

염색 전처리조의 NaOH 자동 농도 제어 시스템의 개발

김한도

영남대학교 중기거점연구센터
(2003. 5. 6. 접수/2003. 6. 18. 채택)

Development of Automatic Concentration Control System for NaOH in Dyeing Pretreatment Bath

Han Do Ghim

Advanced PVA Research Center, Yeungnam University
(Received May 6, 2003/Accepted June 18, 2003)

Abstract —Automatic concentration control system for pretreatment of dyeing was set up with adaptive control system supported by Fuzzy logic for the high speed successive pretreatment of fabric. Concentration of pretreatment bath was determined by the conductivity due to the ionized NaOH. Usability of this system was also evaluated with 30wt% of NaOH (conductivity of 0.25 S/cm) as an initial concentration. Conductivity fluctuated between 0.31 and 0.17 S/cm. This range accorded with the 21-35wt% of NaOH concentration.

Keywords : *pretreatment; adaptive control; Fuzzy logic; conductivity*

1. 서 론

섬유 제품의 품질은 염색 및 가공 공정에 의하여 크게 좌우되며, 섬유의 고품질화를 포괄하는 섬유산업의 고급화는 정확한 섬유의 특성 파악과 엄격한 관리가 필수적이다. 특히 염색 공정에 있어서 전처리 공정에 해당하는 정련과 표백은 섬유에 함유된 불순물이나 기존 색소를 제거하여 이후 염색 공정의 효율성을 높일 수 있다는 점에서 매우 중요하다. 섬유의 불균일한 습윤 및 팽윤은 이어지는 염색 공정에서 염반이나 각종 견뢰도의 저하를 가져오며, 불순물이 잔존하는 섬유 시료의 경우 염색 가공 공정에서 가공제의 침투를 저해하므로 불균염의 중요한 원인이 된다. 또한 전처리가 적절히 이루어지지 못한 경우 섬유의 취화 및 빛이나 열에 의한 황변 현상을 가져오는 등, 그 피해가 매우

크다. 이와 같은 섬유 제품의 불량 발생은 대부분 부적절한 전처리 공정에 그 원인이 있다.

염색 전처리 공정에서 가장 어려움을 겪는 부분은 원단에 포함된 불순물을 완전히 제거하는 것이 어렵다는 데에 있다. 원단에 부착된 불순물을 완전히 제거하지 못한다는 것은 비단 섬유 제품의 품질제어에만 어려움이 있을 뿐 아니라 불량이 발생했을 경우, 그 원인의 규명이 어렵게 된다는 데에도 문제점이 있다. 따라서 전처리 공정을 고속화 및 연속화하기 위해서는 원단의 불순물을 완전히 제거하는 효율적인 방법의 개발이 시급하다.

정련 및 표백에 있어 불순물이 잔존하는 경우는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 즉, 정련 및 표백 공정의 부적절한 제어에 의해 원단의 불순물이 빠져 나오지 못하는 경우와 전처리 용액으로부터 원단으로 불순물이 재부착되는 경우이다. 기존 전처리 시스템에 의해 원단에 부착된 불순물을 제거하면, 제거된 불순물은 처리조에 남게 되고 이는 탱크의 수면에 부유하게 된다. 이런 부유물은 탱

¹Corresponding author. Tel. : +82-53-810-1431; Fax.: +82-53-816-3786; e-mail: stanza@dreamwiz.com

크를 overflow 시킴으로써 제거하는데 장기적으로는 전처리조에 불순물이 쌓이게 되며, 이를 제거하기 위해 정기적으로 세정하는 것이 필요하다.

연속 전처리 공정을 이용한 고속 전처리 공정의 개발은 염색 및 가공공정 전반의 효율성을 고려할 때 매우 중요한데, 연속 전처리 공정을 위하여 가장 우선적으로 해결해야 할 문제가 전처리 약액의 농도 관리이다. 전처리 약액의 농도제어가 원활히 이루어지지 않으면 전처리 불량률의 원인 규명이 어렵고, 전처리 공정의 고속화 또한 불가능해진다.

