

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดาหลา

ดาหลา (Torch ginger) เป็นพืชล้มลุกชนิดหนึ่งซึ่งมีดอกสวยงาม มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Etilingera elatior* (Jack) R.M. Smith อยู่ในสกุล *Etilingera* ของพืชวงศ์ขิง (Zingiberaceae) ดาหลาเป็นพืชที่จัดอยู่ในวงศ์ขิง เช่น ขิง ข่า ขมิ้น ดาหลา และไพล เป็นต้น ดาหลามีมากกว่า 100 สปีชีส์ ที่มีศูนย์กลางการเติบโตและกระจายพันธุ์อยู่ในทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ไทย อินโดนีเซีย เวียดนาม มาเลเซีย และอีกหลากหลายประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เนื่องจากเป็นเขตอบอุ่นที่มีความชื้นสูง ดาหลามีชื่อเรียกมากมาย ส่วนมากรู้จักกันในชื่อ *Etilingera elatior* (*E. elatior*) หรือ Torch ginger ในประเทศไทยเรียกว่า ดาหลา หรือ กะลา ในคาบสมุทรมมาเลเซีย เรียกว่า bungakantan ในอินโดนีเซียเรียกว่า Bunkakecombrang หรือ Honge และใน Karo รู้จักกันในชื่อ Asamcekala เนื่องจากมีลักษณะคล้ายคอบเพลิง ดาหลาเป็นพืชที่ปลูกเป็นไม้ประดับตามบ้าน และสามารถรับประทานได้หลากหลายชนิด โดยให้รสชาติเผ็ดร้อนในอาหาร หรือใช้รับประทานเพื่อรักษาโรค ดอกดาหลามีปริมาณสารทางโภชนาการที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และเส้นใย นอกจากนี้ดอกดาหลายังมีแร่ธาตุที่สำคัญ เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ดอกดาหลาจึงถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารของคาบสมุทรมมาเลเซีย ผลของดาหลาถูกนำมาใช้รักษาอาการปวดหู ใบถูกนำมาใช้ในการทำความสะอาดแผล หากผสมใบของต้นดาหลากับสมุนไพรชนิดอื่น ที่มีกลิ่นหอมกับน้ำ สามารถนำมาใช้ดับกลิ่นตัวได้ (Subramanion et al., 2010) สารสกัดจากดาหลามีฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากผลจากการศึกษาองค์ประกอบทางเภสัชวิทยา พบว่าดาหลามีประสิทธิภาพในการรักษาโรค สารสกัดจากดาหลาจึงถูกนำไปใช้ประโยชน์ทางเครื่องสำอาง โดยใช้เป็นส่วนประกอบในการทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น สบู่ แชมพู และน้ำหอม เป็นต้น (Subramanion et al., 2010)

กระบวนการดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) เป็นปรากฏการณ์การสะสมสารประกอบอย่างน้อยหนึ่งชนิดบนบริเวณผิวร่วม (Interface) ระหว่างวัฏภาค (Phase) เช่น ของเหลวกับของเหลว แก๊สกับของเหลว แก๊สกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง (เดชา ฉัตรศิริเวช, 2552) โดยเรียกสารที่ทำหน้าที่ดูดซับว่า วัสดุดูดซับ หรือตัวดูดซับ (Adsorbent) และเรียกสารที่ถูกดูดซับว่า สารถูกดูดซับ หรือตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) การดูดซับที่นิยมมากมี 2 วิธี คือ วิธีการแบบแบทช์ หรืออาจเรียกว่าแบบกะ (Batch) และวิธีการแบบคอลัมน์ (Column) สำหรับวิธีการแบบกะ มีหลักการคือ เขย่าให้เฟสของแข็งกระจาย

ตัวอยู่ในสารละลายตลอดเวลา เพื่อให้ตัวถูกละลายที่ละลายในตัวทำละลายกระจายไปสู่เฟสของแข็ง วิธีการแบบกะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หรืออนของโลหะมากที่สุด เพราะทำได้สะดวก ไม่มีข้อจำกัดของเวลา เนื่องจากสามารถเขย่าให้เฟสของแข็งกระจายตัวอยู่ในสารละลายได้ตลอดเวลา อย่างไรก็ตามวิธีการแบบกะก็มีข้อเสีย คือ ทำให้ไม่สะดวกต่อการชะสารที่ถูกดูดซับบนเฟสของแข็ง เพราะต้องมีการกรอง หรือปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) เพื่อแยกสารละลายที่ชะได้ออกจากเฟสของแข็ง สำหรับวิธีการแบบคอลัมน์ มีหลักการคือ ให้สารละลายไหลผ่านคอลัมน์อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ตัวถูกละลายที่ละลายในตัวทำละลายกระจายไปสู่เฟสของแข็งที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ ทำให้สารละลายสัมผัสกับเฟสของแข็งได้ วิธีการแบบคอลัมน์ มีข้อดีคือ ง่ายต่อการชะสารที่ถูกดูดซับออกจากเฟสของแข็ง

