ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

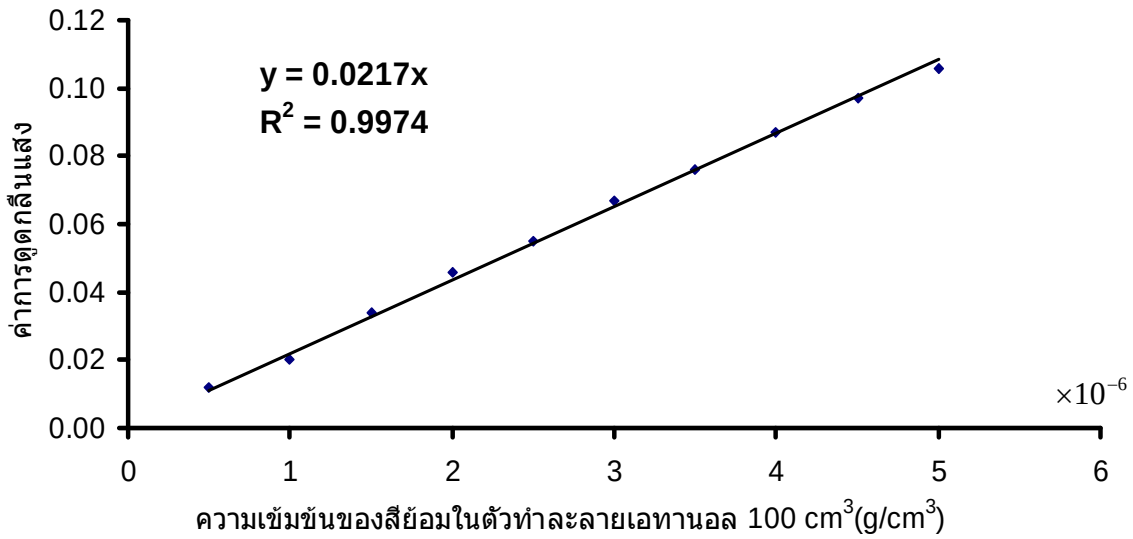
การสร้างกราฟมาตรฐาน

การสร้างกราฟมาตรฐาน

การสร้างกราฟมาตรฐานสามารถทำได้โดยการเตรียมความเข้มข้นของสีย้อมโดยการชั่งผงสีประมาณ 0.05 g นำมาเจือจางในตัวทำละลายเอทานอล 100 cm^3 ซึ่งจะได้ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 5×10^{-4} g/cm^3 จากนั้นนำมาเจือจางด้วยเอทานอลให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.5 - 5 $\mu g/cm^3$ แล้วจึงนำสารละลายสีย้อมมาสแกนหาค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่สูงที่สุดด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งความยาวคลื่นที่ได้คือ 535 nm จากนั้นนำสารละลายสีย้อมมาทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าว ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมที่ความเข้มข้นต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ก.1 และนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสีย้อมในตัวทำละลายเอทานอล ดังรูปที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของสีย้อมในตัวทำละลายเอทานอล 100 cm^3(g/cm^3) $\times10^{-6}$	**ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 nm**
0.5	0.012
1.0	0.020
1.5	0.034
2.0	0.046
2.5	0.055
3.0	0.067
3.5	0.076
4.0	0.087
4.5	0.097
5.0	0.106



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานของสีย้อม C.I. Acid Red 42

ภาคผนวก ข

การคำนวณค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหม

การคำนวณค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหม สามารถทำได้โดย

นำเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการย้อมสีเส้นใยไหมโดยใช้ SC-CO_2เป็นตัวกลางในกระบวนการย้อม ที่ภาวะอุณหภูมิ 50-70°C ความดัน 10-20 MPa มาสกัดนำสีย้อมออกจากรูพรุนของเส้นใย โดยวิธีรีฟลักซ์ด้วยเอทานอลปริมาตร 20 cm^3 ที่อุณหภูมิ 72°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาว 535 nm โดยค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมที่ความยาวคลื่นนี้แสดงได้ดังตารางที่ ข.1 จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงของที่สีย้อมที่ได้ไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสีที่สกัดแยก (g/cm^3) ซึ่งสามารถหาได้จากกราฟมาตรฐานของสีย้อมในภาคผนวก ก ดังสมการต่อไปนี้

$$y = 0.0217x \qquad \text{(ข. 1)}$$

เมื่อ y คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 nm

x คือ ความเข้มข้นของสีย้อมที่สกัดแยก (g/cm^3)

ตารางที่ ข.1 ค่าการดูดกลืนแสง และความเข้มข้นของสีย้อมที่สกัดแยก

อุณหภูมิในการทดลอง (°C)	ความดันในการทดลอง (MPa)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 nm	ความเข้มข้นของสีย้อมที่สกัดแยก(g/cm^3) ($\times 10^{-6}$)
50	10.0	0.005	0.2304
	12.0	0.008	0.3687
	15.0	0.010	0.4608
	20.0	0.011	0.5069
60	10.0	0.006	0.2765
	12.0	0.008	0.3687
	15.0	0.011	0.5069
	20.0	0.011	0.5069
70	10.0	0.009	0.4147
	12.0	0.012	0.5530
	15.0	0.014	0.6452
	20.0	0.015	0.6912

จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหม โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$C = \frac{\text{ความเข้มข้นของสีที่สกัดแยก } (g/cm^3)}{100} \times \frac{V}{W} \qquad \text{(ข. 2)}$$

เมื่อ C คือ ค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหม (g_{Dye}/g_{Silk})

V คือ ปริมาตรเอทานอลที่ใช้ในการรีฟลักซ์ (cm^3)

W คือ น้ำหนักเส้นใยไหมก่อนย้อม (g)

ตัวอย่างการคำนวณค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหม

จากตารางที่ ข.1 ที่ภาวะความดัน 15 MPa อุณหภูมิ 70 °C จะมีค่าการดูดกลืนแสงและค่าความเข้มข้นของสีที่สกัดแยก เท่ากับ 0.014 และ 0.6452×10^{-6} g/cm^3 ตามลำดับ จากนั้น คำนวณค่าความเข้มข้นของสีย้อมในเส้นใยไหมได้ดังสมการที่ ข.2 ดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$C = \frac{0.6452\times10^{-6}\left(g/cm^3\right)}{100} \times \frac{20\left(cm^3\right)}{0.0195(g)} = 6.617\times10^{-6}\left(\frac{g_{Dye}}{g_{Silk}}\right)$$

ดังนั้นที่ภาวะในกระบวนการย้อมสีเส้นใยไหมนี้ จะมีค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหม มีค่าเท่ากับ $6.617\times10^{-6}\left(g_{Dye}/g_{Silk}\right)$ และที่ภาวะในกระบวนการย้อมอื่นๆ ก็สามารถคำนวณค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหมได้เช่นเดียวกัน

ภาคผนวก ค
การคำนวณความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ และค่าการละลายของสีย้อมในคาร์บอนไดออกไซด์

การคำนวณหาความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิฤต สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\rho = \frac{m}{v} \qquad (ค.1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ (g/cm^3)

m คือ น้ำหนักโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 44 g/mol

v คือ ปริมาตรจำเพาะของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต (cm^3/mol)

สามารถหาค่าปริมาตรจำเพาะของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต (v) ในสมการที่ ค.1 ได้จากสมการ

$$z = \frac{pv}{RT} \qquad (ค.2)$$

เมื่อ z คือ ค่าแฟกเตอร์สภาพกดอัด

p คือ ความดันในการทดลอง (MPa)

v คือ ปริมาตรจำเพาะของคาร์บอนไดออกไซด์ (cm^3/mol)

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซอุดมคติ ($0.08206\ dm^3.atm/mol.K$)

T คือ อุณหภูมิในการทดลอง (K)

โดยการคำนวณค่าแฟกเตอร์สภาพกดอัด (z) ของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ซึ่งหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$z = z^0 + \omega z^1 \qquad (ค.3)$$

เมื่อ z คือ ค่าแฟกเตอร์สภาพกดอัด

z^o และ z^1 คือ correlation factor

ω คือ อะเซนตริกแฟกเตอร์

จากนั้นคำนวณหาอุณหภูมิและความดันลดรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดังสมการ

$$T_r = \frac{T}{T_C} \quad \text{และ} \quad P_r = \frac{P}{P_C}$$

เมื่อ T_c = 304 K

P_c = 7.38 MPa

T คือ อุณหภูมิในการทดลอง (K)

P คือ ความดันในการทดลอง (MPa)

ซึ่งค่าอุณหภูมิลดรูปและความดันลดรูปที่คำนวณได้แสดงในตารางที่ ค.1 และ ตารางที่ ค.2 ตามลำดับ

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิลดรูป (T_r) ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง

อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง (°C)	อุณหภูมิลดรูป (T_r)
50	1.0625
60	1.1000
70	1.1500

ตารางที่ ค.2 ความดันลดรูป (P_r) ที่ความดันที่ใช้ในการทดลอง

ความดันที่ใช้ในการทดลอง (MPa)	ความดันลดรูป (P_r)
10.0	1.35
12.0	1.62
15.0	2.03
20.0	2.70

จากนั้นนำอุณหภูมิลดรูปและความดันลดรูปในตารางที่ ค.1 และ ค.2 มาเปิดตาราง Lee/Kesler Generalized-correlation [28] เพื่อหาค่า z^O และ z^1 ซึ่งมีค่าดังแสดงในตารางที่ ค.3

ตารางที่ ค.3 ค่า z^O และ z^1 จากตาราง Lee/Kesler Generalized-correlation ในช่วงอุณหภูมิลดรูป 1.05 1.10 และ 1.15

