

신소재 형상 가공의 고능률화를 위한 초음파 가공 기술



이 재 경
(가공기술실 책임연구원)

'65.3-'69.2. 한양대학교 졸업(기계공학 학사)
'78.4-'80.3. 일본와세다대학 대학원 졸업
(기계공학석사)
'75.10-'79.3. 동화전기 공장장
'80.5-현재. 한국기계연구소 책임연구원



강 재 훈
(가공기술실 연구원)

'83.2. 경남대학교 공과대학 기계공학과 졸업
(학사)
'85.2. 국민대학교 대학원 기계공학과 졸업
(공학석사)
'85.3-현재 한국기계연구소 연구원

1. 머릿말.

최근 미래지향적 첨단 산업 전반에 걸친 고부가가치 부품의 소재 대체화로 추진되고 있는 제3의 소재 화인 세라믹스는 우수한 특성과 다양한 기능성으로 각광을 받고 있는 신소재이나 고경도와 취성 등으로 난삭재에 속한다. 이러한 화인 세라믹스는 제조법상 소결 공정을 피할 수 없는 바, 고정도의 요소 부품화를 위해선 후가공을 필요로 한다.

현재 화인 세라믹스에 대한 가공법들 중에선 다이아몬드 연삭 공구를 사용하는 연삭 가공이 가장 일반적인 기계적 제거 가공이며, 그 다음으로 광학적 제거 가공인 레이저 가공, 그리고 일부 도전성 세라믹스에 대해 국한된 전기적 제거 가공인 방전 가공 등이 널리 쓰여지고 있다.

그러나 세라믹스는 일부를 제외하고는 대부분이 절연체이므로 3차원적인 복잡 형상이나 특수형상의 구멍 및 홈 가공등에는 초음파가공이 가장 효과적인 방법이 되어 많은 경우에 있어 유일한 가공법이 되기도 한다.

국내의 경우엔 보석류 등의 세라믹스에 대한 미세 구멍 가공 등에만 국한되어져 사용되어지고 있을 뿐, 아직 화인 세라믹스 등의 형상 제거 가공등에는 그 가공범이 거의 적용되어지고 있지 않는데 이 초음파 가공에 대하여 선진 공업국들의 가공 기술 보고 등을 통하여 소개함으로써 관련 수요 분야에 대한 기술적 지침이 되고자 한다.

2. 초음파 가공

2.1. 가공 원리

발전기에 의해 전기 음향 변환 소자 즉, 진동자(磁氣型 및 piezo-electric type)에 16-30 KHz 정도의 고주파 전기 에너지를 공급시켜 기계 진동(초음파 진동, 예: 22,000회/sec)을 발생시킨다. 변환기에 의한 이 진동의 진폭은 발전기의 출력에 따라 처음엔(예:) 3-5 μm 정도(그림 1의 A1)의 작은 진폭을 갖게 되어 가공 효율이 나쁘지만, corn(coupling piece, 초음파 트랜스) 및 horn에 의해 진폭이 확대되어 공구의 선단(horn의 끝 부분)에서는

가공에 충분한 정도의 진폭 즉, 15-30 μm 정도(그림 1의 A2)까지 증폭되어지게 되어 제거 가공을 수행하게끔 된다.

그리고 일반적으로 SiC, B₄C powder를 물에 현탁시킨 것을 펌프로 순환시켜 가며 가공면에 유입시키고 가공물이 공구와 맞닿도록 하여 그 사이에 존재하게 되는 지립들이 공구의 진폭에 의하여 가공면을 마치 일정한 압력으로 눌러 주듯이 함으로써, 가공 부위를 micron level로 미세하게 파괴시켜 가는 공정으로 공구 선단의 면형상과 대응한 자용식의 형상을 가공물에 그대로 전사시키는 방식의 가공을 하게 된다. 겉으로 보기엔 정지하고 있는 듯한 공구 선단 부위가 그날

