

NIST 연구로의 이용

H. J. Prask
J. M. Rowe
R. E. Williams
NIST

□ 국 상무성(DOC) 산하 기관인 국립표준기술연구소(NIST, National Institute of Standards and Technology)는 동 연구소가 위치한 Maryland 주 Gaithersburg에 20MW급 연구로(NBSR, NIST Research Reactor)를 가동하고 있다.

원자로와 부속 실험 설비들은 매년 기타 정부 기관, 대학 및 산업체로부터 참여된 1,000명 이상의 연수생들에게 매우 중요하게 이용되고 있다.

NBSR의 개요

NBSR는 67년에 초임계에 도달하

였으며, 총 20MW용량을 달성할 때 인 85년까지 10MW의 용량으로 운전되었다.

동 연구로는 30MTR 관형의 연료체(fuel element)를 사용하고 있으며, 각 연료원은 노심(core) 중심선에 연료가 장전되지 않는 180mm의 영역을 갖고 있고, 그 영역의 상하에 연료가 장전된 280mm의 구역을 갖고 있다.

NBSR은 냉각재, 감속재 및 반사체로 중수(D_2O)를 사용하며, 노심의 중심선에서 $4 \times 10^{14} n/cm^2/s$ 의 최대 열중성자 유량률(maximum thermal neutron fluence)을 제공한다.

NBSR은 2004년에 만료되는 원자력규제위원회(NRC)에서 인증한 인허가에 의해 가동되고 있으며, 현재 유효 기간을 20년 이상 연장시키기 위한 프로그램이 진행중에 있다.

기본 연구로의 설계는 장기적이며 기체작용(pneumatic)에 의한 여러

개의 조사 골무형 이온전리(irradiation thimble), 165mm 직경의 4개 반경방향(半徑方向)빔 포트(radial beam port), 140mm 직경의 5개 반경방향빔 포트, 2개의 관통공(貫通孔), 1개의 열 칼럼(thermal column) 및 $150 \times 60 mm^2$ 면적의 5개 중성자 유도체(neutron guide)와 $120 \times 50 mm^2$ 면적의 3개 중성자 유도체에 의해 겸증되는 큰 직경(540mm)의 냉원 골무형 이온전리(cold source thimble)를 포함하는 많은 다른 형태의 실험들을 위한 장비를 갖추고 있다.

직경이 크고 비교적 길이가 짧은 빔관은 시료(sample)에서 중성자빔 강도를 증가시키는 큰 입체각(solid angle)을 제공하고 있으며, 반면에 split core는 반경방향 빔관을 위한 고속 중성자의 자연 방사선(fast neutron background)을 감소시킨다.

약 30년 이상의 원자로 운전에서

설비 이용 초기에는 분석화학(중성자 방사화 분석) 사용자들이 우세하였으나, 현재는 중성자 빔 사용자들이 이용자의 많은 부분을 차지하고 있다.

동시에 그 설비는 주로 정부 기관들과 지방 대학들에게 제공되는 지역 자원으로서뿐만 아니라, 매년 1,000명 이상의 관련 기관(1995년도에는 20개 정부 기관, 50개 산업 연구소 및 85개 대학)에서 참가한 연수생들에게 제공되는 국가의 주요 시설로 발전하였다.

NBSR과 그 연구 설비는 미국에 있어서 유일하게 전반적으로 설비가 갖추어진 냉중성자 유도 홀(guide hall)을 국내 연구 단체들에게 제공하고 있다.

원자로 운전

원자로는 새로운 액체 수소 냉중성 자원의 설치 뿐만 아니라, 원자로의 보수 유지와 성능 개선을 위하여 연장된 16개월간의 일시 운전 정지 이후인 95년 9월에 재운전되었다.

운전 정지 기간 동안에는 2개의 관과 shell main 열교환기가 3개의 새로운 판형의 열교환기들로 교체되었다. 그것들은 20MW급 운전을 위하여 적합하였으며, 1차 및 2차 piping의 많은 부분이 수정되었다.

원자로 격납 용기 및 내부에 대한 집중적인 시각 검사가 시행 완료되었다.

