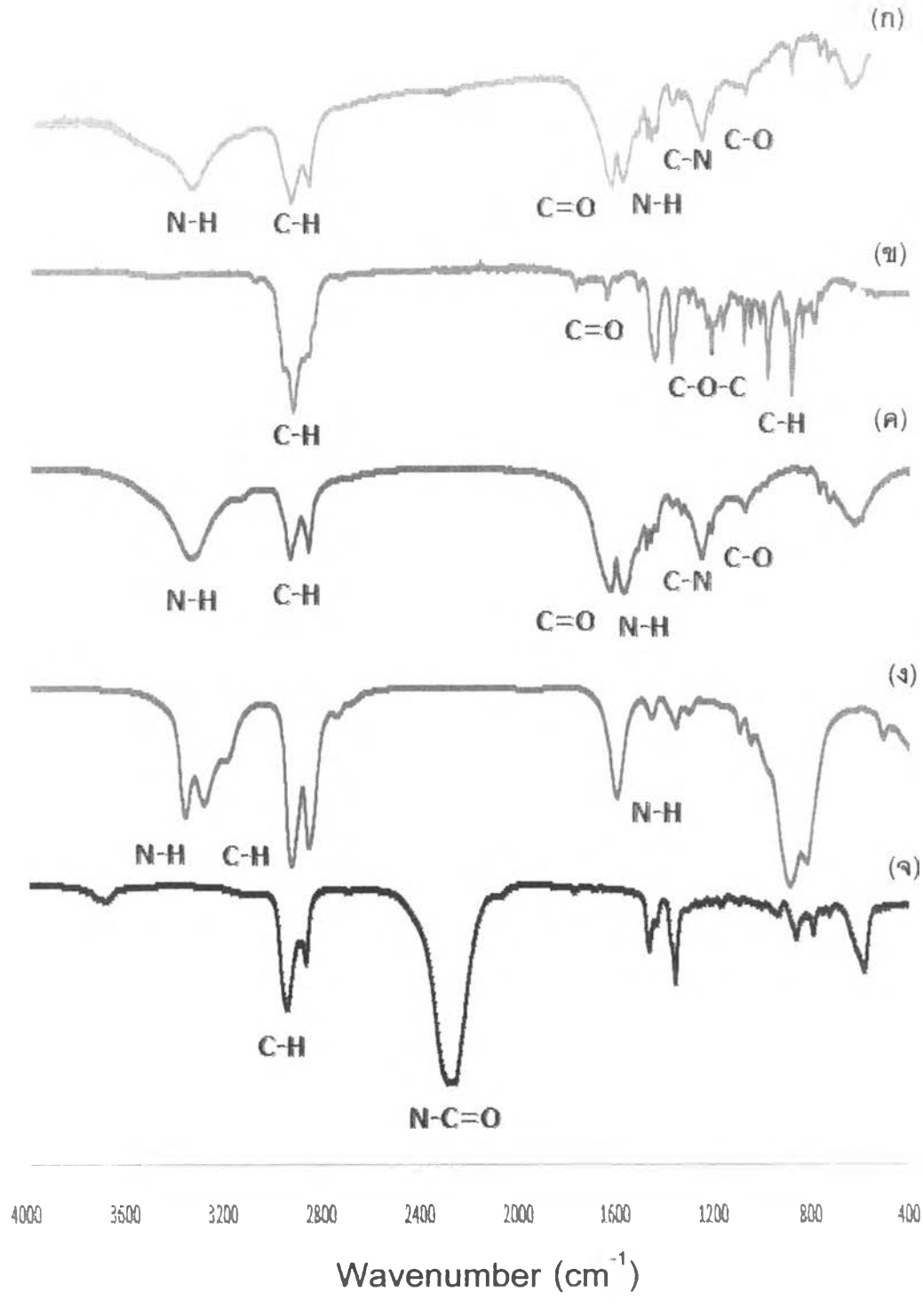
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การหาลักษณะสมบัติของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

4.1.1 พิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค FTIR

จากรูปที่ 4.1 พบว่า FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย แสดงหมู่ฟังก์ชันเช่นเดียวกับสเปกตรัมของไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ไม่ได้บรรจุน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง โดยหมู่ฟังชันก์ที่พบนั้นประกอบไปด้วย N-H stretching, urea carbonyl, เอไมด์ II และ เอไมด์ III, C-O-C stretching และ =C-H stretching โดยเมื่อนำสเปกตรัมของไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์ได้มาเปรียบเทียบกับ สเปกตรัมของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่เป็นสารแกน พบว่าสเปกตรัมมีการซ้อนทับกันบางส่วน แต่พีคที่น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งไม่แสดงคือ N-H ทั้งนี้เพราะพีคของ N-H นั้นได้มาจากหมู่แอมีนของ EDA และเมื่อนำสเปกตรัมของไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์ได้มาเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของ HMDI พบความแตกต่างของพีค N-C=O ที่ปรากฏใน HMDI อย่างชัดเจน แต่ไม่ปรากฏในไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์ได้ จึงอาจสรุปได้ว่า หมู่ไอโซไซยาเนตนั้นได้ทำปฏิกิริยากับพอลิออล ของ PEG400 และ ไดแอมีน ของ EDA ได้อย่างสมบูรณ์ซึ่งส่งผลทำให้ไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์ได้ไม่เป็นพิษจากหมู่ไอโซไซยาเนตที่ใช้



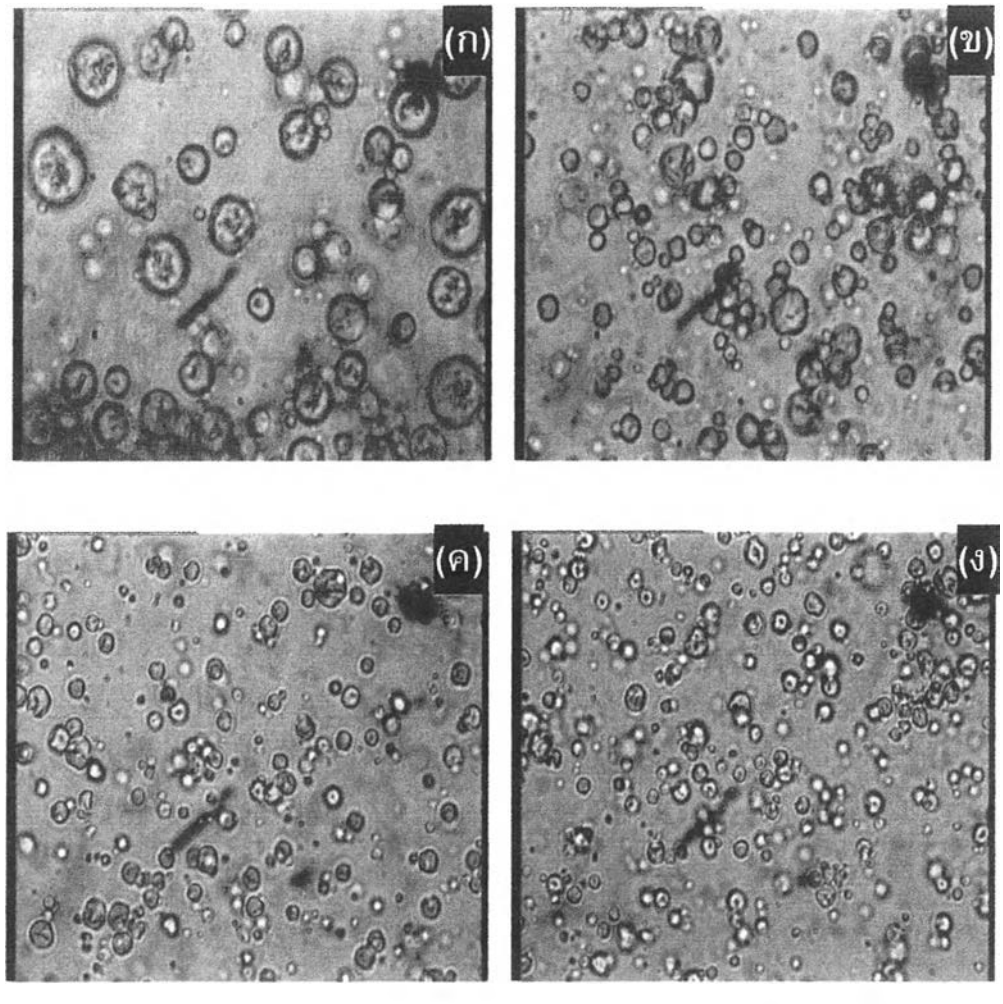
รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมของ (ก) ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย (ข) น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง (ค) ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทนยูเรียที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหย (ง) Ethylenediamine และ (จ) Hexamethylene diisocyanate

4.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ขนาดอนุภาค และการกระจายขนาดของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

4.2.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค OM

4.2.1.1 ผลของความเร็วรอบในการปั่นผสม

จากผลการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค OM ของไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยความเร็วในการปั่นผสมที่ต่างๆกันนั้น พบว่าลักษณะเบื้องต้นของไมโครแคปซูลที่ได้ มีลักษณะเป็นทรงกลม มีการกระจายขนาด และกระจายตัวกันอยู่อย่างอิสระ อีกทั้งยังพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการปั่นผสม ไมโครแคปซูลที่ได้มีขนาดที่เล็กลงตามลำดับดังแสดงใน รูปที่ 4.2



