

가염 폴리프로필렌 섬유의 개발동향

권혁상, 박중휘, 최재호, 김재형

(주)휴비스 연구소

1. 서 언

1955년 이탈리아 밀라노 공과대학에서 G.Natta 교수가 Ziegler촉매에 의해 입체규칙성이 있는 폴리프로필렌을 합성하였다. 이는 섬유 형성성이 매우 우수하였으며, 같은 해 Montecatini사에 의해 특허가 출원되었고, 1959년 동 회사에 의해 "Meraklon"이란 상표로 상업생산 되었다. 폴리프로필렌은 석유를 정제할 때 대량으로 얻어지는 부산물인 프로필렌을 원료로하여 합성한 섬유란 점에 주목받아 1957년 미국, 이탈리아, 서독 등에서 독자적으로 생산하기 시작하였고, 일본에서는 1962년에 미쯔이화학이 생산을 시작했으며, 그후 도요보, 미쯔비시레이온이 "파이렌(Pylen)", 닛토보, 다이와보, 칫소, 토아보, 우베니토키세이가 "폴리프로(Polypro)"라는 상표로 생산을 시작했다.

원료가 매우 싼 수지였으므로 일부에서는 "꿈의 섬유"라고 불리었으며, 초기에는 많은 기업들이 기술도입 계약을 맺고 생산을 시작하였으나, 내열성, 염색성, 태 등의 면에서 의류소재용으로 적합하지 않다고 판단되어 많은 기업들이 생산을 중단하게 되었다. 그 사이 많은 기업들이 폴리프로필렌 섬유의 단점인 염색성을 해소하고자 노력을 하였으나, 상업화까지는 제대로 이어지지 못했다.

실험실적으로나 학계에서 가염성이 있는 폴리프로필렌을 전혀 개발하지 못한 것은 아니었으나, 상업화에 실패한 이유는 시대적인 배경도 적지 않게

작용하였다. 우선, 개발초기인 1950년대부터 1970년대까지는 폴리프로필렌 섬유의 개발목적이 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 시장을 장악한 상태이었기 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 모두 그렇게 오래 가지는 못하였다. 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 기

능성 섬유가 요구되고 이 분위기에 맞춰 다시 한번 폴리프로필렌 섬유의 의류화가 요구되는 시점이 되자, 우선은 원착형 폴리프로필렌 섬유로 이 요구를 부응하려는 업체와 가염형 폴리프로필렌섬유의 개발에 재도전하는 업체들이 생기기 시작하였다.

여기서는 가염형 폴리프로필렌 섬유개발의 동향과 폴리프로필렌의 기능성 그리고 현재 원착 폴리프로필렌 섬유로 전개되고 있는 의류용 폴리프로필렌 섬유시장을 돌아봄으로써 향후 가염형 폴리프로필렌 시장의 진입가능성과 전개방향을 확인해 본다.

2. 가염 폴리프로필렌 섬유의 개발동향

가염형 폴리프로필렌 섬유의 1980년대 초반까지의 기술적인 상황에 대해서는 잘 정리된 문헌이 있다[1]. 이 내용을 간략하게 정리해 보면 4가지 형태의 업계에서 폴리프로필렌 섬유의 염색성 개선을 시도하고 있었음을 알 수 있다. 즉, 염료업체, 염색업체, 수지제조업체, 섬유제조업체의 입장에서 각각 접근하고 있다.

염료업체의 경우 몬테카티니(Motecatini)를 비롯하여 ICI, Ciba, Sumitomo, Hodagaya, Eastman, Allied, Hercules, 그리고 Hoechst가 폴리프로필렌에 염색이 가능한 염료를 개발하기 위해 많은 노력을 하였으며, 염료분자에 소수성의 긴 사슬을 붙이는 방법 등이 시도되었다. 이들 방법은 제한된 색상의 표현만 가능하였으며, 견뢰도도 좋지 못하여 성공적이지는 못하였다.

염색업체의 경우 기존의 염료를 사용하여 폴리프로필렌 섬유를 개질할 수 있는 조건들을 찾고 있었는데, 팽윤제와 캐리어를 사용한 시도가 주목 받았다. 기타 많은 유무기 산을 첨가하는 방법들이 시도되었으나 견뢰도를 향상시키기에는 부족하였다. 그래서 업체들은 염색전에 섬유 직편물에 표면처리를 하여 염료들을 받아들이기 쉽게 하는 방법들을 연구하였으며, 이들 방법은 성공적이지는 못하였으나

후에 폴리올레핀 필름의 코팅이나 프린트, 다른 물질에의 접착력 향상에는 많은 기여를 하게 되었다.

