



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชุดโครงการ

การแก้ปัญหาที่ดินและการอบแห้งยางของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20

คณะผู้วิจัย รองศาสตราจารย์ ดร.จันทิมา ชั่งสิริพร (ผู้อำนวยการชุดโครงการ)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรศิริ แก้วประดิษฐ์

นางสาวพฤกระยา พงศ์ยี่หล้า

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนงบประมาณแผ่นดิน ปี 2558

บทคัดย่อ

ชุดโครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแก้ปัญหากลิ่นและการอบแห้งยางของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 โดยทำการแก้ปัญหากลิ่นจากสาเหตุของการเกิดกลิ่นด้วยสารอินทรีย์ธรรมชาติ 2 ชนิด คือน้ำส้มควันไม้และโคโตซานที่มีคุณสมบัติพิเศษในการยับยั้งแบคทีเรีย เชื้อรา และจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นในยางก้อนถ้วยส่งผลกระทบต่อกระบวนการเกิดกลิ่นในการผลิตยางแท่ง STR20 จากผลการทดลองการใช้สารธรรมชาติชนิดน้ำส้มควันไม้และโคโตซานสามารถช่วยยับยั้งเชื้อราบนยางแผ่นและลดกลิ่นเหม็นในกระบวนการผลิตยางแท่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและการแสดงถึงศักยภาพที่สูงสำหรับการแก้ปัญหาของอุตสาหกรรมยางอย่างปลอดภัยไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังทำการศึกษาการออกแบบสภาวะการอบแห้งที่ดีที่สุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งในโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 และรับรองผลของสมบัติยางหลังอบผ่านมาตรฐานของไทย ผลการทดลองถูกนำมาสร้างสมการพหุนามเพื่อหาความสัมพันธ์ของเวลาและอุณหภูมิอบแห้งต่อค่าสมบัติของยาง เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่า สภาวะดำเนินการที่ออกแบบสามารถประหยัดพลังงานได้ 38 kW.h (ต่อตันยางแท่ง) และประหยัดค่าไฟได้ถึง 209,875 บาทต่อปีที่กำลังการผลิต 10 ตันต่อวัน

กิตติกรรมประกาศ

ชุดโครงการงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก “งบประมาณแผ่นดินปี 2558” สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์ และสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณ บริษัทสยามอินโดรับเบอร์ จำกัด ต.ป่าบอน อ.ป่าบอน จ.พัทลุง ที่ให้ความอนุเคราะห์ผลิตภัณฑ์แปรรูปยางเพื่อทำวิจัย และโรงงานยางแท่ง จ.พัทลุง ที่ให้ความอนุเคราะห์ยางย่อยก่อนอบ เพื่อมาใช้ในงานวิจัย อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
กิตติกรรมประกาศ	II
สารบัญ	III
แผนงานวิจัย	IV
บทนำ	V
วัตถุประสงค์ของชุดโครงการวิจัย	VII
เป้าหมายเชิงยุทธศาสตร์ของแผนงานวิจัย	VII
โครงการวิจัยย่อยที่ 1	VIII
โครงการวิจัยย่อยที่ 2	IX

แผนงานวิจัย

(ภาษาไทย) การแก้ปัญหาหากลิ่นและการอบแห้งยางของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20

(ภาษาอังกฤษ) The Solving of Odor Problem and Rubber Drying for STR20 Industry

ชื่อโครงการวิจัยภายใต้แผนงานวิจัย

โครงการวิจัยย่อยที่ 1

(ภาษาไทย) การแก้ปัญหาหากลิ่นของโรงงานผลิตยางแท่ง STR 20 โดยใช้สารอินทรีย์ธรรมชาติ

(ภาษาอังกฤษ) Odor Problem Solving for Rubber Block STR 20 Using Natural Organic Substances

โครงการวิจัยย่อยที่ 2

(ภาษาไทย) การเพิ่มประสิทธิภาพของการอบแห้งในโรงงานผลิตยางแท่ง STR20

(ภาษาอังกฤษ) Drying Optimization for Blocked Rubber STR20 Industry

ผู้รับผิดชอบ ดังนี้

รองช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันทิมา ชั่งสิริพร

รองช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันทิมา ชั่งสิริพร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ แก้วประดิษฐ์

นางสาวพฤกระยา พงศ์ยี่หล้า

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ แก้วประดิษฐ์

รองศาสตราจารย์ ดร. จันทิมา ชั่งสิริพร

นางสาวพฤกระยา พงศ์ยี่หล้า

ผู้อำนวยการแผนงาน

หัวหน้าโครงการย่อยที่ 1

ผู้ร่วมโครงการย่อยที่ 1

ผู้ร่วมโครงการย่อยที่ 1

หัวหน้าโครงการย่อยที่ 2

ผู้ร่วมโครงการย่อยที่ 2

ผู้ร่วมโครงการย่อยที่ 2

บทนำ

อุตสาหกรรมยางพารานับเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อประเทศ ทั้งในด้านของการจ้างงานและการส่งออก ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและผู้ส่งออกยางธรรมชาติหรือยางแปรรูปพื้นฐานรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยมีกำลังการผลิตประมาณ 2.5 ล้านตัน/ปี (สถาบันวิจัยยาง, 2547) คิดเป็น 1 ใน 3 ของการผลิตยางพาราของโลก โดยพื้นที่ปลูกยางพาราส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะอยู่บริเวณภาคใต้ ที่เหลือกระจายอยู่ในภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งผลผลิตยางธรรมชาติมีอยู่ 4 ประเภทหลัก ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง ยางเครพ และน้ำยางข้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2544) อุตสาหกรรมยางแท่งเป็นอุตสาหกรรมหลักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในภาคใต้ของประเทศไทย กระบวนการผลิตยางแท่ง STR20 ทำให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากเกิดปัญหากลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนบริเวณใกล้เคียงที่ทำให้เกิดข้อร้องเรียนบ่อยครั้ง และปัญหาของการควบคุมกระบวนการอบยางที่ได้คุณภาพ เพื่อการออกแบบสภาวะการอบแห้งที่ดีที่สุดที่สามารถรับรองผลของสมบัติยางอบแห้งผ่านมาตรฐานยางไทย (STR 20) เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot air dryer) เพื่อไล่ความชื้นให้มีค่าความชื้นในแผ่นยางไม่เกิน 2.5% โดยน้ำหนักยางแท่ง (อุตสาหกรรมยางพารา กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554 และสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2555) เนื่องด้วยความชื้นเริ่มต้นของยางก่อนอบมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 40% โดยน้ำหนัก ทำให้ขั้นตอนการอบเป็นขั้นตอนหนึ่งใช้พลังงานสูงซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิต อีกทั้งหากอบที่อุณหภูมิสูงจนเกินไปจะส่งผลต่อสมบัติด้านความยืดหยุ่นของยาง เป็นเหตุให้กำลังการผลิตถูกจำกัดด้วยระยะเวลาการอบ เพื่อให้สามารถผลิตยางแท่งจากยางก้อนถ้วยได้อย่างมีคุณภาพ (Quality control)

ขั้นตอนการผลิตยางแท่ง STR20 ประกอบด้วย ในขั้นแรกทางโรงงานจะรับซื้อยางก้อนถ้วยจากชาวสวนยางและนำมาเก็บสะสมเป็นกองบนพื้นปูน ในระหว่างการเก็บ Stock ยางก้อนถ้วยนี้จะเกิดการบูดเน่าของยางและสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นขึ้นภายในโรงงานยางแท่ง หลังจากนั้นนำยางก้อนถ้วยที่เก็บอยู่มาทำการย่อยด้วยเครื่องตัดย่อยยางและผสมกับยางแผ่นดิบที่สะอาดกว่าตามสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ผ่านมาตรฐานยางแท่ง จากนั้นผ่านเครื่องเครพหยาบและละเอียด (Creper) เพื่อต่อให้เป็นแผ่นยาว ก่อนนำเข้าเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot air dryer) เพื่อไล่ความชื้น เนื่องด้วยความชื้นเริ่มต้นของยางก่อนอบมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 40% โดยน้ำหนัก ทำให้ขั้นตอนการอบยางใช้พลังงานสูงซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิต อีกทั้งหากอบที่อุณหภูมิสูงจนเกินไปจะส่งผลต่อความยืดหยุ่นของยาง ดังนั้นเพื่อให้สามารถผลิตยางแท่งจากยางก้อนถ้วยได้อย่างมีคุณภาพ (Quality control) แผนงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการออกแบบสภาวะการอบแห้งที่ดีที่สุด ที่สามารถรับรองผลของสมบัติยางแท่ง โดยใช้เวลาการอบแห้งน้อยที่สุด (Minimum of drying time)

สารมลพิษที่ส่งกลิ่นเหม็นในยางก้อนถ้วยเกิดจากสารระเหย (volatile organic compound) ที่ถ่ายโอนออกมาจากการบูดเน่าของยางก้อนถ้วย น้ำล้างยาง และก๊าซร้อนที่ออกจากการอบยางที่ระบายออกสู่บรรยากาศทางปล่องควันของโรงงาน ซึ่งก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตยางแท่งจะเป็นสารจำพวกกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทิริก เป็นต้น (สมทิพย์ และคณะ, 2550) ซึ่งสารระเหยง่ายเหล่านี้เป็นปัญหาหลักของโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่งที่ต้องการการแก้ไขอย่างเร่งด่วน ปัจจุบันมีวิธีการแก้ปัญหาต่างๆ ได้แก่ การดูดซึม (absorption) วิธีการดูดซับ (adsorption) วิธีการทางชีวภาพ (biological) และวิธีพลาสมา (plasma) วิธีการเหล่านี้มีข้อเสียต่างๆ มากมาย จึงทำให้แผนงานวิจัยนี้หันมาสนใจในการแก้ปัญหาเรื่องกลิ่นของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ตั้งแต่ต้นทาง ด้วยการหาวิธีการลดการบูดเน่าของยางก้อนถ้วยที่มีสาเหตุจากการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เชื้อรา และจุลินทรีย์ที่กินโปรตีนในยางก้อนถ้วยและทำให้เกิดการบูดเน่า ด้วยการใช้น้ำส้มควันไม้ (wood vinegar) และไคโตซาน (chitosan) ซึ่งเป็นสารธรรมชาติที่ไม่

ส่งผลต่อคุณสมบัติของยางแท่ง โดยสารมีคุณสมบัติที่สำคัญที่สามารถช่วยแก้ปัญหาได้โดยตรงในการยับยั้งต้นเหตุของการเกิดกลิ่นเหม็น ซึ่งจะสามารถแก้ปัญหาที่สาเหตุหลักของการเกิดกลิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแก้ปัญหากลิ่นและการอบแห้งยางของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 โดยทำการแก้ปัญหากลิ่นจากสาเหตุของการเกิดกลิ่นด้วยสารอินทรีย์ธรรมชาติ 2 ชนิด คือน้ำส้มควันไม้และโคโคซานที่มีคุณสมบัติพิเศษในการยับยั้งแบคทีเรีย เชื้อรา และจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นในยางก้อนถ้วย โดยทำการศึกษาการใช้สารธรรมชาติลงในถ้วยผลิตยางก้อนถ้วยของชาวสวนยางและการออกแบบชุดทดลองถังเก็บยาง (Test tank) สำหรับการจำลองการเก็บรักษายางก้อนถ้วยภายในโรงงาน ทำการวัดผลจากกรดอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดกรดอะซิติกที่เกิดขึ้นในก๊าซเสีย วัดระดับของการเกิดเชื้อราและปริมาณกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในยางก้อนถ้วยที่เก็บอยู่ภายในถังเก็บยาง และหาปริมาณการใช้สารธรรมชาติที่เหมาะสม รวมถึงศึกษาผลของการเติมสารธรรมชาติต่อคุณสมบัติพื้นฐานของยางแท่ง STR20 ส่วนการศึกษาเรื่องการอบยางจะพิจารณาคุณสมบัติของยางใน 3 ด้าน คือ ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น (Initial plasticity, P_0) มากกว่า 30 ค่าดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity Retention Index, PRI) มากกว่า 40 และค่าความชื้นสุดท้ายในยางแผ่น (Moisture Content, MC) น้อยกว่า 2.5% โดยน้ำหนักยางแท่ง ซึ่งผลงานวิจัยนี้มีศักยภาพสูงเชิงเศรษฐศาสตร์ที่จะสามารถพัฒนาสู่การนำมาใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหากลิ่นและการอบยางของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ได้

วัตถุประสงค์ของชุดโครงการวิจัย

1. เพื่อการแก้ปัญหาากลิ่นเหม็นของโรงงานผลิตยางแท่ง STR 20 จากต้นเหตุของการเกิดกลิ่นในยางก้อนถ้วยด้วยการใช้สารอินทรีย์ธรรมชาติ 2 ชนิด คือ น้ำส้มควันไม้ และโคโตซาน
2. เพื่อออกแบบสภาวะการอบแห้งที่ดีที่สุดที่สามารถรับรองผลของสมบัติยางให้ผ่านมาตรฐาน
3. เพื่อการพัฒนาผลงานวิจัยให้เป็นแนวทางสู่การนำไปใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาากลิ่นเหม็นและการอบแห้งยางของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20

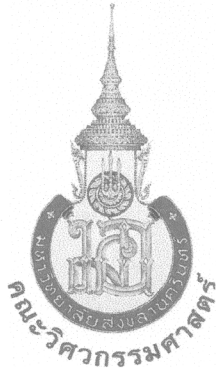
เป้าหมายเชิงยุทธศาสตร์ของแผนงานวิจัย

แก้ปัญหาากลิ่นและการอบแห้งยางของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 โดยทำการแก้ปัญหาากลิ่นจากสาเหตุของการเกิดกลิ่นโดยใช้สารอินทรีย์ธรรมชาติ 2 ชนิด คือ น้ำส้มควันไม้และโคโตซานที่มีคุณสมบัติพิเศษในการยับยั้งแบคทีเรีย เชื้อรา และจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นในยางก้อนถ้วย อีกทั้งออกแบบสภาวะการอบแห้งที่ดีที่สุด ที่สามารถรับรองผลของสมบัติยางอบแห้งผ่านมาตรฐานยางไทย (STR) ซึ่งส่งผลต่อศักยภาพสูงเชิงเศรษฐศาสตร์ที่จะสามารถพัฒนาสู่การนำมาใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาากลิ่นและการอบแห้งของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ได้

โครงการวิจัยย่อยที่ 1

(ภาษาไทย) การแก้ปัญหากลิ่นของโรงงานผลิตยางแท่ง STR 20 โดยใช้สารอินทรีย์ธรรมชาติ

(ภาษาอังกฤษ) Odor Problem Solving for Rubber Block STR 20 Using Natural Organic Substances



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การแก้ปัญหาคัดดินของโรงงานผลิตยางแท่ง STR 20 โดยใช้สารอินทรีย์ธรรมชาติ

คณะผู้วิจัย รองศาสตราจารย์ ดร.จันทิมา ชั่งสิริพร (หัวหน้าโครงการ)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ แก้วประดิษฐ์

นางสาวพุดกระยา พงศ์ยี่หัด้า

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสกลนคร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนงบประมาณแผ่นดิน ปี 2558

บทคัดย่อ

ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบในการผลิตยางแผ่นและยางแท่ง ได้มาจากต้นยางพารามาผ่านกระบวนการแปรรูปในอุตสาหกรรมเพื่อใช้ผลิตเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ตามความต้องการ ซึ่งอุตสาหกรรมยางมีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย โรงงานผลิตยางแผ่นและยางแท่งมักพบปัญหาเรื่องเชื้อราที่เจริญเติบโตบนยางก่อก่อให้เกิดความเสียหายและปัญหาของกลิ่นเหม็นที่เกิดจากการอบแห้งยาง สิ่งเหล่านี้เกิดเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมขึ้นส่งผลกระทบต่อพื้นที่ใกล้เคียงและความเสียหายของยางที่เก็บรักษาไว้ ในงานวิจัยนี้สนใจนำสารธรรมชาติชนิดน้ำส้มควันไม้และโคโคซานมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราบนยางแผ่นของสารธรรมชาติสามารถตรวจวัดได้จากการนับจำนวนเชื้อราที่เจริญเติบโตบนตัวอย่างยางแผ่นต่อพื้นที่ สำหรับการวิเคราะห์กลิ่นเหม็นจากกระบวนการผลิตยางแท่ง วัดได้จากการเตรียมยางที่ผ่านกระบวนการหั่นเป็นชิ้นหรือยางเครพนำเข้าสู่กระบวนการอบแห้งยางซึ่งวิเคราะห์กลิ่นจากกรดอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับกระแสอากาศที่ถูกปล่อยออกจากกระบวนการอบแห้ง ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าน้ำส้มควันไม้สามารถยับยั้งเชื้อราได้อย่างเหมาะสม และน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 5% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราบนยางเครพที่เก็บรักษาไว้ก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง มีผลต่อการลดกลิ่นกระบวนการอบแห้งยางสำหรับการผลิตยางแท่ง ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบฟีนอลและกรดอะซิติกที่มีอยู่ในน้ำส้มควันไม้เป็นสารที่ช่วยลดการเกิดเชื้อราส่งผลการลดปริมาณกรดอินทรีย์ในอากาศที่ปล่อยจากการอบแห้งยาง ดังนั้นการใช้สารธรรมชาติชนิดน้ำส้มควันไม้ช่วยยับยั้งเชื้อราบนยางแผ่นและลดกลิ่นเหม็นในกระบวนการผลิตยางแท่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและการแสดงถึงศักยภาพที่สูงสำหรับการแก้ปัญหาของอุตสาหกรรมยางอย่างปลอดภัยไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ABSTRACT

Natural rubber obtaining from the rubber tree is a major economic importance of Thailand. Primary rubber products especially rubber sheet and block rubber factories have problems of fungi growth and public complain from malodor and environmental problem. In this work, wood vinegar producing from rubber wood was investigated to apply for these problems. The antifungal efficiency of rubber sheet was determined from mold count of colony forming unit per gram. To analyze the malodor from block rubber processing, shredded rubber sample was prepared and organic acid containing in the gas releasing from the rubber drying were measured. The result showed that the wood vinegar can improve antifungal property of rubber sheet. 5% wood vinegar can reduce fungi growth during shredded rubbers store that effect to reduce malodor from drying process. Due to phenolic compound and acetic acid in wood vinegar, it can reduce fungi and organic acid contents in air releasing from rubber drying. Thus the management of antifungal on rubber sheet and malodor form block rubbers production by wood vinegar is an effective way and shows very high potential to solve the problem without any toxicity.

(3)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก “งบประมาณแผ่นดินปี 2558” สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์ และสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณ บริษัทสยามอินโดร็อบเบอร์ จำกัด ต.ป่าบอน อ.ป่าบอน จ.พัทลุง ที่ให้ความอนุเคราะห์ผลิตภัณฑ์แปรรูปร่างเพื่อทำวิจัย อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
ABSTRACT	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญ	(4)
รายการตาราง	(8)
รายการรูป	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การเกิดกลิ่นจากยางธรรมชาติ	5
2.2 กลิ่นที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง	6
2.3 วิธีตรวจวัดกลิ่น	7
2.4 ไคโดซาน	7
2.5 น้ำส้มควันไม้.....	8
2.6 อุตสาหกรรมยางแท่ง.....	8
2.6.1 กระบวนการผลิตยางแท่งจากน้ำยางสด.....	9

2.6.2 กระบวนการผลิตยางแท่ง STR 20	9
2.7 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	11
2.8 การสืบค้นจากฐานข้อมูลสิทธิบัตร.....	12
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย	14
3.1 วัตถุดิบ.....	14
3.1.1 น้ำยางสด	14
3.1.2 ยางก้อนถ้วย	14
3.1.3 ยางเครพ	15
3.1.4 น้ำส้มควันไม้.....	15
3.1.5 ไคโตซาน	16
3.2 สารเคมี	16
3.2.1 สารเคมีสำหรับเตรียมและวิเคราะห์กลิ่นของยาง.....	16
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	17
3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทดลองบำบัดกลิ่นจากยางก้อนถ้วย	17
3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทดลองบำบัดกลิ่นจากการอบยางเครพ.....	18
3.4 การเตรียมวัตถุดิบในการทดลอง	19
3.4.1 การเติมสารธรรมชาติลงในน้ำยางเพื่อผลิตยางก้อนถ้วย.....	19
3.4.2 การฉีดพ่นน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้นต่างๆ บนยางก้อนถ้วย.....	20
3.4.3 การฉีดพ่นสารธรรมชาติชนิดน้ำส้มควันไม้และไคโตซานบนยางเครพ	21
3.4.4 การแช่ยางในสารธรรมชาติเพื่อลดการเกิดกลิ่น	22
3.5 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์แก๊ส	22
3.5.1 การเก็บตัวอย่างแก๊สจากยางก้อนถ้วย	22

3.5.2 การเก็บตัวอย่างแก๊สจากการอบยางเครพ.....	23
3.5.3 การวิเคราะห์กลิ่นจากยาง.....	23
3.6 ศึกษาความเป็นกรด-ด่างของของเหลวจากการหมักยางก้อนถ้วย.....	24
3.7 ศึกษาการใช้น้ำส้มควันไม้ต่อการเกิดเชื้อรา.....	24
3.7.1 การเกิดเชื้อราบนยางก้อนถ้วย.....	24
3.7.2 การเกิดเชื้อราบนยางเครพและยางแผ่น	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	27
4.1 ผลของการเติมสารธรรมชาติลงในยางก้อนถ้วยต่อการเกิดกลิ่น	27
4.1.1 การวิเคราะห์กรดอะซิติก (CH_3COOH) ในยางก้อนถ้วย	28
4.1.2 การวิเคราะห์แก๊สแอมโมเนีย (NH_3) ในยางก้อนถ้วย.....	28
4.1.3 การวิเคราะห์แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ในยางก้อนถ้วย.....	29
4.2 ผลความเข้มข้นในการฉีดพ่นน้ำส้มควันไม้ต่อการบำบัดกลิ่นในยางก้อนถ้วย	30
4.3 ผลการฉีดพ่นน้ำส้มควันไม้บนยางเครพก่อนกระบวนการอบแห้ง	31
4.3.1 ผลของน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการบำบัดกลิ่น	31
4.3.2 ใช้ 5% สารธรรมชาติฉีดพ่นยางเครพ	31
4.4 ผลของความเป็นกรด - ด่างของของเหลวที่เกิดจากการหมักยางก้อนถ้วย.....	32
4.5 ผลการแช่ยางเครพในสารธรรมชาติต่อการลดกลิ่นก่อนกระบวนการอบแห้ง.....	33
4.5.1 ผลของน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการบำบัดกลิ่น	33
4.5.2 ผลของไคโตซานต่อการบำบัดกลิ่นจากกระบวนการอบแห้งยาง.....	34
4.5.3 ผลของการบำบัดกลิ่นในการใช้น้ำส้มควันไม้ต่อการเก็บรักษายาง.....	35
4.6 ผลของการใช้น้ำส้มควันไม้ต่อการเกิดเชื้อรา.....	37
4.6.1 การเจริญเติบโตของเชื้อราที่เกิดบนยางก้อนถ้วย.....	37

4.6.2 การเจริญเติบโตของเชื้อราที่เกิดบนยางแผ่น.....	37
4.6.3 การเจริญเติบโตของเชื้อราที่เกิดบนยางเครพ.....	42
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	44
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	44
5.1.1 การเติมสารธรรมชาติลงในยางก้อนถ้วยต่อการเกิดกลิ่น.....	44
5.1.2 การบำบัดกลิ่นจากยางเครพด้วยการใช้สารธรรมชาติ	45
5.1.3 การยับยั้งเชื้อราบนยางด้วยสารธรรมชาติ	45
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก.....	ผิดพลาด! ไม่ได้กำหนดที่คั่นหน้า

รายการตาราง

หน้า

ตารางที่ 2- 1 แสดงกรดไขมันระเหยง่ายและประเภทของกลิ่น.....	7
ตารางที่ 3- 1 แสดงปริมาณและอัตราส่วนของสารเติมในน้ำยางธรรมชาติเพื่อผลิตยางก้อนถ้วยที่ใช้วิเคราะห์กรดอะซิติก (CH_3COOH) และแก๊สแอมโมเนีย (NH_3)	20
ตารางที่ 3- 2 แสดงปริมาณและอัตราส่วนของสารเติมในน้ำยางธรรมชาติเพื่อผลิตยางก้อนถ้วยที่ใช้วิเคราะห์กรดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S).....	20
ตารางที่ 3- 3 การออกแบบการทดลองการแก้ปัญหากลิ่นเหม็นด้วยการใช้สารธรรมชาติในขั้นตอนของการผลิตยางก้อนถ้วยจากสวนยาง.....	21
ตารางที่ 3- 4 แสดงปริมาณและอัตราส่วนของสารเติมในน้ำยางธรรมชาติเพื่อสังเกตการเจริญเติบโตของเชื้อรา	25
ตารางที่ 4- 1 แสดงผลการวิเคราะห์เชื้อราที่เกิดขึ้นบนยางแผ่นก่อนและหลังใช้น้ำส้มควันไม้โดยการทดสอบด้วยวิธีมาตรฐาน	41
ตารางที่ 4- 2 แสดงผลการยับยั้งการเกิดเชื้อราบนยางเครพด้วยการใช้น้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้นต่างๆ	42

รายการรูป

	หน้า
รูปที่ 2- 1 แสดงกลไกการย่อยโปรตีน	5
รูปที่ 2- 2 แสดงกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ	5
รูปที่ 2- 3 แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดสารประกอบเมทิลอินทรีย์.....	6
รูปที่ 2- 4 กระบวนการผลิตยางแท่งจากน้ำยางสด STR 5L (ซ้าย) และการผลิตยางแท่งจากยางแท่ง STR 20 (ขวา).....	10
รูปที่ 3- 1 น้ำยางสด.....	14
รูปที่ 3- 2 ยางก้อนถ้วย.....	14
รูปที่ 3- 3 กระบวนการผลิตยางเครพ	15
รูปที่ 3- 4 น้ำส้มควันไม้.....	15
รูปที่ 3- 5 ไคโตซาน.....	16
รูปที่ 3- 7 แสดง Diagram ของแบบจำลองถังหมักที่ใช้วิเคราะห์แก๊สที่เป็นส่วนประกอบของกลิ่นจากยางก้อนถ้วย.....	17
รูปที่ 3- 6 จุดจำลองปฏิกิริยาหมักยาง.....	17
รูปที่ 3- 8 คู่มือขนาดห้องปฏิบัติการ.....	18
รูปที่ 3- 9 การผลิตยางก้อนถ้วยด้วยการเติมสารธรรมชาติ.....	19
รูปที่ 3- 10 บรรจุยางก้อนถ้วยที่ผ่านการเติมสารธรรมชาติลงในชุดทดลอง	19
รูปที่ 3- 11 แสดงการเก็บตัวอย่างสารเพื่อไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดอะซิติก	22
รูปที่ 3- 12 ไดอะแกรมการเก็บตัวอย่างแก๊สจากการอบแห้งยางเครพ	23
รูปที่ 3- 13 แสดงการวิเคราะห์ความเข้มข้นของอะซิติกด้วยวิธีการไทเทรต.....	23
รูปที่ 3- 14 วัดค่าความเป็นกรด- ค่าของตัวอย่างของเหลวที่เกิดขึ้นภายในถังหมักยางก้อน	24
รูปที่ 3- 15 ทดสอบการเกิดเชื้อรา.....	24
รูปที่ 3- 16 ยางเครพที่ผ่านการแช่น้ำส้มควันไม้เพื่อป้องกันเชื้อรา	25
รูปที่ 3- 17 ยางเครพที่ผ่านการแช่น้ำส้มควันไม้เพื่อป้องกันเชื้อรา	26
รูปที่ 3- 18 การเก็บรักษาแผ่นที่ผ่านการแช่น้ำส้มควันไม้แบบแขวน.....	26

รูปที่ 4- 1 ความเข้มข้นของกรดอะซิติกในแก๊สที่เกิดจากการบูดเน่าของยางก้อนถ้วยที่ระยะเวลาต่าง ๆ	28
รูปที่ 4- 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ NH_3 ที่เกิดจากยางก้อนถ้วยในสถานะแก๊สกับระยะเวลาในการบูดเน่าของยางก้อนถ้วย	29
รูปที่ 4- 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากยางก้อนถ้วยในสถานะแก๊สกับระยะเวลาในการบูดเน่าของยางก้อนถ้วย.....	29
รูปที่ 4- 4 ความเข้มข้นของกรดอะซิติกในแก๊สที่เกิดจากการบูดเน่าของยางก้อนถ้วยที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	30
รูปที่ 4- 5 ผลของน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการบำบัดกลิ่นที่เวลาการอบ 35 นาที.....	31
รูปที่ 4- 6 ผลการฉีดพ่นน้ำส้มควันไม้บนยางเครพก่อนกระบวนการอบแห้งต่อระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติก ที่ความเข้มข้นของสารธรรมชาติ 5%	32
รูปที่ 4- 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ที่เกิดในของน้ำเสี้ยวกับระยะเวลาในการบูดเน่าของยางก้อนถ้วย.....	33
รูปที่ 4- 8 ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในกระแสอากาศที่ถูกปล่อยออกมาจากกระบวนการอบแห้งยางที่ความเข้มข้นของน้ำส้มควันไม้ 0 3 5 และ 10% v/v เมื่อเทียบกับเวลา	34
รูปที่ 4- 9 ประสิทธิภาพการบำบัดกลิ่นของสารธรรมชาติชนิดน้ำส้มควันไม้และน้ำส้มควันไม้ผสมโคโคซานในการลดกลิ่นของยางเครพจากกระบวนการอบแห้ง.....	35
รูปที่ 4- 10 ประสิทธิภาพการลดกลิ่นของน้ำส้มควันไม้ต่อผลการเก็บรักษายาง	36
รูปที่ 4- 11 ผลการเก็บรักษายางแผ่นแบบซ้อนทับก่อนและหลังการแช่น้ำส้มควันไม้เพื่อป้องกันเชื้อราที่ความเข้มข้น 0 10 20 50 และ 100% v/v เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องที่เวลาต่างๆ	39
รูปที่ 4- 12 ผลการเก็บรักษายางแผ่นแบบแขวนเรียงกันเป็นแถวก่อนและหลังการแช่น้ำส้มควันไม้เพื่อป้องกันเชื้อราที่ความเข้มข้น 0 10 20 50 และ 100% v/v เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องที่เวลาต่างๆ	40
รูปที่ 4- 13 ผลการยับยั้งเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 5% v/v ในช่วงเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องต่อจำนวนเชื้อราที่เกิดขึ้นบนยางเครพ	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

อุตสาหกรรมยางพารานับเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อประเทศ ทั้งในด้านของการทำงานและการส่งออก ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและผู้ส่งออกยางธรรมชาติหรือยางแปรรูปพื้นฐานรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยมีกำลังการผลิตประมาณ 2.5 ล้านตัน/ปี (สถาบันวิจัยยาง, 2547) คิดเป็น 1 ใน 3 ของการผลิตยางพาราของโลก โดยพื้นที่ปลูกยางพาราส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะอยู่บริเวณภาคใต้ ที่เหลือกระจายอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออก ซึ่งผลผลิตยางธรรมชาติมีอยู่ 4 ประเภทหลัก ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง ยางเครพ และน้ำยางข้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2544) อุตสาหกรรมยางแท่งเป็นอุตสาหกรรมหลักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในภาคใต้ของประเทศไทย กระบวนการผลิตยางแท่ง STR20 ทำให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากเกิดปัญหากลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนบริเวณใกล้เคียงที่ทำให้เกิดข้อร้องเรียนบ่อยครั้ง กลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตยางแท่ง STR20 ตั้งแต่การกักเก็บยางก้อนถ้วย (cup lump rubber) ที่มีการบดนำของเนื้อยางและสิ่งปนเปื้อน การล้างทำความสะอาด การตัดและการบดย่อยเนื้อยาง และการอบแห้ง (สมทิพย์และคณะ, 2550)

สารมลพิษที่ส่งกลิ่นเหม็นเกิดจากสารระเหย (volatile organic compound) ที่ถ่ายโอนออกมาจากการบดนำของกองยางก้อนถ้วย น้ำล้างยาง และก๊าซร้อนที่ออกจากการอบยางที่ระบายออกสู่บรรยากาศทางปล่องควันของโรงงาน ซึ่งก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตยางแท่งจะเป็นสารจำพวกกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทิริก กรดไฮโซวาเลริก กรดเฮกซาเดคานอิก กรดโอเลอิก และเมทิลเอสเทอร์ของกรดโอเลอิก เป็นต้น (สมทิพย์และคณะ, 2550) ซึ่งสารระเหยง่ายเหล่านี้เป็นปัญหาหลักของโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่งที่ต้องการการแก้ไขอย่างเร่งด่วน การแก้ปัญหากลิ่นเหม็นที่มีการดำเนินการในปัจจุบันจะเป็นการบำบัดกลิ่นที่ปลายทางด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การดูดซึม (absorption) วิธีการดูดซับ (adsorption) วิธีการทางชีวภาพ (biological) และวิธีพลาสมา (plasma) วิธีการเหล่านี้มีข้อเสีย คือ ทำให้เกิดของเสียใหม่หลังการบำบัด มีค่าใช้จ่ายสูงจากการติดตั้งระบบ การใช้สารเคมี สารดูดซึม และสารดูดซับ รวมถึงค่าไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงที่เกิดขึ้นตามมา โดยบางระบบให้ประสิทธิภาพที่ต่ำไม่สามารถแก้ปัญหามลพิษของชุมชนได้ ทำให้โรงงานมีความต้องการในการหาวิธีการใหม่ๆ ที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถดำเนินการได้ง่ายในการแก้ปัญหากลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้น

