

초임계유체를 활용한 섬유염색

섬유산업에서는 세척, 스커링, 표백, 염색 등과 같은 전처리공정이나 마무리 공정에서 물을 용매로서 사용한다. 이렇게 물을 다량 소비하는 염색 산업에서는 물의 사용량을 절감할 수 있는 환경친화적 ‘저욕비 염색설비개발’, 폐수의 재순환, 재이용과 같은 기술에 많은 관심과 노력을 기울여 왔다. 오랜 전부터 섬유산업과 마찬가지로 식품산업과 화학공업, 반도체 등과 같은 재료가공 등에서 물이나 용매를 많이 사용하는 산업에서는 폐액의 처리가 문제가 되어 왔다. 최근 관심이 집중되고 있는 초임계유체 기술은 물과 독성 유기용매를 청정 용매인 이산화탄소 유체로 대체하면 이를 간단히 회수할 수 있고 재 이용하여 폐액의 발생없이 공정을 마칠 수 있는 것을 입증하여 왔다. 커피 원두나 홉 열매에서 카페인이나 쓴맛을 나게 하는 물질을 추출하는데 이미 사용된 초임계 유체 공정이 섬유를 염색하는 새로운 환경친화적 공정에도 유망하다 것이 연구 결과 가시화되고 있는 것이다. 최근에는 물이 필요 없는 염색방법으로 합성섬유 (폴리에스터, 나일론, 아세테이트)를 염색할 때 초임계상태 (Supercritical State)의 이산화탄소(CO₂) 상태에서 염색하는 공정의 상업화가 검토되고 있다.

초임계유체는 임계온도와 임계압력을 초과하는 고온 고압상태하의 특수 상황의 유체를 말한다. 고체, 액체, 기체와 달리 기체와 액체의 중간적 성질을 띠고 있다. 즉 초임계상태의 유체의 밀도는 액체의 밀도에 유사하지만 점성과 확산성은 기체의 성질과 비슷하다. 더욱이 초임계유체는 작은 압력변화 만으로도 큰 밀도 변화를 얻을 수 있는 장점이 있다. 공업분야에서는 이산화탄소나 물, 알코올, 헬륨 등이 초임계 유체로 사용된다. 물의 경우 374℃, 221기압의 임계점을 초과한 고온 고압하에서 그리고 이산화탄소의 경우

31.06℃, 73.8기압의 임계점을 초과 상태에서 초임계 유체된다. 임계온도보다 낮은 온도에 있는 이산화탄소 기체를 가압 시키면 액화된다. 한편 이산화탄소의 온도가 임계온도보다 높은 때는 기체는 가압 하여도 액화하지 않는 것을 볼 수 있다. 이 기체를 임계압력 이상으로 가압 하면 초임계 이산화탄소가 된다. 초임계 유체는 반응성이 높을 뿐더러 물질을 녹이는 강력한 힘이 있기 때문에 현재 사용되고 있는 유기용매를 대체하여 친환경적 용매나 합성재료로서 화학반응이나 물질의 추출에 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

초임계 유체는 기체와 같은 낮은 표면장력을 가지고 있기 때문에 세공구조에도 쉽게 침투하고 용질의 확산계수가 액체에서의 값과 비교할 때 10배 이상이 크기 때문에 (그림 1) 물질전달 속도가 커서 용이하게 염료를 섬유세공으로 이동시킬 수 있다. 더욱이 폴리에스터와 같은 섬유는 초임계상태의 이산화탄소에서 쉽게 팽윤하여 염료가 침적하는데 많은 도움을 준다. 염색이 종료되고 이산화탄소를 제거하여 압력을 떨어뜨리면 섬유내에 침투해 들어간 염료는 섬유가 수축하면서 그대로 남으면서 염색이 완료된다. 또한 용매에 대한 용해력(solvent power)은 일반적으로 용액의 밀도에 비례를 하는 데 초임계의 밀도가 액체와 비슷하기 때문에 염료에 대한 상당한 용해력을 갖는다. 초임계유체의 높은 용해성으로 인하여 분산제가 없어도 염료가 잘 용해된다. 초임계 이산화탄소의 우수한 특성으로 인하여 초임계유체 염색공정은 기존염색공정에 비하여 가격 경쟁력을 갖는 것으로 알려져 있다. 초임계유체 염색공정은 다음과 같은 단계로 이루어지며 각 단계에서의 장점이 있다.

