

대면적 미세가공시스템

박 천 흥 · 한국기계연구원 지능형생산시스템연구본부, 책임연구원(본부장)

_e-mail : pch657@kimm.re.kr

심 종 엽 · 한국기계연구원 지능형생산시스템연구본부, 선임연구원

_e-mail : jyshim@kimm.re.kr

이 글에서는 최근 초정밀 기계부품 가공 및 연료전지/태양전지, 대형 LCD TV 등 IT기술 영역의 차세대 부품소재 분야에서도 요구가 증대되고 있는 대면적 미세가공시스템의 개발 현황 및 연구과제에 대하여 소개하고자 한다.

대면적 미세가공 시스템의 개요

대면적 미세가공시스템 기술은 기계가공을 통해 대면적 미세형

상의 초정밀 제품을 양산하기 위한 장비 및 공정기술로 정의할 수 있다. 즉 대면적 초정밀 미세가공장비를 이용하여 대면적 미세형상의 금형을 가공하며 이 금

형을 이용한 사출, 엠보싱 등의 성형공정을 통해 대면적 미세형상 제품을 양산하고 최종적으로 제품의 양부를 검사하는 일련의 공정 및 장비를 대면적 미세가공

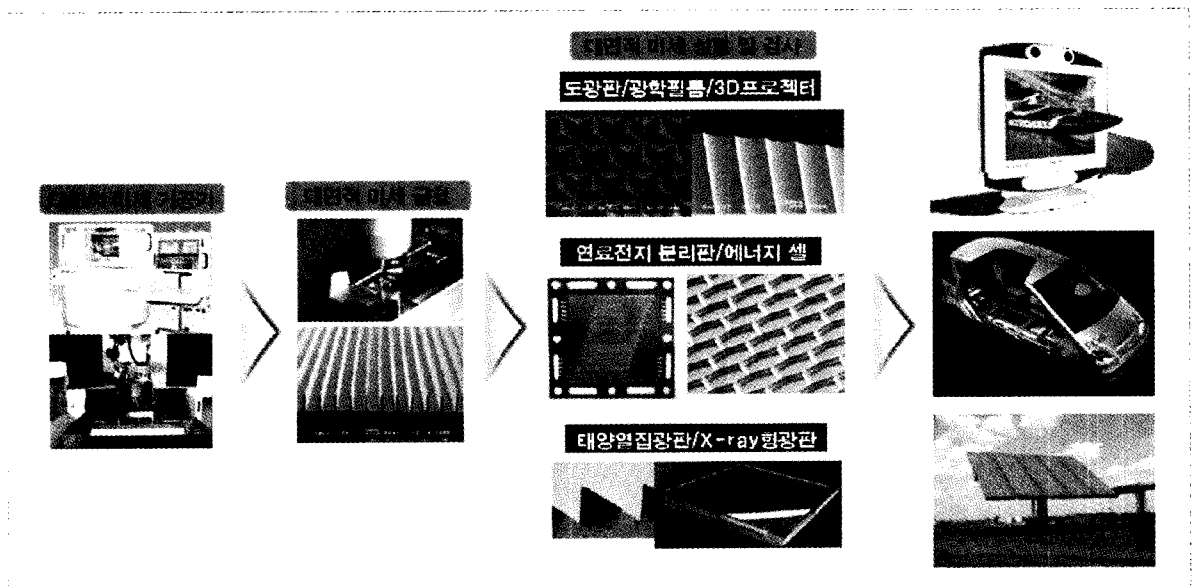


그림 1 대면적 미세가공시스템 개요

시스템으로 정의하였다. 이 시스템의 주요 응용분야로는 LCD TV용 도광판(반사판 및 확산판, 프리즘 시트 등의 광학필름), 3D 프로젝터용 렌티큘러렌즈, 초고휘도 반사필름, 초정밀 비구면 광학부품, 의료/정밀기기용 초정밀 금형 및 부품, 연료전지 분리판/에너지 셀 등의 에너지산업 초정밀부품을 들 수 있으며 현재 세계 최고 수준은 2m의 제품길이에 대해 25 μm 정도의 미세피치를 연속적으로 가공해낼 수 있는 수준이다.

