

## RFT 염색기술의 현황과 전망

조현태 · 김기정<sup>1</sup>

### 1. RFT 염색기술의 개요와 중요성

RFT(right first time) 염색이란 색 수정이나 재염없이 단 한 번에 염색을 완료하는 것을 말하며 염색현장에 있어서 가장 긴요하면서도 달성이 어려운 기술이다.

배치식 염색은 소롯트화의 경향과 시장에 적절히 대응할 수 있기 때문에 흡수염색법으로 널리 사용되고 있다. 1980년대 이후 섬유시장은 공급자 시장에서 소비자 시장으로 변화되었다. 그 결과 품질기준은 높아지고 리드타임(lead time: 제품 기획부터 생산시간까지의 시간)이 단축되어 패션변화가 빨라지게 되었다. 따라서 현재까지의 염색에 있어서 흡진염색법은 가장 많이 이용되는 방법중의 하나이다. 흡진염색은 염액의 양이나 온도 등을 조절하는 것이 아니고 일정 양의 섬유와 액량, 정해진 온도, 정해진 시간에 의하여 염색하는 방법이기 때문에 염색조건의 민감한 변화에 제대로 대응하기 어려워 염색 후에 많은 로트 차이가 발생하며 이로 인하여 재염하는 경비 및 시간의 손실이 많은 부담이 되고 있다. 또한 비록 동일한 조건이라 하더라도 기계별로 염색결과가 틀리는 것은 그 원인을 매우 추적하기 어렵기 때문에 경험치에 의존할 수 밖에 없어 대단히 비효율적인 염색이 되고 있는 것이 현실이다.

많은 염료제조업자들은 이 흡진염색에서 재현성 및 상용성이 우수한 염료를 개발하는 것을 그 목표로 하여 수없이 많은 시도를 하면서 염료를 생산하고 있다. 즉 재현성 및 상용성이 우수한

염료라 함은 약간의 조건차이 즉 온도, 시간, 욕비, 액의 유속, 피염물의 회전속도 등 이루 말할 수 없이 많은 요인에 의한 차이를 극복하고 일정하게 염색할 수 있는 염료를 말한다. 염료제조업자는 이러한 방향으로 개발을 계속하고 있지만 염색현장에서는 이런 염료를 사용하더라도 아직도 많은 요인들을 극복하지 못하고 있기 때문에 로트 차가 발생하여 재염이 불가피하게 되고 있다.

이러한 염료의 개발이나, 염색기술과는 별도로 염색기 자체는 많은 하드웨어의 발전으로 수년 전보다는 눈부신 발전을 거듭하여 염색온도, 시간, 유속, 피염물 속도 등 많은 부분이 자동화되어 염색발전에 이바지하여 왔다. 이로 인하여 자동화 부분에 있어서는 피염물의 투입 및 추출을 제외하면 완전자동화가 이룩된 것이나 거의 다름이 없다. 그러나 이러한 염색기의 발전에도 불구하고 아직 로트 차를 근본적으로 해결할 방법은 제시되고 있지 않은 형편이다.

염색공장에서 실제로 이 로트 차를 줄이기 위하여 염색이 어느 정도 완료되면 샘플링을 하여 색상을 비교하여 보고 이것을 다시 CCM이나 경험치로 판단하여 염료를 추가 투입하는 경우가 많다. 샘플링을 하게 되면 온도를 어느 정도 내려 염색기에서 피염물을 자를 부분을 찾아야 하고 자른 피염물을 건조하여서 색차판정을 한다. 만일 색차가 눈에 띄게 나타나면 추가할 염료를 계량하여 염색기에 추가하고 다시 온도를 올린 후 간단히 염착을 시킨 뒤에 다시 샘플링을 하고 앞의 공정을 반복하게 된다. 이러한 작업에서 결

Current Situation and Prospect of Right First Time (RFT) Dyeing Technology/Hyun Tae Cho and Ki Jeong Kim<sup>1</sup>

승실대학교 공과대학 섬유공학과 교수, (156-743) 서울 동작구 상도1동 1-1, Phone: 02)820-0622, Fax: 02)817-8346, e-mail: choht@saint.soongsil.ac.kr

<sup>1</sup>다이텍스 엔지니어링

국 색상을 근접시킨다 하더라도 많은 시간을 소모하게 되며 대단히 번거로운 일이 아닐 수 없으나 현재는 그렇게 진행되고 있다. 아무리 자동화된 염색기에서도 최종 색상의 확인만은 이렇게 이루어지고 있는 것이 현실이다.

이러한 여건에서 RFT 염색기술은 다음과 같은 점에서 그 요구도가 업계에서 가장 높은 기술로 여겨지고 있다[1~7].

- 노무비는 섬유가공업에서 가장 큰 부담을 주는 요인이다. 서유럽의 경우를 보면 섬유가공비용중 60~70%가 단위 염색시간에 좌우된다. 결과적으로 염색비용을 감소시키는 가장 큰 요소는 단위 염색시간을 단축하고 재염을 방지하는 것이다(Table 1 참조).

- 순 염색시간은 균염성을 얻기 위해 필요한 시간으로 정해진다. 만약 약간의 염색시간 감소가 실현된다면 상당한 이윤의 증가를 기대할 수 있다. 폴리에스테르 사 치즈 441파운드, 3 shift의 경우 배치시간이 10%만 감소해도 이윤이 배로 증가한다. 모든 배치시간과 생산성은 필요한 전처리와 세정 후처리시스템 및 색수정의 회수에 영향을 미친다[4].

- 색수정은 매우 고비용이 든다(Table 2 참조). shading 조작을 1회 하면 그 비용은 다른 수

**Table 1.** 서유럽의 Wet process 비용분석

노무	42%
염료와 약품	19%
투자	11%
유지비	5%
에너지	7%
물 / 배수	3%
기타	12%
합 계	100%

**Table 2.** 색수정 추가비용 비교(300 kg 생산, 패키지 염색기 또는 제트염색기)

브라인드 염색	100%
샘플링 염색	4~8%
Shading 및 Sampling	12~49%
재 염색	98~169%

섬유기술과 산업, 제 5 권 제 1/2 호, 2001년

개의 로트의 이윤에 상당한다. 따라서 단 한번에 맞는 색이 얻어지는 염색은 최종적으로는 브라인드 염색(샘플링이 없는 염색)수를 증가시키는 것으로 흡진 염색법을 개선하는 가장 큰 요소이다. 이를 위해 균염성과 흡진성을 개량시킨 품질오차가 적은 염료를 사용하고 이를 목표 조건과 일치시키도록 실시간에 염색공정을 제어하는 기술개발이 필수적으로 요구된다.

RFT 염색을 달성하기 위한 노력은 크게 두 가지의 방향에서 접근을 시도하고 있다. 첫번째는 주어진 염색기에 최적인 염료 및 조제의 선정과 색채관리 등 관리기술 및 온도, pH, 염색기의 운전상태 등 염색공정을 최적화하는 기술(dyeing process optimization technology, DPO)이며, 두번째는 염색기 내의 상태(염료농도, pH, 조제의 거동, 염액의 순환 등)를 실시간에 온라인으로 측정하고 염색상태를 최적화하도록 여러 요소(염료, 조제, 온도, 승온속도, 액의 흐름 등)를 실시간에 제어하는 기술(real time dyeing control technology, RTDC)이다. 후자가 직접적인 접근방식이기는 하나 이를 위해서는 측정과 제어를 위한 하드웨어 및 소프트웨어 기술의 발전이 필요하다. 또 근원적으로는 상용성 있는 염료의 사용이나 최적 염색을 위한 관리의 측면도 필수적인 사항이므로 결국 RFT 염색은 이 두가지 접근방식이 접합되어야만 가능하다[8~10].

본고에서는 RFT 염색을 실현하기 위한 이 두가지 접근방식에 대해 그 현황과 전망을 각각 살펴보고자 한다.

## 2. 염색공정의 최적화 관리

흡진염색에서 액류와 액의 pH 값 등은 염색의 재현성에 미치는 중요한 매개변수이나 아직 충분히 제어되지 못하고 있는 경우가 많다. 패키지 염색장치 내의 액류를 측정하고 이를 제어하는데는 압력 차와 펌핑속도를 제어하여야 하기 때문에 아직은 만족스럽지 못하나 많은 염색기계 업체에서 이의 개선을 위해 노력을 하고 있어서

패키지 염색기의 발전에 크게 기여할 것으로 기대되고 있다. 독일 등 선진국에서는 퍼지이론 기술을 이용하여 운전상태를 최적화 할 수 있는 새로운 염색기를 개발, 시험중에 있는 것으로 알려지고 있으나, 아직 실용화는 되지 않고 있다.

염료기술에서는 염색의 재현성을 위하여 상용성 있는 염료군의 설정과 각 염료의 구조를 컴퓨터를 이용한 분자설계 기술로 개발하는 연구가 발전되고 있다. 반응염료에서 염료의 상용성뿐만 아니라 액비, 중성염, pH, 온도 등에 대한 변화가 모두 유사한 거동의 염료를 설계, 조합하는 기법 등이 이에 속한다[5~8].

이 목적을 위해서는 가장 우선적인 것이 균염성과 흡진성이 개선되고, 품질오차가 적은 염료로써 매우 유사한 염색성을 나타내는 염료의 조합(상용성 있는 염료의 조합)으로 염색을 하여야 한다는 것이다. 여기서 가장 중요한 점은 단일품목의 염료가 모두 매우 유사한 염색성을 나타내어야 한다는 것이다.