미개질 폴리프로필렌 섬유에 대한 염색이 성공적이지 못하자 수지 제조업체를 위주로 하여 고분자의 개질이 시도되었다. 개질은 공중합과 그라프트 중합으로 나눌 수 있었으며, 공중합의 경우 vinylpyridine, styrene, acrylic acid, acrylates, sulphonic acid 유도체, carbon monoxide, naphthol 등이 사용되었으나 2가지 문제점이 발생하여 성공적이지 못하였다. 하나는 공중합 효율이 극히 떨어진다는 것이었으며, 또 하나는 공중합이 폴리프로필렌의 결정성능을 크게 저하시켜 높지 않은 용점을 더욱 더 떨어뜨려버리는데 있었다.

그라프트 중합은 염료수용체가 폴리프로필렌의 주쇄에 속하지는 않으나 주쇄와 일차결합을 하고 있기 때문에 용점저하의 문제는 크지 않았다. 그라프팅은 기술적인 어려움에도 불구하고 공중합보다 매력적이었으므로 많은 실험실에서 연구가 진행되었다. 예를 들어, Polymer Institute of Hungary는 styrene이나 다른 모노머와의 그라프트 중합을 많이 연구하였으며, 이렇게 얻어진 섬유는 분산염료에 염색이 가능하였다. Canada Research Council의 경우 radiation initiated grafting의 프로그램을 갖고 methacrylic acid의 경우 35%이상을 쉽게 그라프트시킬 수 있었다. 일부의 경우 파일로트 플랜트에서 시생산도 하기도 하였다. 몬테카티니의 경우 염색 가능 섬유에 대한 보고까지 하였으나, 실패는 기술적인 면보다는 경제적인 면에 있었다고 할 수 있다.

압출시에 염색이 가능한 첨가제를 섞어주는 것이 폴리프로필렌 섬유의 염색의 실질적인 접근방법으로 일찍부터 인식되어 왔다. 첨가제 부분만 염색하고 균일 분산시킨다면 전체적으로는 염색이 된 것처럼 보이게 하는 방법이다. 염료를 고착시키는 첨가제를 고분자 용융체에 넣는 것이 공중합이나, 그라프트 중합, 표면처리 기술보다는 훨씬 용이하고 경제적이란 사실을 알게 되었으며, 섬유의 물리적인 성질에도 공중합이나 그라프트 중합 대비 훨씬 영향이 적은 것

을 알 수 있었다. 첨가제는 3가지로 분류할 수 있는데, 금속 콤파운드, 고분자 첨가제, 저분자 유기 콤파운드로 나눌 수 있다. 그러나 너무 많은 물질이 사용되었을 뿐더러, 실질적으로 사용된 것은 몇 예가 없으므로 성공적이지 못하였다고 할 수 있다.

폴리프로필렌을 개질하여 성공한 방법 중 하나로 작은 양의 금속 콤파운드를 첨가하여 염색가능하게 한 것이 있다. 금속이 극성 유기화합물과 킬레이트(chelate) 또는 coordinate complex를 형성할 수 있도록 선택되면 된다. aluminum, chromium, nickel, zinc 등이 효과적이었다. 이렇게 개질된 폴리프로필렌이 Hercules, Vectra, Phillips 및 일본의 몇 개 회사에서 상용화되었다. 금속 개질된 폴리프로필렌을 킬레이트염료로 염색시에는 실제로 화학반응이 일어난다. 따라서 금속킬레이트염료의 염색거동은 반응성염료와 매우 유사하여, 염료분자가 염착좌석에 반응이 되면, 더 이상 떨어지지 않는다. 그러나, 킬레이트 염료가 반응성염료와 다른 점은 반응성염료와는 달리 염착좌석과 반응하면 색이 변한다는 것이다. 즉, 온도와 pH, 염료농도 등의 조건이 조금만 바뀌어도 크게 색상이 변하는 문제가 발생하였다.

특히로는 많은 금속 콤파운드가 제시되었으나 실제로는 알루미늄과 니켈 콤파운드만이 사용되었다. 미국에서는 니켈이, 일본에서는 알루미늄 시스템이 더 일반적이었다. 미국에서는 니켈로 개질된 섬유가 Enjay, Vectra, Phillips와 Hercules에서 나왔으며, 다양한 니켈 복합체가 발표되었다. 그러나 가염(후염) 폴리프로필렌 섬유의 견지에서 문제점은 염료흡진율이 염욕의 온도에 심하게 바뀌며, 염료마다 염착률이 다르고, 균염이 되지 않았다. 또한, 염욕의 온도와 pH에 강하게 의존하여 pH가 조금 바뀌었는데도 큰 색상차가 나는 경우가 많았다.

