

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีการผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นมาเพื่อใช้ประโยชน์เป็นเวลานานแล้ว เทคนิคที่ใช้ในการผลิตเป็นแบบเบดนิ่ง (Fixed bed) การวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์ จะเน้นถึงความสามารถในการดูดซับโมเลกุลต่าง ๆ คือ การดูดซับเมทิลีนบลู การดูดซับไอโอดีน การดูดซับโมลาส และการดูดซับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ต่อมาได้มีการพัฒนาการผลิตโดยการประยุกต์เทคนิคฟลูอิดเซชัน การกระตุ้นก็มีลักษณะที่แตกต่างกันไป เช่น การใช้สารเคมี เช่น $ZnCl_2$ การกระตุ้นทางฟิสิกส์ โดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือใช้ไอน้ำ ในประเทศไทย เริ่มมีการวิจัยที่ภาคเคมีเทคนิคตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508 และได้มีการวิจัยต่อเนื่องตลอดจนถึงปัจจุบัน หน่วยงานอื่นๆ ที่ทำการวิจัย เช่น กรมวิทยาศาสตร์บริการ (เดิมชื่อ กรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม) กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (เดิมชื่อ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน) นอกจากนี้ก็มี สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (เดิมชื่อ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย) กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้ได้ขยายไปในมหาวิทยาลัยต่างๆอย่างกว้างขวาง คาดว่าในอนาคตจะพัฒนาไปสู่ระดับอุตสาหกรรมได้มากขึ้น

3.1 ผลงานของนักวิจัยชาวต่างประเทศ

1. Mukherjee.S. and et al., (1947)

ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบ 2 ชนิด คือ กะลามะพร้าว และเปลือกถั่วลิสง โดยใช้สารกระตุ้นต่าง ๆ คือ $ZnCl_2$, $CaCl_2$, $NaOH$ และ H_2SO_4 ในด้วยเทอร์เรนให้ความร้อนโดยนำด้วยไปวางไว้ในเตาเผา กระตุ้นที่อุณหภูมิ 600 ถึง 800 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปล้างสารกระตุ้นออกด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและน้ำกลั่น แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 250 ถึง 300 °C บดผ่านร่อนขนาด 200 เมช เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติการดูดซับ และควมหนาแน่นเชิงปริมาตร

ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

- ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ถ่านในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จาก เปลือกถั่วลิสงสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว และพบว่า $ZnCl_2$ จะเป็น

สารกระตุ้นที่ทำให้เกิดเถ้าในถ่านกัมมันต์น้อยที่สุดเมื่อสัมผัสกับวัตถุบดตลอดเวลาในขณะ กระตุ้น ดังนั้นจึงไม่ควรล้าง $ZnCl_2$ ออกก่อนนำไปให้ความร้อนในชั้นกระตุ้น

- ตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ การใช้ $ZnCl_2$ ร่วมกับ HCl เป็นสารกระตุ้น จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติในการดูดซับสูงสุดคือ การดูดซับไอโอดีน, การดูดซับเมทิลีนบลู และการดูดซับคาร์บอนิล มีค่าสูงทั้งหมด สำหรับการให้ $CaCl_2$ เป็นสาร กระตุ้น จะได้ถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับคาร์บอนิลได้ดีเท่านั้น ส่วนการใช้ $NaOH$ และ H_2SO_4 เป็น สารกระตุ้น จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติในการดูดซับน้อยที่สุด อนึ่งปริมาณ $ZnCl_2$ ที่ใช้กระตุ้น เบื้องต้นไม่ควรใช้เกินร้อยละ 62.5 เพราะจะทำให้สมบัติในการดูดซับเมทิลีนบลูลดลง และ ควรใช้ร้อยละ 67 ถึง 300 สำหรับกะลามะพร้าว

- ตัวแปรที่มีผลต่อความหนาแน่นเชิงปริมาตร ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรจะลดลง เมื่อใช้ $ZnCl_2$ หรือ $CaCl_2$ มากขึ้น แสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้มีความพรุนสูงขึ้น สำหรับถ่านกัม มันต์ที่ผลิตจากเปลือกถั่วลิสง พบว่าเมื่อความหนาแน่นเชิงปริมาตรลดลง สมบัติในการดูดซับคาร์บอนิลจะเพิ่มขึ้น แต่การดูดซับเมทิลีนบลูจะลดลงและไม่มีผลต่อการดูดซับอื่น ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ ผลิตจากกะลามะพร้าวพบว่าการดูดซับเมทิลีนบลูจะลดลงเท่านั้น โดยไม่มีผลต่อการดูดซับอื่น

2. Johnson et al. (1977)

ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากผงถ่านหินขนาด 8×30 เมช ความหนาแน่น ปรากฏเท่ากับ 0.735 โดยอบเม็ดถ่านหินให้แห้ง แล้วนำไปกระตุ้นด้วยแก๊สผสมระหว่างไอน้ำ ร้อนยวดยิ่งและแก๊สไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 2.5 และ 1,000 มิลลิลิตรต่อนาทีตามลำดับ ที่ อุณหภูมิ 760 ถึง 860 °C เป็นเวลา 60 นาที นอกจากนี้ยังได้ทดลองล้างผงถ่านหินด้วยกรดไฮโดร คลอริกร้อยละ 10 ก่อนนำมากระตุ้น เพื่อปรับปรุงคุณภาพถ่านกัมมันต์ด้วย ผลการทดลองดัง แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองของ Johnson et al. (1977)

การวิเคราะห์	สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้	
	ไม่ล้าง	ล้าง
ค่าการดูดซับไอโอดีน, มิลลิกรัมต่อกรัม	615	655
ค่าการดูดซับโมลาส, มิลลิกรัมต่อกรัม	315	299
ค่าการดูดซับคาร์บอนเดคระคลอไรด์, มิลลิกรัมต่อกรัม	3.62	3.00
ความหนาแน่นปรากฏ, กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	0.477	0.506
ค่าค่า, ร้อยละโดยน้ำหนัก	8.57	8.12