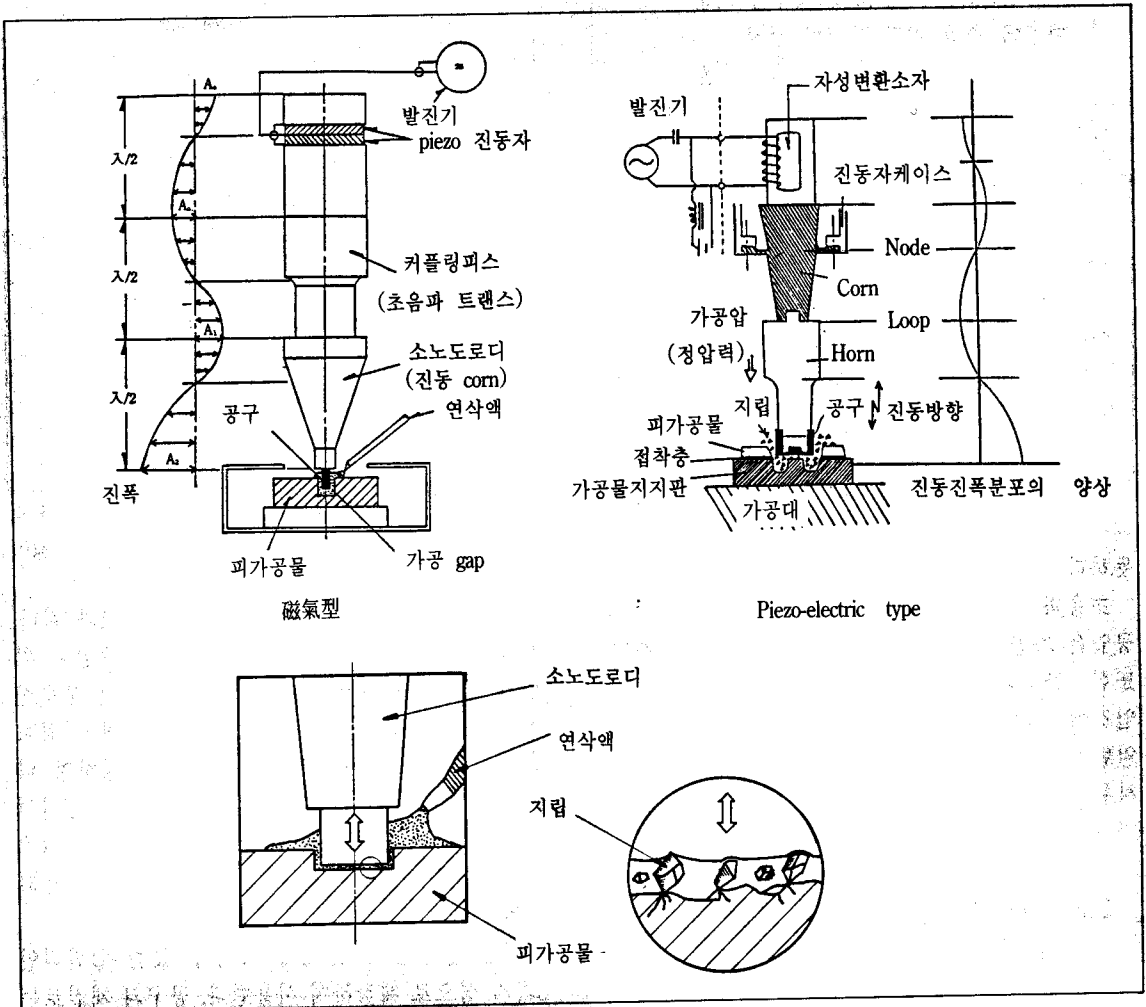


그림 1) 초음파 가공기의 진동 기구 및 그 가공 원리.

표 1) 초음파 가공시 순차적으로 선정해야할 항목들.