จากปัญหาดังกล่าวทำให้โครงการวิจัยนี้หันมาสนใจในการแก้ปัญหาเรื่องการกำจัดกลิ่นของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ตั้งแต่ต้นทางของกลิ่นจากวัตถุดิบยางก้อนถ้วย ด้วยการหาวิธีการลดการบูดเน่าของยางก้อนถ้วยที่มีสาเหตุจากการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เชื้อรา และจุลินทรีย์ที่กินโปรตีนในยางก้อนถ้วยและทำให้เกิดการบูดเน่า โดยสามารถดำเนินการแก้ปัญหาได้ตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตยางก้อนถ้วยของชาวสวนจากต้นยางและในระหว่างการเก็บรักษายางก้อนถ้วยก่อนส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตภายในโรงงาน ด้วยการใช้น้ำส้มควันไม้ (wood vinegar) และไคโตซาน (chitosan) ซึ่งเป็นสารธรรมชาติที่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของยางแท่งเนื่องจากใช้ในปริมาณน้อยและสามารถล้างออกได้ โดยสารทั้ง 2 ชนิดนี้มีราคาไม่สูงและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม น้ำส้มควันไม้สามารถผลิตได้เองจากไม้ยางที่เป็นวัตถุดิบในท้องถิ่น นอกจากนั้นสารทั้ง 2 ชนิดนี้มีคุณสมบัติที่สำคัญที่สามารถช่วยแก้ปัญหาได้โดยตรงในการยับยั้งต้นเหตุของการเกิดกลิ่นเหม็น ซึ่งจะสามารถแก้ปัญหาที่สาเหตุหลักของการเกิดกลิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแก้ปัญหากลิ่นของ โรงงานผลิตยางแท่ง STR 20 จากสาเหตุของการเกิดกลิ่น โดยใช้สารอินทรีย์ธรรมชาติ 2 ชนิด คือ น้ำส้มควัน ไม้และไค โตซานที่มีคุณสมบัติพิเศษในการยับยั้งแบคทีเรีย เชื้อรา และจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นในยางก้อนถ้วย โดยทำการศึกษาการเติมสารธรรมชาติลงในด้วยผลิตยางก้อนถ้วยของชาวสวนยางเพื่อลดการเกิดกลิ่นตั้งแต่ขั้นการผลิตยางก้อนถ้วย หลังจากนั้นออกแบบชุดทดลองถังเก็บยาง (Test tank) สำหรับการเก็บยางกันด้วยที่เวลาการเก็บต่างๆ เพื่อจำลองการเก็บรักษาภายในโรงงานก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตยางแท่ง โดยศึกษาผลของการเติมสารธรรมชาติในด้วยเก็บยางจากสวน การฉีดพ่นสารบนกองของยางก้อนถ้วยในถังเก็บยาง เพื่อทำการศึกษาผลของก๊าซเสียที่เกิดขึ้นและก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น โดยทำการวัดผลจากกรดอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดกรดอะซิติกที่เกิดขึ้นในก๊าซเสีย วัดระดับของการเกิดเชื้อราและปริมาณกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในยางก้อนถ้วยที่เก็บอยู่ภายในถังเก็บยางเพื่อเปรียบเทียบกับสภาวะควบคุมที่ไม่มีการใช้สารธรรมชาติและหาปริมาณการใช้สารธรรมชาติที่เหมาะสม รวมถึงศึกษาผลของการเติมสารธรรมชาติต่อคุณสมบัติพื้นฐานของยางแท่ง STR20 ซึ่งผลงานวิจัยนี้มีศักยภาพสูงเชิงเศรษฐศาสตร์ที่จะสามารถพัฒนาสู่การนำมาใช้เป็นแนวทางในการใช้สารธรรมชาติสำหรับการแก้ปัญหายางของ โรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ให้ลดน้อยลงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและทดลองการแก้ปัญหากลิ่นของโรงงานผลิตยางแท่ง STR 20 จากต้นเหตุของการเกิดกลิ่นในยางก้อนด้วยการใช้สารอินทรีย์ธรรมชาติ 2 ชนิด คือ น้ำส้มควันไม้และไคโตซาน
2. เพื่อศึกษาวิธีการและหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดกลิ่นเหม็นของยางก้อนด้วยการสำหรับการผลิตยางแท่ง STR20
3. เพื่อการพัฒนาสู่การนำไปใช้เป็นแนวทางของการใช้สารธรรมชาติสำหรับการแก้ปัญหากลิ่นเหม็นของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ให้ลดน้อยลง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการเติมสารธรรมชาติ 2 ชนิด คือ น้ำส้มควันไม้และ ไคโตซานเพื่อการแก้ปัญหามลพิษทางอากาศของการเกิดกลิ่นเหม็นจากโรงงานผลิตยางแท่ง STR20
2. ศึกษาการเติมสารธรรมชาติในด้วยยางเพื่อการผลิตยางก้อนด้วยของชาวสวนยางที่ส่งผลต่อการแก้ปัญหากลิ่นเหม็นในโรงงานผลิตยางแท่ง STR20
3. ใช้ชุดทดลองถังเก็บยาง (test tank) ขนาด 0.1 m³ สำหรับการจำลองการเก็บยางก้อนด้วยที่เวลาการเก็บต่างๆ เพื่อศึกษาผลของการเติมสารธรรมชาติต่อการเก็บรักษายางก้อนด้วยในโรงงานก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตยางแท่ง
4. ทำการวัดผลโดยการตรวจวัดกรดอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดกรดอะซิติกที่เกิดขึ้นในกระแสดำสายเพื่อการวัดระดับของกลิ่นเหม็น วัดการเกิดเชื้อราและปริมาณกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในยางก้อนด้วยที่เก็บอยู่ภายในถังเก็บยาง และศึกษาผลของการเติมสารธรรมชาติต่อคุณสมบัติพื้นฐานของยางแท่ง STR20
5. ประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้สารธรรมชาติในการแก้ปัญหากลิ่นเพื่อการพัฒนาสู่การนำผลงานวิจัยไปใช้จริงในการแก้ปัญหายางของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ให้ลดน้อยลง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

- 1) ได้วิธีการแก้ปัญหากลิ่นเหม็นจากยางก้อนด้วย
- 2) ได้สภาวะที่เหมาะสมบำบัดกลิ่นจากยางก้อนด้วยที่ส่งผลต่อการแก้ปัญหากลิ่นเหม็นในโรงงานผลิตยางแท่ง STR20
- 3) ได้แนวทางการแก้ปัญหากลิ่นเพื่อการพัฒนาสู่การนำผลงานวิจัยไปใช้จริงในการแก้ปัญหายางของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ให้ลดน้อยลง

4) ได้รับความรู้และประสบการณ์จากการทำวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์และเผยแพร่แก่ผู้อื่น เช่น บทความทางวิชาการในวารสารวิชาการ เพื่อให้ภาคอุตสาหกรรมสามารถนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์ได้

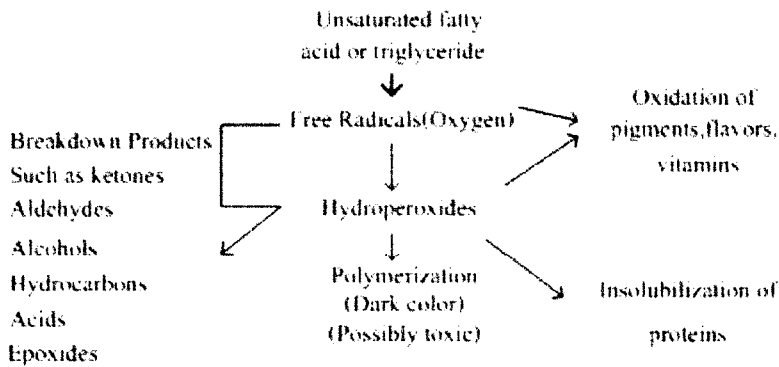
5) สามารถนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาค่ากำกวมการบำบัดกลิ่นเหม็นที่เป็นปัญหากับชุมชนบริเวณใกล้เคียงโรงงานซึ่งเกิดจากกระบวนการอบของ โรงงานอุตสาหกรรมยางแท่งได้

บทที่ 2

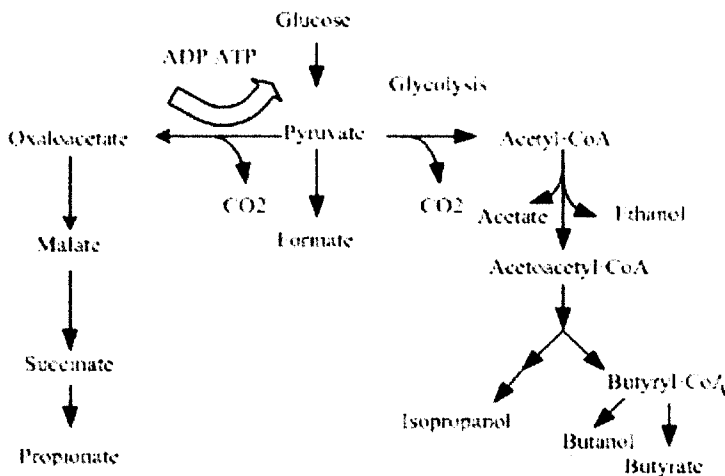
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเกิดกลิ่นจากยางธรรมชาติ

ปฏิกิริยาเคมีในยางธรรมชาติเกิดได้ในผลิตภัณฑ์ที่ยังอยู่ตลอดเวลา ด้วยสภาวะที่เหมาะสม ยางธรรมชาติจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างไขมันกับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็น โปรตีน ซึ่งมี ส่วนประกอบของกรดอะมิโนในโมเลกุลและปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) ออกมา ดัง แสดงในรูปที่ 2-1 ส่วนคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในเนื้อยาง จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายด้วยกระบวนการหมัก ภายใต้อากาศ กลายเป็นแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ เช่น บิวทานอล โพรพานอล ฯลฯ ดังรูปที่ 2-2



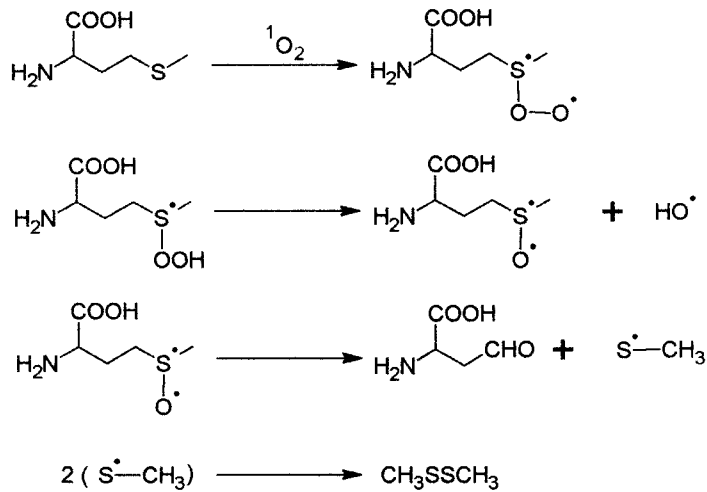
รูปที่ 2- 1 แสดงกลไกการย่อยโปรตีน



รูปที่ 2- 2 แสดงกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

ที่มา: รูปที่ 2-1 และ 2-2: <http://www.thaiblogonline.com>

ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน โดยปกติจะต้องได้รับพลังงานความร้อนกระตุ้นปฏิกิริยาแต่ด้วยจุลชีพประเภท Esterases สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ สารประกอบเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นมีคุณสมบัติที่มีกลิ่นฉุน และน้ำที่เหลือจากปฏิกิริยานั้นมีปริมาณค่อนข้างมาก ในกรณีของยางสกีม ยางถ้วยหรือยางแท่งที่มีการใช้กรดซัลฟิวริกเพื่อเป็นสารจับตัวในน้ำยาง ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะก่อให้เกิดสารประกอบเมทไธโอนีน (Methionene) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบในรูปแบบที่ 2-3



รูปที่ 2-3 แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดสารประกอบเมทไธโอนีน

ที่มา : <http://www.thaiblogonline.com>

2.2 กลิ่นที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง

การผลิตยางแท่ง SRT20 ประกอบด้วยการนำยางก้อนถ้วยมาตัดล้างทำความสะอาด บดย่อยให้มีขนาดเล็กลง นำไปอบ และนำเข้าสู่การห่อหุ้มด้วยบรรจุภัณฑ์ ซึ่งในขั้นตอนการอบยางจะเป็นแหล่งกำเนิดของกลิ่นเหม็น เนื่องจากในกระบวนการอบยางจะทำให้สารอินทรีย์ระเหยออกไปสู่บรรยากาศ สารอินทรีย์นั้นคือกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งประกอบด้วย Acetic acid, Propionic acid, Isobutyric acid, Butyric acid, Isovaleric acid และ Valeric acid (สมทิพย์ และคณะ, 2550) ดังตารางที่ 2-1 แสดงกรดไขมันระเหยง่ายและประเภทของกลิ่น กรดไขมันระเหยง่ายที่พบจากก๊าซที่ระบายออกมาจากที่อบยางก้อนถ้วยจะให้กลิ่นเหม็นฉุนที่น่ารังเกียจ Acetic acid และ Butyric acid เป็นสารเคมีที่ได้กลิ่นออกเปรี้ยว Propionic acid, Isobutyric acid, Isovaleric acid และ Valeric acid จะให้กลิ่นเหม็น ดังนั้นที่ความเข้มข้นต่ำๆ ของกรดไขมันระเหยง่ายแต่ละชนิด ก็สามารถจะรับรู้

และแยกแยะกลิ่นได้ แต่หากมีการรวมกันที่หลากหลายก็อาจทำให้ไม่สามารถแยกแยะถึงความเฉพาะของกลิ่นนั้นได้ ทำให้เป็นกลิ่นเหม็นในภาพรวม Acetic acid และ Butyric acid เนื่องจากมีค่า Order recognition threshold เท่ากับ 1.0 และ 0.001 ppm โดยปริมาตรอากาศตามลำดับ และมีลักษณะที่แยกแยะของกลิ่นว่าเป็นกลิ่นเหม็นเปรี้ยว (Hesketh *et al.*, 1989)

ตารางที่ 2- 1 แสดงกรดไขมันระเหยง่ายและประเภทของกลิ่น

Volatile fatty acid	Type of odor
Acetic acid	Vinegar, sour, acetic
Propionic acid	Pungent
Butyric acid	Rancid, sour, cheesy
Isovaleric acid	Rancid, cheesy, sweaty
Valeric acid	Sweaty, rancid

ที่มา: Fenaroli's Handbook (Furia and Bellanca, 1975), Sigma-Aldrich (2003) and personal observation

2.3 วิธีตรวจวัดกลิ่น

วิธีการตรวจวัดกลิ่นแบ่งออกเป็น 3 วิธีดังนี้

1. การตรวจวัดกลิ่นโดยวิธีทางเคมี
2. การตรวจวัดกลิ่นโดยวิธีการดมกลิ่น เป็นการวัดระดับความรู้สึกรสของคนที่มีต่อกลิ่น โดยหาค่าความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของกลิ่นกับความรูสึกของคนที่ได้รับกลิ่น
3. ในการสำรวจปัญหากลิ่นที่เกิดขึ้นในชุมชนมีวัตถุประสงค์เพื่อหาแหล่งกำเนิด หาปริมาณความเข้มข้น และนำข้อมูลมาใช้ในการตัดสินใจหาเรื่องร้องเรียนเรื่องกลิ่น ซึ่งควรมีแนวทางการดำเนินการที่ถูกต้องและควรมีการจดบันทึกที่เป็นระบบ เพื่อจะได้นำข้อมูลที่ได้มาใช้วิเคราะห์ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

2.4 ไคโตซาน

ไคโตซาน (Chitosan) ซึ่งเป็นสารไบโอโพลิเมอร์ (Biopolymer) ที่ไม่มีความเป็นพิษ มีประจุบวก สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ไคโตซานไม่ละลายน้ำ ค้าง และตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่มีกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีค่า

pH น้อยกว่า 6 กรดอะซิติกเป็นกรดที่นิยมนำมาใช้ในการละลาย ไคโตซานมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้โดยตรง โดยสามารถยับยั้งกระบวนการต่างๆ ในเนื้อเยื่อพืชเพื่อให้เกิดภูมิต้านทานต่อเชื้อ อีกทั้งยังมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อสาเหตุของการเกิดโรคพืชต่างๆ ได้ เช่น เชื้อไวรัส เชื้อแบคทีเรีย เช่น เชื้อไฟทอปธอรา พิเทียม พิวซาเรียม แอนแทรคโนส รา น้ำคั่ง ราชาว การใช้ประโยชน์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของไคโตซานคือการฉีดพ่น ส่งผลให้ไคโตซานทำปฏิกิริยาปกป้องการเข้าทำลายของเชื้อราบางชนิดสาเหตุของการบูดเน่า

2.5 น้ำส้มควันไม้

น้ำส้มควันไม้ (Wood Vinegar or Pyroligneous acid) เป็นของเหลวที่เป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านในสภาพอับอากาศ (Airless condition) โดยได้จากควันที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้ (Pyrolysis) เมื่อผ่านความเย็นจะรวมตัวกลั่นเป็นของเหลว (Liquor) สีน้ำตาลอ่อนปนแดงหรือเรียกว่า น้ำส้มควันไม้ มีสภาพเป็นกรดที่ pH 3-4 การใช้ประโยชน์จากน้ำส้มควันไม้จากอดีตถึงปัจจุบันมีมากมายหลายสาขา เช่น ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อ (Sterilizing agent) เป็นสารดับกลิ่น (Deodorizer) สารประกอบที่สำคัญในน้ำส้มควันไม้มีประโยชน์หลายอย่าง ได้แก่ กรดอะซิติก (Acetic acid) สารประกอบฟีนอล (phenolic compound) ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) เมทานอล (Methanol) เอทิล เอ็น วาเลอเรต (Ethyl-n-valerlate) และน้ำมันทาร์ (Tar) โดยเฉพาะกรดอะซิติกและเมทานอล เป็นสารในกลุ่มออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค เชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย และเชื้อไวรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.6 อุตสาหกรรมยางแท่ง

อุตสาหกรรมยางพาราเป็นอุตสาหกรรมการแปรรูปยางพาราขั้นต้นที่นำเอาน้ำยางสดที่กรี๊ดได้จากต้นยางพารามาแปรรูปให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมและสะดวกในการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง ยางพาราที่ผลิตได้แบ่งออกได้เป็น 5 ชนิด ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง ยางเครพ ยางผึ่งแห้ง และน้ำยางข้นยางพาราเหล่านี้จะนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปอื่นๆ เช่น ยางยานพาหนะ ประกอบด้วย ยางรถยนต์ ยางรถจักรยานยนต์ ยางรถจักรยาน ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรัดของ และท่อต่างๆ เป็นต้น

กระบวนการผลิตยางแปรรูปพื้นฐาน โดยอุตสาหกรรมยางแปรรูปพื้นฐานจะนำเอาน้ำยางสดที่กรี๊ดได้จากต้นยางพารามาแปรรูปให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมและสะดวกในการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางอื่น ๆ โดยทำให้เป็นยางแท่งชนิดต่างๆ (ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง ยางแผ่นผึ่งแห้ง และยางเครพ) หรือน้ำยางข้น (Concentrated latex) กระบวนการผลิตยาง

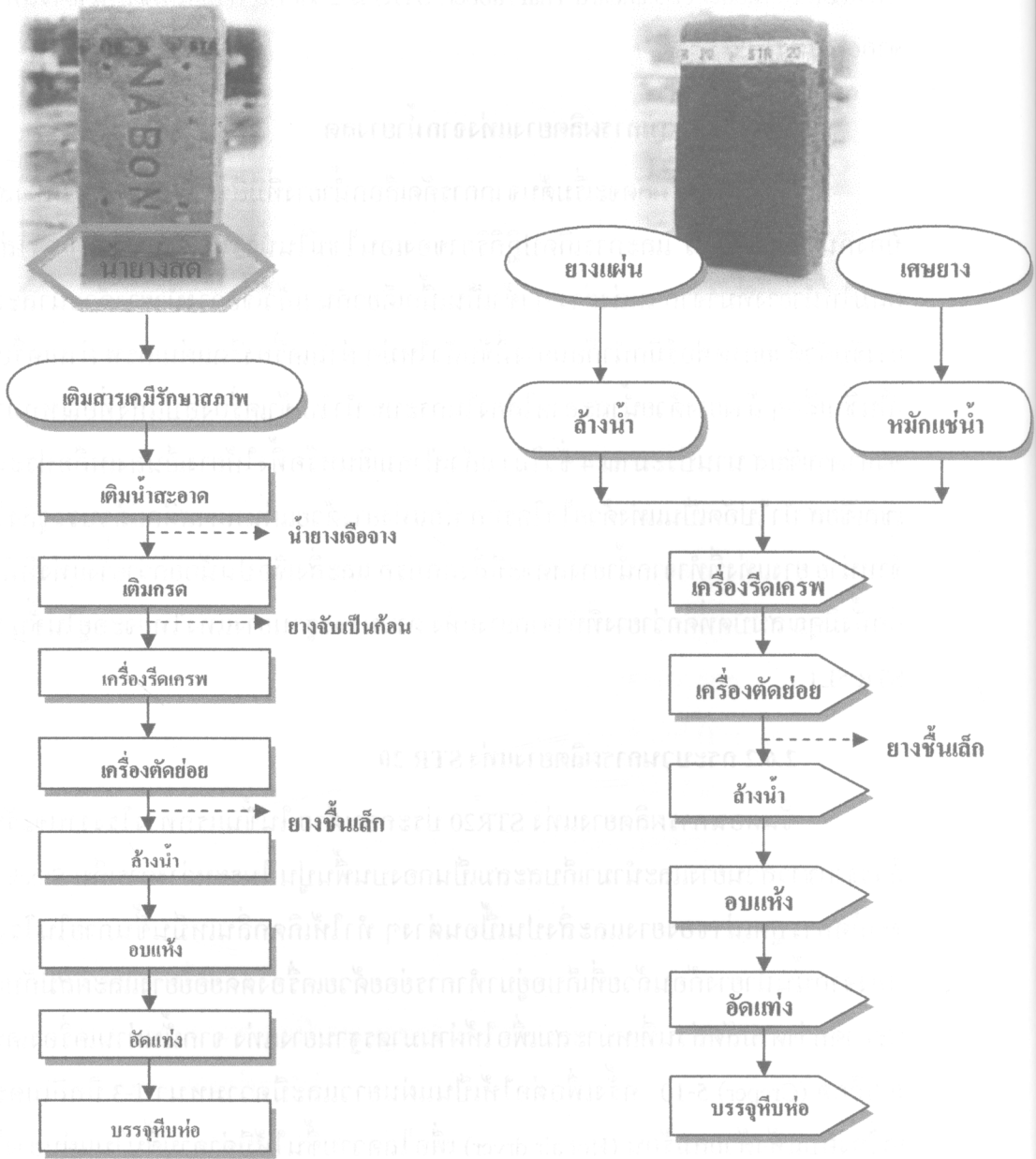
แท่ง (Block rubber or standard Thai rubber: STR) มี 2 วิธี คือ การผลิตจากน้ำยางสด และการผลิตจากยางแห้ง

2.6.1 กระบวนการผลิตยางแท่งจากน้ำยางสด

ขั้นตอนการผลิตจะเริ่มต้นจากการคัดเลือกน้ำยางที่มีสีขาวสม่ำเสมอ รักษาสภาพด้วยสารป้องกันน้ำยางจับตัว และการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ในน้ำยาง รวบรวมน้ำยางใส่ในถังพักเพื่อผสมให้น้ำยางที่มาจากแหล่งต่าง ๆ เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเจือจางน้ำยางด้วยน้ำสะอาด ทำให้น้ำยางจับตัวด้วยครดฟอรั่มิกนาก่อนยางที่จับตัวใหม่ๆ ผ่านเครื่องรีดแผ่นเครพ ผ่านเครื่องจักรตัดย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ ล้างยางด้วยน้ำสะอาดใส่ลงในกระบะ นำไปเข้าเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส นานประมาณ 4 ชั่วโมง แล้วเป่าลมเย็นหรือทิ้งให้ยางเย็นลงเหลือประมาณ 60 องศาเซลเซียส นำไปอัดเป็นแท่งด้วยไฮโดรลิก ห่อแท่งยางด้วยแผ่นพลาสติกแล้วบรรจุลงไม้เพื่อรอการจำหน่าย ยางแท่งที่ทำจากน้ำยางสดจะมีสิ่งสกปรก และสิ่งเจือปนน้อยกว่ายางแท่งที่ทำจากยางแห้ง อีกทั้งมีคุณสมบัติที่ดีกว่ายางที่ทำจากยางแห้ง ตามมาตรฐานยางแท่งไทยจะอยู่ในชั้น STR XL และ STR 5L1

2.6.2 กระบวนการผลิตยางแท่ง STR 20

ขั้นตอนการผลิตยางแท่ง STR20 ประกอบด้วย ในขั้นแรกทางโรงงานจะรับซื้อยางก้อนถ้วยจากชาวสวนยางและนำมาเก็บสะสมเป็นกองบนพื้นปูน ในระหว่างการเก็บ Stock ยางก้อนถ้วยนี้ จะเกิดการบูดเน่าของยางและสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นขึ้นภายในโรงงานยางแท่ง หลังจากนั้นนำยางก้อนถ้วยที่เก็บอยู่มาทำการย่อยด้วยเครื่องตัดย่อยยางและผสมกับยางแผ่นดิบที่สะอาดกว่าตามสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ผ่านมาตรฐานยางแท่ง จากนั้นผ่านเครื่องเครพหยาบและละเอียด (Creper) 5-10 ครั้งเพื่อต่อให้เป็นแผ่นยาวและมีความหนา 1-3 มิลลิเมตร ก่อนนำเข้าเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot air dryer) เพื่อไล่ความชื้นให้มีค่าความชื้นในแผ่นยางไม่เกิน 1.5%, 2.0% และ 2.5% โดยน้ำหนักยางแห้งสำหรับยางเครพชั้น 1, 2 และ 3 ตามลำดับ (อุตสาหกรรมยางพารา กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554 และสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2555) เนื่องจากความชื้นเริ่มต้นของยางเครพแผ่นก่อนอบมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 40% โดยน้ำหนัก ทำให้ขั้นตอนการอบเป็นขั้นตอนหนึ่งใช้พลังงานสูงซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิต อีกทั้งหากอบที่อุณหภูมิสูงจนเกินไปจะส่งผลต่อสมบัติด้านความยืดหยุ่นของยาง เป็นเหตุให้กำลังการผลิตถูกจำกัดด้วยระยะเวลาการอบ กระบวนการผลิตยางแท่งจากน้ำยางสด STR 5L และการผลิตยางแท่งจากยางแห้ง STR 20 แสดงดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2- 4 กระบวนการผลิตยางแท่งจากน้ำยางสด STR 5L (ซ้าย) และการผลิตยางแท่งจากยางแห้ง STR 20 (ขวา)
ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548

2.7 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

สมทิพย์ และคณะ (2550) ได้ทำการศึกษาปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 คือ ปัญหากลิ่นเหม็น ซึ่งเกิดจากการอบยางและบริเวณพื้นที่กักเก็บยางก้อนด้วย ผลจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่ากรดไขมันระเหยที่ระเหยออกจากการอบยางก้อนด้วยโดยวิธีการดูดซับในน้ำกลั่น สามารถคำนวณว่าอยู่ในช่วง 0.031–0.235 มก.ของกรดอะซิติค/กรัมยางแห้งและ 0.031–0.055 มก.ของกรดอะซิติค/กรัมยางแห้งของตัวอย่างยางก้อนด้วยที่เก็บไว้ในสภาวะเปียกและแห้งตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ายางก้อนด้วยที่เปียกที่เก็บบ่มไว้ในสภาวะเปียกจะสามารถให้กรดไขมันระเหยซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหากลิ่นเหม็นได้มากกว่าการเก็บในสภาวะแห้ง สามารถจำแนกสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของปัญหากลิ่นเหม็นในอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 ตัวอย่างก๊าซที่ระเหยจากการอบยางก้อนด้วยทั้งในห้องปฏิบัติการและจากการอบยางในโรงงานยางแท่ง STR 20 และตัวอย่างน้ำเสียที่ได้จากการล้างยางก้อนด้วยจากโรงงานยางแท่ง STR 20 ได้ดำเนินการโดยใช้ GC-MS ในการวิเคราะห์และได้ดำเนินการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแต่ละประเภทของกรดไขมันระเหยในเทอมของกรดอะซิติค กรดพอรอฟีนอิก กรดบิวทิริก กรดไอโซวาเลริก โดยใช้ GC ในการวิเคราะห์ ผลการศึกษาพบ 25 ชนิด ของสารประกอบอินทรีย์ในตัวอย่างดังกล่าวข้างต้น และสารอินทรีย์ที่เด่นซึ่งพบในทุกตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้แก่ กรดอะซิติค กรดบิวทิริก กรดไอโซวาเลริก กรดเฮกซะเดคานอิก กรดโอเลอิก และเมทิลเอสเทอร์ของกรดโอเลอิก

Schlegelmilch *et al.* (2005) ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่นโดยใช้แนวทางที่เหมาะสม โดยส่วนใหญ่กระบวนการที่มักจะนำมาใช้ในการบำบัดกลิ่นได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ กระบวนการทางเคมี และกระบวนการทางชีวภาพ โดยที่กระบวนการดูดซับจะใช้สารดูดซับต่างชนิดกัน เช่น Activated carbon, Activated alumina, Silica gels และ Zeolites เป็นต้น กระบวนการดูดซึม ได้แก่ กระบวนการดูดซึมทางกายภาพและกระบวนการทางเคมี กระบวนการบำบัดกลิ่นทางชีวภาพ ได้แก่ Bioscrubbers Biotrickling filter และ Biofilters การบำบัดกลิ่นโดยใช้ความร้อน ได้แก่ Thermal afterburners catalytic incinerators และ Regeneration thermal oxidation (RTO) กระบวนการออกซิเดชันแบบไม่ใช้ความร้อน ได้แก่ Ozone UV และ Non-thermal plasma การทดสอบระบบบำบัดกลิ่น 2 ระบบ ได้แก่

1. Static test system เป็นระบบที่ใช้ถุงพลาสติกที่ใช้ใน Olfactometry กับ Treatment media เช่น Adsorbent scrubbing และ Biofilter

2. Dynamic test system ใช้ในกระบวนการบำบัดกลิ่นที่ประกอบด้วยยูนิตต่างๆ เช่น Test Unit, Air Pump และ Flowmeters การจัดการกลิ่นสามารถสรุปได้เป็น Odor problem, Odour assessment และ Chemical analysis เป็นต้น

Sakdapipanich *et al.* (2006) ทำการศึกษาวิเคราะห์ห้องค้ประกอบของกลิ่นจากยางตัวอย่าง โดยใช้เทคนิค Head space ในการเก็บตัวอย่างก๊าซจากการนำตัวอย่างอบโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซโดยใช้ GC-MS ในการวิเคราะห์ พบว่าสำหรับยาง STR20 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากยางก้อนถ้วยซึ่งเป็นวัตถุดิบโดยส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบของกรดไขมันระเหยที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดพรอพิโนอิก กรดไอโซบิวทริก และสารประกอบเอสเทอร์ ซึ่งเกิดขึ้นมาจากกระบวนการหมักคาร์โบไฮเดรตและเกิดจากการหมักในน้ำเป็นเวลานานหลายชั่วโมงเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดมากับยางก้อนถ้วย ส่วนประกอบของเอสเทอร์และแอลกอฮอล์นั้นเกิดขึ้นจากปฏิกิริยา Microbial esterification ของกรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์

Nor-Hidayaty *et al.* (2012) ได้นำเสนอกลิ้นที่ไม่พึงประสงค์จากกระบวนการผลิตยางดิบที่มีผลกระทบต่อชุมชนที่อยู่อาศัยบริเวณรอบๆ โรงงาน ซึ่งได้มีแหล่งที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นหลายแหล่งจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทนี้ แก๊สที่ปล่อยออกมาจากระบบชุดดักจับกลิ่นที่ใช้ น้ำ (water scrubber system) เป็นแหล่งสำคัญหนึ่งที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาองค์ประกอบและความเข้มข้นของกลิ่นที่ปล่อยออกมาจากชุดดักจับกลิ่นด้วยน้ำ โดยด้วยวิธี Dynamic olfactometry ด้วยการเลือกโรงงาน 3 โรงงานเพื่อการศึกษา การประเมินผลหลักครอบคลุมถึงจุดเก็บตัวอย่างที่ออกจากเครื่องอบแห้ง ซึ่งกลิ่นได้ถ่ายโอนออกมาจากเครื่องอบแห้งมายังชุดดักจับกลิ่นเพื่อการควบคุมความเข้มข้นของกลิ่น จากการศึกษาโรงงานทั้ง 3 นี้ พบว่า กลิ่นมีความเข้มข้นในช่วง 22,938 - 275,985 ou/m³ ของตัวดักจับที่ 1 & 2 ระบบมีประสิทธิภาพการดักจับกลิ่น ระหว่าง 48 - 92 % โดยการออกแบบระบบดักจับกลิ่นที่เหมาะสมจะช่วยให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดักจับกลิ่นได้

2.8 การสืบค้นจากฐานข้อมูลสิทธิบัตร

Moriyoshi, 1997 จดสิทธิบัตรเลขที่ JP 09094291 เกี่ยวกับการดับกลิ่นและฆ่าเชื้อโรคด้วยน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ สามารถระงับกลิ่นกายได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย กำจัดกลิ่นหรือสารเคมีในโรงพยาบาล กลิ่นยาสูบในห้องพัก และกลิ่นสัตว์เลี้ยง สามารถฆ่าเชื้อในห้องผู้ป่วยและห้องนั่งเล่น โดยไม่รู้สึกรังกลิ่นสารเคมี น้ำส้มควันไม้ที่ใช้กำจัดกลิ่นนี้ได้มาจากลำ

ต้นของพืชที่อยู่ในวงศ์ Gramineae หรือ ในระหว่างการทำให้เป็นกรดคาร์บอนิกซึ่งเป็นการลดปริมาณน้ำมันดินทำให้ได้น้ำส้มควันไม้ที่บริสุทธิ์ขึ้น

Tadakatsu, et al. 2004 จดสิทธิบัตรเลขที่ JP 2004083545 เกี่ยวกับการไล่และดับกลิ่นด้วยเอสทีน้ำส้มไม้ในถุงโพลีเมอร์ เพื่อขยายพื้นที่การใช้ประโยชน์จากสารธรรมชาติจากไม้ที่มีความหลากหลายของการใช้งานรวมทั้งน้ำส้มควันไม้ โดยการนำสารนี้มาไล่และทำให้กลิ่นหายไป ใช้ดับกลิ่น ไล่แมลงมีพิษ นก และสัตว์ ภายในถุงโพลีเมอร์ที่ใช้ดับกลิ่นนี้มีลักษณะรูพรุนและประกอบไปด้วยเอสทีน้ำส้มควันไม้ ทำให้มีการระเหยของสารเพื่อดับกลิ่น หรือวางไว้ในส่วนที่ต้องการเพื่อลดกลิ่นที่ไม่ต้องการ

Yoshiaki, et al. 2009 จดสิทธิบัตรเลขที่ JP 2009095815 อุปกรณ์บำบัดกลิ่นสำหรับกลิ่นหมัก เพื่อแก้ปัญหากลิ่นเหม็นที่เกิดจากกระบวนการหมัก เช่น ปุ๋ยหมักและของเสีย ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมอุปกรณ์กำจัดกลิ่นนี้จะลดกลิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพมีต้นทุนที่ต่ำด้วยการระบายอากาศตามธรรมชาติและผสมน้ำส้มควันไม้ทำให้อากาศที่มีกลิ่นเหม็นลดลงได้เป็นการใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในธรรมชาติเช่นถ่านและผ้าป่า

Maric, et al. 2013 จดสิทธิบัตรเลขที่ WO 2013/006458 A1 เกี่ยวกับการลดและป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในการก่อดังของไบโอฟิล์มบนพื้นผิวโดยใช้อนุพันธ์ไคโตซานทำการฉีดพ่นไคโตซานบนพื้นผิวเพื่อป้องกันเชื้อราซึ่งเป็นสารชีวภาพที่ปลอดภัยสามารถย่อยสลายได้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากองค์ประกอบของไคโตซานจะช่วยรักษาพื้นผิวจำพวก เซรามิก โลหะ พลาสติก แก้ว ไม้ หรือผิวที่เป็นผลิตภัณฑ์อาหารและป้องกันวัสดุเหล่านี้จากสัตว์ขนาดเล็ก

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 น้ำยางสด

น้ำยาง (latex) คือวัสดุพอลิเมอร์ที่มีต้นกำเนิดจากต้นไม้ยืนต้น มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งคือ ยางพารา ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว คล้ายน้ำนม มีสมบัติเป็นคอลลอยด์ อนุภาคเล็ก มีตัวกลางเป็นน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3-1



รูปที่ 3- 1 น้ำยางสด

3.1.2 ยางก้อนถ้วย

ยางก้อนถ้วย คือยางที่ทำให้จับตัวกันเป็นก้อนในถ้วยรับน้ำยาง ยางที่ได้จึงเป็นก้อนตามลักษณะถ้วยน้ำยาง ก้อนยางที่ผลิตได้จะมีสีขาวและสีค่อยคล้ำขึ้น ความชื้นจะค่อยๆ ลดลงเมื่อทิ้งไว้หลายวัน ดังแสดงในรูปที่ 3-2



