

จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งวัสดุชีวมวลด้วยไมโครเวฟ ร่วมกับระบบสุญญากาศ

Drying Kinetics of Biomass Using Microwave – Vacuum System

วิฑูรย์ อบรม¹, กัสตุรี เจณี¹, เสถียร ธัญญศรีรัตน์² และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช^{1*}

¹ หน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (R.C.M.E.)

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) อ.คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12120

โทร 02-564-3001-9 โทรสาร 02-564-3010 *อีเมล ratphadu@engr.tu.ac.th

² สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาจลนพลศาสตร์ (Kinetics) การอบแห้งวัสดุชีวภาพด้วยไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ ซึ่งวัสดุชีวภาพที่ใช้ในการทดลองคือ แครอท และใบกระเพรา โดยระบบที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยห้องอบแห้งสุญญากาศรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 240 มิลลิเมตรและยาว 500 มิลลิเมตร ภายใต้ความดัน -95 kPa ทำให้แห้งโดยแมกนีตรอนขนาด 800 วัตต์ ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านการลดความชื้นของแครอท และใบกระเพราในสภาวะการทดสอบต่างๆ ภายใต้การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ

ผลจากการศึกษาจลนพลศาสตร์ของวัสดุชีวภาพภายใต้การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ จะเป็นข้อมูลในการสร้างเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศในเชิงพาณิชย์ต่อไป

คำสำคัญ: การอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ; การรักษาคุณภาพอาหาร

Abstract

This research studies on the kinetics of drying process of bio-materials by means of microwave energy associated with a vacuum system. Two types of bio-materials *i.e.*, Carrot and Basil are taken into consideration and test. The vacuum-microwave system feature consists of a cylindrical take having 240 mm in diameter and 500 mm in length. In addition, it is controlled constantly to operate under the pressure about -95 kPa to apply simultaneously with microwave energy which generated by a magnetron at the frequency of 2.45 ± 0.05 GHz and power of 1000 Watts. The tested properties are the kinetics of drying process and the quality of the processed bi-materials subjected

to microwave energy with the vacuum system. From the test results in a point of view of kinetic properties of drying process and overall outcomes in quality of product, it can be concluded that a prototype of this system can develop and implement to commercial scale.

1 บทนำ

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่นำมาใช้ในการถนอมอาหารมาเป็นเวลาหลายร้อยปี ที่ผ่านมานักวิจัยให้ความสนใจในด้าน คุณสมบัติทางด้านเคมีของอาหาร และพยายามที่จะรักษาไว้ให้คงเดิม ประสิทธิภาพของการเก็บรักษาอยู่ระหว่างการรักษาคุณภาพของอาหาร ทางด้านโภชนาการ รูปร่าง รสชาติ ความสะดวกในการเก็บรักษา และลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง วิธีการอบแห้งทางการเกษตรส่วนใหญ่จะใช้เทคโนโลยีภูมิปัญญาชาวบ้าน เช่น ใช้แสงแดดหรือป้อนลมร้อนเพื่อทำให้แห้ง ซึ่งมักก่อให้เกิดปัญหาต่อผลผลิตตามมาคือการเสื่อมคุณภาพทางอาหาร นักวิจัยจึงนำเอาคลื่นไมโครเวฟมาใช้ในการอบแห้ง โดยใช้ร่วมกับระบบสุญญากาศ ซึ่งสามารถนำมาใช้กับการอบแห้งอาหารสำหรับบริโภคที่เน้นคุณค่าทางโภชนาการได้เป็นอย่างดี

การอบแห้งอาหารด้วยการใช้ไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศนี้ที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาระบบการอบแห้งอาหารโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ Drouzas et al.[1] ได้ทำการศึกษาการอบแห้งกล้วยโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ Schubert, et al. [2] ได้ทำการทดลองอบแห้งวันผลไม้โดยใช้ไมโครเวฟในระบบสุญญากาศ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการกระจายตัวของคลื่นและตำแหน่งการวางผลิตภัณฑ์ Qing-gou Hu, et al.[3] ศึกษาการอบแห้งถั่วแระญี่ปุ่นโดยใช้ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสุญญากาศ โดยทำการเปรียบเทียบกับวิธีการอบด้วยลมร้อน พบว่าการใช้ลมร้อน ที่ 70°C ในช่วงแล้วใช้ไมโครเวฟในระยสุดท้ายของการอบแห้งเป็นวิธีการที่ดีที่สุด Shivhare et al. [4] ศึกษาการนำคลื่นไมโครเวฟมาใช้ในการอบแห้งข้าวโพดเพื่อวิเคราะห์ระดับความชื้น พบว่าอัตราการอบแห้งที่ระดับพลังงานสูงทำให้ลดเวลาในการอบแห้ง