대면적 미세가공시스템은 기술적으로 초정밀 기계가공시스템에 그 기반을 두고 있다.

초정밀 가공기술은 1960년대부터 미국, 영국 등 일부 선진국에서 방위산업이나 항공우주산업용 극한 정밀도 광학 부품을 가

공하기 위해 개발되어 왔으나 1980년 중반 이후 일본이 이 기술을 활용하여 복사기 드럼 및 다면경, VTR 헤드드럼, 컴퓨터용 하드디스크 등 가전/OA용 핵심부품들을 생산하고 이들 제품이 세계시장의 주력상품이 되면서 민생산업용 핵심기술로 각광을 받기 시작했다. 1990년대 중반 이후에는 초정밀가공기술의 향상에 따라 CD픽업, 광커넥터용 페룰, 카메라용 비구면 렌즈, 스캐너용 F θ 렌즈 등 고품위 표면을 요구하는 초정밀 광학부품을 중심으로 시장 수요가 확대되었으며, 최근 들어서는 디스플레이용 광학부품을 중심으로 광학특성의 고효율화, 복합화까지 요구됨에 따라 마이크로형상 어레이로 이루어진 대면적 미세가공 제품 형

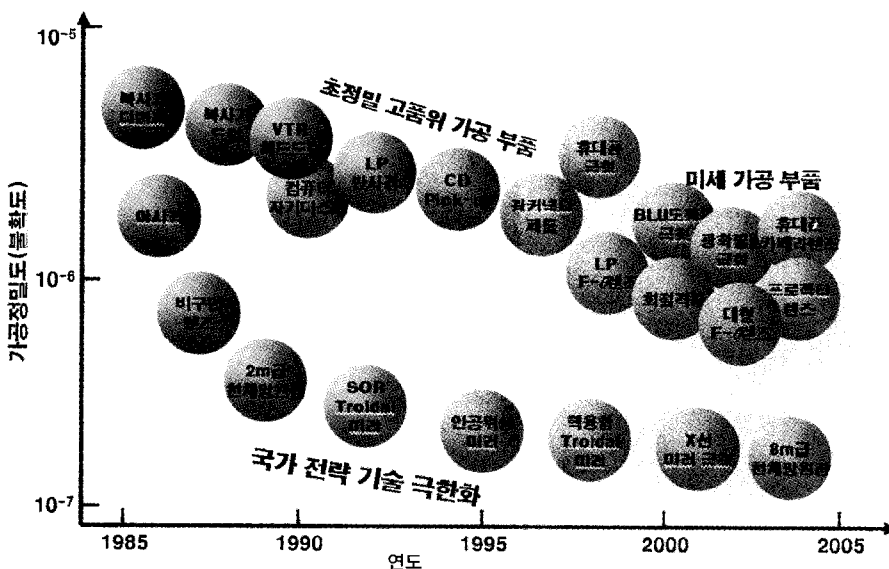
태의 광학부품의 수요가 급증하고 있어 초정밀 가공시스템 기술의 확보 여부가 주력산업의 경쟁력을 결정짓는 생산기술의 해결사 역할을 수행하고 있다.

대면적 미세가공 시스템 기술 동향

대면적 미세가공시스템의 글로벌 기술 트렌드를 정리하면 대면적화, 미세피치화, 형상복합화, 기술융합화 등 4개로 나타낼 수 있다.

먼저, 현재 52"급이 대중화되어 있는 LCD TV의 개발동향에서 볼 수 있듯이 디스플레이의 대화면화가 급격히 이루어지고 있으며 이에 대응하여 대면적 미세가공시스템에 있어서도 대면적 부품 생산을 위한 대면적화가 급속히 진행되고 있다.

