

<研究論文(學術)>

Microwave가열에 의한 Polyester 직물의 염색성에 관한 연구(II)

임수경·김삼수·허만우*

영남대학교 공과대학 섬유패션학부, *경일대학교 공과대학 섬유패션학과
(1999년 5월 15일 접수)

A Study on the Dyeing of Polyester Fabric by Microwave Heating(II)

Su Gyeong Im, Sam Soo Kim and Man Woo Huh*

School of Textile & Fashion, College of Eng., Yeungnam University, Kyeongsan, Korea
**Dep. of Textile & Fashion Technology, College of Eng., Kyungil University, Kyeongsan, Korea*
(Received May 15, 1999)

Abstract— The effect of padding solution for the microwave heat dyeing of polyester fabric was studied variously. The dyeing property of polyester fabric varied with the kinds of added chemicals in the padding solution. Polyester fabrics impregnated in aqueous urea solution and aqueous sodium chloride solution for 10 minutes and then dyed for 7 minutes by microwave apparatus(2450 MHz, 700 W) under optimum conditions give good exhaustion. An aqueous solution of urea and a sodium chloride solution was more effective than water as padding solution for microwave heating dyeing. The K/S values of dyed polyester fabric by microwave were significantly affected by the type of solvent added in padding media and its concentration. Added solvents, n-hexane, acetone and dimethyl formamide were also more effective than water as padding media for the microwave heating dyeing. It is assumed that the effect of used solvents on dyeing property of polyester fabrics depends on the solubility parameter difference between solvent and polyester fabric.

1. 서 론

Microwave에 의한 유전가열은 전파에너지가 유전체의 내부에서 열에너지로 변환되는 현상을 이용한 것이다. 물, 염 또는 알코올과 같이 유전율이 큰 물질에 microwave를 조사하면 이들 물질의 분자들은 유도분극된 쌍극자의 회전 및 배열완화에 의해 발열하여 스스로 가열된다^{1,2)}. 따라서 피가열물 자체가 발열체로 되는 내부가열방식인 microwave 가열방

식을 이용하면 물질의 열전도율에 관계없이 피가열물만이 선택적으로 microwave를 흡수하기 때문에 열변환 효율이 높고, 장치의 가열이 필요 없게 되어 가열에 필요한 에너지가 절약되며, pad-steam 방식을 응용하므로 폐수의 절감도 기대된다.

그러나 이러한 microwave 가열에 의한 polyester 염색의 경우 물 100%의 염액에서는 100℃이상의 온도 상승을 기대하기 어려우므로, 이 연구에서는 선행된 연구¹⁰⁾로부터 steaming조건과 padding 조

건 등을 변화시켜 염색하고, 이때 염액에 첨가한 urea, NaCl이 microwave 가열에 의한 polyester 섬유 염색성에 미치는 효과를 알아보았으며, 또한 염액에 5종의 유기용매를 첨가하여 염료와 polyester 섬유 그리고 첨가된 유기용매 사이의 상호작용이 염색성에 미치는 영향에 대해 검토하였다.

2. 실험

2.1 시료

상법에 따라 전처리 및 감량가공된 polyester 직물 (경·위사75d/72f SD)을 사용하였다.

2.2 염료 및 유기용매

실험에 사용한 분산염료는 시약급의 C. I. Disperse Orange 1, Yellow 7 및 Red 13(Aldrich Chemical Co. inc., dye content 25%)을 사용하였으며, 화학 구조와 염액내 염료의 제특성은 Table 1과 같다. 유기용매는 일급시약(德山藥品工業(株), 韓國)을 그대로 사용하였으며, 각 용매의 특성은 Table 2와

같다.

2.3 Microwave 가열에 의한 염색

Microwave의 조사를 위해 Microwave Range RE-440(三星電子製, 주파수 2450MHz, 출력 700W)을 사용하였으며, Mathis laboratory padder(CH-8156 Oberhasli/Z rich, Switzerland)를 사용하여 직물을 padding하였다. Microwave 가열에 의한 염색에서 steaming이 균일한 가열을 위해 중요한 요소임을 나타내는 연구³⁻⁵⁾에 따라, 내열성 유리로 제작된 beaker에 일정량의 물(80~100ml)을 넣고, 염색 하기 전에 미리 microwave로 가열해 두어, 염색 시 microwave가 조사 될 때 피염물에 균일한 steaming이 이루어지도록 하였다. 또한 range내부 회전 판에 150ml의 물이 담긴 3개의 beaker를 두어, 내부의 상대습도를 100%에 가깝게 유지될 수 있도록 하였다. Table3의 조건으로 염색에 padding한 polyester 직물을 미리 가열된 내열성 용기 위에 고정시킨 후, 수분증발을 방지하기 위해 내열성 유리용기로 만든 뚜껑을 덮고, 7분간 microwave를 조사하여 염색 후 환원세정하였다.