셀룰로오스에 대해 극히 유사한 흡수 및 고착 거동을 나타내는 반응성 염료의 3원색 조합으로, 또한 고착률은 욱비, 염 또는 알칼리 양, 온도, 시간 등의 변화에 상당히 안정한 염료의 조합으로 그 결과 우수한 균염성과 재현성을 얻어지게 하는 염료의 조합기술이 염료 메이커들에 의해 제시되고 있다.

직접염료도 앞에 언급한 내용과 같은 경향을 의미하며 동일한 흡수성향을 지녀야 한다. 최종 흡수도는 높고 염에 대한 민감성도 유사해 염색 조건의 변화에도 둔감하여야 한다. 고온에 대해서도 안정하여야 폴리에스테르·셀룰로오스 혼방품의 일류일단 염색시에 적합하다.

염색공정을 최적화하기 위한 조제의 적정사용도 RFT 염색을 위해 중요한 관리요소가 된다. 염료, 알칼리, 산 등의 정량 주입장치는 대부분의 흡진염색 장치에 있어서는 표준부품으로 되어 있다. 이러한 시스템은 염색기계 업체뿐 아니라 염료 메이커들에 의해서도 자사 염료에 적합한 시스템을 만들어 많은 기계업체에 대해 라이선스를 제공하여 염료와 염색장치의 일체감을 부여하는

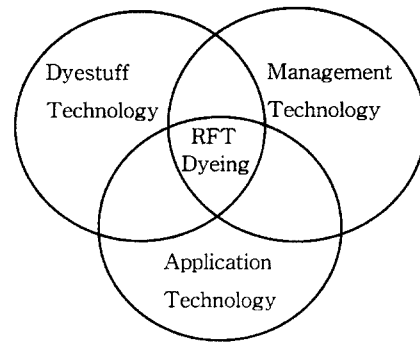


Figure 1. RFT 염색을 달성하기 위한 기술의 개념도.

노력을 기울이고 있다.

폴리아마이드와 양모의 염색에 있어서는 시간의 경과에 따라 염액의 pH를 낮추어 균염성과 흡진을 향상을 도모하는 pH 슬라이드 염색법이 중요한 위치를 차지하고 있다. 최근에는 퍼지이론 기술을 응용한 폐환식 pH controller(예로서 염료 메이커인 다이스타와 염색기 메이커인 Thies 및 자동화 시스템 메이커인 세텍스사의 공동 개발품인 pH-FIT)가 최근 업계에서 시험 중에 있다.

이와 같이 염료나 염색기, 염색기술의 개량을 통하여 일발률을 향상시키는 기술은 염료, 염색기, 염색업체 어느 한 분야만의 고유기술로 이루어지는 것이 아니라 이들 분야의 총체적 기술로 발전되어야 한다는 것이다. Figure 1은 이러한 기술의 개념도를 나타낸 것이다[11~12].

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. 대부분의 현장에서 이에 대해서는 그 중요성을 인식하고는 있으나, 실제로 달성하기가 어려운 것이 사실이다. 그 이유는 위에서 열거한 방법들로서도 염색의 결과를

염색 종료 후 또는 샘플링할 때에 가서야 알 수 있기 때문이다. 이에 따라 염색의 상황을 염색과정 중에 알고, 염료, 조제, 섬유의 종류에 따른 염착거동의 최적화에 필요한 데이터를 확보함으로써 염색기를 자동 컨트롤 할 수 있어야 최종적인 RFT 염색의 기술이라 할 수 있을 것이다.

### 3. 온라인 측정 및 제어기술

염색과정을 온라인으로 알 수 있으면 염색중에 염료의 흡착을 온도, 조제 등으로 제어할 수가 있다. 이러한 것을 활용한 기술로는 Macbeth사의 Eagle Eye Spectrophotometer를 thermosol 연속염색장치에 부착하여 염색된 포의 상태를 측정하고 그 결과를 패딩 맵글의 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 염착상태에 크게 영향을 주므로 연속염색에서와는 그 측정기법이나 제어방법이 달라지게 된다.

침염에서 염료의 흡착거동을 측정하는 방법으로 기존의 Dye-O meter가 쓰일 수 있으나, 현재 나와 있는 장비는 염료 혼합액의 전체 흡진거동만을 측정할 수 있을 뿐 개별 염료의 흡진거동을 알 수가 없어서 실제 염색과정을 측정하거나 분석하는데는 적합하지 못하고, 실험실에서 사용되는 수준의 것이어서 현장 염색기로부터의 염착거동을 측정하는 것이 불가능하며 염색기를 제어하는 기능이 없다.

염색 중에 혼합염료에서 개별 염료의 흡착거동을 측정하는 방법으로는 혼합염료 용액의 흡광도 변화를 실시간으로 측정하고 그 결과를 소프트웨어적인 기법으로 각각의 염료의 농도를 계산해 낼 수 있다. 이러한 것이 가능해지면 목표로 하는 염착상태에 이르도록 염색에 미치는 여러 제어요소(온도, 승온속도, 조제 등)를 컨트롤하여 RFT 염색을 달성할 수 있다[13, 14].

용액의 흡광도 변화를 실시간으로 측정하고 이로부터 얻어지는 결과로써 염색기를 제어하는 장

치가 이 목적으로 쓰일 수 있다. 염색기로부터 염액을 측정장치에 보내면 측정장치는 정해진 시간 간격마다 염액의 스펙트럼을 측정한다. 이것은 컴퓨터로 보내지고 컴퓨터에서는 염액의 스펙트럼으로부터 염액에 있는 염료의 농도를 계산하여 각각의 염료가 얼마나 염액에 잔류하는지를 나타내 준다. 미리 입력된 염료의 자료로부터 최적 염색상태를 설정하고, 염료의 흡착거동을 설정된 상태로 되도록 여러 제어요소를 최적으로 컴퓨터에서 정한 것을 염색기의 컨트롤러를 통해서 제어하게 된다. 염색의 제어요소는 대단히 많으므로 최적 제어요소를 계산하고 판단하는데는 퍼지나 카오스 등 첨단 소프트웨어의 기법이 활용될 수 있다.

#### 3.1. 염액 측정장치

염색기에서 염액의 상태를 측정하기 위한 염액의 샘플링 수단은 순환 펌프를 이용하여 염색장치로부터 염액을 플로우 셀(flow cell)로 순환시키는 방법과 딥 프로버(dip probe)와 광섬유를 이용하여 염색장치 내부에서 샘플링 하는 방법을 사용할 수 있다.

Figure 2는 플로우 셀을 이용하여 염액을 샘플링 하는 블록 구성도로서 염색을 수행하기 위한 염액이 채워져 있는 염액조(2)를 구비한 염색장치(1), 그리고 염색장치(1)의 염액조(2)에 연결된 순환라인에는 염액을 강제 순환시키기 위한 순환펌프(9)가 설치되어 있으며 이 순환라인의 끝

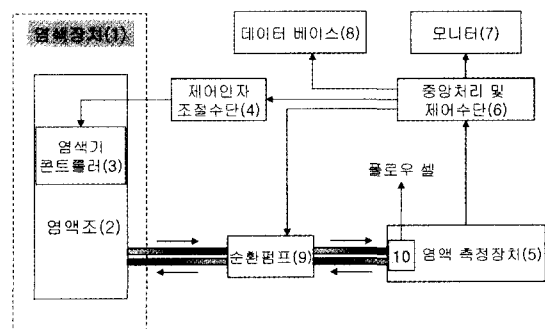


Figure 2. 플로우 셀을 이용한 염액 샘플링 블록 구성도.

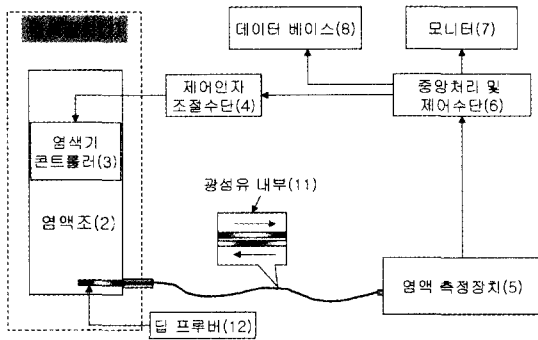


Figure 3. 딥 프루버를 이용한 염색기 내의 염액 샘플링 블록 구성도.

부분에는 염액조(2)의 염액을 공급받아 염액 스펙트럼을 측정하기 위한 플로우 셀(10)이 염액 측정장치(5)에 접속되어 있으며 이 염액 측정장치(5)는 염액조(2)로부터 공급받는 염액의 스펙트럼을 측정하여 컴퓨터(6)에 전송할 수 있도록 연결되어 있다. 이 장치는 염액을 염색기로부터 강제순환으로 빼내어 측정하므로 현장 염색기에의 활용은 어렵고, 실험실에서 사용이 가능하다.

Figure 3은 실시간 염착상태 분석시스템중에서 딥 프루버를 이용하여 염액을 염색기 내에서 직접 측정하는 타입을 개략적으로 나타내는 것으로 염색장치(1)의 염액조(2)에 직접 투입되는 딥 프루버(12)는 광섬유(11)로 연결이 되어 있으며 광섬유(11)의 다른 끝 부분에는 염액조(2)의 염액 스펙트럼을 측정하기 위한 염액 측정장치(5)가 접속되어 있다. 이 염액 측정장치(5)는 염액조(2)에서 딥 프루버(12)에서 얻어진 염액의 스펙트럼을 광섬유(11)를 통해 전달받아 컴퓨터(6)에 전송할 수 있도록 연결되어 있다. 광섬유는 길이가 길어도 측정에 문제가 없으므로 현장 염색기에 쉽게 설치할 수 있고, 측정결과는 중앙 통제실에서 모니터링 및 분석이 가능하여 현장용에 응용이 가능하다.

