

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการจัดการสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเสื่อมสภาพด้วยการไพโรไลซิส

Environmental Impact of Non-used Fiber Optic Cable Management through Pyrolysis

นพดล พริงสกุล¹ ปรางค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ^{1*} และรัฐศักดิ์ พรหมมาศ^{2*}
Noppadon Pringsakul¹ Prangthip Ritthichot Kaewpengkorn^{1*} and Ratthasak Phrommath^{2*}

¹วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170

¹Rattanakosin College of Sustainable Energy and Environment, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170

²Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170

*Corresponding author: Email address: prangtip.kae@rmutr.ac.th, ratthasak.pro@rmutr.ac.th

Received: 14 September 2022, Revised: 25 September 2023, Accepted: 17 November 2023, Published online: 30 December 2023

Abstract

This research aims to study the environmental impacts of discarded fiber optic cables as fuel for the pyrolysis process. The research also investigates the influence of temperature on the yield of liquid fuel and gaseous emissions during the conversion of fiber optic cables. The experimental pyrolysis was conducted at temperatures of 300 °C, 350 °C, 400 °C, and 450 °C. A specific type of fiber optic cable, ADSS 24C, measuring 15 centimeters in length and weighing 5 kilograms, was subjected to a 4-hour pyrolysis process. The results indicated that the temperature of 450 °C generated the highest volume of product gas, while the 350 °C temperature yielded the lowest amounts of CO, NO_x, and NO₂ gases. Additionally, the 300 °C temperature resulted in the least production of CO₂ and SO₂ gases. Among the temperatures studied, the 350°C temperature showed the least environmental impact and produced the highest proportion of liquid fuel, accounting for 43.20%. These findings suggest the viability of designing an industrial-scale system to convert waste fiber optic cables into fuel through pyrolysis. This process holds the potential to reduce pyrolysis reactor costs and mitigate emissions from discarded fiber optic cables in the future.

Keywords: Fiber Optic Cable, Pyrolysis, Pyrolysis Oil, Renewable Energy

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ไม่ใช้งานเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิส โดยศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่ได้และแก๊สมลพิษจากการแปรสภาพของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสคือ 300°C , 350°C , 400°C และ 450°C ใช้สายเคเบิลใยแก้วนำแสง ชนิด ADSS 24C ความยาว 15 เซนติเมตร น้ำหนัก 5 กิโลกรัม บ้อนเข้ากระบวนการไพโรไลซิส ใช้เวลาทดลอง 4 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 450°C ให้ปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์สูงที่สุด ในขณะที่อุณหภูมิ 350°C ให้ปริมาณก๊าซ CO NO_x และ NO₂ ต่ำที่สุด และที่อุณหภูมิ 300°C ให้ปริมาณก๊าซ CO₂IR และ SO₂ ต่ำที่สุด จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าอุณหภูมิ 350°C มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และผลิตน้ำมันปริมาณสูงสุดถึงร้อยละ 43.20 ผลการวิจัยพบว่าสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปออกแบบระบบการนำสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ไม่ใช้งานเป็นเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิสในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการสร้างเครื่องผลิตเชื้อเพลิงมลพิษต่ำด้วยกระบวนการไพโรไลซิสจากสายเคเบิลใยแก้วนำแสงต่อไปในอนาคตได้

คำสำคัญ: สายเคเบิลใยแก้วนำแสง ไพโรไลซิส น้ำมันไพโรไลซิส พลังงานทดแทน

บทนำ

ปัจจุบันผู้ประกอบการโทรคมนาคมมีการขยายโครงข่ายโทรคมนาคมเพิ่มมากขึ้น เพื่อรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ดังนั้นการเชื่อมต่อโครงข่ายให้ ไปถึงผู้ใช้บริการได้รวดเร็วและใช้งานได้ จึงเป็นหลักสำคัญในการให้บริการของผู้ประกอบการโทรคมนาคม ทำให้มีสายเคเบิลใยแก้วนำแสง (Optical Fiber Cable) จำนวนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากนโยบายของรัฐบาลที่ให้มีการดำเนินงานโครงการปรับเปลี่ยนระบบสายไฟฟ้าอากาศเป็นสายไฟฟ้าใต้ดินของ供电公司 และการไฟฟ้านครหลวง ทำให้สายเคเบิลใยแก้วนำแสงจำนวนมากที่ต้องรื้อลงจากเสาไฟฟ้า และไม่อาจใช้งานต่อได้ อีกทั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่เสื่อมสภาพจากการใช้งานเป็นเวลานาน ทำให้มีสายเคเบิลใยแก้วนำแสงจำนวนมากที่ต้องกำจัด

