

## 볼엔드밀 절삭가공에서 전해복합의 효과

주종길\*(울산대 대학원 기계,자동차공학부), 박규열(울산대 기계,자동차공학부)

### Effect of Compounding Electrolytic Machining in Ball End Milling

J. K. Ju\* (Sch.of Mech.&Auto.Eng.,Grad. School, UOU), K. Y. Park (Sch.of Mech.&Auto.Eng.,UOU)

#### ABSTRACT

In this report, a new method compounding the electrolytic machining with ball end milling process to increase the machining efficiency was introduced. From the experimental results, it was confirmed that effect of cutting force reduction and finer surface roughness can be obtained in a certain condition of ball end milling and electrolytic machining conditions.

**Key Words :** Compound machining(복합가공), Ball end milling(볼엔드밀 절삭), Electrolytic machining(전해가공), Cutting force(절삭력), Machine efficiency(가공능률), Surface roughness(표면거칠기)

#### 1. 서론

최근에 각종 기계부품 및 금형 등을 포함하여 기계가공 분야에서 고속화와 고정도화의 필요성이 증대되고 있다. 따라서 생산 가공기술 중에서 가장 높은 체적 제거효율을 갖는 절삭가공법에 관한 기술 개발에 관심이 고조되고 있다. 한편 자유 곡면을 갖는 금형의 제작에는 방전가공 또는 볼엔드밀을 사용하는 절삭가공이 적용되고 있다. 그러나 볼엔드밀을 사용하는 절삭 가공에서는 공구와 공작물이 직접 접촉하면서 가공이 진행되기 때문에 절삭반력이 발생하는 가공 기구를 갖게 된다. 이는 절삭 기공을 이용한 금형제작에 있어 가공능률을 제한하는 커다란 요인으로 작용한다. 또한 공구의 궤적이 가공흔적으로 형성되어 전반적으로 표면거칠기를 저하시키는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 논문은 볼엔드밀 가공 시 공작물의 절삭저항을 최소화 함으로서 절삭가공의 능률을 향상시키기 위해서 절삭가공에 전해가공을 복합하는 방법을 제안하였다. 즉, 절삭가공 중에 피삭재인 금속의 표면을 전해용출 시킴으로써 기계적 특성을 현저하게 감소시키고 이를 통하여 가공 시 발생하는 절삭저항에 따른 공구의 변형, 공구마모, 열변형 등의 가공오차 요인을 감소시킴과 동시에 가공능률을 향상시키는 효과를 얻고자 하였다. 아울러 표면거칠기를 향상시키기 위하여, 전해가공에 의하면 금속 표면의 강도가 현저하게 저하된다는 점을 착안하였다 이를 이용하여 절삭저항을 감소시켜 미소 절삭

능의 향상 통하여 공구가 피삭재 표면에 미치는 기계적, 기하학적 운동의 영향을 경감시키고자 하였다.

#### 2. 전해복합 볼엔드밀 절삭기공

전해가공 원론적으로 양극의 산화 반응을 이용하여 가공물의 원자를 1 개씩 가공물에서 제거함으로써 가공하는 방법이다. 이러한 전해현상은 전기적 조건에 따라 크게 영향을 받게 되며 Fig.1에서처럼 전압 전류 밀도 곡선은 크게 몇가지 영역으로 나뉘어 진행된다.

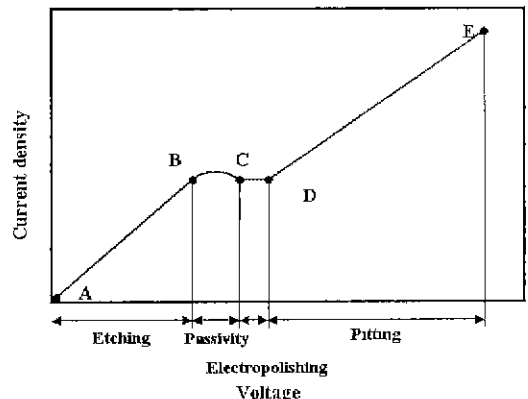


Fig.1 Current density-Voltage of electrolysis

AB 구간은 낮은 전류밀도 하에서는 금속학적 조직이 나타나는 에칭현상이 발생하며, BC 구간은 부동태층(passivation layer)이 급속하게 성장된다. CD 구간에서는 전압의 증가에 따른 전류밀도의 변화가 작은 구간이며, DE 구간은 전압이 증가하면 전류 밀도가 비례적으로 증가하는 구간으로서 과부동태에 따른 전해작용이 활발하게 이루어진다. 따라서 본 연구에서는 절삭력을 경감시키기 위해서 가능한 최대한의 금속을 표면으로부터 전해용출시키기 위해서 DE 구간의 전해현상을 적극적으로 이용하고자 하였으며 부동태층을 형성하고 이를 반복적으로 절삭 제거하는 과정을 통해 표면 거칠기 향상을 얻기 위해 BC 구간의 전해현상을 이용하였다. Fig.2 전해복합 절삭가공 방식의 원리를 간략히 나타낸다 가공물(양극)인 금속의 표면에 근접 설치된 공구전극(음극)과 그 사이에 전해액을 공급하여 전압을 인가하고 적절한 전해조건을 부가하여 전해가공을 시행하고 볼랜드밀을 이용한 절삭가공을 시행하였다.

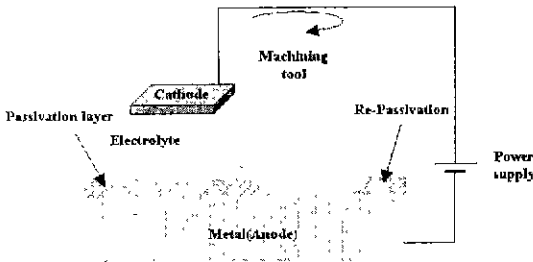


Fig. 2 Principle of cutting with electrolytic machining

### 3. 실험장치 및 방법

#### 3.1 실험장치

본 실험을 위하여 구성된 실험장치를 Fig3 에 도시하였다. 절삭저항 특성 실험은 수직형 머시닝센터(HWACHEON SIRIUS-2)를 사용하였고, 표면거칠기 특성은 고속가공기(KITAMURA Mycenter Zero)를 사용하였다. 절삭가공 중에 발생하는 절삭력은 스트레인 게이지(Strain gauge) 타입의 공구동력계(AMT VC818)를 사용하여 가공 중에 실시간으로 측정하였다. 전해가공을 위하여 전해조와 전용전극을 제작하여 각각의 테이블 상에 설치하였다.

#### 3.2 실험방법

Table.1 은 전해복합 절삭가공의 가공조건과 실험에 사용한 공구, 공작물을 나타낸다 전해액으로는 중성염 용액 중에서 부식성이 작고 가공정밀도가 좋은 질산나트륨( $\text{NaNO}_3$ ) 수용액을 사용하였다.

정면 밀링(Face milling)을 이용하여 기준면을 생성하였으며, 전해조 내에 전극을 설치하고 전해액을 공급한 후에 전압을 인가하였다. 이와 같은 상태에서 일정시간을 유지한 후에 전원을 차단하고 절삭가공을 수행하였다. 실험결과는 각각의 실험에서 절삭력과 표면상태 및 거칠기를 측정하여 전해복합의 효과를 평가하였다.

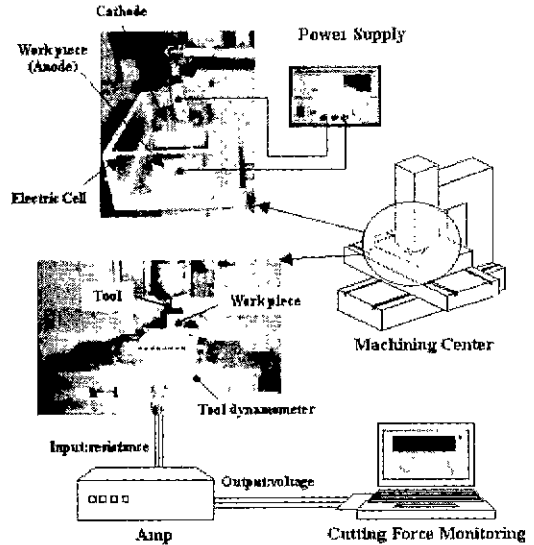


Fig. 3 Illustration of experimental set-up

Table.1 Experimental set-up and machining conditions

Case		A	B
Workpiece ( $25 \times 30 \times 15 \text{ mm}^3$ )		S45C ( $H_B 200$ )	
Cutting tool		$\phi 6$	$\phi 2$
Cutting cond.	Spindle speed [rpm]	2000	10000
	Feed [mm/min]	740	3500
Electrolysis cond	Electrolyte	Sodium Nitrate	
	Concentration [%]	20, 10	10
	Applied voltage [v]	10	10
	Applied time [sec]	30	30
	Electrode gap [mm]	5	

### 4. 실험결과 및 고찰

#### 4.1 절삭저항 감소 효과

Fig.5 (a), (b)에 전해복합에 따른 절삭력 저감 효과를 조사하기 위하여 일반절삭과 전해복합 절삭 시에 측정된 절삭력 및 절삭력의 감소량을 나타낸다. 결과에 나타난 바와 같이, 전기적 조건에 따라서 크게 두 가지 형태로 절삭력이 감소하는 경

향을 볼 수 있다. (a)는 지속적인 전해용출 보다는 부동태 층의 생성에 따라서 절삭 저항이 미소하게 감소된 것으로 판단할 수 있다 즉, 1  $\mu\text{m}$  절입에서 일반절삭에 비해 1/2 정도의 절삭력 감소한 것으로 나타나며, 전해생성물 피막 이상으로 절입 깊이가 증가하게 되면 10  $\mu\text{m}$ 에서 부터는 일반절삭의 절삭력과 동일하게 되는 경향을 확인할 수 있다. 반면, (b)의 결과는 깊이 방향으로 2  $\mu\text{m}$  이상으로 전해용 출이 진행되어 절입깊이가 3  $\mu\text{m}$ 에서 부터 절삭력이 감소되기 시작하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 전류밀도가 증가하면 피삭재인 금속의 표 면에서의 전해현상이 Fig.1 에 나타난 전압-전류 밀도곡선에서 DE 구간으로 천이되어 전해용출 현상이 활발해지는 결과로 생각할 수 있다.

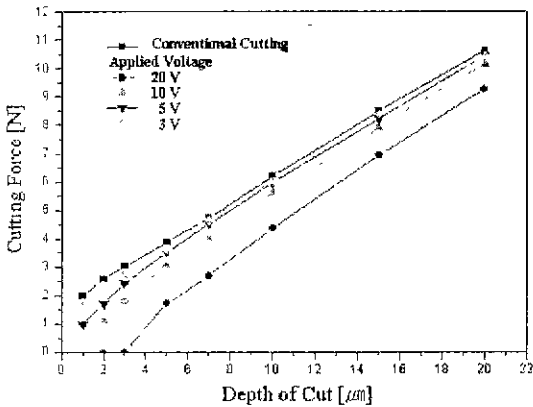
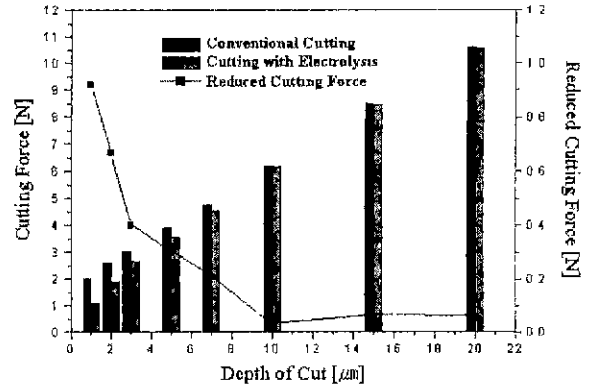


Fig 4 Cutting force with open voltage

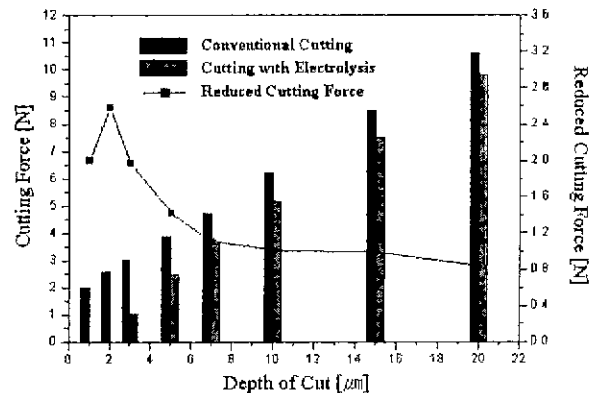
절산나트륨 농도 10%의 수용액을 사용하고 전압 인가시간은 30sec 로 유지하면서 인가전압의 차이에 따른 절삭력의 차이를 조사하였다. Fig.4 의 결과에 의하면, 전해액의 농도를 증가시키는 것 보다 전해전압을 증가시킴으로써 보다 큰 절삭력 감소효과가 얻어지는 것을 알 수 있다. Fig.4 에 나타난 바와 같이 전압이 증가하면 절삭력 감소 효과는 비례하여 증가하는 경향을 갖는다. 동일한 농도에서는 전압의 증가하면 전류밀도도 비례적으로 증가한다는 사실로부터 타당성을 확인할 수 있다. 그리고 인가전압이 3V-5V 사이에서는 전해용출 보다는 부동태 막의 형성에 의해 절삭력이 미소하게 감소하며 10V-20V 의 조건에서는 공작물의 표면에서 지속적인 전해용출로 인해 절삭력이 비교적 큰 폭으로 감소되는 것으로 확인할 수 있다.

#### 4.2 표면 거칠기 특성

전해복합 절삭법을 이용한 평면가공에서는 산화물 피막의 상태가 가공물의 표면상태에 크게 영향을 미치게 된다. Step over 나 이송속도 그리고 절



(a) Cutting force reduction by low ECM condition



(b) Cutting force reduction by high ECM condition

Fig.5 Cutting force reduction with different electrical state

입 깊이는 생성된 산화물 피막의 절삭에 있어서는 단순하게 최적의 가공조건 을 선정하는 인자로 작용하게 된다. 그러나 전해현상에 작용하는 전해조건 의 경우 절삭가공 중에 변경하기가 쉽지 않으며 예측, 제어하기가 아주 곤란하다. 따라서 전기의 절삭저항 특성 실험에서 얻은 결과를 바탕으로 전해조건을 선정하는 기준으로 사용하였다 Fig6 은 전해조건을 전류밀도에 따른 표면 거칠기를 조사하여 나타낸다. 전절의 실험에서 절삭력이 가장 작게 발생하는 전류 밀도 1A/cm<sup>2</sup> 부근의 영역에서 가장 좋은 표면이 얻어지는 것을 알 수 있다. 전류밀도가 1A/cm<sup>2</sup> 까지 점진적으로 증가할수록 표면거칠기는 다소 향상되지만 그 이상으로 전류밀도가 증가할 경우에는 표면거칠기가 향상되지 않고 일정 수준이 유지되는 결과가 얻어졌다. Fig7 는 전해복합에 의한 절삭표면의 성상의 차이를 관찰한 결과이다. (a)는 일반절삭 시의 표면상태로서 불엔드밀 공구의 중심점으로 갈수록 절삭속도가 제로에 가까워져서 경작현상(Plowing)을 동반한 소성변형이 발생

란 결과로 보이는 소용돌이 모양의 흔적이 발생함을 볼수있다. (b)는 전해복합에 의한 절삭가공의 표면상태로서, 전해복합에 의해서 부동태 피막이 생성됨으로써 실제 절입 깊이가 감소되어 전술한 경작현상을 동반하는 소성변형량이 감소한 결과에 기인하여 전반적으로 표면거칠기가 향상되었음을 보인다.

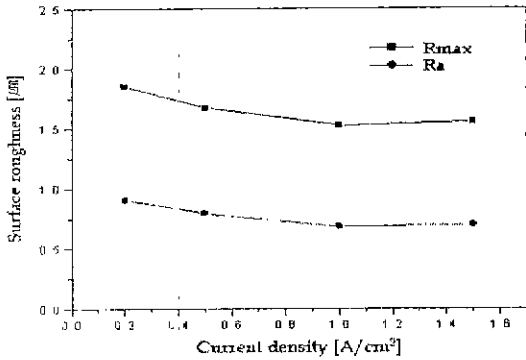
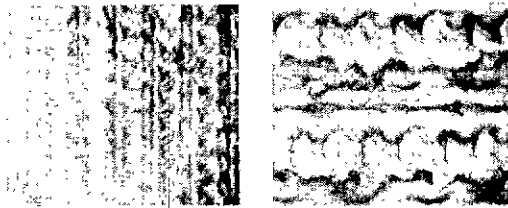
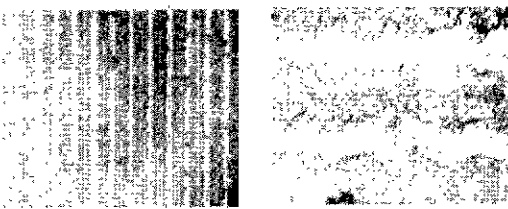


Fig.6 Surface roughness according to electrolysis condition



(a) Conventional cutting



(b) Cutting with electrolytic machining & tool offset

Fig.7 Surface roughness with cutting method

#### 4.3 Flat end milling 에의 적용효과

본실험에서는 전해복합 절삭법을 이용한 가공에서 적용공구의 확장성을 확인하기 위하여 볼랜드밀 대신 평엔드밀(Flat end mill)을 사용하여 전기의 방법과 동일하게 실험을 수행하였다. Fig.8 은 일반 절삭과 전해복합 절삭법에 의한 가공물의 표면거칠기를 나타낸다. 일반 평엔드밀 절삭에 비해 60%이상 표면 거칠기가 개선됨을 보이고 있다.

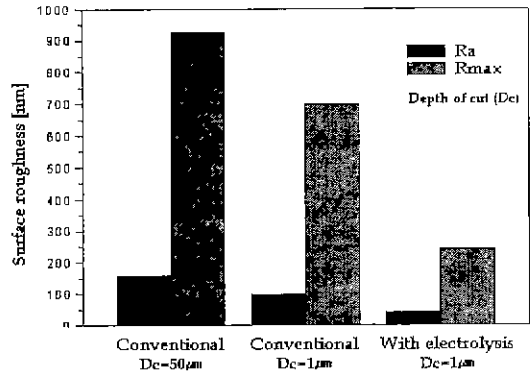


Fig.8 Surface roughness in flat end mill cutting

#### 5. 결론

본 논문에서는 볼랜드밀 절삭가공에서 전해복합에 따른 절삭력의 감소와 특성과 표면거칠기의 향상을 확인하였다.

1. 금속표면을 전해가공하면 것은 산화의 강도가 금속 원리의 강도보다 현저하게 감소하여 절삭시에 절입 깊이가 감소(절삭력감소)하는 것과 동일한 효과가 얻어진다.
2. 절삭력 감소 효과는 전해에 사용된 전해가공 조건 중에 전해액의 농도와 인가전압에 크게 영향을 받는다
3. 전해복합 절삭법을 적용하여 일정 전해 조건과 톨웁셋을 병합하면 50%이상의 표면거칠기 향상을 기대 할수있다.

#### 후기

본 연구는 한국과학기술원 지정 울산대학교 기계부품 및 소재 특성평가 연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. T. Nakagawa, "High-Speed Milling for Die and Mold making", Int. Mach. Tool Tech. Seminar, 2000
2. J. P. Caire, E. Chainet, B. Nguyen, P. Valenti, "Study of a New Stainless Electropolishing Process". E.N.S. d'Electrochimie et d'Electrometallurgie, pp.149~156
3. 永田眞生, 若林公宏, 山田眞樹, 増澤隆久, "電解による切削抵抗低減効果を利用した微細切削", 日本電気加工學會, Vol.33.No.74, 1999
4. 佐藤教男, "金屬の不動態化と表面不動態皮膜", 電気化學 Vol.46, NO.11, 1978.
5. 佐藤敏一, "電解加工と化學加工", 韓倉書店, 1970