

고정밀 와이어컷 방전기 기술동향

김 종 수

(전기연구원 산업전기연구단 전력전자연구그룹장)

1. 서론

와이어컷 방전기는 가공선과 피가공물 사이에(이하 극간) 60~300V_{dc}를 10kHz~200kHz의 펄스 전압을 인가하여 극간에 미세방전을 일으켜 3차원 형상을 정밀 가공할 수 있는 기기이다. 와이어컷 방전기는 피가공물이 전도성인 경우 재료의 경도, 점도 등에 관계없이 가공이 가능하고 가공 후 별도의 열처리가 필요 없어 정밀 가공이 필요한 자동차, 항공우주, 전기전자 산업 등의 금형 가공에 필수적인 장비이다.

방전가공은 1943년 소련의 라자렌코 부부에 의해 발견되어 정밀가공법의 개발을 자극하였고, 산업발전으로 인한 새로운 가공기술의 요청으로 소련은 물론 세계 각국에서 연구하기 시작하여 일본의 경우는 1948년에 방전가공기를 금형가공의 범용기로 발전시켰으며 고정밀 가공을 위한 연구를 계속하고 있다.

우리나라에서는 90년대 초까지 와이어컷 방전기를 전량 수입하였으며 90년대 중반부터 기술개발에 성공하여 국내 시판

및 수출을 하고 있다. 그러나 산업의 고도화, 소비자의 고품질 선호, 상품의 고품질 우위 확보 등을 위한 고정밀 금형시장이 확대되고 있으나 우리나라의 기술로는 이에 대응할 수 없어 고정밀 금형제작 업체들은 선진 외국 제품을 수입하고 있으며 급격하게 고정밀 와이어컷 방전기의 수입이 증가하고 있다.

와이어컷 방전기는 기계부분을 제외하고 서보 모터를 제어하여 정밀한 위치를 제어하고 사용자의 요구 및 상태감시용 MMI(Man-Machine Interface)로 이루어진 CNC(Computer Numerical Control) 장치 및 가공선과 피가공물 사이(이하 극간)의 방전을 제어하는 방전 전원 제어장치로 구성되어 있다. 그림 1은 와이어컷 방전기의 외형 및 이것에 의해 가공된 금형들의 예이다.

2. 와이어컷 방전기의 기술적 특징

와이어컷 방전기는 기계부분을 제외하고 그림 2와 같이

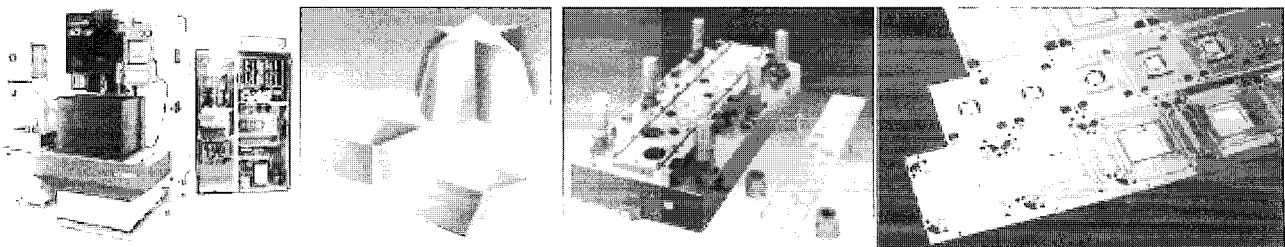


그림 1 와이어컷 방전기의 외형 및 이것에 의해 가공된 금형

CNC장치, 가공선 구동기, 모재용 선반, 가공액 탱크 및 방전 전원부로 구성되어 있다

CNC는 MMI 기능을 수행하는 PC(Personal Computer)부, 입력된 가공물의 형상 해석 및 정밀 위치 제어 기능을 수행하는 NC부, 서보 모터를 구동하는 Servo부 및 외부 I/O 기능을 수행하는 PLC(Programmable Logic Controller)부로 구성되어 사용자가 MMI를 통해 입력한 형상에 따라 모재 선반의 위치를 제어하고 방전제어장치에 가공 조건을 지령하며 가공 상태를 감시한다.

방전 제어장치는 CNC의 지령에 의해 가공조건을 설정하고 저원을 제어하는 방전제어부, 전원을 공급하는 방전전원부 및 극간에 전원을 인가하는 방전구동부로 구성되어 가공조건에 따라 60~300V_{dc}, 10kHz~200kHz의 펄스 전압을 극간에 인가한다.

