 가공했을 때의 AE 원신호로서 Fig. 6에 비해 많은 양의 음향방출의 발생을 보여준다. 이는 과도한 절입에 대해 전해 드레싱에 의한 지립의 돌출이 충분히 따라가지 못함에 기인하여 연삭입자의 균열이 성장하고 또 마모된 연삭입자의 접촉면이 증가되는 등의 영향으로 음향방출 에너지가 현저하게 증가되는 것으로 생각된다.

4.3 절입량이 AERms에 미치는 영향

Fig. 8과 Fig. 9는 각 절입별로 가공횟수에 따른 AERms 값의 관계를 도시 한 것이다. #325숫돌의 경우 절입의 증가에 따라 AERms 값의 확연한 차이를 볼 수 있다. 절입 50 μm 에서는 과도한 절입에 의해 안정된 전해현상을 유지하지 못하고 피막이 벗겨져 21회 때부터는 불꽃을 일으키며 가공하다가 23회 때는 절입을 극복하지 못하고 정지하였다. 그리고 절입 10 μm 와 20 μm 일 때는 비교적 낮은 레벨의 AERms 값을 가졌으나 30 μm 와 40 μm 일 때는 비교적 높은 레벨의 AERms 값을 가진 것으로 나타났다. 절입 30 μm 와 40 μm 일 때의 AERms 값은 10 μm 와 20 μm 일 때보다 가공횟수를 더함에 따라 변화가 심해 불안정한 에너지 상태를 보여주고 있으며 따라서 불안정한 전해상태를 예측할 수 있다.

#2000숫돌의 경우, 2 μm 와 4 μm 에서는 40개의 시편을 가공하는 동안 AERms 값의 변화가 거의 나타나지 않음을 확인할 수 있는데 이는 2 μm 와 4 μm 의 절입량에 대하여 전해 인프로세스 드레싱의 효과가 충분히 발휘되고 있음을 알 수 있었다. 반면 6 μm 이상의 절입량에 대해서는 초기의 AERms 값이 거의 차이가 나타나지 않았으나 가공횟수가 더해짐에 따라 피막의 저하를 가져와 절입 6 μm 일 때는 23회, 9 μm 일 때는 12회, 12 μm 일 때는 9회때 가공이 중지되었다. 이는 연속된 가공중에서 전해현상에 의한 결합재의 용출이 가혹한 절입에 의해 마모된 지립의 탈락에 충분히 미치

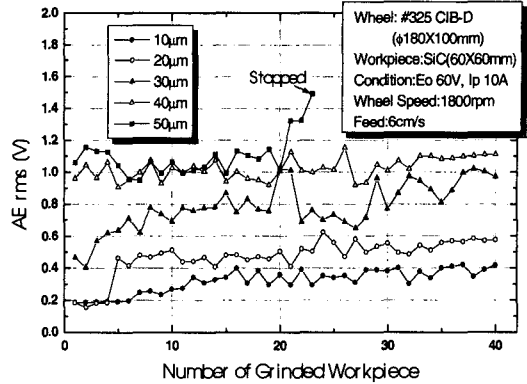


Fig. 8 Relationship between AERms and depth of cut (#325).

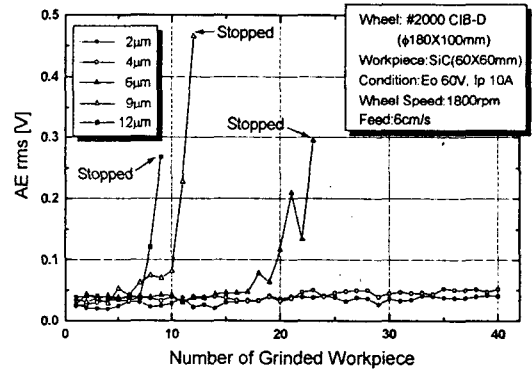


Fig. 9 Relationship between AERms and depth of cut (#2000).

