

하나로 중성자 산란장치의 개발과 이용현황

김신애*, 성백석, 이정수, 심철무, 남기용, 최용남, 한영수, 이창희
한국원자력연구소 하나로이용기술개발팀
대전 유성우체국 사서함105호, 305-600 (ex-sakim@kaeri.re.kr)

1. 서론

열출력 30MW의 다목적용 연구용 원자로인 하나로(HANARO)가 1995년에 한국원자력연구소에 준공되어 원자력 관련 분야 외에도 기초과학에서부터 여러 응용분야에까지 다양하게 이용되고 있다. 1995년 2월에 첫 임계를 달성하고 단계적인 출력 운전 시험을 거쳐, 현재 설계출력의 80%인 24MW로 매주 3일간 정기적으로 운전하고 있다. 하나로에 수평실험공에는 물리, 화학, 원자력, 생물, 재료, 광물 분야의 기초 및 응용연구를 수행할 수 있는 다양한 중성자빔 실험장치가 제작, 설치 중에 있다(Fig. 1).

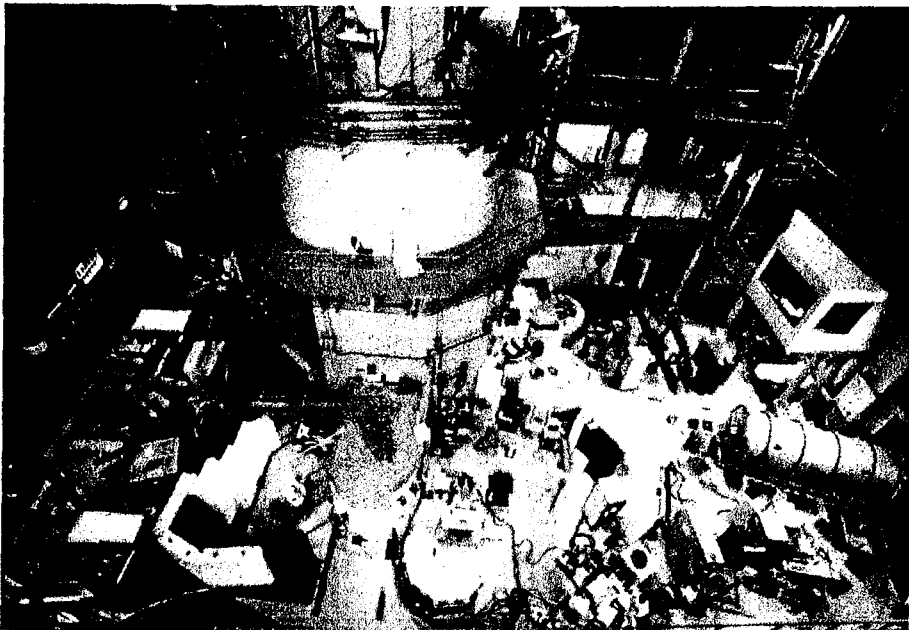


Fig. 1 Neutron Beam Facilities in the Reactor Hall of HANARO

현재, 분말시료의 결정구조해석 및 공업재료의 잔류응력을 측정할 수 있는 고분해능 중성자 분말회절장치(High Resolution Powder Diffractometer, HRPD), 단결정 구조연구 및 집

합조직을 연구할 수 있는 4축 단결정 회절장치(Four Circle Diffractometer, FCD), 중성자투과 비파괴 검사를 수행할 수 있는 중성자 래디오그래피장치(Neutron Radiography Facility, NRF)가 일반이용자들에게 개방되어 산.학.연 연구자들의 광범위한 연구분야에서 이용되고 있다. 2001년 중반부터는 고분자구조, 재료 내의 결함크기와 분포 및 밀도 등을 연구할 수 있는 중성자 소각산란 분광장치(Small Angle Neutron Spectrometer, SANS)도 일반이용자에게 개방될 예정이어서 광범위한 분야에서의 중성자 산란에 의한 연구가 가능하게 되었다. 과학기술부 산하 한국과학기술평가원(KISTEP)에서 1999년 12월을 시작으로 기획, 공모한 “하나로 공동이용 활성화사업”을 통해 하나의 이용이 더욱 활성화되고 있으며, 특히 중성자빔이용분야에서의 빔타임 경쟁률은 2000년 2/4분기를 기점으로 1 : 1을 넘어서서 3/4분기와 4/4분기에는 1.5 ~ 2 : 1 수준으로 증가하였다.