가공액은 방전에 의해 피가공물에서 떨어진 것을 급속 냉각시켜 알갱이로 침전시키는 기능을 수행한다.

2.1 CNC 장치

CNC 장치는 와이어컷 방전기의 특성상 일반 공작기계와 달리 전용기 성격이 강하며 방전제어장치와 효율적으로 결합될 수 있어야 한다. 또한 원격에서 와이어컷 방전기의 운전

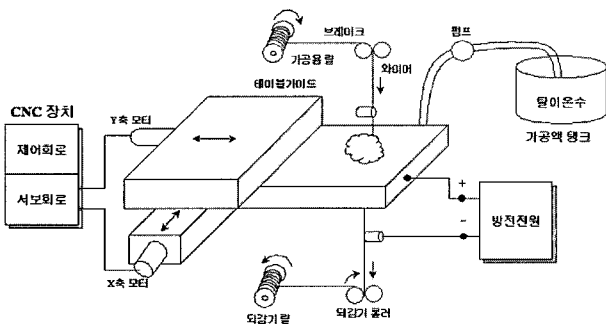


그림 2 와이어컷 방전기 구조

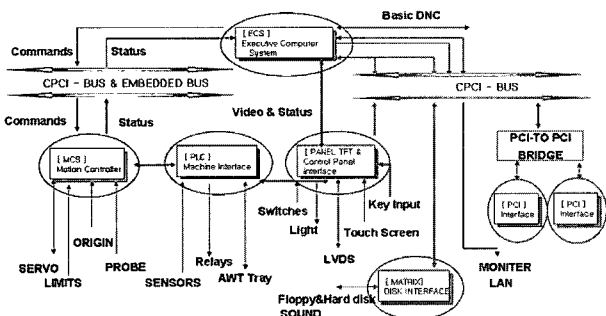


그림 3 CNC 장치 구성도

상태를 감시할 수 있도록 IT기술의 적용이 용이한 구조를 가져야 한다. CNC 장치는 그림 3과 같이 구성되며 고정밀 금형 제작에 필요한 기술에 대해 간단히 기술한다.

2.1.1 MMI

사용자가 원하는 금형 제작을 위한 도면을 입력하고 이를 3차원 형상으로 확인하여 가공 진행 상태를 그림으로 확인할 수 있는 그래픽 기능과 도면의 편집, 운전지령, 운전상태 확인 등 와이어컷 방전기 운용이 필요한 설정, 감시기능을 원활하게 수행할 수 있도록 입력 및 표시 기능이 있으며 Network을 통해 원격에서 와이어컷 방전기를 제어/진단/감시할 수 있는 구조를 가져야 한다. 위의 기능을 원활하게 수행하기 위해 산업용 범용PC를 이용하는 것이 일반적인 추세이다.

2.1.2 NC부

NC는 PC를 통해 입력된 도면 및 가공 정보 등을 해석하는 해석부, 모재선반의 이동 경로를 생성하는 보간부 및 방전제어 장치, Servo부, PLC부와의 인터페이스부로 구성된다.

NC에는 Real Time OS를 이용하는 것이 일반적인 추세로 경로 제어를 위한 보간부 처리의 정밀한 시간 제어 기술이 필요하다. 시간제어가 잘못되는 경우 제어성능에 심각한 영향을 주게 된다.

또한 NC부는 고정밀화를 위해 와이어 진동제어 및 와이어 소모에 의한 Taper 분산기능 및 극간의 간격을 일정하게 유지시키는 방전간격 정밀 추종제어 기능 등이 필요하다.

2.2 방전제어 장치

2.2.1 방전제어부

방전제어부는 그림 4와 같이 극간에 10~200kHz의 고속 전압펄스를 발생시켜야 하므로 페루프 제어가 불가능하다. 그러므로 CNC 장치로부터 방전조건을 지령 받고 이에 따라 방전 구동부를 제어하여 극간에 전압펄스를 인가한다.

방전조건에 따라 방전전원부로부터 60~300V_{dc} 중 한 개를 선택하고 무부하 대기시간, 1,2차전원 공급시간, 1,2차전원 차단 시간, 및 주기를 선택한다. 운전개시 지령에 의해 무부하 시간만큼 대기한 후 1차전원을 인가한다. 이후 극간에 방전이 시작되면 이를 검지하여 2차전원을 정해진 시간만큼 공급하여 극간에 대전류가 흐르게 한다. 이 과정을 주어진 주기로 반복하며 위의 과정이 정상적으로 진행되지 않을 경우 CNC 장치는 방전조건을 변경한다.

