

## บทที่ 2

### วารสารปริทรรศน์

เนื้อหาในบทนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก

ในส่วนแรกจะกล่าวถึงขมิ้นชันซึ่งเป็นวัตถุดิบในการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ เนื้อหาในส่วนนี้ประกอบด้วย ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของขมิ้นชัน การนำเข้า-ส่งออกขมิ้นชันในตลาดโลก การขยายพันธุ์ขมิ้น การเตรียมขมิ้นชันเพื่อส่งออกสู่ตลาด ประโยชน์ของขมิ้นชันและข้อกำหนดของผงขมิ้นชันในทางการค้า (Specifications of Turmeric Powder)

ในส่วนที่สองจะกล่าวถึงความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารเคอร์คูมินอยด์ในรากขมิ้นชัน รูปแบบของสารสกัดจากรากขมิ้นชัน ซึ่งมีอยู่ 2 รูปแบบหลัก คือ ชันสีจากขมิ้น (Turmeric Oleoresin) และ ผงเคอร์คูมินอยด์บริสุทธิ์ 95 % (Curcuminoids) พร้อมทั้งกรรมวิธีการผลิตและข้อกำหนดของสารสกัดทั้ง 2 รูปแบบ (Specifications) นอกจากนี้จะกล่าวถึงน้ำมันระเหยจากขมิ้นชัน (Turmeric Oils) พร้อมทั้งวิธีสกัดน้ำมันระเหยออกจากขมิ้น ได้แก่ วิธีการกลั่น (Distillation) และ วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและสุดท้ายจะกล่าวถึงงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1967 ถึง ค.ศ. 2000

ในส่วนสุดท้าย จะกล่าวถึงความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารลดแรงตึงผิว ,ทฤษฎีเกี่ยวกับสารลดแรงตึงผิว และงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการสกัดสารอินทรีย์โดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994 ถึงปี ค.ศ. 2000

#### 2.1 ขมิ้นชัน

ขมิ้นชันเป็นพืชเก่าแก่ที่รู้จักกันมานาน มีถิ่นกำเนิดในเอเชียอาคเนย์ ปลูกกันมากในอินเดีย จีน อินโดนีเซียและประเทศในแถบร้อน มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Curcuma longa* Linn. ชื่อพ้อง *C.domestica* Valetton, *C. domestica* Loir วงศ์ Zingiberaceae ชื่ออังกฤษ Turmeric, Curcuma, Indian saffron และ Yellow root

##### 2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ [2,3,4]

ขมิ้นชันเป็นพืชล้มลุก สูง 30-90 เซนติเมตร มีเหง้าใต้ดิน เนื้อในเหง้ามีสีเหลืองอมส้ม มีกลิ่นเฉพาะ เหง้ามีขนาดเล็กกว่าและกลิ่นฉุนกว่าเหง้าขมิ้นอ้อย ใบเป็นใบเดี่ยวขนาดใหญ่แทงออกจากเหง้ารูปใบหอก กว้าง 12-15 เซนติเมตร ก้านใบยาว 8-15 เซนติเมตร ดอกออกเป็นช่อ

ก้านช่อดอกยาว 5-8 เซนติเมตร แทงออกจากเหง้าแทรกขึ้นระหว่างก้านใบ ช่อดอกเป็นรูปทรงกระบอก กลีบ-ดอกสีเหลืองอ่อน มีใบประดับสีเขียวอ่อนหรือสีนวล ลักษณะเป็นรูปหอกเรียงซ้อนกัน ใบประดับ 1 ใบ มีดอก 2 ดอก ใบประดับย่อยรูปขอบขนานยาว 3-3.5 เซนติเมตร ด้านนอกมีขน ดอกบานครั้งละ 3-4 ดอก ผลเป็นรูปกลม มี 3 พู แต่ละพูมี 2 เมล็ด ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขมิ้นชัน *Curcuma domestica* Val.

ขมิ้นชันประกอบด้วย สารเคอร์คูมินอยด์ (Curcuminoids) ซึ่งเป็นสารให้สีเหลืองประมาณ 5 % โดยน้ำหนักแห้ง, น้ำมันหอมระเหย (Volatile Oil) ประมาณ 3-4 % โดยน้ำหนักแห้ง [5] ส่วนใหญ่เป็นสารจำพวก Sesquiterpene ketone ซึ่งมี  $\alpha$ -Turmerone เป็นองค์ประกอบหลัก รายละเอียดจะขอกล่าวถึงในบทที่ 3 นอกจากสารดังกล่าวแล้วขมิ้นชันยังประกอบด้วย โปรตีน ร้อยละ 33, ไขมัน ร้อยละ 5.1, แร่ธาตุร้อยละ 3.5 และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 39.4 ตามลำดับ [1,5]

### 2.1.2 การนำเข้า-ส่งออกขมิ้นชันในตลาดโลก

จากเอกสารโครงการวิจัยตลาดพืชสมุนไพรและเครื่องเทศ[6] กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ กระทรวงพาณิชย์ ระบุว่า ประเทศต่างๆ มีการนำเข้าขมิ้นประมาณปีละ 7,000-10,000 ตัน โดยมีประเทศนำเข้าที่สำคัญคือ อังกฤษและสหรัฐอเมริกา แต่อย่างไรก็ตามปริมาณการนำเข้า

ที่แท้จริงน่าจะมากกว่านี้โดยเฉพาะประเทศในแถบตะวันออกกลาง เนื่องจากประชาชนในแถบนั้นนิยมบริโภคอาหารที่มีส่วนประกอบของเครื่องเทศสูง

ส่วนประเทศผู้ส่งออกขมื่นที่สำคัญ ได้แก่ อินเดีย บังคลาเทศ จีน ไต้หวัน เปรู อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ จาเมก้าและ เอลซัลวาดอร์ โดยมีผลผลิตรวมประมาณปีละ 160,000 ตัน ในจำนวนนี้ร้อยละ 90 เป็นผลผลิตมาจากประเทศอินเดียและบังคลาเทศ ขมื่นที่มีอยู่ในตลาดโลกแบ่งเป็น 3 ชนิดใหญ่ คือ ชนิดนิ้วมือ (finger-like lateral offshoots) , ชนิดเห้ง (Central bulbous) , ชนิดแตกหัก ซึ่งขมื่นชนิดนิ้วมือ มีคุณภาพดีที่สุดเป็นที่ต้องการของตลาด

สำหรับประเทศไทยมีการปลูกขมื่นไม่มากนัก ส่วนมากปลูกเป็นพืชแซม เพื่อเสริมรายได้ของเกษตรกรทำให้มีผลผลิตน้อย ผลผลิตส่วนใหญ่จึงใช้ภายในประเทศ มีการส่งออกไปยังต่างประเทศบ้างคือ ประเทศออสเตรเลีย สิงคโปร์ ฮองกง สหรัฐอเมริกา และเยอรมนี แต่ไม่ทราบปริมาณที่แน่ชัด เนื่องจากรวมอยู่ในหมวดเครื่องเทศอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามขมื่นไทย ก็ยังไม่สามารถแข่งขันกับขมื่นของอินเดียได้ เนื่องจากขมื่นของอินเดียขายในราคาที่ถูกกว่า จึงทำให้ขมื่นอินเดียเป็นที่รู้จักไปทั่วโลก ในขณะที่ขมื่นของไทยไม่เป็นที่รู้จักของตลาดโลก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผู้ส่งออกของไทยไม่มั่นใจในตลาดต่างประเทศและไม่พยายามขยายตลาดให้กว้างขึ้น

ส่วนตลาดภายในประเทศ ในปัจจุบันมีผู้รับซื้อหลายราย ได้แก่

1. ตลาดส่งเสริมเกษตรกรไทย ปากคลองตลาด กรุงเทพมหานคร
2. ตลาดยอดพิมาน ปากคลองตลาด กรุงเทพมหานคร
3. ห้างหุ้นส่วนจำกัดเวชพงศ์โฮสค เลขที่ 145-149 สีแยกวัดตึก ถนนจักรวรรดิ เขตสัมพันธวงศ์ กรุงเทพมหานคร
4. ร้านไทยฮั่วจิ้น 236 ถนนจักรวรรดิ เขตสัมพันธวงศ์ กรุงเทพมหานคร
5. ร้านเจ้ากรมเปือ 229 ถนนจักรวรรดิ เขตสัมพันธวงศ์ กรุงเทพมหานคร
6. บริษัทชัยชนะโฮสค จำกัด 159-161 ถนนจักรวรรดิ เขตสัมพันธวงศ์ กรุงเทพมหานคร
7. บริษัทไทยคอมโมดีตี้ จำกัด เลขที่ 34 แขวงสีพระยา กรุงเทพมหานคร

### 2.1.3 การขยายพันธุ์ขมื่น [6,7,8]

สำหรับขมื่นที่ปลูกในประเทศไทยมีอยู่หลายพันธุ์ เช่น ขมื่นโคก , ขมื่นขม, ขมื่นอ้อย, ขมื่นชัน แต่ที่ตลาดต้องการ คือ ขมื่นชัน เพราะหัวและเหง้าของขมื่นชันสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ใช้เป็นสีผสมอาหาร, สีย้อมผ้า, ยารักษาโรค และ เครื่องสำอางได้

จากเอกสารสมุนไพรรักษาการพัฒนาศาธารณสุข สำนักงานคณะกรรมการ สาธารณสุขฐาน กระทรวงสาธารณสุข ระบุว่า ขมื่นชันเป็นพืชที่ชอบอากาศร้อน ความชื้นสูงและฝนตกชุก ชอบดินร่วนปนทรายระบายน้ำดี ดินเหนียวและดินลูกรังไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของขมื่น

ขมิ้นสามารถขึ้นได้ดีตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงที่อยู่เหนือระดับน้ำทะเล 1,200 เมตร ต้องการน้ำฝนเพื่อการเจริญเติบโตประมาณปีละ 125-225 ลูกบาศก์เซนติเมตร ฤดูที่เหมาะสมในการปลูกคือ หน้าฝน แต่ควรเริ่มปลูกตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึงกรกฎาคม ส่วนในฤดูอื่นๆ ขมิ้นชั้นมีการพักตัวไม่ยอมงอก ถึงแม้จะให้น้ำหลังหลักการปลูกก็ตาม

ด้านการขยายพันธุ์ ขมิ้นชั้นสามารถขยายพันธุ์ได้ทั้งหัวและเหง้า ในกรณีการขยายพันธุ์ด้วยหัวจะเจริญเติบโตและแตกเหง้าดี ให้ผลผลิตต่อไร่สูง เนื่องจากในหัวมีอาหารสะสมอยู่มาก แต่มีข้อเสีย คือ ไม่สามารถหาหัวมาขยายพันธุ์ในปริมาณมากได้ เพราะ ในการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้ง 1 ต้นจะมีเพียง 1 หัวเท่านั้น ในกรณีการขยายพันธุ์ด้วยการแบ่งเหง้า เป็นที่นิยมของเกษตรกร เพราะเหง้าพันธุ์มีปริมาณมาก หาได้ง่ายกว่าหัว ส่วนการเจริญเติบโตขึ้นอยู่กับคุณภาพ, ขนาด และความสมบูรณ์ของเหง้า

เมื่อต้นอ่อนแทงออกจากเหง้าพันธุ์ก็จะเริ่มสร้างรากใหม่เป็นกระจุกตรงโคนต้นอ่อน [7] หลังจากนั้นโคนของต้นอ่อนจะขยายใหญ่ขึ้นเป็นกระเปาะๆ สีขาว เมื่อต้นเจริญเติบโตกระเปาะนี้จะขยายตัวมีลักษณะเป็นวงๆ หรือข้อซึ่งกระเปาะนี้ต่อไปเรียกว่า หัว (mother rhizome) จะเป็นที่แตกของรากฝอย (fibrous root) ระยะเวลาในการพัฒนาหัวนี้ใช้เวลา 3 เดือน ในช่วงปลายเดือนที่ 3-4 ของการปลูก หัวจะแตกแขนงออกไปด้านข้าง 3-4 แขนงหรือมากกว่า แขนงที่แตกออกไปนี้ถ้ามีลักษณะกลม เรียกว่า corn ถ้ามีลักษณะเรียวยาวเรียกว่า finger