2. 고분해능 중성자 분말회절장치(High Resolution Powder Diffraction, HRPD)

1997년에 설치 완료되었으며, 저온(10K-300K) 및 고온(300K-1300K)의 시료 온도 조건에서 실험할 수 있다. 1999년과 2000년에는 금속내의 잔류 응력의 크기와 분포를 측정하고 분석하는 기술을 개발하였으며, 1차원 위치민감형 검출기(1-D PSD)를 개발하여 국소 회절각 영역에 대한 측정 효율이 크게 증대되어 앞으로 다양한 실험에 응용될 것이다. HRPD는 결정구조해석, 정량상 분석, 자기구조연구, 상전이 연구(Fig. 2) 등에 활용되

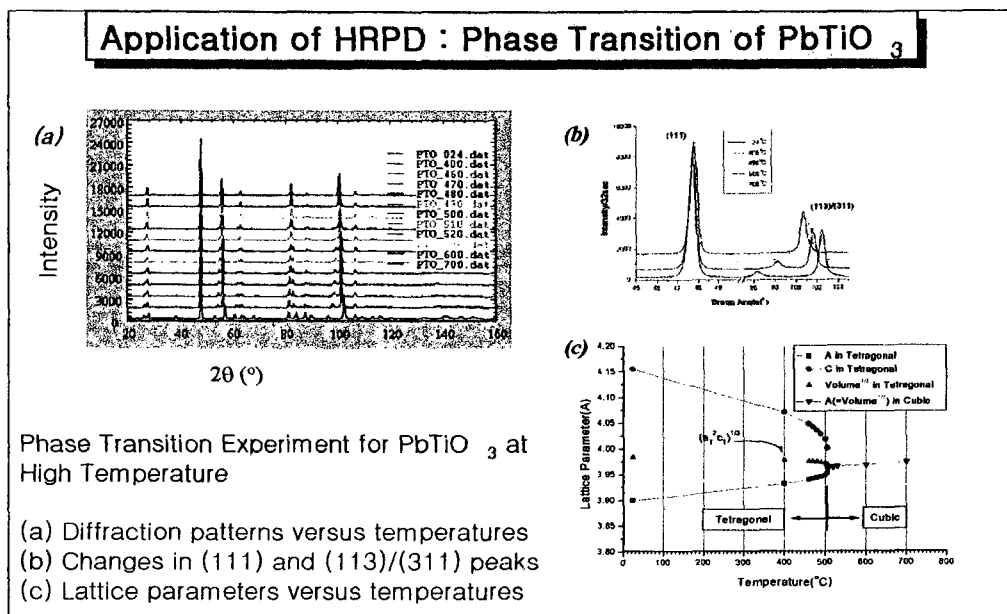


Fig. 2 Application of HRPD: Phase Transition of $PbTiO_3$

고 있으며, 최근에는 원자로압력용기나 핵연료 피복관 등으로 사용되는 zircaloy 내의 수

소함량 정량법 등을 개발하여 그 응용이 기대된다. 1998년부터 외부에 공개되어 이용자 수가 지속적으로 증가하고 있으며, 2000년도에는 연구계 86건, 산업계 10건, 학계 61건의 이용이 있었다.

3. 4축 단결정 회절장치(Four Circle Diffractometer, FCD)

1998년 말에 ST2 수평공에 HRPD와 빔을 공유하도록 설치되었으며, 모터 구동시험과 빔 특성시험을 완료하고 FCD 장치 기하학을 고려한 장치구동 및 중성자 계측 프로그램과 데이터 전처리 프로그램을 자체 개발하여 단결정 구조해석을 위한 측정과 해석체계를 구축하였다. 또한 집합조직 측정 및 데이터 전처리 프로그램, general Q-scan 프로그램 등을 자체 개발하여 사용 중에 있다. KCI 단결정 실험을 수행하여 FCD 장치능력 검증 및 프로그램의 정밀성도 확인하였다. 1999년 4/4분기부터 외부에 공개되어 주로 과기부의 하나로공동이용활성화사업의 일환으로 단결정 구조연구(Fig. 3)와 집합조직 측정에 이용되고 있다. 2000년에는 연구계 7건, 산업계 8건, 학계 17건의 이용이 있었고 연구 분야도 단결정 구조해석, 자성구조, 집합조직 등 다양하며 이에 따라 다양한 실험조건이 요구가 늘어가고 있다. 이와 관련해 고온시료환경장치가 2000년 말에 설치되어 현재 장치 시험을 수행 중에 있으며, 2001년 9월부터 외부에 공개될 예정이다. 또한 2001년 말에는 저온시료환경장치의 설치도 계획하고 있어 국내의 상전이 연구와 자성구조 연구에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