1. กลไกของกระบวนการดูดซับ

การดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างเฟสของเหลว-ของเหลว เฟสแก๊ส-ของเหลว เฟสแก๊ส-ของแข็ง และเฟสของเหลว-ของแข็ง ในการดูดซับสารถูกดูดซับที่บริเวณผิวของวัสดุดูดซับ โมเลกุลของสารถูกดูดซับส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของวัสดุดูดซับ โดยลักษณะการเกาะติดหรือการดูดซับของสารถูกดูดซับที่ผิวของวัสดุดูดซับ จะเป็นปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับ ซึ่งสามารถพิจารณาจากแรงขับเคลื่อน (Driving force) สองแบบ ที่ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี ดังนี้

การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces) แรงแวนเดอร์วาลส์ เกิดจากการรวมแรงสองชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) การดูดซับทางกายภาพจึงเป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงที่อ่อน ทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ง่าย การดูดซับทางกายภาพ สามารถเกิดการดูดซับได้หลายชั้น โดยสารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของสารถูกดูดซับจะเกาะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นของการดูดซับจะขึ้นกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ หรือจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) เป็นการดูดซับที่เกิดจากการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น นั่นคือ การดูดซับทางเคมีเกิดจากสารถูกดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การเปลี่ยนแปลงของพันธะเคมี ซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง และมีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ค่าความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงถึง 50-400 กิโลจูลต่อโมล แสดงว่าการกำจัดสารถูกดูดซับออก

จากบริเวณผิวของวัสดุดูดซับจะทำได้ยาก จึงไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (Irreversible) การดูดซับประเภทนี้เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer)

2. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

สารถูกดูดซับสามารถเกาะติดบนผิวของวัสดุดูดซับได้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ 1) สมบัติของสารถูกดูดซับ ได้แก่ การละลาย น้ำหนัก และขนาดโมเลกุล 2) สมบัติของวัสดุดูดซับ ได้แก่ พื้นที่ผิว (Surface area) โครงสร้างของรูพรุน (Pore structure) ขนาดของสารดูดซับ หรือวัสดุดูดซับ และหมู่ฟังก์ชันทางเคมีที่ผิวหน้า (เดชา ฉัตรศิริเวช, 2552)

3. สถานะสมดุลการดูดซับ

สถานะสมดุลการดูดซับ (Equilibrium adsorption) เมื่อเกิดการดูดซับตัวถูกละลายจะเคลื่อนที่ออกจากสารละลายไปเกาะอยู่บนผิวของวัสดุดูดซับ ทำให้ที่ผิวหน้าของวัสดุดูดซับมีปริมาณของตัวถูกละลายหรือสารถูกดูดซับเพิ่มขึ้น (ชัยยศ ตั้งสฤตกุลชัย, 2554) โดยการดูดซับจะดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ แต่ยังไม่ได้ค่าความจุสูงสุด (Maximum capacity) หรือปริมาณการดูดซับที่จุดสมดุล เพราะมีผลของการถ่ายเทมวลสารเข้ามาเกี่ยวข้องกับการสัมผัสระหว่างสารละลาย และของแข็ง ทำให้ตัวถูกละลายหรือสารถูกดูดซับเกิดการดูดซับและการคายการดูดซับไปพร้อม ๆ กัน จนกระทั่งการดูดซับเข้าสู่สมดุล คือ อัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายการดูดซับ ซึ่งเรียกว่า ระบบเข้าสู่สถานะสมดุลของการดูดซับ (Equilibrium adsorption) ณ อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง ที่สถานะสมดุลนี้ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายกับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าของวัสดุดูดซับจะมีค่าคงที่ สามารถอธิบายสมดุลที่เกิดขึ้นด้วยไอโซเทอร์มการดูดซับ

4. ไอโซเทอร์มการดูดซับ

ไอโซเทอร์มการดูดซับ (Adsorption isotherm) คือ กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักหนึ่งกรัมของวัสดุดูดซับ (ชัยยศ ตั้งสฤตกุลชัย, 2554) ไอโซเทอร์มการดูดซับที่นิยมใช้กันมากมีสองไอโซเทอร์ม ได้แก่ ไอโซเทอร์มแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) และไอโซเทอร์มฟรอยด์ลิช (Freundlich isotherm)

1) สมการไอโซเทอร์มแลงเมียร์ เป็นไอโซเทอร์มที่ง่ายที่สุดที่ใช้กันมากสำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียวและเป็นการดูดซับทางเคมี ซึ่งเกิดการดูดซับมาจากสมมติฐาน ดังนี้ โมเลกุลจะถูกดูดซับบนพื้นที่ที่จำกัดของผิวตัวดูดซับ แต่ละพื้นที่ของตัวดูดซับเหมาะกับโมเลกุลที่เป็นแบบชั้นเดียว (Monolayer) พื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะจำกัดปริมาณของโมเลกุลที่จะดูดซับ พลังงานของการดูดซับจะเหมือนกันทุก ๆ พื้นที่ของตัวดูดซับ โมเลกุลที่จะถูกดูดซับไม่สามารถที่จะย้ายข้ามผิวหรือเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลข้างเคียงได้ จากสมมติฐานต่าง ๆ สามารถเขียนเป็นสมการไอโซเทอร์มแลงเมียร์ ได้ดังนี้

$$\frac{1}{q_e} = \left(\frac{1}{q_{\max} K_L C_e} \right) + \left(\frac{1}{q_{\max}} \right) \dots\dots\dots(1)$$

