



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและทดลองของกระบวนการถ่ายเทความร้อน
และมวลในวัสดุพรุนภายใต้พลังงานจากไมโครเวฟ

(Analysis of Heat and Mass Transfer Process in Porous Media during under
Microwave Energy)

โดย รองศาสตราจารย์ ดร. ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช

5 กรกฎาคม 2551

สัญญาเลขที่ BRG4980014

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและทดลองของกระบวนการถ่ายเทความร้อน
และมวลในวัสดุพอร์นภายใต้พลังงานจากไมโครเวฟ

โดย รองศาสตราจารย์ ดร. ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

**การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและทดลองของกระบวนการถ่ายเท
ความร้อนและมวลในวัสดุพรุนภายใต้พลังงานจากไมโครเวฟ**

(Analysis of Heat and Mass Transfer Process in Porous Media during under Microwave Energy)

บทคัดย่อ

กระบวนการทำความร้อนหรือกระบวนการอบแห้งวัสดุพรุนในท่อนำคลื่นโดยใช้ความร้อนจากพลังงานคลื่นไมโครเวฟเป็นสาขางานวิจัยที่เกิดขึ้นใหม่ ซึ่งยังมีการวิจัยกันในวงแคบๆ ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจถึงปรากฏการณ์ของการกระจายของกำลังงานที่ดูดซับซึ่งเกิดขึ้นไปพร้อมๆ กันกับการกระจายของอุณหภูมิและความชื้นของวัสดุพรุนในท่อนำคลื่น งานวิจัยนี้จะใช้วิธีผลต่างสืบเนื่องเชิงเวลา (Finite Difference Time Domain: FDTD) เพื่อแก้ระบบสมการแมกเวลล์ในระบบ 3 มิติที่เปลี่ยนไปตามเวลาเพื่อหาการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (โหมด TE₁₀) และพลังงานที่ดูดซับ สำหรับแบบจำลอง 2 มิติของกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลในวัสดุพรุนภายในท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม จะถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น และความดัน ขณะที่ได้รับพลังงานไมโครเวฟที่กำลังคลื่นและความถี่ของคลื่นที่แตกต่างกัน และขนาดของวัสดุที่แตกต่างกัน ผลที่ได้จากการทำนายจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้จะถูกนำมาตรวจสอบความถูกต้องกับผลที่ได้จากการทดลองจริง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่น่าเสนอนี้สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการคำนวณออกแบบและจำลองสภาวะการทำงานของเครื่องต้นแบบที่จะพัฒนาขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ ในงานวิจัยนี้ ยังขยายผลถึงงานวิจัยประยุกต์ โดยทำการทดลองการอบแห้งวัสดุไดอิเล็กตริก (Cement paste, Mortar และ Concrete) โดยใช้พลังงานคลื่นไมโครเวฟแบบสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง สิ่งที่สำคัญในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบแห้งภายใต้พลังงานคลื่นไมโครเวฟ ในที่นี้จะศึกษาวิเคราะห์ถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ที่สำคัญ เช่น เวลา ขนาดของวัสดุ และระดับของพลังงานคลื่นไมโครเวฟ (จำนวนของแมกนีตรอน (800 W/ 1 แมกนีตรอน) ที่มีผลต่อจลนศาสตร์ของการอบแห้งและคุณสมบัติทางกล

การศึกษานี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการนำไปประยุกต์ใช้ ในการอบแห้งวัสดุไดอิเล็กตริกด้วยระบบไมโครเวฟในระดับอุตสาหกรรม

คำสำคัญ : พลังงานความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ, ท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม, ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข, วัสดุไดอิเล็กตริก

Abstract

Microwave heating-drying of porous media using a wave guide is a relatively new area of research. In order to gain insight into the phenomena that occur within the wave guide together with the temperature/moisture distributions in the porous media, a detailed knowledge of absorbed power distribution is necessary. In the present paper, a three dimensional Finite Difference Time Domain (FDTD) scheme is used to determine electromagnetic fields (TE₁₀-mode) and absorbed power by solving the transient Maxwell's equations. Two-dimensional heat/mass transport within the porous media located in rectangular wave guide is also considered to evaluate the variations of temperature pressure and moisture with heating time at different frequencies and sample sizes. A predicted result from mathematical model is then validated against experimental results and subsequently used as a tool for efficient computational prototyping. Furthermore, the drying of dielectric materials (cement paste, mortar and concrete) by a continuous microwave belt drier was also investigated experimentally. Most importantly, it focuses on the investigation of drying phenomena under microwave environment. In this analysis, the effect of the irradiation time, sample sizes, and microwave power level (number of magnetrons (800W/1 magnetron)) on overall drying kinetics and mechanical properties were studied.

