

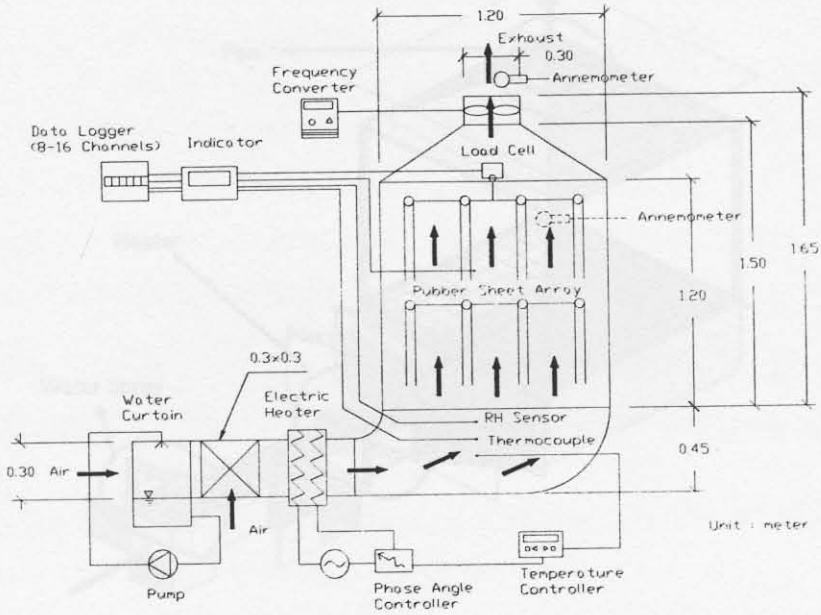
การทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบในห้องปฏิบัติการและผลการทดลอง

การทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบจะทำในตู้อบที่ได้ออกแบบสร้างขึ้น โดยมีรางสำหรับแขวนยาง 2 ชั้น ราวตากยางทำด้วยท่ออลูมิเนียมกลวง มีความยาว 1.2 เมตร สำหรับตากยางจำนวน 2 แผ่นต่อราว มีราวตากยางจำนวน 4 ราวต่อชั้น รวมตากได้ 16 แผ่น ระยะห่างระหว่างราวหรือแผ่นยางปรับได้สูงสุด 30 ซม หรือหากต้องการปรับให้ห่างขึ้นก็สามารถทำได้ด้วยการลดจำนวนราวตากลง อนึ่งขนาดของแผ่นยางดิบของสหกรณ์สวนยางที่ผ่านการรีดแล้วมีขนาดประมาณ 50 ซม x 90 ซม ค่าความชื้นของแผ่นยางหาได้จากการชั่งน้ำหนักแผ่นยางทั้งหมดในตู้อบโดยใช้ load cell รายละเอียดต่างๆของตู้อบอธิบายในหัวข้อถัดไป

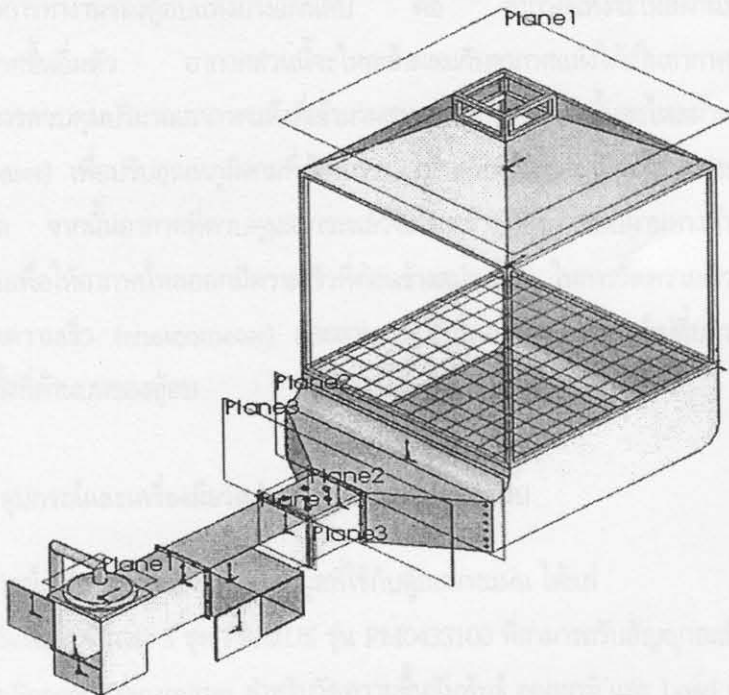
หลักการทำงานของตู้อบแห้ง คือ อากาศจากภายนอกจะไหลผ่านม่านน้ำซึ่งถูกทำให้เป็นฝอย กลายเป็นอากาศชื้นอิ่มตัว อากาศส่วนนี้จะไหลเข้าผสมกับอากาศที่แห้งกว่า ได้เป็นอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ตามที่ต้องการ ด้วยการควบคุมปริมาณอากาศแห้งที่เข้ามาผสม จากนั้นอากาศชื้นจะไหลผ่านชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (electric heater) เพื่อปรับอุณหภูมิตามที่ต้องการ การควบคุมอุณหภูมิจะใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติและเทอร์โมสแตปเปิล จากนั้นอากาศที่ควบคุมสถานะแล้วจะไหลเข้าสู่ห้องทดสอบผ่านทางด้านล่างของพื้นห้องซึ่งปูด้วยตะแกรงเหล็ก ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นยางวัดโดยใช้หัววัดความเร็วลม (anemometer) และสามารถปรับความเร็วลมได้ โดยใช้อินเวอร์เตอร์เปลี่ยนรอบการหมุนของพัดลมดูดอากาศซึ่งติดตั้งที่ทงออกด้านบนของตู้อบ

3.1 การออกแบบตู้อบแห้งสำหรับอบแห้งยางแผ่นดิบ

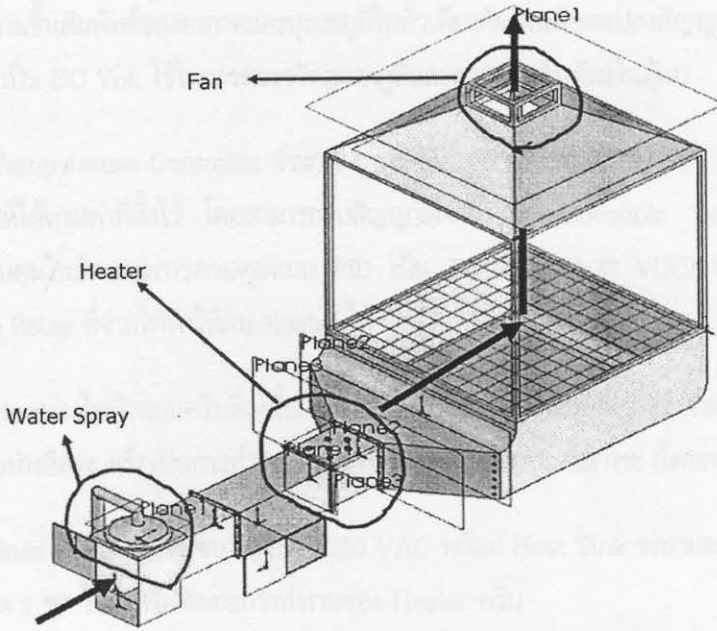
ตู้อบแห้งที่สร้างเป็นห้องที่ควบคุมบรรยากาศภายในได้ มีลักษณะเป็นห้องลูกบาศก์ ขนาด กว้าง 1.2 เมตร ยาว 1.2 เมตร และ สูง 1.2 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 โครงสร้างตู้ทำด้วยเหล็กฉาก ผึงทำด้วยแผ่นอลูมิเนียมบางบุด้วยฉนวนใยแก้ว ตัวแปรที่ควบคุมประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วของอากาศ และระยะห่างระหว่างแผ่นยาง ส่วนทิศทางการไหลของอากาศจะบังคับให้ไหลขนานกับแผ่นยางเพื่อให้เกิดการแห้งตัวที่เร็วที่สุด



รูปที่ 3.1 ตู้ทดสอบสำหรับอบแห้งยางแผ่นดิบ



รูปที่ 3.2 ตู้ทดสอบสำหรับอบแห้งยางแผ่นดิบที่ได้ออกแบบขึ้น



รูปที่ 3.3 แสดงทิศทางการไหลของอากาศเข้าตู้อบยางแผ่น

หลักการการทำงานของตู้อบแห้งยางแผ่นดิบ คือ อากาศแห้งจะไหลผ่านม่านน้ำซึ่งถูกทำให้เป็นฝอยกลายเป็นอากาศชื้นอิ่มตัว อากาศส่วนนี้จะไหลเข้าผสมกับอากาศแห้งได้เป็นอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ตามที่ต้องการด้วยการควบคุมปริมาณอากาศแห้งที่เข้ามาผสม จากนั้นอากาศชื้นจะไหลผ่านชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (electric heater) เพื่อปรับอุณหภูมิตามที่ต้องการ การควบคุมอุณหภูมิจะใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติและเทอร์โมคัปเปิล จากนั้นอากาศที่ควบคุมสภาวะแล้วจะไหลเข้าสู่ห้องทดสอบผ่านทางด้านล่างของพื้นห้องซึ่งปูด้วยแผ่นเหล็กพรมเพื่อให้อากาศไหลออกมีความเร็วที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ในการวัดความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นยาง ใช้หัววัดความเร็ว (anemometer) และสามารถปรับโดยใช้อินเวอร์เตอร์เปลี่ยนรอบการหมุนของพัดลมดูดอากาศซึ่งติดตั้งที่ด้านบนของตู้อบ

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดสำหรับตู้อบแห้งยางแผ่นดิบ

อุปกรณ์เครื่องมือวัดและบันทึกข้อมูลที่ใช้กับตู้อบแห้งยางแผ่น ได้แก่

- Digital Indicator จำนวน 3 ชุด PRIMUS รุ่น PM0433100 ที่สามารถรับสัญญาณเป็น DC Volt และ DC Current จาก Sensor Transmitter สำหรับวัดความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และ Load Cell ได้

- Relative Humidity/Temperature Sensors and Transmitter ยี่ห้อ RENSE รุ่น HT-740-T-03 เป็นหัววัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและอุณหภูมิในตัวเดียวกันและมีชุดแปลงสัญญาณในตัว จำนวน 1 ชุด โดยให้ Output เป็น DC Volt ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในตู้อบ

- Temperature Controller จำนวน 1 ชุด ยี่ห้อ TOHO รุ่น TTM 004 เป็นอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบให้ได้ตามค่าที่ตั้งไว้ โดยสามารถรับสัญญาณจาก Thermocouple Type K ได้ และสามารถส่งสัญญาณควบคุมในลักษณะการควบคุมแบบ PID เป็น DC Volt (0-32 VDC) สำหรับควบคุมการตัดต่อของ Solid-State Relay ที่จ่ายไฟฟ้าให้กับ Heater ได้

- Heater ไฟฟ้าแบบคริบสี่เหลี่ยม ยาว 30 เซนติเมตร ขนาด 600 W จำนวน 6 ชุด สามารถเลือกเปิดแต่ละตัวได้อย่างอิสระ หรือเปิดการทำงานแยกตามจำนวนที่เหมาะสมกับภาระ (โดยการออกแบบวงจรควบคุม)

- Solid-State Relay ขนาด 25 A 220 VAC พร้อม Heat Sink ระบายความร้อน มี input เป็น 0-32 VDC จำนวน 1 ชุด ใช้สำหรับตัดต่อการทำงานของ Heater คริบ

- Frequency Converter หรือ Inverter ยี่ห้อ Primus สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์พัดลมดูดอากาศ ขนาด 0.75 kW มี input เป็น 220 VAC (1Φ) และมี output เป็น 220 VAC (3Φ) จำนวน 1 ชุด สามารถปรับความถี่ได้ตั้งแต่ 0-50 Hz

- มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 0.25 แรงม้า 220 VAC จำนวน 1 ชุด (ใช้ขับพัดลมดูดอากาศ)

- Load Cell พร้อมสายนำสัญญาณ ชนิด 4 สาย ยี่ห้อ GEFTRAN "S" Type Compression/Traction Load Cells IP 66(DIN40050) ขนาดพิกัด 50 kg จำนวน 1 ชุด ใช้สำหรับตรวจสอบน้ำหนักยางแผ่นดิบขณะอบ

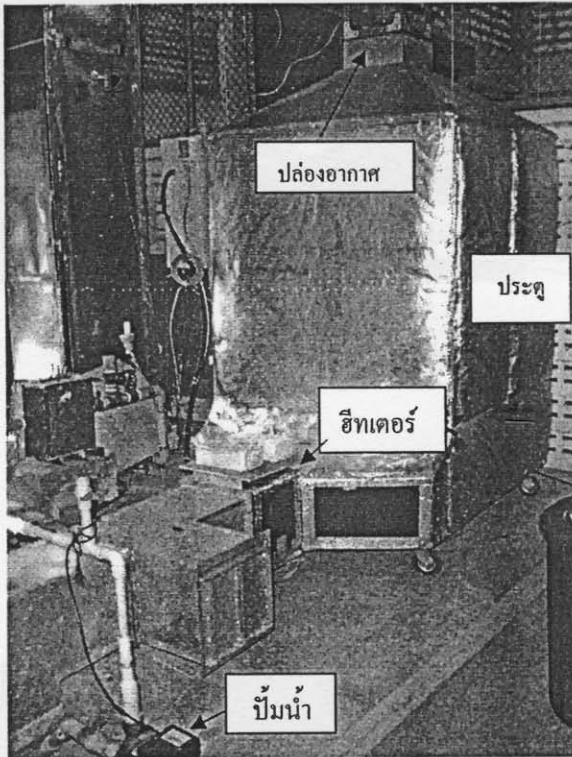
- Load Cell Transmitter 220 VAC supply มี Output เป็น 4-20 mA DC ใช้ในรับสัญญาณและขยายสัญญาณจาก Load Cell เป็นสัญญาณมาตรฐาน

- เครื่องบันทึกข้อมูล DAQPro 8 ช่องสัญญาณ รุ่น DT - 605 จำนวน 1 ชุด สามารถบันทึกสัญญาณจากเครื่องมือวัด เช่น Thermocouple สัญญาณ 0-20 mA หรือ 0-10 VDC ได้

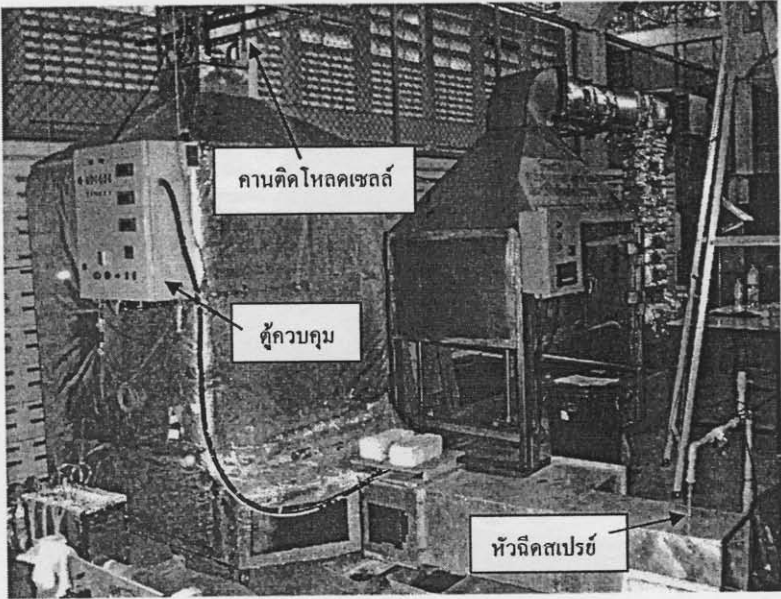
- อุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ในการสร้างตู้อบยางแผ่นดิบ และอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอื่น ๆ ได้แก่ เกล็ดฉาก เบี่ยงอลูมิเนียม หัวฉีดสเปรย์น้ำ ท่อทางต่างๆ เซอร์คิตเบรกเกอร์ รีเลย์ สวิตช์ ฟิวส์ กล่องปลั๊ก คอนเนคเตอร์ เทอร์มินอล ไฟสัญญาณต่างๆ สายไฟ ตู้ควบคุม พัดลมระบายอากาศตู้ควบคุม เป็นต้น

3.3 การสร้างตู้อบแห้งยางแผ่นดิบพร้อมตู้ควบคุมการทำงาน

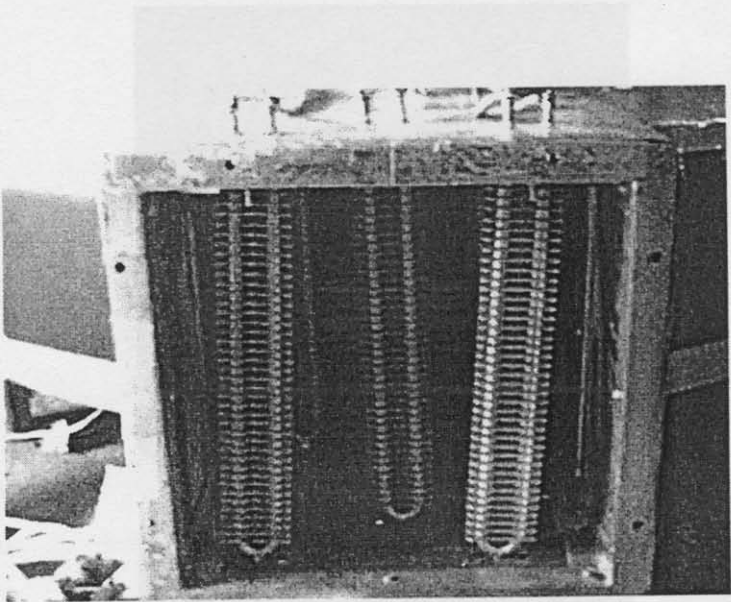
ตู้อบแห้งยางแผ่นดิบสร้างขึ้นด้วยโครงเหล็กฉากขนาด 1 นิ้ว ผนังทำด้วยแผ่นอลูมิเนียมบางนูนด้วยฉนวนใยแก้วและฉนวนยางหนา 1 นิ้ว มีช่องทางออกของอากาศอยู่ด้านบนของตัวตู้ อากาศไหลผ่านทางท่อสี่เหลี่ยม แนวนอนด้านล่างผ่านชุดทำความชื้นโดยใช้ปั้มน้ำสเปรย์น้ำผ่านหัวฉีดก่อนจะผ่านชุดความร้อนด้วยฮีตเตอร์ครึ่งสี่เหลี่ยม ตู้อบแห้งยางแผ่นที่สร้างขึ้นมีลักษณะและรายละเอียดตามรูปที่ 3.4 ถึง รูปที่ 3.9