- ① 피삭재 (형상, 경도, 상태)
 -경도 H_{RC} 40 이상
- ② 가공 형상
 -깊이와 폭의 최대 비 2.5 : 1
 -최대 직경 칫수 100mm
 -최소 절단폭 칫수 0.076mm
- ③ 가공면적
- ④ 지립 (Abrasive)의 선정
- ⑤ 지립(Abrasive)의 size 선정
 -원하는 표면조도와 여유에 기준
- ⑥ 가공액 중의 지립 혼성비 선정
 -가공액은 물, 혹은 오일과 알콜
- ⑦ 가공 공구 재질의 선정
- ⑧ 관통률(가공 진행 속도), 최대 공진 진폭, 가압력 등에 대한 추정
- ⑨ 공구 형상 및 칫수의 선정
 -지립 입자 크기의 2배 칫수를 상계
- ⑩ 초음파 발전기 출력의 선정
- ⑪ 공구 마모율의 예측
 -공진 상태를 시험적으로 조정
- ⑫ 가공 깊이의 선정

매우 느린 속도로 가공물 속으로 파고 들어가는 듯하다.

초음파 가공시 공구가 가공물을 눌러주는 가공압은 가공 중엔 항상 일정하도록 유의해야 한다. 또한, 공구와 가공물 간에는 보통 지립의 평균 입경에 해당하는 가공 clearance가 이뤄지는데 일반적으로 평균 입경 20-50 μm 정도의 것들을 사용하며 가공이 진행함에 따라 점차 파쇄되어져 가게 되어 더욱 미세하게 된다.

2.2. 가공에 관련되는 인자들에 대한 분석

초음파 가공을 하고자 할 때에 있어 선정해야

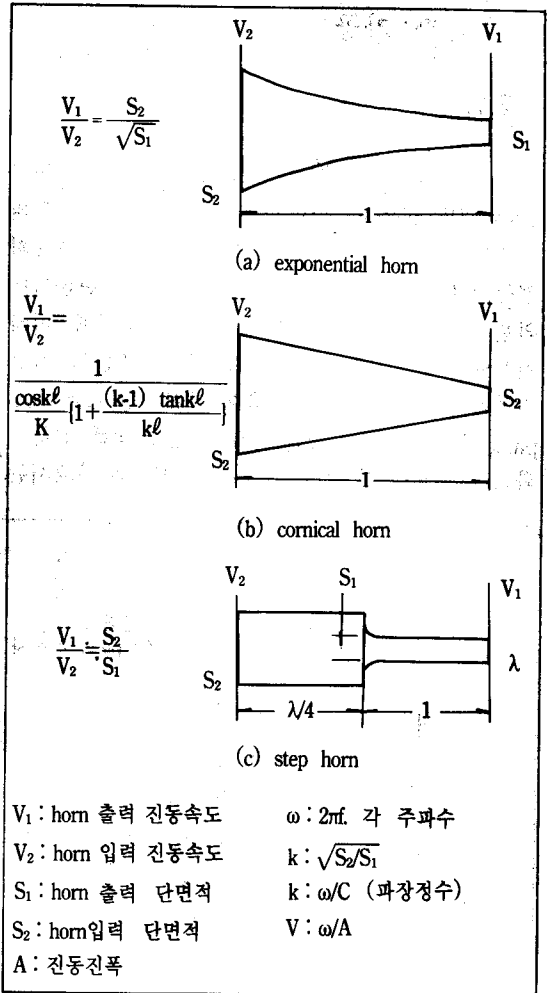


그림 2) 3종류의 초음파 가공 공구 horn부위의 형상과 각 속도 변성비

할 항목들을 순서적으로 나타내보면 표 1과 같다. 가공 대상물은 경도 약 H_{RC}40 이상의 재질로 취성이 높고 경도가 낮은 무기질 재료일수록 우수한 가공성을 발휘할 수 있도록 한다. 초음파 가공이 용이하게 이뤄질 수 있는 재질들을 선정하여 나타내보면 표 3과 같다. 가공액은 주로 물(가능하면 중류수)을 사용하는 것이 일반적이지만 피삭재에 따라 혹은 특수하게 알콜이나 오일 등이 사용되어질 수도 있다.

