

บทนำ (Introduction)

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ยางธรรมชาติจัดเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากยางธรรมชาติเป็นแนวทางใหม่ที่นักวิจัยพยายามคิดค้นกันในปัจจุบันเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติ เช่น การผลิตยางเสริมแรง หรือหาวิธีการวัลคาไนซ์ยางให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและใช้ระยะเวลาเร็วขึ้น สมบัติของยางธรรมชาติที่พิเศษแตกต่างจากวัสดุอื่น ๆ เช่น มีความยืดหยุ่นดี ให้สมบัติเชิงกลสูง สมบัติการคืนตัวและการกระดอนสูงกว่ายางสังเคราะห์อื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีเนื้อที่บ สามารถกักน้ำและอากาศไม่ให้ออกได้โดยง่าย ทั้งยังเป็นฉนวนไฟฟ้าอีกด้วย กระบวนการที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติมีอยู่ 3 กระบวนการใหญ่ ๆ คือ กระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression molding) กระบวนการอัดรีด (Extrusion) และกระบวนการรีดแผ่น (Calendering) ด้วยเหตุนี้ ทำให้การควบคุมคุณภาพทำได้ยากลำบาก จึงมักมีปัญหาในเรื่องของการส่งออก

ยางธรรมชาติมีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างยิ่ง โดยสามารถพบอยู่ในรูปของยางรถยนต์ ยางพื้นรองเท้า ยางรัดของ ถุงมือยาง ท่อยาง หรือแม้แต่ในรูปของเครื่องมือทางการแพทย์ เป็นต้น นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังมีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศเพราะในปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติ (Natural Rubber) ได้มากเป็นอันดับหนึ่งของโลก จากข้อมูลสถิติยางธรรมชาติของสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร [1-1] พบว่าส่วนใหญ่จะผลิตเป็นยางแท่ง , ยางแผ่นรมควัน ส่งขายต่างประเทศ โดยในปี พ.ศ. 2545 ไทยมีปริมาณการผลิตประมาณ 2.62 ล้านตันและมีการส่งออกในรูปของยางดิบประมาณ 2.35 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออก 74,604 ล้านบาท จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการนำยางธรรมชาติไปแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าเพียงแค่ประมาณร้อยละ 10 เท่านั้น แต่ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากยางดิบสามารถทำรายได้ให้ประเทศจากการส่งออกสูงถึง 54,1721 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 72.6 ของการส่งออกยางดิบและน้ำยางปริมาณ 2.35 ล้านตัน ดังนั้น จึงเป็นที่ชัดเจนว่าอุตสาหกรรมการแปรรูปยางดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์นั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ปัญหา

หลักของอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เกิดจากการขาดแคลนบุคลากรที่มีความรู้พื้นฐานทางด้านเทคโนโลยียาง ทำให้ไม่มีการปรับปรุงกระบวนการผลิต รวมทั้งขาดการทำวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดในกลุ่มเป้าหมาย ยางธรรมชาติจัดเป็นวัสดุในกลุ่มพอลิเมอร์ มีสมบัติเด่นคือความยืดหยุ่น แต่มีจุดอ่อนเรื่องการเปลี่ยนแปลงลักษณะไปตามอุณหภูมิ ทำให้มีขีดจำกัดในการใช้งานจำเป็นต้องมีการผสมกับสารเคมีต่าง ๆ และนำยางคอมพาวด์ที่ผสมได้ไปผ่านกระบวนการคงรูป (vulcanization) เพื่อปรับสมบัติให้ได้ตามความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ กระบวนการวัลคาไนซ์จะทำให้ยางคอมพาวด์เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ (3D network) หรือที่เรียกว่าเกิด crosslink ทำให้ยางคงรูปมีความยืดหยุ่นดีและแข็งแรง มีสมบัติเชิงกลที่เสถียรและทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนและแสงแดดได้ดียิ่งขึ้น กระบวนการวัลคาไนซ์ต้องอาศัยสารเคมีกลุ่มที่ทำให้ยางคงรูป (vulcanizing or curing agents) และความร้อนเพื่อทำให้สารดังกล่าวสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ อย่างไรก็ตามวิธีการที่ใช้อยู่ทั่วไปส่วนใหญ่เป็นกระบวนการทำความร้อนโดยวิธีดั้งเดิม (conventional heating method) ซึ่งมีการป้อนความร้อนที่ผิวหน้าชิ้นงาน บางครั้งอาจเกิดปัญหากับชิ้นงานที่มีความหนามาก ๆ เนื่องจากชิ้นงานได้รับความร้อนไม่ทั่วถึงหรือไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้กระบวนการผลิตใช้เวลานาน อีกทั้งยังทำให้สมบัติเชิงโครงสร้างและสมบัติเชิงคุณภาพของยางเปลี่ยนไป จึงเป็นที่มาของการแสวงหาวิธีใหม่ในการขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นในวิธีดั้งเดิม การประยุกต์ใช้กระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟก็เป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการปรับปรุงคุณภาพยางธรรมชาติ เนื่องจากกระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟมีข้อได้เปรียบหลายประการ กล่าวคือ มีประสิทธิภาพทางความร้อนและสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้สูงเนื่องมาจากการเป็นการให้ความร้อนเชิงปริมาตร ใช้ระยะเวลาในการทำความร้อนสั้น พลังงานที่ใช้เป็นพลังงานสะอาดไม่เฝ้าเผาไหม้เสีย เครื่องจักรมีขนาดเล็กและค่าการบำรุงรักษาต่ำ เนื่องจากมีองค์ประกอบน้อยชิ้น เป็นต้น

