

# 대면적 미세절삭가공 기술

이 석 우 · 한국생산기술연구원 e-가공공정팀, 팀장

\_e-mail : swlee@kitech.re.kr

이 글에서는 대면적 미세형상가공 기술의 국내외 동향과 현재 전략기술개발 과제의 시범사업으로 진행 중인 대면적 미세가공공정 원천기술 개발의 과제계획에 대해 소개하고자 한다.

**현**재, 디스플레이, 광학, 에너지 분야의 제품기술 추세는 대형화, 융·복합화, 슬림화, 저가격화로 요약될 수 있으며, 대면적 미세형상의 정밀도 향상, 고품위 가공, 나노-마이크로 복합형상 가공기술 및 이를 위한 가공공정 지능화, 초정밀 미세공구 등 원천기술 등으로 기술개발이 진화되고 있다. 더 나아가, 향후 부품산업은 초정밀 미세 기계 가공, 반도체 공정, 고에너지 빔 가공 등 공정 및 장비가 융합된 형태로 지속적인 진화가 예상되고 있으며, 각종 제품의 대면적화에 따른 생산성 향상을 지원할 수 있는 기계가공 기반의 초정밀

가공기술의 중요성이 확대되고 있다. 이러한 주력산업에서의 대면적 미세형상 가공기술의 중요성 확대와 함께, 태양열 집광판, 연료전지용 분극판 등 에너지 분야의 신 수요산업에서도 관련 기술에 대한 시장수요 확대 및 관련 부품·소재 기업의 성장 추세가 급속히 진행되고 있다.

40인치급 LCD 패널의 경우 확산판만으로는 휘도 향상 및 슬림화/저가격화 요구에 한계가 있어, 확산·프리즘 기능의 복합 또는 LED 백라이트 지원을 위한 대면적 기능성 광학 플레이트 양산기술이 요구되고 있기도 하다. 또한, 차세대 에너지원으로서 국내에서도 높은 관심을 갖고 추진

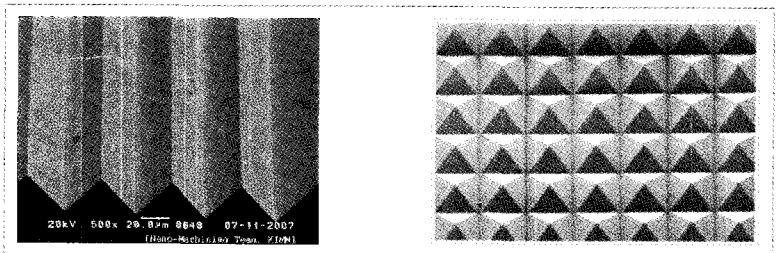


그림 1 대면적 미세패턴 예 - 프리즘패턴, 피라미드패턴 형상

중인 태양광 발전에 사용되는 집광렌즈는 미세패턴 렌즈의 대면적화가 에너지 효율성을 결정하는 핵심인자이다. 이러한 대면적 미세가공에 대한 요구에 발맞추어 대면적 초정밀 가공장비의 정밀도 향상으로 가공균일도 향상과 수요산업의 생산성을 지원할 수 있는 공정기술에 대한 집중적인 연구가 필요한 시점이다. 실제, 태양광 발전시스템의 핵심부품인 대면적/고효율 광학소자의 제작기술은 태양광 발전 파급의 핵심기술로서 미국 실리콘밸리의 경우 에너지 관련 기업이 2005년 18개에서 2006년 39개로 증가됨과 동시에 원천기술 개발 투자액도 1억 9,500만 달러에서 7억 2,700만 달러로 급증하고 있으며, 이러한 결과로 해당분야 기술을 독점하고 있다.

그러나 국내 기업은 LCD 등 일부 제품기술 분야에서 세계적

대면적 미세형상가공 기술은 LCD 및 광학기기의 대형화/고성능화, 태양광발전 및 연료전지의 고효율화를 위한 원천기술로서 특히, 신제품 개발 및 생산성 확보 경쟁하에서 가공공정 기술의 확보는 제품의 품질/생산성에 직결되는 핵심요소이다.

