บทที่ 6

อภิปรายและวิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์

ในการผลิตถ่านกัมมันต์การคาร์บอไนซ์สารก่อนนำไปกระตุ้นมีจุดประสงค์คือ ไล่ความชื้นและสารต่าง ๆ ออกจากวัตถุดิบ มีการสลายตัวของโมเลกุลของสารในที่ไม่มีอากาศ สารที่ถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปของแก๊สและทาร์ ผลของการคาร์บอไนซ์ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ซึ่งเรียกว่าถ่านชาร์มีปริมาณร้อยละของคาร์บอนคงตัวสูงขึ้น มีการสร้างอะโรมาติกที่เชื่อมติดต่อกันและมีการซ้อนกันเป็นชั้น ๆ มีการดึงอะตอมแปลกปลอมอื่น ๆ เข้าสู่โมเลกุลซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้จะทำให้ถ่านชาร์มีสมบัติที่ดีในการที่จะนำไปกระตุ้น เพื่อทำให้เป็นถ่านกัมมันต์ต่อไป

สมบัติของถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ จะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาใช้ และตัวแปรที่ใช้ ในการคาร์บอไนซ์ประกอบด้วยอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการคาร์บอไนซ์ งานวิจัยนี้ใช้ยางเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตยางเพียง 1 ชนิด และศึกษาการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 ถึง 550 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้คือ 30 ถึง 90 นาที

วัตถุดิบที่ใช้คือยางที่เหลือทิ้งนั้น ถ้าศึกษาถึงกระบวนการผลิตยางจะพบว่าในการผลิตยางประกอบด้วยส่วนที่เป็นยางและส่วนที่ผสมลงไปในยาง ส่วนที่เป็นยางอาจเป็นยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ซึ่งมีความหลากหลายมากมาย อันจะมีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ในการนำไปคาร์บอไนซ์ นอกจากนั้นสารที่เติมลงไปผสมยังมีมากมายหลายแบบ และมีปริมาณที่แตกต่างกันไป ตัวอย่างสารที่ผสมเช่นทราย (SiO_2) ผงเขม่าดำ (carbon black) ดิน (clay) หินปูน ($CaCO_3$) อาจมีปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 10 หรืออาจมีปริมาณ 3 ถึง 4 เท่าของเนื้อยาง นอกจากนี้ยังมีสารประเภทช่วยทำให้ยางสุก เช่น กำมะถัน มีสารประเภทตัวเร่ง ตัวกระตุ้น ตัวที่ช่วยให้การผสมยางเข้ากับสารเคมีต่าง ๆ และสารเคมีอื่น ซึ่งมีปริมาณที่แตกต่างกันไป

การใช้ยางในการวิจัยนี้เป็นการใช้ประเภทของยางเพียงชนิดเดียวดังนั้นข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จึงอาจมีความแตกต่าง ไปจากการทดลองจากนักวิจัยท่านอื่น ๆ ที่มีการทดลองกับยาง

ยางที่ใช้ในการทดลองนี้ เมื่อได้ส่งไปวิเคราะห์ที่สถาบันวิจัยยางแล้วพบว่ามีส่วนที่เป็นยางร้อยละ 66.70 (มียางธรรมชาติ 80 ส่วนยางสไตรีนบิวตะไดอีน 20 ส่วน) ปริมาณเขม่าดำร้อยละ 27.41 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 3.34 และอื่น ๆ ร้อยละ2.55 แสดงว่าเนื้อของวัตถุดิบส่วนที่เป็นยางอยู่ในรูปแบบของพอลิไอโซปรีน ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นต่อกัน สไตรีนบิวตะไดอีนมีอยู่ใน

เนื้อของยางน้อยมาก นั่นหมายถึงส่วนประกอบที่อยู่ในรูปแบบวงเหวนน้อยมาก สารระเหยได้ซึ่งวิเคราะห์โดยการใช้การให้ความร้อนที่อุณหภูมิจาก 50 ไปถึง 200 องศาเซลเซียสมีปริมาณเพียงร้อยละ 3.34 แสดงถึงว่ายางใช้น้ำมันในการผสมน้อยมาก และการสลายตัวของยางในช่วงนี้มีน้อย สารที่ออกมาอาจเป็นพวกสารที่เป็นตัวเติมต่าง ๆ เพียงเล็กน้อย ส่วนสารอื่น ๆ อาจเป็นพวกขี้ผึ้ง (wax) และสารที่ได้ระเหยอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีถ่านเป็นส่วนประกอบอีกร้อยละ 27.41 แต่ก็ไม่สามารถจะบ่งได้ชัดเจนว่าถ่านที่มีอยู่มีโครงสร้างในแบบใด

