

방전 밀링 하이브리드 가공의 방전파형 분석 An Experimental Analysis of Discharge Waveform Characteristics for Electrical Discharge and Milling Hybrid machining process

*김민엽¹, #고태조², 진보스코¹

*M. Y. Kim¹, #T. J. Ko(tjko@yu.ac.kr)², J.B.Byiringiro¹

¹영남대학교 기계공학과 대학원, ²영남대학교 기계공학부

Key words : ED-Milling, Hybrid Machining, Discharge Waveform

1. 서론

고부가가치 제품의 생산에 있어서 난삭 재료의 사용이 증가하고 이에 따른 고능률 가공의 필요성이 끊임없이 요구되면서 이를 위한 복합 형상가공을 위한 하이브리드 가공의 필요성이 대두 되었다.^[1] 하이브리드 가공이란 다수의 가공공정을 복합화하여 각각의 공정이 가공에 직접적으로 관여하고 또는 일부 공정은 가공에 직접적인 영향을 끼치며 나머지는 가공을 촉진시키는 역할을 하는 가공 공정을 말한다.^[2] 단일공정만으로 가공이 완성 된다면 가장 합리적이겠지만 각기 다른 특성과 장단점을 가지고 있으므로 이중 이상의 가공공정이 필요한 실정이다. 그러므로 하이브리드 가공은 단일 가공공정의 단점은 극복하고 장점은 유지, 보완하여 가공성능을 극대화할 수 있다.^[1]

본 논문에서는 방전가공과 밀링가공을 복합화하여 하이브리드 가공 실험을 실시하고 방전파형을 획득하여 분석함으로써 하이브리드 가공의 가능성을 제시한다.

2. 실험 장치

최대회전수 24000rpm의 스핀들을 가진 CNC 밀링 가공기에 RC 방전 회로를 추가하여 공구에는 (+)극을 피삭재에는 (-)극을 연결하여 밀링과 방전이 동시에 일어날 수 있는 하이브리드 가공기를 제작하였다. Fig. 1은 실험 장치의 모습이다.

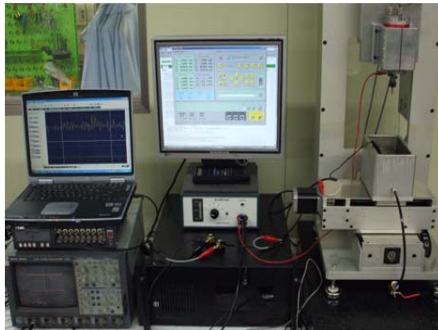


Fig. 1 Experimental setup

방전가공의 원리는 전류가 전원으로 부터 흘러나와 저항을 거쳐 캐패시터를 충전하게 된다. 이때 공구와 피삭재가 방전갭 만큼 가까워지면 순간적으로 전압이 감소하고 전류가 상승하게 되어 방전이 일어나게 된다. 이 때 발생하는 전압은 저항을 이용하여 100배 감소시킨 뒤 측정하고 전류는 셉트저항을 거쳐 5A당 50mV로 변환되어 오실로스코프로 측정할 수 있게 된다. 출력에는 포토커플러를 설치하여 방전이 발생하거나 쇼트가 나게 되면 LED로 표시되고 신호는 제어프로그램으로 피드백 되어 방전갭을 유지할 수 있도록 제어한다.

방전가공은 방전메커니즘이 매우 복잡하여 제어나 감시를 하기 힘든 복잡하고 랜덤한 과정이다. 따라서 방전 밀링 하이브리드 가공에 대해서도 갭 방전조건 뿐만 아니라 캐패시터의 특성 등을 잘 이해하는 것이 필요하다.

Fig.2에서 보는 바와 같이, 캐패시터가 전압을 공급하기 위하여 충전을 하게 되면 충전전류는 거의 0으로 된다. 충전속도는 시정수 RC의 항으로 표현이 가능하다. 이를 이용하여 하중이

없는 경우에 대해 계산하면 다음과 같은 방전주파수를 얻을 수 있다.

