

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

การทดลองอบแห้งซิงโดยใช้เทคนิคลมร้อนเปรียบเทียบกับการใช้รังสีอินฟราเรด เพื่อพิจารณาความเหมาะสมสำหรับการอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่พัฒนาขึ้น โดยพิจารณาจากสมบัติทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย โดยมีพิจารณาทั้งด้านเทคนิค การใช้พลังงาน และคุณภาพ โดยมีเกณฑ์วิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. การพิจารณาด้านเทคนิค เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบการอบแห้งด้วยลมร้อน และการอบแห้งด้วยรังสีร่วมกับลมร้อน เพื่อพิจารณาการใช้พลังงานในการลดความชื้นผลิตภัณฑ์ ซึ่งกระบวนการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลมระบายอากาศ ฮีตเตอร์ไฟฟ้า และแหล่งกำเนิดอินฟราเรด และพิจารณาระยะเวลาในการอบแห้งเปรียบเทียบกัน

2. ด้านคุณภาพจะพิจารณาผลกระทบของรังสีอินฟราเรดที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยในซิง จากการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด โดยใช้วิธีทางวิเคราะห์ทางเคมี และเปรียบเทียบผลกับคุณภาพน้ำมันหอมระเหยจากกระบวนการสกัดปกติ หรือลดความชื้นด้วยลมร้อนธรรมดา โดยพิจารณาเปรียบเทียบโครมาโตแกรมมาตรฐานขององค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยของซิง

4.1 การวิเคราะห์การอบแห้งด้วยลมร้อน

ส่วนนี้จะเป็นการพิจารณาการใช้พลังงานในการอบแห้ง จากการทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์ แบ่งเป็นสองกรณีเปรียบเทียบกัน โดยให้สภาวะการอบแห้งเดียวกัน คืออุณหภูมิอบแห้ง 50 60 70°C ความเร็วลม 0.6 m/s โดยมีผลการทดลอง ดังนี้

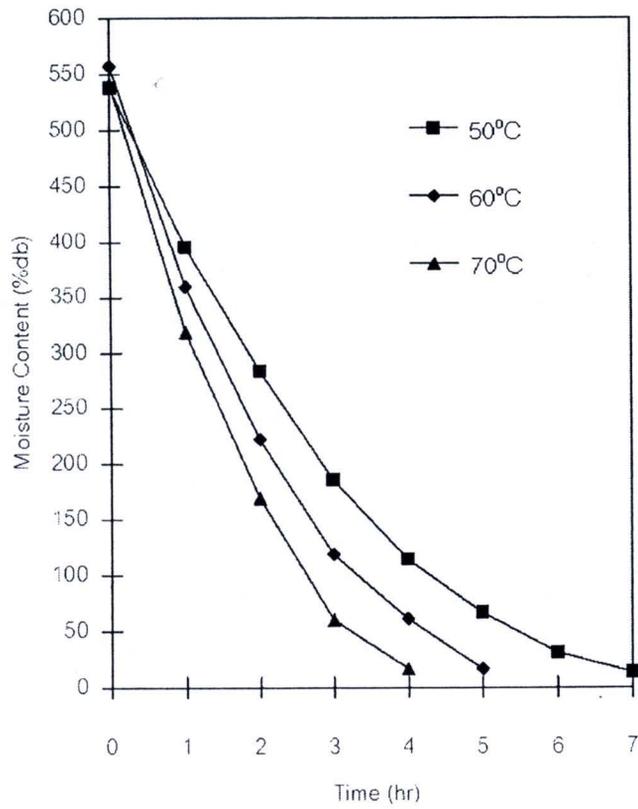
การทดลองอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวนี้ ใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้า ทำการทดลองอบแห้งซิงความชื้นเริ่มต้น 540 %(db) ลดลงเหลือ 13 %(db) จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิการอบแห้ง เมื่อเปรียบกับการอบแห้งด้วยอุณหภูมิแตกต่างกันที่ 50 60 70°C ให้ระยะเวลาการอบแห้งต่างกัน ที่ความเร็วลมเท่ากัน ซึ่งเกิดจากการเพิ่มอัตราการระเหยน้ำของผลิตภัณฑ์จากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจึงส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง รายละเอียดของข้อมูลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองอบแห้งด้วยลมร้อน

