บทที่ 3

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การผลิตถ่านกัมมันต์ในต่างประเทศมีมานานแล้ว ระยะแรกๆเป็นการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการ เทคนิคที่ใช้ก็เป็นแบบเบดนิ่ง(Fixed bed) และคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่วิเคราะห์จะเน้นทางด้านความสามารถในการดูดซับโมเลกุลต่างๆในของเหลวเช่น การดูดซับเมทธิลีนบลู, การดูดซับไอโอดีน, การดูดซับโมลาส และ การดูดซับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ต่อมาจึงได้พัฒนาการผลิตให้มีขนาดใหญ่ เพื่อให้เหมาะสมกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม จนกระทั่งมีการประยุกต์เทคนิคฟลูอิไดเซชั่นในการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวด ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างมากสำหรับการผลิตในประเทศญี่ปุ่น สำหรับประเทศไทยเริ่มมีงานวิจัยผลิตถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2517 โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ(เดิมชื่อ กรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม) กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม(เดิมชื่อ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน) นอกจากนั้นก็มี สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(เดิมชื่อสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย) กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัจจุบันยังดำเนินการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและถ่านหินลิกไนต์อยู่ งานวิจัยนี้ได้ขยายไปในมหาวิทยาลัยต่างๆอย่างกว้างขวาง คาดว่าในอนาคตจะพัฒนาไปสู่ระดับอุตสาหกรรมได้มากขึ้น ปัจจุบันมีโรงงานผลิตถ่านกัมมันต์ในประเทศเพียง 1 แห่งเท่านั้น ไม่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการภายในประเทศ รายละเอียดงานวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์มีดังต่อไปนี้

ผลงานของนักวิจัยชาวต่างประเทศ

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

ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบ 2 ชนิด คือ กะลามะพร้าว และเปลือก

ถั่วลิสง โดยใช้สารกระตุ้นต่างๆคือ $ZnCl_2$, $CaCl_2$, NaOH และ H_2SO_4 ในถ้วยพอร์ซเลน ให้ความร้อนโดยนำถ้วยไปวางไว้ในเตาเผา กระตุ้นที่อุณหภูมิ 600 ถึง 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปล้างสารกระตุ้นออกด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริคและน้ำกลั่น แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 250 ถึง 300 องศาเซลเซียส บดผ่านแร่งขนาด 200 เมช เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดซับ และความหนาแน่นเชิงปริมาตร

ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

- <u>ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้</u> เถ้าในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากเปลือกถั่วลิสงสูงกว่าเถ้าในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว และพบว่า$ZnCl_2$จะเป็นสารกระตุ้นที่ทำให้เกิดเถ้าในถ่านกัมมันต์น้อยที่สุด เมื่อ$ZnCl_2$สัมผัสกับวัตถุดิบตลอดเวลาในขณะกระตุ้น ดังนั้นจึงไม่ควรล้าง $ZnCl_2$ ออกก่อนนำไปให้ความร้อนในขั้นกระตุ้น

- <u>ตัวแปรที่มีผลต่อคุณสมบัติในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้</u> การใช้$ZnCl_2$ ร่วมกับ HCl เป็นสารกระตุ้น จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับสูงสุดคือ การดูดซับ-ไอโอดีน, การดูดซับเมทธิลีนบลู และการดูดซับคาราเมลมีค่าสูงทั้งหมด สำหรับการใช้ $CaCl_2$ เป็นสารกระตุ้น จะได้ถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับคาราเมลได้ดีเท่านั้น ส่วนการใช้ NaOH และ H_2SO_4 เป็นสารกระตุ้น จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้อยที่สุด อนึ่งปริมาณ$ZnCl_2$ ที่ใช้กระตุ้นเปลือกถั่วลิสงไม่ควรใช้เกินร้อยละ 62.5 เพราะจะทำให้คุณสมบัติในการดูดซับเมทธิลีนบลูลดลง และควรใช้ร้อยละ 67 ถึง 300 สำหรับกะลามะพร้าว นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ $ZnCl_2$ กระตุ้นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นครั้งแรกแล้วมากระตุ้นด้วย$ZnCl_2$อีกเป็นครั้งที่สอง เพราะคุณสมบัติในการดูดซับจะลดลง

- <u>ตัวแปรที่มีผลต่อความหนาแน่นเชิงปริมาตร</u> ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรจะลดลง เมื่อใช้ $ZnCl_2$ หรือ $CaCl_2$ มากขึ้น แสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้มีความพรุนสูงขึ้น สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกถั่วลิสง พบว่าเมื่อความหนาแน่นเชิงปริมาตรลดลง คุณสมบัติในการดูดซับคาราเมลจะเพิ่มขึ้น แต่การดูดซับเมทธิลีนบลูจะลดลง และไม่มีผลต่อการดูดซับอื่น ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวพบว่า การดูดซับเมทธิลีนบลูจะลดลงเท่านั้น โดยไม่มีผลต่อการดูดซับอื่น

2. Johnson et al.(1977)

ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากผงถ่านหินขนาด 8X30 เมชสหรัฐ ความหนาแน่นปรากฏเท่ากับ 0.735 โดยอบเม็ดถ่านหินให้แห้ง แล้วนำไปกระตุ้นด้วยก๊าซผสมระหว่างไอน้ำ-อิ่มตัวยิ่งยวดและก๊าซไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 2.5 และ 1000 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 760 ถึง 860 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที นอกจากนี้ยังได้ทดลองล้างผงถ่านหินด้วยกรดไฮโดรคลอริคร้อยละ 10 ก่อนนำมากระตุ้น เพื่อปรับปรุงคุณภาพถ่านกัมมันต์ด้วย ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1