그림 4는 미세가공시스템의 대면적화 추세를 정리하여 나타낸 것으로, 절대적인 개념은 아니지만 현 시점에서 대면적이라고 부를 수 있는 최소한의 사이즈는 12" (300mm) 정도라고 할 수 있다. 4~5년 전에 해당하는 비교적 최근까지만 해도 미세가공시스템의 주요 대상은 핸드폰 및 노트북용 도광판 금형,



초정밀 미세가공 기술의 개발 추세



그림 3 미세가공시스템의 대면적화 추세

회절격자, 마이크로 금형 등이었으며 제조공정으로는 Toyoda, FANUC 등의 메이커로 대변되는 초정밀 미세가공용 선반을 이용하여 금형을 제작하고 이를 이용하여 제품을 성형하는 방식이었다. 그러나 디스플레이를 중심으로 한 대면적화에 수요에 따라 금형의 사이즈가 커지게 되고 이에 대응하는 가공장비도 급격히 변화하고 있다.

금형 가공용 장비의 경우 300mm까지는 초정밀선반이 주류였으나 그 이상의 사이즈가 요구됨에 따라 초정밀 밀링머신이 개발, 활용되었으며 500~1,000mm 사이즈로 확산되면서는 밀링머신이 전용화된 초정밀

그루빙머신이 개발되어 대응하고 있다. 한편, 최근에는 BLU용 광학필름류를 중심으로 1,500~1,600mm까지의 미세가공제품도 요구되고 있다. 이 경우 평판금형을 이용한 사출 또는 사출압축성형이 불가능하므로 롤금형을 이용한 롤성형 방식이 적용되고 있으며 이에 따라 장비의 경우에도 롤금형을 가공할 수 있는 초정밀 롤선반이 미국(Moore 사), 일본(Toshiba, Riken 등) 등을 중심으로 개발되어 활용되고 있다.

대면적화에 대응한 기술적 트렌드를 요약하면 1m(40")까지의 제품은 직접 가공 및 평판 금형 응용 공정, 1m 이상은 롤금형 용

용 성형 공정의 이원화 기술체제로 진행되면서 대면적 제품의 대부분에 기본적으로 요구되는 슬림화(박판화)를 동시에 만족시키고 있다고 할 수 있다.

대면적 미세형상제품의 피치 사이즈는 제품의 기능 설계에 의해 결정되므로 매우 다양한 편이다. 예를 들어 태양광 집광판용 플레넬렌즈의 피치는 수백미크론 수준이며 도광판의 경우에는 수십미크론대의 가변피치로 설계되는 것이 일반적이다. 디스플레이에서의 인간의 시각적 분해능을 고려하면 현재 실용화에 요구되는 최소피치는 20 μ m 수준 정도이며 현재 가공장비의 이송분해

