옵토 메카트로닉스 가공 기술 로드맵

광학 재료의 연삭 가공

최근에는 난이도가 높은 다양한 초정밀 광학 소자, 비구면 광학 소자나 마이크로 광학 소자 등 대부분의 가공 공정이 초정밀이면서 초미세한 연삭 가공에 의해 이루어지게 되었다. 그리고 일반적으로 초정밀 및 미세 가공 기술로서 자주 예로 드는 반도체 공정 기술에서는 제조가 어려운 다양한 광학 재료, 광학 부품 가공에 자유롭게 접근할 수 있는 초정밀 및 초미세 기계 가공으로서의 연삭 가공 기술의 진보가 새롭게 인식되기 시작했다고 할 수 있다.

편집자 주

고도의 정보화 사회를 뒷받침하는 정보통신 기기, 각종 모바일 기기를 비롯한 선진 공업 분야에서 초정밀, 마이크로 광학 부품의 가공 기술이 더욱 중요시되고 있다. 연마용 입자 가공 중에서도 연삭 가공 기술은 현저히 진보되어 왔으며, 광학 재료의 고정 연마용 입자에 의한 고품질 가공 기술로서 미래의 주역이 될 것으로 예측되고 있다.

〈표 1〉에 대표적인 광학 재료로서 광학 유리 및 광학 결정(結晶)을 예시하였다. 광학 재료에는 굴절형 광학 부품에서 반사형 광학 부품까지 취급하는 광학 파장 대역에 따라 다양한 것들이 있는데, 일반적으로 경질이면서 취성(脆性)을 갖는 재료들의 경우, 지금까지 연삭 가공 기술에 의해서만은 고품질 가공이 매우 어려웠다. 취급하는 파장 대역이 짧고 고효율의 반사가 요구되는 X선 광학 소자의 가공 정밀도를 달성하기가 매우 힘들며, 고차원 비구면 형상이 요구되는 광학 소자 가공 또한 상당히 어렵다. 〈표 2〉에 사용 파장 대역과 광학 소자 그리고 요구되는 가공 품질에 대해 예시하였다.

하지만, 최근에는 난이도가 높은 다양한 초정밀 광학 소자, 비구면 광학 소자나 마이크로 광학 소자 등, 대부분의 가공 공정이 초정밀이면서 초미세한 연삭 가공에 의해 이루어지게 되었다. 그리고 일반적으로 초정밀 및 미세 가공 기술로서 자주 예로 드는 반도체 공정 기술에서는 제조가 어려운 다양한 광학 재료, 광학 부품 가공에 자유롭게 접근할 수 있는 초정밀 및 초미세 기계 가공으로서의 연삭 가공 기술의 진보가 새롭게 인식되기 시작했다고 할 수 있다. 〈그림 1〉은 유리 연마용 입자 가공과 고정 연마용 입자에 의한 광학 재료를 포함한 취성 재료 가공 기구를 나타낸다. 후자의 고정 연마용 입자에 의한 가공이 소위 연삭 가공에 해당하는 것인데, 취성을 감퇴시키지 않으면서 고품질 가공이 가능한 연성(延性:tractility) 모드 연삭 가공의 안정적인 실현이, 광학 재료 및 광학 부품의 연삭 가공을 주요 공정으로 하여 실현되어 온 원리적인 배경에 있다고 할 수 있다.

이와 같이 연삭 가공이 진보되어 온 배경으로서, 소위 압력 전사를 중심으로 한 유리 연마용 입자 가공에서 운동 전사를 중심으로 한 고정 연마용 입자 가공으로 바뀐 것, 또 그 고정 연마용 입자에 의한 고품질 가공을 실현하기 위하여 미립도(微粒度) 숫돌의 진보와 이를 이용하는 공작(工作) 기계의 진보, 가공 공정으로서의 연삭 가공 기술의 진보, 그리고 계측 · 평가 및 모니터링 기술의 진보가 크게 작용하고 있다. 특히, 공작 기계인 연삭기의 경우, 연

성 모드 연삭을 일으키기 위하여 필요한 임계 홈의 깊이를 파는 홈 제어 분해능을 안정적으로 실현하는 초정밀 기계 요소가 실현되었다는 것은 의미가 클 것이다.

