

AE센서를 이용한 슷돌의 수명판정 및 드레싱시간의 결정에 관한 연구

전길재*, 이상태**, 김남경***, 정윤교****

A Study on the Determination of Grinding Wheel Life and Dressing Time Using AE Sensor

Kil Jae Jun*, Sang Tae Lee**, Nam Kyung Kim***, Yoon Gyo Jung****

ABSTRACT

The grinding operation is an important machining process for machining of final surface. However, grinding process has inevitable troubles such as loading and glazing for grinding wheel. It is, therefore, an essential research theme to determine the wheel life and the dressing time for efficient grinding. In this study, AE signals (AEavg) generated in the grinding operation were measured and the dressing time was determined from the analysis of the AEavg value. To verify the propriety of the obtained result, the AE signals measured on the grinding and the dressing operation were compared with the grinding force signals and the dressing force which were measured at same time. From the obtained result, it was confirmed that the determination of the wheel life and the dressing time by the AE measurement technique proposed in this study can be practically used.

Key Words : AE(음향방출), Grinding operation(연삭가공), Wheel life(숫돌수명), Grinding fluid(연삭액), Dressing time(드레싱시간), Dressing force(드레싱 저항)

1. 서론

연삭가공 공정은 절삭가공공정의 마무리 단계에 속하는 가공으로 정밀가공 제품의 생산에 필수적인 가공단계에 속한다. 그러나 연삭가공중에 발생하는 연삭숫돌 입자의 마멸 및 마모등으로 인한 연삭성능의 저하는 피할 수 없다⁽¹⁾. 이러한 연삭성능이 저하된 슷돌은 드레싱에 의해 회복시킬 필요

가 있으며, 슷돌 수명의 판정이나 드레싱시간등의 결정을 합리적으로 수행⁽²⁾하는 것은 경제적인면에서도 좋은 효과를 가져올수 있으리라 판단된다.

그러나 가공현장에서는 기능인의 경험이나 노하우(Know how)등에 의해서 슷돌수명 및 드레싱시간이 결정되어지는 경우가 많고, 따라서 수명에 도달했음에도 불구하고 계속하여 가공을 수행함으

2001년 11월 26일 접수
* 창원대 대학원 기계공학과
** 창원기능대학 컴퓨터응용기계과
*** 진주산업대학교 기계설계공학과
**** 창원대학교 기계공학과

로서 나쁜 품질의 제품을 생산하는가 하면, 분명히 연삭성능을 유지하고 있는 스톨임에도 불구하고 드레싱을 하여 스톨을 낭비해 버리는 경우가 현장에서는 자주 발생하고 있다.

따라서 본 연구에서는, 현장에서 가장 일반적으로 사용되어지고 있는 WA 및 GC 스톨을 대상으로 평면연삭기를 이용하여 스톨의 수명판정과, 수명에 도달한 스톨의 합리적인 드레싱 시간과 드레싱 조건을 결정함으로써 현장에서의 연삭 가공공정의 효율성을 높이고자 하였다. 이를 위하여 AE 센서를 사용하여 연삭가공을 수행하고 가공중에 발생하는 AE 신호의 절대평균(AEavg)를 획득하여 해석 하였으며⁽³⁻⁶⁾, 드레싱시에도 AE 신호를 측정하여 드레싱 시간을 결정 하였다. 또한 결과의 타당성을 검토하기 위하여 동력계에서 발생하는 드레싱 저항을 동시에 측정하여 AE 신호와 비교 검토 하였다.