가공 공구는 그림 2에 나타나 있는 일반적인 3가지 형으로 제작하여 사용한다. 공구의 재질로는 연강, 스프링 강, 스텐레스 강 등이 사용되어지고

표 2) 선진국 전문가들이 제시하고 있는 초음파 가공 조건

조건 인자 항목	거친 가공	중간 가공	마무리 가공
Tolerance, inch	± 0.001	± 0.0005	± 0.00025
Roughness, Micron inch Ra	30	25	20
Grit average size inch	0.00248	0.00090	0.00044
Grit size number	230	400	800
Abrasive Concentration, %	55	45	35
Overcut, inch	0.005	0.002	0.0005
Machine stroke	0.0025	0.0015	0.0005

있으며 이중 공구의 제작이 용이한 연강을 열처리하여 비교적 많이 사용하고 있는데, 보통용접 및 납땜 등으로 horn부위를 연결하지 않고 선삭과 EDM가공 등을 사용하여 일체형으로 가공하는 편이 진동 감쇄 등의 악 영향을 미치지 않아 좋다.

초음파 가공에 사용하는 지립(Abrasive)의 종류와 특성을 분류하여 나타내 비교해보면 표 4와 같다. 이들 중 일반적으로 Silicon carbide와 Boron carbide가 주로 많이 사용되어지고 있다. 지립은 피삭재의 재질에 따라 적당한 것을 선택하여 사용하는 편이 고능률적 가공을 실현시키는데 있어 큰 도움을 주게 된다. 이러한 가공 대상에 따른 적당한 지립 선정의 기준은 표 5를 따름이 좋을

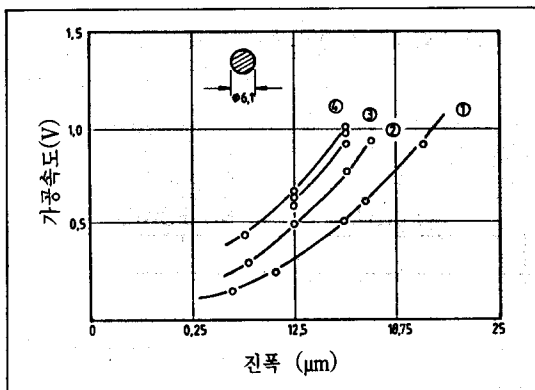


그림 3) 진폭과 가공 속도와의 관계 (사용 주파수: (1)5.1 KHz, (2)11KHz, (3)16.3KHz, (4)19.5KHz)

표 3) 초음파 가공이 용이하게 이뤄질 수 있는 소재들

Agate	Limestone
Alumina	Lithium fluoride
Aluminum oxide	Micarta
Barium titanate	Molybdenum
Beryllium oxide	Molybdenum disilicate
Boron carbide(fused)	Mother of pearl
Brass	Plaster of pearl
Calcium	Pyrolytic graphite
Carbides	Quartz
Carbon	Ruby
Ceramics	Sapphire
Composites	Silicon
Cold rolled steel	Silicon carbide
Ebony	Silicon nitride
Ferrite	Steatite
Formica	Ti-6Al-4V
Garnet	Tungsten
Germanium	Tungsten carbide
Glass	Thorium oxide
Glass-bonded mica	Uranium oxide
Graphite	Uranium carbide
Hardened 1095 steel	Zirconium
High pressure laminates	

것으로 보인다.

선진 공업국들의 전문가들이 제시하고 있는 일반적인 초음파 가공 조건을 나타내 보면 표 2와 같다. 고능률적인 면을 주로 고려하게 되는 거친 가공일수록 사용하게 되는 지립의 크기가 커지게 되어 clearance도 커지게 되며, 가공액 중의 지립 혼성비를 높여줘야 하고 공진의 폭도 따라서 커지게 해야 한다.

2.3. 가공 데이터의 수집 및 제시

초음파 가공의 능력은 공구 선단의 진폭 크기에

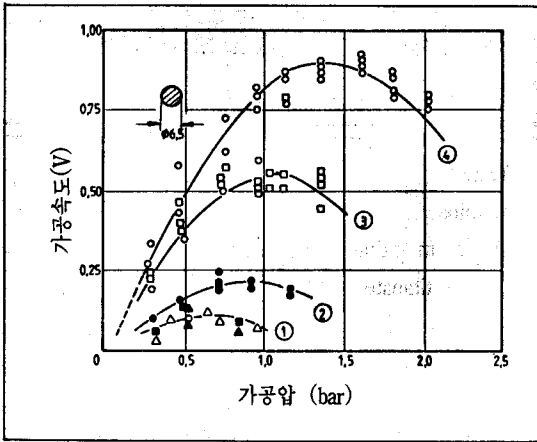


그림 4) 가공압과 가공 속도와의 관계 (진폭: (1)8 μ m, (2) 11 μ m, (3)16.5 μ m, (4)20.5 μ m)

