

บทที่ 5

การทดลอง

ในทางปฏิบัติทั่ว ๆ ไป กระบวนการอบแห้งสามารถแบ่งประเภทได้ตามลักษณะการให้ความร้อน เช่น การอบแห้งโดยการพาความร้อน (Convective Drying) การอบแห้งโดยการแผ่รังสีจากภายนอก (External Radiative Drying) การอบแห้งโดยระบบสุญญากาศ (Vacuum Drying) และการอบแห้งโดยการนำความร้อน (Conductive Drying) สำหรับการอบแห้งโดยใช้การผลิตความร้อนภายใน เช่น การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ (Microwave Drying) นั้นจัดอยู่ในกรณีพิเศษ

สำหรับความรู้ทางทฤษฎีในกระบวนการอบแห้งนั้นมีการศึกษามากมายหลายทฤษฎี เช่น ทฤษฎีการแพร่ (Diffusion Theory) (Lewis [5-1], Sherwood [5-2] และ Cealgske et al. [5-3]) ทฤษฎีการไหลคาพิลลารี (Capillary Flow Theory) (Buckingham [5-4]) และทฤษฎีการระเหยและกลั่นตัว (Evaporation-Condensation Theory) (Henry [5-5]) ซึ่งตั้งอยู่บนสมมติฐานเดียวกันว่าวัสดุในกระบวนการอบแห้งคือวัสดุพูน (เป็นวัสดุที่มีสสารหลายสถานะปะปนกันอยู่ภายใน โดยมีโครงสร้างหลักเป็นวัสดุที่มีสถานะเป็นของแข็ง) และมีการพัฒนาต่อให้แบบจำลองมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น (Philip and De Vries [5-6], Harmathy [5-7], Berger and Pei [5-8] และ Huang [5-9]) โดยจุดเริ่มต้นของทฤษฎีเหล่านี้พัฒนามาจากทฤษฎีของลุยคอฟ (Luikov's theory) และทฤษฎีของวิทเทอร์ (Whitaker's theory)

สำหรับในการทดลองนั้นได้มีการศึกษามากมายเช่นเดียวกัน Wadsworth et al. [5-10] ได้ทำแห้งข้าวหนึ่งโดยใช้การทำแห้งระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ พบว่าอัตราทำแห้งจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับพลังงานไมโครเวฟ โดยยิ่งทำแห้งในสภาวะความดันต่ำจะทำให้อัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้น และลดอุณหภูมิในการทำแห้งลง ทำให้อุณหภูมิสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ไม่สูงนัก นอกจากนั้นจากการวัดความหนาแน่นของเมล็ดข้าว แสดงให้เห็นว่าเมล็ดข้าวจะไม่มี การหดตัว ซึ่งเป็นข้อดีอีกข้อหนึ่งของการทำแห้งระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟเมื่อเปรียบเทียบกับ การทำแห้งด้วยการพาความร้อนของอากาศ Drouzas et al. [5-11] ศึกษาการทำแห้งระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ โดยใช้ตัวอย่างเป็นแบบจำลองวุ้นผลไม้ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสูงซึ่งความรู้ความเข้าใจในกลไกการทำแห้งที่เกิดขึ้นจะนำไปสู่การออกแบบและดำเนินการระบบทำแห้งให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น Pominski et al. [5-12] ศึกษาการทำแห้งแปรรูปถั่วลิสงด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ พบว่าอุณหภูมิสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำ

แห้งมีผลอย่างยิ่งต่อกลิ่นของถั่วลิสงดิบ เมื่อใช้วิธีนี้แล้วสามารถลดการเกิดกลิ่นดิบของถั่วลิสงได้ ต่อมา Clary and Ostrom [5-13] ทำแห้งถั่วลิสงไร้เมล็ดพันธุ์หอมสันด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ โดยมีเป้าหมายเพื่อรักษาคุณลักษณะของถั่วลิสงให้ได้มากที่สุด เช่น สี กลิ่น รส ลักษณะพองฟู โดยไม่ใช้วัตถุกันเสีย พบว่าใช้อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส ความชื้นสุดท้ายของถั่วลิสงแห้ง (ลูกเกิด) ประมาณร้อยละ 5 หรือน้อยกว่า ได้ลักษณะลูกเกิดตามต้องการ นอกจากนั้นลูกเกิดที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสกรุบกรอบ (Crunchy) และเมื่อเก็บรักษาในถุงสามารถเก็บได้นานอย่างน้อย 1 ปี นอกจากนี้ยังมีการนำเทคนิคต่าง ๆ มาใช้ในระบบการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟ อย่างเช่น งานวิจัยของ Gunasekarn [5-14] ได้ศึกษาการทำแห้งระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ โดยใช้พลังงานไมโครเวฟเป็นช่วง ๆ พบว่าการให้พลังงานไมโครเวฟเป็นช่วง ๆ นี้จะเป็นการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการให้พลังงานไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง ถ้า Pulsing ratio มาก (ตัวอย่างเช่น Power-off time นานกว่า Power-on time) จะได้ประสิทธิภาพสูง ผลิตรสชาติจากการให้พลังงานไมโครเวฟเป็นช่วง ๆ จะมีคุณภาพดีกว่าผลิตรสชาติที่ได้จากการให้พลังงานไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง และยังสามารถใช้ได้ดีกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ทนต่ออุณหภูมิ การเลือกวัฏจักร Power-on time และ Pulsing ratio ที่เหมาะสมจะมีประโยชน์อย่างมากต่อการทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟ ร่วมกับระบบสุญญากาศ Hu et al. [5-15] ทำการศึกษาลักษณะพิเศษของการอบแห้งด้วยลมร้อนและการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศโดยใช้ถั่วแระญี่ปุ่นเป็นวัตถุดิบ พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการนำระบบใช้ร่วมกันของขั้นตอนกระบวนการอบแห้งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของเวลาการอบแห้งที่สั้นลงเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบธรรมดา และเป็นการลดภาระโดยมวลดีที่สุดบนเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ Yanyang et al. [5-16] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการนำกะหล่ำปีที่เกิดขึ้นในธรรมชาติมาทำการอบแห้งด้วย ลมร้อนร่วมกับระบบไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ พบว่าใช้เวลาในการทำแห้งลดลงกว่าครึ่ง ชั่วโมงและมีค่าของสารอาหารและคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนกะหล่ำปลีที่ได้จากกระบวนการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ พบว่าที่ผิวจะมีรูพรุนมากกว่าและยังพบอีกว่าวิธีนี้สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียในกะหล่ำปลีได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับอีกด้วย

งานวิจัยในบทนี้ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้ง (Drying Kinetics) ในเชิงทดลอง โดยใช้เครื่องอบแห้งต้นแบบด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศที่สร้างขึ้นซึ่งเกิดคลื่นในลักษณะหลายโหมด (Multi-mode) ที่ความถี่ 2.45 GHz ชนิดของคลื่นเดียวในท่อนำคลื่นเป็นแบบ TE₁₀ mode (Transverse Electric Wave) ตัวอย่างวัสดุทดสอบเป็นใบชาสด นำมาจากไร่ชาของ