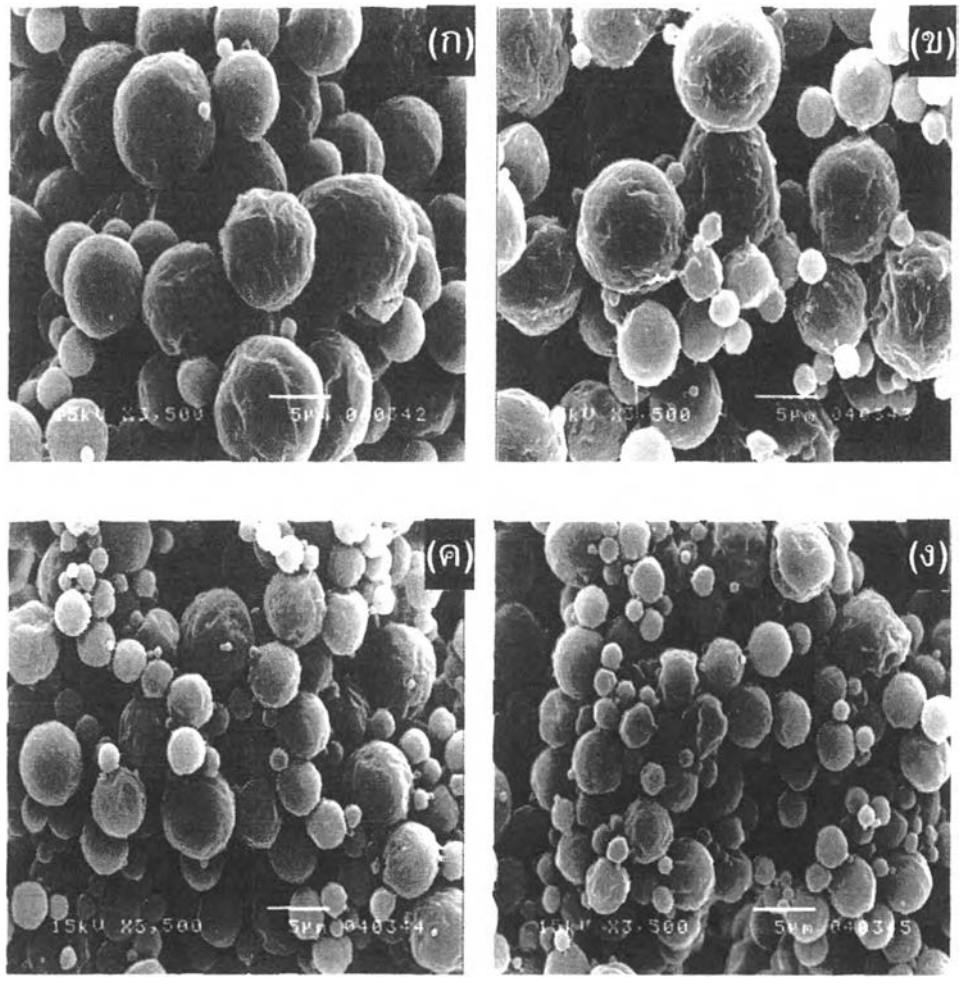
รูปที่ 4.2 ภาพ OM ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมต่างๆ (ก) 12000 (ข) 14000 (ค) 16000 และ (ง) 18000 รอบต่อนาที

และเมื่อสังเกตลักษณะของไมโครแคปซูลในภาพ เห็นได้ว่าส่วนขอบของไมโครแคปซูลนั้นมีความหนาและเป็นสีเข้ม ส่วนตรงกลางของไมโครแคปซูลเป็นสีใสที่แสงสามารถทะลุผ่านได้ ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าบริเวณตรงกลางของไมโครแคปซูลมีน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่สามารถให้แสงทะลุผ่านได้อยู่ แต่ทั้งนี้เทคนิค OM ก็ยังคงไม่สามารถระบุได้อย่างแท้จริงว่ามีน้ำมันหอมระเหยบรรจุอยู่ในไมโครแคปซูลหรือไม่ ซึ่งเราสามารถใช้เทคนิคอื่นๆมาทำการทดสอบร่วมเพื่อยืนยันการมีอยู่ของน้ำมันหอมระเหยได้ เช่น IMDB และ TGA

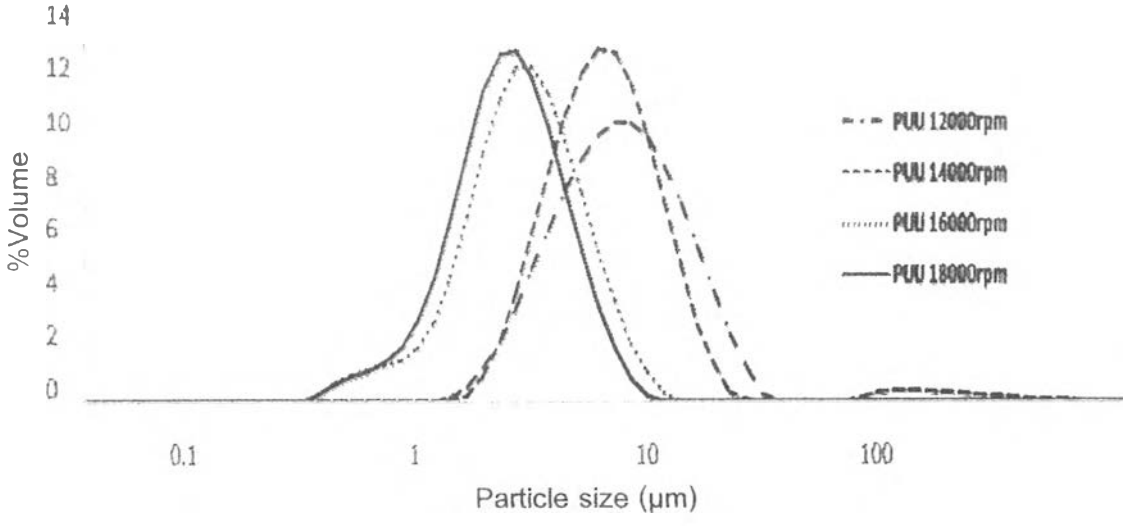
4.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา การกระจายตัว และขนาดของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค SEM และ PSD

4.2.2.1 ผลของความเร็วรอบในการปั่นผสม

จากผลการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยความเร็วในการปั่นผสมที่ต่างๆกัน โดยการใช้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ 20 มิลลิลิตร พบว่าลักษณะโดยรวมของไมโครแคปซูลที่ได้นั้นเป็นไปตามผลทดสอบเบื้องต้นที่ได้จากภาพถ่าย OM คือไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นทรงกลม มีการกระจายขนาด และกระจายตัวกันอย่างอิสระ อีกทั้งยังมีขนาดเล็กลงเมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการปั่นผสม รูปที่ 4.3 ทั้งนี้ค่าของการกระจายขนาดสามารถวิเคราะห์ได้จากเครื่อง PSD โดยพบว่าที่ความเร็วรอบในการปั่นผสม 12000 รอบต่อนาที ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ส่วนใหญ่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 1 ถึง 26 ไมโครเมตร โดยมีขนาดอนุภาค (D[4,3]) เท่ากับ 11.99 ไมโครเมตร ส่วนความเร็วรอบที่ 14000 รอบต่อนาที ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ส่วนใหญ่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 2 ถึง 22 ไมโครเมตร โดยมีขนาดอนุภาค (D[4,3]) เท่ากับ 6.97 ไมโครเมตร และสุดท้ายคือความเร็วรอบที่ 16000 และ 18000 รอบต่อนาที พบว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมได้นั้นมีช่วงของการกระจายตัว และขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน คือมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 0.6 ถึง 13 ไมโครเมตร และ ประมาณ 0.5 ถึง 10 ไมโครเมตร ส่วนขนาดอนุภาค(D[4,3]) มีค่าเท่ากับ 3.65 และ 3.15 ตามลำดับ โดยค่า span ของการเตรียมที่ความเร็วรอบในการปั่นผสมต่างๆนั้นแสดงค่าที่ต่ำกว่า 1.6 ซึ่งหมายความว่า ถึงแม้ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ มีการกระจายขนาดแต่ก็มีขนาดที่ไม่ต่างกันมากนัก ดังที่แสดงใน รูปที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.3 ภาพ SEM ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการกวนผสมต่างๆ (ก) 12000 (ข) 14000 (ค) 16000 และ (ง) 18000 รอบต่อนาที ที่กำลังขยาย 3500 เท่า



