

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฝรั่ง (guava)

ฝรั่ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Psidium guajava* Linn. เป็นพืชในวงศ์ Myrtaceae เป็นไม้ยืนต้นที่ปลูกกันมากในประเทศไทย เนื่องจากเป็นพืชที่มีประโยชน์และสามารถนำมาใช้งานได้หลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น ใบฝรั่ง ที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่มีความสามารถในการต้านแบคทีเรียอยู่มากมาย จึงนิยมนำมาใช้เป็นยารักษาโรคเกี่ยวกับทางเดินอาหาร เช่นอาการท้องเสีย ท้องร่วงอันเนื่องมาจากเชื้อแบคทีเรีย เช่น *Staphylococcus aureus* [15,16,17]

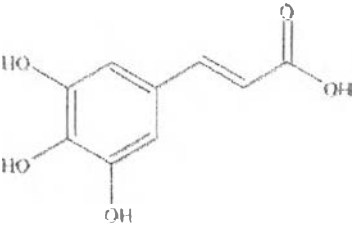
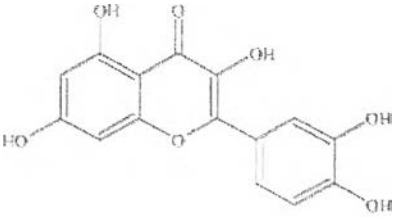
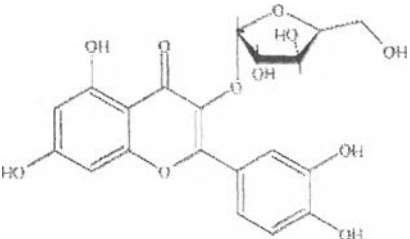
2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของใบฝรั่ง

ใบฝรั่งมีแทนนิน (tannin) 8-15% เป็นประเภท Catechol และ Pyrogallol และมีน้ำมันหอมระเหย (essential oil) ซึ่งประกอบด้วย bisabolene, caryophyllene, caryophyllene oxide, longicyclene, tertiary sesquiterpene alcohol และอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 2.1 [17,18]

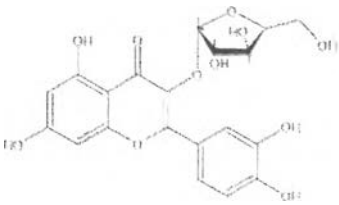
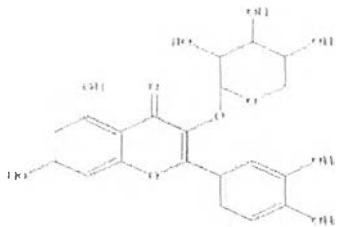
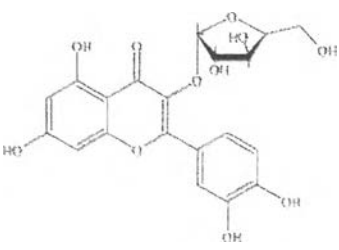
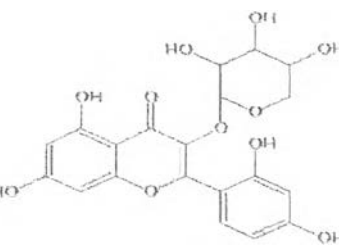


รูปที่ 2.1 ลักษณะลำต้น ใบ และผลของฝรั่ง [18]

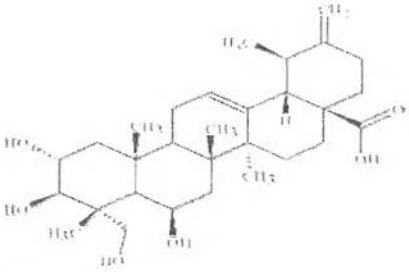
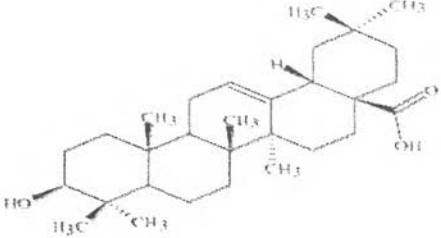
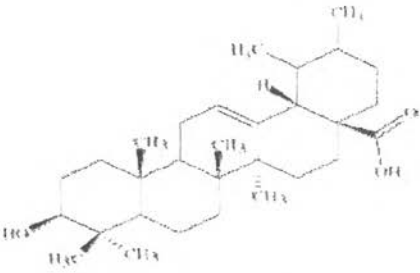
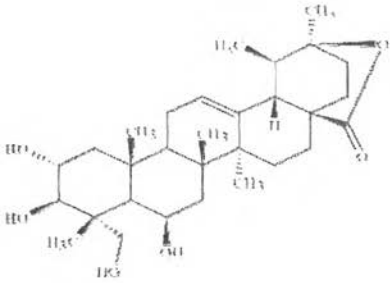
ตารางที่ 2.1 สูตรโครงสร้างและสมบัติขององค์ประกอบทางเคมีที่พบในฝรั่ง [20,21]

สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
<p style="text-align: center;">Caffeic acid</p> 	<p>เป็นสารประกอบฟีนอล ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันของฟีนอลและอะคริลิก มีฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์ และด้านการเกิดออกซิเดชัน</p>
<p style="text-align: center;">Quercetin</p>  <p style="text-align: center;">Kaempferol</p> 	<p>เป็นอนุพันธ์ของฟลาโวนอยด์ มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ และด้านอาการท้องร่วง โดยลดการหดตัวของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ยังมีผลต่อการขยายตัวของหลอดเลือด</p>

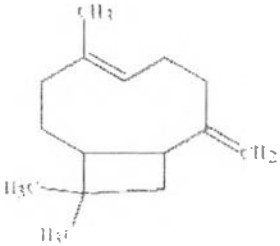
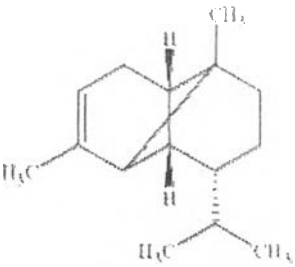
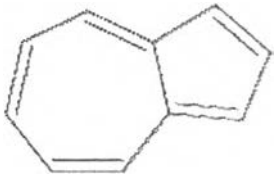
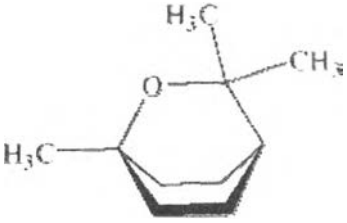
ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
<p data-bbox="368 521 796 555">Quercetin-3-α-L-arabinofuranside</p> 	<p data-bbox="878 464 1293 748">เป็นอนุพันธ์ของฟลาโวนอยด์ มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ และต้านอาการท้องร่วง โดยลดการหดตัวของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ยังมีผลต่อการขยายตัวของหลอดเลือด</p>
<p data-bbox="509 895 655 929">Guaijaverin</p>  <p data-bbox="525 1236 639 1270">Avicularin</p>  <p data-bbox="368 1587 796 1621">Morin-3-O-α-L-arabinopyranoside</p> 	<p data-bbox="878 1474 1293 1746">เป็น Acylated flavonol glycoside พบได้ในใบฝรั่งและผลฝรั่ง มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ เช่น <i>Streptococcus mutans</i>, <i>Salmonella enteritidis</i>, <i>Bacillus cereus</i></p>

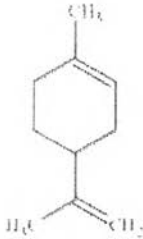
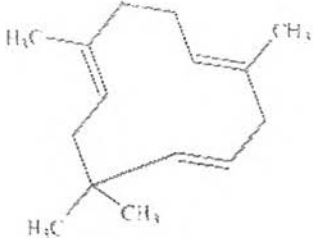
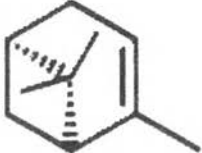
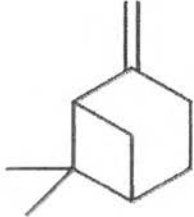
ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
<p data-bbox="482 471 675 505">Guavenoic acid</p> 	<p data-bbox="868 603 1296 766">เป็นอนุพันธ์ของไตรเทอร์ปีน พบได้ใน ใบฝรั่งและผลฝรั่ง มีฤทธิ์ต้าน จุลินทรีย์</p>
<p data-bbox="487 859 671 893">Oleanolic acid</p>  <p data-bbox="498 1204 660 1238">Ursolic acid</p>  <p data-bbox="498 1594 649 1628">Guajavolide</p> 	<p data-bbox="868 1601 1296 1703">เป็นอนุพันธ์ของไตรเทอร์ปีน พบได้ใน ใบฝรั่งและผลฝรั่ง มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์</p>

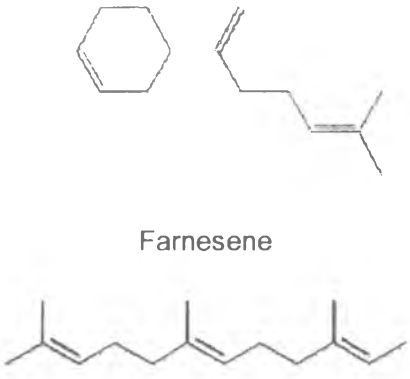
ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
<p data-bbox="456 478 664 517">β-caryophyllene</p>  <p data-bbox="503 852 617 891">Copaene</p>  <p data-bbox="508 1256 613 1288">Azulene</p>  <p data-bbox="492 1578 628 1610">Eucalyptol</p> 	<p data-bbox="868 1038 1307 1322">เป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ซึ่ง เป็นสารกลุ่มเซสควิเทอร์ปีน เกิด การออกซิไดซ์น้อย และระเหยยาก มีฤทธิ์ ต้านจุลินทรีย์ ป้องกันการติดเชื้อ ลด การอักเสบ บรรเทาปวด</p>

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
<p data-bbox="492 478 617 512">Limonene</p>  <p data-bbox="476 852 636 886">α-humulene</p>  <p data-bbox="495 1222 617 1256">α-pinene</p>  <p data-bbox="495 1499 617 1533">β-pinene</p> 	<p data-bbox="863 1000 1313 1351">เป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ ซึ่งเป็นสารกลุ่มเซสควิเทอร์ปีน เกิดการออกซิไดซ์น้อย และระเหยยาก มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ป้องกันการติดเชื้อ ลดการอักเสบ ลดความดัน และบรรเทาอาการปวด</p>

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
<p style="text-align: center;">β-bisabolene</p>  <p style="text-align: center;">Farnesene</p>	<p>เป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ ซึ่งเป็นสารกลุ่มเซสควิเทอร์ปีน เกิดการออกซิไดซ์น้อย และระเหยยาก มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ป้องกันการติดเชื้อ ลดการอักเสบ ลดความดัน และบรรเทาอาการปวด</p>

2.2 สารสกัดและน้ำมันหอมระเหยจากพืช

2.2.1 สารสกัด (extracts)

เป็นการสกัดเอาเฉพาะส่วนที่มีประโยชน์ของพืชซึ่งเป็นสารเคมีจากธรรมชาติออกมา จัดว่าเป็นการแปรรูปพืชสมุนไพรในขั้นแรกก่อนการนำสารสกัดดังกล่าวไปใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อื่นๆ ต่อไป เช่น สารสกัดที่เป็นน้ำมันหอมระเหย สารสกัดที่ใช้เป็นยารับประทาน สารสกัดที่ใช้เป็นยาทาภายนอก สารสกัดที่ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารและเครื่องดื่ม สารสกัดที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ป้องกันกำจัดศัตรูพืช [21,22]

2.2.1.1 ประเภทของสารที่สกัดได้ แยกตามลักษณะทางเคมีได้เป็น 7 กลุ่ม ดังนี้ [22]

1. **คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)** เป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน พืชจะสร้างคาร์โบไฮเดรตจากการสังเคราะห์แสงและเก็บสะสมไว้ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางอาหาร ยา และเครื่องสำอาง คาร์โบไฮเดรตที่พืชสร้างขึ้นอยู่ในหลายรูปแบบ เช่น แป้ง (starch) กัม (gum) เซลลูโลส (cellulose) วุ้น (agar) และสารเมือก (mucilage)

2. **ไขมัน (fat)** มีองค์ประกอบสำคัญ คือ กรดไขมัน ซึ่งแบ่งออกเป็น กรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว น้ำมันจากพืชแต่ละชนิดจะมีสมบัติแตกต่างกันตามองค์ประกอบของกรดไขมัน

3. **น้ำมันหอมระเหย (volatile oils หรือ essential oils)** เป็นน้ำมันชนิดหนึ่งที่ระเหยได้ที่อุณหภูมิปกติ เมื่อระเหยจะมีกลิ่นหอม เป็นสารที่พืชสร้างขึ้นเพื่อใช้ดึงดูดแมลง ไล่แมลง และป้องกันตัวเองจากเชื้อรา ไวรัส แบคทีเรีย นำมาใช้ประโยชน์ในการทำน้ำหอม ประโยชน์ทางยา ใช้เป็นสுகอนบำบัด (aromatherapy)

4. **เรซิน (resins)** เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีรูปร่างไม่แน่นอน กึ่งแข็งกึ่งเหลว ไม่ละลายน้ำ ละลายได้ในแอลกอฮอล์ คลอโรฟอร์ม และอีเธอร์ เป็นสารที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์แข็งตัว เช่น ใช้เตรียมซีเมนต์ เรซินในธรรมชาติอาจรวมตัวกับสารอื่นทำให้เกิดสารใหม่ที่น่าไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น สารประกอบระหว่างเรซินกับกัม เรียกว่า กัมเรซิน (gumresin) เรซินกับน้ำมันหอมระเหย เรียกว่า โอลีโอเรซิน (oleoresin)

