

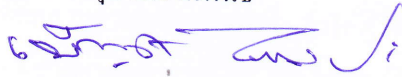
การพัฒนารูปแบบการใช้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนเพื่อกำจัดโครเมียมในน้ำเสีย
จากการวิเคราะห์ซีไอดี

ศศิพา นิมพลี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม กลุ่มวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมทางทะเล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
สิงหาคม 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ นางศศิพา จิมพลี ฉบับนี้แล้วว่า เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม กลุ่มวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม
ทางทะเลของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์




..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เบญจมาศ ไพบุลย์กิจกุล)



..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทวัส แจงเอียด)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ณี เรืองสมบูรณ์)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เบญจมาศ ไพบุลย์กิจกุล)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทวัส แจงเอียด)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย ศรีวิริรัตน์)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม กลุ่มวิชาเทคโนโลยี
วิศวกรรมทางทะเลของมหาวิทยาลัยบูรพา



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ดร. อาณัติ ดิพัฒน์)

วันที่ 19 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เบ็ญจมาศ ไพบูลย์กิจกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนการได้ติดตามด้วยความเมตตา ยิ่ง ทำให้ผู้วิจัยทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชลธิ ไพบูลย์กิจกุล ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทวัส แจ่มเอี่ยม ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำ ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุนิรัตน์ เรืองสมบุญรัตน์ ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการ ผู้ทรงคุณวุฒิ ในการสอบวิทยานิพนธ์ช่วยปรับแก้ไขให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คณะบดีคณะเทคโนโลยีทางทะเล ที่สนับสนุน โครงการพัฒนาบุคลากรระดับปริญญาโท

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณบิดา ครอบครัวยุของข้าพเจ้า และคุณวสุรี จูติวร ที่ให้ กำลังใจและสนับสนุนในการทำวิจัยด้วยดีตลอดมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มี พระคุณทุก ๆ ท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำ เสียก่อนระบายสู่สิ่งแวดล้อมและผู้ที่เกี่ยวข้องบ้างไม่มากก็น้อย

ศศิพา นิยมพลี

55910274: สาขาวิชา: เทคโนโลยีวิศวกรรม; วศม. (เทคโนโลยีวิศวกรรม)

คำสำคัญ: การดูดซับ/ โครเมียม/ ถ่านกัมมันต์/ เปลือกทุเรียน/ ซีโอดี

ศศิปา นิมพิล: การพัฒนารูปแบบการใช้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนเพื่อกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดี (DEVELOPMENT OF ACTIVATED CARBON FROM DURIAN SHELL FOR CHROMIUM REMOVAL IN WASTEWATER OF COD ANALYSIS)

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: เบญจมาศ ไพบุลย์กิจกุล, Ph.D., วิทวัส แจ่มเอี่ยม, Ph.D. 83 หน้า.

ปี พ.ศ. 2560.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน ที่เตรียมโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ จากการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ คือ การคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ โดยการแช่ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50% อัตราส่วนถ่านชาร์ตต่อสารละลาย 1 : 3 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับพบว่า เมื่อสารละลายโครเมียมที่ pH เท่ากับ 2 สามารถดูดซับโครเมียมสูงสุดเท่ากับ 4.82 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งการดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรก

ในการศึกษาการดูดซับโครเมียมจากการวิเคราะห์ซีโอดีที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 4.2 มิลลิกรัมต่อกรัม พบว่า สามารถดูดซับโครเมียมได้ 100% จากการศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับโครเมียมด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงและชนิดเม็ด พบว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดผงและชนิดเม็ดสามารถดูดซับโครเมียมได้ 0.61 และ 0.41 มิลลิกรัมต่อกรัม อีกทั้งศึกษาการดูดซับโครเมียมในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีด้วย 2 ชุด การทดลอง คือ ชุดกรองแบบ Peristaltic pump และชุดกรองแบบคอลัมน์ พบว่า แนวโน้มการดูดซับมีลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่ออัตราการไหลต่ำ ๆ ทำให้ถ่านกัมมันต์สัมผัสสารละลายโครเมียมได้มากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าการดูดซับมีมากขึ้น

55910274: MAJOR: MASTER OF ENGINEERING; M. Eng. (ENGINEERING TECHNOLOGY)

KEYWORD: ADSORPTION/ CHROMIUM/ ACTIVATED CARBON/ SHELL OF DURIAN/ COD

SASILA CHIMPLEE: DEVELOPMENT OF ACTIVATED CARBON FROM DURIAN SHELL FOR CHROMIUM REMOVAL IN WASTEWATER OF COD ANALYSIS. ADVISORY COMMITTEE: BENJAMAS PAIBULKICHAKUL, Ph.D., WITAWAT JANGIAM, Ph.D. 83 P. 2017.

This research was to study the adsorption of chromium (VI) in COD wastewater by activated carbon from durian shell with potassium hydroxide for the chemical activate. The suitable conditions to prepare activated carbon had been studied. The results showed the proper conditions to make activated carbon were carbonized at 400°C, 1 hr and activated by 50% potassium hydroxide, ratio 1:3 for 24 hr, then burned at 500°C, 1 hr. The maximum chromium (VI) adsorption at pH 2 was 4.82 mg/g. The rapid absorption exhibited at first 10 minutes.

The absorption from wastewater was 100% removal at 4.2 mg/g initial chromium concentration. The chromium absorptions between powder and granule activated carbon were 0.61 and 0.41 mg/g, respectively. The chromium absorption from COD wastewater of two groups, the peristaltic pump, and column filter had been decreased when increased the flow rate because activated carbon could more contact the chromium solution when the flow rate of filtration was slow.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	3
ขอบเขตการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
มลพิษทางน้ำ.....	5
โลหะหนัก.....	9
โครเมียม.....	9
น้ำเสียจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี.....	11
การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย.....	12
การดูดซับ.....	15
ถ่านกัมมันต์.....	21
ทุเรียน.....	29
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	35
การเตรียมวัสดุคิบที่ใช้ในการวิจัย.....	35
เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	36
แผนดำเนินการวิจัย.....	37
วิธีดำเนินการวิจัย.....	38

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	46
ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน.....	46
ผลของปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วย	
ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน.....	48
ผลการพัฒนารูปแบบการใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เพื่อกำจัดโครเมียม	
(VI) ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอคิของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทาง	
สิ่งแวดล้อม.....	53
5 สรุปผลการวิจัย.....	57
สรุปผลการวิจัย.....	57
ข้อเสนอแนะ.....	58
บรรณานุกรม.....	59
ภาคผนวก.....	63
ภาคผนวก ก.....	64
ภาคผนวก ข.....	79
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	83

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ประเภทของมลพิษน้ำแหล่งกำเนิดและผลกระทบ.....	8
2-2 ความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและเคมี.....	16
4-1 ค่าการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิและ ระยะเวลาแตกต่างกัน.....	47
4-2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณคาร์บอนคงตัวในการคาร์บอนไนซ์เปลือกทุเรียน..	47
4-3 ผลของเวลาที่มีต่อปริมาณคาร์บอนคงตัวในการคาร์บอนไนซ์เปลือกทุเรียน.....	48
4-4 ผลของความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือก ทุเรียนที่ปริมาณแตกต่างกัน.....	49
4-5 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียม (VI) ที่มีต่อความสามารถ ในการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน.....	50
4-6 ผลของค่า pH ที่มีต่อความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยถ่าน กัมมันต์จากเปลือกทุเรียน.....	51
4-7 ผลของระยะเวลาที่มีต่อความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยถ่าน กัมมันต์จากเปลือกทุเรียน.....	52
4-8 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่กระตุ้นด้วย KOH ที่ ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	54
4-9 การเปรียบเทียบการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยวิธี ทางเคมี.....	54
4-10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (VI) ของถ่านกัมมันต์จากเปลือก ทุเรียน โดย Peristaltic pump กับ Column.....	56

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
2-1	สารประกอบเชิงซ้อน โครเมียม (VI).....	10
2-2	ขั้นตอนการดูดซับของถ่านกัมมันต์.....	18
2-3	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในการคาร์บอนไนซ์.....	23
2-4	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างถ่านกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยสารเคมี.....	26
3-1	เปลือกทุเรียน.....	35
3-2	ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเปลือกทุเรียน.....	36
3-3	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัด โครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือก ทุเรียน.....	41
3-4	ชุดการทดลองกำจัด โครเมียม ในน้ำเสียซี โอดีด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน ชนิดผงและชนิดเม็ด.....	44
3-5	การบรรจุถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน.....	44
3-6	ประยุกต์ใช้ชุดกรองกับ Peristaltic pump.....	44
3-7	พัฒนารูปแบบการใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เพื่อการกำจัด โครเมียม (VI) ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซี โอดีของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางสิ่งแวดล้อม..	45

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มลพิษทางทะเลเกิดจากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของอุตสาหกรรมและชุมชนเมืองต่าง ๆ และการเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้ที่ดินบริเวณชายฝั่งทะเล เช่น การเปลี่ยนพื้นที่การเกษตรไปเป็นพื้นที่อุตสาหกรรม การเปลี่ยนป่าชายเลนไปเป็นนาุ้ง ทำให้สิ่งแวดล้อมทางทะเลเสื่อมโทรมลงอย่างรวดเร็ว โดยมีแนวโน้มทวีความรุนแรงมากขึ้น ปัจจุบัน โลหะหนักหลายชนิดถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมและในชีวิตประจำวันด้านอุตสาหกรรมเราใช้โลหะหนักในการผลิตพลาสติก พีวีซี สี ถ่านไฟฉาย เป็นต้น ทางด้านการเกษตร โลหะหนักเป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลงและปุ๋ย โลหะหนักส่วนใหญ่ที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตและก่อให้เกิดปัญหาด้านมลพิษ คือ ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม ซีลีเนียม นิกเกิล และโครเมียมหนัก น้ำทิ้งที่ปนเปื้อนสารเคมีเหล่านี้ถูกปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม โดยไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย หรือมีระบบบำบัดน้ำเสียแต่ไม่มีคุณภาพ หรือคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนสารเคมีในแม่น้ำลำคลองต่าง ๆ ซึ่งจะถูกระบายลงสู่มหาสมุทรหรือลงสู่พื้นที่ชายฝั่งทะเล บางส่วนจะสะสมอยู่ในดินตะกอนชายฝั่งทำให้มีผลกระทบต่อพืชและสัตว์ทะเล โดยเฉพาะสัตว์หน้าดิน และประชาชนผู้บริโภคโรคอาหารที่มีสารเคมีเหล่านี้ตกค้างอยู่ จึงสมควรมีการเฝ้าระวังรักษาและตรวจสอบอยู่เสมอ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

การวิเคราะห์ค่าซีโอดี (COD, Chemical Oxygen Demand) เป็นหนึ่งในดัชนีคุณภาพน้ำที่ใช้ตรวจสอบค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำก่อนระบายทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือจากแหล่งชุมชน ค่าซีโอดีนี้ยังสามารถแสดงความเชื่อมโยงถึงค่าปริมาณสารอินทรีย์บางค่าได้เช่นค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) และระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าซีโอดีน้อยกว่า การวิเคราะห์ค่าบีโอดี ทำให้มีประโยชน์อย่างมากในการควบคุมและแก้ไขปัญหาเรื่องมลพิษทางน้ำได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าซีโอดีมีการใช้สารประกอบโลหะหนักหลายชนิด เช่น โครเมียม เหล็ก ปรอท และเงิน ทำให้น้ำทิ้งหลังจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีมีการเจือปนของโลหะ โดยเฉพาะโครเมียมมีในปริมาณที่สูง (ปัญญา มณีจักร, 2556) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องบำบัดหรือกำจัดโครเมียมที่ปนเปื้อนออกจากน้ำทิ้งเพื่อให้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจาก

โรงงานอุตสาหกรรมสำหรับโครเมียม (VI) มีปริมาณในน้ำทิ้งไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตรและโครเมียม (III) มีปริมาณในน้ำทิ้งไม่เกิน 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

ปัจจุบันกระบวนการบำบัดน้ำเสียหรือการกำจัดสารต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียมักพัฒนาวิธีใหม่ ๆ เพิ่มมากขึ้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กระบวนการหลัก ๆ ดังนี้

1) กระบวนการทางกายภาพ (Physical unit operations) เป็นการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยแรงต่าง ๆ เพื่อแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย เช่น การคัดด้วยตะแกรง (Screening) การตัดย่อย (Comminution) การกวาด (Skimming) การกวน (Mixing) การทำให้ลอย (Flotation) การตกตะกอน (Sedimentation) การแยกตัวด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifugation) การกรอง (Filtration) การกำจัดตะกอนหนัก (Grit removal) เป็นต้น 2) กระบวนการทางเคมี (Chemical unit processes) เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยใช้สารเคมีผสมกับน้ำเสียเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อแยกแอมลสารต่าง ๆ ออกจากน้ำเสีย เช่น การตกตะกอนผลึก (Precipitation) การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) การฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เป็นต้น 3) กระบวนการทางชีวภาพ (Biological unit processes) เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์ทำการย่อยสลายและเปลี่ยนสารอินทรีย์ต่าง ๆ ไปเป็นก๊าซลอยสู่อากาศและได้จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนขึ้น เช่น Activated sludge, Trickling filter, Aerated lagoon, Anaerobic pond, Stabilization pond เป็นต้น 4) กระบวนการทางกายภาพ-เคมี (Physicochemical unit processes) เป็นการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยทั้งทางกายภาพและทางเคมีมารวมกัน เช่น Ion exchange, Carbon adsorption, Reverse osmosis, Electrodialysis เป็นต้น (เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2542)

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นกระบวนการหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพที่ได้รับความนิยมและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เป็นวัสดุดูดซับที่นิยมมากที่สุดในการกรองลงมาก็คือ ซีโอไลต์ (Zeolites) ซิลิกาเจล (Silica gel) และแอ็คติเวทเต็ดอลูมินา (Activated alumina) ตามลำดับ (Yang et al., 2015) เนื่องจากถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับสูง มีโครงสร้างที่มีลักษณะรูพรุน มีพื้นที่ผิวภายในสูง สามารถดูดซับสารเคมีจากก๊าซและของเหลวได้ วัสดุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ควรมีปริมาณสารระเหยต่ำ มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบปริมาณสูง มีราคาถูก หาได้ง่าย วัสดุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม เช่น พีท (Peat) ถ่านหิน (Coal) ลิกไนต์ (Lignite) ไม้ (Wood) และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอื่น ๆ เป็นต้น (ธราพงษ์ วิทิตสานต์, 2554)

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นจำนวนมากที่ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ ดังนั้นนักวิจัยจึงพยายามคิดค้นและพัฒนาโดยนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาสร้างมูลค่าเพิ่มและนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ เช่น

กะลามะพร้าว (พลัญฐ์ โสภณกิจโกศล, 2544) เต้าแกลบดำ (ปานใจ สื่อประเสริฐสิทธิ์, 2545) เปลือกและเมล็ดลำไย (ภัทรา วงษ์พันธ์กมล และคณะ, 2555) ลูกหูกวาง (ปัญญา มณีจักร, 2556) ฝักมะค่าโมง (สุชาติ ละเอียดพันธ์ และภควดี สุขอนันต์, 2557) กากกาแฟ (ทองฉัตร จึงสมาน และพรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์, 2559) และฝักต้นหางนกยูง (สัมพันธ์ สร้อยกล่อม, 2550)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำเสียที่เหลือจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วยตัวดูดซับที่ผลิตขึ้นจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในท้องถิ่นจังหวัดจันทบุรี คือ เปลือกทุเรียน ที่นำมาพัฒนาและปรับปรุงเป็นถ่านกัมมันต์ และทดลองใช้กำจัดโครเมียม (VI) ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความสะดวกต่อการใช้งาน

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน
2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้
3. พัฒนารูปแบบการใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เพื่อการกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางสิ่งแวดล้อม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ทราบสถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสีย
2. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้
3. เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนเพื่อกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำเสียซีโอดีจากห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางสิ่งแวดล้อม
4. เป็นการส่งเสริมการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์สูงสุด
5. เป็นแนวทางในการศึกษาการกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิและระยะเวลาในการเผา กระตุ้นด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้นต่างกัน

2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์บอนคงที่ และค่าการดูดซับ ไอโอดีน

3. ศึกษาประสิทธิภาพดูดซับ โครเมียม (VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณถ่าน ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (VI) ความเป็นกรด-ด่าง และ ระยะเวลาการดูดซับ

4. นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้กำจัด โครเมียม (VI) ในน้ำเสียซีไอดีจากห้องปฏิบัติการ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มลพิษทางน้ำ

มลพิษ (Pollution) หมายถึง สภาวะที่สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงหรือปนเปื้อนโดยสารมลพิษ (Pollutants) ซึ่งทำให้คุณภาพของสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมลง

สารมลพิษ (Pollutants) ตามความหมายที่ให้ไว้ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 หมายถึง ของเสีย วัตถุอันตราย และมลสารต่าง ๆ รวมทั้งกากตะกอน หรือสิ่งตกค้างจากสิ่งเหล่านั้น ที่ถูกปล่อยทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษ หรือที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ แล้วก่อให้เกิดภาวะที่เป็นพิษภัยอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ รวมถึงอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน และหมายความรวมถึง รังสี ความร้อน แสง เสียง กลิ่น ความสั่นสะเทือนหรือเหตุรำคาญอื่น ๆ ที่เกิดหรือถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดมลพิษด้วย

มลพิษทางน้ำ หมายถึง สภาพน้ำที่เสื่อมคุณภาพ น้ำจะมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปจากสภาพธรรมชาติ เนื่องจากมีสารมลพิษเข้าไปปะปนอยู่มาก น้ำในสภาพเช่นนี้ไม่เหมาะต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ไม่เหมาะต่อการบริโภคและอุปโภคของมนุษย์ เช่น น้ำที่มีสีผิดปกติ มีกลิ่นเหม็น น้ำที่มีสารเคมีที่เป็นพิษหรือเชื้อโรคปะปนอยู่ รวมทั้งน้ำที่มีอุณหภูมิสูงผิดปกติ

สิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำเสีย ได้แก่ สารอินทรีย์ต่าง ๆ กรด ด่าง ของแข็ง หรือสารแขวนลอย และสิ่งที่ย่อยปนอยู่ในน้ำ เช่น น้ำมัน ไขมัน เกลือและแร่ธาตุที่เป็นพิษ เช่น โลหะหนัก สารที่ทำให้เกิดฟองความร้อน สารพิษ เช่น ยาฆ่าแมลง สี กลิ่น และสารกัมมันตภาพรังสี เป็นต้น

แหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำ

ปัญหามลพิษทางน้ำเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องพร้อมกับการเจริญเติบโตของชุมชน เนื่องจากน้ำเสียเกิดขึ้นจากการกิจกรรมใช้น้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ในสมัยก่อนปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีจำนวนไม่มาก เมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ชุมชนจะสามารถทำความสะอาดน้ำเสียได้ทัน อย่างไรก็ตามเมื่อมีการขยายตัวของชุมชนและการพัฒนาอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น น้ำเสียก็มีปริมาณเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่การทำความสะอาดน้ำเสียที่เกิดขึ้นตามวิธีการทางธรรมชาติไม่ได้ผล การเน่าเหม็นของน้ำเสียก็ปรากฏขึ้นทำให้จำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการต่างๆ แหล่งกำเนิดหลักที่ทำให้เกิดน้ำเสียแบ่งเป็น 3 แหล่งหลัก ๆ ได้แก่ น้ำเสียจากชุมชน น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และจากการทำเกษตรกรรม

1. น้ำเสียจากชุมชน

น้ำเสียชุมชน หมายถึง น้ำที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ และระบายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งรองรับน้ำเสีย หรือแหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ได้ผ่านการบำบัดให้มีการฟื้นฟูคุณภาพน้ำจะต้องใช้งบประมาณสูงมาก กิจกรรมที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ก่อให้เกิดน้ำเสียชุมชน ได้แก่ น้ำทิ้งจากกิจกรรมบ้านพักอาศัย น้ำทิ้งจากโรงแรมและร้านอาหารหรือจากกิจกรรมอื่น ๆ เช่น สถานบริการ อาคารพาณิชย์ โรงเรียน อาคารชุด ตลาด สถานจำหน่ายน้ำมัน เป็นต้น

2. น้ำเสียจากการทำเกษตรกรรม

แหล่งกำเนิดน้ำทิ้งจากการทำเกษตรแบ่งตามลักษณะกิจกรรมที่สำคัญ ได้แก่ การเพาะปลูก การทำฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์บกและสัตว์น้ำ

การเพาะปลูก

การเพาะปลูกพืชมีการใช้สารเคมีมากที่สุด มลพิษทางน้ำที่เกิดจากการเกษตรส่วนใหญ่แล้วเกิดจากการใช้ปุ๋ยและสารเคมีที่ใช้ทางการเกษตร เช่น ปุ๋ยเคมี ยาฆ่าแมลง ยากำจัดวัชพืช และยาฆ่าเชื้อโรค การใช้สารเคมีเหล่านี้มีทั้งข้อดีและข้อเสีย ปุ๋ยที่พืชใช้ไม่หมดและตกค้างอยู่ในดินซึ่งถูกดูดซับไว้ในรูปคอลลอยด์ในดิน ส่วนสารเคมีที่ใช้ทางการเกษตรที่ถูกพัดพาลงไปในไร่นาบางส่วนติดตามใบบางส่วนตกลงไปลงบนพื้นดิน เมื่อฝนตกก็จะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำในแม่น้ำและน้ำทะเลก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ

การทำฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์บกและสัตว์น้ำ

การทำฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์ เช่น การเลี้ยงสุกร เป็ด ไก่ ห่าน ปลา กุ้ง เป็นต้น ของเสียจากกิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์เหล่านี้ เกิดขึ้นจากการขับถ่ายทุกวันและเศษอาหารที่ทำตกลงบนพื้นคอก น้ำเสียจากน้ำล้างคอกหรือโรงเรือน หรือการปนเปื้อนของยาที่ใช้รักษาโรค สารอินทรีย์ของสิ่งขับถ่ายของสัตว์สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ แต่ถ้ามีมากเกินไปธรรมชาติก็ไม่สามารถบำบัดตัวเองได้ดังนั้นจึงก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำตามมา (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

3. น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าประเทศไทยได้ก้าวเข้าสู่ประเทศอุตสาหกรรม มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปัญหาสิ่งแวดล้อมก็เพิ่มมากขึ้น ปัญหามลพิษทางน้ำที่ไม่มีแต่ค่าความสกปรกในรูปบีโอดี ได้รวมถึงโลหะหนัก สารพิษ สารอันตราย และอื่น ๆ ซึ่งมลพิษเหล่านี้ยากที่จะทำลาย ลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการ โรงงานอุตสาหกรรมนั้นยังแตกต่างกัน สามารถแบ่งประเภทของการใช้น้ำในกระบวนการต่างๆ ของโรงงานอุตสาหกรรมมีดังนี้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, 2542)

- 3.1 ใช้น้ำเป็นตัวประกอบของผลิตภัณฑ์
- 3.2 ใช้น้ำเป็นตัวทำความสะอาดล้างวัตถุดิบ
- 3.3 ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายวัตถุดิบที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม
- 3.4 ใช้น้ำเพื่อกิจกรรมทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม

น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ก็คือ น้ำเสียของโรงงานนั้น ๆ ซึ่งต้องทำการบำบัดให้ได้น้ำทิ้งที่มีคุณภาพได้มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม อาจแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทดังนี้ 1) น้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการหล่อเย็น (Cooling water) จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากการระบายความร้อนในเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยปกติน้ำประเภทนี้ไม่ค่อยจะมีสิ่งปนเปื้อนมากนัก นอกจากโรงงานบางประเภทที่มีน้ำสกปรกมาก น้ำหล่อเย็นจะมีอุณหภูมิประมาณ 40-60 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิขนาดนี้ถือว่าเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม 2) น้ำทิ้งจากกระบวนการชะล้าง (Wash water) จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการล้างวัตถุดิบต่าง ๆ น้ำล้างเครื่องจักร น้ำล้างทำความสะอาดพื้นโรงงาน น้ำทิ้งจากกระบวนการเหล่านี้มีสิ่งเจือปนมาก เช่น พลาสติกอินทรีย์ สารเคมี สารตะกอนสกปรกและสารที่ละลายน้ำได้ 3) น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต (Process wastewater) จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิต เช่น จากโรงงานกระดาษ จากโรงงานน้ำตาล เป็นต้น น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตโดยมากจะมีความสกปรกมากกว่าน้ำทิ้งประเภทอื่น ๆ ของโรงงานนั้น ๆ 4) น้ำทิ้งจากกิจกรรมอื่น ๆ จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากการอาบน้ำของคนงาน น้ำทิ้งจากห้องน้ำ น้ำทิ้งจากหม้อน้ำ น้ำทิ้งจากเครื่องคอนเดนเซอร์และอื่น ๆ

