

อัตราเร็วการดูดซับกรดแลกติกบนเส้นไหม

ดร.ไพศาล คงกาญจนาย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น.นที ชินวงศ์อมร

นิสิตปริญญาโท

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดร.อรุณศิริ ชิตางกูร

อาจารย์

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

จากการย้อมสีเส้นไหมด้วยสีแดงจากครั่ง ซึ่งเป็นสีธรรมชาติที่ได้จากแมลง ครั่งและมีการดัดแปลงเป็นสารให้สีแดงเมื่อละลายน้ำ ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ ของกระบวนการย้อมที่อุณหภูมิต่างกัน โดยนำเส้นไหมพันธุ์ลูกผสมที่ผ่านการลอก กาวไปย้อมด้วยน้ำย้อมสีครั่งที่แยกเอาสารสีเหลืองซึ่งเป็นสารเอวไรโซแลคซินออก จากนั้นหาปริมาณสีที่ถูกดูดซับบนเส้นไหมที่เวลาต่างๆ จนถึงสภาวะสมดุล พบว่า เมื่อ ทำการย้อมที่อุณหภูมิต่างกันคือ 28° 60° และ 80°C ตามลำดับ มีผลทำให้อัตรา เร็วของการดูดซับสีมีค่าเพิ่มขึ้นและใช้เวลาน้อยลงในการเข้าสู่ภาวะสมดุลคือ 5,760 นาที 180 นาที และ 90 นาทีตามลำดับ ขณะที่ปริมาณสีสูงสุดที่ถูกดูดซับของสีที่ วัดหาได้โดยใช้ UV-vis spectrometer มีค่าลดลงดังนี้ 12.271 มก./กรัมไหม 4.756 มก./กรัมไหม และ 0.496 มก./กรัมไหม ตามลำดับ และจากการคำนวณ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ปรากฏพบว่า มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนี้ 3.10×10^{-10} ซม.²/วินาที 10.051×10^{-9} ซม.²/วินาที และ 11.938×10^{-9} ซม.²/วินาที ตามลำดับ

Rate of Adsorption of Laccase on Silk Fiber

Paisan Kongkachuichay

Assistant Professor,

Department of Chemical Engineering, Kasetsart University

Nontalee Chinwongamon

Master Student,

Department of Chemical Engineering, Kasetsart University

Arunsi Chitangkoon

Lecturer,

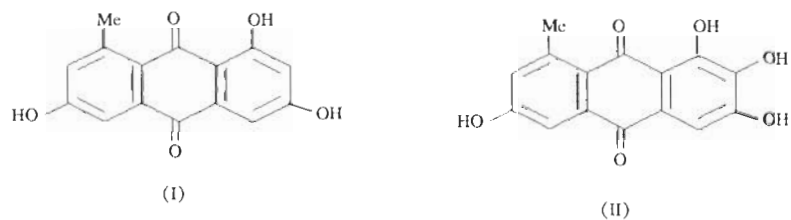
Department of Chemistry, Chulalongkorn University

Abstract

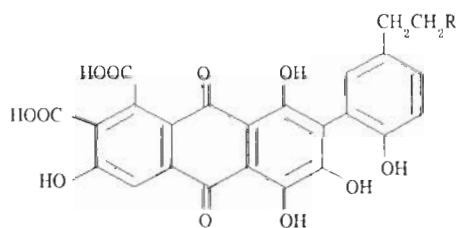
The effect of temperatures on the rate of adsorption of laccase on silk fiber was investigated. After degummed, silk fiber, the hybrid race, was dyed with lac dye (laccase) which erythrolaccin had been removed first. The dyeing temperatures were set at 28°, 60° และ 80° C. The amount of adsorbed dye on fiber was measured by UV-vis spectrophotometer. The results showed that the rate of adsorption of laccase on silk fiber increased when dyeing temperatures were increased. The time required to reach the maximum adsorption was decreased from 5,760 min 180 min และ 90 min respectively. The maximum adsorption occurred at 12.271 mg/g silk, 4.756 mg/g silk, and 0.496 mg/g silk, respectively. Finally, the apparent diffusion coefficient was found to be increased from 3.10×10^{-10} cm²/sec to 10.051×10^{-9} cm²/sec and 11.938×10^{-9} cm²/sec.