- เมื่อ q_e = ปริมาณที่ถูกดูดซับที่สภาวะสมดุลต่อตัวดูดซับหนึ่งกรัม (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 q_{\max} = ปริมาณการดูดซับสูงสุดบนพื้นผิวตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 K_L = ค่าคงที่ของแลงเมียร์ (มิลลิลิตรต่อมิลลิกรัม)

2) สมการไอโซเทอร์มฟรอยด์ลิช เป็นไอโซเทอร์มการดูดซับที่ใช้สำหรับการดูดซับบนพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ (เดซา ฉัตรศิริเวช, 2552) สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับสารละลายบนผิวของแข็ง ได้ดังสมการ

$$\log q_e = \log K_F + \left(\frac{1}{n} \log C_e \right) \dots\dots\dots(2)$$

- เมื่อ q_e = ปริมาณที่ถูกดูดซับที่สภาวะสมดุลต่อตัวดูดซับหนึ่งกรัม (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 C_e = ความเข้มข้นของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 K_F = ค่าคงที่ของฟรอยด์ลิช (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 $1/n$ = ความจุของการดูดซับ (มิลลิลิตรต่อมิลลิกรัม)

5. การหาค่าปริมาณการดูดซับ

การคำนวณหาปริมาณการดูดซับ คำนวณได้ดังสมการ

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) V}{W} \dots\dots\dots(3)$$

- เมื่อ q_e = ปริมาณที่ถูกดูดซับที่สภาวะสมดุลต่อตัวดูดซับหนึ่งกรัม (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 C_e = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 V = ปริมาณของของวิตามิน บี3 (ลิตร)
 W = ปริมาณของตัวดูดซับ (กรัม)

เทอร์โมไดนามิกส์

ทฤษฎีเทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับ (Thermodynamics of adsorption) ศึกษาเกี่ยวกับพลังงาน (Energy) ของกระบวนการดูดซับ เช่น การเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ เมื่อเกิดกระบวนการดูดซับ

1. ตัวแปรเอนทาลปี

ตัวแปรเอนทาลปี (Enthalpy) ใช้สัญลักษณ์ H เป็นตัวแปรชนิดหนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ ที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม สำหรับกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นแล้วมีการถ่ายเทพลังงานให้กับสิ่งแวดล้อม เรียกว่า กระบวนการดูดซับแบบคายความร้อน (Exothermic process) ในทางตรงกันข้าม ถ้ากระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นแล้วมีการรับพลังงานจากสิ่งแวดล้อม เรียกว่า กระบวนการดูดซับแบบดูดความร้อน (Endothermic process) โดยตัวแปรเอนทาลปีของกระบวนการดูดซับสามารถบอกได้ว่า กระบวนการดูดซับนั้นเป็นกระบวนการดูดซับแบบดูดหรือคายความร้อน ดังนี้ กรณี $\Delta H > 0$ หมายถึง กระบวนการดูดซับแบบดูดความร้อน ส่วน $\Delta H < 0$ หมายถึง กระบวนการดูดซับแบบคายความร้อน

2. ตัวแปรเอนโทรปี

ตัวแปรเอนโทรปี (Entropy) ใช้สัญลักษณ์ S เป็นตัวแปรชนิดหนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ ที่ใช้ศึกษาความเป็นระเบียบหรือไม่เป็นระเบียบของสารหรือระบบ โดยเอนโทรปีเป็นค่าที่อธิบายถึงความไม่เป็นระเบียบ ถ้าเอนโทรปีมีค่ามากจะหมายถึงความไม่เป็นระเบียบมาก ในทางตรงกันข้าม ถ้าเอนโทรปีมีค่าน้อยจะหมายถึงความเป็นระเบียบ ซึ่งความไม่เป็นระเบียบหรือความเป็นระเบียบ มีความสัมพันธ์กับความน่าจะเป็นในการเกิดขึ้นเองได้หรือเกิดขึ้นเองไม่ได้ของระบบ โดยระบบที่มีความไม่เป็นระเบียบ ค่าเอนโทรปีมาก จะแสดงถึงความน่าจะเป็นในการเกิดขึ้นเองได้ของระบบ ในขณะที่ระบบที่มีความเป็นระเบียบ ค่าเอนโทรปีน้อย จะแสดงถึงความน่าจะเป็นในการเกิดขึ้นเองไม่ได้ของระบบ ดังนี้ กรณี $\Delta S > 0$ หมายถึง กระบวนการดูดซับเกิดแบบไม่มีระเบียบ โดยกระบวนการดูดซับมีความน่าจะเป็นในการเกิดขึ้นเองได้ ส่วน $\Delta S < 0$ หมายถึง กระบวนการดูดซับเกิดแบบมีระเบียบ โดยกระบวนการดูดซับมีความน่าจะเป็นที่ไม่สามารถเกิดขึ้นเอง

3. พลังงานอิสระของกิบส์

ตัวแปรพลังงานอิสระของกิบส์ (Gibbs's free energy) ใช้สัญลักษณ์ G เป็นตัวแปรชนิดหนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ ที่ใช้บ่งบอกว่ากระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เองหรือไม่ โดยเรียกกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เองว่า Spontaneous process ซึ่ง