โดยในงานวิจัยฉบับนี้ จะศึกษาเกี่ยวกับการอุ่นยางธรรมชาติคอมพาวด์¹ ที่มีความหนามาก ๆ โดยใช้ไมโครเวฟ สาเหตุที่ต้องทำการอุ่น (Pre-heating) ยางธรรมชาติ เนื่องมาจาก

1. กระบวนการในการวัลคาไนซ์แบบดั้งเดิมใช้เวลานาน ทำให้การกระจายความร้อนเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ ส่งผลต่อสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ของยางธรรมชาติ

¹ เป็นยางธรรมชาติที่มีการเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไป เพื่อเตรียมนำไปเข้ากระบวนการคงรูปต่อไป

2. ความร้อนที่ป้อนให้แก่วัสดุนั้นจะสัมผัสเฉพาะที่ผิวหน้าวัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการเท่านั้น

3. ตำแหน่งที่วัสดุสัมผัสความร้อนโดยตรงอาจจะเกิดความเสียหายได้เพราะต้องใช้เวลา นานกว่าความร้อนจะเข้าถึงภายในเนื้อวัสดุอย่างทั่วถึง

จึงต้องทำการอุ่นอย่างธรรมชาติคอมพาวด์โดยใช้พลังงานไมโครเวฟ การอุ่นอย่าง ธรรมชาติคอมพาวด์ด้วยไมโครเวฟจะมีข้อได้เปรียบดังนี้

1. ใช้เวลาน้อย (High speed) ประหยัดเนื้อที่และแรงงาน ลดชิ้นงานที่เสียเนื่องจาก อุปกรณ์ทำงานส่วนใหญ่ไม่เคลื่อนที่ (stationary part)

2. การทะลุทะลวงของพลังงาน (Energy penetration) คลื่นไมโครเวฟจะทะลุทะลวง เข้าไปกำเนิดพลังงานความร้อนที่ชั้นภายในและความร้อนกระจายสม่ำเสมอทั้งก้อนในขณะที่วิธี กระบวนการทำความร้อนแบบอื่นจะให้ความร้อนจากทางผิวด้านนอกซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายที่ผิวด้านนอกอันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปอีกทั้งยังใช้เวลามากเนื่องจากมีข้อจำกัด ทางการนำความร้อน ดังนั้นกระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟจึงให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ ดีกว่า (อุณหภูมิเท่ากันทั้งชิ้นงาน)



ภาพที่ 1.1 การเกิดความร้อนของชิ้นงาน

3. ความสามารถในการเลือกรับวัสดุที่จะรับความร้อน (Selective energy absorption) วัสดุบางอย่างสามารถดูดซับพลังงานจากไมโครเวฟได้ทันทีแต่วัสดุบางอย่างไม่มี คุณสมบัติเหล่านี้ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบอีกอย่างหนึ่งของกระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ ตัวอย่างเช่น เราสามารถให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ในหีบห่อโดยไม่ทำลายหีบห่อนั้น

4. การควบคุมอย่างทันทีทันใดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ (Instantaneous electronic control) ในอุปกรณ์ให้ความร้อนแบบเก่า เช่น เตาอบ ต้องใช้เวลาในการปรับอุณหภูมิ ในขณะที่ ระบบไมโครเวฟสามารถปรับอุณหภูมิได้ด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้เวลา น้อยมาก (ภายในเศษเสี้ยววินาที)

5. มีประสิทธิภาพสูง (High efficiency) ในการให้ปริมาณความร้อนที่เท่ากันวิธีการทางไมโครเวฟใช้พลังงานน้อยกว่าวิธีแบบเก่ามาก (ประสิทธิภาพโดยรวมประมาณ 60% – 70% ในขณะที่วิธีแบบเก่ามีประสิทธิภาพโดยรวมประมาณ 10% – 30%)