인 경쟁력을 확보하고 있음에도 불구하고, 대면적 미세가공의 핵심 원천기술을 보유한 일본, 미국 등 부품·소재 공급기업의 과점화 현상이 심화되고 있어 어려움을 겪고 있다. LCD 제품 시장의 경우 삼성, LG필립스 등 국내 대기업의 시장점유는 지속적으로 확대되어 약 40% 이상의 시장을 지배하고 있는 것으로 분석되나, 제품의 대면적화/슬림화 요구 및 치열한 저가격화 경쟁과 더불어 대형 디스플레이 패널의 이익률이 20%대에서 10%대 이하로 감소하고 있는 반면, 가공 및 성형 등 원천기술을 보유하고 있는 일본 등 선진국의 핵심부품 공급

기업의 이익률은 예전의 수준을 유지하고 있다. 이러한, LCD 핵심 부품 중 프리즘시트 및 휘도 향상필름은 3M이 10년 가까이 독점하고 있으며, 대면적 미세가공을 포함한 초정밀 가공기술 분야에서도 미국, 일본, 독일 등 3대 전통적 기계 산업 강국이 세계시장의 40% 이상을 지배하고 있는 독과점 형태가 유지되고 있다.

국내 기업은 초정밀 금형제작업체를 중심으로 장비를 보유하고 있는 일부기업만이 가공공정 노하우를 보유하고 있으며, 고가의 외산 장비 성능에 의존하여 원천기술 축적이 크게 미흡한 실

### 제품의 대면적화/미세피치화

미세평판(1m이하)


5~20 $\mu$ m V홈  
70 $\mu$ m 이하



온양면  
연료전지·반도체판

플레이트(1.5~2m)

대면적/슬림화 대응



휘도 향상 필름,  
고휘도 반사 필름

### 제품기능 융·복합/고기능화

새로운 광학설계 대응 2.5D 복합형상,  
마이크로-나노 복합패턴 요구



유대용기기  
→대형제품 파급



Micro Structure  
가공

**고기능성 (초대형) FPD / 광학 에너지(태양열/연료전지)**



평판 (수치)

대면적 플레이트 (25~15m)

경험/노하우



그림 2 대면적 미세 가공기술 개발의 필요성

정이다. 특히, 원천기술의 파급성이 매우 부족하여, 빠른 기술변화 대응에 한계를 드러내고 있다. 대기업은 빠른 고기능 제품의 빠른 시장 출시를 통한 경쟁력 확보를 위해 일부 핵심부품을 자체 개발하거나, 일본 등 선진기업과의 기술제휴를 통해 부품의 안정적인 조달을 지향하여, 국내 중소기업의 경쟁력은 제자리에 머무르고 있는 실정이다.

이에 따라, 제품의 고기능·복합화에 대응하며 미래 전략제품에 대해서도 고부가가치 복합 미세형상 생산기술의 생산성을 지원하기 위한 기술개발이 이루어지고 있다. 다양한 복합 광학계 설계요구와 함께 새로운 3D미세패턴, 메조-마이크로 복합형상 가공, 초고세장비·박판 미세가공·성형 기술이 실용화될 전망이며, 실제 복합광학계 렌즈, 초고휘도 광학필름, 유연화 등 신제품 상용화 및 기존 대면적 부품의 고기능화를 위한 3D 미세복합형상 생산기술이 개발·도입 단계에 있다. 또한, 대면적 미세형상 금형뿐만 아니라, 고부가가치 초정밀 마이크로 부품 생산을 뒷받침할 수 있는 고생산성이 실현될 것으로 예상되며, 장기적으로 새로운 신수요 산업에서의 초정밀 제품요구 증가로 새로운 난삭재 금형의 미세공 기술수요가 급증할 것으로 전망된다.

