การผลิตน้ำส้มควันไม้จากไม้สะเดาด้วยเตาไพโรไลซิสแบบแก๊สหมุนวนปิด

PRODUCING WOOD VINEGAR FROM NEEM WOOD BY CLOSED CIRCULATION GAS PYROLYSIS KILN

ติณกร ภูวดิน* *ปรีชา ขันติโกมล ไมตรี พลสงคราม*

Tinnakorn Poowadin, Preecha Khantikomol, Maitree Polsongkram*

ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน (RTER) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
Renewable Energy Technology Research Laboratory (RTER), Department of Mechanical Engineering,
Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan.

***Corresponding author, E-mail:** poowadin@yahoo.com*

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มควันไม้ด้วยเตาไพโรไลซิสแบบแก๊สหมุนวนปิดและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้ โดยทำการทดลองกับเตาไพโรไลซิสขนาดความจุ 0.018 m^3 ซึ่งประกอบด้วย ชุดทำความร้อนไฟฟ้า ห้องไพโรไลซิส คอนเดนเซอร์ และพัดลมอัดอากาศ ใช้แก๊สที่ผลิตได้ในระบบวนกลับมาใช้เป็นของไหลที่ให้ความร้อนแก่ชีวมวลแบบปิด แก๊สส่วนเกินจะทำการบรรจุในถุงเก็บแก๊ส ใช้ชีวมวล คือ ไม้สะเดา จำนวน 2 กิโลกรัม ความชื้น 13.74% และ 0.87% ทำการศึกษาที่อุณหภูมิแก๊สเข้าเตาไพโรไลซิสที่ 300, 350 และ 400°C ใช้หลักการสลายโครงสร้างของชีวมวลด้วยวิธีการทางเคมีความร้อนซึ่งไม่ได้มีการเผาไหม้โดยตรง อัตราการป้อนแก๊สร้อนจะทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชิงปริมาตร 3 ค่า คือ 0.0112, 0.0126 และ 0.0137 m^3/s จากผลการศึกษาเชิงทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มควันไม้ด้วยเตาไพโรไลซิสแบบแก๊สหมุนวนปิดคือ อัตราการไหลของแก๊สหมุนวนที่ 0.0126 m^3/s และอุณหภูมิแก๊สเข้าเตาไพโรไลซิสที่ 400°C ให้ผลผลิตน้ำส้มควันไม้ 36.55% โดยน้ำหนัก สำหรับชีวมวลความชื้นสูง นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณน้ำส้มควันไม้จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในการไพโรไลซิสเนื่องจากอุณหภูมิเตาที่สูงขึ้นจะส่งผลต่ออัตราการสลายตัวโครงสร้างของชีวมวลได้เร็วขึ้น แต่สำหรับอัตราการไหลของแก๊สหมุนวนที่สูงกลับให้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ลดลงเนื่องจากอัตราการไหลของแก๊สหมุนวนที่สูงนั้นจะพาความร้อนไปอย่างรวดเร็วทำให้เวลาการไพโรไลซิสไม่เพียงพอ ความร้อนจะถูกใช้ประโยชน์ไม่เต็มที่สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้ พบว่ามีกรดอาซีติกเป็นสารประกอบหลักมีค่าเท่ากับ 44.46% ส่วนสารประกอบฟีนอลมีค่าเท่ากับ 0.45% และมีความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 2.976

คำสำคัญ: น้ำส้มควันไม้ เตาไพโรไลซิส แก๊สหมุนวนปิด ไม้สะเดา

Abstract

The present research article aims to study the optimal conditions for producing wood vinegar by the closed circulation gas pyrolysis kiln and chemical composition of the wood vinegar produced. The capacity of the pyrolysis kiln was 0.018 m^3. The closed gas circulation pyrolysis kiln consists of heater, pyrolysis chamber, condenser and blower. The producer gas in the system was employed as working fluid which circulated in the system. The excess gas was filled into the gas bag. Neem wood was examined as biomass. The consumption of biomass was 2 kg. with the moisture content of 13.74% and 0.87%. The gas temperature before entering the pyrolysis kiln was varied at 300, 350 and 400°C. The pyrolysis process was used to the principal structural decomposition of biomass by means of chemical heat, which does not burn directly. Gas circulation flow rate will be adjusted 3 levels at 0.0112, 0.0126 and 0.0137 m^3/s. The experimental results indicated that the optimal conditions for producing wood vinegar by the closed circulation gas pyrolysis kiln showed gas circulation flow rate at 0.0126 m^3/s and gas temperature before entering the pyrolysis kiln 400°C. The wood vinegar production for high moisture content biomass was 36.55% by weight. Furthermore found that wood vinegar quantity will increased with increasing of the gas temperature in the pyrolysis process, due to higher temperature will affect to the rate of structural decomposition of biomass. But the high flow rate of gas circulation showed decreasing of wood vinegar quantity, due to heat will be removed quickly that make the pyrolysis time was not sufficient. The heat in the system was not fully exploited. The results from the chemical analysis by Gas Chromatograph-Mass Spectrometer (GC-MS) found that acetic acid was a main compound of wood vinegar which was 44.46%, and phenol was 0.45%. The result of testing acidity - pH was 2.976.

Keywords: Wood Vinegar, Pyrolysis Kiln, Closed Circulation Gas, Neem Wood

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมและดินเสื่อมโทรมจากการใช้สารเคมีส่งผลต่อผลผลิตและสุขภาพของเกษตรกรไทย ทำให้แนวคิดในการทำเกษตรอินทรีย์กำลังเป็นที่สนใจ เนื่องจากช่วยลดการใช้สารเคมีและลดต้นทุนในการผลิต จากเดิมที่เคยใช้ปุ๋ยเคมี ก็เปลี่ยนมาใช้ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่มีราคาถูกกว่าหรือสามารถทำเองได้ ส่วนปัญหาแมลงศัตรูพืชก็สามารถป้องกันได้ด้วยการฉีดพ่นน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาถ่านแทนการฉีดพ่นด้วยสารเคมี ช่วยไล่แมลงและทำให้ต้นพืชแข็งแรง สำหรับน้ำส้มควันไม้ได้มีการใช้ประโยชน์ในทางการเกษตรมานานกว่า 200 ปี โดยเป็นภูมิปัญญาดั้งเดิมของชาวญี่ปุ่น ซึ่งใช้เป็นสารปรับปรุงดิน สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช และสารเร่งการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำส้มควันไม้ราดในดินปลูกพืชเพื่อควบคุมโรคพืชสาเหตุจากไส้เดือนฝอยและเชื้อรา [1] เนื่องจากน้ำส้มควันไม้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธรรมชาติ ปลอดภัยจากสารพิษ จึงมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคการเกษตร ลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้จะมีสีน้ำตาลแดงหรือสีเหลืองอมน้ำตาล มีกลิ่นเหมือนควันไฟ ซึ่งได้มาจากการผลิตถ่านไม้ภายใต้สภาวะอับอากาศ (Airless Condition)

โดยในกระบวนการนี้ ความร้อนจะเข้าไปสลายโครงสร้างของชีวมวล ทำให้สารประกอบต่างๆ ในชีวมวลถูกสลายเกิดเป็นสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ (Organic Acid) ควันที่เกิดจากการผลิตถ่านไม้ จะนำไปผ่านชุดควบแน่น ทำให้สารประกอบต่างๆ กลั่นตัวออกมาเป็นของเหลว น้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้จะต้องผ่านกระบวนการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ก่อน เพื่อสกัดน้ำมันดินที่ปะปนออกมากับน้ำส้มควันไม้ จึงจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไม้ต่างชนิดกันก็จะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ไม้สะเดาเป็นชีวมวลในการผลิตน้ำส้มควันไม้เนื่องจากไม้สะเดาจัดเป็นไม้โตเร็ว ปลูกง่าย ทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี ปลูกกันแพร่หลายในประเทศไทย และมีคุณสมบัติช่วยป้องกันศัตรูพืช โดยทั่วไปสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตน้ำส้มควันไม้ อุณหภูมิในเตาจะอยู่ระหว่าง 300-400°C เนื่องจากว่าถ้าผลิตน้ำส้มควันไม้ในช่วงอุณหภูมิเตาต่ำกว่า 300°C จะทำให้น้ำส้มควันไม้มีสารประกอบที่มีประโยชน์ทางการเกษตรน้อยมากไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้และถ้าผลิตน้ำส้มควันไม้ในช่วงอุณหภูมิเตาเกิน 425°C จะทำให้น้ำมันดินที่ปะปนมากับควันไม้สลายตัวเกิดเป็นสารอันตรายได้ [2-8] กระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้ในปัจจุบัน เตาที่ใช้ผลิตน้ำส้มควันไม้มีอยู่หลายแบบ เช่น เตาอิฐก่อ เตาอิวาเตะ เตาดินเหนียวก่อ และเตาที่ทำจากถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร เป็นต้น [3] ซึ่งเตาทั้งหมดที่กล่าวมาในกระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้จะเป็นเตาระบบเปิด มีข้อดีคือกระบวนการผลิตง่าย แต่มีข้อเสียคือ ใช้เวลาในการผลิตนาน มีปัญหาในการควบคุมอุณหภูมิเตา และการเผาไหม้ทุกครั้งจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นจำนวนมาก ส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อม ดังนั้นบทความวิจัยนี้ จึงมุ่งพัฒนากระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้ให้เป็นแบบระบบปิด ใช้แก๊สที่ผลิตได้ในระบบวนกลับมาใช้เป็นของไหลที่ให้ความร้อนแก่ชีวมวลด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ทำการศึกษาที่อุณหภูมิแก๊สเข้าเตาไพโรไลซิสที่ 300, 350 และ 400°C อัตราการไหลของแก๊สร้อนในระบบ 3 ค่า คือ 0.0112, 0.0126 และ 0.0137 m^3/s โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มควันไม้และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มควันไม้จากไม้สะเดาด้วยเตาไพโรไลซิสแบบแก๊สหมุนวนปิด โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการผลิตน้ำส้มควันไม้ ได้แก่ อุณหภูมิแก๊สเข้าเตาไพโรไลซิส ค่าความชื้นของชีวมวล และอัตราการไหลของแก๊สร้อนในระบบ

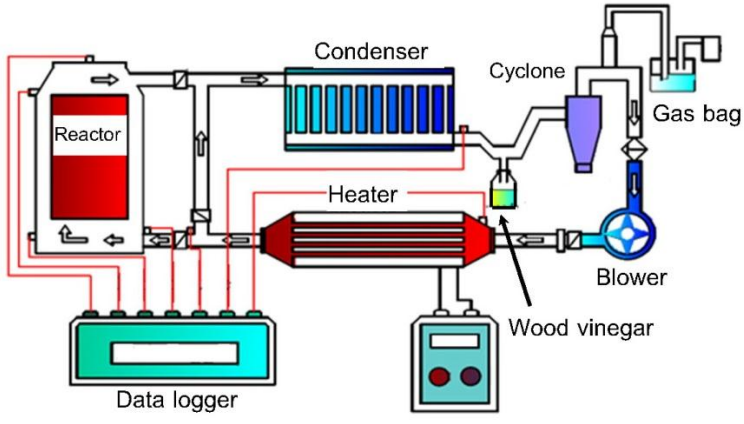
2. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้จากไม้สะเดา

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มควันไม้ด้วยเตาไพโรไลซิสแบบแก๊สหมุนวนปิด โดยใช้ไม้สะเดาที่มีความชื้นต่างกัน 2 ค่า สับเป็นชิ้นๆ ความยาว 7-10 เซนติเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 3 เซนติเมตร เป็นชีวมวลในการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 1

ภาพที่ 1 ชีวมวลไม้สะเดาที่ใช้ในการทดลอง

กระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้ด้วยเตาไพโรไลซิส แบบแก๊สหมุนวนปิดเป็นการพัฒนากระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้จากแบบเตาไพโรไลซิสรุ่นแรกที่ทีมผู้วิจัยได้สร้างขึ้น [9] โดยมีหลักการทำงาน เริ่มจากการใส่ชีวมวล 2 kg ลงในเตาไพโรไลซิส ให้ความร้อนแก่อากาศด้วยชุดทำความร้อนไฟฟ้าแบบควบคุมอุณหภูมิได้ และสร้างอัตราการไหลให้แก่อากาศในระบบด้วยพัดลมอัดอากาศ ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนส่งผลให้อากาศในระบบมีอุณหภูมิสูงขึ้นและหมุนวนในระบบ เมื่ออากาศร้อนไหลเข้าไปในเตาไพโรไลซิส ความชื้น และแก๊สจะถูกกลั่นสลายออกมา และไปควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ ของเหลวที่ได้คือ น้ำส้มควันไม้ ส่วนแก๊สที่เหลือจากการควบแน่น จะไหลผ่านไซโคลน ซึ่งทำหน้าที่ดักฝุ่นละอองในระบบ ผ่านฟิลเตอร์กรองอากาศ (Air Filter) ซึ่งจะเป็นตัวช่วยกรองและดักน้ำมันดินแล้วไหลหมุนเวียนในระบบ ส่วนแก๊สส่วนเกินจะถูกดันออกทาง Check Valve ไปเก็บไว้ที่ถุงเก็บแก๊ส (Gas Bag) สำหรับแผนผังอุปกรณ์การทดลองแสดงในภาพที่ 2



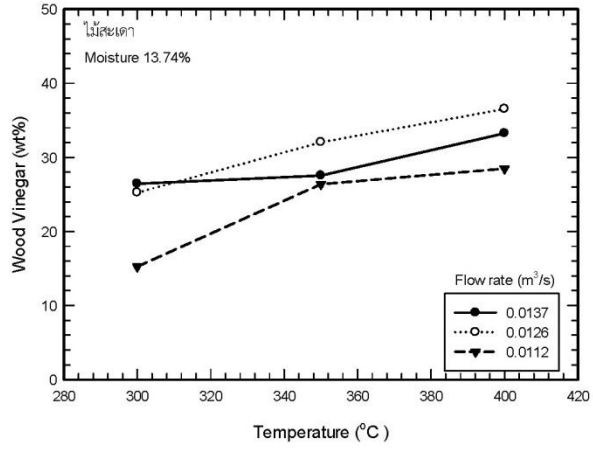
ภาพที่ 2 แผนผังเตาไพโรไลซิสแบบแก๊สหมุนวนปิด

ในการทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มควันไม้ด้วยเตาไพโรไลซิสแบบแก๊สหมุนวนปิด จะทำการทดลองตามเงื่อนไขต่อไปนี้คือใช้ไม้สะเดา ที่ความชื้นต่างกัน 2 ค่าเป็นชีวมวลในการทดลอง คือ 13.74% มาตรฐานเปียก (โดยการตากไม้สะเดาไว้เป็นเป็นระยะเวลา 10 วัน) และ 0.87% มาตรฐานเปียก (โดยการอบแห้งชีวมวล) อุณหภูมิแก๊สเข้าเตาไพโรไลซิสที่ 300, 350 และ 400°C อัตราการไหลของแก๊สหมุนวนในระบบ 3 ค่า คือ 0.0112, 0.0126 และ 0.0137 m^3/s ตามลำดับ ระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไขการทดลองคือ 100 นาที ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งทุกเงื่อนไข ในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง คือ การนำน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการทดลองที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ มาทำการวัดปริมาณ และนำผลปริมาณที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ว่าตัวแปรใด (ความชื้น อุณหภูมิ และอัตราการไหลของแก๊สหมุนวน) ส่งผลต่อปริมาณน้ำส้มควันไม้ดีที่สุด หลังจากนั้นนำน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี–แมสสเปคโทรมิเตอร์ (Gas Chromatograph–Mass Spectrometer, GC-MS) และวัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้มควันไม้

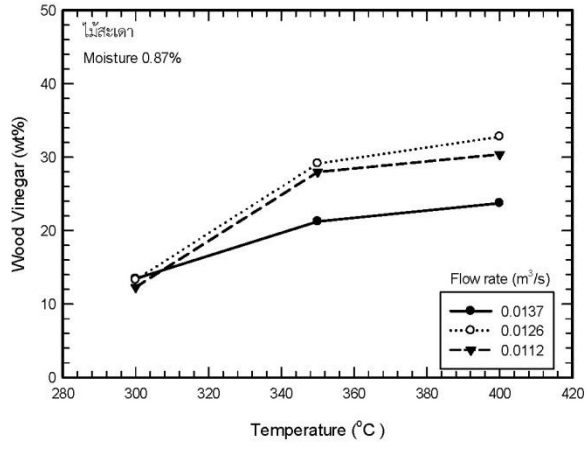
ผลการวิจัย

ภาพที่ 3 แสดงภาพน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้จากเตาไพโรไลซิสแบบแก๊สหมุนวนปิดที่ใช้ไม้สะเดาเป็นชีวมวลมีลักษณะทางกายภาพเป็นสีน้ำตาลและมีกลิ่นไหม้ ส่วนภาพที่ 4 และ 5 แสดงผลของอุณหภูมิของแก๊สหมุนวนในกระบวนการไพโรไลซิสและอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่มีผลต่อปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการทดลองของไม้สะเดาที่ความชื้น 13.74% และ 0.87% ตามลำดับ จากกราฟแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำส้มควันไม้จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของแก๊สร้อนที่สูงขึ้น เห็นได้ชัดว่าอุณหภูมิของแก๊สหมุนวนก่อนเข้าเตาไพโรไลซิส 350 และ 400°C ในทุกความชื้นของชีวมวล จะได้ผลผลิตน้ำส้มควันไม้มากกว่าอุณหภูมิก่อนเข้าเตาไพโรไลซิสที่ 300°C เนื่องจากว่าอุณหภูมิก่อนเข้าเตาที่ 300°C ไม่สูงพอที่จะสลายโครงสร้างของชีวมวลเป็นเพียงการไล่ความชื้นและความชื้นที่ออกมาในรูปแบบของไอน้ำ เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิของแก๊สหมุนวนที่ 350 และ 400°C อุณหภูมิสูงพอที่จะไปสลายโครงสร้างของชีวมวล ทำให้เกิดการคายแก๊สต่างๆ ออกมาอย่างรวดเร็ว และเกิดการไพโรไลซิสที่เตา Reactor ส่วนแก๊สที่เกิดขึ้นนั้นเมื่อผ่านการควบแน่นกลายเป็นน้ำส้มควันไม้ ทำให้ได้ผลผลิตน้ำส้มควันไม้มากขึ้น และปริมาณน้ำส้มควันไม้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของแก๊สหมุนวนก่อนเข้าเตาไพโรไลซิส

ภาพที่ 3 น้ำส้มควันไม้สะเดาที่ได้จากการทดลอง



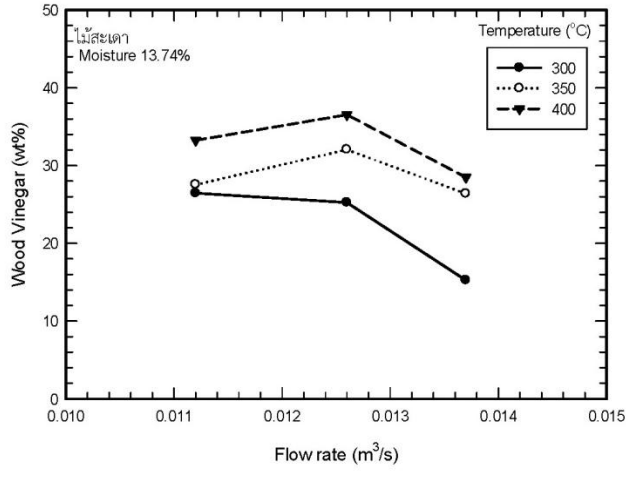
ภาพที่ 4 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ความชื้นของไม้สะเดา 13.74%



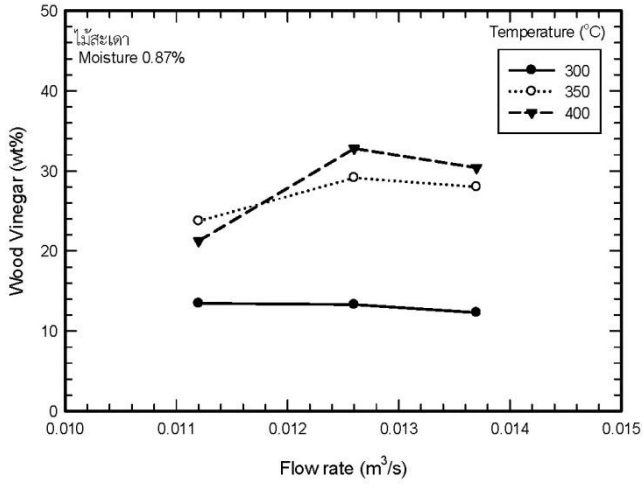
ภาพที่ 5 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ความชื้นของไม้สะเดา 0.87%

สำหรับอิทธิพลของอัตราการไหลของแก๊สหมุนวนส่งผลต่อปริมาณการเกิดน้ำส้มควันไม้ที่แตกต่างกันตามอุณหภูมิก่อนเข้าเตา จากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าอัตราการไหลของแก๊สหมุนวนที่เหมาะสมที่มีผลต่อปริมาณน้ำส้มควันไม้ในช่วงอุณหภูมิก่อนเข้าเตาไพโรไลซิสที่ 300°C คือ 0.0137 m^3/s ซึ่งเป็นค่าอัตราการไหลที่สูงสุดในการศึกษา แต่พบว่าในช่วงอุณหภูมิของแก๊สหมุนวนก่อนเข้าเตา 350 และ 400°C จะเห็นได้ว่าค่าอัตราการไหลของแก๊สหมุนวนที่สูงจะส่งผลให้ปริมาณน้ำส้มควันไม้มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากอัตราการไหลของแก๊สหมุนวนที่สูงนั้นจะพาความร้อนไปอย่างรวดเร็วทำให้เวลาการไพโรไลซิสไม่เพียงพอ ความร้อนจะถูกใช้ประโยชน์ไม่เต็มที่ และเมื่ออัตราการไหลของแก๊สหมุนวนต่ำเกินไปการพาปริมาณความร้อนเข้าไปน้อยทำให้ความร้อนต่ำลงจึงทำให้การไพโรไลซิสช้าเช่นกัน ดังนั้นอัตราการไหลของแก๊สหมุนวนปิด ในอุณหภูมิก่อนเข้าเตาไพโรไลซิส 350 และ 400°C คืออัตราการไหลที่ 0.0126 m^3/s เป็นค่าที่เหมาะสม

ทำให้ความร้อนเพียงพอนำไปใช้ประโยชน์เต็มประสิทธิภาพ ดังแสดงในกราฟความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของแก๊สหมุนวนในกระบวนการไพโรไลซิสต่อปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการทดลอง ในภาพที่ 6 และ 7



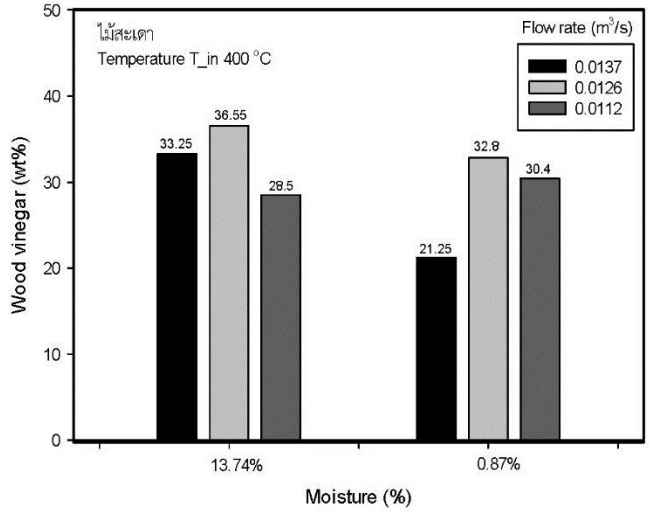
ภาพที่ 6 ผลของอัตราการไหลต่อปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ความชื้นของไม้สะเดา 13.74%



ภาพที่ 7 ผลของอัตราการไหล ต่อปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ความชื้นของไม้สะเดา 0.87%

ผลของความชื้นของชีวมวลต่อปริมาณผลผลิตน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการทดลองพบว่า ชีวมวลที่มีความชื้นมากจะได้ปริมาณน้ำส้มควันไม้มากกว่าชีวมวลที่มีความชื้นน้อย เนื่องจากว่าชีวมวลที่มีความชื้นจำนวนมากเมื่อถูกความร้อนทำให้การสลายตัวของโครงสร้างชีวมวลในกระบวนการไพโรไลซิสส่งผลให้ชีวมวลคายความชื้นและแก๊สออกมามากกว่า เมื่อความชื้นและควันนั้นไปควบแน่นกับคอนเดนเซอร์จึงกลายเป็นน้ำส้มควันไม้ด้วยปริมาณที่มาก

เมื่อเทียบกับชีวมวลที่มีความชื้นน้อยกว่า จากการวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของความชื้นของไม้สะเดาต่อปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้ จากผลการทดลองที่อุณหภูมิของแก๊สหมุนวนก่อนเข้าเตาไพโรไลซิสที่ 400°C ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ให้ปริมาณน้ำส้มควันไม้สูงที่สุด กับไม้สะเดาที่ความชื้น 13.74% พบว่าได้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ 36.55% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณมากกว่าผลการทดลองที่สภาวะเดียวกัน กับไม้สะเดาที่ความชื้น 0.87% พบว่าได้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ 32.8% โดยน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ผลของความชื้นของไม้สะเดาต่อปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้

จากผลการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มควันไม้จากไม้สะเดา ด้วยเตาไพโรไลซิสแบบแก๊สหมุนวนปิด ดังแสดงในภาพที่ 4-8 สามารถสรุปได้ว่า อัตราการไหลของแก๊สหมุนวนในระบบที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 0.0126 m^3/s และอุณหภูมิแก๊สเข้าเตาไพโรไลซิสที่ 400°C ค่าความชื้นของไม้สะเดา 13.74% ให้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ 36.55% โดยน้ำหนัก

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำส้มควันไม้ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปคโทรมิเตอร์ (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, GC-MS) ของไม้สะเดาความชื้น 13.74% เปรียบเทียบกับไม้สะเดาความชื้น 0.87% พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้แตกต่างกันน้อยมากโดยมีสารประกอบหลักคือ

1) Acetic acid
2) 1-Hydroxy-2-propanone
3) 1,3-Dimethyl Pyrogallate
4) Furfural
5) 2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one
6) Phenol

กรดอาซีติก (Acetic Acid) ซึ่งเป็นสารประกอบหลักและมีปริมาณมากที่สุดในน้ำส้มควันไม้ สำหรับไม้สะเดาความชื้น 13.74% พบว่ามีค่าสูงถึง 44.46% ส่วนไม้สะเดาความชื้น 0.87% มีค่า 43.49% ซึ่งไม่แตกต่างกันมากนัก สำหรับสารประกอบฟีนอล มีค่าเท่ากับ 0.45% และ 0.39% สำหรับไม้สะเดาความชื้น 13.74% และ 0.87% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

และผลการทดสอบความเป็นกรด-ด่างตามมาตรฐานของน้ำส้มควันไม้ [10] สำหรับไม้สะเดาความชื้น 13.74% และ 0.87% พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและมีค่าใกล้เคียงกันคือ 2.976 และ 2.978 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 แสดงสารประกอบในน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการทดลองของไม้สะเดาความชื้น 13.74% และ 0.87%

สารประกอบในน้ำส้มควันไม้ (%)	ความชื้นชีวมวล	
	13.74%	0.87%
1. Acetic acid	44.46	43.49
2. 1-Hydroxy-2-propanone	6.83	6.19
3. 1,3-Dimethyl Pyrogallate	3.28	4.04
4. Furfural	2.68	2.24
5. 2-Hydroxy-3-methyl-2-cyclopenten-1-one	2.46	2.08
6. Phenol	0.45	0.39

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มควันไม้จากไม้สะเดาด้วยเตาไพโรไลซิสแบบแก๊สหมุนวนปิด สามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

1. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มควันไม้ด้วยเตาไพโรไลซิสแบบแก๊สหมุนวนปิด คือ การไพโรไลซิสที่อุณหภูมิของแก๊สหมุนวนก่อนเข้าเตา 400°C ที่อัตราการไหลของแก๊สหมุนวนที่ 0.0126 m^3/s และใช้ไม้สะเดาที่ความชื้น 13.74%

2. อุณหภูมิแก๊สก่อนเข้าเตาไพโรไลซิสมีผลต่อปริมาณน้ำส้มควันไม้ซึ่งให้ค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของแก๊สหมุนวน สำหรับการศึกษานี้อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 400°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงที่สุด สำหรับทุกค่าความชื้น และทุกค่าอัตราการไหลของแก๊สหมุนวน

3. ความชื้นของชีวมวลที่ให้ผลผลิตน้ำส้มควันไม้สูงสุดคือ 13.74% มาตรฐานเปียก สำหรับการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่าชีวมวลความชื้นสูงจะให้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่มากกว่าชีวมวลความชื้นต่ำ

4. อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สหมุนวนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำส้มควันไม้ในเตาไพโรไลซิสแบบแก๊สหมุนวนปิดคือ 0.0126 m^3/s ซึ่งเป็นค่ากลางของเงื่อนไขในการศึกษานี้โดยให้ผลผลิตน้ำส้มควันไม้มากที่สุด

5. ปริมาณที่บ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำส้มควันไม้คือ กรดอาซีติกและฟินอล ซึ่งสรุปได้ว่าปริมาณกรดอาซีติกสำหรับไม้สะเดาที่เงื่อนไขที่เหมาะสมคืออุณหภูมิสูง 400°C ที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรที่เหมาะสมที่ 0.0126 m^3/s เมื่อพิจารณาปริมาณฟินอล พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมความร่วมมือระหว่างประเทศ กระทรวงการต่างประเทศที่สนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] วิทยา อภัย; และ สมปอง ดีแท้. (2546). น้ำส้มควันไม้ (Wood Vinegar) สารอินทรีย์ใหม่เพื่อการเกษตรไทย. ใน *รายงานการประชุมวิชาการกองวัตถุมีพิษครั้งที่ 4 กรมวิชาการเกษตร.* หน้า 166-169.

[2] จิระพงษ์ คูหากาญจน์. (2553). *คู่มือการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้.* กรุงเทพฯ: เกษตรกรรมธรรมชาติ

[3] นิคม แหลมสัก. (2551). การพัฒนาการผลิตและการใช้ประโยชน์น้ำส้มควันไม้. ใน *เอกสารการฝึกอบรมองค์การบริหารส่วนตำบลห้วยแร้ง.* จังหวัดตราด.

[4] นำชัย ทนุผล. (2546). น้ำส้มควันไม้ อีกหนึ่งทางเลือกของการเกษตรยั่งยืน. *วารสารแม่โจ้ปริทัศน์.* 4(6): 28-31.

[5] ดุรณี โชติษฐยางกูร; และคณะ. (2550). *งานวิจัยการใช้ประโยชน์จากน้ำส้มควันไม้ ในทางการเกษตร.* ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอมแก่น.

[6] นิติกร วงค์จันทร์แก้ว. (2556). *การผลิตน้ำส้มควันไม้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นของเศษกิ่งไม้แห้ง.* วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมพลังงาน). เชียงใหม่: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[7] นงลักษณ์ พยัคฆศิรินาวิน. (2552). น้ำส้มควันไม้. *วารสารการเกษตรราชภัฏ.* 8(2): 66-75.

[8] นงลักษณ์ พยัคฆศิรินาวิน. (2554). น้ำส้มควันไม้ (ตอนที่ 2). *วารสารการเกษตรราชภัฏ.* 10(2): 54-63.

[9] ศรีสวรรค์ ทองดี; และคณะ (2559).การศึกษาการผลิตน้ำส้มควันไม้ด้วยเตาไพโรไลซิสที่ใช้แก๊สหมุนวนปิด. ใน *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30.* จังหวัดสงขลา. หน้า 1246-1250.

[10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2553). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน.* น้ำส้มควันไม้. มผช. 659/2553.