แต่อัตราการลดลงน้อยลง Benjamin [5] ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและมวลในการอบแห้งถั่วเหลืองโดยใช้พลังงานคลื่นไมโครเวฟ พบว่าการอบแห้งที่อยู่ในช่วง 0.28 ถึง 0.44 วัตต์/กรัม อุณหภูมิและการดูดซับพลังงานไมโครเวฟจะคงที่ และสามารถกระตุ้นให้มีการคายความชื้นสูงขึ้น 30% T.D. Durand et al. [6] ทำการทดลองการลดลงของความชื้นในมะเขือเทศภายใต้สภาวะสุญญากาศ พบว่า วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อน และไม่โครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ ใช้เวลาในการอบแห้งต่ำสุดและมีอัตราการใช้พลังงานต่ำ ที่ 70% (ลมร้อน) และ 30% (ไมโครเวฟสุญญากาศ) Takaharu Tsuruta et al. [7] ทำการศึกษาการอบแห้งอาหารทะเลโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ เพื่อศึกษาลักษณะของรูพรุนของอาหารทะเล พบว่าลักษณะของรูพรุนมีขนาดใหญ่ และสามารถคายน้ำได้มีกว่าปกติ เป็นต้น

จุดประสงค์ในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาจากผลงานศาสตร์ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยใช้แครอทและใบกระเพราเป็นวัสดุในการทดสอบ

2 หลักการและแนวคิดการออกแบบระบบการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ ร่วมกับระบบสุญญากาศ

2.1 กระบวนการไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศโดยทั่วไป

พื้นฐานของการดำเนินการในระบบการอบแห้งสุญญากาศก็คือการดำเนินการในส่วนความดันเพื่อควบคุมให้อุณหภูมิของสารละลายที่อยู่ภายในวัสดุให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด นั่นคือควบคุมให้อุณหภูมิจุดเดือดให้ต่ำลงนั่นเอง ซึ่งข้อกำหนดของอุณหภูมิมีมากขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการและชนิดของกระบวนการด้วย ดังนั้นกระบวนการเชิงอุตสาหกรรมหลายประเภทที่ต้องทำงานที่สภาวะความดันต่ำ เพื่อต้องการลดอุณหภูมิจุดเดือดของสารละลาย (Solvent) ที่อยู่ภายในวัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการ รวมทั้งเพิ่มความแตกต่างของอัตราการแพร่กระจาย (Diffusion Rate) ของสาร ในทุกกระบวนการที่อยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศขณะรับพลังงานความร้อน พบว่าการถ่ายเทความร้อนไปยังตัววัสดุกลับยากขึ้นทั้งนี้เพราะข้อจำกัดของการถ่ายเทความร้อนในโหมดของการพาความร้อนซึ่งปกติจะมีความสำคัญมากสำหรับกรณีกระบวนการที่ทำงานในสภาวะบรรยากาศปกติ แต่การพาความร้อนกลับกลายเป็นสิ่งไม่สำคัญสำหรับกรณีกระบวนการที่ทำงานที่สภาวะความดันต่ำหรือกระบวนการสุญญากาศ

กลไกการถ่ายเทความร้อนที่สำคัญในกระบวนการสุญญากาศทั่วๆ ไปจึงอยู่บนพื้นฐานของโหมดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการนำความร้อนที่มาจากแหล่งความร้อนที่เป็นของไหล และในบางกระบวนการจะประยุกต์ใช้วิธีการฉีดไอน้ำที่ความดันต่ำเข้าไปในระบบเพื่อทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการกลั่นตัว (Condensation) ของไอน้ำบนตัววัสดุ การนำความร้อนโดยปกติจะช้าและยากต่อการควบคุมและยังต้องการพื้นผิวในแลกเปลี่ยนความร้อนที่มาก ดังนั้นในหลายกรณีเทคนิคการใช้ไอน้ำที่กลั่นตัวนี้ จึงไม่เป็นที่ยอมรับ

กระบวนการทำความร้อนภายใต้สภาวะสุญญากาศมักนิยมใช้ในอุตสาหกรรมโลหะเช่นกระบวนการหลอมละลายโลหะเพื่อทำให้มันบริสุทธิ์มากขึ้นโดยที่กรรมวิธีการให้ความร้อนแบบธรรมดายังมีปัญหา

ในเรื่องของประสิทธิภาพ ดังนั้นในอุตสาหกรรมหลอมละลายโลหะส่วนใหญ่จะอาศัยกระบวนการหลอมละลายโดยใช้เทคนิคการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าที่ความถี่ต่ำ (Low frequency Induction) เพราะตัววัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่สูง (High Electrical Inductivity) เช่นกัน การใช้เทคนิคไมโครเวฟในกระบวนการหลอมละลายโลหะก็เป็นกระบวนการหนึ่งที่ได้รับความสะดวกเพราะสามารถเร่งอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สภาวะสุญญากาศ เมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ

2.2 การออกแบบระบบอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ

การออกแบบระบบที่ทำงานภายใต้สภาวะสุญญากาศให้มีสมรรถนะสูงก็ขึ้นอยู่กับ การตั้งค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ยอมรับได้ของวัสดุ และความดันสุญญากาศภายในระบบ ดังนั้น ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ทำงานได้อย่างปลอดภัยสามารถประเมินได้ หากทราบค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงสุดนี้ เราจะสามารถคำนวณค่ากำลังการดูดซับพลังงานไมโครเวฟภายในวัสดุได้ โดยใช้สมการที่ด้านล่าง

$$Q = \omega \epsilon_0 \epsilon_r'' E^2 = 2\pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r'' (\tan \delta) E^2 \quad (2.1)$$

