

## 한국표준과학연구원에서의 광학 연구

### KRISS Research Program On Optical Metrology

이호성

한국표준과학연구원, 광기술표준부

hslee@kriss.re.kr

한국표준과학연구원(이하 표준연) 광기술표준부에서는 광기술 및 광응용 기술을 이용하여 정확한 측정표준 확립 연구, 첨단 측정과학 연구, 측정표준의 국내외 보급 업무 등을 수행하고 있다.

측정표준 확립 연구는 표준연의 가장 기본적인 임무인데 우리 부에서는 7개의 기본단위 중 길이 표준 (단위: 미터), 시간 표준 (단위: 초), 광도 표준 (단위: 칸델라), 그리고 1234 K 이상의 온도 표준 (단위: 켈빈)을 책임지고 있다.

광기술표준부는 총 4개 그룹으로 이루어져 있다. 그 중 3개 그룹 (길이, 시간주파수, 광도복사도)에서는 측정표준 기본단위에 직접 관련된 연구를, 나노광계측 그룹에서는 첨단 측정과학과 관련된 연구를 수행하고 있다.

우리 부의 인력은 2005년 6월 현재, 55명의 정규직과 58명의 비정규직으로 구성되어 있다. 정규직 중에서 박사는 39명으로 71 %를 차지한다. 비정규직에는 33명의 석.박사과정 대학원생과 6명의 박사후 연구원이 포함되어 있다.

우리 부의 예산은 2004년도를 기준으로 기본사업 연구비로 약 47억원, 특정사업 연구비로 약 30억원, 수탁사업 연구비로 약 17억원, 교정 및 시험 서비스 수입이 약 13억원이고, 인건비는 약 26억원이다.

우리 부는 측정표준과 관련된 국제회의에 적극적으로 참여하고 있다. 국제도량형 위원회 (CIPM) 산하의 길이 자문위원회 (CCL), 시간주파수 자문위원회 (CCTF), 광도복사도 자문위원회 (CCPR)의 정식 위원으로 활동하고 있다. 이 회의는 프랑스 파리에 소재한 국제도량형국 (BIPM)에서 정기적으로 개최되는데, 최근에는 각 자문위원회 산하의 작업반 (Working Group) 활동에도 참여하고 있다. 그리고 아시아 태평양 측정학 프로그램 (APMP)에서 세 개 측정표준분야 기술위원회 위원으로서 선도적인 역할을 담당하고 있다.

각 그룹에서 수행하고 있는 연구내용을 간략히 소개하면 다음과 같다.

길이그룹에서는 길이 및 파장 표준으로 요오드 안정화 헬륨-네온 레이저 (633 nm)를 개발하여 게이지 블록의 길이를 수십 nm 수준으로 측정하는 게이지 블록 간섭계의 광원으로 사용하고 있다. 이 외에도 루비듐 안정화 레이저 (778 nm), 광통신 파장 표준을 위한 아세틸렌 안정화 레이저 (1550 nm) 등을 개발하였거나 개발 중에 있다.

반도체 산업의 발달에 따라 수십 나노미터 까지 정확하게 측정하는 기술이 필요하게 되었다. 이런 영역에서도 길이 표준에 소급될 수 있도록 하기 위하여 원자간력 현미경 (Atomic Force Microscope; AFM)에 헬륨-네온 레이저를 부착한 M(metrological)-AFM을 개발하고 있다. 또한 M-AFM의 실리콘 탐침에 수 nm 두께의 탄소 나노튜브를 부착하여 측정 분해능을 대폭 높이는 연구도 하고 있다. 그리고 광 간섭계와 엑스선 간섭계를 결합한 복합간섭계를 개발하여 수 mm 영역에서 측정 분해능을 수 pm ( $1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$ )까지 높일 수 있게 되었다. 회절격자의 피치 간격 (100 nm 급)을 측정하기 위해 자외선

레이저를 이용한 회절계를 구성하였으며, 가시광 회절계와 비교 측정한 결과 약 10 pm 이하에서 서로 일치한다는 것을 알았다.