2.2.2 방전전원부

방전전원부는 극간에 전원을 공급하기 위해 상용전원을 정류하여 직류 전압을 공급한다. 극간에 인가되는 전압을 위해 언급된 것처럼 저항을 통해 극간에 인가되는 1차전원, 저항

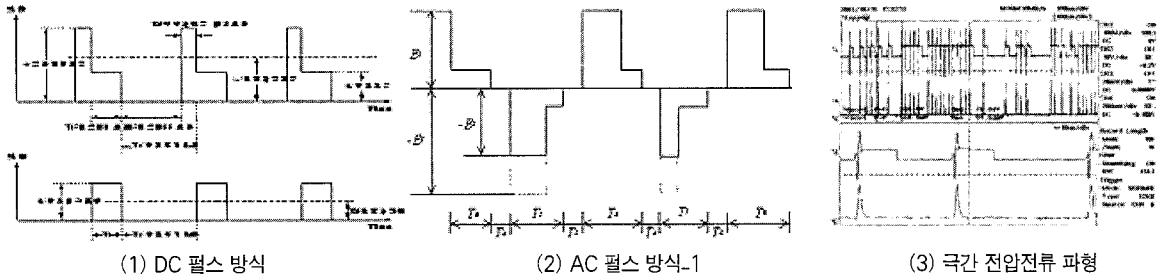


그림 4 극간 전압 및 전류 파형

없이 극간에 인가되는 2차전원으로 나누어지면 각각의 전원은 피가공물의 재질 및 가공조건에 따라 다른 전압을 공급해야 하므로 60~300V_{dc}에서 선택할 수 있도록 해야 한다. 현재 국내의 와이어컷 방전기 전원은 변압기 탭절환 방식의 정류기를 이용하고 있어 전압 선택 시에 매우 복잡한 구조를 가지고 있다. 소형, 경량화 및 단순 구조의 전압 선택을 위해 10kW, 1kW, 200W 전압가변형 SMPS가 활용되고 있다.

2.2.3 방전구동부

방전구동부는 1차전원 구동부와 2차전원 구동부로 나눌 수 있다. 1차전원 구동부는 극간에 1차 방전 전원을 공급하는 부분으로 기준전압 설정, 극간, Arc검출, 가공선과 피가공물 접촉 검출, 극간 상태 검출, 극간 전류 조절, 스위치 구동부 및 스위치로 구성되어 있다.

1차전원 구동부는 극간 상태 검출 회로를 통해 방전상태를 검출한다. 비정상 방전인 경우 방전제어부에 의해 극간 전원 차단시간을 조절되어 극간 방전 상태가 안정화되도록 제어되어야 한다. 또한 극간의 한 부분에서만 집중적으로 방전되는 집중 방전 상태를 검출하여 집중방전에 의한 단선이 억제 되도록 하여 작업 효율을 높이는 기능이 필요하다.

2차전원 구동부는 1차전원에 의해 극간 방전이 개시된 직후 극간에 대전류를 인가하는 주전원부와 잉여에너지를 회생시키는 회생전원부로 구성된다. 주 전원부는 스위칭 속도가 빠른 MOSFET을 병렬로 구동하여 대전류를 공급할 수 있도록 구성되므로 MOSFET 병렬운전 및 기생리액턴스 최소화 기술이 필요하다.

회생전원부는 가공에 투입된 나머지 잉여에너지를 회수하는 회로로 초기에는 저항을 통해 열로 방출시킴으로서 에너지효율이 낮은 단점이 있었으나 회생전원회로를 통해 잉여에너지를 재이용하고 있다. 그러나 매우 짧은 시간에 방전이 일어나므로 회생용 스위치의 구동시간 제어에 신중을 기해야 하며 1차전원만 단독으로 운전되는 경우 회생경로가 없어 스위치가 파괴될 수 있으므로 경로확보 또는 회로분리 등의 대책이 필요하게 된다.

또한, 극간에 인가되는 전원은 극성의 변화가 없는 DC펄스 방식과 극간 극성의 변화를 주어 인가되는 평균전압이 0이 되게 하는 AC 펄스 방식이 있다. DC펄스 방식은 냉각액은 전기분해시켜 산소를 발생시키고 이로 인해 가공면이 부식되어 그림 5와 같이 전기부식을 억제하는 AC 펄스 방식에 비해 가공면의 정도가 떨어진다. 그러나 AC 펄스 방식은 DC 펄스 방식에 비해 극간 상태 검출 회로가 복잡하게 된다.

