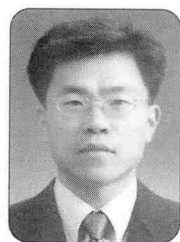


초정밀 적외선 광학계의 국산화 기반구축을 통한 천문우주 광학기술 향상에 기여

초정밀 가공장비 기술동향과 한국기초과학지원연구원의 연구·개발 현황

초정밀 가공기술은 선진국에서 기술이전을 회피하는 가장 심한 분야로 광산업의 핵심부품인 반사경, 비구면 렌즈, 광통신매체의 가공과 관련하여 국내의 초정밀 관련 기술의 한계에 의하여 전적으로 수입에 의존하고 있다. 이에 한국기초과학지원연구원은 2005년부터 기존의 측정분석위주의 단순지원에서 국가적 수요에 대응하는 대형첨단연구장비의 국산화를 위한 기술개발에 역점을 두고 있다. 이를 위한 기반기술로서 초정밀 가공 및 측정장비의 설치운영을 통한 첨단연구장비의 핵심부품을 개발하고 있다. 특히 천문관측용 적외선(IR) 광학계의 초정밀가공기술 개발을 통한 항공우주용 광학계의 국산화 기술 향상에 기여하고 있다.



글/한국기초과학지원연구원 김건희 박사

나노단위의 위치제어를 통한 초정밀 가공기술 분야는 현재 전 세계적으로 개발 중에 있는 기계 가공 분야에서 최상의 정밀도를 도출할 수 있는 기술이자 NT, ST, IT, BT 분야의 핵심기초기반기술로서 연구계 및 학계, 산업계에서 필수적인 기술로 자리 잡고 있다. 초정밀 가공기술은 ▶NT분야의 반도체, 레이저, 첨단 계측 및 측정기기, 신소재 개발 등과 ST분야의 위성용 카메라, 우주항공 부품, Gyroscope, 라이다, 천체망원경 등 ▶IT 분야의 광 정보저장기기, 컴퓨터 디스크, VTR, Camera 등 ▶BT 분야의 NSOM (Near-field Scanning Optical Microscopy), Photon tunneling effect, X-ray 현미경 개발 등 다양한 분야의 초정밀 핵심요소부품개발에 필수기술로 활용되고 있다.

1. 초정밀 가공시스템 구축

한국기초과학지원연구원에서는 단순한 측정분석 지원업무에서 적극적인 지원과 세계적 수준의 분석기술 확보를 위하여 핵융합장치, 첨단질량분석기와 같은 대형 첨단 연구장비개발사업을 진행중에 있으며, 이를 위한 핵심부품의 개발을 위하여 초정밀 가공시스템을 구축하였다. 1996년부터 초정밀 가공사업을 준비하여 1997년 향온·향습 클린룸의 초정밀 가공실을 신축하고, 초정밀가공 및 측정장비 설치·운영을 통

한국 광학부품 산업의 현재와 미래(下)



그림 1. 초정밀 가공 부품



그림 2. Data Acquisition and Analysis System

하여 초정밀가공 관련 30여편의 논문게재와 54편의 학술발표, 3건의 특허등록을 비롯하여 박사 8명, 석사 10명의 초정밀가공 관련 전문인력 양성에 힘써왔다. 또한 우주용 적외선 냉각시스템 개발 등의 40여건의 공동연구 및 산업체 수탁연구 수행을 통하여 국내 초정밀가공 산업기술 향상에 기여하고 있다.

X, Y, Z, C, B축 제어를 통한 나노단위 기계가공으로 국내 최대 유일의 자유곡면 초정밀 가공장비인 Freeform 700을 비롯한 Nanoform 600, 자유 형상 폴리싱머신과 Laser Interferometer, Form Talysurf, NT2000 등의 나노단위 형상측정시스템을 갖추고 있다.

초정밀 가공기술은 다양한 사업 분야에 적용하고 있으나, 전문 특성화를 위한 특화 기술이다. 적외선 광학계의 초정밀 가공, 조립, 평가기술 개발을 위하여 그림 2와 같은 초정밀가공 및 측정시스템을 구축하였으며, 각종 장비의 세부 사양을 표 1에 기술하였다. 초정밀 가공기술은 선진국에서 기술이전을 회피하는 가장 심한 분야로 광산업의 핵심부품인 반사경, 비구면 렌즈, 광통신매체의 가공과 관련하여 국내의 초정밀 관련 기술의 한계에 의하여 전적으로 수입에 의존하고 있다.

