

고능률 연삭을 위한 연삭유제 공급의 최적화

Optimal Supply of Grinding Fluid for Creepfeed Grinding

박재현*, 홍순익(부산대 대학원),
하만경(부경대학교 기계설계공학과), 송지복(부산대학교 정밀기계공학과)
Jae Hyun Park, Soon Ik Hong(Graduate School, Pusan Univ.),
Man Kyung Ha(PuKyung Univ.), Ji Bok Song(Pusan Univ.)

ABSTRACT

Thermal problems of creep-feed grinding are more serious than regular grinding. So grinding fluid supply in creep-feed grinding is very important. Grinding fluid supply quantity is not linear with effectiveness because grinding wheel is porosity material and the grinding area is solid contact area.

In this paper, by using AE signal, optimal quantity of fluid supply was determined. And surface characteristics of wet creep-feed grinding were analyzed.

Key Words : creep-feed grinding(중연삭), grinding fluid(연삭유제), optimal quantity(최적량), AE(음향방출), surface characteristic(표면특성)

1. 서 론

연삭가공은 대표적 정밀 마무리 가공 중의 하나이며 기타의 금속 제거 가공과 비교해서 가공에 소요되는 단위체적당의 비에너지가 크고 이에 따라 발생열이 높다는 특징이 있다⁽¹⁾ 또한 최근의 가공기술이 고능률·고정밀을 지향함에 따라 연삭에 있어서도 정밀도에 못지않게 능률성이 강조됨에 따라 중연삭이 중요시 되고 있다.

그런데 중연삭의 열적 상황은 일반적인 연삭의 경우와는 많은 차이가 있다. 일반적인 연삭에 있어서는 발생열의 많은 부분들이 빠른 시간 내에 연삭영역으로부터 사라지지만 중연삭의 경우는 발생열도 일반연삭의 경우보다 더 높을뿐더러 낮은 이송속도 때문에 연삭영역으로 부터의 열의 발산이 상대적으로 적어진다. 이에 따라 일반적인 연삭의 경우보다 연삭머어닝과 같은 트러블과 형상오차와 표면상태의 악화가 문제시된다.⁽²⁾

따라서 중연삭은 많은 양의 유제공급을 필요로 하며 실제 가공현장에서도 많은 양의 유제를 공급하면서 가공을 행하고 있다.

그런데 너무 많은 양의 유제공급은 유제 미스트의 비산, 유제의 과도한 손실, 연삭동력의 증가등 많은

문제를 발생시킨다.

이상과 같은 문제와 관련된 연구로는 형상오차의 분석에 관한 연구, 형상오차를 예측하여 슷들의 절입을 조절하는 연구, 이송속도의 제어에 관한 연구⁽³⁾, 유제공급방법의 개선에 관한 연구등이 있지만 현재 가공현장에서 널리 이용되는 범용연삭기로 중연삭을 할 경우 생기는 문제들을 일반적인 유제공급 장치로서 해결하려는 연구는 미흡한 실정이다.

연삭에 있어서 유제의 공급은 연삭영역에 직접적으로 공급되는 것이 아니며 슷들의 기공이 유제의 운반체로서 작용하는 것으로 알려지고 있다. 따라서 유제의 양을 무조건 늘린다고 해서 연삭영역에 많은 양의 유제가 공급되는 것은 아니며 과도한 유제공급은 오히려 기공으로부터 유제를 되튀겨낸다고 한다.⁽¹⁾

따라서 본연구에서는 연삭저항의 변화와 같은 경향을 보이는 AE_{rms} 값⁽⁴⁾을 이용해서 최적유량을 찾아내고 이를 범용연삭기에서의 중연삭시 발생하는 열적문제 해결에 이용하고자 한다.