#### 2.1.4 การเตรียมขมิ้นชั้นเพื่อส่งออกตลาด [1,9]

หลังจากทำความสะอาดขมิ้นชั้นเสร็จเรียบร้อยแล้วจะนำขมิ้นชั้นที่ได้มาผ่านขั้นตอนการเตรียมขมิ้นชั้นเพื่อจำหน่ายออกสู่ตลาด ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ

##### การทำให้ได้ที่ (Curing)

ขั้นตอนนี้จะช่วยการกระจายตัวของสีในเหง้าขมิ้นชั้นและลดเวลาการอบแห้ง ควรทำภายใน 2-3 วันหลังจากการเก็บเกี่ยว โดยนำเหง้ามาต้มกับน้ำจนกระทั่งนิ่ม เติมนิโคตินคาร์บอนเนต 0.05-0.1 % ในขณะที่ต้มเพื่อเพิ่มความเข้มของสี แต่เดิมนั้นนิยมใช้มูลโคซึ่งหาได้ง่ายกว่าแต่ไม่สะอาด ปริมาณเหง้าซึ่งนำมาต้มมีค่าอยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ 20-300 กิโลกรัม เวลาการต้มขึ้นอยู่กับปริมาณเหง้าซึ่งนำมาต้ม เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 30 นาที ถึง 6 ชั่วโมง ในการต้มต้องควบคุมสภาวะให้เหมาะสมเนื่องจาก ถ้าใช้เวลาต้มนานเกินไปจะส่งผลให้ปริมาณสีในเหง้าขมิ้นลดลง และ ถ้าต้มเป็นเวลาที่น้อยเกินไป เหง้าที่ได้หลังการอบแห้งจะเปราะเกินไป ทำให้แตกเป็นชิ้นๆ ระหว่างขั้นตอนการขัดผิวและการเก็บได้ง่าย หัวขมิ้นชั้นส่วนตรงกลางและแฉ่งจะแยกกันต้ม เนื่องจากมีความหนาไม่เท่ากันทำให้ใช้เวลาในการต้มต่างกัน

### การอบแห้ง (Drying)

หลังจากผ่านขั้นตอนแรก จะนำไขมันชั้นที่ได้ไปผึ่งแดดโดยแผ่ไว้บนลานซีเมนต์ให้มีความหนาประมาณ 2-3 ชั้น ทั้งนี้ไม่ควรแผ่ไขมันชั้นให้มีความหนาเพียงชั้นเดียว เพื่อช่วยลดผลกระทบของแสงแดดต่อการซีดจางของไขมันชั้น และควรทำการพลิกไขมันชั้นเป็นครั้งคราวเพื่อช่วยให้ความร้อนกระจายได้อย่างทั่วถึง เวลาการอบแห้งประมาณ 10 ถึง 15 วัน เมื่ออบเสร็จไขมันชั้นจะมีลักษณะแข็งแต่เปราะ โดยทั่วไปมีความชื้นต่ำกว่า 5 % โดยน้ำหนัก แต่ในทางการค้าบางครั้งผู้ผลิตจะอบแห้งเพียงบางส่วนเพื่อให้มีค่าความชื้นในไขมันชั้นประมาณ 15-30 % โดยน้ำหนัก

### การขัดผิว (Polishing)

ไขมันชั้นที่ผ่านการอบแห้งยังมีพื้นผิวที่ขรุขระไม่น่าดู อีกทั้งมีเศษซากติดอยู่ด้วย ดังนั้นจึงต้องนำมาผ่านขั้นตอนการขัดและทำให้ผิวเรียบไม่ขรุขระโดยใช้แรงงานคนหรือเครื่องจักร การขัดผิวด้วยเครื่องจักรใช้สำหรับขัดผิวไขมันชั้นในปริมาณมาก โดยแต่ก่อนนั้น เครื่องจักรประกอบด้วยถังใส่เหง้าไขมันชั้นเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.7 เมตร ยาว 1 เมตร ทำด้วยโลหะมีตะแกรงร้อนติดอยู่โดยรอบ ไขมันชั้นได้ประมาณ 25-30 กิโลกรัม ในการขัดผิวเครื่องจักรจะหมุนโดยใช้แรงงานคนด้วยความเร็วรอบประมาณ 30-40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง ในระหว่างการขัดผิว เศษซากจะถูกกำจัดออกผ่านตะแกรงร้อนซึ่งอยู่โดยรอบ ปริมาณไขมันชั้นสูญเสียหลังขัดผิวขึ้นอยู่กับระยะเวลาและ ความเร็วรอบที่ใช้ โดยปกติอยู่ในช่วง 2-8 % โดยน้ำหนัก ต่อมาได้มีการพัฒนาเครื่องจักรโดยใช้มอเตอร์ถึงบรรจุไขมันชั้นแทนแรงงานคนและออกแบบถึงบรรจุให้มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้สามารถขม้นชั้นได้ในปริมาณที่มากขึ้น

## 2.1.5 ประโยชน์ของไขมันชั้น [2]

### 1. ด้านอาหาร

นิยมใช้แต่งสีอาหารให้มีสีเหลือง เช่น ข้าวหมกไก่, แกงไก่, แกงกะหรี่, เนย, เนยแข็ง, ผักดอง, ขนมเบิ้งญวน และ ผงมัสดาร์ต เป็นต้น โดยคนไทยนิยมใช้ไขมันน้อยกว่าไขมันชั้น เพราะกลิ่นไม่ฉุนมาก ส่วนไขมันชั้นนั้นนิยมใช้เป็นยา

### 2. ด้านการบำบัดรักษา

#### 1.1 ใช้รับประทานแก้ท้องอืด, ท้องเฟ้อ, แก้กูกเสียดแน่น

##### วิธีใช้

1. ใช้เหง้าไขมันชั้นสด ล้างสะอาด หั่นเป็นชิ้นบางๆ ตากแดดจัดๆ 2-3 วัน หลังจากนั้นนำมาบดให้เป็นผงละเอียด ผสมกับน้ำผึ้ง ปั้นเป็นลูกกลอนขนาดปลายนิ้ว ก้อย ใช้รับประทานครั้งละ 2-3 เม็ด วันละ 4 ครั้ง หลังอาหารและก่อนนอน
2. ใช้เหง้าไขมันชั้นสด ล้างสะอาด ทำให้ละเอียด คั้นเอาน้ำผสมกับน้ำต้มสุกเท่าตัว รับประทานครั้งละ 2 ช้อนโต๊ะ วันละ 4 ครั้ง หลังอาหารและก่อนนอน

#### 1.2 ใช้รับประทานแก้โรคท้องร่วง โดยนำเหง้าสดมาตำให้แหลก เติมน้ำปูนใส คั้นเอาน้ำมาดื่มแก้ท้องร่วง

#### 1.3 ช่วยป้องกันโรคกระเพาะอาหาร รักษาแผลเปื่อยในกระเพาะและลำไส้ ทั้งนี้เนื่องจาก สารเคอร์คูมินอยด์ในไขมันชั้น มีฤทธิ์กระตุ้นให้เกิดการหลั่งของสารมิวซินในกระเพาะอาหารและรักษาแผลเปื่อยในกระเพาะและลำไส้ได้ ควรรับประทานครั้งละ 500 มิลลิกรัม วันละ 4 ครั้ง หลังอาหารและก่อนนอน

#### 1.4 ช่วยลดอาการอักเสบชนิดเฉียบพลัน ทั้งนี้เนื่องจาก สารเคอร์คูมินอยด์และน้ำมันระเหยในไขมันชั้นมีฤทธิ์ช่วยลดการหลั่งของสารฮิสตามีน (Histamine) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการอักเสบ นอกจากนี้ยังมีผู้นำไขมันไปรักษาโรคทางเดินหายใจ, โรคไขข้ออักเสบ และใช้ผสมในยาสีฟันเพื่อช่วยลดการอักเสบของเนื้อเยื่อในช่องปากและรักษาเหงือกอักเสบ

#### 1.5 แก้โรคผิวหนังผื่นคัน, โรคแผลพุพอง และแก้อาการแพ้เนื่องจากแมลงกัดต่อย ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำมันหอมระเหย มีสารที่ออกฤทธิ์ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา

##### วิธีใช้

1. ใช้เหง้าไขมันชั้นสด ล้างสะอาด ตำให้ละเอียด คั้นน้ำใส่แผล
2. ใช้เหง้าสดฝนกับน้ำต้มสุก ทาแผล
3. ใช้ผงไขมันชั้น ผสมกับน้ำต้มสุกพอประมาณ ทาแผล
4. ใช้ผงไขมันชั้นโรยบริเวณแผล

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดของผงขมิ้นชั้นในทางการค้า (High Quality Turmeric Powder) [5]

ลักษณะ	ข้อกำหนด	วิธีทดสอบ
ความชื้น (% w/w)		-TP* ภาคผนวก 4.12 -ISO** 939
วัตถุแปลกปลอม (% w/w)		-BP*** 1988 ภาคผนวก XID
ซี้เ้าทั้งหมด (% w/w)		-ISO 928 -BP 1988 ภาคผนวก XII
ซี้เ้าที่ไม่ละลายในกรด (% v/w)		-ISO 930 -BP 1988 ภาคผนวก XIK
ปริมาณน้ำมันหอมระเหย (% w/w)		-BP 1988 ภาคผนวก XIE
ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ (% w/w)		-ISO 5566 -ASTA **** วิธีที่ 18 -กระทรวงสาธารณสุข ประเทศไทย 1990

หมายเหตุ \* = Thai Pharmacopoeia (Public Health of Thailand, Ministry, 1987)

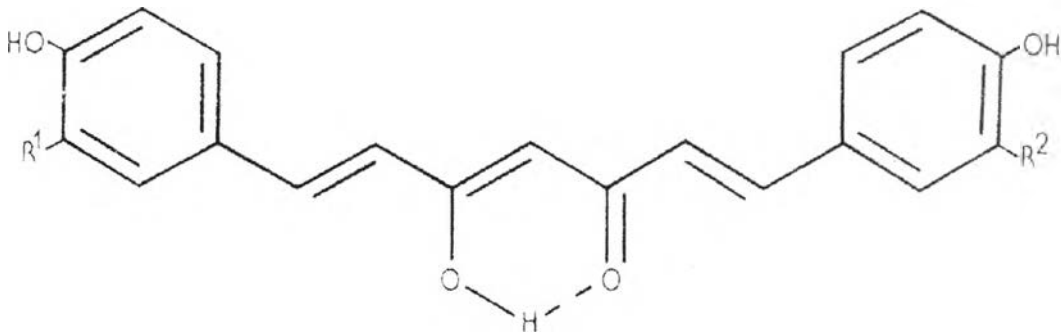
\*\* = International Organization for Standardization ( International Organization for Standardization, 1983)

\*\*\* = British Pharmacopoeia ( The medicine commission, 1973)

\*\*\*\* = American Spice Trade Association (American Spice Trade Association ,1958)