อุณหภูมิลดรูป (Tr)	ความดันลดรูป (Pr)	z^O	z^1
1.05	1.2000	0.4437	0.1059
	1.5000	0.3131	0.0451
	2.0000	0.3452	-0.0432
	3.0000	0.4604	-0.0838
1.10	1.2000	0.5984	0.0897
	1.5000	0.4580	0.1630
	2.0000	0.3953	0.0698
	3.0000	0.4770	-0.0373
1.15	1.2000	0.6803	0.0943
	1.5000	0.5798	0.1548
	2.0000	0.4760	0.1667
	3.0000	0.5042	0.0332

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ค่าความดันลดรูปจะมีค่าอยู่ในช่วง 1.3-2.7 ดังนั้นจึงต้องทำการประมาณค่า z^O และ z^1 เพื่อให้อยู่ในช่วงความดันลดรูปดังกล่าว ซึ่งค่า z^O และ z^1 ที่ประมาณได้จะมีค่าแสดงดังตารางที่ ค.4

ตารางที่ ค.4 ค่า z^O และ z^1 จากตาราง Lee/Kesler Generalized-correlation ในช่วงอุณหภูมิลดรูป 1.05 1.10 และ 1.15 และ ความดันลดรูปที่ใช้ในการทดลอง

อุณหภูมิลดรูป (T_r)	ความดันลดรูป (P_r)	z^O	z^1
1.05	1.35	0.3784	0.0755
	1.62	0.3208	0.0239
	2.03	0.3487	-0.0444
	2.7	0.4258	-0.0716

ตารางที่ ค.4 ค่า z^O และ z^1 จากตาราง Lee/Kesler Generalized-correlation ในช่วงอุณหภูมิลดรูป 1.05 1.10 และ 1.15 และ ความดันลดรูปที่ใช้ในการทดลอง(ต่อ)

อุณหภูมิลดรูป (T_r)	ความดันลดรูป (P_r)	z^O	z^1
1.1	1.35	0.5282	0.1264
	1.62	0.4430	0.1406
	2.03	0.3978	0.0666
	2.7	0.4525	0.0694
1.15	1.35	0.6301	0.1246
	1.62	0.5545	0.1577
	2.03	0.4768	0.1627
	2.7	0.4960	0.0733

เมื่อได้ค่า z^O และ z^1 ที่อุณหภูมิลดรูปและความดันลดรูปต่างๆ ในตารางที่ ค.4 แล้วสามารถนำไปคำนวณหาแฟกเตอร์สภาพกดอัด (z) ได้โดยนำ z^O และ z^1 แทนในสมการที่ ค.2 ซึ่งค่าแฟกเตอร์สภาพอัดที่คำนวณได้จะแสดงได้ดังตารางที่ ค.5

ตารางที่ ค. 5 ค่าแฟกเตอร์สภาพกดอัด (z) ที่ได้จากการคำนวณ

อุณหภูมิลดรูป (T_r)	ความดันลดรูป (P_r)	z
1.05	1.35	0.3953
	1.62	0.3262
	2.03	0.3388
	2.70	0.4098
1.10	1.35	0.4999
	1.62	0.4115
	2.03	0.3829
	2.70	0.4370
1.15	1.35	0.6022
	1.62	0.5192
	2.03	0.4404
	2.70	0.4800

จากนั้นนำค่าต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณแทนลงในสมการที่ ค.2 ซึ่งตัวอย่างในการคำนวณปริมาตรจำเพาะของ SC-CO_2 ที่อุณหภูมิ 50 °C ความดัน 10 MPa แสดงได้ดังนี้

$$\nu = \frac{zRT}{P} = \frac{0.3388 \times 0.8206 \frac{dm^3 \times atm}{mol \times K}}{15MPa} \times 323K \times \frac{1000cm^3}{dm^3} \times \frac{0.101325MPa}{atm} = 60.66 \frac{cm^3}{mol}$$

ดังนั้นปริมาตรจำเพาะของSC-CO_2 ที่อุณหภูมิ 50°C ความดัน 10 MPa จะมีค่า $60.66\,cm^3/mol$ ส่วนค่าปริมาตรจำเพาะของ SC-CO_2 ที่อุณหภูมิ และ ความดันอื่นๆ แสดงค่าในตารางที่ ค.6

ตารางที่ ค.6 ค่าปริมาตรจำเพาะของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต (ν)

อุณหภูมิในการทดลอง (°C)	ความดันในการทดลอง (MPa)	ปริมาตรจำเพาะของ SC-CO_2 (cm^3/mol)
50	10.0	106.16
	12.0	73.01
	15.0	60.66
	20.0	55.03
60	10.0	138.41
	12.0	94.95
	15.0	70.68
	20.0	60.50
70	10.0	171.74
	12.0	123.39
	15.0	83.73
	20.0	68.45

จากนั้นนำค่าปริมาตรจำเพาะของSC-CO_2 ที่หาได้ มาทำการคำนวณหาความหนาแน่นของ SC-CO_2 จากสมการที่ ค.1 ซึ่งค่าความหนาแน่นของ SC-CO_2 ที่คำนวณได้แสดงในตารางที่ ค.7

ตารางที่ ค. 7 ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ

อุณหภูมิในการทดลอง (°C)	ความดันในการทดลอง (MPa)	ความหนาแน่นของ SC-CO_2 (kg/m^3)
50	10.0	414.67
	12.0	602.66
	15.0	725.35
	20.0	799.56
60	10.0	317.90
	12.0	463.40
	15.0	622.52
	20.0	727.27
70	10.0	256.20
	12.0	356.59
	15.0	525.50
	20.0	642.80

การคำนวณค่าการละลายของสีย้อมในคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต

ค่าการละลายของสีย้อมใน SC-CO_2 สามารถคำนวณได้จากสมการอย่างง่าย (empirical equation) ของ Adnan O¨ zcan และ A. Safa O¨ zcan [1] ดังสมการ

$$\ln\left(\frac{Xp}{p_{ref}}\right) = a + \left(\frac{b}{T}\right) + c(\rho - \rho_{ref}) \qquad (ค.4)$$

เมื่อ X คือ ค่าการละลายของสีย้อมในคาร์บอนไดออกไซด์ $\left(g_{Dye}/g_{CO_2}\right)$

p คือ ความดันในการทดลอง (MPa)

p_{ref} คือ ความดันอ้างอิง มีค่าเท่ากับ 0.1 MPa

ρ คือ ความหนาแน่นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (g/cm^3)

ρ_{ref} คือ ความหนาแน่นอ้างอิง มีค่าเท่ากับ 0.7 g/cm^3

T คือ อุณหภูมิ (K)

a b c คือ ค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณในการทดลอง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ ค.8

ตารางที่ ค.8 ค่าคงที่ a b และ c [23]

ค่าคงที่สำหรับสมการที่ ค.1	
a	-1.655
b (K^{-1})	-2406.84
c ($g.dm^{-3}$)	0.0156

ค่าการละลายของสีย้อมใน SC-CO_2 ที่คำนวณได้จากสมการที่ ค.4 แสดงในตารางที่ ค.9

ตารางที่ ค.9 ค่าการละลายของสีย้อมในคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต (X) ที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

อุณหภูมิ (^oC)	ความดัน (MPa)	ค่าการละลายของสีย้อมใน SC-CO_2 (g_{Dye}/g_{CO_2}) ($\times 10^{-6}$)
50	10.0	0.013
	12.0	0.203
	15.0	1.102
	20.0	2.631
60	10.0	0.003
	12.0	0.029
	15.0	0.277
	20.0	1.065
70	10.0	0.002
	12.0	0.007
	15.0	0.075
	20.0	0.352

ภาคผนวก ง

การคำนวณค่าคงที่และการประมาณค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหมด้วยกลไกการดูดซึมแบบสองทาง

การคำนวณค่าคงที่ในสมการที่ 2.9 (k_D C'_H และ b) สามารถสามารถทำได้โดยการอาศัยกราฟระหว่าง ค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหมกับความดัน โดยใช้กลไกการดูดซึมแบบสองทาง แสดงได้ดังสมการที่ ง.1 ซึ่งในกระบวนการทดลองนี้ใช้ภาวะความดันเหนือจุดวิกฤต ดั้งนั้นจึงนำความดันที่จุดวิกฤตของคาร์บอนไดออกไซด์มาลบกับความดันจริงที่ใช้ในการทดลอง

$$C = C_D + C_H = k_D(p - p_C) + \frac{C'_H b(p - p_C)}{1 + b(p - p_C)} \qquad (ง.1)$$

เมื่อ C คือ ค่าการละลาย (g_{Dye} / g_{Silk})

k_D คือ ค่าคงที่การละลายตามกฎของเฮนรี่ (g_{Dye} / g_{Silk}) (MPa)

b คือ ค่าคงที่ของรูช่องว่างร่วม (Hole affinity constant) (MPa^{-1})

p คือ ค่าความดัน (MPa)

P_C คือ ความดันวิกฤตของคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่า 7.4 MPa

C'_H คือ ค่าคงที่ของรูช่องว่างอิ่มตัว (Hole saturated constant) (g_{Dye} / g_{Silk})

