

# NIE Issue Brief

NIE IB 17-01(통권 4호) 2017년 1월 31일 | 발행처 : 국립생태원 | 발행인 : 이희철 | www.nie.re.kr

## 자연에서 배우자 : 생물모방(生物模倣)

생태기반연구실 이은옥, 정길상

### 1. 생물모방 연구란

지구상의 대부분 생명체들은 38억년 동안 종의 유지와 확대를 위해 지구 환경에 최적화된 상태로 진화, 적응해 왔다. 이렇게 적응된 다양한 생물들의 관찰 연구를 통하여 인간의 삶과 지구환경에 도움이 되는 연구 분야를 생물모방이라고 한다. 생물모방이란 말 그대로 38억년간 진화된 생명체들의 모습 혹은 기능을 모방한 것으로 생명체의 기본 구조, 원리 등과 그것이 속한 환경 시스템(생태계)을 모방, 응용하는 것을 말하며 비슷한 용어로는 생체모방, 의생학(疑生學)이 있다.

시작으로는 먼 옛날 돌도끼, 화살촉 등 맹수의 이빨을 본떠 만들어 도구로 사용한 것을 들 수 있다. 1940년대에는 일명 짝짝이라고 불리는 벨크로 테이프가 대표적인 생물모방 연구의 산물이라 할 수 있는데, 이는 갈고리 형태인 도꼬마리 열매 가시에서 유래가 되었다. 산짐승의 털이나 의복 등에 붙어 종자의 이동과 확산을 위하여 도꼬마리가 진화한 결과를 우리가 활용하여 인류의 히트 상품으로 만든 것이다. 이렇듯 진화의 결과 지구상의 생명체들은 무수히 많고 다양한 형태와 기작을 가지게 되었기 때문에 이를 잘 관찰한다면, 유용한 생물모방 연구의 소재도 무궁무진하게 찾아 낼 수 있다.

### 2. 생물모방 연구 사례

#### (1) 구조색을 이용한 디스플레이 개발

##### (가) 몰포나비 파란날개와 구조색

몰포나비는 중남미에 서식하는 몰포나비속(Morpho)의 나비를 말하며 이 중 눈부신 파란날개를 가지고 있는 나비들이 있다. 이 파란색은 어느 각도로 보아도 눈부신 파란색을 나타내고 있는데 단순히 색소에 의한 색이 아니라 미세구조에 의한 빛의 반사로 만들어지는 색으로 구조색(structural color)이라고 한다. 이 미세구조에 의해 나타나는 매력적인 파란색은 많은 연구자들에게 의해 연구되어 그 발현 기작이 밝혀졌다.

파란색은 날개의 인편(scale)에서 나타나고 있으며 이 인편 조각 하나를 확대하면 줄무늬 구조가 나타나고 또 이 줄무늬 구조를 확대하면 또 다른 미세구조가 나타난다.

그 미세구조에는 여러 겹으로 쌓인 줄무늬 층이 보이며 그 단면을 보면 책꽂이 구조처럼 보이는 미세구조가 나타난다. 몰포나비의 인편은 들어가면 들어갈수록 더 작은책 미세구조들이 등장 한다.

책꽂이 구조(질서)는 높이가 서로서로 다르며(무질서) 선반에 해당되는 가로로 놓인 구조에 빛이 닿아 반사되어 옆에 있는 다른 책꽂이 구조에서 반사되는 빛과 만나 회절을 일으키며 파란색을 나타내게 하는 것이다.

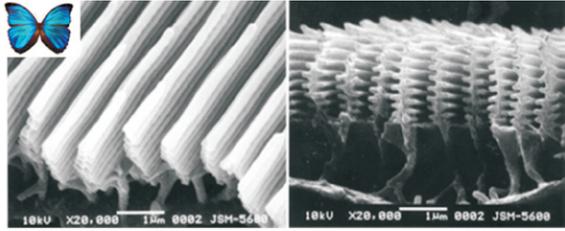


그림 . 몰포나비와 인편의 책꽃이 미세구조의 전자현미경 사진<sup>1)</sup>

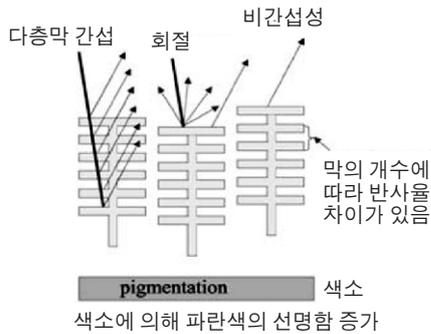


그림 . 몰포나비의 파란색이 만들어지는 원리<sup>2)</sup>

그리고 이 책꽃이 구조 밑에는 멜라닌 색소가 분포해 있어 빛을 흡수하며 구조가 나타내는 파란색에 선명함을 증대시킨다<sup>1), 2)</sup>

#### (나) 몰포나비와 디스플레이 개발

몰포 나비가 파란색을 나타내는 기작을 위에서 알아보았다. 그럼 이 파란색을 나타내는 몰포 나비와 디스플레이는 어떤 관계가 있어 몰포 나비로 디스플레이를 개발한 것일까?