## 2.2 สารเคอร์คูมินอยด์

สารเคอร์คูมินอยด์ เป็นสารให้สีเหลืองที่พบในรากขมิ้นชัน (*Curcuma longa* L. Rhizome) มีสารองค์ประกอบ 3 ชนิด คือ เคอร์คูมิน (Curcumin) , ดีเมธอกซิล เคอร์คูมิน (Demethoxyl curcumin), บิสเมธอกซิล เคอร์คูมิน (Bismethoxy curcumin) ตามลำดับ โดยมีเคอร์คูมินเป็นสารองค์ประกอบหลัก รากขมิ้นชันส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารเคอร์คูมินอยด์ประมาณ 2.5-8.0 % โดยน้ำหนัก [10] และน้ำมันระเหย ประมาณ 5 % [5] โดยปริมาตรต่อ น้ำหนัก สารเคอร์คูมินอยด์ถูกแยกสกัดออกมาจากรากขมิ้นชันเป็นครั้งแรก ในปี ค.ศ. 1815 โดย Vogel และ Delletier มีสูตรโครงสร้างดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของสารเคอร์คูมินอยด์

หมายเหตุ: I ได้แก่ เคอร์คูมิน , II ได้แก่ ดีเมธอกซิล เคอร์คูมิน, III ได้แก่ บิสเมธอกซิล เคอร์คูมิน  
เนื่องจากเคอร์คูมินเป็นองค์ประกอบหลักของสารให้สี ดังนั้นเมื่อต้องการสกัดสารให้สีออกจากขมิ้นชัน จึงควรรู้จักสมบัติโดยทั่วไปของเคอร์คูมิน ซึ่งใน Merck Index [11] ได้ระบุถึงสมบัติคร่าว ๆ ของเคอร์คูมิน ดังนี้

1. เป็นผลึกสีเหลืองอมส้ม ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 183 C
2. มีน้ำหนักโมเลกุล 363.37 ประกอบด้วย คาร์บอน 68.47 % โดยน้ำหนัก, ไฮโดรเจน 5.47 % โดยน้ำหนัก , ออกซิเจน 26.06 % โดยน้ำหนัก
3. ให้ค่าการดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ตมากที่สุดในตัวทำละลายเอทานอลที่ความยาวคลื่น 424 นาโนเมตร
4. ไม่ละลายน้ำและอีเธอร์
5. ละลายในแอลกอฮอล์ และ กรดแกลเซียล อะซีติก (glacial acetic acid)
6. เมื่อเป็นผง มีสีน้ำตาลอมแดง (Brownish-red color)  
เมื่อเป็นกรด มีสีเหลืองอ่อน (Light yellow color)
7. เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดบอริก (Boric acid) เกิดเป็นสารเชิงซ้อนให้สีแดง



## 2.3 รูปแบบสารสกัดจากรากขมิ้นชัน

สารให้สีที่สกัดได้จากรากขมิ้นชัน มีอยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบคือ ชั้นสีจากขมิ้น (Turmeric Oleoresin) และ ผงเคอร์คูมินอยด์บริสุทธิ์ 95 % (Curcumin) [12] โดยความแตกต่างที่สำคัญระหว่างสารสกัดทั้ง 2 รูปแบบ อยู่ที่อัตราส่วนระหว่างองค์ประกอบของสารให้สีต่อสารให้รส (The ratio of color to flavor component) สำหรับชั้นสีจากขมิ้นอัตราส่วนนี้อยู่ในช่วงระหว่าง 40:60 ถึง 60:40 ซึ่งเป็นอัตราส่วนเดียวกันสำหรับผงขมิ้นชัน ในขณะที่ผงเคอร์คูมินอยด์บริสุทธิ์ มีค่าประมาณ 99:1

### 2.3.1 ชั้นสีจากขมิ้น (Turmeric Oleoresin)

เป็นสารสกัดที่มีการผลิตและนำไปใช้งานมากที่สุด[12] มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด สีเหลืองอมส้มถึงน้ำตาลแดง (yellow-orange to red brown viscous fluid) ประกอบด้วย สารเคอร์คูมินอยด์ 37-55 % โดยน้ำหนัก, น้ำมันระเหย (Volatile oils) 20 % โดยน้ำหนัก, Fixed oils 30 % โดยน้ำหนัก, สารจำพวกโพลีแซคคาไรด์ 10 % โดยน้ำหนัก [10] ส่วนที่เหลือเป็นสารให้รสขม (Bitter principles) นิยมทำการสกัดโดยใช้ เมทานอล เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

ในการนำไปใช้งานทางอุตสาหกรรมอาหารบางประเภทจำเป็นต้องกำจัดน้ำมันระเหย ซึ่งประกอบด้วยสารให้รสและกลิ่นของขมิ้น (Volatile flavor components of spice) ออกจากชั้นสีจากขมิ้นเสียก่อน ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัด ได้แก่ เฮกเซน หลังจากนั้นจึงทำการเจือจางชั้นสีจากขมิ้นให้อยู่ในรูปแบบที่สะดวกแก่การนำไปใช้งาน จนกระทั่งมีความเข้มข้นของสารเคอร์คูมินอยด์ประมาณ 4-8 % โดยปริมาตร [9] พร้อมทั้งเติมสารชนิดหนึ่งเพื่อช่วยให้เคอร์คูมินอยด์กระจายตัวได้ในน้ำ สารช่วยการกระจายตัวที่นิยมใช้ ได้แก่ สารโพลีซอร์เบต 80 (Polysorbate 80) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ละลายในน้ำได้ดี (HLB = 15.0) มีสีเหลืองลักษณะหนืดคล้ายน้ำมัน

กระบวนการสกัดชั้นสีจากขมิ้นในเชิงอุตสาหกรรมของประเทศอินเดีย ซึ่งเป็นประเทศที่มีการผลิตและส่งออกชั้นสีจากขมิ้นมากที่สุดในโลกนั้น ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ [9]

1. เลือกวัตถุดิบที่สะอาดปราศจากสารพิษปนเปื้อน และมีร้อยละเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันสูง
2. บดขมิ้นชันในเครื่องบดที่ทำความเย็นโดยใช้อากาศ (air-cooled, beater-cross mill) พร้อมทั้งส่งถ่ายผงขมิ้นชันด้วยลมไปยังถังเก็บ
3. บรรจุผงขมิ้นชันในหอสกัดซึ่งมีความจุ 1 ถึง 2 ตัน และอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความสูงของหอสกัดประมาณ 1: 2-2.5 ในการบรรจุผงขมิ้นชันนั้น ต้องคำนึงถึง

ขนาดผงขมิ้นชันและการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของผงขมิ้นชันในหอสกัดเป็นสำคัญ เพื่อป้องกันการเลือกเส้นทางเดินของตัวทำละลาย

4. สกัดสารโดยผ่านตัวทำละลาย (Solvent) เข้าหอสกัดในอัตราส่วนโดยปริมาตร ผงขมิ้นชันต่อตัวทำละลายประมาณ 1:2-3 การสกัดจะสิ้นสุดก็ต่อเมื่ออัตราการสกัดมีค่าต่ำกว่าระดับที่คุ้มทุนทางเศรษฐกิจ
5. กำจัดผงขมิ้นชันออกจากสารสกัด
6. ระเหยตัวทำละลายออกจากสารสกัดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้หม้อกลั่น (pot still) โดยผ่านไอน้ำเพื่อให้ความร้อนกับสารสกัด พร้อมทั้งปั่นกวนสารสกัดเพื่อให้เกิดการกระจายตัวของความร้อนอย่างสม่ำเสมอจนความเข้มข้นของตัวทำละลายในสารสกัดอยู่ในช่วง 30-50 ส่วนในล้านส่วน
7. บรรจุชั้นสีจากขมิ้นในถังเก็บที่ป้องกันความร้อนและแสงสว่าง
8. สุ่มตัวอย่างตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาที่ร้อยละเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชัน (Color power of turmeric) ปริมาณน้ำมันระเหย ความเข้มข้นของตัวทำละลายในผลิตภัณฑ์
9. ระเหยตัวทำละลายออกจากผงขมิ้นชันซึ่งผ่านการสกัดสีแล้ว โดยผ่านไอน้ำเข้าหอสกัดโดยตรง

ในปี ค.ศ. 1967 สมาคมน้ำมันระเหยของอเมริกา (The Essential Oils Association of America :EOA) ได้สร้างข้อกำหนดเพื่อควบคุมคุณภาพของชั้นสีจากขมิ้นชัน โดยคำนึงถึงความเข้มข้นของตัวทำละลายที่หลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์เป็นหลัก ดังนี้

- อะซีโตนและตัวทำละลายที่มีคลอไรด์เป็นองค์ประกอบ (Chlorinated solvent) ไม่เกิน 30 ส่วนในล้านส่วน
- เมทานอล, เอทานอล, ไอโซโพรพานอล ไม่เกิน 50 ส่วนในล้านส่วน

หมายเหตุ ทำการวิเคราะห์ตามวิธี EOA No.1-1D-3-1

### 2.3.2 เคอร์คูมินอยด์บริสุทธิ์ 95 % (Curcumin)

เป็นรูปแบบที่มีการใช้งานไม่มากนัก มีองค์ประกอบของสารให้กลิ่นและรสของขมิ้นปนอยู่เพียงเล็กน้อย [12] ในการนำไปใช้งานจำเป็นต้องเติมสารช่วยการกระจายตัวในน้ำเหมือนกับสารให้สีรูปแบบแรก โดยให้ความเข้มข้นของเคอร์คูมินอยด์ในผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 5-20 ส่วนในล้านส่วน หรือ 4-10 % โดยปริมาตร [9]

สำหรับกระบวนการผลิตผงเคอร์คูมินอยด์บริสุทธิ์ 95% นั้น แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก คือ

1. สกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากรากขมิ้นชันด้วยตัวทำละลาย จำพวกแอลกอฮอล์เหมือนกันกับกระบวนการผลิตชันสีจากขมิ้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะสกัดสารซึ่งมีลักษณะเหนียวคล้ายยาง (Gummy matter) และน้ำมันระเหยออกมาด้วย
2. ระเหยตัวทำละลายเพียงบางส่วนและทำการลดอุณหภูมิเพื่อตกผลึกสี ซึ่งต่างจากกระบวนการผลิตชันสีจากขมิ้นที่ระเหยตัวทำละลายจนมีความเข้มข้นในสารสกัดอยู่ในระดับที่กำหนด เช่น เอทานอล ไม่เกิน 50 ส่วนในล้านส่วน
3. แยกผลึกสี (Crude dye) ออกจากตัวทำละลายโดยวิธีการเหวี่ยงแยก (Centrifuge) และกรองด้วยสุญญากาศ (Vacuum-filtration)
4. แยกสารซึ่งมีลักษณะคล้ายยางเหนียวออก หลังจากนั้น กำจัดน้ำมันระเหยและสารที่สามารถละลายได้ในน้ำมันออกจากผลึกโดยใช้เฮกเซน เป็นตัวทำละลาย
5. ระเหยตัวทำละลายออกจากผลึกด้วยลมร้อนจนมีความเข้มข้นของตัวทำละลายในสารสกัดอยู่ในระดับที่กำหนดและทำให้เป็นผง

ในปัจจุบันมีการนำเอาผงเคอร์คูมินอยด์บริสุทธิ์ 95 % ไปใช้เป็นสารให้สีในอุตสาหกรรมอาหารหลายประเภท [12] ยกตัวอย่างเช่น

1. อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากโคนม (Dairy industry) เช่น ไอศกรีมวานิลลา โดยมีองค์ประกอบของสารให้สีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สารเคอร์คูมินอยด์ซึ่งมีความเข้มข้นในผลิตภัณฑ์ 20 ส่วนในล้านส่วนและ สารนอร์บิซิน (norbixin) มีความเข้มข้นในผลิตภัณฑ์ 12 ส่วนในล้านส่วน ในส่วนการผลิตโยเกิร์ตจะทำการผสมสารเคอร์คูมินอยด์เพื่อให้สีเหลืองมะนาว (lemon yellow color) โดยมีความเข้มข้นของสารเคอร์คูมินอยด์ในผลิตภัณฑ์ประมาณ 5 ส่วนในล้านส่วน โดยปกติจะทำการผสมสารให้สีด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง (high speed mixer) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน

เนื่องจากความไม่มีเสถียรภาพต่อแสง (light instability) เคอร์คูมินอยด์จึงไม่เหมาะสำหรับใช้เป็นสารให้สีในผลิตภัณฑ์โคนมบางประเภทเช่นนมปรุงแต่งซึ่งบรรจุในภาชนะโปร่งแสง เป็นต้น

2. อุตสาหกรรมขนมจากแป้งสาลี (Flour Confectionery) เช่น บิสกิตและ เค้ก โดยมีองค์ประกอบของสารให้สี 2 ชนิด คือ สารเคอร์คูมินอยด์และสารนอร์บิซิน เช่นเดียวกันกับการให้สีไอศกรีมวานิลลา ต่างกันที่ระดับความเข้มข้นของสารให้สีในผลิตภัณฑ์ซึ่งมีค่าต่ำกว่าตามปกติแล้ว ความเข้มข้นของสารเคอร์คูมินอยด์ในผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 10-15

ส่วนในล้านส่วน และ ความเข้มข้นของสารนอร์บิซิน (norbixin) ในผลิตภัณฑ์ อยู่ในช่วงระหว่าง 5-10 ส่วนในล้านส่วน

3. อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากน้ำตาล (Sugar Confectionery) เช่น ลูกอม โดยปกติจะเตรียมสารให้สีอยู่ในรูปสารละลายเพื่อความสะดวกในการผสมกับน้ำตาล แต่ไม่ควรเตรียมสารละลายให้เข้มข้นจนเกินไป เนื่องจากอาจเกิดการตกตะกอนของสารเคอร์คูมินอยด์เมื่อทิ้งไว้ข้ามคืนได้
4. อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์แช่แข็ง (Frozen products) เช่น ซอร์เบต (sorbet) โดยทั่วไป ความเข้มข้นของสารเคอร์คูมินอยด์ในผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5-10 ส่วนในล้านส่วน สารละลายเคอร์คูมินอยด์ที่เตรียมขึ้นสามารถนำไปใช้งานกับผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำได้ แต่ไม่ควรแช่แข็งสารละลายเนื่องจาก อาจเกิดการตกตะกอนของสารเคอร์คูมินอยด์ได้

ในปัจจุบันนอกจากจะมีการนำเอาผงเคอร์คูมินอยด์มาใช้เป็นสารให้สีธรรมชาติในอุตสาหกรรมอาหารแล้ว ยังได้มุ่งเน้นความสำคัญของสารเคอร์คูมินอยด์บริสุทธิ์ เพื่อใช้เป็นส่วนผสมสำคัญในยารักษาโรค เช่น โรคตับ เป็นต้น โดยมีงานวิจัยต่างๆ มากมายที่ทำการศึกษาสมบัติของเคอร์คูมินอยด์ในทางเภสัช เช่น สมบัติเป็นสารต่อต้านมะเร็ง (anti-cancer) ป้องกันการอักเสบของตับ (anti-inflammatory)ต่อต้านการเกิดอนุมูลอิสระ (anti-oxidant) เป็นต้น [5]

ในปี ค.ศ.1961 คณะกรรมการองค์การอนามัยโลกร่วมกับองค์การอาหารและเกษตรแห่งสห-ประชาชาติ (WHO/FAO committee) [9] ได้สร้างข้อกำหนดเพื่อควบคุมคุณภาพของเคอร์คูมินอยด์บริสุทธิ์ 95 % ไว้ดังนี้

- อาร์เซนิก (Arsenic) ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- ตะกั่ว (Lead) ไม่เกิน 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

นอกจากนั้นแล้วปริมาณที่ได้รับในแต่ละวันควรอยู่ในช่วงระหว่าง 0-0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว

เนื่องจากในการนำสารสกัดจากขมิ้นชันไปใช้งานในผลิตภัณฑ์อาหารบางประเภท เช่น เนยแข็ง, เนยเหลว , ไอศกรีม, ผลิตภัณฑ์จากโคนม ,อาหารที่ทำจากธัญพืช ,ซูป เป็นต้น [9,12] จำเป็นต้องกำจัดน้ำมันระเหยซึ่งมีสารองค์ประกอบของรสเครื่องเทศ (the volatile favor components of spice) ออกเสียก่อน ในที่นี้จะขอล่าวถึงความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับน้ำมันระเหยและวิธีการกำจัดน้ำมันระเหยออกจากขมิ้นชันซึ่งนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

## 2.4 น้ำมันระเหยจากขมิ้นชัน (Turmeric Oil) [1,5,9,12]

น้ำมันระเหยจากขมิ้นชันเป็นของเหลวใสสีเหลืองอมส้ม (Orange-yellow color) มีกลิ่นเฉพาะตัว (characteristic odor) โดยปกติในรากขมิ้นชันมีน้ำมันระเหยเป็นองค์ประกอบประมาณ 3-5 % โดยปริมาตร น้ำมันระเหยจากขมิ้นชันมีสารองค์ประกอบหลักอยู่ 3 จำพวก คือ

1. Sesquiterpene ketones ร้อยละ 65 โดยปริมาตร โดยมี ar-turmerone เป็นองค์ประกอบหลักประมาณร้อยละ 50 และ  $\alpha$ -turmerone ประมาณร้อยละ 20

2. Monoterpenes ร้อยละ 10 โดยปริมาตร

3. Sesquiterpenes ร้อยละ 25 โดยปริมาตร

น้ำมันระเหยจากขมิ้นชันมีคุณสมบัติที่สำคัญซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

- ค่าความถ่วงจำเพาะ(Specific gravity) ที่อุณหภูมิ 15 C : 0.938 ถึง 0.967

- การหมุนเชิงแสง (Optical rotation) : -13 ถึง -25

- ดัชนีการหักเห (Reflective index) ที่ 20 C : 1.512 ถึง 1.517

- เลขกรด (Acid Number) : 0.6 ถึง 3.1

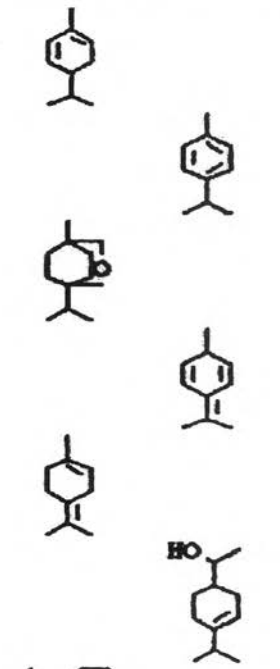
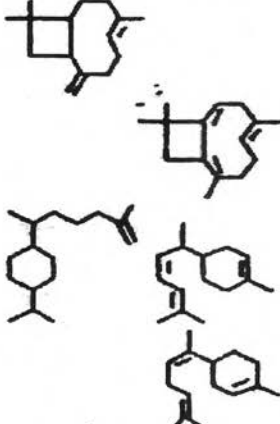
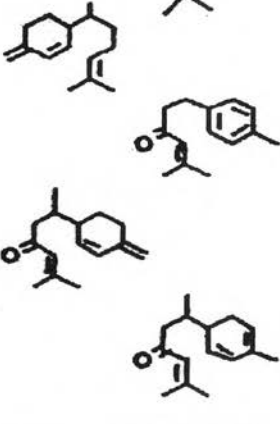
- เลขเอสเทอร์ (Ester Number) : 6.5 ถึง 16

- เลขเอสเทอร์หลังเกิดปฏิกิริยาอะซีทิลเลชัน : 28 ถึง 53

(Ester Number after acetylation)

- ความสามารถในการละลาย (Solubility) : สามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์ 90%  
ได้ร้อยละ 0.5 ถึง 1.0

ตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของน้ำมันระเหยจากขมิ้นชันพร้อมทั้งสูตรโครงสร้างแบ่งแยกตามจำพวกสาร

จำพวกสาร (Chemical group)	องค์ประกอบ (Oil component)	สูตรโครงสร้าง (Structure)
1. Monoterpenes	$\alpha$ -phellandrene  p-cymene  1,8- cineol  p-cymenene  terpinolene  $\alpha$ -terpineol	
2. Sesquiterpenes	$\beta$ -caryophyllene  $\beta$ -caryophyllene  $\alpha$ -curcumene + $\alpha$ -zingiberene  bisabolene	
3. Sesquiterpene ketones	$\beta$ -sesquiphellandrene  $\alpha$ -turmerone  $\beta$ -turmerone  $\alpha$ -turmerone	

ต่อไปจะขอกล่าวถึงกรรมวิธีการสกัดน้ำมันระเหยออกจากพืชที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ [14,15,16,17]

#### 2.4.1 การสกัดน้ำมันระเหยด้วยวิธีการกลั่น

การสกัดน้ำมันระเหยโดยวิธีการกลั่น แบ่งออกเป็น 3 วิธีใหญ่ ๆ ซึ่งแต่ละวิธีแตกต่างกันที่ระดับการสัมผัสกันระหว่างพืชที่กลั่นกับน้ำ (Degree of contact) กล่าวคือ วิธีการแรกพืชที่กลั่นจะจมอยู่ในน้ำเดือดทั้งหรือเกือบทั้งหมด เรียกว่า การกลั่นโดยใช้น้ำร้อน (Water Distillation) วิธีการที่สอง พืชที่กลั่นจะถูกวางไว้บนตะแกรงเหนือน้ำเดือด เรียกว่า การกลั่นโดยใช้น้ำและไอน้ำ (Water and Steam Distillation) วิธีการสุดท้าย จะผ่านไอน้ำ (dry steam) จากหม้อต้มเข้าไปใต้หม้อกลั่นซึ่งบรรจุพืชที่ต้องการกลั่น เรียกว่า การกลั่นโดยใช้อิน้ำโดยตรง (Direct Steam Distillation)

##### 2.4.1.1 การกลั่นด้วยน้ำร้อน (Water Distillation)

เป็นวิธีกลั่นที่ง่ายที่สุดโดยอาศัยความร้อนจากน้ำระเหยน้ำมันระเหยออกจากพืช อุณหภูมิในการกลั่นมีค่าประมาณ 100-150 องศาเซลเซียส ในการกลั่นจะนำพืชบรรจุให้แน่นในหม้อต้มซึ่งใส่น้ำไว้พอประมาณ ให้ความร้อนหม้อต้มจนน้ำในหม้อต้มเดือด ไอน้ำจะพาน้ำมันระเหยผ่านไปยังหน่วยควบแน่น ซึ่งจะทำให้ไอน้ำและน้ำมันระเหยกลายเป็นของเหลว ของผสมจะถูกส่งไปยังหน่วยแยกน้ำมันเพื่อแยกน้ำมันระเหยที่ลอยอยู่ด้านบนออก หลังจากนั้นจะทำการเติมสารดูดน้ำ เช่น  $MgSO_4$  เพื่อดูดซับน้ำออกจากน้ำมันระเหยให้หมดแล้วกรองตัวดูดซับออกจะได้น้ำมันระเหยที่บริสุทธิ์

การกลั่นวิธีนี้มีข้อเสียอยู่หลายประการ กล่าวคือ

1. น้ำมันระเหยที่ได้มีคุณภาพไม่ดีนัก เนื่องจาก วิธีการกลั่นแบบนี้ น้ำมันจะสัมผัสกับน้ำเดือดโดยตรงเป็นเวลาค่อนข้างนานเนื่องจากอัตราการกลั่นที่ค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะบริเวณผนังหม้อกลั่นซึ่งมีอุณหภูมิสูงมาก อาจทำให้องค์ประกอบในน้ำมันเปลี่ยนแปลงได้
2. อัตราการกลั่นตัวไม่สม่ำเสมอ เนื่องจาก ความร้อนภายในหม้อกลั่นไม่สม่ำเสมอ
3. อาจเกิดการไหม้ของพืชที่นำมากลั่น ทำให้เกิดกลิ่นไหม้ตัวติดไปในน้ำมันระเหย

