

전해가공용 양방향 펄스파워

김상옥*, 김진환, 이용근, 김보열, 김영봉
 인하공업전문대학 전기정보과학과

Arbitrary Pulse Power for Electro Chemical Etching Manufacture

Sanguk Kim, Jinhwan Kim, Yonggeun Kim, Boyoul Kim, Youngbong Kim
 Department of Electrical Information and Science

Abstract - In this paper, arbitrary pulse power for electro chemical etching, which manufactures the groove of fluid dynamic bearing and aero dynamic bearing, is presented. For high precision manufacture, we generally use high precision CNC machine. However, this case has the disadvantage that cost is very expensive and bur due to bites of tool can be generated. So most of companies are interested in the method of electro chemical etching. But for more precision results, it is important to decision the parameters of electrical conditions, such as currents and frequency. We designed and made the arbitrary pulse power system easy to input the parameters for optimal conditions. Experimental results show the effectiveness of the system strategy proposed for the high precision manufacture.

1. 서 론

정보기억장치용 및 프린터 용 초정밀 회전기기는 나노(nano) 미터 단위의 회전정밀도를 유지하면서 컴퓨터, 음향 및 영상 등의 데이터 저장 매체(HDD, CD, DVD, VCR, Camcoder 등) 및 레이저 빔 프린터의 구동원으로 사용되는 브러시리스 직류모터 등을 포함한 회전기기를 말한다. 21세기 정보화사회가 도래함에 따라 정보기억장치 및 프린터용 초정밀 회전기기는 그 사용범위가 더욱 커지고 있다. 특히 고용량, 초소형 정보기억장치 개발 등과 같은 미래산업을 주도하기 위해서는 초정밀 회전기기의 공통 기반 기술중 진동 및 소음 저감을 위하여 베어링의 기술 개발이 가장 주요한 기술 개발의 과제로 떠오르고 있다. 이를 위하여 공기 동압(Aero Dynamic) 베어링 및 유체 동압(Fluid Dynamic) 베어링이 개발되고 있으나, 이를 위하여 그르브의 가공은 초정밀의 가공이 이루어져야 한다.

운동물체의 상대운동으로 자체 발생하는 공기의 펌핑 작용에 의하여 스스로 부양되는 ADB 및 FDB 베어링으로 기존에 적용되던 볼 베어링으로는 소형기기의 고속화에 적용이 불가능하다. 따라서 현재 사용되는 모터의 회전속도를 획기적으로 향상시킬 수 있어 속도를 생명으로 하는 수요업체로서는 필수적으로 채택하여야 할 핵심부품인 이들 베어링의 가공이 요구되어 진다. 따라서 기존 방식으로는 CNC 머신 가공, 에칭가공, 전조 가공이 주로 사용되고 있다. CNC 머신 가공의 경우 가격이 고가이며, 제조 시간이 느린 단점을 가지고 있으며, 에칭가공의 경우 초정밀을 요구하는 곳에는 부적합하며, 전조방식의 경우 전조할 때 양 끝에 Bur가 생겨 고속 회전시 문제가 발생하는 많은 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 대량 생산이 가능하고 초정밀 가공이 가능한 양방향 펄스 파워 전해 가공기를 개발하였으며, 이의 타당성을 위하여 실험을 통하여 시스템의 성능을 보였다.

2. 본 론

2.1 전해가공기의 동작원리

전해가공이란 전기의 용해작용을 이용하여 구멍가공, 금형조각가공, 연삭가공, 절단작업 등 과같은 전기화학가공(electro chemical machining)방법을 말하며, 전해 가공기계, 전해연삭기계, 전해 드릴링 머신 등이 있다.

