

การปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลในสภาวะจำลองการซักล้างและการอบแห้ง Release of Fragrance from Microcapsules in Simulated Laundering and Drying Conditions

ณัชชา แก้วโบราณ¹ และ ไพลิน เกาตรการวิวัฒน์^{1,2*}

Natcha Kaewboran¹ and Pailin Ngaotranwiwat^{1,2*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

² หน่วยวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมพลังงานทางเลือกเพื่อภาคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

¹ Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering, Burapha University

² Research Unit of Developing Technology and Innovation of Alternative Energy for Industries, Burapha University

*E-mail: pailin@eng.buu.ac.th

Received: Sep 16, 2021

Revised: Oct 1, 2021

Accepted: Oct 14, 2021

บทคัดย่อ

น้ำหอมในผลิตภัณฑ์ซักล้าง ซึ่งมักอยู่ในรูปของไมโครแคปซูลน้ำหอม เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อ เนื่องจากเป็นสิ่งที่สร้างความพึงพอใจให้แก่ผู้ใช้ระหว่างการซักล้างและสวมใส่ งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลน้ำหอมในสภาวะจำลองการซักล้าง และการอบแห้ง ได้แก่ สมบัติของไมโครแคปซูล อุณหภูมิของน้ำซักล้าง (30-80 องศาเซลเซียส) ความกระด้างของน้ำ (50-350 มิลลิกรัมต่อลิตร) ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำ (pH 2.1-10.7) และอุณหภูมิในการทำให้แห้ง (30-80 องศาเซลเซียส) จากการศึกษาไมโครแคปซูลด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและส่องกราด พบว่ามีลักษณะเป็นแบบแกนกลางเดี่ยว ขนาดประมาณ 10 ไมครอน ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน และความเสถียรทางความร้อนของไมโครแคปซูลโดยวิธี Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และวิธี Differential Scanning Calorimeter (DSC) ตามลำดับ พบว่าไมโครแคปซูลมีพอลิอะคริลาไมด์เป็นองค์ประกอบหลัก การวิเคราะห์การปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลภายหลังสภาวะซักล้างและทำให้แห้ง ด้วย Headspace Gas Chromatograph-Flame Ionization Detector พบว่า การซักล้างที่ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้มีการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลสูงถึงร้อยละ 16 ของน้ำหอมทั้งหมด ด้วยกลไกการปลดปล่อยแบบแตก ในขณะที่ การซักล้างที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้มีการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลเพียงร้อยละ 4 ของน้ำหอมทั้งหมด ด้วยกลไกการปลดปล่อยอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ความกระด้างของน้ำที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตในช่วง 50-350 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลต่อการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลอย่างชัดเจนเฉพาะการซักล้างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยทำให้การปลดปล่อยน้ำหอมสูงขึ้น อย่างไรก็ตามความกระด้างของน้ำมีผลน้อยมากและไม่ส่งผลต่อการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูล เมื่อซักล้างที่อุณหภูมิ 30 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลค่อนข้างคงที่ในน้ำที่มีค่าความเป็นกรดด่างในช่วง 3.6-10.7 แต่จะสูงขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรดด่างลดลงของน้ำเป็น 2.1 สำหรับสภาวะการทำให้แห้งที่ 30 องศาเซลเซียส น้ำหอมถูกปลดปล่อยออกจากไมโครแคปซูลอย่างช้า ๆ ซึ่งการปลดปล่อยน้ำหอมนี้จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการทำให้แห้งที่สูงขึ้น

คำสำคัญ: น้ำหอม ไมโครแคปซูล การปลดปล่อยแบบแตก การปลดปล่อยอย่างต่อเนื่อง พอลิอะคริลาไมด์

Abstract

Fragrance, often in the form of fragrance microcapsules, in laundry products is a key factor affecting purchasing decisions because it gives the user satisfaction during washing and wearing. This research investigated factors influencing the release of fragrance from fragrance microcapsules in simulated laundering and drying conditions including properties of microcapsules, laundering water temperature (30-80°C), hardness of water (50-350 mg/L), pH of water (2.1-10.7) and drying temperature (30-80°C). By studying microcapsules with optical microscope and scanning electron microscope, they were single core microcapsules with approximately 10 microns in size. Results from the examination of chemical functional groups and thermal stability of microcapsules by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Differential Scanning Calorimeter (DSC), respectively revealed that they were polyacrylamide-based

microcapsules. Analysis of the release of fragrance from microcapsules after laundering and drying conditions with the Headspace Gas Chromatograph-Flame Ionization Detector found that laundering at 80°C for 1 hour released up to 16% of fragrance from microcapsules by broken release mechanism while laundering at 30°C for 1 h released only 4% of fragrance from microcapsules by sustained release mechanism. Moreover, hardness of water containing calcium carbonate in the range of 50-350 mg/L had significant effect on the release of fragrance from microcapsules only when laundering at 60°C, which increased the release of fragrance. However, hardness of water had insignificant and no effect of the release of fragrance from microcapsules when laundering at 30°C and 80°C, respectively. The release of fragrance from microcapsules was somewhat stable in water with pH in the range of 3.6 and 10.7 but higher when water pH decreased to 2.1. For drying at 30°C, fragrance slowly released from microcapsules. The release of fragrance increased with the increase of drying temperature.

Keywords: Fragrance, Microcapsules, Broken release, Sustained release, Polyacrylamide

1. บทนำ

น้ำหอม (Fragrance) จัดเป็นสารเติมแต่งที่สำคัญในสินค้าอุปโภค เช่น สบู่ ยาสระผม น้ำยาปรับผ้านุ่ม เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การใช้น้ำหอมเพื่อเป็นสารเติมแต่งในสบู่และผงซักฟอก ซึ่งมีปริมาณการใช้ในปี พ.ศ. 2560 สูงถึงร้อยละ 33 ของปริมาณการใช้น้ำหอมทั่วโลก (คิดเป็นมูลค่า 3,960 ล้านดอลลาร์สหรัฐ) แม้การคาดการณ์การเติบโตของการใช้น้ำหอมเพื่อเป็นสารเติมแต่งในสบู่และผงซักฟอก ในปี พ.ศ. 2565 จะมีปริมาณสูงถึง 4,950 ล้านดอลลาร์สหรัฐ [1] แต่สถานการณ์การแพร่ระบาดของ COVID-19 ทำให้ผู้บริโภคมีการกักตุนสินค้าอุปโภคมากขึ้น ยิ่งส่งผลให้ตลาดของสบู่และผงซักฟอกมีโอกาสที่เติบโตได้สูงกว่าที่ได้คาดการณ์ไว้

