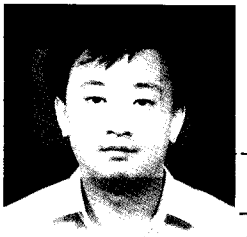
고성능형 방전 가공을 위한 흑연 전극 공구의 관련기술 현황



강 재 훈

(KIMM 가공기술그룹)

'83. 2 경남대학교 공대 기계공학과(공학사)
'85. 2 국민대학교 대학원 기계공학과(공학석사)
'85. 2－현재 한국기계연구원 선임연구원

이 재 경

(KIMM 가공기술그룹)

'69. 2 한양대학교 공대 기계공학과(공학사)
'80. 2 일본 와세다대학교 대학원(공학석사)
'80. 5－현재 한국기계연구원 책임연구원

1. 머릿말

방전 가공 분야에 있어 새로운 소재의 공구인 흑연 전극이 개발되어지기 시작한 것은 약 1984년경 부터로써 극히 최근의 개발 분야라고 할 수 있다. Register case 금형을 제작 가공함에 있어 경우에 따라 전극 자체의 중량이 방전 가공기의 중량에 육박하게 되는 경우와 전극 운용 소요비가 금형 제작 가공비 견적을 초과하는 경우가 발생되어짐에 따라 흑연 소재의 전극을 적용하기 위한 연구 개발이 착안되어지기에 이르렀다.

흑연(graphite)은 방전 가공용 전극 소재로써 우수한 특성들을 지니고 있다. 이 때문에 최근 금형 산업 분야에서 금형 가공제작 속도의 향상 등을 지향하고자 하는데 있어 큰 역활을 담당하고 있다고 할 수 있다. 더욱이 최근엔 가전, 자동차 용품 등에 있어서 플라스틱 사출 성형에 의한 제품화가 다양화되고 광범위화되어지면서 그 금형을 제작 가공하는데 적용되어지는 방전 가공용 전극 소재로의 응용이 활발하게 진행되어지고 있다. 한편, 금형 제작 업체들이 생산 가공 기술을 향상시키고자 하면서 방전 가공용 소재, 전용 가공용 공작 기계, 가공 공구, 형조각 방전 가공기 등에 대한 폭넓은 분야에 걸쳐서의 그 성능 향상을 위한 노력들이 전세계적으로 진행중에 있다.

방전 가공에 있어서의 가공 공구인 전극의 소재로는 일반적으로 구리가 가장 널리 사용되어져 오고 있으며, 최근엔 흑연이 전세계적으로 널리 활용되어지기 시작하고 있다. 이와 같은 흑연 전극을 활용한 방전 가공과 관련한 기술에 대한

연구는 일본보다는 미국의 경우에 더 많이 진행되어졌다고 본다. 항공, 우주 산업에 주력해왔던 미국의 경우, 종래의 절삭 가공과 같은 기계적인 제거 가공 방식으로는 가공이 곤란한 항공기용 초내열 합금 등의 재료에 대하여 고정도화를 추구하는 가공 방식 차원보다는 가공 속도를 향상시키고자 하는 즉, 고능률화를 추구하는 가공 방식 차원을 우선적으로 고려하여 연구들을 진행해 왔기 때문이다. 가공면 품위를 염두하지 않고 가공능률 향상만을 고려하는 방전 가공의 경우엔 전극 공구의 마멸 측면에 있어, 구리 전극보다 흑연 전극을 활용하는 경우가 상대적으로 훨씬 유리했다.

이에 비하여 일본의 경우엔 오랜 동안 칫수 및 형상, 가공면 측면에서의 고품위가 요구되어지는 프레스 금형 등의 가공을 주목적으로 하여 가공 속도 측면보다는 오히려 가공 정도 향상을 얻고자 대다수의 연구들을 추진해왔기 때문에 흑연 전극보다 구리 전극에 의한 방전 가공에 대한 연구가 압도적으로 많았다.

국내의 경우도 최근엔 금형 관련 업체의 사용자 측에서 부품의 고정도화, 가공 제작 납기의 단축화, 비용 절감의 3가지 조건들을 요구하고 있는 실정이다. 특히, 납기의 단축화 및 비용 절감의 측면을 고려해보자면 방전 가공에 의한 금형 가공에 있어서의 전극 설계 및 가공 제작, 부착 소요 시간 등을 포함한 총체적인 가공 시간의 단축화가 무엇보다도 금형 관련 기술자들의 큰 문제로 제기되어지고 있어 이에 대한 신기술 개발 차원에서의 대책이 시급하다고 볼 수 있다.

최근엔 선진 공업국들을 중심으로,

① 고품질의 흑연 전극 소재의 개량
② 미케트로닉스 기술의 눈부신 발전에 따른 흑연 전극 성형용 전용 NC 공작 기계의 등장
③ 방전 가공기의 전원 성능 향상과 용량의 대형화
④ 미연성 가공액의 등장 등 방전 가공액 품질의 개량

등에 있어 급속한 발전이 이뤄져 오고 있다.

이와 같은 추세에 따라 흑연 전극 역시 저마모성 가공의 한계, 최적 가공 조건 범위의 한계, 표면 품위 향상의 한계가 있음에도 불구하고 특히 대형 형상 성형용 방전 가공에 흑연 전극이 적극적으로 활용되어지고 있다.

이렇게 흑연 전극이 형상 성형용 방전 가공에 있어 적극적으로 활용되어지고 있는 것은 무엇보다도 소정의 전극에 대한 제작, 부착 취급, 가공 및 다듬질 등에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있기 때문이다. 금형 부품 제작 납기의 단축, 비용 절감을 실현하기 위해서는 무엇보다도 이러한 소요 시간들을 단축시키는 것이 무엇보다도 급선무라 할 수 있다. 흑연 전극을 활용함으로써 얻을 수 있는 방전 가공 소요 시간의 단축 효과는 다음 몇 가지 항목들로 구분할 수 있다.

① 우선 과거에는 흑연 전극 가공 제작상 분진의 발생 현상에 따라 환경 오염 및 산업재해 등의 문제점들이 심각하게 대두되어짐으로써 그 적절한 처리 방안을 두고 고민해 왔으나, 최근 흑연 전극 성형 전용 밀폐형 NC 공작 기계의 등장에 따라 완전히 해결되어질 수 있게 되었다.

흑연 전극 소재의 피절삭 가공성은 구리의 경우에 비하여 약 5배 정도 높으며, 또한 부식되지 않는다는 특징도 지니고 있다.

② 흑연 전극의 부착 시는 구리 전극에 비하여 캐비티 측의 가공 공정수를 줄일 수 있으므로 부착에 소요되는 총 시간도 단축할 수 있다.