이 검사 기간 동안에는 원자로 상부 플러그 연료 장전 장비에 보랄(boral)을 갖는 문제점이 관측되었다.

상부 플러그는 제거되었고, 연료 장전 설비는 완전히 개선되었다.

중수와 콘트롤 암(shim control arms)은 교체되었고 몇 개의 기타 설비들이 운전 정지 기간 동안에 개선되었다.

이러한 작업의 시행 결과로서 원자로는 몇 년 동안 보수 유지를 위해 필요한 운전 정지 없이 현재 일정 계획대로 지속적인 운전 준비가 되어있다.

다음에 계획된 주요 운전 정지로서 중수 및 콘트롤 암 교체를 위해 4~5년이 소요될 것이다.

많은 보수 유지 및 성능 개선 작업은 원자로 기술자들의 도움 및 자침과 함께 원자로 운전원들에 의해 계획되고 시행되었다.

이것이 NIST 원자로 운전의 특징으로서 운전원들은 보수 유지 및 성능 개선 활동을 위하여 가능한 최대 한도 까지 이용된다.

이러한 시행은 비용에서 효과적일 뿐만 아니라, 운전원들에게 흥미롭고 도전적인 작업 환경 및 발전소 자체에 대한 지식을 더 향상시키고 있다.

현재 20MW급 원자로의 운전 주기는 38일이며 10~14일의 연료 장전 및 보수 유지 기간이 포함된다.

이러한 일정은 계획된 운전 시간의 70% 이상 가동되도록 하고 있다.

원자로 연료 주기는 연료 사용의 효

율을 극대화 시키기 위해서 70%의 가동률 만큼 높은 연소값을 얻도록 세심히 관리된다.

30개의 연료체 중 4개가 연료 장전 시 변화되었으나, 모든 연료체는 조사 설비의 재생산력을 증가시키는 일정한 형식에서 노심을 통하여 이동되는 반면에, 연료체의 전력 배분에서의 편차를 최대한도로 감소시킨다.

연료 주기 비용은 과거 몇 년 동안 급속히 증가되었고 계속하여 다른 경비보다 더 급속히 증가되는 듯 하다. 따라서 경비 절감을 위해서는 효율적인 연료 사용이 시급하다.

실험 설비

NBSR에서의 실험설비들은 항상 바뀌고 개선되고 있다. 다음에 기존의 장비들에 대해 간략히 설명한다.

1. 조사(照射)설비

(Irradiation Facilities)

현재 각각 다소 다른 열 및 중성자 유량률(fluence rate)을 갖는 비교적 짧은 시료의 조사를 위해 사용되는 4개의 기송관(氣送管)이 있다. 3개의 관은 반사체에서 끝나며 $2.7 \sim 10.3 \times 10^{13} n/cm^2/s$ 로의 열중성자 유량률을 제공한다.

이러한 관(管) 중의 한개는 단수명(短壽命) 동위원소의 측정을 위하여 빠른 시료 추출(< 500ms)과 $2.7 \times 10^{13} n/cm^2/s$ 의 열유량률의 특성을 나

타낸다.

4개의 관은 열 칼럼(thermal column)에서 종료되고, 따라서 $3.2 \times 10^{11} n/cm^2/s$ 의 감소된 유량률을 갖지 만 106이상의 Cd 비율을 갖는 매우 순도있는 열유량률의 특성을 나타낸다.

보다 긴 조사와 보다 높은 유량률을 위하여 $2 \times 10^{14} n/cm^2/s$ 의 열유량률 및 65의 열/고속 유량률을 갖는 몇 개의 수직 조사 설비가 있다.

NIST 원자로에서의 모든 조사 설비는 알려진 유량률, 열률, Cd 비율, 유량률 변화도 및 다른 매개 변수와 함께 특성화되었다.

원자로에서 사용된 연료 주기의 결과로서 이러한 특징들은 비교적 원자로 주기에 있어 안정되어 반복될 수 있다.

이러한 조화는 장·단기간에 걸쳐 예견되고 재생산될 수 있는 결과를 가져온다.

NIST 화학기술연구소의 원자력이 용그룹(Nuclear Methods Group)은 중성자 방사화 분석의 신뢰성을 향상시키는데 많은 노력을 쏟고 있다.