5. **แอลคาลอยด์ (alkaloids)** เป็นสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ มักมีรสขม มีฤทธิ์เป็นด่าง ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ นำมาใช้ประโยชน์ทางยา ไม่นิยมใช้ในเครื่องสำอาง

6. **ไกลโคไซด์ (glycosides)** เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วย เจนิน (genin) หรืออะไกลโคน (aglycone) กับไกลโคน (glycone) ซึ่งเป็นน้ำตาลหรืออนุพันธ์ของน้ำตาล เป็นสารสำคัญที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ทางยาและเครื่องสำอาง เช่น ฟลาโวนอยด์ไกลโคไซด์ (flavonoid glycosides) แอนทราควิโนนไกลโคไซด์ (anthraquinone glycosides) แทนนิน (tannin) และซาโปนินไกลโคไซด์ (saponin glycosides)

7. **เทอร์ปีนอยด์ (terpenoids)** เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบในพืชชั้นสูง มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่หลากหลาย นิยมนำมาใช้ประโยชน์ทางยา

โดยการนำสารสกัดไปใช้ประโยชน์ในด้านใดนั้น ต้องคำนึงถึงประเภทของสารที่ต้องการ เนื่องจากในสารสกัดประกอบด้วยสารหลายชนิดรวมกัน การนำไปใช้งานอาจต้องมีการแยกประเภทของสารที่ต้องการอีกครั้งหนึ่ง

2.2.2 น้ำมันหอมระเหย (essential oil)

เป็นสารที่อยู่ในพืชมีลักษณะเป็นน้ำมันที่ได้มาจากการกลั่น โดยจะมีกลิ่นและรสที่มีความเป็นเอกลักษณ์ สามารถระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิปกติ และมีความหนาแน่นที่น้อยกว่าน้ำ ซึ่งน้ำมันหอมระเหยที่สกัดออกมาได้นั้นจะมีสารเคมีเป็นองค์ประกอบหลากหลายชนิด และส่วนใหญ่จะมีคุณสมบัติทางเภสัชวิทยา โดยจะสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก และ แกรมลบ บางชนิดได้ ซึ่งสารเหล่านี้จะพบมากในพืชสมุนไพร เช่น กระเทียม ไพล กานพลู สะเดา และ ฝรั่ง เป็นต้น อีกทั้งน้ำมันหอมระเหยจะพบได้ในเกือบทุกส่วนของพืช เช่น ดอก ใบ ลำต้น ผล เปลือก เมล็ด ราก และ เหง้า ทั้งนี้ น้ำมันหอมระเหยที่สกัดออกมาได้นั้นจะไม่เกิดกลิ่นเหม็นหืน แต่ถ้าถูกแสงหรืออากาศนานๆ โครงสร้างน้ำมันหอมระเหยจะสามารถถูกออกซิไดซ์ได้ [23,24,25]

2.2.2.1 ประเภทของสารที่สกัดได้ โดยสารสำคัญที่พบจะมีดังต่อไปนี้ [25]

เทอร์ปีนอยด์ (terpenoids)

พบในน้ำมันหอมระเหยส่วนใหญ่เป็นพวกโมโนเทอร์ปีน (monoterpene) และ เซสควิเทอร์ปีน (sesquiterpene) ซึ่งจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่ไม่สูงมากนัก และสารเหล่านี้จะมีกลุ่มฟังก์ชันที่เกิดปฏิกิริยาได้ดี จึงสามารถทำให้เกิดโครงสร้างมากมายหลายพันชนิด

1. โมโนเทอร์ปีนอยด์ (monoterpenoids)

มักจะพบอยู่ในพืชชั้นสูงทั่วไป โดยเฉพาะพืชที่ให้น้ำมันหอมระเหย พบว่าเกิดเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยหลายชนิด ซึ่งพืชเหล่านี้จะมีโครงสร้างพิเศษที่เฉพาะตัวที่จะทำหน้าที่เก็บสะสมสารประกอบเหล่านี้ ทั้งนี้อาจจะเกิดอยู่ในเนื้อเยื่อพืช โดยจะสามารถพบได้ตั้งแต่ดอกไปจนถึงราก

2. เซสควิเทอร์ปีนอยด์ (sesquiterpenoids)

โครงสร้างโดยทั่วไปของเซสควิเทอร์ปีนอยด์นั้นจะมีพื้นฐานเป็น ไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ และ คีโตน เป็นส่วนใหญ่ เช่นเดียวกันกับที่พบในโมโนเทอร์ปีน แต่เซสควิเทอร์ปีนนั้นจะมีโครงสร้างที่ใหญ่กว่า

3. สารประกอบอะโรมาติก (aromatic compounds)

เป็นโครงสร้างที่ประกอบไปด้วย ฟีนิลริง (phenyl ring) โดยมีปลายสายโซ่เป็น โพรเพน (propane)

2.2.2.2 คุณสมบัติของน้ำมันหอมระเหย [26,27]

เป็นน้ำมันที่ระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิปกติ ไม่ละลาย หรืออาจละลายได้เล็กน้อยในน้ำ โดยมีคุณสมบัติทางการภาพที่สำคัญ ดังนี้

1. สี โดยส่วนใหญ่แล้วน้ำมันหอมระเหยจะปราศจากสี โดยเฉพาะน้ำมันหอมระเหยที่มีความบริสุทธิ์มากๆ หรือยังใหม่อยู่ แต่ถ้าหากทิ้งไว้ให้สัมผัสแสง หรืออากาศในระยะเวลาหนึ่ง น้ำมันหอมระเหยก็จะเกิดสีได้ เช่น น้ำมันอบเชย เมื่อถูกแสงสว่างหรืออากาศเป็นเวลานานๆ ก็จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มได้

2. กลิ่น น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากพืชแต่ละชนิดนั้น จะมีกลิ่นที่มีความเป็นเอกลักษณ์ที่แตกต่างกันออกไป โดยจะสามารถกระจายกลิ่นได้ดี เมื่ออยู่ในอากาศ

3. จุดเดือด น้ำมันหอมระเหยจะมีจุดเดือดที่กว้างมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากโครงสร้างในน้ำมันหอมระเหยนั้นซับซ้อน และมีหลากหลายชนิด โดยทั่วไปแล้วจะมีจุดเดือดอยู่ที่ 150-300 องศาเซลเซียส

4. การละลาย น้ำมันหอมระเหยสามารถละลายได้ในตัวทำละลายจะพวก แอลกอฮอล์, อีเทอร์, คลอโรฟอร์ม และ ตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ นอกจากนั้นแล้วน้ำมันหอมระเหยยังสามารถละลายได้ดีในพวกไขมัน, เรซิน, น้ำมันพืช รวมถึง ซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส อีกด้วย

5. การเสื่อมสลาย น้ำมันหอมระเหยเมื่อสัมผัสแสง หรืออากาศแล้วจะทำให้คุณภาพด้อยลง และความหอมของน้ำมันหอมระเหยก็จะด้อยลงด้วย อีกทั้งน้ำมันหอมระเหยนั้นมีองค์ประกอบของเทอร์ปีน เมื่อสัมผัสอากาศจะกลายเป็นเปอร์ออกไซด์ มีผลทำให้น้ำมันหอมระเหยเกิดเป็นผลึกเกาะข้างภาชนะได้

2.2.3 กรรมวิธีการแยกสารออกจากพืช

สารจากพืชที่เราต้องการนั้นสามารถสกัดได้โดยการผ่านกรรมวิธีต่างๆวิธีใดวิธีหนึ่งต่อไปนี้ ซึ่งการเลือกวิธีมานั้นจำเป็นต้องเลือกให้เหมาะสมกับพืชที่จะนำมาใช้ด้วย [21,28]

2.2.3.1 การกลั่น (distillation) โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ

1. การกลั่นโดยใช้น้ำ (steam Distillation)

วิธีนี้สามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์สำหรับการกลั่น เช่น เครื่องควบแน่น หม้อกลั่น และภาชนะรองรับน้ำมัน วิธีการก็คือ บรรจุพืชที่ต้องการสกัดน้ำมันหอมระเหยลงในหม้อกลั่น เติมน้ำพอท่วม แล้วต้มจนน้ำเดือด เมื่อน้ำเดือดระเหยเป็นไอ ไอน้ำจะช่วยพาน้ำมันหอม

ระเหยที่อยู่ในเนื้อเยื่อของพืชออกมาพร้อมกัน เมื่อผ่านเครื่องควบแน่น ไอน้ำและไอของน้ำมันหอมระเหยจะควบแน่นเป็นของเหลว ได้น้ำมันหอมระเหย และน้ำ แยกชั้นจากกัน การกลั่นโดยใช้น้ำนี้มีข้อดี คือ เป็นวิธีที่ง่าย อุปกรณ์ในการกลั่น ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และค่าใช้จ่ายต่ำ แต่ก็มีข้อเสีย คือ ในกรณีที่ต้องกลั่นพืชปริมาณๆ ความร้อนที่ใส่สู่ม้อกลั่นจะไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งหม้อกลั่น พืชที่อยู่ด้านล่างใกล้กับเตา อาจเกิดการไหม้ได้ ทำให้น้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ มีกลิ่นเหม็นไหม้ติดปนมา อีกทั้งการกลั่นโดยวิธีนี้ พืชจะต้องสัมผัสกับน้ำเดือดโดยตรงเป็นเวลานาน ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย เกิดการเปลี่ยนแปลงไปบ้างบางส่วน

2. การกลั่นโดยใช้น้ำและไอน้ำ (water and steam distillation)

วิธีนี้มีหลักการคล้ายกับการกลั่นโดยใช้น้ำ แต่แตกต่างกันที่ ภายในหม้อกลั่นจะมีตะแกรงสำหรับวางพืชไว้เหนือระดับน้ำ เมื่อให้ความร้อน โดยเปลวไฟ หรือไอน้ำจากเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler), น้ำภายในหม้อกลั่น จะเดือดกลายเป็นไอ การกลั่นโดยวิธีนี้ พืชที่ใช้กลั่นจะไม่สัมผัสกับความร้อนโดยตรง ทำให้คุณภาพของน้ำมันหอมระเหยดีกว่าวิธีแรก

3. การกลั่นโดยใช้ไอน้ำ (steam distillation)

การกลั่นโดยวิธีนี้ ก็คล้ายกับวิธีที่ 2 แต่ไม่ต้องเติมน้ำลงในหม้อกลั่นเมื่อบรรจุพืชลงบนตะแกรงแล้ว ผ่านความร้อนจากไอน้ำที่ได้จากเครื่องกำเนิดไอน้ำ ไอน้ำจะช่วยน้ำมันหอมระเหยในพืช ระเหยออกมาอย่างรวดเร็ว วิธีนี้มีข้อดี คือ เวลาที่ใช้ในการกลั่นจะสั้นกว่าปริมาณน้ำมันมีคุณภาพ และปริมาณดีกว่า แต่ไม่เหมาะกับพืชที่มีลักษณะบาง เช่น กลีบกุหลาบ เพราะไอน้ำจะทำให้กลีบกุหลาบรวมตัวกันเป็นก้อน น้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในกลีบกุหลาบไม่สามารถออกมา พร้อมไอน้ำได้ทั้งหมด ทำให้ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเขยน้อยลง หรือไม่ได้เลย การกลั่นน้ำมันกุหลาบจึงควรใช้วิธีการกลั่นด้วยน้ำจะเหมาะสมกว่า

2.2.3.2 การบีบหรือการอัด (expression)

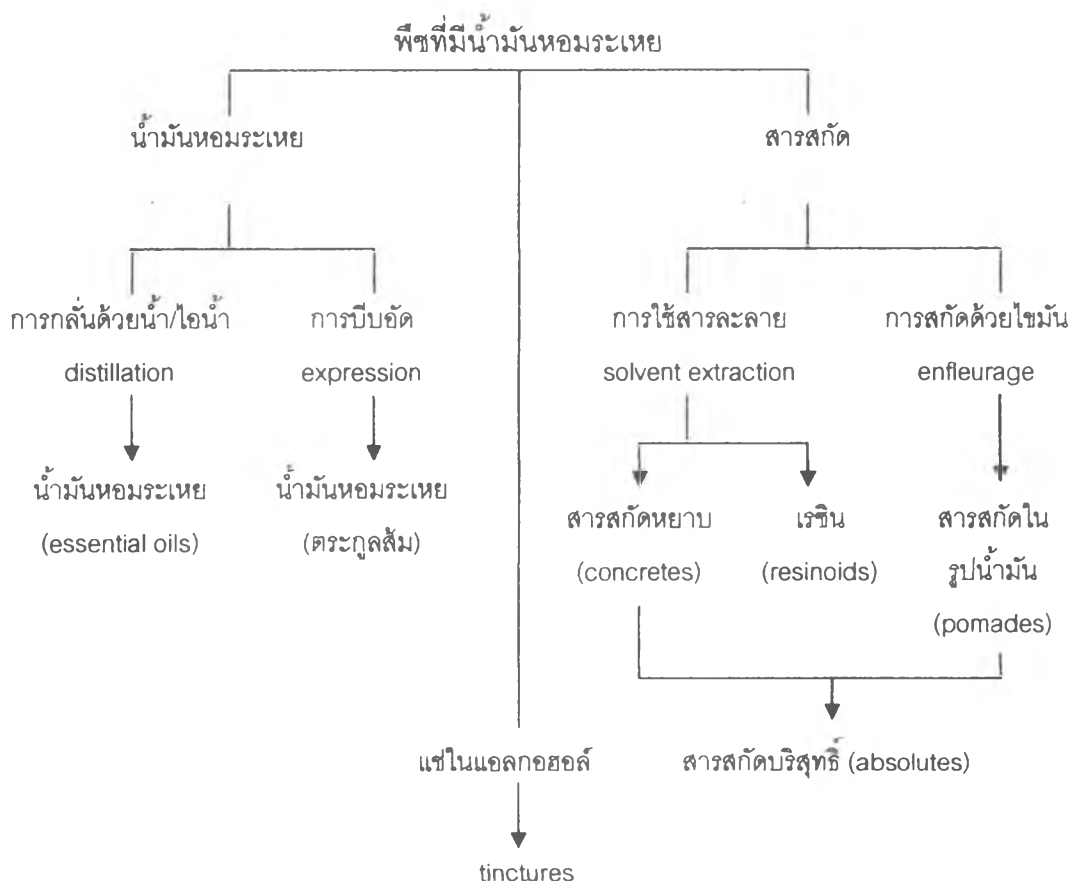
เป็นวิธีที่นำมาใช้เพื่อหลีกเลี่ยงการสลายตัว ของสารสำคัญในพืชเมื่อสัมผัสกับความชื้น เช่นการกลั่นน้ำมันจากผิวส้ม ซึ่งจำใช้เพียงของแหลมแทงไปที่ผิวส้ม หรือใช้วิธีการบีบเท่านั้น ซึ่งน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากวิธีการนี้จะค่อนข้างน้อย แต่มีข้อดีคือ ประหยัดเวลา และมีต้นทุนที่ถูกลง

