

## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์

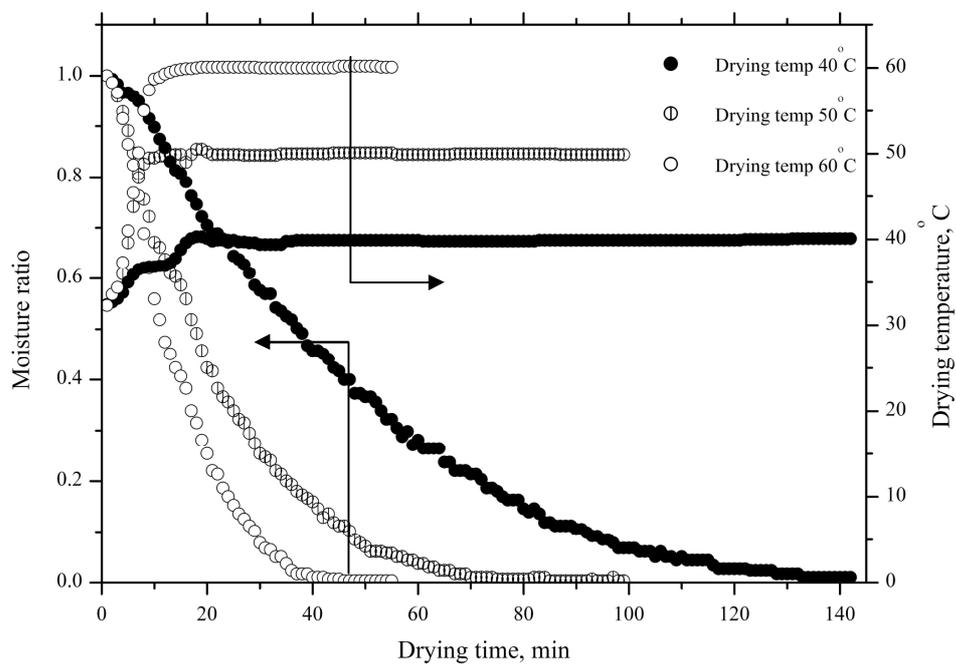
งานวิจัยนี้ ทำการศึกษาการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด และหาสมการการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมสำหรับทำนายพฤติกรรมการอบแห้ง โดยใช้ผลิตภัณฑ์ในการทดลอง 3 ชนิด ได้แก่ ขิง หนุ่ยป่ากั้ง และ บอระเพ็ด สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

#### 4.1 ผลการอบแห้งขิง

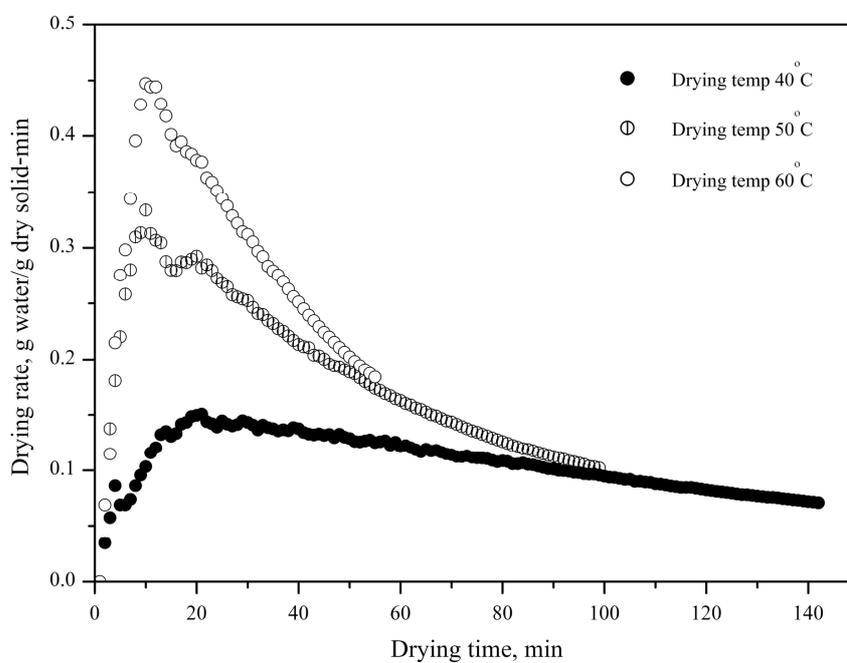
##### 4.1.1 อิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้ง

ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ในการอบแห้งขิงที่ความดันสัมบูรณ์คงที่เท่ากับ 5 kPa และทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนความชื้นจะลดลงตามระยะเวลาอบแห้ง โดยช่วงแรกของการอบแห้ง ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นช่วงที่ผลิตภัณฑ์ยังมีความชื้นสูง ดังนั้นจึงเกิดการถ่ายเทความชื้นจากเนื้อผลิตภัณฑ์สู่ห้องอบแห้งอย่างรวดเร็ว และถูกดูดออกจากห้องอบแห้งโดยปั๊มสุญญากาศ หลังจากนั้นความชื้นจะค่อยๆ ลดลงจนคงที่ในที่สุด เมื่อพิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิอบแห้ง พบว่าที่อุณหภูมิ 60°C มีความชื้นลดลงเร็วที่สุด ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 40°C และจากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 40°C โดยเฉลี่ยประมาณ 44 และ 61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยไม่พบช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ในการอบแห้งขิงที่ความดันสัมบูรณ์คงที่เท่ากับ 5 kPa สามารถแสดงข้อมูลดังภาพที่ 4.2

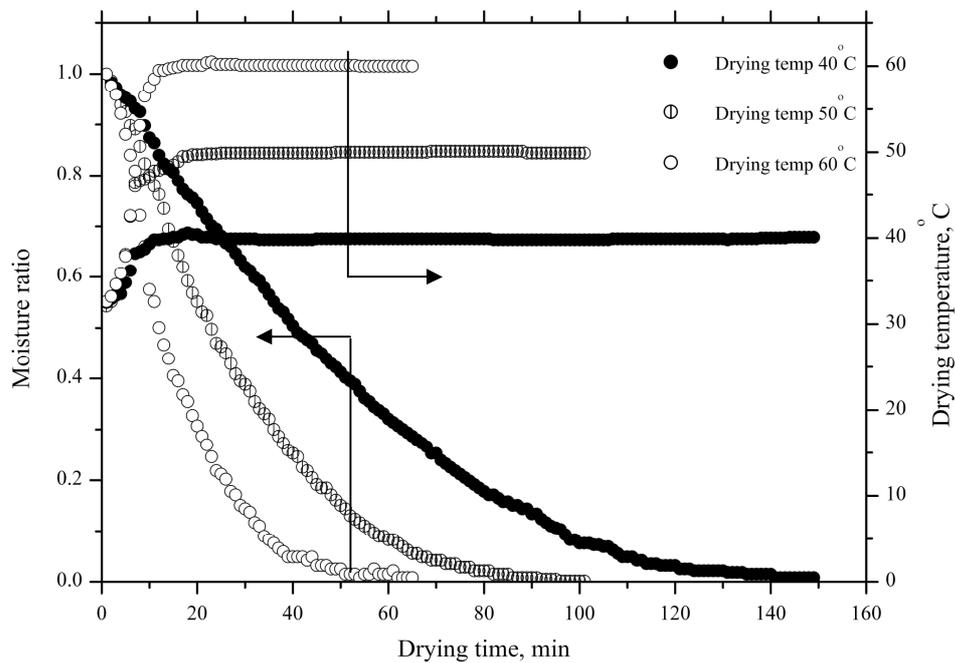
ภาพที่ 4.3-4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งกับเวลา ในการอบแห้งขิงที่ความดันสัมบูรณ์คงที่เท่ากับ 10 และ 15 kPa โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้ง มีแนวโน้มเหมือนกันกับการอบแห้งขิงที่ความดัน 5 kPa กล่าวคือ ที่อุณหภูมิ 60°C ความชื้นจะลดลงเร็วที่สุด ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด และให้อัตราการอบแห้งสูงที่สุดด้วย



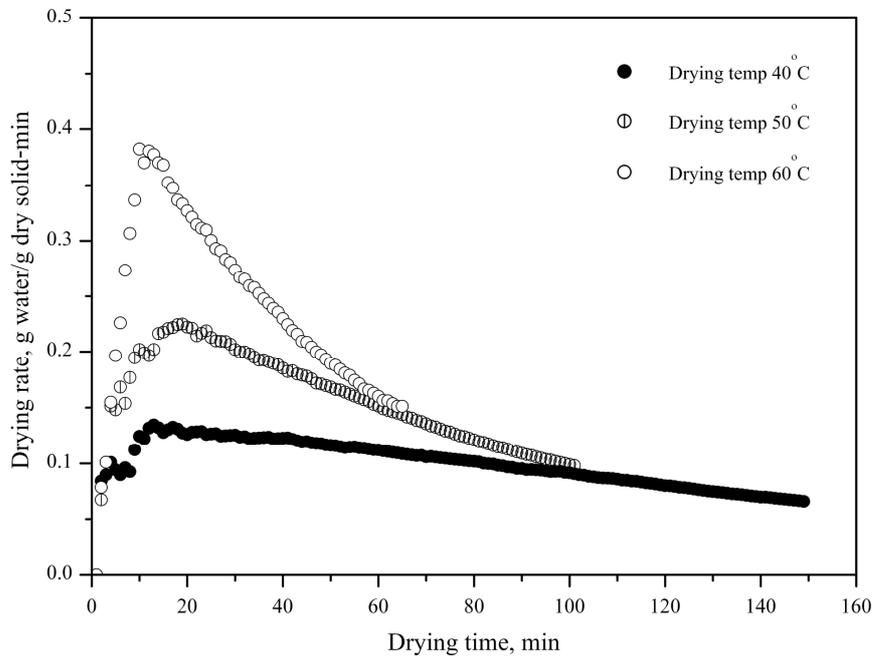
ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa



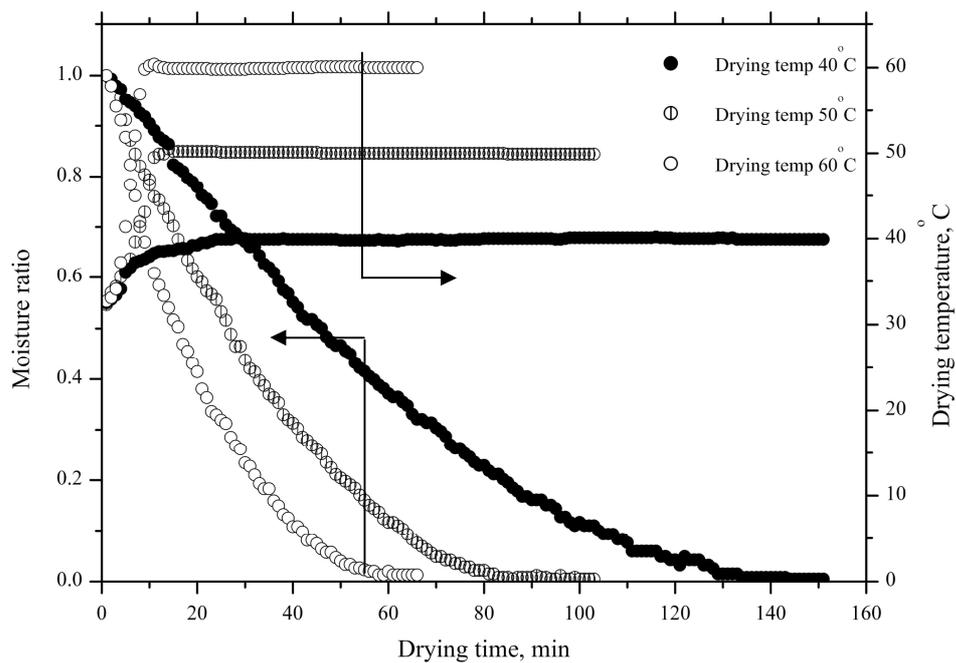
ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa



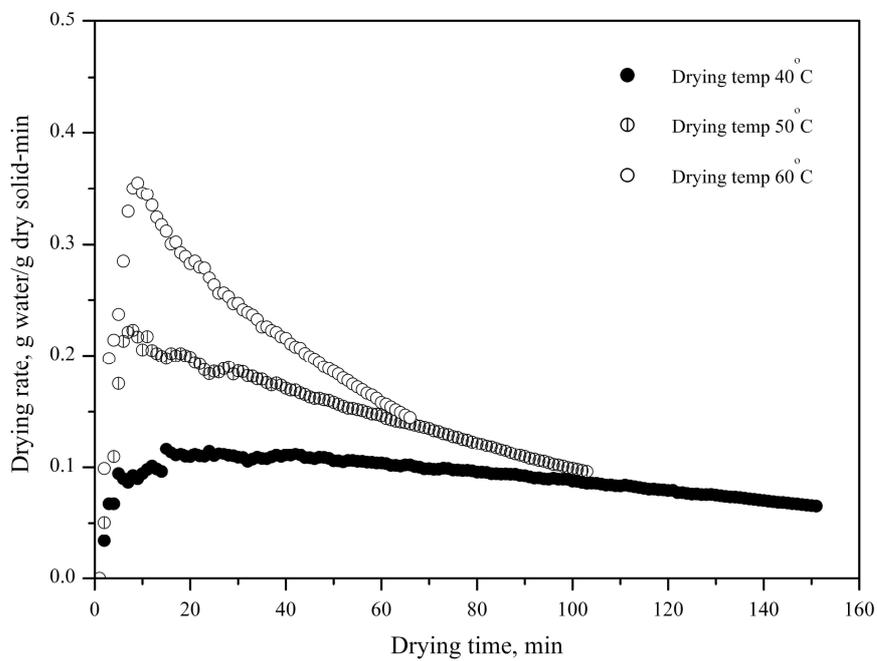
ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa

จากผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า อุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อจลนศาสตร์การอบแห้งจึง ด้วยสูญญากาศร่วมกับอินฟราเรด โดยที่ภาวะความดันเดียวกัน อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง

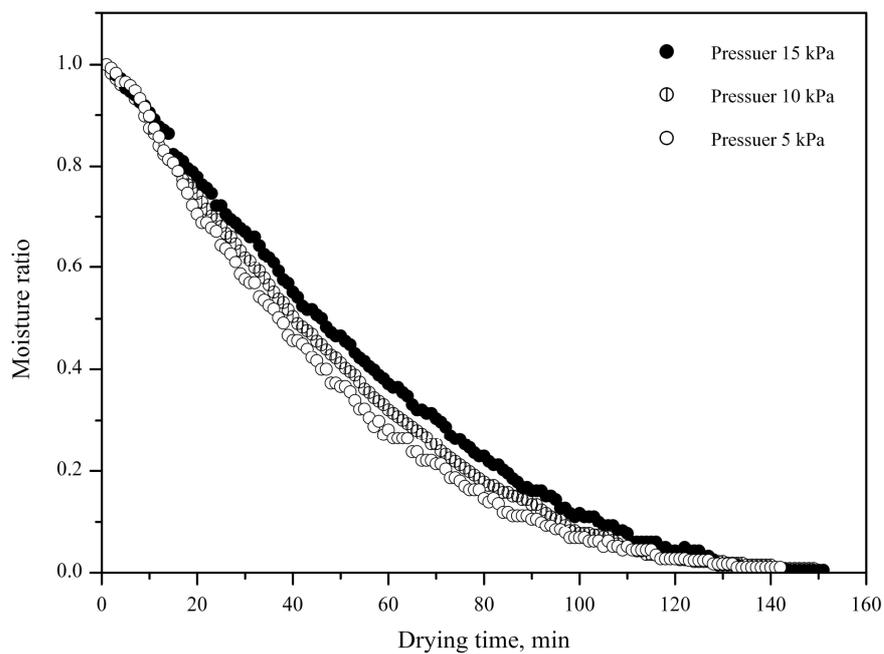
#### 4.1.2 อิทธิพลของความดันสูญญากาศ

ภาพที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ในการอบแห้ง จึงที่อุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ  $40^{\circ}\text{C}$  โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขภาวะความดันสัมบูรณ์ ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนความชื้นจะลดลงตามระยะเวลาอบแห้ง กล่าวคือ ที่เงื่อนไขความดันสัมบูรณ์ 5 kPa มีความชันของเส้นกราฟมากที่สุด นั่นคืออัตราส่วนความชื้นลดลงเร็วที่สุดในขณะที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa มีอัตราส่วนความชื้นลดลงช้าที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภาวะความดันสูญญากาศ มีอิทธิพลต่อการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ ซึ่งอธิบายได้จากตารางแสดงคุณสมบัติของน้ำ โดยน้ำที่ความดันสัมบูรณ์ 5 10 และ 15 kPa มีจุดเดือดที่  $32.88$   $45.81$  และ  $53.97^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ

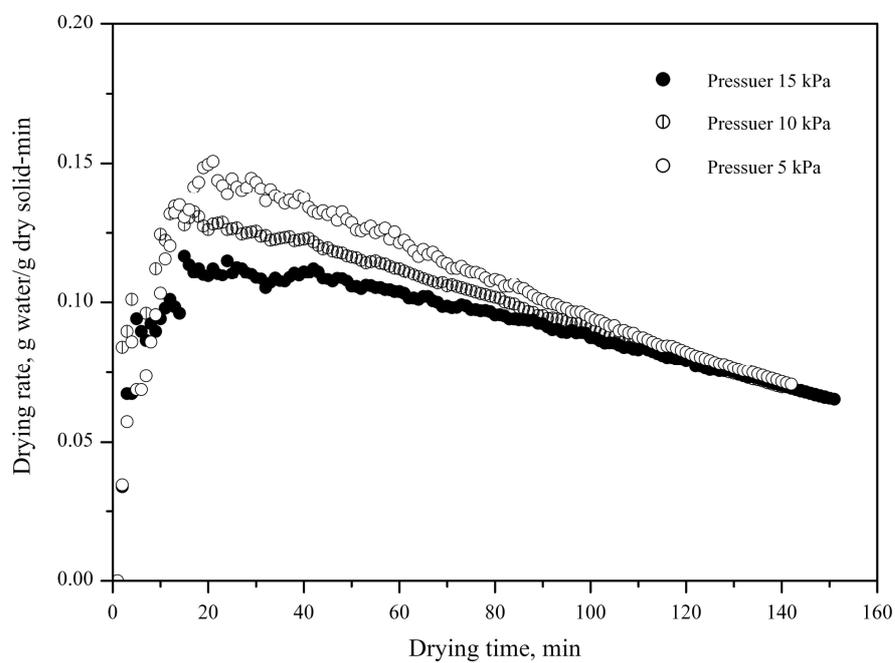
ภาพที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ในการอบแห้ง จึงที่อุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ  $40^{\circ}\text{C}$  โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขภาวะความดันสัมบูรณ์ เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของความดันสูญญากาศที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง พบว่า ที่ภาวะความดันสัมบูรณ์ 5 kPa มีอัตราการอบแห้งมากกว่าที่ความดันสัมบูรณ์ 10 และ 15 kPa โดยเฉลี่ยประมาณ 7 และ 14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการอบแห้งจะสูงสุดหลังจากเริ่มอบแห้งประมาณ 20 นาที และค่อยๆ ลดลง โดยไม่พบช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

ภาพที่ 4.9-4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 และ  $60^{\circ}\text{C}$  โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขภาวะความดันสัมบูรณ์ จากภาพพบว่า การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้ง มีแนวโน้มลักษณะเช่นเดียวกันกับการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  แต่มีอัตราการอบแห้งสูงสุดหลังจากเริ่มต้นอบแห้งประมาณ 10 นาที หลังจากนั้นจะลดลง โดยไม่พบช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เมื่อเปรียบเทียบเวลาการอบแห้งแล้ว พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ  $50^{\circ}\text{C}$