6. ไม่ก่อมลภาวะ (Microwave processing is clean) กระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟเป็นกระบวนการที่สะอาด ไม่สร้างมลภาวะต่างจากกระบวนการทำความร้อนวิธีอื่นที่ต้องใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้

พลังงานไมโครเวฟ (Microwave energy) สามารถทะลุผ่านเนื้อวัสดุไดอิเล็กตริกได้ ซึ่งโดยทั่วไปเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับ (Absorber material) วัสดุประเภทนี้เมื่อคลื่นไมโครเวฟส่งผ่านจะมีความสามารถในการดูดซับพลังงานไว้บางส่วนแล้วแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งความลึกที่คลื่นสามารถส่งเข้าไปภายในเนื้อวัสดุเพื่อทำให้เกิดความร้อนจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการทะลุทะลวงของคลื่น (Penetration Depth) ที่มีต่อตัววัสดุ โดยวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าต่างกัน เมื่อคลื่นไมโครเวฟผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุไดอิเล็กตริกแล้วจะมีผลทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในเนื้อวัสดุอย่างรวดเร็วและสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของโครงสร้างของวัสดุได้ ปัญหาอย่างหนึ่งสำหรับกระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ (Microwave heating) ที่เป็นที่น่าสนใจในการทำวิจัยคือ Thermal runaway วัสดุต่าง ๆ ที่นำมาผ่านกระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟรวมไปถึงยางธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะมีสมบัติการเป็นฉนวนทางความร้อนหรือที่เรียกว่าสมบัติไดอิเล็กตริก (Dielectric properties) ซึ่งสมบัติไดอิเล็กตริกจะมีค่าแปรผันกับอุณหภูมิ ส่วนอุณหภูมิของวัสดุจะขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามไฟฟ้า (The electric field strength) ที่ตกกระทบไปตามวัสดุและค่า dielectric loss ของวัสดุ อุณหภูมิของวัสดุจะเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่า dielectric loss วัสดุที่มีค่า dielectric loss สูงกว่าจะสามารถเปลี่ยนพลังงานที่ดูดซับไว้ไปเป็นพลังงานความร้อนได้มากกว่าเป็นผลให้มีอุณหภูมิสูงกว่า ถ้าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้เนื้อวัสดุเกิดรอยแตกร้าว อาจทำให้เกิด Thermal runaway ขึ้นกับวัสดุ ซึ่งจะทำให้วัสดุเกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเกิดการไหม้

สสารโดยทั่วไปประกอบด้วยโมเลกุลซึ่งเกิดจากการเกาะตัวกันของอะตอมของธาตุต่าง ๆ โดยทั่วไปแล้วโมเลกุลของสสารต่าง ๆ จะเป็นโมเลกุลแบบมีขั้ว (Dipole) ดังนั้นเมื่อมีสนามไฟฟ้าตกกระทบวัสดุจึงทำให้โมเลกุลเหล่านี้เกิดการจัดเรียงตัวเพื่อให้ขั้วบวกของไดโพลอยู่ใกล้ขั้วลบของสนามไฟฟ้าและขั้วลบของไดโพลอยู่ใกล้ขั้วบวกของสนามไฟฟ้า แต่เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟที่ตกกระทบนั้นมีความถี่ 2,450 MHz ดังนั้นไดโพลจะกลับตัวไปมาในช่วงคลื่นไมโครเวฟเมื่อสนามไฟฟ้าสลับขั้วไปมา ทำให้ไดโพลชนกันและเสียดสีกันจึงเกิดความร้อนขึ้น ดังนั้นความ

ร้อนจะเกิดจากตัวโมเลกุลด้านในและค่อยส่งความร้อนออกมาด้านนอกนั่นเอง สำหรับวัสดุที่เป็นฉนวน เช่น ยาง วัสดุโพลีเมอร์ เป็นต้น ส่วนมากโมเลกุลจะเกาะตัวแบบสายโซ่โมเลกุลต่อเป็นสายยาว นอกจากนี้ กลไกการเกิดความร้อนในยางธรรมชาติคอมพาวด์ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่มีขั้ว (non-polar) ยังมีความแตกต่างจากกลไกการเกิดความร้อนในวัสดุไดอิเล็กตริกที่เป็นไดโพล (polar) สำหรับงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ถึงกระบวนการเกิดความร้อนของยางธรรมชาติคอมพาวด์ พบว่าโดยปกติสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติจะประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจนเกาะตัวกันเป็นสายโซ่โมเลกุลแบบไม่มีขั้ว แต่ภายในแต่ละอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจนก็ยังคงประกอบไปด้วยอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุเป็นลบและโปรตอนซึ่งมีประจุบวก ดังนั้นเมื่อมีคลื่นไมโครเวฟตกกระทบจึงส่งผลให้โมเลกุลของยางธรรมชาติเกิดการโพลาไรซ์² (Polarization) สายโซ่โมเลกุลของยางเกิดการบิดตัวไปมาทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างสายโซ่โมเลกุลต่าง ๆ เกิดความร้อนขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเติมสารเคมีเข้าไปในยางธรรมชาติคอมพาวด์ ซึ่งได้แก่ เขม่าดำ (caborn black) เพื่อเพิ่มความเป็นขั้วให้แก่ยางธรรมชาติคอมพาวด์

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาวิธีการอุ่นยางธรรมชาติคอมพาวด์ด้วยไมโครเวฟโดยใช้ระบบไมโครเวฟชนิดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (Mode: TE_{10}) มาช่วยก่อนเข้ากระบวนการวัลคาไนซ์ โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์เชิงทดลองซึ่งศึกษาสมบัติไดอิเล็กตริกของยางธรรมชาติคอมพาวด์สูตรต่าง ๆ ควบคู่ไปกับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไมโครเวฟที่ใช้ ส่วนประกอบของยางธรรมชาติคอมพาวด์ และความหนาของชิ้นงานยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่มีต่ออัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ ลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในยางธรรมชาติคอมพาวด์ ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติก่อนและหลังการอุ่นด้วยไมโครเวฟ หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์เชิงทฤษฎี โดยการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิและการดูดซับพลังงานไมโครเวฟภายในชิ้นงานยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่อุ่นด้วยไมโครเวฟแล้วทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง

² เป็นการทำให้ประจุโมเลกุลที่ไม่มีขั้วเป็นขั้ว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

1. เพื่อศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้กระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟในการอุ่นยางธรรมชาติคอมพาวด์ด้วยระบบไมโครเวฟชนิดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (Mode: TE_{10})
2. เพื่อให้ทราบและสามารถอธิบายพฤติกรรมพื้นฐานของยางธรรมชาติคอมพาวด์ ภายใต้กระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ รวมทั้งสมบัติทางความร้อน สมบัติไดอิเล็กตริก และโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติที่ผ่านการอุ่นด้วยระบบไมโครเวฟชนิดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (Mode: TE_{10})
3. เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งใช้ในการทำนายปรากฏการณ์ทางด้านการถ่ายเทความร้อนของยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่เกิดขึ้นภายใต้กระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟโดยใช้ระบบไมโครเวฟชนิดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (Mode: TE_{10})
4. สร้างกรอบความคิดเกี่ยวกับต้นแบบของตัวอย่างยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่ใช้กระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟสำหรับใช้เป็นมาตรฐานในห้องทดสอบ

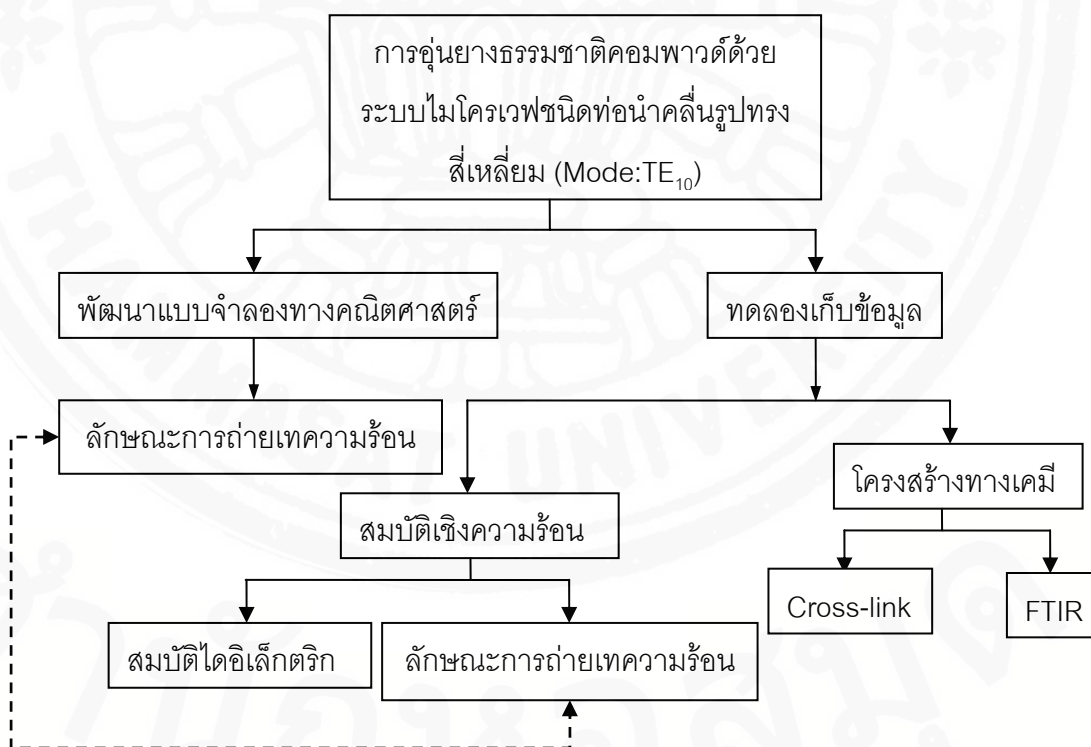
1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ศึกษาทั้งการทดลองและในเชิงทฤษฎีโดยอาศัยระเบียบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขขั้นสูง โดยเริ่มจากการศึกษาสมบัติไดอิเล็กตริกของยางธรรมชาติคอมพาวด์ (ที่เติมและไม่เติมเขม่าดำ) โดยการวัดด้วยเครื่องเน็ตเวิร์คแอนาไลเซอร์ (Network Analyzer) ศึกษาอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิจากการทดลองด้วยระบบไมโครเวฟชนิดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (TE_{10} mode) ภายใต้อิทธิพลของกำลังไมโครเวฟ ความหนาของชิ้นงาน และส่วนประกอบในยางธรรมชาติคอมพาวด์ ที่มีผลต่ออัตราการเพิ่มของอุณหภูมิของยางธรรมชาติคอมพาวด์ จากนั้นทำการศึกษาโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่อุ่นให้ร้อนด้วยระบบไมโครเวฟชนิดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยมภายใต้อิทธิพลของกำลังไมโครเวฟและส่วนประกอบในยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่มีผลต่อการเกิดการเชื่อมโยงโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบ 3 มิติ (3D network) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การเกิดครอสลิงค์ (cross-linked) ในส่วนของการศึกษาเชิงทฤษฎีนั้นจะทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาทางความร้อนในยางธรรมชาติคอมพาวด์ด้วยระบบไมโครเวฟชนิดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (TE_{10} mode) โดยใช้ความรู้ทางด้านพลังงานไมโครเวฟ การถ่ายเทความร้อน และวัสดุศาสตร์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของกำลังไมโครเวฟ ความถี่ไมโครเวฟ และความหนาวัสดุที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิและการดูดซับพลังงานไมโครเวฟ และตรวจสอบความถูกต้องโดยตรวจสอบจากผลการทดลองจริง

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นประโยชน์อย่างสูงในการศึกษาถึงพฤติกรรมของยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่อุ่นให้ร้อนด้วยไมโครเวฟโดยใช้ระบบไมโครเวฟชนิดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (TE_{10} mode) ภายใต้อิทธิพลของกำลังไมโครเวฟ ความหนาของชิ้นงาน และส่วนประกอบในยางธรรมชาติคอมพาวด์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการพัฒนาไปใช้ในการทำนายปรากฏการณ์อุณหภูมิของยางธรรมชาติคอมพาวด์ด้วยไมโครเวฟเพื่อใช้ในการลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ รวมไปถึงสามารถนำไปประยุกต์ ออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องให้มีประสิทธิภาพสูงต่อไปในอนาคต

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ศึกษาทั้งการทดลองและการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการทดลองจะทำการศึกษาสมบัติไดอิเล็กตริกยางธรรมชาติคอมพาวด์ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่มีขั้ว หลังจากนั้นทำการเพิ่มความเป็นขั้วให้กับยางธรรมชาติคอมพาวด์โดยการเติมเขม่าดำ (carbon black) ศึกษาสมบัติไดอิเล็กตริกเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่ไม่เติมเขม่าดำ นำยางธรรมชาติคอมพาวด์ไปอุ่นด้วยไมโครเวฟโดยใช้ระบบไมโครเวฟชนิดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (Mode: TE_{10}) เพื่อศึกษาสมบัติเชิงความร้อนและสมบัติทางเคมีของยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่ได้ ในส่วนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ P. Rattanadecho [1-2] มาทำการพัฒนาเพื่อใช้ในการทำนายลักษณะการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งรายละเอียดระเบียบวิธีวิจัยแสดงดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.2 ระเบียบวิธีวิจัย