이러한 연삭 가공 기술의 진보에서 먼저 숫돌의 미립도화의 경우, 취성 모드에서 연성 모드 가공으로의 전이를 이용한 고품질 가공이 실용화 수준에 이르렀다고 할 수 있다. 또한 공작 기계의 진보에 관한 기반 기술로는 공작 기계의 안내 방식의 비접촉화, 서보 모터, 선형 스케일, 제어

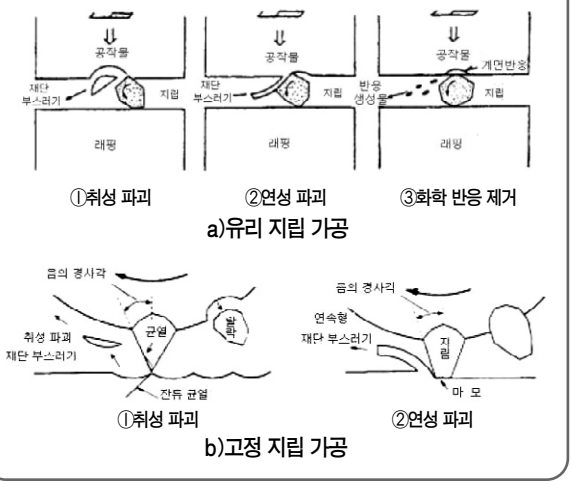


그림 1. 취성 재료의 지립 가공 기술

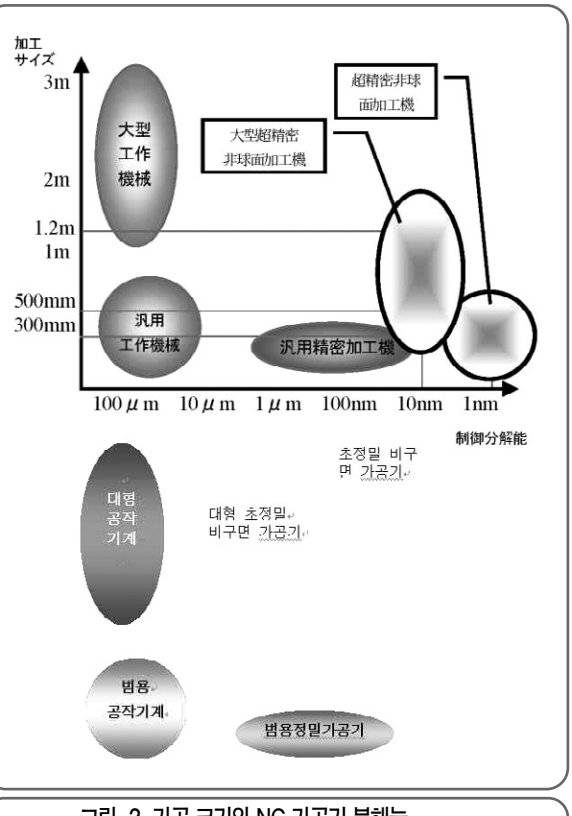


그림 2. 가공 크기와 NC 가공기 분해능

표 1. 광학 재료의 예(광학 유리, 광학 결정)