2. 열빔 설비

(Thermal Beam Facilities)

NBSR은 모니터 보정(補正, monitor calibration)을 위한 표준 유량률을 제공하거나, 자동 방사선 사진술을 위하여 도료(painting)를 조사시키거나, 전송 방사선 사진술 및 기타 사용

을 위하여 빔을 공급하기 위해 사용되는 열 칼럼을 포함하는 실험적인 사용을 위하여 몇개의 열중성자빔관을 공급한다.

2개의 관통공은 노심에 낮게 연료가 장전된 영역 바로 밑을 지나가며 현재 $2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5$ 및 144 keV 에너지의 여과된 빔의 추출을 위해 사용되고 있다.

이러한 빔들은 선량측정의 보정을 포함하여 다양한 목적을 위해 사용된다.

반경방향빔은 주로 재료과학, 응축물리학, 화학 및 생물학에 사용되는 장비들을 산란시키는 중성자에 사용되고 있다.

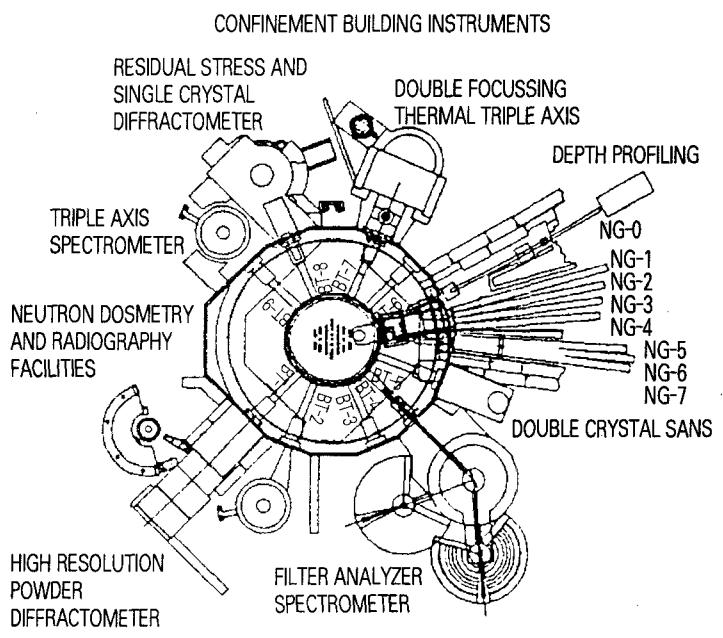
원자로 내에서의 이러한 장치들의

배치는 <그림 1>에서 나타낸 것과 같다.

현재 3개의 3중축(重軸) 결정 분광계가 있는데, 그중 하나는 편광분석력을 공급하며, 다른 하나는 low pass 여과 분석기와 함께 사용될 수 있다.

또한 한개의 32-검출기 분말 회절기, 1개의 단결정(單結晶) 또는 잔류응력 회절기 및 편광 분석력을 갖는 한 개의 중성자 반사체가 있다.

원자로 인허가를 위한 준비 과정의 일부로서, 우리는 현재 새로운 규제 조건에 부합하는 개선된 피동적 개인 안전 설계 뿐만 아니라, 향상된 측정력을 제공하는 주요 장비를 개선하는 과정에 있다.



<그림 1> NBSR의 구조도

3. 액체 수소 냉원

(Liquid Hydrogen Cold Source)

87년에 35K에서 작동하는 중수(D_2O) 얼음 냉원(ice cold source)이 원자로에 설치되었다.

이러한 소스(source)는 처음부터 원자로를 위해 계획되었지만, 그것을 완성시키는 데 필요한 기금 조성은 84년에 가서야 시작되었다.

얼음원은 냉중성자 연구 설비(CNRF, Cold Neutron Research Reactor)의 건설과 함께 87년에 시작된 냉중성자 출력(capabilities) 확장을 위한 근원이었다.

CNRF 프로젝트의 한 부분으로서 새로운 액체 수소 냉원을 개발시키기 위한 기금이 조성되었다.

95년 10월에 가동된 이러한 소스는 다음과 같은 특징을 같다.