조제의 측정은 염액의 전기전도도, 굴절률 등의 측정을 통해 간접적인 측정방법이 있을 수 있으나, 혼합물에서 각 성분의 측정이 어렵기 때문에 이 분야에 있어서는 아직 미진한 점이 많다.

### 3.2. 염액의 측정기술

염료 용액의 농도는 일반적으로 염액의 흡광도를 측정함으로써 가능하다. 농도와 흡광도간에는 다음 (1)식과 같은 Beer의 법칙이 성립한다.

$$A = \epsilon l C \tag{1}$$

단, A는 용액의 흡광도, C는 염료농도,  $\epsilon$ 는 염료의 분자흡광계수, l은 측정염액의 투과길이이다. (1)식에 의해서는 염료별로  $\epsilon$  또는  $\epsilon l$ 이 미리 측정되어 있으면 스펙트로포토미터에 의한 흡광도의 측정으로 바로 염료 농도가 산출이 가능하다. 혼합염료에 대해서는 염료 흡광도의 가성성을 고려하면 다음 (2)식과 같이 되고 (2)식은 혼합염료의 흡광도가 여러 농도  $C_1, C_2, C_3$ 에 대해 선형이므로 여러 파장( $\lambda$ )에 대한 혼합염료의 흡광도를 측정함으로써 각 염료의 농도를 (3)식과 같이 계산할 수 있다.

$$A_m = \epsilon_1 C_1 + \epsilon_2 C_2 + \epsilon_3 C_3 + \dots + \epsilon_n C_n \tag{2}$$

단,  $\epsilon_i$ : i 염료의 분자흡광계수  
 예로서 3가지 염료를 사용하는 경우,

$$\begin{aligned} A_{m,1} &= k_{1,1}C_1 + k_{2,1}C_2 + k_{3,1}C_3 \\ A_{m,2} &= k_{1,2}C_1 + k_{2,2}C_2 + k_{3,2}C_3 \\ A_{m,3} &= k_{1,3}C_1 + k_{2,3}C_2 + k_{3,3}C_3 \end{aligned} \tag{3}$$

단,  $k_{ij}$ 는 i 염료의 j 파장에서의  $\epsilon l$   
 염액에서는 염료분자간, 염료와 염, 조제와의 상호작용이 크게 일어나고 있으므로 염액의 흡광도는 Beer의 법칙에서 벗어나는 경우가 대부분이다. 많은 연구가 단일 염료에서 염료의 회합이 염액의 흡광도에 미치는 영향 등, 염액에서의 상호작용에 대한 보정을 시도하였으나, 아직 만족스러운 관계는 찾지 못하고 있으며, 특히 염액과 같이 고농도의 염료, 염, 조제가 포함된 경우에는 어려움이 많다.

따라서 (3)식에 의해 혼합염료의 각 염료별 농도를 계산하는 방법은 대부분의 실용 염료농도 범위에서 농도-흡광도 관계가 Beer의 법칙을 벗어나고, 계산을 위해 선택해야 하는 파장에 따라 농도산출의 결과가 크게 달라질 수 있다.

염료의 농도가 진한 경우에는 이에 대한 보정으로 여러 방법이 제시되고 있다. 그 중에서 한 예를 들면 흡광도와 농도와의 관계를 다음 (4)식과 같이 가정하는 것이다[15].

$$A = kC^n \quad (4)$$

(4)식은 양변에 대수를 취하면  $\ln A$ 와  $\ln C$ 가 비례하는 것으로 고농도의 염액에 있어서는 비교적 잘 적용이 되는 것을 볼 수 있다. 그러나 저농도의 경우에는  $A$ 와  $C$ 가 직선관계에 있으므로 다소 오차가 발생된다. (4)식의 이용에서 가장 어려운 점은 혼합염료의 경우 (3)식과 같이  $A$ 와  $C_1, C_2, C_3$ 와의 관계가 선형이 아니므로 이 관계를 이용하는 혼합염료에서 각 염료농도의 분석에는 어려움이 많을 뿐 아니라, 흡수대가 유사한 염료의 혼합일 경우에는 정확한 농도의 산출이 불가능할 경우가 많다.

혼합염료의 스펙트럼은 염료간에 상호작용이 없는 경우에는 염료별로 각 농도에 해당하는 스펙트럼의 합으로 주어진다. 따라서 측정되는 혼합염료의 스펙트럼을 각 성분염료의 스펙트럼으로 분리한 후 개별 스펙트럼의 농도를 산출하면 위에서 언급한 문제를 해결할 수 있어서 혼합염료의 종류나 개수에 관계없이 정확한 농도의 산출이 가능하다. 혼합염료의 스펙트럼을  $[A_{m,\lambda}]$ 로 나타내면  $n$ 개의 염료의 개별 스펙트럼은 식 (5)와 같이 둘 수 있다.

$$[A_{m,\lambda}] = [k_{1,\lambda}, k_{2,\lambda}, k_{3,\lambda}, \dots, k_{n,\lambda}] [C_n] \quad (5)$$

식 (5)에서 성분 염료의 계수값  $[k_{1,\lambda}, k_{2,\lambda}, k_{3,\lambda}, \dots, k_{n,\lambda}] = [K_{n,\lambda}]$ 을 미리 측정해 두면 각 성분염료의 농도  $[C_n]$ 는 다음 (6)식으로 계산된다.

$$[C_n] = [A_{m,\lambda}] [K_{n,\lambda}]^{-1} \quad (6)$$

$[K_{n,\lambda}]$ 는 염료가 저농도일 경우에는  $A$ 와  $C$ 의 직선 관계식으로 부터 쉽게 구할 수 있으나, 고농도일 경우에는 Beer의 법칙으로부터 벗어나므로 (4)식을 (5)에 대입하여 농도  $C$ 를 구하는 방법은 수치해석법, 퍼지이론, 신경망 이론 등이 응용되고 있다[16, 17].

분산염료는 물에 대한 용해도가 낮아서 염료의 흡광도곡선을 구하는 것이 어려울 뿐만 아니라, 온도에 따른 용해도 변화가 커서 승온과정의 염색에서 흡광도곡선으로부터 농도를 측정하는 것이 불가능하다. 단일염료에 대하여는 입자상태에 따른 광의 흡수거동을 예측하는 연구가 있기는 하나, 아직 불충분할 뿐 아니라 실제 염색에서는 혼합염료를 사용하고, 이들의 가성성을 예측하는 것은 더욱 어렵다. 실제로 분산염료를 정량하기 위해서는 염료를 적정한 용제에 녹여야 하므로 염색 실시간에 분산염료의 정량은 용제, 용해 시스템, 측정 등 아직 개발하여야 할 여지가 매우 많다.

**흡진거동 예측 :** 혼합염료의 흡진 거동은 개별 염료의 흡진 거동으로부터 예측하기가 어려운 것은 이미 잘 알려져 있다. Lemin 등은 직접염료의 경우 단일 염료로 염색시의 흡착거동이 혼합염료로 염색시에는 정반대의 거동을 보일 수도 있음을 실험적으로 관찰한 바 있다. 예로서 CI Direct Blue 1과 CI Direct Yellow 12는 단일염료로 염색시에는 온도증가에 따라 두 염료 모두 친화력이 감소하나, 두 염료를 혼합하여 염색하는 경우에는 CI Direct Blue는 온도 증가에 따라 친화력이 오히려 증가되는 현상을 나타낸다[18]. 또한 혼합된 염료간에 상호작용이 있으면 이로 인한 현상은 두드러지게 나타난다.

이러한 사실은 현재 모든 염료의 상용성이나 흡진거동을 개별 염료별로 나타낸 정보를 가지고 판단하고, 실제 염색공정을 결정하는 현실을 감안하면 현장에서는 많은 문제가 발생할 수 있음을 말해주는 것이다. 따라서 염색과정을 모니터링하거나, 공정제어를 위해서는 개별 염료의 흡진거동을 실시간으로 동시에 측정을 하고, 분석하는 기술이 필수적이다.

염료의 흡진거동을 분석하기 위해서는 염색속도, 최종 흡진을 등을 예측하거나, 측정하는 것이 필요하다. 염색속도식은 크게 등온과정과 비등온 과정에 적용되는 두 부류로 나눌 수 있다. 등온 과정에서는 염료의 친화력과 확산계수 등 열역학적 파라미터의 값으로부터 유도가 가능하다. 대

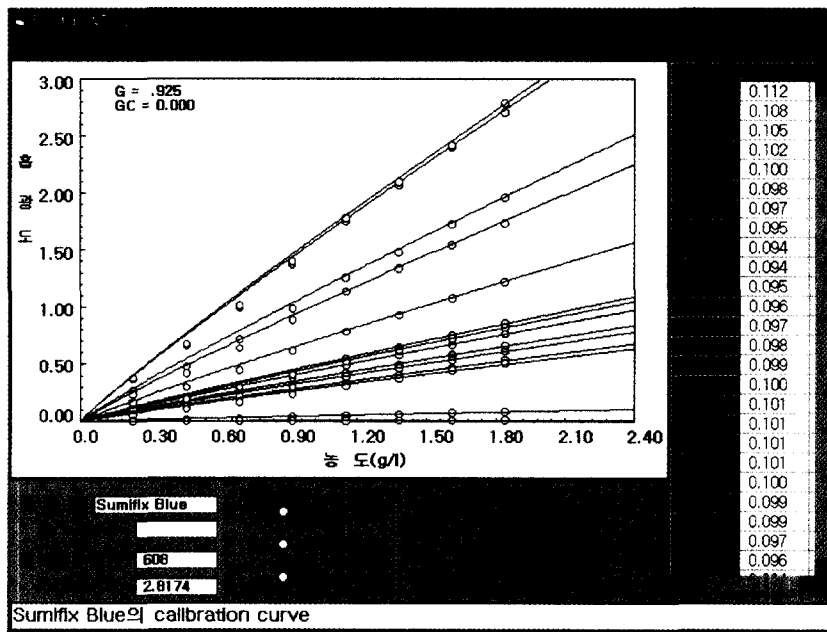


Figure 4. 여러 파장에서 염액농도와 흡광도의 관계.

