

가염 폴리프로필렌 섬유(XN^{light})

권혁상, 최태수, 남승민 · (주)휴비스 연구소

1. 서 언

폴리프로필렌(PP) 섬유는 염색이 되지 않기 때문에 방사 시 안료를 첨가하여 제조하는데 이를 원착(또는 선염) PP 섬유라고 한다. 이에 반하여 염료에 의하여 염색이 가능하고 소비자가 원하는 견뢰도를 충족하는 PP 섬유를 가염 PP 섬유라고 할 수 있다.

폴리프로필렌은 고결정성 범용수지로서 섬유원료로는 매우 싼 수지이므로 일부에서는 “꿈의 섬유”라고 불리었으며, 초기에는 많은 기업들이 기술도입 계약을 맺고 생산을 시작하였으나, 내열성, 염색성, 태 등의 면에서 의류용 소재로는 적합하지 않다고 판단되어 많은 기업들이 생산을 중단하게 되었다. 그 사이 많은 기업들이 폴리프로필렌 섬유의 단점인 염색성을 해소하고자 노력을 하였으나, 상업화까지는 제대로 이루어지지 못했다.

실질적으로나 학계에서 가염성이 있는 폴리프로필렌을 전혀 개발하지 못한 것은 아니었으나, 상업화에 실패한 이유는 시대적인 배경도 적지 않게 작용하였다. 우선, 개발 초기인 1950년대부터 1970년대까지는 폴리프로필렌 섬유의 개발 목적이 가장 값싼 섬유를 개발하는데 있었으므로, 개질에 의해 가격이 높아지는 것은 큰 장애 요인이었다. 즉, 개질에 의해 수지의 가격이 매우 높아지거나, 매우 비싼 염료를 사용하여야만 한다면 초기목적을 달성할 수 없어 포기할 수 밖에 없었다.

1980년대에서 1990년대 후반까지는 폴리에스터 섬유가 이미 의류용 시장을 장악한 상태였기 때문에 굳이 폴리프로필렌 섬유가 이 시장을 대체해야 할 이유는 없었다. 폴리에스터 섬유의 프로세스가 비약적으로 발전하여 더 이상 폴리프로필렌 섬유가 가격적인 장점을 가질 수 없었으며, 폴리프로필렌 섬유의 경우 원착이라는 프로세스가 개발되어 나름대로의 시장을 넓혀가고 있었으므로 여기에 집중할 수 밖에 없었다. 특히, 카펫 분야에서는 폴리에스터가 진입하기 어려운 특성들을 가지고 있었으므로 원착 폴리프로필렌 섬유가 안정적인 수요를 확보하였으며, 그 외에도 산업용 섬유로서 그 수요를 충족시키고 있었다. 이 시기에는 카펫용 섬유로서 두 번 정도 가염형 폴리프로필렌 섬유가 상업화 되었는데, 두 번 모

두 그렇게 오래 가지는 못했다. 이 시기에도 학계에서는 폴리프로필렌 섬유의 가염화가 꾸준히 시도 되었으나, 그 노력을 산업계에서 받아들이는 분위기는 아니었다.

1990년대 후반 이후 2000년대가 되면서 스포츠 액티브 의류가 일반의류의 트렌드로 들어오면서 기능성 섬유가 요구되고 이 분위기에 맞춰 다시 한번 폴리프로필렌 섬유의 의류화가 요구되는 시점이 되자, 우선은 원착형 폴리프로필렌 섬유로 이 요구를 부응하려는 업체와 가염형 폴리프로필렌 섬유의 개발에 재도전하는 업체들이 생기기 시작하였다. 2000년 말 기준으로 PP 섬유가 차지하는 비중은 전세계 합성섬유 생산량 약 4,100만 톤/년 중 약 450만 톤/년 (카펫 제외)으로, PET(약 2,500만 톤/년) 다음으로 많은 생산량이다. PP 섬유의 apparel과 텍스타일분야에서의 시장규모는 18만 톤 정도이며, 가염 PP가 개발되면 색상제한의 해결로 매우 빠른 속도로 시장규모를 넓혀갈 수 있을 것으로 예상된다.

가염 PP 섬유가 상업적으로 개발될 경우 3~4년 내에 최소 연간 20만 톤의 새로운 시장이 창출될 것으로 예측되며, 10년 이내에 현재 PET 섬유 시장의 5% 이상을 대체할 수 있을 것으로 예상되는데, 이 경우 연간 100만 톤 이상의 시장이 형성되리라 판단된다.

2. 가염 폴리프로필렌 섬유의 개발동향

지금까지의 가염 폴리프로필렌을 제조업체에서 개발하고 있다는 내용은 없었지만 상업화는 2차례 정도 진행되었다가 실패한 걸로 판단된다. 아직까지는 미국이나 중국의 대학기관에서 연구되는 연구결과만 보고되는 수준이고 대학에서 연구되는 결과는 제조업체와 공동연구를 하지 않는 경우 공정성 및 생산성을 고려하지 못한 경우들이 대부분이므로 실질적인 상업화 연구와 거리가 먼 경우가 많아 종종 연구 보고로만 끝나는 경우가 많았다.

가염형 폴리프로필렌 섬유의 1980년대 초반까지의 기술적인 상황에 대해서는 잘 정리된 문헌이 있다[1]. 이 내용을 간략하게 정리해 보면 3가지 형태의 기술에서 폴리프로필렌 섬유의 염색성 개선을 시도하고 있음을 알 수 있다.

- ① 염료, 염색기술 개발: 팽윤제, 캐리어

- ② 수지 개발 (PP 개질): 공중합, graft 중합
- ③ 첨가제 개발: 금속 또는 고분자 컴파운드 첨가

염료, 염색기술로 가염 폴리프로필렌을 개발하기 위하여 Burlington, Allied, ICI, Hercules, Ciba, Geigy 등과 같은 세계 유수의 섬유 및 염색관련 업체에서 1950년대 말부터 60년대 초까지 수많은 특허와 함께 미개질 PP를 각종 일반 염색법을 통해 염색하려는 시도가 이루어졌으나 일부 특수염료를 제외하고는 염색이 되지 않았다. 염색이 가능한 염료는 분자에 long-chain hydrocarbon group이 붙어있는 것으로 일부 제한된 색상만 표현이 가능하였으며 견뢰도도 좋지 못하였다.

염료 기술자들이 새로운 염료를 개발하고 고분자 기술자들이 고분자 특성을 개질하고 있을 때, 염색 기술자들은 기존 염료를 사용하여 미개질 PP에 염색할 수 있는 새로운 방법을 찾고 있었다. Burlington, Allied, ICI, Hercules, Ciba, Geigy 등에서는 염료가 섬유 내부로 침투할 수 있도록 많은 염색조제들에 대한 기술 개발을 시도하였다. 그 중에서 Geigy사의 팽윤제(swelling agent)와 캐리어가 주목 받았으며, 또한 고온염색법도 다른 가능성을 보이는 접근법으로 보였으며, 기타 많은 유무기산이 염욕에 첨가되어 기술개발이 시도되었다. 그러나 이들은 대부분은 값이 비싸 가격인싼 PP 섬유에 사용되기에는 적합하지 못했고, 견뢰도도 여전히 나쁜 상태였으므로 상용화되지는 못하였다.

