การศึกษาผลของอัตราส่วนของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยวิธี Pad-dry-cure

The Effect of Titanium Dioxide Nanoparticles Ratio for the Efficiency of Ultraviolet Protection of Cotton Fabric by Pad-dry-cure Method

*วรุตม์ คุณสุทธิ์**
*สิริกาญจน์ คงชนะ***
*รัตติรส ประชุมรักษ์***

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตของผ้าฝ้าย โดยได้นำอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มาเคลือบลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธี Pad-Dry-Cure ในอัตราส่วนระหว่างอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อน้ำ DI คือ 3%, 6% และ 9% (W/V) จากนั้นนำไปวิเคราะห์ลักษณะรูปร่าง และปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนผ้าฝ้าย พบว่าผ้าฝ้ายที่เคลือบอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อัตราส่วนต่างๆ จะมีอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ยึดเกาะอยู่บนพื้นผิวของผ้าฝ้าย โดยปริมาณที่ยึดเกาะอยู่บนพื้นผิวของผ้าฝ้ายจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อตรวจสอบปริมาณอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ยึดเกาะอยู่บนพื้นผิวของผ้าฝ้ายด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ (EDX) พบว่าผ้าฝ้ายที่เคลือบในอัตราส่วน 9% (W/V) จะมีปริมาณอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ยึดเกาะมากที่สุดอยู่ที่ 69.18 Wt% จากนั้นนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีรังสีอัลตราไวโอเลต พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ประสิทธิภาพการป้องกันรังสีรังสีอัลตราไวโอเลตของผ้าฝ้ายก็จะเพิ่มขึ้น โดยผ้าฝ้ายที่เคลือบในอัตราส่วน 9% (W/V) มีประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีได้ดีที่สุด โดยมีค่าอยู่ที่ 74.18% รองลงมาจะเป็นอัตราส่วน 6% (W/V) และป้องกันรังสีได้น้อยที่สุดคืออัตราส่วน 3% (W/V)

ABSTRACT

This research was to study titanium dioxide nanoparticles ($nTiO_2$) ratio for the efficiency of ultraviolet protection of cotton fabric by using Pad-Dry-Cure method and varying the ratio of $nTiO_2$ in DI : 3%, 6% and 9% (W/V). The morphology of $nTiO_2$ on cotton fabric was observed by SEM, and quantity of $nTiO_2$ by EDX. It was found that $nTiO_2$ adhesion on surface of the cotton fabric fibers and the quantity of $nTiO_2$ increased as the ratio of $nTiO_2$ increased. The EDX show that $nTiO_2$ ratio 9% (W/V) had the most quantity 69.1 Wt%. In addition the efficiency of ultraviolet protection was investigates by UV-vis spectrophotometer. Similarly, the efficiency of ultraviolet protection increased as the ratio of $nTiO_2$ increased. It was shown that the 9% (W/V) revealed the highest obtainable efficiency of ultraviolet protection 74.18%, followed by 6% (W/V) and lowest 3% (W/V).

คำสำคัญ : *ไททาเนียมไดออกไซด์, การป้องกันแสงอัลตราไวโอเลต*, Pad-Dry-Cure
Keyword(s): Titanium dioxide, UV protection, Pad-Dry-Cure

บทนำ

ปัจจุบันภาวะโลกร้อนทำให้ชั้นโอโซนของโลกถูกทำลายเนื่องมาจากสารเคมีชนิดต่างๆ และแก๊สพิษที่ถูกใช้และปลดปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม จึงเป็นสาเหตุทำให้รังสีอัลตราไวโอเลตแผ่ลงมายังพื้นโลกได้มากขึ้น ซึ่งถ้าหากมนุษย์ได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตในปริมาณมากจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคต่างๆ เช่น โรคเกี่ยวกับตา และโรคมะเร็งผิวหนัง ซึ่งมีผู้ป่วยโรคมะเร็งผิวหนังชนิดไฝดำหรือเมลาโนมา ทั่วโลกพบผู้ป่วยประมาณ 160,000 รายต่อปี และร้อยละ 80 ของผู้ป่วยจะเป็นชาวยุโรป อเมริกา ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ สำหรับประเทศไทย พบผู้ป่วยรายใหม่ 300 - 400 รายต่อปี (กระทรวงสาธารณสุข สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2555) ซึ่งเกิดจากการเจริบเติบโตของเซลล์ผิวหนังที่ผิดปกติ โดยปัจจัยเสี่ยงเกิดจากการได้รับ

* *อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์*
** *นักศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์*