2. 실험장치 및 실험조건

본 연구에서 사용되어진 연삭기는 화천(주)제품의 평면 연삭기로서, 주축의 회전수가 1725rpm이다. 사용되어진 스톨은 현장에서 가장 일반적으로 사용되어지는 WA100J8V 및 GC100J8V이며, 피삭재는 SM45C 또한, 스톨이 수명에 도달하기 전후의 가공표면을 조사하기 위하여, 연삭가공에 표면

Mitutoyo사의 촉침식 표면조도계를 사용하였다. 가공되어진 표면과 스톨의 표면상태의 관찰은 주사 전자 현미경 SEM(HITACHI. S-2400)에 의해 관찰하였으며 테이블의 속도 및 연삭깊이는 다양하게 변화시켜 연삭가공을 사용하였다. 스톨 수명판정 및 드레싱시간의 결정을 위해서 사용되어진 AE 센서는 광대역 센서로서, Fig. 1(b)에서 보는 바와 같이, 공작물의 중앙에 홈을 내어 AE 센서를 삽입하여 부착하였으며 얻어진 AE 신호에 의해 분석된 실험결과와의 타당성을 확인하기 위하여 연삭 저항의 2분력(범선분력:Fn, 접선분력:Ft)을 동시에 측정하여 양 신호의 거동을 비교검토 하였다. 또한, 연삭스톨 표면상태를 일정하게 하기 위하여 연삭조건을 변화시킬 때 마다 드레싱을 수행하였다.

연삭가공중에 발생하는 AE신호는 잡음에 강한 차동형 광대역 센서로 검출하였고, 얻어진 신호는 프리앰프(Pre-amplifier)를 사용하여 60dB로 증폭 하였으며, 이 신호의 AE절대평균(AEavg)를 수명

Table 1 Experimental conditions

Grinding machine	HGS-65A(Hwacheon Co.)
Grinding wheel type	WA100J8V, GC100J8V Shape: ø305×t38×ø127
Workpiece	SM45C (168L×38W×60H)
Grinding type	Up cut grinding
Wheel speed(V)	1725rpm
Table speed(v)	5m/min, 10 m/min
Depth of cut(d)	10µm, 15µm, 20µm/pass
Dressing conditions	Dresser:Single point diamond Depth of dresser:20µm Dresser speed: 0.75m/min
Coolant	4ℓ /min, 7ℓ /min, 12ℓ /min, dry
Tool Dynanometer	Piezo type 9257B (Kistler Co.)
Charge amplifier	5019A (Kistler Co.)
A/D converter	PCL-812PG (Advantech Co.)
AE sensor	A50 (Pac.)
Pre-amplifier	1220A (PAC.)
AE main	AE DSP-32/16 (PAC.)

Table 2 Dressing conditions

Dresser	Single point diamond
Dresser speed(v _d)	0.5m/min, 0.75m/min, 1m/min
Depth of dresser(d _d)	10µm, 15µm, 20µm/pass

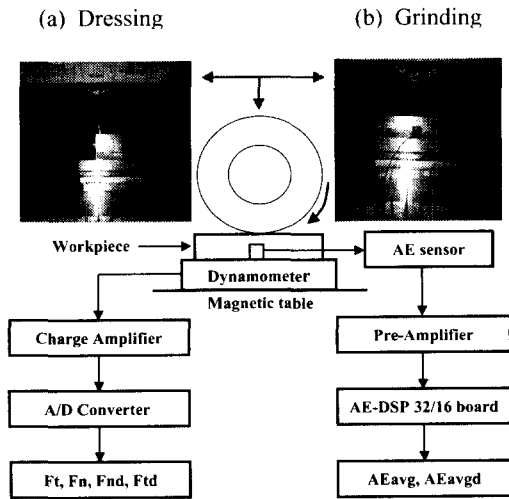


Fig. 1 Experimental setup

판정의 척도로 사용하였다.

또한 드레싱 시간의 결정은 드레싱 작업중에 발생되는 AE의 절대평균(AEavgd)를 측정하여 판단하였으며, Fig. 1에 (a)의 그림은 드레싱을 위한 드레서를 장착한 것이며 단석 드레서를 사용하였으며, 스톨수명판정 및 드레싱시간의 결정을 위한 실험장치이다. 그리고 연삭조건은 Table 1과 드레싱조건을 Table 2에 나타내었다.