소스의 총 핵열(nuclear heating)은 800W로 측정되며 다른 원자로원에서 잘 입증된 방법인 열사이폰(thermosiphon) 시스템에 의해 제거되어진다.

일반적으로 수소와 공기 또는 물 사이에는 적어도 2개의 경계가 항상 있으며, 전반적인 시스템 불활성 가스 용기에 같하게 된다.

그 구조는 또한 소스가 액체 온도 이상에서 더워질 때 가스가 팽창되는 실내 온도로 유지된 $2m^3$ 의 용기를 포함한다.

콜드(cold)를 가동시키는 동안에

가동된 콜드의 압력은 100 및 150 kPa 사이의 어느 값에서도 지속될 수 있다.

소스가 더워질 때는 압력은 대략 425kPa이다. 이러한 매개 변수에서 NIST 액체 수소 냉원은 지구상의 다른 냉원과 아주 비슷하다.

그러나 감속체 용기 자체는 독특한 설계이다.

NIST 원자로의 주요 특징은 냉원을 위한 크고 잘 분리된 viewing ports의 이용이며, 그것은 7개의 대영 역 유도체를 유도홀로 추출도록 한다.

그러나 그렇게 하기 위해서는 적어도 $300 \times 300m^2$ 의 겹중된 소스 영역이 필요하다.

그러한 기하학적 조건은 높은 편심률을 위하여 응력을 조정하는 매우 두꺼운 벽(그리고 합성된 고열(高熱) 부하), 또는 응력을 줄이는 최적의 두께(냉중성자 생산을 위한) 보다 커다란 소스가 필요한 것이기 때문에, 이러한 규격을 위하여 타원체

또는 그 비슷한 기하학적 조건은 가능하지 않다.

원자로와 소스를 모의 실험(simulate)하기 위한 Monte Carlo Code MCNP(3)의 사용을 포함하는 설계의 시도 후 <그림 2>에서 보이는 소스의 설계가 개

발되어 만들어졌다.

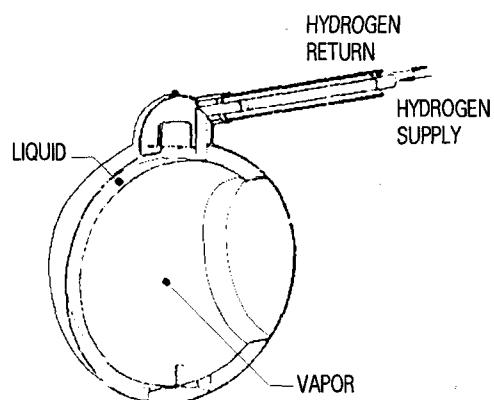
압력 경계의 구면체는 액체면과 증성자 유도체 사이의 냉가스에서 커다란 행로길이(large path length)의 증성자 비용(neutronic expense)에서 기계적 응력을 최소화 시키는 데 있어 가장 효과적이다.

액체 애놀러스(liquid annulus)의 두께는 20mm이며, 그것은 다른 소스에서의 기존의 것 보다 얇다.

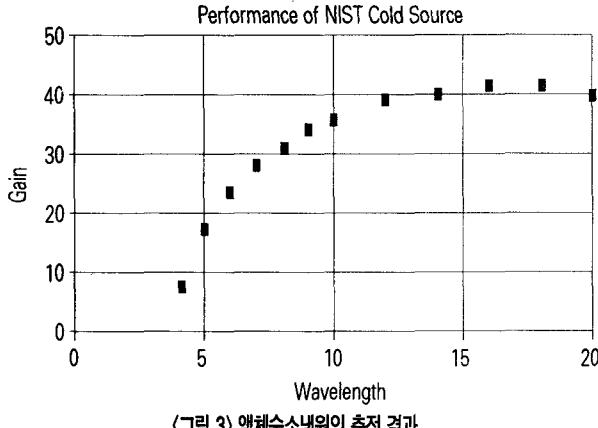
이 두께는 액체에 있어서 오르토 수소(ortho hydrogen)의 높은 분별(high fraction)이 있는 것을 기초로 하여 선택된다.