방사 시에 적절한 고분자 콤파운드를 섞어주면 분산염료에 염색이 가능하였다. 분산염료의 경우 매염염색 대비 아래와 같은 유리한 점이 많이 있었다. 예를 들면 기존에 다양한 분산염료를 활용할 수 있어 새로운 염료의 개발이 불필요했으며, 분산염료

의 균염특성이 우수하였다. 따라서 cellulose ester부터 완전 신규 합성체까지 다양한 고분자 콤파운드가 조사되었으며, 실로 어떠한 극성 고분자를 섞더라도 분산염료에 대한 염색성 향상에는 효과를 보였다. 그러나 대부분의 극성 고분자 첨가제는 폴리프로필렌과 상용성이 없기 때문에 방사 및 연신공정이 실질적이지 못했으며, 극성이 클수록 상용성은 더 나빠졌다. 따라서 강한 극성기를 갖는 고분자 첨가제의 경우 실험실적으로는 수많은 성공을 거두었음에도 상업화에는 성공하지 못한 아이템이라고 할 수 있다. 그리고 프로세싱 관점에서 비교적 적합한 많은 고분자 첨가제의 경우 극성이 충분하지 못하여 세탁견뢰도나 드라이크리닝 견뢰도가 좋지 못하였다. 폴리에스터, 폴리카보네이트, 폴리에틸렌 비닐아세테이트, 에틸렌알킬 아크릴레이트 코폴리머가 그런 예이다[2].

실질적으로 가염 폴리프로필렌 섬유의 개발이 실패하자 폴리프로필렌은 새로운 대안으로서 안료를 방사시에 섞어서 색을 내는 원착 섬유에 주력하였고 여기에서 착색섬유로서의 가능성을 보여주었다. 그러나 방사공정성의 제약조건이나 섬유의 주 용도인 의류용에서 외면을 받은 폴리프로필렌 섬유는 폴리에스터나 나일론과 같이 다양한 형태로 개발되지는 못하였으나, 섬유산업이 의류용도 위주에서 산업자재, 생활자재분야 등으로 성장됨에 따라, 폴리프로필렌 섬유도 이 분야에서 수요가 확대되어 부직포 분야와 카펫 분야, 그리고 포장재 등의 분야에서 비약적인 성장이 가능하였다.

산업자재로서 폴리프로필렌 섬유가 위치 매김을 하게되자 산업자재용으로의 각종 개질도 성공하였다. 성공한 대표적인 개질은 심부분이 폴리프로필렌, 초부분이 폴리에틸렌인 이성분에서 구성되는 열융착섬유로 이 섬유를 다른 섬유와 섞어서 부직포를 만들고, 열을 가함으로 이 섬유의 폴리에틸렌 부분이 녹아 주위의 섬유와 융착되어 얇은 포형태로 되는 융착섬유이다. 이 섬유는 종이 기저귀나 내프킨용 부직포로 많이 사용되고 있다.

이렇게 산업용에서 폴리프로필렌 섬유가 안정적인 자리를 잡은 1980년대와 1990년대에는 산업용 섬유, 정확하게 표현하면 카펫용 섬유로서 폴리프로필렌의 가염화가 시도되었으며, 두번 정도는 상업화하기도 하였다. 첫번째 상업화는 영국에서 이루어졌는데, 그 전까지 가염 폴리프로필렌 섬유로서 가장 성능이 좋았던 니켈금속 콤파운드를 첨가하는 방법이 제시도 되었다. 염색의 재현성 등이 다소 문제가 되었으나, 카펫의 특성상 받아들여질 수 있는 수준이었다. 그러나 초기의 예상과는 달리 복합금속 분산염료라는 고가의 염료를 사용하면서 염색비용은 매우 높아졌으며, 완제품을 만드는데까지의 비용을 합산해 보면 기존의 나일론 카펫대비 약간 싼 수준에 불과하였고, 폴리프로필렌 섬유가 나일론 섬유보다 탄성회복이 떨어지는 면에서 나일론과 동등한 가격으로 시장을 형성할 수가 없어 매력을 잃게 되었다. 설상가상으로 니켈금속을 염색공정에 도입함에 따라 환경문제가 제기되자 이 프로세스는 완전히 자취를 감추게 되었다.