Table 1. Properties of disperse dyes used

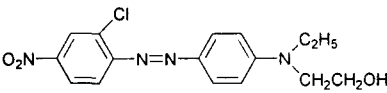
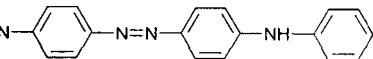
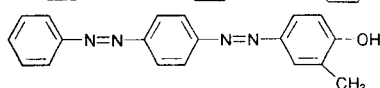
C.I. Name	Formula	FW	Dipole moment (debye)	IOB	Density	Solubility parameter (δ)
C.I.Disperse Red 13		348.79	7.710	0.7	1.144	8.963
C.I.Disperse Orange 1		318.34	7.389	0.5	1.106	8.441
C.I.Disperse Yellow 7		316.37	1.257	0.5	1.026	8.175

Table 2. Properties of organic solvents used

Solvent	Formula	solubility parameter			b. p.(°C)	dipole moment(D)
		δ	δ _d	δ _s		
Hexane	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH ₃	7.2	7.2	0.0	68.7	0.00
Acetone	CH ₃ COCH ₃	9.8	7.6	6.1	56.2	2.88
N.N.Dimethyl Formamide	HCON(CH ₃) ₂	12.1	8.5	8.7	152.8	3.82
Methyl Alcohol	CH ₃ OH	14.3	7.4	12.4	64.5	1.70
Ethylene Glycol	CH ₂ OHCH ₂ OH	16.3	8.3	13.8	197.2	2.28

※ Polyethylene terephthalate δ : 10.7, δ_d : 9.6, δ_a : 4.8²³⁾

Table 3. Conditions of microwave dyeing

Padding	Pick up(%)	70±5
	Speed of rotation of mangle(m/min)	2
Microwave Generating	Frequency(MHz)	2,450
	Output(W)	700
Microwave Treatment	Conc. of solvent(%)	10, 30, 50
	Conc. of dye(g/l)	1, 3, 5, 7, 9
	Time of treatment(min.)	7
	Conc. of antimigrant(g/l)	2
	Conc. of dispersing agent(g/l)	2
	Time of dipping(min.)	10
	pH of dye liquor	5.5
Reduction	Na ₂ S ₂ O ₄ (g/l)	2
	NaOH(g/l)	2
Cleaning	nonionic surf.(g/l)	2
	Temp. and time of treatment(°C×min.)	80×20

2.4 결과 분석

Microwave가열에 의해 염색된 polyester 직물의 겉보기 염착량은 각 염료의 최대흡수파장에서 반사율을 측정하여 K/S값(Kubelka-Munk식)으로 평가하였다. K/S값은 Computer Color Matching(Color Eye 3100, Macbeth, USA)을 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Urea 첨가에 의한 염색성

Microwave 가열에 의한 염색은 짧은 시간에 대상물을 비점까지 상승 시킬 수 있으므로 energy 절약과 비용 절감의 효과를 얻을 수 있지만, 분산염료에 의한 polyester 섬유의 염색의 경우 물 100%의 염액에서는 100°C 이상의 온도 상승을 기대하기 어려우므로, 조제로 urea를 첨가함으로써 염액의 온도 상승과 함께 염색성 증진 효과를 검토하였다.

Fig. 1은 polyester 섬유의 microwave 가열에 의한 염색에서 각각의 3종 분산염료 염액에 첨가된 urea의 농도 변화에 따라 염색된 직물의 K/S 값의 변화를 나타낸 것이다. 이 때 urea의 첨가 농도는 0, 10, 20, 30, 40, 50%이며, 각각의 염료 농도는 5g/l, microwave 조사 시간은 7분으로 염색한 결과이다.

그림에서 알 수 있듯이 urea를 첨가한 경우가 물 100%의 경우 보다 모두 더 높은 K/S값을 나타내고 있다. Urea가 공존하는 수용액에 microwave를 처리하면 수용액내의 쌍극자 회전으로 인한 발열효과 이외에 dipole moment가 높은 urea에 의해 물의 비점 상승이 일어나므로, 일반적으로 polyester 직물의 염색의 경우에 적용되는 고온·고압 염색과 유사한 조건을 만들어 준다고 생각한다. 이러한 현상은 물 100% 경우보다 물의 증발 온도가 높아져, 가열 온도가 100°C보다 상승하게 되고 섬유 내부 결정의 성장이 한층 더 촉진된다고 하는 Wakida^등의 X-ray 측정 결과와 잘 일치하고 있다. 이들 연구에 의하면, 순수한 물로 염색한 경우 lattice space가 5.26으로 미처리의 5.29와 큰 차이가 없지만, 20% urea 첨가의 경우에는 5.17로 감소되고, crystallite size도 미처리의 경우 30에서 물의 경우 33으로, urea solution은 66으로 훨씬 커짐을 알 수 있다.

일반적으로, 면직물의 CPB(Cold Pad Batch) 염색에 반응성 염료의 균염조제로 사용되는 urea는 microwave 가열에 의한 염색에서는 염액의 비점 상승과 섬유의 팽윤을 돕는 조제로 이용될 수 있다고 생각된다. 또한, microwave 가열에 의한 염색에서는 대상 물질(섬유, 염료, 조제, 용매 등)의 dipole moment가 중요한 인자로 작용할 것으로 생각되는데,

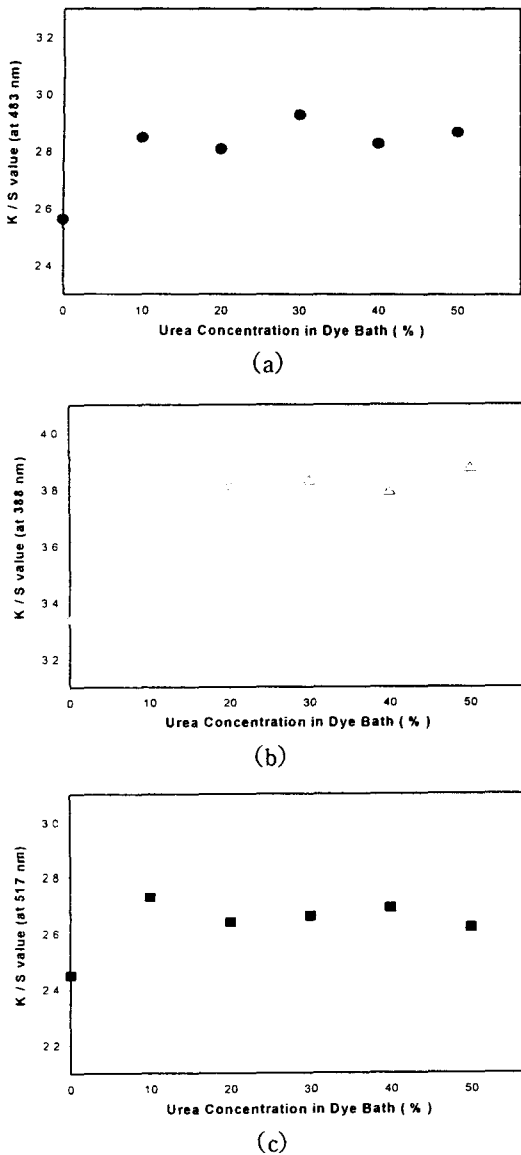


Fig. 1 K/S values of dyed polyester fabric according to the urea concentration in dye bath. ; dye conc. 5g/l
 (a) C.I. Disperse Orange 1 (b) C.I. Disperse Yellow 7 (c) C.I. Disperse Red 13

urea는 비교적 높은 dipole moment(4.07D)를 가지므로 위에서 설명했듯이 물의 비점 상승을 일으킬 수 있을 것이다. Jaw-Hua Chiao-Cheng과 B.M.Reagan¹¹⁾도 urea가 물보다 높은 dipole moment를 가

지기 때문에 microwave를 조사하였을 때 염착농도가 더 높아지는 것이라고 했다.

3.2 NaCl 첨가에 의한 염색성

Fig. 2는 염액에 첨가된 NaCl의 농도 변화에 따라 microwave 가열에 의해 염색된 polyester 직물의 K/S 값을 나타낸 것이다.

Microwave 가열에 의한 염색에서는 염액 중의 전해질의 첨가량이 증가할수록 염액의 증발속도가 높아지고 증발하는 물의 양도 많아지며, 유전율도 상승한다는 연구 결과^{9,12)}로부터, 주어진 처리시간 내에서의 빠른 온도상승 효과와 유전율의 증가를 기대하며 NaCl의 농도를 1~9mol로 증가시키며 염색한 결과, 첨가량이 1~5mol의 경우 K/S 값이 약간 증가함을 알 수 있다. 이는 Furuya¹²⁾의 microwave 가열 방식을 이용한 가공에 관한 연구에서, 순수한 물의 승온속도는 20°C/sec인데 비해, NaCl을 일정량 첨가하여 ion 농도를 증가시키면 30.5°C/sec로 승온속도가 증가한다는 결과와 일치하는 것으로 생각된다. 따라서 microwave 가열은 용매의 종류에 따라 특유의 가열 특성을 보이며, 매체의 발열효과가 기질의 가열 온도에 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 그러나 5mol 이상의 첨가에서는 NaCl을 첨가하지 않은 경우와 비슷한 결과를 얻는다. 이는 소량이라도 할지라도 NaCl을 일정농도 이상 첨가하면 실제 실험에서는 염색물에 흰 반점의 얼룩이 발생하여 재현성에 문제가 있었으며, 그에 따라 K/S값 측정시에 정확한 값이 얻어지지 못했을 것으로 생각된다. 따라서, 균염 염색의 측면에서 단지 빠른 온도 상승을 기대하며 NaCl을 첨가하는 것은 최종 염색물의 색상 재현성에 문제가 있다고 여겨진다. 그러나 microwave 가열 방식을 이용한 염색 이외의 건조나 살균 등, 기타 섬유가공 공정에서는 NaCl의 첨가가 대상 물의 승온 속도를 향상시킬 수 있는 장점을 가지는 것으로 생각된다.