ACNA, DuPont, Hercules, Hoechst 등에서는 섬유 표면을 염료를 받아들이기 쉽게 만드는 것을 많이 연구하였다. 염색 전에 섬유 표면을 전처리 하는 예를 들면, 이는 두 가지 형태로 분류할 수 있는데, 하나는 반응형으로 섬유표면 분자들을 화학적으로 개질하는 것이고, 다른 하나는 주입형으로 표면에 주입된 물질이 잔류하여 dye-receptive site로 작용하도록 하는 것으로 나눌 수 있다. 이 방법들은 후에 폴리올레핀 필름의 프린트나 코팅, 다른 물질에의 접착력 향상 등에 활용되었으나 섬유로서는 상용화되지 못하였다.

이러한 미개질 PP 섬유에 대한 염색이 성공적이지 못하자 수지 개질방법이 Montecatini, Rhone Poulance, Dow, Coutaulds 등의 회사에서 시도되었다. dye-receptive group을 PP 사슬 중간에 도입하는 방법이나, 반응기 성분을 사슬에 붙이는 방법들이 시도되었다. 첫번째 방법이 공중합이고 두번째 방법이 그라프트 중합법이다.

PP의 공중합은 어려운데 이는 ziegler-natta 촉매가 극성 물질에서는 활성이 없기 때문이다. 특허와 문헌 등에서 vinylpyridine, styrene, acrylic acid, acrylates, sulphonic acid 유도체, carbon monoxide, naphthols 등이 프로필렌과 공중합한다고 되어 있는데, 이들은 모두 다음 두 가지 이유 때문에 상

용화가 어렵다[2]. 첫째는 공중합이 가능하더라도 극성 물질과 프로필렌과의 공중합 효율이 떨어진다는 것이고, 두번째는 공중합이 PP의 결정성을 크게 저해하여 용점을 떨어뜨리기 때문에 섬유로서 사용가능성을 떨어뜨리기 때문이다.

이런 공중합의 어려움에도 불구하고, 미국의 Lyondell은 90년대에 올레핀계 공중합체를 사용해서 분산염료에 염색이 가능한 가염 PP를 발표하였고, 그 후 수년간의 보완을 거쳐 1997년에는 상업화를 발표하였다. 그러나 공중합의 한계성에 부딪혀 낮은 착색도와 낮은 견뢰도의 염색성만을 보여줘 시장에서 외면을 받아 2000년대 초에 이 사업을 포기하게 되었다[3].

그라프트법은 기술적인 어려움에도 불구하고 공중합보다 장점이 많았으므로 많은 실험실에서 연구가 진행되었으며, Polymer Institute of Hungary는 styrene이나 다른 단량체의 그라프트 중합을 많이 연구하였고 이렇게 얻어진 PP 섬유는 분산염료에 염색이 가능하다고 보고되었다. Canada Research Council의 경우 radiation initiated grafting 법으로 메타크릴산의 경우 35% 이상을 쉽게 그라프트시킬 수 있어 일부의 경우 파일롯트 공장에서 시생산하기도 하였다. Montecatini의 경우 염색 가능 PP 섬유에 대한 보고까지 했으나, 이 역시 기술적인 면보다는 경제적인 면 때문에 실패하였다고 본다.

이러한 이유들 때문에 가염 PP가 실패하자 압출 전에 염색이 가능한 첨가제를 섞어주는 것이 PP 섬유 염색의 실질적인 접근 방법이라고 일찍부터 인식되어 왔다. 균일하게 분산시킨 첨가제 부분을 염색하여 전체적으로는 염색이 된 것처럼 보이게 하는 방법인데 염료를 고착시키는 첨가제를 고분자 용융체에 넣는 방법이 공중합이나 그라프트 중합, 표면처리 기술보다는 훨씬 쉽고 경제적이며, 섬유의 물성도 공중합이나 그라프트 중합법과 비교하여 훨씬 영향이 적은 것으로 알려졌다.

첨가제를 압출 전에 투입하는 방법에 대해서 1950년대 말부터 70년대에 걸쳐 많은 특허들이 작성되었으며, metallic compound를 첨가하는 방법, polymeric additives를 첨가하는 방법, low molecular organic or inorganic compounds를 첨가하는 방법 등이 시도되었다.

metal-complex dyeing의 문제점은 카펫이나 인테리어 직물 등과 같이 두꺼운 직물에서는 문제가 덜 표출되었기 때문에 특히 이들의 프린팅 분야에서는 새로운 용도로 주목받아 수년간 사용이 시도되었다. 그러나 개질에 따른 비용 증대와 특수 염색에 사용되는 염료 및 염색 비용의 증대는 PP 카펫의 가격을 나일론 카펫과 유사하게 만들어 가격 경쟁력을 부여할 수 없었을 뿐만 아니라, 금속염을 사용하는 염색법에 의한 환경문제까지 거론되면서 결국 수년 후에 이 제품군은 시

장에서 자취를 감추게 되었다.

70년대 이후로는 주로 카펫 용도를 대상으로 분산염료 가염 PP 기술에 대한 연구가 상당히 진행되었는데, 대부분 방사 전에 적절한 고분자 컴파운드를 섞는 방법이었다[4,5]. cellulose ester부터 완전 신규 합성체까지 다양한 고분자 컴파운드가 조사되었으며, 어떠한 극성 고분자를 섞더라도 성능의 차이는 있지만 분산염료에 대한 염색성 향상에는 효과를 보이는 것으로 알려졌다.

그러나 이 방법에도 많은 제한이 있는데, 첫째 대부분의 극성 고분자 컴파운드는 PP와 상용성이 없어 방사 및 연신공정이 실질적이지 못하였으며, 극성이 클수록 상용성은 더 나빠지므로, 강한 극성기를 갖는 단순한 폴리아마이드나 폴리에스터가 폴리스틸렌이나 에틸렌 공중합체보다 상용성이 더 나빠 상용화하기 어려웠다. 둘째 많은 극성 컴파운드가 높은 용점을 가지고 있기 때문에 고온에서 프로세싱을 해야 했는데 이로 인해 PP가 분해되었으며, 또 다른 많은 극성 컴파운드는 PP 방사가 가능한 온도에서 열적으로 안정하지 못하여 몇 가지 고분자 첨가제의 경우 올리고머로 분해가 되는데, 이들은 후에 염색물이나 프린트물의 마찰견뢰도 측정 시에 빠져 나왔다.