2.2.3.3 การดูดซับ (resorption)

โดยมากจะใช้สำหรับการสกัดกลีบดอก วิธีการสกัดคือ การใช้น้ำมันที่ไม่ระเหยหรือไขมันที่ไม่มีกลิ่นมาแผ่เป็นฟิล์มบางๆ จากนั้นจึงโปรยกลีบดอกลงไปบนฟิล์มที่เตรียมไว้ แล้วทิ้งไว้ 2-3 ชั่วโมง ก่อนจะทำการเปลี่ยนกลีบดอกไม้ชุดใหม่ลงไป ทำซ้ำๆกันประมาณ 7-10 ครั้ง เพื่อให้ฟิล์มที่เตรียมไว้ดูดซับน้ำมันหอมระเหยจากกลีบดอก จากนั้นจึงนำฟิล์มมาสกัดเอาน้ำมันหอมระเหยออกด้วยแอลกอฮอล์ วิธีนี้จะให้น้ำมันหอมระเหยที่มีคุณภาพดี

2.2.3.4 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction)

การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชบางชนิดที่ไม่สามารถใช้วิธีกลั่นโดยใช้ไอน้ำได้ เนื่องจากองค์ประกอบของสารหอมระเหยในพืชจะสลายตัวเมื่อถูกความร้อนสูง ดังนั้นจึงใช้ตัวทำละลาย เช่น เฮกเซน สกัดน้ำมันหอมระเหยออกมา หลังจากนั้นจะระเหยไล่ตัวทำละลายออกที่อุณหภูมิและความกดดันต่ำ ก็จะได้น้ำมันหอมระเหยออกมา



รูปที่ 2.2 วิธีที่ใช้ในการสกัดสารจากพืช [29]

2.3 สิ่งทอกับสารต้านจุลินทรีย์ (textile and antimicrobial agent)

ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่เราใช้หรือสวมใส่ นับเป็นแหล่งอาศัยของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีอุณหภูมิ ความชื้น และแหล่งอาหารที่เหมาะสม โดยจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายสารเหล่านี้ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของ การเกิดปัญหากลิ่นอับชื้น เนื่องจากเกิดการหมักหมมของเชื้อจุลินทรีย์ อีกทั้งยังเป็นต้นกำเนิดของปัญหาอื่นๆ อีกด้วย เช่น สิ่งทอมีสี่ที่เปลี่ยนไปจากเดิม เส้นใยถูกทำลาย และเมื่อจุลินทรีย์เติบโตรวมกันเป็นกลุ่มก็จะแสดงรอยต่างด้าบนผ้าได้ จึงได้มีการตกแต่งด้านจุลินทรีย์บนสิ่งทอ เพื่อลดปัญหาต่างๆ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่สามารถเพิ่มมูลค่าให้สิ่งทอได้อีกด้วย [30,31]

2.3.1 สารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ (antimicrobial agents for textiles)

สารต้านจุลินทรีย์ หมายถึง สารที่ฆ่าหรือยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ไม่ให้เจริญเติบโตหรือแพร่พันธุ์ออกไป ในปัจจุบันสารต้านจุลินทรีย์มีการพัฒนาขึ้นมากมายเพื่อนำมาควบคุมจุลินทรีย์ต่างๆ เช่น แบคทีเรีย เห็ดรา และยีสต์ ไม่ให้เจริญเติบโต เพื่อประโยชน์ในการใช้งานต่างๆ ในวงการแพทย์ อุตสาหกรรม หรือในชีวิตประจำวันไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม สิ่งทอที่ใช้ตกแต่งที่อยู่อาศัย ซึ่งสารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอควรมีสมบัติที่ประกอบไปด้วย [30,32]

- 1) มีความคงทนต่อการซักและการใช้งานหลายๆ ครั้ง และทนต่อการซักแห้ง
- 2) สามารถยับยั้งและฆ่าจุลินทรีย์ที่ไม่พึงปรารถนาได้
- 3) สามารถใช้ร่วมกับสารตกแต่งสิ่งทอชนิดอื่นๆ ได้เป็นอย่างดี
- 4) มีสมบัติในการถ่ายเทความชื้นได้เป็นอย่างดี
- 5) มีความปลอดภัยในการใช้งาน และต้องไม่เป็นพิษต่อร่างกาย
- 6) ใช้งานได้ง่ายและสะดวก
- 7) ไม่ควรมีผลกระทบในทางลบต่อสมบัติของสิ่งทอ

2.3.2 การเลือกสารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ [32]

สารต้านจุลินทรีย์มีมากมายหลายชนิดเพราะฉะนั้นการเลือกใช้สารต้านจุลินทรีย์ควรจะเข้าใจถึงความแตกต่างของสารต้านจุลินทรีย์เพื่อที่จะเลือกและนำสารต้านจุลินทรีย์มาใช้งานได้ อย่างเหมาะสมตรงกับความต้องการ ทั้งนี้เพราะการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์แต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ความแตกต่างของสารต้านจุลินทรีย์แต่ละชนิดประกอบไปด้วย

1. ธรรมชาติทางเคมีของสารต้านจุลินทรีย์ หมายถึง สารต้านจุลินทรีย์นั้นสามารถสร้างพันธะกับสิ่งทอได้หรือไม่
2. รูปแบบการทำงาน หมายถึง สารสำคัญสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้โดยวิธีใด
3. ความคงทนต่อการซัก หมายถึง เมื่อนำผลิตภัณฑ์มาใช้งานจริง ผลิตภัณฑ์ควรมีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย แม้ว่าจะผ่านการซักไปหลายรอบ
4. ประสิทธิภาพของสารต้านจุลินทรีย์ ควรมีประสิทธิภาพในการฆ่าหรือยับยั้งจุลินทรีย์ได้หลากหลายชนิด ทั้งที่เป็นแบคทีเรียชนิดแกรมบวก (gram positive) เช่น *S. aureus* หรือแกรมลบ (gram negative) เช่น *K. pneumoniae* เชื้อราหรือยีสต์ รวมทั้งความว่องไวของสารต้านจุลินทรีย์ในการฆ่าหรือยับยั้งจุลินทรีย์ว่ามีมากน้อยอย่างไร
5. ความปลอดภัย ต้องไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองที่ผิวหนัง หรือไม่เป็นสาเหตุของการเกิดการสะสมพิษแก่ร่างกายของผู้บริโภค
6. ราคาของสารต้านจุลินทรีย์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และมีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียอย่างสมเหตุสมผล

2.3.3 กลไกของการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ในสิ่งทอ [32]

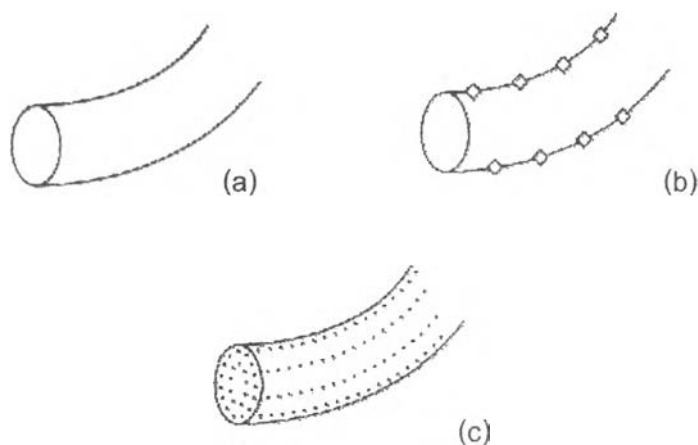
การเลือกใช้สารต้านจุลินทรีย์ได้อย่างเหมาะสมนั้น ควรเข้าใจถึงกลไกการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ในสิ่งทอ ซึ่งกลไกการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ในสิ่งทอ แสดงดังรูปที่ 2.3 สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

- 1) การทำงานของสารต้านจุลินทรีย์บนพื้นผิวของเส้นใย (surface application) จะเป็นการเคลือบสารต้านจุลินทรีย์ลงบนผิวเส้นใยชนิดต่างๆ ซึ่งการเคลือบอาจจะใช้หรือไม่ใช้พอลิเมอร์ที่ทำหน้าที่ยึดสารต้านจุลินทรีย์ให้ติดกับเส้นใยก็ได้ โดยกลไกการทำงานชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารต้านจุลินทรีย์กับเส้นใยที่นำมาใช้ โดยจะเกิดพันธะไฮดรอนิกที่พื้นผิว ซึ่งจะมีผลต่อความคงทนต่อการทดสอบอื่นๆ เช่น ความคงทนต่อการซักเพื่อการทดสอบการต้านจุลินทรีย์ เป็นต้น

- 2) การทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ที่เกิดจากการสร้างพันธะทางเคมีขึ้นระหว่างเส้นใย (chemical bonding) ตามทฤษฎีเชื่อว่าการเกิดพันธะทางเคมีขึ้นระหว่างสารต้านจุลินทรีย์กับเส้นใยจะมีผลทำให้ความคงทนต่อการซักของสารต้านจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งกลไกการทำงานแบบนี้ต้องการหมู่ที่มีปฏิกิริยาตอบโต้หรือสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับเส้นใย เพื่อให้เกิด

เป็นพันธะทางเคมีขึ้น ซึ่งกลไกการทำงานแบบนี้สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพบนเส้นใยฝ้าย ชนสัตว์ และพอลิเอไมด์

3) การทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ที่เกิดจากการปล่อยสารต้านจุลินทรีย์ออกมาจากภายในโครงสร้างของเส้นใย (internal antimicrobial release) เป็นกลไกที่เลือกใช้สำหรับเส้นใยสังเคราะห์ การตกแต่งสารต้านจุลินทรีย์เข้าไปภายในเส้นใยสามารถทำได้โดยการใส่สารเข้าไปในกระบวนการ การปั่นเส้นใย หรือใช้สารต้านจุลินทรีย์เหมือนกับการใช้งานของสีย้อมสี ซึ่งกรรมวิธีดังกล่าวนี้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับเส้นใยธรรมชาติ จึงทำให้มีการดัดแปรแนวความคิดนี้เพื่อนำไปใช้กับเส้นใยฝ้ายหรือเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นๆ โดยการทำให้ไมโครแคปซูล (encapsulation technology) ซึ่งจะสร้างแคปซูลที่ใช้เป็นแหล่งเก็บสารต้านจุลินทรีย์ แล้วดัดแปรผนังแคปซูลหรือผิวหน้าผ้า ให้มีหนุมที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับเส้นใยฝ้ายได้ ทำให้เกิดการสร้างพันธะโควาเลนต์ขึ้นระหว่างพื้นผิวเส้นใยกับผนังแคปซูล โดยแคปซูลที่จะใช้ในกระบวนการนี้ควรมีขนาดเล็กพอสมควรเพื่อจะได้ไม่มีผลกระทบต่อผิวสัมผัส นอกจากนี้ความแข็งแรงของแคปซูลต้องมีเพียงพอในระดับหนึ่ง เพื่อที่แคปซูลจะสามารถทนต่อแรงกระทำอื่นที่เกิดจากกระบวนการตกแต่งสำเร็จบนผ้า



รูปที่ 2.3 กลไกการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอ (a) การทำงานของสารบนพื้นผิวเส้นใย (b) การทำงานของสารที่เกิดจากการเกิดพันธะทางเคมีกับเส้นใย (c) การทำงานของสารที่เกิดจากการปล่อยสารต้านจุลินทรีย์จากภายในโครงสร้างของเส้นใย [32]

2.3.4 สารต้านจุลินทรีย์สำหรับสิ่งทอที่ใช้ในปัจจุบัน [31,33]