รูปที่ 3- 2 ยางก้อนถ้วย

3.1.3 ยางเครพ

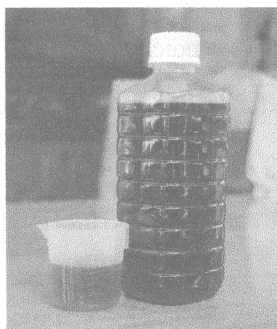
ยางเครพ เป็นยางที่ได้จากการนำยางก้อนถ้วยรีดผ่านเครื่องจักรรีดเครพ (Creper) ตั้งที่
 ตั้งเกดได้ชัดเจน คือ ยางที่รีดออกมามีลักษณะติดกันเป็นผืนยาวตามปริมาณของยางที่ป้อนเข้าเครื่อง
 และมาตรฐานของยางเครพคุณภาพดีจะจำกัดความหนาไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ส่วนลายบนผืนยาง
 จะต้องเป็นลายดอกที่ชัดเจน เพื่อให้ยางแห้งเร็วและมีความยืดหยุ่นดี จากนั้นนำมาอัดแท่งเพื่อผลิต
 เป็นยางแท่ง ห่อด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีนและบรรจุลงไม้เพื่อการจำหน่ายยางแท่งที่ทำจากยางแห้ง
 จะมีสิ่งเจือปนมากกว่าการผลิตจากน้ำยางสด และมีความอ่อนตัวน้อยกว่า ตามมาตรฐานยางแท่ง
 ไทย จะถูกจัดอยู่ในชั้น STR 10 และ STR 20 ดังการผลิตแสดงไว้ในรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 กระบวนการผลิตยางเครพ

3.1.4 น้ำส้มควันไม้

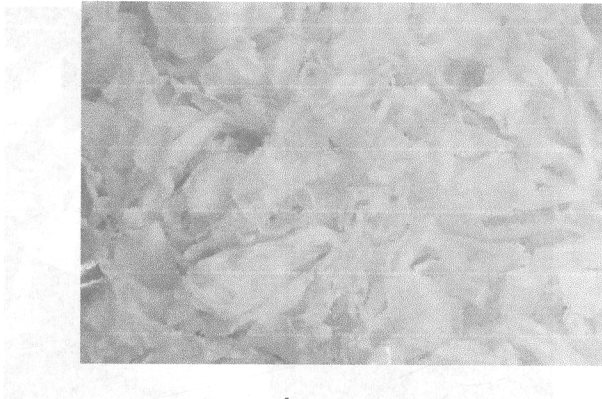
น้ำส้มควันไม้ (Wood Vinegar or Pyroligneous acid) เป็นของเหลวที่เป็นผลพลอยได้จาก
 การเผาถ่านในสภาพอับอากาศ (Airless condition) โดยได้จากควันที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผา
 ไหม้ (Pyrolysis) เมื่อผ่านความเย็นจะรวมตัวกลั่นเป็นของเหลว (Liquor) สีน้ำตาลอ่อนปนแดง มี
 สภาพเป็นกรดที่ pH 2-4 ดังแสดงในรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 น้ำส้มควันไม้

3.1.5 ไคโตซาน

ไคโตซาน (Chitosan) ซึ่งเป็นสารไบโอโพลิเมอร์ (Biopolymer) ที่ไม่มีความเป็นพิษ มีประจุบวก สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ไคโตซานไม่ละลายน้ำ ต่าง และตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่มีกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีค่า pH น้อยกว่า 6 กรดอะซิติกเป็นกรดที่นิยมนำมาใช้ในการละลาย ไคโตซานมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้โดยตรง โดยสามารถยับยั้งกระบวนการต่างๆ ในเนื้อเยื่อพืชเพื่อให้เกิดภูมิต้านทานต่อเชื้อ ดังแสดงในรูปที่ 3-5



รูปที่ 3- 5 ไคโตซาน

3.2 สารเคมี

3.2.1 สารเคมีสำหรับเตรียมและวิเคราะห์หักลินของยาง

- 1) กรดไฮโดรคลอริก (37%w/w, commercial grade, Merck)
- 2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (98%, commercial grade, Merck)
- 3) สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์อินดิเคเตอร์ (phenolphthalein indicator)
- 5) กรดบอริก (AjexFinechem Pty Ltd., Australia)
- 6) มิกส์อินดิเคเตอร์ (Mix indicator)
- 7) แคดเมียมซัลเฟต (cadmium sulfate, CdSO_4)
- 8) สารละลายมาตรฐานไอโอดีน (I_2)
- 9) โซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium Thiosulfate, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)

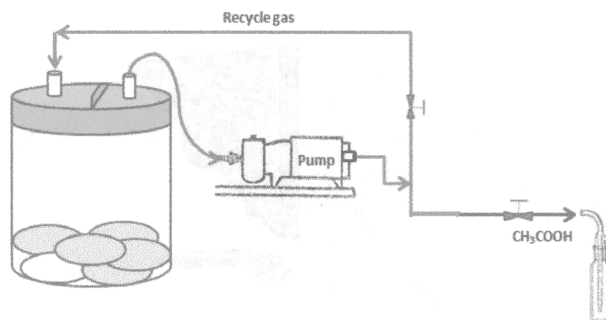
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทดลองบำบัดกลิ่นจากยางก้อนถ้วย

ในการทดลองนี้ทำการวิเคราะห์กลิ่นที่เกิดจากการเก็บยางก้อนถ้วยที่เวลาต่างๆ ซึ่งสิ่งที ก่อเกิดเป็นกลิ่นหลัก คือ กรดอะซิติก (CH_3COOH) การวิเคราะห์แก๊สทำได้โดยสร้างชุดจำลอง ปฏิกรณ์หมักยางที่เป็นถังพลาสติกปริมาตร 9 ลิตร ดังรูปที่ 3-6 ทำการเจาะรูฝาปิดโดยให้มีทางเข้า และทางออกของอากาศสำหรับการเก็บตัวอย่างแก๊สเพื่อนำมาวิเคราะห์โดยทำการต่อสายยางที่ ทางออกของถังเข้าสู่ตู้ปั๊มเพื่อป้อนเข้าสู่อิมพิงเจอร์ (Impingers) สำหรับการวิเคราะห์กรดอะซิติก โดย ใช้อัตราการไหล 0.5 l/min โดยทำการต่อระบบดังแสดงในรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-6 ชุดจำลองปฏิกรณ์หมักยาง

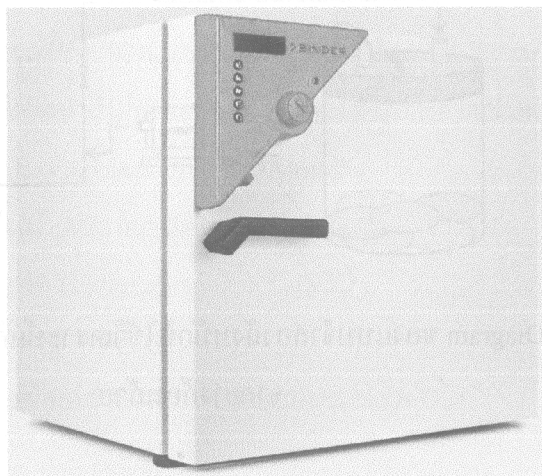


รูปที่ 3-7 แสดง Diagram ของแบบจำลองถังหมักที่ใช้วิเคราะห์แก๊สที่เป็นส่วนประกอบของกลิ่น จากยางก้อนถ้วย

3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทดลองบำบัดกลิ่นจากการอบยางเครพ

- 1) ท่อสายยางซิลิโคนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.5 เซนติเมตร ใช้เป็นทางไหลของตัวอย่างอากาศเสียที่ปนเปื้อนกลิ่นเหม็นต่อระหว่างท่อทางเข้าและออกของปฏิกรณ์
- 2) ปัมป์เก็บตัวอย่างอากาศ (Air sampling pump) ยี่ห้อ Hailea รุ่น ACO-208 ใช้สำหรับดูดเก็บตัวอย่างอากาศเสียจากท่อทางเข้าและออกของปฏิกรณ์ เพื่อนำตัวอย่างอากาศเสียปนเปื้อนกลิ่นเหม็นมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของอะซิติคผ่านกระบวนการดูดซึมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอิมพิงเจอร์
- 3) วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Manual valve) ใช้สำหรับปรับอัตราการไหลของอากาศให้เหมาะสมต่อการเก็บตัวอย่างอากาศปนเปื้อนกลิ่นเหม็นด้วยวิธีการดูดซึม
- 4) บิวเรต (Burette) ขนาด 10 และ 25 มิลลิลิตร
- 5) ปิเปต (Pipette) ขนาด 10 มิลลิลิตร
- 6) กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 7) บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50, 100 และ 500 มิลลิลิตร
- 8) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- 9) อิมพิงเจอร์ (Impinger)

เพื่อดำเนินการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์กลิ่นจากกระบวนการผลิตยางแท่ง โดยใช้สารธรรมชาติในการบำบัดกลิ่นจึงจำลองการอบยางเครพในการผลิตยางแท่งด้วยการใช้ตู้อบดังแสดงไว้ในรูปที่ 3-8 และใช้อุณหภูมิเดียวกันกับอุณหภูมิของอุตสาหกรรมในการผลิตยางแท่ง



รูปที่ 3-8 ตู้อบยางเครพขนาดห้องปฏิบัติการ

3.4 การเตรียมวัตถุดิบในการทดลอง

3.4.1 การเติมสารธรรมชาติลงในน้ำยางเพื่อผลิตยางก้อนถ้วย

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง คือ น้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex) ที่ไม่ผ่านการเติมสารละลายแอมโมเนียซึ่งจะนำมาทำให้เป็นยางก้อน โดยใช้ปริมาตรของน้ำยางสดก้อนละ 400 ml ดังแสดงในรูปที่ 3-9 แต่ละชุดการทดลองใช้ปริมาตรของน้ำยางทั้งหมด 2,000 มิลลิลิตร บรรจุในถังขนาด 9 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 3-10 โดยทำการเติมกรดซัลฟิวริกและน้ำส้มควันไม้ในอัตราส่วนที่ต่างกันดังตารางที่ 3-1 เพื่อการวิเคราะห์กรดอะซิติก (Acetic acid, CH_3COOH) และแอมโมเนีย (Ammonia, NH_3) สำหรับการวิเคราะห์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ใช้ปริมาตรของน้ำยาง 2,571 มิลลิลิตร ต่อถัง โดยบรรจุในถังขนาด 9 ลิตรและใช้อัตราส่วนในการเติมกรดซัลฟิวริกและน้ำส้มควันไม้เพื่อช่วยในการจับตัวของยางดังตารางที่ 3-2 ซึ่งในการทดลองนี้ใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.0034 M



รูปที่ 3-9 การผลิตยางก้อนถ้วยด้วยการเติมสารธรรมชาติ



รูปที่ 3-10 บรรจุยางก้อนถ้วยที่ผ่านการเติมสารธรรมชาติลงในชุดทดลอง

ตารางที่ 3- 1 แสดงปริมาณและอัตราส่วนของสารเติมในน้ำยางธรรมชาติเพื่อผลิตยางก้อนถ้วยที่ใช้วิเคราะห์กรดอะซิติก (CH_3COOH) และแก๊สแอมโมเนีย (NH_3)

ชุดการทดลองที่	สารเติม		สเปรย์ น้ำส้มควันไม้ (ml)
	กรดซัลฟิวริก (ml)	น้ำส้มควันไม้ (ml)	
1	5	-	-
2	-	5	-
3	5	5	-
4	2.5	2.5	2.5

ตารางที่ 3- 2 แสดงปริมาณและอัตราส่วนของสารเติมในน้ำยางธรรมชาติเพื่อผลิตยางก้อนถ้วยที่ใช้วิเคราะห์กรดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

ชุดการทดลองที่	สารเติม	
	กรดซัลฟิวริก (ml)	น้ำส้มควันไม้ (ml)
1	-	-
2	5	-
3	10	-
4	-	5

หมายเหตุ: ชุดการทดลองที่ 1 เป็นยางก้อนถ้วยที่แข็งตัวตามธรรมชาติ (blank)

3.4.2 การฉีดพ่นน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้นต่างๆ บนยางก้อนถ้วย

ทำการทดลองศึกษาผลการใช้สารธรรมชาติสำหรับฉีดพ่นบนยางก้อนถ้วยเพื่อเป็นการป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็นจากการบูดเน่าของยางก้อนถ้วย โดยมีการเตรียมการและควบคุมตัวแปรกระบวนการ ดังนี้

1. เตรียมสารละลายน้ำส้มควันไม้ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3-3
2. นำสารละลายของสารธรรมชาติที่เตรียมได้ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ไปใช้ฉีดพ่นบนยาง ก่อนด้วยเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่ผ่านการฉีดพ่น

ตารางที่ 3-3 การออกแบบการทดลองการแก้ปัญหากลิ่นเหม็นด้วยการใช้สารธรรมชาติในขั้นตอนของการผลิตยางก้อนถ้วยจากสวนยาง

ชนิดของสารธรรมชาติ	ชุดการทดลอง	ลำดับ	ความเข้มข้นของสาร % (v/v)	สภาวะที่เหมาะสมในการลดการเกิดกลิ่น
ไม่เติม	1	1	0	
น้ำส้มควันไม้	2	2	3	น้ำส้มควันไม้ = X_1
		3	5	
		4	10	

3.4.3 การฉีดพ่นสารธรรมชาติชนิดน้ำส้มควันไม้และโคโคซานบนยางเครพ

ทำการทดลองศึกษาผลการใช้สารธรรมชาติสำหรับฉีดพ่นบนยางเครพเพื่อลดกลิ่นเหม็นจากยางเครพก่อนผ่านกระบวนการอบแห้งในการผลิตเป็นยางแท่งต่อไป โดยทำการทดลองใช้น้ำส้มควันไม้และโคโคซาน ที่ความเข้มข้น 5% v/v ตามสภาวะดังต่อไปนี้ สารละลายน้ำส้มควันไม้ สารละลายน้ำส้มควันไม้ผสมโคโคซาน และสารละลายโคโคซานผสมกรดอะซิติก เทียบกับชุดควบคุมไม่ผ่านการฉีดพ่นสารธรรมชาติ

1. เตรียมสารธรรมชาติเพื่อใช้ฉีดพ่นบนยางเครพที่ความเข้มข้น 5% v/v 3 รูปแบบ คือ สารละลายน้ำส้มควันไม้ สารละลายน้ำส้มควันไม้ผสมโคโคซาน และสารละลายโคโคซานผสมกรดอะซิติก
2. นำสารละลายของสารธรรมชาติที่เตรียมได้ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ไปใช้ฉีดพ่นบนยางเครพเปรียบเทียบกับชุดควบคุม
3. นำยางเครพที่ผ่านการฉีดพ่นสารธรรมชาติอบที่อุณหภูมิ 130°C จากนั้นเก็บอากาศเสียมาวิเคราะห์ทุก 15 นาที โดยวิธีการดูดซึมผ่านสารดูดซึมในอิมมิงเจอร์

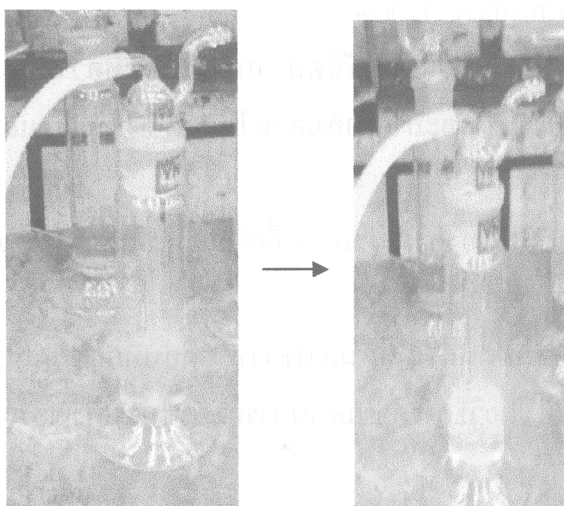
3.4.4 การแช่ยางในสารธรรมชาติเพื่อลดการเกิดกลิ่น

การแช่ยางในน้ำส้มควันไม้และไคโตซานให้สามารถลดกลิ่นเหม็นจากยางเครพก่อนผ่านกระบวนการอบแห้งในการผลิตยางแท่ง เป็นวิธีที่นอกเหนือจากการฉีดพ่นเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของสารธรรมชาติ ดำเนินการโดยนำยางเครพมาแช่ในสารธรรมชาติที่ความเข้มข้น 3.5 และ 10% โดยปริมาตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วพักไว้ให้แห้งสามารถเก็บรักษาได้นานก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง จากนั้นทำการวิเคราะห์กลิ่นจากอากาศเสียที่ปล่อยออกมาของกระบวนการอบแห้งยาง

3.5 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์แก๊ส

3.5.1 การเก็บตัวอย่างแก๊สจากยางก้อนถ้วย

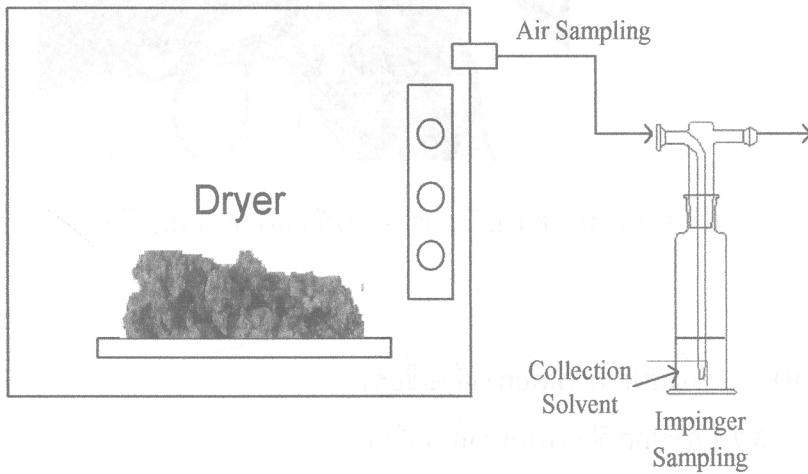
ทำการเตรียมสารละลายชนิดโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กรดบอริก (H_3BO_3) และแคดเมียมซัลเฟต (Cd_2SO_4) เพื่อใช้ในการดูดซึมแก๊สในตัวอย่างอากาศชนิดกรดอะซิติก (CH_3COOH) แอมโมเนีย (NH_3) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ตามลำดับ เติมสารละลายที่เตรียมได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในอิมพิงเจอร์แล้วเติมอินดิเคเตอร์ ทำการต่อระบบเข้ากับตัวอย่างชุดการทดลองที่หมักยางก้อนถ้วยแล้วทำการดูดแก๊สที่เกิดจากการหมักของยางก้อนถ้วยในถังเข้าสู่อิมพิงเจอร์ปรับอัตราการไหลของตัวอย่างแก๊สให้ได้ 0.5 ลิตร/นาที ทำการจับเวลาเมื่อเริ่มเปิดสวิทซ์การทำงานของระบบปล่อยให้แก๊สและของเหลวเกิดการดูดซึมจนกระทั่งสารละลายในอิมพิงเจอร์เกิดการเปลี่ยนสีจากสีชมพูเป็นไม่มีสีดังแสดงไว้ในรูปที่ 3-11 จึงเก็บตัวอย่างนำสารละลายที่ได้จากการดูดซึมมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของอะซิติกที่เป็นสาเหตุหลักของกลิ่นยางที่เกิดจากการหมักหมม



รูปที่ 3- 11 แสดงการเก็บตัวอย่างสารเพื่อไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดอะซิติก

3.5.2 การเก็บตัวอย่างแก๊สจากการอบยางเครพ

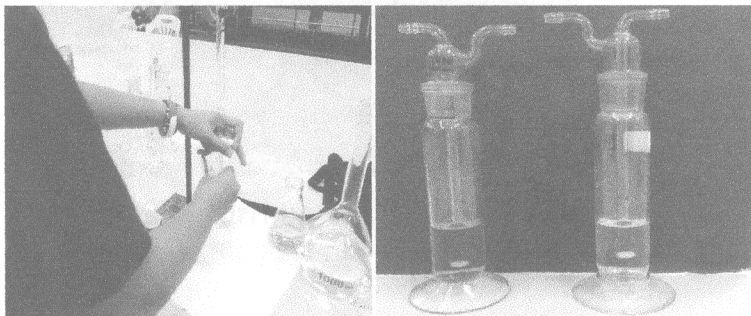
1) ดูดอากาศเสียจากตู้อบยางเครพขนาดห้องปฏิบัติการ ผ่านปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ (Air sampling pump) ที่ใช้สำหรับดูดเก็บตัวอย่างอากาศเสียจากท่อทางออกของตู้อบ เพื่อนำตัวอย่างอากาศเสียปนเปื้อนกลิ่นเหม็นมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของอะซีติกผ่านกระบวนการดูดซึมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในอิมพิงเจอร์ที่เดิมอินดิเคเตอร์ 3 หยด ปรับอัตราการไหลวาววูในการเก็บตัวอย่างแก๊สให้ได้ 0.5 l/min ทำการจับเวลาเมื่อแก๊สถูกดูดซึมลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สิ้นสุดการเก็บตัวอย่างเมื่อสารละลายเปลี่ยน จากนั้นนำสารดูดซึมไปทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของอะซีติกที่เป็นสาเหตุหลักของกลิ่นดังแสดงในรูปที่ 3-12



รูปที่ 3- 12 โดอะแกรมการเก็บตัวอย่างแก๊สจากการอบแห้งยางเครพ

3.5.3 การวิเคราะห์กลิ่นจากยาง

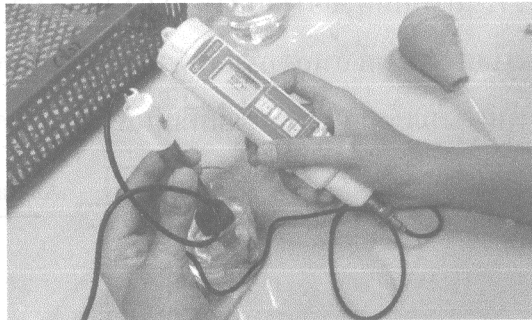
เมื่อทำการเก็บตัวอย่างอากาศเสียของยางลงไปในสารดูดซึมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยใช้อิมพิงเจอร์ จากนั้นทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของอะซีติก ด้วยวิธีการไทเทรต เมื่อถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อน ดังแสดงในรูปที่ 3-13



รูปที่ 3- 13 แสดงการวิเคราะห์ความเข้มข้นของอะซีติกด้วยวิธีการไทเทรต

3.6 ศึกษาความเป็นกรด-ด่างของของเหลวจากการหมักยากล่อนด้วย

ทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างโดยการเก็บตัวอย่างของเหลวที่เกิดขึ้นภายในถังหมักยากล่อนด้วยในแต่ละวันของแต่ละชุดการทดลองด้วยปริมาตรตัวอย่างละ 10 มิลลิลิตร แล้วนำมาวัดความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง pH meter เพื่อทำการเปรียบเทียบความเป็นกรดของน้ำเสียที่เกิดจากการหมักยากล่อนด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3-14

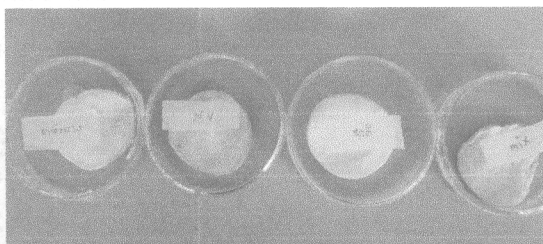


รูปที่ 3- 14 วัดค่าความเป็นกรด- ด่างตัวอย่างของเหลวที่เกิดขึ้นภายในถังหมัก

3.7 ศึกษาการใช้น้ำส้มควันไม้ต่อการเกิดเชื้อรา

3.7.1 การเกิดเชื้อราบนยางก๋อนด้วย

นำน้ำยางสดปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาเติมกรดซัลฟิวริกและน้ำส้มควันไม้ในอัตราส่วนที่ต่างกัน ดังตารางที่ 3-4 ผสมให้เข้ากันมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องในระบบเปิดเพื่อปล่อยให้เชื้อราเจริญเติบโตขึ้นเองแล้วสังเกตการเจริญเติบโตและวงการแพร่กระจายของเชื้อราบนก๋อนยางทุกๆ วัน จนกระทั่งครบ 7 วัน ดังแสดงในรูปที่ 3-15



รูปที่ 3- 15 ทดสอบการเกิดเชื้อรา

ตารางที่ 3- 4 แสดงปริมาณและอัตราส่วนของสารเติมในน้ำยางธรรมชาติเพื่อสังเกตการเจริญเติบโตของเชื้อรา

ชุดการทดลองที่	สารเติม		สปอร์น้ำส้มควันไม้ (มิลลิลิตร)
	กรดซัลฟิวริก (มิลลิลิตร)	น้ำส้มควันไม้ (มิลลิลิตร)	
1	0.125	-	-
2	-	0.125	-
3	0.125	0.125	-
4	0.0625	0.0625	0.0625

3.7.2 การเกิดเชื้อราบนยางเครพและยางแผ่น

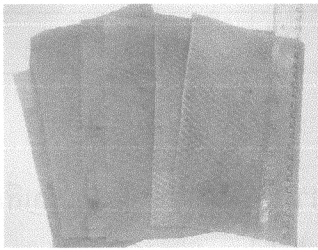
เพื่อศึกษาถึงผลการใช้ น้ำส้มควัน ไม้ในการเกิดเชื้อราบนยาง ซึ่งเชื้อราส่งผลเสียหายแก่ยางเครพและยางแผ่นในระหว่างการเก็บรักษาก่อนการนำไปสู่กระบวนการต่างๆ หากสารธรรมชาติสามารถป้องกันเชื้อราได้จะส่งผลดีต่อเกษตรกรและอุตสาหกรรมอย่างสูงและปลอดภัยต่อผู้ผลิต ทั้งนี้ได้ทดสอบการใช้น้ำส้มควัน ไม้กับยาง 2 ชนิด คือ ยางเครพและยางแผ่น เพื่อยืนยันความสามารถของน้ำส้มควัน ไม้ต่อการยับยั้งเชื้อราที่เกิดขึ้นบนยางธรรมชาติ

(1) การยับยั้งเชื้อราบนยางเครพ ดำเนินการ โดยนำยางมาชั่ง 50 กรัมต่อตัวอย่าง และนำมาแช่ในน้ำส้มควัน ไม้ตามอัตราส่วน 10 20 50 และ 100% โดยปริมาตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พักไว้ให้แห้งก่อนการเก็บรักษาโดยการวางไว้ที่อุณหภูมิห้องดังแสดงในรูปที่ 3-16

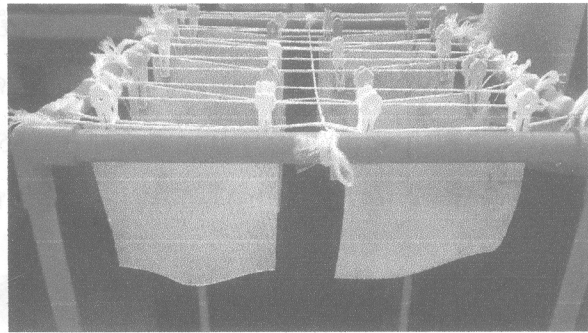
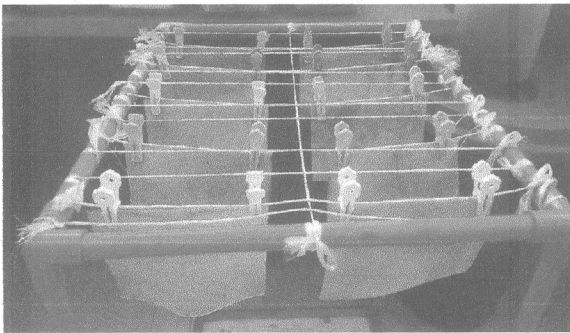


รูปที่ 3- 16 ยางเครพที่ผ่านการแช่น้ำส้มควัน ไม้เพื่อป้องกันเชื้อรา

(2) การยับยั้งเชื้อราบนยางแผ่น นำยางแผ่นดิบที่ผ่านการตากแห้งมาตัดให้มีขนาด 10×10 เซนติเมตร แช่น้ำส้มควันไม้ตามอัตราส่วน 10 20 50 และ 100% โดยปริมาตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำขึ้นมาพักไว้ให้แห้งสนิทก่อนการนำไปเก็บ ในส่วนของยางแผ่นดิบจะนำมาซ้อนทับเป็นชั้นๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3-17 และแขวนดังแสดงไว้ในรูปที่ 3-18 เพื่อศึกษาวิธีเก็บรักษาให้ปราศจากเชื้อราอย่างเหมาะสม การทดลองนี้จะเปรียบเทียบผลการทดลองกับยางที่ไม่ผ่านการแช่น้ำส้มควันไม้ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวควบคุม สังเกตการเจริญเติบโตของเชื้อราบนยางตามระยะเวลาต่างๆ



รูปที่ 3- 17 ยางเครพที่ผ่านการแช่น้ำส้มควัน ไม้เพื่อป้องกันเชื้อรา



รูปที่ 3- 18 การเก็บรักษายางแผ่นที่ผ่านการแช่น้ำส้มควัน ไม้แบบแขวน

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

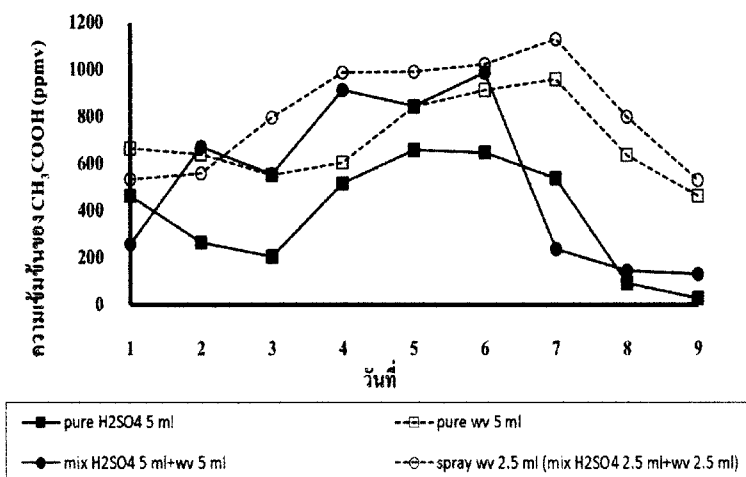
การศึกษาวิจัยเรื่องการแก้ปัญหากลิ่นของโรงงานผลิตยางแท่ง STR 20 โดยใช้สารอินทรีย์ธรรมชาติ จากสาเหตุของการเกิดกลิ่นโดยใช้สารอินทรีย์ธรรมชาติ 2 ชนิด คือ น้ำส้มควันไม้ (wood vinegar) และ ไคโตซาน (chitosan) ที่มีคุณสมบัติพิเศษในการยับยั้งแบคทีเรีย เชื้อรา และ จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่น ในย่างก้อนด้วย โดยทำการศึกษา 1) การเติมสารธรรมชาติลงในถ้วยผลิตยางก้อนด้วยของชาวสวนยางเพื่อลดการเกิดกลิ่นตั้งแต่ขั้นการผลิตยางก้อนด้วย หลังจากนั้นออกแบบชุดทดลองถังเก็บยาง (Test tank) สำหรับการเก็บยางกันด้วยที่เวลาการเก็บต่างๆ เพื่อจำลองการเก็บรักษาภายในโรงงานก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตยางแท่ง 2) การฉีดพ่นสารบนกองของยางก้อนด้วยในถังเก็บยาง เพื่อทำการศึกษาผลของก๊าซเสียที่เกิดขึ้นและก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น โดยทำการวัดผลจากกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในก๊าซเสีย 3) ศึกษาการนำยางก้อนด้วยมาผลิตเป็นยางเครพ โดยผ่านกระบวนการอบแห้งเพื่อผลิตเป็นยางแท่ง 4) วัดระดับของการเกิดเชื้อราและปริมาณกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในย่างก้อนด้วยที่เก็บอยู่ภายในถังเก็บยางเพื่อเปรียบเทียบกับสภาวะควบคุมที่ไม่มีการใช้สารธรรมชาติและหาปริมาณการใช้สารธรรมชาติที่เหมาะสม รวมถึงศึกษาผลของการเติมสารธรรมชาติต่อคุณสมบัติพื้นฐานของยางแท่ง STR20 ซึ่งผลงานวิจัยนี้มีศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ที่จะสามารถพัฒนาสู่การนำมาใช้เป็นแนวทางในการใช้สารธรรมชาติสำหรับการแก้ปัญหาของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ให้ลดน้อยลงต่อไป

4.1 ผลของการเติมสารธรรมชาติลงในย่างก้อนด้วยต่อการเกิดกลิ่น

จากการดำเนินการทดลองเติมสารธรรมชาติลงในย่างก้อนด้วยของชาวสวนยางเพื่อลดการเกิดกลิ่นตั้งแต่ขั้นการผลิตยางก้อนด้วย หลังจากนั้นออกแบบชุดทดลองถังเก็บยาง (Test tank) สำหรับการเก็บยางกันด้วยที่เวลาการเก็บต่างๆ เพื่อจำลองการเก็บรักษาภายในโรงงานก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตยางแท่งวิเคราะห์กลิ่นที่เกิดจากการเก็บยางก้อนด้วยที่เวลาต่างๆ ซึ่งเกิดการบูดเน่าของยางก้อนด้วยโดยมีกรดอินทรีย์เป็นสาเหตุของกลิ่นหลักกลิ่น และมีแก๊สชนิดอื่นที่เกิดขึ้น จากการทดลองนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของแก๊ส 3 ชนิด คือ กรดอะซิติก (CH_3COOH) แอมโมเนีย (NH_3) และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

4.1.1 การวิเคราะห์กรดอะซิติก (CH_3COOH) ในยางก้อนถ้วย

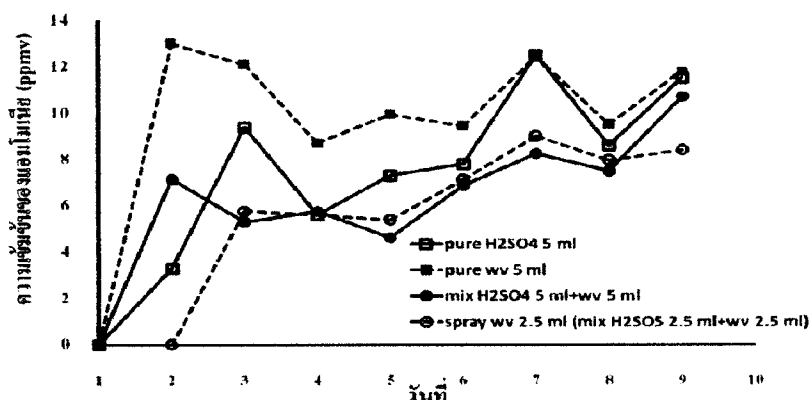
ในสถานะแก๊สพบว่าปริมาณความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่วัดได้จากการทดลองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 4-1 และจากการทดลองพบว่ายางก้อนที่ผสมกรดซัลฟิวริก 5 มิลลิลิตร มีความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ต่ำและการใช้น้ำส้มควันไม้ปริมาณ 5 มิลลิลิตร มีผลที่ใกล้เคียงกับการนำน้ำส้มควันไม้ 2.5 มิลลิลิตร ผสมกับกรดซัลฟิวริก 2.5 มิลลิลิตร แล้วทำการสเปรย์ด้วยน้ำส้มควันไม้ปริมาณ 2.5 มิลลิลิตร ซึ่งพบว่าชุดการทดลองที่มีส่วนผสมของน้ำส้มควันไม้อยู่ด้วยนั้นจะมีปริมาณความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่สูงกว่าเล็กน้อยอันเนื่องมาจากในองค์ประกอบของน้ำส้มควันไม้นั้นมีกรดอะซิติกเป็นองค์ประกอบหลัก



รูปที่ 4-1 ความเข้มข้นของกรดอะซิติกในแก๊สที่เกิดจากการบดเผาของยางก้อนถ้วยที่ระยะเวลาต่างๆ