이러한 대면적 미세가공기술은 초정밀 장비의 진화와 함께 초정

밀 기계가공의 수백nm 이하 수준의 극한정밀도 확보와 생산성 한계를 극복하여 기술적 중요성과 적용영역이 지속적으로 확대될 전망이다. 정밀 광학부품 및 디스플레이의 지속적인 대면적/고효율화, 저가격화 요구와 함께 대면적 미세형상 가공기술은 제품의 기능성과 시장성을 결정하는 중요한 기술로 인식되고 있다. 실제, 디스플레이 핵심부품의 지속적인 가격하락이 예상되나 60인치 이상 고부가가치 제품의 수요 확대로 현수준의 지속적인 시장성장이 예상되며, 태양광발전 시장은 규모는 2010년까지 2배 이상 확대되고 그 이후에도 폭발적인 성장세를 지속할 것으로 분석되고 있다. 향후 부품산업은 새로운 초정밀 미세가공 메커니즘 개발 및 나노/반도체 장비·소재·공정 등의 신기술 융합화로 신산업 창출과 이에 따른 신규시장이 지속적으로 형성될 것으로 기대된다.

이에 대응하여 국내 기업 또한 관련 핵심기술의 해외 의존도를 탈피하고 원천기술의 확보가 전제된 제품 경쟁력 향상의 선순환을 창출하기 위한 노력이 경주되어야 하며, 국가적인 차원에서의 기술개발을 통한 원천기술 확보 및 확산이 필요한 시점이다.

## 세계 기술 동향

대면적 미세가공 기술은 현재

광학분야, IT부품분야, LCD분야 등에서 많은 시장을 형성하고 있으며, 모두 수십nm~수백 $\mu$ m급의 미세·초미세 패턴이 형성된 수십cm에서 수m까지의 대면적 금형 또는 제품을 고균일화·고품위 가공하는 것이 핵심 기술이다. 이러한 대면적 미세금형을 제작하기 위하여 기계적인 초정밀 가공기술이나 전자빔 등의 리소공정을 통한 반도체 공정기술이 모두 가능하나, 일반적으로 미세패턴의 크기 및 피치를 기준으로 하여 수십 $\mu$ m 이상일 경우 기계적인 가공이 사용되며, 제품 패턴 폭이 수 $\mu$ m 이하일 경우 전자빔 등의 리소공정을 통한 반도체 공정기술이 사용되고 있다. 현재, BLU, 대면적 광학렌즈 등 제품 생산에 있어 1m 이하의 대면적 금형 또는 제품 가공기술은 평판가공기를 이용하여 25 $\mu$ m 수준의 미세패턴 가공이 보편화되었고, 비교적 사이즈가 작은 휴대용기기 또는 17인치급 BLU에서는 5 $\mu$ m 수준의 고균일화 가공이 실용화되고 있다. 또한 1m 이상의 제품 생산성을 뒷받침하기 위한 대면적 롤금형 가공기술은 선진국의 경우, 25 $\mu$ m/2m 수준의 미세패턴 가공이 실현되고 있다.

현재, 선진국은 학·연 실험실 수준에서 1 $\mu$ m 피치 정밀절삭 기술 등 미세피치화 가공기술이 실현되고 있으며, 초음파 응용 등 새로운 복합 미세 절삭공정 및 마이크로 공구, 소재기술 등의 기