표적인 것으로 (7)식으로 나타내어지는 등온 염색속도식을 들 수 있다[19].

$$-\frac{dC}{dt} = B \times \ln\left(\frac{C}{K/r(1-C)+1}\right) \quad (7)$$

여기서,  $C=C_f/C_{\infty}$ 는  $t$  시간에 섬유에 흡착된 염료량 / 포화흡착량,  $K$ 는 염료의 분배계수,  $B$ 는 액비와 최종 흡진율에 관계하는 상수 값이다.

그러나 대부분의 염색은 주로 승온과정을 갖는 비등온과정이므로 (7)식과 같은 등온흡착식을 적용할 수 없으며, 또한 온도의 변화에 따른 친화력과 염료의 확산계수 등을 고려하여 유도하기도 어렵다. 따라서 실제의 염색과정은 식 (8)이나 식 (9)와 같은 경험적 속도식으로 표현되고 있다[20].

Vickerstaff의 경험식

$$\frac{1}{E_{\infty}-E_t} - \frac{1}{E_t} = K_d t \quad (8)$$

지수함수형

$$E_t = E_{\infty} \text{Exp}(1-K_d t) \quad (9)$$

식 (8)과 식 (9)는 일반적으로 염료와 섬유간에 상호작용이 큰 염색계에서 볼 수 있는 형태이다. 그러나 분산염료와 같이 염료-섬유간에 결합력이 낮고, 염료의 확산에 필요한 섬유내 공간을 확보하는데 시간(온도)이 걸리는 염색계에서는 소위 S형 흡착거동을 나타낸다. 또 염액에 염료량이 제한되는 경우를 고려하여 Langmuir형의 흡착속도식이 제안되고 있다. 따라서 흡진거동의 예측과 해석을 위해서는 염색계에 따라 각기 잘 적용되는 속도식을 선택적으로 사용하는 것이 필요하다. Figure 4는 상기의 흡착식을 도식적으로 보인 것이다.

#### 4. 염색공정 제어기술

아직 염색공정 자체를 목표치와 실시간에 제어하는 기술은 실용화되고 있지 않다. 이의 개발을 위해서는 염색 메카니즘, 조제의 작용, 염색공정의 수학적 모델을 잘 이해함으로써 염색공정을 최적화하는 기술이 개발이 필요하다.

이와 관련되는 연구로는 아크릴 섬유의 균염을

위하여 흡착거동의 모델을 설정하고 염색에서 인자의 제어를 하는 연구가 있었으며, 최근 영국의 Leeds대학에서는 면의 치즈 염색에서 반응성 염료를 사용할 때 사용염료의 효율을 높이고, 염색공정의 단축을 기하면서 균염을 얻도록 하는 목적으로 실시간에 염액의 염료농도, pH 등을 측정하고, 최적 염착상태에 이르도록 염의 첨가, 알칼리의 첨가를 제어하는 기법을 사용하고 있다. 치즈 내에서 균염은 치즈내의 염착상태의 분포를 수학적 모델을 설정하여 염액의 순환을 제어함으로써 달성하고자 하였다. 위와 유사한 기법을 통하여 배치염색의 실시간 염액상태의 측정으로부터 염료흡착의 이론적 모델을 구하는 연구도 진행되고 있다[13].

국내에서도 염액의 실시간 측정기법을 개발하고, 이를 반응염료로 면직물을 염색하는 시스템에서 여러 제어요소의 분석 및 이를 활용한 반응염료 염색의 제어에 관한 기술이 개발되었고, 퍼지를 이용한 pH 제어 및 흡착거동의 예측에 대한 연구가 발표된 바 있다. 이 시스템으로 염색기의 제어 이전에 실험실에서 염료의 상용성 시험이나, 조제의 작용성, 염색의 최적화 연구 등에 사용되고 있다[14].

이러한 연구는 아직 RFT 염색을 달성하기 위한 측정장치의 개발과 각 염색계의 해석 및 모델링의 연구 수준에 있으나, 퍼지이론이나 카오스이론 등 첨단 소프트웨어 기법의 활용으로 곧 실용화에 이를 것으로 판단된다.

## 5. 실시간 염액측정에 의한 RFT 염색기술의 응용사례

앞에서 소개한 실시간 염액측정 및 분석기법은 RFT 염색을 위하여 크게 나누어 두가지 분야에서 응용이 가능하다. 그 첫번째는 RFT 염색을 위한 최적 염료, 조제의 선정과 공정 최적화에 필요한 분석 및 데이터를 얻는 염색공정 최적화(dyeing process optimization, DPO)에의 응용이고, 두번째는 염색공정 자체를 실시간으로 제어하여 RFT 염색을 달성하고자 하는 RTDC

(real-time dyeing control)에의 응용이다.

RFT 염색을 DPO에 의해 달성하고자 하는 방법은 앞에서 설명한 바와 같이 염료, 조제, 염색의 최적조건 등을 염색과정에서 실시간 염액측정 및 모니터링을 통하여 찾고, 이를 현장염색에 적용하는 실험실적 응용에 속하는 것이다.

이에 비해 RTDC는 정해진 시간과 온도에서 염색하는 피동적인 입장에서 벗어나 초기의 염액부터 관리하고 염색상태를 실시간으로 모니터링하여 목표로 하는 색상을 얻도록 염색조건을 적극적으로 제어함으로써 재염을 없애고, 로트 간의 색상 차를 줄이고자 하는 기술이다.

이러한 기술을 현장에서 구현할 수 있는 시스템이 아직 널리 보급되고 있지는 않으나, 국내의 다이텍스 엔지니어링에서 개발하여 보급 중인 Dyemax<sup>®</sup> System을 중심으로 소개하고자 한다.

### 5.1. Dyemax<sup>®</sup> System 구성

Dyemax<sup>®</sup> System은 현장염색과 유사한 조건에서 실험이 이루어지도록 저욕비 고온고압 염색기와 염액의 흡광도를 염색과 동시에 일정 시간간격으로 측정하는 염액 측정장치, 그리고 염색이 진행되는 동안 염액변화를 측정하여 그 염료의 거동을 염색종료 후 흡진을 곡선을 얻어 분석할 수 있는 흡진을 측정 및 분석 소프트웨어로 구성되어 있다.

**고온고압 염색기** : 기존 실험실용 염색기는 염색기내 염액의 순환이 불충분하고, 사용 가능한 액비(100:1 이상)가 크므로 현장염색과는 동떨어진 조건에서 실험이 이루어 졌다. 그러나 Dyemax<sup>®</sup> System의 고온고압 염색기는 저욕비 및 제트분사노즐에 의한 염색으로 현장 염색상태를 분석하는데 최적의 조건을 제시할 수 있다.

**염액 측정장치** : 염액의 흡광도를 염색과 동시에 일정 시간간격으로 측정하는 장치로 기존의 다이오미터가 순환펌프를 이용하여 염액을 측정장치로 이동하여 측정하는 방식인데 반하여 광섬유를 이용하여 염색기 내부에 설치된 측정센서에 빛을 투과하여 측정하는 방식으로 염액의 온도편차 없이 실시간으로 염액 측정이 가능하다. 염



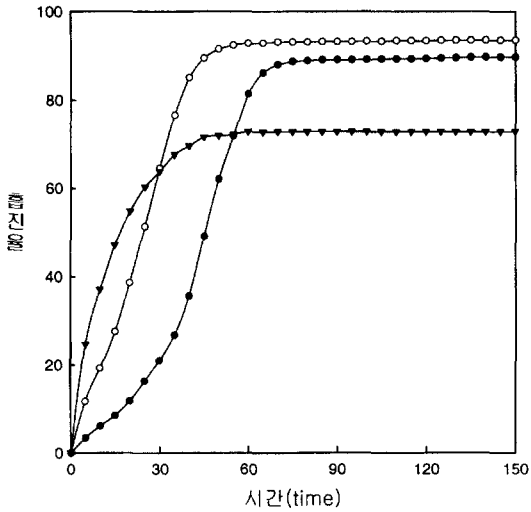


Figure 5. 여러 형태의 흡진을 곡선.

액 측정장치는 Figure 5에서와 같이 광원(light source)인 PX 램프(pulsed xenon lamp)와 광학 측정장치(fiber optic spectrometer), 측정 센서(transmission probes)로 구성되어 있다.

1) PX 램프

광원을 펄스화된 제논 램프를 사용하는 PX 램프는 220~750 nm의 파장에서 흡광도와 반사(reflection), 형광(fluorescence), 인광(phosphorescence)을 모두 측정할 수 있다. PX 램프는 기존 램프에 비해 20배나 빠른 220 Hz의 속도로 측정이 되고, 펄스와 펄스간의 플래시 비율이 안정할 뿐만 아니라 균일하고 안정된 빛을 방출

하여 정확하고 재현성 있는 측정이 가능하다.

