

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### ผลการเตรียมและการปรับสภาพวัสดุดูดซับจากต้นดาหลา

จากการนำตัวอย่างต้นดาหลาที่เก็บจากตำบลบางคนที อำเภอบางคนที จังหวัดสมุทรสงคราม มาล้างน้ำเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก และนำมาอบแห้งโดยนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 3 เซนติเมตร เมื่อนำต้นดาหลาที่อบแห้งแล้ว มาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (150 ไมโครเมตร) จะได้เส้นใยของต้นดาหลาที่มีสีน้ำตาลอ่อน แสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 กากต้นดาหลาที่ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช

ต้นดาหลาเมื่อผ่านการปรับสภาพพื้นที่ผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะได้เป็นกากต้นดาหลาที่มีลักษณะเป็นเส้นใยสีน้ำตาลอ่อน แสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 กากต้นดาหลาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส

กากต้นดาหลาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส เมื่อผ่านการฟอกขาวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่ากากต้นดาหลามีลักษณะเป็นเส้นใยสีเหลืองอ่อน แสดงดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 กากต้นดาหลาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบสและฟอกขาว

จากผลการทดลอง พบว่า กากต้นดาหลาที่ผ่านการปรับสภาพพื้นที่ผิวและการพอกขาว มีลักษณะของความเป็นเส้นใย และมีสีเหลืองอ่อนที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับ ดังนั้น ในการทดลองนี้จึงสนใจที่จะนำส่วนของกากต้นดาหลาไปทดสอบการดูดซับวิตามิน บี3 ในขั้นต่อไป

#### ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัสดุดูดซับจากกากต้นดาหลา

นำกากต้นดาหลาที่อบแห้ง ภายใต้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และผ่านการปรับสภาพด้วยเบส ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบหลักต่าง ๆ ผลจากการวิเคราะห์หาปริมาณ ร้อยละโดยน้ำหนักของกากต้นดาหลา พบว่ากากต้นดาหลามีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ โยอาหาร คาร์โบไฮเดรต ความชื้น โปรตีน ไขมัน และไขมัน แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของกากต้นดาหลาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส

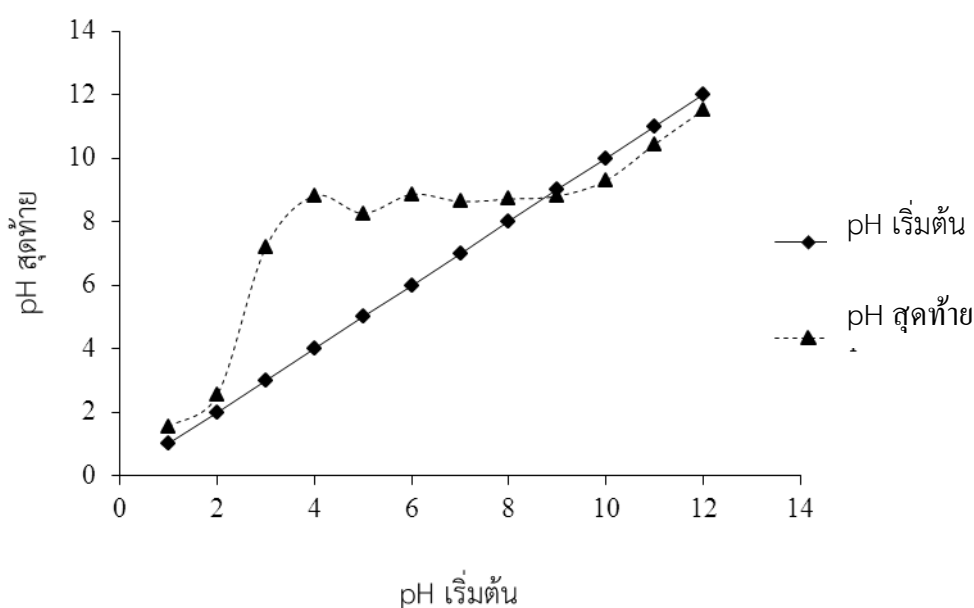
กากต้นดาหลา	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	5.89
ไขมัน	1.23
ไขมัน	0.33
โยอาหาร	75.33
โปรตีน	2.06
คาร์โบไฮเดรต	15.16

ข้อมูลจากตารางที่ 4.1 พบว่ากากต้นดาหลาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส ประกอบด้วย โยอาหารร้อยละ 75.33 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 15.16 ความชื้นร้อยละ 5.89 โปรตีนร้อยละ 2.06 ไขมันร้อยละ 1.23 และไขมันร้อยละ 0.33 ตามลำดับ แสดงว่ากากต้นดาหลาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส มีองค์ประกอบหลักเป็นเส้นใย ซึ่งเป็นสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับที่ดีได้