3. 스톨의 수명판정

3.1 스톨의 수명판정 방법

연삭스톨의 수명판정은 공작물 표면상의 떨림모양의 발생, 연삭음의 변화, 연삭연소의 발생, 연삭저항의 급증 및 급감, 다듬질면 표면상태의 악화, 가공정밀도의 저하 등으로 판단 할 수 있으나, 이들 현상들은 각각 독립해서 발생하는 것이 아니라 상호관련을 가지고 발생한다고 알려져 있다.

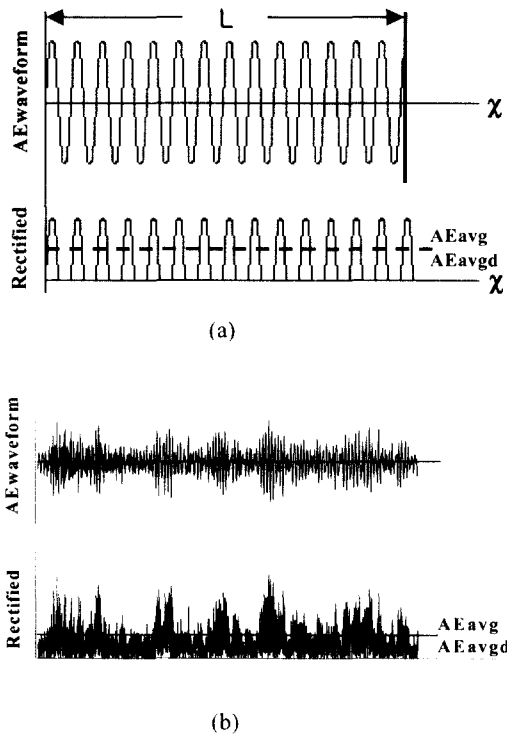


Fig. 2 Definition of AEavg and AEavgd

본 연구에서 AE 신호를 이용하여 스톨수명 및 드레싱시간을 감시하는데 사용 되어진 파라메타는 AE 신호의 평균을 이용하였다. Fig. 2의 (a) 및 (b)는 각각, AE 평균의 정의를 표현하기 위한 모식도와 실측치를 나타내고 있다. 그림에서 보는바와 같이, 원신호를 전파정류한 후, 전파정류한 AE 신호는 어떤구간까지의 평균값을 AEavg와 AEavgd로 정의 하였으며 다음의 수식으로 나타낼수 있다.

$$AEavg, AEavgd = \frac{1}{L} \int_0^x |AE(x)| dx$$

여기서 L은 실측한 AE 신호의 구간, AE(x)는 실측위치에 따른 신호의 값을 의미한다.

Fig. 3은 WA100J8V 스톨로 절입깊이 d=10μm, 테이불속도 v=5m/min으로 연삭가공을 수행하였을 때, 공작물 가공시간의 변화에 대하여 AEavg, 연삭저항의법선분력 Fn 및 표면조도의 최대거칠기 Rmax 거동을 표시한 그림이다.

연삭가공 초기에는 AEavg 및 Fn이 안정된 거동을

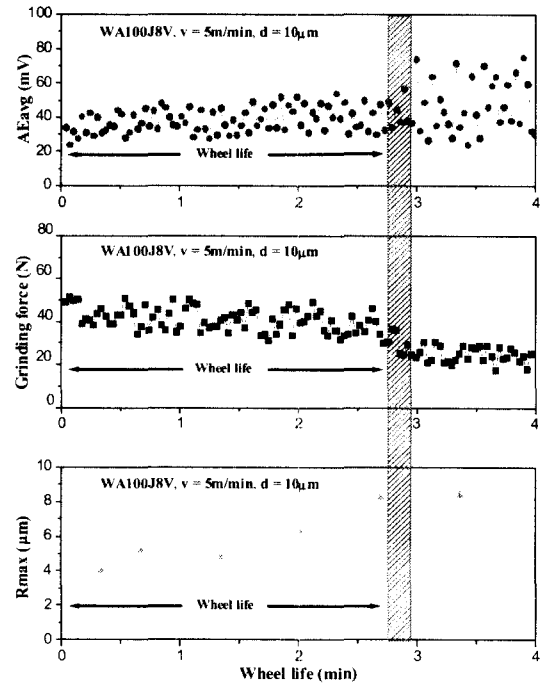


Fig. 3 Determination of Wheel life using AEavg, grinding force and surface roughness