จากสมการ (2.1) ค่าพลังงานไมโครเวฟที่ถูกดูดซับจะแปรผันตรงกับความถี่ของสนามไฟฟ้า ค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุ (Dielectric Loss Factor) และค่ากำลังของสนามไฟฟ้า หากค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุไดอิเล็กตริกมีค่ามากจะส่งผลให้การดูดซับพลังงานจากไมโครเวฟและปริมาณความร้อนเกิดขึ้นมากขึ้นตาม แต่ถ้าค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุมีค่าน้อย คลื่นไมโครเวฟจะทะลุผ่านวัสดุไดอิเล็กตริกโดยเกิดความร้อนเพียงเล็กน้อยหรือไม่เกิดขึ้นเลย

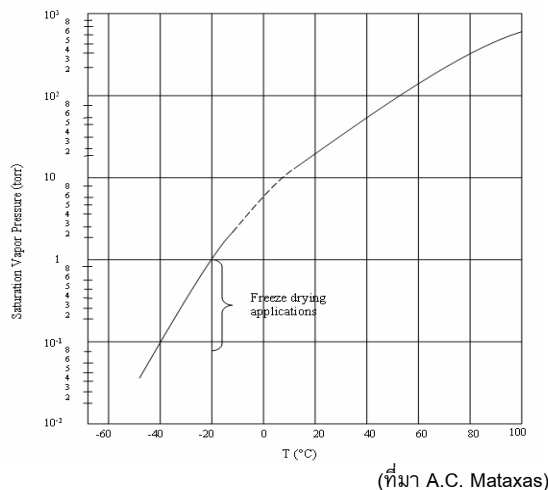
หากเราทราบอัตราการไหลเชิงมวลของวัตถุที่นำมาผ่านกระบวนการ ค่ากำลังการดูดซับทั้งหมดก็สามารถประเมินได้เช่นกัน ในขั้นตอนที่เราสามารถที่จะประมาณค่าปริมาตรวัสดุที่น้อยที่สุดที่สามารถบรรจุไว้ภายในแอพพลิเคชัน โดยปกติขนาดของแอพพลิเคชันเพื่อทำความร้อนจะออกแบบมาเป็นรูปแบบเฉพาะสำหรับแต่ละกระบวนการ ขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร อาทิเช่น ชนิดของวัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการ อุณหภูมิสูงสุดภายในระบบและค่าที่ใช้ในระบบ เป็นต้น อย่างไรก็ตามในแง่ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ระบบเชิงอุตสาหกรรมนิยมใช้ความถี่ที่ 2450 MHz มากกว่า 915 MHz

สำหรับแอพพลิเคชัน หรือควาิตี้ที่ใช้กับกระบวนการไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดในการเกิดเบรคดาวน์ (Breakdown) ของสนามไฟฟ้าที่สภาวะความดันนั้นๆ ด้วยในการออกแบบสร้างแอพพลิเคชันนั้น ส่วนใหญ่ทำมาจากการขึ้นรูปของแผ่นโลหะที่สามารถทำงานภายใต้สภาวะสุญญากาศได้ โดยการออกแบบจะต้องอิงตามโคดมาตรฐานสากล เช่น British Standard Specification No.5500)

ในการออกแบบระบบเพื่อใช้งานจริงจะต้องหาเงื่อนไขที่เหมาะสมและดีที่สุดสำหรับแต่ละกระบวนการ จุดสำคัญที่ต้องพิจารณาต่อไปก็คือ จุดเดือดของสารละลายที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น (เช่น สารละลาย น้ำตาล-น้ำ) กรณีนี้เราอาจต้องออกแบบกระบวนการ

ให้ทำงานที่ความดันต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ได้แสดงไว้ในกราฟ คุณลักษณะของอุณหภูมิจุดเดือดและความดันซึ่งเป็นกรณีสารละลายบริสุทธิ์ รูปที่ 2.1 แสดงอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำกับความดันในช่วง 1-133 kPa (หรือประมาณ 0.01 ถึง 1000 torr) จะสังเกตเห็นว่าเส้นโค้งลาดลดลงอย่างต่อเนื่อง (จุดเยือกแข็งเปลี่ยนแปลงตามความดันสุญญากาศ) และที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C แสดงถึงบริเวณของการเกิดการระเหิด (Sublimation) ซึ่งมีการเปลี่ยนสถานะจากน้ำแข็งกลายเป็นไอ สำหรับกระบวนการการทำแห้งเยือกแข็ง (Freeze Drying) สามารถดำเนินการได้ที่ความดันในช่วง 13-133 Pa (ประมาณ 0.1 ถึง 1 torr) ดังแสดงในช่วง I ของรูปที่ 2.2

