

산학연 연구실 소개 (1)

나노그리드소재 융합연구단

(Pioneer Research Center for Nanogrid Materials)

부산광역시 금정구 부산대학교 63-2번길 부산대학교 고분자공학과 (609-735)

전 화 : 051-510-2407, Fax: 051-514-4331

E-mail : csha@pnu.edu, Homepage: http://www.nano-grid.co.kr/



연구책임자 | 하창식

부산대학교
고분자공학과 교수

1. 연구단 소개

본 연구단은 미래창조과학부와 한국연구재단이 주관하는 미래유망융합기술 파이오니어 사업의 일환으로 2010년 7월 선정되었다. 2016년 2월까지 나노기술(NT)과 환경기술(ET)의 융합 기술적 접근방식을 사용하여 핵심원천 기술을 개발하고자 연구를 수행하고 있다.

2. 연구개요 및 연구목적

리튬, 인듐, 코발트 등의 주요 희소금속(혹은 희유금속)은 IT 산업과 의료, 군사, 자동차, 우주항공 및 NT 분야 등 여러 산업에서 다양한 품종의 고기능성 재료 및 부품개발로 인하여 그 중요성이 커지고 있는 상황이다. 하지만, 국한된 희소금속 자원의 매장량과 세계적인 자원 무기화 경향에 의해 자원수급에 많은 어려움과 갈등이 초래되고 있다. 본 연구단에서는 해수, 지상, 재활용 자원으로부터 유가금속(코발트, 인듐, 리튬 등의 희소금속)을 고선택, 고효율로 회수하는 신 개념 소재와 시스템을 연구 개발하고 있다. 또한, chemical free한 친환경 회수 방법인 유동-연속 탈이온화(Flow Through- Continuous Deionization, FT-CDI) 시스템과 연계하여 고선택, 고효율 회수성능을 최적화 하기 위한 연구를 수행하고 있다. 그림 1은 나노그리드소재 융합연구단의 연구목표 개요도이다.

3. 연구내용 및 연구단 구성

본 연구단에서는 부산대학교(1세부, 하창식 교수(총괄, 연구책임자), 이원기 교수(부경대, 공동연구), 박성수 박사(부산대, 공동연구)), 한국화학연구원(2세부, 이우항 박사(연구책임자)), 그리고 연세대학교(3세부, 김중현 교수(연구책임자), 정인우 교수(경북대, 공동연구))에서는 무기물, 고분자, 유기-무기 하이브리드 다공성 물질을 이용한 신개념의 고선택적 흡착소재를 개발하고, 충남대학교(4세부, 황택성 교수(연구책임자), 강정석 박사(주) 시온텍, 공동연구))에서는 전기적



그림 1. 나노그리드소재 융합연구단의 연구 목표 개요도.

에서는 전기적 탈이온화 방식을 이용한 고성능 친환경 탈착 회수 시스템을 개발하고 있다.

3.1. 나노세공성 나노그리드 소재 개발(부산대학교)

규칙적인 구조와 균일한 세공크기를 가지는 다공성 나노(mesoporous) 물질은 높은 표면적과 큰 기공 부피를 가지는 것이 특징이다. 합성조건에 따라 세공 구조와 크기, 입자의 형태를 조절할 수 있고 세공 표면의 개질이 가능하기 때문에 촉매, 흡착제, 나노입자의 담지체, 약물전달체, 센서 그리고 나노전극물질 제조 등에 높은 응용 가능성을 가진다.

다공성 나노 물질은 주형으로 친수성기와 소수성기를 동시에 지니는 계면활성제나 양친성 블록 공중합체(amphiphilic block copolymer)와, 세공벽 구성 물질로 실리카 source를 사용하여 자기조립(self-Assembly)과정을 거쳐서 수열 반응

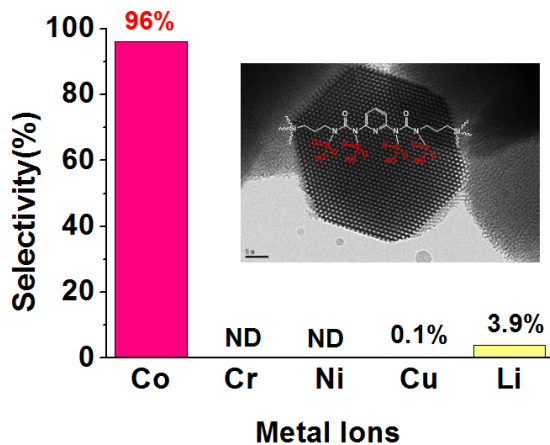


그림 2. 인공해수 내 다양한 금속에 대한 선택성. 삽입된 그림은 술폰산기를 가지는 유기그룹이 가교된 유기 실리카를 세공내에 포함하는 다공성 실리카 물질의 투과전자현미경 사진과 유기 실리카 원의 구조를 보여준다.

을 통해 합성된다.

본 연구팀에서는 유기그룹이 가교된 유기 실리카가 세공 벽에 혼입된 다공성 유기-무기 하이브리드 실리카 물질을 흡착제로 이용한 결과, 인공해수 내에서 96% 이상의 선택성과 함께 코발트 이온을 흡착할 수 있는 기술을 개발하였다(그림 2).

3.2. 유기금속 네트워크 나노그리드를 이용한 금속이온 회수 소재 개발(한국화학연구원)

나노세공체를 이용한 희소금속자원 회수 시스템의 핵심 개념은 다음과 같다.

i) 대상 금속이온을 대상으로 하여 나노미터 수준에서 공간적으로 정확히 위치한 흡착 작용기 도입으로 선택적으로 금속 이온을 흡착하고 ii) 흡착 작용기에 금속 이온의 접근성을 높이고 포집 용량을 극대화하기 위한 이차적 나노구조물 상에 도입하게 되며 iii) 최종적으로 효율적인 탈착 시스템 도입으로 흡착된 금속 이온에 대한 효율적인 탈착 및 농축과 회수가 가능하게 된다(그림 3).

흡착제로는 다양한 Metal-Organic Framework(MOF) 소재 외에 무기 나노세공체 KRICT-1, KRICT-5 등을 사용하였다. 표 1에서 유도결합플라즈마-질량분석 결과로 확인된 흡착율은, 결과적으로 KRICT-1과 KRICT-5 나노세공체 흡착소재들이 매우 뛰어난 흡착특성을 보유하고 있음을 확인하였으며 특히 무기 나노세공체 KRICT-5는 ITO 폐수 조건에서 인듐에 대한 흡착율이 99.9% 이상으로 유사한 다른 흡착제에 비하여 매우 뛰어난 흡착율을 확인하였다(표 1).

표 1. 각 흡착소재에 따른 ITO 폐수로부터의 인듐 흡착결과

	KRICT-1 adsorption[%]	KRICT-5 adsorption[%]
1차	67.5%	100%
2차	84.7%	99.9%

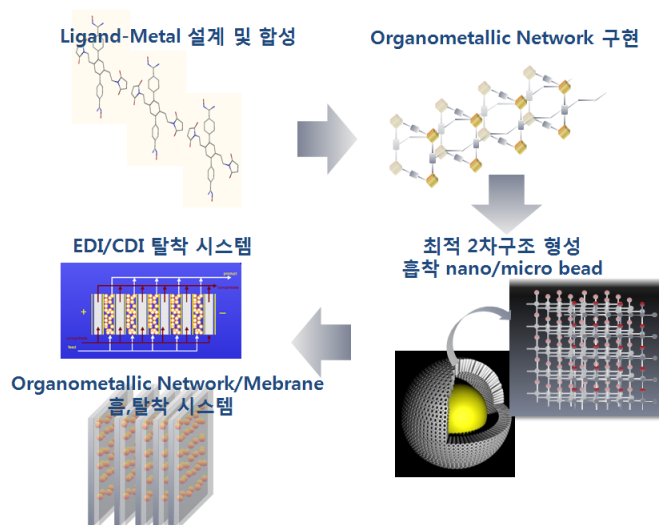


그림 3. 나노세공체를 이용한 나노그리드 금속이온 회수 소재 및 시스템의 개념도.

또한 해당 물질은 흡착소재로서 필수적이라고 할 수 있는 다공성, 표면 개질의 용이성, 수분 안정성, pH 안정성, 열적 안정성 등의 우수한 특성을 보유하고 있는 것을 확인하였으며, 기존에 보고된 적이 없는 인듐에 대하여 흡착소재 1 g 당 9~12 wt% 수준의 뛰어난 흡착능력을 보유하고 있음을 확인하였고 추가 연구를 통해 나노세공체의 표면적 뿐만 아니라 표면특성 및 다양한 작용기들이 희소금속이온의 흡착에 관여하는 사실을 추가적으로 알아내는 것이 가능하였다.

3.3. 유가자원 고도선택성 초고도가교 고분자 소재 개발 (연세대학교)

본 연구에서는 무기물 기반의 리튬을 흡착할 수 있는 흡착제의 단점을 극복하기 위하여 유기 흡착제를 이용하고 보완하는 연구기술이 요구 된다고 판단하여 기능성 리간드를 도입한 가교 고분자를 이용한 유기흡착제를 개발, 발전시키고 있다.

고도 가교 고분자를 이용한 온도 감응성 흡착소재는 리튬이온에 대해 95%이상의 고선택성을 보여주었다(그림 4). 또한 기존에 강산이나 강염기를 이용한 이전의 금속 이온 회수 방법은 환경에 악영향을 주기 때문에 호스트-게스트 화학을 이용하여 하이드로겔 특유의 고온에서 수축하는 특성을 활용하여 쉽게 탈착 가능한 기능성으로 제조하였으며 나노 크기의 흡착제 회수의 불편함을 덜기 위해 자성입자를 도입하여 자성력을 이용한 회수 방법을 사용하였다(그림 4).

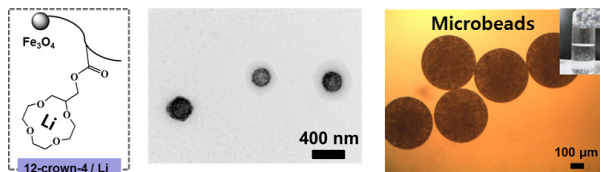


그림 4. 리튬이온의 선택적 흡착이 가능한 온도감응성 리튬 선택성 흡착제.

그리고 마이크로플루이드릭(microfluidic) 장치를 이용하여 비드(bead) 입자를 간단한 방법으로 제조하는 연구를 진행하고 있으며 하이드로겔 기반의 리튬 선택성 마이크로 비드는 단시간내에 리튬이온을 흡착할 수 있는 장점을 가지고 있었다. 또한 흡착량 증대 및 다른 금속이온의 선택성 또한 개질을 통한 변화가 가능하여 본 연구에서는 다양한 기능기 개발에 역점을 두고 소재 개발에 주력하고 있다.

3.4. 나노그리드 소재를 이용한 Chemical Free 회수기술개발 (충남대학교)

전기 탈이온화(EDI) 및 축전 탈이온화(CDI)기술의 상업화는 이루어져 있으나, 특정 금속이온의 선택적 분리에 대한

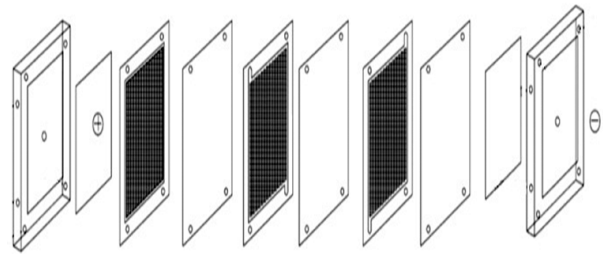


그림 5. FT-CDI 장치 모듈.

기술은 개발이 되지 않은 상황이다. 이러한 특정 금속이온의 선택적 분리를 위해서는 나노 소재 기술의 개발이 필요하며, 고도 분리 제어기술개발이 필수적인 상황이다. 현재 본 연구진에서 개발한 장치는 FT-CDI 장치로 EDI 장치를 더욱 발전시킨 장치이다.

금속을 탈착 하기 위해서 제조한 FT-CDI 장치의 핵심 부품인 모듈의 모식도를 그림 5에 나타내었다. 단위 셀의 구성은 전기적인 힘으로 탈착을 위해 양쪽 끝에 전압을 가할 수 있는 전극을 설치하였다. 한쪽은 양극, 한쪽은 음극으로 하였을 때 음극 쪽으로 금속이온이 이동할 수 있도록 막을 배치하였다. 한쪽 끝에서 비드와 농축액이 들어올 수 있도록 설계 하였다. 모듈을 순환한 비드가 다시 모듈로 순환할 수 있도록 설계 하였다. 이온교환막으로 바이폴라 막과 양이온 교환 막을 사용하였다. 양극 쪽에 설치된 바이폴라 막에서 생성되는 수소 이온을 받아 비드에서 이온교환이 일어나 탈착이 일어나고 탈착된 금속이온은 음극 쪽으로 이동하며 양이온 교환 막을 통과하여 다음 방에서 흐르는 농축수에 농축이 되도록 설계하였다. 모듈 내에서 각각의 용액들은 막에 의해 분리되어 서로 혼합되지 않고 순환하도록 설계되었다.

본 연구결과, FT-CDI 장치를 사용하여 흡착제로부터 85~100%의 탈착 결과를 나타내었다. 이러한 FT-CDI 장치는 희소금속 이온의 흡/탈착 뿐만 아니라, 유해 물질, 유용 물질의 농축, 회수에 널리 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 연구 파급효과

본 연구를 통한 유가금속의 고 효율 회수 기술개발은 희소금속의 확보를 위하여 우리나라가 다른 나라로부터의 수입액으로 충당해야 하는 연간 10억 2800만 달러의 막대한 외화절감에 직접적으로 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 더 나아가 우리나라를 현재 수입 의존국의 위치에서 벗어나, 전략 자원의 수출국으로의 부상을 가능하게 할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서 개발하는 나노그리드 소재는 희소금속 회수뿐만 아니라 바이오 물질, 유해 중금속 제거 등과 같은 여러 분야에 맞춤형 소재로 응용이 가능하다.

5. 나노그리드소재 융합연구단 주요 연구원 소개



하 창 식 | 부산대학교 고분자공학과 교수

전 공 : 고분자 공학
연구 분야 : 고분자 나노재료, 하이브리드 나노재료e-mail : csha@pnu.edu
전화 번호 : 051-510-2407

이 원 기 | 부경대학교 교수

전 공 : 고분자 공학
연구 분야 : 고분자 나노재료, 물질표면 분석e-mail : wonki@pknu.ac.kr
전화 번호 : 051-629-6451

박 성 수 | 부산대학교 연구교수

전 공 : 무기화학
연구 분야 : 다공성 나노소재, 하이브리드 나노소재e-mail : nanopss@pusan.ac.kr
전화 번호 : 051-510-3095

송 현 진 | 부산대학교 고분자공학과 석사과정

전 공 : 고분자공학
연구 분야 : 다공성 나노소재, 고분자재료e-mail : appleboy8282@hanmail.net
전화 번호 : 051-510-3095

이 우 황 | 한국화학연구원 선임연구원

전 공 : 무기화학
연구 분야 : 나노소재, 다공성소재e-mail : uhwang@krcit.re.kr
전화 번호 : 042-860-7678

이 수 경 | 한국화학연구원 연구원

전 공 : 화학
연구 분야 : 나노세공체, 촉매반응e-mail : sukyung@krcit.re.kr
전화 번호 : 042-860-7675

김 중 현 | 연세대학교 화공생명공학과 교수

전 공 : 화학공학
연구 분야 : 유기 나노 소재, 고분자 재료, 전도성 고분자e-mail : jayhkim@yonsei.ac.kr
전화 번호 : 02-2123-7633

정 인 우 | 경북대학교 응용화학과 부교수

전 공 : 화학공학
연구 분야 : 유기나노소재, 기능성코팅재료, 고분자 합성e-mail : inwoo@knu.ac.kr
전화 번호 : 053-950-7590

김 용 석 | 연세대학교 화공생명공학과 박사과정

전 공 : 화학공학
연구 분야 : 기능성 고분자 소재, 유-무기 하이브리드 소재, 고분자 합성e-mail : genie0719@yonsei.ac.kr
전화 번호 : 02-2123-4693

정 세 영 | 연세대학교 화공생명공학과 석사과정

전 공 : 화학공학
연구 분야 : 기능성 고분자 소재, 고분자 합성e-mail : dr4earth@gmail.com
전화 번호 : 02-2123-7633

황 태 성 | 충남대학교 화학공학과 교수

전 공 : 화학공학
연구 분야 : 고분자 합성, 하이브리드 소재e-mail : tshwang@cnu.ac.kr
전화 번호 : 042-821-5687

강 경 석 | ㈜시온텍 대표이사

전 공 : 화학공학
연구 분야 : 고분자 합성e-mail : kskang@siontech.com
전화 번호 : 042-935-0401

박 희 만 | 충남대학교 화학공학과 석사과정

전 공 : 화학공학
연구 분야 : 고분자 합성e-mail : synthesis@cnu.ac.kr
전화 번호 : 042-821-7677

박 성 규 | 충남대학교 화학공학과 석사과정

전 공 : 화학공학
연구 분야 : 고분자 합성e-mail : smart@cnu.ac.kr
전화 번호 : 042-821-7677