3.3 염색성에 미치는 유기용매의 영향

Polyester 섬유는 치밀한 분자 구조 특성 때문에 다른 어떤 합성 섬유보다 결정 부분이 잘 이루어져 있으며 비결정 부분에서도 비교적 염료가 확산될

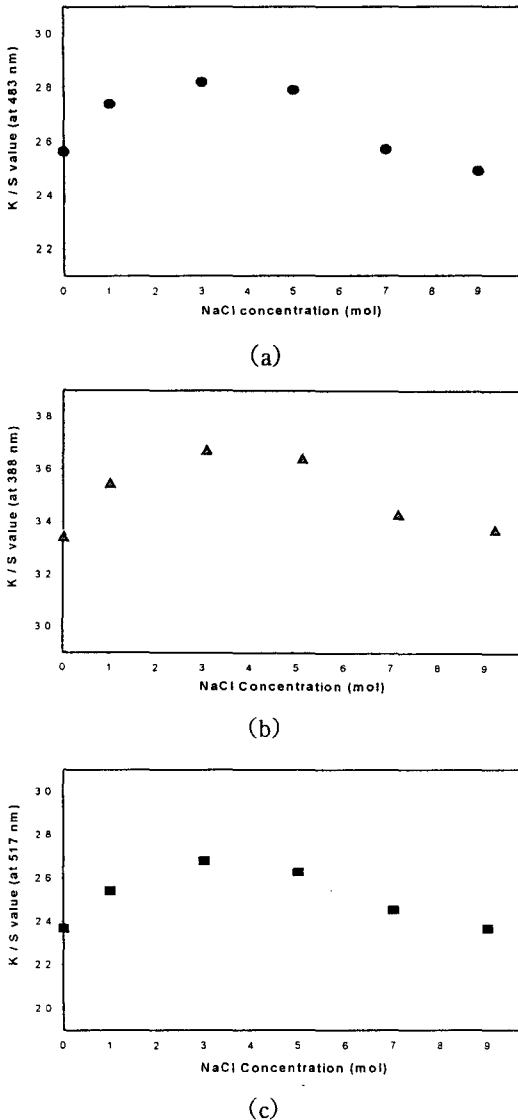


Fig. 2 K/S values of dyed polyester fabric according to the NaCl concentration in dye bath. ; dye conc. 5g/l
 (a) C.I. Disperse Orange 1 (b) C.I. Disperse Yellow 7 (c) C.I. Disperse Red 13

수 있는 틈이 작고 소수성도 매우 높아 직접염료, 산성염료 등과 같이 일반적으로 분자량이 큰 염료는 섬유 내부로의 침투가 곤란하다. 그래서 염색을 제 2차 전이점 이상의 높은 온도(보통 120℃ 이상)로 끓이거나 100℃ 부근의 온도에서 carrier를 넣어 치

밀한 섬유구조를 이완시켜 분자량이 작은 분산염료로 염색한다.

Microwave 가열에 의한 염색에서도 짧은 시간에 염색을 비점까지 상승시킬 수는 있지만, 물 100%의 염액만으로는 polyester섬유에 적절한 염착량을 부여하기가 대단히 힘들다. 선행된 연구들^{21~26)}에 의하면, 염료-섬유간의 특별한 작용을 부여하는 매개로 유기용매를 염액에 일정량 첨가하여 용매, 섬유, 염료 사이에 여러 가지 상호작용 인자들에 따른 그 염색성의 검토가 필요하다고 여겨진다.

3.3.1 유기용매 첨가농도의 영향

Fig. 3은 염액에 첨가된 유기용매가 염색성에 미치는 영향을 용매의 첨가량이 30% 일 때를 기준으로 하여 microwave 가열에 의해 염색된 polyester 직물의 ΔK/S 값으로 나타낸 것이다.

선행된 연구¹⁰⁾에서 염액에 EG, DMF 그리고 urea solution을 각각 10, 20, 30, 40% 첨가하여 microwave 가열에 의해 염색한 결과 30% 첨가 시 대체로 우수한 결과를 얻을 수 있다고 보고하였다. 그럼에서 알 수 있듯이 n-hexane의 경우는 50% 첨가했을 때에도 K/S값은 계속 증가하고 있으며, acetone과 DMF의 경우도 염료별로 차이는 있지만 50% 첨가했을 때 K/S 값이 조금 증가함을 알 수 있다. 또 기타 용매에 비해 n-hexane, acetone, DMF를 염액에 첨가한 경우는 첨가하지 않은 경우에 비해 K/S의 증가폭이 큼을 알 수 있다.