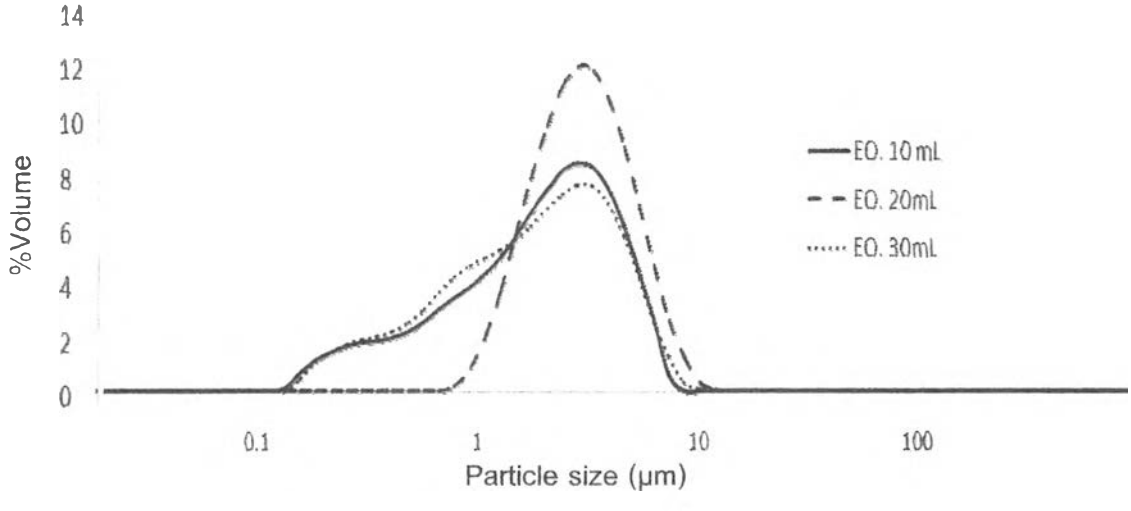
รูปที่ 4.4 การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการกวนผสมต่างๆ ตั้งแต่ 12000, 14000, 16000 และ 18000 รอบต่อนาที

ตารางที่4.1 ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมต่างๆ (เวลาในการปั่นผสม 5 นาที ปริมาณน้ำมันหอมระเหย 20 มิลลิลิตร)

ความเร็วรอบในการปั่นผสม (รอบต่อนาที)	**ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูล (ไมโครเมตร)**	Span
12000	11.99	1.58
14000	6.97	1.18
16000	3.65	1.32
18000	3.15	1.25

4.2.2.2 **ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไป**

จากผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณของน้ำมันหอมระเหยต่างๆ โดยการใช้ความเร็วรอบในการปั่นผสมที่ 14000 รอบต่อนาที พบว่าขนาดของไมโครแคปซูลที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง PSD นั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่จะมีค่าการกระจายขนาดที่ต่างกัน โดยไมโครแคปซูลที่ด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ 10 มิลลิลิตรนั้น ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ส่วนใหญ่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 0.5 ถึง 15.13 ไมโครเมตร โดยมีขนาดอนุภาค(D[4,3]) เท่ากับ 5.75 ไมโครเมตร ส่วนปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ 20 มิลลิลิตร ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ส่วนใหญ่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 2.12 ถึง 22.10 ไมโครเมตร โดยมีขนาดอนุภาค(D[4,3]) เท่ากับ 6.97 ไมโครเมตร และสุดท้ายคือการสังเคราะห์ไมโครแคปซูลด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหย 30 มิลลิลิตร ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ส่วนใหญ่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 0.5 ถึง 19.95 ไมโครเมตร โดยมีขนาดอนุภาค (D[4,3]) เท่ากับ 5.65 ไมโครเมตร ซึ่งทำให้เห็นได้ว่า ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่มีผลต่อขนาดของไมโครแคปซูล แต่กลับพบว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหย 10 และ 30 มิลลิลิตร มีค่า span ที่กว้างซึ่งแสดงว่ามีการกระจายขนาดของไมโครแคปซูลมากกว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ 20 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 4.5 และ ตารางที่ 4.2 ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ที่ได้มีส่วนช่วยในการเลือกภาวะของการสังเคราะห์ไมโครแคปซูล เพราะไมโครแคปซูลที่เลือกมาใช้นั้นควรมีค่าการกระจายขนาดที่แคบ เพื่อให้การนำไมโครแคปซูลไปใช้งานมีความเสถียรมากขึ้น



รูปที่ 4.5 การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณของน้ำมันหอมระเหยต่างๆ ที่ 10, 20 และ 30 มิลลิลิตร

ตารางที่4.2 ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน - ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณของน้ำมันหอมระเหยต่างๆ(ความเร็วรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที)

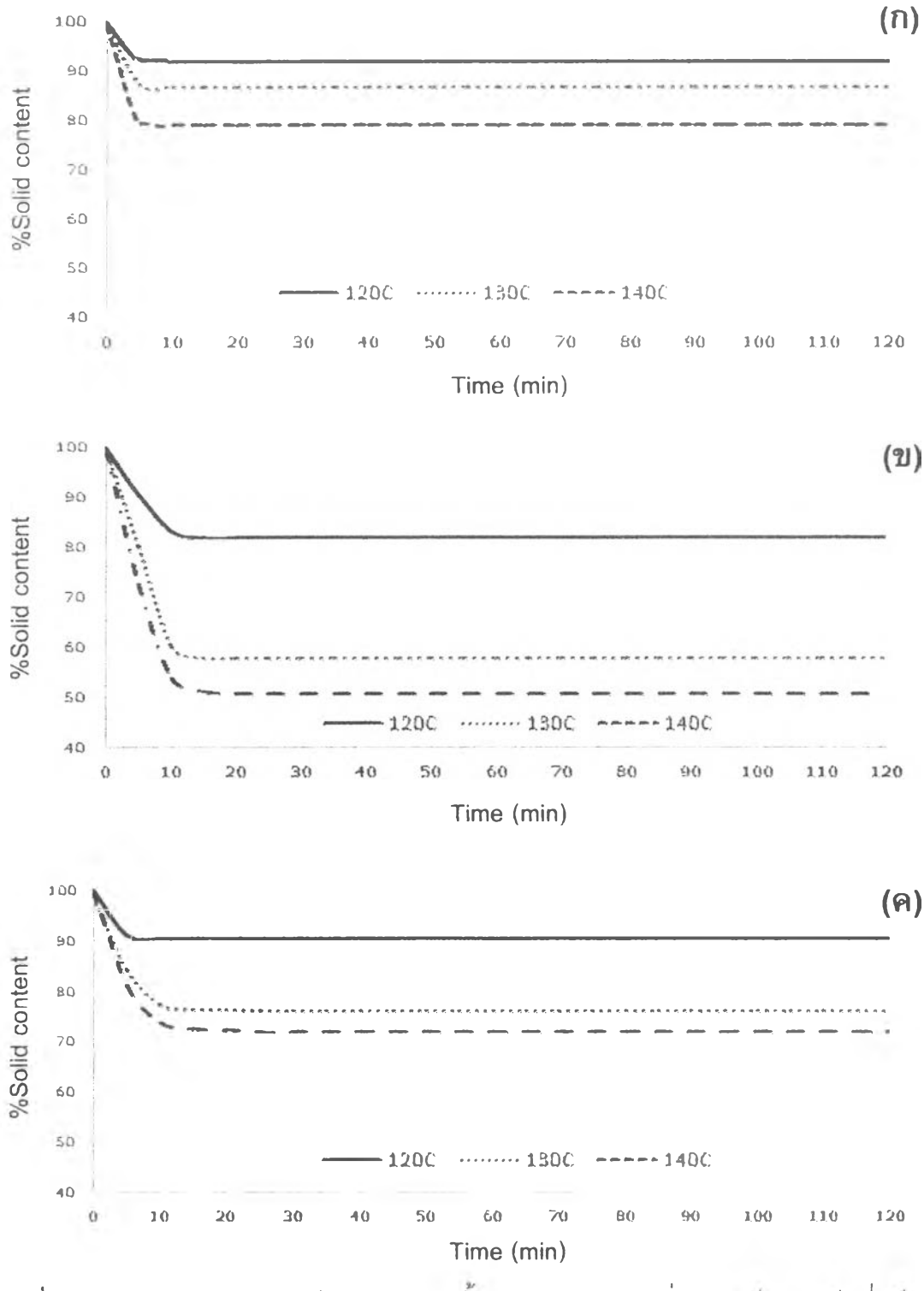
ปริมาณน้ำมันที่ใส่ในระบบ (มิลลิลิตร)	ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูล (ไมโครเมตร)	Span
10	5.75	1.77
20	6.97	1.18
30	5.65	1.92

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูล/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

4.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณ และการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค IMDB และ TGA

4.3.1.1 ผลของการให้ความร้อน และปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไป

จากผลการทดสอบการให้ความร้อนแก่ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่สังเคราะห์โดยใช้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยต่างๆกันคือ 10, 20 และ 30 มิลลิลิตรโดยเลือกใช้ความเร็วรอบในการปั่นผสมที่ 14000 รอบต่อนาที และให้ความร้อนแก่ไมโครแคปซูลที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง IMDB พบว่า % solid content ของไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยการเติมปริมาณน้ำมันหอมระเหย 10, 20 และ 30 มิลลิลิตร มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ 10 นาทีแรก และหลังจากนั้นก็แสดงค่าคงที่ ซึ่งการลดลงอย่างรวดเร็วของ % solid content นั้นอาจเกิดจากการปลดปล่อยของน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ภายในไมโครแคปซูล และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนมากขึ้น % solid content ก็ยิ่งลดลงมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ ตารางที่ 4.3 โดยหากกำหนดให้ % solid content ที่หายไปเทียบเท่ากับปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่ถูกบรรจุอยู่ภายในไมโครแคปซูล (% loading capacity) พบว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยที่ 10, 20 และ 30 มิลลิลิตร ลงไปในขั้นตอนการเตรียมไมโครแคปซูล ส่งผลให้ได้ไมโครแคปซูลที่มีน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งบรรจุอยู่(% loading capacity) ในปริมาณ 21.25, 49.43 และ 28.26 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.6 % solid content **ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไปต่างๆกัน** (ก) 10 (ข) 20 และ (ค) 30 **มิลลิลิตร** (ความเร็วรอบในการกวนผสม 14000 **รอบต่อนาที** และเวลาในการกวนผสม 5 นาที) หลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120, 130 **และ** 140 **องศาเซลเซียส**

