

정보자료

최신 석유기술 동향

2007. 11.



대한민국 경제의 큰 힘, 바로 석유산업입니다

한국석유산업연합회

우리 연합회에서는 국내 섬유업계의 기술경쟁력 강화를 위해 국내·외 섬유기술 정보 및 연구개발 동향, 첨단소재 및 특허정보, 향후 전망 등을 전문가들이 심도있게 집필하여, 이를 섬유업계 CEO 등에게 정기적으로 제공하고 있습니다.

본 자료는 상반기 및 하반기로 구분하여 배포할 예정이며, 자료와 관련하여 문의사항이 있으시면 한국섬유산업연합회 기술개발팀으로 문의해 주시기 바랍니다.

Tel) 528-4037 Fax) 528-4070 E-mail) js9751@kofoti.or.kr

目 次

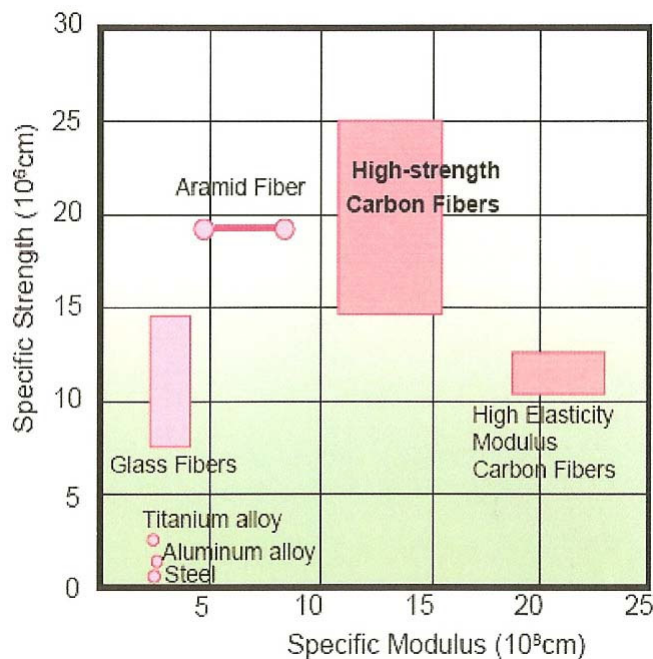
1. 고성능 탄소섬유의 새로운 비상과 비전 1
2. 초고성능 슈퍼섬유 PBO 섬유 10
3. 스텔스 기능성 섬유소재 17
4. 안전을 위한 선택, 난연사 25
5. IT 산업용 고기능 섬유소재 33
6. 자동차용 섬유재료 개발동향 39
7. 친환경 섬유의 최근 경향 및 시장분석 50
8. 형상 기억합금을 이용한 지능형 의류 개발 63

고성능 탄소섬유의 새로운 비상과 비전

1. 탄소섬유의 개요

탄소섬유(Carbon Fiber)는 유기섬유나 수지, 피치 등과 같은 유기재료를 방사하여 제조한 전구체섬유(Precursor Fiber)를 안정화(Stabilization) 및 탄화(Carbonization), 2,500℃ 이상에서의 연신 흑연화(Stretch Graphitization)를 시켜 얻어진 비흑연질 탄소로 이루어진 필라멘트를 지칭한다.

탄소섬유는 탄성계수와 강도가 크고 열팽창계수가 낮으며, 높은 전기 및 열전도도를 가지고 있다. 또한, 진동감쇄특성, 생체적합성, 크립(Creep) 저항성을 갖고 있으며 피로특성, 부식특성, 마찰 및 마모특성, 화학적 안정성 등도 뛰어나다.



[그림 1] 탄소섬유와 기타 고성능 재료의 특성 비교

특히, 탄소섬유는 금속이나 세라믹 소재에 비해 밀도가 낮아 비강도(Specific Strength) 등과 같은 무게에 대한 기계적 특성이 우수하여 유기 고분자, 금속, 세라믹, 탄소 등의 복합재료 보강재로 매우 적절하다. 고탄성률 및 고강도 탄소섬유의 기타 고성능 재료에 대한 기계적 물성이 [그림 1]에 비교되어 있다.

고성능 섬유를 이용한 고성능 복합소재의 시초는 제2차 세계대전 중 영국이 개발한 유리섬유 강화플라스틱(GFRP, Glass Fiber-reinforced Plastic)이다. GFRP는 에폭시, 비닐에스터, 폴리에스터와 같은 열경화성 플라스틱에 직경 0.1mm 정도로 가늘게 만든 유리섬유로 짠 천을 넣어 경화시켜 제조한다. 1960년대부터는 유리섬유보다 훨씬 더 가볍고 강도나 탄성이 더욱 우수한 탄소섬유가 개발되면서, 탄소섬유 복합재(Carbon Fiber-reinforced Composite)가 집중적으로 개발되기 시작하였고 1980년대부터 테니스 라켓, 골프채, 스키와 같은 스포츠용품이나 경기용 보트, 자동차, 비행기, 건축자재, 헬멧, 악기 등에 널리 쓰이기 시작하였다.

[표 1] 탄소섬유의 특성에 따른 주요 용도

특 징		용 도
고강도/고탄성	철의 10배/3배	우주/항공, 스포츠/레저, 구조재료
초경량성	철의 20%	
열적 치수안정성	철, 알루미늄 대비 우수	우주기기, 전파만원경
내열성	고온 강도유지 우수	항공기 브레이크, 단열재
내약품성	석면, GF 대비 우수	패킹, 필터
열전도도	극저온에서 낮음	저온 저장탱크(액체헬륨, LNG 등)
전기전도도	전기전도도 우수	전극재료, 전자파 차단재
생체적합성	인체 무해성	인공 골재, 인대

특히 최근에는 도레이(Toray)사의 13여년에 걸친 집요한 노력의 결과로 탄소섬유 복합체가 전투기뿐만 아니라 보잉사의 대형 여객기 몸체(Primary Structure)에도 사용되기 시작하면서 고부가가치 고급소재로서의 용도가 본격적으로 전개되고 있다. [표 1]은 탄소섬유의 특성에 따른 주요 응용 분야를 나타내고 있다.

2. 탄소섬유의 제조방법

탄소섬유는 출발물질(Precursor Material)에 따라 레이온(Rayon)계, 피치(Pitch)계, PAN(Polyacrylonitrile)계 탄소섬유로 구분되나, 실제 상업화된 제품으로는 피치계로부터 제조되는 고탄성률 탄소섬유(HM-CF, High-modulus Carbon Fiber)와 PAN계로부터 제조되는 고강도 탄소섬유(HS-CF, High-strength Carbon Fiber)가 주종을 이루고 있다.

탄소섬유는 섬유형태의 유기 전구체물질을 불활성 분위기에서 열분해하여 제조하며, 탄소섬유 제조기술에 있어서 탄화수율(Carbon Yield)을 높이는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서는 내부구조가 제어되고 순도가 높은 고분자 전구체섬유의 제조 및 최적의 안정화 전처리공정과 탄화공정 등과 같은 복잡한 물질 및 공정변수의 최적화가 필요하다. 탄소섬유는 일반적으로 1000~3000℃에서 열처리되어 92~99.99%의 탄소를 포함하는 섬유를 지칭하나 실제로는 1000~2000℃에서 열처리한 것을 탄소섬유라 하고, 2500℃ 이상에서 열처리한 것은 흑연섬유(Graphite Fiber)라고 한다. 그러나 흑연섬유의 결정구조는 실제흑연의 3차원 결정구조에는 미치지 못한다.

레이온계 탄소섬유는 결합이 적은 특수 등급의 비스코스레이온(Viscose Rayon)을 사용하여 제조한다. 탄화수율은 20~25중량% 정도가 되며 제조된 탄소섬유는 통상 인장강력 345~690MPa, 인장탄성계수 20~55GPa, 밀도 1.43~1.0g/cm³의 비교적 낮은 물성값을 가진다. 이러한 물성은 2800~3000℃에서 연신 흑연화함으로써 인장강력 3.1GPa, 인장탄성계수 620GPa로 향상될 수 있으나 효율이 떨어지고 비용이 많이 드는 단점이 있다.

피치계 탄소섬유의 제조에 사용되는 피치에는 석유피치와 석탄피치가 있는데, 응축된 벤젠고리가 알킬사슬을 가지고 있거나 알킬사슬에 의하여 분리되어 있는 수많은 유기 화합물의 복잡한 혼합물로 이루어져 있으며, 정확한 화학조성 및 결합형식은 알려져 있지 않다. 메조페이즈 피치(Mesophase Pitch) 용융체를 액정방사하여 높은 축배향을 가진 전구체 섬유는 탄화 및 흑연화 공정 중에 배향이 유지되거나 향상될 수 있어 연신을 가하지 않고도 인장탄성계수가 830GPa에 달하는 고탄성률 탄소섬유를 제조할 수 있는 장점이 있다.

PAN계 탄소섬유는 PAN 전구체섬유의 제조 및 전구체섬유의 안정화, 탄화 그리고 흑연화에 의해 제조된다. 선형고분자인 PAN을 출발물질로 하여 공기 중에 200~300℃에서 1~2시간의 안정화 단계를 거치면 사슬절단, 가교, 탈수소반응과 고리화반응 등에 의해 전구체물질은 탄화공정을 견딜 수 있는 열적으로 안정한 사다리구조(Ladder Structure)를 가지게 되며 탄화수율도 좋아지게 된다.

안정화반응 동안에는 분자배향을 유지 및 개선시키기 위하여 연신을 가하여 수축을 15% 이내로 하여야 한다. 안정화공정 동안에 복잡한 화학반응이 동반되며 H₂O, CO₂, HCN 등이 방출되어 5~8%의 중량손실이 발생하고, 전구체섬유 내의 탄소함량은 68%에서 62~65%로 감소한다. 이 전구체물질을 1200~2500℃의 불활성 분위기에서 탄화시키면 전구체물질을 기준으로 약 50중량% 정도의 탄소섬유가 얻어진다. 이 탄소섬유는 거의 탄소로만 이루어져 있으므로 2500℃이상의 흑연화 공정에서 더 이상의 중량감소는 발생하지 않으며, 탄소섬유의 섬유축 방향으로의 결정배향이 증가하는 등의 구조적 변화만이 일어나서 최종 탄소섬유의 역학적 특성이 향상된다.

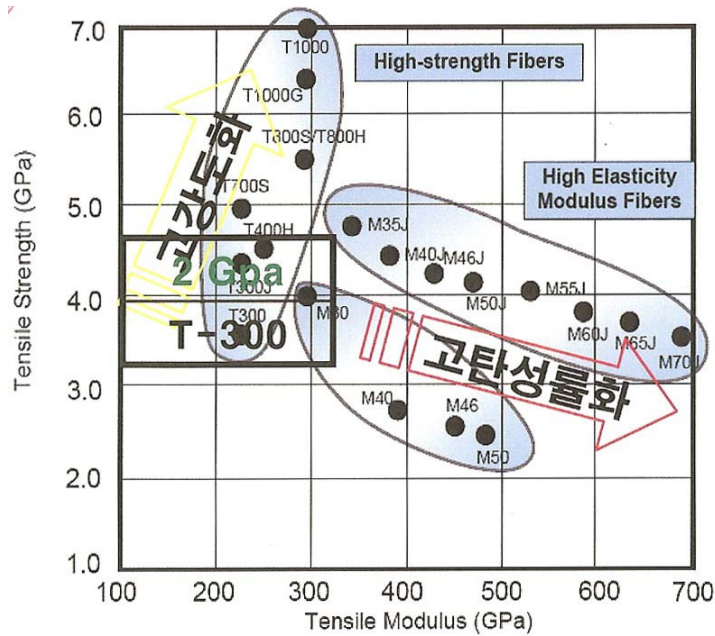
탄소섬유의 인장탄성계수는 흑연화 공정 동안의 열처리 온도와 밀접한 관계가 있는데, 3000℃이상에서 열처리하면 517GPa이상의 인장탄성계수를 가지는 탄소섬유의 제조가 가능하다. 또한, 흑연화 공정의 온도와 시간을 줄이기 위하여 붕소화합물과 같은 촉매를 사용하기도 한다.

3. 탄소섬유의 새로운 용도개발 동향

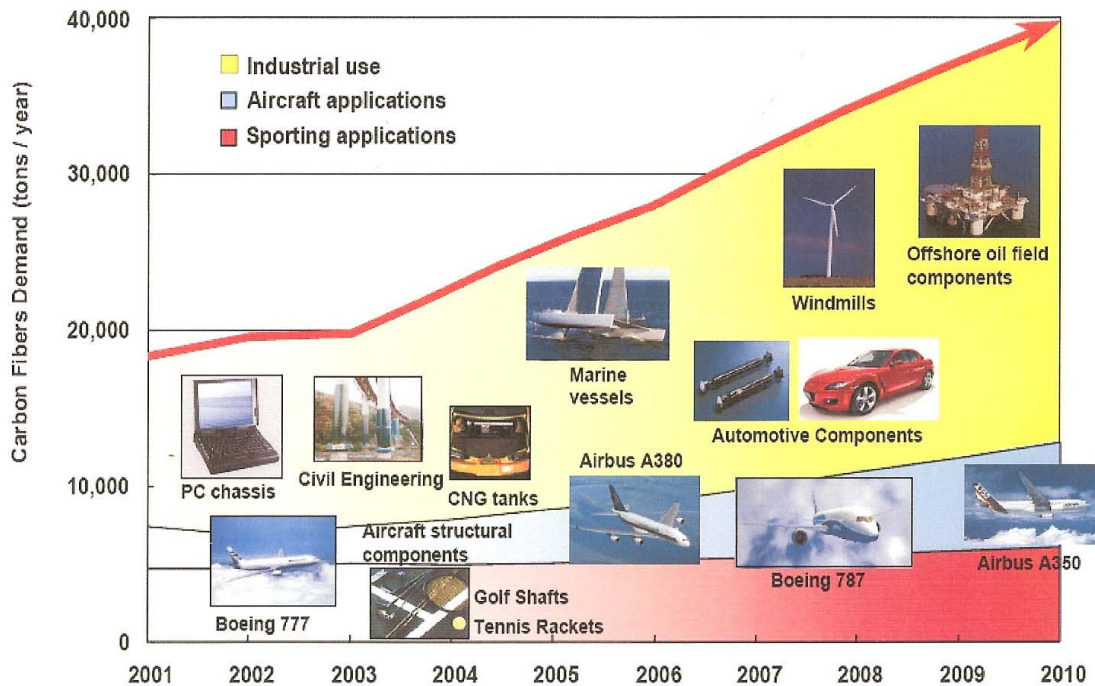
탄소섬유는 고강도 탄소섬유, 고탄성률 탄소섬유 및 기능성 탄소섬유의 3가지 종류로 분류될 수 있다. 고강도 탄소섬유는 주로 PAN 전구체섬유를 탄화하여 제조하고, 고탄성률 탄소섬유는 주로 피치계 전구체섬유를 탄화하여 제조하며, 그리고 기능성 탄소섬유는 합성법, 성장법, 전기방사된 나노섬유의 탄화법 등과 같은 다양한 방법으로 제조한다.

고성능 탄소섬유의 개발은 주로 일본 도레이사에 의해 주도되어 왔으며 그 진화 과정이 다음의 [그림 2]에 나타나 있다.

[그림 2]에서 볼 수 있듯이 초고강도 그레이드인 T(Torayca)-1000의 경우 강도가 7GPa, 탄성률이 700GPa에 달한다. 이와 같이 탄소섬유의 고성능화가 급진적으로 이루어지면서 그 응용분야도 점차 다양화되고 있다.



[그림 2] 도레이사의 고성능 탄소섬유 개발 계통도



[그림 3] 탄소섬유의 산업별 수요 예측

탄소섬유의 주요 산업별 수요추이를 보면 [그림 3]과 같고, 최근 탄소섬유의 민수 및 군수산업에의 용도개발 현황을 요약하면 [표 2]와 같다.

[표 2] 탄소섬유의 새로운 용도개발 현황

민수분야	군수분야
<우주항공분야> 항공기 동체, 날개 인공위성 날개 브레이크	<항공기> 경량 차세대 전투기 헬리콥터 로터 블레이드 브레이크
<스포츠/레저분야> 골프채 낚시대 테니스 라켓	<유도무기> 노즐(Nozzle) 경량구조 부품
<토목/건축분야> 연료저장 탱크 해양 구조물 풍력발전기 블레이드 LNG 탱크	<특수탄> 탄소섬유 자탄 사보트(Sabot)

탄소섬유 복합재는 아직까지 제조공정상의 미세기공 형성 가능성 등에 의한 장기 신뢰성에 대하여 일부 문제점이 지적되고 있으나, 금속이나 세라믹 소재에 비해 다양한 장점이 있다. 무엇보다도 탄소섬유는 무게에 비해 강성이 매우 큰 재료의 특성으로 인하여 항공소재로 사용할 경우 연료 효율을 높일 수 있다.

예를 들어 주 날개를 포함한 동체의 절반 이상을 탄소섬유를 이용해서 만든 가벼우면서도 강한 첨단 복합소재로 제작하고, 새로 개발한 고효율의 엔진을 장착한 “보잉 787”은 동급의 다른 여객기보다 연료를 20% 이상 절감할 수 있고, 운항거리도 1만6000km로 늘어났다. 또한, 1,500장 이상의 알루미늄 판을 리벳으로 이어 붙여 만든 기존의 항공기와 달리 복합소재를 이용하여 제작한 “보잉 787”의 동체는 이음매가 거의 없어 동체나 리벳의 부식문제가 별로 없으며, 혁신적인 자체 모니터링 시스템을 도입해 유지보수 비용 역시 20% 이상 줄일 수 있다고 한다.

기존 비행기의 경우 실내 압력을 고도 2400m 수준으로 유지해야 하나 고성능인 탄소섬유 복합체를 사용한 “보잉 787”은 고도 1800m 수준으로 유지할 수 있어 지상과의 기압차가 줄어들어 비행기 이착륙 때 생기는 두통과 청각장애를 줄일 수 있다. 뿐만 아니라 기내 습도를 40~60%로 충분히 높일 수 있어 비행 중 산소나 습기 부족으로 시달리는 승객의 고통을 크게 줄일 수 있고 비행기내의 쾌적성을 높일 수 있는 장점도 있다.

이러한 이점 때문에 보잉, 에어버스 등의 항공사가 탄소섬유를 차세대 비행기 제작에 대량으로 투입하고 있다. 실제로 보잉사의 신형 중형기 787은 동체 전체가 탄소섬유로 제작되었으며, 에어버스 역시 787과 겨룰 중형기 A350에 탄소섬유를 도입할 계획이다. 또한, 일부 자동차 제조업체들도 고급 스포츠카에 탄소섬유를 적용할 움직임을 보이고 있다.

4. 탄소섬유의 세계시장 현황

최근 고성능 탄소섬유가 보잉사의 차세대 여객기 “보잉 787 드림라이너 (Dreamliner)”의 1차 보강소재인 본체로 사용되면서부터, 탄소섬유는 차세대 우주항공 소재로서 본격적인 각광을 받기 시작하였다.

이러한 새로운 용도창출은 탄소섬유 세계시장의 수요/공급 판도를 바꾸고 있다. 일본의 메이저 탄소섬유 생산업체들이 수익률이 높은 항공소재로의 판매를 지향하면서부터 테니스 라켓 등과 같은 레포츠용품의 제조에 사용되는 탄소섬유 가격이 2년 사이 3배나 치솟아 파운드 당 35달러에 달하면서 이 분야의 제조업체들이 큰 어려움을 겪고 있다. 대형 항공기 제조업체들이 탄소섬유를 차세대 항공기 제작에 대량으로 투입할 예정이고 일부 자동차 제조업체들도 고급 스포츠카에 탄소섬유를 적용할 움직임을 보이고 있다. 독일의 탄소섬유 제조업체인 SGL그룹은 2010년까지 세계 탄소섬유 생산량이 현재보다 2/3가량 늘어 총 4만5000톤에 달할 것으로 추산하고 있으나, 지금의 급격한 수요폭발에도 불구하고 탄소섬유 공급은 당분간 제한될 수밖에 없어 탄소섬유는 가격 강세를 보일 것으로 예상되고 있다. PAN계 탄소섬유의 생산현황 및 향후 증설계획이 [표 3]에 나타나 있다.

[표 3] PAN계 탄소섬유의 생산현황 및 향후 생산계획

(단위 : 톤)

분류	제조회사	1999~2000	2003	2005	2007~2010
R-tow (Regular)	Toray	7,300	7,300	8,800	13,600
	Toho	5,600	5,600	6,300	10,500
	Mitsubishi Rayon	3,400	4,700	4,700	8,150
	Hexcel	2,000	2,000	2,000	3,000
	Amoco → Cytec	1,800	1,800	1,900	2,400
	Formosa Plastics	1,750	1,850	1,750	3,000
	R-tow 합계	21,850	23,250	25,450	40,650
L-tow (Large)	Fortafil → TTA	3,500	3,500	2,600	1,300
	Zoltek	1,800	1,800	3,160	4,500
	SGL	1,950	1,900	1,900	190
	Aldila → CFT	1,000	1,000	1,000	1,000
	Toray	300	300	300	300
	L-tow 합계	8,550	8,500	8,960	9,000
합 계		30,400	31,750	33,710	49,650

5. 고성능 탄소섬유의 국내 기술개발 동향

탄소섬유는 제조공정이 다단계이면서 매우 까다로워 미국, 일본, 유럽의 8개 회사 외에는 아직까지 대량생산에 성공한 기업이 없는 실정이며, 게다가 각국 정부는 탄소섬유가 첨단무기 등에 많이 사용되는 것을 감안, 기술 유출에 매우 민감해 하기 때문에 자국 외의 수출을 규제하고 있다. 이러한 세계시장을 고려해 볼 때 우리나라도 수송기산업, 레포츠산업, 군수산업의 발전을 위하여 탄소섬유는 반드시 개발되어야 한다. 현재 우리나라에서 소비되고 있는 탄소섬유는 연간 약 2,000톤에 달하며 그 주요 생산품은 다음의 [표 4]와 같다.

[표 4] 국내 탄소섬유의 소비현황

수요업체	소비량(Ton/년)	주요 생산품
SK Chemical	700	산업용 프리프레그
한국카본/한국파이버	500	산업용 프리프레그
KPI	100	BMC, SMC 복합재 자동차부품
바낙스	100	CFRP 낚시대
은성사	50	CFRP 낚시대
국방과학연구소	30	무기체계
기타 중소기업체	500	건축자재, 스포츠레저용품, 반도체 부품, 산업용 등

국내의 경우 전주시에서는 팔복동 일대에 장기적으로 20만평 규모의 항공기와 자동차 등의 핵심 부품소재인 탄소섬유 등을 생산하는 “탄소밸리” 조성에 박차를 가하고 있다. 이를 위해 전주시는 지난해 도시첨단산업단지에 탄소 관련 벤처기업 건물 2동과 연구소 건물 1동을 지은 데 이어 총 90억 원의 사업비를 들여서 오는 9월 완공을 목표로 건평 600평 규모의 탄소섬유 생산공장을 짓고 있다. 이 공장이 완성되면 년 150톤의 탄소섬유가 생산되어 수송기, 반도체 산업의 핵심소재로 활용될 예정이다.

최근 전주기계산업 리서치센터가 탄소소재 분야의 핵심기술을 보유하고 있는 일본 신슈대학(Shinshu University) 탄소연구소와 탄소섬유 관련 공동 연구 및 상품개발, 기업지원에 대한 MOU를 체결하기로 함에 따라 사업 추진에 탄력을 받고 있다. 또한, 전주기계산업 리서치센터에 설치되어 있는 탄화로를 활용하기 위해 전구체 제조에 대한 연구와 이를 이용한 고성능 탄소섬유 제조기술에 대한 연구도 컨소시엄 형태로 활발하게 추진되고 있다.

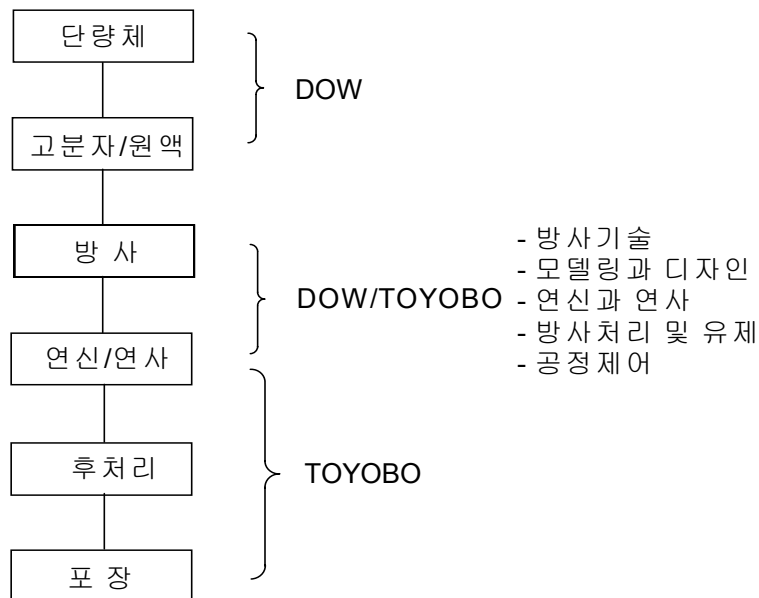
한양대학교 분자시스템공학전공

김 병 철 교수

초고성능 슈퍼섬유 PBO 섬유

1. 서론

최근에 상업화된 고성능 슈퍼섬유 중에서 가장 대표적인 것은 폴리벤즈 옥사졸(Polybenzoxazole, PBO) 섬유이다. PBO는 대표적인 헤테로고리 방향족 고분자(Heterocyclic Aromatic Polymer)로서 유기고분자 중 내열성이 가장 우수하고 기계적 성질도 뛰어나며 압축특성, 내화학성 등이 우수하여 항공 기용이나 군사용 분야에서 중요한 소재로 사용되고 있다. 특히 PBO는 ASTM E-1354 시험으로 미 연방항공국(FAA)에서 정한 화재 발생시의 방염성 목표인 50kW/m²의 열 흐름에서도 불이 붙지 않는 유일한 유기물로 인정되고 있다.



[그림 1] PBO 섬유의 개발과정

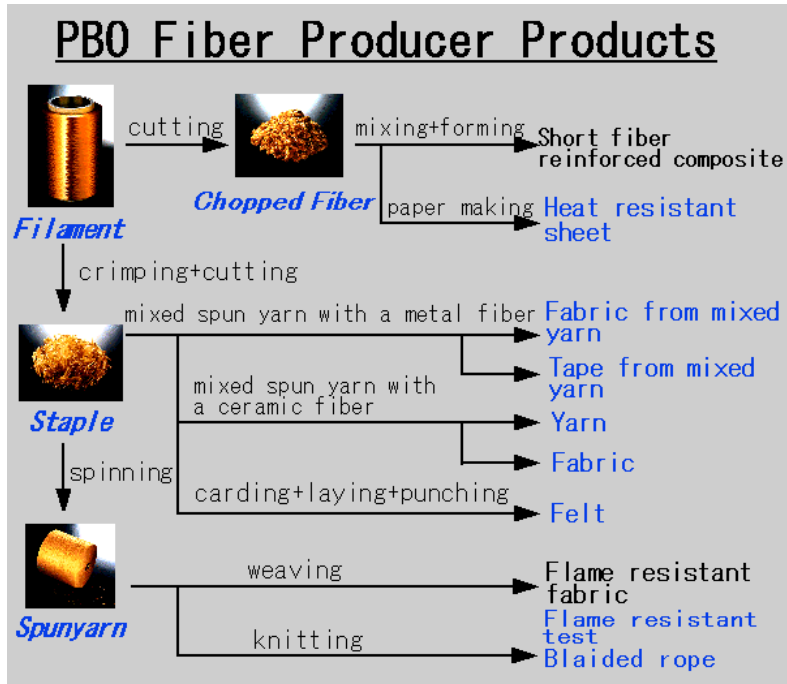
PBO 구조 내에 있는 벤젠고리와 헤테로고리는 규칙적인 반복단위로 구성되어 열적 안정성이 뛰어나며, 인접한 헤테로고리들 사이에서 공명구조를 이루어 분자쇄의 강성이 크며 일정한 결합각을 갖게 된다. PBO 섬유는 강도 면에서 아라미드의 2배 정도의 성능을 가지면서 탄성률은 탄소섬유 수준이며 내열성이 유기섬유 중에서 가장 우수한 슈퍼섬유로서 초기부터 항공, 우주 산업용 하이테크 섬유로 개발이 되었다.

초고성능 PBO 섬유의 역사는 1970년대 후반 미 공군 연구소에서 PBZT (Polybenzothiazole) 합성에 성공하면서 시작되었다. 1970년대말 Stanford Research Institute(SRI)에서 PBO에 대한 특허가 출원되었으며, 미국의 Dow Chemicals사에서 SRI의 특허를 획득하여 공업화를 시작하였고, 1991년 Dow Chemicals사와 일본의 Toyobo사가 공동으로 PBO 섬유인 “Zylon”을 세계 최초로 개발하였다. 1998년 Dow Chemicals사는 본 사업에서 철수하고, Toyobo사에서 독자적으로 쓰루가(敦賀)시 소재 공장에서 200톤/년 규모로 생산을 개시하였다.

“Zylon”이란 상품명은 Nylon으로부터 시작된 합성섬유 역사에서 인류 최후의 고성능 섬유라는 의미에서 알파벳의 마지막 철자인 Z를 N대신 넣어 명명된 것이다.

Zylon 섬유는 강도가 42g/d(5.8GPa)로 para-아라미드(PPTA)의 2배 수준이며, 내크리프성, 내약품성, 내광성, 난연성, 형태안정성이 극히 우수하며, 복합재료의 보강재로 유망한 첨단소재이다. PBO 섬유의 제품 계통도는 아래의 [그림 2]와 같으며, PBO 섬유 원사는 para-아라미드보다 3~4배 높은 가격에 공급되고 있다.

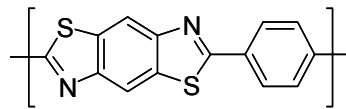
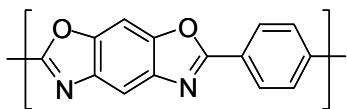
Toyobo사에서는 향후 PBO 섬유가 para-아라미드 섬유를 상당량 대체해 나갈 것으로 전망하고 있으며, 따라서 향후 전 세계적으로 연간 약 10,000톤 이상의 수요(1,100만\$에 해당)가 발생하리라 전망된다.



[그림 2] Toyobo사의 PBO 섬유 제품 계통도

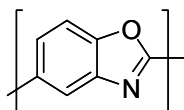
2. PBO 섬유의 특성

Polybenzazole계 고분자로는 [그림 3]에 나타냈듯이 PBO(혹은 PBZO), PBT(Polybenzothiazole, 혹은 PBZT) 등이 알려지고 있는데, 이중에서 PBO는 PBT에 비하여 생산가격이 저렴하고 더 좋은 물성을 갖고 있어 1990년대 초에 먼저 상품화되었으며, 강직쇄를 갖는 이방성 결정고분자의 구조를 가지고 있다.

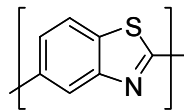


폴리벤족사졸 (polybenzoxazole, PBZO, PBO)

폴리벤조티아졸 (polybenzothiazole, PBZT)



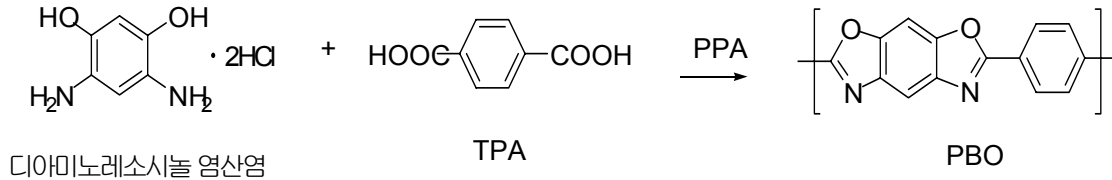
ABPBO



ABPBT

[그림 3] Polybenzazole계 고분자의 종류

PBO는 Diaminoresorcinol Hydrochloride염과 Terephthalic Acid를 Polyphosphoric Acid 용액 중에서 Phosphoric Anhydride를 촉매로 용액 중합하여 제조된다.



[그림 4] PBO의 합성방법

얻어진 PBO 원액(Dope)는 유방성 액정고분자 용액으로서, 방사원액의 고유점성도(Intrinsic Viscosity, IV)가 높을수록, 즉 PBO의 분자량이 증가할수록 섬유의 인장강도가 향상된다. 섬유의 우수한 역학적 성질은 높은 분자량과 고분자, 액정상의 방사원액, 기격습식방사(Dry-jet Wet Spinning), 장력 하에서의 열처리를 최적으로 조합하여 얻는데, 일반적으로 알려진 액정 방사원액은 97.5%-MSA/2.5%-CSA, 또는 100%-황산/PPA에서 중합한 것을 그대로 방사원액으로 사용하며, 방사성이 우수하고 높은 방사연신비가 가능한 장점이 있다. 보통 13~15% PBO/PPA 혹은 MSA 용액을 방사원액으로 사용(PBO의 Mw=10,000 이상)한다.

[표 1] 600℃에서 열처리한 PBO 섬유의 구조와 성질

구 분	미열처리	열처리
평균미결정 크기(축방향, nm)	7.5	12.6
배향각(°)	8	4
초기탄성률(GPa)	165	317
인장강도(GPa)	4.3	4.9
절단신도(%)	2.8~3.5	1.5~1.7
밀도(g/cm ³)	1.56	1.56~1.58
수분률(%, 22℃/65% RH)	2.0	< 0.5

방사된 PBO 섬유(Zylon-AS)를 600℃에서 열처리하여 고탄성률의 섬유(Zylon-HM)를 제조하는데, 이때 얻어진 섬유는 배향도 및 결정의 완성도가 증가하고 기공함량이 감소하며 인장탄성률이 크게 증가한다.[표 1]

3. PBO 섬유의 물성

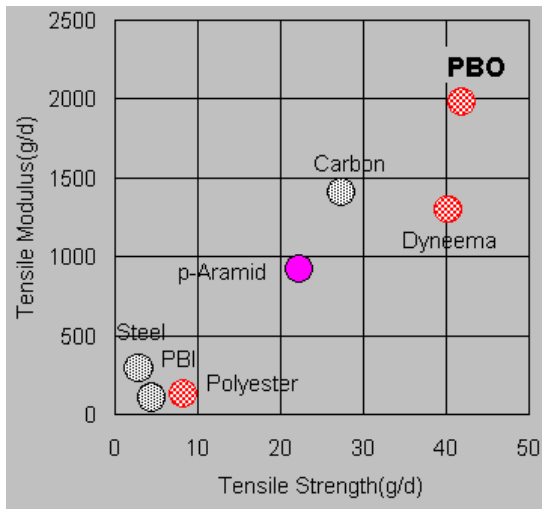
Zylon 섬유는 강도와 탄성률 그리고 내열성과 난연성 면에서 모두 기존의 고성능 슈퍼섬유를 능가하는 월등한 물성을 가지고 있다.[표 2] [그림 5]

특히 강도/탄성률과 내열성/난연성 면이라는 2가지 극한성능을 동시에 보유하는 매우 혁신적인 소재로 향후 시장전개에 따라 그 성장이 크게 기대가 되고 있다.

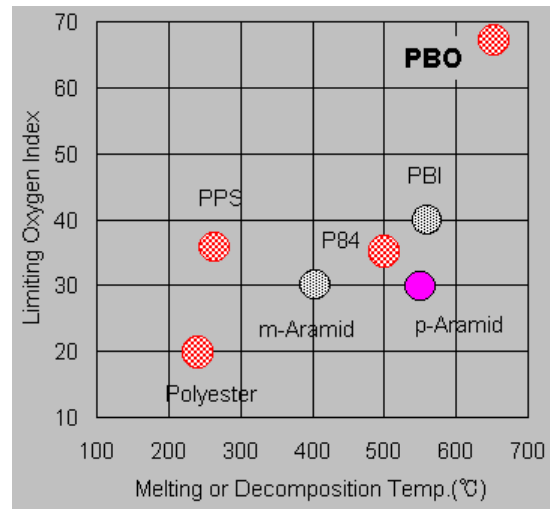
[표 2] PBO 섬유와 기존 고성능 슈퍼섬유의 물성비교

섬유 종류	PBO (Zylon®)		Aramid		Carbon Fiber
	Zylon-AS	Zylon-HM	<i>p</i> -Aramid	<i>m</i> -Aramid	
인장강도(g/d)	42	42	22	5.3	23
인장탄성율(g/d)	1,300	2,000	850	140	1480
파단신도(%)	3.5	2.5	2.4	22	1.5
밀도(g/cc)	1.54	1.56	1.45	1.38	1.76
내크리프성	◎	◎	○	○	-
내약품성(H ₂ SO ₄)	◎	◎	○	○	-
난연성(LOI)	68	68	29	29	-

주) 1) *p*-Aramid : DuPont(Kevlar), *m*-Aramid : DuPont(Nomex)
 2) ◎ : Excellent, ○ : Good, △ : Poor
 3) LOI : Limited Oxygen Index, LOI 숫자가 높을수록 난연성이 우수함
 (의류용 경우 미국은 LOI 26 이상, 유럽은 LOI 28 이상을 요구함)



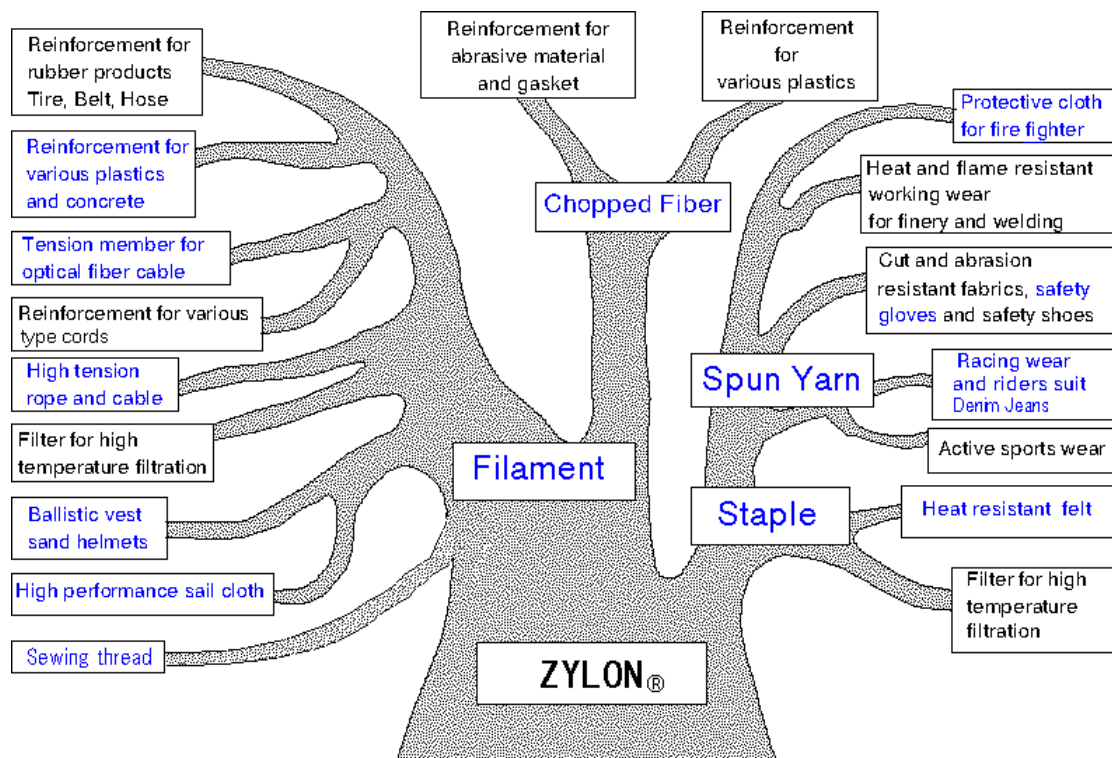
(a)



(b)

[그림 5] Zylon 섬유의 특성 : (a) 강도 및 탄성률, (b) 내열성 및 난연성

4. PBO 섬유의 용도



[그림 6] Zylon 섬유의 응용분야

향후 PBO 섬유는 기존의 고성능 섬유를 넘어선 슈퍼 고성능 섬유로서 정보통신, 자동차/항공기 등 수송기기, 전기/전자 등 첨단산업에서 요구되는 아라미드를 대체할 수 있는 초고성능 섬유소재로의 용도개발이 가속화될 것으로 전망된다. Toyobo사는 Zylon PBO 섬유를 로프/케이블, 고무보강재, 방호복, 내열쿠션재, 스포츠용, 항공우주용 등 다양한 용도로 전개하고 있다.

5. 기술개발 방향 및 향후 전망

PBO 섬유와 관련된 선진국의 연구개발 방향은 물성개선 연구와 공정개선 연구로 크게 나눌 수 있다. 공정개선 연구는 현재의 중합, 방사용매인 PPA 대신에 NMP나 DMAc와 같은 비산성 극성 용매를 사용하는 공정을 개발하는데 초점이 맞추어져 있다. 물성개선 연구는 주로 압축강도 개선에 초점이 맞추어져 있다. PBO 섬유의 인장성질은 탄소섬유를 능가하지만 압축강도가 취약하여 복합재료로 사용하는데 한계가 있다. 압축강도가 낮은 이유는 PBO 분자들 사이의 상호작용이 충분하지 못하기 때문에 압축시 Slip이 일어나는데 기인한다고 보는 것이 일반적이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 분자간 결합을 유도하거나 Bulky Side Group의 도입 또는 Lateral Order를 부여하는 연구가 진행되고 있으며 방사 후에 가교결합을 유도하는 연구도 진행되고 있다.

PBO 섬유는 강도와 탄성률 그리고 내열성과 난연성이라는 2가지 극한 성능을 동시에 보유하는 매우 혁신적인 소재로서 향후 시장전개에 따라 그 성장이 크게 기대되고 있으며, 압축특성의 개선과 생산공정 개선에 의해 가격 경쟁력이 향상된다면 슈퍼섬유 시장에 강력한 경쟁자로서 등장할 수 있을 것으로 예상된다.

충남대학교 유기소재섬유시스템전공
백 두 현 교수

스텔스 기능성 섬유소재

1. 서론

국방과 관련된 섬유소재나 제품은 일반인들이 생각하는 것보다 의외로 많으며, 군사용 섬유소재나 제품은 기능성을 갖고 있는 것들이 대부분이다. 스텔스 기능성 섬유소재는 전투작전 수행중 개인 및 장비의 위치를 탐지할 수 있는 첨단장비로부터의 위치추적을 막을 수 있도록 가시광선, 근적외선 영역에서 주변 자연환경과 유사한 분광학적 반사특성을 보유하고, 위장에 필요한 주요 성능(디지털 무늬 위장, 전자파 차단, 열 차단, 레이더 은폐 등)을 지닌 군사용 섬유소재로 정의될 수 있다. 군에서는 일반적으로 위장 가공 섬유제품으로 불린다. 군사용 섬유소재나 관련 제품 중 스텔스 기능을 보유하여야 하는 품목 및 예상수요(2005년 기준)는 아래와 같다.

장병 1인당 전투복 3벌, 야전상의 2벌, 전투모 2개, 판초우의 1벌, 전투화 2켤레, 요대 1개, 탄띠 1개, 매복갈개 1개, 안면마스크 1개, 파카 1벌, 설상복 1벌, 설상화 1켤레 등 17개 품목에 스텔스 기능, 즉 위장 기능을 보유한 섬유 제품을 사용하는 것으로 추정된다. 장병수를 60만명으로 수요를 산출하면,

- 60만명 × 17개 품목 × 50,000원(평균 단가) = 510,000,000천원
- 개인텐트(2인) → 100,000원 × 15만개 = 15,000,000천원
- 부대텐트(40인) → 1,000,000원 × 5천개 = 5,000,000천원
- 위장망 → 2,000,000원 × 5천개 = 10,000,000천원

총액수 약 5,400억원의 수요시장이 형성되어 있는 것으로 예측된다. 이상에서 살펴본 바와 같이 스텔스 기능성 섬유소재나 관련제품은 산술적으로는 약 5,000억원 이상의 시장규모라고 예상해 볼 수 있으며, 2006년말 국군의

복제(服制) 개편이 있다는 보도가 있었고, 현재 개편이 추진 중이므로 향후 관련 섬유업체나 연구기관에서는 군에서 필요한 제품개발에 관심을 가질 필요성이 있다.

2. 본 론

2006년 11월경 신문 및 방송을 통하여 보도된 바와 같이 전투복, 특전복, 정복 등 육군의 복장이 현대적 감각과 미래 전장 환경에 맞게 개편된다. 신문보도 자료를 인용하여 정리하여 보면 다음과 같다.

육군은 1980년을 전후해 개정된 후 20여년간 유지돼온 군복 체계를 미래 전장 환경과 기능성, 그리고 시대감각 등을 고려해 새롭게 바꾸기 위한 복제개정안을 국방부에 제출했다고 발표하였다. 육군은 장병들의 복제가 디자인이나 소재 면에서 시대에 너무 뒤떨어진다는 판단에 따라 2001년부터 전면적인 복제개정을 추진하는 한편, 그동안 의견수렴 과정을 거쳐 왔다. 복제 개정이 장병들의 자긍심과 명예심을 고취하고 군의 사기 진작에 중요하게 기여할 것이라고 설명하였다.

복제개정안에 따르면 전투복은 기존 얼룩무늬 형태에서 위장막 형태의 더욱 조밀한 무늬(일명 디지털 무늬)로 변경되며, 전투복 색상과 무늬를 결정하는데 한반도 위성사진을 분석하여 위장효과를 부여하였다고 홍보하였다. 또한 땀 흡수율과 방수기능을 개선하는 한편 활동성, 편의성도 보강하는 기능성 섬유소재를 사용하는 것으로 결정하였다. 신속한 착용과 활동 편의성 등을 고려하여 전투복 상의를 하의 밖으로 내놓고 입을 수 있도록 형상을 설계했으며 하의 발목 부분은 조임 형으로 처리했다.

특전복(특수부대원 전투복)도 특수 작전환경에 적합하고 적지에서 장기간 임무수행이 가능하도록 일반 전투복과 마찬가지로 위장효과를 극대화하고, 땀 흡수율과 방수효과를 대폭 개선하고 항균기능이 첨가된 기능성 소재를 사용하는 것으로 알려졌다. 그러나 전투복과 특전복은 최근 미국이 미래 전장에 맞게 개정해 보급하고 있는 미군 전투복을 모방하였다는 의견도 일부 제기되고 있다.

육군은 특전복에 대한 2006년말 300벌의 시험평가를 거친 후, 2007년초부터 보급하고 전투복, 통합정복 등은 국방부 군무회의, 대통령 재가 등을 거쳐 보급할 계획을 가지고 있는 것으로 알려졌다. 현재 착용시험이 되는 디지털 무늬 특전복은 아래의 [그림 1]에서 보는 바와 같이 색상면에서는 녹색부분이 어두워지고 무늬가 전반적으로 조밀하게 변화였다.

실제 자연환경에서 촬영한 사진 중 공개되어 있는 사진자료를 보면 해외 위장군복에 비하면 위장성능은 약간 떨어지는 것으로 보이며, 주변환경에 따라 위장성능이 좌우되는 것을 볼 수 있다. 디자인, 가공방법, 내구성(견뢰도) 평가 등에서 개발해야 할 분야가 많다고 사료된다.



[그림 1] 기존 특전복과 개정 특전복



[그림 2] 국군 위장군복 제품시험(주간)

(우 : 탈모상태에서 시험, 좌 : 나무 뒤에 있으며 위장성능 우수)



[그림 3] 해외 위장군복 제품시험(주간)

(우 : 착모상태로 앉은 모습 촬영, 좌 : 위장성능이 상당히 우수, 발견하기 어려움)

이상에서와 같이 주간 전투를 가정한 시험을 살펴보았으며 야간 전투시에는 야시장비에 감지가 되지 않도록 하여야 하므로 가시광선 영역에서의 위장과는 다른 가공처리를 하여야 한다. 야시장비는 육안으로 물체를 관측하기 곤란한 야간에 쉽게 목표물을 탐지, 식별하기 위한 목적으로 제작한 장비를 통칭 야시장비(Night Vision Device)라고 하며 능동형 장비, 수동형 장비로 분류된다.

능동형 야시장비는 적외선이나 가시광선을 방사하고 그 반사파를 이용, 사물을 식별하는 장비로 제논 탐조등이나 소화기용 야간표적 지시기(PAQ-91K) 등이 있다. 수동형 야시장비로는 표적과 배경에서 방출되는 적외선 에너지(열 에너지)의 차이를 검출하는 열상장비와 미세한 빛(가시광선)을 증폭하는 미광증폭 장비로 구분된다. 열상장비는 물체에서 방출되는 적외선 에너지의 차이를 검출, 영상화면으로 관측하는 장비로 TOD, 전차장/포수용 열상조준경(KCP/KGPS), 무인항공기의 영상감지 장착용 열상 모듈, 헬기의 전방관측 적외선 장비(FLIR) 등이 있다. 현재 야시장비는 감지가 가능한 근적외선 파장영역이 1,100nm 이상으로 늘어나면서 위치를 추적당할 수 있는 위험도 증가하였다.

절대영도($K=-273^{\circ}C$) 이상의 모든 물체에서는 적외선 복사에너지를 방출한다. 이 에너지는 물체 내부의 원자, 분자의 진동과 회전에 의해 생성되고 사람의 눈에는 보이지 않는다. 열상장비는 기본적으로 시야내의 표적과 배경이 발산하는 적외선 영역의 에너지를 적외선 광학계와 주사장치를 통해

검출기 면에 조사하고 검출기(Detector)는 감지된 적외선을 전기적 신호로 변화시킨 후 영상신호 처리를 통해 증폭 및 보정되어 영상재현 장치에 전시된다.

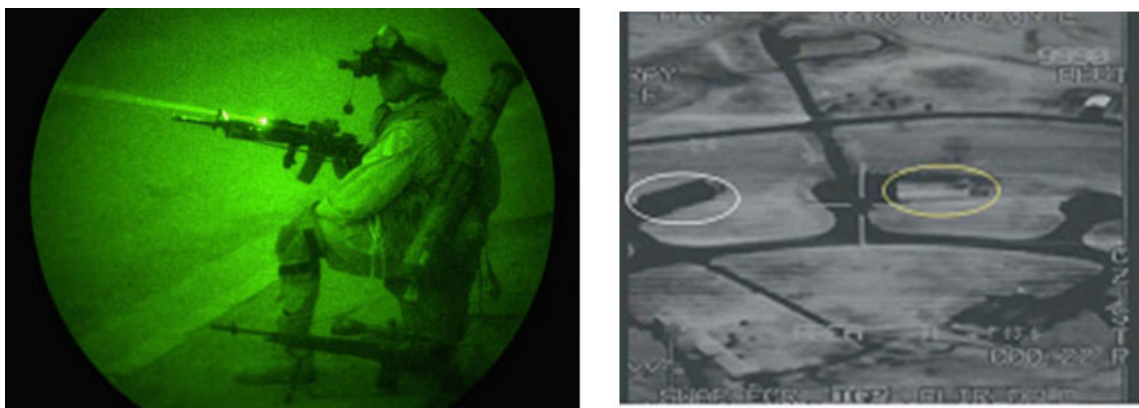
$$r = Er / Ei$$

(r : 반사율(%), Er : 반사파의 에너지 밀도, Ei : 입사파의 에너지 밀도)

$$E = h \nu = h c / \lambda$$

(E : 에너지, h : 플랑크 상수(6.62×10^{-34} J·s), ν : 진동수, 주파수,
 c : 파동의 전파속도, λ : 파장(nm))

즉, 능동형 야시장비의 경우 적외선 파장에 따른 반사율 값 및 에너지 차를 알 수 있고, 수동형 야시장비의 경우 에너지 값을 통해 각 물체의 적외선 고유특성을 알게 되어 눈에 보이지 않는 물체를 감지할 수 있는 것이다.[그림 4] 아래의 오른쪽 그림은 위장막에 둘러싸여 이동하는 군용차량과 일반 섬유소재를 사용한 차량을 비교, 촬영한 사진으로 동그랗게 표시된 부분에서 스텔스 기능에 따라 위치추적이 가능한지, 불가능한지를 명확하게 알 수 있다.



[그림 4] 야시장비로 촬영된 병사의 모습(좌),
 위장막을 사용한 군용차량(우)

이상에서 살펴본 바와 같이 가시광선 영역(주간), 근적외선 영역(야간)에서의 스텔스 기능은 병사의 생명과 관련이 있는 중요한 성능이며, 이와 아울러 레이더 영역, 열상 영역에 대한 스텔스 기능도 상당히 중요한 부분을 차지하고 있다.

우수한 스텔스 기능의 위장막이나 위장망 등을 이용하여 주요 군사시설이나 무기체계를 보호하는 것은 상당히 중요하며, 레이더 위장과 열상 위장에 대한 설명은 다음과 같다.

가. 레이더 영역 스텔스

레이더 관측장비의 원리는 대상물에 레이더파를 발사하여 되돌아오는 파의 반사특성을 이용하여 관측한다. 따라서 피위장물의 위장은 관측 입사 레이더파에 대하여 주위환경과 유사한 반사특성을 나타내게 하여 위장효과를 부여할 수 있다. 그러나 위장시 반사특성이 미약하거나, 흡수산란이 과도하게 되면 레이더 구멍(Radar Hole)현상 발생으로 관측장비에 대한 위장효과를 나타낼 수 없게 된다.

국내에서 사용하고 있는 레이더 산란형 위장망의 위장 메카니즘은 위장포에 금속사를 적절히 배열하여 입사파에 대한 임피던스(Impedance)를 부여함으로써 산란효과를 유발, 특정적인 반사특성을 나타낸다. 일반적으로 피위장물 주위 자연환경에 대한 레이더파의 반사특성은 50% 이상(3dB 이상)이 흡수산란(감쇄)되므로 현재 사용하는 위장망 운용시 요구 반사특성은 3dB 이상의 감쇄능력을 요구하고 있다.

레이더파의 입출력 신호와 dB과의 관계는 $dB=10\log(P_0/P)$ 로 나타낼 수 있는데, 여기서 P_0/P 는 Power Ratio를 나타내며 그 의미는 수신되는 신호의 세기를 발신신호 세기와 같게 하는데 그 수신신호의 몇 배를 필요로 하는가 하는 의미이며, 예로 3dB는 Power Ratio 2, 감쇄 50%를 나타낸다.

한편 레이더 파장에 따른 레이더 산란특성은 주파수 특성에 기인하는 것으로 위성운용 레이더파(35, 94GHz)의 경우 산란에는 특수한 기술이

요구된다. 위성운용 레이다파에 대한 위장기술은 현재 국내에서 기초연구가 완료되어 양산 적용성을 검토중에 있으며, 방법은 특정물성의 탄소섬유를 위장포에 산포, 입사파에 대한 임피던스에 의해 레이다 산란을 유발하는 메카니즘을 응용하고 있다.

나. 열상 영역 스텔스

방법면에서는 첫째, 열의 방출을 감쇄시키기 위해서 Thermal Blanket을 사용한다. 피위장물에 대한 열상장비의 관측을 방지하기 위하여 Thermal Blanket을 사용하여 물체의 열 방출을 막아야 한다. 이러한 Blanket의 조건은 낮은 열 방출표면을 가지고 있어야 하며, 물체의 열 신호를 상당히 상쇄시킬 수 있어야 한다.

둘째, Thermal Net를 사용한다. Net의 편칭에 의해 생기는 Eyelid형의 무늬는 따뜻한 공기를 대류를 통해 이동시킬 수 있으므로 Blanket의 온기를 냉각시킬 수 있다(Thermal Sensors는 따뜻한 공기를 감지하는 것이 아니라 따뜻한 물체를 감지한다). 이 때 방출되는 열적 신호는 주위환경과 거의 유사해야 한다. 즉, Thermal Blanket가 여러 가지 방사특징을 가진 열상위장망(Thermal Camouflage Net)과 조합되어 결과적으로 주위환경과 잘 어우러진 열적신호를 만들어 낼 수 있다.

3. 결 론

관측장비의 발전속도가 상당히 빠른 편이므로 이를 능가하는 스텔스 기능 섬유소재가 지속적으로 제조되어야 한다. 스텔스 기능성 섬유소재는 용도별로 주/야간 위장은 염료나 안료를, 레이다 영역 스텔스는 탄소섬유나 금속사 등을, 열상 영역 스텔스는 열차단 가공소재를 사용하게 된다. 전장 환경 분석 및 디지털 무늬 한국형 디자인, 염료, 안료, 날염(프린팅), 소재(탄소섬유, 금속사, 열차단 소재 등)에 이르기까지 관련 분야가 다양하므로

미래전 대응 스텔스 섬유소재는 공동으로 연구개발하게 되면 우수한 성능의 제품제조가 가능할 것이다.

전투복의 경우는 흡한속건, 투습방수, 항균 등 복합기능성을 보유하면서 스텔스 기능을 갖춰야 하므로 섬유소재, 섬유가공 관련업체에서도 관심을 가지고 지켜볼 필요가 있을 것으로 사료된다. 실제 착용자인 장병들의 의견을 반영하여 보다 성능이 우수한 섬유소재나 제품개발을 하여야 할 것으로 보인다.

세계 모든 나라들은 자국의 국방을 위하여 총력을 기울이고 있으며 우리나라 또한 국방력 증진을 위하여 힘을 쏟고 있으므로 국방 연구개발과 섬유산업의 연계방안의 일환으로 연구 필요성이 제기되고 있다. 전투시 병사들의 생명과 직결되어 있으므로 고품질의 제품이 필요하며, 스텔스 기능의 군복, 위장막, 위장망 등의 제조, 날염, 가공 등에 있어 첨단 기술들이 활용됨으로서 우리나라 섬유기술 수준을 향상시킬 수 있다. 또한 일정 수준의 수요층(국군 55만명 이상, 경찰 등)이 존재하므로 침체된 국내 섬유산업의 활로를 열 수 있을 것으로 생각된다.

한국생산기술연구원 디지털가공팀
박 윤 철 박사

안전을 위한 선택, 난연사

1. 서론

21세기의 발달된 기술은 현대인들에게 많은 편리함과 유용함을 선사하고 있지만, 한편으로는 큰 재앙의 불씨를 함께 잉태하고 있다. 화려한 조명으로 빛나는 고층빌딩의 아름다움이나 도시인의 발 역할을 충실히 하고 있는 지하철, 그리고 많은 사람들이 모이는 경기장이나 공연장 등은 화재나 사고 발생시 수많은 사람의 목숨을 앗아갈 수 있는 대규모 재난의 현장으로 변하고 만다.

유럽이나 미국 등 선진국에서는 9.11 테러 이후 대규모 재난이나 화재로부터 안전을 지키기 위해 정부차원에서 법 규제가 진행되어, 지하도, 극장, 호텔 및 공공시설 등 사람이 많이 모이는 장소의 커튼, 카펫 등에 난연 섬유 사용을 의무화하고 있으며 그 사용범위가 비행기, 자동차, 열차 등의 공공 교통수단에도 널리 확대되고 있다. 이 뿐만 아니라 유아용 의복소재로도 난연소재를 요구하는 등 그 용도와 수량은 계속 증가하고 있다.

국내 실정도 비슷하여 소방법의 강화로 대중 이용시설에 대한 적용이 강화되어 그 용도 및 범위가 확대되고 있으나, 그에 따른 국내 난연제품의 개발 및 품질은 아직 초기단계에 이르고 있는 실정이다. 이에 비해 선진국인 독일, 영국, 프랑스 및 미국 등지에서는 정부 주도하에 난연제품 법제화가 이루어져, 일반 난연제품이 아닌 환경에 무해하거나 유해성이 적어 사용 인증을 받은 제품의 개발이 필수가 되고 있다. 비록 초보단계라 해도 국내 난연사 시장은 다음과 같은 장점을 갖고 있다.

- 섬유강국으로서 이미 구축된 섬유산업 인프라 활용시 조기 개발이 가능하다.

- 차별화 및 고부가가치 제품개발의 다양한 경험과 노하우로 독점적 고부가가치 난연섬유 개발이 가능하다.
- 세계 난연시장 증가 및 용도 확대에 맞춰 고부가가치 난연제품 개발로 수출증가 및 무역수지 극대화가 가능하다.

여기에서는 섬유소재의 난연화 방법을 알아보고, 폴리에스터(PET)를 중심으로 한 난연사와 최근의 개발 동향에 대해 소개하고자 한다.

2. 섬유제품의 난연화 방법

가. 연소원리

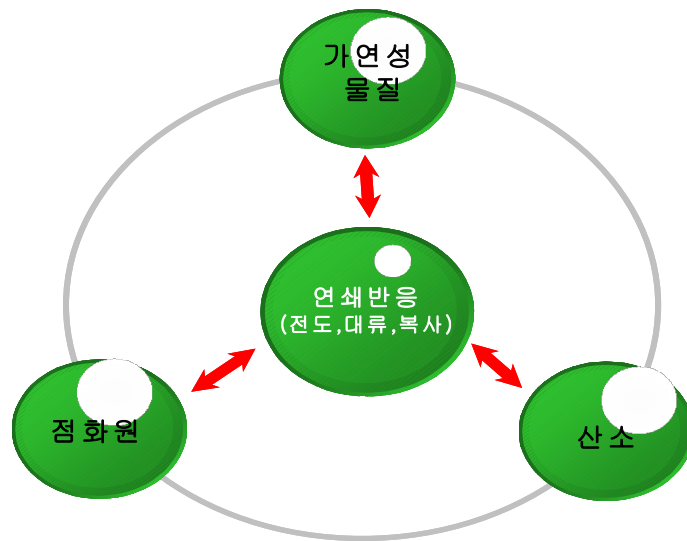
연소가 이루어지기 위한 연소의 3가지 요소는 가연성 물질, 점화원 및 산소이며[그림 1], 점화원에 의해 점화가 되면 여기서 발생한 열이 가연성 섬유제품에 전달되어 열분해가 된다. 여기서 가연성 기체가 발생하고, 발생된 기체는 다시 산소에 의해 연소가 된다[그림 2].

연소시 발생하는 연소열은 지속적인 연소의 원동력으로서 그 값이 클수록 화재에 취약한 물질임을 나타낸다. 한계산소지수(LOI)는 연소에 필요한 공기 중 최저 산소농도로서 이 값이 높을수록 연소가 어려운 것이며 그 수치가 26 이상이면 난연성 섬유로 분류된다.

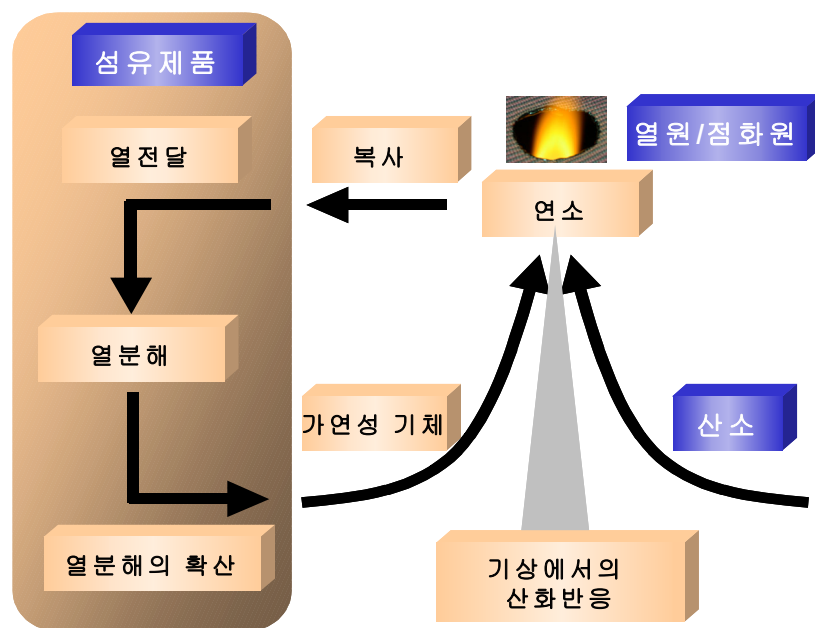
[표 1]은 주요 물질의 연소열과 한계산소지수(LOI)와 연소열을 비교하였는데, 연소열은 중유가 10,800cal/g인데 비해 폴리에틸렌(PE)는 11,367cal/g으로 매우 높아 중유에 불이 붙는 것 이상의 수준으로 연소열이 지속적으로 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 폴리프로필렌(PP), 폴리스티렌(PS) 등도 비슷한 특성을 보이며 LOI도 18 이하로 낮아 연소에 매우 취약하다.

이에 비해 PVC는 연소열이 4,274cal/g 정도로 낮고 LOI는 높아 난연성이 우수한 고분자임을 알 수 있다. 실제로 PVC는 미국의 플라스틱 난연성 평가 기준인 UL 94의 V-0를 충족하는 높은 수준의 난연성 재료이다.

섬유재료로 가장 많이 사용되는 PET는 연소열 5,745cal/g로 PVC보다는 조금 높은 수준이나 PE보다는 매우 낮은 수준이다. 그러나 LOI가 20 수준으로 낮아 화재에 매우 취약한 소재이다. 따라서 PET 섬유제품은 화재의 위험이 있는 공공건물이나 시설 등에는 기본적으로 내장재 및 부품으로 사용이 곤란하다. 그러나 가장 일반화된 범용소재의 사용범위를 한정한다는 것은 비용적 측면에서 매우 비효율적인 부분이며, 이를 해결하기 위해서 난연 폴리에스터 제품 개발이 최근 국내/외에서 활발하게 진행되고 있다.



[그림 1] 연소의 3가지 요소



[그림 2] 섬유제품의 연소 순환고리

[표 1] 주요 섬유재료의 한계산소지수와 연소열

Polymer	LOI	Heat of Combustion (cal/g)	비 고
ABS	18.8	9,486	
Kevlar	28.0	6,410	우수한 난연성
Nylon	24.3	7,357	
PC	24.9	7,395	
PE	17.4	11,367	
PET	20.6	5,745	난연PET : LOI 27
PMMA	17.3	6,383	
PP	17.4	10,905	
PS	17.8	10,393	
PTFE	95.0	1,590	불연성
PVC	37.0	4,274	우수한 난연성

나. 난연성 부여 방법

합성섬유제품의 난연화 기술은 [그림 2]에 나타난 연소 순환고리의 어느 한 단계에서, 연소의 3가지 요소 중 하나를 차단함으로써 가능한데 그 방법은 크게 (1) 난연 후가공법, (2) 난연제 첨가에 의한 난연사 제조법, (3) 고성능 자체난연 고분자 합성법 등으로 나눌 수 있으며 아래의 [표 2]에 그 특성을 간단히 설명하였다.

먼저 난연 후가공법은 그동안 가장 손쉬우면서 비용도 적게 드는 방법으로 애용되어 왔으나, 섬유제품의 Touch 등 감성이 손상을 받고, 세탁시 난연제가 빠져 영구 난연성이 없으며, 할로젠계 난연제 사용에 따라 화재시 유독가스가 발생하여 인명피해의 가능성이 높아, 현재는 첨가제에 의한 난연사 제조법으로 바뀌는 추세이다.

난연사 제조는 주로 인(P)계 난연제를 사용하는데, 인계 난연제는 저독성, 고성능을 만족하고 연기발생에 대한 안정성도 크며, 소각 및 재활용시 문제점이 적어 할로젠계 난연제의 대체품으로 각광을 받고 있다.

또한 첨가제가 섬유내에 화학적/물리적으로 결합되어 있으므로 세탁시에도 난연성 저하가 없는 반영구 난연사이며, 현재 국내 여러 화섬사에서 제조되는 폴리에스터 난연사는 모두 인계 난연제를 화학적으로 결합시킨 공중합 폴리머를 이용한 제품이다.

고성능 자체난연 제품은 별도의 첨가제 없이도 고분자 자체가 우수한 난연성을 갖는 제품으로, 듀폰의 메타아라미드 제품인 노멕스(Nomex[®]), 폴리페닐렌설파이드(PPS) 제품인 Chevron Phillips의 Ryton[®], Toray의 Torcon[®] 등이 대표적인 제품이며, 이 외에 폴리이미드(PI), 테프론(PTFE) 섬유 등이 상품화되어 있다. 이들은 난연 폴리에스터에 비해 한 차원 높은 매우 뛰어난 난연성을 보이고 있으나 가격이 너무 높아 범용으로 사용하기에는 한계가 있다.

용도는 소방복, 산업용 백필터, 페이퍼 등의 특수 분야이며, 현재 국내에 제조업체가 없어 전량 수입하여 사용하고 있어 향후 국내업체의 개발 노력이 필요한 부분이다.

[표 2] 섬유제품에 대한 난연성 부여방법

구분	내용	비고
난연 후가공법	후가공시 난연가공을 하는 방법	- 연기/유독가스 발생 - 세탁견뢰도 낮음
난연제 첨가에 의한 난연사 제조법	1) 난연제를 고분자 구조내에 화학적으로 결합시키는 방법 2) 난연제를 고분자 내에 물리적으로 첨가시키는 방법	- 영구 난연성 가짐 - 연기/유독가스 방출에 안정
자체 난연 고분자 합성	분자구조 변경을 통한 고성능 자체 난연성 고분자 제조	- PPS, m-Aramid 등 - 고가 제품

3. 난연사 개발 현황

난연사는 섬유 형태에서 난연 특성을 보유하도록 제조함으로써 이러한 원사로 만든 완제품(직, 편물 등)을 불꽃에 접촉하면 열에너지에 의해 타지만, 불꽃을 제거하면 스스로 연소하는 것을 방지 또는 억제하도록 하는 섬유 소재이다. 즉, 섬유 자체가 타지 않도록 하는 것이 아니라 화재의 전파 능력을 상실하게 하는 섬유이며, 일반적으로 한계산소지수(LOI) 값이 26 이상인 것을 난연사라고 말한다.

난연제품 시장현황은 세계시장이 2006년 기준 1조4천억원에서 2010년 1조8천억원으로 성장할 것으로 예상되며, 국내시장의 성장속도는 더 빨라서 1,200억원에서 2,400억원으로 급성장할 것으로 예상된다.

현재 난연사 시장의 주도권은 인도 Reliance사에서 인수한 Trevira CS[®]가 가지고 있으며, 세계시장의 70~80% 정도를 점유하는 것으로 알려져 있다. 국내업체들의 적극적인 개발로 국내시장은 국내업체들이 그 시장을 상당수 차지하고 있으며, 일부 제품은 Trevira CS[®]의 품질을 앞서고 있는 상황이나 아직은 브랜드 명성도에서 뒤지고 있어 해외 난연사 시장 진출에 장애가 되는 상황이다.

그러나 국내 화섬업체들은 오랜기간 차별화 상품을 생산해 왔던 경쟁력을 장점으로 하여 우수한 난연성을 갖는 FD난연사, 원착난연사, TTD(Thick and Thin) 난연사 등 차별화 제품을 개발하고 있어 조만간 세계시장에 국산제품이 활발히 진출할 것으로 보인다.

[표 3] 주요 난연사 제조업체

업 체	상 표	난연제	LOI	제 품	용 도
Trevira	Trevira CS	인계난연제	28~32	장섬유	커튼류
휴비스	Zeraxy	"	28~32	장섬유, 단섬유	인테리어, 침장, 의류
새 한	Esfron	"	28~32	장섬유, 단섬유	커튼,인테리어
효 성	Firex	"	30	장섬유	인테리어
Toyobo	Heim	"	28~30	장섬유, 단섬유	인테리어, 침장
Teijin	Super Extar	"	28	장섬유, 단섬유	인테리어, 침장

난연제품의 개발은 단순히 우수한 난연사를 만드는 데서 끝나지 않고, 엄격한 후공정 관리기술이 필요하여 업스트림과 다운스트림간의 기술공유 및 협력이 필수적인 제품이다. 특히 후공정 중에 제품에 노출되는 온도, 시간 및 염료 등 모든 요인이 최종 제품의 난연성에 영향을 주기 때문에 공정 관리는 매우 중요한 요소가 된다.

현재 휴비스에서는 친환경성 인계 난연제를 이용한 PET 난연사 제품을 장섬유 및 단섬유로 개발하여 Zeroxy[®]란 브랜드로 국내/외에 판매하고 있다. 이 제품은 난연성이 우수하여 M1, DIN, IMO 등 각종 인증을 확보하였으며, 다운스트림 업체들과의 협력을 통해 엄격한 품질관리가 이루어지고 있다. 또한 업체별 장점을 활용한 다양한 직물을 개발하여 커튼지, 3m 광폭암막지, 자카드 직물 및 소파지 등 다양한 홈텍스타일 제품으로 판매하고 있다.

새한의 Esfron[®], 효성의 Firex[®] 등도 하임텍스타일 전시회(Heimtextile) 등 해외 전시회에 적극적으로 참여하며 인지도를 넓혀가고 있으며, 난연 LM, 난연CD 등 차별화 제품 개발에 적극적으로 나서고 있다.

4. 결론 및 향후 전망

난연사 시장은 현대문명이 지속되는한 계속 확대 유지될 것이므로 국내 업체의 경쟁력 강화는 필요불가결한 부분이다. 특히 Trevira CS의 장악력이 거센 상황에서 국내업체들은 일반 난연사의 수준을 벗어나 차별화 원사 개발을 통해 세계시장을 공략할 필요가 있다.

난연CD(Cation Dyeable)사, 난연 복합융착사 LLY, 난연 세섬사, 난연 FD, 난연 원착사, 난연 LM(Low Melting)사 등을 장섬유 및 단섬유로 제조함으로써 국내업체의 장점인 차별화 제품 개발에 주력할 필요가 있다.[표 4] 특히 국내업체가 세계 1위 시장을 갖고 있는 LM, 독보적인 기술을 갖고 있는 LLY 등을 이용한 난연제품을 개발하면 기존의 시장점목 뿐만 아니라 고부가가치의 신규시장 진입에 큰 역할을 할 것으로 보인다.

이들 제품은 세계적 수준의 고부가가치 상품으로 시장성이 풍부하고 독점성이 있어 제품 마케팅시 수입제품의 대체 및 세계시장 수출에 많은 장점을 갖게 될 것이다.

[표 4] 고부가가치 친환경 난연섬유 제품

난연사 제품	용도 및 특성	기대 효과
저온용착(LM) 난연사	롤스크린, 소파용, 벽지 ; 접착용	유성 Coating 대체로 환경 문제점 감소 : 마모강도, Pilling성 보강, Slip 보완
원착(DO) 난연사	암막지용 ; 우수한 난연성	재방염 처리 불필요, 공해감소, Cost 절감
Full Dull 난연사	암막지용 ; 고급감성	해외 난연제품과 대비하여 고급 /고부가가치 제품
Cation Dyeable 난연사	소파, 커튼 ; Melange 특성	침염이 가능한 난연제품으로 Cost down
복합용착 난연사(LLY)	소파, 커튼 ; 자연스런 Tone	독점적 기술에 의한 고부가가치 제품
세섬 및 흡한속건성 난연섬유	침장, 매트, 소파 ; 기능성 부여	인체쾌적성 부여

(주) 휴비스 연구소
김 경 우 팀 장

IT 산업용 고기능 섬유소재

국내 섬유산업은 1960년대 이래 우리나라의 주력산업으로서 각종 산업의 지표인 생산액, 수출비중, 고용인원, 제조업체수 등에서 가장 비중있는 산업으로 특히, 대규모 무역수지 흑자를 통하여 국가경제 발전의 견인차 역할을 수행해 왔다.

그러나 1980년대 중반 이후 국내 신규 화섬사들의 참여와 중국의 양적인 급성장으로 중저가 시장에서 급격히 그 가격 경쟁력을 잃었으며, 기술개발 또한 화섬 선진국인 일본과의 격차를 줄이는 노력 또한 만족할 만한 성과를 나타내지 못하여 고가 시장으로의 진출도 쉽지 않은 상황이다.

최근 그 동안의 섬유 수출의 부진을 씻고 증가세로 반전했으나 우리나라를 둘러싼 주변 환경은 더욱 어려워지고 있는 실정이다. 즉, 환율은 물론이고 천정부지의 유가가 100불을 위협하며, 원료가격 또한 가파른 상승세를 지속하고 있는 실정이다.

이러한 대내외적인 환경에 적극적으로 대응하여 종합적인 경쟁력을 회복하고 섬유산업의 새로운 부흥을 위해서는 패션과 연계한 고부가가치의 의류소재 개발과 함께 산업용을 포함한 비의류용 소재 및 용도개발의 확대가 필요하며 여기서는 비의류용 용도의 하나로 IT 강국인 우리의 강점을 최대한 잘 활용할 수 있는 IT 산업용 섬유제품인 Polishing Pad에 대해 간략히 언급하고자 한다.

가. IT 산업용 섬유제품

IT 산업용 섬유제품은 일본을 중심으로 하여 소수의 기업만이 생산기술을 보유하고 있으며, 상세한 정보는 개방되어 있지 않고 관련 수요 공급자 간의 좁은 통로에서의 거래가 이루어지고 있다. 산업의 특성상 각 수요산업별

기술변화 발전과 매우 밀접한 관련을 가지고 있으며, 수요산업 기술의 발전에 따라 한순간에 해당분야의 수요가 완전히 사라지기도 하는 위험성이 있다. 사업의 전개에는 각 수요산업의 기술동향을 자세히 살피고 고객의 요구를 알아내어 제품개발에 반영하는 것이 매우 중요하며, 시기나 요구 수준에 대한 판단 착오로 일순간 수요 자체가 사라지기도 한다. 즉, 일반적인 섬유제품과는 달리 IT 산업용 섬유제품은 제품의 수명이 길지 않은 경우가 많기 때문에 Item의 선택은 물론이고 선택된 제품의 개발 Lead Time을 최소화해야 한다.

IT 산업용 섬유소재로는 연마재, 와이퍼, LCD 러빙포, PDP 스크린 마스크 등이 있다. 연마재에는 반도체 Wafer 제조공정에 사용되는 Polishing Pad, 액정 디스플레이 유리패널 제조에 사용되는 Polishing Pad, 하드디스크의 기판의 연마에 사용되는 연마포, 광섬유 커넥터의 연마에 사용되는 Polishing Pad 등이 있으며, IT 산업용 연마재의 수요는 빠르게 성장하고 있다.

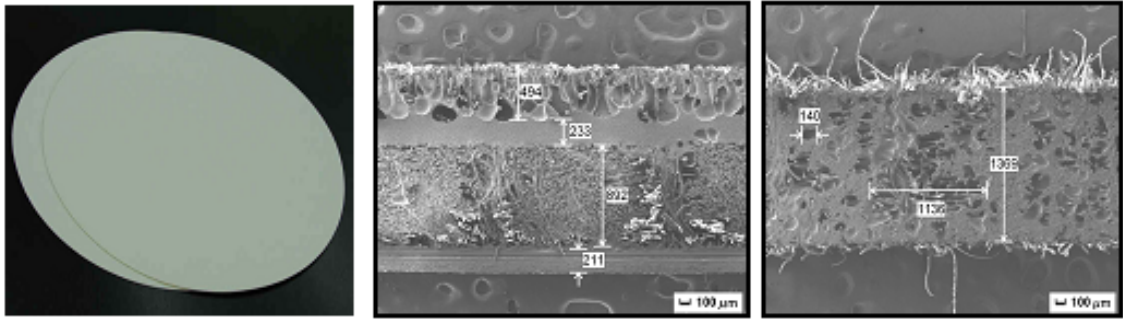
와이퍼는 클린룸 1회용 청소목적의 저밀도 편직 와이퍼, 액정디스플레이 유리패널에 사용되는 세정용 직편물 와이퍼, 고청정 고정밀 부품세정용 고밀도 고수축 편직물 와이퍼 등이 있다.

LCD 러빙포는 LCD 액정의 배향을 위해 필름 또는 유리패널의 표면에 배향을 형성하는 기능을 하는 벨벳직물 롤러에 적용한다. PDP 디스플레이의 회로를 형성하는 데는 인쇄방식이 필요하며 스크린 메쉬 직물을 이용하여 패턴을 인쇄한다.

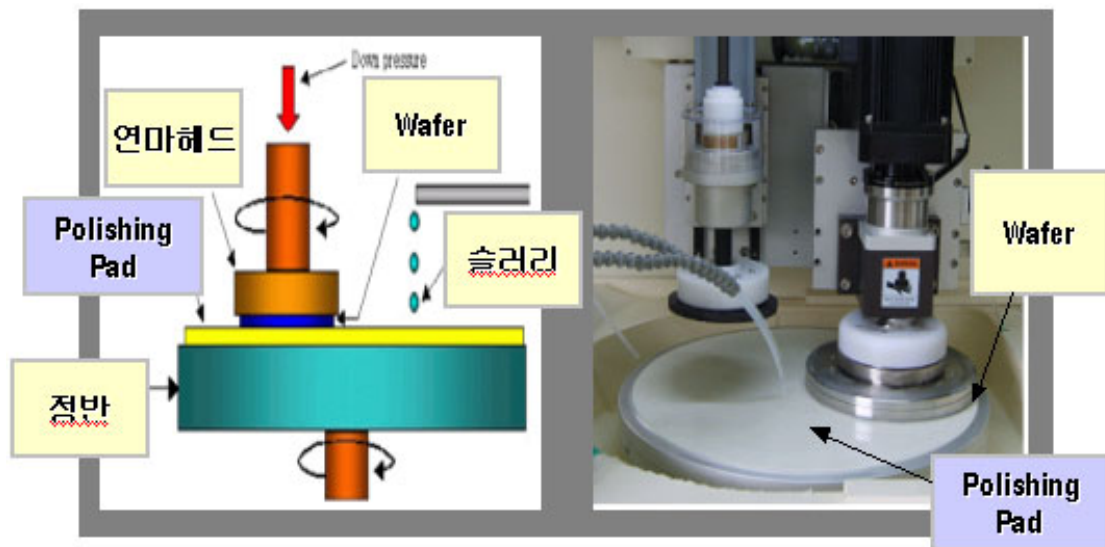
나. Polishing Pad

Polishing Pad는 아래 그림과 같이 두께 2mm 내외의 넓은 원형의 판상 구조를 가졌으며, 섬유(부직포)와 폴리우레탄이 혼재된 구조이다. 뒷면에는 웨이퍼를 연마하는 장비에 부착할 수 있도록 접착층을 가지고 있다.

Wafer를 연마하기 위해서는 1) 연마 장비(Polisher), 2) 연마액(Slurry), 3) 연마패드(Polishing Pad)가 필요하다. 이를 웨이퍼 폴리싱의 3대 요소라고 할 수 있다.



Polishing Pad는 아래 그림에서 보는 것처럼 연마장비의 아래쪽에서 회전하는 부분인 평평한 정반 위에 부착이 되며, 웨이퍼는 연마장비의 위쪽에서 회전하는 연마헤드의 아래쪽에 밀착된 상태로 연마액인 슬러리를 공급하며 일정 압력과 회전을 가하게 된다. 최근의 반도체 산업의 발달은 폴리싱 기술의 발달 영향을 많이 받았다고 할 수 있다.

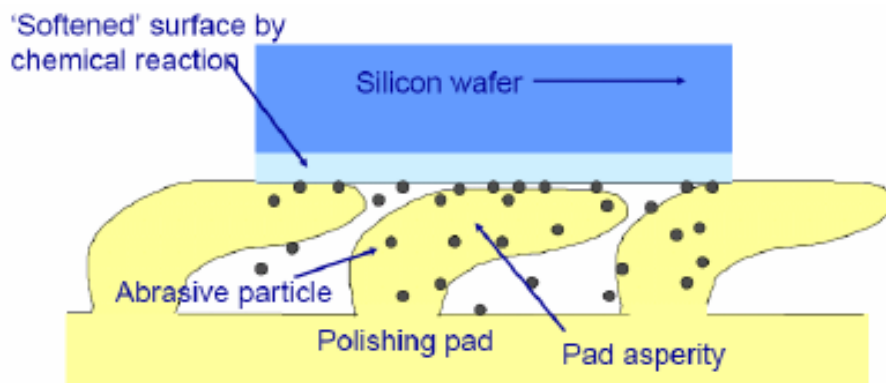


다. 반도체 폴리싱 기술의 원리

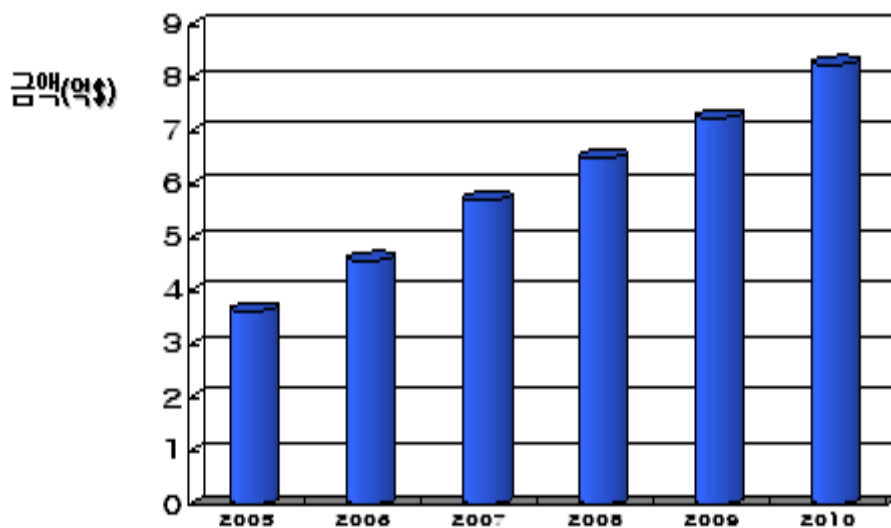
일반의 기계적인 연마와 달리 반도체를 연마하는 방식은 CMP(Chemical Mechanical Polishing)라고 부르며, 화학적 작용과 기계적 작용이 동시에 일어나면서 반도체의 표면을 연마하게 된다.

연마를 하는 과정에는 화학액을 첨가시킨 슬러리를 공급하며 연마하게 되는데 폴리싱 패드는 이 슬러리의 작용이 가장 원활하고 균일하게 일어나도록 돕는 부품이라고 할 수 있다.

반도체 폴리싱의 기술적 과정은 슬러리가 촉매작용을 하며 웨이퍼와 패드가 접촉되는 부분이 급속하게 화학적으로 반응하여 반응층이 웨이퍼와 패드의 마찰력에 의해서 탈락된다. 이 과정이 빠르게 반복, 진행되면서 웨이퍼의 표면은 매우 높은 수준으로 평탄화되어 반도체의 회로를 형성할 수 있을 정도로 충분히 가공되게 된다.



라. 시장상황

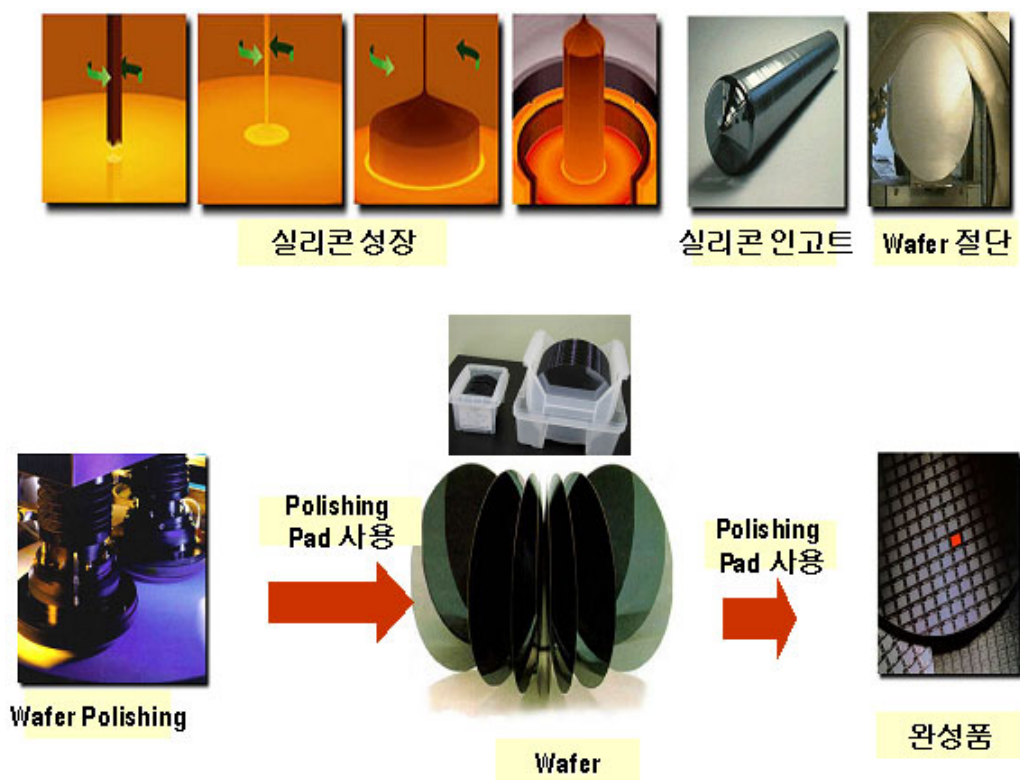


Polishing Pad는 반도체 산업의 성장에 따라 빠르게 성장하고 있는 사업이며 주로 일본계 및 미국계 업체가 독과점을 보이고 있는데, 일본의 Nitta Haas와 미국의 Rohm & Haas가 대부분의 시장을 점유하고 있다. 반도체 Polishing Pad 시장은 2005년 약 3.5억불이었으며 2010년에는 8억불을 초과할 것으로 예상하고 있다.

2000년 연간 소요량이 25만장이던 패드의 시장규모가 2006년은 82만장 규모로 3배 이상 성장하였고, 앞으로의 성장률도 당분간 현상태를 유지될 것으로 예상하고 있다.

마. 반도체 제조공정

반도체 산업의 쌀이라고 불리는 실리콘 웨이퍼의 제조 공정을 간략히 살펴보면 아래 그림과 같으며, 모래에서 추출한 초고순도(99.99999999%)의 폴리실리콘을 원료로 만든다.



폴리실리콘은 높은 온도로 용융시킨 다음 가느다란 막대를 이용하여 원통 모양의 실리콘 결정으로 성장시키고, 일정크기의 원기둥 형태로 갈고 다듬어서 잉고트(Ingot)라는 실리콘 덩어리로 만들어 낸다. 그다음 잉고트를 1밀리미터 이하의 두께로 다이아몬드 와이어 톱을 사용하여 얇고 둥근 유리판 형태로 잘라낸다. 잘라낸 둥근 판재를 웨이퍼(Wafer)라고 하며 아직까지는 반도체 제조공정에 사용할 수 있을 정도로 충분히 정밀한 표면을 가지지 않은 상태이므로 여러 단계에 걸쳐서 표면을 부드럽고 매끈하게 가공을 한다.

이때에 매우 중요하게 사용되는 재료가 Polishing Pad이며 컴퓨터 등의 부품으로 완성되기까지는 수회 내지 수십회 반복 사용된다. 폴리싱이 완료된 웨이퍼는 거울보다 수십에서 수백배 매끈한 표면을 가지고 있으며 비로소 반도체 공정에 사용될 준비가 된 것이다.

바. 결 론

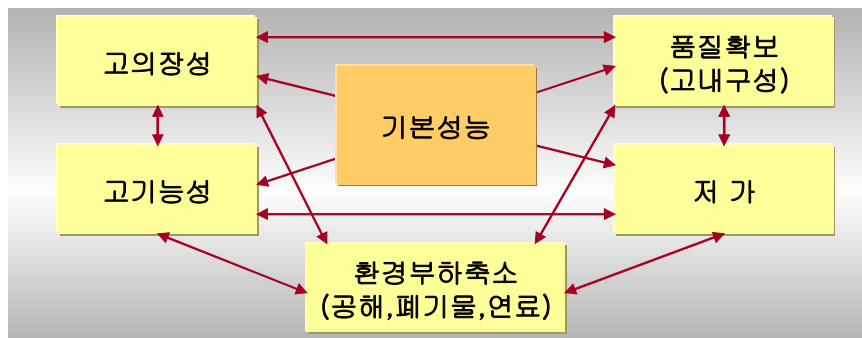
앞으로 섬유산업의 생존 방향을 나름대로 정리하면, 첫째, 기술개발은 각각의 기술의 융합으로, 둘째, 섬유산업간의 스트림 협력을 통한 마켓 Oriented 상품 개발, 셋째, 패션과 연계한 고부가가치의 의류소재 개발과 함께 글로벌 경쟁력을 가지고 있는 우리의 자동차, IT에 접목한 산업용 섬유 소재 개발이며, 이를 통한 섬유산업의 경쟁력 제고가 필연이라 할 것이다.

(주) 코오롱 중앙기술원 Fiber연구소
노 환 권 소 장

자동차용 섬유재료 개발동향

1. 서론

자동차에 사용되어지는 섬유재료로는 흔히 알고 있는 Seat Cover에서부터 Carpet(Floor Mat, Option Mat), Battery Separator, Headliner, Bonnet Liner 등까지 실로 다양하며 여러 부품에 적용되어 지고 있다. 1980년대에는 자동차 1대당 20.8kg 정도였으나 2005년도에는 27.8kg의 섬유재료가 사용되고 있으며, 이 중에 Seat Cover가 3.5kg, Carpet이 4.5kg, Glass Fiber 복합체가 6kg, Tire 외 기타가 6kg 정도 사용되고 있다고 한다. 2004년도 승용자동차를 기준으로 평균 연간 6,000만대를 세계적으로 생산하고 있으며 매년 3%씩 증가하고 있는 추세이다.



[그림 1] 자동차 섬유재료에 요구되는 성능

이들 섬유재료를 사용하는 부위는 에어백이나 안전벨트 등 일부 기능성 부품을 제외하고 섬유소재가 가지는 뛰어난 감촉, 입체감, 고급감 등이 요구되어지는 의장부위에 집중되며, 더욱이 이제까지는 사용되지 않았던 부위에 까지 확대되어 가는 경향이 있다. 여기서는 향후 자동차 섬유재료의 개발 동향 및 주요 자동차 부위별 적용되는 섬유소재에 대해 살펴보고자 한다.

[표 1] 주요 자동차용 섬유재료

Fibers	Advantages	Disadvantages	Major Application
Polypropylene	- Inexpensive - Lightweight	- Coloration limited - Low melting point - Low moisture absorbency	- Interior trim face material(not seats) - Carpet (needle-punched) - Functional non-woven applications
Acrylic	- High UV resistant	- Moderate abrasion	- Car roofs
Wool	- Comfortable resilient - Flame retardancy	- Expensive - Low resistance to UV	- Seat cover fabric in luxury cars
Polyester	- High abrasion - Good UV resistance - Inexpensive	- Low moisture absorbency - Uncomfortable seats in summer - Limited compressed resilience(not used in tufted carpets)	- Seat cover fabric, Interior trim face - Carpet (needle punched) - Functional non-woven applications - Seat belts, Tire cords
Nylon	- Good resilience and elasticity recovery - Good thermal absorption (for airbags)	- UV resistance poor unless stabilized	- Airbags - Carpets(tufted) - Tire cords

2. 자동차의 주요 부품별 섬유재료 개발동향

가. Seat Cover

Seat Cover는 무엇보다도 의장성이 요구되며, 섬유만으로 구성되는 몇 안되는 부품으로서 사용되는 섬유는 나일론에서 폴리에스테르로 변천되어 현재는 전 세계적으로 신 합성섬유를 비롯한 여러 종류의 폴리에스테르 섬유가 90% 이상 사용되고 있다.

Fabrication의 형태별로는 크게 Woven(직물), Knit(편물), Non-woven(부직포)로 나눌 수 있다. 이를 세분화하면 직물은 Dobby, Jacquard, 표면에 Pile을 가진 Moquette 등으로 나눌 수 있으며, 편물은 Tricot, Double Raschel 등과 같은 경편물과 Double Knit, Sinker Pile 등과 같은 환편물로 나눌 수 있다. 또한 부직포는 인공피혁용 Base로 많이 사용되고 있으며 표면에 은으로 코팅된 형태와 Suede 형태로 사용되고 있다.

[표 2] 인공피혁 시트커버의 개발동향

Punching 후가공의 접목	화려한 Color의 피혁류 시트커버	피혁과 섬유의 조합
		
<ul style="list-style-type: none"> - 주로 Punching 가공으로 합성피혁에 심미감 있는 패턴을 부여함 - Punching시 뚫려지는 것을 막기 위해 시트커버 Fabric 밑에 직물 스크림을 라미네이팅 해줌. 직물 스크림의 컬러를 Dark 하게 해주면 Punching된 Hole로부터 Dark한 직물의 Color를 볼 수 있으므로 다소 심미감이 증가 	<ul style="list-style-type: none"> - 과거에 비해 화려하고 강한 색상의 피혁이 사용됨 - Black-Red, Black-White, All White - 때가 잘 타서 잘 사용하지 않는 White Color를 사용함. 표면처리를 통한 방오 가공 기술의 발달이 뒤따라야 할 것으로 판단됨 - 피혁을 강한 압력과 열로 굽은 기하학적인 무늬를 Embo 	<ul style="list-style-type: none"> - 과거에는 피혁류나 섬유를 단독으로 사용하는 경우가 많았으나 피혁과 섬유를 조합하여 양 소재간의 외관 특성을 조화롭게 디자인함 - 피혁 + Double Mesh (원착사 적용) - 피혁 + Woven(Fancy Yarn) - 피혁 + Woven(표면 약한 Embo 패턴 부여)

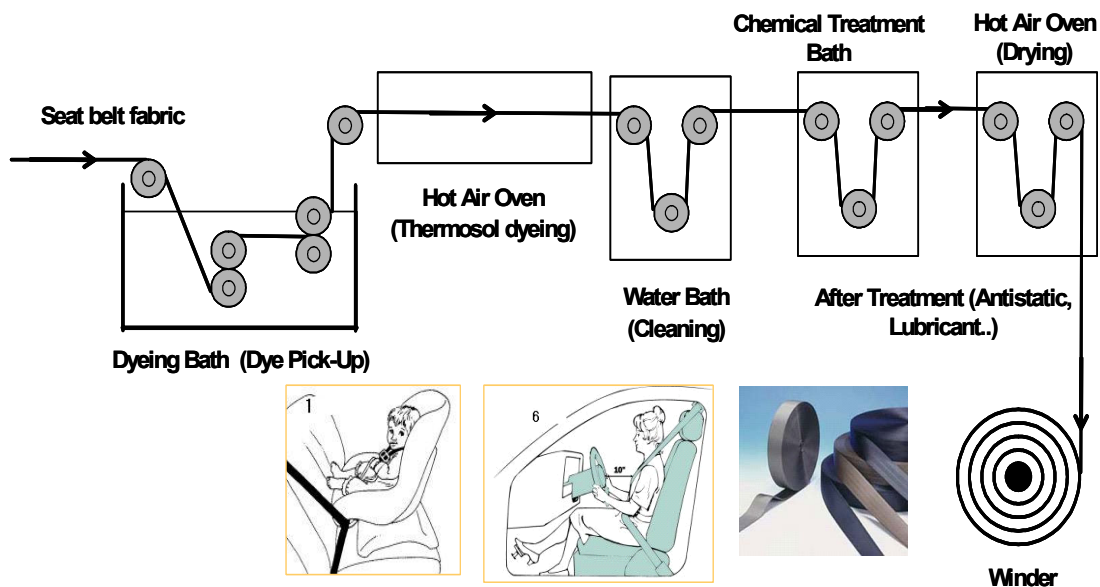
나. Seat Belt

1964년부터 본격적으로 모든 자동차에 장착이 의무화되었고 적용되는 섬유소재로는 초기에는 나일론이 사용되었으나 최근에는 High Tenacity Continuous Filament Polyester가 주종이며, 대부분 Twill 조직(경사 1,000

~1,500de., 위사 400~800de., 변부 300de. 이하)의 직물형태 제품이다. Seat Belt는 전반적으로 Soft 해야 하며, 길이방향으로는 Flexible 할수록, 그리고 폭방향으로는 Rigid 할수록 좋다.

Seat Belt의 필요물성으로는 Edge Scuff, UV, Abrasion, Wet Crocking, Perspiration Resistance 등이 있으며, 주로 Thermosol 염색법으로 염색되고 청결성, 내구성, 내오염성 등의 기능성 부여를 위해 표면 Coating 처리하여 제조된다. Seat Belt는 승용차를 기준으로 1대당 14m, 약 800g 정도가 소요되며 국내에서는 연간 약 52,000톤이 소요되는 것으로 알려져 있다.

최근에는 충돌 시 승객에게 작용하는 에너지를 흡수하는 고에너지 흡수 벨트, 원착 Seat Belt 등이 개발되어지고 있고, 이밖에도 패션, 방염, 제전, 고발색, 착용성이 우수한 재료를 연구개발 중에 있다고 알려져 있다.



[그림 2] Seat Belt 제조방법

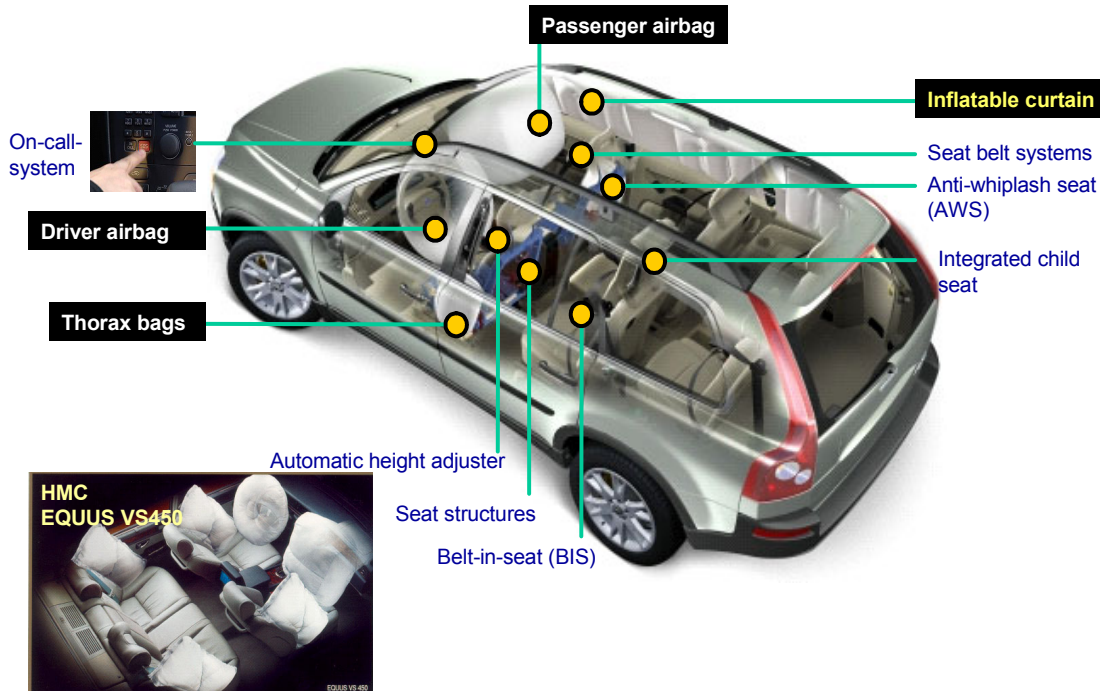
다. Air Bag

Air Bag에 적용되는 섬유소재는 폴리에스테르보다 열적 성질이 우수하고 접이용 수납성과 전개시 피부의 손상도가 적은 이유로 High Tenacity Multi Filament Nylon 66이 사용된다. 초기에는 840de.급이 사용되었으나 최근에는 420de.이하로 세섬도화가 진행중이다.

대부분 Plain 조직의 직물형태의 제품이며 염색은 생략되고 열처리를 통한 원단의 안정화와 불순물 제거를 위한 정련공정 만으로 제조된다. 후가공으로서 실리콘 코팅을 하게 되는데, 충돌사고 시 Air Bag이 전개될 때 Air Bag안의 가스가 빠른 시간 내에 빠져버리는 것을 방지하기 위한 것이다.

초기에는 Neoprene Rubber를 코팅하였으나 무겁고 장시간 보관시 접힘 부분에 균열이 발생하는 문제점으로 인해 최근에는 대부분 실리콘을 사용하여 코팅하고 있다. Air Bag 전개시 내부에 발생하는 질소가스의 온도는 약 400~500℃ 이상이며, 가스압력은 0.03초 내에 최고 40psi 이상이다.

이러한 환경을 극복하기 위하여 고내압성, 내열성, 기밀성, 자동차 본체의 Life-cycle과 합당한 내구성, 경량성, Compact성, 유연성 등의 물성이 요구되어 진다. 최근에는 One Piece Weaving 방식이나 부직포 등을 이용하여 재활용, 경량화 및 원가 절감을 위한 Coatingless Air Bag 개발이 진행중에 있다.



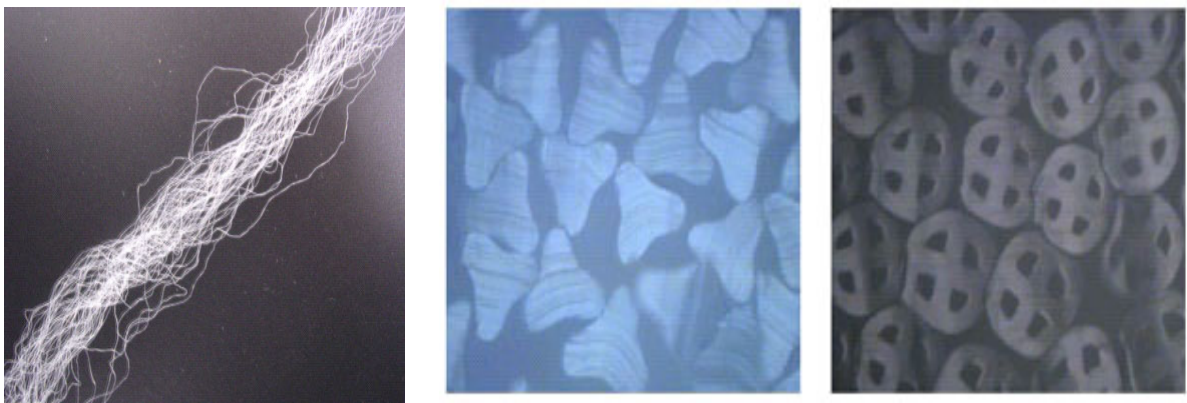
[그림 3] Air Bag 장착 부위

라. Carpet

자동차용 Carpet은 크게 자동차용 Floor 금형에 Covering 형태로 Molding하여 장착되는 Floor Mat와 운전자 및 승객이 직접 발로 접촉하고 있는 Option Mat로 나눌 수 있다. 또한 직조 방식에 따라 전통 Carpet 직조 방식인 Tufting Carpet와 Needle Punching Carpet로 나눌 수 있다.

1950년대부터 소음과 진동흡수 목적으로 자동차에 장착되기 시작한 Carpet는 우수한 압축탄성을 지니는 나일론을 BCF(Bulked Continuous Filament)화 하여 1,350de.나 1,450de.급으로 적용하고 있다. 고급 차종에는 나일론 BCF사를 적용한 Tufting 방식의 Carpet이, 중저가 차종에는 폴리에스테르나 폴리프로필렌을 적용한 Needle Punching 방식의 Carpet이 사용되고 있다.

이러한 자동차용 Carpet이 가져야 할 필요물성들은 흡음 및 진동 차단, Abrasion, UV, 난연, 압축탄성 등이다. 최근에는 나일론에 버금가는 압축탄성을 지니며 Nylon보다 우수한 내오염성이 있는 PTT(Poly Trimethylene Terephthalate) 섬유를 이용한 자동차용 Carpet을 개발 중에 있다. 또한 경량화를 위한 세섬도사의 적용과 생산성이 우수한 Needle Punching 방식의 Carpet 공급이 늘어날 전망이다.



[그림 4] 자동차 Carpet용 원사의 측면 및 단면

마. Tire Cord

타이어는 고무로만 이루어진 것이 아니라 다양한 소재의 여러 요소로 구성되어 있다. 이 중에서 내구성과 주행성, 안정성을 높이기 위해 고무 내부에 들어가는 섬유 재질의 보강재를 타이어코드라고 한다.

초기에는 타이어코드로 굵은 면사를 엮은 재료를 썼는데, 타이어코드끼리 마찰로 쉽게 닳아버리곤 하였다. 그 후 내구성과 섬유 자체의 인장강도, 내수성과 열에 대한 저항능력 등의 다양한 필요가 생기고, 한편으로는 다양한 고분자 합성기술이 발달하면서 레이온, 나일론, 폴리에스테르 등의 합성섬유들이 차례로 쓰이기 시작했으며 오늘날에 주로 사용되는 타이어코드의 재료로는 폴리에스테르, 나일론 등이 있다.

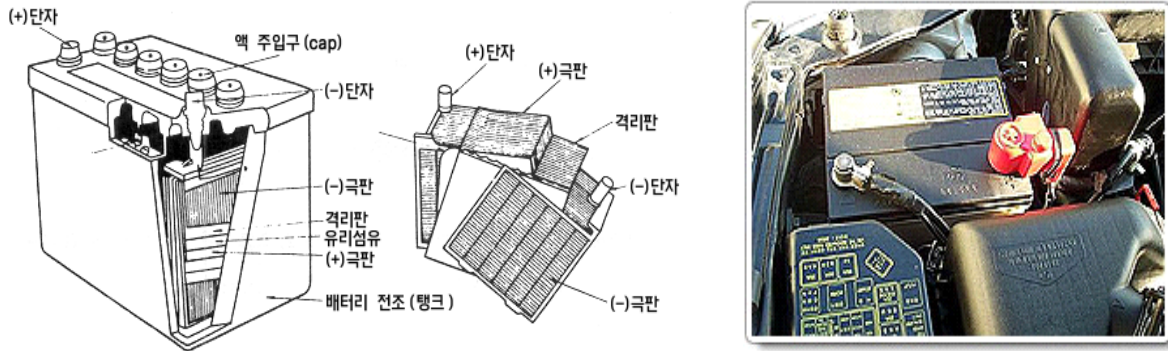
주로 고속 저하중용인 승용차 및 Light Truck용에는 가격이 비교적 저렴하며 외부 힘이나 열에 변형이 적은 폴리에스테르가 90% 이상 사용된다. Bias 또한, 저속 고하중용인 트럭, 버스 및 건설용 차량, 항공기 등은 강도와 내열성 등에 강점이 있는 나일론이 사용된다.

향후 타이어의 경량화 및 소음감소, 지면 저항성 감소 등을 위해 타이어 코드지의 고기능성화 및 라이오셀, PVA, PEN, 탄소섬유 등의 다양한 섬유의 응용이 시도되어질 예정이다. PEN이나 라이오셀 타이어코드는 타이어의 마모를 줄이고 강도를 더욱 높일 수 있는 소재로, 자동차 성능이 좋아짐에 따라 타이어의 성능향상에 필수적인 소재로 부각되고 있다. 이중 라이오셀 타이어코드는 레이온을 대체할 수 있는 친환경적인 소재로 효성에서는 이를 이용하여 타이어가 찢어져도 120km나 달릴 수 있는 소재를 개발 중에 있다고 한다.

바. Battery Separator

Battery Separator란 자동차용 축전지 내에 탈락된 황화합물이 배터리 전극에 쌓이지 않도록 양극과 음극판 사이에 삽입된 것을 말한다. 주로 Glass Fiber를 사용하였으나 경제성 및 건강상의 이유로 내산성이 우수한

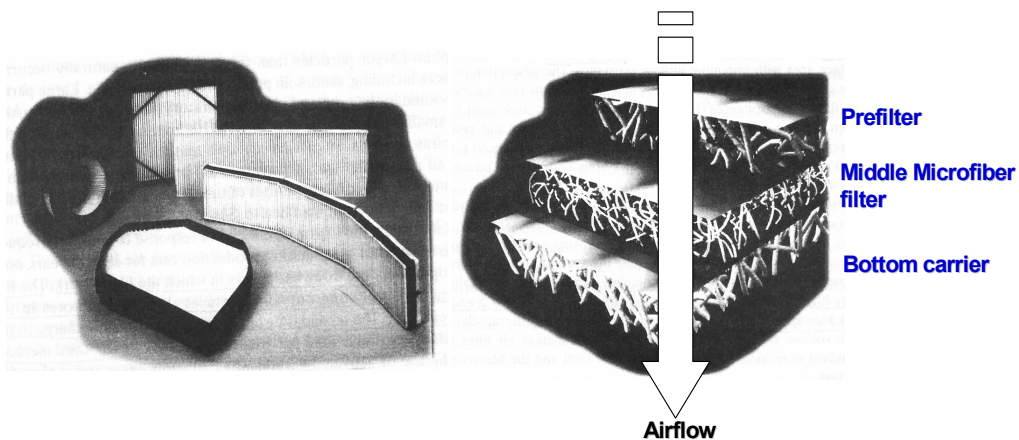
폴리에스테르섬유가 주목되어 지고 있다. 현재 승용차엔 가로, 세로 15cm×15cm 정도의 규격으로 사용되고 있으며, 대형차는 15cm×30cm 규격으로 사용되고 있다. 향후 전기자동차가 상용화되면 그 수요가 늘어날 것으로 예상된다.



[그림 5] 자동차 배터리 구조

사. Air Filter

자동차에는 12종 이상의 Filter가 존재하고, 이중에 50% 이상이 섬유 소재이며 주로 Poly Propylene 섬유를 이용한 부직포 형태로 제품화되고 있다. Air Filter는 Pre-filter, Middle-filter, Bottom Carrier의 Three Layer 형태로 구성되어 있으며 활성탄이 삽입되어 있다.



[그림 6] Air Filter의 구조

최근에는 Microfiber와 Special Liquid Absorber를 사용한 제품이 개발되고 있으며, 항균, 소취성 등과 같은 기능성과 자체 세정력이 우수하여 관리가 용이하도록 개발이 진행되고 있다.

3. 향후 자동차용 섬유재료의 개발동향

가. Recycle

국내 자동차 폐기량은 1996년 48만9천대에서 2006년 54만1천대로 11% 늘었고 2010년엔 74만대에 이를 것으로 전망된다. 자동차 1대를 1톤으로 가정하면 재활용률이 현재 75%로, 나머지 25%인 250kg이 매립되고 연간 폐차량 50만대 기준으로 12만5천톤이 토양에 묻혀 오염을 유발한다고 한다.

환경부는 이에 따라 자동차 제조업체들에 대해 폐기물 처리비용 명목으로 재활용부과금을 납부토록 하고 설계/제조 단계에서 유해물질 사용을 제한하는 등의 내용으로 전기/전자제품 및 자동차 자원순환에 관한 법률을 제정할 방침이라 알려져 있다.

또한 EU 폐차 리사이클 법규(2000/53/EU)에 2006년 1월 1일까지 80% Recycling 85% Recovery, 2015년 1월 1일까지 85% Recycling 95% Recovery라는 리사이클 목표치를 두고 있다. 이에 준하여 국내 자동차 제조업체들은 EU 폐차 처리법규에 대응하기 위하여 폐차의 리사이클률 향상을 위하여 부품의 재질개선 및 구조개선의 노력을 경주하고 있다.

리사이클 대상 부품은 금속이나 플라스틱류 등에 국한되어 있고 섬유재료는 극히 미미한 수준이지만 자동차 제조업체로부터 많은 요구가 들어오고 있기 때문에 재활용성을 높이기 위해 나름대로의 노력이 필요한 현실이다.

자동차용 섬유재료의 재활용성을 높이기 위해 재료 통일, 구성재료의 간략화, PU 폼 대체 등의 노력을 경주하고 있다. 재료 통일의 한 예로 Car Seat Cover는 Seat Fabric과의 형태안정성과 쿠션성을 주기 위해 PU폼과 라미네이팅을 한다.

PU폼과 서로가 완전히 붙어 있고 성분이 틀리기 때문에 재활용보다는 소각하여 처리하는 경우가 많다. 하지만 재활용성을 높이기 위해 서로가 잘 분리되도록 설계하던지, 동일한 Polyolefin계인 PET폼이나 PP폼을 개발하여 서로가 붙어 있더라도 재활용이 가능하도록 제조하는 경우도 있다.

하지만 후자의 경우 PET, PP폼은 기존 PU폼 대비 쿠션성이 많이 떨어지므로 Main Seat Cover에는 적용되지 못하고 있고 Door Trim이나 Head Linner 등과의 라미네이팅에 일부 사용되고 있는 중이다.

구성 재료의 간략화란 Coatingless 제품을 개발하자는 것이 핵심이다. GM대우의 경우 재활용성의 증대를 위해 코팅을 지양하는 제품을 선호하고 있다. 이런 경우 형태안정성을 위해 Back Coating해야 하는 직물조직의 Seat Cover의 적용이 제한되어질 수도 있다. 따라서 이에 대한 대책이 필요할 것으로 생각된다.

또한 PU폼의 쿠션성을 발현하기 위해 다층구조의 PET 부직포나 입체구조의 PET 편직물을 개발하여 소각시 유해가스를 발생하는 PU폼 대체에 대한 개발이 시도되고 있다.

나. Energy

자동차는 2천 파운드의 몸무게로 엄청난 휘발유를 태우며 150파운드도 안되는 단 한사람을 수송한다. 이보다 더한 비효율을 찾기가 힘들고 어떠한 제품보다도 지구상의 희소자원을 가장 많이 사용한다. 이러한 이유로 연료 절감을 위해 자동차 연비를 줄이려는 노력들이 경주되고 있다. 효율이 높은 엔진을 개발하거나 공기저항을 줄일 수 있게 차체를 Aero-dynamic하게 설계하는 등의 노력과 함께 차체의 중량을 줄이기 위한 노력도 병행되고 있다.

또한 차체의 중량을 줄이기 위해 저비중 섬유인 PP 섬유의 적용과 Mesh 조직의 원단 활용이 늘어나고 있는 추세이다. 또한 금속재료를 섬유 재료로 대체하고자 하는 시도도 있다. 대표적인 경우가 혼다자동차의 레전드 차종이다.

이 자동차의 구동축을 기존 철에서 탄소섬유로 대체하면서 150kg 정도 감량할 수 있었으며 이로 인해 10% 정도의 연비가 상승했다고 한다. 현재로는 철보다 탄소섬유가 더욱 고가이다. 따라서 적용에는 한계가 있지만 향후 이에 대한 개발과 투자가 지속된다면 합리적인 수준의 가격으로 공급이 가능할 것으로 생각된다.

다. Environment

이제 개발에만 치중하던 시대는 끝났다. 제품개발 단계에서부터 최종 폐기 및 재활용, 그리고 발생할 수 있는 유해물질을 없애거나 줄일 수 있도록 기획 및 설계하여 재료를 잘 선택해 생산하여야 하는 시대가 왔음은 명약관화한 사실이다.

향후 자동차의 컨셉은 환경친화적인 자동차이다. 이에 따라 국내외적으로 전기, 수소, 하이브리드형 자동차 개발에 박차를 가하고 있다. 자동차용 섬유재료도 환경친화적인 재료를 사용하고자 하는 움직임이 활발하다. 생분해성 섬유인 PLA 섬유, 소나무나 노송나무 등의 침엽수에서 뽑아낸 케냐프 섬유 등의 사용이 시도되었으나 아직 자동차용 물성을 감당하지 못하기 때문에 적용에 한계가 있다.

2006년 북경 국제 모터쇼에서 선보인 중국의 컨셉카 중 Carpet 대신 대나무를 적용한 경우도 볼 수 있었다. 현재 구성물질 중 옥수수 발효를 통해 Bio 공법으로 생산한 원료를 40% 이상 사용한 PTT(Poly Trimethylene Terephthalate)섬유를 자동차 내장재로 적용하기 위한 노력들이 시도되고 있다.

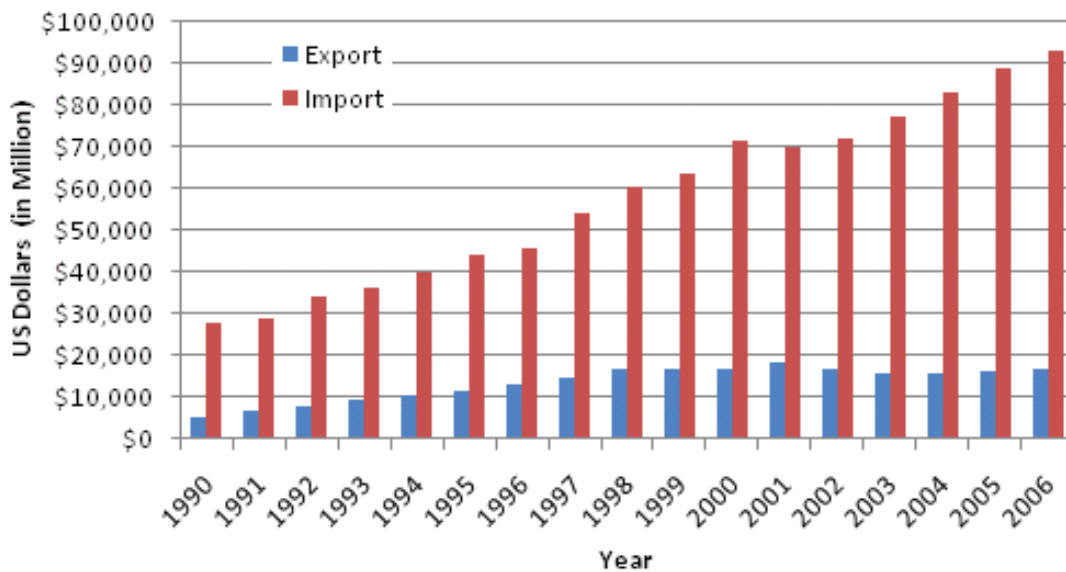
한국생산기술연구원 디지털가공팀
심재윤 박사

친환경 섬유의 최근 경향 및 시장분석

1. 서론

미국의 섬유 및 어패럴 산업은 최근 몇 년간 계속된 수입의 증가로 인한 무역 불균형, 미국 내외 기업간의 치열한 생존 경쟁, 소비자의 빠른 취향의 변화에 대한 대응 부족 등으로 인하여 향후 몇 년간 지속적으로 그 규모가 줄어들 것으로 예상된다.

2006년에 발표된 OTEXA(Office of Textiles and Apparel)의 자료에 의하면 미국은 미화 1,600억불 규모의 원사, 직물, 메이드업(실내 장식용 커튼, 쿠션, 가정용 섬유제품, 린넨, 퀴트 제품, 침대시트)을 수출하였으며, 9,960억불 규모를 수입하였다. 미국의 주요 수출품목으로는 직물(49%)과 어패럴(27%)이 있으며, 어패럴(75%)과 메이드업(16%)이 주요 수입품목이다.



[그림 1] US exports and imports on textile and apparel goods from 1990 to 2006

지난 20년간 미국의 수출은 비슷한 수준을 유지하고 있지만, 수입은 계속적으로 증가하는 추세이다. [그림 1]은 이러한 미국의 최근 20년간의 섬유 및 어패럴 산업분야에 있어서 수출입 불균형을 보여주고 있다.

2007년에 들어서도 이러한 수출입의 불균형은 개선이 되지 않고 있으며, 앞으로도 개선의 여지가 보이지 않고 있는 실정이지만, ERP(Enterprise Resource Planning) 혹은 SCM(Supply Chain Management) 등의 도입을 통하여 기업내부 혹은 기업간의 효율성을 증대시키고, 미국내 시장보다는 국제시장의 변화와 요구에 맞춰 나가는 기업들은 앞으로도 경쟁에서 뒤쳐지지 않을 것으로 기대된다.

또 다른 경향으로는 원사 산업(Fiber Industry)을 중심으로 최근 증가되고 있는 천연섬유 제품을 중심으로 한 새로운 변혁인 친환경 섬유제품(Eco-friendly Textiles)의 개발을 들 수 있다. "Eco-friendly Textiles" 혹은 "Green Fashion" 등으로 알려진 패션 및 어패럴 산업의 새로운 경향은 Unifi Inc., Levi's, Victoria's Secret, H&M, Target, Nike 등 어패럴 산업의 메이저 브랜드들이 최근 시장을 주도하면서 가속화되고 있다.

Unifi Inc.의 최근 스포츠웨어에 대한 소비자의 호감도에 관련된 연구에서 여성 응답자의 50%, 남성 응답자의 38%가 친환경 소재로 만들어진 상품을 구입하겠다고 하였다. 또한 Unifi Inc.는 세계에서 2번째로 규모가 큰 지퍼 업체인 Ideal과 함께 환경을 고려한 지퍼의 생산라인을 구축할 것이라고 발표하였다. 지퍼의 테이프는 Unifi에서 생산하는 100% 재활용 원사, Repreve[®]를 사용할 것이며, Ideal사의 새로운 브랜드인 Ideal Earth[®]를 사용하여 시장에 공급될 것이라고 발표하였다.

Levi Strauss사는 자사에서 생산되는 청바지의 원단으로 100% 유기농 면사(Organic Cotton)를, 단추로는 재활용 금속(Recycled Metal)이나 자연 목재(Natural Wood)를 사용한 제품을 2006년 가을 생산라인에 배치하였으며, 이 제품들은 "Levis[®]Eco"라는 상품으로 2007년 봄부터 시판이 되었다.

이 외에도 목재 펄프의 셀룰로오스를 사용한 Tencel[®] 제품은 드레스에서 파자마까지 다양한 제품에서 흔히 찾아볼 수 있으며, Wood Fiber, Bamboo Fiber, Carbon Fiber, Corn Fiber, Soy Fiber 등이 친환경 소재로 각광 받고 있다.

여기에서는 이러한 친환경 섬유의 특성 및 최근 개발동향을 알아보고 미국의 친환경 섬유시장을 분석함으로써 국내 섬유산업의 새로운 대안을 제시하고자 한다.

2. 친환경 섬유(Eco-friendly Textiles)의 정의 및 종류

친환경(Eco-friendly)의 사전적인 의미는 “환경학적으로 만족스러운 (Ecologically Acceptable), 혹은 환경에 유해하거나 위협을 주지 않는”이다. 일반적으로 친환경 섬유는 그 대부분이 천연섬유가 주를 이루고 있으므로, 유기농 섬유(Organic Textiles)를 대표적인 친환경 섬유로 들 수 있다.

유기농 섬유는 경작에서부터 최종 제품이 생산되는 공정에 이르기까지 사용되는 재료, 첨가물, 작업환경 등에서 야기되는 환경오염, 공해, 독성 물질의 발생 등이 규제되어야 한다.

원재료의 경작에 있어서는 몇 가지 원칙을 따라야 하는데, 이는 약 25년전에 구성된 단체인 IFOAM(The International Federation of Organic Agriculture Movements)에서 제안한 유기농 경작의 정의에서 기인한다. 이후 EU에서는 EC Regulation 2092/91를 마련하였으며, 미국에서도 유기농 경작에 대한 법률을 제정하였다.

유기농 제품의 경작에서의 주요한 2가지 원칙은 1) 경작지는 자연적인 방법으로만 유지, 개선되어야 하며(Soil fertility is maintained or improved by natural methods), 2) 화학 농약의 사용 금지(No use of synthetic pesticides)이다.

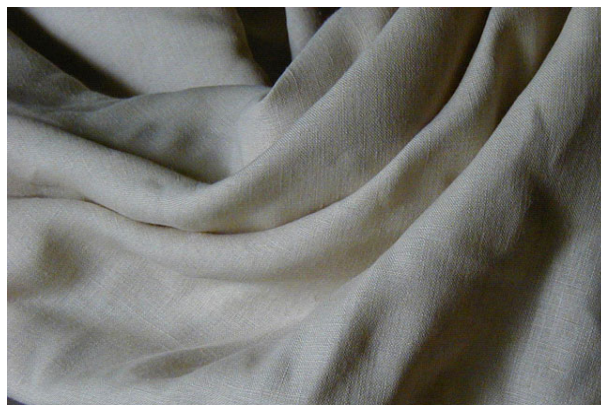
또한, 합성섬유에서도 재활용이 가능한 생분해성 섬유의 개발이 주를 이루고 있으며 현재 시장에서 유기농 제품으로는 Organic Hemp(대마), Wool, Cotton 등이 주종을 이루고 있으며, Soy Silk, Bamboo Fiber, Coconut Fiber, Corn Fiber 등의 새로운 친환경 재료를 사용한 제품이 출시되어 있다.

가. Organic Hemp

대마(Hemp)의 경우 함유된 THC(마약 성분) 때문에 대마의 대량생산에 대한 논란의 여지가 많이 있지만, 산업용 대마(Industrial Hemp)의 경우 이 성분의 함유가 극히 소량이므로 어떠한 마약 성분을 가지지 않는다.

1937년에 공포된 미국 연방 마리화나에 대한 조례에 의거하여 대마는 미국내 산업에서 거의 종적을 감추었다. 미국내 뿐만이 아니라 대다수의 국가에서 대마의 경작은 제한되거나 금지되어 있는 실정이다. 또한 목재 펄프와 석유화학 산업에서는 이러한 대마에 대한 제한에 의거하여 섬유, 제지, 미생물 분해성 플라스틱(Biodegradable Plastics), 그리고 페인트나 연료에 사용되는 오일 등의 분야에서 가장 커다란 경쟁자를 없애버린 효과를 얻어왔다. 하지만 최근 들어서 영국 등의 선진국에서는 대마의 경작에 대한 각종 규제를 완화함으로써 섬유 뿐만이 아니라 다양한 산업에서 대마는 친환경 소재로 각광을 받고 있다.

대마는 경작이 비교적 용이하며, 해충에 대한 저항력이 크기 때문에 유기농 경작에 적합한 소재이다. 대마의 경작에는 화학비료나 농약의 사용이 필요가 없다. 또한 대마의 경우 5미터 정도의 길이까지 자랄 수 있으므로 섬유장이 다른 천연섬유에 비해 길다는 장점을 가지고 있다. 또한 대마 제품은 면제품에 비하여 흡수성, 절연성이 뛰어나며 에이커당 1,500 파운드의 대마 섬유를 생산할 수 있어 에이커당 500 파운드의 생산이 가능한 면섬유에 비해 그 생산성 또한 탁월하다.



[그림 2] Woven Fabric made by Organic Hemp

나. Organic Wool

유기농 양모는 Federal Standards for Organic Livestock Production 규정에 의거한다. 이 규정에 의하면 대상이 되는 가축(양)은 지난 3세대에 걸쳐서 유기농 규정에 의거하여 방목 혹은 사육되었어야 하며 화학 호르몬이나 유전공학에 의한 변의가 없어야 하며, 가축의 내부, 외부, 그리고 방목지에서의 화학 살충제 사용이 금지된다.

이러한 가축의 유기농 사육은 2가지 주요한 요인 때문에 일반적인 사육에 비하여 매우 어려운데, 이는 양들에게 주로 기생하는 이(Ticks)나 진드기(Lice) 등의 해충으로부터 자유로울 수 없으므로 살충제의 사용이 대부분 요구가 되며, 목축업자에게 요구되는 수용개체 수에 대한 제한(The Natural Carrying Capacity of The Land) 또한 커다란 문제가 된다.

2005년을 기준으로 미국과 캐나다를 포함하는 북미지역에서 19,152파운드(약 8,705kg)의 유기농 양모가 생산되었다. 이 중 18,852파운드(약 8,551kg)는 미국 내 6개주에서 생산된 Grease Wool(짧고, Cleaning, Scouring 등의 공정을 하지 않은 양모)이며 300파운드(135kg)는 캐나다의 온타리오 지역에서 생산이 되었다. 뉴멕시코 주에서 전체의 80%에 해당하는 유기농 양모가 생산되었으며, 몬태나, 메인, 온타리오, 버몬트, 뉴저지 주의 순으로 생산량을 기록하였다.



[그림 3] Trelkske Organic Merino Yarns

유기농 양모는 기존의 양모가 사용되는 대다수의 섬유 및 어패럴 제품에 사용이 되고 있으며, 현재로는 주로 유아용 옷, 담요, 코트, 편직물, 양말, 스웨터, 타올 등의 제품에 주로 사용되고 있다. 유기농 양모의 주요 기능으로는 염색, 코팅, 세척 등의 공정에서 사용되는 화학약품에 의한 양모에 대한 알레르기 반응을 감소시켜 주며 양모 섬유에 의한 간지러움, 혹은 피부의 상처 등을 막아준다. 특히 피부가 약한 유아들에게는 기존의 양모 제품에 비하여 부드러운 감촉을 주고 피부손상을 막아줄 수 있다는 장점이 있다. 대표적인 유기농 양모 제품으로는 Treliske가 있다.[그림 3]

다. Organic Cotton

유기농 면화는 일반적으로 환경에 최소한의 영향을 주는 방법과 재료를 사용하여 경작된 면화를 말한다. 경작지는 앞서 언급한 2가지 원칙을 바탕으로 하고 있다.

2005년을 기준으로 전 세계적으로 유기농 면화는 약 6,368 metric tons (29,248 bales)가 12개국에서 생산되었다. 이는 전체 면화 생산량의 0.03%에 해당하는 양이며 미국과 터키가 주 생산국이다. 이외에도 인도, 페루, 우간다, 탄자니아, 이집트, 세네갈, 이스라엘, 그리스, 베넌, 브라질 등이 유기농 면화의 생산국이다.

2005년의 Cotton Inc.의 조사에 따르면 미국 내에서는 6,814 bales(3,270,720 파운드)의 유기농 면화가 생산되었으며, 이는 2003년에 비하여 4,628 bales 가 증가한 양이다. 텍사스 주에서 가장 많은 양이 생산되었으며, 캘리포니아, 뉴멕시코, 미주리 주 등지에서도 생산이 되고 있다.

이렇게 생산된 유기농 면화는 어패럴 제조사들에 의하여 100% 유기농 면화를 사용한 제품 혹은 일부 유기농 비율을 첨가한 제품의 형태로 시장에 나오고 있다. 유기농 면화를 사용하고 있는 제조사들은 Organic Trade Association의 홈페이지(<http://www.ota.com>)에서 확인할 수 있다. 유기농 양모와 마찬가지로 유기농 면섬유는 피부와 직접 접촉이 많은 제품들

(Sanitary Products, Make-up Removal Pads, Cotton Puffs and Ear Swabs), 가정용품(Towels, Bathrobes, Sheets, Blankets, Bedding), 유아용품 (Toys, Diapers) 등에 사용이 되고 있다. 또한 유기농 목화씨는 가축의 사료, 오일은 쿠키와 칩 등의 식료품에도 사용이 되고 있다.

라. Soy Silk

Soy Silk에 관한 연구는 1940년대부터 시작이 되었다고 한다. Soy Silk는 두부를 생산하고 남은 찌꺼기를 사용하여 만들어진다. Soy Silk는 부드럽고, 광택이 있으며, 스펀 니트나 제직물에 적당한 성질을 가지고 있다. 외형 및 촉감에서 실크와 아주 유사하여 Soy Silk라는 이름을 가지게 되었다.

Tussah Silk와 마찬가지로 천연 염색이 가능하며 셀룰로오스 섬유이므로 Procion Dye 또한 가능하다. 염색물은 섬유로의 흡착이 아주 빠르고 색상 또한 밝고 강하다. Soy Silk는 Soy Silk만으로 혹은 양모섬유와 함께 주로 방적사를 만든다. 75% Soy Silk와 25% 순모로 만든 방적사는 부드러움과 광택을 유지하면서 Memory와 Bounce 역시 뛰어나다. Soy Silk로 제작된 제품은 수분의 흡수, 통기성이 뛰어나며 드레이프, 부드러움, 온열기능도 탁월하다.[그림 4]



[그림 4] Soy Silk

마. Bamboo Fiber

대나무 섬유는 셀룰로오스계 섬유로 면섬유, 린넨 등과 매우 유사하다. 대나무는 경작이 용이하고 특별한 화학제를 필요로 하지 않으며, 해충으로부터 비교적 안전하므로 살충제의 사용이 필요 없고, 제초제도 필요하지 않는다. 성장속도가 나무에 비하여(Tencel은 목재펄프를 이용한 섬유이다) 다른 친환경 소재에 비해서도 생산성이 높다. 광택은 실크와 유사하며 강도가 아주 높고 경제적이다. 또한 염색이 용이한 장점을 가지고 있다.



[그림 5] Fine bamboo Fiber and Coarse Bamboo Fiber

바. Coconut Fiber

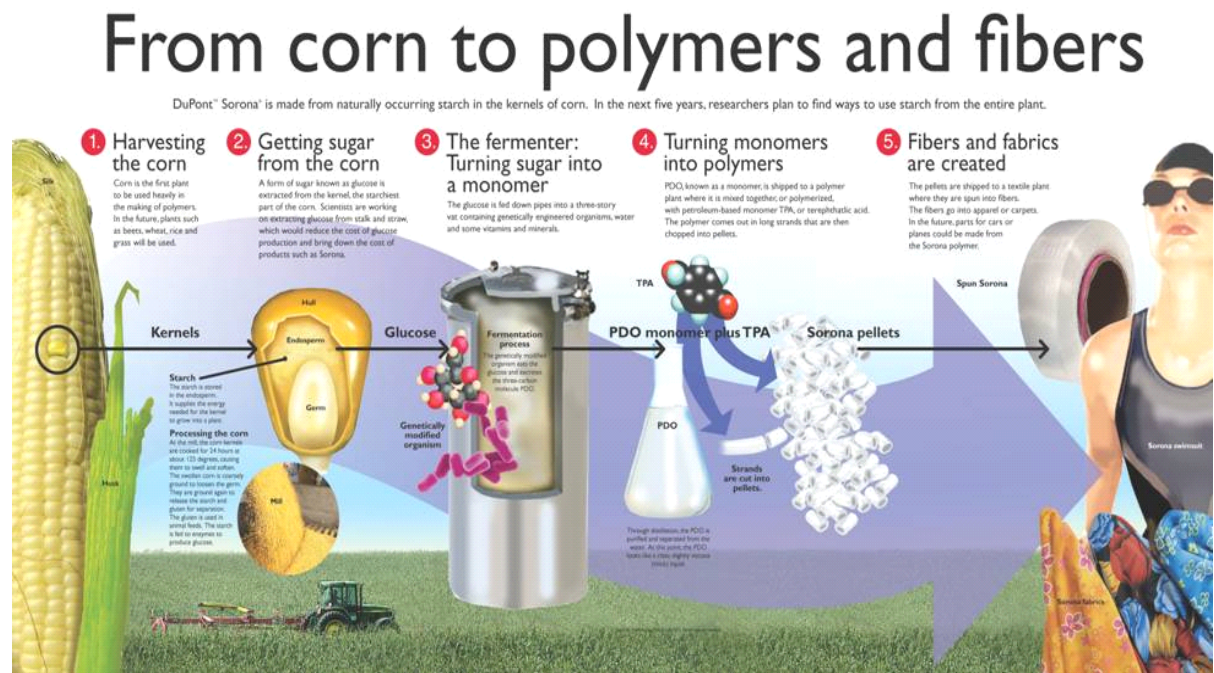
대표적인 제품으로는 Cocona를 들 수 있다. 코코넛 열매의 껍질을 탄화시켜 만든 섬유로 미세 다공질 구조를 갖고 있어 기존의 카본 섬유와 특징은 유사하나 수분의 증발, 항균, 자외선 차단 등에 뛰어난 효과를 가지고 있어 직물은 물론 부직포에서도 사용이 가능하다.

Cocona 섬유로 제조된 원사 및 직물은 무게가 가볍고 착용감이 좋으며, 탄력 및 세탁성이 탁월하다. 이러한 특징을 바탕으로 현재 다양한 스포츠 웨어를 중심으로 한 제품이 생산되고 있다.

사. Corn Fiber

Dupont사는 옥수수에서 채취한 식물성 원료인 옥수수 전분(Corn Starch)을 사용한 바이오폴리머, Sorona를 개발하였다. 옥수수에서 채취된 1,3 preprandial(PDO)을 주원료로 사용하여 일정한 Micro-structure를 가지고 높은 Molecular Weight를 가지는 재료를 만들었다.

기존의 폴리에스터 생산 공정과는 달리 Sorona는 연속공정(Continuous Process)을 사용함으로 공정중의 문제점을 제거하고 생산시 발생하는 Waste를 줄임으로써 생산효율 역시 향상시켰다.



[그림 6] Dupont's Sorona

3. 친환경 섬유시장

가. Organic Hemp

Hemp의 경우 1994년에 미국에서 500파운드를 수입하였는데, 이는 1999년도에 이르러는 1,500만 파운드에 이르게 되었다. 미국 내의 생산에 있어서 Hemp는 상당한 법적인 규제가 있어 대부분을 수입에 의존하고 있는데, 캐나다, 호주, 네덜란드, 독일 등이 주요 수입국이다. 최근에는 헝가리, 중국 등지에서의 수입이 증가하고 있으며, 대부분이 섬유제품의 제조에 사용이 된다. Hemp의 수요는 1999년도에 Calvin Klein, Giorgio Armani, Ralph Lauren 등이 패션에 Hemp 제품을 도입하면서 그 시장이 성장하기 시작하였으며, 현재는 이러한 패션 산업에서의 트렌드와 더불어 기능성이 강조된 제품이 생산되고 있다.

나. Organic Wool

유기농 면화에 비하여 유기농 양모의 경우 그 생산이 수요를 만족시키지 못하고 있다. 2005년을 기준으로 미국 내에서 생산된 유기농 양모는 19,000 파운드 규모로, 514,695 파운드를 생산한 유기농 면섬유에 크게 못 미치는 수준으로 4~5년 내에 250,000 파운드에 달하는 유기농 양모의 수입이 예상된다. 하지만, 미국 내의 유기농 양모제품의 수요는 앞으로도 계속 성장할 것으로 기대되고 있지만, 생산량은 크게 증가하지 않을 것으로 보인다.

다. Organic Cotton

미국뿐만 아니라 전 세계의 친환경 면섬유 시장은 성장세를 나타내고 있는데, 2001년에서 2005년까지 전 세계 유기농 면섬유의 판매는 100% 성장을 기록하였으며, 이는 미화 5억8천만불의 규모에 해당한다.

이러한 성장세는 2008년 미화 20억불에 이를 것으로 예상이 되고 있다. Nike는 유기농 면섬유 시장에서 가장 큰 규모를 가지고 있는데, 2006년 기준으로 전체 섬유제품의 52%에 유기농 재료를 사용하고 있다. 2003년을 기준으로 보았을 때 미국 내의 유기농 섬유의 시장은 전년도 대비 22.7% 성장을 하였으며, 이는 미화 8천5백만불 규모에 육박한다.

유기농 섬유를 사용한 상품은 여성의류(33.6% 증가), 유아 의류 및 기저귀(20.5% 증가), 청소년 의류(20.5% 증가), 남성의류(11% 증가) 순이다. 또한 침대시트 및 타월에서의 유기농 제품의 판매는 17.9% 증가하였으며, 베개 및 매트리스의 판매는 8.3% 증가하였다. 이러한 유기농 섬유시장은 2008년에는 총 15.5% 증가할 것으로 기대된다.

라. Soy Silk

Soy Silk가 시장에 등장하였을 때는 “Vegetable Cashmere”라고 불리며 상당한 관심을 보여 왔지만, 가격 경쟁력에 의해 미국 내에서는 시장 확보에 어려움을 겪고 있다. 현재 미국에서 판매되고 있는 유기농 대마/면섬유 제품의 티셔츠가 9달러 정도의 가격을 형성하고 있는 반면, Soy Silk를 사용한 동일 제품은 14달러 선에서 판매가 되고 있다.

이러한 이유로 글로벌 시장에서도 중국, 한국 등이 많은 생산량을 보이고 있는데, 한국의 Meedoo Textile Co에서는 2004년 이후 연간 10,000톤 이상의 Soy Silk의 판매를 기록하고 있다. Meedoo의 Soy Silk 원사의 경우 400파운드당 3,350달러, 중국의 Harvest SPF는 원사를 kg당 8달러에서 20달러 수준으로 공급을 하고 있는데(2004년 기준), 이러한 값비싼 원사가격은 Soy Silk제품이 미국 내에서는 하나의 틈새시장(Niche Market)으로 여겨지고 있는 이유 중의 하나이다. 하지만, 품질에 있어서는 상당한 경쟁력을 가지고 있는 것으로 여겨지기 때문에 향후 몇 년 내에는 미국 어패럴 및 패션시장에서 하나의 커다란 주류 시장을 형성할 것으로 기대된다.

마. Bamboo Fiber

대나무 섬유를 사용한 섬유 및 어패럴 제품은 미국 시장에서는 최근에 알려진 것으로 현재 대부분이 중국에 의존을 하고 있다. 하지만 대나무 섬유의 특징인 향균성, 방향성, 흡수성, 부드러운 감촉, 드레이프성 등으로 인하여 앞으로 시장이 크게 성장할 것으로 예측된다.

면섬유에 비하여 아직은 원재료의 가격이 비싸지만(Fiber의 경우 파운드당 1~1.50달러, 면의 경우 50센트, 링방적사의 경우 파운드당 1.95~2.25달러, 면의 경우 1.6~1.75달러 수준) 기능성에서 면보다는 뛰어나다.

미국 내에서 대나무 섬유는 방적과 제직 공정에서만 현재 사용이 되고 있으며, 단지 2군데의 어패럴 제조사에서 티셔츠를 생산하고 있다. 이러한 이유로 미국 내의 정확한 시장규모가 파악이 되고 있지는 않지만, 대나무 섬유의 탁월한 기능성으로 인한 소비자의 요구가 증가될 것으로 예상되며, 미국의 판매업자의 경우 대나무 섬유는 수입시 관세에서 이득을 볼 수 있으므로 앞으로의 시장성은 밝은 것으로 예상된다.

4. 결 론

앞서 언급한 대표적인 환경친화 소재 이외에도 재활용 PET병을 이용한 폴리에스터사인 Fortrel EcoSpun, Milk Silk, Wool Fiber 등의 소재가 개발되어 시장에 나와 있다. 미국에서 대부분의 주요 브랜드가 이러한 환경친화 소재를 사용함으로써 그동안 공해산업으로 여겨졌던 섬유산업에 대한 인식 변화 및 환경에 대한 관심을 높이고 있다.

가격 면에서도 기존의 제품과의 차이를 줄이고 있으며(Walmart에서 판매되고 있는 Hanes 100% 순면 여성 Sleep Tee는 2 pack의 경우 \$7.88이며 Organic Cotton을 사용한 제품은 1 pack이 \$6.98임), 기능성 및 환경 문제를 주요 광고수단으로 활용하고 있다.

국내에서도 유아복 등을 중심으로 이러한 유기농 재료를 사용한 제품의 수입 및 생산이 증가하고 있으며, 최근의 웰빙 열풍과 더불어 앞으로의

시장규모는 더욱 커질 것으로 예상된다. 한국내의 유기농, 친환경에 대한 관심은 USDA(미국 농무부)의 최근 보고서에도 나타나 있는데, 한국의 높은 건강에 대한 관심으로 인하여 2004년의 시장조사에서 유기농 상품을 구입하는 50%의 소비자는 가족의 건강을 위하여, 22%는 제품의 안전성 문제, 17%는 제품의 높은 기능성 및 품질, 그리고 5%는 환경에 대한 관심으로 유기농 제품을 구입한다고 대답하였다.

Organic Trade Association(OTA)의 최근의 보고서에서는 한국의 유기농 시장은 빠른 성장세를 가지고 있으며, 대부분의 시장이 농산물에 집중하고 있다고 보고하였다. 한국의 높은 농산물 생산에서의 높은 농약 사용률은 미국의 15배에 이르며 이로 인한 암 사망률이 높다고 보고하고 있다.

최근 불고 있는 웰빙 열풍은 유기농 제품의 수요를 식탁에서 생활 전반으로 가져오고 있으며, 섬유산업에도 많은 영향을 미치고 있다. 이러한 유기농 및 친환경 소재에 대한 다양한 연구와 개발은 섬유산업에서 새로운 틈새시장의 개발이 아니라 환경과 건강이라는 두개의 명제 하에서 새로운 대안으로 발전될 것으로 본다.

친환경 섬유시장은 다양한 기능성과 환경에 대한 관심으로 최근에 많은 성장을 가지고 있지만, 원자재의 특성으로 인한 문제점들, 예를 들면 옥수수 섬유를 사용한 천연소재의 경우 열에 약해 다림질에 약하며, 바나나 섬유를 이용한 제품은 모자에는 적합하지만 의류로 사용시에는 민감한 피부를 가진 사람들에게 간지럼을 유발할 수 있으며, 대나무를 사용한 소재는 마멸이 없으며 잘 늘어나지 않는다는 점 등 앞으로 풀어야할 숙제들로 남아있다.

중국이 대나무 섬유를, 한국이 Soy Silk 시장에서 커다란 성과를 보였듯이 앞으로의 새로운 소재에 대한 개발 및 그에 따른 시장 개척의 기회는 섬유 산업에 활력을 불어넣을 수 있는 새로운 분야일 것으로 전망이 된다.

노스캐롤라이나 주립대학교 섬유대학 박사과정

윤 성 후

형상기억 합금을 이용한 지능형 의류 개발

1. 서론

차세대 형상기억 물질(SMMs)로 형상기억 폴리머(SMP), 젤(SMG), 세라믹(SMC)과 합금(SMA)을 들 수 있다. 형상기억 폴리머와 젤은 섬유형태로 이용되거나 코팅재로 제조되어 다양한 지능형 섬유의류 소재로 부각되고 있다. 형상기억 세라믹은 그 어떤 형상기억 물질보다 높은 온도를 견딜 수 있지만 변형에 대한 회복이 극히 작다. 또한 온도 뿐만 아니라 탄성에너지, 전자기장 등에 의해서도 작동이 가능하나 아직은 연구단계이다.

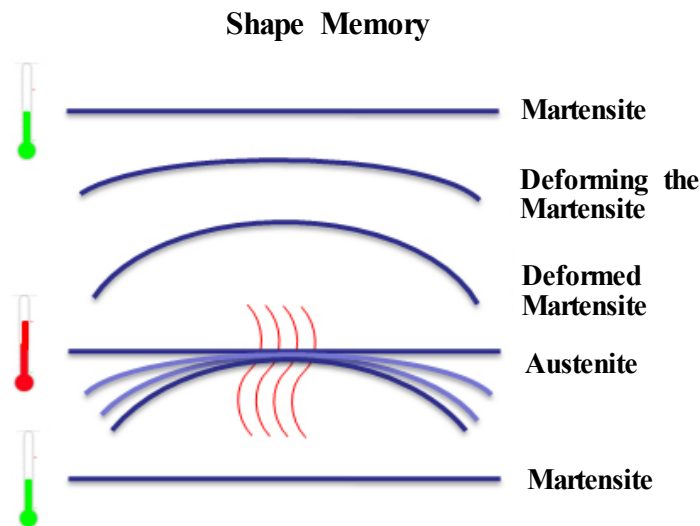
형상기억 합금은 가장 오래된 형상기억 소재로서 의류에서는 여성용 브래지어에 활용된 것이 가장 잘 알려져 있다. 최초의 형상기억 합금은 1932년 스웨덴 물리학자 Arne Olander가 Au-Cd의 유사탄성 특성을 발견한 것에서 비롯되지만, 실제로 혁신적으로 사용되기 시작한 것은 1960년대 미 해군 무기연구소(Naval Ordnance Laboratory)에서 우연히 발견한 Ni-Ti 합금이며 연구소의 이름과 합성해서 Nitinol이라는 상품명으로 널리 알려져 있다. 최근 지능형 의류 개발이 초미의 관심사가 되면서 Nitinol의 형상기억 효과를 이용한 소재 개발이 활발해지고 있다. 여기서는 Nitinol의 섬유 제품에의 적용현황 및 차세대 형상기억 물질로의 가능성을 알아보고 최근 개발한 보온 단열용 소재를 같이 소개하고자 한다.

2. Nitinol의 특성

형상기억 합금은 미리 정해진 형태를 기억하고, 구부리거나 잡아당기거나 어떠한 역학적 변형 후에도 어떠한 온도 조건 하에서는 그것의 모양을

바꿀 수 있는 금속 화합물이며, 1 방향 또는 2 방향 형상기억 효과를 가질 수 있다. 이러한 형상기억 효과(Shape Memory Effect, SME)는 열탄성형 마르텐사이트 변태(Thermoelastic Martensitic Transformation)라고 불리는 현상 때문에 일어나는데, 합금의 특정 전이 온도를 넘어서 가열하거나 냉각할 때, 2개의 다른 결정 미세구조 사이에서 가역적인 변형이 일어난다. Nitinol은 변형 가능한 마르텐사이트에서 특정한 형태를 기억할 수 있도록 트레이닝하여 효과를 얻을 수 있다.

Nitinol의 역학적 성질이나 형상기억 효과는 합금의 조성과 처리온도 및 조건에 따라 달라지기 때문에 기능이나 형태에 있어서 용도에 가장 적합한 특성을 갖는 합금개발이 가능하다.



[그림 1] 형상기억 합금의 내부구조 변화에 의한 효과 발현과정

Nitinol의 다양한 섬유제품 및 의류에 적용 가능한 장점은 형상기억의 안정성, 다양한 굵기의 와이어 제조가능(0.1~2.5mm), 인체친화성, 내피로성, 내부식성, 현저한 반응성 등을 들 수 있으며, 특히 형태적인 요소를 조절하면 반응성이 커서 그 효과가 두드러지게 나타나는 것이라고 하겠다.

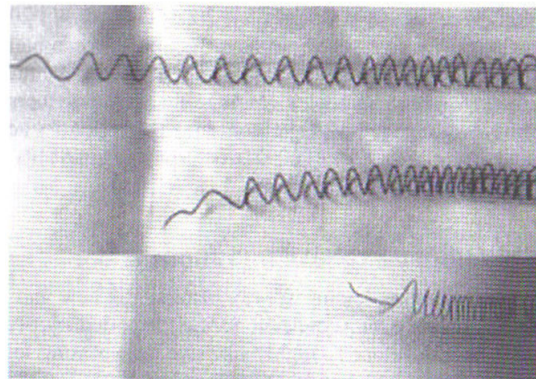
단점으로는 형상기억 효과를 주기위한 열처리 온도가 섬유가 견딜 수 있는 온도보다 훨씬 높기 때문에 방직이나 제직 또는 제편 전에 먼저 프로그래밍이 되어야 한다는 것이다. 또한 유연성이나 드레이프성 등 섬유와 혼용해서 사용하는데 제약이 될 수도 있다.

3. 형상기억 합금을 함유하는 실과 직물의 제조 및 활용 예

Nitinol을 필라멘트 섬유 또는 스테이플 섬유로 감은 실의 제조가 가능하며, 기능적인 측면과 심미적인 측면에서 그 유용도가 매우 높다.

직물 또는 직물 표면의 움직임에 의한 시각적인 웨이브 효과나 기타 질감 변화가 가능하며, 직물 구조내의 개폐구를 조절하여, 투명도, 보온성, 빛의 확산 및 공기 투과도를 조절할 수 있고 아코디온 형으로 제조하면 인테리어 스크린으로 유용하게 사용할 수 있다.

아래의 그림들은 그 적용 예를 보여주는 것으로써 지금까지 형상기억 합금을 섬유제품에 적용하는데 있어 가장 큰 문제점은 이들을 섬유제품에 끼워 넣거나(제직, 제편) 부착하는(봉제) 기술이다. 사용 과정에서도 드레이프성이나 유연성에서도 문제될 수가 있다. 그러나 인테리어 용품에서는 이러한 문제점이 거의 문제가 되지 않기 때문에 적용가능성은 더욱 크다.



[그림 2] 형상기억 합금을 이용한 실과 직물의 예

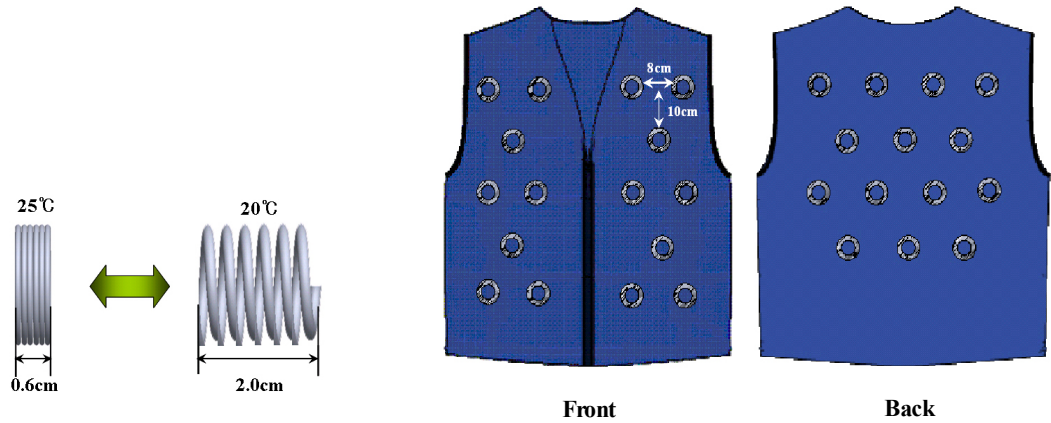
최근 이태리의 Corpo Nove사는 형상기억 합금을 이용하여 신체가 더워지면 소매가 올라가는 셔츠를 만들었으며, 반대의 개념으로 형상기억 합금과 나일론을 혼합하여 헤어드라이어로 열을 가하면, 저절로 주름이 펴져 다림질이 필요 없는 제품을 개발하였다.

4. 지능형 보온 단열용 의류에의 적용

의복을 착용하는 가장 기본적인 이유는 체온을 항온으로 유지하기 위한 것이다. 보온성이나 단열성을 위하여 섬유 자체의 고유기능을 이용하는 소극적 방법에서 축열보온을 갖는 적극적인 소재 그리고 신체 온도변화 감지에 따른 전환기능, 온도를 감지하고 조절하여 작동하는 지능적인 소재가 점점 시장을 확대하고 있다. 그 중에서도 온도조절용 의복으로는 상변이 물질(Phase Change Material, PCM)이나 형상기억 폴리머 등이 활용되고 있으나, 반응이나 조절의 범위 등이 제한적이다.

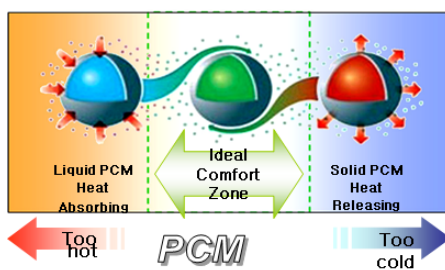
공기는 가장 효과적인 보온 재료이면서 환경과 착용자에게 친화적 소재임을 감안할 때 추운 환경에서 정지 공기층을 형성하는 소재가 가장 이상적이라고 할 수 있겠다. 최근 공기를 이용한 Airvantage™의 경우 Breathable Chamber를 멤브레인 막에 공학적으로 형성시키는 방법으로 단열을 부여한 것이다. 이 시스템은 재킷이나 수트의 착용자가 공기를 주입하거나 배출하여 더위 및 추위에 조절하도록 설계되었으나, 지속적인 물리적 조작이 필요하고 튜브 내에 이물질이 들어가게 되면 효과가 크게 저하되며, 또한 공기주입구들을 통해 세제 등이 유입될 가능성이 있어 세탁이 어려운 단점이 있다.

이방향성 형상기억 효과(Two-way Shape Memory Effect)를 갖는 합금은 환경온도에 따라 공기층을 다르게 형성하는 지능형 보온 단열소재로 활용 가능하다. [그림 3]과 같이 Nitinol을 스프링 형태로 제작하여 의류에 부착하면 Nitinol의 특성에 따라 스프링은 상온에서는 압축되어 있다가, 환경온도가 낮아지면 팽창되어 공기층을 형성함으로써 방한용 의복에 적용이 가능하고, 또 고온에 노출되면 팽창하여 단열작용에 의해서 소방복으로의 적용이 가능하다.



[그림 3] 형상기억 합금을 이용한 스프링의 온도에 따른 이방향
형상기억 효과와 의복에 부착한 형태

이는 국내외에서 최초로 이방향성 형상기억 효과를 지능형 섬유제품에 적용한 기술로서 대부분의 스마트 의류소재가 센서와 작동장치, 전원 등을 필요로 하는 구성으로 되어있어 전원공급의 문제와 세탁 관리의 문제가 있는 반면 본 기술은 센서와 작동장치 및 전원공급이 없이 사용자가 처한 환경의 온도변화를 감지(Sensing)하여 스스로 작동(Actuating)하고 그 결과로 의복내 공기층의 두께 조절을 통해 의복환경을 통제(Controlling)하여 보온 성능을 스스로 조절할 수 있으며 필요에 따라 탈부착이 가능하도록 하여 세탁이나 관리가 용이한 반영구적 지능형 섬유제품의 제작이 가능하다.



정지공기층

- 가장 효과적인 보온재료
- 환경과 착용자에게 친화적 소재



[그림 4] PCM과 같은 온도조절 특성과 정지공기층에서 착안된
이방향 형상기억 효과의 활용

또한 기존의 PCM이나 전원을 사용하는 기존의 지능형 섬유소재에 비해 지속효과가 오래가고 균일하며 환경친화적이므로, 환경과 건강을 동시에 고려하는 LOHAS 개념에 부합하는 제품이다



[그림 5] 형상기억 합금으로 만든 스프링의 온도에 따른 길이 변화 (스프링의 회전수에 따라 공기층의 두께가 달라지며, 저온 또는 고온용으로 제작이 가능함)

Nitinol의 가변 보온형 지능형 의류로써의 적합성은 반응 속도가 빠르고 보온단열 효과가 매우 크다는 점과 반영구적이며 탈부착이 가능하다는 특징이다.



[그림 6] Nitinol 스프링을 부착한 지능형 소방복의 착용성능 테스트 (기존의 소방복에 비해 고온에 노출시 단열성은 크면서 가볍고, 쾌적하여 열적 스트레스를 최소화할 수 있음)

이러한 이방향성 형상기억 합금은 가변 보온성이나 열 차단성을 필요로 하는 모든 의류 및 섬유 제품에 적용가능하다.

- 스포츠레저 웨어 : 스키복, 등산복 등
- 휴대용 보온성 제품 : 침낭, 담요 등
- 특수 기능복 : 군복, 소방복 등
- 인테리어 용품 : 커튼

6. 결론 및 향후 전망

최근 스포츠레저 의류를 포함하는 기능성 의류가 섬유산업을 한 단계 도약시키는 주요 계기를 만들고 있다해도 과언이 아니며, 특히 지능을 갖는 고기능성 의류는 다양한 학제적 접근에 준거해서 섬유 의류산업의 미래를 낙관하게 하고 있다. 형상기억 합금의 지능형 의류로의 개발은 온도나 전류에 반응하는 속도를 조절하는 것과, 유연성 증가에 달려있다고 해도 과언이 아니다. 당면한 과제로는 형상기억 와이어의 제작 기술이나 직물에 적합한 트레이닝 과정의 최적화일 것이다.

형상기억 합금을 이용하는 방한복이나 방열복은 다른 형상기억 물질에 비해 효과가 현저하며, 전원 공급이 필요 없이 온도조절이 자유롭고 그 효과가 반영구적이어서 매우 효율적인 지능형 의류가 될 것으로 기대된다. 이에 관련업계 및 학계의 지속적인 연구개발이 이루어진다면 세계 시장을 선점하는 좋은 기회가 될 것으로 보인다.

연세대학교 의류환경학과
김 은 애 교수