4. อื่นๆ

โดยทั่วไปแล้วมลพิษทางน้ำเกิดขึ้นเพราะมีการปล่อยมลสารออกสู่ภายนอก อย่างไรก็ตามบางครั้งอาจเกิดกรณีของสารเคมีตกหล่นหรือแพร่กระจายเข้าไปในอากาศและถูกลมพัดพาไปจนตกลงสู่น้ำซึ่งทำให้เกิดมลพิษทางน้ำตามมา เช่น สารกัมมันตภาพรังสีที่ร่วงตกลงมาจากระเบิดนิวเคลียร์ การปนเปื้อนของสารตะกั่วจากน้ำมันเบนซินที่ใส่ในน้ำมันเพื่อป้องกันเครื่องยนต์นี้้ออกสารประกอบอินทรีย์คลอรีน (DDT, BHC, Dieldrin, Endrin เป็นต้น) ที่ใช้เป็นยาฆ่าแมลงและใช้เป็นเคมีภัณฑ์เกษตรได้กระจายตัวออกไปเพราะว่าสารประกอบเหล่านี้ใช้ฉีดพ่นลงบนพื้นที่การเกษตรโดยวิธีฉีดพ่นเป็นละอองลงมาจากเครื่องบินหรือด้วยการใช้วิธีอื่น ๆ หรือกรณีมลพิษที่เกิดจากฝนกรดที่เป็นผลมาจากซัลเฟอร์ออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ที่อยู่ในรูปของไอระเหยในอากาศที่ถูกปล่อยมาจากการสันดาปของถ่านหินหรือน้ำมัน สาเหตุการเกิดมลพิษน้ำและตัวชี้วัดคุณภาพน้ำตลอดจนผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ประเภทของมลพิษน้ำ แหล่งกำเนิด และผลกระทบ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

ประเภท	ตัวชี้วัด	สิ่งที่สร้างมลพิษ	แหล่งกำเนิดมลพิษ	ผลกระทบ
วัตถุพิษ (สาร อินทรีย์)	1. ไอออนของ โลหะหนัก	Hg, Cd, Pb, Cr, Zn,Cu, As, ฯลฯ	เหมืองแร่โลหะ ชุบ โลหะ ผลิตสารเคมี อินทรีย์ ผลิตกระจก สารอินทรีย์สังเคราะห์ Catalyst	ไปสะสมอยู่สูงที่ ระบบห่วงโซ่ อาหาร หากกิน เข้าไปจะไป สะสมอยู่ที่
	2. สารโลหะ (ไซยาไนด์ ฟลูออรีน ฯลฯ)	1. ไซยาไนด์ (ชุบโลหะ สารอินทรีย์ สังเคราะห์ 2. ฟลูออรีน (อลูมิเนียม ผลิต กระจกปูเคมี)		อวัยวะภายใน
วัตถุพิษ (สารอินทรีย์)	ออร์แกโน ฟอสฟอรัส ออร์แกโน คลอรีน ออร์แกโน เมตอลิก	ออร์แกโน ฟอสฟอรัส ยา ปราบศัตรูพืช DDT, BHC, PCB, Trichlor- thylene	ยาปราบศัตรูพืช เคมีภัณฑ์ พลาสติก พลาสติก โมนเมอร์ สารละลายอินทรีย์ที่ ใช้กับอุตสาหกรรม ไฟฟ้า	
มลพิษจากสิ่ง ที่ตกตะกอน	Solution Test, Biotic Test	สารอินทรีย์ และอินทรีย์ โคลน โลหะ หนัก ยาปราบ ศัตรูพืชตกค้าง PCB	อุทกภัย อุตสาหกรรม เกี่ยวกับทราย ของเสีย จากบ้านเรือน	

โลหะหนัก (HEAVY METAL)

โลหะหนัก หมายถึง แร่ธาตุชนิดที่มีประจุบวก มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเป็นธาตุในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม ในช่วง 23-92 อยู่ในคาบที่ 4-7 มีลักษณะเป็นของแข็ง เป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อนที่ดี มีลักษณะเป็นเงา มันวาว และเหนียว สามารถตัดงอได้โดยไม่หัก มีจุดแข็งตัว และจุดหลอมเหลวที่แน่นอน สามารถที่จะรวมตัวกับสารประกอบอื่นๆ กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะ

โลหะหนักมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่ร้ายแรงมากทำให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพ โดยมีสาเหตุมาจากการทำงานที่เกี่ยวข้อง และจากสิ่งแวดล้อมที่มีสารโลหะหนักปนเปื้อน โดยทั่วไปโลหะหนักที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมที่พบค่อนข้างมาก ได้แก่ สารตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม ปรอท แมงกานีส และสารหนู เป็นต้น การเกิดพิษจากสารโลหะมักพบได้ทั้งชนิดเฉียบพลัน และเรื้อรัง โลหะหนักที่มีพิษร้ายแรงแม้จะมีความเข้มข้นในระดับต่ำ ได้แก่ ปรอท และ โครเมียม

โครเมียม (CHROMIUM)

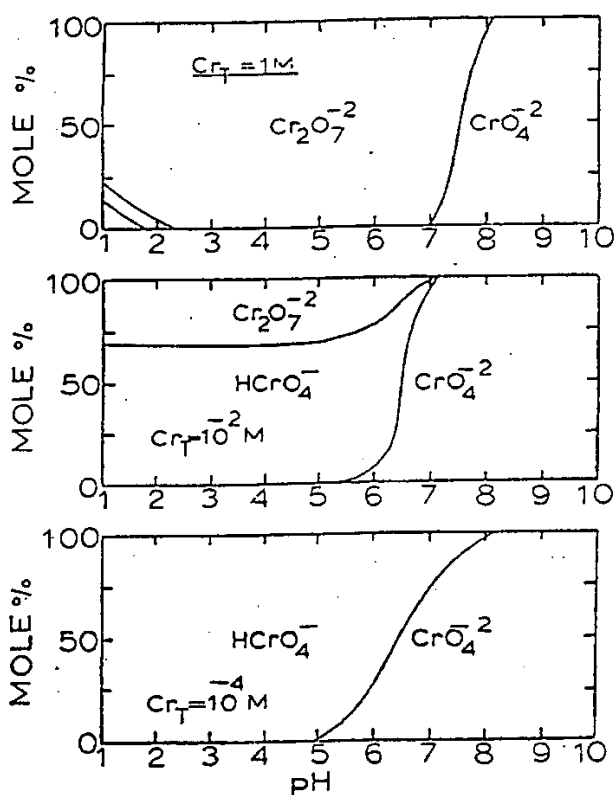
โครเมียมจัดเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่ง มีลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไป คือ เป็นโลหะสีขาวเงินมันวาวและแข็งมาก ทนทานต่อการผุกร่อน มีจุดหลอมเหลว 1,890 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 2,480 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 7.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (สุริดา โชคธัญญาวัฒน์, 2544) เป็นธาตุลำดับที่ 24 ในตารางธาตุ โดยมีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 51.996 ค่าออกซิเดชันของโครเมียมจะมีหลายค่า ตั้งแต่ -1 ถึง +6 และในธรรมชาติมักจะพบอยู่ในรูปของโครเมียม (III) (Trivalent, Cr^{+3}) และโครเมียม (VI) (Hexavalent, Cr^{+6}) เนื่องจากเป็นรูปที่ค่อนข้างคงตัว ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ในแหล่งน้ำธรรมชาติโครเมียม (VI) จะถูกลดรูปมาเป็นโครเมียม (III) ออกไซด์ของโครเมียม (III) จะไม่ละลายน้ำและตกตะกอนที่ท้องน้ำ (สร้อย คณันมพร, 2545)

โครเมียมทั้งสองรูปแบบมีการนำมาใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ มากมาย โครเมียม (VI) มีความเป็นพิษสูงกว่าโครเมียม (III) ประมาณ 100 เท่า โครเมียม (VI) ที่อยู่ในสารละลายจะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนประจุลบ และอยู่ในรูปโครเมต (CrO_4^{2-}) ไบโครเมต ($HCrO_4^-$) ไดโครเมต ($Cr_2O_7^{2-}$) หรือโครเมียมไตรออกไซด์ (CrO_3) ส่วนโครเมียมในรูปของโลหะ จัดเป็นรูปแบบที่ไม่เป็นอันตรายเช่นเดียวกับออกไซด์และฟอสเฟตของโครเมียม โดยจะอยู่ในรูปใดเป็นหลักขึ้นอยู่กับพีเอช และความเข้มข้นของโครเมียม เป็นหลัก แสดงได้ดังภาพที่ 2-1

สารประกอบโครเมียม (VI) จัดเป็นสารออกซิไดซ์อย่างแรง (Strong oxidizing agent) และสามารถเปลี่ยนเป็นรูปไปเป็นโครเมียม (III) ถ้าอยู่ในสภาวะที่มีสารที่สามารถถูกออกซิไดซ์ (Oxidisable substances) อยู่ด้วย (พัชรินทร์ ราโช, 2556) โครเมียม (III) จะอยู่ในรูปของประจุบวก

และไม่ได้อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนที่พีเอชต่ำกว่า 5 หรือที่พีเอชสูงขึ้นไปโครเมียม (III) จะอยู่ในรูปของ $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ และ $\text{Cr}(\text{OH})_3$

ความเป็นพิษของโครเมียมก่อให้เกิดโรคร้ายแรงได้ เศษฝุ่นหรือควันของโครเมียมเมื่อเข้าสู่ร่างกายสามารถทำลายเนื้อเยื่อโพรงจมูก หรือสัมผัสจะทำให้ผิวหนังอักเสบ หากได้รับโครเมียมเข้าสู่ร่างกายโครเมียมจะเข้าไปสะสมอยู่ในถุงลมปอดเป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคมะเร็งปอด หรือได้รับในปริมาณสูงเป็นเวลานานตับไตจะถูกทำลายจนเป็นอันตรายต่อชีวิตได้ พิษของโครเมียมขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ พีเอชของน้ำที่ได้รับ และรูปแบบของโครเมียม ปริมาณของโครเมียมที่มีผลทำให้ปลาตายได้อยู่ในช่วง 17-18 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงมีการกำหนดมาตรฐานน้ำเสียที่ปล่อยทิ้งต้องมีโครเมียม (VI) ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และโครเมียม (III) ไม่เกิน 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร (ปานใจ สือประเสริฐศิริ, 2545)



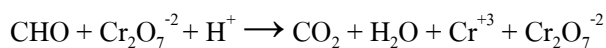
ภาพที่ 2-1 สารประกอบเชิงซ้อนโครเมียม (VI)

น้ำเสียจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี

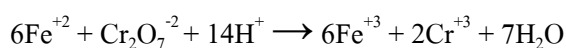
การวิเคราะห์ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) เป็นการวิเคราะห์หาค่าความสกปรกของน้ำเสียต่าง ๆ โดยเป็นการวัดปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดส์สารประกอบอินทรีย์ในตัวอย่างด้วยตัวออกซิไดซ์อย่างแรง (Strong chemical oxidant) เพื่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งมีสารหลายชนิดที่ใช้เป็นตัวออกซิไดซ์ เช่น โปแตสเซียมไดโครเมต โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต เป็นต้น แต่ที่นิยม คือ โปแตสเซียมไดโครเมต เนื่องจากเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมากและสามารถใช้กับตัวอย่างได้หลายชนิดรวมทั้งง่ายต่อการใช้และดำเนินการวิเคราะห์ด้วย สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่า ซีโอดี ได้แก่ โปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$), กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ผสมซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4), เมอร์คิวรีซัลเฟต ($HgSO_4$) และ เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot (NH_4)_2SO_4$)

หลักการทั่วไปและปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง

สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกย่อยสลายด้วยสารละลายโพแตสเซียมไดโครเมตที่ปริมาณมากเกินพอผสมกับกรดซัลฟูริก ซึ่งสารละลายผสมนี้มีความสามารถในการออกซิไดซ์สูงมากในสภาวะที่ร้อน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ



จากนั้นทำการตรวจสอบปริมาณไดโครเมตไอออนที่เหลือ โดยการไตเตรทด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต และใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเคเตอร์ ซึ่งไดโครเมตไอออนที่เหลือจะทำปฏิกิริยากับเฟอร์รัสไอออนได้โครมิกไอออน จากนั้นเฟอร์รัสไอออนจะทำปฏิกิริยาเฟอร์โรอินได้สารประกอบสีน้ำตาลแดง เป็นการแสดงจุดยุติของการไตเตรท ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ



เมื่อสิ้นสุดการวิเคราะห์แล้ว โครเมียม (VI) ถูกรีดิวซ์เป็น โครเมียม (III), เหล็ก (II) ถูกออกซิไดซ์เป็นเหล็ก (III) ส่วนเงิน (I) และปรอท (II) คงรูปเดิม จึงทำให้พบไอออนโลหะหนักในน้ำเสียคือ Cr^{+3} , Ag^{+2} , Hg^{+2} รวมทั้ง Fe^{+3} ในปริมาณที่สูง ทำให้ได้ค่าพีเอชเข้าใกล้ศูนย์ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) หลังการวิเคราะห์ประมาณ 0.5 โมลาร์ลึ่ ทำให้น้ำเสียจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีมีโลหะหนักโครเมียม (III) เหล็ก (III) เงิน (I) และปรอท (II) ปนเปื้อนอยู่ในสารละลาย (ศิริมา บุญศักดิ์, 2553)

ในธรรมชาติโครเมียม (III) สามารถเปลี่ยนเป็นโครเมียม (VI) ได้ในบรรยากาศ โดยสารออกซิไดซ์ที่พบในบรรยากาศ คือ โอโซน และยังพบว่าในแหล่งน้ำธรรมชาตินั้นจะประกอบไปด้วยสารออกซิไดซ์หลายตัว เช่น O_2 , MnO_2 และ Mn^{3+} ทำให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโครเมียม (III) ไปเป็นโครเมียม (VI) จะมีครึ่งชีวิตอยู่ในช่วง 2-9 ปี นอกจากนี้กระบวนการรีดักชัน และออกซิเดชันสามารถเกิดขึ้นได้โดยแสงอาทิตย์ ดังนั้นสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของโครเมียมในน้ำเกิดขึ้นได้ทุกที่ (สุธิดา โชครัญวัฒน์, 2544)

การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

ปัจจุบันการกำจัดโลหะหนักต่างๆ ที่ปนเปื้อนออกมาจากน้ำทิ้งในขบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายวิธี การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับปัจจัยและความเหมาะสมต่าง ๆ เช่น ความเป็นไปได้ทางเทคนิค ค่าใช้จ่าย บุคลากร ข้อจำกัดของแต่ละวิธี แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ดังนี้

1. การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายมวลสารมาสะสมที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (Interface) สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 ผิวใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) การดูดซับเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักสูง มีความยืดหยุ่นในการออกแบบระบบ ขั้นตอนการบำบัดไม่ซับซ้อน และยังสามารถนำวัสดุดูดซับกลับมาใช้ใหม่ได้ (ธราพงษ์ วิทิตสานต์, 2554; Metcalf & Eddy, 2003)

2. การตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation)

การตกตะกอนทางเคมีเป็นการเติมสารเคมีลงไปลงในน้ำเสียเพื่อเปลี่ยนสภาพของสารมลพิษต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปของสารละลาย (Soluble) ให้เปลี่ยนเป็นตะกอนผลึกที่อยู่ในสภาพที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble) ทำให้สามารถแยกสารมลพิษออกจากน้ำเสียได้ การกำจัดโครเมียม (VI) ด้วยวิธีนี้โดยเติมสารรีดิวซ์ (Reducing agent) ได้แก่ เฟอร์รัสไอออน (Fe^{3+}), ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2), โซเดียมไบซัลไฟด์ (Na_2S_2) เป็นต้น การตกตะกอนโครเมียมเกิดได้ดีเมื่อสารละลายมีค่าพีเอชต่ำกว่าวิธีนี้เป็นที่ได้รับความนิยมสูงใช้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง ขั้นตอนดำเนินการไม่ยุ่งยาก ประสิทธิภาพของการกำจัดขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของระบบ โลหะหนักแต่ละชนิดมีค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนที่แตกต่างกัน ซึ่งบางครั้งมีความยุ่งยากในการควบคุมพีเอชเนื่องจากน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักหลายชนิด นอกจากนี้

ยังมีข้อเสียของตะกอนที่เกิดขึ้นจากการกำจัดโลหะหนักมีปริมาณมาก และมีความเป็นพิษอยู่ ทำให้ต้องมีค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนเพิ่มขึ้นอีก (พลัญฐ์ โสภณากิจ โสภณ, 2544; พัทธรินทร์ ราโช, 2556)

3. การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)

การแลกเปลี่ยนไอออนสามารถกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำได้โดยอาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดมีความชอบหรือถูกจับโดยเรซิน (Resin) ที่ไม่เท่ากัน หรือการแลกเปลี่ยนไอออนที่อยู่บนเรซินกับไอออนที่อยู่ในน้ำทิ้ง วิธีนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม (VI) ได้สูงกว่า 90% เรซินชนิดไอออนบวกจะเป็นเรซินที่เหมาะสมกับการกำจัดโครเมียม (VI) เมื่อเรซินแลกเปลี่ยนไอออนจนอิ่มตัวแล้ว จะทำการฟื้นฟูสภาพด้วยกรด เพื่อชะล้างเอาโลหะที่อยู่บนเรซินออก แต่มีข้อเสีย คือ เรซินที่ใช้มีราคาสูงและการลงทุนค่อนข้างสูงไม่เหมาะสมกับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงมาก ๆ เพราะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และน้ำเสียก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนจำเป็นต้องมีการกำจัดสารแขวนลอยออกจากน้ำเสียก่อนเพื่อป้องกันการอุดตันในถังปฏิกรณ์

4. การสร้างรวมตะกอน (Coagulation-Flocculation)

การสร้างรวมตะกอนเป็นการทำให้ตะกอนหรือสารแขวนลอยขนาดเล็ก (Colloid) รวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่และตกตะกอนออกจากน้ำเสีย โดยเริ่มจากขั้นตอนการเติมสารเคมีที่เรียกว่า Coagulant ลงในน้ำเสียเพื่อให้สารแขวนลอยมีประจุไฟฟ้าเป็นกลาง หรือมีประจุเป็นศูนย์ สารแขวนลอยเหล่านั้นจะจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนจนมีขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถตกตะกอนลงได้ ขั้นตอนต่อมาคือการเติมสารเคมีที่เรียกว่า Flocculants ลงไปช่วยยึดหรือจับกลุ่มตะกอนให้ใหญ่ขึ้น ทำให้สามารถตกตะกอนได้เร็วมากขึ้น สารเคมีที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นเฟอร์ริกซัลเฟต (Ferric sulfate) หรืออะลูมิเนียม (Alum) ในการกำจัดตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม หากเพิ่มค่าพีเอชของสารละลายจะทำให้เกิดการรวมอนุภาคเป็นตะกอนได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่สามารถกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียได้หมดจำเป็นต้องมีกระบวนการอื่นร่วมด้วย และปริมาณกากตะกอนที่เพิ่มขึ้นหลังการบำบัดทำให้ค่าใช้จ่ายในเรื่องของการกำจัดกากตะกอนเพื่อลดความเป็นพิษกากตะกอนเหล่านั้น

5. การทำให้ลอยตัว (Flotation)

การทำให้ลอยตัวเป็นการแยกของแข็งที่ตกตะกอนได้ยาก หรือกึ่งจมกึ่งลอยซึ่งอาจจะเป็นของแข็งหรือของเหลว เช่น น้ำมัน รวมถึงโลหะหนักด้วย โดยการใช้ฟองอากาศกำจัดสิ่งสกปรกลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ระบบที่นิยมใช้มากที่สุดคือ Dissolved Air Flotation (DAF) ในกระบวนการลอยตัวของโลหะหนักจะเติมสารลดแรงตึงผิว (Surfactants) เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของการไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ของโลหะหนักในน้ำเสีย และตามด้วยการเป่าฟองอากาศเพื่อแยกโลหะหนัก

เหล่านี้ นอกวิธีที่มีข้อเสียคือ วิธีการค่อนข้างยุ่งยากมีค่าใช้จ่ายสูงทั้งค่าสารเคมี และพลังงานในการเป่าอากาศ (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557)

6. การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction)

เป็นการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสีย โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในการสกัดโลหะหนัก โดยให้น้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักไหลสวนทางกับตัวทำละลาย เมื่อโลหะหนักละลายในตัวทำละลายแล้วจึงทำการแยกโลหะหนักนั้นด้วยกรดอีกครั้ง วิธีการนี้มีข้อดีได้แก่สามารถเลือกและแยกสารที่ต้องการจากน้ำทิ้งที่มีโลหะหนักปนอยู่เพียงเล็กน้อยได้ ทำให้โลหะหนักที่ต้องการมีความเข้มข้นขึ้นได้ เหมาะสำหรับระบบที่มีการควบคุมแบบอัตโนมัติ และมีประสิทธิภาพในการแยกสารประกอบไฮดรอกไซด์ของโลหะหลายชนิดได้ และส่วนใหญ่วิธีการนี้เหมาะกับน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเซรามิก และอุตสาหกรรมผลิตทองแดง

7. การแยกด้วยไฟฟ้าเคมี (Electrochemical)

วิธีนี้เป็นการปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงลงในสารละลายระหว่างขั้วแอโนด (Anode) และขั้วคาโทด (Cathode) ทำให้โลหะหนักซึ่งมีไอออนบวกเกาะติดที่ขั้วคาโทด เป็นหลักการเกี่ยวกับการออกซิเดชัน-รีดักชัน หรือในกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยการใช้สารโคแอกกูแลนต์ในรูปของไอออนโลหะที่เกิดจากสารละลายโลหะออกจากอิเล็กโทรดด้วยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่ขั้วบวก นอกจากนี้ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดที่ขั้วลบจะช่วยทำให้คอลลอยด์ที่รวมตัวกันเป็นตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ และถูกกำจัดออกด้วยการกวาดทิ้ง ในการกำจัดโครเมียม (VI) จะรีดิวซ์ให้อยู่ในรูปโครเมียม (III) ที่ขั้วลบก่อนจึงจะเกิดการตกตะกอนได้ วิธีนี้มีข้อดี คือ ในกระบวนการใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรงจะลดการใช้สารเคมีในระบบบำบัด ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นมีน้อย แต่มีข้อเสียคือ ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจะค่อนข้างสูง (พลัญญ์ โสภณากิจโกศล, 2544; พัทธินทร ราช, 2556)

8. การแยกด้วยเมมเบรน (Membrane filtration)

เป็นกระบวนการใช้เยื่อเมมเบรนในการแยกสารมลพิษออกจากน้ำเสีย ชนิดของเมมเบรนที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียได้ คือ อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration, UF) นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration, NF) และรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse osmosis, RO) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration, UF) ใช้สำหรับแยกสารโลหะหนักที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 500 และของแข็งแขวนลอย ออกจากน้ำ ส่วนสารอื่น ๆ รวมถึงโลหะหนักที่ละลายน้ำ หรือมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 500 จะสามารถหลุดผ่านเมมเบรนออกมากับน้ำที่ผ่านการบำบัด จึงมีการเติมสารลดแรงดึงผิวในกระบวนการเมมเบรน (Micellar Enhanced Ultrafiltration, MEUF)

และการเติมโพลิเมอร์ในกระบวนการเมมเบรน (Polymer Enhanced Ultrafiltration, PEUF) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักให้สูงขึ้น วิธีนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักสูงกว่าร้อยละ 90 แต่โดยส่วนใหญ่ น้ำเสียจากอุตสาหกรรมจะมีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่หลายชนิดจากกระบวนการผลิต ทำให้การเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวหรือโพลิเมอร์ที่เหมาะสมมีความยุ่งยาก หรืออาจต้องใช้หลายชนิดตามชนิดของโลหะหนักที่ปนเปื้อน

นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration, NF) เป็นกระบวนการที่ใช้แรงดันเป็นแรงขับเคลื่อนในการแยกตัวถูกละลายออกจากน้ำ นิยมนำมาใช้ในการกำจัดโลหะหนักจำพวกโครเมียม นิกเกิล ทองแดง และสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถใช้งานในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างได้กว้างตั้งแต่ 3-8 และใช้แรงดันน้อยกว่ารีเวิร์สออสโมซิสเมมเบรน แต่ปัจจุบันยังได้รับความนิยมน้อยกว่าอัลตราฟิลเตรชันเมมและรีเวิร์สออสโมซิสเมมเบรน