③ 흑연 전극의 물성치 및 기계적 특성치 개량화에 의한 방전 가공 특성의 향상, 방전 가공기의 전원 성능 향상과 용량 대형화, 가공액 품질의 개량 등으로 방전 가공 시간을 단축할 수 있다.

2. 흑연 전극의 특성 및 장점

표 1은 방전 가공용 전극으로 사용되어지는 소재들을 대상으로 그 적정성에 대하여 상대 비교해 나타내 본 것으로, 흑연 전극의 경우 모든 항목들에 있어 우수한 평을 받을 수 있다고 하겠다. 표 2는 현재까지도 전극재의 주종을 이루는 구리의 철을 흑연과 비교하여 그 특성들을 나타내 보았다. 여러 특성 항목들 중에서 특히 비중과 융점, 열팽창 측면에서 볼 때 흑연은 경량성, 내열성이 뛰어나며, 고온에서의 칫수 변형이 극히 적은 전극재로서

우수한 성능을 지녔다고 볼 수 있다.

표 1. 방전 가공용 전극 재료의 적정성 비교

Requisition \ Material		Graphite	Bronze	Tungsten (Cu-W, Ag-W)
Light		○	△	△
Prior to Cutting		○	△	○
Hardened Steel		△	○	○
Chip		○	○	×
Simply Obtain		○	○	○
Stable to Discharge		○	○	○
Electrode	Rough	○	△	△
	Finish	○	○	○
Thermal Deformation		○	×	○

○Very Good ○Good △Normal ×Bad

표 2. 방전 가공용 전극 소재 흑연, 구리 및 철의 특성치 비교

Characteristics \ Material		Graphite	Bronze	Steel
Density	[g/cm³]	2.25	8.9	7.85
Melting Point	[℃]	3,500	1,083	1,535
Thermal Conductivity	[kCal/mHr℃]	100	370	60
Thermal Capacity	[Cal/g℃]	0.165	0.09	0.113
Thermal Expansion	[x10⁻⁶/℃]	5	17.5	14
Specific Resitance	[10⁻⁶Ωcm]	1,000	1.73	10

즉, 흑연 전극이 금형 부품의 방전 가공에 적극적으로 활용되어지고 있는 가장 큰 이유는 무엇보다도 다음의 항목들과 같이 내열성, 열 팽창률, 기계 가공성 등의 측면에 있어 우수한 특성을 지니고 있기 때문이라고 할 수 있다.

① 내열성이 우수하므로 방전이 유리함

일반적으로 금속은 1,500℃부터 1,600℃이하의 온도에서 용융되지만, 흑연은 약 3,600℃까지 원형을 보존할 수 있다는 특징이 있다. 이것은 흑연의 제조 공정에 있어서의 고온 처리에 의한 영향이라 할 수 있다. 일반적인 방전 가공에 있어, 5,000℃를 초과한 아크 온도에서는 흑연의 경우 천천히, 반면에 금속의 경우는 급속하게 소모하게 되어짐으로써 이러한 특성이 방전 가공에 유리하게 적용되어질 수 있다. 약 3,000℃라는 온도는 초경합금을 제외한 모든 금속의 용융점보다 높은 고온이라 할 수 있다.

② 열팽창률이 작으므로 가공 정도가 우수함

구리의 열팽창 계수는 16.8×10⁻⁶/℃, 흑연의 열팽창 계수는 3-5×10⁻⁶/℃ 정도이다. 이로 부터 흑연의 열팽창률은 구리의 약 1/3-1/6정도로 작다는 것을 알 수 있다. 따라서 구리 전극에 비하여 방전 가공상의 열에 의한 변형이 작으므로 대형 전극을 사용한 거친 가공(황삭 가공)이나 얇은 슬릿트 형상, 오토바이 엔진 라인 등의 가공시엔 정도가 높은 가공들도 효과적으로 수행해낼 수 있다.

③ 기계 가공성이 우수하므로 가공 시간의 단축이 가능함

일반적으로 흑연은 금속에 비하여 절삭 저항이 1/5-1/10로 작은 한편, 다듬질 가공도 용이하여 전극 제작 가공 시간이 약 1/10 정도로 단축되어질 수 있다. 얇은 리이브 형상의 전극도 고품질의 흑연을 사용하게 되면 0.1mm 정도의 간격으로까지 성형 제작할 수 있게 된다. 하지만 취성 등의 바람직하지 못한 특성들로 인하여 가공 결함 등이 이뤄질 수 있어 NC 가공의 경우, 프로그래밍시에 절삭 속도나 가공 방법 등에 있어 세심한 주의를 필요로 하기도 한다.

모델에 의한 형상 가공 영역에 속하는 형상에 있어서는 우수한 피삭성을 이용하여 흑연 소재에 대하여 모델 절삭(모방 절삭)이 가능한 한편, 모델과 전극 제작의 겸용화도 가능하여 새로운 가공법으로 확대하는 것도 가능하다.

그림 1은 흑연 전극의 형상 가공 제작 방법을 나타내며 흑연을 이용할 경우 피삭성이 우수하고 일반 가공의 영역으로도 가공이 가능하여 그 장점이 크다고 할 수 있다.

④ 경량성으로 취급이 용이함

비중이 구리의 경우에 비하여 약 1/5 정도로 가벼우므로, 전용 가공기 상에서의 전극 제작시나 방전 가공기에 전극을 장착, 조립할 경우에 있어 용이하게 조작할 수 있다. 따라서 특히 대형 전극류에 효과적으로 적용할 수 있다.

한편, 흑연 전극의 방전 가공 특성으로는 다음과 같은 것들을 들 수 있다.