이러한 것을 보증하기 위해 소스 설계의 추가적 특징은 루프(loop)로부터 냉가스를 추출하는 한 개의 루프로 촉매를 통해 통과시킨다.

그러나 현재까지 실험에 있어서 실제로 이러한 순환 루프의 효과를 보지 못했으며, 오르토/파라 비율(ortho/para ratio)은 심지어 루프가



<그림 2> 액체수소원의 감속제설 구조



<그림 3> 액체수소냉원의 측정 결과

없을 때에도 적절하게 높아진다.

그렇다면 그것은 수소의 분리와 재 결합을 유도하는 핵방사선의 결과여야만 한다.

우리는 <그림 3>에서 나타난 결과를 갖고 이러한 소스의 성능을 측정하였다.

다른 수소 소스에서 측정된 결과들과 비교하였을 때, 20mm 두께는 냉 중성자 강도의 중대 상실을 야기하고 있지 않는 것을 가리키고 있으며, 오르토/파라 비율이 비교적 높다는 것을 지적하여 주고 있다.

4. 냉중성자빔 설비 (Cold Neutron Beam Facilities)

NBSR에서 가장 최근에 추가로 설비된 실험 장비는 액체 수소 소스에 의해 제공되는 장파장 중성자를 이용하는 빔장치이다.

냉원으로부터 나온 1개의 빔은 원

자로 격납 건물 내에서 neutron depth profiling station과 새로운 장치(집속(集束)렌즈에 근거한 미량(微量)모세관과 같은)의 개발과 시험을 위한 optical bench를 제공하는 데 사용된다.

7개의 중성자 유도관은 격납 건물로부터 89년에 새로 완성된 실험홀(hall)로 빔을 추출하는 데 사용된다.

이러한 건설은 87년에 창시된 냉중성자 연구 설비(CNRF)를 위한 주요한 프로젝트 개선의 일부였다.

이러한 실험 홀에서 유럽과 일본에서 유효한 빔장치들과 유일하게 경쟁력이 있는 미국의 냉중성자 측정력을 이용할 수 있다.

이러한 설비들에 포함되는 것은 2개의 30-m 및 1개의 8-m 예각 중성자 산란(SANS) 편광계, 수평 시료 기학학적 조건(액체 표면과 계면(界面) 연구를 허용하는)을 갖는 중성자 반사체, 중간 해상 결정 단일화 비행

시간 분광계(medium resolution crystal monochromator time-of-flight spectrometer), 편광(polarization) 분석력(SPINS), 냉중성자 3중축 분광계(cold neutron triple axis spectrometer), 중성자 간섭계(neutron interferometer), 핵물리학 적용을 위한 빔 그리고 즉발(即發) 감마선 방사화 분석 스테이션(prompt gamma activation analysis station) 등이다.

고해상력(高解像力) 디스크 초퍼분광계(high resolution disc chopper spectrometer), 스핀 에코(spин echo) 분광계 및 후방산란(backscattering) 분광계와 같은 고해상력 비탄성 분산 연구를 위한 3개의 장치는 지금 설치되고 있는 중이다.

냉중성자 장치의 사용은 일정한 조정(arrangement)에 의하여 건설과 운전이 결정된다.

오직 NIST 기금으로 지어진 그러한 것들은 NIST 연구를 위하여 총 이용 시간의 1/3 만큼, 그리고 사용자 프로그램을 위하여 총 이용 시간의 2/3 만큼 가동된다.

참여 연구팀(PRTS)에 의해 건설된 그러한 장치들은 PRT를 위하여 총 이용 시간의 3/4 만큼, 사용자 프로그램을 위하여 총 이용 시간의 1/4 만큼 가동된다.

1개의 30-m SANS와 SPINS 장치의 1/2이 모든 NDF시간의 사용자 프로그램에 주어지는 특별한 PRT의

형태로서 국가과학재단(협정 DMR-9423101)하의 높은 해상력 산란을 위한 센터 또는 CHRNS로서 운전된다.

사용자 프로그램내에서 시간은 신중하게 검토된 의견서를 토대로 프로그램자문위원회에 의해 할당된다.

의견서 모집은 세계 1,500명 이상의 연구원들에게 보내지고 있는 신청서와 함께 1년에 2번 시행된다.