#### ผลการศึกษาหาประจุศูนย์บนพื้นผิวของกากต้นดาหลา

จากงานวิจัยของ Ahmad และคณะ ซึ่งศึกษาประจุบนพื้นผิวของซิงที่ปรับสภาพด้วยเบส พบว่ากากต้นดาหลามีประจุเป็นศูนย์ที่ pH เท่ากับ 8 (Ahmad et al., 2010) ซึ่งเมื่อนำแนวทางการศึกษาหาประจุดังกล่าวมาหาประจุบนพื้นผิวของกากต้นดาหลาที่ปรับสภาพด้วยเบส แสดงดังภาพที่ 4.4 ผลจากการทดลองพบว่า เส้นกราฟทั้งสองเส้นตัดกันที่ค่า pH เท่ากับ 9 หมายความว่ากาก

ต้นดาหลาที่ปรับสภาพด้วยเบสมีประจุเป็นศูนย์ที่ pH เท่ากับ 9 ส่วนที่ pH น้อยกว่า 9 จะมีประจุเป็นบวก แสดงว่ามีปริมาณของโปรตอน ( $H^+$ ) ไปเกาะบนพื้นผิวของกากต้นดาหลามากกว่าไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) และที่ pH มากกว่า 9 จะมีประจุเป็นลบ (Vijayakumar et al., 2012) แสดงว่ามีปริมาณของไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) ไปเกาะบนพื้นผิวของกากต้นดาหลามากกว่าโปรตอน ( $H^+$ ) ในการทดลองนี้ศึกษาโดยควบคุม pH ของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 8 เพื่อให้พื้นผิวของกากต้นดาหลาที่ผ่านการปรับสภาพมีประจุเป็นบวก เพื่อสามารถดึงดูดกับตำแหน่งที่มีประจุลบของวิตามิน บี3



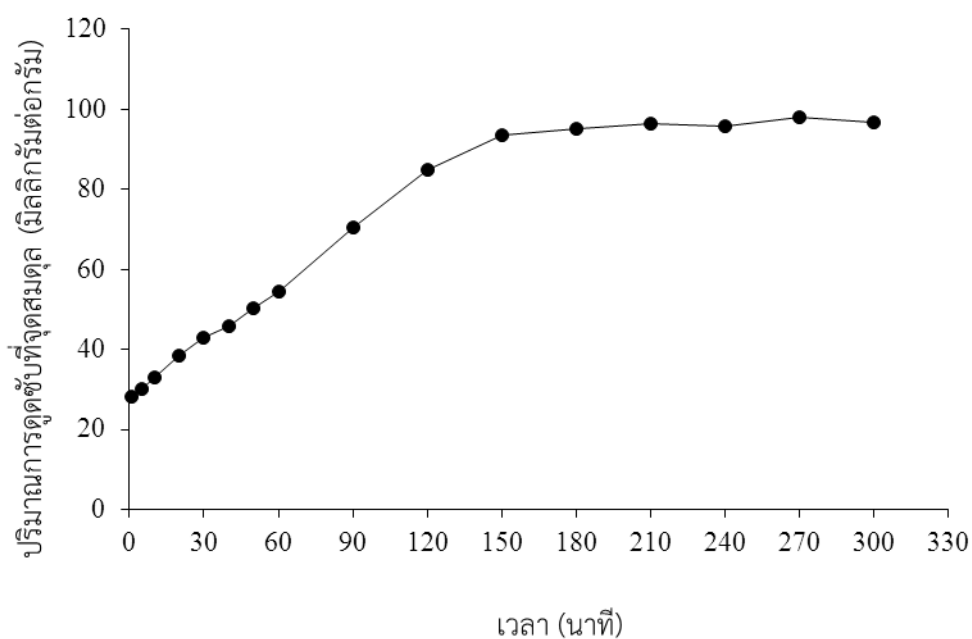
ภาพที่ 4.4 แสดงประจุศูนย์ของกากต้นดาหลา

#### ผลการศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุล

จากการศึกษาหาเวลาในการเข้าสู่สมดุลของวิตามิน บี3 เมื่อนำกากต้นดาหลาที่ผ่านการปรับสภาพพื้นที่ผิวและฟอกจางสี จำนวน 1 กรัม มาดูดซับวิตามิน บี3 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยใช้วิธีเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่เวลาต่าง ๆ ได้แก่ 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 และ 1,440 นาที ตามลำดับ เพื่อศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับวิตามิน บี3 โดยกากก้านดอกดาหลา ได้ผลการทดลองแสดงตามตารางที่ 4.2 เมื่อนำมาพล็อตกราฟ แสดงเวลาในการเข้าสู่สมดุลของวิตามิน บี3 โดยแกน X คือ เวลา (นาที) ใช้สัญลักษณ์ t (นาที) แกน Y คือ ปริมาณของวิตามิน บี3 ที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของกากต้นดาหลา (กรัมต่อกรัม) ใช้สัญลักษณ์ N (กรัมต่อกรัม) แสดงดังภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลเวลาและปริมาณการดูดซับวิตามิน บี3 โดยกากต้นดาหลา