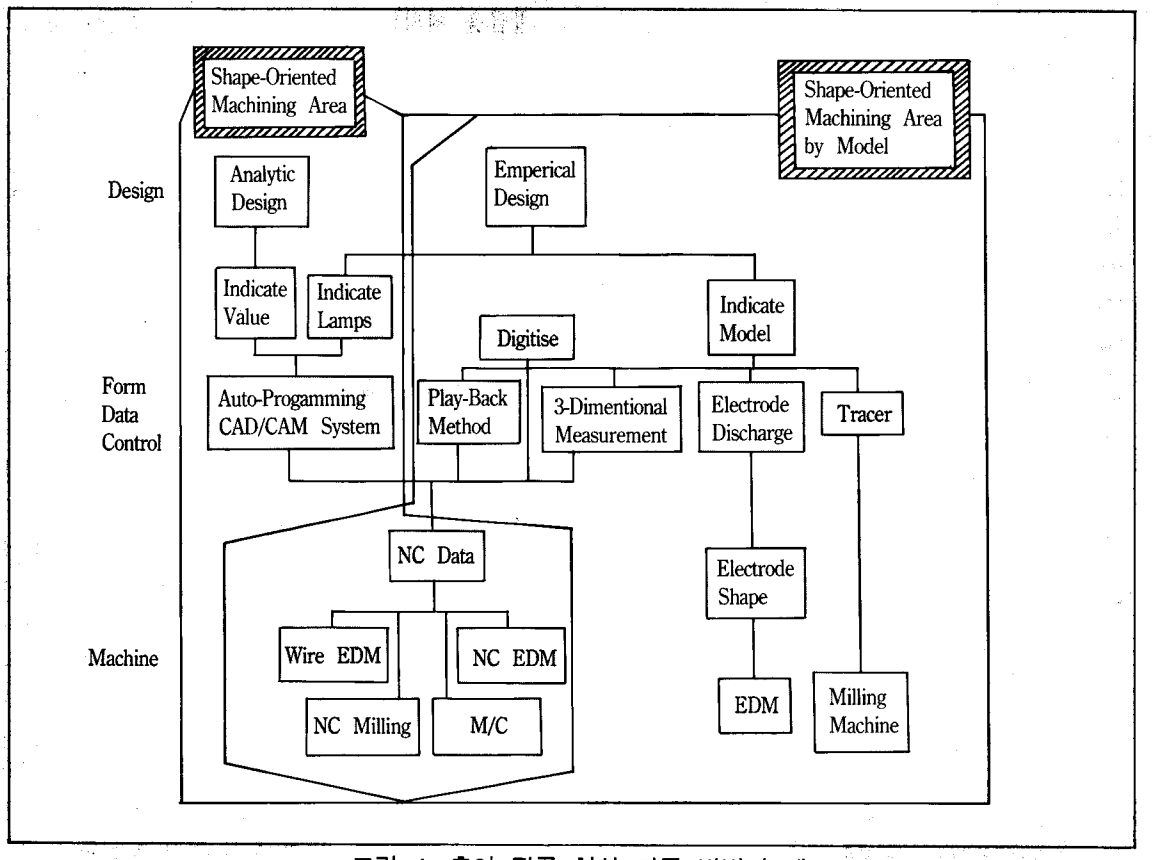


그림 1. 흑연 전극 형상 가공 방법의 예

① 0.5% 이하의 낮은 전극 소모율화가 가능함

전류 peak값 (Ip)을 기준으로 한 흑연 전극의 전극 소모와 펄스 폭의 특성 예를 실험적으로 구하여 보면, 이로 부터 펄스 폭이 동일할 경우 Ip를 크게 할수록 소모율이 작아질 수 있다는 것을 확인해 볼 수 있다. 그러나 Ip가 작아지게 되어도 전극의 저소모성에는 결국 한계가 있으며, 보통 가공면 조도가 거칠은 정도 즉, Rmax 80μm 이상의 경우에 있어서는 0.5% 이하의 저소모화가 가능해진다.

특히 거친 가공 영역에 있어 방전 가공 성능, 즉 가공 속도와 전극 소모율의 관계가 우수하게 나타난다. 그림 2는 전극 소모율 0.5~1.0% 조건에 있어 구리 전극과 흑연 전극의 가공면 조도와 가공 속도와의 상호 관계를 비교하여 나타낸 본 것이다. 가공 속도가 구리 전극에 비하여 몇 배 이상 향상되어짐을 볼 수 있다.

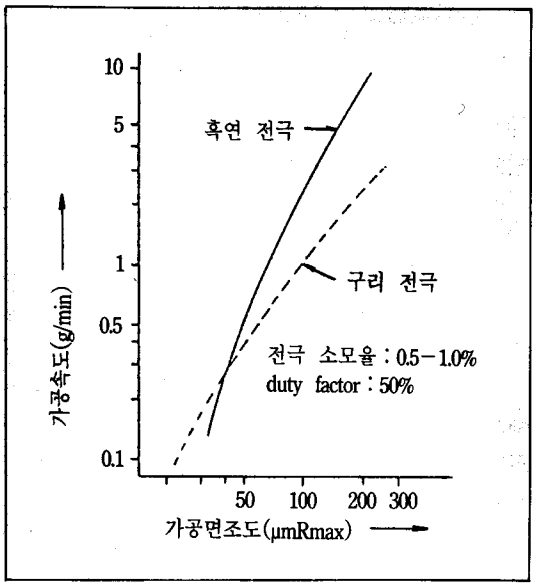


그림 2. 구리와 흑연 전극의 가공면조도와 가공 속도와의 관계

② 가공 속도는 구리 전극에 비해 약 1.5배 정도 향상 가능함

Ip를 변화시켜 가며 가공하는 경우 흑연 전극의 가공 속도와 펄스 폭의 관계를 실험적으로 구하여 보면, Ip를 비교적 높게 가하는 경우에 있어선 최대 가공 속도를 얻을 수 있는 펄스 폭이 상대적으로 작아지게 되는 한편, 구리 전극에 비하여 약 1.5배 정도의 가공 속도 향상 효과를 얻을 수 있는 것을 찾아볼 수 있다.

③ 가공면 조도가 양호해짐

거친 가공 영역인 Ip=120A의 경우에 있어서의 가공 속도와 가공면 조도와의 관계를 실험적으로 구하여 본 결과, 표면 조도 Rmax 50μm까지의 구기 전극과 흑연 전극간의 차이가 거의 나타나지 않았으나, 예를 들어 Rmax 100μm 정도의 가공일 경우엔 흑연 전극의 경우 구리 전극의 경우에 비하여 약 7배 정도 가공 속도의 향상 효과를 얻을 수 있다.

④ 가공 확대 현상이 적어짐

거친 가공 영역인 Ip=120A의 경우에 있어서의 가공 속도와 가공 확대 현상과의 관계를 측정해본 결과, 가공면 조도 Rmax 55μm까지의 구리 전극과 흑연 전극의 차이가 별로 나타나지 않지만, 그 이상일 경우엔 구리 전극의 경우에 비하여 흑연 전극의 경우 가공 확대 현상이 적어지는 경향이 나타났다. 예를 들어 100μm의 가공 확대 현상이 일어나는 경우엔 구리 전극에 비해 흑연 전극의 경우 약 6배 정도에 이르는 가공 속도 향상 효과를 얻을 수 있다.

흑연 전극의 기계 가공성은 다음과 같다.

① 절삭 속도는 금속의 약 5배－10배 정도임

흑연은 보통 금속 재료에 비하여 절삭 저항이 약 1/5－1/1/10 정도로 작다. 따라서 절삭 가공의 경우 그 가공 속도가 빨라질 수 있는 것이 당연하다. 구리전극의 경우와 비교해 보자면 약 3－5배 정도가 된다. 그러나 절삭 가공을 할 경우 그 가공 개시 순간이나 종료 직전에는 이송 속도를 느리게 가하는 취성 재료의 가공 결함을 극소화하기 위하여 반드시 필요한 가공 조건 설정 방법이 된다.

