

염색가공 산업에서의 청정생산기술

남창우, 이범수

(한국생산기술연구원 에코섬유팀)

1. 서 론

1.1. 염색가공 산업의 개요 및 특성

염색가공 산업은 섬유산업 중 middle stream에 위치하는 분야로 전기, 전자, 정밀화학, 기계, 에너지 및 환경 등 여러 관련 산업을 포괄하는 복합기술이자 첨단기술로 기술적인 파급효과가 큰 분야이다. 염색가공업은 다양한 조건과 수많은 기술이 종합적으로 조합되어 완성되는 다단계 공정으로 염색가공품의 대부분이 완제품 생산을 위한 자본재 성격이 강한 것으로 섬유소재가 요구하는 성능을 최종적으로 부여하는 공정으로서 섬유제품의 품질에 결정적인 영향을 끼치는 공정이다.

염색가공 산업은 기술적인 측면에서 볼 때, 복합적인 기술로서 다양한 유형의 품질사고가 끊임없이 공정 중에서 발생되고 있지만 노력여하에 따라서 첨단화되어 고부가가치화를 실현시킬 수 있는 분야라고 판단된다. 염색가공 산업은 소비자의 욕구에 대한 신속한 대응이 필수적인 업종으로 타 업종에 비해 단 사이클, 단 납기 시스템이 확립되어야 생

산성의 효율화를 기할 수 있는 섬유산업의 꽃으로 에너지·기술집약형 산업이다. 현재 국내 염색가공 기술은 범용성 제품의 생산 및 기술능력 부분에서는 이미 세계적인 수준에 도달하고 있으며 타 산업에 비교해서 적은 자본을 투자해서 세계 시장에서 선진국 대열에 도달할 수 있는 고효율 창출의 산업이라고 평가된다. 그러나 염색가공업의 공정 특성상 중소기업형 산업으로서 지금까지 축적해 놓은 infra를 충분히 활용치 못하고 있는 것이 현실이다. 특히 선진국 제품에 비해 열위로 평가되고 있는 염색가공 공정 중 부품소재 성격의 관련 기술수준의 낙후는 많은 재염물과 불량률을 발생시켜 염색가공산업의 경쟁력 향상에 많은 문제점을 발생시키고 있다.

국내 염색가공업의 장점은 첫째, 중고가 제품 부분에서 강력한 품질 및 가격 경쟁력을 유지할 수 있는 기술력의 뒷받침, 둘째, 축적된 기술의 보유, 셋째, 전문단지 조성에 따른 성장 잠재력 보유, 넷째, 선진국 수준의 자동화 설비를 갖출 수 있는 기술 잠재력을 보유하고 있다는 사실이다.

그러나 상대적인 약점으로는 첫째, 기술기능 인

Table 1. 염색가공 산업의 소재별 단위부품 공정기술

피염물형태 구분	원 사	직 물	편 물	제 품
전처리	정련, 표백	정련, 표백, 알칼리처리, 머서화	정련, 표백	정련, 표백
염 색	Cone, Cheese, Hank형태로 염색	연속 및 Batch 형태의 염색으로 구분	연속 및 Batch 형태의 염색으로 구분	가먼트 염색
가 공	사가공	기모, 코팅, 열처리, 유연가공 등	코팅, 열처리, 유연가공 등	형태 안정화를 위한 가공

력의 부족, 둘째, 기술경쟁력 및 기술개발 체제의 열위, 셋째, 입지환경의 불량, 넷째, 선진국에 비해 크게 열세를 보이고 있는 염색가공산업의 부품별 공정기술의 낙후, 다섯째, 환경개선에 대한 저조한 투자라고 생각된다.

1.2. 청정생산기술의 필요성

최근 들어 유럽 선진국들을 중심으로 환경에 관한 여러 법안이 섬유산업을 초점으로 입법화되면서 섬유제품 제조시 필연적으로 발생하는 유출물(폐수, 폐기물 등)뿐만 아니라 대기오염에의 영향까지 포함하여 법적인 규제가 더욱 심해지고 있다. 구체적인 예로, green round의 확대에 따른 수출제품의 제한과 환경보전에 대한 투자확대로 최종제품의 원가상승에 의해 세계 시장에서의 국제경쟁력이 변화되고 있으며, 환경과 무역을 연계시키려는 새로운 무역장벽의 움직임도 심화되고 있다. 이에 따라 환경마크, 경고라벨 부착, 에너지 효율 등급제 등에 대한 국제적인 품질인증제도(ISO 14000)가 선진국을 중심으로 추진되고 있는데, 이것은 소비자들의 제품 선호도에 큰 영향을 줄 수 있다. 따라서 향후 섬유제품은 환경오염 문제는 물론, 최종 제품에 잔류되는 화학약품들의 성분과 대기오염에 미치는 영향까지도 고려해야 하므로 전 공정에서 사용되는 원부재료에 대해 환경에 미치는 영향을 철저히 검토

하고, 이를 사용하는 적절한 생산 공정 설계를 해야 하는 실정이다.

섬유공업은 Figure 1에서 본 바와 같이 물의 사용량이 많을 뿐 아니라 공해발생 물질이 많은 업종으로 분류되고 있다. 이에 따라 환경규제가 국내외적으로 점차 증대되는 시점에서 청정생산기술의 개발은 그 어느 분야보다 절실하다.

염색가공공정은 섬유제품의 전체 제조공정 중 환경오염에 가장 악영향을 미치는 공정으로, 염색 이전 공정에서 섬유에 부여된 유제, 호제, 잔사 등이 전처리할 때 빠져 나와 폐수로 들어가며, 염색공정 중 미고착된 염료와 염색조제 및 산, 알칼리 등 모든 화학약품들이 직접 혹은 간접적으로 환경에 좋지 않은 영향을 미친다. 특히 일부 Azo염료들은 환원될 때 발암성 Amine을 생성시키므로 그 사용이 금지되고 있고, 면섬유용 반응성 염료는 흡진률이 60% 정도로 매우 낮고 미생물에 대해 난분해성이어서 폐수처리가 매우 어렵다.

섬유공업 중 염색가공업은 다른 산업보다 환경에 매우 민감한 분야이므로 1980년대 초부터 폐수처리 및 청정기술에 대한 관심이 커졌다. 특히 1980년대 중반에 발생한 Ciba-Geigy 및 Sandoz 염료회사의 폐수 방출문제가 국제적인 이슈로 되면서부터 유럽 및 일본 등의 선진국을 중심으로 국가적 차원에서 폐수처리 및 청정기술 개발에 대해 많은 투자가 이루어져 왔다. 이러한 폐수처리 및 청정기술은 염색가공기술의 특성상 종합적인 시스템 기술개발이기 때문에 막대한 투자비가 소요되므로 민간 차원의 개발보다는 정부주도 차원의 종합적 기술개발이 이루어져 왔다.

국내의 경우를 보면 1990년대 들어 환경에 대한 국민의식의 점진적 고조로 인해 그 중요성이 인식되어 관련기술의 개발이 시작되고 있는데, 이제 초기단계이므로 아직까지 부분적, 산발적으로 이루어지고 있는 실정이다. 특히 염색가공업의 특성상 환경에 매우 민감함에도 불구하고 기발생된 폐수의 사후처리(end of pipe)에만 급급한 나머지, 폐수 및

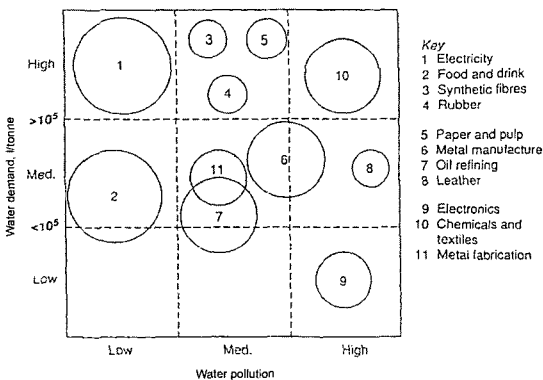


Figure 1. 섬유공업의 환경학적 위치.

폐자원 발생을 보다 근본적으로 감소시킬 수 있는 청정기술에 대한 연구 및 개발은 거의 이루어지고 있지 못하고 있는 실정이다. 그런데 염색가공업의 청정기술은 앞서 언급한 바와 같이 그 특성상 염료, 조제 등의 원부재료부터 설비와 이를 이용하는 공정기술에 이르기까지 종합적인 시스템 기술이므로 그 개발에는 상당한 투자비가 소요되나 국내 염색 관련 업계의 98%가 중소기업인 관계로 인하여 지속적인 기술개발을 위해서는 민간기업 주도형으로의 기술개발 형태로서는 어려운 실정이다.

최근에는 염색가공과 관련된 청정기술 개발에 정부가 연구개발비를 지원하여 염색가공업체 뿐만 아니라, 염료/조제/설비제조 업체 등이 환경오염 가능성이 적은 염료, 조제 및 설비 등의 개발이 이루어지기 시작하고 있어 염색가공 산업에서의 청정생산 기술의 개발과 보급이 기대된다.

이제는 한 가지 제품을 설계·생산할 때 그 제품이 갖고 있는 기능적인 면 외에 해당 제품의 환경적 요소는 물론 제조과정 중 환경과 인체에 무해한 환경친화적 기술을 어떻게 적용했느냐 하는 데에 그 초점이 맞춰지고 있고, 환경친화적 기술적용 여부에 따라 그 제품의 시장성과 수명이 좌우되는 시대에 돌입하였다. ISO 14000과 Oeko-tex Standard 100, 그리고 환경호르몬 등의 환경관련 규제는 이미 우리 섬유산업의 한 부분을 차지하고 있고, 이에 따라 환경친화적 기술개발을 위한 green technology 기술개발 활동이 다각도로 이루어지고 있다.