또 한번의 상업화는 1990년대에 미국에서 이루어졌는데, 라이온델(Lyondell)에서 올레핀계 모노머를 이용한 공중합에 성공하면서 가능성이 제시되었다. 일반 분산염료를 사용한 가염 폴리프로필렌 섬유이므로 기존에 문제가 되었던 환경문제도 없었을 뿐더러 가격도 비교적 매력을 느끼는 수준이었다고 할 수 있다. 그러나 공중합으로 인한 물성저하와 염착과 견뢰도의 한계로 개발 발표 후 수년이 지난 1997년에야 상업화를 하였으며, 이때에도 미해결된 결점들이 있었는데 이를 기술보완이 아닌 마케팅적인 방법으로 보완하려다가 시장전개에 실패하고, 2000년대에 들어서면서 이 사업을 포기하게 되었다[3].

1980년대부터 2000년까지는 카펫용도를 제외하고는 기업체에서 상업화를 성공하지는 못하였으나, 학계에서는 여전히 수많은 연구를 하고 있었다. 국내외에서도 수 차례의 연구결과가 나왔으며, 성공적이라는 평가까지 나왔다. 이들 연구는 앞서 소개한 방법들에서 보다 염착량을 올리거나 견뢰도를

올리는데 초점을 둔 연구결과들로 염색성면에서는 많은 향상이 되었다고 할 수 있다. 그러나 양산화 기술까지 가기에는 원가 및 시장성, 기술적인 문제 등의 나름대로의 문제점들을 갖고 있어서 상용화되지는 못하였다[4,5].

그 외에 중국에서도 화남이공대학(华南理工大学), 북경복장학원(北京服装学院), 화둥이공석유화학공원(华东理工石油化学学院), 동화대학(东华大学), 대련경공업학원(大连轻工业学院) 등의 대학연구소와 몇몇 국가연구소에서 가염형 폴리프로필렌 섬유의 개발에 관한 결과들을 공표하고 상업화 할 파트너를 찾고 있다. 그러나 대학에서의 연구결과는 양산화 과정에서 대부분 적절한 공정성을 얻지 못해 실패하고 있으며, 이들 과정이 정확히 공개되지 않아 비슷한 연구들이 되풀이되고 있다.

이렇게 학계에서 연구되는 연구결과들은 대부분 유무기 첨가제를 이용하는 것으로서 폴리프로필렌과의 상용성을 높이는 다양한 방법들이 시도되고 있다고 보아도 과언이 아닐 것이다.

그 사이에는 폴리에스터가 발달됨에 따라 분산염료자체에도 많은 개선이 있었으며, 초임계유체나 나노입자 등의 활용기술이 소개되자 이를 활용하여 분산염료로 염색하거내[6], 클레이 나노입자를 도입하여 산성염료 및 분산염료에 염색을 시도하는 연구[7,8]가 계속되고 있다. 초임계 유체를 활용한 염색의 경우 아직 염색의 효율성 면에서 떨어지며, 나노클레이를 활용한 연구는 분산성이 문제가 되어 이를 지속적으로 보완하는 연구를 하고 있다[9]. 그럼에도 불구하고 착색수준은 중색이하에 머무르고 있다.

이렇게 폴리프로필렌 섬유의 가염화 사업은 50년을 끌면서도 성공하지 못하였는데, 가염화를 시도하는 계기가 여전히 존재하는 이유는 기능성섬유로서의 활용가능성이 충분히 제공되면서 세척화 방사 기술 및 설비기술, 폴리프로필렌을 위한 각종 다양한 첨가제 등이 개발되어 염색성과 방사공정성만 확보하면 시장에서의 가치가 있기 때문이다. 또한 기능

Table 1. 각종 섬유의 비중(g/cm³)

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

성 섬유라고 하는 것은 폴리에스터 섬유보다 싸야 할 이유가 없기 때문에 가염화에 의한 어느 정도의 코스트 상승은 흡수할 여력마저 생겼기 때문이다.

3. 폴리프로필렌 섬유의 특성

3.1. 경량성

폴리프로필렌 섬유의 비중은 0.91 g/cm³으로 물에 뜨는 섬유이다. 경량성은 면이나 양모 등의 천연섬유가 섬유소재의 주종이던 시절에는 중요한 특성이 아니었으나, 산업용 섬유가 발달되고, 의류에서도 스포츠 트렌드가 정착하면서 중요한 성질로 대두되었다. 특히, 담요와 같이 다량의 섬유를 사용하는 분야에서는 매우 중요한 기능으로 인식되고 있다.