4.1.2 การวิเคราะห์แก๊สแอมโมเนีย (NH_3) ในยางก้อนถ้วย

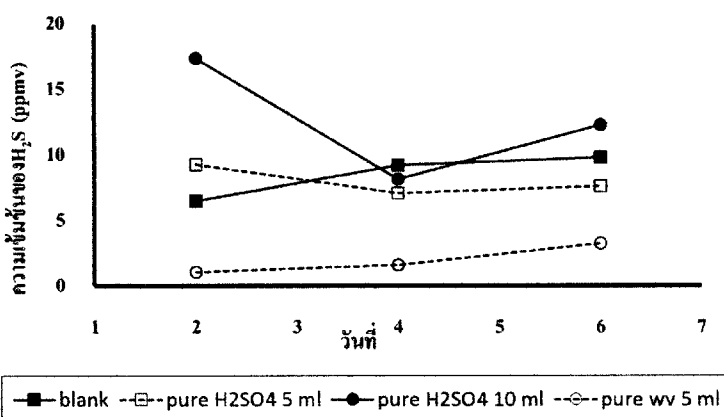
จากการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียพบว่าในช่วงวันที่ 1 และ 2 ผลการทดลองของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มของปริมาณแก๊สแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้น โดยยางก้อนถ้วยที่เติมน้ำส้มควันไม้ปริมาณ 5 มิลลิลิตร มีความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียที่สูงซึ่งมีค่าความเข้มข้น 13 ppmv และเมื่อเวลาผ่านไป 2-3 วัน พบว่าปริมาณความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียในทุกตัวอย่างมีแนวโน้มของความเข้มข้นที่คงที่และมีค่าที่ใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 6-10 ppmv ดังรูปที่ 4-2



รูปที่ 4- 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ NH_3 ที่เกิดจากยางก้อนถ้วยในสถานะแก๊สกับระยะเวลาในการบดเน่าของยางก้อนถ้วย

4.1.3 การวิเคราะห์แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ในยางก้อนถ้วย

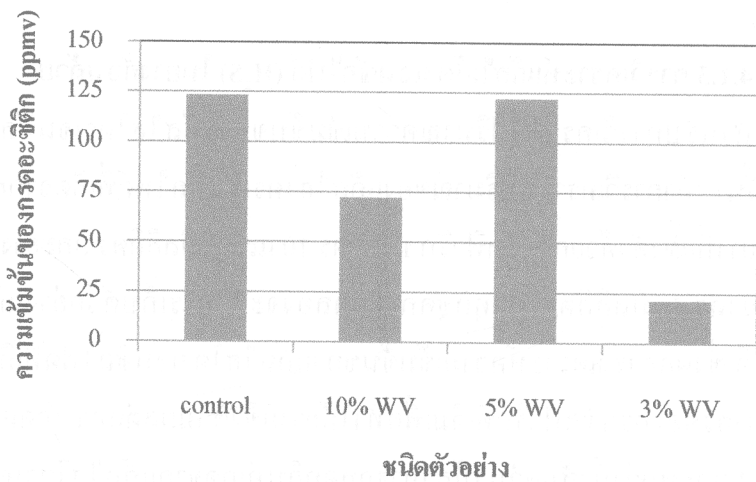
สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจากยางก้อนถ้วยนั้นจะทำการวิเคราะห์ปริมาณของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากยางที่มีการแข็งตัวโดยธรรมชาติยางที่แข็งตัวด้วยกรดซัลฟิวริก ปริมาตร 10 และ 5 มิลลิลิตร และยางที่มีการเติมน้ำส้มควันไม้ในปริมาตร 5 มิลลิลิตร โดยทุกชุดการทดลองจะทำการเก็บตัวอย่างแก๊สด้วยอัตราการไหล 1 ลิตร/นาที ซึ่งผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจากยางก้อนถ้วยพบว่าปริมาตรของกรดซัลฟิวริกที่เติมเพื่อให้ยางแข็งตัวมีผลต่อการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังรูปที่ 4-3 และพบว่าน้ำส้มควันไม้สามารถลดกลิ่นที่เกิดจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้เมื่อเทียบกับชุดตัวอย่างการทดลองต่างๆ ซึ่งมีความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ในช่วง 2.0-3.7 ppmv



รูปที่ 4- 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากยางก้อนถ้วยในสถานะแก๊สกับระยะเวลาในการบดเน่าของยางก้อนถ้วย
หมายเหตุ : blank คือ ยางก้อนถ้วยที่แข็งตัวตามธรรมชาติ

4.2 ผลความเข้มข้นในการฉีดพ่นน้ำส้มควันไม้ต่อการบำบัดกลิ่นในยางก้อนถ้วย

การศึกษานำสารธรรมชาติชนิดน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้นต่างๆ ฉีดพ่นสารบนกองของยางก้อนถ้วยในถังเก็บยาง มาบำบัดกลิ่นจากยางก้อนถ้วยต่อค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกในหน่วย ppmv ด้วยอัตราการไหลของแก๊สในการเก็บตัวอย่าง 0.5 ลิตร/นาที สามารถแสดงผลของความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่เป็นสาเหตุของกลิ่นหลักแสดงผลการทดลองไว้ดังรูปที่ 4-4 เมื่อนำยางก้อนถ้วยมาวางทิ้งไว้เป็นระยะเวลานานจะเกิดการบูดเน่าของยางก้อนถ้วยสาเหตุจากเชื้อราและแบคทีเรียซึ่งจะส่งกลิ่นเหม็น เพื่อทำการศึกษาผลของก๊าซเสียที่เกิดขึ้นและก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น โดยทำการวัดผลจากกรดอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดกรดอะซิติกที่เกิดขึ้นในก๊าซเสีย



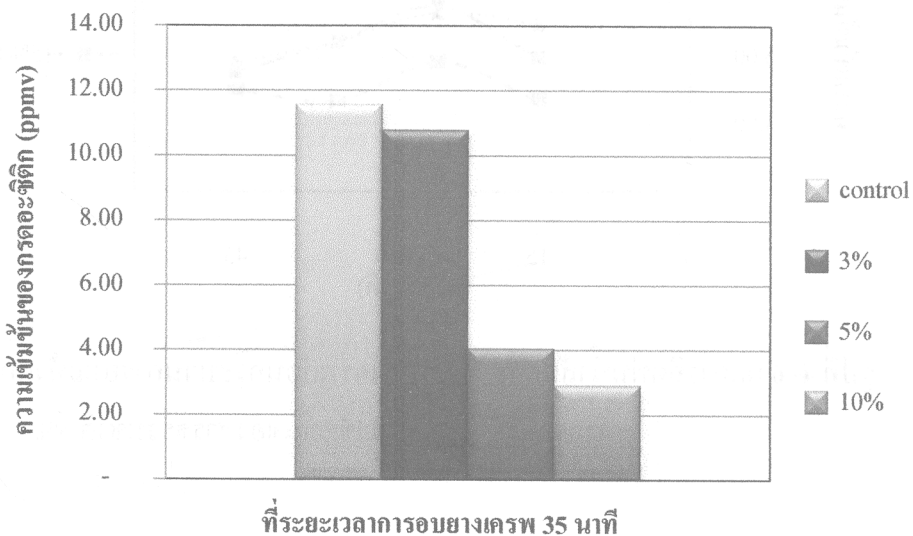
รูปที่ 4- 4 ความเข้มข้นของกรดอะซิติกในแก๊สที่เกิดจากการบูดเน่าของยางก้อนถ้วยที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากผลการทดลองพบว่า สารธรรมชาติชนิดน้ำส้มควัน ไม้ที่ความเข้มข้น 3% v/v เมื่อทำการฉีดพ่นบนยางก้อนถ้วยเพื่อลดกลิ่นของยางก้อนถ้วยมีปริมาณความเข้มข้นของกรดอะซิติกในแก๊สต่ำที่สุด คือ 21.31 ppmv ซึ่งน้อยกว่ายางก้อนถ้วยที่ไม่ผ่านการฉีดพ่นน้ำส้มควันไม้วิเคราะห์ความเข้มข้นได้ 123.40 ppmv จะเห็นได้ว่าผลการทดลองที่เกิดขึ้นจากการนำสารธรรมชาติชนิดน้ำส้มควัน ไม้มาฉีดพ่นสามารถบำบัดกลิ่นเหม็นจากยางก้อนถ้วยได้ในสภาวะที่เหมาะสม

4.3 ผลการฉีดพ่นน้ำส้มควันไม้บนยางเครพก่อนกระบวนการอบแห้ง

4.3.1 ผลของน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการบำบัดกลิ่น

ทำการทดลองฉีดพ่นน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 3% 5% และ 10% v/v เปรียบเทียบกับชุดควบคุม เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณกลิ่นที่เกิดขึ้นหลังจากการบำบัดด้วยน้ำส้มควันไม้ โดยการวัดความเข้มข้นของกรดอะซิติก เก็บตัวอย่างจากอากาศเสียที่ออกจากตู้อบยางหลังจากผ่านการอบเป็นเวลา 35 นาที ใช้อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที อากาศเสียถูกดูดซึมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อถึงจุดยุติ สารละลายในอิมฟิงเจอร์จะเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นไม่มีสี จากนั้นนำสารดูดซึมไปหาความเข้มข้นของกรดอะซิติก ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 4-5



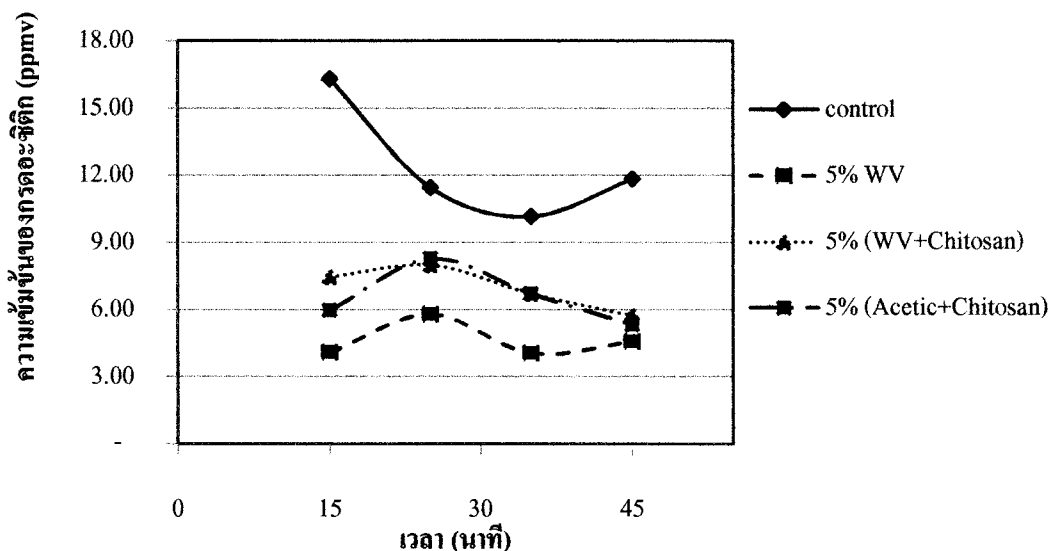
รูปที่ 4-5 ผลของน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการบำบัดกลิ่นที่เวลาการอบ 35 นาที

จากผลการทดลอง พบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ระดับความเข้มข้น 10% v/v มีค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกในอากาศเสียต่ำที่สุด ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพการบำบัดกลิ่นดีที่สุด โดยความเข้มข้นของน้ำส้มควันไม้ที่ 5% v/v ให้ผลของค่าความเข้มข้นกรดอะซิติกที่แตกต่างจาก 10% v/v น้ำส้มควันไม้ น้อย ทั้งนี้อาจให้น้ำส้มควันไม้ที่ระดับความเข้มข้น 5% v/v เป็นสภาวะที่เหมาะสม

4.3.2 ใช้ 5% สารธรรมชาติฉีดพ่นยางเครพ

ศึกษาการฉีดพ่นสารธรรมชาติชนิดน้ำส้มควันไม้ และ ไคโตซาน บนยางเครพที่ผลิตจากยางก้อนถ้วย ก่อนผ่านกระบวนการอบแห้งเพื่อแก้ปัญหาหากกลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ

อบแห้งของยางเครพ ได้ทำการทดลองใช้น้ำส้มควันไม้และโคโตซาน ที่ความเข้มข้น 5% v/v ตามสถานะดังต่อไปนี้ สารละลายน้ำส้มควันไม้ สารละลายน้ำส้มควันไม้ผสมโคโตซาน และสารละลายโคโตซานผสมกรดอะซิติก เทียบกับยางเครพที่ไม่ผ่านการฉีดพ่นสารธรรมชาติซึ่งเป็นตัวแปรควบคุม ดังแสดงผลในรูปที่ 4-6



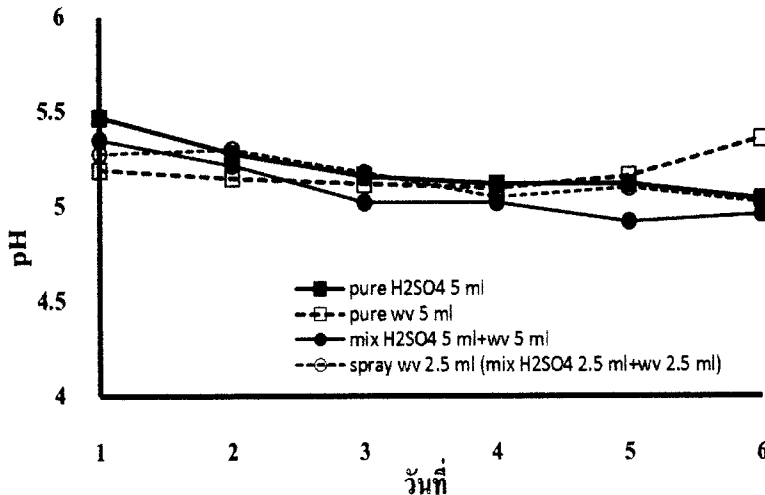
รูปที่ 4-6 ผลการฉีดพ่นน้ำส้มควันไม้บนยางเครพก่อนกระบวนการอบแห้งต่อระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติก ที่ความเข้มข้นของสารธรรมชาติ 5%

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้น 5% v/v ของน้ำส้มควันไม้ มีค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกต่ำสุด เมื่อเทียบกับสารธรรมชาติชนิดอื่น และให้ค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกน้อยกว่าอากาศเสียจากยางเครพที่ไม่ผ่านการฉีดพ่นสารธรรมชาติซึ่งเป็นตัวแปรควบคุม และแสดงให้เห็นว่าการฉีดพ่นน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ทำให้ช่วยลดปัญหาจากกลิ่นยางเครพที่อากาศถูกปล่อยจากกระบวนการอบแห้งได้

4.4 ผลของความเป็นกรด - ด่างของของเหลวที่เกิดจากการหมักยางก้อนถ้วย

จากการผลการทดลองวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างในของเหลวที่เกิดจากการหมักของยางก้อนถ้วยแต่ละชุดการทดลองพบว่า pH ของแต่ละชุดการทดลองมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากดังแสดงในรูปที่ 4-7 และจากการทดลองพบว่าช่วงแรกค่าความเป็นกรด-ด่างของของเหลวที่เกิดจากการเติม

น้ำส้มควันไม้มีค่าความเป็นกรดมากแต่เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าค่าความเป็นกรดของตัวอย่างค่อยๆ ลดลงซึ่งอาจแสดงให้เห็นได้ว่าการบดเน่าของยางที่น้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ



รูปที่ 4- 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ที่เกิดในของน้ำเสี้ยวกับระยะเวลาในการบดเน่าของยาง ก่อนด้วย

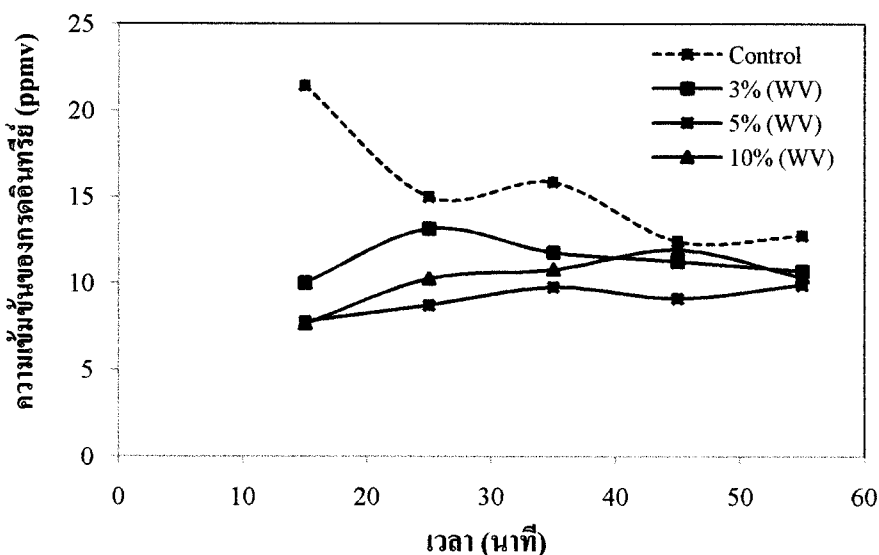
4.5 ผลการแช่ยางเครพในสารธรรมชาติต่อการลดกลิ่นก่อนกระบวนการอบแห้ง

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดกลิ่นจากยางเครพก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้งยาง เพื่อผลิตเป็นยางแท่ง เนื่องจากกลิ่นที่ออกมาจากกระบวนการอบแห้งยางส่งกลิ่นเหม็นรบกวน บริเวณพื้นที่ใกล้เคียงจึงต้องดำเนินการลดกลิ่นจากยางเครพที่เป็นต้นทางของกระบวนการ กลิ่นของยางเครพเกิดจากเชื้อราที่กักกินยางซึ่งเป็นสาเหตุของยางบดเน่าทำให้ส่งกลิ่นเหม็นออกสู่บรรยากาศ องค์ประกอบของกลิ่นเหม็นที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการอบแห้งคือ กรดอินทรีย์ ดำเนินการวิเคราะห์กรดอินทรีย์ในกระแสก๊าซด้วยวิธีการไทเทรต ทดลองอบแห้งยางเครพที่อุณหภูมิ 130°C ด้วยอัตราความร้อน 10°C ต่อนาที ศึกษาสารธรรมชาติ 2 ชนิด คือ น้ำส้มควันไม้ และไคโตซาน ในการลดกลิ่นยางเครพก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง ให้สามารถลดกลิ่นจากการปล่อยกระแสอากาศของกระบวนการอบแห้งสู่ภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพดังผลการทดลองต่อไปนี้

4.5.1 ผลของน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการบำบัดกลิ่น

ตัวอย่างยางเครพแช่ในน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 3 5 และ 10% v/v เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นวางให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการอบแห้งเพื่อทดสอบกลิ่น

ที่ปล่อยออกจากกระบวนการอบแห้งซึ่งทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในกระแสอากาศที่ปล่อยจากท่อทางออกของเครื่องอบแห้ง เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของกลิ่นเหม็น แสดงผลการวิเคราะห์ไว้ในรูปแบบที่ 4-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำส้มควันไม้กับความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ที่เวลาต่างๆ ซึ่งพบว่าผลการใช้น้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้นที่ 3-5% v/v สามารถลดกรดอินทรีย์จากกระแสอากาศที่ปนเปื้อนกรดอินทรีย์ที่ออกมาจากกระบวนการอบแห้งได้ โดยให้ค่าการวิเคราะห์กรดอินทรีย์ที่ต่ำ

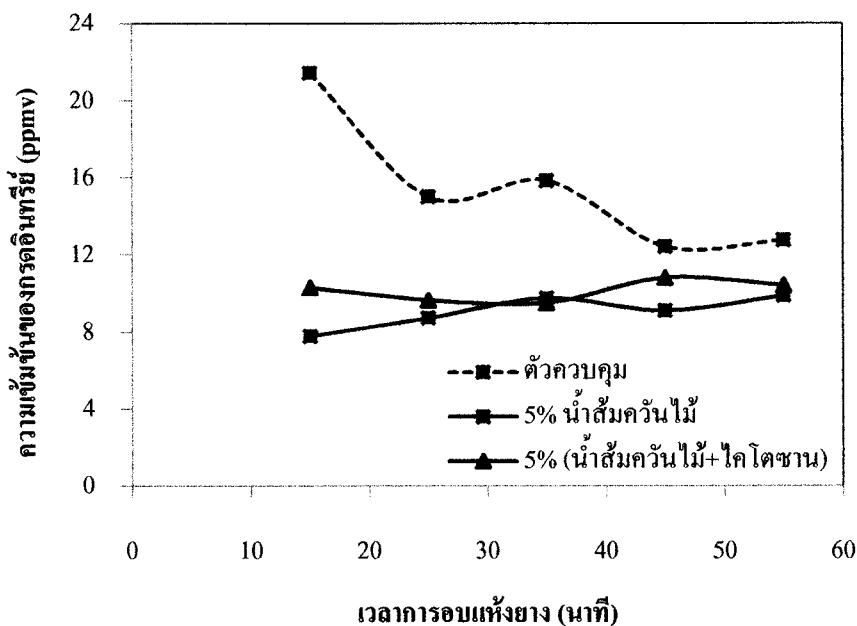


รูปที่ 4- 8 ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในกระแสอากาศที่ถูกปล่อยออกมาจากกระบวนการอบแห้ง ซึ่งความเข้มข้นของน้ำส้มควันไม้ 0 3 5 และ 10% v/v เมื่อเทียบกับเวลา

4.5.2 ผลของไคโตซานต่อการบำบัดกลิ่นจากกระบวนการอบแห้งยาง

เพื่อหาสารธรรมชาติมาเสริมประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราบนผลิตภัณฑ์ยางที่เป็นสาเหตุการเกิดกลิ่นของยางเครพ โดยเลือกไคโตซาน เนื่องจากมีคุณสมบัติยับยั้งเชื้อรา เป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ ไม่เป็นพิษ และไคโตซานเป็นสารที่ละลายน้ำได้ในสภาพที่เป็นกรดจึงสามารถนำมาผสมร่วมกับน้ำส้มควันไม้เพื่อนำมาเป็นสารยับยั้งเชื้อราได้ ในการทดลองจะทำการแช่ยางเครพในสารยับยั้งเชื้อรา 2 ชนิด คือ น้ำส้มควันไม้ และน้ำส้มควันไม้ผสมไคโตซาน ที่ความเข้มข้น 5% v/v เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วางไว้ 1 วัน ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการอบแห้งยาง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา ให้เป็นแนวทางการนำสารธรรมชาติไปใช้ได้อย่างเหมาะสมดังแสดงผลการวิเคราะห์

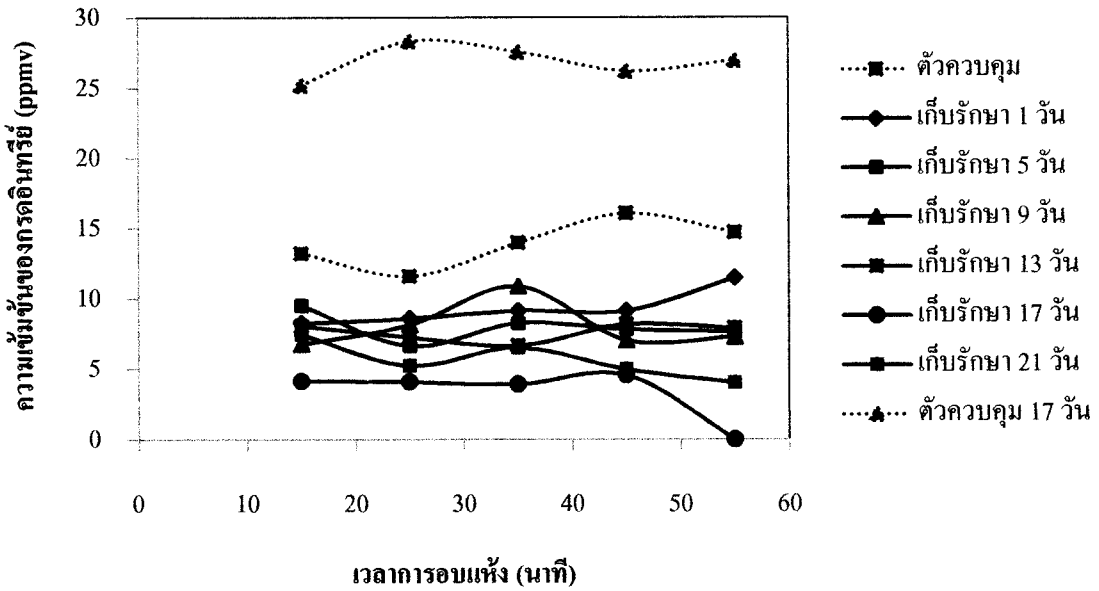
ไว้ในรูปที่ 4-9 โดยพบว่าสารยับยั้งทั้ง 2 ชนิด ให้ผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกันในการลดกลิ่นเมื่อเทียบกับตัวควบคุม



รูปที่ 4-9 ประสิทธิภาพการบำบัดกลิ่นของสารธรรมชาติชนิดน้ำส้มควันไม้และน้ำส้มควันไม้ผสม โคลโคซานในการลดกลิ่นของยางเครพจากกระบวนการอบแห้ง

4.5.3 ผลของการบำบัดกลิ่นในการใช้น้ำส้มควันไม้ต่อการเก็บรักษายาง

การเก็บรักษายางมีผลต่อการเกิดกลิ่นที่รุนแรงขึ้น เมื่อระยะเวลาผ่านไปหลายวันก่อนยางจะเข้าสู่กระบวนการอบแห้งมีผลทำให้เกิดการบูดเน่าและส่งกลิ่นมากขึ้นไปสู่บริเวณใกล้เคียงทำให้ได้รับผลกระทบทางอากาศซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ รบกวนผู้ที่พักอาศัยโดยรอบพื้นที่ในการกักเก็บยาง ด้วยเหตุนี้จึงดำเนินการศึกษาการใช้น้ำส้มควันไม้เพื่อลดการเกิดกลิ่นที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาการเก็บรักษาก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง ได้ทำการทดลองแช่ยางเครพในน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 5% v/v และวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง นำตัวอย่างยางเข้าสู่กระบวนการอบแห้งในช่วงการเก็บรักษาของวันที่ 1 5 9 13 17 และ 21 วัน เพื่อมาวิเคราะห์กลิ่นด้วยการวัดกรดอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในกระแสอากาศที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการอบแห้งยาง ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 4-10



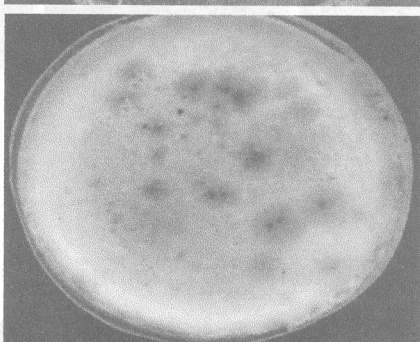
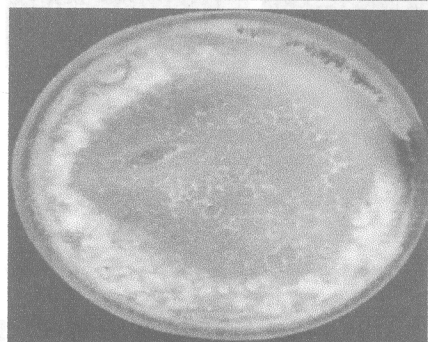
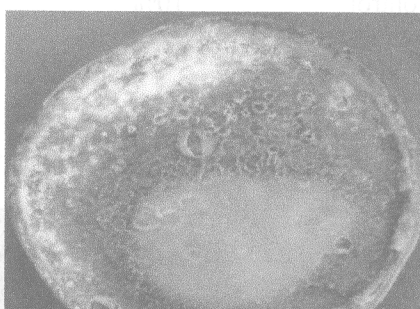
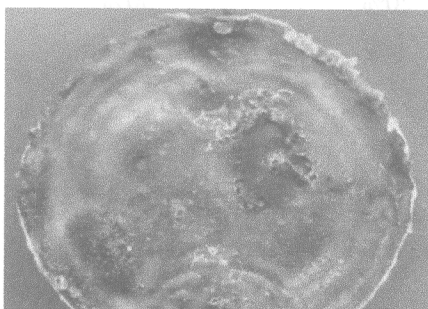
รูปที่ 4- 10 ประสิทธิภาพการลดกลิ่นของน้ำส้มควันไม้ต่อผลการเก็บรักษา

จากการทดลองพบว่า การแช่น้ำส้มควันไม้ที่ 5% v/v เก็บรักษาเป็นเวลา 1 วัน ให้ผลการลดกลิ่นที่ไม่แตกต่างจากตัวควบคุม หลังจากระยะเวลาผ่านไป 17 วัน ผลของการวิเคราะห์กรดอินทรีย์จากการปนเปื้อนในกระแสมอากาศที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการอบแห้งเห็นได้ชัดเจนมากขึ้นจากผลการวิเคราะห์พบว่ามีค่ากรดอินทรีย์ต่ำในช่วง 5-10 ppmv โดยที่ตัวควบคุมมีค่ากรดอินทรีย์ในช่วง 25-30 ppmv ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการใช้น้ำส้มควันไม้สำหรับลดกลิ่นในช่วงการเก็บรักษาอย่างก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้ผลการทดสอบที่ตรงกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำส้มควันไม้ในการดับกลิ่นและฆ่าเชื้อโรคอย่างปลอดภัย

4.6 ผลของการใช้น้ำส้มควันไม้ต่อการเกิดเชื้อรา

4.6.1 การเจริญเติบโตของเชื้อราที่เกิดบนยางก้อนถ้วย

จากการทดลองนำยางก้อนถ้วยมาวางไว้ในสภาวะปกติแล้วสังเกตวงการแพร่ของเชื้อราพบว่า ยางก้อนที่ผสมน้ำส้มควันไม้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร มีการเจริญเติบโตของเชื้อราน้อยที่สุดและยางที่ผสมกรดซัลฟิวริกปริมาตร 5 มิลลิลิตร มีการเจริญเติบโตของเชื้อรามากที่สุด



น้ำส้มควันไม้ 2.5 ml + H₂SO₄ 2.5 ml

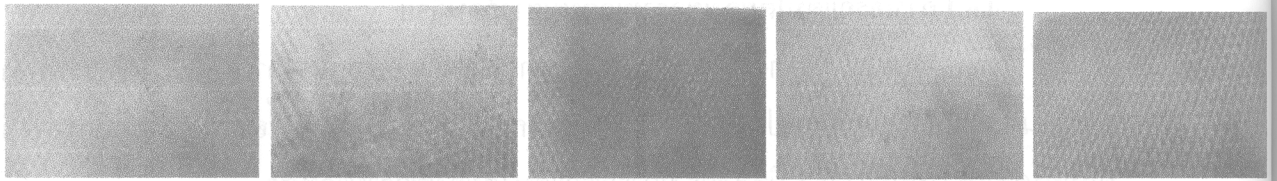
H₂SO₄ 5 ml

4.6.2 การเจริญเติบโตของเชื้อราที่เกิดบนยางแผ่น

จากการทดลองนำยางแผ่นมาแช่ในน้ำส้มควันไม้ที่เป็นสารยับยั้งซึ่งเป็นสารธรรมชาติที่ความเข้มข้น 10 20 50 และ 100% โดยปริมาตร เปรียบเทียบผลการทดลองกับยางแผ่นที่ไม่ผ่านการแช่ในสารยับยั้งเป็นตัวควบคุม โดยสังเกตการเกิดเชื้อราบนแผ่นยางที่เวลาต่างๆ ขนาดยางแผ่น 10 ตารางเซนติเมตร ทำการเก็บรักษา 2 ลักษณะคือ ซ้อนทับกัน และแขวน เพื่อหาวิธีการเก็บรักษาให้ปราศจากเชื้อราที่เหมาะสมที่สุด

(1) การเก็บรักษาแบบซ้อนทับ การเก็บรักษาในลักษณะนี้สามารถประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บยางเนื่องจากสามารถวางซ้อนกันหลายๆ ชั้นได้ ผลการทดลองการใช้สารธรรมชาติยับยั้งเชื้อราบนยางแผ่นแสดงดังรูปที่ 4-11

ยางแผ่นตั้งต้นก่อนแช่น้ำส้มควัน



0% control

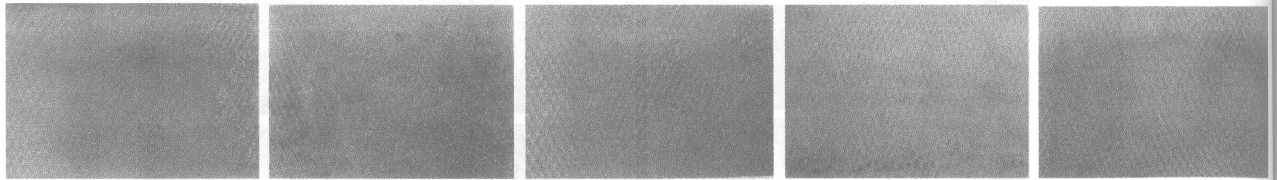
10%

20%

50%

100%

ยางแผ่นหลังแช่น้ำส้มควัน ไม่เก็บรักษาเป็นเวลา 1 สัปดาห์



0% control

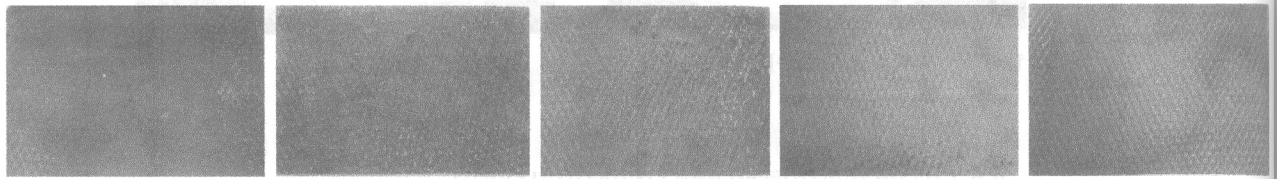
10%

20%

50%

100%

ยางแผ่นหลังแช่น้ำส้มควัน ไม่เก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์



0% control

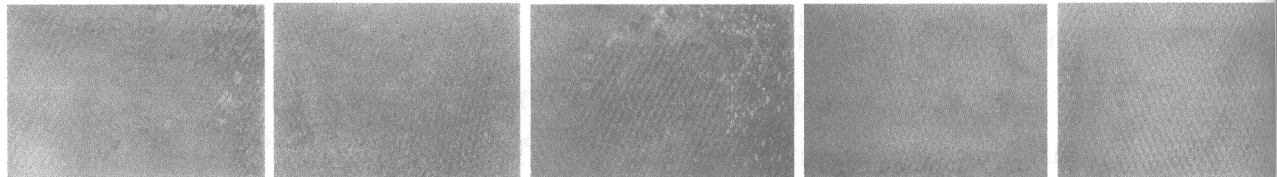
10%

20%

50%

100%

ยางแผ่นหลังแช่น้ำส้มควัน ไม่เก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์



0% control

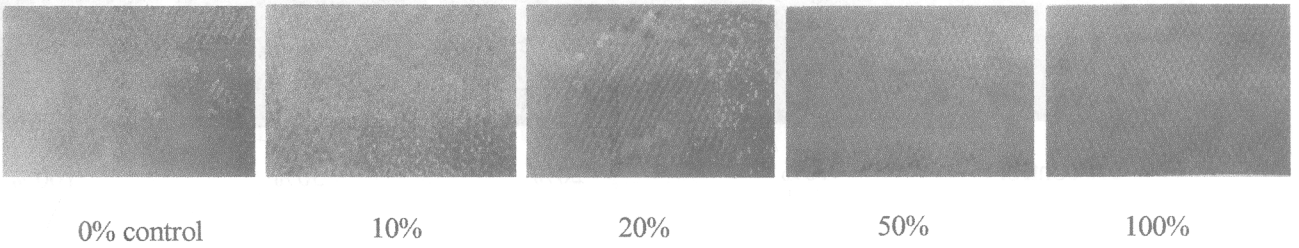
10%

20%

50%

100%

ยางแผ่นหลังแช่น้ำส้มคว้นไม่เก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์