2. AE신호의 발생원리

AE신호의 에너지량은 AE발생원의 일량으로 해석

되고 에너지의 척도로서 AE교류파의 AE_{rms} 값을 다음과 같이 정의했다.⁽⁵⁾

$$AE_{rms} = [(1/\Delta T) \int_0^{\Delta T} V^2(t) dt]^{1/2} \quad \text{--- (1)}$$

여기서 $V(t)$: 신호함수
 ΔT : 평균시간

AE신호의 에너지변화율 dE/dt 는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$dE/dt \propto [AE_{rms}]^2 \quad \text{----- (2)}$$

단위체적당의 재료에 대하여 소성변형으로 인한 에너지 증분은 다음과 같다

$$dW_1 = \sigma_i \cdot d\epsilon \quad \text{----- (3)}$$

여기서 σ_i : 주편차응력
 $d\epsilon_i$: 주변형률 증분

따라서 에너지 변화율 \dot{W} 는 다음과 같다.

$$\dot{W} = \sigma \cdot \epsilon \cdot V^* \quad \text{----- (4)}$$

이상에서 소성변형일 중에 AE발생에 소비되는 AE신호의 에너지비율이 항상 일정하다고 가정하면 다음 식이 성립한다.

$$dE/dt \propto [AE_{rms}]^2 = C \cdot \sigma \cdot \epsilon \cdot V^* \quad \text{--- (5)}$$

이 식으로부터 AE에너지 변화율은 변형률과 부하 응력 및 변형된 재료의 체적에 의존한다.

연삭과정에서 AE신호의 발생원은 Fig.1과 같이 분류할 수 있다.

- (1) 제1변형영역 : 전단영역 - 일의 변화율 \dot{W}_s
- (2) 제2변형영역 : 스톨입자의 미끄럼면과 칩의 접촉영역 - \dot{W}_f
- (3) 제3변형영역 : 스톨입자의 여유면과 공작물의 접촉영역 - \dot{W}_r

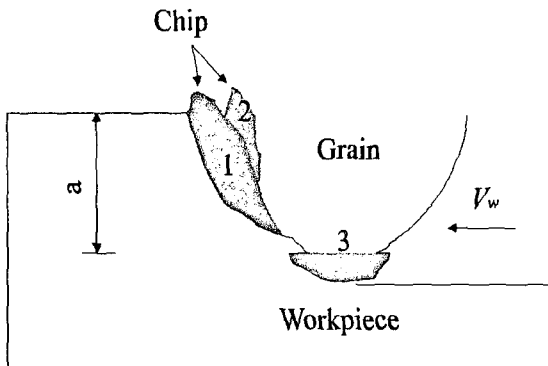


Fig.1 Zones of AE generation

따라서 가공중에 발생한 AE신호는 다음과 같이

나타낼 수 있다.

$$AE_{rms} = \dot{W}_s + \dot{W}_f + \dot{W}_r \quad \text{----- (6)}$$

또한 AE에너지 변화율 dE/dt 는

$$dE/dt \propto C \cdot \sigma \cdot \epsilon \cdot V^* = \dot{W}_s + \dot{W}_f + \dot{W}_r \quad \text{----- (7)}$$

연삭유제의 적용은 연삭저항을 감소시키고 AE_{rms} 는 연삭저항과 같은 경향을 보이므로 AE_{rms} 를 이용해서 연삭유제 공급의 성능을 평가할 수 있음을 알 수 있다.

3. 최적유량의 선정

3.1. 표면거칠기 및 형상오차 특성

Fig.2는 중연삭시 일정한 유량으로 유제를 공급했을 때의 전형적인 형상오차와 표면거칠기 변화를 보여주고 있다.