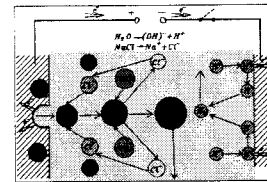
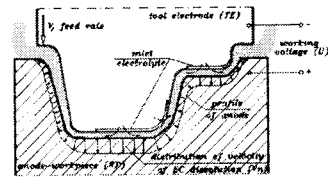


그림 1 전해가공기의 기본 동작 원리

금속재료의 전기화학적 용해에는 그 진행을 방해하는 양극생성물인 금속산화물막이 생기는데 이를 분류에 의해 제거하면서 가공하는것이 전해가공이며, 내열강, 초경합금, 고장력강 등 기계가공이 어려운 가공물을 양극으로 하고, 음전극과 함께 알칼리성의 전해액에 넣어 가공부를 전해시켜 구멍을 뚫거나 홈파기 등을 수행한다. 전해가공은 패러디(faraday)의 전기 분해법칙을 근거로 제작된 것으로, 일반적인 도금장치와는 반대의 화학작용이 적용된다. 전해가공시의 화학반응은 다음과 같다.

- 양극(+)
: $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^{-}$
- 음극(-)
: $2H^2O + 2e^{-} \rightarrow 2(OH) + H_2 \uparrow$
- 전해액
: $2NaCl \rightarrow 2Na^{+} + 2Cl^{-}$
: $2Na^{+} + 2(OH)^{-} \rightarrow 2NaOH$
: $Fe^{++} + 2Cl^{-} \rightarrow FeCl_2$

전해 가공의 특징은 다음과 같다.

- 전기 분해가 되는 재료면 어느것이나 가공이 가능하다.
- 재료의 강도 및 경도는 가공에 영향을 주지 않는다.

- 가공 종류에 따라 정밀가공은 절삭가공보다 가공속도가 빠르다.
- 절삭가공시 절삭공구에 해당하는 전극의 소모가 거의 없다
- 복잡한 형상의 가공에 효과적이다.

음극은 경면(鏡面; mirror surface)으로 가공되어야 하며, 공구인 음극과 공작물인 양극간에 충분한 전류밀도를 유지하게 하고, 전해액의 공급방법은 다음 그림과 같다. 전해가공의 일종으로서 공작물이나 공구를 회전시켜 표면을 다듬질하는 방법을 전해연삭(電解研削; electrochemical grinding, ECG 또는 electrolytic grinding)이라 한다. 이 방법은 전해작용에서 생긴 산화막을 기계적으로 제거하는데 주목적이 있으며, 가공물 다듬질량의 대부분은 전해작용에 의한다.

2.2 가공 속도

가공 속도는 가공되는 금속 재료, 전극의 단면적 크기에 관계가 있으나 보통 0.025~0.125mm/sec 정도이고, 전극의 소모가 거의 없으며 가공시 피가공물의 직진도, 평행도가 높다. 일반적인 경우 가공속도는 단위 시간당 가공량 또는 단위 시간당 가공 길이(전해이동 속도)로 나타낸다.

단위시간당 가공량 $V(g/min)$ 는,

$$V = \eta \cdot 60I/\eta F \quad (1)$$

- η : 전류 효율
- n : 피가공물의 원자가
- M : 피가공물의 그램원자량
- F : 파라데이 상수
- I : 전류 세기 (A)

전류 이동 속도 $v(cm/min)$ 는,

$$v = \eta \cdot 60 \cdot M \cdot I / \eta F \rho S \quad (2)$$

- ρ : 피가공의 밀도(g/cm^3)
- S : 가공을 면적 (cm^2)

2.3 전해액

가공 특성은 전해액의 종류에 따라 다르게 나타나며, 가공물의 형상, 가공물 재질, 가공속도, 다듬질면, 가공 후 처리에 따라 결정해야 한다. 과거에는 10%의 염화나트륨 수용액이 많이 사용되어왔다.

2.4 전극 재료

전극은 강 또는 구리, 황동, 스테인레스강이 많이 이용되며, 전극을 선택할 때는 다음의 사항을 유의하여야 한다.