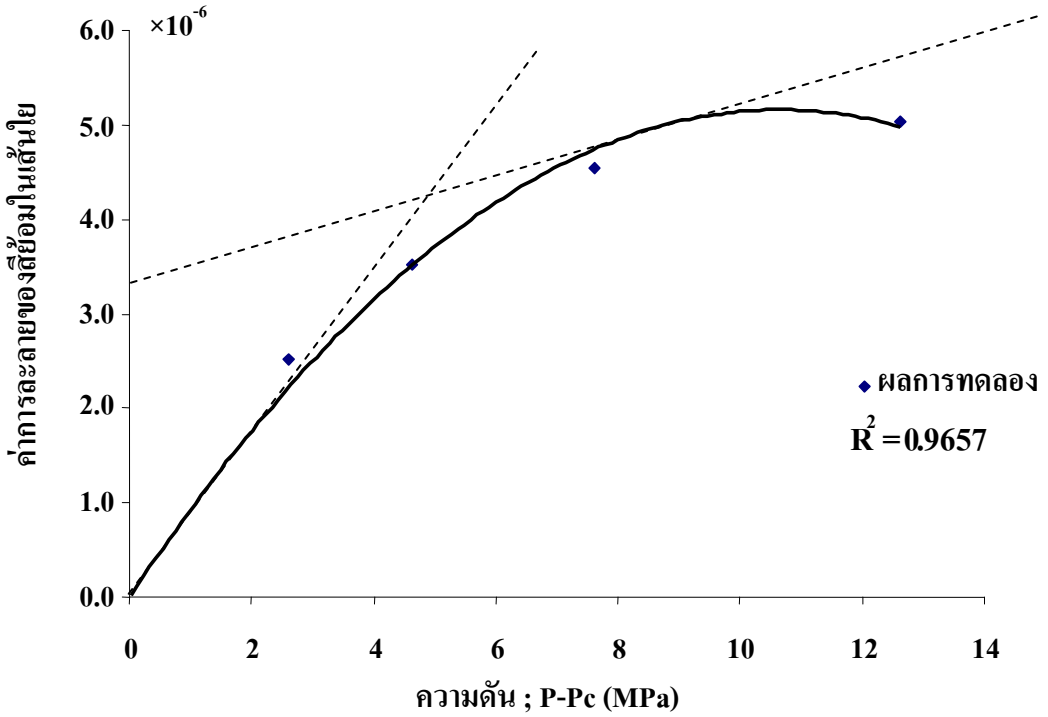
C_D คือ ค่าการดูดซึมแบบปกติของสารที่สามารถแพร่กระจายได้ (g_{Dye} / g_{Silk})

C_H คือ ค่าการดูดซึมภายในรูช่องว่างขนาดเล็กมากๆ (g_{Dye} / g_{Silk})

ค่าคงที่ C'_H และ k_D ในสมการกลไกการดูดซึมแบบสองทางสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหมและความดันที่ช่วงความดันสูง และทำการประมาณค่าเส้นตรงของกราฟ โดยค่าคงที่ k_D สามารถหาได้จากความชันของเส้นกราฟที่ลากผ่านจุดที่ค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยเริ่มมีค่าคงที่ ค่าคงที่ C'_H สามารถหาได้จากจุดตัดของแกน y และค่าคงที่ b สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหมและความดันที่ช่วงความดันต่ำ

ตัวอย่างการหาค่าคงที่ต่างๆ ในสมการที่ ง.1 และ การประมาณค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหมโดยอาศัยกลไกการดูดซึมแบบสองทางที่อุณหภูมิ 50 °C แสดงได้ดังนี้

การหาค่าคงที่ C'_H และ k_D สามารถหาได้โดยอาศัยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหมและความดันในดังรูปที่ ง.1



รูปที่ ง.1 ค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหมที่อุณหภูมิ $50\,^{o}\mathrm{C}$

ซึ่งค่าคงที่ C'_H และ k_D สามารถหาได้จากกราฟที่ช่วงความดันในการทดลองสูง โดยค่าคงที่ C'_H คือค่าที่จุดตัดแกน y ดังนั้น $C'_H = 3.4\times10^{-6}\,g_{Dye}/g_{Silk}$ และ ค่าคงที่ k_D สามารถหาได้จากความชันของกราฟ ดังนี้

$$\text{Slope} = \frac{(4.8-3.4)\times10^{-6}}{(8-0)} = 0.175\times10^{-6}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad k_D = 0.175\times10^{-6}\,\frac{g_{Dye}/g_{Silk}}{\text{MPa}}$$

ค่าคงที่ b หาได้จากความชันของเส้นกราฟที่ช่วงความดันต่ำ

$$\text{Slope} = \frac{(2.2-0)}{(3-0)}\times10^{-6} = 0.73\times10^{-6}$$

จากนั้นแทนค่าคงที่ k_D, C'_H และความชันของเส้นกราฟที่ช่วงความดันต่ำที่หาได้ข้างต้นลงไปในสมการ $\text{Slope} = (k_D + C'_H b)$ ดังนี้

$$0.73\times10^{-6} = \left[\left(0.175\times10^{-6}\right)+\left(3.4\times10^{-6}\times \mathrm{b}\right)\right]$$

$$\mathrm{b} = \left[\frac{\left(0.73\times10^{-6}\right)-\left(0.175\times10^{-6}\right)}{\left(3.4\times10^{-6}\right)}\right]$$

$$\mathrm{b} = 0.16\left(\mathrm{MPa}^{-1}\right)$$

การประมาณค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหมสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ ง.1 โดยนำค่าคงที่ต่างๆ ที่คำนวณได้ข้างต้นแทนค่าลงไปในสมการ ดังนี้

$$\mathrm{C} = \left[\left(0.175\times10^{-6}\,\frac{\mathrm{g_{Dye}/g_{Silk}}}{\mathrm{MPa}}\right)\times\left(8-7.38\mathrm{MPa}\right)\right] + \left[\frac{\left(3.4\times10^{-6}\mathrm{g_{Dye}/g_{Silk}}\right)\times\left(0.16\mathrm{MPa}^{-1}\right)\times\left(8-7.38\mathrm{MPa}\right)}{1+\left(0.16\mathrm{MPa}^{-1}\times\left(8-7.38\mathrm{MPa}\right)\right)}\right]$$

$$\mathrm{C} = 0.415\times10^{-6}\ \mathrm{g_{Dye}/g_{Silk}}$$

ดังนั้นที่อุณหภูมิคงที่ $50\,^{\mathrm{o}}\mathrm{C}$ ความดัน 8 MPa สามารถคำนวณค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยได้เท่ากับ $0.415\times10^{-6}\ \mathrm{g_{Dye}/g_{Silk}}$ และที่ภาวะการทดลองอื่นๆ ก็สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกัน

ภาคผนวก จ

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งแยก

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งแยก สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$K = \frac{C}{X} \qquad (จ.1)$$

เมื่อ K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งแยก

C คือ ค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหม (g_{Dye}/g_{Silk})

X คือ ค่าการละลายของสีย้อมในแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (g_{Dye}/g_{CO_2})

ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งแยก

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งแยกที่ภาวะอุณหภูมิ 70°C ความดัน 15 MPa สามารถคำนวณได้โดยนำค่าค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหมและค่าการละลายของสีย้อมในแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งคำนวณได้จากประมาณค่าด้วยกลไกการดูดซึมแบบสองทาง และจากสมการอย่างง่ายของ Adnan O¨ zcan และ A. Safa O¨ zcan [1] ตามลำดับจากตารางที่ จ.1 แทนลงในสมการที่ จ.1 ดังนี้

$$K = \frac{6.620\times10^{-6}}{0.075\times10^{-6}} \frac{\left(g_{Dye}/g_{Silk}\right)}{\left(g_{Dye}/g_{CO_2}\right)}$$

$$K = 88.27 \frac{\left(g_{Dye}/g_{Silk}\right)}{\left(g_{Dye}/g_{CO_2}\right)}$$

ดังนั้นที่ภาวะอุณหภูมิ 70°C ความดัน 15 MPa ค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งแยกมีค่าเท่ากับ $88.27 \frac{\left(g_{Dye}/g_{Silk}\right)}{\left(g_{Dye}/g_{CO_2}\right)}$ สำหรับการคำนวณที่ภาวะอื่นๆ ก็สามารถทำได้เช่นเดียวกัน ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณแสดงในตารางที่ จ.1

ตารางที่ จ.1 ค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งแยก ที่อุณหภูมิ และความดันต่างๆ

อุณหภูมิ (^{o}C)	ความดัน (MPa)	ค่าการละลายของสีย้อมในเส้นใยไหม $(g_{Dye}/g_{Silk}) \times 10^{-6}$	ค่าการละลายของสีย้อมใน CO_2 $(g_{Dye}/g_{CO_2}) \times 10^{-6}$	สัมประสิทธิ์การแบ่งแยก $\frac{(g_{Dye}/g_{Silk})}{(g_{Dye}/g_{CO_2})} \times 10^{-6}$
50	10.0	2.518	0.013	194.46
	12.0	3.511	0.203	17.30
	15.0	4.540	1.102	4.12
	20.0	5.044	2.631	1.92
60	10.0	2.942	0.003	980.67
	12.0	3.986	0.029	137.45
	15.0	5.422	0.277	19.57
	20.0	5.510	1.065	5.17
70	10.0	4.350	0.002	2175.00
	12.0	5.731	0.007	818.71
	15.0	6.620	0.075	88.27
	20.0	6.744	0.352	19.16

ภาคผนวก ฉ

การทดสอบความคงคนของสีย้อมในเส้นใย

ฉ.1 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง [13-14]

การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้างตามมาตรฐาน ISO 105-C01:1989(E) จะใช้เครื่องลอนเดอร์ โอ มิเตอร์ (Launder-o-meter) ในการทดสอบ ซึ่งมีภาวะที่ใช้ตั้งแต่ระดับที่เบาที่สุดถึงระดับที่แรงที่สุด โดยเครื่องลอนเดอร์ โอ มิเตอร์ มีหลักการในการทำงานดังนี้ นำเส้นใยที่ผ่านการย้อมสีมาประกบติดกับผ้าขาว 2 เส้นใย (Two single fiber adjacent fabrics) หรือกับผ้าหลายเส้นใย (Multifiber adjacent fabric) ซึ่งชนิดของผ้าหลายเส้นใยคือ อะซิเตท,ฝ้าย, ไนลอน, พอลิเอสเทอร์, อะคริลิคและขนสัตว์ ส่วนชนิดของผ้าขาว 2 เส้นใย แสดงได้ดังตารางที่ ฉ.1

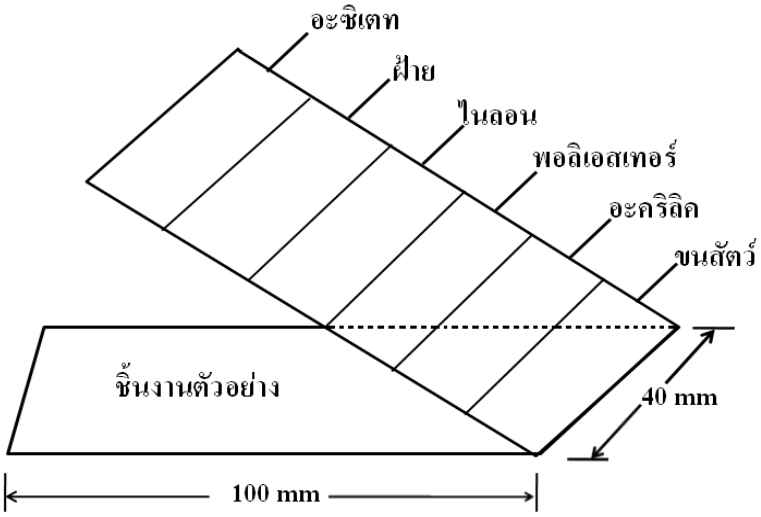
ตารางที่ ฉ.1 ผ้าขาว 2 เส้นใย

ชนิดเส้นใยตัวอย่าง	ชนิดของผ้าขาวชิ้นที่ 1	ชนิดของผ้าขาวชิ้นที่ 2
ฝ้าย	ฝ้าย	ขนสัตว์
ขนสัตว์	ขนสัตว์	ฝ้าย
ไหม	ไหม	ฝ้าย
ลินิน	ลินิน	ขนสัตว์
วิสโคส	วิสโคส	ขนสัตว์
อะซิเตท	อะซิเตท	วิสโคส
พอลิเอไมด์ หรือไนลอน	พอลิเอไมด์ หรือไนลอน	ขนสัตว์หรือวิสโคส
พอลิเอสเทอร์	พอลิเอสเทอร์	ขนสัตว์หรือ ฝ้าย
อะคริลิค	อะคริลิค	ขนสัตว์หรือ ฝ้าย

ฉ.1.1 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างประกบกับผ้าหลายเส้นใย

ในกรณีที่เกิดการตกติดสี เช่น เสื้อสีขาวที่มีลวดลายสีแดงสลับ เพื่อให้แน่ใจว่าสีแดงจะไม่ตกติดบริเวณสีขาว ดังนั้นจึงใช้ผ้าใยผสมหลายชนิดมาประกบกับชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างประกบกับผ้าหลายเส้นใย (กรณีที่ชิ้นงานตัวอย่างเป็นผืนผ้า) เตรียมได้โดย ตัดชิ้นงานตัวอย่าง และผ้าหลายเส้นใย ตามความยาวของผ้าให้มีขนาด 40×100 mm จำนวน 2 และ 1 ชิ้นตามลำดับ แล้วเย็บริมทั้ง 4 ด้านเพื่อป้องกันการหลุดของเส้นใย จากนั้นนำชิ้นงานมาประกบกับผ้าหลายเส้นใยโดยเย็บตรงตำแหน่งเส้นใยขนสัตว์ทางด้านกว้างเพียงด้านเดียว ดังรูปที่ ฉ.1 แล้วนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอนเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณสารละลายน้ำสบู่ที่ต้องใช้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ ฉ.1

$$\text{ปริมาณสารละลายน้ำสบู่ที่ใช้ (ml)} = \text{น้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่าง (g)} \times 50 \qquad \text{(ฉ.1)}$$

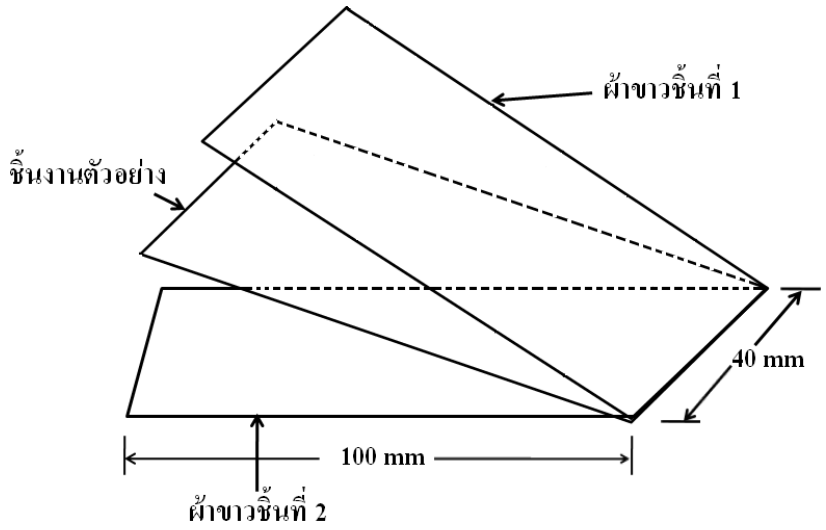


รูปที่ ฉ.1 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างประกบกับผ้าหลายเส้นใย

การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างประกบกับผ้าหลายเส้นใย (กรณีที่ชิ้นงานตัวอย่างเป็นเส้นใย) สามารถเตรียมชิ้นงานได้โดย ตัดผ้าหลายเส้นใยและผ้า Non-dyeable fabric ให้มีขนาด 40×100 mm จำนวน 1 และ 2 ชิ้นตามลำดับและชั่งน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักโดยให้มีน้ำหนักเป็น 0.5 เท่าของน้ำหนักผ้าหลายเส้นใย แล้วนำมาวางบนผ้า Non-dyeable fabric ให้เป็นแผ่น ทั้ง 2 ชิ้นเย็บริมทั้ง 4 ด้าน จากนั้นนำผ้าหลายเส้นใยมาประกบและเย็บริมทั้ง 4 ด้าน นำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอนเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณสารละลายน้ำสบู่ที่ต้องใช้ คำนวณได้จากสมการที่ ฉ.1

ฉ.1.2 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างประกบกับผ้าขาว 2 เส้นใย

การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างประกบกับผ้าขาว 2 เส้นใย (กรณีที่ชิ้นงานตัวอย่างเป็นผืนผ้า) เตรียมได้โดย ตัดชิ้นงานตัวอย่าง และผ้าขาว 2 เส้นใยตามความยาวของผ้าให้มีขนาด 40×100 mm อย่างละ 2 ชิ้น แล้วเย็บริมทั้ง 4 ด้าน จากนั้นนำชิ้นงานมาประกบกับผ้า 2 เส้นใย โดยให้ชิ้นงานอยู่ตรงกลางระหว่างผ้าขาวทั้งสอง และเย็บผ้าทางด้านกว้างเพียงด้านเดียว ดังรูปที่ ฉ.2 แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณสารละลายน้ำสบู่ที่ต้องใช้ คำนวณได้จากสมการที่ ฉ.1



รูปที่ ฉ.2 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างประกบกับผ้าขาว 2 เส้นใย

การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างประกบกับผ้าขาว 2 เส้นใย (กรณีที่ชิ้นงานตัวอย่างเป็นเส้นใย) สามารถเตรียมชิ้นงานได้โดย ตัดผ้าขาว 2 เส้นใย ขนาด 40×100 mm และชั่งน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักโดยให้มีน้ำหนักเป็น 0.5 เท่าของน้ำหนักผ้าขาว จำนวน 2 ชุด แล้วนำมาวางบนผ้าขาวให้เป็นแผ่นเท่ากับขนาดของผ้าขาว และเย็บริมทั้ง 4 ด้าน จากนั้นนำผ้าขาวมาประกบทั้งสองด้านและเย็บริมทั้ง 4 ด้าน นำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอนเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณสารละลายน้ำสบู่ที่ต้องใช้ จากสมการที่ ฉ.1

หลังจากเตรียมชิ้นงานตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบเรียบร้อยแล้ว จึงนำมาบรรจุลงในกระบอกโลหะที่มี น้ำ สบู่สังเคราะห์ ลูกบอลเหล็ก และคลอรีน(ถ้ามี) จากนั้นนำไปทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง ที่อุณหภูมิ 40 ± 2 °C และเวลา 30 นาที เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทดสอบจึงนำเส้นใยมาล้างน้ำและผึ่งให้แห้ง แล้วนำมาประเมินการเปลี่ยนแปลงของสีบนชิ้นงานตัวอย่าง และการเปื้อนสีบนผ้าที่ใช้ประกบโดยใช้เกรย์สเกลสำหรับประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงของสี และเกรย์สเกลสำหรับประเมินค่าการติดเปื้อนสี มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้างมีอยู่หลายมาตรฐาน และวิธีการซักล้างก็ยังสามารถทำได้หลายวิธี ดังนั้นจึงต้องเลือกมาตรฐานที่เหมาะสมกับวิธีการซักล้าง โดยในแต่ละมาตรฐานการทดสอบ จะมี อุณหภูมิ สารฟอกขาว ปริมาณการหมุนเวียนของน้ำ และปริมาณการใช้สบู่สังเคราะห์ ที่แตกต่างกัน

ฉ.2 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง

ในการออกแบบการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง จะต้องทำการออกแบบให้มีความใกล้เคียงกับธรรมชาติมากที่สุด ทั้งแหล่งกำเนิดแสงและภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อให้ได้ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงมีค่าใกล้เคียงกับผลทางธรรมชาติ มีความถูกต้อง

และให้ความสม่ำเสมอของการทดสอบ โดยกระบวนการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงสามารถแบ่งได้เป็น กระบวนการใช้แสงแดดธรรมชาติ และกระบวนการที่ใช้แสงแดดเทียมที่ติดตั้งภายในเครื่องทดสอบ เครื่องทดสอบที่นิยมใช้ เช่น เครื่องเวเธอร์ โอ มิเตอร์ (Weather-o-meter) และ เฟด โอ มิเตอร์ (Fade-o-meter) โดยเครื่องทดสอบทั้งสองเครื่องนี้เป็นเครื่องที่ใช้ในการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงที่นิยมใช้กันมาก ภายในเครื่องจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงแดดเทียมที่เลียนแบบแสงแดด โดยสามารถปรับอุณหภูมิ และความชื้นในเครื่องได้ ความแตกต่างของเครื่องทดสอบทั้งสองเครื่อง คือ เวเธอร์ โอ มิเตอร์ เป็นเครื่องที่ใหม่กว่า มีการพ่นน้ำและตั้งเวลาเปิดและปิดไฟในระหว่างการทดสอบได้ แต่สิ่งที่เหมือนกันของทั้งสองเครื่องนี้ คือ แหล่งกำเนิดแสงที่ติดตั้งภายในเครื่องจะต้องเลือกหลอดคาร์บอนอาร์ก (Carbon-arc Lamp) หรือ หลอดซีนอนอาร์ก (Xenon-arc Lamp) เพียงชนิดเดียวเท่านั้น เนื่องจากหลอดทั้งสองจะให้ผลการทดสอบที่แตกต่างกันและไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ ซึ่งการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดดและแสงแดดเทียมมีหลักการและวิธีการทดสอบ ดังนี้

ฉ2.1 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (แสงแดด) [29]

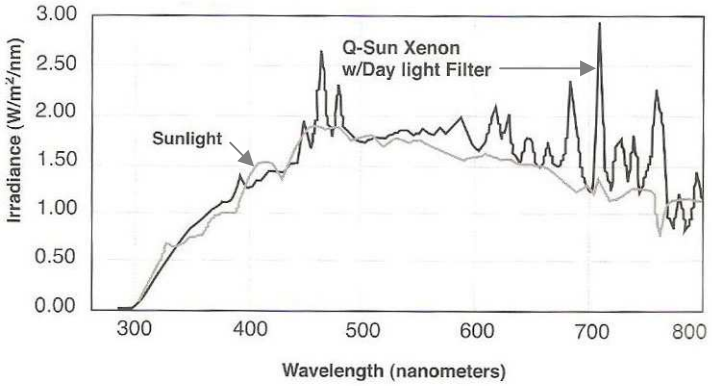
มาตรฐานการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (แสงแดด) ได้แก่ มาตรฐาน AATCC Test Method 16-2004 Option 6 มาตรฐาน ISO 105-B01:1994 (E) JIS L 0841 และมาตรฐาน มอก. 121 เล่ม 1-2518 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสงโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ เช่นแสงแดดจะต้องใช้เวลาในทดสอบนานพอสมควร และมีปัญหาเนื่องจากความเข้มของแสงแดดไม่คงที่ เช่น ฤดูกาลต่างๆ จะให้ความเข้มของแสงไม่เท่ากัน ทำให้ผลการทดสอบออกมาไม่ค่อยมีความแม่นยำ โดยวิธีการทดสอบโดยใช้แสงแดด มีดังนี้ นำเส้นใยที่จะทำการทดสอบมาติดกับผ้าใยขนสัตว์มาตรฐาน แล้วปิดทับด้วยกระจกใส จากนั้นปล่อยให้ถูกแสงแดดในช่วงเวลา 9.00-15.00 น. โดยจะเอียงตัวอย่างไปทางทิศใดนั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของประเทศที่ทำการทดสอบ เช่นประเทศที่อยู่ส่วนเหนือของโลกจะต้องเอียงตัวอย่างไปทางทิศใต้ และประเทศที่อยู่ส่วนใต้ของโลกจะต้องเอียงตัวอย่างไปทางทิศเหนือ ในระหว่างกระบวนการทดสอบถ้าชิ้นตัวอย่างมีความร้อนสะสมมากจะทำให้เกิดการซีดจางของสีได้เร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นการระบายอากาศของตัวอย่างจึงมีความสำคัญอย่างมากในการวัดค่าความคงทนของสีต่อแสงสามารถทำได้โดยนำตัวอย่างมาปิดทับด้วยกระดาษแข็งสีดำครึ่งหนึ่งและปิดทับผ้าขนสัตว์ที่ถูกย้อมด้วยมาตรฐานสีน้ำเงินด้วยกระดาษแข็งสีดำครึ่งหนึ่งเช่นกัน แสงนำไปส่องแสงให้มีความซีดจางเท่ากับเกรย์สเกลสีเทาหมายเลข 3 แล้วนำมาเปรียบเทียบกันระหว่างตัวอย่างที่ไม่ถูกแสงกับตัวอย่างที่ถูกแสง จากนั้นเปรียบเทียบกับผ้าใยขนสัตว์มาตรฐานและมาตรฐานที่สีซีดจาง ถ้าได้หมายเลข 6 หมายความว่าตัวอย่างจะมีค่าความคงทนของสีต่อแสงเท่ากับ 6 แต่เนื่องจากการทดสอบด้วยแสงแดดจะใช้เวลาในการทดสอบที่นาน และ มักจะขึ้นอยู่กับภูมิประเทศนั้นๆ ทำให้ผลการทดสอบที่ได้อาจจะไม่ค่อยแม่นยำนัก ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานมาใช้แทนแสงแดด

ฉ2.2 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียม [14,29]

ฉ.2.2.1 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสงซีนอนอาร์ก

มาตรฐานการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงซีนอนอาร์ก ได้แก่ มาตรฐาน AATCC Test Method 16-2004 Option 3 Option 4 และ Option 5 มาตรฐาน ISO 105-B02 :1994 (E) มาตรฐาน ISO 105-B04 :1994 (E) มาตรฐาน ISO 105-B06 :1994 (E) JIS L 0843 และ มาตรฐาน มอก. 121 เล่ม 2-2518

การทดสอบความคงทนของสีต่อแสงโดยใช้หลอดไฟซีนอนอาร์กแทนแสงแดดจากธรรมชาติ ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบเพื่อหาค่าความคงทนของสีบนวัสดุสิ่งทอทุกชนิด และยังใช้ทดสอบวัสดุสิ่งทอที่มีสีขาวหรือย้อมขาว โดยแสงซีนอนอาร์กมีหลักการการกระจายพลังงานดังนี้ หลอดไฟซีนอนอาร์กจะให้แสงโดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านแก๊ส ดังนั้นจึงทำให้เกิดแสงที่มีการกระจายพลังงานอยู่ในช่วงของรังสีอัลตร้าไวโอเวต (UV light) และรังสีอินฟราเรด (Infrared light) และมีอุณหภูมิ 5500-6500 K จากนั้นใช้กระจกกรองแสงเพื่อลดความเข้มของรังสีอัลตร้าไวโอเวตลงและใช้อุปกรณ์กรองความร้อนเพื่อลดความเข้มของรังสีอินฟราเรดให้ต่ำลง จึงทำให้แสงซีนอนอาร์กที่ได้มีการกระจายพลังงานที่ความยาวคลื่นต่างๆ ใกล้เคียงกับแสงแดด ดังรูปที่ ฉ.3



รูปที่ฉ.3 การเปรียบเทียบการกระจายพลังงานของแสงซีนอนอาร์กและแสงแดด[15]

การทดสอบความคงทนของสีต่อแสงตามมาตรฐาน ISO 105-B02 :1994 (E) สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือAir-Cooled หรือ Water-Cooled Xenon arc lamp โดยขนาดของตัวอย่างที่นำมาทดสอบขึ้นอยู่กับจำนวนของตัวอย่างหรือรูปร่างของตัวรองรับตัวอย่างในเครื่องทดสอบ เช่น ถ้าใช้เครื่องทดสอบ Water-Cooled ขนาดของตัวอย่างกับขนาดของตัวรองรับตัวอย่างไม่จำเป็นที่จะต้องมีขนาดเท่ากัน ซึ่งขนาดของตัวรองรับมีขนาดที่แน่นอนคือ 70×120 mm และต้องนำชิ้นงานไปติดบนกระดาษขาว แต่ถ้าใช้ Air-Cooled ในการทดสอบ ตัวอย่าง และผ้าใยขนสัตว์มาตรฐาน จะต้องมีรูปร่างและขนาดเท่ากัน มีขนาดอย่างน้อย 45×10 mm ระดับความคงทนตามมาตรฐานนี้จะใช้ผ้าใยขนสัตว์ระดับความคงทนของสีต่อแสง 1 - 8 และ ผ้าใยขนสัตว์

ระดับความคงทนของสีต่อแสง L2 - L9โดยผ้าใยขนสัตว์มาตรฐานระดับความคงทนของสีต่อแสง 1 - 8 ถูกผลิตขึ้นในยุโรป และสีที่นำมาใช้ย้อมผ้า แสดงได้ดังตารางที่ ฉ.2

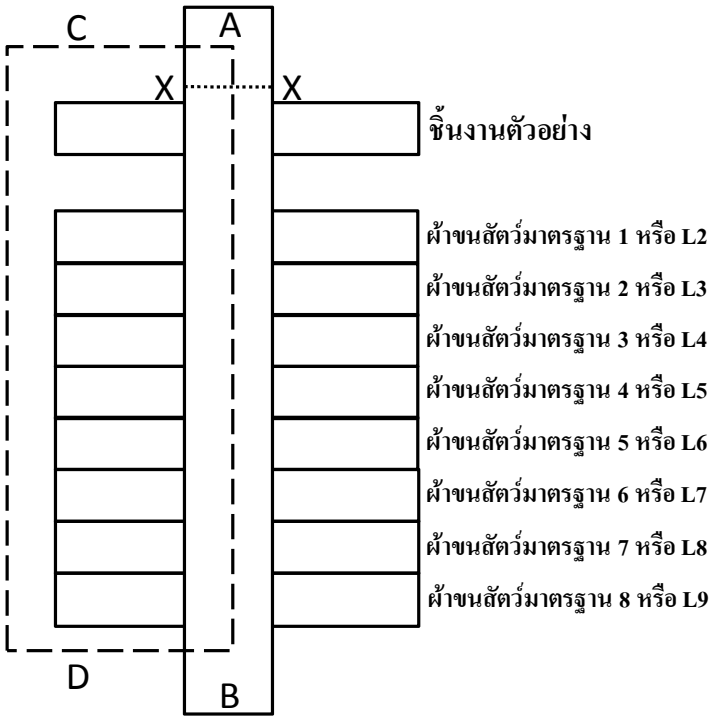
ตารางที่ ฉ.2 สีที่ใช้ในการย้อมผ้าขนสัตว์ [14]

ระดับความคงทนของสีต่อแสง	สีย้อม	ระดับคุณภาพ
1	CI.Acid Blue 104	ต่ำมาก
2	CI.Acid Blue 109	ต่ำ
3	CI.Acid Blue 83	พอใช้
4	CI.Acid Blue 121	ปานกลาง
5	CI.Acid Blue 47	ดี
6	CI.Acid Blue 23	ดีมาก
7	CI.Solubilized Vat Blue 5	ดีเยี่ยม
8	CI.Solubilized Vat Blue 5	ดีเลิศ

ส่วนผ้าใยขนสัตว์มาตรฐานระดับความคงทนของสีต่อแสง L2 - L9 จะผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของสีย้อม CI. Mordant Blue 1 และ CI. Solubilized Vat Blue 8 โดยความคงทนจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ในแต่ละระดับ ซึ่งการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงตามมาตรฐานนี้ จะมีวิธีการทดสอบ 5 วิธีดังนี้

ฉ.2.2.1.1 การทดสอบหาค่าความคงทนของสีต่อแสงวิธีที่ 1

วิธีนี้จะใช้ชิ้นงานตัวอย่างเพียงชิ้นเดียว โดยนำชิ้นงานตัวอย่างและผ้าใยขนสัตว์มาตรฐานมาวางเรียงกันดังรูปที่ ฉ.4 และปิดทับด้วยแผ่นทึบแสงไปที่จุดกึ่งกลางของผ้า (ที่ตำแหน่ง AB) นำไปวางในเครื่องทดสอบโดยมีแหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดซีนอนอาร์ก ภายใต้ภาวะที่กำหนด ให้ผึ่งแสงจนกระทั่งสังเกตเห็นความแตกต่างระหว่างส่วนที่ปิดด้วยแผ่นทึบแสงกับส่วนที่ถูกแสงมีค่าเกรย์สเกลเท่ากับ 4 โดยระหว่างนี้ให้เปิดแผ่นทึบแสงดูอย่างสม่ำเสมอเพื่อสังเกตสิ่งที่เปลี่ยนแปลง จากนั้นให้นำแผ่นทึบแสงอีก 1 อันมาวางในตำแหน่ง CD แล้วผึ่งแสงต่อไปอีกจนมีความแตกต่างระหว่างส่วนที่โดนแสงกับส่วนที่ไม่โดนแสงมีค่าเกรย์สเกลเท่า 3 และสำหรับชิ้นงานทดสอบที่มีสีขาวให้ทำการผึ่งแสงต่อจนส่วนที่ถูกแสงกับส่วนที่ไม่ถูกแสงมีค่าเกรย์สเกลเท่ากับ 4 จากนั้นเก็บชิ้นงานมาประเมินความคงทนของสีต่อแสง โดยรายงานผลเป็นตัวเลข 1-8 ถ้าใช้ผ้าใยขนสัตว์มาตรฐานระดับความคงทนของสีต่อแสง 1 - 8 และถ้าใช้ผ้าใยขนสัตว์มาตรฐานระดับความคงทนของสีต่อแสง L2 - L9 ให้รายงานผลเป็น L2 - L9



รูปที่ ฉ.4 การวางชิ้นงานตัวอย่างและผ้าขนสัตว์มาตรฐานในวิธีที่ 1

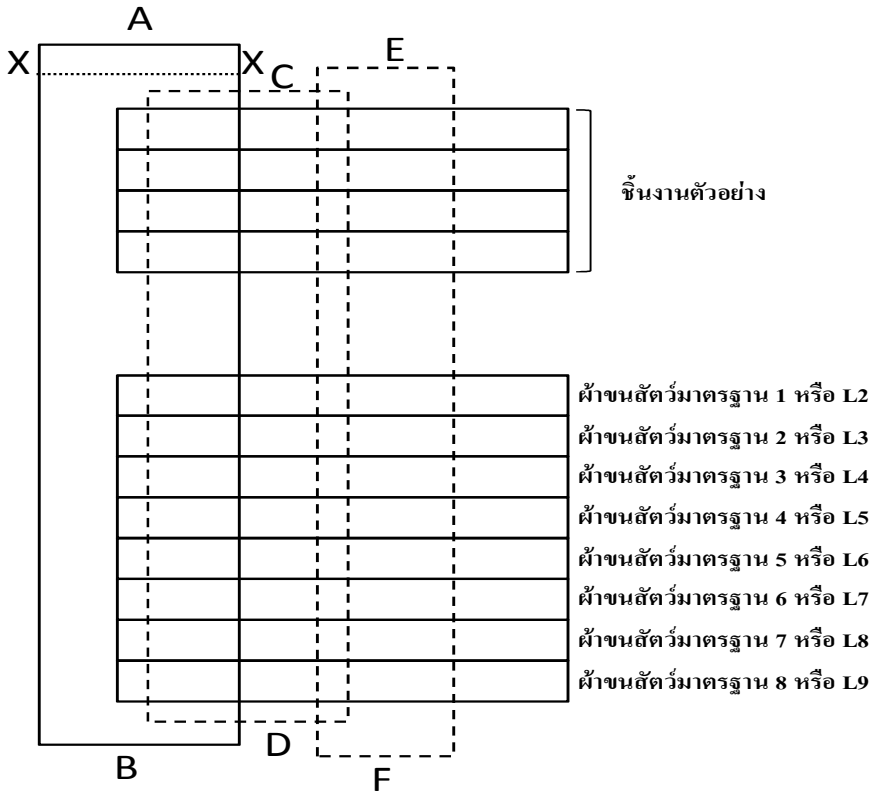
เมื่อ AB แผ่นทึบแสงแผ่นที่ 1

CD แผ่นทึบแสงแผ่นที่ 2

XX คือ ตำแหน่งของบานพับที่ถูกทำขึ้นบนแผ่นทึบแสงแผ่นที่ 1 เพื่อเปิดดูชิ้นงานตัวอย่างและผ้าขนสัตว์มาตรฐาน

ฉ.2.2.1.2 การทดสอบหาค่าความคงทนของสีต่อแสงวิธีที่ 2

วิธีนี้เหมาะสำหรับเวลาที่มีชิ้นงานตัวอย่างหลายชิ้น โดยการวางชิ้นงานทดสอบจะแสดงได้ ดังรูปที่ ฉ.5 ปิดชิ้นงานทดสอบด้วยแผ่นทึบแสง AB แล้วนำไปวางในเครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อแสงภายใต้ภาวะที่กำหนด โดยให้ดูเป็นระยะเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสีเทียบกับส่วนที่ปิดไว้ไม่ให้ถูกแสง เมื่อผ้าขนสัตว์มาตรฐาน 2 มีการเปลี่ยนแปลงของสีเท่ากับเกรย์สเกลระดับ 3 และหาระดับความคงทนของสีทำได้โดยการเปรียบเทียบกับสีที่เปลี่ยนไปของผ้าขนสัตว์มาตรฐาน 1, 2 และ3 หรือ L2 จากนั้นให้วางแผ่นทึบแสง AB ไว้ที่ตำแหน่งเดิมและนำไปผึ่งแสงต่อจนผ้าขนสัตว์มาตรฐาน 4 หรือ L3 มีการเปลี่ยนแปลงของสีเท่ากับเกรย์สเกลระดับ 4 จึงนำแผ่นทึบแสง CD มาวางบนชิ้นงานดังรูป ฉ.5 และผึ่งชิ้นงานต่อจนกระทั่งผ้าขนสัตว์มาตรฐาน 6 หรือ L4 เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีมีค่าเกรย์สเกลระดับ 4 แล้วจึงนำแผ่นทึบแสง EF มาวางที่ตำแหน่งในรูปที่ ฉ.5 แล้วนำไปผึ่งแสงอีกครั้ง



รูปที่ ฉ.5 การวางชิ้นงานตัวอย่างและผ้าขนสัตว์มาตรฐานในวิธีที่ 2

เมื่อ AB คือ แผ่นทึบแสงแผ่นที่ 1

CD คือ แผ่นทึบแสงแผ่นที่ 2

EF คือ แผ่นทึบแสงแผ่นที่ 3

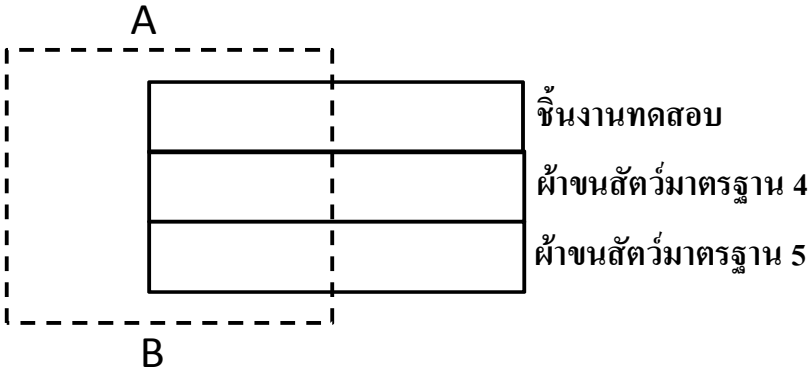
XX คือ ตำแหน่งของบานพับที่ถูกทำขึ้นบนแผ่นทึบแสงแผ่นที่ 1 เพื่อเปิดดูชิ้นงานตัวอย่างและผ้าขนสัตว์มาตรฐาน

เมื่อนำชิ้นงานทดสอบไปผึ่งแสงในเครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อแสงอีกครั้งจนกระทั่งเกิดการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานอย่างใดอย่างหนึ่งคือ ผ้าขนสัตว์มาตรฐาน 7 หรือ L7 เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี หรือ ชิ้นงานทดสอบที่มีความคงทนสูงสุดเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเท่ากับเกรย์สเกลระดับ 3 และสำหรับชิ้นงานที่เป็นสีขาวมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีของส่วนที่ถูกแสงกับส่วนที่ไม่ถูกแสง มีค่าเกรย์สเกลเท่ากับ 4 จากนั้นเก็บชิ้นงานมาประเมินความคงทนของสีต่อแสง โดยรายงานผลเป็นตัวเลข 1-8 และ ถ้าใช้ผ้าใยขนสัตว์มาตรฐานระดับความคงทนของสีต่อแสง L2 - L9 ให้รายงานผลเป็น L2 - L9

ฉ.2.2.1.3 การทดสอบหาค่าความคงทนของสีต่อแสงวิธีที่ 3

วิธีการทดสอบหาค่าความคงทนของสีต่อแสงด้วยวิธีนี้ ลูกค้าที่นำชิ้นงานมารับการทดสอบจะเป็นผู้ที่กำหนดค่ามาตรฐานเอาไว้ก่อนแล้ว ดังนั้นผ้าขนสัตว์มาตรฐานชิ้นแรกที่จะนำมาทดสอบ จะต้องมีระดับความคงทนในระดับเดียวกับชิ้นงานทดสอบ และผ้าขนสัตว์มาตรฐานอีกชิ้นจะต้องมีระดับความคงทนต่ำกว่ามาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด 1 ระดับ เช่น ลูกค้า

กำหนดค่ามาตรฐานไว้ที่ระดับ 5 ดังนั้นผ้าขนสัตว์มาตรฐานที่จะนำมาทดสอบ คือผ้าขนสัตว์มาตรฐาน 5 และ4 จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบและผ้าขนสัตว์มาตรฐานมาเรียงติดบนกระดาษแข็ง และปิดด้วยแผ่นทึบแสง AB ดังรูปที่ ฉ.6

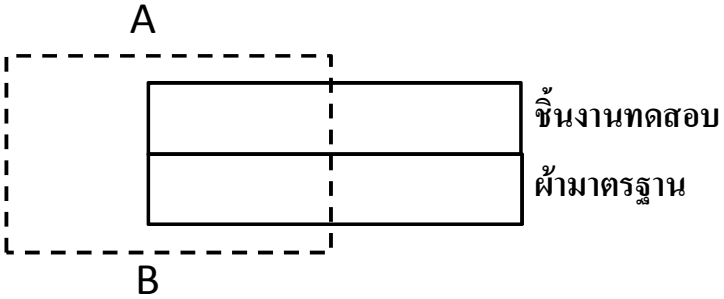


รูปที่ ฉ.6 การวางชิ้นงานทดสอบและผ้าขนสัตว์มาตรฐานในวิธีที่ 3
เมื่อ AB คือ แผ่นทึบแสง

จากนั้นนำไปผึ่งแสงที่เครื่องทดสอบค่าความคงทนของสีต่อแสง ในภาวะที่กำหนด จนกระทั่งผ้าขนสัตว์มาตรฐานที่ระดับสูงสุดมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีมีค่าเกรย์สเกลเท่ากับ 4 เช่นเดียวกับชิ้นงานทดสอบที่มีสีขาว ส่วนที่ถูกแสงกับส่วนที่ไม่ถูกแสงของผ้าขนสัตว์มาตรฐานระดับสูงสุดมีค่าเกรย์สเกลเท่ากับ 4 และเก็บชิ้นงานมาประเมินค่าความคงทนของสีต่อแสง โดยรายงานผลเป็น “Satisfactory” และ “Unsatisfactory”

ฉ.2.2.1.4 การทดสอบหาค่าความคงทนของสีต่อแสงวิธีที่ 4

วิธีการทดสอบหาค่าความคงทนของสีต่อแสงด้วยวิธีนี้จะไม่ใช้ผ้าขนสัตว์มาตรฐาน แต่จะใช้ผ้ามาตรฐานที่ลูกค้ากำหนดเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานทดสอบที่ลูกค้าต้องการทราบระดับความคงทนของสีต่อแสงว่ามีระดับความคงทนต่างกันหรือไม่ โดยนำผ้ามาตรฐานที่ลูกค้ากำหนดและชิ้นงานทดสอบที่ลูกค้าต้องการทราบระดับความคงทนของสีมาเรียงติดบนกระดาษแข็ง และปิดด้วยแผ่นทึบแสง AB ดังรูปที่ ฉ.7



รูปที่ ฉ.7 การวางชิ้นงานทดสอบและผ้ามาตรฐานในวิธีที่ 4
เมื่อ AB คือ แผ่นทึบแสง

จากนั้นนำการวางชิ้นงานทดสอบและผ้ามาตรฐานไปผึ่งแสงในเครื่องทดสอบค่าความคงทนของสีต่อแสง จนกระทั่งผ้ามาตรฐานมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีและส่วนที่ถูกแสงกับส่วนที่ไม่ถูกแสงของผ้าขนสัตว์มาตรฐานระดับสูงสุดมีค่าเกรย์สเกลเท่ากับ 4 เช่นเดียวกับชิ้นงานทดสอบที่มีสีขาว และเก็บชิ้นงานมาประเมินค่าความคงทนของสีต่อแสง โดยรายงานผลเป็น “Satisfactory” และ “Unsatisfactory”

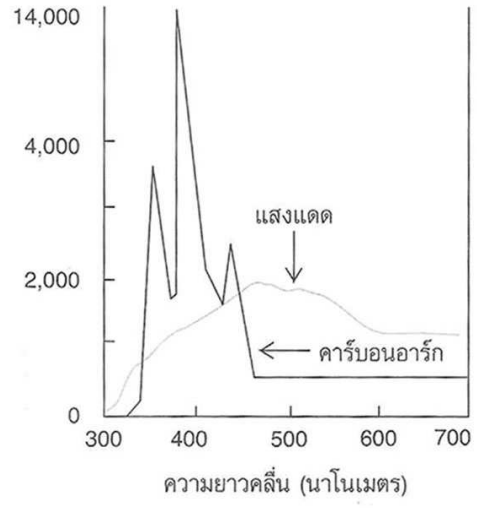
ฉ.2.2.1.5 การทดสอบหาค่าความคงทนของสีต่อแสงวิธีที่ 5

วิธีการทดสอบหาค่าความคงทนของสีต่อแสงด้วยวิธีนี้จะนำชิ้นงานทดสอบเข้าไปทดสอบเพียงอย่างเดียวหรือจะทดสอบพร้อมกับผ้าขนสัตว์มาตรฐานก็ได้ โดยจะมีการตกลงกันระหว่างลูกค้ากับผู้ทดสอบในเรื่องของระดับพลังงานในการแผ่รังสีที่ใช้ในการทดสอบ และชิ้นงานจะถูกผึ่งแสงตามปริมาณของระดับพลังงานในการแผ่รังสีที่กำหนด จากนั้นนำชิ้นงานออกมาเพื่อประเมินระดับความคงทนของสีต่อแสง จากนั้นเก็บชิ้นงานมาประเมินความคงทนของสีต่อแสง โดยรายงานผลเป็นตัวเลข 1-8 และ ถ้าใช้ผ้าใยขนสัตว์มาตรฐานระดับความคงทนของสีต่อแสง L2 - L9 ให้รายงานผลเป็น L2 - L9 และถ้าใช้ Gray Scale ก็รายงานผลตามตัวเลขของเกรย์สเกล

ฉ.2.2.2 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (แสงคาร์บอนอาร์ก)

มาตรฐานการทดสอบความคงทนของสีต่อ แสงคาร์บอนอาร์ก ได้แก่มาตรฐาน AATCC Test Method 16-2004 Option 1 และ Option 2 และมาตรฐาน JIS L 0842

แสงคาร์บอนอาร์กเป็นแสงประดิษฐ์หรือแสงแดดเทียมที่ได้จากหลอดไฟคาร์บอนอาร์ก จะเปล่งแสงออกมาทั้งการลุกโชติช่วงของอิเล็กโทรดและจากการเรืองแสงของไอระเหยของสารที่ใช้ผลิตอิเล็กโทรด แสงคาร์บอนอาร์กที่ได้จากการกระจายพลังงานที่ความยาวคลื่นต่างๆ แตกต่างจากแสงแดด ดังรูปที่ ฉ.8



รูปที่ ฉ.8 การเปรียบเทียบการกระจายพลังงานของแสงคาร์บอนอาร์กและแสงแดด [13]

จากการเปรียบเทียบกราฟในรูปที่ ฉ.3 และ ฉ.8 พบว่าสเปกตรัมของรังสีที่ปล่อยออกมาจากแสงซีนอนอาร์ก มีความใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติมากกว่าสเปกตรัมของแสงคาร์บอนอาร์ก ดังนั้นวิธีทดสอบความคงทนของสีต่อแสงที่ใช้แสงซีนอนอาร์ก จะให้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือ และใกล้เคียงธรรมชาติมากกว่าแสงคาร์บอนอาร์ก

ฉ.3 ความคงทนของสีต่อเหงื่อ

เหงื่อที่ถูกขับออกมาจากร่างกายของแต่ละคนจะมีภาวะความเป็นกรดและด่างต่างกัน เนื่องจากในร่างกายของแต่ละคนจะมีเหงื่อที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งเหงื่อเป็นสารละลายที่เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ ดังนั้นในการทดสอบหาค่าความคงทนของสีต่อเหงื่อจึงต้องมีการเตรียมสารละลายเหงื่อเทียมที่ภาวะกรด (Acid artificial perspiration solution) และสารละลายเหงื่อเทียมที่ภาวะด่าง (Alkaline artificial perspiration solution) เนื่องจากภาวะทั้งสองนี้อาจจะทำปฏิกิริยากับสีย้อม และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีได้

การเตรียมเหงื่อเทียมที่ใช้ในการทดสอบ สามารถเตรียมได้ดังนี้

ฉ.3.1 การเตรียมเหงื่อเทียมที่ภาวะด่าง

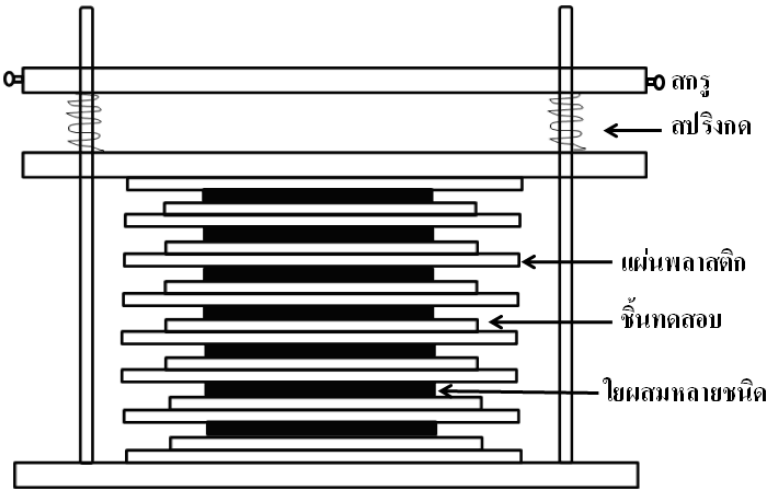
การเตรียมเหงื่อเทียมที่ภาวะด่างจะต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งก่อนที่จะนำไปใช้ทดสอบ โดยนำL-histidine monohydrochloride monohydrate($C_6H_9O_2N_3.HCl.H_2O$) Sodium chloride(NaCl) ในปริมาณอย่างละ 5 g และ Disodium hydrogen orthophosphate dodeca hydrat($Na_2HPO_4.12H_2O$) ปริมาณ 5 g หรือDisodium hydrogen orthophosphate dihydrat ($Na_2HPO_4.2H_2O$) ปริมาณ 2.5g จากนั้นละลายสารเคมีทั้งหมดใน volumetric flask ปริมาตร 1 l และปรับ pH ด้วย Sodium hydroxyl 0.1 mol/l ให้มี pH 8.0

ฉ.3.2 การเตรียมเหงื่อเทียมที่ภาวะกรด

การเตรียมเหงื่อเทียมที่ภาวะกรด จะต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งก่อนที่จะนำไปใช้ทดสอบ L-histidine monohydrochloride monohydrate ($C_6H_9O_2N_3.HCl.H_2O$) Sodium chloride (NaCl) ในปริมาณอย่างละ 5.0 g และ Sodium dihydrogen orthophosphate dihydrat ($NaH_2PO_4.2H_2O$) ปริมาณ 2.2 g จากนั้นละลายสารเคมีทั้งหมดใน volumetric flask ปริมาตร 1 1 และปรับ pH ด้วย Sodium hydroxyl 0.1 mol/l ให้มี pH 5.5

การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อตามมาตรฐานนี้ ใช้ในการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อของเส้นใยสิ่งทอทุกชนิดและทุกลักษณะที่มีสี ซึ่งเส้นใยสิ่งทอที่นำมาทำการทดสอบสามารถเตรียมชิ้นงานทดสอบเหมือนกับการเตรียมชิ้นงานทดสอบที่ใช้ในการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง และเตรียมชิ้นงานทดสอบแยกออกเป็น 2 ชุด โดยชิ้นงานทดสอบชุดแรกจะนำไปทดสอบในสารละลายเหงื่อเทียมที่มีภาวะเป็นกรด และชิ้นงานทดสอบชุดที่สองนำไปทดสอบในสารละลายเหงื่อเทียมที่มีภาวะเป็นด่าง โดยมีขั้นตอนการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อเทียม

ดังนี้ นำชิ้นงานทดสอบมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอนและนำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสารละลายเหงื่อเทียมที่ใช้ในการทดสอบโดยใช้สมการที่ ฉ.1 จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบไปแช่ในสารละลายเหงื่อเทียมที่เตรียมไว้ เป็นเวลา 30 นาที และกำจัดสารละลายส่วนเกินบนชิ้นงานทดสอบออกโดยการใช้แท่งแก้วบีบอัดชิ้นงานแล้วนำไปวางบนแผ่นอะคริลิกที่อยู่ในเครื่องทดสอบดังรูปที่ ฉ.9 และปรับให้มีแรงกด 12.5 KPa ซึ่งจะต้องแยกเครื่องทดสอบที่ใช้เป็น 2 ชุด (ห้ามใช้เครื่องทดสอบเครื่องเดียวกัน) จากนั้นนำเครื่องทดสอบไปวางในตู้อบที่อุณหภูมิ 37±2 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อถึงเวลาที่กำหนดในการทดสอบให้นำชิ้นงานทดสอบออกจากตู้อบและผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60°C โดยการแขวนไว้กับราวแขวน เมื่อชิ้นงานทดสอบแห้งแล้ว จึงนำชิ้นงานทดสอบไปประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงของสี และค่าการติดเปื้อนของสีด้วย Grey scale



รูปที่ ฉ.9 เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ

ภาคผนวก ช

ตารางบันทึกข้อมูลผลการทดลอง

ข้อมูลผลการทดลองจากการศึกษาการย้อมสีเส้นใยไหมด้วย SC-CO_2 ที่ภาวะต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ ช.1

ตารางที่ช.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

ครั้งที่	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (MPa)	เวลา (นาที)	น้ำหนักเส้นใยไหมหลังการย้อม (g)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 nm
1	50	15	30	0.0178	0.002
2	50	15	60	0.0182	0.004
3	50	15	90	0.0190	0.005
4	50	15	120	0.0177	0.007
5	50	15	150	0.0181	0.008
6	50	15	180	0.0203	0.010
7	50	15	210	0.0205	0.010
8	50	15	240	0.0193	0.010
9	60	15	30	0.0186	0.002
10	60	15	60	0.0198	0.005
11	60	15	90	0.0175	0.007
12	60	15	120	0.0178	0.008
13	60	15	150	0.0179	0.009
14	60	15	180	0.0187	0.011
15	60	15	210	0.0202	0.012
16	60	15	240	0.0201	0.012
17	70	15	30	0.0175	0.004
18	70	15	60	0.0179	0.007
19	70	15	90	0.0174	0.009
20	70	15	120	0.0171	0.010
21	70	15	150	0.0170	0.012
22	70	15	180	0.0186	0.014
23	70	15	210	0.0191	0.015
24	70	15	240	0.0189	0.015

ภาคผนวก ฌ

อุปกรณ์การทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการการย้อมสีเส้นใยไหมด้วย SC-CO_2

รูปที่ ฌ.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบอัดความดันสูง

รูปที่ ฌ.2 เครื่อง UV/Vis Spectrophotometer

รูปที่ ฌ.3 ปั๊มอัดความดันสูง Isco Model 260 D

รูปที่ ฌ.4 เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์

รูปที่ ฌ.5 ชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์