

나노입자에 색을 입힌다

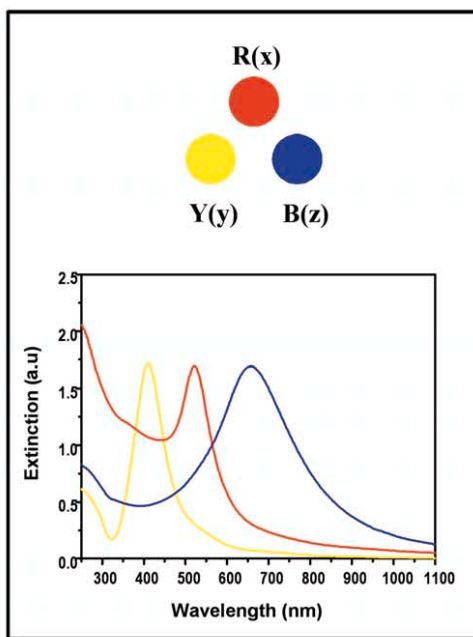
글 | 임용택 _ 한국생명공학연구원 바이오나노연구단 yongtaik@kribb.re.kr

현 재 과학기술 및 산업분야에서 큰 화두 중의 하나가 나노기술이다. 나노란 10억분의 1을 나타내는 용어로서, DNA의 폭이 약 2nm이고, 원자의 크기가 약 0.1nm인 점을 감안하면 어느 정도 작은 크기인가를 짐작할 수 있다. 물질의 크기가 이러한 나노의 크기에 이르면 그 크기 및 형태에 따라 다른 물리적, 화학적인 성질을 나타내고 벌크 상태의 특성에 비해 매우 우수한 특성을 갖는다.

금이나 은과 같은 금속 소재는 그 크기가 나노영역에 도달하면 표면플라스몬공명효과에 의해 독특한 색을 나타내게 된다. 이러한 이유는 금속 나노입자가 그 구성물과 크기에 의해 특정 파장영역에

서 빛을 강하게 흡수하거나 산란시키는 특성을 가지고 있기 때문이다. 금속 나노입자의 이러한 광학특성을 이용하여 고대인들은 건축물의 벽면이나 창문 등을 장식하는 데 이용하기도 하였다. 최근에는 이러한 광학적 특성을 바이오 및 의료분야에서 활발하게 응용하기 시작함으로써, 나노기술과 바이오기술이 융합된 대표적인 나노 바이오기술의 한 분야가 되었다.

나노입자는 유전자 및 단백질 등 다양한 생체물질과 그 크기가 비슷하기 때문에 바이오 및 의학 분야에서 질병의 진단, 치료기술 분야 등에서 기존의 방법으로는 불가능했던 획기적인 신기술을 창



금속 나노입자



다색 입자

〈그림 1〉 3가지 색을 띠는 나노입자를 이용한 다색의 나노 및 마이크로 입자 제조

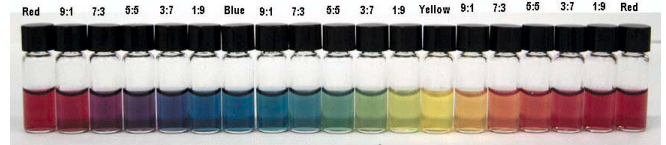
출할 수 있다. 질병의 징후가 몸에서 느껴지기 전에 질병의 진행을 분자수준에서 감지할 수 있는 나노진단 기술은 조기진단에 있어서 핵심기술이라고 할 수 있다. 체외진단 분야에서는 극미량의 샘플을 분석할 수 있는 초감도 나노센서의 개발, 체내 진단분야에서는 양자점 나노입자, 산화철 나노입자 등과 같은 의학 영상용 초고감도 나노 조영제의 개발이 활발하게 진행되고 있다. 최근에는 나노입자에 약물을 결합시키고 동시에 특정한 암세포와 결합하는 항체를 이용함으로써 약물의 전달 효과를 높이면서 부작용을 줄이고, 치료 시 환자의 불편함을 최소화할 수 있는 나노 약물전달 시스템이 큰 관심사가 되고 있다.