ในการทดลองนี้เพื่อจะเลือกภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์คือ ภาวะที่จะได้ถ่านชาร์ที่มีค่าสารระเหยอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 20 จากข้อมูลการทดลองพบว่า การคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที จะได้ถ่านชาร์ที่มีสารระเหยได้สูงร้อยละ 22.08 นอกจากนั้นยังมีร้อยละของผลิตภัณฑ์ได้สูงถึง 85.13 นอกจากนี้ยังเป็นการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำใช้เวลาน้อยทำให้ประหยัดพลังงานเหมาะในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป ส่วนการคาร์บอไนซ์ที่เวลามากกว่านี้และที่อุณหภูมิสูงขึ้นไป จะทำให้ได้สารระเหยได้น้อยกว่าร้อยละ 20 ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปกระตุ้นเป็นถ่านกัมมันต์ต่อไป

จากงานวิจัยในอดีต ภาวะที่ใช้ในการคาร์บอไนซ์แสดงได้ดังตารางที่ 6.1 โดยใช้ยางรถยนต์ที่ใช้แล้วเป็นวัตถุดิบ ซึ่งในการที่จะไปใช้งานจริงต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานด้วย

<u>ตารางที่ 6.1</u> แสดงภาวะที่ใช้ในการคาร์บอไนซ์ยางรถยนต์ที่ใช้แล้วของผู้วิจัยในอดีต

ผู้วิจัย	ภาวะที่ใช้คาร์บอไนซ์		ปริมาณสารระเหย
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	
รติกร และคณะ (2540)	450	30	20-25
ธนพร (2541)	350	60	22.31

6.2 <u>การวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์จากกระบวนการกระตุ้นด้วยสาร $ZnCl_2$</u>

กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์คือการทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูง เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและทำให้ผิวมีความว่องไวมาก ความหมายของการกระตุ้นประกอบด้วย

- การเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว โดย เกิดปฏิกิริยาทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดไป เกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับแทน

- เพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้ผิวที่มีอยู่แล้ว มีการเปลี่ยนโดยสร้างลักษณะการจัดของอะตอมของคาร์บอน

- กำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ

ดังนั้นการจะทำให้ถ่านมีสมบัติดังกล่าวจึงประกอบด้วยขั้นตอนการคาร์บอไนซ์และการกระตุ้น ในแง่การกระตุ้นประกอบด้วยการกระตุ้นทางเคมีและทางฟิสิกส์

การกระตุ้นทางเคมีเป็นการใช้สารกระตุ้นเช่น $ZnCl_2$, $CaCl_2$, H_3PO_4 ในการกระตุ้น วิธีนี้มีข้อดี คือใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก ประมาณ 400-600 องศาเซลเซียส สารที่นิยมใช้มากคือ $ZnCl_2$ ซึ่งมีข้อดีคือ เป็นสารที่ป้องกันไม่ให้ถ่านเกิดปฏิกริยากับออกซิเจนไม่เกิดน้ำมันทาร์ และเกิดหมู่ฟังก์ชั่นที่เป็นกรดมีความสามารถในการดูดซับสูง

ในการทดลองนี้ ใช้สาร $ZnCl_2$ เป็นสารกระตุ้นมีการศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ คือ ความเข้มข้นของสารละลาย $ZnCl_2$ อุณหภูมิ เวลา ของการกระตุ้น เปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคของถ่านชาร์และวิเคราะห์หาสมบัติต่าง ๆ ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของถ่านชาร์ และสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้น ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในเชิงทฤษฎีและทราบถึงสมบัติที่สามารถวิเคราะห์ได้ว่าจะเหมาะสมในการนำไปใช้ในการผลิตในระดับอุตสาหกรรมหรือไม่