3.2. 발수성 (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 수분 흡수 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 불쾌해진다. 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 쉽게하고, 섬유가 팽윤하지 않아 많은 땀을 흘리는 경우에도 장시간 사용할 수 있는 장점이 있다. 또한, 탈수 후 수분이 대부분 건조되기 때문에 장마 기간에도 사용이 가능하다[10].

3.3. 위생성 및 방오성

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 기저귀용으로도 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, 폴리프로필렌 섬유 자신은 젖지 않고 배수로 역할만 하게 된다. 폴리프로필렌의 낮은 흡습성을 역으로 잘 활용한 예로 현재 스포츠웨어 분야에서 활발하게 적용하는 구조이다. 폴리프로필렌 섬유를 피부측으로, 타소재를 외측으로 구성할 경우 땀 등의 수분이 발생하였을 경우 신속히 이를 외부로 배출시켜 항상 피부표면을 건조하게 만들어져 상쾌감을 유지시킨다[11].

Table 2. 각종 섬유의 상대습도에 따른 흡습성 (% , 실온)

상대습도	20%	56%	95%
폴리프로필렌	0	0	0~0.1
나일론	1.0~1.8	3.5~5.0	10~12
폴리에스터	0.1~0.3	0.4~0.5	0.6~0.7
아크릴	0.3~0.5	1.2~2.0	1.5~3.0
레이온	4.0~6.5	10.5~14.0	21~30
면	-	7	24~27
양모	-	15	28

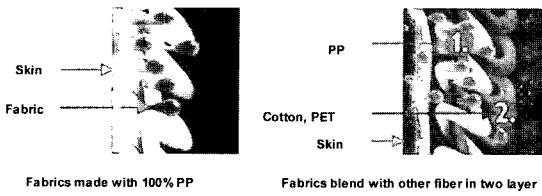


Figure 1. 폴리프로필렌 섬유 배수성을 이용한 스포츠 웨어용 편물.

3.5. 보온성

폴리프로필렌 섬유의 활용도를 가장 먼저 생각하게 한 기능이다. 폴리프로필렌 섬유의 열전도도는 모든 섬유 중에서 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 세척화 할 수 있는 가공특성 때문에 보온 내의로 적용이 가능하다. 추운 지방에 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 해야하는 군인이나 배낭 여행객의 경우 더없이 좋을 것이다. 특히 비에 젖어도 무거워지지 않는 특성까지 고려하면 군용 담요로는 최적으로 생각된다.

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 융점이 높아 실용적인 면에서는 문제가 없는 수준이나, 나일론이나 폴리에스터에 비하면 낮아, 가공이나 다림질에 문제가 있

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

Table 4. 각종 섬유의 내약품성 (○ 내약품성 있음, X 내약품성 없음)

	PP	PET	Nylon	Acrylic	PVA	Rayon	Cotton
황산	○	△	X	△	X	X	X
초산	○	○	X	X	X	○	○
염산	○	○	X	○	X	△	○
빙초산	○	○	X	○	○	○	○
가성소다	○	△	○	○	○	○	○
아세톤	○	○	○	○	○	○	○
디메틸 포름아마이드	○	X	△	X	○	○	○
클로로벤젠	X	○	○	○	○	○	○
자이렌	X	○	○	○	○	○	○
m-크레졸	○	X	X	○	○	○	○

Table 5. 각종 섬유의 연화점, 용점

	연화점(°C)	용점(°C)
PP	140-145	165-173
Nylon	180	215-220
PET	238-240	255-260
Acryl	190-240	불명료
Rayon	연화, 용융없음.	260-300 °C 착색분해
Cotton	연화, 용융없음.	245 °C 착색분해

다. 다림질의 경우 저온에서 덧대고 다림질을 하면 어느 정도 사용가능한 수준이며, 편물 등의 경우에는 다림질을 하지 않으므로 실제로 사용하기에는 문제가 없다.

3.8. 항정전기성

폴리프로필렌 자체가 정전기가 없는 섬유는 아니다. 오히려 고유 비저항치가 높아 폴리에스터보다 정전기를 많이 발생시킬 수도 있다. 그러나 실생활에 사용하다보면, 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. 폴리에틸렌계 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 중화작용을 활용할 수 있어 정전기의 발생은 극히 억제된다[13,14].

