



การศึกษาการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ในการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติ
A Study of Nano Zinc Oxide Using for the Cotton Yarn Dyeing from
the Natural Dyes

ระมัด โชชัย*

Ramud Chochai

พรเพ็ญ โชชัย*

Pornpen Chochai

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์โดยศึกษาผลของนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อค่าสีและสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติ การย้อมสีในระดับต้นแบบและสภาวะที่เหมาะสมของการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายที่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ร่วมกับสีย้อมธรรมชาติจากเปลือกประดู่ โดยใช้เหล็กซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์ ทำการย้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ทั้งการย้อมร้อนและย้อมเย็น แล้วให้กลุ่มทอผ้าประเมินความพึงพอใจต่อสีเส้นด้ายฝ้าย ทำการทดสอบความคงทนของสีตัวอย่างเส้นด้ายฝ้ายที่ได้รับ ความพึงพอใจมากที่สุด 26 ตัวอย่าง และนำตัวอย่างที่สีมีความคงทนดีที่สุดทำการย้อมระดับต้นแบบ ผลการวิจัยพบว่า การใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ในการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายด้วยสีย้อมธรรมชาติ ความเข้มข้นของนาโนซิงค์ออกไซด์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนสีและค่าสีของเส้นด้ายฝ้าย แต่มีผลต่อความคงทนของสีทั้งในการซักและแสง ทั้งนี้เนื่องจากนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นผลึกมีโครงสร้างแบบปริซึมหกเหลี่ยม (hexagonal prism) มีพื้นที่ผิวมากช่วยให้ดูดซึมสีย้อมได้ดีขึ้น สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายด้วยสีย้อมจากเปลือกประดู่ร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์มี 3 สภาวะคือ การย้อมแคลเซียม 1% แล้วตามด้วยน้ำย้อมประดู่ พร้อมกับเหล็ก 0.5 % และนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.02 % การย้อมแคลเซียม 2 % ตามด้วยน้ำย้อมประดู่ พร้อมเหล็ก 0.25 % พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.08 % และการย้อมน้ำย้อมประดู่พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.06% ตามด้วยแคลเซียม 1 %

คำสำคัญ : นาโนซิงค์ออกไซด์ / ค่าสี / การย้อมในระดับต้นแบบ / สภาวะที่เหมาะสม

ABSTRACT

This research was the study of the cotton dyeing with natural dyes and nano zinc oxide. The effect of nano zinc oxide on color values and colors of cotton dyeing, the small scale dyeing and the optimum conditions for dyeing with nano zinc oxide by using dye extracted from pterocarpus bark and iron sulphate as mordant were studied. The nano zinc oxide dyeings were hot and cold dyeings. All samples of dyed cotton yarns were satisfactorily evaluated by the clothes weaving groups, and chose the 26 most satisfied samples for fastness test and the best fastness sample was dyed in small scale. It was found that in natural dyeing with nano zinc oxide, the concentration of nano zinc oxide didn't affect on color and color values of cotton yarn but affected on color fastness in washing and light because nano zinc oxide had hexagonal prism crystal lattice and large surface area provided the more dye adsorption. There were 3 optimum conditions in dyeing ; 1% Ca followed with dye water 0.5% Fe and 0.02% nano zinc oxide, 2%Ca followed with dye water 0.25%Fe and 0.08% nano zinc oxide and dye water with 0.06% nano zinc oxide followed with 1% Ca.

Keywords : Nano Zinc Oxide / Color Values / Small Scale Dyeing / Optimum Conditions

บทนำ

เป้าประสงค์ที่สำคัญของการวิจัยการย้อมสีคือ การศึกษาหาความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการเตรียมสีย้อม กระบวนการย้อม สารเคมีเพิ่มคุณภาพสีย้อม และเครื่องมือสำหรับการย้อม จึงเกิดการพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับการสังเคราะห์สีย้อมเพื่อให้ได้สีย้อมที่มีคุณภาพ การนำสารช่วยย้อมมารวมในกระบวนการย้อมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติเป็นที่ต้องการของผู้ใช้ ไม่ว่าจะเป็นการทำให้มีสีสันสวยงามคงทน และยังมีคามพยายามที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติพิเศษ อาทิ เมื่อสวมใส่แล้วสามารถดูดซับเหงื่อไม่ร้อนอบอ้าว ซ้ำเชื้อโรคได้ เป็นต้น จึงเกิดงานปฏิบัติการบริการสีที่ทำงานเกี่ยวกับการวิเคราะห์แนวโน้มของผลิตภัณฑ์สีทอ (The Color Services Laboratory, CSL) นอกจากนี้งาน CSL ยังได้พัฒนานวัตกรรมและเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกในงานวิจัยการใช้สี และกระบวนการศึกษาประเมินความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์ การย้อมสีบนวัสดุสิ่งทอ มีทฤษฎีที่สำคัญที่กล่าวถึงการติดของสีบนเส้นใยที่ใช้อย่าง ได้แก่ แบบจำลองปริมาตรเสรี (Free Volume Model) เป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับการย้อมเส้นใยสังเคราะห์ กำหนดว่า วัสดุสิ่งทอพวกเส้นใยสังเคราะห์จะไม่มีรูพรุนไม่ดูดน้ำย้อมได้มากนัก การย้อมจึงต้องทำให้วัสดุสิ่งทอเกิดการอ่อนตัวที่อุณหภูมิเปลี่ยนเป็นแก้ว (Glass Transition Temperature, Tg) เป็นอุณหภูมิที่วัสดุสิ่งทอยังไม่หลอมละลาย แต่จะมีลักษณะอ่อนตัวคล้ายพลาสติกที่มีความหนืดสูง น้ำย้อมสีจะแทรกซึมเข้าไปในส่วนที่ไม่เป็นระเบียบเท่านั้น แบบจำลองรูพรุน (Pore Model) เป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับการย้อมสีเส้นใยธรรมชาติ โดยกำหนดว่า วัสดุสิ่งทอธรรมชาติจะมีรูพรุนคล้ายกับฟองน้ำ น้ำย้อมสีสามารถแทรกซึมตามรูพรุนเหล่านั้นได้ ตามปรากฏการณ์ซึมตามรูเล็ก (capillary rise action) เช่น การย้อมสีเส้นด้ายฝ้าย ในการย้อมสีเส้นใยตามแบบจำลองรูพรุนจึงต้องใช้สีย้อม การพัฒนาการย้อมสีโดยการใช้อัตตราโนเป็นสารช่วยย้อมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติพิเศษตามความต้องการ ซึ่งอัตรานาโนที่นิยมนำมาใช้ช่วยย้อมสีได้แก่ นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์กับนาโนซิงค์ออกไซด์ ซึ่งไม่เป็นสารพิษและก่อให้เกิดภาวะมลพิษ ได้มีการทำวิจัยโดยใช้นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์อยู่ก่อนแล้ว ในการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ ซึ่งมีสูตรเคมี ZnO เป็นผงสีขาว ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.25 g/cm³ มีโครงสร้างผลึกแบบ

ซิงค์ไคต์ เป็นอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 100 nm ลงมา อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีแนวโน้มในการจับเกาะกันเป็นก้อนในสภาวะปกติ มีกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหลายประเภทที่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ อาทิ เครื่องสำอางพวกครีมป้องกันแสงแดดใช้นาโนซิงค์ออกไซด์เป็นตัวบล็อกรังสีอัลตราไวโอเล็ต จากการศึกษาโดยสถาบันฟรานโฮเฟอร์ (Fraunhofer institute) พบว่า นาโนซิงค์ออกไซด์ไม่สามารถซึมทะลุผ่านผิวหนังได้จึงไม่มีผลระยะยาวต่อสุขภาพ คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ด้านผู้บริโภคปลอดภัยได้รายงานว่ายาง ผลิตภัณฑ์พิเศษชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ สามารถใช้นาโนซิงค์ออกไซด์เป็นส่วนประกอบได้ Yang Liu, et al. (2007) ได้เตรียมนาโนซิงค์ออกไซด์จากการตกผลึกแบบเอกพันธ์ของ $Zn(NO_3)_2$ โดยใช้ยูเรียเป็นตัวทำให้ตกผลึก ปล่อยให้ผลึกแห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วให้ความร้อนที่ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ผงของนาโนซิงค์ออกไซด์ จากทำการตรวจสอบลักษณะของนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD) และกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ซึ่งแสดงถึง ผงผลึกนาโนซิงค์ออกไซด์มีโครงสร้างแบบปริซึมหกเหลี่ยม ส่วนการตรวจสอบด้วย SEM พบว่า ผลึกมีลักษณะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ $Zn(NO_3)_2$ ยิ่งเข้มข้นมาก ผลึกจะมีขนาดเล็กยิ่งขึ้น นาโนซิงค์ออกไซด์มีสมบัติทางกายภาพที่เป็นประโยชน์ในทางวัสดุศาสตร์ Il-Jin Kim, et al. (2010) ได้ศึกษาผลของนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อลักษณะการคงรูปและสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติและยางบิวตาไดอีนที่เติมซิลิกา โดยการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาด 30-40 nm พื้นที่ผิวเฉพาะ $25\text{-}50\text{ m}^2/\text{g}$ แทนการใช้ซิงค์ออกไซด์ที่เคยใช้มาก่อน พบว่า จากการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์เพียง 20% โดยน้ำหนักของซิงค์ออกไซด์ที่เคยใช้ จะทำให้ลักษณะการคงรูปและสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติและยางบิวตาไดอีนเทียบเท่ากับยางที่ใช้ซิงค์ออกไซด์ 100% ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวของนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นการเพิ่มองศาการเชื่อมแบบ cross-link ของยาง และการที่เติมซิลิกาลงไปด้วยจะช่วยให้นาโนซิงค์ออกไซด์มีการกระจายได้ดีขึ้น ยางที่เติมซิลิกาและใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.3-3.0 phr จะช่วยเพิ่มลักษณะการคงรูปและสมบัติเชิงกลมีค่ามอดูลัส ได้ถึง 100% และ 300% สรุปได้ว่า นาโนซิงค์ออกไซด์มีความเป็นพิษเล็กน้อย เป็นอนุภาคมีขนาดเล็กมากช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับวัสดุที่เติมนาโนซิงค์ออกไซด์ลงไป มีงานวิจัยการย้อมสีและการใช้วัสดุนาโน อาทิ Morteza Haghi, et al. (2012) ได้ศึกษาถึง บทบาทของนาโนเทคโนโลยีพบว่า วัสดุนาโนมีความน่าสนใจเนื่องจาก ศักยภาพของกระบวนการจำเพาะและการเลือกสรร โดยเฉพาะการนำไปใช้ทางชีววิทยาและเภสัชกรรม ในการต่อต้านแบคทีเรีย เช่น นาโนซิงค์ออกไซด์ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 100 nm มีคุณลักษณะสมบัติเชิงแสง ไดอิเล็กทริก การเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง และการต่อต้านแบคทีเรีย จากการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ เข้มข้น 0.01, 0.50, 1.00 และ 1.50 % ในอาหารของ E. coli แล้วประเมินด้วยค่าความหนาแน่นเชิงแสง (optical density, OD) และ การทดสอบการแพร่ในจาน Kirby-Bauer พบว่า ค่า OD ลดลงตามการเพิ่มความเข้มข้นของนาโนซิงค์ออกไซด์ คือ มีค่า OD เป็น 0.225, 0.218, 0.158, 0.075, และ 0.031 ตามลำดับ แสดงถึงการยับยั้งแบคทีเรียของนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยมีการยับยั้งแบคทีเรียมากที่สุดที่ซิงค์ออกไซด์ 1.5% เนื่องจากวัสดุนาโนไม่กระตุ้นปฏิกิริยาเอนไซม์และ DNA โดยการจับกลุ่มที่ไฮดรอกซิลคาร์บอกซิเลต เช่น carboxylate, amides, indoles, hydroxyls, thiols และอื่นๆ เกิดรูเล็ก ๆ ในเซลล์แบคทีเรีย ทำให้ซึมผ่านได้มากขึ้นเซลล์ตายได้ แสดงให้เห็นว่า นาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารต่อต้านแบคทีเรียได้ พรเพ็ญ และระมัด (2559) ได้ทำการศึกษาย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติร่วมกับนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ผลของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติ และการย้อมสีธรรมชาติในระดับต้นแบบที่ใช้นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยใช้น้ำย้อมสีจากเปลือกประดู่ใช้เหล็ก(II)ซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์ การย้อมนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีทั้งการย้อมร้อนและย้อมเย็น แล้วให้กลุ่มทอผ้าประเมินความพึงพอใจต่อสีเส้นด้ายฝ้ายแล้วนำตัวอย่างที่ได้รับความพึงพอใจมากที่สุดจำนวน 23 ตัวอย่างทดสอบความคงทนของสี

เลือกตัวอย่างที่มีความคงทนดีที่สุดไปทำการย้อมระดับต้นแบบ ผลการวิจัยพบว่า การย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายด้วยสีย้อมธรรมชาติร่วมกับนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งมีสัณฐานวิทยาที่เป็นทรงกลมเชื่อมต่อกันช่วยให้ดูดซึมสีย้อมได้ดีขึ้นโดยไม่ทำให้สีของเส้นด้ายฝ้ายเปลี่ยนแปลง แต่มีผลทำให้สีเส้นด้ายฝ้ายมีความคงทนดีขึ้น จะเห็นได้ว่าวัสดุนาโนมีสมบัติในการช่วยต่อต้านแบคทีเรียและเพิ่มความคงทนของสีย้อมต่อการซัก จึงเป็นที่น่าสนใจว่านาโนซิงค์ออกไซด์จะมีผลต่อค่าสีและความคงทนของสีย้อมธรรมชาติเป็นอย่างไร คณะผู้วิจัยจึงมีความคิดในการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์มาใช้ในการพัฒนาการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายด้วยสีย้อมธรรมชาติ เพื่อเป็นต้นแบบสำหรับการเผยแพร่ต่อชุมชน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบผสม ประกอบด้วยการวิจัยเชิงทดลองทางวิทยาศาสตร์ที่ทดลองในห้องปฏิบัติการ การทดลองในระดับอุตสาหกรรมครอบครัว และการวิจัยเชิงสำรวจด้วยแบบสอบถามจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้วยการอบรมเชิงปฏิบัติการแก่ชุมชน

สารเคมีและเครื่องมือสำคัญที่ใช้

โซดาแอช สบู่ซันไลต์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ นาโนซิงค์ออกไซด์ เกรดเชิงพาณิชย์ เหล็ก (II) ซัลเฟต เกรดปฏิบัติการ เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง Metler Toledo AB 104-S เตาไฟฟ้าชนิดปรับอุณหภูมิ Jenway 1203 Hotplate & Stirrer เครื่องวัดค่าสี Hunter Lab รุ่น Color Quest XE

วิธีการทดลอง

1. การศึกษาการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์
 - 1.1 การเตรียมน้ำย้อมสี แช่เปลือกประดู่สดในน้ำ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ต้มสารผสมที่ได้ให้เดือด 4 ชั่วโมง (คอยเติมน้ำให้อยู่ในระดับเท่าเดิมเสมอ) ตั้งทิ้งไว้จนสารผสมเย็นลง กรองสารผสมด้วยผ้าขาวบางเพื่อเอาเปลือกออกได้เป็นน้ำย้อมสี แล้วเก็บน้ำย้อมสีในขวดสีชาเพื่อไว้ใช้ต่อไป
 - 1.2 การเตรียมน้ำย้อมสีผสมสบู่ซันไลต์ที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ กับผงโซดาแอชในบีกเกอร์ที่ใส่น้ำตามอัตราส่วน ต้มของผสมบนเตาไฟฟ้าจนได้สารละลายที่ใส ใส่เส้นด้ายฝ้ายที่ต้องการทำความสะอาดลงไปต้มต่อไปอีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำเส้นด้ายฝ้ายขึ้นแล้วล้างสบู่ออกให้หมดด้วยน้ำสะอาดหลายครั้ง บิดเส้นด้ายฝ้ายให้พอหมาดๆ แล้วตากในที่ร่ม หรือผึ่งลมให้แห้ง
 - 1.3 การปรับสภาพเส้นด้ายฝ้ายก่อนทำการย้อม เตรียมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ตามปริมาณที่กำหนดในขอบเขตการวิจัยแล้วกรองใส่ในบีกเกอร์ ใส่เส้นด้ายฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้วลงในสารละลายที่เตรียมไว้ นำไปต้มที่อุณหภูมิ 40-50 °C เป็นเวลา 30 นาทีพร้อมกับคนอย่างสม่ำเสมอ นำเส้นด้ายฝ้ายขึ้นแล้วบิดให้หมาด
 - 1.4 การย้อมสีเส้นด้ายฝ้าย เป็นการย้อมเส้นด้ายฝ้ายด้วยน้ำย้อมสีจากเปลือกประดู่ที่มีผลการย้อมที่ดีที่สุด คือย้อมด้วยน้ำย้อมสีจากเปลือกประดู่ 4 วิธี ตามที่กำหนดในขอบเขต ย้อมร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ทั้ง 2 วิธีดังนี้
 - 1.4.1 การย้อมนาโนซิงค์ออกไซด์พร้อมกับน้ำย้อมสี (ย้อมร้อน) เป็นการย้อมเส้นด้ายฝ้ายที่ปรับสภาพด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ตามปริมาณที่กำหนดในขอบเขตการวิจัย ตามด้วยการย้อมน้ำย้อมสีพร้อมมอร์แดนต์ และนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นตามที่กำหนด เติมมอร์แดนต์และนาโนซิงค์ออกไซด์ตามความเข้มข้นที่กำหนดลงในน้ำย้อมสี ให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 70-80 °C ใส่เส้นด้ายฝ้ายที่ปรับสภาพแล้วลงย้อมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำเส้นด้ายฝ้ายออกมาผึ่งให้เย็นในใส่ถุงพลาสติก ปิดปากถุงทิ้งไว้ 1 คืน

บดให้หมด ตากให้แห้งในที่ร่ม จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดจนน้ำที่ล้างออกมาใสแล้วกระตุกเส้นด้ายฝ้าย 3 ครั้ง แล้วตากให้แห้งในที่ร่มอีกครั้ง

1.4.2 การย้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ภายหลังการย้อม (ย้อมเย็น) การย้อมเส้นด้ายฝ้ายที่ปรับสภาพด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ตามปริมาณที่กำหนดในขอบเขตการวิจัย ตามด้วยการย้อมน้ำย้อมสีพร้อมมอร์แดนต์ แล้วย้อมด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นตามที่กำหนด เติมนอร์แดนตลงในน้ำย้อมสี ให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 70-80 °C ใส่เส้นด้ายฝ้ายที่ปรับสภาพแล้วลงย้อมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำเส้นด้ายฝ้ายขึ้นบดให้หมด แล้วแช่ในสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์ตามความเข้มข้นที่กำหนดโดยทำการคนไปในทางเดียวทุกๆ 15 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำเส้นด้ายฝ้ายขึ้นออกมาล้าง ใส่ถุงพลาสติก ปิดปากถุงทิ้งไว้ 1 คืน บดให้หมด ตากให้แห้งในที่ร่ม จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดจนน้ำที่ล้างออกมาใสแล้วกระตุกเส้นด้ายฝ้าย 3 ครั้ง แล้วตากให้แห้งในที่ร่มอีกครั้ง

2. การศึกษาผลของนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติ

2.1 ศึกษาค่าสีและสีของเส้นด้ายฝ้าย วัดค่าสีของเส้นด้ายฝ้ายที่ย้อมสีไว้แล้ว ด้วยเครื่องวัดค่าสีโดยใช้ mode RSEX แล้วสรุปค่าสีและสีของเส้นด้ายฝ้าย เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละค่าสีของเส้นด้ายฝ้ายระหว่างค่าสีที่ย้อมร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์กับค่าสีที่ย้อมโดยไม่ใช้นาโนซิงค์ ด้วยสถิติ t-test แบบ independent

2.2 ศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อสีของเส้นด้ายฝ้ายที่ย้อม กลุ่มตัวอย่างได้แก่ สมาชิกกลุ่มทอผ้าไหมแก้วพัฒนา จำนวน 9 คน เครื่องมือเป็นแบบประเมินความพึงพอใจต่อสีเส้นด้ายฝ้าย แบบประเมินค่าเป็นอัตราส่วนตาม มาตราลิเคิร์ต (Likert scale) การเก็บรวบรวมข้อมูล ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยรวบรวมตัวอย่างเส้นด้ายฝ้ายเป็นใจบนแผ่นบอร์ดโดยติดป้ายตัวอย่างได้เส้นด้ายฝ้าย แจกแบบประเมินให้กับกลุ่มตัวอย่างและอธิบายวิธีการประเมิน ให้กลุ่มตัวอย่างทำการประเมินเส้นด้ายฝ้ายทุกตัวอย่าง รวบรวมแบบประเมินและตรวจความสมบูรณ์ของการประเมิน ถ้าแบบประเมินไม่เรียบร้อยสมบูรณ์ให้กลุ่มตัวอย่าง ทำการประเมินจนครบการวิเคราะห์ข้อมูล หาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความพึงพอใจของสมาชิกกลุ่มทอผ้าไหมแก้วพัฒนาที่มีต่อตัวอย่างเส้นด้ายฝ้ายทั้งหมด แล้วจัดอันดับความพึงพอใจจากค่าเฉลี่ยความพึงพอใจที่ได้ คัดเลือกตัวอย่างเส้นด้ายฝ้ายของสมาชิกกลุ่มทอผ้าไหมแก้วพัฒนามีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจมากที่สุด ที่เป็นเส้นด้ายฝ้ายที่ย้อมด้วยน้ำย้อมสีจากเปลือกประดู่ที่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ 5 อันดับแรก

2.3 ศึกษาความคงทนของสีย้อมเส้นด้ายฝ้ายที่ผู้ใช้มีความพึงพอใจมากที่สุด ทำการทดสอบความคงทนของสีเส้นด้ายฝ้าย ดังนี้

