

## 실험실용 x-선 분광기 개발

### Development of laboratory x-ray spectrometer

Yury Yuryev, 박현민, 조양구, 이확주, 이민규  
 한국표준과학연구원 전략기술연구부  
 minkyu@kriss.re.kr

물질을 구성하고 있는 모든 원소는 고유의 흡수, 혹은 방출 스펙트럼을 가지고 있다.

원자 혹은 이온 가전자들의 천이에서는 대부분 가시광선 이하 에너지 스펙트럼을 가진다. 응집된 상태 물질에서는 가전자들이 띠를 형성하여 연속적인 스펙트럼을 형성하여 더 이상 특이선들(characteristic lines)을 나타내지 못한다.

그렇지만 내부 전자(core electron)의 천이에 관계된 스펙트럼은 원자뿐만 아니라 응집 물질 상태에서도 여전히 특이선들을 나타낸다. 이들 특이선 스펙트럼의 파장은 수십 nm에서 원소질량이 증가함에 따라 Å까지 x-선 영역에 해당된다. 내부 전자 천이 때문에 발생한 특이선 스펙트럼은 물질의 성분과 화학적인 상태 분석하는 틀을 제공한다. 또한 흡수선 다음에 나타난 extended x-ray absorption fine structure(EXAFS)는 특정 원소 근처 국소구조의 정보를 제공한다.

현재 본 연구원은 물질 분석과 미래의 x-선 과학 분야 표준 업무를 위하여 자체적으로 x-선 분광기를 개발하고 있다. 분광기는 Rowland 원 광학 기하를 따르며 크게 monochromator, 검출기 시스템, x-선 광학계 정밀 구동 시스템, 진공 시스템 그리고 운영 소프트웨어로 구성 되어있다.

Monochromator는 단결정의 Bragg 회절 원리를 기반으로 하고 있다. Si (911), LiF(200), Ge(311), Si(311), Si(111), Ge(111), PET(002) 그리고 KAP(001)등 결정 면간 거리가 다른 단결정을 사용함으로써 30 keV부터 1keV 이르는 넓은 영역의 에너지 스캔이 가능케 하였다. 회절 된 후 단색광 세기 증가를 위해 휨 장치를 이용하여 Johann형으로 단결정을 매우 정밀하게 휘었다. 휨 단결정의 반경은 300mm부터 1000mm까지 조절 할 수가 있으며 반경과 균일도는 rocking 곡선 측정을 통하여 조절한다..

X-선이 물질에 입사 될 때 투과 그리고 흡수 일어나면 흡수 후 이차 과정으로 x-선 형광과 광전자가 방출 된다. 분광기의 검출기 시스템은 x-선 측정을 위한 2개의 gas proportional counter와 광전자 측정을 위해 1개의 channeltron으로 구성되어 있다. 이들을 이용함으로써 bulk- 그리고 surface-sensitive 분광 실험을 수행 할 수가 있다.

분광기 광원이 고정되어 있어 출구 슬릿과 함께 검출기 시스템 그리고 측정 시료는 움직이어야 한다. 에너지를 선택하기 위해 단결정들은 특정 Bragg각으로 이동하여야 한다. 특정 에너지에서 x-선 광학 요소들을 Rowland 기하 위치로 총 12개의 스텝핑 모터를 이용하여 움직이고 있다. 각각의 스텝핑 모터의 움직임은 광 엔코더를 이용하여 측정하며 그 결과는 피드백 통해 광학 요소들이 정확한 위치에 놓이게 한다. 이와 같은 정밀 구동 시스템을 이용하여 0.1um 정확도를 유지 하였으며, Bragg 각 경우 1/1000 도 정밀도를 유지 한다. 모든 정밀 구동 시스템의 요소들은 진공 챔버에 설치되어 있으며 에너지를 선택 할 때 광학계들은 동시에 독립적으로 구동된다.

광전자 측정과 연 x-선 단색광 분광을 위해 분광기 모든 요소들은 진공 챔버 속에 설치하였다. 대형 TMP를 이용하여 챔버 속의 진공을  $10^{-6}$  mbar를 유지 하였다. 진공펌프와 x-선 발생기의 역학적인 진동이

광학계로 전달을 방지하기 위해 광학 테이블을 진공 챔버와 분리하였다.