ปัญหาดังกล่าวอาจแก้ไขได้โดยการให้ความร้อนแก่หม้อกลั่นด้วย Steam jacket หรือ Closed steam coil ซึ่งมีอัตราการให้ความร้อนที่สูงกว่าและให้ความร้อนได้สม่ำเสมอกว่า แทนการให้ความร้อนโดยการต้ม ถึงแม้ว่าวิธีการกลั่นโดยใช้น้ำร้อน จะมีข้อเสียอยู่หลายประการ แต่ในการสกัดน้ำมันระเหยออกจากพืชบางชนิดจำเป็นต้องกลั่นด้วยวิธีการดังกล่าว เช่นการกลั่นน้ำมันกุหลาบ เนื่องจาก เมื่อกลิบบุกลาบถูกไอน้ำจะหดตัวกลายเป็น glutinous mass ทำให้

ไม่สามารถกลั่นน้ำมันออกมาได้เลย , การกลั่นน้ำมันออกจากเปลือกไม้ การที่นำเปลือกไม้แช่ในน้ำเดือดจะทำให้ไขมันสามารถแพร่ออกมาจากเนื้อเยื่อพืชได้ง่ายขึ้น เป็นต้น

#### 2.4.1.2 การกลั่นด้วยน้ำร้อนและไอน้ำ (Water and Steam Distillation)

การกลั่นแบบนี้เป็นการกลั่นที่สะดวกที่สุด ใช้สำหรับสำรวจความเป็นไปได้ของการผลิตน้ำมันระเหย ในการกลั่นจะใส่ตะแกรงเข้าไปในหม้อกลั่นเพื่อวางพืชที่ต้องการกลั่นไว้เหนือระดับน้ำ ทำให้พืชที่ต้องการกลั่นไม่สัมผัสกับความชื้นโดยตรง ถึงแม้ว่าเครื่องมือที่ใช้กลั่นจะเป็นเครื่องกลั่นจะเป็นเครื่องมือแบบง่ายและไม่มีความซับซ้อน แต่คุณภาพของน้ำมันระเหยก็ออกมาดีพอใช้

#### 2.4.1.3 การกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง (Direct Steam Distillation)

เป็นวิธีการสกัดน้ำมันระเหยออกจากพืชที่ทันสมัยที่สุด โดยอาศัยไอน้ำให้ความร้อนกับพืชโดยตรง อุณหภูมิการกลั่นประมาณ 100-150 องศาเซลเซียส ในการกลั่นจะใส่ตะแกรงไว้ภายในหม้อกลั่นเพื่อวางพืชที่ต้องการกลั่น ผ่านไอน้ำอิ่มตัวหรือ ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Slightly superheated steam) แรงดันประมาณ 40-50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากหม้อผลิตไอน้ำ เข้าด้านใต้หม้อกลั่นเพื่อให้ความร้อนกับพืชในหม้อกลั่น น้ำมันระเหยจะถูกสกัดออกจากพืชและถูกไอน้ำพาไปยังหน่วยควบแน่น ซึ่งจะทำให้ไอน้ำและน้ำมันระเหยกลายเป็นของเหลว หลังจากนั้นของผสมจะถูกส่งไปยังหน่วยแยกน้ำมันเพื่อแยกน้ำมันระเหยและเติมสารดูดน้ำเช่นเดียวกับการกลั่นแบบแรก การกลั่นด้วยวิธีนี้จะต้องใช้เงินลงทุนสูง แต่มีข้อดีอยู่หลายประการ กล่าวคือ

1. น้ำมันระเหยที่ได้จากการกลั่นมีคุณภาพดีมาก ได้มาตรฐาน
2. สามารถกลั่นน้ำมันระเหยได้อย่างรวดเร็ว
3. ไม่เปลืองเวลาในการต้มน้ำให้เดือดเช่นเดียวกับวิธีการกลั่นแบบแรก
4. สามารถบรรจุพืชที่ต้องการกลั่นได้ในปริมาณมาก

เครื่องกลั่นสำหรับวิธีการกลั่นโดยใช้กลั่นโดยใช้ไอน้ำโดยตรง มีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน คือ

#### หม้อกลั่น (Still or Distilling tube)

มีลักษณะเป็นถังรูปทรงกระบอก ทำจากวัสดุจำพวก เหล็ก, ทองแดง, สเตนเลส โดยปกติจะออกแบบให้มีส่วนสูงยาวกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กน้อย ภายในทำเป็นตะแกรงวางไว้เป็นชั้นๆ เพื่อบรรจุพืช พืชจะถูกถ่ายเข้าออกหม้อกลั่นจากด้านบนซึ่งถูกออกแบบให้เปิดปิดได้สะดวก โดยใช้เครื่องช่วยดึงเพื่อดึงตะแกรงเข้าออก เมื่อดึงตะแกรงออกพืชจะติดออกมาด้วย ส่วนทางด้านล่างของหม้อกลั่นจะมีท่อเปิดปิดสำหรับระบายน้ำที่กลั่นตัวลงมา ดังรูปข้างล่างและหม้อกลั่นควรมีการหุ้มฉนวนความร้อนโดยรอบ เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนในขณะกลั่น



### หน่วยควบแน่น (Condenser)

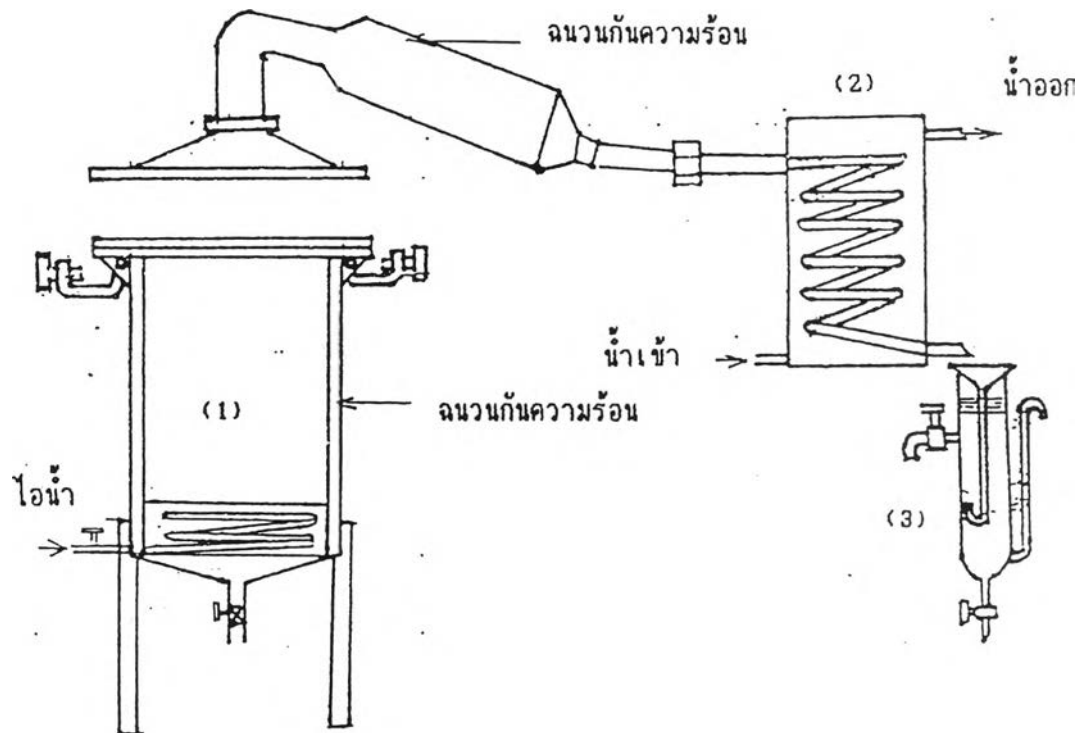
หน่วยนี้ทำหน้าที่ควบแน่นไอน้ำและน้ำมันระเหยที่ออกจากหม้อกลั่นให้กลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำหล่อเย็น (Cooling water) เป็นตัวถ่ายเทความร้อน หน่วยควบแน่นที่นิยมใช้กันมากมีลักษณะเป็นท่อสั้นหลาย ๆ ท่อเรียงขนานกันอยู่ในถังทรงกระบอก (Shell and tube heat exchanger) เนื่องจาก ใช้วัสดุที่มีขนาดเล็กกะทัดรัดไม่เปลืองเนื้อที่, ใช้ปริมาณน้ำในการถ่ายเทความร้อนน้อย และสามารถทำความสะอาดได้สะดวก เครื่องควบแน่นแบบนี้ส่วนใหญ่ทำมาจากวัสดุที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้รวดเร็ว เช่น ทองแดง อลูมิเนียม สแตนเลสสตีล เป็นต้น ในการถ่ายเทความร้อนจะผ่านน้ำหล่อเย็นเข้าทางด้านล่างถังรูปทรงกระบอก (Shell) โดยให้ไหลสวนทางกับทิศการไหลของไอน้ำและน้ำมันระเหย ซึ่งไหลอยู่ภายในท่อ (Tube) ดังรูปข้างล่าง

### หน่วยแยกน้ำมัน (Oil separator)

ประกอบด้วยกรวยก้านยาวในทรงกระบอกตั้ง น้ำมันระเหยซึ่งอยู่ในน้ำจากหน่วยควบแน่นจะมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ ปนกันน้ำ ซึ่งมีปริมาณเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำ น้ำมันระเหยนี้มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำมากจึงรวมตัวกันลอยอยู่บนผิวน้ำ การที่เม็ดน้ำมันระเหยนี้จะรวมตัวกันได้เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ออกจากหน่วยควบแน่น ซึ่งการรวมตัวจะดีถ้าอุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากปริมาณของน้ำมันมีน้อยมากจึงควรออกแบบหน่วยแยกน้ำมันให้มีประสิทธิภาพสูง พยายามให้เปิดน้ำมันระเหยเกิดการชนกัน ทำให้รวมตัวกันง่ายขึ้น โดยให้น้ำและน้ำมันระเหยที่ออกจากหน่วยควบแน่นไหลผ่านกรวยเล็กยาวในหน่วยแยกน้ำมัน อีกทั้งยังป้องกันไม่ให้อองเหลวที่กลั่นได้ไปรบกวนน้ำมันระเหยที่แยกตัวออกมาจากน้ำ หน่วยแยกน้ำมันนี้ออกแบบให้ทำงานแบบต่อเนื่อง คือ มีทางถ่ายน้ำมันระเหยออกทางด้านบน และมีทางถ่ายน้ำออกทางด้านล่างได้ ถ้าหน่วยแยกน้ำมันมีขนาดเล็กวัสดุที่ใช้ทำอาจเป็นแก้ว แต่ถ้าน้ำมันมีขนาดตั้งแต่ 15 ลิตร ขึ้นไป ควรใช้ทองแดงผสมดีบุก ส่วนตะกั่วไม่ควรใช้ เพราะอาจทำปฏิกิริยากับกรดไขมันให้เกลือที่เป็นพิษได้

### หม้อผลิตไอน้ำ (Steam generator)

ทำหน้าที่ผลิตไอน้ำอิ่มตัวหรือ ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Slightly superheated steam) ความดันประมาณ 40-50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยกำลังการผลิตไอน้ำขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องกลั่นด้วย



รูปที่ 2.3 เครื่องกลั่นน้ำมันระเหยแบบใช้ไอน้ำระดับอุตสาหกรรม

1. หม้อกลั่น
2. หน่วยควบแน่น
3. หน่วยแยกน้ำมัน

#### 2.4.2 การสกัดน้ำมันระเหยด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction)

เป็นวิธีการสกัดน้ำมันระเหยโดยอาศัยความสามารถในการละลายของน้ำมันในตัวทำละลาย วิธีการสกัดแบบนี้เหมาะกับน้ำมันระเหยที่มีปริมาณน้ำมันอยู่ในพืชน้อยและสลายตัวได้ง่าย เมื่อได้รับความร้อนสูง ตัวทำละลายที่นิยมใช้สกัด ได้แก่ สารจำพวกปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) ในการสกัดจะนำพืชในตัวทำละลายติดต่อกัน 2-3 วัน หลังจากนั้นสกัดน้ำมันระเหยออกจากพืชจนหมด แล้วกรองแยกสารสกัด สารสกัดถูกส่งไปยังหน่วยกลั่นเพื่อแยกตัวทำละลายออกและนำกลับไปใช้งานใหม่ ภายใต้ความดันต่ำและอุณหภูมิประมาณ 60-100 C

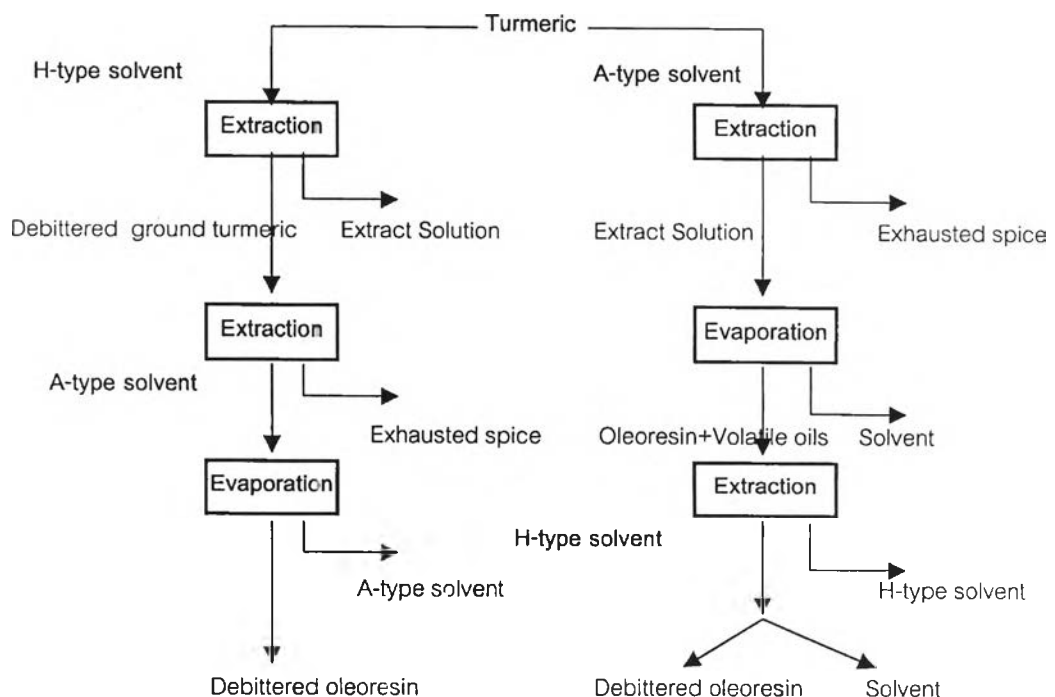
## 2.5 งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์

The Griffith Laboratories [18] (1967) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสารให้รสขมที่มีอยู่ในรากขมิ้นชันโดยไม่ทำให้เกิดการสูญเสียสารให้สีในรากขมิ้น รวมทั้งเสนอกระบวนการสกัดสารให้สีซึ่งปราศจากสารให้รสขม

โดยแต่ก่อนนั้นในการสกัดสารให้สีจากรากขมิ้นชัน ตัวทำละลายที่ใช้จะสกัดเอาน้ำมันระเหยซึ่งมีสารให้รสขมปนออกมาด้วย และเนื่องจากตัวทำละลายที่ใช้มีจุดเดือดต่ำ เมื่อทำการกลั่นแยกเอาตัวทำละลายออกไป สารสกัดยังคงมีน้ำมันระเหยพร้อมสารให้รสขมปะปนอยู่ ตัวทำละลายดังกล่าวได้แก่ เมทานอล, ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์, อะซีโตน (A-type solvent)

งานวิจัยนี้ทำการสกัดน้ำมันระเหยซึ่งมีสารให้รสขมออกจากรากขมิ้นชันโดยใช้ เฮกเซนเป็นตัวทำละลายในช่วงอุณหภูมิ 25-70 C พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารให้สีก่อนและหลังทำการสกัด ดังนั้นผู้วิจัยจึงสรุปแนวทางในการสกัดสารให้สีซึ่งปราศจากสารให้รสขมเป็น 2 แนวทาง

- แนวทางแรก ทำการสกัดน้ำมันระเหยซึ่งมีสารให้รสขมออกจากรากขมิ้นชันก่อน โดยใช้ H-type solvent ได้แก่ สารจำพวกไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เฮกเซน หลังจากนั้นทำการสกัดแยกสารให้สีโดยใช้ A-type solvent
- แนวทางที่สอง ทำการสกัดสารให้สีพร้อมน้ำมันระเหย ออกจากรากขมิ้นชันโดยใช้ A-type solvent หลังจากนั้นทำการแยกน้ำมันระเหยออกโดยใช้ H-type solvent ได้สารให้สีซึ่งปราศจากรสขม



N. Krishnamurthy และคณะ [19] (1976) ได้ศึกษาการสกัดสารให้สีและน้ำมันระเหยจากรากขมิ้นชันซึ่งปลูกในอินเดีย 12 ชนิด พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ในสารให้สีโดยอาศัยเทคนิค TLC

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของชนิดตัวทำละลายที่มีต่อการสกัดโดยวิธีการชง (Cold Percolation) ตัวทำละลายดังกล่าวได้แก่ อะซีโตน, เอทิลีน ไดคลอไรด์ และ เอทานอล ,ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดระหว่างวิธีการสกัดแบบซ็อกเฮท (Soxhlet Extraction) และ วิธีการชงเมื่อใช้ขมิ้นชันขนาด 30 เมช และขนาดมากกว่า 60 เมช และใช้ อะซีโตน เป็นตัวทำละลาย พร้อมทั้งศึกษาผลการสกัดในระดับ bench-scale โดยใช้คอลัมน์ที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม 4 หอ ต่ออนุกรมกัน เพื่อสกัดสารให้สี ด้วยวิธีการชงแบบไหลสวนทาง

จากผลการศึกษาพบว่า ขมิ้นชันที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณน้ำมันระเหย อยู่ในช่วง 2.5-7.2 % โดยน้ำหนัก และปริมาณเคอร์คูมินอยด์อยู่ในช่วง 1.8-5.4 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และพบว่าหากใช้เป็นตัวทำละลายเป็นอะซีโตนจะให้ผลได้จากสารสกัด (Yield of extractives) และปริมาณเคอร์คูมินอยด์ที่สกัดออกจากรากขมิ้นชันได้สูงกว่าเอทานอล และ เอทิลีน ไดคลอไรด์เล็กน้อย จากการเปรียบเทียบวิธีการสกัดสารพบว่า ในกรณีผงหยาบ วิธีการสกัดแบบซ็อกเฮทให้ประสิทธิภาพการสกัดดีกว่าวิธีการชง โดยสามารถสกัดเคอร์คูมินอยด์ออกจากรากขมิ้นชันได้มากกว่า (%Recovery) และมีความบริสุทธิ์มากกว่า(% curcuminoids in extractives) แม้ว่าผลได้จากสารสกัดจะต่ำกว่าก็ตาม ในกรณีใช้ผงละเอียดในการสกัด วิธีการสกัดทั้ง 2 วิธี จะสามารถสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ได้ดีกว่ากรณีใช้ผงหยาบ โดยสามารถสกัดเคอร์คูมินอยด์ออกจากรากขมิ้นชันได้มากกว่า 85% และวิธีการสกัดแบบการชง ให้ประสิทธิภาพการสกัดดีกว่าวิธีการสกัดแบบซ็อกเฮท โดยสามารถสกัดเคอร์คูมินอยด์ออกจากรากขมิ้นชันได้เกือบ 100 %

Charles's E Stransky และคณะ [13] (1976) ได้ศึกษากระบวนการสกัดสารให้สีซึ่งสามารถละลายได้โดยตรงในน้ำ (Water-soluble curcumin coloring agent)

โดยแต่ก่อนนั้นวิธีการสกัดสารให้สีทางการค้าจะใช้เฮกเซน เพื่อสกัดน้ำมันระเหยและเมทานอลเพื่อสกัดสารให้สี สารให้สีที่สกัดได้นั้นไม่สามารถละลายน้ำได้โดยตรง ต้องเพิ่มขั้นตอนการทำให้สารให้สีกระจายตัวในน้ำ โดยใช้สารช่วยการกระจายตัว นอกจากนั้นแล้วยังไม่สามารถสกัดเคอร์คูมินอยด์ได้หมดและ เมทานอลที่ใช้ยังเป็นสารติดไฟได้

งานวิจัยนี้ศึกษาการสกัดสารให้สีโดยใช้สารละลายสบู่ (Soap solution) หมุนเวียนสกัดเคอร์คูมินอยด์จากรากขมิ้นชันในถังกวน สารละลายสบู่ประกอบด้วยเกลือของกรดคาร์บอกซิลิก (soap) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาสaponification ระหว่างน้ำมันพืชกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ รวมตัวกันเป็นกลุ่มเรียกว่า ไมเซลล์ กระจายตัวอยู่ในน้ำ ทำหน้าที่

คล้ายตัวช่วยการกระจายตัว โดยพบว่า สารละลายสบู่ซึ่งประกอบ โฟแทลเซียมไฮดรอกไซด์ 1 ส่วน ทำปฏิกิริยากับ น้ำมันถั่วลิสง 2.25 ส่วน ในน้ำ 1.75 ส่วน ให้ผลการสกัดที่ดี

Gopalam A. และคณะ [20] (1980) ได้ทำการศึกษาการสกัดสารให้สีจากรากขมิ้นชัน โดยการกลั่นด้วยไอน้ำ (Steam distillation) เพื่อกำจัดน้ำมันระเหยออกจากรากขมิ้นชัน หลังจากนั้นทำการสกัดสารให้สีอย่างต่อเนื่องโดยใช้ เอทานอล, เฮกเซน, เบนซิน เป็นตัวทำละลายและสกัดซ้ำอีกครั้งโดยใช้ เอทานอล จากผลการศึกษาพบว่าแม้ว่าสารสกัดที่ได้จะมีเคอร์คูมินอยด์เป็นองค์ประกอบมากกว่า 95 % แต่วิธีการนี้ก่อให้เกิดการสูญเสียสารเคอร์คูมินอยด์จากรากขมิ้นชันเป็นจำนวนมาก

สุภิญญา (1993) [5] ได้พัฒนาวิธีวิเคราะห์อย่างง่ายเพื่อหาปริมาณเคอร์คูมินอยด์ แต่ละชนิด ในรากขมิ้นชันซึ่งสกัดโดยใช้เมทานอล โดยใช้เทคนิค TLC-densitometry ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว และมีความแม่นยำสูง เปรียบเทียบกับเทคนิคอัตราไวโอเลตสเปคโตรสโคปี และทำการวิเคราะห์หาปริมาณเคอร์คูมินอยด์ทั้ง 3 ชนิด จากรากขมิ้นชันมากกว่า 30 สายพันธุ์จากจังหวัดต่าง ๆ ในประเทศไทย ซึ่งปลูกที่แปลงทดลองจังหวัดตาก ,ตรัง และพิจิตร