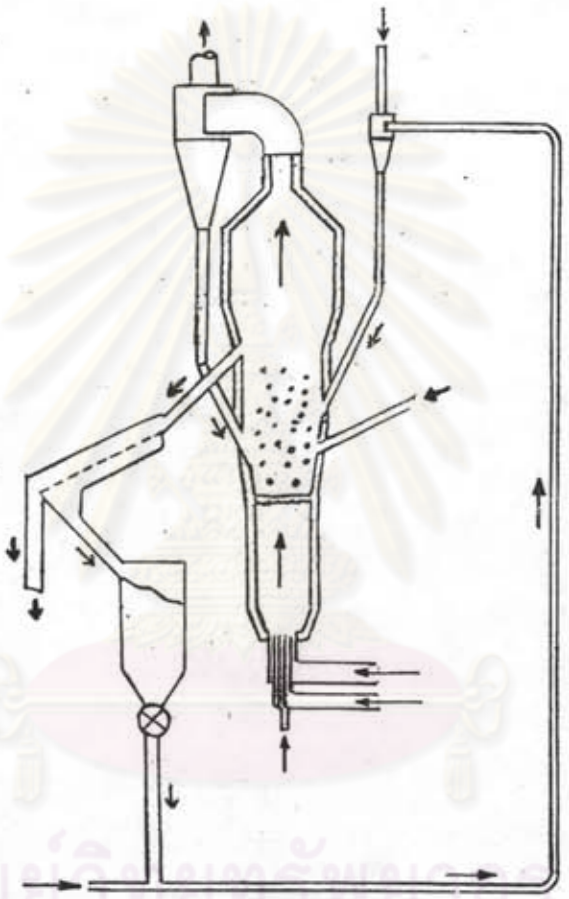
ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองของ Johnson et al.(1977)

การวิเคราะห์	คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้	
	ไม่ล้าง	ล้าง
ค่าการดูดซับไอโอดีน,มิลลิกรัมต่อกรัม	615	655
ค่าการดูดซับโมลาส,มิลลิกรัมต่อกรัม	315	299
ค่าการดูดซับคาร์บอนเตตระคลอไรด์, มิลลิกรัมต่อกรัม	3.62	3.00
ความหนาแน่นปรากฏ,กรัมต่อมิลลิลิตร	0.477	0.506
ค่าเถ้า,เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	8.57	8.12

3. Ninomiya et al.(1974)

ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร นำมาคาร์โบไนซ์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการป้อนวัตถุดิบ 272 กรัมต่อชั่วโมง

จากนั้นนำไปกระตุ้นในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเบด 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร(ดูรูปที่ 3.1) โดยทำให้เกิดการฟลูอิไดซ์ด้วยก๊าซผสมระหว่างอากาศกับไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวด ที่มีไอน้ำร้อยละ 58 โดยปริมาตร ความเร็วของตัวกลาง 20 เซนติเมตรต่อวินาที และอุณหภูมิภายในเบด 805 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.1 เครื่องแอคติเวเตอร์ที่ใช้ในการทดลองของ Ninomiya et al.(1974)

ผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

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

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

ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยใช้ $ZnCl_2$ หรือ H_3PO_4 เป็นสารกระตุ้นในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบดและแบบเบดนิ่ง(ดูรูปที่ 3.2และ3.3) เพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆที่ผลต่อคุณสมบัติในการดูดซับได้แก่ ชนิดและปริมาณของสารกระตุ้น, อุณหภูมิและเวลาในการกระตุ้น, ขนาดของอนุภาค และตัวกลางที่ใช้ในการทำให้เกิดฟลูอิไดซ์ สภาวะในการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลองคือ แช่กะลามะพร้าวขนาดที่ต้องการในสารกระตุ้น นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส แล้วนำไปกระตุ้นในเครื่องแอคติเวเตอร์ โดยใช้ความเร็วของตัวกลาง 1 ถึง 2 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดซ์ สำหรับเครื่องแอคติเวเตอร์แบบเบดนิ่งใช้อัตราการไหลของตัวกลาง 200 ลิตรต่อชั่วโมง

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	$H_3PO_4/ZnCl_2$	$H_3PO_4/ZnCl_2$
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

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

ผลการทดลองสรุปได้ว่า

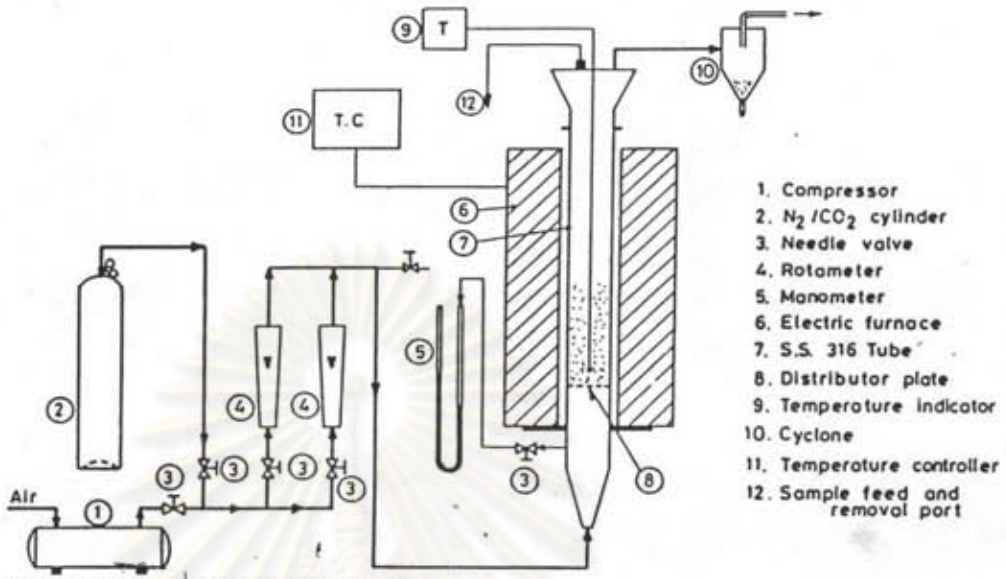
- ผลของเวลา การกระตุ้นในฟลูอิไดซ์เบดจะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับไอโอดีน และการดูดซับฟีนอล สูงขึ้นอย่างรวดเร็วใน 30 นาทีแรก จากนั้นจะค่อยๆสูงขึ้นอย่างช้าๆและลดลงเมื่อใช้เวลาในการกระตุ้นมากกว่า 120 นาที สำหรับการกระตุ้นในเบดนิ่งพบว่า คุณสมบัติในการดูดซับไอโอดีน และฟีนอล จะค่อยๆสูงขึ้นอย่างช้าๆ และสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมคือ 2 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการผลิตทั้งสองวิธีพบว่า การดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในฟลูอิไดซ์เบดสูงกว่าในเบดนิ่ง

- ผลของขนาดอนุภาค ในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบด สามารถกระตุ้นวัตถุดิบขนาดใหญ่ได้ดีกว่าในเบดนิ่ง ทั้งนี้เพราะทุกๆส่วนของผิววัตถุดิบสามารถใช้ในการเกิดปฏิกิริยาได้ จากการทดลองพบว่า ในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์ ควรใช้วัตถุดิบที่มีขนาด 0.515 มิลลิเมตร

- ผลของอุณหภูมิ ถ้าพิจารณาถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเท่ากันจะพบว่า การผลิตถ่านกัมมันต์ในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์ใช้อุณหภูมิต่ำกว่าในเบดนิ่ง ทั้งนี้เพราะสามารถถ่ายเทมวลและความร้อนได้ดีกว่า สำหรับการกระตุ้นด้วย H_3PO_4 ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซับฟีนอลจะลดลง ซึ่งอาจเกิดจากรูพรุนขนาดเล็ก(micropore)ถูกทำลายไป แต่ไม่มีผลกับค่าการดูดซับไอโอดีน สำหรับการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าการดูดซับไอโอดีนและฟีนอลจะสูงขึ้น ซึ่งจะตรงข้ามกับการกระตุ้นด้วย H_3PO_4 ทั้งนี้เชื่อว่าเกิดจากการที่ $ZnCl_2$(732 องศาเซลเซียส) มีจุดเดือดสูงกว่า H_3PO_4(213 องศาเซลเซียส)

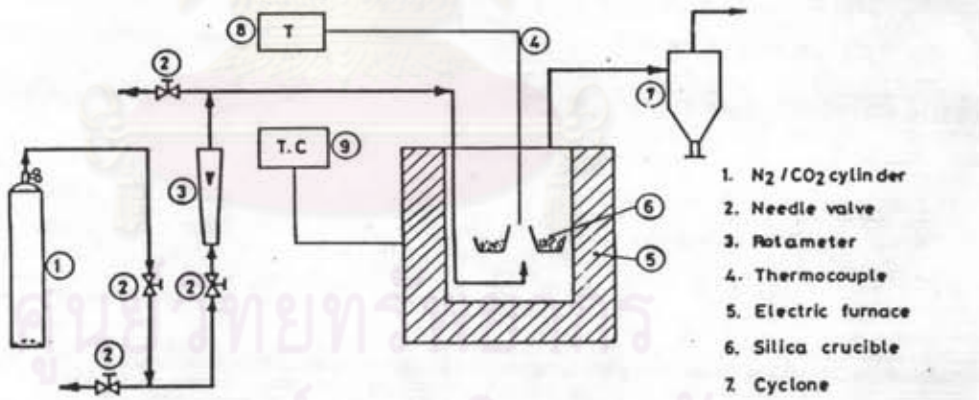
- ผลของชนิดและปริมาณสารกระตุ้น ปริมาณสารกระตุ้นเพิ่มขึ้น ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีคุณสมบัติในการดูดซับเพิ่มขึ้น ทั้งในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบดและเบดนิ่ง ทั้งนี้ คุณสมบัติในการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 25 จากนั้นคุณสมบัติในการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อปริมาณสารกระตุ้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย H_3PO_4 ประมาณ 2 เท่า

- ผลของตัวกลางที่ใช้ในการฟลูอิไดซ์ พบว่าการใช้ก๊าซไนโตรเจน หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวกลางจะช่วยให้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ มีคุณสมบัติในการดูดซับสูงกว่าการใช้อากาศเป็นตัวกลาง เช่นเมื่อใช้ $ZnCl_2$ เป็นสารกระตุ้น พบว่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์เมื่อใช้ก๊าซไนโตรเจนมีค่า1,100, เมื่อใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่า1,000 และเมื่อใช้อากาศเท่ากับ 800 มิลลิกรัมต่อกรัม



Schematic of the fluidized bed experimental setup.