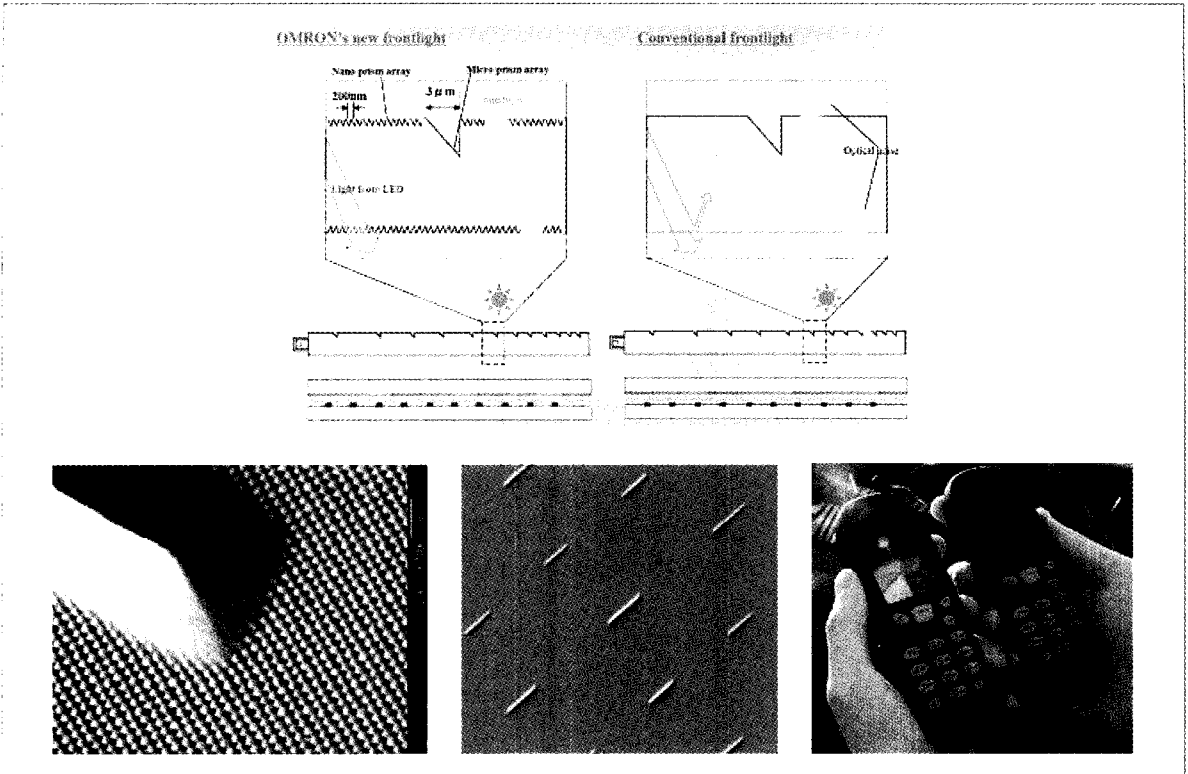


그림 3 FLU(Front Light Unit) 복합 광학 필름

술융합으로 기존기술로 불가능한 복합형상 일체가공 및 고능률화가 실현되고 있다. 이와 더불어, 기계적 오차요인을 최소화한 반복복정밀도 50nm 이하 초정밀 운동요소/오차보정 신기술과 지능화 기술 융합으로 기계가공의 극한정밀도 수준이 감소함에 따라, 상대적으로 경험적 노하우에 의존하던 초정밀 미세가공 분야에 대한 지능화 기술이 진전되어 제품개발 및 생산의 생산성 향상을 초점으로 기술개발이 이루어지고 있다. 또한, 미세가공 메커니즘이 고려된 대면적 미세형상의 가공프로세스 최적화를 위한 요소기술 개발이 이루어지고 있어, 기존

전세계적으로, 주력산업뿐만 아니라 에너지 등 신산업 분야의 대면적 제품·금형 생산을 지원할 수 있는 대면적 미세 가공시스템 관련기술 확보를 위한 치열한 경쟁이 이루어지고 있다.

의 장비운용의 복잡성을 배제하고 전문기술인력의 노하우에 의존하던 가공프로세스 기술을 보편화시키고 초정밀 가공기술의 파급성이 극대화하기 위해 노력하고 있다.

대면적 미세가공 원천기술은 제품의 대면적화/미세피치화에 대응한 고균일·고품위 가공기술 및 이를 위한 새로운 절삭메커니즘 및 복합화 기술, 초정밀 공구

설계 및 제조기술, 미세적살 해석 및 모니터링 기술, 3D 메시형상 및 난삭재 가공기술, 가공프로세스 최적화 기술 등으로 구성되며, 이러한 복합적 요소기술을 동반한 양산성 확보를 위한 기술개발 경쟁이 치열히 전개되고 있다.

### 국내 기술 동향

현재 초정밀 제조 장비의 국산

화율은 30% 이하이며, 초정밀 가공 장비의 경우는 더욱 열악한 상황으로 주요 장비는 대부분 미국, 유럽, 일본 등에서의 수입에 의존하고 있다. 특히, LCD, 대면적 광학부품 등은 시장경쟁에 따라 단기적 대응에 급급하여 구조적으로 근본적인 경쟁력 제고를 위한 원천기술 확보에 대한 동기 부여 및 노력이 상대적으로 부족하다. 또한, 초정밀 가공기술을 보유하고 있으나, 국내 중소 부품 전문메이커에서는 원천기술력 부족으로 단순부품 위주의 생산, 응용기술 위주의 기술개발에 머무르고 있는 실정이다. 반면, 첨단 초미세 부품 가공 관련 산업은 관련 산업에의 파급효과가 크기는 하나, 국내에서는 반도체, 광 관련 부품이나 디스플레이용 부품 이외에는 주변 관련 산업이 충분히 성숙되어 있지 않아 산업체에서 단독으로 기술개발 및 장비 도입을 통한 사업화를 이루기가 쉽지 않은 분야이다. 이러한 원천기술력 취약점은 태양광발전, 연료전지의 핵심 부품인 대면적 집광렌즈, 분광판 등의 개발에 필요한 원천기술 약화로 이어지고 있는 상황이다.

국내 초정밀 가공기술은 정부 과제의 일환으로 두산인프라코어에서 개발한 초정밀 가공기 Nanoturn 300U, 3축 초정밀 자유 곡면 가공기를 개발한 바 있으며, 한국기계연구원 및 한국생산기술연구원 등에서 대면적

미세형상 가공기, 초정밀 웨이퍼 연삭기 등의 개발에 필요한 요소 기술을 개발한 바 있으나, 초정밀 미세가공 공정기술 자체에 대한 원천기술 개발은 매우 미미한 실정이며, 이에 관련한 연구 진행이 시급하다.

이러한 국내 여건 속에서 최근 들어 대면적 미세형상 가공기술과 관련한 다양한 움직임들이 속속들이 나타나고 있다. 우선 정부에서 본 기술의 중요성을 인식하고 대면적 미세 평판가공기 개발 및 공정기술 개발을 위한 과제가 추진된 바 있으며, 결과적으로 대부분 일제가 점유하고 있는 국내 시장 상황을 반전시킬 수 있는 대면적 미세 평판가공의 국산화를 달성하였고, 다양한 미세패턴에 대한 가공조건 선정 및 공구 설계 기술 등이 축적된 것으로 평가되고 있다. 이와 동시에 초정밀 가공기술을 보유하고 있는 중소기업을 중심으로 비록 고가의 외산장비에 의존하였지만, 다양한 미세패턴에 대응하는 평판 금형을 가공하기 시작하면서 각 기업 나름대로 대면적 미세 가공 공정 기술을 축적하고 있다. 그러나 미세패턴을 가공하는 대부분의 업체는 중소기업으로서 체계적 기술개발 여력이 부족하며, 특허회피 및 기술개발을 통한 원가 절감을 목표로 새로운 패턴이 설계된 경우 경험과 know-how와 같은 개별 기업에 축적된 암묵지에 의존한 가공기술을 적용함으

로써 수많은 시행착오를 거치고 있으며 이는 생산성, 품질, 납기와 직결되는 업체의 수익성에 위협요소로 작용하고 있는 실정이다. 또한, 미국의 3M사에서 거의 독점하고 있는 롤 금형을 이용한 미세패턴 가공 및 성형과 관련하여도 국내의 연구소에서 시험적인 접근이 이루어지고 있으며, 관련 업체에서도 초정밀 롤 금형 가공기를 도입하기 시작하였다.

## 대면적 미세가공공정 원천기술 개발

대면적 미세형상 가공에 대한 국내외의 높은 관심과 필요성이 제기됨에 따라서, 정부에서는 2007년부터 시작된 전략기술개발과제의 시범과제 중 하나로 '대면적 미세형상 가공시스템'을 선정하여 추진 중에 있으며, 본 과제는 총 6개의 세부과제로 구성되어 있는데, 그 중 초정밀 가공과 관련한 공정기술을 개발하는 과제는 다음과 같이 구성되어 있다.

최근의 국내 관련 산업의 현황에서도 알 수 있듯이 세계 최고의 생산능력을 갖고 있는 디스플레이 산업에 대응하고 많은 부분 수입에 의존하고 있는 광학필름의 국산화를 위한 첫걸음으로서 대면적 롤 금형 및 대면적 평판 가공에 대한 수요가 기하급수적으로 증가하고 있는 추세에 있는 점을 감안하여, 본 과제는 크게

대면적 롤 금형 가공과 대면적 평판 가공의 고균일화 및 고품위 가공을 위한 가공공정 기술을 개발하는 부분으로 구성되어 있다.