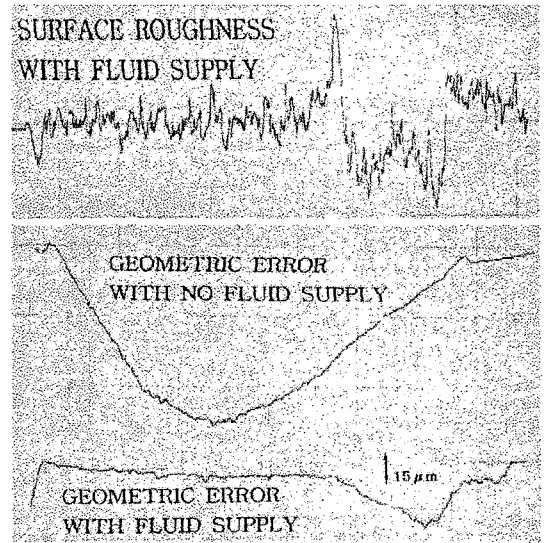


Fig.2. Surface characteristic of wet creepfeed grinding

일반적으로 건연삭시의 형상오차는 가공초기부터 2/3지점에서 최대가 되는 것으로 알려져 있지만 연삭유제를 공급하면서 중연삭을 하는 경우에는 알려진 바와는 다르게 가공초기에 최대형상오차가 나타났으며 표면거칠기도 가공초기가 가장 나쁜 것으로 나타났다.

3.2 유량에 따른 AE_{rms} 값의 변화.

연삭가공면은 일종의 고체 접촉면으로서 유제가

직접적으로 침투하지 못하고 연삭숫돌이 일종의 운반체로서 작용하며 따라서 임계점을 초과한 유제공급은 숫돌의 기공이 포화됨으로써 더 이상 연삭영역에 침투하지 못하고 심한 경우에는 침투된 유제를 뒤겨 나오게 한다.

일반적으로 유제의 적용은 연삭저항을 낮추며 이에 따라 AE_{rms} 값도 저하시키므로 연삭깊이를 일정하게 하고 유제량을 변경시키면 AE_{rms} 값의 변화를 관찰할 수 있다.

공작물의 표면이 완전해질 때 까지 충분히 스파크아웃하고 드래싱을 행한 후 일정유제를 공급하면서 AE_{rms} 값을 획득하고 유제량을 변경시키고 다시 이상의 과정을 반복하는 방법으로 실험을 진행하였다