보이고 있으나 공작물 가공시간이 2.5min을 지나서 부터 AEavg는 격심한 변동의 양상을 보이며, Fn의 연삭저항의 절대값이 급격히 떨어지고 있음을 알 수 있다. 또한 표면조도의 변화로 AEavg 및 Fn의 변화에 맞추어 연삭가공 시간이 2.5min 부분에서 거칠게 되어지고 있음으로부터, 본 실험 조건에서 연삭을 수행하게 되면 공작물의 연삭가공시간이 2.5min에서부터 연삭숫돌 입자 선단의 마멸적 마모 및 눈막힘 현상이 현저하여 AEavg의 격심한 변동이 초래되며, 또한, 연삭저항은 입자의 선단마멸에 의한 대규모 파쇄가 일어나 연삭저항의 감소를 가져온다고 판단된다. 이러한 결과로부터 AEavg를 측정함으로써 숫돌의 수명이 결정되어 질 수 있음이 확인 되었다.

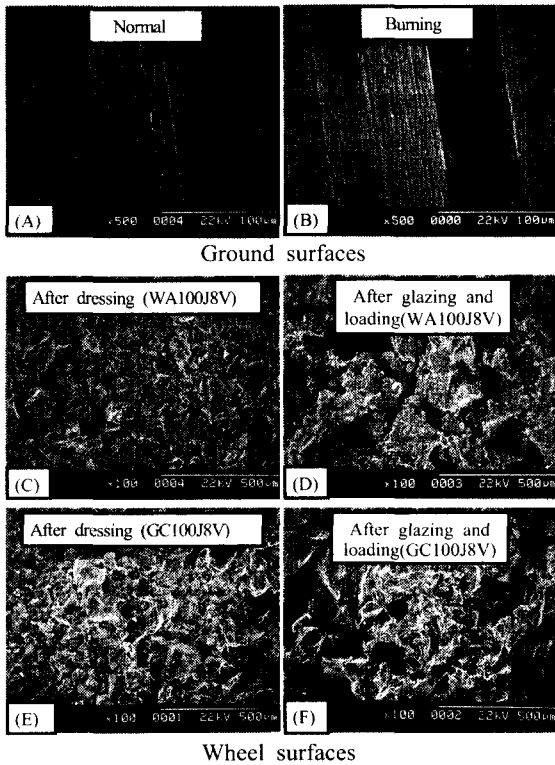


Fig. 4 Observation of ground surfaces and grinding wheel surfaces

이러한 숫돌수명의 타당성을 검토하기 위하여, SEM을 이용하여 가공표면과 숫돌의 표면상태를

관찰한 사진이 Fig. 4 (A), (B), (C), (D), (E) 및 (F)이다. Fig. 4의 (A) 및 (B)는 각각 정상상태의 연삭표면과 숫돌이 수명에 도달한 후의 가공표면 상태를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와같이, 정상상태의 연삭숫돌에 비해 수명에 도달한 숫돌에 의해 가공되어진 표면은 연삭번(Burn)이 발생한 것과 같은 표면을 나타내고 있다. 또한, Fig. 4의 (C) 및 (D)는 각각 WA숫돌의 드레싱 직후와 숫돌의 수명에 도달후의 SEM 사진을, Fig. 4의 (E) 및 (F)는 각각 GC 숫돌의 드레싱 직후와 숫돌의 수명에 도달 후 숫돌입자의 상태에 대한 SEM 사진을 나타내고 있다. WA 및 GC 어느것이나 드레싱 초기의 상태는 날카로운 입자의 선단을 가진 숫돌입자가 대부분을 차지하고 있는 반면, 숫돌의 수명에 도달한 숫돌의 표면에는 입자의 파쇄 및 탈락에 의한 큰 기공들이 눈에 보이며, 입자선단은 마멸적 마모에 의해 평탄한 면이 넓게 분포되어 있음과 동시에, 입자선단 주위에는 칩이 용착되어 있음을 쉽게 관찰할 수 있다.