시간주파수 그룹에서는 세습원자시계를 개발하는 연구를 수행하고 있다. 이 연구를 위해서는 세습원자의 에너지 준위에 안정화된 반도체 레이저가 필수적이다. 이를 위해 반사형 회절격자를 외부 공진기로 사용하는, 852 nm, 894 nm의 반도체 레이저를 10여대 만들었는데, 환경조건 (온도, 습도)이 유지되는 한 장기간 안정적으로 동작한다. 이 레이저를 이용하여 광펄핑 세습원자시계를 개발하였는데, 적분시간 10,000 초에서  $2 \times 10^{-14}$ 의 주파수 안정도를 얻었고, 불확도는  $5 \times 10^{-14}$ 이 나왔다. 현재 불확도를 약 5배 개선하기 위해 부품을 교체하는 등의 연구가 진행 중이다.

그리고 펨토초 레이저를 이용한 주파수 합성기를 구성하여 반도체 레이저, 아세틸렌 안정화 레이저의 주파수를 측정하였으며, 광주파수 표준기를 위한 기초연구도 진행 중이다.

광도복사도 그룹에서는 광도와 복사도의 일차 표준에 관한 연구와 그 응용 연구를 수행하고 있다. 광도와 복사도의 차이는 복사도(W/sr)가 물리량인 반면 광도(cd=lm/sr)는 사람 눈을 기준으로 하기 때문에 복사도에 눈의 시감 효과를 반영한다는 것이다.

복사도의 1차 표준은 극저온 절대복사계 (absolute cryogenic radiometer; ACR)와 레이저 광원 및 분광감응도 표준기로 구성된다. ACR 장치는 레이저 광원의 복사선속을 전기적 일률 단위(W)로 측정하는데 사용된다. ACR 대신에 광검출기를 두고 광원의 파장을 바꿈에 따라 광검출기에서 나오는 전류를 측정하면 광검출기의 분광감응도 (A/W)를 알 수 있다. 레이저 광원으로는 Kr 이온 레이저와 Ar/Kr 혼합기체 이온 레이저(476 nm ~ 676 nm) 등이 사용되고 있다.

자외선 영역에서의 측정표준 및 분광특성 연구를 수행하고 있다. 특히 진공자외선 (200 nm ~ 10 nm)은 공기 중의 산소에 의해 흡수되기 때문에 진공 속에서 실험이 이루어진다. 이 영역에서 분광반사율계를 제작하여 광학부품의 분광특성을 측정하는데 사용하고 있다.

이 외에도 고온의 흑체에서 나오는 분광복사휘도를 측정하는 복사온도계 연구, 광섬유의 특성을 측정하는 연구, 양자광원을 이용한 복사도 측정연구, 색채 표준 및 디스플레이 평가기술, LED 광특성 측정 등의 연구도 진행되고 있다.

나노광계측 그룹에서는 첨단 산업체를 위한 연구와 미래를 대비한 연구 등 다양한 분야가 연구되고 있다. 우선, 광학부품 및 광학계를 평가하는 연구를 수행하고 있다. 직경 1.2 m의 비구면 반사경을 제작하고, 그 표면 형상을 검사하는 장비가 완비되어 있다. 현재 인공위성에 탑재 가능하도록 경량화된 직경 900 mm의 비구면 거울을 제작하고 검사 하는 연구가 진행 중이다 (파면 오차:  $\lambda/50$  rms 이하).

최근에는 고해상도 디지털 카메라 렌즈나 휴대폰 카메라 렌즈를 실시간으로 성능평가하기 위하여 변조전달함수 (MTF) 측정장치를 개발하였다. 이 장치를 이용할 경우 10초 ~ 30초에 측정이 완료된다.

분광타원 계측기를 이용해서 반도체 박막의 두께를 측정하고, 그 인증표준물질(CRM)을 산업체에 보급하고 있다. 이 분야는 우리나라의 반도체 산업의 발달로 인해서 우리나라가 가장 얇은 두께 (1.2 nm)의 CRM을 만들고 있다. 최근에는 단백질과 같은 바이오 샘플에 대해서도 두께를 측정하고 있으며, 표면 플라즈몬 공진을 이용한 Imaging Ellipsometry 연구를 진행하고 있다.

펨토초 레이저를 이용하여 세포를 절단하거나 세포에 구멍을 뚫는 등, 미세 가공하는 기술을 연구하고 있다. 이 연구는 세포에 화학적, 열적 손상을 미치지 않으면서 미세 가공이 가능하고, 또 실시간으로 관찰하면서 가공할 수 있는 장점 등으로 인해 앞으로 그 결과가 크게 기대되고 있다.

또한 공초점 형광 현미경을 이용하여 단분자 및 단세포를 관찰하는 연구, 단백질 상호작용 연구 등도 진행되고 있다. (끝).