Table 6. 각종섬유의 대전서열

(-)														(+) (면실레이앙나모나발유리)													
테프론	테비론	셀로판	셀룰로오이드	폴리염화비닐	폴리프로필렌	고무	폴리에틸렌	카바이트	테릴렌	데그론	사란	알루미늄	구리	스테인레스	아크릴	폴리에스터	비닐론	필프	폴리에스터	아세테이트	면	실크	레이온	양모	나일론	모발	유리

3.9. 안정성 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, 용융리사이클 시에도 열분해 유화가 가능하다. 화학적인 분자구조가 산소와 수소만으로 이루어져 있기 때문에 소각시 유해가스가 극히 적은 특징도 있다. 자체적으로 난연성이나 방염성은 없지만 연소시 유독가스 발생이 없어 산업적으로 안전하며, 리사이클성이 가장 뛰어나다는 점에서 자동차 산업 등에서도 폴리프로필렌 섬유의 활용을 기획하고 있다[15].

3.10. 기계적 특성 (강도, 내마모성, 항필링성)

폴리프로필렌 섬유의 강도는 강한 섬유에 속하며, 습윤시나 건조시에도 강도의 변함이 없으며, 오랜 시간 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 7에서도 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. 따라

Table 7. 각종섬유의 표준적 형태의 강신도

		PP		Nylon		PET		Viscose rayon
		일반사	강력사	일반사	강력사	일반사	강력사	
인장강도	건 (g/d)	3.5-6.0	6.0-8.5	4.8-6.4	6.4-9.5	4.3-6.0	6.3-9.5	1.7-2.3
	습 (g/d)	..	..	4.0-5.9	5.9-8.0	..	..	0.8-1.2
견습강도비 (%)		100	100	84-92	84-92	100	100	45-55
신도	건 (%)	20-100	15-30	28-42	16-25	20-32	7-17	18-24
	습 (%)	..	..	30-52	20-30	..	..	24-35

서 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 다시해야 하므로 매우 까다로운 섬유라고 볼 수도 있다.

4. 의류용도로서의 폴리프로필렌 섬유의 전개현황

위와 같은 많은 기능을 가진 폴리프로필렌 섬유를 염색가능하게 하였다면 우선 의류용도를 검색하지 않을 수 없다. 실제로 꿈의 섬유라고 불리우면서 유행했던 폴리프로필렌 섬유는 염색성이 결여되고 몇가지 물성이 문제가 되면서 산업용 섬유로 그 방향을 바꾸어야만 했다. 모든 섬유용 폴리머가 그렇듯이 개발이 처음 이루어지게 되면 의류용으로 기대를 하게 되는데, 당시는 기능성 섬유를 원하지도 않았지만, 자외선에 약한 폴리프로필렌의 특성이나 가공성의 문제점들 때문에 의류용도로 개발이 되지는 못했다. 지금은 기능성 섬유가 시장에서 자리를 잡기 시작하였으며, 폴리프로필렌용의 다양한 첨가제가 개발되어 단점들을 속속히 보완하고 염색성도 보완할 기회가 온 것 같으므로 다시 의류용도로 검토해 보아야 할 것이다. 염색이 되지 않더라도 원착 착색에 의해 이미 시장에서 자리를 잡기 시작한 폴리프로필렌 섬유의 의류용도에 대해서 간략히 소개해 본다.

4.1. 수영복

비중이 매우 낮아 가볍다는 특성과 수분을 거의



Figure 2. ASICS에서 판매중인 폴리프로필렌 섬유로 만든 경기용 수영복.

흡수하지 않고 섬유 조직에 의해 젖어도 바로 마르는 특성은 수영복으로는 매우 요구되는 특성이다. 1994년 일본의 스포츠의류 메이커 아식스는 경기용 수영복으로 개발하였으며, 그 해 개최된 로마 세계선수권대회에 일본선수들이 착용하여 화제가 되기도 했다. 그 후로도 아식스의 폴리프로필렌 수영복은 올림픽 일본 여자국가대표 등도 후원하였으며, [P2]라는 브랜드로 경기용 수영복을 판매하고 있다. 그러나 소재의 특성상 동일 디자인의 나일론 수영복보다 두배 이상의 고가이기 때문에 학생수영복으로는 잘 팔리지 않는다. 일본에서는 아식스 외에는 특별히 폴리프로필렌 수영복을 판매하는 브랜드는 없다. 그러나 미국등지에서는 Junonia 등 몇몇 메이커들이 개발하여 판매하고 있다.

수영복에 매우 적합한 소재라고 알려졌음에도 불구하고, 이렇게 개발이 부진한 이유는 폴리프로필렌 섬유의 특성상 세척사의 제조가 매우 어렵고, 저융점 때문에 얇은 수영복의 경우 spandex와 같이 쓰여지기 위해서는 상당한 기술들이 요구되기 때문으로 보인다. 그리고 원착으로 인한 패션성이 떨어지는 것 또한 판매 부진요인의 하나로 생각할 수 있다.

4.2. 아쿠아스포츠 웨어

폴리프로필렌 섬유가 흡수성이 없으므로 수영복 등의 용도로는 적합하지만, 얇은 수영복의 개발이 어려운 반면, 최근 늘고 있는 해상스포츠분야에서는 두드러진 용도전개를 보이고 있다. 비교적 두꺼운 다이빙복 및 카약, 낚시 등의 분야에서는 상하의를 비롯하여 내의나 양말까지 폴리프로필렌 섬유 제품을 권하고 있으며, 많이 개발되어 있다.



Figure 3. Junonia(USA)에서 판매중인 폴리프로필렌 섬유로 만든 다이빙복.

4.3. 보온내의

현재 의류용으로는 가장 활발하게 적용되는 분야이다. 보온성이 매우 우수해다가 양모처럼 표면이 거칠지 않아 내의로 사용이 가능하기 때문에 군용으로 개발되었다. 현재는 군에서 뿐만 아니라 등산이나 낚시, 일반 생활용으로도 활용되기 시작했다. 일부 속내의도 보이고 있으나 폴리프로필렌의 경우 세섬방사기술이 어렵고, 폴리에스터처럼 충분히 개발되지 못한 관계로 얇은 형태는 제조가 곤란하다. 제조업체는 미국의 경우 매우 많은 업체에서 제작하고 있으며, 유럽의 BSST 등에서도 만들고 있다.

4.4. 스포츠 액티브웨어

폴리프로필렌 섬유의 기능성을 스포츠웨어에 가장 잘 적합시킨 업체는 노르웨이 기업인 Helly Hansen으로 "Lifa"라는 폴리프로필렌 브랜드를 가지고 다양한 제품을 전세계적으로 공급하고 있다

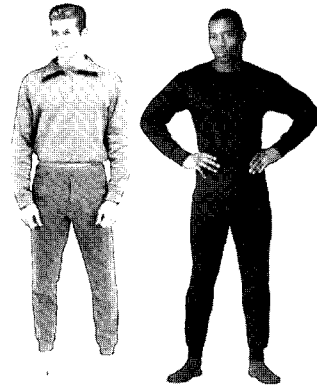


Figure 4. 미군의 폴리프로필렌 동내의.

[16]. Lifa의 경우 유럽 및 미국, 일본 등 선진국에서는 이미 판매가 되고 있으나, 한국의 경우 Helly Hansen은 런칭이 되고 있으나 폴리프로필렌 제품은 아직 판매되지 않고 있다.

미국의 샤라텍스(Shara-Tex)는 폴리프로필렌 섬유의 염색성의 단점을 보완하기 위해 스트라이프 니트를 개발해 냈으며, 파키스탄의 신테크 화이버(Syntech Fibers)는 듀라드라이라는 브랜드로 일찍부터 폴리프로필렌 이중직을 제공하고 있다[17]. 뉴질랜드의 기업 에버웜(Everwarm)은 주로 스트라이프 폴리프로필렌 니트제품을 제공하고 있다[18,19].

그리고 한국에서도 이미 많은 스포츠니트 공급업체들이 원착 폴리프로필렌을 사용하여 폴리에스터와의 양면조직으로 개발 또는 공급을 하고 있다.

4.5. 직물소재

폴리프로필렌의 직물적용성은 낮은 융점 때문에

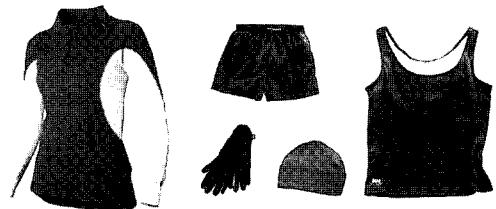


Figure 5. Helly Hansen에서 판매중인 폴리프로필렌 섬유로 만든 스포츠웨어.



Figure 6. Everwarm의 폴리프로필렌 스포츠웨어.



Figure 8. 폴리프로필렌 스펠본드 작업복 및 보호복.

다림질이 필요한 용도로는 잘 쓰이고 있지는 않다. 직물로서는 주로 가방이나 의자용의 인테리어용으로 많이 사용되나 의류용으로는 거의 사용되고 있지는 못하다. 그러나 단독이 아닌 교직이나 복합물의 경우 몇 개 기업에서 시도되고 있으며, 일본 NI 데이진소지에서는 리치테크 네오라는 폴리프로필렌 교직(복합)물을 발수 및 보온기능을 갖춘 감성직물로서 제공하고 있다[20].

