

## 하나로 중성자 회절장치의 광물학적 이용 및 전망

김신애\*, 최용남, 김성규, 신은주, 홍건표, 문명국, 최영현, 최병훈, 홍광표, 이창희, 성백석  
한국원자력연구소 하나로이용기술개발부(sakim@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

한국원자력연구소의 하나로(HANARO)의 수평실험공에는 물리, 화학, 원자력, 생물, 재료, 광물 분야의 기초 및 응용연구를 수행할 수 있는 다양한 중성자빔 실험장치가 제작, 설치 중에 있다. 현재, 분말시료의 결정구조분석 및 공업재료의 잔류응력을 측정할 수 있는 고분해능 중성자 분말회절장치(High Resolution Powder Diffractometer, HRPD), 단결정 구조연구 및 집합조직을 연구할 수 있는 4축 단결정 회절장치(Four Circle Diffractometer, FCD), 중성자 투과 비파괴 검사를 수행할 수 있는 중성자 라디오그래피장치(Neutron Radiography Facility, NRF), 고분자구조, 재료 내의 결함크기, 분포 및 밀도 등을 연구할 수 있는 중성자 소각산란 분광장치(Small Angle Neutron Spectrometer, SANS)가 일반이용자들에게 개방되어 산.학.연 연구자들의 광범위한 연구 분야에서 이용되고 있다.

이 중 광물학적 연구에 유용하게 이용할 수 있는 HRPD와 FCD의 이용현황과 전망에 대하여 소개하고자 한다.

### 2. 이용현황

HRPD는 1997년에 설치되어 약 1년여 간의 특성 및 성능시험을 거쳐 1998년부터 외부 이용자에게 개방되었다. HRPD는 결정구조 분석, 정량상분석, 자성구조분석 등을 비롯한 재료과학분야의 다양한 연구자들이 이용하고 있으며 다양한 시료환경장치들로 물리적 환경(온도, 자기장) 변화에 따른 구조 변화 및 상전이 연구에 활용되고 있다. 상온~1300K까지 실험 가능한 고온시료환경장치(Vacuum Furnace)와 상온에서 10K까지 온도를 조절할 수 있는 저온시료환경장치(closed cycle refrigerator: CCR) 2기가 개발되어 활용 중에 있다. 이 중 하나의 CCR은 10K-RT 영역의 저온실험 전용이며, 다른 하나는 시료를 전자석의 극 속에 삽입하여 저온(10K-RT)뿐만 아니라 자기장(0-0.85T)까지 인가할 수 있는 전자석용 CCR(MCCR)이다.

2003년의 HRPD 이용건수는 116건이며 554개의 시료에 대하여 169명의 실험자가 실험에 참여하였다. 시료는 주로 나노소재, DMS 재료, 금속재료, 자성재료, 전지재료, 자연광물, 강유전체, 초전도체 등이었다.

하나로의 중성자 4축 단결정 회절장치(Four Circle Diffractometer; FCD)는 입사된 빔이 시료에서 산란되어 공간상으로 분포되는 수천개의 역격자 회절반점들의 강도를 측정하여 단결정 시료의 구조변화 등의 연구가 가능한 장치이다. FCD를 이용한 연구분야는 단결정 구조분석, 자성구조, 집합조직 등 다양하며 1999년 10월부터 국내 산, 학, 연 연구자들에게 개방하여 운영중이다. 고온 및 저온시료환경 장치가 있으며 10K에서 1300K까지 실험이 가능하여 국내의 상전이 연구와 자성구조 연구에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

2003년의 FCD 이용건수는 69건이며 주로 금속재료, 자성재료, 자연광물, 초전도체, 핵연료 등 283개의 시료에 대하여 82명의 실험자가 실험에 참여하였다.