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้สิ่งทอมีคุณสมบัติในการฆ่าหรือยับยั้งจุลินทรีย์ (antimicrobial) โดยที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค สารต้านจุลินทรีย์มีอยู่หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีข้อดี ข้อเสีย และความเหมาะสมกับวัสดุสิ่งทอแตกต่างกัน ตัวอย่างสารต้านจุลินทรีย์ ที่นิยมนำมาใช้ได้แก่

1) **โลหะและเกลือของโลหะ** (metals and metal salts) โลหะหนักส่วนมากจะมีความสามารถในการยับยั้งการเติบโตของจุลินทรีย์ได้ ถึงแม้จะใช้ในความเข้มข้นต่ำ ยกตัวอย่างเช่น ทองแดง (copper) สังกะสี (zinc) โคบอลต์ (cobalt) และเงิน (silver) ซึ่งนิยมใช้กับสิ่งทออย่างแพร่หลายในปัจจุบันในรูปของอนุภาคนาโนเงิน (silver nano) โดยผสมอนุภาคเงินกับพอลิเมอร์ก่อนการฉีดเป็นเส้นใยสังเคราะห์ ในระหว่างการใช้งานอนุภาคเงินจะแพร่ออกมาที่ผิวของเส้นใย ทำปฏิกิริยากับความชื้นเกิดเป็นไอออนเงินซึ่งสามารถฆ่า และยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ สำหรับเส้นใยธรรมชาติจะตกแต่งสำเร็จด้วยอนุภาคโลหะซึ่งต้องคำนึงถึงความสามารถในการดูดซับบนเส้นใย ความคงทนต่อการใช้งาน ข้อจำกัดทางเทคนิค และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2) **สารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม** (quaternary ammonium compound) เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีประจุบวกซึ่งมีสมบัติในการฆ่าและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แต่เมื่อใช้งานไปนานๆจะสามารถเกิดการสะสมของพิษจากสารประกอบเหล่านี้ ซึ่งมีผลทำให้อวัยวะที่ได้รับสารประกอบจะถูกทำลาย

3) **พอลิเฮกซะเมทิลิน ไบควาไนด์** (Polyhexamethylene biguanide: PHMB) เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์อย่างกว้างขวาง และมีความเป็นพิษต่ำ นิยมใช้เป็นน้ำยาฆ่าเชื้อในอุตสาหกรรมอาหาร สระว่ายน้ำ น้ำยาบ้วนปาก และผ้าปิดแผล การตกแต่งสาร PHMB บนเส้นใยสังเคราะห์จะต้องใช้สารเชื่อมขวางและตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนการตกแต่งสาร PHMB บนเส้นใยธรรมชาติสามารถทำได้โดยการแช่โดยตรงที่อุณหภูมิห้องและ pH เป็นกลาง หรือใช้กระบวนการจุ่มอัด ซึ่งสาร PHMB เป็นสารที่มีประจุบวกสามารถยึดติดกับเส้นใยฝ้ายได้ด้วยพันธะไอออนิก และพันธะไฮโดรเจน

4) **ไคโตซาน** (chitosan) เป็นสารธรรมชาติกลุ่มเดียวกับคาร์โบไฮเดรต ที่สกัดได้จากพวกกระดองของสัตว์ทะเล เช่น ปู กุ้ง หรือ แกนปลาหมึก โดยวัตถุดิบดังกล่าวจะสามารถหาได้ง่ายจากอุตสาหกรรมผลิตอาหาร ซึ่งมีปริมาณมากในประเทศไทย สารไคโตซานที่ได้สามารถนำมาทำการตกแต่งสำเร็จในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อให้คุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์และไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองกับผู้ใช้ เนื่องจากเป็นสารที่สกัดจากธรรมชาติ นอกจากนี้ยังสามารถย่อยสลายได้

เองตามธรรมชาติ มีสมบัติเข้ากันได้ดีทางชีวภาพ แต่เมื่อนำมาตกแต่งลงบนสิ่งทอ จะพบว่าไคโตซานนั้นมีความคงทนต่อการใช้งานที่ค่อนข้างต่ำกว่าสารสังเคราะห์

5) ไตรโคลซาน (triclosan) มีสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้หลากหลาย จึงมักถูกนำมาผสมกับเครื่องอุปโภคต่างๆ ที่เราใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น สบู่ ครีมอาบน้ำ ผลิตภัณฑ์ระงับกลิ่นกาย ยาสีฟัน น้ำยาล้างปาก รวมถึงน้ำยาล้างจาน สารไตรโคลซานสามารถผสมในเส้นใยสังเคราะห์หรือตกแต่งบนเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งสามารถเพิ่มความคงทนต่อการใช้งานได้โดยการเติมลงใน β -cyclodextrins หรือการทำไมโครเอนแคปซูลเช่นกัน แต่เนื่องจากสารไตรโคลซานมักเกิดการแตกตัวเป็นสารไดออกซิน (dioxin) ซึ่งเป็นพิษเมื่อได้รับแสง บางประเทศในทวีปยุโรปจึงไม่อนุญาตให้นำเข้าผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่มีสารไตรโคลซาน

2.3.5 แบคทีเรียที่มีผลต่อการติดเชื้อของมนุษย์

แบคทีเรียคือจุลินทรีย์ชนิดเซลล์เดี่ยวที่สามารถพบได้ทุกหนทุกแห่งทั่วโลกในสภาพแวดล้อมทั่วไป เช่น ในอากาศ ในดิน ในน้ำ รวมถึงในพืช และสัตว์อีกด้วย โครงสร้างทั่วไปของแบคทีเรียจะประกอบไปด้วย ผนังเซลล์ชั้นนอก เยื่อหุ้มเซลล์ชั้นในจะมีหน้าที่ห่อหุ้มไซโทพลาซึม (cytoplasm) แฟลเจลลัม (flagella) จะมีหน้าที่ใช้ในการเคลื่อนที่ และ พิล (pili) ที่จะใช้ทำหน้าที่เกาะติดกับเซลล์ของ host นอกจากนี้แล้วแบคทีเรียบางชนิดยังสามารถสร้างสปอร์เพื่อให้ตัวของมันมีความทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้อีกด้วย แต่โดยทั่วไปแล้วนั้นร่างกายของคนเราก็จะมีเชื้อแบคทีเรียประจำถิ่นอยู่ ซึ่งจะไม่มีความเป็นอันตรายต่อร่างกาย นอกจากร่างกายของเราจะเริ่มเกิดการผิดปกติ

2.3.5.1 แบคทีเรียที่มักจะนำมาใช้ในการทดสอบ [34]

Escherichia coli เป็นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคท้องเสียทั้งในเด็กและในผู้ใหญ่บ่อยที่สุด โดยมักจะปนเปื้อนมากับน้ำและอาหาร

Pseudomonas aeruginosa เป็นเชื้อที่สามารถเกิดกับผิวหนังและเนื้อเยื่ออ่อน ซึ่งคนสุขภาพดีก็สามารถติดเชื้อได้ จากการอาบน้ำหรือเล่นน้ำในสระว่ายน้ำ ที่มีเชื้อปนเปื้อนอยู่ ซึ่งโรคติดเชื้อ *Pseudomonas* ที่ผิวหนังนี้มักจะเกิดการสับสนกับโรคอีสุกอีใสและจะเกิดอาการรุนแรงได้กับผู้ที่เชื่อในกระแสเลือดร่วมด้วย *Pseudomonas aeruginosa* เป็นสาเหตุอันดับสองในการก่อให้เกิดโรคติดเชื้อในบาดแผลไฟไหม้ในผู้ป่วยที่พักรักษาตัวที่โรงพยาบาล

Bacillus subtilis เป็นแบคทีเรียก่อโรคเกี่ยวกับทางเดินอาหาร ซึ่งจะเกิดกับการบริโภคอาหารที่มีเชื้อก่อตัวอยู่

Staphylococcus aureus เป็นเชื้อที่สามารถพบได้บ่อยที่สุดในบรรดาเชื้อที่มีฤทธิ์ก่อโรค และเป็นเชื้อที่สามารถก่อโรคที่ผิวหนังได้ ซึ่งถ้าผิวหนังเกิดแผลแล้วเอามือที่สกปรกไปสัมผัส จะสามารถทำให้เกิดการลามได้

2.3.6 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนสิ่งทอ [35,36]

การตกแต่งสำเร็จถือเป็นกระบวนการที่เพิ่มคุณค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์สิ่งทอ โดยการปรับเปลี่ยนให้สิ่งทอนั้นมีสมบัติตรงตามวัตถุประสงค์ของผู้บริโภค หรือเพิ่มสมบัติที่โดดเด่นบางประการให้แก่ผลิตภัณฑ์ โดยการตกแต่งสำเร็จนั้นมักจะเป็นกระบวนการที่ทำเป็นอย่างสุดท้าย กิ่งจากที่สิ่งทอผ่านกระบวนการต่างๆมาแล้ว เช่น การทำความสะอาด การฟอกขาว หรือ การย้อม

2.3.6.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตกแต่งสำเร็จ แบ่งได้เป็น 4 ข้อคือ

1. ชนิดของเส้นใยและวิธีการเตรียมเป็นเส้นด้ายและผืนผ้า
2. สมบัติทางกายภาพของเส้นใย โดยเฉพาะความสามารถในการบวมตัวเมื่อได้รับความดัน และ อุณหภูมิ
3. ความว่องไวของผืนผ้าต่อการดูดซึม หรือรับสารตกแต่งสำเร็จ
4. การตัดแปรสารเคมีที่จะนำมาใช้เพื่อเป็นสารตกแต่งสำเร็จให้มีความเหมาะสมกับชนิดของสิ่งทอ

2.3.6.2 ประเภทของการตกแต่งสำเร็จ [35,36]

การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งการใช้เครื่องจักร หรือ การใช้สารเคมีเข้าช่วย โดยสามารถจำแนกประเภทของการตกแต่งสำเร็จได้ดังนี้

1. กระบวนการตกแต่งสำเร็จทางกายภาพ (physical or mechanical process) เป็น การตกแต่งสิ่งทอโดยการใช้เครื่องจักรมาสร้างสมบัติให้กับผลิตภัณฑ์ เช่น การตัดขน การตะกุดขน การทำให้เกิดปุ่มปมบนเส้นใยเพื่อทำให้เป็นเส้นใยแฟนซี เป็นต้น

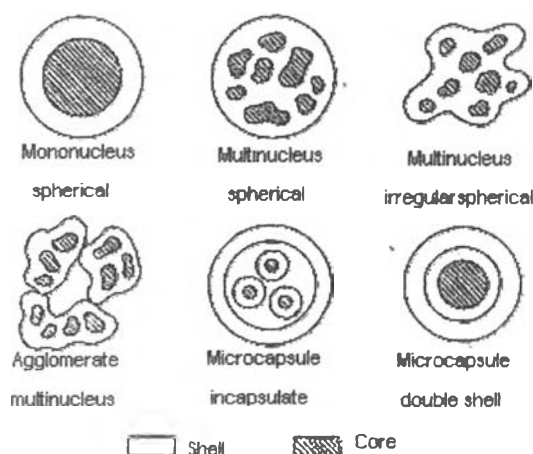
2. กระบวนการตกแต่งสำเร็จทางเคมี (chemical finishing process) เป็นการตกแต่งสิ่งทอโดยใช้สารเคมีในการตกแต่งลงบนผืนผ้า หรือทำให้สารเคมีเกิดปฏิกิริยาโดยตรงกับผืนผ้า ซึ่งจะสามารถทำให้เราได้สิ่งทอที่มีสมบัติตามที่ต้องการได้ เช่น การทำให้ผ้านุ่มลื่น การตกแต่งเพื่อให้สิ่งทอทนการติดไฟ การตกแต่งสิ่งทอเพื่อให้สิ่งทอสามารถกันน้ำได้ การตกแต่งสิ่งทอเพื่อการด้านแบคทีเรีย เป็นต้น

2.4 ไมโครเอนแคปซูลเลชัน (microencapsulation)

ไมโครเอนแคปซูลเลชัน (microencapsulation) หมายถึง การบรรจุวัสดุที่เป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ที่สามารถถูกทำลายจากสภาวะภายนอกได้ง่าย เอาไว้ในแคปซูลขนาดเล็กที่ผนังมีลักษณะเป็นพอลิเมอร์บางๆ ซึ่งสามารถปลดปล่อยสารที่อยู่ภายในออกมาในอัตราที่ควบคุมได้ ทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน และช่วยลดการเปลี่ยนแปลงในการใช้สารได้[37,38]

2.4.1 ลักษณะทั่วไปของไมโครแคปซูล

ไมโครแคปซูล เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กตั้งแต่ 1-1000 ไมโครเมตร โดยทั่วไป ไมโครแคปซูลสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ สารแกน (core หรือ nucleus) ซึ่งเป็นสารส่วนที่อยู่ภายในไมโครแคปซูล และสารห่อหุ้ม (shell หรือ wall) ก็คือผนังบางๆ ที่ห่อหุ้มสารแกนนั้น ไมโครแคปซูลมีรูปร่างที่หลากหลาย เช่น มีลักษณะกลม กลมแบน คล้ายไต คล้ายเมล็ดข้าว และเป็นก้อน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเทคนิคและวิธีการที่ใช้ในการสังเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 [37,39,40]



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของไมโครแคปซูล [41]

2.4.1.1 สารแกน (core หรือ ucleus)