This study is of great importance from the practical point of view because it shows the possibility of application of microwave drying of dielectric materials on an industrial scale.

Keywords: Microwave Heating, Rectangular Wave Guide, Numerical, Dielectric Materials

Executive Summary

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในอดีตที่ผ่านมาการวิจัยในการศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพรุน (porous media) หรือวัสดุชีวภาพ (biomaterials) ในระดับนานาชาติยังจำกัดอยู่กับวิธีให้ความร้อนโดยวิธีดั้งเดิมธรรมดา (conventional methods) อาทิเช่น การอบแห้งโดยพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง การอบแห้งโดยใช้ลมร้อน และการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำ เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยในลักษณะดังกล่าวนี้ได้มีการทำกันทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ เนื่องจากการให้พลังงานความร้อนแบบดั้งเดิมโดยวิธีธรรมดานั้น ใช้เวลานาน ความร้อนที่ป้อนให้จะสัมผัสเฉพาะผิวหน้าวัสดุที่นำมาอบแห้ง ทำให้การกระจายความร้อนเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอทำให้ความแห้งเป็นไปไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะตำแหน่งที่วัสดุสัมผัสความร้อนโดยตรงเป็นเวลานาน อาจเกิดการเสียหายได้ ด้วยเหตุนี้ ทำให้การควบคุมคุณภาพทำได้ลำบาก จึงมักมีปัญหาในเรื่องของการส่งออก ปัจจุบันมีกระบวนการอบแห้งใหม่หลายวิธีที่สามารถเพิ่มคุณภาพและมูลค่าเพิ่มของผลิตภัณฑ์ กระบวนการอบแห้งโดยใช้พลังงานคลื่นไมโครเวฟเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูง และเหมาะสมที่นำมาประยุกต์ใช้เกี่ยวกับกระบวนการอบแห้ง ในวัสดุชีวภาพผลิตภัณฑ์เกษตรกรรมของเกษตรกรในประเทศไทย ในฐานะเป็นแหล่งที่มีผลผลิตด้านเกษตรรายใหญ่ของโลก

พบว่าการวิจัยเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพรุนหรือวัสดุชีวภาพโดยใช้พลังงานคลื่นไมโครเวฟ ยังมีการวิจัยกันน้อย โดยเฉพาะในภาคทฤษฎีในโครงสร้างระดับจุลภาค (microscopic level) ด้วยเหตุผลของความซับซ้อนในปรากฏการณ์ อาทิเช่น โครงสร้างของวัสดุพรุนหรือวัสดุชีวภาพที่มีลักษณะเป็นเซลล์ลูลาร์ การเปลี่ยนแปลงสถานะของสารหลายชนิด คุณสมบัติด้านความร้อนประสิทธิภาพ (effective thermal property) คุณสมบัติด้านพลศาสตร์ (hydrodynamic property) และคุณลักษณะการเคลื่อนย้ายมวลสาร (ของเหลวและก๊าซ) ในวัสดุพรุน (วัสดุชีวภาพถือว่าเป็นวัสดุพรุนชนิด hygroscopic ชนิดหนึ่ง) รวมถึงปัญหาของการเคลื่อนตัวของขอบเขต (moving boundary problem) ซึ่งที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาอย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ศาสตร์ดังกล่าวนี้ต้องอาศัยองค์ความรู้ในหลายสาขาเข้าด้วยกัน กล่าวคือ ความรู้ทางด้านการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร, กลศาสตร์ของไหลในระบบที่มีความซับซ้อน และวัสดุศาสตร์ รวมจนถึงระเบียบวิธีเชิงคำนวณทางตัวเลขขั้นสูง เพื่อหาคำตอบของปัญหาที่มีความเป็นไม่เชิงเส้นสูง (strongly non-linear problem) และการประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีความแม่นยำและมีสมรรถนะสูง