디스플레이 개발에 있어 관건은 전원소모의 최소화, 얇은 두께 그리고 높은 색상 구현 등이 있다. KAIST의 신중훈 교수는 이를 해결하기 위해 몰포 나비를 모방한 것이다.

구조색은 빛의 반사로 색을 내고 있어 몰포 나비의 구조색을 모방하면 색의 구현에 있어 전원이 많이 들지 않을 것이다. 그리고 기존의 디스플레이의 선명하지 못한

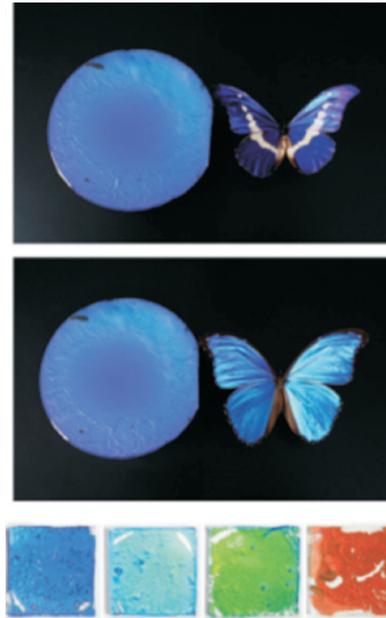


그림 . 2종류의 몰포 나비를 모방한 필름막. 매우 얇게 제작되었으며 구부릴 수도 있다<sup>3)</sup>.

색상 재현과 색의 왜곡 등을 몰포 나비의

구조색으로 해결하였다. 몰포 나비는 빛만 받으면 어느 각도에서도 선명한 파란색을 나타내므로 신중훈 교수팀은 몰포 나비의 미세구조를 미세 유리구슬로 모방하였다.

책꽃이 구조를 질서와 무질서로 임의 배열하여 반도체 증착법으로 제작, 이것을 여러 겹 중첩하여 필름막에 넣은 것이다. 이렇게 매우 얇게 제작한 필름막으로 전원을 최소화하여 외부 빛을 이용하는(반사하여) 차세대 반사형 디스플레이가 탄생하게 되었다.

#### (2) 연잎을 모방한 자정유리

진흙탕에서도 깨끗함을 유지하는 꽃이 연꽃이다. 특히 녹색의 연잎을 보면 물방울이 맺혀 있으며 더러움이라곤 하나도 찾아

1) S Kinoshita, S Yoshioka and J Miyazaki. 2008. Physics of structural colors. Rep. Prog. Phys. 71, 076401.  
 2) S Kinoshita and S Yoshioka. 2005. Structural Colors in Nature: The Role of Regularity and Irregularity in the Structure. ChemPhysChem. 6, 1442-1459.  
 3) Kyungjae Chung, Sunkyu Yu, Chul-Joon Heo, Jae Won Shim, Seung-Man Yang, Moon Gyu Han, Hong-Seok Lee, Yongwan Jin, Sang Yoon Lee, Namkyoo Park, and Jung H. Shin. 2012. Flexible, Angle-Independent, Structural Color Reflectors Inspired by Morpho Butterfly Wings. Advanced Materials. 24:2375-2379.



그림 . 물방울이 맺힌 연잎

볼 수가 없다. 왜 연잎은 항상 깨끗한 것일까?

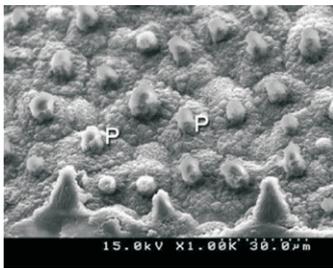


그림 . 연잎 표면의 미세 돌기, p는 미세돌기를 가리킴<sup>4)</sup>

연잎의 구조를 전자현미경을 이용해서 들여다보면 연꽃잎 표면에 무수히 많은 미세 돌기가 존재한다. 이 미세 돌기들은 15x12 $\mu$ m (높이x폭)의 원통 형태로<sup>4)</sup>, 이 울퉁불퉁한 돌기들이 있어 물방울이 연잎에 스며들지 못 하고 흘러내리는 것이다.

물방울들이 흘러내리면서 표면의 더러움도 함께 물방울과 붙어 흘러내려 연잎은 항상 깨끗함을 유지하는 것이다. 이것을 연잎 효과 혹은 로터스 효과(lotus effect)라 부르며 이 연잎 효과를 이용하여 표면의 더러움을 물로 쉽게 없애는 방법을 고안하는 연구가 수행되고 있다.

물방울로 더러움을 없애기 위해서는 먼저 물방울이 표면과 친한지 안 친한지를 알아봐야 한다. 즉 소수성이냐 친수성이냐를 확인해야 한다. 소수성이라면 물방울이 구르면서 표면에 묻은 오염물질을 흡착하여 떨어지게 한다. 소수성이 되기 위해서는 물

방울이 표면에 닿는 면적을 작게 해야 하는데 연잎은 이에 딱 맞게 미세 돌기들이 표면에 많이 있다. 연구자들은 미세 돌기로 소수성 표면을 제작하여 물방울로 더러움을 없애는 기술을 재현했다. 이 기술은 외장 도료, 유리창, 변기 등에 적용되어 실용화가 다가오고 있다.

### (3) 흑등고래의 지느러미 혹을 모방한 팬(fan)

흑등고래 (Megaptera novaeangliae)는 주요 대양의 해안을 따라 서식하는 고래로 그 길이가 12~15m에 이른다. 이 고래의 가슴지느러미를 보면 작은 혹들이 지느러미에 있다.



그림 . 흑등고래 가슴지느러미에 달린 혹

많은 연구자들은 이 혹이 지느러미에서 무슨 역할을 하는지 역학연구를 한 결과, 이 혹들 간의 거리와 어깨에서부터의 혹의 거리를 재어 어깨에서부터 멀수록 혹 간의 거리가 짧아지는 사실과 혹의 유무에 따라 받음각(angle of attack)에서 양력이 달라지는 것을 확인했다<sup>5)</sup>. 또한, 풍차 날개에 혹을 달은 것과 그렇지 않은 것을 비교하여 같은 속도로 움직일 때 혹이 있는 날개의 출력이 높은 것도 확인했다. 연구진들은 흑등고래의 혹을 이용하면 비행기 날개, 풍력 발전의 풍차 날개, 팬 등의 디자인에 고효율적으로 적용될 것으로 생각하였다.

좀 더 기계 역학적으로 설명된 논문을 보면 이 가슴지느러미의 혹들이 있어 흑등

4) 김인선. 2012. 연꽃식물 조직의 표피 특성과 연잎효과. 한국원미경학회지. 42(2):95-103.

5) Frank E. Fish, Paul W. Weber, Mark M. Murray and Laurens E. Howle. 2011. The Tubercles on Humpback Whales' Flippers: Application of Bio-Inspired Technology. Integrative and Comparative Biology. 51(1):203-213.

고래가 물의 저항을 덜 받으며 움직일 수 있고 혹 때문에 와류가 생겨 높은 운동량을 공급해 준다고 한다<sup>6)</sup>.

이처럼 혹등고래의 혹은 쉽게 몸을 물속에서 움직이게 하기 위해 생긴 것으로 보이며 마치 우리에게 자신들의 혹을 본떠서 저



그림 . 서울대와 LG가 개발한 혹등고래의 혹을 모방한 에어컨 실외기 팬. 빨간 박스의 돌기가 모방한 부분

항에 잘 견디고 신속히 움직일 수 있는 것을 만들라는 무언의 지시가 느껴질 정도이다.

최근 서울대학교 기계항공공학부 최해천 교수 연구팀은 LG와의 연구개발로 혹등고래의 혹을 모방하여 고효율팬(fan)을 만들었다.

모방한 혹(돌기)들은 돌면서 공기를 붙잡아 공기가 떨어지면서 생기는 공기 흐름 손실을 막아주어 효율을 높인다. 이 팬을 에어컨 실외기로 적용했더니 10%의 소비전력을 절약할 수 있으며 소음도 약 2dBA 가량 낮출 수 있다고 한다.

### 3. 생물학적 원리에서 출발하는 생물모방

타 분야의 학문이 서로 만나 새로운 연구결과와 연구의 장을 만드는 것을 융합 혹은 통섭으로 불리며 이러한 주제 아래 활발한 연구들이 국내외에서 이루어지고 있다. 이들 중, 융복합적이며 통섭적인 연구분야

는 단연 생물모방이라고 할 수 있다. 생명체의 구조, 형태를 모방하고 기술을 접목하여 건축기술, 기계, 기구 등의 효율을 높이는 생물모방은 지금까지 공학에서 시작되는 경우가 대부분이었다.

공학 주도의 생물모방(technology pull)은 공학기술적인 문제로부터 출발을 한다. 기술적으로 문제가 있어 그 해법이 될 만한 생명체를 생물학자들과 찾아 원리를 추출하고 기술적으로 전환하는 방식이다.

이에 반해 생물학 주도의 생물모방(biology push)은 생명체의 진화기작과 형태 특징 등 원리를 찾는 것부터 출발을 한다. 그리고 그 원리를 가지고 공학자들과 함께 그에 맞는 기술적인 문제를 해결하며 찾아가는 방식이다. 옛날부터 최근까지 공학주도가 주된 방식이었다면 최근에는 생물학 주도 방식으로 시작하는 연구가 늘어나고 있다.

생물학 주도의 생물모방 연구가 필요한 이유는 다음과 같다.

첫째로, 생물을 앞으로 시간 낭비를 줄일 수 있다. 한 예를 들면 필자가 있었던 연구실 옆방은 줄기세포 연구실이었다. 세포 재생 연구를 위하여 도롱뇽의 발가락을 잘라 관찰하는데 하루 이틀이 지나도 자라지 않는 것이었다. 그 곳 연구자들의 생각으로는 자르면 바로 세포재생이 일어나 발가락이 금방 자라는 것으로 생각했다는 것이다. 결국 시간을 많이 허비하게 되어 연구가 원점으로 돌아간 일이 있었는데 여러 요인이 있었겠지만 제일 큰 요인은 사용한 종(도롱뇽)에 대해 잘 알지 못한 점을 들 수 있다. 신체 부위가 절단되면 재생되는 속도가 종에 따라 다른 것을 몰랐던 것으로 이런 일은 종종 발생한다. 비록 줄기세포 연구실의 일을 예로 들었지만 공학주도의 생물모방 연구에서도 더욱 더 흔히 발생할 수 있는 일이다. 생물학에서 시작하는 생물모방 연구라면 적어도 생물의 특성을 잘못 이해하

6) 김희수, 김주하, 최해천. 2015. 전단부 혹이 혹등고래 지느러미 모델의 유체역학적 성능에 미치는 영향. 대한기계학회 창립 70주년 기념 학술대회. 73-76.

여 일어나는 시간 낭비는 없을 것이다.

둘째로는 공학 주도의 생물모방 연구는 대부분 생물의 특성 연구를 직접 수행하는 것이 어려워 기존의 생물학 논문에서 생물의 원리를 찾고 있다. 기존 논문을 바탕으로 기술 전환을 하여 새로운 논문과 기술이 탄생하게 되지만 생물에서 유래하는 원천 기술이 없는 것이 흠이다. 생물학에서 시작되어 생명체들이 가지고 있는 형태와 기작을 연구하면 생물모방 연구에 필요한 부분이 나타나게 된다. 이렇게 생물 유래 원천 기술까지 개발된다는 점에서 생물모방은 생물학 주도로 증가하고 있는 추세이다. 그리고 생물 하나만을 보지 않고 생물이 속한 환경, 행동 등 관련 요인까지 모두 관찰해야 그 생명이 가지는 기작을 밝힐 수가 있다. 즉, 생물이 속해 있는 생태계까지 관찰한다면 더욱 깊이가 있는 생물학 주도의 생물모방 연구가 될 것이다.

#### 4. 확대발전하는 생물모방 연구의 미래와 전망

세계적으로 생물모방 연구는 활발히 진행되어 2000년대부터 관련 특허출원이 급증하고 있다. 국가차원에서 많은 예산이 생물모방 관련으로 지원이 되고 있다<sup>7)</sup>. 또한, 국내에서는 2015년 KIST에서 미래 유망 10대 기술 중 생물모방 관련 기술을 선정하는 등 관심이 깊어지고 있다.

국내에서는 서울대, 연세대 등 대학교와 한국기계연구원, 국립생태원 등의 연구기관이 생물모방 연구를 활발히 진행하고 있다. 국내 최초로 생물학 주도로 국립생태원과 한국기계연구원은 도토리거위벌레를 가지고 생물모방 공동연구를 하고 있다. 해외의 경우 생물모방 연구가 활발히 추진되고 있는 가운데, 특히 독일에서는 생물모방의 국제표준화(ISO) 총회를 2012년부터 매년 개최하며 개발품에 대한 국제표준화 적용을 생물모방 연구 결과에 대해 주도적

인 역할을 수행하고 있다.

이처럼 생물모방은 생물학과 공학, 디자인 등 다학제간의 융복합 연구 분야로서 무궁한 발전과 큰 성장 가능성을 가지고 있어 향후 미래 연구 분야로 각광을 받고 있다.

7) 생물모방 나노기술의 현재와 정책제언. 2013. 나노정책이슈 리포트 제 2호. 국가나노기술정책센터.