재료	굴절률	투과 파장 대역(μm)	열팽창 계수 (10-6/K)
BK7	1.5164(588 nm)	0.330 ~2.1	7.5
SF11	1.78472(588nm)	0.370 ~2.5	6.8
SF14	1.76182(588 nm)	0.420~2.0	8.1
용융석영	1.4858(308 nm)	0.185~2.5	0.54
CaF_2	1.399(5. 0 mm)	0.170~7.8	18.85
사파이어	1.755(1.0 mm)	0.180~4.5	8.4
실리콘	3.4179(10 mm)	1.200~7.0	4.15
Ge	4.003(10 mm)	1.900~16	6.1
ZnSe	2.40(10 mm)	0.630~18	7.8
ZnS	2.2(10 mm)	0.380~14	6.5
LiF	1.39(500 nm)	0.150~5. 2	37
KBr	1.526(10 mm)	0.280~22	43
MgF_2	n_o=1.3836 n_e=1.3957(405nm)	0.130 ~7.0	a:13.7 b:8.48
$CaCO_3$	n_o=1.6557 n_e=1.4852(633nm)	0.210 ~2.3	a:24.39 b:5.68
$LiNbO_3$	n_o=2.2863 n_e=2.2027(633 nm)	0.370 ~4.5	a:16.7 c:2.0

표 2. 광학 소자와 가공 품질

	파장 범위	주요 용도	주요 광학 소자	표면 조도
적외광	약 1mm ~780nm	탄산 가스 레이저 방사 온도계, 적외 램프 레이저 핵 융합 반도체 레이저	공진기용 미러 창(윈도우) 빔 스플리터 렌즈 반사 및 집광용 미러 레이저 자이로	50nm~ 1nm Ry
가시광선	약 780nm ~380nm	카메라 망원경, 현미경 반도체 노광 장치	렌즈, 프리즘 반사, 집광 반투명 미러 길이 측정 기준 미러	10nm~ 1nm Ry
자외광	약 380 ~1nm	엑시머 레이저 반도체 노광 장치	공진기용 미러 창(윈도우) 에탈론(etalon) 렌즈	10nm~ 1nm Ry
소프트 X선	약 30 ~0.수nm	분석기기 망원경, 현미경 반도체 노광 장치	반사경 회절 격자	1nm rms 이하

시스템의 고분해능화 및 재현성의 향상이 있다. 이에 따라, 광학 부품의 가공 크기의 대형화와 함께 가공 정밀도, 가공 분해능의 향상에 큰 진전이 이루어졌다〈그림 2〉. 이로 인해, 광학 부품 가공용 초정밀 가공기의 개발이 진행되어 초정밀, 고품질의 비구면 광학 소자의 개발에 큰 진전이 있었다〈그림 3〉. 특히, 비구면 프로필의 고정밀도화에서 재현성이 높은 초정밀 연삭 가공 기술과 기계상에서의 계측 기술의 통합화가 중요하다〈그림 4〉.

또한 국소적인(local) 가공 정밀도, 즉 가공면의 조도(거칠기)에 대해서는 광학 재료에 대해 원자 수준이라고도 할 수 있는 평활성이 고정 연마용 입자 가공으로서 연삭 가공에 의해 실현되었다. 그러나, 어디까지나 기계적인 가공 원리를 바탕으로 하는 것이기 때문에, 가공 손실(데미지)이나 다이아몬드 연마용 입자의 초미립화에 따른 가공 능률 저하 등으로 인해 전체적인 공정 수행의 검토에 있어서는, 향후 폴리싱 기술이나 특히 화학 반응을 이용한 기계 화학적 연마용 입자 가공(폴리싱) 기술〈그림 5〉의 관계가 매우 중요해질 것이다.

이상과 같이, 광학 재료 및 광학 부품 가공에서 연삭 가공 기술이 향후 더욱 주체적인 역할을 할 것으로 기대되며, 그 방향성으로는 다음과 같은 진전이 예상된다.

① 가공면 조도에 대한 형상 정밀도의 진전〈그림 6〉: 가공면 조도는 국소적인 정밀도인데, 광학 부품으로서의 기능을 갖도록 하기 위해서는 형상 정밀도(전체적인 정밀도)가 중요해지며, 이들을 양립시키는 데에는 항상 어려움이 따른다. 따라서 이들을 양립시키는 연삭 가공 기술의 진전이 중요해질 것이다.