สารแกนที่นำมาทำการห่อหุ้มส่วนใหญ่ จะเป็นสารที่มีความไวต่อสภาวะภายนอก ซึ่งอาจเรียกว่าเป็นวัสดุหลัก หรือ สารออกฤทธิ์ เช่นสารให้กลิ่นให้รส สารจำพวกวิตามิน และเกลือแร่ สารธรรมชาติ เป็นต้น โดยจะแสดงในตารางที่ 2.2 อีกทั้งความสามารถในการปลดปล่อยสารแกนยังต้องคำนึงถึงการนำไปใช้งานที่เหมาะสมอีกด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.3 [40,42,43]

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างของสารแทน [40]

ประเภท	ตัวอย่าง
Solvents	Benzene, Toluene, Chlorinated diphenyl, Cyclohexane, Paraffin, Esters, Ethers, Ketones, Alcohols, Water, Glycerin
Plasticizers	Phthalate-type plasticizers, Adipate-type plasticizers, Phosphate-type plasticizers; Silicones, Chlorinated diphenyl, Chlorinated paraffin
Acid and bases	Fuming nitric acid, Boric acid, Caustic alkali, Amines
Colorants	Pigments, Dyes, Leuco dyes
Fuels	Nuclear fuel, Rocket fuel, Gasoline, Light oil
Catalysts	Curing agents, Oxidants, Reducing agents, Initiators
Adhesives	Polysulfides, Heat-sensitive adhesive compositions, Amines, Epoxy resins, Isocyanates
Perfumes	Menthol, Mercaptan and Essences
Recording materials	Xerographical toners, Silver halides, Couplers, Developers, Fixing agents, Inks, Magnetic powdres, Diazo compounds, Photosensitive resins, Liquid crystals, Photochromic compounds
Medicines	Aspirin, Vitamins, Amino acids, etc.
Organisms	Hemoglobin, Gelatin, Enzymes, Yeasts, Bacteria, Virus
Foods	Oils, Fats, Condiments, Flavors
Agricultural chemicals	Herbicides, Insecticides, Fertilizers
Swelling agents	Azo compounds, Sodium bicarbonate, Baking powder
Rust inhibitors	Zinc chromate
Others	Cellulose flock, Fire-suppressing chemicals, Shoeblack, Detergents, Clay, Silver, Phosphorus

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการนำไปใช้งานทางด้านสิ่งทอกับกลไกการปล่อยสารแกน
[43]

การใช้งาน	กลไกการปล่อยสารแกน
Cosmetic Textiles (On contact with skin)	Friction, Pressure, Biodegradation
Aromatherapy & Fragrance Textiles	Friction, Diffusion through Polymer Wall
Phase Change Material (Thermoregulation)	Temperature
Thermochromic & Photochromic (Colour Changing System)	Temperature, Ultra-violet Light
Flame Retardant Textiles	Flame, High Temperature

2.4.1.2 สารห่อหุ้ม (shell หรือ wall)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ช่วยป้องกันวัสดุแกนจากสภาวะภายนอก ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็นวัสดุเคลือบ หรือ ผนัง โดยสารที่นำมาใช้นั้นมีทั้งแบบที่ได้มาจากธรรมชาติ และแบบสังเคราะห์ ซึ่งจะมีความสามารถในการปลดปล่อยสารแกน และการนำไปใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ดังตัวอย่างที่แสดงใน ตารางที่ 2.4 [37,40,44]

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างของสารห่อหุ้ม [40]

ประเภท	ตัวอย่าง
Protein	Collagen, Gelatin, Casein, Fibrinogen, Hemoglobin, Polyamino acid
Vegetable gums	Gum arabic, Agar, Sodium alginate, Carrageenin, Dextran sulfate

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

ประเภท	ตัวอย่าง
Cellulose	Ethyl cellulose, Nitrocellulose, Carboxymethyl cellulose, Acetylcellulose, Cellulose acetate-phthalate, Cellulose acetate-buthylate-phthalate
Condensation polymers	Ethyl cellulose, Nitrocellulose, Carboxymethyl cellulose, Acetylcellulose, Cellulose acetate-phthalate, Cellulose acetate-buthylate-phthalate
Copolymer	Nylon, Tetron, Polyurethane, Polyurea, Formalin naphtalenesulfonic acid condensate, Polycarbonates, Amino resins, Alkyl resins, Silicone resins
Homopolymer	Maleic anhydride copolymers with ethylene or vinylmethyl ether, Acrylic acid copolymers, Methacrylic acid copolymers, Polyvinyl chloride, Saran, Polyethylene, Polystyrene, Polyvinyl acetate, Polyvinyl chloride, Saran, Polyethylene, Polystyrene, Polyvinyl acetal, Polyacrylamide, Polyvinylbenzenesulfonic acid, Polyvinyl alcohol, Synthetic rubbers
Curable polymers	Epoxy Resins, Nitroparaffin, Nitrated polystyrene
Waxes	Wax, Paraffin, Resin, Shellac, Tristearin, Monoglyceride, Beeswax, Haze wax, Oils, Fats, Hardened oils
Inorganic materials	Calcium sulfate, Graphite, Silicates, Aluminum, Alumina, Copper, Silver, Glass, Alloys, Clays

2.4.2 ข้อดีของการทำไมโครเอนแคปซูล [38,45]

1. ป้องกันสารแกนจากสภาวะที่เป็นอันตราย เนื่องจากสารบางชนิดมีความไวต่อความร้อน ปฏิกริยาออกซิเดชัน ความเป็นกรด ความเป็นด่าง ความชื้น ซึ่งทำให้คุณสมบัติของสารเปลี่ยนแปลงไป

2. ลดอัตราการระเหยของสารที่ระเหยได้ง่าย เนื่องจากสารบางชนิดมีอัตราการระเหยที่รวดเร็ว เช่น น้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการสกัดส่วนต่างๆของพืช โดยถ้านำน้ำมันหอมระเหยมาทาผิว หรือหยดลงบนสิ่งทอ ก็จะสามารถระเหยออกไปได้หมดในระยะเวลาไม่นาน แต่ถ้านำมาทำให้อยู่ในรูปไมโครแคปซูล น้ำมันหอมระเหยจะถูกปล่อยอย่างช้าๆ หรือต้องทำการถู ขยี้ สารแกนจึงจะถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้น้ำมันหอมระเหยมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

3. ช่วยกลบกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น นวัตกรรมของน้ำยาปรับผ้านุ่มหรือผงซักฟอกที่ผสมไมโครแคปซูลสารที่มีกลิ่นหอม เพื่อกลบกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ของผู้สวมใส่ อีกทั้งยังสามารถทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกว่เสื้อผ้ายังคงสะอาดอยู่

4. ช่วยควบคุมการปล่อยสารแกน การทำไมโครแคปซูลช่วยให้ปล่อยสารแกนได้ในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อช่วยลดการระคายเคืองจากสารแกนในกรณีที่สารแกนเกิดความเป็นพิษเมื่อต้องสัมผัสร่างกายในปริมาณมาก และยังลดความสิ้นเปลืองในการใช้สารแกนได้อีกด้วย

5. ดัดแปลงสมบัติทางกายภาพของสาร การทำไมโครแคปซูลสามารถเปลี่ยนแปลงสถานะของสารจากของเหลวเป็นของแข็ง เรียกว่า pseudo-solid ทำให้ได้สารใหม่ที่ภายนอกมีสถานะเป็นของแข็งแต่ภายในมีสถานะเป็นของเหลว และยังคงสภาพการเกิดปฏิกิริยาเป็นของเหลวหรือสามารถเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก และปริมาตรของสาร เพื่อสะดวกในการเก็บรักษา การเคลื่อนย้าย รวมถึงนำไปใช้งาน

2.4.3 วิธีการเตรียมไมโครแคปซูล (Microencapsulation Techniques)

วิธีการเตรียมไมโครแคปซูลแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ วิธีทางเคมี วิธีทางเคมีกายภาพ และวิธีทางกายภาพ ดังตารางที่ 2.5 ซึ่งวิธีการเตรียมไมโครแคปซูลแต่ละวิธีนั้นจะเหมาะสมกับสารห่อหุ้มและสารแกนที่แตกต่างกัน และยังส่งผลต่อขนาดของไมโครแคปซูลที่แตกต่างกันอีกด้วย แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 วิธีการเตรียมไมโครแคปซูล [46]

วิธีการเคมี	วิธีการเคมีกายภาพ	วิธีการกายภาพ
1. โคอะเซอร์เวชัน (Coacervation)	1. อินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน (Interfacial polymerization)	1. แอร์ซัสเพนชัน (Air suspension)
หรือการแยกวัฏภาค (Phase separation)	2. อินซิทูพอลิเมอไรเซชัน (In-situ polymerization)	2. การเคลือบโดยใช้หม้อเคลือบ (Pan coating)
		3. การทำแห้งแบบพ่นละออง (Spray drying)
		4. ออร์ฟิช (Orifice process)

ตารางที่ 2.6 ลักษณะของสารแกนที่เหมาะสมสำหรับการทำไมโครแคปซูลด้วยวิธีต่างๆ และขนาดของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ [47]

วิธีการทำไมโครแคปซูล	ลักษณะของสารแกน	ขนาดของไมโครแคปซูล (ไมโครเมตร)
1. โคอะเซอร์เวชัน (Coacervation) หรือ การแยกวัฏภาค (Phase separation)	ของแข็งและของเหลว	2-5000
2. แอร์ซัสเพนชัน (Air suspension)	ของแข็ง	35-5000
3. การเคลือบโดยใช้หม้อเคลือบ (Pan coating)	ของแข็ง	600-5000
4. การทำแห้งแบบพ่นละออง (Spray drying)	ของแข็งและของเหลว	600
5. ออร์ฟิช (Orifice process)	ของแข็งและของเหลว	1-5000

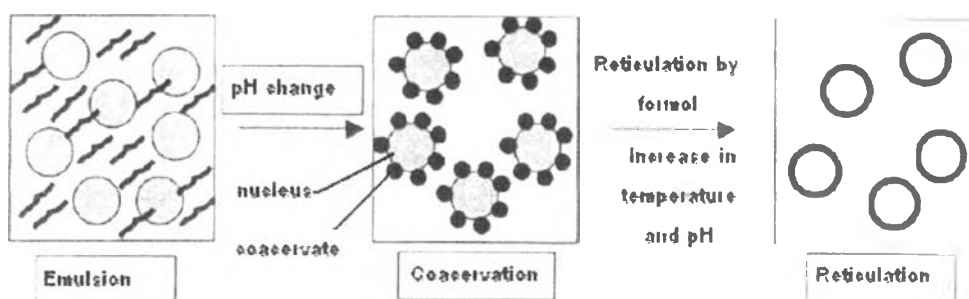
2.4.3.1 โคอะเซอร์เวชัน (coacervation) หรือการแยกวัฏภาค (phase separation)

เป็นการนำสารแทนมากระจายตัวในสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารเคลือบ จากนั้นคนอย่างต่อเนื่อง และทำให้สารเคลือบเกิดการแยกตัวออกจากตัวทำละลาย (phase separation) เกิดเป็น coacervation droplets ขึ้น แล้ว coacervation droplets นี้จะเกิดการเกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อนบนสารแทน จากนั้นจึงทำให้สารเคลือบแข็งตัว ดังรูปที่ 2.5 [40,42,44]

วิธีโคอะเซอร์เวชัน (coacervation) หรือการแยกวัฏภาค (phase separation) แบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่

1) โคอะเซอร์เวชันแบบง่าย (simple coacervation) เป็นการใช้พอลิเมอร์ 1 ชนิดเป็นสารเคลือบ ในการเตรียมนั้นสารเคลือบที่อยู่ในตัวกลางจะถูกทำการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมจนทำให้เกิดการแยกตัวออกมาเคลือบสารแทนไว้ ซึ่งการทำให้สารเกิดการแยกวัฏภาคนั้น ได้แก่ การเติมสารอิเล็กโทรไลต์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือ pH การเติมสารทำละลายที่ไม่ใช่สารทำละลายของพอลิเมอร์ และการเติมพอลิเมอร์ที่ไม่เข้ากับพอลิเมอร์ที่ละลายในตัวกลาง วิธีนี้สามารถเตรียมได้ง่ายและยังสามารถใช้กับสารแทนทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ เช่น น้ำมันพืช วิตามินเอ

2) โคอะเซอร์เวชันแบบซับซ้อน (complex coacervation) เป็นการใช้พอลิเมอร์มากกว่า 1 ชนิดเป็นสารเคลือบ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างประจุสารที่ใช้จนได้สารที่ไม่ละลายและแยกตัวออกมาเคลือบสารแทนไว้ แต่วิธีนี้ยังต้องอาศัยการปรับเปลี่ยน pH ของตัวกลางจนเกิดการเหนียวทำให้สารมีประจุตรงข้ามกันในปริมาณ และความแรงของประจุที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา รวมทั้งการลดหรือเพิ่มอุณหภูมิจนทำให้เกิดฟิล์มห่อหุ้มสารแทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

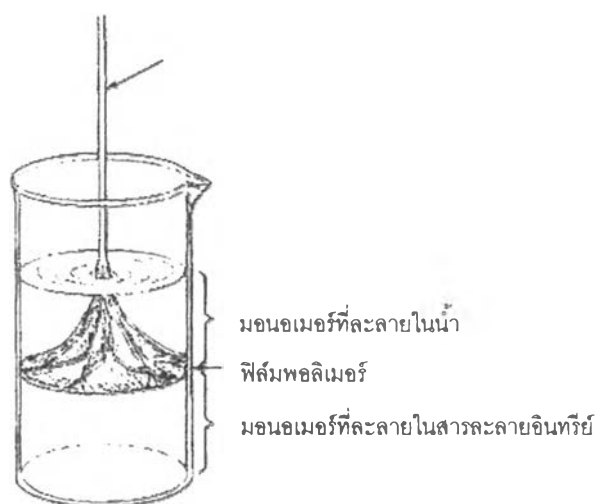


รูปที่ 2.5 ขั้นตอนหลักของการเอนแคปซูลชันโดยใช้วิธีโคอะเซอร์เวชัน (coacervation) หรือการแยกวัฏภาค (phase separation) [48]