การกำจัดสายเคเบิลใยแก้วนำแสง มี 2 วิธี คือ การฝังกลบ ซึ่งต้องพื้นที่ในการฝังกลบมาก และการเผา [1-2] ซึ่งทำให้เกิดมลพิษมากและไม่สามารถเพิ่มมูลค่าจากการกำจัดได้ ส่วนการนำกลับมาใช้ใหม่ยังไม่สามารถทำได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมา R.Miandad และคณะได้วิจัยผลกระทบของขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส จากการนำพลาสติก ชนิด โพลีสไตรีน (PS) โพลีเอทิลีน (PE) และโพลีโพรพิลีน (PP) ทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของน้ำมันที่ได้ ที่อุณหภูมิ ที่ 450°C ซึ่งผลปรากฏว่ามีความคล้ายน้ำมันดีเซล มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน [3] โดยไม่ได้กล่าวถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม งานวิจัยของ Brajendra และคณะ [4] ศึกษาคุณสมบัติและการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกจากกระบวนการไพโรไลซิสของพลาสติก ชนิด โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ซึ่งผลปรากฏว่าเหมาะสมเป็นเชื้อเพลิงทางเลือก งานวิจัย Al-Salem (2019) ได้ศึกษากระบวนการไพโรไลซิส โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) จากขยะพลาสติก สำหรับการผลิตน้ำมันเบนซิน สามารถให้น้ำมันเหลวสูงที่อุณหภูมิ 450°C [5]

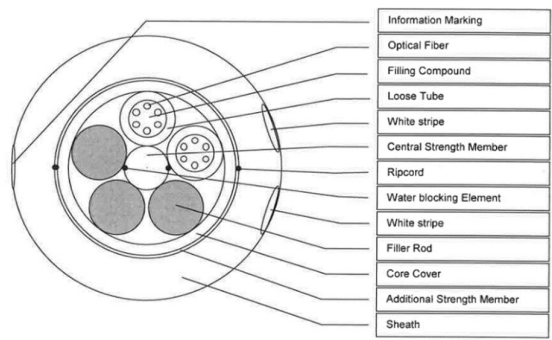
กระบวนการไพโรไลซิส คือ กระบวนการทางเคมีความร้อนที่เปลี่ยนรูปของชีวมวล พลาสติก รวมถึงยางที่ใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าทางความร้อนสูงขึ้น ได้แก่ ถ่าน (Charcoal) น้ำมัน (Bio-oil) และ ก๊าซไม่กลั่นตัว (Non-condensable gas) โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ ปานกลาง 300-800 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน [6-7] โดยสัดส่วนของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการไพโรไลซิสขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ สภาวะในการทำปฏิกิริยา ลักษณะของวัตถุดิบ ที่ใช้เป็นสารตั้งต้น ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ เป็นต้น น้ำมันจากกระบวนการไพโรไลซิสมีคุณสมบัติที่สำคัญ มีความหนาแน่น 1.2 กิโลกรัมต่อลิตร มีความหนืดสูง มีความเป็นกรดทำให้มีคุณสมบัติกัดกร่อน อุณหภูมิจุดติดสูง มีค่าความร้อน 15-18 เมกะจูลต่อกิโลกรัม มีคุณสมบัติไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมันจากปิโตรเลียม นอกจากนี้หากเติมน้ำลงไปน้ำมันจะแยกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่ละลายน้ำ (Aqueous Phase) และส่วนที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายในสารอินทรีย์ (Organic Phase) น้ำมันสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ได้แก่ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อต้มไอน้ำ (Boiler) หรือกังหันก๊าซ (Gas Turbine) สำหรับเผาไหม้เพื่อผลิตความร้อนและไฟฟ้า นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็น เชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์อย่างใดก็ได้ การใช้น้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสโดยตรง โดยไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ จะทำให้เกิดปัญหาหลายประการ เช่น ปัญหาการกัดกร่อนเนื่องจากคุณสมบัติด้านความเป็น กรด การจุดติดยากเนื่องจากปริมาณน้ำที่มีมากเกินไป

นอกจากนี้ยังมีถ่าน จากกระบวนการไพโรไลซิสมักถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการเผาไหม้สำหรับผลิตความร้อน ถ่านที่ผลิตได้จากกระบวนการไพโรไลซิส จะถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องปฏิกรณ์ภายในกระบวนการ โดยค่าความร้อนของถ่านมีค่า 15-30 เมกะจูลต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ถ่านยังมีคุณสมบัติที่ดีเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน ดังนั้นจึงมีความพยายามในการพัฒนาถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อใช้เป็นสารปรับปรุงดินสำหรับเกษตรกร ในขณะที่ก๊าซส่วนใหญ่จากกระบวนการไพโรไลซิส ประกอบด้วย CH_4 CO_2 CO และ H_2 โดยทั่วไปจะนำกลับมาเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนภายในกระบวนการ หรือส่งไปยังกระบวนการอื่นเพื่อผลิตความร้อนและไฟฟ้า

จากงานวิจัยต่างๆที่กล่าวถึง การนำโพลีเอทิลีน (PE) และโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) มาผ่านกระบวนการไพโรไลซิส สามารถได้เชื้อเพลิงทางเลือกได้ [8-9] โดยไม่ได้กล่าวถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม และที่ผ่านมายังไม่มีงานวิจัยที่นำสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ไม่ใช้งานมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ไม่ใช้งาน ที่นำไปทำเป็นเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิส เพื่อให้สามารถนำผลกระทบต่างๆที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม ไปออกแบบระบบการนำสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ไม่ใช้งาน ไปทำเป็นเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิสต่อไป

วิธีการวิจัย

การศึกษานี้ใช้สายเคเบิลใยแก้วนำแสงในการทดสอบ เป็นประเภทแขวนในอากาศ (Aerial Cable) ชนิด ADSS OFC (All Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) จัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลเส้นหลัก การออกแบบโครงสร้างสาย ADSS OFC ด้านความแข็งแรงจะประกอบด้วย ส่วนชั้นใน (Inner Jacket) ช่วยรับความทนทานต่อแรงดึง ส่วนชั้นนอก เป็นวัสดุ PE ช่วยเพิ่มความแข็งแรงขึ้น ส่วนชั้นนอกสุดเป็นวัสดุ HDPE ซึ่งคุณสมบัติคือ มีความเหนียว ยืดหยุ่น ความต้านทานแรงต่างๆ ได้ดี ทนทานต่อแตกหรือการหักงอได้ดี ป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้สูงมาก ดังภาพที่ 1 และส่วนประกอบของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิด ADSS OFC 24C แสดงดังตารางที่ 1

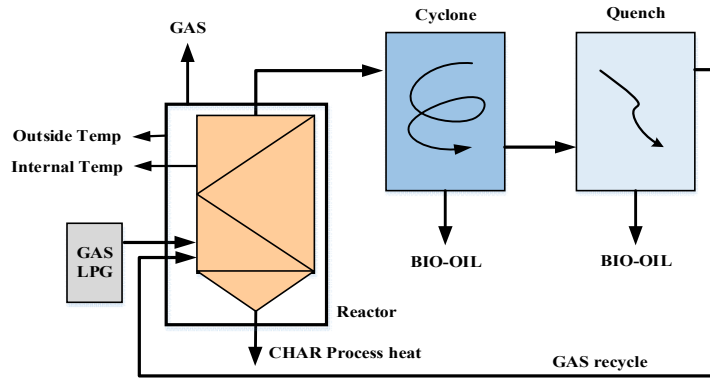


ภาพที่ 1 โครงสร้างสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิด ADSS OFC [10]

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิด ADSS OFC 24C [10]

ส่วนประกอบของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิด ADSS OFC 24C	น้ำหนัก (%)
Germania glass (GeO_2) and Silica (SiO_2)	2.83
High Density Polyethylene (HDPE)	81.53
Polybutylene Terephthalate (PBT)	6..82
Fiberglass Reinforced Plastic (FRP)	8.82

กระบวนการไพโรไลซิส ประกอบด้วย เชื้อเพลิง เต่าเผา ระบบตรวจวัดอุณหภูมิ ชุดไซโคลน และชุดหล่อเย็นด้วยน้ำดังภาพที่ 2 โดยมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อระบบทำการจุดไฟป้อนให้กับเต่าเผาที่มีสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิด ADSS บรรจุอยู่ในเต่า อุณหภูมิของเต่าจะเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิควบคุม ความร้อนภายในเต่าจะทำการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นไอ ผ่านชุดไซโคลนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาควบแน่นกลายเป็นน้ำมันตกลงด้านล่าง ส่วนไอที่เหลือจะผ่านชุดหล่อเย็นด้วยน้ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยากลายเป็นน้ำมันตกลงที่รองรับด้านล่างอีกเช่นกัน

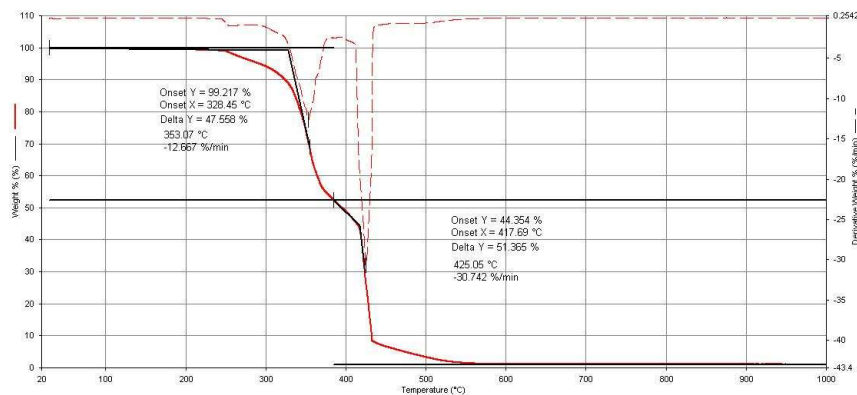


ภาพที่ 2 แผนผังกระบวนการไพโรไลซิส

ไอแก๊สที่เหลือจากชุดหล่อเย็นด้วยน้ำจะถูกป้อนกลับเต่าเผา เพื่อให้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับแก๊ส LPG ต่อไป งานวิจัยนี้ทดสอบโดยนำสายเคเบิลใยแก้วนำแสง ชนิด ADSS 24C ตัดให้ได้ความยาว 15 ซม. น้ำหนัก 5 กิโลกรัม ใส่ในเต่าปฏิกรณ์จุดไฟให้แกเต่าเผา โดยควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ $300 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นระยะเวลา 240 นาที ก๊าซที่ไหลออกมาจากปล่องควันด้วยเครื่องวิเคราะห์ รุ่น Testo 350 และบันทึกทุกๆ 15 นาที บันทึกอุณหภูมิภายในเต่าจากเครื่องวัดอุณหภูมิทุกๆ 30 นาที จนครบเวลาที่กำหนด และดำเนินการเช่นเดียวกันที่อุณหภูมิต่างๆ โดยควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ $350 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $450 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ หลังจากทดสอบแต่ละอุณหภูมิเสร็จ ปล่อยให้อุณหภูมิของเต่าเผาปกติ แล้วนำน้ำมัน และถ่านที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสมาชั่งน้ำหนักเพื่อศึกษาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในการทดสอบ TGA อุณหภูมิเริ่มสลายตัวที่ $250 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ $353 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เท่ากับ $-12.667\% / \text{นาที}$ และที่ $425 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ค่าจะลดลงเป็น $-30.742\% / \text{นาที}$ แสดงดังภาพที่ 3

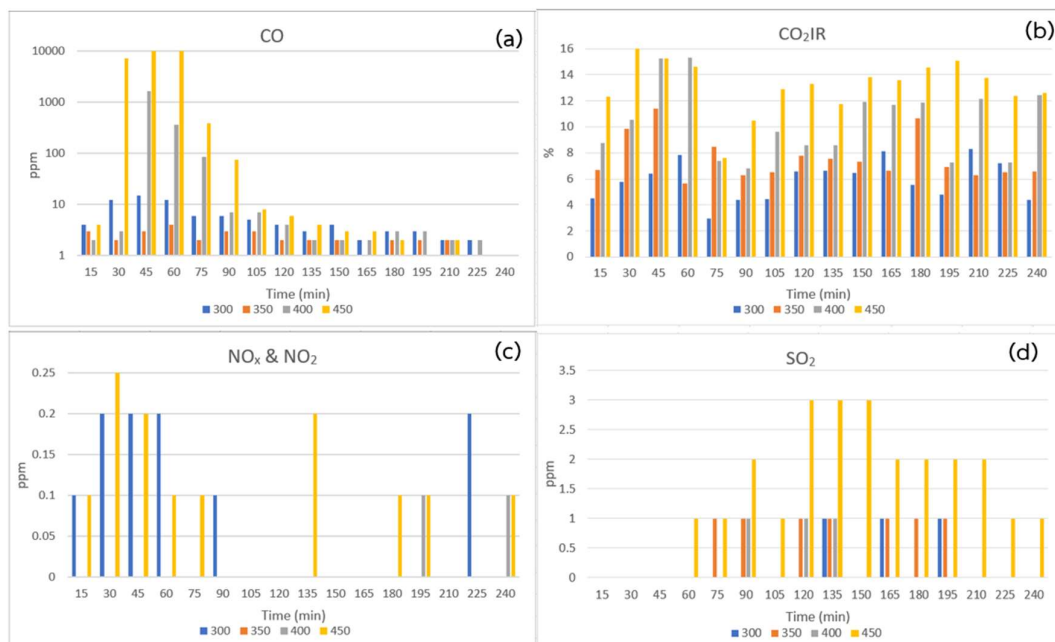


ภาพที่ 3 กราฟ TGA ของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิด ADSS OFC 24C

จากการทดลองไพโรไลซิสมีการวัดอุณหภูมิด้วยระบบตรวจวัดอุณหภูมิอัตโนมัติที่ติดตั้งภายในตัวเตาเผา เพื่อควบคุมให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการตั้งแต่ 300 °C , 350 °C , 400 °C และ 450 °C ปริมาณน้ำมันและถ่านที่ได้ ดังตารางที่ 2 และสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ควบคุมกับปริมาณก๊าซต่างๆได้ดังภาพที่ 4

ตารางที่ 2 แสดงผลที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนักน้ำมันจากกระบวนการไพโรไลซิส (g)	น้ำหนักถ่านชาร์โคล (g)
300	2114.82	595.12
350	2163.27	550.17
400	1732.03	815.47
450	1087.73	739.74



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณก๊าซ (a) CO (b) CO₂ (c) NO_x & NO₂ (d) SO₂

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบไพโรไลซิส ปริมาณน้ำมันอยู่ในช่วง 971.36 – 2,163.27 กรัม และปริมาณถ่านชาร์โคลอยู่ในช่วง 550.17 – 815.47 กรัม ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุดและปริมาณถ่านชาร์โคลลงเหลือน้อยที่สุด อยู่ที่อุณหภูมิ 350 °C จากภาพที่ 4 จะเห็นว่า ก๊าซ CO มีปริมาณสูงในช่วง 90 นาทีแรก และค่อยๆลดลงจนมีปริมาณต่ำกว่า 10 ppm เมื่อพิจารณาก๊าซ CO₂ พบว่ามีความเข้มข้นต่ำกว่า 20 ppm โดยมีปริมาณสูงที่อุณหภูมิ 450 °C เนื่องจากการไพโรไลซิสเป็นการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์จึงเกิดก๊าซ CO สูง และการทดสอบไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้วัสดุพอลิเมอร์สลายตัวได้ดี ผลิตภัณฑ์ปริมาณจึงมากขึ้นและเกิดปฏิกิริยาแตกตัวเป็นแก๊สได้มากขึ้น [11] จากภาพที่ 4 (c-d) พบว่ามีปริมาณ NO_x และ SO₂ ต่ำ เนื่องจากก๊าซทั้งสองชนิดจะเกิดจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงในสภาวะที่มีออกซิเจน ซึ่งนับว่าเป็นข้อดีของการไพโรไลซิสอีกอย่างหนึ่ง ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 วิเคราะห์ก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไพโรไลซิส เทียบกับมาตรฐานคุณภาพอากาศ

สารมลพิษ	ปริมาณก๊าซเฉลี่ย ณ อุณหภูมิต่างๆ			
	300°C	350°C	400°C	450°C
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) (≤ 30 ppm.)*	5.25	2.18	134.81	2956.43
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂ R) ($\leq 1,000$ ppm หรือ $\leq 0.1\%$)*	5.91	7.57	10.33	13.15
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂) (≤ 0.3 ppm.)*	0.18	0.43	0.25	1.50
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂) (≤ 0.17 ppm.)*	0.06	0	0.01	0.08

*แหล่งที่มา: ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องกำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน กรณีการใช้น้ำมันใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการปรับคุณภาพและเชื้อเพลิงสังเคราะห์ เป็นเชื้อเพลิงในเตาอุตสาหกรรม พ.ศ.๒๕๔๘ เล่ม ๑๒๒ ตอนพิเศษ ๕๒ ง ๑๔ กรกฎาคม ๒๕๔๘

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 350 °C สามารถผลิตน้ำมันปริมาณสูงที่สุดถึง 2.16 กิโลกรัม คิดเป็น 43.20% เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณก๊าซเพิ่มสูงขึ้น สัดส่วนก๊าซ CO ต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 350 °C มีค่าเท่ากับ 2.18 ppm ปริมาณ CO₂R ต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 300 °C มีค่าเท่ากับ 5.91% ปริมาณก๊าซ SO₂ ต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 300 °C มีค่าเท่ากับ 0.18 ppm และปริมาณก๊าซ NO₂ ต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 350 °C มีค่าเท่ากับ 0 ppm จากผลการทดลองที่ได้ ทำให้ทราบว่า อุณหภูมิที่ 350 °C มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยมีปริมาณก๊าซ SO₂ เกินค่ามาตรฐานเล็กน้อย ให้ผลผลิตปริมาณน้ำมันมากที่สุดและปริมาณถ่านชาร์โคลคกเหลือน้อยที่สุด จากการศึกษาสามารถทราบภาวะที่เหมาะสมเพื่อนำไปออกแบบควบคุมระบบไพโรไลซิสระดับอุตสาหกรรม และจากปริมาณก๊าซที่ยังเกินค่ามาตรฐานสามารถออกแบบระบบสเปรย์ละอองน้ำหรือสารเคมีเพื่อลดปริมาณก๊าซมลพิษที่เกิดจากกระบวนการนำสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ไม่ใช้งาน ไปทำเป็นเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการสร้างเครื่องผลิตเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิสจากสายเคเบิลใยแก้วนำแสงต่อไปในอนาคตได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสในการทำวิจัย รวมทั้งให้ความรู้ทางด้านพลังงานและการให้คำปรึกษาจนสำเร็จเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2552). การกำจัดขยะมูลฝอย แบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill). สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2563, จาก http://infofile.pcd.go.th/waste/waste_sanitarylandfill.pdf.

[2] ปราโมช เชี่ยวชาญ. (2557). การฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill). สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2563, จาก <https://www.stou.ac.th/schools/shs/booklet/book573/Senitary573.pdf>.

[3] Miandad, R., Barakat, M.A. (2017). Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. **International Biodeterioration & Biodegradation**. 119, 239-252.

[4] Brajendra, S.K., Moser B.R., Vermillion K.E., Doll K.M., and Rajagopalan N. (2014). Production, characterization and fuel properties of alternative diesel fuel from pyrolysis of waste plastic grocery bags. **Fuel Processing Technology**. 122, 79-90.

- [5] Al-Salem, S.M. (2019). Thermal pyrolysis of high density polyethylene (HDPE) in a novel fixed bed reactor system for the production of high value gasoline range hydrocarbons (HC), **Process Safety and Environmental Protection**. 127, pp. 171-179.
- [6] กุลนันท์ วีรณรงค์กร , อมรชัย อารณวิธานพ. (2015). **ไพโรไลซิส (Pyrolysis)**. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2563, จาก http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownload/tn241_p61-64.pdf.
- [7] O. Klein-Bendavid, Y. Peled. (2014). The pyrolysis and gasification of high density polyethylene in a batch reactor. **Waste Management and The Environment**. VII, 77-87.
- [8] Nguyen L.K., Na S., Hsuan G. Y., and Spatari S. (2020). Uncertainty in the life cycle greenhouse gas emissions and costs of HDPE pipe alternatives. **Resources, Conservation & Recycling**. 154, 104602, 1-12.
- [9] Strangla M., Ortnerb E. (2019). Evaluation of the efficiency of odor removal from recycled HDPE using a modified recycling process. **Resources, Conservation & Recycling**. 146, 89-97.
- [10] THAI FIBER OPTICS CO., LTD. (2020). Single/Double Jacket, All-Dielectric Self-supporting, **Aerial Loose Tube Fiber Optic Cable**. สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2563, จาก: <http://www.tfoc-btc.com/product-detail.php?id=103>.
- [11] Prangtip K., Duangduen A., and Viboon S. (2012). Pyrolysis and gasification of landfilled plastic wastes with Ni- Mg- La/Al₂O₃ catalyst. **Environmental Technology**. 1-7.