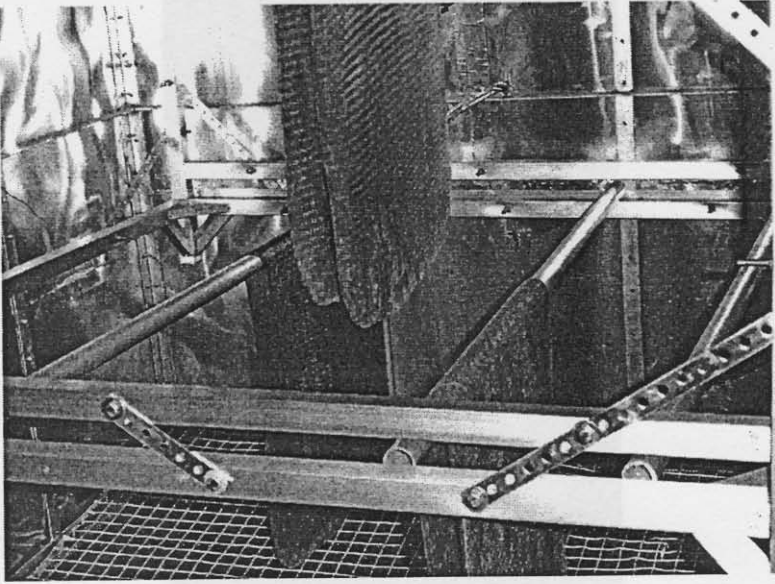
รูปที่ 3.4 ตู้อบแห้งยางแผ่นดิบ (ด้านประตูตู้อบ)



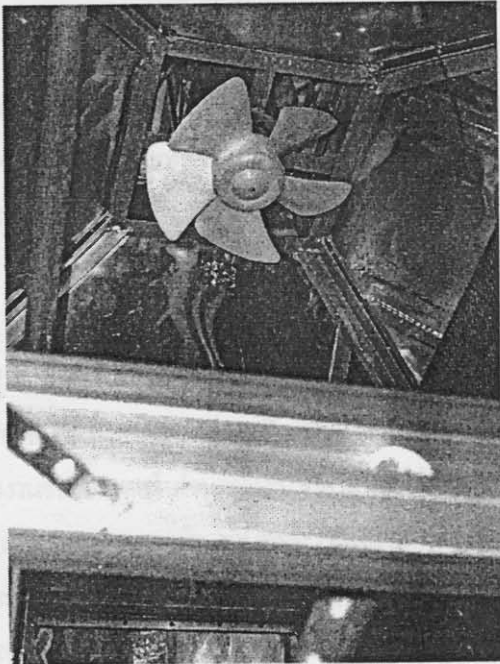
รูปที่ 3.5 ตู้อบแห้งยางแผ่นดิบ (ด้านตู้ควบคุม)



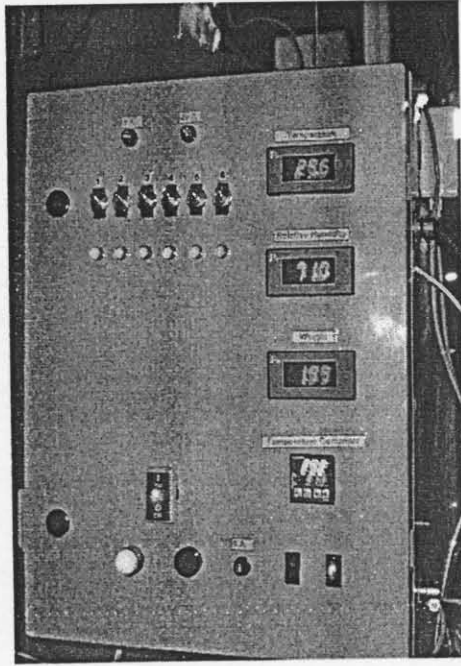
รูปที่ 3.6 ฮีตเตอร์กริบแบบสี่เหลี่ยมขนาดชุดละ 600 W



รูปที่ 3.7 ราวแขวนยางแผ่นดิบในตู้อบที่สามารถปรับระยะห่างของยางแผ่นได้

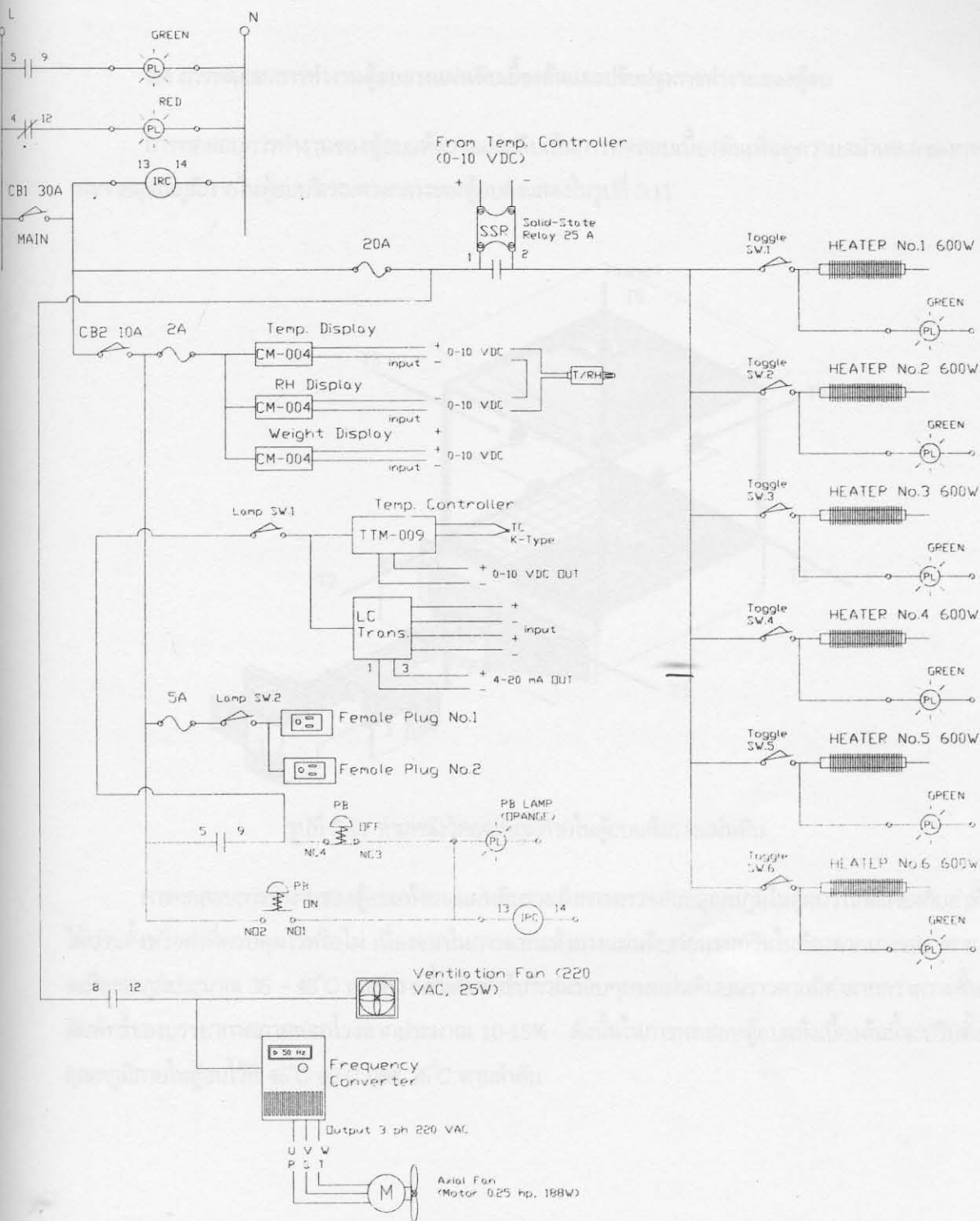


รูปที่ 3.8 พัดลมระบายอากาศบริเวณปล่องด้านบน (ภาพจากภายในตู้อบ)



รูปที่ 3.9 ตู้ควบคุมการทำงานของตู้อบแห้งยางแผ่นดิบ

จากรูปที่ 3.10 วงจรการเดินสายไฟควบคุมการทำงานของตู้อบแห้งยางแผ่นดิบที่ได้สร้างขึ้นจะใช้วิธีการควบคุมอย่างง่ายโดยการเปิด-ปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวหลักและตัวย่อย (30A และ 10A) โดยมีฟิวส์ป้องกันขนาด 20A 5A และ 2A สำหรับฮีตเตอร์ ปลั๊กเสียบอุปกรณ์ไฟฟ้า และสำหรับอุปกรณ์แสดงค่าสัญญาณ การควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์จะอาศัย Temperature controller ที่รับสัญญาณตรวจวัดอุณหภูมิของอากาศภายในตู้อบ โดย Type K Thermocouple และให้สัญญาณ Output เป็นสัญญาณควบคุมขนาด 0-10 VDC แบบ PID ON-OFF ส่งผ่านไปยังอุปกรณ์ Solid-State Relay ขนาด 25A ให้จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับฮีตเตอร์ครบแบบสี่เหลี่ยมขนาด 600 W จำนวน 6 ชุด ต่อไป ซึ่งสามารถเลือกเปิดการทำงานของฮีตเตอร์ทีละชุดหรือทั้งหมดได้โดยมีไฟสัญญาณแสดงสถานะการทำงานของฮีตเตอร์ ส่วนการระบายอากาศในตู้อบทำได้โดยการใช้พัดลมอากาศไหลในแนวแกนขับด้วยมอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 1/4 แรงม้า ควบคุมความเร็วรอบหรืออัตราการไหลของอากาศโดยการใช้ frequency converter ปรับรอบการหมุนของมอเตอร์ได้ตั้งแต่ 0-1450 rpm ทั้งนี้ได้ออกแบบให้ฮีตเตอร์หยุดการทำงานทันทีเมื่อมอเตอร์ขับพัดลมดูดอากาศไม่ได้รับการจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อเป็นการป้องกันการไหม้ของฮีตเตอร์เนื่องจากกรณีที่มีไฟฟ้ากระพริบหรือไฟฟ้ามดับ หากไม่มีการ OFF เซอร์กิตเบรกเกอร์ เมื่อไฟฟ้าติดจะทำให้ฮีตเตอร์มีการทำงาน แต่ในกรณีนี้ได้ออกแบบให้ฮีตเตอร์ทำงานก็ต่อเมื่อได้กด Start มอเตอร์พัดลมแล้วเท่านั้น

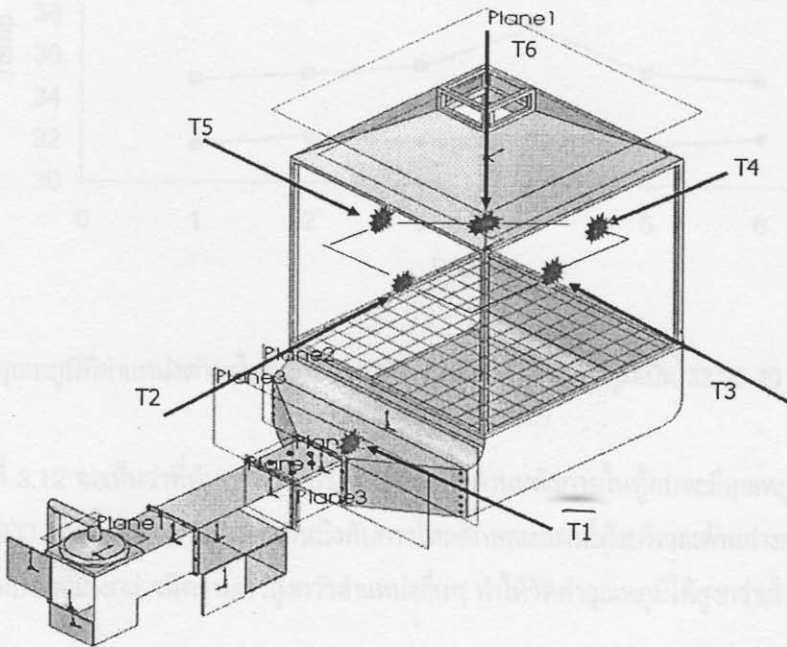


PB หมายถึง สวิตช์ปุ่มกด PL หมายถึง Pilot Lamp IRC หมายถึง Relay coil CB หมายถึง Circuit Breaker

รูปที่ 3.10 Wiring Diagram ควบคุมการทำงานของตู้บ่มแห้งยางแผ่นดิบ

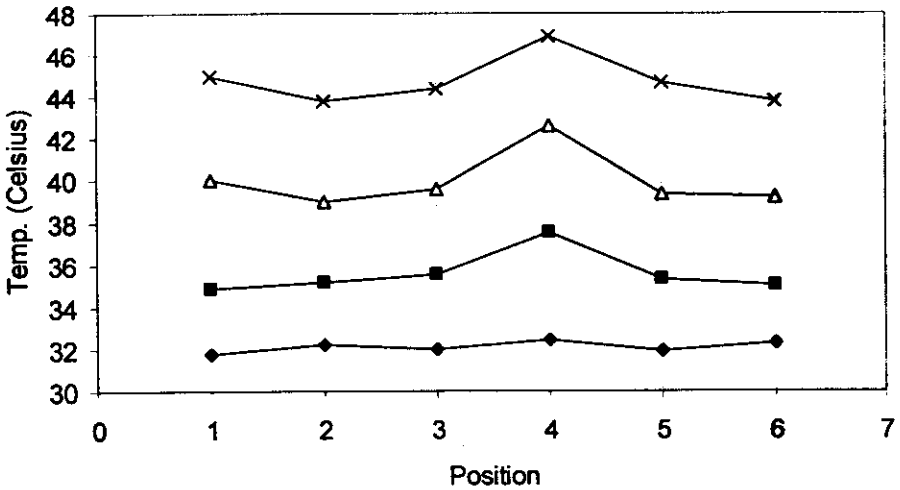
3.4 การทดสอบการทำงานของตู้อบยางแผ่นดิบเบื้องต้นและปรับปรุงการทำงานของตู้อบ

การทดสอบการทำงานของตู้อบแห้งยางแผ่นดิบเป็นการทดสอบเบื้องต้นเพื่อดูความสม่ำเสมอของการกระจายอุณหภูมิภายในตู้อบบริเวณตรงกลางของตู้อบดังแสดงในรูปที่ 3.11



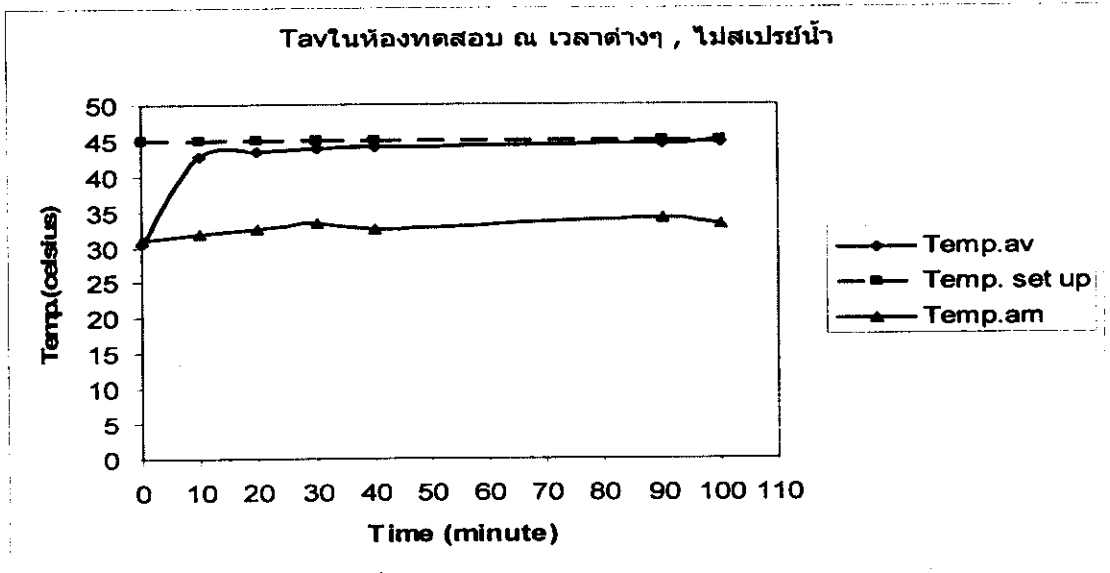
รูปที่ 3.11 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งยางแผ่นดิบ

การทดสอบการทำงานของตู้อบแห้งยางแผ่นดิบรวมถึงการตรวจสอบอุณหภูมิในตู้อบว่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้ปรับตั้งหรือค่าที่ควบคุมไว้หรือไม่ เนื่องจากการตากแห้งยางแผ่นดิบก่อนรมควันในห้องตากยางของ สกย. จะมีอุณหภูมิประมาณ 35 - 45°C และความชื้นสัมพัทธ์บริเวณรอบๆยางแผ่นดิบบนราวตากมีค่ามากกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศภายนอกโรงตากประมาณ 10-15% ดังนั้นในการทดสอบตู้อบแห้งเบื้องต้นนี้จะปรับตั้งอุณหภูมิภายในตู้อบไว้ที่ 45°C 40°C และ 35°C ตามลำดับ



