

## 연구용 원자로 하나로와 녹색성장

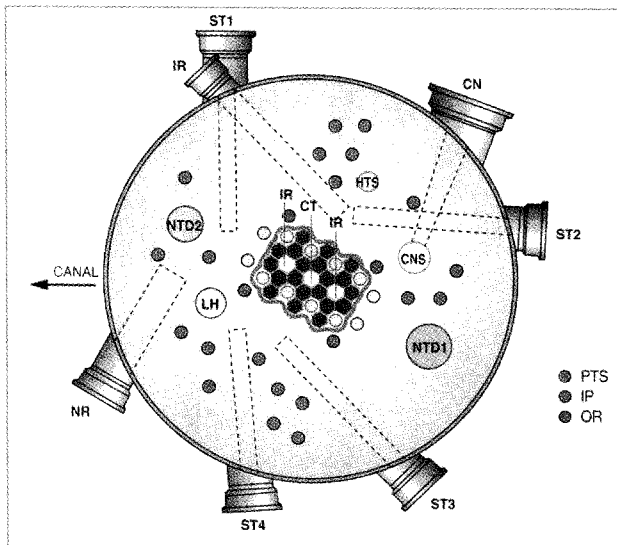
임인철 | 한국원자력연구원, 책임연구원 | e-mail : iclim@kaeri.re.kr  
 김명섭 | 한국원자력연구원, 책임연구원  
 성백석 | 한국원자력연구원, 책임연구원  
 이기홍 | 한국원자력연구원, 책임연구원

김태주 | 한국원자력연구원, 선임연구원  
 이희주 | 한국원자력연구원, 박사후연구원

한국원자력연구원의 다목적 연구용 원자로, 하나로(HANARO)는 중성자 이용 물성 연구 등 다양한 분야에 사용되며, 중성자는 녹색기술 관련 소재의 생산과 특성 분석에 매우 유용한 도구이다. 중성자 도핑을 이용하여 생산되는 반도체는 그린 카에 사용되는 전력 소재에 활용되고 있다. 중성자 산란 실험 장치들은 이차전지 재료와 수소저장 물질의 물성 연구에 활용되고 있다. 중성자 비파괴 검사 장치는 연료전지의 성능 연구에 활용되고 있다. 고속중성자를 이용하여 스위칭 소자의 특성을 개선하는 기술과 장치가 구축되면 전력 소재의 효율 증대에 기여할 것이다.

우리나라가 보유한 유일한 다목적 연구로인 하나로(HANARO)는 1995년 첫 임계에 도달하여 운전을 개시한

이래 기초과학에서 산업 현장에 이르기까지 다양한 분야의 발전에 크게 기여하여 왔다. 특히 최근에는 전 세계적으로 요구되는 녹색 기술 분야와 관련된 이용 요구가 급증하고 있다. 이 글에서는 하나로에서 진행되는 녹색 기술 관련 연구 및 응용 분야를 소개하고 녹색 성장에서 하나의 역할을 살펴보고자 한다.



수직조사공  
 수평조사공  
 IR, CT: 캡슐 조사; OR: 캡슐 조사 및 동위원소 생산; IR: 핵연료 시험 루프;  
 IP: 동위원소 생산; PTS: 방사화분석을 위한 공압 전송 계통;  
 HTS: 동위원소 생산을 위한 수력 전송 계통(Hydraulic Transfer System);  
 NTD: 중성자 변환 도핑; CNS: 냉중성자원;  
 NR: 중성자 Radiography;

수평조사공  
 수직조사공  
 IR: 노외 중성자 조사 시설;  
 CN: 소각 중성자 산란 분광계(Small Angle Neutron Spectrometer);  
 ST1: 편극 중성자 분광계 및 즉발감마 방사화 분석 장치, RSI;  
 ST2: 고분해능 분말 회절장치, 4축 회절장치; ST3: 수직 수평 반사계  
 (Vertical Horizontal Reflectometer), 고밀도 분말 회절장치; ST4: 3축 분광계;

그림 1 하나로의 노심 및 반사체 평면도

### 하나로 소개

#### 하나로란?

하나로는 한국원자력연구원의 열출력 30MW 연구용 원자로(research reactor)이다. 핵분열에서 발생하는 열을 이용하여 주로 전기를 생산하는 '발전용 원자로'와는 달리 연구용원자로로는 핵분열에서 발생하는 중성자를 각종 연구 실험 및 산업 응용 분야에 이용한다. 하나로(한)의 특성은 표 1과 같으며, 하나의 핵연료가 장전되어 있는 노심과 중성자를 주로 이용하는 공간인 반사체의 평면적인 모양 및 주요 실험 시설은 아래 그림 1과 같다.

#### 하나로 활용

하나로는 중성자를 이용한 물성 연구, 발전용원자로에 사용되는 핵연료나 원자로 재료의 성능시험, 산업용 및 의

표 1 하나로의 특성

특성	규격
형태	개방수조형(Open-tank-in-pool type)
열출력	30 MW <sub>th</sub>
냉각수	경수(Light water)
반사체(Reflector)	중수(Heavy water)
핵연료 물질	U <sub>3</sub> Si, 19.75% 농축
제어봉 흡수체	하프늄(Hafnium)
원자로 건물	격리(Confinement)
중성자속	2×10 <sup>14</sup> nv
조사공	수평 7개, 수직 36개
운전 주기	23일

료용 방사성 동위원소의 생산, 시료에 중성자를 조사시킬 때 발생하는 감마선을 측정하여 시료의 조성이나 성분의 함량을 연구하는 중성자 방사화 분석 등에 사용되고 있다.

중성자빔 연구는 중성자빔을 시료에 산란시켜 물질 구조를 파악하고 동역학 연구를 수행하는 분야와 X-ray와 같이 중성자를 시료에 투과시켜 시료 내부의 구조를 영상화하는 분야가 있다. 중성자 산란 분야는 고분자/자기조립 재료/나노자성체 연구, 나노입자/나노결정재료/나노기공 재료 연구, 합금 내 나노 석출물 연구, 생체물질 구조연구, 초전도체/다강체/자성체의 스핀구조와 동역학 연구, 물질의 상전이와 소여기 연구, 고분자/유전체 박막 표면 및 계면구조분석, 신약 개발 등 기초과학 분야에 광범위하게 응용되고 있다. 중성자 영상 분야는 항공기 부품의 비파괴 진단성 평가, 연료전지 성능 평가, 화석, 인삼의 영상화 등 다양한 연구 분야에 응용된다.

## 녹색 성장을 위한 하나로 활용 분야

### 중성자 변환 도핑의 원리 및 특징

#### ○ 중성자 변환 도핑의 원리 및 특징

중성자 변환 도핑(NTD: Neutron Transmutation Doping)은 실리콘(Si) 원자가 중성자를 흡수하여 인(P) 원자가 되는 핵변환 과정을 통해 실리콘 단결정 내에 불순물인 인을 발생시키는 원리를 이용한다. NTD는 다른 상용 도핑 방법보다 매우 균일한 비저항 분포를 얻을 수 있는

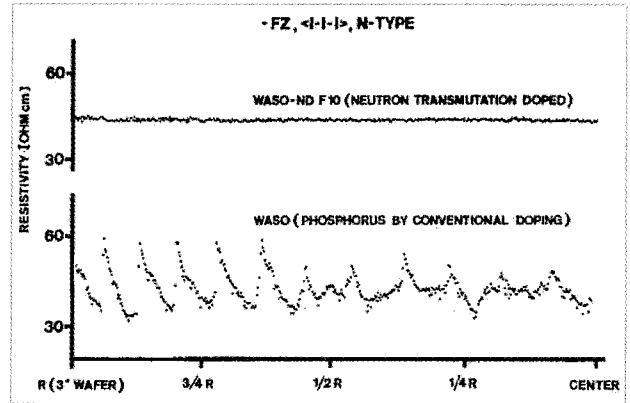


표 2 NTD-Si 및 상용 도핑 Si의 비저항 평면 분포 비교<sup>(1)</sup>

도핑 방법으로 알려져 있다. 실리콘 단결정 생산은 크게 CZ(Czochralski) 방법과 FZ(Floating zone) 방법으로 구분한다. 결정의 순도와 품질이 CZ-Si보다 매우 높은 FZ-Si은 가스화산법이나 NTD를 적용하면, 고전력을 인가해도 소자의 건전성이 유지되므로, thyristor, GTO, IGBT 등의 고전력 소자에 이용된다. NTD를 적용한 FZ-Si은 고전력 소자 가운데에서도 고급 제품에 사용된다. 이러한 소자들은 현재 고속 철도의 전기 모터 속도 제어, 송배전 계통 등에 널리 사용되고 있다. 그림 2는 NTD-Si과 상용 도핑 Si의 반경 방향 비저항 분포 비교이다.