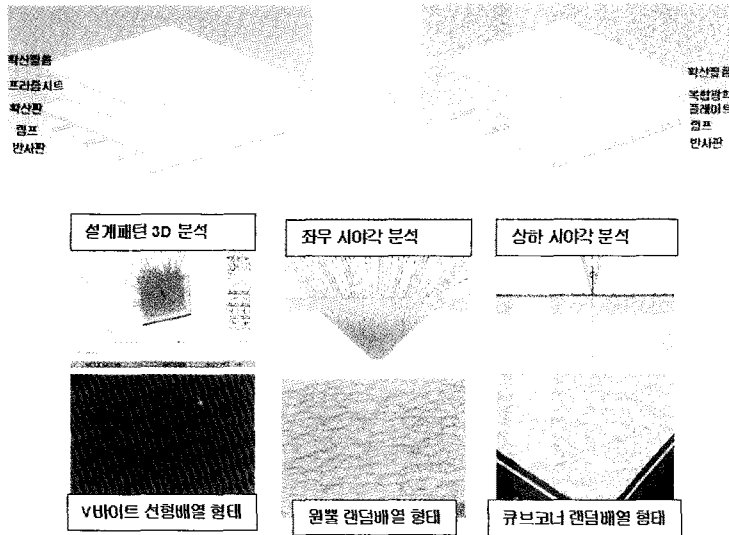


그림 4 미세가공시스템의 복합화 추세

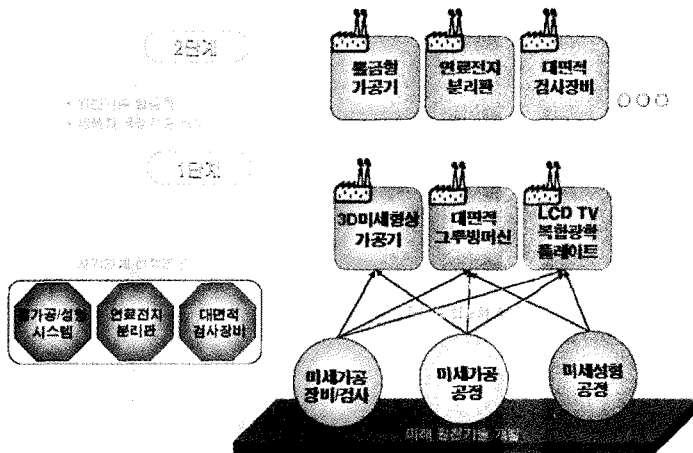


그림 5 대면적 미세가공시스템 과제구성 및 추진체계

능을 고려하면 충분히 달성 가능한 피치 사이즈라고 생각할 수 있다. 그러나 연속된 피치 사이즈의 변화량(피치 사이즈 오차)이 $\pm 5\%$ 이내 들어야 하므로 가공되는 전 길이에 대해 $\pm 1\mu\text{m}$ 이내의 피치오차가 요구된다. $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 제어되는 항온실에서 100mm의

스틸이 $1\mu\text{m}$ 의 열변위를 갖는 것을 고려하면 가공시스템에 요구되는 정밀도는 매우 엄격하다고 할 수 있으며 미세피치화에 따른 초정밀 장비/공정의 초정밀화 및 환경오차 보정기술의 병행개발이 필요하다.

한편 미세형상제품의 고기능화, 고부가가치화를 위한 미세형상의

복합화 요구도 크게 증가하고 있다. 그림 4는 BLU의 박판화를 위해 프리즘시트와 확산판을 하나의 복합플레이트로 대체하는 예를 보여주고 있다. 복합플레이트화하기 위해서 미세형상을 다양한 3차원 형상으로 바꾸어가면서 패턴, 시야각, 휘도 등의 변화를 시뮬레이션하고 적절한 복합형상을 결정하게 된다. 이 경우 3차원 형상어레이의 가공이 불가피하므로 가공장비나 성형기술도에 따른 공정조건 및 가공메커니즘을 개발할 필요가 있다.

이 밖에 각종 디지털렌즈, 연료전지용 분리판 등 다양한 미세형상제품들이 고성능화 또는 고효율화를 달성하기 위해 복합형상으로 설계, 제조되고 있는 상황이다.

대면적 미세가공시스템 개발사업

지식경제부는 2007년부터 중장기개발사업 등을 통합하여 전략기술 개발사업을 시행 중에 있으며 기계분야는 '생산시스템'이라는 전략기술명으로 전략기술사업에 포함되어 있다. 생산시스템분야는 디스플레이, 로봇, 나노/바이오와 함께 선행 개발되는 4대 시범사업분야로 선정되었으며 이에 따라 '대면적 미세가공시스템 기술개발' 과제가 생산시스템분야의 시범과제로 수행되고 있다.