ตารางที่ 4.3 % solid content ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไปต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที และเวลาในการกวนผสม 5 นาที) หลังการให้ความร้อนที่ อุณหภูมิ 120, 130 และ 140องศาเซลเซียส

ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ใส่ในระบบ(มิลลิลิตร)	% Solid content		
	120°C	130°C	140°C
0 (PUU microcapsules)	89.45	88.74	87.93
10	91.52	86.55	78.75
20	81.76	57.59	50.57
30	90.30	76.10	71.74

ตารางที่ 4.4 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไปต่างๆกัน (ความเร็วรอบในการกวนผสม 14000 รอบต่อนาที เวลาในการปั่นผสม 5 นาที)

ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่เติมลงไป(มิลลิลิตร)	% Loading capacity
10	21.25
20	49.43
30	28.26

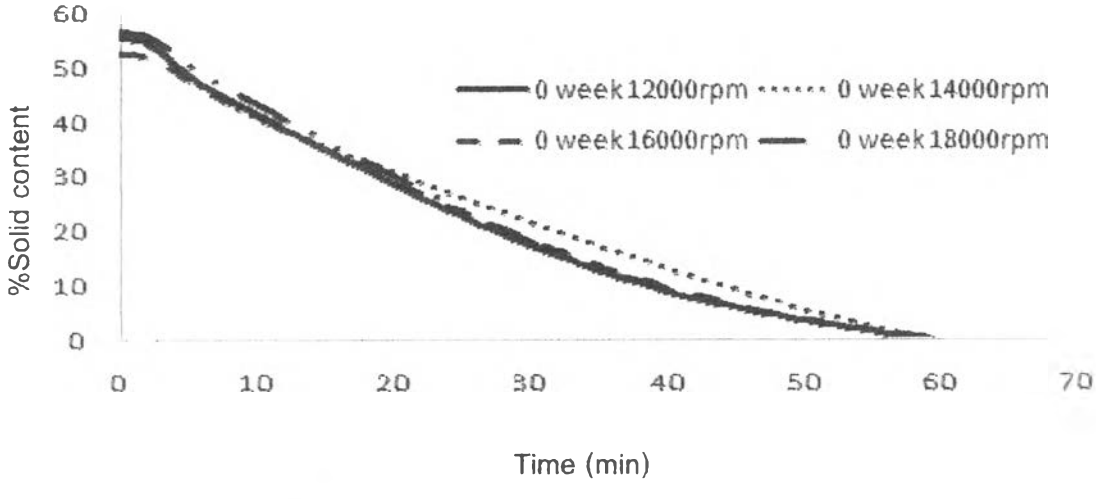
4.3.1.2 ผลของความเร็วรอบในการปั่นผสม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมที่ต่างกันโดยการใช้เทคนิค TGA พบว่าไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์ได้นั้นมีความสามารถในการจุน้ำมันหอมระเหยที่ไม่ต่างกัน โดยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมที่ 12000 รอบต่อนาที มีความสามารถในการจุน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง เท่ากับ ร้อยละ 55.22 โดยที่ความเร็วรอบในการปั่นผสมที่ 14000, 16000 และ 18000 รอบต่อนาที มีความสามารถในการจุน้ำมันหอมระเหยที่ ร้อยละ 56.07, 52.30 และ 56.26 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมที่ต่างกัน โดยใช้ความเร็วที่ 12000, 14000, 16000 และ 18000 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบของการปั่นผสม(รอบต่อนาที)	% Loading capacity
12000	55.22
14000	56.07
16000	52.30
18000	56.26

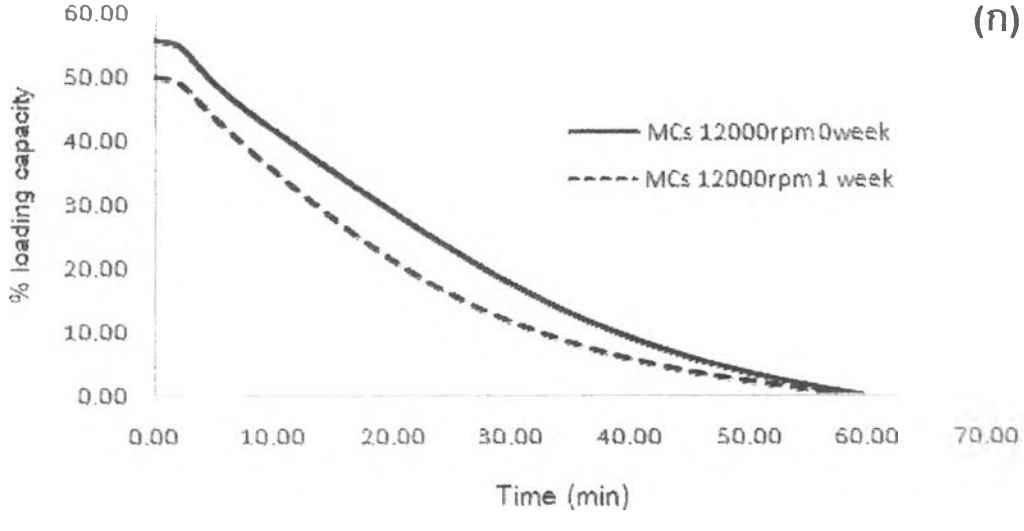
และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง พบว่าผนังของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากความเร็วรอบที่ต่างๆกัน พบว่าผนังมีความสามารถในการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.7

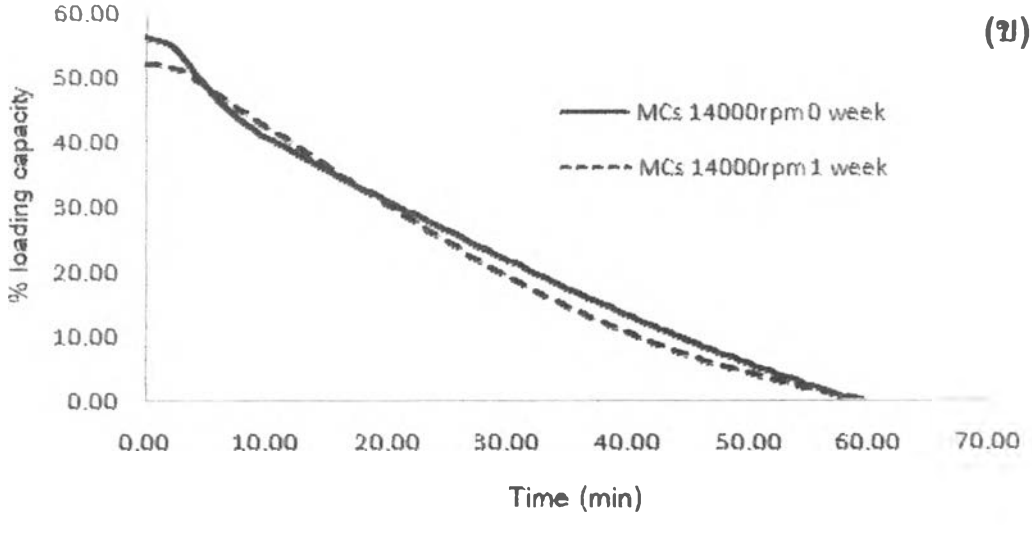


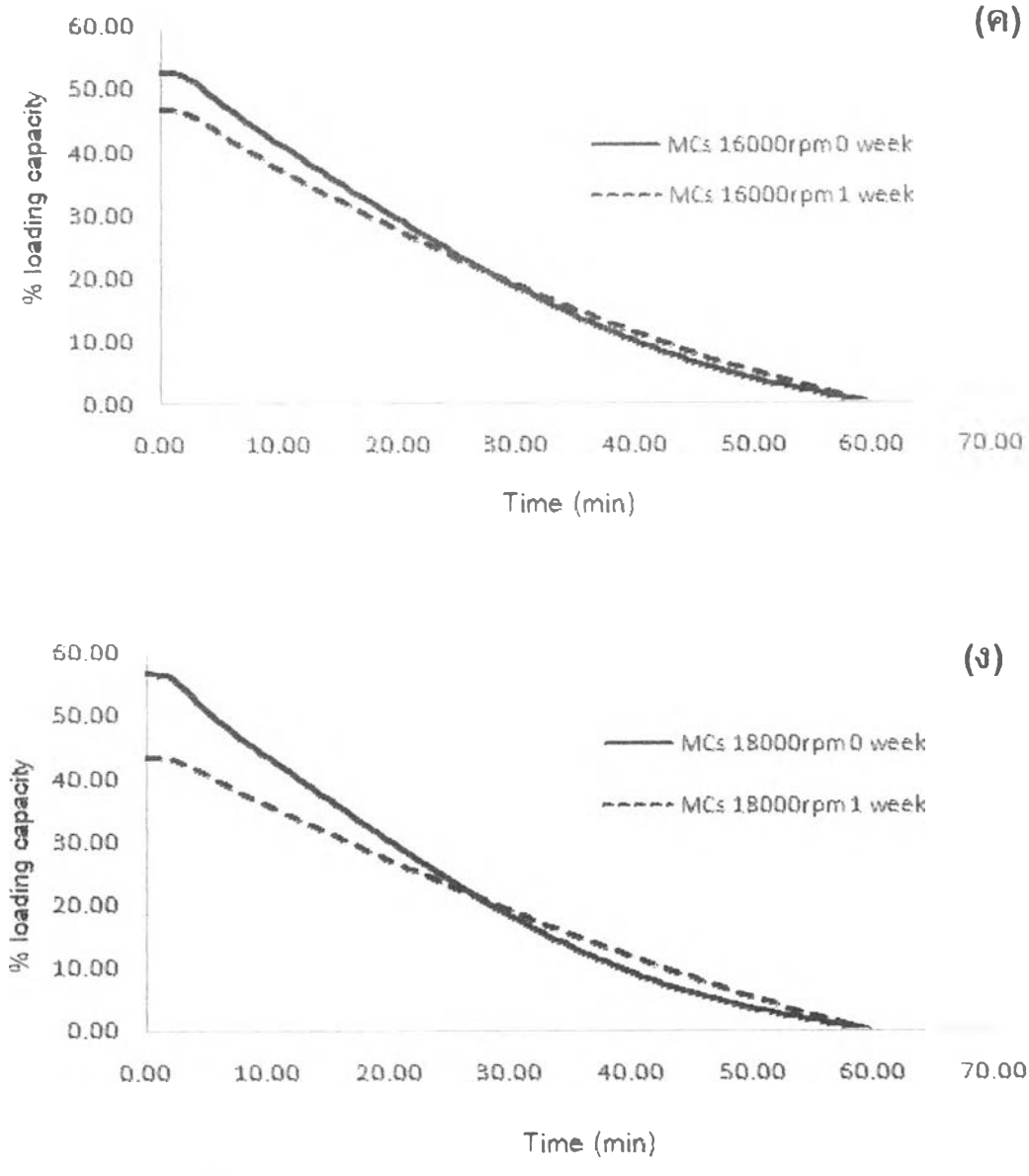
รูปที่ 4.7 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมที่ต่างกัน โดยใช้ความเร็วที่ 12000, 14000, 16000 และ 18000 รอบต่อนาที