การใช้น้ำหอมเป็นสารเติมแต่งในผงซักฟอก จะสร้างความประทับใจให้แก่ผู้ใช้ในระหว่างการซักผ้าและการสวมใส่เสื้อผ้า กล่าวได้ว่า กลิ่นหอมมีอิทธิพลต่อการเลือกซื้อผงซักฟอกอย่างใดก็ตาม น้ำหอมเป็นสารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย ซึ่งจะสูญเสียไปกับสิ่งแวดล้อมได้ง่าย และอาจเกิดปฏิกิริยากับสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ความร้อน แสง เป็นต้น ตลอดจนสภาวะในการซักล้าง ที่มีการใช้น้ำร้อนในการซัก ค่าความเป็นกรดต่าง และคุณภาพน้ำที่ใช้ในการซัก จะส่งผลต่อการคงอยู่ของน้ำหอมอีกด้วย [2]

ไมโครเอนแคปซูเลชัน (Microencapsulation) เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในการกักเก็บน้ำหอม โดยน้ำหอมจะถูกห่อหุ้มด้วยสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำหอม เกิดเป็นไมโครแคปซูล (Microcapsule) ซึ่งจะมีขนาดอนุภาค 1-1,000 ไมครอน โดยไมโครแคปซูลที่เตรียมได้นั้น ทำหน้าที่ป้องกันน้ำหอมจากสภาวะแวดล้อม อีกทั้งควบคุมการปลดปล่อยน้ำหอมได้ยาวนานอีกด้วย [3]

กลไกการปลดปล่อยสารจากไมโครแคปซูล แบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ กลไกการปลดปล่อยแบบแตก (Broken release) โดยแรงทางกล เช่น การกวน การตี การเสียดสี จะทำลายผนังของไมโครแคปซูล รวมถึงอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อม ทำให้น้ำหอมที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูลเกิดการระเหยมากขึ้น ทำให้

ความดันภายในไมโครแคปซูลเพิ่มขึ้น เกิดการขยายตัวของไมโครแคปซูลจนแตก [4] และกลไกการปลดปล่อยอย่างต่อเนื่อง (Sustained release) โดยเกิดการแพร่ของสารที่ถูกห่อหุ้มผ่านผนังไมโครแคปซูล ขึ้นอยู่กับ ความแตกต่างของความเข้มข้นของสารภายในไมโครแคปซูล อุณหภูมิภายในไมโครแคปซูลกับสิ่งแวดล้อม รวมถึงสัณฐานวิทยาและโครงสร้างของไมโครแคปซูล เป็นต้น [5] โดยพบว่า การปลดปล่อยอย่างต่อเนื่อง (Sustained release) ของกลิ่นแตงโม (Watermelon Flavor) ที่หุ้มด้วยไซโคลเด็กซ์ทริน (Cyclodextrin) จะขึ้นอยู่กับผลต่างของสภาพขั้ว (Hydrophobicity) ระหว่างสารหอมกับสารที่ห่อหุ้ม ทำให้การปลดปล่อยสารหอมที่มีหมู่ฟังก์ชัน alcohol > aldehydes > ester ตามลำดับ และในกรณีที่สารหอมมีความเป็นขั้วน้อยจะละลายกับไซโคลเด็กซ์ทรินได้ดี จึงทำให้สารหอมถูกปลดปล่อยออกมาเร็วเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 วัน อัตราการปลดปล่อยสารหอมในไมโครแคปซูลมีเพียงร้อยละ 39 ของอัตราการปลดปล่อยสารหอมที่ไม่หุ้มแคปซูล [6]

การพัฒนาไมโครแคปซูลมาใช้ห่อหุ้มน้ำหอมเพื่อเติมแต่งในสารซักล้าง โดยมีการสังเคราะห์ไมโครแคปซูลจากพอลิยูรีเทน-ยูเรีย (Polyurethane-urea) ห่อหุ้มน้ำหอม เพื่อใช้เติมแต่งในน้ำยาปรับผ้านุ่ม ซึ่งไมโครแคปซูลมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-80 ไมครอน พบว่า ผ้าที่ซักด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่มที่มีไมโครแคปซูลน้ำหอมร้อยละ 50 จะมีความหอมมากกว่าผ้าที่ซักด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่มที่น้ำหอมที่ไม่หุ้มแคปซูลประมาณ 10 เท่า ภายหลังจากการซักและเก็บไว้ 1 อาทิตย์ กล่าวได้ว่า ไมโครแคปซูลจะควบคุมการปลดปล่อยน้ำหอมให้เกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องและยาวนาน [7] อีกทั้งการศึกษาการปลดปล่อยน้ำหอมชนิดต่าง ๆ ในไมโครแคปซูลน้ำหอมทำมาจากเมลามีน (Melamine) ที่เกาะติดอยู่บนผ้าฝ้ายหลังการซัก พบว่า น้ำหอมที่ระเหยง่าย และมีระยะเวลาคงอยู่สั้น ๆ ประมาณ 30 นาที (Top notes) จะอาศัยกลไกการปลดปล่อยแบบแตก (Broken release) ซึ่งขึ้นกับแรงทางกล ในขณะที่ น้ำหอมที่ระเหยช้า และจะคงอยู่เป็น 2-3 ชั่วโมง

(Middle notes) และน้ำหอมหลักที่มีการระเหยต่ำ และจะคงความหอมคงทนอยู่ได้หลายชั่วโมง (Base notes) จะถูกปลดปล่อยด้วยกลไกการปลดปล่อยอย่างต่อเนื่อง (Sustained release) ซึ่งขึ้นกับอัตราการเคลื่อนที่ (Migration rate) ของน้ำหอมบนผนังแคปซูล [5]

สภาวะการซักล้าง (Laundering conditions) ส่งผลต่อการปลดปล่อยน้ำหอมในไมโครแคปซูลด้วยเช่นกัน เช่น อุณหภูมิของสารซักล้าง เป็นต้น โดยไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์จากพอลิเมทาคริเลต/พาราฟิน (Polyacrylate /Paraffin) เมื่อแขวนลอยอยู่ในสารซักล้างที่มีโซเดียมลอริลซัลเฟต (Sodium Lauryl Sulfate; SDS) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวประจุลบ (Anionic surfactant) ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักจะส่งผลต่อการปลดปล่อยน้ำหอมในไมโครแคปซูล พบว่า การปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลใน 8 ชั่วโมงแรก จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และปลดปล่อยอย่างต่อเนื่องช้า ๆ ในช่วง 8-96 ชั่วโมง อีกทั้งการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลในสารซักล้างที่อุณหภูมิสูง (ในช่วง 30-50 องศาเซลเซียส) จะมีการปลดปล่อยสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลในสารซักล้างที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เกิดขึ้นได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นผลจากการเปลี่ยนเฟสของพาราฟินจากของแข็งเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการคลายตัวของโครงสร้างพาราฟิน และส่งผลให้น้ำหอมในแคปซูลปลดปล่อยไปสู่ตัวกลางภายนอกได้มากขึ้น สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิจาก 40 องศาเซลเซียส เป็น 50 องศาเซลเซียส เป็นการช่วยเร่งการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำหอม ทำให้การปลดปล่อยน้ำหอมเพิ่มขึ้น [2] ยิ่งไปกว่านั้น ความกระด้างของน้ำซักล้าง ส่งผลต่อการปลดปล่อยน้ำหอมโดยการปลดปล่อยน้ำหอมวานิลลิน (Vanillin) ออกจากไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์จากโพลิสัลโฟน (Polysulfone) เมื่อไมโครแคปซูลแขวนลอยในน้ำกระด้าง (Hard water) ทำให้น้ำหอมปลดปล่อยออกจากไมโครแคปซูล สูงถึงร้อยละ 90 ของปริมาณน้ำหอมทั้งหมด คิดเป็น 2 เท่าของปริมาณการปลดปล่อยน้ำหอมในน้ำปราศจากไอออน (MilliQ water) โดยกลไกการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลในน้ำปราศจากไอออน ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำหอมวานิลลิน (ขนาด 0.6 นาโนเมตร) ผ่านรูพรุนของไมโครแคปซูล (ความกว้าง 1.4-14 นาโนเมตร) ไปยังน้ำปราศจากไอออน ร่วมกับการกวนน้ำซักล้าง (น้ำปราศจากไอออน) จะส่งเสริมให้โมเลกุลน้ำหอมสามารถเคลื่อนที่จากบริเวณรูพรุนของไมโครแคปซูล ออกไปยังน้ำซักล้างได้ดียิ่งขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น การปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลที่แขวนลอยในน้ำกระด้างเกิดได้สูงขึ้น เนื่องจากน้ำกระด้างมีองค์ประกอบของ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, CaSO_4 , MgSO_4 เป็นต้น ซึ่งทำให้น้ำมีความเป็นกรดต่ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการละลายของน้ำหอมในน้ำเพิ่มขึ้น [8]

งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สมบัติของไมโครแคปซูล น้ำหอม ซึ่งได้แก่ ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำไมโครแคปซูล และชนิดของน้ำหอม และสภาวะของการใช้งานไมโครแคปซูลน้ำหอม ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิของน้ำอุณหภูมิของน้ำซักล้าง ความกระด้างของน้ำ ความเป็นกรดต่ำของน้ำ และอุณหภูมิในการอบแห้ง [9] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลในสภาวะจำลองการซักล้างในน้ำซักล้างที่มีลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Linear alkylbenzene sulfonate: LAS) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวประจุลบ (Anionic surfactant) ที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ในผงซักฟอก [10] และในสภาวะจำลองการอบแห้ง

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1. สันฐานวิทยาและสมบัติของไมโครแคปซูลน้ำหอม

สันฐานวิทยาของไมโครแคปซูล วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope; Carton CM400 Series) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; JEOL รุ่น JSM-IT500HR) การกระจายตัวของขนาดไมโครแคปซูล วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle size analyzer; Malvern Master Sizer 3000) การวิเคราะห์ผนังไมโครแคปซูลทำโดยการทำลายผนังไมโครแคปซูลด้วยการบด แล้วปล่อยให้กลิ่นน้ำหอมภายในไมโครแคปซูลระเหยออก แล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy in Attenuated Total Reflectance (FTIR-ATR) นอกจากนี้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความร้อนของไมโครแคปซูลด้วย Differential Scanning Calorimeter (NETZSCH รุ่น DSC 204 F1) โดยมีอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ในช่วง 25-600 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะไนโตรเจน

2.2. การจำลองสภาวะการซักล้างและอบแห้ง

การจำลองการซักล้างทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุไมโครแคปซูลน้ำหอมทางการค้า Refresh D Caps (Microcapsule slurry; Givaudan) 50 มิลลิกรัม ลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Linear alkylbenzene sulfonate: LAS; Sulfonion LS43) 0.6 กรัม และน้ำปราศจากไอออน (Deionized water: D.I. Water) 8 กรัม โดยควบคุมความเร็วรอบในการกวนสาร 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

การศึกษากลไกการปลดปล่อยของอุณหภูมิของน้ำซักล้างที่ 30, 60 และ 80 องศาเซลเซียส และผลกระทบของความกระด้างของน้ำซักล้างที่มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate: CaCO_3) 0, 50, 140, 250 และ 350 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อให้

ครอบคลุมชนิดของน้ำจากแหล่งต่าง ๆ (ได้แก่ น้ำอ่อน (0-75 มิลลิกรัมต่อลิตร) น้ำกระด้างปานกลาง (75-150 มิลลิกรัมต่อลิตร) น้ำกระด้าง (150-300 มิลลิกรัมต่อลิตร) และน้ำกระด้างมาก (> 300 มิลลิกรัมต่อลิตร)) โดยน้ำกระด้างเตรียมจากการละลาย CaCO_3 ในน้ำปราศจากไอออน และตรวจสอบปริมาณ CaCO_3 ที่มีอยู่ในน้ำ โดยการปิเปตน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ลงในขวดขนาด 250 มิลลิลิตร เติมนสารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติมนสารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที (Eriochrome Black-T) 3 หยด แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ (Ethylene Diamine Tetraacetic Acid: EDTA; Qrec, ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99) 0.01 โมลาร์ และคำนวณความกระด้างของน้ำ (Calcium hardness) จากสมการที่ (1)