나노입자 이용해 다양한 색 구현

이러한 관점에서 나노입자의 응용분야는 무궁무진하다고 할 수 있는데, 우리 실생활에서 쉽게 활용될 수 있는 분야의 예를 들어 나노입자의 유용성을 알아보자. 앞서 설명한 금속 나노입자의 독특한 광학적 특성을 활용하기 위해서 다양한 종류의 금속 나노입자의 모양과 그 크기를 조절해 다양한 파장 영역에서 빛을 흡수하거나 산란하는 성질을 가진 나노입자를 제조하려는 시도가 활발하게 시도되고 있다. 하지만, 우리 실생활에 사용되고 있는 다양한 색에 해당하는 나노입자를 균일하게 제조하는 기술은 아직 연구단계에 머물러 있는 실정이다. 그 이유는, 다양한 색을 가지는 입자를 제조하기 위해서는 다양한 화학반응 조건을 이용해야 하고, 또한 반응 수율도 높지 않기 때문이다.

최근에 필자의 연구단에서는 색의 혼합에 관한 간단한 원리를 이용하여 다양한 색을 가지는 금속 나노입자를 제조할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 이렇게 제조된 다양한 색의 나노입자는 다른 나노 및 마이크로 입자를 코팅하거나 색조 화장품 제조 등과 같은 분야에 활용되었다.

〈그림 1〉은 색의 3원색인 빨강색, 노랑색, 파랑색을 띠는 금속 나노입자를 이용하여 가시광선 영역의 모든 색을 손쉽게 제조할 수 있는 원리에 대한 설명이다. 빨강색을 나타내는 나노입자 콜로이드는 약 30nm 크기를 갖는 금 나노입자를 이용하여 제조할 수 있고, 노랑색을 나타내는 나노입자 콜로이드는 은 나노입자를 제조할 수 있으며, 파랑색을 갖는 나노입자 콜로이드는 속이 비어 있는 금 나노입자를 이용하여 제조할 수 있다. 속이 빈 형태의 금 나노입자는 위에서 제조된 노랑색의 은 나노입자를 화학반응에 의하여 할로우 형태의 금 나노입자로 변환하여 제조할 수 있다.



(a)



(b)

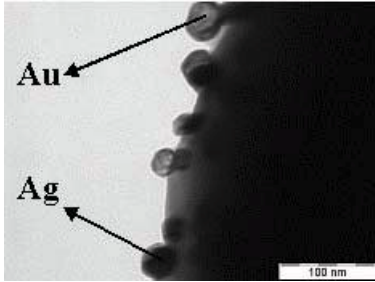
〈그림 2〉 다색 나노입자 콜로이드의 흡수특성(a)과 산란특성(b)



〈그림 3〉 나노입자가 코팅된 다색 마이크로 비드의 광학특성

〈그림 2〉는 나노입자 콜로이드 용액의 광학특성(흡수와 산란)을 보여준다. 〈그림 2〉에서 보여준 가시광선 영역의 다양한 색을 각각 다른 종류와 크기를 갖는 금속나노입자를 이용하여 제조한다는 것은 매우 번거로운 일일 뿐만 아니라, 대량으로 제조하는 기술에도 문제가 있기 때문에 〈그림 1〉에서 제시된 매우 간단하면서도 제조가 용이한 방법을 이용하여 다색을 갖는 나노입자 콜로이드를 제조할 수 있다는 것은 매우 흥미로운 일이다. 또한, 이러한 연구는 나노기술을 과학기술자가 아닌 일반인들도 그 기본 특성만 이해한다면 우리 실생활에서 매우 유용하게 활용하고, 또한 새로운 기술도 창출할 수 있다는 것을 보여준 한 예라고 할 수 있다.

이렇게 제조된 금속 나노입자 콜로이드 용액은 다양한 색을 가지는 마이크로 및 나노입자를 제조하는 분야에 활용되었다. 〈그림 3〉은 마이크로 크기를 갖는 고분자 입자 표면에 다양한 색을 띠는 나노입자 콜로이드 용액을 코팅하여 제조된 다색의 마이크로 비드를 나타낸다. 〈그림 4〉는 이렇게 제조된 마이크로 입자의 표면을 전자현미경(TEM)을 이용하여 관찰한 것이다. 입자 표면에 색을 제



〈그림 4〉 마이크로입자 표면의 은 나노입자와 할로우 형태의 금 나노입자에 대한 전자현미경 사진

조하기 위해 사용된 두 가지 종류의 금속 나노입자가 코팅되어 있음을 확인할 수 있다.