จากผลการทดลองพบว่า ขมิ้นชันที่ปลูกที่แปลงทดลองจังหวัดตาก ให้ปริมาณเคอร์คูมินอยด์รวมเฉลี่ยสูงที่สุด (9.58 %w/w) รองลงมาคือ ขมิ้นชันจากแปลงทดลองจังหวัดตรัง (8.44 % w/w) และพิจิตร (7.42 %w/w) สายพันธุ์ขมิ้นชัน 5 สายพันธุ์แรกจากทั้ง 3 แปลงทดลองที่ให้ปริมาณเคอร์คูมินอยด์รวมสูงสุด ได้แก่ สายพันธุ์จากจังหวัดพิษณุโลก ,ตาก ,ชัยภูมิ ,นครพนม, ร้อยเอ็ด และอัตราส่วนเฉลี่ยของปริมาณ เคอร์คูมิน :ดีเมธอกซิล เคอร์คูมิน :บิสดีเมธอกซิล เคอร์คูมิน คือ 5:3:2 สำหรับการหาปริมาณน้ำมันระเหยในขมิ้นชัน พบว่า ขมิ้นชันจากแปลงทดลองจังหวัดตากให้ปริมาณน้ำมันระเหยเฉลี่ยสูงที่สุด (9.69 %v/w) รองลงมา คือ ขมิ้นชันจากจังหวัดตรัง (6.93 %v/w) และจังหวัดพิจิตร (6.69% v/w) จากผลการวิจัยนี้ทำให้สรุปได้ว่าสภาวะดินฟ้าอากาศ มีอิทธิพลต่อการสร้างปริมาณเคอร์คูมินอยด์และน้ำมันระเหยในรากขมิ้นชัน นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเคอร์คูมินอยด์ในพืชบางชนิดในวงศ์ Zingiberaceae พบว่ารากขมิ้นชันให้ปริมาณเคอร์คูมินอยด์สูงสุด

A.L. Chassagnez-M'endez และ คณะ [21] (2000) ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากรากขมิ้นชันซึ่งปลูกในประเทศบราซิล ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะเหนือจุดวิกฤต (Supercritical CO<sub>2</sub>) พร้อมทั้งสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง ผลได้จากการสกัด (Extraction yield) กับเวลาการสกัด ในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเคอร์คูมินอยด์โดยใช้เทคนิคสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าความดันในหอสกัด (25 .MPa และ 30 .MPa) และอุณหภูมิการอบแห้งก่อนการสกัด (343 K และ 378 K)

จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิ 343 องศาเซลวิน เป็นอุณหภูมิการอบแห้งที่เหมาะสม สำหรับการเตรียมวัตถุดิบและ ความดันในหอสกัด 30 .MPa เป็นค่าความดันที่เหมาะสมสำหรับการสกัดเคอร์คูมินอยด์ ทั้งนี้เนื่องจาก การเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งจาก 243 องศาเซลวิน เป็น 278 องศาเซลวิน ส่งผลให้ผลได้จากการสกัด และ ความเข้มข้นเคอร์คูมินอยด์ในสารสกัด (% curcuminoids in extractives) ลดลง ซึ่งให้ผลตรงกันข้ามกับกรณีการเพิ่มความดันในหอสกัดจาก 25 .MPa เป็น 30 .Mpa ยกเว้นกรณีที่อุณหภูมิการอบแห้งมีค่าเท่ากับ 278 องศาเซลวิน ซึ่งการเพิ่มความดันในหอสกัด ทำให้ค่าความเข้มข้นเคอร์คูมินอยด์ในสารสกัดสูงขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อ ผลได้จากการสกัด

จากงานวิจัยที่ผ่านมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการสกัดสารให้สีส่วนใหญ่นิยมสกัด โดยใช้ตัวทำละลาย ซึ่งกระบวนการดังกล่าวยังมีข้อเสียอยู่หลายประการกล่าวคือ สารสกัดที่ได้หลังจากระเหยตัวทำละลายแล้วไม่สามารถละลายน้ำได้โดยตรง จำเป็นต้องเพิ่มขั้นตอนการผสมสารช่วยการกระจายตัวในน้ำก่อนนำไปใช้งาน และสิ้นเปลืองพลังงานในการระเหยตัวทำละลายเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ นอกจากนี้แล้วตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสารให้สี เช่น เอทานอล เมทานอล และตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดน้ำมันระเหยต่างเป็นสารที่ติดไฟได้ง่าย (Flammable) อีกทั้งกระบวนการสกัดสารดังกล่าวไม่สามารถสกัดสารให้สีออกจากรากขมิ้นชันได้หมด

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว กระบวนการสกัดสารอินทรีย์โดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจาก กระบวนการสกัดดังกล่าว สารสกัดที่ได้อยู่ในรูปแบบที่กระจายตัวในน้ำได้โดยตรง ซึ่งช่วยลดขั้นตอนการสกัดให้อยู่ในขั้นตอนเดียวโดยไม่ต้องมีขั้นตอนการระเหยตัวทำละลาย อีกทั้งหลีกเลี่ยงการใช้ตัวทำละลายซึ่งติดไฟได้ง่าย ต่อไปจะขอกล่าวถึงความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารลดแรงตึงผิว, ทฤษฎีเกี่ยวกับสารลดแรงตึงผิว และ งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการสกัดสารอินทรีย์โดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว

## 2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารซึ่งมีคุณสมบัติดูดซับบนพื้นผิวหรือพื้นผิวสัมผัสระหว่างเฟสของระบบเมื่อมีความเข้มข้นภายในระบบไม่สูงมากนัก และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระ (Interfacial free energies) ซึ่งใช้ในการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสนั้น ซึ่งโดยปกติแล้วสารลดแรง-ตึงผิวจะเข้าไปลดพลังงานอิสระดังกล่าว โครงสร้างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวประกอบด้วย ส่วนหัวซึ่งชอบละลายน้ำ (Hydrophilic head group) และส่วนหางซึ่งไม่ชอบละลายน้ำ (Hydrophobic tail group) โดยปกติแล้วส่วนหัวจะเป็นส่วนที่มีขั้วหรือมีประจุและส่วนหางจะเป็นสารจำพวกไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาว

ในปัจจุบันสารลดแรงตึงผิวซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีอยู่หลากหลายประเภทและมีการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วง 50 ปีที่ผ่านมา โดยมีปริมาณการผลิตทั่วโลกประมาณ 150,000-200,000 ตันต่อปี ในบรรดาสารลดแรงตึงผิวซึ่งใช้อยู่ในปัจจุบัน สารลดแรงตึงผิวจำพวกโมโนกลีเซอไรด์และอนุพันธ์ (Mono-diglyceride and their derivatives) มีปริมาณการผลิตทั่วโลกสูงสุดประมาณ 75 % ของปริมาณสารลดแรงตึงผิวทั่วโลก

เมื่อนำสารลดแรงตึงผิวมาละลายในน้ำ ค่า HLB (Hydrophilic-Lipophilic Balance) จะเป็นค่าตัวเลขหนึ่งซึ่งบ่งบอกความสามารถของสารลดแรงตึงผิวดังกล่าวในการละลายน้ำดังตาราง

HLB range	
1-4	No dispersibility in water
3-6	Poor dispersion
6-8	Milky dispersion after vigorous agitation
8-10	Stable milky dispersion
10-13	Translucent to clear dispersion
13+	Clear solution

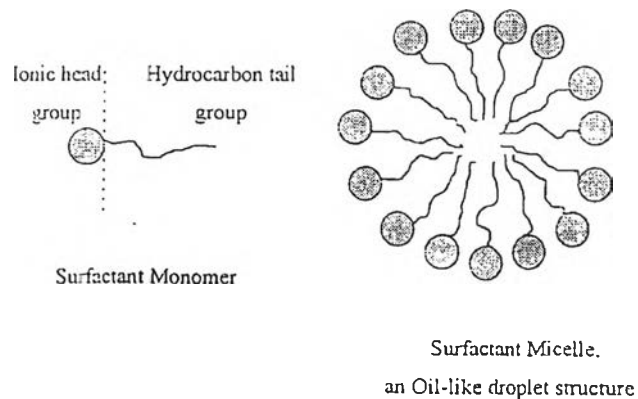
ตารางที่ 2.4 แสดงชนิดของสารลดแรงตึงผิวประเภทต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมอาหารพร้อมทั้งค่าHLB

ประเภทสารลดแรงตึงผิว	ค่า HLB
1. Mono and Diglycerides of fatty acid เช่น	<7
- Glycerol monostearate	3.8
- Glycerol monolaurate	5.3
2. Organic acid esters of monoglycerides เช่น	
- Acetic acid esters of monoglyceride	5.5
- Citric acid esters of monoglyceride	4.5
- Diacetyl tartaric acid esters of monoglyceride	8.0
3. Polyglycerol esters of fatty acid	ไม่กระจายตัวในน้ำ
4. Propylene glycol esters of fatty acid เช่น	
- Propylene glycol monolaurate	4.5
- Propylene glycol monostearate	3.4
5. Sucrose esters of fatty acid เช่น	
- Sucrose monostearate	14
- Sucrose monolaurate	15
6. Sorbitan esters of fatty acid เช่น	
- Sorbitan monostearate	4.7
- Sorbitan tristearate	2.1
7. Polyoxyethylene sorbitane ester (Polysorbate) เช่น	
- PS-60	14.9
- PS-65	10.5
- PS-80	15.0



### 2.6.1 การรวมตัวในรูปของไมเซลล์ (Micellization)

เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมีค่าต่ำ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะกระจายตัวอยู่อย่างอิสระทั่วทั้งสารละลาย (monomer) แต่เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมีค่าสูงถึงค่าหนึ่ง โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะเกิดการรวมตัวกัน ในลักษณะที่หันส่วนหัวที่มีขั้วเข้าหาหน้า และหันส่วนหางซึ่งไม่มีขั้วเข้าหากัน เรียกว่า ไมเซลล์ (Micelle) การเรียงตัวของโมเลกุลในลักษณะดังกล่าวเพื่อเพิ่มแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลส่วนหางและลดแรงผลักระหว่างโมเลกุลส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิว ดังรูปข้างล่าง ความเข้มข้นเริ่มแรกของการเกิดไมเซลล์ในสารละลายนี้เรียกว่า ความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์ (Critical Micelle Concentration :CMC) ที่ความเข้มข้นสูงกว่าค่า CMC ค่าความเข้มข้นของโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวอิสระจะมีค่าเกือบคงที่ เนื่องจาก สารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่ที่ถูกเติมลงในสารละลายจะรวมตัวกันเกิดเป็นไมเซลล์



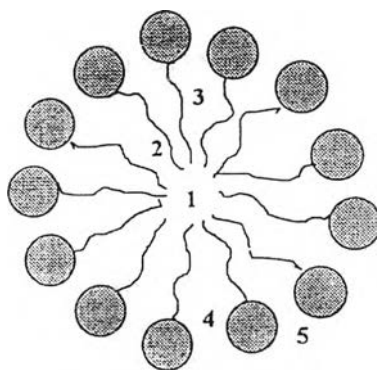
รูปที่ 2.4 แสดงการจัดเรียงตัวของไมเซลล์ในสารละลาย

ขนาดของไมเซลล์ขึ้นอยู่กับจำนวนโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวใน 1 ไมเซลล์ (aggregation number) โดยปกติมีค่าประมาณ 20-200 โมเลกุล ไมเซลล์มีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ลักษณะโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว, จำนวนโมเลกุลในไมเซลล์, อุณหภูมิของสารละลาย เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น สารโซเดียม โดเดซิล ซัลเฟต ไมเซลล์มีรูปร่างเป็นทรงกลมมีจำนวนสารลดแรงตึงผิวใน 1 ไมเซลล์ ประมาณ 70 โมเลกุล