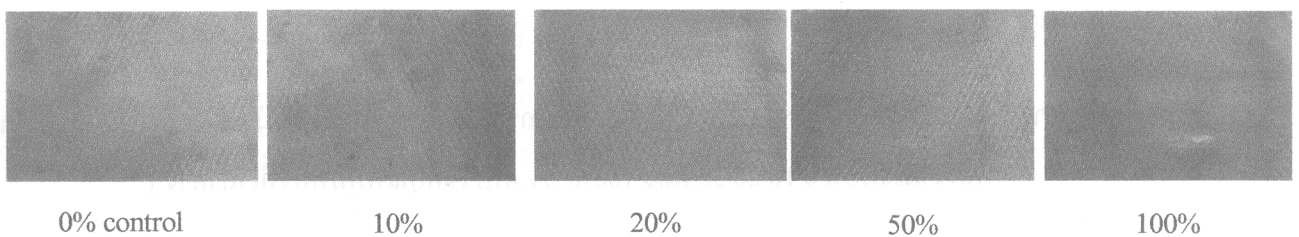


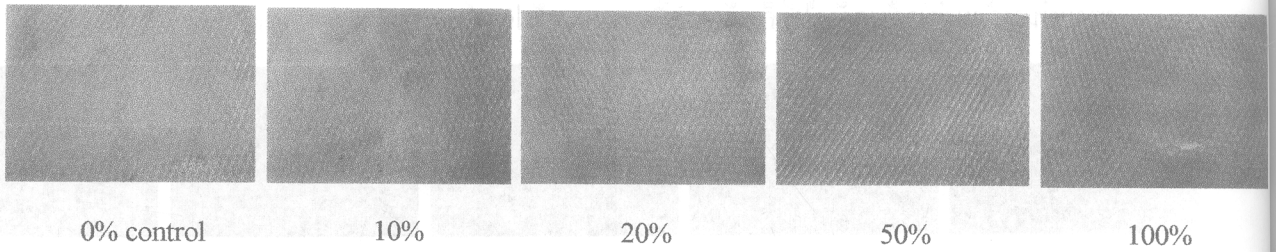
รูปที่ 4-11 ผลการเก็บรักษายางแผ่นแบบซ้อนทับก่อนและหลังการแช่น้ำส้มคว้นไม่เพื่อป้องกันเชื้อราที่ความเข้มข้น 0 10 20 50 และ 100% v/v เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องที่เวลาต่างๆ

จากผลการทดลองใช้น้ำส้มคว้นไม่เพื่อป้องกันเชื้อราที่จะเกิดขึ้นบนยางแผ่นในลักษณะการเก็บรักษาโดยการวางซ้อนทับกันเป็นชั้นๆ จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์เชื้อราบนยางแผ่นที่ไม่ผ่านการใช้น้ำส้มคว้นไม่ซึ่งเป็นตัวควบคุมจะเห็นการเจริญของเชื้อราชัดเจนมากกว่ายางแผ่นที่ผ่านการใช้น้ำส้มคว้นไม่ และเมื่อระยะเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์ ยางที่ผ่านการแช่น้ำส้มคว้นไม่ที่ความเข้มข้น 10 และ 20% v/v มีเชื้อราขึ้นบนยางแผ่นมากขึ้น เห็นได้อย่างชัดเจนซึ่งให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างจากยางแผ่นควบคุม เมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์ จะพบว่ายางแผ่นที่ผ่านการแช่น้ำส้มคว้นไม่ที่ความเข้มข้น 50 และ 100% v/v ไม่พบเชื้อราที่เกิดขึ้นบนยางแผ่นจากการสังเกตด้วยตาเปล่า นอกจากนี้ยังดำเนินการศึกษาวิธีการเก็บรักษาในลักษณะอื่นเพื่อเปรียบผลการทดลองกับการเก็บรักษาแบบซ้อนทับ โดยเลือกทำการเก็บรักษาแบบแขวนเรียงกันเป็นแถวมาศึกษา

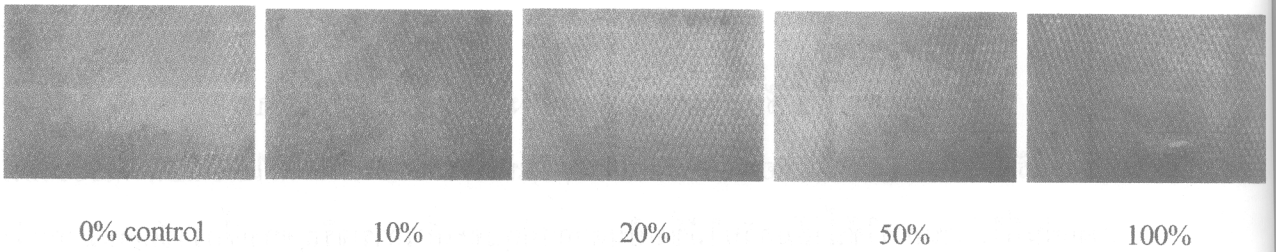
(2) การเก็บรักษาแบบแขวน การเก็บรักษาในลักษณะนี้จะแขวนยางแผ่นเรียงกันเป็นแถวๆ เป็นอีกวิธีที่เลือกมาเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บรักษาแบบวางเป็นชั้นๆ ผลการทดลองการใช้สารธรรมชาติยับยั้งเชื้อราบนยางแผ่นในการเก็บรักษาแบบแขวนแสดงดังรูปที่ 4-12

ยางแผ่นตั้งต้นก่อนแช่น้ำส้มคว้นไม่

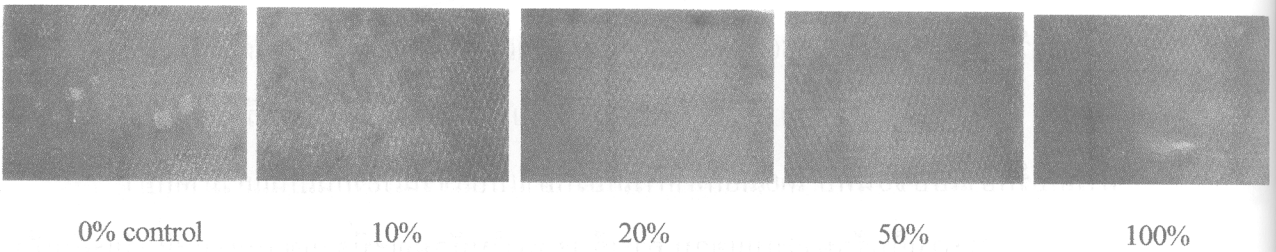




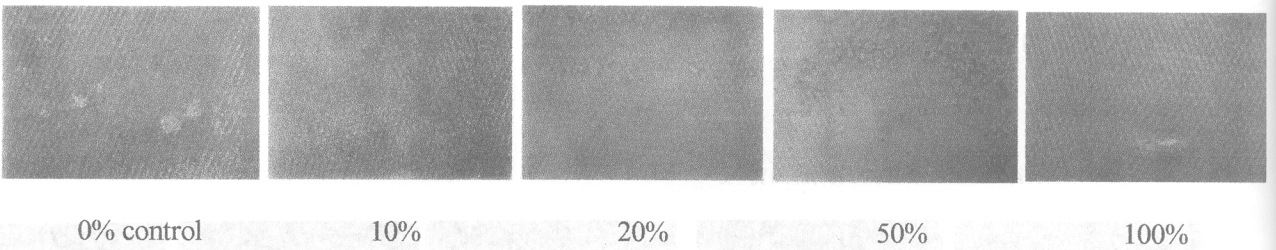
ยางแผ่นหลังแช่น้ำส้มคว้น ไม่เก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์



ยางแผ่นหลังแช่น้ำส้มคว้น ไม่เก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์



ยางแผ่นหลังแช่น้ำส้มคว้น ไม่เก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์



รูปที่ 4- 12 ผลการเก็บรักษายางแผ่นแบบเขวนเรียงกันเป็นแถวก่อนและหลังการแช่น้ำส้มคว้นไม่เพื่อป้องกันเชื้อรา ที่ความเข้มข้น 0 10 20 50 และ 100% v/v เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องที่เวลาต่างๆ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเชื้อราเกิดขึ้นเห็นชัดเจนในสัปดาห์แรกของยางแผ่นที่ไม่ใช้น้ำส้มควันไม้โดยเป็นตัวควบคุม ซึ่งมีความแตกต่างจากยางแผ่นที่ผ่านการใช้น้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้นต่างๆ ไม่พบการเกิดเชื้อราบนยางแผ่น เมื่อระยะเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์ พบว่ายางแผ่นที่ผ่านการใช้น้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 10 และ 20% v/v เริ่มมีเชื้อราเกิดขึ้นให้เห็น ได้ชัดเจน และเมื่อระยะเวลาผ่านไปถึง 4 สัปดาห์ เชื้อราเกิดขึ้นบนยางแผ่นอย่างกระจัดกระจายที่ความเข้มข้น 10 20 และ 50% v/v โดยเฉพาะตัวแปรควบคุมที่เห็น ได้ชัดเจนที่สุด แต่ที่ความเข้มข้นที่ 100% v/v เริ่มมีเชื้อราเกิดขึ้นเล็กน้อย ซึ่งการเก็บรักษาแบบแวนนี้ไม่เหมาะสำหรับการเก็บรักษาในระยะยาว

ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าโดยรวมน้ำส้มควันไม้สามารถป้องกันเชื้อราจากยางแผ่นได้ ซึ่งน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้นสูงสามารถป้องกันเชื้อราได้ดีที่สุด การเก็บรักษายางแผ่นในลักษณะแบบซ้อนทับกันหลายชั้นแสดงให้เห็นถึงสภาวะการเกิดเชื้อราที่น้อยกว่าที่ความเข้มข้น 50 และ 100% v/v เมื่อเปรียบเทียบกับ การเก็บรักษาแบบแวน และการเก็บรักษาแบบซ้อนทับ ใช้พื้นที่น้อย ซึ่งโดยทั่วไปจะเก็บรักษาในลักษณะนี้

นอกจากนี้จากผลการทดลองที่ได้จากการสังเกตด้วยตาเปล่าและการถ่ายภาพจะนำไปสู่การวิเคราะห์ผลของการเกิดเชื้อราบนยางแผ่นด้วยวิธีมาตรฐาน Microbial counts were performed using Standard Plate Counts method (FAD, 2001) และ physicochemical properties using AOAC, 1992 ทดสอบโดยภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดสอบเชื้อราที่เกิดขึ้นบนยางแผ่นก่อนและหลังการใช้น้ำส้มควันไม้ในการป้องกันเชื้อรา นำยางแผ่นมาตัดให้มีขนาด 2×2 เซนติเมตร แช่ในน้ำส้มควันไม้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นต่างๆ ใน 1 ชุดความเข้มข้นใช้ยางแผ่นจำนวน 4 แผ่นวางซ้อนกัน เก็บรักษายางแผ่นเป็นเวลา 5 วัน ก่อนทำการวิเคราะห์เชื้อรา ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับข้างต้น เพื่อยืนยันการวัดผลด้วยวิธีมาตรฐาน ผลที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4- 1 แสดงผลการวิเคราะห์เชื้อราที่เกิดขึ้นบนยางแผ่นก่อนและหลังใช้น้ำส้มควันไม้โดยการทดสอบด้วยวิธีมาตรฐาน

ตัวอย่าง	Mold Count (CFU/piece)
ตัวควบคุม	1.9×10^4
10% v/v น้ำส้มควันไม้	1.5×10^4
20% v/v น้ำส้มควันไม้	1.1×10^4
50% v/v น้ำส้มควันไม้	$< 10^3$
100% v/v น้ำส้มควันไม้	$< 10^3$

ด้วยผลการวิเคราะห์เชื้อราบนยางแผ่นที่ผ่านการแช่น้ำส้มควันไม้เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา พบว่าในระยะเวลา 5 วันของการเก็บรักษาน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้นสูงขึ้นไปให้ประสิทธิภาพในการป้องกันที่ดีที่สุด ซึ่งมีค่า $< 10^3$ CFU ต่อพื้นที่การวิเคราะห์ขนาด 2 ตารางเซนติเมตร ให้ผลการวิเคราะห์ในทำนองเดียวกับการสังเกตเชื้อราด้วยตาเปล่าและการถ่ายภาพ

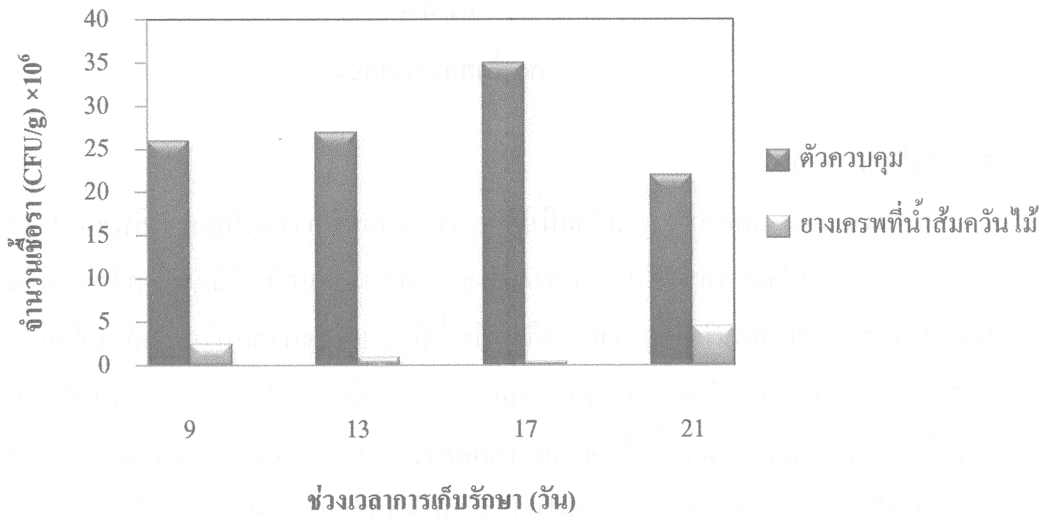
4.6.3 การเจริญเติบโตของเชื้อราที่เกิดบนยางเครพ

การทดลองนำยางเครพมาแช่ในน้ำส้มควันไม้ได้ดำเนินการในสถานะเดียวกับยางแผ่น โดยการใช้ น้ำส้มควันไม้ที่ 10 20 50 และ 100% v/v เปรียบเทียบกับตัวควบคุม และดำเนินการทดสอบเชื้อราที่เกิดขึ้นบนยางเครพทำการวิเคราะห์เชื้อราด้วยวิธีมาตรฐานเดียวกันกับยางแผ่น จากผลการทดลองพบว่า ยางเครพที่ผ่านการแช่น้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 50 และ 100% v/v มีประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับตัวควบคุม ให้ผลการยับยั้งเชื้อราที่คิดงแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4- 2 แสดงผลการยับยั้งการเกิดเชื้อราบนยางเครพด้วยการใช้น้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตัวอย่าง	Mold Count (CFU/piece)
0% (ตัวควบคุม)	1.1×10^6
10% v/v น้ำส้มควันไม้	1.9×10^5
20% v/v น้ำส้มควันไม้	3.7×10^4
50% v/v น้ำส้มควันไม้	150
100% v/v น้ำส้มควันไม้	50

การทดลองแช่ยางเครพในน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 5% v/v เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง 21 วัน เพื่อดูการเจริญเติบโตของเชื้อราในช่วงเวลาต่างๆ ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4-13 เป็นการแสดงกราฟระหว่างช่วงเวลาการเก็บรักษา (วัน) กับจำนวนเชื้อราที่เกิดขึ้นบนยางเครพ (CFU/g) จากผลการวิเคราะห์พบว่า น้ำส้มควันไม้สามารถยับยั้งการเกิดเชื้อราได้เมื่อเปรียบเทียบกับยางเครพที่ไม่ผ่านการแช่น้ำส้มควันไม้ที่เป็นตัวควบคุม เชื้อราบนตัวควบคุมเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในปริมาณสูง $2.0-3.5 \times 10^7$ CFU/g



รูปที่ 4- 13 ผลการยับยั้งเชื้อราของน้ำส้มคว้นไม้ที่ความเข้มข้น 5% v/v ในช่วงเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องต่อจำนวนเชื้อราที่เกิดขึ้นบนยางเครพ

ด้วยผลการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าน้ำส้มคว้นไม้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราบนแผ่นยางและยางเครพสำหรับการผลิตแปรรูปยางได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำส้มคว้นไม้มีสารประกอบที่โดดเด่นคือ กรดอะซิติก (acetic acid) และสารประกอบฟีนอล (phenol) ซึ่งเป็นสารกลุ่มออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค เชื้อรา แบคทีเรีย [Nakayama et al., 2001; Kartal et al., 2004] ทำให้สามารถป้องกันและยับยั้งเชื้อราที่เกิดขึ้นบนยางแผ่นและยางเครพในระหว่างการเก็บรักษาได้ [Ferreira et al., 2005]

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาทดลองในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการแก้ปัญหากลิ่นของโรงงานผลิตยางแท่ง STR 20 โดยใช้สารอินทรีย์ธรรมชาติ 2 ชนิด คือ น้ำส้มควันไม้และโคโคซานที่มีคุณสมบัติพิเศษในการยับยั้งแบคทีเรีย เชื้อรา และจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นในยางก้อนถ้วย และยางเครพในการผลิตยางแท่ง โดยทำการศึกษาการเติมสารธรรมชาติลงในถ้วยผลิตยางก้อนถ้วยของชาวสวนยางเพื่อลดการเกิดกลิ่นตั้งแต่ขั้นต้นของการผลิตยางก้อนถ้วย ออกแบบชุดทดลองถังเก็บยาง (Test tank) เพื่อจำลองการเก็บรักษายางภายใน โรงงานก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตยางแท่ง จัดพนักงานธรรมชาติ บนยางก้อนถ้วยและยางเครพ แหย่ลงในสารธรรมชาติ ก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง เพื่อบำบัดกลิ่นของอากาศที่ถูกปล่อยออกจากกระบวนการอบแห้งยาง และยับยั้งการเกิดเชื้อราบนยาง ดำเนินการวัดกลิ่นจากความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับกระแสอากาศที่ปล่อยออกจากท่อทางออกของกระบวนการอบแห้งยางและวัดปริมาณเชื้อราหลังการใช้สารธรรมชาติในการยับยั้ง ในช่วงเวลาของการเก็บรักษายาง โดยนับจำนวนเชื้อราที่เกิดขึ้นบนยาง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 การเติมสารธรรมชาติลงในยางก้อนถ้วยต่อการเกิดกลิ่น

จากการดำเนินการทดลองเติมสารธรรมชาติลงในยางก้อนถ้วยของชาวสวนยางเพื่อลดการเกิดกลิ่นตั้งแต่ขั้นต้นของการผลิตยางก้อนถ้วย ได้ออกแบบชุดทดลองถังเก็บยาง (Test tank) เพื่อจำลองการเก็บรักษายางภายใน โรงงานก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตยางแท่งวิเคราะห์กลิ่นที่เกิดขึ้น โดยมีกรดอินทรีย์เป็นสาเหตุของกลิ่นหลัก 3 ชนิด คือ กรดอะซิติก (CH_3COOH) แอมโมเนีย (NH_3) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) พบว่าการวิเคราะห์กรดอะซิติกของชุดการทดลองที่ผสมน้ำส้มควันไม้มีปริมาณความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่สูงกว่าเล็กน้อยอันเนื่องมาจากในองค์ประกอบของน้ำส้มควันไม้นั้นมีกรดอะซิติกเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนการวิเคราะห์แอมโมเนียพบว่า ในช่วงวันที่ 1- 2 ทุกตัวอย่างมีแนวโน้มของปริมาณแก๊สแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป 2-3 วัน มีแนวโน้มความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียคงที่ในช่วง 6-10 ppmv สำหรับการวิเคราะห์แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์พบว่ากรดซัลฟิวริกที่เติมเพื่อทำให้ยางแข็งตัวมีผลต่อการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์และน้ำส้มควันไม้สามารถลดกลิ่นที่เกิดจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ในช่วง 2.0-3.7 ppmv

5.1.2 การบำบัดกลิ่นจากยางเคพด้วยการใช้สารธรรมชาติ

ในการบำบัดกลิ่นยางเคพวิเคราะห์จากความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในกระแสอากาศที่ถูกปล่อยออกมาจากกระบวนการอบแห้งดำเนินการทดลองบำบัดกลิ่นโดยการฉีดพ่น และการแช่ยางในสารธรรมชาติ ก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้งยาง สำหรับการฉีดพ่นและการแช่ยางทำการทดลองที่ความเข้มข้น 3.5 และ 10% v/v พบว่าให้ผลการทดลองที่เหมือนกันคือ น้ำส้มควันไม้ที่ระดับความเข้มข้น 10% v/v สามารถบำบัดกลิ่นได้ดีที่สุด แต่ให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างจากที่ความเข้มข้น 5% v/v และเมื่อนำโคโคซานมาผสมร่วมกับน้ำส้มควันไม้พบว่า ให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกันกับการใช้น้ำส้มควันไม้เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้จึงเลือกน้ำส้มควันไม้ที่ระดับความเข้มข้น 5% v/v เป็นสถานะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดกลิ่นในยางเคพ จากนั้นได้ทำการศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษายางเคพก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้งใช้น้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 5% v/v พบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 17 วัน ผลของการวิเคราะห์กรดอินทรีย์จากการปนเปื้อนในกระแสอากาศที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการอบแห้งมีค่ากรดอินทรีย์ต่ำในช่วง 5-10 ppmv โดยที่ตัวควบคุมมีค่ากรดอินทรีย์ในช่วง 25-30 ppmv

5.1.3 การยับยั้งเชื้อราบนยางด้วยสารธรรมชาติ

ใช้น้ำส้มควันไม้ยับยั้งการเกิดเชื้อราบนยางก้อนถ้วย ยางแผ่น และยางเคพ จากการสังเกตการเกิดเชื้อราบนยางในสภาวะปกติที่อุณหภูมิห้องพบว่า ยางก้อนที่ผสมน้ำส้มควันไม้มีการเจริญเติบโตของเชื้อราน้อยกว่าเมื่อเทียบกับยางที่ผสมกรดซัลฟิวริกมีการเจริญเติบโตของเชื้อรามากที่สุด และได้ทดลองแช่ยางในน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 10 20 50 และ 100% v/v เพื่อยับยั้งการเกิดเชื้อราบนยางแผ่นและยางเคพ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์ ยางแผ่นที่ผ่านการแช่น้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 50 และ 100% v/v ไม่พบเชื้อราที่เกิดขึ้นบนยางแผ่นจากการสังเกตด้วยตาเปล่าเมื่อเทียบกับตัวควบคุม และได้วิเคราะห์เชื้อราด้วยวิธีมาตรฐานสำหรับการวัดจำนวนเชื้อรา มีค่า $< 10^3$ CFU ต่อพื้นที่การวิเคราะห์ขนาด 2 ตารางเซนติเมตร สำหรับผลการวิเคราะห์เชื้อราบนยางเคพ ที่ความเข้มข้น 50 และ 100% v/v มีค่า 150 และ 50 CFU/g ตามลำดับ และเก็บรักษายางไว้ที่อุณหภูมิห้องพบว่าน้ำส้มควันไม้สามารถยับยั้งการเกิดเชื้อราได้เมื่อเปรียบเทียบกับยางเคพที่ไม่ผ่านการแช่น้ำส้มควันไม้ที่เป็นตัวควบคุม เชื้อราบนตัวควบคุมเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในปริมาณสูง $2.0-3.5 \times 10^7$ CFU/g

ดังนั้นจากการวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าสารธรรมชาติชนิดน้ำส้มควันไม้ช่วยลดกลิ่นเหม็นและยับยั้งเชื้อราของยางที่เป็นสาเหตุในการเกิดกลิ่นก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตยางแท่ง STR20 ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบฟีนอลและกรดอะซิติกในน้ำส้มควันไม้สามารถลดเชื้อราบนพื้นผิวยาง

และลดปริมาณกรดอินทรีย์ในอากาศที่ปล่อยจากการอบแห้งยาง อีกทั้งน้ำส้มควันไม้ที่ความเข้มข้น 5% v/v สามารถลดการเจริญเติบโตของเชื้อราในระหว่างการจัดเก็บได้ จากผลดังกล่าวทำให้การใช้ น้ำส้มควันไม้ช่วยแก้ปัญหากลิ่นของโรงงานผลิตยางแท่ง STR 20 ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยต่อผู้ใช้ซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเติมสารธรรมชาติชนิดน้ำส้มควันไม้ในยางก้อนถ้วยและแท่งยางในน้ำส้มควันไม้เพื่อ บำบัดกลิ่นและยับยั้งเชื้อรา ส่งผลให้ยางมีสีคล้ำมากขึ้น จึงควรเลือกน้ำส้มควันไม้ที่ปราศจากน้ำมัน ดินจะสามารถลดปัญหาเหล่านี้ได้

2. ควรศึกษาต่อยอดจากผลงานวิจัยนี้เพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับการใช้งานจริงใน แก้ปัญหากลิ่นยางของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20

เอกสารอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. กันยายน 2544. หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ (เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด) สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขา: อุตสาหกรรมน้ำยางชั้น อุตสาหกรรมยางแท่ง มาตรฐาน STR20

จิตต์ลัดดา ศักดาภิพาณิชย์. 2553. สารที่ก่อให้เกิดกลิ่นในยาง. ธรรมชาติวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ยาง,4(1) :หน้า 4.

พิณชอ กรมรัตนพร. 2556. “การทำน้ำหมักชีวภาพและสมุนไพร”. Available online: <http://vet.kku.ac.th/farm/data3/1.pdf>, Feb. 10, 14.

สมทิพย์ คำนธีรวนิชย์ สุนิดา ย่องเหล่ายุ่ง พรทิพย์ ศรีแดง และสุวลักษณ์ วิสุนทร. 2550. ประเด็นสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 ในภาคใต้ของไทย. โครงการวิจัยปัญหาหมลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางก้อนถ้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี 1-13.

สมทิพย์ คำนธีรวนิชย์ ไก่วัส ราญญูร พรทิพย์ ศรีแดง และสุวลักษณ์ วิสุนทร. 2550. สารมลพิษที่สกัดจากยางก้อนถ้วยซึ่งเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 พิจารณาจากสวนยางถึงโรงงาน. โครงการวิจัยปัญหาหมลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางก้อนถ้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี 14-24.

สมทิพย์ คำนธีรวนิชย์ สุนิดา ย่องเหล่ายุ่ง พรทิพย์ ศรีแดง สุวลักษณ์ วิสุนทร และพิมพ์พิมล เพ็ญจรัส. 2550. การจำแนกสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นในอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20. โครงการวิจัยปัญหาหมลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางก้อนถ้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี 25-35.

สมทิพย์ คำนธีรวนิชย์ สุนิดา ย่องเหล่ายุ่ง พรทิพย์ ศรีแดง สุวลักษณ์ วิสุนทร และพิมพ์พิมล เพ็ญจรัส. 2550. การตรวจสอบเบื้องต้นของการบำบัดกรดไขมันระเหยในระบบดักจับแบบเปียกของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20. โครงการวิจัยปัญหาหมลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางก้อนถ้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี 36-45.

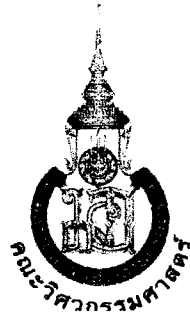
- สมทิพย์ ด้านธีรวิชช์ เกลิมพงศ์ อินทร์แก้ว พรทิพย์ ศรีแดง สุวลักษณ์ วิสุนทร และพิมพ์พิมพ์มิล เพ็ญ
 จำรัส.2550. การบำบัดกรดไขมันระเหยจากก๊าซที่ระบายออกมาจากที่อบยางก้อนถ้วยของ
 อุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 ด้วยระบบตัวกรองทางชีวภาพ. โครงการวิจัยปัญหามลพิษ
 สิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางก้อนถ้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะ
 เทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี 46-57.
- สยามออแกนิค. 2556. “เกษตรชีวภาพปลอดภัยที่ยั่งยืน “Available online:สุพรรณมาสา. 2551.
 “หน่วยที่ 8 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างสารเคมี”
 Availableonline:www.safetystou.com/UserFiles/File/54113%20unit%208.doc, Feb. 10, 14.
- ศูนย์ศึกษาและการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2553.“น้ำส้มควันไม้”.
 Available online: http://www.fisheries.go.th/cfkung_krabaen/agric1.html, July. 25, 13
- อนุสรณ์ ใจมุขและเอกรินทร์ พรหมพฤกษ์. 2555. “การดำรงชีวิตของเชื้อรา” Available online:
<https://www.nectec.or.th/schoolnet/library/webcontest2003/100team/dlms132/page03.html>,
 Feb. 10, 14.
- Baimark, Y. and Niamsa, N. 2009. Study on wood vinegars for use as coagulating and antifungal
 agents on The production of natural rubber sheets, Biomass and bioenergy, 33: 994–998.
- Ferreira, V. S., Rego, I. N. C., Pastore Jr, F., Mandai, M. M., Mendes, L. S., Santos, K. A. M.,
 Rubim, J.C. and Suarez, P. A.Z. 2005. The use of smoke acid as an alternative coagulating
 agent for natural rubber sheets, production, Bioresource Technology, 96: 605–609.
- Hesketh, H.E. and Cross, F.L. 1989. Oder Control Including Hazardous Toxic Odors. Technomic
 Publishing CO., Inc., USA.
- Kartal, S.N., Imamura, Y., Tsuchiya, F. and Ohsato, K. 2004. Preliminary evaluation of
 fungicidal and termiticidal activities of filtrates from biomass slurry fuel production.
 Journal of Bioresource Technology. 95, 41-47.
- Marie, S., Shenda, M. and William, P. 20130. METHODS AND COMPOSITIONS OF
 REDUCING AND PREVENTING BACTERIAL GROWTH AND THE FORMATION
 OF BIOFILM ON A SURFACE UTILIZING CHITOSAN-DERIVATIVE
 COMPOUNDS. WIPO Patent. WO/2013/006458.
- Moriyoshi, C. 1997. DEODORANT AND GERMICIDE MADE FROM BOMBOO VINEGAR
 OR PYROLIGNOUS ACID. PATENT ABSTRACTS OF JAPAN. JP 09094291.

- Nakayama, F.S., Vinyard, S.H., Chow, P., Bajwa, D.S., Youngquist, J.A., and Muehl, J.H. 2001. Guayule as a wood preservative. *Journal of Industrial Crops and Products*. 14, 105–111.
- Nor-Hidayaty K., Nur-Fadhilah I., and Zairossani M. 2012. Characteristics of Odour concentration from Rubber Processing Factories via Olfactometry Technique. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*. 30. 121-126.
- Rubim, J.C. and Suarez, P. A.Z. 2005. The use of smoke acid as an alternative coagulating agent for natural rubber sheets, production, *Bioresource Technology*, 96: 605–609.
- Sakdapanich, J.T. and Insom, K. 2006. High-resolution gas chromatography-mass spectrometry: Characterization and mechanism to generate the obnoxious odor in natural rubber. *Kautschuk Gummi Kunststoffe*.6: 382-387.
- Schlegelmilch, M., Streese, J. and Stegmann, R. 2005. Odour management and treatment technologies. *Waste Management*.25: 928-939.
- Tadakatsu, M., Kazuhiro, Y. and Mayumi, H. 2004. REPELLANT AND DEODORANT BY POLYMER BAG CONTAINING WOOD VINEGAR JELLY. PATENT ABSTRACTS OF JAPAN. JP 2004083545.
- Yoshiaki, W., and Shuji, T. 2009. DEODORIZATION TREATMENT EQUIPMENT FOR FERMENTATION ODOR. PATENT ABSTRACTS OF JAPAN. JP 2009095815.