กระบวนการที่เกิดขึ้นได้เองนั้นเกิดจากการลดพลังงานของระบบลงเหมือนกับการเผาไหม้ที่เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน และเรียกกระบวนการที่เกิดขึ้นเองไม่ได้ว่า Nonspontaneous process การหาค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระ เมื่ออุณหภูมิคงที่ กรณี $\Delta G < 0$ หมายถึง กระบวนการที่สามารถเกิดขึ้นได้เองในทิศทางไปข้างหน้า $\Delta G > 0$ หมายถึง กระบวนการที่ไม่สามารถเกิดขึ้นเองในทิศทางไปข้างหน้า แต่สามารถเกิดขึ้นได้เองในทิศทางย้อนกลับ

การคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี ที่สภาวะมาตรฐาน (ΔH°) การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี ที่สภาวะมาตรฐาน (ΔS°) และการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์ ที่สภาวะมาตรฐาน (ΔG°) ดังนี้

$$K_c = \frac{C_{ac}}{C_e} \dots\dots\dots(4)$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_c \dots\dots\dots(5)$$

$$\log K_c = \left(\frac{\Delta S^\circ}{2.303 R} \right) - \left(\frac{\Delta H^\circ}{2.303 RT} \right) \dots\dots\dots(6)$$

- เมื่อ K_c = ค่าคงที่
 C_{ac} = ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
 C_e = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อร้อยมิลลิลิตร)
 T = อุณหภูมิ (เคลวิน) เท่ากับ ($^\circ\text{C} + 273.15 \text{ K}$)
 R = ค่าคงที่ของแก๊ส (8.314 จูลต่อโมล-เคลวิน)
 ΔH° = การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี ที่สภาวะมาตรฐาน (กิโลจูลต่อโมล)
 ΔS° = การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี ที่สภาวะมาตรฐาน (จูลต่อโมล-เคลวิน)
 ΔG° = การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์ ที่สภาวะมาตรฐาน (กิโลจูลต่อโมล)

จลนพลศาสตร์ของการดูดซับ

จลนพลศาสตร์ของการดูดซับ (Kinetics of adsorption) ศึกษาเกี่ยวกับอัตราเร็วของการดูดซับ ซึ่งเกี่ยวข้องกับอัตราการเพิ่มขึ้นของสารผลิตภัณฑ์ หรืออัตราการลดลงของสารตั้งต้น เมื่อเวลาของปฏิกิริยาดำเนินผ่านไป การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับส่วนใหญ่มักศึกษาหาอันดับของปฏิกิริยา โดยสมการปฏิกิริยาที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ สมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม และสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียม เป็นต้น

1. สมการอันดับหนึ่งเทียม

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo first-order reaction) คือ ปฏิกิริยาที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังหนึ่ง โดยมีการกำหนดให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เหลือที่มีความเข้มข้นมาก ๆ เป็นค่าคงที่ เนื่องจากเวลาที่ดำเนินไปของปฏิกิริยา ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นดังกล่าว อันดับของปฏิกิริยาลดลงเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{k_1 t}{2.303} \right) \dots\dots\dots(7)$$

2. สมการอันดับสองเทียม

ปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (Pseudo second-order reaction) คือ ปฏิกิริยาที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังสอง โดยมีการกำหนดให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เหลือที่มีความเข้มข้นมาก ๆ เป็นค่าคงที่ เนื่องจากเวลาที่ดำเนินไปของปฏิกิริยา ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นดังกล่าว อันดับของปฏิกิริยาจะลดลงเป็นปฏิกิริยาอันดับสองเทียม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{t}{q_t} = \left(\frac{1}{k_2 q_e^2} \right) + \frac{t}{q_e} \dots\dots\dots(8)$$

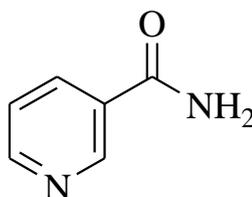
- เมื่อ
- q_e = ปริมาณการดูดซับวิตามิน บี3 ที่ภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 - q_t = ปริมาณการดูดซับวิตามิน บี3 ณ เวลาใด ๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 - k_1 = ค่าคงที่ของสมการอันดับหนึ่งเทียม (หนึ่งส่วนนาที)
 - k_2 = ค่าคงที่ของสมการอันดับสองเทียม (กรัมต่อกรัม-นาที)

เครื่องสำอาง

เครื่องสำอาง (Cosmetic) ผลิตภัณฑ์สิ่งปรุงที่ผลิตขึ้นมา เพื่อใช้บนผิวหนัง หรือส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกาย โดยมีจุดประสงค์ในการใช้ทำความสะอาดร่างกาย บำรุง หรือส่งเสริมให้ร่างกายเกิดความสวยงาม หรือดูดีขึ้น ดังนั้น ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจึงจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับส่วนต่าง ๆ ของร่างกายมนุษย์ในชีวิตประจำวัน เพื่อให้ร่างกายสะอาด สวยงาม รวมทั้งเพิ่มความมั่นใจให้กับผู้ใช้ (พิมพ์พร ลีลาพรพิสิฐ, 2551)