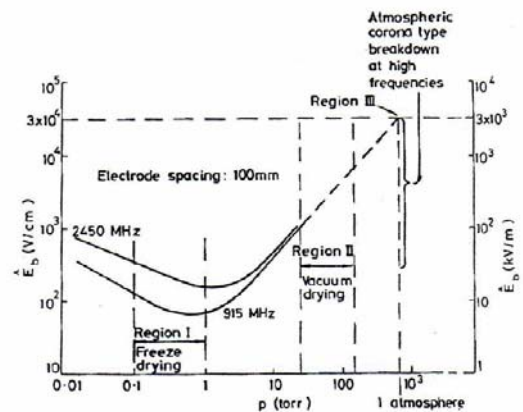
พิจารณาจากรูปที่ 2.2 ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นนี้เป็นปรากฏการณ์ที่ควรระวัง โดยอาจใช้ติดตั้งอุปกรณ์ปรับแต่งกำลังไมโครเวฟที่มีคุณภาพที่ตัวแหล่งจ่าย เพื่อลดค่าของมันลง โดยปกติการเกิดเบรกดาว์ของสนามไฟฟ้าจะลดลงตามสภาวะสุญญากาศ ยกเว้นในช่วง I ค่าสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาว์ในอากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าความดันที่ลดลง หากความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาว์มีค่าสูงเกินไป อาจทำให้เกิดปรากฏการณ์การอาร์คหรือเกิดพลาสมาขึ้นมาได้



รูปที่ 2.1 ความดันไออิ่มตัว (Saturation Vapor Pressure) ของน้ำแข็งและน้ำที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (1 torr=133.31 Pa)

พิจารณาจากกราฟในช่วง II ของรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าในช่วงความดันระหว่าง 1.33-26.66 kPa (ประมาณ 20-200 torr) ค่าสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาว์ในอากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าความดันที่เพิ่มขึ้น และมีค่ามากกว่าหลายเท่าเมื่อเทียบกับค่าการตอบสนองเบรกดาว์ที่ต่ำที่สุด ดังนั้นในการออกแบบระบบอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟระบบสุญญากาศจะต้องคำนึงถึงค่าสนามไฟฟ้าวิกฤติภายในแอปพลิเคชัน เพราะส่งผลต่อกำลังการดูดซับ อุณหภูมิ และคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของตัววัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการ การเกิดเบรกดาว์ของสนามไฟฟ้าจะปรากฏที่เฉพาะจุด และเกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่มีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงอันเนื่องจากการก่อดาว์ของคลื่นนิ่ง (Standing Wave) ดังนั้นปรากฏการณ์นี้ควรระวังเพราะเป็น

กำลังที่สูญเสีย (Waste Power) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดความร้อนสูงเฉพาะจุด (Local Overheating) ภายในโหลหรือวัสดุ อีกทั้งมีคลื่นบางส่วนรั่วไหลผ่านตรงประตูเปิดปิดของระบบไมโครเวฟได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ การทำความเข้าใจในธรรมชาติของการเกิดเบรกดาว์ของสนามไฟฟ้า และการออกแบบระบบให้เพื่อพิชิตความผิดพลาดที่ยอมรับได้ นับเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ออกแบบระบบ โดยเป้าหมายของการออกแบบระบบที่ดีคือ หาระบบที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน



(ที่มา A.C. Mataxas)

รูปที่ 2.2 การเกิดเบรกดาว์ของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ในอากาศ (ค่าสูงสุด) ที่ขึ้นอยู่กับความดันที่ความถี่สองค่า (1 torr = 133.31 Pa)

เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟสามารถส่งผ่านทะลุเข้าไปในวัสดุที่นำมาอบแห้ง ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นในวัสดุที่จะกระจายสม่ำเสมอให้ความแห้งเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ในทุกตำแหน่งด้วยเหตุนี้ทำให้การควบคุมคุณภาพทำได้ง่ายเวลาที่ใช้ในระบบการมีระยะเวลาสั้น คือประมาณหนึ่งในสี่ของกระบวนการอบแห้งโดยวิธีธรรมชาติรักษาคุณภาพดั้งเดิมของวัสดุที่นำมาอบเปลี่ยนแปลงไว้ เช่น รูปทรง สี กลิ่น และน้ำหนักมีประสิทธิภาพความร้อนสูง กล่าวคือประมาณ 60%-70% ในขณะที่ใช้กระบวนการอบแห้งแบบวิธีธรรมชาติมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนประมาณ 20%-30% เนื่องจากไม่มีการปล่อยคว้นไอเสียออกมาในระหว่างกระบวนการ ทำให้ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากในกระบวนการมีชิ้นส่วนทำงานที่มีลักษณะเคลื่อนไหวมีน้อยทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง เนื่องจากในกระบวนการมีชิ้นส่วนประกอบที่มีขนาดเล็ก ทำให้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย

ด้วยความเหมาะสมของเทคโนโลยีการอบแห้งสุญญากาศ เกิดประโยชน์กับผลิตภัณฑ์คือ อุณหภูมิอบแห้งต่ำทำให้สามารถรักษาคูณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ดี ออกซิเจนไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ได้ ผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำ

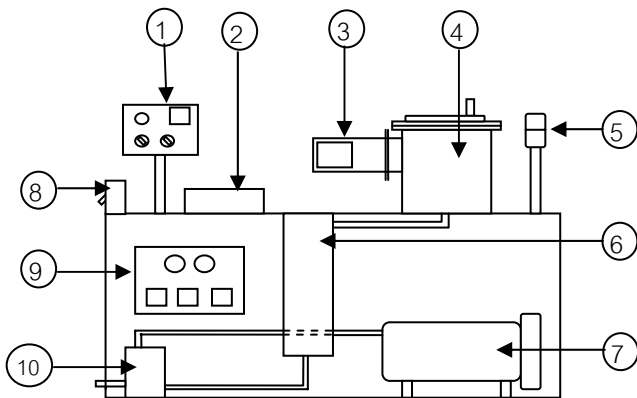
3 การทดลอง

ในงานศึกษาวิจัยฉบับนี้ได้แบ่งวัสดุออกเป็น 2 ชนิดคือ วัสดุที่มีความอืดตัวของน้ำสูง มีขนาดของเนื้อหนาโดยใช้แครอทเป็นชิ้น

ทดสอบ และชนิดที่สองใช้วัสดุที่มีขนาดของเนื้อบางมีลักษณะเป็นใบไม้ ซึ่งใช้ใบกระเพราเป็นชั้นทดสอบ ในการทดลองใช้อุปกรณ์และวิธีการทดสอบดังนี้

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

เครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ มีลักษณะดัง รูปที่ 3.1 ถังอบรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 240 มิลลิเมตร สูง 500 มิลลิเมตร ④ บั๊มสุญญากาศ ⑦ ทำหน้าที่สร้างสุญญากาศภายในระบบ (-95 kPa) และใช้แมกนีตรอน ③ ขนาด 800 วัตต์ ทำหน้าที่สั่นคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล (Type K) วัดอุณหภูมิภายใน เนื่องจากอุปกรณ์ในการทดสอบนี้เป็นระบบอบแห้งที่เป็นต้นแบบ จึงยังไม่สามารถปรับกำลังแมกนีตรอน และความดันในระบบได้ กำหนดกำลังแมกนีตรอนไว้ที่ 800 วัตต์ และความดันภายในระบบ -95 kPa ตลอดการทดลอง



รูปที่ 3.1 ระบบอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ
จากรูปที่ 3.1 ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- | | |
|--------------------------|-------------------|
| 1 ตู้ควบคุม | 6 ถังควมแน่น |
| 2 หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ | 7 บั๊มสุญญากาศ |
| 3 อุปกรณ์สร้างคลื่น | 8 อุปกรณ์ตัดไฟฟ้า |
| 4 ถังอบแห้ง | 9 แผงวงจรไฟฟ้า |
| 5 ไฟแสดงสถานะ | 10 ถังระบายน้ำ |

3.2 วัสดุทดลองและวิธีการทดลอง

การเตรียมแครอท ทำการหั่นแครอทเป็นชิ้นเล็กขนาด 2 มิลลิเมตร (ดังรูปที่3.2) แบ่งออกเป็น 500 กรัม, 1000 กรัม, และ 1500 กรัม ตามลำดับ อย่างละ 6 ชุด

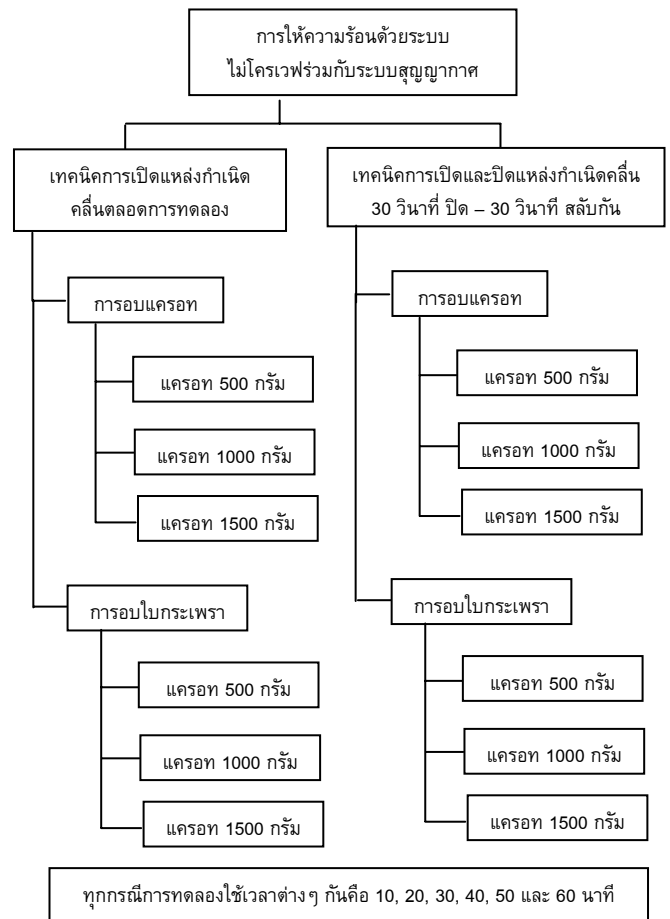
การเตรียมใบกระเพราทำการปัดใบออกจากก้านแบ่งออกเป็น 500 กรัม, 1000 กรัม, และ 1500 กรัม ตามลำดับ อย่างละ 6 ชุด