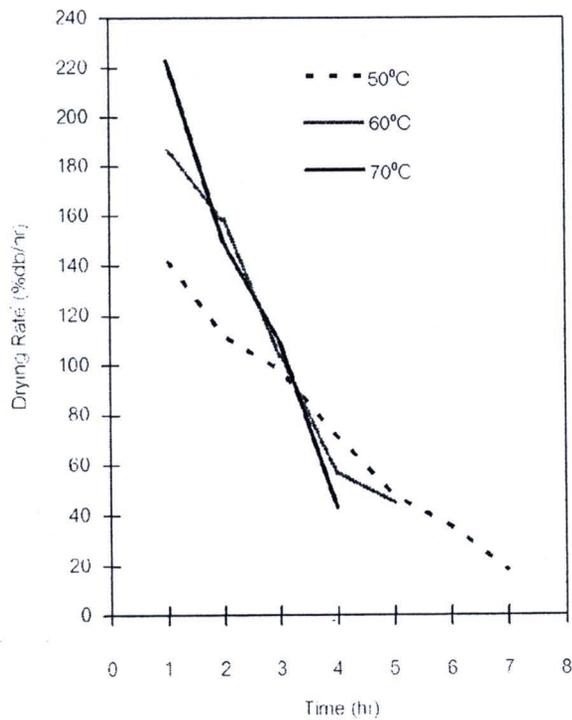
Measured Items	Hot air Drying Mode		
	50 °C	60 °C	70 °C
Drying time (hr)	7	5	4
Moisture content of ginger (%db)			
initial drying	537.79	543.39	541.69
final drying	13.01	13.70	13.71
Condition of ginger (kg)			
initial weight	1.97	1.91	2.08
final weight	0.356	0.370	0.361
Energy consumption (MJ)			
Specific energy consumption (MJ/kg _{water evap})	29.71	18.39	17.59

จากผลการทดลองอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 70°C พบว่า ระยะเวลาอบแห้งเท่ากับ 7 5 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ค่าความชื้นผลิตภัณฑ์หลังจากอบแห้งอยู่ที่ประมาณ 13 %db ซึ่งเป็นไปตามขอบเขตที่กำหนดเพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านความชื้นหลังอบแห้ง เมื่อพิจารณาผลของความสิ้นเปลืองพลังงานที่เกิดขึ้นนั้น จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิ 50°C เป็นอุณหภูมิอบแห้งที่ต่ำที่สุด มีผลให้ระยะเวลาอบแห้งนานมากที่สุด ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานสูงสุดเท่ากับ 29.71 MJ/kg_{water evap} โดยเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในฮีตเตอร์ และพัดลมในห้องอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C มีสัดส่วนความสิ้นเปลืองพลังงานต่อกันเท่ากับ 18.39 และ 17.59 MJ/kg_{water evap} ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นระหว่างการอบแห้ง ทุกอุณหภูมิมอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน คือในช่วงแรกการอบแห้งความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว ช่วง 1-3 ชั่วโมงแรก และจะค่อย ๆ ลดลงหลังจากนั้น เนื่องจาก ช่วงแรกของการให้ความร้อนความชื้นที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์จะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อระยะเวลาผ่านไปพร้อมกับน้ำที่ระเหยต้องระเหยจากชั้นใน ผลิตภัณฑ์จึงส่งผลให้ความชื้นในช่วงท้ายของการอบแห้งเป็นช่วยอัตราการอบแห้งลดลงคือการเปลี่ยนแปลงของความชื้นเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อสังเกตที่อัตราการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิมีผลต่อการระเหยน้ำ จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าอัตราการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งอุณหภูมิ 70°C สูงสุด เฉลี่ย 109.18 %db/hr รองลงมาที่ 60°C เฉลี่ย 91.89 %db/hr และ 50°C เฉลี่ย 78.54 %db/hr ตามลำดับ จึงทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งต่างกันตามไปด้วย ในการทดลองเป็นลักษณะการอบแห้งแบบชั้นบางซึ่งความชื้นจะลดลงค่อนข้างรวดเร็ว



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อน



รูปที่ 4.2 อัตราการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยลมร้อน

4.2 การวิเคราะห์การอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

การทดลองอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนนี้ใช้กรณีการทดลองที่อุณหภูมิและความเร็วลมเท่ากับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการอบแห้งด้านเทคนิคและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งผลการทดลองเป็นดังนี้

จากผลการทดลองอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 70°C พบว่าระยะเวลาสั้นลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากับ 3 2.5 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ ค่าความชื้นผลิตภัณฑ์หลังจากอบแห้งอยู่ที่ประมาณ 13 %db เช่นเดียวกับการอบแห้งแบบแรก ซึ่งเป็นไปตามขอบเขตที่กำหนดเพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านความชื้นหลังอบแห้ง เมื่อพิจารณาผลของความสิ้นเปลืองพลังงานที่เกิดขึ้นนั้น จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิ 50°C เป็นอุณหภูมิอบแห้งที่ต่ำที่สุด มีผลให้ระยะเวลาอบแห้งนานมากที่สุด ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานสูงสุดเท่ากับ 18.77 MJ/kg_{water evap} โดยเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในฮีตเตอร์ไฟฟ้า หลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรด และพัดลมในห้องอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C มีสัดส่วนความสิ้นเปลืองพลังงานต่อกว่าเท่ากับ 14.97 และ 11.98 MJ/kg_{water evap} ตามลำดับ

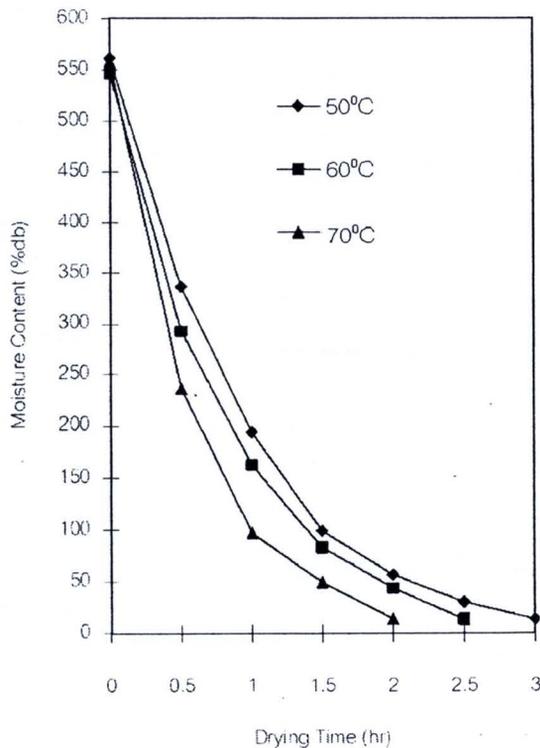
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

Measured Items	Infrared-Hot air Drying Mode		
	50 °C	60 °C	70 °C
Drying time (hr)	3	2.5	2
Moisture content of ginger (%db)			
initial drying	539.33	538.87	546.21
final drying	13.12	13.67	13.32
Condition of ginger (kg)			
initial weight	2.01	1.97	2.07
final weight	0.342	0.380	0.358
Energy consumption (MJ)			
Specific energy consumption (MJ/kg _{water evap})	18.77	14.97	11.98