2.3.1 ความคงทนต่อการซักฟอกที่อุณหภูมิ 40 และ 60 °C โดยวิธี ISO-105-C01: 1989 ซึ่งซักด้วยด้วยจำนวนรอบ 40±2 รอบต่อนาทีในอุณหภูมิ 500 mL ซักด้วยน้ำสบู่ที่มี Na₂CO₃ 0.3% NaOH 0.1% ไขมันรวม 85% ค่าไอโอดีน 50 อัตราส่วนน้ำสบู่ต่อผ้า 50 ต่อ 1 ทำการซักเป็นเวลา 30 นาที และหาค่าการเปลี่ยนแปลงสีด้วยสเกลเทา (grey scale) โดยกำหนดมาตรฐานความคงทนของสี ดังนี้

สเกลเทา	ความคงทนของสีต่อการซัก	สเกลเทา	ความคงทนของสีต่อการซัก
1	ใช้ไม่ได้ สีซีดมาก	4	ดี สีตกซีดเล็กน้อย
2	ไม่ดี สีซีดค่อนข้างมาก	4-5	ดี-ดีมาก สีซีดนิดหน่อย
3	ปานกลาง สีซีดปานกลาง	5	ดีมาก สีไม่ตกซีดเลย
3-4	ปานกลางค่อนข้างดี สีซีดปานกลาง		

2.3.2 ความคงทนต่อแสง (แสงซินอนอาร์ก) โดยวิธี ISO-105-B02 : 1994 ซึ่งใช้หลอดซินอนอาร์กที่มีอุณหภูมิ 5,500-6,500 เคลวิน มีกระจกกรองแสงที่ให้แสงอัลตราไวโอเล็ตความยาวคลื่น 310-320 นาโนเมตร สารที่ใช้ย้อมเป็นเกลือเทาเบรนท์ามีนฟอสต์สการ์เลตอาร์ เข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ย้อมด้วยการต้ม 30 นาที แล้วหาค่าการเปลี่ยนแปลงสีด้วยสเกลเทา โดยกำหนดมาตรฐานค่าความคงทนของสีต่อแสง ดังนี้

ค่า (no.)	ความคงทนของสีต่อแสง	ค่า (no.)	ความคงทนของสีต่อแสง
1	ใช้ไม่ได้	5	ดี
2	ไม่ดี	6	ดีมาก
3	พอใช้	7	ดีเยี่ยม
4	พอใช้ค่อนข้างดี	8	ดีเลิศ

หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคงทนของสีเส้นด้ายฝ้าย คัดเลือกตัวอย่างเส้นด้ายฝ้ายที่ย้อมด้วยจากสีย้อมธรรมชาติร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ดีที่สุดและสมาชิกกลุ่มทอผ้ามีความพึงพอใจมากที่สุดกลุ่มสีละ 1 ตัวอย่าง นำไปเป็นต้นแบบในการย้อมในระดับต้นแบบ

3. การศึกษาการย้อมสีในระดับต้นแบบ เป็นการย้อมสีที่กระทำในแบบเดียวกับการย้อมในอุตสาหกรรมในครอบครัว ทำการย้อมสีด้วยเส้นด้ายตามวิธีการย้อมที่ให้เส้นด้ายฝ้ายที่ดีที่สุด 3 ตัวอย่าง โดยใช้วัสดุปริมาณมากและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานย้อมสีของอุตสาหกรรมในครัวเรือน เปรียบเทียบสีเส้นด้ายฝ้ายที่ได้จากการย้อมในห้องปฏิบัติการกับการย้อมในระดับต้นแบบ

4. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยนำผลจากการทดสอบความคงทนของสีของตัวอย่างเส้นด้ายฝ้ายที่มีความคงทนต่อการซักแสงและความพึงพอใจของกลุ่มแม่บ้าน สรุปเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์

ผลการวิจัย

1. ผลของความเข้มข้นนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อค่าสีและสีของเส้นด้ายฝ้าย

1.1 ผลต่อค่าสีและสีของเส้นด้ายฝ้าย พบว่า สีเส้นด้ายฝ้ายทั้งหมดมีเฉดสีน้ำตาลตามสีน้ำย้อม โดยที่มีค่าความสว่าง 28.87-48.58 ค่าเฉลี่ย 37.22 ค่าสีแดง-เขียว 4.01-19.72 ค่าเฉลี่ย 9.06 เป็นสีแดง ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน 4.79-20.33 ค่าเฉลี่ย 10.16 เป็นสีเหลือง ความเข้ม 6.40-27.61 ค่าเฉลี่ย 13.62 จึงทำให้สีของเส้นด้ายฝ้าย มีเฉดสีเป็นน้ำตาลแดงถึงน้ำตาลเข้ม ทั้งนี้สีเส้นด้ายฝ้ายที่ได้จากการย้อมสามารถ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่ใช้เหล็ก (Fe) เป็นมอร์แดนตีในการย้อมจะให้สีเส้นด้ายฝ้ายเป็นสีน้ำตาลเข้ม อีกกลุ่มหนึ่งคือ กลุ่มที่ไม่ใช้เหล็ก เป็นมอร์แดนตีในการย้อมให้สีเส้นด้ายฝ้ายเป็นสีน้ำตาล-แดง โดยที่ค่าเฉลี่ยของค่าสีจากนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ มีค่าดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พิสัย และค่าเฉลี่ยของค่าสีเส้นด้ายฝ้าย

% นาโนซิงค์ออกไซด์	ค่าเฉลี่ย			
	L*	a*	b*	c*
0.00	38.21	8.08	10.71	13.43
0.02	36.19	9.19	10.24	13.76
0.04	35.31	9.45	10.27	13.96
0.06	35.00	9.46	10.12	13.86
0.08	35.06	9.75	10.35	14.23
0.10	35.22	9.66	10.15	14.02
0.20	37.76	8.60	10.33	13.45
0.40	37.99	8.69	10.30	13.49
0.60	39.68	8.85	10.11	13.44
0.80	39.46	8.75	9.71	13.08
1.00	40.05	8.73	9.70	13.06

จากตารางที่ 1 ความเข้มข้นของนาโนซิงค์ออกไซด์มีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีต่างๆ ของเส้นด้ายฝ้าย มีเพียงค่าความสว่าง (L*) ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างชัด และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าสีแต่ละค่า ระหว่างเส้นด้ายที่ย้อมโดยใช้นาโนซิงค์ออกไซด์กับเส้นด้ายที่ไม่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ มีผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าสีของเส้นด้ายฝ้ายที่ใช้กับไม่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์

การใช้นาโนซิงค์ออกไซด์	พารามิเตอร์ทางสถิติ	ค่าสี			
		L*	a*	b*	แ*
ไม่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์	ค่าเฉลี่ย	38.21	8.08	10.71	13.43
	S.D	5.33	5.35	5.39	7.58
ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์	ค่าเฉลี่ย	37.17	9.11	10.13	13.64
	S.D	6.71	6.53	7.49	9.91
ค่า - t		0.30	0.31	0.15	0.04
ทดสอบนัยสำคัญ		ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

จากตารางที่ 2 ผลจากการทดสอบนัยสำคัญของการเปรียบเทียบค่าสีต่างๆ ของเส้นด้ายฝ้ายที่ใช้ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์กับไม่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ ให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างไม่นัยสำคัญ นั่นคือ ไม่สามารถจะกล่าวได้ว่าสีมีความแตกต่างกัน

1.2 ความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อสีของเส้นด้ายฝ้ายที่ย้อมและผลการทดสอบความคงทนของสีเส้นด้ายฝ้ายที่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ เมื่อนำเส้นด้ายฝ้ายที่ผ่านการย้อมสีและนาโนซิงค์ออกไซด์ให้กลุ่มทอผ้าไหมแก้วพัฒนาทำการประเมินความพึงพอใจด้วยมาตราลิกิร์ต แล้วหาค่าเฉลี่ย รวบรวมมา 5 อันดับแรก และผลการทดสอบความคงทนของสีเส้นด้ายฝ้ายที่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ ตามมาตรฐาน ISO ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจ ความคงทนต่อการซักและแสงของสีเส้นด้ายฝ้ายที่ย้อมโดยใช้นาโนซิงค์ออกไซด์

ตัวอย่าง	การย้อม	ความพึงพอใจ		ความคงทน		
		ค่าเฉลี่ย	อันดับ	การซัก		แสง
				40°C	60°C	
1	Ca 1% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.5% พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.02%	4.67	9	4	4	4/5
2	Ca 1% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.5% พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.04%	4.44	18	4	4	4/5
3	Ca 1% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.5% พร้อม นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.06%	4.67	9	4	4	4
4	Ca 1% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.5% ตามด้วย นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.08%	4.44	18	4	4	4
5	Ca 1% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.5% ตามด้วย นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.1%	4.44	18	4	4	4
6	Ca 1% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.5% พร้อม นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.8%	4.56	14	4	4	4/5
7	Ca 1% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.5% ตามด้วย นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.2%	4.67	9	4	4	4/5
8	Ca 2% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.25% พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.06%	4.67	9	4	4	4/5
9	Ca 2% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.25% พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.08%	4.56	14	4	4	4/5
10	Ca 2% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.25% พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.1%	4.78	3	4	4	4/5
11	Ca 2% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.25% พร้อม นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.2%	4.78	3	4	4	4
12	Ca 4% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.5 % พร้อม นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.02 %	4.78	3	4	4	4/5
13	Ca 4% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.5% พร้อม นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.04%	4.44	18	4	4	4/5
14	Ca 4% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.5% พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.08%	4.89	1	4	4	4/5
15	Ca 4% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.5% ตามด้วย นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.2%	4.44	18	4	4	4/5
16	Ca 4% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.5% ตามด้วย นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.4%	4.78	3	4	4	4

ตารางที่ 3 (ต่อ)





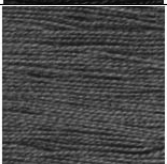
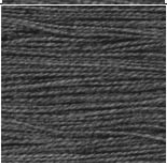
ตัวอย่าง	การย้อม	ความพึงพอใจ		ความคงทน		
		ค่าเฉลี่ย	อันดับ	การซัก		แสง
				40°C	60°C	
17	น้ำย้อมประดู่ พร้อม นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.02% ตามด้วย Ca 1%	4.89	1	4/5	4	2/3
18	น้ำย้อมประดู่ พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.04% ตามด้วย Ca 1%	4.78	3	4/5	4	3/4
19	น้ำย้อมประดู่ พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.06% ตามด้วย Ca 1%	4.67	9	4/5	4	3/4
20	น้ำย้อมประดู่ พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.08% ตามด้วย Ca 1%	4.44	18	4/5	4	3/4
21	น้ำย้อมประดู่ พร้อม นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.1% ตามด้วย Ca 1%	4.44	18	4/5	4	3/4
22	น้ำย้อมประดู่ ตามด้วย Ca 1% ตามด้วย นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.02%	4.56	14	4/5	4	2/3
23	น้ำย้อมประดู่ ตามด้วย Ca 1% ตามด้วย นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.04%	4.44	18	4/5	4	2/3
24	น้ำย้อมประดู่ ตามด้วย Ca 1% ตามด้วย นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.06%	4.78	3	4/5	4	2/3
25	น้ำย้อมประดู่ ตามด้วย Ca 1% ตามด้วย นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.08%	4.56	14	4/5	4	2/3
26	น้ำย้อมประดู่ ตามด้วย Ca 1% ตามด้วย นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.1%	4.44	18	4/5	4	2/3