2. 해외 청정생산기술 개발동향과 사례

오염을 줄이는 가장 좋은 방법은 첫 번째 발생하는 장소에서 오염원을 막는 방법이다. 많은 회사들이 환경부하를 줄임과 동시에 생산성과 원가절감을 이룰 수 있는 오염 방지기술을 개발, 발전시키고 있다. 이를 위해서는 물질의 사용을 줄이는 기술, 부산물의 재사용을 위한 공정 개발, 품질관리기술의 발전, 유독성 화학물의 대체사용과 같은 방법들이

사용될 수 있다. 중소기업에서는 적극적인 오염 방지 정책을 펼쳐 단지 오염물의 배출량을 줄임으로써도 규정치 이하의 배출을 이룰 수 있다.

섬유 산업에서의 대부분의 오염 방지 기술은 화학물질의 사용을 줄이고, 공정수를 재사용하며, 모든 고형 폐기물을 줄이는데 초점이 맞춰져 있다. 다음은 오염방지기술의 내용과 그 구체적 사례를 기술한다.

2.1. 유독성 약제의 대체

섬유제조가 화학적으로 집약적인 과정이므로 오염 방지의 첫 초점은 섬유 공정에서 오염이 적은 약제로 대체하는 것이다. 대체물은 화학 폐기물을 제거할 수 있고, 오염 조절 장치의 비용 절감에도 필요하다. 원자재, 생산물, 공정 과정, 환경 조건이 다르기 때문에 제조공정 사이에서 다양하게 대체할 수 있다.

용매를 대체함으로써 공장은 폐액을 줄이고 처리 시스템에 관계되는 비용을 줄일 수 있으며 근로자의 안전성을 증가시킨다. 이것은 오염을 방지하는 최고의 방법 중에 하나이다. 대체할 수 있는 몇몇의 약제는 호제, 조제, 염료 그리고 보조제가 포함된다. 예를 들어, 일부 호소는 녹말 호제로 대체되어 효율적으로 사용될 수 있으며, 이 방법은 폐액으로 BOD 수치를 증가시키는 hydrolyzed starch 대신 물과 탄산가스를 만든다.

고착효율이 높은 염료는 폐수로 나가는 염료량을 감소시키고 염욕에서 염료의 반응시간을 줄일 수 있다. 고온 반응형 반응성 염료는 분산염료와 동시에 염색에 사용할 수 있다. 이것은 에너지 절감과 분산염료 염색 후에 요구되는 수세공정을 줄일 수 있다.

고효율 세척조제는 세척 능력의 증가와 물 소비의 감소 그리고 반응염색에서의 견뢰도를 증가하는데 사용된다.

Bloomsburg社는 위험한 대기 오염과 1,1,1-Trichloroethane(TCE)을 위해 선택된 적절한 spot-washing의 사용으로 heptane과 isopropanol이 함유된 용매를 대체했다.

Guilford社は North Carolina와 Pennsylvania에 생산 공장을 갖고 있다. 이들 공장의 heat setting 과정에서 사용되는 solvent상의 약제를 수용성 약제 시스템으로 대체하였다. 배출물 조사과정에서 heat setting이 휘발성의 유기 약제 배출의 주요 원인이라는 것을 확인하였고, curling을 막고 섬유 끝부분을 안정하게 하기 위해 사용하는 gum을 용해시키기 위한 acrylic latex emulsion을 사용하였다. 이 변화로 VOC 유제를 1993년 246.8톤에서 1995년 93.7톤으로 축소할 수 있었다.

2.2. 효소이용 전처리 기술

2.2.1. 최근 효소이용(바이오) 기술의 특징

최근 Eco-friendly 섬유가공기술이 유럽을 중심으로 대동하면서 효소를 이용한 섬유가공기술이 호발과 정련은 물론 표백과 세정 및 감량가공 분야에 까지 미치고 있어 효소이용 기술은 섬유분야에 있어서의 바이오 기술이라는 새로운 장르를 형성하는 등 갈수록 첨단화 되어가고 있다. 2001년 5월에 포르투갈에서 처음 시작된 「섬유산업에 있어서 효소기술의 응용에 관한 심포지움」에서는 산업 전반에 걸친 효소이용 기술에 관련된 각 분야별 연구 성과가 다수 발표되었고, 2002년도 미국 대회에서도 효소이용에 관한 연구 실적이 다수 소개되었으며 섬유분야에 있어서 바이오 기술이 새로운 분야로 자리해가고 있다.

우선 효소를 염색가공분야에 사용하려는 주된 이유(효과)를 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 환경친화적인 측면에서의 효과를 들 수 있다. Eco-friendly 섬유가공기술을 실현하기 위한 하나의 방법으로 천연 유래물질 사용을 권하고 있으며, 효소는 생체세포에 의해 생산된 유기 촉매로 간주되고 있다. 따라서 단백질이 주성분인 효소를 이용하면 생분해성이 우수하기 때문에 폐수부하가 적을 뿐 아니라 그동안 사용해온 알칼리나 염소 등의 조제약품 등이 필요없게 됨에 따라 무약품 전처리 공정을 실현할 수 있고, 이로서 용수 절감에도 기여함은 물론 2차 오염원인 인산염과 CO₂ 배출량도

감소시킬 수 있다.

둘째, 효소를 이용함으로써 공정 자체를 저온상태로 유지시킬 수 있음은 물론 무약품에 따른 용수 절감효과를 누릴 수 있어 이에 따른 에너지 절감효과를 실현할 수 있다.

셋째, 알칼리 정련이 불가능한 셀룰로스/울 등의 혼방제품의 경우나 알칼리 정련시 문제발생의 소지를 안고 있는 셀룰로스/폴리에스터 등의 경우에 보다 효율적인 정련이 가능해 제품의 고급화를 꾀할 수 있다.

넷째, 아직 대부분에 있어서 추가적인 연구개발 필요성은 남아 있지만 일부의 경우는 약품사용 시보다 우수한 품질성능을 실현할 수 있다는 것이다. 이에 따라 효소 정련표백과 감량 후의 염색성 증가에 관한 연구활동도 활발히 진행되고 있어 머지않아 염색가공분야에 있어서 효소 이용이 일반화 될 것으로 예상되고 있다.

섬유에서의 효소 이용의 역사는 그리 깊지 않지만 면섬유 호발공정에서의 α -아밀라아제를 필두로 양모의 감량과 셀룰로스의 감량에 프로테아제와 셀룰라제를 사용하는가 하면 면섬유 표백 후 과산화수소 탈산화로 카타라제 사용 또한 일반화되어가고 있다.

이 후 1955년 Eco-friendly 개념이 처음 도입된 이래 일본을 중심으로 면섬유의 효소를 이용한 정련에 펙티나제 사용이 처음 시도되어 실용화 단계에 있으며, 이어 표백공정에도 퍼옥시다제 사용에 대한 실용화 연구가 한창 진행 중에 있다.

이처럼 섬유산업에서의 효소 사용은 점차 실용화되고 있으며 일반화될 날도 머지않을 것으로 예상되고 있다. 우선 각 공정별로 사용하는 효소의 종류를 보면 다음 Table 2와 같다.

2.2.2. 양모섬유의 효소 감량가공

효소에 의한 양모의 감량가공은 양모 표면에 있는 스케일을 제거해 양모가 가지고 있는 D.F.E(directional frictional effect)를 감소시킴으로써 양모 특유의 수축을 방지시켜주는 방축가공용으로

Table 2. 효소별 주작용과 적용공정

효소명	주작용	적용공정
α -Amylase	전분분해 글루코스 생성	면섬유 호발
Pectinase	펙틴 및 왁스분해	면·마섬유 정련
Cellulase	셀룰로스 분해	면·마섬유 감량개질
Catalase	과산화수소 분해	
Lipase	지방 분해	면섬유 정련, PET 감량
Glucose Oxidase	글루코스 산화, 과산화수소와 Glucono lacton 생성	면섬유 표백
Peroxydase	고분자 항산화, 과산화수소의 분해	면섬유 표백, 반응성염료 분해, 과산화수소 탈산화
Protease	Papain, Trypsin 등 단백질 분해효소의 총칭	양모 감량·방축·개질가공, 견의 정련

주로 사용하고 있다.

그동안 개발된 기술 내용을 분석해 보면 단백질 분해효소인 프로테아제를 양모에 처리함으로써 양모의 스케일을 제거하는 방법 등을 주축으로 각종 조제와의 병용처리 또는 후처리 방법을 이용해 왔고 최근 은 트립신이나 식물성 프로테아제(파파야 나무 추출물)인 파라인에 의한 방법도 많이 이용하고 있다.

한편 양모 감량가공에 의한 방축가공의 원리와 방법은 다음과 같다.

양모직물의 변형을 일으키는 원인은 크게 이완수축, 팽윤수축, 펠트수축으로 나타난다.

이완수축은 직물제조 공정에서 받은 변형이 회복됨으로써 나타나는 것으로 모든 제조공정에서 볼 수 있는 비가역적인 수축이다. 이것은 공정조건을 정확하게 관리하지 못하면 제품의 균일성에 영향을 준다. 이 변형의 일부는 크래빙 등의 습식 공정으로 제거할 수 있다.

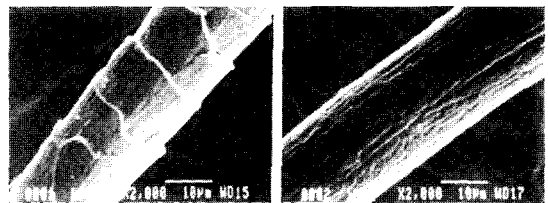
팽윤수축은 수분률의 차이에 따라 직물 봉제시에 공기중의 수분을 흡수 발산함으로써 직물의 치수 안정성에 영향을 주는 중요한 요소가 된다.

펠트수축은 직물과 편물 세탁시 실 사이의 상대적인 이동에 의하여 발생하는 양모 특유의 수축으로서 일회성이 아니라 계속적으로 일어난다. 즉, 습윤 상태에서 기계적인 작용을 받을 때 섬유 스케일의 높은 D.F.E와 섬유자체가 가지고 있는 높은 탄성 회복율에 의해 수축이 일어나는 것으로 이것이 방축가공의 주요 대상이 된다.