โครงการวิจัยย่อยที่ 2

(ภาษาไทย) การเพิ่มประสิทธิภาพของการอบแห้งในโรงงานผลิตยางแท่ง STR20

(ภาษาอังกฤษ) Drying Optimization for Blocked Rubber STR20 Industry



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเพิ่มประสิทธิภาพของการอบแห้งในโรงงานผลิตยางแท่ง STR20

Drying optimization for blocked rubber STR20 industry

คณะนักวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ แก้วประดิษฐ์

รองศาสตราจารย์ ดร.จันทิมา ชั่งสิริพร

นางสาวพฤกระยา พงศ์ยี่หล้า

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2558

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ

(ภาษาไทย) การแก้ปัญหากลิ่นและการอบแห้งยางของโรงงานผลิตยางแท่ง STR20

(ภาษาอังกฤษ) The Solving of Odor Problem and Rubber Drying for STR20 Industry

ชื่อโครงการ

(ภาษาไทย) การเพิ่มประสิทธิภาพของการอบแห้งในโรงงานผลิตยางแท่ง STR20

(ภาษาอังกฤษ) Drying optimization for blocked rubber STR20 industry

คณะวิจัย

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ

ดร.พรศิริ แก้วประดิษฐ์

หน่วยงาน

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ที่อยู่

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ม.สงขลานครินทร์ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
90112

โทรศัพท์

074-287283 หรือ 074-287055 ถึง 6 โทรสาร : 074-558833

อีเมล

pornsiri.k@psu.ac.th

ชื่อ-สกุล นักวิจัยร่วมคนที่ 1

ดร.จันทิมา ชั่งสิริพร

หน่วยงาน

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ที่อยู่

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ม.สงขลานครินทร์ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
90112

โทรศัพท์

0-7428-7055 โทรสาร 0-7421-2896

อีเมล

juntima.c@psu.ac.th

ชื่อ-สกุล นักวิจัยร่วมคนที่ 2

นางสาวพฤกระยา พงศ์ยี่หล้า

หน่วยงาน

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ที่อยู่

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ม.สงขลานครินทร์ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
90112

โทรศัพท์

085-343-3303

อีเมล

prukraya.a@hotmail.com

สารบัญ

	หน้า
รายการตาราง	4
รายการภาพประกอบ	5
กิตติกรรมประกาศ	6
บทคัดย่อภาษาไทย	7
Abstract	8
บทนำ	9
วัตถุประสงค์	9
การตรวจเอกสาร	10
วิธีการทดลอง	12
ผลการทดลองและวิจารณ์	15
1. ผลของอุณหภูมิและเวลาอบแห้ง	15
2. วิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมสถิติ	17
3. การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์	19
4. การออกแบบสภาวะการดำเนินการ	28
5. วิเคราะห์ผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์	32
สรุปผลการทดลอง	35
เอกสารอ้างอิง	36
ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป	38
ภาคผนวก	39

รายการตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงผลวิเคราะห์ทางสถิติของ %MC	18
ตารางที่ 2 แสดงผลวิเคราะห์ทางสถิติของ P_0	18
ตารางที่ 3 แสดงผลวิเคราะห์ทางสถิติของ PRI	19
ตารางที่ 4 แสดงค่าต่ำสุดและสูงสุดของตัวแปรสำหรับนอร์มัลไลเซชัน	21
ตารางที่ 5 แสดงผลการสร้างสมการพหุนามกำลังสองชนิดไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุท	22
ตารางที่ 6 แสดงผลการสร้างสมการพหุนามกำลังสองชนิดมีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุท	24
ตารางที่ 7 แสดงผลการสร้างสมการพหุนามกำลังสามชนิดมีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุท	25
ตารางที่ 8 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายเอาร์ทพุท	26
ตารางที่ 9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการทำนายอัตราการอบแห้ง	29
ตารางที่ 10 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายอัตราการอบแห้ง	29
ตารางที่ 11 แสดงค่าเริ่มต้นของตัวแปรในการแก้ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพ	31
ตารางที่ 12 แสดงค่า Optimum ของตัวแปรจากการแก้ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพ	31
ตารางที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบผลการทำนายกับผลการทดลองที่สภาวะที่ดีที่สุด	31
ตารางที่ 14 แสดงค่าสภาวะในแต่ละรูปแบบที่สมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐาน	33
ตารางที่ 15 แสดงค่าพลังงานและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแต่ละรูปแบบ	34

รายการภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งการจัดวางที่ย่อยบนถาดอบแห้ง	12
รูปที่ 2 กราฟแสดงผลของเวลาอบแห้งต่อ %MC ที่อุณหภูมิต่างๆ	15
รูปที่ 3 กราฟแสดงผลของเวลาอบแห้งต่อ P_0 เฉลี่ยที่อุณหภูมิต่างๆ	16
รูปที่ 4 กราฟแสดงผลของเวลาอบแห้งต่อ %PRI เฉลี่ยที่อุณหภูมิต่างๆ	17
รูปที่ 5 แผนภาพแสดงการคำนวณใน MATLAB	20
รูปที่ 6 กราฟ 45 องศาของสมการกำลังสองชนิดไม่มีความสัมพันธ์	21
รูปที่ 7 กราฟแสดงผลการทำนาย %MC ด้วยสมการกำลังสองชนิดไม่มีความสัมพันธ์	22
รูปที่ 8 กราฟแสดงผลการทำนาย P_0 ด้วยสมการกำลังสองชนิดไม่มีความสัมพันธ์	23
รูปที่ 9 กราฟแสดงผลการทำนาย PRI ด้วยสมการกำลังสองชนิดไม่มีความสัมพันธ์	24
รูปที่ 10 กราฟ 45 องศาของสมการกำลังสองชนิดมีความสัมพันธ์	25
รูปที่ 11 กราฟแสดงผลการทำนาย %MC ด้วยสมการกำลังสามชนิดมีความสัมพันธ์	26
รูปที่ 12 กราฟแสดงผลการทำนาย P_0 ด้วยสมการกำลังสามชนิดมีความสัมพันธ์	27
รูปที่ 13 กราฟแสดงผลการทำนาย PRI ด้วยสมการกำลังสามชนิดมีความสัมพันธ์	27
รูปที่ 14 กราฟแสดงผลการทำนาย %MC ที่สภาวะออกแบบที่ดีที่สุด	30
รูปที่ 15 กราฟแสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิที่ดีที่สุดที่เวลาต่างๆ	30
รูปที่ 16 Psychrometric chart	34

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ก่อนอื่นขอขอบคุณโรงงานยางแท่ง จ. พัทลุง ที่ให้ความอนุเคราะห์ยางย่อยก่อนอบเพื่อมาใช้ในการวิจัย รวมถึงทีมงานวิจัย บุคลากรและคณาจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์ ที่คอยให้การสนับสนุนและแนะนำ

ขอขอบพระคุณคุณพ่อสุธรรม แก้วประดิษฐ์ และคุณแม่มลสุภา แก้วประดิษฐ์ ที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ แก้วประดิษฐ์ และคณะ

บทคัดย่อภาษาไทย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการออกแบบสถานะการอบแห้งที่ดีที่สุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งในโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 และรับรองผลของสมบัติยางหลังอบผ่านมาตรฐานยางไทยผลการทดลองถูกนำมาสร้างสมการพหุนามเพื่อหาความสัมพันธ์ของเวลาและอุณหภูมิอบแห้งต่อค่าสมบัติของยาง ได้แก่ ค่าความชื้นสุดท้ายในยางแผ่น (% MC) ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น (P_0) และค่าดัชนีความอ่อนตัว (PRI) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ผลการศึกษาพบว่า สมการพหุนามกำลังสามชนิดมีความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิอบแห้งให้ค่าความคลาดเคลื่อน, SSE และ MSE ต่ำที่สุดคือ 1.468 และ 0.489 ตามลำดับ สมการทำนายค่าสมบัติถูกนำไปใช้ในการออกแบบสถานะดำเนินการที่ดีที่สุดโดยแบ่งเป็น 2 กรณีคือสถานะดำเนินการคงที่และสถานะดำเนินการที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้น ผลการออกแบบการเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง พบว่า สถานะดำเนินการที่ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดและสมบัติยางผ่านเกณฑ์มาตรฐานยางแท่ง STR20 คือ อบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0.8 ชั่วโมงและลดอุณหภูมิลงเหลือ 116 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่า สถานะดำเนินการที่ออกแบบสามารถประหยัดพลังงานได้ 38 kW.h (ต่อตันยางแท่ง) และประหยัดค่าไฟได้ถึง 209,875 บาทต่อปี ที่กำลังการผลิต 10 ตันต่อวัน

Abstract

This research has focused on drying optimization for blocked rubber STR20 industry to guarantee dried product qualities. Initially, a set of polynomial equations, which is the correlation of inputs (drying time and temperature) and outputs (moisture content, initial plasticity and plasticity retention index), has been developed based the experimental data sets via MATLAB program. Simulation results show that polynomial of degree 3 with input interaction terms gives lowest prediction error, SSE = 1.468 and MSE = 0.489. The prediction equations have further been used for optimization purpose; two types of optimization problems have been investigated such as constant and step-change of the desired operating variables. Optimum results reveal that minimum drying time and satisfaction of product qualities could be achieved by initially operating at 140 °C for 0.8 hour, and afterward at 116 °C for 0.5 hour. By economic analysis, this could save energy 38 kW.h per ton of material, as well as expense 209,875 baths per year (capacity of 10 ton per day).

บทนำ

อุตสาหกรรมยางแท่งเป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศ โดยเฉพาะยางแท่ง Standard Thai Rubber, STR20 ซึ่งสามารถนำไปผลิตยางรถยนต์ ยางอะไหล่ ยางปูพื้น และยางกันโคลน เป็นต้น ยางแท่ง STR20 ที่ผลิตจากยางก้อนถ้วย (Cup lump) เศษยาง หรือยางที่มีคุณภาพต่ำ เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายทั้งในภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากมีขั้นตอนการผลิตที่ง่ายกว่าการผลิตยางแผ่นดิบ อีกทั้งเกษตรกรชาวสวนนิยมผลิตยางก้อนถ้วยมากกว่ายางแผ่นเนื่องจากรวดเร็ว และการลงทุนต่ำ

สำหรับขั้นตอนการผลิตยางแท่งประกอบด้วย ในขั้นแรกยางก้อนถ้วยจะถูกย่อยด้วยเครื่องตัดย่อยยางและผสมกับยางแผ่นดิบที่สะอาดกว่าตามสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ผ่านมาตรฐานยางแท่ง จากนั้นผ่านเครื่องเครพเพียบและละเอียด (Creper) 5-10 ครั้ง ก่อนนำเข้าเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot air dryer) เพื่อไล่ความชื้นให้มีความชื้นในยางก้อนไม่เกิน 2.5% โดยน้ำหนักยางแท่ง (อุตสาหกรรมยางพารา กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554 และสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2555) เนื่องด้วยความชื้นเริ่มต้นของยางก้อนก่อนอบมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 40% โดยน้ำหนัก ทำให้ขั้นตอนการอบเป็นขั้นตอนหนึ่งใช้พลังงานสูงซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิต อีกทั้งหากอบที่อุณหภูมิสูงจนเกินไปจะส่งผลต่อสมบัติด้านความยืดหยุ่นของยาง เป็นเหตุให้กำลังการผลิตถูกจำกัดด้วยระยะเวลาการอบ

เพื่อให้สามารถผลิตยางแท่ง STR 20 จากยางก้อนถ้วยได้อย่างมีคุณภาพ (Quality control) งานวิจัยนี้จึงศึกษาการออกแบบสภาวะการอบแห้งที่ดีที่สุด ที่สามารถรับรองผลของสมบัติยางอบแห้งให้ผ่านมาตรฐานยางไทย (STR) โดยใช้เวลาการอบแห้งน้อยที่สุด (Minimum of drying time) ซึ่งพิจารณา 3 สมบัติ คือ ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น (Initial plasticity, P_0) มากกว่า 30, ค่าดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity Retention Index, PRI) มากกว่า 40 และค่าความชื้นสุดท้ายในยางแผ่น (Moisture Content, MC) น้อยกว่า 2.5% โดยน้ำหนักยางแท่ง

วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบการเพิ่มประสิทธิภาพของการอบแห้งในโรงงานผลิตยางแท่ง STR 20

การตรวจเอกสาร

Bala, B.K. และ Woods, J.L.(1995) ได้เสนอเทคนิคสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของการพาความร้อนตามธรรมชาติด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์การจำลองทางกายภาพรวมไปถึงทำนายค่าใช้จ่ายและการค้นหาเทคนิค ซึ่งพบว่า มีข้อจำกัดขั้นต่ำของค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อการกำจัดความชื้น การออกแบบที่เหมาะสมสำหรับสภาวะตามแบบฉบับของประเทศบังคลาเทศที่มีความสัมพันธ์อย่างยาวนานกับเมล็ดข้าวแบบบางๆ และความสูงปล่องไฟขนาดเล็กการวิเคราะห์ค่าความไวแสดงให้เห็นว่าการออกแบบรูปทรงเรขาคณิตไม่ได้ทำให้ค่าความไวต่อวัตถุดิบหรือต้นทุนคงที่มากขึ้น แต่มีผลกระทบต่อกำลังการผลิตเมล็ดข้าว การเปลี่ยนเมล็ดข้าวไม่มีผลต่อการอบแห้ง แต่ช่วยลดส่วนเกินของการอบแห้งที่อยู่ด้านล่างของแบบพซ์

Tolmac, D., Prvulovic, S. และ Radovanovic, L. (2008) ได้ดำเนินการวิจัยด้วยการทดลองผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินการในสภาพแวดล้อมของอุตสาหกรรมจริงต่อเครื่องพาความร้อนโดยการลำเลียงวัสดุด้วยลมค่าที่ได้สำหรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการอบแห้ง ลักษณะพลังงาน และให้ผลที่ดีเท่ากับแบบจำลองการถ่ายโอนความร้อน ได้ดำเนินการวิจัยด้วยการทดลองผลลัพธ์ที่ได้ดำเนินการในสภาพแวดล้อมของอุตสาหกรรมจริงต่อเครื่องพาความร้อน โดยการลำเลียงวัสดุด้วยลมค่าที่ได้สำหรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการอบแห้ง ลักษณะพลังงาน และให้ผลที่ดีเท่ากับแบบจำลองการถ่ายโอนความร้อน ผลสำเร็จของการถ่ายโอนความร้อนในระบบเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับหลักการของการสัมผัสโดยตรงของวัสดุที่ถูกทำให้แห้ง และอากาศที่อบอุ่น นอกจากนี้ยังประสบความสำเร็จในการเพิ่มความร้อนและมวลในการถ่ายโอน งานนี้นำเสนอผลการวิจัยซึ่งอาจจะมีประโยชน์ในการออกแบบและสร้างเครื่องดังกล่าวในอุตสาหกรรมอาหาร กล่าวไปถึงลักษณะทางเทคโนโลยีและทางเทคนิคของเครื่องอบแห้งที่มีสมดุลทางพลังงานและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

Dehkordi, B.M. (2010) ศึกษาผลของอุณหภูมิ(Temperature)เวลาในการแช่ (Immersion time) ความเข้มข้นของเกลือ (Salt concentration) ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส (Sucrose concentration) ความดัน (Pressure) และอุณหภูมิตู้อบ (Convective dryer temperature) ต่อการคายน้ำออสโมติก - การอบแห้ง (Combined osmotic dehydration - convective drying) ของเห็ดกระดุม (Button mushroom)การทดลองได้รับการออกแบบตามการออกแบบของคอมโพสิตกลาง (Central Composite Design, CCD) กับหกปัจจัยละห่าระดับ สภาวะดำเนินการที่ดีที่สุด (Optimum processing conditions) ได้ออกแบบโดยใช้การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (RSM) เพื่อให้เกิดการสูญเสียน้ำ(Water loss) และอัตราส่วนการคืนตัว (Rehydration ratio) สูงที่สุด อีกทั้งเกิดปริมาณของแข็ง (Solid gain) และการหดตัว (Shrinkage) ของเห็ดกระดุมต่ำที่สุด จากผลการวิเคราะห์พบว่า การดำเนินการที่เหมาะสมที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียสเวลาการแช่จาก 164 นาที, ความเข้มข้นของเกลือ 14%, น้ำตาลซูโครสความเข้มข้นของ 53%, ความดัน 600 มิลลิบาร์(mbar) และอุณหภูมิการอบแห้งจาก 40 องศาเซลเซียสที่สภาวะนี้พบว่าการสูญเสียน้ำ การเพิ่มขึ้นของของแข็งอัตราส่วนการคืนตัวและการหดตัวมีค่า 63.38 (กรัม/100 กรัม ตัวอย่างเริ่มต้น), 3.17 (กรัม/100 กรัมตัวอย่างเริ่มต้น), 2.26 และ 7.15%ตามลำดับ

Atuonwu, J.C., Straten, G.van. และ Deventer, H.C.van. (2011) ได้เสนอแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy efficient method) สำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อน(Heat-sensitive products)โดยการลดความชื้นอากาศ(Drying air dehumidification) ด้วยซีโอไลต์ (Zeolites) แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพมี 2 แนวทาง คือ พิจารณาตามลำดับ (Sequential approach) และพิจารณาไปพร้อมกัน

(Simultaneous) ในวิธีการพิจารณาตามลำดับพลังงานได้ถูกออกแบบให้ใช้อย่างมีประสิทธิภาพโดยคำนึงถึงเงื่อนไขของอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ และค่าความชื้นสุดท้าย (Final moisture constraints) ของซีโอไลต์ กำหนดตัวแปรตัดสินใจ คือ อัตราการอบแห้ง อัตราการไหลของอากาศฟื้นฟู (Regeneration air flowrate) และอุณหภูมิขาเข้าของอากาศฟื้นฟู (Regeneration air inlet temperature) สำหรับการพิจารณาไปพร้อมกันได้ออกแบบให้มีการนำกลับความร้อน (Heat recovery) กลับมาใช้ใหม่ในการอบแห้ง การออกแบบการเพิ่มประสิทธิภาพตามลำดับและวิธีการพร้อมกันช่วยลดการใช้พลังงานได้ประมาณ 45% และ 55%ตามลำดับเมื่อเทียบกับตู้อบแห้งแบบเก่าที่อุณหภูมิการอบแห้งเดียวกันคือ 50 องศาเซลเซียส.

Karaagac, B., Inal, M. และ Deniz, V. (2011) สร้างแบบจำลองเวลาการวัลคาไนซ์ (Cure time) ที่อุณหภูมิต่างๆโดยใช้ระบบอนุมานนิวโรฟัซซีแบบปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS) ผลการจำลองพบว่า แบบจำลอง ANFIS ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Percentage error) ต่ำที่สุด (3.89%) เมื่อเทียบกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN) (4.23%) และแบบจำลอง Equivalent cure concept (ECC) (7.15%) โดยทดสอบกับยางคอมปาวด์ (Rubber compound) กว่า 10 ชนิดผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ANFISสามารถใช้เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพมากในการทำนายเวลาการวัลคาไนซ์ที่เหมาะสมของยางคอมปาวด์

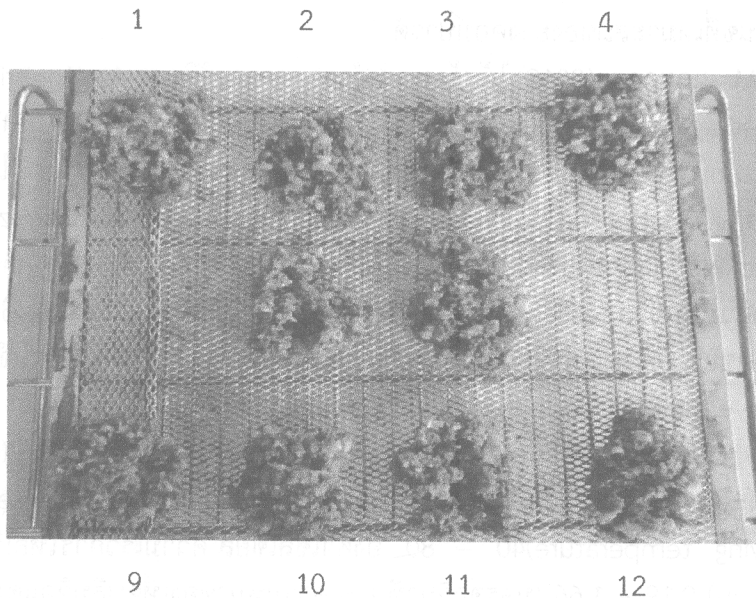
Balachandran, M. และคณะ (2012) ได้สร้างแบบจำลองคุณสมบัติของ Acrylonitrile butadiene copolymer (NBR)-nanoclay composites โดยใช้วิธีวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (RSM) ออกแบบด้วย FCCD (Face Central Composite Design) ที่มีสี่ปัจจัยและสามารถปรับปัจจัยที่พิจารณาในการออกแบบประกอบด้วย ปริมาณซิลิกา (Silica content) ปริมาณ nanoclay ระบบวัลคาไนเซชัน (Vulcanization system) และปริมาณ dicumyl peroxide ค่าสมบัติที่ศึกษาได้แก่ ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) โมดูลัสยืด (Modulus) ร้อยละการยืดตัวก่อนขาด (elongation at break) อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (Oxygen permeation rate) และผลของ Oil ageing ต่อสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) แบบจำลองที่สร้างคือสมการถดถอย (Regression equations)

Chin, S. และ Law, C.L. (2012) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot air drying) ของเห็ดหลินจือแดงสายพันธุ์ *Ganoderma lucidum* ตัวแปรอิสระ (Independent variables) ที่ศึกษาคือ อุณหภูมิการอบแห้ง (Drying temperature) 40 – 80 องศาเซลเซียส ความเร็วการไหลเวียนของอากาศ (Velocity of air circulation) 0.19 – 1.66 เมตรต่อวินาที และความหนาของเห็ดหลินจือแดงตัวอย่าง (Slice thickness) 0.1 – 0.5 เซนติเมตร ตัวแปรตอบสนอง (Response variables) ได้แก่ ปริมาณกรดกาโนเดอริก (Ganoderic acid, GA) ปริมาณโพลีแซ็กคาไรด์ (polysaccharides, Poly) ระยะเวลาการอบแห้ง (Total drying time, DT) และค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content, EMC) ผลการวิเคราะห์ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ตัวแปรอิสระทุกตัวมีผลต่อ DT และการเสื่อมสภาพของ GA ในขณะที่อุณหภูมิการอบแห้งและความเร็วการไหลเวียนของอากาศส่งผลต่อปริมาณ Poly มากที่สุด และอุณหภูมิการอบแห้งส่งผลต่อ EMC มากที่สุด สมการที่ใช้ในการออกแบบการเพิ่มประสิทธิภาพคือสมการพหุนามกำลังสอง (2nd order polynomial equations) โดยใช้วิธีวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) ออกแบบสถานะเพื่อให้ได้ปริมาณ GA และ Poly สูงที่สุด (Maximize) ในขณะที่ค่า DT ต่ำที่สุด (Minimum)

วิธีการทดลอง

1. การศึกษาผลของสภาวะการอบแห้งต่อสมบัติของยาง

1. ตัดตัวอย่างยางย่อยจากโรงงานให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร จำนวน 24 ชิ้น โดยกำหนดความหนา 2-3 เซนติเมตร และน้ำหนักของยางตัวอย่างก่อนเข้าเตาอบประมาณ 30 กรัม
2. นำตัวอย่างเข้าตู้อบโดยแบ่งเป็น 2 ถาดๆ ละ 12 ชิ้น กำหนดอุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 110, 120 และ 140 องศาเซลเซียสบันทึกความเร็วม
3. เก็บตัวอย่างยางจำนวน 5 ชิ้น ถาดบนตำแหน่งที่ 2, 11 และถาดล่างตำแหน่งที่ 4, 8, 12 (รูปที่ 1) มาชั่งน้ำหนักที่เวลาอบแห้ง 0.5, 1, 2, 3, 5 และ 7 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติ %MC, P_0 และ PRI
4. บันทึกอุณหภูมิอากาศและ %ความชื้นสัมพัทธ์ก่อนและหลังเข้าตู้อบแห้ง และภายในเครื่องอบแห้ง
5. ทำการทดลองซ้ำรวม 3 ครั้ง (54 การทดลอง)



รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งการจัดวางยางย่อยบนถาดอบแห้ง

2. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสถิติ ANOVA

1. นำผลการทดลองที่ได้จากกิจกรรมที่ 1 มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสถิติ ANOVA (Analysis Of Variance) เพื่อระบุตัวแปรที่ส่งผลค่า P_0 , PRI และ %MC ของยางแผ่นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
2. สร้างสมการทางคณิตศาสตร์ (Polynomial equation) เพื่อทำนายค่าสมบัติของยาง P_0 , PRI และ MC โดยกำหนดให้เป็นฟังก์ชันของตัวแปรที่ระบุในข้อ 1

3. ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model validation) โดยการพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าที่ทำนายได้ (Predicted data) กับค่าที่ได้จากการทดลอง (Experimental data) และคำนวณหาดัชนีความถูกต้องซึ่งได้แก่ค่า MSE (Mean Square Error) และ SSE (Sum Square Error)

3. การออกแบบสภาวะการดำเนินการการอบแห้งที่ดีที่สุด

1. กำหนดปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพ(Optimization problem) บนโปรแกรม MATLAB ดังนี้

Objective function: $\text{Min}_{x_1, x_2, t_1, t_2} t_f = t_1 + t_2$

Subject to: $P_0 = f_1(x_1, x_2) > 30$

$PRI = f_2(x_1, x_2) > 40$

$MC = f_3(x_1, x_2) < 2.5\%$

โดย x คือ ตัวแปรที่ส่งผลค่า P_0 , PRI และ MC ของยางแผ่นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

t_i คือ ช่วงเวลาการอบแห้ง (นาที) โดย i คือ จำนวนช่วงที่พิจารณา

t_f คือ เวลาสุดท้ายการอบแห้ง (นาที)

2. แก้ปัญหาออปติไมเซชันข้างต้นด้วยวิธี Linear programming เพื่อหาโปรไฟล์หรือค่าของสภาวะดำเนินการที่ดีที่สุดที่ใช้เวลาการอบแห้งน้อยที่สุด โดยที่ทุกค่าสมบัติของยาง เช่น ค่า P_0 , PRI และ MC ผ่านเกณฑ์มาตรฐานยาง STR
3. ดำเนินการอบแห้งด้วยสภาวะดำเนินการที่ดีที่สุด

4. การวิเคราะห์ผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์

ดำเนินการวิเคราะห์ผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์โดยพิจารณาความคุ้มค่าด้านพลังงานที่ใช้โดยเปรียบเทียบการดำเนินการอบแห้งตามรูปแบบโปรไฟล์ของอุณหภูมิที่ได้ออกแบบกับการอบแห้งโดยทั่วไป

วิธีการวิเคราะห์ค่าดัชนีความอ่อนตัว(Plasticity Retention Index, PRI)

1. รีดยางตัวอย่างด้วยเครื่องรีด 2 ลูกกลิ้ง (Two roll mills)
2. ตัดชิ้นงานให้เป็นวงกลมด้วยเครื่องตัด และรองด้วยกระดาษมวนบุหรีก่อนวัดค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น (Initial plasticity, P_0) ด้วยเครื่อง Wallace Rapid Plastometer
3. อบยางชิ้นงานในตู้อบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
4. พักชิ้นงานให้เย็นก่อนรองด้วยกระดาษมวนบุหรี และวัดค่าความอ่อน (P_{30}) ด้วยเครื่อง Wallace Rapid Plastometer และคำนวณค่า PRI จากสมการ

$$PRI = \frac{P_{30}}{P_0} \times 100\%$$

วิธีการวิเคราะห์ค่าความชื้น (Moisture Content, MC)

$$MC = \frac{W_i - W_d}{W_d} \times 100\%$$

โดยที่ W_i คือ น้ำหนักยางตัวอย่างที่เวลาใดๆ (กรัม)

W_d คือ น้ำหนักยางตัวอย่างแห้ง (กรัม)

สมการคำนวณค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน, MSE

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - y_i)^2$$

สมการคำนวณค่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน, SSE

$$SSE = \sum_{i=1}^n (Y_i - y_i)^2$$

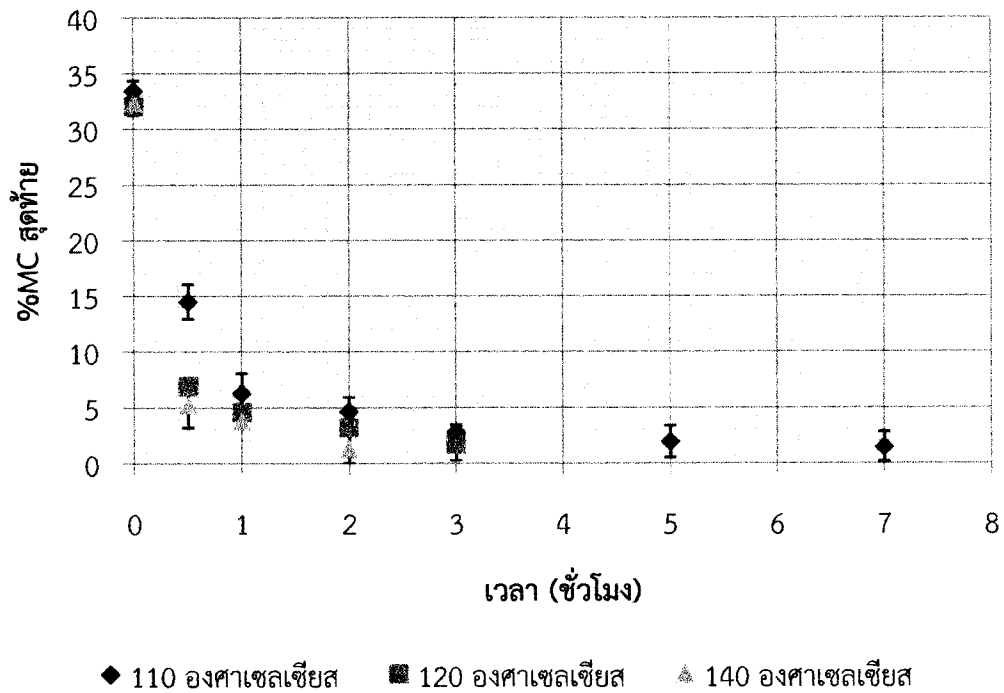
โดยที่ Y_i คือ ค่าเอาต์พุตที่วัดได้จากการทดลอง

y_i คือ ค่าเอาต์พุตที่ทำนายได้จากแบบจำลอง

ผลการทดลองและวิจารณ์

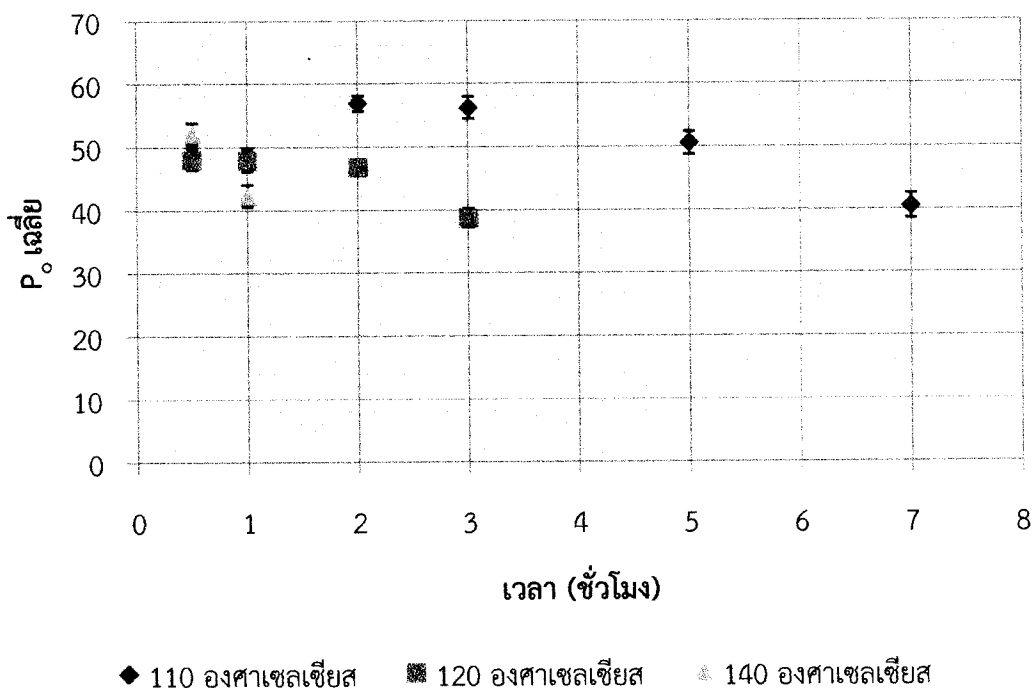
1. ผลของอุณหภูมิและเวลาอบแห้ง

การทดลองนี้ศึกษาผลของเวลาอบแห้งที่อุณหภูมิ 110, 120 และ 140 องศาเซลเซียสต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้าย (%Final moisture Content, %MC_{final}), ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น (Initial plasticity, P₀) และค่าดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity Retention Index, PRI) ของยางก้อนถ้วยจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยตัดตัวอย่างยางย่อยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร จำนวน 24 ชิ้น กำหนดความหนา 2-3 เซนติเมตร และน้ำหนักของยางตัวอย่างก่อนเข้าเตาอบประมาณ 30 กรัม นำตัวอย่างเข้าตู้อบลมร้อน (Convection oven) โดยแบ่งเป็น 2 ภาตๆ ละ 12 ชิ้น (รวม 24 ตัวอย่าง) อบตัวอย่างยางเป็นเวลา 0.5, 1, 2, 3, 5 และ 7 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างยางจำนวน 5 ชิ้น ภาตบนตำแหน่งที่ 2, 11 และภาตล่างตำแหน่งที่ 4, 8, 12 (ดังแสดงในรูปที่ 1) พักไว้ให้เย็นในโหลเก็บความชื้นก่อนนำไปชั่งน้ำหนักหลังอบ และนำไปวิเคราะห์สมบัติ %MC_{final}, P₀ และ PRI ของตัวอย่างยางที่เหลือต่อจนน้ำหนักคงที่เพื่อคำนวณหาปริมาณ %MC เริ่มต้นในแต่ละการทดลอง



รูปที่ 2 กราฟแสดงผลของเวลาอบแห้งต่อ %MC ที่อุณหภูมิต่างๆ

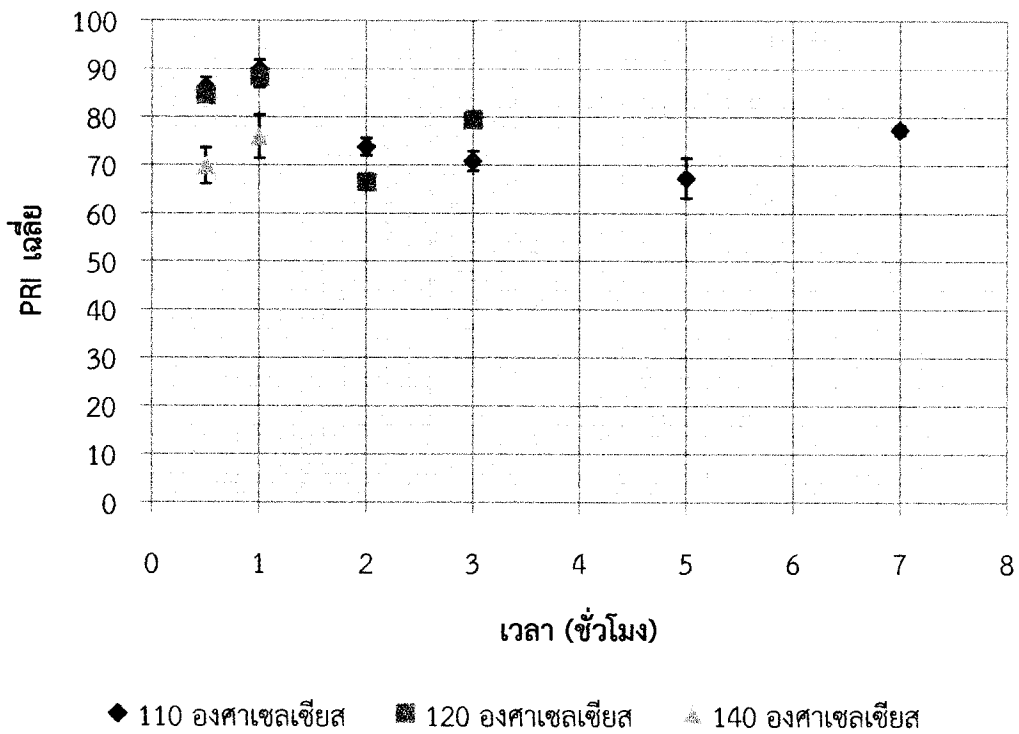
รูปที่ 2 - 4 แสดงผลของเวลาอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้าย(%Final moisture Content, %MC_{final}), ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น (Initial plasticity, P₀) และค่าดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity Retention Index, PRI) ตามลำดับจากกราฟพบว่า %MC เริ่มต้นในยางก้อนถ้วยตัวอย่างที่ศึกษามีค่าประมาณ 32 - 34% โดยน้ำหนักยางแห้ง (Dry basis) ทั้งนี้ค่า %MC เริ่มต้นในยางก้อนอบขึ้นกับสัดส่วนของยางก้อนถ้วยต่ออย่างแผ่นดิบในขั้นตอนผสมด้วยเครื่องตัดย่อยยาง ในกรณีนี้สัดส่วนของยางก้อนถ้วยต่ออย่างแผ่นดิบคิดเป็นประมาณ 2:3 โดยน้ำหนัก เมื่อเวลาอบแห้งเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิตั้งที่ %MC มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง และที่เวลาอบแห้งคงที่พบว่า %MC ในยางตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำในยางตัวอย่างระเหยออกอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้นหรือเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น จึงทำให้ค่าความชื้นในยางตัวอย่างมีค่าลดลงและเริ่มคงที่เมื่อถึงจุดสมดุล พิจารณาผลการดำเนินการที่อุณหภูมิอบแห้ง 110, 120 และ 140 องศาเซลเซียสความชื้นในยางตัวอย่างเริ่มคงที่ที่เวลาอบแห้งมากกว่า 3, 2 และ 1 ชั่วโมงตามลำดับ โดยที่ทุกสภาวะพบ %MC_{final}มีค่าน้อยกว่า 2.5% โดยน้ำหนักยางแห้งซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานยางไทย



รูปที่ 3 กราฟแสดงผลของเวลาอบแห้งต่อ P₀ เฉลี่ยที่อุณหภูมิต่างๆ

จากรูปที่ 3 ซึ่งแสดงผลของเวลาอบแห้งต่อค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น (P₀) เฉลี่ยที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าที่อุณหภูมิคงที่เมื่อเวลาอบแห้งเพิ่มขึ้นค่า P₀ มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง และในทำนองเดียวกันที่เวลาอบแห้งคงที่พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 110 องศาเซลเซียสเป็น 120 และ 140 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่า P₀ มีค่าลดลงเนื่องจากเมื่อเริ่มให้ความร้อนแก่ยางที่อุณหภูมิต่างๆ ความร้อนจะเข้าไปเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติภายในของยางทำให้ยางมีความยืดหยุ่นน้อยลง จากผลการทดลองพบว่ายางตัวอย่างหลังอบเริ่มมีลักษณะไหลเยิ้มเมื่ออบที่อุณหภูมิ

140 องศาเซลเซียสที่เวลา 2 ชั่วโมงทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์หาค่า P_0 ที่เวลาดังกล่าวได้ ในกรณีนี้ค่า P_0 ของยางตัวอย่างหลังอบที่อุณหภูมิ 110, 120 และ 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 - 7, 2 - 3 และ 1 - 2 ชั่วโมงมีค่าอยู่ในช่วง 40 - 56, 38 - 47 และ 38 - 44 ตามลำดับ และจากรูปที่ 4 ซึ่งแสดงผลของเวลาอบแห้งต่อค่าดัชนีความอ่อนตัว PRI ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า เมื่อเวลาอบแห้งเพิ่มขึ้นหรือเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นไม่ส่งผลที่ชัดเจนต่อค่า PRI โดยยางตัวอย่างหลังอบที่อุณหภูมิ 110, 120 และ 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 - 7, 2 - 3 และ 1 - 2 ชั่วโมงมีค่า PRI อยู่ในช่วง 64 - 79, 64 - 80 และ 68 - 84 ซึ่งที่ทุกสภาวะดำเนินการดังกล่าวข้างต้นยางก้อนถ้วยหลังอบผ่านเกณฑ์มาตรฐานยางแห้ง STR20 คือมีค่า P_0 ไม่ต่ำกว่า 30 และค่า PRI ไม่ต่ำกว่า 40



รูปที่ 4 กราฟแสดงผลของเวลาอบแห้งต่อ %PRI เฉลี่ยที่อุณหภูมิต่างๆ

2. วิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมสถิติ

ผลการทดลองถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติ ANOVA เพื่อศึกษาผลของตัวแปรที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งได้แก่ เวลาและอุณหภูมิอบแห้ง ต่อค่าสมบัติของยางก้อนถ้วย P_0 , PRI และ %MC ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติ ANOVA แสดงดังตารางที่ 1 - 3 พบว่าทั้งอุณหภูมิและเวลาอบแห้งส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า %MC ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงในตารางที่ 1 พิจารณาที่อุณหภูมิอบแห้ง 110 องศาเซลเซียสเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของ %MC รวม 3 ช่วง (แนวนอน) คือที่

เวลา 0.5, 1 – 3 และ 2 – 7 ชั่วโมง แสดงว่าในช่วง 2 – 7 ชั่วโมงอัตราการระเหยความชื้นจากยางตัวอย่างมีค่าลดลงและเข้าสู่สมดุลที่เวลามากกว่า 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิอบแห้ง 120 องศาเซลเซียสพบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของ %MC รวม 2 ช่วง (แนวนอน) คือที่เวลา 0.5 – 1 และ 1 – 3 ชั่วโมง ดังนั้นอัตราการระเหยความชื้นจากยางตัวอย่างเข้าสู่สมดุลที่เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิอบแห้ง 140 องศาเซลเซียสพบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของ %MC รวม 2 ช่วง (แนวนอน) คือที่เวลา 0.5 – 1 และ 1 – 2 ชั่วโมง ดังนั้นอัตราการระเหยความชื้นจากยางตัวอย่างเข้าสู่สมดุลที่เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง หากพิจารณาเกณฑ์มาตรฐานยางไทย คือ %MC ควรน้อยกว่า 2.5% โดยน้ำหนักยางแห้ง พบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 110, 120 และ 140 องศาเซลเซียส เวลาที่สามารถดำเนินการได้ คือ 3– 7, 2 – 3 และ 1 – 2 ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์จากกราฟในรูปที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงผลวิเคราะห์ทางสถิติของ %MC

ชั่วโมง T(°C)	0.5	1	2	3	5	7
110	14.52 ^{a,a} ±1.58	6.30 ^{b,a} ±1.77	4.66 ^{bc,a} ±1.28	2.79 ^{bc,0} ±0.69	1.96 ^{c,0} ±1.42	1.47 ^{c,0} ±1.33
120	6.98 ^{a,b} ±0.59	4.58 ^{ab,ab} ±0.35	3.17 ^{b,ab} ±0.62	1.74 ^{b,0} ±1.46	N/A	N/A
140	5.24 ^{a,b} ±1.99	3.80 ^{ab,b} ±0.28	1.25 ^{b,b} ±1.21	N/A	N/A	N/A

หมายเหตุ superscript อักษรตัวแรก
superscript ตัวอักษรตัวที่สอง
superscript= 0

พิจารณาในแนวนอน
พิจารณาในแนวตั้ง
ไม่มีผลวิเคราะห์เนื่องจากมีข้อมูลน้อยกว่า 3 ชุด

ตารางที่ 2 แสดงผลวิเคราะห์ทางสถิติของ P₀

ชั่วโมง T(°C)	0.5	1	2	3	5	7
110	48.85 ^{a,b} ±0.97	47.98 ^{a,b} ±1.82	56.92 ^{b,0} ±1.23	56.23 ^{b,0} ±1.73	50.55 ^{a,0} ±1.82	40.50 ^{c,0} ±1.97
120	47.96 ^{a,b} ±1.51	47.86 ^{a,b} ±1.44	46.72 ^{a,0} ±0.91	38.72 ^{b,0} ±1.50	N/A	N/A
140	52.12 ^{0,c} ±1.69	42.30 ^{0,c} ±1.70	N/A	N/A	N/A	N/A

หมายเหตุ superscript อักษรตัวแรก
superscript ตัวอักษรตัวที่สอง
superscript= 0

พิจารณาในแนวนอน
พิจารณาในแนวตั้ง
ไม่มีผลวิเคราะห์เนื่องจากมีข้อมูลน้อยกว่า 3 ชุด

ตารางที่ 2 และ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงค่า P₀ และ PRI ของยางก้อนถ้วยด้วยโปรแกรมทางสถิติ ANOVA ตามลำดับ พิจารณานัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ที่อุณหภูมิอบแห้ง 110, 120 และ 140 องศาเซลเซียส ค่า P₀ และ PRI มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญหากอบแห้งนานกว่า 3, 2 และ 0.5 ชั่วโมง ตามลำดับและที่เวลาอบแห้งคงที่พบว่าค่า P₀ และ PRI ของยางก้อนถ้วยมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออบที่อุณหภูมิอบแห้งมากกว่า 120 องศาเซลเซียส ดังนั้นสรุปได้ว่าเวลาและอุณหภูมิอบแห้งส่งผลต่อค่า P₀ และ PRI

ตารางที่ 3 แสดงผลวิเคราะห์ทางสถิติของPRI

ชั่วโมง T(°C)	0.5	1	2	3	5	7
110	86.36 ^{ab} ±1.88	89.83 ^{a,b} ±2.04	73.88 ^{bc,0} ±1.76	70.92 ^{bc,0} ±2.06	67.41 ^{c,0} ±4.14	77.45 ^{b,0} ±1.01
120	84.61 ^{ab,b} ±1.69	88.36 ^{a,b} ±2.14	66.53 ^{c,0} ±0.21	79.38 ^{b,0} ±1.56	N/A	N/A
140	69.91 ^{0,c} ±3.72	76.03 ^{0,c} ±4.54	N/A	N/A	N/A	N/A

หมายเหตุ superscript อักษรตัวแรก

Superscript ตัวอักษรตัวที่สอง

superscript= 0

พิจารณาในแนวนอน

พิจารณาในแนวตั้ง

ไม่มีผลวิเคราะห์เนื่องจากมีข้อมูลน้อยกว่า 3 ชุด

3. การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์

3.1. สมการพหุนามกำลังสอง

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติ ANOVA พบว่า ค่าสมบัติของยางก้อนถ้วย (Y) ซึ่งได้แก่ %MC, ค่า P₀ และ PRI เป็นฟังก์ชันของเวลา (t) และอุณหภูมิอบแห้ง (T) ดังนั้นจึงเลือกศึกษาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปของสมการพหุนามกำลังสองสองตัวแปรดังแสดงดังสมการข้อมูลจากการทดลองถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient), $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ ของสมการด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ที่สามารถทำนายค่าเอาต์พุต (Output, Y_p) ได้ถูกต้องที่สุด

$$Y_p = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 \text{diag}(X)X$$

ซึ่ง $Y_p = \begin{bmatrix} \%MC \\ P_0 \\ PRI \end{bmatrix}$ คือ เมตริกซ์ของตัวแปรเอาต์พุต (Output) หรือค่าสมบัติของยางก้อนถ้วย

$X = \begin{bmatrix} t \\ T \end{bmatrix}$ คือ เมตริกซ์ของตัวแปรอินพุต (Input) ซึ่งได้แก่ เวลาและอุณหภูมิอบแห้ง

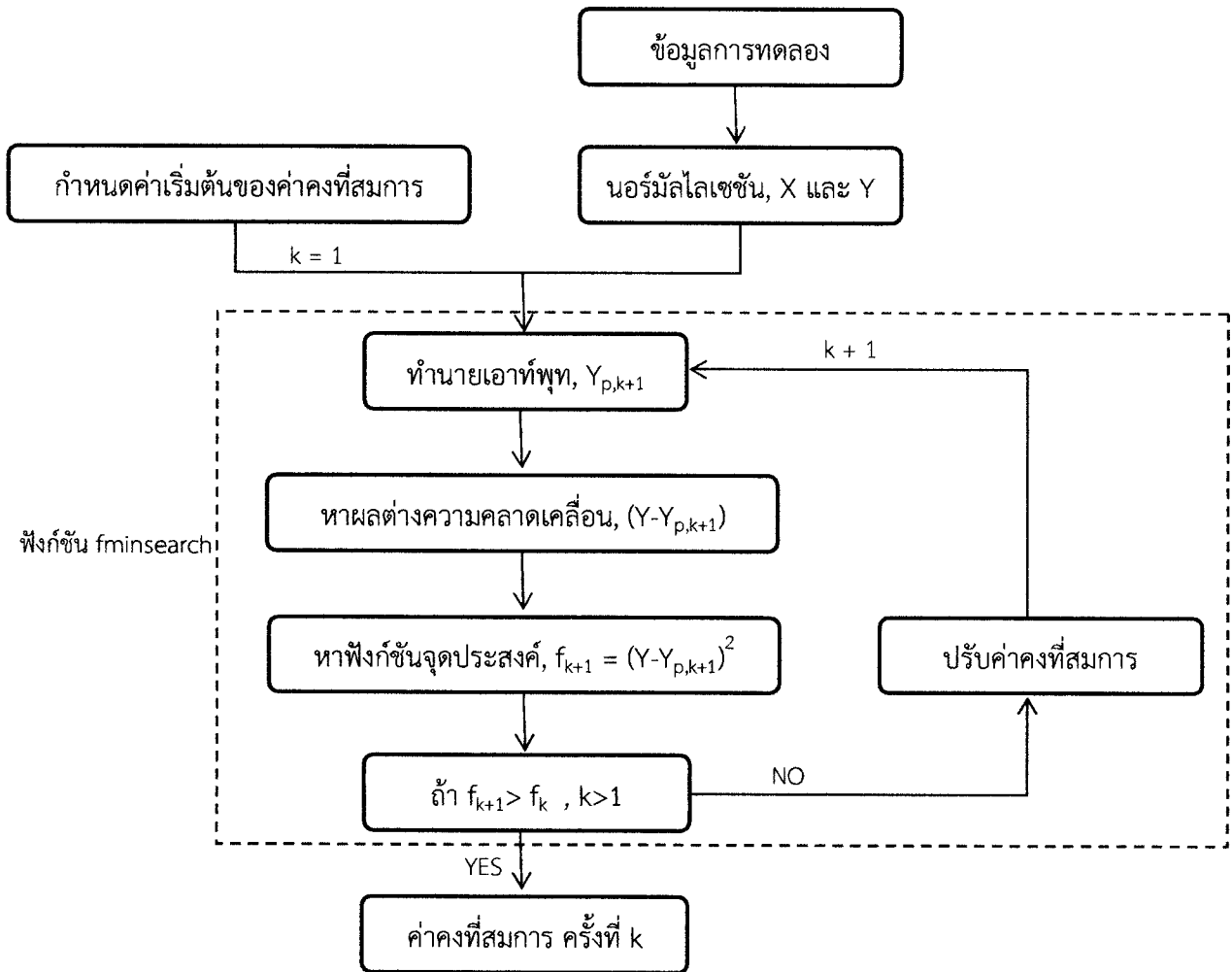
$\text{diag}(X) = \begin{bmatrix} t & 0 \\ 0 & T \end{bmatrix}$ คือ เมตริกซ์ทแยงมุม (Diagonal matrix) ของตัวแปร X

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ คือ เมตริกซ์สัมประสิทธิ์ (Coefficient) ซึ่งมีขนาด [3x1], [3x2] และ [3x2] ตามลำดับ

ดังนั้นคือ $\beta_0 = \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \\ a_{30} \end{bmatrix}$, $\beta_1 = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \\ b_{31} & b_{32} \end{bmatrix}$ และ $\beta_2 = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \\ c_{31} & c_{32} \end{bmatrix}$

$$f = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{38} (y_{ij} - y_{p,ij})^2$$

ในที่นี้จำนวนข้อมูลที่ใช้ออกแบบสมการพหุนามกำลังสองสองตัวแปรมีทั้งสิ้น 38 ข้อมูลซึ่งได้จากการทดลอง ช่วงของตัวแปรอินพุตที่ศึกษาคือ เวลาอบแห้ง 0.5 – 7 ชั่วโมงและอุณหภูมิอบแห้ง 110 – 140 องศาเซลเซียส โปรแกรมที่ใช้ในการแก้สมการได้แก่โปรแกรม MATLAB โดยใช้ฟังก์ชัน fminsearch กำหนดฟังก์ชัน จุดประสงค์ของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดใช้ค่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Sum Square Error, SSE) ของค่าจากการทดลอง (y) กับค่าที่ทำนายจากแบบจำลอง (y_p)



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงการคำนวณใน MATLAB

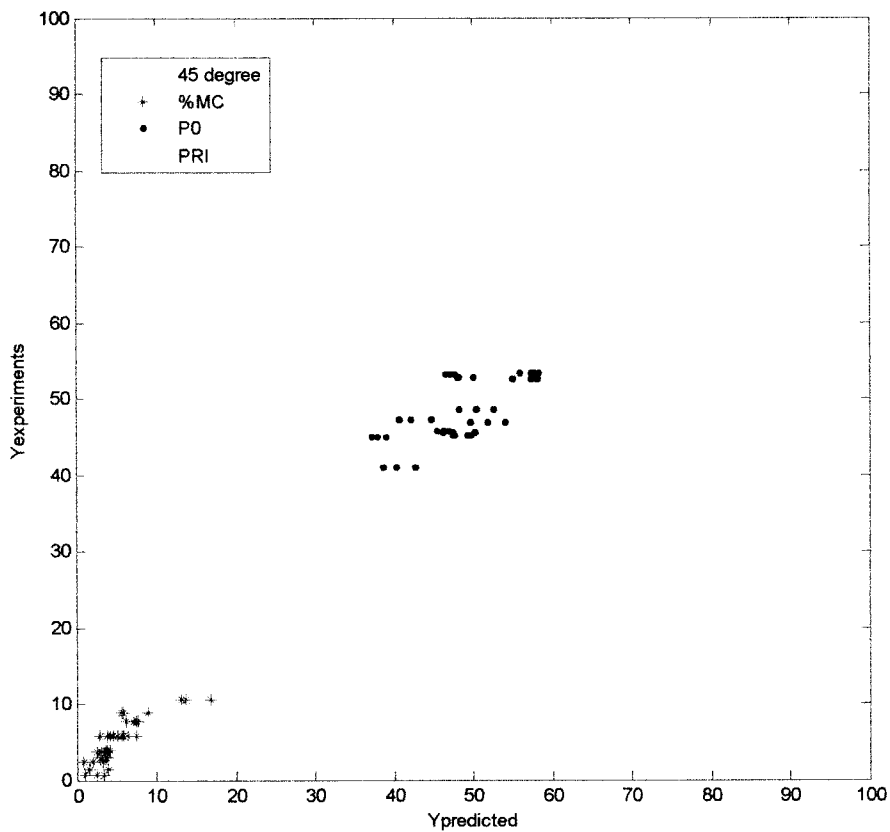
เพื่อลดผลของขนาดที่เกิดจากหน่วยที่แตกต่างกันของตัวแปร ก่อนแก้สมการด้วยโปรแกรม MATLAB จำเป็นต้องปรับปรุงข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบให้อยู่ในรูปไร้หน่วย (Dimensionless) ด้วยวิธีการนอร์มัลไลเซชัน

ชั้น (Normalization) ดังแสดงในสมการเพื่อให้ข้อมูลทั้งหมดจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 ข้อมูลค่าตัวแปรต่ำสุดและสูงสุดที่ใช้แสดงดังตารางที่ 4 กระบวนการแก้ปัญหาแสดงดังรูปที่ 5

$$x_i^n = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

ตารางที่ 4 แสดงค่าต่ำสุดและสูงสุดของตัวแปรสำหรับนอร์มัลไลเซชัน

อินพุท	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	เอาต์พุท	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
t (ชม.)	0.5	7.0	%MC	0.86	16.73
T(°C)	110	140	P ₀	37.20	58.30
			PRI	63.07	91.40

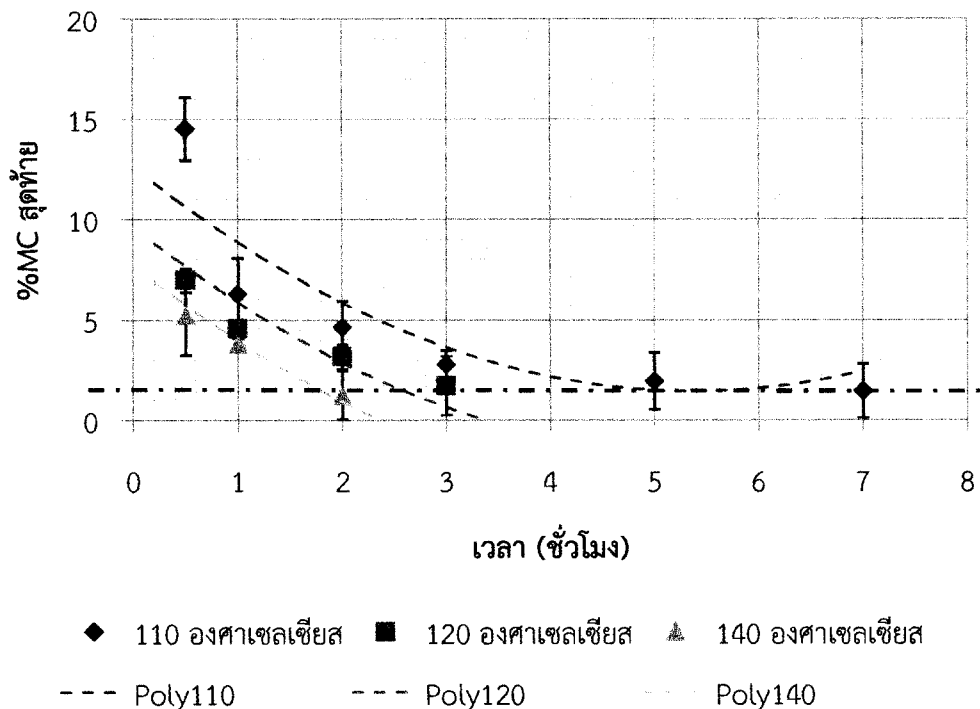


รูปที่ 6 กราฟ 45 องศาของสมการกำลังสองชนิดไม่มีความสัมพันธ์

ตารางที่ 5 แสดงผลการสร้างสมการพหุนามกำลังสองชนิดไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต

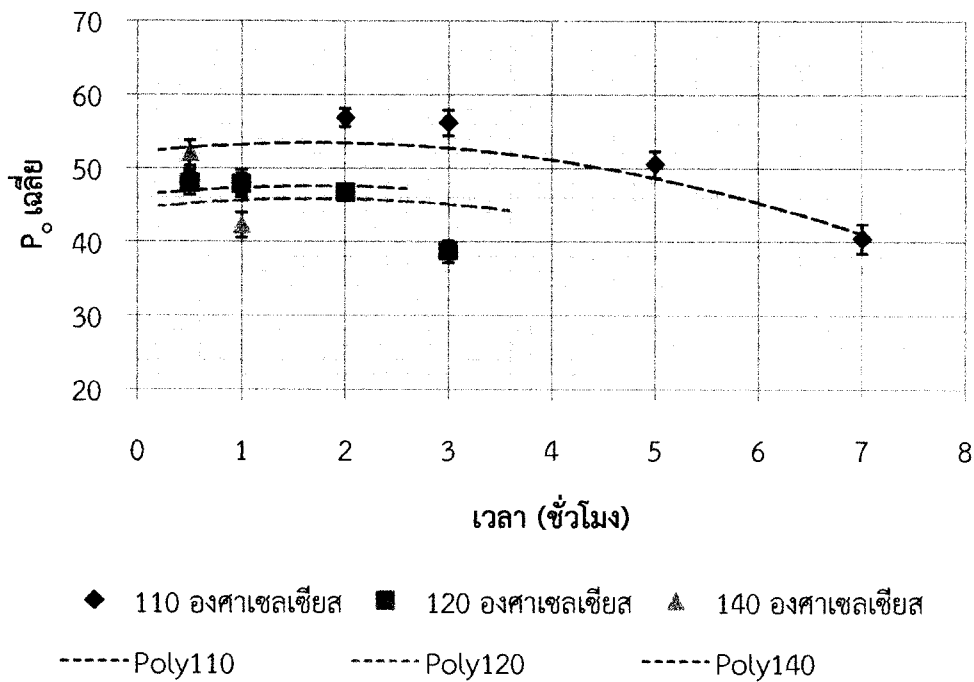
ตัวแปร	ค่าคงที่	t	T	t ²	T ²
%MC	0.6175	-1.5464	-0.6929	1.0303	0.3822
P ₀	0.7407	0.3317	-1.4888	-0.8873	1.2096
PRI	0.8373	-1.9555	0.2889	1.5974	-0.7063

ตารางที่ 5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ที่ดีที่สุดของสมการพหุนามกำลังสอง (ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุต) ซึ่งให้ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยที่สุด (Minimum Sum Square Error, SSE) เท่ากับ 3.576 และค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยที่สุด (Minimum Mean Square Error, MSE) เท่ากับ 1.192 ผลการเปรียบเทียบค่าเอาท์พุทที่ได้จากการทำนายด้วยสมการพหุนามกำลังสอง (ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุต) แสดงดังรูปที่ 6 พบว่าค่าที่ได้เกาะกลุ่มบนเส้น 45 องศาแสดงว่าค่าที่ทำนายสอดคล้องกับค่าที่ได้จากผลการทดลอง โดยค่าที่ทำนายได้ของ %MC ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด (Square Error, SE = 0.482) รองลงมาคือ PRI (SE = 1.526) และ P₀ (SE = 1.568) ตามลำดับ



รูปที่ 7 กราฟแสดงผลการทำนาย %MC ด้วยสมการกำลังสองชนิดไม่มีความสัมพันธ์

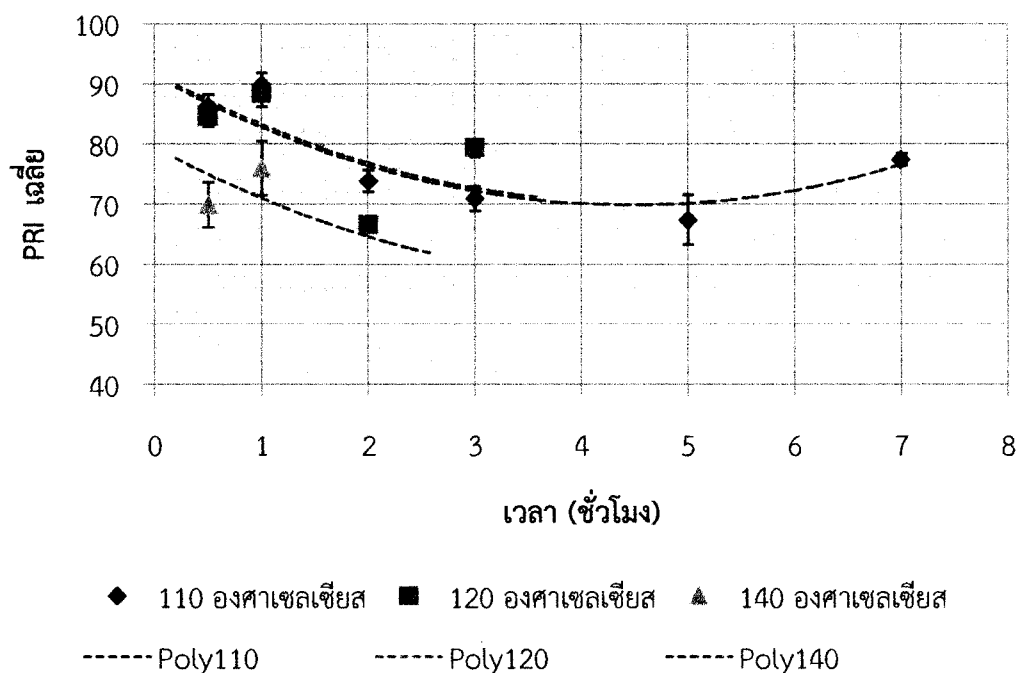
รูปที่ 7 - 9 แสดงผลของเวลาอบแห้งต่อค่า %MC, P₀ และ PRI ที่ทำนายได้ที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยสมการพหุนามกำลังสอง (ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุท) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามกำลังสองดังแสดงในตารางที่ 5 ข้อมูลอินพุทจะต้องผ่านการนอร์มัลไลเซชันด้วยค่าสูงสุดและต่ำสุดของชุดข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ (ตารางที่ 4) และผลการทำนายจะถูกคำนวณย้อนกลับเพื่อให้ได้ค่าจริงสอดคล้องตามหน่วยของตัวแปรเอาต์พุทนั้นๆ ผลการทำนายด้วยสมการพหุนามกำลังสองที่ออกแบบพบว่า เพื่อให้ได้ยางก้อนถ้วยหลังอบที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานยางไทย คือ %MC < 2.5%, P₀ > 30 และ PRI > 40 หากดำเนินการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110, 120 และ 140 องศาเซลเซียสจะต้องอบแห้งเป็นเวลาอย่างน้อย 3.8, 2.2 และ 1.4 ชั่วโมง ตามลำดับ



รูปที่ 8 กราฟแสดงผลการทำนาย P₀ ด้วยสมการกำลังสองชนิดไม่มีความสัมพันธ์

ในกรณีที่สมการพหุนามกำลังสองมีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุท ตัวอย่างสมการสามารถเขียนได้ตั้งสมการสำหรับทำนายค่า %MC โดยบวกเทอมของผลคูณค่าสัมประสิทธิ์ b_1 กับผลคูณของตัวแปรอินพุท tT สำหรับสมการทำนายค่า P₀ และ PRI สามารถเขียนได้ในทำนองเดียวกัน โดยจะมีค่าสัมประสิทธิ์เพิ่มมาคือ b_2, b_3 ตามลำดับ

$$Y_{\%MC} = a_{10} + b_{11}t + b_{12}T + b_1tT + c_{11}t^2 + c_{12}T^2$$

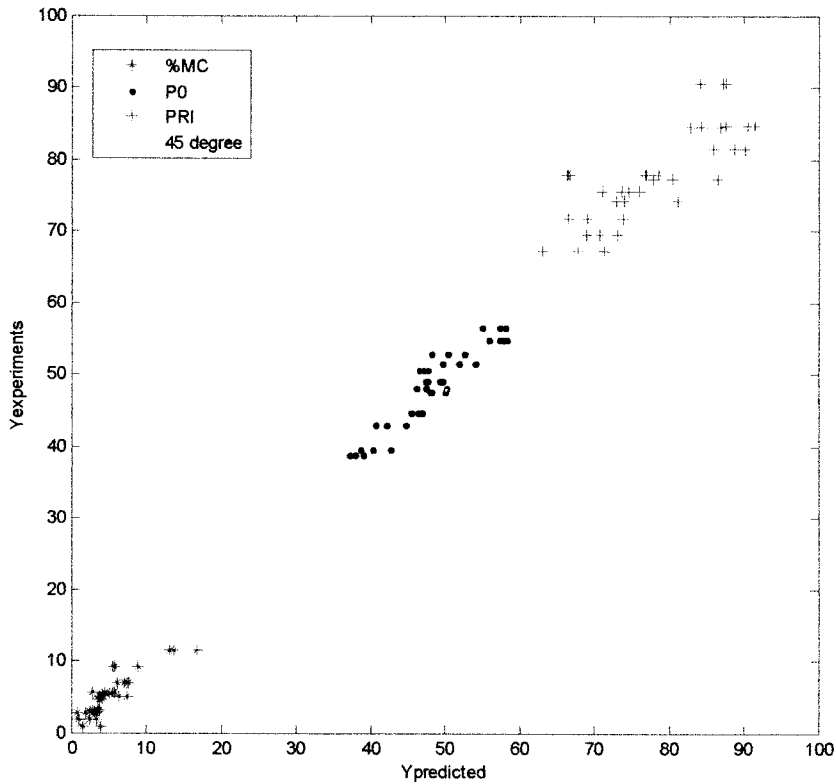


รูปที่ 9 กราฟแสดงผลการทำนาย PRI ด้วยสมการกำลังสองชนิดไม่มีความสัมพันธ์

ผลการออกแบบด้วยโปรแกรม MATLAB (ดังแสดงในรูปที่ 5) พบว่า ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยที่สุด (Minimum SSE) ของสมการพหุนามกำลังสอง (มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุต) ที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ดีที่สุดดังแสดงในตารางที่ 6 มีค่าลดลงเหลือ 1.952 โดยค่าที่ทำนายได้ของ P_0 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ($SE = 0.356$) รองลงมาคือ %MC ($SE = 0.419$) และ PRI ($SE = 1.176$) ตามลำดับค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยที่สุด (Minimum MSE) ในกรณีนี้เท่ากับ 0.651 ผลการเปรียบเทียบค่าเอาท์พุทที่ได้จากการทำนายด้วยสมการพหุนามกำลังสอง (มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุต) แสดงดังรูปที่ 10 พบว่าค่าที่ได้เกาะกลุ่มบนเส้น 45 องศา แสดงว่าค่าที่ทำนายสอดคล้องกับค่าที่ได้จากผลการทดลอง

ตารางที่ 6 แสดงผลการสร้างสมการพหุนามกำลังสองชนิดมีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต

ตัวแปร	ค่าคงที่	t	T	tT	t^2	T^2
%MC	0.6744	-1.9327	-1.0818	1.6219	1.3767	0.6657
P_0	0.4907	2.0277	0.2187	-7.1211	-2.4081	-0.0348
PRI	0.9717	-2.8672	-0.6291	3.8281	2.4149	-0.0374



รูปที่ 10 กราฟ 45 องศาของสมการกำลังสองชนิดมีความสัมพันธ์

3.2. สมการพหุนามกำลังสาม

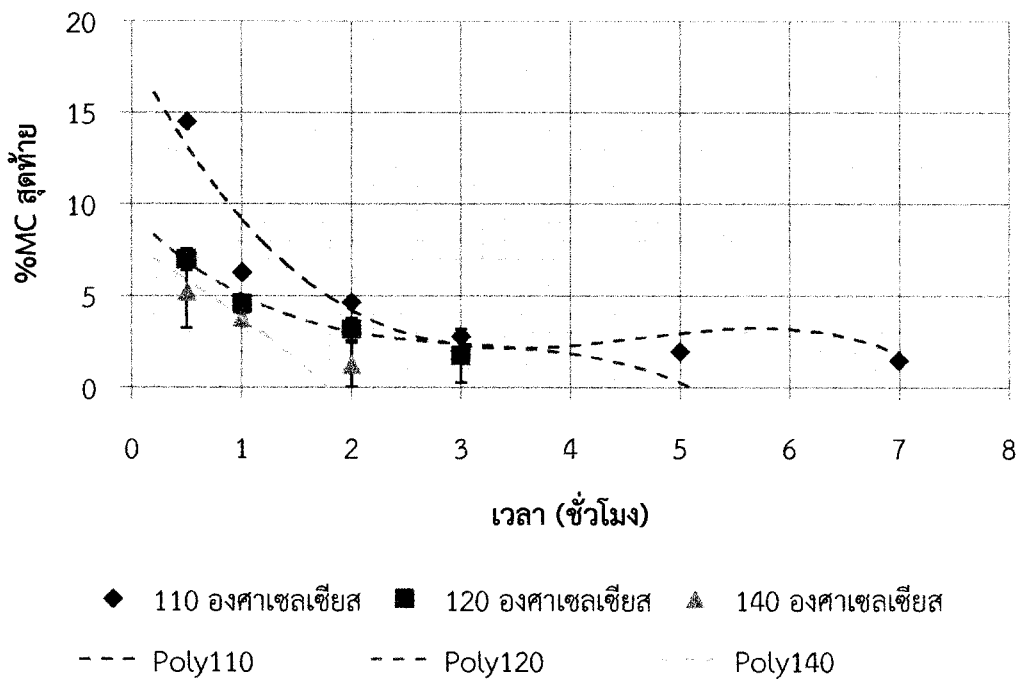
ตารางที่ 7 แสดงสรุปค่าความคลาดเคลื่อนจากผลการทำนายตัวแปรเอาต์พุตด้วยสมการพหุนามที่แตกต่างกันสองตัวแปรจากตารางพบว่าสมการพหุนามกำลังสามชนิดที่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุตให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนายหาค่าต่ำที่สุด โดยค่าสัมประสิทธิ์ที่ออกแบบสำหรับสมการพหุนามกำลังสามชนิดที่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุตแสดงดังตารางที่ 8 และรูปที่ 11 - 14 แสดงผลการทำนายค่าตัวแปรเอาต์พุตจากสมการกำลังสามดังกล่าว

ตารางที่ 7 แสดงผลการสร้างสมการพหุนามกำลังสามชนิดมีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต

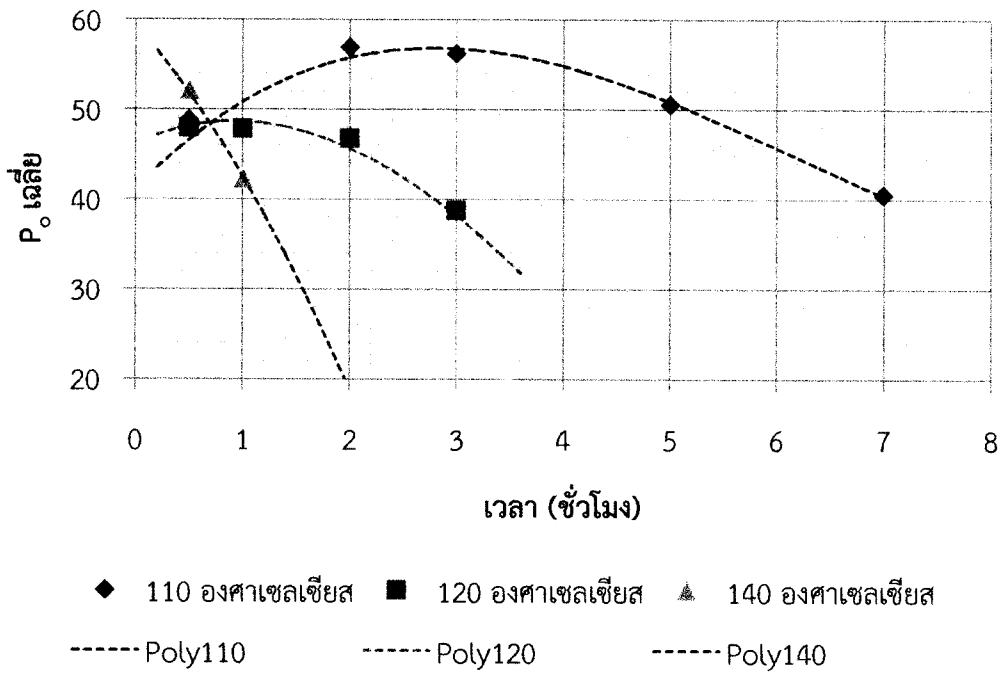
ตัวแปร	ค่าคงที่	t	T	tT	t ²	T ²	tT ²	Tt ²	t ³	T ³
%MC	0.7721	-3.7240	-2.2528	7.6180	6.3744	3.9227	-5.5182	-6.9377	-3.3624	-2.1267
P ₀	0.4485	2.9797	-1.3990	-5.9512	-5.2663	6.4547	-2.2117	-2.0013	1.9883	-4.8122
PRI	0.9153	-2.1312	-1.7082	-13.2520	0.7536	6.7715	15.9888	27.8645	0.9793	-5.7374

ตารางที่ 8 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายเอาร์ทพุท

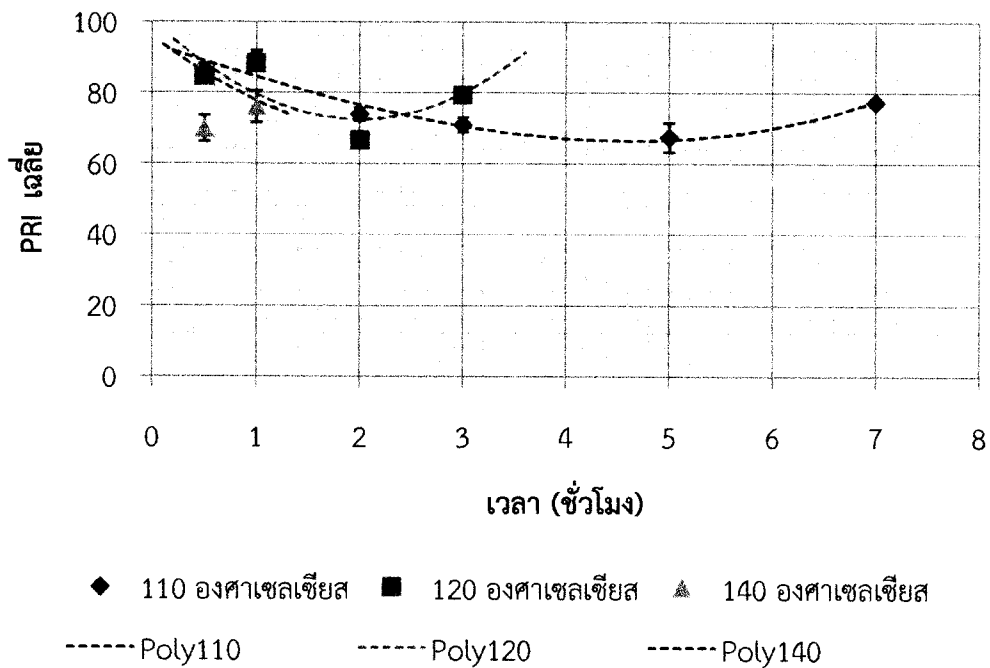
สมการพหุนาม	SSE	MSE	SE, %MC	SE, P0	SE, PRI
กำลังสอง (ไม่มีความสัมพันธ์)	3.576	1.192	0.482	1.568	1.526
กำลังสอง (มีความสัมพันธ์)	1.952	0.651	0.419	0.356	1.176
กำลังสาม (มีความสัมพันธ์)	1.468	0.489	0.258	0.289	0.921



รูปที่ 11 กราฟแสดงผลการทำนาย %MC ด้วยสมการกำลังสามชนิดมีความสัมพันธ์



รูปที่ 12 กราฟแสดงผลการทำนาย P_0 ด้วยสมการกำลังสามชนิดมีความสัมพันธ์



รูปที่ 13 กราฟแสดงผลการทำนาย PRI ด้วยสมการกำลังสามชนิดมีความสัมพันธ์

4. การออกแบบสภาวะดำเนินการ

หัวข้อนี้เป็นการออกแบบสภาวะดำเนินการการอบแห้งที่ดีที่สุด ในที่นี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณีคือ ศึกษาหาเวลาและอุณหภูมิอบแห้งที่ดีที่สุดที่เพียงค่าเดียว และกรณีอุณหภูมิอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้น (Step change) เพื่ออบแห้งยากก่อนด้วยหลังอบให้มีค่าสมบัติของยางผ่านเกณฑ์มาตรฐานยาง STR20 โดยในกรณีแรกนี้ได้กำหนดค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพคือ ค่าต่ำที่สุดของเวลาอบแห้ง ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Objective function (1):} \quad & \text{Min}_{T,t} t_f = t \\ \text{Subject to:} \quad & MC_f = f_1(t_f, T) \leq 2.5\% \\ & P_{0,f} = f_2(t_f, T) \geq 30 \\ & PRI_f = f_3(t_f, T) \geq 40 \\ & 0.5 \leq t \leq 7 \text{ และ } 110^\circ\text{C} \leq T \leq 140^\circ\text{C} \end{aligned}$$

สมการฟังก์ชัน $f_1(t, T)$, $f_2(t, T)$ และ $f_3(t, T)$ ที่ใช้ในการออกแบบสภาวะดำเนินการคือสมการพหุนามกำลังสามชนิดมีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุตเพื่อทำนายค่าตัวแปรเอาต์พุตซึ่งได้แก่ค่าสมบัติของยางก่อนด้วย %MC, P_0 และ PRI ซึ่งได้ออกแบบไว้แล้วในกิจกรรมที่ 2 ในการออกแบบใช้โปรแกรม MATLAB เช่นเดียวกับรูปที่ 5 แต่ใช้ฟังก์ชัน fmincon เนื่องจากมีข้อจำกัดของค่าเอาต์พุตหลังอบที่ต้องการค่าสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานยาง STR20 ผลการออกแบบพบสภาวะดำเนินการที่ดีที่สุดคือ อุณหภูมิอบแห้ง 116 องศาเซลเซียสและเวลาอบแห้ง 2.3 ชั่วโมง ค่าทำนายของ %MC, P_0 และ PRI สุดท้ายหลังอบมีค่าเท่ากับ 2.48%, 47 และ 68 ตามลำดับ

กรณีที่ 2 เป็นการศึกษาหาเวลาและอุณหภูมิอบแห้งที่ดีที่สุดโดยกำหนดโปรไฟล์ของอุณหภูมิแบบขั้น (Step change) คือ อบแห้งที่อุณหภูมิ T_1 ในช่วง $0 \leq t \leq t_1$ และอบแห้งที่อุณหภูมิ T_2 ในช่วง $t_1 < t \leq t_2$ ในกรณีนี้สมการทำนายตัวแปรเอาต์พุตจะต้องเป็นสมการพลวัต (Dynamic equation) หรือสมการดิฟเฟอเรนเชียล (Differential equation) ดังนั้นจึงออกแบบสมการพหุนามกำลังสามชนิดมีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตเพื่อทำนายอัตราการอบแห้งหรืออัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสมบัติต่อเวลา, $f_r(t, T)$ โดยประมาณสมการ Total derivative ให้อยู่ในรูปของผลต่างตามสมการ Finite difference เพื่อ Discretization สมการต่อเนื่อง (Continuous equation) ดังนี้

$$\frac{dy}{dt} = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{y_{k+1} - y_k}{\Delta t} = f_r(t, T)$$

$$y_{k+1} = y_k + \Delta t [f_r(t, T)]$$

ในกรณีปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพสามารถเขียนได้ดังนี้ คือ

Objective function (2): $\text{Min}_{T_1, \Delta t_1, T_2, \Delta t_2} t_f = t_2 = \Delta t_1 + \Delta t_2$

Subject to:

$$MC_{k+1} = MC_k + \Delta t \times [f_{r,1}(t, T)] \quad MC_f \leq 2.5\%$$

$$P_{0,k+1} = P_{0,k} + \Delta t \times [f_{r,2}(t, T)] P_{0,f} \geq 30$$

$$PRI_{k+1} = PRI_k + \Delta t \times [f_{r,3}(t, T)] PRI_f \geq 40$$

$$0.5 \leq \Delta t_1, \Delta t_2 \leq 3 \text{ และ } 110^\circ C \leq T_1, T_2 \leq 140^\circ C$$

ซึ่ง y_{k+1} คือ ค่าเอาท์พุทที่ $k + 1$ โดย $k \times \Delta t = t$ และ Δt คือ Step size ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ $\Delta t = 0.1$ ชั่วโมง ตารางที่ 9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามกำลังสามที่ใช้ทำนายอัตราการอบแห้งหรืออัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสมบัติต่อเวลา, $f_r(t, T)$ ซึ่งผลการทำนายให้ค่าความคลาดเคลื่อนดังแสดงในตารางที่ 10

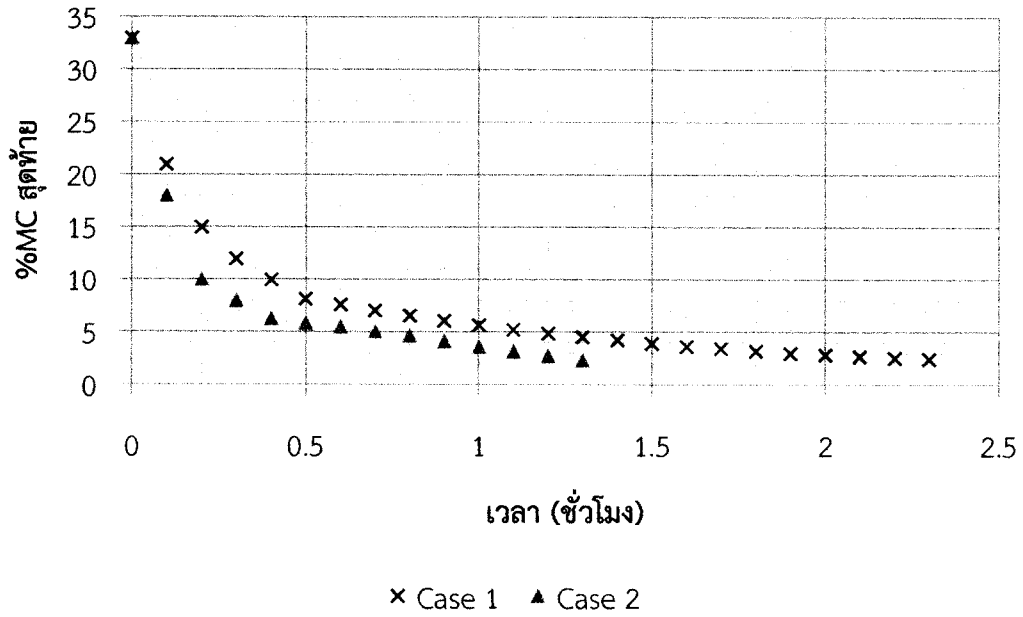
ผลการออกแบบพบสภาวะดำเนินการที่ดีที่สุดคือ อุณหภูมิอบแห้งที่เวลา 0 - 0.6 ชั่วโมงเท่ากับ 140 องศาเซลเซียส และที่เวลาอบแห้ง 0.6 - 1.2 ชั่วโมงเท่ากับ 116 องศาเซลเซียส ค่าทำนายของ %MC, P_0 และ PRI สุดท้ายหลังอบมีค่าเท่ากับ 2.37%, 52 และ 62 ตามลำดับ รูปที่ 13 และ 14 แสดงการทำนายผลของเวลาอบแห้งต่อ %MC ที่สภาวะออกแบบที่ดีที่สุด และโปรไฟล์ของอุณหภูมิที่ดีที่สุด ตามลำดับ

ตารางที่ 9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการทำนายอัตราการอบแห้ง

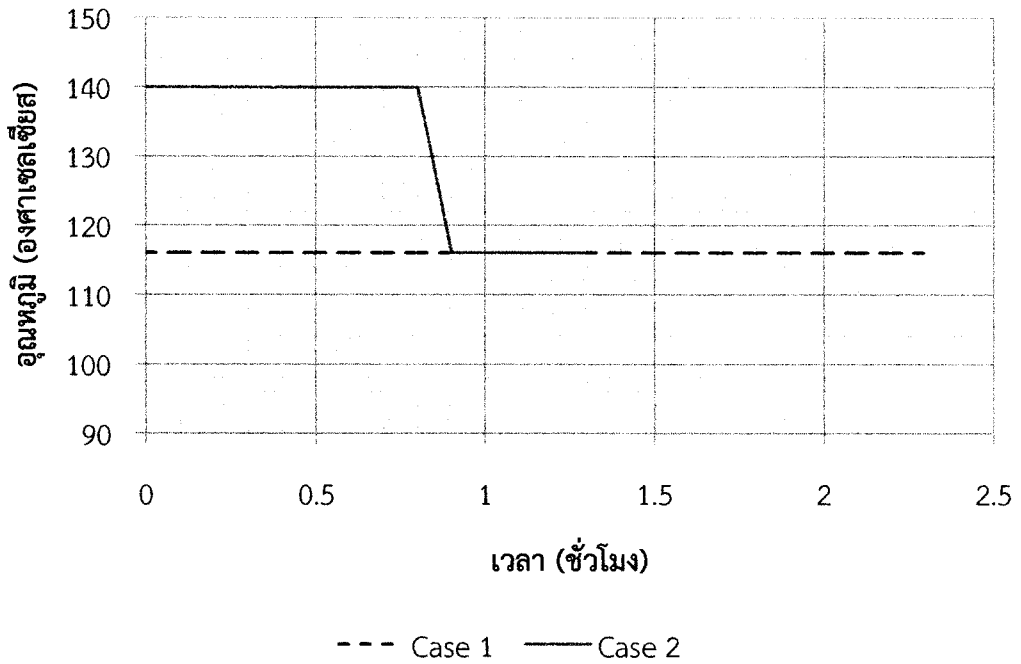
ตัวแปร	ค่าคงที่	t	T	tT	t ²	T ²	tT ²	Tt ²	t ³	T ³
%MC _r	-3.9397	13.4339	4.8072	-15.9070	-11.4636	6.9855	1.4083	3.5285	1.2470	-9.4680
P _{0,r}	3.1406	-9.9939	-9.5882	-4.5351	1.4105	12.5513	-0.0959	1.8055	6.7148	-11.0495
PRI _r	-2.1514	2.0020	-4.8915	55.5030	-1.2101	-20.9308	-0.0722	0.8118	6.5980	27.7042

ตารางที่ 10 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายอัตราการอบแห้ง

สมการพหุนาม	SSE	MSE	SE, %MC	SE, P ₀	SE, PRI
กำลังสาม (มีความสัมพันธ์)	0.053	0.018	0.007	0.035	0.012



รูปที่ 14 กราฟแสดงผลการทำนาย %MC ที่สภาวะออกแบบที่ดีที่สุด



รูปที่ 15 กราฟแสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิที่ดีที่สุดที่เวลาต่างๆ

ค่าสภาวะออปติมัลที่ได้จัดเป็น Local optimum ซึ่งขึ้นกับค่าเริ่มต้นที่กำหนดในการแก้ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพ(ไม่การันตี Global optimum) ตารางที่ 11 แสดงค่าเริ่มต้นของตัวแปรในงานวิจัยนี้ซึ่งในกรณีที่ 1 กำหนดค่าเริ่มต้นที่อุณหภูมิต่ำสุดคือ 110 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะดำเนินการทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม และเนื่องจากในช่วงแรกของการอบแห้งพบอัตราการระเหยของน้ำในยางตัวอย่างมีมาก ดังนั้นเพื่อลดเวลาในการอบแห้งลงและระเหยน้ำในยางก้อนถ้วยให้ได้มากที่สุดจึงกำหนดค่าเริ่มต้นในช่วงแรกของกรณีที่ 2 เป็น 140 องศาเซลเซียส และในช่วงที่ 2 เนื่องจากอัตราการระเหยของน้ำมีค่าลดลงจนเกือบคงที่ และเพื่อลดการใช้พลังงานจึงกำหนดค่าเริ่มต้นของอุณหภูมิเป็น 110 องศาเซลเซียส ผลการออกแบบสภาวะที่ดีที่สุดจากค่าเริ่มต้นดังแสดงในตารางที่ 11 ได้สภาวะที่ดีที่สุดที่ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดสรุปดังตารางที่ 12 อย่างไรก็ตามควรศึกษาเพิ่มเติมการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพให้อยู่ในรูปของค่าพลังงาน เพื่อให้ได้ค่าสภาวะที่คุ้มค่าพลังงานมากที่สุด

ตารางที่ 11 แสดงค่าเริ่มต้นของตัวแปรในการแก้ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพ

กรณี	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2			
	เวลา (ชม.)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	Δt_1 (ชม.)	T_1 ($^{\circ}\text{C}$)	Δt_2 (ชม.)	T_2 ($^{\circ}\text{C}$)
ค่าเริ่มต้น	5	110	0.5	140	0.5	110

ตารางที่ 12 แสดงค่า Optimum ของตัวแปรจากการแก้ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพ

กรณี	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2			
	เวลา (ชม.)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	Δt_1 (ชม.)	T_1 ($^{\circ}\text{C}$)	Δt_2 (ชม.)	T_2 ($^{\circ}\text{C}$)
ค่า Optimum	2.3	116	0.8	140	0.5	116

ตารางที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบผลการทำนายกับผลการทดลองที่สภาวะที่ดีที่สุด

กรณี	กรณีที่ 1			กรณีที่ 2		
	%MC	P_0	PRI	%MC	P_0	PRI
ค่า Optimum	2.48	47	68	2.13	43	70
ผลการทดลอง	2.42	51	72	2.35	48	76

ผลการศึกษาค่าสมบัติของยางก้อนถ้วยหลังอบภายใต้สภาวะดำเนินการที่ดีที่สุดที่ได้ออกแบบไว้ทั้ง 2 กรณีแสดงในตารางที่ 13 พบว่า ทุกค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานคือ %MC มีค่าน้อยกว่า 2.5%, P_0 มีค่ามากกว่า 30 และค่า PRI มีค่ามากกว่า 40 ดังนั้นสมการพหุนามที่ได้ออกแบบไว้สามารถทำนายค่าสมบัติดังกล่าวได้อย่างถูกต้องในช่วงค่าความชื้นเริ่มต้นของยางก้อนถ้วยมีค่า 32 - 34% โดยน้ำหนักยางแห้ง

5. วิเคราะห์ผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์

การทดลองนี้ได้ศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์โดยพิจารณาความคุ้มค่าด้านพลังงานที่ใช้โดยเปรียบเทียบการดำเนินการอบแห้งตามรูปแบบโปรไฟล์ของอุณหภูมิที่ได้ออกแบบกับการอบแห้งโดยทั่วไปในการทดลองนี้อากาศที่อุณหภูมิห้องวัดได้เฉลี่ย 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย(Relative humidity, %RH)60% ถูกให้ความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิก่อนเข้าสู่ตูอบในช่วง110– 140องศาเซลเซียสความเร็วอากาศวัดได้เท่ากับ 0.8 เมตรต่อวินาที (หรือ 0.00226 m³/s) ความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ คำนวณได้ดังนี้

$$\rho(\text{kg/m}^3) = \frac{29}{22.4} \times \frac{273}{(T + 273)}$$

ค่าความชื้น (Humidity, kg/kg_{air}) และเอนทาลปี(kJ/kg_{air}) ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เดียวกันสามารถอ่านค่าได้จาก Psychrometric chart ดังแสดงในรูปที่ 15 และค่าความร้อนแฝงการกลายเป็นไอ (Latent heat of vaporization, λ) ของน้ำเท่ากับ 2,257 kJ/kg

ในแต่ละการทดลองตัวอย่างมีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยตัวอย่างละ 23 กรัมรวม 24 ตัวอย่าง (น้ำหนักยางแห้งรวม 552 กรัม, W_s) ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยในยางตัวอย่างมีค่าเท่ากับ33% โดยน้ำหนักยางแห้ง ตารางที่ 14 แสดงสถานะที่ใช้ในการคำนวณในแต่ละรูปแบบ โดยทุกรูปแบบกำหนดเวลาอบแห้ง ณ.เวลาที่ค่าสมบัติยางหลังอบผ่านเกณฑ์มาตรฐานยางไทย STR20 และเนื่องจากค่า PO และ PRI ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในทุกกรณี ดังนั้นในการทดลองนี้จึงพิจารณาเฉพาะค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้ายหลังอบ,%MC_f≤ 2.5%โดยน้ำหนักยางแห้ง ยกตัวอย่างเช่น รูปแบบที่ 1 กำหนดอุณหภูมิอากาศเข้าสู่ตูอบมีค่าเท่ากับ 110 องศาเซลเซียส เวลาในการอบแห้งรวม 3 ชั่วโมง ค่า%MC_fเท่ากับ 2.31% อัตราระเหยน้ำ(Evaporation rate) และปริมาณน้ำที่ระเหยต่อหนึ่งหน่วยมวลอากาศ (Evaporated water) สามารถคำนวณจากสมการดังนี้

$$\text{Evap H}_2\text{O rate (g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{s}) = \frac{W_s \times (X_i - X_f)}{\text{Drying time}}$$

$$\text{EvapH}_2\text{O (g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{air}}) = \frac{\text{Evap H}_2\text{O rate (g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{s})}{W_g(\text{g}_{\text{air}}/\text{s})}$$

ซึ่ง X_i, X_f คือ สัดส่วนโดยน้ำหนักเริ่มต้นและสุดท้าย ตามลำดับ และ W_g คือ อัตราเชิงมวลของอากาศ

ตารางที่ 14 แสดงค่าสภาวะในแต่ละรูปแบบที่สมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

รูปแบบ	T _{ดื่อบ} , °C	เวลา, hr	%MC _f	H ₂ O _{Rate} g _{H2O} /s	H ₂ O _{EvapSH} g _{air}	*Enthalpy kJ/ kg _{air}	*Humidity _{sat} kg/ kg _{air}
1	110	3.00	2.31	0.0157	0.0075	155	0.047
2	120	2.80	2.47	0.0167	0.0082	170	0.049
3	140	1.30	2.46	0.0360	0.0186	190	0.058
4	140	0.80	4.66	0.0543	0.0280	190	0.058
	116	0.50	2.32	0.0072	0.0035	162	0.048

* อ่านค่าจาก Psychrometric chart จากอุณหภูมิห้อง 27 องศาเซลเซียส, %RH = 60%

ตารางที่ 15 แสดงค่าพลังงานและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแต่ละรูปแบบโดยค่าอัตราพลังงานที่ต้องให้กับอากาศเพื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศจากอุณหภูมิห้องสู่อุณหภูมิเป้าหมายคำนวณได้จากนำผลต่างของเอนทาลปีของอากาศที่อุณหภูมิห้องกับอากาศที่อุณหภูมิเป้าหมาย (ΔH) คูณด้วยอัตราเชิงมวลของอากาศ (W_g) และพลังงานอากาศ (Supplied Energy of Air) คำนวณจากผลคูณของอัตราพลังงานที่ต้องให้กับอากาศกับเวลาอบแห้งในหน่วยวินาที

$$\text{Supplied Energy}_{air} (kJ) = \left[\Delta H \left(\frac{kJ}{kg_{air}} \right) \times \frac{W_g}{1,000} \left(\frac{kg_{air}}{s} \right) \right] \times \text{Drying time (s)}$$

เมื่ออากาศไหลเข้าตู้อบความชื้นในอากาศจะเพิ่มขึ้น (Humidity ในตารางที่ 15) เนื่องจากรับปริมาณไอน้ำที่ระเหยออกจากยางตัวอย่าง ซึ่งคำนวณได้จากนำปริมาณความชื้นเริ่มต้นในอากาศที่อุณหภูมิห้อง, %RH = 60% (อ่านค่าจาก Psychrometric chart, 0.014 kg_{H2O}/ kg_{air}) บวกด้วยปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยในหน่วย g_{H2O}/g_{air} (จากตารางที่ 14) พลังงานที่ต้องใช้เพื่อระเหยน้ำออกจากยางตัวอย่าง (Evaporation energy) และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (%η) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Evap Energy}_{H_2O} (kJ) = \text{Evap } H_2O \left(\frac{kg_{H_2O}}{kg_{air}} \right) \times \frac{W_g}{1,000} \times \lambda \left(\frac{kJ}{kg_{H_2O}} \right) \times \text{Drying time}$$

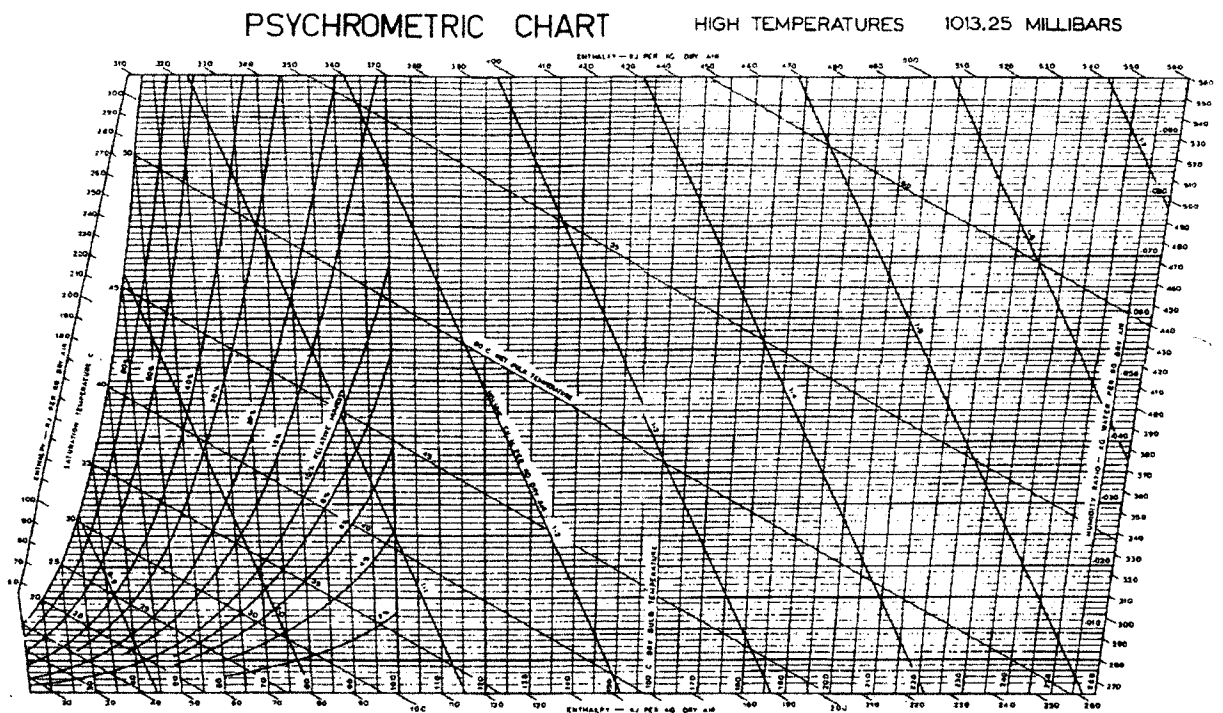
$$\eta, \% = \frac{\text{Evap Energy of } H_2O}{\text{Supplied Energy of Air}} \times 100$$

ผลการคำนวณค่าพลังงานพบว่า พลังงานที่ต้องใช้เพื่อระเหยน้ำออกจากยางตัวอย่างในทุกรูปแบบมีค่าใกล้เคียงกันคือ 380.4 – 382.4 kJ เนื่องจากค่า %MC_f (2.3 – 2.5%) หรือปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงใช้พลังงานเพื่อระเหยน้ำไม่แตกต่างกัน อัตราพลังงานที่ต้องให้กับอากาศมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น แต่พลังงานที่ต้องให้กับอากาศมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลงที่ปริมาณน้ำระเหยคงที่ ดังนั้นประสิทธิภาพการใช้พลังงานจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และพบว่ารูปแบบที่ 4 ซึ่งดำเนินการอบแห้งที่

อุณหภูมิอบแห้ง 2 ช่วงคือ ช่วงแรกอบแห้งที่ 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0.8 ชั่วโมงและลดอุณหภูมิลงในช่วงที่ 2 เหลือ 116 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง ให้ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงที่สุดคือ 35.2% ทั้งนี้เนื่องจาก อัตราการระเหยน้ำสูงในช่วงแรกมีค่าสูงเพราะปริมาณน้ำในยางมากจึงสามารถอบแห้งได้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งความชื้น ในอากาศที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสสามารถรับปริมาณไอน้ำที่ระเหยได้สูงถึง 0.058 kg/ kg_{air} (Humidity_{sat}) และเมื่อปริมาณน้ำในยางลดลง อัตราการระเหยของน้ำลดลง จึงสามารถลดอุณหภูมิอบแห้งลงได้ในช่วงที่ 2 เพื่อการ สิ้นเปลืองพลังงาน โดยรูปแบบที่ 4 สามารถประหยัดพลังงานได้ราว 76 kJ หรือ 138 kJ ต่อκιโลกรัมยางแห้ง หรือ 138,000 kJ ต่อตันยางแห้ง (38 kW.h/ton) หากแหล่งพลังงานที่ใช้คือไฟฟ้า (1.5 บาทต่อหน่วย, kW.h) และ โรงงานอุตสาหกรรมมีกำลังการผลิต 10 ตันต่อวัน สามารถประหยัดค่าไฟได้ถึง 209,875 บาทต่อปี

ตารางที่ 15 แสดงค่าพลังงานและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแต่ละรูปแบบ

รูปแบบ	$W_g, \text{g}_{\text{air}}/\text{s}$	Energy rate _{air} J/s	Humidity kg _{H2O} / kg _{air}	Supp. Energy _{air} kJ	Evap. Energy _{H2O} kJ	$\eta\%$
1	2.09	194	0.0215	2,099	382.4	18.21
2	2.03	219	0.0222	2,210	380.4	17.21
3	1.94	248	0.0325	1,162	380.5	32.74
4	1.94	248	0.0420	1,086	382.2	35.2
	2.06	206	0.0175			



รูปที่ 16 Psychrometric chart

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการออกแบบสภาวะการอบแห้งที่ดีที่สุดที่สามารถรับรองผลของสมบัติยางอบแห้งให้ผ่านมาตรฐานยางไทย ซึ่งพิจารณา 3 สมบัติ คือ ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น (Initial plasticity, P_0) มากกว่า 30, ค่าดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity Retention Index, PRI) มากกว่า 40 และค่าความชื้นสุดท้ายในยางแผ่น (Moisture Content, MC) น้อยกว่า 2.5% โดยนำหนักรูปแบบแห้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งในโรงงานผลิตยางแห้ง STR20 ผลการทดลองพบว่า ทั้งเวลาและอุณหภูมิการอบแห้งส่งผลต่อค่าสมบัติยางให้มีแนวโน้มลดลงเมื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติ ANOVA พิจารณานัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%อย่างไรก็ตามหากอบแห้งที่อุณหภูมิมอบแห้งในช่วง 110 – 140 องศาเซลเซียส ค่า P_0 และ PRI ของยางหลังอบผ่านเกณฑ์มาตรฐานในทุกกรณีโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 40 – 60 และ 65 – 85 ตามลำดับ ข้อมูลการทดลองถูกนำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายค่าสมบัติของยางโดยใช้โปรแกรม MATLAB หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ ผลการศึกษาพบว่า สมการพหุนามกำลังสามชนิดมีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตให้ค่าความคลาดเคลื่อน, SSE และ MSE ต่ำที่สุดคือ 1.468 และ 0.489 ตามลำดับ รองลงมาคือสมการพหุนามกำลังสองชนิดมีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต SSE = 1.952, MSE = 0.651 และสมการพหุนามกำลังสองชนิดไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต SSE = 3.576, MSE = 1.192

การออกแบบสภาวะดำเนินการที่ดีที่สุดแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือกรณีที่เวลาและอุณหภูมิมอบแห้งที่ดีที่สุดมีค่าคงที่ค่าเดียว และกรณีที่เวลาและอุณหภูมิมอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้น ผลการออกแบบกรณีที่ 1 พบว่าสภาวะดำเนินการที่ดีที่สุด (Local optimum) คือที่อุณหภูมิมอบแห้ง 116 องศาเซลเซียสและเวลาอบแห้ง 2.3 ชั่วโมง และสภาวะดำเนินการที่ดีที่สุดในการกรณีที่ 2 คือ อบที่อุณหภูมิมอบแห้ง 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0.8 ชั่วโมงและลดอุณหภูมิมอบแห้งเหลือ 116 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่าสภาวะดำเนินการที่ออกแบบในการกรณีที่ 2 มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงที่สุดคือ 35.2% และสามารถประหยัดพลังงานได้ 38 kW.h (ต่อตันยางแห้ง) หากแหล่งพลังงานที่ใช้คือไฟฟ้า (1.5 บาทต่อหน่วย, kW.h) และโรงงานอุตสาหกรรมมีกำลังการผลิต 10 ตันต่อวัน พบว่า สามารถประหยัดค่าไฟได้ถึง 209,875 บาทต่อปี

เอกสารอ้างอิง

- กฤษณา คงศิลป์, ผลชิต บัวแก้ว, นุชนาฏ ฌ ระนอง, พรรษา ช่วยปลั่ง และเกษม อินทรสกุล. 2526. อิทธิพลต่างๆที่มีต่อความอ่อนตัวของยาง. รายงานผลการค้นคว้าทดลองและวิจัย. ศูนย์วิจัยยางสงขลา.
- พยุ่ง มีสีจ, 2550. เอกสารประกอบการสอนเรื่อง การหาจุดที่ดีที่สุด. คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. เข้าถึงได้ที่: <http://suanpalm3.kmutnb.ac.th/> (เข้าถึงวันที่ 01 มิถุนายน 2556)
- วนิดา รัตนมณี และศุภชัย ปทุมนากุล, 2546. การหาคำตอบที่น่าพึงพอใจโดยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม. วิศวกรรมสาร ม.ช. ปีที่ 30 ฉบับที่ 4, ตุลาคม-ธันวาคม 2546: หน้า 319-336.
- สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2555. คำแนะนำการผลิตยางเครพจากยางก้อนถ้วยคุณภาพดี. เข้าถึงได้ที่: <https://it.doa.go.th/> (เข้าถึงวันที่ 28 พฤษภาคม 2556)
- อุตสาหกรรมยางพารา กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554. หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ (เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด). อุตสาหกรรมน้ำยางข้น, อุตสาหกรรมยางแท่งมาตรฐาน เอสทีอาร์ 20, กันยายน 2554. เข้าถึงได้ที่ <https://oaep.diw.go.th/> (เข้าถึงวันที่ 28 พฤษภาคม 2556)
- Atuonwu, J.C., Straten, G.van. and Deventer, H.C.van., 2011. Optimizing Energy Efficiency in Low Temperature Drying by Zeolite Adsorption and Process Integration. Chemical Engineering Transactions, 25: pp. 111-116.
- Bala, B.K. and Woods, J.L., 1995. OPTIMIZATION OF NATURAL-CONVECTION, SOLAR DRYING SYSTEMS. Energy, Vol. 20, No. 4: pp. 285-294.
- Balachandran, M., Devanathan, S., Muraleekrishnan, R., and Bhagawan, S.S., 2012. Optimizing properties of nanoclay-nitrile rubber (NBR) composites using Face Centered Central Composite Design. Materials & Design, Volume 35, March 2012: pp. 854-862.
- Chin, S. and Law, C.L., 2012. Optimization of Convective Hot Air Drying of *Ganoderma lucidum* Slices Using Response Surface Methodology. International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 2, Issue 5, May 2012: pp. 1-11.
- Dehkordi, B.M., 2010. Optimization the Process of Osmo – Convective Drying of Edible Button Mushrooms using Response Surface Methodology (RSM). World Academy of Science, Engineering and Technology, 38: pp. 939-943.
- Edgar, T.F., Himmelblau, D.M. and Lasdon, L.S., 2001. Optimization of chemical processes: second edition. McGraw-Hill Companies, Inc., New York.
- Karaagac, B., Inal, M. and Deniz, V., 2011. Predicting optimum cure time of rubber compounds by means of ANFIS. Article In Press, Materials and Design: pp. 1-6.
- Nagesh Kumar, Lecture note: Optimization methods: Introduction and Basic concepts. Department of Civil Engineering, Center for Earth Sciences (CEaS), Indian Institute of

Science, Bangalore, India. เข้าถึงได้ที่: <http://civil.iisc.ernet.in/~nagesh/> (เข้าถึงวันที่ 01 มิถุนายน 2556)

Tolmac, D., Prvulovic, S. and Radovanovic, L., 2008. Effects of Heat Transfer on Convection Dryer with Pneumatic Transport of Material. Faculty of Mechanical Engineering (FME) Transactions, 36: pp. 45-49