บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การอบแห้งสมุนไพรมีความคาดหวังเพื่อการเก็บรักษา และยืดอายุการใช้งาน ภายใต้คุณภาพของสรรพคุณทางเคมี ซึ่งมีกระบวนการอบแห้งเป็นกระบวนการสำคัญที่ช่วยลดความชื้น แต่มีข้อจำกัดบางอย่างด้านเทคนิคที่อาจทำให้คุณภาพของสมุนไพรลดลง เช่น อุณหภูมิ และระยะเวลาอบแห้ง ซึ่งในงานวิจัยนี้มุ่งหวังเพื่อพัฒนากระบวนการอบแห้งโดยใช้เทคนิคการอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด เพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้ง และวิเคราะห์ผลด้านคุณภาพของสมุนไพร ในการพัฒนาการอบแห้งสมุนไพรให้มีคุณภาพดีขึ้น โดยกระบวนการในการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

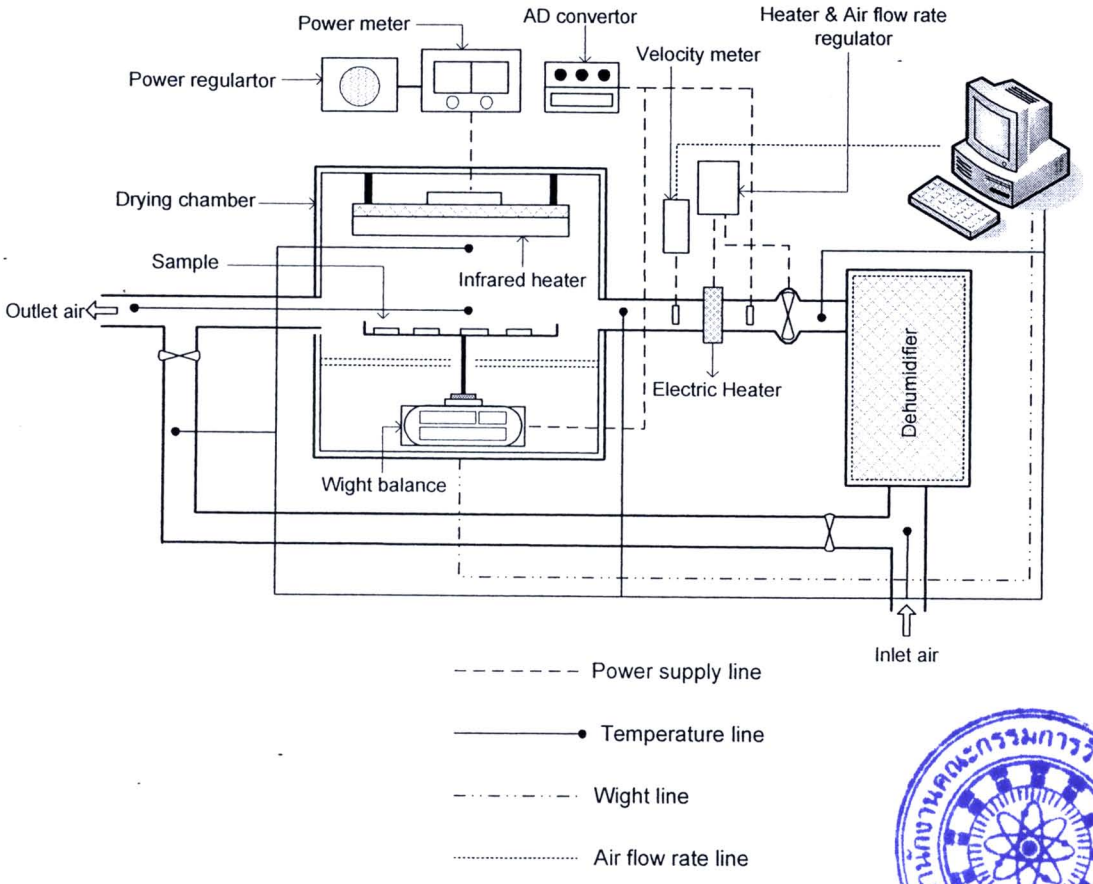
1. การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง โดยศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งสมุนไพร ในการทดลองใช้ ขิง เป็นผลิตภัณฑ์ในการอบแห้ง
2. ทดลองการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด เพื่อศึกษาความเหมาะสมและพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสมุนไพรจากสมบัติเคมีบางประการ
3. วิเคราห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิควิเคราะห์ด้านเคมีด้วย HPLC ตรวจสอบคุณภาพด้านน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากเทคนิคการอบแห้งที่ใช้

3.1 ระบบอบแห้งอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

เครื่องอบแห้งอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน แสดงดังรูปที่ 3.1 เป็นเครื่องอบแห้งให้พลังงานไฟฟ้าโดยมีขดลวดไฟฟ้าและแหล่งกำเนิดอินฟราเรด เป็นแหล่งความร้อน กำลังไฟฟ้าหลอดอินฟราเรดขนาด 800 Watt อบแห้งแบบชั้นบาง ให้ลมผ่านด้านล่างและด้านบนผลิตภัณฑ์เพื่อให้สัมผัสอย่างสม่ำเสมอ