2) 광학 측정장치

측정센서에서 일정 시간간격으로 측정된 염액의 흡광도는 광학 측정장치로 보내진다. 기본적으로 염색기 2대를 동시에 측정할 수 있고 추가적으로 최대 8대까지 측정 채널을 확장할 수 있다. 또한 200~850 nm의 파장범위에서 고해상도(0.3~1.5 nm FWHM)를 구현하여 염액의 흡광도를 정확히 측정할 수 있다.

3) 측정센서

측정센서는 PX 램프의 빛을 염액에 투과시키는 광섬유와 반사된 빛을 측정 장치로 전송하는 광섬유 두 가닥으로 구성되어 있고 케블라가 보강된 PVC로 표면을 코팅하였다. 또한 실제 염색시 염액의 농도가 높고 염색조건과 색상에 따라 다르기 때문에 투과거리가 가변적이도록 특별히 설계, 제작하였다. 다음 Figure 6은 염액 측정센서를 나타낸 것이다.

흡진율 측정 및 분석 소프트웨어 : 염액 측정 및 분석 소프트웨어는 여러 종류의 혼합염료에 대한

염액측정 및 분석을 통해 개별염료의 거동을 분석하고 각 염료에 대한 흡진을 곡선과 총 흡진을 곡선을 화면에 나타낸다.

실시간 모니터링을 통해 염액을 구성하는 모든 염료의 상용성, 조제의 작용성, 온도와 pH 변화에 따른 혼합염액내의 개별 염료 거동 등의 실제 염색상황을 염색과 동시에 알 수 있으므로 염색공정의 최적화, 염료 / 조제의 선택, 재현성 향상,

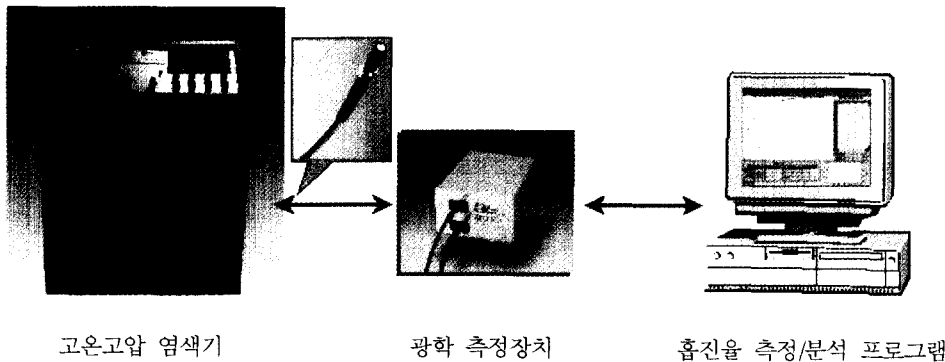


Figure 6. Dyemax® System 구성.

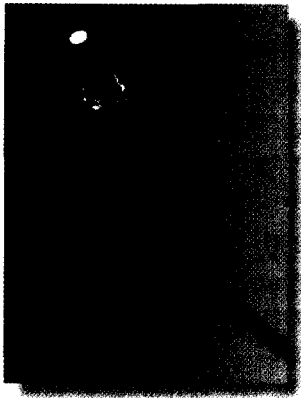


Figure 7. 염액 측정센서.

로트 차이 감소에 큰 기여를 할 수 있다.

위의 과정을 수행하기 위한 소프트웨어의 메뉴 및 디스플레이의 기능을 설명하면 다음과 같다.

#### 1) 파일

일정 간격으로 측정된 흡진을 파일(\*.exh)이나, 시간별로 측정된 스펙트럼 파일(\*.spt)의 저장, 불러오기, 인쇄, 종료 등 입·출력에 관련된 명령을 수행한다.

#### 2) 입력

흡진을 곡선의 측정에 필요한 측정조건, 염색 조건 등을 입력할 수 있다. 입력하는 내용은 다음과 같으며, 이들 값은 미리 저장된 데이터 파일로도 일시에 입력할 수 있다(Figure 7).

##### 가) 측정조건 입력

작업명, 총 측정시간(분), 측정간격(분단위), 사용염료 수(최대 5개 염료), 사용염료 이름, 농도를 입력한다.

##### 나) 염색조건 입력

- 염색 **recipe** : 초기 액량(L), 섬유량(kg), 액비, 염 투입량(g/l), 조제 투입량 등
- 염색 시간-온도 **profile** : 염색시간과 온도를 입력하면 메인 화면의 하단에서 염색진행 상황을 실시간으로 표시를 한다.
- **control** 항목선택 : 기존에 염색한 염색 데이터베이스를 바탕으로 염색온도, pH, 조제 투입 등 컨트롤 할 항목을 선택한다.
- **controller** 설정 : controller reading 간격, pH control 간격, 조제 투입시간, solenoid open 시간 등을 설정 할 수 있다.

##### 3) 측정

**dark intensity**의 측정, **blank** 스펙트럼의 측정, 흡진을 곡선의 작성을 위한 초기 염액의 측정, 흡진을 측정 등 실제로 프로그램을 구동시키는 기능이 있다.

##### 가) dark intensity 측정

딥 프루버에 빛을 투과하여 염액의 스펙트럼을 측정할 때 **reference dark spectrum**을 측정하여 주위 빛에 대한 보정 값을 부여한다.

##### 나) blank intensity 측정

스펙트럼 측정을 위한 **reference blank spectrum**을 측정하는 명령으로 blank 측정은 기계

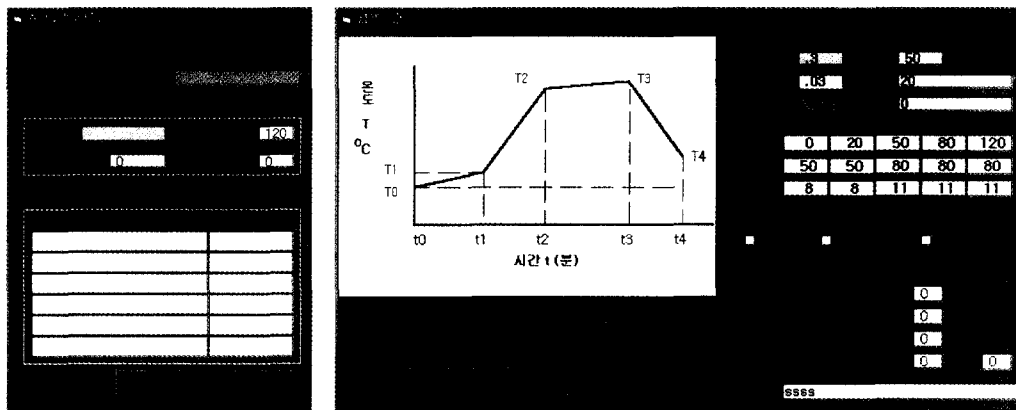


Figure 8. 측정조건 및 염색조건 입력 화면.

를 켜고 한 번만 측정하면 된다.

다) 초기설정

흡진율을 측정하기 전에 초기 농도의 계산 값과 실제 염액의 농도 값을 확인하는 초액관리 명령으로 개별염료 스펙트럼의 계산된 합과 실제 측정된 혼합염료의 스펙트럼 값의 차이를 보여줌으로써 초액을 정확히 할수 있게 한다. Figure 8은 3가지 혼합염료(Blue+Red+Yellow)의 초기염액의 스펙트럼을 분리한 후 각 성분 염료의 농도를 측정된 예이다. 검은 실선은 실제 3가지 성분 염료의 스펙트럼 합을 나타내고, 파란 실선은 프로그램을 통해 계산된 성분 염료의 스펙트럼 합을 나타내며, 그 차이는 실제 염료의 농도와 프로그램을 통해서 계산된 염료 농도 차를 나타낸 것이다. 측정의 결과치는 메인화면을 통해 보여준다.

라) 흡진율 측정

입력메뉴에서 지정한 시간과 일정시간 간격으로 염료별 흡진율 곡선 및 염착량(% , o.w.f)을 자동측정, 계산하여 화면에 실시간으로 디스플레이를 해주게 하는 명령으로, Figure 10에서 보

는 바와 같다.

4) 보기

흡진율 곡선의 측정중 또는 종료 후 시간별 스펙트럼, 시간별 혼합염료의 스펙트럼을 불러서 개별 염료의 흡진율 곡선으로 나타나게 할 수도 있다. 또한 농도산출을 위한 개별염료의 스펙트럼 분해 결과와 reference spectrum 등을 확인할 수 있다.

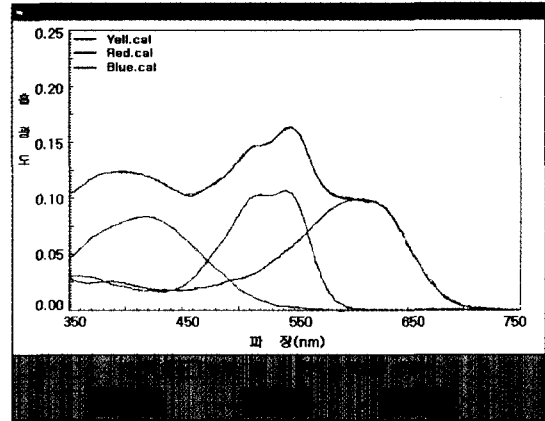


Figure 9. 3가지 혼합염액의 분석의 예.

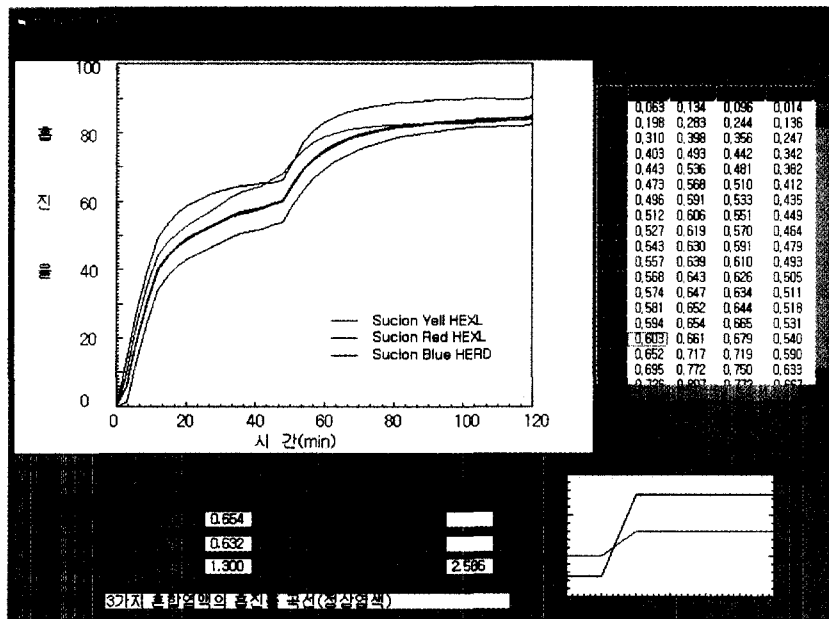


Figure 10. 3가지 혼합염액의 흡진율 곡선.

가) 시간별 스펙트럼  
 지정한 시간과 시간간격으로 측정된 염료별 흡진율을 시간별 스펙트럼으로 나타낸다.

나) 흡진율 곡선

총 흡진율과 개별염료에 대한 흡진율을 화면에 디스플레이 해준다. Figure 10은 3가지 혼합염료로 면직물을 실시간 염색하면서 측정된 흡진곡선이다. 화면에서는 3가지 염료의 개별 흡진곡선과 총 흡진곡선이 동시에 보여진다. 오른쪽의 컬럼에서는 일정시간 간격으로 측정된 개별염료의 흡진율과 총 흡진율이 나타난다. 이를 통해 각 염료의 흡진 거동과 염료의 상용성 및 조제의 영향을 다른 염료 분석 없이 바로 측정화면을 통해서 알 수 있다.

다) 흡착곡선

Figure 11과 같이 측정된 염료별 흡진율 곡선을 흡착곡선과 그 데이터 값으로 표시해 준다.

라) 염료별 염색 결과치

시험실에서 완성한 색상의 데이터를 추적하여 이를 현장에서 재현할 수 있도록 하는 방법으로 시험실에서 구해진 염착곡선(표준설정)에 의한 염

색이 진행될 수 있도록 초액 관리(pH, 초액의 색상)를 하고 동시에 염색을 하면서 온도와 시간을 제어하는 방식이다. 즉 시험실의 염착곡선(표준설정)과 현장에서의 염착곡선이 일치하지 않을 경우, 염색온도, 염색시간, 표준 염색과의 차이에

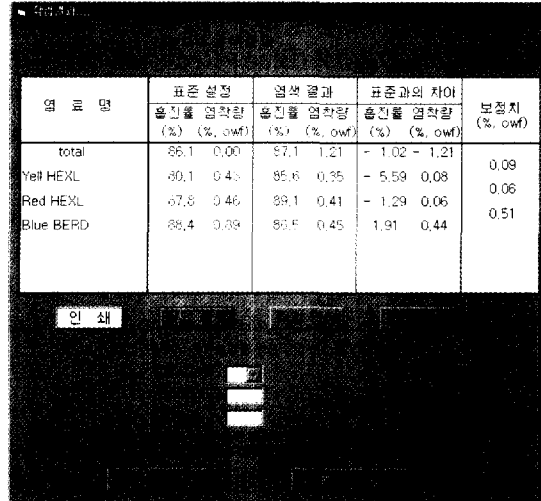


Figure 12. 표준설정과의 차이에 대한 보정치를 보여주는 화면.

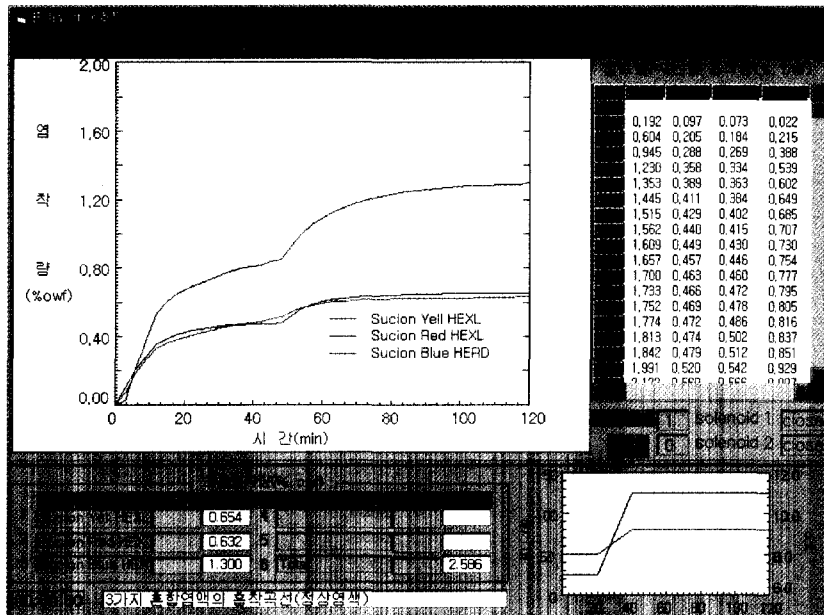


Figure 11. 3가지 혼합염액의 흡착곡선.

따른 보정치를 제시함으로써 현장의 염착곡선을 최대한 시험실의 염착곡선에 접근하도록 하여 불균염은 물론 색상차이를 최소화 하는 것이다. Figure 12는 표준설정과의 차이에 대한 보정치를 보여주는 화면이다.

마) 스펙트럼 분석

혼합염료의 스펙트럼에서 개별 염료의 스펙트럼이 어떻게 구성되는가를 보여 혼합염료 염액에서 개별염료의 구성비를 계산한 결과를 확인할 수 있는 것이다.

바) 흡진곡선 분석

염색과 동시에 측정된 혼합염액의 흡진을 곡선의 분석 화면이다. Figure 13에서 보는 바와 같이 염색된 혼합염료의 최대 흡진율과 일정 시간 간격으로 측정된 흡진율 및 염착량이 화면에 나타나고 염착속도, 반염색시간 등이 계산되어 나타내어진다.

사) 기타

dark / back ground의 스펙트럼, 흡진을 측정 때 사용된 reference dark/blank spectrum 등과 본 시스템의 활용과 기능에 관한 도움말과 시

스템의 저작권, 권한, 사용허가, 사용자 이름과 회사이름, 제품번호에 대한 정보를 나타내는 메뉴가 있다.

### 5.2. DPO 응용사례

Dyemax<sup>®</sup> System은 현장염색과 유사한 조건에서 실험이 이루어지도록 실시간 모니터링을 통해 염액을 구성하는 모든 염료의 상용성, 조제의 작용성, 온도와 pH 변화에 따른 혼합염액 내의 개별 염료 거동 등의 실제 염색상황을 염색과 동시에 알 수 있으므로 염색공정의 최적화에 바로 응용된다.

조제에 따른 혼합 염액의 흡진 거동 : Figure 14와 15는 나일론 / 산성염료 염색에서 조제의 첨가에 따른 혼합염액의 흡진을 거동을 비교한 것이다. 동일한 염색조건에서 침투균염제 A를 사용할 경우 Red 염료의 염착속도가 다른 두 염료에 비해서 현저히 떨어짐을 알 수 있다. 그러나 침투균염제로 B를 사용할 경우 3가지 혼합염료의 흡착거동이 동일하게 나와 매우 이상적인 보조제로 작용하고 있음을 알 수 있다. 침투균염제 B의

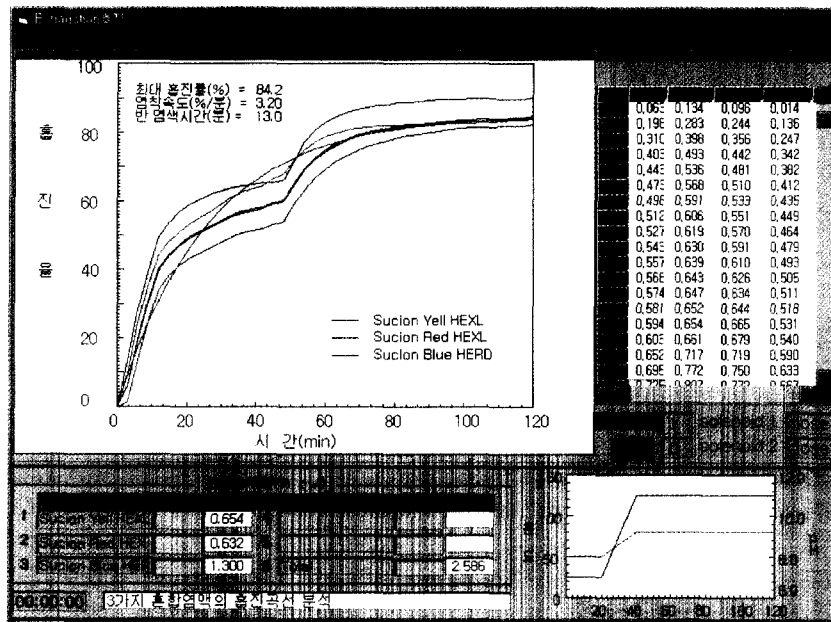


Figure 13. 혼합염액의 흡진곡선 분석 화면.