② 절삭 가공 조건 설정에 있어 구속 제한이 거의 없음

- 1회전 당의 절입량을 크게 설정할 수 있다. 하지만 물론 절입량을 적게 가하는 경우가 공구 마멸의 관점에서 볼 때는 보다 유리해진다.
- 공구 마멸 억제와 가공 능률 향상의 관점에서 보면 공구의 경사각과 여유각을 크게 설정하여 성형 가공한 초경 공구를 사용하는 편이 가장 좋다.
- 절삭 가공에 대한 제한이 매우 적다.
- 최근엔 흑연 재료에 대한 전극 공구가 개발되어지기 시작하고 있다.

③ NC 공작 기계류를 활용한 경우에 있어서의 가공성이 우수함

- 사용 가공 공구의 마멸이나 결손 현상이 매우 작아, 한 번 장착한 공구로써 고정도로 지속적인 가공을 진행할 수 있다는 점에서 볼 때 NC가공에 적합하다고 할 수 있다.
- 비교적 큰 전원 용량의 대형 방전 가공을 실행하는 경우엔 복잡 형상부의 고정도 성형 가공전 거친 가공으로의 적용이 유리하다.

④ 고정도의 가공과 마무리 가공에도 우수한 특성을 지님

- 정도적인 측면에서 발생 열등에 의하여 거의 늘어나지 않는다는 점의 우수한 특성이 있어 고정도의 가공 효과를 기대할 수 있다.
- 코너의 R 부위나 컷터 공구 등에 의한 손상은 센드 페이퍼 등으로 쉽게 수정할 수 있다.
- 연삭 가공시에는 박판의 형상 가공 까지도 가능해진다. 일반적으로 건식 연삭 가공을 채택하여, 연삭 숫돌 입도 약 100－120번 정도의 것을 활용하는 것이 좋다.

흑연 전극을 효과적으로 이용하기 위해선 다음 사항들을 염두해두는 것이 바람직하다.

① 흑연 전극 소재 선택시에 고려할 사항들

표 3에 여러 흑연 전극 소재 생산 업체들의 생산 품에 대한 주요 특성치들을 비교하여 나타내 보았다. 일반적으로 소재의 평균 입경이 작을 수록 전극의 소모율도 상대적으로 작아진다고 알려져 있다. 그리고 표 3에 나타나 있는 굽힘 강도 B.S.과 쇼어 경도 HS와의 합의 큰 경우에도 전극 소모가

작아진다고도 알려져 있다. 이러한 예비 지식을 가지고 전극 소재를 선택하는 것이 바람직하다고 생각된다.

예를 들어,

○ 흑연 재료의 조직이 치밀하고 평균 입경이 작을 것
○ 비중이 크고 등방성을 지닐 것
○ 굽힘 강도치가 클 것
○ 열팽창률이 적을 것

등을 고려하여 선정하는 것이 바람직하다고 생각된다.

특히 표 3에 나타나 있는 일본 A사의 평균 입경 3μm의 전극은 최근에 개발되어진 것으로 차세대형 흑연 전극의 소재로서 주목받고 있는 것이다.

② 관통 형상 가공으로 적용시의 주안점

표 4에 각종 금형 가공상 흑연 전극과 구리 전극의 적용 영역을 비교하여 나타내 보았다.

○ 관통 형상 가공

다듬질 가공시엔 펄스 폭을 적게하고, 전극의 극성을 역극성으로 한다. 황삭 가공시엔 펄스 폭을 크게하고, 극성을 정극성으로 한다.

○ 깊은 홈 성형 가공

깊은 홈 성형 가공에 있어선 전극 소모를 특히 적게할 필요가 있으므로 펄스 폭을 크게하고 전극의 극성을 정극성으로 한다. 전극 소모비 1% 이하의 영역에 있어선 Ip=35 A이상으로 하였을 때 가공 속도나 전극 소모의 측면 모두 구리 전극의 경우보다 우수하다. 펄스 폭을 짧게 할 수 있어 전극 칫수의 감모량 측면에서도 구리 전극보다 적어지게 되므로 전극 제작상 유리하다고 볼 수 있다. 전극 칫수 감모량을 가늠하는 한 가지 방안으로 평균 가공 전류치가 있다. 가공면조도 Rmax 40μm 이하, 전극 소모비 1% 이하로 가공할 경우는 가공 속도가 매우 저하되고 정상

표 3. 각 제조 회사별 흑연 전극 소재의 주요 특성치 비교표

Maker		Density (g/cm^3)	B·S (kg/cm^2)	HS	S·R (μΩcm)	C·T·E ($x10^{-6}/℃$)	Diameter of Grain Size	USE
Japan B	a	1.65	550	55	1550	4.2	0.003	R, N
	b	1.75	600	60	1300	4.2	0.003	N, F
	c	1.85	650	62	1200	4.2	0.003	P
Japan C	a	1.70	400	40	–	4.8	0.06	R, N
	b	1.79	500	60	1150	–	0.06	N, F
	c	1.84	600	65	–	–	0.02	F
Japan D	a	1.70	370	52	1350	4.2	–	R
	b	1.85	500	58	1000	4.6	–	N
	c	1.90	950	90	1500	6.5	–	U
Japan E	a	1.82	550	58	1200	4.0	0.03	R, N
	b	1.92	1000	80	1500	5.0	–	R, N, F
Japan F	a	1.90	900	–	1300	6.5	0.015	F
	b	1.93	1000	–	1150	6.5	0.015	P
Japan G	a	–	420	50	1300	5.5	–	R
	b	1.82	550	60	1200	5.7	–	N
	c	–	760	73	1260	5.7	–	F
Others	a	1.69	630	–	–	–	–	R
	b	1.77	770	–	–	–	–	N
	c	1.83	910	–	–	–	–	F

R : Rough, N : Normal, F : Fine, P : Precision, U : Ultra Precision

표 4. 관통 및 깊은 홈 성형 가공(저부 가공)의 적용 영역 비교표

區分	金型	工作物	放電加工領域	電極材料	
				銅	Graphite
貫通形狀加工	프레스형	동	황삭가공	◎	◎
			片側Clearance 0.02mm이하	○	○
			片側Clearance 0.02－0.05mm	◎	◎
			片側Clearance 0.05mm이상	◎	◎
			대형의 마무리가공	△(열팽창大)	◎
		超硬	황삭가공	○	△(消耗大)
			마무리가공	△(消耗大)	×(消耗大)
	粉金末治型	銅	황삭가공	○	○
			마무리가공	△(消耗大)	×(消耗大)
		超硬	황삭가공	○	△(消耗大)
			마무리가공	△(消耗大)	×(消耗大)
바닥形狀가공	프라스틱금형 다이캐스트금형	동	面粗度 5μmRmax 이하	○	×(消耗大)
			面粗度 5－10μmRmax	◎	△(消耗大)
			面粗度 10－20μmRmax	◎	△(消耗大)
			面粗度 20－30μmRmax	◎	○
			面粗度 30－50μmRmax	◎	◎
			面粗度 50－100μmRmax	○	◎
			面粗度 100－200μmRmax	△(消耗大)	◎
	단조금형	동	面粗度 5－10μmRmax	◎	△(消耗大)
			面粗度 10－20μmRmax	◎	○
			面粗度 20－30μmRmax	◎	◎
			面粗度 30－50μmRmax	○	◎
			面粗度 50－100μmRmax	△	◎
			面粗度 100－200μmRmax	○(消耗大)	◎
			面粗度 200μmRmax 이상	×(消耗大)	◎