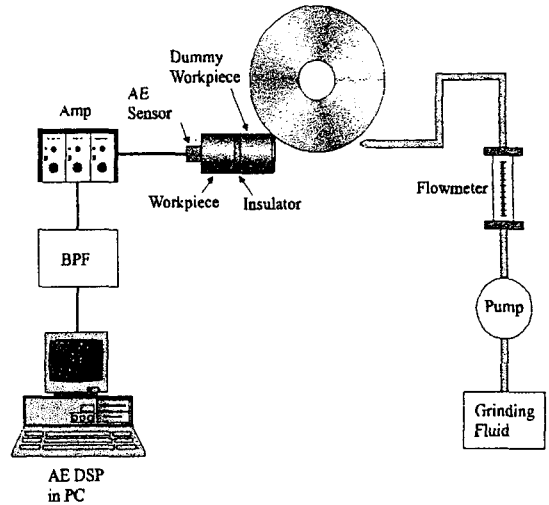


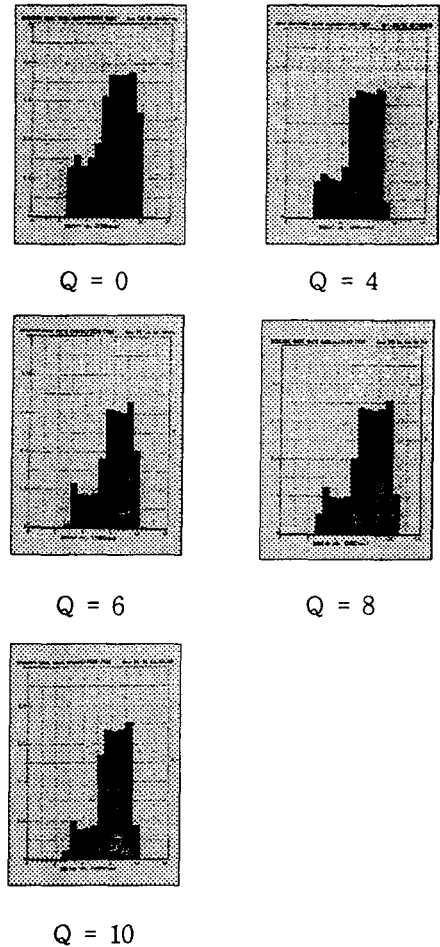
Table.1. Experimental Condition

Grinding wheel	<ul style="list-style-type: none"> • Type : WA80mV • Shape : 205×25.0×50.80
Workpiece	<ul style="list-style-type: none"> • Main : STD 11 (1.5×1.8×2.5) • Dummy : STD 1 (")
Grinding method	<ul style="list-style-type: none"> • Up cut & One pass
Table speed	<ul style="list-style-type: none"> • 0.4 m/min
Depth of cut	<ul style="list-style-type: none"> • 40, 80 μm
Fluid Type	<ul style="list-style-type: none"> • W2종2호 10%
Fluid Supply	<ul style="list-style-type: none"> • 0, 4, 6, 8, 10 l/min
AE Sensor Type	<ul style="list-style-type: none"> • Wideband

형상오차를 최소화하여 일정 연삭깊이에 대한 연삭유제량의 영향을 알아보기 위해 시편의 크기를 최소화 했으며 가공초기부터 유제가 원활하게 공급되게 하기 위해 공작물의 앞 쪽에 모의 공작물(dummy workpiece)을 붙이고 열전달을 막기 위해 그 사이에 단열재를 삽입하였다.

연삭깊이가 80 μ m인 경우 유량 변동에 대한 AE_{rms} 값변화를 Fig.4에 나타낸다.

Fig.3 Experimental setup for optimal fluid quantity



Depth of Cut : 80 μ m

Fig.4 AE_{rms} variation according to fluid quantity

3.3 유량변화에 따른 표면거칠기의 변화

연삭깊이가 $80\mu\text{m}$ 인 경우 유량변화에 따른 표면 거칠기의 변화를 측정식 표면조도계로 측정한 결과를 Fig.5에 나타낸다.

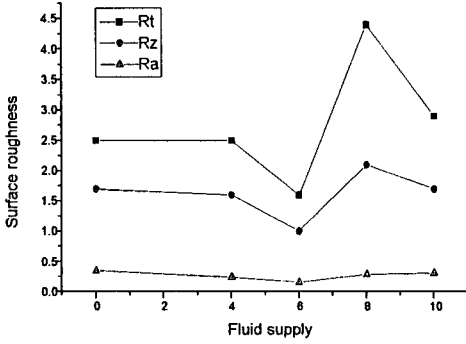


Fig.5 Surface roughness according to fluid supply

한가지 유량에 대해서 다섯 번 측정한 후 Ra값을 기준으로 가장 높은 값과 낮은 값을 뺀 나머지 세기를 평균한 값을 나타내었다.

4. 결과 및 고찰

AE_{rms} 값과 표면거칠기 값을 분석한 결과 유량이 6 l/min 일 경우가 여러 가지 조건을 고려할 때 최적의 유량임을 알 수가 있다.

AE_{rms} 값과 Ra값이 비슷한 경향을 보이고 있는데 이는 유체가 원활하게 공급되면 연삭저항이 작아지고 이에따라 슛들의 마모가 작아지므로써 Ra값도 향상되는 것으로 분석된다.

Fig.2와 같이 증연삭시의 형상오차와 표면거칠기의 변화가 절입깊이를 작게넣는 일반적인 연삭의 경우와 차이가 나는 것은 Fig.6과 같이 가공초기에 슛들과 공작물이 접촉을 시작하고 부터 연삭영역에 정상적으로 유체가 공급되기까지 임계이송량이 존재한다는 것이 가장 큰 이유이다.

절입깊이를 작게 넣는 일반적인 연삭에서는 가공 초기에도 슛들면을 타고 유체가 어느정도 공급되며 열원이 빠른 시간에 지나가므로 이와 같은 현상이 거의 발생하지 않는다.