ด้วยเหตุดังกล่าวนี้ทำให้การวิจัยในสาขาดังกล่าวข้างต้นนี้ยังไม่แพร่หลายในระดับนานาชาติและประเทศไทย ตัวอย่างกลุ่มนักวิจัยในต่างประเทศที่ทำการวิจัยในสาขานี้เช่น Ian W. Turner and Patric Perre แห่ง Queensland University of Technology จากประเทศออสเตรเลียและฝรั่งเศส โดยเน้นวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งวัสดุพรุน K. Aoki and M. Akahori แห่ง Nagaoka University of

Technology จากประเทศญี่ปุ่น (กลุ่มนักวิจัยกลุ่มเดียวกันกับผู้วิจัย) โดยเน้นวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งวัสดุพูน และกระบวนการทำละลายในวัสดุพูนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟและวิธีธรรมดา นอกจากนี้ยังมีกลุ่มนักวิจัยในประเทศสหรัฐอเมริกา เช่น H. Ni and A.K Datta แห่ง Cornell University โดยเน้นวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งวัสดุชีวภาพ (Biomaterials)

ในงานวิจัย ครั้งนี้จะเน้นศึกษาทั้งในรูปแบบการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและทดลองของกลไกการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในกระบวนการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับวัสดุชีวภาพในระบบทดสอบที่ได้ออกแบบขึ้นจากผู้วิจัยเอง อาทิ ระบบท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม ระบบสะพานเต็ดแบบร่วมกับไมโครเวฟ และระบบไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงโดยวัสดุตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะเน้นจำพวกวัสดุชีวภาพเช่น ไม้ (softwood) เช่น ไม้ยางพาราเป็นต้น และผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่เป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศ

ในส่วนของการทดลองจะกระทำในหน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (Research Center of Microwave Utilization in Engineering(R.C.M.E)) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) ซึ่งมีระบบทดลองและอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่สมบูรณ์และทันสมัยที่สุดแห่งหนึ่งในอาเซียน ในส่วนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และ Numerical Schemes (และ computer code) รูปแบบใหม่ที่จะพัฒนาขึ้นจากการโครงการวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์อย่างสูงในการทำนายปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพูนหรือวัสดุชีวภาพในลักษณะต่างๆ ทำให้สามารถนำไปใช้ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์จากภาคการผลิต และช่วยในการออกแบบสร้างอุปกรณ์ในทางปฏิบัติ

งานวิจัยชิ้นนี้ถือว่าเป็นต้นแบบของรายงานวิจัยในระดับนานาชาติ ทางด้านกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพูนโดยใช้พลังงานคลื่นไมโครเวฟที่มีความสมบูรณ์ทั้งการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและการทดลอง และผลงานวิจัยที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ยังต่อยอดเป็นผลงานสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถใช้งานในเชิงพาณิชย์และสามารถจดสิทธิบัตรได้ได้ในคราวเดียวกัน

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

ในเชิงวิชาการ

สามารถทำความเข้าใจในปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนและมวลในวัสดุพูนขณะมีการเปลี่ยนแปลงสถานะภายใต้พลังงานไมโครเวฟในระดับจุลภาค ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญในงานทางวิศวกรรม และสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานในทางปฏิบัติหลายสาขา อาทิเช่น การวิเคราะห์เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในกระบวนการถนอมอาหาร การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและมวลสารใน Packed Bed ในงานวิศวกรรมเคมี รวมถึงเทคโนโลยีการเก็บรักษาเนื้อเยื่อ

ในงานด้านการแพทย์ องค์ความรู้ที่ได้โดยเฉพาะในภาคทฤษฎี รวมถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชั้นสูง กับโปรแกรมคำนวณที่ประดิษฐ์ขึ้นในโครงการวิจัยครั้งนี้จะเป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยที่ครบวงจรในศาสตร์ด้านการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพอร์นที่มีการเปลี่ยนสถานะ ที่ผู้วิจัยมุ่งหวังให้เกิดขึ้นภายในประเทศไทย ตัวอย่างหัวข้อวิจัยที่ผู้วิจัยที่สำเร็จแล้วและกำลังดำเนินการอยู่ ทั้งที่อยู่ภายใต้ทุนสนับสนุนจากองค์กรภายนอก และงานวิจัยอิสระ เช่น จลนศาสตร์ของกระบวนการอบแห้งในวัสดุที่มีหลายชั้น (Drying of multi-layered sample), กระบวนการเย็นเยือก (freezing) (ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สกว. ศาสตราจารย์ ดร. สมชาย วงศ์วิเศษ), กระบวนการทำละลาย (ทุนเมธีวิจัย สกว.) กระบวนการอบแห้งด้วยพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ (combined microwave and vacuum drying) รวมถึงปัญหาการไหลที่มีหลายสถานะ (multi-phase flow problem) และหัวข้ออื่นๆ ปัจจุบันผู้วิจัยได้สร้างห้องปฏิบัติการที่ทันสมัยภายใต้ทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์และองค์กร JICA จากประเทศญี่ปุ่น ซึ่งโครงการวิจัยนี้ จะเป็นประโยชน์อย่างสูงโปรแกรมการพัฒนาการเรียนการสอน ทั้งในระดับปริญญาตรี โท และเอกต่อไปในอนาคต รวมถึงการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ภาคอุตสาหกรรม