NTD 수요는 세계 산업 규모 확대에 따라 꾸준히 증가하였는데, 최근 온실기체 감소를 위한 친환경 자동차 개발, 태양광, 풍력 소규모 발전 증가, 지능형 전력망 등 그린 에너지 기술의 급격한 발전에 따라 NTD를 사용한 전력 반도체 소자의 수요가 급격히 증가하고 있다.

NTD를 수행하기 위해서는 중성자속을 높게 유지하면서 실리콘 잉곳의 반경 방향과 축방향 모두 균일한 비저항 분포를 만족시킬 수 있는 중성자 조사 장치가 개발되어야 한다. NTD의 큰 장점 중의 하나는 중성자 조사량을 매우 정밀하게 조정하여 필요한 목표 비저항에 정확히 맞출 수 있다는 점이다.

#### ○ 하나로에서의 NTD 현황

하나로에는 NTD를 위한 두 조사공이 있으며, 중성자의 성질과 크기 등이 NTD에 매우 적합하다. 표 2는 하나로

표 2 하나로 NTD 조사공의 특징

항목	NTD1	NTD2
직경 [mm]	220	180
조사 가능 잉곳 직경 [inch]	6, 8	5, 6
조사 가능 잉곳 길이 [mm]	600	600
열중성자속 [ $n \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$ ]	$3.3 \times 10^{13}$	$3.7 \times 10^{13}$
Au에 대한 카드뮴비		16-22
열중성자속-고속중성자속 비	> 400	> 400
50 $\Omega \cdot cm$ 에 대한 조사 시간 [hr]	4	4

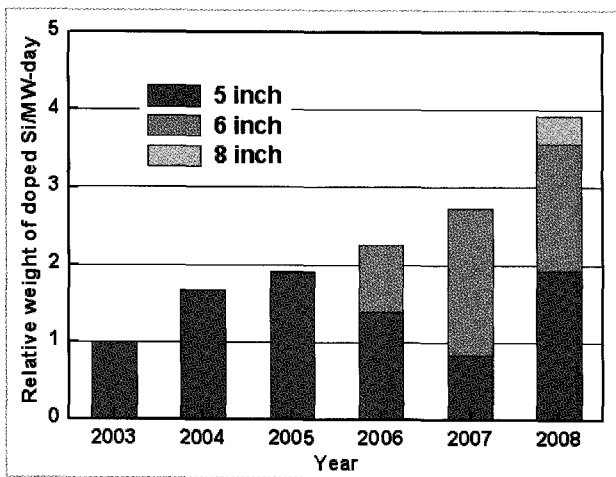


그림 3 하나로의 연도별 실리콘 조사량

NTD 조사공의 특징이며 그림 3은 하나로의 NTD 조사량 변화이다.

2002년 NTD2 조사공에서 5인치 실리콘 잉곳을 조사할 수 있는 조사 시설을 구축하였으며, 2005년 6인치 서비스를 시작하였다. 2008년에는 NTD1에서 6, 8인치 잉곳을 조사할 수 있는 시설을 갖추었다. 하나로의 조사 품질은 현재 세계 최고 수준으로 평가받고 있다. 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 하나로 NTD 조사량은 매년 크게 증가하였다.<sup>(2)</sup>

○ 하이브리드 자동차와 NTD

최근 NTD 반도체 수요를 가장 급격하게 증가시키는 분야는 하이브리드 자동차(HEV: Hybrid electric vehicle), 플러그인 HEV, 연료전지 등의 전기 동력 자동차 분야이다. HEV를 전기로 구동하기 위해서는 전기 흐름을 조절하는 인버터가 필수적이다. 이들의 성능은 내부 전력 소자

