

บทที่ 2

การทดลอง

2.1 วัสดุ สารเคมีและอุปกรณ์

2.1.1 ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในงานวิจัยได้แก่ กิ่งไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกเพื่อส่งโรงงานผลิตเยื่อกระดาษจากจังหวัดปราจีนบุรี จี๊เลื้อยจากจังหวัดน่าน และวัสดุที่ใช้เป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยาใช้ถ่านหินลิกไนต์จากจังหวัดลำปาง

2.1.2 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย แสดงดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	สูตรโมเลกุล	เกรด	บริษัท
แอมโมเนียมคาร์บอเนต	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	AR	Fluka
นิกเกิลคาร์บอเนตเบสิกไฮเดรต	$\text{NiCO}_3 \cdot 2\text{Ni}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	AR	Carlo Erba
สารละลายแอมโมเนีย	NH_4OH	AR	Merck
กรดเบนโซอิก	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$	AR	Fluka
โซเดียมไธโอซัลเฟต	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	Lab	J.T Baker
โซเดียมคาร์บอเนต	Na_2CO_3	Lab	Merck
โซเดียมไฮดรอกไซด์	NaOH	Lab	Merck
กรดไฮโดรคลอริก	HCl	AR	Fluka
กรดไนตริก	HNO_3	AR	Merck
กรดบอริก	H_3BO_3	AR	Merck
กรดไฮโดรฟลูออริก	HF	AR	Merck
แบเรียมซัลเฟต	BaSO_4	Lab	-
ซิลเวอร์ไนเตรท	AgNO_3	Lab	-
เมทิลลอเรนจ์	$\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{O}_3\text{SNa}$	AR	Sigma chemical
แก๊สไฮโดรเจน	H_2	commercial	TIG

ตาราง 2.1 (ต่อ) สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	สูตรโมเลกุล	เกรด	บริษัท
แก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์	CO ₂	commercial	TIG
แก๊สออกซิเจน	O ₂	commercial	TIG
แก๊สไนโตรเจน	N ₂	commercial	TIG

2.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

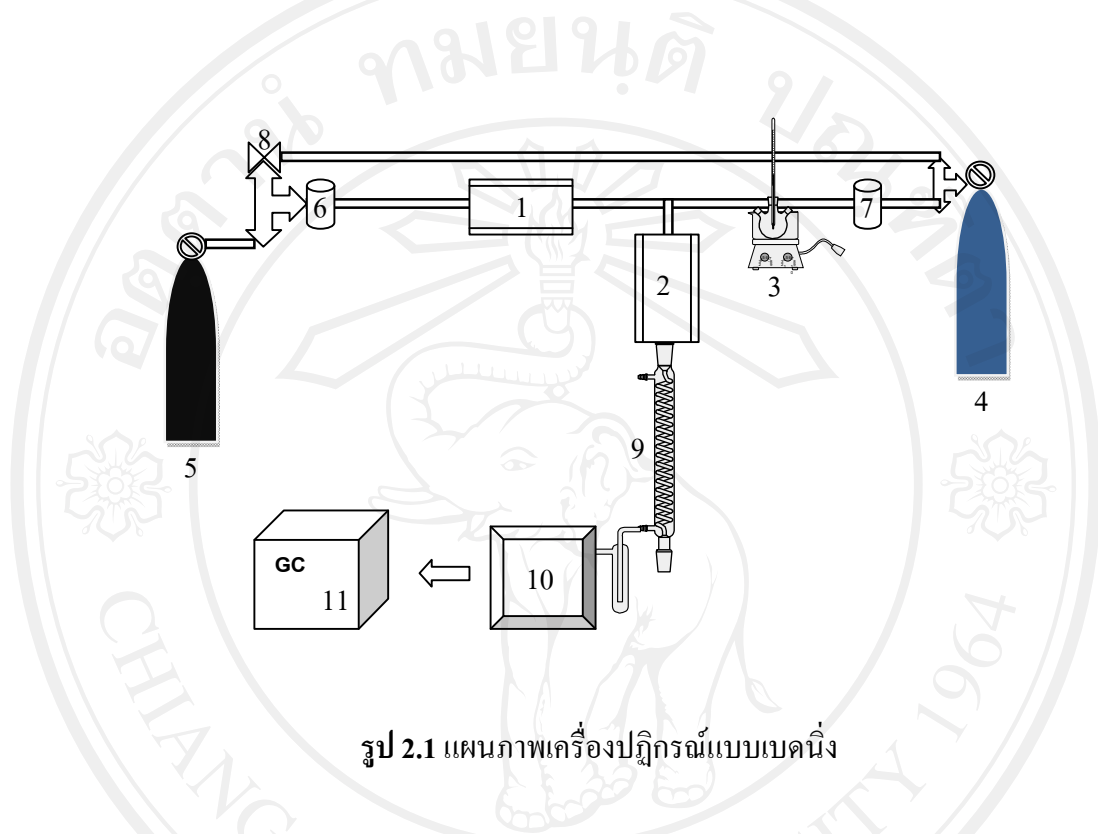
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย แสดงดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่น	บริษัท
เครื่องชั่งละเอียด	BA 210S	Sartorius basic
เครื่องชั่งหยาบ	B610	Sartorius basic
เครื่องบด	-	Retch
เครื่องร่อน	AS 200 basis	Retch
ตะแกรงร่อน	-	Retch
ภาชนะดูดความชื้น	-	Nalgene
เตาเผา	2-525 Series II	Eurotherm electric furnace
เตาอบ	PV-110	Taibai espect corp.
Bomb washing calorimeter	no. 1341	Parr instrumentation company, inc.
CHNS/O Analysis	PE 2004 Series II	Perkin-Elmer
Gas chromatograph (GC)	6890	Agilent
Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)	Analyst 100	Perkin-Elmer
KJT-Thermocouple	HI 93551	Hanna instrument
Spot-Thermometer	HT-21	Konica minolta sensing, Inc
เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง และ เครื่องระเหย	Tailored made	Tailored made
ถุงเก็บตัวอย่างแก๊ส	3008-26420 CEK-20	GL Science, Inc

2.1.4 ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed bed reactor system)

เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่ใช้สำหรับทำงานวิจัยแสดงดังรูป 2.1 ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้



1. เครื่องไล่สารระเหย (Devolatilizer)
2. เครื่องปฏิกรณ์ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic reactor)
3. เครื่องผลิตไอน้ำ (Steam generator)
4. แก๊สไนโตรเจน (Nitrogen)
5. แก๊สออกซิเจน (Oxygen)
6. เครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊ส (Flow gas meter)
7. เครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊ส (Flow gas meter)
8. วาล์ว (Valve)
9. ชุดควบแน่น (Condenser)
10. ถุงเก็บตัวอย่างแก๊ส (Gas sampling bag)
11. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

2.1.5 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ (Gas chromatograph) ^[20]

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟยี่ห้อ Agilent 6890 แสดงดังรูป 2.2 เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารผสมที่ระเหยง่าย โดยสารผสมจะถูกฉีดเข้าไปในคอลัมน์ (Column) ที่บรรจุด้วยสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวยึดจับที่เรียกว่า Stationary phase และมีแก๊สพา (Carrier gas) เป็นเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) เคลื่อนที่ไปตามคอลัมน์เข้าสู่เครื่องวัด (Detector) สัญญาณที่เครื่องตรวจวัดได้รับนั้นจะถูกส่งไปบันทึกเป็นโครมาโทแกรม (Chromatogram) โดยเครื่องบันทึก

โดยแก๊สโครมาโทกราฟมีส่วนประกอบที่สำคัญ

1. แก๊สพา (Carrier gas)
2. ตัวควบคุมการไหล (Flow controller)
3. ส่วนที่ฉีดสารตัวอย่าง (Injector port)
4. คอลัมน์ (Column)
5. ดีเทกเตอร์ (Detector)
6. เครื่องบันทึก (Recorder)



รูป 2.2 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

2.2.1.1 ยูคาลิปตัส

เก็บตัวอย่างกิ่งไม้ยูคาลิปตัส จากแปลงปลูกที่จังหวัดปราจีนบุรีเดือน เมษายน พ.ศ. 2551 นำกิ่งไม้ยูคาที่ตัดได้มาสับย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำไปตากแดดเพื่อไล่ความชื้นออกประมาณ 10 วัน แล้วนำมาบด และทำการร่อนผ่านตะแกรงคัดขนาด ซึ่งยูคาลิปตัสที่ใช้มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.25-0.45 มิลลิเมตร แสดงดังรูป 2.3



รูป 2.3 ตัวอย่างยูคาลิปตัสที่มีขนาดอนุภาคระหว่าง 0.25 – 0.45 มิลลิเมตร

2.2.1.2 จี่เหลี่ย

เก็บตัวอย่างจี่เหลี่ยจากร้านขายเฟอร์นิเจอร์ สหกรณ์จังหวัดน่านเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2548 นำจี่เหลี่ยไปตากแดดเพื่อไล่ความชื้นบางส่วนออกไป ประมาณ 10 วัน จากนั้นบดจี่เหลี่ย และทำการร่อนผ่านตะแกรงคัดขนาด ซึ่งจี่เหลี่ยที่ใช้มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.25 – 0.45 มิลลิเมตร แสดงดังรูป 2.4



รูป 2.4 ตัวอย่างจี่เหลี่ยที่มีขนาดอนุภาคระหว่าง 0.25 – 0.45 มิลลิเมตร

2.2.2 การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) ^[21-28]

วิธีการวิเคราะห์แบบประมาณของยูคาลิปตัส และจี้เลื้อยทำการวิเคราะห์ตาม ASTM E870-82 ซึ่งวิธีการทดลองและการคำนวณ แสดงดังภาคผนวก ก และการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านหินลิกไนต์ทำการวิเคราะห์ตาม ASTM D3172-79 ซึ่งวิธีการทดลอง และการคำนวณแสดงดังภาคผนวก ข

2.2.3 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ^[29]

วิธีการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของยูคาลิปตัส จี้เลื้อยและถ่านหินทำการวิเคราะห์ตาม ASTM D3176 ซึ่งวิธีการทดลองแสดงดังภาคผนวก ค

2.2.4 การวิเคราะห์หาค่าความร้อน ^[30-31]

1. ชั่งน้ำหนักยูคาลิปตัส จี้เลื้อย หรือถ่านหินที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.25 มิลลิเมตร ปริมาณ 1 กรัม ใส่ลงในแคปซูล (Combustion capsule)
2. นำแคปซูลใส่ในบอมบ์ ร้อยลวด (Fuse wire) ยาวประมาณ 10 เซนติเมตรให้ผ่านตัวอย่าง
3. ปิดบอมบ์แล้วเติมออกซิเจน 25 - 35 ความดันบรรยากาศ จากนั้นใส่แก๊สออกแล้วเติมออกซิเจนเข้าไปใหม่อีกครั้ง
4. ใส่บอมบ์ลงในแคลอริมิเตอร์ บั๊กเก็ต (Calorimeter bucket) ซึ่งอยู่ใน (Jacket)
5. ต่อวงจรสำหรับฟิวส์ (Fuse) และไบกวน
6. เติมน้ำกลั่นประมาณ 2 ลิตร ลงในบั๊กเก็ต (Bucket)
7. ปิดฝาแคลอริมิเตอร์ แล้วหย่อนเทอร์โมมิเตอร์ลงไป เริ่มกวนให้อุณหภูมิคงที่ ใช้เวลาประมาณ 5 นาที
8. เมื่อถึงจุดที่สมดุล (อุณหภูมิคงที่หรือเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย) ให้เริ่มอ่านอุณหภูมิทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที
9. กดปุ่มอิกนิชัน (Ignition) เริ่มเกิดการเผาไหม้ในนาที่ที่ 6 บันทึกอุณหภูมิ และเวลาที่อ่านค่า (อ่านทุก 15 วินาที หรือทุก 30 วินาที) ในช่วงที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นอ่านทุกๆ 1 นาที อ่านต่อไปใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 18 – 20 นาที อุณหภูมิจะเริ่มคงที่ ให้บันทึกอุณหภูมิที่คงที่ติดต่อกัน 5 นาที
10. หยุดไบกวนแล้วเปิดฝาแคลอริมิเตอร์ ยกบอมบ์ออก ค่อยๆ ปล่อยความดันในบอมบ์ให้ลดลงจนไม่มีเสียงอากาศออก

11. ล้างภายในบอมบ์ด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด เก็บน้ำที่ล้างได้ทั้งหมดไว้ในบีกเกอร์ แล้วนำไปไตเตรทกับ 0.0725 นอร์มอล (N) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ใช้เมธิลเรด (Methyl red) หรือเมธิลออเรนจ์ (Methyl orange) เป็นอินดิเคเตอร์

12. นำสารละลายที่ไตเตรทแล้วไปหาปริมาณแคลเฟอร์ในตัวอย่าง

13. วัดความยาวของหลอดที่ไม่ถูกเผาไหม้จากนั้นนำค่าต่างๆ ที่ได้ มาคำนวณหาค่าความร้อนของตัวอย่าง แสดงดังภาคผนวก ง เครื่องวิเคราะห์หาค่าความร้อน (Bomb calorimeter) แสดงดังรูป 2.5



รูป 2.5 เครื่องวิเคราะห์หาค่าความร้อน (Bomb calorimeter)

2.2.5 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกันต์โดยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน (Ion - exchange)

1. นำนิกเกิลคาร์บอเนตเบสิคไฮดรอกไซด์ผสมกับแอมโมเนียมคาร์บอเนต สารละลายแอมโมเนีย และน้ำ แล้วคนให้ละลาย

2. นำสารละลายนิกเกิลที่ผสมได้นั้นมาวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโคปี เพื่อคำนวณปริมาณนิกเกิลที่อยู่ในสารละลายนิกเกิลที่เตรียมได้ โดยต้องการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีนิกเกิลเคลือบบนถ่านหินอยู่ปริมาณร้อยละ 26 โดยน้ำหนัก

3. นำถ่านหินที่มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 0.25 มิลลิเมตร ใส่ลงในบีกเกอร์ และนำมาผสมกับสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 2

4. นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากข้อ 3 มากรอง และล้างตะกอนด้วยน้ำจนสะอาด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 107 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเก็บตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท

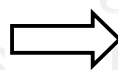
2.2.6 การวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละของนิกเกิลในตัวเร่งปฏิกิริยา^[32]

นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้มาวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละของนิกเกิลบนถ่านหินตามมาตรฐาน ASTM D3683 - 78 ดังนี้

1. นำสารตัวอย่างมา 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยฟอร์ซเลน เผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเผาต่อที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำออกมาเก็บไว้ในภาชนะดูดความชื้น ดังรูป 2.6
2. นำสารตัวอย่างที่ผ่านการเผามา 0.2 กรัม ใส่ลงในขวดพลาสติก เติมน้ำละลายกรดผสม (Aqua regia solution) ลงไป 3 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดไฮโดรฟลูออริกอีก 5 มิลลิลิตร ปิดฝาแล้วนำไปให้ความร้อนบนอ่างน้ำร้อน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แสดงดังรูป 2.7
3. เติมน้ำละลายกรดบอริกลงไป 50 มิลลิลิตร ถ้าพบว่ายังมีกากเหลืออยู่ ให้ความร้อนต่อไปอีก 1 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการละลายได้ดีขึ้น
4. ปล่อยให้ตัวอย่างเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องและปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำปราศจากไอออนในการปรับปริมาตร
5. เก็บตัวอย่างในขวดพลาสติกที่ทำจากพอลิเอทิลีน
6. วิเคราะห์ตัวอย่างที่ได้ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เพื่อหาปริมาณนิกเกิล แสดงดังรูป 2.8



(ก)



(ข)

รูป 2.6 (ก) ตัวอย่างถ่านหินก่อนเผา และ (ข) ตัวอย่างถ่านหินหลังเผา



รูป 2.7 ขั้นตอนการย่อยตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน



รูป 2.8 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโคปี

2.2.7 การหา Heating zone ของท่อปฏิกิริยาแบบเบดนิ่ง

1. ทำการต่อเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเครื่องปฏิกิริยาแบบเบดนิ่ง แสดงดังรูป 2.9
2. ตั้งอุณหภูมิของตัวปฏิกิริยาที่ 500, 550, 600 และ 650 องศาเซลเซียสเมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกิริยาถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ทำการอ่านอุณหภูมิที่จุดซึ่งห่างจากตะแกรงในท่อปฏิกิริยาทุกๆ 1 เซนติเมตร จากระยะห่างเหนือและใต้ตะแกรงและทำการบันทึกอุณหภูมิ



รูป 2.9 เครื่องปฏิกรณ์ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic reactor)

2.2.8 การทดสอบอุณหภูมิของเครื่องระเหย

1. ติดตั้งระบบเครื่องระเหย โดยนำท่อปฏิกิริยาใส่ในตัวเครื่องระเหยแสดงดังรูป 2.10 และติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิของเครื่องระเหย
2. ตั้งอุณหภูมิเครื่องระเหยไว้ที่ 700 องศาเซลเซียส
3. เปิดสวิทช์เครื่องให้ความร้อนของเครื่องระเหยทำงาน
4. บันทึกการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 1 นาที อ่านอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิล
5. ทำการบันทึกจนอุณหภูมิเริ่มคงที่ (มีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 5 องศาเซลเซียส)



รูป 2.10 เครื่องไล่สารระเหย (Devolatilizer)

2.2.9 การทดสอบอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

1. ติดตั้งระบบของเครื่องปฏิกรณ์ให้สมบูรณ์ โดยนำท่อปฏิกรณ์ใส่ในตัวเครื่องปฏิกรณ์ และติดตั้งควบคุมของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง
2. ตั้งอุณหภูมิเครื่องปฏิกรณ์ไว้ที่ 500 องศาเซลเซียส
3. เปิดสวิตช์เครื่องให้ความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ทำงาน
4. บันทึกอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงทุก ๆ 1 นาที อ่านอุณหภูมิจากเทอร์โมคัลเปิด
5. ทำการบันทึกจนอุณหภูมิเริ่มคงที่ (มีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 5 องศาเซลเซียส)
6. ทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 550, 600 และ 650 องศาเซลเซียส แล้วทดลองซ้ำตามข้อ

1 - 5

2.2.10 การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากยูคาลิปตัสโดยแกลิไฟ-เคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยา

1. ชั่งยูคาลิปตัสปริมาณประมาณ 1 กรัม ใส่ด้วยเซรามิกแล้วจึงนำไปใส่ในท่อปฏิกรณ์ จากนั้นจึงใส่ท่อปฏิกรณ์ลงในเครื่องระเหย (Devolatilizer)
2. ชั่งน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์ โดยให้อัตราส่วนโดยมวลของชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1:1 โดยน้ำหนัก ใส่ลงในท่อปฏิกรณ์ และนำท่อปฏิกรณ์ใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์ตัวเร่งปฏิกิริยา
3. ประกอบชุดเครื่องระเหย เครื่องปฏิกรณ์ตัวเร่งปฏิกิริยา และอุปกรณ์ต่างๆ ให้เรียบร้อย ใช้แก๊สไนโตรเจนให้ไหลผ่านระบบ ที่อัตราการไหล 120 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการตั้งอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ตัวเร่งปฏิกิริยา ตามสภาวะที่ต้องการคือ 500 550, 600, 650 และ 700 องศาเซลเซียส
4. เมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ตัวเร่งปฏิกิริยา ถึงสภาวะที่ต้องการให้ทำการเปิดน้ำหล่อเย็นผ่านเครื่องควบแน่น และเปิดเครื่องผลิตไอน้ำที่ความดัน 30 กิโลปาสกาลผ่านระบบ
5. เปิดเครื่องระเหยโดยตั้งอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส โดยให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 10 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยใช้ถุงเก็บแก๊ส
6. นำแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์ โดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี
7. ทำการเก็บตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้จากการแกลิฟายได้แก่ ถ่านชาร์ เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติแบบแยกธาตุ

8. ทำการไล่คาร์บอนที่ติดอยู่ภายในเครื่องแก๊สฟายเออร์ออกโดยใช้แก๊สออกซิเจนไหลผ่านในระบบ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และเก็บแก๊สที่ได้ ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของแก๊สโดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี

2.2.11 การหาอัตราส่วนโดยมวลของยูคาลิปตัสต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการแกสลิฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยา

1. ชั่งยูคาลิปตัสปริมาณประมาณ 1 กรัม ใส่ถ้วยแล้วจึงใส่ในท่อปฏิกรณ์แล้วใส่ลงในเครื่องระเหย
2. ชั่งตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถาดหินลิกไนต์โดยเปลี่ยนอัตราส่วนโดยมวลของชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1:3 และ 1:5 ตามลำดับ ใส่ลงในท่อปฏิกรณ์จากนั้นนำท่อปฏิกรณ์ใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์ตัวเร่งปฏิกิริยา
3. ทำการทดลองที่อุณหภูมิเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่ 650 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองเหมือนข้อ 3-8 ของหัวข้อที่ 2.2.10

2.2.12 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-TCD)

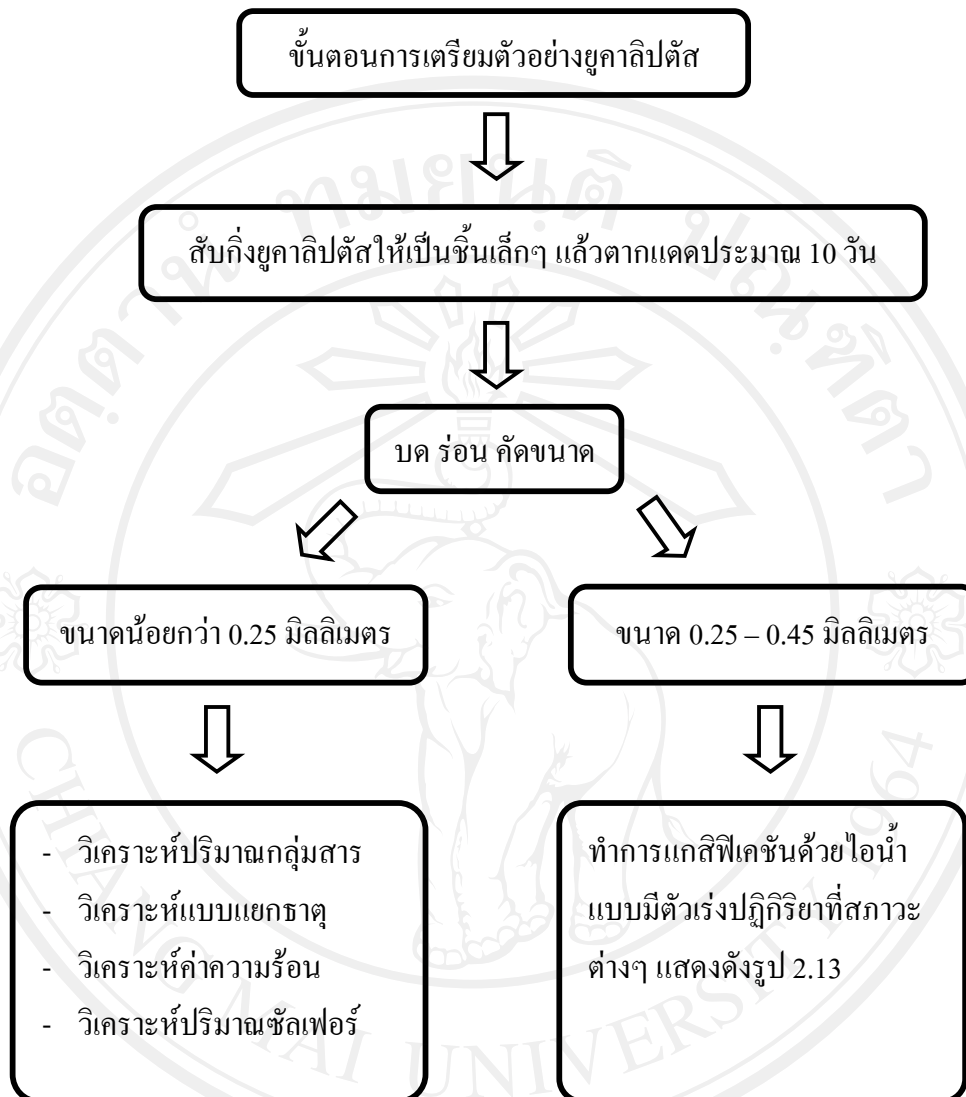
1. นำแก๊สสังเคราะห์ที่ได้จากกระบวนการแกสลิฟิเคชันของยูคาลิปตัสด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เก็บไว้ในถุงเก็บแก๊สผลิตภัณฑ์ ไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-TCD รุ่น 6890 โดยใช้คอลัมน์ HP-PLOT MoleSieve 5A สภาพของเครื่อง GC-TCD แสดงดังภาคผนวก จ
2. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณของแก๊สไฮโดรเจน แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบกับมาตรฐาน แสดงดังภาคผนวก ช

2.2.13 สรุปวิธีการทดลองในงานวิจัย

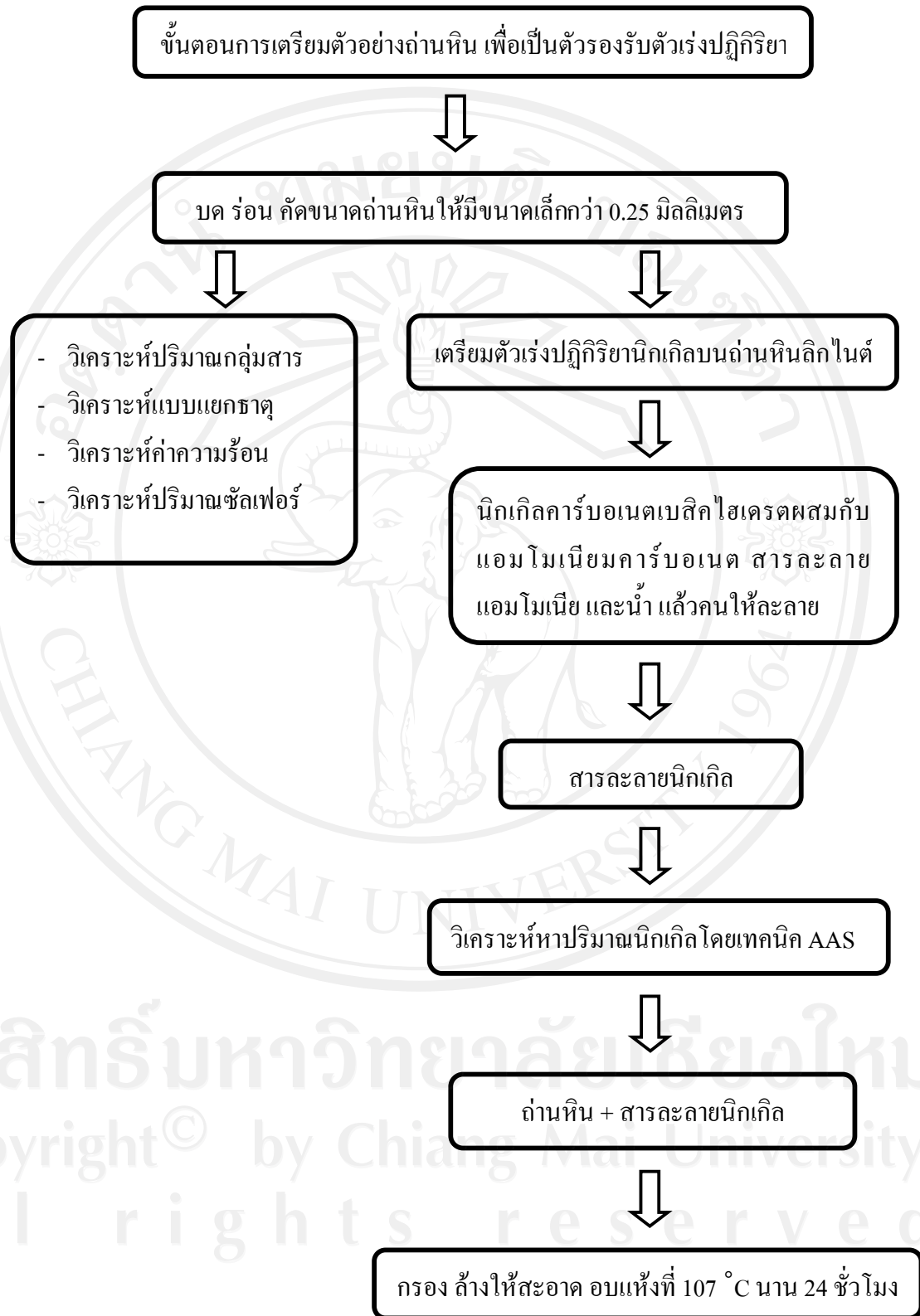
ในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งขั้นตอนการทดลองได้เป็น 3 ขั้นตอนหลักได้แก่

1. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง
2. ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา
3. ขั้นตอนการแกสลิฟิเคชันยูคาลิปตัสด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยา

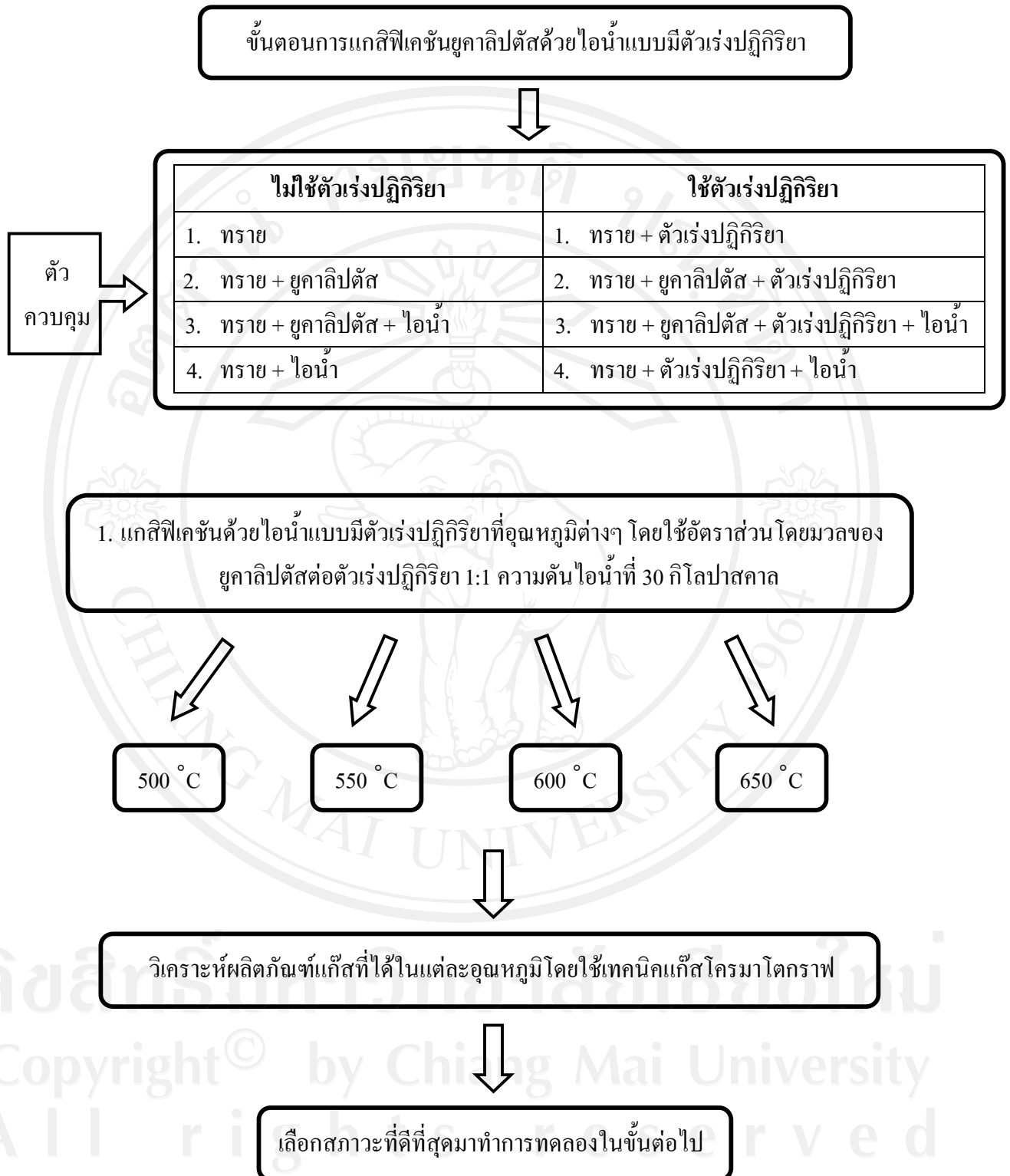
การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ ซึ่งแบ่งเป็นวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของแข็งของยูคาลิปตัสที่ผ่านการไล่สารระเหย (ถ่านชาร์ยูคาลิปตัส) และผลิตภัณฑ์แก๊สจากกระบวนการแกสลิฟิเคชันซึ่งสรุปขั้นตอนการทดลอง แสดงดังรูป 2.11 - 2.13 ตามลำดับ



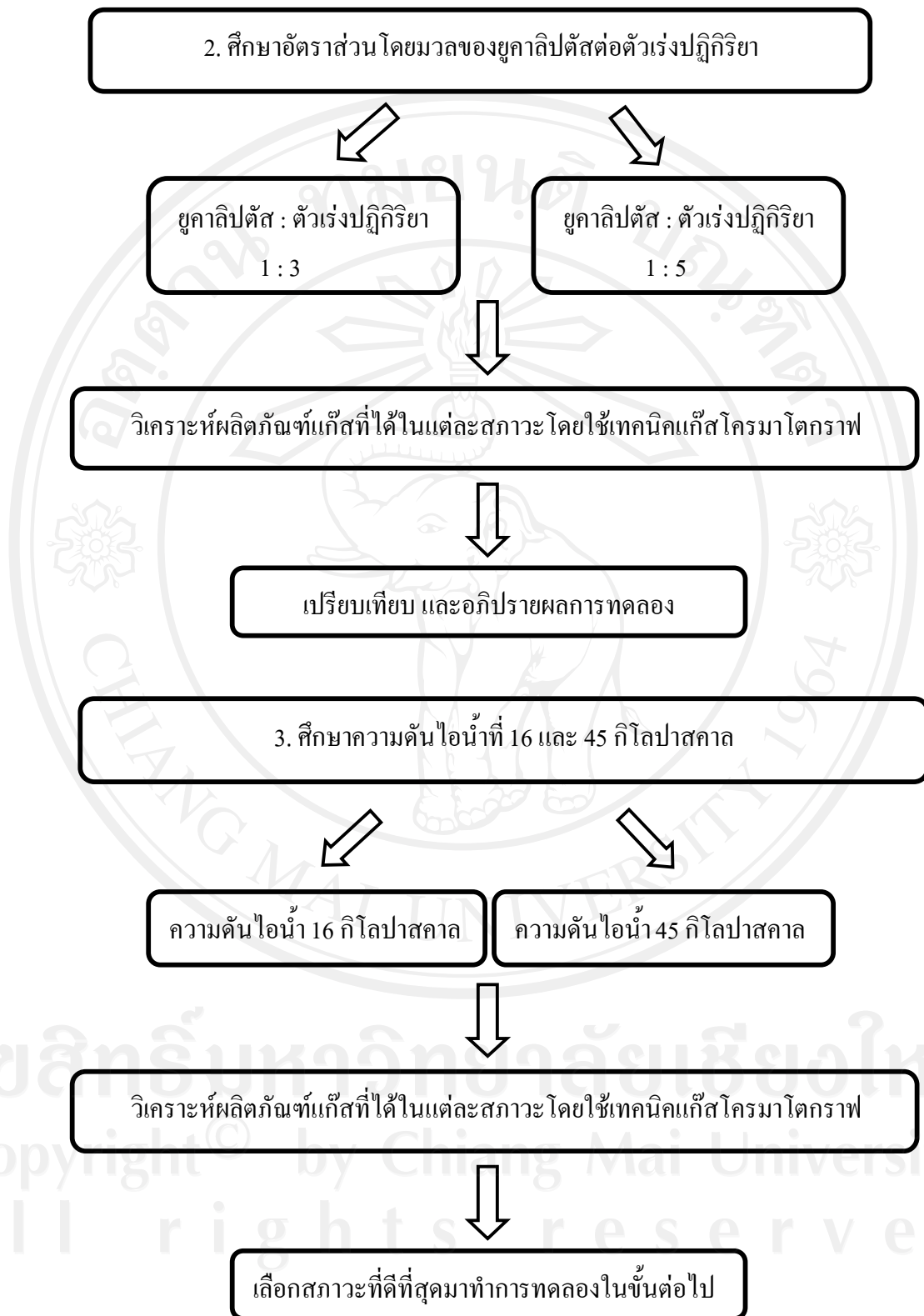
รูป 2.11 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง



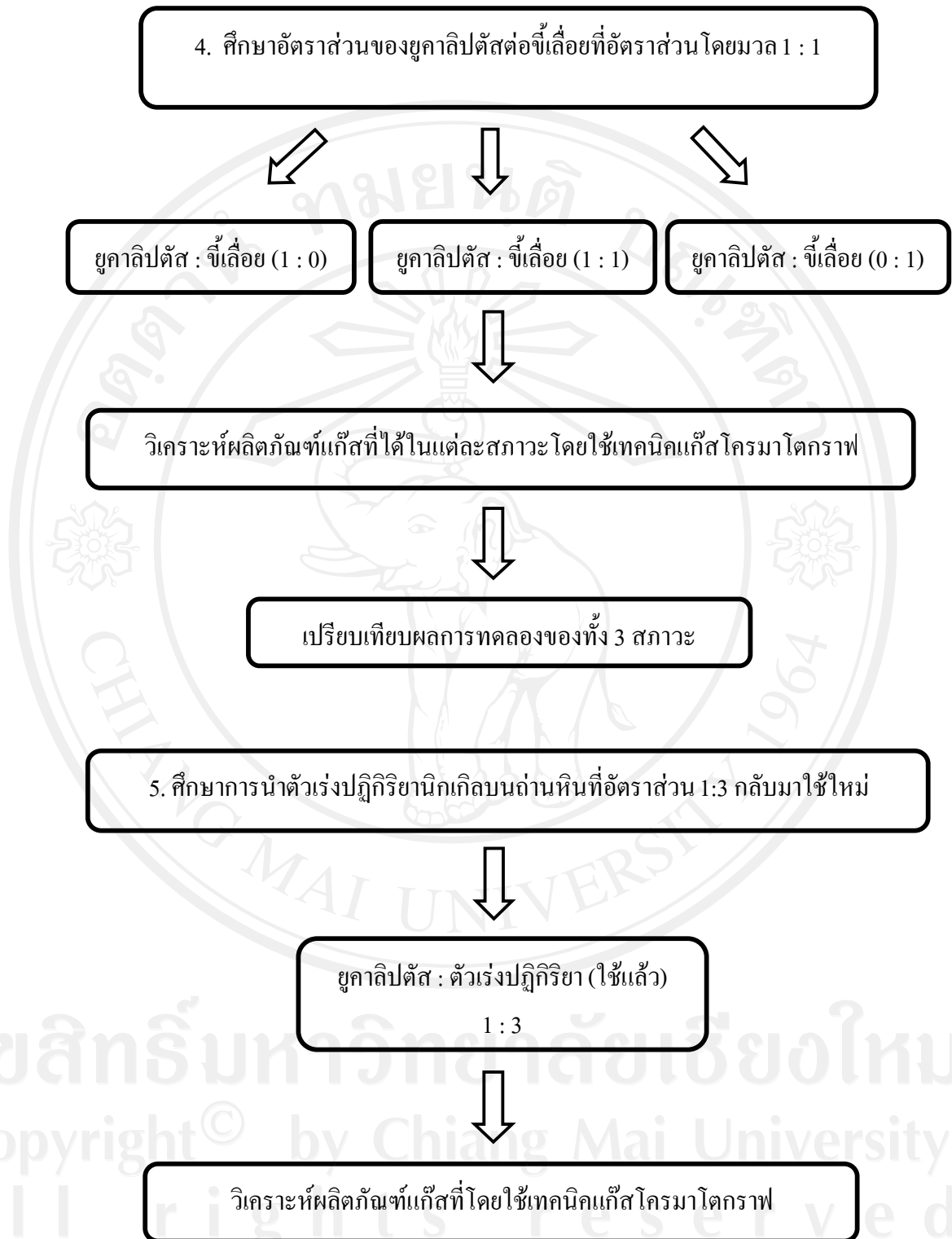
รูป 2.12 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์



รูป 2.13 ขั้นตอนการแกสลิฟเคชันของยูคาลิปตัสด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน
ลิกไนต์



รูป 2.13 ขั้นตอนการแก๊สเฟสของยูคาลิปตัสด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน
ลิกไนต์ (ต่อ)



รูป 2.13 ขั้นตอนการแกสไฟเคชันของยูคาลิปตัสด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน
ลิกไนต์ (ต่อ)

6. แกสไฟเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสโดยใช้อัตราส่วน
โดยมวลของ ยูคาลิปตัสต่อตัวเร่งปฏิกิริยา 1:1 ความดันไอน้ำที่ 30 กิโลปาสกาล



วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟ



เปรียบเทียบผลการทดลองกับสภาวะอุณหภูมิ 500 – 650 °C



สรุปผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการแกสไฟเคชันของยูคาลิปตัสด้วย
ไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์

รูป 2.13 ขั้นตอนการแกสไฟเคชันของยูคาลิปตัสด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน
ลิกไนต์ (ต่อ)