아크 방식으로 이행하므로 실용적이 되지 못한다. 황삭 가공시 최대 전류 밀도는 7A/cm², 다듬질 가공시는 2A/cm² 이하가 되도록 제어하는 것이 바람직하다. 전극과 피삭재 간의 틈에 가공 칩이 체류하게 되면 전극의 소모를 촉진시키게 되므로 가공액의 처리에 주의를 요할 필요가 있다. 최근에는 흑연 전극을 사용한 방전 가공을 위하여 불연성의 가공액을 사용하고 있다. 이 불연성 가공액은 점성이 낮고 가공 칩의 배출 능력이 높다는 특징이 있어 방전 가공중의 멈춤 기간을 단축시킬 수 있다.

흑연 전극의 최신 적용 사례는 다음과 같다.

① 비교적 복잡한 형상의 단일 흑연 전극에 의한 거친 가공으로 부터 다듬질 가공까지의 적용 사례

에스컬레이터 부품용 다이 캐스팅 금형의 가공례를 들어볼 수 있다. 이 금형 부품에 대한 방전 가공 제작 공정상 구리 전극을 사용하던 종래의 방전 가공에 비하여 흑연 전극을 사용하게 될 경우의 차잇점을 비교하여 그림 3에 나타내 보았다.

이러한 가공례에 있어 다음의 주요한 효과를 얻을 수 있게 된다.

○ 머시닝 센터나 NC 밀링 머신에 의한 거친 가공

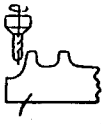
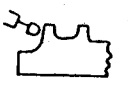
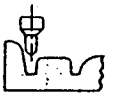
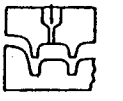
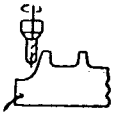
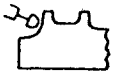
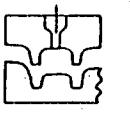
가공방식	금 형 제 작 공 정				총소요시간
	전극 NC 가공	전극 다듬질 가공	캐비티 거친 가공	방전 가공	
종래의 가 공	 구리전극			가공액 분류 	86시간
흑연가공	 흑연전극		생략가능 단축화	가공액 흡인 	51시간 (59.3% 능률향상)

그림 3. 종래의 가공과 흑연에 의한 가공상의 비교

및 다듬질 가공에 의한 전극 제작 시간이 약 1/3 정도로 단축되어질 수 있다.

- ○ 캐비티 측의 거친 가공 공정수를 생략할 수 있다. 이것은 무인화로의 대응에 효과적이라고 할 수 있다.
- ○ 단일 전극으로 거친 가공으로 부터 다듬질 가공까지의 적용이 가능하다.
- ○ 전극 중량이 구리 전극에 비하여 약 1/4 정도로 운송 및 취급이 용이하다.
- ○ 2mm 정도의 미세한 rib 형태로도 방전 가공에 의한 열 변형 없이 고정도의 가공 정도를 얻을 수 있다.
- ○ 방전 가공액을 분사하고 흡인 처리해줌으로써 가공면 조도 약 Rmax 25μm까지를 방전 가공 시간을 1/2정도 단축시키며 가공해낼 수 있다.
- ○ 설계 변경 등에 의한 전극 형상의 수정이 용이하다.

② 단순한 형상의 전극을 요동을 가하는 방전 가공에 적용하는 사례

흑연 전극은 대부분 복잡한 총형 형상의 가공으로 적용하는 것으로 언급이 되어 왔지만 전극을 회전시켜주며 윤곽 제어를 하는 요동 방식의 방전 가공에 의해 단순형 흑연 전극으로도 여러 형상의 가공을 수행해낼 수 있다. 특히 요동을 가하는 방전 가공을 적용하게 되면, 1차적으로 거칠게 가공되어진 구멍 형상보다 약간 작은 크기로 다듬질 가공용 흑연 전극을 제작하여 처음엔 요동을 가하는 하면 가공을 수행하고 그후에 요동을 가해주는 측면 가공을 수행하는 방법으로 전극 소모를 의외로 극소화시키며 방전 가공을 할 수 있게 된다.

3. 흑연 전극 제작을 위한 가공기 개발의 현황

3.1 흑연 전극 제작용 전용 가공 시스템의 개발 방향

흑연 전극을 제작하기 위한 가공 방법은 습식 방법과 건식 방법으로 우선 나누어 볼 수 있다. 습식 가공용 절삭액으로는 방전 가공액으로 사용되어지기도 하는 휘발성이 있는 것을 사용하는 경우도 있는데, 이 때에는 화재의 위험성이 있으므로 주의를 요하게 된다. 또한, 황삭 가공시에는 다량의 칩이 섞인 혼탁한 상태의 절삭 액이 계속 공급되어지게 되므로 작업 상태가 급속히 악화되어지고, 또한 칩의 완전한 분리 회수 역시 사실상 불가능하다고 볼 수 있다. 건식의 경우에는 칩이 미립자 상태의 분말이 되어 공기 중에 흩어지게 된다. 이러한 칩 비산에 대한 대책이 요구되어지며,

이는 환경 오염을 야기시키는 한편, 기계의 수명을 저하시키기도 한다. 이상과 같은 문제점들을 보완하기 위하여 현재 개발되어져 있거나 추진되어지고 있는 전용 가공 시스템 개발 분야에 있어서의 기술 개발 방향들은 다음과 같다.

① 기압 차를 이용한 밀폐 구조 방식

현재 개발되어져 있는 흑연 전극 전용 가공기는 가공 영역 전체를 격리시킨 전폐구조(all closed type)로 되어있다. 작업자 건강에 영향을 미치는 흑연 칩의 입자 크기는 약10μm 이하이기 때문에 밀폐하여도 완전 차단한다는 것은 사실상 불가능하다. 따라서, 이러한 미세한 칩들을 모으기 위한 집진 장치 등을 두어 가공 영역의 공기를 흡입하면서 기압을 낮추어 외부와의 기압 차에의한 공기의 흐름을 이용하여 칩들이 외부로 유출되어지는 것을 방지하도록 하는 시스템을 적용하고 있다.