จากตารางที่ 3 สีเส้นด้ายฝ้ายมีความคงทนต่อการซัก ดีถึงดีมาก มีสีซีดเล็กน้อยถึงสีซีดนิดหน่อย ส่วนความคงทนต่อแสงอยู่ในระดับพอใช้ถึงค่อนข้างดี เมื่อพิจารณาโดยรวมจากความคงทนทุกค่า พบว่า ตัวอย่างเส้นด้ายฝ้ายที่มีความคงทนต่อการซักและแสงดีที่สุดโดยคำนึงถึงความพึงพอใจของกลุ่มแม่บ้านและแบ่งตามกลุ่มสี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสีน้ำตาลเข้ม มี 2 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่ 1 เส้นด้ายฝ้ายที่ผ่านการย้อม Ca 1% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่พร้อม Fe 0.5% พร้อม นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.02% และตัวอย่างที่ 9 เส้นด้ายฝ้ายที่ผ่านการย้อม Ca 2% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.25% พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.08% และตัวแทนกลุ่มสีน้ำตาล มี 1 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่ 19 เส้นด้ายฝ้ายที่ผ่านการย้อมน้ำย้อมประดู่ พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.06 % ตามด้วย Ca 1 %

2. การศึกษาการย้อมสีในระดับต้นแบบจากการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายในห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างเส้นด้ายฝ้ายที่ดีที่สุดและผู้ใช้มีความพึงพอใจมากที่สุด ทั้ง 3 ตัวอย่าง เมื่อทำการย้อมในระดับต้นแบบให้สีและค่าสีที่เปรียบเทียบกับกรย้อมในห้องปฏิบัติการ ดังตารางที่ 4 ซึ่งสีเส้นด้ายฝ้ายที่ย้อมในห้องปฏิบัติการกับการย้อมในระดับต้นแบบไม่แตกต่างกันเมื่อมองด้วยสายตา

3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ผลการทดสอบความคงทนของสีของตัวอย่างเส้นด้ายฝ้ายที่มีความคงทนต่อการซักและแสงในตารางที่ 3 ความพึงพอใจของกลุ่มแม่บ้าน มี 3 สภาวะ คือ สภาวะที่ 1 การทำความสะอาดเส้นด้ายฝ้ายด้วยแคลเซียม 1% แล้วตามด้วยการย้อมด้วยน้ำย้อมประดู่ พร้อมเหล็ก 0.5% พร้อมกับ นาโนซิงค์ออกไซด์ 0.02% สภาวะที่ 2 การทำความสะอาดเส้นด้ายฝ้ายด้วยแคลเซียม 2% แล้วตามด้วยการย้อมด้วยน้ำย้อมประดู่ พร้อมเหล็ก 0.25% พร้อมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.08% สภาวะที่ 3 การย้อมด้วยน้ำย้อมประดู่พร้อมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.06% ตามด้วยการย้อมแคลเซียม 1%

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบสีและค่าสีของเส้นด้ายฝ้ายที่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์จากการย้อมระดับต้นแบบกับการย้อมในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่าง	การย้อม	ระดับการย้อม	สี	L*	a*	b*	c*
9	Ca 2% ตามด้วยน้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.25% พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.08%	ห้องปฏิบัติการ		30.73	7.79	8.10	11.24
		ต้นแบบ		30.98	7.14	9.02	11.50
1	Ca 1% ตามด้วยน้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.5% พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.02%	ห้องปฏิบัติการ		34.58	4.74	6.25	7.84
		ต้นแบบ		34.78	4.73	7.67	9.01
19	น้ำย้อมประดู่ พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.06% ตามด้วย Ca 1%	ห้องปฏิบัติการ		44.78	18.80	18.52	26.39
		ต้นแบบ		44.94	17.33	19.73	26.26

อภิปรายผล

1. ผลของความเข้มข้นนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อค่าสีและสีของเส้นด้ายฝ้าย สีเส้นด้ายฝ้ายทั้งหมดมีเฉดสีน้ำตาลตามสีน้ำย้อมซึ่งมีแทนนินจัดเป็นสารพอลิไฮดรอกซีฟีนอลเป็นองค์ประกอบ (พรเพ็ญ, ระมัด และเมทินี, 2551) แทนนินเมื่อถูกออกซิไดส์จะมีสีน้ำตาล จึงทำให้น้ำย้อมมีสีน้ำตาลและติดสีเส้นด้ายฝ้ายเป็นสีน้ำตาลด้วย ทั้งนี้นาโนซิงค์ออกไซด์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนสีของเส้นด้ายฝ้ายที่ย้อมด้วยน้ำย้อมจากเปลือกประดู่ แสดงว่านาโนซิงค์ออกไซด์ไม่เข้าทำปฏิกิริยากับแทนนินซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดสี สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการย้อมที่ไม่ต้องการให้เส้นด้ายฝ้ายมีสีเปลี่ยนไปจากเดิม

2. ความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อสีของเส้นด้ายฝ้ายที่ย้อมและผลการทดสอบความคงทนของสีเส้นด้ายฝ้ายที่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ ซึ่งตามวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบความพึงพอใจต่อสีเส้นด้ายฝ้ายของกลุ่มแม่บ้านผู้ใช้เส้นด้ายฝ้ายเพื่อการทอเป็นผลิตภัณฑ์ ต้องการหาเส้นด้ายฝ้ายที่มีได้รับความพึงพอใจมีค่าเฉลี่ยสูง 5 อันดับแรก แต่ปรากฏว่า มีค่าเฉลี่ยบางค่าที่เส้นด้ายฝ้ายได้รับความพึงพอใจเท่ากันทำให้ ได้เส้นด้ายจำนวน 26 ตัวอย่าง ทั้งนี้เป็นที่น่าสังเกตว่า เส้นด้ายฝ้ายที่ได้รับความพึงพอใจสูงที่สุดอันดับ 1 มี 2 ตัวอย่างที่ใช้วิธีการย้อมแตกต่างกัน แต่ใช้ความเข้มข้นของนาโนซิงค์ออกไซด์เท่ากัน คือ ร้อยละ 0.08 และเส้นด้ายฝ้ายที่ได้รับความพึงพอใจมีค่าเฉลี่ยอยู่ในอันดับที่สอง มีถึง 6 ตัวอย่าง ซึ่งใช้วิธีการย้อมที่แตกต่างกัน โดยมี 5 ตัวอย่างที่ใช้ นาโนซิงค์ออกไซด์มีความเข้มข้นร้อยละ 0.06-0.08 และทุกตัวอย่างเส้นด้ายฝ้าย และสีเส้นด้ายฝ้ายมีความคงทนต่อการซัก ดีถึงดีมาก มีสีซีดเล็กน้อยถึงสีซีดนิดหน่อย ส่วนความคงทนต่อแสงอยู่ในระดับพอใช้ถึงค่อนข้างดี เมื่อพิจารณาโดยรวมจากความคงทนทุกค่า พบว่า ตัวอย่างเส้นด้ายฝ้ายที่มีความคงทนต่อการซักและแสงดีที่สุดโดยคำนึงถึงความพึงพอใจของกลุ่มแม่บ้านและแบ่งตามกลุ่มสี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสีน้ำตาลเข้ม มี 2 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่ 1 เส้นด้ายฝ้ายที่ผ่านการย้อม Ca 1% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.5% พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.02% และตัวอย่างที่ 9 เส้นด้ายฝ้ายที่ผ่านการย้อม Ca 2% ตามด้วย น้ำย้อมประดู่ พร้อม Fe 0.25% พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.08% และตัวแทนกลุ่มสีน้ำตาล มี 1 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่ 19 เส้นด้ายฝ้ายที่ผ่านการย้อมน้ำย้อมประดู่ พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.06% ตามด้วย Ca 1%

2. การย้อมสีในระดับต้นแบบเปรียบเทียบกับกรย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายในห้องปฏิบัติการ เมื่อพิจารณาจากค่าสี พบว่า ค่าสีของการย้อมในระดับต้นแบบต่างจากการย้อมในห้องปฏิบัติการเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้จากการสอบถามกลุ่มทอผ้าไหมแก้วพัฒนา ส่วนใหญ่ต้องการเส้นด้ายฝ้ายที่มีสีน้ำตาล คณะผู้วิจัยจึงเลือกเส้นด้ายฝ้ายตัวอย่างที่ 19 ที่ย้อมด้วยน้ำย้อมประดู่ พร้อมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.06% แล้วตามด้วย Ca 1% ไปจัดทำเป็นคู่มือการอบรม สำหรับการอบรมให้ความรู้แก่ชุมชน

3. สภาพที่เหมาะสมในการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ การแบ่งตามกลุ่มสี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งเกิดจากการใช้มอร์แดนต์ คือ Fe และกลุ่มสีน้ำตาล ซึ่งไม่ใช่มอร์แดนต์แสดงว่า Fe ในมอร์แดนต์ ไปทำให้สารสีมีความเป็นไอออนลดลงจึงทำให้การดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุนทุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรและกลุ่มทอผ้าไหมแก้วพัฒนา ที่ให้ความร่วมมือและต้อนรับในการเผยแพร่ผลงานวิจัยเป็นอย่างดี คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- พรเพ็ญ โขชัย, ระมัด โขชัย และเมทินี ทวีผล. (2551). การพัฒนาการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติ : กรณีศึกษาการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมเปลือกมะพร้าวและเปลือกประตูของชุมชนในเขต ตำบลนาบ่อคำ อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร. กำแพงเพชร : มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.
- พรเพ็ญ โขชัย และระมัด โขชัย. (2016). การศึกษาผลของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการย้อมสีเส้นด้าย ฝ้ายด้วยสีย้อมธรรมชาติ. วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, 6(1), 177-192.
- Haghi, M., et al. (2012). Antibacterial Effect of TiO₂ Nanoparticles on Pathogenic Strain of E. coli. **International Journal of Advanced Biotechnology and Research**, 3(3), 621-624.
- Kim, Il-Jin, Kim, Wook-Soo, Lee, Dong-Hyun, Kim, Wonho & Bae, Jong-Woo. (2010). Effect of nano zinc oxide on the cure characteristics and mechanical properties of the silica-filled natural rubber/butadiene rubber compounds. **Journal of Applied Polymer Science**, 117(3), 1535-1543.
- Liu, Yang, Jian-er, Zhou, Larbot, Andre & Persin, Michel. (2007). Preparation and characterization of nano-zinc oxide. **Journal of Materials Processing Technology**, 189(1-3), 379-383.
- Ogunwande, I.A. (2011). **Colour chemistry and technology**. Lagos : National Open University of Nigeria.