[11]

$$\text{Calcium hardness} = \frac{\text{mL of 0.01M EDTA}}{\text{mL of sample}} \times 100 \quad (1)$$

ในกรณีที่จะศึกษาผลกระทบของค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ปรับด้วยกรดไนตริก (Nitric acid: Merck ความเข้มข้นของ สารละลายร้อยละ 65) และแอมโมเนีย (Ammonia: PanReac ความเข้มข้นของสารละลายร้อยละ 30)

การจำลองสภาวะการทำผ้าแห้ง คิดเสมือนมีเพียงไมโครแคปซูลน้ำหอมเท่านั้นที่เหลื่ออยู่บนเนื้อผ้า ทำโดยการนำไมโครแคปซูลน้ำหอม (Microcapsule slurry) 50 มิลลิกรัม ใส่ลงในขวดปริมาตร 20 มิลลิลิตร ปิดฝา แล้วนำเข้าเตาอบที่ 30 องศาเซลเซียส (การจำลองการตากผ้า) และ 60, 80 องศาเซลเซียส (การจำลองการอบผ้า) เป็นเวลาต่าง ๆ

2.3. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหอมในสภาวะต่าง ๆ

การตรวจสอบปริมาณน้ำหอมที่ปลดปล่อยในสภาวะการ
ชักล้างต่าง ๆ ทำโดยการดึงตัวอย่างน้ำชักล้าง 0.5 มิลลิลิตร บรรจุ
ใส่ขวด 20 มิลลิลิตรมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Headspace Gas
Chromatograph-Flame Ionization Detector (GC-FID, Thermo
Scientific รุ่น Trace 1300) ซึ่งมีขั้นตอน คือ นำตัวอย่างน้ำมากรอง
เพื่อป้องกันไม่ให้มีโครแคปซูลน้ำหอมติดมา แล้วนำน้ำตัวอย่างไป
ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
เพื่อให้น้ำหอมที่ละลายอยู่ในน้ำชักล้าง (เฟสของเหลว) ระเหย
ออกมาอยู่ในเฟสแก๊ส ในการวิเคราะห์ใช้ฮีเลียม (Helium) เป็น
แก๊สตัวพา (Carrier gas) ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที
อุณหภูมิเตา (Oven temperature) 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ
ตรวจจับ (Detector temperature) 230 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิฉีดสารตัวอย่าง (Injector temperature) 150 องศา
เซลเซียส ส่วนการตรวจสอบปริมาณน้ำหอมในสภาวะการทำให้
แห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ ใช้เทคนิคการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการ
ตรวจสอบปริมาณน้ำหอมในสภาวะการชักล้าง

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1. สมบัติของไมโครแคปซูลน้ำหอม

สัณฐานวิทยา (Morphology) ของไมโครแคปซูลน้ำหอมวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) พบว่า ไมโครแคปซูลมีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีสีเข้มบริเวณขอบของทรงกลม ซึ่งเป็นสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลแบบแกนกลางเดี่ยว (Single core) (Figure 1 (A)) ภาพถ่ายไมโครแคปซูลน้ำหอมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) ยืนยันว่า ไมโครแคปซูลส่วนใหญ่เป็นทรงกลมขนาดเล็ก (ประมาณ 6-10 ไมครอน) และมีบางส่วนเป็นทรงกลมขนาดใหญ่ (ประมาณ 17-20 ไมครอน) (Figure 1 (B)) เมื่อพิจารณา จะเห็นว่า ไมโครแคปซูลที่สมบูรณ์มีลักษณะกลม (Figure 1 (C)) และไมโครแคปซูลบางส่วนแตกออกและด้านในมีลักษณะกลวง (Figure 1 (D)) ซึ่งเป็นการยืนยันว่าเป็นไมโครแคปซูลแบบแกนกลางเดี่ยว (Single core)

การวิเคราะห์ขนาดของไมโครแคปซูลด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค พบว่า ไมโครแคปซูลนี้ส่วนใหญ่ มีขนาดประมาณ 10 ไมครอน (Figure 2) ซึ่งสอดคล้องกับภาพถ่ายไมโครแคปซูลน้ำหอมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

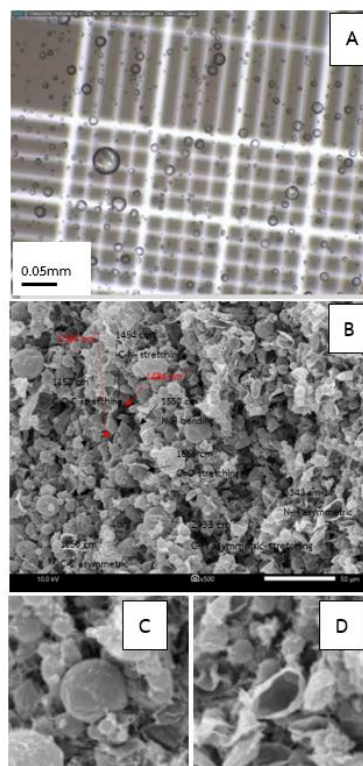


Figure 1 Images of microcapsules:

(A) Optical micrographs 10x, (B) SEM micrographs 500x, (C) microcapsules and (D) broken microcapsules

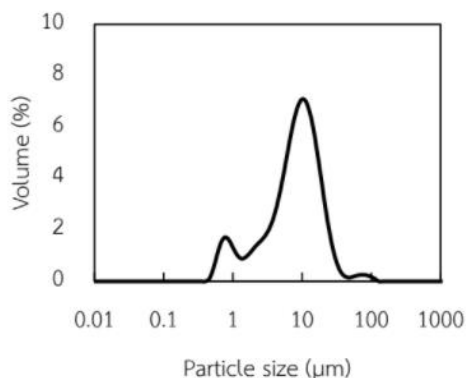


Figure 2 Particle size distribution of microcapsules

องค์ประกอบของผนังไมโครแคปซูล วิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR-ATR spectroscopy ดังแสดงใน Figure 3 พบว่า ปรากฏพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น (Wave number) 3343, 2933, 1666, 1550, 1454, 1157 และ 1050 cm^{-1} ซึ่งพีคที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับหมู่ฟังก์ชันของพอลิอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide) [12] อย่างไรก็ตาม ยังปรากฏพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1360 และ 1486 cm^{-1} ซึ่งน่าจะเป็นสารอื่นที่เป็นองค์ประกอบร่วมกับพอลิอะคริลาไมด์ จากผลการทดลองนี้ทำให้สรุปได้ว่าไมโครแคปซูลน้ำหอมนี้ น่าจะสังเคราะห์มาจากพอลิอะคริลาไมด์ผสม หรือเป็นไมโครแคปซูลที่มีพอลิอะคริลาไมด์เป็นองค์ประกอบหลัก (Polyacrylamide-based microcapsules)

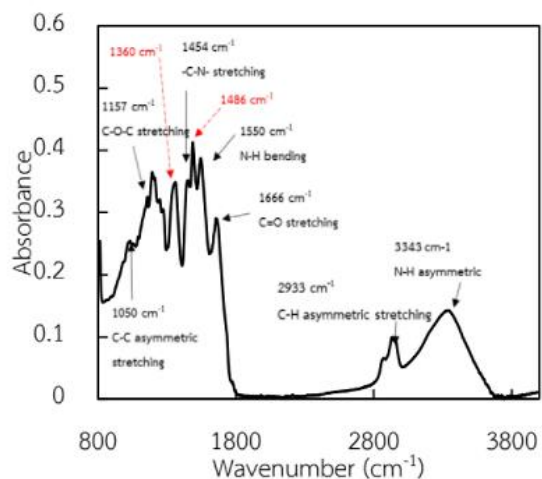


Figure 3 FTIR spectrum of microcapsules' shells

Table 1 The assignments of IR bands for pure polyacrylamide [13]

Wave number (cm^{-1})	Band assignment
3419	N-H asymmetric stretching
2940	C-H asymmetric stretching
1660	C=O stretching
1601	N-H bending
1431	C-N stretching
1111	C-O-C stretching
1070	C-C asymmetric stretching

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความร้อนของผนังไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค DSC ดังแสดงใน Figure 4 พบการดูดความร้อนที่อุณหภูมิ 31.2 องศาเซลเซียส ซึ่งน่าจะเป็นอุณหภูมิในการเกิดการเปลี่ยนแปลงวัฏภาคของไมโครแคปซูล (Volume phase transition: VPTT) ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิ VPTT ของผนังไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์โดยมีพอลิอะคริลาไมด์เป็นองค์ประกอบหลัก [13] โดยหากไมโครแคปซูลอยู่ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิ VPTT ผนังไมโครแคปซูลจะดูดซับน้ำ และเกิดการบวมของผนัง (Swollen state) แต่เมื่อไมโครแคปซูลอยู่ในอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิ VPTT จะทำให้ผนังเกิดการหดตัว และปลดปล่อยน้ำออกมาพร้อมๆ กับน้ำหอมที่อยู่ภายในไมโครแคปซูล นอกจากนี้ยังพบการคายความร้อนที่อุณหภูมิ 179 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจเป็นอุณหภูมิการเกิดผลึก (Crystallization temperature: T_c) ของโครงสร้างที่มีพอลิอะคริลาไมด์เป็นองค์ประกอบหลัก และพบการดูดความร้อนที่อุณหภูมิ 218 และ 320 องศาเซลเซียส ซึ่งน่าจะเป็นอุณหภูมิหลอมผลึก (Crystalline melting temperature, T_m) โดยอุณหภูมิทั้งสอง (T_c และ T_m) มีแนวโน้มเช่นเดียวกับที่พบในพอลิอะคริลาไมด์ผสมโคโตะซาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 129 และ 295 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของพอลิอะคริลาไมด์ [14]

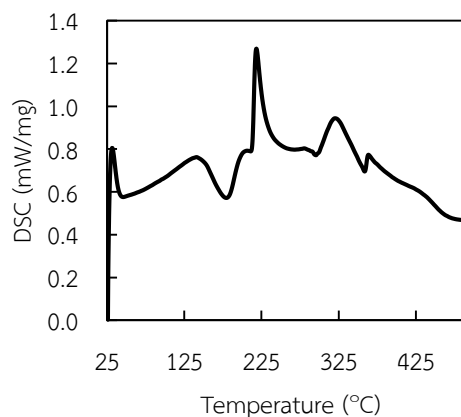


Figure 4 DSC thermogram of microcapsules' shells

3.2. ปริมาณน้ำหอมในสภาวะการซักล้าง

การวิเคราะห์การปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลที่แขวนลอยในน้ำซักล้าง ภายหลังจากการจำลองการซักล้างเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำโดยการบรรจุน้ำหอม น้ำ และสารลดแรงตึงผิวในขวดทดลอง แล้วตั้งตัวอย่างน้ำในขวดทดลองมารองเพื่อป้องกันไม่ให้ไมโครแคปซูลน้ำหอมติดมา แล้วนำน้ำตัวอย่างไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้ น้ำหอมย้ายเฟสจากน้ำมาอยู่ในเฟสแก๊ส แล้ววิเคราะห์ด้วย Headspace Gas Chromatograph จากโครมาโทแกรมของน้ำหอมก่อนการซักล้าง และหลังการซักล้าง ที่แสดงใน Figure 5 (A) และ 5 (B) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า น้ำหอมที่ถูกปลดปล่อยในน้ำซักล้างปรากฏพิคทั้งหมด 7 พิค โดยปริมาณน้ำหอม (ความสูงพิค) ในน้ำก่อนการซักจะมีเพียงเล็กน้อย แต่ภายหลังจากการซักล้างเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปริมาณน้ำหอมที่ถูกปลดปล่อยออกมามีจำนวนเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตาม โครมาโทแกรมที่เกิดจากการบรรจุเพียงน้ำหอมในขวดทดลอง (Figure 5 (C)) จะปรากฏพิคทั้งหมด 8 พิค และความสูงพิคของน้ำหอมจะเพิ่มขึ้น เมื่อผ่านการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง (Figure 5 (D)) ซึ่งแสดงถึงการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลที่เพิ่มขึ้น เป็นที่น่าสังเกตว่า พิคที่ปรากฏที่เวลา 4.9 นาที (สัญลักษณ์ * ใน Figure 5 (C) และ (D)) ไม่พบในโครมาโทแกรมของน้ำหอมที่สภาวะการซักล้าง อาจเป็นเพราะองค์ประกอบของน้ำหอมที่ปรากฏพิคเวลา 4.9 นาที มีความสามารถในการละลายในน้ำสูง ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้พิคหลักที่เวลา 5.4 นาที ซึ่งปรากฏชัดเจนทั้งในสภาวะซักล้าง และสภาวะอบแห้งเป็นตัวแทนเพื่อติดตามปริมาณน้ำหอมที่สภาวะซักและสภาวะอบแห้ง