การออกแบบเครื่องอบแห้งอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนในงานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบระบบอบแห้งที่มีการนำอากาศร้อนจากการอบแห้งมาใช้ใหม่ (Recycle Air System) เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน และมีระบบลดความชื้น (Dehumidifier) ในอากาศก่อนเข้าเครื่องอบแห้งเพื่อให้อัตราการระเหยน้ำจากผลิตภัณฑ์สูงขึ้น ประกอบด้วยส่วนหลักคือ (1) ห้องอบแห้ง (Drying Chamber) หุ้มฉนวนความร้อนที่ผนังด้านนอกทั้งหมด (2) แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด (Infrared Heater) ในงานวิจัยจะใช้หลอดอินฟราเรดแบบเซรามิกผิวสีดำ ยี่ห้อ INFAPARA พร้อมโคมสะท้อนเพื่อให้การแผ่รังสีมีประสิทธิภาพสูง ควบคุมการทำงานของหลอดอินฟราเรดด้วยชุดปรับแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulator) (3) ขดลวดไฟฟ้า (Electric Heater) ซึ่งใช้ในการรักษาระดับอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง พร้อมพัดลมไฟฟ้า เพื่อช่วยให้ลมร้อนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วห้องอบแห้ง (4)

ถาดสำหรับวางผลิตภัณฑ์อบแห้ง ต่อกับเครื่องอุปกรณ์วัดน้ำหนัก (Load Cell) ซึ่งติดตั้งอยู่ด้านล่างของห้องอบแห้ง



รูปที่ 3.1 เครื่องอบแห้งอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

โดยทดสอบการอบแห้งเปรียบเทียบกันระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว และการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70°C ซึ่งการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดในกระบวนการอบแห้งมีรูปแบบหรือกระบวนการที่นิยมนำรังสีอินฟราเรดมาใช้ในระยะแรกนั้นส่วนใหญ่ใช้ในการอบแห้งที่พื้นผิว ฟิล์มบาง เช่นการอบแห้งแบบผง เป็นต้น จึงมีการค้นคว้าวิจัย และทดลอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้งานกับวัสดุ หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบ และสร้างเครื่องอบแห้งอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และศึกษาถึงความเหมาะสมในการใช้รังสีอินฟราเรดในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรประเภทสมุนไพร ได้แก่ขิง โดยทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งขิงด้วยการใช้ลมร้อนและการใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกันลมร้อน เพื่อ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

เปรียบเทียบคุณภาพขิงที่ได้โดยการสกัดน้ำมันหอมระเหย และวิเคราะห์หาสารสำคัญที่ได้ด้วยวิธีทางเคมีวิเคราะห์

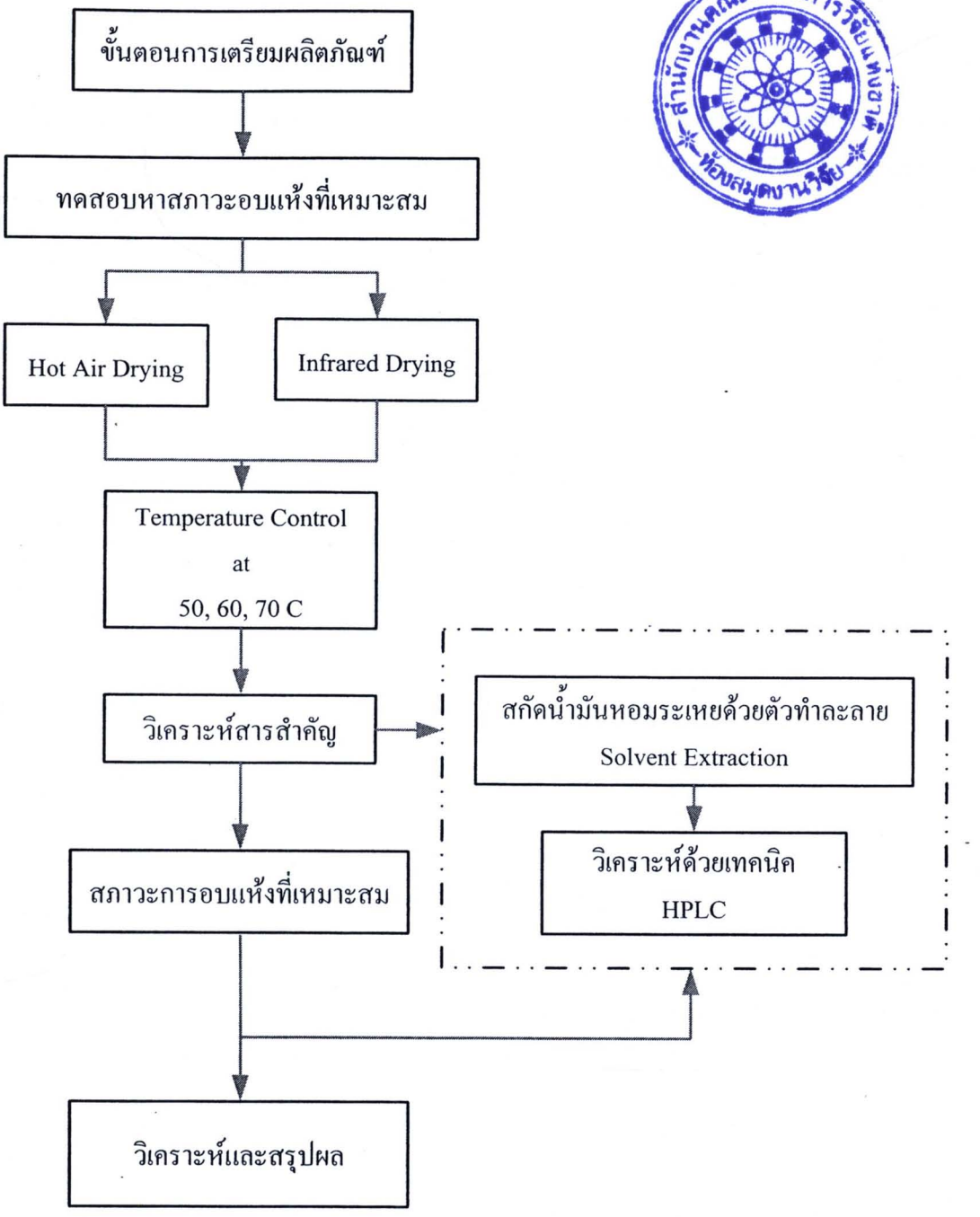
3.2 การทดลองอบแห้งเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

