

บทที่ 4

ผลการศึกษา

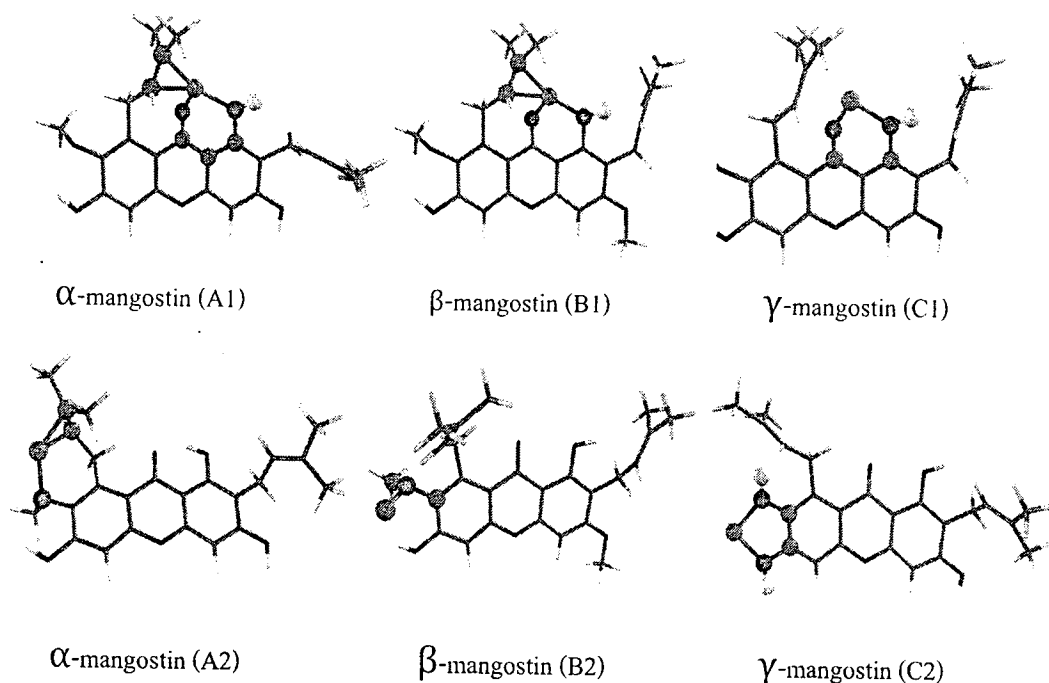
การเกิดอันตรกิริยาระหว่างไอออนทองแดงในรูปแบบของโลหะที่สามารถละลายน้ำได้บนโครงสร้างของ α -mangostin, β -mangostin และ γ -mangostin ด้วยระเบียบวิธีการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์แบบ HF/6-31G(d,p) และ DFT/6-31G(d,p) ในการศึกษาอันตรกิริยาของระบบดังกล่าว ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณมีการนำมาเปรียบเทียบกับผลจากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการทางเคมีต่อไป

ตอนที่ 1 การเกิดอันตรกิริยาของไอออนทองแดง บนโครงสร้างของสารแมงโกสติน ด้วยระเบียบวิธีการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์

เพื่อสร้างความเชื่อมั่นทางทฤษฎี และศึกษาถึงความเป็นไปได้ของความสามารถในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างไอออนทองแดงในรูปแบบของโลหะที่สามารถละลายน้ำได้จำนวน 2 รูปแบบ คือ Cu_2^+ และ CuSO_4 (ตัวถูกดูดซับ) บนโครงสร้างของ α -mangostin, β -mangostin และ γ -mangostin (ตัวดูดซับ) ด้วยวิธีการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์ ใช้การคำนวณแบบ Hartree-Fock และ Density Functional Theory มี 6-31G(d,p) เป็นเบสิกเซต (Basis Set) ในการศึกษาเปรียบเทียบการเกิดอันตรกิริยาของตัวถูกดูดซับที่เป็นไอออนทองแดงในแต่ละรูปแบบ จำนวน 1 ตัวถูกดูดซับ บนโครงสร้างแมงโกสติน โดยมีบริเวณการเกิดอันตรกิริยา 2 ตำแหน่ง ทั้ง 3 รูปแบบของโครงสร้าง คือ α -mangostin, β -mangostin และ γ -mangostin