การจำลองสภาวะการซักล้างโดยบรรจุไมโครแคปซูลน้ำหอม 50 มิลลิกรัม ลิเนียร์อัลคิลเบนซินซัลโฟเนต (LAS) 0.6 กรัม และน้ำกระด้างสังเคราะห์ที่มีปริมาณ CaCO_3 50-350 มิลลิกรัม ตอลิตร จำนวน 8 กรัม และให้ความร้อนที่ 30, 60 และ 80 องศาเซลเซียส ในระหว่างการซักเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยร้อยละการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูล (Release of fragrance) คำนวณจากผลต่างของปริมาณน้ำหอมที่ปลดปล่อยออกมาในน้ำ ภายหลังจากการซักที่สภาวะต่าง ๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมงกับปริมาณน้ำหอมที่ปลดปล่อยก่อนการซัก เทียบกับปริมาณน้ำหอมทั้งหมด พบว่า ร้อยละของการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูล มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Figure 6) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ที่ 80 องศาเซลเซียส มีค่าประมาณ 16% ในขณะที่ การปลดปล่อยน้ำหอมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าประมาณ 8% ซึ่งคิดเป็น 2 เท่าของการปลดปล่อยที่ 30 องศาเซลเซียส

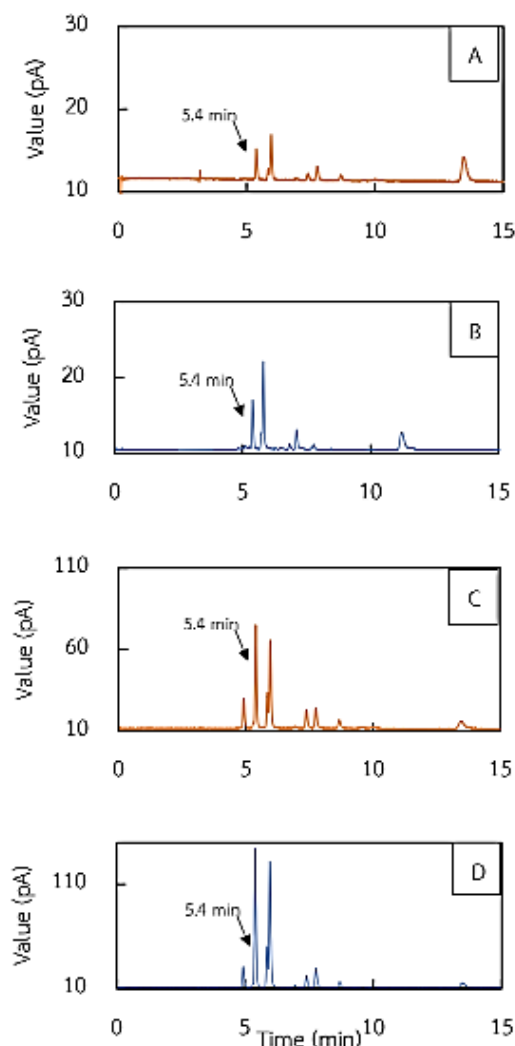


Figure 5 Chromatograms of fragrance releasing from microcapsules in water: (A) before laundering and (B) after laundering for 1 h; and in air (C) before drying and (D) after drying for 1 h

การปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลมีกลไกการเกิดได้ 2 แบบ คือ กลไกการปลดปล่อยแบบแตก (Broken release) และ กลไกการปลดปล่อยอย่างต่อเนื่อง (Sustained release) ในกรณีของกลไกการปลดปล่อยแบบแตก ผังของไมโครแคปซูลจะถูกทำลายให้แตก แล้วจึงมีการปลดปล่อยน้ำหอมภายในไมโครแคปซูลทั้งหมดออกมา ส่วนกลไกการปลดปล่อยอย่างต่อเนื่อง น้ำหอมจะแพร่ผ่านผนังของไมโครแคปซูลอย่างช้า ๆ ซึ่งอัตราการแพร่จะขึ้นอยู่กับขนาดของรูพรุนของไมโครแคปซูล และความแตกต่างของความเข้มข้นของน้ำหอมภายในไมโครแคปซูลกับภายนอกไมโครแคปซูล ด้วยเหตุนี้จึงเป็นไปได้ว่าไมโครแคปซูล

น้ำหอมที่แขวนลอยในน้ำซักล้างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีการหดตัว (เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำสูงกว่าอุณหภูมิ VPTT ซึ่งมีค่า 32.1 องศาเซลเซียส) ทำให้มีการปลดปล่อยน้ำพร้อม ๆ กับน้ำหอมออกมาจากไมโครแคปซูล [15] เมื่อเทียบกับไมโครแคปซูลที่แขวนลอยในน้ำซักล้างที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่จะมีการบวมเนื่องจากการดูดซับน้ำเข้าสู่ไมโครแคปซูล [16] ทำให้ความแตกต่างของความเข้มข้นของน้ำหอมภายในไมโครแคปซูลกับภายนอกไมโครแคปซูลลดลง ดังนั้นการปลดปล่อยน้ำหอมออกจากไมโครแคปซูลจึงเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ด้วยกลไกการปลดปล่อยอย่างต่อเนื่อง (Sustained release) ส่วนในกรณีที่ เมื่ออุณหภูมิของน้ำซักล้างสูงถึง 80 องศาเซลเซียส ความร้อนน่าจะมีส่วนสำคัญในการทำให้ผนังของไมโครแคปซูลแตก น้ำหอมทั้งหมดภายในไมโครแคปซูลจึงถูกปล่อยออกมาด้วยกลไกการปลดปล่อยแบบแตก (Broken release) ปรากฏการณ์นี้สามารถยืนยันได้จากภาพถ่ายไมโครแคปซูลน้ำหอมที่แขวนลอยในน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งพบการแตกของไมโครแคปซูลจำนวนมาก ดังแสดงใน Figure 7 (B) เมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายไมโครแคปซูลน้ำหอมที่แขวนลอยในน้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน Figure 7 (A)