โรงงานผลิตใบชาตราแม่คำ ต.เจดีย์ อ.เวียงป่าเป้า จ.เชียงราย ในแต่ละรอบของการทดลองจะใช้ใบชาหนัก 1 kg การทดลองอ้างอิงข้อมูลกระบวนการอบแห้งเชิงวิเคราะห์จากงานวิจัยเกี่ยวข้องที่ได้กล่าวข้างต้น และมีกลไกการส่งถ่ายความร้อนและมวลสารเหมือนดังทฤษฎีวัสดุพูนในบทที่ 3 หัวข้อ 3.1

จุดประสงค์หลักของงานวิจัยในบทนี้เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้ง (Drying Kinetics) ของใบชา ด้วยเครื่องอบแห้งต้นแบบโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศที่สร้างขึ้นโดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาการอบแห้งและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในควิต์กับเวลาการอบแห้ง แต่ไม่คำนึงถึงผลทางด้านคุณภาพของใบชา ตัวแปรสำคัญสำหรับงานวิจัยในบทนี้คือ ผลของความชื้นและอุณหภูมิในช่วงระหว่างการอบแห้งที่เกิดจากอิทธิพลของปริมาณความชื้นสนามไฟฟ้า (กำลังวัตต์ที่ป้อนเข้า) ความดันสุญญากาศและลักษณะการป้อนคลื่นไมโครเวฟที่ต่างกัน

5.1 หลักการพื้นฐาน

ในการอบแห้งโดยทั่วไปจะเป็นการให้ความร้อนจากผิวสู่ภายในซึ่งจะทำให้ผิวภายนอกนั้นเกิดการแห้งก่อน หากให้ความร้อนเป็นเวลานานอาจทำให้ผิวเกิดการแตกหรือเหี่ยวเหี่ยวเป็นผลจากการหดตัวของโครงสร้างวัสดุ ส่วนการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟนั้นจะเป็นการให้ความร้อนแบบทั่วทั้งปริมาตร (Volumetric Heating) ทำให้เกิดความร้อนทั่วทั้งปริมาตร สามารถไล่ความชื้นออกได้อย่างรวดเร็ว รวมถึงหากมีการนำความเป็นสุญญากาศมาร่วมด้วยแล้วจะทำให้สามารถไล่ความชื้นได้เร็วยิ่งขึ้น เนื่องจากที่ความเป็นสุญญากาศต่ำจะทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำลงจึงทำให้น้ำเดือดและกลายเป็นไอที่อุณหภูมิไม่สูงมากจึงใช้เวลาในการอบแห้งที่สั้นลง

5.2 ระเบียบวิธีวิจัย

5.2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบคือ ใบชาสดพันธุ์อัสสัมที่นำมาจากไร่ชาของโรงงานผลิตใบชาตราแม่คำ ต.เจดีย์ อ.เวียงป่าเป้า จ.เชียงราย โดยในแต่ละรอบของการอบแห้งจะใช้ใบชาหนัก 1 kg ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 172 มาตรฐานแห้ง ลักษณะของใบชาพันธุ์อัสสัมดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1

ใบชาพันธุ์อัสสัม

สำหรับการเลือกใช้ใบชาอัสสัมสดนั้น เนื่องจากในกระบวนการทำชาผงนั้นจะมีขั้นตอนการตากแดดเพื่อไล่ความชื้น ซึ่งต้องเวลาหลายวันถึงจะได้เปอร์เซ็นต์ความชื้นตามที่ต้องการ การควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องนั้นทำได้ค่อนข้างยาก เช่น ดิน ฟ้า อากาศ พื้นที่ตาก พื้นที่เก็บและอื่น ๆ ดังนั้นในช่วงกระบวนการตากแดดที่ได้กล่าวมานั้น จึงได้คิดที่จะนำกระบวนการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตชาผง เพื่อที่จะลดต้นทุนการผลิตและหลีกเลี่ยงปัจจัยที่ไม่เอื้ออำนวย

5.2.2 อุปกรณ์การทดลอง

ภาพที่ 5.2 แสดงรายละเอียดของระบบอบแห้งที่ได้ทำการออกแบบและสร้าง ขึ้น มีขนาดโดยรวม กว้าง 700 mm ยาว 1500 mm และสูง 1800 mm คาวิตีมีลักษณะเป็นทรงกระบอกสามารถป้อนคลื่นได้หลายตำแหน่ง ซึ่งในส่วนของคาวิตีจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบเพื่อให้คลื่นที่เกิดภายในคาวิตีเป็นแบบหลายโหมด มีการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและอุณหภูมิที่สม่ำเสมอภายในคาวิตี โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 480 mm ยาว 720 mm ภายในประกอบด้วยถังหมุนทำจากวัสดุโพสิโพรฟีนซึ่งปรับความเร็วรอบได้ สามารถบรรจุวัสดุไม่เกิน 10 กิโลกรัมต่อรอบการอบแห้ง ระบบสุญญากาศจะควบคุมโดยใช้ปั๊มขนาด 1.5 Hp 1425 RPM 208-230V -IP 23 ซึ่งจะทำงานแบบอัตโนมัติ ความชื้นถูกดูดออกจากคาวิตีโดยใช้ปั๊มสุญญากาศดูดผ่านถังควบแน่น (Condensing Tank) เพื่อให้ไอน้ำให้กลั่นตัวเป็นของเหลวแล้วมาแยกน้ำและอากาศที่ถึงแยกน้ำ (Gasclassification Tank) ก่อนเข้าปั๊ม ความเป็น

สุญญากาศของระบบสามารถควบคุมได้ แต่ไม่ควรเกิน 390 torr (Operated) อุณหภูมิในภาวดีจะวัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล (Type K)



ภาพที่ 5.2
เครื่องอบแห้งต้นแบบที่สร้างขึ้น

5.2.3 วิธีการทดลอง

1. การอบแห้งใบชาด้วยเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้น

ในส่วนของการทดลองนี้จะใช้ใบชาหนัก 1 กิโลกรัมต่อรอบการอบแห้ง ซึ่งเก็บในถังเย็นมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 172 มาตรฐานแห้ง โดยมีเงื่อนไขของการทดลองดังนี้

- 1.1 ป้อนคลื่นหนึ่งตำแหน่งที่กำลัง 800 W ภายใต้ความดัน 385 torr
- 1.2 ป้อนคลื่นหนึ่งตำแหน่งที่กำลัง 800 W ภายใต้ความดัน 535 torr
- 1.3 ป้อนคลื่นสองตำแหน่งที่กำลัง 1600 W ภายใต้ความดัน 385 torr
- 1.4 ป้อนคลื่นสองตำแหน่งที่กำลัง 1600 W ภายใต้ความดัน 535 torr

โดยในแต่ละเงื่อนไขของการทดลองนั้นจะมีลักษณะการทำงานของแมกนีตรอนที่ต่างกัน 2 กรณี คือ การสร้างคลื่นแบบต่อเนื่องตลอดระยะเวลาของการอบแห้งและการสร้างคลื่นแบบเป็นจังหวะ ซึ่งการสร้างคลื่นแบบเป็นจังหวะนั้นแมกนีตรอนจะทำงานเป็นเวลา 60 นาที หยุด 60 นาทีตลอดระยะเวลาของการอบแห้งและทำการควบคุมอุณหภูมิภายในภาวดี

ไม่ให้เกิน 70°C หากเกินอุณหภูมิที่กำหนดระบบจะหยุดการป้อนคลื่นไมโครเวฟ (ระบบอื่น ๆ ทำงานปกติ) แต่เวลาตัด – ต่อการทำงานของแมกนีตรอนนั้นยังคงทำงานตามปกติ เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนดแล้วแมกนีตรอนก็จะทำงาน (หากอยู่ในช่วงเวลาของการหยุดการป้อนคลื่นไมโครเวฟ แมกนีตรอนก็จะไม่ทำงาน)

ในส่วนของการควบคุมความดันสุญญากาศนั้น ปัมสุญญากาศจะทำงานแบบอัตโนมัติ (ทำงานแบบตัดต่อตามช่วงความดันที่กำหนด) โดยในทุกรอบการอบแห้งจะเก็บค่าน้ำหนักทุก ๆ 10 นาที จนใบชามีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 มาตรฐานแห้ง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชาใบ (ชาจีน) [17] ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นจะนำไปทดสอบทางด้านคุณภาพต่อไป

2. การวัดปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นแห้ง (Dry Bulb) ของใบชาที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งต้นแบบระบบกำจัดความชื้นด้วยคลื่นไดอิเล็กทริก ร่วมกับระบบสุญญากาศสามารถวัดได้ดังนี้

$$M_d = (w - d) / d \quad (5.1)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry Basis)

w คือ น้ำหนักของวัสดุชื้น

d คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง

ความชื้นแบบนี้เป็นที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ [5-18])

5.3 ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

จากการทดลองการอบแห้งใบชาโดยใช้เครื่องต้นแบบระบบกำจัดความชื้นด้วยคลื่นไดอิเล็กทริกร่วมกับระบบสุญญากาศ โดยศึกษาถึงอิทธิพลของกำลังวัตต์ป้อนเข้า ความดันสุญญากาศและลักษณะของการป้อนคลื่นที่มีผลต่อความชื้น อุณหภูมิ และลักษณะทางกายภาพของใบชา สามารถวิเคราะห์ผลในลักษณะความสัมพันธ์ต่าง ๆ ซึ่งแบ่งย่อยได้ดังนี้

5.3.1 ความชื้น

จากภาพที่ 5.3 - 5.10 พบว่าปริมาณความชื้นในใบชาที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นจะสามารถไล่ความชื้นได้เร็วหากมีการป้อนคลื่นแบบต่อเนื่องที่ความดันต่ำกว่า และยังมีปริมาณความชื้นสนามไฟฟ้าหรือกำลังวัตต์ป้อนเข้าสูง การไล่ความชื้นออกจากใบชาจะทำได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น โดยพฤติกรรมดังกล่าวสามารถอธิบายได้อย่างคร่าว ๆ ดังต่อไปนี้

น้ำหรือความชื้นเป็นวัสดุไดอิเล็กทริกที่สามารถดูดซับพลังงานไมโครเวฟและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้มาก ดังนั้นเมื่อความชื้นได้รับพลังงานไมโครเวฟอุณหภูมิของใบชาจึงสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเพราะปริมาณความชื้น (น้ำ) ภายในโครงสร้าง เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในใบชาจะส่งผลกระทบต่อกลไกการเคลื่อนย้ายมวลสารในใบชา (รายละเอียดในทฤษฎีพื้นฐานวัสดุพูนบทที่ 3 หัวข้อ 3.1) โดยที่ปริมาณความชื้นหรือกำลังวัตต์ป้อนเข้ามีผลกับการผลิตปริมาณความร้อนด้วย ส่วนความเป็นสุญญากาศจะมีผลต่อกลไกการไล่ความชื้น เนื่องจากที่ความดันต่ำจุดเดือดของความชื้นหรือน้ำก็จะต่ำลง สามารถเปลี่ยนสถานะจากน้ำกลายเป็นไอน้ำได้เร็วขึ้นทำให้ใช้เวลาในการไล่ความชื้นน้อยลง ภาพที่ 5.3 และ 5.4 เห็นได้ว่าที่กำลังการป้อนคลื่นเดียวกัน ที่ความดันต่ำจะให้อัตราการอบแห้งที่เร็วกว่า ซึ่งเป็นเช่นเดียวกันกับภาพที่ 5.5 และ 5.6

5.3.2 อุณหภูมิ

จากการศึกษาถึงพฤติกรรมทางด้านความร้อนที่เกิดขึ้นของการอบแห้งใบชาด้วยเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้น พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางความร้อนของใบชา คือ พลังงานไมโครเวฟที่ป้อนเข้า (ปริมาณความชื้นสนามไฟฟ้าหรือกำลังวัตต์) ความดันสุญญากาศ และลักษณะของการป้อนคลื่น (แบบต่อเนื่องและเป็นจังหวะ) สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

จากภาพที่ 5.11 - 5.14 เป็นการเปรียบเทียบการป้อนพลังงานไมโครเวฟที่กำลังวัตต์ 1600 และ 800 วัตต์ ที่มีลักษณะการป้อนคลื่นแบบต่อเนื่องและแบบเป็นจังหวะ พบว่าเมื่อค่ากำลังวัตต์ป้อนเข้าต่างกันความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนจะมีค่าแตกต่างกัน

กล่าวคือเมื่อให้พลังงานไมโครเวฟที่กำลังวัตต์สูงนั้น ใบชาจะสามารถผลิตความร้อนภายในได้มากกว่าการใช้พลังงานไมโครเวฟที่กำลังต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของสนามไฟฟ้าที่เข้มข้นขึ้นทำให้อัตราการผลิตพลังงานความร้อนมากขึ้น ดังนั้นการใช้กำลังวัตต์ป้อนเข้าสูงทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงได้ในระยะเวลาที่สั้นกว่าการใช้กำลังวัตต์ป้อนเข้าต่ำ (เช่นภาพที่ 5.15 – 5.16 และ 5.19 – 5.20) นอกจากนั้นการอบแห้งที่ใช้กำลังวัตต์สูงอุณหภูมิสูงสุดก็มีค่าสูงกว่าด้วย ส่วนลักษณะการป้อนคลื่นนั้นมีผลต่อการผลิตความร้อนภายในใบชาด้วยเช่นกัน เนื่องจากวัสดุไดอิเล็กตริกนั้นจะมีผลโดยตรงต่อพลังงานไมโครเวฟ หากไม่ได้รับพลังงานไมโครเวฟอย่างต่อเนื่องส่งผลให้การผลิตความร้อนภายในไม่ต่อเนื่องด้วยเช่นกัน อุณหภูมิของวัสดุก็จะเพิ่มขึ้นไม่รวดเร็วนัก ภาพที่ 5.17 – 5.18 และ 5.21 – 5.22 จะเห็นได้ว่าความดันสุญญากาศมีผลต่ออุณหภูมิที่เกิดขึ้น เนื่องจากที่ความดันต่ำอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำก็จะต่ำลง เป็นผลให้อุณหภูมิสูงสุดของการอบแห้งต่ำกว่าเมื่อเทียบกับที่ความดันสูงกว่า

เมื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของการอบแห้งใบชาด้วยเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นมีค่าไม่คงที่ตลอดระยะเวลาการอบแห้ง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีสาเหตุหลักจากความสามารถในการดูดซับพลังงานและเปลี่ยนพลังงานดูดซับเป็นพลังงานความร้อนมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้เกิดจากปัจจัยหลัก ๆ คือ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในใบชา (อุณหภูมิของวัสดุมีผลต่อค่าคุณสมบัติ ไดอิเล็กตริก Von Hippel [5-19]) และการระเหยของน้ำหรือความชื้นออกจากใบชา (น้ำเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับพลังงานไมโครเวฟสูง) และเกิดโพรงช่องว่างในใบชาขึ้น (อากาศหรือช่องว่างภายในโครงสร้างมีความสามารถในการดูดซับพลังงานต่ำมาก) สำหรับการวิเคราะห์ผลดังกล่าวจะแบ่งคาบเวลาออกเป็นสองช่วงคือ ช่วงที่อุณหภูมิสูงขึ้น (เกิดในช่วงต้นของกระบวนการ) และช่วงที่อุณหภูมิกิ่งที่ (ช่วงสุดท้ายของกระบวนการ)

1. ช่วงที่อุณหภูมิสูงขึ้น (ช่วงระยะเวลาเริ่มต้น)

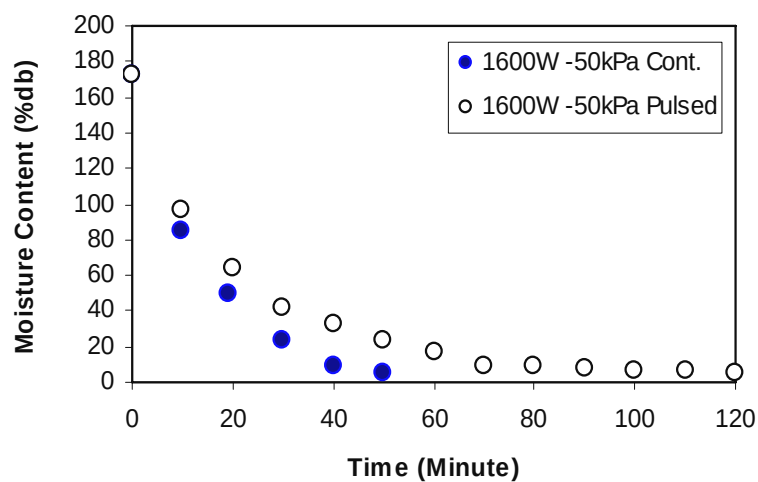
ในช่วงต้นของกระบวนการอบแห้งใบชาด้วยเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้น ปริมาณความชื้นหรือน้ำในใบชามีเปอร์เซ็นต์สูงมาก (ประมาณร้อยละ 170 มาตรฐานแห้ง) ดังนั้นพลังงานไมโครเวฟเมื่อผ่านใบชาจะถูกดูดซับพลังงานด้วยโครงสร้างของใบชาและน้ำภายในใบชาทั้งหมด และเปลี่ยนพลังงานดูดซับดังกล่าวเป็นพลังงานความร้อนส่งผลให้อุณหภูมิใบชามีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำในโครงสร้างขอบใบชาเกิดการระเหยออกจากวัสดุ เมื่อปริมาณน้ำลดลงความสามารถในการดูดซับพลังงานโดยรวมของใบชาจึงลดลง และส่งผลต่อการผลิตพลังงานความร้อนในใบชาเอง

2. ช่วงที่อุณหภูมิคงที่

จากภาพที่ 5.7 จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที่อุณหภูมิจะเริ่มคงที่ค่าหนึ่งอยู่ที่ประมาณ 85°C (กรณีกำลังแมกนีตรอน 1600 W ความดัน 385 torr ป้อนคลื่นแบบต่อเนื่อง) เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ถูกสะท้อนและทะลุผ่านใบชาไป แต่ก็ยังมีพลังงานส่วนหนึ่งถูกดูดซับไว้ในอัตราค่อนข้างคงที่ เมื่อดูถึงอิทธิพลของปริมาณความชื้นพบว่า ณ ช่วงเวลาดังกล่าวมีปริมาณความชื้นคงเหลือในใบชาน้อยมากหรืออาจไม่มีเหลือเลย (ดังภาพที่ 5.3) แสดงว่าพลังงานที่ถูกดูดซับดังกล่าวเกิดจากการดูดซับโดยโครงสร้างของแข็งภายในใบชา ซึ่งสามารถผลิตพลังงานในความร้อนได้ในระดับหนึ่งที่ประมาณ 85°C และเมื่อศึกษาในกรณีกำลังวัตต์ป้อนเข้าที่มีค่าต่างกัน เช่น 800 วัตต์ พบว่าปรากฏพฤติกรรมทางความร้อนในลักษณะเดียวกันแต่แตกต่างกันในส่วนของการไล่เย็ด เช่น ช่วงระยะเวลายาวขึ้น อุณหภูมิต่ำลงดังภาพที่ 5.13 และ 5.14

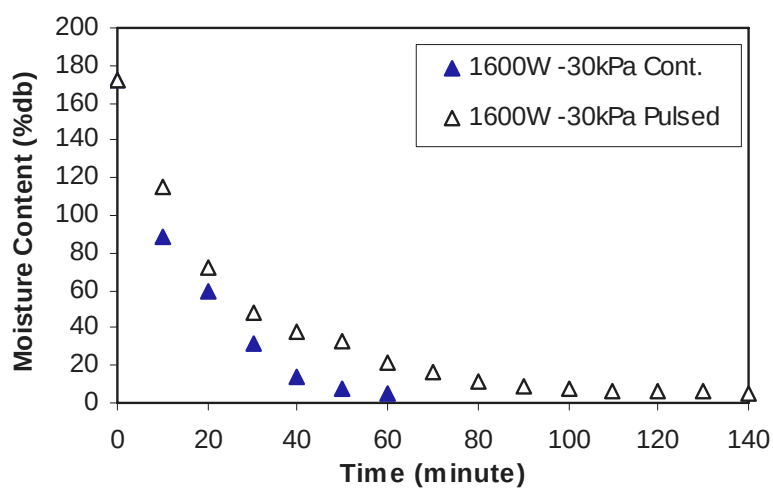
5.3.3 ลักษณะทางกายภาพ

จากภาพที่ 5.23 – 5.24 เป็นลักษณะของใบชาที่ผ่านการอบแห้งกรณีที่กำลังแมกนี ตรอน 800 W ความดัน 385 torr โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นแบบต่อเนื่องและเป็นจังหวะตามลำดับ พบว่าใบชาที่ผ่านการอบแห้งในกรณีป้อนคลื่นแบบต่อเนื่องนั้นจะมีลักษณะที่ค่อนข้างแตกต่างจากเดิม ต่างจากกรณีป้อนคลื่นแบบเป็นจังหวะซึ่งใบชาที่ได้นั้นจะมีลักษณะใกล้เคียงเดิม โดยในกรณีป้อนคลื่นแบบต่อเนื่องนั้นความชื้นในใบชาจะได้รับพลังงานคลื่นไมโครเวฟอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาการอบแห้ง ซึ่งจะทำให้ความชื้นที่อยู่ในใบชาเกิดความร้อนแฝงของการระเหยกลายเป็นไอสูงมาก ปริมาณความร้อนที่มากนั้นจะมีผลต่อโครงสร้างภายในใบชา ทำให้ใบชาที่ผ่านการอบแห้งกรณีป้อนคลื่นแบบต่อเนื่องจะมีลักษณะทางกายภาพที่ต่างจากเดิม และเมื่อศึกษากรณีที่กำลังวัตต์ป้อนเข้าและความดันสุญญากาศต่างกัน เช่น 1600 W ความดัน 535 torr พบว่ามีลักษณะทางกายภาพเป็นไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ กรณีป้อนคลื่นแบบต่อเนื่องจะมีลักษณะทางกายภาพของใบชาที่ต่างจากเดิม ส่วนกรณีป้อนคลื่นแบบเป็นจังหวะจะมีลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงเดิม



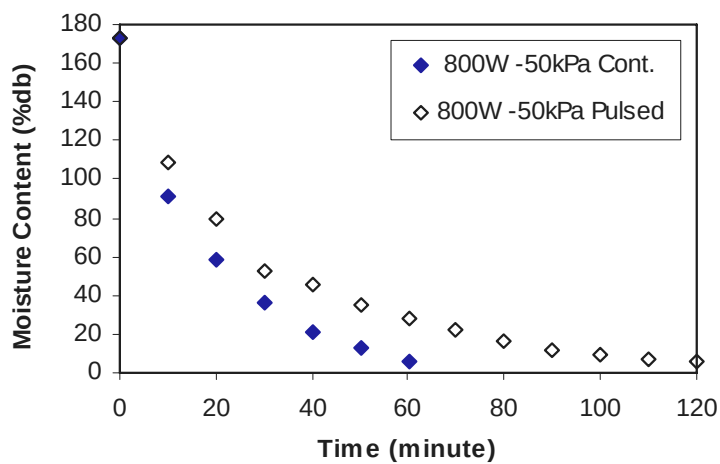
ภาพที่ 5.3

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Dry basis) กับเวลาการอบแห้งใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 1600 W ความดัน 385 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นต่างกัน



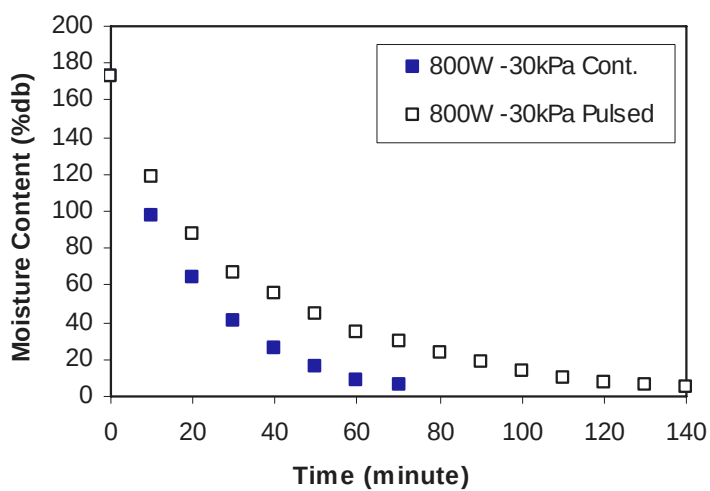
ภาพที่ 5.4

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Dry basis) กับเวลาการอบแห้งใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 1600 W ความดัน 535 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นต่างกัน



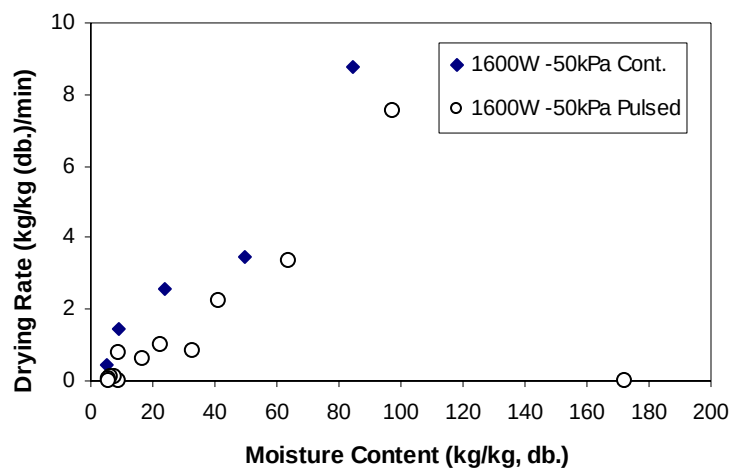
ภาพที่ 5.5

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Dry basis) กับเวลาการอบแห้งใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 800 W ความดัน 385 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นต่างกัน



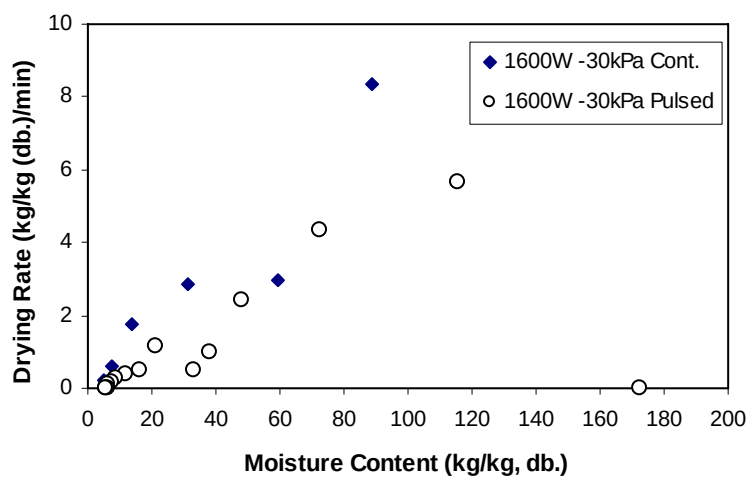
ภาพที่ 5.6

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Dry basis) กับเวลาการอบแห้งใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 800 W ความดัน 535 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นต่างกัน



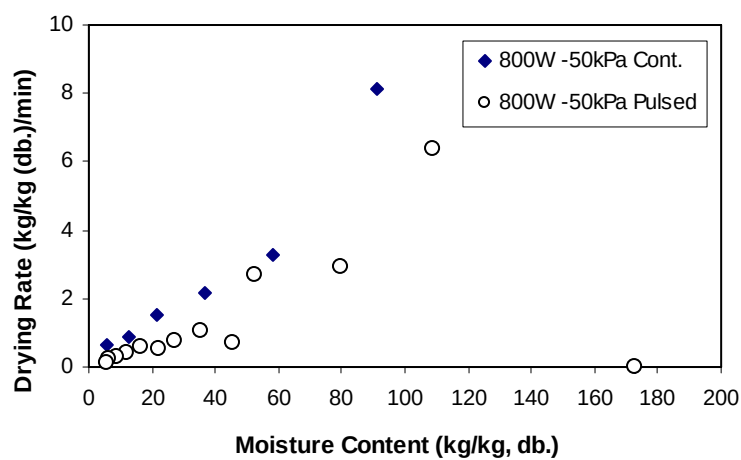
ภาพที่ 5.7

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Dry basis) ของใบชาที่กำลังแมกนึ่งตรอน 1600 W ความดัน 385 torr โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นต่างกัน



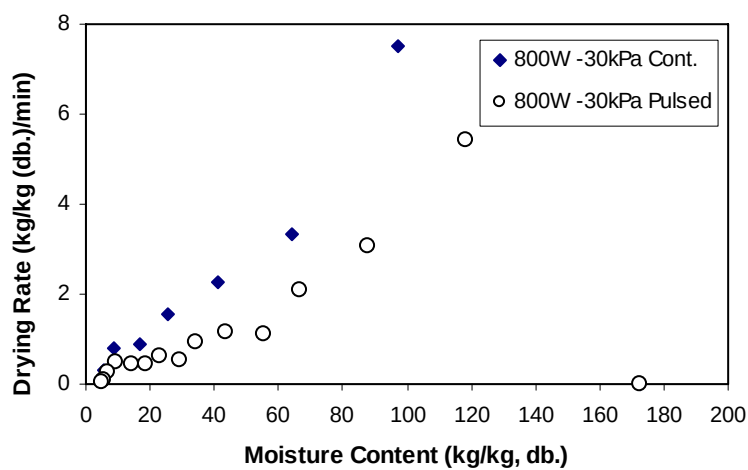
ภาพที่ 5.8

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Dry basis) ของใบชาที่กำลังแมกนึ่งตรอน 1600 W ความดัน 535 torr โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นต่างกัน



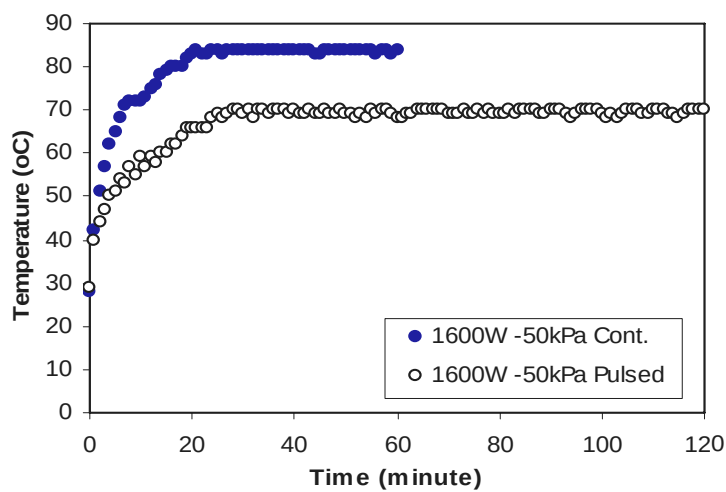
ภาพที่ 5.9

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Dry basis) ของใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 800 W ความดัน 385 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นต่างกัน



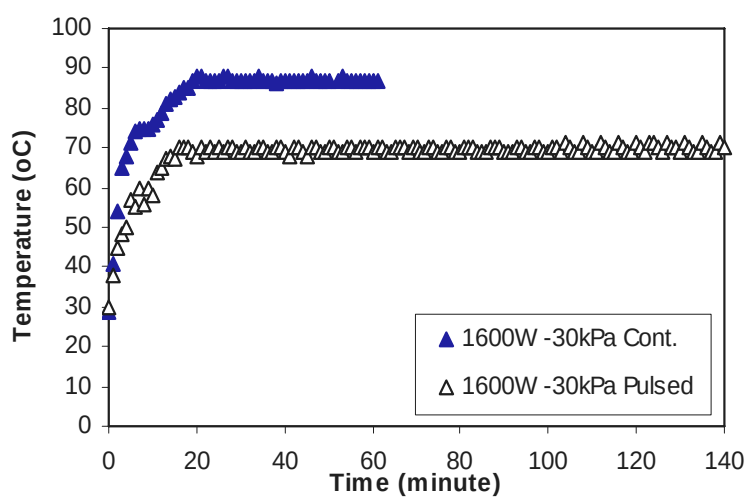
ภาพที่ 5.10

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Dry basis) ของใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 800 W ความดัน 535 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นต่างกัน



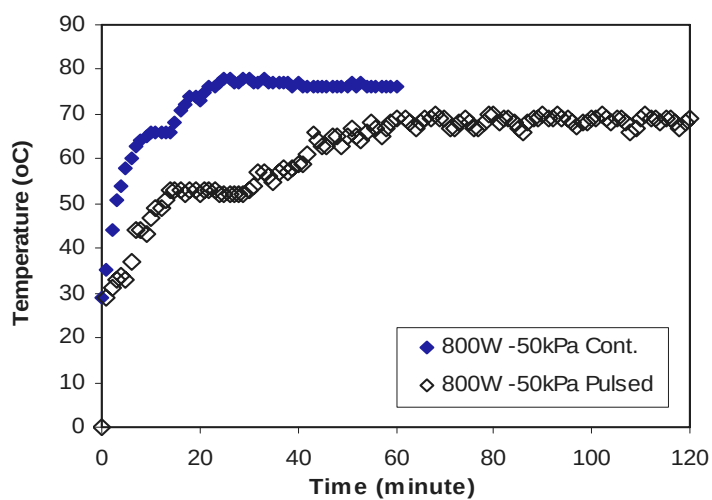
ภาพที่ 5.11

กราฟความดันสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาการอบแห้งใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 1600 W ความดัน 385 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นต่างกัน



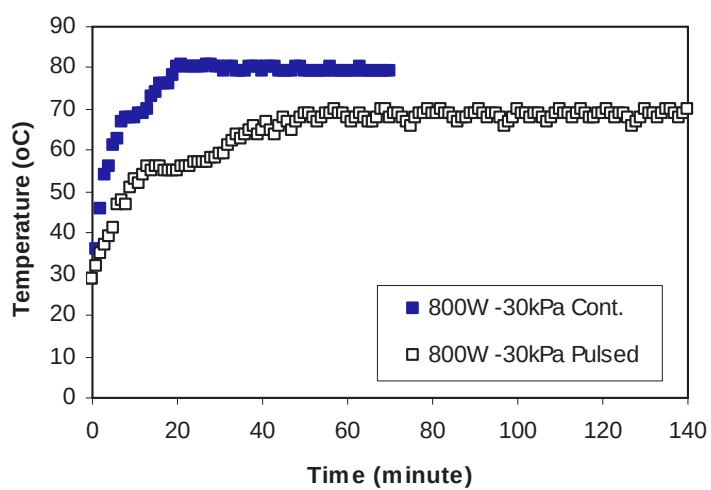
ภาพที่ 5.12

กราฟความดันสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาการอบแห้งใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 1600 W ความดัน 535 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นต่างกัน



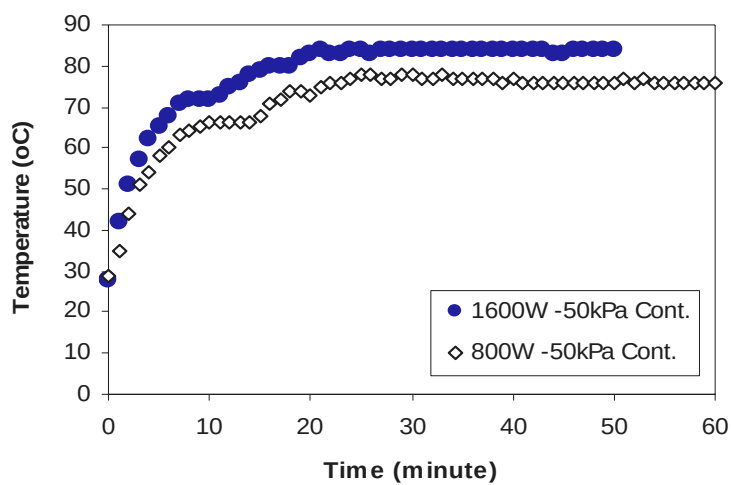
ภาพที่ 5.13

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาการอบแห้งใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 800 W ความดัน 385 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นต่างกัน



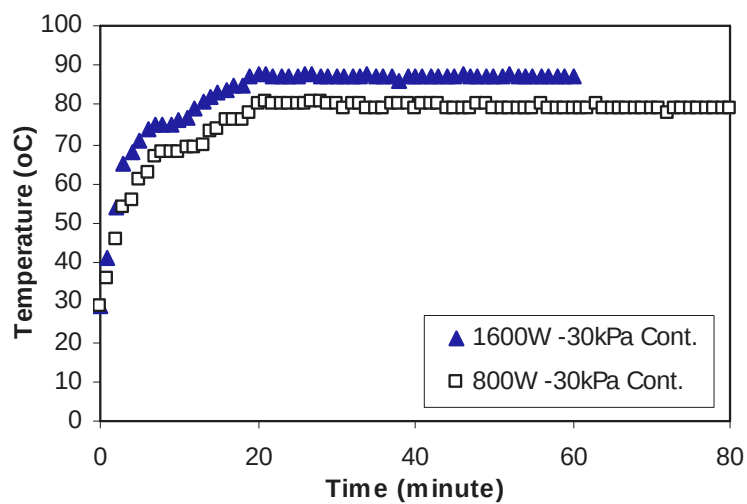
ภาพที่ 5.14

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาการอบแห้งใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 800 W ความดัน 535 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นต่างกัน



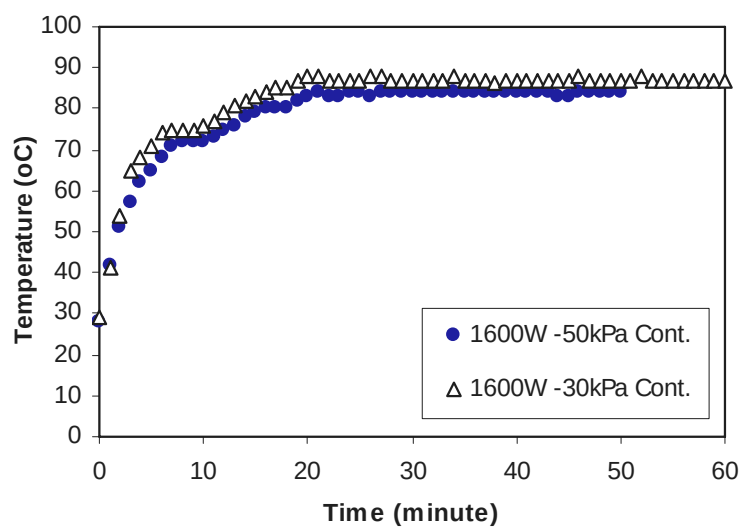
ภาพที่ 5.15

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาการอบแห้งใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 1600 W และ 800 W ความดัน 385 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นแบบต่อเนื่อง



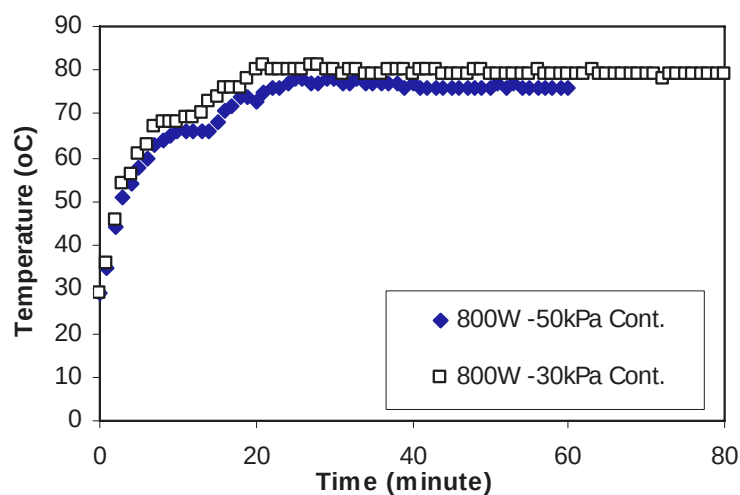
ภาพที่ 5.16

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาการอบแห้งใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 1600 W และ 800 W ความดัน 535 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นแบบต่อเนื่อง



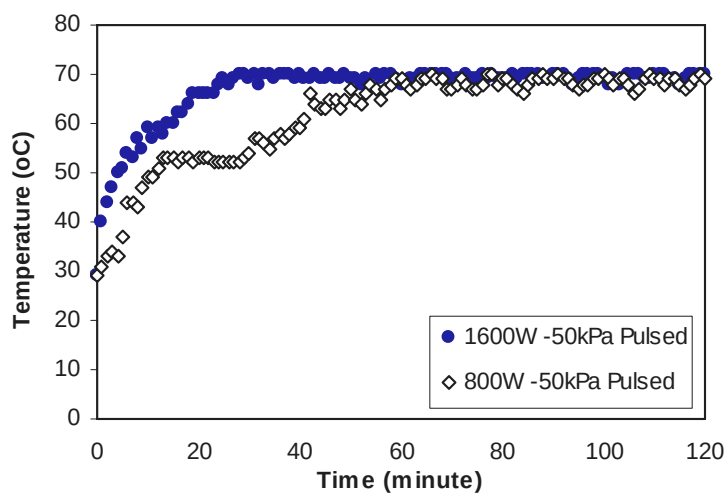
ภาพที่ 5.17

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาการอบแห้งใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 1600 W ความดัน 385 และ 535 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นแบบต่อเนื่อง



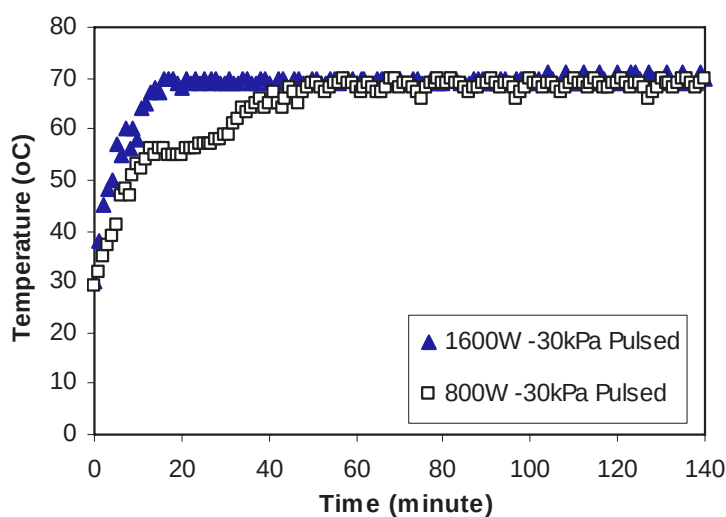
ภาพที่ 5.18

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาการอบแห้งใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 800 W ความดัน 385 และ 535 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นแบบต่อเนื่อง



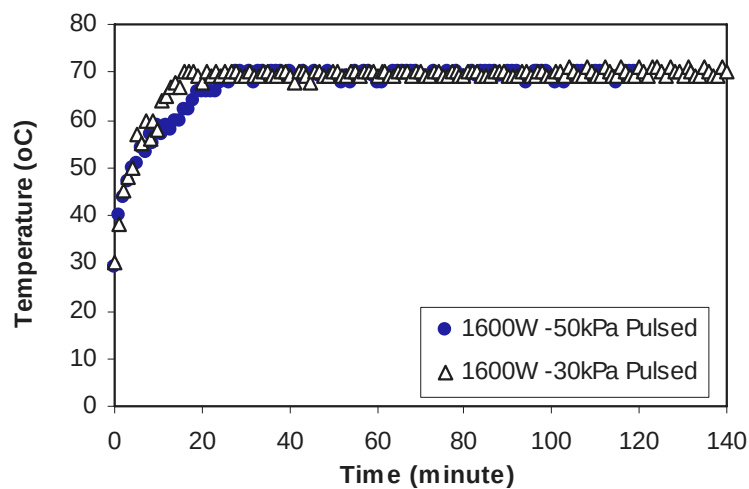
ภาพที่ 5.19

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาการอบแห้งใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 1600 W และ 800 W ความดัน 385 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นแบบเป็นจังหวะ



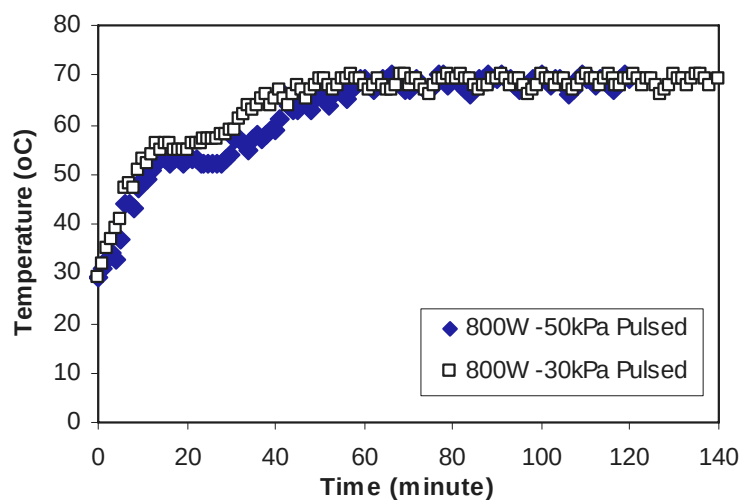
ภาพที่ 5.20

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาการอบแห้งใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 1600 W และ 800 W ความดัน 535 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นแบบเป็นจังหวะ



ภาพที่ 5.21

กราฟความดันสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาการอบแห้งใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 1600 W ความดัน 385 และ 535 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นแบบเป็นจังหวะ



ภาพที่ 5.22

กราฟความดันสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาการอบแห้งใบชา
ที่กำลังแมกนีตรอน 800 W ความดัน 385 และ 535 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นแบบเป็นจังหวะ



ภาพที่ 5.23

ใบชาอบแห้งที่กำลังแมกนึ่งรอน 800 W ความดัน 385 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นแบบต่อเนื่อง



ภาพที่ 5.24

ใบชาอบแห้งที่กำลังแมกนึ่งรอน 800 W ความดัน 385 torr
โดยมีลักษณะการป้อนคลื่นแบบเป็นจังหวะ

5.4 สรุปผลการศึกษา

พลังงานไมโครเวฟหรือกำลังวัตต์ป้อนเข้ามีผลต่อความสามารถในการผลิตปริมาณความร้อนและการลดปริมาณความชื้นในใบชา กล่าวคือพลังงานป้อนเข้ามากส่งผลให้เกิดการผลิตปริมาณความร้อนได้มากขึ้นและลดปริมาณความชื้นได้เร็วขึ้น

ความดันสุญญากาศมีผลต่อการลดปริมาณความชื้นในใบชา กล่าวคือความดันต่ำจะส่งผลให้ลดปริมาณความชื้นได้เร็วขึ้น

การดูดซับพลังงานไมโครเวฟส่งผลโดยตรงต่อการผลิตพลังงานความร้อนในใบชา ถ้ามีการดูดซับพลังงานไมโครเวฟมาก จะทำให้เกิดการผลิตพลังงานความร้อนมากส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้น

ลักษณะทางกายภาพของใบชาที่ผ่านการอบแห้งโดยมีลักษณะการป้อนคลื่นแบบเป็นจังหวะจะได้ใบชาที่มีลักษณะใกล้เคียงเดิม (สีและโครงสร้าง) ส่วนลักษณะทางกายภาพของใบชาที่ผ่านการอบแห้งโดยมีลักษณะการป้อนคลื่นแบบต่อเนื่องจะได้ใบชาที่มีลักษณะต่างจากเดิมไม่มากนัก