สำหรับการศึกษาจะทำการทดลองอบแห้งโดยใช้ ขิงแก่เป็นผลิตผลที่ใช้ทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของสภาวะอบแห้งด้วยด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน ด้านอิทธิพลที่มีผลต่อสารประกอบสำคัญในน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากขิงที่อบแห้ง โดยมีขั้นตอนการทดลองแสดงดังแผนผังรูปที่ 3.2 การทดลองอบแห้งใช้เครื่องอบแห้งที่ออกแบบและสร้างขึ้น โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

(1) การอบแห้งแบบลมร้อน ทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์อบแห้งแบบชั้นบาง ปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศคงที่เท่ากับ 0.3 0.4 และ 0.5 m/s กำหนดอุณหภูมิในการอบแห้งเท่ากับ 50 60 และ 70°C ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งจะนำไปทำการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมี

(2) การอบแห้งโดยใช้อินฟราเรด ในส่วนนี้ทำการทดลองโดยควบคุมอุณหภูมิในห้องอบแห้งที่ 50 60 และ 70°C เช่นเดียวกับกรณีแรก เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ทั้งด้านจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง และด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้ สำหรับการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งทำโดยการปรับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรด เพื่อควบคุมอุณหภูมิตามการทดลอง ในส่วนของลมร้อนใช้ขดลวดไฟฟ้าทำอากาศร้อนก่อนเข้าห้องอบแห้ง

หลังจากทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งขิงแล้ว จากนั้นทำการทดลองอบแห้งโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าว โดยทำการทดลองซ้ำและวิเคราะห์ผลทางด้านเทคนิค และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้อีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลองอบแห้ง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ - 1 มิ.ย. 2555
เลขทะเบียน 246488

ค่าความชื้นในวัสดุ

ความชื้นในวัสดุเป็นสิ่งที่บอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ น้ำหนักของน้ำในวัสดุจะเปลี่ยนแปลงตามค่าความชื้น ในการบอกค่าความชื้นของวัสดุจึงนิยมใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนของน้ำหนักน้ำและน้ำหนักของวัสดุ สามารถแสดงได้เป็นสองแบบคือ

1. ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis) หาค่าได้จากสมการ

$$M_W = \frac{w-d}{w} \times 100$$

เมื่อ M_W คือ ค่าความชื้นมาตรฐานเปียก (เศษส่วน)
w คือ มวลของวัสดุ (kg)
d คือ มวลของวัสดุแห้ง (kg)

2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis) หาค่าได้จากสมการ

$$M_d = \frac{w-d}{d} \times 100$$

เมื่อ M_d คือ ค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง (เศษส่วน)
w คือ มวลของวัสดุ (kg)
d คือ มวลของวัสดุแห้ง (kg)

ความชื้นแบบนี้นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งในทางทฤษฎีเพราะช่วยในการคำนวณสะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมวลของวัสดุแห้ง (d) จะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง

ในการอบแห้งจำเป็นต้องทราบปริมาณน้ำที่ต้องระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ที่ทำการอบแห้ง เมื่อทราบมวลและความชื้นของผลิตภัณฑ์ จะสามารถคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออกนั้นได้ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$W_f = W_i \frac{(100 - M_i)}{(100 - M_f)}$$