에 절대적으로 의존한다. 현재 HEV 전력소자로는 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)를 대부분 사용하고 있으며, 여러 개의 IGBT와 FWD(Free-Wheeling Diode)가 한 PCU(Power Control Unit)에 사용되고 있다. HEV에 사용되는 IGBT는 Field-stop(FS) IGBT가 개발되면서 크게 성능이 향상되었는데, 이는 매우 얇은 FZ-Si 웨이퍼 가공 기술로 만들어지며<sup>(3)</sup>, NTD 방법으로 도핑된 FZ-Si은 이러한 IGBT 소자를 만드는 데 최적이다. 2003년형 프리우스에는 6인치 FZ-Si 웨이퍼 1장의 37% 정도가 소요된다.<sup>(4,5)</sup>

전기 동력 자동차가 미래의 운송 수단이 될 것임은 자명하며, 지구온난화와 관련된 온실 기체 문제가 그 발전 속도를 증대시키고 있다. 그러나 SiC 등 전기 동력 제어를 위한 소자 재료 개발 속도는 자동차 발전 속도에 크게 미치지 못하고 있다. 따라서 Si 재료의 효율성을 극대화하는 NTD 기술이 크게 주목받고 있으며, 전용 중성자원의 건설 등 현재의 NTD 용량을 획기적으로 증가시킬 수 있는 계기가 마련된다면 NTD 기술의 녹색 성장에의 기여는 크게 확대될 것이다.

○ 고속중성자 웨이퍼 조사 기술

현대의 반도체 소자는 대부분 스위치 기능을 담당하고 있으며, 스위칭동안 소모되는 전력이 열을 발생시켜 소자 고장이나 전력 낭비의 주원인이 된다. 이는 소자 turn-off 시 남아 있는 carrier의 제거 시간(carrier lifetime) 때문인데, 소자의 drift 영역에 재결합 중심(recombination center)을 만들어 주면 잔류 carrier를 제거할 수 있다. 이를 위해 현재는 웨이퍼를 만든 후, Au, Pt 등 불순물을 주입하거나, 고에너지 입자 조사에 의한 격자 결함을 유발하여 재결합 중심을 만든다.

10keV-10 MeV 정도의 고속중성자는 웨이퍼 내에 매우 안정되고 균일한 격자 결함을 생성시킬 수 있다. 이에 따라 현재 가능한 결함 유발 방법 중 가장 뛰어난 성능(VCEsat 대 소멸시간 특성)을 나타내고 있다.<sup>(6)</sup> 그러나 열중성자를 이용하는 NTD와는 달리 고속중성자는 조사할 수 있는 시설이 매우 제한되어 있고, 수율(production

rate)이 낮다는 단점이 있다. 이러한 단점이 극복되어 고속 중성자를 대량으로 웨이퍼에 조사할 수 있는 시설이 갖추어진다면 이는 전력 소자의 에너지 사용 효율 증대에 막대한 기여를 할 수 있을 것이므로 대표적인 녹색 에너지 기술로 부상할 수 있다. 소자의 열적 특성이 크게 향상되므로 소자의 소형화, 집적화가 가능하게 된다. 즉, 차량용 전자부품과 같이 극한 환경에 노출되어야 하는 분야에 응용된다면 미래 추세인 자동차의 전자화 및 지능화에 크게 기여할 것이다.

### 수소 저장 물질

#### ○ 수소 저장 기술의 현황

화석연료의 대체 에너지 중 수소는 에너지로서 기대가 크며, 수소 에너지 활성화를 위해 무엇보다도 중요한 것이 수소 저장 능력이다. 그림 4는 미국에너지부(DOE) 요구와 현재 주요 저장 방법에 따른 기술 수준 및 그 저장 비용이다. 수소 저장 기술은 저장 형태에 따라 고압 기체(Metal Hydrides), 액체수소(Cheical H<sub>2</sub> Storage) 및 재료(Adsorbents/Carbon)를 이용한 수소 저장으로 분류된다. 특히 수소를 고체 및 액체 재료에 저장하는 방법은 저장 용량이 높고, 안전하여 미래 수소 저장 기술로 활발히 연구되고 있다. 미국은 장기적인 목표를 달성하기 위해 낮은 가격, 경량, 고밀도 수소 저장 특성을 가진 금속, 수소화물, 금속착 수소화물, 화학 수소화물, 탄소 및 고표면적 재료 등 가능성을 갖는 다양한 수소 저장 재료를 개

발하고 있다.