6.2.1 <u>ผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ $ZnCl_2$</u>

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ คือการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ $ZnCl_2$ ที่เติมเข้าไปในถ่านชาร์ การใช้สารละลาย $ZnCl_2$ เข้มข้นร้อยละ 30 ถึงร้อยละ 70 จำนวน 100 มิลลิลิตร ลงไปในถ่านชาร์จำนวน 20 กรัม คือการเปลี่ยนปริมาณ Zn ต่อปริมาณถ่านประมาณ 0.4 ถึง 1 โดยน้ำหนัก ผลของความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ ที่มีต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้สรุปได้คือ

- เมื่อความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ เพิ่มขึ้น ปริมาณของผลิตภัณฑ์ลดลง

- เมื่อความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ เพิ่มขึ้นปริมาณของเถ้าเปลี่ยนแปลงโดยลดลงเล็กน้อยในช่วงแรกและมีปริมาณเพิ่มขึ้น ในช่วงที่มีความเข้มข้นสูง

- เมื่อความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ สูงขึ้นความหนาแน่นปรากฏลดลงเล็กน้อย และมีค่าเกือบคงที่เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น

- เมื่อความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ สูงขึ้นค่าการดูดซับเมทิลีนบลูเพิ่มมากขึ้น

- เมื่อความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ สูงขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มมากขึ้น

- เมื่อความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ สูงขึ้นค่าพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้นจากการที่ได้ผลการทดลองดังกล่าวแล้ว อาจสรุปถึงการเปลี่ยนแปลงของสมบัติต่าง ๆ ได้ดังนี้

- เมื่อความเข้มข้นของสารละลาย $ZnCl_2$ มากขึ้น ปริมาณของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องมาจาก $ZnCl_2$ ที่ใช้ในการกระตุ้นมีความต้องการให้ไปเกิดปฏิกริยากับสารที่อยู่ในถ่านชาร์ มีการปลดปล่อยสารต่าง ๆ จากโครงสร้างออกไปภายนอกทำให้เหลือสารที่อยู่ในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์น้อยลงปริมาณผลิตภัณฑ์จึงลดน้อยลงไป

การวิเคราะห์ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ เมื่อความเข้มข้นเปลี่ยนมีค่าเปลี่ยนแปรมากพอสมควร เช่นการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนจากร้อยละ 70.06 เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลาย $ZnCl_2$ ร้อยละ 30 เป็นร้อยละ 40.92 เมื่อใช้ความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ ร้อยละ70 (แต่ถ้าเทียบกับสารตั้งต้นที่เป็นยางเปรียบเป็นถ่านชาร์ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ร้อยละ 85.13 นั่นคือถ้าเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้สุดท้ายกับสารตั้งต้นที่เป็นยางจะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ร้อยละ 60 เมื่อใช้สารละลาย $ZnCl_2$ เข้มข้นร้อยละ 30 ลดลงมาที่ร้อยละ 35 เมื่อใช้สารละลาย $ZnCl_2$ เข้มข้นร้อยละ70)

- เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ สูงขึ้นความหนาแน่นปรากฏลดลงเล็กน้อยและมีค่าเกือบคงที่เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นนั้นถ้าพิจารณาจากปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลงโดยที่ปริมาณของสารไม่เปลี่ยนความหนาแน่นปรากฏควรจะลดลงมากแต่การที่ค่าความหนาแน่นปรากฏลดลงเพียงเล็กน้อยแล้วมีค่าเกือบคงที่ อาจอธิบายได้ดังนี้

จากการวิเคราะห์สมบัติของยางเริ่มต้นมีสารที่มีค่าสารระเหยต่ำมากดังนั้นการสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสารระเหยได้ควรมีน้อยมาก การสูญเสียเป็นการเกิดปฏิกิริยากับยางซึ่งประกอบด้วยยางธรรมชาติซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของไอโซปรีน 80 ส่วน เป็นของสไตรีนบิวตะไดอีนเพียง 20 ส่วน โครงสร้างไอโซปรีนเป็นลักษณะที่เป็นโซ่ต่อยาวกันออกไปทำให้การเกิดปฏิกิริยาไม่ได้ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในโครงสร้างของโมเลกุล ส่วนพอลิเมอร์ของสไตรีนบิวตะไดอีนมีโครงสร้างที่มีวงแหวนของเบนซีนอยู่เพียง 1 หน่วยใน 1 มอนอเมอร์ และมีปริมาณที่น้อยด้วยดังนั้นโอกาสที่จะเกิดโพรงช่องว่างขึ้นเป็นไปได้ยาก เมื่อโครงสร้างของโมเลกุลเดิมมีสารหลุดออกไปไม่ได้ทำให้เกิดโพรงช่องว่าง เกิดขึ้นอย่างมากมายจึงทำให้ค่าความหนาแน่นปรากฏเกือบไม่มีความเปลี่ยนแปลง

- ผลของ $ZnCl_2$ ที่มีต่อค่าการดูดซับเมทิลีนบลูเมื่อความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ เพิ่ม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูเพิ่มมากขึ้นแสดงว่าในโครงสร้างมีรูพรุนขนาดกลางเพิ่มมากขึ้นแต่ค่าที่ได้ก็มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับถ่านที่อยู่ในเกรดการค้าคือถ่านที่ได้มีค่าการดูดซับเมทิลีนบลูในช่วงประมาณ

6 ถึง 60 มก/กรัม แต่ถ่านกัมมันต์เกรดการค้ามีค่าเมทิลีนบลูอยู่ในช่วง 200 ถึง 350 มิลลิกรัม/กรัมของถ่านกัมมันต์ งานวิจัยของ นเรศ (2534) ใช้กะลาตาลโตนดเป็นวัตถุดิบกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำให้ค่าเมทิลีนบลูในช่วง 362-376 มิลลิกรัมต่อกรัม งานวิจัยของ รติกร (2540)ใช้ยางรถยนต์ใช้แล้วเป็นวัตถุดิบกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งได้ค่าเมทิลีนบลู 172 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่าน ส่วนงานวิจัยของ ธนพร (2541) ใช้ยางรถยนต์ใช้แล้วเป็นเป็นวัตถุดิบกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยผสมอากาศให้ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 247 มิลลิกรัม ต่อกรัมของถ่าน

การที่งานวิจัยนี้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าการดูดซับเมทิลีนบลูมีค่าต่ำอาจมาจากการที่ $ZnCl_2$ ไม่สามารถแทรกเข้าไปในโครงสร้างของโมเลกุลของถ่านชาร์ที่ผลิตมาจากยางที่ใช้เป็นวัตถุดิบ เพราะการซึมเข้าไปในโครงสร้างของวัตถุดิบที่จะผลิตถ่านกัมมันต์มีผลต่อคุณภาพของถ่าน (Mohd,1995) นอกจากนั้นมีงานวิจัยของ Mondragon (1995) แสดงให้เห็นว่าการแช่ในสารที่ทำให้วัตถุดิบมีการบวมพองตัวจะทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติที่ดีขึ้น

- ผลของ $ZnCl_2$ ที่มีต่อค่าการดูดซับไอโอดีน จากรูปที่ 5.11 การเปลี่ยนแปลงค่าการดูดซับไอโอดีนโดยการกระตุ้นที่ 400 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อความเข้มข้นเปลี่ยนไป แต่การกระตุ้นที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดซับไอโอดีนเล็กน้อยในช่วงความเข้มข้นร้อยละของ $ZnCl_2$ 30 ถึง 40 เมื่อความเข้มข้นอยู่ในช่วงร้อยละ 40 ถึง 50 มีการเปลี่ยนแปลงค่าอย่างมาก หลังจากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย อาจอธิบายได้ว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างขึ้นอยู่กับปริมาณ $ZnCl_2$ ที่แทรกเข้าไปในโครงสร้างของยางและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกระตุ้น การแทรกเข้าไปในโครงสร้างของ $ZnCl_2$ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ ในสารละลาย ถ้ามีความเข้มข้นน้อยการจะแพร่ซึมเข้าไปในโครงสร้างเป็นไปได้ยาก เพราะความแตกต่างของความเข้มข้นจากสารละลายไปสู่ผิวของยางน้อย (แรงในการจะทำให้โมเลกุลของ $ZnCl_2$ ซึมผ่านเข้าไปได้ยาก) และในการซึมจากผิวยางเข้าไปสู่ในโครงสร้างขึ้นอยู่กับโครงสร้างของรูพรุนว่ามีมากน้อยอย่างใด เมื่อวิเคราะห์หารกระตุ้นที่ 750 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ ร้อยละ 30 ถึง 40 $ZnCl_2$ แทรกซึมเข้าไปในเนื้อยางได้น้อย ปริมาณ $ZnCl_2$ ไม่เพียงพอในการจะถูกนำไปในในการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงจึงมีน้อยมาก แต่ที่ความเข้มข้น $ZnCl_2$ระหว่างร้อยละ 30 ถึง 40 มีปริมาณของ $ZnCl_2$ เข้าไปมีปริมาณที่เหมาะสม และอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นก็เหมาะที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของรูพรุนทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีน เพิ่มขึ้นมาก แต่ที่ความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ มากกว่า ร้อยละ 40 การเข้าไปในเนื้อยางอาจถูกจำกัดด้วยรูพรุนที่มีอยู่ในโครงสร้างไม่สามารถจะให้ $ZnCl_2$ เข้าไปได้มากขึ้นการกระตุ้นจึงไม่ทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มขึ้นมาก อย่างใดก็ตามการทดลองที่อุณหภูมิ 400

องศาเซลเซียส เมื่อใช้ $ZnCl_2$ ที่มีความเข้มข้นสูง ค่าการดูดซับไอโอดีนเปลี่ยนน้อยมาก แสดงว่าอุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นต่ำไป ถึงแม้ว่าจะมี $ZnCl_2$ ที่พอเหมาะ จึงไม่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาให้ช่องว่างรูพรุนเพิ่มขึ้นมากได้

ค่าการดูดซับที่ได้จากการทดลองมีค่าในช่วงประมาณ 120 ถึง 200 มก./กรัม ซึ่งเทียบกับถ่านในเกรดการค้าจะต้องมีค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า 600 มก/กรัม แสดงว่า ถ่านที่ได้ยังไม่สามารถนำไปใช้ในทางการค้าได้ ผลงานวิจัยของรติกร (2540) ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากยางรถยนต์ใช้แล้วมีค่า 891.11 มก./กรัม และในงานวิจัยของ ธนพร (2541) ซึ่งใช้วัตถุดิบแบบเดียวกันได้ค่าการดูซับไอโอดีน 598.79 มก./กรัม

- ผลของ $ZnCl_2$ ที่มีต่อพื้นที่ผิวรูพรุนพบว่าเมื่อความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ เพิ่มขึ้นค่าพื้นที่ผิวรูพรุนที่มีค่าเพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 70 กระตุ้นที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมงให้ค่าพื้นที่ผิวเพียง 204.13 ตร.ม./กรัม ซึ่งเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ รติกร (2540) และของ ธนพร ค่าพื้นที่ผิว มีค่า 691.51 และ 424.27 ตร.ม/กรัม ตามลำดับ ลักษณะข้อมูลของการวิจัยมีลักษณะสอดคล้องกันเป็นอย่างดีของสมบัติค่าการดูดซับ เมทิลีนบลูและการดูดซับไอโอดีน คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวรูพรุนมากควรมีค่าการดูดซับเมทิลีนบลูและไอโอดีนสูง ในงานวิจัยของ Sadao (1987) เป็นการเตรียมถ่านกัมมันต์จากยางรถยนต์ที่ใช้แล้วกระตุ้นด้วยไอน้ำให้ถ่านที่มีพื้นที่ได้สูงถึง 1260 ตร.ม/กรัม

6.2.2 <u>ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกระตุ้น</u>

จากการทดลองเปลี่ยนอุณหภูมิของการกระตุ้นจาก 200 ถึง 750 องศาเซลเซียส สรุปสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้คือ

- เมื่ออุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ลดลง
- เมื่ออุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นมีค่าเพิ่มขึ้นปริมาณร้อยละของเถ้าเพิ่มขึ้น
- เมื่ออุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นมีค่าเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นปรากฏมีค่าลดลงในช่วงแรก แล้วมีค่าเกือบคงที่ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียส
- เมื่ออุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นเพิ่มขึ้น ค่าเมทิลีนบลูมีค่าเพิ่มขึ้นแต่มีค่าน้อยในช่วงอุณหภูมิ 200 ถึง 400 องศาเซลเซียส มีค่าเพิ่มอย่างมากในช่วง 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส และมีค่าเกือบลดลงเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นไปจาก 500 องศาเซลเซียส
- เมื่ออุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นเพิ่มขึ้นค่าการดูดซับไอโอดีนเปลี่ยนไปเช่นเดียวกับการดูดซับเมทิลีนบลู

- เมื่ออุณหภูมิใช้กระตุ้นเพิ่มขึ้นค่าพื้นที่ผิวเปลี่ยนไปในลักษณะเช่นเดียวกับการดูดซับเมทิลีนบลู

จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ผลจากการทดลองได้ดังนี้

เมื่ออุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ลดลงแสดงถึงว่ามีสารที่หลุดออกไปจากโครงสร้างของโมเลกุลเดิมมาก สารที่หลุดออกไปอาจเป็นพวกสารระเหยได้ที่มีอยู่ในโครงสร้างของชาร์และอาจเป็นสารที่ปลดปล่อยไปจากผลของการกระตุ้นด้วยสารประกอบ $ZnCl_2$ การลดลงนี้มีลักษณะต่อเนื่องสม่ำเสมอไปกับอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น ส่วนการที่เถ้ามีค่ามากขึ้นเนื่องจากเถ้าไม่ได้หลุดออกไปจากโครงสร้างทำให้มวลของเถ้าไม่เปลี่ยน แต่มวลของสารทั้งหมดลดลง จึงมีผลต่อการวิเคราะห์เถ้าที่ให้ค่าตัวเลขที่สูงขึ้น

สำหรับการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นมีการเปลี่ยนเป็นช่วง ๆ แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกอุณหภูมิจาก 200 ถึง 400 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นลดลงอย่างต่อเนื่อง อาจเป็นผลมาจากการที่มีสารหลุดออกไปจากโครงสร้างของถ่านชาร์ ในขณะที่ปริมาตรของสารยังเท่าเดิม หรือเปลี่ยนด้วยอัตราที่ลดลงน้อยกว่า การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก จึงทำให้ความหนาแน่นลดลงอย่างต่อเนื่อง ในช่วงตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ความหนาแน่นมีค่าเกือบคงที่ ในขณะที่มวลลดน้อยไปแสดงว่ามีการหดตัวลงของปริมาตรของสาร อาจมาจากการแตกแยกของขนาดและการยุบตัวของโครงสร้างของสารผลิตภัณฑ์

การเปลี่ยนแปลงค่าการดูดซับเมทิลีนบลู การดูดซับไอโอดีนและพื้นที่ผิวของรูพรุนซึ่งมีลักษณะไปในลักษณะเดียวกันแสดงถึงว่าผลการวิเคราะห์ถูกต้อง เพราะค่าทั้งสามอย่างเพิ่มและลดต้องสอดคล้องกันคือ เมื่อสารมีพื้นที่ผิวรูพรุนมากค่าการดูดซับเมทิลีนบลูและค่าการดูดซับไอโอดีนก็ควรมีค่ามากมายด้วย และเมื่อสารมีรูพรุนลดลงค่าการดูดซับสารทั้งสองอย่างที่กล่าวถึงก็ควรลดลงด้วย

ในการวิเคราะห์ในช่วงแรก อุณหภูมิ 200 ถึง 400 มีการเพิ่มของค่าทั้งสามเล็กน้อย แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดกับโครงสร้างเป็นไปอย่างช้า ๆ แต่ที่ช่วงอุณหภูมิ 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นด้วยอัตราที่สูงมาก แสดงถึงช่วงอุณหภูมิที่ดีที่สุด สำหรับถ่านที่ใช้ในการทดลอง แต่เมื่ออุณหภูมิเกิน 500 องศาเซลเซียสไปแล้ว สมบัติที่สำคัญในการเอาผลิตภัณฑ์ไปใช้งานกับมีค่าด้อยคุณภาพลงไป แสดงว่าในโครงสร้างมีการแยกสลายหรือโครงสร้างขนาดของรูเปลี่ยนเป็นขนาดรูที่ใหญ่ ทำให้พื้นที่ผิวน้อยลง ความสามารถในการดูดซับลดลง

การกระตุ้นด้วยสาร $ZnCl_2$ เป็นการกระตุ้นทางเคมี ซึ่งตามหลักการแล้วจะใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำกว่าทางฟิสิกส์ ผลงานวิจัยของ พิสุทธ์ (2535) ใช้ $ZnCl_2$ เป็นตัวกระตุ้น ทำที่อุณหภูมิ 400-450 องศาเซลเซียส ผลงานของ นเรศ (2534) ใช้ $ZnCl_2$ เป็นตัวกระตุ้นเช่นเดียวกับ

ทำที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และงานวิจัยของ อนุชิต (2520) ใช้ $ZnCl_2$ เป็นตัวกระตุ้น สรุปว่าได้ผลดีที่สุดที่ 600 องศาเซลเซียส แต่งานวิจัยที่กระตุ้นแบบฟิสิกส์จะใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าเช่น งานของอุไรวรรณ (2523) ใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งทำที่ 700-1050 องศาเซลเซียส บุญชัย (2534) ใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 850 และ 900 องศาเซลเซียส รติกร (2540) ใช้ไอน้ำที่ 800-940 องศาเซลเซียส

6.2.3 <u>ผลของเวลาที่ใช้กระตุ้น</u>

การใช้เวลากระตุ้นที่ต่างกันมีผลต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ดังนี้

- เมื่อใช้เวลาในการกระตุ้นมากขึ้น ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลงนั้นแสดงว่าเมื่อเวลาผ่านไปการเกิดปฏิกิริยาและการสูญเสียสารออกไปจากโครงสร้างเกิดไปอย่างต่อเนื่อง และในขณะที่สารลดลงไปจากโครงสร้างปริมาณร้อยละของเถ้าในผลิตภัณฑ์ก็จะเพิ่มมากขึ้น
- ค่าความหนาแน่นจะมีค่ามากในชั่วโมงแรกแต่เมื่อเวลาผ่านไปค่าความหนาแน่นเกือบไม่เปลี่ยน
- ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู การดูดซับไอโอดีนและพื้นที่ผิวสำหรับการกระตุ้นที่ 400 องศาเซลเซียส จะมีค่าเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ แสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงในทางที่ดีขึ้นตลอดเวลาที่ใช้จาก 1 ถึง 5 ชั่วโมงแต่ในกรณีที่ใช้อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ค่าทั้งสามมีการเปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้นในช่วงไม่ถึง 3 ชั่วโมง แต่หลังจาก 3 ชั่วโมงไปแล้วค่าต่างๆกับลดลงแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของถ่านกัมมันต์ที่ได้ในการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูง มีช่วงเวลาที่จำกัดถ้าเกินจากช่วงนั้นไปแล้วคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะลดลง

6.2.4 <u>ผลของขนาดของถ่านขาร์</u>

การใช้ถ่านที่มีขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาด สมบัติเกี่ยวข้องกับการใช้งานของถ่านกัมมันต์คือ คือค่าการดูดซับเมทิลีนบลู การซับไอโอดีนและพื้นที่ผิวรูพรุนพบว่าใช้ถ่านขาร์ที่มีขนาดเล็กจะให้สมบัติที่ดีกว่าในการกระตุ้นที่ 400 และ 750 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าการแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างของถ่านที่มีขนาดก้อนเล็ก เนื้อของ $ZnCl_2$ จะเข้าไปได้มีปริมาณที่มากกว่าเพราะถ่านก้อนเล็กที่มีปริมาณน้ำหนักเท่ากับถ่านก้อนใหญ่จะมีพื้นที่ผิวที่มากกว่า และ $ZnCl_2$ เป็นตัวที่มีความสำคัญในการกระตุ้นดังนั้นเมื่อมีปริมาณของ $ZnCl_2$ ในโครงสร้างที่มากก็จะทำให้ได้ถ่านที่มีคุณภาพดีการให้ $ZnCl_2$ เข้าในวัตถุดิบได้มากอาจทำได้โดยไปแช่ในสารที่ทำให้รูพรุนมี

ขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อทำให้สารแทรกซึมเข้าไปได้มาก จะมีผลทำให้ถ่านมีคุณภาพที่ดีขึ้น (Mondragon, 1995)

6.2.5 <u>ปริมาณ$ZnCl_2$ ที่ตกค้างอยู่ในถ่านกัมมันต์</u>

$ZnCl_2$ ที่ใช้ในการกระตุ้นมีสมบัติในการเปลี่ยนสถานะคือหลอมเหลวที่ 275 องศาเซลเซียสและกลายเป็นไอที่ 756 องศาเซลเซียส ในการทดลองที่อุณหภูมิตั้งแต่ 300 ถึง 750 องศาเซลเซียส สถานะของ $ZnCl_2$ ควรอยู่ในภาวะที่เป็นของเหลว ดังนั้นปริมาณของ Zn ไม่ควรหายไปขณะที่ทำการกระตุ้น การทดลองโดยการใช้ความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ 70 กรัม เป็นปริมาณ Zn ที่ใส่เข้าไปประมาณ 1 ส่วน ในถ่าน 1 ส่วน แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มี Zn ตกค้างประมาณร้อยละ 2 การที่ Zn เหลือน้อยไปกว่าตอนเริ่มต้น เพราะได้มีการล้างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยกรดน้ำและสารละลาย Na_2CO_2 ทำให้ Zn ที่มีอยู่ เหลือน้อยกว่าในตอนเริ่มต้นมาก การล้างนี้มีประโยชน์ต่อคุณภาพของถ่านเป็นอย่างมากเช่นการทดลองของ Teng (1998) พบว่าถ่านที่ผลิตถ้าไม่ล้างจะให้คุณภาพที่ต่ำมาก แต่ถ้าล้างด้วยน้ำคุณภาพจะดีขึ้นและถ้าล้างด้วยกรดจะทำให้คุณภาพเพิ่มมากขึ้นไปอีก ทั้งนี้อธิบายว่าถ้าไม่ล้างสาร $ZnCl_2$ อาจไปอุดตันในช่องว่างรูพรุนทำให้พื้นที่ผิวน้อยมาก แต่เมื่อมีการล้างเกิดขึ้น บริเวณที่อุดตันหายไป โดยเฉพาะการล้างด้วยสารเคมีเช่นกรด เป็นการไปช่วยสลายเอาสารต่าง ๆ ที่ตกค้าง ภายใต้โครงสร้างออกไปด้วย ทำให้คุณภาพของถ่านที่ได้มีสมบัติที่ดีขึ้น

การมี Zn ตกค้างในผลิตภัณฑ์จะต้องระลึกว่าไม่ควรนำไปใช้สัมผัสโดยตรงกับสารที่เกี่ยวข้องกับการบริโภคเช่น การฟอกสีสารที่เป็นส่วนประกอบของอาหาร เพราะจะทำให้มี Zn เข้าไปสู่ร่างกายได้ไม่ควรใช้กับการดูดสีหรือกลิ่นจากน้ำ เพราะจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

6.3 <u>คุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากผลการทดลองเทียบกับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า</u>

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการค้าขายมีสมบัติต่าง ๆ (บุญชัย, 2537) พอสรุปได้คือ

ค่าพื้นที่ผิวรูพรุน อยู่ในช่วงประมาณ	600-1,400	ตร.ม/กรัม
ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู อยู่ในช่วงประมาณ	170-300	มก./กรัม
ค่าการดูดซับ ไอโอดีนอยู่ในช่วงประมาณ	700-1200	มก./กรัม

สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการทดลองที่จัดได้ว่ามีคุณภาพที่ดี คือกระตุ้นถ่านชาร์ขนาดอนุภาค 2.00-2.38 มม. ด้วยสารละลาย $ZnCl_2$ เข้มข้น ร้อยละ 70 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการทดลอง

สมบัติ	ค่าที่วิเคราะห์ได้	
ค่าพื้นที่ผิวรูพรุน	237.17	ตร.ม./กรัม
ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู	54.9	มก./กรัม
ค่าการดูดซับไอโอดีน	351.9	มก./กรัม

สมบัติของถ่านที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่าที่ใช้ในทางการค้ามากทั้งนี้ อาจเป็นผลมาจากวัตถุเริ่มต้น คือยางเหลือทิ้งที่นำมาใช้ในการทดลองมีคุณภาพไม่ดีพอที่จะนำมาทำเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์แต่ไม่ได้หมายความว่าใช้ยางผลิตถ่านกัมมันต์ไม่ได้ เพราะยางมีหลายประเภท ดังนั้น ถ้าเลือกยางที่มีสมบัติเหมาะสมก็สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ได้ หรืออาจหาวิธีอื่น ๆ เช่น ทำให้ยางบวมพอง เพื่อให้$ZnCl_2$ เข้าไปในโครงสร้างของยางได้ดีขึ้น หรือนำไปผสมกับวัตถุดิบประเภทอื่น เพื่อสามารถผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพตามที่ต้องการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย