

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผ้าฝ้ายและผ้าไหมให้มีคุณสมบัติการทอวงไฟ ใช้ในการผลิตชุดแต่งกายสำหรับงานที่มีความเสี่ยงต่อการลุกลามของเปลวไฟ ได้แก่ ชุดสำหรับเจ้าหน้าที่ดับเพลิง ชุดสำหรับผู้ประกอบอาหาร หรือชุดเซฟ ชุดทำงานในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เกี่ยวกับการชุดเจาะน้ำมัน และกลั่นน้ำมัน ชุดในงานอุตสาหกรรมไฟฟ้า ชุดในงานเชื่อม ชุดนักกีฬาแข่งรถ ผ้าห่มกันไฟ รวมถึงผ้าปูที่นอน หรือผ้าที่ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งจะช่วยลดการบาดเจ็บหรืออันตรายที่จะเกิดขึ้นจากอัคคีภัยได้ โดยใช้สารนาโนซิลิคอน ที่สกัดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าวและแกลบข้าว โดยตกแต่งสารนาโนซิลิคอนลงบนผ้าฝ้ายและผ้าไหม และศึกษาสมบัติในการทอวงไฟ

สารนาโนซิลิคอนที่ใช้ในการตกแต่งผ้า สกัดได้จากฟางข้าวและแกลบข้าว โดยกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเทคนิคการใช้เบส จากนั้นนำสารที่สกัดได้ วิเคราะห์ปริมาณธาตุซิลิคอนด้วยเทคนิค EDX พบว่า มีธาตุซิลิคอน โดยน้ำหนัก 8.18% นำซิลิคอนที่ได้ มาทำให้มีขนาดอนุภาคเล็กกลง โดยเทคนิคการรีฟลักซ์และเทคนิคการบด แล้ววิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่า ขนาดอนุภาคของสารนาโนซิลิคอนที่สกัดได้นั้นมีขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร และเล็กกว่า 50 นาโนเมตร ตามลำดับ นำสารนาโนซิลิคอนที่สกัดได้จากฟางข้าว ตกแต่งลงบนผ้าฝ้ายและผ้าไหม เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านการทอวงไฟให้กับผ้า โดยแบ่งออกเป็น 4 ความเข้มข้น ได้แก่ ผ้าที่ไม่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ผ้าที่ตกแต่งสารนาโนซิลิคอน ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

ผลการทดสอบคุณสมบัติการทอวงไฟของผ้าฝ้าย ซึ่งประเมินจากการทนต่อเวลาการเริ่มต้นการลุกลามของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ในแนวระดับการเผาที่ 45 องศา พบว่า เวลาเริ่มต้นการลุกลาม มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย สารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีคุณสมบัติในการทนต่อการเริ่มต้นการลุกลามได้นานที่สุด ถึง 6.93 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตกแต่งด้วย สารนาโนซิลิคอน และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ พบว่า สามารถทนต่อการเริ่มต้นการลุกลามได้ 1.12 วินาที 2.95 วินาที และ 4.93 วินาที ตามลำดับ

ผลการทดสอบคุณสมบัติการทอวงไฟของผ้าไหม ซึ่งประเมินจากระยะเวลาการสิ้นสุดการลุกลามของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ในแนวระดับการเผาที่ 45 องศา พบว่า ระยะเวลาการสิ้นสุดการลุกลาม มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยผ้าไหมที่ตกแต่งด้วย สารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาในการสิ้นสุดการลุกลามได้นานที่สุด ถึง 77.93 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับ ผ้าไหมที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน และ ผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.4



0.05) โดยผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย สารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีเวลาเริ่มต้นการหลอมละลายช้าที่สุด ถึง 12.93 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับ ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน และผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ พบว่า มีเวลาเริ่มต้นการหลอมละลายที่ 4.05 วินาที 6.95 วินาที และ 9.93 วินาที ตามลำดับ

ผลการทดสอบคุณสมบัติการห่วงไฟของผ้าฝ้าย ซึ่งประเมินจากเวลาเริ่มต้นการคุ้แดง ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ในแนวระดับการเผาที่ 90 องศา พบว่า เวลาการเริ่มต้นการคุ้แดง มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย สารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีเวลาการเริ่มต้นการคุ้แดงช้าที่สุด ถึง 80.93 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับ ผ้าที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน และผ้าที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ พบว่า มีเวลาการเริ่มต้นการคุ้แดงที่ 37.05 วินาที 45.95 วินาที และ 64.93 วินาที ตามลำดับ

จากผลการทดสอบคุณสมบัติการห่วงไฟของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับการเผาที่ 45 องศา พบว่า ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถทนต่อการเริ่มต้นการลุกไหม้ได้ ถึง 6.93 วินาที มีระยะเวลาในการสิ้นสุดการลุกไหม้นาน ถึง 77.93 วินาที มีเวลาการทนต่อการเริ่มต้นการหลอมละลายได้ ถึง 10.93 วินาที และ มีเวลาการทนต่อการเริ่มต้นการคุ้แดงได้ ถึง 78.93 วินาที จึงสามารถสรุปได้ว่า ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวระดับการเผาที่ 45 องศา มีคุณสมบัติในการห่วงไฟได้ดีที่สุด

จากผลการทดสอบคุณสมบัติการห่วงไฟของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับการเผาที่ 90 องศา พบว่า ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถทนต่อการเริ่มต้นการลุกไหม้ได้ ถึง 8.88 วินาที มีระยะเวลาในการสิ้นสุดการลุกไหม้นาน ถึง 79.93 วินาที มีเวลาการทนต่อการเริ่มต้นการหลอมละลายได้ ถึง 12.93 วินาที และ มีเวลาการทนต่อการเริ่มต้นการคุ้แดงได้ ถึง 80.93 วินาที จึงสามารถสรุปได้ว่า ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวระดับการเผาที่ 90 องศา มีคุณสมบัติในการห่วงไฟได้ดีที่สุด

จากผลการทดสอบคุณสมบัติการห่วงไฟของผ้าฝ้าย ที่ระดับการเผาที่แตกต่างกัน ทำให้มีผลต่อคุณสมบัติการห่วงไฟของผ้าฝ้าย พบว่า การทดสอบเผาผ้าฝ้ายที่แนวระดับ 90 องศา ผ้าฝ้ายจะมีการเริ่มต้นการลุกไหม้ การสิ้นสุดการลุกไหม้ การเริ่มต้นการหลอมละลาย และการเริ่มต้นการคุ้แดงช้ากว่า การเผาที่แนวระดับ 45 องศา เป็นเวลา 2 วินาที ในทุกความเข้มข้นของสารนาโนซิลิคอน ที่ตกแต่งลงบนผ้าฝ้าย รวมถึงผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผ้าฝ้ายห่วงไฟ ที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่สกัดจากฟางข้าว พบว่า ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน เกิดการเผาไหม้จนหมดผืนผ้า และ ลักษณะของเถ้าหลังจากที่เกิดการเผาไหม้ มีลักษณะรวมตัวกันเป็นก้อนสีดำขนาดเล็ก ผ้าฝ้ายที่

ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เกิดการเผาไหม้จนหมดผืนผ้า และ ลักษณะของเถ้าหลังจากที่เกิดการเผาไหม้ มีลักษณะเป็นสีดำเกาะตัวกันเป็นแผ่นขนาดเล็ก ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เกิดการเผาไหม้จนเกือบหมดผืนผ้า และ ลักษณะของเถ้าหลังจากที่เกิดการเผาไหม้ มีลักษณะเป็นแผ่นสีดำเกาะรวมตัวกันเป็นผืนผ้าตามลักษณะของผ้าฝ้ายก่อนเกิดการเผาไหม้ และ เถ้าบางส่วนที่เกิดการเผาไหม้หลุดออกจากผืนผ้า และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เกิดการเผาไหม้เพียงบางส่วน และ ลักษณะของเถ้าหลังจากที่เกิดการเผาไหม้ มีลักษณะเป็นแผ่นสีดำเกาะตัวกันเป็นผืนผ้าตามลักษณะของผ้าฝ้ายก่อนเกิดการเผาไหม้

ผลการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟของผ้าไหม ซึ่งประเมินจากการทนต่อเวลาการเริ่มต้นการลุกไหม้ ของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ในแนวระดับการเผาไหม้ 45 องศา พบว่า เวลาเริ่มต้นการลุกไหม้มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีคุณสมบัติในการทนต่อการเริ่มต้นการลุกไหม้ได้ดีที่สุดถึง 1.942 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ตามลำดับ พบว่า สามารถทนต่อการเริ่มต้นการลุกไหม้ได้ 1.760, 1.360 และ 1.242 วินาที ตามลำดับ

ผลการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟของผ้าไหม ซึ่งประเมินจากระยะเวลาการหลอมละลายของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ในแนวระดับการเผาไหม้ 45 องศา พบว่า ระยะเวลาการหลอมละลายมีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาการหลอมละลายน้อยที่สุดเพียง 4.306 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ตามลำดับ พบว่า มีระยะเวลาการหลอมละลายที่ 5.618, 6.572 และ 7.948 วินาที ตามลำดับ

ผลการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟของผ้าไหม ซึ่งประเมินจากระยะเวลาการคุ้แดงของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ในแนวระดับการเผาไหม้ 45 องศา พบว่า ระยะเวลาการคุ้แดง มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาการคุ้แดงน้อยที่สุดเพียง 0.602 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ตามลำดับ พบว่า มีระยะเวลาการคุ้แดงที่ 0.730, 0.910 และ 1.620 วินาที ตามลำดับ

ผลการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟของผ้าไหม ซึ่งประเมินจากระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมดของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ในแนวระดับการเผาไหม้ 45 องศา พบว่า ระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมด มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมดน้อยที่สุดเพียง 1.606 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าไหมที่

ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่ 0.4 และ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ตามลำดับ พบว่า มีระยะเวลาการลุกลามทั้งหมดที่ 1.862, 1.932 และ 2.034 วินาที ตามลำดับ

ผลการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟของผ้าไหม ซึ่งประเมินจากการทนต่อเวลาการเริ่มต้นการลุกลามของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ในแนวระดับการเผาที่มุม 90 องศา พบว่า เวลาเริ่มต้นการลุกลามมีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีคุณสมบัติในการทนต่อการเริ่มต้นการลุกลามได้ดีที่สุดถึง 1.946 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ตามลำดับ พบว่า สามารถทนต่อการเริ่มต้นการลุกลามได้ 1.748, 1.502 และ 1.272 วินาที ตามลำดับ

ผลการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟของผ้าไหม ซึ่งประเมินจากระยะเวลาการหลอมละลายของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ในแนวระดับการเผาที่มุม 90 องศา พบว่า ระยะเวลาการหลอมละลายมีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาการหลอมละลายน้อยที่สุดเพียง 4.392 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ตามลำดับ พบว่า มีระยะเวลาการหลอมละลายที่ 6.586, 7.442 และ 7.776 วินาที ตามลำดับ

ผลการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟของผ้าไหม ซึ่งประเมินจากระยะเวลาการคุดแดงของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ในแนวระดับการเผาที่มุม 90 องศา พบว่า ระยะเวลาการคุดแดง มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาการคุดแดงน้อยที่สุดเพียง 0.604 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ตามลำดับ พบว่า มีระยะเวลาการคุดแดงที่ 0.742, 0.950 และ 1.634 วินาที ตามลำดับ

ผลการทดสอบคุณสมบัติการหน่วงไฟของผ้าไหม ซึ่งประเมินจากระยะเวลาการลุกลามทั้งหมดของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ในแนวระดับการเผาที่มุม 90 องศา พบว่า ระยะเวลาการลุกลามทั้งหมดมีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีระยะเวลาการลุกลามทั้งหมดน้อยที่สุดเพียง 1.584 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่ 0.4 และ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ตามลำดับ พบว่า มีระยะเวลาการลุกลามทั้งหมดที่เวลา 1.840, 1.910 และ 2.034 วินาที ตามลำดับ

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติการห่วงไฟของผ้าไหม โดยการวิเคราะห์หาความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับการเผาที่มุม 45 องศา พบว่า ผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถทนต่อการเริ่มต้นการลุกไหม้ได้ดีถึง 1.942 วินาที มีระยะเวลาหลอมละลายเพียง 3.444 วินาที มีระยะเวลาการคุ้แดงเพียง 0.602 วินาที และมีระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมดเพียง 1.606 วินาที จึงสามารถสรุปได้ว่า การทดสอบการลุกไหม้ของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวระดับการเผาที่ 45 องศา มีคุณสมบัติในการห่วงไฟได้ดีที่สุด

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติการห่วงไฟของผ้าไหม โดยการวิเคราะห์หาความแตกต่าง (ANOVA) ด้วยวิธี Duncan ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน ความเข้มข้นที่ 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแนวระดับการเผาที่มุม 90 องศา พบว่า ผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร สามารถทนต่อการเริ่มต้นการลุกไหม้ได้ถึง 1.946 วินาที มีระยะเวลาหลอมละลายเพียง 3.458 วินาที มีระยะเวลาการคุ้แดงเพียง 0.604 วินาที และมีระยะเวลาการลุกไหม้ทั้งหมดเพียง 1.584 วินาที จึงสามารถสรุปได้ว่า ผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในแนวระดับการเผาที่ 90 องศา มีคุณสมบัติในการห่วงไฟได้ดีที่สุด

ลักษณะทางกายภาพหลังการทดสอบการลุกไหม้ของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอน เกิดการเผาไหม้จนหมดผืนผ้า และถ้ามีลักษณะเป็นสีดำเกาะตัวกันเป็นแผ่นขนาดเล็ก ผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่ 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เกิดการเผาไหม้เกือบหมดผืนผ้า และถ้ามีลักษณะเป็นแผ่นสีดำเกาะรวมตัวกันเป็นผืนผ้าตามลักษณะของผ้าไหมก่อนเกิดการเผาไหม้ แต่มีถ้าบางส่วนที่เกิดจากการเผาไหม้หลุดออกจากผืนผ้า ผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่ 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เกิดการเผาไหม้เพียงบางส่วน และถ้ามีลักษณะเป็นแผ่นสีดำเกาะตัวกันเป็นผืนผ้าตามลักษณะของผ้าไหมก่อนเกิดการเผาไหม้ และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนความเข้มข้นที่ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เกิดการเผาไหม้เพียงเล็กน้อย และถ้ามีลักษณะเป็นแผ่นสีดำเกาะตัวกันเป็นผืนผ้าตามลักษณะของผ้าไหมก่อนการเผาไหม้

การทดสอบคุณสมบัติการป้องกันรังสียูวี สามารถวัดค่าความสามารถในการป้องกันรังสียูวีได้จากเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ซึ่งประเมินผลจากค่าความสามารถในการป้องกันรังสียูวี ในการเปรียบเทียบค่าความสามารถในการป้องกันรังสียูวีระหว่างผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ จะใช้การวิเคราะห์หาค่าความแตกต่าง (T-test) ผลการทดสอบคุณสมบัติการป้องกันรังสียูวี จะแบ่งออกตามช่วงความยาว

คลื่น คือ ช่วงคลื่นรังสี UV-A (ความยาวคลื่น 315 - 400 นาโนเมตร) และช่วงคลื่นรังสี UV-B (ความยาวคลื่น 280 - 315 นาโนเมตร) สรุปได้ดังนี้

1) ผลการทดสอบคุณสมบัติการป้องกันรังสี UV-A พบว่า ค่าความสามารถในการป้องกันรังสี UV-A มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิงค์ออกไซด์มีความสามารถในการป้องกันรังสี UV-A เท่ากับ 98.411% และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิงค์ออกไซด์ มีความสามารถในการป้องกันรังสี UV-A เท่ากับ 99.708% สรุปได้ว่าผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิงค์ออกไซด์ มีประสิทธิภาพป้องกันรังสี UV-A เพิ่มขึ้น 1.297% เมื่อเทียบกับผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์

2) ผลการทดสอบคุณสมบัติการป้องกันรังสี UV-B พบว่า ค่าความสามารถในการป้องกันรังสี UV-B มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิงค์ออกไซด์มีความสามารถในการป้องกันรังสี UV-B เท่ากับ 98.428% และผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิงค์ออกไซด์มีความสามารถในการป้องกันรังสี UV-B เท่ากับ 99.728% สรุปได้ว่าผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิงค์ออกไซด์มีค่าความสามารถในการป้องกันรังสี UV-B เพิ่มขึ้น 1.300% เมื่อเทียบกับผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์

## 5.2 อภิปรายผล

จากการศึกษาผลการสกัดสารซิลิคอนจากฟางข้าว และแกลบข้าวด้วยกระบวนการเผาและสกัดด้วยเทคนิคการใช้เบส จะได้สารซิลิคอนจากนั้น นำสารมาผ่านกระบวนการทำให้มีอนุภาคนาโนด้วยเทคนิครีฟลักซ์ และเทคนิคการบด จากนั้นวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคของสารนาโนซิลิคอน ด้วยเทคนิค TEM พบว่า ขนาดของอนุภาคสารนาโนซิลิคอนนั้นมีขนาดเล็กกว่า 100 และเล็กกว่า 50 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Gobi, N. ในปี ค.ศ. 2011 ที่ได้ทำการศึกษากการสกัดสารนาโนซิลิคอนโดยกระบวนการรีฟลักซ์ พบว่าขนาดของอนุภาคนาโนซิลิคอนนั้นมีขนาด 100 นาโนเมตร รวมถึงสอดคล้องกับ Sudarshan, M. ในปี ค.ศ. 2004 ได้ทำการศึกษากการสกัดสารนาโนซิลิคอนด้วยกระบวนการรีฟลักซ์ พบว่าขนาดของอนุภาคสารนาโนซิลิคอนนั้นมีขนาด 100 นาโนเมตร เมื่อนำสารนาโนซิลิคอน ที่สกัดได้จากฟางข้าว ตกแต่งลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธี จุ่ม อัด อบแห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่จะช่วยให้สารติดกับเส้นใยผ้าได้มาก เมื่อนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอน เข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์การเกาะติดของสารนาโนซิลิคอนด้วยเทคนิค SEM พบว่าสารนาโนซิลิคอนนั้นติดลงบนเส้นใยผ้า ลักษณะกระจายตัวได้อย่างทั่วถึงบริเวณผืนผ้า สอดคล้องกับ เณศรา แก้วคง ในปี 2557 ได้นำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มาตกแต่งลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธี จุ่ม อัด อบแห้ง และเมื่อวิเคราะห์การเกาะติดของสารนาโนซิงค์ ด้วยเทคนิค SEM พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ติดลงบนเส้นใยผ้าแบบกระจายตัวอย่างทั่วถึง ขั้นตอนในการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนนั้น มีการใช้สารเคมีที่ช่วยในการเพิ่มการยึดติดสารลงบนผ้าฝ้าย ในการศึกษาครั้งนี้มีการใช้สาร 3 ชนิด เพื่อเป็นการช่วยให้สารนาโนซิลิคอนนั้น ยึดติดลงบนผ้าฝ้ายได้อย่างมีประสิทธิภาพและทั่วถึง สารทั้ง 3 ชนิด คือ Sodum hypophosphite Silicone emulsion และ chitosan การทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ พบว่าเมื่อทำการตกแต่ง

สารนาโนซิลิคอนในปริมาณความเข้มข้นที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพการหน่วงไฟนั้นมีมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ คันสนีย์ เหลืองสุวรรณ ในปี พ.ศ. 2554 ได้ศึกษาลักษณะการลุกลามของผ้าชนิดต่าง ๆ ที่จะนำมาผลิตผ้าไหม โดยการศึกษาได้ใช้สารที่ใช้ตกแต่งผ้าคือ สารกันไฟ โพลีฟลูออโรเอเธน (Flovon ASN) ซึ่งเป็นสารกันไฟชนิดไม่ถาวร พบว่าการทดสอบกับเส้นใยผ้าฝ้าย เมื่อเพิ่มปริมาณของสารกันไฟให้มีปริมาณมากขึ้น จะสามารถลดความรุนแรงของการลุกลามของผ้าลงได้มาก เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารนาโนซิลิคอนที่ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งมีคุณสมบัติในการหน่วงไฟได้ดีที่สุด คือมีเวลาเริ่มต้นการลุกลามที่ 6.93 วินาที พบว่ามีประสิทธิภาพต่ำกว่าชุดผจญเพลิงที่สามารถทนความร้อนได้ไม่น้อยกว่า 260 องศาเซลเซียส ภายในเวลาไม่น้อยกว่า 5 นาที