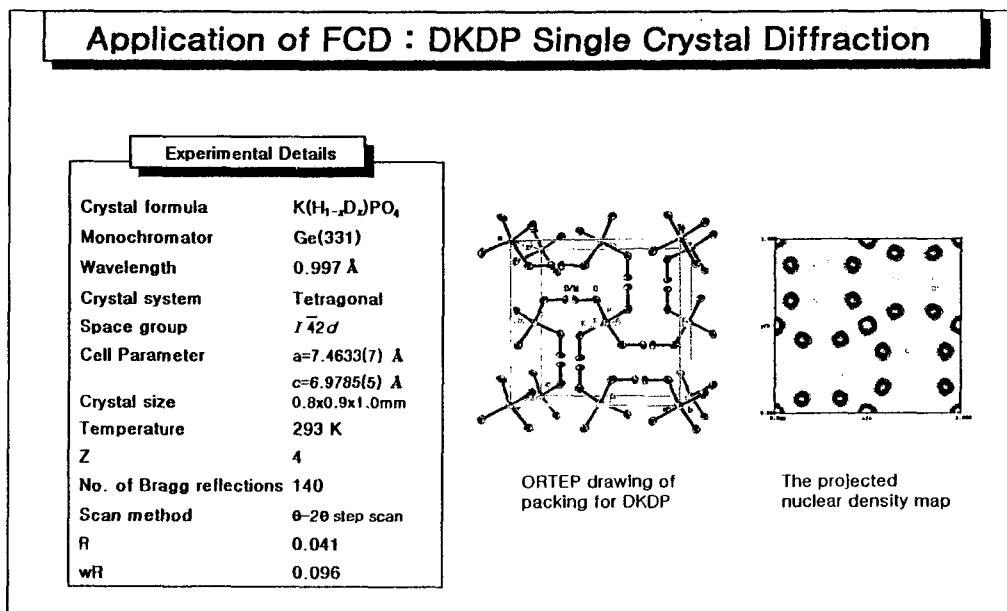


Fig. 3 Application of FCD: Crystal Structure of DKDP

4. 중성자 소각산란 분광장치(Small Angle Neutron Spectrometer, SANS)

2000년 말에 설치되어 중성자 비행시간측정법과 silver behenate 표준시료 측정을 통해 SANS 장치의 파장보정을 실시하였고, water, glassy carbon, CTAB 마이셀의 SANS 측정으로 1차 성능 시험을 수행하였다. 데이터 측정 및 분석결과 동일 장치 배치의 Q영역에서는 독일 HMI 및 ANL IPNS에서의 측정결과와 거의 일치하여, 하나로 SANS 장치가 우수한 성능을 가진 것으로 평가되었다. 중성자 소각산란기술은 재료내에서 1~400nm 정도의 크기를 갖는 조성이나 밀도의 불균일성을 조사하는데 이용되는 기술로 생체분자, 폴리머체인 마이셀 등의 고분자구조분석, 세라믹재료와 금속재료내의 미세 석출물의 크기와 구조분석, 재료내의 미세 기공분석, 그리고 원자로재료의 조사거동 분석 등 광범위한 분야에 응용되고 있다. 하나로 SANS 장치는 재료내 1~100nm 정도의 크기를 갖는 불균일성(구조, 결함, 석출물 등)을 조사할 수 있으며, 현재 상세 성능시험과 장치조정이 진행 중에 있으며 2001년 중반에는 일반 이용자에게 빔 타임을 제공할 예정이다.

5. 중성자 래디오그래피장치(Neutron Radiography Facility, NRF)

1996년 하나로의 중성자빔 실험장치 중 가장 먼저 설치되었으며, 2개의 조사실로 구성되어 원자로에 근접한 제 1 조사실에서는 간접전환막법에 의한 조사핵연료 및 원자로 부품 등의 고방사능 부품 검사를, 제 2 조사실에서는 비방사선 부품을 전환막과 중성자 TV를 이용한 동화상처리법에 의한 검사를 할 수 있다. 2000년도에는 방위산업체 연구소인 (주)한화의 현무용 화공품의 결함검사, 일반산업체로서 (주)태성정밀의 gas turbine blade 내부결함 시험적 검사, 그리고 국내 5개 원자력 관련학과의 중성자래디오그래피의 학생실습교육을 수행하였다. 근래에는 철강내 붕소 분포와 균일도를 측정하는 auto-radiography기술을 확보하여 포항제철 시료에 대한 분석을 수행하였으며, 붕소 분포 및 함량의 정량·정성적인 분석 기술을 개선 중에 있다.

감사의 글: 본 연구는 과학기술부 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.