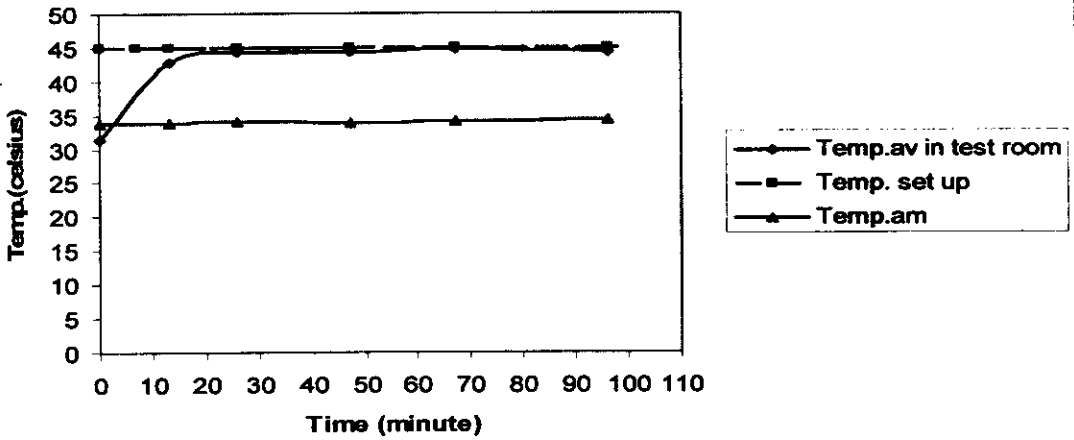
รูปที่ 3.12 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆในตู้อบตามรูปที่ 11 เมื่อปรับตั้งอุณหภูมิเป็น 32 35 40 และ 45°C

จากรูปที่ 3.12 จะเห็นว่าที่ตำแหน่ง 4 บริเวณด้านผนังด้านหลังภายในตู้อบจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่นๆประมาณ 1-2°C ทั้งนี้เนื่องจากผลของแผ่นบังกับการไหลลักษณะแผ่นโค้งบริเวณด้านล่างภายในตู้อบทำให้การไหลของอากาศบริเวณดังกล่าวมีความเร็วสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ ทำให้วัดค่าอุณหภูมิได้สูงกว่าเล็กน้อย



รูปที่ 3.13 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบที่วัดได้เมื่อปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 45°C และไนสเปร์ยน้ำ

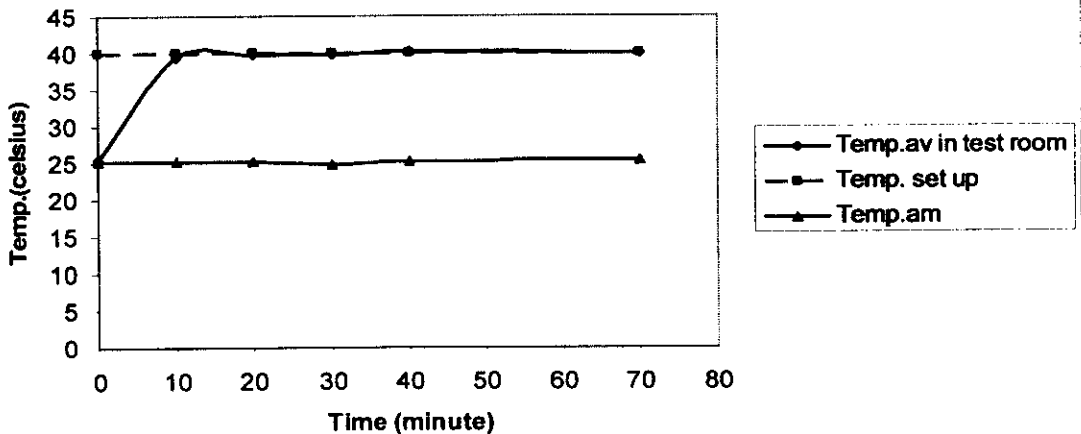
Tavในห้องทดสอบ ณ เวลาต่างๆ , เปิดช่องสเปรย์น้ำ 100%



รูปที่ 3.14 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบที่วัดได้เมื่อปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 45°C และสเปรย์น้ำ

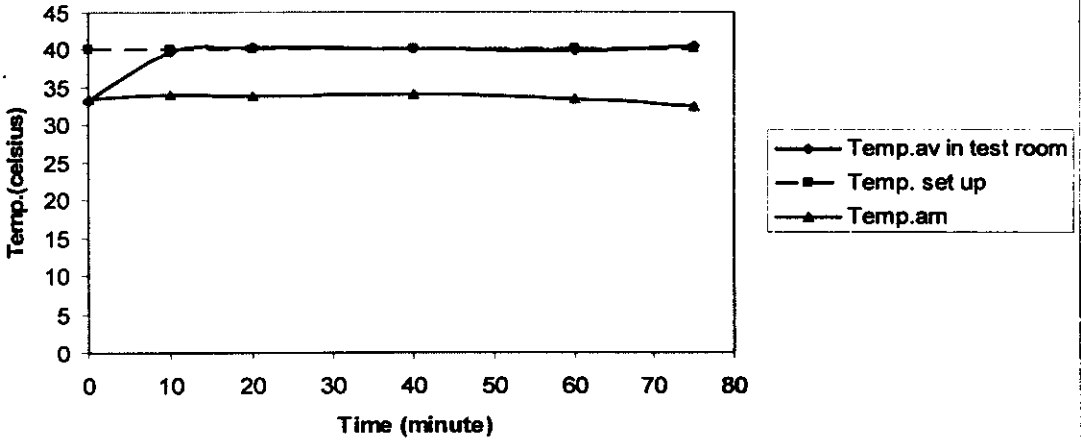
จากรูปที่ 3.13 และ 3.14 เป็นการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบทั้งในกรณีที่มีการสเปรย์น้ำและไม่สเปรย์น้ำ ผลการทดสอบพบว่าตู้อบที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในให้มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิ 45°C ได้ทั้งในสองกรณี

Tavในห้องทดสอบ ณ เวลาต่างๆ , ไม่สเปรย์น้ำ



รูปที่ 3.15 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบที่วัดได้เมื่อปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 40°C และไม่สเปรย์น้ำ

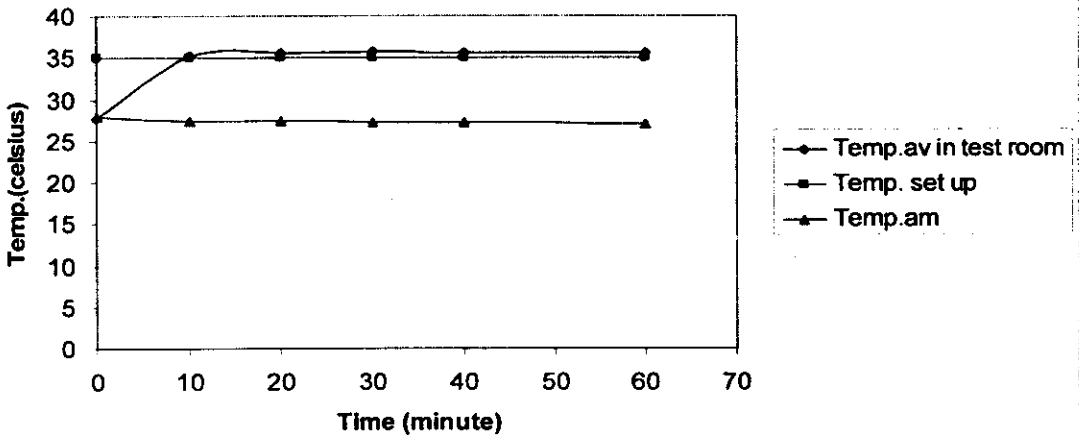
Tavในห้องทดสอบ ณ เวลาต่างๆ , เปิดช่องสเปรย์น้ำ 100%



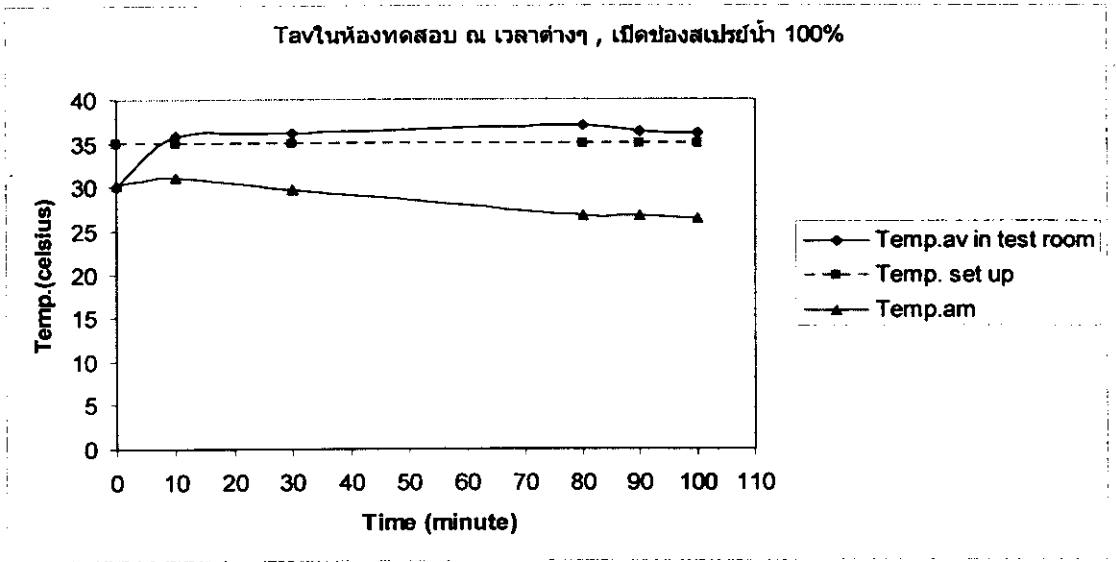
รูปที่ 3.16 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบที่วัดได้เมื่อปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 40°C และสเปรย์น้ำ

จากรูปที่ 3.15 และ 3.16 เป็นการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบทั้งในกรณีที่มีการสเปรย์น้ำและไม่สเปรย์น้ำ ผลการทดสอบพบว่าตู้อบที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในให้มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิ 40°C ได้ทั้งในสองกรณี

Tavในห้องทดสอบ ณ เวลาต่างๆ , ไม่สเปรย์น้ำ



รูปที่ 3.17 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบที่วัดได้เมื่อปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 35°C และไม่สเปรย์น้ำ

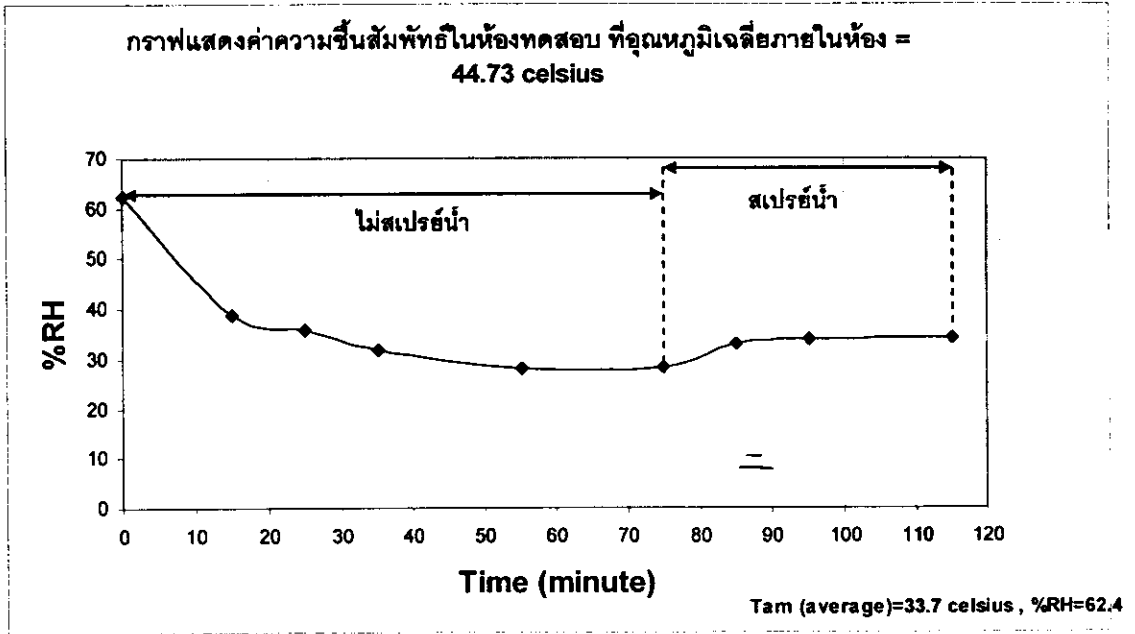


รูปที่ 3.18 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบที่วัดได้เมื่อปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 35°C และสเปรย์น้ำ

จากรูปที่ 3.17 และ 3.18 เป็นการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบทั้งในกรณีที่มีการสเปรย์น้ำและไม่สเปรย์น้ำ ผลการทดสอบพบว่าตู้อบที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในให้มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิ 35°C ได้ในกรณีที่ไม่สเปรย์น้ำ ส่วนกรณีสเปรย์น้ำ อุณหภูมิภายในตู้อบจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ประมาณ 2°C ทั้งนี้เนื่องจากขณะทดสอบอุณหภูมิของบรรยากาศต่ำกว่า 30°C และความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูง (ฝนตก) ทำให้ชุดควบคุมอุณหภูมิทำงานส่งสัญญาณควบคุมไปยังชุดทำความร้อนตลอดเวลาและตอบสนองสัญญาณตรวจวัดอุณหภูมิจริงที่ปรากฏเพื่อตัดการทำงานของชุดทำความร้อนได้ช้ากว่าปรกติ ดังนั้นในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงจำเป็นต้องมีการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับควบคุมในชุดควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อการตอบสนองกับสัญญาณอุณหภูมิตรวจวัดจริงที่ได้

ทั้งนี้ในการทดสอบเบื้องต้นเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบทั้ง 3 อุณหภูมิ เป็นการทดสอบโดยใช้ตู้เปล่าไม่มียางแผ่นดิบ และทดสอบที่ความเร็วรอบของพัดลมระบายอากาศทำงานที่ 1450 rpm โดยไม่ได้มีการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบแต่อย่างใด ดังนั้นในกรณีที่มีการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบของพัดลมระบายอากาศเพื่อปรับเปลี่ยนความเร็วลมของอากาศที่ไหลผ่านยางแผ่นดิบในการทดสอบ จำเป็นต้องทดสอบและปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในชุดควบคุมอุณหภูมิใหม่อีกครั้งให้เหมาะสมเพื่อให้ตู้อบสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้ตั้งไว้

รูปที่ 3.19 แสดงผลการตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบเมื่อปรับตั้งอุณหภูมิภายในตู้อบไว้ที่ 45°C ในกรณีที่ไม่มี การสเปรย์น้ำและในกรณีที่มีการสเปรย์น้ำ โดยที่อุณหภูมิบรรยากาศภายนอกตู้เท่ากับ 33.7°C ความชื้นสัมพัทธ์ 62.4% ผลการทดสอบพบว่าที่อุณหภูมิ 45°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดที่จะใช้ในการทดสอบการตากแห้งยางแผ่นดิบ ตู้อบจะมีความชื้นสัมพัทธ์ภายในประมาณ 28% (ที่เวลา 60-70 นาที โดยไม่สเปรย์น้ำ) และเมื่อสเปรย์น้ำ จะสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบได้ประมาณ 8% โดยยังคงรักษาอุณหภูมิไว้ที่ 45°C ได้



รูปที่ 3.19 การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ในตู้อบที่ตรวจวัดเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิในตู้อบไว้ที่ 45°C ในกรณีที่ไม่มี การสเปรย์น้ำและในกรณีที่มีการสเปรย์น้ำ

ในทำนองเดียวกันเมื่อทดสอบโดยการปรับตั้งอุณหภูมิภายในตู้อบไว้ที่ 40 และ 35°C ได้ผลดังนี้ (ไม่ได้แสดงด้วยกราฟ)

ที่ 40°C การสเปรย์น้ำสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ขึ้นไปได้ประมาณ 8% จากค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ที่ยังไม่ได้สเปรย์น้ำเท่ากับ 45.7% (Tambient (average) = 30.7 Celsius , %RH = 51.93)

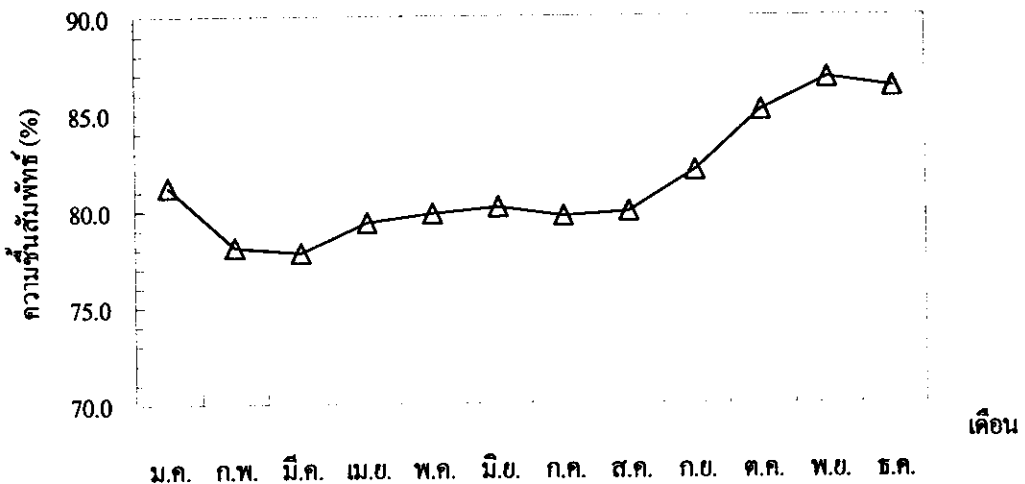
ที่ 35°C การสเปรย์น้ำสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ขึ้นไปได้ประมาณ 10% จากค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ที่ยังไม่ได้สเปรย์น้ำเท่ากับ 81% (Tambient (average) = 28.8 Celsius , %RH = 88)

ที่ 31.7°C (อุณหภูมิในตู้เท่ากับอุณหภูมิบรรยากาศและไม่มี การเปิดชุดฮีเตอร์ทำความร้อน) การสเปรย์น้ำสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ขึ้นไปได้ประมาณ 12% จากค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ที่ยังไม่ได้สเปรย์น้ำเท่ากับ 57%

การทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบให้เพิ่มขึ้นได้ 8-12% ในขณะที่ยังคงรักษาอุณหภูมิภายในตู้อบไว้คงที่ได้ (ยกเว้นกรณีที่ไม่เปิดชุดฮีทเตอร์ทำความร้อน) ซึ่งในกรณีการทดสอบการอบแห้งยางแผ่นดิบจริงที่อุณหภูมิดังกล่าวที่ทดสอบ ในระยะเริ่มต้นของการอบ ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะสูงกว่าค่าที่ตรวจวัดเนื่องจากจะมีความชื้นจากผิวยางแผ่นดิบออกมาด้วย อย่างไรก็ตามในการทดลองจริงจะมีการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการทดลองทั้งอุณหภูมิ ความเร็วลมของการระบายอากาศและระยะห่างระหว่างยางแผ่นดิบหลายๆค่าโดยใช้การออกแบบการทดลองที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ครอบคลุมช่วงของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการแห้งตัวของยางแผ่นดิบตามสภาวะที่เป็นจริงในโรงตากแห้งยางแผ่นดิบต่อไป

สำหรับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของ อ.หาดใหญ่ ซึ่งอยู่ห่างจากพื้นที่ตั้งของสหกรณ์สวนยางที่เข้าร่วมโครงการนี้ มีค่าอยู่ระหว่าง 77-86% ดังแสดงในรูปที่ 3.20 ส่วนความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของประเทศไทยในช่วงฤดูกาลต่าง ๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 62-84% ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ทั้งนี้การทราบข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่โครงการ ทำให้สามารถกำหนดเงื่อนไขการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบได้ครอบคลุมสภาพอากาศในพื้นที่นั้นๆ

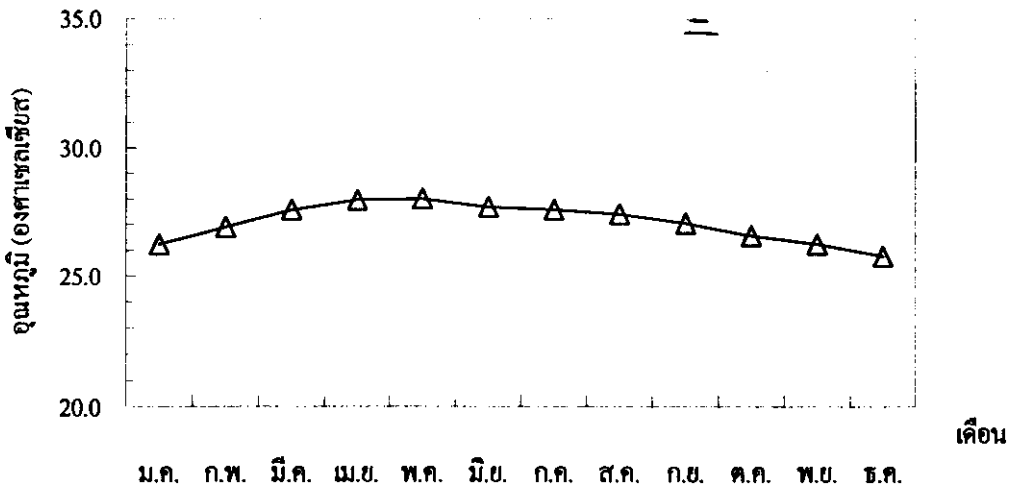


รูปที่ 3.20 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ระหว่างปี พ.ศ.2539-2546
(ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา, <http://www.tmd.go.th>)

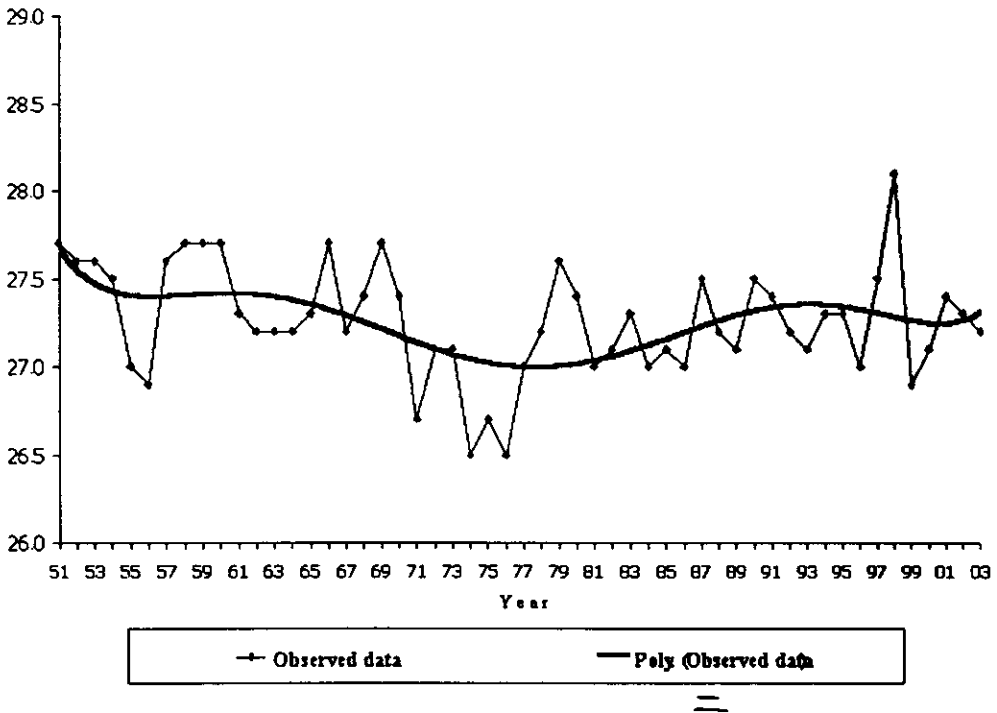
ตารางที่ 3.1 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%) ของประเทศไทยในช่วงฤดูกาลต่าง ๆ
(ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา, <http://www.tmd.go.th>)

ภาค	หนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ตลอดปี
เหนือ	73	62	81	74
ตะวันออกเฉียงเหนือ	69	65	80	72
กลาง	71	69	79	73
ตะวันออก	71	74	81	76
ได้ฝั่งตะวันออก	81	77	78	79
ได้ฝั่งตะวันตก	77	76	84	80

อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของ อ.หาดใหญ่ มีค่าอยู่ระหว่าง 26-28°C ดังแสดงในรูปที่ 3.21 ซึ่งจะใกล้เคียงกับ
อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของประเทศไทย ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.21 อุณหภูมิเฉลี่ย ของ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ระหว่างปี พ.ศ.2539-2546
(ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา, <http://www.tmd.go.th>)



รูปที่ 3.22 อุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ.2494-2546
(ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา, <http://www.tmd.go.th>)

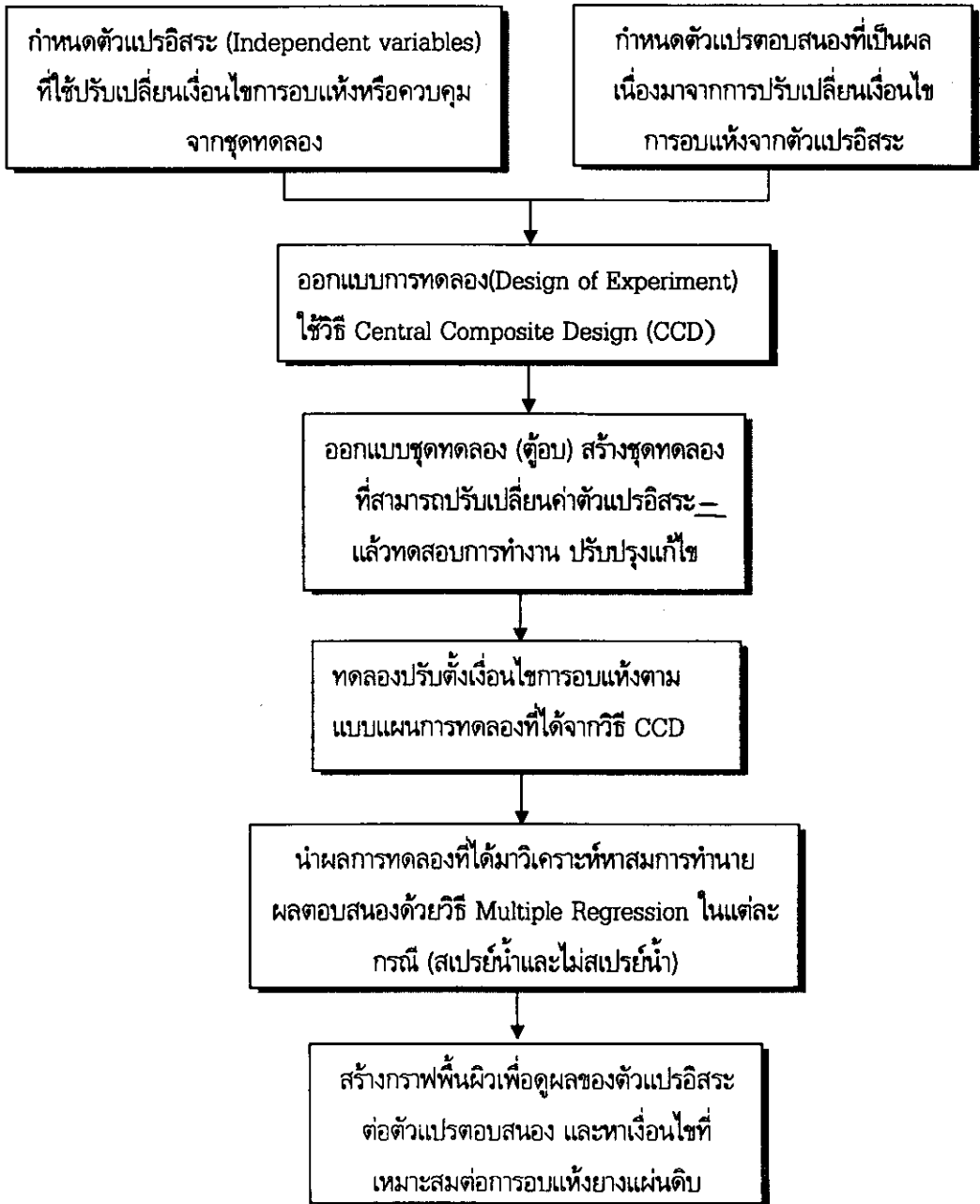
ในการทดลองนี้จะเลือกอุณหภูมิในช่วง 30-45°C เนื่องจากเป็นช่วงอุณหภูมิที่สามารถเป็นไปได้ในโรงตากแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนความชื้นสัมพัทธ์นั้น เนื่องจากอุณหภูมิกอากาศเฉลี่ยของ อ.หาดใหญ่ มีค่าอยู่ระหว่าง 26-28°C และความชื้นสัมพัทธ์มีค่าระหว่าง 77-86% เมื่ออากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 77-86% ถูกทำให้ร้อนจาก 26-28°C เป็น 30-45°C จากการใช้แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric chart) โดยคิดอัตราส่วนความชื้นคงที่พบว่าอากาศจะมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 35-85% ดังนั้นในการทดลองจะใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในช่วงนี้

3.5 ขั้นตอนการดำเนินการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบ

การศึกษาการตากแห้งยางแผ่นดิบที่เหมาะสมก่อนการรมควันด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เริ่มจากการศึกษาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการแห้งของยางแผ่นดิบ โดยพิจารณาเสมือนว่ายางแผ่นดิบได้รับการผึ่งแห้งในโรงตากมีหลังคาโปร่งแสงเพื่อป้องกันความชื้นและฝนที่จะทำให้ยางแผ่นดิบยังคงมีความชื้นสูง ในการศึกษา

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจะศึกษาในชุดทดลองซึ่งเป็นตัวแทนของอุณหภูมิต่ำ เป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้ตากแห้งยางแผ่นดิบในโรงตาก มีขั้นตอนการดำเนินงานการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบดังแสดงตามผังรูปที่

3.23



รูปที่ 3.23 ขั้นตอนการดำเนินงานสำหรับการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบ

ตัวแปรอิสระที่ถูกพิจารณาในการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบในตู้ทดสอบคือ อุณหภูมิอบแห้งและความเร็วลม แม้ว่าอุณหภูมิการตากแห้งยางแผ่นดิบในโรงตากจะเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้เนื่องจากขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละท้องถิ่นในแต่ละวัน แต่การทราบว่าอุณหภูมิในแต่ละวันที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อการแห้งของยางแผ่นดิบอย่างไร จะทำให้ทราบว่าควรจะตากยางแผ่นดิบไว้นานเท่าใดและความชื้นในยางแผ่นดิบควรจะลดลงเหลือเท่าใดในสภาพอุณหภูมินั้นๆ ส่วนความเร็วลมก็เป็นตัวแปรอิสระอีกตัวหนึ่งที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของยางแผ่นดิบเนื่องจากทำให้เกิดกระบวนการพาความร้อนแบบธรรมชาติและทำให้เกิดการถ่ายเทมวลความชื้นจากแผ่นยางไปยังอากาศโดยรอบแผ่นยาง

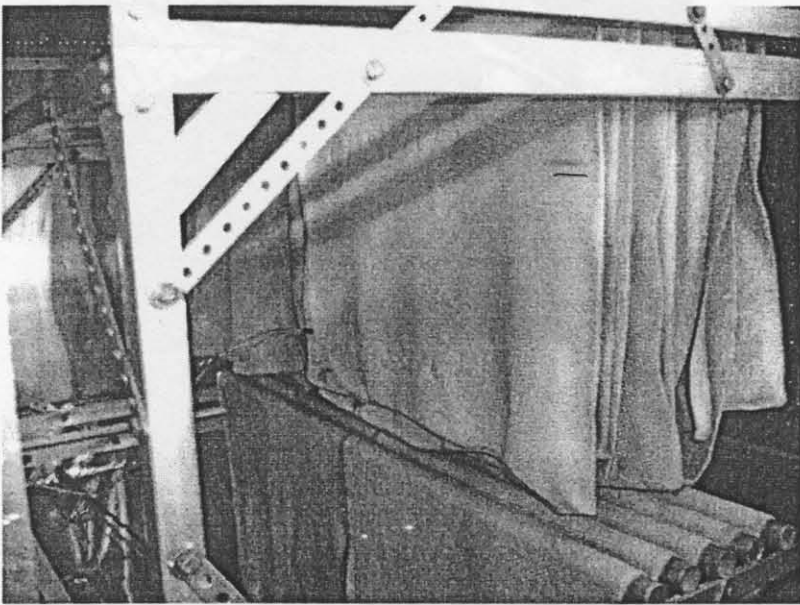
แม้จะเป็นที่ทราบกันดีว่าความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศขณะตากแห้งยางจะมีผลต่อการแห้งตัวของอีกปัจจัยหนึ่ง แต่เนื่องจากการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในตู้ทดสอบให้คงที่ตลอดเงื่อนไขการอบแห้งในแต่ละการทดลอง ทำได้ยากและต้องใช้เงินลงทุนสูงสำหรับอุปกรณ์ควบคุม อีกทั้งสภาพบรรยากาศในการตากแห้งยางจริงจะมีความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นในการทดลองนี้จะไม่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในตู้ทดสอบไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่ง แต่จะปรับสภาพบรรยากาศการอบแห้งใน 2 กรณี คือ กรณีที่สเปรย์น้ำให้กับอากาศก่อนเข้าตู้อบ ซึ่งเปรียบเสมือนสภาพอากาศในวันที่มีความชื้นมาก มีความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์น้อยหรือมีฝนตก และกรณีที่ไม่มี การสเปรย์น้ำให้กับอากาศก่อนเข้าตู้อบ ซึ่งเปรียบเสมือนสภาพบรรยากาศปกติที่ไม่มีฝนตกในช่วงฤดูการที่ดำเนินการทดลอง

ตัวแปรตอบสนองที่ถูกพิจารณาในการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบในตู้ทดสอบคือ ความชื้นของยางแผ่นดิบ และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งยางแผ่นดิบในสภาพเงื่อนไขที่ได้มีการปรับตั้งตัวแปรอิสระไว้ทั้งในกรณีที่มีการสเปรย์น้ำและไม่ได้มีการสเปรย์น้ำให้กับอากาศก่อนเข้าตู้อบ ความชื้นของยางแผ่นดิบหลังอบแห้งถูกนำมาพิจารณาเนื่องจากความชื้นยางก่อนเข้าโรงรมจะส่งผลต่อการใช้พลังงานความร้อนในการรมยาง ส่วนเวลาในการอบแห้งยางจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าในสภาพบรรยากาศที่อบแห้งนั้นๆ ระยะเวลาที่ใช้ในการลดความชื้นยางแผ่นดิบเป็นเท่าใด

การทำเงื่อนไขหรือช่วงของตัวแปรอิสระที่ทำให้ได้เวลาในการอบแห้งยางแผ่นดิบที่น้อยและลดความชื้นในยางลงได้มาก จะช่วยให้ทราบว่ายางแผ่นดิบที่ตากภายในโรงตากมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างไรเมื่อตากอยู่ในสภาพบรรยากาศปกติในแต่ละวัน

การศึกษาตากแห้งยางแผ่นดิบที่เหมาะสมก่อนการรมควันด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการศึกษาอบแห้งยางแผ่นดิบในตู้อบทดสอบที่ออกแบบสร้างขึ้น เพื่อเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นของยางแผ่นดิบระหว่างการอบ ด้วยเงื่อนไขของอุณหภูมิและความเร็วลมที่ใช้อบแห้งต่างกัน เนื่องจากในการตากแห้งยางแผ่นดิบก่อน