Diffusion behavior of carbon dioxide

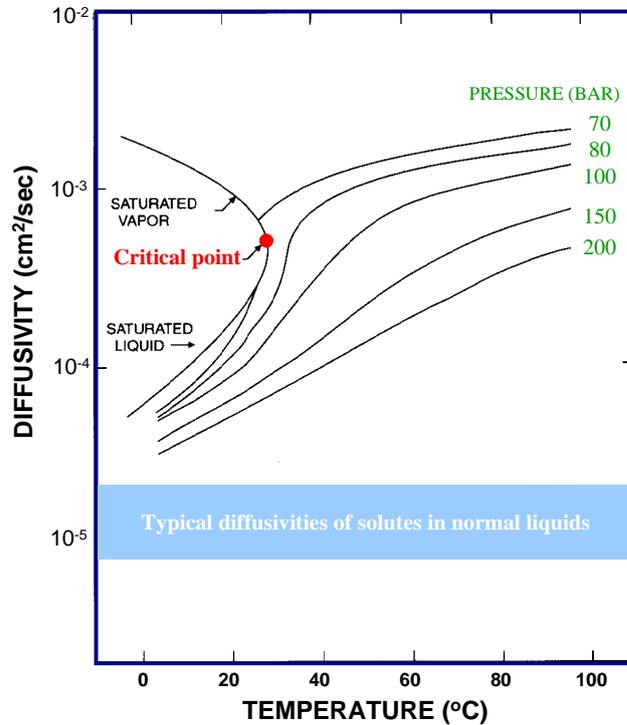


그림 1 초임계 이산화탄소내의 확산계수

1. 염료의 용해(Dye Dissolution)
 - 분산제없이 염료의 용해도가 큼
2. 섬유로 이동(Bulk Phase Transfer)
 - 염료의 확산계수가 커서 초임계이산화탄소에 녹아 있는 염료가 섬유의 표면까지 쉽게 전달됨
3. 섬유 표면으로 흡착(Surface Adsorption)
4. 섬유 속으로의 확산(Pore Diffusion)
 - 적은 계면장력으로 염료가 섬유세공내로 쉽게 적셔들어감(easy wetting)
5. 잔존 염료의 세척 (Washing)
 - 염료의 확산 속도가 커서 쉽게 세척할 수 있으며 물을 사용하지 않는

공정이므로 폐수처리공정이 없고 염료는 재순환하여 활용할 수 있음

6. 건조 (Drying)

- 이산화탄소의 낮은 건조온도로 에너지 절약

초임계유체의 최초 보고는 1879년에 있었으나 초임계유체를 이용한 염색(Supercritical Fluid Dyeing : SFD)은 1990년대 초부터 독일에서 연구되기 시작하였다[1,2]. 1991년 독일 E Schollmeyer 교수 등이 '초임계이산화탄소 중에서의 섬유염색'이란 특허 및 논문 발표 [3,4,5]와 독일에 있는 Uhde사에서 초임계유체 염색기를 개발하여 1995년 OTEMAS에 파이로트를 전시하였다. 이후 세계 각국에서 많은 연구와 논문이 발표되고 있다. 그림 2의 Uhde사의 SFD과일럿 기계 (30 liter 규모의 autoclave, Maximum Pressure : 1000 bar, Maximum Temperature : 150℃)는 독일북서섬유연구센터(DTNW)에 설치되어 긴밀한 협조로 여러 가지 염색실험을 통하여 과일럿 염색기를 보완하고 있다.

1. Saus, W.; Knittel, D.; Schollmeyer, E.; Voltammetric determination of reducing agents and dyestuffs in textile printing pastes; Fresenius J. Anal. Chem. 338 (1990) 912-916.

2. Knittel, D.; Saus, W.; Schollmeyer, E.; Voltammetrische Untersuchungen zur Stabilität von Reduktionsmitteln in Druckpasten; Melliand Textilber. 71 (1990) 629-630.

3. Knittel, D.; Saus, W.; Benken, R.; Buschman, H.-J.; Schollmeyer, E.; Verfahren zum Imprägnieren von Substraten; DE 42 02 320.3, 29. Jan. 1992.

4. Knittel, D.; Saus, W.; Benken, R.; Buschman, H.-J.; Schollmeyer, E.; Verfahren zum Aufbringen von Substanzen auf Fasermaterialien und textile Substrate; Dt. Anmeldung, Jan. 1992.

5. Saus, W.; Knittel, D.; Schollmeyer, E.; Buschmann, H.-J.; Anm. Ciba Geigy, Basel.; Process for dyeing hydrophobic textile material with disperse dyes from supercritical CO₂; EP 928 103 43.1, 08. Mai 1992



그림 2. 초임계유체 섬유염색 파일럿 플랜트