② 칩의 회수

건식 가공시 미세 분말 상태로 된 흑연 칩들은 집진기, 집록기 등에 의하여 회수된다. 이러한 미세립형 칩들 보다 크고 굵은 결정 상태를 지니는 파쇄 부스러기들은 가공기 테이블 위로 낙하되어지게 되고, 이보다 더욱 큰 입자 상태의 파쇄 칩들과 함께 베드 부의 경사에 의하여 낮은 부위로 모아져, 집적기에 의하여 외부로 운반되어지게 된다. 집적기의 통에 쌓인 칩들은 아래 부분의 밸브 개폐에 의하여 칩 박스에 회수되도록 설계되어져 있다.

③ 고속 주축의 개발

고능률적인 흑연 가공 제작을 위해선 될 수 있는 한 고속 주축의 상태로 해야 하며, 빠른 이송 속도로 가공하는 것이 요구되어진다. 또한, 주축 베어링 부에 칩들이 유입되지 않도록 주축 단면과 베어링 간에 구멍 성형을 해두어 깨끗한 공기를 계속 공급시켜줌으로써, 공기의 흐름을 완전히 밀폐시킨 구조가 되도록 설계하였다. 고속 회전에 의한 베어링, 모터 등에서 발생되어진 열은 주축 내부로 유입되는 다량의 냉각용 공기에 의하여 냉각되어진다. 또한, 각 부위의 방열 핀으로도 방열되어지게 하여 주축의 열 변위를 최소화 하도록 설계하고 있다.

④ Spindle through air blow의 설치

엔드밀 공구를 사용하여 고속 황삭 가공 방식의 구멍 가공을 하는 경우, 공구의 포켓 부에 칩들이 끼어 결손 현상이 발생되어진다. 이 때문에, 공구 선단에 압축 공기를 공급하기 위하여 구멍을 두어 주축 내부로부터 공기가 공급되어지게 함으로써, 칩들을 배출시켜 가공면 품위를 향상시킬 수 있도록 하고 있다.

⑤ 고정도, 고속 이송

각 축들의 습동면은 정밀 위치 결정 및 고속 이송의 정확성과 신뢰성을 향상시키기 위하여 slide guide를 채용하고 있다. 복잡 형상의 총형 전극은 일반적으로 3차원 직선 보간 방식의 미소이동량으로 연속하여 진행되어지는 경우가 많아, NC 장치만으로는 연산처리 시간이 길어져 기대하는 이송 속도로 가공하기란 어렵다. 따라서, NC 장치가 연산하기 쉬운 data로 통상의 NC data를 변환하는 고속형 NC adaptor를 개발하고 있다. 그리고, corner 부에 있어서는 자동적으로 감속 처리를 함으로써 형상 변위를 방지하기 위한 연산 처리를 할 수 있도록 하여 고정도, 고속도 방식의 3차원 형상 가공이 가능하게 될 수 있도록 하고 있다.

⑥ 고속 디지타이징 가공 시스템

이 시스템은 디지타이징 기계와 흑연 가공기를 조합하여 일반 가공에서는 불가능한 고속 모방 가공을 실현시킬 수 있도록 한 것이다. 일반적으로 고속 방식의 모방 가공을 하는 경우, corner 부에 심한 진동이 발생되어짐으로써 침식 현상이 야기되어지게 되며, 이러한 이유로 양호한 가공 면을 얻기 어렵다. 그러나 이러한 시스템은 모방기와 가공기가 분리되어짐으로써, 디지타이징 기의 궤적 정보에 의하여 corner부 앞에서 미치 자동 감속으로 정확한 공구 궤적으로 추구할 수 있도록 한것이다. 디지타이징 기를 금형 가공 시스템/Micro DMS에 접속하면 디지타이징 data을 저장할 수 있어 최대 4대의 가공기를 동시에 DNC 운전할 수 있다.

⑦ 안전성과 조작성

가공 영역 전체를 둘러 쌓고 있는 sprush card의 개폐 door는 전체가 완전히 밀폐되지 않는 한

운전되어지지 않도록 inter-lock 되어지도록 설계하고 있다. Door에는 가공물을 가시적으로 볼수 있도록 창을 두어 공구 파손을 감시할 수 있도록 하였다.

⑧ 자동화

전극의 형상에 따라 다수의 공구가 필요하다. 야간의 무인 운전이나 복수 가동에 대응할 수 있도록 자동 공구 교환 장치(ATC)을 두고있다. 또한, 가공 중에 다음의 가공 준비를 하여 가공 종료시에 자동적으로 pallet을 교환하여 가공을 연결시켜주는 pallet changer장치를 설계하여 장착하고 있다.

⑨ 모델 가공과 응용

CAD system이나 자동 programming 장치로 제작된 형상은 3차원 형상의 것들이 많고, CRT나 지면 상의 plot으로는 미세한 설계에 대한 판단이 어렵다. 따라서, 금형 가공 이전에 수지, 석고, 왁스 재료 등 가공이 용이한 재료를 이용하여 3차원 형상을 제작하여 형상을 확인할 필요가 있다. 이와 같은 방식을 채택함으로써 고속 모델 가공기로의 응용이 용이하다. 또한, 흑연 이외의 재료로서 성질이 유사한 ceramics, glass 에폭시 수지 등 환경을 오염할 가능성이 있는 재료의 가공에 있어서도 유용하게 사용되어질 수 있다.

3.2 흑연 전극 제작의 최신 사례

일본과 같은 경우는 방전 가공 기술이 거의 단조용 금형 가공 등에 주로 사용되어져 왔으며, 거의 동전극을 이용한 방식으로 plastic type 등에 대한 응용은 거의 없는 상태이다. 한편 미국은 오래 전부터 방전 가공의 전극으로 흑연 재료가 이용되어져 온 바, 금형 분야에는 90% 정도를, 일반 품목에는 40% 정도를 차지하고 있다. 1984년 흑연 전극 가공기의 개발을 비롯하여 수 많은 전극 가공과 방전 가공에 관한 기술 개발 연구 예가 있다. 현재 흑연 전극은 대형 전극에서 소형 전극까지 폭 넓게 사용되어지기 시작하고 있는 실정이다.

흑연 전극의 장점은 무엇보다도 대형의 총형 형상 가공 제작이 가능하며 고속 가공이 가능하다는 것을 들 수 있다. 최근에는 미소형 전극에도 적용되며 그 이용 범위가 점차 널리 확대되고 있다. 비교적 대형의 전극에 의한 고속 가공을 이용하게 되면 가공 시간은 크게 단축되어진다. 이는 흑연재의 피삭성과도 관계가 있으나 신절삭공구의 개발에도 크게 관계있다. 최근에는 diamond tool을 사용함으로써 고속 마무리 가공도 가능해졌으며, blacket cover finishing 가공은 diamond tool을 사용하여 이송 속도 5,000mm/min 정도로 까지도 가공이 가능하게 되었다. Diamond tool은 고속 가공뿐만아니라 공구 수명 면에서도 우수한 결과를 얻을 수 있게 하였다.