분광기 운영 뿐 만 아니라 시뮬레이션 그리고 측정 데이터의 분석을 위해 독자적으로 프로그램을 개발하였다. 지속적인 프로그램의 문제점 발견과 해결을 통해 매우 높은 신뢰성을 보이고 있다. 작성된 프로그램은 x-선 흡수, 형광 그리고 x-선 광학 등에 사용 된다.

그림1 a)은 분광기 성능 평가를 위해 Cu 표준 시료를 이용하여 측정한 K-edge 스펙트럼이다. 사용된 단결정은 Ge (311) 이다.

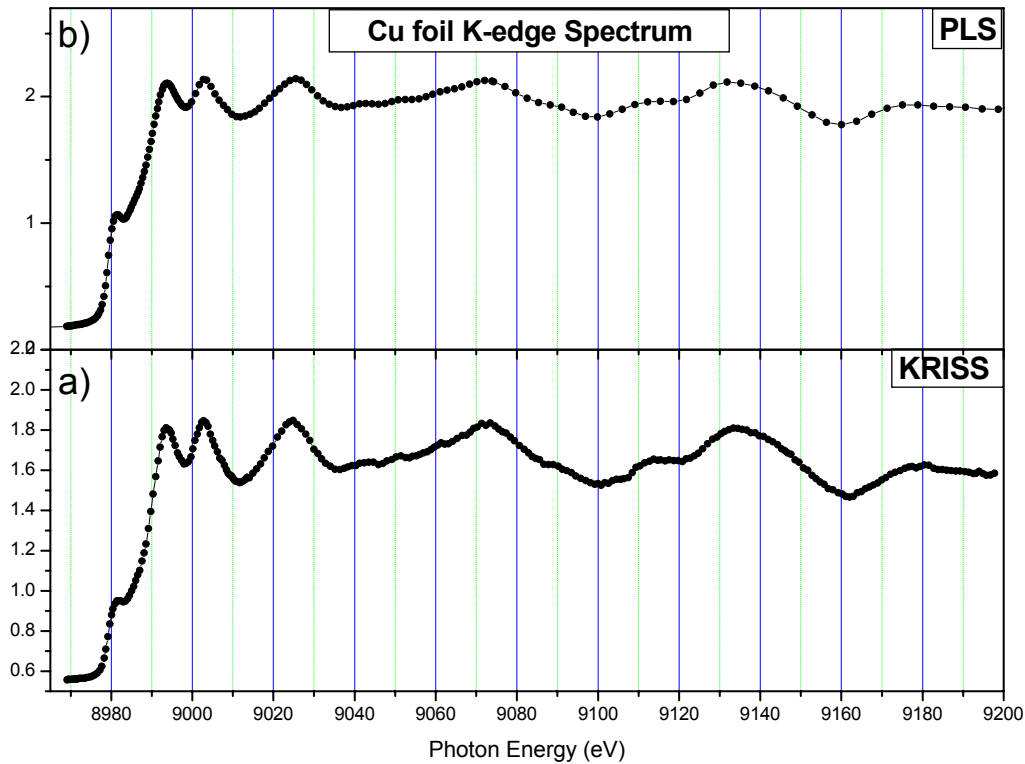


그림 1Cu Foil K-edge 흡수 스펙트럼. a) KRIS 실험실 분광기의 측정 결과  
b) 포항 방사광 가속기 빔라인 측정 결과.

그림 b)은 포항 방사광 가속기 빔라인에서 측정한 스펙트럼이다. 두 결과들은 스펙트럼 전 영역에서 일치함을 보이고 있다. 본 연구원에서 측정 스펙트럼은 가속기 경우에 비해 측정 시간이 6배 정도 더 소요 되었다. 개발된 x-선 분광기는 물성 분석에 이용되고 있으며, x-선 광학계 특성 분석과 x-선 과학의 미래 표준 업무에 적용 될 것으로 기대 된다.

참고문헌

1. D. C. Koningsberger and R. Prins "X-Ray Absorption" John Wiley & Sons (1988).