เมื่อ W_i คือ น้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้ง (kg)

W_f คือ น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง (kg)

M_i คือ ความชื้นผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้ง (%wb)

M_f คือ ความชื้นผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง (%wb)

ประสิทธิภาพการอบแห้ง (drying efficiency)

ในการประเมินประสิทธิภาพของการอบแห้ง (drying efficiency) จะสามารถประเมินจากสมการ

$$\eta = \frac{\left(Wh_{fg} \times 100\right)}{m_{air} C_p \left(T - T_a\right)}$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพในการอบแห้ง (เศษส่วน)

W คือ น้ำหนักน้ำที่ต้องการระเหยออก (kg)

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงในการระเหยน้ำ (kJ/kg)

m_{air} คือ มวลของอากาศ (kg)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนของอากาศ (kJ/kgK)

T คือ อุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง ($^{\circ}C$)

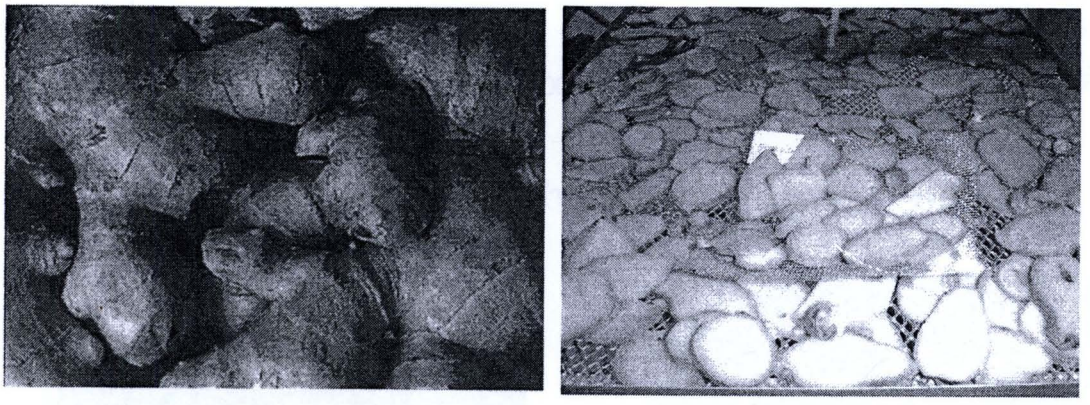
T_a คือ อุณหภูมิแวดล้อม ($^{\circ}C$)

3.3 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. ขิง (Ginger)

ขิง (Ginger) เป็นสมุนไพรที่ใช้รากเพื่อประโยชน์ทางสมุนไพร โดยมีความโดดเด่นด้านกลิ่นและความเผ็ดร้อน ที่เกิดจากน้ำมันหอมระเหย ซึ่งจากกระบวนการใช้งานจำเป็นต้องมีการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นที่มีตัวแปรส่งผลต่อผลของคุณภาพของน้ำหอมระเหยด้วย ดังนั้นจึงมีการศึกษากระบวนการอบแห้งที่สามารถคงคุณภาพส่วนนี้ไว้ โดยในการทดลองใช้ขิงแก่อายุ 7-9 เดือน ซึ่งจะให้ปริมาณน้ำมัน

หอมระเหยสูง เตรียมเพื่อการอบแห้งด้วยการทำเป็นแผ่นบาง 2-3 มิลลิเมตร ขิงที่ใช้ในการอบแห้งและการเตรียม ลักษณะดังรูป 3.6



รูปที่ ที่ 3.3 ลักษณะของขิงและการเตรียมเพื่อทดลองอบแห้ง

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และการเก็บข้อมูล

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่

2.1 สายวัดอุณหภูมิ สำหรับการวัดอุณหภูมิในการทดลองแสดงผลเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}$C) อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย เทอร์โมคัปเปิล แบบ เค (thermocouple type K) แสดงดังภาพ 3.7 (ข) วัดอุณหภูมิได้ในช่วง -200 $^{\circ}$C ถึง 1370 $^{\circ}$C ต่อเข้ากับช่องสัญญาณของเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (data logger)

2.2 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (data logger) จำนวน 20 ช่องสัญญาณ บริษัท YOKOGAWA โมเดล HR 3100 Hybrid Recorder แสดงดังภาพ 3.7 (ก)

2.3 เครื่องวัดอัตราการไหลอากาศแบบขดลวดความร้อน (hotwire anemometer) บริษัท TSI INCORPORATION โมเดล 8345 สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง แสดงดังภาพ 3.7 (จ)

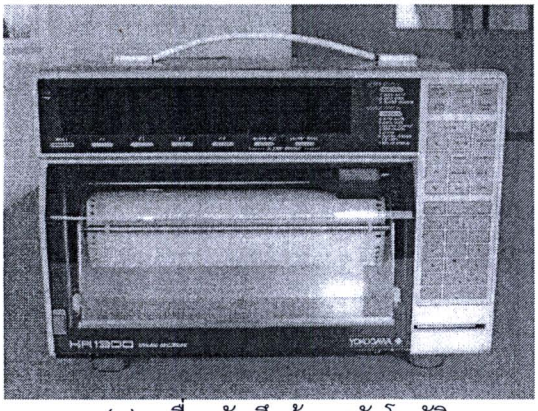
2.4 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (temperature and relative humidity data logger) บริษัท testo โมเดล T175-H2 จำนวน 2 เครื่องสำหรับวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมและอากาศออกจากห้องอบแห้ง แสดงดังภาพ 3.7 (ฉ)

2.5 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล sartorius MC1 Analytic โมเดล AC 210S ความละเอียด ± 0.0001 สำหรับชั่งน้ำหนักตัวอย่างจากการทดลอง แสดงดังภาพ 3.7 (ง)

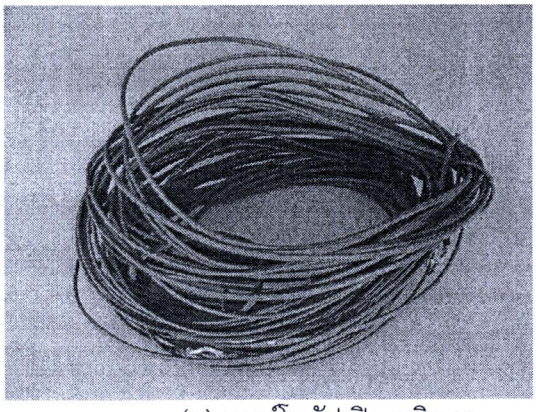
2.7 มาตรวัดไฟฟ้า (kilowatt-hour meter) สำหรับวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ของพัดลมดูดอากาศ มาตรวัดไฟฟ้าเป็นแบบ 1 phase 2 wire 220volt 1200 reV/kWh ของบริษัท Mitsubishi โมเดล MF-63E

2.8 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ (oven) ใช้อบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาค่าความชื้นตามมาตรฐานเปียกและมาตรฐานแห้ง D06061 model 500 บริษัท Memmert แสดงดังภาพ 3.7 (ค)

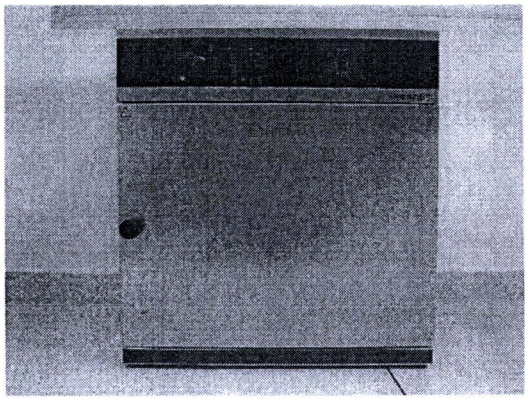
ในการเก็บข้อมูลการทดลอง เครื่องมือสำหรับวัดและบันทึกข้อมูลแสดงดังภาพ 3.7



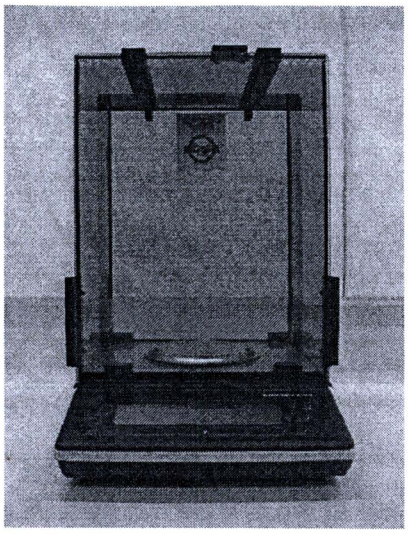
(ก) เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ
(data logger HR 1300)



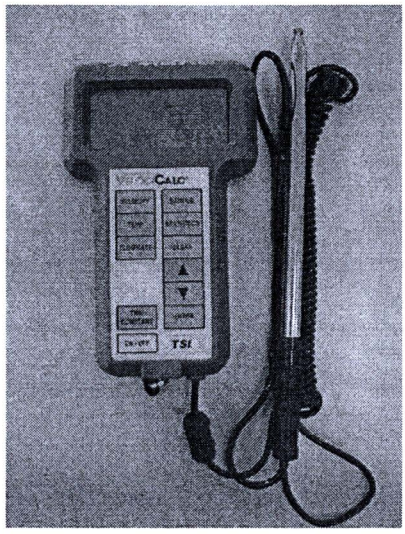
(ข) เทอร์โมคัปเปิล ชนิด เค
(thermocouple type K)



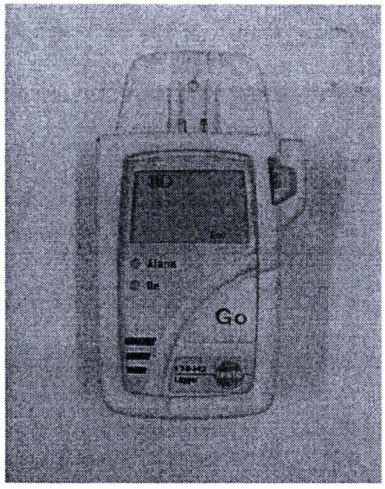
(ค) ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ
(oven)



(ง) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล (weight balance)



(จ) เครื่องวัดอัตราการไหลอากาศแบบขดลวดความร้อน (hotwire anemometer)



(ฉ) เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (temperature and relative humidity data logger)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ภาพ 3.4 (ต่อ) อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

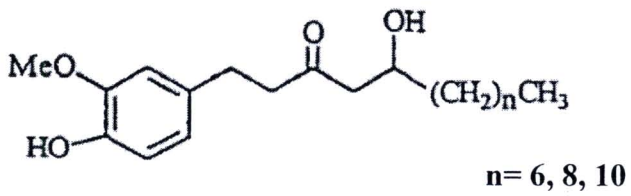
ในการทดลองเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 นาที โดยนำเสนอเป็นข้อมูลเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา ดังนี้

- Inlet and outlet temperature of DB system (T_i and T_o), PVAC (T_{pi} , T_{po}) and drying chamber (T_{di}, and T_{do})

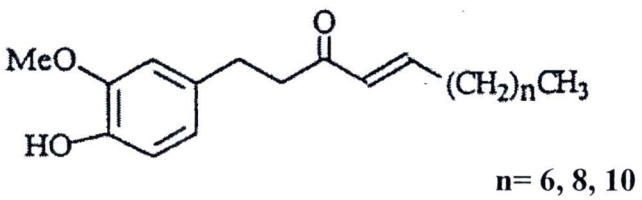
- Drying temperature at various position, T_d (^{o}C)
- Hot air temperature of PVAC, T_{po} (^{o}C)
- Air mass flow rate at inlet of DB ($\dot{m}_i$, $\dot{m}_o$)
- Relative humidity at inlet and outlet of DB ($\%Rh_i$, $\%Rh_o$)
- Ambient temperature, T_a (^{o}C)
- Ambient humidity ($\%Rh_a$)
- Weight of sample, W (kg)

3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของสารประกอบที่อยู่ในน้ำมันหอมระเหยที่ทำการสกัดจากขิงอบแห้งทั้งสองวิธี โดยเลือกวิเคราะห์สารสำคัญที่อยู่ในขิงได้แก่ Gingerol และ shogaol ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นหอมฉุนและรสเผ็ดร้อนอันเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของขิง [29] มีองค์ประกอบทางเคมีดังรูปที่ 3.8



(1) Organic Compound of Gingerol



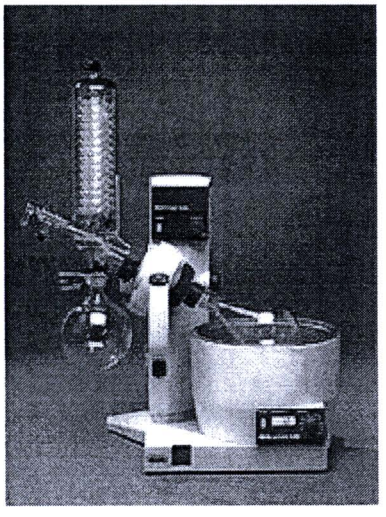
(2) Organic Compound of Shogaol

รูปที่ 3.5 องค์ประกอบทางเคมีของ Gingerol และ Shogaol [29]

ในการทดลองส่วนนี้แบ่งเป็นขั้นตอนของการสกัด และการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟีแบบของเหลวแรงดันสูง (High Performance Liquid Chromatography: HPLC)

(1) การสกัดน้ำมันหอมระเหย สำหรับการศึกษาในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธี การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) การสกัดด้วยวิธีนี้น้ำมันหอมระเหยที่ได้จะมีความเข้มข้นสูง และกลิ่นไม่เปลี่ยนแปลง โดยใช้สารละลายที่ไม่มีขั่ว (Non-polar substrate) เป็นตัวสกัด ในการทดลองเลือกใช้ ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum Ether) เป็นตัวสกัด ขั้นตอนดังรูปที่ 3.9 ใช้ขิงแห้งบดในปิโตรเลียมอีเทอร์ 250 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องโดยผ่านการเขย่าตลอดการสกัด และแยกตัวทำละลายด้วยการกลั่นระเหยด้วย BUCHI rotavapor R-200 (รูปที่ 3.10)

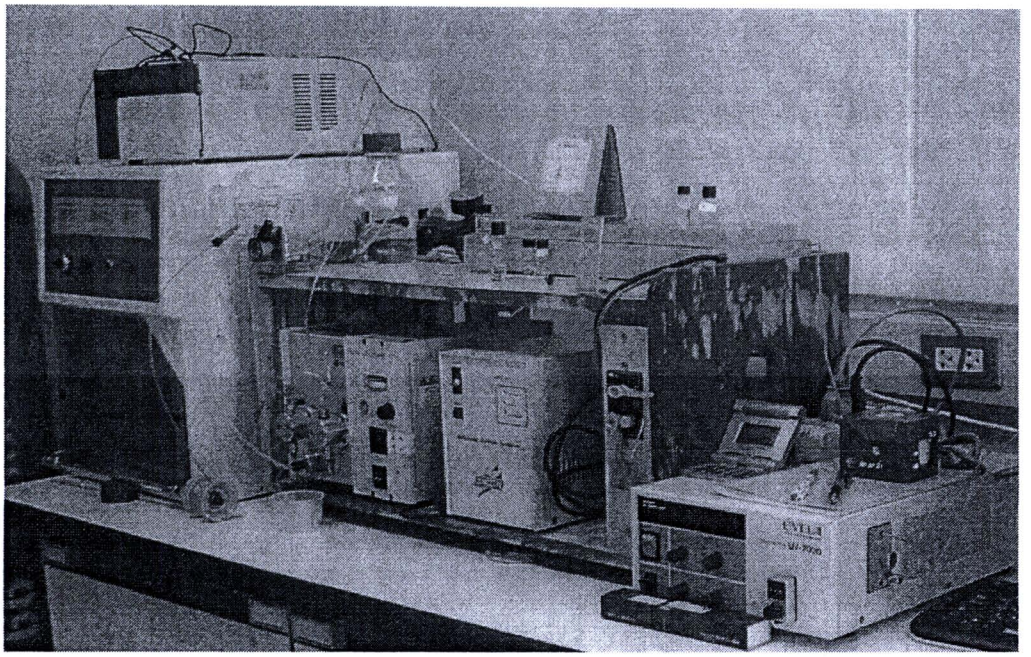
รูปที่ 3.6 กระบวนการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีสกัดด้วยสารละลาย



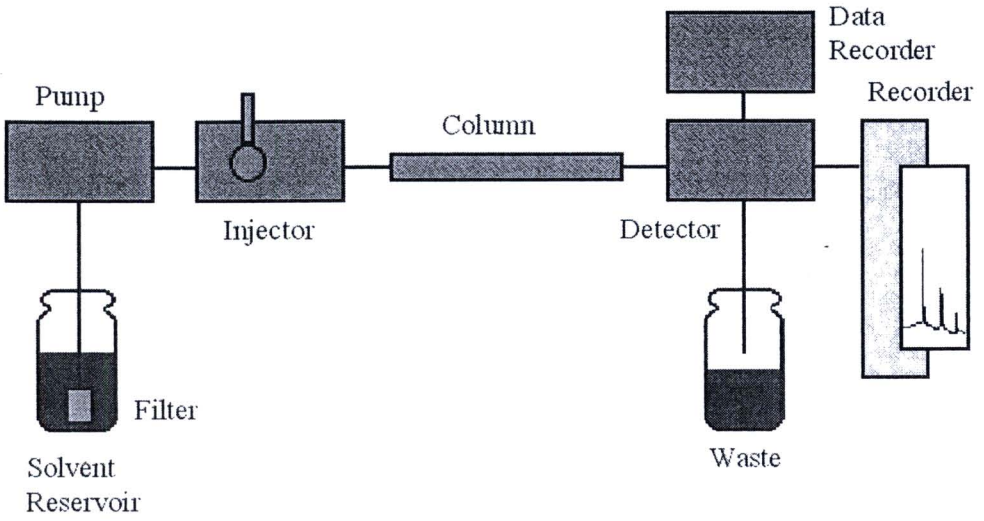
รูปที่ 3. Rotary evaporator: BÜCHI rotavapor R-200

(2) การวิเคราะห์สารโดยการใช้เทคนิคโครมาโตกราฟีแบบของเหลวแรงดันสูง (HPLC)

ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งขิง จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันหอมระเหยหลักได้แก่สารสองตัว คือ gingerols and shogaols ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยในขิง ซึ่งให้กลิ่นและรสเผ็ดร้อน การวิเคราะห์สารโดยใช้ HPLC (รูปที่ 3.11) เป็นโครมาโตกราฟีที่นำมาใช้วิเคราะห์แยกสารละลาย (Liquid State) แทบทุกชนิด โดยพื้นฐานของกระบวนการโครมาโตกราฟี ประกอบด้วยการแยกโมเลกุลของสารละลายตัวอย่างโดยวัฏภาคไหลและวัฏภาคนิ่ง ซึ่งในกรณีของ HPLC นั้นวัฏภาคนิ่งถูกบรรจุไว้ในคอลัมน์ ส่วนวัฏภาคไหลจะไหลผ่านวัฏภาคนิ่งโดยอาศัยปั๊มเป็นตัวขับเคลื่อน [33] โดยมีระบบการทำงานเป็น ไปดังรูปที่ 3.12

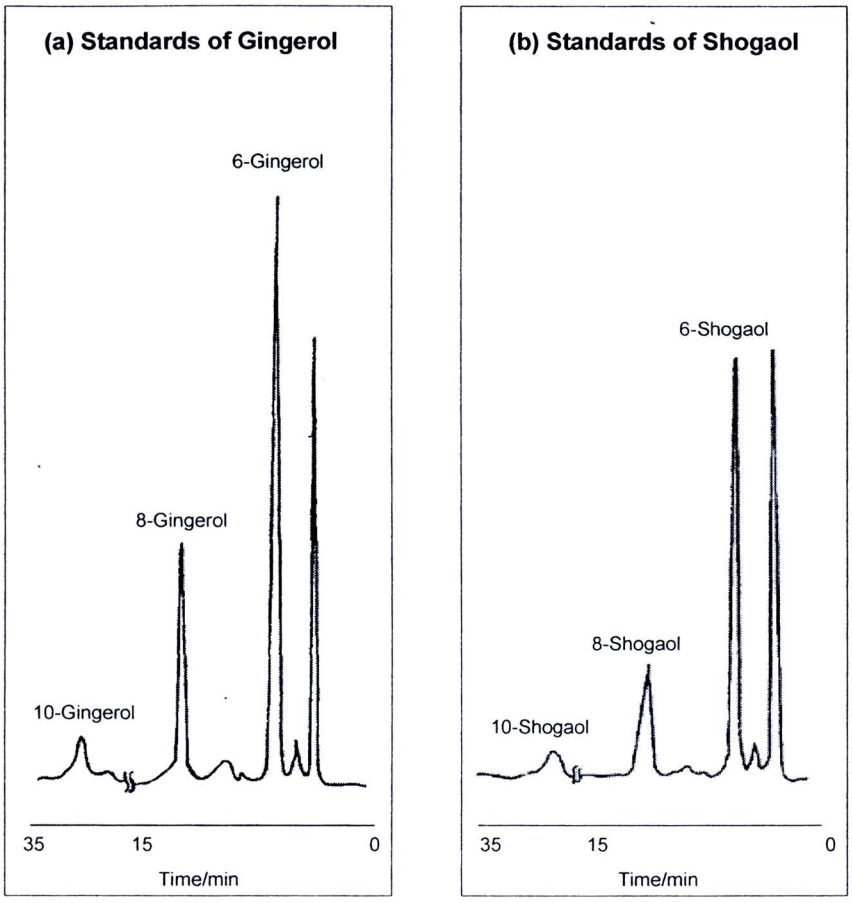


รูปที่ 3.8 High Performance Liquid Chromatography (HPLC) system



รูปที่ 3.9 แผนผังแสดงระบบโครมาโตกราฟีแบบของเหลวแรงดันสูง

สารละลายตัวอย่างเมื่อถูกฉีดเข้าไปในตำแหน่งฉีดสาร (Injector) แล้ว สารละลายตัวอย่างดังกล่าวจะไหลผ่านเข้าไปในคอลัมน์ และผ่านไปยังตัวตรวจวัด ปริมาณของสารละลายตัวอย่างที่ถูกตรวจวัดจะถูกบันทึกโดยเครื่องบันทึกผล (Data Recorder) หรือเครื่องประมวลผล (Integrator) และแสดงผลออกมาเป็นโครมาโตแกรม (Chromatogram) ซึ่งจะสามารถอธิบายผลของการแยกสารละลายตัวอย่างได้ [33] ซึ่งการวิเคราะห์สารระเหยเปรียบเทียบกับโครมาโตรแกรมมาตรฐานของ gingerols and shogaols ดังรูปที่ 3.13 ซึ่งมีสภาวะในการทดสอบดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.10 Chromatogram of standard main principle pungency of dried ginger

ตารางที่ 3.1 สภาวะในการวิเคราะห์ HPLC [76]

Chromatographic Condition	
Column	Selectosil C18, 250x4.6 mm, 5 μm
Column Temperature	30°C
Detector	UV at 282 nm
Flow Rate	1.2 ml/min
Injection Volume	20 μl
Mobile Phase	Methanol : water (7:3)

โดยสามารถวิเคราะห์ปริมาณร้อยละขององค์ประกอบน้ำมันหอมระเหย สามารถหาได้จากร้อยละของคงประกอบทางเคมีจากโครมาโทรแกรมของ HPLC ดังนี้

$$\% CC = \frac{A_{yi}}{\sum A_y} \times 100$$

เมื่อ CC = percent chemical compound (%)

A_{yi} = peak area of each component (mV.s)

$\sum A_y$ = summarizing of require component (mV.s)

ซึ่งจะสามารถเปรียบเทียบผลจากการทดลองได้กับโครมาโทรแกรมมาตรฐาน จะแสดงให้เห็นผลของคุณภาพที่ได้จากการอบแห้งที่วิธีแตกต่างกัน เพื่อวิเคราะห์แนวทางความเหมาะสมของเทคนิคการอบแห้งที่ทดลองต่อไป