จากการศึกษาผลการนำสารนาโนซิลิคอนและสารนาโนซิงค์ออกไซด์มาตกแต่งลงบนผ้าไหมด้วยวิธีจุ่ม อัด อบแห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่จะช่วยให้สารเกาะติดกับเส้นใยได้มาก เมื่อนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและสารนาโนซิงค์ออกไซด์ เข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์การเกาะติดสารนาโนซิลิคอนและสารนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิค SEM พบว่า สารนาโนซิลิคอนและสารนาโนซิงค์ออกไซด์ติดลงบนเส้นใยผ้า มีลักษณะการกระจายตัวได้อย่างทั่วถึงบริเวณผืนผ้า สอดคล้องกับ เณศรา แก้วคง ในปี พ.ศ. 2557 ได้นำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มาตกแต่งลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีจุ่ม อัด อบแห้ง เมื่อวิเคราะห์การเกาะติดของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิค SEM พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ติดลงบนเส้นใยผ้าแบบกระจายตัวอย่างทั่วถึง

การตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและสารนาโนซิงค์ออกไซด์นั้น มีการใช้สารเคมีที่ช่วยในการเพิ่มการยึดติดสารลงบนผ้าไหม ซึ่งในการศึกษาคั้งนี้มีการใช้สาร 3 ชนิด เพื่อเป็นการช่วยให้สารนาโนซิลิคอนและสารนาโนซิงค์ออกไซด์ยึดติดลงบนผ้าไหมได้ทั่วถึงอย่างมีประสิทธิภาพ สารทั้ง 3 ชนิด คือ สารโซเดียมไฮโปฟอสไฟท์ สารซิลิโคนอิมัลชัน และสารโคโตะซาน พบว่าเมื่อใช้สารทั้ง 3 ชนิดนี้สามารถช่วยเพิ่มการยึดติดของสารนาโนซิลิคอนได้อย่างทั่วถึง และสอดคล้องกับการศึกษาของกิตติคุณ เมฆทรัพย์และคณะ ในปี พ.ศ. 2552 ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของการเคลือบผิวเยื่อแผ่นเส้นใยกลวง PVDF โดยใช้สารโคโตะซานเป็นสารเคลือบภายนอกท่อของเส้นใย พบว่า โคโตะซานสามารถเคลือบติดที่ผิวของเยื่อแผ่น PVDF ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากอนุพันธ์ของสารโคโตะซานมาจากธรรมชาติ มีความหนืดสูง และเกิดเป็นฟิล์มที่คงตัวบนผิวเส้นใยได้ดี จึงเหมาะแก่การใช้เป็นสารเคลือบผิวของเส้นใยต่าง ๆ

การทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ พบว่า เมื่อทำการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนลงบนผ้าไหมในปริมาณความเข้มข้นที่เพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพการหน่วงไฟของผ้าไหมนั้นก็เพิ่มมากยิ่งขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนลงบนผ้าฝ้าย ซึ่งพบว่า เมื่อทำการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนในปริมาณความเข้มข้นที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพการหน่วงไฟนั้นมีมากยิ่งขึ้น ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีของผ้าไหม พบว่า เมื่อทำการตกแต่งสารนาโนซิงค์ออกไซด์ลงบนผ้าไหม ผ้าไหมมีคุณสมบัติในการป้องกันรังสียูวีเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผ้าไหมที่ไม่ผ่านการตกแต่งสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ญัฐฉิ นิยมจันทร์ ในปี พ.ศ. 2553