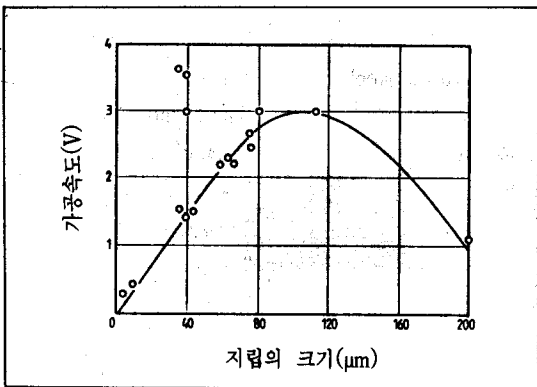


그림 5) 가공 지립의 크기와 가공 속도와의 관계

크게 좌우된다. 즉, 공구 진폭이 크게되면 그 가공 효율이 좋아진다고 볼 수 있다. 그림 3에 이러한 관계를 한 눈에 쉽게 알아볼 수 있도록 가공 데이터를 비교하여 나타내 보았다. 동일 진폭에

있어선 사용 주파수가 클수록 가공 속도가 빨라 짐도 역시 알 수 있다.

그림 4은 8 μ m-20.5 μ m까지 4 종류의 서로 다른 진폭에 있어서 가공 압력과 가공 속도와의 상관 관계를 비교하여 나타내 본 것이다. 그림으로 부터 알 수 있듯이 최대 가공 속도는 특정한 가공 압력하에서 얻어지며, 그 값은 각 진폭에 따라 서로 달라진다. 따라서 초음파 가공에 있어서 높은 가공 효율을 얻고자 한다면, 최적의 값을 찾는 가공 압력을 가공 공정중 일정하도록 유지해야 함 역시 상당히 중요한 일이라고 하겠다.

그림 5는 지립의 입도 즉, 지립의 크기가 가공 속도에 미치는 영향을 알아 본 것이다. 공구 선단의 진폭을 일정하게 할 때 지립의 크기가 클수록 가공 속도가 높아지지만, 약 100 μ m이상의 크기에 달하게 되면 점차 가공 속도가 거꾸로 저하하게 되는 경향을 나타내고 있다. 한편, 지립의 크기는 가공

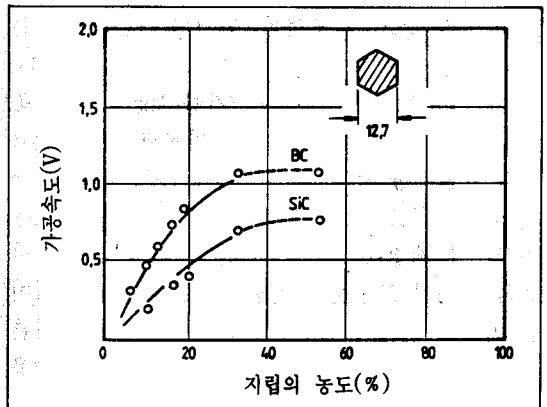


그림 6) 지립 농도와 가공 속도와의 관계 (BC : Boron carbide, SiC : Silicon carbide)

표 4) 초음파 가공에 사용되어지는 지립의 종류와 특성.

ABRASIVE	KNOOP HARDNESS	RELATIVE CUTTING POWER
Diamond	6500-7000	1.0
Cubic Boron Nitride (CBN)	4700	0.95
Boron Carbide(B ₄ C)	2800	0.50-0.60
Silicon Carbide(SiC)	2480-2500	0.25-0.45
Aluminum Oxide(Al ₂ O ₃)	2000-2100	0.14-0.61

표 5) 가공물에 따른 지립의 선정

ABRASIVE	WORK MATERIAL
Boron Nitride	Tungsten carbide, metals, high density ceramics, minerals, semi and precious stones
Silicon carbide	Low density ceramics, glass silicon, germanium, mineral stones
Aluminum oxide	Glass, low density, sintered or hard powder compounds

표 6) 초음파 가공에 사용되는 지립의 표준 크기 비교.