นอกจากนั้นแล้วเมื่อเกิดการรวมตัวกันเป็นไมเซลล์ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ของสารละลายอย่างกะทันหัน ยกตัวอย่างเช่น ความตึงผิว (Surface tension), การนำไฟฟ้า (Conductivity), ความดันออสโมติก (Osmotic pressure) เป็นต้น

## 2.6.2 การละลายของสารละลายลดแรงตึงผิว (Solubilization of surfactant solution)

การละลายเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของสารลดแรงตึงผิวซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการรวมตัวในรูปของไมเซลล์ โดยความสามารถในการละลายสารอินทรีย์ของสารละลายลดแรงตึงผิวจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวสูงกว่าค่า CMC ซึ่งเกิดการรวมตัวกันของสารลดแรงตึงผิวอยู่ในรูปของไมเซลล์ สารอินทรีย์แต่ละชนิดจะถูกละลายเข้ามาอยู่ในไมเซลล์ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะโมเลกุลของสารอินทรีย์ ยกตัวอย่างเช่น โมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอนไฮโดรเจน หรือวง จะละลายอยู่ระหว่างส่วนปลายของหางสารลดแรงตึงผิว, โมเลกุลสารมีขั้วขนาดใหญ่ เช่น แอลกอฮอล์ไฮยาเว ส่วนใหญ่จะละลายอยู่ระหว่างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว โดยหันส่วนมีขั้วเข้าหาน้ำ และ โมเลกุลของของสารมีขั้วขนาดเล็ก ส่วนใหญ่จะละลายอยู่บนพื้นผิวระหว่างไมเซลล์กับน้ำ เป็นต้น



- 1 - Inner core of micelle
- 2 - Deep penetrate in palisade layer
- 3 - Short penetrate in palisade layer
- 4 - Between the hydrophilic head groups
- 5 - In the micelle solvent interface

### รูปที่ 2.5 แสดงตำแหน่งการละลายของสารอินทรีย์ภายในไมเซลล์

ในปัจจุบันมีการนำคุณสมบัติการละลายดังกล่าวข้างต้นไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางยกตัวอย่างเช่น การกำจัดคราบไขมันของผงซักฟอก การกำจัดโลหะหนักบางชนิดออกจากน้ำ เช่น โครเมียม การผลิตสินค้าในรูปสารละลายซึ่งมีสารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้เป็นองค์ประกอบ การชะล้างสารอินทรีย์ที่เกาะติดอยู่บนถ่านกัมมันต์ออกเพื่อนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น

### 2.6.3 งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับสารลดแรงตึงผิว

Uck Tae Yeom และคณะ (1995) [27] ศึกษาการสกัดสารจำพวกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAH) จากดินในโรงงานผลิตก๊าซที่นิวยอร์ก (Manufactured gas plant) ด้วยสารละลาย Tween 80, Triton X-100 (Triton X-100), Brij 35 (Brij 35) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุ ที่ค่าความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นในการรวมตัวกันเป็นไมเซลล์ (CMC) พร้อมทั้งสร้างแบบจำลองสมดุลเพื่อทำนายความสามารถในการละลายของสาร PAH จากดินไปยังสารละลายลดแรงตึงผิว

จากผลการศึกษาพบว่า สาร PAH ถูกสกัดออกจากดินได้มากถึง 25% ของปริมาณที่มีอยู่เมื่อทำการสกัดสารในถังกวนแบบกะ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อดิน เท่ากับ 0.3 กรัม : 3 กรัม และระยะเวลาการสกัด 16 วัน และพบว่า เมื่อเพิ่มค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวจะช่วยให้สกัดสาร PAH ออกจากดินได้มากขึ้น แต่เวลาสู่สมดุลในการสกัดจะมากขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่า กฎของราอูลท์ (Raoult's law) สามารถอธิบายการแบ่งแยกของสาร PAH ระหว่างสารละลายลดแรงตึงผิวกับดินได้เป็นอย่างดี และแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถทำนายความสามารถในการละลายของสาร PAH จากดินได้ดี เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมีค่าต่ำ

สุภิรักษ์ (1997) [29] ได้ศึกษากระบวนการนำเอาถ่านกัมมันต์ที่อิ่มตัวด้วยสารอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่โดยใช้สารลดแรงตึงผิว (Surfactant-Enhanced Carbon Regeneration :SECR)

SECR เป็นเทคนิคใหม่ในการดึงสารอินทรีย์ออกจากถ่านกัมมันต์โดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิวเข้มข้น เมื่อสารละลายไหลผ่านถ่านกัมมันต์สารอินทรีย์จะถูกดึงออกจากผิวถ่านและละลายอยู่ในไมเซลล์ ที่เกิดจากการรวมตัวกันของสารลดแรงตึงผิวประมาณ 50-150 โมเลกุลต่อ 1 ไมเซลล์ หลังจากนั้นทำการล้างด้วยน้ำเพื่อกำจัดสารลดแรงตึงผิวที่เกาะอยู่บนพื้นผิวถ่าน

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่มีต่อประสิทธิภาพการนำเอาถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่ โดยใช้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ค่อนข้างต่ำ สารอินทรีย์ดังกล่าวได้แก่ ฟีนอล และสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ โซเดียม โดเดซิล ซัลเฟต (Sodium Dodecyl Sulfate :SDS) ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลที่ใช้ ได้แก่ 10,20,30 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเริ่มแรกให้สารละลายฟีนอล ไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุถ่านกัมมันต์ไว้จนอิ่มตัว หลังจากนั้นทำการผ่านสารละลายโซเดียม โดเดซิล ซัลเฟต เป็นระยะเวลา 50 ชั่วโมง พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลในสารละลายขาออกด้วยเทคนิค HPLC หลังจากนั้นทำการทดสอบการดูดซับถ่านกัมมันต์ใหม่อีกครั้ง

จากผลการศึกษาพบว่า สารฟีนอลถูกชะล้างออกจากถ่านกัมมันต์ ได้สูงสุด 38 % เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล 30 มิลลิกรัมต่อลิตรและถูกชะล้างออกได้ 35 % ,26 % เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล 20 และ 10 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่มากนักเนื่องจาก สารลดแรงตึงผิวบางส่วนมีการตกตะกอนเกิดขึ้นจึงทำให้จำนวนไมเซลล์น้อยลง และพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการชะล้างมีประสิทธิภาพการดูดซับค่อนข้างต่ำ

Gecol และคณะ (1998) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดหมึกพิมพ์ซึ่งมีน้ำเป็นตัวทำละลาย (Water-base ink) จากถุงพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีนโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดที่ไม่มีประจุชนิดต่าง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

จากการศึกษาพบว่า ตัวแปรสำคัญที่กำหนดประสิทธิภาพการกำจัดหมึกพิมพ์โดยสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ มี 2 ตัวแปร ตัวแปรแรก คือ Hydrophilic-Lyophilic Balance value ซึ่งเป็นค่าตัวเลขบอกความสามารถในการละลายของสารลดแรงตึงผิวในน้ำเปรียบเทียบกับสารไม่มีขั้ว เช่นหมึกสี ตัวแปรที่ 2 คือ Cloud point ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ไมเซลล์เกิดการรวมตัวกันมากจนกระทั่งเกิดการแยกเฟสออกจากสารละลาย อีกทั้งพบว่า การตัดถุงพลาสติกเป็นชิ้นเล็ก ๆ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีหมึกและ สาร Ethoxylated amine เป็นสารลดแรงตึงผิวที่สามารถกำจัดหมึกสีได้ทั้งสภาวะที่สารละลายเป็นกรด,กลาง,เบส

ในปีเดียวกัน Gecol และคณะ ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีหมึกพิมพ์ที่ใช้สารอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย (Solvent-base ink) จากถุงและบรรจุภัณฑ์พลาสติกโพลีเอทิลีนโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่าง ๆ จากการศึกษพบว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีประจุลบ (Cationic surfactants) มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีหมึกสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายลดแรงตึงผิวชนิดอื่น และพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมควรมีค่าสูงกว่า 11.5

ชุย ชุย มิน (1999) [29] ได้ทำการศึกษาวิธีการกำจัดหมึกสีที่ใช้สารอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย ออกจากขวดพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ในขบวนการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อการกำจัดหมึกสี ปัจจัยดังกล่าวได้แก่ ชนิดสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด ค่าความเป็นกรด-เบส ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว โดยในการสกัดขวดพลาสติกจะถูกหั่นเป็นชิ้นเล็กๆและเขย่าให้เข้ากับสารละลายลดแรงตึงผิว หลังจากนั้นทำการตรวจวัดประสิทธิภาพในการกำจัดหมึกสีโดยเครื่อง ATR-FTIR spectroscopy สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ N-hexadecyl trimethyl ammonium bromide ,Sodium dodecyl sulfate , Polydisperse nonylphenol polyethoxylate ,ค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 10-12

จากผลการศึกษาพบว่า สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกให้ประสิทธิภาพในการกำจัดหมึกสีดีกว่าสารลดแรงตึงผิวอีก 2 ชนิด โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดหมึกสีสูงสุด ที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวสูงกว่าค่า ซีเอ็มซี และความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 12 นอกจากนี้ยังพบว่าการแช่ขูดพลาสติกในสารละลายลดแรงตึงผิวช่วงระยะเวลาหนึ่ง ก่อนทำการปั่นกรองจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดหมึกสี สำหรับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบพบว่า จะมีประสิทธิภาพการกำจัดหมึกสีต่ำสุด

Qun Fang และคณะ(2000) [30] ทำการศึกษาการสกัดสารจินเซโนไซด์ (ginsenosides) จากรากขิงด้วยสารละลาย ทริทอน X-100 และ ทริทอน X-114 เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสกัด (%Recovery) กับปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการสกัด ปัจจัยดังกล่าว ได้แก่ เวลาการสกัด (0.5-8.0 ชม.) , อุณหภูมิการสกัด (20,30,40,60,65 องศาเซลเซียส) , ความเข้มข้นของสารทริทอน X-100, ทริทอน X-114 (0.5,1,5,10,20,30%) อัตราส่วนรากขิงต่อปริมาตรตัวทำละลาย ในงานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคใหม่ที่เรียกว่า Uniform Design (UD) ซึ่งช่วยลดจำนวนการทดลองลงไปมาก

นอกจากนั้นแล้วยังทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดสารจินเซโนไซด์ระหว่างสารละลายทริทอน X-100,เมทานอล น้ำ โดยคำนึงถึงความสามารถในการสกัดสาร (Extraction recovery) และจลนพลศาสตร์การสกัด (Extraction kinetics) เป็นหลัก งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้เทคนิค HPLC, UV absorbance

จากผลการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว อุณหภูมิ-การสกัด อัตราส่วนระหว่างรากขิงต่อปริมาตรตัวทำละลาย กับ เปอร์เซ็นต์การสกัดเป็นแบบเชิงเส้นและ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการสกัดกับเปอร์เซ็นต์การสกัดเป็นแบบลอการิทึม ดังสมการ

$$R(\%) = 83.4 + 0.2835C + 0.009945V(\log t) \quad : \text{TritonX-114}$$

$$R(\%) = 83.4 + 0.1874V + 0.004302C * T + 1.539(\log t) \quad : \text{TritonX-100}$$

และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดสารระหว่างตัวทำละลายต่างชนิดกันพบว่าสารละลายทริทอนX-100 สามารถสกัดสารจินเซโนไซด์ออกจากรากขิงได้มากที่สุด(highest recovery) และมีจลนพลศาสตร์การสกัดที่เร็วที่สุด (fastest extraction kinetics)