2.4.3.2 อินเทอร์เฟซียลพอลิเมอไรเซชัน (Interfacial polymerization)

เป็นการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันระหว่างผิวหน้าของมอนอเมอร์ทั้ง 2 ชนิดที่ไม่เข้ากัน จนเกิดเป็นฟิล์มพอลิเมอร์เคลือบสารแทนไว้ ดังรูปที่ 2.6 ทั้งนี้อาจต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยาด้วย ขั้นตอนการเตรียมเริ่มจากการนำอนุภาคของสารแทนและมอนอเมอร์ไปละลายในวัฏภาคกระจายตัวและทำให้เกิดอิมัลชันขึ้น จากนั้นจึงเติมมอนอเมอร์อีกชนิดหนึ่งทีละละลายในวัฏภาคต่อเนื่องลงไป ทั้งนี้ต้องควบคุมความเข้มข้นของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่างให้เหมาะสม ตัวอย่างของสารแทน มอนอเมอร์ที่ละลายในน้ำและน้ำมัน และฟิล์มพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ดังกล่าว แสดงดังตารางที่ 2.7 [42,44]

ผนังของไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยวิธีอินเทอร์เฟซียลพอลิเมอไรเซชันจะมีความสามารถในการแพร่ผ่านได้บางส่วน (semi-permeable membrane) เนื่องจากปฏิกิริยาอินเทอร์เฟซียลพอลิเมอไรเซชันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และขนาดของไมโครแคปซูลที่ได้ยังขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของมอนอเมอร์ที่กระจายตัวในอิมัลชัน [49]



รูปที่ 2.6 การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอินเทอร์เฟซียลพอลิเมอไรเซชัน (Interfacial polymerization) [50]

ตารางที่ 2.7 ไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน [40]

Core	Monomer		Wall
	Oil-soluble	Water-soluble	
Methylphthaloyl ethyl glycolate	Terephthaloyl chloride	Bisphenol A	Polyester
Iron powder suspended in methyl methacrylate	Terephthaloyl chloride	Ethylenediamine	Polyamine
Ligroine	Terephthaloyl chloride	Ethylene tetramine	Polyamine
Aqueous triamine	Terephthaloyl chloride	Diethylenetriamine	Polyamine
Glycerin	Adipic acid chloride	Hexamethylene diamine	Polyamine
Liquid paraffin	Dodecanediol acid chloride	2,4,6-Triaminotoluene and ethylenediamine	Polyamine
Nujol	Toluenediisocyanate	Ethylene glycol	Polyurethane
Benzene	Hexamethylene bischloroformate	Hexamethylene diamine	Polyurethane
Diethylenetriamine	Toluenediisocyanate	Diethylenetriamine	Polyurea
Toluene	Epicoat 828	Hardener T	Epoxy resin
Amines	Epoxy resin	Amine	Epoxy resin
Toluenediisocyanate	Polymer of methyltrimethoxysilane and dimethyl silicone	Sodium trimethylsilanolate	Silicone
Water	Styrene and acrylonitrile	Casein	Graft copolymer

ข้อจำกัดของวิธีการเตรียมแบบอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน

- 1) มอนอเมอร์หรือสารเคมีที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาในระบบอาจเป็นพิษได้
- 2) สารแกนกับมอนอเมอร์อาจเกิดปฏิกิริยาด้วยกันเอง ทำให้สารแกนมีประสิทธิภาพลดลง
- 3) ผนังของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากวิธีนี้มีสมบัติในการแพร่ผ่านได้บางส่วน (semi permeable membrane) จึงอาจทำให้สารแกนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำแพร่ผ่านผนังของไมโครแคปซูลได้ง่ายขึ้น
- 4) ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีความเปราะสูงและย่อยสลายได้ง่าย [21]

2.4.3.3 อินซิทูพอลิเมอไรเซชัน (In-situ polymerization)

วิธีอินซิทูพอลิเมอไรเซชันเป็นวิธีที่คล้ายกับวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน แต่มอนอเมอร์จะผสมอยู่กับสารแกนหรือตัวกลางเท่านั้น จะไม่เติมมอนอเมอร์ลงในทั้งสารแกนและตัวกลาง โดยสารแกนอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวที่ไม่ละลายในตัวกลาง ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องที่ผิวหน้าของสารแกนที่กระจายตัว และวิธีนี้อาจจำเป็นต้องเติมสารลดแรงตึงผิว (surface active agent) หรือสารกระจายตัว (dispersing agent) เพื่อให้สารแกนเกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ตัวอย่างของสารแกน มอนอเมอร์ ตัวเร่งปฏิกิริยา และสารเติมแต่งในตัวกลางที่เป็นทั้งน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์ และแก๊ส ดังตารางที่ 2.8, 2.9 และ 2.10 ตามลำดับ [41,49]

ตารางที่ 2.8 สารที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีอินซิทัพลีโพลิเมอไรเซชัน (โดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง) [40]

Core	Monomer	Catalyst	Additives to Aqueous Medium
Chlorinated diphenyl, Lard, Cotton seed	Styrene + divinyl benzene	Benzoyl peroxide (BPO)	Gum Arabic, Soap, Surfactant
Plasticizer	Unsaturated polyester, Precondensate of phenol with formalin	Potassium persulfate, Hexamethylene tetramine	Red oil, nonionic surfactant
Neopentane	Methyl methacrylate	BPO, $K_2Cr_2O_7$	Colloidal silica, Aqueous polyamine solution
Chlorinated diphenyl	Diallyl phthalate, Styrene	ABIN	Surfactant
Cellulose floc	Butyl methacrylate, Styrene	BPO	N_2 gas
Iron oxide	Styrene	Potassium persulfate	Potassium laurate
Chlorinated diphenyl	Linseed oil	Cobalt naphthanate	Gelatin, Gum arabic

ตารางที่ 2.9 สารที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีอินทิพูพอลิเมอไรเซชัน (โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์เป็นตัวกลาง) [40]

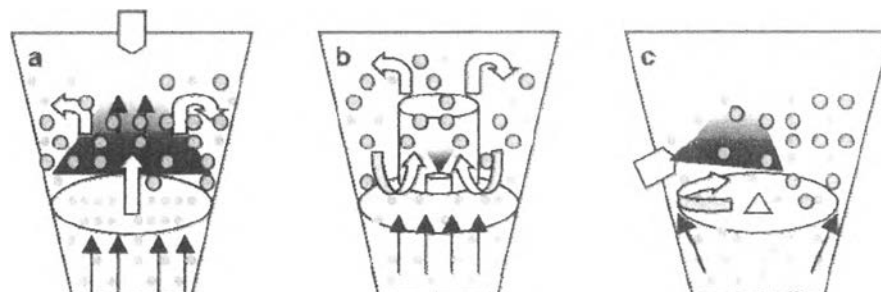
Core	Monomer	Catalyst	Organic Medium
Azobisisobutyronitrile	Styrene, Butadiene	TiCl ₄ , Triethylene aluminum	Benzene + Methanol
Li-Al-Hydride	Versamid + Epon 828		Toluene + Hexamethylenedisiloxane
Urea	Butadiene and arylglycidyl ether	Phosphoric acid	Trichloroethylene
Sodium hydroxide	Acrylonitrile, Methyl methacrylate, Vinylidene chloride	NaOH	Hexane
Boron trifluoride	Vinyl cyclohexane diepoxide		Petroleum ether
Iron oxide, TiO ₂	Methyl methacrylate + Methacrylic acid	Azobisisobutyronitrile	Petroleum ether
Cellulose floc	Ethylene	TiCl ₄ + Tributyl aluminum	Toluene + Methanol
Complex of polyvinyl pyrrolidone with iodine	Ethylene	TiCl ₄ + Methyl magnesium bromide	Toluene + Methanol

ตารางที่ 2.10 สารที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีอินซิพูพอลิเมอไรเซชัน (โดยใช้แก๊สเป็นตัวกลาง) [40]

Core	Monomer	Catalyst	Phase
Phosphoric acid	Isobutylene, Vinyl acetate, Methyl acrylate, Tung oil	NO ₂ , Boron	N ₂
Ammonium perchlorate	Dichloro-p-xylylene, di-p-xylylene	Heating	Vacuum
Phosphoric acid, Fertilizer	Polybutadiene, Butadienestyrene, Butadieneacrylonitrile		Heated air
Urea	Tung oil		Heated air
Ascorbic acid	Methyl siloxane		Heated air

2.4.3.4 แอร์ซิสเพนชัน (Air suspension)

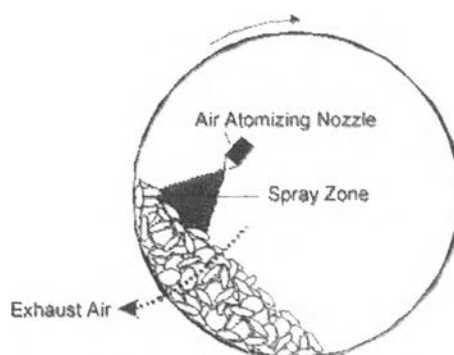
อนุภาคของสารแกนที่ใช้มักเป็นของแข็งขนาดเล็ก โดยการทำให้สารแกนลอยตัวอยู่ใน chamber ที่มีกระแสลมร้อน จากนั้นจึงทำการพ่นพอลิเมอไรเซชันที่จำเป็นสำหรับเคลือบเข้าไปใน chamber โดยสารเคลือบจะเคลือบอยู่บนผิวของสารแกน และจะเกิดการแห้งตัวอันเนื่องมาจากกระแสลมร้อนที่อยู่ในระบบ ดังรูปที่ 2.7 วิธีนี้ต้องควบคุมเรื่องความชื้น แรงลม อัตราการพ่นสาร อัตราการทำให้แห้ง และขนาดของสารแกนที่ใช้ ถ้าสารแกนมีลักษณะเปราะ อาจทำให้สารแกนแตกออกและแทรกตัวอยู่ในชั้นเคลือบ ส่งผลให้ชั้นเคลือบมีสมบัติยอมให้สารผ่านได้มากขึ้น วิธีนี้ทำได้รวดเร็วกว่าวิธี pan coating นอกจากนี้ยังไม่ต้องอาศัยความชำนาญ และเกิดการสูญเสียสารเคลือบน้อยมากหรือไม่สูญเสียเลยเนื่องจากวิธีนี้เป็นระบบปิด แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ อุปกรณ์ต่างๆ มีราคาแพง [42,44]



รูปที่ 2.7 ลักษณะของ Fluid-bed coater (a) top spray (b) bottom spray (c) tangential spray [46]

2.4.3.5 การเคลือบโดยใช้หม้อเคลือบ (Pan coating)

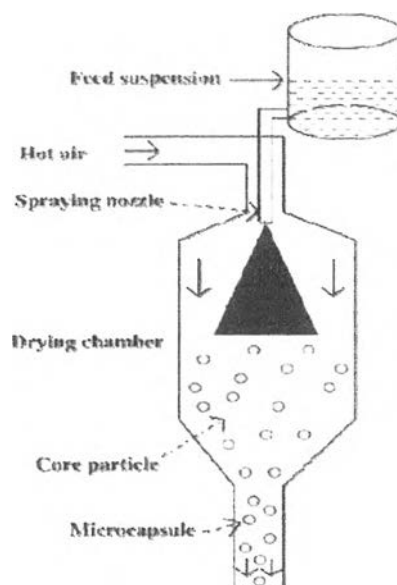
อนุภาคของสารแกนที่ใช้มักเป็นของแข็งขนาดใหญ่ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 500 ไมโครเมตรขึ้นไป และมีลักษณะกลม สารแกนจะกึ่งอยู่ในหม้อเคลือบที่มีลมร้อนเป่าอยู่เสมอ จากนั้นเทสารเคลือบลงไป ลมร้อนจะทำให้สารเคลือบแห้งตัว ดังรูปที่ 2.8 วิธีนี้พบมากในอุตสาหกรรมยา [38,42,44]



รูปที่ 2.8 หม้อเคลือบสำหรับการทำเอนแคปซูเลชันด้วยวิธีการเคลือบ (Pan coating) [41]

2.4.3.6 การทำแห้งแบบพ่นละออง (Spray drying)

สารแกนที่ใช้มักเป็นสารอิมัลชันที่ไม่ละลายน้ำ เช่น สารให้กลิ่นรส (flavor) โดยอนุภาคของสารแกนถูกกระจายตัวอยู่ในสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารเคลือบ จากนั้นพ่นสารละลายดังกล่าวใน chamber ที่มีลมร้อนผ่าน ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งลมร้อนที่ใช้จะมีอุณหภูมิประมาณ 100-160 องศาเซลเซียส ซึ่งลมร้อนจะทำให้สารเคลือบแข็งห่อหุ้มสารแกน แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงตัวแปรสำคัญในการเตรียม คือ ชนิดของพอลิเมอร์ ความเข้มข้น ความหนืด อัตราส่วนของสารแกนต่อสารเคลือบ และอุณหภูมิของสารที่นำมาพ่น วิธีนี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเหมาะกับการผลิตจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตาม เครื่อง Spray dryer มีราคาแพงเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ของเทคนิคอื่น [38,42,44,46]