정책은 실제로 같은 의견의 경우에는 미국의 의견이 우선되어지는 곳을 제외하고는, 미국 연구원들과 같은 경우로 국제 연구원들에게 설비 비용을 제공하고 있다.

실험 프로그램

NBSR에서의 실험 프로그램은 다양할 뿐만 아니라, 점차 변화되고 있다. 다음에는 실험 프로그램에 대한 현황이 간략히 요약되어 있다.

좀 더 자세한 현황은 매년 발간되는 연보에 나와 있으며, 가장 최근 자료는 95년도 현황을 다루고 있다.

1. 결정학 연구

(Crystallographic Studies)

결정학 연구를 위한 주요 장치는 94년에 완성된 32 검출기 분말 회절기(detector powder diffractometer)이다.

이것은 3개의 서로 다른 자동 선택 가능 단색화 장치(monochromator)

와 함께 광범위한 해상력 및 강도를 갖고 있다.

이러한 장치는 단결정(single crystal)을 갖지 않는 시료에 관한 Rietveld 분석을 이용한 구조 개선을 위하여 널리 사용된다.

어떤 경우에 있어서도 공동 개선을 위한 싱크로트론(synchrotron) 원 X-ray 데이터와 중성자 분말 데이터(neutron powder data) 등의 구조를 개선시킬 수 있을 뿐만 아니라 구조를 결정할 수 있다.

운전 초기 7개월에 있어서 700개 이상의 분말 조직이 이러한 기구로 측정되었다.

많은 다른 실험 가운데에서 다음은 현재 이러한 활동을 나타내고 있다.

- 비석(沸石, zeolites)에서 불화수소 탄소(hydrofluorocarbons)의 위치
- layered cuprates에서 자기 구조
- 세라믹 분말에서의 위상(phase) 분석
- 금속 수소화물(metal hydrides)의 구조
- 비교적 단순한 데이터 수집과 분석의 시행 결과로 분말 회절(powder diffraction) 방법은 비전문 사용자에게 아주 적합하다.

그것은 때때로 세부적인 실험을 신청하려는 재료 과학자들에게 필수적이고도 독특한 정보를 제공할 수 있다.

분말 회절 프로그램에 추가하여 단결정 회절의 연구를 위한 설비 능력이

있으며, 대규모의 생물학적으로 중요한 분자의 「준(準) 라우에(Laue)」 연구를 위한 가능성 조사가 진행중에 있다.

2. 중성자 비파괴 평가

(Neutron Non-Destructive Evaluation)

이러한 프로그램 영역내에서 주요 활동은 제조된 부품에서의 재질과 잔류 응력(residual stresses)을 연구하기 위한 중성자 회절의 사용이다.

현장과 조립 공정에서 그러한 기술을 적용시키는 것의 어려움을 고려하여, 그것은 주로 일반적인 문제점들을 조사하고 현장 기술을 보정하고 한정적인 원소의 분석 계산을 시험하는 데 사용된다.

이러한 연구들을 위하여 최적화된 새로운 회절기(diffractometer)가 개발되고 있다.

최근의 이러한 활동들은 탱크 차(tank car) 용접물의 열 영향을 받는 영역에서의 응력의 연구와 잔류 응력 기준으로서 사용될 표준 시료의 특성화 등을 포함하고 있다.

3. 예각 중성자 산란

(Small Angle Neutron Scattering)

이것은 지금 세계에 있는 다중의 완전한 결정 장비와 함께 SANS에 기증된 3개의 중성자 및 냉중성자 장비를 갖추고 있는 NIST에서의 주요한

연구 영역이다.

3개의 냉중성자 장비의 하나는 재료과학 및 공학연구소의 중합체 담당 부서에 의해 PRT의 장비로서 운전되어지는 8-m 핀홀(pinhole) 설계이다.

이 장치는 산업 연구 그룹의 컨소시엄(consortium)에 의해 주로 사용된다.

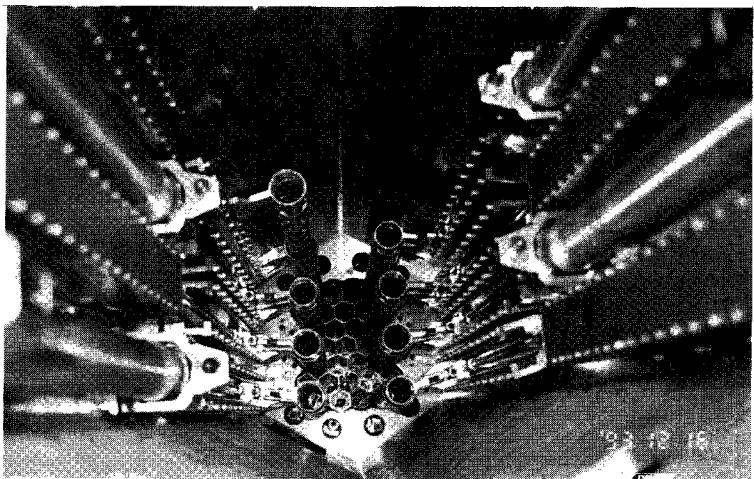
다른 2개의 장비는 서로 매우 비슷하며 유동적인 입사(入射)와 후기 시료의 비행로를 갖는 30-m 핀홀의 설계이며, $64 \times 64\text{cm}^2$ 위치 감응 검출기(position-sensitive detectors)이다.

두 개 중의 한 개는 국립과학재단에 의해 제공되는 기금으로 가동된다.

다른 하나는 NIST, Exxon Research and Engineering Co., 미네소타 대학 및 TEXACO에 의해 건축되고 운영된다.

최근의 활동은 중합체 혼합물(polymer blends), 중합체 해상력(polymer solutions), 계면 활성제(surfactants), 혼합 유체(complex fluids), 자기 구조(magnetic systems), 초전도체(superconductors)에서의 중성자속 격자(flux lattices), 얇은 필름과 실리콘 기질(substrates)상의 피복(coating), 도기(seramics)와 야금(metallurgy)의 영역에 있었다.

이러한 모든 영역에서는 높은 해상력, 보다 복합적인 시료의 환경 조건(기온 · 압력 · 자기 · 전단(shear)응



연구용 원자로에 장착된 반응도 제어장치

력 · 기타) 및 보다 작은 시료(예 : 필름 500nm 두께)가 강조되었다.

4. 중성자 반사체 (Neutron Reflectometry)

이것은 NIST 설비에서 가장 빨리 성장하고 있는 연구 영역이다.

현재 NIST에서 그러한 연구를 위한 2개의 장비가 있다. 하나는 수평산란 기학학적 조건과 편광 분석력을 갖고 있는 열중성자를 사용하는 것이고, 다른 하나는 개방 액체 표면의 연구를 허용하는 수직산란 기학학적 조건을 갖는 냉중성자를 사용하는 것이다.

양쪽 기구 모두 물질이 다양한 표면과 중간면을 사용하는 데 사용된다.

최근의 연구는 한정된 얇은 필름에서 불록 공(共)중합체, 큰 자기 저항(magnetoresistance)을 나타내는 자기다층(磁氣多層, magnetic multilayers), 부식의 *in situ* 연구, 중합체 브러쉬(brushes)의 형성, 즉발 감마분석을 향상시키는 반향 및 실리콘 상의 중합체 피복에서의 물 흡수력 분야

5. 중성자 비탄성 산란 (Neutron Inelastic Scattering)

유도홀에 설치되어 있는 3개의 극초단 해상력 장비(ultra high resolution instrument)와 함께 3개의 열중성자 3중축 장비, 1개의 냉중성자 3중축 장비, 그리고 지금 이용 가능한 1개의 중간 해상력 냉중성자 비행 시간 장비가 있다.

이러한 장비들은 매그논(magnon)의 연구, 음향 입자, 분자 진동, 순환 방식, 확산, 확산 자기 비탄성 분산 및 자기 결정계 기준을 포함하여 자기의 역학적 작용과 분자 시스템들을 연구하는 데 사용된다.

최근의 예 가운데에서는 다음이 대표적이다.

- 콘크리트의 경화 동안 물의 결합상의 이산화탄소가 주는 영향의 실제 시간 측정
- '거대한' 자기 저항 물질에서 위상

전이에 가까운 스피파

- 지질(脂質) 복층(lipid bilayer)에서 양자 역학
- 비석에서 벤젠의 역학
- solid cubane의 격자 양식 및 고체 비석의 분자 분광학, 새로운 높은 해상력 비행시간, 스핀 에코(spin echo) 및 후방산란 분광계가 유도 훌에서의 경계상에 올 때, 이 프로그램은 보다 더 확대될 것이다.
- 미국 어느 곳에서도 지금 행해질 수 있는 많은 실험들이 가능하게 될 것이며 아울러 새로운 사용자 그룹도 발전되어질 것이다.

6. 화학적 분석을 위한

중성자 이용 방법

(Neutron Methods for Chemical Analysis)

이러한 영역내에서 NIST 장비(instrument)에 의한 중성자 방사화 분석(INAA), 즉발 감마선 방사화 분석(PGAA), Depth Profiling(중성자 포착 후에 대전한 입자의 방사에 의한) 및 모관 렌즈를 이용한 중성자 접속을 포함하여 아주 다양한 프로그램이 진행중에 있다.

위에서 언급된대로 NBSR은 많은 조사 서비스를 포함하고 있으며, 냉중성자 프로젝트는 이러한 서비스에 냉중성자 Depth profiling과 즉발 감마 분석을 위한 장비를 추가시켰다.

최근의 서비스 현황은 다음과 같은 기능을 포함하고 있다.

- 표준대조물질(Standards Reference Materials)의 특성화
- 실리콘 반도체 물질의 특성화
- 고고학에서의 INAA의 사용
- 불순물의 분석과 음식과 약에 있어서 미량 성분과 Chesapeake Bay에서 대기 산란의 연구

7. 중성자와 핵물리학

(Neutron and Nuclear Physics)

이러한 영역내에서는 다른 재료들의 특성을 연구하기 위한 중성자의 사용보다 중성자 자체의 특성 연구가 강조된다.

예를 들면 한 실험은 중성자 수명의 측정을 개선시키려는 목표를 갖는 반면에, 다른 실험은 deBroglie 파장에 의해 특성화된 중성자 파장과 관련된 간섭 현상을 연구하기 위한 극히 안정된 플랫폼(platform)상의 실리콘 단결정 간섭계(干涉計)를 사용한다.

2개의 장비 스테이션(instrument station)은 이러한 영역의 물리학-간섭계 스테이션(interferometer station), 및 한 개의 중성자 유도체 끝에서 제공된 빔에 제공되어진다.

8. 중성자 기술 기준

(Neutron Standards)

이러한 프로그램 활동은 중성자에 관련된 기술 기준 개발에 초점을 맞추고 있다.

예를 들면 이러한 영역내에서 특정

한 에너지들의 중성자에 대한 인체 조직(human tissue)을 나타내는 인체 모형에 새겨진 개인 피폭 선량계의 수치를 통해 사람에 대한 중성자 방사선의 영향을 잘 알 수 있도록 하기 위해서 위에서 말한 여과된 빔을 사용하도록 결정되었다.

다른 예로서 열칼럼은 열중성자계의 특성을 나타내는 기술 기준들을 개발시키는 데 쓰이며, 그러한 기준들은 발전소와 다른 목적의 사용을 위하여 중성자속 모니터를 특성화 시키는 데 쓰여진다.

결 론

NIST의 연구용 원자로는 재료과학, 응축물리학(condensed physics), 화학, 원자물리학과 생물학에서의 문제점들을 연구하기 위해 정부, 대학교 및 산업체로부터 온 광범위한 연구원들이 의해 이용된다.

그것은 지금 1,000명 이상의 많은 국내외 중성자 설비 사용자에게 이용되고 있다.

지난 10년간 새로운 장비와 방법으로 지속적으로 증가하여온 연구용 원자로의 이용은 보편화 되었을 뿐만 아니라, 그 수용 능력에 의해 이용이 제한되고 있음을 확실히 나타내고 있다.

2024년까지 원자로 운전을 위한 목표로 원자로에 대한 개선과 재인허가 프로그램이 새로 만들어졌다. ☺