แสงแดดในปริมาณมากทั้งรังสีอัลตราไวโอเลตชนิดเอและรังสีอัลตราไวโอเลตชนิดบี ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อมนุษย์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตมาสู่ผิวหนังมนุษย์

ผ้าฝ้ายเป็นผ้าที่สวมใส่สบาย สามารถดูดซับและระบายเหงื่อได้ดี (นวลแข ปาลิวนิช. 2542 และ วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2543) จึงได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในประเทศที่อากาศร้อน เพราะนอกจากจะสวมใส่สบายแล้วยังมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดีกว่าผ้าชนิดอื่นอีกด้วย

ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) มีคุณสมบัติในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตและป้องกันแบคทีเรีย (Chung and others. 2010 และ Nakata & Fujishima. 2012) และนิยมใช้ในด้านอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง (ครีมกันแดด) ซึ่งไม่เป็นพิษหรือก่อให้เกิดอาการแพ้ต่อมนุษย์ (Reinosa and others. 2016) ดังนั้นการเลือกใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์มาเคลือบลงบนผ้าฝ้าย จะทำให้ผ้าฝ้ายมีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้ และยังช่วยเพิ่มมูลค่าของสิ่งทอได้อีกด้วย โดยทั่วไปการเคลือบสารต่างๆ ลงบนผ้า จะใช้วิธีการ Pad-Dry-Cure (ณัฐวุฒิ เนียมจันทร์. 2553, Kittinaovarat and others. 2012) ซึ่งเป็นกระบวนการบีบอัด ทำให้แห้ง และทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีด้วยความร้อน ทำได้โดยการนำผ้าจุ่มลงในสารละลายของสารที่ต้องการเคลือบ จากนั้นนำไปผ่านลูกกลิ้ง (Pad) แล้วนำไปทำให้แห้ง (Dry) สุดท้ายนำไปผ่านกระบวนการอบที่อุณหภูมิสูง (Cure) เพื่อให้สารเกิดการยึดติดกับผ้า

งานวิจัยนี้มีความสนใจที่จะใช้อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธี Pad-Dry-Cure ที่อัตราส่วนต่างกัน เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนที่มีต่อความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาคุณสมบัติของผ้าฝ้ายต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธี Pad-Dry-Cure
2. เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อน้ำ DI ที่มีต่อประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยด้วยวิธี Pad-Dry-Cure

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้าย โดยการเคลือบอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธี Pad-Dry-Cure ที่อัตราส่วนของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในน้ำ DI ที่ต่างกัน 3 อัตราส่วน จากนั้นนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์โดยวิธี Pad-Dry-Cure ไปวิเคราะห์ลักษณะรูปร่าง การกระจายตัว และขนาดของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวของผ้าฝ้าย และประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีต่อไป

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีเครื่องมือและอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้

1.1 ผ้าฝ้ายบริสุทธิ์ฟอกขาว

1.2 เตาเผาคาร์โบไลท์ (Carbolite)

1.3 เครื่องบีบน้ำชนิดลูกกลิ้ง (Padding mangle)

1.4 ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide ; TiO_2) ความบริสุทธิ์ 99.9 %

1.5 น้ำปราศจากไอออน (DI)

2. วิธีการทดลอง

2.1 นำไทเทเนียมไดออกไซด์อนุภาคนาโนมากระจายตัวในน้ำ DI ให้ได้สารละลายไทเทเนียมไดออกไซด์อัตราส่วน 3, 6 และ 9 g ต่อน้ำ DI ปริมาตร 100 ml (3%, 6% และ 9% (W/V))

2.2 ตัดผ้าฝ้ายให้มีขนาด 10 × 10 cm^2 แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นจุ่มลงในสารละลายไททาเนียมไดออกไซด์ และนำผ้าฝ้ายไปผ่านกระบวนการ Pad ที่เครื่อง Padding mangle ซึ่งมีลูกกลิ้งบีบอัดจำนวน 2 ลูก จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง โดยต้องมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่า 80% (ณัฐวุฒิ เนียมจันทร์. 2553) (% Pick up หรือ % ที่ผ้าเก็บน้ำสารเคมีไว้) ของน้ำหนักผ้าฝ้ายก่อนการ Pad

2.3 นำผ้าฝ้ายมาอบที่อุณหภูมิ 80 °C ด้วยเตาเผาคาร์โบไลท์ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นก็นำไปผ่านกระบวนการ cure ที่อุณหภูมิ 160 °C เป็นเวลา 1 นาที

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของผ้าฝ้าย และการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลต ดังต่อไปนี้

3.1 ตัดตัวอย่างให้มีความยาวเท่ากับแท่นวางตัวอย่าง แล้วนำไปติดไว้บนแท่นวางตัวอย่าง นำไปฉาบผิวแล้วนำเข้าเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) และวิเคราะห์ธาตุด้วยเครื่อง EDX

3.2 ตัดชิ้นตัวอย่างแต่ละอัตราส่วนเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสให้มีขนาด 5 x 5 cm^2 แล้วนำไปวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-vis spectrophotometer) รุ่น cary 300 ในโหมด %T (Transmission) โดยใช้ความยาวคลื่น 280 nm, 315 nm และ 400 nm แล้วนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตโดยให้ %T ของผ้าฝ้ายบริสุทธิ์คิดเป็น 100 %

ผลการทดลอง

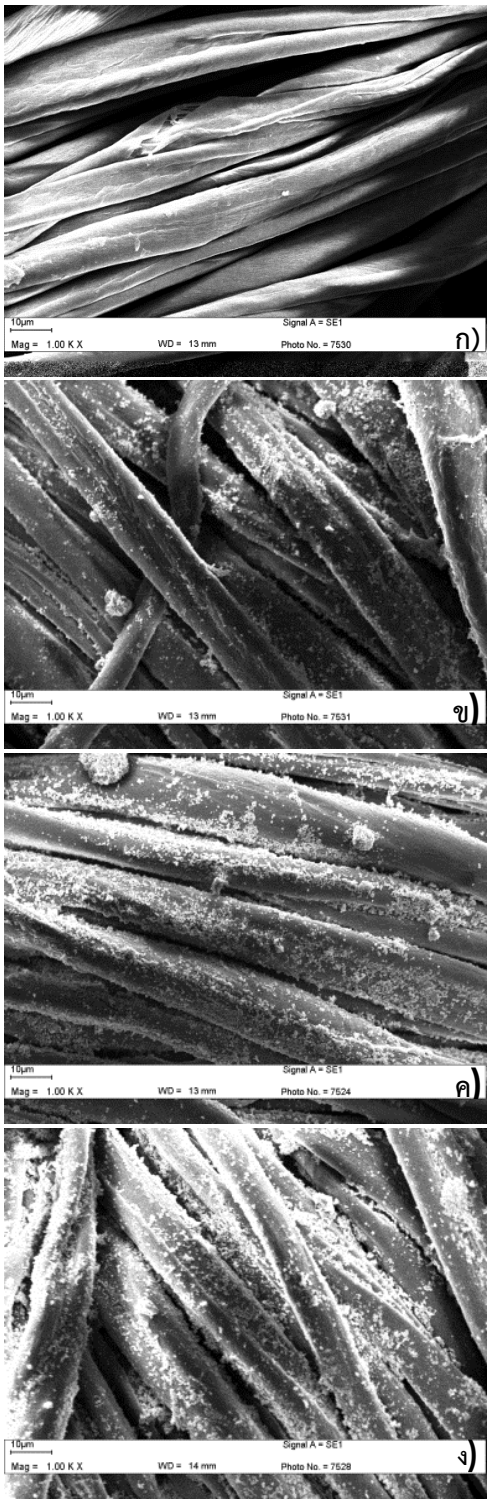
การศึกษาผลของอัตราส่วนของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อประสิทธิภาพการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยวิธี Pad-Dry-Cure ได้ผลการทดลองดังนี้

1. การเคลือบอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธี Pad-dry-cure

จากการทดลอง พบว่าผ้าฝ้ายบริสุทธิ์ฟอกขาวขนาด 10 x 10 cm^2 ก่อนการ pad มีน้ำหนักโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.353 g เมื่อนำไปผ่านกระบวนการ pad ที่ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ 3%, 6% และ 9% (W/V) แล้วมี % Pick up เป็น 81.35%, 82.38% และ 84.39% ตามลำดับ หลังจากนำไปผ่านกระบวนการ cure พบว่าน้ำหนักของผ้าฝ้ายที่ผ่านกระบวนการเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ 3%, 6% และ 9% (W/V) แล้ว มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเป็น 1.388 g, 1.403 g และ 1.444 g ตามลำดับ

2. การวิเคราะห์ลักษณะรูปร่าง และปริมาณของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธี Pad-dry-cure

จากภาพ 1 ก), ข), ค) และ ง) แสดงให้เห็นลักษณะพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์อนุภาคนาโนที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ยึดเกาะอยู่บนพื้นผิวของผ้าฝ้ายโดยเพิ่มจำนวนขึ้นตามอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น คือ 3%, 6% และ 9% (W/V) ตามลำดับ



ภาพ 1 แสดงลักษณะพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการเคลือบด้วย TiO_2 ที่อัตราส่วนต่างๆ ก) ผ้าฝ้ายบริสุทธิ์ ข) 3% (W/V), ค) 6% (W/V) และ ง) 9% (W/V)

จากเทคนิควิเคราะห์ธาตุด้วยเครื่อง EDX (Energy dispersive X-ray spectrometer) เพื่อดูปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนผิวของผ้าฝ้าย พบว่าปริมาณของไทเทเนียม (Ti) ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแทนของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ที่เคลือบอยู่บนผิวของผ้าฝ้าย ซึ่งแสดงผลเป็น % โดยน้ำหนัก (Wt%) โดยผ้าฝ้ายบริสุทธิ์ฟอกขาวจะมีปริมาณของไทเทเนียมที่เคลือบอยู่บนผิวของผ้าฝ้ายอยู่ที่ 0 Wt% ในส่วนของผ้าฝ้ายเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 3%, 6% และ 9% (W/V) จะมีปริมาณของไทเทเนียมที่เคลือบอยู่บนผิวของผ้าฝ้าย 61.49, 65.41 และ 69.18 Wt% ตามลำดับ

ตาราง 1 ค่า Transmission รังสี UVA และ UVB ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยวิธี Pad-Dry-Cure ที่อัตราส่วนต่างๆ กับผ้าฝ้ายบริสุทธิ์ฟอกขาว

ตัวอย่าง	ค่า **Transmission** รังสี **UVA** และ **UVB (280-400 nm)**		
	280 nm	**315 nm**	**400 nm**
ผ้าฝ้ายบริสุทธิ์ฟอกขาว	0.3831	0.4269	0.4750
ผ้าฝ้ายเคลือบ TiO_2 3% (W/V)	0.1015	0.1543	0.2327
ผ้าฝ้ายเคลือบ TiO_2 6% (W/V)	0.0929	0.1188	0.1721
ผ้าฝ้ายเคลือบ TiO_2 9% (W/V)	0.0901	0.1120	0.1356

3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธี Pad-dry-cure เปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายบริสุทธิ์

จากตาราง 1 จะได้ว่า ผ้าฝ้ายเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 3%, 6% และ 9% (W/V) จะมีค่าการส่องผ่าน (Transmission) รังสีอัลตราไวโอเลตความยาวคลื่น 280 nm คือ 0.1015, 0.0929 และ 0.0901 ตามลำดับ รังสีอัลตราไวโอเลตความยาวคลื่น 315 nm คือ 0.1543, 0.1188 และ 0.1120 ตามลำดับ รังสีอัลตราไวโอเลตความยาวคลื่น 400 nm คือ 0.2327, 0.1721 และ 0.1356 ตามลำดับ

ตาราง 2 ค่าประสิทธิภาพการป้องกันรังสี UVA และ UVB ที่เพิ่มขึ้นของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยวิธี Pad-Dry-Cure ที่อัตราส่วนต่างๆ กับผ้าฝ้ายบริสุทธิ์ฟอกขาว โดยกำหนดให้ผ้าฝ้าย มีค่า % Transmission = 100

ตัวอย่าง	ประสิทธิภาพการป้องกันรังสี **UVA** และ **UVB** ที่เพิ่มขึ้น **(%)**		
	280 nm	**315 nm**	**400 nm**
ผ้าฝ้ายบริสุทธิ์ฟอกขาว	0	0	0
ผ้าฝ้ายเคลือบ TiO_2 3% (W/V)	73.51	63.86	52.44
ผ้าฝ้ายเคลือบ TiO_2 6% (W/V)	75.75	72.17	64.83
ผ้าฝ้ายเคลือบ TiO_2 9% (W/V)	76.48	73.76	72.29

จากตาราง 2 เมื่อนำค่า Transmission มาคำนวณค่าประสิทธิภาพการป้องกันรังสีที่เพิ่มขึ้น โดยให้ผ้าฝ้ายบริสุทธิ์ฟอกขาวมีค่า % Transmission = 100 (ค่าประสิทธิภาพการป้องกันรังสีเป็น 0%) จะได้ว่า ผ้าฝ้ายเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 3%, 6% และ 9% (W/V) จะมีประสิทธิภาพการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตความยาวคลื่น 280 nm คือ 73.51%, 75.75% และ 76.48% ตามลำดับ รังสีอัลตราไวโอเลตความยาวคลื่น 315 nm คือ 63.86%, 72.17% และ 73.76% ตามลำดับ รังสีอัลตราไวโอเลตความยาวคลื่น 400 nm คือ 52.44%, 64.83% และ 72.29% ตามลำดับ

สรุปและอภิปรายผล

จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ จะทำให้มีปริมาณอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ยึดเกาะอยู่บนพื้นผิวของผ้าฝ้ายเพิ่มขึ้น และยังส่งผลต่อประสิทธิภาพการป้องกันรังสี UVA และ UVB กล่าวคือ เมื่อนำผ้าฝ้ายไปผ่านการเคลือบอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธี Pad-dry-cure ที่อัตราส่วน 3, 6 และ 9 g ต่อน้ำ DI ปริมาตร 100 ml (3%, 6% และ 9% (W/V)) ประสิทธิภาพการป้องกัน

รังสี UVA และ UVB ของผ้าฝ้ายที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ในสารละลาย คือเมื่อเพิ่มปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์ประสิทธิภาพการป้องกันรังสี UVA และ UVB ของผ้าฝ้ายก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน โดยอัตราส่วน 9% (W/V) ประสิทธิภาพการป้องกันรังสี UVA และ UVB จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 74.18% ซึ่งมากที่สุด รองลองมาคือ อัตราส่วน 6% (W/V) ประสิทธิภาพการป้องกันรังสี UVA และ UVB จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 70.92% และอัตราส่วนที่ป้องกันรังสี UVA และ UVB ได้น้อยที่สุดคือ อัตราส่วน 3% (W/V) ประสิทธิภาพการป้องกันรังสี UVA และ UVB จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 63.15%

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

นำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อผลิตผ้าฝ้ายที่สามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้

2. ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรมีการศึกษาการความสามารถในการยึดเกาะกันระหว่างอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์กับเนื้อผ้าฝ้าย

2.2 ศึกษาคุณสมบัติอื่น ๆ ของไททาเนียมไดออกไซด์ เช่น การป้องกันเชื้อแบคทีเรีย เป็นต้น

รายการอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2555). **แนวทางเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดด (สำหรับประชาชน).** กรุงเทพฯ : สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ.

เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล. (2541). **การควบคุมคุณภาพงานเตรียมสิ่งทอเพื่อการย้อมพิมพ์.** กรุงเทพฯ : ประชาชน.

เฉลิมชัย ชัยเจริญเมือง. (2551) **การพัฒนาระบบสเปรย์ไพโรลิซีลสำหรับการสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างระดับนาโน.** วิทยานิพนธ์ วท.ม. (ฟิสิกส์ประยุกต์). เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ณัฐวุฒิ เนียมจันทร์. (2553) **ผลของซิงค์ออกไซด์อนุภาคขนาดนาโนรูปทรงต่างๆ ที่อยู่บนผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคการปั่นด้วยไฟฟ้าเพื่อสมบัติต้านทานแสงยูวีและต้านแบคทีเรีย.** วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์). นครปฐม : มหาวิทยาลัยศิลปากร.

นวลแข ปาลิวนิช. (2542). **ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย (ฉบับปรับปรุงใหม่).** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. (2543). **วิทยาศาสตร์เส้นใย.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อ้อยทิพย์ ผู้พัฒน์. (2556). **ประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้ายย้อมครามธรรมชาติ.** วิทยานิพนธ์ ปรด. (เกษตรเขตร้อน). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Chung, K.H., Jung, H.Y., Lee, Y.W., & Lee, K.Y. (2009 December) "Preparation of TiO_2-loaded Nanocapsules and their Sun Protection Behaviors," **Journal of Industrial and Engineering Chemistry.** 2010(16) : 261–266.

Reinosa, J.J., Leret, P., Álvarez-Docio, C.M., Campo, A.D., & Fernández, J.F. (2016, February) "Enhancement of UV Absorption Behavior in ZnO–TiO_2 Composites," **boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio.** 2016(55) : 55–62.

Kittinaovarat, S., Hengprapakron, N., & Janvikul, W. (2011 August) "Comparative Multifunctional Properties of Partially Carboxymethylated Cotton Gauze Treated by the Exhaustion or Pad-dry-cure Methods," **Carbohydrate Polymers.** 2012(87) : 16–23.

Nakata, K., & Fujishima, A. (2012 June) "TiO_2 Photocatalysis: Design and Applications," **Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews.** 2012(13) : 169–189.

Rubio, D., Casanueva, J.F., & Nebot, E. (2013 August) "Improving UV Seawater Disinfection with Immobilized TiO_2: Study of the Viability of Photocatalysis (UV_{254}/TiO_2) as Seawater Disinfection Technology," **Journal of Photochemistry and Photobiology A : Chemistry.** 2013(271) : 16–23.