

배치식 염색기의 용수절감 기술개발 동향

심재운

한국생산기술연구원

1. 서 론

2009년도를 기준으로 염색가공산업은 섬유산업에서 사용하는 총 에너지 중 연료의 경우는 77%를, 전기의 경우는 54%를 사용하는 에너지 다소비 산업이다. 따라서, 섬유산업에서의 에너지 절감을 위해서는 염색산업에서의 에너지 절감이 가장 효과적임은 명약관화하다.

염색을 하기 위해서는 반드시 물을 필요로 하며 이러한 염색용수는 최고 130°C 이상 온도를 올려야 하기 때문에 그 만큼 많은 에너지가 소모된다. 일반적으로 염색용수는 사용되는 원단 중량 대비 약 10배 정도의 용수를 사용하고 있으며 수세수까지 합하면 그 이상으로 소모된다. 이러한 염색용수를 줄이게 되면 염색용수 사용량에 비례하는 염색조제 절감 및 승온시간이 단축되기 때문에 그 만큼 에너지를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 원부재료의 절감, 생산시간 단축 및 폐수저감의 부수적인 효과를 얻을 수 있다.

염색용수를 줄임으로써 고유가로 인해 에너지절감에 대한 사회적 요구와 환경에 관한 사회적 관심을 동시에 만족시켜 줄 수 있기 때문에 국제적으로 염색용수를 줄이기 위해 많은 노력과 관심이 집중되고 있는 것이 현실이다.

본 고에서는 수많은 염색설비들 중 배치식 염색설비(Air flow 염색설비 제외)위주로 염색 시의 염색용수절감 및 수세 시의 수세수의 절감에 대한 기술개발동향을 살펴 보고자 한다.

2. 본 론

2.1 염색용수절감 기술개발 동향

2.1.1 원단과 염액의 분리

염색기내의 용수는 부착된 순환펌프에 의해 끊임없이 회전하게 되며, 이러한 용수의 회전은 순환펌프를 가동시킬 수 있는 최소한의 용수가 있을 때 가능한 일이다. 일반적으로 면의 경우 물과의 친화성이 높기 때문에 자기 중량의 2배에 달하는 물을 흡수하게 되기에 그 만큼 염색기 내부의 용수 부족 현상이 일시적으로 발생하게 된다. 욕비 1:5 이하의 저욕비 염색에서는 이러한 원단의 용수 흡수는 자칫 순환펌프를 가동하기 위한 최소한의 용수도 모자라게 하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서, 저욕비 염색기의 경우 원단 내부에 흡수된 물을 탈수 시켜 순환펌프를 가동시킬 수 있는 용수의 확보가 관건이 된다.

순환펌프를 가동시킬 수 있는 최소한의 용수를 확보하기 위해 염색기 내부엔 타공이 된 속통에 의해 원단과 염액이 분리되어 있고, Excess Liquor By-pass 시스템에 의해 원단내부의 물을 탈수시켜 모으도록 설계되어 있다. Excess Liquor By-pass 시스템은 Figure에서 보듯이 노즐을 통해 나오는 고속의 염액과 원단이 함께 염색기 속통 초입부에서 강하게 염색기 내벽에 부딪히게 되면 관성의 법칙에 의해 외부

염액 및 원단 내부의 염액을 순간적으로 탈수시켜주는 역할을 할 뿐만 아니라 염색기 속통 뒤편으로 빠져나온 염액이 모일 수 있도록 유도하는 역할을 한다. 이렇게 모여진 염액은 염색기 내부의 속통에 의해 원단과 잘 분리가 되고 순환펌프를 원활히 가동시킬 수 있는 용수로 활용 되는 것이다.

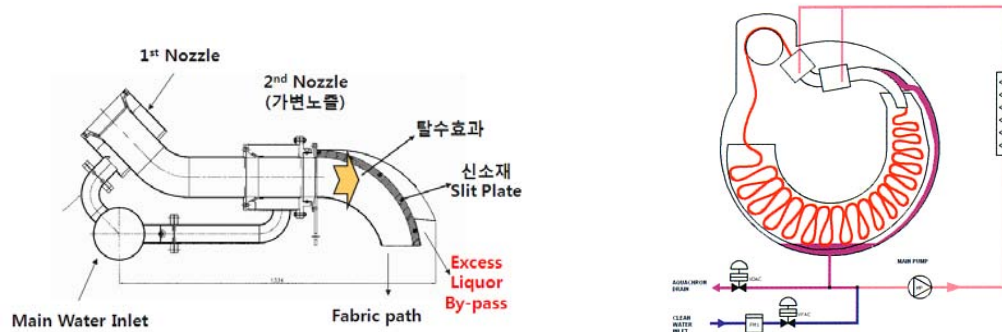


Figure 1. 저욕비 염색기의 원단과 염액의 분리 시스템.

2.1.2 염색기 compact 화

우리가 흔히 욱비를 생각할 때, 염색기 내부에 있는 용수만을 생각하는 경우가 일반적이다. 하지만, 염색기 내부 뿐만 아니라 순환펌프내의 용수, 염색기 파이프라인 속의 용수 등도 염연히 욱비에 포함되고 있다. 이러한 용수들을 최소화시키기 위해 주로 가로방향인 순환펌프를 세로방향으로 설계하고 불필요한 배관들을 최소화함으로써 즉, 염색기를 매우 compact하게 디자인 함으로써 저욕비를 실현하는 염색기도 있다. Figure 2는 스위스 LAB PRO사의 FABRIC MASTER라는 염색기로 외관을 보면 매우 compact하게 디자인되어 있음을 알 수 있다.



Figure 2. 스위스 LAB PRO사의 FABRIC MASTER.

2.1.3 고농도 염액의 direct 원단 접촉 지양

욕비 1:5 이하의 저욕비 염색에서의 염액의 경우 일반 1:10 염색에서의 염액에 비해서 매우 고농도의 염액이 된다. 염색조제의 경우 용수 중량에 비례하여 사용량이 결정되므로 용수가 50% 줄어들게 되면 염색조제의 사용량도 50% 줄어들게 된다. 하지만, 염료의 경우는 원단 중량에 비례하기 때문에 원단 중량이 동일할 경우, 욱비 1:5일 때나 1:10일 때나 모두 동일한 양의 염료가 사용된다. 따라서, 욱비 1:5의 저욕비의 경우 욱비 1:10일 때보다 2배 이상의 고농도의 염액이 되는 것이다.

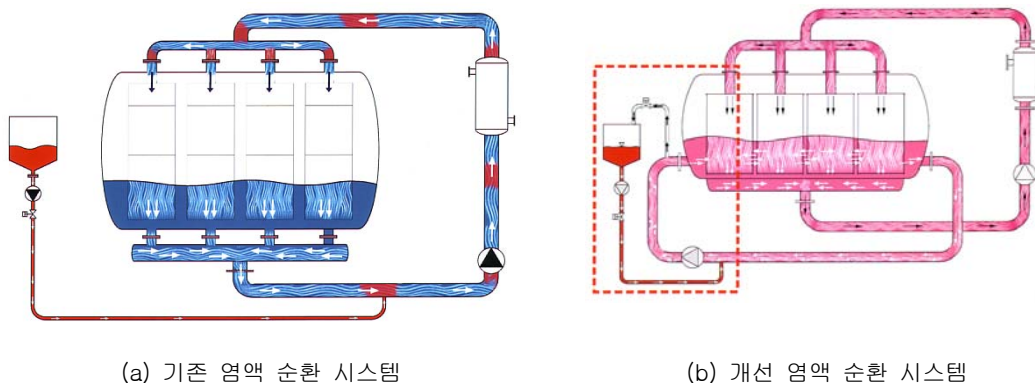


Figure 3. 저욕비 염색기의 염액순환시스템(이태리 BRAZZOLI사의 Multiflow must).

염액을 염색기로 초기 투입하게 되면 side(service) 탱크에서 출발하여 순환펌프를 거쳐 노즐로 이동되고 노즐에서 원단과 접촉되게 된다. 일반적으로 노즐부에서 염액과 원단과의 접촉이 가장 강하게 이루어지기 때문에 가장 많은 염착이 이루어진다. 따라서, 저욕비 염색에서 고농도의 염액이 직접적으로 원단과 접촉될 때 불균염을 초래할 수 있는 가능성이 높아지게 된다. 이러한 고농도의 염액이 원단과 직접 접촉하는 것을 방지하기 위해 side 탱크에서 투입된 고농도의 염액이 순환펌프를 거쳐 노즐부로 이동되지 않고 1차로 염색기 내부로 투입되어 기존 용수와 희석이 된다. 이 희석된 염액이 노즐부로 이동하여 원단과 접촉되게 함으로써 고농도 염액의 직접 접촉에 의한 불균염 발생을 방지할 수 있게 된다.

2.1.4 분말상태로 salt 투입

면염색은 주로 반응성염법을 적용하고 있으며, 여기서 중성염(염화나트륨(NaCl), 망초(Na_2SO_4))은 염색 용수내에서 염료가 면섬유로 잘 이동하게 해주고 갑작스런 고착에 의한 불균염을 예방해주는 완염제의 역할을 수행하여 염색품질 결정의 중요한 parameter인 균염성을 확보할 수 있도록 제 역할을 수행한다. 또한, 알칼리의 투입에 따라 면섬유와의 반응이 일어나면서 고착이 이루어져 흔히 말하는 염색이 이루어지게 된다.

염색 현장의 경우 500kg 정도의 면직물 염색 시, 1:10~1:5 정도의 욕비로 염색하기 때문에 한 번 염색에 있어 5,000kg~2,500kg의 용수를 사용하게 된다. 이 때 사용되는 중성염의 경우 50g/l, 알칼리의 경우 20g/l 정도 사용되므로 1회 염색 시, 중성염은 250~125kg, 알칼리의 경우 100kg~50kg 정도가 사용된다.

투입하는 방법을 세부적으로 살펴보면 염색기 내부의 용수를 side(service) 탱크로 return하여 일정량 용수를 빼낸 후, 작업자가 분말상태의 조제를 직접 조금씩 투입하여 충분히 용해시킨 후 다시 염색기로 투입한다. 중성염 200kg을 투입할 경우, 25kg/l 포로 포장되어 있는 중성염 8포를 작업자가 염색기로 들고와서 일일이 용해시킨 후 염색기에 투입하는 시간은 거의 1시간 정도 소요되며 작업자의 고충이 상당하다. 1:10 정도의 고욕비 염색의 경우에는 투입이 다소 어렵다고는 하지만 수행은 가능하다. 하지만 액비 1:5 이하의 적은 용수로 염색기를 운전하고 있는 가운데에서 많은 양의 분말 조제들을 용해시키기 위해 염색기 내부의 용수를 side 탱크로 return하게 되면 실제로 염색기의 순환펌프를 돌릴 만한 양의 용수가 부족하여 염색기 자체의 운전이 어렵게 된다. 또한, 어떻게든 염색 수행을 위해 다른 용수를 이용해 조제를 용해하여 투입할 경우 기존의 액비가 흔들려 버리기 때문에 원하는 색상을 발현하기가 어려워지게 된다.

이를 해결하기 위해 분말상태로 직접 염색기 내부로 정량, 정속 투입해 줄 수 있는 분말자동투입장치가 개발되었고 현재 옵션으로 판매가 되어 있다. 이러한 분말자동투입장치를 이용하면 염색기로 분말상태의 조제가 바로 투입되기 때문에 작업자의 편의성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 분말조제 용해를 위한 추가 용수가 필요없고 정량, 정속 투입이 가능하기에 염색품질도 향상시킬 수 있는 장점이 있다.



(a) 그리스 SCLAVOS사 Dry salt logistics

(b) 한국 동아기계 분말자동투입장치

Figure 4. 분말조제 자동 투입 시스템.

2.1.5 기타 염색용수절감형 염색기

일반적으로 라운드 타입의 염색기는 등글기 때문에 용수를 한 곳으로 모으는데 이점이 있어 비교적 저욕비화가 용이하다. 하지만, 튜브타입의 염색기는 염색기 동체가 수평으로 매우 길기 때문에 용수를 한 곳으로 모으기 힘들 뿐만 아니라 염색기 내부에서의 원단 이송이 물에 의해 대부분 이루어지기 때문에 물이 적으면 원단 주행이 어렵게 되는 단점으로 저욕비화하기에 상당히 어렵다. 이러한 튜브타입의 염색기도 저욕비화를 위해 개발되어 지고 있는데, 주로 염색기 내부 물부족에 따른 원단 주행의 어려움을 해소하는 방식으로 개발되어 지고 있다. 즉, Figure에서 알 수 있듯이 순환펌프를 가동시킬 수 있는 최소한의 염액을 모으는 대신 주행이 어려워진 원단은 염색기 내부에 컨베이어형식의 보조장치를 도입함으로써 이를 해결하고 있다.



(a) 이태리 LAIP사 Nautilus(욕비 1:4)



(b) 이태리 BRAZZOLI사 INNOTECH(욕비 1:3~1:5)

Figure 5. 튜브타입 저욕비 염색기.

사염설비의 경우 타공이 된 carrier에 치즈형태의 원사콘을 꽂아 넣은 후, 염액을 고압으로 in-out 시키면서 염색하는 메커니즘을 가진다. carrier의 최상단까지 용수가 채워져 있으면 압력이 걸릴 수 있는 구조가 되므로 원활히 염액이 in-out 된다. 따라서, 염색하고자 하는 원사가 사염색기 용량의 절반정도 밖에 되지 않더라도 용수는 가득채워야지만 염색이 가능하기에 그만큼 불필요한 용수가 소비 되게 된다. 이를 방지하기 위해 Air pad 기술이 적용되고 있다. Air pad 기술이란 고압의 공기를 사염색기 내부로 주입하여 용수를 절반만 채우더라도 용수를 가득채운 것과 동일하게 압력을 부여하는 기술이다. 즉, 용수가 절반만 있으면 용수밖으로 드러나 타공된 carrier에 의해 압력이 걸리지 않게 되기 때문에 염액의 원활한 in-out이 되지 않는다. 하지만, 고압으로 주입된 공기에 의해 carrier가 물속에 잠긴 형태의 환경을 제공하기 때문에 염액이 원활히 in-out될 수 있는 것이다. 본 기술을 통해 염색용수를 절감할 수 있을 뿐만 아니라 염색재현성의 주요 관리요소인 정욕비관리를 할 수 있는 장점이 있다.

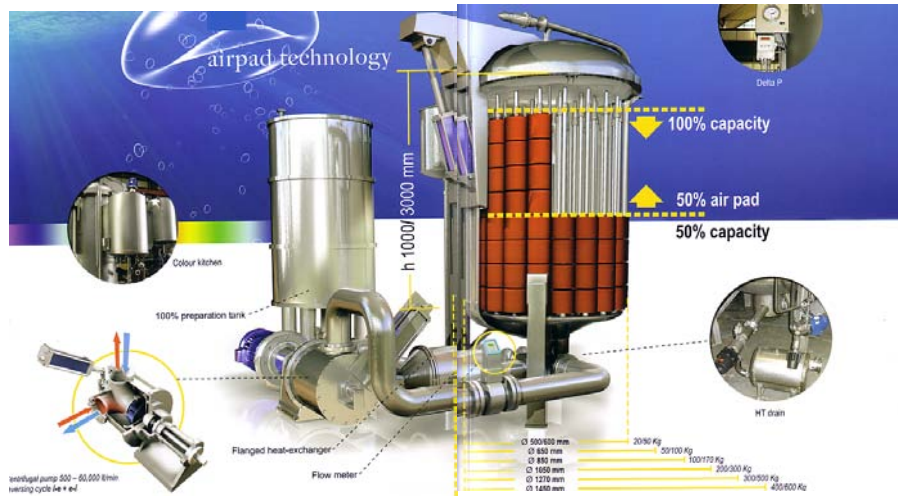


Figure 6. 이태리 LAIP사 Universal dyeing machine의 Air pad technology.

2.2 수세용수절감 기술개발 동향

2.2.1 냉각과 수세를 동시 진행

일반적으로 염색 종료 후 고온의 염액의 냉각은 간접 냉각방식을 취한다. 간접 냉각방식이란 염색기에 설치된 열교환기내로 냉각수가 투입되어 고온의 염액에서 간접적으로 열을 빼앗아 냉각되는 방식을 의미하며, 이때 사용된 냉각수는 버려지는 것이 일반적이다. 간접냉각방식의 경우 냉각에 필요한 냉각수가 과량이 필요하며 냉각에 소요되는 시간도 많이 든다. 이러한 단점을 보완하기 위해 직접 냉각방식의 기술이 개발되었다. 직접 냉각방식은 간접 냉각방식과는 달리 추가적인 옵션 장비가 필요한 데, 이것이 열교환방식의 Heat recovery system 이다. 즉, 100°C 정도의 고온 염액이 Heat recovery system으로 들어가게 되면 반대편에서 투입되는 냉각수에 열을 전달하게 되어 약 50°C 정도로 온도가 낮아져 배출되는 반면, 20°C 정도의 냉각수는 열을 얻어 약 60°C 정도의 온수가 되어 염색기 내부로 직접 투입되는 방식이다.

미온의 냉각수가 직접 염색기 내부로 투입되기 때문에 냉각에 소요되는 시간이 단축 될 뿐만 아니라 냉각수가 직접 수세수로 활용되기 때문에 수세수의 절감 또한 실현된다. 기존 염색기는 간접방식에 의해 냉각이 완료되면 기존 염액을 완전히 배출하고 새로운 용수를 받아 다시 열을 올려 수세를 하게 되는데, 이 때 많은 양의 에너지 및 수세수가 소비되게 된다. 또한, 직접 냉각방식의 경우 냉각수가 투입되는 동안 염색기는 끊임없이 가동되기 때문에 수세효율도 높아져 중농색 염색 이후 염색건뢰도 문제 때문에 반드시 거쳐야 하는 환원세정 공정도 생략할 수 있다고 알려져 있다. 간접냉각방식의 경우 10 5°C에서 80°C까지 냉각시키는 데 약 8분이 소요되며 약 4,000ℓ의 수세수가 필요한 반면, 직접냉각방식의 경우 2분이 소요되며 약 1,000ℓ의 수세수가 필요하다고 알려져 있다.

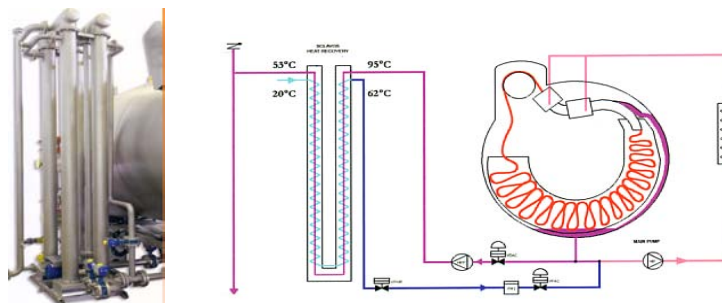


Figure 7. 이태리 SCLAVOS사 Heat Recovery System(SHR).

2.2.2 간헐수세 방식 도입

염색 후 수세방식은 크게 Over flow, Fill & drop, Intermittent 방식으로 나뉜다. Over flow 수세 방식은 수세수를 계속 투입하여 염색기 외부로 용수를 넘치게 만들어 수세하는 방식으로 가장 수세효율은 좋으나 과량의 수세수가 필요하다는 단점이 있다. Fill & drop 수세 방식은 물을 가득채워 일정시간 수세 후, 완전 배수하고 또 다시 물을 채워 수세하는 방식이다. Fill & drop 방식은 물이 채워져 있을 때 염색기가 가동하지만 물을 완전히 배출하였을 때 염색기의 가동이 멈추게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위해 개발된 수세방식이 Intermittent 방식으로 간헐수세방식이라고도 한다. 이 간헐수세방식은 물을 채운 후, 일정시간 수세 후 물을 완전히 배출하지 않고 절반 정도만 배출하면서 새로운 물을 다시 채워넣는 방식이다. 이 수세방식은 Fill & drop 방식과는 달리 수세하는 동안 염색기의 멈춤이 없이 계속 가동되기 때문에 수세효율이 훨씬 우수하며 수세수가 적게 든다고 알려져 있다.

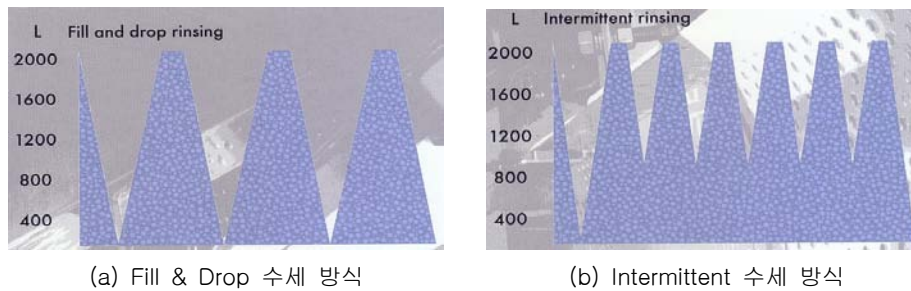


Figure 8. Fill & Drop과 Intermittent 수세 방식 비교.

2.2.3 수세효율 최적화

수세를 하다보면 미고착 염료를 비롯한 불순물이 어느정도 남아 있는지, 또한 pH는 어느 정도인지 확인해야 할 필요가 있다. 미고착염료 및 불순물이 제대로 수세되지 않으면 염색건뢰도 및 촉감에 악영향을 미치게 되고, 알칼리나 산이 남아 있게 되면 대형 claim건으로 이어지기 때문에 대부분 과량의 수세수를 사용하여 지나칠 정도로 수세하고 있는 실정이다.

만일, 수세수 내의 미고착염료 등을 포함하는 불순물이나 pH를 체크하여 수세 종료 시점을 정확히 파악할 수 있다면 수세수를 절감할 수 있을 것이다. 이를 위해 수세과정 중 용수내의 불순물이나 pH를 자동으로 확인하여 수세수의 양 뿐만 아니라 수세시간을 조절 할 수 있도록 고안된 옵션 장치들이 개발되어 지고 있다. 이러한 옵션 장치들은 염색기 외부에 장착되어 수세하는 동안의 수세수를 염색기와 연결된 미세관으로 뽑아 내고 이를 광화학적 방법에 의해 실시간으로 불순물의 농도 및 pH를 체크하도록 설계되어 졌다. 이러한 옵션 장치에 기능을 좀 더 추가하여 염욕의 pH에 민감한 나일론 염색과 같은 경우에 실시간으로 pH를 체크하여 pH에 이상이 생기면 산이던 알칼리던 염색기로 투입하여 pH를 조절할 수 있는 기능까지 개발되어지고 있다.

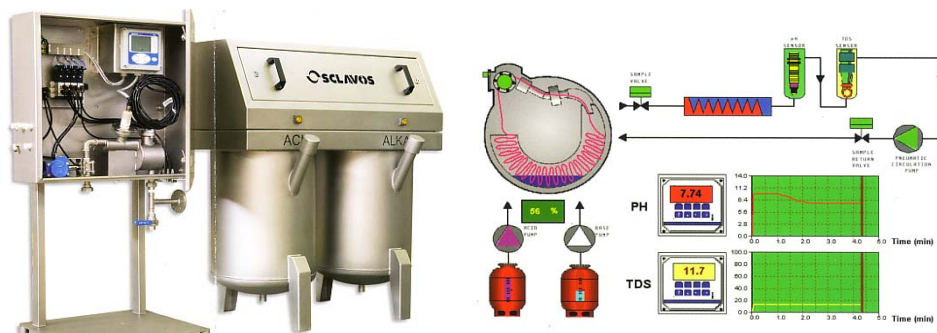


Figure 9. 이태리 SCLAVOS사의 pH-TDS(Total Dissolved Solids) Unit.

3. 결 론

우리나라 섬유산업의 경우 고유가, 환경규제, 생산원가 상승 등의 영향으로 국제경쟁력이 점점 약화되어가고 있는 실정이다. 이에 따라 에너지 절감에 대한 요구가 심화되고 환경에 관한 사회적 관심이 증대되고 있는 것이 현실이기에 섬유기계 또한 에너지 절감 및 환경문제를 동시에 해결가능한 설비 개발에 대한 필요성이 증대되고 있다.

염색설비의 경우 초기에는 생산성위주의 고속화 설비들이 주를 이루었으나 염색품질의 고급화 추세에 접어들면서 자동화, IT화, 시스템화로 발전되어 왔으며, 최근에는 생산성, 염색품질 뿐만 아니라 에너지 및 환경친화적인 방향으로 개발되어지고 있다.

2007년 뮌헨, 2011년 스페인, 2012년 중국 상해에서 개최된 국제섬유기계전시회를 참관하여 알 수 있듯이, 출품된 염색설비의 핵심개발 내용은 주로 염색용수절감, 수세용수절감, 염색품질향상, 작업편의성, 염색기 범용화, 현장자동화로 종합할 수 있다.

염색용수절감의 경우 염색기의 저욕비화가 가장 핵심이며, 저욕비 실현을 위해 원단과 염액의 분리, 염색기 compact화, 고농도 염액의 direct 원단 접촉 지양, 분말상태로 salt 투입 등의 기술이 개발되어져 있었고, 수세용수 절감의 경우 기존 간접 냉각방식에서 냉각과 수세를 동시에 진행 할 수 있도록 하는 직접 냉각방식을 많이 채택하였고, 간헐수세 방식을 도입하여 수세효율을 높였으며, 용수내 pH나 불순물을 감지하여 최적의 수세조건을 찾아주는 자동화 모니터링 시스템 또한 눈길을 끌었다.

염색품질 향상의 경우 염색기 내부에 테프론 코팅처리를 하여 원단 내부 마찰을 최소화 시켰으며, Two 노즐을 부착하여 원단주행을 부드럽게 해주고, 색상재현성 향상을 위해 정욕비화 기술이 도입되었다.

작업편의성의 경우, 염색 시 염료투입, 조제투입, 알칼리 투입, salt투입이 단계적으로 이루어져 작업자가 일일이 다음 단계 준비를 해야만 했으나, 여러 부속장비를 활용하여 염료, 조제 및 각종 케미컬들을 미리 준비해 두고 염색진행 단계에서 프로그램으로 자동투입될 수 있도록 하여 작업자의 편의성을 극대화시킬 뿐만 아니라 작업자에 의한 실수를 배제할 수 있도록 고안되었다.

염색기 범용화의 경우, 동일 염색기에 속통을 개조한다던지 노즐갯을 자동으로 조절하여 저중량에서 고중량, 저밀도에서 고밀도 원단을 폭넓게 염색할 수 있게끔 함으로써 염색기의 범용성을 높인 제품들이 많이 선보였다. 그리고, 현장 자동화의 경우, 염료자동계량, 염료자동용해, 염액자동이송, 조제자동계량 및 이송장치 뿐만 아니라 각종 salt나 고체 케미컬을 자동으로 현장 염색기나 가공기로 투입해주는 현장 자동화 장비들이 많이 출품되었다.

상기의 이러한 변화들이 주로 선진국위주로 진행되고 있었고 중국은 외관 뿐만 아니라 기능까지도 유사한 복제품을 저렴한 가격으로 생산하고 있는 상황이다. 이러한 상황에서 고전을 면치 못하는 국내 염색기계 산업을 발전시키기 위해서는 선진국의 첨단 및 혁신기종 확인에 따른 현실 대응과의 격차로 속앓이만 할 것이 아니라 선진국들의 발전방향에 속도를 높여 격차를 줄이고 선진국에서도 생각하지 못했던 기술들을 개발하여야 한다. 이런 염색기계의 개발은 실제로 이를 이용하는 업체뿐만 아니라 육성에 대한 의지가 있는 정부의 지원이 삼위일체될 때 만이 국제섬유기계전시회를 국내 섬유기계의 장터로 탈바꿈할 수 있을 것이라 생각된다.

심재운 Tel. : 031-8040-6101 / E-mail : sjaeyun@kitech.re.kr



- 주요 경력 -

- 1997 경북대학교 염색공학(학사)
- 1999 경북대학교 염색공학과(석사)
- 2003~2005 서울대학교 재료공학부(박사수료)
- 1999~2002 (주)대우인터내셔널/부산 섬유연구소
- 2002~현재 한국생산기술연구원 염색가공기술센터 수석연구원