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับวิตามิน บี3 ต่อน้ำหนักกากต้นดาหลา (มิลลิกรัมต่อกรัม)
0	0
1	28.295
5	30.233
10	33.083
20	38.529
30	42.947
40	45.815
50	50.233
60	54.854
90	70.504
120	84.755
150	93.539
180	95.160
210	96.523
240	95.624
270	98.017
300	96.610
1,440	97.985



ภาพที่ 4.5 แสดงผลการศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลในการดูดซับวิตามิน บี3 ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยกากต้นดาหลา ณ อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ pH 8 และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับปริมาณการดูดซับวิตามิน บี3 ของกากต้นดาหลา จะแสดงเวลาที่ 0-300 นาที เท่านั้นเพราะเวลาที่ 1,440 นาที เป็นเวลาที่ห่างจาก 360 นาที มากเกินไป

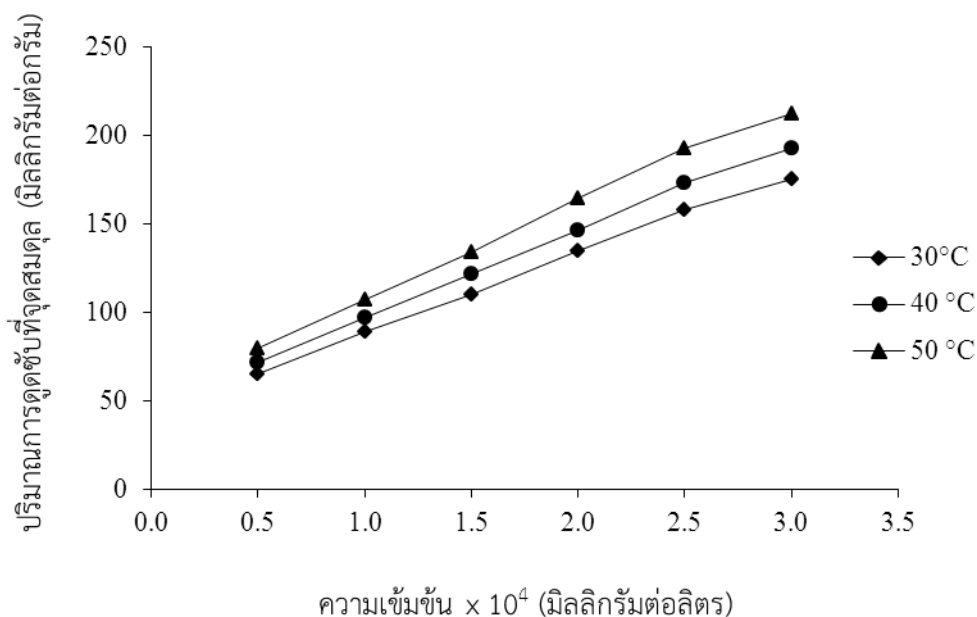
ผลจากการศึกษาพบว่า การดูดซับวิตามิน บี3 โดยกากต้นดาหลา ภายใต้สภาวะที่ pH 8 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 150 นาที โดยมีค่าการดูดซับวิตามิน บี3 เท่ากับ 93.54 มิลลิกรัมต่อกรัม ของกากต้นดาหลา

### ผลการศึกษาปริมาณการดูดซับและไอโซเทอร์มการดูดซับ

จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับวิตามิน บี3 ของกากต้นดาหลา ที่ความเข้มข้นของวิตามิน บี3 ร้อยละ 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ณ สภาวะอุณหภูมิต่าง ๆ ได้แก่ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงข้อมูลดังตารางที่ 4.3 เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพล็อตกราฟ เพื่อแสดงความสามารถในการดูดซับของกากก้านดอกดาหลา โดยแกน X คือ ความเข้มข้นของวิตามิน บี3 (กรัมต่อร้อยมิลลิลิตร) ใช้สัญลักษณ์เป็น  $C_e$  (กรัมต่อร้อยมิลลิลิตร) แกน Y คือ ปริมาณของวิตามิน บี3 ที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของกากต้นดาหลา (มิลลิกรัมต่อกรัม) ใช้สัญลักษณ์เป็น N (กรัมต่อกรัม) ได้กราฟแสดงดังภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลความเข้มข้นและปริมาณการดูดซับวิตามิน บี3 ของกากต้นดาหลา

ความเข้มข้นของวิตามิน บี3 (กรัมต่อร้อยมิลลิลิตร)	ปริมาณการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)		
	30 °C	40 °C	50 °C
0.50	65.07	72.07	80.11
1.00	88.93	97.50	107.50
1.50	110.15	121.54	134.15
2.00	135.02	146.66	164.51
2.50	157.91	173.45	192.66
3.00	175.71	193.02	212.73



ภาพที่ 4.6 แสดงผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของวิตามิน บี3 และอุนหนุมิ ที่มีต่อการดูดซับโดยกากต้นดาหลา

จากกราฟภาพที่ 4.6 พบว่า กากต้นดาหลาที่ปรับสภาพด้วยเบสสามารถดูดซับวิตามิน บี3 ได้เพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของวิตามิน บี3 สูงขึ้น เนื่องจากที่ความเข้มข้นมากขึ้น จำนวนโมเลกุลของวิตามิน บี3 จะมีมากขึ้น จึงสามารถไปเกาะบนพื้นผิวของกากต้นดาหลาได้มากขึ้น นอกจากนี้ภาพที่ 4.6 ยังแสดงผลของอุนหนุมิที่มีต่อการดูดซับ ผลจากการทดลองพบว่าเมื่ออุนหนุมิสูงขึ้น กากต้นดาหลาที่ปรับสภาพด้วยเบสสามารถดูดซับวิตามิน บี3 ได้มากขึ้น เนื่องจากเมื่ออุนหนุมิสูงขึ้น จะมีผลทำให้อนุภาคของตัวถูกดูดซับมีพลังงานจลน์มากขึ้น เกิดการเคลื่อนที่ได้มากขึ้น (Aksu et al., 2008) แสดงว่ากระบวนการดูดซับวิตามิน บี3 บนพื้นผิวของกากต้นดาหลาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบสเกิดขึ้นภายใต้กระบวนการดูดซับแบบดูดความร้อน (Halim et al., 2011)

การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับวิตามิน บี3 ด้วยกากต้นดาหลาที่ปรับสภาพด้วยเบส เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของวิตามิน บี3 ที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของกากต้นดาหลาที่ปรับสภาพด้วยเบส กับความเข้มข้นของวิตามิน บี3 ที่เหลืออยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุล ภายใต้ อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง เพื่อใช้อธิบายพฤติกรรมการดูดซับวิตามิน บี3 โดยกากต้นดาหลาที่ปรับสภาพด้วยเบส และหาไอโซเทอร์มที่เหมาะสม โดยใช้สมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ และสมการไอโซเทอร์มของฟรอยด์ลิช ผลจากการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแสดงดังตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ และฟรอยด์ลิช ในการดูดซับวิตามิน บี3 ของกากต้นดาหลาที่ปรับสภาพด้วยเบส ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ และฟรอยด์ลิช ในการดูดซับวิตามิน บี3 ของกากต้นดาหลา

อุณหภูมิ (°C)	ไอโซเทอร์มแลงเมียร์			ไอโซเทอร์มฟรอยด์ลิช			
	$q_{max}$ (mg/g)	$K_L$ (mL/mg)	$R^2$	$K_F$ (mg/g)	$1/n$ (mL/mg)	$n$ (mg/mL)	$R^2$
30	204	0.101	0.952	2.21	1.84	0.544	0.988
40	222	0.106	0.947	1.64	1.86	0.537	0.986
50	243	0.109	0.942	2.21	1.87	0.534	0.985

ในการศึกษาพฤติกรรมดูดซับวิตามิน บี3 โดยกากต้นดาหลา พบว่ามีพฤติกรรมดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของฟรอยด์ลิชมากกว่าไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ แสดงดังตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงค่าของตัวแปรต่าง ๆ ที่คำนวณได้จากสมการของแลงเมียร์ และสมการของฟรอยด์ลิช ในการดูดซับวิตามิน บี3 ด้วยกากต้นดาหลาที่ปรับสภาพด้วยเบส จากข้อมูลพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination:  $R^2$ ) ของสมการฟรอยด์ลิช มีค่าเข้าใกล้หนึ่งมากกว่าสมการของแลงเมียร์ แสดงว่าการดูดซับวิตามิน บี3 โดยกากต้นดาหลาสอดคล้องได้ดีกับสมการของฟรอยด์ลิชมากกว่าสมการของแลงเมียร์ หมายความว่าโมเลกุลของวิตามิน บี3 เกิดการดูดซับบนพื้นผิวของกากต้นดาหลาที่ปรับสภาพด้วยเบสแบบหลายชั้น (Aksu et al., 2008) เนื่องจากกากต้นดาหลาซึ่งเป็นวัสดุดูดซับ มีลักษณะพื้นผิวเป็นแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous surface)