또한, 소형 전극은 동을 고려하는 것이 일반적이나, 얇은 rib 형상에 있어서는 동보다도 흑연이 가공하기 쉬운 경우가 있다. 흑연 전극의 경우는 변위나 크랙 등의 결함이 발생되어지지 않도록 주의하여야 한다. 가공 방법은, 다음의 항목들을 고려하여 실행하는 것이 바람직하다.

① 황 가공이나 마무리 가공에 대하여서는 Z 방향에 대하여 서서히 3mm−4mm 정도로 가공한다.

② 깊이가 깊어지면, 공구 날끝 전체가 접촉하게 되어 진동이 발생되어지기 쉬워져, 코너 부위로 갈수록 공구 선단이 필요 이상으로 닿지 않도록 세심한 주의를 해야 한다.

③ 너무 작은 마무리 량을 설정하게 되면 가공상의 정확성 및 신뢰성 측면에 있어 부적당하기 때문에 1mm 이상으로 하여야 한다.

④ Down-cut로 가공하며 가공 폭이 좁은 부분을 우선 가공한다.

3.3 현재 시판중인 흑연 전극 가공기의 예

금형 가공의 고능률화, 무인화로의 추진에 있어 흑연 전극 소재가 방전 가공으로의 적용이 활발히 진행되고 있다. 이같은 흑연 소재를 금속 가공기로 가공하는 경우 절삭시 발생하는 칩의 처리나 분진의 처리가 곤란한 문제가 된다. 특히 작업 환경을 오염시키며, 분진은 기계 습동면에 끼워져 마멸을 초래하기도 하여 고정도화 가공에 문제점을 주

기도 하고 제어 장치 등의 전기 계통의 문제점 발생의 원인이 되기도 한다. 또, 기계 강성이나 동력은 충분히 주축을 회전시킬 수 있도록 제작되어야 가공 능률은 극대화할 수 있게 된다. 이러한 여러 문제점들을 보완한 흑연 전용 가공기가 최근 일본 등의 선진 공업국들에서 제작되어 시판화 되고 있다.

그림 4는 최근에 개발된 건식 흑연 전극 가공기이다. 이 기종은

- 주축의 고속화 … 최대 15,000rpm
- 운송의 고속화 … 3차원 형상의 고속 고정도화 가공
- spindle through air blow type … 주축에 공기를 공급하여 강제적으로 칩 제거
- 환경 보전 … 전폐 구조로 clean 환경 설정
- 칩 분리 제거 … 집진기에 의해 외부로 배출
- 자동화 … 자동 교환 공구 장치 부착
- 안전성 … 가공 작업 면적을 전체 카바로 장착
- 고속 디지타이징 연동 가공 시스템 구축

등의 특징을 가지고 있다.

그림 5에는 또 하나의 다른 흑연 전용 가공 시스템을 나타내고 있다. 이 기종의 주요 사양은 표 5와 같다. 그리고 그림 6에는 당 기종의 주요 부분을 나타내 보았다.

그림 7에는 흑연 전극을 사용하여 방전 가공 제작한 금형 부품의 예를 나타내고 있다.

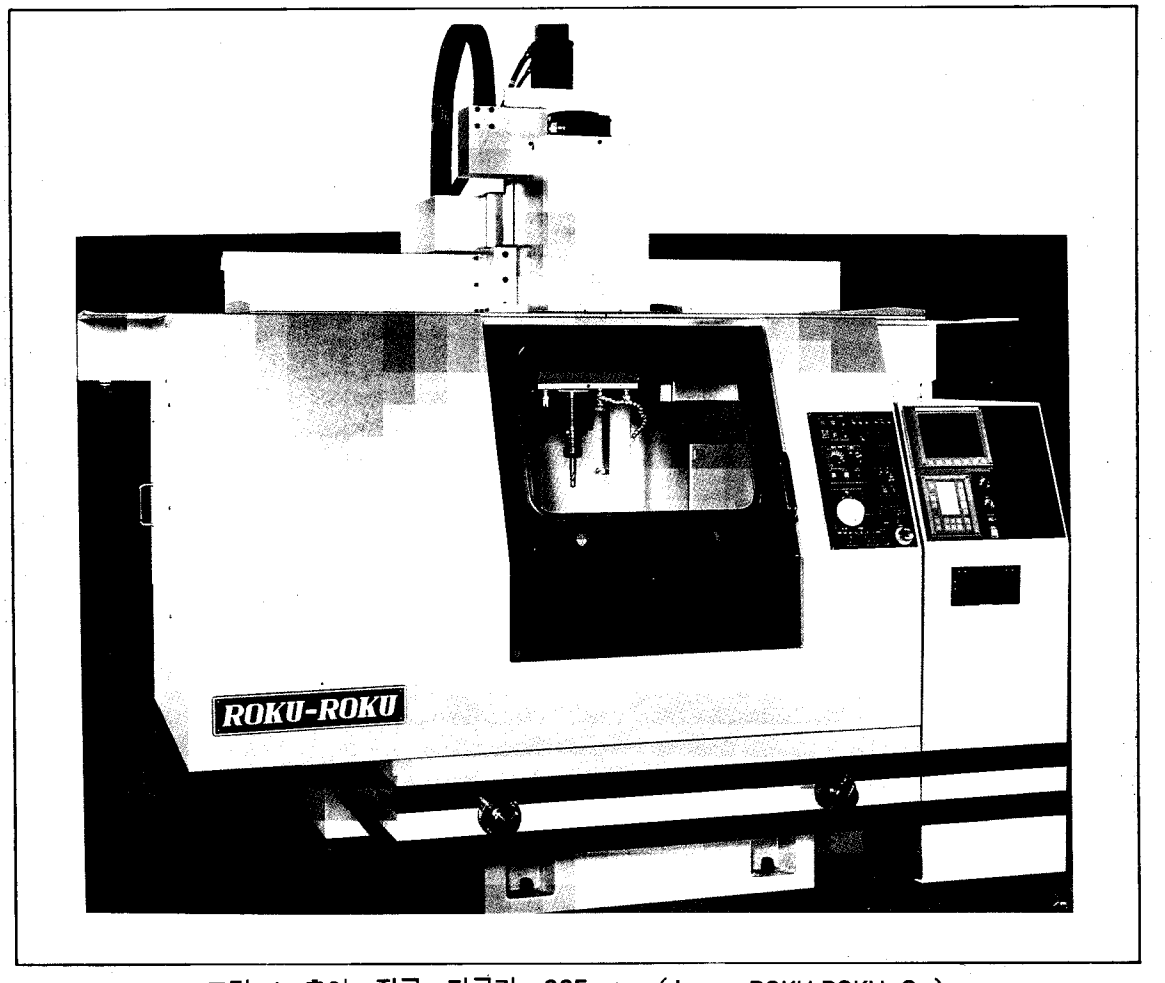


그림 4. 흑연 전극 가공기 665 type(Japan, ROKU-ROKU Co.)