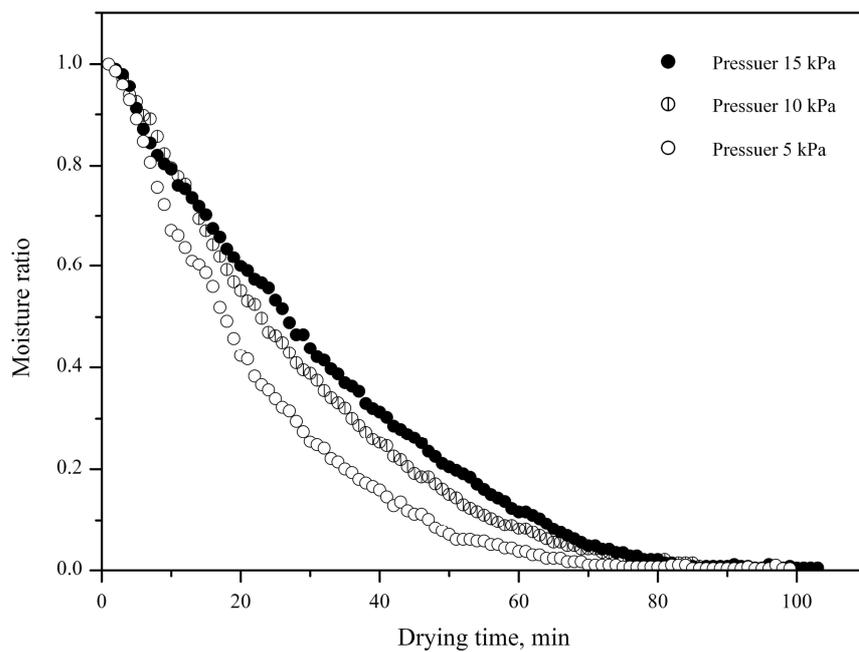
ผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า ความดันสูญญากาศมีอิทธิพลต่อจลนศาสตร์การอบแห้งจึง โดยที่อุณหภูมิเดียวกัน อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อลดความดันสัมบูรณ์



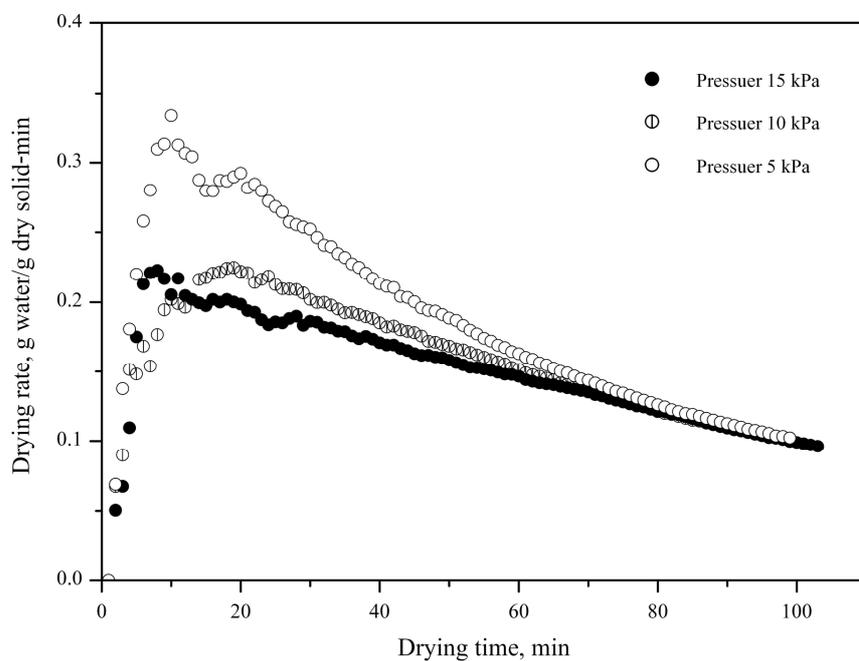
ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่อุณหภูมิ 40°C



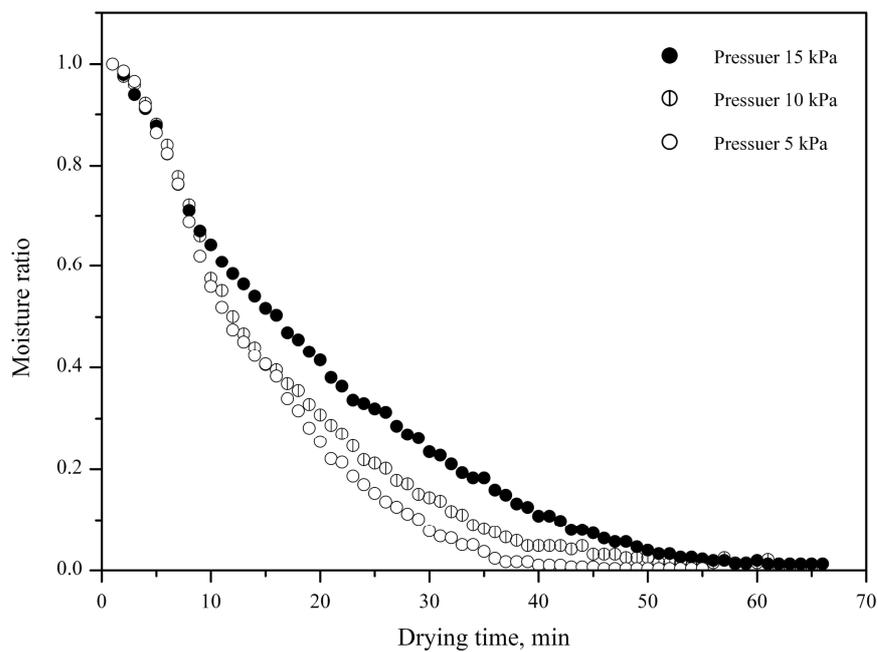
ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิ 40°C



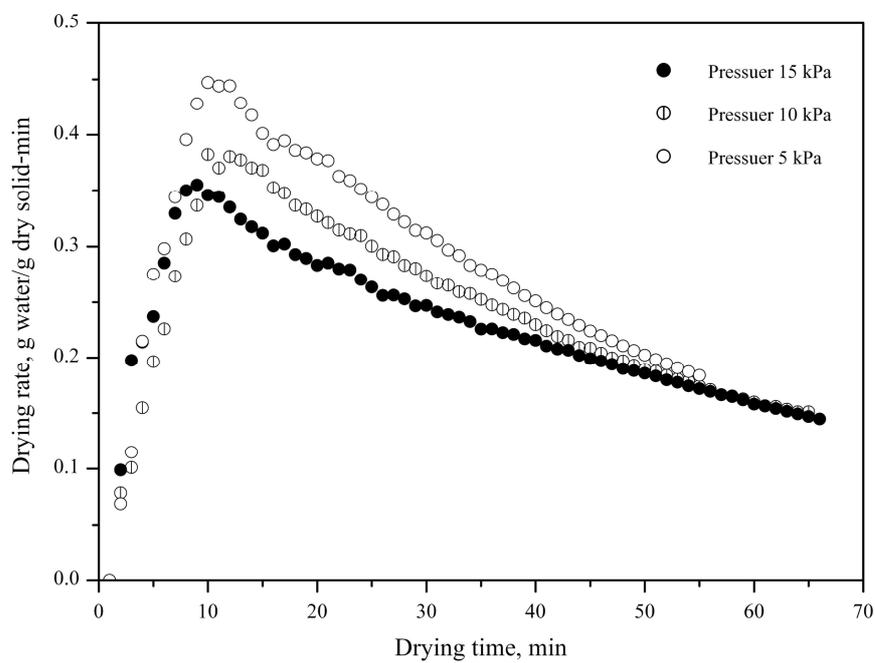
ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่อุณหภูมิ 50°C



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิ 50°C



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่อุณหภูมิ 60°C



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิ 60°C

## 4.2 ผลการอบแห้งหญ้าปักกิ่ง

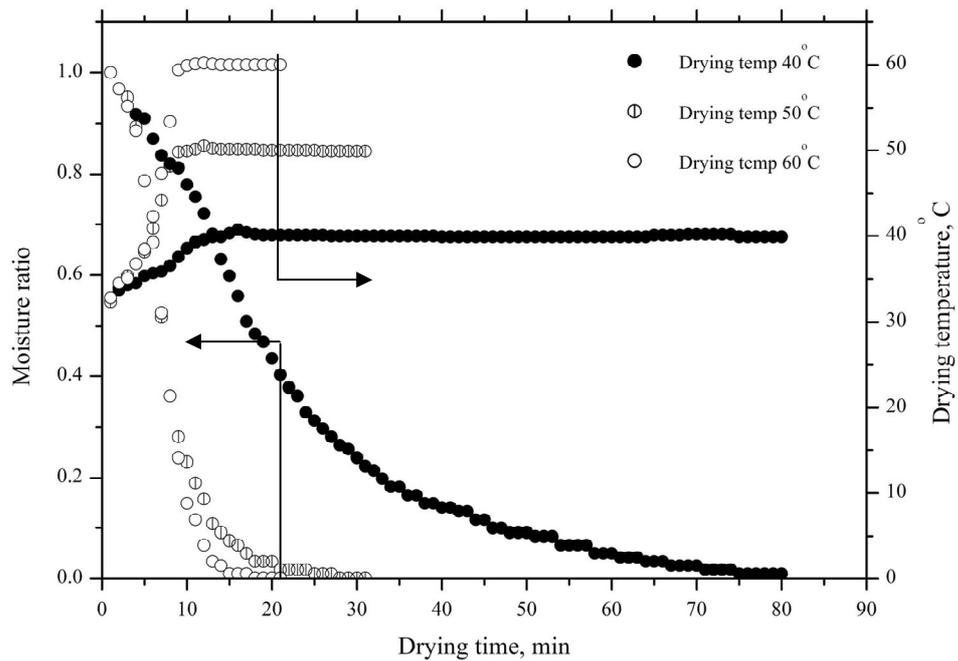
### 4.2.1 อิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้ง

ภาพที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ในการอบแห้งหญ้าปักกิ่งที่ความดันสัมบูรณ์คงที่เท่ากับ 5 kPa และทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนความชื้นจะลดลงตามระยะเวลาอบแห้ง โดยช่วง 10 นาทีแรกของการอบแห้ง ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นช่วงที่ผลิตภัณฑ์ยังมีความชื้นสูง จึงเกิดการถ่ายเทความชื้นจากเนื้อผลิตภัณฑ์สู่ห้องอบแห้งอย่างรวดเร็ว และถูกดูดออกจากห้องอบแห้งโดยปั๊มสุญญากาศ หลังจากนั้นความชื้นจะค่อยๆ ลดลง จนคงที่ในที่สุด เมื่อพิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิอบแห้ง พบว่าที่อุณหภูมิ 60°C มีความชื้นลดลงเร็วที่สุด ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 50 และ 40°C

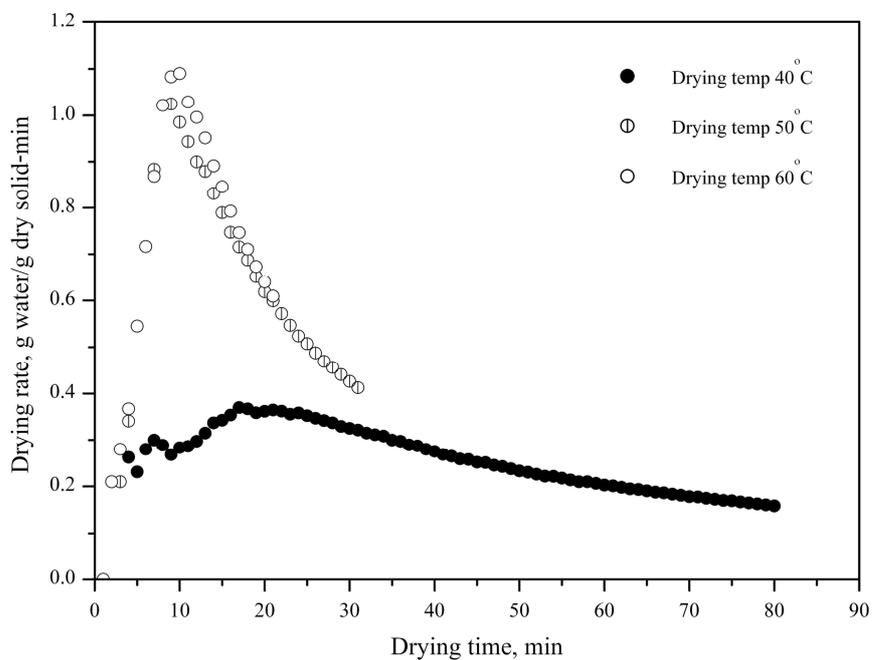
ภาพที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ในการอบแห้งหญ้าปักกิ่งที่ความดันสัมบูรณ์คงที่เท่ากับ 5 kPa และทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 40°C โดยเฉลี่ยประมาณ 13 และ 64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าอัตราการอบแห้งที่เงื่อนไขอุณหภูมิ 60 °C มีค่าใกล้เคียงกันกับอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า อัตราการอบแห้งหญ้าปักกิ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการระเหยน้ำของหญ้าปักกิ่งด้วย

ภาพที่ 4.15-4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งกับเวลา ในการอบแห้งหญ้าปักกิ่งที่ความดันสัมบูรณ์คงที่เท่ากับ 10 และ 15 kPa ตามลำดับ โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้ง มีแนวโน้มเหมือนกันกับการอบแห้งหญ้าปักกิ่งที่ความดัน 5 kPa กล่าวคือ ที่อุณหภูมิ 60°C ความชื้นจะลดลงเร็วที่สุด ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด และให้อัตราการอบแห้งสูงที่สุดด้วย

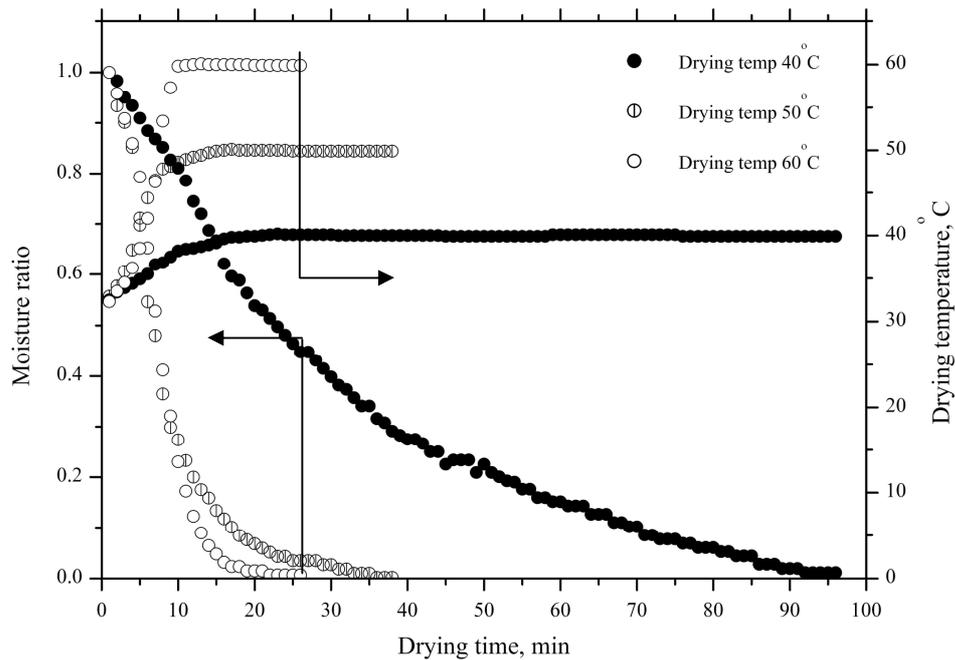
จากผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า อุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อจลนศาสตร์การอบแห้งหญ้าปักกิ่ง โดยที่ภาวะความดันเดียวกัน อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง



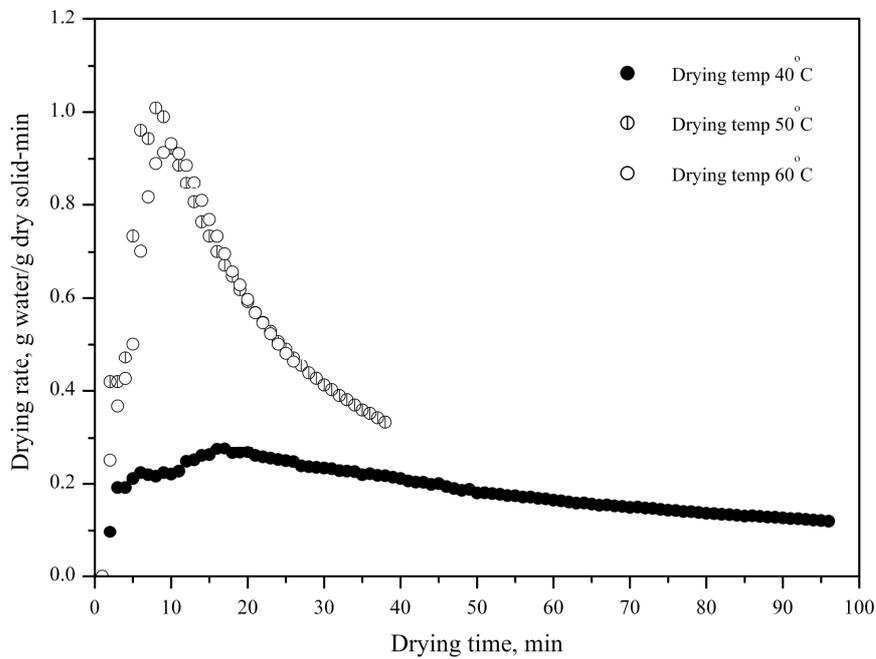
ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa



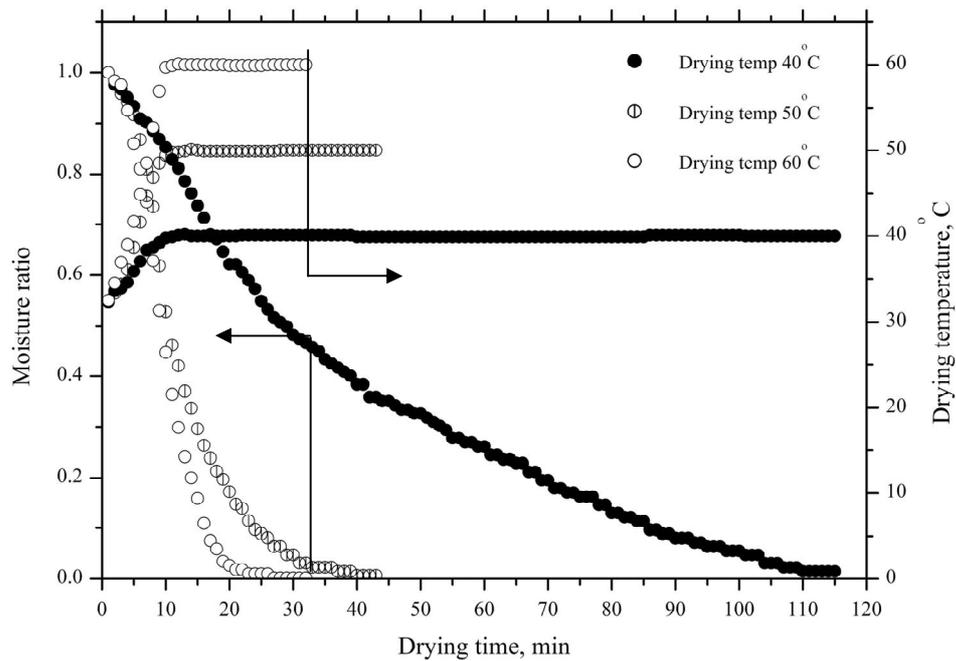
ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa



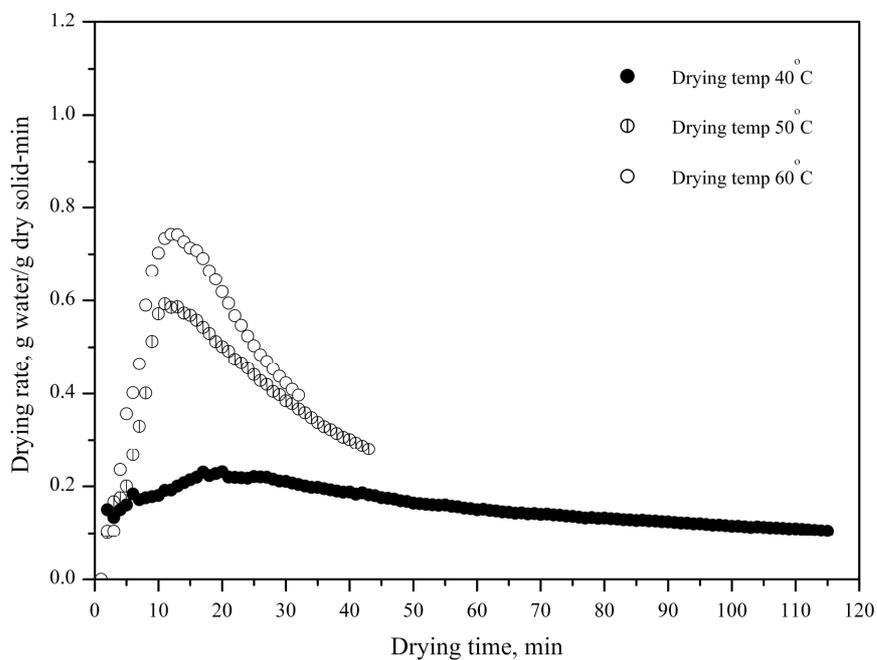
ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa



ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa



ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa



ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa

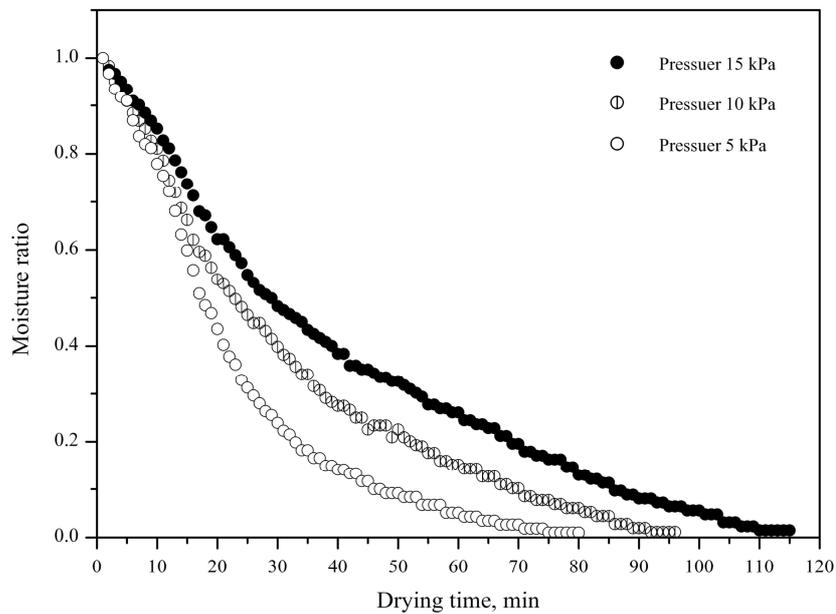
#### 4.2.2 อิทธิพลของความดันสุญญากาศ

ภาพที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ในการอบแห้งหญ้าปักกิ่งที่อุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ  $40^{\circ}\text{C}$  โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขภาวะความดันสัมบูรณ์ ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนความชื้นจะลดลงตามระยะเวลาอบแห้ง กล่าวคือ ที่เงื่อนไขความดันสัมบูรณ์ 5 kPa มีความชันของเส้นกราฟมากที่สุด นั่นคืออัตราส่วนความชื้นลดลงเร็วที่สุดในขณะที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa อัตราส่วนความชื้นลดลงช้าที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากภาวะความดันสุญญากาศ มีอิทธิพลต่อจุดเดือดของน้ำ โดยน้ำที่ความดันสัมบูรณ์ 5, 10 และ 15 kPa มีจุดเดือดที่  $32.88, 45.81$  และ  $53.9^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ

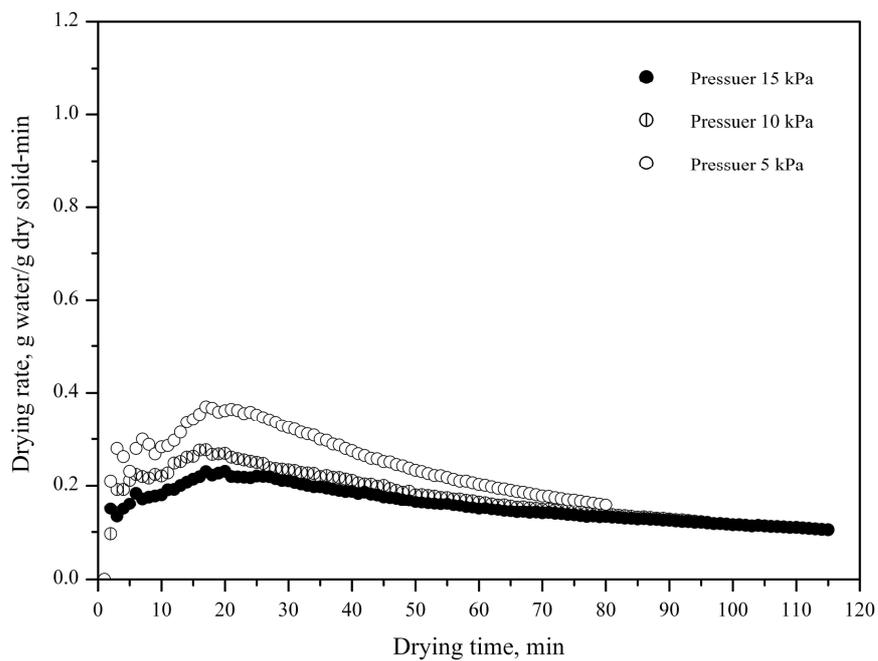
เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของความดันสุญญากาศที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ที่เงื่อนไขอุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  พบว่า ที่ภาวะความดันสัมบูรณ์ 5 kPa มีอัตราการอบแห้งมากกว่าที่ภาวะความดัน 10 และ 15 kPa ประมาณ 27.46 และ 38.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยทั้ง 3 เงื่อนไขมีอัตราการอบแห้งสูงสุดหลังจากเริ่มอบแห้งประมาณ 20 นาที และค่อยๆ ลดลง โดยไม่พบช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ในการอบแห้งหญ้าปักกิ่งที่อุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ  $40^{\circ}\text{C}$  แสดงดังภาพที่ 4.20

ภาพที่ 4.21-4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 และ  $60^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ จากภาพพบว่า การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้ง มีแนวโน้มลักษณะเช่นเดียวกันกับการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  แต่มีอัตราการอบแห้งสูงสุดหลังจากเริ่มต้นการอบแห้งผ่านไปประมาณ 10 นาที หลังจากนั้นจะลดลง โดยไม่พบช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เมื่อเปรียบเทียบเวลาการอบแห้งแล้ว พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ  $50^{\circ}\text{C}$

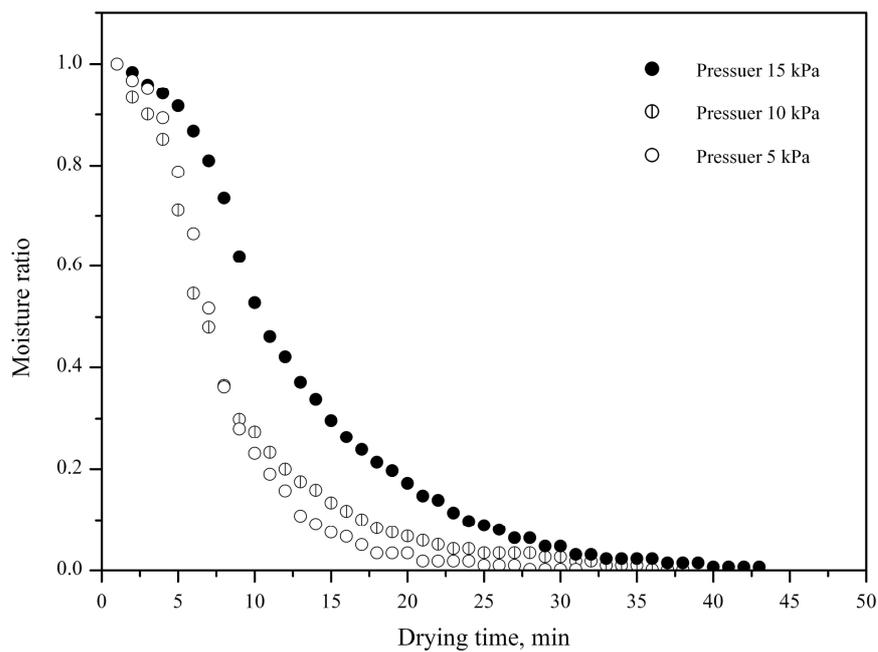
ผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า ความดันสุญญากาศมีอิทธิพลต่อจลนศาสตร์การอบแห้งหญ้าปักกิ่ง โดยที่อุณหภูมิเดียวกัน อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อลดความดันสัมบูรณ์



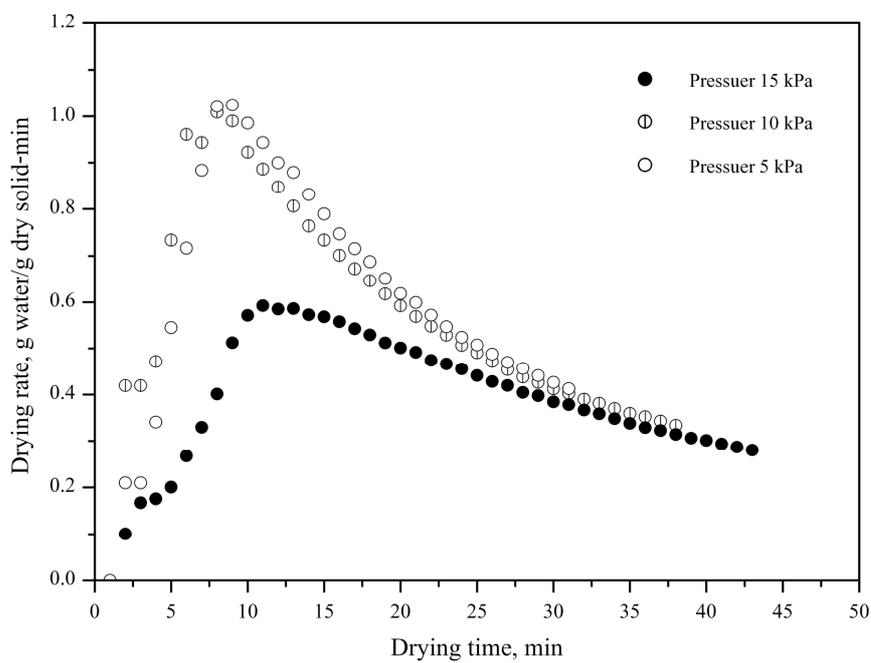
ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่อุณหภูมิ 40°C



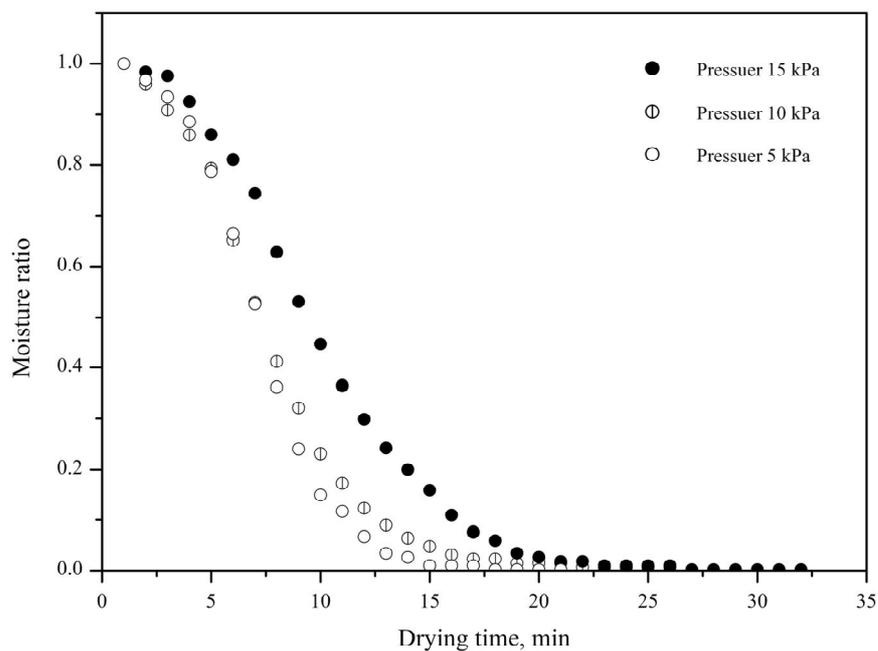
ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิ 40°C



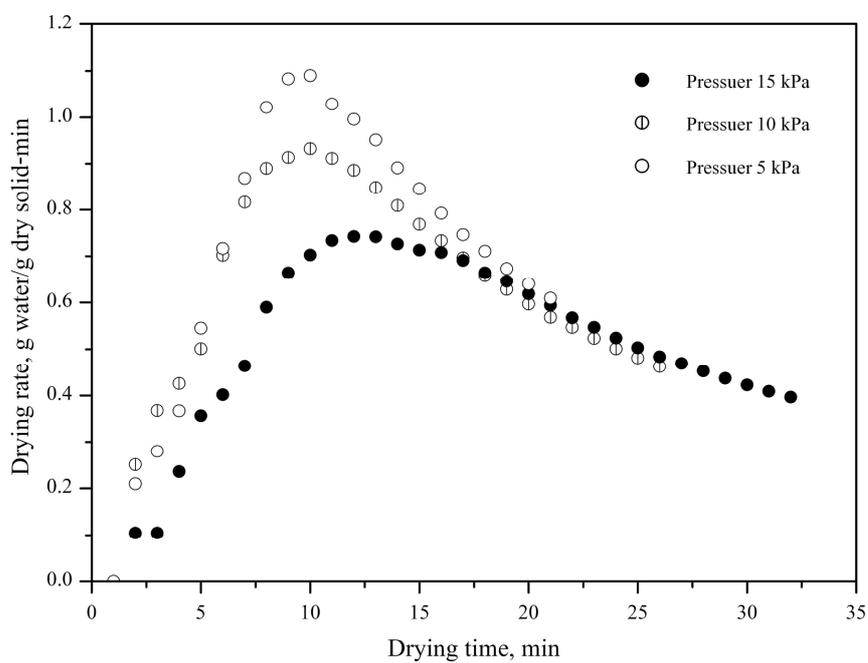
ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่อุณหภูมิ 50°C



ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิ 50°C



ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่อุณหภูมิ 60°C



ภาพที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิ 60°C

### 4.3 ผลการอบแห้งบอระเพ็ด

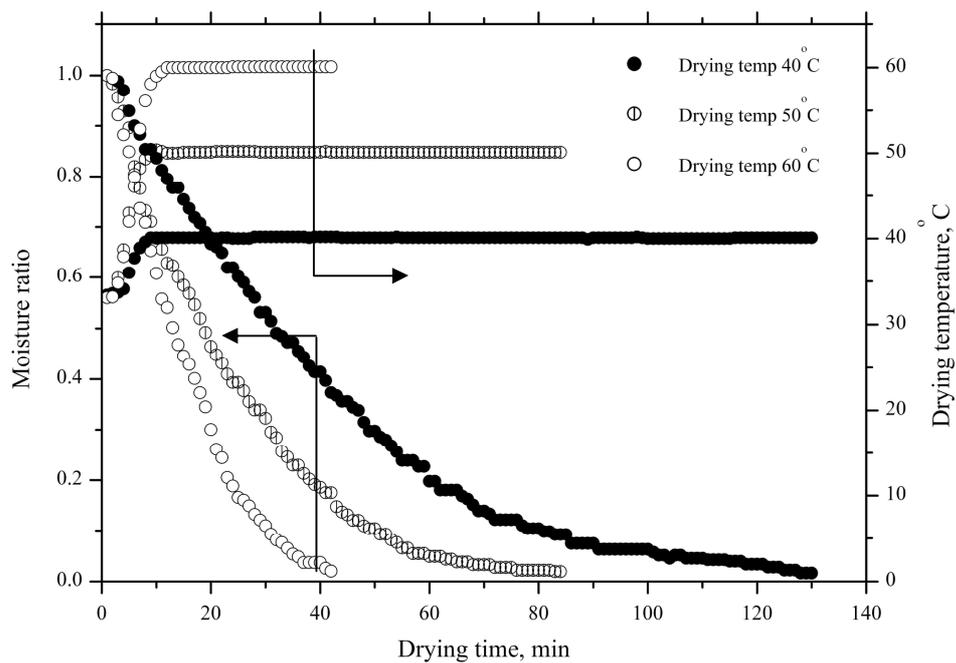
#### 4.3.1 อิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้ง

ภาพที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ในการอบแห้งบอระเพ็ด ที่ความดันสัมบูรณ์คงที่เท่ากับ 5 kPa และทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนความชื้นจะลดลงตามระยะเวลาอบแห้ง โดยในช่วง 10 นาทีแรกของการอบแห้ง ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นช่วงที่ผลิตภัณฑ์ยังมีความชื้นสูง จึงเกิดการถ่ายเทความชื้นจากเนื้อผลิตภัณฑ์สู่ห้องอบแห้งอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นความชื้นจะค่อยๆ ลดลง จนคงที่ในที่สุด เมื่อพิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิอบแห้ง พบว่าที่อุณหภูมิ 60°C มีความชื้นลดลงเร็วที่สุด โดยลดลงเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 40°C ตามลำดับ และส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 40°C

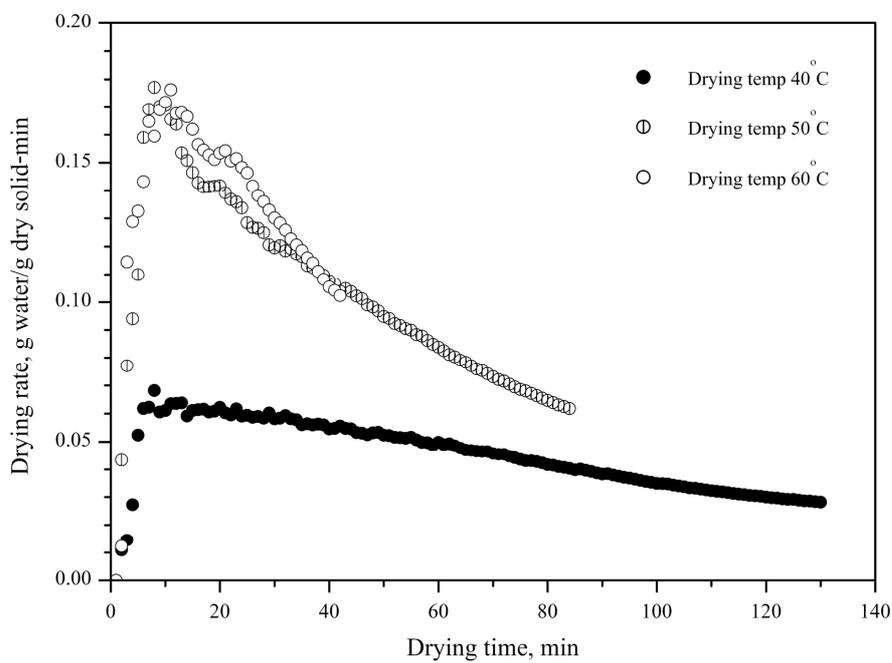
ภาพที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ในการอบแห้งบอระเพ็ดความดันสัมบูรณ์คงที่เท่ากับ 5 kPa และทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 40°C โดยเฉลี่ยประมาณ 22.4 และ 66.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าที่เงื่อนไขอุณหภูมิ 60 และ 50°C มีอัตราการอบแห้งใกล้เคียงกัน และแตกต่างกับอัตราการอบแห้งที่เงื่อนไขอุณหภูมิ 40°C ค่อนข้างมาก ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ที่อุณหภูมิอบแห้งสูง จะส่งผลให้อัตราการอบแห้งบอระเพ็ดสูงขึ้นด้วย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นอีก อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นไม่มากนัก เนื่องจากความสามารถในการระเหยน้ำของบอระเพ็ด มีค่าคงที่ ณ จุดๆ หนึ่ง

ภาพที่ 4.27-4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งกับเวลา ในการอบแห้งหญ้าปักกิ่งที่ความดันสัมบูรณ์คงที่เท่ากับ 10 และ 15 kPa ตามลำดับ โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้ง มีแนวโน้มเหมือนกันกับการอบแห้งบอระเพ็ดที่ความดัน 5 kPa กล่าวคือ ที่อุณหภูมิ 60°C ความชื้นจะลดลงเร็วที่สุด ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด และให้อัตราการอบแห้งสูงที่สุดด้วย