3. Ninomiya et al. (1974)

ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร นำมา คาร์ไบไนซ์ ที่อุณหภูมิ 800 °C ด้วยอัตราการป้อนวัตถุดิบ 272 กรัมต่อชั่วโมง จากนั้นนำไป กระตุ้นในเครื่องแอกติเวเตอร์ฟลูอิโดร์เบดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเบด 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร โดยทำให้เกิดการฟลูอิโดร์ด้วยแก๊สผสมระหว่างอากาศกับไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ที่มีไอน้ำร้อยละ 58 โดยปริมาตร ความเร็วของตัวกลาง 20 เซนติเมตรต่อวินาที และอุณหภูมิภายในเบด 805 °C

ผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังต่อไปนี้

ความหนาแน่นแพคกิ้ง (Packing density)	448	กรัมต่อลิตร
ค่าการดูดซับเบนซีนร้อยละ	38.2	โดยน้ำหนัก
ค่าการดูดซับไอโอดีน	1230	มิลลิกรัม/กรัม
ค่าความแข็ง	99.3	

4. Kirubakaran, C.J. et al (1991)

ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยใช้ $ZnCl_2$ หรือ H_3PO_4 เป็นสาร กระตุ้นในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิโดร์เบดและแบบเบดนิ่ง เพื่อศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อ สมบัติในการดูดซับได้แก่ ชนิดและปริมาณของสารกระตุ้น, อุณหภูมิและเวลาในการกระตุ้น, ขนาดของอนุภาค และตัวกลางที่ใช้ในการทำให้เกิดฟลูอิโดร์ ภาวะในการทดลองแสดงไว้ใน ตารางที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลองคือ แร่กะลามะพร้าวขนาดที่ต้องการในสารกระตุ้น นำไปอบให้แห้ง

ที่อุณหภูมิ 120 °C แล้วนำไปกระตุ้นในเครื่องแอกติเวเตอร์ โดยใช้ความเร็วของตัวกลาง 1 ถึง 2 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไรซ์สำหรับเครื่องแอกติเวเตอร์แบบเบดนิ่งใช้อัตราการไหลของตัวกลาง 200 ลิตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองของ Kirubakaran, C.J. et al (1974)

variable	Static bed	Fluidized bed
1. particle size (d_p), mm	0.25-0.4, 0.4-0.63, 0.63-0.8, 0.8-1.0, 1.0-1.2	0.25-0.4, 0.4-0.63, 0.63-0.8, 0.8-1.0, 1.0-1.2
2. activation temp (T), °C	300, 400, 500, 600, 700, 800	300, 400, 500, 600, 700, 800
3. activation time (t), min	30, 60, 90, 120, 150, 180	30, 60, 90, 120, 150, 180
4. reagent selection	ZnCl ₂ / H ₃ PO ₄	ZnCl ₂ / H ₃ PO ₄
5. impregnation ratio, (I.R.), wt%	25, 50, 100, 150, 200	25, 50, 100, 150, 200
6. medium	air/ N ₂ / CO ₂	air/ N ₂ / CO ₂

ผลการทดลองสรุปได้ว่า

- ผลของเวลา การกระตุ้นในฟลูอิดไรซ์เบดจะได้น้ำหนักมันต์ที่มีสมบัติในการดูดซับไอโอดีน และการดูดซับฟีนอล สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ใน 30 นาทีแรก จากนั้นจะค่อย ๆ สูงขึ้นอย่างช้า ๆ และลดลงเมื่อใช้เวลานานในการกระตุ้นมากกว่า 120 นาที สำหรับการกระตุ้นในเบดนิ่งพบว่าสมบัติในการดูดซับไอโอดีน และฟีนอล จะค่อย ๆ สูงขึ้นอย่างช้า ๆ และสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมคือ 2 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักมันต์ที่ได้จากการผลิตทั้งสองวิธีพบว่า การดูดซับของน้ำหนักมันต์ที่ผลิตในฟลูอิดไรซ์เบดสูงกว่าในเบดนิ่ง
- ผลของขนาดอนุภาค ในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดไรซ์เบด สามารถกระตุ้นวัสดุขนาดใหญ่ได้ดีกว่าในเบดนิ่ง ทั้งนี้เพราะทุก ๆ ส่วนของผิววัสดุสามารถใช้ในการเกิดปฏิกิริยาได้ จากการทดลองพบว่า ในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดไรซ์ ควรใช้วัสดุที่มีขนาด 0.515 มิลลิเมตร
- ผลของอุณหภูมิ ถ้าพิจารณาถ่วงน้ำหนักมันต์ที่ผลิตได้ที่มีสมบัติในการดูดซับเท่ากัน จะพบว่า การผลิตถ่วงน้ำหนักมันต์ในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดไรซ์ ใช้อุณหภูมิต่ำกว่าในเบดนิ่ง

ทั้งนี้เพราะสามารถถ่ายโอนมวลและความร้อนได้ดีกว่า สำหรับการกระตุ้นด้วย H_3PO_4 ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า $500^\circ C$ ค่าการดูดซับที่ลดลงจะลดลง ซึ่งอาจเกิดจากรูพรุนขนาดเล็ก (micropore) ถูกทำลายไป แต่ไม่มีผลกับค่าการดูดซับไอโอดีน สำหรับการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าการดูดซับไอโอดีนและที่ลดลงจะสูงขึ้น ซึ่งจะตรงข้ามกับการกระตุ้นด้วย H_3PO_4 ทั้งนี้เชื่อว่าเกิดจากการที่ $ZnCl_2$ (จุดเดือด $732^\circ C$) มีจุดเดือดสูงกว่า H_3PO_4 (จุดเดือด $213^\circ C$)

- ผลของชนิดและปริมาณสารกระตุ้นปริมาณสารกระตุ้นเพิ่มขึ้น ถ้าเพิ่มมันต์ที่ได้จะมีสมบัติในการดูดซับเพิ่มขึ้น ทั้งในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบดและเบดนิ่งทั้งนี้สมบัติในการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 25 จากนั้นสมบัติในการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เมื่อปริมาณสารกระตุ้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ จะได้ค่ามากกว่ามันต์ที่มีสมบัติในการดูดซับสูงกว่าค่ามันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย H_3PO_4 ประมาณ 2 เท่า

