การพัฒนาผ้าฝ้ายเข็นทอมือย้อมครามด้วยนาโนคาร์บอนแบล็ค และนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

Development of Indigo Dye Cotton Fabric Coated With Nano Carbon Black and Nano Titaniumdioxide

สุวนิตย์ ตาทอง[1] และ สุดาพร ตังควนิช[1]
Suwanit Tathong[1] and Sudaporn Tangkawanit[1]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาผ้าฝ้ายเข็นทอมือย้อมครามด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยใช้กรดซัคซินิคเป็น Cross-linking agent เพื่อเชื่อมโยงอนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวผ้าฝ้าย จากนั้นนำผ้าฝ้ายที่เติม Cross-link agent แล้วไปเคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1%, 0.5% และ0.1% w/v แล้วจึงนำผ้าฝ้ายไปย้อมคราม ทำการย้อมที่สภาวะน้ำย้อมมีค่า pH 10.55 ระยะเวลาในการย้อมนาน 20 นาที นำผ้าฝ้ายไปวัดความเข้มสีด้วยเครื่องวัดสี ทดสอบความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้าง วิเคราะห์ความสามารถในการป้องกันรังสียูวี ผลการวิจัยพบว่า ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าความเข้มสี ค่าความคงทนของสีต่อแสง ค่าความคงทนของสีต่อการซักล้าง มากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่เคลือบนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ และผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีความสามารถในการป้องกันรังสียูวีเพิ่มขึ้น ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็ค 0.2% w/v ต่อนาโนไทเนียมไดออกไซด์ 0.3% w/v มีความสามารถในการป้องกันรังสียูวีสูงที่สุด

คำสำคัญ: นาโนคาร์บอนแบล็ค นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ผ้าฝ้าย

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตรศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อ.เมือง จังหวัดอุบลราชธานี34000
[1] Science Education Program, Faculty of Science, UbonRatchathaniRajabhat University, UbonRatchathani 34000

Abstract

The aim of this research was to develop of indigo dye cotton fabrics coated with nano carbon black and nano titanium dioxide by using succinic acid as cross-linking agent. After adding succinic acid on fabric, the cross-linking agent was coated with various concentration of nano carbon black and nano titanium dioxide of 1% , 0.5% and 0.1% w/v, respectively. Then, the coated fabric was dyed with indigo solution at pH 10.55 for 20 minutes. The color strength, light fastness, washing fastness, UV-blocking were characterized. The results showed that the fabric coated with nano carbon black and nano titanium dioxide can be improved cotton properties. The highest UV radiation refection on fabric coated with nano carbon black 0.2% w/v and nano titanium dioxide 0.3% w/v.

Keywords: Nano Carbon black, Nano Titanium dioxide, Cross-linking agent, Cotton

บทนำ

ผ้าฝ้ายเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากสมบัติในการดูดซับความชื้นและระบายอากาศได้ดี ประกอบกับมีความอ่อนนุ่มสูง มีน้ำหนักเบา ส่งผลให้ผู้สวมใส่รู้สึกสบาย (นวลแข, 2542) อย่างไรก็ตามเส้นใยธรรมชาติยังพบข้อด้อยบางประการ คือ ไม่ทนต่อเชื้อรา ยับง่าย และสิ่งสกปรกเกาะติดได้ง่าย งานวิจัยจำนวนมากจึงสนใจที่จะปรับปรุงคุณภาพของผ้าฝ้าย เพื่อให้ผ้าฝ้ายมีคุณสมบัติดีขึ้น