4.4 การศึกษาความสามารถในการเก็บรักษาเพื่อการใช้งานของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

ผลจากการทดสอบความสามารถในการเก็บรักษาเพื่อการนำไปใช้งาน ด้วยเทคนิค TGA โดยให้ความร้อนที่ 120 องศาเซลเซียสนั้น พบว่าไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมที่ต่างกัน มีปริมาณของน้ำมันหอมระเหยลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน แต่ทั้งนี้อัตราการลดลงของน้ำมันหอมระเหย มีความแตกต่างกัน โดยไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมที่ 14000 รอบต่อนาที แสดงร้อยละของการลดลงของน้ำมันหอมระเหยน้อยที่สุดที่ 7.51 และ ไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมที่ 18000 รอบต่อนาที แสดงร้อยละการลดลงของน้ำมันหอมระเหยที่มากที่สุดที่ 29.71 ส่วนไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมที่ 12000 และ 16000 รอบต่อนาที แสดงอัตราการลดลงของน้ำมันหอมระเหยที่ 9.78 และ 11.05 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และ ตารางที่ 4.6







รูปที่ 4.8 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลหลังจากทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน โดยเตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมที่ต่างกัน (ก) 12000 (ข) 14000 (ค) 16000 และ (ง) 18000 รอบต่อนาที

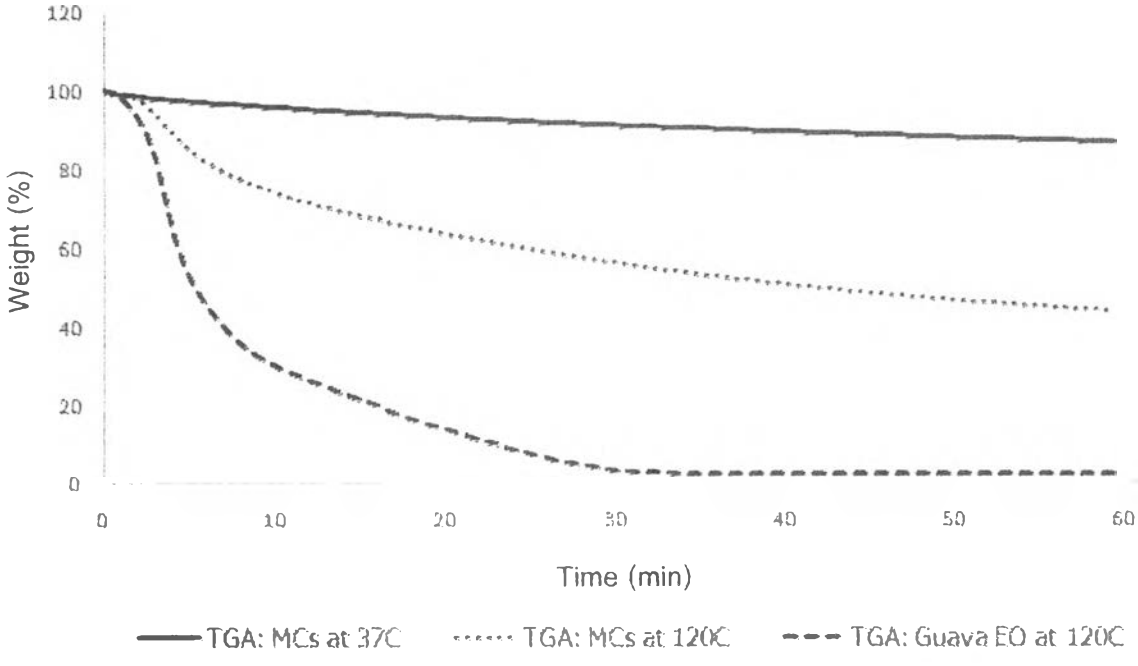
ตารางที่ 4.6 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่บรรจุในไมโครแคปซูลหลังจากทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน โดยเตรียมด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมต่างๆที่ 12000, 14000, 16000 และ 18000 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบของการปั่นผสม(รอบต่อนาที)	% Loading capacity		
	หลังการสังเคราะห์	7 วันหลังการสังเคราะห์	ร้อยละการลดลงของน้ำมันหอมระเหย
12000	55.22	49.82	9.78
14000	56.07	51.83	7.51
16000	52.30	46.28	11.05
18000	56.26	42.92	23.71

4.5 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยเทคนิค TGA

4.5.1 การศึกษาสมบัติภายใต้การให้ความร้อนแบบไอโซเทอร์มอล

การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ถูกชะล้างและทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ไม่ได้ถูกห่อหุ้มด้วยผนังไมโครแคปซูล/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมโดยใช้ความเร็วรอบในการปั่นผสม14000 รอบต่อนาที และใช้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 20 มิลลิลิตร พบว่า กราฟ Isothermal TGA ที่อุณหภูมิ 37 ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย นั้นมีการสูญเสียน้ำหนักของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งเพียงร้อยละ 9 เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ซึ่งถือว่ามีอัตราการลดลงที่น้อยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกราฟ Isothermal TGA ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ของ น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ไม่ได้ถูกห่อหุ้มด้วยผนังไมโครแคปซูล/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย พบว่า มีการสูญเสียน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งมากถึงร้อยละ 80 เมื่อเวลาผ่านไปเพียง 15 นาที แต่ทั้งนี้กราฟ Isothermal TGA ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย มีค่าการสูญเสียน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งอยู่ที่ร้อยละ 30 เมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที จากผลการทดสอบที่ได้ทำให้สามารถกล่าวได้ว่าการน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่มีพอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารห่อหุ้ม สามารถช่วยในเรื่องอัตราการลดลงของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งได้ และเทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันสามารถปรับปรุงความคงทนต่อความร้อนของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งในระหว่างการผลิตและการใช้งานได้ดี