สารให้ความขาว

การเกิดสีผิวตามธรรมชาติในร่างกาย (พิมพ์พร ลีลาพรพิสิฐ, 2551) ปกติผิวหนังซึ่งทำหน้าที่ปกคลุมและปกป้องร่างกาย จะมีกระบวนการสร้างเม็ดสีผิว หรือ เมลานิน (Melanin pigments) เพื่อทำหน้าที่เป็นทหารป้องกันผิวหนังจากสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากแสงแดดมิให้เกิดการเผาไหม้หรือบวมแดง (Sunburn) โดยเมลานินหรือเม็ดสีเหล่านี้จะดูดซับรังสียูวี ในแสงแดดเอาไว้ ในปัจจุบันสารขจัดสีผิวหรือสารทำให้ผิวขาวที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น กรดอะเซลาอิก (Azelaic acid) อาร์บูติน (Arbutin) กรดโคจิก (Kojic acid) อนุพันธ์ของวิตามินซี กรดแลคติก (Lactic acid) กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) สารสกัดจากชะเอม (Licorice extract) สารสกัดจากหม่อน (Mulberry) นอกจากนี้ยังมีการมีเพื่อค้นคว้าหาสารใหม่ ๆ ที่ช่วยลดการสร้างเม็ดสีที่ผิว ตัวอย่างเช่น วิตามิน บี3 (Vitamin B3) หรือ ไนอะซินาไมด์ (Niacinamide) (วิบูลย์พงศ์ วรนิษฐาธร และศิริวรรณ กุระมะสุวรรณ, 2556) ซึ่งอยู่ในกลุ่มวิตามินบี หรือเรียกกันว่า ไนอะซิน (Niacin) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กรดนิโคตินิก (Nicotinic acid) จากงานวิจัยของ Hakozaiki และคณะ พบว่าไนอะซินาไมด์ ส่งผลให้เกิดความกระจ่างของผิวขึ้นใน 4-6 สัปดาห์ และจะมองเห็นความกระจ่างของผิวได้อย่างชัด ๆ ใน 4 สัปดาห์ (Hakozaiki et al., 2002) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอรัญญา จุติวิบูลย์สุข ที่กล่าวว่า วิตามิน บี3 มีบทบาทในการช่วยกระตุ้นการสร้างคอลลาเจน และลดปริมาณเม็ดสีที่ผิว ดังนั้น วิตามิน บี3 จึงเป็นสารที่มีบทบาทในการช่วยลดการสร้างเม็ดสีผิว ฟื้นฟูสภาพผิว และลดเลือนริ้วรอย โดยสารไนอะซินาไมด์ แสดงดังภาพที่ 2.1 ดังนี้



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างสารไนอะซินาไมด์

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเกี่ยวกับเส้นใย

ชาญชัย สิริเกษมเลิศ (2554) ศึกษาการนำเส้นใยจากลำต้นข่ามาพัฒนาเป็นวัสดุทางสิ่งทอ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอ คือ เส้นใย เส้นด้าย และผ้าผืน โดยการนำเส้นใยข่าซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยเดี่ยวที่ยึดเกาะกันอยู่แบบ Bundle และส่วนที่เป็นไขมัน กาว หรือเพกทิน (Pectin) ของข่าที่เป็นตัวยึดเกาะกลุ่มของเส้นใยข่าเข้าไว้ด้วยกัน เมื่อนำเส้นใยข่ามาทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่ามีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 0.96 นิวตัน และค่าความชื้นเท่ากับ 5.45 ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ส่วนผสมระหว่างใยข่ากับใยฝ้ายในอัตราส่วน 20:80 เพื่อให้ส่วนผสมของเส้นใยเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบในรูปของเส้นเงิน (Silver) แล้วเข้าสู่กระบวนการผลิตผ้าทอจากเส้นด้ายพิเศษ คือ โยผสมระหว่างใยข่าและใยฝ้าย การทอผ้าผืนใช้เครื่องทอชนิดเรเปียร์ (Rapier) จะได้ผ้าที่มีรูปลักษณะโดดเด่น เนื้อผ้ามีผิวสัมผัสที่นุ่ม เหมาะกับการตัดเย็บเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องนุ่งห่มและเคหะสิ่งทอได้เป็นอย่างดี

Wijekoon et al. (2011) ศึกษาส่วนประกอบของดอกดาหลา เพื่อระบุปริมาณสารทางโภชนาการ จากการศึกษาพบว่าดอกดาหลามีสารสำคัญทางโภชนาการ ได้แก่ โปรตีนร้อยละ 12.6 ไขมันร้อยละ 18.2 และปริมาณเส้นใยร้อยละ 17.6 กรดไขมันเป็นส่วนประกอบที่มีในปริมาณที่สูงในกรดไขมันไม่อิ่มตัว (กรดปาล์มมีโทเลอิกร้อยละ 16.4 > กรดไลโนเลอิกร้อยละ 14.5 > กรดโอเลอิกร้อยละ 5.2) มีกรดอะมิโนที่จำเป็น คือ กรดอะมิโนลิซีน 7.2 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิกรัมของโปรตีน และไลซีน 7.9 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิกรัมของโปรตีน ตามลำดับ ดอกดาหลามีแร่ธาตุที่สำคัญ เช่น โพแทสเซียม 1589 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม แคลเซียม 775 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม แมกนีเซียม 327 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ฟอสฟอรัส 286 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และกำมะถัน 167 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ผลจากการวิเคราะห์โลหะหนักต่าง ๆ ได้แก่ แคดเมียม สารหนู ตะกั่ว ปรอท และนิกเกิล อยู่ในระดับที่ต่ำ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าดอกดาหลาประกอบไปด้วยสารสำคัญและมีประโยชน์ทางโภชนาการ สามารถนำไปประกอบและทำเป็นผลิตภัณฑ์ทางอาหารชนิดต่าง ๆ