3.2 AE를 이용한 숫돌 수명판정

본 절에서는 전절의 방법을 사용하여 테이블 속도와 절입깊이의 다양한 변화에 대한 숫돌의 수명 시기에 대하여 검토 하였다.

Fig. 5 및 Fig. 6은 각각 연삭저항과 AE신호를 측정하여 절입깊이와 테이블 속도의 변화에 대한 숫돌의 수명을 나타낸 그림이다.

동시에 WA와 GC숫돌에 대한 숫돌수명도 비교하고 있다. 여기서 숫돌수명이라고 정의한 것은 Fig. 3에서 보는 바와 같이, 연삭저항이나 AEavg의 이상변동현상이 발생하는 시점에서의 연삭가공 시간으로 정의하였다.

따라서 Fig. 5 및 Fig. 6에서 보는바와 같이 테이블 속도가 빠르면 빠를수록 절입깊이가 크면 클수록 숫돌수명은 짧아지고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 숫돌 수명의 관점에서 본다면, 본 실험의 범위에서는 절입깊이와 테이블 속도를 작게 선택하는 것이 숫돌수명을 길게하는데 효과적이라고 할 수 있으며 WA와 GC숫돌의 수명을 비교하면 SM45C 연삭에 대해서는 WA숫돌이 GC숫돌에 비하여 보다 적합하다고 할 수 있다.

한편, Fig. 5 및 Fig. 6의 결과로부터 알 수 있는 바와 같이, AE와 연삭저항의 거동이 경향이 거

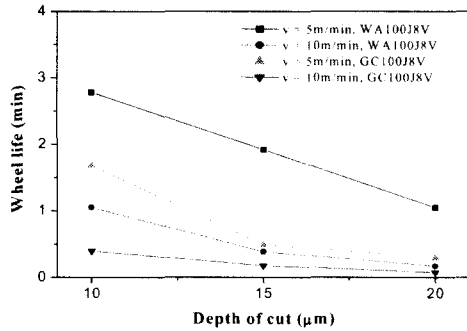


Fig. 5 Behavior of wheel life under various grinding conditions by AE signals

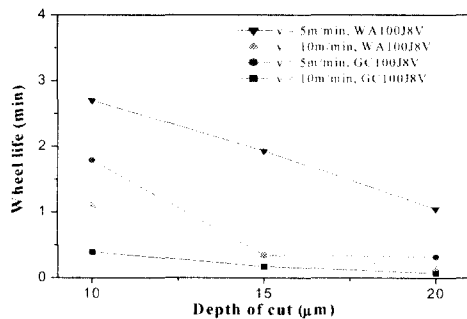


Fig. 6 Behavior of wheel life under various grinding conditions by grinding force

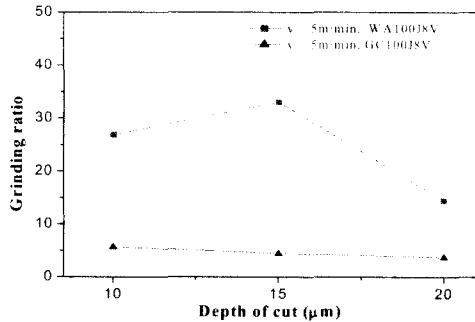


Fig. 7 Comparison of grinding ratio between WA and GC

의 일치하는 것으로 보아 AE에 의한 스톨수명의

결정이 합리적임이 확인되었다. 또한 Fig. 7은 WA스톨과 GC스톨의 SM45C에 대한 적합성 여부를 검토하기 위하여, 각 스톨에 대한 스톨의 마모량과 가공량과의 관계 즉, 연삭비의 거동을 나타내 그림이다. 그림에서 보듯이와 같이, GC 스톨의 연삭비가 WA 스톨에 비교하여 극단적으로 작음을 볼 수 있으며, 이 결과는 SM45C에 대해 GC 스톨의 스톨수명이 WA 스톨의 스톨수명과 비교해 작다는 Fig. 5와 Fig. 6의 결과의 타당성을 뒷받침 한다고 할 수 있다.

3.3 연삭액 공급량과 스톨 수명

연삭액은 일반적으로 가공시에 발생하는 연삭열을 냉각시키기 위한 것으로 연삭액의 양이 스톨의 수명에 큰 영향을 미칠것으로 판단된다⁽⁷⁾.

Fig. 8은 연삭액의 공급량 변화에 대한 스톨의 수명을 파악하기 위하여, WA 스톨을 사용하여 테이블속도를 10m/min, 절입깊이를 15μm로 하여 연삭가공을 수행하는 중에, 연삭액을 사용하지 않은 건식연삭과, 연삭액의 양을 4ℓ/min, 12ℓ/min으로 각각 변화시켰을 때 스톨의 수명의 거동을 조사하였다. 건식연삭인 경우 연삭열에 의한 입자의 마모가 급격하여 스톨의 수명이 짧으며, 연삭액의 공급량을 증가시키면 스톨의 수명은 길게 되어지는 경향을 보인다. 그러나, 과도한 연삭액의 공급은 스톨의 수명이라는 관점에서는 오히려 불리한 것으로 판단되며, 적정연삭액 공급량이 존재하는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 연삭액의 공급량의 변화에 대한 표면조도의 변화를 보여주는 그림으로, 건식인 경우가

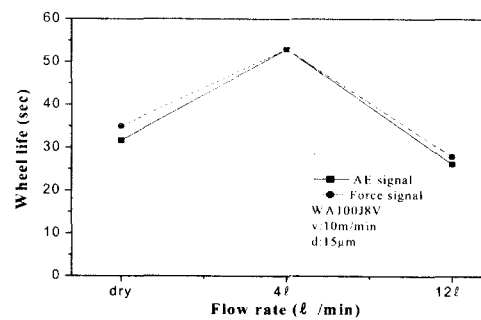


Fig. 8 Effect of flow rate on wheel life

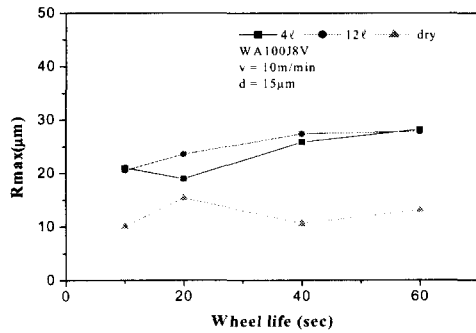


Fig. 9 Effect of wheel life and flow rate on surface roughness

연삭액을 공급하는 경우보다 입자에 의한 버니싱 (Burnishing) 효과에 의해 표면상태가 양호하게 되어 진다고 생각되어지지만, 좀더 구체적인 실험이 필요한 부분으로 판단된다.

4. 드레싱 시간의 결정

4.1 드레싱 시간의 결정 방법

숫돌 표면의 상태는 연삭가공을 지속하여가면, 연삭가공 시간의 증가에 따라 변화하여 수명에 도달하게 된다. 숫돌의 수명이라고 판단되어지는 시점에서의 숫돌표면은 드레싱 초기와는 달리, 기공이 막혀있고, 입자의 선단에 평탄한 면이 많이 발생되어서 초기와는 전혀 다른 상태가 된다.

이때 단석 드레서로 드레싱을 하게되면, 드레싱 초기의 숫돌입자의 파쇄양상과, 절인이 절삭성능을 회복한 후의 숫돌입자 파쇄의 양상은 다를 것이며⁽⁸⁾, 본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 AE 센서를 이용하여 드레싱 시간을 결정하는 것으로 하였다.

Fig. 10은 수명에 도달한 WA 숫돌에 대하여 단석 드레서를 사용하여 드레서 속도 0.5m/min, 드레싱 깊이 10μm로 드레싱 작업을 수행하였을 때 숫돌의 드레싱시간에 대한 드레싱저항 Fnd 및 AE 신호의 절대평균 AEavgd의 거동을 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 드레싱 초기에는 숫돌표면에 입자의 평탄부가 많고, 기공이 침에 의해 막혀있기 때문에 AE 신호 및 드레싱

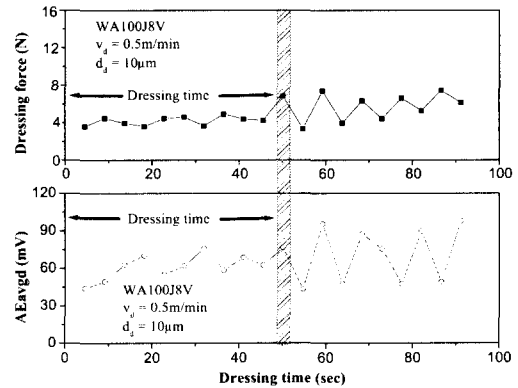


Fig. 10 Determination of dressing time using AEavgd and dressing force

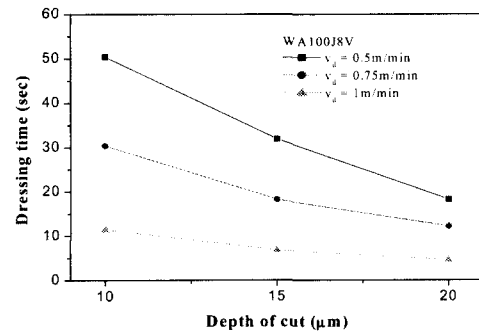


Fig. 11 Behavior of dressing time under various grinding conditions by AEavgd(WA)

저항의 변동이 작으나, 드레싱 시간이 50sec를 넘으면 AE신호 및 드레싱 저항의 변동이 심하게 되어짐을 알 수 있다. 이러한 현상은 절인의 상태가 완전히 절삭성능을 회복하여 드레서에 의한 취성파괴가 적극적으로 발생되기 때문이라고 사료되며, 더 이상드레싱을 수행하는 것은 숫돌의 낭비를 초래할 뿐이다.

따라서 본 연구에서는, AEavgd의 변동이 심하게 일어나는 시점을 드레싱 시간으로 결정하였다.

이러한 드레싱 시간은 드레싱 조건에 따라 변화하는 것으로 사료되며 연삭공정의 효율성을 위하여 짧은 드레싱 시간을 가지는 드레싱 조건을 찾을 필요가 있다. Fig. 11 및 Fig. 12는 각각 WA

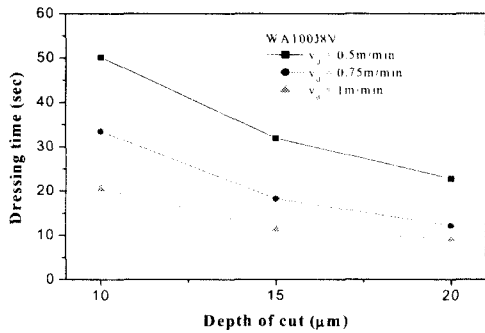


Fig. 12 Behavior of dressing time under various grinding conditions by grinding force(WA)

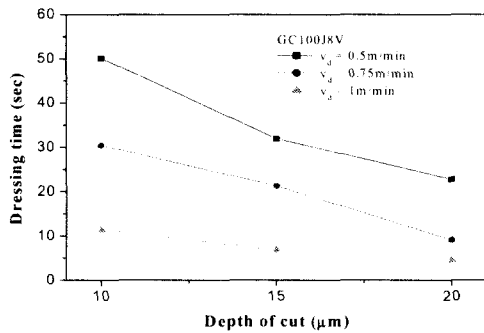


Fig. 13 Behavior of dressing time under various grinding conditions by AEavgd(GC)