지 못함에 기인하는 것으로 생각된다. 그러나 이 세 경우 모두 가공정지 직전의 가공에서 급격한 AERms 값의 상승을 볼 수 있었는데 이는 숫돌면이 부분적으로 피막이 완전히 제거되어 이면과 피삭재와의 충돌에 의해 음향방출에너지가 크게 상승되어 나타나는 것으로 생각된다. 따라서 이 경우에서 안정된 가공을 위한 AERms Threshold를 정할 수 있고 이를 이용하여 가공불안정 초기에 가공 이상현상을 파악하여 공작물에 악영향을 방지 할 수 있다. 여기서는 0.1V의 Threshold를 제시하고자 한다.

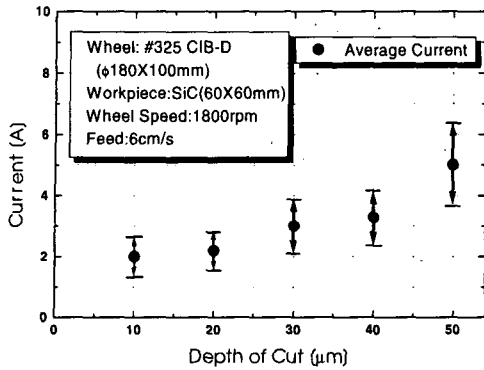


Fig. 10 Relationship between behavior of current and depth of cut (#325).

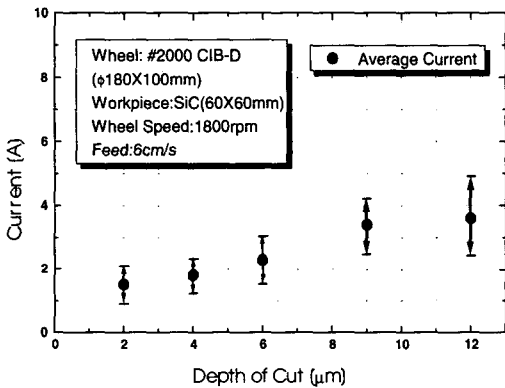


Fig. 11 Relationship between behavior of current and depth of cut (#2000).

4.4 절입량에 따른 전류치의 거동

Fig. 10과 Fig. 11은 각 절입에 따른 전류치의 거동을 도시한 것으로서 절입의 증가에 따라 절연피막의 저하를 의미하는 전류치의 상승을 볼 수 있다. Fig. 10과 Fig. 11에서 각각 20 μ m, 4 μ m 이하의 절입에서는 가공횟수가 더함에 따라 전류치의 상승폭이 적었으나 절입이 커질수록 전류치의 상승폭이 매우 증가되었다. 두 숫돌의 경우 모두 절입이 작을 때 낮은 전류치를 유지함으로써 안정된 전해상태가 되며 이는 Fig. 8과 Fig. 9의 AErms 값과 비교해보면 거의 같은 경향을 보임을 알 수 있다.

4.5 표면 거칠기를 통한 AErms의 특성 확인

Table 2와 3은 40회 가공시의 AErms 값과 평균

Table 2 Surface roughness, current and AErms according to depth of cut (#325).

Depth of Cut (μ m)	40th AErms(V)	Average Current(A)	Surface Roughness	
			Ra	Rmax
10	0.4172	2	0.11 μ m	0.826 μ m
20	0.5756	2.2	0.273 μ m	0.791 μ m
30	0.9721	3	0.627 μ m	2.035 μ m
40	1.1112	3.3	1.241 μ m	3.277 μ m
50	Stopped			

* Average Grain Size : 54.4 μ m

Table 3 Surface roughness, current and AErms according to depth of cut (#2000).