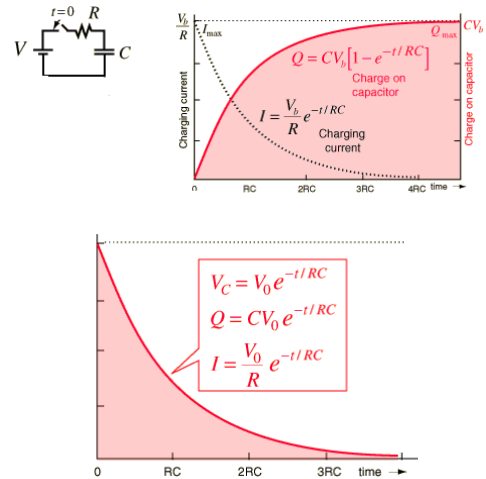


Fig. 2 Charging and Discharging for the RC Circuit

C = 1000 pF 인 경우

시정수는 $RC = 1000 \times 1000^{-12} = 10^{-6} \text{ Sec}$ 이고

컷오프 주파수는 다음과 같다.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 10^{-6}} = 159.23 \text{ kHz}$$

충전에 필요한 시간은 $t_{\text{charging}} = 10^{-23} \text{ Sec}$ 이고

방전이 일어나는 시간은 $t_{\text{discharging}} = 0.00074 \text{ Sec}$ 이다.

3. 실험 방법

Table 1 Experimental condition

Workpiece Material	Al - 6061
Workpiece Size	10 × 10 × 5 (mm)
Tool Material	WC (Tungsten Carbide)
Tool Diameter	1 mm
Tool Type	Endmill (2 Teeth)
Spindle speed	18000 rpm
Radial Width of Cut	0.1mm
Axial Depth of Cut	1mm
Machining lenth	10 mm
Capacitance	1000 pF
Voltage	67.5 V
Feedrate	100 μm/sec
Fluid	Kerosene

Table 1 은 실험조건을 나타낸 표이다. 피삭재 소재는 알루미늄이며 직경 1mm의 초경 2날 엔드밀을 사용하였다. 회전수는 18000rpm이고 반경방향 절입량 0.1mm, 축방향절입량 1mm로 10mm를 가공하였다. 방전인가전압은 67.5V이며 캐패시터는

1000pF으로 방전이송속도는 100um/sec이다. 방전유는 일반적인 등유를 사용하였다. 가공 시 방전 전압 및 전류를 획득할 수 있도록 최대 샘플링 주파수 200MHz의 디지털 오실로스코프로 방전파형을 측정하고 그래프를 획득하였다.

4. 실험 결과

방전 밀링 하이브리드 가공시 오실로스코프로 전압 및 전류를 측정하여 20μs 동안의 그래프를 Fig. 3에 나타내었다.

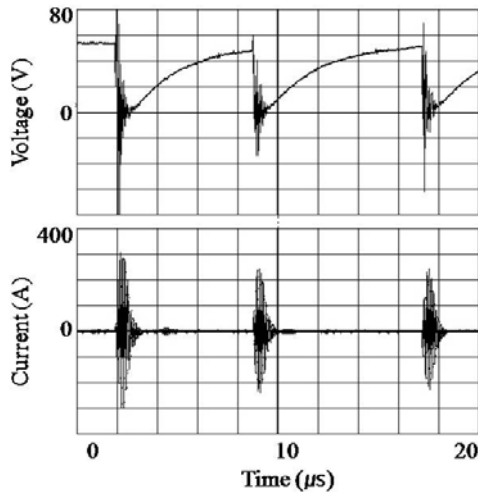


Fig. 3 Voltage and Current Waveforms in time domain

방전 주기가 약 8μs이고 이것을 주파수로 변환하면 125KHz로 방전이 일어나고 있음을 확인할 수 있다. 밀링가공의 경우 주축속도가 18,000 RPM이고 공구가 2날이므로 절삭 주파수는 600Hz이다. 공구가 1회전 할 때 공구 날이 피삭재와 접촉하여 2회 절삭한다. 아래와 같이 측정된 방전 주기로 방전 주파수를 계산하면 방전가공은 공구 1회전 동안 밀링가공이 2회 가공할 때 400번 가까이 가공에 참여하고 있음을 Fig. 3의 그래프를 보고 확인할 수 있다.