표 1. Comparison of measured roughness data

Freeform 700	Surface Measurement system NT2000
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 5축 제어를 통한 3차원 자유곡면 형상의 나노단위의 기계가공 1) Turning <ul style="list-style-type: none"> - 최대 가공 유효 직경: 700mm - Surface roughness : Rmax 0.01μm(Al, alloy) 2) Grinding <ul style="list-style-type: none"> - 최대 가공 유효 직경: 300mm - Surface roughness : Rmax 0.05μm(SF-12 Glass) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 광학계를 이용한 비접촉 방식으로 국부영역의 나노표면 형상을 측정하는 장비 - Vertical resolution : 0.1nm 이하 - 최대측정범위 : 100mm * 100mm - 수직방향 측정 폭 : 0.1nm - 150μm - 반복정확도 : 0.1nm - 초점이송방식 : 자동
Nanoform 600	Laser Interferometer WYKO 6000
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 2축 제어를 통한 선삭 및 연삭 경면가공 1) Turning <ul style="list-style-type: none"> - 최대 가공 유효 직경: 600mm - Surface roughness : Rmax 0.01μm(Al, alloy) 2) Grinding <ul style="list-style-type: none"> - 최대 가공 유효 직경: 300mm - Surface roughness : max 0.05μm(SF-12 Glass) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 광간섭을 이용한 평면 및 구면 형상 측정기 - Wave length : 632.8nm - 정밀도 : λ/100 PV at 632.8nm - Resolution : λ/1,024 - Transmission sphere : f/0.75, f/3.2 f/7.0
KRP-2200F	Form Talysurf 접촉식 표면거칠기 측정기
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Glass 및 금형강의 폴리싱을 통한 위성 카메라 및 금형코어의 나노단위 표면연마 - 가공정밀도 : Ra 1nm, PV: 50nm - X×Y×Z(400×200×150) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 접촉식 비구면 형상 측정기 - 측정 범위 : 120mm - Resolution : 12.8nm/10mm - Standard stylus : 1.5-2.5μm radius



그림 3. 초정밀 가공 공동연구 결과

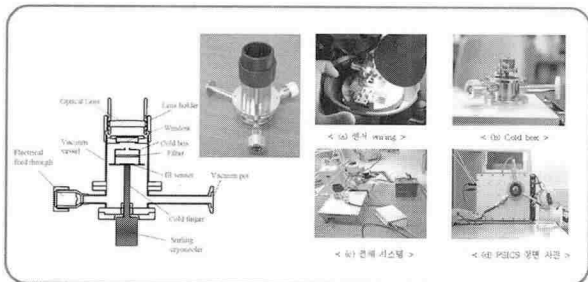


그림 4. 우주 적외선 냉각시스템 구조

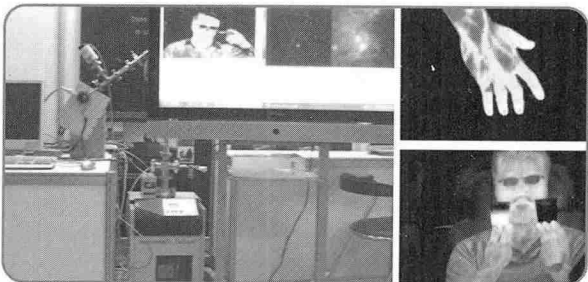


그림 5. 우주 적외선 냉각시스템 및 촬영영상

이에 한국기초과학지원연구원의 초정밀가공팀은 수입 의존성이 강한 초정밀 연구용 부품의 국내 개발기반을 확보하고, 연구 장비의 핵심부품 개발·보급을 통해 국내 초정밀 가공기술 향상 및 외화 절감과 산업기술의 국내 전수를 목표로 하고 있다. 이를 위해 나노표면의 핵심장비인 초정밀가공 및 측정장비를 설치·운영하고 핵융합, 항공우주, 반도체 및 첨단연구 장비 핵심부품의 나노단위 기계가공과 신소재 가공기술 개발 등에서 국가적 공동연구장비로 활용함으로써 대학, 연구소, 산업체의 연구개발 능력 향상과 기술

협력 체제를 구축하여 국내 초정밀 산업발전에 이바지 하고 있다.