3. 국내 고정밀 와이어컷 방전기의 기술 전망

국내의 고정밀 와이어컷 방전기 관련 기술은 선진 외국에 비해 초기단계에 불과한 실정이다. 국내 업체는 원일, 서울정기, 인터테크노, 진영정기, 두산 등이 있다. 세계수준과 비교할 때 모재선반의 이송속도는 별 차이가 없으나 최소 이송단위는 1 μ m로 선진국의 0.1 μ m에 미치지 못하며 전기부식 등의 전원장치 기술의 미숙으로 인해 가공 정도를 나타내는 면조도도 국내는 5 μ mRmax로 외국의 1 μ mRmax에 미치지 못하고 있다. 그러나 CNC장치의 경로제어, 서보제어, 와이어 진동제어 및 Taper 보상기술 등은 꾸준한 기술개발을 통해 세계적인 수준에 접근하여 조만간 0.1 μ m 최소이송을 실현할 수 있을 것으로 예상되며 국내 IT 인프라를 이용한 원격 제어/진단/감시도 실현될 수 있을 것으로 전망된다. 그러나 DC전압 펄스 방식에 비해 복잡한 제어구조를 가지고 있는 무전해 AC펄스 방식 전원장치 개발을 위해서는 많은 노력이 필요할 것으로 사료된다.

세계 시장은 2005년도에 2조 5천억원 규모로 스위스 샤밀, 일본의 미쯔비시, 소디, 파낙 등이 세계 시장의 80% 이상을 장악하고 있으며 고품질 금형제작이 가능한 고정밀 와이어컷 방전기는 샤밀, 파낙, 미쯔비시 등이 대부분의 시장을 점유하고 있다.

국내 시장은 600억원 규모이나 금형산업에서 일반금형은 중국에 시장을 뺏기고 있고 반도체, 통신 등 고정밀 금형이 요구되는 시장은 18% 이상씩 성장하고 있다.

우리나라가 IT 강국으로 부상함에 따라 고정밀 고품질 금형

표 1 고정밀 와이어컷 방전기 사양

CNC 장치		방전전원장치	
화면표시기	12.1" TFT	입/출력 용량	3상 220V _{ac} 10kW
제어축수	최대 6축, 동시 4축	출력전압	60~300V _{dc}
최소구동단위	0.1 μ m	스위칭 주파수	10kHz ~ 200kHz
상하 편차량 최적제어	1회 가공시 10 μ m이내	펄스폭	100ns ~ 1000ns
최적 가공조건 자동설정	소재의 종류, 가공정도 선택으로 가공조건 자동 설정	최대가공속도	180mm ² /min
편리한 좌표계 회전기능	소재 두 점 접촉으로 자동 좌표계 회전	4회 가공 면조도	1 μ mRmax
최적 코너제어	코너에 자동 속도 조절	전원방식	AC 펄스 전원 방식
Web 서비스	인터넷에 의한 원격 제어/진단/감시		

표 2 고정밀 와이어컷 방전기 개발을 위해 확보가 필요한 기술

<ul style="list-style-type: none"> ● Internet을 통한 원격감시, 진단, 제어 기능 ● 정밀한 서보 추종제어 ● 극간 정밀 추종제어 ● 초정밀 보간 기능 ● 피가공의 위치 자동 교정 기능 ● Background Editing 기능 ● 기기 운전 중 작업 준비 기능 ● 와이어 진동 제어 기술 ● Taper 보상 기술 	<ul style="list-style-type: none"> ● MOSFET 병렬 운전 기술 ● 초고속 스위칭 소자 제어 기술 ● AC 펄스 전원 설계 기술 ● AC 펄스 전원의 극간 상태검출 ● 기생 리액턴스 최소화 기술 ● 스너버에 의한 손실저감 기술
--	---

시장은 더욱더 가파르게 상승될 것으로 예상되며 이에 따라 고정밀 와이어컷 방전기의 수입도 가속화될 것으로 전망되고 있다. 그러므로 국내 시장을 지키고 수출을 증대하기 위해서는 고정밀 와이어컷 방전기의 개발이 시급한 실정이다.

앞으로 우리가 선진 외국과 경쟁력을 가지기 위해서는 표 1의 사양을 만족하는 기기를 개발해야 하며 이를 위해 아래의 기술의 확보가 필요하다.