- 전기 저항이 적은 것
- 가공 전해액 압력이 견딜 강도가 있을 것
- 기계 가공이 잘 될 것
- 내식성이 클 것
- 열전도가 좋고 용점이 높을 것

2.5 가공면 거칠기

면 거칠기는 전류의 밀도와 재질, 조직구성에 민감하게 반응한다. 즉, 재질이 다르면 거칠기가 달라질 수 있고, 탄소가 많이 포함된 조직일 경우 2~20 $\mu m/in$ 또는 30~40 $\mu m/in$ 의 면을 얻을 수 있다.

2.6 가공 정밀도

전해가공의 정밀도는 기계 자체의 정밀도, 제작된 전극의 오차 및 전해간격에 따라 다르게 나타난다. 또한, 전해액의 온도변화, 가공액 유속 변화, 성분, 조직, 재질등도 정밀도를 결정하는 주요한 인자가 된다.

2.7 전해액 유동 방법

전해가공시 안정된 가공특성을 확보하기 위하여는 전해액의 유동방법을 적절히 선정하는 것이 매우 중요하다. 전해액의 유동이 균일하게 이루어 질 수 있도록 전극을 설계하여야 하며, 이때 유체역학 이론이 적용되어야 한다.

전해액의 유동방법 및 그 특징은 다음과 같다.

- 정류법 : 전극 제작법도 쉽고 많이 이용된다.
- 역류법 : 정류법 보다 먼거칠기가 좋다.
- 횡류법 : 가공면에 가공액 유동 흔적이 없도록 할 때 사용한다

2.8 양방향 펄스파워 전원공급장치의 동작원리

일반적인 경우, 부하에 공급되는 전력은 평균치로서 관리되어 지지만, 일부 특수한 용도의 부하에 대하여는 평균전력 뿐 아니라 순시전력 역시 중요한 관리대상의 하나가 된다. 즉, 도금용 전원장치 혹은 오페수 처리용 전원장치와 같은 경우, 평균전력을 제어함과 동시에 사용자가 원하는 임의의 순간에 임의의 고전압 혹은 고전류의 순시전력을 공급함으로써 동일한 전력이 입력되는 것에 비하여 전반적인 시스템의 효율 증대를 기대할 수 있다.

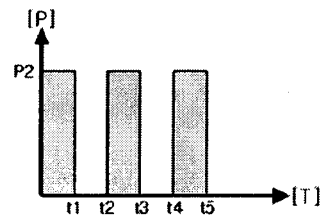


그림 2 전력제어시스템

만일, 다음과 같은 관계를 만족하는 $t1$, $t2$ 및 $P2$ 가 선정된다면, 시스템에 동일한 평균전력이 인가됨을 알 수 있다. 즉,

$$P1 = P2 \times \frac{t1}{t2} \quad (3)$$

평균전력은 각각 $P1$ 이 되어 동일함을 확인할 수 있다.

$$P1(ave) = P2(ave) = P1 \quad (4)$$

반면, 두 시스템에 인가되는 순시전력은 다음과 같다.

$$Pa(max) = P1$$

$$Pb(max) = P2$$

(5)

2.8.1 일반사양

■ Power supply

Type: 양방향 펄스
Voltage: 5 to 30 V (continue or pulse)
Current: 50 A
Current Density: 10 to 50 A/cm²

■ Electrolyte

Type and Concentration : NaCl
Frequency: 100KHz
Temperature : 20 to 50° C
Flow rate: 1 l/min/100A
Velocity : 1500 to 3000 m/min
Inlet Pressure: 0.15 to 3 MPa
Outlet Pressure: 0.1 to 0.3 MPa

2.8.2 제어모드 및 설정 파라미터

개발된 양방향 펄스파워 전해가공기는 처리공정의 효율이 극대화 될 수 있도록 다음 4가지 형태의 출력모드를

지원하며, 각 모드별 출력파형 및 설정 파라미터를 나타내었다.