GRIT SIZE	PARTICLE SIZE	
	in	μm
Roughing		
120	0.0056	142
140	0.0048	122
170	0.0034	86
200	0.0026	66
230	0.00248	63
270	0.00175	44
325	0.00128	33
400	0.00090	23
Finishing		
500	0.00073	19
600	0.00057	14
800	0.00044	11
900	0.00038	10
1000	0.00032	8
1200	0.00022	6

속도 뿐만 아니라 피가공물의 표면조도에도 역시 크게 영향을 미친다. 즉, 가공 속도와 가공면의 표면조도는 서로 상반되는 경향을 보이고 있다는 것이다.

그림 6은 가공 지립으로서 Silicon carbide와 Boron carbide를 사용할 경우에 있어 가공액인 물과 지립의 혼합비가 가공 속도에 미치는 영향을 알아본 것이다. 두 경우 모두 농도가 높아질수록 가공 속도가 향상되는 경향을 보이나, 약 50%전 후에서 그 최대치를 보인 후부터는 오히려 그 가공 속도가 감소하게 됨을 알 수 있다. 이는

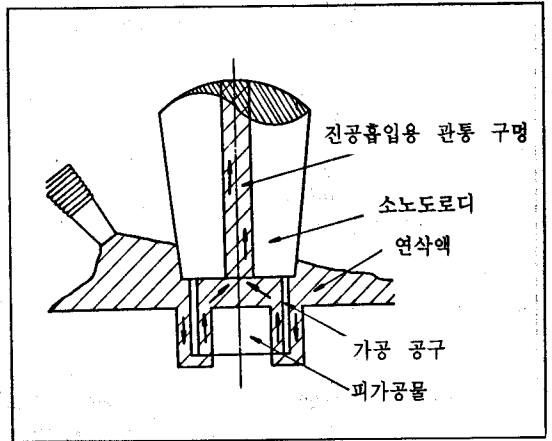


그림 7) 연삭액 강제 순환 시스템의 설계

농도가 너무 높아지게 될 경우엔 가공액 중의 지립 유동성이 급격히 저하되어지기 때문에 가공 부위로의 공급이 원활치 못해서 생기는 현상으로 생각된다.

3. 맺음말

이상과 같이 선진 공업국의 가공 데이터를 중심으로 분류, 조사하여 초음파 가공에 관한 기술적인 지침을 제시해 보았다. 미국, 일본, 독일 등의 관련 선진국들의 경우는 이미 기술적인 정립이 되어져 있고 상당한 know-how를 축적했을 뿐만 아니라 가공 범위 및 가공 대상물 등에 따라 세분화된 전용기의 생산에 주력하여 양산 및 수출하고 있는 실정이다. 또한, 초음파 가공의 핵심이라고 할 수 있는 가공 공구의 최적화 설계 및 제작을 위한 CAD system을 package화하여 고가로 판매할 뿐, 가장 큰 know-how라 할 수 있는 이 분야는 서로가 공개를 기피하는 기술 비이전의