2. 초정밀 적외선 광학계 공동연구

가. 우주망원경 냉각시스템 개발

국가우주개발 중장기 계획에 우주 또는 지상을 관측하는 적외선 우주 망원경 개발의 선행 연구로 지상 테스트용 적외선 망원경 냉각시스템을 설계·제작하였다. 지상 테스트용 냉각시스템 개발을 통해 위성탑재용 냉각시스템의 개발에 필요한 기법 확립과 진공 시험 및 장기운전 테스트 등의 시험이 가능하다. 이와 함께 초정밀 최적가공조건을 찾아 우주망원경의 적외선 열화상 카메라에 적용되는 비구면 렌즈의 형상정밀도 향상을 도모한다. 이와 같은 냉각시스템 및 요소 기술개발을 국내에서 개발하면 그 동안 외국에서 완성시스템으로 구입하던 위성 탑재용 적외선 망원경을 국산화 할 수 있으며 국내에서 생산된 적외선 센서를 산업 및 군사용으로 활용할 수 있는 기반이 마련된다. 연구개발 결과 Ge 소재 가공에 관한 초정밀 절삭 특성을 통하여 Ge의 최적 가공조건은 노우즈 반경 R0.8mm, 절삭 속도는 180m/min, 절삭 깊이는 0.5 μ m 일 때 가장 양호한 표면거칠기를 얻을 수 있었다. Ge 렌즈를 비구면 형상으로 가공 완료하였으며, 평균 사용파장 4 μ m 영역으로 비구면 초정밀가공 형상정밀도 PV0.32 μ m로 가공하여 시스템을 평가하였다. 본 기술은 천문연구원에서 시스템 설계 및 조립, 한국기초과학지원연구원에서 광학계 및 냉각시스템 설계, i3시스템에서 센서 및 전자 신호처리, 기계연구원에서 개발한 냉동기를 사용하여 순수 국산부품개발을 통한 우주용 적외선 광학시스템의 시제품을 개발하였다.

나. 지상망원경용 근적외선 카메라 개발

적외선 영역의 천체를 관측하기 위하여 지상용 광학 망원경에 부착되는 근적외선 카메라 카시닉스(KASINICS : KASI Near-Infrared Camera System)를 한국천문연구원과 공동으로 개발하였다.

한국 광학부품 산업의 현재와 미래(下)