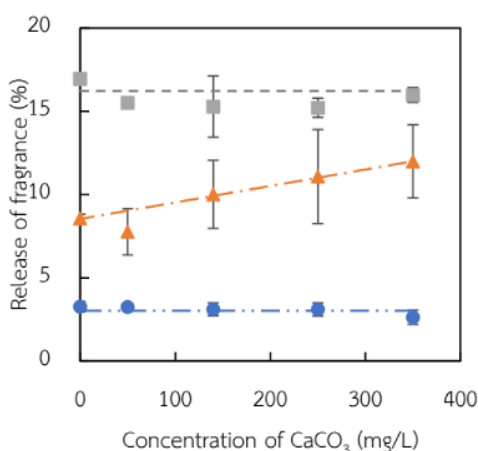


Figure 6 Effects of water temperature and hardness of water on the fragrance release:
(□) 30°C, (△) 60°C and (■) 80°C

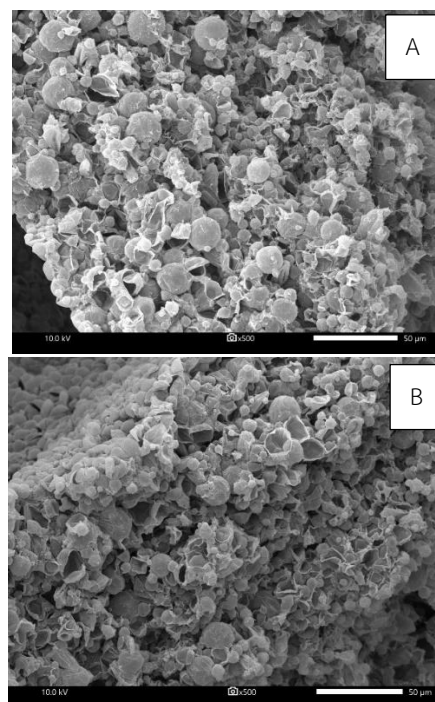


Figure 7 SEM micrographs of microcapsules after suspension in water at: (A) 40°C and (B) 90°C

ผลกระทบของความกระด้างของน้ำที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ในช่วง 50-350 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูล พบว่า ในสภาวะซักล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส การปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของ CaCO_3 มากขึ้น (Figure 6) ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะไอออนบวกและไอออนลบ เช่น Ca^{2+} และ CO_3^{2-} ที่อยู่ในน้ำส่งผลต่อโครงสร้างของไมโครแคปซูล จึงทำให้มีการปลดปล่อยน้ำหอมได้ดีขึ้น [16] อย่างไรก็ตาม ปริมาณของ CaCO_3 มีผลกระทบน้อยมากต่อการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลที่อยู่ในน้ำซักล้างที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (Figure 6) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่อุณหภูมินี้อัตราการแพร่ผ่านของน้ำหอมผ่านรูพรุนของไมโครแคปซูลที่อยู่ในสภาวะการบวมมีค่าน้อยอยู่แล้ว ดังนั้นแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ CaCO_3 ในน้ำซักล้าง การปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลก็จะเปลี่ยนแปลงไม่มากในทางกลับกัน ปริมาณของ CaCO_3 ไม่มีผลกระทบต่อการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลที่อยู่ในน้ำซักล้างที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (Figure 6) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่อุณหภูมินี้ไมโครแคปซูลแตก และมีการปลดปล่อยน้ำหอมทั้งหมดออกมาแล้ว ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณ CaCO_3 ในน้ำซักล้างที่อุณหภูมินี้จึงไม่มีผลต่อการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูล

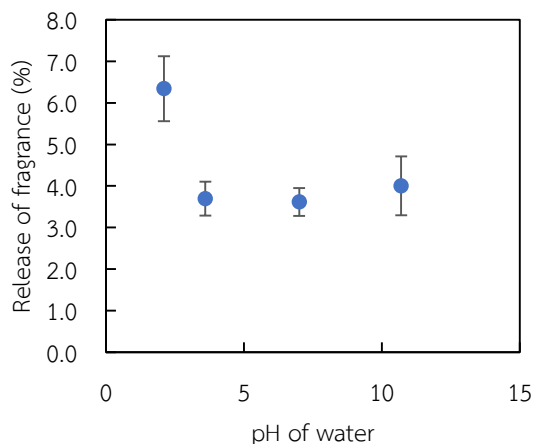


Figure 8 Fragrance releasing from microcapsules in water at different pH

การศึกษากลยุทธ์ของค่าความเป็นกรดต่างของน้ำซักล้างที่ใช้เวลาในการซัก 1 ชั่วโมง เป็นการจำลองสถานะการซักผ้าโดยทั่วไปที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งโดยปกติสารซักล้างจะมีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 11 และเมื่อแช่ผ้าที่มีการเปื้อนคราบเหงื่อไคลจะทำให้ค่าความเป็นกรดต่างลดลง จากการศึกษการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลที่อยู่ในของเหลวที่มีค่าความเป็นกรดต่างในช่วง 2.1-10.7 พบว่าการปลดปล่อยน้ำหอมจากแคปซูลจะคงที่ในช่วงความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3.6-10.7 อย่างไรก็ตาม ในสถานะที่ความเป็นกรดต่างลดลงเป็น 2.1 การปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลจะสูงขึ้น ดังแสดงใน Figure 8

3.3. ปริมาณน้ำหอมในสถานะการทำให้แห้ง

การจำลองสถานะการทำให้ผ้าแห้ง คิดเสมือนมีเพียงไมโครแคปซูลน้ำหอมเท่านั้นที่เหลื่ออยู่บนเนื้อผ้า โดยจำลองสถานะการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (การจำลองการตากผ้า) และ 60, 80 องศาเซลเซียส (การจำลองการอบผ้า) พบว่า การตากผ้าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส การปลดปล่อยน้ำหอมเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และค่อนข้างคงที่ (Figure 9) ในขณะที่ การอบผ้าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาในการอบผ้าเพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดการปลดปล่อยน้ำหอมสูงขึ้น และมีการปลดปล่อยใกล้เคียงกับการอบผ้าที่ 80 องศาเซลเซียส เมื่อใช้เวลาในการอบเพิ่มขึ้นเป็น 3 ชั่วโมง (Figure 9) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส น้ำหอมในไมโครแคปซูลมีความดันไอเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถกลายเป็นไอของน้ำหอมสูงขึ้น ส่งผลให้น้ำหอมสามารถเคลื่อนที่ผ่านไมโครแคปซูลไปได้มากขึ้น [17] ส่วนการอบผ้าที่ 80 องศาเซลเซียส จะทำให้การปลดปล่อยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและคงที่ที่เวลา 1 ชั่วโมง (Figure 9) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียสทำให้ไมโครแคปซูล น้ำหอมจึงออกจากไมโครแคปซูลได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิอื่น