ในเชิงนโยบาย

- สร้างองค์ความรู้ใหม่ที่เป็นพื้นฐานต่อการพัฒนาประเทศ และเพื่อขยายผลงานวิจัยของกลุ่มนักวิจัยไทยให้ครอบคลุมถึงสาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาประเทศและเพื่อเสริมสร้างสมรรถนะขีดความสามารถในการแข่งขัน และสร้างเทคโนโลยีเป็นของตนเองในอนาคต
- ยกระดับงานวิจัยไทยทางด้านเทคโนโลยีวัสดุพอร์น (Porous media) ให้เข้าสู่มาตรฐานสากล ผลงานงานวิจัยที่ได้ทำขึ้นจะนำไปลงตีพิมพ์ในวารสารการวิจัยในระดับนานาชาติที่มี Impact Factor สูง อาทิ เช่น ASME J. Heat Transfer, AIAA J., AIChE. J., Chemical Engineering Science, Int. Journal of Heat and Mass Transfer และ Int. J. Numerical Method for Engineer เป็นต้น ซึ่งเป็นการเผยแพร่ ชื่อเสียงให้ประเทศในระดับนานาชาติ และยกระดับมาตรฐานงานวิจัยของประเทศให้เข้าสู่ระดับสากล นอกจากนี้ผลงานวิจัยที่ต่อยอด (สิ่งประดิษฐ์เครื่องต้นแบบ) ที่สามารถนำไปจดสิทธิบัตรได้
- สร้างเสริมความร่วมมือและความสัมพันธ์กับองค์กรวิจัยที่มีคุณภาพสูงในต่างประเทศ ซึ่งจะ เป็นประโยชน์อย่างสูงในการแลกเปลี่ยนข้อมูลการวิจัย และเครื่องมือวิจัยและการเชื่อม ความสัมพันธ์ระหว่างประเทศไทยกับประเทศนั้นๆ ในโครงการอื่นๆ
- เสริมสร้างสมรรถนะการแข่งขันของประเทศในเชิงเทคโนโลยี โดยผู้วิจัยมีเป้าหมายที่จะทำ การวิจัยเชิงลึกที่ครอบคลุมในด้านต่างๆดังต่อไปนี้ (หัวข้องานวิจัยครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของ เป้าหมาย)

เทคโนโลยีเป้าหมาย:

- เทคโนโลยีอาหารและวิศวกรรมเคมี ; กระบวนการถนอมอาหารแบบพิเศษและ
- เทคโนโลยีกระบวนการอบแห้งขั้นสูงสำหรับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร

- เทคโนโลยีกระบวนการอบแห้งสำหรับไม้เศรษฐกิจชนิดต่างๆ เช่น ไม้ยางเป็นต้น และกระบวนการ vulcanization แผ่นยางพารา
- กระบวนการ Sintering ในงานวัสดุ
- เทคโนโลยีพลังงาน ; Energy storage , ฉนวนความร้อน,
- วัสดุที่ใช้ประกอบเป็นโครงสร้างอาคาร เช่น ฉนวน ผนังอาคาร และวัสดุคอนกรีต เป็นต้น
- วิศวกรรมปฐพี ; การซึมของน้ำในชั้นดินและหิน
- วิศวกรรมเนื้อเยื่อในด้านการแพทย์
- เทคโนโลยีเมมเบรน

กลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมาย:

- อุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร
- อุตสาหกรรมอบแห้งในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร
- อุตสาหกรรมการแปรรูปไม้

3. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงลึกและเป็นพื้นฐาน (basic research) โดยเน้นศึกษาทั้งเชิงทฤษฎีโดยอาศัยระเบียบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขขั้นสูง และการทดลอง โดยเริ่มต้นจากการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่สามารถครอบคลุมและอธิบายปรากฏการณ์ในปัญหาการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพูนหรือวัสดุชีวภาพโดยใช้พลังงานคลื่นไมโครเวฟ และยืนยันความถูกต้องโดยตรวจสอบจากผลจากการทดลองจริง งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาอิทธิพลของกำลังไมโครเวฟร้อนที่ป้อน ความถี่ไมโครเวฟ ขนาดของชิ้นงานทดสอบ ดัชนีความอิ่มตัวเริ่มต้น (initial saturation) ขนาดของช่องว่าง (pore size) ที่มีผลต่ออัตราการดูดกลืนความร้อน และการถ่ายเทมวล และการเปลี่ยนแปลงสถานะ

ความรู้ที่ได้ก่อให้เกิดความเข้าใจถึงองค์ความรู้พื้นฐานในกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพูนที่มีการเปลี่ยนเฟส ในส่วนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นจากการวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์อย่างสูงในการทำนายปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุ

พจนที่ รวมถึงปัญหาที่มีลักษณะการเปลี่ยนเฟสในกระบวนการอื่นๆด้วย ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่าย
ในการออกแบบสร้างอุปกรณ์ทดลองจริงในทางปฏิบัติ

นอกจากนี้ความรู้และความเข้าใจจากการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำไปใช้ประยุกต์ออกแบบและ
สร้างอุปกรณ์เชิงความร้อนที่ใช้ไมโครเวฟเป็นแหล่งพลังงานในทางปฏิบัติได้อย่างครบวงจร และ
สามารถจดสิทธิบัตรได้

เนื้อหา

ที่ผ่านมารายงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีไมโครเวฟสำหรับกระบวนการทางความร้อนยังมีน้อยมาก อันเนื่องมาจากข้อจำกัดทางด้านองค์ความรู้พื้นฐานสำหรับการพัฒนาวิจัย กล่าวคือ เทคโนโลยีไมโครเวฟสำหรับกระบวนการทางความร้อน ต้องอาศัยความรู้พื้นฐานหลายอย่างประกอบกัน เช่น ความรู้พื้นฐานทางด้านแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro Magnetic Theory) ความรู้พื้นฐานทางความร้อน (Thermal Science) ความรู้พื้นฐานทางด้านวัสดุศาสตร์ (Material Science) ความรู้พื้นฐานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้ากำลัง (Electronic and Electric Power Science) รวมจนถึงความรู้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์ขั้นสูง (Advanced Mathematics) รวมกับเทคโนโลยีการคำนวณตัวเลข (Numerical Techniques) และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer Programming) จะเห็นได้ว่าการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีไมโครเวฟจะต้องอาศัยองค์ความรู้ในลักษณะเชิงสหวิทยาการ (Multi-Disciplinary Knowledge) ซึ่งจะนำสู่ความสำเร็จในการสร้างเทคโนโลยีดังกล่าว

ในงานวิจัย ครั้งนี้จะเน้นศึกษาทั้งในรูปแบบการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและทดลองของกลไกการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในกระบวนการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับวัสดุชีวภาพในระบบทดสอบที่ได้ออกแบบขึ้นจากผู้วิจัยเอง อาทิ ระบบไมโครเวฟชนิดติดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยมระบบสะเปาเตี๊ยะแบบตรงกับไมโครเวฟ และระบบไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงโดยวัสดุตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะเน้นจำพวกวัสดุชีวภาพเช่น ไม้ (softwood) เช่น ไม้ยางพาราเป็นต้น และผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่เป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศ

ทั้งนี้ในการนำเสนอในแต่ละหัวข้อวิจัยจะเริ่มต้นจากแนวคิดเริ่มต้นของการทำวิจัยจนจบกระบวนการวิจัยเพื่อให้ผู้อ่านสามารถติดตามได้ง่ายและสามารถทำความเข้าใจได้ด้วยตนเองจนครบวงจร ในเนื้อหางานวิจัยส่วนแรก จะนำเสนอเกี่ยวกับกระบวนการทำความร้อนในวัสดุที่ไม่เปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร ทั้งกรณีที่วัสดุเป็นของแข็งและของเหลว โดยจะทำการศึกษาทั้งในภาคทฤษฎีและการทดลองจริงในห้องปฏิบัติการ สำหรับสมการควบคุมหลักในกระบวนการ ก็คือสมการแมกซ์เวลล์ และสมการพลังงานที่รวมผลของทอแมกการผลิตความร้อนภายในด้วยไมโครเวฟ และสำหรับกรณีที่วัสดุคืออิเล็กทริกที่เป็นของเหลวจะต้องเพิ่มสมการ โมเมนตัมที่สามารถอธิบายพฤติกรรมการไหลของของไหลเข้าไปด้วย

เนื้อหาในส่วนที่สอง จะนำเสนอเกี่ยวกับ กระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลภายในวัสดุพรุน (Porous Media) ที่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร โดยพิจารณาแบบที่ศึกษาที่เป็นทั้งระนาบ 1 มิติและ 2 มิติ โดยมีสมการควบคุมหลักคือ สมการส่งถ่ายมวล สมการดาร์ซี (Darcy's Equations) สมการพลังงานที่รวมผลของทอแมกการผลิตความร้อนภายในด้วยไมโครเวฟ และสมการแมกซ์เวลล์ ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลขที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพ

สูงในการจำลองและทำนายผลได้อย่างแม่นยำสำหรับปัญหาที่ศึกษา เช่นกัน ในบทที่กล่าวนี้ก็มี การศึกษาทั้งในภาคทฤษฎีและการทดลองในห้องปฏิบัติการจริง

เนื้อหาในส่วนที่สาม จะนำเสนอกระบวนการทำลายในแพลตฟอร์มน้ำแข็ง งานวิจัยใน หัวข้อนี้จะคาบเกี่ยวกับปัญหาที่มีการเคลื่อนตัวของขอบเขต (Moving Boundary) ซึ่งจะต้องเกี่ยวข้องกับ คณิตศาสตร์ชั้นสูงและเทคนิคการคำนวณเชิงตัวเลขรูปแบบใหม่ที่ถูกเขียนได้พัฒนาขึ้น โดยมีสมการ ควบคุมหลักคือ สมการพลังงาน และสมการสเตฟาน (Stefan Equation) สำหรับอธิบายการเคลื่อนตัว ของขอบเขตและสมการแมกซ์เวล ผลการคำนวณที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง

เนื้อหาในส่วนที่สาม ได้นำเสนอกระบวนการบ่มซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) ด้วยไมโครเวฟ ร่วมกับระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง โดยมองทั้งผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นของ ซีเมนต์เพสต์ และศึกษาถึงคุณสมบัติเชิงกลของซีเมนต์เพสต์ ขณะได้รับระดับพลังงานไมโครเวฟที่ แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบวัสดุที่ได้จากการบ่มด้วยไมโครเวฟกับการบ่มด้วยวิธี ปกติทั่วไป เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบในเชิงอุตสาหกรรม ต่อไป ในบทสุดท้ายของรายงานวิจัยเล่มนี้ได้นำเสนอแนวทางการทำวิจัยในอนาคตในศาสตร์แขนงนี้

ผลลัพธ์งานวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ถือว่าเป็นต้นแบบของรายงานวิจัยในระดับนานาชาติ ทางด้านกระบวนการการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพูนโดยใช้พลังงานคลื่นไมโครเวฟที่มีความสมบูรณ์ทั้งการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและการทดลอง และผลงานวิจัยที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ยังต่อยอดเป็นผลงานสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถใช้งานในเชิงพาณิชย์และสามารถจดสิทธิบัตรได้ได้ในคราวเดียวกัน และสามารถตีพิมพ์ในวารสารวิจัยนานาชาติชั้นนำที่มีค่า Impact factor สูงรวม 10 รายการ และได้รับสิทธิบัตร 1 รายการ กล่าวคือ

1. **Rattanadecho, P** , Suwannapum, S., Watanasungsuit, A. and Duangduen, A., “Drying of Dielectric Materials Using Microwave-Continuous Belt Furnace.”, *ASME J. Manufacturing Sciences and Engineering*, Volume 129 (1), pp. 157-163, Feb, 2007. **Impact factor 0.532**
2. **Rattanadecho, P** and Wongwiset, S., “Simulation of Freezing Process Using a Combined Transfinite Interpolation and PDE Methods” *ASME J. Heat Transfer*, Vol. 130, pp. 012601-10, 2008, **Impact factor 0.776**
3. **Rattanadecho, P.**, “Interactions between Electromagnetic and Thermal Fields in Microwave Heating of Hardened Type I- Cement Paste using a Rectangular Wave Guide (Influence of Frequency and Sample Size)” *ASME J. Heat Transfer*, 2008 (Accepted): **Impact factor 0.776**
4. **Rattanadecho, P.**, “The Theoretical and Experimental Investigation of Microwave Thawing of Frozen Layer Using Microwave Oven (Effects of Layered Configurations and Layered Thickness).” *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 47, pp. 937-945, 2004: **Impact factor 1.347**
5. **Rattanadecho, P**, “The Simulation of Microwave Heating of Wood using a Rectangular Wave Guide (Influence of Frequency and Sample Size)” *Chemical Engineering Science*, Vol.61, issue 14, pages 4571 -4581, 2006, : **Impact factor 1.735**
6. **Rattanadecho, P** , Duangduen, A., Vongpradubchai, S. “Drying of a Slip Casting for Tableware Product Using Microwave- Continuous Belt Furnace.”, *Drying Technology An International J.*, Vol. 26, pp. 1-6, 2006 : **Impact factor 1.029**
7. **Rattanadecho, P.**, Suwannapum, N. Chatveera, B., Atong, D. and Makul, N., “Development of Compressive Strength of Cement Paste under Accelerated Curing by Using A Continuous Microwave Belt Drier”, *Material Science and Engineering A*, 2008, Vol. 472, pp. 299-307: **Impact factor 1.4**

8. **Rattanadecho, P** and Sertikul, S. “Simulation of Melting Process Using a Combined Transfinite Interpolation and PDE Methods” **J. Porous Media**, Vol.10(7), pp. 657-676, 2007, : **Impact factor 1.2**

9. Pakdee, W. and **Rattanadecho, P**, “Analysis of Natural Convective Heat Transfer through Porous Media in Cavity due to Top Surface Convection” **Applied Thermal Engineering**, Volume 26, Issues 17-18, December 2006, Pages 2316-2326:
Impact factor 0.777

10. **Rattanadecho, P.**, Pakdee, W. and Stakulcharoen, J. "Analysis of multiphase flow and heat transfer: Pressure buildup in an unsaturated porous slab exposed to hot gas " , **Drying Technology An International J.**, Vol. 26, pp. 39-53, 2008 2007 : **Impact factor 1.029**

11. [Doo-ngam, N.](#), [Rattanadecho, P.](#), [Klinklai, W.](#), “Microwave pre-heating of natural rubber using a rectangular wave guide (MODE: TE10)”, **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 29 (6), pp. 1599-1608, 2007

12. สิทธิบัตรเลขที่ 22549

(รายละเอียดของเนื้อหาอยู่ในบทความวิจัยฉบับเต็มในเอกสารแนบ)

นอกจากเนื้อหาที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว งานวิจัยโครงการนี้ยังนำมาสู่การขยายผลเชิงอุตสาหกรรมจริง กล่าวคือสามารถผลิตนวัตกรรมเครื่องต้นแบบที่สามารถจดสิทธิบัตรได้และนำไปใช้งานเชิงพาณิชย์ได้จริง อีกทั้งยังได้รับรางวัลระดับชาติและนานาชาติหลายรายการ

2008

- รางวัล Best Inventor Award (Portable Microwave Leakage Detector) ในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประจำปี 2551 สภาวิจัยแห่งชาติ
- รางวัลผลงานสิ่งประดิษฐ์คิดค้นประจำปี 2551 (Portable Microwave Leakage Detector) สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพและคณิตศาสตร์สภาวิจัยแห่งชาติ

2007

- รางวัลผลงานสิ่งประดิษฐ์คิดค้นประจำปี 2550 (A Combined Multi-Feed Microwave Heater and Continuous Belt System) สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย สภาวิจัยแห่งชาติ

2006

- รางวัลผลงานวิจัยประจำปี 2549 (Research and Development of Microwave Technology in Industries) สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม จากสภาวิจัย แห่งชาติ

- รางวัลผลงานสิ่งประดิษฐ์โลก (SIIF 2006) (A Combined Multi-Feed Microwave Heater and Continuous Belt System) รางวัลเหรียญเงิน ณ กรุงโซล สาธารณรัฐเกาหลี