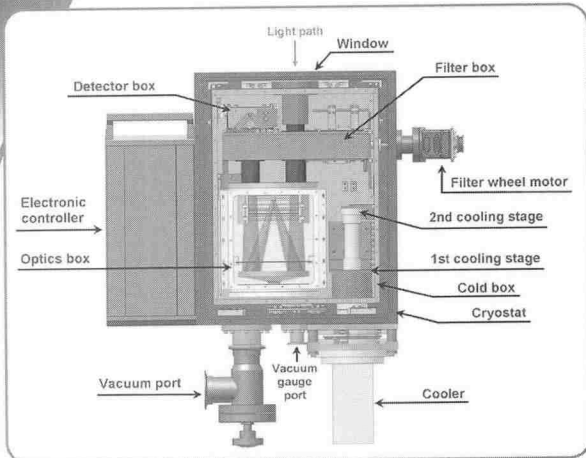


그림 6. KASINICS의 개략 도면

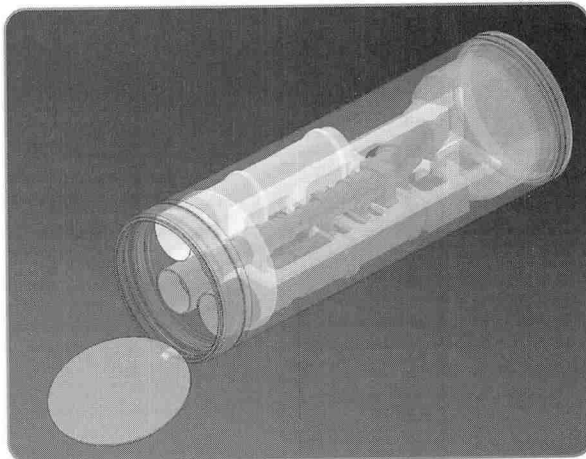


그림 7. 로켓 경통 안에 위치한 CIBER 기기의 투시도

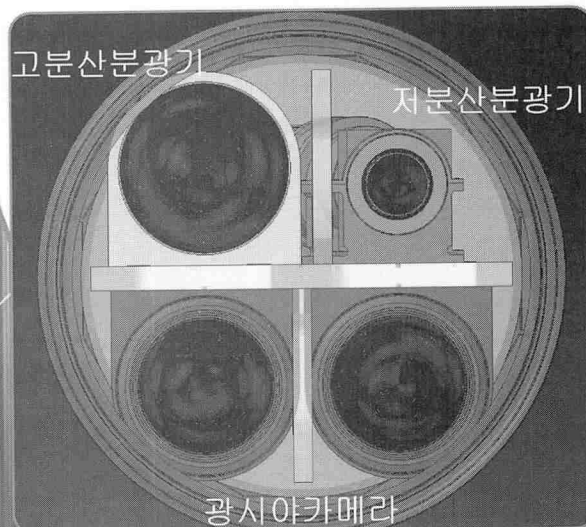


그림 8. CIBER의 단면도

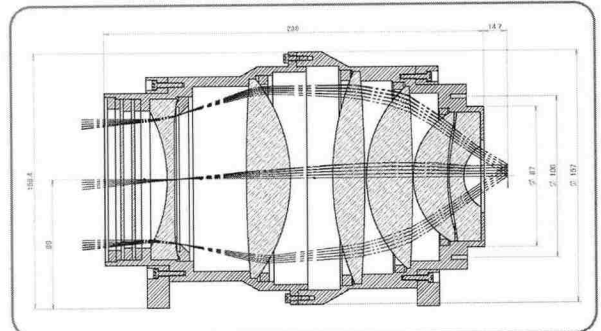


그림 9. CIBER 고분산 분광기 광기계부 설계도

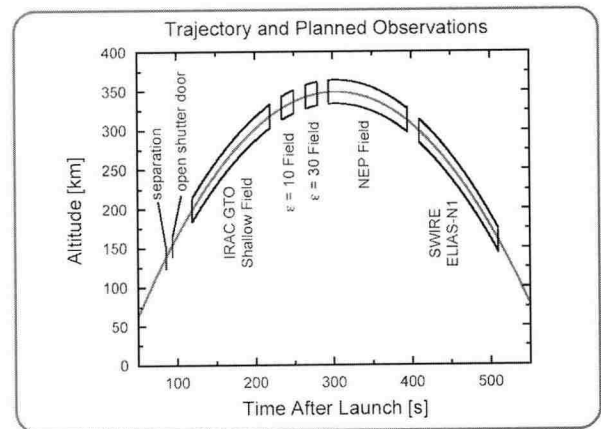


그림 10. 로켓 궤도 및 CIBER 관측 계획

개발된 카시닉스는 2006년 소백산 천문대에 설치하여 시험관측을 수행하였다. 본원에서는 카시닉스의 주경과 부경을 초정밀 가공기로 가공하여 제작결과를 측정하였고, 형상 정밀도 측정은 헬륨네온의 632.8 nm가 기본파장인 WYKO사의 레이저 간섭계를 활용하였다. 형상정밀도 측정 결과 주경은 PV110 nm, RMS 17.7 nm, 그리고 부경 PV 17 nm, RMS 6.1 nm의 값으로 측정되었다.

다. 우주용 적외선카메라 국제공동 개발 및 로켓 관측

한국천문연구원, 미국 NASA, 일본 천문우주연구원과 국제공동연구로 개발 진행 중인 CIBER는 우주관측 수행을 목적으로 2008년 상반기 미국 NASA의 로켓에 탑재하여 발사할 예정이다. 천문연구원에서는 시스템 제어를, 한국기초과학지원연구원에서는 적외선 광학계를 제작하여 은하생성 등 우주관측 연구에



사용될 계획이다. 6매의 구면 및 비구면 렌즈로 구성된 적외선 광학계의 초정밀 연삭과 폴리싱을 통하여 형상정밀도 PV150nm이하로 제작하고 77K의 극저온에 견딜 수 있는 코팅처리를 통하여 광학부품을 완료해야 한다. 사용되는 소재는 Quartz이며, 사용 파장은 850 nm 이다. 본원은 일본천문우주연구원과의 국제공동연구를 통하여 적외선 광학모듈의 조립과 평가 기술을 향상시킬 수 있는 좋은 기회를 갖게 되었다. 이번 과제를 성공리에 수행하여 국내최초로 적외선광학계를 국산화하여 국내 비구면 적외선광학계의 기술 수준을 한 단계 발전시키는 계기를 마련할 계획이다.

3. 결론

미국을 비롯한 선진국에서는 대구경 적외선카메라가 국가안보 분야에 활용되고 있으며 관련기술의 공개를 기피하고 있다. 그러나 천문우주관측을 위한 국제공동기술을 통하여 일본 및 미국과 같은 선진국으로부터 기술이전 및 검증을 통하여 국내 적외선 광학계의 제작기술을 향상시키고 전세계적으로 관심을 갖고 있는 적외선 우주관측 기술의 급속한 성장을 통하여 국가적 위상을 향상시키고자 한다.

이를 위하여 초정밀가공팀은 적외선 핵심 광학계로 사용되는 알루미늄합금 대구경 비구면 반사경과 3차원 형상의 자유곡면 반사경 및 각종 비구면 렌즈 초정밀 가공, 광학계 조립, 측정 평가 분석기술 기반시설 확보를 통하여 국내 유일, 세계적 수준의 초정밀 적외선 광학센터를 구축하고자 한다.

[참고문헌]

[1] 이후상, 외, "초정밀 절삭가공기술", 기계와 재료, 2권 3호, pp.82-94, 1990
 [2] N. Ikawa, S. Shimada, "Recent trends in diamond tool technology", Proceedings of the international congress for ultra precision technology, Aachen, Frg., pp. 126~142, 1988

[3] Ikawa, "Ultraprecision Metal Cutting - The Past, the Present and the Future", ann. CIRP, Vol.40, pp.587~594, 1991
 [4] Moriwakint, T., and Shamoto, E., "Ultraprecision Diamond Turning of Stainless Steel by Applying Ultra Sonic Vibration", Annals of the CIRP, Vol. 40, pp.559-562, 1991.
 [5] Tlusty, J., Smith, S., and Zamudia, C., "Operation Planning Based on Cutting Process Model", Annals of the CIRP, Vol. 39, pp. 517-521, 1990.
 [6] Geon-Hee Kim, Kwon-Hee Hong, Sang-Suk Kim, Jong-Ho Won, "Nano-turning Technology Using Ultraprecision Machining System", Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 19, No. 1, January pp. 2002.
 [7] Sugano, T., and K. Takeuchi, "Diamond Turning of an Aluminum Alloy for Mirror" Annals CIRP, Vol.35, pp.17-20, 1987.
 [8] Tlusty, J., Smith, S., and Zamudia, C., "Operation Planning Based on Cutting Process Model," Annals of the CIRP, Vol. 39, pp. 517-521, 1990
 [9] 이윤우, "고해상도 위성카메라 평가 기술", 측정표준, 제22권, 제2호, pp. 29-41.
 [10] 김건희 외5인, "초정밀 가공기를 이용한 알루미늄 반사경의 절삭특성" 한국정밀공학회 2001년도 춘계학술대회는 문집 pp.1125-1128
 [11] 김동락, 양형석, 김건희, 김효식, 양순철, 신현수, 이인제, 이상용, 양진석, 2005, 우주망원경 냉각시스템 설계 및 제작, 협동연구과제 보고서
 [12] 김건희, 김효식, 양순철, 이규황, 복민갑, 이인제, 양진석, 김명상, 이상용, 신현수, 2006, 천문관측용 적외선 카메라 시스템 제작기술개발에 관한 연구 (대전 : 한국기초과학지원연구원 위탁연구개발과제보고서)
 [13] 박수중, 진 호외 14인 2005. 적외선관측기술 개발(대전 : 기관고유사업보고서)
 [14] 과학기술부. 대형광학망원경개발사업 연구개발 사업 연구 계획서.
 [15] 기초기술이사회, "우주용 적외선카메라 개발 및 로켓관측", 정책연구과제 계획서.