รูปที่ 3.2 แสดงวิธีการเตรียมแครอทเพื่อใช้ในการทดลอง

รวมบทความวิชาการ เล่มที่ 4 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอนคือ ตอนที่ 1 เป็นการทดลองให้ความร้อนกับแครอทและใบกระเพราโดยใช้เทคนิคการเปิดแหล่งกำเนิดคลื่นต่อเนื่องตลอดการทดลองที่เวลา 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ตามลำดับ ส่วนตอนที่ 2 เป็นการทดลองให้ความร้อนแก่แครอทและใบกระเพรา โดยใช้เทคนิคการเปิด-ปิดแหล่งกำเนิดคลื่นสลับกัน คือเปิด 30 วินาที และปิด 30 วินาที เวลาในการทดลองที่ 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ตามลำดับ ขั้นตอนการทดลองทั้งหมดแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการทดลอง

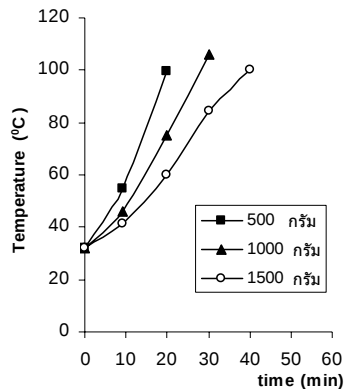
4 ผลการทดลอง

4.1 ผลกระทบของปริมาณแครอทและใบกระเพราในการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับระบบ

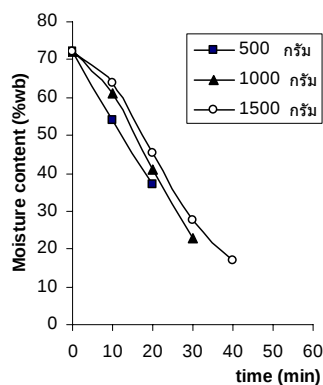
ตอนที่ 1 การให้ความร้อนกับแครอทและใบกระเพรด้วยคลื่นไมโครเวฟในระบบสุญญากาศ โดยใช้เทคนิคการเปิดแหล่งกำเนิดคลื่นตลอดการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า ที่ปริมาณแครอท 500 กรัมจะส่งผลให้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิต่อเวลาภายในวัสดุเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นของสเนามไฟฟ้า มีผลต่อขนาดของปริมาณแครอท และเมื่อเวลาในการทดลองเพิ่มมากขึ้น แครอทจะเกิดการเสียหาย (ไหม้) พิจารณาการฟรูปที่ 4.1 ซึ่งอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อทำการเพิ่มปริมาณแครอทเป็น 1000 กรัม และ 1500

กรัม ก็ยังคงมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่ใช้ระยะเวลาก่อนที่วัสดุจะเกิดความเสียหายเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงความชื้นที่ลดลงของแครอทในการอบแห้งพบว่า อัตราการลดลงของความชื้นเป็นไปอย่างรวดเร็ว และใช้เวลาสั้น แสดงดังรูปที่ 4.2

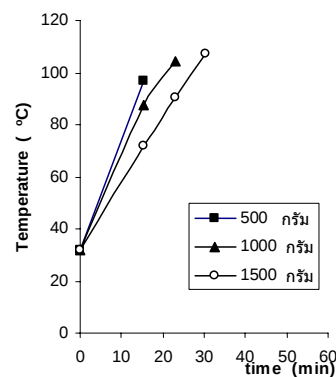


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา เมื่อพิจารณาที่มวลของแครอทที่ต่างกัน

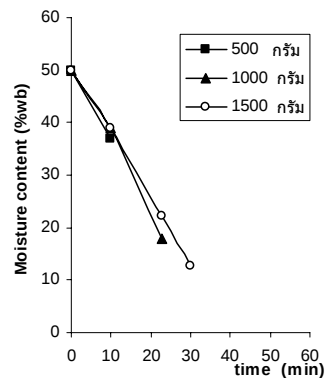


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา เมื่อพิจารณาที่มวลของแครอทที่ต่างกัน

สำหรับกรณีของใบกระเพราซึ่งมีความชื้นน้อยกว่าแครอท ในปริมาณน้ำหนักที่เท่ากัน ผลของการอบแห้งเป็นไปในลักษณะเดียวกัน แต่จะใช้เวลาในการอบที่น้อยกว่า พิจารณากราฟแสดงอุณหภูมิ และกราฟความชื้นเทียบกับเวลาดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



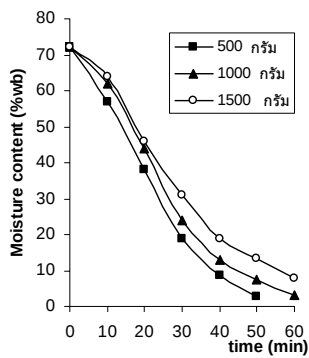
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา เมื่อพิจารณาที่มวลของใบกระเพราที่ต่างกัน