현재 국내에 보급된 외산 전처리 약액 농도제어 시스템은 전처리 약액 중 가장 투입량이 많은 NaOH의 농도를 측정하고 이를 원하는 값으로 유지하도록 NaOH와 기타 약제를 첨가하는 제어 방식을 취하고 있다. 그러나 기존 시스템은 공정의 동특성이나 비선형성을 고려하지 않고 있으며, NaOH를 제외한 약제의 농도를 측정하지 않아 최대의 효과를 얻는 것이 불가능하다.

전기적 신호를 이용하여 염색 공정에 소요되는 조제의 농도를 제어하는 연구^{1,2)}는 최근 몇몇이 보고되고 있으며 온도와 염의 농도 등의 영향에 관한 측정 시스템의 구성³⁾도 제안된 바 있다. 그러나 아직까지 전처리 약액의 농도 제어를 통한 연속 전처리 공정의 개발에 관해서는 충분히 연구된 바 없으며, 동일 기술을 이용하는 전처리 장치의 경우에도 그 기능에 있어 많은 문제를 나타내고 있다.

본 연구에서는 적응 퍼지 제어와 인공지능망을 결합한 새로운 NaOH 농도제어 시스템을 개발하였으며, 이를 통해 섬유의 종류에 따른 전처리 공정의 동특성 변화와 비선형성을 극복할 수 있는 안정적인 전처리 약액 농도제어 시스템을 구축할 수 있었다.

2. 실험방법

2.1 전처리 공정의 설계

본 연구에서 가장 중요한 NaOH 농도 측정은 전극을 이용하여 conductivity를 측정하는 도전율 방식을 이용하였는데, 이는 on-line으로 측정하기에 가장 적합한 것이다. 전처리 용액에서 강하게 이온화되는 물질은 NaOH 뿐이기 때문에 어느 정도 충분한 정밀도를 확보할 수 있다. 그러나 이온성이 강한 불순물을 함유하는 섬유에 대해서는 적

용하기 어려운데, 이는 불순물에 의한 conductivity의 차이가 심하게 나타날 수 있기 때문이다.

본 전처리 공정에서는 상당히 광범위한 측정영역을 감당할 수 있는 센서인 2823 Model(Signet Korea사)을 적용하였다. 2823 Model은 200 μ S ~ 400,000 μ S의 광범위한 영역에서 사용할 수 있는 기종이다. 전기전도도 센서의 측정값은 Signal Converter를 통하여 전기적인 신호로 변경되었다. Signal Converter는 4~20mA의 신호를 출력할 수 있으며, monitoring 기능과 온도측정 기능을 동시에 보유할 수 있도록 설계되었다.

센서에서 얻어진 신호는 직접 제작한 인터페이스 회로를 통하여 디지털 신호로 변환되어 PC로 저장 및 해석되었다. 신호를 분석하여 전처리 약액의 NaOH 농도를 일정하게 제어하기 위하여 PC에서 계산한 제어신호를 바탕으로 제어 밸브를 조절하는 인터페이스의 구축이 필요하였으며, 공정 제어 이론을 적용하여 제어신호의 계산을 수행하였다.

2.2 연속 전처리 공정

일반적인 정련, 표백공정에는 정련제로 알칼리 계면활성제, 유기용제, 그리고 산화제 등이 다양한 조합으로 이용된다. 본 연구에서는 면에 대한 정련, 표백의 기본 조건으로 다음 Table 1과 같은 초기 농도로 조절하여 전처리 공정을 시행하였으며, 자동제어 시스템을 이용하여 전처리액의 NaOH에 대한 농도제어를 실시하였다. NaOH의 농도는 도전율 측정에 유리하도록 30wt%(415g/L)를 기준으로 하였다.