우리나라는 KCR, 현대자동차 등이 고압 기체 저장 방식(350~700 bar, 6~10 wt%)으로<sup>(8)</sup> 저비용/경량화/고압화를 달성하여 연료전지 자동차에 장착, 시험 중에 있고, 흡착 수소 저장, 수소화물에 의한 수소 저장의 경우는 연구가 진행되고 있다. 이들의 목표는 수소 저장량 4wt%(상온, 100 bar) 이상 및 체적밀도 45kg/m<sup>3</sup> 이상의 수소를 저장할 수 있는 효율적이고 경제적인 재료 및 수소 저장 시스템 개발과 원천기술 확보에 있다.

#### ○ 하나로의 역할과 전망

하나로의 우수한 중성자빔 연구 시설을 이용하면 수소 저장 재료에 대한 중성자빔 산란 실험을 통해 재료 내의 수소 층, 방전 기구를 규명할 수 있다. 이러한 실험 자료는 새로운 저장 재료 설계에 크게 기여할 것이다. 수소 생산 기술과 이용 기술을 연결하는 매개체적인 역할을 하는 수소 저장 기술은 수소 에너지 활용을 극대화시키기 위해 그 연구가 활발히 진행될 것이며, 특히 나노 물질을 포함한 수소저장 재료에 대한 연구가 그 주를 이룰 것이다. 수소 자체 및 수소 저장 재료의 구조 및 동역학적 정보를 측정하는데 있어서 탁월한 장점을 갖는 중성자 산란 연구기법의 중요성을 고려할 때, 하나로의 중성자 과학 연구시설을 이용한 원천연구는 수소 경제 시대를 견인하는 데 큰 기여를 하게 될 것으로 기대된다.

#### 연료전지 성능 평가

현재까지 수소 에너지를 가장 효율적으로 이용할 수 있는 장치는 연료전지이다. 수소와 산소를 연료로 사용하는 연료전지는 에너지 변환 효율이 높고 환경 친화적이기 때문에 차세대 동력원으로 각광받고 있으며, 성능 향상을 위한 연구가 전 세계적으로 활발하게 진행 중이다.<sup>(9)</sup> 연료전지 성능을 결정하는 여러 인자 중, 운전 과정에서 생기는 물은 전해질 내에 존재하는 양에 따라 수소 이온 전도성과 연료 공급에 큰 영향을 미치기 때문에 연료전지 성능 향상을 위해서는 물 관리가 필수적이다.<sup>(10)</sup> 그러나 연료전지는 불투명 금속막을 가지고 있기 때문에 연료전지 내부, 특히

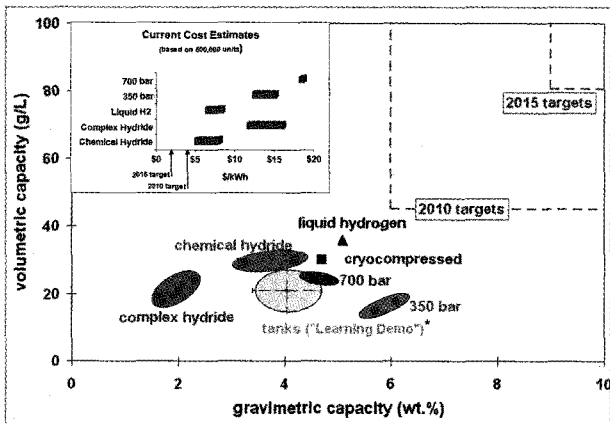


그림 4 수소저장기술의 현재와 목표<sup>(7)</sup>

MEA(Membrane Electrode Assembly) 가시화는 기존의 방법으로는 불가능하며, 오직 중성자만 가능하다. 중성자는 금속을 잘 투과한다는 특성 때문에 연료전지 내부에서 일어나는 현상을 비파괴적으로 분석할 수 있는 거의 유일한 도구이다.

미국의 표준과학기술원(NIST)을 비롯한 연구용원자로를 보유하고 있는 대부분 연구소에서 중성자를 이용하여 연료전지(특히, PEM Fuel Cell)의 성능 향상에 관한 연구를 활발히 수행 중이다.<sup>(11,12)</sup>

국내에서는 하나로에서 현대-기아 자동차, 포항공과대학교와 공동으로 연료전지 성능 향상을 위한 기반 시설 및 분석 기법을 개발하였고, 이를 바탕으로 다양한 운전조건

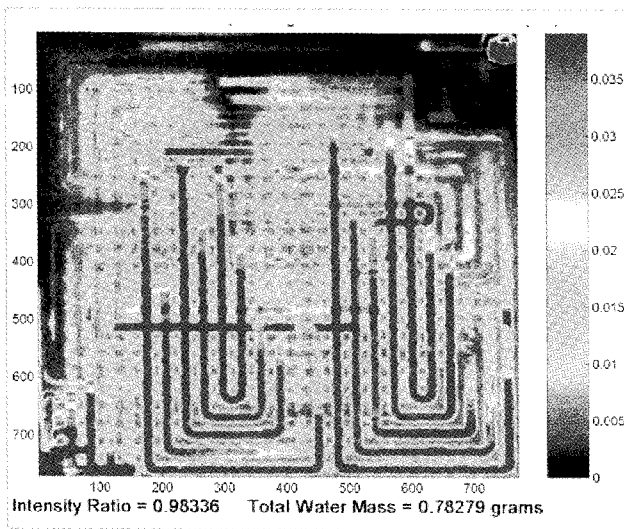
에서 일어나는 현상을 가시화하여 연료전지 성능 향상에 기여하고 있다.(그림 6 참조)

현재 하나로 중성자 영상장치의 공간 및 시간 분해능은 100 $\mu$ m 와 2~3초이지만, 고성능 섬광체 개발과 분석 기법의 발전으로 인해 향후 50 $\mu$ m 이하까지도 가능할 것으로 예상된다. 이 경우 MEA 내에서의 물 이동 등 소영역에서 일어나는 현상을 분석할 수 있다. 또한 냉시동, 금속 분리판 등 다양한 운전 조건에서 발생하는 여러 현상들을 이해하고, 이를 바탕으로 연료전지 성능 향상에 크게 기여할 것이다.

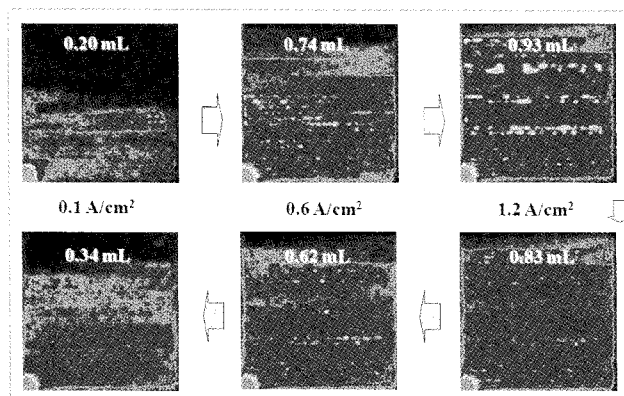
○ 차세대 이차 전지 개발

리튬 이온 이차전지는 높은 에너지 밀도로 인해서 경량이 요구되는 휴대용 기기의 전원으로 광범위하게 사용되고 있으며, 최근에는 하이브리드 자동차 등과 같은 고출력 특성이 요구되는 일부 기기에도 사용되고 있다. 고출력을 위해서는 다량의 전극물질을 필요로 하며, 전극 반응의 균질성은 더 중요하다. 그 이유는 리튬 이온 이차전지의 작동원리가 양극과 음극간 리튬 이온의 이동에 의해서 발생하는 충방전현상이므로, 리튬 이온의 이동 시 발생하는 전극 내의 구조 변화가 균일하지 않게 된다면 전극물질의 열화 가능성이 증가하여 시스템을 불안정하게 만드는 요소로 작용할 수 있기 때문이다. 이러한 구조변화를 정확하게 충방전 동안 in-situ로 확인 가능하다면, 전극물질 합성 및 분석에 도움이 될 것이다.