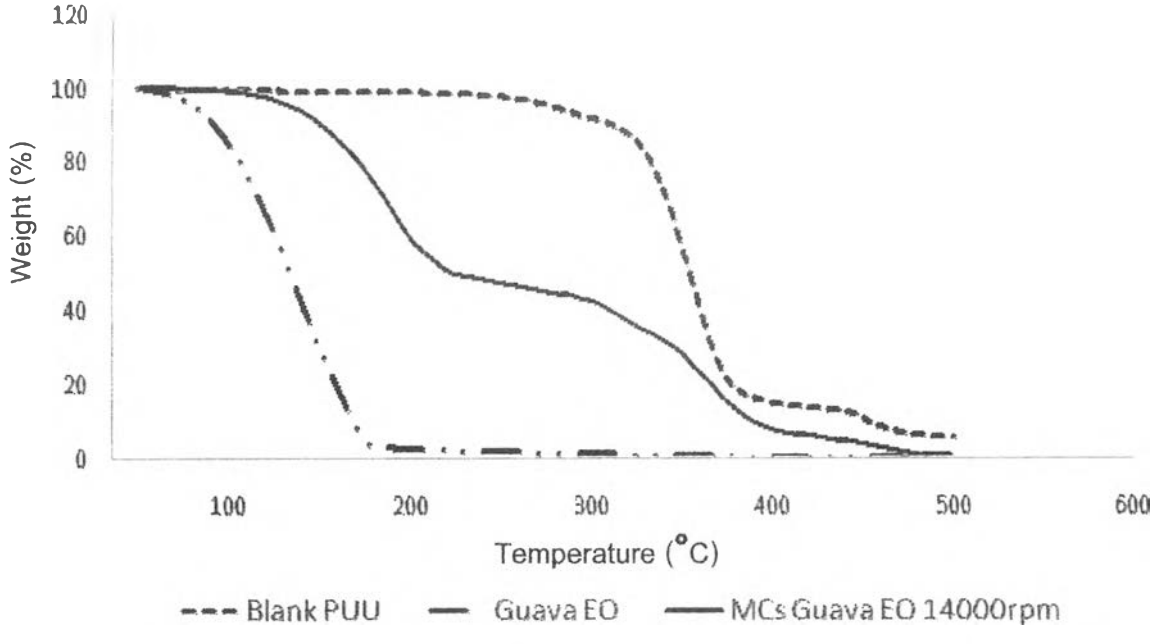


รูปที่ 4.9 กราฟร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส

4.5.2 การศึกษาสมบัติภายใต้การให้ความร้อนแบบไดนามิกส์

การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ถูกชะล้างและทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ไม่ได้อยู่ในรูปไมโครแคปซูล และ ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ไม่ได้บรรจุด้วยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ซึ่งเตรียมได้จากการใช้ความเร็วรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที และใช้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง 20 มิลลิลิตร พบว่ากราฟ Dynamic TGA ของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ไม่ได้อยู่ในรูปไมโครแคปซูลจะเกิดการสูญเสียร้อยละของน้ำหนักทั้งหมดที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส ในขณะที่กราฟ Dynamic TGA ของไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ไม่ได้บรรจุด้วยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งนั้นจะเริ่มเกิดการสูญเสียร้อยละของน้ำหนักที่อุณหภูมิประมาณ 350-400 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณากราฟ Dynamic TGA ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย จะพบว่ามีความแตกต่างจากกราฟอื่นๆ เพราะจะพบการสลายตัวของไมโครแคปซูล 2 ขั้น โดยสันนิษฐานว่าร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักในช่วงแรกที่อุณหภูมิ 150-230 องศาเซลเซียส นั้นอาจเกิดจากการสลายตัวของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ซึ่งมีความสอดคล้องกัน

กับกราฟของน้ำมันหอมระเหยที่ไม่ได้อยู่ในรูปไมโครแคปซูล และขั้นที่ 2 จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 300-400 องศาเซลเซียส โดยสันนิษฐานว่าจะเป็นช่วงของการสลายตัวของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย ซึ่งสอดคล้องกันกับกราฟของไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ไม่ได้บรรจุด้วยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ดังรูปที่ 4.10 โดยจากที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นสามารถบอกได้ว่าเมื่อนำน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ถูกห่อหุ้มด้วยผนังชนิดพอลิยูรีเทน-ยูเรีย จะมีเสถียรภาพทางความร้อนมากขึ้น



รูปที่ 4.10 กราฟร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักของไมโครแคปซูล พอลิยูรีเทน-ยูเรีย, ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ที่อุณหภูมิ 50 – 500 องศาเซลเซียส

4.6 การศึกษาประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งและไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยีเทน-ยูเรีย

4.6.1 ผลจากความเข้มข้นที่ต่าง ๆกันของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งและไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

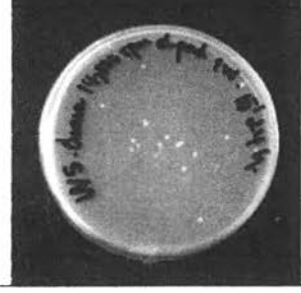
4.6.1.1 ความสามารถในการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จ และค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้ง

จากตารางที่ 4.7 เป็นการทดสอบเพื่อช่วยยืนยันว่าน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่นำมาใช้นั้นมีความสามารถในการต้านแบคทีเรียชนิด *S. aureus* ได้ โดยจะทำการทดสอบเปรียบเทียบกันระหว่างผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหย และ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ความเข้มข้นต่างๆ ตามมาตรฐาน AATCC 100 ซึ่งจะพบว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งนั้นจะไม่สามารถต้านแบคทีเรียได้ แต่ในทางกลับกัน ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งจะแสดงผลการต้านแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเมื่อใช้น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ร้อยละการลดลงของแบคทีเรียจะอยู่ที่ 88.93 ส่วนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 15 แสดงผลการต้านแบคทีเรียอยู่ในระดับดีมาก เพราะสามารถทำให้แบคทีเรียลดลงได้ถึงร้อยละ 99.99 และการทดสอบเพื่อหาร้อยละความเข้มข้นของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่นำมาใช้เพื่อตกแต่งลงบนผ้าฝ้าย โดยหลังจากทำการทดสอบความสามารถในการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ความเข้มข้นต่างๆแล้วนั้น พบว่าผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ไม่สามารถแสดงประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียได้ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไมโครแคปซูลเป็นร้อยละ 10, 15 และ 20 ผ้าฝ้ายที่ถูกตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลก็สามารถแสดงผลของการลดลงของแบคทีเรียได้มากขึ้น โดยแสดงร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 32.07, 50.94 และ 77.72 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ที่ความเข้มข้นต่างๆบนผ้าฝ้ายตามมาตรฐาน AATCC 100 (ก่อนซัก)

ความเข้มข้นที่ใช้ในการตกแต่งผ้าฝ้าย	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)	% add on
ไม่ตกแต่ง		-	-
5		88.93	4.75
10		99.99	5.02
15		99.99	5.97

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเข้มข้นต่างๆ บนผ้าฝ้ายตามมาตรฐาน AATCC 100 (ก่อนซัก)

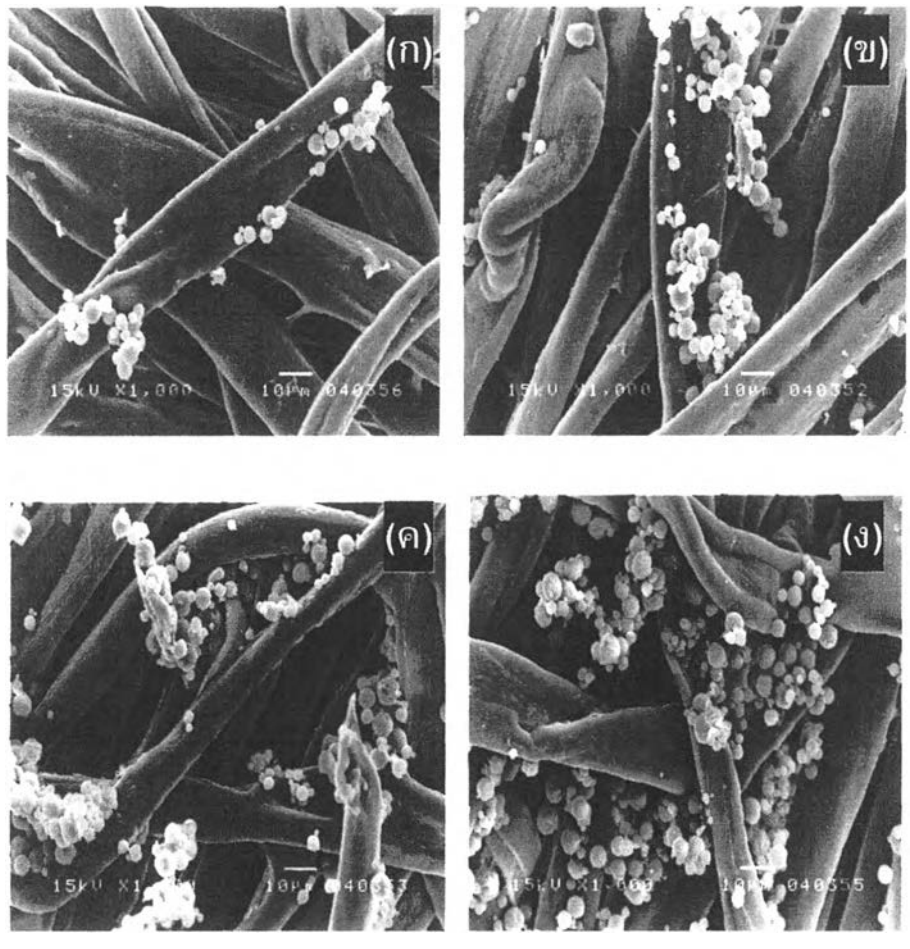
ความเข้มข้นที่ใช้ในการตกแต่งผ้าฝ้าย	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)	% add on
ไม่ตกแต่ง		-	-
5		0	13.44
10		32.07	15.52
15		50.94	18.75
20		77.72	19.03

แต่ทั้งนี้ความเข้มข้นของไมโครแคปซูลที่นำมาใช้ตกแต่งผ้าฝ้ายสามารถส่งผลให้ผ้าฝ้ายสูญเสียความอ่อนนุ่มและอาจไม่เหมาะต่อการนำไปใช้งาน จึงได้ทำการทดสอบค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้ง โดยพบว่าค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าที่ตกแต่งสำเร็จด้วยไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ปริมาณความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 และเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ เห็นได้ว่าค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งที่ได้จากการทดสอบแปรผันตรงกับปริมาณความเข้มข้นของไมโครแคปซูลที่ใช้ โดยผ้าฝ้ายทอที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จแสดงค่าเท่ากับ 364.75 มิลลิกรัม·เซนติเมตร และผ้าฝ้ายทอที่ถูกตกแต่งสำเร็จด้วยไมโครแคปซูลที่ความเข้มข้นต่างๆ แสดงค่าเท่ากับ 550, 595, 723 และ 852 มิลลิกรัม·เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการทดสอบสภาพแข็งตึงดัดโค้งกับผ้าฝ้ายทอที่ตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ปริมาณความเข้มข้นร้อยละ 10 กลับพบว่าค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ โดยแสดงค่าเท่ากับ 292.96 มิลลิกรัม·เซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่4.9

