

천연나노튜브 - 할로이사이트의 활용현황과 전망

이 수 정

한국지질자원연구원 자원활용소재연구부

주로 제지산업과 세라믹산업에서 사용되는 고풍토는 점토광물학에서 카올린아족에 속하는 카올리나이트, 디카이트, 나크라이트, 그리고 할로이사이트를 일컫는다. 우리나라의 대표적 고풍토 산지인 하동-산청지역에서는 튜브형의 할로이사이트에 판상형의 카올리나이트가 섞여 산출된다. 튜브형의 할로이사이트는 제지용이나 플라스틱 충전제 등으로는 부적합하기 때문에 주로 식기류나 타일류, 위생도기류등의 저급용도자기원료로 사용된다. 과거에는 튜브형의 할로이사이트를 판상형으로 개질하기 위한 연구들이 수행되기도 하였다(이종근 외, 1977; 김성규 외, 1993).

나노기술의 발달에 따라 산업광물의 적용분야가 빠르게 확장되고 있다. 대표적인 나노물질이 바로 본격적인 나노기술 시대를 열게 한 탄소나노튜브이다. 탄소나노튜브는 기존의 기술분야가 갖는 경계선을 허문 융복합기술에 의해 다양한 용도적용 가능성이 전자정보통신, 의약, 소재, 에너지 등의 분야에서 활발하게 연구되고 있다. 그러나 탄소나노튜브 생산에는 높은 기술수준이 요구되기 때문에 튜브의 직경, 길이, 밀도 등을 조절하며 고순도의 탄소나노튜브를 대량생산하는 일은 여전히 어렵다.

최근 탄소나노튜브를 닮은 천연의 나노튜브 물

질로 할로이사이트와 이모콜라이트가 관심을 끄는 것은, 활용분야는 무한하지만 제조비용이 높고 생산이 까다로운 탄소나노튜브를 어느 정도 대체할 수 있을 것으로 기대되기 때문이다. 할로이사이트는 전통적으로 카올린광물의 산업적 용도에 이용되어 왔으나, 최근에는 천연 할로이사이트 튜브의 분리, 정제 기술 개발이 성공하면서 할로이사이트만이 갖는 독특한 튜브형의 결정형을 이용하려는 연구가 활발하게 시작되고 있다. 아직은 가능성을 점검하는 정도의 태동기로 볼 수 있지만, 탄소나노튜브가 200달러/g 정도의 비용으로 실험실에서 제조되는 반면, 천연 할로이사이트는 이의 1/5000~1/25,000 정도의 금액이면 구입할 수 있을 정도로 저렴하다. 이처럼 할로이사이트가 저렴한 천연나노튜브라는 점이 바로 산업계를 흥분시키고 있는 것이다.

튜브형의 결정형을 이용한 기술 특허현황

미국에서 출원된 할로이사이트 관련 특허 중 튜브형태를 이용하는 기술을 검색해보면 1995년부터 2004년 까지 한, 두건 수준이었던 것이 2005년에 10건으로 증가한 것을 알 수 있다(그림 1).

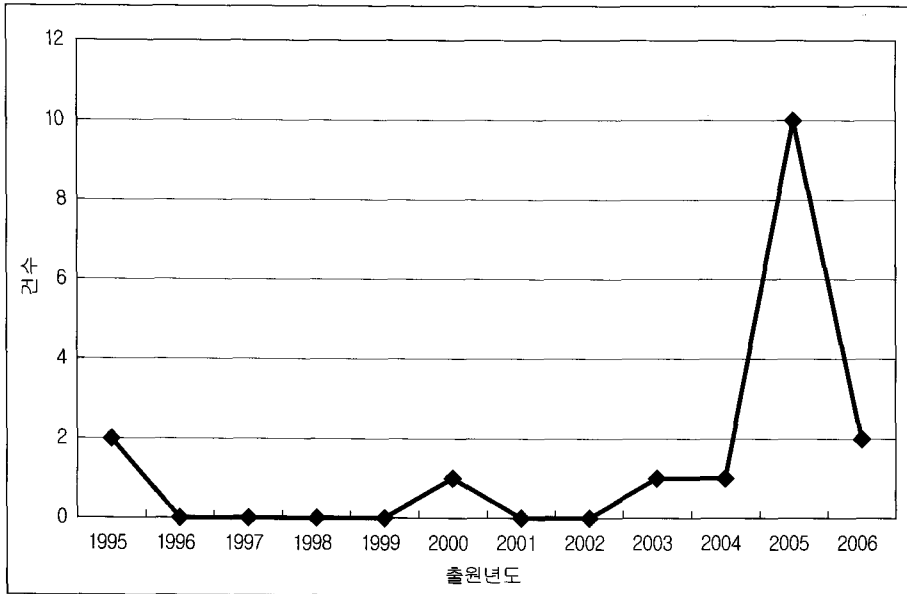


그림 1. 튜브형 할로이사이트에 관련된 미국 특허의 출원년도별 추이.