นาโนเทคโนโลยี เป็นการศึกษาวัตถุที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร (มีขนาดประมาณ 1-100 นาโนเมตร) ทำให้อนุภาคนาโนมีคุณสมบัติพิเศษแตกต่างไปจากสมบัติของอนุภาคชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่ (Bulk) ไม่ว่าจะเป็นสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ (ธีระพงษ์, 2557) นาโนเทคโนโลยีจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเพิ่มสมบัติทางกายภาพของเส้นใยได้ เช่น ต้านเชื้อแบคทีเรีย กันน้ำ กันความสกปรก กันยับ ต้านรังสีอินฟาเรด ทนไฟ ช่วยในการติดสีย้อมและเพิ่มความคงทนของสี ทำให้เส้นใยมีความแข็งแรง (Yadav at el, 2006) อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นสารกึ่งตัวนำ ดูดกลืนแสงในช่วงรังสียูวี มีค่าดัชนีหักเหแสงสูง มีเสถียรภาพทางเคมี มีความแข็งสูง และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง (Photocatalyst) ดังนั้นเมื่อนำอนุภาคนาโนไทเทเนียมมาเคลือบบนผิวเส้นใย จะทำให้เส้นใยมีคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรีย ป้องกันรังสียูวี ทำความสะอาดตนเอง (Self-cleaning) และทนไฟ (Flame Retardency) (Monerio at el., 2014) นอกจากนี้วัสดุระดับนาโนที่นำมาใช้ในการเติมลงบนพื้นผิวของโครงสร้างเส้นใย เพื่อสังเคราะห์เป็นโครงสร้างวัสดุผสมระดับนาโน (Nanocomposite) มีหลายชนิด เช่น นาโนเคลย์ (nanoclay) (Monerio at el., 2010) ท่อนาโนคาร์บอน ชนิดผนังหลายชั้น (Multi-wall carbon nanotube) (Karimi at el., 2014) เป็นต้น ทำให้วัสดุผสมระดับนาโนเพิ่มขีดความสามารถของการนำไฟฟ้า และการนำความร้อนของเส้นใยได้เป็นอย่างดี

จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการนำวัสดุผสมระหว่างอนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็ค และนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มาเคลือบบนผ้าฝ้ายเข็นทอมือย้อมคราม โดยทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ อนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม โดยเติมกรดซัคซินิคเป็น Cross-linking agent เพื่อเชื่อมโยงอนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์บนผิวของผ้าฝ้าย จากนั้นจึงนำผ้าฝ้ายไปย้อมคราม และนำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ และความสามารถในการป้องกันรังสียูวีซึ่งจะเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายเข็นทอมือย้อมครามให้มีสมบัติการป้องกันรังสียูวีและเป็นการพัฒนาต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่นและอนุรักษ์ผ้าฝ้ายเข็นทอมือย้อมครามให้คงอยู่สืบไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการทดลอง

1) การเตรียมผ้าฝ้าย

1.1 นำผ้าฝ้ายเข็นทอมือจากกลุ่มเกษตรกรวังม่วง อำเภอนาตาล จังหวัดอุบลราชธานี มาแช่ในน้ำผงซักฟอกทิ้งไว้ 1 คืน

1.2 ซักผ้าฝ้ายและล้างด้วยน้ำให้สะอาด นำไปผึ่งให้แห้ง

2) การเตรียมสารละลาย Cross-link agent 1,000 มิลลิลิตร (กรดซัคซินิค 6% w/w ในสารละลายโซเดียมไฮโปฟอสเฟต 4% w/w)

2.1 ชั่งสารโซเดียมไฮโปฟอสเฟต 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

2.2 ชั่งกรดซัคซินิค 60 กรัม เติมสารละลายโซเดียมไฮโปฟอสเฟต 940 กรัม

2.3 คนให้สารละลายเข้ากัน เก็บไว้ทำการทดลองต่อไป

3) การเคลือบผ้าฝ้ายด้วยสารละลาย Cross-linking agent

3.1 นำผ้าฝ้ายเข็นทอมือจากกลุ่มเกษตรกรวังม่วง อ.นาตาล จ.อุบลราชธานี มาตัดให้ได้ขนาด 10 X 10 เซนติเมตร จำนวน 18 ผืน

3.2 นำผ้าฝ้ายไปต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง

3.3 ตวงสารละลาย Cross-linking agent ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เทลงบิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วนำผ้าฝ้ายแต่ละผืน ลงไปจุ่มในสารละลายนาน 1 ชั่วโมง

3.4 นำผ้าฝ้ายไปอบ ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสนาน 3 นาทีและอบผ้าฝ้ายที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสนาน 2 นาที

3.5 ผึ่งให้แห้งเก็บไว้ทำการทดลองต่อไป

4)การเตรียมสารแขวนลอยของอนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

4.1 ทำการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของอนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่มทดลองดังตารางที่ 1

4.2 เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ลงในสารที่ชั่งเตรียมไว้ คนด้วยแท่งแก้วให้สารละลายและนำไป Sonicate ด้วยเครื่อง Ultrasonic นาน 1 ชั่วโมง

4.3 นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการCross-linkแล้ว จุ่มลงในสารแขวนลอยที่เตรียมไว้

4.4 นำไปต้มในอ่างควบคุม อุณหภูมิที่ 75 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง

4.5 นำผ้าฝ้ายขึ้นพักแล้ว นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที

4.6 นำผ้าฝ้ายไป Sonicate ด้วยน้ำกลั่นนาน 10 นาที เพื่อล้างอนุภาคนาโนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออก

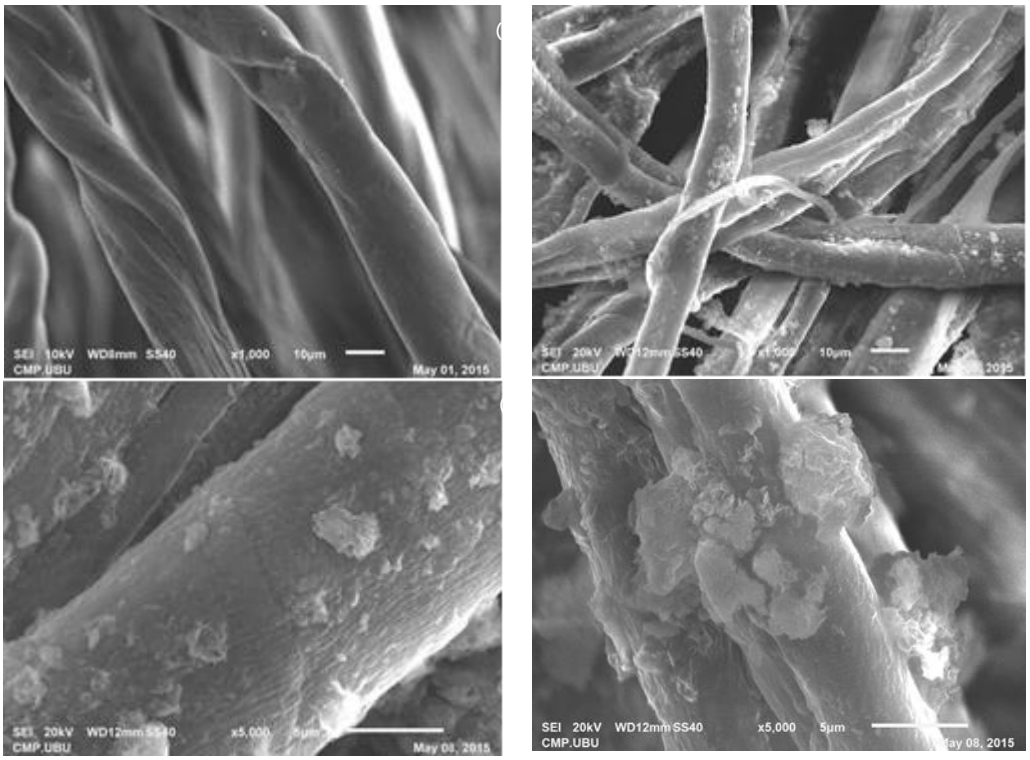
4.7 นำผ้าฝ้ายไปผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปย้อมสีครามธรรมชาติ(ภูมิปัญญาชาวบ้านกลุ่มเกษตรกรวังม่วง อำเภอนาตาล จังหวัดอุบลราชธานี) โดยย้อม 4 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที

4.8 น้ำผ้าฝ้ายผึ่งแดดให้แห้ง แล้วนำไปวิเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ 1 อัตราส่วนนาโนคาร์บอนแบล็คต่อนาโนไทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1% (w/v) ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

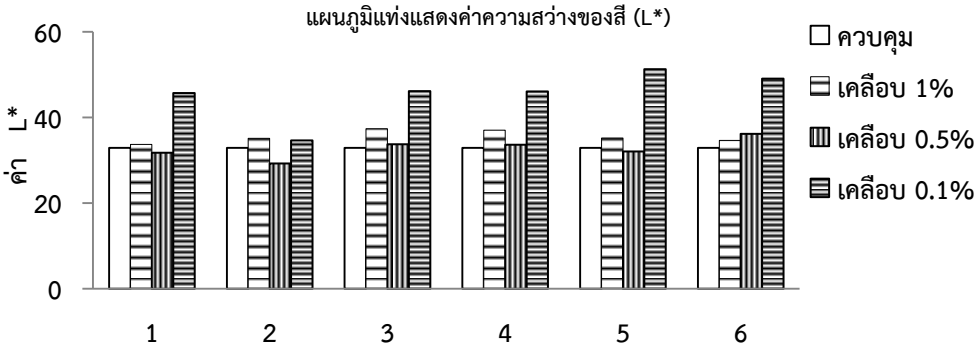
ความเข้มข้น 1% (w/v)		**ความเข้มข้น 0.5% (w/v)**		**ความเข้มข้น 0.1%(w/v)**	
Carbon black	TiO_2	Carbon black	TiO_2	Carbon black	TiO_2
0.0	1.0	0.0	0.5	0	0.1
1.0	0.0	0.5	0	0.1	0
0.1	0.9	0.05	0.45	0.01	0.09
0.2	0.8	0.1	0.4	0.02	0.08
0.3	0.7	0.15	0.35	0.03	0.07
0.4	0.6	0.2	0.3	0.04	0.06

ผลการวิจัย



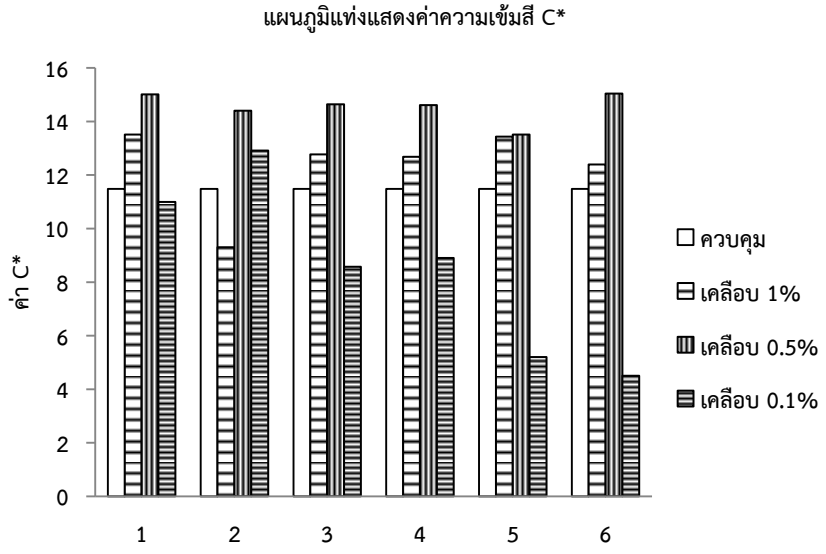
ภาพที่1 ภาพถ่ายเส้นไหมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่งกราด (1) ผ้าฝ้ายไม่เคลือบนาโนคาร์บอนแบลคและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (2) ผ้าฝ้ายที่เคลือบนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (3) ผ้าฝ้ายเคลือบนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1% (4) ผ้าฝ้ายเคลือบนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5%

จากภาพที่1ลักษณะพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ไม่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่าบริเวณพื้นผิวของผ้าฝ้ายมีการเคลือบติดของอนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยมีการกระจายตัวอยู่บนผิวของเส้นใยและแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของเส้นใย ทำให้สามารถพบอนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์อยู่ทั่วบริเวณพื้นผิวของผ้าฝ้าย และพบว่าอนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบนั้นเกิดการรวมตัวติดกันเป็นกลุ่มก้อนผลึก ทำให้พื้นผิวผ้าฝ้ายมีลักษณะพื้นผิวขรุขระมากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์



ภาพที่ 2 ค่า L* ของผ้าฝ้ายที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คที่ความเข้มข้น 1%, 0.5% และ 0.1%

จากภาพที่ 2 พบว่าค่า L* ของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1% มีแนวโน้มค่า L* สูงกว่าตัวควบคุม รองลงมาคือผ้าฝ้ายที่เคลือบที่ความเข้มข้น 1% และ 0.5% ตามลำดับ แสดงว่าผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5% สามารถให้ความเข้มสีที่ใกล้เคียงตัวควบคุมมากที่สุด



ภาพที่ 3 ค่า C*ของผ้าฝ้ายที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คที่ความเข้มข้น 1%, 0.5% และ 0.1%

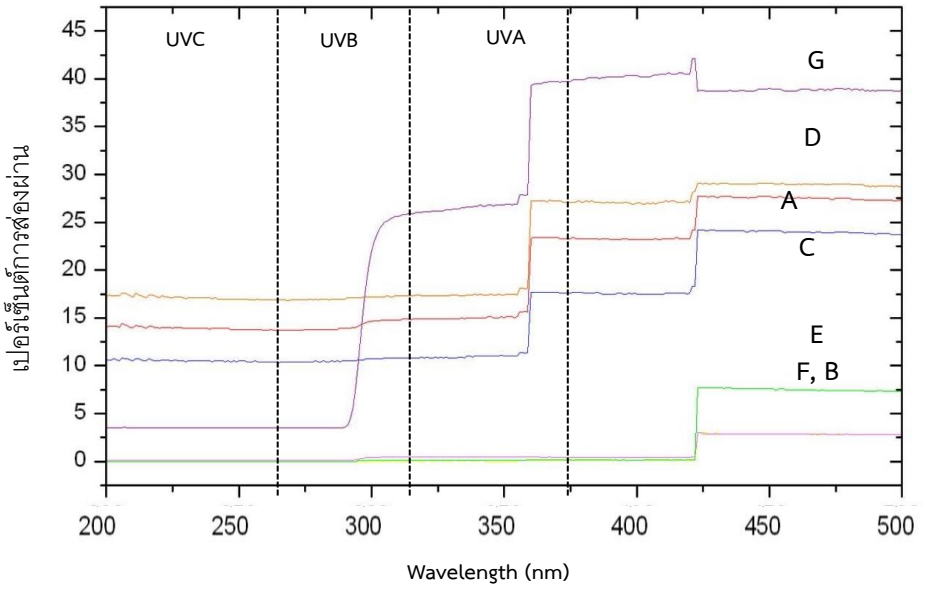
จากภาพที่ 3 พบว่าค่า C* ซึ่งเป็นค่าที่บอกว่าผ้าฝ้ายย้อมครามเป็นสีน้ำเงินเขียวมากน้อยเพียงใด จากแผนภูมิแท่งพบว่าค่า C* ของผ้าฝ้ายที่เคลือบนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5% มีค่าสูงกว่าทุกกลุ่มทดลอง แสดงว่าการเคลือบผ้าฝ้ายด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ทำให้ค่าความเข้มสีเพิ่มขึ้นและช่วยให้การย้อมสีผ้าฝ้ายมีประสิทธิภาพดีขึ้น

เฉดสีของผ้าฝ้ายเข็นทอมือย้อมครามที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

(1) (2) (3) (4) (5) (6)

ภาพที่ 4 เฉดสีของผ้าฝ้ายย้อมครามที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5%; (1) 0.5% TiO_2, (2) 0.5% Carbon black, (3) 0.05% Carbon black /0.45%TiO_2, (4) 0.1% Carbon black/0.4% TiO_2,(5)0.15% Carbon black/0.35% TiO_2, (6) 0.2% Carbon black/0.3%TiO_2,

จากภาพที่ 5 พบการเปลี่ยนแปลง คือ ที่ความยาวคลื่น 200-280 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นช่วงของรังสี UVC พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงตัวอย่าง C, A, D มีค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงสูงกว่าตัวควบคุม ตัวอย่าง F, B และ E มีค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงต่ำกว่าตัวควบคุมตามลำดับ ที่ความยาวคลื่น 280-420 นาโนเมตร (UVB และ UVA) ทุกตัวอย่างมีค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงต่ำกว่าตัวควบคุม โดย F, B และ E มีค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงใกล้เคียงกัน และพบว่าเมื่อเคลือบผ้าฝ้ายด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5% จะทำให้ผ้าฝ้ายมีค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงต่ำกว่าตัวควบคุมทุกตัวอย่าง โดย F, B และ E มีค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงที่ใกล้เคียงกันมาก แต่หากเมื่อพิจารณาจากค่าการดูดกลืนแสง จะเห็นว่า F มีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด แสดงว่า F สามารถป้องกันรังสียูวีดีที่สุด



ภาพที่ 5 UV/Vis transmission spectra ของผ้าฝ้ายย้อมครามที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็ค และนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5%; (A) 0.5% TiO_2, (B) 0.5% Carbon Black, (C) 0.05%TiO_2/0.45% Carbon Black, (D) 0.1% TiO_2/0.4% Carbon Black, (E)0.15%TiO_2/0.35% Carbon Black, (F) 0.2% TiO_2/0.3% Carbon Black, (G) ผ้าย้อมครามที่ไม่เคลือบCarbon Black /TiO_2 (ตัวควบคุม)

สรุปและวิจารณ์

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการพัฒนาผ้าฝ้ายเข็นทอมือย้อมครามด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยเติมกรดซัคซินิคเป็น Cross-linking agent เพื่อเชื่อมโยงอนุภาคนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวผ้าฝ้าย จากนั้นนำผ้าฝ้ายที่เติม Cross-linking agent แล้วไปเคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1%, 0.5% และ 0.1% w/v แล้วจึงนำผ้าฝ้ายไปย้อมคราม เมื่อนำน้ำย้อมครามไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุด (λ_{max}) ด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometerพบว่าค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุด (λ_{max}) ของสีครามมีค่าเท่ากับ 660 nm ทำการย้อมที่สภาวะน้ำย้อมมีค่า pHเท่ากับ 10.55 ระยะเวลาในการย้อม 20 นาที นำฝ้ายย้อมครามที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ วัดความเข้มสีด้วยเครื่อง Chroma Meter พบว่าค่า L* ของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1% มีแนวโน้มค่า L* สูงกว่าตัวควบคุม รองลงมาคือผ้าฝ้ายที่เคลือบที่ความเข้มข้น 1% และ 0.5% ตามลำดับ แสดงว่าผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5% สามารถให้ความเข้มสีที่ใกล้เคียงตัวควบคุมมากที่สุด และค่า C* ของผ้าฝ้ายที่เคลือบนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5% มีค่าสูงกว่าทุกกลุ่มทดลอง โดยมีค่าL* เท่ากับ 36.20 และ C* เท่ากับ 15.04 เมื่อนำผ้าฝ้ายที่ผ่านกระบวนการย้อมไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด พบว่านาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบติดบนผิวผ้าฝ้าย จากนั้นนำผ้าฝ้ายไปวิเคราะห์ความสามารถในการป้องกันรังสียูวีด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer โดยวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความส่องผ่านของแสงและค่าการดูดกลืนแสงของผ้าตัวอย่าง พบว่า ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็คและนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีความสามารถในการป้องกันรังสียูวีเพิ่มขึ้น ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยนาโนคาร์บอนแบล็ค 0.2% ต่อนาโนไทเนียมไดออกไซด์ 0.3% w/v มีความสามารถในการป้องกันรังสียูวีสูงที่สุด โดยในช่วงความยาวคลื่นรังสี UVC มีค่าเปอร์เซ็นต์ความส่องผ่านเท่ากับ 0% และในช่วงความยาวคลื่นรังสี UVA และ UVB ค่าเปอร์เซ็นต์ความส่องผ่านเท่ากับ 0.1%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ กลุ่มเกษตรกรวังม่วง อำเภอนาตาล จ.อุบลราชธานีที่อนุเคราะห์ให้ข้อมูลในการย้อมคราม และจุดประกายให้ผู้วิจัยตระหนักคุณค่าภูมิปัญญาการย้อมคราม

เอกสารอ้างอิง

ธีระพงษ์ พวงมะลิ. 2557. นาโนฟิสิกส์ (Nanophysics.). กรุงเทพมหานคร: แมคกรอ-ฮิล.

นวลแข ปาลิวนิช. 2542. ความรู้ เรื่องผ้าและเส้นใย. กรุงเทพมหานคร: เม็ดทรายพริ้นติ้ง

Karimi, L., M. Mirjalili, M.E. Yazdanshenas, and A. Nazari. 2010. Effect of nano TiO_2 on self-cleaning property of cross-linking cotton fabric with succinic acid under UV irradiation. Photochemistry and photobiology. 86(5), 1030–1037.

Karimi, L., S. Zohoori, and A. Amini. 2014. Multi-wall carbon nanotubes and nano titanium dioxide coated on cotton fabric for superior self-cleaning and UV blocking. New Carbon Materials. 29(5), 380–385.

Monteiro, A., B. Jarrais, I.M. Rocha, C. Pereira, M.F.R. Pereira, and C. Freire. 2014. Efficient immobilization of montmorillonite onto cotton textiles through their functionalization with organosilanes. Applied Clay Science. 101, 304–314.

Yadav, A., V. Prasad, A.A. Kathe, S. Raj, D. Yadav, C. Sundaramoorthy, and N. Vigneshwaran. 2006. Functional finishing in cotton fabrics using zinc oxide nanoparticles. Bulletin of Materials Science. 29(6), 641–645.