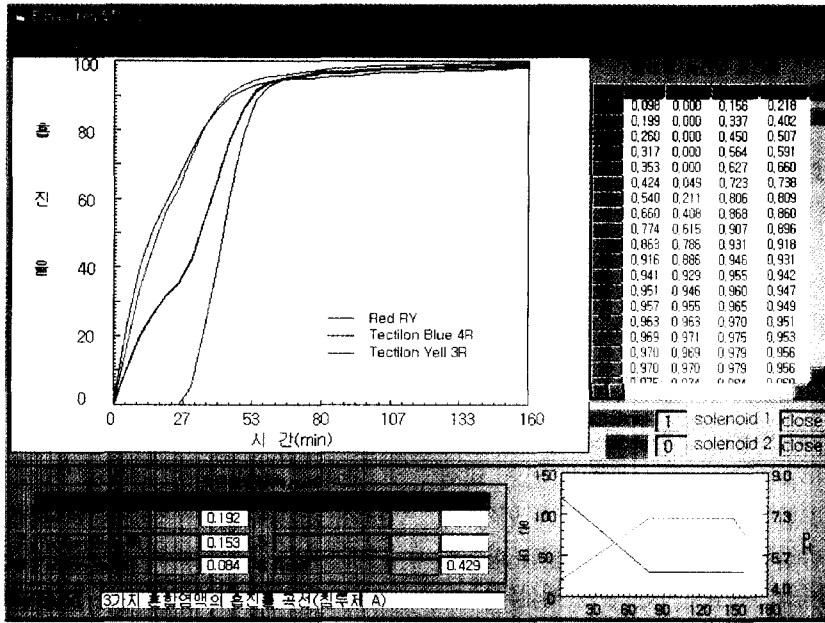


Figure 14. 침투균염제 A에 따른 혼합염액의 흡진을 곡선의 변화.

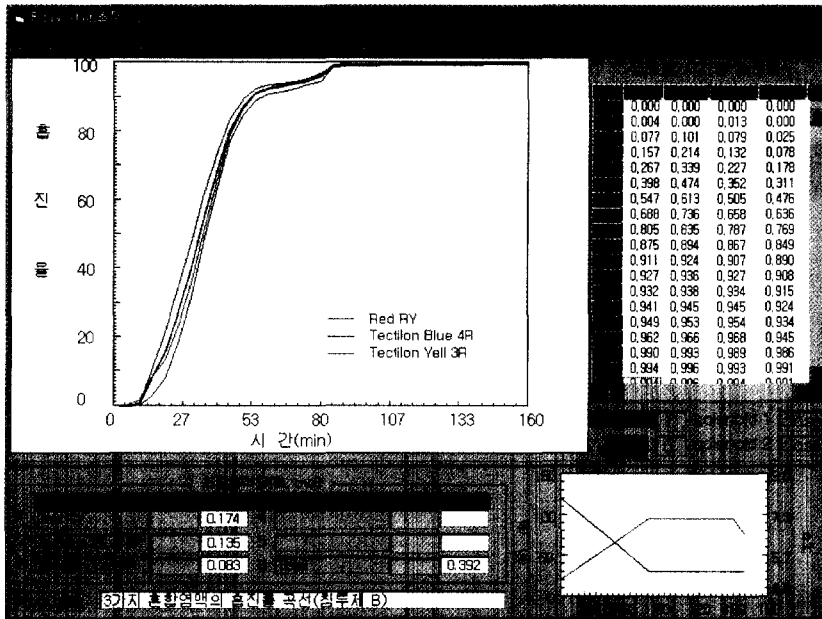


Figure 15. 침투균염제 B에 따른 혼합염액의 흡진을 곡선의 변화.

사용시 염색물의 색상에는 전혀 영향을 주지 않았다.

혼합 염액의 상용성 평가: Figure 16과 17은

나일론을 Lanaset 혼합염료로 염색시 개별염료의 흡진거동을 비교한 것이다. Figure 16은 Lanaset 3-combi 중 Red 2B를 사용한 경우

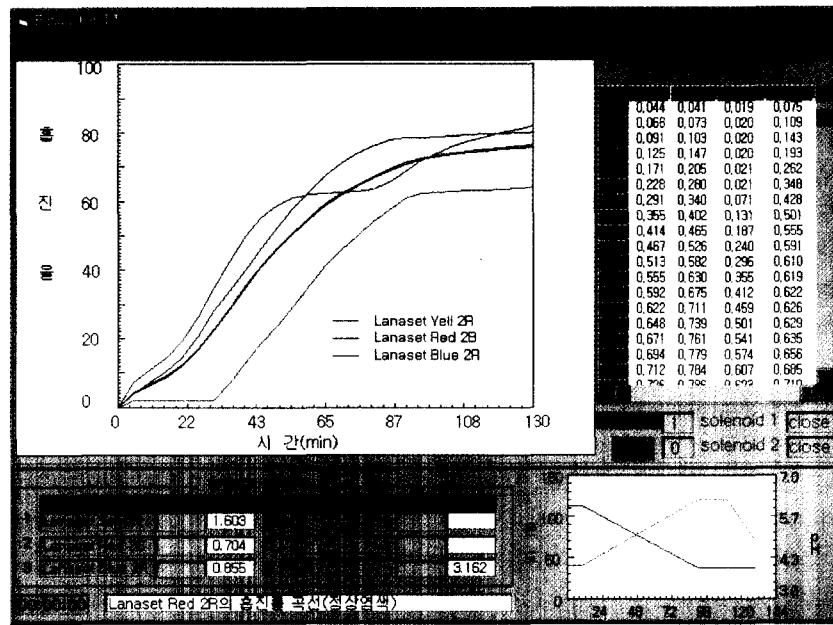


Figure 16. 혼합염액의 흡진율 곡선의 변화(1).

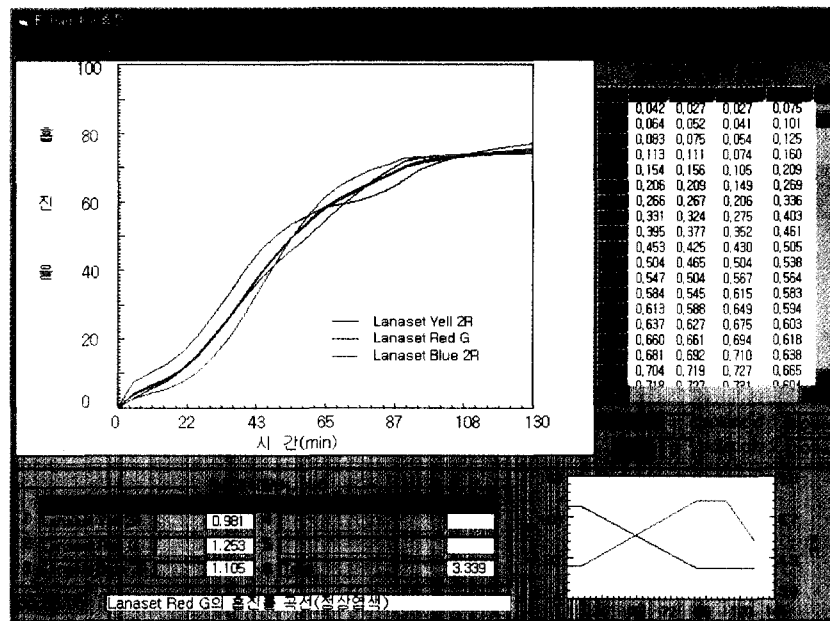


Figure 17. 혼합염액의 흡진율 곡선의 변화(2).

로, Red 2B는 다른 염료에 비해서 흡착속도가 늦고 Blue 2R의 흡진거동에도 영향을 주는 것을 알 수 있다. 그러나 Figure 17의 Red G를

사용할 경우 3-combi 혼합염액의 흡착속도가 서로 유사하고 Red 2B를 사용한 경우보다 염료간 상용성이 우수함을 알 수 있다.

**중성염(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 투입방법에 따른 반응염료 혼합염액의 흡진 거동** : 일반적으로 반응성 염료는 흡착단계에서 중성염을 첨가하는데 직접성이 낮고 흡진은 10% 내외인 Reactive Red 158 (2%o.w.f)의 경우 중성염이 첨가되면 흡착은 급격히 증가하여 80%내외까지 도달하게 된다. 그러나 많은 양의 중성염을 일시에 투입을 하게되면 중성염의 용해성 문제로 균열화되지 못하고, 초기 흡착속도가 증가하여 불균염에 영향을 주고 재현성 불량 및 얼룩의 원인이 된다. 그러므로 중성염을 분할 투입을 하면 중성염의 용해성 문제를 해결하고 초기 흡착속도를 조절하여 불균염을 막을 수가 있다.

Figure 18과 19는 중성염을 초기에 일시 투입하는 경우와 0분, 3분, 6분, 9분 간격으로 분할 투입하는 방법에 따라 초기 흡착속도를 조절할 수 있음을 보이는 것이다. 이 경우 초기 흡착속도를 조절하면서도 알칼리 투입 전까지 동일한 흡착량을 얻을 수 있음을 보여준다.