② 가공 면적에 대한 형상 정밀도의 진전〈그림 7〉: 광학 소자의 크기가 커지면 커질수록 형상 정밀도를 향상시키기가 어려워진다. 선진 기술에 빼놓을 수 없는 대구경 광학 소자의 진전을 기대할 수 있다.

③ 가공 자유도에 대한 가공 정밀도의 진전〈그림 8〉: 자유

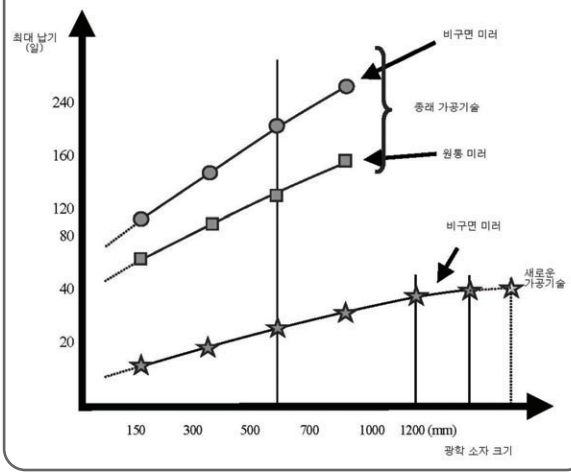
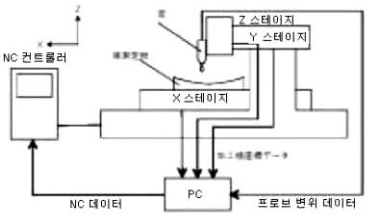
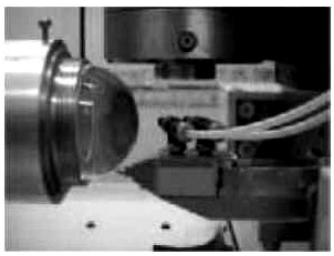


그림 3. 길이가 긴 미러 가공 기술의 진전



a)시스템 구성



b)기상 계측 양상

그림 4. 온 머신 계측 기술

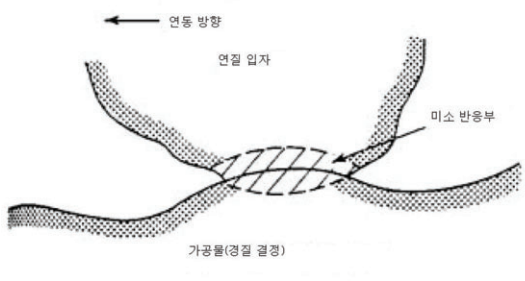


그림 5. 화학 반응을 이용한 지립 가공

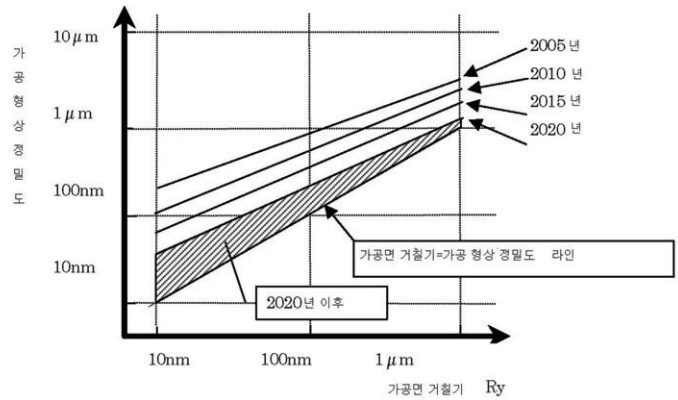


그림 6. 가공면 거칠기에 대한 형상 정밀도의 추이 예상
(BK7에 대하여 가공 면적을 100cm²로 가정한 경우)