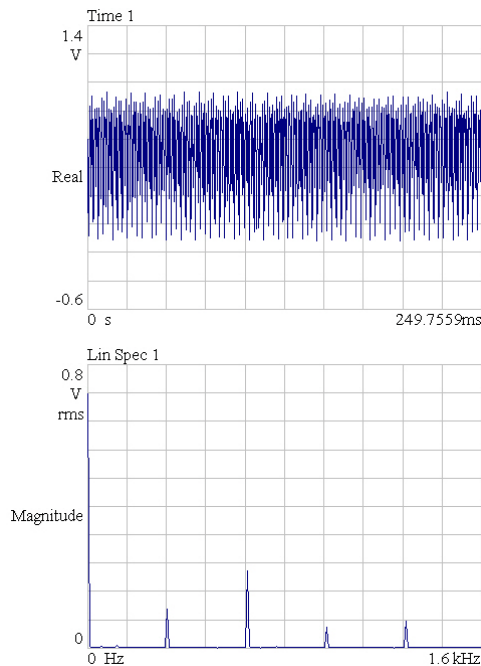


Fig. 4 Voltage Waveforms in time and frequency domain

방전과 동시에 절삭가공이 이루어지는지에 대하여 전압신호를 측정하고 주파수 분석을 한 것이 Fig. 4이다. 이 신호는 고주파의 방전신호를 제거하고, 샘플링 주파수를 10kHz로 하여 측정된 것으로 주축의 회전주파수 300Hz와 공구 통과주파수

600Hz가 나타남을 알 수 있다. 이를 통하여 밀링가공과 방전이 동시에 일어남을 확인할 수 있었다.

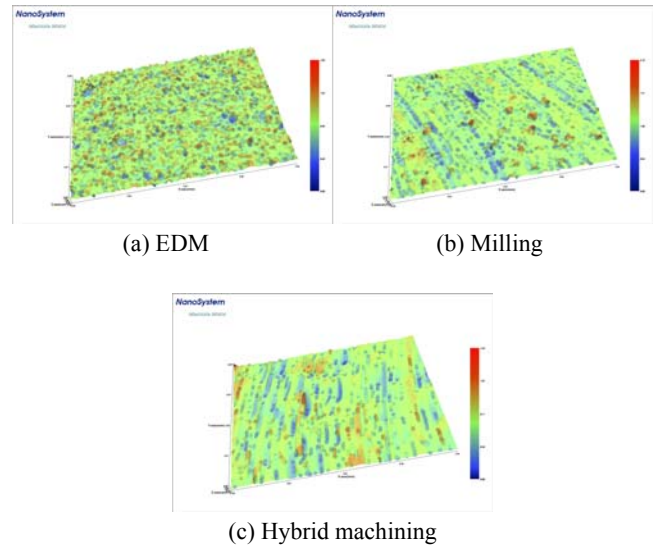


Fig. 5 Surface Roughness

Fig. 5는 가공된 시편에 대해 비접촉식 표면조도계로 형상을 측정된 것이다. (a)의 경우 방전가공에 의한 수많은 방전흔적이 잘 보이는 표면 형태를 보이고 있으며, 표면조도는 141.63nm를 나타내었다. 그러나 밀링가공의 경우는 (b)와 같이 표면의 공구흔적이 매우 뚜렷하게 나타나 보이며, 표면조도는 100.26nm로 측정되었다. 방전의 경우는 matt 표면을 만듦으로 절삭보다는 가공면 조도가 좋지 않다는 일반적인 경우와 잘 일치하는 것으로 보인다. 이를 바탕으로 (c)의 하이브리드 가공을 평가해보면, 표면 형상은 일정부분 공구의 궤적이 나타나 보임과 동시에 방전가공의 흔적도 보임을 알 수 있으며, 이에 대한 표면조도는 103.99nm로 나타났다. 따라서 이 경우는 방전가공의 표면조도를 어느 정도 개선해나가는 것으로 보인다.

5. 결론

본 논문에서는 방전과 밀링이 결합된 하이브리드 가공의 방전과 형태를 측정하고 분석함으로써 하이브리드 가공 시 방전과 밀링이 동시에 일어남을 확인하였다. 기본적으로는 기계적 에너지와 전기 에너지를 결합하여 가공의 속도를 높이려는 것이다. 현재까지는 가공의 가능성만 연구하였으며 추후 연구를 통하여 방전 밀링의 가능성과 최적조건 등을 제시하고자 한다.

후기

본 연구는 지식경제부의 2009년 지식경제 기술혁신사업 중 "산업원천기술개발사업"의 지원으로 작성되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Kim M.Y., Ko T.J., Park J.K., Byiringiro J.b., "A Study of EDM and Milling Hybrid Machining," Proceeding of KSMTE 2010 Spring Conference, 24, 2010.
2. Hassan, E. H., "Advanced Machining Processes: Nontraditional and Hybrid Machining Processes," McGraw-Hill, 115-139, 2005.