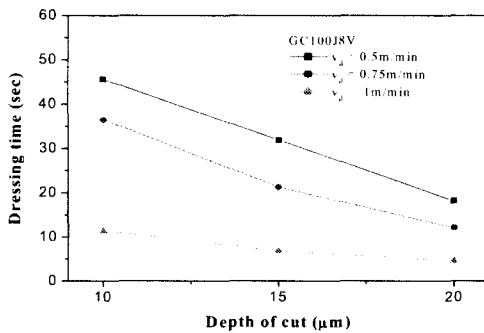


Fig. 14 Behavior of dressing time under various grinding conditions by grinding force(GC)

숫돌에 대한 드레싱 깊이의 변화에 대한 드레싱시간의 변화를 AEavgd 및 드레싱 저항을 측정하여 나타낸 그림이며, Fig.13과 Fig. 14는 각각 GC 숫돌에 대한 드레싱 깊이의 변화에 대한 드레싱시간의 변화를 AEavgd 및 드레싱 저항을 측정하여 나타낸 그림이다. 여기서, 드레싱 시간은 Fig. 10에서 결정된 절삭성능을 회복한 시점에서의 드레싱 시간으로 정의 하였다. 그림에서 나타나는 바와같이, WA와 GC 숫돌의 드레싱 시간의 거동을 비교하면 두 숫돌 사이에서는 큰 차이를 발견 할 수 없으며, 또한 드레싱깊이를 깊게하고 드레서의 속도를 크게하는 것이 보다 작은 드레싱시간으로 숫돌의 성능을 회복시킬 수 있음을 알 수 있으며, 이러한 결과들은 AE를 이용한 드레싱시간의 결정이 타당성이 있음을 뒷받침 한다고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 현장에서 가장 일반적으로 사용되는 WA, GC 숫돌을 대상으로 연삭가공을 수행하여 AE 및 공구동력계를 이용하여 숫돌수명 및 드레싱 시간을 결정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) AE 센서를 이용하여 WA 및 GC 숫돌의 수명을 판정할 수 있음이 확인되었다.
- (2) 본 실험의 범위에서 숫돌수명의 관점에서는 절입깊이와 테이블 속도를 적게 하는 것이 유리함을 알았다.
- (3) 숫돌수명에 미치는 연삭액의 공급량은 적정량이 존재함을 알았다.
- (4) AE 신호에 의한 드레싱 시간의 판정이 가능함을 알았다.
- (5) 드레싱 시간을 짧게 하기 위해서는 드레서 속도와 드레싱 깊이는 크게 하는 것이 합리적임이 확인되었다.

후 기

본 연구는 한국과학재단지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다. 관계자에게 감사드립니다.

참고문헌

1. Dornfeld, D. and Cai, H. G.i, "An Investigation of Grinding and Wheel Loading Using Acoustic Emission," Transactions of the ASEM, Vol. 106, pp. 28-33, 1984.
2. 김선호, 안중환, "연삭가공에 있어 비가공 시간 단축에 관한 연구(II)," 한국정밀공학회지, 제 14권 제8호, pp. 101-107, 1997.
3. Inasaki, I. "Monitoring and Optimization of Internal Grinding Process," Annals of the CIRP Vol. 44, pp. 359-362, 1991.
4. 광재섭, 송지복, "AE 신호를 이용한 연삭 가공물의 표면 거칠기 예측," 한국정밀공학회지, 제 17권 제4호, pp. 240-246, 2000.
5. Eda, H., et al., "In-Process Detection of Grinding Burn by Means of Utilizing Acoustic Emission," J. of JSPE. Vol. 49, No. 9, pp. 1257-1262, 1983.
6. Inasaki, I, "Monitoring of grinding process with acoustic emission signals," Annals of CIRP, Vol. 34, No. 1, pp. 277-280, 1985.
7. 주광훈, 이응숙, 김현수, 외2인, "평면 연삭에서의 연삭 슛들 마모 추정 및 실험적 검증," 한국정밀공학회지, 제18권 제8호, pp. 150-156, 2001.
8. 홍민성, "연삭가공시 연삭스�들의 드레싱 시기 검출 방법에 관한 연구," 한국공작기계학회지, 제7권 제1호, pp. 112-118, 1998.