미국에서는 2개사가 60년대 중반에 카펫용으로 분산염료 가염 PP 섬유를 내 놓았는데 하나는 U.S. Rubber Company에서 내놓은 polycrest SDR dyeable BCF yarn으로 premetallized acid dye에 염색되도록 설계되어 있었으나 일반 분산염료에 염색이 잘 되었고, 또 하나는 Hercules Inc.이 선보인 Herculon-2로 분산염료 가염 SF였다. 이 두 시스템은 vinyl pyridine이나 이와 styrene의 공중합체를 사용한 것으로 보고 되었고 일본에서는 Toyobo Co.가 60년대말 준 생산 규모로 분산염료 가염 PP SF 섬유를 개발하였는데, 이 섬유는 alkyl acrylate와 ethylene의 comonomer를 사용한 것으로 보고되었다.

최근 들어서는 나노 컴포지트에 관한 연구가 활발히 진행됨에 따라 나노 클레이를 첨가하여 염색성을 향상시켰다는 보고가 미국에서 보고 되고 있다[6-9]. 그러나 아직 견뢰도 등이 해결되지 못하였고 균일한 물성을 갖는 나노 클레이 등이 아직은 고가이며, 상용화되지 못하는 수준이어서 학계에서 연구되는 수준으로 볼 수 있다.

그러나 최근의 PP 섬유의 용도확대 가능성에 따라 제조업에서도 실질적으로 가염 PP 섬유에 대해 관심을 가지기 시작하는 것은 당연한 일일 것이다. 2005년 후반기에 일본의 미쯔비시레이온의 PP 사업부에서는 가염 PP 섬유의 개발에 착수하였으며, 우선은 적용이 용이한 태 데니어 급인 total 2,000 De 급, 단섬유 섬도로 보면 20~30 De 급의 BCF 섬유를 대상으로 개발하고 있다. 이 업체의 경우 100 De 미만의 의류

용 원착 섬유도 소량 공급을 하고 있는 업체이므로 BCF에서 잘 성공이 될 경우 세 데니어 기술 수준을 높일 것은 당연한 일일 것이다. 다만, 아직도 BCF 급에서도 약간의 문제점들이 발생하고 있어 이를 해결하는데 주력하고 있는 것으로 알려져 있다.

유럽의 한 고분자 첨가제 maker의 경우 이미 5년 전부터 PP 섬유를 가염화하는 첨가제에 대한 연구를 내부적으로 시작하고 있었으며, 그 결과 가능성이 큰 물질을 선정하여 양산화 가능성에 대한 테스트를 최근 염료업체 및 섬유 제조업체와 공동으로 하기위해 정보조사를 하고 있는 것이 확인되었다.

이상의 상황으로 보면, 한국의 가염 PP 섬유소재 개발에 대한 트렌드의 이해와 연구의 선진성은 확실하지만, 일본이나 유럽에 비해 불과 1~2년 정도 빠른 수준에 지나지 않는 것으로 다소 빠른 연구 개발의 전개를 통해 기술의 확립 및 제품 개발을 통한 시장의 선정이 무엇보다도 필요하다고 판단된다.

3. 폴리프로필렌 섬유의 특성

3.1. 경량성

폴리프로필렌 섬유의 비중은 0.91 g/cm^3 으로 물에 뜨는 섬유이다. 경량성은 면이나 양모등의 천연섬유가 섬유소재의 주종이던 시절에는 중요한 특성이 아니었으나, 산업용 섬유가 발달되고, 의류에서도 캐주얼/스포츠 트렌드가 정착하면서 중요한 성질로 대두되었다. 특히, 담요와 같이 다량의 섬유를 사용하는 분야에서는 매우 중요한 기능으로 인식되고 있다.

Table 1. 각종 섬유의 비중(g/cm^3)

PP	PE	Nylon	Acryl	PVA	PET	Rayon	Cotton
0.91	0.95	1.14	1.17	1.28	1.38	1.52	1.54

3.2. 발수성 및 속건성

섬유자체의 흡수성 및 흡습성이 거의 없으며, 젖더라도 팽윤하지 않는다. 이를 섬유 직편물에 적용하면 발수성과 속건성을 갖는다고 할 수 있다.

사람들이 좋아하는 면 섬유의 경우 자체의 수분흡수 능력이 뛰어나므로 피부표면의 수분을 쉽게 빨아 들인다. 그러나 20%이상 흡수하면서 섬유자체는 팽윤하여 더 이상 흡수할 능력을 잃게 되고, 직편물은 무거워져 젖은 이후에는 직편물과 피부사이의 상대습도가 높아져 몹시 찌는 느낌을 갖게 되어 불쾌해 진다. 그리고 건조되는 시간이 매우 길어 날씨가 좋아야 세탁을 할 수 있다.

반면, 폴리프로필렌 섬유의 경우 발한 초기에는 섬유자체가 흡수하지 않으므로 면 섬유대비 흡수성이 떨어지는 듯하지만, 통기성이 우수하여 배기를 쉽게 하고, 섬유가 팽윤하지

않아 많은 땀을 흘리는 경우에도 장시간 사용할 수 있는 장점이 있다. 또한, 탈수 후 수분이 대부분 건조되기 때문에 장마기간에도 사용이 가능하대[10].

3.3. 위생성 및 방오성

Table 2. 각종 섬유에 상대습도에 따른 흡습성 (습도 56%, 실온)

PP	Nylon	PET	Acryl	Rayon	Cotton	Wool
0	3.5~5.0	0.4~0.5	1.2~2.0	10.5~14.0	7	15

섬유 고분자 구조자체에 극성기나 반응기가 없으므로 수계 오염에는 매우 강한 특성을 가지고 있어 오염이 잘 발생하지 않는다. 또한 흡습성 및 흡수성이 없으므로 박테리아의 영향을 매우 적게 받는다. 박테리아는 온도, 수분, 영양분이 있어야 잘 자라는데, 섬유 표면 또는 내부에 존재하는 수분을 쉽게 건조시키므로 박테리아의 번식을 억제할 수 있다. 그리고 방오성이 있다는 것도 위생적인 면에서는 매우 도움을 준다. 그리고 폴리올레핀계 섬유는 피부에 발진이 적으므로 기저귀 용으로도 많이 사용되고 있다.

3.4. 배수성

수분을 흡수하지 않는다는 것은 또 다른 용도로 활용이 가능하다. 수분흡수가 가능한 다른 섬유와 교직을 할 경우 모든 수분을 면이나 폴리에스터 등의 다른 섬유쪽으로 전이시켜 준다. 즉, 폴리프로필렌섬유 자신은 젖지 않고 배수로 역할만 하게 된다. 폴리프로필렌의 낮은 흡습성을 역으로 잘 활용한 예로 현재 스포츠웨어 분야에서 활발하게 적용하는 구조이다. 폴리프로필렌 섬유를 피부측으로, 타소재물 외측으로 구성할 경우 땀 등의 수분이 발생하였을 경우 신속히 이를 외부로 배출시켜 항상 피부표면을 건조하게 만들어져 상쾌감을 유지시킨다[11].

3.5. 보온성

폴리프로필렌 섬유의 활용도를 가장 먼저 생각하게 한 기능이다. 폴리프로필렌 섬유의 열전도도는 모든 섬유중에서 가장 낮다고 할 수 있으며, 따라서 보온성이 있다. 천연섬유 중에서는 양모섬유가 면섬유보다 열전도도가 훨씬 낮아 따뜻하다고 느껴지는데, 폴리프로필렌 섬유는 이 양모섬유보다도 열전도도가 낮다. 즉, 적절히 벌키성만 부여할 수 있다면 보온성 소재로서 활용이 가능하다. 특히 양모의 경우 표면의 스케일 때문에 내의로서 활용하기가 무척 어려운 반면, 폴리프로필렌 섬유의 경우 부드러운 소재 특성과 양모보다 세척할 수 있는 가공특성 때문에 보온 내의로 적용이 가능하다. 추운지방에 근무하는 미군이나 일부 유럽군대의 경우 100%

폴리프로필렌 섬유를 사용하거나 일부 혼방을 해서 내의로 사용하고 있다[12].

Table 3에서 보면 폴리프로필렌의 경우 면의 3배, 양모의 1.2의 보온력을 갖는다고 할 수 있다. 그러나 물의 열전도도가 상당히 높으므로 각종 섬유가 젖어있을 경우에서 젖지 않는 폴리프로필렌 섬유와 비교하면 Table 3의 수치 이상으로 보온성을 느낄 수도 있을 것이다. 담요 등에 이 특성을 적용한다면 가벼우면서도 보온성이 있어 이동을 해야 하는 군인이나 배낭 여행객의 경우 더 없이 좋을 것이다. 특히 비에 젖어도 무거워지지 않는 특성까지 고려하면 군용 담요로는 최적으로 생각된다.

Table 3. 각종 섬유의 열전도도(정지된 공기의 열전도도를 1로 보았을 때의 상대치)

PP	PVA	PET	Wool	Acryl	Rayon	PE	Cotton
6.0	6.4	7.0	7.3	8.0	11.0	13.0	17.5

3.6. 내약품성

섬유 중에서는 비교적 내약품성이 우수하며, 폴리프로필렌 자체는 화학약품 용기로 많이 활용된다. 상온에서는 산, 알칼리 모두에 강하므로 산업용 특수작업복 등에 활용할 수 있을 것이다.

3.7. 내열성

폴리프로필렌 섬유의 유일한 단점일 수 있는 특성이 내열성이다. 같은 올레핀계 섬유인 폴리에틸렌에 비하면 연화점이나 용점이 높아 실용적인 면에서는 문제가 없는 수준이나, 나일론이나 폴리에스터에 비하면 낮아, 가공이나 다림질에 문제가 있다. 다림질의 경우 저온에서 덧대고 다림질을 하면 어느 정도 사용이 가능한 수준이며, 편물 등의 경우에는 다림질을 하지 않으므로 실제로 사용하기에는 문제가 없다.

3.8. 대전성

폴리프로필렌 자체가 정전기가 없는 섬유는 아니다. 오히려 고유 비저항치가 높아 폴리에스터보다 정전기를 많이 발생시킬 수도 있다. 그러나 실생활에 사용하다 보면, 폴리프로필렌 섬유는 정전기를 적게 발생한다고 느끼는 경우가 많거나 또는 그렇게 보고되는 경우가 많이 있다. 이는 폴리프로필렌 섬유의 정전기 특성이 다른 섬유와 다르기 때문인데, 소위 대전서열에서 매우 음극에 치우쳐 있기 때문이다. 따라서 사용환경에 따라서 필요한 조치를 취해주면 정전기의 발생을 극히 억제시킬 수 있다. 폴리올레핀계 섬유들을 제외한 다른 섬유들은 대전서열에서 모두 양극에 치우쳐 있기 때문에 이들과 다른 개념으로 접근하면 정전기의 발생을 최소화시킬

수 있다. 대표적인 예를 들면, 교직을 할 경우 정전기의 중화 작용을 활용할 수 있어 정전기의 발생은 극히 억제된다[13,14].

3.9. 안전성 및 리사이클성

최근의 지구환경 보호의 입장에서 폴리프로필렌 섬유가 재조명 되고 있다. 제조법에 있어서 에너지의 소비량이 가장 적으며, 리사이클 하더라도 용점이 낮고, 쉽게 재가공이 된다. 또한 용융 리사이클 시에도 열분해 유화가 가능하다. 화학적인 분자구조가 산소와 수소만으로 이루어져 있기 때문에 소각 시 유해가스가 극히 적은 특징도 있다. 자체적으로 난연성이나 방염성은 없지만 연소 시 유독가스 발생이 없어 산업적으로 안전하며, 리사이클성이 가장 뛰어나다는 점에서 자동차산업 등에서도 폴리프로필렌 섬유의 활용을 기획하고 있다[15].

3.10. 기계적 물성

폴리프로필렌 섬유의 강도는 강한 섬유에 속하며, 습윤 시나 건조 시에도 강도의 변함이 없으며, 오랜시간 물에 침지시켜도 강력의 저하는 관찰되지 않는다. 각종 용도로 사용함에 있어 부족함이 없는 수준이다.

내마모도와 항필링성의 경우 가공조건에 따라서 다르기는 하지만 일반적으로는 우수한 것으로 알려져 있다. 폴리프로필렌 섬유의 장점인 동시에 단점인 것이 매우 넓은 범위에서 물성의 가공이 가능하다는 것이다. Table 4에서도 폴리프로필렌 일반사의 경우 20~100%의 신도범위를 갖는데 일부 섬유의 경우 200%정도의 신도를 갖는 경우도 있다. 그러나 이 모든 신도범위에서 내마모도와 항필링성, 강도 등이 우수하게 유지되는 것이 아니라 용도에 따라 특정 범위에서 각각의 장점이 나타난다. 따라서 적절한 가공조건만 찾는다면 강도나 신도, 마모성 특히, 의류의 경우 항필링성을 개선할 수 있는 물성범위를 찾을 수 있다. 대신 어떻게 보면 용도나 특성에 따라 물성설계를 일일이 다시 해야 하므로 매우 까다로운 섬유라고 볼 수도 있다.