이러한 결과들은 용매와 섬유 사이에 작용하는 여러 인자 중 단순히 한가지 원인 때문이 아닌 복합적인 인자들의 영향으로 생각할 수 있다. 예를들면, 용매별 특성을 비교해 볼 때, dipole moment(D)는 DMF(3.82)>acetone(2.88)>EG(2.28)>methanol(1.70)>n-Hexane(0.00)의 순서이며, 용매의 비점(℃)은 EG(197.2)>DMF(152.8)>n-hexane(68.7)>methanol(64.5)>acetone(56.2)이다. 따라서 microwave 가열의 원리 면에서 고찰해 보면 dipole moment가 높은 DMF와 acetone이 첨가된 경우가 염착량이 증가된다고 할 수 있지만, dipole moment가 0인 n-hexane의 경우에는 dipole moment보다 다른 인자가 염착량에 더 큰 영향을 미치고 있음을 예측할 수 있다.

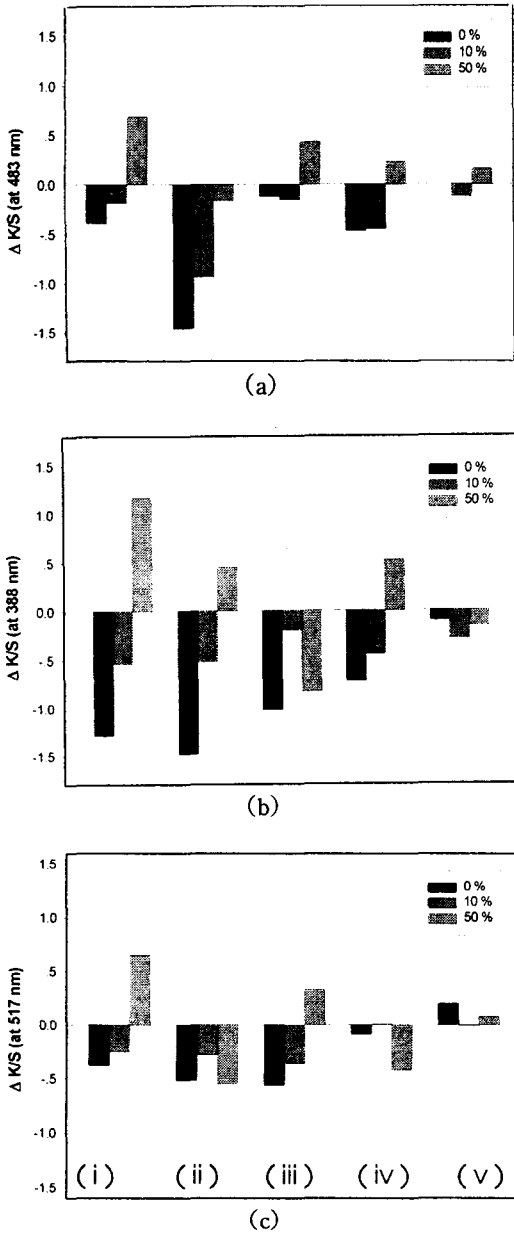


Fig. 3 Effect of the concentration of solvent on the K/S values of dyed polyester fabric. ; n-Hexane(i), Acetone(ii), DMF(iii), Methanol(iv), EG(v)
 (a) C.I. Disperse Orange 1 (b) C.I. Disperse Yellow 7 (c) C.I. Disperse Red 13

또한, 여러 연구 결과^{6-8,13-14}에서처럼 고비점·극성 용매를 사용한 경우 microwave에 의해 유전가열되는 매체의 비점이 polyester filament의 가열 온도에도 큰 영향을 주며, microwave에 의한 유전 매체의 가열 온도가 높아질수록 polyester 섬유 미세구조의 변화가 촉진되고, 동시에 비결정영역에 있어서의 염료 이행에도 큰 영향을 미친다는 것은 분명하지만 이 연구에서는 그림에 나타난 결과와 같이 염액에 첨가된 유기용매의 비점은 microwave 가열에 의한 염색에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

따라서, microwave 가열에 의한 염색에서 첨가되는 유기용매는 우선 dipole moment가 높은 것을 선택하는 것이 우수한 결과를 얻을 수 있을 것으로 여겨지나 n-Hexane과 같이 dipole moment가 0인 용매가 높은 염착량을 나타내는 예외적인 경우도 있어 다른 인자의 영향에 대한 추가적인 검토가 요구된다.

3.3.2 Solubility parameter의 영향

Microwave 가열에 의한 polyester 섬유의 염색에서 염액내 첨가된 각종 용매가 염색성에 미치는 영향은 전술한 바와 같이 dipole moment나 용매의 비점만으로는 충분한 설명을 할 수 없으므로, 서로 다른 두 물질의 상용성을 나타내는 값인 solubility parameter의 개념을 도입하여 microwave 가열에 의한 염색에서 사용된 각종 용매의 영향을 검토해 보고자 한다.

Fig. 4는 염액에 첨가된 유기용매의 solubility parameter가 염색성에 미치는 영향을 알아보기 위해, 용매 첨가량 10, 30, 50%로 microwave 가열에 의해 염색된 polyester 직물의 K/S 값을 용매의 solubility parameter를 기준으로 나타낸 것이다.

C.I. Disperse Red 13의 용매 첨가농도 50%의 경우를 제외하고 대부분 첨가된 용매의 solubility parameter가 10부근에서 높은 K/S값이 얻어짐을 알 수 있다. 이는 polyester 섬유의 solubility parameter가 10.7인 것을 고려할 때 첨가 용매의 solubility parameter와 섬유의 solubility parameter가 근사한 경우 높은 K/S값이 얻어진다고 할 수 있다.

일반적으로, 두 물질간의 solubility parameter의

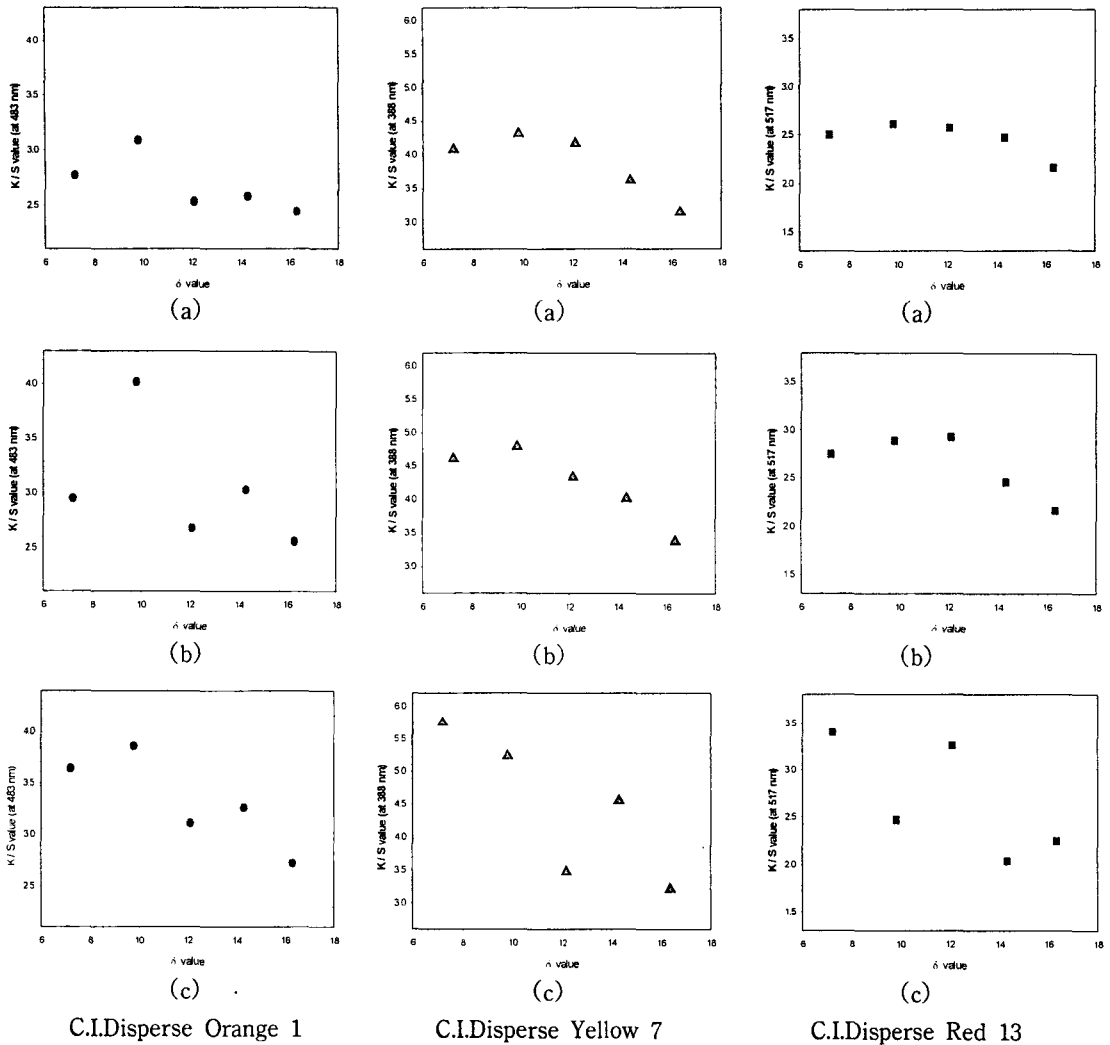


Fig. 4 K/S values of dyed polyester fabric according to the solubility parameter used several solvents ; (a)solvent conc.10%, (b)solvent conc.30%, (c)solvent conc.50%.

※ δ : n-hexane(7.2), acetone(9.8), DMF(12.1), methanol(14.3), EG(16.3)

차이가 적다는 것은 이들 두 물질간에 상호작용이 크다는 것을 의미하므로 polyester 섬유와 그 용매간의 상호작용이 증가되어 섬유에 미치는 용매의 효과가 증가됨을 뜻한다.

이처럼 두 물질간의 상호 작용을 잘 나타내는 solubility parameter는 Small, Van Krevelen, Hansen 및 Hoy 등¹⁵⁾에 의해 많은 연구가 진행되었으며, 용매 첨가 염색에 있어서 염료와 섬유 그리고 용매의 solubility parameter차이는 그 염색계에 주된 영향

을 미치는 인자이다^{17-21,25-30)}.

한편, 실험에 사용한 3종 분산염료의 solubility parameter는 모두 8~9 정도의 값을 가진다. 이는 첨가 용매의 solubility parameter가 8~12 영역일 때 비교적 높은 K/S값이 얻어지는 것과 잘 일치하고 있다.

그러나, n-Hexane 50% 첨가의 경우와 같이 K/S값이 특별히 높게 나타나는 이유는 순수 solubility parameter값만으로는 설명이 불충분하다고 볼

수 있다. Hansen¹⁶⁾은 물질 사이의 혼합에 필요한 energy를 분산력, 극성 Van der Waals 힘, 수소결합의 세가지로 구분하여, 이에 대응하는 solubility parameter를 분산력 solubility parameter(δ_d), 극성 Van der Waals 힘 solubility parameter(δ_p), 수소결합 energy solubility parameter(δ_h)의 세가지로 정의하였으며, Ibe³⁰⁾는 associated solubility parameter의 개념을 도입하여 δ_a 라는 성분 solubility parameter에 대한 영향을 연구하였다. 즉, 두 물질의 상호 작용이 전체 solubility parameter차이는 물론이고 δ_d , δ_p , δ_h , δ_a 등에 의해 더 구체적인 영향을 받는다는 것이다^{15,17,30)}. 이러한 연구에 근거하면 n-Hexane첨가 염액의 경우 polyester 섬유와의 δ_a 차는 0.6~1.8 정도로 가장 차이가 적은 용매-섬유로 높은 K/S값이 얻어진 결과를 잘 설명할 수 있다.

Fig. 5는 얻어진 결과를 섬유와 유기용매의 Δ solubility parameter로 나타낸 것으로, 그 차이가 작을수록 높은 K/S 값을 얻는다는 사실을 잘 설명해 주고 있다.

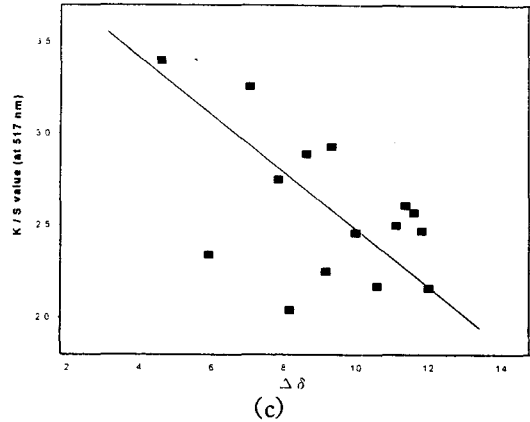
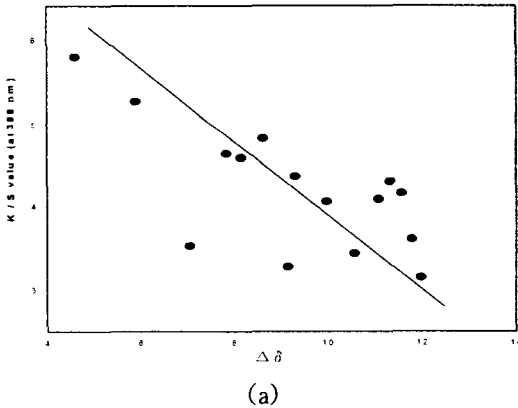
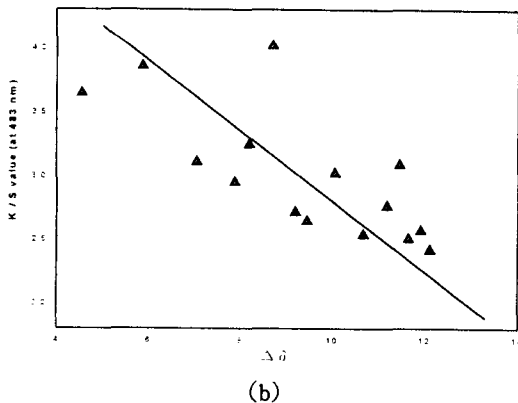


Fig. 5 K/S values of dyed polyester fabric according to the solubility parameter difference($\Delta\delta$) between polyester fiber and solvent.

(a) C.I. Disperse Orange 1 (b) C.I. Disperse Yellow 7 (c) C.I. Disperse Red 13



(a)



(b)

4. 결 론

Microwave 가열에 의한 polyester 섬유의 염색에 대해 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 염액에 urea와 NaCl을 첨가한 경우 urea는 그 첨가량에 관계없이 겔보기 염착량이 증가하며, NaCl은 1~5 mol 첨가시 겔보기 염착량은 약간 증가하지만 염색일룩 등의 문제가 발생한다.
2. 염액에 첨가된 5종의 유기용매는 그 첨가량이 30%일 때 대부분 높은 K/S값을 나타내며, 특히 dipole moment가 높은 용매일수록 염착량 증가 효과가 크다.
3. 염액에 첨가된 유기용매의 solubility parameter가 polyester 섬유의 solubility parameter와 비슷할 때 겔보기 염착량은 증가하며, 특히 성분 solubility parameter값은 더 큰 영향을 미친다.

감사의 글

본 연구의 일부는 영남대학교 RRC의 연구비 지원에 의해 이루어졌으므로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Hideo Iwami, Satoru Takada, *加工技術(日)*, 19(11), 5(1984).
2. Akira Takemats, *染色工業(日)*, 29(10), 480(1981).
3. Takahiro Sawada, *大阪府立纖維技術研究所研究報告*, 17, 50(1984).
4. J. G. Belton, *International Dyer and Textile Printer*, 15, 5(1970).
5. Hiroshi Morizane, *纖維加工(日)*, 35(7), 28(1983).
6. Mitsuru Nakagawa, *加工技術(日)*, 18(4), 5(1983).
7. Mitsuru Nakagawa, *加工技術(日)*, 18(2), 106(1983).
8. Tomiji Wakida, Yasuharu Tomihara, Ichizo Aoki and Nobuhiko Kuroki, *纖維學會誌(日)*, 31(9), 131(1975).
9. M. J. Delaney, *Text. Chem. and Colorist*, 4(5), 55(1972).
10. S. J. Seo, S. G. Im, S. S. Kim, *J. of the Korean Soc. of Dyers and Finishers*, 10(4), 7(1998).
11. Jaw-Hua Chiao-Cheng and B. M. Reagan, *Text. Chem. and Colorist*, 15(1), 12(1983).
12. Masazo Furuya, *染色工業(日)*, 28(9), 35(1980).
13. R. S. Berns and H. L. Needles, *J. Soc. Dyers and Colourists*, 95(6), 207(1979).
14. K. Haggag, H. L. Hanna, B. M. Youssef and N. S. El-Shimy, *Amer. Dyes. Reprtr.*, No.3, 22(1995).
15. David R. Lide, "*Handbook of organic solvents*", CRC press (1995).
16. D. W. Van Krevelen, "*Properties of Polymers*", P. 189(1990).
17. R. B. Chavan, J. Venkata Rao, and H. Ahmad, *Textile Res. J.*, 6, 347(1983).
18. S. R. Shukla, R. V. Hundekar, A. N. Sakigram, *Amer. Dyes. Reprtr.*, No. 10, 41(1991).
19. Ping Yuen Wang and Jin Feng Ma, *Textile Res. J.*, 68(8), 611(1998).
20. W. Ingamells and M. N. Thomas, *Text. Chem. and Colorist*, 16(3), 12(1984).
21. Shigeru Kuwabara, *纖維學會誌(日)*, 34(9), 56(1978).
22. Sarfraz A. Siddiqui, *Textile Res. J.*, 6, 403(1982).
23. Ibe, E. C., *J. Appl. Poly. Sci.*, 14, 837(1970).
24. D. M. Koenhen and C. A. Smolders, *J. Appl. Poly. Sci.*, 19, 1163(1975).
25. Wilfred C. Ingamells, *J. Soc. Dyers and Colourists*, 96(9), 466(1980).
26. S. R. Shukla, V. B. Hedao, A. N. Saligram, *Amer. Dyes. Reprtr.*, 3, 37(1992).
27. Kimihiro Suzuki, Tetsuo Asano, Isao Ikeda and Ichiro Kido, *纖維學會誌(日)*, 30(9), 25(1974).
28. Sarfraz A. Siddiqui, *Textile Res. J.*, 8, 527(1981).
29. Sarfraz A. Siddiqui, *Textile Res. J.*, 6, 403(1982).
30. Ibe, E. C., *J. Appl. Poly. Sci.*, 14, 837(1970).