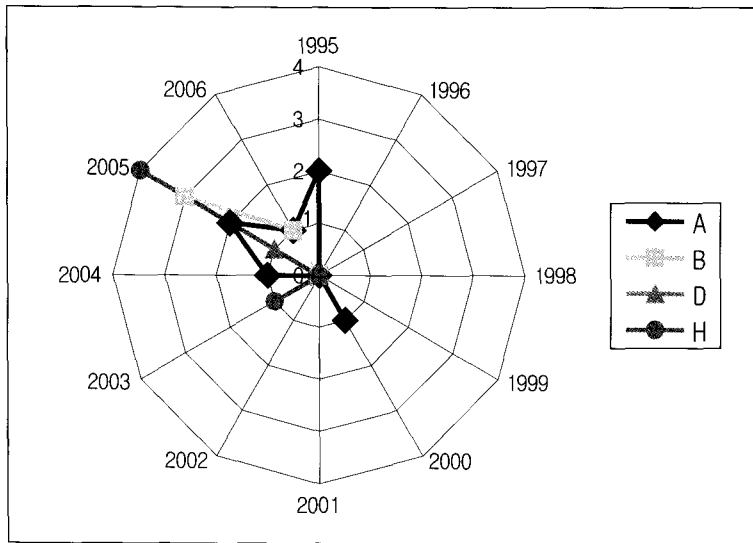


그림 2. 튜브형 할로이사이트에 관련된 미국 특허의 출원년도별 기술 레이더.

특허가 출원되고 공개되기까지는 약 18개월이 걸리기 때문에 가장 최근의 통계는 반영되지 못한 것일 뿐 2006년도에 출원건수가 줄어든 것은 아닙니다. 오히려 최근 보도에 의하면 출원건수는 급증할 것으로 예상됩니다. 그림 2는 국제특허분류

(IPC) 기준으로 본 기술레이더이다. 특허가 본격적으로 늘기 시작한 2005년 특허는 전기(H섹션) 기술분야에서 가장 많은 4건이 출원되었다. 다음으로 분리혼합(B섹션)에서 3건, 생활필수품(A섹션)에서 2건, 섬유 및 지류(D섹션) 기술분야에서

표 1. 튜브형 할로이사이트 활용기술의 미국 특허 출원번호를 국제특허분류 섹션별 기술 매트릭스에 나타내었음

	1995	2000	2003	2004	2005	2006
A	1995-509483 1995-523725	2000-518133		2004-595143	2005-045790 2005-229433	2006-554575
B					2005-042219 2005-134657 2005-223263	2006-531459
D					2005-151073	
H			2003-353952		2005-048297 2005-099055 2005-120719 2005-244376	

1건이 출원되었다. 국제특허분류와 년도별 등록된 전체 특허기술의 출원현황은 표 1과 같다.

전체 특허에 대해 국제특허분류 기준별로 자세한 특허등록 분야를 살펴보면 다음과 같다. 생활필수품 관련기술 분야는 총 7건으로 전체의 41%를 차지하였다(그림 3). 의약품, 치과용 또는 화장용 제재 분야가 대부분이며, 살충제나 제초제 등 살생물제에 관한 기술, 붕대나 흡수성 패드 등 위생 및 (수)의학에 관계된 기술 등이 속하는 기술분야이다. 전체의 29%를 차지하는 전기 관련기술 분야는 자석이나 자기특성에 의한 재료의 선택, 전지분야, 정전기에 관한 것들이었다. 전체의 24%를 차지하는 4건의 분리혼

합 관련기술 특허는 액체나 타유동성 물질을 작용시키기 위한 공정에 관한 기술분야이다. 섬유 및 지류 관련기술 특허 1건은 천연이나 인조사, 섬유, 방적, 탄소 필라멘트 제조에 특히 적합한 장치 분야에 해당되었다. 종합적으로 보면, 튜브형의 할로이사이트를 이용하는 기술은 튜브를 담체로 사용하여 방출지연을 제어할 수 있는 의약 및 화장품이나 살생물제와 관련된 기술 개발이 가장 활발한 것으로 결론지을 수 있다.

주발명자 순위를 보면 Wang이 5건으로 가장 많고, Price 4건, Schoen 3건 등이 상위를 차지한다(그림 4). Wang박사는 알프레드(Alfred)대학 전기공학과 교수로 박막코팅에 관한 기술발명을 토

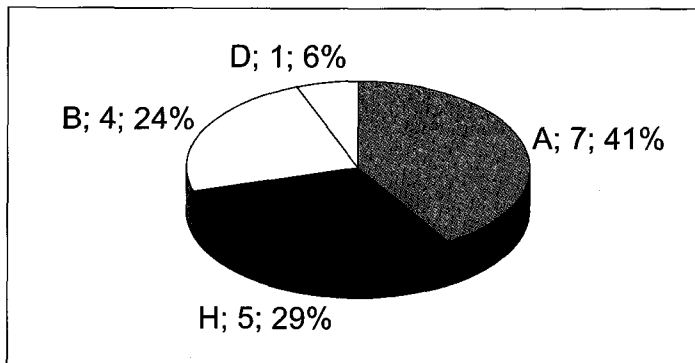


그림 3. 튜브형 할로이사이트에 관련된 미국 출원특허의 국제특허분류 섹션별 백분율 (섹션, 건수, 백분율로 표시하였음).

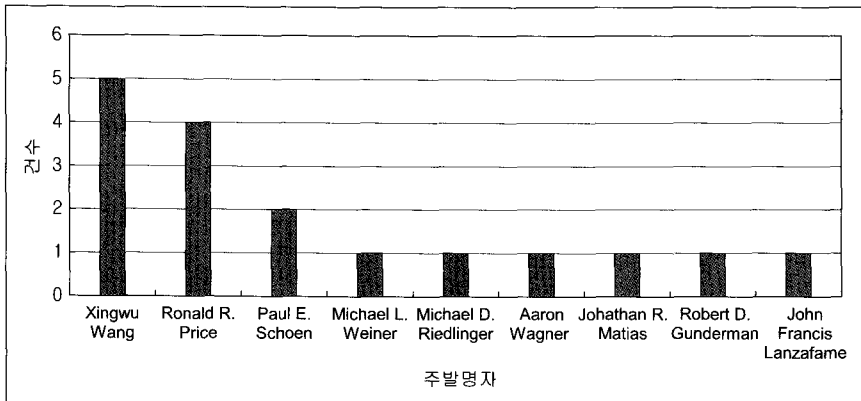


그림 4. 튜브형 할로이사이트에 관련된 미국 출원특허의 주발명자 순위.

대로 나노셋사(Nanoset, LLC)을 설립하고 활발하게 특허를 출원하고 있다. Price박사는 할로이사이트 튜브를 이용한 방출지연에 관련된 특허들을 출원하였다.

전체 발명자 순위에서는 Price박사가 가장 많은 7건의 특허에 참여한 것으로 나타났다(그림 5). Wang교수와 Weiner가 5건, Greenwald와 Schnur이 4건의 순이었다. Weiner는 할로이사이트 튜브의 분리, 정제기술 특허의 주발명자로, 심장박동조정장치와 핵자기공명단층촬영법(MRI) 등 의료장비 개발회사인 바이오팬사(Biophan Technologies, Inc.)와 내츄럴나노

사(NaturalNano, Inc.)의 설립자이다. 바이오팬사는 나노셋사가 출원한 의생물분야 적용기술 특허에 대해 독점권을 갖고 있다. Weiner는 현재 테크놀로지 이노베이션사(Technology Innovations, LLC)의 CEO로, 바이오팬, 내츄럴나노 및 나노셋이 모두 테크놀로지 이노베이션사의 계열사에 속한다. 현재 튜브형의 할로이사이트를 활용하는 미국 발명특허 17건 가운데 10건이 Weiner의 계열사에서 출원된 것이다. 한편 출원인을 살펴보면, 방출지연과 마이크로파를 감쇠시키는 복합재료 제조기술 등은 미 해군이, 할로이사이트 튜브 분리, 정제 기술

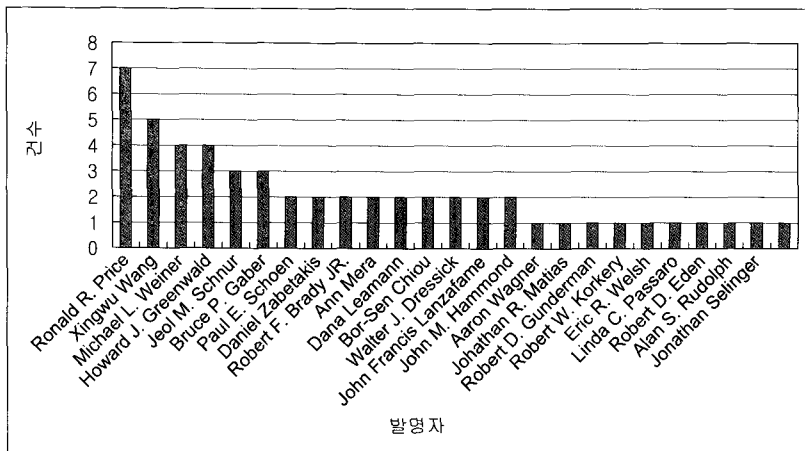


그림 5. 튜브형 할로이사이트에 관련된 미국 출원특허의 발명자 순위.

로 특허를 출원한 것 외에 전파 감쇠 및 차폐에 쓰이는 복합재료 제조기술과 할로이사이트에 유용성분을 넣어 방출지연을 제어함으로써 미용효과를 높인 화장품 제조기술 등은 내추럴나노사에서 출원하였다. 내추럴나노사와 바이오팬사는 할로이사이트 튜브와 관련된 각각 20개 내외의 특허를 출원했거나 출원 중이라고 밝혀 앞으로 더 많은 특허가 공개될 것으로 예상된다.

튜브형 할로이사이트의 분리, 정제 기술

할로이사이트가 판상형이 아닌 튜브형이나 구형 등 다양한 결정형으로 산출된다는 것은 새로운 사실이 아니다. 그러나 천연광물인 만큼 광상에서 산출되더라도 불순물을 함유하고 있고, 튜브의 길이나 직경 등이 균질하지 않다. 특히 풍화작용의 산물로 형성된 경우 다양한 불순물이 섞여있어서, 공정이 복잡해지고 생산원가가 상승하게 된다. 현재 국내산 할로이사이트의 고품위 원광은 거의 소진된 상태로, 저급 고품도를 정제하여 고급 도자기 소지원료로 전환하기 위한 연구가 수행된 바 있다(조건준 외, 1998). 이러한 정제는 고품도의 용도에 따른 물성, 즉 소성백색도, 가소성, 수축율 등을 충족시키기 위한 것으로, 요구되는 물성을 저하시키지 않는 불순물들은 제거할 필요가 없는 공정이다. 현재 국내에서 생산되는 할로이사이트 원광으로부터 할로이사이트 나노튜브 만들 분리, 정제하는 것은 사실상 매우 어려울 것으로 생각되며, 앞으로 소개할 용도에 적합한 할로이사이트 나노튜브는 고품위 원광에서부터 시작, 매우 엄격하게 할로이사이트 튜브만을 분리, 정제하는 공정에서 생산이 가능한 것으로 판단된다.

뉴욕에 위치한 내추럴나노사는 튜브형 할로이사이트 원광에서 균일한 길이, 직경의 튜브를

분리, 정제, 분류하는 기술을 개발하여 특허(표 2)를 출원하고 독보적인 선두에 나서고 있다. 내추럴나노사는 현재 미국 유타주 드래곤(Dragon)광산 산 할로이사이트를 매입하여 사용하고 있는데, 원광에는 튜브형의 할로이사이트, 판상의 점토광물 및 불순물 등이 포함되어 있다. 이것을 조크러셔(jaw crusher)나 회전분쇄기(gyratory crusher)로 1차 분쇄한다. 2차 및 3차 분쇄의 목적은 할로이사이트 튜브와 다른 광물 및 불순물 등을 분리하는 것으로, 콘크러셔(cone crusher) 등을 사용하여 왕모래 정도의 크기이하로 분쇄하게 된다. 이것을 물과 섞어 슬러리로 만든 다음 하이드로사이클론(hydrocyclone)에 통과시키면, 비중차이에 의해 할로이사이트 튜브만을 분리하게 된다. 하이드로사이클론은 직경이 서로 다른 할로이사이트 튜브를 분리하는 데도 이용된다. 슬러리는 고에너지의 고주파(초음파)를 가해 잘 분산되도록 한다. 다음의 최종 분쇄-제분단계에서는 서로 멩쳐 덩어리진 상태인 할로이사이트 튜브 또는 판상의 광물입자를 날개의 입자로 풀어주게 된다. 볼밀(ball mill), 로드밀(rod mill) 등을 사용한다. 그런 다음 직교류형 여과(cross flow 또는 tangential filtration)장치에서 미세 할로이사이트 튜브 또는 판상 점토입자는 소성시킨 금속이나 다공질 세라믹 재질의 여과재를 통과하게 된다. 또는 이 입자들을 철이나 니켈, 또는 니켈-보론 등의 자성물질로 코팅한 후 자성을 띠는 다공성 튜브형 여과재 등으로 구성된 전자기 직교류형 여과장치에 통과시킨다. 원심분리 등의 탈수과정과 건조과정 등이 최종 분리, 정제 과정에 포함된다. 튜브형 할로이사이트만을 분리하기위해 금속 기관 등 전도성 패드 위에 미세채널들이 있는 장치에서 슬러리 속의 할로이사이트 튜브는 전기영동에 의해 미세채널 속으로 침전되게 된다.

표 2. 튜브형 할로이사이트에 관련된 미국 출원특허의 요지분석

No	출원번호	주발명자	특허의 제목	요약
1	US2006-554575	Riedlinger, M..D.	Cosmetic skincare applications employing mineral-derived tubules for controlled release	피부 미용성분을 할로이사이트 튜브에 넣어 방출을 제어함으로써 미용효과 증대
2	US2006-531459	Wagner, A.	Radiation absorptive composites and methods for production	전자파를 흡수하는 복합소재 제조용 할로이사이트 튜브를 전도성 금속으로 코팅하는 기술
3	US2005-229433	Price, R. R.	Novel biodegradable biofouling control coating and method of formulation	선박 표면의 오손방지용 페인트로서, 살생물제를 적재한 할로이사이트 튜브를 넣어 제조하는 기술
4	US2004-595143	Matias, J. R.	Menthol propyleneglycol-carbonate and analogs thereof as insect pest repellents	할로이사이트 튜브내에 방충약물을 넣어 캡슐화함으로써 적은 약물로도 동일한 약효를 얻고, 다른 첨가제에 의해 약효가 저하되는 것을 방지하는 기술
5	US2005-120719	Wang, X.	Novel composition	할로이사이트 튜브를 나노자성 물질로 코팅하는 기술
6	US2005-223263	Schoen, P. E.	Microwave-attenuating composite materials, methods for preparing the same, intermediates for preparing the same, devices containing the same, methods of preparing such a device, and methods of attenuating microwaves	금속으로 코팅시킨 할로이사이트 튜브 등을 고분자나 세라믹 기질에 넣은 복합체로 마이크로파를 감쇠시키는 기술
7	US2003-353952	Schoen, P. E.	Microwave-attenuating composite materials, methods for preparing the same, intermediates for preparing the same, devices containing the same, methods of preparing such a device, and methods of attenuating microwaves	금속으로 코팅시킨 할로이사이트 튜브 등을 고분자나 세라믹 기질에 넣은 복합체로 마이크로파를 감쇠시키는 기술
8	US2005-134657	Gunderman, R. D.	Ultracapacitors comprised of mineral microtubules	할로이사이트 튜브를 넣은 고분자나 에어로겔 페이스트로 구성된 초고용량축전기 제조기술
9	US2005-151073	Wang, X.	Storage assembly	수소를 할로이사이트 튜브에 저장하는 조립체 제조기술
10	US2005-042219	Weiner, M.	Halloysite microtubule processes, structures, and compositions	할로이사이트 튜브를 분리, 정제하는 기술
11	US2005-048297	Wang, X.	Novel composition	할로이사이트 튜브를 나노자성 물질로 코팅하는 기술
12	US2005-244376	Lanzafame, J. F.	Hydrogen storage apparatus	금속으로 코팅한 할로이사이트를 이용하여 수소를 저장, 조립체 제조 기술
13	US2005-099055	Wang, X.	Hydrogen storage apparatus comprised of halloysite	할로이사이트 튜브에 수소를 저장하는 장치의 발명
14	US2005-045790	Wang, X.	Materials and devices of enhanced electromagnetic transparency	전자기 입자로 코팅한 할로이사이트 튜브를 이용하여 전자기 투과성을 강화시킨 물질의 제조, 장치, 방법에 관한 발명
15	US2000-518133	Price, R. R.	Efficient method for subsurface treatments, including squeeze treatments	유정관의 부식, 오염, 부식 등을 예방, 처치하기 위해 할로이사이트 튜브에 활성제를 넣어 캡슐화하여 적용하는 기술
16	US1995-523725	Price, R. R.	Sustained delivery of active compounds from tubules, with rational control	특정 길이 또는 어떤 범위의 길이에 해당되는 할로이사이트 튜브만을 선별해서 그 내부에 활성물질을 적재하고, 방출지연을 제어하는 기술의 발명
17	US1995-509483	Price, R. R.	Controlled release of active agents using inorganic tubules	할로이사이트 튜브내에 활성물질을 적재하여 방출을 제어하는 성분 또는 기술의 발명

천연나노튜브-할로이사이트의 용도

세계 최초로 천연 할로이사이트 튜브만을 분리, 정제하는 데 성공한 내츄럴나노사에 의하면 전 세계 나노기술 기업들의 할로이사이트에 관한 관심이 가히 폭발적이라고 한다. 특히 아시아지역의 바이오기술 회사들은 할로이사이트 튜브의 방출 지연기능에 많은 관심을 보이고 있다고 한다.

현재로서는 천연 할로이사이트의 분리, 추출 및 정제기술을 독보적으로 보유한 내츄럴나노사를 계열사로 거느린 테크놀로지 이노베이션사가 할로이사이트 나노튜브의 활용기술에 선도적인 위치를 차지하는 것으로 보인다. 반면 미해군 연구소(Naval Research Laboratory)는 할로이사이트 튜브를 이용한 방출제어 및 지연 기술에 관한 특허를 미리 선점하고 있었다. 이에 따라 2007년 11월 내츄럴나노사는 미해군 연구소와 할로이사이트 나노튜브의 방출제어 지연 분야에 관한 10개 특허에 관한 독점적 라이선스 계약을 맺었다. 할로이사이트의 튜브형태를 활용하는 기술은 방출제어 및 지연 분야에서 주로 개발될 것이지만, 튜브 내부 표면과 외부 표면을 활용하는 기술이나 튜브 안에 물질을 담체하지 않더라도 튜브 형태 자체를 활용하는 것으로도 확대될 수 있을 것으로 예상된다.

선박 표면의 오손 방지용 살생물제의 담체

미국의 해군연구소는 선박의 선체에 붙어서 기생하는 미생물의 성장을 막기 위한 오손(fouling) 방지용 살생물제(biocides)를 튜브형 할로이사이트에 넣어 선박용 페인트의 첨가제로 사용하는 특허를 출원하였다(표 2). 이 목적으로 사용되던 기존의 기술은 해양오염의 가능성이 있었으나 약물의 방출속도를 제어하게 됨으로써 약물의 효율

을 높일 것으로 기대된다. 이러한 결과는 튜브형 할로이사이트내에 전달물질을 넣은 후 방출을 제어할 수 있는 기술(표 2)을 전제로 하고 있다. 조개, 따개비류, 조류 등이 선박의 표면에 붙어서 배 표면을 손상시키는 오손을 방지하기 위해 살생물제가 함유된 페인트를 사용하는 것이 일반적이며, 이와 관련된 전 세계 시장규모는 7억달러/1년에 달하고 이 중 70%를 유럽이 점유하고 있다. 살생물제가 함유된 페인트는 엄격한 법령 하에서 심한 규제를 받기 때문에 새로운 성분을 첨가하려면 천문학적 비용이 소모되지만, 할로이사이트는 생물체에 유해하지 않고 방출제어를 통해 살생물제를 낮은 농도로 사용해도 방출시간을 연장할 수 있을 것으로 보고 있다.

약물전달체

차세대 의약기술 개발업체인 바이오오픈사는 2006년 천연 튜브형 할로이사이트를 이용한 약물전달 기술에 관하여 내츄럴나노사와 협력하여 특허를 출원했다고 발표했다. 바이오오픈사는 의약분야 시장에 내츄럴나노사의 할로이사이트 튜브 기술에 대한 전 세계적 독점권을 소유하고 있다. 현재 붕대나 상처회복용 재료 등의 용도를 다각도로 연구하는 것으로 알려지고 있다. 할로이사이트 튜브를 약물 전달체로 사용하여 약물을 탑재하게 되면 약물 방출을 조절함으로써 약물이 갖는 부작용을 제거하는 동시에 약물의 전달력을 향상시켜 치료 효과를 향상시킬 것으로 기대되고 있다.

고분자 나노복합소재

내츄럴나노사는 나일론에 이어 폴리프로필렌에 할로이사이트 튜브를 첨가한 복합소재 생산

을 위한 시험공장 가동이 성공적이라고 밝힌 바 있다. 올해 6월에는 할로이사이트 튜브가 첨가된 고분자 나노복합체를 접착제 및 코팅용으로 개발했다고 밝히고, 2007년 4분기안에 플렉시머(Pleximer)라는 이름으로 상업적 판매를 시작할 예정이라고 발표하였다. 내추럴나노사에 따르면 할로이사이트 튜브를 약 20% 첨가한 접착제는 고분자만을 사용했을 때 보다 10배 이상의 접착력을 보인다고 한다. 이러한 복합소재의 상업화를 올해 안에 시작해서 2008년도에는 플렉시머를 사용하는 최종 제품 생산이 시작될 예정이다. 현재 내추럴나노사의 연구팀은 방향제에 할로이사이트 튜브를 활용하는 방안을 연구중인데, 직물산업 및 운동복의 향균성, 새차 향의 지속 등으로 활용할 수 있을 것으로 예상한다고 말하고 있다. 나노복합소재 시장 규모는 2010년까지 현재 3억달러 규모에서 7억달러 이상으로 증가할 것이 예상된다.

축전기의 전극 페이스트

가볍고 휴대할 수 있는 기기가 늘어나면서 축전기의 정전용량을 증가시키기 위한 기술개발이 중요해지고 있다. 전해컨덴서(electrolytic condenser)는 음극인 전해액과 양극, 유전체로 구성되어 있는데, 정전용량을 증가시킨 초고용량축전기(ultracapacitor 또는 supercapacitor)는 상용화될 경우 하이브리드 자동차 등에 널리 쓰일 것으로 예상되고 있다. 높은 전자전도도와 표면적 등 전극물질로써 가장 적합한 것이 바로 탄소재료로, 탄소나노튜브, 활성탄소, 비정질 탄소 및 탄소복합재료 등을 이용하는 초고용량축전기 기술개발이 활발하게 연구되고 있다. 이러한 기술개발 노력의 하나로 할로이사이트의 튜브 내부를 탄소, 자기저항 물질 등으로 채우고 광전도성물질로 튜브를 코팅한 후

전도성 고분자나 에어로겔에 넣어 전극 페이스트로 사용하는 초고용량축전기 제조기술의 특허가 출원되어 있다(표 2). 초고용량 축전기는 미래에너지 및 환경문제와 관련된 전기화학 에너지 저장 기술로써 유망기술로 꼽히는 분야이다.

수소저장체

화석연료를 대체할 미래 에너지원으로 손꼽히는 수소에너지는 저장과 수송이 어려워 실용화는 아직 요원하지만, 여러 저장방법의 가능성이 연구되고 있다. 나노구조 물질에 수소를 저장하는 기술도 연구되고 있는데, 금속/금속간 수소화물이나 금속착수소화물, 나노구조 탄소재료, 유기금속구조물 등이 그 대상이다(김근영 외, 2005). 탄소나노튜브를 비롯한 탄소재료의 수소저장 가능성은 아직 해결해야 할 많은 문제점들이 있지만, 그 가능성은 끊임없이 연구되고 있다. 탄소나노튜브와 유사한 천연나노튜브인 할로이사이트 튜브를 금속으로 코팅하여 밀폐된 용기에 넣은 다음 수소가스를 주입, 할로이사이트 튜브 내부에 1리터 부피당 최소 20g의 수소가스를 저장하는 기술이 발명됨으로써(표 2), 할로이사이트 튜브도 수소를 저장할 수 있는 나노구조물임이 증명되었다. 수소저장은 매우 위험한 만큼 고도의 기술지식이 필요한 분야이기 때문에 예측하기 어렵지만, 수소저장체로서 연구되고 있는 탄소나노튜브를 대체할 수 있는 값싼 천연나노튜브인 할로이사이트의 미래 용도 중의 하나라고 할 수 있다.

미용 화장품 분야

할로이사이트를 비롯한 점토입자들은 점도를 높이는 점증제나 양이온교환능에 의한 클린징 효

과를 주기 때문에 화장품 성분으로 쓰인다. 이와 달리 할로이사이트 튜브만의 특성을 이용하면, 피부미용을 위한 효과물질이 쉽게 휘발되지 않고 천천히 흡수되도록 할로이사이트 튜브에 넣어 방출을 제어할 수 있다(표 2). 할로이사이트를 포함하는 막대형 입자를 파우더류 화장품 성분으로 첨가하거나(JP1996-48614) 튜브형은 아니지만 구형의 할로이사이트를 파우더류 화장품 성분으로 첨가하여 기능성과 미적 효과를 높이는 특허기술도 출원된 바 있다(JP2003-267815).

전파 차폐제

현대생활에서 개인용, 가정용 전자기기 즉 휴대폰이나 컴퓨터, 전자레인지 등의 사용은 점점 증가되고 있다. 특히 군용 레이더 시스템 등의 사용시 각 기기들이 다른 기기 및 시스템에 방해를 주지 않는 것이 중요하다. 외래 전파의 영향을 받게 되면 기기가 오작동을 일으키고 인체에도 유해하다는 사실은 잘 알려져 있다. 따라서 마이크로파나 전자파 등 전파를 효과적으로 차폐할 수 있는 방법이 다양하게 연구되고 있는데, 기계적, 전기적 성질이 우수한 탄소나노튜브를 복합체의 필러로 이용하는 연구가 활발하다. 이러한 용도의 탄소나노튜브를 대체하려는 특허기술로써, 전도성 금속으로 코팅한 할로이사이트 튜브를 첨가한 복합체 제조기술이 출원되어 있다(표 2).

할로이사이트 튜브의 활용전망

탄소는 21세기를 대표하는 꿈의 신소재이며, 탄소나노튜브의 활용분야는 무한하다고들 한다. 할로이사이트는 값싸게 대량으로 쉽게 얻을 수

있는 천연나노튜브로써, 상대적으로 제조비용이 비싼 탄소나노튜브나 붕소질화물나노튜브를 대체할 수 있는(화학조성이 아닌 튜브형태를 활용하는 용도로써) 재료이다. 앞에서 살펴본 바와 같이 할로이사이트 튜브는 탄소나노튜브의 대체물질로써 여러 분야에서의 활용이 시도되고 있으며, 그 범위는 더욱 늘어날 것이다. 현재 국내에서 할로이사이트 나노튜브의 활용에 관한 연구가 한국지질자원연구원에서 “천연 나노광물 활용 기술 개발: 스마트 나노컨테이너 제조” 사업으로 시작되었다. 할로이사이트 나노튜브의 활용은 이제 개발되고 있는 시작단계이다. 하지만 그 범위는 이제까지의 어떤 산업광물의 쓰임새보다도 광범위할 것으로 예상되는 만큼, 국내에서도 진지한 연구 개발 노력이 신속하게 경주되어야 할 것이다.

참고 문헌

- 김근영, Zachari, R., 남기석 (2005) 나노구조물질을 이용한 수소저장 기술개발 동향. 한국신재생에너지학회 제17회 워크샵 및 추계학술대회, 84-91.
- 김성규, 이화영, 오종기 (1993) 열수반응에 의한 Kaolinite의 합성 및 Halloysite의 개질. 한국세라믹학회지, 30, 41-45.
- 이종근, 이병하, 김성일 (1977) 국산 Kaolin의 개질에 관한 연구. 한국세라믹학회지, 14, 82-87.
- 조건준, 채영배, 최연호, 김상배, 전호석, 조성백, 정수복, 홍성용, 최영운, 남철우 (1998) 고품토광의 가공기술 및 산업화 연구. 한국지질자원연구원 연구보고서, 208 p.