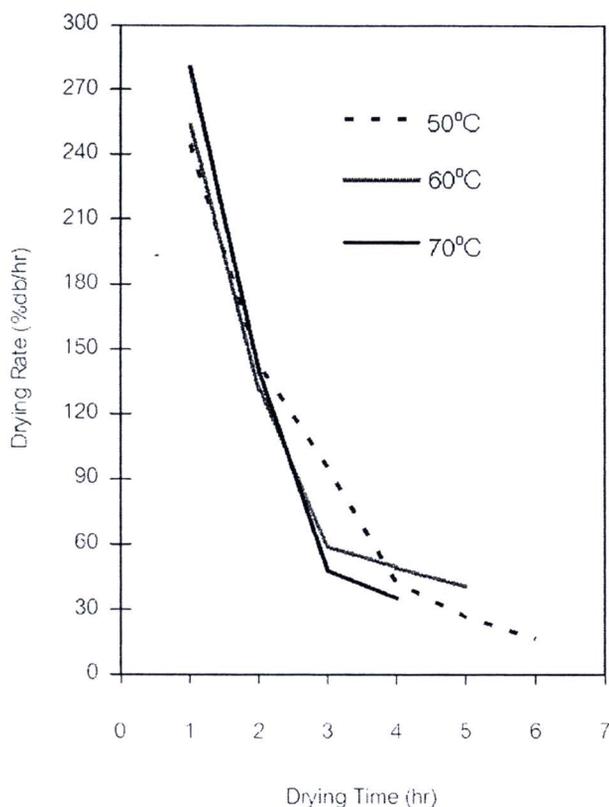
เมื่อสังเกตเพียงผลที่แตกต่างกันในด้านของระยะเวลาการอบแห้ง ซึ่งสามารถลดลงได้ค่อนข้างมากจากการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว ตามพฤติกรรม การอบแห้งด้วยการดูดกลืนรังสีจะสามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนซึ่งการไล่ความชื้นเริ่มจากผิวด้านนอกเข้าสู่ด้านในผลิตภัณฑ์ แต่การอบแห้งด้วยวิธีการใช้การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดนี้จะกระตุ้น

โมเลกุลของน้ำภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ออกมาพร้อม ๆ กับการไล่ความชื้นด้านนอก ดังนั้น จึงส่งผลให้การอบแห้งในลักษณะนี้สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้ค่อนข้างสูง

จากการพิจารณาผลของระยะเวลาอบแห้งที่ลดลง เมื่อพิจารณาการลดลง หรือการเปลี่ยนแปลงความชื้น จากรูปที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นระหว่างการอบแห้ง ทุกอุณหภูมิอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน คือในช่วงแรกการอบแห้งความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว ช่วง 1-1.5 ชั่วโมงแรก และจะค่อย ๆ ลดลงหลังจากนั้น หรือความชื้นเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากช่วงแรกของการให้ความร้อนความชื้นที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์จะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อระยะเวลาผ่านไปพร้อมกับน้ำที่ระเหยต้องระเหยจากชั้นในผลิตภัณฑ์จึงส่งผลให้ความชื้นในช่วงท้ายของการอบแห้งเป็นช่วยอัตราการอบแห้งลดลงคือการเปลี่ยนแปลงของความชื้นเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อสังเกตที่อัตราการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการระเหยน้ำ จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าอัตราการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งอุณหภูมิ 70°C สูงสุด เฉลี่ย 149.78 %db/hr รองลงมาที่ 60°C เฉลี่ย 124.31 %db/hr และ 50°C เฉลี่ย 92.68 %db/hr ตามลำดับ จึงทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งต่างกันตามไปด้วย การอบแห้งด้วยการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดในทางกายภาพส่งผลให้อัตราการอบแห้งค่อนข้างสูง และทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งต่ำกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างชัดเจน



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของผลิตภัณฑ์ในการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด

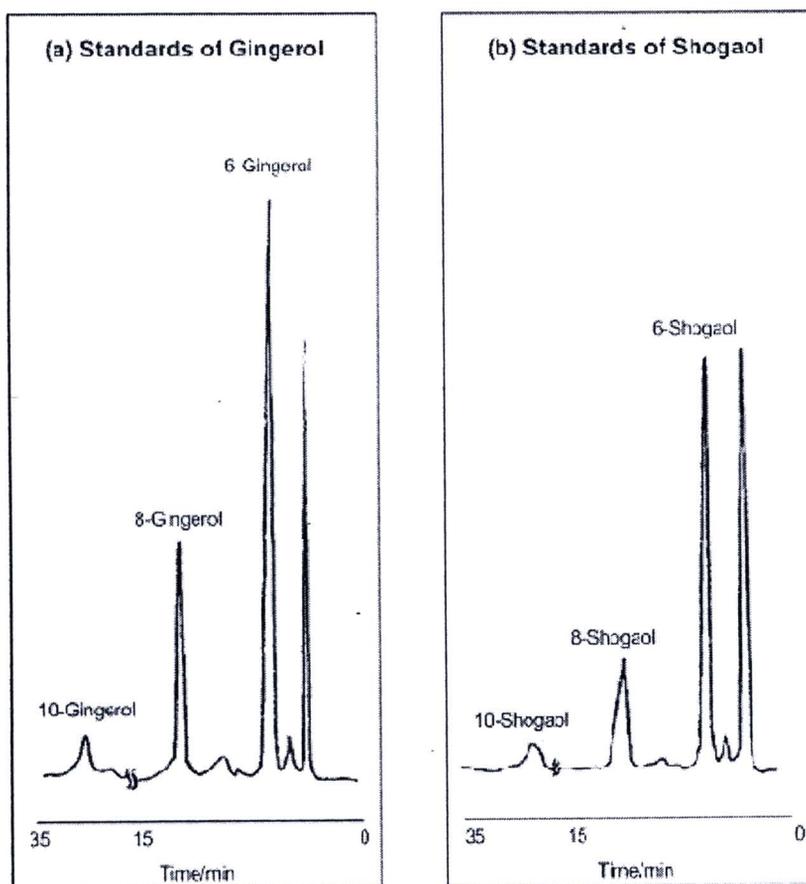


รูปที่ 4.4 อัตราการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทั้งสองกรณีเปรียบเทียบกัน โดยผลิตภัณฑ์มีการกำหนดให้สภาวะหรือการควบคุมคุณภาพสุดท้ายเหมือนกันในเรื่องของค่าความชื้นพบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนใช้ระยะเวลาอบแห้งมากกว่าการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนประมาณ 2 เท่า ซึ่งให้ผลของการอบแห้งในเรื่องของกายภาพใกล้เคียงกันทุกกรณี โดยที่การอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนช่วยให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งเป็นผลจากการอบแห้งในลักษณะการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดส่งผลให้น้ำในชั้นของผลิตภัณฑ์ระเหยได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งเมื่อเทียบต่อการระเหยของน้ำ พบว่า การอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนให้ความสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนทุกกรณีในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C

4.3 การวิเคราะห์สารระเหยของขิงจากการอบแห้งด้วยลมร้อนและอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