บทนำ

สีครั่ง (C.I. natural red 25; lac dye; C.I. 75450)[1] ได้มาจากแมลง "ครั่ง (coccus laccae)" มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Laccifer Lacca Keer*[2,3] อยู่ในวงศ์ Lacciferidae อาศัยอยู่ตามต้นก้ามปู ตะคร้อ สะแก ทองกวาว เป็นต้น เมื่อแกะเอารังครั่งออกจากกิ่งไม้จะได้ครั่งดิบ (stick lac) ครั่งดิบมีสารสีอยู่ 2 ชนิดคือ กรดแลคคาอิก (laccaic acid) ให้สีแดงหรือที่เรียกกันว่า "สีครั่ง" จะละลายได้ดีในน้ำ และเอริโทรแลคซิน (erythrolaccin) ให้สีเหลืองจะละลายได้เฉพาะในแอลกอฮอล์และมีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 1 ส่วนกรดแลคคาอิกเป็นสารประกอบที่มีสูตรโครงสร้างหลักเป็นพวงแอนทราควิโนนที่แตกต่างกันไม่น้อยกว่า 4 ชนิดคือ กรดแลคคาอิก เอ บี ซี และดี แต่ที่เป็นองค์ประกอบหลักมีเพียงกรดแลคคาอิก เอ และบี ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2[4-6] เมื่อทำการสกัดครั่งดิบที่บดเป็นผงด้วยน้ำ ได้สีครั่งประมาณ 1% โดยน้ำหนักของครั่งดิบ[7]

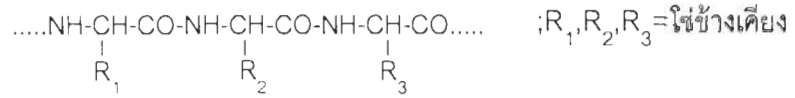


รูปที่ 1 สูตรโครงสร้างของ (I) Deosyerythrolaccin และ (II) Isoerythrolaccin



รูปที่ 2 สูตรโครงสร้างของกรดแลคคาอิก เอ (R = NHCOCH₃) และบี (R = OH)

เส้นไหมเป็นเส้นใยพอลิเอไมด์ (polyamide)[8] ที่หนอนไหมสร้างใยขึ้นมาประกอบด้วย กรดแอลฟาอะมิโนต่างชนิดต่อกันเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ยาวด้วยการควบแน่นและกำจัดน้ำออก (condensation polymerization) และมีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 สูตรโครงสร้างของเส้นใยไหม

ใยไหมประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่เป็นเส้นใยแท้จริง (fibroin protein) และส่วนที่เป็นกา (sericin protein) นอกจากนั้นยังประกอบด้วยสารชนิดอื่นอีกหลายชนิด เช่น ซีผึ้ง ไชมัน สีธรรมชาติ เกลือ และอื่นๆ ซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ทำให้เส้นไหมดิบมีลักษณะแข็ง กระด้างและไม่เป็นเงา ดังนั้น ก่อนการย้อมสีต้องลอกกาและฟอกสีก่อน[8]

กลไกของกระบวนการย้อมสีแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลัก[9] คือ (1) การแพร่ของโมเลกุลสีจากกระแสหลัก (bulk fluid) ไปยังผิวของเส้นใย (2) การแพร่ของโมเลกุลสีจากผิวของเส้นใยไปยังเนื้อเส้นใย และ (3) การดูดซับโมเลกุลสีบนผิวของเส้นใย ซึ่ง 3 ขั้นตอนนี้จะจะมีอัตราเร็วที่แตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่อัตราเร็วโดยรวมของการย้อมจะถูกควบคุมด้วยขั้นตอนการแพร่ซึ่งเกิดขึ้นที่สุด และสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ภายในเนื้อเส้นใยที่มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกที่มีความยาวมากๆ (infinite rod) และมีพื้นที่หน้าตัดคงที่ (รัศมี = a) ที่เวลาต่างๆ (t) ได้จากสมการของ Hill ดังนี้

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 0.692e^{-5.7851D/a^2} + 0.190e^{-30.51D/a^2} + 0.0775e^{-74.51D/a^2}$$

ด้วยการวัดปริมาณสีที่ถูกดูดซับโดยเส้นใยที่เวลาต่างๆ (M_t) เทียบกับปริมาณสีสูงสุดที่ถูกดูดซับโดยเส้นใย (M_∞) ก็จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่เวลาต่างๆ (D) ได้ และค่าเฉลี่ยของ D คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ปรากฏ (apparent diffusion coefficient, D_a) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงอัตราเร็วของกระบวนการย้อมสีนั่นเอง ดังนั้น D_a ที่สูงขึ้นหมายถึง อัตราเร็วการย้อมที่เพิ่มขึ้น[10]

ในประเทศไทยโดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นิยมนำสีก้อมมาย้อมไหมโดยใช้ควบคู่กับสารช่วยติดชนิดต่างๆ เช่น สารส้ม กรดทาร์ทาริก น้ำมะขาม น้ำใบเหมือด เป็นต้น [11-13] อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาในเชิงวิทยาศาสตร์ของกระบวนการย้อม ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษากลไกกระบวนการย้อมไหมด้วยสีแดงจากครั่ง โดยมุ่งหวังจะเพิ่มผลที่ได้ในการพัฒนาคุณภาพของผ้าไหมที่ทอจากเส้นไหมย้อมสีครั่งต่อไป

วัตถุดิบและอุปกรณ์

เส้นไหมที่ใช้ในการทดลองเป็นไหมพันธุ์ลูกผสม (ไหมขาว) พันธุ์จุล 5 จากบริษัทจุลไหมไทย จ.เพชรบูรณ์ และครั่งดิบได้จาก อ.บ้านเขว้า จ.ชัยภูมิ การย้อมทำในเครื่องย้อม SP110 (บริษัท UGOLINI srl, Italy) ซึ่งสามารถตั้งโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิ เวลา และความเร็วรอบของการไหลเวียนของน้ำย้อมได้

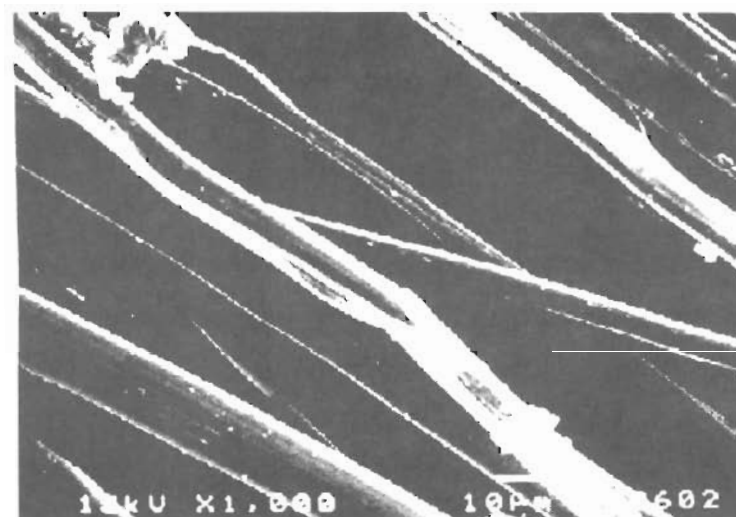
วิธีการทดลอง

การเตรียมเส้นใยไหม

นำเส้นไหมพันธุ์จุล 5 (ไหมดิบ) ไปผ่านการลอกกา โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักไหม (กรัม) ต่อปริมาตรน้ำสบู่ (มล.) เท่ากับ 1 : 30 ต้มเส้นไหมในน้ำสบู่ (chip-soap solution) มีความเข้มข้น 15% โดยน้ำหนักของเส้นไหมดิบ ที่อุณหภูมิ 80–90°C นาน 15 นาที และล้างด้วยน้ำอุ่นหลายๆ ครั้ง จากนั้นแช่ในสารละลายกรดอะซิติก 1% โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 50°C นาน 15 นาที แล้วล้างน้ำอุ่นหลายๆ ครั้ง จนสะอาด แยกเป็นใจเล็กๆ หนักใจละ 10 กรัม เก็บไว้ในโถกันความชื้น

จากการนำเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาแล้วไปถ่ายภาพกำลังขยายสูงด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) แสดงดังรูปที่ 4 จากรูปสามารถหาขนาดรัศมีของไฟบริล (fibril) ได้เท่ากับ 3.75 ไมครอน เมื่อนำไปหาค่าดีเนียร์ (น้ำหนักของเส้นใยในหน่วยกรัมต่อความยาวของเส้นใยที่ต่อเนื่อง 9,000 เมตร) และค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้เส้นไหมขาด ที่กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ กระทรวงอุตสาหกรรม พบว่า เส้นไหมดังกล่าวมีค่าดีเนียร์ 156.41 และ

แรงดึง 700.3 กรัม และเส้นไหมจะมีความหนาแน่นของเส้นไหมด้วยการชั่งน้ำหนักในน้ำ (METTLER AT400) ได้เท่ากับ 1.33 กรัม/ลบ.ซม.



รูปที่ 4 ผิวของเส้นไหมพันธุ์จุล 5 หลังลอกการ ถ่ายด้วย SEM

การเตรียมน้ำสีครั้ง

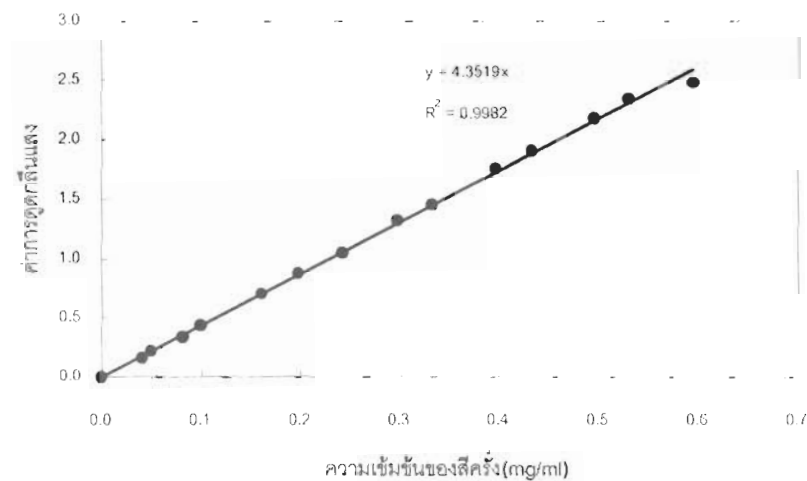
นำครั้งดิบไปบดหยาบด้วยเครื่อง Grinder แล้วบดละเอียดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า (LOBO mill) ได้ครั้งเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.05–1.00 มม. แخذครั้งดิบที่บดละเอียด 300 กรัม ในเอทานอล (absolute ethanol) 900 มล. นาน 15 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อแยกเอาสารสีเหลืองออก แخذกากครั้งในน้ำกลั่น 3,000 มล. นาน 24 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ได้น้ำสีครั้ง (สีแดงเข้ม) ที่สะอาดและไม่มีตะกอน

การเตรียมผงสีครั้ง

นำน้ำสีครั้งไประเหยนํ้าออกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (SD-05 Spray Dryer, L. P. TECHNOLOGY) ใช้อัตราเร็วในการป้อนน้ำสี 600 มล./ชม. อัตราเร็วในการป้อนอากาศร้อน 50–57 ลบ.ม./ชม. แรงดันที่หัวฉีดพ่นอากาศ 1.8 บาร์ อุณหภูมิของอากาศเข้า 155°–160° C ได้ผงสีครั้งเพื่อนำไปสำหรับการสร้างกราฟมาตรฐานต่อไป

การสร้างกราฟมาตรฐาน

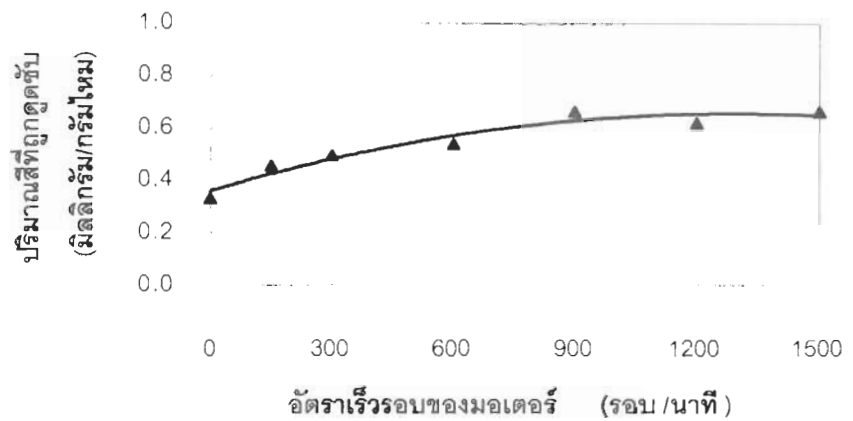
ละลายผงสีครั้งให้ได้ความเข้มข้นค่าหนึ่ง แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้นต่างๆ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis Spectrophotometer (UV-160A, Shimadzu) ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวแทน สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของสารละลายสีครั้งดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟมาตรฐานของสีครั้ง

การหาอัตราการกวนน้ำย้อมที่เหมาะสม

โดยทั่วไปการย้อมสีจะใช้อัตราการกวนน้ำย้อมให้สูงมากพอที่จะทำให้อัตราเร็วของการย้อมขึ้นอยู่กับขั้นตอนการแพร่ของสีภายในเนื้อเส้นใยเท่านั้น ดังนั้น เพื่อให้ทราบถึงอัตราการกวนดังกล่าวจึงได้ทำการทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 60° C ในระยะเวลา 30 นาที พร้อมปรับความเร็วรอบมอเตอร์ของชุดปั่นน้ำย้อมเป็น 300 600 900 1,200 และ 1,500 รอบ/นาที โดยแต่ละการทดลองจะทำการวัดปริมาณสีที่ถูกดูดซับ แล้วนำมาสร้างกราฟเทียบกับความเร็วรอบ ดังผลที่แสดงในรูปที่ 6 พบว่า ที่ความเร็ว 900 รอบ/นาทีขึ้นไป ปริมาณสีที่ถูกดูดซับจะมีค่าเท่ากัน ดังนั้น เพื่อให้แน่ใจว่าความเร็วที่ใช้จะไม่กระทบต่อการย้อมที่ทุกอุณหภูมิ จึงเลือกใช้ความเร็ว 1,500 รอบ/นาที ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของเครื่องย้อม



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสีที่ถูกดูดซับกับอัตราเร็วรอบของมอเตอร์

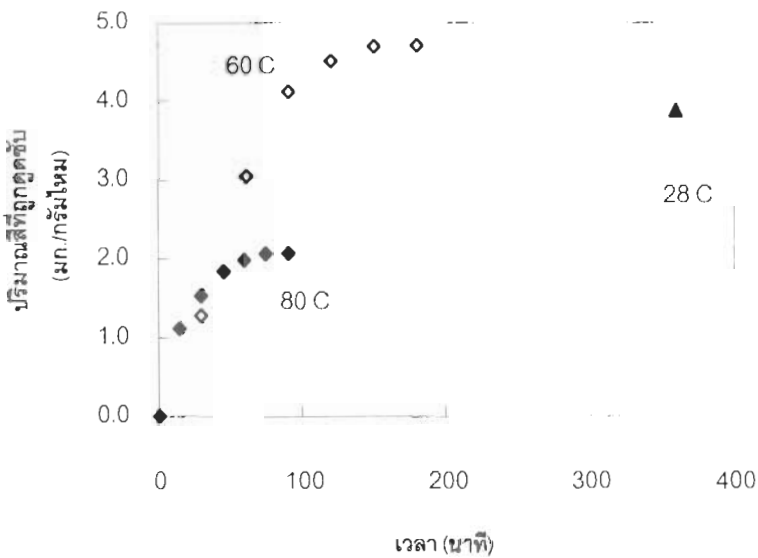
การศึกษาจลนพลศาสตร์

เพื่อศึกษาอัตราเร็วของการย้อมและสัมประสิทธิ์ของการแพร่ของสี ได้ทำการทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 28° , 60° และ 80°C ในการย้อมที่แต่ละอุณหภูมิจะทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำย้อม ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร ที่เวลาใดๆ จนกระทั่งมีค่าคงที่ คำนวณความเข้มข้นของสีในน้ำย้อม และปริมาณสีที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักไหมที่เวลาใดๆ โดยใช้กราฟมาตรฐานที่สร้างขึ้น แล้วสร้างกราฟระหว่างปริมาณสีที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักไหมกับเวลาที่ใช้ย้อม

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษาการดูดซับกรดแลคติกบนเส้นใยไหมที่อุณหภูมิต่างกัน 3 ค่า คือ 28° , 60° และ 80°C แสดงดังรูปที่ 7 พบว่า ความชันของกราฟซึ่งหมายถึงอัตราเร็วของการดูดซับมีค่าสูงขึ้นเมื่อย้อมที่อุณหภูมิสูงขึ้น แต่ปริมาณสีสูงสุดที่ถูกดูดซับ ($[D]_{\infty}$ ที่ t_{∞}) มีค่าน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจาก การดูดซับเป็นกระบวนการคายความร้อน การเพิ่มอุณหภูมิจึงทำให้สมดุลเลื่อนทางซ้าย (ดูดซับได้น้อยลง) และมีผลทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็วขึ้นด้วย นั่นคือเวลาที่ย้อมสีแล้วทำให้สีติดเส้นใยไหมได้สูงสุด (t_{∞}) มีค่าน้อยลง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ปรากฏ (D_A) ที่หาได้จากสมการของ Hill ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่กำหนดอัตราเร็วของการ

ดูดซับพบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการย้อมที่อุณหภูมิสูงขึ้นโดยเฉพาะจากอุณหภูมิ 28° C ไปเป็น 60° C ค่า D_A จะเพิ่มขึ้นถึง 32.6 เท่า จากค่า D_A ที่เพิ่มขึ้นแสดงว่า การย้อมที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้สีสามารถแพร่เข้าไปเกาะติดเส้นไหมได้เร็วขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับอัตราเร็วของการย้อมที่เพิ่มขึ้น ผลที่ได้สรุปไว้ในตารางที่ 1



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสีที่ถูกดูดซับโดยเส้นไหมกับเวลา

ตารางที่ 1
สรุปผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับกรดแลคติก

อุณหภูมิ (°C)	t_{eq} (นาที)	$[D]_f$ at t_{eq} (มก./กรัมไหม)	$D_A \times 10^9$ (ตร.ซม./วินาที)
28	5,760	12.271	0.310
60	180	4.756	10.091
80	90	2.069	11.938

สรุป

เมื่อทำการย้อมเส้นใยไหมด้วยสีครามซึ่งมีการดแลคคาอีกเป็นสารให้สี โดยใช้อุณหภูมิต่างกัน 3 ค่าคือ 28° 60° และ 80°C พบว่าการย้อมที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อัตราเร็วของการดูดซับหรืออัตราเร็วการย้อมเพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์การแพร่ปรากฏมีค่าสูงขึ้นและการย้อมใช้เวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลน้อยลง แต่ปริมาณสีสูงสุดที่ถูกดูดซับมีค่าลดลง ดังนั้น ในการย้อมเส้นไหมด้วยน้ำสีครามควรย้อมที่อุณหภูมิสูงถ้าต้องการให้สีติดเส้นไหมได้เร็วในช่วงเวลาที่สั้น และทำการย้อมซ้ำเพื่อให้ได้สีเข้มตามต้องการ แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความคงทนของสี (color fastness) ความคงตัว ซึ่งเป็นงานต่อเนื่องจากงานทดลองนี้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยนี้ และกองอุตสาหกรรมสิ่งทอ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมที่ให้ความอนุเคราะห์วิเคราะห์คุณสมบัติของเส้นใยไหม

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Budavari, *The Merck Index* 12nd ed. Merck & Co., Inc., New York, 1996.
- [2] พิสมัย เลิศวิริยะพงษ์ชัย "ครึ่งและสี่จากครึ่ง" วารสารกรมวิทยาศาสตร์ 40(130) 28-29. (2535)
- [3] อาทร ดันตนาฎาโณ "การเพาะเลี้ยงครึ่ง" โรงพิมพ์อักษรสัมพันธ์, กรุงเทพฯ, 2506
- [4] R. Burwood, G. Read, K. Schofield, and D.E. Wright, "The Pigments of Stick Lac, Part I, Isolation and Preliminary Examination" J. Chem. Soc. (C): 6067-6073 (1965).
- [5] R. Burwood, G. Read, K. Schofield, and D.E. Wright, "The Pigments of Stick Lac, Part II, The Structure of Laccic Acid A," J. Chem. Soc. (C): 842-851 (1976)

- [6] E.D. Pandhare, A.V. Rama Rao, I.N. Shaikh, and K. Venkataraman, **"The Constitution of Laccic Acid B,"** *Tetrahedron Letters* **26**: 2437-2440 (1967)
- [7] O. Dimroth and S. Goldschmidt, *Annalen. Chem.* **399**: 62 (1913)
Cited by R. Burwood, G. Read, K. Schofield, and D.E. Wright, **"The Pigments of Stick Lac, Part I, Isolation and Preliminary Examination,"** *J. Chem. Soc. (C)* : 6067-6073 (1965)
- [8] โมโตอิ มินะกาะ, เอ็ฮิชิ คาวาอิ และเซ็มซึ เทมะจันทร **วิทยาการไหมเล่ม 1**
คณะกรรมการส่งเสริมสินค้าไหมไทย, กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, 2530.
- [9] R.H. Peter, **Textile Chemistry Vol.III The Physical Chemistry of Dyeing**, Elsevier Scientific Publishing, Amsterdam, 1975.
- [10] C.L. Bird and W.S. Boston, **The Theory of Coloration of Textiles**, Dyers Company Publications Trust, London, 1975.
- [11] ไพศาล คงคาอุยฉาย, **"เทคนิคการย้อมสีเส้นไหมด้วยสีจากครั่ง,"** *วิศวกรรมสาร* มช. **23** (1): 47-62. (2539)
- [12] มალიณี เนียมพลับ **การใช้สารช่วยติดสีในการย้อมสีครั่ง** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2526
- [13] กลุ่มพัฒนาของป่า ส่วนวิจัยและพัฒนาผลผลิตป่าไม้ **รายงานการสำรวจกลุ่มทอผ้า ย้อมสีธรรมชาติในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย** กรมป่าไม้, 2540