특히 전극 재료는 리튬이나, 산소, 탄소 등과 같이 원소 번호가 낮은 물질로 구성되어 있어 기존의 X-선 구조 분석은 in-situ 측정에 요구되는 벌크 재료의 구조분석에 한계가 있다. 시료에 대한 투과력이 큰 중성자 회절법을 이용하면 전극 내에 부분적으로 소량 존재하는 미세상도 분석할 수 있을 뿐만 아니라, 원통형 전지와 같은 비교적 큰 전지도 분리하지 않고도 구조 변화를 관찰할 수 있어, 전지의 열화 기구 규명에 활용도가 높을 것으로 기대된다.<sup>(13)</sup> 또한 중성자 비파괴검사법을 활용한다면 전지 시스템 내부의 액체나 기체의 존재형태를 관찰하는 데도 활용할 수 있다.



연료전지 음극에서의 물분포(NIST)



운전조건에 따른 물분포 및 물량 변화

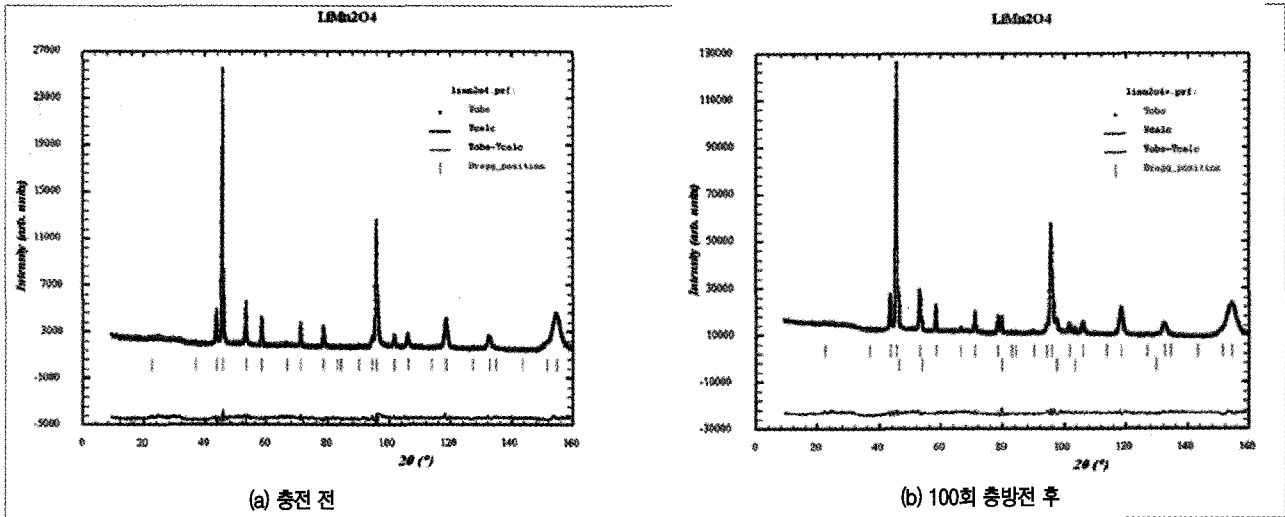


그림 7 LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 상용 전지의 충방전 전후의 중성자 회절 패턴

그림 7은 하이브리드 자동차의 후보 전지 재료로 이용되는 LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 상용전지의 충방전 횟수에 따른 중성자 회절상이다. 이 결과를 해석하면 충방전 후 LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>(88 wt%) 이외에 새로운 LiF(12 wt%) phase가 생성되는 것을 알 수 있는데, 이는 현재 사용되고 있는 리튬이차전지의 전해액을 개질할 필요성을 제시하는 중요한 결과이다.

이와 같이 중성자 회절법은 리튬이차전지 내의 미량 상 변화도 정밀하게 관찰할 수 있는 장점을 가지고 있다. 하나로서는 차세대 전지의 열화 성능 평가에 필요한 충방전-온도 동시 조절 시료 환경 장치를 개발하여, in-situ 특성 시험을 상용재료에 적용하고 있다. 이러한 하나로의 중성자 이용 장치는 고출력 차세대 전지의 개발 및 열화기구 규명에 크게 기여할 것이다.

### 맺음말

위에서 살펴본 바와 같이 하나로(HANARO)는 다양한 녹색 기술의 개발에 하나로가 활용되고 있다. NTD와 같이 이미 조사 서비스 체계가 갖추어진 기술도 있으며, 중성자 빔을 이용한 다양한 연구도 활발히 진행되고 있다. 녹색 기술의 가장 기초가 되는 소재와 부품에 대한 연구가 더욱 활발히 진행되면 녹색 성장에 하나로가 기여하는 바는 더

증대할 것으로 생각된다.

### 참고문헌

- (1) Herzer, H., 1981, "Neutron-doped silicon - a market review", Neutron-Transmutation-Doped Silicon, Proceedings of the Third International Conference on Neutron Transmutation Doping of Silicon held on August 27-29, 1980, in Copenhagen, Denmark, Plenum Press, New York, p. 1.
- (2) Kim, M. S., et al, 2009, "Estimation of future demand for neutron-transmutation-doped silicon caused by development of hybrid electric vehicle and its supply from research reactors," EPE2009, Barcelona, Spain.
- (3) Otsuki, M., et al, 2003, "Advanced thin wafer IGBTs with new thermal management solution," Proceedings of ISPSD 2003, April 14-17, Cambridge, UK, pp. 144-147.
- (4) Olszewski, M., 2006, "Evaluation of 2004 Toyota Prius hybrid electric drive system," ORNL/TM-2006/423, Oak Ridge National Laboratory, USA.

- (5) Kawahashi, A., 2003, "A new-generation hybrid electric vehicle and its supporting power semiconductor devices," Proceedings of 2004 International Symposium on Power Semiconductor Devices & ICs, Kitakyushu, Japan, pp. 23-29.
- (6) Hyun, D. H., private communications.
- (7) DOE EERE HFCIT Program, 2002.
- (8) 에너지 관리공단 신/재생에너지센터, "수소연료 전지 II", 북스힐, 2008.
- (9) K. Dyer, 2002, "Fuel cells for portable applications", J. Power Sources, 106, 31-34
- (10) W. Vielstich, A. Lamm, H. Gasteiger, 2003, "Handbook of fuel Cells-Fundamentals, Technology, Application", Wiley, New York
- (11) R. Satija, D.L. Jacobson, M. Arif, S.A. Werner, 2004, "In-situ neutron imaging technique for evaluation of water management systems in operating PEM fuel cells", J. Power Sources 129, 238-245.
- (12) D. Kramer, E. Lehmann, G. Frei, P. Vontobel, A. Wokaun, G.G. Scherer, 2005, "An on-line study of fuel cell behavior by thermal neutrons", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 542, 52-60.
- (13) 김창섭, 박현용, 양연화, 김지영, 성백석, 김건, 2007, "중성자를 이용한 리튬이온 이차전지 전극 구조분석", 한국전기화학회지, 10, 20-24.

## 기계용어해설

### 고장력강(高張力鋼; High Strength Steel)

탄소량을 0.2% 이하로 하여 용접성이 좋고, 니켈, 몰리브덴, 크롬, 바나듐 등을 미량 첨가하여 항장력을 강하게 한 것.

### 영국열단위(英國熱單位; British Thermal Unit)

B.T.U.로 약기. 영국과 미국에서 쓰이고 있는 피트, 파운드 법의 열 단위로, 1파운드의 물을 1°F만큼 높이는 데 필요한 열량.

### 버퍼 가스(Buffer Gas)

컴프레서 등에서 취급하는 기체가 축을 따라 외부로 누설되는 것을 막기 위하여, 무해 가스를 축의 패킹 그라운드부 등에 공급하는 기체.

### 버니싱(Burnishing; 닦음질)

가공품 표면을 평활하게 하기 위하여, 표면에 공구를 대고 연마하면서 나타나는 작은 불룩부분을 없애고 오목부분을 메우는 방법.

### 측관(側管; Bypass)

(1) 분기로, 분기로관 등 주로 측로에서 갈라져 주로와 병행하고, 재차 주로에 연결되는 길. (2) 주관에서 분기되어 다시 주관으로 되돌아오는 분기관.