- 순직류 모드
- 정방향 펄스모드
- 직류 바이어스 모드
- 양방향 펄스모드

[1] 순직류모드

순직류모드 설정시 전원공급장치는 출력정격 전류로 설정하여 DC Power Supply 로 운전하는 것이 가능하다.

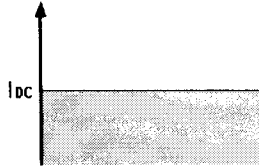


그림 3 순직류모드 설정시의 전류 지령치

순직류모드 설정시 사용자가 설정가능 파라미터는

항 목	설 정 값 범 위
출력전류	0 - 정격출력전류 [A]

[2] 정방향 펄스모드

정방향 펄스모드 설정시, 펄스파워 전원공급장치의 출력은 사용자가 설정한 출력 Peak 전류, 반복설정시간, On/Off 시간에 따라 펄스를 출력한다. 즉, 출력정격전류범위 내에서 사용자의 운전 지령치를 부하에 공급할 수 있도록 자동적으로 제어된다.

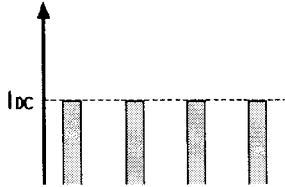


그림 4 정방향 펄스모드 설정시의 전류 지령치
정방향 펄스모드 설정시 사용자가 설정가능 파라미터는,

항 목	설 정 값 범 위
반복시간	0 - 999.99 [ms]
통전시간	0 - 999.99 [ms]
휴지시간	0 - 999.99 [ms]
출력전류	0 - 정격출력전류 [A]

[3] 직류 바이어스 모드

직류 바이어스 모드 설정시, Peak 전류, Bias 전류, On/Off 시간에 따라 펄스를 출력한다. 즉, 출력 정격전류범위 내에서 사용자의 운전 지령치를 부하에 공급할 수 있도록 자동적으로 제어된다.

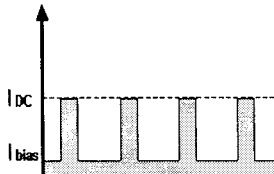


그림 5 직류 바이어스모드 설정시의 전류 지령치
직류 바이어스 모드 설정시 사용자가 설정가능 파라미터는,

항 목	설 정 값 범 위
통전시간	0 - 999.99 [ms]
출력전류	0 - 정격출력전류 [A]
바이어스 시간	0 - 999.99 [ms]
바이어스 전류	0 - 정격출력전류 [A]

[4] 양방향 펄스모드

양방향 펄스모드 설정시, 펄스파워 전원공급장치의 출력은 사용자가 설정한 정방향과 역방향의 출력 Peak 전류, 반복설정시간, On/Off 시간에 따라 펄스를 출력한다. 즉, 출력 정격전류범위 내에서 사용자의 운전 지령치를 부하에 공급할 수 있도록 자동적으로 제어된다.

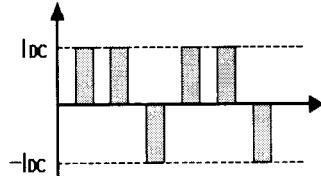


그림 6 양방향 펄스모드 설정시의 전류 지령치

양방향 펄스모드 설정시 사용자가 설정가능 파라미터는

항 목	설 정 값 범 위
정방향 반복시간	0 - 999.99 [ms]
정방향 통전시간	0 - 999.99 [ms]
정방향 휴지시간	0 - 999.99 [ms]
정방향 출력전류	0 - 정격출력전류 [A]
역방향 반복시간	0 - 999.99 [ms]
역방향 통전시간	0 - 999.99 [ms]
역방향 휴지시간	0 - 999.99 [ms]
역방향 출력전류	0 - 정격출력전류 [A]

2.8.3 전력부 구성

펄스파워 전원공급장치의 전력부 구성은 정격용량, 출력전압의 크기 및 필요한 제어정도등 여러가지 Factor 에 의하여 다양한 방법으로 구성하는 것이 가능하며, 현재 개발완료된 양방향 펄스파워 전자기공기의 전력 시스템 구성은 다음과 같다.

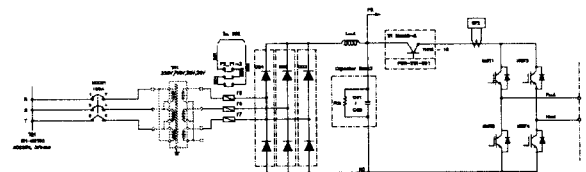


그림 7 펄스파워 전원공급장치의 전력부 구성도

- 전압감압용 주 변압기 (Main Transformer)
- 3상 다이오드 정류부
- 전압 및 전류 평활용 L-C Filter 부
- 전압 및 전류 미세제어용 FET Stack
- 출력전압 극성제어용 IGBT Stack
- 각종 전압 및 전류 검출부

주 변압기는 MCCB1 의 투입과 동시에 입력되는 Line 전압 (60 [Hz] / 3상 / 220 [V]) 을 제어에 적절한 저전압 (30 [V]) 으로 감압시키는 역할을 담당하며, 각종 제어부 및 스위치 구동용 전원은 별도의 제어전원용 변압기를 사용한다. 주 변압기의 입력은 현재 220 [V] 단일 입력으로 제작되어 있으나, 현장의 상황에 맞추어 380/220 [V] 전원을 Tab 전환방식으로 모두 사용할 수 있도록 설계되어 있다.

다이오드 정류부는 교류로 입력되는 3상전원을 직류로 변화해주는 역할을 담당하고 있으며, 정류를 필요로 하는 주 전원이 60 [Hz] 의 비교적 낮은 주파수를 갖으므로 정격 전류용량 및 내전압 특성만을 고려하여도 충분한 것으로 판단하였다.

전압·전류 평활용 L-C Filter의 입력은3상 전압을 전파정류하였으므로, 출력단에 나타날 수 있는 전압 Ripple

의 주파수는 360 [Hz] 이지만, 경우에 따라 단상전압을 입력으로 사용하는 경우를 고려하여 전압 평활용 커패시터 C 는 충분히 큰 값으로 선정하도록 하였다. 그러나, 전류 평활용 리액터 L은 실제 전류의 평활기능 보다는 시스템 전원투입 초기에 커패시터 C 를 충전하기 위한 돌입 전류의 크기제한이 그 목적이므로, 실험을 통하여 그 성능을 평가하였다.

출력전압 극성제어용 IGBT Stack은 단상 Bridge 형태를 갖고 있으며, 시스템의 정격이 일반적인 IGBT 특성으로도 충분히 제어가 가능하므로 정격 전류용량 및 내전압 특성만을 고려하여도 충분할 것으로 판단하여 선정하였다. 단, Gate Driver 의 설계에 따라, 실제 Gate Signal 로부터 IGBT 의 실제 도통까지 발생할 수 있는 On-Delay 와 Off-Delay 가 변화될 수 있으므로, 이 지연시간을 Gate Driver 의 평가항목으로 채택한다.

전압·전류 미세제어용 FET Stack은 본 시스템의 핵심부로, 입력조건, 출력조건 및 부하의 상태에 따라 가변제어될 수 있도록 파라미터가 선정되어야 한다. 즉, 기존의 전력스위치는 Saturation 상태를 그 운전영역으로 활용하였으나, 본 시스템에서는 전력스위치의 Linear 구간을 운전영역으로 활용하여 전력소자가 전력제어의 관점에서 전류제한 및 전압제어용 저항과 동일한 역할이 될 수 있도록 제어하고 있으므로, 각 소자들의 제어정도, 발열량, 방열상태, 각종 Gain 조정등이 모두 원활히 이루어질 수 있도록 설계되었다.

2.9 실험결과

그림 8에 개발된 양방향 펄스파워 전원공급장치의 외형사진을 나타내었다. 그림 9는 모드별 출력전류의 실험과형을 나타내었다. 그림 10은 운전 중 부하단락시의 보호동작을 보여주고 있다. 그림 11 및 12는 개발된 전해가공 시스템을 이용한 전해가공 시제품(가공 깊이 10 μ m)을 나타내었다.

3. 결 론

본 논문에서는 공기 동압(Aero Dynamic) 베어링 및 유체 동압(Fluid Dynamic) 베어링의 그르브의 가공을 위한 전해가공시스템에서 양방향 펄스 파워 시스템을 개발하였다. 이를 통하여 정밀가공분야에 대한 필수 요소 기술 확보, 펄스파워 전원장치의 설계 및 제작에 관련한 필수 요소기술 확보, 동압베어링 및 유체동압 베어링 정밀설계·정밀가공 요소기술 확보, 정밀 베어링 부품의 대량생산을 통한 초정밀 회전기기 시장개척, 초정밀 가공부품의 수입대체효과, 대량생산 시스템을 통한 가격경쟁력 확보 등을 기대할 것으로 사료된다. 이의 타당성을 위하여 실험을 통하여 시스템의 성능을 보였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 마이크로가공기술 편집위원회, 마이크로 가공 기술, 기전 연구사, 1993
- [2] Hamrock, B. j., 1994, "Fundamentals of Fluid Film Lubrication," McGRAW-HILL series in Mechanical Engineering, International Editions, pp. 218-277
- [3] Fuller. D. D., 1984, "Theory and Practice of Lubrication For Engineers," John Wiley & Sons, inc., A Wiley-Interscience Publication," pp. 198-548 1984.
- [4] Ronald B. Standler, Protection of Electronics Circuits from Overvoltages, John Wiley & Sons, 1995

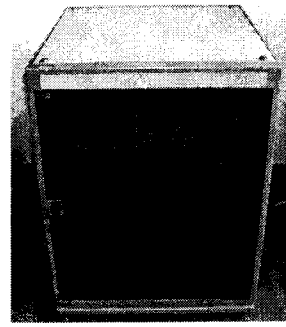


그림 8 양방향 펄스파워 전원공급장치 외형

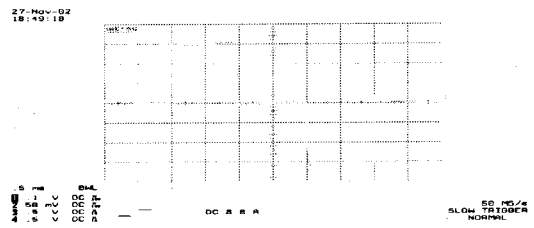


그림 9 양방향 펄스모드의 출력전류과형

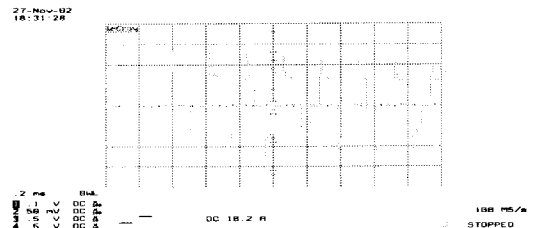


그림 10 운전 중 부하단락시의 보호동작
정방향 펄스전류 30[A], 역방향 펄스전류 30[A] 지령

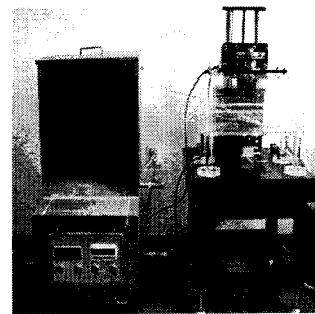


그림 11 전해가공 시스템

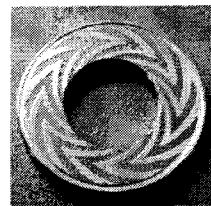


그림 12 전해가공 처리결과