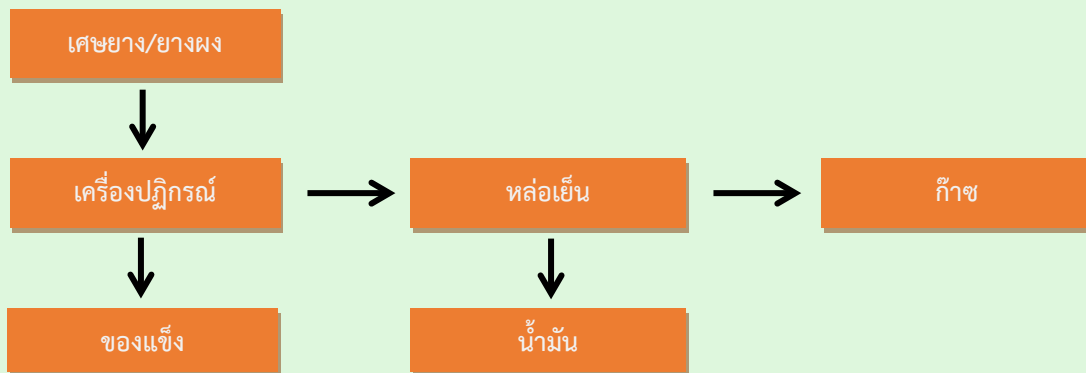


ปัจจุบันปัญหาขยะยางที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ซึ่งมีความพยายามที่จะนำขยะยางไปรีไซเคิลในรูปแบบต่างๆ หนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยม คือ การนำยางล้อเก่าไปผ่านกระบวนการเผาไหม้ภายใต้สภาวะที่ไร้ออกซิเจน หรือเรียกกระบวนการนี้ว่า “ไพโรไลซิส”

กระบวนการไพโรไลซิส

กระบวนการไพโรไลซิส เป็นการให้ความร้อนกับยางที่อุณหภูมิประมาณ 450-700 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน (หรือมีออกซิเจนน้อย) ความร้อนจะทำให้สายโซ่โมเลกุลยางเกิดการตัดขาด ทำให้สายโซ่โมเลกุลยางสั้นลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้ประกอบด้วยก๊าซ น้ำมัน และของแข็ง (เขม่าดำ ถ่านชาร์)

ขั้นตอนการไพโรไลซิส เริ่มจากการนำเศษยางมาตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ถ้าเป็นยางล้อเก่าควรที่จะแยกลวดเหล็กออกจากยางก่อนเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์ แล้วนำเศษยางชิ้นเล็กๆ หรือยางผงป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ ให้ความร้อนในระบบและทำการควบคุมความเร็วในการให้ความร้อน หลังจากนั้นสารที่ได้จากการเผาไหม้ในเครื่องปฏิกรณ์จะผ่านระบบหล่อเย็นเพื่อแยกน้ำมันและก๊าซ



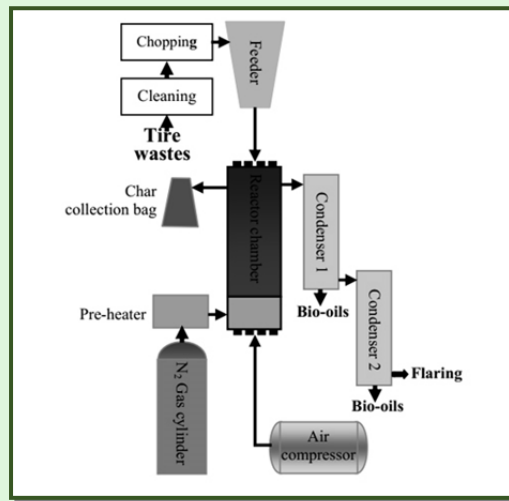
รูปที่ 1 การรีไซเคิลยางด้วยกระบวนการไพโรไลซิส

ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

1. ขนาดและองค์ประกอบของวัตถุดิบ
2. ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์แต่ละชนิดจะใช้ความร้อนและความเร็วในการให้ความร้อนต่างกัน
3. สภาวะที่ใช้ในการไพโรไลซิส เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความเร็วในการให้ความร้อน และเวลาที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิส

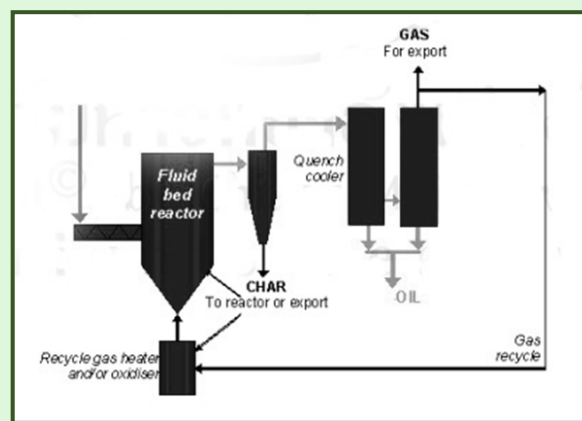
เครื่องปฏิกรณ์ที่นิยมใช้ในกระบวนการไพโรไลซิส

1. เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดคงที่ (Fixed-bed reactor) หลักการคือ เมื่อป้อนวัตถุดิบ (เศษยาง/ยางผง) เข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ วัตถุดิบจะไม่มีการเคลื่อนที่ เมื่อให้ความร้อนวัตถุดิบจะเกิดปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ได้ของผสมระหว่างก๊าซและไอรระเหย จากนั้นก๊าซตัวพา¹ (carrier gas) จะนำของผสมที่ได้ออกจากระบบ



รูปที่ 2 แผนภาพเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดคงที่ (Fixed-bed reactor) [2]

2. เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไรซ์เบด (Fluidized bed reactor) หลักการคือ เมื่อป้อนวัตถุดิบ (เศษยาง/ยางผง) เข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งจะมีก๊าซตัวพา (carrier gas) อยู่ด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อให้ความร้อนจะทำให้วัตถุดิบเคลื่อนที่ภายในตัวเครื่องและเกิดการแตกตัวทั้งหมด หลังจากนั้นของเหลวและก๊าซจะถูกแยกออกจากถังปฏิกรณ์



รูปที่ 3 แผนภาพเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไรซ์เบด (Fluidized bed reactor) [2]

¹ ก๊าซตัวพา (carrier gas) คือ คือก๊าซที่ไม่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา ก๊าซที่นิยมใช้ ได้แก่ ฮีเลียม (He) ไนโตรเจน (N₂)

ประเภทของการไพโรไลซิส

1. ไพโรไลซิสแบบช้า (slow pyrolysis) คือ การไพโรไลซิสที่ใช้ความเร็วในการให้ความร้อนไม่เกิน 10 องศาเซลเซียสต่อวินาที อุณหภูมิที่ใช้ในช่วง 400-600 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นของแข็ง (เขม่าดำ ถ่านชาร์) ในปริมาณสูง และให้น้ำมันและก๊าซในปริมาณน้อย

2. ไพโรไลซิสแบบเร็ว (fast pyrolysis) คือ การไพโรไลซิสที่ใช้ความเร็วในการให้ความร้อน 10-100 องศาเซลเซียสต่อวินาที อุณหภูมิที่ใช้ในช่วง 600-650 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นน้ำมัน 50-60% ของแข็ง 25-30% และก๊าซ 15-20%

3. ไพโรไลซิสแบบเร็วมาก (flash pyrolysis) คือ การไพโรไลซิสที่ใช้ความเร็วในการให้ความร้อนมากกว่า 100 องศาเซลเซียสต่อวินาที อุณหภูมิที่ใช้สูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นก๊าซ



ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสยางล้อเก่า

1. **ของแข็ง** มีองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ คาร์บอนประมาณ 80-85% ไฮโดรเจน 1-2% ไนโตรเจน 0.2-0.3% กำมะถัน 2.3-2.5% เถ้า 9-13% และสารอื่นๆ 0.7-1.2%

ในปี ค.ศ 2001 Rodriguez และคณะได้ศึกษาองค์ประกอบของแข็งที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส พบว่า องค์ประกอบของแข็งที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสจะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณ 80% ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนน้อยกว่าเขม่าดำเกรดทั่วไป (เขม่าดำเกรดทั่วไปมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 90%) และเมื่อนำของแข็งที่ได้มาวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค CTAB² พบว่า ของแข็งที่ได้มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะค่อนข้างสูง ดังนั้นสามารถนำมาใช้เป็นสารตัวเติมกึ่งเสริมแรงได้

2. **ของเหลว หรือน้ำมัน** มีองค์ประกอบของสารไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนมากกว่า 6 อะตอมขึ้นไป เป็นสารประกอบอะโรมาติกหรืออะโรมาติก ไนโตรจินेट เบนโซโทอะโซล โดยสัดส่วนของของสารประกอบแต่ละชนิดจะขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิส

ในปี ค.ศ 2001 Rodriguez และคณะได้ศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสด้วยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC/MS) พบว่า การนำยางมาไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณสารประกอบที่มีโครงสร้างแบบอะโรมาติกสูง และเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ไพโรไลซิสสูงที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณสารประกอบที่มีโครงสร้างแบบอะโรมาติกสูง และในปี ค.ศ. 1998 Williams และคณะได้ศึกษาการนำน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสมาเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลและน้ำมันเตาชนิดเบาที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง พบว่า ค่าความร้อนของน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและน้ำมันเตาชนิดเบา

3. **ก๊าซ** ได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซไฮโดรคาร์บอน (มีเทน อีเทน โพรเพน บิวเทน ฯลฯ) สามารถนำมาใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงได้

² ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของสารตัวเติมที่วัดได้จากการใช้เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์เป็นตัวกลาง

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์ที่ได้จากระบวนการไพโรไลซิสยางล้อจากปริมาณเศษยาง 1 ตัน [3]

ชนิดเศษยางล้อ	ปริมาณ		
	เขม่าดำ (กิโลกรัม)	น้ำมัน (ลิตร)	ก๊าซไฮโดรคาร์บอน (กิโลกรัม)
เศษยางล้อผ้าใบ (Nylon scrap tyres)	300-350	450-500	100-120
เศษยางล้อเรเดียล (Radial scrap tyres)	275-325	400-450	80-100

เอกสารอ้างอิง

1. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีฯ ปีที่ 3 ฉบับที่ 3, 2552
2. Rodriquez, I.M., e t al., “Pyrolysis of scrap tyres” Fuel Process Technol, 72, 9, (2001)
3. <http://www.plastic-pyrolysis.com/plastic-tyre-pyrolysis>