#### ผลการศึกษาทางเทอร์โมไดนามิกส์

การศึกษาทางเทอร์โมไดนามิกส์ เพื่อคำนวณหาค่าตัวแปรเอนทาลปี (Enthalpy;  $\Delta H^\circ$ ), เอนโทรปี (Entropy;  $\Delta S^\circ$ ) และพลังงานอิสระกิบส์ (Gibbs free energy;  $\Delta G^\circ$ ) โดย  $\Delta H^\circ$  หมายถึง การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อโมล  $\Delta S^\circ$  หมายถึง การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี มีหน่วยเป็นจูลต่อโมล-เคลวิน และ  $\Delta G^\circ$  หมายถึง การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์ มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อโมล ผลของการศึกษาตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการศึกษาตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับวิตามิน บี3 โดยกากต้นดาหลา

อุณหภูมิ (°C)	$K_c$	$\Delta H^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta S^\circ$ (J/mol·K)	$\Delta G^\circ$ (kJ/mol)
30	1.09	0.82	3.40	-0.212
40	1.10			-0.242
50	1.11			-0.278

จากข้อมูลดังตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta H^\circ$  พบว่ามีเครื่องหมายเป็นบวก แสดงว่าปฏิกิริยาการดูดซับวิตามิน บี3 โดยกากต้นดาหลาที่ปรับสภาพด้วยเบสเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Silberberg, 2013) เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta S^\circ$  พบว่ามีเครื่องหมายเป็นบวก แสดงว่าลักษณะของการดูดซับวิตามิน บี3 บนพื้นผิวที่เป็นของแข็งของกากต้นดาหลาที่ปรับสภาพด้วยเบส เป็นแบบสุ่ม ไม่มีทิศทางที่แน่นอน (Silberberg, 2013) และเมื่อพิจารณาตัวแปร  $\Delta G^\circ$  พบว่ามีเครื่องหมายเป็นลบ แสดงว่ากระบวนการดูดซับวิตามิน บี3 โดยกากต้นดาหลาที่ปรับสภาพด้วยเบส เป็นกระบวนการที่สามารถเกิดขึ้นได้เอง (Silberberg, 2013)

#### ผลการศึกษาทางจลนพลศาสตร์

การศึกษาทางจลนพลศาสตร์ เพื่อศึกษาอัตราเร็วของการดูดซับวิตามิน บี3 ด้วยกากต้นดาหลาที่ปรับสภาพด้วยเบส โดยใช้สมการอันดับหนึ่งเทียม และสมการอันดับสองเทียม ผลจากการทดลองทางจลนพลศาสตร์ แสดงดังตารางที่ 4.6 ดังนี้

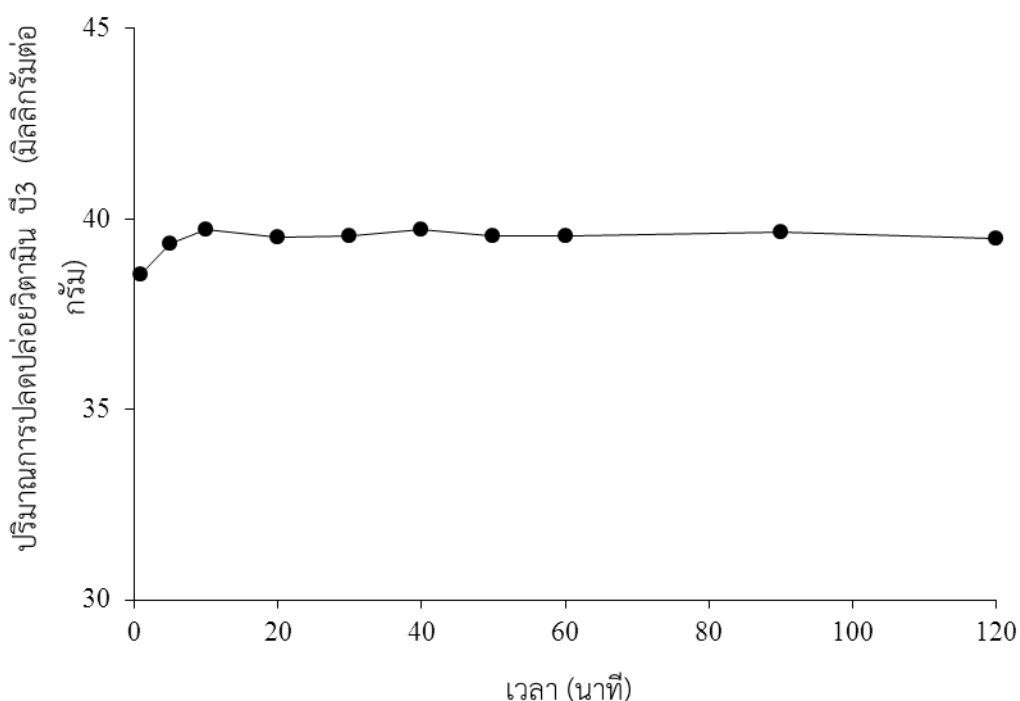
ตารางที่ 4.6 ผลการศึกษาตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับวิตามิน บี3 โดยกากต้นดาหลา

ความเข้มข้นเริ่มต้น (%w/v)	$q_e$ (exp) (mg/g)	สมการอันดับหนึ่งเทียม			สมการอันดับสองเทียม		
		$q_e$ (cal) (mg/g)	$k_1$ (1/min)	$R^2$	$q_e$ (cal) (mg/g)	$k_2$ (mg/g·min)	$R^2$
0.5	64.8	56.6	0.0094	0.965	50.5	0.00073	0.874
1.0	95.2	77.6	0.0143	0.922	86.2	0.00055	0.894
2.0	135.9	111.6	0.0286	0.929	140.8	0.00050	0.957

จากข้อมูลดังตารางที่ 4.6 พบว่าค่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ที่ได้จากสมการอันดับหนึ่ง เทียมมีค่าเข้าใกล้หนึ่งมากกว่าค่าที่ได้จากสมการอันดับสองเทียม แสดงว่าการดูดซับวิตามิน บี3 ด้วย กากต้นดาหลาที่ปรับสภาพด้วยเบสสอดคล้องกับสมการอันดับหนึ่งเทียมมากกว่าสมการอันดับสอง เทียม และเมื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณการดูดซับที่ได้จากการทดลองกับการคำนวณตามสมการอันดับ หนึ่งเทียมและสมการอันดับสองเทียม พบว่าปริมาณการดูดซับที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับ ปริมาณการดูดซับที่คำนวณได้จากสมการอันดับหนึ่งเทียมมากกว่าสมการอันดับสองเทียม

### ผลการศึกษาปริมาณการปลดปล่อยวิตามิน บี3

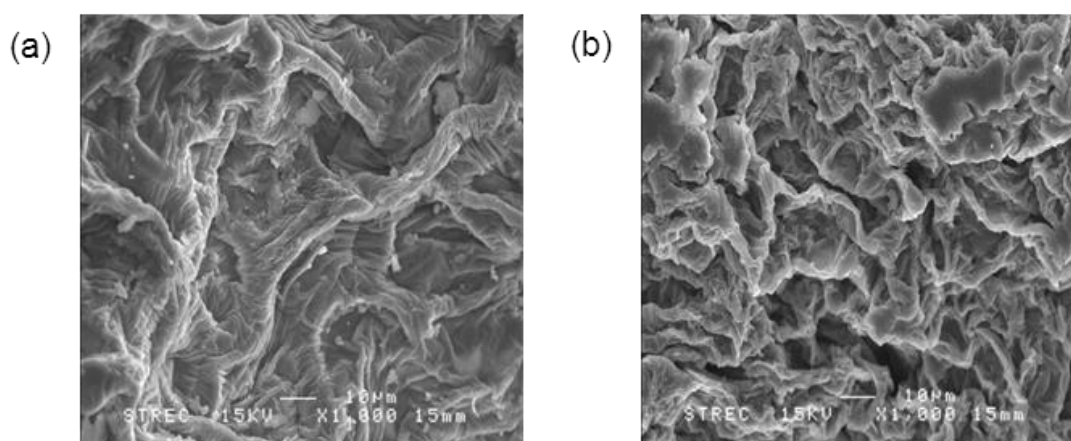
จากการศึกษาการปลดปล่อยวิตามิน บี3 จากกากต้นดาหลา 0.5 กรัมที่ผ่านการปรับสภาพ ด้วยเบส และดูดซับวิตามิน บี3 ที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อร้อยมิลลิตรไว้แล้ว โดยใช้สภาวะ การปลดปล่อยที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ด้วยการเขย่าเป็นเวลาต่าง ๆ ได้แก่ 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 และ 120 นาที ภายใต้อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.8 พบว่า กากต้นดาหลาที่ปรับสภาพด้วยเบสสามารถปลดปล่อยวิตามิน บี3 ที่ดูดซับไว้ออกมาได้ และค่า การปลดปล่อยคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที โดยมีปริมาณการปลดปล่อยวิตามิน บี3 เท่ากับ 39.7 มิลลิกรัมต่อหนึ่งกรัมของกากต้นดาหลาที่ปรับสภาพด้วยเบส



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงปริมาณการปลดปล่อยวิตามิน บี3 โดยกากต้นดาหลา (ภายใต้อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส)

### ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุดูดซับจากกากต้นดาหลา

ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุดูดซับจากกากต้นดาหลา ด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า พื้นผิวกากต้นดาหลาก่อนการปรับสภาพด้วยเบส มีลักษณะพื้นผิวขรุขระ แสดงดังภาพที่ 4.7 (ก) ในขณะที่กากต้นดาหลาหลังปรับสภาพด้วยเบสแสดงลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระมากขึ้น เนื่องจากสารอินทรีย์ไม่ใช่เส้นใยถูกกำจัดออกด้วยเบส (Syahrizu et al., 2012) แสดงดังภาพที่ 4 (ข) นอกจากนี้การปรับสภาพด้วยเบส จะทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีลักษณะที่ขรุขระมากขึ้น เนื่องจากเกิดการสร้างพันธะกันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) กับพันธะไฮโดรเจนบนเส้นใยเซลลูโลส (Nosbi et al., 2011)



ภาพที่ 4.8 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของกากต้นดาหลา กำลังขยาย 1,000 เท่า  
(a) ก่อนการปรับสภาพด้วยเบส (b) หลังการปรับสภาพด้วยเบส

### ผลการผลิตผลิตภัณฑ์สครับขัดผิว

ผลการตั้งตำรับสครับขัดผิวผสมกากดาหลา พบว่าเจลเบสที่ใช้ในตำรับเครื่องสำอางชนิดผิวกาย และอัตราส่วนที่ใช้ แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงเจลเบสที่ใช้ในตำรับเครื่องสำอางนวดผิวกาย

ส่วนผสม	ชื่อทางการค้า (Trade name)	ชื่อทางเคมี (INCI name)	หน้าที่ในสูตร (Function)	จำนวนที่ใช้ (% w/w)
A	1. น้ำดีไอออนซ์ หรือ น้ำกลั่นบริสุทธิ์ (Deionized water)	น้ำดีไอออนซ์ หรือ น้ำ กลั่นบริสุทธิ์ (Deionized water)	ตัวทำละลาย (Diluent)	82.60
	2. วิตามินซี (Vitamin C)	กรดแอสคอร์บิก (L-Ascorbic acid)	ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)	1.00
B	3. สารก่อเจล	คาร์โบเมอร์ (Carbomer)	สารเพิ่มเนื้อ (Thickener)	1.40
	4. กลีเซอริน (Glycerine)	กลีเซอริน (Glycerine)	สารรักษาความชุ่มชื้น (Humectant)	2.00
C	5. เมทิล พาราเบน (Methylparaben)	เมทิล พาราเบน (Methylparaben)	สารกันเสีย หรือสารกัน บูด (Preservative)	0.18
	6. โพรพิลีน ไกลคอล (Propylene glycol)	โพรพิลีน ไกลคอล (Propylene glycol)	สารรักษาความชุ่มชื้น (Humectant)	0.5
D	7. ไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine)	ไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine)	ปรับค่าความเป็นกรด- เบส	1.7
E	8. กากดาหลาที่ดูดซับ สารให้ความขาว (วิตามิน บี3 ความ เข้มข้น 4%) เคลือบ ด้วยไขผึ้ง (Bee wax)	-	สครับ (Scrub) ขจัด เซลล์ผิวที่เสื่อมสภาพ	2.00
	9. วิตามิน บี3	ไนอาซินาไมด์ (Niacinamide)	ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)	4.0
	10. ไขผึ้ง (Bee wax)	ไขผึ้ง	สารเคลือบผิว (Emollients)	3.0
	11. วิตามิน อี (Vitamin E)	โทโคฟีรอล อะซิเตท (Tocopheryl acetate)	ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)	1.00
	12. สารสกัดดาหลา	-	ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)	0.5
	13. สีผสมอาหารสีเขียว (Green food coloring)	สีผสมอาหารสีเขียว (Food coloring)	เติมสี (Color additives)	0.02

โดยเจลเบสที่ใช้ในตำรับเครื่องสำอางนวดผิวกายข้างต้น เป็นเจลเบสที่มีความเหมาะสม โดยปริมาณ สคริปกาคตาหลายที่ใส่ไปในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณกาคตาหลายประมาณ 2.00 กรัมเป็นปริมาณที่เหมาะสม แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสคริปกาคตาหลายที่ใส่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 1-10

#### **ผลการผลิตและทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์**

##### **1. การผลิตเจลนวดผิวกายผสมกาคตันดาหลายดูดซับวิตามิน บี3**

ผลการผลิตเจลนวดผิวกายเพิ่มสารให้ความขาว โดยผสมกาคตันดาหลายดูดซับวิตามิน บี3 ได้ผลิตภัณฑ์แสดงดังภาพที่ 4.9

##### **2. การทดสอบการคงสภาพของผลิตภัณฑ์**

ผลการทดสอบการคงสภาพของผลิตภัณฑ์เจลนวดผิวกายผสมกาคตันดาหลายดูดซับวิตามิน บี3 แสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่า สภาวะทั้งในที่มืดและที่มีแสงสว่าง ลักษณะของเนื้อผลิตภัณฑ์มีความใส ไม่เหนียวเหนอะหนะ มีการกระจายตัวดี และไม่แยกชั้น

##### **3. การทดสอบทางกายภาพ และทางเคมีของเจลนวดผิวกาย**

ผลการทดสอบทางกายภาพ และทางเคมีของผลิตภัณฑ์เจลนวดผิวกายผสมกาคตันดาหลายดูดซับวิตามิน บี3 แสดงดังตารางที่ 4.9 พบว่า ในสภาวะที่มีมืดและที่มีแสงสว่าง มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ค่อนข้างเป็นกลาง แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสมตามลักษณะผลิตภัณฑ์เจลนวดผิวกาย

##### **4. การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์**

ผลการทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีต่อการใช้ผลิตภัณฑ์เจลนวดผิวกายผสมกาคตันดาหลายดูดซับวิตามิน บี3 โดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภค ทดสอบความพึงพอใจของอาสาสมัครจำนวน 12 คน ผลการทดสอบแสดงการคำนวณในรูปร้อยละของความพึงพอใจ ให้ข้อมูลดังตารางที่ 4.10 และค่าเฉลี่ยการประเมินผล ในการทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ ที่มีต่อการใช้ผลิตภัณฑ์เจลนวดผิวกาย ที่มีกาคตันดาหลายที่ดูดซับวิตามิน บี3 ดังตารางที่ 4.11 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับ 4 ซึ่งเป็นเกณฑ์ในระดับที่ดีมาก



ภาพที่ 4.9 ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเจลนวดผิวกาย เพิ่มความขาว  
ที่มีส่วนผสมของดาหลาและวิตามิน บี3

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบการคงสภาพของเจลนวดผิวกาย

ตำรับเจลเบส	สี	เนื้อผลิตภัณฑ์	การกระจายตัว	การแยกชั้น
สภาวะที่มีมืด	ใส	ไม่เหนียว เหนอะหนะ	กระจายตัวดี	ไม่แยกชั้น
สภาวะที่มีแสงสว่าง	ใส	ไม่เหนียว เหนอะหนะ	กระจายตัวดี	ไม่แยกชั้น

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบทางกายภาพและเคมีของเจลนวดผิวกาย

ตำรับเจลเบส	ค่าความเป็นกรดต่าง
สภาวะที่มีมืด	6.89
สภาวะที่มีแสงสว่าง	6.71

**ตารางที่ 4.10** ความพึงพอใจของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีต่อการใช้ผลิตภัณฑ์เจลนวดผิวกาย ที่มีกาก  
ต้นดาหลาดูดซับวิตามิน บี3

การทดสอบ	คะแนน			
	4 (ดีมาก)	3 (ดี)	2 (พอใช้)	1 (น้อย)
1. ลักษณะภายนอก				
กลิ่นของผลิตภัณฑ์	85.99	14.01	-	-
สีของผลิตภัณฑ์	87.05	12.95	-	-
ลักษณะเนื้อผลิตภัณฑ์	89.98	10.02	-	-
2. ประสิทธิภาพขณะใช้งาน				
ปริมาณของกากต้นดาหลา	80.75	19.25	-	-
การกระจายตัวของกากต้นดาหลา	95.82	4.18	-	-
3. ประสิทธิภาพหลังใช้งาน				
ความสบายผิว	93.58	6.42	-	-
ความพึงพอใจในภาพรวม	92.88	7.12		

หมายเหตุ: 4 = ดีมาก 3 = ดี 2 = พอใช้ 1 = ต้องปรับปรุง

**ตารางที่ 4.11** แสดงค่าเฉลี่ยการประเมินผลของแบบสอบถาม ในการทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้  
ผลิตภัณฑ์ ที่มีต่อการใช้ผลิตภัณฑ์เจลนวดผิวกาย ที่มีกากต้นดาหลาที่ดูดซับวิตามิน บี3

การทดสอบ	คะแนน
1. ลักษณะภายนอก	
กลิ่นของผลิตภัณฑ์	4
สีของผลิตภัณฑ์	4
ลักษณะเนื้อผลิตภัณฑ์	4
2. ประสิทธิภาพขณะใช้งาน	
ปริมาณของกากต้นดาหลา	4
การกระจายตัวของดาหลา	4
3. ประสิทธิภาพหลังใช้งาน	
ความสบายผิว	4
ความพึงพอใจในภาพรวม	4

หมายเหตุ: 4 = ดีมาก 3 = ดี 2 = พอใช้ 1 = ต้องปรับปรุง