Depth of Cut (μ m)	40th AErms(V)	Average Current(A)	Surface Roughness	
			Ra	Rmax
2	0.0409	1.5	0.038 μ m	0.27 μ m
4	0.0521	1.8	0.043 μ m	0.4 μ m
6	Stopped			
9	Stopped			
12	Stopped			

* Average Grain Size : 8.3 μ m

전류, 표면거칠기를 비교한 것으로서 #2000 숫돌의 경우는 2 μ m, 4 μ m 모두 양호한 거칠기 값을 보이므로 전술한 바와 같이 AErms,thres. = 0.1V 이하에서는 안정된 전해 인프로세서 드레싱을 확인할 수 있다. 미세한 입도의 숫돌일 때 AE 센서를 이용한 가공 안정성의 감시가 매우 유용함을 알 수 있다. #325 숫돌의 경우는 절입 10 μ m, 20 μ m에서 양호한 표면거칠기를 보여 안정된 전해상태를 확인할 수 있으나 30 μ m, 40 μ m인 경우는 가공이 계속됨에 따라 제거되는 피막에 대해 안정적인 전해현상이 충분히 일어나지 않음에 기인하여 표면거칠기가 나빠짐을 알 수 있다.

그리고 두 숫돌의 경우 모두 숫돌 입자의 평균 입경을 고려한다면 평균입경의 1/2이하의 절입을 하는 것이 안정적인 가공을 유지할 수 있는 것으로

로 생각된다.

5. 결론

세라믹 재료의 전해 인프로세서 드레싱 연삭시 AE센서를 이용해 절연피막의 안정성을 감시한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) AErms 값으로서 안정된 가공을 위한 전해 상태의 감시가 유용함을 알 수 있다. 특히 미세한 입도의 슛돌일 때 AE 센서를 이용한 가공 안정성의 감시가 매우 유용함을 알 수 있었다

(2) 안정적인 전해 인프로세서 드레싱 연삭을 위한 AE의 특성을 공작물의 표면거칠기와 전류치의 거동과의 비교를 통해 그 타당성을 확인 하였다.

(3) 안정된 전해 인프로세서 드레싱을 위해서는 평균입경의 1/2 이하의 절입을 해야 함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구 결과는 부산대학교 정밀정형 및 금형 가공 연구소 산학 협력연구비(한국기계연구원)의 지원에 의해 수행되었으며, 관계자의 많은 도움에 감사드립니다.

참고문헌

(1) Matsuo, T. and Okamura, K., 1981, "Wear Characteristic of General and Superhard Abrasive Grains against Various Hard materials," *Annals of the CIRP*, Vol. 30, p. 233.

- (2) Ohmori, H., 1992, "Electrolytic In-Process Dressing (ELID) Grinding for Ultraprecision Mirror Surface Machining," *International Journal of JSPE*, Vol. 26, No. 4, p. 273.
- (3) Ohmori, H. and Nagagawa, T., 1990, "Mirror Surface Grinding of Silicon Wafer Using ELID," *Annals of the CIRP*, Vol. 39/1, p. 329.
- (4) 김정두, 이은상, 1997, "최적 연속 전해 드레싱에 의한 연삭기구의 규명에 관한 연구," 대한기계학회논문집, 제21권, 제8호, p. 1298.
- (5) Suzuki, K. and Uematsu, T., 1987, "On-Machine Trueing/Dressing of Metal Bond Grinding Wheels by Electro-Discharge Machining," *Annals of the CIRP*, Vol. 36, p. 115.
- (6) 김정두, 이은상, 1995, "최적 연속전해드레싱 시스템의 개발과 제어특성," 대한기계학회논문집, 제19권, 제3호, p. 680.
- (7) Inasaki, I. and Okamura, K., 1985, "Monitoring of Dressing and Grinding Process with Acoustic Emission Signals," *Annals of the CIRP*, Vol. 34, p. 277.
- (8) Dornfeld, D. A. and Cai, H. G., 1984, "An Investigation of Grinding and Wheel Loading using Acoustic Emission," *Trans. ASME, J. Eng. Industry*, Vol. 106, No. 1, p. 28.
- (9) König, W. and Mey, H. P., 1987, "AE in Grinding and Dressing; accuracy and Process Reliability," *Proc. 4th International Grinding Conference, Technical Paper MR90*, SME, Detroit, Michigan.
- (10) 岩田一明, 森脇後道, 橋本英文, 1982, "アコースティックエミッションによる切削工具破損の検出", *日本精密機械*, 제48권, 제7호, p. 933.