우선 롤 금형 가공기술은 미세 패턴의 피치가 20 $\mu$ m를 갖는 2m급의 롤 금형의 고균일화 및 고품위 가공을 위하여 대면적 미세패턴의 균일도에 영향을 미치는 공정 지배인자를 도출하는 것을 시작으로, 동도금 공정을 이용하여 제작한 무산소동 재질의 롤 금형 원소재를 단결정 다이아몬드 공구를 이용하여 장시간/장거리를 가공하였을 경우 생산성을 극대화하면서도 공구의 마모를 저하시킬 수 있는 가공조건 선정과 공구형상 최적화를 도모하고자 한다. 특히, 대면적 롤 금형은 단 한 번의 잘못된 가공으로 인

하여 롤 금형 전체를 재제작해야 하는 경우가 발생할 수 있고, 재제작까지는 아니더라도 후공정인 성형의 수율을 결정하는 중요한 제품이므로, 가공중의 버(burr) 발생이 엄격하게 제한되어야 하며 가공 중 연속적으로 발생하는 칩(chip)의 처리에도 각별한 주의가 필요하며, 이러한 가공 중 발생하는 문제점들을 사전에 방지하기 위한 가공조건 선정 및 공구형상 설계, 필요한 경우 부가적인 장치의 개발이 필요하다. 또한, 현재까지는 롤 금형은 2차원 형상인 프리즘 패턴에 주로 적용되고 있으며, 선도업체인 3M이 피라미드 패턴에 적용한 것으로 알려져 있는데, 본 과제를 통하여 3차원의 다양한 패턴에 대응할 수 있는 가공기술을 개발하고자

한다. 대면적 롤 금형의 미세패턴이 향후 복합화 되면 이에 대응할 수 있는 최적의 가공경로생성 기술이 개발되어야 한다. 이를 위하여, 본 과제에서는 3D 미세패턴 가공에 대응할 수 있도록 미세패턴의 패턴형상을 컴퓨터가 인식할 수 있도록 토폴로지를 구성하며, 이를 바탕으로 하여 서브  $\mu$ m급의 공구경로생성이 가능한 소프트웨어를 개발하고자 한다. 다양한 미세패턴에 대하여 최적의 가공프로세스를 수립할 수 있는 알고리즘을 개발하여 공구선택 등에서부터, 가공조건 및 가공계획 등을 자동으로 생성할 수 있는 모듈과 통합되어 개발될 예정이며, 최적화를 위하여 실제 가공 실험 데이터 및 시뮬레이션 데이터를 기반으로 가공기술을 지능

120\*(2400-1800) 대응을 위한 3m급 롤 금형의 무결점(Defect Free)가공 기술

Defect Free 가공 실연을 위한 기술 : Chip Control, Burr/공구마모 메커니즘, 가공상태 실시간 모니터링

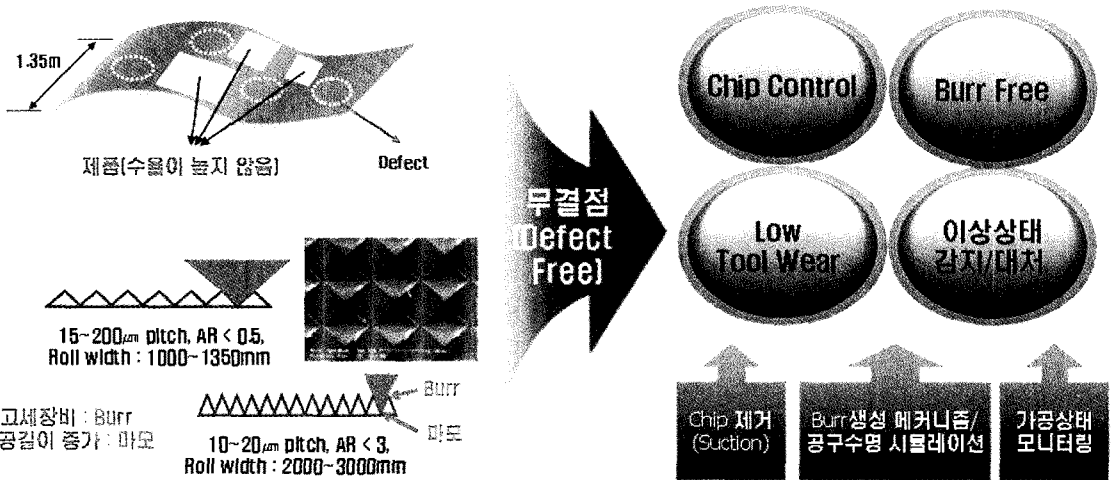


그림 4 대면적 롤 금형 가공의 요구기술

화하고자 한다. 이러한 가공기술 지능화에는 미세패턴 가공의 절삭 메커니즘 해석 및 시뮬레이션 기술이 포함되며, 버의 생성 및 공구 마모 메커니즘을 규명하기 위한 실험, 가공 특성 DB구축, 시뮬레이션 결과와의 비교·검증 작업이 진행된다. 또한, 대면적 롤금형의 미세패턴 가공 중 발생할지 모르는 다양한 문제를 미연에 방지하고 발빠른 문제 해결을 통하여 생산성을 향상시키기 위하여 실시간 모니터링 기술을 개발하여 실제 현장에 적용하고자 한다. 이를 위하여 AE, 가속도계 등 멀티센서를 활용한 미세가공 모니터링 방안을 정립하고, 대면적 롤금형의 가공길이에 따른 가공특성 추이분석을 위한 다차원 분석기술을 개발할 예정이다.

대면적 평판가공기술 분야에서는 기존의 미세 프리즘 패턴 가공기술 부분에서 벗어나 고세장비를 갖는 미세패턴의 가공기술을 개발하는 것을 목표로 하고

있다. 고세장비를 갖는 미세패턴은 우선 휴대폰, 컴퓨터, ATM 등 선택적 협 시야각 보안 필름에 주로 사용되는데 일반적으로 패턴의 폭이  $80\mu\text{m}$  이하, 높이가  $200\mu\text{m}$  이상인 것으로 알려져 있으며, 광학 필터, 그레이팅, 광통신용 도파로, Wire grid type 편광 소자(수백 나노급)로도 적용 가능하며 마이크로 렌즈 및 그 외 각종 특이 형상 구조물에도 적용이 가능하다. 특히, 현재의 편광필름은 50% 이상의 광 손실을 야기하고 있으나, 와이어 그리드 편광필름은 손실되는 50% 빛을 반사시켜 순환시킴으로써 광이용 효율을 기존보다 약 30% 정도 향상시키는 것으로 알려져 있다. 고세장비 패턴을 가공하기 위해서는 고세장비를 갖으며 강성이 높은 미세 공구를 설계/제작하는 기술, 고세장비 구조물의 가공 중 변형 방지 기술, 버 생성 제한, 조도 향상, 대면적 가공면의 균일화와 함께 생산성을 높일 수 있는 가공기술을 개발하고

자 한다. 이외에도 최근 들어 미세패턴 금형의 수명향상을 도모함과 동시에 고온 성형을 가능하게 하기 위하여 고경도의 난삭재 소재의 미세가공을 위한 연구가 일본을 중심으로 이루어지고 있는데, 본 과제에서도 GC (Glassy Carbon) 등의 초난삭재에 미세패턴 가공을 위한 기술을 개발하고자 한다. 또한, 향후 연료전지 분극판 등 활용도가 높아질 것으로 예상되는 비직선 미세패턴을 가공하기 위하여 초정밀 밀링공정을 이용한 가공기술 개발도 병행하여 진행하고자 한다.

본 과제를 통한 기술개발을 통하여, 대면적 미세형상 제품·금형의 고품위·고균일 가공과 생산성 향상을 위한 초정밀 가공프로세스의 최적화로 핵심 원천기술의 해외 의존도를 탈피하고, 미래 전략산업에 대응한 대면적·초미세피치화, 3D 미세 복합형상 및 신소재에 대응한 신공정기술 융합으로 국내 제조업 경쟁력 강화에 기여할 것으로 기대된다.