4. 가염 PP 개발현황 (XN^{light})

당사는 의류용으로 가염 PP 소재를 독자적으로 기술개발

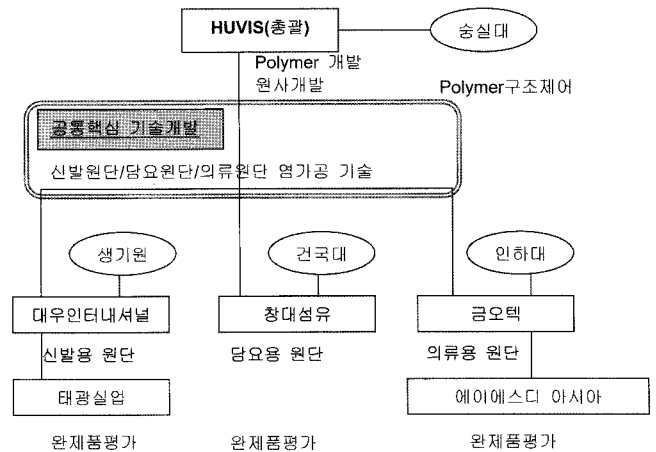


Figure 1. 고견뢰성 가염 PP 개발 과제 편성표(부품소재개발사업 지원).

을 추진하던 중 산업자원부에서 시행하고 있는 부품소재개발기술개발 사업자로 2005년 선정되어 “고견뢰성 가염 PP 개발”이라는 과제명으로 3년간 사업비 총 80억 규모로 기술개발사업을 진행하고 있다. 가염 PP 기술개발영역은 가염 PP 원사에서 이를 활용한 의류용 원단개발, 그리고 담요형 원단, 신발용 원단개발 등 크게 4가지 카테고리에서 개발을 진행 중이고 과제수행업체 및 역할은 Figure 1에서 나타낸 바와 같다.

(주)휴비스는 부품소재개발사업자 선정 이전부터 염색이 가능한 폴리프로필렌의 개발을 착수하였고 수많은 시행착오를 거쳐, 2006년부터 상업화 생산이 가능한 기반을 마련하였다. 상업화 생산과 더불어 이를 판매하기 위하여 “XN^{light}”라는 brand로 시장에 런칭하여 본격적인 상품화 활동을 전개하고 있다. 상품화를 위하여 올해 3월 26일에 개최된 “프리뷰 인 상하이 2007”이라는 전시회에 참가하여 많은 업체들과 바이어들의 관심과 호평을 받기도 하였다.

현재 제품판매확대를 위한 용도개발에 주력하고 있으며 아직까지도 폴리에스터 섬유에 비하여 까다로운 가공조건과 높은 가격으로 인하여 시장전개에 어려움이 있지만 설비확대가 이루어지는 내년부터는 본격적인 제품판매가 이루어 질 것으로 예상된다.

가염 PP 원사가 시장에 적용 될 경우 Figure 1에서의 부품소재개발사업 편성표에서 나타낸 바와 같이 골프 티셔츠, 등

Table 4. 각종 섬유의 표준적 형태의 강신도

구분	PP		PET		Nylon		Viscose Rayon	
	일반사	고강력	일반사	고강력	일반사	고강력		
인장강도	건 (g/de)	3.5-6.0	6.0-8.5	4.3-6.0	6.4-9.5	4.8-6.4	6.4-9.5	1.7-2.3
	습 (g/de)	"	"	"	"	4.0-5.9	5.9-8.0	0.8-1.2
진습강도비 (%)	100	100	100	100	84-92	84-92	45-55	
신도	건 (%)	20-100	15-30	20-35	7-18	28-42	16-25	18-24
	습 (%)	"	"	"	"	30-52	20-30	24-35

산 티셔츠 등 스포츠 의류용 기능성원단에서 보온성을 활용한 스웨터류 및 폴라플리스까지 적용이 가능하다. 또한 경량성 및 방오성, 속건성의 기능을 활용할 경우 담요용 원단에서 획기적인 기능 전개가 가능하므로 담요수출시장에서 선점이 기대된다. 특히 미주 및 북유럽의 담요시장에서 기능성 경량담요의 요구가 강하므로 시장에서의 선점효과는 지속적이고 독점적인 시장지배를 가질 수 있을 것으로 판단된다. 이와 같은 경량, 방오성은 신발용 원단으로 전개할 가치도 매우 높다. 스포츠 트렌드에 따라 신발용에도 경량성의 요구는 오래되었으나 PP 섬유가 정착하지 못한 이유는 스포츠 트렌드가 패션성을 동시에 추구함에 따라 다양한 색상의 신발용 요구하였기 때문이다. 가염 PP 섬유가 신발용 원단의 적용에 성공하게 되면 침체되어 있는 한국신발산업에 활력을 불어 넣어 줄 수 있을 것으로 기대된다.

가염 PP 섬유를 응용한 용도분야에서의 파급효과도 크겠지만, 원사자체에 대한 파급효과도 클 것으로 기대된다. 즉, 다양한 합섬섬유기술을 새롭게 개발하는 가염 PP 원사에 응용할 경우 새로운 가능성을 제시할 수 있어 이에 대한 기대가 크다고 할 수 있다.

가염 PP 섬유개발에 있어서 가장 중요한 품질은 농색의 염색성과 견뢰도 확보이다. 또한 의류용으로 적합한 촉감을 지니고 있는가를 들 수 있는데, 현재 의류용 원착 PP 섬유의 경우 단사 섬도가 1~3 데니어로 의류용에 적합한 촉감을 가진다. 의류용도의 가염 PP 섬유가 되기 위해서는 단사 섬도 1~3 데니어 수준이라야만 가능하며, 그 수치가 낮을수록 부드러운 촉감을 발현할 수 있다. 반면, 세심화를 추구할수록 공정은 나빠지며, 특수한 설비 및 고안이 필요하게 되어 추가적인 설비비용이 커질 수밖에 없다. 또, 기본적으로 염색이 불가능한 PP 섬유에 염색성을 부여하기 위해서는 여러 가지 개질 방법이 동원되어야 하는데, 그 개질의 정도가 클수록 염색성이 좋겠지만 강도가 떨어지고 신도가 커져 상업생산이 불가능해 진다.

따라서, 적절한 개질로 충분한 염착 성능을 보이면서, PP 자체의 특성을 훼손하지 않으며, 세 데니어에서 우수한 작업성을 보여 상업 생산이 가능한 강도, 신도를 가지면서, 동시에 다양한 용도 적용을 위해 견뢰도가 우수한 소재를 개발하는 것이 가염 PP 개발의 핵심기술이라고 할 수 있다.

위와 같은 요구특성을 만족시키면서 당사에서 판매 중인 가염 PP 원사(XN^{light}) 제품은 장섬유로 FDY와 DTY 2가지 type이 있으며, 단섬유로는 면방용, 소모방용이 있다.

Specifications

FDY XN 75/24, 50/24, etc
DTY XN 75/24, 65/24, etc
Spun yarn XN 20'S, 30'S, 45'S, etc



Figure 2. (주)휴비스에서 개발한 가염 PP “Xn^{light}” Logo.