รูปที่ 3.2 เครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบดของ Kirubakaran,C.J(1974)



Schematic of the static bed experimental setup.

รูปที่ 3.3 เครื่องแอคติเวเตอร์แบบเบดนิ่งของ Kirubakaran,C.J.(1974)

ผลงานของนักวิจัยชาวไทย

1. อนุชิต กิจสวัสดิ์(2520)

ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบผสมกับ$ZnCl_2$ อัตราส่วน 1:2.5 เวลาในการคาร์โบไนซ์คือ 1 ชั่วโมง แปรอุณหภูมิการคาร์โบไนซ์ตั้งแต่ 300, 400, 500, 600 และ 800 องศาเซลเซียส โดยนำแกลบที่ผสม $ZnCl_2$ ใส่ลงในถ้วยกราไฟต์ แล้วนำไปวางไว้ในเตาเผา ทั้งนี้ได้สรุปผลการทดลองไว้ว่า อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเมทธิลีนบลูได้ดีที่สุด แต่ไม่ได้แสดงค่าที่ได้จากการทดลองไว้ในรายงาน

2. อุไรวรรณ ธรรมรัตนพคุณ พ.ศ 2523

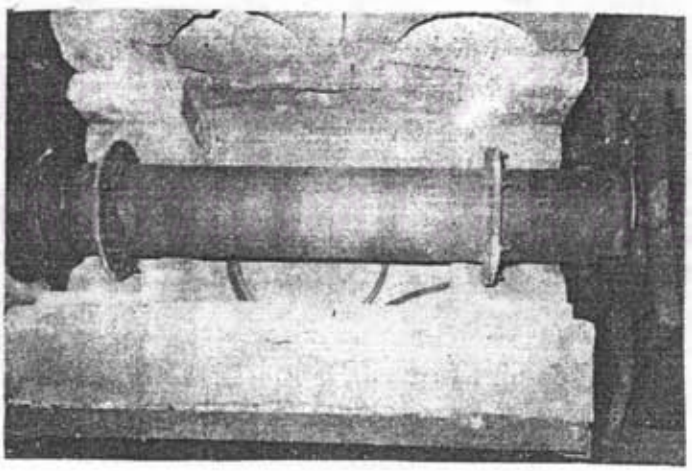
ได้ทดลองคาร์โบไนซ์กะลามะพร้าวในถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร แล้วนำไปกระตุ้นด้วยไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวดในเตาแบบหมุน(rotary kiln) ที่ทำด้วยเหล็กไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ปลายแต่ละด้านปิดด้วยตะแกรงเพื่อป้องกันไม่ให้ถ่านหลุดออกไป ท่อหมุนในแนวนอนด้วยอัตรา 4 รอบต่อนาที สภาวะที่ใช้คือ ถ่านขนาด 4-10 เมช (2.00-4.76 มิลลิเมตร), ครั้งละ 500 กรัม, อุณหภูมิ 700-1050 องศาเซลเซียส แปรเวลาตั้งแต่ 30,40,45,50,55,60,65,90,105,110 และ 130 นาที ผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นโดยใช้เวลา 30 ถึง 130 นาที มีคุณภาพดังต่อไปนี้

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

3. เกศรา นุตาลัย และคณะ พ.ศ 2531

ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากพีท(peat)ที่ได้จากจังหวัดนราธิวาส โดยใช้วิธีกระตุ้นด้วย$ZnCl_2$ ในครูซิเบิลกราไฟต์ ที่ให้ความร้อนด้วยเตาเผา(Muffle furnace) และวิธีกระตุ้นด้วยไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวดในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบเตาหมุน การกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ทำโดยแช่พีทที่บดละเอียดและผ่านแร่ง(sieve) 60 เมช(mesh)แล้ว ในสารละลาย$ZnCl_2$ เข้มข้น 60เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนของพีทต่อสารละลาย$ZnCl_2$คือ 1:2.5และ 1:4.0 ที่อุณหภูมิ 400 และ 600 องศาเซลเซียส แปรเวลาตั้งแต่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 ชั่วโมง

แล้วนำไปคาร์โบไนซ์ในเตาเผา(Muffle furnace) ผลการทดลองพบว่า การใช้ $ZnCl_2$ อัตราส่วน 1:4 กระตุ้นที่ 600 องศาเซลเซียส เวลามากกว่า0.5 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับถ่านกัมมันต์ในทางการค้ากล่าวคือ ค่าการดูดซับไอโอดีน 1200ถึง 1300 มิลลิกรัมต่อกรัม, ค่าการดูดซับเมทธิลีน 200 ถึง 300 มิลลิกรัมต่อกรัม, พื้นที่ผิวอนุภาค 1200 ถึง 1500 ตารางเมตรต่อกรัม และค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้(yield) 49 ถึง 54 สำหรับการกระตุ้นด้วยไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวด ทำโดยผสมผงที่ผ่านแร่งขนาด 60 เมช กับน้ำแป้งมันสำปะหลังสุกเข้มข้น 0.04 กรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณที่ใช้คือ ร้อยละ 5 ของน้ำหนักดินพรุ อัดให้เป็นเม็ดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร อบให้แห้งที่ 110 องศาเซลเซียส แล้วนำไปคาร์โบไนซ์ที่ 500 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปกระตุ้นในเตาเผาแบบหมุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเบด 10 เซนติเมตรและยาว 35 เซนติเมตร(รูปที่ 3.4)ที่อุณหภูมิ 800 และ900 องศาเซลเซียส แปรเวลา 1,2,3,4 ชั่วโมง ความดันไอน้ำ 20 พีเอสไอจี(psig) ผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับสูงที่สุดคือ ค่าไอโอดีนประมาณ 1200 มิลลิกรัมต่อกรัม,ค่าเมทธิลีนบลูประมาณ 295 มิลลิกรัมต่อกรัม,พื้นที่ผิวอนุภาค 881 ตารางเมตรต่อกรัม และค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้เท่ากับ 8



รูปที่ 3.4 เตาหมุนที่ใช้การทดลองของเกศรา นุตาลัย และคณะ(2531)

4. บุญชัย ตระกูลมหชัย และคณะ(2534)

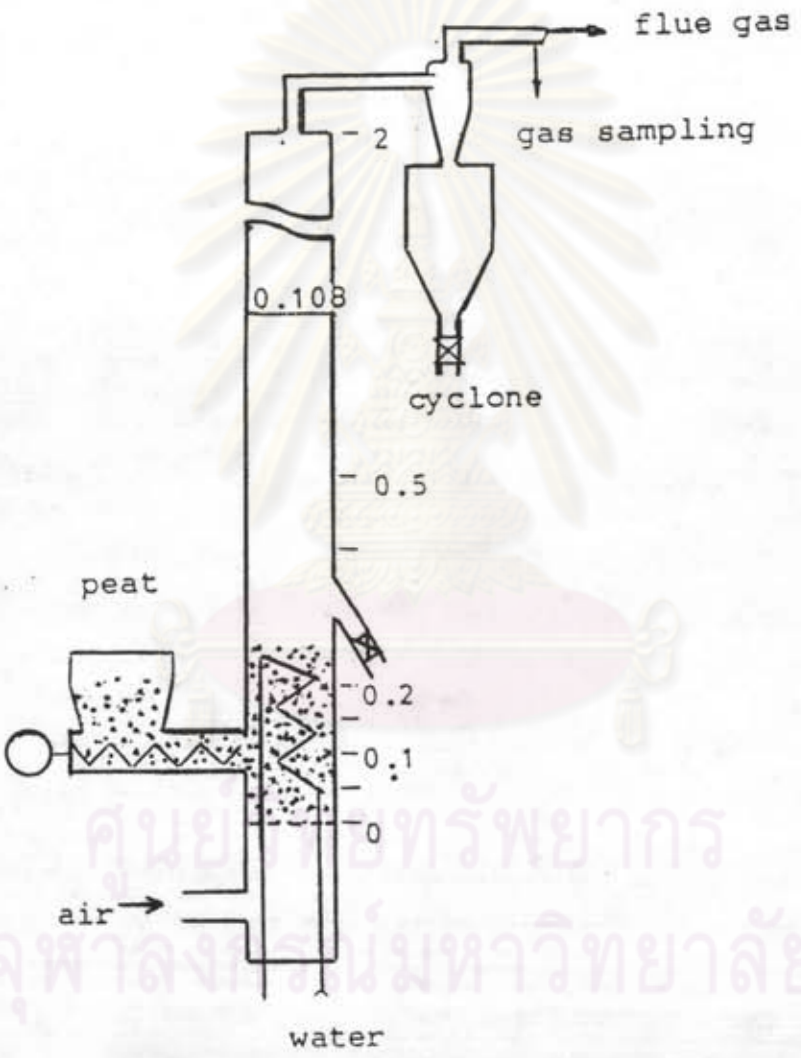
เป็นการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากพืทไทยที่บดผ่านตะแกรงขนาด 8 มิลลิเมตร และพืทญี่ปุ่นที่บดผ่านตะแกรงขนาด 5 และ 8 มิลลิเมตร แล้วนำไปคาร์โบไนซ์ในเครื่องคาร์โบไนเซอร์แบบฟลูอิไดซ์เบด(รูปที่ 3.5)ที่อุณหภูมิ 460 องศาเซลเซียส อัตราการผ่านอากาศ100 ลิตรต่อนาที และในเครื่องคาร์โบไนเซอร์แบบเบดนิ่ง ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปกระตุ้นด้วยไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวดในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบด(รูปที่ 3.6)ซึ่งทำด้วยสแตนเลสเบอร์ 316 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 44 มิลลิเมตร สูง30 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 850 และ 900 องศาเซลเซียส แปรเวลา 10, 20, 30, 40 นาที ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้ในการทดลอง
ของ บุญชัย ตระกูลมหชัย และคณะ(2534)

คุณสมบัติ	ถ่านกัมมันต์ จากพืทไทย	ถ่านกัมมันต์ จากพืทญี่ปุ่น
พื้นที่ผิวบีอีที,ม.^{2}/ก.	383.4-623.5	243.2-510.4
ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู,มก./ก.	58.2-227.0	64.1-191.0
ค่าการดูดซับไอโอดีน,มก./ก.	662.9-1030.8	442.0-832.3

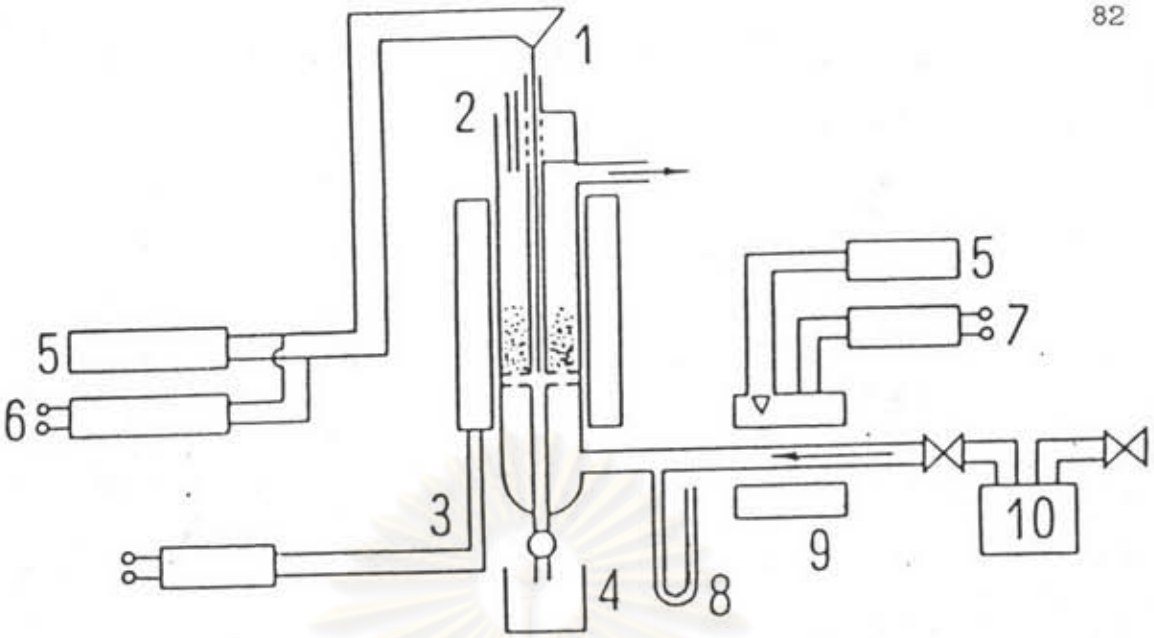
สรุปผลการทดลองได้ว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพืทญี่ปุ่นที่บดผ่านตะแกรงต่างกันมีคุณสมบัติคล้ายกัน และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านที่ได้จากการคาร์โบไนซ์ด้วยเครื่องคาร์โบไนซ์แบบฟลูอิไดซ์เบด มีคุณสมบัติการดูดซับดีกว่าที่ผลิตจากถ่านที่ได้จากเครื่องคาร์โบไนซ์แบบเบดนิ่ง อนึ่ง ในการทดลองนี้ยังได้ทดลองลดปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยสารละลายกรดไฮโดร-คลอริคร้อยละ 5 โดยต้มให้เดือดประมาณ 20 นาที ผลการทดลองคือค่าเถ้าลดลงอย่างเห็นได้

ชัด และถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพืชญี่ปุ่นมีคุณสมบัติในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพืชไทย ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพืชญี่ปุ่นมีค่าเถ้าสูงมาก(ร้อยละ 30-50) จึงมีผลให้ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติในการดูดซับลดลง เมื่อนำไปล้างเถ้าออก คุณสมบัติในการดูดซับจึงเพิ่มขึ้น ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพืชไทยมีค่าเถ้าไม่สูงมากนัก(ร้อยละ 10-15) จึงมีผลต่อการดูดซับน้อย



รูปที่ 3.5 เครื่องคาร์โบไนเซอร์แบบฟลูอิไดซ์เบดในการทดลอง
ของ บุญชัย ตระกูลมหชัย และคณะ(2534)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



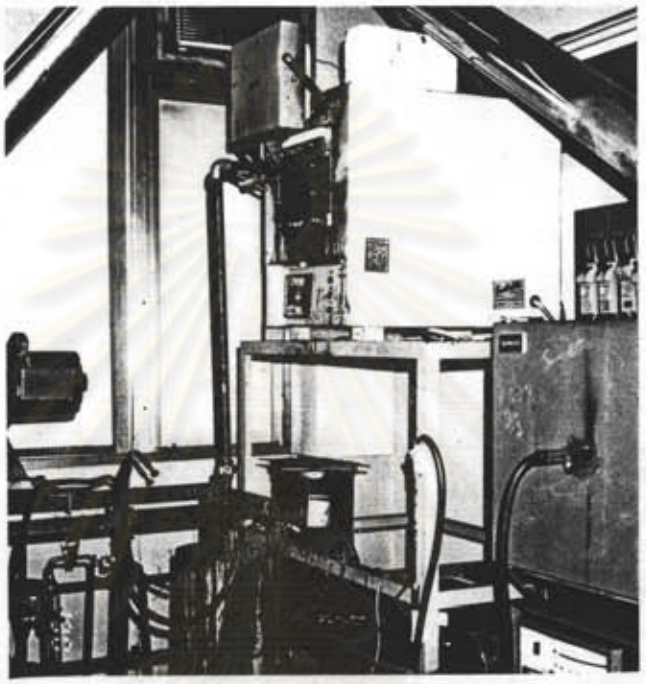
1. Thermocouple
2. Sample inlet
3. Electric furnace
4. Product receiver
5. Temperature indicator
6. Temperature controle
7. Electric transformer
8. Manometer
9. Heating band
10. Superheated steam boiler

รูปที่ 3.6 เครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบด
ในการทดลองของบุญชัย ตระกูลมหชัย และคณะ(2534)

5. Boonchai Thakunmahachai et al.(1992)

ได้ทดลองผลิตถ่านกัมมันต์ โดยคาร์โบไนซ์ผึกในเครื่องคาร์โบไนซ์แบบเบดนิ่ง (รูปที่ 3.7)เบดทำจากแสตนเลสเป็นกล่องสี่เหลี่ยมมีขนาด 12.5X12.5X25 เซนติเมตร มีฝาปิดแบบยึดสกรูโดยรอบเพื่อป้องกันอากาศเข้า ที่ฝากล่องมีท่อระบายก๊าซเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ส่วนที่ให้ความร้อนนั้นได้ปรับปรุงจากเตาเผาอุณหภูมิสูง(Muffle furnace) แล้วคัดขนาดถ่านที่ได้ให้มีขนาด -1.41+0.297 มิลลิเมตร(หมายถึงขนาดเล็กกว่า 1.41 และใหญ่กว่า 0.297 มิลลิเมตร) มากระตุ้นด้วยไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวดในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบด(ดังรูป 3.6) ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส แปรเวลา 10,20,30,40,50,60 นาที และแปรปริมาณถ่านที่ใช้คือ 115 และ 135 มิลลิลิตร ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.4

ผลการทดลองสรุปว่า ความสามารถในการดูดซับเมทธิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ที่ได้ประมาณ 245-257 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อเวลาการกระตุ้นอยู่ในช่วง 20-60 นาที ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านปริมาณเริ่มต้น 115 มิลลิลิตร จะมีความสามารถในการดูดซับเมทธิลีนบลูสูงกว่าการใช้ถ่านปริมาณเริ่มต้น 135 มิลลิลิตร



รูปที่ 3.7 เครื่องคาร์โบไนเซอร์แบบเบดนิ่งในการทดลองของ Boonchai Thakunmahachai et al.(1992)

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการทดลองของ Boonchai Thakunmahachai et al.(1992)

คุณสมบัติ	ถ่านกัมมันต์จากพืชไทย	ถ่านกัมมันต์จากพืชญี่ปุ่น
พื้นที่ผิวบีอีที,ม.^{2}/ก.	383.4 - 623.5	243.2 - 510.4
ค่าเมทธิลีนบลู,มก./ก.	58.2 - 227.0	64.1 - 11.0
ค่าไอโอดีน,มก./ก.	662.9 -1030.8	442.0 - 832.3

6. นเรศ จันทร์เทียน และคณะ(2534)

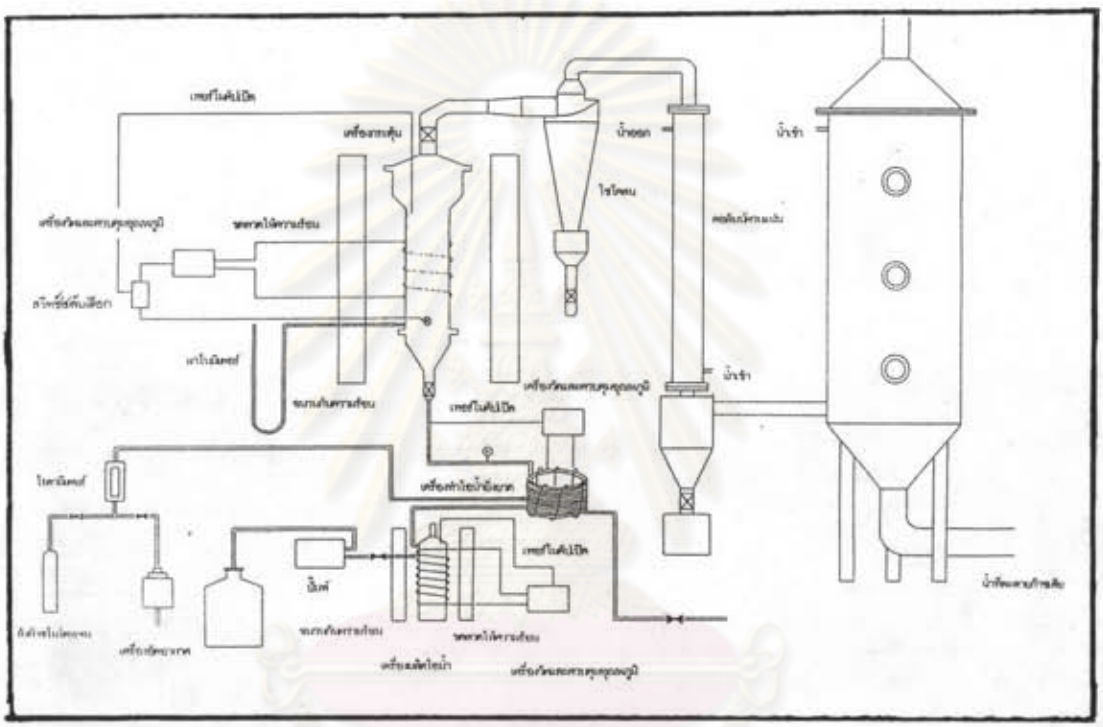
เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำกะลาตาลโตนดมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวดในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบด และใช้ $ZnCl_2$ ในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบเบดนิ่ง การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวดในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบด ทำโดยคาร์โบไนซ์กะลาตาลโตนดในเตาเผา(Muffle furnace)ที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง คัดขนาดถ่าน 2-5 มิลลิเมตรเพื่อนำมากระตุ้นในเครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบด(ดูรูปที่ 3.8) มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกที่ทำจากสแตนเลสเบอร์ 316 หนา 4 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ค่าการดูดซับเทธิลีนบลูประมาณ 0.17 มิลลิกรัมต่อกรัม, ค่าการดูดซับไอโอดีน 600 มิลลิกรัมต่อกรัม

การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย$ZnCl_2$ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ทำโดยคาร์โบไนซ์กะลาตาลโตนดในเครื่องคาร์โบไนเซอร์(รูปที่ 3.9) มีเบดทำด้วยแสตนเลสเบอร์ 316 เป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 17X19.5X53 เซนติเมตร ซึ่งมีส่วนให้ความร้อนเป็นขดลวดให้ความร้อน ที่ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นคัดขนาดถ่าน 2-5 มิลลิเมตร เพื่อนำมาแช่ในสารละลาย$ZnCl_2$เข้มข้นร้อยละ 50 ใช้อัตราส่วนของถ่าน 3 กรัมต่อสารละลาย $ZnCl_2$ 9 มิลลิลิตร นำไปกระตุ้นเตาเผา(Muffle furnace ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ค่าเมทธิลีนบลูประมาณ 362-376 มิลลิกรัมต่อกรัม, ค่าการดูดซับไอโอดีน 1088-1117 มิลลิกรัมต่อกรัม

7. พิสุทธิ์ พันธุ์วิชาติกุล และ สมิทธิ์ รัตนสุทธิ์พงษ์(2535)

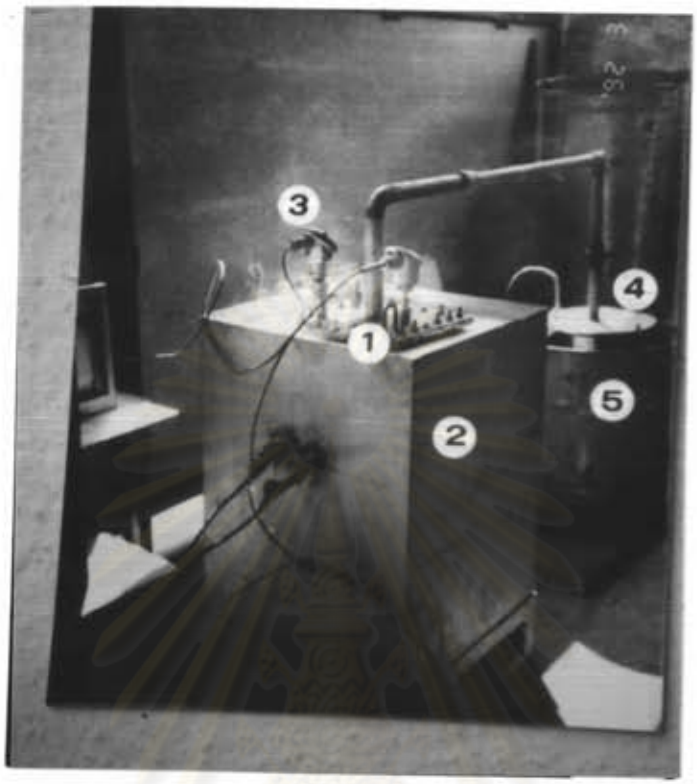
เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลขนาด 3.35-6 และ 1.40-3.35 มิลลิเมตร โดยใช้ $ZnCl_2$ เข้มข้นร้อยละ 50 เป็นสารกระตุ้น น้ำหนักของสารละลาย $ZnCl_2$ ต่อวัตถุดิบเท่ากับ 2:1 แปรอุณหภูมิที่ใช้คือ 400,450 องศาเซลเซียส และแปรระยะเวลาที่ใช้คือ 2, 3 ชั่วโมง เครื่องแอคติเวเตอร์ที่ใช้เป็นแบบฟลูอิไดซ์(รูปที่ 3.8) ที่ใช้อากาศเป็นตัวกลาง ความเร็วของอากาศที่ใช้คือ 0.8-1.1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าได้ถ่าน

กัมมันต์ที่มีคุณภาพต่ำ ทั้งนี้เพราะใช้อนุภาคใหญ่เกินไป เนื่องจากกะลาตาลโตนดแข็งและเหนียวมาก จึงบดให้มีขนาดเล็กไม่ได้ ประกอบกับใช้อากาศเป็นตัวกลางแทนที่จะใช้ก๊าซไนโตรเจน ดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนแข่งขันกับปฏิกิริยาของ $ZnCl_2$



รูปที่ 3.8 เครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบดในการทดลองของ นเรศ จันทร์เทียน และคณะ(2534)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



1 = ภาชนะบรรจุวัตถุดิบ
2 = เตาให้ความร้อนแบบขดลวด
3 = ที่วัดอุณหภูมิ(thermocouple)
4 = ภาชนะดักน้ำและน้ำมันทาร์
5 = เครื่องควบแน่น(condenser)

รูปที่ 3.9 เครื่องคาร์โบไนเซอร์แบบเบดนิ่งในการทดลองของ นเรศ จันทร์เทียน และคณะ(2534)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย