

염색가공에서의 에너지 절감

1. 서 언

섬유의 염색가공에는 아주 많은 에너지가 소비된다. 특히, 가공용수의 가열, 건조, 열고정, 열처리와 같은 공정에서는 많은 양의 에너지가 필요하다. 에너지는 주로 열에너지의 형태로 소모되지만, 전기와 역학에너지로도 많은 양이 소모된다.

열에너지는 일반적으로 염색가공공장에서 석탄, 석유 또는 가스와 같은 화석연료의 연소에 의해 생성되는 스팀을 매개체로 하여 주로 이용된다. 전기 에너지는 계기용으로 소비되며, 한편으로 더 많은 양이 역학적 에너지로 전환되어 전기 모터, 기계, 펌프 등을 구동하는 데 사용된다.

염색가공공정에서 주요 매체로 사용되는 물은 마지막으로 가공처리된 직물에 적절한 함수량을 갖게끔 열건조하여 증발시킬 필요가 있다. 습식 가공에서 섬유, 사, 의류, 카펫 등은 습식처리과정의 일부로써 한번 이상의 열처리를 거쳐야 한다. 그리고 이러한 열처리로 인해 에너지 소비는 증가된다.

2. 염색가공공정에서의 에너지 소비

최근의 중동위기가 있기 전에 서유럽에서의 면, 폴리에스터 또는 P/C 섬유의 일반적인 흡진염색에 소요되는 원가는 다음과 같이 분석되었다.

染料費	25%
助劑費	15%
勞務 및 固定費	36%
에너지費	17%
물/폐수	7%

석유가격이 배럴당 15~18달러에서 약 40달러로 급등함으로써 열효율 향상을 위하여 염색가공방법, 처리순서 및 에너지 보전 시스템을 재고해야 되도록 습식 가공에 종사하는 사람은 강한 경각심을 받았다.

일반적으로 가공용수를 가열시키는 데 필요한 에너지는 전체 에너지 소비량의 약 35%~65%정도를 차지한다. 저욕비 기계는 에너지 소비가 더 적기 때문에 염색가공과정에서, 특히 세정 및 수세처리에서 매우 큰 잇점을 보이고 있다.

또한 건조, 열고정 그리고 열처리 등에서의 에너지 소비량은 전체 에너지 소비량의 25~60%에 이른다 그러므로 에너지 절약을 위한 첫번째 목표는 wet-pick-up을 낮추거나 거품 가공방법 등을 이용하여 패딩과정에서 직물에 사용되는 물의 양을 최소화하고 열에 의한 증발로 제거되는 물의 양을 감소시켜야만 한다는 것이다. 후자는 기계적 탈수방법을 최대한 효율적으로 이용하여 직물로부터 물을 확실히 제거함으로써 물의 양을 감소시킬 수가 있다. 이러한 기계적 탈수방법으로는 고압 망글을 이용한 탈수 다공용기의 이용 진공탈수, 압축공기의 주입 그리고 원심탈수방법 등이 있다. 원심탈수방법은 탈수가 끝난 뒤에 직물에 남아있는 수분이 불균일한 형태로 열건조기로 이송된다는 점에 특히 주목해야 한다. 이러한 현상으로 인해 직물이 균일한 최종 함수량을 갖기 위해서 더 많은 건조시간과 더 많은 에너지가 필요하게 된다. 한편, 고주파 건조기를 이용하면 섬유원료, 패키지, 행크 및 가먼트 등에 불균일하게 존재하는 수분을 최소화할 수 있다.

직물의 가공처리에 사용된 총 에너지 중 나머지 10%는 직물의 이송 및 조작 처리액의 순환 그리고 기타 여러 가지 목적으로 소비된다. 최고 품질의 직물을 생산하기 위해서는 가능한한 사용할 기계의 선택에 신중을 기하고, 실제로 필요한 최저 욕비만을 사용하여야 한다. 그러나 너무 낮은 욕비를 사

용하면 불균염 원인이 될 수도 있고, 따라서 보정을 위한 가공처리시간이 길어질 수도 있다. 또한, 너무 욕비가 낮으면 직물의 여러 품질 중에서도 직물의 표면이 뒤틀리거나 보풀이 일어나는 원인이 될 수도 있다.

3. 가공용수 가열

가공용수의 가열에 필요한 에너지량에 영향을 미치는 인자는 다음과 같다.

- 가공용수의 양
- 가공용수가 필요로 하는 온도
- 기계의 열손실
- 기계의 열용량

기계 표면에서의 전도 및 복사에 의한 열손실은 5% 정도로 비교적 적고, 또한 기계의 열용량이 에너지 소비량에 미치는 영향도 작다. 그러나 개방형 염색기는 증발로 인한 열손실이 상당하므로 고온 광폭수세설비에서는 밀폐형 기계를 사용하는 것이 좋다. 한편, 가열방법에 있어 재래식인 보일러나 스팀 가열방법의 대안으로서 한가지 흥미로운 기술이 개발되었는데, 그 기술은 열을 사용하는 부분에 직접 가스연소로 가열하는 방법이다. 직접적인 가스연소기술은 1990년대에 계속해서 그 이용이 증가할 것이다.

제트 염색기에서 10:1의 욕비로 물 2,300l를 사용할 때 필요한 스팀 소비량의 몇 가지 전형적인 계산법이 Textile Processing AB에 의해 발표되었으며, 이를 <표 1>에 나타냈었다. 여기에 열거된 값은 5bar의 압력에서 스팀 소요량으로 열손실 3%와 기타손실 2%를 포함한 값이다.

<표 1> 물 2,300l를 사용한 제트 염색에서의 스팀 소요량

處 理 段 階	물 : 10℃ 염색온도 : 115℃ (kg)	물 : 10℃ 염색온도 : 130℃ (kg)	물 : 70℃ 염색온도 : 115℃ (kg)	물 : 10℃ 염색온도 : 130℃ (kg)
대기온도에서 최종 염색온도까지 가열	449	527	207	285
염료 및 조제 등의 첨가를 위해 70℃에서 멈추었을 때의 열손실	7	7	7	7
80℃에서 1.25℃/min의 속도로 최종 염색온도까지 느린 승온으로 인한 열손실	31	34	31	34
한시간 염색	76	87	76	87
색고치기로 인해 온도가 떨어진 상태에서 최종 염색온도로 승온	163	241	163	241
80℃에서 1.25℃/min의 속도로 최종 염색온도까지 느린 승온으로 인한 열손실	31	34	31	34
30분간 염색	38	44	38	44
욕조가 냉각된 후 세정 및 정련을 위한 가열	120	120	—	—
50℃에서 30분간 수세	12	12	—	—
합 계	927	1,106	553	732

에너지 소비면에서 볼 때 온수를 넣어 염색하는 방법이 냉수를 사용하는 경우보다 경제적이점이 크기 때문에 온수 공급을 위해 물과 물 또는 공기와 물 사이에 열교환을 할 수 있는 열교환기의 사용이 크게 권장되고 있다.

염색조에서 전기에너지의 소비량이 일반적으로 피염물 100kg당 5~15kW로 다양하다는 사실은 주목할 만하다. 그러나 그 전기에너지의 약 90%가 열로써 염액에 전달된다는 사실도 중요하다

4. 공정의 통합

에너지를 절약하기 위해서는 한 배치의 섬유가 거쳐야 할 욕조 총수를 최소로 줄여야 한다. 그러므로 투입된 섬유를 만족스럽게 처리할 수만 있다면, 공정통합 즉 공정단축화가 습식가공에서 갖는 중요성은 매우 크다.

화학적 전처리공정에서 일반적인 전처리 순서에 따른 에너지 소비량을 <

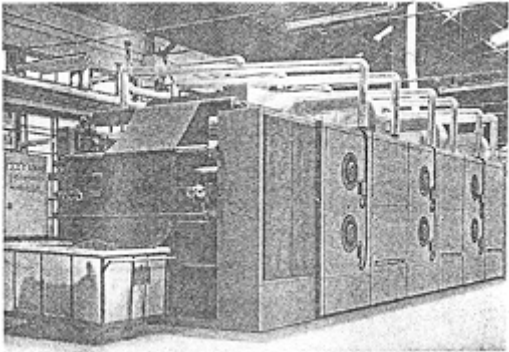
표 2>에 직물 1t당 GJ로 나타내었다. <표 2>에 나타난 값은 현재 영국의 맨체스터에 있는 BTTG(british Textile Technology Group)의 에너지 관리에 대한 광범위한 조사내용에서 일부 발췌한 것이다. 여기에서 분명한 것은 발호, 정련, 표백, 저온통합형 공정으로 에너지를 절감한다는 점과 한편으로 수세단계에서 열회수 장치의 도입 또한 에너지를 상당히 절약해 준다는 점이다.

<표 2> 전처리공정에서의 에너지 소비량 비교

(단위 : GJ/직물1t)

處 理 段 階	에너지 소비량
精 練(퍼드스팀)	6.2
水 洗	5.5
漂 白(퍼드스팀)	6.2
水 洗	5.5
乾 燥	1.9
合 計	25.3
로프키어 精練, 漂白 및 水洗	7.0
乾 燥	3.7
合 計	10.7
J-Box 精練, 漂白 및 水洗	8.1
乾燥	2.0
合 計	10.1
低溫統合型 拔欄, 精練, 漂白	극히 작음
水 洗	1.5* · 5.0**
乾 燥	1.9 1.9
合 計	3.4 6.9

*열회수를 했을 경우, ** 열회수를 하지 않았을 경우



<그림 1> 건조공정에서는 염색가공공정에 투입되는 에너지 가운데 단지 적은 비율만이 사용된다.