4.1. 염색 특성

당사에서 개발한 가염 PP 섬유는 분산염료로 염색이 가능하고, 염색특성을 파악하기 위하여 PET DTY 75/36(일반 폴리에스터 섬유)와 가염 PP 원사인 DTY XN 65/24를 염색온도별로 각각 동욕 및 이욕염색을 진행하여 염색특성을 비교 평가해 보았다.

분산염료로 FORON NAVY RD-RLS를 사용(3% o.w.f.)하여 60℃~130℃ (승온 2℃/분)의 온도에서 step 염색을 실시하였다.

Figure 3에서 나타낸 바와 같이 이욕염색의 경우 가염 PP 섬유의 염색초기온도는 80℃로 폴리에스터 섬유와 동일하며, 115℃이하의 염색온도에서는 일반 폴리에스터 섬유대비 빠른 염착속도를 나타내다가 115℃ 이상에서는 오히려 염착속도가 떨어지는 경향을 나타냈다. 그리고 최대평형 염착온도는 130℃로 일반 폴리에스터 섬유와 동일하게 130℃에서 최대염착량을 나타냈다. 일반 폴리에스터 대비하여 염착량이 다소 떨어지지만 K/S 25 수준으로 충분히 상업화가 가능한 수준이다.

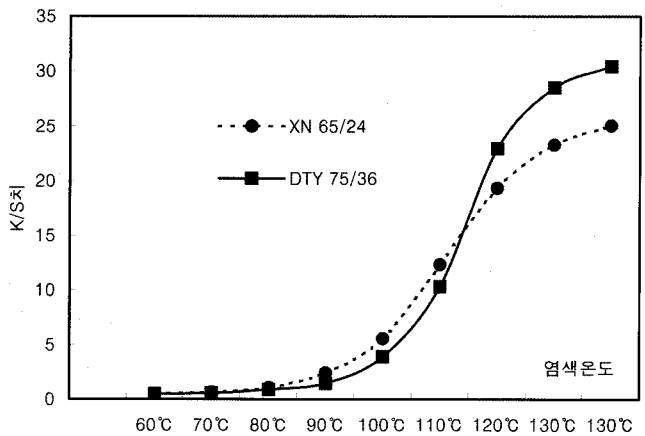


Figure 3. PET DTY 75/36/가염 PP DTY XN 65/24의 온도별 염착 곡선(이욕).

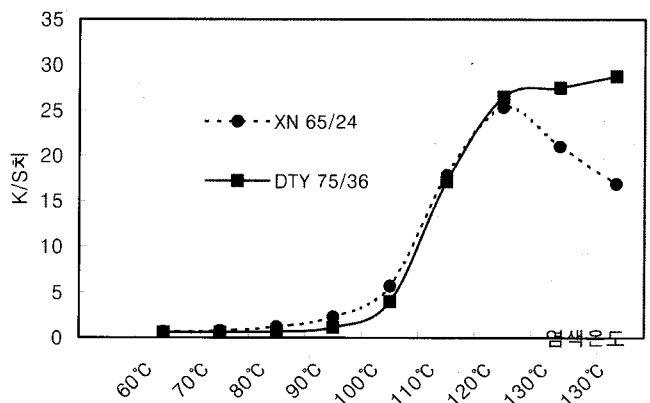


Figure 4. PET DTY 75/36/가염 PP DTY XN 65/24의 온도별 염착 곡선(동욕).

Table 5. 가염 PP(XN light)추천염료 및 견뢰도 결과

Color	Dye	CI No	Type	Light	Wash	
					Nylon	PET
Yellow	Foron Gold Yellow SWF	None	S+	4	3	4
	Foron Brillant Yellow S-6GL	Yellow 231	S	4	5	5
	Synolon Yellow Brown HWF-BR	Unknown	S	4	3	5
	Foron Yellow Brown S2-RFL	Orange 30	S	4	4	5
Red	Synolon Red HWF-3BF	Unknown	S	4	3	3-4
	Dianix Rubine S-2G	Red 167-1	S	4	4	5
	Foron Rubine S2-GFL	Red 167-1	S	4	3-4	4
	Suncron Red BLSF	Red 92	S	4	4	5
Blue	Synolon Navy Blue HWF-FS	Unknown	S	4	3	4
	Suncron Blue S-BG	Blue 73	S	4	2	4-5

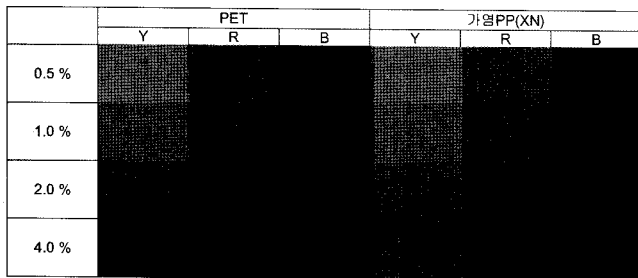


Figure 5. PET DTY 75/36/ DTY XN 65/24의 삼원색 염색비교(S-type염료, 120°C 염색).

Figure 4에서 나타난 바와 같이 가염 PP와 PET의 동염염색에서는 이염염색과는 달리 염색온도 120°C를 분기점으로 가염 PP의 염색성이 저하되는 현상이 나타났다. 이러한 현상은 가염 PP에 염색되어 있는 분산염료가 가염 PP에서 PET로 이동하여 염색이 된 것으로 해석되고 이는 가염 PP의 폴리머특성 및 염착구조와 연관이 있을 것으로 판단된다. 이러한 염착특성을 고려하여 PET와 교직 또는 혼방 시 두소재의 동염성을 확보하기 위해서는 염색온도를 120°C로 하면 된다.

120°C에서 염색 시 가염 PP와 PET와의 염색성을 측정하기 위해 S type의 분산염료 삼원색을 이용하여 0.5, 1.0, 2.0, 4.0%owf의 농도로 각각 염색하여 결과를 비교하였다. 가염 PP의 경우 삼원색 염료 모두 염색농도에 따라 피염물의 색상이 짙어지는 경향을 나타내므로 빌드업성이 비교적 우수하다고 판단된다. yellow 염료와 red 염료로 염색 시 4%owf의 농도로 염색한 피염물의 색의 짙기는 2%owf의 농도로 염색한 시료와 비슷하게 나타난 반면, blue 염료로 4%owf의 농도로 염색한 시료의 색상은 매우 짙게 나타나 염료별로 염착이 다름을 확인할 수 있다. 이처럼 같은 S type에 속하지만 염료의 색상에 따라 빌드업성이 달라지는 이유는 폴리에스터와는 다른 결정구조와 염색기구를 가지기 때문으로 염료선택에 있어서 주의가 필요하다.

Table 5에 당사에서 개발한 가염 PP 섬유에 대해서 우수한

견뢰도를 나타내는 분산염료를 예로 실었다. 세탁, 일광 등의 견뢰도를 확보하기 위해선 저에너지 type의 염료(E-type)보다 고에너지 type의 염료(S-type, 또는 SE-type)를 사용하는 것이 필수적이고, 견뢰도가 좋은 염료의 선정이 요구된다.

4.2. 후가공 특성

가염 PP 섬유의 경우 높은 마찰 특성과 낮은 용점으로 인하여 후가공 작업시 일반 나이론이나 폴리에스터 섬유와는 다른 조건을 설정해야 한다. 특히 열처리공정(건열)은 130°C 이하로 해야 하며 용착을 전제로 하지 않는 한 135°C는 절대로 넘겨서는 안 된다. 이 온도를 넘어서 가공을 진행할 경우 직편물의 표면 용착 및 경화가 일어나고 폭의 과도한 축소로 완제품의 소프트감 및 드레이프성이 크게 저하된다. 따라서 열처리의 경우 원하는 축감에 따라 적절한 온도조건 설정이 요구되며 특히 주의할 것은 170°C가 넘는 과도한 stenter 온도의 경우 기계내에서 원단의 용융을 초래할 수 있다.

염색온도의 경우에도 앞에서 언급한 바와 같이 가염 PP 섬유 단독으로 염색할지 또는 교직물을 염색할지에 따라 염색 온도를 달리 설정할 필요가 있으며, 130°C까지는 가염 PP 섬유가 내습열성을 가지므로 염색의 온도 의존성은 적다. Table 6에 직편물, 경편물로 염색가공 시 가염 PP 섬유에 맞는 후공정 추천조건을 나타내었다.

신규소재가 상품화되기 위해선 원사개발뿐만 아니라 제편

Table 6. 가염 PP(XN light) 후가공 공정별 추천조건

공정	Woven	C/Knit	Tricot
정련 및 축소	연속정련기 90°C×10'	Rapid 90°C×10'	예열 Set 130°C×1' 90°C×10'
P-Set	-	125°C×20'	-
염색	130°C× 30~50'	120°C× 30~50'	120~130°C ×30~50'
Soaping / 환원세정	70°C×30'	70°C×30'	70°C×30'
F-Set	120~125°C	130~135°C	125~130°C

직 및 염색가공기술개발도 필수적인데, 당사 가염 PP 원사를 사용한 염색가공에 관한 연구논문도 부품소재개발사업과는 별도로 학계 및 직편물 업체에서 활발히 진행되고 있다[16].

4.3. 활용

4.3.1. Active Sports Wear

100% 가염 PP 섬유로 제편할 경우 보온성 스포츠니트의 제작이 가능하며, 우수한 통기성으로 인해 수분을 밖으로 빠르게 배출한다. 섬유가 수분을 흡수하거나 팽윤하지 않으므로 많은 땀을 흘린 후에도 항상 일정한 상태를 유지할 수 있다. 한편, 밖에서 들어오는 수분에 대해서는 발수성을 갖는다.

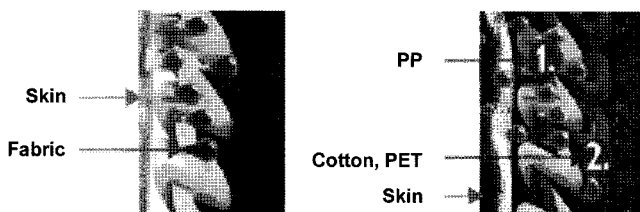


Figure 6. XN light을 배수성을 이용한 스포츠 웨어용 편물.

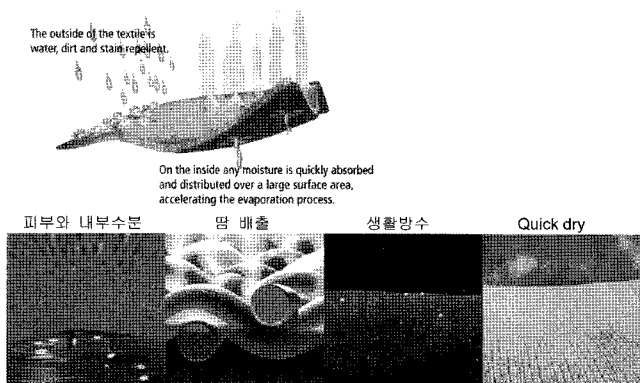


Figure 7. XN light /PET(흡한속건사)를 적용한 극한 쾌적성을 가지는 편물.



Figure 8. XN light /PET(흡한속건사)를 적용하여 판매 중인 스포츠 웨어.

이중직으로 가염 PP 및 PET 또는 면을 사용하여 제편할 경우 보온성을 가질 뿐 아니라 배수성을 가져 피부쪽의 수분을 흡수성이 있는 PET나 cotton 쪽으로 빠르게 전이시켜 의복내의 습도상태를 항상 건조한 상태로 유지시켜 준다. 특히, 운동 시 발생하는 땀의 양에 따라서 조직 및 배열, 원사 구성비의 선택적인 설계가 가능하며, 축구복, 골프복, 에어로빅복, 스키복, 트레이닝복,

닝복, 폴라플리스 등에 활용이 가능하며 Figure 8은 가염 PP 섬유(DTY 65/24)와 흡한속건 폴리에스터 섬유를 이용하여 이중직으로 짠 원단을 스포츠브랜드에 제품화하여 판매 중인 트레이닝복이다.

4.3.2. Thermal Inner Wear

소재의 열전도율이 양모보다 낮고 표면감이 부드럽기 때문에 양모와는 달리 보온내외로 활용이 가능하다.

이미 극한지방에 근무하는 미군 동내외로 활용이 많이 되고 있다. 또한 경량성이 있어 착용감이 우수하다. 스키 등의 동계스포츠 내외나 낚시 등의 야간 스포츠 내외로 적합하다.

4.3.3. Swim Suit & Aquasports Wear

소재의 흡수율이 zero이고, 발수성을 갖고 있으므로, 수영이나 다이빙, 카약 등의 운동 시 젖는 느낌이 적다. 또한 물에 뜨는 비중을 가지므로 경기력 향상에도 도움을 주어 일부 국가에서는 대표의 경영용 수영복으로 사용하고 있다.

가염 PP 섬유의 경우 프린트가 가능하기 때문에 패션 수영복으로도 사용이 가능하다.

4.3.4. Insulation Blanket

경량성과 보온성을 모두 한번에 갖춘 가염 PP 소재는 담요용으로 사용하면 매우 적합하다. 특히 항공용이나 등산용, 군

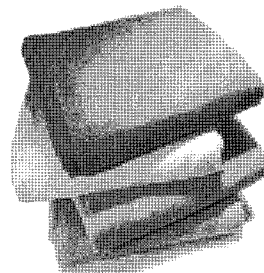


Figure 9. XN light 을 이용하여 만든 경량보온담요.

용 등 이동을 필요로 하는 경우에는 경량성이 매우 중요한 역할을 한다. 또한, 발수성과 방오성을 갖기 때문에 세탁횟수도 줄일 수 있어 사용이 편리하다. 필라멘트타입의 원사사용이 가능하므로 기모 담요나 폴라플리스용 담요로도 적용이 가능하다.

4.3.5. Shoes & Socks etc.

발수성과 방오성을 가지며 매우 유연한 소재 특성을 가지므로 피부 친화적이다. 또한 경량성을 보유하고 있어 침장 및 신발, 양말 등의 용도에 적합하다.

4.4. 제품 사용 시 주의사항

다림질: 가염 PP(XN light)소재는 용융온도가 낮으므로 반드시 저온에서 다림질을 해야하고 다리미의 표면온도가 130℃를 넘지 않도록 해야 한다. 어쩔 수 없이 온도가 130℃를 넘을 경우는 다른 원단을 겹대어서 과도한 온도가 직접 전달

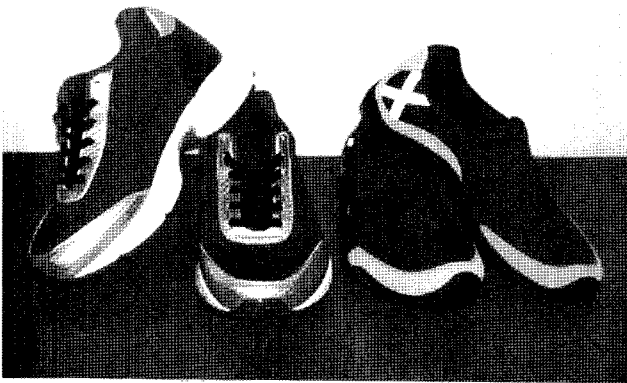


Figure 10. XN light 로 제작한 편물을 이용한 런닝화와 아쿠아슈즈.

되는 것을 피해야 한다.

세탁: 물세탁의 경우 손세탁, 기계세탁을 해도 치수변화 등이 발생하지 않으므로 물세탁을 추천한다, 다만 드라이클리닝의 경우 용제에 의해 원단의 변형 및 변색이 있으므로 드라이클리닝은 반드시 피해야 한다.

건조: 소재의 수분율이 없기 때문에 그늘에 건조해도 빨리 마르고 냄새가 발생하지 않는다.

5. 결 언

경량성, 보온성, 발수성 등 다른 섬유소재보다 우수한 성능을 지니고 있는 PP 섬유의 기능성을 범용소재인 PET나 나일론섬유에 부여하기 위해 지난 수 십년 동안 섬유의 중공화, 축열보온 첨가제의 첨가, 발수가공의 개발 등 수많은 노력이 이루어져 왔다. 최근 스포츠 캐주얼 트렌드에 힘입어 이들 기능성은 더욱 주목되고 있으나, PET나 나일론 섬유의 기능성 개질화에 의한 효과는 가염 PP 섬유가 근본적으로 가지고 있는 기능보다 떨어지는 경우가 대부분이기 때문에, 가염 PP 섬유의 기능성 섬유로서의 성공 가능성은 매우 크다고 할 수 있다.

(주)휴비스 및 참여업체는 산업자원부의 지원아래 가염 PP 섬유 및 제품개발에 연구를 집중하여 세계 최초로 2006년 상업화 생산에 성공하였다. 소재개발 뿐만 아니라 원단 및 제품개발도 동시에 추진하고 있어 상품화가 빨리 이루어지고 장기간 경쟁우위를 차지할 수 있을 것으로 예상된다. 향후 가염 PP 섬유를 기반으로 한 섬유제품을 많이 개발, 상품화한다면 일본, 유럽 등 섬유 선진국과의 경쟁에서 절대적 우위를 차지할 수 있을 것으로 예상되며, 차별화가 절실히 요구되는 한국 섬유산업에도 좋은 호재가 될 수 있을 것으로 기대를 걸어본다.

참고문헌

1. M. Ahmed, Polypropylene Science and Technology, Chap.10, Elsevier, (1982).
2. Sekar, N., "Dyeable polypropylene fibers: On the researchfront review of development", *Colourage* 47(2), 33, (2000).
3. W. C. Mallonee, "New Technology offers Polypropylene Dyeability plus Resilience", *International Fiber Journal*, 11(5), (1996).
4. C. Yu etc., "Study on dyeable polypropylene fiber and its properties", *JAPS*, 3172, (2000).
5. 손태원, 한국특허 10-0249625.
6. 조성미 등, *한국섬유공학회지*, 38, (2001).
7. Q. Fan etc., "Dyeable Polypropylene via Nanotechnology", NTC Annual report, (2001).
8. Q. Fan etc., "Dyeable Polypropylene via Nanotechnology", NTC Annual report, (2002).
9. Q. Fan etc., "Dyeable Polypropylene via Nanotechnology", NTC Annual report, (2004).
10. Mitsubishi Rayon Polypropylene Fiber Catalog "Mitsubishi Polyene". 11. Gunter Klambauer, *International Fiber Journal*, p.54, Feb, (2004).
12. www.usaricm.army.mil, (U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine)
13. 일본규격협회, JIS 사용법 Series: 섬유제품 시험 Manual, 167, (1981).
14. 도레이리서치센터, 기능성 섬유, 10, (1993).
15. Matsubara Takeo, *일본섬유공학회지*, 59(7), 216, (2003).
16. 김은미 등, *한국섬유공학회지*, 44(5), 257, (2007).



권혁상

(주)휴비스 연구소

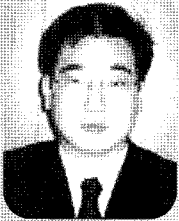
1987. 서울대학교 공업화학과 졸업
1987-2000. (주)SK케미칼 연구소
1995-1996. 미국 Case Western Reserve University 교환연구원
2000-2005. (주)휴비스 연구소 수석연구원
2006-현재. (주)휴비스 SF 개발팀장



최태수

(주)휴비스 연구소

1990. 서울대학교 섬유공학과 졸업
1990-1998. (주)SK케미칼 연구소
1998-2001. 일본 신슈대학교 섬유공학부(박사)
2001-현재. (주)휴비스 연구소 수석연구원
대전 대덕구 신일동 1690-1
전화: 042-930-4541
e-mail: tschoi@huvis.com



남승민

(주)휴비스 연구소

1993. 부산대학교 섬유공학과 졸업
1993-2000. (주)SK케미칼 연구소
2002-2004. 일본 신슈대학교 섬유공학부(석사)
2000-현재. (주)휴비스 연구소 책임연구원