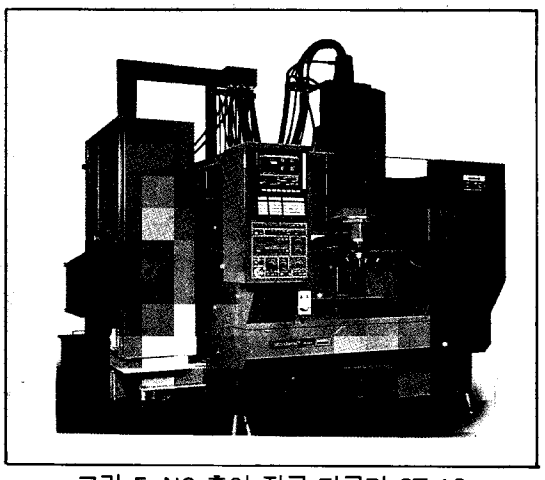


그림 5. NC 흑연 전극 가공기 GT 10
(Japan, FINE SODICK Co.)

표 5. 흑연 가공기 GT 10의 주요 사양

항 목	사 양
XYZ축 이동 거리	1,850×820×820mm
테이블 윗면으로 부터 주축 선단 까지의 거리	150−970mm
테이블 작업 면적	2,100×1,000mm
테이블 최대 적재 용량	5,000Kg
주축 회전 속도	150−8,000rpm
주축 베어링 내경	65mm
급속 이송 속도	15,000mm/min
절삭 이송 속도	1−5,000mm/min
공구 장착 갯수	15/30개
공구 최대 직경×최대 길이 ×최대 중량	110×300mmm, 7Kg

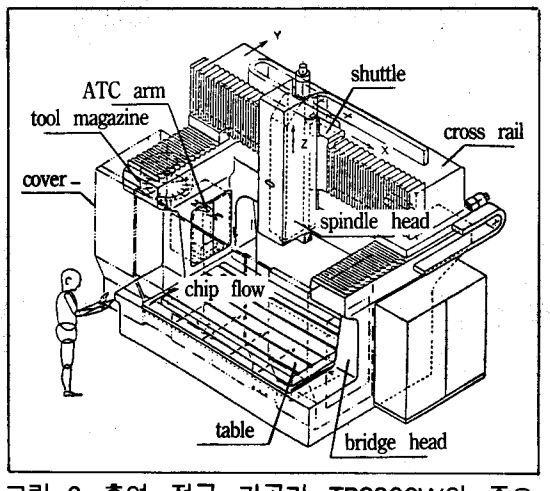
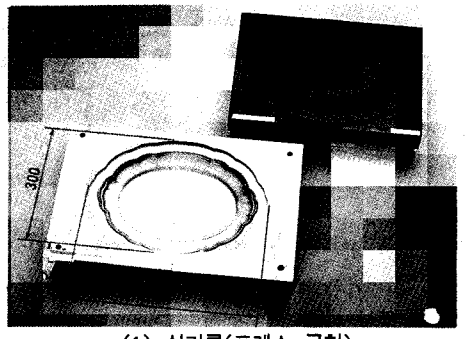
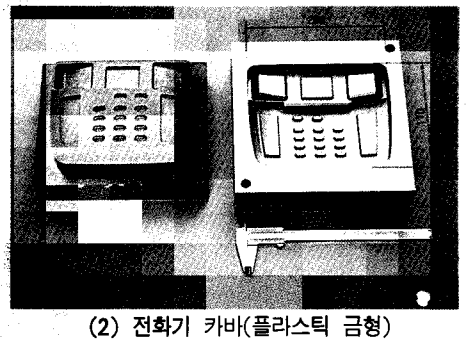


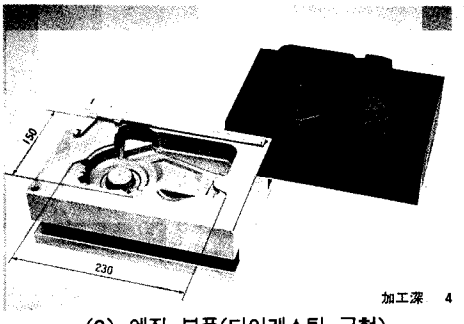
그림 6. 흑연 전극 가공기 TRC800W의 주요 부분



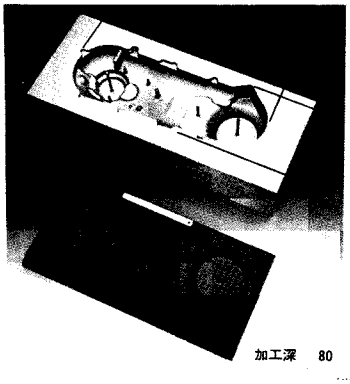
(1) 식기류(프레스 금형)



(2) 전화기 카바(플라스틱 금형)



(3) 엔진 부품(다이캐스팅 금형)



(4) 오토바이 드라이브 케이스(다이케스팅 금형)

그림 7. 흑연 전극과 흑연 전극을 이용하여 방전 가공되어진 금형의 예

4. 맺음말

국내의 경우도 최근 흑연 전극을 이용한 대형 전원 용량 방식의 고성능 방전 가공 기술을 도입하여 기존의 신발 금형 등 국부적인 분야의 금형 가공으로 부터 탈피하여, 대형 가전 제품류나 승용차 부품 등 전반적인 산업 분야용 사출 성형류들을 제작하고자 하는 노력이 진행중이다. 이러한 흑연 전극을 이용하더라도 고능률적이고 고품위적인 방전 가공 효과를 극대화하기 위해선 무엇보다도 고성능형 대형 방전 가공기의 제작이 필수적으로 수반되어져야 하며, 흑연 소재의 고신뢰적인 특성 발휘를 위한 재료 개발 연구도 진행되어져야 한다. 아울러 흑연 소재의 기계적인 제거 가공 방식을 탈피한 신 흑연 전극 제조 공법이 개발되어져 환경 오염 방지 및 산업 재해 등의 문제점들을 해결할 수 있는 획기적인 연구들도 선행되어져야 하겠다.

환경보전 캠페인

환경마크 상품을 삽시다!

한 국 기 계 연 구 원