5. 염료 공정의 선택

흡진염색에서 한 번의 처리로 적절하게 피염물을 염색해야만 경쟁적인 오늘날의 섬유산업에서 살아남을 수 있다. 그러나 처리조건에 따라 민감한 반응을 일으키는 염료나, 또는 실제 응용면에 있어서 균염, 수세, 염료고착 및 염색견뢰도 등이 좋지 않은 염료들을 사용하며 염색시간이 길어지거나 약제 투입 및 재염색이 필요하고 과다한 에너지 소비 등과 같은 단점을 갖게 된다.

그뿐만 아니라 습식 공정 중에 많은 처리를 하게 되면 이들 공정조건을 정확히 재현시키는 것이 까다롭기 때문에 실제 생산면에서 재현성 있는 정확한 제품생산이 어려운 경우가 종종있다. 또한, 환원세정과 같은 처리, 반응성 염료, 배트염료 및 황화염료의 스티밍, pH 조절작업, 낮은 친화성 염료의 저온염색 그리고 염색후의 수세와 같은 처리 등에서 잠재적인 어려움이 뒤따르게 된다. 재현성 있는 결과를 얻을 수 없는 염색가공공정은 어떤 것이든 에너지비와 가공비를 증가시키게 될 것이다.

6. 열건조, 열고정 및 큐어링 처리

스텐터의 전형적인 패드-드라이-큐어 가공(pad-dry-cure process)에서의 주요 에너지 소비항목을 분석하여 <표 3>에 나타냈었다. 기계표면에서 복사와 전도로 인한 열손실은 일반적으로 적는데, 그 이유는 대부분 스텐터의 두꺼운 열절연체가 사용되고 효율적으로 밀폐되어 있기 때문이다. 또한 Farmer Norton/Shirley 에어 커튼이 스텐터의 직물 출입구를 효과적으로 밀봉하기 위하여 개발되었다. 이 에어 커튼은 여러 면에서 유용하지만, 특히 열고정에서 발생할 수 있는 그을음 문제나 스텐터에 미리 필요한 만큼 조절되어 있는

배기 조절판이 더 열려야만 하는 경우에 아주 유용하게 이용된다. Shirley 에 어커튼을 이용하면 열고정에서 소비되는 에너지의 30% 이상을 절약할 수 있다.

<표 3> 패드-드라이-큐어 가공에서 스텐터 에너지 소비분석

項 目	構成比(%)
물의 蒸發	48
空氣의 昇溫	28
織物의 昇溫	10
電氣 에너지	12
輻射熱損失	2

효율적인 열건조를 위해 과도한 건조는 피하고, 스텐터로부터 공급된 직물의 수분함유량을 조절하는데 기기나 장치를 이용하면, 처리시간과 에너지 소비를 최소화할 수 있다. 건조공정에서 최소의 에너지로 최대의 증발속도를 얻고자 하는 서로 상반된 요구조건이 잘 균형을 이루기 위해서는 배기습도가 건공기(乾空氣) 1kg당 수증기 0.1~0.15kg에서 유지될 때 얻을 수 있다는 사실은 경험을 통해 증명되어 왔다.

열고정공정에서 적외선 고온 측정법이나 온도차를 이용하여 열고정 온도 및 시간을 정확하게 조절함으로써 에너지를 절감할 수 있다.

고온의 배기 가스는 스텐터 흡입공기의 승온 또는 가공용수의 열원으로 이용하기 위해 다양한 형태의 열교환기를 통과하게 된다. 여기에 이용되는 열교환기로는 대향류식(對向流式) 판형 열교환기, 히트 휠 열교환기, 히트 파이프, 관형(shell and tube) 열교환기 등이 있다.

7. 에너지 관리와 목표

BTTG에 의하면 간단한 에너지 관리기술을 이용하여 에너지 비용을

11~23% 정도는 절약 할 수 있다. 이번에 개발된 에너지 분석기술은 각 기계에 필요한 에너지를 최소화하고, 불필요한 에너지 손실이 없는지를 확인하며, 배제 가능한 비효율적 요소를 수정 • 관리하는데 이용된다. BTTG에서는 각 기계의 에너지 소비에 대한 목표치를 확립하기 위하여 섬유 전공정에 걸쳐 생산 유효시간 및 유휴시간 등을 고려하였다. 이러한 에너지 분석기술은 염색가공공정의 에너지 관리에 있어 아주 효율적인 수단으로, 빠른 에너지 절약 효과를 얻을 수 있다.