Syahrizul et al. (2012) ศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบสมบัติของเส้นใยข่า โดยใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวปรับสภาพของเส้นใยข่า (*Alpinia galanga*) โดยการแช่เส้นใยข่าลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลจากการทดสอบพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะสามารถเพิ่มความต้านทานแรงดึงของเส้นใยข่าได้ ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักด้วยความร้อน (Thermal gravimetric analysis; TGA) พบว่าสมบัติการต้านความร้อนของเส้นใยดีขึ้น โดยเส้นใยที่ถูกปรับสภาพด้วยต่างมีสมบัติทนความร้อนได้มากขึ้น ผลของภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน แสดงให้เห็นลักษณะพื้นผิวของเส้นใยที่มีลักษณะขรุขระเพิ่มขึ้น

Navarro et al. (2013) ศึกษาลักษณะโครงสร้างและลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ได้จากลำต้นของไม้ประดับสามชนิด ได้แก่ *Etlingera elatior*, *Costus comosus* และ *Heliconia bihai* จากการศึกษาโครงสร้างลำต้นของไม้ประดับทั้งสามชนิดนี้ พบว่าไม้ประดับทั้งสามชนิดนี้มีลักษณะของลำต้นที่ยาว ซึ่งในปัจจุบันไม่ได้มีการนำมาใช้ประโยชน์ใด ๆ ผลจากการศึกษาลักษณะโครงสร้างของเส้นใย พบว่าไม้ประดับทั้งสามชนิดมีค่าดัชนีผลึก (Crystalline index) ประมาณร้อยละ 58 และมีเสถียรภาพทางความร้อนถึงอุณหภูมิประมาณ 230, 240 และ 255 องศาเซลเซียส สำหรับ *Etlingera elatior*, *Costus comosus* และ *Heliconia bihai* ตามลำดับ เส้นใยของไม้ประดับทั้งสามชนิดนี้มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยน้อยกว่าร้อยละ 9 จากการตรวจวัดค่าการเสถียรภาพทางความร้อนขององค์ประกอบที่เป็นเซลลูโลส พบว่าการเสถียรภาพทางความร้อนของ *Etlingera elatior* เกิดที่อุณหภูมิ 358 องศาเซลเซียส และการเสถียรภาพทางความร้อนของ *Costus comosus* เกิดที่อุณหภูมิ 379 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่าเส้นใยของไม้ประดับทั้งสามชนิดนี้เป็นเส้นใยที่มีลักษณะยาว

การศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับ

Ahmad & Kumar (2008) ศึกษาเกี่ยวกับขิงซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับสารสีฟ้าที่มีอันตรายจากสารละลาย โดยวิธีการดูดซับแบบกะ ในการทดลองได้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระยะเวลาในการดูดซับ ความเข้มข้นของสีย้อม ปริมาณวัสดุดูดซับ และอุณหภูมิในการดูดซับ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับคือ พีเอชเท่ากับ 2 ผลจากการศึกษาปริมาณการดูดซับพบปริมาณการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 9.56 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนผลจากการศึกษาทางจลนพลศาสตร์เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยา พบว่าสอดคล้องกับสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียมมากที่สุด

Ahmad & Kumar (2010) ศึกษาการดูดซับสีมาลาไคท์ กรีน (Malachite green) ในสารละลายโดยขิง ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม เวลา ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิในการดูดซับ ผลจากการศึกษาพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ คือ พีเอชเท่ากับ 9 และจากการศึกษาพฤติกรรมดูดซับโดยใช้สมการแลงเมียร์ และสมการฟรอยด์ลิช เพื่อนำมาใช้อธิบายไอโซเทอร์มการดูดซับสีมาลาไคท์ กรีน พบว่า การดูดซับสีมาลาไคท์ กรีนโดยขิง มีพฤติกรรมดูดซับสอดคล้องกับสมการของแลงเมียร์มากกว่าสมการของฟรอยด์ลิช แสดงว่าเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว โดยมีค่าการดูดซับเท่ากับ 84.03 163.9 และ 188.6 มิลลิกรัมต่อกรัม ณ ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และจากการศึกษาค่าตัวแปรทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic parameters) ได้แก่ ΔG° ΔH° และ ΔS° พบว่ากระบวนการดูดซับในการทดลองนี้เป็นกระบวนการ

ดูดความร้อนที่สามารถเกิดขึ้นได้เองโดยธรรมชาติ สำหรับผลของการศึกษาทางจลนศาสตร์ เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยา พบว่าสอดคล้องกับสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียม

Halim et al. (2011) ศึกษาไอโซเทอร์มและจลนพลศาสตร์ของการดูดซับอะลูมิเนียมโดยขมิ้นชัน ในการทดลองนี้ได้ศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ พีเอช การศึกษาเวลาในการดูดซับ และปริมาณการดูดซับ พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่างกันจะมีผลต่อการดูดซับอออนของอะลูมิเนียม โดยขมิ้นชันดูดซับอออนของอะลูมิเนียมสูงสุดที่ช่วงพีเอช 5-9 และมีปริมาณการกำจัดอออนของอะลูมิเนียมมากกว่าร้อยละ 90 โดยใช้ในเวลาในการกำจัด 90 นาที จากการศึกษาพฤติกรรมดูดซับ พบว่าสอดคล้องได้ดีกับสมการการดูดซับของฟรอยด์ลิช โดยมีค่า $R^2 = 0.9458$ สำหรับผลของการศึกษาทางจลนศาสตร์ เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยา พบว่าสอดคล้องกับสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียม โดยได้ค่า $R^2 = 0.9888$

Kumar & Ahmad (2011) ศึกษาการดูดซับสีย้อมสีม่วง โดยอิงที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว ในการทดลองนี้ได้ศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม เวลาในการเข้าสู่สมดุล และอุณหภูมิในการดูดซับ รวมทั้งศึกษาพฤติกรรมดูดซับ และการศึกษาทางจลนพลศาสตร์วิเคราะห์หาอันดับของปฏิกิริยา ผลจากการศึกษาพฤติกรรมดูดซับ พบว่าสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ แสดงว่าเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว โดยมีค่าความสามารถการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 64.93, 227.27 และ 277.7 มิลลิกรัมต่อกรัม ณ ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากการศึกษาตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ โดยการศึกษาค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีมีค่าเป็นบวก แสดงว่าเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน โดยมีค่าเท่ากับ 72.6 มิลลิกรัม สำหรับ 0.3 กรัมของอิงที่ผ่านการปรับสภาพ โดยอิงที่ผ่านการปรับสภาพนี้สามารถนำมาชะสารถูกดูดซับออกได้ด้วยกรดอะซิติก เพื่อสามารถนำอิงที่หมดสภาพแล้วมาใช้ใหม่ได้

Ekemini & Uwemedimo (2012) ศึกษาสมบัติในการยับยั้งการกักร่อนของอะลูมิเนียมในสารละลาย โดยสารสกัดจากลำต้น และสารสกัดจากใบของ *Costus afer* ในกรดไฮโดรคลอริก ผลจากการทดลอง พบว่าสารสกัดจากลำต้น ประกอบไปด้วย อัลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ ฟีนอล แทนนิน แอนทราควิโนน กลูโคไซด์ และเทอปีนอยด์ ในขณะที่สารสกัดจากใบ ประกอบไปด้วย ซาโปนิน ฟลาโวนอยด์ แทนนิน กลูโคไซด์ และโพลีฟีนอล ผลจากการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการกักร่อนของอะลูมิเนียม มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 58.93 ถึงร้อยละ 49.43 และร้อยละ 65.43 ถึงร้อยละ 51.28 ที่อุณหภูมิ 303 เคลวิน และ 333 เคลวิน ของสารสกัดจาก ลำต้น และสารสกัดจาก ใบ ตามลำดับ ผลจากการวัดค่าการสูญเสียน้ำหนัก พบมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 56.21 ถึงร้อยละ 46.71 และร้อยละ 61.14 ถึงร้อยละ 50.19 ของสารสกัดจากลำต้น และสารสกัดจากใบ ที่อุณหภูมิ 303

เคลวิน ถึง 333 เคลวิน ตามลำดับ ผลจากการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับ พบว่าสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของฟรอยด์ลิช

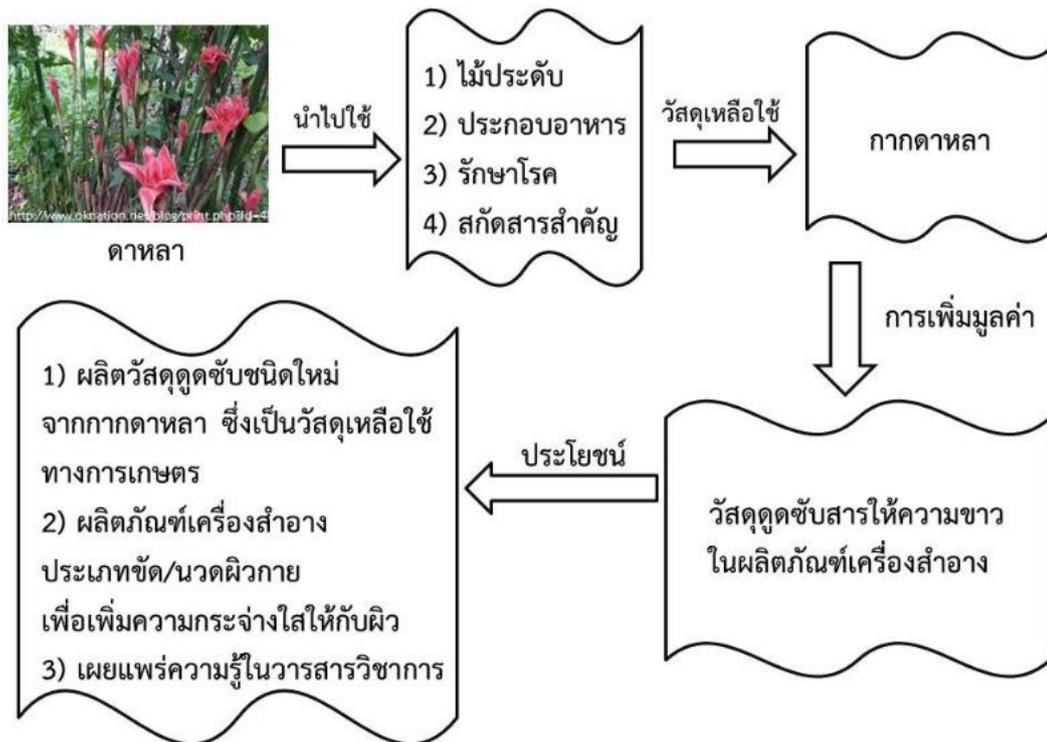
Chairgulprasert et al. (2013) ศึกษาการดูดซับไอออนของตะกั่ว และไอออนของสังกะสี ในสารละลาย โดยใช้วัสดุดูดซับที่เป็นสารผสมระหว่างไบซาและลำต้นข้าว ด้วยกระบวนการดูดซับแบบกะ ในการทดลองนี้ได้ศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ พีเอช เวลาในการเข้าสู่สมดุลความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย และปริมาณของวัสดุดูดซับที่ใช้ในการดูดซับ ผลจากการศึกษาพบว่าขามีประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนของตะกั่วได้มากกว่าไอออนของสังกะสี โดยค่าดูดซับไอออนของตะกั่วได้ร้อยละ 95.2 ในขณะที่ดูดซับไอออนของสังกะสีได้ร้อยละ 66.9 ข้อมูลการดูดซับที่จุดสมดุล พบว่าการดูดซับไอออนของทั้งตะกั่วและสังกะสีสอดคล้องได้ดีกับไอโซเทอร์มของฟรอยด์ลิช มากกว่าไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ สำหรับผลของการศึกษาทางจลนศาสตร์ เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยา พบว่าสอดคล้องกับสมการปฏิกิริยาอันดับสอง