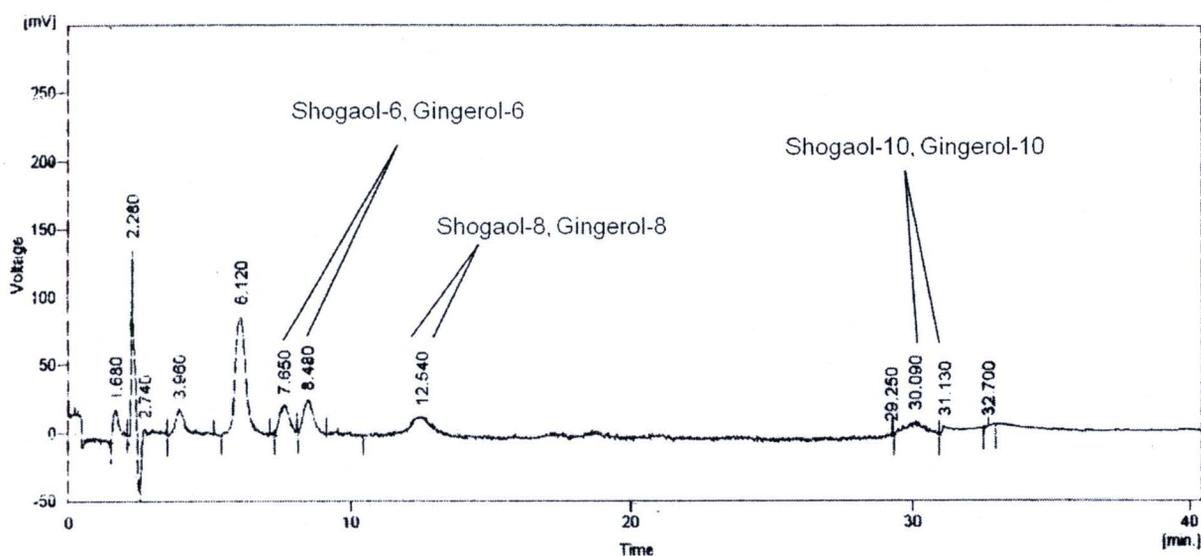
ในส่วนนี้วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งเปรียบเทียบกัน โดยใช้วิธีวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยที่ได้จากขิงอบแห้งจากทั้งการอบแห้งด้วยลมร้อน และการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน ด้วยวิธีทางเคมี เพื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากขิง โดยจะพิจารณาสารระเหยในน้ำมันหอมระเหยจากขิงได้แก่ gingerol และ shogaol ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นและรสที่เผ็ดร้อนของขิง ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในการใช้งานเชิงอาหารและทางการแพทย์ ด้วยเทคนิค HPLC และวิเคราะห์โครมาโตแกรมเทียบกับค่ามาตรฐานขององค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์ทั้งสองตัว ดังรูปที่ 4.5



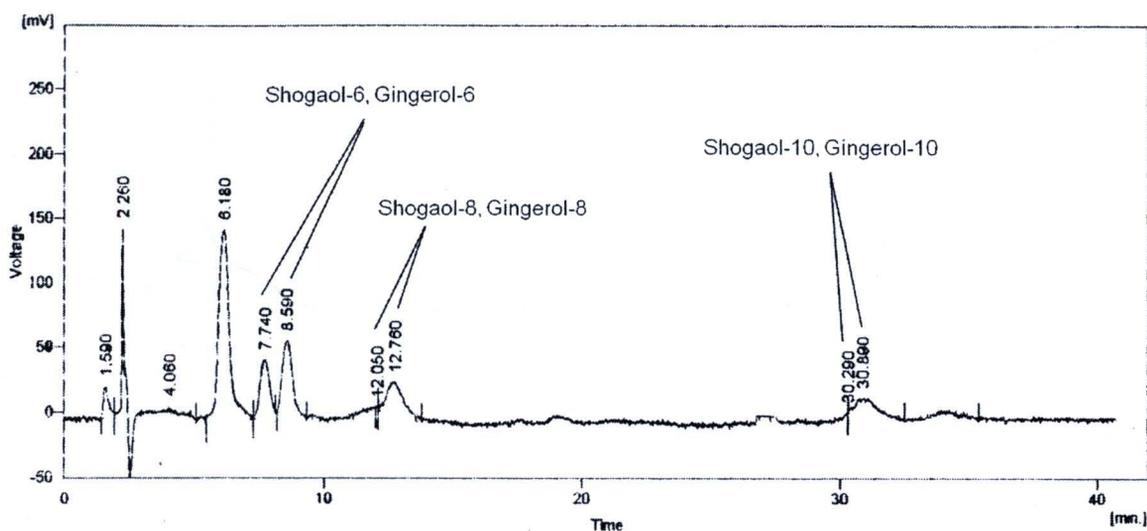
รูปที่ 4.5 Standard Peak of gingerol (a) and shogaol (b)

ในการเตรียมวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากขิงอบแห้ง ใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยใช้ Petroleum ether เป็นตัวทำละลาย และทดสอบองค์ประกอบทางเคมีที่คงอยู่

ของน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากโครมาโตแกรม และเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบทางเคมีของซิงที่ได้จากการอบแห้งทั้งสองกรณี ผลจาก HPLC วิเคราะห์ Gingerol และ Shogaol แสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 โดย รูปที่ 4.6 แสดงตำแหน่งของการตรวจสอบผลของ องค์ประกอบทางเคมีน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากซิงแห้งที่อบด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว และ รูปที่ 4.7 แสดงตำแหน่งของการตรวจสอบผลของ องค์ประกอบทางเคมีน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากซิงแห้งที่อบด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน จากกราฟจะสังเกตเห็นหลักของสารที่เราต้องการตรวจสอบผลด้านคุณภาพทางเคมีได้ทั้ง Gingerol (6,8,10) และ Shogaol (6,8,10) เกิดขึ้นที่เวลาตรงกับกราฟมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบ



รูปที่ 4.6 โครมาโตแกรม HPLC การตรวจสอบผลขององค์ประกอบทางเคมีน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากซิงที่อบด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.7 โครมาโตแกรม HPLC การตรวจสอบผลขององค์ประกอบทางเคมีน้ำมันหอมระเหยที่ได้จาก
ขิงที่อบด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

โดยเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบทางเคมีที่มีผลจากการอบแห้งด้วยวิธีที่ต่างกัน พบว่า การอบแห้งด้วยอินฟราเรดมีเปอร์เซ็นต์ของ Gingerol และ Shogaol เพิ่มขึ้น 41% เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาผลของการอบแห้งที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันหอมระเหยที่ได้พบว่า ระยะเวลาการอบแห้งที่แตกต่าง หรือการอยู่ภายใต้สภาวะความร้อนนานทำให้ผลขององค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนไป ในการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนสามารถลดระยะเวลาการอบแห้งได้เกิดครั้งของการอบแห้งแบบลมร้อน และเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบทางเคมีก็สูงกว่าตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบด้วยการคำนวณระยะเวลาคงค้างและพื้นที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.3 กราฟพบว่า ผลของการเปลี่ยนแปลงของ Gingerol และ Shogaol จะแปรผันตามเวลาในกระบวนการความร้อน คือเมื่อมีการสะสมความร้อนและอยู่ในกระบวนการนานค่าขององค์ประกอบทางเคมีของขิงจะลดลง ดังนั้นผลของระยะเวลาที่อยู่ในกระบวนการความร้อนส่งผลต่อคุณภาพทางสมุนไพร

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่ได้จากการอบแห้งด้วยลมร้อน กับการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

Drying mode	Independent variable	Main pungent principle of ginger essential oil						Total area
		6-shogaol	6-gingerol	8-shogaol	8-gingerol	10-shogaol	10-gingerol	
HA	TR	7.770	8.610	12.370	12.840	27.81	28.380	-
	Area	592.442	510.217	290.234	238.863	129.428	108.566	1869.750
	% compound	31.686	27.288	15.523	12.775	6.922	5.806	-
HA-IR	TR	7.110	7.760	12.480	13.110	27.010	27.790	-
	Area	707.533	652.442	423.723	365.220	179.281	190.428	2518.627
	% compound	28.092	29.905	16.824	14.501	7.118	7.561	-