보통 방축가공에는 다음과 같은 방법을 이용하고 있다.

- ① 스케일을 개질 또는 파괴해서 D.F.E를 감소시키는 방법
- ② 스케일을 폴리머(수지)로 코팅해서 D.F.E를 감소시키는 방법
- ③ 울섬유 내부에 가교결합을 도입하는 방법
- ④ 섬유간의 접점을 접착시켜서 상호이동을 줄이는 방법

그 밖에 일본의 愛知縣 산업기술연구소에서는 縣내 각 지역에서 채취한 토양시료로부터 양모케라틴 분해능력이 높은 곰팡이를 분리하고 양모 방축가공에 적합한 신규 케라틴 분해효소를 취득하였다. 본 효소는 종래의 효소에 비해 케라틴 분해능력이 극히 높다는 것을 판명하였으며, 펠트 수축의 원인이 되는 큐티클에 우선적으로 작용하기 때문에 섬유강도와 촉감을 저하시키지 않고 양모 직물에 우수한



미처리 (비늘상 큐티클이 있음.) 신규 케라틴 분해효소처리 (큐티클이 제거되어 있음.)

Figure 2. 양모섬유의 전자현미경 사진.

방축성을 부여할 수 있음을 알 수 있었다(Figure 2). 현재 이 연구소에서는 이 기술에 대한 특허를 출원해 놓고 있고 실용화를 서두르고 있다.

2.2.3. 폴리에스터 섬유용의 효소 감량기술

폴리에스터 섬유의 물리적 특성 개선을 위한 감량은 알칼리 감량이 주를 이루고 있으나 감량폐수에 대한 환경문제가 대두되면서 Eco-friendly 기술은 효소를 이용한 감량기술에 관심이 집중되고 있다.

효소에 의한 폴리에스터섬유의 감량기술은 1998년 일본염색협회가 에너지 절약의 일환으로 향후 개발 예정기술로 발표하면서 세간의 관심이 되고 있다.

그 후 오사카 대학의 高岸徹교수가 라파제를 이용한 폴리에스터섬유 감량가공에 대한 가능성을 제시하고 이에 대한 본격적인 연구가 진행되고 있는 것으로 전해지고 있으며, 일본 아이지현 섬유센터의 茶谷悦司 연구팀도 토양으로부터 방향족 에스테르 분해균을 분리해 이것을 이용하는 한편 지방족 폴리에스터 분해효소로 시판중인 리파제를 폴리에스터섬유 효소감량공정에 이용한 후 섬유물성에 대한 효소의 영향을 연구한 바 있다.

茶谷연구팀은 38종의 토양샘플에서 5종의 방향족 에스테르를 분해하는 미생물을 집적 배양·분리하는데 성공하였다. 연구팀은 분리 배양한 미생물과 시판 리파제를 폴리에스터 직물 및 필라멘트에 처리함으로써 효소에 의한 표면 분해 효과로 폴리에스터 직물의 흡수특성과 대전방지 효과 및 염색성 향상효과는 물론 표면특성(마찰계수 등) 변화를 확인할 수 있었으며, 인장강도도 15% 정도 감소하는 것으로 나타나 효소에 의한 폴리에스터 분해특성을 확인할 수 있었다.

그러나 효소를 폴리에스터 감량가공에 이용하기 위해서는 ①폴리에스터에 대한 높은 분해특성(기질 특이성의 개선)을 갖는 효소를 찾아야 할 것, ②소량, 단시간 처리로 개질효과를 얻어야 할 것, ③화학약품 처리로 얻을 수 없는 실용상 유용한 성능을 발휘시켜야 하는 등의 조건을 만족시켜야 하며, 이

를 위해서는 유전공학과 단백질 공학적인 연구가 뒤따라야 할 것으로 지적되고 있다.

2.2.4. 바이오 기술의 문제점과 향후 과제

섬유산업에서의 효소 이용은 Eco-friendly 섬유가공 기술에 대한 필요성과 Bio-technology 기술발전으로 셀룰로스 섬유의 정련·표백기술과 양모의 바이오 방축가공에 의한 washable 울, 폴리에스터의 알칼리 감량가공 기술과 PVA의 효소분해, 그리고 효소에 의한 염색공정 기술과 염색폐수 처리 기술은 점차 현실화되고 있으며, 이에 대한 기술개발 결과가 하나, 둘 발표되고 있어 다양한 분야에서의 그 쓰임새가 많아 질 것으로 기대하고 있다.

그러나 바이오기술의 실용화에 있어서 다음과 같은 몇 가지 문제점이 있다.

- ① 연속 바이오 정련은 마일드한 공정이기 때문에 기존의 알칼리에 의한 고온 정련공정에 비해 일부 불순물이 남아 있다. 불순물 종류는 주로 셀룰로스 및 헤미셀룰로스, 펙틴, 리그닌 등으로 펙티나제에 의한 완전한 분해는 어렵다. 액류염색기에 의한 배치식 정련이 필요하며, 셀룰라제 등 다른 효소의 병용도 필요 하다.
- ② 바이오 표백의 경우 공정이 pH 산성조건에서 이루어지기 때문에 알칼리조건의 표백제품에서 얻을 수 있는 유연한 촉감은 얻을 수 없다. 따라서 중성조건에서의 바이오 표백에 대한 연구가 한창 진행되고 있다. 구체적으로는, 글루코스옥시다제를 이용해서 중성 pH에서 글루코스(포도당)로부터 과산화수소를 발생시켜 이것으로 표백을 행하는 방안을 강구 중에 있다.
- ③ 또 하나의 문제는 현재 사용할 수 있는 효소가 가격이 섬유가공 관점으로 보면 너무 고가라 비현실적이라는 것이다. 따라서 현재 사용하고 있는 효소의 코스트 다운이나 새로운 효소 개발이 필요한 시점이다.
- ④ 의류메이커와 소비자들의 바이오 정련에 대한 인

식이다. 바이오 정련으로 제조한 면제품은 촉감이 부드럽다는 특징은 있으나 지금까지의 일반 면제품과는 「환경친화적인 제품」이라는 것 외에는 차별화 시킬만한 별다른 특징이 없다. 따라서 에너지 절약과 환경보전이라는 큰 목적하에 개발될 것이라는 업계 전체의 이상을 실현한 제품이라는 것을 어필할 필요가 있다.

2.3. 공정개선에 의한 오염발생 저감화

공정에서 최대한의 효율증대와 원재료 물질의 사용 저감화가 오염 방지에 사용되어질 수 있다.

2.3.1. 저욕비 염색설비의 사용

제조 공장은 염색 액량비를 줄이는 방향으로 움직여 왔다. 액량비는 염색기에 투입되는 액의 중량을 섬유 무게로 나눈 것으로 정의된다. 윤활제와 염 및 몇 가지의 약제는 염욕에서 작용하고, 반면 염료와 유연제와 같은 것은 섬유에서 작용한다. 각각의 경우 이런 약제들은 염욕의 양 혹은 직물의 무게에 의존하여 사용된다.

염색공정에서 사용하는 염액의 양은 소요 에너지와 비례하게 되므로 액량비를 줄이는 것이 물을 매개로 하는 염색에서는 에너지의 절감효과가 가장 크다. 저욕염색기를 제외하고는 대부분이 10:1 이상의 액량비로 염색된다. 낮은 액량비 염색은 에너지를 절약할 수 있고, 화학물질 사용을 줄일 수 있는데, 이는 에너지와 화학물질은 액 부피에 의존하여 사용되기 때문이다. jet 염색과 package 염색은 일반적으로 저욕비에서 사용된다.

염색 방법에서 사용되는 액량비는 다음과 같이 jet(12:1), jigger(5:1), package(10:1)로 나타난다. pad batch 방법은 1:1의 액량비를 갖는다. 극단적으로 낮은 액량비에는 빠른 기계적 배수와 급수 그리고 빠른 가열과 냉각때문에 역시 전체적인 시간을 줄일 수 있다.

액량비를 줄여서 에너지를 절감하려는 노력은 오래 전부터 진행되어 염색기의 경우 액류염색기가

최대 1:6, air flow 염색기가 최대 1:2의 액량비가 가능할 정도로 초 저욕비 염색기의 발전이 두드러진다. 이러한 초 저욕비화가 가능한 것은 염액과 섬유의 순환방식을 첨단화하고 제어기술의 접목이 이루어진 결과이다.

저욕비 염색에서 문제가 되는 것이 액량의 저하에 따라 염액과 피염물의 접촉이 줄어들어 균염이 어려워지므로 피염물과 염액의 접촉을 최대로 해 주기 위해 피염물, 염액의 순환속도를 크게 해 주어야 한다. 이때 염색포가 장력을 많이 받게 되면 핸들의 손상이나 구김의 발생 등이 발생하므로, 이러한 점에 대해서는 염색설비의 설계적 측면에서 많은 개선이 진행되고 있다.

최근에 나오는 액류염색기는 저욕비화(1:5 이하) 하면서 teflon판 등을 사용하여 직물과 기계와의 마찰력 감소와 더불어 원단 이동속도의 고속화(400 m~600 m/분)를 가능하게 하고 있다. 원단장력을 극소화하기 위해 기계의 전체 높이를 되도록 낮게 설계하여 원단이 끌어 올려지는 길이를 작게 하고 있으며 원단장력도 전자동으로 조절할 수 있다.

기본적으로 액량비가 낮은 jigger 염색기가 최근에 들어 다품종 소량생산의 추세에 맞추어 새로운 발전을 보이고 있다. 종래 jigger 염색기의 단점인 원단 장력문제를 해결하기 위해 유압식 drive system을 채택하고 있으며, 속도 자기변환기에 의한 속도 조절 및 저 장력화한 설비와 friction gear box를 채택하면서 수세효과를 높인 설비 및 load cell을 사용하여 원단 장력을 조절하는 방법 등이 발전되어 실크 등의 까다로운 박지직물 까지도 염색할 수 있게 되고 있다. 또한 대부분의 설비가 micro-processor control 장치를 부착하여 인력 절감효과(5~6 대/1인당) 및 중앙집중 제어가 가능하도록 되고 있다.

염색 목적이 섬유에 손상을 주지 않고 균염을 이루는데 있으므로 아직 액량비만을 낮추는 것은 포의 손상문제 뿐 아니라 불균염, 염료용해 불량, 세정의 불완전 등 여러 문제점을 안고 있다. 따라서 저욕비화를 달성하기 위해서는 적은 양의 염액에

염료를 충분히 용해시키는 방법의 개발이 병행되어야 한다. 이에 대해서는 화학적인 방법으로 염료 용해 보조제 등의 활용이 제시되고 있으나, 아직 불완전한 실정으로 판단된다. 특히 고농도 염색의 경우에는 액량비 저하의 한계가 있으며, 잔류 염액의 과다로 인한 세정의 불량이나 폐수로 방류되는 염료량의 증가 등 환경적 측면에서도 저욕비 염색을 최적화시키는 연구가 더 필요한 것으로 보인다.

또 저욕비 염색기술이 기계적 측면만 부각되고 있으나 위의 여러 문제를 해결하고 초 저욕비를 달성하기 위해서는 초 저욕비용 염료의 개발도 앞으로 병행되어야 할 것으로 기대된다.

2.3.2. Pad Batch 염색의 활용

면, 레이온, 및 혼방을 위한 pad batch 염색은 에너지, 물, 염료, 노동력 그리고 공간의 절감이 가능하다. pad batch 염색 방법은 폐기물의 감소와 원가를 절감하기 위한 시설에 좋은 방법이라 할 수 있다. 반면 cold pad batch(CPB) 염색은 일부 면과 레이온에 대한 반응염색에서는 효율적이거나, 모든 면 섬유의 염색을 궁극적으로 수용할 수 없고, 화학섬유의 염색에는 적합하지 않다. 중성염의 소비는 섬유 무게의 100%로부터 0%까지 줄일 수 있다. beam wash-off를 갖는 cold pad batch 염색에서의 물의 소비는 beck을 사용한 염색에 사용되는 물의 양의 10%이고 섬유 1 pound당 2 gallon의 물이 필요하다. 에너지 소비는 beck 염색의 pound당 약 9,000 BTU에서 beam washer를 갖는 cold pad batch에서는 섬유 pound당 2,000 BTU까지 줄일 수 있다. 뿐만 아니라, 입금과 약제의 사용은 jet 염색법에 비교하여 60%까지 줄일 수 있다.

cold pad batch 염색에서는 직물에 알칼리와 염료를 미리 혼합한 용액으로 패딩하고 과잉의 액은 압축 롤러로 구성된 장치로 빼낸다. 직물은 그 후 물의 증발 혹은 공기로부터의 CO₂의 흡수를 막기 위해 플라스틱 필름으로 봉하여 박스 또는 롤러위에 배칭(batching)되어 12시간 정도 저장한다. 배칭

후에는 beck, beam, 혹은 다른 세정설비로 세척할 수 있다. 섬유무게나 염색 시스템에 따라 1분에 75~150 yard 사이의 생산속도가 일반적이다. cold pad batch 염색은 연속식 염색보다 더 유연성이 있다. 직물 뿐 아니라 편물도 염색할 수 있고, 장치의 유연성과 수용성 액상 염료의 사용으로 세정 작업을 최소화 할 수 있다.

2.3.3. 공정단축

공정의 결합에 의한 공정단축으로 생산효율은 증가하고 폐기물의 양은 감소될 수 있다. 예를 들면 정련과 표백과정을 결합하면 에너지와 용수를 절감할 수 있다.

cold pad batch 염색은 발호, 정련, 표백의 긴 사이클 동안에 표준온도로 유지할 수 있다. 단일 단계로 발호의 cold pad batch 염색은 에너지와 용수의 사용을 최소화하고 생산성을 최대화할 수 있다.

면직물의 전처리 공정에서 발호는 전분 분해 효소에 의해 정련은 알칼리에 의해 표백은 과산화수소에 의해 여러 단계로 하는 것이 보통이다. 대부분 호제의 경우 정련 조건인 알칼리 존재하에서 산화제에 의해 산화가 가능하므로, 알칼리와 산화제로 발호, 정련 및 표백을 동시에 수행(oxidative desizing, 산화호발)하면 약제, 에너지, 폐수 방출물 등을 동시에 줄일 수 있는 장점이 있다. 이 방법에 의해서는 넓은 범위의 호제 즉, starches, CMC, PVA, polyacrylates에 대해 적용이 가능하므로 면의 전처리 공정의 단축화에 매우 유용할 것으로 기대된다.

Table 3에는 산화 호발법에 의했을 때(two step)와 기존의 3단계 전처리법(three step)과 호발-정련-표백의 일욕공정(one step) 시의 폐수 COD를 비교한 것으로, 3단계 산화 호발법을 적용하였을 때가 가장 폐수부하가 적음을 알 수 있다. 일본의 山東鐵工所에서는 연속 정련표백 장치에 오존 발생장치를 부착하여 호발-정련-표백을 일욕공정으로 처리하는 기술을 개발하고 있는 것으로 알려져 있다.

전처리 공정에서 공정 단축화를 통하여 폐수 저

Table 3. 산화호발에 의한 COD(mg/l) 저감화

	three step	two step	one step
enzyme desizing	95,850		
oxidative desizing	59,400	91,290	
bleaching	11,000	22,100	191,000
total	66,200	113,390	191,000

감화를 시도하는 기술은 이 밖에도 여러 나라에서 개발을 서두르고 있으나, 아직은 설비비나 처리비용이 많이 드는 등 경제성에 문제가 많아 꾸준한 개발을 통하여 21세기에는 전처리 일욕공정의 기술이 실용화 될 것으로 기대된다.

정련, 표백공정에서 물을 가장 많이 사용하는 단계는 수세공정이다. 따라서 용수의 적정 사용과 잔류 약제의 재사용을 위한 여러 가지 시도가 있다. 이를 위해서는 물에 존재하는 약제나 불순물의 농도 측정을 통하여 약제의 공급이나 액의 흐름을 컴퓨터로 조정하는 기법이 개발되고 있다.

2.3.4. 초음파 이용 전처리

초음파는 10 KHz에서 30 MHz사이의 파동으로 그 에너지의 전달에는 매질이 필요하다. 100 KHz 이하의 저주파 영역의 초음파는 물속에서 일으키는 cavitation작용을 이용하는 것으로, 이 것은 국소적인 물의 가열, 섬유 팽윤, 섬유/물 사이의 전기화산층 파괴 등 여러 효과를 나타내어 발효, 정련, 표백 등의 공정에서 섬유의 불순물 제거에 유용하게 쓰일 수 있다. 따라서 초음파의 cavitation작용을 어떻게 활용하느냐에 따라 매우 높은 전처리 공정의 효율 향상을 달성함으로써, 전처리 공정의 용수를 절감하고 시간을 단축 할 수 있다. 초음파를 전처리에 효율적으로 이용하기 위해서는 장치 설계와 처리조건이 cavitation효과를 최대한 발휘할 수 있도록 고안되어야 한다.

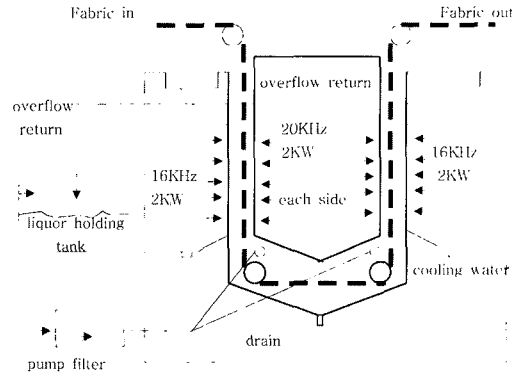


Figure 3. 전처리 공정에서 초음파 처리장치.

현재의 응용은 주로 기존 수세기에 초음파 장치를 부착하는 정도에 머무르고 있으나, 미국의 Cotton Inc.와 North Carolina 주립대학 등에서는 장치설계와 응용의 기초연구가 활발하다. Figure 3과 Table 4은 NAP(nearfield acoustical processor) 장치의 개략도와 그 수세효율을 나타낸 것이다. 효율적 장치설계로 수세 효율을 76%까지 높일 수 있음을 보이고 있다.

2.4. 물의 재사용과 재순환

궁극적인 환경 보호는 이루지 못했지만 재생, 재활용, 재사용을 목표로 한 1990년대 환경보호운동은 환경에 대한 최소한의 오염을 줄이는 효과적인 운동이었다. 용제와 원료의 재활용에 의해 원료비용을 줄일 수 있고 공정 중에 약간의 개선을 통해 오염을 줄일 수 있다.

물은 염색의 준비과정과 마무리까지 전 과정에서 광범위하게 사용된다. 흡수되지 않은 염료와 첨가제와 같은 원료는 재생되어질 수 있다. 재생과 재활용은 비용을 절약하고 폐기물을 줄이며 에너지를 절약하는 아주 효과적인 방법이다.

염육의 재사용은 다음 배치를 염색하기 위해 고

Table 4. 전처리 공정에서 초음파의 처리효과(NAP장치에서 3% 가성소다로 50 °C 처리시 수세효율)

속도(m/min)	체류시간(초)	처리 후 가성소다 농도(%)		수세효율(%)		개선효과(%)
		초음파 미처리	초음파 처리	초음파 미처리	초음파 처리	
10	12	1.36	0.48	55	84	65
5	24	1.02	0.24	66	92	76

온의 염욕을 분석하고, 필요한 물질을 보충하고 재 사용하는 방법이다. 비록 모든 과정에 해당되지 않으나 몇몇 과정에서 염욕의 재사용은 오염을 줄이고 계획단계에서 의도했던 것 보다 더 적은 경비로 오염물과 유해한 배출물을 줄일 수 있으며 표백욕에서도 적용된다.

염색공정에서 잔액에 염료의 잔류량이 많을수록 폐수에서 난분해성 물질의 증가로 폐수부하가 커지게 된다. 이에 대한 대응으로 염료의 사용 효율을 높이는 문제가 앞으로 연구과제가 될 전망이다. 따라서 염료의 고착률을 향상시켜 적은 량의 염료로도 섬유에 발색성을 높일 수 있도록 하는 방법과 특히 반응성 염료의 잔액 잔류가 많으므로 반응성 염료의 고착효율을 향상시키는 방향으로의 개선이 이루어질 전망이다.

현재 염색잔액을 효율적으로 사용하기 위한 차선의 방법은 염액을 재활용하는 것이다. 이를 위해서는 잔액을, 염색을 위한 재 formulation을 하여야 하지만, 염료보다 조제에서 어려움이 많다. 그 이유는 중성염, 계면활성제 등에 대하여 효과적으로 농도를 측정할 수 있는 방법이 정립되어 있지 않기 때문이다. 따라서 염액의 재사용을 위한 측정 센서 개발이 발전될 것으로 기대된다. 다음은 현재 널리 사용될 수 있는 몇 가지 염색 시스템에서 염액 재사용의 예들을 나타낸 것으로 앞으로 염액 재사용의 가능성을 가늠해 볼 수 있는 자료로 생각된다.

① PET섬유/분산염료에서 염액 재사용의 효과 예
염색조건

고온염색 횟수: 6회

염료: 1%(분산제 함유율 60%, 고착률 90%)

분산제 사용량: 1 g/l(2회부터 분산제를 추가하지 않음)

피염물 중량: 500 kg

액 비: 1 : 10

재사용 방법

첫번째 수세수를 새 물을 사용, 5번의 염색 시 염

색잔액을 70%,

첫번째 수세액 30%로 하여 염색

배출량 비교(6회 염색 기준)

재사용하지 않는 경우: 염료 1.2 kg, 분산제 48 kg, 물 30,000 리터

재사용하는 경우: 염료 1.13 kg, 분산제 21.9 kg, 물 5,000 리터

package dyeing시 9회 재사용으로 80%의 물, 약제 및 40%의 에너지 절감

② 나일론 카펫/분산염료 염색의 예

상압 beck에서 20회까지 재사용이 가능

COD, BOD 30% 이상, 폐놀류, 인은 70% 이상 감소

③ 나일론 카펫/산성염료 염색의 예

상압 beck에서 10회까지 가능(염의 축적 문제로 횟수 제한)

투자 경비의 2배에 해당하는 연간 경비 절감효과

염액 재활용의 기본 단계는 잔류된 염액의 절약에 있다. 염욕 탱크에서 염액을 holding tank로 배출시키고 같은 염색기 안에서 염색물을 행군 후, 염색물을 꺼내고 남은 염액을 염색기안으로 되돌린다. 꺼낸 염색물은 다른 기계에서 행군다. 염욕에 잔류하는 염료, 조제를 알기 위해 분석을 한다. 흡진되지 않은 염료는 다음 염색 사이클에서 필요한 처방을 주기 위해 분석한다.

염욕은 분석 후에 조제, 염료, 물을 첨가하여 재구성한다. 만약 정확하게 제어된 경우라면 5회~25회에서 평균 15회 이상 재사용이 가능하다.

Adams-Mills 회사는 North Carolina의 공장에서 로터리 드럼 염색기로 나일론 스타킹을 염색하는데 염액의 재사용을 시도하였다. 이때 피염물은 pound 당 0.02달러의 비용 절감과 사용한 물은 35%까지 감소하였다. 공장은 에너지 사용량을 57%까지 감소시켰다.

Bigelow Carpets는 육조의 앞, 뒤의 배관과 펌프 케이블을 함께 갖춘 염색기로 염액의 재사용을 시도

Table 5. 염액 재사용에 의한 절감의 예

Description of Cost/Savings	Value
Total Costs	
Lab and support equipment	\$9,000
Machine modifications, tanks, Pumps, pipes	\$15,000-\$25,000
Annual Operating Costs	\$1,000-\$2,000
Total Savings(Annual)	
Dye and chemicals	\$15,000
Water	\$750
Sewer	\$750
Energy	\$4,500

자료 : Best Management Practices for Pollution Prevention in the Textile Industry, EPA, Office of Research and Development, 1995.

했다. 이것으로 20회 이상 염액의 재사용이 가능하였다. 효과적인 재활용을 위해 많은 계획들이 수정되었으며, 각 기계는 연간 60,000달러의 비용 절감이 있었다. 또한 BOD, 염료, 오염물이 감소되었다.

Amital사는 재사용하는 염액과 접촉되지 않은 냉각수에 의해 많은 비용을 절감하였다. 이 시설은 매일 320,000 gallons에서 102,000 gallons로 물의 소비를 감소시켰고 동시에 매일 12회에서 20회까지의 생산성을 증가시켰다. 염액을 가열시키기 위한 에너지 소비도 상당히 감소하였다. 이 시설에 대한 투자는 염액의 재활용을 진행한 후 30일 안에 회수되었고, 한 달에 약 13,000달러의 절약이 가능하였다.

2.5. 설비의 개량

물 사용의 감소를 위한 부가적 방법은 설비의 개량에 의한 것이다. 몇 가지 설비들은 수동에 의한 제어 시스템보다 process를 연속적이고 빠르고 정확하게 분석하는 자동 염색제어시스템의 사용으로 전환하고 있다. 개량한 설비들은 섬유제품에 물과 약제 사용의 비를 감소시켜 원가 감소를 준다.

2.5.1. 자동화된 염색 제어시스템의 도입

자동화된 process 제어설비의 사용은 섬유산업에서 놀라운 영향을 주었다. 자동 이송장치는 정확한 시간에 정확한 양의 약제 배분을 최적화할 수 있다.

이러한 시스템은 염욕에서 화학반응의 능력과 신뢰도를 향상시켰다. 또한 이 시스템은 환경적으로 바람직하지 못한 처리시스템을 사용한 유해한 약제의 과사용 추세를 감소시켰다.

자동 이송장치 외에 자동염색제어 설비는 process 제어를 위해 좋은 방법이다. 염색 제어기의 판매량은 염색기의 판매량의 뒤를 이어 늘어나고 있다. 제어기의 고안은 공장에서 많은 기계들이 알맞게 사용될 수 있도록 하였다. 이 설비에는 pH, 색상, 온도와 같은 요소들의 값을 제어하는 microprocessor 제어기를 포함한다.

Amital사는 새로운 설비에서 염욕의 흐름과 온도를 자동으로 조절하는 컴퓨터 기술을 통해 Acrylic사를 제조한다. 이 방법으로 완염제와 균염제와 같은 조제의 첨가를 정확하게 제어할 수 있고, 그 결과 Amital사는 완전 흡진을 이루어 수세가 필요하지 않아 물과 약제를 절감하고 있다.

Bloomsburg Mills는 컴퓨터 제어를 위한 기본 지침을 만들어 염색 process를 위한 제어와 기계사용 부문에 많은 기여를 하였다. 염색 후 수세 시간의 제어에 따라서 28% 정도 물의 사용을 절감시켰고, yard당 필요한 연료소비량은 15.9%까지 감소시켰다.

2.5.2. 플라즈마 이용기술

섬유산업에서의 플라즈마 기술 이용은 주로 저온 플라즈마 처리로 울 직물의 스케일 제거에 의한 방축가공에 염소계 표백제 대신 이용하자는 목적에서 연구해 왔으나, 최근은 면직물의 호발·정련에도 적용하려는 움직임이 점차 많아지고 있다.

이 기술은 우선 물과 화학약품을 전혀 사용하지 않는다는 장점 때문에 성 에너지 및 환경친화적 기술로 향후 각광을 받을 것으로 기대되고 있는데, 면 섬유의 경우는 호발과 정련을 동시에 행할 수 있다는 데에서 공정단축에 의한 생산성 향상이나 코스트 절감에도 기여할 것으로 보여 일본은 물론 독일과 미국 등지에서 활발한 연구가 진행되고 있고 이미 연구 성과가 나타나 실용화를 준비 중에 있다.

특히, 플라즈마 처리한 직물의 경우는 그 소재의 물리적 특성도 향상하는 것으로 나타나고 있으며, 그 적용 분야에 있어서도 필름제조나 코팅 등까지 확대되고 있는 추세이다.

한편, 최근에는 저온 플라즈마 처리공법이 별도의 감압장치를 필요로 한다는 점 때문에 비용문제가 대두되어 상압 플라즈마(펄스 코로나)를 이용한 양모의 방축가공에 대한 연구도 활발히 진행 중에 있다.

1994년 플라즈마 처리와 수지가공을 병용하는 것으로 방축성을 개선할 수 있다는 연구 성과를 오사카 산업기술연구소에서 발표한 이래 동 연구소에서는 1999년 펄스 코로나처리를 이용한 양모의 방축가공에 대한 연구 성과를 발표하였다. 이어 2000년도에는 일본 NEDO(New Energy information technology Development Organization: 신에너지 산업기술 개발기구) 위탁사업으로 山東鐵工所와 가네보섬유가 공동으로 「연속 저온 플라즈마 처리에 의한 호발·정련에 관한 연구」를 발표하면서 저온 플라즈마 기술에 대한 연구 활동이 점차 확산되고 있다.

2001년에 일본의 (주)鈴寅은 고밀도 플라즈마에 의한 증착기술(스퍼터링 기술)을 개발해 실용화하였다. 이 기술은 타겟 소재(SUS, Ti 등) 가까이 전계와 자계를 이용, 고밀도 플라즈마 방전을 가하면 이온화된 가스이온(Ar 가스 등)이 전계에 의해 가속되어 타겟 소재에 충돌함으로써 얻어지는 에너지에 의해 타겟 소재가 분자 또는 원자상으로 분출되어 직물에 부착하는 기술이다. 이 운동 에너지는 일반적으로 이용하고 있는 증착이나 전기도금, 화학도금에 비해 극히 높고, 또 초미립자(Å)로 직물 표

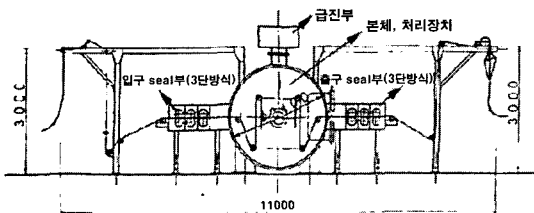


Figure 4. 가네보와 山東鐵工所가 제안한 플라즈마 호발정련기술 개요도.