ตารางที่ 4.9 ความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าฝ้ายก่อนและหลังตกแต่งต้านแบคทีเรียด้วยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตัวอย่างผ้าฝ้าย	ค่าความแข็งตึงตัดโค้ง
ไม่ผ่านการตกแต่ง	364
ตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ความเข้มข้นร้อยละ 10	292
ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ความเข้มข้นร้อยละ 5 ความเข้มข้นร้อยละ 10 ความเข้มข้นร้อยละ 15 ความเข้มข้นร้อยละ 20	 550 595 723 852

ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอนุภาคขนาดเล็กของไมโครแคปซูลได้เข้าไปแทรกอยู่ตามช่องว่างของเส้นใยและเส้นด้าย จึงมีผลทำให้โครงสร้างของผ้าฝ้ายทอเกิดการขยับได้ยากขึ้น ค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งจึงมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในทางกลับกัน โครงสร้างของผ้าฝ้ายที่ถูกตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งสามารถขยับได้มากกว่าเดิมเพราะความลื่นของน้ำมันหอมระเหยที่ตกแต่งลงไป ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ภาพ SEM ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ตกแต่งบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีจุ่มอัด ด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมจากความเร็วในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที โดยใช้ความเข้มข้นต่างๆที่ร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 และ (ง) 20 เท่าที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ก่อนซัก)

4.6.2 **ผลจากการเพิ่มระยะเวลาในการปล่อยให้ผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จสัมผัสเชื้อที่อุณหภูมิห้อง**

จากผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่าประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ เพราะถึงแม้จะเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของไมโครแคปซูลขึ้นเป็นร้อยละ 20 แต่ร้อยละการลดลงของแบคทีเรียยังคงมีค่าเพียง 77.72 จึงได้ทำการเพิ่มระยะเวลาในการทิ้งชิ้นตัวอย่างให้สัมผัสกับเชื้อนานมากขึ้น โดยเลือกใช้ไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์ด้วยความเร็วในการปั่นผสมที่ 14000 รอบต่อนาที และใช้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ 20 มิลลิลิตร แล้วจึงนำมาตกแต่งบนสิ่งทอโดยใช้ความเข้มข้นของไมโครแคปซูลที่ร้อยละ 10 พบว่าชิ้นตัวอย่างที่ถูกทิ้งให้สัมผัสกับเชื้อแบคทีเรียชนิด S. aureus ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงนั้นสามารถแสดงผลการลดลงของแบคทีเรียเพียงร้อยละ 32.07 แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการให้ชิ้นตัวอย่างสัมผัสเชื้อเป็น 48 และ 72 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียแสดงอัตราการลดลงของแบคทีเรียถึงร้อยละ 99.99 ดังที่แสดงในตารางที่ 4.10 ทั้งนี้เนื่องจากผนังไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์ได้นั้น เป็นประเภท semi-permeable ซึ่งสามารถทำให้สารแกนที่อยู่ภายในค่อยๆ ถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้ประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียที่ 24 ชั่วโมงนั้นไม่เพียงพอต่อการปลดปล่อยสารแกนให้มากเพียงพอที่จะสามารถต้านแบคทีเรียได้ในระดับที่ต้องการ หลังทำการทดสอบนี้จึงทำให้ทราบว่าระยะเวลาที่ทิ้งตัวอย่างให้สัมผัสเชื้อที่ 48 ชั่วโมงนั้นเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมแก่การนำมาทดสอบตามมาตรฐาน AATCC 100 กับตัวอย่างชิ้นอื่นๆต่อไป

ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียเมื่อทิ้งให้สัมผัสเชื้อที่อุณหภูมิห้อง ณ เวลาต่างๆตามมาตรฐาน AATCC 100 (ก่อนซัก)

ระยะเวลาที่ตัวอย่างสัมผัสเชื้อ (ชั่วโมง)	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ ระยะเวลาต่างๆ	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)	% add on
ไม่ตกแต่ง		-	-
24		32.07	17.15
48		99.99	16.34
72		99.99	16.02

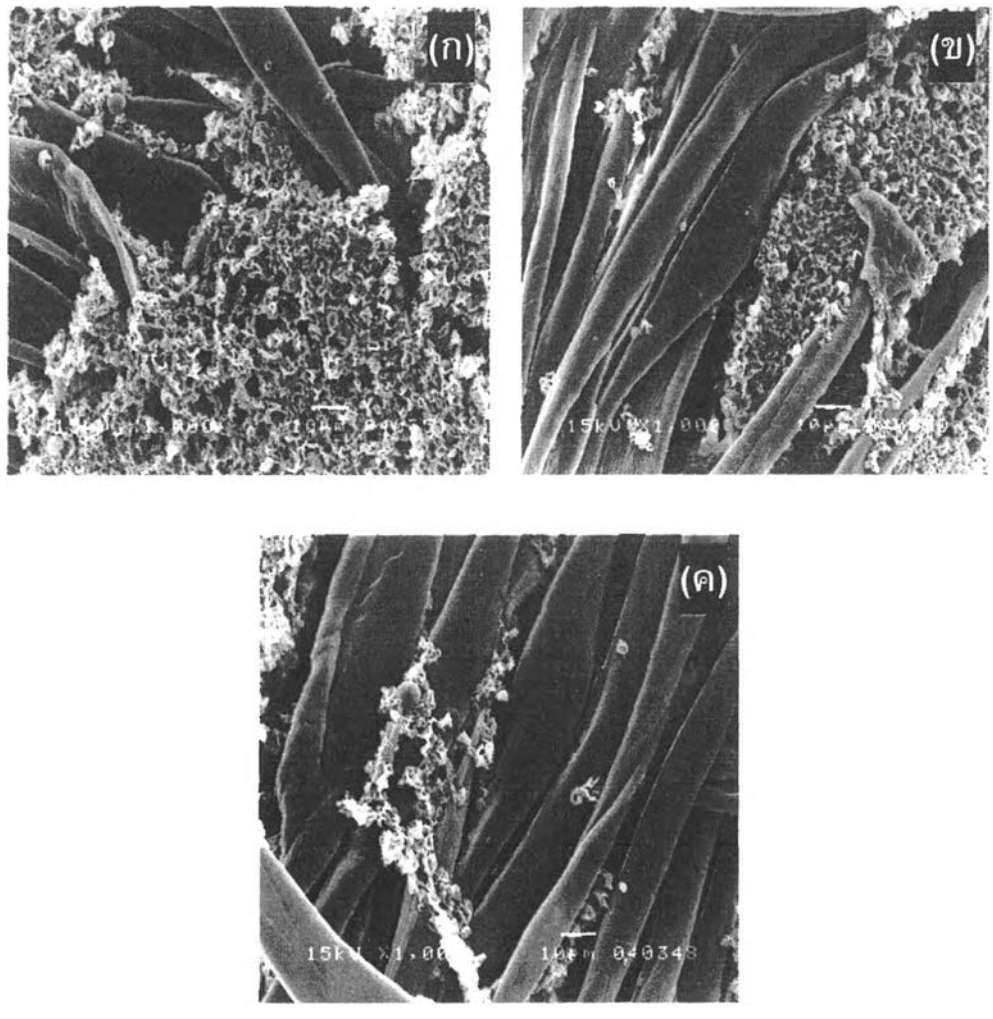
4.6.3 ผลจากการทดสอบความคงทนของสารต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายหลังจากนำไปใช้งานภายใต้ภาวะต่าง ๆ

4.6.3.1 ความคงทนของสารต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายหลังทดสอบด้วยการซัก

จากผลการทดสอบความคงทนต่อการซักของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยกำหนดให้ชิ้นตัวอย่างสัมผัสกับเชื้อแบคทีเรียที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบกับชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการไม่ผ่านการซัก และ ผ่านการซักที่ 10, 15 และ 20 รอบ ตามมาตรฐาน ISO105 : C10 พบว่าชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการซัก ผ่านการซักที่ 10 และ 15 ครั้งนั้นมีความสามารถในการทำให้เชื้อแบคทีเรียลดลงถึงร้อยละ 99.99 แต่ชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการซัก 20 ครั้งนั้นไม่แสดงผลการต้านเชื้อแบคทีเรียได้เลย ดังแสดงในตารางที่ 4.12 ในทางกลับกัน เมื่อทำการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 แล้วนำไปทดสอบความสามารถในการต้านแบคทีเรียทั้งก่อนและหลังซักที่ 5, 10 ,15 และ 20 รอบ พบว่าผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยนั้นสามารถแสดงผลการต้านแบคทีเรียได้ร้อยละ 90.62 เมื่อผ่านการซักไป 5 รอบ แต่ไม่พบความสามารถในการต้านแบคทีเรียที่ 10, 15 และ 20 รอบเลย เมื่อนำผ้าตัวอย่างที่ผ่านการซักไปทำการทดสอบต่อด้วยเทคนิค SEM พบว่าปริมาณของไมโครแคปซูลที่อยู่บนผ้านั้นค่อยๆลดลงตามจำนวนรอบการซักที่เพิ่มขึ้น และเม็ดของไมโครแคปซูลไม่เป็นทรงกลม แต่มีลักษณะคล้ายกับโดนัท ซึ่งจากผลทดสอบที่ได้ทำให้สันนิษฐานได้ว่าผ้าตัวอย่างที่ผ่านการซัก 20 รอบนั้นไม่แสดงผลการต้านแบคทีเรียเพราะการหลุดลอดของไมโครแคปซูล และ การหมดไปของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.12