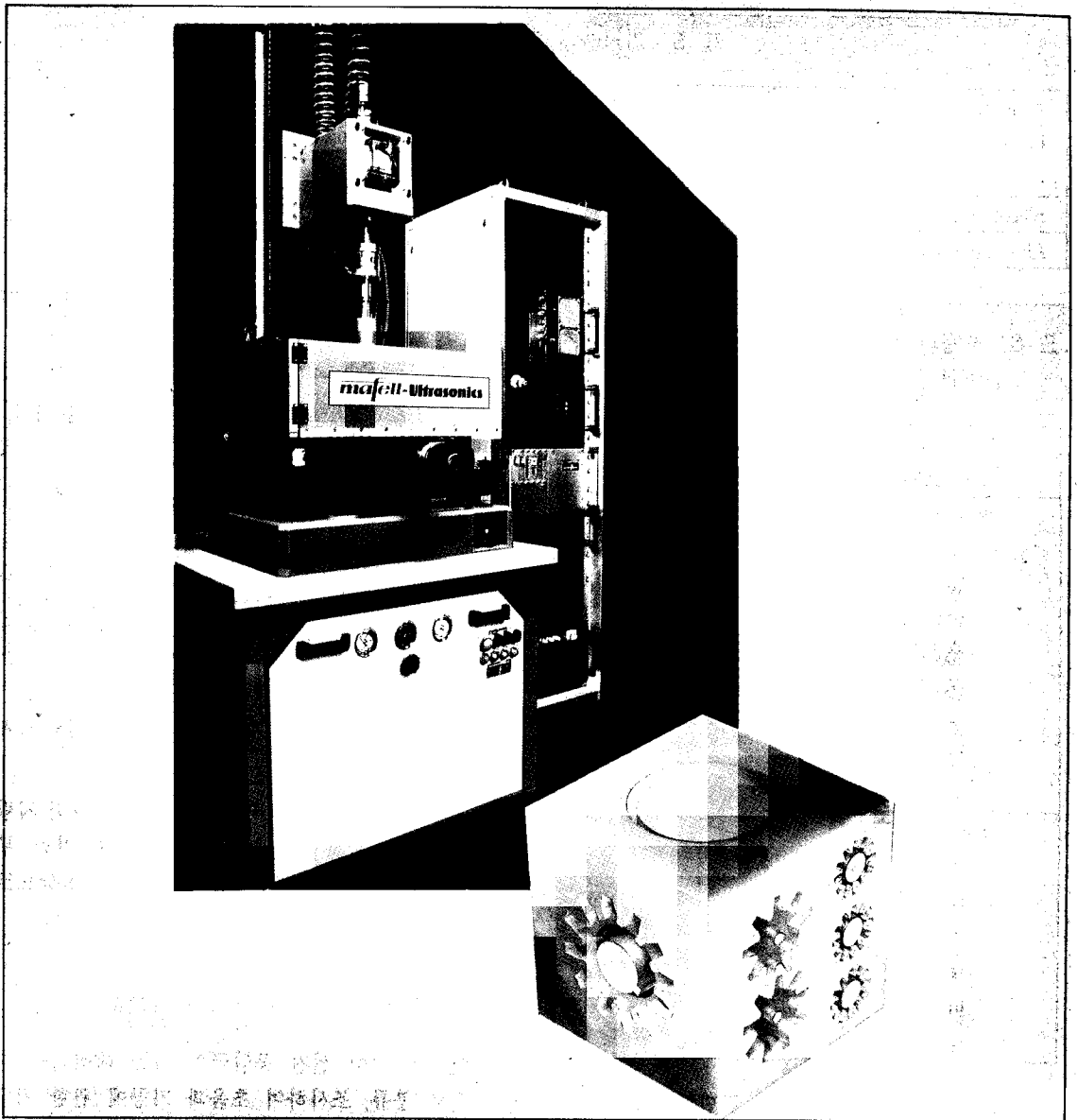


그림 8) 선진 공업국의 최신 초음파 가공기 모델과 대표적인 가공의 예

보호 기술이다.

지금까지는 사실상 국내의 경우 초음파 가공에 대한 요구가 극히 미진하였으나 앞으로 취성과 고경도 등의 특성을 가지는 화인 세라믹스소재에 대한 국내수요도 커지고 따라서 여러 신가공 기술이 필요하게 된다는 예측하에 다품종 소량 생산의 특수 복잡 형상 가공 및 3차원적인 형

상가공, deep hole가공 등을 고능률적으로 순수 국내 보유 기술로 이룩하기 위해선 하루 빨리 이러한 특수 전용 가공기의 생산 및 그 가공 기술의 정립을 추진해 나가야 하겠다.

그래서 첨단 가공 기술의 보유로 국제 경쟁력을 향상시키고 수입 억제 및 수출 증대화로 선진 공업국의 대열로 한 걸음 앞서 나가야 할 것이다.