

# 농업 · 수산 · 해양 분야용 섬유 소재

손원근, 박원호\*

충남대학교 신소재연구소, \*충남대학교 섬유공학과

## 1. 서론

한국 섬유산업은 섬유쿼터제 폐지와 중국의 급성장 등으로 급속히 변화하는 무역환경에 맞추어 미래 전략을 수립하고 국제 경쟁력 강화를 위한 체질 개선에 박차를 가해야 할 것으로 보인다. 중국은 저렴한 인건비 등 가격 경쟁력을 바탕으로 저가 수출 공세를 확대해가면서 주요 수출국이었던 미국과 EU 시장의 상당부분을 이미 잠식한 상태이고, 의류부문도 중국의 공세에 밀려 수출에 타격을 입고 있다. 그러므로 중·장기적으로 아시아와 남미 등으로 수출 시장을 다변화시킴으로써 미국 시장의 잠식에 대한 위험 부담을 줄이는 한편, 기능성 섬유 등 고부가가치의 산업용 섬유신소재의 개발이 절실히 요구되고 있다. 이러한 산업용 섬유는 용도 및 기능에 따라 교통·운송 분야, 토목·건축 분야, 농업·수산·해양 분야, 생명과학 분야, 전기·전자·정보·통신 분야 및 스포츠·레저 분야로 구분할 수 있다. 본 총설에서는 산업용 섬유 중에서 농업·수산·해양 분야에서 활용되고 있는 섬유 소재에 대하여 소개하고자 한다.

농업·수산·해양 분야에서 수행되는 산업 활동은 일상생활과 매우 밀접한 관련을 가지는 물품을 생산하거나 수확하는 것이 대부분이다. 기존 농업·수산·해양용 섬유 소재는 단순 기능이 적용되어 왔으며, 양적으로는 상당한 성장을 이루었다. 최근 들어 소재 산업의 발전과 함께 농업·수산·해양의

용도에 적합한 새로운 기능을 갖는 섬유 신소재가 속속 등장하고 있다.

농업용 섬유 소재는 1960년대 이후 다양한 형태로 논, 밭, 비닐하우스 등에서 대량으로 사용되면서 농업형태에 큰 변화와 함께 생산력 향상에 크게 기여하였으며 매우 중요한 생산용 소재로서 위치를 점하고 있다. 수산용 섬유 소재는 농업용보다는 그 규모가 작으나 어망이나 가두리망과 같이 어획 및 양식 분야에서 필수적이다. 해양용으로는 오일펜스나 유흡착재와 같이 최근 빈번히 발생하는 원유의 유출사고에 따른 해양의 오염을 방지하는 소재와 바닷물로부터 담수를 얻거나 소금을 얻어내는 해양 자원용 소재 등이 중요한 역할을 하고 있다.

이와 같은 농업·수산·해양 분야에 활용되고 있는 섬유제품의 종류 및 용도, 기능, 역학적 특성 등에 대하여 살펴보고자 한다.

## 2. 농업용 섬유

농업용으로 사용되는 섬유 및 고분자 소재는 거의 대부분 피복소재로 사용되고 있다. Figure 1에는 농업용으로 사용되고 있는 피복소재를 용도, 사용법별로 총괄적으로 분류하여 나타내었다. 피복소재를 용도에 맞게 선택하여 효과적으로 사용하기 위해서는 소재가 갖는 특성을 잘 이해할 필요가 있다. 요구되는 특성은 일반적으로 광학적 특성, 열적 특성, 수분·습도에 관한 특성, 역학적 특성, 내후

성 등 크게 다섯 가지로 나눌 수 있다. 이들 특성이 요구되는 정도를 Table 1에 용도별로 정리하였다. 이들은 농산물이 재배되는 계절, 지역, 작물의 종류 등에 따라 정도 및 내용을 달리하지만 기본적으로는 재배작물의 생육을 잘 유지하여 품질의 향상을 추구하는 것이 목적이다. 이를 위해서 광선 투과율을 향상시키거나 자외선의 특정 파장영역을 차

단하기도 한다. 또한 보온성을 높이는 것과 함께 하우스내의 식물의 생육을 저해하는 안개의 발생을 억제하기도 하고 필름의 표면이 흐려지지 않도록 하는 등의 소재개량에 다각적인 노력이 수반되고 있다.

2.1. 농작물 보호용 소재

경작지에서 작물을 재배 또는 관리할 때 기상변동에 의한 재해나 병충해 및 외적 환경으로부터 작물을 보호하려는 노력은 다양하게 이루어져 왔다. 과학의 발달은 농약의 개발을 촉진하여 작물에 대한 병충해 방제가 효율적으로 이루어져 왔을 뿐 아니라 최근 섬유나 고분자를 소재로 한 네트, 부직포, 필름 등에 의한 작물의 보호가 보편화되었다.

자연환경으로부터의 농작물 보호: 차광 · 차열소재로서 한랭사 및 네트(net)류, 장섬유 부직포 등의 섬유제품이 이용되고 있

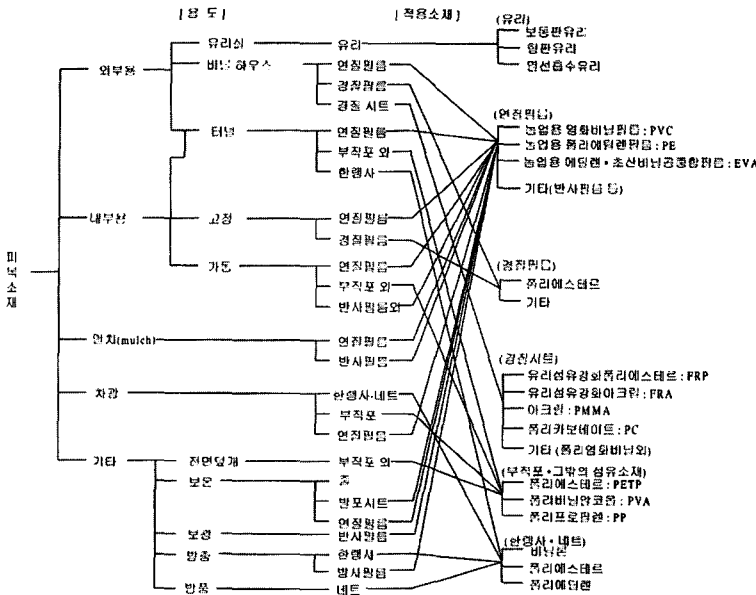


Figure 1. 농업용 피복소재의 구분.

Table 1. 용도별 농업용 피복소재에 요구되는 특성(총괄)

용도	광학적특성				열적특성			수분·습도에 관한 특성		역학적 특성				내후성		
	투과성	파투과별성	차광성	산광성	보온성	단열성	통기성	흡방지림성	안방지개성	투습성	설치성	개폐성	신축성		강도	
외장용	온실	●	●	-	○	●	-	-	●	●	-	●	●	○	●	●
	터널	●	-	-	○	●	-	○	●	-	-	●	●	-	●	●
	비막이	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	●	●
냉장용	고정	●	●	-	-	●	-	-	●	●	○	●	-	○	○	●
	가동	●	○	-	-	●	-	●	●	●	●	●	●	●	○	●
멀치차광	멀치	-	●	●	-	●	○	○	-	-	-	-	-	-	-	○
	차광	-	●	●	-	-	●	●	●	-	-	●	●	●	●	●
	전면덮개	●	-	●	-	●	●	●	-	-	●	-	-	-	●	-

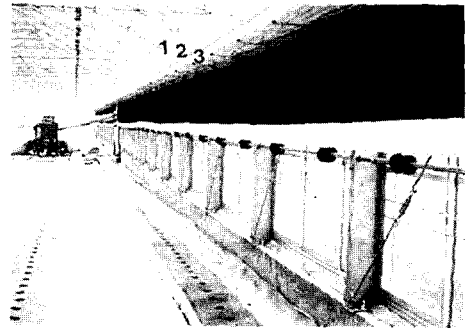
(주) 1) ● 선택에 특히 주의할 특성 2) ● 선택에 주의할 특성 3) ○ 선택에 참고할 특성 4) - 선택에 고려하지 않아도 되는 특성

다. 차광용은 초여름부터 초가을까지의 강한 일조량을 차단하여 조사량을 조절함으로써 작물의 생육에 적합한 일사조건을 부여할 목적으로 사용되고, 차열용은 낮 동안의 온도상승을 억제하여 더위로부터 작물을 보호할 목적으로 사용되고 있다.

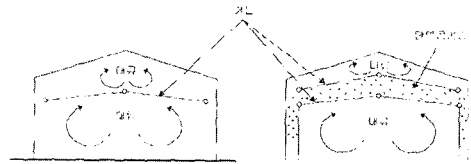
한랭사와 네트류를 작물의 피복소재로 이용하면 공기를 통하게 하면서 작물을 생육시키는 것이 가능하기 때문에 노지와 비닐하우스의 중간적인 환경을 만드는 것이 가능하다. 따라서 한랭사와 네트류의 조밀도, 색, 제작방법을 선택함으로써 다양한 생육환경을 만들 수 있다. 한랭사는 차광용 뿐 아니라 방충, 보온, 서리방지, 방풍 등의 넓은 용도로 사용되어 큰 성과를 올리고 있다. 비닐론과 폴리에스터, 아크릴 등의 섬유를 소재로 한 공극률이 높은 평직물을 수지 가공한 것으로 현재 비닐론이 가장 많이 사용되고 있다. 한랭사의 색상은 흰색, 푸른색, 검정색, 투명한 것 등이 있고 차광률은 10~85%의 범위에서 사용하는 목적에 따라 선택이 가능하다. 네트류도 차광, 차열, 방풍, 방충, 서리 방지, 방한용 소재로 이용된다. 소재로는 가볍고 흡수성이 없으며 신축되지 않는 PE계가 많고 평직, 라셀(raschel) 편, 익직 등의 종류가 있다. 조밀도에 따라 차광율이 20~85%인 제품들이 생산되고 있다. 한랭사와 네트류를 이용한 차광재배로는 시금치, 쪽갓 등의 야채류, 딸기, 토마토, 오이 등의 과일류, 꽃, 과수, 고추냉이, 차, 담배잎, 관엽식물, 그 밖의 약초류 등의 작물 재배에 적합한 차광율을 갖는 것이 사용된다.

장섬유 부직포는 폴리에스터 섬유와 PP 섬유를 소재로 하며 하우스내의 겨울철 커튼용으로 사용되는 것이 많지만 겨울에는 보온용으로, 여름에는 차광용으로 겸용하고 있는 경우도 있다. 장섬유 부직포는 유연성이 풍부하고 부피가 늘어나지 않는 등의 특징을 가지지만 자외선에는 비교적 약하고 직사광선을 받는 외부피복의 차광용에는 적합하지 않다.

보온용 소재는 유리실, 비닐하우스내의 내부커튼용과 터널용으로 장섬유 부직포 및 단섬유 부직포가 사용되고 있다. 이들 부직포는 작물의 보온을 주



(a)



(b)

Figure 2. 부직포를 이용한 3층 당김커튼 사진(a)과 1, 2층 당김커튼(b).

목적으로 하면서 섬유제품이 가지는 우수한 여러 가지 특성을 살려 사용되고 있다. 유리실과 비닐하우스 내의 보온성을 향상시키기 위해 1층 또는 2층의 내부용 커튼을 만들어 커튼 간의 공기층을 형성하여 공기의 대류를 방지함으로써 단열효과를 높인 것이 특징이다(Figure 2). 보온성을 높이기 위해서는 필름의 다층화가 가장 효과적이지만 필름은 그 자체의 밀폐성 때문에 비닐하우스 내의 습도가 초과되기 쉽고, 수증기의 맺힘에 의한 작물의 피해 및 작업환경의 악영향 등을 일으킨다. 이점을 개선하기 위해 내부커튼에 폴리에스터 장섬유 부직포와 PVA 단섬유 부직포가 사용되고 있다. 특히 다층 커튼의 경우 실내의 습도가 초과되는 야간에 수분을 섬유 간에 흡수시킴으로써 수막을 만들고 보온성을 향상시키기 때문에 물방울 낙하라든지 다량의 습기에 의한 안개, 아지랑이의 발생을 방지하는 효과가 크다. 한편 PVA 단섬유 부직포는 투광성과 흡습성, 내후성은 우수하지만 건조시에 수축하는 성질이 있다. 작물의 터널재배에서 널리 사용되고 있는 것으

로 PVC 필름, PE 필름, 에틸렌 · 초산비닐 공중합체 필름을 중심으로 한 플라스틱 필름을 들 수 있다. 이들 필름을 사용하는 경우 낮 동안 밀폐상태에서는 터널 내부에 고온이 초래되어 위험이 있기 때문에 필름의 하단을 올려 환기를 하는 관리 작업이 필요하다. 이들 필름에 비하면 부직포는 보온성은 나쁘지만 환기작업의 불필요, 흡수성, 작업성의 관점에서 우수하다. 사용방법도 부직포만의 터널, 필름터널 가운데의 작은 터널, 하우스내의 터널 등 재배조건에 따라 사용형태가 다르다.

방풍용 소재는 강풍에 의해 일어나는 농작물의 쓰러짐, 가지절단, 낙엽, 낙화과일 등의 피해와 조풍해, 풍식해, 냉풍해를 방지하기 위해 밀폐도가 25~70%의 PE 또는 PP 라셀망 및 한랭사가 펜스나 하우스 터널 주변에 널리 사용되고 있다. 밀폐도는 소재의 조밀도의 크기에 따라 변하므로 목적에 따라 달리하여 사용된다. 방풍망의 필요조건은 내후성 및 강도가 충분할 것, 중간정도의 밀폐도(40~50%)를 가질 것, 가볍고 저렴할 것 등이 요구되고 있다. 대상작물로서 대표적인 것은 담배, 굴, 딸기 등이다.

**해충 및 수주류로부터의 농작물 보호:** 방충네트는 해충으로부터 농작물을 보호하기 위해 약제의 방제와는 별도로 방충네트를 사용하는데, 그물눈이 2 mm 이하인 방충네트 또는 부직포를 씌워서 해충의 침입을 방지한다. 포도, 복숭아, 배 등의 결실기로부터 수확기까지 과수를 보호하기 위해서 조밀도가 낮은 PE 라셀망으로 과수원 전체를 덮는 경우도 있다. 또한 오이, 토마토, 메론 등의 과채류, 키위, 포도 등의 과일류를 진딧물의 피해로부터 보호하기 위해서 해충들이 싫어하는 은사를 혼직한 라셀망이 이용된다. 식목에 의한 침엽수림의 증가, 고도 경제성장에 따른 산간지의 개발은 야생조류의 생식환경을 크게 변화시켰다. 최근 고품질의 과수품종이 널리 보급된 과수원은 야생조류에 의한 과실의 피해가 매년 증가하고 있다. 방조대책으로 기피제, 모형(마네킹 등), 음향 퇴치장치 등이 시험되고 있지만 아직은 작물 전체를 화섬네트로 봉쇄하는 방조(防鳥)네트가 가장

효과적이다. 방조 네트로는 PE 노노필라멘트의 매듭망 및 라셀망이 주류를 이루는데 조류의 크기에 따라 그물눈이 10~30 mm의 것이 사용된다. 또한 산간지역의 논이나 밭에서 발생되고 있는 벼나 야채에 대한 짐승들로부터의 피해, 콩과식물에 대한 피해를 방지하기 위해 방수(防獸)네트가 사용되고 있다. 침입을 방지하기 위한 것으로 큰 짐승에는 스테인레스 강선으로 보강된 PE 및 나일론의 고강력 네트의 펜스, 비교적 작은 짐승에는 방조네트와 동일한 PE 라셀망의 펜스가 사용된다.

## 2.2. 작물재배용 소재

**전면덮개용 소재:** 전면덮개 재배는 작물에 직접 소재를 피복하여 재배하는 방법을 말한다. 작물에 직접 피복하기 때문에 통기성과 통수성 뿐만 아니라 투광성 및 경량이 요구된다. 하우스, 터널, 멀치(mulch)에 사용되고 있는 필름은 투광성, 보온성은 우수하지만 통기, 통수성이 없어 필름면에 이슬이 맺히기도 하고 내부가 더워져 고온에 의해 작물에 장애가 발생하기 때문에 작물에 직접 피복하는 것은 매우 곤란하다. 전면덮개용 소재에 요구되는 특성은 다양하지만 그 기본적인 특성으로는 투광성, 보온성, 통기성, 경량, 강도, 가격 등이 있다. 사용 목적도 서리방지, 활착촉진, 생육촉진, 방풍, 방충 등 사용작물 및 시기에 따라 다양하다. 전면덮개용 소재로는 폴리에스터 섬유, PP 섬유를 소재로 한 장 섬유 부직포가 가장 널리 보급되어 있다. 그밖에 PVA를 원료로 한 단섬유 부직포, 한랭사, 합섬 네트류가 사용되고 있다.

**바닥깔개용 소재:** 벼 못자리용 바닥깔개는 통기성과 통수성이 있는 소재를 벼의 모상자 가운데, 또는 바닥에 깔아 모상자 하단부의 뿌리가 지면에 구속되는 것을 방지한다. 따라서 뿌리는 모상자의 가운데에 자리잡아 뿌리치기 작업을 할 필요가 없고 모상자로부터 썩어 나와 이동이 순조롭게 된다. 이와 같이 사용되는 소재는 뿌리를 얽히지 않게 할 필요가 있어 현재는 표면이 평활한 합성지, 부직포 및

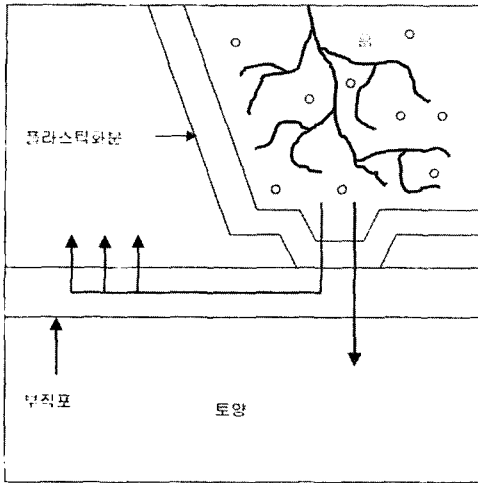


Figure 3. 분재 내부의 정체수.

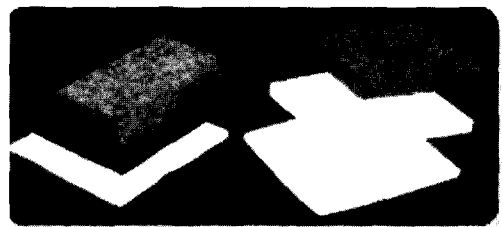
기공이 있는 PE 시트가 사용되고 있다.

분재류와 야채류의 화분용 바닥갈래에 검은색의 장섬유 부직포를 사용하는 경우가 증가하고 있다. 분재 바닥으로부터 나온 뿌리가 지면으로 파고 들어가는 것을 방지하여 뿌리를 자르지 않고 분재의 이동이 가능하고 물덜 때에도 진흙이 튀기지 않기 때문에 분재가 오염되는 것을 방지할 수 있다. 또한 부직포가 가지는 통수성과 흡수성에 의해 분재 내부의 정체수를 빠져 나오게 하는 배수효과도 있다(Figure 3).

분재바닥의 구멍으로부터 모세관 현상을 이용하여 물대는 것으로 현재 끈 물대기와 매트 물대기가 널리 사용된다. 이들에 사용되는 소재는 흡수성과 배수성 및 내약품성과 내부식성이 요구되는데, 폴리에스터를 소재로 하여 이것에 급·배수 효과를 주어서 펠트(felt) 상으로 한 것이 일반적이다. 식물의 뿌리를 고온과 한파, 혹은 가뭄으로부터 보호하기도 하고 빗물이 튀어 야채나 과실이 오염되는 것을 방지하기 위해서 밭의 표면에 넓게 까는 소재로 PE 필름이 가장 많이 사용되고 있다. 최근 과수분야에서 통기성은 있으나 물은 통과시키지 않는 멀치 소재가 주목받고 있다. 이것은 토양속의 가스를 통과시켜서 여름에 뿌리의 수분을 조절함으로써 과



(a)



(b)

Figure 4. 암면배지 육묘상자(a)와 고분자 수지로 만든 배지(b).

실의 당도를 높이는 것을 목적으로 하기 때문에 통기성이 있는 필름에 부직포를 보강한 것과 부직포 자체가 이들 기능을 가지는 것이 개발되고 있다.

**인공배지용 소재:** 인공배지용 소재는 흙을 대신한 인공적인 배지로 이전부터 유기질, 무기질의 재료가 다양하게 사용되고 있다. 특히, 최근에는 용액 재배용 배지로 사용되고 있으며 암면(rock wool, rock fiber), 폴리에스터 블록, 발포 페놀수지, 발포 우레탄수지, 발포 요소수지 등이 있다(Figure 4).

암면은 현무암, 안산암 등의 천연석 및 광택 슬러지를 큐폴라(cupolar) 또는 전기로로 고온(1,400~1,600 °C)에서 용융한 다음 원심력에 의해 섬유화시킨 것이다. 이 암면에 친수성 처리를 하여 집적시켜 바인더로 성형한 것을 배드, 포트 등으로 가공한다. 바인더를 사용하지 않고 입상으로서의 것을 입상섬유라 한다. 섬유직경 3~7 μm, 무균, 공극률 90% 이상으로 흡수성, 보수성은 크지만 흡인력

은 적다. 입상 섬유는 모세관현상에 의해 물을 빨아올리는 힘이 크고 수분의 유지능력도 높다. 성형품은 주로 영양액 재배의 배지로, 입상섬유는 단독 또는 다른 재료와 혼합하여 파종용 분재흙으로 사용되고 있다. 보통은 비료를 함유하지 않지만 최근에는 비료성분을 가하여 벼 못자리용에도 사용되고 있다. 폴리에스터 블록은 PET 단섬유를 무질서하게 적층하여 얻어지는 것으로 바인더는 사용하지 않는다. 섬유직경이 10~30 μm이고, 공극이 커서 물의 확산성, 뿌리의 관통성이 우수하다. 발포 페놀수지는 페놀수지의 발포체로 연속된 기공구조를 하고 있고 흡수성, 통기성이 풍부하다. 가벼워 사용하기 쉬우며 수분의 보유 능력은 크지만 빨아들이는 힘이 작다. 일단 완전히 건조되면 흡수하기 어려운 특성이 있다. 발포 우레탄 수지는 연속 기포형으로 탄력성이 있고 수분의 보유 능력이 크며 비료성분은 함유하지 않는다. 발포 요소수지는 흡수성이 풍부하므로 토양에 혼합되어 수분을 유지하는데 적합하다. 이 경우 토양 중의 박테리아가 수지를 서서히 분해시켜 질소비료로 된다고 알려져 있다.

### 3. 수산용 섬유

#### 3.1. 어획수산용 소재

수산용 섬유에는 어획수산용과 양식수산용 섬유 소재가 있으며 어획수산용 섬유 소재로서는 낚시줄, 연승(延繩)류 및 로프류, 어망류 등이 있다.

낚시줄은 옛날에는 견사가 많이 사용되었으나, 현재에는 합섬 필라멘트가 주로 사용되고 있다. 나일론이 대부분이나 용도에 따라서는 PVDF(polyvinylidene fluoride), PET, 금속(철, 텅스텐 등)이 사용되고 있다. 낚시줄은 일반적으로 도사(낚시대 끝에서 목줄까지의 부분)와 목줄(낚시바늘 위부터 도사 전까지의 부분)로 구성된다. 목줄이 도사보다 가늘고 탄력이 있는 실이 사용된다. 낚시줄의 요구특성은 복잡하고 어종에 따라 다르다. 일반적으로는 강도가 클 것, 매듭이 용이할 것, 가라앉기 쉬운 것, 수중저항

이 작을 것, 투명할 것 등이 요구된다. 이런 점에서 나일론이 다른 소재에 비해서 우수하여 많이 사용되고 있다.

낚시줄의 굵기는 호수로 표시되며 호수가 큰 것이 굵다. 낚시줄에는 일반적으로 0.1호(직경 0.05 mm)부터 30호(직경 0.90 mm)까지의 실이 사용된다. 실의 직경과 섬도(denier)의 환산은 다음과 같다.

$$\text{실의 직경 (mm)} = 0.165\sqrt{\text{호수}} \quad (1)$$

$$\text{실의 섬도 (de)} = 192 \times \text{비중} \times \text{호수} \quad (2)$$

표준적인 나일론사의 강도는 8.5 g/de, 신도 30% 정도이지만 0.1~0.8호의 가는 영역에는 11 g/de 이상의 것도 있다. 낚시줄은 여러 가지 방법으로 꼬아서 사용되기 때문에 매듭강도(knot strength)도 중요하다. 일반적으로 연신 배율을 올리면 강도는 증가하지만 매듭강도는 일정배율에서 가장 높고 그 이상의 배율에서는 반대로 저하한다. 이것을 보완하기 위해서 결정화하기 어렵고 표면경도가 낮은 공중합 나일론이 사용되는 경우도 있다. PVDF는 나일론보다 강도, 매듭강도는 낮지만 수중에서의 강도저하가 낮고 굴절률이 물과 유사하여 눈에 잘 띄지 않고 비중이 높기 때문에 목표점에 빨리 가라앉는 등의 장점이 있다.

연승류는 가운데층의 물고기를 대상으로 한 것과 바닥층의 물고기를 대상으로 한 것 등이 있다. 가운데층의 물고기를 대상으로 한 연승류의 일반적인 구성도를 Figure 5에 나타내었다. 부표로부터 이웃한 부표까지를 1발이라고 부르고, 그 길이는 300~350 m 정도로 대형선의 경우 1회 조업으로 사

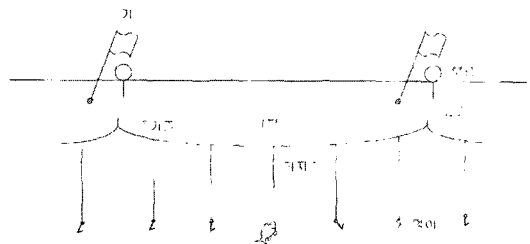


Figure 5. 다랑어 연승어구의 구성도.

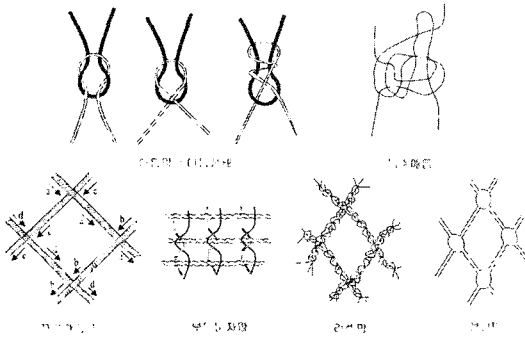


Figure 6. 어망의 각종 매듭 형태.

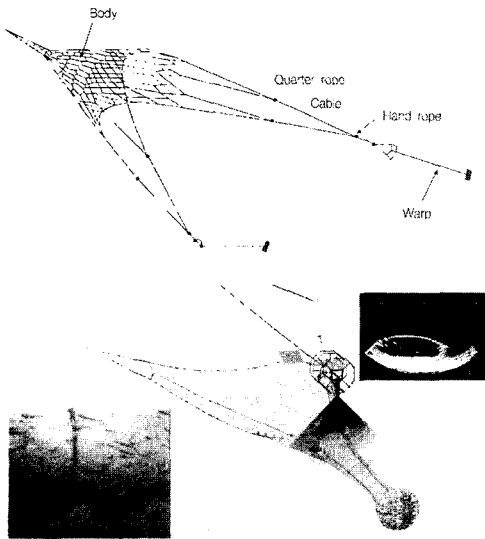


Figure 7. 트롤(trawl)망의 구성도(a)와 초음파를 이용한 영상사진(b).

용되는 발 수는 500 발 정도이다. 그림에서 보듯이 뜬줄은 길이가 10~30 m 정도이고 뜬줄 및 줄기줄의 직경은 5~7.4 mm 정도의 것이 사용되고 있으며 가지줄의 직경은 3.6~4.8 mm 정도의 것이 사용되고 있다. 섬유 소재로는 폴리에스터가 많고 폴리에스터와 나일론의 혼연 제품도 사용되고 있다.

어망류의 경우 Figure 6에 나타낸 것과 같이 매듭의 형태에 따라 3 가지의 매듭형태와 특수 매듭의 형태가 있고, 매듭이 없는 망의 경우 2~3 꼬임관통형, 보통문자망, 라셀망이 일반적이다. 어망 소재로는 초고강력 섬유가 사용되고 있으며 여러 가

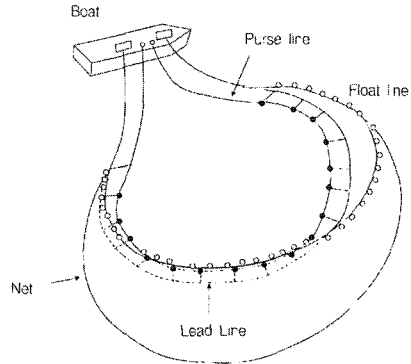


Figure 8. 선망의 개념도.

지의 색상이 검토되나 트롤망의 경우에 일부 황색망이 사용되고 있다. 또한 광을 순간적으로 저장하여 연속 발광하는 축광네트·축광로프(glow net·glow rope)가 개발되어 트롤, 선망(旋網)에 사용되어 어획향상 효과를 발휘하고 있다. 가두리망의 주류는 섬유로 된 망이지만, 수지를 사용한 성형망과 금속도 부분적으로 사용되고 있다. 트롤(trawl)망을 크게 나누면 저인망과 중층망으로 나뉘어진다. 저인망과 중층망의 구성도의 한 예를 Figure 7에 나타내었다. 트롤망의 소재는 주로 PE가 사용되고 있지만 나일론이 사용되는 경우도 있다. 트롤망의 저항을 적게하기 위해서 PE계, 폴리에스터계의 고강도 섬유도 많이 사용되고 있다. 고강도 섬유를 사용함으로써 망사의 직경은 종래의 약 70~80% 정도까지 가늘게 할 수 있게 되었다.

선망은 고기뼈를 둘러싸서 잡는 그물로 개념도를 Figure 8에 나타내었다. 어종에 따라 사용되는 어구는 다르다. 망소재로는 나일론, 폴리에스터계가 많이 사용되고 있고 대부분이 매듭이 없는 망이다.

### 3.2. 양식수산물용 소재

양식수산물용 섬유 소재로서는 가두리망과 김양식망을 들 수 있다. 가두리는 물고기를 양식하기 위한 시설로서 대표적인 가두리의 개념도를 Figure 9에 나타내었다. 가두리망에 사용되는 망의 소재는 섬유, 금속망, 플라스틱 등이 있다. 일반적인 소재

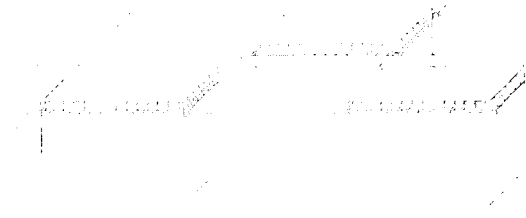


Figure 9. 가두리망의 개념도.

는 섬유의 매듭이 없는 망으로 PE가 가장 많고, 그 외에 폴리에스터도 사용된다. 또한 PE, 폴리에스터계의 초고강력 섬유도 사용되고 있다. 그물눈은 정방형이 일반적이며 조밀도는 물고기의 크기에 따라 45~75 mm 정도의 것이 많이 사용되고 있다.

김은 예로부터 친숙한 해조류의 일종이며 자연적으로 착생하여 번식하는데 합성섬유의 개발과 함께 김양식망을 대체하게 되었고 망의 일괄생산과 함께 김양식의 비약적인 발전을 이루는 큰 역할을 하였다. 김양식망의 요구특성으로는 김의 발아부착 및 성장을 고려할 때 친수성일 것, 김의 성장 및 냉동보존을 위한 적당한 흡수성과 함수성이 있을 것, 포자의 부착 및 성장을 저해하는 부착물이 없을 것, 망사의 강력은 사용되는 어장에 따라 다르지만 최저 250kg 이상(루프강력)일 것, 장기간의 치수 안정성이 있을 것 등이 있다. 김양식 망사로 사용되는 원사는 친수성 및 흡수성이 큰 비닐론사가 50% 이상이고, 그 외에 나일론, PE, PP사 등이 혼연되어 사용되고 있다.

## 4. 해양용 섬유

### 4.1. 해양토목용 소재

**해양구조물용:** 해양의 개발이용은 해양자원의 개발이라 일컫는 원양에서의 활동 이외에 요즘에는 육지와 접한 연안에서의 활동이 전개되고 있는 것으로 매우 중요한 과제이다. 해양개발의 분야에서 사용되는 재료도 활동공간의 특성에 따라 혹은 활동의 내용에 따라 규정된다.

해양에서 사용되는 소재가 갖는 기능은 해양개발

시 활동공간의 환경특성에 좌우된다. 예를 들면 해상(대기중), 해중(해수중), 해저(토양중) 등의 수평면의 상하방향의 서로 다른 공간을 동시에 사용하는 것이 대부분이다. 보통은 육상 환경의 경우와는 매우 다른 환경조건에서 사용되기 때문에 요구되는 기능도 복잡하다. 해양용으로 사용되는 소재에 요구되는 기능으로 내수성은 기본적으로 부식의 문제가 육상의 대기 중과는 비교가 안 될 정도로 중요하다. 따라서, 사용되는 소재에 요구되는 가장 중요한 기능은 내부식성이다. 다음으로 육상과 대기 중에는 없는 특이한 조건으로 수압을 들 수 있다. 해양은 10 m 깊어짐에 따라서 1기압이 증가하기 때문에 재료에 가해지는 조건은 한층 가혹한 환경이라고 할 수 있다. 파랑 등에 의한 외력에 대해 100년 주기 재해를 고려하면 그 변동폭이 매우 크고 또한 안전성의 관점에서 대단히 높은 안전율을 재료에 요구하게 된다. 열대의 해상과 극지방의 해역에서는 기능으로서 내열, 내한성의 요구가 다르게 된다. 생물부착에 대한 저항성도 해양에서의 활동에 제약을 주는 하나의 조건이다.

해양구조물에 섬유재료를 주된 재료로 사용하는 사례로는 저수·저유구조물이 있는데, 가장 중요한 것이 저수대이고 액체 수송용으로 바다에 띄워서 보트로 예인하는 것이 있다. 사용재료는 나일론 섬유에 클로로프렌 고무를 피복한 것이다. 두 번째는 저유탱크로 불리워지는 것으로 석유 위기에 대비하여 해중에 설치하는 비축용의 유연성 탱크로서 사용재료는 폴리에스터, 나일론 직물에 클로로프렌 고무 등을 피복한 것이다.

**해양공법용:** 해양은 가혹한 자연환경의 하나이고 여기에 사용되는 재료는 대부분 이러한 환경에 견디는 성질을 갖추어야 한다. 해양공법에는 섬유가 공통적으로 가지고 있는 경량성과 직선적 또는 평면적 연속성을 이용해서 다른 재료에는 없는 기능을 발휘하고 있다. 즉 강한 인장저항력, 차단효과, 기밀 및 수밀성은 섬유가 가지는 우수한 기능으로 해양공법에 필수적인 소재가 되고 있다.



해상에서 무거운 물건을 끌어올리고 해중으로 내리는 작업에서는 철강제의 로프가 사용되는 경우가 많다. 그러나 철강제 로프의 단점은 무겁고 녹슬기 쉽다는 것이다. 따라서 가볍고 취급하기 쉬운 나일론, 폴리에스터, 아라미드 섬유로 만든 로프가 이를 대체하여 사용되기 시작하였다. 배위의 작업에서는 장소가 좁기 때문에 사람이 작업하는 것이 어려운 경우 가벼우면서 인장저항력이 큰 로프가 좋다. 특히 헬리콥터를 이용하여 끌어올리는 작업에서는 꼭 필요하다. 작업선의 위치고정을 정확하게 하기 위해서 가벼운 로프를 이용하면 느슨해짐이 적게 되고, 바람과 조류에 의해 배에 가해지는 힘에 의한 이동을 적게 한다. 해양구조물에서는 모르타르를 주입할 때 섬유로 만든 주입호스를 사용하는 경우가 많다. 이것은 섬유의 경량성과 작업의 손쉬움 때문이다. 또한 해저 매트는 사용상 세굴방지용, 지지력 보강용, 부등침하 방지용으로 분류된다. 소재는 나일론, 폴리에스터, PE 등이 사용되고 있다. 세굴방지용 매트는 조류가 센 경우 등에 기초의 바로 아래나 주변의 세굴을 방지하기 위해서 설치하는 것으로 기초 바닥면 전체에 설치하는 것과 구조물의 주변에만 설치하는 것이 있다. 지지력 보강에는 인장저항력이 큰 매트를 사용하지만 기초적인 사용방법은 세굴방지용 매트와 동일하다. 부등침하 방지에서는 다른 재료와 조합하여 강성이 높은 매트를 사용하기 때문에 중량과 두께도 크게 되고 대규모의 공사에 사용하는 경우가 많다. 심해터널의 설치 공사에서는 2종류 샌드백이 사용된다. 하나는 조선대에서 배가 진수할 때에 사용하는 샌드백용 기중기를 물속에서 터널 설치시에 사용하고, 다른 하나는 터널 밀면과 지반의 간격에 충전용으로 사용한다. 그 밖에 유실방지용 시트가 있는데 토사 등의 해저투기로 미세토가 유실하는 것을 방지할 목적으로 해저에 설치한다.

**수중 펜스:** 물속에서 이동하는 어류와 수류에 의해 떠다니는 미립자 등의 이동을 규제할 목적으로 나일론과 폴리에스터로 만든 펜스를 설치한다. 움

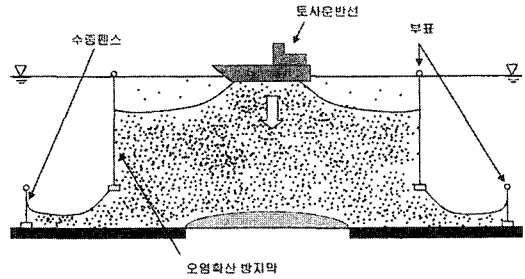


Figure 10. 미립토사 유실방지 수중펜스.

직임을 저지할 대상물이 있다면 당연히 그 목적을 달성하기 위한 기능이 재료에 요구된다. 물의 흐름 방향을 바꾸어 움직임을 저지하고자 할 경우에는 물을 통하지 않는 조직을 가진 시트 재료가 필요하다. 또한 오염확산방지에는 탁한 미립자는 통과시키지 않으면서 물은 통과시키는 것이 좋다(Figure 10). 즉, 떠다니는 장애물의 침입을 막기 위해 펜스에 장애물이 걸리지만 물은 자유롭게 통과시키는 기능이 요구된다. 이들 조건을 기초로 하여 펜스의 설계가 이루어지나 해중에서는 생물의 부착에 따른 장애 발생을 주의할 필요가 있다.

#### 4.2. 해양오염 방지용 소재

**유류 흡착재:** 최근 산업의 비약적인 발전에 따라 인류의 생활환경을 파괴하는 공해문제가 크게 부각되고 있다. 공해 중에서도 특히 수질의 오염문제는 에너지원을 석유로부터 얻어내는 산업활동이 활발해짐에 따라 심화되고 있다. 이와 같은 사회적 관심이 높은 가운데 환경오염을 규제하는 법률로 수질 오염 방지법, 해양오염 방지법 등이 시행되면서 여러 방지대책이 나오고 있다. 유류 흡착재도 이것의 일환으로 개발되어 공장의 기름폐수의 처리와 바다 등에서의 유출유의 회수에 크게 활용되고 있다.

유류 흡착재의 구성소재는 무기물, 먼, PE, PP 등 여러 가지가 있지만 소수성이면서 친유성이 높은 폴리올레핀계가 많다. 또 소각처분 등 사용후의 처리방법도 고려하여 소재를 선택하는 것이 중요하다.

유류 흡착재의 제조방법에는 크게 나누어 편·직

기에 의한 편물과 직물, 여러 제법에 의해 얻어지는 부직포가 있지만 함유 폐수처리와 유출유의 회수에는 부직포 형태가 많이 사용되고 있다. 부직포는 그 제법에 따라 여러 가지 특징을 가지며 사용되는 상황에 따라 다양한 부직포가 유류 흡착재로서 활용되고 있다. 유류 흡착재의 사용형태는 시트상, 롤상, 리본상, 입방체 등이 있고 사용목적에 따라 단독 또는 유수 분리장치의 한 요소로 응용된다.

유류 흡착재의 성능은 처리대상의 유류 또는 점도에 따라 다르기 때문에 폐수의 조건 등을 고려하면서 적절한 유류 흡착재를 선택할 필요가 있다. 특히 공장폐수에 대해서는 유분폐수의 기준이 법령, 조례 또는 공해방지 협정에 정해져 있기 때문에 이 기준을 만족할 필요가 있다. 또한 앞으로 바다 등의 유출 사고에 대처하기 위해서 해양오염 및 해상재해의 방지에 관한 법률 시행규칙이 정해져서 유출유 방제소재로서 유류 흡착재의 비축을 의무화할 필요가 있다.

일반적으로 유류 흡착재는 필터로 사용하며 폐수 중의 기름방울을 필터로 흡착시켜 유분을 제거하는 방법을 이용한다. 이 경우 크고 작은 기름방울을 효율적으로 제거할 필요가 있다. 이 때문에 적절한 밀도를 갖는 유류 흡착재를 사용하는 것이 대단히 중요하다. 또한 폐수의 조건에 따라 구조가 다른 유류 흡착재를 적절히 선택하고 조합하여 기계적인 분리법과도 병행함으로써 효과적으로 처리하는 방법도 사용된다. 유출유의 처리방법은 먼저 오일펜스에 의한 확산방지 후에 유류 흡착재를 유상에 투하해서 흡착회수하거나 오일 스킴머(oil skimmer) 등으로 유출유를 제거한다.

**오일펜스(oil fence):** 해양의 오염은 최근 크게 증가하여 자연의 정화력을 초월하게 되어 국제적으로 환경보전의 목소리가 높아지고 있다. 해양오염의 대표 예로 원유의 유출사고에 의한 오염을 들 수 있다. 석유의 대량 수송시대에 들어 빈번히 사고가 발생하고 있으며 과거와는 비교가 되지 않을 정도로 엄청난 환경파괴에 이른다는 사실은 1988년 Alaska

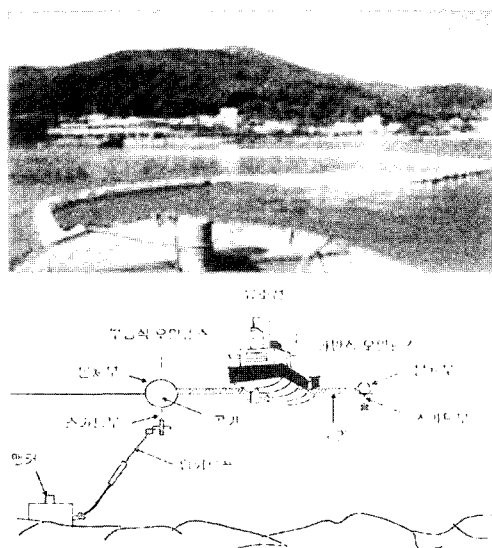


Figure 11. 오일펜스의 현장설치 사진과 개념도.

해역에서의 엑스발데스호의 사고와 1991년의 중동 전쟁시의 유전파괴에 의한 유출사고가 여실히 보여 주고 있다. 그 이후 이중구조의 유조선이 출현하는 등 기름 누출에 대한 대책이 다양하게 검토되고 있으나, 해상에서 유출사고가 발생하는 경우에 기름의 확산 방지에 사용될 수 있는 것이 오일펜스이다. 오일펜스에는 가반식과 부침식이 있는데 가반식 오일펜스의 경우 가볍고 취급이 쉽기 때문에 주로 이동식으로 사용되며 다양한 형태로 제조되고 있다. 부침식 오일펜스는 오일의 국가 비축기지과 민간의 대형수입기지에 주로 사용되고 있으며 장점으로는 이들 성능이외에 공기의 공급 및 배출량을 조절함으로써 필요에 따라 해저에 침하 또는 해상으로 부상시키는 것이 가능하다. 현재 일반적으로 사용되고 있는 가반식 오일펜스와 부침식 오일펜스의 단면개념도 및 사용상황의 한 예를 Figure 11에 나타내었다.

부침식 오일펜스에는 본체부분 및 스카트 부분에 모두 일반적으로 나일론 200 kg/cm의 평직범포가 여러 겹으로 적층된 형태로 사용된다. 스카트 부분은 파도에 의한 흔들림에 견디는 유연한 특성을 지녀야 하기 때문에 섬유재료의 특성을 살릴 수 있다.

이밖에 오일펜스를 해저에 고정하기 위한 나일론으로 만든 앵커로프가 사용된다. 가반식 오일펜스는 본체부분 및 스카트 부분에 모두 나일론 50 kg/cm<sup>2</sup>의 평직법포가 일반적으로 사용되고 있다. 이들 섬유재료에는 요구되는 인장강도, 신도 등의 물리적 특성 외에 내유성, 내수성, 내후성 등이 요구된다.

### 4.3. 해양자원용 소재

**담수화용:** 해수로부터 담수를 얻어내는 방법으로는 증발법, 전기투석법, 역삼투법, 냉동법, 추출법 등이 있다. 각각의 방법으로 해수로부터 담수를 얻어내는데 필요한 에너지를 Table 2에 비교하였다. 표에서 보는 바와 같이 상변화를 수반하지 않고 압력만으로 담수를 얻어내는 역삼투법이 필요한 에너지가 훨씬 적다.

역삼투법은 1953년에 해수의 담수화기술로 제안되었고 1960년에 셀룰로스아세테이트의 비대칭 역삼투막의 개발이 실용화의 시작으로 현재에도 여러 가지 소재를 사용한 고성능막의 개발이 계속되고 있다. 우선 유기계의 막과 무기계의 막으로 분류되며 전자는 셀룰로스계와 비셀룰로스계로 다시 복합막과 증공사막으로 분류된다. 폴리아미드와 폴리에스터를 소재로 한 복합막은 허용 pH 범위와 내박테리아성의 관점에서는 셀룰로스아세테이트를 막소재로 한 것보다 우수하지만 염소와 용존산소 같은 산화성 물질에 의해 화학적 취화를 받아 성능이 저하하는 단점을 가지고 있다.

역삼투막의 형태로 증사막과 평(나선형)막이 있고 각각 단위면적당 표면적을 늘려 투과면적을 크게 한 것이 특징이다. Figure 12에는 증공사형 모듈

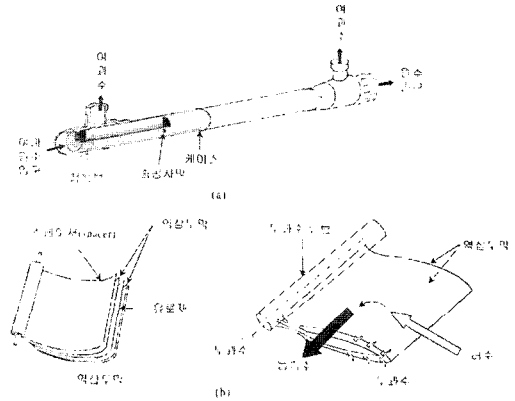


Figure 12. 증공사막 모듈(a)과 나선형 모듈(b)의 구조.

(module)과 나선형 모듈의 구조 예를 나타내었다. 증공사형 모듈은 직경이 수십~수백  $\mu\text{m}$ 의 증공사를 수십만 다발로 묶어 원통형으로 하여 끝부분을 접착제로 고정해서 가압 제조한 것이다. 나선형 모듈은 봉투형 막의 안쪽에 스페이서(spacer)를 넣어 원통형으로 감아 가압 제조한 것이다. 해수담수화용 역삼투 모듈은 1973년에 Du Pont사가 처음으로 시판하였고 1976년경부터 100 m<sup>3</sup>/일 이상의 실용 플랜트가 가동되었다. 역삼투법에 의한 담수화 플랜트는 1973년에는 33개, 용량으로는 담수화장치 전체의 1.1%에 불과했지만 1988년에는 약 3,100개로 증발법을 이용하는 장치의 2배가 되었고 용량으로도 26%를 점유하게 되었다. 현재 점유율은 점점 증가하는 추세에 있다. 해수담수화장치의 용량이 전체 담수화장치의 용량에서 차지하는 비율은 약 70% 이상이다.

**제염용 :** 염업의 근대화에 따라 염전의 광대한 모습이 점차 사라지고 있으며, 소금 제조공장은 대부분 고분자막을 이용하는 방법을 채택하고 있다. 고분자막을 이용하면 날씨에 구애받지 않고 소금을 얻을 수 있고 소금의 제조에 필요한 토지가 매우 적기 때문에 유리하다. 이온교환막 전기투석법의 원리는 양이온만을 선택적으로 통과시키는 음이온 교환막과 음이온만을 선택적으로 통과시키는 양이온 교환막을 번갈아 정렬하고 막을 통하여 전류를 흐

Table 2. 해수담수화에 요구되는 에너지 비교

분리 과정	필요 동력 (kWh/m <sup>3</sup> )	필요 열량 (kcal/m <sup>3</sup> )
역삼투법(회수율 40%)	3.5	3,010
역삼투법(회수율 30%)	4.7	4,042
냉 동 법	9.3	8,000
용매추출법	25.6	22,000
전기투석법	32.2	27,692

르게 하면 번갈아 염(양이온 및 음이온)의 농축과 희석이 일어난다. 양이온 교환막은 막내에 많은 음전하를 가지고 있기 때문에 전기적 중성조건으로 막내에 양전하를 갖는 가동이온의 농도가 높아진다. 한편, 음이온 교환막에서는 반대로 막내의 음전하를 갖는 가동이온의 농도가 높아진다. 이러한 원리에 의해 염분이 농축된 구간과 희석된 구간이 생기게 되는데, 농축 구간에서 해수 농축액을 추출할 수 있다. 이 방법으로 통상 해수의 약 6배인 180~190 g/L의 농축액이 얻어진다.

이온교환막은 주로 해수의 탈염 담수화나 제염을 목적으로 1950년경부터 연구 개발이 진행되었고, 현재 쓰이고 있는 이온교환막의 제조에는 막 상태의 고분자에 슬폰산기나 암모늄기와 같은 이온교환기를 화학반응을 통해 도입하는 방법이 주류를 이룬다. 막소재로는 PP, PVC 등 합성섬유의 천을 이용한 막이 주로 사용되고 있다.

#### 4.4. 해양안전용 소재

**시앵커(sea anchor):** 시앵커는 수중에서의 저항체의 일종으로 선박 등이 풍랑에 의해 표류하는 속도에 따라 저항체로 작용하고 뱃머리 또는 뱃꼬리를 바람에 지지하면서 선박 등의 표류속도를 억제할 목적 등에 사용하는 것이다. 선박이 해상에서 악천후를 만났을 경우 시앵커를 사용하는 것은 해난 방지에 큰 효과가 있다. 오래 전부터 거친 날씨에 대비해서 선상에서 선내의 목재, 닻, 삼베, 로프 등의 재료로 응급적으로 시앵커를 만들어 사용하였는데 현재는 낙하산형의 시앵커가 비상용, 조업용, 레저용으로 널리 보급되어 있다.

Figure 13에 도시한 시앵커의 주요 구성품의 주된 소재는 다음과 같다. 저항체에서 저항면의 섬유 소재는 강력사의 나일론 또는 폴리에스터 소재가 주로 사용되고 있다. 또한 저항체의 로프는 사용목적에 따라 다르지만 강력사의 나일론 또는 PE 소재가 사용된다. 부표(buoy)는 PE계의 성형품이 주로 사용되고 있으며, 해중에 잠기는 로프의 경우에

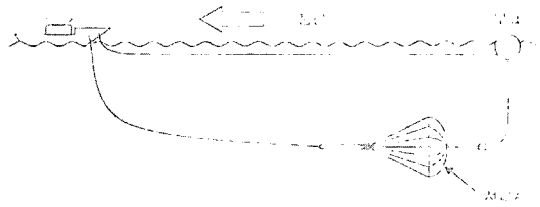


Figure 13. 시앵커의 주요 구성품.

는 강력사의 나일론 또는 폴리에스터로 만든 8가닥 또는 16가닥의 실로 끈 것이 주로 사용되고 있다. 해면에 뜨는 로프의 경우에는 가벼운 소재가 사용되며 PE 또는 PP로 만든 8가닥의 실로 끈 것이 주로 사용되고 있다.

#### 5. 결 론

요즘 섬유산업 전반의 동향을 고급화, 다양화, 고기능화를 통한 고부가가치를 갖는 섬유의 개발로 특징지을 수 있다. 앞으로는 양적 팽창이 둔화되고 동시에 질적인 수준향상이 절실하며 중·장기적으로 수출 시장을 다변화시킴으로써 시장 잠식에 대한 위험 부담을 줄이는 한편 고부가가치의 산업용 기능성섬유의 개발이 절실히 요구되고 있다. 교통·운송 분야, 토목·건축 분야, 생명과학 분야, 전기·전자·정보·통신 분야 및 스포츠·레저 분야의 산업용 섬유 소재 뿐만 아니라 농업·수산·해양 분야에서도 개발이 절실히 필요하다.

섬유신소재의 탄생 배경에는 국제 경쟁력 저하와 인건비 상승의 경제적인 요인, 초극세섬유 제조 및 기타 가공기술의 발달, 고부가가치 소재개발 등의 기술적 발전, 그리고 소비자들의 요구와 선호의 변화로 인해 섬유 신소재가 탄생하게 된 것이다.

따라서 농업·수산·해양용 섬유 소재도 단순 기능이 아닌 용도에 적합한 다양한 기능을 갖춘 섬유 소재의 개발이 요구되고 있다. 이러한 섬유를 얻기 위해서 고분자 단계에서부터 최종 가공단계에 이르기까지 고도의 기술을 이용한 차별화 기술의 개발이 요구된다.

참고문헌

1. 纖維學會(日本), "纖維便覽", 丸善(株式會社), 東京, 1994.
2. 한국고분자학회편, "고분자신소재 편람" 대광서림, 1995.
3. 金準, "뉴纖維" 修學社, 서울, 1994.
4. S. Nishi, *Sen-i Gakkaishi*, **49**, 281(1993).
5. S. Oka, *Sen-i Gakkaishi*, **49**, 291(1993).
6. S. Ishimoto, *Sen-i Gakkaishi*, **49**, 286(1993).
7. H. Watanabe, *Sen-i Gakkaishi*, **49**, 306(1993).
8. T. Yanase, *Sen-i Gakkaishi*, **49**, 299(1993).
9. T. Ishitani, *Sen-i Gakkaishi*, **49**, 309(1993).
10. M. Miyagi, *Sen-i Gakkaishi*, **46**, 303(1990).
11. E. Taki, *Sen-i Gakkaishi*, **49**, 12(1993).
12. R. Arnold, M. Seeger, A. M. Barša, and H. Hufnagl, *Technical Textile*, **41**, E12(1998).
13. S. Nagasaki, *Sen-i Gakkaishi*, **46**, P-297(1990).
14. S. J. Cooke and W. J. Hogle, *N. Am. J. Fish. Manage*, **20**, 1033(2000).
15. S. J. Cooke, J. F. Schreer, K. M. Dunmall, and D. P. Philipp, *Am. Fish. Soc. Symp.* **30**, 121(2002).
16. S. C. Allen, S. Jose, P. K. R. Nair, B. J. Brecke, P. N. Kizza, and C. L. Ramsey, *Forest Ecology and Management*, **192**, 395(2004).
17. M. J. Hartley, *Forest Ecology and Management*, **155**, 81(2002).
18. I. Schudera, G. Porta, and J. Bennison, *Crop Protection*, **22**, 1033(2003).
19. D. S. Green, E. L. Kruger and G. R. Stanosz, *Forest Ecology and Management*, **173**, 251(2003).
20. P. J. Anderson and F. E. Futz, *Forest Ecology and Management*, **170**, 271(2002).
21. C. R. Mathews, D. G. Bottrell, and M. W. Brown, *Applied Soil Ecology*, **21**, 221(2002).
22. M. D. Novak, W. Chen, A. L. Orchansky, and R. Kettler, *Agricultural and Forest Meteorology*, **102**, 139(2000).
23. J. A. Tolck, T. A. Howell, and S. R. Evett, *Soil & Tillage Research*, **50**, 137(1999).
24. K. N. Tiwari, P. K. Mal, R. M. Singh, and A. Chattopadhyay, *Agricultural Water Management*, **38**, 91(1998).
25. G. Deschamps, H. Caruel, M. E. Borredon, C. Bonnin, and C. Vignoles, *Environ. Sci. Technol.*, **37**, 1013(2003).
26. M. Haussard, I. Gaballah, N. Kanari, P. de-Donato, O. Barre's, and F. Villieras, *Water Res.*, **37**, 362(2003).
27. K. Hori, M. E. Flavier, S. Kuga, T. B. T. Lam, and K. Liyama, *J. Wood Sci.*, **46**, 401(2000).
28. A. M. Marabini, P. Plescia, D. Maccari, F. Burrigato, and M. Pelino, *Int. J. Miner. Process.*, **53**, 121(1998).
29. N. Graham, E. G. Jones, and D. G. Reid, *Journal of Marine Science*, **61**, 1036(2004).
30. J. Warnken, R. J. K. Dunn, and P. R. Teasdale, *Marine Pollution Bulletin*, **49**, 833(2004).
31. D. R. Topham, *Spill Science & Technology Bulletin*, **7**, 5/6, 289(2002).
32. A. B. Nordvik, *Spill Science & Technology Bulletin*, **5**, No. 5/6, 309(1999).
33. J. Utzinger, K. Wyss, D. D. Moto, N. D. Yemadji, M. Tanner, and B. H. Singer, *Environmental Impact Assessment Review*, in press, (2004).

저자 프로필



손원근

1983-1987. 충남대 재료공학과 졸업  
 1987-1993. 충남대 공업화학과(석사)  
 1993-1996. 충남대 고분자공학과(박사)  
 1996-1997. 한국화학연구원 재료실(Post-Doc.)  
 1997-현재. 충남대 전임연구교수



박원호

1981-1985. 서울대 섬유공학과 졸업  
 1985-1987. 서울대 섬유공학과(석사)  
 1987-1993. 서울대 섬유공학과(박사)  
 1996-1997. 미국 University of Massachusetts at Amherst 고분자공학과(Post-Doc.)  
 1993-1999. 금오공대 고분자공학과 부교수  
 1999-현재. 충남대 섬유공학과 교수