4.6. 보호복 및 작업복

폴리프로필렌의 방오성 및 내화학약품성은 보호복 및 페인트작업복 등으로 그 기능이 활용되고 있다. 그러나 아직까지는 스펠본드 부직포가 그 주류를 이루고 있으며, 보호복의 특성상 일회용으로 활용되고 있다.



Figure 7. NI데이진소지의 리치테크 네오의 단면사진(폴리에스터/폴리프로필렌 복합직물).

5. 결 언

폴리프로필렌 섬유는 특성이 기능성 섬유소재로서의 가치를 인정 받고, 원착 섬유에 의해 의류용도에서도 그 시장이 많이 개척되고 있다. 이미 각국에서 의류용 원착 폴리프로필렌 섬유를 전문적으로 생산할 수 있는 업체들이 속속 생겨나고 있으며, 국내에서도 3-4개 업체에서 생산이 가능하다. 이미 전세계적으로는 십수개의 업체가 75데니어 수준까지는 원사 공급을 하고 있다.

다만, 현재 의류용 섬도의 폴리프로필렌 원사의 가격이 너무 높은데다가 패션성의 결여로 인해 아직까지 대규모 시장으로는 성장하지 못하고 있는데 염색이 불가하여 패션성의 결여가 매우 큰 문제로 자리하고 있다. 특히 세데니어의 방사기술은 아직 제대로 확보되지 못해 전개에도 많은 문제가 있는 것으로 알려져 있다.

가염형 폴리프로필렌 섬유소재가 적절한 가격대로 개발 된다면 폴리프로필렌의 의류용 시장규모는 지금보다 수배 이상으로 성장할 수 있으며, 이에 수반하여 세섬방사 기술들도 확보될 것으로 생각한다. 또한 용도는 위에 소개한 이상으로 많아질 것으로 보이며, 감성소재로서도 가능성이 있을 것이다.

최근 고견뢰성 가염 폴리프로필렌 섬유소재 개발 사업이 착수되고, 이 사업을 통하여 이전에 없었던 공정성의 확보와 농색의 고염착성, 견뢰도에 대한

기초기술들이 제안되어 있다고 하니 그리 멀지 않은 시간 후에는 가염형 폴리프로필렌 섬유가 의류 용도의 시장에 그 모습을 보일 것으로 생각된다.

폴리프로필렌 섬유의 생산량이 아크릴 섬유를 제치고 4대 화학섬유중에서 3위를 차지하게 된 해가 1995년이였다. 그로부터 10년이 지난 지금은 다시 한번 폴리프로필렌 섬유가 도약하는 기회가 될 것으로 생각하며, 가염형 폴리프로필렌 섬유의 개발에 많은 기대를 걸어 본다.

참고문헌

1. M. Ahmed, Polypropylene Science and Technology, Chap.10, Elsevier, 1982.
2. Sekar, N., "Dyeable polypropylene fibers: On the research front review of development", Colourage 47(2), p.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, "조임계 이산화타소를 이용한 폴리프로필렌 섬유의 염색", 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. Mitubishirayon Polypropylene Fiber Catalog "Mitsubishy Pylene".
11. Gunter Klambauer, International Fiber Journal, p.54, Feb(2004).
12. www.usariem.army.mil, (U.S. Army Reserch Institute of Environmental Medicine)
13. 일본규격협회, JIS 사용법 Series : 섬유제품 시험 Manual, 167, 1981.
14. 도레이리서치센터, 기능성 섬유, 10, 1993.
15. Matsubara Takeo, "폴리프로필렌섬유제품의 재부형화에 의한 리사이클" 일본섬유학회지, 59(7), 216(2003).
16. www.hellyhansen.com
17. www.duradry.com
18. www.everwarm.co.nz
19. America's Textile International, march(1997).
20. www.ni-teijinshoji.co.jp

저자 프로필



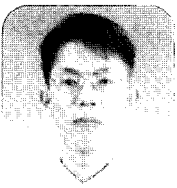
권혁상

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



박중휘

1990. 서울대학교 섬유공학과 졸업
 1992. 서울대학교 섬유고분자공학과(석사)
 1996. 서울대학교 섬유고분자공학과(박사)
 1996-2000. (주)SK케미칼 연구소
 2000-현재 (주)휴비스 연구소 수석연구원



최재호

1994. 서울대학교 섬유공학과 졸업
 1994-2000. (주)삼양사 연구소
 2000-현재. (주)휴비스 연구소 선임연구원



김재형

1999. 경희대학교 섬유공학과 졸업
 2001. 경희대학교 섬유공학과(석사)
 2001-2002. 화학연구소
 2002-현재. (주)휴비스 연구소 주임연구원