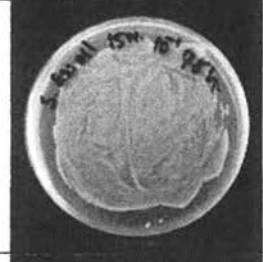
ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย บนผ้าฝ้ายตามมาตรฐาน AATCC 100 หลังผ่านการซัก

จำนวนรอบการซัก	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)	% add on
ไม่ตกแต่ง		-	-
ผ้าฝ้ายตกแต่ง (ไม่ผ่านการซัก)		99.99	16.33
10		99.99	16.33
15		99.99	17.47
20		0	17.47



รูปที่ 4.12 ภาพ SEM ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ตกแต่งบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีจุ่มอัด ด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมจากความเร็วในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที หลังผ่านการซัก (ก) 10 (ข) 15 และ (ค) 20 รอบตามลำดับ

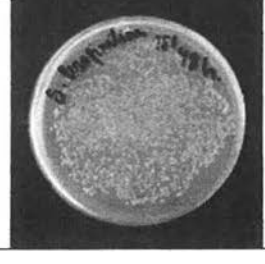
ตารางที่ 4.12 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง บนผ้าฝ้ายตามมาตรฐาน AATCC 100 หลังผ่านการซัก

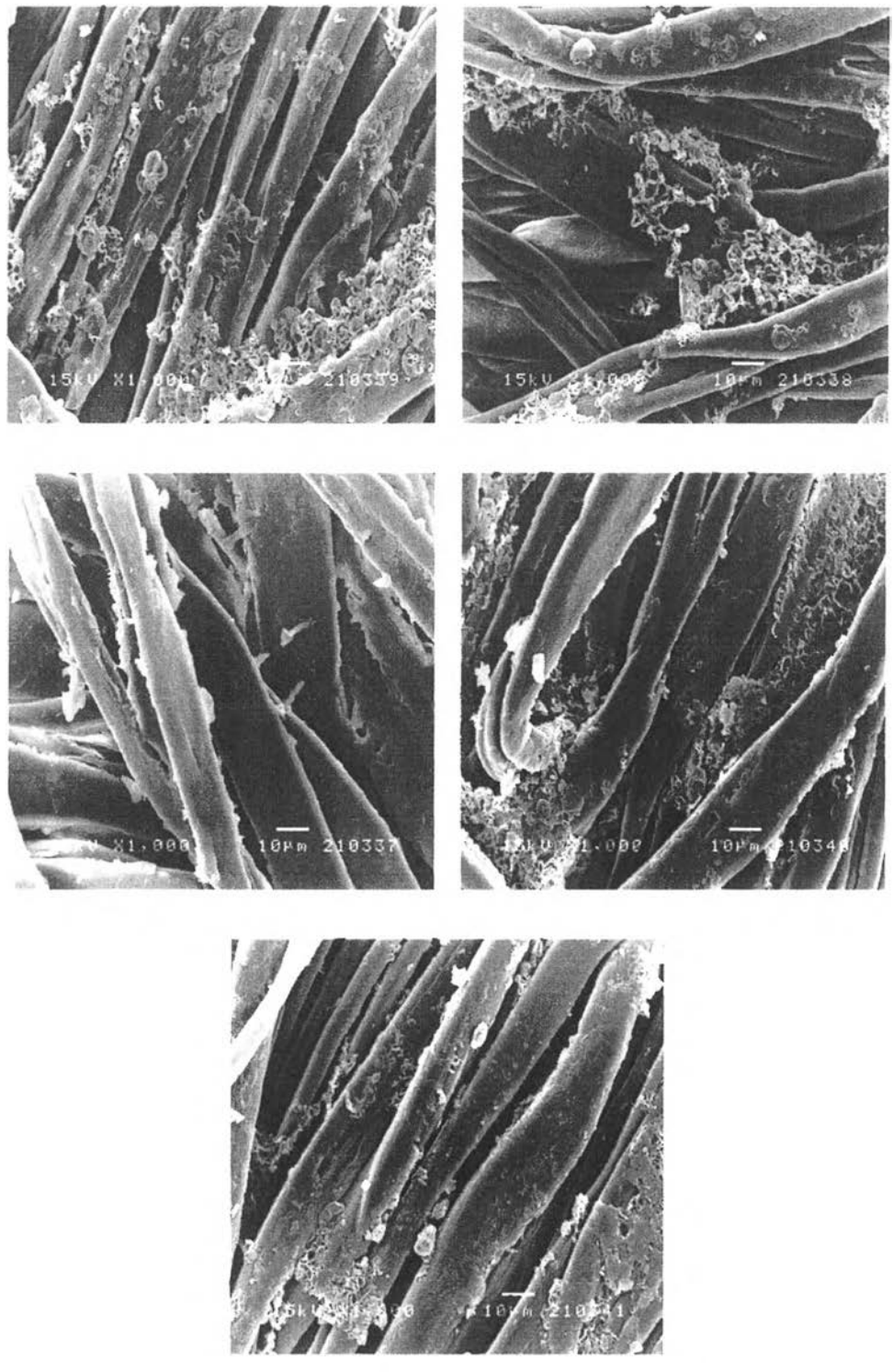
จำนวนรอบการซัก	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)	% add on
ไม่ตกแต่ง		0	-
ผ้าฝ้ายตกแต่ง (ไม่ผ่านการซัก)		99.68	5.13
5		90.62	4.68
10		0	5.11
15		0	4.64
20		0	4.81

4.6.3.2 **ความคงทนของสารต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายหลังผ่านการทดสอบด้วยภาวะต่างๆ**

จากการทดสอบจะพบว่าผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อนำมาทดสอบกับภาวะต่างๆก่อนที่จะนำชิ้นตัวอย่างนั้นมาทดสอบความสามารถในการต้านแบคทีเรียตามมาตรฐาน AATCC 100 โดยกำหนดให้ชิ้นตัวอย่างสัมผัสกับเชื้อแบคทีเรียเป็นเวลา 48 ชั่วโมงนั้น ชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบความคงทนต่อแสง ความคงทนต่อเหงื่อและแสง และความคงทนต่อการขัดถู จะแสดงผลร้อยละการลดลงของแบคทีเรียมากกว่า 99แต่ในทางกลับกัน ชิ้นตัวอย่างไปทดสอบความคงทนต่อการรีดร้อนก่อนนำมาทำการทดสอบความสามารถในการต้านแบคทีเรีย จะแสดงผลร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเพียง 79.0 สุดท้ายคือการทดสอบความคงทนต่อเหงื่อ ซึ่งจะพบว่าชิ้นตัวอย่างจะไม่หลงเหลือความสามารถในการต้านแบคทีเรียอยู่เลย ดังที่แสดงในตารางที่ 4.13 เมื่อนำผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จที่ผ่านการทดสอบภายใต้ภาวะต่างๆ ไปทำการทดสอบด้วยเทคนิค SEM พบว่าไมโครแคปซูลยังคงสามารถยึดเกาะอยู่บนผ้าได้ดี แต่ไมโครแคปซูลส่วนใหญ่จะมีการยุบตัวลงไปและมีบางส่วนที่ยังสามารถคงสภาพเดิมไว้ได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสลายของน้ำมันหอมระเหยบางส่วนที่อยู่ภายในไมโครแคปซูล ผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จจึงยังคงมีความสามารถในการต้านแบคทีเรียได้ดี แต่เมื่อสังเกตภาพถ่ายของตัวอย่างชิ้นทดสอบที่ผ่านการขัดถูพบว่าไมโครแคปซูลที่อยู่บนผ้าจะถูกทำให้เสียรูปทรงไป แต่ที่ยังคงมีความสามารถในการต้านแบคทีเรียได้นั้น อาจเนื่องมาจากน้ำมันที่ถูกทำให้ปลดปล่อยออกมาระหว่างการทดสอบการขัดถูนั้นถูกกดให้กระจายลงบนเส้นใย และเมื่อสังเกตภาพถ่ายผ้าตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบความคงทนต่อเหงื่อ พบว่ามีความแตกต่างจากผ้าผืนอื่นๆ โดยจะพบว่าเส้นใยนั้นถูกปกคลุมด้วยสารช่วยยึด ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำมันหอมระเหยไม่สามารถแทรกตัวออกมาจากชั้นของสารยึดได้ จึงไม่แสดงผลการต้านแบคทีเรีย

ตารางที่ 4.13 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย บนผ้าฝ้ายตามมาตรฐาน AATCC 100 (ก่อนซัก)

ภาวะการทดสอบที่ใช้	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)	% add on
ผ้าฝ้ายที่ไม่ถูกตกแต่ง และไม่ผ่านการทดสอบอื่นๆ		-	-
เหงื่อพร้อมแสง		99.90	18.50
แสง		99.80	16.74
ขัดถู		99.11	17.32
รีดร้อน		79.0	17.35
เหงื่อ		0	15.89



รูปที่ 4.13 ภาพ SEM ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ถูกตกแต่งบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีจุ่มอัด หลังผ่านทดสอบภายใต้ภาวะต่างๆ (ก) เหงื่อพร้อมแสง (ข) แสง (ค) ขัดถู (ง) รีดร้อน และ (จ) เหงื่อ