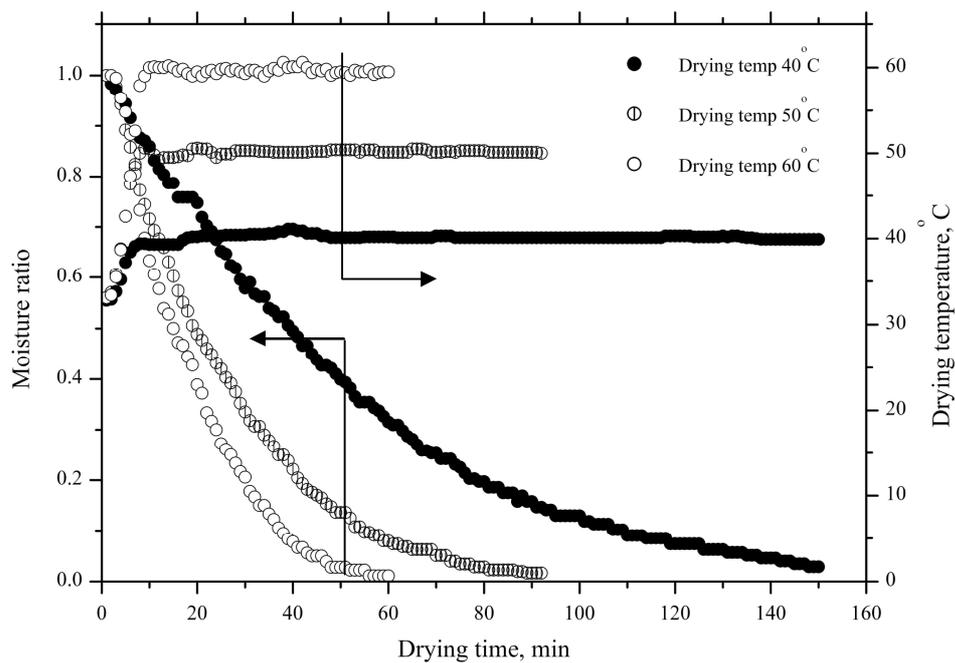
จากผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า อุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อจลนศาสตร์การอบแห้งบอระเพ็ด โดยที่ภาวะความดันเดียวกัน อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง และลดความดันสัมบูรณ์



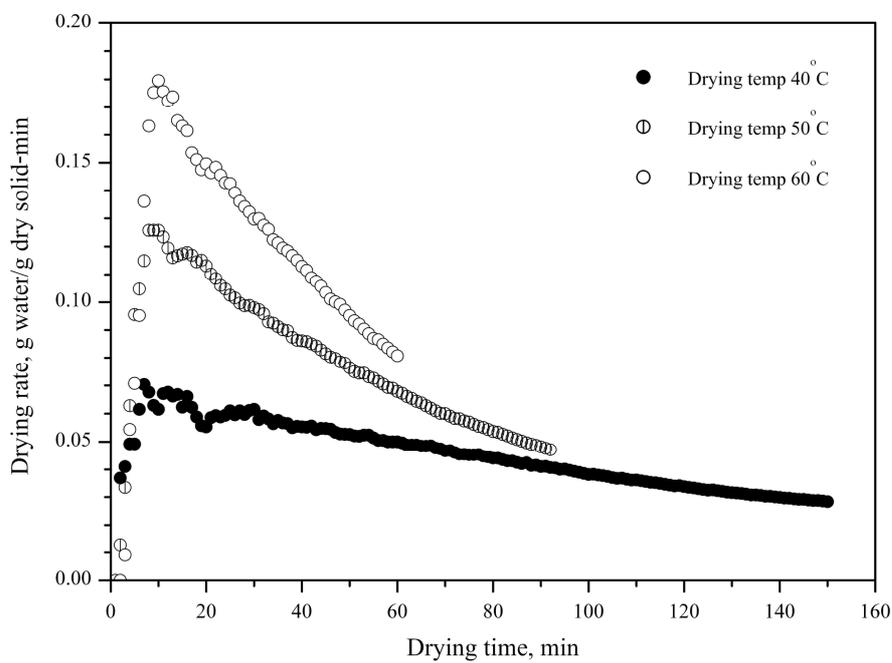
ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa



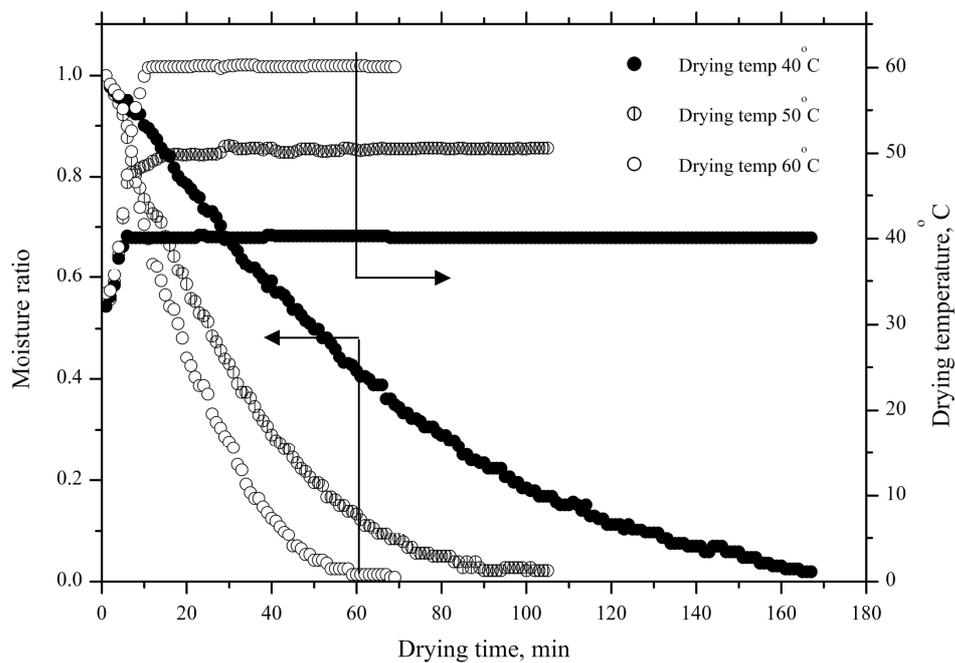
ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa



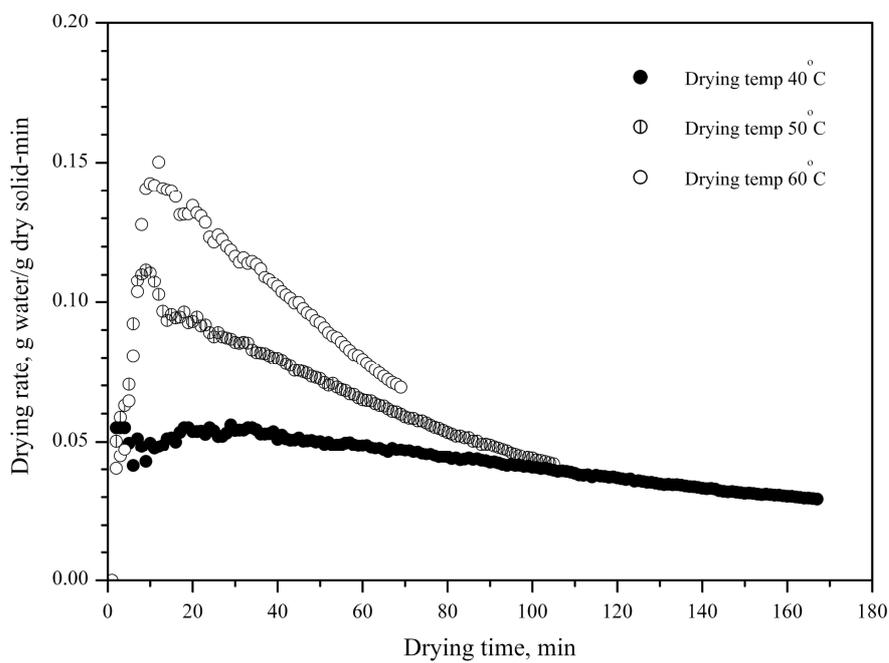
ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa



ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa



ภาพที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa



ภาพที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa

### 4.3.2 อิทธิพลของความดันสุญญากาศ

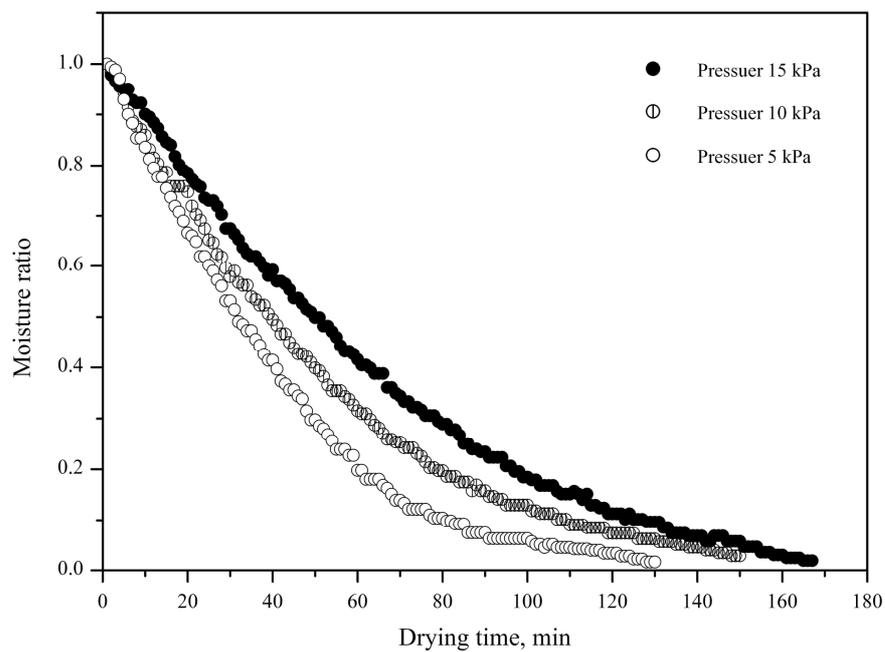
ภาพที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ในการอบบอระเพ็ดที่อุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ  $40^{\circ}\text{C}$  โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขภาวะความดันสัมบูรณ์ ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนความชื้นจะลดลงตามระยะเวลาอบแห้ง กล่าวคือ ที่เงื่อนไขความดันสัมบูรณ์ 5 kPa มีความชันของเส้นกราฟมากที่สุด นั่นคืออัตราส่วนความชื้นลดลงเร็วที่สุด ส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดในขณะที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa อัตราส่วนความชื้นลดลงช้าที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากภาวะความดันสุญญากาศ มีอิทธิพลต่อจุดเดือดของน้ำในผลิตภัณฑ์

ภาพที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่เงื่อนไขอุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขภาวะความดันสัมบูรณ์ ผลการทดลองพบว่า อัตราการอบแห้งที่ความดัน 5, 10 และ 15 kPa มีค่าใกล้เคียงกัน โดยทั้ง 3 เงื่อนไขการทดลอง มีช่วงอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น หลังจากเริ่มอบแห้งประมาณ 10 นาที และจะค่อยๆ ลดลงโดยไม่พบช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

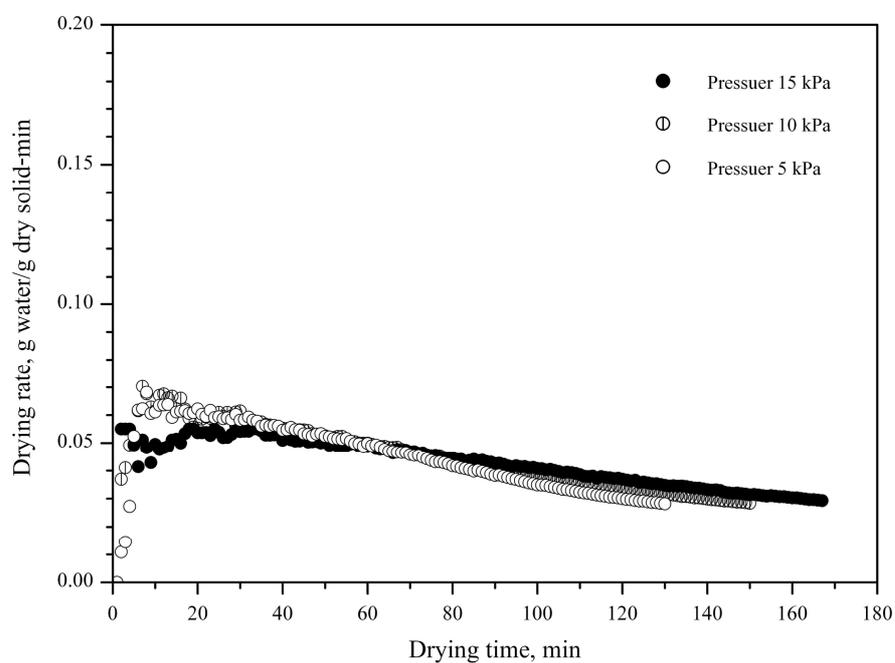
ภาพที่ 4.33 และ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งบอระเพ็ดที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 และ  $60^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้ง มีแนวโน้มลักษณะเช่นเดียวกันกับการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  กล่าวคือ ที่เงื่อนไขความดันสัมบูรณ์ 5 kPa อัตราส่วนความชื้นจะลดลงเร็วที่สุด ส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นที่สุดในขณะที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa อัตราส่วนความชื้นลดลงช้าที่สุด

ภาพที่ 4.34 และ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่เงื่อนไขอุณหภูมิ 50 และ  $60^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขความดันสัมบูรณ์ ผลการทดลองพบว่า ที่เงื่อนไขความดันสัมบูรณ์ 5 kPa มีอัตราการอบแห้งสูงสุดหลังจากเริ่มต้นอบแห้งประมาณ 10 นาที หลังจากนั้นจะลดลง โดยไม่พบช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เมื่อเปรียบเทียบเวลาการอบแห้งแล้ว พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ  $50^{\circ}\text{C}$

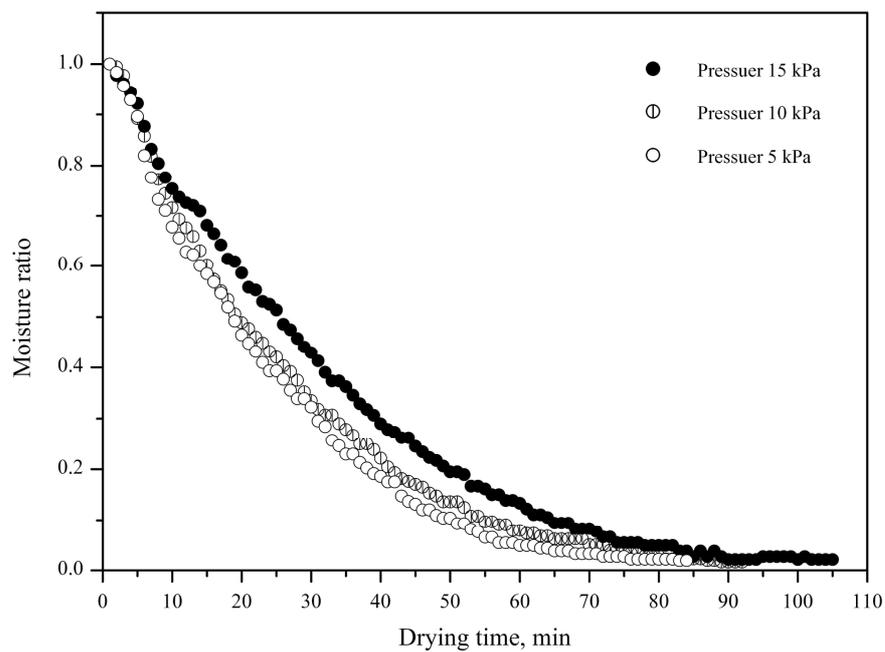
ผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า ความดันสุญญากาศมีอิทธิพลต่อจลนศาสตร์การอบแห้งบอระเพ็ด โดยที่อุณหภูมิเดียวกัน อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อลดความดันสัมบูรณ์



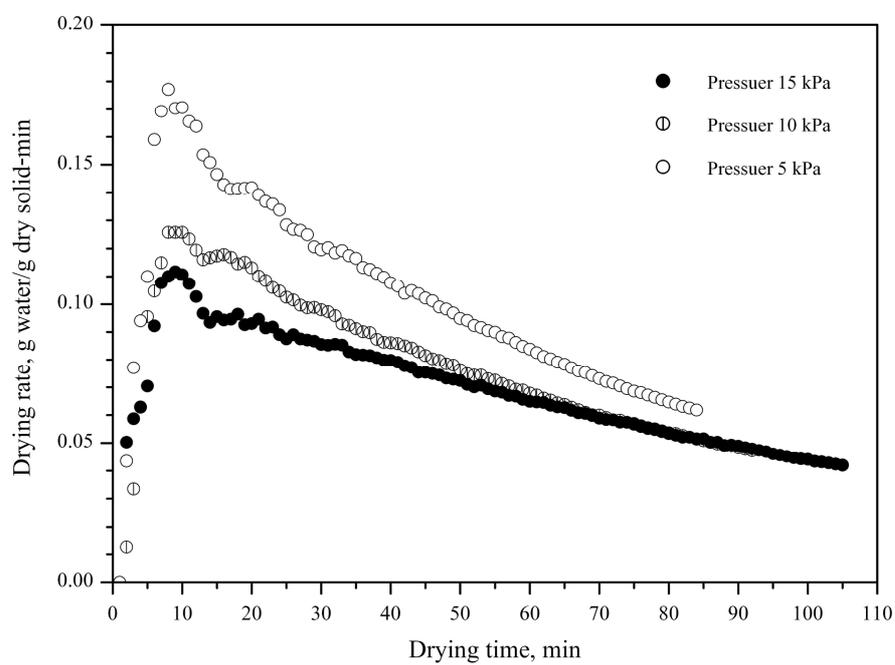
ภาพที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่อุณหภูมิ 40°C



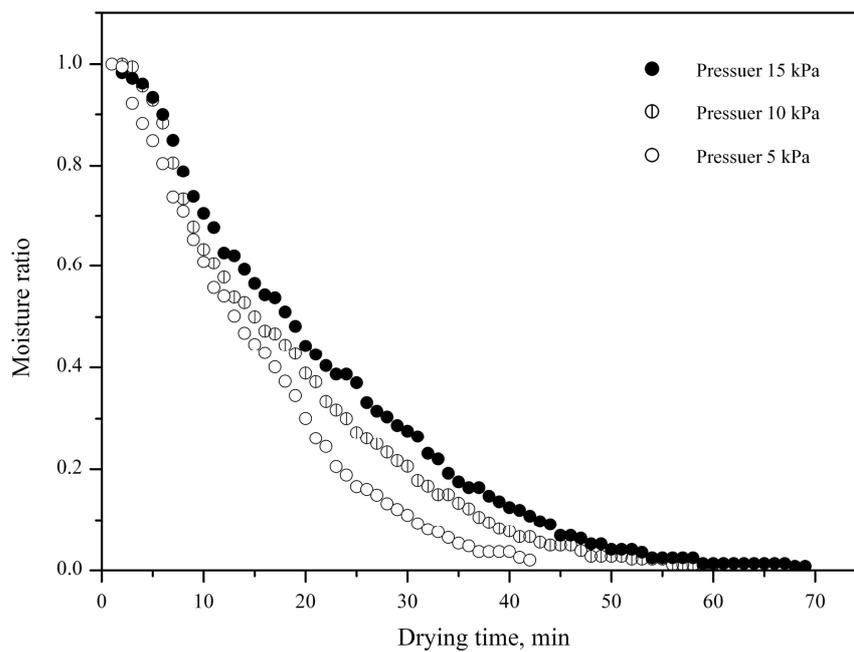
ภาพที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิ 40°C



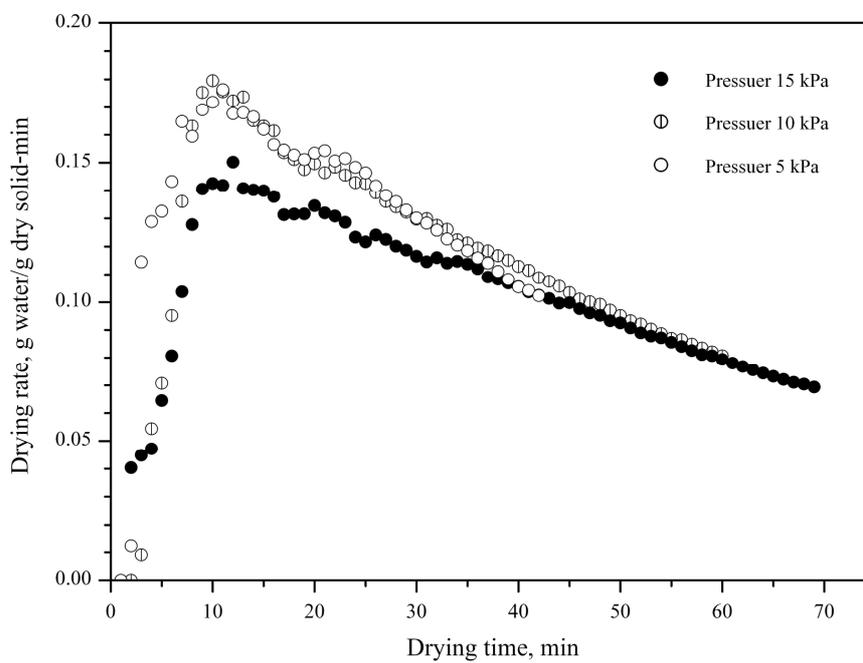
ภาพที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่อุณหภูมิ 50°C



ภาพที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิ 50°C



ภาพที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่อุณหภูมิ 60°C



ภาพที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิ 60°C

#### 4.4 อิทธิพลของรังสีอินฟราเรด

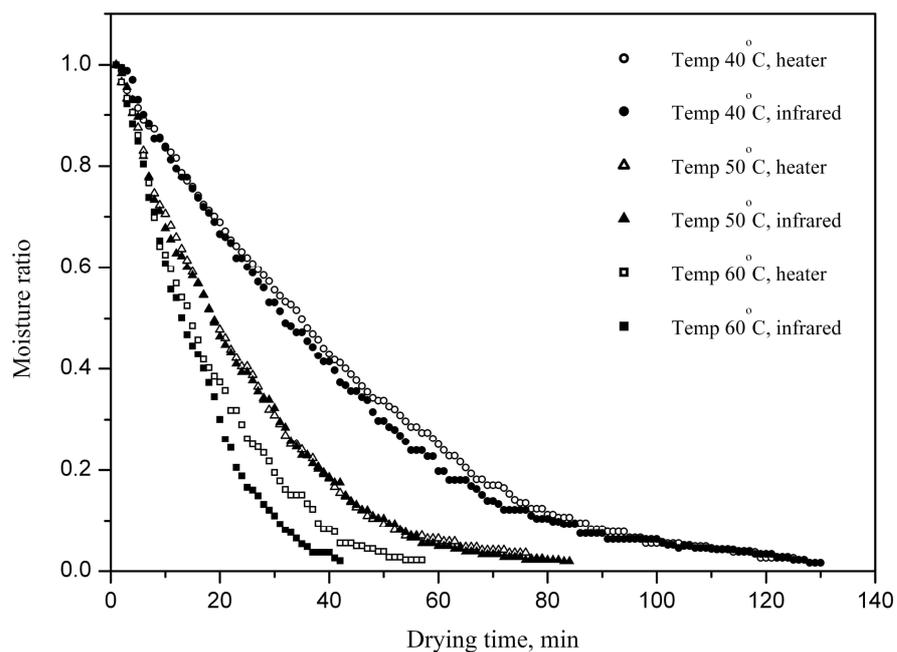
ในการศึกษาอิทธิพลของรังสีอินฟราเรดที่ส่งผลต่อการอบแห้ง สำหรับการอบแห้งด้วยสุญญากาศ ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง การอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ โดยทั้ง 2 ส่วน ทำการอบแห้งบะปังกะที่ที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 450-500 % d.b. อบจนกระทั่งน้ำหนักบะปังกะที่ที่เงื่อนไขในการทดลอง คือ อบแห้งที่ภาวะความดันสัมบูรณ์ 5, 10 และ 15 kPa อุณหภูมิอบแห้ง 40, 50 และ 60°C ผลการศึกษาเปรียบเทียบมีดังนี้

##### 4.4.1 กรณีเปลี่ยนเงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง

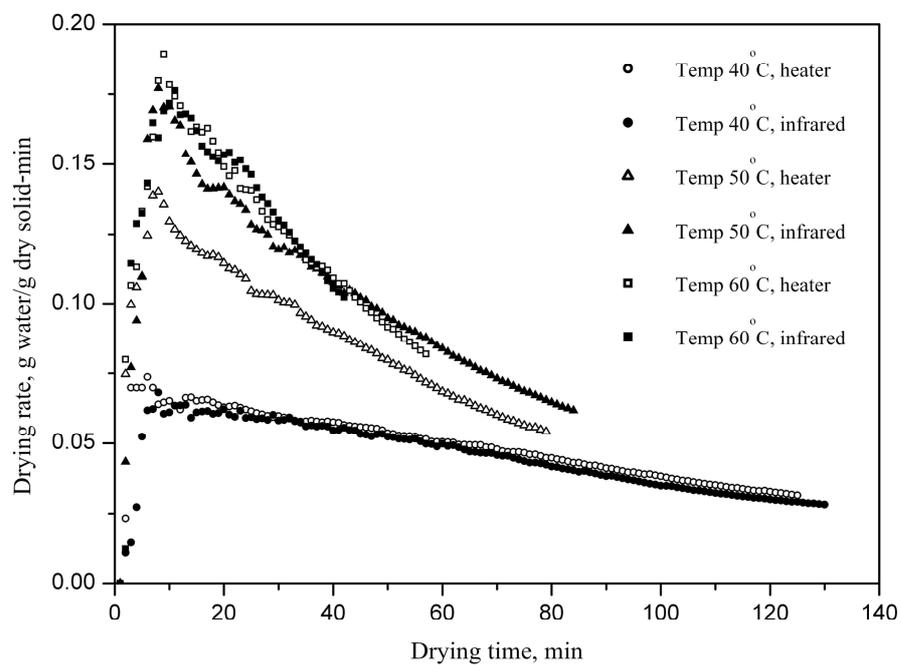
ภาพที่ 4.37-4.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งกับเวลา โดยเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ ที่ความดันสัมบูรณ์คงที่ 5 10 และ 15 kPa และเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้งในแต่ละภาวะความดันสัมบูรณ์ จากการทดลองพบว่า ที่ความดันเดียวกัน อัตราส่วนความชื้นมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นที่เวลาและเงื่อนไขการทดลองเดียวกันพบว่า การอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด มีอัตราส่วนความชื้นน้อยกว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ หรือกล่าวได้ว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด สามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งระหว่างการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ พบว่า ที่ภาวะความดันเดียวกัน อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบที่เวลาและเงื่อนไขการทดลองเดียวกันพบว่า การอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด มีอัตราการอบแห้งมากกว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ ประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์

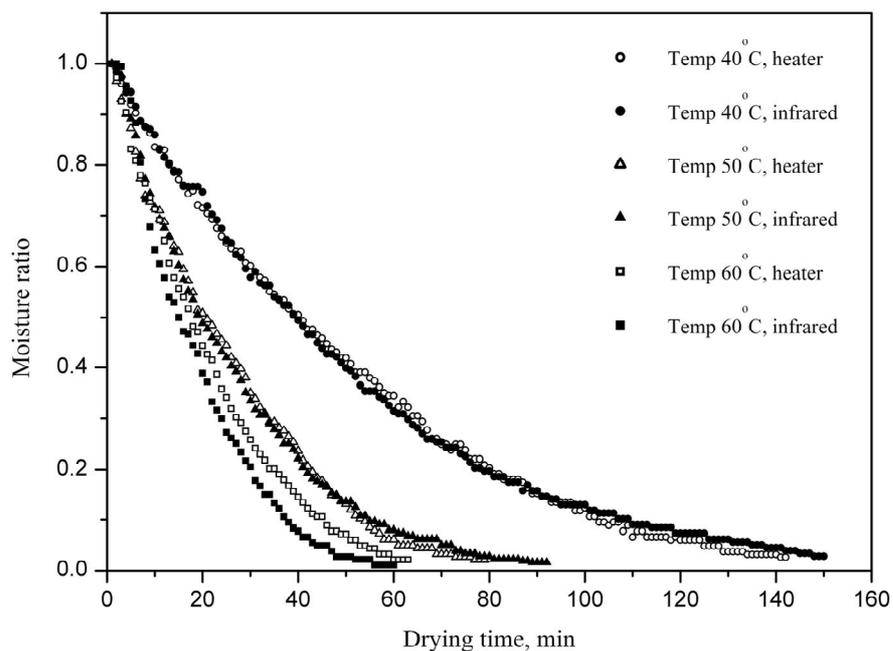
จากผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า การให้ความร้อนในการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด สามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าการใช้ฮีตเตอร์เป็นแหล่งความร้อน เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากหลอดรังสีอินฟราเรดไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งแตกต่างจากฮีตเตอร์ที่ต้องถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลาง ดังนั้น จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนต่ำกว่ากรณีใช้หลอดรังสีอินฟราเรด



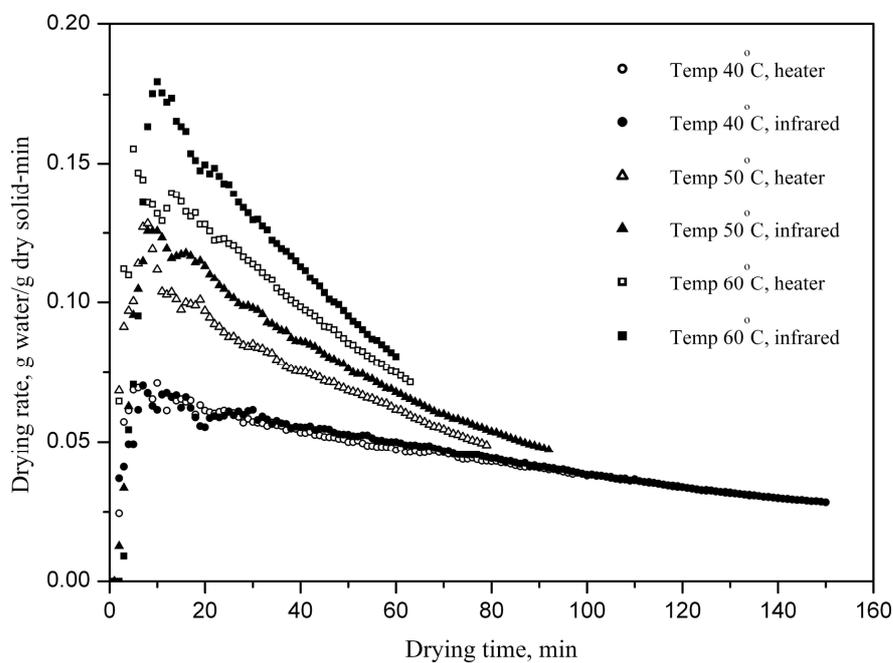
ภาพที่ 4.37 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa



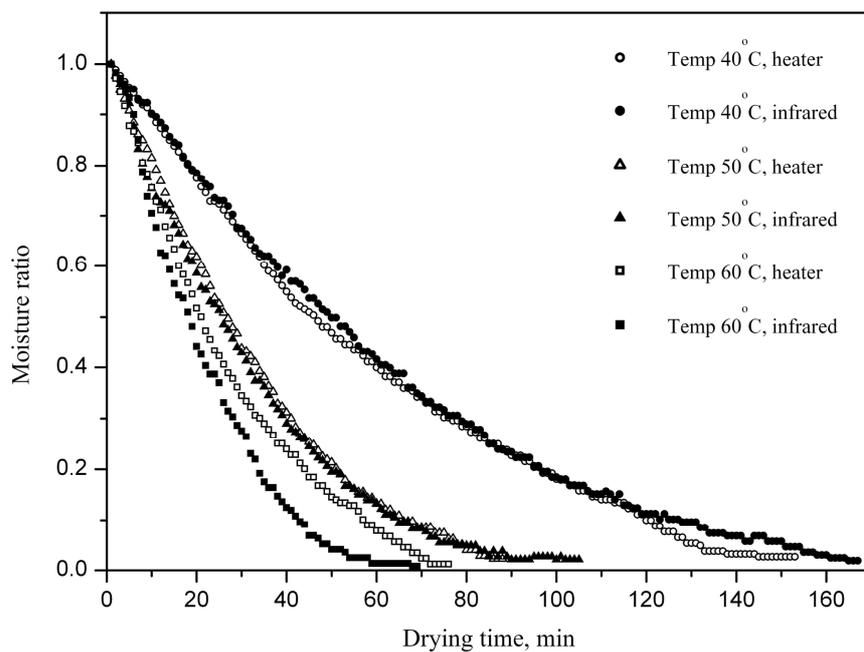
ภาพที่ 4.38 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa



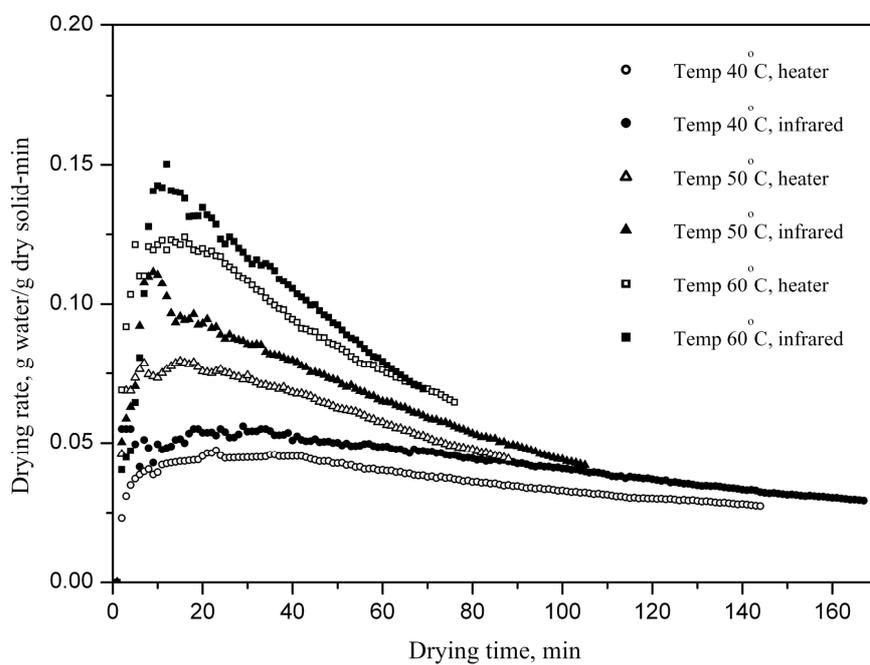
ภาพที่ 4.39 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa



ภาพที่ 4.40 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa



ภาพที่ 4.41 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa



ภาพที่ 4.42 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa

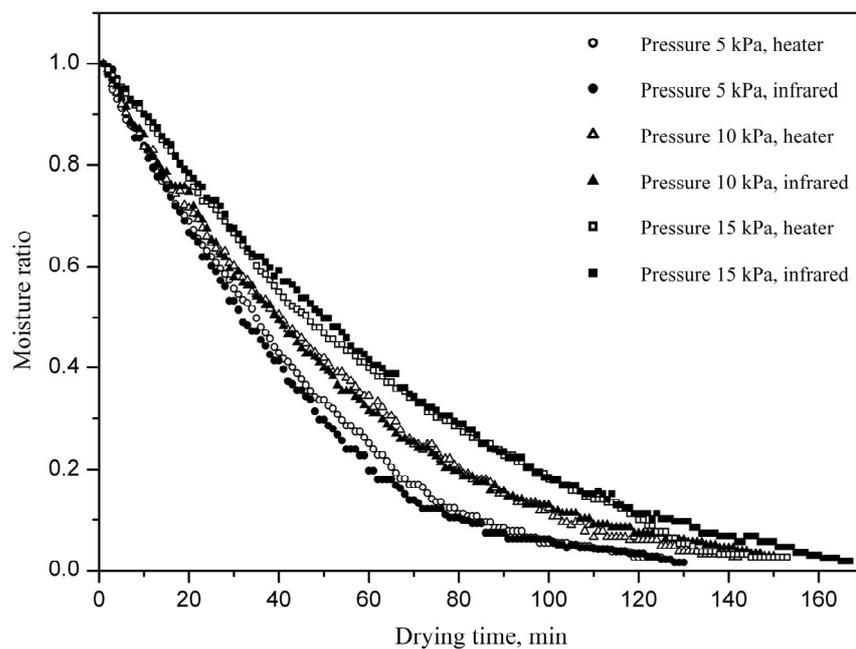
#### 4.4.2 กรณีเปลี่ยนเงื่อนไขความดันสัมบูรณ์

ภาพที่ 4.43-4.48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งกับเวลา โดยเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ ที่อุณหภูมิอบแห้งคงที่ 40 50 และ 60°C และทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขความดันสัมบูรณ์ จากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน อัตราส่วนความชื้นมีค่าลดลง เมื่อลดความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้ง และเมื่อเทียบอัตราส่วนความชื้นที่เวลาและเงื่อนไขการทดลองเดียวกันพบว่า การอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด มีอัตราส่วนความชื้นน้อยกว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ หรือกล่าวได้ว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด สามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์

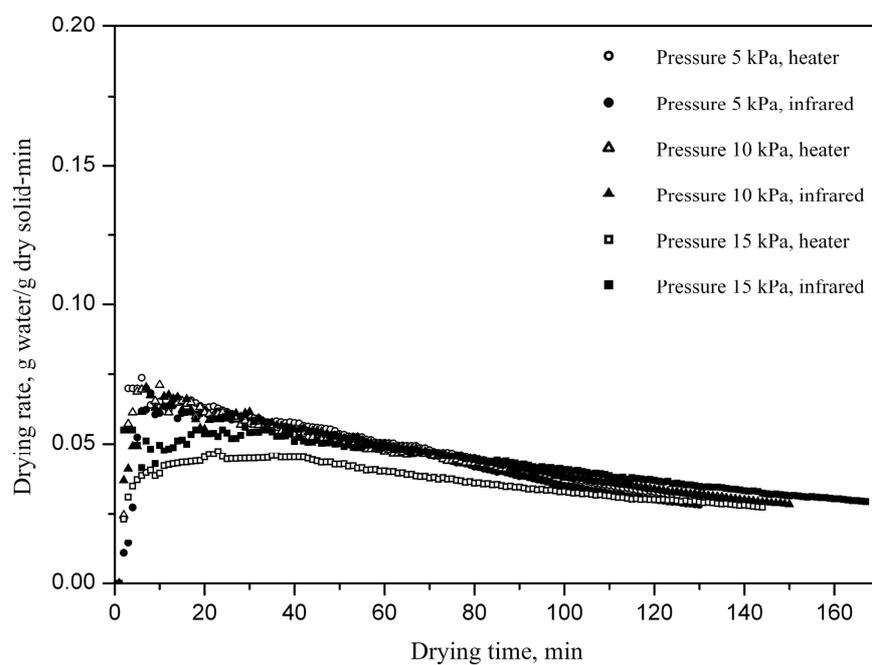
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งระหว่างการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ พบว่า ที่เงื่อนไขอุณหภูมิเดียวกัน อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อลดความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการอบแห้ง ระหว่างการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ ที่เวลาและที่เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน พบว่า การอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด มีอัตราการอบแห้งมากกว่า การอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ ประมาณ 7-29 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองข้างต้น สรุปได้ว่า การให้ความร้อนในการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด สามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าการใช้ฮีตเตอร์เป็นแหล่งความร้อน เมื่อเปรียบเทียบที่ความดันสัมบูรณ์เดียวกัน

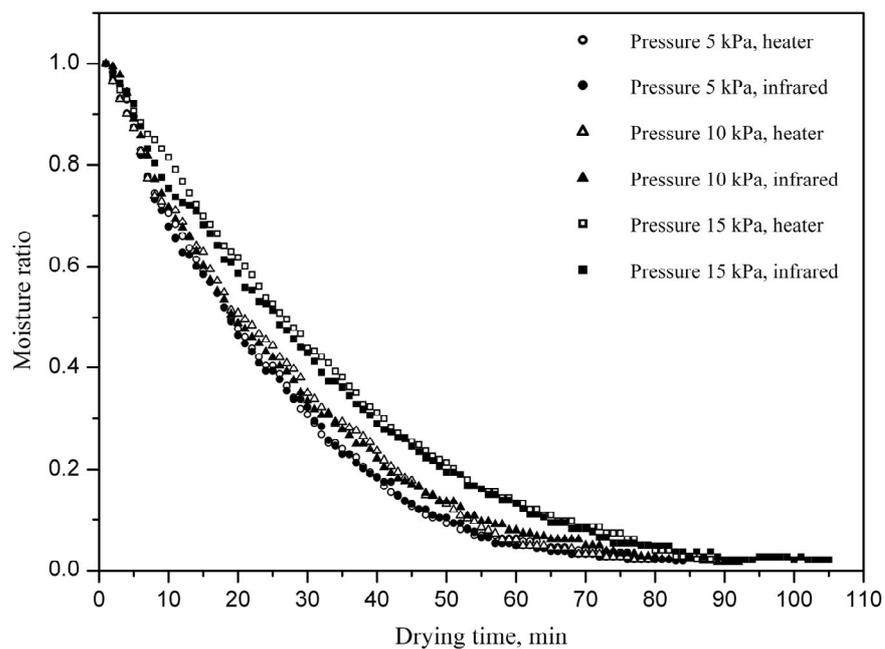
ในการศึกษาอิทธิพลของรังสีอินฟราเรดที่ส่งผลต่อการอบแห้ง สำหรับการอบแห้งด้วยสุญญากาศ โดยการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่า การใช้รังสีอินฟราเรดเป็นแหล่งความร้อนในการอบแห้ง สามารถลดความชื้นผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าการใช้ฮีตเตอร์เป็นแหล่งความร้อน ส่งผลให้อัตราการอบแห้งมากกว่าและใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่า การใช้ฮีตเตอร์เป็นแหล่งความร้อน ซึ่งเป็นผลมาจากประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของรังสีอินฟราเรด



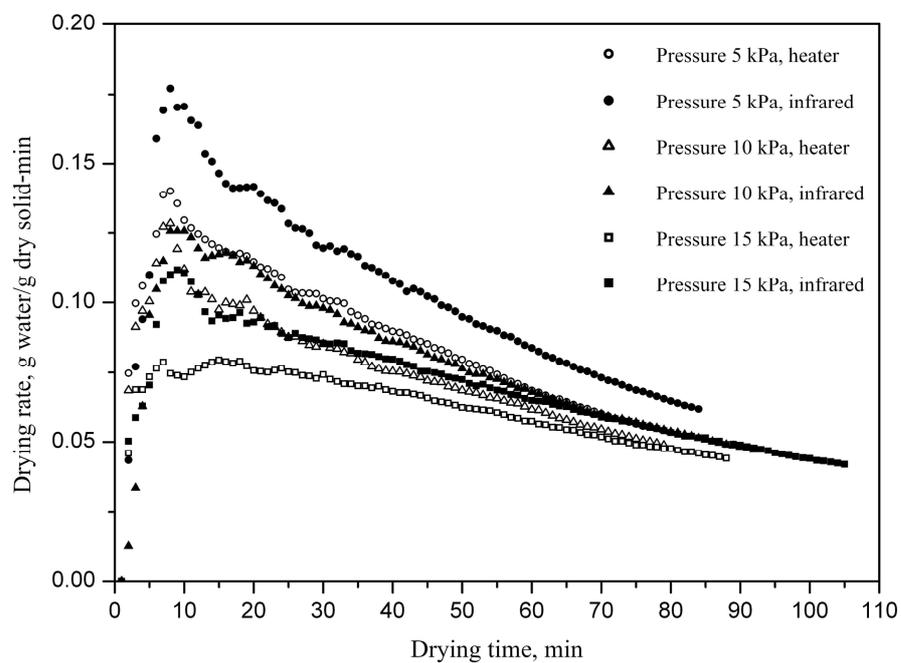
ภาพที่ 4.43 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่อุณหภูมิ 40°C



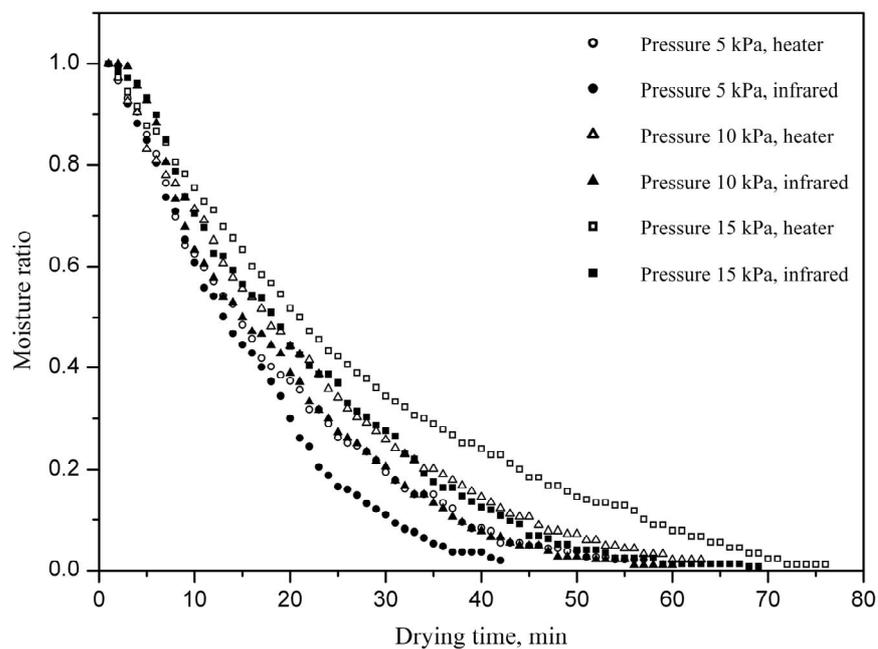
ภาพที่ 4.44 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิ 40°C



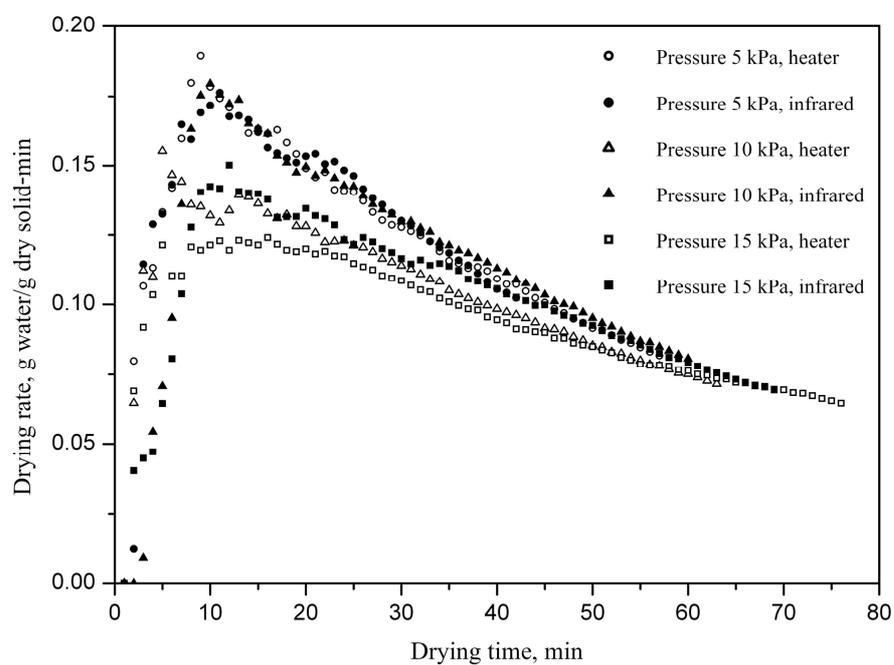
ภาพที่ 4.45 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่อุณหภูมิ 50°C



ภาพที่ 4.46 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิ 50°C



ภาพที่ 4.47 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$



ภาพที่ 4.48 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$

#### 4.5 สมการจลนศาสตร์การอบแห้ง

จากการศึกษาอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด สามารถนำผลวิเคราะห์อัตราส่วนความชื้นมาเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ของสมการทางคณิตศาสตร์ โดยพิจารณาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้ง และภาวะความดันสุญญากาศ เมื่อกำหนดให้  $a, b, c, g, h, k, k_1, k_2, n$ , และ  $y$  คือ ค่าคงที่ของสมการอบแห้งชั้นบาง ( $K$ ) ซึ่งมีรูปแบบสมการค่าคงที่ดังสมการที่ (4.1)

$$K = x_0 + x_1T + x_2P + x_3TP \quad (4.1)$$

เมื่อ	$K$	คือ	$a, b, c, g, h, k, k_1, k_2, n$ และ $y$
	$T$	คือ	อุณหภูมิอบแห้ง
	$P$	คือ	ความดันสัมบูรณ์
	$x_i$	คือ	ค่าคงที่ของสมการที่ (4.1)

##### 4.5.1 สมการจลนศาสตร์การอบแห้งจึง

ในการวิเคราะห์ผลการอบแห้งจึงด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด เพื่อหาสมการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมที่สุด สำหรับอธิบายพฤติกรรมการอบแห้ง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าคงที่ของสมการการอบแห้งชั้นบาง,  $R^2$  และ  $RMSE$  จากการวิเคราะห์สมการทั้ง 12 สมการ พบว่า สมการ Modified Henderson and Pabis สามารถทำนายผลการอบแห้งจึงด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดได้ดีที่สุด โดยให้ค่า  $R^2$  มากที่สุด (0.99783) และค่า  $RMSE$  น้อยที่สุด (0.0139) นอกจากนี้ หากจัดเรียงความสามารถในการทำนายผลการอบแห้งจึงด้วยสมการอบแห้งชั้นบางจากมากไปน้อย สามารถจัดเรียงได้ดังนี้ Modified Henderson and Pabis, Midilli, Two term, Page, Logarithmic, Verma, Approximation of diffusion, Henderson and Pabis, Wang and Singh, Modified Page I, Two term exponential และ Newton

ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งจึงด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด โดยเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับผลการทำนายตามรูปแบบสมการอบแห้งชั้นบางทั้ง 12 สมการ มีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่สมการรอบแห้งชั้นบางของขิง

Model	Parameter	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$R^2$	RMSE
Newton	k	-0.08141	0.00261	0.00286	-0.00008	0.97067	0.0512
Page	k	-0.02026	0.00070	0.00067	-0.00002	0.99478	0.0216
	y	0.90886	0.00935	0.01225	-0.00029		
Modified Page I	k	0.14782	0.00021	-0.01297	0.00023	0.97153	0.0504
	y	-0.51958	0.01658	0.03357	-0.00078		
Henderson and Pabis	a	0.86889	0.00616	0.02315	-0.00054	0.98536	0.0361
	k	-0.10140	0.00318	0.00407	-0.00011		
Wang and Singh	a	0.03169	-0.00123	-0.00077	0.00003	0.97658	0.0457
	b	-0.00048	0.00001	0.00001	0.00000		
Two term exponential	a	-0.00002	0.00000	0.00000	0.00000	0.97129	0.0506
	k	-446.874	21.5198	4.69137	-0.34783		
Logarithmic	a	0.92691	0.00472	0.02977	-0.00058	0.99315	0.0247
	k	-0.08605	0.00273	0.00374	-0.00011		
	c	-0.02862	0.00011	-0.00862	0.00006		
Approximation of diffusion	a	2.93318	0.00906	0.03379	-0.00012	0.98881	0.0316
	b	0.82070	0.00017	-0.00572	0.00005		
	k	-0.04638	0.00152	0.00182	-0.00005		
Verma et al.	a	4.97368	-0.23305	-0.49069	0.00915	0.99115	0.0281
	g	-0.05279	0.00165	0.00168	-0.00005		
	k	-0.05243	0.00160	0.00169	-0.00005		
Two term	a	-247.751	5.96819	8.18974	-0.19893	0.99650	0.0177
	b	248.822	-5.96811	-8.18257	0.19872		
	$k_1$	-0.26429	0.00697	0.00678	-0.00018		
	$k_2$	-0.26447	0.00699	0.00686	-0.00018		
Midilli	a	0.86368	0.00352	0.01932	-0.00043	0.99720	0.0158
	b	-0.00034	0.00001	-0.00012	0.00000		
	k	-0.03193	0.00101	0.00187	-0.00004		
	n	0.98938	0.00665	-0.01972	0.00025		
Modified Henderson and Pabis	a	-17.274	0.25480	2.96650	-0.05111	0.99783	0.0139
	b	2.2353	-0.0051	-1.2098	0.01702		
	c	15.9074	-0.2440	-1.7534	0.03390		
	g	-0.0545	0.00169	0.00050	-0.00003		
	h	-0.01713	0.00126	-0.00602	0.00008		
	k	0.01011	0.00048	-0.00522	0.00009		

#### 4.5.2 สมการจลนศาสตร์การอบแห้งหญ้าปักกิ่ง

ในการวิเคราะห์ผลการอบแห้งหญ้าปักกิ่งด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด เพื่อหาสมการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมที่สุด สำหรับอธิบายพฤติกรรมการอบแห้ง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าคงที่ของสมการการอบแห้งชั้นบาง,  $R^2$  และ  $RMSE$  จากการวิเคราะห์สมการทั้ง 12 สมการ พบว่า สมการ Modified Henderson and Pabis สามารถทำนายผลการอบแห้งจิงด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดได้ดีที่สุด โดยให้ค่า  $R^2$  มากที่สุด (0.99377) และค่า  $RMSE$  น้อยที่สุด (0.02422) นอกจากนี้ หากจัดเรียงความสามารถในการทำนายผลการอบแห้งจิงด้วยสมการอบแห้งชั้นบางจากมากไปน้อย สามารถจัดเรียงได้ดังนี้ Modified Henderson and Pabis, Page, Midilli, Two term, Two term exponential, Logarithmic, Henderson and Pabis, Approximation of diffusion, Verma, Modified Page I, Newton และ Wang and Singh

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งหญ้าปักกิ่งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด โดยเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับผลการทำนายตามรูปแบบสมการอบแห้งชั้นบางทั้ง 12 สมการ มีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่สมการอบแห้งชั้นบางของหญ้าปักกิ่ง

Model	Parameter	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$R^2$	RMSE
Newton	k	-0.231833	0.007092	0.005462	-0.000183	0.92733	0.08272
Page	k	0.048405	-0.000805	-0.000036	0.000004	0.99055	0.02982
	y	-3.169761	0.113759	0.108240	-0.003226		
Modified Page I	k	-0.006976	0.000189	0.000344	-0.000009	0.93531	0.07805
	y	137.248082	-2.008757	11.162308	-0.115423		
Henderson and Pabis	a	0.299067	0.021314	0.002513	-0.000220	0.96243	0.05947
	k	-0.362850	0.010522	0.010184	-0.000309		
Wang and Singh	a	0.113555	-0.003776	-0.002388	0.000091	0.91511	0.08940
	b	-0.003704	0.000101	0.000146	-0.000004		
Two term exponential	a	0.687710	0.030597	-0.045245	0.000635	0.97551	0.04802
	k	-0.464795	0.013470	0.011853	-0.000370		
Logarithmic	a	0.417257	0.018902	0.004186	-0.000202	0.96881	0.05419
	k	-0.385997	0.010743	0.013446	-0.000376		
	c	-0.331715	0.005871	0.009913	-0.000256		

ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่สมการรอบแห้งชั้นบางของหญ้าปักกิ่ง (ต่อ)

Model	Parameter	x0	x1	x2	x3	R2	RMSE
Approximation of diffusion	a	-3.128917	0.006276	-1.661523	0.024512	0.96205	0.05977
	b	-0.314285	0.029216	0.055404	-0.001194		
	k	0.242399	-0.003365	-0.013417	0.000215		
Verma et al.	a	-68.591402	1.069877	2.723347	-0.048649	0.96198	0.05983
	g	0.271223	-0.003731	-0.021532	0.000358		
	k	0.312931	-0.004631	-0.023790	0.000404		
Two term	a	-235.103256	3.322311	13.074030	-0.190005	0.98035	0.04301
	b	235.519369	-3.305267	-13.073610	0.189869		
	k <sub>1</sub>	-235.103256	3.322311	13.074030	-0.190005		
	k <sub>2</sub>	0.023090	0.001680	-0.003498	-0.000004		
Midilli	a	0.205149	0.019303	0.010947	-0.000387	0.98142	0.04183
	b	0.005827	-0.000126	-0.000262	0.000006		
	k	-0.251828	0.006455	0.012324	-0.000313		
	n	2.926548	-0.030363	-0.093918	0.001941		
Modified Henderson and Pabis	a	-560.121320	14.080363	11.621706	-0.294572	0.99377	0.02422
	b	369.058110	-9.299762	-16.340262	0.414304		
	c	192.975266	-4.803914	4.693947	-0.118966		
	g	-0.437545	0.014880	0.002697	-0.000261		
	h	-0.684405	0.018909	0.009886	-0.000374		
	k	-0.528377	0.016292	0.002488	-0.000253		

#### 4.5.3 สมการจลนศาสตร์การอบแห้งบอระเพ็ด

ในการวิเคราะห์ผลการอบแห้งบอระเพ็ดด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด เพื่อหาสมการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมที่สุด สำหรับอธิบายพฤติกรรมการอบแห้ง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าคงที่ของสมการการอบแห้งชั้นบาง,  $R^2$  และ  $RMSE$  จากการวิเคราะห์สมการทั้ง 12 สมการ พบว่า สมการ Modified Henderson and Pabis สามารถทำนายผลการอบแห้งจิงด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดได้ดีที่สุด โดยให้ค่า  $R^2$  มากที่สุด (0.99827) และค่า  $RMSE$  น้อยที่สุด (0.0120) นอกจากนี้ หากจัดเรียงความสามารถในการทำนายผลการอบแห้งจิงด้วยสมการอบแห้งชั้นบางจากมากไปน้อย สามารถจัดเรียงได้ดังนี้ Modified Henderson and Pabis,

Approximation of diffusion, Page, Midilli, Logarithmic, Two term, Verma, Henderson and Pabis, Wang and Singh, Modified Page I, Newton และ Two trem exponential

ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้ง บอระเพ็ดด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด โดยเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับผลการทำนาย ตามรูปแบบสมการอบแห้งชั้นบางทั้ง 12 สมการ มีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่สมการอบแห้งชั้นบางของบอระเพ็ด

Model	Parameter	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$R^2$	RMSE
Newton	k	-0.047789	0.0019003	0.0002584	-2.76E-05	0.98103	0.0396
Page	k	-0.015300	0.0006825	-0.000356	-1.01E-06	0.99651	0.0170
	y	0.9893551	0.0059108	0.0102740	-0.000263		
Modified Page I	k	-0.152772	0.0071195	-0.013178	0.0002672	0.98125	0.0394
	y	0.1869424	0.0008507	0.0018043	-0.000140		
Henderson and Pabis	a	0.9591909	0.0032089	-0.003656	6.991E-05	0.99170	0.0262
	k	-0.059953	0.0022615	0.0004621	-3.45E-05		
Wang and Singh	a	0.0277028	-0.001212	-0.000421	2.470E-05	0.98494	0.0353
	b	-0.000529	1.581E-05	1.838E-05	-5.66E-07		
Two term exponential	a	0.0003057	-2.23E-06	1.257E-06	9.975E-08	0.98051	0.0402
	k	-310.2810	10.757370	10.121536	-0.366274		
Logarithmic	a	0.8866592	0.0049926	0.0079229	-0.000137	0.99580	0.0187
	k	-0.046267	0.0018365	0.0001314	-2.54E-05		
	c	0.0653816	-0.002310	-0.011086	0.0001932		
Approximation of diffusion	a	11.160109	-0.377639	-1.285070	0.0253149	0.99674	0.0164
	b	0.7862133	0.0026068	0.0126549	-0.000250		
	k	-0.107582	0.0039115	0.0008260	-5.68E-05		
Verma et al.	a	11.580900	-0.320638	-0.308748	0.0061978	0.99245	0.0250
	g	0.0104575	0.0003398	-0.002377	3.305E-05		
	k	0.0083604	0.0003203	-0.002408	3.484E-05		
Two term	a	61.033726	-1.899330	-7.806858	0.2843626	0.99548	0.0194
	b	-60.17177	1.9057660	7.8201414	-0.284837		
	$k_1$	-0.001184	0.0009086	-0.010255	0.0002112		
	$k_2$	-0.002852	0.0009457	-0.010306	0.0002126		

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่สมการออบแห้งชั้นบางของบอระเพ็ด (ต่อ)

Model	Parameter	x0	x1	x2	x3	R2	RMSE
Midilli	a	1.1090189	-0.002012	0.0087726	-0.000165	0.99588	0.0185
	b	-0.000523	1.470E-05	-0.000102	1.495E-06		
	k	0.0188059	7.986E-06	0.0013952	-3.46E-05		
	n	0.5119674	0.0154343	-0.045561	0.0008078		
Modified Henderson and Pabis	a	-0.369586	-0.134640	-1.990795	0.0468713	0.99827	0.0120
	b	9.2514939	0.0136961	-0.030317	-0.007304		
	c	-8.160953	0.1275549	2.0326871	-0.039789		
	g	0.0093032	0.0008210	0.0024012	-8.34E-05		
	h	0.0204761	0.0010534	0.0081856	-0.000227		
	k	0.0015273	0.0009128	0.0080738	-0.000199		

#### 4.6 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

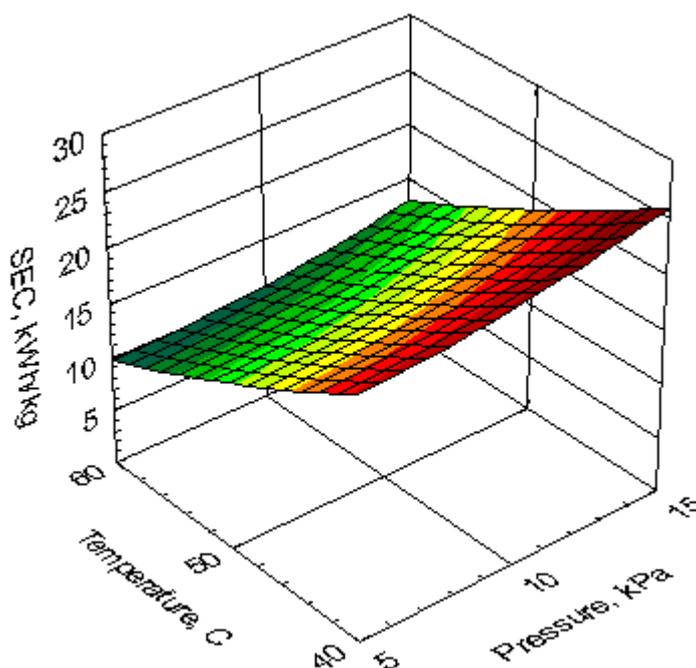
##### 4.6.1 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งจึง

ตารางที่ 4.4 แสดงความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งจึงด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด จากข้อมูลพบว่า ที่เงื่อนไขความดันเดียวกัน ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง โดยการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งช่วยเพิ่มความสามารถในการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง ทำให้ใช้พลังงานในส่วนของบ่มสุญญากาศน้อยลง และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันยังพบอีกว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งที่ความดัน 15 kPa มีค่ามากที่สุด และที่ความดัน 5 kPa มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากที่ภาวะความดันต่ำ น้ำในผลิตภัณฑ์สามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ทำให้ใช้เวลาอบแห้งน้อยลง ซึ่งสรุปได้ว่า การเปลี่ยนภาวะความดันสุญญากาศและอุณหภูมิอบแห้ง ส่งผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ โดยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะลดลง เมื่อลดภาวะความดันสัมบูรณ์ และเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง

ภาพที่ 4.49 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอบแห้ง และความดันสัมบูรณ์ ที่มีผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งจึง

ตารางที่ 4.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งขิง

Drying condition		Extracted water (kg)	Drying time (min)	Energy consumption (kWh)	SEC (kWh/kg)
Pressure (kPa <sub>Abs.</sub> )	Temp. (°C)				
5	40	0.0452	142	1.01	22.35
	50	0.0455	99	0.66	14.50
	60	0.0455	55	0.46	10.11
10	40	0.0452	149	1.07	23.67
	50	0.0455	101	0.71	15.60
	60	0.0452	65	0.5	11.06
15	40	0.0454	151	1.14	25.13
	50	0.0455	103	0.93	20.44
	60	0.0449	66	0.54	12.03



ภาพที่ 4.49 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งขิง

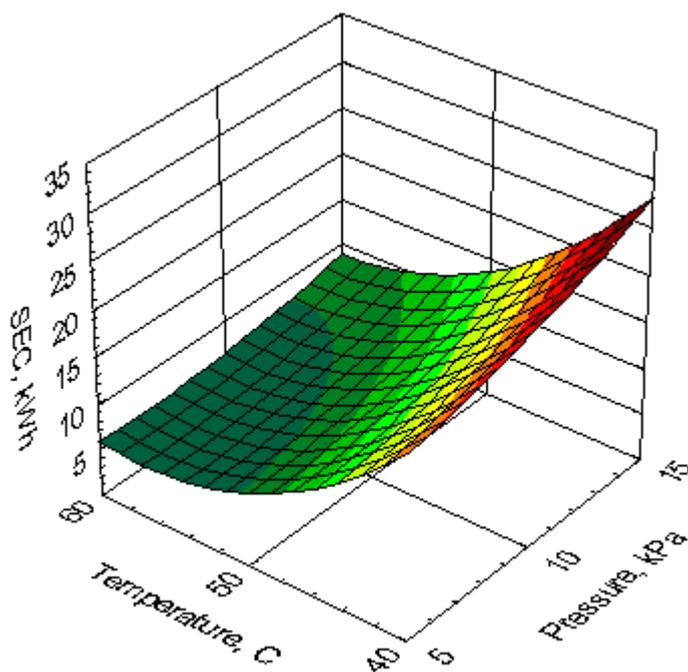
#### 4.6.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งหญ้าปักกิ่ง

ตารางที่ 4.5 แสดงความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งหญ้าปักกิ่งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด จากข้อมูลพบว่า ที่เงื่อนไขความดันสัมบูรณ์เดียวกัน ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง โดยการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งช่วยเพิ่มความสามารถในการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง ทำให้ใช้พลังงานในส่วนของปีสุญญากาศน้อยลง และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันยังพบอีกว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งที่ความดัน 15 kPa มีค่ามากที่สุด และที่ความดัน 5 kPa มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากที่ภาวะความดันต่ำ น้ำในผลิตภัณฑ์สามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ทำให้ใช้เวลาอบแห้งน้อยลง ซึ่งสรุปได้ว่า การเปลี่ยนภาวะความดันสุญญากาศและอุณหภูมิอบแห้ง ส่งผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ โดยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะลดลง เมื่อลดภาวะความดันสัมบูรณ์ และเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง

ภาพที่ 4.50 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอบแห้ง และความดันสัมบูรณ์ ที่มีผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งหญ้าปักกิ่ง

ตารางที่ 4.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งหญ้าปักกิ่ง

Drying condition		Extracted water (kg)	Drying time (min)	Energy consumption (kWh)	SEC (kWh/kg)
Pressure (kPa <sub>Abs.</sub> )	Temp. (°C)				
5	40	0.0279	80	0.55	19.71
	50	0.0281	31	0.23	8.18
	60	0.0281	21	0.16	5.69
10	40	0.0277	96	0.61	22.05
	50	0.0279	38	0.29	10.39
	60	0.0277	26	0.18	6.51
15	40	0.0277	115	0.80	28.91
	50	0.0277	43	0.35	12.65
	60	0.0279	32	0.26	9.32



ภาพที่ 4.50 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งหญ้าปักกิ่ง

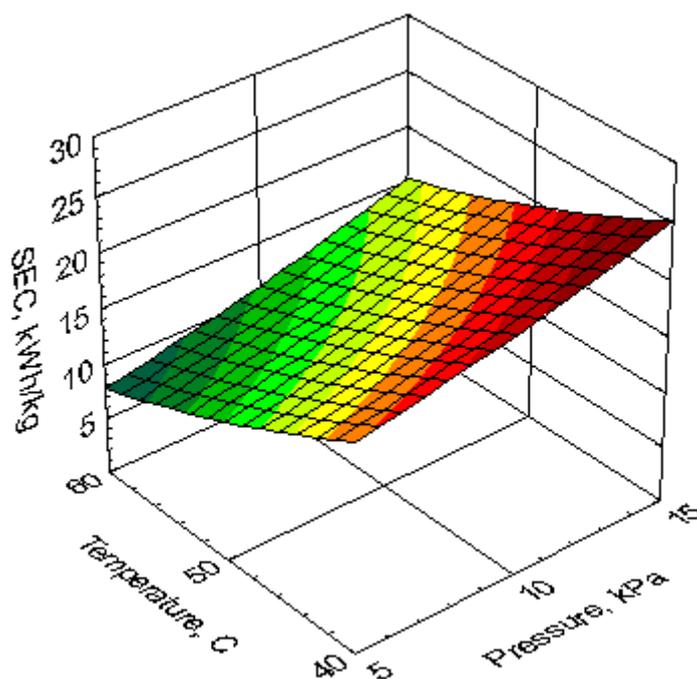
#### 4.6.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งบอระเพ็ด

ตารางที่ 4.6 แสดงความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งบอระเพ็ดด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด จากข้อมูลพบว่า ที่เงื่อนไขความดันสัมบูรณ์เดียวกัน ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง โดยการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งช่วยเพิ่มความสามารถในการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง ทำให้ใช้พลังงานในส่วนของปั๊มสุญญากาศน้อยลง และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันยังพบอีกว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งที่ความดัน 15 kPa มีค่ามากที่สุด และที่ความดัน 5 kPa มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากที่ภาวะความดันต่ำ น้ำในผลิตภัณฑ์สามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ทำให้ใช้เวลาอบแห้งน้อยลง ซึ่งสรุปได้ว่า การเปลี่ยนภาวะความดันสุญญากาศและอุณหภูมิอบแห้ง ส่งผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ โดยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะลดลง เมื่อลดภาวะความดันสัมบูรณ์ และเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง

ภาพที่ 4.51 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอบแห้ง และความดันสัมบูรณ์ ที่มีผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งบอระเพ็ด

ตารางที่ 4.6 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งบอระเพ็ด

Drying condition		Extracted water (kg)	Drying time (min)	Energy consumption (kWh)	SEC (kWh/kg)
Pressure (kPa <sub>Abs.</sub> )	Temp. (°C)				
5	40	0.0395	130	0.77	19.494
	50	0.0423	84	0.48	11.339
	60	0.0412	46	0.33	8.008
10	40	0.0412	150	0.85	20.641
	50	0.0407	92	0.65	15.974
	60	0.0416	60	0.48	11.533
15	40	0.0420	167	1.05	25.024
	50	0.0414	105	0.84	20.309
	60	0.0415	69	0.60	14.458



ภาพที่ 4.51 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งบอระเพ็ด

#### 4.6.4 ผลเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะระหว่างการอบแห้งด้วย

##### สุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์

ในการศึกษาเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะระหว่างการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ โดยทั้ง 2 ส่วน ทำการอบแห้งบอระเพ็ดที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 450-500 % d.b. อบจนกระทั่งน้ำหนักบอระเพ็ดคงที่ และนำผลการทดลองทั้ง 2 ส่วนมาเปรียบเทียบค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ ผลการศึกษาทั้ง 2 ส่วนพบว่า ที่เงื่อนไขความดันเดียวกัน ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งเนื่องจากใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง และยังพบอีกว่า ที่เงื่อนไขอุณหภูมิเดียวกัน ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะลดลงเมื่อลดความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะระหว่างการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ พบว่า ที่เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดมีค่าน้อยกว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

Drying condition		Heat source	Extracted water (kg)	Energy consumption (kWh)	SEC (kWh/kg)
Pressure (kPa <sub>Abs.</sub> )	Temp. (°C)				
5	40	infrared	0.0395	0.77	19.49
		heater	0.0402	0.89	22.14
	50	infrared	0.0423	0.48	11.34
		heater	0.0409	0.61	14.93
	60	infrared	0.0412	0.33	8.01
		heater	0.0415	0.49	11.82

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (ต่อ)

Drying condition		Heat source	Extracted water (kg)	Energy consumption (kWh)	SEC (kWh/kg)
Pressure (kPa <sub>Abs.</sub> )	Temp. (°C)				
10	40	infrared	0.0412	0.85	20.64
		heater	0.0407	0.92	22.60
	50	infrared	0.0407	0.65	15.97
		heater	0.0400	0.68	17.00
	60	infrared	0.0416	0.48	11.53
		heater	0.0412	0.51	12.38
15	40	infrared	0.0420	1.05	25.02
		heater	0.0402	1.19	29.63
	50	infrared	0.0414	0.84	20.31
		heater	0.0401	0.89	22.22
	60	infrared	0.0415	0.60	14.46
		heater	0.0418	0.61	14.61

#### 4.7 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย การวิเคราะห์ต้นทุนค่าใช้จ่ายรายปี ค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัมน้ำระเหย และปริมาณการใช้พลังงานต่อกิโลกรัมน้ำระเหย ของการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด โดยมีข้อสมมุติฐานที่สำคัญ และผลการวิเคราะห์ดังนี้

##### 4.7.1 สมมุติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ได้ทำการวิเคราะห์ภายใต้ข้อสมมุติฐาน ดังต่อไปนี้

- 4.7.1.1 ต้นทุนสร้างเครื่องอบแห้ง 39,000 บาท
- 4.7.1.2 อัตราดอกเบี้ย 8 เปอร์เซ็นต์
- 4.7.1.3 อายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง 10 ปี

4.7.1.4 ค่าบำรุงรักษาเครื่องอบแห้งปีละ 5 เปอร์เซ็นต์ ของราคาต้นทุนสร้างเครื่องอบแห้ง

4.7.1.5 มูลค่าซากเครื่องอบแห้งที่ปีสุดท้ายเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ ของราคาต้นทุนสร้างเครื่องอบแห้ง

4.7.1.6 จำนวนรอบการผลิต ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการอบแห้ง ซึ่งคิดรวมระยะเวลาการเตรียมการผลิตอีก 10 นาที/รอบการผลิต เวลาทำงานเท่ากับ 8 ชั่วโมง/วัน และ 1 ปีเท่ากับ 365 วัน

4.7.1.7 ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 3 บาท

4.7.1.8 ราคาชิงสดและแห้งเท่ากับ 20 และ 280 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

4.7.1.9 ราคาหญ้าปักกิ่งชิงสดและแห้ง เท่ากับ 35 และ 600 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

4.7.1.10 ราคาบอระเพ็ดสดและแห้ง เท่ากับ 15 และ 290 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

#### 4.7.2 ผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งชิง

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งชิงที่ความดันสัมบูรณ์ 5, 10 และ 15 kPa มีดังนี้

ตารางที่ 4.8-4.10 แสดงผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ของการอบแห้งชิงด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด ของแต่ละเงื่อนไขความดัน ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดมีความแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับรอบการผลิตในแต่ละเงื่อนไขการอบแห้ง ซึ่งส่งผลต่อมูลค่าการใช้พลังงานและมูลค่าชิงสดที่ใช้อบแห้ง และเมื่อพิจารณาต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วยที่ภาวะความดันสัมบูรณ์เดียวกัน พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C มีต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วยน้อยกว่า ที่อุณหภูมิ 50 และ 40°C ประมาณ 28-55 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่า ต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วยที่ภาวะความดันสัมบูรณ์ 5 kPa และอุณหภูมิอบแห้ง 60°C มีต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วยน้อยที่สุดคือ 108.76 บาทต่อกิโลกรัมน้ำระเหย ทั้งนี้ เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงหรือความดันต่ำๆ จะทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้น ดังนั้นจึงสามารถผลิตได้หลายรอบในหนึ่งปี ด้วยเหตุนี้จึงมีผลให้ต้นทุนการระเหยน้ำหรือค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อกิโลกรัมน้ำระเหยมีค่าน้อย

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งจิ้งที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa

ลำดับที่	รายการ	อุณหภูมิอบแห้ง		
		40°C	50°C	60°C
1	เงินลงทุนสร้างเครื่องอบแห้ง ( $P_w$ ), บาท	39,000	39,000	39,000
2	มูลค่าปัจจุบันต้นทุนเครื่องรายปี ( $C_p$ ), บาท/ปี	5,812	5,812	5,812
3	ค่าบำรุงรักษารายปี ( $C_m$ ), บาท/ปี	1,950	1,950	1,950
4	มูลค่าซากเครื่องอบแห้งรายปี ( $C_s$ ), บาท/ปี	269	269	269
5	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อรอบการผลิต, kWh	1.01	0.66	0.46
6	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ( $C_e$ ), kWh/ปี	1,106	964	1,343
7	มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี, บาท	3,318	2,891	4,030
8	ค่าใช้จ่ายซื้อจิ้งสดต่อปี, บาท	1,099	1,465	2,930
9	ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด ( $C_T$ ), บาท/ปี, (2)+(3)-(4)+(7)+(8)	11,910	11,849	14,452
10	เวลาที่ใช้ต่อรอบการผลิต (รวมเวลาเตรียมการผลิต 10 นาที), นาที	152	109	55
11	จำนวนรอบการผลิตต่อวัน, ครั้ง/วัน	3	4	8
12	จำนวนรอบการผลิตต่อปี, ครั้ง/ปี	1,095	1,460	2,920
13	น้ำที่ระเหยต่อปี, กิโลกรัม/ปี	49.50	66.44	132.89
14	จิ้งแห้งที่ได้ต่อปี, กิโลกรัม/ปี	5.44	6.80	13.61
15	ต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วย, บาท/กิโลกรัม, (9)/(13)	<b>240.62</b>	<b>178.32</b>	<b>108.76</b>
16	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมน้ำระเหย, kWh/กิโลกรัม, (6)/(13)	<b>22.34</b>	<b>14.50</b>	<b>10.11</b>
17	ต้นทุนการผลิตจิ้งอบแห้งต่อหน่วย, บาท/กิโลกรัม, (9)/(14)	<b>2,188.21</b>	<b>1,741.53</b>	<b>1,062.12</b>
18	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมจิ้งแห้ง, kWh/กิโลกรัม, (6)/(14)	<b>203.20</b>	<b>141.63</b>	<b>98.71</b>

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งจิ้งที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa

ลำดับที่	รายการ	อุณหภูมิอบแห้ง		
		40°C	50°C	60°C
1	เงินลงทุนสร้างเครื่องอบแห้ง ( $P_w$ ), บาท	39,000	39,000	39,000
2	มูลค่าปัจจุบันต้นทุนเครื่องรายปี ( $C_p$ ), บาท/ปี	5,812	5,812	5,812
3	ค่าบำรุงรักษารายปี ( $C_m$ ), บาท/ปี	1,950	1,950	1,950
4	มูลค่าซากเครื่องอบแห้งรายปี ( $C_s$ ), บาท/ปี	269	269	269
5	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อรอบการผลิต, kWh	1.07	0.71	0.50
6	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ( $C_e$ ), kWh/ปี	1,172	1,037	1,095
7	มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี, บาท	3,515	3,110	3,285
8	ค่าใช้จ่ายซื้อจิ้งสดต่อปี, บาท	1,099	1,465	2,197
9	ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด ( $C_T$ ), บาท/ปี, (2)+(3)-(4)+(7)+(8)	12,107	12,068	12,975
10	เวลาที่ใช้ต่อรอบการผลิต (รวมเวลาเตรียมการผลิต 10 นาที), นาที	159	111	75
11	จำนวนรอบการผลิตต่อวัน, ครั้ง/วัน	3	4	6
12	จำนวนรอบการผลิตต่อปี, ครั้ง/ปี	1,095	1,460	2,190
13	น้ำที่ระเหยต่อปี, กิโลกรัม/ปี	49.49	66.44	98.99
14	จิ้งแห้งที่ได้ต่อปี, กิโลกรัม/ปี	5.44	6.80	10.88
15	ต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วย, บาท/กิโลกรัม, (9)/(13)	<b>244.61</b>	<b>181.62</b>	<b>131.08</b>
16	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมน้ำระเหย, kWh/กิโลกรัม, (6)/(13)	<b>23.67</b>	<b>15.60</b>	<b>11.06</b>
17	ต้นทุนการผลิตจิ้งอบแห้งต่อหน่วย, บาท/กิโลกรัม, (9)/(14)	<b>2,224.60</b>	<b>1,773.72</b>	<b>1,192.12</b>
18	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมจิ้งแห้ง, kWh/กิโลกรัม, (6)/(14)	<b>215.29</b>	<b>152.36</b>	<b>100.60</b>

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งจิ้งที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa

ลำดับที่	รายการ	อุณหภูมิอบแห้ง		
		40°C	50°C	60°C
1	เงินลงทุนสร้างเครื่องอบแห้ง ( $P_w$ ), บาท	39,000	39,000	39,000
2	มูลค่าปัจจุบันต้นทุนเครื่องรายปี ( $C_p$ ), บาท/ปี	5,812	5,812	5,812
3	ค่าบำรุงรักษารายปี ( $C_m$ ), บาท/ปี	1,950	1,950	1,950
4	มูลค่าซากเครื่องอบแห้งรายปี ( $C_s$ ), บาท/ปี	269	269	269
5	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อรอบการผลิต, kWh	1.14	0.93	0.54
6	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ( $C_e$ ), kWh/ปี	1,248	1,358	1,183
7	มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี, บาท	3,745	4,073	3,548
8	ค่าใช้จ่ายซื้อจิ้งสดต่อปี, บาท	1,099	1,469	2,197
9	ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด ( $C_T$ ), บาท/ปี, (2)+(3)-(4)+(7)+(8)	12,337	13,036	13,238
10	เวลาที่ใช้ต่อรอบการผลิต (รวมเวลาเตรียมการผลิต 10 นาที), นาที	161	113	76
11	จำนวนรอบการผลิตต่อวัน, ครั้ง/วัน	3	4	6
12	จำนวนรอบการผลิตต่อปี, ครั้ง/ปี	1,095	1,460	2,190
13	น้ำที่ระเหยต่อปี, กิโลกรัม/ปี	49.67	66.44	98.31
14	จิ้งแห้งที่ได้ต่อปี, กิโลกรัม/ปี	5.27	7.02	11.56
15	ต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วย, บาท/กิโลกรัม, (9)/(13)	<b>248.37</b>	<b>196.19</b>	<b>134.66</b>
16	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมน้ำระเหย, kWh/กิโลกรัม, (6)/(13)	<b>25.13</b>	<b>20.44</b>	<b>12.03</b>
17	ต้นทุนการผลิตจิ้งอบแห้งต่อหน่วย, บาท/กิโลกรัม, (9)/(14)	<b>2,342.26</b>	<b>1,856.25</b>	<b>1,144.85</b>
18	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมจิ้งแห้ง, kWh/กิโลกรัม, (6)/(14)	<b>237.01</b>	<b>193.35</b>	<b>102.27</b>

#### 4.7.3 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งหญ้าปักกิ่ง

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งหญ้าปักกิ่งที่ความดันสัมบูรณ์ 5 10 และ 15 kPa มีดังนี้

ตารางที่ 4.11-4.13 แสดงผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ของการอบแห้งหญ้าปักกิ่งด้วยสูญญากาศร่วมกับอินฟราเรด ที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดมีความแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับรอบการผลิตในแต่ละเงื่อนไขการอบแห้ง ซึ่งส่งผลต่อมูลค่าการใช้พลังงานและมูลค่าหญ้าปักกิ่งสดที่ใช้อบแห้ง และเมื่อพิจารณาต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วยที่ภาวะความดันสัมบูรณ์เดียวกัน พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C มีต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วยน้อยกว่า ที่อุณหภูมิ 50 และ 40°C ประมาณ 16-64 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่า ต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วยที่ภาวะความดันสัมบูรณ์ 5 kPa และอุณหภูมิอบแห้ง 60°C มีต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วยน้อยที่สุดคือ 103.51 บาทต่อกิโลกรัมน้ำระเหย นอกจากนี้ หากพิจารณาพลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมน้ำระเหย พบว่า ปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมน้ำระเหย ของการอบแห้งมีความแปรผันลักษณะเดียวกันกับต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วย โดยการอบแห้งที่ภาวะความดันสัมบูรณ์ 5 kPa และอุณหภูมิอบแห้ง 60°C มีต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วยน้อยที่สุดคือ 103.51 มีการใช้พลังงานต่อกิโลกรัมน้ำระเหยน้อยที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับกรณีการอบแห้งจึง

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งหญ้าปักกิ่งที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa

ลำดับที่	รายการ	อุณหภูมิอบแห้ง		
		40°C	50°C	60°C
1	เงินลงทุนสร้างเครื่องอบแห้ง( $P_w$ ), บาท	39,000	39,000	39,000
2	มูลค่าปัจจุบันต้นทุนเครื่องรายปี( $C_p$ ), บาท/ปี	5,812	5,812	5,812
3	ค่าบำรุงรักษารายปี( $C_m$ ), บาท/ปี	1,950	1,950	1,950
4	มูลค่าซากเครื่องอบแห้งรายปี( $C_s$ ), บาท/ปี	269	269	269
5	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อรอบการผลิต, kWh	0.55	0.23	0.16
6	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี( $C_e$ ), kWh/ปี	1,004	923	876
7	มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี, บาท	3,011	2,770	2,628
8	ค่าใช้จ่ายซื้อหญ้าปักกิ่งสดต่อปี, บาท	1,941	4,270	5,823
9	ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด( $C_T$ ), บาท/ปี, (2)+(3)-(4)+(7)+(8)	12,445	14,533	15,944

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งหญ้าปักกิ่งที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa (ต่อ)

ลำดับที่	รายการ	อุณหภูมิอบแห้ง		
		40°C	50°C	60°C
10	เวลาที่ใช้ต่อรอบการผลิต (รวมเวลาเตรียมการผลิต 10 นาที), นาที	90	41	31
11	จำนวนรอบการผลิตต่อวัน, ครั้ง/วัน	5	11	15
12	จำนวนรอบการผลิตต่อปี, ครั้ง/ปี	1,825	4,015	5,475
13	น้ำที่ระเหยต่อปี, กิโลกรัม/ปี	50.92	112.95	154.03
14	หญ้าปักกิ่งแห้งที่ได้ต่อปี, กิโลกรัม/ปี	4.53	9.04	12.33
15	ต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วย, บาท/กิโลกรัม, (9)/(13)	<b>244.39</b>	<b>128.66</b>	<b>103.51</b>
16	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมน้ำระเหย, kWh/กิโลกรัม, (6)/(13)	<b>19.71</b>	<b>8.18</b>	<b>5.69</b>
17	ต้นทุนการผลิตหญ้าปักกิ่งอบแห้งต่อหน่วย, บาท/กิโลกรัม, (9)/(14)	<b>2,746.36</b>	<b>1,607.06</b>	<b>1,292.87</b>
18	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมหญ้าปักกิ่งแห้ง, kWh/กิโลกรัม, (6)/(14)	<b>221.51</b>	<b>102.11</b>	<b>71.04</b>

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งหญ้าปักกิ่งที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa

ลำดับที่	รายการ	อุณหภูมิอบแห้ง		
		40°C	50°C	60°C
1	เงินลงทุนสร้างเครื่องอบแห้ง( $P_w$ ), บาท	39,000	39,000	39,000
2	มูลค่าปัจจุบันต้นทุนเครื่องรายปี( $C_p$ ), บาท/ปี	5,812	5,812	5,812
3	ค่าบำรุงรักษารายปี( $C_m$ ), บาท/ปี	1,950	1,950	1,950
4	มูลค่าซากเครื่องอบแห้งรายปี( $C_s$ ), บาท/ปี	269	269	269
5	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อรอบการผลิต, kWh	0.61	0.29	0.18
6	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี( $C_e$ ), kWh/ปี	891	1,059	854
7	มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี, บาท	2,672	3,176	2,562

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งหญ้าปักกิ่งที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa (ต่อ)

ลำดับที่	รายการ	อุณหภูมิอบแห้ง		
		40°C	50°C	60°C
8	ค่าใช้จ่ายซื้อหญ้าปักกิ่งสดต่อปี, บาท	1,553	3,852	5,008
9	ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด( $C_T$ ), บาท/ปี, (2)+(3)-(4)+(7)+(8)	11,717	14,521	15,063
10	เวลาที่ใช้ต่อรอบการผลิต (รวมเวลาเตรียมการผลิต 10 นาที), นาที	106	48	36
11	จำนวนรอบการผลิตต่อวัน, ครั้ง/วัน	4	10	13
12	จำนวนรอบการผลิตต่อปี, ครั้ง/ปี	1,460	3,650	4,745
13	น้ำที่ระเหยต่อปี, กิโลกรัม/ปี	40.40	101.84	131.30
14	หญ้าปักกิ่งแห้งที่ได้ต่อปี, กิโลกรัม/ปี	3.96	8.22	11.78
15	ต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วย, บาท/กิโลกรัม, (9)/(13)	<b>290.03</b>	<b>142.58</b>	<b>114.72</b>
16	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมน้ำระเหย, kWh/กิโลกรัม, (6)/(13)	<b>22.04</b>	<b>10.39</b>	<b>6.50</b>
17	ต้นทุนการผลิตหญ้าปักกิ่งอบแห้งต่อหน่วย, บาท/กิโลกรัม, (9)/(14)	<b>2,957.56</b>	<b>1,766.24</b>	<b>1,278.51</b>
18	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมหญ้าปักกิ่งแห้ง, kWh/กิโลกรัม, (6)/(14)	<b>224.79</b>	<b>128.75</b>	<b>72.49</b>

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งหญ้าปักกิ่งที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa

ลำดับที่	รายการ	อุณหภูมิอบแห้ง		
		40°C	50°C	60°C
1	เงินลงทุนสร้างเครื่องอบแห้ง( $P_w$ ), บาท	39,000	39,000	39,000
2	มูลค่าปัจจุบันต้นทุนเครื่องรายปี( $C_p$ ), บาท/ปี	5,812	5,812	5,812
3	ค่าบำรุงรักษารายปี( $C_m$ ), บาท/ปี	1,950	1,950	1,950
4	มูลค่าซากเครื่องอบแห้งรายปี( $C_s$ ), บาท/ปี	269	269	269

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งหญาปักกิ่งที่ความดันสัมบูรณ์  
15 kPa (ต่อ)

ลำดับที่	รายการ	อุณหภูมิอบแห้ง		
		40°C	50°C	60°C
5	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อรอบการผลิต, kWh	0.80	0.35	0.26
6	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี(C <sub>e</sub> ), kWh/ปี	876	1,150	1,044
7	มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี, บาท	2,628	3,449	3,132
8	ค่าใช้จ่ายซื้อหญาปักกิ่งสดต่อปี, บาท	1,165	3,467	4,238
9	ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด(C <sub>T</sub> ), บาท/ปี, (2)+(3)- (4)+(7)+(8)	11,285	14,409	14,862
10	เวลาที่ใช้ต่อรอบการผลิต (รวมเวลาเตรียมการผลิต 10 นาที), นาที	125	53	42
11	จำนวนรอบการผลิตต่อวัน, ครั้ง/วัน	3	9	11
12	จำนวนรอบการผลิตต่อปี, ครั้ง/ปี	1,095	3,285	4,015
13	น้ำที่ระเหยต่อปี, กิโลกรัม/ปี	30.30	90.90	112.03
14	หญาปักกิ่งแห้งที่ได้ต่อปี, กิโลกรัม/ปี	2.97	8.16	9.04
15	ต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วย, บาท/กิโลกรัม, (9)/(13)	<b>372.45</b>	<b>158.51</b>	<b>132.66</b>
16	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมน้ำระเหย, kWh/กิโลกรัม, (6)/(13)	<b>28.91</b>	<b>12.65</b>	<b>9.32</b>
17	ต้นทุนการผลิตหญาปักกิ่งอบแห้งต่อหน่วย, บาท/ กิโลกรัม, (9)/(14)	<b>3,798.04</b>	<b>1,766.56</b>	<b>1,643.43</b>
18	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมหญาปักกิ่งแห้ง, kWh/ กิโลกรัม, (6)/(14)	<b>294.81</b>	<b>140.96</b>	<b>115.43</b>

#### 4.7.4 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งบอระเพ็ด

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งบอระเพ็ดที่ความดันสัมบูรณ์  
5, 10 และ 15 kPa มีดังนี้

ตารางที่ 4.14-4.16 แสดงผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ของการอบแห้งบอระเพ็ด ด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด ที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าใช้จ่ายรายปี ทั้งหมดมีความแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับรอบการผลิตในแต่ละเงื่อนไขการอบแห้ง ซึ่งส่งผลต่อมูลค่าการใช้พลังงานและมูลค่าบอระเพ็ดสดที่ใช้อบแห้ง และเมื่อพิจารณาต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วยที่ภาวะความดันสัมบูรณ์เดียวกัน พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C มีต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วยน้อยที่สุดคือ 103.51 มีต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วยน้อยกว่า ที่อุณหภูมิ 50 และ 40°C ประมาณ 8-58 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่า ต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วยที่ภาวะความดันสัมบูรณ์ 5 kPa และอุณหภูมิอบแห้ง 60°C มีต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วยน้อยที่สุดคือ 105.58 บาทต่อกิโลกรัม น้ำระเหย และเมื่อพิจารณาพลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัม น้ำระเหย พบว่า ปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัม น้ำระเหย ของการอบแห้งแปรผันลักษณะเดียวกันกับต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วย โดยการอบแห้ง ที่ภาวะความดันสัมบูรณ์ 5 kPa และอุณหภูมิอบแห้ง 60°C มีการใช้พลังงานต่อกิโลกรัม น้ำระเหย น้อยที่สุด ซึ่งผลที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกันกับกรณีการอบแห้งจึง

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งบอระเพ็ดที่ภาวะความดันสัมบูรณ์ 5 kPa

ลำดับที่	รายการ	อุณหภูมิอบแห้ง		
		40°C	50°C	60°C
1	เงินลงทุนสร้างเครื่องอบแห้ง( $P_w$ ), บาท	39,000	39,000	39,000
2	มูลค่าปัจจุบันต้นทุนเครื่องรายปี( $C_p$ ), บาท/ปี	5,812	5,812	5,812
3	ค่าบำรุงรักษารายปี( $C_m$ ), บาท/ปี	1,950	1,950	1,950
4	มูลค่าซากเครื่องอบแห้งรายปี( $C_s$ ), บาท/ปี	269	269	269
5	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อรอบการผลิต, kWh	0.77	0.48	0.33
6	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี( $C_e$ ), kWh/ปี	843	876	964
7	มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี, บาท	2,529	2,628	2,891
8	ค่าใช้จ่ายซื้อบอระเพ็ดสดต่อปี, บาท	823	1,378	2,217
9	ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด( $C_T$ ), บาท/ปี, (2)+(3)-(4)+(7)+(8)	10,845	11,499	12,600
10	เวลาที่ใช้ต่อรอบการผลิต (รวมเวลาเตรียมการผลิต 10 นาที), นาที	140	94	56

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งบอระเพ็ดที่ความดันสัมบูรณ์  
5 kPa (ต่อ)

ลำดับที่	รายการ	อุณหภูมิอบแห้ง		
		40°C	50°C	60°C
11	จำนวนรอบการผลิตต่อวัน, ครั้ง/วัน	3	5	8
12	จำนวนรอบการผลิตต่อปี, ครั้ง/ปี	1,095	1,825	2,920
13	น้ำที่ระเหยต่อปี, กิโลกรัม/ปี	43.25	77.25	120.33
14	บอระเพ็ดแห้งที่ได้ต่อปี, กิโลกรัม/ปี	11.61	14.60	27.45
15	ต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วย, บาท/กิโลกรัม, (9)/(13)	<b>250.74</b>	<b>148.85</b>	<b>104.72</b>
16	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมน้ำระเหย, kWh/กิโลกรัม, (6)/(13)	<b>19.49</b>	<b>11.34</b>	<b>8.01</b>
17	ต้นทุนการผลิตบอระเพ็ดอบแห้งต่อหน่วย, บาท/ กิโลกรัม, (9)/(14)	<b>934.37</b>	<b>787.58</b>	<b>459.06</b>
18	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมบอระเพ็ดแห้ง, kWh/ กิโลกรัม, (6)/(14)	<b>72.64</b>	<b>60.00</b>	<b>35.11</b>

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งบอระเพ็ดที่ความดันสัมบูรณ์  
10 kPa

ลำดับที่	รายการ	อุณหภูมิอบแห้ง		
		40°C	50°C	60°C
1	เงินลงทุนสร้างเครื่องอบแห้ง( $P_w$ ), บาท	39,000	39,000	39,000
2	มูลค่าปัจจุบันต้นทุนเครื่องรายปี( $C_p$ ), บาท/ปี	5,812	5,812	5,812
3	ค่าบำรุงรักษารายปี( $C_m$ ), บาท/ปี	1,950	1,950	1,950
4	มูลค่าซากเครื่องอบแห้งรายปี( $C_s$ ), บาท/ปี	269	269	269
5	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อรอบการผลิต, kWh	0.85	0.65	0.48
6	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี( $C_e$ ), kWh/ปี	931	949	1,051
7	มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี, บาท	2,792	2,847	3,154
8	ค่าใช้จ่ายซื้อบอระเพ็ดสดต่อปี, บาท	831	1,093	1,646

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งบอระเพ็ดที่ความดันสัมบูรณ์  
10 kPa (ต่อ)

ลำดับที่	รายการ	อุณหภูมิอบแห้ง		
		40°C	50°C	60°C
9	ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด( $C_T$ ), บาท/ปี, (2)+(3)- (4)+(7)+(8)	11,116	11,433	12,293
10	เวลาที่ใช้ต่อรอบการผลิต (รวมเวลาเตรียมการผลิต 10 นาที), นาที	160	102	70
11	จำนวนรอบการผลิตต่อวัน, ครั้ง/วัน	3	4	6
12	จำนวนรอบการผลิตต่อปี, ครั้ง/ปี	1,095	1,460	2,190
13	น้ำที่ระเหยต่อปี, กิโลกรัม/ปี	45.09	59.39	91.14
14	บอระเพ็ดแห้งที่ได้ต่อปี, กิโลกรัม/ปี	10.29	13.45	18.62
15	ต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วย, บาท/กิโลกรัม, (9)/(13)	<b>246.52</b>	<b>192.49</b>	<b>134.88</b>
16	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมน้ำระเหย, kWh/กิโลกรัม, (6)/(13)	<b>20.64</b>	<b>15.98</b>	<b>11.53</b>
17	ต้นทุนการผลิตบอระเพ็ดอบแห้งต่อหน่วย, บาท/ กิโลกรัม, (9)/(14)	<b>1,079.95</b>	<b>850.22</b>	<b>660.38</b>
18	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมบอระเพ็ดแห้ง, kWh/ กิโลกรัม, (6)/(14)	<b>90.43</b>	<b>70.58</b>	<b>56.47</b>

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งบอระเพ็ดที่ความดันสัมบูรณ์  
15 kPa

ลำดับที่	รายการ	อุณหภูมิอบแห้ง		
		40°C	50°C	60°C
1	เงินลงทุนสร้างเครื่องอบแห้ง( $P_w$ ), บาท	39,000	39,000	39,000
2	มูลค่าปัจจุบันต้นทุนเครื่องรายปี( $C_p$ ), บาท/ปี	5,812	5,812	5,812
3	ค่าบำรุงรักษารายปี( $C_m$ ), บาท/ปี	1,950	1,950	1,950
4	มูลค่าซากเครื่องอบแห้งรายปี( $C_s$ ), บาท/ปี	269	269	269

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งบอระเพ็ดที่ความดันสัมบูรณ์  
15 kPa (ต่อ)

ลำดับที่	รายการ	อุณหภูมิอบแห้ง		
		40°C	50°C	60°C
5	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อรอบการผลิต, kWh	1.05	0.84	0.60
6	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี(C <sub>e</sub> ), kWh/ปี	767	1,226	876
7	มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี, บาท	2,300	3,679	2,628
8	ค่าใช้จ่ายซื้อบอระเพ็ดสดต่อปี, บาท	551	1,107	1,097
9	ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด(C <sub>T</sub> ), บาท/ปี, (2)+(3)- (4)+(7)+(8)	10,344	12,279	11,218
10	เวลาที่ใช้ต่อรอบการผลิต (รวมเวลาเตรียมการผลิต 10 นาที), นาที	177	115	106
11	จำนวนรอบการผลิตต่อวัน, ครั้ง/วัน	2	4	4
12	จำนวนรอบการผลิตต่อปี, ครั้ง/ปี	730	1,460	1,460
13	น้ำที่ระเหยต่อปี, กิโลกรัม/ปี	30.63	60.39	60.59
14	บอระเพ็ดแห้งที่ได้ต่อปี, กิโลกรัม/ปี	6.13	13.43	12.56
15	ต้นทุนการระเหยน้ำต่อหน่วย, บาท/กิโลกรัม, (9)/(13)	<b>337.70</b>	<b>203.33</b>	<b>185.15</b>
16	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมน้ำระเหย, kWh/กิโลกรัม, (6)/(13)	<b>25.02</b>	<b>20.31</b>	<b>14.46</b>
17	ต้นทุนการผลิตบอระเพ็ดอบแห้งต่อหน่วย, บาท/ กิโลกรัม, (9)/(14)	<b>1,686.87</b>	<b>914.20</b>	<b>893.45</b>
18	พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมบอระเพ็ดแห้ง, kWh/ กิโลกรัม, (6)/(14)	<b>125.00</b>	<b>91.30</b>	<b>69.77</b>

จากผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งมีค่าค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับมูลค่าของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ทั้งนี้ เนื่องจากการอบแห้งในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งใช้ผลิตภัณฑ์ในการอบแห้งน้อย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้น้อยและมีมูลค่าต่ำ