- ผลของตัวกลางที่ใช้ในการฟลูอิไดซ์ พบว่า การใช้แก๊สไนโตรเจน หรือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวกลางจะช่วยให้ค่ามันต์ที่ผลิตได้ มีสมบัติในการดูดซับสูงกว่าการใช้อากาศเป็นตัวกลาง เช่น เมื่อใช้ $ZnCl_2$ เป็นสารกระตุ้น พบว่าการดูดซับไอโอดีนของค่ามันต์เมื่อใช้แก๊สไนโตรเจนมีค่า 1,100 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 1,000 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อใช้อากาศเท่ากับ 800 มิลลิกรัมต่อกรัม

5. Mohd Zobir Husseln et al. (1995)

เป็นงานวิจัยที่นำเอาต้นปาล์มน้ำมันที่มีมากในมาเลเซียมาเป็นวัตถุดิบ ทำการทดลองโดยใช้ต้นปาล์มที่ตัดเป็นชิ้นๆ จำนวน 10 กรัม ผสมกับสารละลาย $ZnCl_2$ ที่มีความเข้มข้นจาก 0 – 30 % โดยน้ำหนัก 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำไปแช่ในอ่างควบคุมความร้อนที่ $70^\circ C$ จนได้ตัวอย่างที่แห้งนำไปอบต่อที่ $120^\circ C$ ส่วนหนึ่งนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณ $ZnCl_2$ ที่ซึมเข้าไปอยู่ในเนื้อของวัตถุดิบ และอีกส่วนหนึ่งไปทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ $500^\circ C$ ภายใต้บรรยากาศของ N_2 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และผ่านแก๊ส $\%CO_2$ เข้าไปเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่า ปริมาณของ $ZnCl_2$ ที่เข้าไปในเนื้อของต้นปาล์มน้ำมัน จะมีจุดอิ่มตัวที่ 130 มิลลิกรัม Zn / กรัมของเนื้อต้นปาล์ม และความเข้มข้นที่จะทำให้เกิดการอิ่มตัวได้ จะต้องมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 20 % โดยน้ำหนักของ $ZnCl_2$

สำหรับการวิเคราะห์ผลของการกระตุ้น จะได้ข้อมูลตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ของ Mohd Zobir Hussein et al (1995)

ZnCl ₂ (%โดยน้ำหนัก)	pH	BET Surface area (m ² g ⁻¹)	Type of Isotherm	Micropore volume (cm ³ g ⁻¹)
0	10.0	239	I	0.0697
1	6.5	469	I	0.1617
5	6.6	1102	I	0.3274
10	6.75	1622	I	0.1931
15	6.60	1673	II	-
20	6.55	1738	II	-
25	6.40	1892	II	-
30	-	1649	II	0.2185

จากตารางที่ 3.3 แยกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่บ่งถึงพื้นที่ผิวของถ่านพบว่ามียุคสูงสุดประมาณ 1892 m² / g โดยใช้ความเข้มข้นของ ZnCl₂ 25% โดยน้ำหนัก และจากการศึกษาการดูดซับไอโซเทอม พบว่ามีลักษณะแบบชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 ชนิดที่ 1 อยู่ในช่วง ZnCl₂ 0 - 10 % โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นลักษณะของรูพรุนที่มีการกระจายของขนาดน้อย รูพรุนมีขนาดเล็ก (micropore) ส่วนที่ความเข้มข้นในช่วง 15 - 30 % โดยน้ำหนัก เป็นแบบชนิดที่ 2 ซึ่งลักษณะของโครงสร้าง จัดเป็นแบบ แคปิลลารี มีความแตกต่างของขนาดรูพรุนเพิ่มมากขึ้น โดยมีการเพิ่มปริมาณของรูพรุนขนาดกลาง (mesopore) เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณของรูพรุนขนาดเล็กในโครงสร้างมียุคสูงสุดเมื่อใช้ ZnCl₂ 5 % โดยน้ำหนัก การใช้ ZnCl₂ 0 - 15% โดยน้ำหนัก จะไม่พบรูพรุนขนาดกลาง แต่การใช้ 25% ZnCl₂ มีรูพรุนขนาดประมาณ 4.0 nm มากที่สุด การใช้ 30% ZnCl₂ มีรูพรุนขนาดประมาณ 4.4 nm มากที่สุด แสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้น ZnCl₂ สูงขึ้น จะมีผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของรูพรุนจากเดิมที่เป็นรูพรุนขนาดเล็ก ไปเป็นรูพรุนขนาดกลาง เกิดขึ้น

6. E. Mondragon et al. (1995)

ผู้วิจัยมีแนวความคิด ในการเตรียมถ่านกัมมันต์ โดยวิธีทางเคมี ว่าถ้าปรับปรุงถ่านหิน ให้มีการบวมพองตัวขึ้นโดยใช้ตัวทำละลาย จะทำให้สารเคมีที่ใช้กระตุ้นสามารถแพร่เข้าไปใน โครงสร้าง ได้ดี และจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติดีขึ้น

ในการทดลอง ใช้ถ่านหิน Amaga (76% C และ 16.3% O) บดผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ทำให้แห้งแล้วนำไปทดลองในแบบต่าง ๆ คือ

-นำไปไพโรไลซิส ที่ 350 และ 450°C ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน ที่ 100 บาร์ โดยบรรจุถ่านและ $ZnCl_2$ ไว้ในเครื่องปฏิกรณ์ ด้วยกัน

-นำตัวอย่างไปแช่ในสารละลายของ $ZnCl_2$ ที่มีตัวทำละลายต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำ เอทานอล และไพริดีน (pyridine) ทิ้งไว้ค้างคืน แล้วนำไปไพโรไลซิสในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีแก๊สไนโตรเจนไหลผ่านด้วยอัตรา 120 ลิตรต่ออนาที

จากผลการทดลองได้ข้อมูล แยกได้ดังนี้

-ในกรณีที่นำถ่านผสมกับ $ZnCl_2$ ไปไพโรไลซิสในบรรยากาศของไนโตรเจนที่ความดัน 100 บาร์ ได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ผลของอุณหภูมิต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ความดันสูง

Run	Temperature °C	Time (min)	Product yield wt%, (daf)	BET area M ² /g
1	350	15	74	3.0
2	350	180	nd	2.0
3	450	15	78	2.0
4	450	180	59	18.0

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการที่จะใช้ความดันจากแก๊สไนโตรเจนไปทำให้ $ZnCl_2$ ที่หลอมเหลว แพร่เข้าไปในเนื้อของถ่านไม่ได้ พื้นที่ของผิวรูพรุนของถ่าน ก่อนการทดลองมีพื้นที่ประมาณ 8 ตารางเมตรต่อกรัม แต่หลังการทดลองแล้วได้พื้นที่ผิวน้อยกว่าพื้นที่ผิวเดิม สำหรับข้อมูลสุดท้ายที่ถ่านมีพื้นที่ผิวมากขึ้น เนื่องจากใช้เวลานานทำให้โครงสร้างของถ่านเกิดการบวมการแตกหักขึ้น มีสารจากการสลายตัวออกมาจากเนื้อของถ่าน ซึ่งทำให้พื้นที่ยิ่งมากขึ้น

ตารางที่ 3.5 ผลของตัวทำละลาย ต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์

Run	Solvent	Temperature °C	Time (min)	Product yield wt%, daf	BET area M ² /g
5	Water	500	15	79	186
6	Water	600	15	nd	239
7	Ethanol	500	180	70	546
8	Ethanol	600	15	77	696
9	Ethanol	600	180	60	647
10	Pyridine	650	15	71	1106

ตารางที่ 3.5 เป็นผลการทดลอง ที่ใช้ ตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ น้ำ เอทานอล และไพริดีน สมบัติทางพื้นที่ผิว การใช้น้ำจะให้พื้นที่ผิวน้อยที่สุด การใช้ไพริดีนจะให้พื้นที่ผิวมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากว่า น้ำทำให้ถ่านหินเกิดการพองตัวน้อยมาก การนพองของ ZnCl₂ เข้าไปในโครงสร้างเข้าไปได้ยาก ส่วนเอทานอลเป็นสารที่ทำให้ถ่านมีการพองตัวพอประมาณ ดังนั้น ZnCl₂ จึงแพร่เข้าไปในโครงสร้างได้ดีกว่าน้ำ สำหรับการใช้ไพริดีน จะทำให้ถ่านเกิดการพองตัวมากที่สุด สารแพร่เข้าไปได้ดีที่สุดมีผลทำให้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีพื้นที่ผิวสูงสุด

7. Hsisheng Teng and Tien Sheng Yeh (1998)

ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ถ่านหินจากออสเตรเลีย 2 ชนิด ใช้ชื่อย่อว่า BW และ MT เป็นถ่านที่มีปริมาณแฉะใกล้เคียงกัน แต่มีอัตราส่วนจำนวนอะตอมของออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) แตกต่างกัน BW เป็นถ่านที่มีค่า O/C ต่ำคือ 0.067 ส่วนถ่าน MT เป็นถ่านที่มีค่า O/C สูงคือ 0.11

การทดลองประกอบด้วยถ่าน 2 ขนาด คือ 210-300 ไมโครเมตร และ 420-1000 ไมโครเมตร ใช้ถ่าน 20 กรัม ผสมกับสารละลาย 100 กรัม (ซึ่งในสารละลายมี ZnCl₂ อยู่ 40 กรัม จึงเรียกว่ามีสารกระตุ้น ต่อถ่านหินเท่ากับ 200 เปอร์เซ็นต์) นำสารไปอยู่ที่ 85°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำสเลอรีที่ได้ไปอบแห้งที่ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างไปคาร์บอนไนซ์ในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีแก๊สไนโตรเจนไหลผ่านด้วยอัตรา 100 มิลลิลิตรต่อนาที การให้ความร้อนมี

อัตราเพิ่มของอุณหภูมิ 30°C ต่อนาที อุณหภูมิสุดท้ายที่ใช้ในการศึกษาอยู่ที่ 400 ถึง 700°C ช่วงเวลาที่ให้อุณหภูมิคงที่ที่อุณหภูมิดังกล่าวคือ $0,1$ และ 2 ชั่วโมง นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดลองสมบัติโดยมีกระบวนการที่แตกต่างกัน คือ ไม่ล้างผลิตภัณฑ์ที่ได้ ล้างผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยน้ำ และ ล้างผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยสารละลายของกรดแล้วล้างด้วยน้ำ

จากผลการทดลองมีข้อมูลและข้อสรุปต่าง ๆ ดังนี้

- ในการทดลองแสดงให้เห็นว่า ZnCl_2 เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวกระตุ้นในการเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีค่าความพรุนสูงจากถ่านหินปิทูมินัส ค่าพื้นที่ผิวมีค่าสูงถึง 1300 ตารางเมตรต่อกรัม และมีปริมาตรรูพรุน $0,8$ ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม

- ในการคาร์บอนไนซ์โดยใช้ ZnCl_2 กับไม่ใช้ ZnCl_2 พบว่าการเปลี่ยนแปลงว่า ZnCl_2 มีความสำคัญในการระลอกไม่ให้ทำให้ออกมาสู่ภายนอก ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้ที่อุณหภูมิยังไม่สูง ในช่วง $200-300^{\circ}\text{C}$ ZnCl_2 จะระลอกการปลดปล่อยโมเลกุลของน้ำ เพราะมีแรงดึงดูดระหว่างน้ำกับ ZnCl_2 ในภาพของแรงมาก แต่ที่อุณหภูมิสูง ZnCl_2 จะระลอกสารที่จะระเหยออกมา

- ผลของการล้างหลังจากการคาร์บอนไนซ์ ในการล้างมีหลักการว่าการล้างด้วยสารละลายกรด จะละลายพวกโลหะอัลคาไลด์ โลหะอัลคาไลด์เอิร์ท และพวกที่ไม่ละลายน้ำ การล้างด้วยน้ำจะละลายพวกเบส และสารที่ละลายน้ำ หลังจากการคาร์บอนไนซ์แล้วยังมีสารเคมีต่าง ๆ ตกค้างอยู่ในรูพรุนของถ่าน การทดลองประกอบด้วย

- การไม่ล้างถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์

- ล้างด้วย น้ำที่อุณหภูมิห้อง (100 มิลลิลิตรของน้ำ / กรัมของถ่าน) และล้างด้วยน้ำร้อนที่ 85°C (150 มิลลิลิตร / 1 กรัมของถ่าน)

- ล้างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น $0,5$ นอร์มอล และล้างด้วยน้ำร้อนที่ 85°C

การทดลองใช้ถ่าน BW และ MT ที่มีช่วงระยะเวลาการคาร์บอนไนซ์ 1 และ 2 ชั่วโมง สมบัติของถ่านที่ได้แสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 สมบัติของถ่านกัมมันต์จากการทดลองของ Teng et al.(1998)

Carbonization time (h)	Washing process	BET SA (m^2g^{-1})	pore volume (cm^3g^{-1})	Pore size distribution	
				micro (%)	meso (%)
BW Carbon					
1	No washing	91	0.112	38	62
1	Water washing	887	0.479	87	13
1	Acid washing	1300	0.828	75	25
2	No washing	210	0.155	65	35
2	Water washing	668	0.360	88	12
2	Acid washing	1180	0.693	81	19
MT Carbon					
1	No washing	116	0.091	60	40
1	Water washing	894	0.476	89	11
1	Acid washing	1080	0.649	79	21
2	No washing	123	0.088	67	33
2	Water washing	727	0.394	87	13
2	Acid washing	971	0.564	82	18

จากผลการทดลองพบว่า การไม่ล้าง จะมีค่าพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนต่ำ แต่การล้างด้วยสารละลายของกรดจะได้ค่าดังกล่าวสูงที่สุด ซึ่งแสดงว่ารูพรุนที่เกิดขึ้นในถ่านจะมีสารเคมีอยู่ในโครงสร้าง การที่ไม่ล้างถ่าน ZnCl_2 จะปิดกั้นรูพรุนในโครงสร้าง ถ้าวิเคราะห์ขนาดของรูพรุนจะเห็นว่า การล้างด้วยกรด จะมีรูพรุนขนาดกลาง สูงกว่า รูพรุนขนาดเล็ก แสดงว่ามีสารที่ไม่ละลายน้ำ แทรกอยู่ในรูพรุนขนาดกลาง จำนวนมาก

ผลการวิจัยจึงสรุปได้ว่า กระบวนการล้างด้วยกรดมีความสำคัญมาก ในการเตรียมถ่านที่มี ค่าความพรุนสูง

-ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการ คาร์บอนไนท์ การทดลองใช้ถ่าน BW และ MT ขนาด 210-300 ไมโครเมตร เวลาในการคาร์บอนไนท์ 1 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้ คือ 400 ถึง 700 °C สมบัติของถ่านที่ได้ แสดงในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์จากการทดลองของ Teng et al (1998)

Carbonization temp. (°C)	BET SA (m ² g ⁻¹)	pore volume (cm ³ g ⁻¹)	Average pore diameter (Å°)	Pore size distribution	
				micro (%)	meso (%)
BW Carbon					
400	501	0.28	22	86	14
500	1300	0.83	25	75	25
600	895	0.55	24	77	23
700	858	0.49	23	83	17
MT Carbon					
400	775	0.41	21	90	10
500	1080	0.65	24	79	21
600	994	0.58	23	82	18
700	874	0.50	23	83	17

จากตารางที่ 3.7 ในกรณีของ ถ่าน BW ในโครงสร้างของถ่านจะมีรูพรุนขนาดเล็กมากกว่ารูพรุนขนาดกลาง พื้นที่ผิวในการดูดซับจะมีค่าน้อยที่สุดที่ 400 °C มีค่าสูงสุดที่ 500 °C และจะมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้ว่าในช่วงอุณหภูมิจาก 400 ถึง 500 °C จะมีการปลดปล่อยทาร์ออกจากโครงสร้าง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นไป โครงสร้างภายในของถ่านเองจะเกิดการแตกสลาย (shrinkage)

ถ่าน MT ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับถ่าน BW แต่ถ้าวิเคราะห์ พื้นที่ผิวแล้ว ถ่าน BW จะให้พื้นที่ผิวมากกว่า ถ่าน MT เนื่องจากถ่าน BW มีโครงสร้างที่เหมาะสมในการที่ ZnCl₂ จะเข้าไปเกิดการเชื่อมโยง นำไปสู่การสร้างโครงสร้างที่จะทำให้มีปริมาณรูพรุนสูง ส่วนถ่าน MT มีปริมาณออกซิเจน ที่อยู่ในโครงสร้างสูงมีความถาวรของโครงสร้างมากกว่าการเชื่อมโยงของ ZnCl₂ จึงสลายตัวเพื่อเกิดเป็นรูพรุนได้ยากกว่า

- ผลของขนาดอนุภาค การทดลองใช้ถ่านหินขนาด 210-300 ไมโครเมตร และ 400-1000 ไมโครเมตร คาร์บอนไนท์ ที่ 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ถ่านที่มีขนาด 400-1000 ไมโครเมตร มีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3.8 (ส่วนถ่านขนาด 210-300 ไมโครเมตร แสดงไว้แล้วในตารางที่ 3.7)

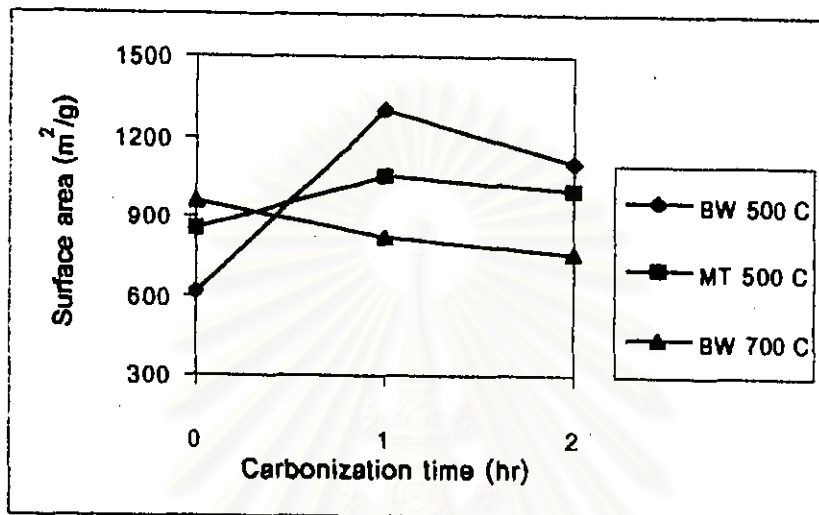
ตารางที่ 3.8 ผลของขนาดอนุภาคของถ่านขนาด 400 – 1000 ไมโครเมตร จากการทดลองของ Teng et al(1998)

Carbonization temp. (°C)	BET SA (m ² g ⁻¹)	pore volume (cm ³ g ⁻¹)	Average pore diameter (Å°)	Pore size distribution	
				micro (%)	meso (%)
BW Carbon					
400	372	0.20	21	88	12
500	653	0.34	21	91	9
600	562	0.28	20	95	5
700	546	0.27	20	95	5
MT Carbon					
400	608	0.31	20	93	7
500	700	0.35	20	93	7
600	542	0.27	20	96	4
700	523	0.27	20	93	7

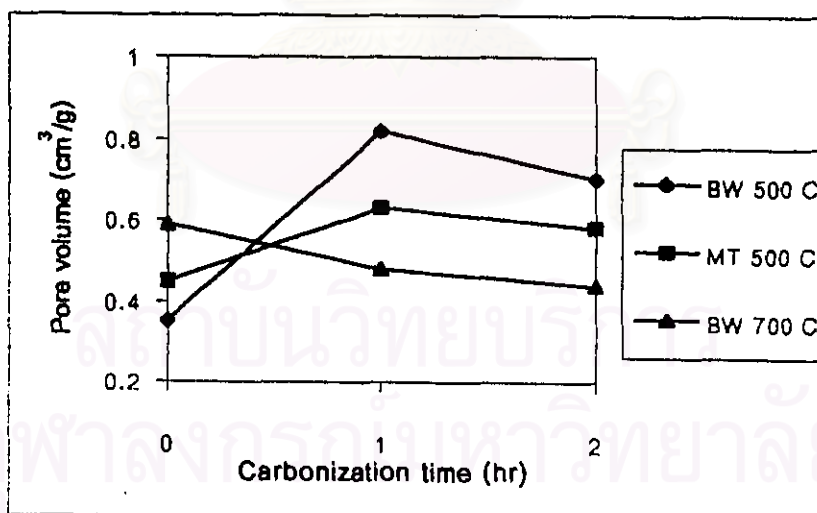
ผลจากการทดลองพบว่า ถ่านที่มีขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวของการดูดซับและปริมาตรรูพรุนลดลง ซึ่งมาจากความจริงที่ว่า ถ่านที่มีขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับสารเคมีน้อยกว่าถ่านที่มีขนาดเล็ก นอกจากนี้ ถ่านที่มีขนาดใหญ่จะมีความต้านทานต่อการซึมผ่านของสารเคมีเข้าไปสู่ภายในสูงกว่า

- ผลของเวลาในการคาร์บอนไนท์ ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2 ถ่าน BW และถ่าน MT ที่ 500 °C พื้นที่ผิวดูดซับและปริมาตรรูพรุนสูงสุด เมื่อใช้เวลาในการคาร์บอนไนท์ 1 ชั่วโมงและค่านี้จะค่อย ๆ ลดลง ทั้งนี้เพราะว่า ในช่วงแรกที่อุณหภูมิ 500 °C ZnCl₂ จะต้องมีเวลาในการสร้างโครงสร้างของถ่านแต่เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมงไปแล้ว ถ่านจะเกิดการแข็ง (caking) ของโครงสร้างภายใน

ในกรณีนี้ที่ 700 °C จะมีการลดลงของพื้นที่ผิวดูดซับ และปริมาตรรูพรุน เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น เพราะภายในได้มีการจัดสร้างโครงสร้างของถ่านหมดแล้ว ที่อุณหภูมิสูงขึ้นโครงสร้างของถ่านจะมีการแตกสลาย ทำให้เวลาผ่านไป ปริมาตรรูพรุนลดลง



รูปที่ 3.1 ผลของเวลาในการคาร์บอนไนซ์ที่มีต่อพื้นที่ผิวจากการทดลองของ Teng et al(1998)



รูปที่ 3.2 ผลของเวลาในการคาร์บอนไนซ์ที่มีต่อปริมาตรรูพรุนจากการทดลองของ Teng et al (1998)

3.2 ผลงานของนักวิจัยชาวไทย

1. อุบัติ กิจสวัสดิ์ (2520)

ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบผสมกับ $ZnCl_2$ อัตราส่วน 1 : 2.5 เวลาในการคาร์บอนไนซ์คือ 1 ชั่วโมง แปรอุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ตั้งแต่ 300, 400, 500, 600 และ 800 °C โดยนำแกลบที่ผสม $ZnCl_2$ ใส่ลงในถ้วยกราทไฟต์ แล้วนำไปวางไว้ในเตาเผา ทั้งนี้ได้สรุปผลการทดลองไว้ว่า อุณหภูมิ 600 °C จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติในการดูดซับเมทิลีนบลูได้ดีที่สุด แต่ไม่ได้แสดงค่าที่ได้จากการทดลองไว้ในรายงาน

2. อุไรวรรณ อรรณรัตน์พคุณ (2523)

ได้ทดลองคาร์บอนไนซ์กะลามะพร้าวในถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร แล้วนำไปกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในเตาแบบหมุน (rotary kiln) ที่ทำด้วยเหล็กไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ปลายแต่ละด้านปิดด้วยตะแกรงเพื่อป้องกันไม่ให้อันหลุดออกไป ให้อุณหภูมิในแนวนอนด้วยอัตรา 4 รอบต่อนาที ภาวะที่ใช้คือ ถ่านขนาด 4-10 เมช (2.00-4.76 มิลลิเมตร) ครั้งละ 500 กรัม , อุณหภูมิ 700-1050 °C แปรเวลาตั้งแต่ 30, 40 , 50 , 55 , 60 , 65 , 90 , 105 , 110 และ 130 นาที ผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นโดยใช้เวลา 30 ถึง 130 นาที มีคุณภาพดังต่อไปนี้

ค่าการดูดซับไอโอดีน	1540	มิลลิกรัมต่อกรัม
ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู	5-371	มิลลิกรัมต่อกรัม
ความหนาแน่นปรากฏ	0.31-0.59	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3. เกศรา นุควลัย และคณะ (2531)

ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากพีต (peat) ที่ได้จากจังหวัดนราธิวาส โดยใช้วิธีกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ในครุชีเบล กราทไฟต์ ที่ให้ความร้อนด้วยเตาเผา (Muffle furnace) และวิธีกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบเตาหมุน การกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ทำโดยแช่พีตที่บดละเอียดและผ่านร่ง (sieve) 60 เมช (mesh) ในสารละลาย $ZnCl_2$ เข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนของพีตต่อสารละลาย คือ 1 : 2.5 และ 1:4.0 ที่อุณหภูมิ 400 และ 600 °C แปรเวลาตั้งแต่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 ชั่วโมง แล้วนำไปคาร์บอนไนซ์ในเตาเผา (Muffle furnace) ผลการทดลองพบว่า การใช้ อัตราส่วน 1:4 กระตุ้นที่ 600 °C เวลามากกว่า 0.5 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติเทียบเท่ากับถ่านกัมมันต์ในทางการค้ากล่าวคือ ค่าการดูดซับไอโอดีน 1200 ถึง 1300

มิลลิกรัมต่อกรัม , ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 200 ถึง 300 มิลลิกรัมต่อกรัม , พื้นที่ผิวอนุภาค 1200 ถึง 1500 ตารางเมตรต่อกรัม และค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (yield) 49 ถึง 54 สำหรับการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนขวดยี่ง ทำโดยผสมพืชที่ผ่านแรงขนาด 60 เมช กับน้ำมันปาล์มดำนาล้างลูก เข้มข้น 0.04 กรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณที่ใช้คือร้อยละ 5 ของน้ำหนักพืช อัดให้เป็นเม็ดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร อบให้แห้งที่ 110 °C แล้วนำไปคาร์บอนไนซ์ที่ 500 °C จากนั้นนำไปกระตุ้นในเตาเผาแบบหมุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของบด 10 เซนติเมตรและยาว 35 เซนติเมตรที่อุณหภูมิ 800 และ 900 °C ระยะเวลา 1 ,2 ,3 , 4 ชั่วโมง ความดันไอน้ำ 20 ทีเอสไอจี (psig) ผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 900 °C เวลา 4 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับสูงที่สุดคือ ค่าไอโอดีนประมาณ 1200 มิลลิกรัมต่อกรัม, ค่าเมทิลีนบลูประมาณ 295 มิลลิกรัมต่อกรัม , พื้นที่ผิวอนุภาค 881 ตารางเมตรต่อกรัม และค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้เท่ากับ 8

4. บุญชัย ตระกูลมหารัย และคณะ (2534)

เป็นการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากพืชไทยที่บดผ่านตะแกรงขนาด 8 มิลลิเมตร และพืชญี่ปุ่นที่บดผ่านตะแกรงขนาด 5 และ 8 มิลลิเมตร แล้วนำไปคาร์บอนไนซ์ในเครื่องคาร์บอนไนเซอร์แบบฟลูอิดไรเซด ที่อุณหภูมิ 460 °C อัตราการผ่านอากาศ 100 ลิตรต่อนาที และในเครื่องคาร์บอนไนเซอร์แบบเบดนิ่ง ที่อุณหภูมิ 500 °C เวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนขวดยี่งในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิดไรเซดซึ่งทำด้วยสแตนเลสเบอร์ 316 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 44 มิลลิเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 850 และ 900 °C ระยะเวลา 10 ,20 ,30 ,40 นาที ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้ในการทดลองของ

บุญชัย ตระกูลมหารัย และคณะ (2534)

สมบัติ	ถ่านกัมมันต์จากพืชไทย	ถ่านกัมมันต์จากพืชญี่ปุ่น
พื้นที่ผิวบีอีที, ม. ² /ก.	383.4-623.5	243.2-510.4
ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู, มก./ก.	58.2-227.0	64.1-191.0
ค่าการดูดซับไอโอดีน, มก./ก.	662.9-1030.8	442.0-832.3

สรุปผลการทดลองได้ว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพืตญี่ปุ่นที่บดผ่านตะแกรงต่างกัน มีสมบัติคล้ายกัน และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ด้วยเครื่องคาร์บอนไนซ์แบบฟลูอิโดเบด มีสมบัติการดูดซับดีกว่าที่ผลิตจากถ่านที่ได้จากเครื่องคาร์บอนไนซ์แบบเบดนิ่ง อื่นๆ ในการทดลองนี้ยังได้ทดลองลดปริมาณถ่านในถ่านกัมมันต์ที่ได้ ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 5 โดยต้มให้เดือดประมาณ 20 นาที ผลการทดลองคือค่าค่าถ่านลดลงอย่างเห็นได้ชัด และถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพืตญี่ปุ่นมีสมบัติในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพืตไทย ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพืตญี่ปุ่นมีค่าค่าสูงมาก (ร้อยละ 30-50) จึงมีผลทำให้ถ่านกัมมันต์มีสมบัติในการดูดซับลดลง เมื่อนำไปล้างถ่านออก สมบัติในการดูดซับจึงเพิ่มขึ้น ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพืตไทยมีค่าค่าไม่สูงมากนัก (ร้อยละ 10-15) จึงมีผลต่อการดูดซับน้อย

5. นเรศ จันทน์เทียน และคณะ (2534)

เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำกะลาตาลโตนดมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอน้ำร้อนขวดยิงในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิโดเบด และใช้ $ZnCl_2$ ในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบเบดนิ่ง การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำร้อนขวดยิงในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิโดเบด ทำโดยคาร์บอนไนซ์กะลาตาลโตนดในเตาเผา (muffle furnace) ที่ $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง คัดขนาดถ่าน 2-5 มิลลิเมตรเพื่อนำมากระตุ้นในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบฟลูอิโดเบด มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกที่ทำจากสแตนเลสเบอร์ 316 หนา 4 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูประมาณ 0.17 มิลลิกรัมต่อกรัม , ค่าการดูดซับไอโอดีน 600 มิลลิกรัมต่อกรัม

การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย $ZnCl_2$ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ทำโดยคาร์บอนไนซ์กะลาตาลโตนดในเครื่องคาร์บอนไนเซอร์ มีเบดทำด้วยสแตนเลสเบอร์ 316 เป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด $17 \times 19.5 \times 53$ เซนติเมตร ซึ่งมีส่วนให้ความร้อนเป็นขดลวดให้ความร้อนที่ $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นคัดขนาดถ่าน 2-5 มิลลิเมตร เพื่อนำมาแช่ในสารละลาย $ZnCl_2$ เข้มข้นร้อยละ 50 ใช้อัตราส่วนของถ่าน 3 กรัม ต่อสารละลาย $ZnCl_2$ 9 มิลลิลิตร นำไปกระตุ้นในเตาเผา (Muffle furnace) ที่อุณหภูมิ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าค่าเมทิลีนบลูประมาณ 362-376 มิลลิกรัมต่อกรัม , ค่าการดูดซับไอโอดีน 1088-1117 มิลลิกรัมต่อกรัม

6. พิสุทธิ พันธุ์ชาติกุล และ สมิทธิ รัตนสุทธิพงษ์(2535)

ผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลขนาด 3.35-6 และ 1.40-3.35 มิลลิเมตร โดยใช้ $ZnCl_2$ เข้มข้นร้อยละ 50 เป็นสารกระตุ้น น้ำหนักของสารละลาย $ZnCl_2$ ต่อวัตถุดิบเท่ากับ 2 : 1 แปรอุณหภูมิที่ใช้คือ $400, 450^\circ C$ และแปรระยะเวลาที่ใช้คือ 2, 3 ชั่วโมง เครื่องแอกติเวเตอร์ที่ใช้เป็นแบบฟลูอิดไรเซต ที่ใช้อากาศเป็นตัวกลาง ความเร็วของอากาศที่ใช้คือ 0.8 -1.1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพต่ำ ทั้งนี้เพราะใช้อุณหภูมิสูงเกินไป เนื่องจากกะลาตาลโดนคแรงและเหนียวมาก จึงบดให้มีขนาดเล็กไม่ได้ ประกอบกับการใช้อากาศเป็นตัวกลางแทนที่จะใช้แก๊สไนโตรเจนดังนั้นก็เกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนแข่งขันกับปฏิกิริยาของ $ZnCl_2$

7. ฤทธิกร อิศระเสนีย์ และคณะ (2540)

ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว มีการดำเนินการ 2 ขั้นตอน คือการคาร์บอนไนซ์และกระตุ้นถ่านด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศ การคาร์บอนไนซ์ ทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 110 เซนติเมตร ตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิและเวลาในการคาร์บอนไนซ์ใช้ยางรถยนต์ที่ตัดให้มีขนาด $5 \times 5 \times 5$ มิลลิเมตร ปริมาณ 1 กิโลกรัม ใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง $550^\circ C$ และใช้เวลาตั้งแต่ 30 ถึง 90 นาที เลือกถ่านที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับนำไปกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งโดยพิจารณาจากถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง และมีปริมาณสารระเหยอยู่ในช่วงร้อยละ 20-25 พบว่า การคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ $450^\circ C$ เป็นเวลา 30 นาที ได้ปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ 47.2 ปริมาณ คาร์บอนคงตัวร้อยละ 50.48 และปริมาณสารระเหยได้ร้อยละ 23.11 ซึ่งมีสมบัติเหมาะสมในการนำไปกระตุ้นในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งทำในเครื่องแอกติเวเตอร์แบบเบดนิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.81 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิและเวลา การกระตุ้น ขนาดของถ่านที่ใช้ และอัตราการป้อนไอน้ำโดยใช้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ครั้งละ 50 กรัม ถ่านที่ใช้มีขนาด 0.35-1.18, 1.18-2.36 และ 2.36-4.75 มิลลิเมตร ใช้อุณหภูมิ 800 ถึง $940^\circ C$ ใช้เวลา 15 ถึง 45 นาที อัตราการป้อนไอน้ำ 1.51-4.18 กรัมต่อนาที จากผลการวิจัยพบว่าถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติที่ดี คือถ่านขนาด 1.18-2.36 มิลลิเมตร กระตุ้นที่อุณหภูมิ $900^\circ C$ ใช้เวลา 30 นาที อัตราการป้อนไอน้ำ 1.88 กรัมต่อนาที ซึ่งในภาวะดังกล่าวจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติดังนี้ พื้นที่ผิว 691.51 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าการดูดซับไอโอดีน 891.11 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 172.03 มิลลิกรัมต่อกรัม ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.440 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

9. บทสรุป (2541)

ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมีการดำเนินการ 2 ขั้นตอนคือ การคาร์บอนไนซ์และกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผสมอากาศ

การคาร์บอนไนซ์ใช้เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 158 มิลลิเมตร ยาว 1150 มิลลิเมตร ใช้อ่าง 500 กรัม ขนาด 5X5X5 มิลลิเมตร ผ่านอากาศด้วยอัตรา 0.52 นอร์มอลลิตรต่อนาที ตัวแปรที่ใช้คืออุณหภูมิจาก 300 ถึง 500 °C และเวลาดังแต่ 30 ถึง 90 นาที ได้ถ่านที่มีสมบัติเหมาะสมนำมาไปกระตุ้นคือ การคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 350 °C และใช้เวลา 60 นาที ซึ่งได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ร้อยละ 41.40 มีปริมาณคาร์บอนคงตัวถึงร้อยละ 62.57 และปริมาณสารระเหยได้ร้อยละ 22.13

การกระตุ้นใช้เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ใช้ถ่าน 200 กรัม ผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และอากาศด้วยอัตรา 5 นอร์มอลลิตรต่อนาทีและ 0.27 นอร์มอลลิตรต่อนาที ตัวแปรที่ใช้คืออุณหภูมิในการกระตุ้นจาก 750 ถึง 900 °C ขนาดของถ่าน 4 กลุ่ม จาก 0.25-4.75 มิลลิเมตร และช่วงเวลาที่ผ่านไอน้ำเข้าไปในเบดคือ 30, 45 และ 60 นาที ภาวะที่เหมาะสมคือ ถ่านขนาด 0.60-1.18 มิลลิกรัมที่ 900 °C ใช้เวลา 45 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติคือ มีความหนาแน่น 0.359 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีพื้นที่ผิว 658.75 ตารางเมตรต่อกรัม เป็นรูพรุนขนาดเล็ก 424.27 ตารางเมตรต่อกรัม ขนาดเฉลี่ยของรูพรุน 22.24 นาโนเมตร มีค่าการดูดซับไอโอดีน 598.79 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 247.08 มิลลิกรัมต่อกรัม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย