

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 การออกแบบระบบเตาปฏิกรณ์

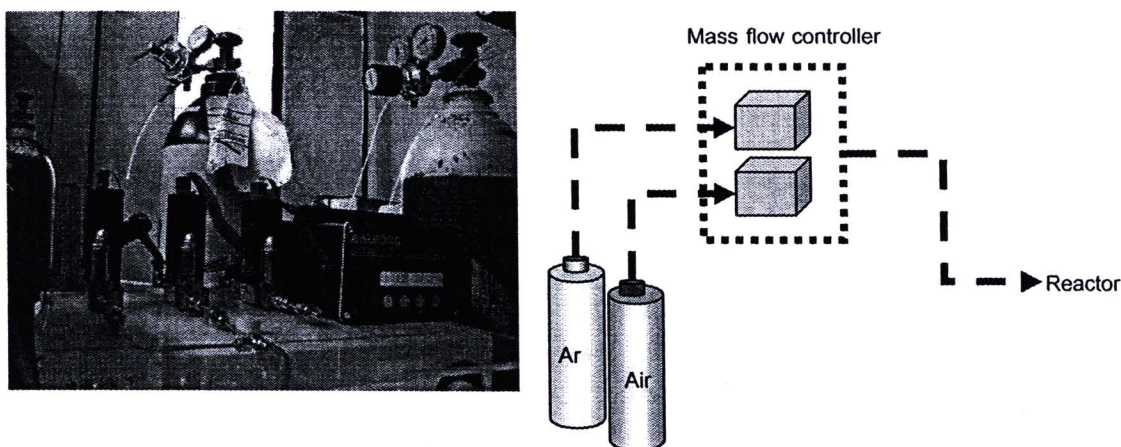
เนื่องจากระบบเตาปฏิกรณ์ที่จะใช้ในการทดลองนี้นั้นต้องการที่จะให้เป็นระบบปิดที่ก๊าซพาวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ อยู่ในระบบที่มีทางออกทางเดียวกัน การออกแบบระบบจึงต้องเป็นระบบที่คำนึงถึงการรั่วของก๊าซ ความปลอดภัย ความง่ายในการจัดหา และความสะดวกในการดำเนินการเป็นหลัก

4.1.1 ระบบทางเดินของก๊าซ

4.1.1.1 ก๊าซพา

ก๊าซพาที่ใช้เป็นก๊าซอาร์กอน และก๊าซแอร์ซีโร (อากาศที่มีความสะอาด) เนื่องจากก๊าซอาร์กอนเป็นก๊าซที่มีความเฉื่อยจึงปลอดภัย และไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นในระบบได้ อีกทั้งยังไม่รบกวนกับการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography ที่ใช้ TCD detector (ซึ่งในกรณีของ Nitrogen นั้นอาจเกิดสัญญาณรบกวน) ส่วนแอร์ซีโรนั้นก็เป็นก๊าซที่มีความสะอาดและปลอดภัยเนื่องจากเป็นเพียงอากาศ ดังนั้นก๊าซทั้ง 2 ชนิดจึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นก๊าซพาให้กับระบบที่มีความร้อนและความดันเกิดขึ้น

ในส่วนของการควบคุมการไหลของก๊าซนั้นใช้เครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ (Mass flow controller) ของ AALBORC® ที่สามารถควบคุมการไหลของก๊าซได้พร้อมกัน 3 ชนิด (3 channels) ซึ่งระบบการควบคุมการไหลของก๊าซได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการไหลของก๊าซอาร์กอน และแอร์ซีโร ผ่าน Mass flow controller

4.1.1.2 สายก๊าซและข้อต่อ

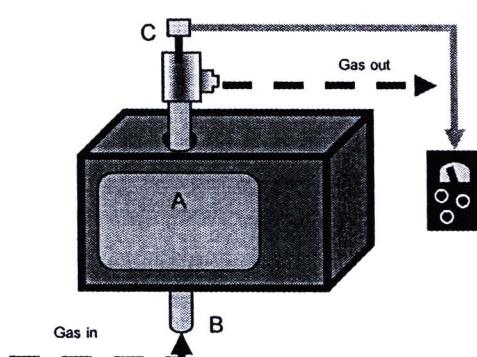
เนื่องจากผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นก๊าซ ดังนั้นข้อต่อและวาล์วที่ใช้จึงต้องเป็นข้อต่อที่ทำมาจากสแตนเลสและทองเหลือง ที่มีความหนาแน่นและมีความคงทน ในส่วนของท่อก๊าซนั้นใช้ท่อสแตนเลสในส่วนที่ติดตั้งอย่างถาวร และใช้ท่อซิลิโคนในส่วนที่ต้องมีการถอดเข้า-ออกอยู่เป็นประจำ

4.1.1.3 การเก็บผลิตภัณฑ์

เมื่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจากเตาปฏิกรณ์แล้ว จะมีทั้งก๊าซ และไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งต้องใช้ condenser เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้เกิดการควบแน่นตกลงมา ซึ่ง condenser ที่ใช้นั้นเป็นสายซิลิโคนที่แช่อยู่ในอ่างน้ำแข็ง ซึ่งจะทำให้การหาปริมาณของเหลวเหล่านี้โดยใช้ Dichloromethane ล้างออกมาจากสายซิลิโคน ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซจะเก็บใส่ถุงที่มีวาล์วเปิดปิดเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป และสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นของแข็งที่อยู่ในหลอดแก้วควอร์ตซ์จะทำการชั่งน้ำหนักเมื่อเสร็จสิ้นการแปรสภาพทางความร้อน

4.1.2 การดัดแปลงเครื่องไมโครเวฟ

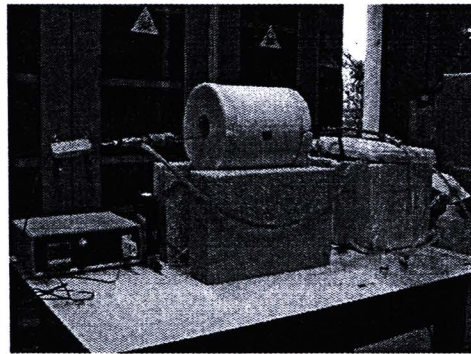
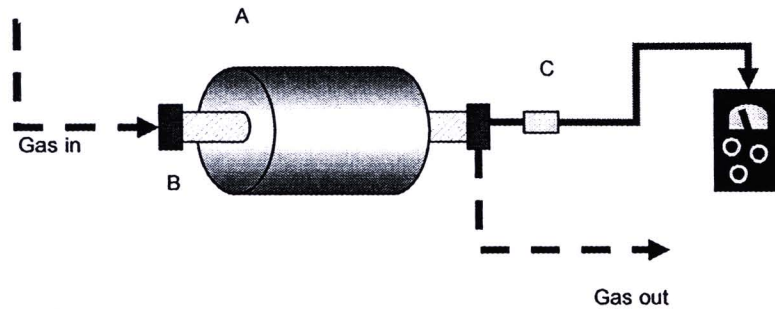
เครื่องไมโครเวฟที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดไมโครเวฟนั้นเป็นเตาไมโครเวฟที่ใช้ตามครัวเรือนทั่วไปซึ่งยังไม่สามารถใช้งานได้ทันทีจึงต้องมีการดัดแปลงให้มีความเหมาะสมและสะดวกต่อการดำเนินงาน ซึ่งเนื่องจากเตาปฏิกรณ์ที่ใช้นั้นทำมาจากหลอดแก้วควอร์ตซ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 13 มม. และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 9 มม. ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ออกแบบให้เครื่องไมโครเวฟและหลอดแก้วควอร์ตซ์อยู่ในแนวที่ตั้งฉากกันดังรูปที่ 4.2 โดยให้ทางเข้าของก๊าซนั้นอยู่ทางด้านล่าง และมีทางออกอยู่ทางด้านบน ซึ่งมีข้อต่อ 3 ทางสำหรับหลอดแก้วควอร์ตซ์ เทอร์โมคัปเปิล และเป็นทางออกก๊าซเข้าสู่ condenser



รูปที่ 4.2 แสดงการดัดแปลงเครื่องไมโครเวฟโดย A) เครื่องไมโครเวฟ B) หลอดแก้วควอร์ตซ์ C) เทอร์โมคัปเปิล

4.1.3 ระบบการให้ความร้อนโดยใช้เตาไฟฟ้า

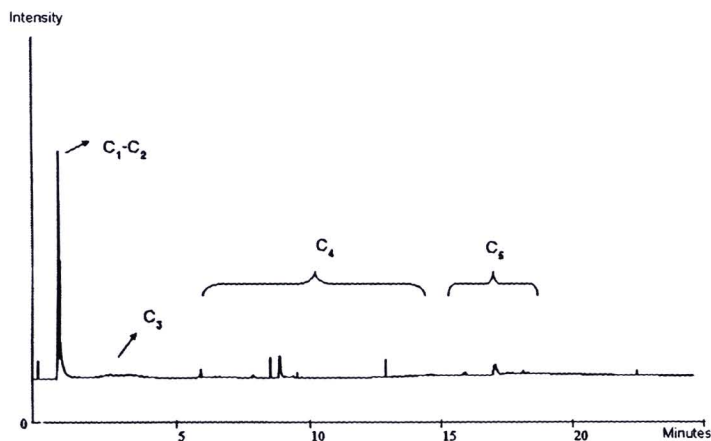
ระบบการให้ความร้อนโดยใช้เตาไฟฟ้าใช้เตาปฏิกรณ์แบบ Horizontal fixed bed reactor ซึ่งมีระบบทางเดินของก๊าซคล้ายคลึงกับการใช้ระบบไมโครเวฟ ซึ่งเตาไฟฟ้าได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงเตาไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง A) เตาไฟฟ้า B) หลอดแก้วควอตซ์ C) เทอร์โมคัปเปิล

4.2 การสอบเทียบอุปกรณ์ที่ใช้วัดก๊าซ (Gas Chromatography) กับก๊าซมาตรฐาน

การสอบเทียบก๊าซมาตรฐานกับก๊าซโครมาโตกราฟีนั้นขณะนี้ดำเนินการวัด CO_2 , H_2 , CH_4 , และไฮโดรคาร์บอน $\text{C}_1\text{-C}_5$ แต่ไม่สามารถวัด CO ได้เนื่องจากการตอบสนองต่อเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี ยังไม่เป็นที่ชัดเจน ซึ่งช่วงเวลา และการตอบสนองต่อเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี ของไฮโดรคาร์บอน $\text{C}_1\text{-C}_5$ แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงช่วงเวลาและการตอบสนองของ Hydrocarbon

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า C₁-C₂ นั้นจะมี peak ที่ใกล้เคียงกันมากจึงไม่สามารถที่จะบอกตำแหน่งที่แน่นอนได้ แต่ C₃, C₄, และ C₅ สามารถบอกตำแหน่งที่แน่นอนได้ ซึ่งพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นโดยปริมาตรซึ่งจะได้นำมาเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟของก๊าซผลิตภัณฑ์ที่จะเก็บได้ในอนาคต ซึ่งความเข้มข้นโดยปริมาตร และพื้นที่ใต้กราฟของ C₁-C₂, C₃, C₄, และ C₅ ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นโดยปริมาตร และพื้นที่ใต้กราฟของ C₁-C₂, C₃, C₄, และ C₅

Species	Peak area	%Vol
C ₁ -C ₂	3,491,466	16
C ₃	67,228	6
C ₄	511,820	35
C ₅	450,403	3

4.3 ธาตุองค์ประกอบ และสมบัติทางความร้อนของ EVA/NR

4.3.1 การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของ EVA/NR

จากการวิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบด้วยเครื่อง Elemental Analyzer ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.2พบว่า EVA/NR นั้นมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่คือ คาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน ตามลำดับ ซึ่งจากการที่มีปริมาณของคาร์บอน และไฮโดรเจนในปริมาณที่สูงนี้ แสดงว่าวัสดุนั้นสามารถที่จะเกิดการแปรสภาพทางความร้อน และแตกตัวเป็นก๊าซ หรือ สารประกอบโมเลกุลเล็กๆ ได้แก่ CO, H₂, และ C_xH_y (C₁-C₅) ซึ่งสารเหล่านี้เมื่อเกิดการเผาไหม้จะเกิดปฏิกิริยาแบบคายความร้อน (Exothermic reaction) สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมายไม่ว่าในแง่ของการนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์เพื่อทดแทนการเชื้อเพลิงปิโตรเลียม และถ่านหิน หรือการนำ

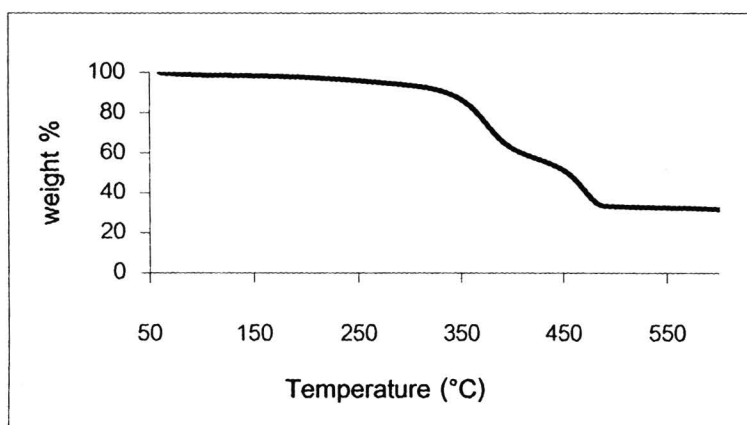
กลับไปสังเคราะห์เป็นสารตั้งต้นที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าใน EVA/NR นั้นมีปริมาณของซัลเฟอร์ และไนโตรเจน ที่ต่ำมากซึ่งแสดงว่าเมื่อ EVA/NR นี้เกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนจะเกิดก๊าซ SO_x และ NO_x ซึ่งเป็นก๊าซที่เป็นพิษในปริมาณที่ต่ำจึงไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อปล่อยออกสู่ภายนอก

ตารางที่ 4.2 ธาตุองค์ประกอบของ EVA/NR

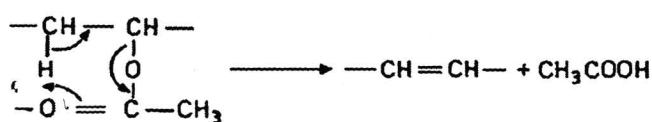
ธาตุ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
C	57.6
H	8.3
N	1.3
O	32.7

4.3.2 สมบัติทางความร้อนของ EVA/NR

การศึกษาการสลายตัวทางความร้อนของ EVA/NR นั้นใช้เทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) โดยการทำให้ EVA/NR นั้นเกิดการสลายตัวภายใต้บรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจน โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซพา ที่อัตราการไหล 20 ml/min อุณหภูมิ 60-600 °C ที่อัตราการให้ความร้อน 20 °C/min จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปกับอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่า EVA/NR นั้นจะเกิดการสลายตัว 2 ขั้นตอน โดยการสลายตัวในขั้นแรกเกิดที่อุณหภูมิประมาณ 300-360°C โดยพบการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักจาก 91% เหลือ 58% ซึ่งการสลายตัวในขั้นแรกนี้คาดว่าเกิดจากการที่ส่วนของไวนิลแอซีเตตในสายโซ่โมเลกุลเกิดการปลดปล่อยกรดแอซิดิกออกมา และเกิดเป็นพันธะคู่ขึ้นบนสายโซ่โมเลกุลดังแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งพันธะคู่นี้เมื่อได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้นก็จะเกิดการสลายตัวได้ต่อไป ซึ่งผลการทดลองนี้คล้ายกับงานวิจัยของ N. Gupta และคณะ (N. Gupta et al., 1999) ที่ศึกษาการสลายตัวของ EVA ที่ใช้ในทางการค้าและพบช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของ EVA ที่อุณหภูมิประมาณ 250-350 °C ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกันกับที่ศึกษาได้ สำหรับในส่วนของการเกิด การสลายตัวในขั้นที่สองนั้นพบว่าเกิดที่อุณหภูมิประมาณ 400-500 °C โดยมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักลดลงจาก 56% เหลือ 33 % ซึ่งเป็นการเกิดการสลายตัวของโครงสร้างที่มีพันธะคู่ที่เกิดจากการสลายตัวในขั้นตอนแรก และจากโครงสร้างส่วนที่เป็นเอทิลีนบนสายโซ่หลัก แต่จากการศึกษาของ N. Gupta นั้นพบอุณหภูมิการสลายตัวในขั้นที่สองนี้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเล็กน้อยคือที่ 350-450 °C ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่ EVA/NR ที่ใช้ในการศึกษานี้บางส่วนของโมเลกุลถูกทำให้เกิดการเชื่อมขวางเพื่อเพิ่มสมบัติด้านการใช้งาน ดังนั้นจึงส่งผลให้อุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวมีค่าที่สูงกว่า EVA ที่ใช้ในทางการค้าทั่วไปที่ไม่ได้มีการเชื่อมขวางแต่อย่างใด ดังนั้นจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า EVA/NR นั้นสามารถเกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิประมาณ 500 °C นั้นเอง



รูปที่ 4.5 การสลายตัวทางความร้อนของ EVA/NR ภายใต้บรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจน



รูปที่ 4.6 การสลายตัวของ EVA/NR โดยการกำจัดกรดแอซิดิก และเกิดเป็นพันธะคู่

4.4 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรสภาพทางความร้อน

การศึกษาการแปรสภาพทางความร้อนของ EVA/NR ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลของกำลังไมโครเวฟ อัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่าง Ar:O₂ ในก๊าซพา และอัตราส่วนระหว่าง SiC:EVA/NR โดยจะทำการบรรจุ SiC ปริมาตร 1 และ 2 ml และ EVA/NR ปริมาตร 1 ml (อัตราส่วนโดยปริมาตรเท่ากับ 1:1 และ 2:1 ตามลำดับ) ลงในเตาปฏิกรณ์ควอตซ์โดยจะทำการวางสลับกันไปเป็นชั้นๆโดยให้มีความหนาเท่าๆกัน จากนั้นทำการแปรสภาพทางความร้อนเป็นเวลานาน 360 วินาที โดยทำการแบ่งเก็บตัวอย่างก๊าซออกเป็น 2 ช่วงด้วยกันคือช่วงแรกที่เวลา 0-180 วินาที และที่เวลา 181-360 วินาที ตัวอย่างก๊าซที่เก็บได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas Chromatography ด้วยตัวตรวจจับชนิด Thermal Conductivity Detector (TCD) เพื่อวิเคราะห์ก๊าซ CO₂, H₂ และ Flame Ionized Detector (FID) เพื่อวิเคราะห์ก๊าซไฮโดรคาร์บอน (C_xH_y) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณของก๊าซ CO₂, H₂, และ C_xH_y ในช่วง C₁-C₅ โดยทำการเปรียบเทียบกับก๊าซมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ในส่วนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่เป็น ของแข็ง ของเหลว และก๊าซนั้น จะใช้การชั่งน้ำหนักของของแข็ง และของเหลว จากนั้นจึงคำนวณหาปริมาณของก๊าซโดยอาศัยกฎทรงมวล ทั้งนี้จะทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับระบบการให้ความร้อนโดยใช้เตาไฟฟ้าควบคุมกันไปด้วย

4.4.1 การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์

การแปรสภาพทางความร้อนของ EVA/NR ที่สภาวะต่างๆพบว่า EVA/NR นั้นสามารถเกิดการสลายตัวได้อย่างรวดเร็วภายใต้ระบบการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ ซึ่งการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ แสดงไว้ดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 โดยพบว่าเมื่อกำลังของไมโครเวฟมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณของก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าที่เพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณของของแข็งมีค่าที่ลดลง ที่ทุกอัตราส่วนของก๊าซพา และอัตราส่วนระหว่าง EVA/NR: SiC ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้มีความสอดคล้องกันกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ดังแสดงในตารางที่ 4.5-4.6 ซึ่งการที่ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซเพิ่มมากขึ้น แต่ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งลดลงนี้เนื่องมาจากการที่ของแข็งที่เกิดขึ้นในตอนแรกนั้นทำปฏิกิริยากับก๊าซผลิตภัณฑ์ และก๊าซพา ต่อเนื่องไปในระหว่างการทดลอง นอกจากนี้การที่กำลังของไมโครเวฟมีค่าที่สูงขึ้นนี้จะช่วยในการเร่งให้เกิดการแตกตัวของสายโซ่โมเลกุลได้ดีขึ้นจึงส่งผลให้ EVA/NR ส่วนใหญ่นั้นเกิดการแปรสภาพไปเป็นก๊าซในสัดส่วนที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์อื่น

ตารางที่ 4.3 การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ (% โดยน้ำหนัก) ที่อัตราส่วนระหว่าง Ar:O₂ เท่ากับ 100:0 ทั้งระบบการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ และการใช้เตาไฟฟ้า

SiC :EVA/NR	Microwave power (watts)	Solid	Oil	Gas
1:1	110	88.3	5.1	6.6
	330	32.3	36.5	31.2
	550	29.8	28.5	41.7
2:1	110	84.5	9.7	5.8
	330	44.1	24.9	31.0
	550	30.9	28.8	40.3
Electrical furnace		30.3	38.1	31.7

ตารางที่ 4.4 การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ (% โดยน้ำหนัก) ที่อัตราส่วนระหว่าง Ar:O₂ เท่ากับ 99:1 ทั้งระบบการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ และการใช้เตาไฟฟ้า

SiC :EVA/NR	Microwave power (watts)	Solid	Oil	Gas
1:1	110	64.7	15.8	19.5
	330	30.0	21.4	48.6
	550	23.4	23.2	53.4
2:1	110	78.3	13.9	7.8
	330	33.4	16.5	50.1
	550	33.7	17.5	48.8
Electrical furnace		31.2	25.9	42.9

ตารางที่ 4.5 การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลสเศษหนังเทียมโดย O. Yilmaz และคณะ (O. Yilmaz et al., 2007)

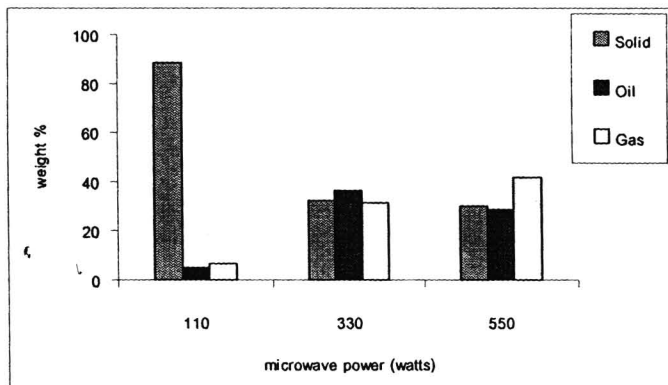
	Temperature (°C)	
	450	600
Char	44.5	38.1
Oil + Aqueous	32.0	28.9
Gas	17.8	23.6

ตารางที่ 4.6 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ทั้งการให้ความร้อนแบบใช้เตาไฟฟ้า และการให้ความร้อนโดยไม่โครเวฟของสลัดจ์น้ำเสียโดย A. Domínguez และคณะ (A. Domínguez et al., 2006)

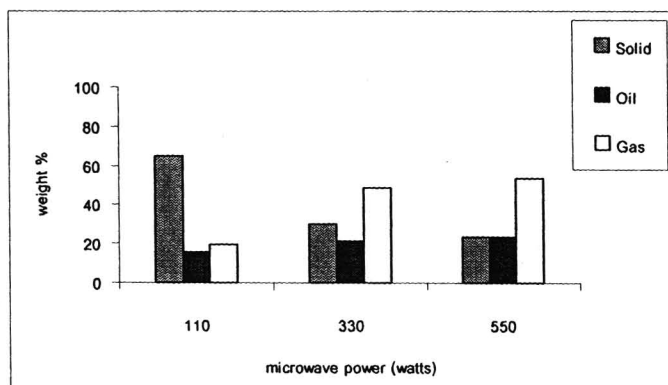
	Temperature		
	500°C	800°C	1000°C
Microwave heating			
Solid	30.2	25.5	22.7
Oil	7.9	9.2	8.6
Gas	61.9	65.3	68.7
Electrical furnace			
Solid	29.2	25.3	24.1
Oil	13.6	11.8	11.3
Gas	57.2	62.9	64.6

ปริมาณในการเกิดก๊าซ CO₂, CO, H₂, และ C_xH_y (C₁-C₅) นั้นเป็นสิ่งที่สำคัญที่สามารถสะท้อนถึงลักษณะของการแปรสภาพทางความร้อน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการเกิดก๊าซผลิตภัณฑ์ข้างต้นตามที่กล่าวมานั้นจะขึ้นกับตัวแปรหลักๆได้แก่ อุณหภูมิ อัตราการให้ความร้อน และบรรยากาศที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา กลไกในการเกิดก๊าซผลิตภัณฑ์จากวัสดุนั้นส่วนใหญ่พบว่าจะเกิดจากการแตกตัวของสายโซ่หลักของวัสดุทั้งการแตกตัวแบบ Random Chain Scission และ Depolymerization หรืออาจเกิดเนื่องมาจากก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของปฏิกิริยาสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง เช่นเกิดปฏิกิริยาด้วยกันเองระหว่างก๊าซผลิตภัณฑ์ เกิดปฏิกิริยากับก๊าซพา และเกิดปฏิกิริยากับของแข็งหรือของเหลว เป็นต้น ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา [6, 9, 11, 13, 14, 15, 16] และตารางที่ 4.6 นั้นต่างแสดงผลของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ไปในทิศทางเดียวกันนั่นคือ สัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซนั้นมีค่าที่เพิ่มมากขึ้นในขณะที่ของแข็ง และของเหลวมีค่าที่ลดลง เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการแปรสภาพมีค่าที่สูงขึ้นนั้นแสดงว่าภายใต้สภาวะที่มีการให้อุณหภูมิ และอัตราการให้ความร้อนที่สูงจะช่วยให้ส่งเสริมการเกิดก๊าซได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับข้อสรุปจากงานวิจัยของ A. Domínguez และคณะ (A. Domínguez et al. 2006) ที่กล่าวว่าที่อัตราการให้ความร้อนที่สูง ณ อุณหภูมิที่สูงกว่า 650 °C จะช่วยส่งเสริมการเกิดก๊าซผลิตภัณฑ์ได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้พบว่าเมื่อดำเนินการแปรสภาพทางความร้อนด้วยไมโครเวฟ อุณหภูมิจะมีค่าที่สูงขึ้นตามกำลังของไมโครเวฟที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อกำลังของไมโครเวฟสูงขึ้นจะทำให้ประจุ หรืออิเล็กตรอนอิสระบน SiC นั้นสามารถที่จะเกิดการสั่น และเคลื่อนที่ได้มากยิ่งขึ้นจึงสามารถ

เกิดการเสียดสีกันระหว่างประจุเหล่านี้กับความต้านทานภายในของ SiC เอง ซึ่งการสั่นที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วนี้ ทำให้สามารถเกิดความร้อนได้อย่างรวดเร็วสูงกว่าระบบการให้ความร้อนโดยการให้เตาไฟฟ้า และความร้อนเหล่านี้จะแผ่ให้กับวัสดุอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกันทำให้วัสดุนั้นเกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็ว และเฉียบพลัน จากที่กล่าวมาทำให้ที่กำลังของไมโครเวฟเท่ากับ 550 วัตต์ สามารถผลิตก๊าซเชื้อเพลิงได้ในปริมาณที่สูงกว่าที่กำลังไมโครเวฟ 330 และ 110 วัตต์ ที่ทุกอัตราส่วนของก๊าซพาดังแสดงในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8



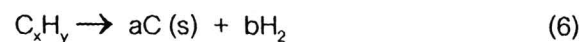
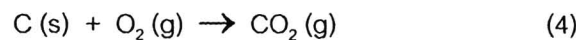
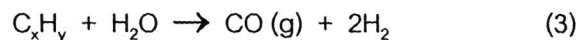
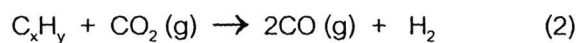
รูปที่ 4.7 การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่อัตราส่วน Ar: O₂ ในก๊าซพา 100:0 อัตราส่วน EVA/NR: SiC 1:1



รูปที่ 4.8 การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่อัตราส่วน Ar: O₂ ในก๊าซพา 99:1 อัตราส่วน EVA/NR: SiC 1:1

ในส่วนขององค์ประกอบของก๊าซผลิตภัณฑ์นั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ CO₂, H₂ และ C_xH_y ในช่วง C₁-C₅ เท่านั้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มใกล้เคียงกันกับผลงานวิจัยของ A. Marcilla และคณะ (Marcilla et al., 2005) นั่นคือผลการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่าที่สภาวะการทดลองภายใต้อัตราส่วนของ Ar:O₂ ในก๊าซพา 99:1 สามารถผลิตก๊าซ H₂ ได้ในปริมาณที่สูงกว่าอัตราส่วน 100:0 (ตารางที่ 4.7) ทั้งนี้เนื่องมาจากที่สภาวะดังกล่าวมีออกซิเจนอยู่ในระบบซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับ EVA/NR ซึ่งเป็นการแปรสภาพทางความร้อนในรูปแบบของการเกิดแก๊สซิฟิเคชันที่มีความสามารถในการผลิตก๊าซ H₂

ได้ศึกษาสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน เมื่อพิจารณาถึงการเพิ่มขึ้นของกำลังของไมโครเวฟจาก 110-550 วัตต์ พบว่าปริมาณการเกิด CO_2 มีค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อกำลังของไมโครเวฟมีค่าที่เพิ่มมากขึ้น ดังตารางที่ 4.8 โดยผลที่ได้เป็นไปในทางตรงกันข้ามกับงานวิจัยอื่นๆที่ผ่านมาซึ่งใช้ไมโครเวฟเช่นกัน [11, 14, 17] ดังตารางที่ 4.9 และ 4.10 ซึ่งพบว่าเมื่อกำลังของไมโครเวฟหรืออุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ปริมาณของ CO_2 มีค่าที่ลดลง ทั้งนี้คาดว่าเนื่องมาจากการให้ความร้อนแบบไมโครเวฟงานวิจัยนี้นั้นเป็นการให้ความร้อนที่มีความรวดเร็วมากประกอบกับการที่ EVA/NR มีออกซิเจนอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง ดังนั้น CO_2 จึงสามารถเกิดได้อย่างรวดเร็วและสามารถออกไปสู่ภายนอกระบบได้ภายในเวลาอันสั้นทำให้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับบรรยากาศ ของแข็ง และก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบมีค่าน้อยลง หรือสามารถกล่าวได้ว่าอัตราในการเกิด CO_2 มีค่าที่สูงกว่าอัตราในการใช้ CO_2 ในการทำปฏิกิริยากับคาร์บอน และสารประกอบคาร์บอนในปฏิกิริยาที่ (1) และ (2) นั่นเอง สมการที่ (1)-(6)แสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว



ตารางที่ 4.7 ปริมาณของก๊าซ H₂ (× 10⁻⁴ กรัม) ที่อัตราส่วนของ EVA/SiC 1:1

Microwave power (watts)	Weight (g)	
	Ar	Ar/O ₂
110	0.00	0.03
330	0.25	1.10
550	61.12	190.77
Electrical furnace	0.02	0.02

ตารางที่ 4.8 ปริมาณของก๊าซ CO₂ (× 10⁻⁴ กรัม) ที่อัตราส่วนของ EVA/SiC 1:1

Microwave power (watts)	Weight (g)	
	Ar	Ar/O ₂
110	24.64	25.76
330	55.05	93.52
550	121.40	215.65
Electrical furnace	128.20	106.40

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของไฮโดรคาร์บอนนั้นใช้เทคนิค Gas Chromatography โดยใช้ตัวตรวจจับ Flame Ionized Detector (FID) ซึ่งจากการทดลองพบว่าปริมาณการเกิดไฮโดรคาร์บอนนั้นมีค่าที่เพิ่มมากขึ้นตามกำลังของไมโครเวฟที่สูงมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งที่ กำลังของไมโครเวฟเท่ากับ 110 วัตต์ นั้นพบว่าปริมาณของไฮโดรคาร์บอนที่ได้นั้นมีปริมาณที่ต่ำมากแต่เมื่อเพิ่มกำลังของไมโครเวฟเป็น 330 และ 550 วัตต์ แล้ว พบว่าปริมาณของไฮโดรคาร์บอนนั้นมีค่าที่สูงขึ้นอย่างชัดเจนทั้งนี้เนื่องมาจากที่อุณหภูมิที่สูงนี้สามารถเกิดการแตกตัวของ EVA/NR ได้ดียิ่งขึ้น และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนระหว่าง Ar:O₂ ในก๊าซพบว่าที่อัตราส่วนเท่ากับ 99:1 นั้นสามารถผลิตไฮโดรคาร์บอนได้ในปริมาณที่สูงกว่าเนื่องมาจากการที่ออกซิเจนที่เพิ่มเข้าไปในระบบนั้นสามารถเร่งการแตกตัวโดยเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับ EVA/NR นั้นเอง

รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 แสดงโครมาโทแกรมของก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้จากก๊าซผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วน Ar:O₂ ในก๊าซพาทีกำลังของไมโครเวฟ 110 วัตต์พบว่าที่

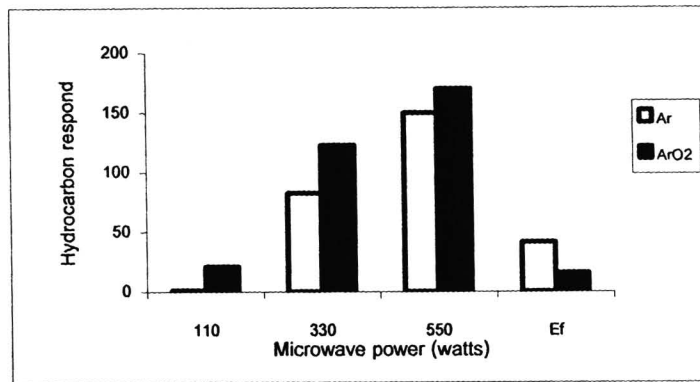
อัตราส่วน Ar:O₂ 99:1 (การแปรสภาพทางความร้อนแบบแก๊สซิฟิเคชั่น) สามารถผลิตไฮโดรคาร์บอนได้ดีกว่าที่อัตราส่วน 100:0 และเมื่อเพิ่มกำลังของไมโครเวฟเป็น 330 และ 550 วัตต์ ปริมาณของไฮโดรคาร์บอนก็มีค่าที่สูงมากขึ้นตามไปด้วย หรือสามารถกล่าวได้ว่าระบบการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟนั้นสามารถผลิตก๊าซไฮโดรคาร์บอนได้ในปริมาณที่สูงขึ้นตามกำลังของไมโครเวฟ และมีปริมาณที่สูงกว่าจากที่ผลิตได้จากระบบการให้ความร้อนโดยการใช้เตาไฟฟ้า นอกจากนี้พบว่าที่กำลังของไมโครเวฟเท่ากับ 110 วัตต์ที่อัตราส่วนระหว่าง Ar:O₂ ในก๊าซพา 100:0 พบว่าปริมาณของไฮโดรคาร์บอนนั้นมีปริมาณที่ต่ำมากทั้งนี้เนื่องมาจากที่กำลังของไมโครเวฟ 110 วัตต์นั้นไม่สามารถทำให้เกิดความร้อนที่สูงพอจนทำให้ EVA/NR เกิดการสลายตัวได้

ตารางที่ 4.9 ปริมาณของ H₂, CO₂, และ CH₄ จากการแปรสภาพทางความร้อนของสลัดจ์น้ำเสีย โดยการใช้ระบบการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟที่อุณหภูมิต่างๆกัน จากงานวิจัยของ A. Domínguez และคณะ (A. Domínguez et al., 2006)

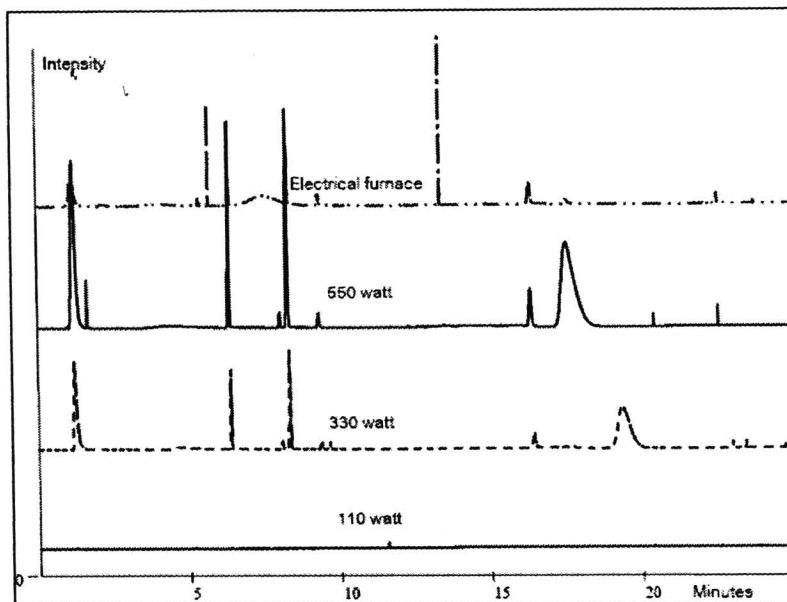
	Temperature (°C)		
	500	800	1,000
H ₂	35.6	38.2	40
CO ₂	28.4	22.7	17.7
CH ₄	7.25	7.13	6.74

ตารางที่ 4.10 ร้อยละโดยปริมาตรของ H₂, CO₂, และ CH₄ จากการแปรสภาพทางความร้อนสลัดจ์ของน้ำเสียโดยการใช้ระบบการให้ความร้อนโดยเตาไฟฟ้าอุณหภูมิต่างๆกัน จากงานวิจัยของ A. Domínguez และคณะ (A. Domínguez et al., 2006)

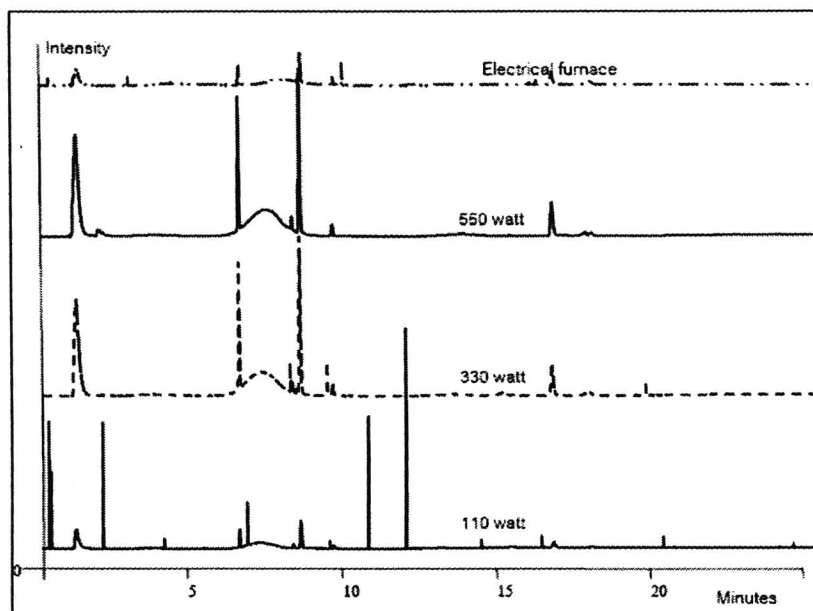
	Temperature		
	500 °C	800 °C	1,000 °C
H ₂	9.3	25.8	29.9
CO ₂	56.6	39.1	32.0
CH ₄	11.3	10.9	10.7



รูปที่ 4.9 การตอบสนองต่อไฮโดรคาร์บอนที่อัตราส่วน EVA/NR: SiC 1:1 ระหว่างอัตราส่วน Ar:O₂ ในก๊าซพา 100:0 (Ar) และ 99:1 (ArO₂)

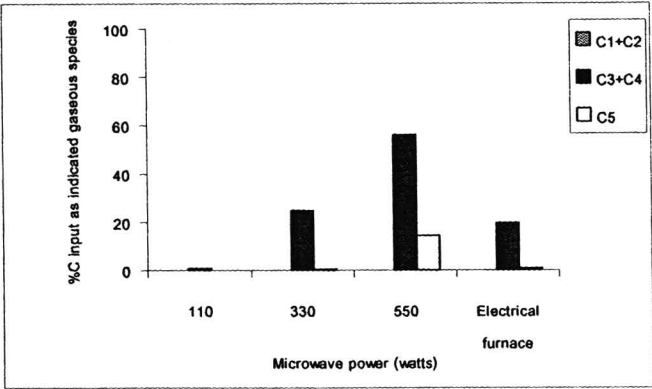


รูปที่ 4.10 การตอบสนองต่อไฮโดรคาร์บอนของเครื่อง Gas Chromatography อัตราส่วน Ar:O₂ ในก๊าซพา 100:0 อัตราส่วนระหว่าง EVA/NR: SiC 1:1

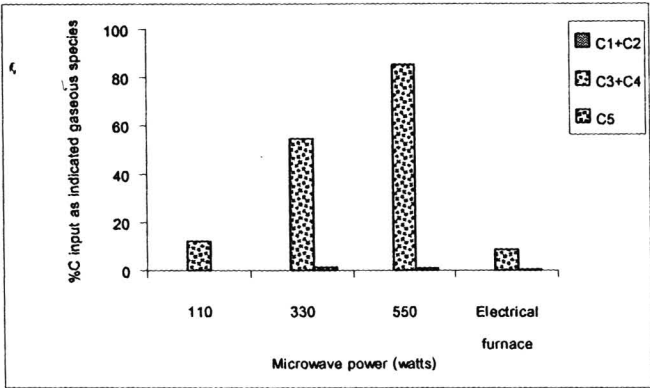


รูปที่ 4.11 การตอบสนองต่อไฮโดรคาร์บอนของเครื่อง Gas Chromatography อัตราส่วน Ar:O₂ ในก๊าซพา 99:1 อัตราส่วนระหว่าง EVA/NR: SiC 1:1

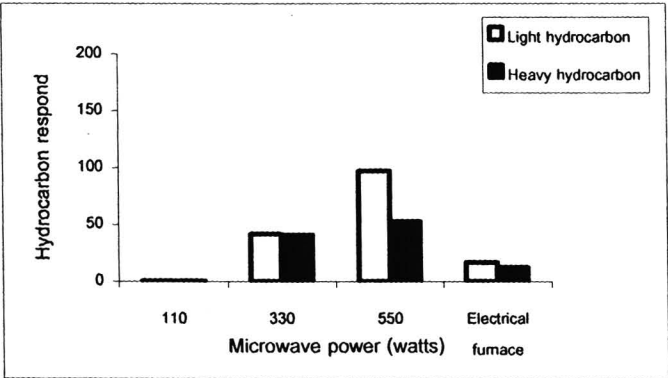
รูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 แสดงการแปรสภาพของคาร์บอนใน EVA/NR ไปเป็นไฮโดรคาร์บอน C₁-C₅ ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในช่วง C₃+C₄ นั้นมีปริมาณที่สูงที่สุดที่ทุกกำลังของไมโครเวฟ อัตราส่วนระหว่าง Ar:O₂ และทุกระบบการให้ความร้อน ซึ่งเป็นผลมาจากการแตกตัวแบบ depolymerization ซึ่งเป็นการแตกตัวของ EVA/NR ออกเป็นหน่วยย่อยๆหรือโมโนเมอร์ ปริมาณของ C₅ พบในปริมาณที่ลดลงมา และ C₁+C₂ นั้นพบว่ามีปริมาณที่ต่ำที่สุดซึ่งคาดว่าเกิดจากการแตกตัวแบบสุมของ EVA/NR นั้นเอง ระบบการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟสามารถผลิตไฮโดรคาร์บอนได้ในปริมาณที่สูงกว่าระบบการให้ความร้อนโดยใช้เตาไฟฟ้า เมื่อพิจารณาที่กำลังของไมโครเวฟ 550 วัตต์ อัตราส่วนระหว่าง Ar:O₂ 100:0 (การแปรสภาพแบบไพโรไลซิส) การแปรสภาพของคาร์บอนใน EVA/NR ไปเป็นไฮโดรคาร์บอน C₃+C₄ และ C₅ เท่ากับ 56% และ 14% ตามลำดับ แต่เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่าง Ar:O₂ ในก๊าซพา 99:1 (การแปรสภาพแบบแก๊สซิฟิเคชัน) พบว่าการแปรสภาพของคาร์บอนใน EVA/NR ไปเป็นไฮโดรคาร์บอน C₃+C₄ และ C₅ เปลี่ยนไปเป็น 85% และ 0.7% ตามลำดับซึ่งปริมาณของ C₃+C₄ ที่สูงขึ้นอย่างชัดเจนนี้เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันของ EVA/NR และ C₅ ที่เกิดการแตกตัวออกเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงเช่น C₃+C₄ นั้นเองซึ่งปริมาณของ C₃+C₄ ที่สูงขึ้นนี้สามารถพบได้ที่ทุกสถานะของระบบการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ และมีผลที่ชัดเจนกว่าเมื่อเทียบกับระบบการให้ความร้อนโดยใช้เตาไฟฟ้า



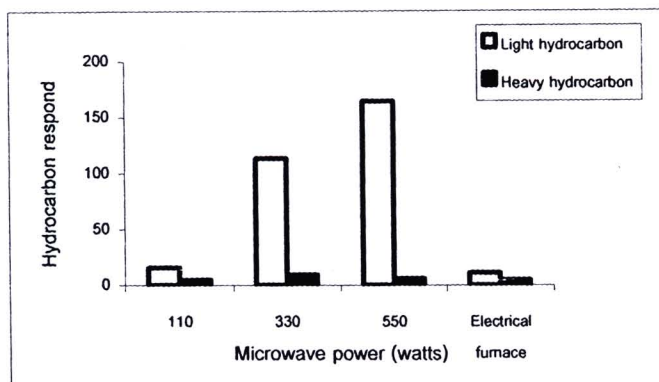
รูปที่ 4.12 การแปรสภาพของคาร์บอนใน EVA/NR ไปเป็นก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่อัตราส่วนระหว่าง Ar:O₂ 100:0



รูปที่ 4.13 การแปรสภาพของคาร์บอนใน EVA/NR ไปเป็นก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่อัตราส่วนระหว่าง Ar:O₂ 99:1



รูปที่ 4.14 การตอบสนองต่อไฮโดรคาร์บอนของเครื่อง Gas Chromatography อัตราส่วน Ar:O₂ ในก๊าซพา 100:0

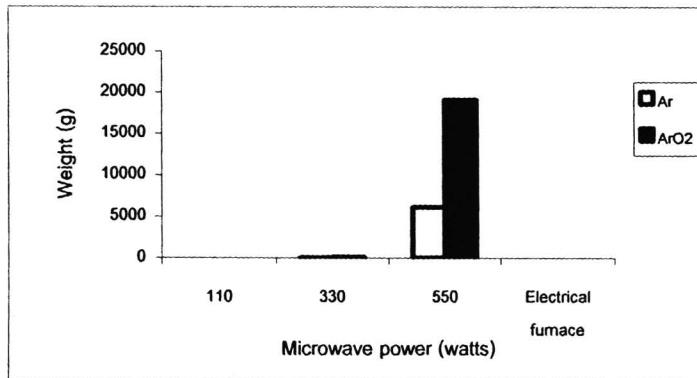


รูปที่ 4.15 การตอบสนองต่อไฮโดรคาร์บอนของเครื่อง Gas Chromatography อัตราส่วน Ar:O₂ ในก๊าซพา 99:1

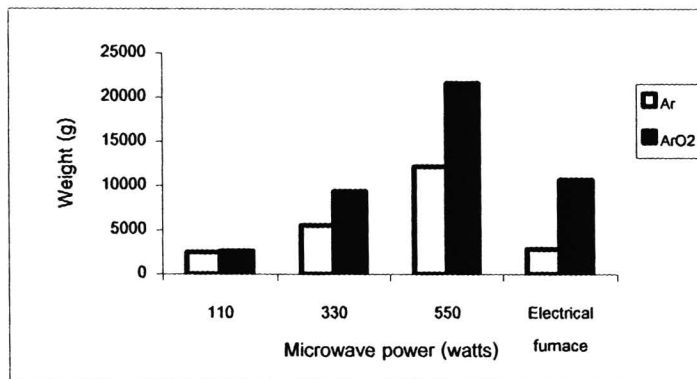
จากรูปที่ 4.14 ทั้งที่กำลังของไมโครเวฟ 110 และ 330 วัตต์ และ ระบบการให้ความร้อนโดยใช้เตาไฟฟ้าพบว่าปริมาณของ ไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็ก (light hydrocarbon, C₁-C₃) และไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ (heavy hydrocarbon, C₄-C₅) นั้นมีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมากนักแต่ที่กำลังของไมโครเวฟเท่ากับ 550 วัตต์ พบว่าปริมาณของไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กนั้นมีปริมาณที่สูงมากขึ้น และปริมาณของไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ก็มีปริมาณที่ลดลงชัดเจน นอกจากนี้ที่อัตราส่วนระหว่าง Ar:O₂ 99:1 (รูปที่ 4.15)พบว่าปริมาณของไฮโดรคาร์บอนที่สูงกว่าที่อัตราส่วน Ar:O₂ 100:0 ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่โมเลกุลของ EVA/NR และของแข็งที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยานั้นเกิดการสลายตัวเป็นก๊าซผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยเฉพาะไฮโดรคาร์บอน (รูปที่ 4.9) อันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันดังสมการที่ (3), (4) และ (6)

การแตกตัวออกของไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่กลายเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กนั้นสามารถเห็นได้ชัดเจนที่อัตราส่วนระหว่าง Ar:O₂ 99:1 ซึ่งการแตกตัวนี้เกิดขึ้นเนื่องมาจากสองกระบวนการด้วยกันกระบวนการแรกคือ ไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ที่เกิดจากการแตกตัวของ EVA/NR นั้นมีเวลาและอุณหภูมิที่เพียงพอในการแตกตัวมากขึ้นทำให้ได้ไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลง (สามารถพบได้ที่กำลังของไมโครเวฟ 330, 550 วัตต์ และระบบการให้ความร้อนโดยใช้เตาไฟฟ้า) ส่วนกระบวนการที่สองนั้นเกิดจากการที่ก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดปฏิกิริยาเช่น CO₂, CO, H₂ และ CH₄ ที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา ไปเหนี่ยวนำและทำให้ไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่เกิดการแตกตัวต่อไปได้ไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กได้อีกเช่นเดียวกัน นอกจากนี้การที่มีออกซิเจนอยู่ในระบบนั้นจะช่วยส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันของไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่จากปฏิกิริยาที่ (2) และ (3) ซึ่งสามารถยืนยันได้จากการที่ปริมาณของ H₂, CO₂, และ CH₄ ดังแสดงในรูปที่ 4.16, 4.17, และ 4.18 ตามลำดับ ที่ปริมาณของก๊าซดังกล่าวมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่กำลังของไมโครเวฟ 550 วัตต์ ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่กำลังของ

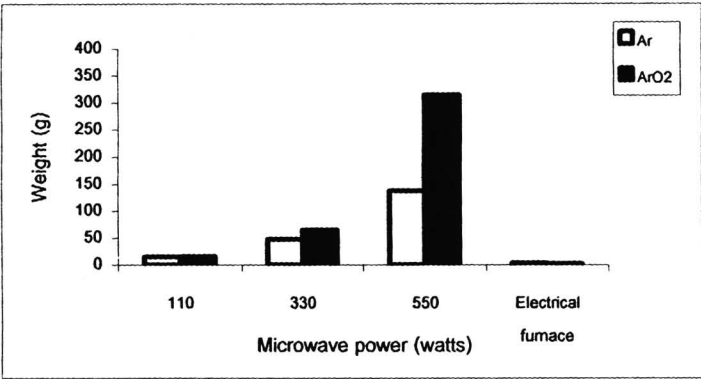
ไมโครเวฟนั้นสามารถให้อุณหภูมิที่สูงเพียงพอต่อการแตกตัวของ EVA/NR และไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ให้กลายเป็นก๊าซผลิตภัณฑ์ดังกล่าวซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเจนที่อัตราส่วนของ $\text{Ar}:\text{O}_2$ 99:1



รูปที่ 4.16 น้ำหนักของก๊าซไฮโดรเจนที่กำลังของไมโครเวฟต่างๆระหว่างอัตราส่วน $\text{Ar}:\text{O}_2$ ในก๊าซพา 100:0 (Ar) และ 99:1 (ArO_2)



รูปที่ 4.17 น้ำหนักของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่กำลังของไมโครเวฟต่างๆระหว่างอัตราส่วน $\text{Ar}:\text{O}_2$ ในก๊าซพา 100:0 (Ar) และ 99:1 (ArO_2)



รูปที่ 4.18 น้ำหนักของก๊าซมีเทนที่กำลังของไมโครเวฟต่างๆระหว่างอัตราส่วน Ar:O₂ ในก๊าซพา 100:0 (Ar) และ 99:1 (ArO₂)

จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนของ Ar:O₂ 99:1 นั้นพบว่าปริมาณของ CO₂ นั้นมีปริมาณที่สูงขึ้นตามกำลังของไมโครเวฟทั้งนี้เนื่องมาจากการที่มี O₂ อยู่ในระบบนั้นจะช่วยในการเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันดังปฏิกิริยาที่ (4) ในอัตราการผลิตปฏิกิริยาที่สูงกว่าปฏิกิริยาที่ (1) และ ปฏิกิริยาที่ (2) นอกจากนี้ระบบการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟนั้นพบว่าสามารถผลิต H₂ จากการทำปฏิกิริยาของ CO₂ และ CH₄ ได้ในปริมาณที่สูงกว่าระบบการให้ความร้อนโดยการใช้เตาไฟฟ้ารวมทั้งปริมาณของ CO₂ และ CH₄ ที่เกิดจากระบบการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟก็สูงกว่าระบบการให้ความร้อนโดยการใช้เตาไฟฟ้าเช่นกัน (ตารางที่ 4.7, 4.8, และ 4.11) ซึ่งผลของระบบการให้ความร้อนต่อปริมาณ CO₂ ในการทดลองที่ได้นี้มีผลแตกต่างออกไปจากงานวิจัยของ A. Domínguez และคณะ (A. Domínguez et al., 2006) แต่ไม่พบความแตกต่างต่อปริมาณของ H₂ (ตารางที่ 4.12) ซึ่งความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้เนื่องมาจากระบบการให้ความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบไมโครเวฟ และเตาไฟฟ้านั้นมีความแตกต่างกัน ในกรณีของระบบการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟนั้น EVA/NR และ SiC นั้นจะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนขึ้นโดยตรงทำให้อุณหภูมิของ EVA/NR และ SiC นั้นมีค่าที่สูงกว่าบริเวณโดยรอบทำให้ CO₂ ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วนั้นมีเวลา และอุณหภูมิที่ไม่เพียงพอในการเกิดปฏิกิริยากับก๊าซอื่นๆที่อยู่โดยรอบ แต่ในทางกลับกันระบบการให้ความร้อนโดยการใช้เตาไฟฟ้านั้นความร้อนที่เกิดขึ้นแก่ EVA/NR และ SiC นั้นอาศัยหลักการแผ่รังสีความร้อนทำให้ CO₂ ที่เกิดขึ้นนั้นมีเวลาและอุณหภูมิที่เพียงพอในการเกิดปฏิกิริยากับก๊าซที่ว่องไวอื่นๆ ส่งผลให้ปริมาณของ CO₂ ที่ได้นั้นมีค่าที่ลดลง

ตารางที่ 4.11 ปริมาณของก๊าซ CH₄ (× 10⁻⁴ กรัม) ที่อัตราส่วนของ EVA/SiC 1:1

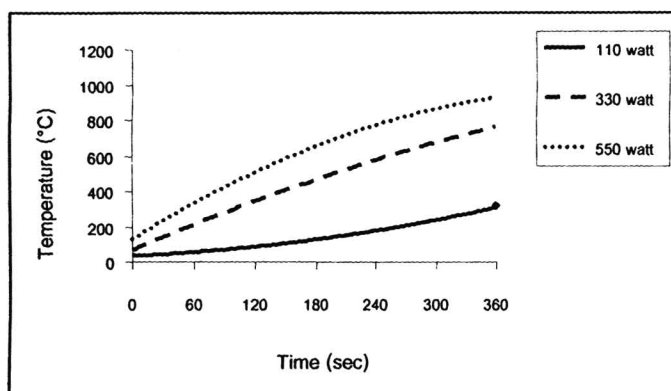
Microwave power (watts)	Weight (g)	
	Ar	Ar/O2
110	0.15	0.15
330	0.47	0.65
550	1.37	3.14
Electrical furnace	0.03	0.02

ตารางที่ 4.12 ปริมาตรของ H₂, CO₂, และ CH₄ เปรียบเทียบระหว่างระบบการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟและเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิเดียวกันจากงานวิจัยของ A. Domínguez และคณะ [17]

	Microwave heating	Electrical furnace
H ₂	38.0	29.0
CO ₂	9.7	11.8
CH ₄	4.4	18.4

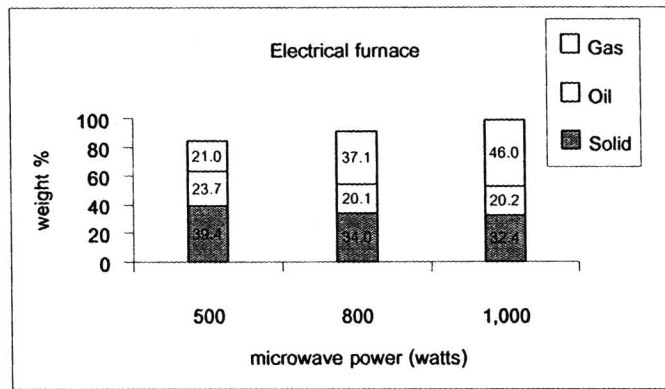
4.4.2 ผลของการกำลังไมโครเวฟ

จากการทดลองพบว่าที่กำลังของไมโครเวฟ 330 และ 550 วัตต์ พบว่า EVA/NR ทั้งหมดนั้นเกิดการแปรสภาพไปอยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ยกเว้นที่กำลังของไมโครเวฟ 110 วัตต์ EVA/NR ส่วนใหญ่นั้นยังไม่เกิดการสลายตัวเนื่องมาจากที่กำลังของไมโครเวฟ 110 วัตต์นั้นไม่สามารถเหนี่ยวนำให้ SiC นั้นเกิดความร้อนที่สูงมากพอที่ทำให้ EVA/NR นั้นเกิดการสลายตัวได้ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากระบบการเหนี่ยวนำไมโครเวฟที่กำลังของไมโครเวฟ 110, 330, และ 550 วัตต์ แสดงดังรูปที่ 4.19 แต่เนื่องจากเกิดประจุขึ้นระหว่างส่วนปลายของเทอร์โมคัปเปิลและ SiC ระหว่างดำเนินการทดลองดังนั้นอุณหภูมิที่ได้นี้จึงมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 50 °C และวิธีนี้จึงยังไม่เหมาะสมนักในการวัดอุณหภูมิภายในเตาปฏิกรณ์ไปพร้อมกับดำเนินการทดลอง

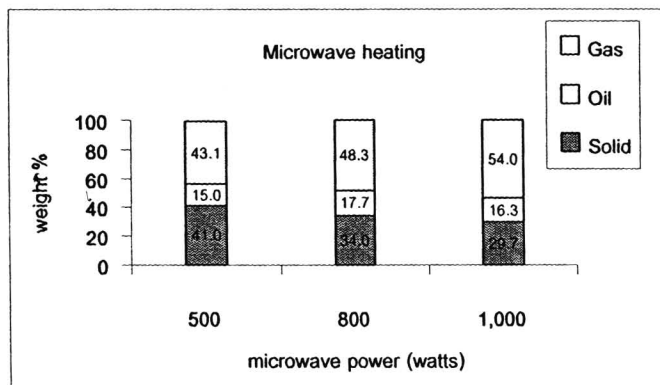


รูปที่ 4.19 อุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่กำลังของไมโครเวฟ 110, 330, และ 550 วัตต์

ก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในจากการแปรสภาพทางความร้อนนั้นส่วนหนึ่งเกิดมาจากการสลายตัวของของเหลว และของแข็งที่อุณหภูมิสูงกับก๊าซที่มีความว่องไวสูงที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของปฏิกิริยา ที่ระบบการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟการเกิดก๊าซผลิตภัณฑ์นั้นมีอัตราการเกิดที่สูงโดยเฉพาะในช่วง 0-180 วินาทีแรกของการแปรสภาพ แต่ที่เวลา 181-360 วินาทีต่อมาปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้นพบว่ามีค่าที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำไมโครเวฟในช่วงเวลา 0-180 วินาที นั้นมีค่าที่สูงประมาณ 450-600 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่ EVA/NR สามารถเกิดการสลายตัวได้ ทำให้ EVA/NR นั้นเกิดการสลายตัวไปหมดตั้งแต่เวลาที่ 0-180 วินาที ปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ 181-360 วินาที จึงมีค่าที่ลดลง แต่ในทางกลับกันไม่พบความแตกต่างของก๊าซผลิตภัณฑ์ทั้งสองช่วงเวลานี้ที่กำลังของไมโครเวฟ 110 วัตต์ อันเนื่องมาจากมีอุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้ EVA/NR เกิดการสลายตัว นอกจากนี้ที่กำลังของไมโครเวฟที่สูงขึ้นนั้นยังช่วยส่งเสริมให้ของเหลวที่เกิดขึ้นเกิดการสลายตัวต่อไปทำให้สัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซนั้นมีค่าที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ A. Domínguez และคณะ [14] ที่เปรียบเทียบระหว่างระบบการให้ความร้อนโดยใช้เตาไฟฟ้าและไมโครเวฟต่อการกระจายตัวของของแข็งของเหลว และก๊าซ ดังแสดงในรูปที่ 4.20



(a)

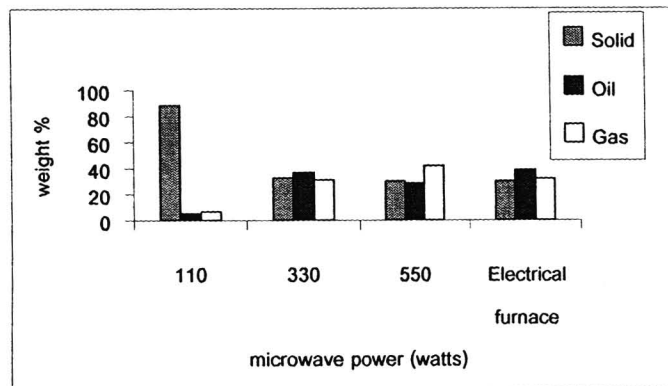


(b)

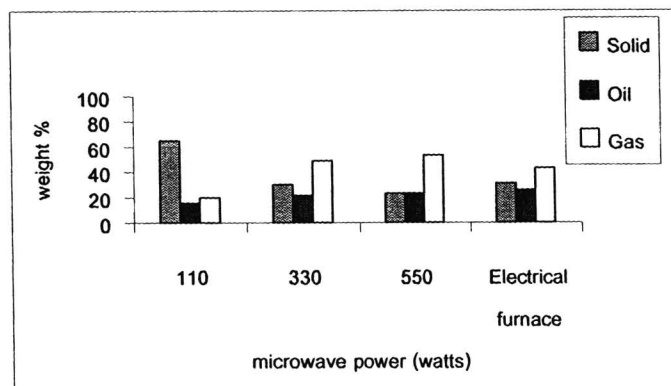
รูปที่ 4.20 การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จากระบบการให้ความร้อนโดยเตาไฟฟ้า (a) และ ไมโครเวฟ (b) จากผลการศึกษาของ A. Domínguez และคณะ (A. Domínguez et al., 2006)

สำหรับในงานวิจัยนี้พบว่าปริมาณของของแข็ง และของเหลวที่ทุกสภาวะการทดลองมีค่าที่ลดลง ในขณะที่ปริมาณของก๊าซมีค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อกำลังของไมโครเวฟมีค่าที่มากขึ้นทั้งนี้ที่ กำลังของไมโครเวฟ 330 และ 550 วัตต์ พบว่าปริมาณของของเหลวและก๊าซนั้นมีสัดส่วนที่ไม่ต่างกันมากนักอาจเนื่องมาจากการที่ SiC นั้นเมื่อถูกเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนขึ้นโดยไมโครเวฟแล้วจะแผ่ความร้อนให้กับ EVA/NR ต่ออีกทอดหนึ่งซึ่งที่ กำลังของไมโครเวฟ 330 และ 550 วัตต์ นั้นอาจมีอัตราการแผ่ความร้อนของ SiC ในอัตราที่ใกล้เคียงกันซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดในการดูดซับไมโครเวฟ และการแผ่ความร้อนของ SiC นั้นเอง เมื่อพิจารณาสัดส่วนของก๊าซผลิตภัณฑ์ระหว่างการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟและเตาไฟฟ้างดรูปที่ 4.21 และรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าระบบการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟนั้นมีสัดส่วนของก๊าซผลิตภัณฑ์ที่สูงกว่าระบบการให้ความร้อนโดยเตาไฟฟ้าโดยเฉพาะที่อัตราส่วน $\text{Ar}:\text{O}_2$ 99:1 ซึ่งปริมาณของก๊าซที่เพิ่มขึ้นนี้ส่วนใหญ่

เป็นผลมาจากการสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์ในของแข็ง แต่ผลของระบบการให้ความร้อนนี้ไม่มีผลหรือมีผลที่น้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของของเหลวที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.21 การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ทั้งระบบการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ และเตาไฟฟ้าที่อัตราส่วน Ar:O₂ 100:0

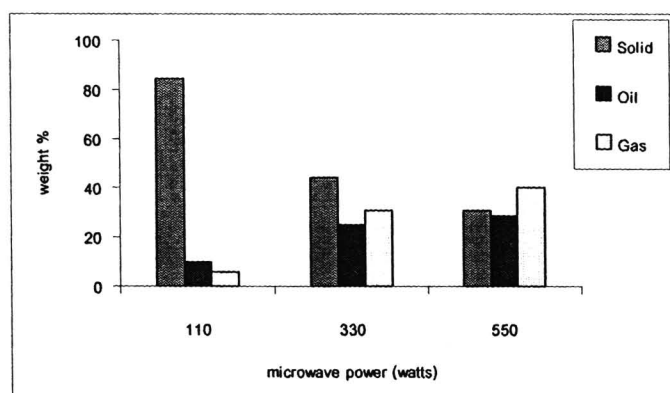


รูปที่ 4.22 การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ทั้งระบบการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ และเตาไฟฟ้าที่อัตราส่วน Ar:O₂ 99:1

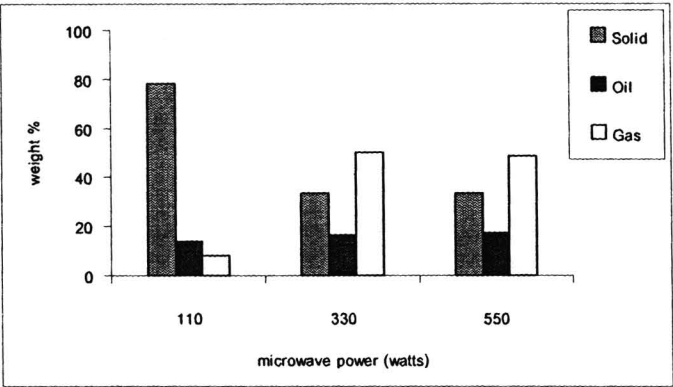
เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ในรูปที่ 4.21 และรูปที่ 4.22 กับงานวิจัยของ A. Domínguez และคณะในรูปที่ 4.20 พบว่ามีความสอดคล้องกันกล่าวคือที่อุณหภูมิในการแปรสภาพที่สูงขึ้นสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง และของเหลวจะมีค่าที่ลดลง แต่สัดส่วนของก๊าซนั้นจะมีค่าที่เพิ่มขึ้น โดยสัดส่วนของของแข็งทั้งระบบการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ และเตาไฟฟ้านั้นพบว่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ปริมาณของของเหลวนั้นระบบการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟนั้นจะมีสัดส่วนที่ต่ำกว่าอย่างชัดเจน และระบบการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟนั้นมีสัดส่วนของก๊าซที่สูงกว่าอย่างชัดเจนเช่นกัน

4.4.3 ผลของอัตราส่วน Ar:O₂ ในก๊าซพา

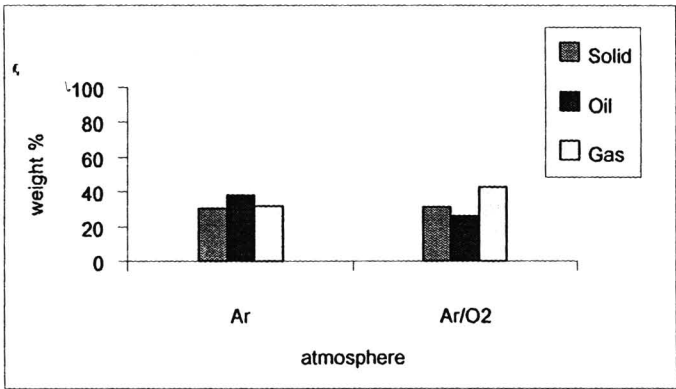
เมื่อพิจารณาอัตราส่วน Ar:O₂ ระหว่าง 100:0 และ 99:1 พบว่าที่อัตราส่วน 99:1 นั้นมีปริมาณของไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก และ H₂ ในปริมาณที่สูงกว่า ซึ่งปริมาณของไฮโดรคาร์บอนที่สูงขึ้นนี้เกิดเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันระหว่างของแข็ง ของเหลว และก๊าซที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินการทดลอง ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนในระบบกับผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะทำให้เกิด CO₂, CO, และ H₂ มากยิ่งขึ้นซึ่งมีผลทำให้ปริมาณของของแข็ง และของเหลวลดลงหรือมีค่าที่ต่ำกว่าอัตราส่วน Ar:O₂ 100:0 (เปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 4.7-4.8 และรูปที่ 4.23-4.24) สำหรับเตาปฏิกรณ์ไฟฟ้าพบว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เกิดได้ไม่ดีนักในเตาปฏิกรณ์ไฟฟ้าซึ่งเห็นได้ชัดเจน (รูปที่ 4.25) จากปริมาณของแข็งที่ไม่ต่างกันมากนักระหว่างอัตราส่วน 100:0 และ 99:1 แต่ความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ของทั้งสองอัตราส่วนนี้จะเห็นได้ชัดเจนจากปริมาณของเหลว และก๊าซดังตารางที่ 4.13 และที่อัตราส่วน Ar:O₂ 99:1 นั้นพบว่าปริมาณของ H₂ และ CO₂ นั้นมีปริมาณที่สูงกว่าที่อัตราส่วน Ar:O₂ 100:0 ซึ่งจากงานวิจัยของ A. Domínguez และคณะ (A. Domínguez et al., 2006) ได้ให้ความเห็นว่าระบบการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟนั้นสามารถช่วยให้ปฏิกิริยาระหว่างก๊าซที่ว่องไวที่เกิดในตอนแรกของปฏิกิริยากับของแข็งนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ดีกว่าระบบการให้ความร้อนโดยการให้เตาไฟฟ้านั้นก็คือปฏิกิริยาที่ (2) และ (6) นั้นสามารถเกิดได้ดีนั่นเอง ในส่วนของระบบการให้ความร้อนโดยใช้เตาไฟฟ้านั้นสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ของแข็ง ของเหลว และก๊าซนั้นพบว่าเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับระบบการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟนั้นคือผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซที่อัตราส่วน Ar:O₂ 99:1 นั้นมีค่าที่สูงกว่า (รูปที่ 4.25) ด้วยเหตุผลเดียวกันกับที่กล่าวไปแล้วข้างต้น



รูปที่ 4.23 การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จากการแปรสภาพทางความร้อนที่อัตราส่วน EVA/NR:SiC 2:1 ที่อัตราส่วน Ar:O₂ 100:0



รูปที่ 4.24 การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จากการแปรสภาพทางความร้อนที่อัตราส่วน EVA/NR:SiC 2:1 ที่อัตราส่วน Ar:O₂ 99:1



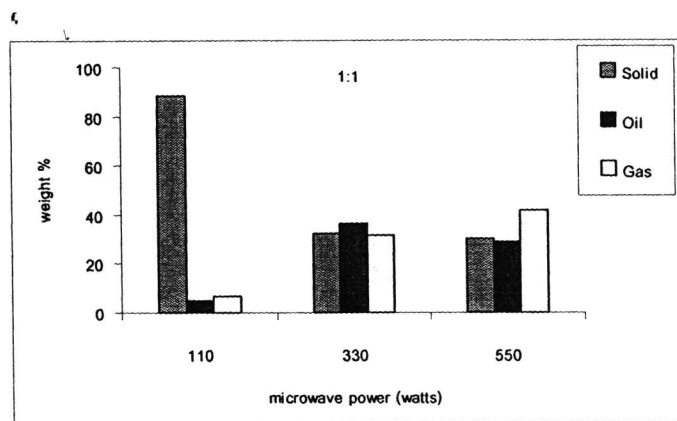
รูปที่ 4.25 การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จากการแปรสภาพทางความร้อนโดยใช้เตาไฟฟ้า เปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วน Ar:O₂ 100:0 และ 99:1

ตารางที่ 4.13 สัดส่วนของผลิตภัณฑ์ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ จากการแปรสภาพทางความร้อนจากระบบการให้ความร้อนโดยเตาไฟฟ้าที่ 700 °C

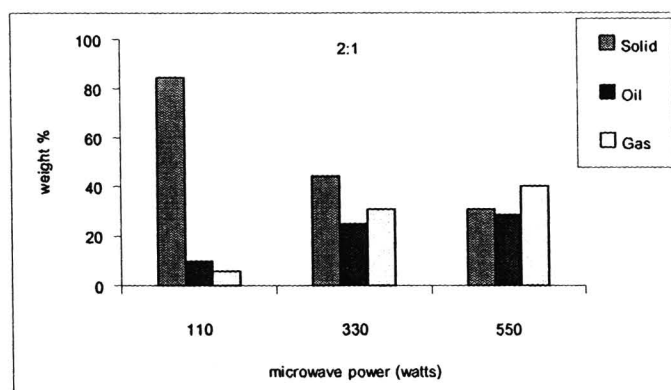
Atmosphere	Weight %		
	Solid	Oil	Gas
Ar	30.3	38.1	31.7
Ar/O ₂	31.2	25.9	42.9

4.4.4 ผลของอัตราส่วน EVA/NR :SiC

จากการศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่าง EVA/NR :SiC ที่อัตราส่วนต่างๆกันนั้นพบว่าผลของอัตราส่วนนี้ต่อการแปรสภาพทางความร้อนนั้นยังไม่เป็นที่ชัดเจนนักดังรูปที่ 4.26 และรูปที่ 4.27 ซึ่งในกรณีของอัตราส่วนเท่ากับ 1:1 นั้นพบว่าปริมาณส่วนใหญ่ของ EVA/NR และ SiC ที่ผสมกันอยู่นั้นอยู่ในบริเวณที่สามารถรับไมโครเวฟได้ดีแต่ในกรณีของอัตราส่วน 2:1 นั้นพบในภายหลังว่าประมาณ 20% โดยปริมาตรของ EVA/NR และ SiC ที่ผสมกันอยู่นั้นอยู่ภายนอกบริเวณที่ไมโครเวฟไม่สามารถแผ่ไปถึงทำให้มีความร้อนที่ไม่เพียงพอในการแปรสภาพทางความร้อนซึ่งสังเกตได้จากปริมาณของแข็งที่เหลือจากการแปรสภาพทางความร้อนที่อัตราส่วนระหว่าง EVA/NR :SiC เท่ากับ 2:1 โดยเฉพาะที่อัตราส่วน Ar:O₂ 100:0 ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวจึงควรมีการจัดหาแหล่งกำเนิดไมโครเวฟที่ให้คลื่นรังสีที่มีความสม่ำเสมอมากกว่าแหล่งกำเนิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อให้สามารถศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรดังกล่าวได้ดียิ่งขึ้น

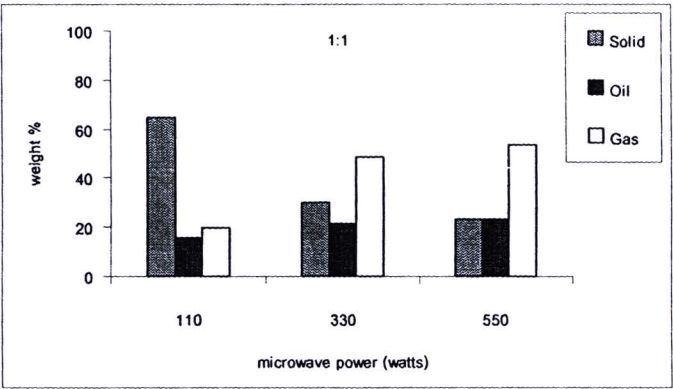


(a)

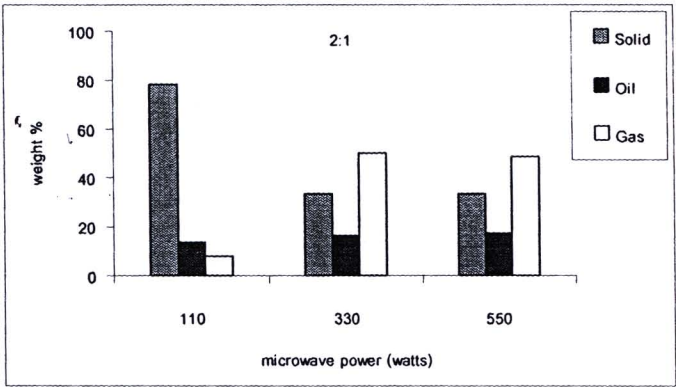


(b)

รูปที่ 4.26 การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ของแข็ง ของเหลว และก๊าซที่อัตราส่วน EVA/NR :SiC เท่ากับ (a) 1:1 และ (b) 2:1 ภายใต้อัตราส่วนระหว่าง Ar:O₂ 100:0



(a)



(b)

รูปที่ 4.27 การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ของแข็ง ของเหลว และก๊าซที่อัตราส่วน EVA/NR :SiC เท่ากับ (a) 1:1 และ (b) 2:1 ภายใต้อัตราส่วนระหว่าง Ar:O₂ 99:1