รมควันในโรงตากทั่วไปในช่วงเวลากลางวันจะมีอุณหภูมิภายในโรงตากประมาณ 30- 45°C และความชื้นสัมพัทธ์บริเวณรอบๆยางแผ่นดิบบนราวตากมีค่ามากกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศภายนอกโรงตากประมาณ 5-15% ส่วนในช่วงที่มีสภาพอากาศมีความชื้นสูง ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงตากกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการทดสอบอบแห้งยางแผ่นดิบนี้จะปรับตั้งอุณหภูมิภายในตู้อบไว้ในช่วงอุณหภูมิ 33-47°C เหตุผลในการเลือกใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 33 °C เนื่องจากต้องการให้ฮีทเตอร์ไฟฟ้าทำงานและสามารถควบคุมอุณหภูมิในตู้อบได้ การทดสอบอบแห้งยางแผ่นดิบจะทดสอบทั้งกรณีการฉีดน้ำให้กับอากาศก่อนอบแห้งและไม่ฉีดน้ำเพื่อเปรียบเทียบผลของความชื้นอากาศต่อระยะเวลาที่ใช้อบแห้ง รวมถึงความชื้นในยางแผ่นดิบหลังการอบแห้ง ผลของระยะห่างระหว่างยางแผ่นดิบต่อการแห้งของยางแผ่นดิบได้จากการทดสอบอบแห้งยางแผ่นดิบ สำหรับการเปรียบเทียบระยะห่างที่ใช้ในการจัดเรียงแผ่นยาง จะเปรียบเทียบโดยใช้ระยะห่างแบบเดียวกับที่มีการจัดเรียงในโรงรมควันของสหกรณ์โรคมยางที่ปฏิบัติกันกับระยะห่างที่ได้เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า



รูปที่ 3.24 แสดงลักษณะการแขวนยางแห้งแผ่นดิบบนราวตากในตู้อบ

การจัดเรียงยางแผ่นดิบในตู้อบจะจัดเรียงยางแผ่นดิบแขวนพาดกับราวอะลูมิเนียมขนาด $\phi 1$ " x 1.10 m จำนวน 5 ท่อน 2 แถว (รวม 10 ท่อน) ตากยางแผ่นดิบขนาด 50 x90 cm จำนวน 20 แผ่น มีระยะห่างระหว่างราวแขวนยางแต่ละท่อนประมาณ 1" รูปยางแผ่นดิบที่แขวนบนราวตากให้ตู้อบอบแห้งแสดงดังรูปที่ 3.24 ยางแต่ละแผ่นจะมีความหนาใกล้เคียงกันโดยประมาณ 4-5 มม. ยางแผ่นดิบที่ใช้ทดลองอบแห้งจะเฟ้งรีดออกมาจากเครื่องรีดยางซึ่งจะมีสีขาทั้งหมด ราคาจำหน่ายต่อกิโลกรัมอยู่ที่ 68-72 บาท (พ.ย.48-เม.ย.49) และ

ถูกลำเลียงจากสหกรณ์โรจรมยางมายังพื้นที่ทำการทดลองโดยการแช่น้ำระหว่างการขนส่งเพื่อป้องกันการเกาะติดกันของแผ่นยางแต่ละแผ่น จากนั้นจึงนำยางแผ่นดิบมาพาดไว้กับราวให้พอสะเด็ดน้ำ โดยไม่รอให้แห้ง (ผิวยางยังคงเปียก) จึงนำเข้าสู่ตู้อบแห้ง ยางแผ่นดิบแต่ละชุดที่นำมาใช้ในการทดลองจะถูกชั่งตัวอย่างจำนวน 1 แผ่น เพื่อนำไปหาความชื้นเริ่มต้นและมวลแห้ง ระหว่างการทดลองอบแห้งได้บันทึกค่าน้ำหนักยางแผ่นดิบที่ตรวจวัดได้จาก Load cell ตามเวลาเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นของยางแผ่นดิบในแต่ละช่วงเวลา

การทดสอบอบแห้งยางแผ่นดิบในเงื่อนไขที่แตกต่างกันใช้วิธีการปรับตั้งค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและปรับตั้งค่าความถี่ของอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบพัดลมดูดอากาศบริเวณปล่องด้านบนของตู้ทดสอบที่ตู้ควบคุมดังในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ค่าปรับตั้งบนตู้ควบคุมอบแห้งยางแผ่นดิบ

3.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE)

การออกแบบการทดลองเป็นการวางแผนการทดลองว่าควรจะปรับเปลี่ยนตัวแปรอิสระไปเป็นค่าใดในแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง และควรจะทำการทดลองทั้งหมดกี่การทดลองเพื่อให้ครอบคลุมช่วงของตัวแปรอิสระที่สนใจ การออกแบบการทดลองที่ดีจะทำให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนเพียงพอสำหรับการนำไปใช้เพื่อหาผลตอบสนองที่ต้องการในช่วงที่ปรับเปลี่ยนตัวแปรอิสระ และสามารถนำไปใช้ทำนายผลตอบสนองในกรณีที่ไม่มีผลการทดลองแต่เงื่อนไขตัวแปรอิสระอยู่ในช่วงที่กำหนดได้อย่างใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการทำนายดังกล่าวเกิดจากการใช้ข้อมูลการทดลองมาสร้างสมการการทำนายโดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นและยอมรับในค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ไม่ต่ำจนเกินไป

การเลือกแบบจำลองสำหรับทำนายผลตอบสนองของตัวแปรอิสระจากการทดลองที่นิยมใช้กันทั้งในทางวิศวกรรมตามหลักทางสถิติ คือ second-order response surface model เนื่องจากผลตอบสนองที่ได้จากการทดลองมักจะไม่เป็นเชิงเส้น และแบบแผนการทดลองแบบ first-order designs เช่น factorial design ไม่สามารถนำไปใช้ในการสร้าง model ที่ใช้ทำนายผลตอบสนองได้อย่างถูกต้อง สำหรับการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมกับการนำไปสร้าง second-order response surface model คือ การใช้วิธี central-composite design

รูปแบบของ Second-Order Model ที่ใช้ คือ

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j>1}^k \beta_{ij} x_i x_j \quad (3.1)$$

เขียนสมการ (1) ในรูปแบบของ Taylor

$$\eta = \beta_0 + \beta^T X + \frac{1}{2} X^T B X \quad (3.2)$$

$$\beta^T = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k) \quad (3.3)$$

เขียนเมตริกซ์ B เป็น

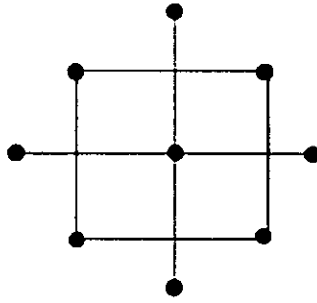
$$B = \begin{bmatrix} 2\beta_{11} & \beta_{12} & \dots & \beta_{1k} \\ \beta_{12} & 2\beta_{22} & \dots & \beta_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_{1k} & \beta_{2k} & \dots & 2\beta_{kk} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Central-composite design เป็นวิธีหนึ่งที่เสริมขึ้นจากวิธี factorial design โดยการเพิ่ม star หรือ axial points เขียนในลักษณะเมตริกซ์เป็น

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_n \\ +\alpha & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -\alpha & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & +\alpha & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -\alpha & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & +\alpha & \dots & 0 \\ 0 & 0 & -\alpha & \dots & 0 \\ & & & \dots & \\ 0 & 0 & 0 & & +\alpha \\ 0 & 0 & 0 & & -\alpha \\ 0 & 0 & 0 & & 0 \end{bmatrix}$$

จำนวนการทดลองด้วยวิธี central-composite design เท่ากับผลรวมของ factorial points, 2^k กับ axial points, $2k$ และจุดกลางหรือ center point, n ซึ่งจุดนี้อาจซ้อนกันขึ้นอยู่กับทางเลือกจำนวนการทดลองซ้ำ ดังนั้นจำนวนการทดลองด้วยวิธี central-composite design คือ $2^k + 2k + n$ การทดลอง

ระยะห่างระหว่าง center point กับ axial point คือ α ค่านี้ต้องเป็นค่าที่แน่ใจได้ว่าจะทำให้ค่า variance ในการทำนายมีค่าน้อยสุดและเป็นระยะที่ทำให้สมมาตรหรือทำให้แบบการทดลองมี rotatability ค่า α เท่ากับ \sqrt{F} โดยที่ F คือ จำนวน factorial points เท่ากับ 2^k แม้ว่าจำนวน center point จะไม่ส่งผลต่อค่า α แต่เพื่อลด variance ในการทำนาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่เป็น center of the factor space ควรใช้ 3-5 center points ในการออกแบบการทดลอง ลักษณะของรูปแบบการทดลองแบบ central-composite ที่มีตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปร แสดงได้ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 ลักษณะ 2 factors central-composite design

ในการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบนี้ได้เลือกใช้ 2 factors คือ อุณหภูมิ และความเร็วลม ส่วน Response คือ ความชื้นยางแผ่นดิบ และ/หรือ เวลาที่ใช้อบแห้ง แต่ด้วยข้อจำกัดที่ไม่สามารถเลือกใช้ยางแผ่นดิบที่มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากันได้ทุกการทดลอง และไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในตู้อบแห้งให้คงที่เท่ากันตลอดระยะเวลาการอบแห้ง จึงต้องมีการเลือกใช้ข้อมูลการทดลองในบางช่วงของผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้วิธี response surface

แต่ละเงื่อนไขการทดลองจะถูกระบุด้วย code -1, 0, 1 ส่วนค่า -1.414 และ 1.414 จะเป็น code ที่แทน axial points แบบการทดลองสำหรับอบแห้งยางแผ่นดิบที่มี 2 factors แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แบบการทดลอง central-composite design ที่มี 2 factors

Exp #	T	v	Resp_1	Resp_2
1	1	1		
2	1.414	0		
3	-1	-1		
4	0	1.414		
5	0	0		
6	0	0		
7	0	0		
8	0	-1.414		
9	1	-1		
10	-1.414	0		
11	-1	1		
12	0	0		

Resp_1, Resp_2 คือ ความชื้นยางแผ่นดิบและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง เงื่อนไขการทดลอง 0, 0 เป็นเงื่อนไขการทดลองที่ center point ซึ่งในแบบการทดลองนี้มี 4 center points สำหรับ code ของ T และ v ดูได้จากตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าของตัวแปร T และ v ที่อ่านจาก Code

Independent variables	Coding of DOE				
	-1.414	-1	0	1	1.414
T (Celcius)	33	35	40	45	47
¹ Fan motor frequency (Hz)	25	28	35	42	45
² Air velocity inside the drying chamber (m/s)	0.167	0.188	0.234	0.281	0.301

¹ At 50 Hz, the fan has volume air flow of 1620 cu.m/h (953 cfm).

² The cross section area of drying chamber is 1.2x1.2 sq.m.

3.7 ผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบ

ยางแผ่นดิบแต่ละชุดที่นำมาทดลองอบแห้งโดยไม่สเปรย์น้ำในช่วงเดือน พ.ย.48 - ม.ค.49 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนของทางภาคใต้จะมีความชื้นเริ่มต้นค่อนข้างใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.40 kgkg⁻¹ - 0.60 kgkg⁻¹ (ฐานแห้ง) ส่วนยางแผ่นดิบที่นำมาทดลองอบแห้งโดยการสเปรย์น้ำเพื่อเพิ่มความชื้นให้กับอากาศในช่วงเดือน ก.พ.49 - เม.ย.49 จะมีความชื้นเริ่มต้นแตกต่างกันมากกว่า ตั้งแต่ 0.30 kgkg⁻¹ - 0.65 kgkg⁻¹ (ฐานแห้ง) ดังนั้นความชื้นเริ่มต้นของยางแผ่นดิบจะส่งผลต่ออัตราการอบแห้งและเวลาที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ในการทดลองอบแห้งโดยไม่สเปรย์น้ำ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในตู้อบจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ในช่วง 40%-75% ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละวัน ส่วนการทดลองอบแห้งโดยการสเปรย์น้ำให้กับอากาศก่อนไหลเข้าตู้อบจะทำให้อากาศร้อนในตู้อบมีความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 55%-80%

3.7.1 การทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยไม่สเปรย์น้ำ

ผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยไม่สเปรย์น้ำในตารางที่ 3.4 ที่เงื่อนไข T, v เป็น 0,0 หรือที่ center point ของแบบการทดลอง เป็นการทดลองซ้ำ แต่เนื่องจากยังต้องทดลองเพิ่มในเงื่อนไขดังกล่าวจากความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลจากเครื่องมือวัด ผลที่แสดงในตารางจึงใช้ค่าเฉลี่ยของ Resp_1 และ Resp_2 เหมือนกันเพื่อเป็นการลด variance และเพิ่มค่า correlation coefficient ใน response surface model

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยไม่สเปรย์น้ำ

Exp #	T (Coded)	T (c)	v (Coded)	v (m/s)	f(Hz)	volume flow (cu.m/h)	Resp_1	Resp_2	RH (%)	Intial MC (kgkg ⁻¹)
1	0	40	0	0.234	35	1458	0.1766	20.83	50.5	0.448
2	0	40	-1.414	0.167	25	1215	0.1935	20.83	44.6	0.485
3	-1	35	1	0.281	42	972	0.2288	23.67	66.5	0.450
4	0	40	0	0.234	35	1562	0.1766	20.83	50.5	0.448
5	-1	35	-1	0.188	28	1215	0.2471	22.83	68.1	0.442
6	-1.414	33	0	0.234	35	1215	0.1926	23.00	58.4	0.523
7	1	45	1	0.281	42	1215	0.1326	22.17	46.7	0.524
8	1	45	-1	0.188	28	868	0.1415	23.83	49.9	0.444
9	0	40	0	0.234	35	972	0.1766	20.83	50.5	0.448
10	0	40	0	0.234	35	1215	0.1766	20.83	50.5	0.448
11	0	40	1.414	0.301	45	1458	0.1339	20.83	50.2	0.496
12	1.414	47	0	0.234	35	1215	0.13	18.67	46.3	0.595

Resp_1 is the final moisture content of rubber sheet at a certain drying condition. (kg kg⁻¹)

Resp_2 is the drying time of which the rubber sheet has reached its final moisture content. (h)

RH is the average relative humidity inside drying chamber throughout drying period.

สมการพหุคูณตอบสองสำหรับการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยไม่สเปรย์น้ำได้จากการใช้วิธี multiple regression และตัดเทอมที่มีนัยสำคัญน้อยออกไป จะได้สมการ Quadratic ดังสมการที่ (3.5)

$$1/ \text{Resp}_1 = b_0 + b_1*(T) + b_2*(v) + b_3*(T*T) + b_4*(T*v) + b_5*(v*v) \quad (3.5)$$

b₀, b₁, b₂, b₃ และ b₄ เป็นสัมประสิทธิ์ของเทอมต่างๆในสมการ (3.5)

ผลการวิเคราะห์ค่า R², R²_{adj} และค่าที่สำคัญทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 3.5, 3.6 และ 3.7

ตารางที่ 3.5 แสดงค่า R^2 และค่าทางสถิติจากการทำ regression (ไม่สปรีย์น้ำ)

Summary	
IRI	0.925
R^2	0.856
R^2 adjusted	0.736
Standard Error	0.634
# Points	12
PRESS	17.16
R^2 for Prediction	-0.024
Durbin-Watson d	2.472
First Order Autocorrelation	-0.241
Collinearity	0.960
Coefficient of Variation	10.688

ตารางที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์ variance (ไม่สปรีย์น้ำ)

ANOVA						
Source	SS	SS%	MS	F	F Signif	df
Regression	14.34	86	2.868	7.132	0.01652	5
Residual	2.413	14	0.402			6
Total	16.75	100				11

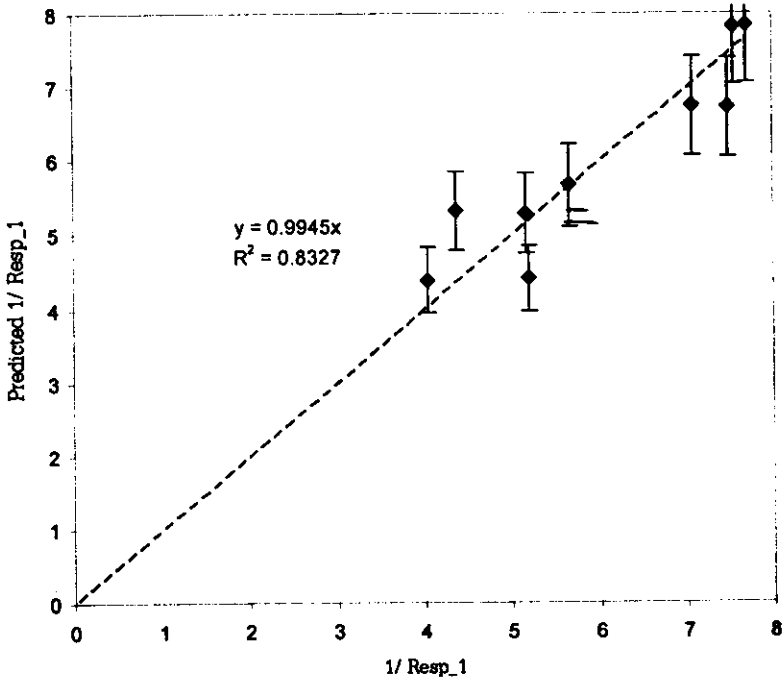
ตารางที่ 3.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ (3.5)

		P value	Std Error	-95%	95%	t Stat	VIF
b0	5.663	1.98E-06	0.317	4.887	6.438	17.86	
b1	1.216	0.00163	0.224	0.667	1.765	5.423	1.000
b2	0.506	0.06467	0.224	-0.04220	1.055	2.259	1.000
b3	0.234	0.387	0.251	-0.380	0.847	0.933	1.042
b4	0.03766	0.909	0.317	-0.738	0.813	0.119	1.000
b5	0.172	0.519	0.251	-0.442	0.785	0.685	1.042

แม้ว่าค่า R^2 จากตารางที่ 3.5 มีค่า 0.856 ก็ตาม แต่จะเห็นว่าค่า R^2 และ R^2_{adj} มีค่าใกล้เคียงกัน สมการที่ 3.5 จึงสามารถใช้ในการทำนายได้ โดยมีค่า standard error เท่ากับ 0.634 แต่หากค่า R^2 มีค่าใกล้เคียง 1 แต่ค่า R^2_{adj} มีค่าต่ำมากๆ เช่น 0.5 หรือ 0.25 แสดงว่าสมการที่ได้เป็นสมการที่ over fitting จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการทำนายผลตอบสนองของตัวแปรอิสระ

ในตารางที่ 6 จะเห็นว่า ค่าทางสถิติ F_{signif} มีค่าน้อยกว่า F มาก แสดงให้ทราบว่าสมการที่ได้จากการทำ regression มีนัยสำคัญเพียงพอในการนำไปใช้งาน โดยค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละเทอมในสมการที่ 5 จะต้องมีความ P-value ต่ำ ยิ่งสัมประสิทธิ์ของเทอมใดมีค่า P-value ต่ำ แสดงให้เห็นว่าเทอมดังกล่าวมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองมากกว่าเทอมที่มีค่า P-value สูงกว่า

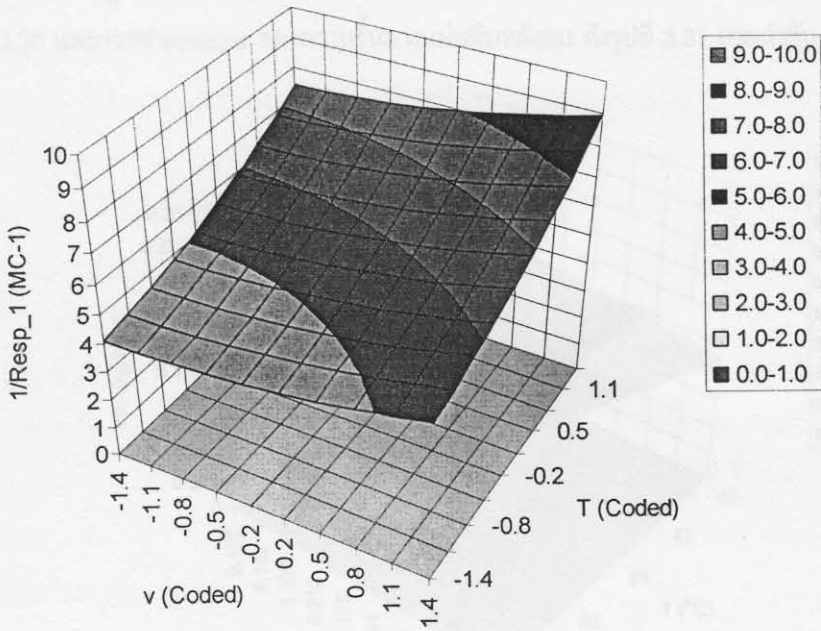
Predicted 1/ Resp_1 and 95% Confid Int Mean vs. 1/ Resp_1



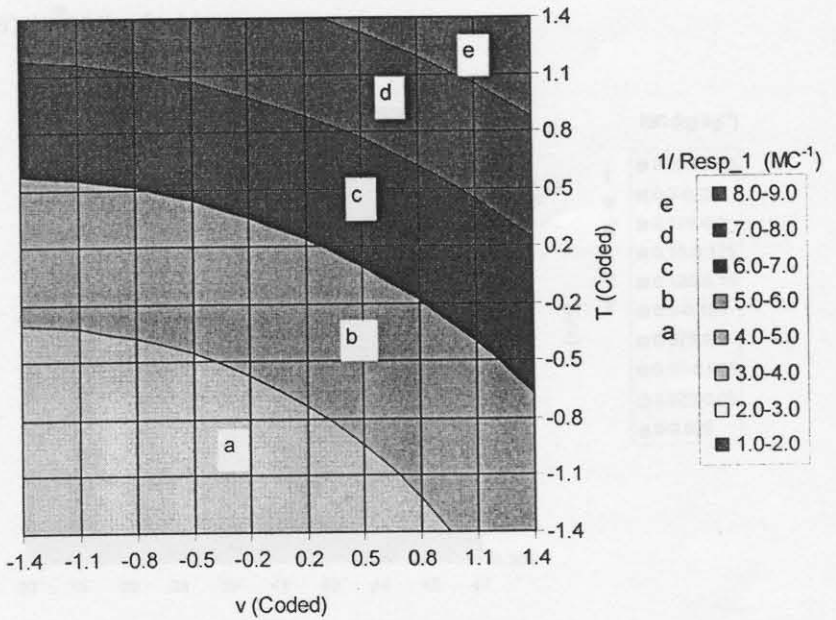
รูปที่ 3.27 แสดงผลการใช้สมการที่ 3.5 ทำนายค่า 1/resp_1 เทียบกับค่าจริง

รูปที่ 3.27 แสดงให้เห็นว่าค่าทำนายผลตอบสนองมีค่าเบี่ยงเบนออกจากค่าจริงบ้าง แต่ส่วนใหญ่ค่า predicted 1/resp_1 มีค่าเบี่ยงเบนไม่เกิน 0.5 โดยค่า R^2 ของการทำนายมีค่า 0.833

จากสมการที่ 3.5 สามารถนำมาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองของ 1/resp_1 หรือ 1/MC ต่ออุณหภูมิและความเร็วลมในการระบายอากาศในลักษณะของ code ของตัวแปรได้ สำหรับการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบแบบไม่สเปรย์น้ำได้ โดยรูปที่ 3.28 และ 3.29 เป็นกราฟพื้นผิวและ contour ตามลำดับ

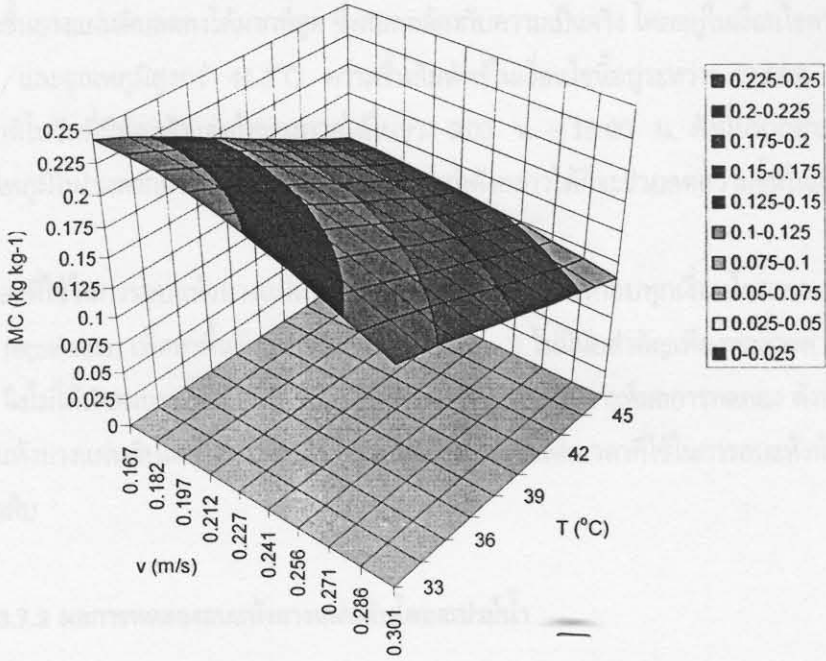


รูปที่ 3.28 กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองของ $1/\text{resp}_1$ หรือ $1/\text{MC}$ ต่อตัวแปรอิสระ T (coded) และ v (coded)

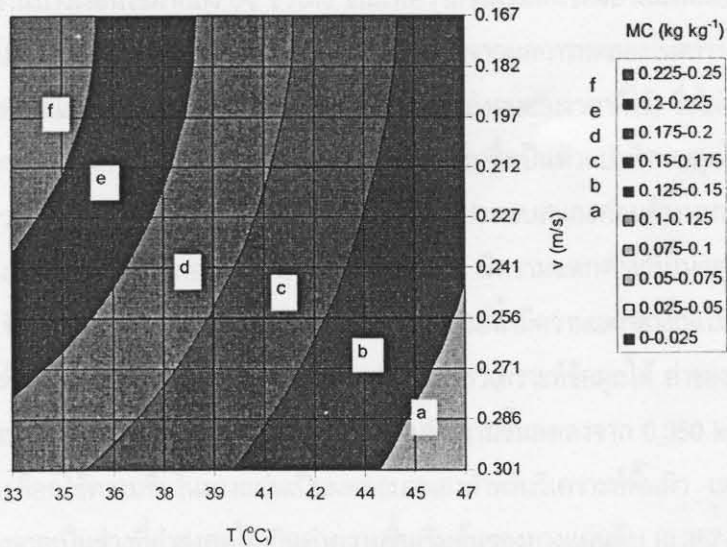


รูปที่ 3.29 กราฟแสดง contour ของ $1/\text{MC}$ ต่อตัวแปรอิสระ T (coded) และ v (coded)

จากกราฟรูปที่ 3.28 และ 3.29 เปลี่ยนค่า coded ของ T และ v เป็นค่าจริงได้พื้นผิวตอบสนองดังกราฟ
ในรูปที่ 3.30 และกราฟ contour ของความชื้นยางแผ่นดิบหลังอบ ดังรูปที่ 3.31 ตามลำดับ



รูปที่ 3.30 กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองของความชื้นในยางแผ่นดิบหลังอบ (MC) ต่อเงื่อนไขการอบแห้งที่อุณหภูมิ
T (°C) และความเร็วลม v (m/s)



รูปที่ 3.31 กราฟแสดง contour ของความชื้นในยางแผ่นดิบหลังอบ (MC) ต่อเงื่อนไขการอบแห้งที่อุณหภูมิ
T (°C) และความเร็วลม v (m/s)

จากกราฟรูปที่ 3.30 และ 3.31 จะเห็นได้ว่าการอบแห้งยางแผ่นดิบโดยไม่สเปรย์น้ำเพิ่มความชื้นให้กับอากาศตลอดเงื่อนไขที่มีการระบายอากาศด้วยความเร็วลม 0.167-0.301 m/s เห็นได้ชัดว่าบริเวณ a เป็นบริเวณเงื่อนไขที่ทำให้ความชื้นยางแผ่นดิบลดลงได้มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริง โดยอยู่ในเงื่อนไขความเร็วลมมากกว่า 0.245 m/s และอุณหภูมิสูงกว่า 44.3°C ความชื้นสัมพัทธ์ในเงื่อนไขอยู่ระหว่าง 47-50% ซึ่งเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ปกติในวันที่มีท้องฟ้าแจ่มใสทางภาคใต้ในช่วง 9:00 น. - 15:00 น. ดังนั้นหากสามารถทำให้ความเร็วลมและอุณหภูมิในโรงตากยางและความเร็วลมมากกว่าค่าดังกล่าวได้ก็จะช่วยลดความชื้นในยางแผ่นดิบลงได้มาก

สำหรับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งยางแผ่นดิบพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันเกือบทุกเงื่อนไขการอบแห้ง และเนื่องจากผลการทำ regression เพื่อหาพื้นผิวตอบสนองสำหรับ resp_2 ไม่มีนัยสำคัญเพียงพอและค่า R² ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 1 มาก จึงไม่ได้นำสมการพื้นผิวตอบสนองดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังนั้นในกรณีของการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยไม่สเปรย์น้ำ ตัวแปรอิสระจะส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยกว่าต่อความชื้นในยางแผ่นดิบ

3.7.2 ผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยสเปรย์น้ำ

ผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยสเปรย์น้ำเพิ่มความชื้นให้กับอากาศก่อนเข้าตู้อบ แสดงดังตารางที่ 3.8 เนื่องจากความชื้นสุดท้ายของยางแผ่นดิบที่ทำการทดลองบางเงื่อนไขสามารถลดลงได้ต่ำสุดถึง 0.020 kgkg⁻¹ ในขณะที่เวลาที่ใช้อบแห้งในบางเงื่อนไขมากถึง 64 ชั่วโมง ขณะที่ความชื้นเริ่มต้นของยางแผ่นดิบส่วนใหญ่้น้อยกว่าการทดลองแบบไม่สเปรย์น้ำ ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองจากการทดลองในตารางที่ 7 พบว่าไม่มีเทอมหรือตัวแปรอิสระใดที่มีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง (ความชื้นยางหลังอบและเวลาที่ใช้) ซึ่งไม่น่าจะเป็นไปได้ แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของความชื้นยางเริ่มต้นและความชื้นสัมพัทธ์ในตู้อบซึ่งเป็นตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้และไม่ได้กำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระที่รวมอยู่ในแบบการทดลองจะมีผลต่อตัวแปรตอบสนองค่อนข้างมาก และเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งในกรณีของการทดลองอบแห้งโดยการสเปรย์น้ำ มีความแตกต่างกันในแต่ละเงื่อนไขการทดลองมากตั้งแต่ 13-64 ชั่วโมง ในขณะที่การทดลองอบแห้งโดยไม่สเปรย์น้ำมีความแตกต่างกันไม่มาก คือตั้งแต่ 18.7-23.7 ชั่วโมง เพื่อให้สามารถนำวิธีการพื้นผิวตอบสนองมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้ ค่าของ Resp_1 ในตารางที่ 8 จะพิจารณาเฉพาะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งให้ยางแผ่นดิบมีความชื้นลดลงจาก 0.350 kgkg⁻¹ ไปเป็น 0.150 kgkg⁻¹ แทนที่จะเลือกใช้ความชื้นในยางแผ่นเป็นผลตอบสนองสำหรับวิเคราะห์พื้นผิว เหตุผลที่เลือกใช้ความชื้นยางในช่วงนี้เนื่องจากเป็นช่วงที่ค่าสูงสุดไม่เกินค่าความชื้นเริ่มต้นของยางแผ่นดิบ (0.357-0.623 kgkg⁻¹) และค่าต่ำสุดที่เลือกเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าต่ำสุดในผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบแบบไม่สเปรย์น้ำ (0.13 kgkg⁻¹)

หากใช้วิธีเดียวกันนี้โดยเลือกใช้ช่วงความชื้นยางแผ่นดิบลดลงจาก 0.350 kgkg^{-1} ไปเป็น 0.150 kgkg^{-1} มาใช้กับกรณีการทดลองโดยไม่สเปรย์น้ำ จะไม่สามารถทำได้เนื่องจากมีหลายเงื่อนไขที่ความชื้นของยางแผ่นดิบ หลังอบสูงกว่าค่า 0.150 kgkg^{-1}

ตารางที่ 3.8 ผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยสเปรย์น้ำ

Exp #	T (coded)	T (°c)	v (coded)	v (m/s)	f (Hz)	volume flow (cu.m/h)	Resp_1 (kgkg^{-1})	Resp_2 (h)	RH (%)	Initial MC (kgkg^{-1})
1	1	45	1	0.281	42	1458	0.055	49	69	0.394
2	1.414	47	0	0.234	35	1215	0.063	36	58.3	0.363
3	-1	35	-1	0.188	28	972	0.116	36	77.8	0.435
4	0	40	1.414	0.301	45	1562	0.083	30.8	61.4	0.381
5	0	40	0	0.234	35	1215	0.066	37.5	58.5	0.434
6	0	40	0	0.234	35	1215	0.109	48	62.4	0.623
7	0	40	0	0.234	35	1215	0.126	48	65.6	0.378
8	0	40	-1.414	0.167	25	868	0.074	54	63.9	0.526
9	1	45	-1	0.188	28	972	0.02	48	59.7	0.446
10	-1.414	33	0	0.234	35	1215	0.06	64	73.7	0.376
11	-1	35	1	0.281	42	1458	0.133	13	71.6	0.357
12	0	40	0	0.234	35	1215	0.13	46	66.1	0.385

Resp_1 is the final moisture contents of rubber sheet at a certain drying condition. (kg kg^{-1})

Resp_2 is the drying time of which the rubber sheet has reached its final moisture content. (h)

RH is the average relative humidity inside drying chamber throughout drying period.

ในตารางที่ 3.8 ที่เงื่อนไขการทดลองซ้ำ ที่มี coded เป็น 0,0 ได้ใช้ค่าเฉลี่ยจากผลการทดลองซ้ำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อลด variance ในสมการพื้นผิวตอบสนองที่สร้างขึ้น

สมการพื้นผิวตอบสนองสำหรับการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยสเปรย์น้ำจากข้อมูลในตารางที่ 3.9 ได้จากการใช้วิธี multiple regression และตัดเทอมที่มีนัยสำคัญน้อยออกไป จะได้สมการ Quadratic ดังสมการที่ (3.6)

$$\text{Resp}_1 = b_0 + b_1*(T) + b_2*(T*T) + b_3*(T*v) + b_4*(v*v) \quad (3.6)$$

b_0, b_1, b_2, b_3 และ b_4 เป็นสัมประสิทธิ์ของเทอมต่างๆในสมการ (3.6)

สมการที่ 3.6 ให้ค่า R^2 ดีที่สุดในรูปแบบที่ไม่ต้อง transform ผลตอบสนอง resp_1 ไปเป็น $1/\text{resp}_1$ เหมือนกับสมการที่ 3.5

ผลการวิเคราะห์ค่า R^2, R^2_{adj} และค่าที่สำคัญทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 3.10, 3.11 และ 3.12

ตารางที่ 3.9 ผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยสเปรย์น้ำ พิจารณาช่วงความชื้นยางแผ่นดิบลดลงจาก 0.350 ไปเป็น 0.150 kgkg^{-1}

Exp #	T (coded)	T (c)	v (coded)	v (m/s)	f (Hz)	volume flow (cu.m/h)	Resp_1 (h)	RH (%)	Initial MC (kgkg^{-1})
1	1	45	1	0.281	42	1458	18.83	69	0.394
2	1.414	47	0	0.234	35	1215	11.76	58.3	0.363
3	-1	35	-1	0.188	28	972	22.15	77.8	0.435
4	0	40	1.414	0.301	45	1562	14.03	61.4	0.381
5	0	40	0	0.234	35	1215	22.62	58.5	0.434
6	0	40	0	0.234	35	1215	22.62	62.4	0.623
7	0	40	0	0.234	35	1215	22.62	65.6	0.378
8	0	40	-1.414	0.167	25	868	9.27	63.9	0.526
9	1	45	-1	0.188	28	972	13.54	59.7	0.446
10	-1.414	33	0	0.234	35	1215	28.77	73.7	0.376
11	-1	35	1	0.281	42	1458	10.33	71.6	0.357
12	0	40	0	0.234	35	1215	22.62	66.1	0.385

Resp_1 represents drying time (h) to reduce MC from 0.350 to 0.150 kgkg^{-1} .

ตารางที่ 3.10 แสดงค่า R^2 และค่าทางสถิติจากการทำ regression (สเปรย์น้ำ)

Summary	
IRI	0.884
R^2	0.781
R^2 adjusted	0.656
Standard Error	3.661
# Points	12
PRESS	470.43
R^2 for Prediction	-0.099
Durbin-Watson d	2.291
First Order Autocorrelation	-0.157
Collinearity	0.960
Coefficient of Variation	20.046
Precision Index	14.617

ตารางที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์ variance (สเปรย์น้ำ)

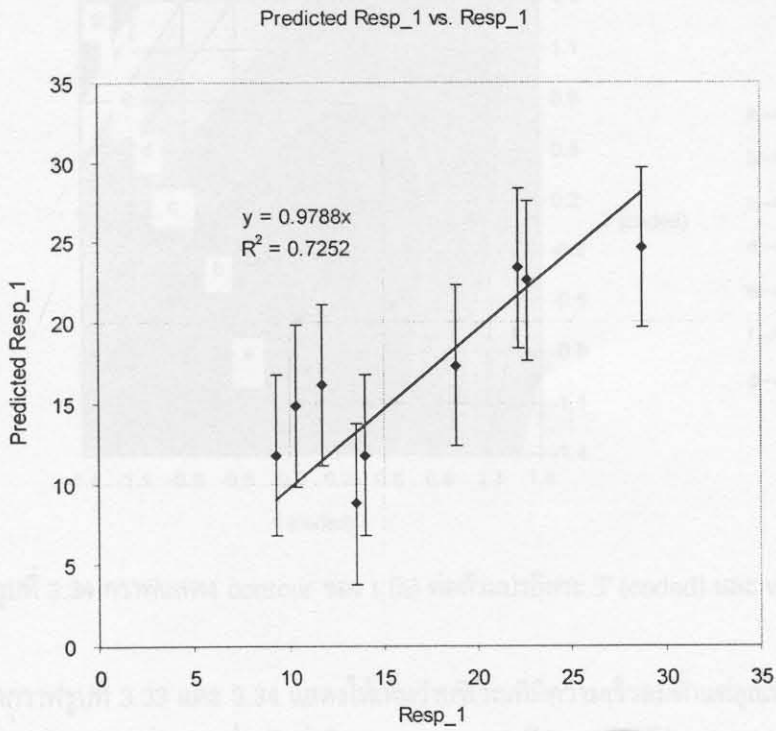
ANOVA						
Source	SS	SS%	MS	F	F Signif	df
Regression	334.10	78	83.53	6.233	0.01841	4
Residual	93.81	22	13.40			7
LOF Error	82.48	19 (88)	27.49	9.7072	0.02622	3
Pure Error	11.33	3 (12)	2.832			4
Total	427.91	100				11

ตารางที่ 3.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ (3.6)

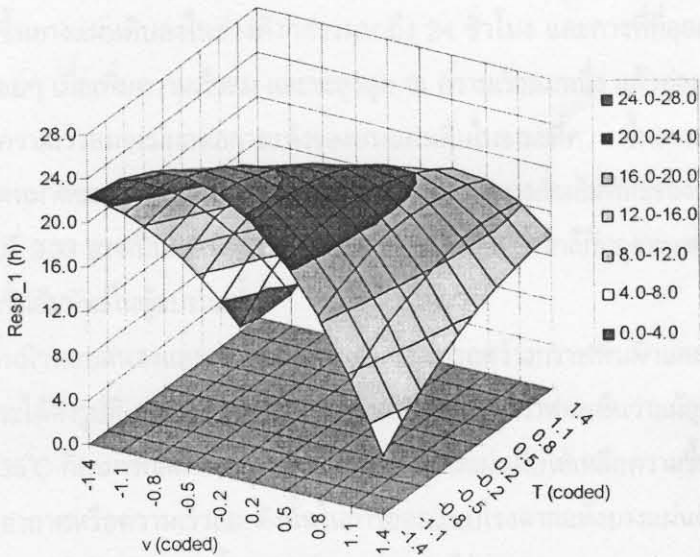
		P value	Std Error	-95%	95%	t Stat	VIF
b0	22.61	5.226E-06	1.830	18.29	26.94	12.36	
b1	-3.021	0.05232	1.294	-6.081	0.03996	-2.334	1.000
b2	-1.111	0.468	1.447	-4.533	2.311	-0.768	1.042
b3	4.278	0.05208	1.830	-0.05063	8.606	2.337	1.000
b4	-5.420	0.00722	1.447	-8.842	-1.997	-3.745	1.042

จะเห็นได้ว่าค่า R^2 ในกรณีของการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยการสเปรย์น้ำเพิ่มความชื้นให้กับอากาศเข้าตู้อบ จะมีค่าต่ำกว่าในกรณีของการทดลองอบแห้งโดยไม่สเปรย์น้ำ เนื่องจากผลของปัจจัยรบกวนจากความชื้นที่เพิ่มเข้าไปทำให้สภาพบรรยากาศในตู้อบจำเป็นต้องรักษาอุณหภูมิให้ได้ตามที่ตั้งไว้ตามแบบการทดลอง ทำให้การตัดต่อการทำงานของฮีตเตอร์ไฟฟ้าถึขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิในตู้อบในแต่ละเงื่อนไขการทดลองจึงมีการกวัดแกว่งในทิศทางที่มีค่ามากและน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้มากกว่าในกรณีการทดลองโดยไม่สเปรย์น้ำ ทำให้ลักษณะของสมการที่ได้จากการทำ regression เพื่อนำมาสร้างพื้นผิวตอบสนองมีค่า R^2 น้อยกว่ากรณีไม่สเปรย์น้ำแม้ว่าจะนำของมูลเฉพาะในช่วงความชื้นยางแผ่นดิบตั้งแต่ 0.350 ลดลงไปถึง 0.150 kgkg^{-1} มาใช้ในการวิเคราะห์ก็ตาม อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ทางหลักสถิติพบว่าสมการที่ 3.6 มีนัยสำคัญเพียงพอที่สามารถใช้ทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งในช่วงความชื้นยางแผ่นดิบดังกล่าวข้างต้น ที่เงื่อนไขอบแห้งตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ได้

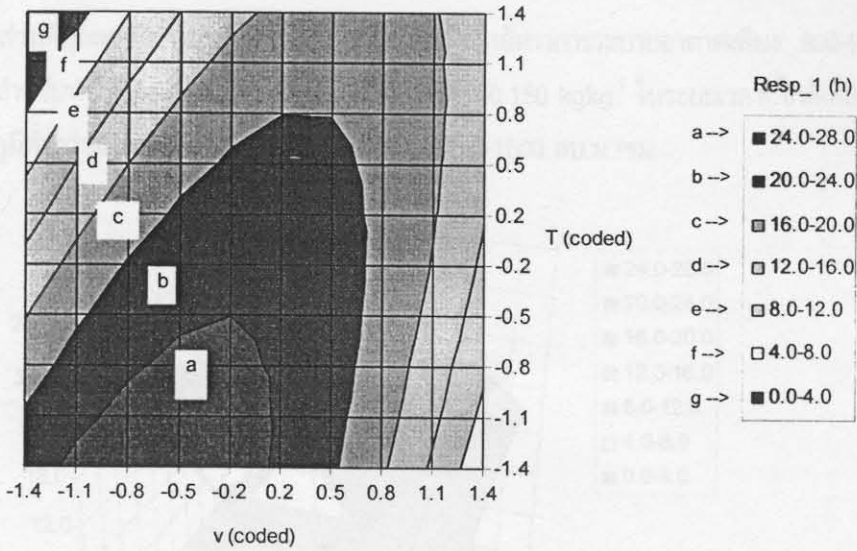
ค่าการทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งยางแผ่นดิบจากความชื้นยางแผ่นลดลงจาก 0.350 ไปเป็น 0.150 kgkg^{-1} แสดงดังกราฟรูปที่ 3.32 ค่าทำนายด้วยสมการที่ 3.6 มีค่าเบี่ยงเบนจากค่าจริงจากการทดลองน้อยกว่า 5 ชั่วโมง ในเงื่อนไขต่างๆที่ครอบคลุมในแบบการทดลองที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 3.32 แสดงผลการใช้สมการที่ 3.6 ทำนายค่า resp_1 เทียบกับค่าจริง



รูปที่ 3.33 กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองของ resp_1 หรือ t (h) ต่อตัวแปรอิสระ T (coded) และ v (coded)

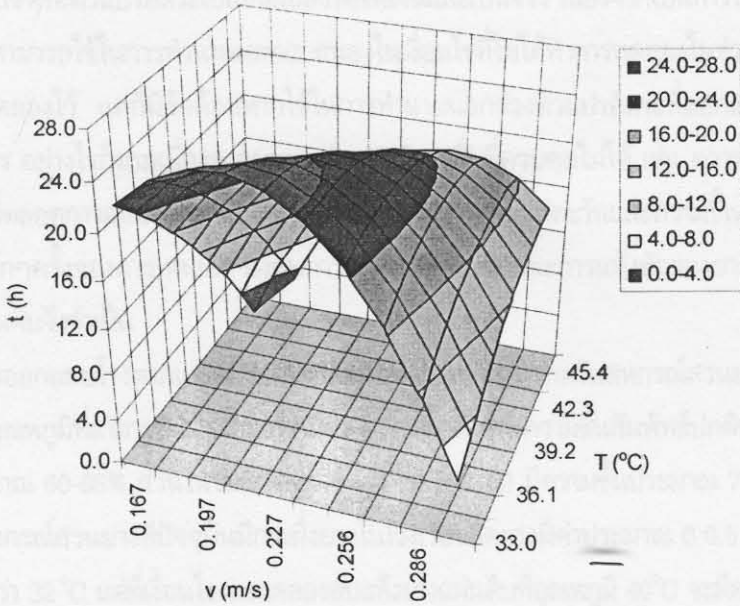


รูปที่ 3.34 กราฟแสดง contour ของ t (h) ต่อตัวแปรอิสระ T (coded) และ v (coded)

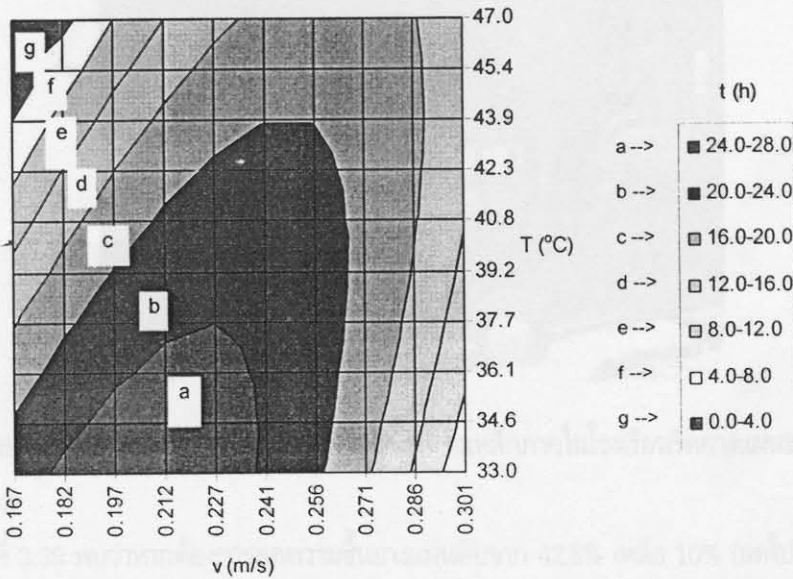
จากกราฟรูปที่ 3.33 และ 3.34 แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่มีความเร็วลมต่ำแต่อุณหภูมิสูงและบริเวณที่มีความเร็วลมสูงแต่อุณหภูมิต่ำ ตามเงื่อนไขที่มีในแบบการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ (บริเวณตามแนวเส้นทะแยงมุมในรูป contour รูปที่ 3.34 จากด้านซ้ายบนและล่างขวา) หรือบริเวณ f, g จะใช้เวลาในการลดความชื้นยางแผ่นดิบในช่วง 0.35 kgkg^{-1} ไปเป็น 0.150 kgkg^{-1} สั้นที่สุดเมื่อเทียบกับที่เงื่อนไขการทดลองอื่นๆ หากพิจารณาบริเวณ a จะเห็นว่าเป็นโซนที่มีความเร็วลมไม่สูง (coded -1.15 ถึง 0.15) และอุณหภูมิไม่สูง (coded -0.5 ถึง -1.4) จะใช้เวลาในการลดความชื้นยางแผ่นดิบลงในช่วงดังกล่าวมากถึง 24 ชั่วโมง และการที่ที่อุณหภูมิใดๆ เวลาที่ลดความชื้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มความเร็วลม และจะสูงสุด ณ ความเร็วลมหนึ่ง แล้วค่อยๆ ลดลงเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วลมจะมีผลต่อการแห้งของยางแผ่นดิบในขณะที่ความชื้นยางแผ่นยังมีค่าสูงกว่าจุดหมาดมากกว่า โดยจุดหมาดของยางแผ่นดิบจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ ในบริเวณเส้นโค้งของกราฟในรูปที่ 3.33 อาจเป็นผลเนื่องจากความชื้นยางแผ่นดิบมีค่าใกล้เคียงกับจุดหมาด ในสภาพบรรยากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในจุดนั้น

จากกราฟพื้นผิวตอบสนองและกราฟ contour สามารถสร้างกราฟพื้นผิวและกราฟ contour ที่ decoded ตัวแปรอิสระได้ดังรูปที่ 3.35 และ รูปที่ 3.36 ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นว่าแม้อุณหภูมิในตู้อบแห้งไม่สูงมาก ประมาณ $33-35^{\circ}\text{C}$ ก็สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งยางแผ่นดิบให้เหลือความชื้น 15% ลงได้โดยการเพิ่มอัตราการระบายอากาศหรือความเร็วลม ดังนั้นในการออกแบบโรงตากแห้งยางแผ่นดิบในลักษณะที่มีการระบายอากาศโดยธรรมชาติจึงต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ระบายอากาศให้สามารถระบายอากาศขึ้นออกจากโรงตากให้ได้มากที่สุด แต่ในขณะเดียวกันจำเป็นต้องระมัดระวังความชื้นจากภายนอกที่อาจจะเข้ามาทำให้อัตราการแห้งตัว

ของยางแผ่นข้าลง ส่วนที่อุณหภูมิการอบแห้งสูง (42-47°C) จะเห็นว่าอัตราการระเหยอากาศเพียง 800-900 ลบ.ม./ชม. ก็เพียงพอสำหรับทำให้ยางแผ่นดิบแห้งตัวลงเหลือความชื้น 0.150 kgkg⁻¹ ในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกันกับการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่าแต่อัตราการระเหยอากาศต้องเป็น 1200-1500 ลบ.ม./ชม.



รูปที่ 3.35 กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองของเวลา t (h) ที่ใช้ในการลดความชื้นยางแผ่นดิบจาก 0.350 kgkg⁻¹ ไปเป็น 0.150 kgkg⁻¹ ต่อตัวแปรอิสระ T (°C) และ v (m/s)

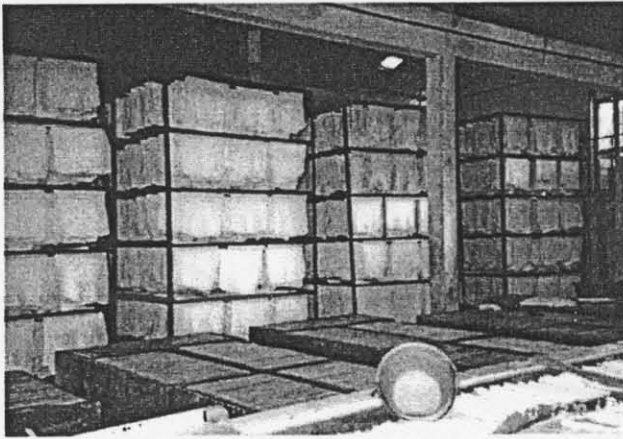


รูปที่ 3.36 กราฟแสดง contour ของ t (h) ต่อตัวแปรอิสระ T (°C) และ v (m/s)

3.7.3 การนำผลที่ได้จากการทดลองมากำหนดเงื่อนไขการตากแห้งในโรงตากยางแผ่นดิบ

โดยสรุปจะเห็นได้ว่าวิธีพื้นผิวตอบสนองสามารถใช้ในการมองภาพการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองที่สนใจ เมื่อเงื่อนไขหรือตัวแปรอิสระเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนและเป็นจริง เนื่องจากการใช้ข้อมูลจริงจากผลการทดลอง และสามารถใช้ในการทำนายผลตอบสนองในเงื่อนไขที่ไม่ได้ทำการทดลองในช่วงของตัวแปรอิสระที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ แต่ก็มีข้อด้อยหากใช้ในการทำนายนอกช่วงตัวแปรอิสระที่ออกแบบไว้อาจจะได้ค่าที่ไม่ถูกต้องเท่าที่ควร อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลของตัวแปรอิสระอื่นที่ควบคุมไม่ได้ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในตู้อบที่ไม่คงที่ตลอดการอบแห้ง โดยเปลี่ยนไปตามสภาพอากาศในแต่ละวันและความชื้นเริ่มต้นของยางแผ่นดิบที่ไม่เท่ากันในทุกๆครั้งของการทดลอง ดังนั้นการวิเคราะห์คุณลักษณะการแห้งตัวของยางแผ่นดิบและอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบจึงจำเป็น

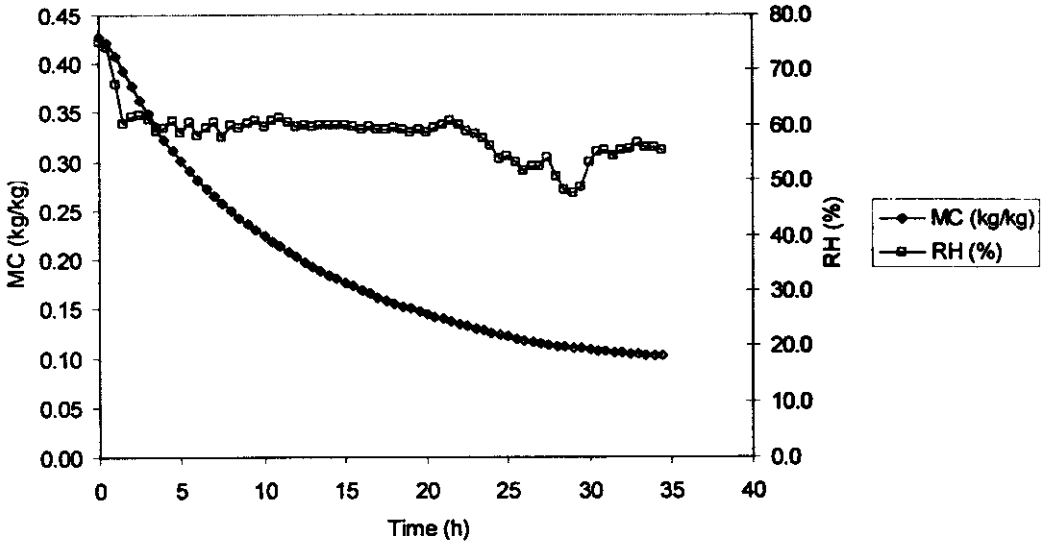
ในการออกแบบโรงตากแห้งยางแผ่นดิบเพื่อลดความชื้นยางสำหรับสหกรณ์สวนยางพาราที่ร่วมโครงการได้ออกแบบให้อุณหภูมิที่สามารถทำได้มีอุณหภูมิถึง 40°C โดยสภาพความชื้นสัมพัทธ์ปกติของวันในพื้นที่ดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยประมาณ 60-65% ส่วนในวันที่มีความชื้นสูง (รูปที่ 3.38) มีความชื้นประมาณ 70-75% ความเร็วลมในโรงเรือนของสหกรณ์สวนยางที่ปัจจุบันมีการผึ่งยางในโรงเรือนรีดยางมีค่าประมาณ $0-0.5\text{ m/s}$ แม้ว่าอุณหภูมิในโรงเรือนจะต่ำกว่า 32°C แต่ที่เงื่อนไขการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบที่อุณหภูมิ 40°C จะมีความเร็วลมเฉลี่ยในการระบายอากาศประมาณ 0.234 m/s ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกัน



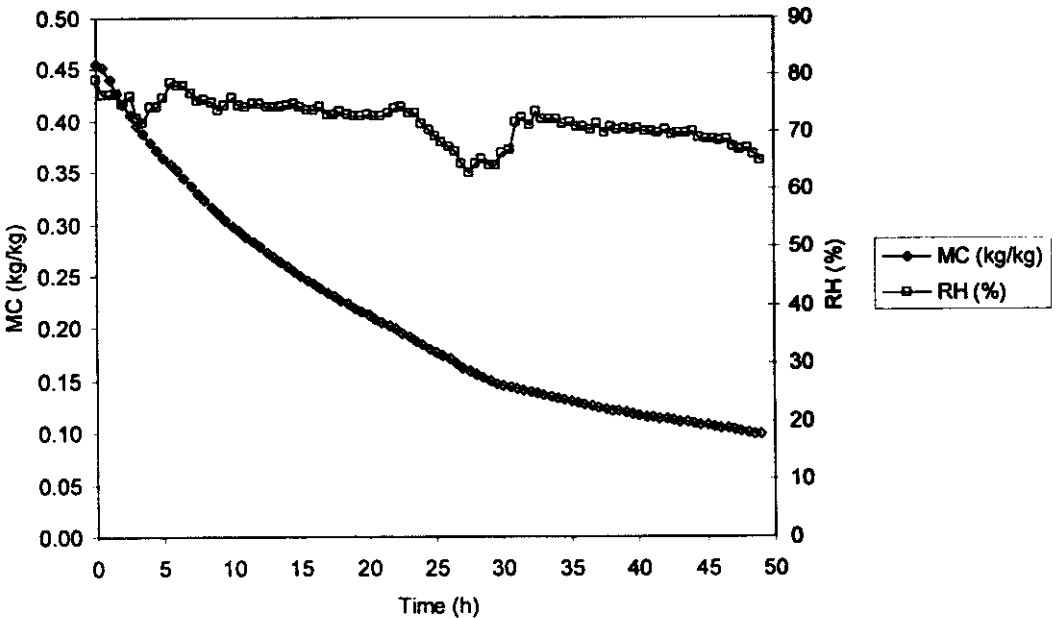
รูปที่ 3.37 การผึ่งยางในร่มโดยแขวนกับราวไม้ไผ่บนกระเบาะโครงเหล็กภายในโรงเรือนรีดยางแผ่นของสหกรณ์สวนยางพารา

จากรูปที่ 3.38 พบว่าหากต้องการลดความชื้นยางแผ่นดิบจาก 42.5% เหลือ 10% (ลดไป 32.5%) จะต้องใช้เวลตากยาง 35 ชั่วโมง หรือ 1 วันครึ่ง ขณะที่ในสภาพความชื้นสูงในรูปที่ 3.39 จะต้องใช้เวลากถึง 48 ชั่วโมง หรือ 2 วัน ซึ่งในทางปฏิบัติ ไม่สามารถทำได้ เนื่องจากการตากหรือผึ่งยางแผ่นดิบข้ามวัน ผลของอุณหภูมิและ

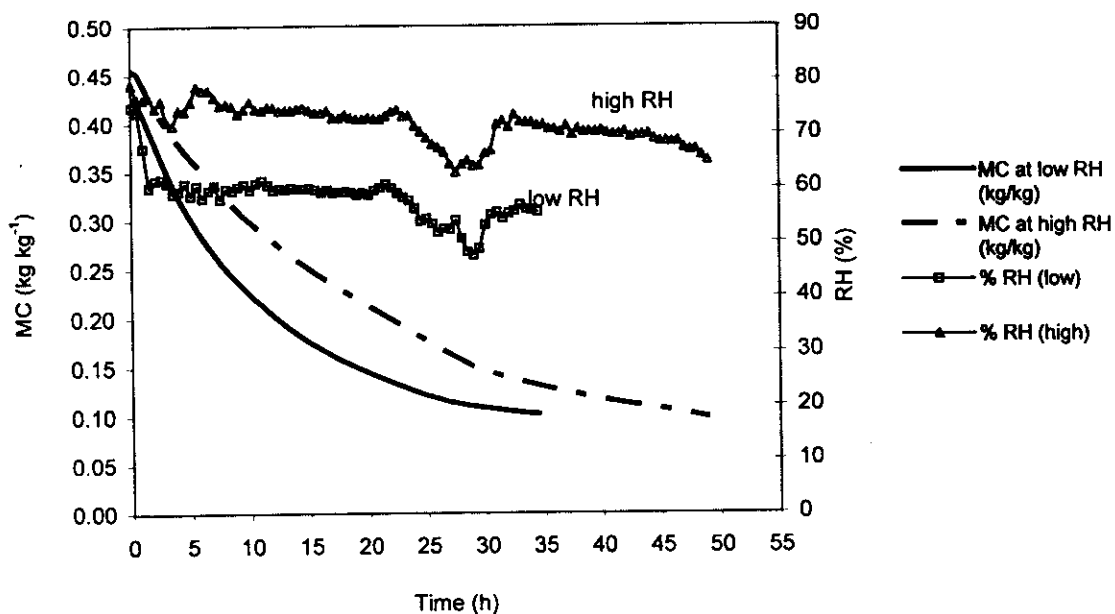
ความชื้นสัมพัทธ์เวลากลางคืนมีความแตกต่างจากกลางวันมาก ส่งผลให้ยางแผ่นดิบขึ้นราได้ และหากมีงหรือตาก
ยางเฉพาะกลางวันที่มีแดดจะต้องใช้เวลาถึง 3-5 วัน



รูปที่ 3.38 กราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้นของยางแผ่นดิบ เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง
55-60% ความเร็วลม 0.234 m/s (ไม้สเปรย์น้ำ)



รูปที่ 3.39 กราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้นของยางแผ่นดิบ เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง
65-75% ความเร็วลม 0.234 m/s (สเปรย์น้ำ)

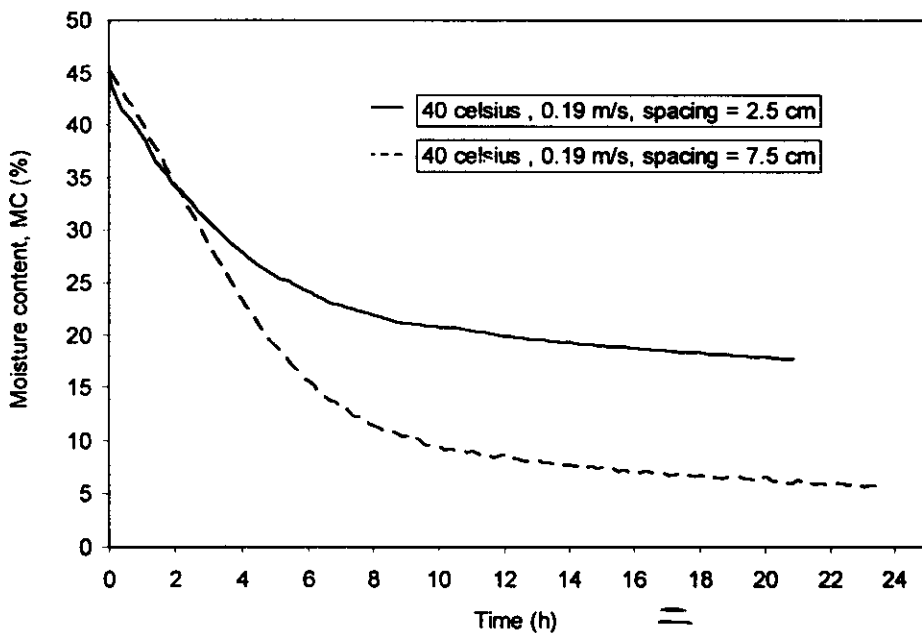


รูปที่ 3.40 เปรียบเทียบผลการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 เซลเซียส ความเร็วลม 0.234 m/s (ระหว่างสเปรย์น้ำ (high RH) กับไม้สเปรย์น้ำ (Low RH))

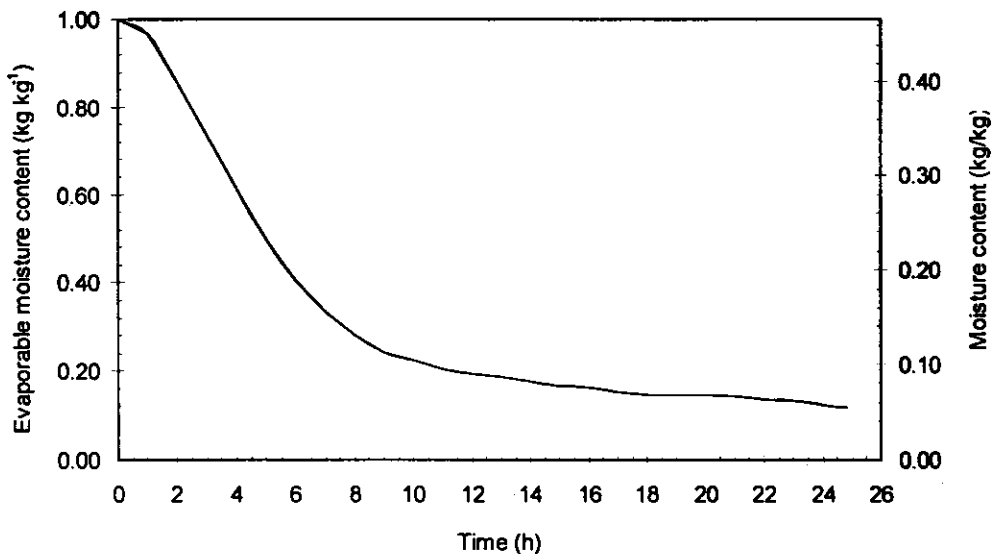
ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จะเน้นการลดความชื้นยางแผ่นดิบในสภาพการทำงานปกติของสทกรณส์สวนยาง โดยใช้เวลาในการตากยางแผ่นดิบเพียง 8-10 ชั่วโมง ของเวลากลางวันที่มีแดด จากนั้นจึงนำเข้าห้องรมควันซึ่งคาดว่าจะช่วยลดการใช้ไม้ฟืนลงได้ สำหรับการตากแห้งยางแผ่นดิบ 1 วัน เฉพาะกลางวันที่มีแดด (8-10 ชั่วโมง) โดยพิจารณาจากรูปที่ 3.38 รูปที่ 3.39 และรูปเปรียบเทียบของรูปทั้งสองดังรูปที่ 3.40 คาดว่าจะสามารถลดความชื้นยางแผ่นดิบลงได้ 15 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

รูปที่ 3.40 เป็นผลการทดลองเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของยางแผ่นดิบเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C ความเร็วลม 0.19 m/s แต่ระยะห่างระหว่างแผ่นต่างกัน ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นยางเท่ากับ 2.5 cm เป็นระยะห่างปกติที่สทกรณส์สวนยางใช้ในการปฏิบัติฝึ่งยางในโรงเรือนและในห้องรมควัน ส่วนระยะห่างระหว่างแผ่นเท่ากับ 7.5 cm คือระยะห่างเมื่อมีการเว้นช่องว่างระหว่างแผ่นยาง 1 ราวไม้ไผ่ ซึ่งการเว้นระยะห่าง 1 ราวไม้ไผ่นี้จะทำให้ปริมาณยางแผ่นที่แขวนบนกระบะโครงเหล็กมีปริมาณลดลงครึ่งหนึ่ง จากปกติ 400-500 แผ่น เหลือ 200-250 แผ่นต่อกระบะ หรือมีปริมาณเท่ากับ 750 แผ่นต่อห้องรม (ห้องรมควันยางมีความจุ 3 กระบะ) แต่ผลที่แตกต่างที่เห็นได้ชัดเจนจากรูปที่ 3.40 คือ ที่ระยะห่างมากกว่า อัตราการแห้งตัวของยางแผ่นจะสูงกว่า ทั้งนี้ที่ระยะห่าง 2.5 cm ยางแผ่นที่แขวนบนราวใกล้กันมาก และเนื่องจากแผ่นยางที่รีดออกมา มักมีลักษณะเป็น

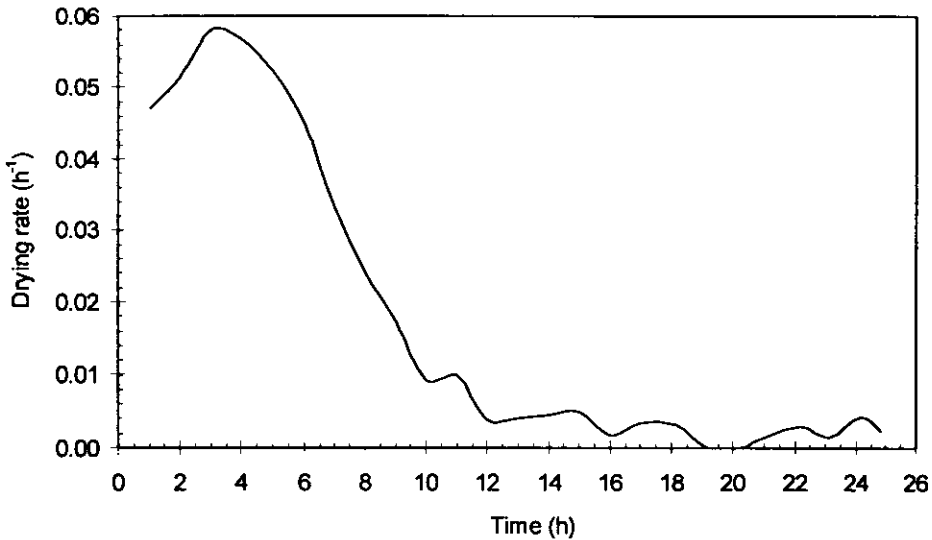
แผ่นคลื่น ไม่ตรงสม่ำเสมอ ทำให้แผ่นยางมีโอกาสสัมผัสผิวดินแผ่นใกล้เคียงและทำให้การระบายความชื้นไม่ตี แผ่นยางจึงแห้งได้ช้า



รูปที่ 3.40 กราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นในยางแผ่น ที่อบแห้งอุณหภูมิ 40°C แต่ละระยะห่างระหว่างแผ่นต่างกัน (ไม่มีการสเปรย์น้ำ)



รูปที่ 3.41 กราฟแสดงสัดส่วนความชื้นที่เหลือในยางแผ่นทดลองอบที่อุณหภูมิ 40°C ความเร็วลม 0.19 m/s ที่ระยะห่างระหว่างแผ่น 7.5 cm (ไม่มีการสเปรย์น้ำ)



รูปที่ 3.42 กราฟ drying rate ของยางแผ่นทดลองอบที่อุณหภูมิ 40°C ความเร็วลม 0.19 m/s ที่ระยะห่างระหว่างแผ่น 7.5 cm (ไม่มีการสเปรย์น้ำ)

รูปสัดส่วนความชื้นที่เหลือในยางแผ่นระหว่างการอบแห้งเมื่อทดลองอบที่อุณหภูมิ 40°C ความเร็วลม 0.19 m/s ที่ระยะห่างระหว่างแผ่น 7.5 cm (ไม่มีการสเปรย์น้ำ) แสดงดังรูปที่ 3.41 จะเห็นได้ว่าเมื่ออบแห้งถึงชั่วโมงที่ 12 ความชื้นภายในยางแผ่นค่อยๆลดลงต่ำกว่า 10% ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำกว่า saturation point ของยางแผ่นดิบ (เหลือความชื้นที่สามารถดึงออกได้จากยางแผ่นประมาณ 20%) อัตราการแห้งของยางแผ่นดิบ ดังในรูปที่ 3.42 จะต่ำและค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นหากออกแบบให้โรงตากยางแผ่นดิบสามารถรักษาเงื่อนไขสภาพแวดล้อมภายในโรงตากเป็นไปตามการอบแห้งในรูปที่ 3.41 ได้ คาดว่าจะสามารถลดความชื้นยางแผ่นดิบลงได้ถึง 20% ภายในระยะเวลา 10-12 ชั่วโมง