앞서의 기술동향들을 고려할 때 대면적미세가공시스템에 요구

표 1 대면적 미세가공시스템 관련 핵심기술

기술분야	단위기술	관련 산업기술
미세가공 장비기술	초정밀 밀링가공 장비기술	초미세화/고기능화 설계, 다축오차 보정, 열오차 보정
	초정밀 그루빙가공 장비기술	시스템 대면적화 설계, 초정밀/고속 장축 이송계, 초정밀 다자유도 이송계, 공작물 자세보정, 초정밀 조립/운동오차 보정
	초정밀 롤가공 장비기술	시스템 장축화 설계, 초정밀 인덱싱주축, 초정밀 장축 이송계, 3D 미세가공 메커니즘, 초정밀 시스템 오차 측정/보정
미세가공 공정기술	미세 절삭 가공기술	대면적 평판 미세가공, 고속/고효율화 가공, 미세 복합형상가공, 고품위화 가공, 롤금형 가공, 미세가공모니터링, 미세공구
미세성형 공정기술	대면적 사출성형기술	대면적 미세패턴 성형, 대면적 박판 성형, 저압성형 금형 및 시스템, 고속 사출 시스템, 복합패턴 전주기술, 저유동성 소재 성형
	대면적 엠보싱기술	미세패턴 롤 성형, 광폭 롤성형, 광학 고분자소재 코팅, 연성 롤금형기술
미세측정/검사기술	미세형상 검사백색광 간섭기술	미세형상 검사 백색광 간섭 기술, 미세패턴 피치 측정기술, 측정/검사 시스템 고속화기술
	초정밀 레이저 길이 측정기술	초정밀 레이저 길이/변위 측정기술, 측정/검사 모듈 소형화기술, 초정밀·측정/검사결과 표준화기술
미세형상 제품기술	디스플레이용 광학소자	LCD용 복합 플레이트, 대면적 광학필름, 3D 렌티큘러 렌즈, 초고휘도 반사지
	에너지산업용 초정밀 부품	DMFC/PEMFC 연료전지 분리판, 태양광 집광판, 태양열 power 필름
	의료/정밀기기용 초정밀 부품	초정밀 미세 금형 및 부품, 디지털 X-ray형광판, 바이오 칩 채널 등

되는 핵심기술은 표 1과 같이 정리할 수 있다.

그림 5는 표 1의 핵심기술을 주요 개발내용으로 하는 대면적 미세가공시스템 개발 과제와 구성 및 추진체계를 나타낸 것이다. 학연이 주관하는 원천기술개발 3과제 및 기업이 주관하는 실용화 3과제 등 총 6과제로 구성되어 있다. 원천기술과제의 경우 해당 기술분야의 미래원천기술 개발, 실용화과제의 기술지원 및 차기 단계 실용화과제를 위한 선행연구 등 세 가지 미션을 수행하며 실용화과제는 3차원 미세형상 가공을 위한 초정밀 5축 미세가공기, 대면적 초정밀 패턴가공을 위한 대면적 그루빙머신 등 미세가공시스템 구성에 가장 먼저 필요

한 장비개발 2개 과제 및 조기 실용화 수요가 가장 높은 제품의 하나인 LCD TV용 복합 광학플레이트 개발 과제 등을 수행하고 있다. 1단계 기간은 3년이며 2단계에서는 1단계 원천기술과제에서 선행연구되고 있는 롤가공/성형시스템, 연료전지분리판, 대면적 검사장비, 태양광 집광판 등을 중심으로 실용화를 진행할 예정이다.

맺음말

대면적미세가공 시스템기술은 선진국이 시장을 독점하고 있는 기술로서 기술개발의 난이도가 매우 높으며, 또한 기술의 트렌드가 빠르게 변화하여 기술개발의 위험성이 매우 높은 기술이다. 반

면, 기술개발을 선점한다면 커다란 기술적, 경제적 파급효과를 기대할 수 있는 분야이다. 현재 국내 기업이 세계시장을 선도하고 있는 디스플레이를 중심으로 산업 수요가 확대되고 있으며 향후 기술 인프라의 확산과 함께 일반 초정밀 기계부품 및 금형 등은 물론 에너지산업, 의료기기 및 정밀기기용 초정밀부품 등 다양한 산업 분야 제품의 고부가가치화를 위해 기여할 것으로 기대하고 있다. 이 시점에서의 연구개발이, 특히, 거의 전량 수입에 의존하고 있는 장비기술을 중심으로 국내 관련 기업의 시장경쟁력 강화에도 크게 도움이 될 것을 기대하고 있다.