รีเวิร์สออสโมซิส (Reverse osmosis, RO) เป็นการใช้แรงดันในการแยกสารต่าง ๆ ซึ่งสามารถแยกสารอินทรีย์ได้ทุกชนิด และแยกสารอนินทรีย์ได้เกือบทุกชนิด ประสิทธิภาพของรีเวิร์สออสโมซิสเมมเบรนขึ้นอยู่กับแรงดันที่ใช้ กระบวนการบำบัดนี้มีค่าใช้จ่ายในการควบคุมระบบสูง ไม่คุ้มค่ากับการลงทุนสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่ต้องการน้ำที่ผ่านการบำบัดสะอาดมากนัก (พัชรินทร์ ราโช, 2556)

การดูดซับ (ADSORPTION)

การดูดซับหรือเรียกอีกอย่างว่าการดูดติดผิวเป็นกระบวนการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กเรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีพื้นที่ผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดซับเรียกว่า (Adsorbent) ประสิทธิภาพการดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของตัวดูดซับ คุณสมบัติทางเคมีของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ จำนวนชั้นโมเลกุลของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ และขนาดของรูพรุนในตัวดูดซับ

1. กลไกการดูดซับ (Adsorption mechanism)

การดูดซับที่ผิวโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยสามารถกำจัดออกจากตัวทำละลายและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ติดอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากสารละลายไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในสารละลายเหลือน้อย เพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับ ในปฏิกิริยาของการดูดซับที่เกิดขึ้นนี้ตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับด้วยกลไกการดูดซับซึ่งมี 2 แบบ คือ

1.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

การดูดซับทางกายภาพเป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงลอนดอน (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดีเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุล สารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย ดังนั้นการดูดซับทางกายภาพจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญได้แก่ การจัดเรียงตัวของโมเลกุล (Orientation) การกระจายตัว (Dispersion) และการเหนี่ยวนำ (Induction)

1.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

การดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือ ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เท่านั้น (ธราพงษ์ วิทิตสานต์, 2554) ความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและเคมีสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและเคมี (พัชรินทร์ ราโช, 2556)

ปฏิกิริยาที่เกิด	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1. ค่าความร้อนของการดูดซับ	ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล	ประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล
2. พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น	ค่อนข้างน้อย	เกิดความร้อนสูง

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

ปฏิกิริยาที่เกิด	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
3. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมี
4. การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนใหญ่ไม่ผันกลับ
5. ประเภทของการดูดซับ	Monolayer และ Multilayer	Monolayer

2. ขั้นตอนการดูดซับของตัวดูดซับ

อัตราการดูดซับมีความสำคัญมาก อัตราการดูดซับที่รวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีความต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุล ขั้นตอนที่สำคัญจะเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับของสารถูกดูดซับและสารดูดซับที่มีรูพรุนจะมี 4 ขั้นตอน ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องกัน ดังนี้

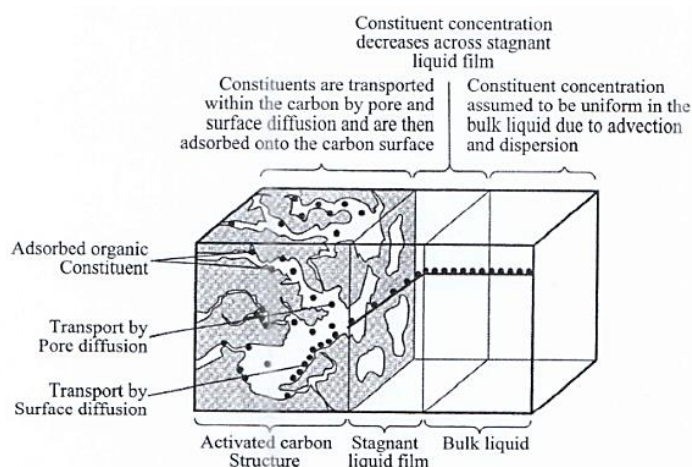
2.1 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารละลายเข้าหาถ่านกัมมันต์ (Bulk solution transport) ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่เป็นสารละลายไปสู่บริเวณที่ใกล้ ๆ กับอนุภาคของตัวดูดซับ (Boundary layer) การเคลื่อนที่นี้จะเกิดขึ้น โดยผ่านกระบวนการแพร่ (Diffusion) โดยทั่วไปขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นได้เร็ว

2.2 ขั้นตอนการแพร่ผ่านฟิล์มบางที่ผิวของตัวดูดซับ (Film diffusion) ในขั้นตอนนี้ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นฟิล์มบางๆของสารละลายที่อยู่หนึ่งที่ถูกรอบ ๆ อนุภาคของตัวดูดซับโดยใช้วิธีการแพร่ของโมเลกุล (Molecular diffusion) ระยะทางและเวลาในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของสารละลายที่ผ่านอนุภาคของตัวดูดซับหรือการปั่นป่วนของสารละลายโดยที่ความหนาของชั้นฟิล์มบางๆจะลดลงเมื่ออัตราการไหลและความปั่นป่วนสูงขึ้น (ประพิน ทักษากัญจนะ, 2548)

2.3 ขั้นตอนการแพร่ของโมเลกุลผ่านช่องว่างในตัวดูดซับ (Pore diffusion) ภายหลังจากโมเลกุลเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มบางๆรอบอนุภาคของตัวดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในอนุภาคนี้นี้ (Intraparticle transport) อาจเกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการแพร่ของโมเลกุลผ่านสารละลายในรูพรุนในตัวดูดซับหรือโดยกระบวนการแพร่ผ่านไปตามพื้นผิวของตัวดูดซับ (Surface diffusion)

2.4 ขั้นตอนการดูดซับ (Adsorption) เมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงบริเวณที่เป็นผิวของตัวดูดซับการสร้างพันธะของกระบวนการดูดซับ (Adsorption bond) ระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับจะเกิดขึ้นขั้นตอนกระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วสำหรับกระบวนการดูดซับ

แบบกายภาพ (Physical adsorption) ด้วยเหตุนี้ขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้นี้จะทำหน้าที่เป็นขั้นตอนที่ควบคุมปฏิกิริยาในการกำจัด โมเลกุลต่าง ๆ ออกจากสารละลายแต่เมื่อใดก็ตามที่ขั้นตอนการดูดซับเป็นการดูดซับแบบเคมี (Chemical adsorption) ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางธรรมชาติของ โมเลกุลที่ถูกดูดซับเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจะช้าซึ่งอาจจะช้ากว่าขั้นตอนต่างๆที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้นี้ ดังนั้นขั้นตอนการดูดซับนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดอัตราในการดูดซับ โมเลกุลต่างๆออกจากสารละลายขั้นตอนการดูดซับสามารถแสดง ได้ดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 ขั้นตอนการดูดซับของถ่านกัมมันต์ (Metcalf & Eddy, 2003)

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก

ในระหว่างที่มีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกแยกออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนผิวตัวดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับส่วนใหญ่ยึดเกาะอยู่ภายในรูพรุนของตัวดูดซับ มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะติดอยู่ที่ผิวภายนอก โดยทั่วไปปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่

3.1 ผลของพีเอช พีเอชจะส่งผลกระทบต่อปริมาณของไอออนของโลหะหนักในสารละลาย หรือรูปแบบของโลหะหนักที่อยู่ในสารละลายว่าอยู่ในรูปของ ไอออนหรืออยู่ในรูปสารประกอบ ส่วนใหญ่แล้วโลหะหนักจะอยู่ในรูปประจุอิสระที่พีเอชต่ำ และเมื่อพีเอชเพิ่มสูงขึ้นโลหะหนักจะจับตัวกับ OH^+ และอาจตกตะกอนได้โดยระดับที่จะทำให้โลหะหนักอยู่ในรูปไอออนอิสระ หรืออยู่ในรูปตกตะกอนนั้น จะมีค่าระดับพีเอชที่แตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของโลหะหนัก นอกจากนี้พีเอชยังมีผลต่อการทำงานของหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับ หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับจะสามารถจับกับไอออนของโลหะหนักได้ในสถานะที่สารละลายเป็นกรด เพราะหมู่ฟังก์ชันจะเกิดการปล่อยประจุบวกและทำให้หมู่ฟังก์ชันมีประจุลบ จึงจับกับประจุบวกของโลหะหนักได้ เช่น หมู่ COOH เมื่อพีเอชต่ำจะอยู่

ในรูป COO โดยหมู่ฟังก์ชันแต่ละชนิดจะสามารถอยู่ในรูปของประจุลบได้ที่ค่าพีเอชของสารละลายแตกต่างกัน (สุนิรัตน์ เรื่องสมบูรณ์, 2549)

3.2 ความเข้มข้นของโลหะหนัก ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักมีผลกระทบต่อความสามารถในการกำจัดโลหะหนักของตัวดูดซับ ถ้าความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้น ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อกรัมตัวดูดซับจะเพิ่มขึ้นด้วย และความเข้มข้นของโลหะหนักที่สูงในสารละลาย ทำให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างความเข้มข้นในสารละลายกับความเข้มข้นที่ผิวของตัวดูดซับ จึงทำให้มีแรงผลักของประจุโลหะหนักจากสารละลายสู่ผิวตัวดูดซับสูง ทำให้ตัวดูดซับสามารถกำจัดโลหะหนักได้เร็วและได้มาก (สุนิรัตน์ เรื่องสมบูรณ์, 2549)

3.3 ปริมาณตัวดูดซับ เมื่อปริมาณตัวดูดซับที่เพิ่มมากขึ้น ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อกรัมตัวดูดซับลดลง เนื่องจากปริมาณตัวดูดซับที่เพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการชนกัน หรือชิดกันของผิวของตัวดูดซับ จึงทำให้ตำแหน่งยึดจับบางส่วนไม่สามารถจับกับโลหะหนักได้ หรือบางสมมุติฐานกล่าวว่าปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อกรัมตัวดูดซับลดลงนั้น เนื่องจากปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในสารละลายมีอยู่ในปริมาณจำกัดหรือมีอยู่ในปริมาณน้อย เมื่อใส่ตัวดูดซับลงไปจำนวนมากเกิน จึงทำให้มีจำนวนตำแหน่งยึดจับมากเกินจำนวนโลหะหนัก เมื่อการดูดซับเสร็จสิ้น จึงยังมีตำแหน่งยึดจับบางส่วนที่ว่างอยู่ ดังนั้นเมื่อคำนวณเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับที่เท่ากันจึงทำให้ตัวดูดซับที่มีจำนวนน้อยมีการดูดซับโลหะหนักได้มากกว่า (สุนิรัตน์ เรื่องสมบูรณ์, 2549)

3.4 ระยะเวลาสัมผัส ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามเวลาจนกระทั่งถึงเวลาที่ระบบเข้าสู่สมดุลซึ่งเป็นเวลาที่อัตราการดูดซับ (Rate of adsorption) เท่ากับอัตราการคาย (Rate of desorption) ความสามารถในการดูดซับจะมีค่ามากที่สุด จากนั้นจะมีค่าคงที่เมื่อเวลาที่ใช้เพิ่มขึ้น โดยที่จุดสมดุลนี้ตำแหน่งยึดจับบนผิวของตัวดูดซับจับกับไอออนของโลหะหนักได้เต็มที่แล้ว จึงไม่สามารถเพิ่มการดูดซับได้มากกว่านี้อีก ดังนั้นหากให้ระยะเวลาการสัมผัสของตัวดูดซับกับโลหะหนักเกินจุดสมดุลมากเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองระยะเวลาในการกำจัดโลหะหนักมากขึ้น ในขณะที่หากให้ระยะเวลาในการสัมผัสของตัวดูดซับกับโลหะหนักน้อยเกินไป ก็จะทำให้ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับได้ต่ำกว่าค่าที่ควรดูดซับได้ (สุนิรัตน์ เรื่องสมบูรณ์, 2549)

3.5 ผลของอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับจะลดลง เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน (สันตศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557)

3.6 พื้นที่ผิวและโครงสร้างของตัวดูดซับ พื้นที่ผิวเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับในการดูดซับ นั่นคือความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น

เมื่อพื้นที่ผิวของ โมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมากขึ้น นอกจากนี้โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เพราะถ้าขนาด โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปในรูพรุนของ โมเลกุลของตัวดูดซับได้ การดูดซับก็จะเพิ่มขึ้น

3.7 ขนาดของตัวดูดซับ ในกรณีที่โมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับ ไม่มีรูพรุนนั้น พื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดลดลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้าโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมีรูพรุนมาก ๆ พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะไม่ขึ้นกับขนาดของวัตถุ

3.8 เคมิทีฟิควาตัวดูดซับ หมู่ฟังก์ชันนัลเฉพาะที่อยู่บนผิว โมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับจะมีคุณสมบัติที่มีผลกับกระบวนการดูดซับ เช่น ถ้าโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับเป็นพวกออกไซด์และหมู่ฟังก์ชันนัลที่มีกรด ความสามารถในการดูดซับก็จะลดลงด้วย แต่ถ้าหมู่ฟังก์ชันนัลที่เป็นคาร์บอนิล ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น

3.9 ความสามารถในการละลาย จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปฏิกิริยาของตัวทำละลายและตัวถูกละลายทำให้การแพร่ขยายการดูดซับลดลง เพราะก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับขึ้นจะต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายและตัวทำละลายก่อน

3.10 น้ำหนักโมเลกุลและขนาดของ โมเลกุล มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลและขนาดของ โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเป็นสารอินทรีย์ และถ้าจำนวนคาร์บอนอะตอมมากขึ้น การดูดซับจะมากขึ้น เพราะการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลจะเป็นผลทำให้ความสามารถในการละลายลดลง

3.11 ความมีขั้ว (Polarity) ของ โมเลกุล ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อความมีขั้วเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มความมีขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

3.12 การปั่นกววน อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ภายนอกและภายใน โดยขึ้นกับการปั่นกววนของระบบ ถ้าน้ำมีการปั่นกววนต่ำฟิล์มของน้ำ ซึ่งล้อมรอบสารดูดซับไว้จะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลในการเข้าไปยังสารดูดซับ ดังนั้นการแพร่ภายนอกเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับในทางตรงกันข้ามถ้าการปั่นกววนสูงจะเกิดฟิล์มบางๆทำให้การแพร่ภายในเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับการปั่นกววนในถังดูดซับ คือ ความเร็วของน้ำที่ผ่านถึงต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด ซึ่งตามทฤษฎีถ้าเพิ่มความเร็วจึงทำให้อัตราเร็วในการดูดซับสูงขึ้น เนื่องจากมีการปั่นกววนที่สูงขึ้น

การดูดซับสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสีย ตัวดูดซับที่นิยมใช้มาก คือ แอคติเวทเต็ดคาร์บอน (Activated carbon) หรือถ่านกัมมันต์ ในยุคแรก ๆ มีการนำมาใช้กำจัดสีกลิ่น ในน้ำประปา ในโรงบำบัดน้ำเสียจะใช้แอคติเวทเต็ดคาร์บอนในการบำบัดขั้นที่ 3 (Tertiary

treatment) แอคติเวตเต็ดคาร์บอนแบ่งตามขนาดอนุภาคเป็น 2 พวก คือ แบบผง (Power activated carbon, PAC) มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 200 เมช ส่วนแบบเม็ด (Granular activated carbon, GAC) มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 0.1 มิลลิเมตร การใช้แบบผงบำบัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก โดยเติมลงไปในถังเติมอากาศบำบัดร่วมกับวิธีทางชีวภาพในระบบแอคติเวตเต็ดสลัดจ์ และแยกผงคาร์บอนออกโดยวิธีตกตะกอน เนื่องจากผงคาร์บอนมีความละเอียดมากควรใช้สารรวมตะกอน เช่น โพลีเมอร์ช่วยในการตกตะกอน ส่วนเม็ดคาร์บอน (GAC) ใช้บำบัดน้ำเสียโดยบรรจุในคอลัมน์ เรียกว่า Carbon contactor แล้วปล่อยให้ให้น้ำเสียไหลผ่านช้า ๆ ลักษณะของคาร์บอนในคอลัมน์อาจเป็นแบบชั้นคาร์บอนอยู่กับที่ (Fixed-bed) น้ำเสียอาจไหลผ่านด้านบนของคอลัมน์ลงมาด้านล่าง ใช้ได้ทั้งคอลัมน์เดียว หรือหลายคอลัมน์ต่อเข้าด้วยกันแบบอนุกรม หรือขนาน ต้องระวังเรื่องอนุภาคของแข็ง (Particulate) ที่ปนมากับน้ำเสียจะสะสมมากขึ้นและทำให้อุดตันได้

แบบชั้นคาร์บอนขยายตัว (Expanded-bed) และชั้นคาร์บอนเคลื่อนที่ (Moving-bed) เพื่อแก้ปัญหาการอุดตันโดยจะให้น้ำเสียไหลเข้าทางด้านล่าง แรงดันของน้ำเสียทำให้เม็ดคาร์บอนขยายตัวขึ้นเล็กน้อยจึงเป็น Expanded-bed carbon contactor ส่วนแบบเม็ดคาร์บอนเคลื่อนที่ น้ำเสียจะไหลผ่านคอลัมน์จากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน (Up-flow) เช่นเดียวกัน แต่มีการเติมเม็ดคาร์บอนจากด้านบนของคอลัมน์อย่างต่อเนื่องขณะเดียวกันเม็ดคาร์บอนที่ใช้งานเป็นเวลานานจะเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่างของคาร์บอนและถูกสูบออกในอัตราเดียวกับที่เติมเข้า

ถ่านกัมมันต์ (ACTIVATED CARBON)

ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับสูง มีการนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่าง ๆ โดยเฉพาะการบำบัดน้ำ ดูดกลิ่น ดูดสี ซึ่งเป็นสมบัติที่รู้จักกันมานานแล้ว วัสดุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้ มีปริมาณสารระเหยต่ำ แต่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบปริมาณสูง มีราคาถูก หาได้ง่ายและวัสดุดิบนั้นอาจเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์ขึ้น วัสดุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์คือ พีต ถ่านหิน ลิกไนต์ กะลามะพร้าว ไม้ และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

1. ความหมายของถ่านกัมมันต์ มีผู้ให้ความหมายไว้หลายแบบดังนี้

Derbyshire et al. (1995) กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์ คือ วัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความพรุนสูงดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซับสารเคมีจากก๊าซและของเหลวได้ในปริมาณสูงซึ่งถ่านกัมมันต์นั้นสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน โดยอาจใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่นอกจากนั้นถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

หรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ด้วยจากคุณสมบัติที่เหมาะสมและมีราคาไม่แพงของถ่านกัมมันต์ทำให้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้กันมาก

Jankowska et al. (1991) กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์ คือ การนำเอาวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบผ่านกระบวนการถลุงถ่านกัมมันต์ ซึ่งทำให้วัตถุดิบนั้นมีโครงสร้างรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในสูง ซึ่งหากดูที่พื้นที่หน้าตัดของถ่านกัมมันต์จะมีลักษณะคล้ายรังผึ้ง โดยถ่านกัมมันต์จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก 87-90% และมีธาตุอื่นที่เป็นองค์ประกอบ คือ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน โดยจะมีปริมาณมากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีในวัตถุดิบและอาจเกิดขึ้นได้อีกในขั้นตอนการผลิต

กระทรวงอุตสาหกรรม. (2547) กำหนดว่า ถ่านกัมมันต์ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักผ่านกรรมวิธีการถลุงถ่านกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำมีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุนมีพื้นที่ผิวสูงมีสมบัติในการดูดซับสารต่างได้เป็นอย่างดี

2. การผลิตถ่านกัมมันต์

ปัจจุบันกรรมวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธี ขึ้นอยู่กับว่าวัตถุดิบที่ใช้เป็นอะไรและต้องการถ่านกัมมันต์ที่มีคุณสมบัติอย่างไร ถ่านกัมมันต์เตรียมจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ถ่านหิน (ถ่านหินแอนทราไซต์ หรือถ่านหินสีน้ำตาล) ลิกไนต์ ไม้ เปลือกของผลไม้ที่มีเปลือกแข็ง เช่น กะลามะพร้าว ชี้เลื้อย แกลบ เป็นต้น (พรชวรณ ศรีนาค, 2556)

การผลิตถ่านกัมมันต์ในเชิงอุตสาหกรรมมีขั้นตอนต้นเริ่มจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์ และขั้นตอนการกระตุ้น แต่ละขั้นตอนมีการควบคุมตัวแปรที่เหมือนหรือแตกต่างกันไป การควบคุมตัวแปรต่าง ๆ แต่ละขั้นตอนเพื่อต้องการให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสูง พร้อมกันนั้นให้ได้ผลได้ที่สูงเช่นกัน แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบเพื่อเข้ากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์เป็นขั้นตอนที่สำคัญเพื่อสามารถกำหนดคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ได้ตามต้องการ โดยมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาดังนี้

2.1.1 ความชื้น

ความชื้นของวัตถุดิบก่อนเข้าขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์ ควรควบคุมให้มีค่าต่ำสุดที่จะเป็นไปได้เพื่อเป็นการลดเวลาและมลภาวะในรูปของควันอีกทั้งสามารถลดพลังงานในการคาร์บอนไนซ์ การลดความชื้นกระทำโดยการอบด้วยเตาอบ โดยตรง หรือการตากแดดซึ่งเป็นวิธีที่นิยมทำกันเพราะสะดวกและราคาถูก

2.1.2 การลดขนาด

การลดขนาดของวัตถุดิบบางประเภทก่อนเข้าขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์ มีความจำเป็นเพื่อให้ความร้อนกระจายตัวเข้าไปในวัตถุดิบอย่างทั่วถึง เช่น การลดขนาดของถ่านหิน ส่วนชีวมวลที่เป็นลำต้นที่มีขนาดใหญ่ หรือกะลามะพร้าวที่มีลักษณะขนาดไม่สม่ำเสมอ การลดขนาดทำโดยนำวัตถุดิบผ่านเครื่องลดขนาดที่บางประเภทมีตัวคัดขนาดได้ในเวลาเดียวกัน

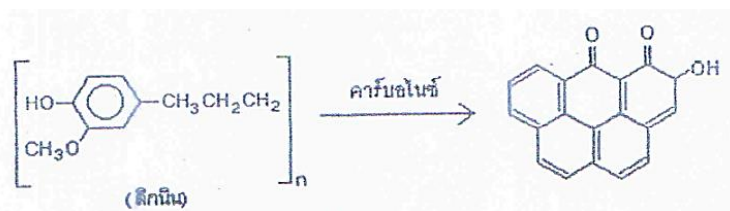
2.1.3 การกักเก็บวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่พร้อมจะผ่านขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์จะถูกนำไปเก็บในที่กักเก็บที่มีฉนวนป้องกันความชื้นเพิ่มขึ้น อันเนื่องจากฝนตกหรือเก็บในที่ที่มีอากาศถ่ายเทได้เพื่อป้องกันการติดไฟด้วยตัวเองในกรณีเก็บวัตถุดิบไว้นานในภาวะอากาศร้อน (ชราพงษ์ วิทิตสานต์, 2554)

2.2 การคาร์บอนไนซ์ (Carbonization)

การคาร์บอนไนซ์เป็นการแปรสภาพอินทรีย์วัตถุให้เป็นถ่าน เพื่อขับไล่ธาตุต่าง ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนในอินทรีย์วัตถุออกไป ถ่านที่ได้จะมีปริมาณร้อยละของคาร์บอนสูงขึ้น โดยใช้หลักการของกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ซึ่งเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนด้วยความร้อน ทำได้โดยการเผาอินทรีย์วัตถุหรือวัตถุดิบในที่อับอากาศให้อากาศเข้าไปไม่มาก การย่อยสลายนี้จะทำให้ธาตุส่วนใหญ่ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน เกิดการแยกตัวออกกลายเป็นแก๊ส และบางส่วนของคาร์บอนจะกลายเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) กรดน้ำส้ม น้ำมันดิน (Tar) เมทานอล (สกัด ซีรอนันต์ไพบูลย์, 2557)

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในการคาร์บอนไนซ์ เมื่อใช้ความร้อนไล่ความชื้นและสารระเหยได้ต่าง ๆ ออกจากวัตถุดิบ ทำให้เกิดโครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกหลักที่เหลือของชีวมวลที่เป็นวัตถุดิบกลายเป็นโครงสร้างของถ่านชาร์ เป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งสีดำ เรียกว่า ถ่านชาร์ ส่วนกลุ่มโครงสร้างโมเลกุลหรือหมู่ที่มีขนาดเล็กกว่าจะกลั่นสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ น้ำ แอมโมเนีย น้ำมันทาร์ และก๊าซต่าง ๆ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในการคาร์บอนไนซ์แสดงดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในการคาร์บอนไนซ์ (ชราพงษ์ วิทิตสานต์, 2554)

ขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์จัดว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมากในการผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากในการคาร์บอนไนซ์เป็นขั้นตอนแรกของการสร้างรูพรุนในขั้นตอนการกระตุ้น โดยในระหว่างการคาร์บอนไนซ์ธาตุและองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหยต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจนและน้ำ ถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของก๊าซและน้ำมันทาร์ จากนั้นก็ได้ถ่านชาร์ซึ่งมีการจัดตัวของโครงสร้างผลึกที่ไม่เป็นระเบียบซึ่งจะมีช่องว่างรูพรุนระหว่างผลึก โดยมีสารอนินทรีย์ที่เป็นทาร์ไปอุดช่องว่างเหล่านั้นเพิ่มมากขึ้นจากวัตถุดิบในตอนแรกด้วย (ธราพงษ์ วิทิตสานต์, 2554) ขั้นตอนของกระบวนการคาร์บอนไนซ์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน

2.2.1 ขั้นตอนการสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างวัตถุดิบในช่วงอุณหภูมิ 27-197°C

2.2.2 ขั้นตอนเข้าสู่การไพโรไลซิสโดยเกิดก๊าซและน้ำมันทาร์ในโครงสร้างในช่วงอุณหภูมิ 197 ถึง 497°C

2.2.3 ขั้นตอนที่มีการเกาะตัวกันของโครงสร้างถ่านชาร์ โดยในช่วงนี้ น้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลงไปมากในช่วงอุณหภูมิ 497 ถึง 847°C

การคาร์บอนไนซ์เพื่อให้ได้ถ่านที่มีสมบัติตามที่ต้องการทำได้โดยการปรับภาวะให้เหมาะสม โดยมีตัวแปรที่สำคัญดังนี้ คือ

อุณหภูมิและเวลา

อุณหภูมิมิผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์มากที่สุด และเป็นปัจจัยสำคัญของการคาร์บอนไนซ์ คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น น้ำหนักถ่านชาร์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จะลดลง ส่วนน้ำมันทาร์และก๊าซที่ได้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น สมบัติของน้ำมันทาร์มีกลุ่มสารประกอบที่มีโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปด้วย เพราะการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของวัตถุดิบนั้น

อัตราการให้ความร้อน

อัตราการให้ความร้อนจะมีผลต่อสมบัติของถ่านชาร์และมีผลต่อปริมาณของน้ำมันทาร์และสารระเหย การเพิ่มอัตราความร้อนอย่างรวดเร็วจะมีผลทำให้ปริมาณสารระเหยถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็วทำให้ถ่านที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่า เนื่องจากถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิอย่างรวดเร็วคาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียนน้อยกว่า ทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่กว่าเมื่อถ่านชาร์นี้ถูกกระตุ้น สารกระตุ้นสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่าย

ตัวกลางของปฏิกิริยาการคาร์บอนไนซ์

ตัวกลางที่เป็นก๊าซมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาการคาร์บอนไนซ์ เนื่องจากก๊าซและไอที่เกิดขึ้นระหว่างการคาร์บอนไนซ์จะถูกพาออกไปอย่างรวดเร็ว โดยปกติก๊าซที่ใช้เป็นตัวกลาง เช่น ไนโตรเจน (เป็นก๊าซเฉื่อยต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ของคาร์บอน) และก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ ถ้าใช้ตัวกลางเป็นก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ปริมาณค่าที่ได้จะน้อยกว่าตัวกลางที่ใช้ไนโตรเจน แต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า

ธรรมชาติของวัตถุดิบ

วัตถุดิบแต่ละชนิดมีภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกันในการคาร์บอนไนซ์โดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ต่างกันอาจใช้วิธีกระตุ้นที่ต่างกัน ทั้งนี้เพื่อให้ได้ถ่านที่คุณภาพดีที่สุดและเหมาะสมกับการนำไปใช้ เช่น ถ้าวัตถุดิบเป็นถ่านหินชนิดลิกไนต์ภาวการณ์คาร์บอนไนซ์จะทำที่อุณหภูมิต่ำและเวลาน้อยกว่าการใช้วัตถุดิบที่เป็นกะลามะพร้าว

จุดมุ่งหมายหลักของกระบวนการการคาร์บอนไนซ์ก็เพื่อผลิตให้ได้ถ่านที่มีรูพรุนและการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมให้เป็นระเบียบมากกว่าเมื่อยังเป็นวัตถุดิบ วัตถุดิบที่เป็นไม้และกะลาให้ค่าประมาณใกล้เคียงกัน เนื่องจากลักษณะโครงสร้างเป็นพวกเซลลูโลส ในขณะที่ถ่านหินได้ถูกเปลี่ยนโครงสร้างไปก่อนหน้ามานานและเกิดการทับถมรวมตัวกับแร่ธาตุต่าง ๆ จึงพบถ่านเป็นจำนวนมากและมีค่าคาร์บอนคงตัวที่มากกว่า ดังนั้นเมื่อถูกคาร์บอนไนซ์การเปลี่ยนแปลงของค่าต่าง ๆ จึงน้อยกว่าวัตถุดิบที่เป็นชีวมวล (ธราพงษ์ วิทิตสานต์, 2554)

ถ่านที่มีคุณภาพดี ควรมีลักษณะดังนี้

1. มีสีน้ำตาลสด
2. มีลักษณะแข็งแกร่งไม่แตกหักง่าย
3. เมื่อหักดูส่วนที่หักจะมีผิวมันเงา
4. ปลายที่หักมีลักษณะแหลมคม
5. เมื่อเคาะหรือตกระแทกพื้นต้องมีเสียงดังกังวานคล้ายโลหะ
6. ปราศจากฝุ่นผงและไม่มีขี้เถ้าหรือส่วนที่ยังไม่เป็นถ่านติดอยู่
7. มีปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่มาก มีความชื้นต่ำ (5-10%)

อย่างไรก็ตาม ถ่านที่ได้จากขั้นตอนนี้ยังมีความสามารถในการดูดซับต่ำมาก เพราะมีพื้นที่ผิวจำเพาะหรือรูพรุนอยู่น้อย และยังคงมีน้ำมันดิบบางส่วนตกค้างอยู่ในรูพรุนหรือเกาะอยู่ตามผิว จึงจำเป็นต้องนำถ่านนี้ไปผ่านปฏิกิริยาการกระตุ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับต่อไป (สันศักดิ์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557)

2.3 การกระตุ้นถ่านให้เป็นถ่านกัมมันต์ (Activation)

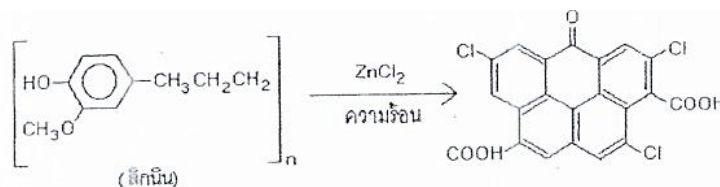
เป็นการนำถ่านที่ได้จากการแปรสภาพอินทรีย์วัตถุมากระตุ้นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของโครงสร้างคาร์บอนด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น โดยการทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารอื่นๆ ที่ผิวของถ่านกัมมันต์ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการกระตุ้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด เนื่องจากวิธีการกระตุ้นนั้นมีหลายวิธี และประสิทธิภาพของการกระตุ้นยังขึ้นกับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบรวมถึงวิธีการเตรียมถ่านก่อนการกระตุ้นด้วย โดยทั่วไปการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยการกระตุ้นมี 2 วิธี คือ วิธีทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งในการศึกษาของงานวิจัยนี้ใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมี

2.3.1 การกระตุ้นทางเคมี

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน แสดงดังภาพที่ 2-4 โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ $ZnCl_2$, KOH หรือ H_3PO_4 เป็นต้น ข้อดีของวิธีนี้คือใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก (400 ถึง 600 °C) แต่มีข้อเสียคือมีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีดังกล่าวออก รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ก็ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ เพราะสารเคมีเหล่านี้สามารถทำลายเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์เชิงอุตสาหกรรม

ในกระบวนการกระตุ้นทางเคมีมีวิธีดำเนินการคือ นำวัตถุดิบที่เตรียมเป็นถ่านชาร์แล้วผสมกับสารเคมีที่เป็นตัวกระตุ้น และตามด้วยการให้ความร้อนในบรรยากาศก๊าซเฉื่อยแก่ถ่านชาร์ที่ผสมสารกระตุ้นเพื่อลดความชื้นและก่อให้เกิดรูพรุนที่อุณหภูมิสูง

นอกจากนี้ยังสามารถที่จะรวมขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์และการกระตุ้นเป็นขั้นตอนเดียวกัน (ทางกายภาพและทางเคมี) โดยเริ่มต้นจากวัตถุดิบที่ไม่ผ่านการคาร์บอนไนซ์มาก่อน กระบวนการนี้มีข้อดีคือ สามารถกระทำได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติและทำให้เกิดรูพรุนที่ดีกว่า ถึงแม้ว่าสารเคมีมีผลต่อภาวะสิ่งแวดล้อม (ธราพงษ์ วิทิตสานต์, 2554)



ภาพที่ 2-4 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างถ่านกัมมันต์จากการกระตุ้นด้วยสารเคมี (ธราพงษ์ วิทิตสานต์, 2554)

3. ชนิดของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งออกโดยใช้หลักเกณฑ์ต่าง ๆ (ชราพงษ์ วิทิตสานต์, 2554) ได้แก่

3.1 แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

3.1.1 ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 1.5 นาโนเมตร มักใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย

3.1.2 ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนอยู่ในช่วงประมาณ 1.5 ถึง 100 นาโนเมตร มักนำไปใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic reaction) ใช้เป็นตัวรองรับ (Support) ใช้ดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่เช่นการฟอกสี เป็นต้น

3.1.3 ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 100 นาโนเมตร โดยปกติไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่างๆแต่เป็นตัวช่วยให้สารที่ถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังรูพรุนขนาดเล็กได้ง่ายขึ้นมักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสีและการผลิตยา

3.2 แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

3.2.1 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอนถ่านกัมมันต์ที่ได้มักจะมีรูพรุนขนาดใหญ่ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ค่อนข้างสูง ตัวกระตุ้นที่นิยมใช้ได้แก่ กรดฟอสฟอริก ซิงค์คลอไรด์ และเบส เป็นต้น

3.2.2 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซเป็นตัวกระตุ้นเช่น ไอน้ำ อากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดเล็กปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ค่อนข้างต่ำนิยมใช้ในการดูดซับก๊าซและไอระเหย

3.3 แบ่งตามลักษณะของรูปร่าง

3.3.1 ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powder Activated Carbon, PAC) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ถูกนำมาบดจนสามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 เมชไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนักมีลักษณะเป็นผงโดยทั่วไปจะมีขนาด 0.15–0.25 มิลลิเมตร เมตรนิยมใช้ในการดูดซับสารในสถานะของเหลว เช่น การฟอกสีและดูดกลิ่นในของเหลว

3.3.2 ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดหรือเม็ด (Granular Activated Carbon, GAC) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ทำจากวัตถุดิบที่เป็นเม็ดหรือเป็นถ่านกัมมันต์แบบผง แล้วมาเติมตัวประสานทำให้เป็นเม็ดสามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 20 เมช ได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 85 และสามารถผ่านตะแกรง

ร้อนขนาด 40 เมฆ ได้ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดที่ใช้งานมานานจนประสิทธิภาพลดลงแล้วสามารถนำไปทำการฟื้นฟูสภาพเพื่อให้มีอำนาจการดูดซับที่ผิวมากขึ้น และนำกลับมาใช้งานใหม่ได้อีกถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดนิยมใช้ในการดูดซับก๊าซ และไอระเหย

3.4 แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

3.4.1 ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นต่ำถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักนำไปใช้ประโยชน์ในสถานะที่เป็นสารละลาย เช่น ใช้ในการฟอกสีน้ำตาลดิบ การทำน้ำให้บริสุทธิ์หรืออุตสาหกรรมอาหาร

3.4.2 ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นสูงมักใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอระเหยเช่น ใช้ในการกำจัดกลิ่นหรือการแยกก๊าซออกจากก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น

3.5 แบ่งตามค่าความเป็นกรด-เบสเมื่อละลายน้ำ

3.5.1 ถ่านกัมมันต์ชนิดแอล (L-Type Activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมีคุณสมบัติเป็นกรด

3.5.2 ถ่านกัมมันต์ชนิดเอช (H-Type Activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมีคุณสมบัติเป็นเบส

3.6 แบ่งตามหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์

3.6.1 หมู่ฟังก์ชันออกไซด์ที่เป็นกรด ซึ่งจะแสดงคุณสมบัติเป็นกรดเมื่ออยู่ในสารละลาย หมู่ฟังก์ชันนี้จะพบในถ่านกัมมันต์ชนิดแอลซึ่งเตรียมจากการเผาวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 200-400°C ในอากาศหรือถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีที่อุณหภูมิในการเผากระตุ้นไม่เกิน 1,000°C ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ มักผลิตจากวัตถุดิบจำพวกไม้หรือวัตถุดิบที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสูง ตัวอย่างของหมู่ฟังก์ชันกลุ่มนี้ คือ หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl) หมู่ฟีนอลิกคาร์บอกซิล (Phenolic carboxyl) หมู่ควิโนนอยด์ (Quinonoid) หมู่กรดคาร์บอกซิลแอตติค (Carboxyl Acid Group) หมู่แอนไฮไดรด์ (Anhydride) หมู่แลคโตน (Lactone) และหมู่ไซคลิก-เปอร์ออกไซด์ (Cyclic Peroxide) เป็นต้น

3.6.2 หมู่ฟังก์ชันออกไซด์ที่เป็นเบส ซึ่งจะแสดงคุณสมบัติเป็นเบสเมื่ออยู่ในสารละลายมักพบในถ่านกัมมันต์ชนิดเอช ซึ่งถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ส่วนใหญ่มักเตรียมจากการกระตุ้นทางกายภาพด้วยไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิสูงมากประมาณ 1,000-1,200°C ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักผลิตจากวัตถุดิบจำพวกถ่านหินหรือวัสดุชีวมวลที่มีองค์ประกอบธาตุคาร์บอนไม่สูงมากนักตัวอย่างของกลุ่มฟังก์ชันกลุ่มนี้ได้แก่ หมู่ควินิน (Quinine) หมู่โครมีน (Chromene) และไพโรน-ไลค์ (Pyrone-like) เป็นต้น

ทุเรียน (DURIAN)

ทุเรียนเป็นไม้ผลยืนต้นในอันดับ Males วงศ์ Bombacaceae สกุล Durio ซึ่งประกอบด้วยทุเรียน 27 ชนิด (Species) ชนิดที่ปลูกกันแพร่หลายเป็นการค้า คือ ทุเรียนบ้านมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า Durio Zibethinus ซึ่งมีมากกว่า 200 สายพันธุ์ทุเรียนเป็นผลไม้เมืองร้อนมีถิ่นกำเนิดทางเอเชียตอนใต้แถบหมู่เกาะบอร์เนียวอินโดนีเซียมาเลเซีย ต่อมาได้แพร่กระจายไปยังที่ต่าง ๆ รวมทั้งประเทศไทยคาดว่าได้นำมาปลูกตั้งแต่สมัยต้นกรุงรัตนโกสินทร์และมีปลูกกันมากในบริเวณกรุงเทพมหานครและนนทบุรีเป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนและฝนตกชุกชอบสภาพดินร่วนปนทรายระบายน้ำได้ดีจึงสามารถปลูกได้ดีทางภาคตะวันออก เช่น จันทบุรี ระยอง ตราด ปราจีนบุรี และทางภาคใต้ เช่น ชุมพร สุราษฎร์ธานี เป็นต้น ปัจจุบันทุเรียนเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญซึ่งนอกจากบริโภคในประเทศแล้วยังสามารถส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศซึ่งประเทศไทยเป็นแหล่งส่งออกทุเรียนที่สำคัญของโลกประเทศหนึ่ง (สมศักดิ์ วรรณศิริ, 2530)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของทุเรียนแยกได้เป็น

1. ลำต้นเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่มีความสูง 70-80 ฟุต อายุยืน 80-150 ปี มีเปลือกแข็งสีเทาเป็นไม้ประเภทเนื้ออ่อนมีกิ่งออกจากลำต้นโดยรอบสลัดทิศทางกัน
2. ใบเป็นใบเลี้ยงคู่ชนิดใบกว้างเป็นแบบใบเดี่ยวขนาดกว้าง 2-3 นิ้วยาว 6-8 นิ้ว
3. ดอกมีลักษณะคล้ายระฆังมีส่วนของดอกครบถ้วนและเป็นดอกสมบูรณ์เพศมีรังไข่อยู่เหนือส่วนอื่นของดอกในแต่ละดอกประกอบด้วยกลีบเลี้ยงกลีบรองกลีบดอกและเกสรตัวผู้
4. ผลทุเรียนเป็นแบบแคปซูลมีเปลือกหนามีหนามแข็งเป็นรูปปิรามิดตลอดผลผลมีลักษณะกลมหรือกลมรีมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15-20 เซนติเมตร ยาว 25-35 เซนติเมตร เนื้อจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดินสีของเนื้อขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ของทุเรียนนั้น ๆ รสชาดหวานมีกลิ่นเฉพาะตัว (สราวุธ ศรีคุณ, 2550)

ซึ่งเปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบของเซลลูโลสและลิกนิน เช่นเดียวกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดอื่น ๆ เมื่อผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์ทำให้โครงสร้างภายในเปลี่ยนแปลงเป็นคาร์บอน จึงสามารถนำมาทำเป็นถ่านชีวภาพได้ (ปานใจ สื่อประเสริฐสิทธิ, 2545)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พลกฤษ โสภณกิจ โสภณ (2544) ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเพื่อนำมาใช้ในการดูดซับโลหะโครเมียม (VI) ที่ปนเปื้อนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม ผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์สามารถดูดโครเมียม (VI) ได้ดีที่สุด เมื่อสารละลายโครเมียมมีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 2.5 และถ่านกัมมันต์ที่เผากระตุ้นที่

อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง สามารถดูดซับโครเมียม (VI) ได้เท่ากับร้อยละ 69.80 ในขณะที่ถ่านกัมมันต์อ้างอิง YAO 12/ 40 สามารถดูดซับโครเมียม (VI) ได้เพียงร้อยละ 56.96 เท่านั้น เกิดปฏิกิริยารีดักชันจากโครเมียม (VI) เป็นโครเมียม (III) ในระหว่างกระบวนการดูดซับ น้อยกว่าถ่านกัมมันต์อ้างอิง YAO 12/ 40

สุธิดา โขภคชัยวัฒน์ (2544) ทำงานวิจัยศึกษาความสามารถของถ่านกัมมันต์ในการกำจัดโครเมียม (VI) ออกจากน้ำเสียหลังจากการวิเคราะห์ค่าซีไอดีในห้องปฏิบัติการเคมี โดยใช้ถ่านสองชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ชนิด A (Coconut shell) และถ่านกัมมันต์ชนิด B (Rubber wood) ผลการทดลองพบว่าที่พีเอช 2 เป็นช่วงพีเอชที่ถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดสามารถกำจัดโครเมียม (VI) ประมาณ 100% และ 99% ตามลำดับ ผลของเวลาสัมผัสพบว่า การดูดซับโครเมียม (VI) จะถึงจุดสมดุลเมื่อใช้เวลา 2 ชั่วโมงสำหรับถ่านกัมมันต์ชนิด A และ 1 ชั่วโมงสำหรับถ่านกัมมันต์ชนิด B และพบว่าถ่านกัมมันต์ชนิด B มีความสามารถในการกำจัดโครเมียม (VI) ได้ดีที่สุด และไม่ต้องทำการปรับพีเอชของน้ำเสียซีไอดี เนื่องจากพีเอชของน้ำเสียซีไอดีนั้นมีพีเอชต่ำกว่าศูนย์ ผลของเวลาสัมผัสพบว่า การดูดซับโครเมียม (VI) เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 15 นาที จำนวนโครเมียม (VI) ที่ถูกดูดซับโดยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์มีค่าเท่ากับ 4.09 มิลลิกรัมของโครเมียม (VI) ต่อกรัมของคาร์บอน และในการทดลองแบบต่อเนื่อง พบว่าที่อัตราการกรอง 0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง เป็นอัตราอยู่ในช่วงการกรองช้า และเป็นอัตราการกรองที่สามารถรองรับการทดลองซีไอดีของห้องปฏิบัติการเคมี เมื่อกำนวณต้นทุนการกำจัดโครเมียม (VI) พบว่าน้ำเสียซีไอดีปริมาตร 1 ลิตรจะต้องเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 24.88 บาท

ปานใจ สือประเสริฐสิทธิ์ (2545) จากการศึกษาประสิทธิภาพลดปริมาณโครเมียม (VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์ พบว่าประสิทธิภาพในการลดโครเมียม (VI) จะเกิดได้ดีที่ค่า pH ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 2 ที่ความสูงของถ่านกัมมันต์ 40 ซม. และอัตราการกรอง 0.6 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. โดยถ่านกัมมันต์มีอายุการใช้งานประมาณ 2 ชม. และมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณโครเมียม (VI) โดยเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 99.75 และพบว่าต้นทุนในการลดปริมาณโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ประมาณ 0.16 บาทต่อน้ำเสี 1 ลิตร หรือเท่ากับ 1.6 บาท ต่อปริมาณโครเมียม (VI) ที่ถูกกำจัด 1 กรัม โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 1 กิโลกรัมต่อการลดปริมาณโครเมียม (VI) 0.88 กรัม

สรล คณนัมพร (2545) ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ชนิดผงและชนิดเกล็ดในการกำจัดโครเมียมที่ละลายในน้ำเสียสังเคราะห์ ผลการวิจัยพบว่าระยะเวลาสัมผัสในการดูดซับของโครเมียมของถ่านกัมมันต์ชนิดผงและชนิดเกล็ดจะถึงจุดสมดุลเมื่อใช้เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีขีดความสามารถในการกำจัดโครเมียมได้ดีที่สุดเมื่อพิจารณาจากค่าคงที่ของการดูดซับจากสมการไอโซเทอมการดูด

ติดผิวแบบฟรุณคลิซและทำให้ทราบว่าจำนวน โครเมียมที่ถูกดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์มีค่าเท่ากับ 19.6 และ 3.7 มิลลิกรัม ของโครเมียมต่อกรัมของคาร์บอนสำหรับถ่านกัมมันต์ชนิดผงและชนิดเกล็ดตามลำดับ การทดลองแบบกะพว่ที่ระยะเวลาสัมผัสสูงสุดที่ 2 ชั่วโมง และความเร็วรอบของเครื่องกววนสูงสุดที่ 3,000 รอบต่อนาที จะมีเปอร์เซ็นต์การกำจัด โครเมียมสูงสุดของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด ระยะเวลาสัมผัสและความเร็วรอบของเครื่องกววนมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมที่เหลือจากการกำจัดด้วยถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด โดยสามารถทำนายสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อคำนวณต้นทุนการกำจัดโครเมียมของน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 5 ลิตร ของถ่านกัมมันต์ชนิดผงและชนิดเกล็ดจะต้องเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 46 และ 11 บาท ตามลำดับ

ธีระ โชติ ศรีธีระวิโรจน์ (2546) ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลาย 60% $ZnCl_2$ และ NaCl saturated solution อัตราส่วน 1 : 1 และ 1 : 2 โดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้น และศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้น 100-500 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าสภาวะการกระตุ้นที่เหมาะสม คือ ใช้สารละลาย 60% $ZnCl_2$ อัตราส่วน 1 : 2 โดยน้ำหนักของกะลามะพร้าวต่อสารกระตุ้นที่อุณหภูมิ $800^{\circ}C$ และเวลากระตุ้น 60 นาที วิเคราะห์สภาพพื้นผิวจำเพาะได้ 1,193 ตารางเมตรต่อกรัม มีรูพรุนแบบไมโครพอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย 13.92 อังสตรอม มีปริมาตรรูพรุนรวม 0.544 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ใกล้เคียงกับคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า (HRO CHM325-60) ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,160 ตารางเมตรต่อกรัม มีรูพรุนแบบไมโครพอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย 14.02 อังสตรอม และปริมาตรรูพรุนรวม 0.510 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และสามารถดูดซับปริมาณฟีนอลที่ทุกค่าความเข้มข้นสูงกว่าคาร์บอนกัมมันต์ตัวอย่างอื่น มีปริมาณการดูดซับสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่ากับ 25.02 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 103.63 มิลลิกรัมต่อกรัม คิดเป็นประสิทธิภาพการดูดซับ 99.71% และ 94.93% ตามลำดับ

สมร หิรัญประดิษฐ์สกุล (2549) ทำการศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน โดยกระบวนการคาร์บอนในเซชันภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนและภายใต้ความดันสูญญากาศ ด้วยอัตราการให้ความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ $700^{\circ}C$, $800^{\circ}C$ และ $900^{\circ}C$ แล้วกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทันทีที่อุณหภูมิสุดท้ายเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 300 มิลลิลิตรต่อนาที จากการศึกษาพบว่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ของถ่านกัมมันต์มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิใน

การคาร์บอนในเซชันและการกระตุ้นเพิ่มขึ้น และถ่านกัมมันต์ที่คาร์บอนในเซชันภายใต้ความดัน
 สูญญากาศมีเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์น้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่คาร์บอนในเซชันภายใต้บรรยากาศ
 ไนโตรเจน ส่วนองค์ประกอบต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์เมื่ออุณหภูมิในการคาร์บอนในเซชันและ
 การกระตุ้นเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงที่ลดลงส่วนเปอร์เซ็นต์สารระเหยและเปอร์เซ็นต์เถ้า
 เพิ่มขึ้น และทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนมากขึ้น และที่อุณหภูมิเดียวกันถ่านกัมมันต์ที่
 ได้จากการคาร์บอนในเซชันภายใต้ความดันสูญญากาศมีพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนมากกว่า
 ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคาร์บอนในเซชันภายใต้ไนโตรเจน

ศิริมา บุญศักดิ์ (2553) ศึกษาการกำจัดโครเมียม เหล็ก และเงิน จากน้ำเสียซีโอไซด์ด้วย
 เรซินซิลิกาเจล พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียซีโอไซด์ คือ ที่ระดับ
 พีเอช 4 ปริมาณ เรซินซิลิกาเจล 50 กรัมต่อลิตร สามารถกำจัดโครเมียมในน้ำเสียเริ่มต้นที่ 428.50
 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 0.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมร้อยละ 99.97
 สามารถกำจัดเหล็กในน้ำเสียซีโอไซด์ที่เริ่มต้น 1,045.30 ลดลงเหลือ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร มี
 ประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กร้อยละ 99.99 และสามารถกำจัดเงินในน้ำเสียซีโอไซด์เริ่มต้นที่ 964.67
 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงเหลือ 71.46 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเงินร้อยละ 92.59 โดย
 ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม เหล็ก และเงิน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
 เมื่อระดับพีเอชและปริมาณเรซินซิลิกาเจลแตกต่างกัน ซึ่งคุณภาพน้ำทิ้งหลังการกำจัดโลหะหนัก
 เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของ กระทรวงอุตสาหกรรม (2539) พบว่าปริมาณโครเมียม เหล็ก
 และเงินผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่ค่าพีเอช ของแข็งละลาย และของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ยังไม่ผ่าน
 เกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นควรบำบัดให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานก่อนระบายทิ้ง

ภูธร เกิดสำอางค์ และคณะ (2554) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านชาน
 อ้อยผสมซีโอไลท์ (Carbon-Zeolite composite) ทำให้ดกผลึกที่เวลา 3 ชั่วโมง (CZ3) และ 6 ชั่วโมง
 (CZ6) และเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับฟีนอลกับถ่านชานอ้อย (C600) ที่ผ่าน
 กระบวนการคาร์บอนในเซชันภายใต้สภาวะก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 600°C และถ่านกัมมันต์จาก
 ชานอ้อย (AC800) เป็นการนำ C600 มากระตุ้นต่อที่อุณหภูมิ 800°C ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
 พบว่า AC800 ปริมาณ 0.05 g มีประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลมากที่สุดที่ 20 mg/g รองลงมา
 CZ3 CZ6 และ C600 มีค่าปริมาณการดูดซับที่ 12.9 และ 6 mg/g แต่หากเพิ่มปริมาณถ่านเป็น 0.1
 และ 0.2 กรัม พบว่า CZ3 สามารถกำจัดฟีนอลได้มากกว่า AC800 C600 และ CZ6

ปัญญา มณีจักร (2556) ได้ทำการศึกษาการเตรียมคาร์บอนในซ์และถ่านกัมมันต์จากลูกทุ
 กวาง สำหรับใช้เป็นสารดูดซับโครเมียม (III) ไอออน โดยถ่านคาร์บอนในซ์สามารถเตรียมได้จาก
 การเผาลูกทุกวางที่อุณหภูมิต่างๆ (300, 400 และ 500°C) ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน (1, 2 และ 3

ชั่วโมง) จากนั้นกระตุ้นถ่านคาร์บอนไนซ์ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วนำไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิและระยะเวลาเดียวกัน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านคาร์บอนไนซ์ คือ เเผาที่ 500°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอัตราที่เหมาะสมในการแช่ถ่าน คือ ถ่านคาร์บอนไนซ์ต่อ KOH เท่ากับ 1 : 1 เเผาที่อุณหภูมิ 400°C นาน 3 ชั่วโมง พบว่าความสามารถในการดูดซับโครเมียม (II) สูงที่สุด ผลการศึกษากลไกการดูดซับโดยใช้แบบจำลองของแลงเมียร์ และฟรุนดลิชพบว่า ทั้งถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เข้าใกล้ 1 เมื่อใช้แบบจำลอง ฟรุนดลิช แสดงว่าการดูดซับโครเมียม (III) ไอออน ของถ่านทั้งสองชนิดเป็นหลายชั้น และจากการศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับโครเมียม (III) ไอออน พบว่าสอดคล้องกับ Pseudo-Second Order การดูดซับโครเมียม (III) ไอออน ในน้ำที่จากการวิเคราะห์ค่า COD พบว่า ถ่านกัมมันต์จากลูกหวางสามารถกำจัดโครเมียม (III) ไอออน ต่อปริมาณถ่านเท่ากับ 4.64 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าถ่านกัมมันต์การค้า (Fluka 50120) ซึ่งกำจัดได้เพียง 0.61 มิลลิกรัมต่อกรัม

สุชาดา ละม้ายพันธุ์ และภควดี สุขอนันต์ (2557) ทำงานวิจัยการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักมะค่าโมง (1 ขั้นตอน) และถ่านฝักมะค่าโมง (2 ขั้นตอน) ที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก เเผาที่อุณหภูมิ 350, 400°C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง อัตราส่วนโดยน้ำหนักในการแช่ คือ 3 : 1 และ 4 : 1 เเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 และ 600°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และศึกษาความสามารถในการกำจัด Cu (II) จากการศึกษพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม คือ เเผาถ่านที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปเตรียมถ่านกัมมันต์แบบ 1 และ 2 ขั้นตอนแช่ที่อัตราส่วน 3 : 1 และ 4 : 1 ตามลำดับ เเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 600°C จากสัณฐานวิทยาพบว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 แบบ มีรูพรุนขนาด 0.5-2 ไมโครเมตร เกิดขึ้นจำนวนมาก สำหรับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมแบบ 1 ขั้นตอน มีพื้นที่ผิว ($S_{MB} = 815.5$ และ $S_{BET} 1,700 \text{ m}^2/\text{g}$) สูงกว่าถ่านกัมมันต์เตรียมแบบ 2 ขั้นตอน ($S_{MB} = 163.8$ และ $S_{BET} 866.8 \text{ m}^2/\text{g}$) ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันกรด-เบส พบว่าถ่านกัมมันต์มีหมู่ฟังก์ชันกรดมากกว่าเบส และมีหมู่ฟังก์ชันที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบเกิดขึ้น และพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมแบบ 1 ขั้นตอนสามารถกำจัด Cu(II) (29.2-36.7%) ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมแบบ 2 ขั้นตอน (24.1-25.2%)

Chandra et al. (2009) ศึกษาและวิจัยการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนด้วยวิธีกระตุ้นทางเคมีด้วย KOH แช่ในอัตราส่วนแตกต่างกันของ KOH ต่อเปลือกทุเรียนดังนี้ 0.25 : 1, 0.5 : 1, และ 1 : 1 คาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 673, 723, 773, 823, 873, และ 923 K (เท่ากับ 400, 450, 500, 550, 600 และ 650°C ตามลำดับ) ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนอัตราการไหล 150 ml/นาที ในเตาเผาปฏิกรณ์แบบแวนอนวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นที่ผิวด้วยวิธี BET และหาขนาดและปริมาตรรูพรุนด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าการกระตุ้นด้วย KOH ต่อเปลือกทุเรียน

อัตราส่วน 0.5 : 1 คาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิ 773 K (เท่ากับ 500 องศาเซลเซียส) มีพื้นที่ผิวจำเพาะที่เหมาะสมที่สุด ขนาดรูพรุนเป็นขนาดเล็ก

Anirudhan et al. (2009) ศึกษาประสิทธิภาพกำจัดฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์จากขุยมะพร้าวที่สังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก และทำการคาร์บอนในเซชันภายใต้ก๊าซไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 500-900°C ศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์คือ 600°C ที่เวลา 2 ชั่วโมง ให้พื้นที่ผิวจำเพาะ 493 ตารางเมตรต่อกรัม และปริมาตรรูพรุน 0.46 มิลลิลิตรต่อกรัม ทำการทดลองแบบแบตช์ เพื่อศึกษาผลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ในสารละลายฟีนอลที่พีเอช 2-9 พบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับฟีนอลเท่ากับ 6 ไอโซเทอมการดูดซับสอดคล้องกับสมการฟรุนดริชมากกว่าสมการแลงเมียร์และจลนศาสตร์ในการดูดซับสอดคล้องกันทั้งสมการ Pseudo-first order และ Pseudo-second order สามารถกำจัด phenol p-chlorophenol และ p-nitrophenol จากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน ได้เกือบ 100% โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับ 200, 175 และ 150 มิลลิกรัม ตามลำดับ ต่อปริมาตรน้ำเสีย 50 มิลลิลิตร

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

1. การเตรียมเปลือกทุเรียน

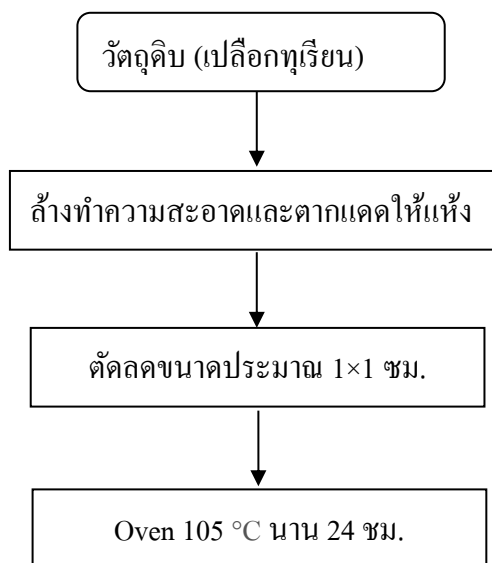
นำเปลือกทุเรียนที่เก็บรวบรวมได้จากตลาดนัด อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือทิ้งจากการแกะเนื้อทุเรียนขาย (ดังภาพที่ 3-1) ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปตัดลดขนาดให้ได้ประมาณ 1 x 1 ซม. ตากแดดให้แห้ง เก็บไว้ทำการทดลองขั้นต่อไป

2. การอบไล่ความชื้น (Oven)

นำเปลือกทุเรียนแห้งที่เตรียมได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นใน โถดูดความชื้น (Desiccator) และเก็บไว้ทำการทดลองขั้นต่อไปซึ่งขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-1 เปลือกทุเรียน



ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเปลือกทุเรียน

เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- 1.1 เตาเผาอุณหภูมิสูง (Muffle furnace)
- 1.2 ตู้อบ (Oven)
- 1.3 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance)
- 1.4 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer)
- 1.5 เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter)
- 1.6 เครื่องปั่นกวนสารละลาย (Magnetic stirrer)
- 1.7 โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 1.8 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Crucible porcelain)
- 1.9 หม้อดินมีฝาปิด
- 1.10 ตะแกรงคัดขนาด (Sieve)
- 1.11 ปิเปตอัตโนมัติ (Auto pipette)
- 1.12 เครื่องแก้วต่าง ๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
- 1.13 กระดาษกรองยี่ห้อ Whatman เบอร์ 1
- 1.14 ตะแกรงคัดขนาด (Sieve)

2. สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

- 2.1 30% 40% และ 50% โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)
- 2.2 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl)
- 2.3 ไอโอดีน (I_2)
- 2.4 โปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI)
- 2.5 โซเดียมโซอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)
- 2.6 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
- 2.7 โปแตสเซียมไอโอเดต (KIO_3)
- 2.8 สตาร์ช (Starch)
- 2.9 โปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)
- 2.10 กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)
- 2.11 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 2.12 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (1,5-Diphenylcarbazide)
- 2.16 อะซิโตน (Acetone)

แผนดำเนินการวิจัย

ทำการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ให้เป็นวัสดุดูดซับ เพื่อใช้กำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำทิ้งที่เหลือจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี โดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกันทำการทดสอบหาค่าโดยประมาณ (Proximate analysis) แล้วนำถ่านที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์ที่สภาวะเหมาะสมไปกระตุ้นด้วยสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์และทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (VI) ที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วยถ่านกัมมันต์แบบชนิดผง (Powdered Activated Carbon, PAC) กับแบบชนิดเกล็ด (Granular Activated Carbon, GAC) เพื่อนำถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพไปใช้กำจัดโครเมียม (VI) ที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีในรูปแบบชุดกรองผู้วิจัยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทุกการทดลอง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน

การทดลองที่ 2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

การทดลองที่ 3: พัฒนารูปแบบการใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เพื่อการกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางสิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน (สรุปแผนการทดลอง ดังภาพที่ 3-3)

1.1 การคาร์บอนไนซ์เซชัน (Carbonization)

นำเปลือกทุเรียนที่ได้จากอบไล่ความชื้น ใส่งในหม้อดินพร้อมปิดฝาแล้วเอาเข้าเตาเผาไฟฟ้าอุณหภูมิสูง (Muffle furnace) เผาที่อุณหภูมิ 400 และ 500°C ใช้เวลาในการเผาของแต่ละอุณหภูมิ คือ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ วางไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นและผลผลิตที่ได้เรียกว่าถ่านชาร์ (Char)

นำถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ มาทดสอบหาค่าโดยประมาณ (Proximate analysis) ของถ่านชาร์ที่ได้ ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3173-3175 ได้แก่ ปริมาณความชื้น (Moisture) ปริมาณเถ้า (Ash) ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) และปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) (ชราพงษ์ วิทิตสานต์, 2554) และนำข้อมูลไปวิเคราะห์การกระจายของข้อมูลแบบปกติด้วยวิธี Shapiro test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% วิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณคาร์บอนคงตัวในถ่านชาร์ที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อคัดเลือกถ่านที่เหมาะสมไปทำการกระตุ้นต่อไป

1.2 การผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

นำถ่านที่ได้จากข้อ 1.1 มาบดให้ละเอียดจนร่อนผ่านตะแกรงขนาด 9 mesh และรองรับด้วยตะแกรงขนาด 16 mesh จากนั้นนำมาแช่ในสารละลาย 50% Potassium hydroxide (KOH) ตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านชาร์ต่อสารกระตุ้นเท่ากับ 1 : 3 แช่นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบเวลาที่กำหนดรองแยกถ่านออกด้วยกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman เบอร์ 1 นำไปเผาที่อุณหภูมิ 500°C นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น นำถ่านล้างด้วยน้ำกลั่นจนน้ำล้างมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 กรองแยกถ่านออกด้วยกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman เบอร์ 1 นำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นเพื่อเก็บไว้ทำการทดลองขั้นตอนต่อไป และผลผลิตที่ได้เรียกว่า ถ่านกัมมันต์

2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน

ความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) จะมีประสิทธิภาพดีหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าการดูดซับต่าง ๆ ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม พีเอช และระยะเวลาในการดูดซับ

3. การศึกษาผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม

ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ให้มีน้ำหนักแตกต่างกัน คือ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่แต่ละขวดที่บรรจุสารละลายโครเมียมความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พีเอช 5.5 กวนสารละลายด้วยความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 30°C กรองแยกถ่านกัมมันต์ออกด้วยกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman เบอร์ 1 จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโครเมียมที่เหลือจากการดูดซับ โดย UV-VIS spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความสามารถในการดูดซับ (Amount of Adsorption) และร้อยละการกำจัด (% Chromium removal) ตามสมการที่ (3-1) และ (3-2)

$$q_e = (C_0 - C_e) / W \times V \quad (3-1)$$

เมื่อ q_e = ความสามารถในการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

C_0 = ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_e = ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

V = ปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการดูดซับ (ลิตร)

W = น้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ใช้การดูดซับ (กรัม)

$$\text{ร้อยละการกำจัดโครเมียม} = (C_i - C_f) / C_i \times 100 \quad (3-2)$$

เมื่อ C_i = ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)

C_f = ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมที่เหลืออยู่ (มิลลิกรัม/ลิตร)

4. การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียมที่เหมาะสมในการดูดซับ

ซึ่งถ่านกัมมันต์น้ำหนักที่ได้จากการทดลองข้อ 1.1 ใส่งในขวดรูปชมพู่แต่ละขวดที่บรรจุสารละลายโครเมียมความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พีเอช 5.5 กวนสารละลายที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 30°C กรองแยกถ่านกัมมันต์ออกด้วยกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman เบอร์ 1 จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโครเมียมที่เหลือจากการดูดซับ โดย UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความสามารถในการดูดซับ และร้อยละการกำจัดโครเมียม ตามสมการที่ (3-1) และ (3-2)

5. การศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการดูดซับ

ซึ่งถ่านกัมมันต์ตามน้ำหนักที่ได้จากการทดลองข้อ 3 ใส่งในขวดรูปชมพู่แต่ละขวดที่บรรจุสารละลายโครเมียมความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เท่ากับ 2, 4, 6 และ 8 ด้วย 0.1 M NaOH และ 0.1 M HCL กวนสารละลายที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 30°C กรองแยกถ่านกัมมันต์ออกด้วยกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman เบอร์ 1 จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโครเมียมที่เหลือจากการดูดซับ โดย UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความสามารถในการดูดซับ และร้อยละการกำจัดโครเมียม ตามสมการที่ (3-1) และ (3-2)

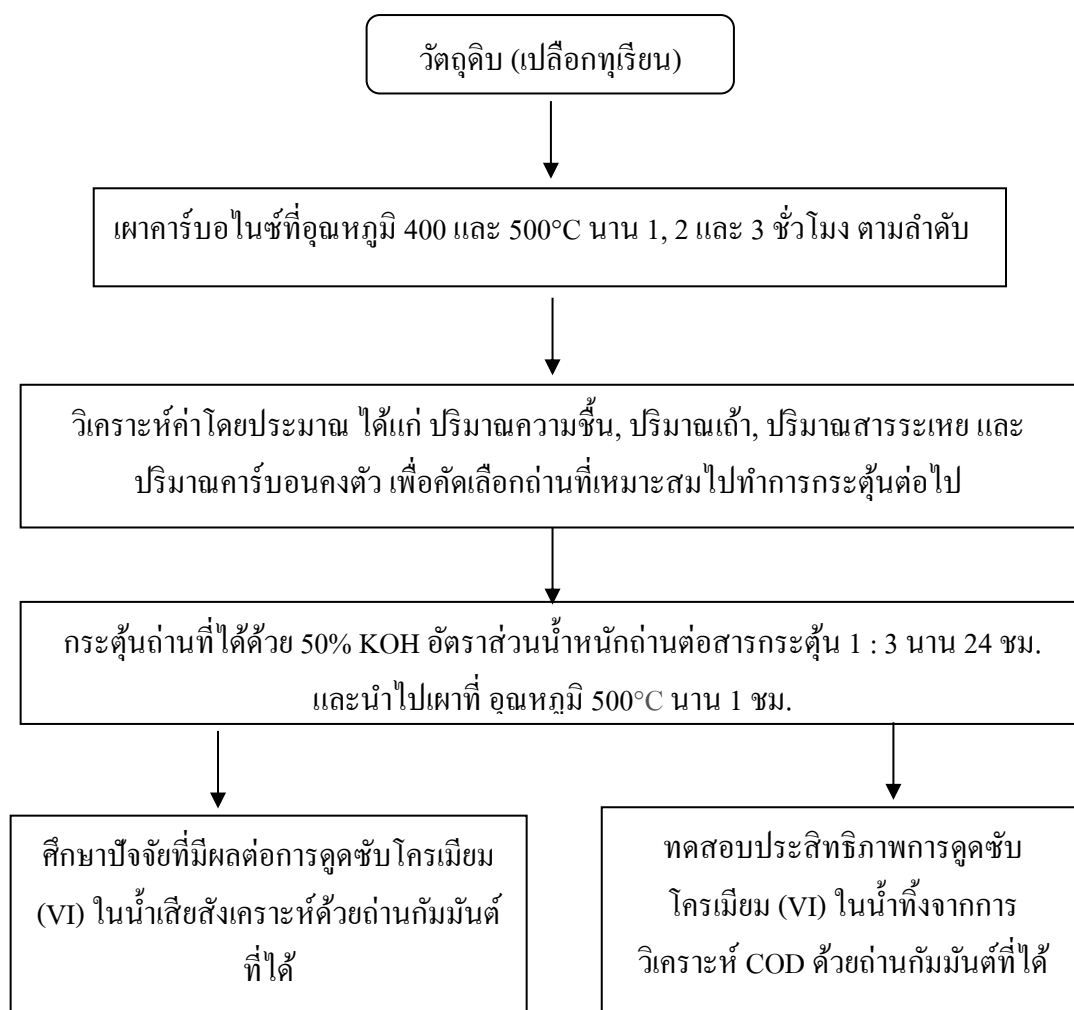
6. การศึกษาผลของระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ

ซึ่งถ่านกัมมันต์ตามน้ำหนักที่ได้จากการทดลองข้อ 3 ใส่งในขวดรูปชมพู่แต่ละขวดที่บรรจุสารละลายโครเมียมความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พีเอช 5.5 กวนสารละลายที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลาต่าง ๆ กัน คือ 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 นาที ที่อุณหภูมิ 30°C กรองแยกถ่านกัมมันต์ออกด้วยกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman เบอร์ 1 จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโครเมียมที่เหลือจากการดูดซับ โดย UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความสามารถในการดูดซับ และร้อยละการกำจัดโครเมียม ตามสมการที่ (3-1) และ (3-2)

7. ทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำทิ้งที่เหลือหลังการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีจากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้นและวัดพีเอชเริ่มต้นในตัวอย่างน้ำเสียก่อนนำไปดูดซับและเจือจางความเข้มข้นของโครเมียมให้อยู่ในช่วง 1-100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซึ่งถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนหนัก 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่บรรจุน้ำเสียซีไอดี ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ตามที่ได้จากการทดลองข้อ 3 นำไปปั่นกวนที่ความเร็ว รอบ 250 รอบต่อนาที ใช้เวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองข้อ 4 กรองแยกถ่านกัมมันต์ออกด้วย กระดาษกรองยี่ห้อ Whatman เบอร์ 1 จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโครเมียมที่เหลือ จากการดูดซับ โดย UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตรค่าที่ได้นำมา คำนวณหาร้อยละการดูดซับโครเมียม ตามสมการที่ (3-2)



ภาพที่ 3-3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัด โครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน

8. พัฒนารูปแบบการใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เพื่อกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดีของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางสิ่งแวดล้อม (สรุปแผนการทดลอง ดังภาพที่ 3-7)

8.1 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

นำถ่านเปลือกทุเรียนที่ได้จากข้อ 1.1 แช่ในสารละลาย KOH ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้ 30, 40 และ 50% อัตราส่วนน้ำหนักถ่านชาร์ตต่อปริมาตรสารกระตุ้นเท่ากับ 1 : 3 แช่นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ครบเวลาตามที่กำหนดกรองแยกถ่านออกจากสารละลายด้วยกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman เบอร์ 1 แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500°C นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ถังถ่านที่ได้ด้วยน้ำกลั่นจนน้ำล้างมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 กรองแยกออกด้วยกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman เบอร์ 1 นำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น วิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ได้

วิเคราะห์การกระจายของข้อมูลแบบปกติด้วยวิธี Shapiro test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าการดูดซับไอโอดีนในถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นต่างกันด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อคัดเลือกถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมไปศึกษาความสามารถในการดูดซับโครเมียมในน้ำเสียต่อไป

8.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์หาค่าซีไอดีด้วยถ่านกัมมันต์เปลือกทุเรียนชนิดผง (PAC) กับชนิดเม็ด (GAC)

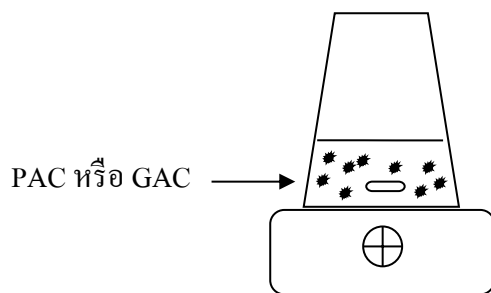
บดถ่านกัมมันต์ที่ได้จากข้อ 8 ให้มีขนาดแบบชนิดผง (Powdered Activated Carbon, PAC) โดยบดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 mesh จะได้ขนาด 0.15-0.24 มิลลิเมตร และขนาดแบบชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon, GAC) บดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 20-40 mesh จะได้ขนาด 0.25-0.50 มิลลิเมตร (สราวุธ ศรีคุณ, 2550) แล้วนำมาทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดีของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม โดยเจือจางน้ำตัวอย่างให้ความเข้มข้นของโครเมียมอยู่ในช่วง 1-100 มิลลิกรัมต่อลิตร และวิเคราะห์ความเข้มข้นของโครเมียมและพีเอชเริ่มต้นก่อนทำการทดลองจากนั้นชั่งถ่านกัมมันต์ 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรที่บรรจุน้ำเสียซีไอดี ปริมาตร 100 มิลลิลิตรปรับพีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 5 นำไปกวนสารละลายที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เวลาที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 6 ที่อุณหภูมิ 30°C (ดังภาพที่ 3-4) เมื่อครบเวลากรองแยกถ่านออกจาก