รูปที่ 2.9 การทำเอนแคปซูลเลชันด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นละออง (Spray drying) [46]

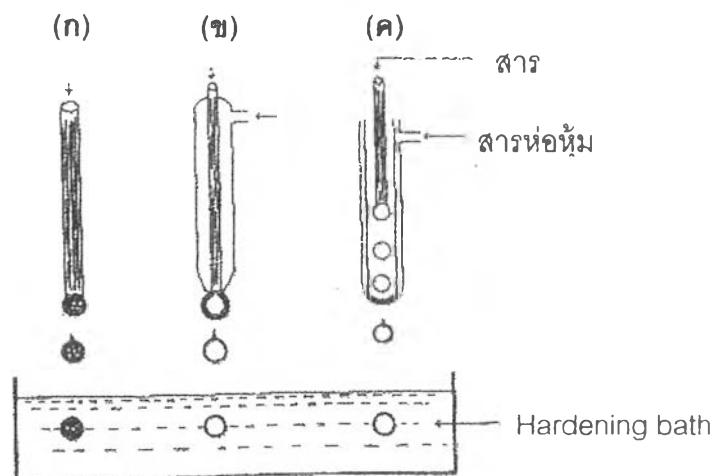
2.4.3.7 ออริฟิซ (Orifice process)

เป็นเทคนิคในการผลิตแคปซูลโดยจะสามารถเลือกวัสดุแกนได้ทั้งของแข็ง และของเหลวด้วยสารละลายพอลิเมอร์ เช่น โซเดียมอัลจิเนต แล้วทำให้อยู่ในสภาพหยุด แล้วปล่อยลงสู่ hardening bath เช่น สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ สารละลายพอลิเมอร์ก็จะเริ่มฟอร์มตัวอันกลายเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายในตัวทำละลาย เช่น น้ำ และขนาดของไมโครแคปซูลที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ nozzle

1) ใช้ tube หรือ nozzle ตามรูป ก เป็นเครื่องมือที่ประกอบด้วย nozzle เพียงอันเดียว โดยเมื่ออิมัลชันถูกหยุดผ่าน nozzle ก็จะได้เป็นหยดทรงกลมออกมา แล้วตกลงสู่ hardening bath ทำให้อิมัลชันเกิดการฟอร์มตัวของผนังรอบสารแกน และกลายเป็นแคปซูล

2) เป็นวิธีที่ใช้ bifluid nozzle ซึ่งมี ท่อขนาดเล็กซ้อนกัน 2 อัน โดยที่ด้านในและด้านนอกจะมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน โดยวัสดุแกนจะไหลผ่านท่อด้านใน และสารเคลือบไหลผ่านท่อด้านนอก เมื่อหยุดผ่าน nozzle สารเคลือบจะห่อหุ้มสารแกน และหยดลงสู่ hardening bath ดังรูป ข

3) เป็นวิธีที่ใช้ concentric double orifice เช่นเดียวกัน ปลายด้านบนของ inner cylinder จะซ่อนอยู่ใน outer cylinder แต่ไม่เชื่อมติดกัน ดังรูป ค เมื่อสารแกนหลุดออกจากปลาย inner cylinder ลงมาที่ outer cylinder กระแทกกับสารเคลือบทำให้สารแกนถูกเคลือบเกิดเป็นไมโครแคปซูลขึ้น [42]



รูปที่ 2.10 nozzle ลักษณะต่างๆของการเตรียมไมโครแคปซูลด้วยวิธีออริฟิซ [49]

2.4.4 การควบคุมการปลดปล่อยสารแกนของไมโครแคปซูล [51,52]

สารแกนที่ถูกห่อหุ้มอยู่ภายใน จะถูกปลดปล่อยด้วยอัตราการปลดปล่อยที่สามารถควบคุมได้ โดยการกำหนดความได้สภาวะ และเวลา ซึ่งจะสามารถช่วยลดการสูญเสียปริมาณของสารแกนในระหว่างการผลิต และการนำไปใช้งานได้ โดยแบ่งได้เป็นหลายวิธีดังนี้

2.4.4.1 การควบคุมการปลดปล่อยสารแกนโดยวิธีการแพร่ (diffusion control release)

เป็นการควบคุมการแพร่ของสารสำคัญภายในไมโครแคปซูลโดยการควบคุมปริมาณและความเข้มข้นของสารแกน โดยความเข้มข้นขององค์ประกอบของสารให้กลีนิรสในเมทริกซ์ จะเป็นแรงผลักดันให้เกิดการแพร่ แต่ถ้าองค์ประกอบของสารให้กลีนิรสไม่ละลายในเมทริกซ์ก็จะไม่เกิดการแพร่ไปยังรูพรุนของเมทริกซ์ แรงขับเคลื่อนที่ทำให้เกิดการแพร่ในกรณีนี้คือความดันไอของสารแกนในแต่ละด้านของผนัง ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแพร่ของสารให้กลีนิรสผ่านผนัง ได้แก่ ดีกรีของการพองตัว (degree of swelling) เช่น การพองตัวเกิดจากการดูดซับน้ำของเมทริกซ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่ายิ่งเมทริกซ์มีการพองตัวมากขึ้นเท่าใดจะทำให้รูพรุนที่ผิวของสารเคลือบมีขนาดใหญ่ซึ่งทำให้เกิดการแพร่ได้ดีขึ้น

2.4.4.2 การควบคุมการปลดปล่อยสารแกนโดยวิธีการใช้ความดัน (pressure – activated release)

การควบคุมการปลดปล่อยโดยวิธีนี้จะแตกต่างจากวิธี การควบคุมการปลดปล่อยโดยการแพร่ โดยเทคนิคนี้ไม่ต้องมีการการปลดปล่อยอย่างช้าๆ เช่นในกรณีของน้ำหอมปรับอากาศ (air refresher) ในรถยนต์ แต่ต้องการให้เกิดการปลดปล่อยอย่างสมบูรณ์เมื่อมีการใช้แรงกด

2.4.4.3 การควบคุมการปลดปล่อยสารแกนโดยอาศัยหลักการพองตัว (release of core by swelling)

การควบคุมการปลดปล่อยโดยอาศัยหลักการพองตัว โดยจะมีความแตกต่างกับการปลดปล่อยด้วยวิธีการแพร่ คือ ผนังจะทำการดูดซับตัวทำละลายจนเกิดการบวมตัว และทำให้ตัวทำละลายถูกดูดซับเข้าไปยังเมทริกซ์ ทำให้เมทริกซ์เกิดการกระจายออกสู่ภายนอกของผนัง

2.4.4.4 การควบคุมการปลดปล่อยสารแกนโดยใช้ตัวทำละลาย (Solvent – activated release)

การปลดปล่อยโดยวิธีนี้จะเกิดโดยสมบูรณ์เมื่อนำแคปซูล มาละลายในน้ำอย่างรวดเร็วและทำให้เกิดการปลดปล่อยสารที่อยู่ภายในออกมา หรือโดยการทำให้แคปซูล มีการพองตัว จนทำให้เกิดการปลดปล่อยสารแกนออกมา ในอุตสาหกรรมอาหารโดยส่วนใหญ่ จะเป็นการควบคุมการปลดปล่อยโดยใช้ตัวทำละลาย โดยสารแกนจะเป็นสารที่สามารถ ละลายน้ำได้ ซึ่งจะใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มในรูปผง (dry beverage)

2.4.4.5 การควบคุมการปลดปล่อยสารแกนโดยวิธีการหลอมละลาย (release of core by melting)

เทคนิคการควบคุมการปลดปล่อยสารแกนโดยใช้วิธีการหลอมละลายผนัง นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากสารเคลือบหลายชนิด เช่น lipid, modified lipids หรือ waxes สามารถหลอมละลายและผ่านการรับรองความปลอดภัย โดยส่วนใหญ่จะใช้ กับอุตสาหกรรมอาหาร แต่จะต้องเก็บรักษาไมโครแคปซูลที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลว ของสารเคลือบ การหลอมละลายของสารเคลือบและการปลดปล่อยสารแกนจะเกิดเมื่อมี การให้ความร้อนกับไมโครแคปซูล

2.4.4.6 การควบคุมการปลดปล่อยสารแกนโดยใช้ pH (pH sensitive release)

การควบคุมการปลดปล่อยโดย pH ใช้กันมากในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า pH แคปซูล จะเกิดการยุบตัว (collapse) และปลดปล่อยสาร แกนกลางออกมา การควบคุมการปลดปล่อยวิธีนี้สามารถประยุกต์ใช้กับเอนไซม์ที่ผ่านการ เอนแคปซูลเลท โดยใช้ โลโปโซม การเปลี่ยนแปลงค่า pH จะทำให้โครงสร้างของ phospholipid – based liposome ไม่เสถียรจึงเกิดการปลดปล่อยเอนไซม์ออกจาก แกนกลางของโลโปโซม

ตารางที่ 2.11 ข้อดีและข้อเสียของเทคนิคที่ใช้ผลิตไมโครแคปซูล [37]

เทคนิค	ข้อดี	ข้อเสีย
1. การอบแห้งแบบพ่นฝอย	1. เป็นเทคนิคที่รวดเร็ว 2. ต้นทุนการผลิตต่ำ 3. เครื่องมือหาง่าย 4. เป็นเทคนิคที่มีความยืดหยุ่น 5. สามารถรักษาวัสดุแกนที่ระเหยได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน	1. สูญเสียกลิ่นรสที่จุดเดือดต่ำ 2. เกิดการแยกชั้นของส่วนผสมแห้ง 3. มีวัสดุแกนติดอยู่ที่ผิว 4. มีโพรงอากาศอยู่ภายในไมโครแคปซูล
2. การพ่นฝอยที่อุณหภูมิต่ำ	1. เป็นเทคนิคที่รวดเร็ว 2. ต้นทุนการผลิตต่ำ	1. ต้องรักษาอุณหภูมิของไมโครแคปซูลให้สูงกว่าจุดเดือดของสารเคลือบ
3. การอัดรีดหนีศูนย์กลาง	1. ต้นทุนการผลิตต่ำ 2. สามารถควบคุมขนาดของไมโครแคปซูล ปริมาณของวัสดุแกน และ อัตราการผลิตได้	1. เกิด jet blocking
4. โคอะเซอร์เวชัน	1. เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพ 2. ป้องกันการซึมผ่านของสารแกนที่ขอบน้ำได้ เนื่องจากผนังเป็นประเภทที่ไม่ละลายน้ำ	1. ต้นทุนการผลิตสูง 2. ไมโครแคปซูลเกิดการรวมตัวกัน 3. ใช้งานไม่ได้ไม่หลากหลาย
5. การเคลือบโดยการแขวนลอยในอากาศ	1. ต้นทุนการผลิตต่ำ 2. เป็นเทคนิคที่มีความยืดหยุ่น	1. มีปัญหาในการเคลือบอนุภาคที่ละเอียด

ตารางที่ 2.11 (ต่อ)

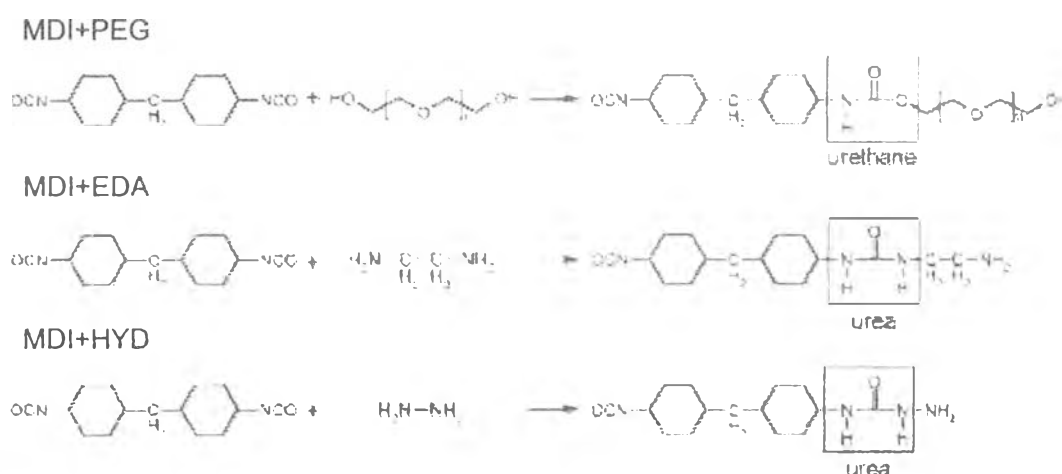
เทคนิค	ข้อดี	ข้อเสีย
6. การแยกโดยการหมุนสารแขวนลอย	1. ต้นทุนการผลิตต่ำมาก 2. อัตราการผลิตสูง 3. ไมโครแคปซูลมีการกระจายขนาดอนุภาคเหมือนวัสดุแกน	1. ความหนาของผนังไม่สม่ำเสมอเนื่องจากเป็นเทคนิคที่อาศัยแรงตึงผิว ดังนั้นไมโครแคปซูลจะไม่เป็นทรงกลม ด้านเหลี่ยมจะมีผนังที่บาง
7. อินคูลชันคอมเพล็กซ์	1. เป็นการสร้างสารเชิงซ้อนแบบเลือกจับ จึงทำให้เลือกจับเฉพาะสารที่ต้องการได้ 2. ทำให้มีกลิ่นคงตัว 3. กลิ่นรสที่ไม่ต้องการ เช่นการนำมาลดความขมของน้ำผลไม้ตระกูลส้ม 4. ควบคุมการปลดปล่อยกลิ่นรส	1. เป็นการสร้างสารเชิงซ้อนแบบเลือกจับ ซึ่งถ้าเกิดการผิดพลาด อาจทำให้ไม่จับกับสารที่ต้องการ 2. ต้นทุนการผลิตสูง 3. วัสดุแกนที่อยู่ในไมโครแคปซูลมีปริมาณต่ำ 4. ไมโครแคปซูลละลายน้ำได้น้อยกว่าแบบปล่อย
8. การอัดรีด	1. ใช้ได้กับวัสดุแกนที่ระเหยได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน 2. ไมโครแคปซูลสามารถละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น 3. ไมโครแคปซูลมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน	

ตารางที่ 2.11 (ต่อ)

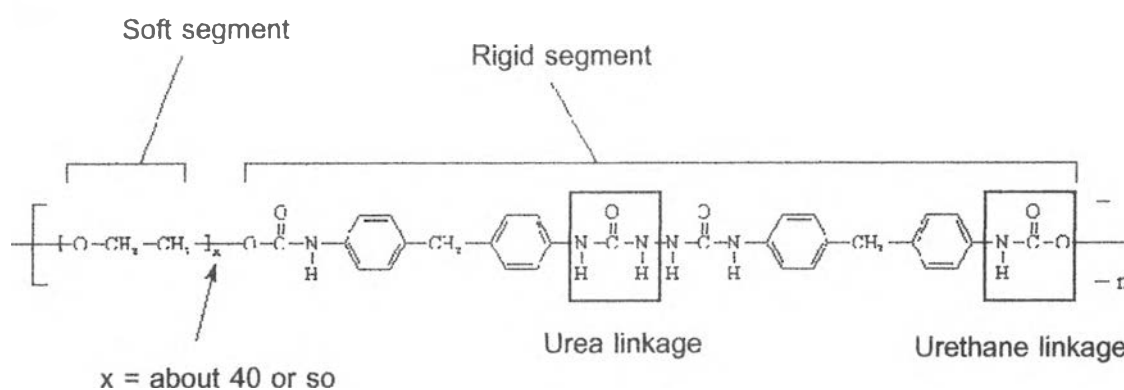
เทคนิค	ข้อดี	ข้อเสีย
9. การอบแห้งแบบเยือกแข็ง	1. เป็นเทคนิคที่ง่าย 2. สภาพะในการผลิตไม่รุนแรงจึงเหมาะสมแก่การใช้ผลิตไมโครแคปซูลของสารที่ระเหยง่าย	1. ต้นทุนการผลิตสูง 2. ผนังไมโครแคปซูลมีรูพรุน ทำให้ออกซิเจนผ่านได้ง่าย 3. ก่อนนำไปใช้ ต้องนำไมโครแคปซูลไปบดเป็นผงก่อน ซึ่งอาจเป็นการทำลายผนัง
10. การอบแห้งแบบลูกกลิ้ง	1. ต้นทุนการผลิตต่ำ 2. ผนังไมโครแคปซูลมีความหนาแน่น ทำให้ลดการผ่านของออกซิเจนได้	1. ใช้อุณหภูมิสูง 2. ก่อนนำไปใช้ ต้องนำไมโครแคปซูลไปบดเป็นผงก่อน ซึ่งอาจเป็นการทำลายผนัง

2.5 พอลิยูรีเทน-ยูเรีย (Polyurethane-urea, PUU)

พอลิยูรีเทน-ยูเรีย หรือ waterborne polyurethane เป็นพอลิเมอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อลดต้นทุนในการผลิตพอลิยูรีเทน นิยมนำมาทำเป็นผนังแคปซูล เนื่องจากมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น มีเสถียรภาพสูง มีสมบัติการปลดปล่อยสารแทนที่ยั่งยืน สามารถย่อยสลายได้ง่ายกว่าพอลิยูรีเทน อีกทั้งยังได้ผนังแคปซูลประเภทกึ่งซึมผ่านได้ (semi-permeable shells) อย่างไรก็ตาม พอลิยูรีเทน-ยูเรียยังเป็นระบบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระบบเดิมที่เป็นพอร์มาลดีไฮด์ เช่น เมลามีน-พอร์มาลดีไฮด์ ยูเรีย-พอร์มาลดีไฮด์ เป็นต้น เนื่องจากผนังดังกล่าวสามารถปลดปล่อยพอร์มาลดีไฮด์ที่เป็นสารก่อมะเร็ง และเป็นสารพิษที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ นอกจากนี้การที่มีหมู่ยูเรียซึ่งเป็นหมู่ที่ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนได้มากกว่าเข้าแทนที่หมู่ยูรีเทนทำให้พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น [53,54,55]



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรีย [53]



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย [56]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียของสารธรรมชาติ

Cheruiyot และคณะ [57] ได้ศึกษาการต้านแบคทีเรียของสารสกัดจากพืชด้วยเมทานอล ได้แก่ เปลือกลำต้นมะกอก ไบฝรั่ง ไบจากต้นเบญจมาศ ไบจากต้นผักกาดทอง และไบมะม่วง พบว่า สารสกัดจากไบฝรั่งนั้นมี แทนนิน (Tannins) และ ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เป็นองค์ประกอบที่ชัดเจน อีกทั้งสารสกัดจากไบฝรั่งยังแสดงผลการต้านแบคทีเรียแกรมบวก (*S. aureus*) ได้ดีที่สุด และแสดงผลการต้านแบคทีเรียชนิดแกรมลบ (*E. coli*) ได้ดี จากการใช้ปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดที่น้อยที่สุดในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Minimal Inhibitory Concentration, MIC) ซึ่งใช้เพียง 250 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

Joseph และคณะ [58] ได้ศึกษาความสามารถในการต้านแบคทีเรียชนิดแกรมบวก (*S. aureus*) 4 ชนิด คือ *B.cereus*, *B.subtilis*, *L.lactis* และ *S.aureus* แบคทีเรียชนิดแกรมลบ (*E. coli*) 5 ชนิด คือ *A.species*, *A.rhizogenes*, *E.aerogenes*, *G.Oxydans* และ *P.fluorescens* และ เห็ดรา (Fungi) 3 ชนิด คือ *Candida tropicalis*, *Aspergillus niger* และ *Aspergillus aculeatus* โดยใช้น้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง และสารสกัดจากใบฝรั่งซึ่งจะสกัดโดยใช้สารต่างๆกัน 3 ชนิด คือ อะซิโตน, เมทานอล และ เฮกเซน พบว่าทั้งน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง และสารสกัดจากใบฝรั่งนั้นสามารถแสดงผลการต้านแบคทีเรียและเห็ดราได้ทุกชนิด แต่จะมีความมากน้อยต่างกันไป โดยสารจากใบฝรั่งที่สกัดด้วยเมทานอลจะแสดงผลการต้านโดยรวมได้ดีที่สุด และรองลงมาคือน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่งบริสุทธิ์

งานวิจัยที่เกี่ยวกับประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียของสารธรรมชาติที่อยู่ในรูปต่างๆ

Thilagavathi และคณะ [59] ได้ศึกษาความสามารถในการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* จากพืช 2 ชนิด คือ สะเดา และ ตีนตุ๊กแก โดยนำมาใช้ตกแต่งลิ้งทอในรูปแบบที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ คือ รูปแบบของสารสกัด ไมโครแคปซูลของสารสกัด และไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหย พบว่าสารสกัดจากพืชทั้ง 2 ชนิดที่นำไปตกแต่งบนผ้าโดยการใช่ และไม่ใช่สารเชื่อมขวาง แสดงผลการต้านแบคทีเรียที่ดีมาก แต่เมื่อผ่านการซัก 10 ครั้ง กลับพบว่าความสามารถในการต้านแบคทีเรียลดลงไปมากกว่าร้อยละ 60 ในทางกลับกัน ไมโครแคปซูลของสารสกัด และไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหย นั้นยังคงมีความสามารถในการต้านแบคทีเรียหลังจากผ่านการซัก 10 ครั้ง มากกว่าร้อยละ 60

Thilagavathi และคณะ [60] ได้ศึกษาความสามารถในการต้านแบคทีเรียแกรมบวก (*S. aureus*) และแบคทีเรียชนิดแกรมลบ (*E. coli*) ของสารสกัดจากดอกเจอรานิยมบริสุทธิ์ เปรียบเทียบกับ สารสกัดดอกเจอรานิยมที่อยู่ในรูปไมโครแคปซูล โดยจะทำการผลิตไมโครแคปซูล 2 วิธีคือ Coacervation-spray drying method และ Spray drying method พบว่า สารสกัดของดอกเจอรานิยมบริสุทธิ์ที่ตกแต่งบนผ้าฝ้าย 100 % ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 นั้นสามารถแสดงผลการต้านแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดได้ดีที่สุด แต่เมื่อผ่านการซักไป 10 รอบกลับพบว่าความสามารถในการต้านแบคทีเรียลดลงมากกว่า 80% ในขณะที่สารสกัดเจอรานิยมที่อยู่ในรูปไมโครแคปซูลนั้น ยังคงมีความสามารถในการต้านแบคทีเรียชนิดแกรมบวก และ แกรมลบ มากกว่าร้อยละ 80 และ 40 ตามลำดับ

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย

Rodrigues และคณะ [10] ได้ศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลของพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่บรรจุด้วยน้ำหอมโดยวิธี Interfacial polymerization รวมถึงการพิสูจน์เอกลักษณ์ของไมโครแคปซูล การยึดเกาะระหว่างไมโครแคปซูลกับขนสัตว์/พอลิเอสเตอร์ด้วยวิธีจุ่มอัด และศึกษาความคงทนต่อการซักแห้ง พบว่า ไมโครแคปซูลที่ได้มีรูปร่างกลม มีอนุภาคทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่โดยอนุภาคขนาดเล็กมีขนาด 1 ไมโครเมตร และอนุภาคขนาดใหญ่มีขนาด 10 ไมโครเมตร มีปริมาณน้ำหอมบรรจุอยู่ร้อยละ 55 จากภาพถ่าย SEM พบว่าไมโครแคปซูลยึดเกาะกับผ้าฝ้ายได้ดี และเมื่อนำไปผ่านการซักแห้งในรอบแรก ผ้าฝ้ายมีการสูญเสียกลิ่นหอมร้อยละ 38 และ มีการสูญเสียกลิ่นหอมจนถึงร้อยละ 87 หลังการซักแห้ง 5 รอบ

Salaüna และคณะ [61] ได้ศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลของพอลิยูรีเทน-ยูเรียบรรจุด้วยไซลิทอล (xylitol) จากวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน ระหว่างไดฟีนิลเมทิลีน ไดไอโซไซยาเนต (diphenyl methylene diisocyanate; MDI) กับไซลิทอล โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเร็วรอบในการกวนผสมและอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารแกนต่อสารห่อหุ้ม ที่มีผลต่อวิธีเตรียมไมโครแคปซูล พบว่าความเร็วรอบในการปั่นผสมนั้นจะมีผลต่อขนาดของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ โดยเมื่อใช้ความเร็วรอบในการปั่นผสมต่ำ ขนาดของไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์ได้ก็จะมีขนาดใหญ่และมี % loading capacity มากกว่าไมโครแคปซูลที่ใช้ความเร็วรอบในการปั่นผสมที่สูงกว่า

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการตกแต่งสิ่งทอ

Shiqi และคณะ [62] ศึกษาการตกแต่งผ้าฝ้ายทอด้วยวิธีการจุ่มอัด-แห้ง โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้สาร 3 ชนิด คือ dimethylol dihydroxyethyleneurea (DMDHEU) สารยึดชนิดพอลิยูรีเทน และสารยึดชนิดอะคริลิก อีกทั้งยังมีเปรียบเทียบวิธีการทำให้ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วยไมโครแคปซูลแห้งด้วยเทคนิคที่ต่างกัน 3 เทคนิค คือการใช้ลมร้อน การใช้อินฟราเรด และการใช้คลื่นไมโครเวฟ พบว่าการใช้สารยึดชนิดอะคริลิก และใช้ลมร้อนในการทำให้แห้ง ให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด โดยจะสามารถทำให้กลิ่นหอมที่ถูกปลดปล่อยจากไมโครแคปซูลยังคงอยู่แม้จะผ่านการซักไปแล้วถึง 25 ครั้ง

Pablo และคณะ [63] ได้เปรียบเทียบปริมาณการใช้สารยึดชนิดอะคริลิก 5 และ 10 กรัม ต่อลิตร ในการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยไมโครแคปซูล โดยวิธีการจุ่มอัด-แห้ง พบว่าเมื่อใช้ปริมาณสารยึดมากขึ้น ปริมาณของไมโครแคปซูลที่จะหลุดออกมาในระหว่างการทดสอบความคงทนต่อการซักนั้นจะมีปริมาณน้อย และจากการตรวจสอบสัณฐานวิทยาพบว่าไมโครแคปซูลที่หลุดออกมาในระบบจาการอบการซักครั้งแรกนั้นจะเป็นไปโครแคปซูลที่มีขนาดใหญ่กว่าไมโครแคปซูลที่ได้จากการซักรอบต่อๆมา ทั้งนี้เนื่องมาจากไมโครแคปซูลที่มีขนาดใหญ่ นั้นไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปอยู่ระหว่างเส้นใยได้ และจะเกาะอยู่เพียงที่ผิวหน้า จึงทำให้หลุดออกมาได้ง่ายเมื่อถูกแรงมากกระทำ