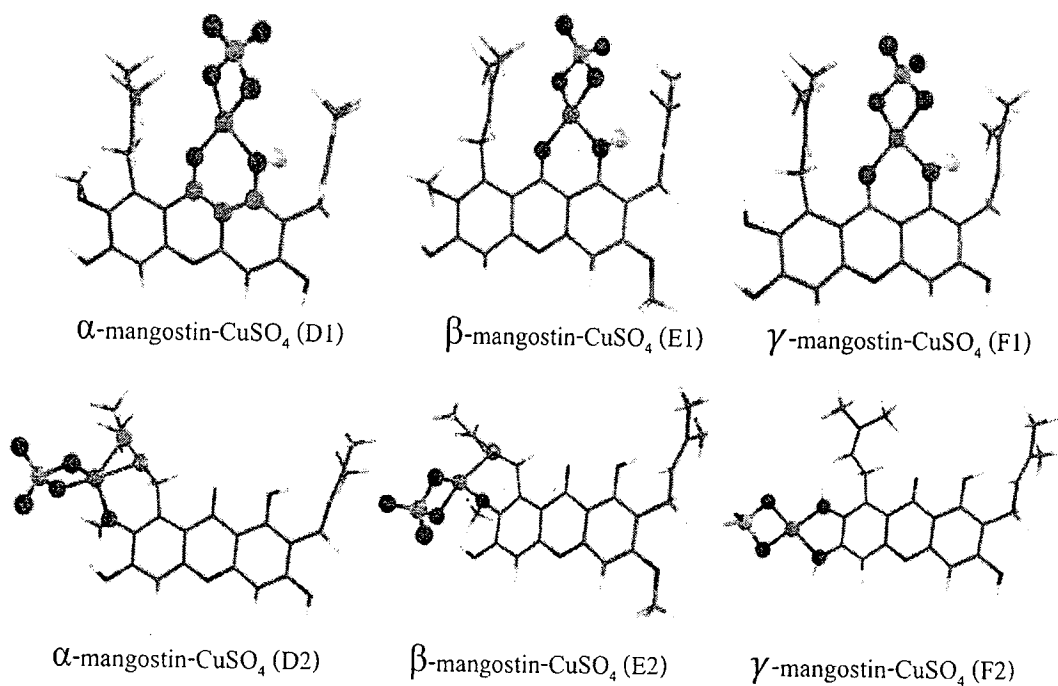
1. ผลการเกิดอันตรกิริยาของ Cu_2^+ บนโครงสร้าง α -mangostin, β -mangostin และ γ -mangostin การเกิดอันตรกิริยาระหว่างตัวถูกดูดซับที่เป็นไอออนทองแดง (Cu_2^+) จำนวน 1 ตัวถูกดูดซับ บนโครงสร้างของ α -mangostin, β -mangostin และ γ -mangostin (ตัวดูดซับ) ในบริเวณตำแหน่งที่ 1 (โครงสร้างของระบบการเกิดอันตรกิริยา เป็น A1, B1 และ C1 ตามลำดับ) และตำแหน่งที่ 2 (โครงสร้างของระบบการเกิดอันตรกิริยา เป็น A2, B2 และ C2 ตามลำดับ) พบว่าเกิดอันตรกิริยาเป็นลักษณะคีเลต (chelating) 2 บริเวณ คือ บริเวณกลุ่มคีโตน (5-hydroxy-7-keto group and 1-hydroxy-6-methoxy group) และบริเวณกลุ่มไฮดรอกซิล (1-hydroxy-6-methoxy group) พลังงานที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีการแบบ HF/6-31G(d,p) มีค่าเท่ากับ -260.19(A1), -250.01(A2), -273.80(B1), -504.55(B2), -268.22(C1) และ -224.10(C2)

kcal/mol และจากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีการแบบ DFT/6-31G(d,p) มีค่าพลังงานเป็น -347.97(A1), -353.44(A2), -358.31(B1), -628.19(B2), -352.27(C1) และ -304.58(C2) kcal/mol และพบว่าระบบการเกิดอันตรกิริยาระหว่างไอออนทองแดงในรูปแบบของ Cu^{2+} ที่สามารถละลายน้ำได้ บนโครงสร้างแมงโกสติน มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเรขาคณิตในบริเวณที่เกิดอันตรกิริยา คือ ความยาวพันธะและมุมพันธะ มีการเปลี่ยนแปลง สามารถแสดงลักษณะโครงสร้างการเกิดอันตรกิริยาที่มีพลังงานเสถียรที่สุดได้ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงลักษณะ โครงสร้างการเกิดอันตรกิริยาที่มีพลังงานเสถียรที่สุด ของไอออน Cu_2^+ (a) โครงสร้างที่เสถียรของการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง Cu_2^+ บนโครงสร้าง α -mangostin (A1), β -mangostin (B1) และ γ -mangostin (C1) บริเวณตำแหน่งที่ 1 (b) โครงสร้างที่เสถียรของการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง Cu_2^+ บนโครงสร้าง α -mangostin (A2), β -mangostin (B2) และ γ -mangostin บริเวณตำแหน่งที่ 2 (C2)

2. ผลการเกิดอันตรกิริยาของ CuSO_4 บนโครงสร้าง α -mangostin, β -mangostin และ γ -mangostin การเกิดอันตรกิริยาระหว่างตัวถูกดูดซับที่เป็นไอออนทองแดง (Cu_2SO_4) จำนวน 1 ตัวถูกดูดซับ บนโครงสร้างของ α -mangostin, β -mangostin and γ -mangostin (ตัวดูดซับ) ในบริเวณตำแหน่งที่ 1 (โครงสร้างของระบบการเกิดอันตรกิริยา เป็น D1, E1 และ F1 ตามลำดับ) และตำแหน่งที่ 2 (โครงสร้างของระบบการเกิดอันตรกิริยา เป็น D2, E2 และ F2 ตามลำดับ) พบว่าระบบการเกิดอันตรกิริยาระหว่างไอออนทองแดงในรูปแบบของ CuSO_4 ที่สามารถละลายน้ำได้ บนโครงสร้างแมงโกสติน มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเรขาคณิตในบริเวณที่เกิดอันตรกิริยา คือ ความยาวพันธะและมุมพันธะ มีการเปลี่ยนแปลง และพบว่าพลังงานของการเกิดอันตรกิริยา จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีการแบบ HF/6-31G(d,p) เป็น -86.56(D1), -56.97(D2), -87.33(E1), -65.23(E2), -86.12(F1) และ -57.90(F2) kcal/mol และที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีการแบบ DFT/6-31G(d,p) มีค่าเท่ากับ -81.79 (D1), -65.29 (D2), -82.41352384 (E1), -69.93(E2), -81.83 (F1) และ -52.98(F2) kcal/mol และสามารถแสดงลักษณะโครงสร้างการเกิดอันตรกิริยาที่มีพลังงานเสถียรที่สุดได้ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงลักษณะโครงสร้างการเกิดอันตรกิริยาที่มีพลังงานเสถียรที่สุด ของไอออน Cu_2SO_4

(a) โครงสร้างที่เสถียรของการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง Cu_2SO_4 บนโครงสร้างแมงโกสตินบริเวณตำแหน่งที่ 1 คือ α -mangostin (D1), β -mangostin (E1) และ γ -mangostin (F1)

(b) โครงสร้างที่เสถียรของการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง Cu_2SO_4 บนโครงสร้างแมงโกสตินบริเวณตำแหน่งที่ 2 คือ α -mangostin (D2), β -mangostin (E2) และ γ -mangostin (F2)

ตารางที่ 2 แสดงค่าพลังงานที่เสถียรที่สุดของการเกิดอันตรกิริยาระหว่างไอออนทองแดง (Cu^{2+} และ CuSO_4) บนโครงสร้างสารแมงโกสตินตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 (α -mangostin, β -mangostin และ γ -mangostin)

method structures	Adsorption energy ; - ΔE (kcal/mol)	
	HF/6-31g(d,p)	DFT6-31g(d,p)
α -mangostin / Cu^{2+} (A1)	-269.1903071	-347.9731203
α -mangostin / Cu^{2+} (A2)	-250.0100869	-353.4437525
β -mangostin / Cu^{2+} (B1)	-273.8006853	-358.3063157
β -mangostin / Cu^{2+} (B2)	-504.54829	-628.1919151
γ -mangostin / Cu^{2+} (C1)	-268.2173523	-352.2691793
γ -mangostin / Cu^{2+} (C2)	-224.0973125	-304.5801763
α -mangostin / CuSO_4 (D1)	-86.55603111	-81.78996715
α -mangostin / CuSO_4 (D2)	-56.97144465	-65.29480004
β -mangostin / CuSO_4 (E1)	-87.32598588	-82.41352384
β -mangostin / CuSO_4 (E2)	-65.23393157	-69.92544733
γ -mangostin / CuSO_4 (F1)	-86.12336296	-81.82774326
γ -mangostin / CuSO_4 (F2)	-57.90128897	-52.98179882

จากผลการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์ของการเกิดอันตรกิริยาระหว่างไอออนทองแดงที่สามารถละลายน้ำได้ 2 รูปแบบ คือ Cu^{2+} และ CuSO_4 บนโครงสร้างของสารสกัดแมงโกสตินทั้งสองตำแหน่งที่สามารถเกิดอันตรกิริยาได้ของโครงสร้างทั้ง 3 ชนิดของแมงโกสติน คือ α -mangostin, β -mangostin และ γ -mangostin พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางเรขาคณิตเกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการเกิดอันตรกิริยา และมีพลังงานการเกิดอันตรกิริยาที่แตกต่างกันในแต่ละระบบการเกิดอันตรกิริยา ซึ่งมีพลังงานการเกิดอันตรกิริยาดังแต่ 52.98-628.19 kcal/mol

ตอนที่ 2 ผลการสกัดสาร และการแยกสารสกัด α -mangostin, β -mangostin และ γ -mangostin

การแยกสารเมงโกสทินจากเปลือกมังคุด โดยการสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอล และแยกต่อด้วยวิธีทางโครมาโทกราฟี และพิสูจน์เอกลักษณ์ของเมงโกสทินที่แยกได้ ด้วยการเปรียบเทียบโครมาโทแกรมบนแผ่น TLC เทียบกับเมงโกสทินสารมาตรฐานได้ผลดังนี้

ผลการเตรียมพืชตัวอย่าง

จากการเตรียมเปลือกมังคุดแห้ง ขนาดชิ้นเล็กๆ ได้น้ำหนัก 1,000 กรัม

ผลการสกัดสารจากเปลือกมังคุด

จากการนำเปลือกมังคุดตากแห้ง 1,000 กรัม แช่ด้วยตัวทำละลายเมทานอลจนท่วม เป็นเวลา 3 วัน และระเหยตัวทำละลายออก จะได้สารสกัดหยาบในรูปสารหนืดสีน้ำตาลเข้ม น้ำหนัก 134.56 กรัม

ผลการแยกเมงโกสทินจากสารสกัดหยาบเมทานอล

การแยกสารสกัดเมงโกสทิน ด้วยวิธีการทางโครมาโทกราฟีแบบรวดเร็ว สามารถรับสารละลายได้ทั้งหมด 57 หลอด แสดงลักษณะกายภาพดังตาราง

ตารางที่ 3 แสดงลักษณะกายภาพของสารที่แยกได้ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีแบบรวดเร็ว

หลอดที่รับ	ตัวทำละลายที่ชะ	ลักษณะกายภาพ
1-3	100% CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองใส
4-6	5%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองเข้ม
7-9	10%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายน้ำตาลเข้ม
10-12	15%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายน้ำตาลเข้ม
13-15	20%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายน้ำตาลเข้ม
16-18	25%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายน้ำตาลเข้ม
19-21	30%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายน้ำตาลเข้ม
22-24	35%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองใส
25-27	40%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองใส
28-30	55%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองเข้ม
31-33	60%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองเข้ม
34-36	65%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองเข้ม

หลอดที่รับ	ตัวทำละลายที่ชะ	ลักษณะกายภาพ
37-39	70%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองเข้ม
40-42	75%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองเข้ม
43-45	80%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองเข้ม
46-48	85%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองใส
49-51	90%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองใส
52-54	95%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองใส
55-57	100%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองใส

จากตารางแยกสารสกัดแมงโกสตินที่ผสมกับผงซิลิกาเจล ปริมาณ 20 g โดยใช้เฟสเคลื่อนที่เป็น 100% ไดคลอโรมีเทน ทำการเพิ่มขั้วครั้งละ 5% เมทานอล เพิ่มเข้าไปเรื่อยๆจนถึง 100% เมทานอล แยกด้วยวิธีการทางโครมาโทกราฟีแบบรวดเร็ว พบว่า หลังจากสารสกัดผ่านลงคอลัมน์จะมีลักษณะเป็นสารละลายสีน้ำตาลเข้ม สีเหลืองเข้ม และสีเหลืองใส

เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการแยกคอลัมน์โครมาโทกราฟีแบบรวดเร็ว มาตรวจสอบด้วย แผ่น TLC และรวมส่วนที่มีลักษณะโครมาโทแกรมเหมือนกันเข้าด้วยกัน ได้ทั้งหมด 3 ส่วนมี ลักษณะและปริมาณแตกต่างกันดังนี้

ตารางที่ 4 แสดงลักษณะกายภาพของสารสกัดส่วนย่อยที่ได้จากการแยกด้วยโครมาโทกราฟีแบบรวดเร็ว

ส่วนย่อยที่	ลักษณะกายภาพ	น้ำหนัก (g)
1	สารสกัดสีน้ำตาลเข้มหนืด	-
2	สารสกัดสีเหลืองเข้มหนืด	10.34
3	สารสกัดสีเหลืองใสหนืด	-

เมื่อนำสารแต่ละส่วนตรวจเช็คการเคลื่อนที่บนแผ่น TLC โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานแมงโกสติน พบว่า สารสกัดในส่วนย่อยที่ 2 ลักษณะสารสีเหลืองเข้มหนืด จะมีการเคลื่อนที่คล้ายกับสารมาตรฐานแมงโกสติน แต่ยังมีสารอื่นปนอยู่ด้วย จึงนำสารสกัดในส่วนย่อยที่ 2 น้ำหนัก 10.34 g ไปแยกให้สารบริสุทธิ์ขึ้น ด้วยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟีแบบธรรมดา สามารถรับสารละลายได้ทั้งหมด 147 หลอด แสดงลักษณะกายภาพได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงลักษณะกายภาพของสารสกัดที่แยกได้ ด้วยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟีแบบธรรมดา

หลอดที่รับ	ตัวทำละลายที่ชะ	ลักษณะกายภาพ
1-7	100% CH ₂ Cl ₂	สารละลายน้ำตาลเข้ม
8-14	5%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายน้ำตาลเข้ม
15-21	10%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายน้ำตาลเข้ม
22-28	15%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายน้ำตาลเข้ม
29-35	20%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายน้ำตาลเข้ม
36-42	25%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายน้ำตาลเข้ม
43-49	30%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายน้ำตาลเข้ม
50-56	35%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีน้ำตาลเข้ม
57-63	40%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีน้ำตาลเข้ม
64-70	45%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายน้ำตาลเข้ม
71-77	50%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายน้ำตาลเข้ม
78-84	55%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายน้ำตาลเข้ม
85-91	60%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองเข้ม
92-98	65%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองใส
99-105	70%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองใส
106-112	75%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองใส
113-119	80%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองใส
120-126	85%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองใส
127-133	90%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองใส
134-140	95%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองใส
141-147	100%MeOH/ CH ₂ Cl ₂	สารละลายสีเหลืองใส

สารละลายที่ได้จากการแยกด้วยวิธีการทางโครมาโทกราฟีแบบธรรมดาพบว่า เมื่อนำมาแยกสารสกัดเพื่อให้สารสกัดมีความบริสุทธิ์มากขึ้น สารสกัดจะมีลักษณะเป็นสารสีน้ำตาลเข้ม และสารสีเหลืองใส เมื่อนำสารแต่ละส่วนมาตรวจสอบด้วย TLC สามารถรวมส่วนที่มีลักษณะโครมาโทแกรมเหมือนกันได้ ทั้งหมด 5 ส่วน ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงลักษณะกายภาพของสารสกัดที่ได้จากการแยกด้วยโครมาโทกราฟีแบบธรรมดา

ส่วนย่อยที่	ลักษณะทางกายภาพ	น้ำหนัก (g)
1	สารสกัดสีน้ำตาลเข้มหนืด	1.89
2	สารสกัดสีเหลืองเข้มหนืด	1.33
3	สารสกัดสีเหลืองใสหนืด	1.28
4	สารสกัดสีเหลืองเข้มหนืด	1.10
5	สารสกัดสีเหลืองเข้มหนืด	0.66

เมื่อนำสารสกัดที่รองรับได้แต่ละหลอด ไประเหยด้วยเครื่องระเหยแบบสูญญากาศ พบว่า สารสกัดจะมีลักษณะเป็นสารหนืด แล้วทำการตรวจเช็คการเคลื่อนที่บนแผ่น TLC โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานแมงโกสติน พบว่า มีสารสกัดในส่วนย่อยที่ 5 ลักษณะสารสีเหลืองเข้ม น้ำหนัก 0.66 g เมื่อมีการเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ พบว่ามีการเคลื่อนที่เหมือนกับสารมาตรฐานแมงโกสติน แสดงว่าสารในส่วนย่อย 5 ส่วน คือ แมงโกสตินหลังจากนั้นทำการระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบสูญญากาศ จะได้สารสกัดลักษณะของแข็งสีเหลือง ปริมาณ 0.36 g จะเห็นได้ว่าการสกัดสารสกัดแมงโกสติน จากเปลือกมังคุด สามารถได้รับปริมาณน้อยมาก ไม่เหมาะสมในการนำไปศึกษาความสามารถในการดูดซับไอออนทองแดง จึงมีการใช้เปลือกมังคุดเป็นวัสดุดูดซับแทน เนื่องจากคุณสมบัติของเปลือกมังคุดมีสารแมงโกสตินเป็นส่วนประกอบ และเป็นวัสดุที่มีรพุนซึ่งหากสามารถดูดซับไอออนทองแดงได้ ก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดซับที่เหมาะสมได้ เนื่องจากเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

ตอนที่ 3 ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยเปลือกมังคุด

จากผลการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์ ที่มีอันตรกิริยาเกิดขึ้นระหว่างไอออนทองแดงบนโครงสร้างของสารแมงโกสติน ซึ่งเป็นสารที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกมังคุด จึงดำเนินการศึกษาความสามารถในการดูดซับไอออนทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยเปลือกมังคุด มีลำดับการศึกษาดังนี้

- 1. การวิเคราะห์หาค่าไอโอดีนัมเบอร์ของของเปลือกมังคุด
- 2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอออนทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยเปลือกมังคุด
 - ปริมาณของเปลือกมังคุด
 - เวลาในการดูดซับ

3. ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบแลงเมียร์ และไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบ
ฟรุนคลิช

การวิเคราะห์หาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของเปลือกมังคุด (Iodine Number)

การหาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) จะเป็นดัชนีชี้วัดอย่างหนึ่งที่บ่งบอกถึงค่า
ความสามารถในการดูดซับของวัสดุดูดซับ ซึ่งจะมีค่าความสัมพันธ์โดยตรงค่าพื้นที่ผิวของ
วัสดุดูดซับ

ตารางที่ 7 แสดงค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) ของเปลือกมังคุด

ตัวดูดซับ	เปลือกมังคุด	ถ่านจากเปลือกมังคุด*	ถ่านกัมมันต์ จากเปลือกมังคุด*
ค่าการดูดซับ ไอโอดีน (mg/g)	95.22 ± 0.01	125.22 ± 0.01	955.19 ± 0.02

หมายเหตุ : ค่าการดูดซับไอโอดีน เท่ากับ $\bar{X} \pm SD, n = 3$

* เป็นการศึกษาเปรียบเทียบพื้นที่ผิว

การวิเคราะห์นี้เป็นวิธีการหลักในการทดสอบคาร์บอน โดยใช้วิธีมาตรฐาน(ASTM-
4607 – 94) ผลการวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนนัมเบอร์ของวัสดุดูดซับทั้งสามชนิด พบว่าถ่าน
กัมมันต์จากเปลือกมังคุดมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุด รองลงมาเป็นถ่านจากเปลือกมังคุด
และเปลือกมังคุด คือ เท่ากับ 955.19, 658.83 และ 125.22 (mg/g) ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ค่า
การดูดซับไอโอดีนนี้มีสอดคล้องกับภาพถ่าย SEM โดยกัมมันต์จากเปลือกมังคุด มีพื้นที่ผิวและ
จำนวนรูพรุนจำนวนมากกว่าถ่านเปลือกมังคุด และเปลือกมังคุด แต่การเตรียมถ่านและถ่านกัมมันต์
ต้องใช้ความร้อนสูงมากในการจัดเตรียม ซึ่งเป็นการทำลายสารเมงโกสดินที่มีอยู่ในเปลือกมังคุด
ให้สลายตัวไปทั้งหมด ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำเฉพาะเปลือกมังคุดมาศึกษาเพื่อเป็นตัวแทนของ
สารเมงโกสดิน

จะเห็นได้ว่าวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นจากการเผาเปลือกมังคุด มีค่าการดูดซับไอโอดีน
ใกล้เคียงกับงานวิจัยของนิตยา ชำอุ่น (2550 : 59) แต่ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่เตรียมขึ้น ทำ
การกระตุ้นทางเคมีโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ นำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส
มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่ดีที่สุด เนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิดังกล่าว ดีกว่าการเผาที่
อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียส (รุ่งนภา สุขสว่าง. 2550 : 51) และถ่านนำไปเผาที่อุณหภูมิ

900 องศาเซลเซียส โครงสร้างรูพรุนได้รับความร้อนสูงเกินไป จนเกิดการแตกสลายของผนัง โครงสร้างรูพรุนขนาดเล็กกลายเป็นรูพรุนขนาดกลางและขนาดใหญ่ ทำให้ความสามารถในการ ดูดซับไอโอดีนลดลง (Yang and Lua. 2003 : 113)

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ไอออนทองแดง ในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยเปลือกมังคุด

1. ศึกษาปริมาณเปลือกมังคุดที่เหมาะสมในการดูดซับ

จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณของวัสดุดูดซับ 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 กรัม ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไอออนทองแดง ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 120 นาที ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 8 แสดงประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้เปลือก มังคุดปริมาณต่างๆ ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลา 120 นาที ณ อุณหภูมิห้อง

ปริมาณเปลือกมังคุด (กรัม)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
ประสิทธิภาพการดูดซับไอออน ทองแดง (%)	19.10	33.70	43.33	68.12	72.50	72.09	71.50	71.00

จากตาราง พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาการดูดซับเป็น 120 นาที ด้วยเปลือกมังคุด ปริมาณที่เหมาะสมในการใช้ เป็นวัสดุดูดซับได้อย่างเหมาะสม คือ ใช้เปลือกมังคุดปริมาณ 2.50 กรัม มีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ 72.50%และเมื่อใช้ปริมาณที่มากขึ้น พบว่าประสิทธิภาพเข้าสู่ภาวะคงที่ และลดลงเล็กน้อย

2. ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ

จากการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชให้เหมาะสม สำหรับเปลือก มังคุด โดยการเติมเปลือกมังคุด จำนวน 2.50 กรัม ตั้งทิ้งไว้ที่เวลา 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 และ 120 นาที ทำการกรองสารละลายหลังจากการดูดซับ แล้วนำไปวิเคราะห์หา ปริมาณทองแดง เพื่อหาเวลาในการดูดซับที่จุดสมดุลในการดูดซับไอออนทองแดง ด้วยเปลือก มังคุด และหาประสิทธิภาพการดูดซับ ดังตารางต่อไป

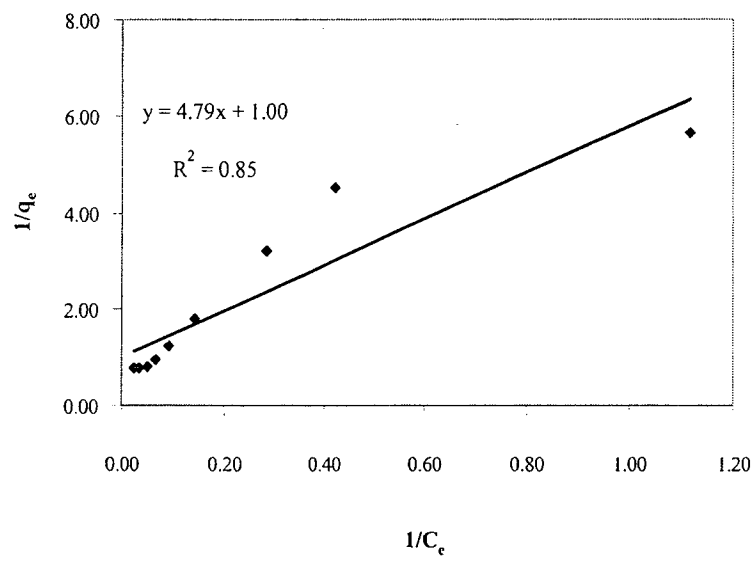
ตารางที่ 9 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับไอออนทองแดง โดยใช้เปลือกมังคุดปริมาณ 2.5 กรัม เป็นวัสดุดูดซับ โดยน้ำเสียสังเคราะห์มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาในการดูดซับต่างๆ กัน ณ อุณหภูมิห้อง

ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนทองแดง ของเปลือกมังคุด ที่เวลาสัมผัสต่างๆ ณ อุณหภูมิห้อง												
เวลาในการดูดซับ (นาท)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
ประสิทธิภาพในการดูดซับ (%)	60.0	61.0	62.0	63.0	63.5	64.0	64.5	65.0	65.5	65.0	64.5	64.0

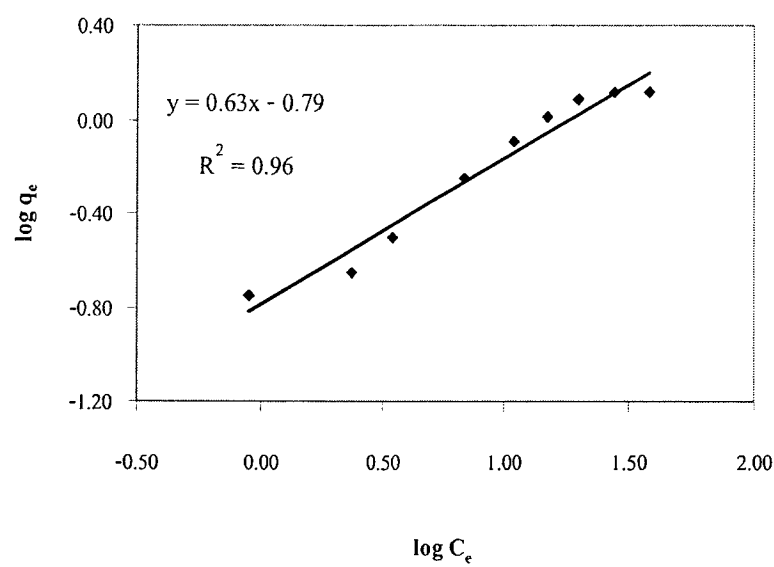
จากผลการทดลองตามตารางที่ 9 แสดงว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายไอออนทองแดง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเปลือกมังคุด เข้าสู่สมดุลในการดูดซับไอออนทองแดง ที่เวลา 90 นาที ในการดูดซับไอออนทองแดงสังเกตได้ว่าที่เวลาสัมผัสตั้งแต่ 10 นาทีแรก ค่าความเข้มข้นของไอออนทองแดง จะลดลงอย่างรวดเร็ว หรืออัตราการดูดซับเพิ่มขึ้นเพราะช่วงแรกพื้นที่ผิวบริเวณ Active Site ของวัสดุดูดซับ ยังมีพื้นที่อยู่มาก จึงสามารถดูดซับได้เร็ว อัตราการดูดซับในช่วงนี้จึงมากกว่าอัตราการคาย แต่เมื่อเวลาผ่านไปพื้นที่ผิวบริเวณ Active Site จะลดลง จึงทำให้ไอออนทองแดงเข้าไปเกาะได้ลดลง อัตราการดูดซับจึงลดลง กล่าวได้ว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนทองแดงมีผลต่อเวลาในการดูดซับ ที่จุดสมดุลของวัสดุดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบแลงเมียร์ และแบบฟรุนดลิช

จากการศึกษาปริมาณของเปลือกมังคุด และเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนทองแดง นำมาเขียนกราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบแลงเมียร์ และไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบฟรุนดลิชได้ดังนี้



ภาพที่ 10 แสดงแลงเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับไอออนทองแดงโดยใช้เปลือกมังคุด ปริมาณ 2.50 กรัม เวลา 90 นาที ที่ความเข้มข้น 5, 7, 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ณ อุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 11 แสดงฟรอนด์ลิชไอโซเทอร์มของการดูดซับไอออนทองแดง โดยใช้เปลือกมังคุด ปริมาณ 2.50 กรัม เวลา 90 นาที ที่ความเข้มข้น 5, 7, 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ณ อุณหภูมิห้อง

จากการศึกษาสมการ Langmuir และ Freundlich ด้วยการพล็อตกราฟเป็นสมการเส้นตรง จะได้ค่า R^2 ของไอโซเทอร์มการดูดซับไอออนทองแดงแบบแลงเมียร์ เท่ากับ 0.85 และ R^2 ของไอโซเทอร์มการดูดซับไอออนทองแดงแบบฟรอนด์ลิช เท่ากับ 0.96 พบว่าการดูดซับไอออนทองแดงด้วยเปลือกมังคุด มีความสอดคล้องกับ Freundlich Model มากกว่า แสดงว่า การดูดซับดังกล่าวมีการดูดซับเป็นแบบต่อเนื่อง สารไอออนทองแดงสามารถเกิดการดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) เกิดการซ้อนทับของไอออนบนพื้นผิวของเปลือกมังคุด