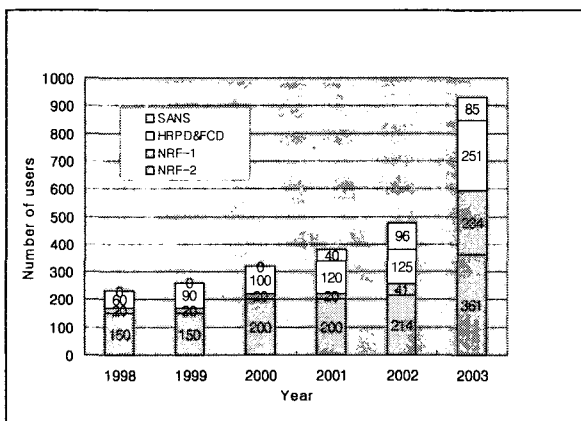
중성자 회절 실험은 X-선 회절 실험과 상보적으로 활용하여 경원소(수소, 산소, 리튬,

탄소 등)가 포함된 화합물에서 경원소의 위치 및 열적 거동 등에 대한 정보를 충실히 얻을 수 있고, 전이금속계열 혹은 란탄족 원소들을 상호 치환/혼합한 형태의 화합물에서도 치환 원소의 위치 및 열적 거동 등에 관한 정보를 얻는데 매우 유용하다.

### 3. 장치 성능개선 및 전망

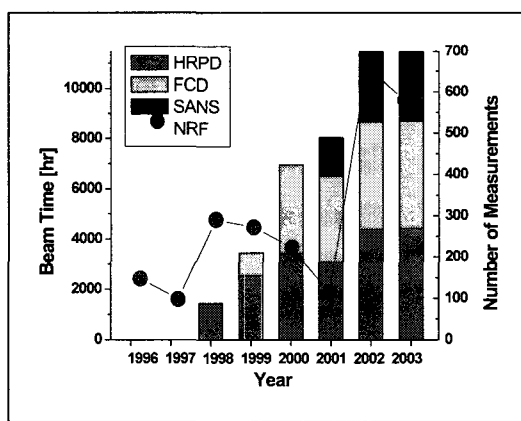
최근 HRPD에서 액체헬륨을 사용하지 않고도 액체헬륨 온도 근처까지 저온 환경(시료 온도 ~4.4K)을 만들 수 있는 4K-CCR을 개발하여 성능시험을 하였다. 이를 통해 HRPD를 이용한 물질 측정 혹은 상전이 연구를 위해 구현할 수 있는 시료의 온도는 4K부터 1300K까지가 되어 자성구조 및 결정구조 연구의 영역을 확대할 수 있게 되었다.

FCD는 2003년 말부터 성능개선에 착수하여 현재 에어패드 구동형 관검출기를 재설치 하였으며, 성능이 향상된 모터제어기를 설치하고 관련된 구동 및 설치 프로그램을 개선하였다. 한국원자력연구소에서 자체 제작한 2차원 위치민감형 중성자 검출기(2-Dimensional Position Sensitive Detector, 2-D PSD)를 FCD에서 함께 사용할 수 있도록 차폐체와 에어패드 구동부를 제작하여 성능시험 중이다. 개발 중인 데이터 획득 및 분석 프로그램이 설치되면 중성자회절실험 상 어려운 인자의 하나인 측정시간을 대폭 단축시킬 수 있을 뿐 아니라, 자성구조와 diffuse scattering 등의 물리적 문제 해결에도 유용하게 이용할 수 있을 것이다. 현재 사용하고 있는 파장 약 1Å의 단색화결정 외에 몇 개의 보다 큰 파장의 단색화결정을 개발하여 FCD의 단색기를 교체하고, 자체 개발한 콜리메터를 적용하여 분해능을 높일 계획이다. 이와 같은 성능개선을 통해 측정효율을 최소 2배에서 최대 7배 정도 높일 수 있으며, 크기가 상대적으로 작은(1-2mm) 단결정 및 격자상수가 큰 시료의 구조연구가 가능해질 것이다.



**Annual trend of users**

NRF-1 : General users  
 NRF-2: Student training



**Annual usage of beam time**

(NRF number of measurements)

\*. The reason of rapid increase of NRF in year 2002  
 → Tomography (200/exp. X 2 exp. ~ 400 measurements)

하나로 분광장치 이용 실험자수와 이용시간 변화

\*본 연구는 과학기술부 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.