สารละลายด้วยกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman เบอร์ 1 เก็บสารละลายที่ได้นำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมที่เหลือ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตรด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (VI) ตามสมการ (3-4)

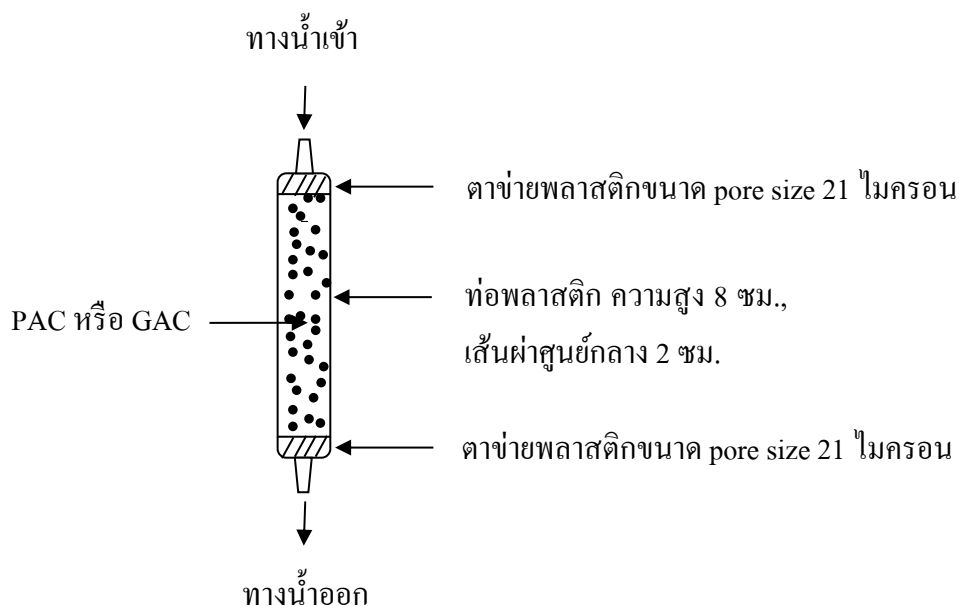
วิเคราะห์การกระจายของข้อมูลแบบปกติด้วยวิธี Shapiro test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% วิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมของถ่านกัมมันต์ชนิดผง (PAC) และชนิดเม็ด (GAC) ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อคัดเลือกถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมไปศึกษารูปแบบการดูดซับโครเมียมในน้ำเสียต่อไป

8.3 ทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีไอดีของถ่านกัมมันต์เปลือกทุเรียนด้วยชุดกรองแบบตรงในคอลัมน์ 2 แบบ

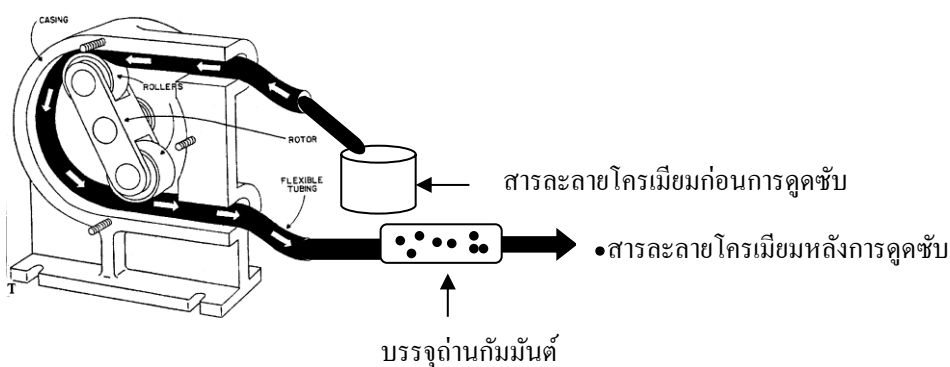
นำถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการทดลองข้อ 8.2 น้ำหนัก 1 กรัม บรรจุลงในท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ซม. สูง 8 ซม. ปิดปลายท่อด้วยผ้ากรองทั้งสองด้าน (ดังภาพที่ 3-5) นำไปต่อเข้ากับชุดกรองแบบบีบดูดจ่ายของเหลว (Peristaltic pump) และป้อนน้ำเสียซีไอดีของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่เจือจางน้ำตัวอย่างให้ความเข้มข้นของโครเมียมอยู่ในช่วง 1-100 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับพีเอชเท่ากับ 2 ปรับอัตราการไหลของน้ำตัวอย่างให้มีอัตราการไหลต่าง ๆ คือ 20, 40 และ 60 มิลลิลิตรต่อนาที (ดังภาพที่ 3-6) เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการดูดซับไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมที่เหลือ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตรด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม ตามสมการ (3-4) และทำการทดลองดูดซับโครเมียมด้วยชุดกรองแบบคอลัมน์ โดยใช้อัตราการไหลเช่นเดียวกันกับชุดกรองแบบบีบดูดจ่ายของเหลว เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับโครเมียมด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนทั้งสองชุดการทดลอง



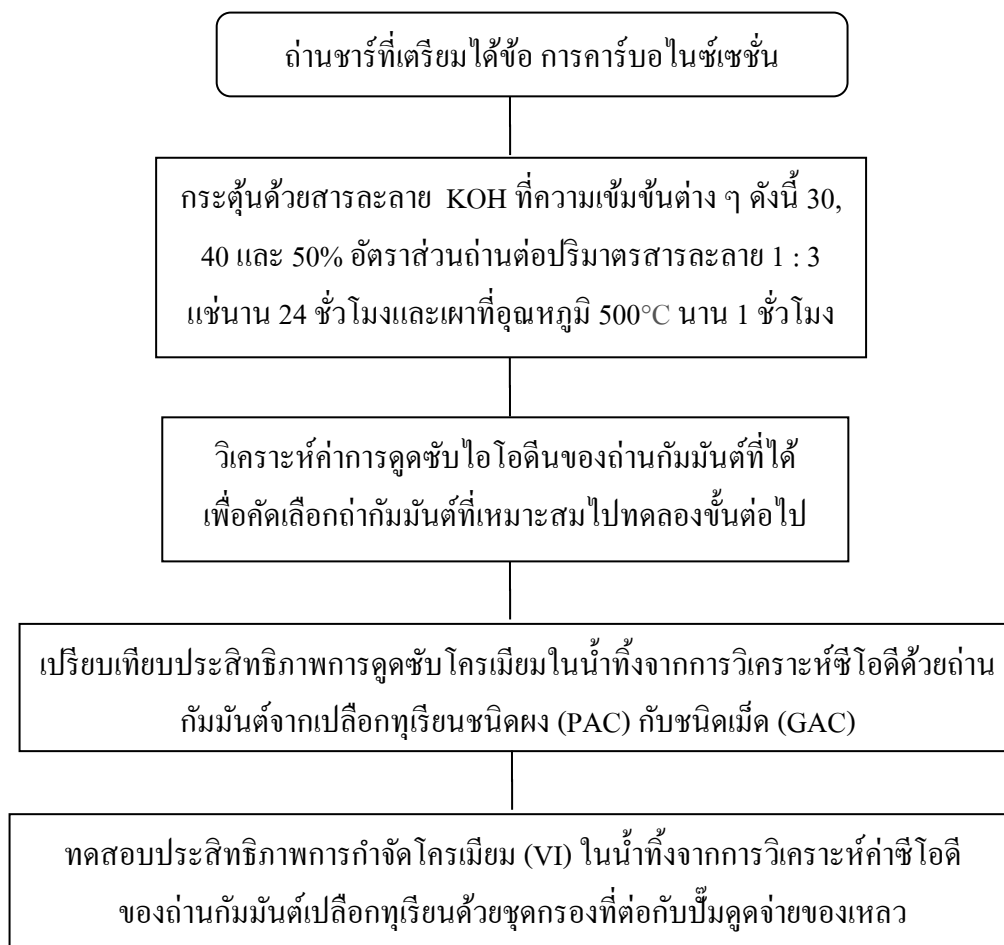
ภาพที่ 3-4 ชุดการทดลองกำจัดโครเมียมในน้ำเสียซีโอดีด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนชนิดผงและชนิดเม็ด



ภาพที่ 3-5 การบรรจุถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน



ภาพที่ 3-6 ประยุกต์ใช้ชุดกรองกับ Peristaltic pump (พัชรินทร์ ราโช, 2556)



ภาพที่ 3-7 พัฒนารูปแบบการใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เพื่อการกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดีของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางสิ่งแวดล้อม

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ และนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ไปทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์และพัฒนารูปแบบชุดกรองที่ใช้กำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ซีไอดีเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งรายละเอียดของผลการศึกษาได้แสดงดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน

1. ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านเปลือกทุเรียน

จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์เปลือกทุเรียนให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 400 และ 500°C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ แล้วทำการวิเคราะห์ค่าโดยประมาณ พบว่าสภาวะการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้ค่าปริมาณสารระเหยต่ำสุด คือ ร้อยละ 69.24 และปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุด คือ ร้อยละ 12.8 ดังตารางที่ 4-1

การวิเคราะห์การกระจายของข้อมูลด้วยวิธี Shapiro test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าการกระจายข้อมูลเป็นแบบปกติ และการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณคาร์บอนคงตัวในถ่านชาร์ที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 และ 500°C ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่การคาร์บอนไนซ์ที่เวลาแตกต่างกันทำให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังตารางที่ 4-2 และ 4-3

กระบวนการคาร์บอนไนซ์เป็นการเพิ่มร้อยละของคาร์บอนให้สูงขึ้น โดยระหว่างการคาร์บอนไนซ์ธาตุที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมทั้งสารระเหยต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และน้ำ ถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของก๊าซและน้ำมันทาร์ จึงทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งสีดำ เรียกว่า ถ่านชาร์ ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติ คือ

มีปริมาณสารระเหยต่ำ และมีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง และจากรายงานการศึกษาของ ธาราพงษ์ วิทิตสานต์ (2554) ที่ผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว กะลาปาล์ม และขี้เลื่อย ก่อนจะนำ ถ่านกัมมันต์ไปใช้ประโยชน์เพื่อการดูดซับโลหะหนักต่าง ๆ ได้ ต้องตรวจสอบค่าปริมาณคาร์บอน คงตัวซึ่งถ้ามีค่ามากถือว่าจะดูดซับโลหะหนักได้ดีกว่าที่มีค่าต่ำ ซึ่งร้อยละค่าปริมาณคาร์บอนคงตัว ของกะลามะพร้าว กะลาปาล์ม และขี้เลื่อยเท่ากับร้อยละ 21.22, 11.96 และ 11.14 ตามลำดับ จึง คัดเลือกถ่านคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ไปกระตุ้นด้วยสารเคมีเพื่อผลิตเป็น ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับซับ โครเมียม (VI) ในน้ำเสีย ดังเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ 4-1 ค่าการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิและ ระยะเวลาแตกต่างกัน

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	การวิเคราะห์โดยประมาณ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)			
		ปริมาณ ความชื้น	ปริมาณ สารระเหย	ปริมาณถ่าน	ปริมาณ คาร์บอนคงตัว
400	1	2.50 ± 2.18	69.24 ± 0.01	15.47 ± 4.01	12.80 ± 2.73
	2	1.03 ± 0.17	82.05 ± 0.06	13.63 ± 1.48	3.29 ± 2.07
	3	0.30 ± 0.14	81.72 ± 0.03	14.67 ± 0.64	3.31 ± 0.34
500	1	0.52 ± 0.10	76.06 ± 3.89	15.67 ± 2.03	7.75 ± 0.70
	2	1.39 ± 5.06	78.04 ± 4.06	14.44 ± 0.62	6.13 ± 0.55
	3	1.00 ± 0.35	73.83 ± 4.28	17.41 ± 0.84	7.76 ± 0.47

ตารางที่ 4-2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณคาร์บอนคงตัวในการคาร์บอนไนซ์เปลือกทุเรียน

อุณหภูมิ (°C)	Mean	SD.	Min.	Max.
400	6.64 ^{a*}	5.21	0.19	15.08
500	6.29 ^a	2.53	2.51	8.76

หมายเหตุ: *ตัวอักษรบนค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-3 ผลของเวลาที่มีต่อปริมาณคาร์บอนคงตัวในการคาร์บอนไนซ์เปลือกทุเรียน

เวลา (ชม.)	Mean	SD.	Min.	Max.
1	10.47 ^{a*}	3.49	7.08	15.08
2	5.71 ^b	2.98	0.92	8.76
3	3.21 ^c	0.44	2.51	3.77

หมายเหตุ: *ตัวอักษรบนค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

นอกจากนี้ในงานวิจัยของ ปัญญา มณีจักร (2556) ได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์จากลูกทุกวงเพื่อใช้ในการดูดซับโครเมียม (III) พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านคาร์บอนไนซ์ คือ เเผาที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าสถานะของอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์มีสถานะที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้

ผลของปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน

1. ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม (VI)

จากการศึกษาผลของปริมาณถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อการดูดซับโครเมียม โดยนำถ่านกัมมันต์น้ำหนักต่าง ๆ คือ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม ใส่ลงในสารละลายโครเมียม (VI) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิตร พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 5.5 กวนสารละลายที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 30°C พบว่าที่ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.2 กรัม มีความสามารถในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 0.24 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือมีประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (VI) ได้ 4.94% และเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์มากขึ้นปริมาณโครเมียม (VI) ที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์มีแนวโน้มลดลง ดังตารางที่ 4-4 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ สุนิรัตน์ เรื่องสมบูรณ์ (2549) ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก โดยสาหร่าย พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ให้มากขึ้นทำให้มีจำนวนตำแหน่งยึดจับบริเวณผิวของถ่านกัมมันต์มีมากขึ้นจำนวนปริมาณโครเมียม (VI) ที่อยู่ในสารละลาย ดังนั้นเมื่อกระบวนการดูดซับเสร็จสิ้น จึงยังมีตำแหน่งยึดจับที่ว่างอยู่ และเมื่อคำนวณเปรียบเทียบปริมาณโครเมียม (VI) ที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักปริมาณถ่านกัมมันต์ ทำให้ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่มี

ปริมาณน้อยมีค่าการดูดซับโครเมียม (VI) ได้มากกว่าปริมาณถ่านกัมมันต์ที่มีปริมาณมากกว่า นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ จันทนา ไพบูรณ์ และคณะ (2555) ในการศึกษาการดูดซับ สีย้อมเบสิกด้วยสาหร่ายสีเขียว *Spirogyra* sp. ที่ผ่านการอบแห้ง โดยใช้สาหร่ายสีเขียวน้ำหนักแห้ง 0.02-0.2 กรัม พบว่าความสามารถในการดูดซับมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มน้ำหนักสาหร่ายสีเขียวมากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่ปริมาณ 0.2 กรัม นำไปใช้ในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 4-4 ผลของความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่ปริมาณแตกต่างกัน

ปริมาณถ่านกัมมันต์ (กรัม)	ความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ร้อยละการกำจัดโครเมียม (VI)
0.2	0.24 ± 0.09	4.94 ± 2.08
0.4	0.06 ± 0.03	2.52 ± 1.05
0.6	0.10 ± 0.03	5.08 ± 1.67
0.8	0.05 ± 0.01	4.28 ± 0.51
1.0	0.03 ± 0.01	2.69 ± 1.06

2. ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียม (VI) ที่เหมาะสมในการดูดซับ จากการศึกษาค่าการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน โดยใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.2 กรัม ใส่ลงในสารละลายโครเมียม (VI) ความเข้มข้นเริ่มต้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 5.5 ความเร็วรอบที่ความถี่รอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 30°C พบว่าสารละลายโครเมียม (VI) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถให้ค่าการดูดซับได้สูงสุดเท่ากับ 4.82 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือมีประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมได้ 101.04% และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโครเมียม (VI) มากขึ้น ดังตารางที่ 4-5 เนื่องจากสารละลายมีไอออนโครเมียมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ยังคงเท่าเดิม จึงทำให้มีปริมาณไอออนโครเมียมที่ไม่ถูกดูดซับเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ เทียมชัย บัวลอย และคณะ (2552) ในการศึกษาการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วที่ทำการศึกษา 2.0-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มลดลงจาก 96.30% ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 75.90% ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4-5 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียม (VI) ที่มีต่อความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน

ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความสามารถในการดูดซับ โครเมียม (VI) (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ร้อยละการกำจัด โครเมียม (VI)
2	4.82 ± 0.03	101.04 ± 0.59
4	3.90 ± 0.13	81.67 ± 2.79
6	2.83 ± 0.03	59.24 ± 0.67
8	1.89 ± 0.07	38.99 ± 1.48
10	1.12 ± 0.18	23.49 3.77

3. ผลการศึกษาหาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม (VI) จากการศึกษาผลของค่า pH ที่มีต่อความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน โดยใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.2 กรัม ใส่ลงในสารละลายโครเมียม (VI) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่ปรับค่า pH ต่าง ๆ คือ 2, 4, 6 และ 8 กวนสารละลายด้วยความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 30°C พบว่าสารละลายโครเมียม (VI) ที่มีค่า pH เท่ากับ 2 สามารถให้ค่าการดูดซับสูงสุด เท่ากับ 4.81 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือมีประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (VI) ได้ 100.94% และความสามารถในการกำจัดโครเมียม (VI) มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 4-8 ดังตารางที่ 4-6

สาเหตุอาจเนื่องจากสารละลายโครเมียม (VI) ที่มีค่า pH 2-3 โครเมียม (VI) จะแตกตัวอยู่ในรูปของ HCrO_4^- และเกิดปฏิกิริยารีดักชันของโครเมียม (VI) กลายเป็นโครเมียม (III) ซึ่งโครเมียม (III) ที่เกิดขึ้นสามารถถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ได้เช่นเดียวกัน แต่ถูกดูดซับได้ไม่ดีเท่ากับโครเมียมที่อยู่ในรูป HCrO_4^- ดังนั้นถ้าสารละลายมีค่า pH สูงกว่า 3 ถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอออน HCrO_4^- ได้น้อยลง ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากการ แข่งขันระหว่าง OH^- ในสารละลายกับโครเมียม (VI) ที่เข้าจับกับหมู่ฟังก์ชันที่มีความเป็นบวกบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวถ่านจึงไม่ถูก

เดิมประจวบ ทำให้ความสามารถในการจับประจุลบของสารประกอบโครเมียมลดลง (เกศศิริ เหล่าชระสุวรรณ, 2558) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumar and Jena (2017) ในการศึกษาการกำจัดโครเมียม (VI) ในสารละลายด้วยถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ พบว่าจากการใช้ถ่านกัมมันต์น้ำหนัก 0.2 กรัม ดูดซับโครเมียม (VI) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วง pH 2-10 พบว่าที่พีเอช 2.0 มีประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (VI) ได้ 85.35%

ตารางที่ 4-6 ผลของค่า pH ที่มีต่อความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน

pH	ความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ร้อยละการกำจัดโครเมียม (VI)
2	4.81 ± 0.05	100.94 ± 1.00
4	0.68 ± 0.15	11.61 ± 3.22
6	0.46 ± 0.06	9.57 ± 1.20
8	0.45 ± 0.01	10.00 ± 0.31

4. ผลของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม

จากการศึกษาผลของระยะเวลาที่มีต่อความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน โดยใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.2 กรัม ใส่ลงในสารละลายโครเมียม (VI) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิตร พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 5.5 กวนสารละลายด้วยความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลาต่าง ๆ คือ 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, และ 90 นาที ที่อุณหภูมิ 30°C พบว่าความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรก จากนั้นค่าการดูดซับโครเมียมเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ เมื่อระยะเวลาการดูดซับนานขึ้น ดังภาพที่ 4-7

สาเหตุอาจเนื่องมาจากการดูดซับในระยะแรกพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์มีมาก ทำให้การดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณโครเมียมที่ยึดจับบนพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เพิ่มมากขึ้น ทำให้ปริมาณโครเมียมบางส่วนคายออกมา จนกระทั่งอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายการดูดซับ การดูดซับจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอีกและเริ่มคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumar and Jena (2017) ในการศึกษาการกำจัดโครเมียม (VI) ใน

สารละลายด้วยถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ พบว่าจากการใช้ถ่านกัมมันต์จาก fox nutshell น้ำหนัก 0.05 กรัม ดูดซับ โครเมียม (VI) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถ ดูดซับ โครเมียม (VI) อย่างรวดเร็วช่วงเวลา 20 นาทีแรก จากนั้นค่าการดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ ระยะเวลาผ่านไปจนถึงนาทีที่ 60 ความสามารถในการดูดซับเริ่มคงที่

ตารางที่ 4-7 ผลของระยะเวลาที่มีต่อความสามารถในการดูดซับ โครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์ จากเปลือกทุเรียน

เวลา (นาที)	ความสามารถในการดูดซับ โครเมียม (VI) (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ร้อยละการกำจัด โครเมียม (VI)
5	1.99 ± 0.08	41.78 ± 1.70
10	2.75 ± 0.19	57.75 ± 4.01
20	3.31 ± 0.13	69.34 ± 2.68
30	3.78 ± 0.16	79.16 ± 3.39
40	4.12 ± 0.14	86.37 ± 2.93
50	4.30 ± 0.24	90.19 ± 4.95
60	4.48 ± 0.23	93.95 ± 4.86
70	4.64 ± 0.10	97.35 ± 2.15
80	4.71 ± 0.06	98.71 ± 1.29
90	4.87 ± 0.04	102.07 ± 0.81

5. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด โครเมียมในน้ำทิ้งที่เหลือหลังการวิเคราะห์
หาค่าซีไอดีจากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

จากการทดลองใช้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนดูดซับ โครเมียมในน้ำเสียจากการ
วิเคราะห์ค่าซีไอดีที่เก็บรวบรวมจากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์เพื่อรอการกำจัด โดยใช้ถ่านกัม
มันต์ 1 กรัม ใส่ลงในน้ำเสียซีไอดีที่เจือจางความเข้มข้นเริ่มต้นของ โครเมียมให้อยู่ในช่วง 1-100
มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พิเอชเริ่มต้นเท่ากับ 2 กวนสารละลายด้วยความเร็วรอบ 250
รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 30°C ผลการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนมี
ประสิทธิภาพการกำจัด โครเมียม (VI) ได้ 100% โดยสามารถกำจัด โครเมียม (VI) ความเข้มข้น

เริ่มต้น 4.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือคำนวณเป็นค่าความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) ได้เท่ากับ 0.65 มิลลิกรัมต่อกรัม

ผลการพัฒนารูปแบบการใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เพื่อกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดีของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางสิ่งแวดล้อม

1. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมีที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

จากการศึกษาการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนด้วยสารละลาย KOH ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 30, 40 และ 50% อัตราส่วนน้ำหนักถ่านชาร์ตต่อปริมาตรสารกระตุ้นเท่ากับ 1 : 3 แชนนาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500°C นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน เพื่อคัดเลือกถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมไปศึกษาความสามารถในการดูดซับโครเมียมในน้ำเสียต่อไป ผลการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากการกระตุ้นด้วยสารละลาย 30, 40 และ 50% KOH ให้ค่าไอโอดีนดูดซับเท่ากับ 177.64, 249.43 และ 288.64 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

เมื่อทำการวิเคราะห์การกระจายของข้อมูลแบบปกติด้วยวิธี Shapiro test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าการดูดซับไอโอดีนในถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นต่างกันด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าการกระตุ้นด้วยสารละลาย KOH ที่ความเข้มข้นต่างกันมีผลทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 4-8

สาเหตุอาจเนื่องมาจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ให้มีความเข้มข้นมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการทำลายโครงสร้างเดิมของวัตถุดิบเกิดได้มากขึ้น เมื่อนำไปผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์จะเกิดการสลายตัวของสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์บนพื้นผิวของวัตถุดิบ จึงเกิดโครงสร้างรูพรุนและพื้นที่จำเพาะมากขึ้น และส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับสารให้เพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Arie et al. (2016) ในการศึกษาถ่านกัมมันต์จากเปลือกสละที่เตรียมขึ้นจากการกระตุ้นด้วยโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อใช้ในการกำจัดสีขี้ม พบว่าความเข้มข้นของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจาก 10-20% มีผลทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 723-1,939 ตารางเมตรต่อกรัม