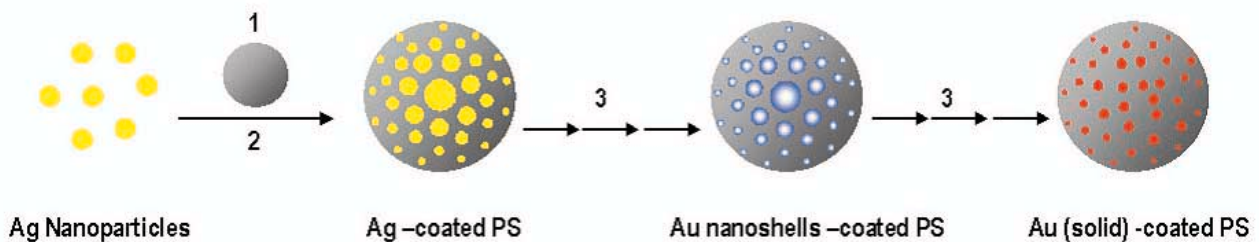
나노 혹은 마이크로 입자의 표면에서 직접 금속 나노입자의 성분과 구조를 변화시킴으로써 다양한 색을 띠는 입자를 제조할 수도 있다(그림 5 참조). 노랑색을 띠는 은 나노입자를 고분자 입자 표면에 코팅한 후에 화학반응을 통하여 은 나노입자를 속이 빈 할로우 형태의 골드 입자로 변화시킬 수 있고, 화학 반응 정도에 따라서 이렇게 제조된 할로우 형태의 골드 나노구조체의 구조는 작은 골드 나노입자로 나누어지게 된다. 이러한 화학반응을 거치는 동안에 고분자 입자 표면에서 금속의 나노구조가 변화하기 때문에, 빛을 흡수하거나 산란시키는 파장도 변하게 되어, 우리 눈으로 관찰할 수 있는 색이 변화함을 확인할 수 있다. 이렇게 제조된 입자는 〈그림

1〉의 방법에 비해서 그 색을 체계적으로 조절할 수 없다는 단점을 가지고 있지만, 은이 코팅된 입자를 한 가지 화학반응만을 이용하여 손쉽게 다양한 색을 내는 입자를 제조할 수 있다는 점에서 매우 흥미로운 연구이다. 이렇게 제조된 다색의 마이크로 및 나노입자는 바이오 정보 분석, 질병 진단용 소자의 핵심 소재로서 다양하게 활용될 수 있다.

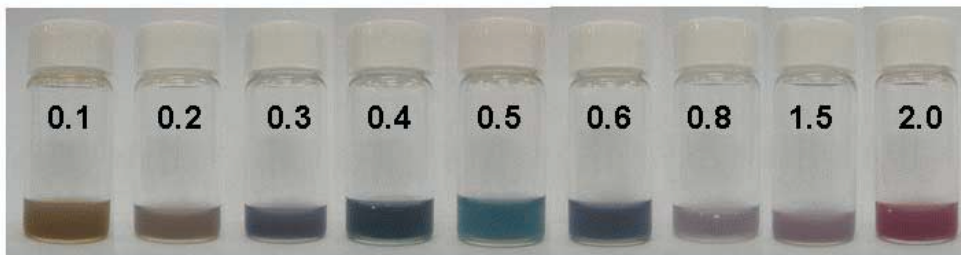
금·은 나노입자로 색조 화장품 제조

이렇게 제조된 콜로이드 용액은 화장품에 사용되는 안료 조성물로도 이용될 수 있는데, 필자의 연구단에서는 이렇게 제조된 다색의 콜로이드 입자를 다양한 화장품용 소재와 혼합하여 다색의 기능성 화장품을 제조하는 분야에 특허를 출원하고 기업체에 기술 이전하여 시제품을 개발중이다(그림 6 참조).

립스틱을 포함하는 대부분의 화장품에 주로 이용되는 색소의 주 재료는 석유에서 분리하여 합성한 타르계열의 색소로 90여 종이 있다. 또한 발색을 위해 안료로 금속화합물을 사용하는데 대부분 납, 카드뮴, 산화철과 같은 중금속 화합물이다. 이러한 안료는 발색성이 강하여 색상이 선명하고 종류에 따라 내열성과 내광성이 좋으나, 물에 녹지 않고 일부의 용제에만 녹으며, 보통 분산형태로 존재하지만 안료 상호간의 응집력이 작용하거나 침강이 일어나 안전한



(a)



(b)

〈그림 5〉 고분자 나노입자표면에서 금속 나노입자의 구조변환을 통한 다색 입자 제조과정(a)과 제조된 다색 고분자 나노입자의 겉보기 모습(b)



〈그림 6〉 다색의 금속 나노입자 콜로이드를 이용하여 제조된 색조 화장품 시제품 (제공 : (주) 네쥬럴 F&P)

분산상태를 오래 유지하지 어려운 단점이 있다. 뿐만 아니라 이러한 안료들은 인체에 유해한 물질로 피부질환과 같은 부작용이 생길 수 있다.

종래 화장료용 안료의 사용상 부적절성을 개선하기 위하여 그동안 다양한 화장료용 색소에 대한 연구가 지속되어 왔다. 일부 연구에서는 무궁화에서 추출한 사포나린을 다량 함유한 화장료용 색소가 나와 있는데, 이 경우 인체 유효 생리 활성물질을 함유할 뿐만 아니라 기존의 안료인 금속화합물을 대체할 수는 있으나, 화장료로 사용할 때는 피부의 번들거림을 막기 위해 여전히 유기물질이나 합성 수지입자 등을 사용해야 한다는 문제점이 있다.

한편, 최근에는 나노 금 함유 실리카 미립자를 함유한 화장료로, 피지분비에 의한 번들거림을 효과적으로 억제할 수 있는 메이크업 화장료가 나와 있다. 그러나 여기에 사용되는 나노 금은 붉은 색을 나타내는 영역의 20~50nm에 한정되어 있고, 다양한 색상을 나타내는 데는 한계가 있다.

이처럼 종래의 기술에서는 금 또는 은 나노입자를 이용하여 적색 또는 황색 외의 색상을 구현하여 응용한 기술이 보고되지 않았다. 게다가, 금과 은은 종래 사용되어 오던 색소와는 달리 독성이 없고 강력한 살균력을 지녔을 뿐만 아니라, 매우 안정성이 높은 장점이 있어 식품과 화장품 등에서 고급 원료로 사용돼 온 활용가치가 큰 물질이다.

금의 효능에 대하여 기원 1세기 로마 박물학자 대 플리니우스는

피부궤양 등을 고치는 힘이 있다는 기록을 남긴 바 있고, 중세엔 물약에 금가루를 넣어 노화방지용으로 사용하였다. 한편, 현대의학에서는 금이 간균의 증식억제 작용이 있고, 천식 등에도 효험이 있음이 밝혀진 바 있다. 1927년대 유럽에서 류머티스성 관절염 등에 통증 경감 작용이 있음을 발견하였고, 내과 및 안과에서는 미세한 금 입자를 이용하고 있다. 또한, 동의보감 등 한의서에서는 금이 신경안정 작용, 해독작용, 피부 정화 작용, 관절염, 신경통 등에도 유효하다는 기록이 있을 정도로 금의 효능은 널리 알려져 있다.

이와 더불어, 은에는 650여 가지의 세균 및 지상의 거의 모든 간세포 병균을 비롯한 곰팡이 균, 바이러스 균 등 모든 종류의 균을 살균할 수 있으며, 균이 증식하는 과정에서 필요한 효소의 기능을 정지시키는 것이 밝혀진 바 있다. 또한 은에는 화상시 뛰어난 치유 효과, 뼈의 성장을 촉진하고 세포의 재생을 돕는 세포 재생 및 활성화 효과, 면역력 향상효과, 림프액 순환작용을 도와주는 조혈작용, 땀샘의 근원이 되는 각종 세균의 살균 및 암모니아와 변성 단백질을 무력하게 만드는 살취작용, 알코올 분해 등 인체내 독소를 배출하는 해독작용 등의 효과가 있다.

나노입자를 이용한 색조화장품 제조는 나노기술이 우리 실생활과 밀접하게 접목되어 활용될 수 있는 분야의 한 예에 불과하며, 바이오 및 의료분야에서 앞으로도 많은 부가가치를 창출할 수 있을 것으로 기대된다. 나노기술과 바이오 및 의료기술이 결합된 융합분야 중에서도 나노생체소재 개발 분야는 선진국에 비해 기술 격차가 크지 않으며 국내에서도 선진국에 비해 비교우위를 가지고 있는 분야도 있다. 또한, 앞으로 10년간의 나노기술 연구개발 방향은 생명과학과 결합된 나노 바이오 및 나노 의학 분야 쪽으로 변할 것으로 대부분의 과학자들이 예상하고 있으므로 이에 대한 발전 전략을 수립하고 집중 투자한다면 현재의 IT 강국에서 나노바이오 강국이 될 것으로 기대된다. ⁵¹⁾



글쓴이는 서강대학교 화학공학과 졸업 후 한국과학기술원 화학공학과에서 석사학위를, 생명화학공학과에서 박사학위를 받았다. MIT 화학과 방문연구원, 한국전자통신연구원 선임연구원을 지냈다.