

생체모방 섬유재료의 제품화 동향

조 대 현

한국섬유개발연구원

1. 생체모방 섬유의 개요

최근 소비자의 가치관이 급변함에 따라서 예전과 같이 상품의 단순한 기능이나 성능을 추구하는 시대에서 건강, 환경, 지적인 능력 등 새로운 가치를 창조하여야 하는 시대로 돌입하고 있기 때문에 이에 대응할 수 있는 새로운 가치관이나 새로운 기능을 보유한 소재의 출현이 매우 필요한 시점이라는 사실에 매우 공감하고 이를 해결하기 위한 수단으로서 생체모방(biomimetics)기술을 활용하려는 연구개발이 섬유산업을 포함한 거의 모든 산업분야에서 활발하게 진행되고 있다.

1972년 미국 콜롬비아대학 브레스로 교수의 효소기능에 관한 연구가 생체모방과 관련된 연구의 효시로 알려져 있지만 섬유분야에서는 이미 1960년부터 천연의 섬유재료를 모방하여 새로운 합섬소재 개발하기 위한 연구개발 활동이 진행되어 왔다고 할 수 있기 때문에 특히, 합성섬유의 역사는 생체모방의 역사라고 해도 과언이 아닐 것이다. 인간

의 손으로 실크와 같은 고급섬유를 만들겠다는 소망이 결국은 다양한 합성섬유를 탄생시키게 한 원동력으로 작용하게 되었던 것이다.

오늘날에는 생체모방이 더욱 진화를 거듭하여 자연계의 생물이 갖는 생체구조뿐만 아니라 정밀하고 오묘한 생체기능에 대한 해석을 통하여 우수한 성능과 기능을 갖는 합성섬유들이 개발될 수 있을 것이기 때문에 언제나 새로운 것을 갈망하는 소비자들의 욕구를 충족시켜나갈 수 있을 것으로 기대되고 있다.

양모(wool)가 갖는 복합구조의 구멍을 통하여 권축섬유가 개발되기 시작하였고 면의 루멘 구조해석을 통하여 개발되기 시작한 중공섬유는 인공투스막 등 다양한 분리막으로 그 용도가 확대되고 있으며, 또한 연잎에 물방울이 모이는 현상해석을 통하여 개발된 초발수성섬유, 아마존강 하류에 서식하는 세계에서 가장 아름다운 나비인 몰포나비의 날개 구조를 모방하여 개발한 구조성발색섬유, Night-Moth 각막의 초미세구조를 모방한 초심색섬유, 고풍택섬

Table 1. 생체계의 형태기능과 생체모방 섬유제품의 예

기능별	구조	생체계	생체모방 섬유제품
형 태	복합구조	천연피혁	엑세느 (도레이)
	이형구조	실크, 양모	그라세무 (가네보)
	형태미	나비, 딱정벌레	데폴 (쿠라레이)
미세구조	표면구조	연의 잎	마이크로포트 레트스 (데이진)
	凹凸구조	우렁의 열매	面Fastener
	나선구조	몰포나비	간섭발색섬유 (염료사용안함)
	Fractal 표면구조	물새의 날개 털	Fractal 구조발수

Table 2. 생체모방기술을 응용한 섬유의 개발현황

	년도	자연계 구조를 모방	고기능 섬유	해외 개발사
바이오테크닉스	1953	양털의 권주계이트 구조	레이온의 권주구조	교토대학
	1964	銀面(표피) 유사 복합구조화의 달성(2층구조화)	표피 인공피혁	구라레이
	1965	천연피혁 유사 초극세직물속과 입모	초극세섬유와 인공스웨이드	도레이
	1978	나방의 각막의 초마이크로레이터구조	초심색·광택섬유	구라레이
	1979	효소의 초분자 구조	소취섬유	신슈대학
	1980	絹鳴의 특성을 가지고 있는 특이한 이형단면섬유	견명신합섬	도레이
	1980	수목의 모세관 흡수	다공중공단면흡수성 섬유	데이진
	1983	연꽃잎, 토란잎의 물방울을 튀기는 구조	초발수성 섬유	데이진
	1983	물포나비의 날개의 미세구조	구조성 발색 섬유	구라레이
	1992	생물의 독특한 구조	투과방지수영복	도레이
연구	면의 루멘(중공)구조		중공섬유	듀폰
	특징 1) 섬유과학과 바이오테크닉스와 섬유기술의 융합 2) 세계에 향해서 發信하고 있는 독자적인 섬유과학·기술			

유의 개발도 생체모방기술과 연관된 것이라고 볼 수 있다. 이 외에도 효소의 초고분자 구조해석을 통하여 개발된 소취섬유, 천연피혁의 정교한 고차조 직구조의 모방을 통하여 개발된 인공 suede의 개발 등 생체모방기술을 활용한 다양한 섬유가 개발되고 있을 뿐만 아니라 지속적인 진화를 거듭하고 있다.

이러한 섬유들을 개발하기 위하여 구사되는 요소 기술들은 자연계의 생물이 보유한 복합구조, 이형구조, 표면구조, 형태미학, 촉매기능 등을 모방한 것 (Table 1)이 대부분이라는 것으로 미루어 볼 때 새로운 섬유에 관한 연구개발에 있어서 생체모방의 유용성에 대한 이해가 필요할 것이다.

2. 생체모방 섬유의 종류와 특성

2.1. 양모를 생체모방한 복합섬유

울은 크게 scale, 피질부(cortex)로 구성된다. 피질부는 단백질로 구성되어 scale에 의해 둘러싸인 구조로 되어 있고, scale은 최외표피(epicuticle), 내표피(exocuticle), 최내표피(endocuticle)층으로 구분되어 있다.

피질부는 양모의 90%를 차지하고 있는 것으로 성질이 서로 다른 2종류의 ortho-cortex와 para-cortex가 서로 대립되어 있는 bimetal 구조로 되어

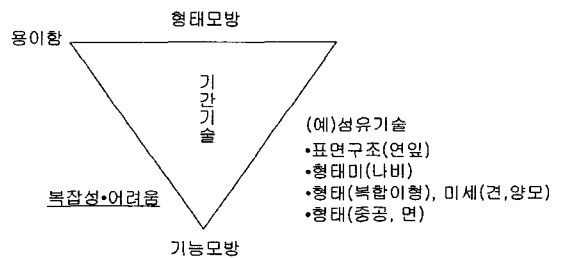


Figure 1. 생체모방 섬유기술의 난이도.

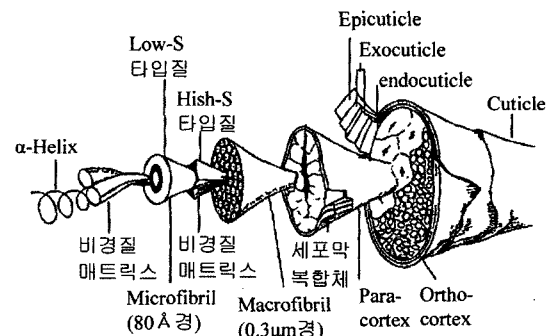


Figure 2. Wool의 구조와 성질.

있어 서로 다른 수축특성에 의해 crimp 구조가 발현됨으로써 부품성이 있는 촉감과 스트레치성을 발현하게 한다. 피질부를 이루는 피질세포는 길이 100 μ, 폭 4 μ 정도의 방추상으로서 축방향으로 배열되어 있다. 피질세포는 마이크로 피브릴과 매트릭스

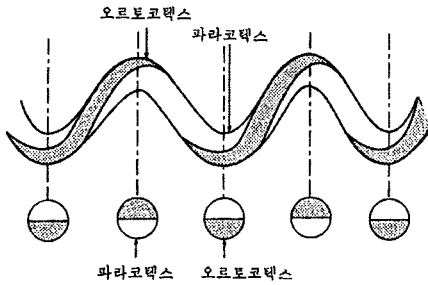


Figure 3. Wool의 Bimetal 구조.

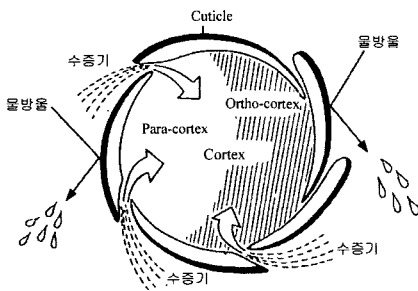


Figure 4. Wool섬유의 단면도 및 발수·흡수 모식도.

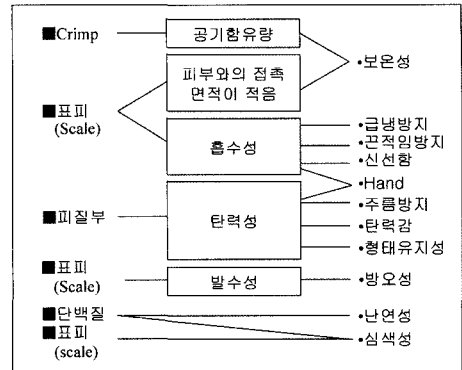
로 이루어져 있고 마이크로 피브릴은 11개의 proto fibril, proto fibril은 3올의 α -helix상의 고분자가 합쳐져서 구성되어 있다.

이렇게 구성된 wool은 피질부의 ortho-cortex와 para-cortex 2성분에 의해 1 cm당 10개 정도의 크림프수를 가지는데, 이렇게 발현되는 권축특성에 의해 우수한 탄력감과 낮은 탄성률, 이에 의한 회복성 및 형태안정성이 양호한 특성을 발현하게 된다.

또한, 그 피질부의 단백질성분과 scale은 난연성과 오염방지성을 부여해 주는 성질이 있다. 그리고 천연 울의 권축특성은 피부와의 접촉면적을 적게 하고 많은 공기를 함유하여 보온효과를 좋게 하고, scale의 최외표피는 최외층의 얇은 층으로 발수성을 강하게 하면서 수증기를 통과시키는 효과를 발휘하며, 심색성을 증진시키는 특징을 가지고 있다.

이러한 wool의 특성과 구조에 최대한 근접하면서 합섬소재를 모방하기 위해 우선적으로 폴리머 개질 및 복합방사 시스템을 이용한 하이멀티 복합방사 제조기술을 통해 super bulky섬유의 원천소재인 원사 spec.(합섬도, 단섬도, 수축응력, 권축력, 크

Table 3. Wool의 특징



림프 구조, 표면형태 등)을 1단계로 wool 특성에 최대한 근접시키고, 이렇게 새롭게 개발된 원사를 이용하여 단사 또는 복합사 고차사가공 기술중심으로 3-D structure 형성을 위한 요소기술을 활용함으로써 wool의 우수한 섬유특성을 발현시키기 위한 연구개발이 진전되고 있다.

이와 관련된 대표적인 제품은 일본 유니티카의 PET/저IV 복합형 Z-10을 예로 들 수 있다.

원사의 강도는 대략 3(cN/dtex), 신장률은 약 100%, 권축률은 60% 전후, 회복률은 96%라고 알려져 있다. Z-10이 급성장하고 있는 최대의 요인으로서 복합화 응용기술의 확립을 들 수 있으며, 현재는 소비자의 요구에 맞는 다양한 상품 시리즈를 개발하고 있다.

지금까지는 용도면에서 부인복 outwear가 주류를

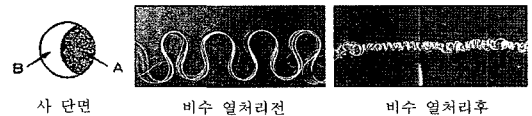


Figure 5. Z-10(Unitika) 복합형태.

Table 4. Z-10의 원사 성능

Type	50/12	100/24
섬유물성		
섬도(d)	49 - 50	98 - 100
강도(g/d)	3 - 4	3 - 4
신도(%)	20 - 25	20 - 25
신축신장률(%)	100 - 106	100 - 110
권축률(%)	57 - 62	58 - 63

Table 5. Z-10 상품 Series

Type	품 종	범 위
Regular	Z10	33/6, 33/12; 56/12, 110/24, 167/24, 220/24
Dull	ZW10	56/12, 110/24
Cation	ZL10, Z110	56/12, 110/24
고성능	Z010	56/12
POY	Z70, Z90	90/12, 167/24

이루었지만 이제부터는 casual wear, sports wear, 유니폼 등의 분야로 확대되고 있으며, 그 시장 및 용도는 점점 확대될 것으로 보고 있다.

2.2. Silk(견)을 생체모방한 Silk-like 섬유

천연 실크의 단면형태는 삼각단면구조로 되어 있을 뿐만 아니라 단면형상과 굵기가 불균일하며 섬유의 길이방향으로 뒤틀리는 구조를 가지고 있다. 이 같은 형태적인 특징으로 인하여 천연실크는 독특한 광택과 깊이 있는 색조 및 촉감을 발현하게 되는 것이다.

실크의 단면은 성질이 다른 물질(세리신, 피브로인)로 구성되는 2층 구조를 하고 있으며, 정련공정에서 세리신을 제거하면 견의 독특한 촉감이 발현되는 것으로 분석되고 있다.

이와 같은 실크의 생체모방기술은 합섬탄생의 제1세대를 거쳐 제2세대에는 이형단면 섬유제조기술(삼각단면), 알칼리 감량가공기술(세리신제거)에 의한 유연성 모방기술, 제3세대의 전반기까지는 실크가 갖는 섬세함을 모방하는 기술, 부풀림과 부드러움을 모방하기 위한 이수축혼섬사를 개발하여 천연실크에 가까운 상품을 개발하려고 하였다.

사회수요의 다양화, 고급화에 부응하여 보다 자

Table 6. 제품의 용도

복합요소	소재의 특징	용 도
단독(중,강연물)	상쾌한 터치, 반발성	환편니트
고차복합가공사	고발색성, 경량, 착용감	여성포멀, 셔츠
고차복합가공사	고발색성 Koshi, Hari	여성, 신사외의용, 유니폼
고차복합가공사	Soft, 풍유감, 탄성감	여성하의용
Textile 복합	차별화사와 고차복합	여성, 신사하의용
Textile 복합	레이온사 등과의 특수복합	여성자켓

연스러운 외관과 감촉을 추구하기 위한 방향으로 제3세대 후반기의 연구개발이 진전되고 있는데 그 결과 합성섬유의 인공적인 촉감과 외관을 개량할 목적으로 천연 실크가 가지고 있는 섬유길이상의 불규칙한 형태의 불균일성을 모방할 목적으로 태세섬유, 부정형단면섬유가 개발되기도 하였다.

2.3. 천연피혁을 생체모방한 인공피혁섬유

천연피혁은 콜라겐의 초극세 섬유다발로 이루어져 있기 때문에 동물가족이 갖는 다양한 특성을 모방하여 다양한 상품개발을 목적으로 초극세 섬유와 인공피혁이 개발되었다.

인공피혁은 천연가죽으로 만든 스웨이드제품을 대체할 수 있을 뿐만 아니라 천연피혁으로는 불가능한 다양한 색상표현 및 물세탁이 가능하고 가볍다는 장점이 있기 때문에 그 수요가 확대되고 있다.

2.4. 연잎의 구조를 생체모방한 초발수직물

연꽃잎이나 토란잎은 물을 모이게 하지만 젖지 않은 특성을 가지고 있다. 초발수직물은 연꽃잎이나 토란 잎 등이 갖는 발수구조를 생체모방하여 개발한 기능성 직물이다.

연꽃잎 위에서 물방울이 굴러 떨어지는 것은 그 표면에 미세한 요철이 있고, 표면 장력이 적은 왁스성분의 물질이 포함되어 있기 때문이다.

앞에 물방울이 떨어지면 표면의 오목부에 공기가 봉쇄되어 왁스물질로 요철부와 공기와의 복합표면에서 물을 받쳐주고 있기 때문에 물을 튕겨내게 된다. 이 원리를 섬유의 상품화기술에 적용하여, 직물 표면에 균일하고 미세한 요철을 만들어 접촉넓이를 크게 하고 아주 작은 권축상의 보푸라기가 있는 실을 사용하여 천의 형태가 안정적인 고밀도 직물을 만든 것이 초발수기능성 직물이다.

이 초발수직물은 스포츠웨어, 코트, 천막 등으로 그 용도가 확대되

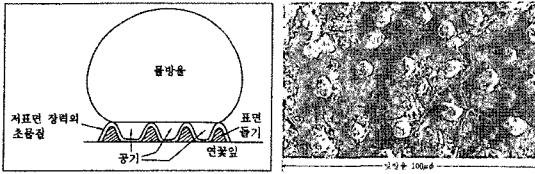


Figure 6. 연잎을 생체 모방한 발수작용 원리와 섬유응용의 예. 고 있다.

2.5. 물포나비의 생체모방을 통한 구조발색섬유

색이라는 것은 일반적으로 물질의 성분에 있는 화합물의 광에 대한 흡수로 부터 나타나는 경우가 많으나, 자연에서의 색채미는 색이 하나밖에 없는 형태를 나타내고 이렇게 결정되어지는 색을 ‘구조색’이라 한다. 창공의 청색, 깊은 바다 속의 옥색, 비온 후의 무지개색 등은 염료로서는 나타낼 수 없는 자연만의 색상인 것이다. 생물계에서도 진주의 광택, 공작, 옥충, 열대어 등으로 대표되는 동적인 구조발색은 체표의 미세한 물리적 요인에 기인한 발색으로 structural color라 부른다. 실제로 약 5억 년전 동물의 화석을 조사해보면 동물에서 나타나는 파장정도의 주기구조가 보여지며 구조색을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 구조색은 물리에서 말하는 다음의 4가지 현상 즉, 회절, 굴절, 간섭, 산란으로 발생되어지고 현대과학의 앞선 기술로서 알고 있는 미세한 나노구조에 기초하여 색상을 나타낼 수 있는 것이다.

구조색은 그 명칭에서도 알 수 있듯이 구조에 기인하여 나타나는 색을 의미한다. 빛은 물질 중에 있는 전자에너지를 부여하고 특정 파장의 빛이 흡수된 결과 나타나는 것이 색이다. 색소는 빛을 흡수한 것으로서 빛 에너지는 전자 에너지로 변화하고 열과 형광으로 변화된다. 이에 비해 구조색은 자체의 성질을 가지고 있으므로 에너지의 주고 받음이 없다.

이러한 구조색은 염료를 사용하지 않고도 다양한 color효과를 낼 수 있음을 의미하므로 사회의 선진화와 더불어 이에 대한 연구가 진행되고 있다. 사

회 변환으로 볼 때 현재는 감성사회로 접어들고 있으며, 섬유기술의 세계도 새로운 감성섬유의 개발이 중요한 과제로 되어 있다. 이와 더불어 염료의 역사 또한 천연염료에서 시작되어 19세기 합성염료의 개발이후, 그 종류가 4,000종 이상이 되어 풍부한 색상문화의 구축과 일상생활에서의 다양한 색상이 이용되어 왔으나, 최근에는 사회변화와 함께 감성색채 섬유분야에서 색미가 있는 섬유의 창출이 감성효과를 줄 수 있는 미래지향적 차세대섬유중 하나로 다루어지고 있어, 이에 염료를 사용하지 않고도 color효과를 낼 수 있는 구조발색은 차세대섬유의 주된 기술이라고 하겠다.

이러한 구조색으로서 보는 각도에 따라 색상의 변화가 생기는 남미산 물포나비의 날개의 발색 기구를 모방하여, 그 원리를 섬유에 응용하는 기술이 등장하고 있으며, 그 효과를 최대한 발휘할 수 있는 생체모방기술이 섬유과학연구에서의 핵심기술이라고 할 수 있다.

물포나비의 발색에 관한 연구는 1924년 분류학과 관련된 논문이었지만 이 나비에 대한 화학적·물리적 분석은 최근에야 완성됨으로써 물포나비가 갖는 신비로운 색채감의 know-why를 이해할 수 있게 되었다. 물포나비는 파랑색소를 가지고 있지 않으면서도 매우 아름다운 파랑색을 나타낼 뿐만 아니라 보는 각도에 따라서도 색상이 변화하는 특성을 가지고 있다. 이러한 현상은 물포나비 날개구조의 분석을 통하여 이해될 수 있게 된다.

물포나비의 날개구조는 리치가 일정하게 배열된 라멜라 리치구조로 형성되어 있는데 이것에 대한 화학, 물리적인 분석결과에 의하여, 굴절율 1.4 ~ 1.5

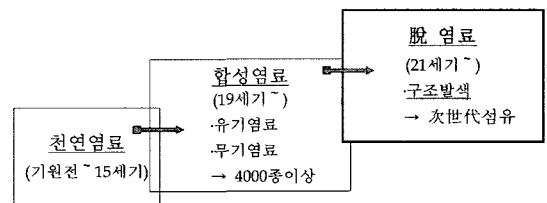


Figure 7. 염료의 역사와 미래.

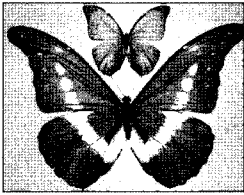


Figure 8. 몰포나비의 아름다운 모습.

의 라멜라층(단백질성분)과 공기층이 규칙적으로 각각 0.08 μm , 0.14 ~ 0.16 μm 의 두께로서 교호로 적층된 구조로 이루어져 있다는 사실과 이러한 박막

의 적층구조에 의하여 발현되는 간섭색이 결국 몰포나비가 파랑색으로 보이게 된다는 사실을 알 수가 있었다. 그동안 morphotex의 용도가 자동차 시트로 전개되었으나 의류용으로 용도확대가 가능한 상품화기술이 개발됨으로써 용도 및 수요확대가 급진전될 수 있을 것으로 전망되고 있다.

몰포나비의 발색 요인에 대한 이화학적 해명결과, 주요인이 나비날개 단면의 나노구조에 기인한다고 판명되었는데 광학모델화를 기초로 미려한 발색원인이 되는 나비날개 단면의 사례를 분석하여 보면 나비는 인분에서만 청색의 형광 발색이 관측되지만 용매 추출법에 의하여 함유색소의 분류, 정량화 함으로써 자외선에 의해 청자주 빛으로 발색하는 수종류의 푸테리진 화합물이 검출되었다. 그러나 인간의 시각 인지로는 영향을 볼 수 없는 정도의 극히 미량임에도 불구하고 빛과 보는 방향에 따라 색상이 변화하고 금속같은 질감을 갖는 것이 특징이다. 한편, 슬코우스키 몰포나비의 회 배면 카바스켈 단면의 SEM 사진과 그 모식도를 보면, 발색의 주요인이 토라베큐라 위에 프락탈적으로 형성된 규칙적 구조에 있는 것으로 추측된다. 그리고 발색의 요인으로서 2개의 가능성이 나타나는데, 하나는 라멜라, 리치 구조의 정점 돌기 형태의 규칙적 반복 배열에 착안한 회절계이고, 또 하나는 X축 방향에 있어서 각 라멜라 층과 공기층의 위치 평행성에 착안한 가상 박막층 구조에 기인한 간섭계로서 비염색 발색섬유개발의 핵심이 되는 기술로 평가하고 있다.

통상의 염색섬유와 비교해서 물리광학에 기초한 발색섬유(비염색)의 광학적 특징의 차이에 대하여 살펴보면 광원색과 유사하게 전체적으로 맑은 발색이

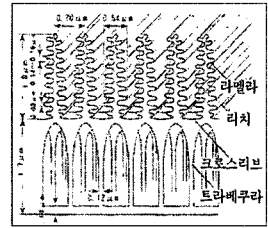
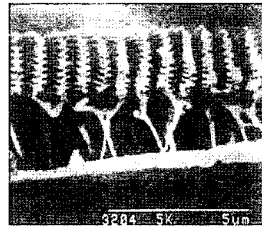


Figure 9. 몰포나비 날개 확대사진(왼쪽)과 날개 구조분석(오른쪽).

얻어지고 변각반사특성의 큰 차이를 볼 수 있는데 모든 입사각-반사각 관계에 있어서도 반사광량이 크게 되고, 특히 섬유축으로 평행한 방향에서 입사된 경우에는 여러 정반사각 근방에서 최대 반사광량을 나타내는 매우 샤프한 반사곡선이 된다. 이러한 특징은 염색섬유에서 보면, 동일색상의 염색섬유보다 수십배의 광택도 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

이러한 기술은 구조발색효과를 일으키는 간섭발색(干涉發色)효과의 원리로 해석이 가능하므로 다음 그림과 같이 박막간섭이론에 의해 해석하는 것이 바람직하다. 발색(반사)파장은 입사각 및 광학적 막두께(nd)에 의해 크게 변화하게 되고, 그 발색강도는 2종의 박막 폴리머의 굴절률차가 큰 만큼 높게 된다. 이 때, 양성분의 광학두께의 설계시 간섭효과를 극대화 시킬 수 있는 해석방법으로는 광학두께 $n_1d_1=n_2d_2=4/\lambda$ 로의 제어기술이다.

또한 색의 탁함이 없는 선명한 발색효과를 얻기 위해서는 0.1마이크로 이하의 다층막 두께를 정밀하게 제어하는 기술이 필요하다. 이러한 이론적인 해석을 통하여 그 기술을 제어할 수 있는 섬유공정 기술의 설계로서 발색효과를 극대화 할 수 있는 방

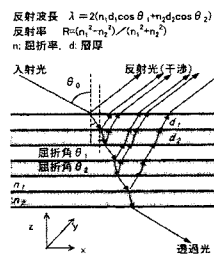


Figure 10. 박막간섭 원리 및 발색효과 예.

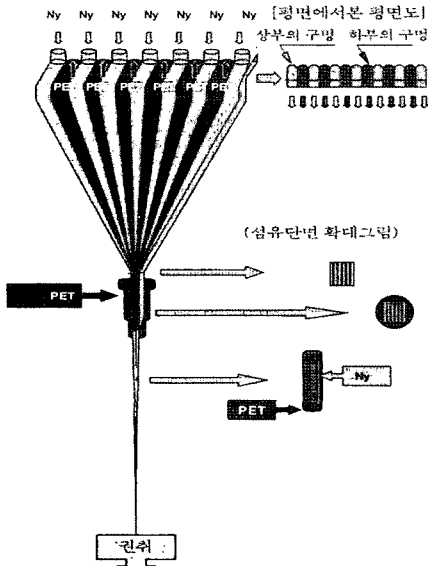


Figure 11. 방사구름내 유로설계 기본개념 모식도.

안을 찾는 것은 무엇보다 필요할 것이다. 이러한 기술은 기본 원천소재의 제조기술뿐만 아니라 후공정 기술에 의해서도 크게 영향을 받을 것이다.

방사단계에서는 2종의 폴리머의 종류, 섬도, 박막 두께 등에 의한 기본 구조발색에 대한 기술이 필요하며, 그 이후공정에서는 사가공 공정의 3-D 크립프 구조 인자, 제직준비 공정에서의 원사구조인자, 제직공정에서의 직물구조인자, 염색가공 공정에서의 가공인자 등 제조공정 인자들에 의해 발색 효과를 증진시킬 수 있을 것이다. 따라서 구조발색섬유의 효과적인 발현 및 상품화 개발을 위해서는 방사단계에서의 섬유의 Spec.결정에서부터 최종 후가공 분야까지의 모든 공정제조기술이 무엇보다 요구된다.

Table 7. 데이진 Morphotex의 물성

색 상	파 장 nm	단섬도 dtex/f	강 도 cN/dtex	신 도 %	건열수축 % (150°C)
자주색	430	10	3.2	35	3
	430	4	4.2	25	4
파랑색	480	10	3.4	40	3
	520	4	4.1	30	4
녹색	520	10	3.5	45	3
	520	4	4.1	30	4
빨강색	630	10	3.5	50	3
Reddish색	~1000	10	3.5	50	3

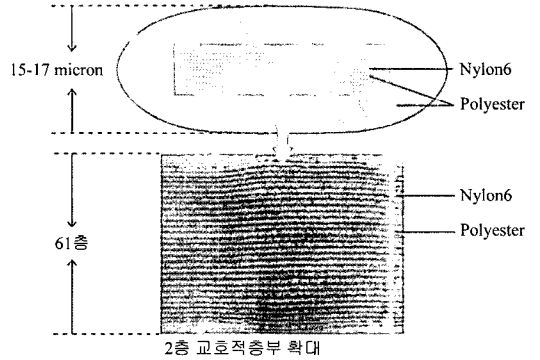


Figure 12. 데이진 Morphotex의 원사단면사진.

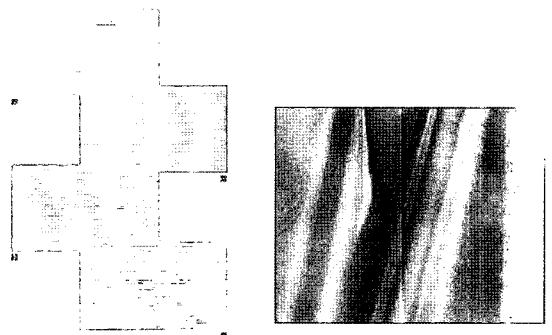


Figure 13. 데이진 Morphotex의 직물사진.

지금까지 개발된 대표적인 구조발색섬유는 일본 Teijin의 Morphotex로서 파랑색, 자주색, 녹색, 빨강색의 4종류가 개발되어 있다.

Morphotex와 같은 구조성 발색섬유는 부인용 아웃 웨어, 드레스, 스포츠 의류, 자수사, 인테리어, 카시트 등으로 새로운 질감 및 외관을 표현할 수 있는 새로운 소재로 전개될 수 있을 것이며, 자동차 차체도장, 내장부품도장, 화장품, 인공피혁의 코팅, 플로킹 등 도료분야에도 새로운 소재로 자리 잡게 될 것으로 생각된다.

Morphotex의 특징은 광 간섭에 의한 발색에 있고, 염료나 안료를 사용할 필요가 없는 것은 물론 탁해짐이 없는 맑은 색을 얻을 수 있고, 보는 방향에 따라서 빛의 간섭도가 변해 색상이 변화되는 특징을 가지고 있다.

이외에도 일본 Kuraray에서는 몰포나비의

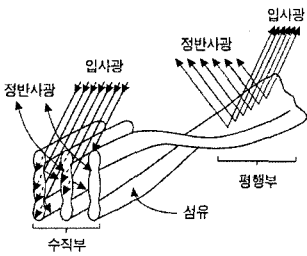


Figure 14. 편광효과 원리.

이성분을 조합하여 복합방사한 다중편평(multi-spiral) 잠재꼬임섬유를 slit상의 깊은 홈을 가진 구조로 직물표면에 형성시켜 편광효과를 나타내는 기술이다. 이 다중 편평 잠재꼬임섬유는 실의 상태에서는 단지 편평사이지만 열처리에 의해 1인치당 80개에서 120개의 꼬임이 생긴다. 이 섬유로 직물을 직조하면 조직점 간에서 섬유가 꼬임단면의 길이 방향에 수직으로 늘어서 슬릿상의 깊은 홈을 가진다. 이 깊고 가는 홈은 일반 직물에서 구현할 수 없는 깊고 선명한 색상을 다양하게 나타낸다.

상기 그림과 같이 수직부에 입사한 빛이 육안으로 돌아오는 정반사광이 적고, 섬유 간에서 반사와 내부흡수를 반복하여 농색으로 보이게 된다. 직물

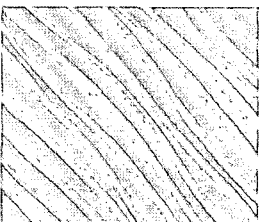


Figure 15. 몰포나비 날개표면 확대.

을 낮은 각도에서 보면, 섬유 편평부를 보게 되므로 광택을 느낄수 있고, 농색부와 광택부가 각도에 따라 contrast를 강하게 느끼게 되어 multi-color를 나타내게 한 기술이다. 또한 Figure 15,



Figure 16. 몰포구조를 가진 섬유단면(왼쪽)과 직물표면(오른쪽).

16과 같이 몰포나비의 날개표면과 섬유로의 응용예를 확대하여 보이는 그림이다.

2.6. Night-Moth Eye를 생체모방한 고심색성 섬유

자연계의 갑각류(甲殼類) 및 곤충류(昆蟲類)의 눈은 다음 그림과 같이 복안구조(複眼構造)로 되어있고, 야간에 움직이는 night-moth는 복안(複眼)을 형성하는 개안(個眼)의 표면이 약 0.2 μm간격의 규칙적인 작은 돌기로 덮여져 있어, 입사한 야간의 빛을 각막표면에서 외부로 반사시키는 것을 막고 빛을 효과적으로 흡수하는 원리를 가지고 있는데 이것을 “Moth Eye” 원리라 부르고 있다.

심색성을 향상시키기 위해서는 빛의 흡수를 향상시키고, 표면반사광을 감소시켜야 한다. 섬유에 빛을 투사시키면 표면에서 정반사되는 백색광과 내부에 흡수된 뒤 반사되는 착색광이 혼합되어 감지되는데 정반사광이 많으면 내부 반사광이 줄어들어 색이 옅어 보이게 된다. 그러므로 빛의 굴절률이 작을수록, 표면반사가 작을수록, 빛의 흡수가 많을수록 심색효과가 우수하게 된다.

섬유제품의 심색성은 섬유의 광학적 성질인 섬유의 굴절률, 섬유의 형태요소인 굵기, 크립프, 표면형상, 단면형상, 직물의 꼬임수, 조직, 밀도, 염료의 종류 등이 큰 영향을 미치지만 night-moth의 눈과 같은 심색성을 가진 섬유를 개발하기 위해서는 그 눈과 같이 극미세한 요철구조를 섬유표면에 발현되게 하는 것이 기술개발의 핵심이다.

이러한 기술은 night-moth의 눈 구조를 응용하여 섬유형성성 폴리머 개질, 섬유형태 미립자 추가, 섬유 단면형태제어 기술을 통한 super micro crater를 발현시키기 위한 원천소재의 개발이 무엇보다 필요하며 동시에 고차사가공, 특수제직기술, 염색가공기술 등을 통한 기존색상영역을 초월하는 super deep color 상품화기술을 개발하는 것이다.

3대 합성섬유 가운데 가장 생산량이 많은 폴리에스테르 섬유의 고부가가치화 수단으로서 night-moth eye를 생체모방하여 super deep color를 발현하기

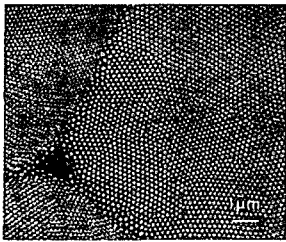


Figure 17. Night-Moth의 Eye 구조.

위한 목적의 연구개발이 국내외 원사메이커와 연구소, 학계에서 진행되어 오고 있는데 그 주된 연구개발방향을 정리하면 다음과 같다.

2.6.1. 섬유표면의 요철에 의한 심색화

섬유표면의 요철은 빛의 산란을 증가시키기 때문에 소위 “마이크로 크레이터(micro crater) 효과”라고도 하는데 이 산란은 일반적으로 색의 선명성을 저하시키기 때문에 심색성을 증가시킬 수 없지만 마이크로 크레이터의 크기를 빛의 파장수준까지 작게 만들면 농색효과가 발현되어 발색성이 증가되는 것으로 평가되고 있다. 다음 그림과 같이 일반폴리에스터 섬유는 섬유표면이 평활하므로 입사한 빛이 섬유내부에 침투하기 힘들고 섬유표면에서 반사하기 쉽기 때문에 발색성이 저하되지만 심색성 섬유는 미세요철을 섬유표면에 형성시켜 불규칙한 섬유표면으로 인해 빛의 흡수, 굴절 등의 현상이 발생하고 빛의 표면 반사량을 감소시켜 심색성이 증가한다.

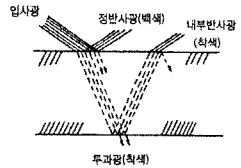
화학적 에칭기술: 무기미립자(일반적으로 실리카계통이 주류)를 분산시킨 폴리에스터섬유를 알칼리 감량가공하여 미세凹凸을 만드는 방법이다. 폴리머의 cation가염화, 복합화, 중공기술과의 조합을 통한 다양한 기술들이 개발되고 있는데 일본의 Kuraray가 개발한 고심색성섬유인 SN2000이 가장 기술적으로 앞선 것으로 평가받고 있다.

일반적으로 촉감개선의 목적으로 알칼리 감량가공을 시행하여 섬유표면에 요철을 형성시키고 있지만, 심색발현을 목적으로 만들어진 SN2000의 표면형상은 많이 다르다.

저온 플라즈마 에칭기술: 희박가스의 분위기 중에서 발생시킨 높은 에너지의 플라즈마를 섬유표면에



일반 폴리에스터



고반색성 폴리에스터

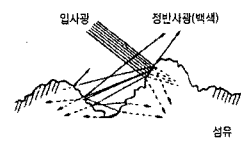


Figure 18. 표면정질에 따른 광반사의 특성.

조사하는 방법으로 섬유축에 직교하는 파형의凹凸을 형성시켜 심색효과를 얻게 하는 원리이다. 이 방법으로 0.2~0.7 μ m에 상당하는 요철을 얻을 수가 있어 발색성과 심색성을 높일 수가 있다. 이 때 무기입자를 첨가하여 에칭효과와 제어도 가능하다는 장점이 있으나 이 가공을 위해서는 플라즈마 가공설비의 도입이 필요할 뿐만 아니라 가공비용도 크다는 것이 이 기술의 대중화를 저하하는 요인으로 작용하고 있다.

국내에서도 플라즈마를 활용한 심색화 기술개발과 관련된 수많은 연구개발이 시행되고 있고 그 결과 상당한 수준의 기반기술 확보가 된 것으로 판단되고 있지만 경제성의 문제 등으로 인하여 제한된 용도로서 활용되고 있는 것으로 알려지고 있다.

복합방사기술에 의한 섬유표면의 Slit 형성기술: 용제이용성분으로 slit부를 만든 다음 용제추출기술에 의하여 빛의 파장을 제어하는 기술로서 cation가염 폴리머, 공중합 폴리에스터 등이 이용해성 폴리머성분으로 이용되고 있다. 이 기술도 일본의 원사 메이커들에 의하여 실용화가 되고 있고, 국내의 원사 메이커에서도 개발을 위한 시도를 하였지만 후가공시 발생되는 염색불량의 원인을 해결하지 못하여 더 이상 진행이 중단된 것으로 알려지고 있다.

섬유구조의 복합화: 세섬도화, 섬유단면의 구조변

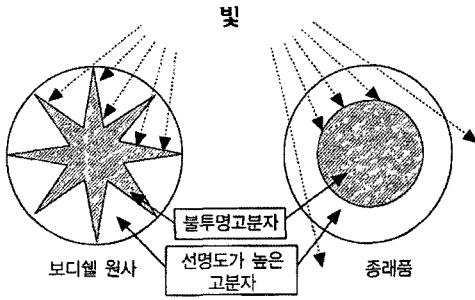


Figure 19. 광투과 방지기능성 섬유의 섬유단면 및 광차폐 원리.

화, 혼섬, 후가공기술 등의 조합으로 직물표면의 빛 반사 특성을 억제하는 원리로서 심색성을 발현하는 기술이다. 이 기술은 일본뿐만 아니라 국내에서도 매우 폭 넓게 활용되고 있으나 얇은 직물에는 부적합하고 심색도도 크게 높지 못한 실정이다.

2.6.2. 저굴절률 화합물에 의한 반색성 개선

수지 피막의 코팅기술: 폴리에스터의 굴절율은 1.62 이기 때문에 이것보다 굴절율이 낮은 화합물로서 피복함으로써 농색화를 실현하는 기술이다. 불소 및 실리콘계 화합물이 가장 효과가 양호한 것으로 평가받고 있으며 일본뿐만 아니라 국내에서도 많이 시도되는 기술이다. 그러나 피복의 내구성이 부족하고 피막의 두께 차이에 의한 불량 발생하는 문제가 있기 때문에 상품화의 용도에 따라서 제한적으로 활용되고 있다.

복합사 기술: sheath/core 기술을 이용하여 단섬유 표면을 저굴절률 폴리머로서 피복하여 심색성을 발휘하는 기술이다. 일본의 경우 “실카렛트”라는 제품이 Kuraray에서 개발되어 있는데 core 성분이 투명 폴리에스터, sheath 부분을 저굴절률, 저배향성 폴리머를 사용하고 있다.

2.7. 생물의 독특한 구조를 생체모방한 광투과 방지기능성 섬유

생물의 독특한 구조를 모방한 광투과 방지기능성 섬유도 개발되고 있다.

이 광투과 방지기능성 섬유는 원사의 단면에 광

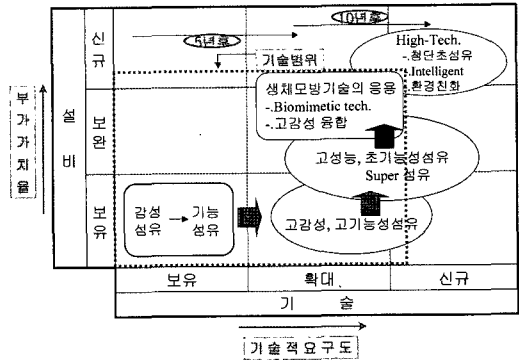


Figure 20. 생체모방 섬유의 기술특성상의 위치.

투과방지 기능이 있는 물질을 8각형의 별 형상으로 배열하여 광투과율을 낮춤으로서 빛이 통과하지 못하도록 한 것으로 “비치지 않는 수영복”에 적용되고 있다.

3. 생체모방섬유의 기술적 위치

생체모방섬유는 산업용 고성능섬유와 유사하게 기술적 요구도와 부가가치가 매우 높은 섬유에 속하며 연구개발방향은 천연 및 생체의 구조를 모방하는 섬유와 그 기능을 모방하는 섬유로 구별할 수 있다.

생체기능모방기술은 생체구조모방기술과 구별되는데, 생체모방기술은 생체구조와 기능을 통합시킨 모방기술을 섬유과학설계에 포함시킨 것으로 현재까지 개발된 섬유는 극히 일부이나, 보다 고차원적인 섬유개발에 대한 연구개발이 진행되어야 할 것이다. 이러한 자연 생체계의 통합모방기술과 고감성·기능제품으로의 융합·조화에 따른 고부가가치화 제품개발은 차세대 섬유재료로서 각광을 받을 것으로 전망되고 있으며, 이에 따라 생산 난이도 측면에서나 부가가치 측면에서 타 섬유소재에 비해 매우 높은 비율을 차지할 것으로 기대된다.

얼마 전까지만 하여도 연구개발을 하는 기업은 망할 수밖에 없다는 농담같은 진담이 회자되고 있을 만큼 연구개발에 대한 기업들의 적극성이 없었던 것이 사실이었지만 이제는 무엇인가 새로운 것

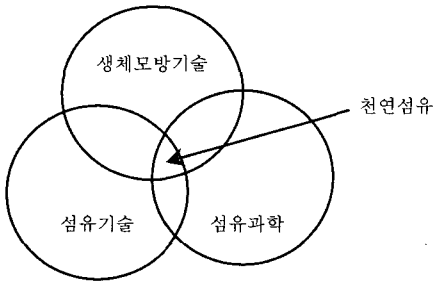


Figure 21. 생체모방기술과 섬유기술 및 섬유과학과의 관계.

을 만들지 않으면 안 된다는 급박한 위기상황을 공유하고 있다.

지금까지는 “어떤 설비를 도입한다면 경쟁력이 있는 제품을 만들 것인가?” 라는 질문으로부터 “팔릴 수 있는 새로운 제품은 어떻게 만들어야 할 것인가” 라는 질문으로 고민의 형태가 바뀌기 시작하였다.

따라서, 현재 우리 섬유산업이 경쟁력을 확보하기 위해서는 새로운 무엇을 만들기 위한 전기를 만들지 않으면 치열한 생존경쟁에서 도태될 수 밖에 없는 위치에 도달하여 있다고 볼 수 있다.

그러나 예전처럼 개발되어진 제품을 모방할 수 있는 상황도 아니어서 새로운 제품을 만든다는 것에 익숙하지 못한 우리기업들에 있어서는 개발방향 설정을 위한 벤치마킹이 더욱 필요하게 되었다.

이러한 점에서 생체모방기술을 활용한 새로운 섬유소재의 개발을 통하여 지금까지 개발되지 못한 신소재를 개발할 수 있는 know-why를 발견함으로써 이제부터 우리도 경쟁력 있는 새로운 상품개발을 위한 전기를 만들 수 있기 때문에 생체모방기술을 활용한 새로운 소재와 관련된 연구개발과제의 수행은 매우 시급하다고 판단된다.

4. 생체모방섬유의 개발방향

현재 생체모방기술을 활용한 섬유분야의 상품화 기술수준은 자연계의 극히 일부분에 제한되어 있다는 사실을 명심하지 않으면 안 될 것이다. 왜냐하면 그동안 실크, 면, 울 등의 천연섬유를 모방하기

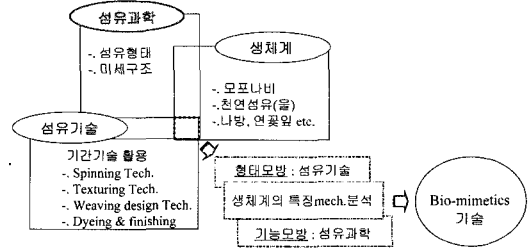


Figure 22. 바이오미메틱스를 모방한 섬유기술 방향.

위한 연구개발이 수십년 동안 추진되어 왔음에도 불구하고 천연섬유가 갖는 우수한 특성을 만족할 만큼 모방할 수 있는 기술수준에 도달하였다고는 평가할 수 없기 때문이다.

섬유과학 및 섬유기술의 관점에서 보더라도 천연의 섬유상재료에서 관찰되는 자연의 오묘한 조직(적층)구조의 특징은 마이크로 화이버의 적층구조에 의한 것이 많기 때문에 생체모방기술의 key words는 “나노 화이버”가 되고 있다.

현재 섬유관련분야는 생체(바이오), 당류, 생물, 환경, IT(정보) 등뿐만 아니라 거미줄, 비단벌레, 대나무의 유연성, 나아가서는 생체조직의 구조와 기능까지도 포함하는 매우 광범위한 영역으로 확대되고 있다.

고도의 생체모방기술을 응용한 새로운 기능성섬유의 개발은 환경변화에 따라서 고도 → 초(조직, 융합) → 지능의 단계로 진화되기 때문에 섬유과학자와 관련분야의 연구자와의 공동연구개발을 통하여 궁극적으로는 생체가 가진 기능이나 구조를 가진 초섬유(슈퍼 바이오미메틱스)의 창출도 기대할 수 있을 것이다.

이러한 새로운 상품을 개발하기 위해서는 섬유자체가 지닌 특성을 살려서 새로운 기능 및 물성을 가진 제품을 개발하는 것이 무엇보다 필요하며, 그 기술개발 설계는 가늘고 긴 형태를 갖춘 1차원 섬유의 제조에서부터 직물, 최종 제품이 되기까지 체계적인 기술개발시스템 연계를 통해서만 가능하며, 그 설계기술의 개발에 의해 새로운 기능과 감성을 가진 고차원적인 제품이 개발될 것이다.

또한 이러한 생체모방을 위한 기술설계는 섬유제조기술 측면, 섬유과학 측면, 생체계의 특징발현 메카니즘분석 측면의 3개의 factor가 3위일체가 됨으로서 형태 및 기능을 모방하는 기술개발이 가능할 것이라 판단된다.

참고문헌

1. T. Hongu, “ハイテク繊維の世界”, 일간공업신문사(일).
2. T. Hongu, “New Frontier fiber”, 일간공업신문사(일).
3. T. Hongu, “新纖維材料入門”, 일간공업신문사(일).
4. 東レリサーチセンター, “新感覺・新機能性纖維”.
5. 한국섬유개발연구원, 텍스토피아 섬유정보, 2004. 6.
6. Toray Research Center, “Functional Fibers”, 1993.
7. H. Tabata, *일본섬유기계학회지*, **57**(9), 2001.
8. H. Tabata, M. Asano, and S. Shimizu, *Kobunshi* **47**(10), 738(1998).
9. H. Tabata, K. Kumazawa, M. Funakawa, J. Takimoto, and M. Akimoto, *Optical Review*, **3**(2), 139(1996).
10. K. Tsujimoto, *일본섬유기계학회지*, **57**(11), 2001.
11. N. Miyasaka, *일본섬유기계학회지*, **58**(9), 2002.

12. K. Masao, *일본섬유기계학회지*, **55**(7), 2002.
13. I. Kenzi, *일본섬유기계학회지*, **55**(7), 2002.
14. M. Kamiyama, *일본섬유기계학회지*, **60**(6), 2002.

저자 프로필



조 대 현

1978-1982. 영남대학교 섬유공학과 졸업
 1985-1987. 영남대학교 섬유공학과(석사)
 1990-1997. 영남대학교 섬유공학과(박사)
 1987-2000. 코오롱 기술연구소 책임연구원
 2000-2003. 대구시청 섬유보좌관
 2003-현재. 한국섬유개발연구원 본부장
 e-mail: dhcho@textile.or.kr