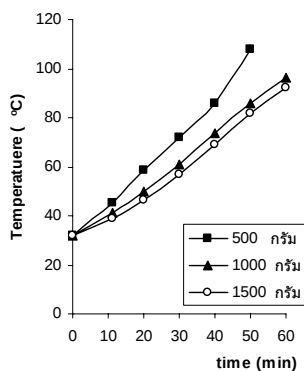
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา เมื่อพิจารณาที่มวลของใบกระเพราที่ต่างกัน

ตอนที่ 2 การให้ความร้อนกับแครอทและใบกระเพราด้วยคลื่นไมโครเวฟในระบบสุญญากาศ โดยใช้เทคนิคการเปิด-ปิดแหล่งกำเนิดคลื่นสลับกัน โดยทำการเปิด 30 วินาที และปิด 30 วินาที

ผลการทดลองการอบแห้งแครอทในกรณีทำการเปิด-ปิดแมกนีตรอน 30 วินาทีสลับกันตลอดการทดลอง พบว่าระยะเวลาในการอบแห้งจะใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น อัตราการลดลงของความชื้นเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และลดลงอย่างรวดเร็วในระยะเวลา 10-30 นาทีแรก ในช่วงเวลาก่อนสิ้นสุดการทดลอง อัตราการอบแห้งลดลงช้ากว่า ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ผลที่เกิดขึ้นเกิดจากการเสียหายน้อยลง เนื่องจากการเว้นระยะการให้ความร้อนกับแครอท โดยการเปิดและปิดแหล่งกำเนิดคลื่นสลับกันเป็นผลให้ความร้อนภายในแครอทลดต่ำลง ความชื้นถูกดึงออกอย่างช้าๆ ในขณะเดียวกันก็เป็นการรักษาปริมาณอุณหภูมิไม่ให้สูงจนเกินไป ซึ่งส่งผลดีต่อแครอทไม่ทำให้เกิดการความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากความร้อนสะสม ดังรูปที่ 4.6



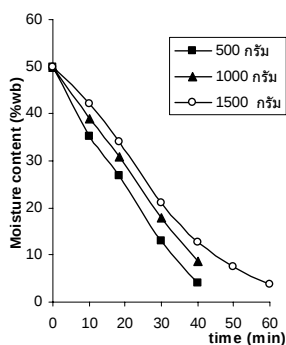
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา เมื่อพิจารณาที่มวลของแครอทที่ต่างกัน



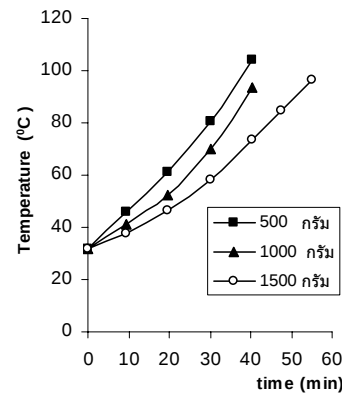
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา เมื่อพิจารณาที่มวลของแครอทที่ต่างกัน

ในส่วนของผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นน้อยกว่า เช่นใบกระเพรา จากการทดลองจะเห็นได้ว่าอัตราการลดลงของความชื้นเป็นไปด้วยความรวดเร็ว และระยะเวลาในการอบแห้งจะมากกว่าวิธีการแรก ดังแสดงในรูปที่ 4.7

รูปที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ ในส่วนของใบกระเพราที่น้ำหนัก 500 และ 1000 กรัม จะมีอัตราส่วนของอุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และอุณหภูมิสุดท้ายจะสูงกว่าอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนัก 1500 กรัม



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา เมื่อพิจารณาที่มวลของใบกระเพราที่ต่างกัน



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา เมื่อพิจารณาที่มวลของใบกระเพราที่ต่างกัน

4.2 คุณสมบัติของแครอทและใบกระเพรา

เวลาในการอบแห้ง ปริมาณวัสดุ และอุณหภูมิเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่มีผลกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีผลต่อการรักษาไว้ซึ่งสารอาหารและลักษณะที่ยังคงความสวยงาม ความร้อนจะทำลายคุณภาพวัสดุขณะอบ ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปริมาณ และเวลาที่ใช้ไป อุณหภูมิที่สูงจนเกินไป ปริมาณวัสดุที่น้อย และระยะเวลาที่นานเกินไปจะไปทำลายพื้นผิว สี สัน รสชาติ รวมไปถึงคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์

ในกรณีของการทดลอง ในตอนที่ 1 จะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบเปิดแหล่งกำเนิดคลื่นอย่างต่อเนื่อง วัสดุที่นำไปอบที่มีปริมาณน้อย เท่ากับว่ามีความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงกว่าวัสดุที่นำไปอบที่มีปริมาณมากกว่า ผลของผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจะมีการเสียหายและในขณะเดียวกันก็ยังคงมีความชื้นหลงเหลืออยู่ ซึ่งไม่สามารถอบไล่ความชื้นต่อไปได้ เนื่องจากเกิดความร้อนมากเกินไปจนทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการไหม้ขึ้นในที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งโดยไม่โครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ ที่การทดลองการเปิดแหล่งกำเนิดคลื่นต่อเนื่อง

ในขณะที่การทดลองในตอนที่ 2 การให้ความร้อนกับแครอทและใบกระเพราด้วยคลื่นไมโครเวฟในระบบสุญญากาศ โดยใช้เทคนิคการเปิด-ปิดแหล่งกำเนิดคลื่นสลับกัน โดยทำการเปิด 30 วินาที และปิด 30 วินาที ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคนี้ เป็นการรักษาความร้อนไม่ให้เกิดมากเกินไปจนไปทำลายในวัสดุที่นำไปอบ เมื่อประกอบกับการพิจารณาในกรณีของปริมาณวัสดุที่นำไปอบ เมื่อจำนวนแครอทหรือใบกระเพรามีจำนวนมาก ทำให้มีการกระจายการรับความร้อนที่น้อยลง (ในขณะที่กำลังไมโครเวฟเท่าเดิม) ลงผลให้อัตรา

การอบแห้งเกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป ผลที่ออกมาคือทำให้ผลิตภัณฑ์ออกมาได้คุณภาพดี ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งโดยไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ ที่การทดลองการเปิดและปิดแหล่งกำเนิดคลื่น 30 วินาทีสลับกัน

5 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองอบแห้งวัสดุชีวภาพด้วยไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ แก้วสุ 2 ชนิด ได้แก่ แครอท และใบกระเพรา โดยใช้เทคนิคการเปิดแหล่งกำเนิดคลื่นตลอดการทดลอง และเทคนิคการเปิด-ปิดแหล่งกำเนิดคลื่นสลับกัน โดยทำการเปิด 30 วินาที และปิด 30 วินาที พบว่า ปริมาณวัสดุที่นำมาทำการอบมีผลต่อปริมาณคลื่นไมโครเวฟ และระยะเวลาในการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) การให้ความร้อนอย่างต่อเนื่อง กับวัสดุที่มีปริมาณน้อยจะทำให้เกิดความเสียหายแก่วัสดุที่นำเข้าไปอบแห้ง และไม่สามารถไล่ความชื้นออกจากวัสดุได้หมด เนื่องจากเกิดการเสียหายก่อนการอบแห้งสิ้นสุดลง
- 2) ปริมาณของวัสดุที่มีความเหมาะสม สำหรับการนำเข้าไปอบในการวิจัยครั้งนี้คือ ที่ปริมาณ 1000 และ 1500 กรัม และใช้กับวิธีการให้ความร้อนแบบการเปิดและปิดแหล่งกำเนิดความร้อนสลับกัน 30 วินาทีตลอดการทดลอง
- 3) วัสดุทดลองที่มีปริมาณน้อยกว่าจะมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่อเวลาภายในวัสดุที่สูงกว่า เนื่องจากพลังงานป้อนเข้าระบบเท่าเดิมแต่ปริมาณความชื้นในวัสดุลดลง
- 4) คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าไปอบและวิธีการป้อนความร้อนจากแหล่งกำเนิด
- 5) กำลังวัตต์ไมโครเวฟเท่าเดิม (800 วัตต์) แต่ปริมาณของวัสดุที่นำเข้าไปอบน้อยลง อุณหภูมิต่อเวลาภายในวัสดุเพิ่มสูงขึ้นเป็นตามทฤษฎีที่พลังงานดูดซับจะแปรผันตามความเข้มสนามไฟฟ้า

6 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณบริษัทศรีพัฒนา จำกัด สำนักงานสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิตที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

7 เอกสารอ้างอิง

- [1] A.E.Drouzas, E.Tsami*, G.D. Saravacos Microwave VacuumDrying of model fruit gels Department of Chemical Engineering,Zografon Campus, National Technical University, 157 80 Athens, Greece
Received 5 may 1998 ; accepted 10 October 1998
- [2] H. Schubert, A.E. drouzas & Microwave Application in Vacuum Drying of Fruits Received 5 February 1995 Accepted 18 June 1995
- [3] Qing-gou Hu, Min Zhang, Arun S. Mujumdar, Gong-nian Xiao, Jin-cai Sun . Drying of edamames by hot air and vacuum microwave combination
Received 20 February 2005 accepted 2 August 2000
- [4] Takaharu Tsuruta and Tadahisa Hayashi . Internal Resistance to Water Mobility in Seafood during Warm Air Drying and Microwave-Vacuum Drying
- [5] Feng, H., Tang, J., Cavalieri, R.P. and Plumb, O.A. Heat and mass transport in microwave drying of porous materials in a spouted bed, AIChE Journal 47 (7), pp. 1499-1512, (2001)
- [6] Tse V. Chow Ting Chan and Howard C. Reader, "Understanding Microwave Heating Cavities," Artech house. Boston, London, (2000).
- [7] Helmar Schubert and Marc Regier , The Microwave Processing of Food, Woodhead Publishing Limited, U.K, (2005).
- [8] ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. 2546. การวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งในวัสดุพูน (I หลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในกระบวนการอบแห้งวัสดุพูน). วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(ภาษาไทย) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. ฉบับที่ 1 ม.ค. เม.ย 47 หน้า 1-11
- [9] ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. 2547. การวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งในวัสดุพูน (II การพาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพูน). ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ฉบับที่ 2 พ.ค 47 หน้า 1-14