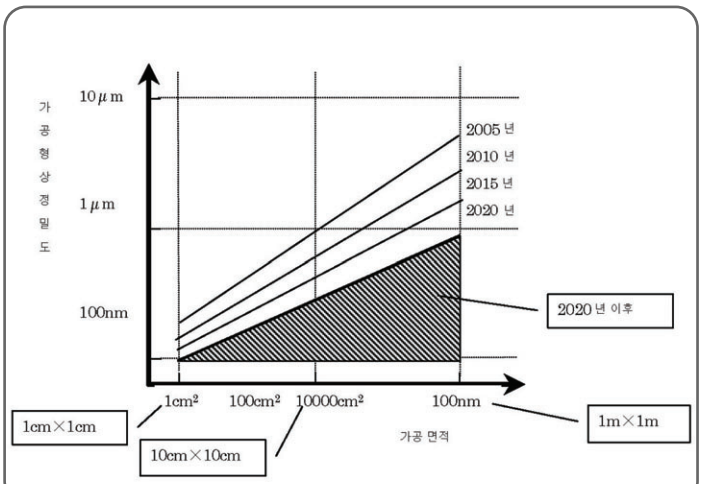


그림 7. 가공 면적에 대한 가공 형상 정밀도의 추이 예상
(BK7에 대하여 거칠기를 Ry100nm로 가정한 경우)

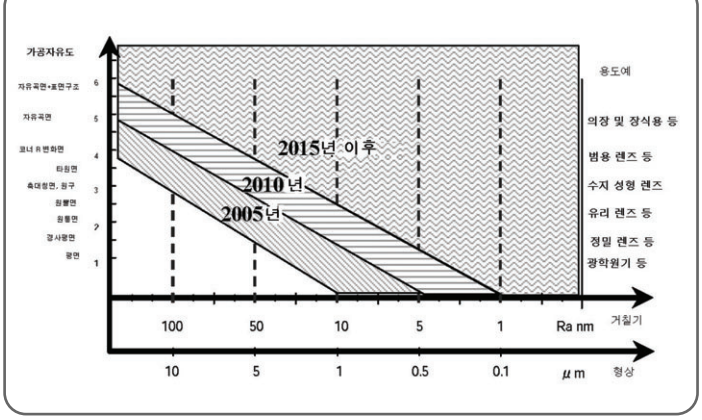


그림 8. 가공 자유도와 가공 정밀도의 관계 및 추이 예상

곡면이나 복곡면을 갖는 광학 소자의 실현과 그 가공 품질 및 정밀도의 진전은 광학 설계 기술을 포함하여 커다란 진전을 기대할 수 있다.

이러한 퍼포먼스가 종합적인 효과(예를 들면, 가공 능률이나 비용:여기서는 가공 대상물에 따라 평가가 달라지므로 예로 들지 않았다)로 실현되며, 보다 고도의 광학 부품 제조 기술로써 진보해 나갈 것으로 기대된다.

〈참고 문헌〉

1) 세라믹스 공학 편람(제2판), 일본 세라믹스 협회 편, 기보도 출판(2002).
2) 최신 초정밀 가공 및 성형 기술과 부품화 공정 기술, 기술 정보 협회(2001).

'광학세계' 정기구독 안내

한국광학기기협회에서 발행하는 정기 간행물 **'광학세계'** 지를 정기 구독하고자 하는 분은 1년 간 책자 우송료 1만 2천원을 지불하시면 책자를 무료로 보내드리겠습니다.
또한 정기구독 기간중 주소 및 전화 번호가 변경될 경우 본 협회로 꼭 연락 주시기 바랍니다.

▶▶입금계좌 : 국민은행
772001-04-019757
▶▶예 금 주 : 한국광학기기협회

- 연락처 : 「**광학세계**」 편집부
- 주 소 : (156-819) 서울시 동작구 사당3동 218 청보빌딩 4층 **한국광학기기협회**
- 전 화 : (02)3481-8931
- 팩 스 : (02)3481-8669
- 이메일 : pjy@koia.or.kr