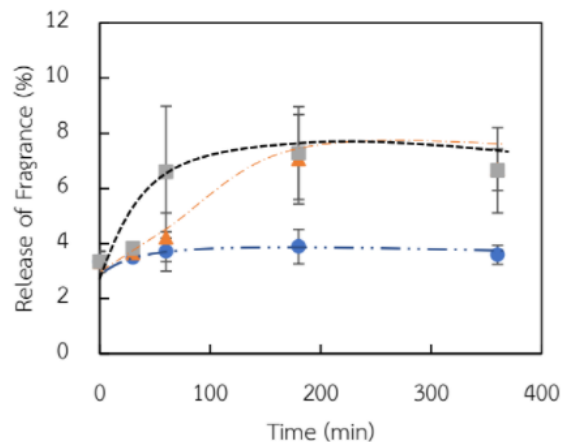


Figure 9 Fragrance releasing from microcapsules in air at different temperatures:

(□) 30°C, (□) 60°C and (□) 80°C

4. บทสรุป

จากการศึกษาการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูล น้ำหอมในสถานะจำลองการซักล้าง และการอบแห้ง พบว่าการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง แต่การใช้อุณหภูมิสูงทั้งในการซักล้าง และการอบแห้งอาจไม่เหมาะสมกับผ้าบางประเภท หรือไม่เหมาะสมกับการใช้ในบางสถานการณ์ ดังนั้นข้อมูลเกี่ยวกับการปลดปล่อยน้ำหอมจากไมโครแคปซูลในสถานะจำลองการซักล้าง และการอบแห้งจึงมีความสำคัญ และอาจเป็นข้อมูลพื้นฐานที่นำไปสู่การต่อยอดพัฒนาไมโครแคปซูล น้ำหอมให้มีลักษณะที่เหมาะสมต่อการซักล้าง และการอบแห้งผ้าได้หลากหลายชนิดขึ้น หรือให้สามารถใช้งานได้กว้างขวางขึ้นในหลากหลายสถานการณ์

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากทุนอุดหนุนวิจัยและพัฒนา เพื่อส่งเสริมความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา (วจร. 1/2562) และทุนตามโครงการผู้ช่วยวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ระยะที่ 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา (GRA 3/2562)

6. References

- [1] Galbraith C. 2018. An Overview of the Global Flavour & Fragrances Market, 11th edition. http://www.ialconsultants.com/uploads/CUBE_press_release/2018-08-02/FF_PressRelease_2018.pdf. Accessed 1 July 2021.

- [2] Zhang, Y., Song, J. and Chen, H. 2016. Preparation of polyacrylate/paraffin microcapsules and its application in prolonged release of fragrance. **Journal of Applied Polymer Science**. 133(42): 44136
- [3] Kaur, R. and et al. 2018. Potential use of polymers and their complexes as media for storage and delivery of fragrances. **Journal of Controlled Release**. 285: 81-95.
- [4] Perinelli, D. and et al. 2020. Encapsulation of flavours and fragrances into polymeric capsules and cyclodextrins inclusion complexes: an update. **Molecules**. 25(24): 5878.
- [5] Zhao, H. and et al. 2019. The fabrication of fragrance microcapsules and their sustained and broken release behavior. **Materials**. 12(3): 393.
- [6] Xiao, Z. and et al. 2019. Encapsulation and sustained release properties of watermelon flavor and its characteristic aroma compounds from γ -cyclodextrin inclusion complexes. **Food Hydrocolloids**. 97: 105202
- [7] Tekin, R., Bac, N. and Erdogmus, H. 2013. Microencapsulation of fragrance and natural volatile oils for application in cosmetics, and household cleaning products. **Macromolecular Symposia**. 333(1): 35-40.
- [8] Pena, B. and et al. 2012. Preparation and characterization of polysulfone microcapsules for fragrance release. **Chemical Engineering Journal**. 179: 394-403.
- [9] Bojana, B.P. and Marica, S. 2016. Microencapsulation technology and applications in added-value functional textiles. **Physical Sciences Reviews**. 1(1): 20150003.
- [10] Roberts, D.W. 2003. Optimisation of the linear alkyl benzene sulfonation process for surfactant manufacture. **Organic Process Research & Development**. 7(2): 172-184.
- [11] Ferreira, D. and et al. 2019. Quantification of the uncertainty of the visual detection of the end-point of a titration: Determination of total hardness in water. **Microchemical Journal**. 146: 856-863.
- [12] Gaabour, L. 2017. Spectroscopic and thermal analysis of polyacrylamide/chitosan (PAM/CS) blend loaded by gold nanoparticles. **Results in Physics**. 7: 2153-2158.
- [13] Radecki, M. and et al. 2015. Temperature-induced phase transition in hydrogels of interpenetrating networks of poly (N-isopropylacrylamide) and polyacrylamide. **European Polymer Journal**. 68: 68-79.
- [14] Ali, Z.A. and et al. 2011. Beneficial effect of chitosan-g-polyacrylamide copolymer in removal of heavy metals from industrial dye effluents. **International Journal of Environmental Sciences**. 1(5): 820-833.
- [15] Lopez-Leon, T. and et al. 2007. Hofmeister effects on poly(NIPAM) microgel particles: macroscopic evidence of ion adsorption and changes in water structure. **ChemPhysChem**. 8(1): 148-156.
- [16] Farooqi, Z. and et al. 2017. Stability of poly (N-isopropylacrylamide-co-acrylic acid) polymer microgels under various conditions of temperature, pH and salt concentration. **Arabian Journal of Chemistry**. 10(3): 329-335.
- [17] Yang, Z. and et al. 2014. Development and evaluation of novel flavour microcapsules containing vanilla oil using complex coacervation approach. **Food Chemistry**. 145: 272-277.