ได้ศึกษาผลของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนรูปทรงต่าง ๆ ที่อยู่บนผิวของผ้าฝ้าย พบว่า ความสามารถในการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้ายเคลือบซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับผ้าที่ไม่เคลือบซิงค์ออกไซด์

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการพัฒนาผ้าทอหวงไฟ โดยใช้สารนาโนซิลิคอนที่สังเคราะห์จากฟางข้าวและแกลบข้าว เพื่อใช้ผลิตเครื่องสิ่งทอหวงไฟ จากการศึกษา

5.3.1 ควรเพิ่มชนิดวัสดุเหลือใช้ทางธรรมชาติที่นำมาสังเคราะห์สารนาโนซิลิคอน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารนาโนซิลิคอนที่สังเคราะห์ได้

5.3.2 ควรศึกษาการเก็บรักษาผ้าหลังการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์

5.3.3 ควรศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ เช่น สี ความแข็งแรงของเส้นด้ายของผ้าหลังการตกแต่งสารนาโนซิลิคอนและนาโนซิงค์ออกไซด์

## บรรณานุกรม

### บรรณานุกรมภาษาไทย

- กัลยาภรณ์ จันตรี. (2543). การวิเคราะห์หาคีลิกอนในใบข้าวและเปลือกข้าวโดยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตรีและเอกซเรย์ไมโครอะนาไลซิสผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ศึกษาศาสตร์ (เคมีศึกษา), มหาวิทยาลัยศิลปากร. บัณฑิตวิทยาลัย
- กาญจนา นุ่มนวล. (2552). การวิเคราะห์ชนิดของเส้นใยที่ใช้ทอผ้า. ค้นเมื่อ 9 ธันวาคม 2559, จาก <http://m.exteen.com/blog/nnkanjana/20090214/entry-5>
- กิตติคุณ เมฆทรัพย์และคณะ. (2552). การเคลือบผิวเยื่อแผ่น PVDF ด้วยไคโตซาน เพื่อป้องกันการเปื่อยในกระบวนการกลั่นแบบออสโมติก. วิทยานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. (2554). คุณสมบัติของSilicon (ซิลิคอน). ค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2559, จาก <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/topic2/Si.html>
- ชาญชัย สิริเกษมเลิศ. (2552). สิ่งทอทนไฟและวิธีการเคลือบผ้า. ค้นเมื่อ 22 กรกฎาคม 2559, จาก <http://www.ttistextiledigest.com/articles/technology/item/2462-flame-retardant-textiles.html>
- ฐานข้อมูลความปลอดภัยวัสดุนาโน. (2549). นาโนซิลิคอน. ค้นเมื่อ 17 กรกฎาคม 2559, จาก <http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/ceri/nanodatabase/>
- ณศรา แก้วคง. (2557). การพัฒนาผ้าใยสังเคราะห์ใยแก้วเส้นใยนาโน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- ณัฐบดี วิริยาวัฒน์, สุรชาติ สีนวรรณ, และกิตติศักดิ์ พุทธิกันนท์. (2558). การพัฒนาปูนาโนซิลิคอนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อเป็นสารเสริมการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในพื้นที่เขตเกษตรกรรมมันสำปะหลัง ตำบลห้วยบง จ.นครราชสีมา. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ
- ณัฐฉิ เนิมจันท์. (2553). ผลของซิงค์ออกไซด์อนุภาคขนาดนาโนรูปทรงต่าง ๆ ที่อยู่บนผิวผ้าด้วยเทคนิคการปั่นด้วยไฟฟ้า เพื่อสมบัติต้านทานแสงยูวีและต้านทานแบคทีเรีย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- ธัญวรรณ์ พิพัฒน์ชาญชัย. (2549). *การเตรียมผ้าฝ้ายและผ้าไหมสะท้อนน้ำ ด้วยออร์แกนซิลีนร่วมกับนาโนซิลิกอนไดออกไซด์*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
บริษัท สยามกรีนซิล จำกัด (2553). *ซิลิคอน*. ค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2559, จาก  
<http://www.siamgreensil.com/index.php?>
- เบญจพร พวงจำปี. (2547). *ซิลิคอน*. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กลุ่มเทคโนโลยีโลหวิทยาสำนักอุตสาหกรรมพื้นฐานกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
- เลอพงศ์ จารุพันธ์. (2561). *เพิ่มคุณภาพการพิมพ์ด้วยนาโนซิลิกาจากแกลบข้าว*. สืบค้นเมื่อ 6 กุมภาพันธ์ 2562, จาก <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=41523>
- พัชรินทร์ วรรณกุล. (2553). Sol-Gel เทคโนโลยีสังเคราะห์ซิลิกาจากขานอ้อย. *TechnologyBio*, 2553 , 40-43.
- เว็บเพื่อพืชเกษตรไทย. (2546). *ฟางข้าว*. ค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2559, จาก  
<http://puechkaset.com/>
- คันสนีย์ เหลืองสุวรรณ. (2544). *ผลของสารตกแต่งกันไฟ Flovan ASN ต่อการลุกลไหม้ของผ้าม่านบางชนิด*. วิทยานิพนธ์ คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา คหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ศรีธวัช จาติเกตุ. (2534). *ครัวมาตรฐาน*. กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพมหานคร
- ลักขณา จาตกานนท์, ประพาฬภรณ์ อีรัมย์คล และ พีรพัฒน์ วงศ์กมลพร. (2555). *การพัฒนาโครงสร้างผ้าของเครื่องแต่งกายเซฟที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานของเซฟในครัวอาหารไทย*. คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- สุทธิษา ก้อนเรือง. (2551). *การสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยกระบวนการทางพลาสมา*. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- สโรชา จิตต์ปราโมทย์. (2558). *การป้องกันและระงับอัคคีภัย*. ค้นเมื่อ 28 พฤศจิกายน 2559, จาก  
<https://maewnoynoy.wordpress.com/2015/04/28>
- สันติ อัจยุตโกคิน. (2546). *ฟางข้าว*. ค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2559, จาก <http://pvlo-spr.dld.go.th/Animal%20food/roughage/straw.html>
- สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. (2548). *การเผาไหม้*. ค้นเมื่อ 22 กรกฎาคม 2559, จาก  
<http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book>

### บรรณานุกรม (ต่อ)

สถานีดับเพลิงสามเสน. (2558). สาเหตุของการเหตุเพลิงไหม้. ค้นเมื่อ 28 ตุลาคม 2559, จาก <http://www.samsenfire.com/article/50.html>.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2554). วิธีทดสอบสิ่งทอ.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 1-19

อัจฉราพร ไสละสุต. (2540). การย้อมสีและการตกแต่ง. (พิมพ์ครั้งที่1). กรุงเทพมหานครโรงพิมพ์สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ

อัฐพงษ์ แสงงาม. (2556). สิ่งทอกับนาโนเทคโนโลยี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 17-20.

### บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

Bing, Q., Yong L., Ting-Jie W., & Yanping J. (2015). *Surface modification to produce hydrophobic nano-silica particles using sodium dodecyl sulfate as a modifier*. Department of Chemical Engineering. Tsinghua University, 100084, Beijing, China.

Cesar R. S., & Claudio A. (1997). *Acid and Base Catalysts in the Hybrid Silica Sol-Gel Process*. Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brazil.

Reenee, S. (2002). *Styles of chef coats*. [http://www.ehow.com/about\\_5032990\\_history-chef-coats.html](http://www.ehow.com/about_5032990_history-chef-coats.html)

Gobi, N., Thangavelu, R., Venkatachalam, R., Rajagoundar, P. (2011). Effect of silica nanoparticles and BTCA on physical properties of cotton fabrics. *Materials Research*, 14(4), 552 - 559.

Jal, P. K., Sudarshan, M., Saha, A., Sabita P., Mishra, B. K. (2004). *Synthesis and characterization of nanosilica prepared by precipitation method*. Department of Chemistry. Sambalpur University, Jyoti Vihar 768019, India.

Tracy, D. (2008). *History of chef coats*. [http://www.ehow.com/about\\_5032990\\_history-chef-coats.html](http://www.ehow.com/about_5032990_history-chef-coats.html).