**5.3. RTDC 기술**

Dyemax<sup>®</sup> 시스템에서는 RFT 염색을 달성하기

위해 color matching이 완료된 염색처방과 조건으로 시험실 RTDC 시스템으로 염색을 한다. 이때 얻어진 조건과 염착곡선이 컴퓨터에 자동입력이 되고 현장염색시 현장 RTDC 시스템을 통하여 시험실에서 얻어진 염착곡선대로 염색이 진행될 수 있도록 초액 관리는 물론 온도와 시간을 제어한다. 염색이 완료되어 가는 시점에서 만일 시험실 염착곡선과 차이가 있을 때는 그 차이에 대하여 컴퓨터가 제시한 처방대로 염료를 추가 염색하여 목표로 하는 색상과 일치시킴으로써 염색 로트 차를 획기적으로 줄일 수 있는 새로운 방법으로 염색결과까지 자동화가 가능하게 할 수 있다는 것을 보여 주는 것이다. 이 RTDC 시스템을 적용함으로써 염색에 있어서의 고질적인 로트 차, 즉 기계별, 염색 조건변화, 염료의 로트 차에 의해서 발생하는 염색차 등을 체크하여 자동으로 수정을 해주기 때문에 재염률을 눈에 띄게 줄여 줌으로써 원가절감, 납기단축, 생산성 향상을 도모할 수 있고, 염색에서 샘플링이라는 필연적인 작업을 없애 줌으로써 지금까지의 염색이라는 고정관념의 틀에서 완전히 한 단계를 뛰어

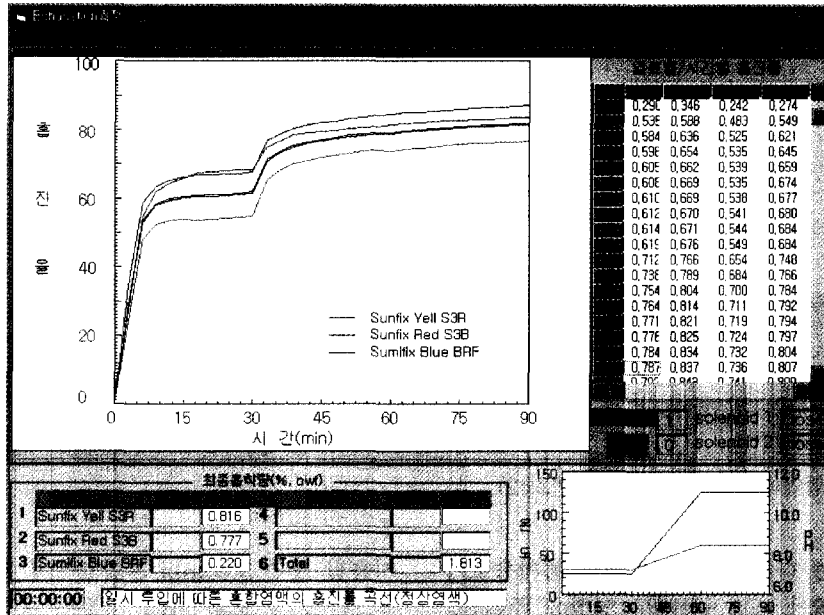


Figure 18. 중성염(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 일시 투입에 따른 반응염료 혼합염액의 흡진거동.



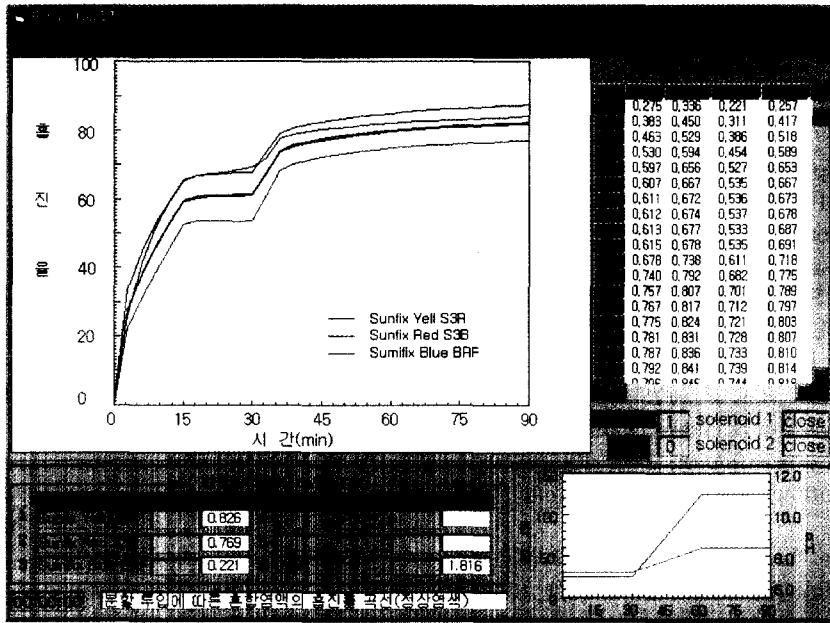


Figure 19. 중성염(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 분할 투입에 따른 반응염료 혼합염액의 흡진거동.

넘는 혁신적인 기술이라 할 수 있다.

또한 색상뿐만 아니라 균염성이나 견뢰도 등도 섬유내 염료의 존재상태에 따라 달라지므로 염착 속도의 영향을 받게 된다. 따라서 RTDC의 응용은 염·약제의 절감, 염색시간의 단축을 통하여 원가절감, 품질향상의 효과도 기할 수 있다.

RTDC를 현장에서 구현하기 위해서는 염색기 컨트롤러와 Dyemax<sup>®</sup> 시스템간의 호환성이 보장되어야 한다. 현재 설치된 대부분의 염색기 컨트롤러는 단방향 통신방식이거나, 메이커에서 정보를 오픈하지 않은 것이 많아 응용에 어려움이 많다. 다행히 국내 여러 메이커에서 오픈된 양방향 통신방식의 컨트롤러를 개발하여 보급하기 시작하여 이 분야에서 우리나라가 앞설 수 있는 계기가 될 수 있을 것으로 기대된다.

Dyemax<sup>®</sup> 시스템에서 RTDC 기술의 현장구현을 위하여 하드웨어 및 소프트웨어 모두를 국산 기술로 몇몇 염색업체와의 협력을 통하여 완성하고자 준비하고 있어서 아직 개발단계에 있다고 할 수 있으나, 곧 상용화에 이를 것으로 기대

되고 있다.

## 6. 결 언

염색에서 재염과 로트 차 및 목표색상과의 차이를 줄이는 것은 원가절감과 품질향상에서 가장 중요한 것이다. 이 목적을 위하여 디지털 기술을 접목한 것이 RFT 염색기술이라 할 수 있다. RFT 염색을 달성하기 위해서는 염색공정 최적화(ODP)와 실시간 염색공정제어(RTDC) 기술을 도입하는 것이 필수적이다. 이러한 목적을 위하여 국내에서 세계 최초로 실시간 염색공정 분석 장비와 제어장비를 개발하여 보급하고 있어서 염색업계를 위하여 매우 고무적으로 받아들여지고 있다. 이제 염색기술과 염색공정 모두 기존의 시행착오적 방법에서 벗어나 첨단기법을 이용한 새로운 디지털 기술로의 전환이 요청되고 있다. 이를 위해서는 첨단 장비의 도입 뿐 아니라 경영자 및 기술자 모두의 의식전환과 디지털 기술의 습득이 선행되어야 할 것으로 여겨진다.

## 참고문헌

1. P. S. Collishaw, D. A. S. Phillips, and M. J. Bradbury, *J. Soc. Dyers. Colour.*, **109**, 284 (1993).
2. W. J. Jasper, E. T. Kovacs, and G. A. Berkstresser IV, *Text. Res. J.*, **63**(9), 545(1993).
3. M. S. Arora and R. McGregor, *Text. Res. J.*, **67**(6), 389(1997).
4. J. Lu, C. Spiekermann, R. McGregor, and B. Smith, *Text. Chem. Color.*, **27**(3), 31(1995).
5. E. Cleve, E. Bach, U. Denter, and E. Schollmeyer, *Text. Res. J.*, **67**(10), 701(1997).
6. P. S. Collishaw, B. Glover, and M. J. Bradbury, *J. Soc. Dyers. Colour.*, **108**, 13(1992).
7. A. D. Cunningham, *Text. Chem. Color.*, **29**(1), 23(1997).
8. M. Weave, *Am Dyestuff Repr.*, **82**, 50(1993).
9. K. H. Weible, *Melliand Textilber.*, **71**, 10(1990).
10. E. Syson, *J. Soc. Dyers Colour.*, **107**, 390 (1991).
11. A. D. Cunningham, AATCC Conference Book of Papers, p. 424, 1995.
12. P. S. Collishaw, M. J. Bradbury, J. A. Bone, and R. F. Hyde, AATCC Conference Book of Papers, p. 353, 1997.
13. A. Gilchrist, Ph.D Thesis, Leeds University, 1995.
14. 홍석일, 조현태, “한국섬유공학회 추계학술발표회 논문집”, p. 149, 1998.
15. F. W. Billmeyer, “Principles of Color Technology”, Wiley, New York, 1981.
16. M. R. Shamey and J. H. Nobbs, AATCC Conference Book of Papers, p. 279, 1997.
17. R. McGregor, K. R. Beck, W. J. Jasper, and B. Smith, North Carolina State University Research Monograph, S95-4.
18. W. Jasper, E. Kovacs, and G. A. Berkstresser, *Text. Res. J.*, **63**(9), 545(1993).
19. I. D. Ratte, “The Physical Chemistry of Dye Adsorption”, Academic Press, London, 1978.
20. F. Jones in “The Theory of Coloration of Textile”(A. Johnson Ed.), 2nd Ed., pp.351-403, Society of Dyers and Colourists, Bradford, 1989.