Table 1. Initial Concentrations for Agents of Pretreatment for Cotton Fabric

Surface active agent	0.43(wt%)
NaOH	30
Stabilizer	0.43
H ₂ O ₂	2.6

3. 결과 및 고찰

3.1 연속 전처리 용액 농도제어 시스템의 구성

연속 전처리 공정을 위하여 다음의 Fig. 1과 같은 시스템을 구성하였다. 이상적으로는 모든 조제에 대한 농도 센서를 장착하여 각 조제의 농도를

제어하는 시스템을 구성하고자 하였으나, NaOH를 제외한 다른 조제의 경우, 검출 방법이 간단하지 않으며 그 농도도 매우 낮은 관계로 시스템의 구성이 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 가장 많은 양이 투입되고 검출이 용이한 NaOH를 기준으로 하여 기타의 조제는 초기 농도비에 맞추어 투입하였다. 또한 전처리 용액에서 강하게 이온화하는 물질은 NaOH 뿐이므로 충분한 정밀도를 확보할 수 있었다. 그러나 이온성이 강한 불순물을 갖는 섬유에 적용하기에는 어려움이 따른다.

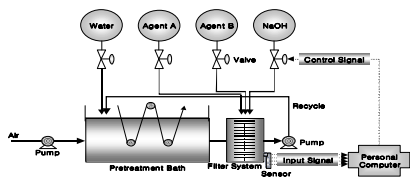


Fig. 1. Schematic presentation of successive pre-treatment system.

센서에서 나오는 신호는 디지털 신호로 변환되어 PC로 들어갈 때와 PC로부터 NaOH의 농도를 일정하게 유지하기 위한 제어신호를 제어 밸브로 송출하기 위하여 적절한 인터페이스를 구축하였다. 제어 신호의 적절한 계산을 위해서는 공정 제어 이론에 기반한 알고리즘의 구성이 요구되었는데, 이는 섬유의 종류와 가공 내용에 따라 동특성이 달라지는 전처리 공정의 특징에 그 원인이 있다. 특히 동특성은 비선형성을 갖고 많은 방해인자(disturbance factor)가 있기 때문에 이는 매우 중요하다. 동특성이 알려져 있지 않기 때문에 발생하는 제어의 어려움은 퍼지 제어를 통하여 극복할 수 있었으며, 주변 환경이나 섬유의 종류에 따라 달라지는 것은 적응제어기법을 이용하여 해결하였다⁴⁾.

동특성의 비선형성은 적절한 계산에 의해 선형화를 한 다음 제어를 하는 것이 일반적이다. 그러나 본 연구의 NaOH 농도 제어 시스템의 비선형성은 선형화가 수월하지 않았다. 이를 해결하기 위하여 기존의 데이터를 통한 반복학습을 응용하는 인공신경망을 이용하였다. 이에 따라 비선형성의 문제를 해결하는 것과 동시에 주기적으로 발생하는 방해인자의 제어도 가능하였다. Fig. 2는 본 연

구의 대략적인 제어 구조를 보인 것이다.

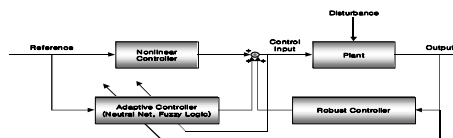


Fig. 2. Schematic presentation of adaptive control system.

Table 1에 보인 것처럼 전처리 공정에 있어서 NaOH의 농도에 대한 기타 조제의 농도는 10% 미만의 극히 적은 양이다. 본 연구에서는 다이얼식 정량 펌프 시스템을 이용하여 주재료인 NaOH의 양에 따라 계면활성제 등의 부재료의 농도를 조절하여 미리 혼합한 다음 전처리 공정에 입력될 수 있도록 하였다. 일반적인 정량 펌프를 사용하는 경우, 낮은 주파수의 rpm에서 정량 펌프에 많은 부하가 가해지는 경향이 있으므로 이를 방지하기 위해서 emergency pump on/off 시스템을 제어 부분에 추가하였다.

3.2 연속 염색 전처리 공정

본 연구에서 설치한 연속 전처리 장치의 특성을 확인하기 위하여 면직물에 대한 연속 전처리를 Table 1의 초기 농도 조건에서 시행하였다. NaOH의 도전률 측정은 NaOH의 농도가 0~15wt% 및 20~40wt%인 두 범위에 한하여 사용이 용이하므로, 본 연구에서는 30wt%의 초기 농도 조건에서 전처리를 시행하여 자동제어가 가능하도록 시스템을 설정하였다. 이를 위하여 buffer 상태의 NaOH 수용액에 대한 도전률을 측정한 결과는 Fig. 3과 같다. NaOH의 농도가 30wt%인 경우, 도전률은 0.25S/cm 정도의 값을 나타내었으며 25~35wt%인 경우, 도전률은 0.28~0.19S/cm의 범위를 나타내었다. 센서의 용량은 초당 4,800회까지 측정이 가능하지만, 측정 시간의 간격이 너무 조밀한 경우 과다한 용량으로 인해 PC로의 데이터 전송이 용이하지 못하여 적절한 제어가 불가능하므로 초당 20번을 측정하도록 제한하였으며, 60분간 측정하였다. 실제 측정 결과는 도전률 0.31~0.17S/cm의 범위에서 제어되는 결과를 나타내었으며, 이 범위에서 주기적으로 반복되는 특성을 나타내었다. 이와

같은 범위의 도전률은 NaOH의 농도가 21~35%의 범위를 갖는 것을 의미하므로, 본 연구에서 구성된 NaOH 자동 농도제어 시스템으로 NaOH 농도를 $\pm 10\%$ 의 범위 내에서 조절할 수 있음을 확인할 수 있었다.

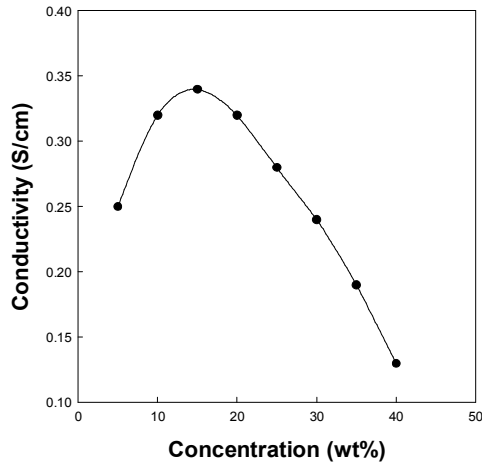


Fig. 3. Changes of conductivity of aqueous NaOH solution versus the amounts of NaOH.

4. 결 론

본 연구에서는 염색 및 가공의 전처리 공정의 연속공정을 위하여 필수적으로 해결해야 하는 전처리 약액 농도제어를 위하여 적응 퍼지 제어와 인공지능망을 결합한 새로운 NaOH 농도제어 시

스템을 개발하였으며, 이를 통해 섬유 종류에 따른 전처리 공정의 동특성 변화와 비선형성을 극복할 수 있는 안정적인 전처리 약액 농도제어 시스템을 구축할 수 있었다. 구성된 시스템의 신뢰도는 직접 연속 전처리를 시행하여 평가되었으며, 기준치에서 $\pm 10\%$ 이하의 범위로 정밀한 제어가 가능하였다. 그러나 이는 NaOH의 농도만을 기준으로 한 것으로, 기타 조제들에 대한 정밀한 제어를 위해서는 각 조제에 적합한 새로운 검출 방법의 개발이 선행되어야 한다.

참고문헌

1. T. Bechtold and A. Turcanu, Electrochemical Vat Dyeing Combination of an Electrolyzer with a Dyeing Apparatus, *J. Electrochem. Soc.*, **149**, D7-D14(2002).
2. S. Park, M. Nakajima, H. Ishikura, and Z. Maekawa, Computer Aided Dyeing Process Management System, "Proceeding of the 4th Asian Textile Conference, Taiwan", P31, 942 ~ 945(1997).
3. M. Reddy, W. J. Jasper, R. McGregor, and G. Lee, Effects of Temperature and Salt on Dye Mixture in the Batch Dyeing Process, *Textile Res. J.*, **67**, 109~117(1997).
4. 도용태, 김일곤, 김종완, 박창현, 인공지능 개념 및 응용-, 4장, 5장, 9장, 사이텍미디어, 서울(2001).