วิบูลย์พงศ์ วรนิษฐาธร และศิริวรรณ กุระสุวรรณ (2556) ศึกษาประสิทธิภาพของการทายาไนอะซิโนไมด์ปริมาณร้อยละ 5 ที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำมันบนใบหน้า เพื่อลดภาวะหน้ามัน โดยทำการทดลองเปรียบเทียบกับครีมเบสในการลดภาวะหน้ามัน โดยการรวบรวมผู้ที่มีผิวหน้าธรรมดาถึงผิวมันวิเคราะห์ด้วยเครื่องเซบุมิเตอร์ เพื่อตรวจสอบสภาพผิวก่อนการทดสอบ โดยผู้ที่สามารถเข้ารับการทดสอบได้ต้องมีผิวหน้ามันตั้งแต่ 100 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร เข้ารับการศึกษารวม 26 คน โดยแต่ละคนจะได้รับการสุ่มเลือกว่าจะได้รับการรักษาด้วยการทายาไนอะซิโนไมด์ หรือการทาด้วยครีมเบส โดยให้ทาเพียงแค่ครึ่งซีกของใบหน้า สำหรับการติดตามผลจะทำทุกสองสัปดาห์ จนถึงสัปดาห์ที่แปดหลังการทายา โดยประเมินประสิทธิภาพการลดลงของปริมาณน้ำมันบนใบหน้าด้วยเครื่องเซบุมิเตอร์ ผลจากการศึกษาพบว่าใบหน้าด้านที่ได้รับการทายาไนอะซิโนไมด์ ปริมาณร้อยละ 5 มีปริมาณน้ำมันบนใบหน้าโดยเฉลี่ยลดลงในสัปดาห์ที่ 8 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับครีมเบส

Hakozaki et al. (2002) ศึกษาผลของการใช้ยาทาไนอะซิโนไมด์ ที่มีต่อการผลิตเม็ดสีเมลานินที่ผิวหนัง โดยทำการทดสอบทางคลินิกได้ทำการทดสอบกับอาสาสมัครจำนวน 18 คนที่มีรอยด่างบนใบหน้า โดยใช้ครีมบำรุงผิวที่มีไนอะซิโนไมด์อยู่ในปริมาณร้อยละ 5 และครีมบำรุงผิวอื่น ๆ ควบคู่กัน และอาสาสมัครอีก 120 คน ที่มีใบหน้าหมองคล้ำ โดยให้อาสาสมัครใช้ครีมบำรุงผิวที่มีไนอะซิโนไมด์ปริมาณร้อยละ 2 ใช้ควบคู่กับครีมกันแดด หรือใช้ครีมบำรุงผิวอื่น ๆ ควบคู่กับครีมป้องกันแสงแดด โดยการวิเคราะห์การวัดการเปลี่ยนแปลงของสีผิวและรอยด่างบนใบหน้า ได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้คอมพิวเตอร์ที่มีระบบแสดงภาพของใบหน้าที่มีความละเอียดสูง ผลจากการศึกษาทางคลินิก พบว่าครีมบำรุงผิวที่มีไนอะซิโนไมด์จะส่งผลทำให้รอยด่างลดลงและเพิ่มความกระจ่างใส เมื่อเปรียบเทียบกับครีมบำรุงผิวอื่น ๆ ภายหลังจากการใช้ 4 สัปดาห์ แสดงว่าไนอะซิโนไมด์

มีประสิทธิภาพในการใช้เป็นสารที่ทำให้ผิวกระจ่างใส มีการยับยั้งการส่งผ่านเม็ดสีภายในถุงเมลานิน-โนโซม จากเซลล์สร้างเม็ดสีไปยังเซลล์ผิวหนัง

กรอบแนวความคิดในการวิจัย



ภาพที่ 2.2 กรอบแนวความคิดในการวิจัย