하지만 증연삭에서는 일반연삭에 비해 발생열도 높을뿐만아니라 열원의 이동시간도 느려 공작물이 국부적인 열팽창을 하므로 이와같은 현상이 발생하는

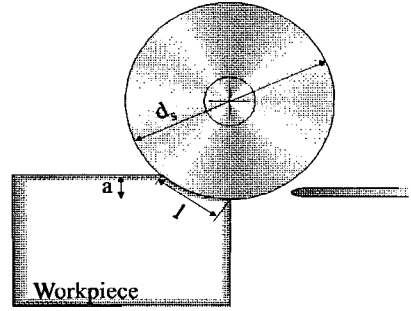


Fig.6 Critical position of grinding fluid supply

것으로 분석된다.

이와 같은 현상은 가공초기에 유체가 슛들면을 타고 들어 갈수 있도록 많은 양을 공급하면 어느정도 극복될 수 있다. 연삭깊이가 $80\mu\text{m}$ 인 경우 일정유량을 공급했을 때와 초기 유량에 변동을 주었을 경우의 토크값 신호가 Fig.7에 나타나 있다.

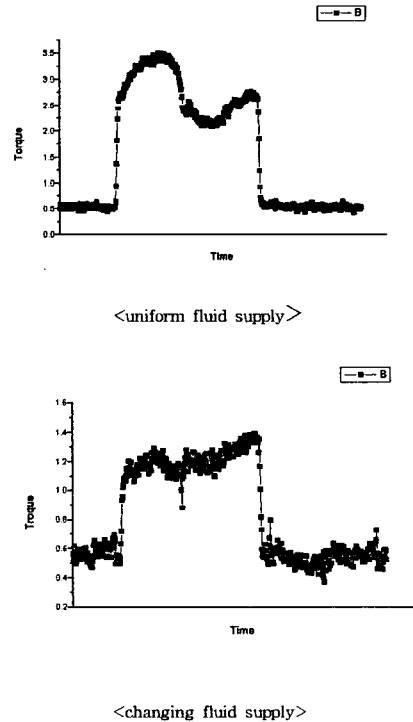


Fig.7 Torque variation

Fig.7에 나타난 바와 같이 초기유량에 변동을 주었을 경우 국부적 열변형이 어느정도 극복되어 형상정도가 향상되었으며 표면거칠기도 향상되었다. 이 결과로부터 형상정도는 공작물 내부의 온도 차이에

선형적으로 비례하므로 형상정도 크기에 따라 유제량을 변경시켜가면 형상정도를 향상시킬 수 있다는 것을 생각할 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 AE신호를 이용하여 중연삭에 있어서 연삭유제공급의 개선을 시도하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 습식 중연삭에 있어서의 형상정도와 표면거칠기 특성을 규명함으로써 공급유량을 제어함으로써 표면상태를 향상시키기 위한 연구의 기초를 마련하였다.
- (2) 공급유량에 변동을 줌으로써 습식 중연삭 초기에 나타나는 표면상태의 불안정을 향상시켰다.
- (3) AE신호를 이용하여 유제량을 늘릴 때 일어나는 문제점과 효과가 균형을 이루는 최적유량을 선정하였다.

참고문헌

1. C. Guo, "Experimental Measurement of Fluid Flow Through the Grinding Zone," ASME 1992. 2. P61
- 2 C Guo, "Analytical and Experimental Investigation of Burnout in Creep-Feed Grinding," CIRP 1994..1. P283
3. Yoshio saito, "Effects of Thermal Deformation on the Accuracy of Surface grinding," JSPE 1984.4. P41
4. D. Donfeld, "An Investigation of Loading Using Acoustic Emission," ASME 1984.2. P28
5. 임영호, "AE에 의한 평면연삭의 가공특성 감시 및 이상진단," 한국정밀공학회지 1995.4. P100