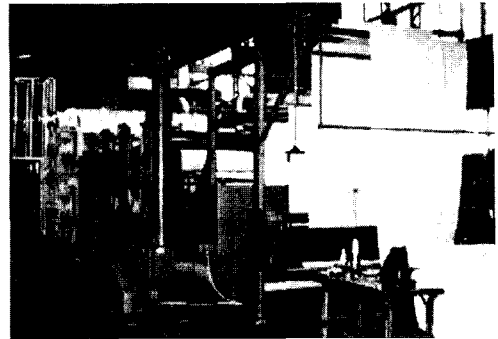


Figure 5. 연속 저온플라즈마 처리에 의한 호발정련장치.

면에 부착하게 되는 것으로 광촉매 가공에도 응용하고 있으며, 그밖에 광촉매 활성티탄의 광활성 작용을 이용한 항균·소취가공에서도 광촉매 산화티탄에 의한 섬유 손상을 막기 위해 섬유 표면과 광촉매간 보호층을 형성시키는 것도 스퍼터링 기술을 응용하면 가능하다고 발표하였다.

2.6. 새로운 염색기술에 의한 오염발생 저감화

2.6.1. RFT(Right First Time) 염색기술 (염색공정의 최적화 관리)

셀룰로스 섬유를 반응염료, 폴리에스터 섬유는 분산염료로 다양한 현장조건에서 염색하는 경우, 정확하게 염색을 1회 하면 그 비용은 다른 많은 공정에서 발생할 수 있는 이윤에 상응한다. 따라서 단 한번에 맞는 색이 얻어지는 염색은 최종적으로는 브라인드 염색(샘플링이 없는 염색)수를 증가시키는 것으로 침염을 개량하는 주요 목적이 된다.

이 목적을 위해서는 가장 우선적인 것이 균염성과 흡수성을 개량시켜 품질오차가 적은 염료로 매우 유사한 염색성을 나타내는 염료 조합(상용성 있는 염료 조합)으로 염색을 하여야 한다는 것이다. 여기서 가장 중요한 점은 단일품목 염료 모두가 매우 유사한 염색성을 나타내어야 한다는 것이다.

셀룰로스에 대해 극히 유사한 흡수 및 고착거동을 나타내는 반응염료의 3원색 조합으로, 또한 고착률은 옥비, 중성염 또는 알칼리양, 온도, 시간 등의 변화에 상당히 안정한 염료의 조합으로 그 결과 우

수한 균염성과 재현성을 얻어지게 하는 염료의 조합기술이 염료 메이커들에 의해 제시되고 있다.

직접염료도 앞에 언급한 내용과 같은 경향을 나타내며 동일한 흡수성향을 지녀야 한다. 최종 흡진율은 높고 중성염에 대한 반응성도 유사해 염색조건 변화에도 둔감하여야 한다. 고온에 대해서도 안정하여야 폴리에스터·셀룰로스 혼방품의 일용일단 염색시에 적합하다.

염색공정을 최적화하기 위한 조제도 RFT 염색을 위해 중요한 관리요소가 된다. 염료, 알칼리, 산 등의 정량 주입장치는 현재 염색 장치의 표준부품으로 되어 있다. 이러한 시스템은 염색기계 업체 뿐 아니라 염료 메이커들에 의해서도 자사 염료에 적합한 시스템을 만들어 많은 기계업체에 대해 라이선스를 제공하여 염료와 염색장치의 일체감을 부여하는 노력을 기울이고 있다.

액의 흐름과 pH값은 염색에서 재현성에 미치는 중요한 매개변수이나 아직 충분히 제어되지 않는 경우가 많다. 패키지 염색장치 내의 액류를 측정하고 이를 제어하는 데는 압력 차와 펌핑 속도를 제어하여야 하기 때문에 아직은 만족스럽지 못하나 염색기계 업체에서 이에 대한 많은 노력을 하고 있어서 패키지 염색기의 발전에 크게 기여할 것으로 기대되고 있다.

플리아마이드와 양모의 염색에 있어서는 시간 경과에 따라 염액의 pH를 낮추어 균염성과 흡진율 향상을 도모하는 pH슬라이드 염색법이 중요한 위치를 차지하고 있다. 최근에는 퍼지이론을 응용한 폐환식 pH controller(예로서 염료 메이커인 다이스타와 염색기 메이커인 Thies 및 자동화 시스템 메이커인 세텍사의 공동 개발품인 pH-FIT)가 최근 업계에서 시험중에 있다.

이와 같이 염료나 염색기, 염색기술의 개량을 통틀어 한번에 정확히 색상을 맞추는 비율을 향상시키는 기술은 염료, 염색기, 염색업체 어느 한 분야 고유기술로 이루어지는 것이 아니라 이들 분체적 기술로 발전되어야 한다는 것이다.

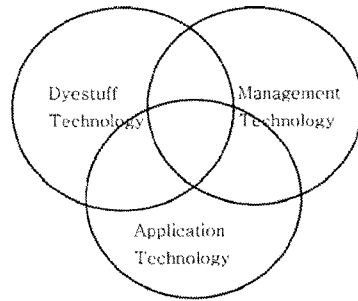


Figure 6. RFT염색을 달성하기 위한 기술의 개념도.

Figure 6은 이러한 기술의 개념도를 나타낸 것이다.

염료기술에서는 염색의 재현성을 위하여 상용성 있는 염료군의 설정과 각 염료의 구조를 컴퓨터를 이용한 분자설계 기술로 개발하는 연구가 진행되고 있다. 반응염료에서 염료의 상용성뿐만 아니라 액비, 중성염, pH, 온도 등에 대한 변화가 모두 유사한 거동의 염료를 설계, 조합하는 기법 등이 이에 속한다.

응용기술은 염액의 준비, 염색기술, 후처리 기술 등에서 섬유/염료 시스템에 따라 최적 공정의 선택을 의미하며, 관리기술은 염색의 zero-defect를 위한 작업의 표준화, 종업원의 교육, 품질관리를 위한 각종 데이터의 수집, 분석 및 관리, 자재관리 등을 들 수 있다. 그러나 이러한 방법은 관리기술의 측면만이 강조되고 있어서 현장에서 이를 달성하기 위해서는 장기간의 노력과 기술의 축적이 필요하다. 대부분 현장에서도 그 중요성을 인식하고는 있으나 실제 달성하기 어려운 것이 사실이다. 그 이유는 위에서 열거한 방법들로서도 염색의 결과를 염색 종료 후 또는 샘플링 한 후에야 알 수 있기 때문이다. 이에 따라 염색의 상황을 염색과정 중에 정확히 분석하고, 염료, 조제, 섬유의 종류에 따른 염착거동의 최적화에 필요한 데이터를 확보함으로써 염색기를 자동 컨트롤 할 수 있어야 최종적인 RFT염색의 기술이라 할 수 있을 것이다.

2.6.2. On-line 측정 및 제어기술

염색과정을 온라인으로 할 수 있으면 염색 중에 염료의 흡착을 온도, 조제 등으로 제어할 수 있다.

이러한 것을 활용한 기술로는 Macbeth사의 eagle eye spectrophotometer를 thermosol 연속 염색장치에 부착하여 염색된 포의 상태를 측정하고 그 결과를 패딩앵글의 압력을 조정하여 색호의 부착정도를 조절하는 기법이 최초라 할 수 있다. 그러나 침염에서는 섬유의 염착상태를 직접 측정할 수 있는 장치가 없을 뿐 아니라 혼합된 염료의 개별 흡착거동이 최종 염착 상태에 크게 영향을 주므로 연속염색에서와는 그 측정기법이나 제어방법이 달라지게 된다.

침염에서 염료의 흡착거동을 측정하는 방법으로 dye-o-meter system이 있으나, 현재 나와 있는 장비는 염료 혼합액의 전체 흡진 거동만을 측정 할 수 있고, 실험실에서 사용되는 수준의 것이어서 현장 염색기로부터 염착거동을 알거나 염색기를 제어하는 부분에는 응용이 어려운 실정이다.

염색중에 혼합염료에서 개별 염료의 흡착거동을 측정하는 방법으로는 혼합염료 용액의 흡광도 변화를 real-time으로 측정하고 그 결과를 소프트웨어적

인 기법으로 각각의 염료 농도를 계산해 낼 수 있다. 이러한 것이 가능하다면 목표로 하는 염착상태에 이르도록 염색에 미치는 여러 제어요소(온도, 승온속도, 조제 등)를 컨트롤하여 RFT염색을 달성할 수 있을 것이다.

용액의 흡광도 변화를 real-time으로 측정하고 이로부터 얻어지는 결과로서 염색기를 제어하는 장치가 이 목적으로 쓰일 수 있다. 염색기로부터 용액을 측정장치에 보내면 측정장치는 정해진 시간 간격마다 용액의 스펙트럼을 측정한다. 이것은 컴퓨터로 보내지고 컴퓨터에서는 용액의 스펙트럼으로부터 용액에 있는 염료의 농도를 계산하여 각각의 염료가 얼마나 용액에 잔류하는지를 나타내 준다. 미리 입력된 염료의 자료로부터 최적 염색 상태를 설정하고, 염료의 흡착거동을 설정된 상태가 되도록 여러 제어요소를 최적으로 컴퓨터에서 정한 것을 염색기의 컨트롤러를 통해서 제어하게 된다. 염색의 제어요소는 대단히 많으므로 최적 제어요소를 계산하고 판단하는 데는 fuzzy이론, chaos이론 등 첨단 소프트웨어의 기법이 활용될 수 있다.

염색기에서 용액의 상태를 측정하는 데는 앞에서 언급한 염료농도의 측정과 조제의 측정이 이루어져야 하나, 염료의 경우에는 기존의 spectrophotometer나 optical fiber를 이용하는 방법이 있는데, 실제 염색기의 측정에는 optical fiber를 사용하는 것이 편리하다. 조제의 측정은 용액의 전기전도도, 굴절률 등의 측정을 통해 간접적인 측정기법이 있을 수 있으나, 혼합물에서 각 성분의 측정이 어렵기 때문에 이 분야에 있어서는 아직 미진한 점이 많다.

이와 관련된 연구로는 아크릴 섬유의 균염염색을 위하여 흡착거동의 모델을 설정하고 염색에서 변수의 제어를 하는 연구가 있었으며, 최근 영국의 Leeds 대학에서는 면의 치즈 염색에서 반응성 염료를 사용할 때 사용염료의 효율을 높이고, 염색공정을 단축하면서 균염을 얻도록 하는 목적으로 시간별 용액의 염료농도, pH 등을 측정하고, 최적 염착상태에 이르도록 염의 첨가, 알칼리의 첨가를 제어하는 기법을 사

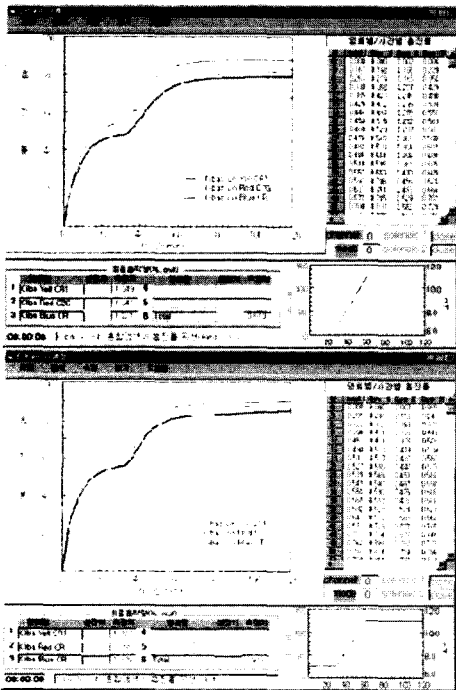


Figure 7. 반응성염료간 흡진거동과 상용성 비교

용하고 있다. 치즈 내에서 균염은 치즈내의 염착상태의 분포를 수학적 모델을 설정하여 염액의 순환을 제어함으로써 달성하고자 하였다. 미국의 North Carolina 주립대학에서는 위와 유사한 기법을 통하여 배치염색의 실시간 염액상태의 측정으로부터 염료흡착의 이론적 모델을 알고자하는 연구가 진행되고 있다.

국내에서도 염액의 실시간 측정기법을 개발하고 이를 반응성염료로 면직물을 염색하는 시스템에서 여러 제어요소의 분석 및 이를 활용한 반응성염료 염색의 제어에 관한 개발이 진행되고 있다. 이 시스템으로 염색기의 제어 이전에 실험실에서 염료의 상용성 시험이나, 조제의 작용성, 염색의 최적화 연구 등에 사용되고 있다.

2.7. 가공공정에서의 환경친화성 기술

2.7.1. Formaldehyde Free Finishing

면의 방추가공에 주로 쓰이는 urea-formaldehyde 수지는 가격이나 성능면에서 면섬유에 DP성을 부여하는데 가장 우수한 약제로 쓰여 왔으나, 가공 중 또는 사용중에 발암성 포르말린을 발생시킴에 따라 이의 대체기술이 발전을 거듭하고 있다. 이 예는 다음과 같은 방안들이 제시되고 있다.

① DMDHEU(dimethylene dihydroxy ethylene urea)를 사용, 첨가제, 촉매, 가공법을 개량하는 방법

DMDHEU와 blocked diisocyanate 등의 약제를 혼합으로 사용하여 포르말린의 발생을 줄이고 가공제의 내 세탁성을 향상시키며, 셀룰로스계 섬유 뿐 아니라 합성섬유의 개질에도 쓰일 수 있는 가공법이다.

② DMDHEU의 저 formaldehyde화 개질

DMDHEU에 비해 포르말린의 발생이 낮은 아세탈화 DMDHEU 또는 메틸화 DMDHEU를 사용하는 방법으로 이들은 DMDHEU를 개질하여 얻을 수 있는 약제이나 가격이 DMDHEU에 비해 다소 높다. 현재 비 포르말린 가공제로 널리 쓰이고 있으나, 근본적으로 포르말린 발생이 없는 가공제로는

볼 수 없다.

③ 비 포르말린계 가공제

위의 방법들은 그러나 포르말린의 발생을 기존의 DMDHEU에 비해 다소 저감화시킬 뿐 근본적으로 방지하는 방법이 아니다. 이에 따라 포르말린을 근본적으로 발생시키지 않는 non-formaldehyde 가공제를 사용하는 방안을 찾게 되는데 이러한 non-formaldehyde 가공제로는 urea-formaldehyde계가 아닌 약제로서 면섬유와 가교결합을 형성하여 방추성을 부여할 수 있는 여러 종류의 다관능성 화합물이 알려지고 있다. Table 6에는 이러한 가교형 다관능성 화합물을 면섬유에 응용했을 때의 가공성능과 물성상의 특징을 수록하였다. 셀룰로스 섬유와 가교결합이 가능한 여러 화합물을 단독 사용할 때 그 가공 성능은 아직 DMDHEU 가공체에 미치지 못하고 있으며 각기 장단점들을 가지고 있다. 따라서 앞으로의 전망은 각기 장단점을 상호 보완할 수 있는 약제의 조합에 의해 가공성능을 DMDHEU 가공제 수준에 이를 수 있는 기술의 발전이 기대된다.

2.7.2. 비수계 가공

대부분의 가공제는 수용성 또는 수분산성으로 물에서 약제를 섬유에 처리하여 잔액이나 섬유에 미반응 약제의 잔류로 폐수로서 약제성분을 방출한다. 이에 대해 비수계 가공은 물을 사용하지 않아 폐수를 발생시키지 않고, 약제의 반응 효율을 높여 잔류 약제를 최대한 억제시키는 가공법으로 환경친화성이 우수하고 처리가 간편하지만, 설비비가 높은 단점이 있다.

면섬유를 액체 암모니아로 처리하여 머서화 효과를 부여하는 가공법은 이미 잘 알려진 것으로 면직물이나 제품단계에서 방축, 방추 및 drape성과 soft한 촉감을 부여한다. 섬유에 잔류하는 암모니아는 증발에 의해 회수 및 재사용이 가능하므로 약제의 손실이나 폐수로의 방출이 전혀 없게 된다.

기상 포르말린 가공은 포름알데히드를 기체상태로 섬유제품에 반응시킴으로써 formaldehyde에 의

Table 6. Non-formaldehyde계 가공제

종 류	특 징
Acetal계	직물의 유연성은 우수. 방축, 방추 효과가 낮다.
Amide계	방축, 방추성은 보통. 냄새 및 낮은 백도 문제
Acetalamide계	방축성은 보통이나 방추성이 낮다.
Urethane계	방축, 방추성은 좋으나 안정성이 낮고 고가임
Vinylsulfone계	방축, 방추성은 좋으나, 변색, 유독성 문제
Epoxy계	방축, 방추성은 좋으나, 변색, 강도저하 문제
Polycarboxylic acid	방축, 방추성은 보통이나, 강도저하 문제

한 섬유분자간 가교결합으로 방축, 방추성을 부여하는 가공법으로 기상 반응이므로 반응효율이 높고 섬유에 잔류하는 포르말린이 없으므로 폐수나 섬유로부터의 포르말린 발생이 없다.

최근 일본의 東海染工에서는 고압 수증기 처리로 레이온계 소재의 형상 고정화 처리 및 그 가공기를 개발하는 과제를 일본 정부로부터 지원 받아 개발 연구에 착수한 것으로 알려지고 있다. 레이온계 소재는 면 소재와는 달리 머서화나 수지처리에 의해 방추성이나 형태안정성의 확보가 어려운데, 여기에서 개발하려는 것은 고압 수증기 처리로 셀룰로스 분자쇄 간의 수소결합을 절단 후 원하는 형태를 부여하고 새롭게 분자쇄 간 수소결합을 형성시킴으로써 약제를 사용하지 않는 가공으로 환경에 전혀 무해한 새로운 가공법이다. 또 이 방법에 의해 가공된 레이온은 washable rayon을 목표로 하고 있다.

폴리에스터 섬유의 알칼리 감량가공은 다량의 에너지를 소비할 뿐 아니라, 가공 폐액에 포함된 TPA 염, 잔류 알칼리 등이 폐수처리에 큰 부담을 주므로 이에 대한 새로운 가공법이 필요한 시점에 와 있다. 새로운 알칼리 감량가공법으로는 일본의 기센(주)이 폴리에스터를 기체 상태의 알칼리로 처리하는 가공법을 개발에 착수한 것으로 알려지고 있다. 기존의 감량가공에서 사용하는 알칼리는 가성소다로 가격이 저렴하고 반응효율도 높으나, 수용액 상태로만

처리가 가능하여 부산물의 회수가 어려웠다. 그러나 기체상태의 알칼리(예로서 아민류 등)로 처리하면 부산물인 TPA를 분체로 회수가 가능하므로 폐수가 없고, 부산물의 회수 및 재사용이 가능한 획기적인 폴리에스터의 감량가공법이 될 수 있다.

2.7.3. UV경화 가공기술 개발

자외선 조사경화는 자외선 영역의 전자기 스펙트럼의 조사에너지를 이용하여 모노머나 올리고머를 라디칼 중합(radical polymerization)이나 이온 중합(ionic polymerization)을 통해 경화시키는 것으로 정의된다. 일반적인 열경화에 대비한 자외선 조사경화의 특징은 다음과 같다.

- ① 조사 경화는 열을 이용한 열 경화법과는 달리 피 경화물을 비롯한 기질의 온도상승이 요구되지 않는다(상온경화).
- ② 기존의 습식공정의 열경화에 비해 빠른 광중합 속도(일반적으로 수 초 이내 경화)에 따른 높은 연속 생산 속도(200 m/min)
- ③ 높은 경화도와 유기 용제의 배출이 없는 저 환경오염(100% 경화)
- ④ 저 에너지를 이용한 경화(대부분은 0.2-1.0 J/cm²의 자외선 조사량 요구)
- ⑤ 경화기의 소형화로 인한 공간의 효율적 이용
- ⑥ 순간적인 경화 시작과 중지 가능
- ⑦ 공간 선택적인 경화 가능, 등의 우수한 특징으로 나무, 유리, 금속, 고분자 등 다양한 산업재료의 분야에서 코팅, 잉크, 접착제 등을 도입하고자 할 때 널리 이용되고 있다.

자외선 조사 경화는 섬유산업을 제외한 다른 산업분야에서 활발히 사용되어지고 있는데, 예를 들어 1970년대에는 불포화 폴리에스터를 이용한 나무 코팅을 시작으로 종이 인쇄 등의 분야에 도입되었으며 1980년대 광섬유와 광디스크 코팅, 유리접합, 치과용 치아복합제, 회로기판 제조, 반도체 산

업의 photoresist 등에 사용되었으며, 1990년대에는 앞서 언급한 분야를 포함하여 자외선 경화형 잉크, LCD(액정표시장치)의 접착, 안경용 렌즈의 제조, 위조방지 지폐에 이르기까지 다양한 분야에서 이용되고 있다. 조사 기술의 섬유에의 응용은 1960년대부터 고 에너지 조사라 할 수 있는 X 선이나 전자빔을 이용한 연구가 시작되었으나 전자가속기, 진공조건 등이 요구되고 방사선에 의한 인체의 위험 등을 고려하여 shielding이 필요하여 장치가 대형이고 고가라는 문제점을 가지고 있어 실제 산업 생산에서는 적용되지 못하였다.

섬유산업에서 자외선 조사를 이용한 본격적인 연구는 주로 1980년대 초부터 미국에서 시도되었지만 실제적인 연구는 1990년대 독일, 네덜란드, 영국, 호주 등지에서 활발히 이루어지고 있다. 섬유 산업에 있어 조사 기술(radiation technology)의 이용은 매우 제한적이었지만 섬유재료의 코팅 또는 가공에 있어 상당한 이용가능성이 있으며 조사 경화기술로 이용 가능한 섬유 가공으로는 양모의 자외선 조사에 의한 표면처리, 방추가공, 방염가공, 방오가공 및 대전방지가공, 코팅 및 날염용 바인더, 모직물의 방축가공 등이 알려져 있다.

염색가공을 포함하는 습식공정(wet processing)은 전체 섬유산업의 에너지 소비에서 약 70% 정도를 차지하며 건조에 의한 에너지 소비는 전체 에너지 소비의 약 40%를 차지한다. 왜냐 하면 습식공정은 염액 또는 가공제 수용액을 가열하여 고온에서 흡착이나 반응을 완성하므로 공정 중 또는 공정 후 물을 증발시켜 건조해야하기 때문이다. 따라서 대부분의 에너지 절감은 습식 공정 중 물 사용량을 줄이거나 공정의 병합, 연속화를 통해 에너지를 절감하려 한다. 위 방법 외에 물 대신 기화열 및 비열이 적은 매체를 사용하는 방법이 있을 수 있지만 이는 설비의 대폭적인 교체를 요구하고 화재 위험성, 환경오염, 작업환경 악화, 소각이나 재활용(recycling)에 따른 비용 등의 문제를 고려하면 일반적인 염색가공공장이 물 대신 유기 용제를 적용하기는 어렵다고 볼 수 있다.

한편, 상온 연속 건식 공정(dry processing)인 자외선 조사경화는 기본적으로 물을 사용하지 않을 수 있고, 피경화체를 부여하기 위해 물을 사용하더라도 광에 의한 상온 경화이므로 일정 수분율로 건조할 필요가 없으며, 피경화체 및 섬유를 가열하지 않는 공정이므로 에너지 절약효과가 상당히 크리라고 예상된다. 또한 열경화기에 비해 소경화가 가능하여 설비면적이 매우 작고 생산속도의 고속화, 순간적인 경화 시작과 중지 등에 의한 부수적인 절감효과도 예상 할 수 있다. 그리고 열경화에 비해 경화속도와 경화도가 월등히 높음으로써 미반응물에 따른 환경오염, 용제를 이용하지 않고 코팅 등을 부여할 수 있으므로 용제배출에 따른 오염, 연소에 의한 이산화탄소 무배출 등의 특징으로 친환경적인 공정기술이라 할 수 있다. 기존 열경화에 대비한 자외선 조사경화의 특징을 Table 7에 기술하였다.

3. 결 론

섬유산업 중에서도 염색가공 공정은 섬유제품의 전체 제조공정 중 환경오염에 가장 악영향을 미치는 공정으로서, 염색 이전 공정에서 섬유에 부여된 유제, 호제, 산사 등이 전처리 할 때 빠져 나와 폐수로 들어가며, 염색공정중 미 고착된 염료와 염료조제 및 산, 알칼리 등 모든 화학약품들이 직접 혹은 간접적으로 환경에 좋지 않은 영향을 미친다. 특히 일부 Azo 염료들은 환원될 때 발암성 amine기를 생성시키므로 그 사용이 금지되고 있고, 면섬유용 반응성 염료는 흡진율이 60% 정도로 매우 낮고 미생물에 대한 난분해성이어서 폐수처리가 매우 어렵다.

그러므로 염색가공 관련 핵심적 환경 문제를 보면 염색공장에서는 공정 단축기술을 개발하여 폐수의 양을 줄이고자 하는 노력이 부족하며 동시에 에너지 소비량이 적고 공정 단축이 가능한 설비의 개발이 미진하다. 또한 염료의 경우에는 최근 발암성 여부로 유해논쟁이 있는 benzidine계 염료의 대체품 개발 및 고흡진 염료, 중성염을 적게 사용하여

Table 7. 섬유 염색가공에 있어서의 UV 조사경화의 장점

구분	자외선 조사경화	기존 습식 열경화
환경오염의 원천적 방지	<ul style="list-style-type: none"> - 높은 경화도(100%)로 미 반응물 제거에 따른 폐수배출 줄임 - 물을 포함한 유기용제를 사용하지않고 섬유에 부여할 수 있으므로 용제 배출 무 - 전기에너지를 이용함으로 CO₂ 배출 무 	<ul style="list-style-type: none"> - 광중합에 비해 경화도가 낮음 - 일부 유기용제를 사용하며 대부분 수용액이나 수분산액 사용 - 가스를 열원으로 하는 경우 CO₂ 배출 과다
에너지 절감	<ul style="list-style-type: none"> - 상온 경화, 건조 생략가능, 낮은 광조사량 (열경화 대비 약 60% 에너지 절감) - 공간 선택적인 경화 가능(한면 또는 한면의 일부 경화) 	<ul style="list-style-type: none"> - 건조 및 수세에 관련 에너지 과다 (전체섬유산업에서 염색가공 습식 공정이 70%의 에너지사용) - 공간선택적인 경화불가능
높은 생산속도	<ul style="list-style-type: none"> - 일반적으로 수 초 내 경화에 따른 고 생산속도 (200 m/min) - 설비의 대형화 불필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 낮은 열경화 속도 - 고속의 연속생산을 경화설비의 대형화 필요
기 타	<ul style="list-style-type: none"> - 설비 면적의 감소 - 관리비용의 절감 - 순간적인 경화시작과 중지 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 대형 설비로서 넓은 면적 차지 - 경화시작을 위한 예열과정이 필요하고 중단에도 시간이 필요

도 염색성이 우수한 염료, 정련과 동시에 염색이 가능한 염료 등을 개발함으로써 폐수의 질을 높이고 자 하는 개발의식이 부족하다. 조제업체에서는 폐수의 질을 높이기 위하여 생분해성 조제, 다용도 조제 등을 개발하기 시작하였으며, 염색가공 설비업체에서는 폐수발생량 감소를 위해 용수의 양을 최대한 적게 사용하는 설비 및 에너지 소모량을 줄이기 위한 설비의 개발에 노력하고 있으나, 한층 박차를 가하여야 할 것이다.

1990년대 중반까지만 하더라도 염색가공 기술의 주안점은 품질 고급화를 통한 고부가가치화, 새로

운 가공방법의 개발을 통한 쾌적성 소재, 핸들을 중시하는 고기능성화 기술과 자동화를 통한 원가절감 기술에 주어져 왔다. 그러나 최근에 들어 지구환경 보호를 위한 유해물질의 사용 및 배출에 대한 규제 의 확산, 관세장벽이 없는 새로운 WTO 체제의 새로운 무역질서, 글로벌화에 따른 소비자 요구와 소비형태의 다양화 등이 직·간접적으로 염색가공에서 새로운 기술로의 전환을 요청하고 있다.

이러한 시점에서 섬유공업에서의 청정기술 개발 및 보급을 위해서는 새로운 각도에서 전략을 수립하고 추진할 필요가 있다.

저자 프로필



남 창 우

1987. 서울대 섬유공학과 졸업
 1989. 서울대 섬유공학과(석사)
 2000. 서울대 섬유고분자공학과(박사)
 1989-1994. (주)효성 중앙연구소 근무
 2000-현재. 한국생산기술연구원 섬유화학소재본부 에코섬유팀 선임연구원

저자 프로필



이 범 수

1991. 한양대 섬유공학과 졸업
 1993. 한양대 섬유공학과(석사)
 2003. 한양대 섬유고분자공학과(박사수료)
 1992-1999. 한국생산기술연구원 상근연구원
 1999-현재. 한국생산기술연구원 에코섬유팀 선임연구원