ตารางที่ 4-8 การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่กระตุ้นด้วย KOH ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ความเข้มข้นของKOH (%)	Mean	SD
30	177.64 ^{c*}	6.29
40	249.43 ^b	15.79
50	288.64 ^a	4.16

หมายเหตุ: *ตัวอักษรบนค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

และจากการตรวจเอกสารงานที่เกี่ยวข้องในการศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยสารเคมี สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 การเปรียบเทียบการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีทางเคมี

ชนิดของถ่าน กัมมันต์	สารที่ถูก ดูดซับ	สารเคมีที่ใช้กระตุ้น	อัตราส่วน สาร กระตุ้น: ถ่าน	อุณหภูมิ เผา กระตุ้น (องศา เซลเซียส)	เวลา (นาที)	งานวิจัย
ลูกหวาก	โครเมียม (III)	โปแตสเซียม ไฮดรอกไซด์	1 : 1	400	180	ปัญญา มณีจักร์ (2556)
ฝักมะค่าโมง	ทองแดง (II)	กรดฟอสฟอริก	3 : 1	600	60	สุชาดา ละม้าย พันธุ์ และภควดี สุขอนันต์ (2557)
เปลือกทุเรียน	-	โปแตสเซียม ไฮดรอกไซด์	0.5 : 1	500	60	Chandra et al. (2009)
ขุยมะพร้าว	ฟีนอล	กรดฟอสฟอริก	3 : 1	600	120	Anirudhan et al. (2009)

จากตารางที่ 4-9 พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผากระตุ้นอยู่ในช่วง 400-600°C และในงานวิจัยนี้อุณหภูมิที่ใช้เผากระตุ้นถ่านกัมมันต์มีความใกล้เคียงตามรายงานการศึกษาดังกล่าว คือ 500°C

2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์หาค่าซีไอดีด้วยถ่านกัมมันต์เปลือกทุเรียนชนิดผง (PAC) กับชนิดเม็ด (GAC)

จากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดีของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนแบบชนิดผง (ขนาด 0.15-0.24 มิลลิเมตร) กับแบบชนิดเม็ด (ขนาด 0.25-0.5 มิลลิเมตร) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 1 กรัม ใส่ลงในสารละลายโครเมียมความเข้มข้นเริ่มต้น 9.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิตร พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 2 กวนสารละลายที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 30°C พบว่าถ่านกัมมันต์แบบชนิดผงและชนิดเม็ดสามารถดูดซับโครเมียมได้เท่ากับ 0.61 และ 0.41 มิลลิกรัมต่อกรัม จากการวิเคราะห์การกระจายของข้อมูลแบบปกติด้วยวิธี Shapiro test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% วิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมของถ่านกัมมันต์ชนิดผง (PAC) และชนิดเม็ด (GAC) ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนแบบชนิดผงและชนิดเม็ดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เนื่องจากความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์แบบชนิดผงมีค่าสูงกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด จึงนำไปใช้ในทำการทดลองต่อไป เนื่องจากไอออนโครเมียมสามารถสัมผัสกับพื้นผิวของถ่านกัมมันต์แบบชนิดผงได้ง่ายและรวดเร็วกว่าแบบชนิดเม็ด

3. ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีไอดีของถ่านกัมมันต์เปลือกทุเรียนด้วยชุดกรองแบบตรงในคอลัมน์ 2 แบบ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีไอดีด้วยชุดกรองแบบป้อนดูดจ่ายของเหลวเปรียบเทียบกับแบบคอลัมน์ โดยป้อนตัวอย่างน้ำไหลผ่านถ่านกัมมันต์ที่อัตราการไหล 20, 40 และ 60 มิลลิเมตรต่อนาที ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายโครเมียม (VI) จาก 20 เป็น 60 มิลลิเมตรต่อนาที ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (VI) จะลดลงแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4-10 เนื่องจากที่อัตราการไหลต่ำ ๆ ทำให้สารละลายโครเมียม (VI) สามารถสัมผัสกับพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ได้นานมากขึ้น เป็นผลทำให้สารถูกดูดซับแพร่เข้าไปในภายในรูพรุนของตัวถูกดูดซับมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพัฒนศักดิ์ แดงบุตรดี และคณะ (2557) ในการศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้เกลบแบบ

ครึ่งในคอลัมน์ ได้ทำการทดลองการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสีย้อมเมทิลีนบลูในช่วง 1-4 มิลลิตรต่ออนาที ความสูงของแถบ 1-7 เซนติเมตร พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสีย้อมเมทิลีนบลูจาก 1-4 มิลลิตรต่ออนาที และร้อยละการดูดซับของคอลัมน์ที่อิมตัวที่จุดการดูดซับเริ่มหมดประสิทธิภาพมีค่าลดลงจาก 46.15-3.57%

ผลจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยชุดกรองแบบปั๊มดูดจ่ายของเหลวกับแบบคอลัมน์ พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (VI) โดยใช้ชุดกรองแบบปั๊มดูดจ่ายของเหลวมีแนวโน้มสามารถกำจัดโครเมียม (VI) ได้ดีกว่าชุดกรองแบบคอลัมน์ ซึ่งแรงดันเกิดจากการทำงานของเครื่องปั๊มดูดจ่ายของเหลวจึงทำให้สารละลายโครเมียม (VI) สามารถสัมผัสกับผิวของถ่านกัมมันต์ได้รวดเร็วและดีกว่าการดูดซับด้วยชุดกรองแบบคอลัมน์ที่ไม่ใช่เครื่องปั๊มดูดจ่ายของเหลว และ 2) การดูดซับด้วยชุดกรองแบบคอลัมน์ในระหว่างการดูดซับอาจเกิดการอุดตัน อันเนื่องมาจากการเศษฝุ่น หรือบางอย่างเข้ามาอุดตัน จึงส่งผลให้การไหลของหยดน้ำไม่สม่ำเสมอ และในบางจังหวะอาจมีการเกิดฟองอากาศแทรกในหยดน้ำนั้นทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียมในแบบคอลัมน์ต่ำกว่าแบบใช้เครื่องปั๊มดูดจ่ายของเหลว

ตารางที่ 4-10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (VI) ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน โดย Peristaltic pump กับ Column

Method	Flow rate (ml/min)	Removal (%)
Peristaltic pump	20	96.31
	40	94.84
	60	83.55
Column	20	97.03
	40	94.12
	60	71.89

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

1. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่ได้จากงานวิจัยนี้ คือ การคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุดร้อยละ 12.8 และนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี โดยแช่ในสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 ในอัตราส่วนน้ำหนักถ่านต่อสารละลาย 1 : 3 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. ปัจจัยที่มีผลการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) สูงขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (VI) มีแนวโน้มลดต่ำลง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ 0.2 กรัม และความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) เท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร จะให้ค่าการดูดซับโครเมียมได้สูงสุด อีกทั้งยังสามารถดูดซับโครเมียม (VI) ได้สูงสุดที่พีเอชของสารละลายโครเมียม (VI) เท่ากับ 2.0 มีค่าการดูดซับเท่ากับ 4.81 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาในการดูดซับเกิดขึ้นรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรก และจากการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนเพื่อกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งหลังจากการวิเคราะห์ซีไอดีจากห้องปฏิบัติการทางสิ่งแวดล้อม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) เท่ากับ 4.2 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนสามารถกำจัดโครเมียม (VI) ได้ร้อยละ 100 เมื่อคำนวณค่าการดูดซับสามารถดูดซับโครเมียม (VI) ได้เท่ากับ 0.65 มิลลิกรัมต่อกรัม

3. การพัฒนารูปแบบการใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เพื่อการกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดีของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางสิ่งแวดล้อม

ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่กระตุ้นด้วยสารละลาย 50% KOH มีค่าไอโอดีนการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 288.64 มิลลิกรัมต่อกรัม และถ่านกัมมันต์แบบชนิดผงสามารถดูดซับโครเมียม (VI) ได้สูงกว่าชนิดเม็ด คือ 0.61 และ 0.41 มิลลิกรัมต่อ ตามลำดับ และนำถ่านกัมมันต์ชนิดผงไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดโครเมียมด้วยชุดกรองแบบปั๊มดูดจ่ายของเหลวและแบบคอลัมน์

พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมของทั้งสองชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายโครเมียม (VI) จาก 20 เป็น 60 มิลลิลิตรต่อนาที ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (VI) ของทั้งสองชุดการทดลองลดลง คือ ชุดกรองป้อนคูจ่ายของเหลวลดลงจาก 96.31 เป็น 83.55% และชุดกรองแบบคอลัมน์ลดลงจาก 97.03 เป็น 71.89%

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาเปรียบเทียบการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยสารโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์กับสารเคมีชนิดอื่น
2. ควรศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์โดยศึกษาขนาดรูพรุนด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)
3. ควรมีการวิเคราะห์ต้นทุนการกำจัดโครเมียมด้วยเปลือกทุเรียน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง

บรรณานุกรม

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2545). *ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ*. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์*. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2542). *การบำบัดน้ำเสีย (พิมพ์ครั้งที่ 2)*. กรุงเทพฯ: สยามสแตนเนอริชัพเคสศิริ เหล่าจักรสุวรรณ. (2558). การดูดซับโลหะโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 3* (หน้า 2-12). กรุงเทพมหานคร. มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.
- จันทนา ไพรบูรณ์, โสรดากรณ์ พิมลา, มัทรียา หละเหยียบ และอนงค์ จิรภัทร. (2555). การดูดซับสีเขียวเบสิกด้วยสาหร่ายสีเขียว *Spirogyra* sp. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, 40, 242-253.
- ทองนัทร จิงสมาน และพรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์. (2559). การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยใช้พลังงานไมโครเวฟ. *วิศวกรรมลาดกระบัง*. 33(1), 36-41.
- เทียมชัย บัวลอย, วิภาดา สนองราษฎร์ และสมภพ สนองราษฎร์. (2552). การดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค. *วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย*, 23, 53-61.
- ธราพงษ์ วิทิตสานต์. (2554). *ถ่านกัมมันต์การผลิตและการนำไปใช้* (พิมพ์ครั้งที่ 2). ขอนแก่น: คลังนานาวิทยา.
- ธีระโชติ ศรีธีระวิโรจน์. (2546). *การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยวิธีกระตุ้นทางเคมีสำหรับการดูดซับฟีนอล*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ, สาขาวิศวกรรมปิโตรเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประพิณ ทัพกาญจนะ. (2548). *การศึกษาความสำคัญของตัวแปรในกระบวนการกระตุ้นต่อคุณสมบัติและการประยุกต์ใช้ดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ปัญญา มณีจักร์. (2556). การพัฒนาถ่านกัมมันต์จากลูกทุกวางเพื่อดูดซับโครเมียม (VI) ไอออนจากน้ำเสียในการวิเคราะห์ค่า COD. ใน *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิตประจำปี 2556* (หน้า 119-129). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยรังสิต.

- ปานใจ สือประเสริฐสิทธิ์. (2545). *การลดปริมาณโครเมียม (VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านแกลบ*
ดำ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, ภาควิชา
 วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พงษ์วรรณ ศรีนาค. (2556). *กรมควบคุมมลพิษทางน้ำ*. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: มีนเซอร์วิส
 ซัพพลายส์
- พลัญฐ์ โสภณกิจโกศล. (2544). *การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวเพื่อใช้ในการดูดซับโลหะ*
โครเมียม(VI). วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, คณะ
 วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พัชรินทร์ ราโช. (2556). *การเพิ่มประสิทธิภาพระบบอัลตราฟิเตรชั่นในการกำจัดโครเมียม (VI)*
ด้วยแปงโมดิฟายด์. รายงานการวิจัย, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, สำนักวิชา
 วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสุรนารี.
- พัฒนศักดิ์ แดงบุตรดี, ขนิษฐา แก้วอิน, รวิินทร์ สุทธระนันท์ และ โกวิทย์ ปิยะมังคลา. (2557). การดูด
 ซับสีข้อมเมททิลีนบลูโดยใช้แกลบแบบตรึงในคอลัมน์. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระ*
นครเหนือ, 24(2), 398-408.
- ภัทรา วงษ์พันธ์กมล, ศิรประภา ชัยเนตร และกลิ่นประทุม ปัญญาปิง. (2555). การใช้วัสดุเหลือทิ้งจาก
 การเกษตรสำหรับบำบัดสีข้อม. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
 ภาคพายัพ เชียงใหม่.
- ภูธร เกิดสำอาง, กาชัย นุ้ยชิติกุล และพัชรินทร์ วรรณกุล. (2554). การสังเคราะห์ Carbon-Zeolite
 composite จากขานอ้อย สำหรับการดูดซับฟีนอล. ใน *การประชุมวิชาการนานาชาติ*
วิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21 (1-5). สงขลา:
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ศิริมา บุญศักดิ์. (2553). *การกำจัดโครเมียม เหล็ก และเงิน จากน้ำเสียซีโอไลต์ด้วยเรซินซิลิกาเจล*.
 วิทยานิพนธ์สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อมบัณฑิตวิทยาลัย,
 คณะสาธารณสุขศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สมร หิรัญประดิษฐ์สกุล. (2549). *การพัฒนาถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน*. รายงานการวิจัย. ภาควิชา
 วิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สมศักดิ์ วรรณศิริ. (2530). *ทุเรียน*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม.

- สร้อย คณันมพร. (2545). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ชนิดผงและชนิดเกล็ดในการกำจัดโครเมียมที่ละลายในน้ำเสียสังเคราะห์. กรุงเทพมหานคร: วิทยาลัยนานาชาติ สาธารณสุขศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ, คณะสาธารณสุขศาสตร์, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- สราวุธ ศรีคุณ. (2550). การศึกษาการดูดซับสี้อมและไอออน โลหะตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน. วิทยาลัยนานาชาติวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สันตต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์. (2557). ระบบบำบัดน้ำเสีย (ฉบับปรับปรุงแก้ไข). กรุงเทพฯ: ท็อป.
- สัมพันธ์ สร้อยกล่อม. (2550). การกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยถ่านกัมมันต์จากฝักต้นหางนกยูง. ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สุชาดา ละม้ายพันธุ์ และภควิ สุxonันต์. (2557). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากฝักมะค่าโมง (1 ชั้นตอน) และถ่านฝักมะค่าโมง (2 ชั้นตอน) ที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 24(2) (พิเศษ), 689-692.
- สุธิดา ไชยธัญวัฒน์. (2544). การกำจัดโครเมียม (VI) ที่ค้างเหลือในน้ำเสียหลังจากการวิเคราะห์ค่าซีไอดีโดยกระบวนการดูดซับ. วิทยาลัยนานาชาติวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุนิรัตน์ เรื่องสมบุญ. (2549). การดูดซับโลหะหนักโดยสาหร่าย. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- โสภา กลิ่นจันทร์. (2548). กระบวนการแยกสำหรับเทคโนโลยีชีวภาพ. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- Anirudhan, T.S., Sreekumari S.S. & Bringle C.D. (2009). Removal of phenols from water and petroleum industry refinery effluents by activated carbon obtained from coconut coir pith, *Adsorption*, 15: 439-451.
- Arie, A. A., Vincent. & Putranto, A., (2016). Activated carbons from KOH activation of salacca peels as low cost potential adsorbents for dye removal. *Advanced Materials Letters*, 7(3), 226-229

- ASTM. (1999). *Standard test method for determination of iodine number of activated carbon*. Annual book of ASTM standard, Vol 15.01 D4607-94.
- ASTM. (2012a). *Standard test method for ash in the analysis sample of coal and coke*. Annual book of ASTM standard, Vol 05.06 D3174-11.
- ASTM. (2012b). *Standard test method for moisture in the analysis sample of coal and coke*. Annual book of ASTM standard, Vol 05.06 D3173-11.
- ASTM. (2012c). *Standard test method for volatile in the analysis sample of coal and coke*. Annual book of ASTM standard, Vol 05.06 D3175-11.
- Chandra, T. C., Mirna, M. M., Sunarso, J., Sudaryanto Y & Ismadji S. (2009). Activated carbon from durian shell: Preparation and characterization. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. (40), 457–462.
- Derbyshire, F., Jagtoyen, M. & Thwaites, M., (1995). *Activated carbons production and applications*. In: Patrick, J.W. (Ed.), Porosity in Carbons. Edward Arnold, London
- Jankowska, H., Swiatkowski, A., & Choma, J. (1991). *Active Carbon*. Chichester: Ellis Horwood.
- Kumar, A. & Jena, H. M. (2017). Adsorption of Cr (VI) from aqueous phase by high surface area activated carbon prepared by chemical activated with ZnCl₂. *Process Safety and Environmental Protection*, 109, 63-71.
- Metcalf & Eddy Inc. (2003). *Wastewater engineering : treatment and reuse*. North America: McGraw-Hill.
- Yang, J., Yu, M. & Chen, W. (2015). Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solution by activated carbon prepared from longan seed: Kinetics, equilibrium and thermodynamics. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, 414-422.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การนำเสนอผลงานแบบปากเปล่า



RTUNC 2017



62



The 2nd National Conference
July 26-27, 2017 Ubonratchathani, Thailand

Abstract book and Proceedings

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 2
การวิจัย 4.0 เพื่อการพัฒนาประเทศสู่ความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน



วันที่ 26-27 กรกฎาคม 2560
ณ มหาวิทยาลัยราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี



RTUNG 2017

THE 6TH THAI UNIVERSITY RUGBY CHAMPIONSHIP

July 26-27, 2017 Ubonratchathani, Thailand



63

มหาวิทยาลัยราชภัฏ

ขอแสดงความยินดีกับทีมนี้ เพื่อแสดงภาพของมหาวิทยาลัย

เรื่อง การกำจัดโครโมียม (VI) จากสารละลายในน้ำ โดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกทุเรียน

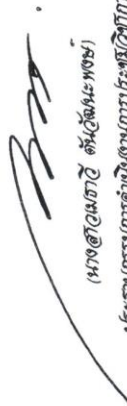
ศศิพา ลิมพดี เบญจมาศ ไพฑูริย์กัญญา อังค์สวัสดิ์เจียม จิตี ไพฑูริย์กัญญา

ได้ดำเนินการนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับชาติ

การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ประจำปี 2560 ราชภัฏฉะเชิงเทรา ครั้งที่ 2

"การวิจัย 4.0 เพื่อการพัฒนาประเทศไทยสู่ความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน"

ที่ ๒๖ ณ วันที่ 26-27 กรกฎาคม 2560


(นางสาวอัสมาอีร์ สันต์ฉะพงษ์)
ประธานกรรมการดำเนินงานการประชุมวิชาการ



(ดร.อัสมาอีร์ สันต์ฉะพงษ์)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏ

การกำจัดโครเมียม (VI) จากสารละลายในน้ำโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกทุเรียน
 Removal of Chromium (VI) from aqueous solution by adsorption onto activated carbon
 prepare from durian shell

ศศิษา จิมพาลี¹, เบญจมาศ ไพบูลย์กัจกุล², วิทวัส แจงเอี่ยม³ และ ชลี ไพบูลย์กัจกุล²

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 039-310000, sasilaa@bnu.ac.th

² คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี, 039-310000, benjamas@bnu.ac.th

³ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 038102222, witawat@bnu.ac.th

² คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี, 039-310000, pchalee@bnu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน ทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับโครเมียม ปริมาณถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม พีเอช และระยะเวลาในการดูดซับ ทำการเผาเปลือกทุเรียนที่อุณหภูมิ 400 และ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง เพื่อเตรียมถ่านคาร์บอนไอซ์ และกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 50% อัตราส่วน 1:3 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโครเมียม ผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการดูดซับโครเมียมมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณตัวดูดซับและความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับโครเมียมเท่ากับ 4.81 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่พีเอช 2 การดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรก ไอโซเทอมการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช ประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียมจากน้ำเสียดจากการวิเคราะห์ซีไอดีเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์, การดูดซับ, โครเมียม ซีไอดี, เปลือกทุเรียน

Abstract

This research was to study the adsorption of chromium (VI) in wastewater by activated carbon from durian shell. The amount of adsorbent, chromium concentration, pH and contact time had been studied. Carbonization burned the shell at 400 and 500 °C for 1-3 hr had been operated. The activated carbon had been produced by activated the carbonized carbon by 1:3 carbon per 50% potassium hydroxide at 500 °C for 1 hr. The adsorption isotherm had been investigated. The results showed that the chromium adsorption capacity was decreased when the amount of adsorbent and chromium concentration were increased. The chromium adsorption of activated carbon was 4.81 mg/g at pH 2. The adsorption was rapidly at the first 10 minute. The adsorption isotherm found consistency with Freundlich isotherm. The efficiency of chromium adsorption of COD analysis wastewater was 100 percent.

Keywords: Activated Carbon, Adsorption, Chromium, COD, Durian shell

บทนำ

การปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งแหล่งน้ำจืดและแหล่งน้ำทะเล จัดเป็นปัญหาสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ เนื่องจากโลหะหนักเป็นสารที่คงตัวเมื่อเปรียบเทียบกับสารอินทรีย์จึงไม่สามารถสลายตัวได้เองในกระบวนการทางธรรมชาติ โครเมียมเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในกิจกรรมต่างๆ มากมาย ด้านอุตสาหกรรมถูกนำมาใช้ในขั้นตอนกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การพอกหนัง พลาสติก การผลิตเหล็ก ชุบโลหะ ผลิตสี และปุ๋ย เป็นต้น นอกจากนี้ยังถูกใช้ในการทำระเบิด การถ่ายภาพ และการทำเซรามิก (Kumarand Jena 2017) หากโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้มีการปล่อยน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโครเมียมลงสู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่ผ่านการบำบัดน้ำหรือผ่านระบบบำบัดน้ำที่ไม่มีประสิทธิภาพ อาจส่งผลให้มีการปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมทำให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำได้ ซึ่งกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับโครเมียม (VI) มีปริมาณในน้ำทิ้งไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตรและโครเมียม (III) มีปริมาณในน้ำทิ้งไม่เกิน 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

การวิเคราะห์ค่าซีไอโอดี (COD, Chemical Oxygen Demand) เป็นหนึ่งในดัชนีคุณภาพน้ำที่ใช้ตรวจสอบค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำก่อนระบายทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือจากแหล่งชุมชน ค่าซีไอโอดียังสามารถแสดงความเชื่อมโยงถึงค่าปริมาณสารอินทรีย์บางค่าได้เช่น ค่าบีไอโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) และระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าซีไอโอดีน้อยกว่าการวิเคราะห์ค่าบีไอโอดี ทำให้มีประโยชน์อย่างมากในการควบคุมและแก้ไขปัญหามลพิษทางน้ำได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าซีไอโอดีมีการใช้สารประกอบโลหะหนักหลายชนิดเช่นโครเมียมเหล็กปรอทและเงินทำให้น้ำทิ้งหลังจากการวิเคราะห์ซีไอโอดีมีการเจือปนของโลหะหนัก โดยเฉพาะโครเมียมที่มีในปริมาณสูงโครเมียมที่พบในธรรมชาติจะอยู่ในรูปโครเมียม (III) และโครเมียม (VI) ซึ่งโครเมียม (VI) จะแตกตัวอยู่ในรูปโครเมียม (CrO_4^{2-}) และไดโครเมต ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) โครเมียม (VI) มีความเป็นพิษมากกว่าโครเมียม (III) สามารถทำลายเนื้อเยื่อโพรงจมูกทำให้ผิวหนังอักเสบเกิดโรคไตและโรคมะเร็งปอด หรืออาจทำให้เสียชีวิตได้ (ปัญญา มณีจักร, 2556; Zhou et al., 2016; Selvi et al., 2001) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องบำบัดหรือกำจัดโครเมียมที่ปนเปื้อนออกจากน้ำทิ้งเพื่อให้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

กระบวนการบำบัดโครเมียม (VI) ในน้ำเสียที่ใช้ในปัจจุบันได้แก่การตกตะกอนเคมี (Chemical precipitation) การแยกด้วยเมมเบรน (Membrane filtration) การแยกด้วยไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) การดูดซับ (Adsorption) และกระบวนการทางชีวภาพ เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน เช่น การตกตะกอนเคมีเป็นระบบที่นิยมใช้ในการกำจัดโครเมียม แต่มีค่าใช้จ่ายในก่อสร้างระบบและค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสารเคมีสูง ส่วนกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนนั้นเรซินมีราคาค่อนข้างสูง และหลังการใช้ต้องมีการนำเรซินมาฟื้นฟูสภาพด้วยสารเคมีอีกด้วยดังนั้นจึงมีการนำวัสดุดูดซับมาใช้เพื่อการกำจัดโครเมียมมากขึ้น วัสดุดูดซับที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียคือ ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) (เกรียงศักดิ์อุดมสินโรจน์, 2547)

ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับที่ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย เนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับสูงและสามารถผลิตได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้หลายชนิด เช่น กะลามะพร้าว ชานอ้อย เปลือกถั่วลิสง และแกลบ เป็นต้น (ธราพงษ์ วิฑิตศานต์, 2554) จังหวัดจันทบุรีมีการปลูกทุเรียนเป็นจำนวนมาก ทำให้มีเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งจำนวนมาก ซึ่งเปลือก

ทุเรียนมีองค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เมื่อผ่านกระบวนการเผาไหม้จะเปลี่ยนโครงสร้างกลายเป็นคาร์บอนหรือถ่านเช่นเดียวกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรตามที่รายงาน เปลือกทุเรียนจึงมีศักยภาพในการทำเป็นวัสดุดูดซับโครเมียมได้ อนึ่งในการเรียนการสอนด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมของสถาบันการศึกษาต่างๆ มีการเรียนปฏิบัติการการวิเคราะห์ซีโอดี ทำให้มีน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนโครเมียมและสารเคมีต่างๆ จากการวิเคราะห์ซีโอดีจำนวนมากโดยปกติห้องปฏิบัติการจะเก็บรวบรวมน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนไว้เพื่อรอการบำบัดหรือส่งไปยังบริษัทรับจ้างบำบัดของเสียอันตรายทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น

ในงานวิจัยนี้จึงหาแนวทางเพื่อบำบัดโครเมียมที่เหลือจากการวิเคราะห์ซีโอดี โดยการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน ปัจจัยที่ใช้ศึกษา ได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ ความเป็นกรด-ด่าง และระยะเวลาในการดูดซับ ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโครเมียม (VI) ว่าสอดคล้องกับสมการแบบแลงเมียร์หรือฟรุนดลิชและทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (VI) ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนในน้ำทิ้งที่เหลือจากการเรียนการสอนการวิเคราะห์ซีโอดีของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางสิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม (VI) ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยเปิดสารละลายโครเมียมมาตรฐาน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่น ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิตร จะได้สารละลายโครเมียม (VI) เข้มข้น 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2. การเตรียมวัสดุดิบ

นำเปลือกทุเรียนเหลือทิ้ง (เก็บรวบรวมจากตลาดบริเวณอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี)ล้างทำความสะอาดหลายๆ ครั้ง เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออกให้หมด ตัดลดขนาดให้ได้ขนาด 1×1 เซนติเมตร (กว้าง × ยาว) นำไปตากแดดให้แห้ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ หรือแตกต่างกันไม่เกิน 4 % ทั้งให้เย็นในโถดูดความชื้นนำไปผลิตเป็นถ่านคาร์บอนต่อไป

3. การเตรียมถ่านคาร์บอนโซ้จากเปลือกทุเรียน

ทำการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการคาร์บอนโซ้ โดยนำเปลือกทุเรียนที่เตรียมได้จากข้อ 2 ใส่ภาชนะทนไฟพร้อมฝาปิด เเผาที่อุณหภูมิ 400 และ 500 องศาเซลเซียส แต่ละอุณหภูมิใช้เวลาในการเผา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นบดถ่านที่ได้ในแต่ละสภาวะด้วยครกบดยาและร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 9-16 mesh ให้มีขนาด 1-2 มิลลิเมตร และนำไปวิเคราะห์หาค่าโดยประมาณ (Proximate analysis) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173-3175 ได้แก่ ปริมาณความชื้น (Moisture) (ASTM D3173-11) ปริมาณเถ้า (Ash) (ASTM D3174-11) ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) (ASTM D3175-11) และปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) คัดเลือกถ่านคาร์บอนโซ้ที่มีค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงนำไปการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ต่อไป



4. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน

นำถ่านคาร์บอนไนซ์ที่ได้จากข้อ 3 มากระตุ้นด้วยสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยผสมถ่านคาร์บอนไนซ์กับสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น ร้อยละ 50 ที่อัตราส่วน 1:3 แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ถ้างถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยน้ำกลั่น (Deionized water) จนกระทั่งน้ำล้างมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 กรองแยกถ่านกัมมันต์ออก ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ยี่ห้อ Whatman นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น เก็บไว้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (VI) ในการทดลองต่อไป

5. การศึกษาปัจจัยที่มีผลการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน

5.1 ศึกษาผลของน้ำหนักถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อการดูดซับโครเมียม (VI)

ใช้ถ่านกัมมันต์น้ำหนัก 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม เติมลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายโครเมียม (VI) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ กวนด้วยเครื่องปั่นกวนสารละลายที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อ นาที เป็นเวลา 60 นาที กรองแยกถ่านกัมมันต์ออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ยี่ห้อ Whatman จากนั้นนำสารละลายไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโครเมียม (VI) ที่เหลือหลังการดูดซับ ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity) สราวุศศรีคุณ (2550) ตามสมการที่ (1)

$$q_e = (C_0 - C_e)W \times V \quad (1)$$

เมื่อ q_e คือ ความสามารถในการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

C_0 คือ ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_e คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

V คือ ปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการดูดซับ (ลิตร)

W คือ น้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ใช้การดูดซับ (กรัม)

5.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียม (VI) ที่มีต่อการดูดซับ

ใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณที่เหมาะสมจากข้อ 5.1 เติมลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายโครเมียม (VI) ความเข้มข้น 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อ ลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ กวนด้วยเครื่องปั่นกวนสารละลายที่ความเร็วรอบ 250 รอบ ต่อ นาที เป็นเวลา 60 นาที กรองแยกถ่านกัมมันต์ออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ยี่ห้อ Whatman จากนั้นนำสารละลายไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโครเมียม (VI) ที่เหลือหลังการดูดซับ ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหา ความสามารถในการดูดซับตามสมการที่ (1)

5.3 ศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม (VI)

ใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณที่เหมาะสมจากข้อ 5.1 เติมลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 4 ขวด ที่บรรจุสารละลายโครเมียม (VI) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่ปรับค่า pH 2.0, 4.0, 6.0 และ 8.0 ตามลำดับ (ปรับด้วย 0.1M NaOH และ 0.1M HCL) กวนด้วยเครื่องปั่นกวนสารละลายที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อ นาที เป็นเวลา 60 นาที กรองแยกถ่านกัมมันต์ออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ยี่ห้อ Whatman จากนั้นนำสารละลายไป วิเคราะห์หาความเข้มข้นของโครเมียม (VI) ที่เหลือหลังการดูดซับ ด้วยเครื่อง UV-VIS

Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความสามารถในการดูดซับตามสมการที่ (1)

5.4 ศึกษาผลของระยะเวลาที่มีต่อการดูดซับโครเมียม (VI)

ใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณที่เหมาะสมจากข้อ 5.1 เติมลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายโครเมียม (VI) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ที่เหมาะสมจากข้อ 5.3 กวนด้วยเครื่องปั่นกวนสารละลายที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลาต่างๆ กัน คือ 10, 20, 40, 60 และ 90 นาที กรองแยกถ่านกัมมันต์ออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ยี่ห้อ Whatman จากนั้นนำสารละลายไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโครเมียม (VI) ที่เหลือหลังการดูดซับ ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความสามารถในการดูดซับตามสมการที่ (1)

6. ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน

เตรียมสารละลายโครเมียม (VI) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ให้เท่ากับ 2.0 ใช้ถ่านกัมมันต์น้ำหนัก 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม เติมลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด ตามลำดับ กวนด้วยเครื่องปั่นกวนสารละลายที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที กรองแยกถ่านกัมมันต์ออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ยี่ห้อ Whatman จากนั้นนำสารละลายวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโครเมียม (VI) ที่เหลือหลังการดูดซับด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ใช้ข้อมูลที่ได้ไปศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) และฟรุนดลิช (Freundlich isotherm) คำนวณค่าปริมาณโครเมียม (VI) ที่ถูกดูดซับต่อปริมาณถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนได้จากสมการที่ (2) และ (3) สราวุธ ศรีคุณ (2550)

สมการไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์หาได้จากสมการที่ (2)

$$C_e/q_e = (C_e/q_m) + (1/K_L q_m) \quad (2)$$

เมื่อ q_e คือ ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับต่อปริมาณถ่านกัมมันต์เปลือกทุเรียน (มิลลิกรัมต่อกรัม)

q_m คือ ปริมาณการดูดซับสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกรัม)

C_e คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

K_L คือ ค่าคงที่ของแลงเมียร์

สมการไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดลิชหาได้จากสมการที่ (3)

$$\log q_e = \log K_f + 1/n \log C_e \quad (3)$$

เมื่อ q_e คือ ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับต่อปริมาณถ่านกัมมันต์เปลือกทุเรียน (มิลลิกรัมต่อกรัม)

C_e คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

K_f คือ ค่าคงที่ของฟรุนดลิช

n คือ ค่าคงที่

7. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งที่เหลือหลังการวิเคราะห์ซีไอจากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) และพีเอชเริ่มต้นของสารละลายตัวอย่างก่อนดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน เปรียบเทียบความเข้มข้นของโครเมียม (VI) ให้อยู่ในช่วง 1-100 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนน้ำหนัก 0.2 กรัม เติมลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุน้ำตัวอย่าง ปริมาตร 100 มิลลิลิตรปรับค่า pH ให้เท่ากับ 2.0 กวนด้วยเครื่องกวนสารละลายที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที กรองแยก

ถ่านกัมมันต์ออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ยี่ห้อ Whatman จากนั้นนำสารละลายไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโครเมียม (VI) ที่เหลือหลังการดูดซับ ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ใช้ข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาร้อยละการกำจัดโครเมียม (% Removal) ตามสมการที่ (4) สุทธิตา โขศรีญวัฒน์ (2544)

$$\% \text{ Removal} = (C_i - C_f/C_i) \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ C_i คือ ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_f คือ ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมที่เหลืออยู่ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลของอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านคาร์บอน

จากการวิเคราะห์ค่าโดยประมาณของถ่านคาร์บอนแต่ละสถานะการเผาที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกันพบว่าถ่านที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงมีค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุดร้อยละ 12.8 (ดังตารางที่ 1) ผู้วิจัยจึงเลือกถ่านคาร์บอนในสภาวะที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ไปกระตุ้นเป็นถ่านกัมมันต์ต่อไปซึ่งค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านจากเปลือกทุเรียนที่ได้จากงานวิจัยนี้ เมื่อนำมาเทียบกับรายงานการศึกษาของ ธาราพงษ์ วิฑิตศานต์ (2554) ที่ผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว กะลาปาล์ม และซีเลื้อย ซึ่งก่อนจะนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ประโยชน์เพื่อการดูดซับโลหะหนักต่างๆ ได้ ต้องตรวจสอบค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวซึ่งถ้ามีค่ามากถือว่าจะดูดซับโลหะหนักได้ดีกว่าที่มีค่าต่ำ ซึ่งร้อยละค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวของกะลามะพร้าว กะลาปาล์ม และซีเลื้อยเท่ากับร้อยละ 21.22, 11.96 และ 11.14 ตามลำดับ

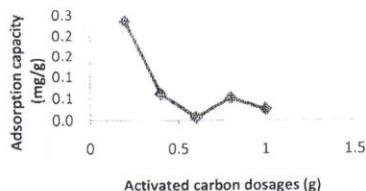
ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัวของถ่านคาร์บอนซีโดยการเผาที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน

Temperature (°C)	Time (hour)	Fixed carbon (%)
400	1	12.8
400	2	3.29
400	3	3.31
500	1	8.52
500	2	6.14
500	3	7.77

2. ผลของน้ำหนักถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อการดูดซับโครเมียม (VI)

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียมความเข้มข้นเริ่มต้น 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านกัมมันต์น้ำหนัก 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม ตามลำดับ พบว่าความสามารถในการดูดซับโครเมียมมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มน้ำหนักถ่านกัมมันต์มากขึ้น โดยความสามารถในการดูดซับโครเมียมลดลงจาก 0.24, 0.06, 0.008, 0.05, 0.03 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ทำให้ปริมาณโครเมียม(VI) ที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ลดลง จึงเป็นผลให้ค่าความสามารถในการดูดซับโครเมียม(VI) ลดลง ผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ จันทนา ไพรบูรณ์ และคณะ(2555) ในการศึกษาการดูดซับสีย้อมเบสิกด้วยสาหร่ายสีเขียว *Spirogyra* sp. โดย

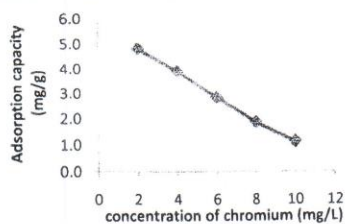
ใช้สารห่วยสี่เหลี่ยมน้ำหนัก 0.02-0.2 กรัม พบว่าความสามารถในการดูดซับมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มน้ำหนักสารห่วยสี่เหลี่ยมมากขึ้น



รูปที่ 1 ผลของน้ำหนักถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนที่มีต่อการดูดซับโครเมียม(VI)

3. ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียม(VI) ที่มีต่อการดูดซับ

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียม(VI) ในช่วง 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตรที่มีต่อความสามารถในการดูดซับโครเมียมด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนน้ำหนัก 0.2 กรัม พบว่าความสามารถในการดูดซับโครเมียมมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโครเมียมมากขึ้น โดยความสามารถในการดูดซับโครเมียมลดลงจาก 4.82, 3.89, 2.83, 1.89 และ 1.12 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโครเมียม 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ดังรูปที่ 2) เนื่องจากสารละลายมีไอออนโครเมียมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ยังคงเท่าเดิม จึงทำให้มีปริมาณไอออนโครเมียมที่ไม่ถูกดูดซับเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของเทียมชัย บัวลอย และคณะ(2552) ในการศึกษาการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค ความเข้มข้นของตะกั่วที่ทำการศึกษา 2.0-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่วลดลงจาก 96.30-75.90 %

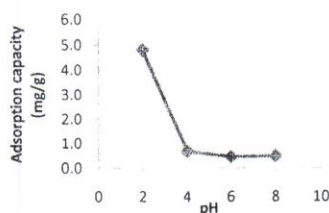


รูปที่ 2 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียม(VI) ที่มีต่อการดูดซับ

4. ผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม(VI)

จากการศึกษาผลของ pH ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม(VI) ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียม(VI) 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนน้ำหนัก 0.2 กรัม และปรับค่า pH ของสารละลายให้อยู่ในช่วง 2.0 - 10.0 จากการศึกษพบว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนสามารถดูดซับโครเมียม(VI) ได้ดีเมื่อ pH ของสารละลายโครเมียม(VI) มีค่าเท่ากับ 2.0 มีค่าการดูดซับเท่ากับ 4.81 มิลลิกรัมต่อกรัม และพบว่าความสามารถในการดูดซับโครเมียม(VI) ลดลงจาก 4.81, 0.68, 0.46 และ 0.45 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ pH จาก 2.0, 4.0, 6.0 และ 8.0 ตามลำดับ (ดังรูปที่ 3) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าสารละลายโครเมียม (VI) ที่มีค่า pH 2-6 โครเมียม (VI) จะแตกตัวอยู่ในรูปของ HCrO_4 และจะเปลี่ยนรูปเป็น Cr_2O_7 เมื่อ pH มากกว่า 7 และสารละลายโครเมียม (VI) ที่ pH 2.0 มีผลทำให้ปริมาณไฮโดรเจนไอออนมีปริมาณมากเกินพอในการเกิดปฏิกิริยา

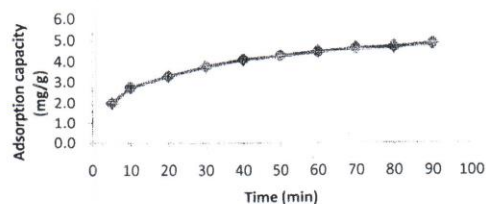
การดูดซับโครเมียม (VI) บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่มีไฮดรอกซิลไอออน Yang et al. (2015) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumar and Jena (2017) ในการศึกษาการกำจัดโครเมียม (VI) ในสารละลายด้วยถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ พบว่าจากการใช้ถ่านกัมมันต์น้ำหนัก 0.2 กรัมดูดซับโครเมียม (VI) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดโครเมียม (VI) ได้สูงสุดร้อยละ 85.35% ที่ pH 2.0



รูปที่ 3 ผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม (VI)

5. ผลของระยะเวลาที่มีต่อการดูดซับโครเมียม (VI)

จากการศึกษาผลของระยะเวลาที่มีต่อการดูดซับโครเมียม (VI) ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียม 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนน้ำหนัก 0.2 กรัม และเวลาในการดูดซับ 5 - 60 นาที พบว่าความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรก และค่าการดูดซับโครเมียม (VI) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลานานขึ้น (ดังรูปที่ 4) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumar and Jena (2017) ในการศึกษาการกำจัดโครเมียม (VI) ในสารละลายด้วยถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ พบว่าจากการใช้ถ่านกัมมันต์จาก fox nutshell น้ำหนัก 0.05 กรัม ดูดซับโครเมียม (VI) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถดูดซับโครเมียม (VI) อย่างรวดเร็วช่วงเวลา 20 นาทีแรก จากนั้นค่าการดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลานานขึ้นจนถึงนาทีที่ 60 ความสามารถในการดูดซับเริ่มคงที่



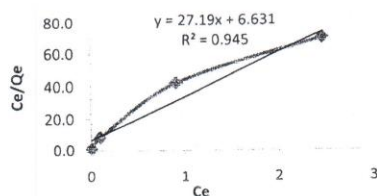
รูปที่ 4 ผลของระยะเวลาที่มีต่อการดูดซับโครเมียม (VI)

6. ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน

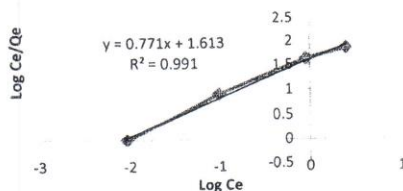
จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับโครเมียมด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟเส้นตรง (ดังรูปที่ 5 และ 6) พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของสมการแลงเมียร์เท่ากับ 0.9451 และสมการฟรุนดลิชเท่ากับ 0.973 เมื่อพิจารณาว่า R^2 ของทั้งสองสมการ พบว่าค่าที่ได้สอดคล้องกับสมการแบบฟรุนดลิชมากกว่าแบบแลงเมียร์เนื่องจากเข้าใกล้ 1 มากกว่า และค่าคงที่ในการดูดซับของฟรุนดลิช (K_f) เท่ากับ 41.02 ลิตรต่อมิลลิกรัม (ดังตาราง



ที่ 2) สอดคล้องกับงานวิจัยของอุษณีย์รัชชชีโยวรรณและคณะ (2557) ในการศึกษาสมดุลและจลนศาสตร์การดูดซับไอออนเงินโดยโคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เรซิน พบว่าไอโซเทอมการดูดซับสอดคล้องกับฟลูนดลิกมากกว่าแลงเมียร์ มีค่า K_d เท่ากับ 14.16 ลิตรต่อมิลลิกรัม นอกจากนี้ผลการศึกษาของ Kumar and Jena (2017) ในการศึกษาการดูดซับโครเมียม (VI) ในสารละลายด้วยถ่านกัมมันต์จาก fox nutshell เริ่มต้นที่ความเข้มข้นโครเมียมเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 2.0 ทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 180 นาที ผลการทดลองพบว่าไอโซเทอมการดูดซับโครเมียม (VI) สอดคล้องกับแบบแลงเมียร์ให้ค่าการดูดซับเท่ากับ 46.21 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งจะเห็นว่าค่าการดูดซับที่ได้จากศึกษาครั้งนี้ของผู้วิจัยมีค่าน้อยกว่า อาจเนื่องมาจากขั้นตอนการคาร์บอนซ์เปลือกทุเรียน ซึ่งผู้วิจัยควบคุมตัวแปรอาจไม่ตึง ทำให้มีออกซิเจนเข้าไปมีส่วนร่วมในการคาร์บอนซ์ ส่งผลให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีรูพรุนน้อย และมีปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำ เมื่อนำไปดูดซับโครเมียม (VI) จึงทำให้ประสิทธิภาพดังกล่าวมีค่าน้อยลง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Kumar and Jena (2017)



รูปที่ 5 ไอโซเทอมแลงเมียร์ของการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน



รูปที่ 6 ไอโซเทอมฟลูนดลิกของการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ที่คำนวณได้จากสมการการดูดซับของไอโซเทอมแลงเมียร์และฟลูนดลิก

ไอโซเทอมการดูดซับแลงเมียร์			ไอโซเทอมการดูดซับฟลูนดลิก		
qm(mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	K_d (L/mg/)	1/n	R^2
0.04	4.10	0.9451	41.02	0.77	0.9730



7. ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งที่เหลือหลังการวิเคราะห์ซีโอติจากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

จากการทดลองใช้ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนน้ำหนัก 1.0 กรัม ดูดซับโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งที่เหลือหลังการวิเคราะห์ซีโอติของห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่มีความเข้มข้นของโครเมียม (VI) 334.04 มิลลิกรัมต่อลิตรมาเจือจาง 100 เท่าจะมีความเข้มข้นของโครเมียม (VI) เท่ากับ 4.2 มิลลิกรัมต่อลิตรและวัดค่า pH เริ่มต้นได้เท่ากับ 2.0 ผู้วิจัยจึงไม่ปรับค่า pH เนื่องจากผลการทดลองที่ 4 พบว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนสามารถดูดซับโครเมียม(VI) ได้สูงสุดเมื่อ pH ของสารละลายโครเมียม (VI) เท่ากับ pH 2.0 จากนั้นทำการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนน้ำหนัก 1.0 กรัม ทำการทดลองต่อเนื่องนาน 60 นาที ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของโครเมียม(VI) ที่เหลือหลังการดูดซับมีค่าเท่ากับ -0.05 มิลลิกรัมต่อลิตรแสดงว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนสามารถกำจัดโครเมียม(VI) คิดเป็นร้อยละได้เท่ากับร้อยละ 100 และเมื่อนำมาคำนวณหาความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) ได้เท่ากับ 0.65 มิลลิกรัมต่อกรัมสรุป

ในการผลิตถ่านคาร์บอนโซ้จากเปลือกทุเรียน พบว่าที่สภาวะการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้ค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุดร้อยละ 12.8 และนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี โดยแช่ในสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 50 ในอัตราส่วนน้ำหนักถ่านต่อสารละลาย 1:3 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน พบว่าค่า pH ของสารละลายโครเมียม (VI) เท่ากับ 2.0 มีค่าการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 4.81 มิลลิกรัมต่อกรัม และระยะเวลาในการดูดซับโครเมียม (VI) เกิดขึ้นรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรก ในการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับตามแบบจำลองแลงเมียร์และฟลูนดลิกพบว่ากลไกการดูดซับมีความสอดคล้องกับแบบจำลองฟลูนดลิกมากกว่าแบบแลงเมียร์มีค่าความจุการดูดซับของฟลูนดลิก (K_f) เท่ากับ 41.02 ลิตรต่อมิลลิกรัมและจากการศึกษาการกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งหลังจากการวิเคราะห์ซีโอติจากห้องปฏิบัติการทางสิ่งแวดล้อมด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) เท่ากับ 4.2 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนสามารถกำจัดโครเมียมได้ร้อยละ 100 เมื่อคำนวณค่าการดูดซับสามารถดูดซับโครเมียม (VI) ได้เท่ากับ 0.65 มิลลิกรัมต่อกรัม ผลจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เห็นแนวโน้มการวิจัยว่า สามารถประยุกต์ใช้เปลือกทุเรียนผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อการดูดซับโครเมียม (VI) ได้

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยนี้เห็นแนวโน้มว่าเปลือกทุเรียนมีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อการดูดซับโครเมียม (VI) ได้ในการวิจัยต่อไป ผู้วิจัยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดอื่น และควรศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์โดยศึกษาขนาดรูพรุนด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาทุกท่าน ที่คอยสนับสนุนการทำวิจัย ให้คำปรึกษาด้วยดีตลอดมา และคณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้


เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2545). *ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำกรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.*
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์.(2547). *วิศวกรรมกรำจัดน้ำเสีย เล่มที่ 5 (พิมพ์ครั้งที่ 1).*นนทบุรี: เอสอาร์พรีนติง แอสโพรดักส์ จำกัด.
- จันทนา ไพบูรณ์, โครดากรณ์พิมลา, มัทริยา และเหยียบ และอนงค์ จีระภัทร. (2555). การดูดซับสีย้อมเบสิกด้วยสาหร่ายสีเขียว *Spirogyra* sp. *วิทยาศาสตร์ มข.*, 40, 242-253.
- เทียมชัย บัวลอย, วิภาดา สอนองราชบุรี และสมภพ สอนองราชบุรี.(2552). การดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค. *วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย*, 23, 53-61.
- ธราพงษ์ วิทิตตานต์.(2554). *ถ่านกัมมันต์การผลิตและการนำไปใช้ (พิมพ์ครั้งที่ 2).*ขอนแก่น: โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา.
- ปัญญา มณีจักร์. (2556). การพัฒนาถ่านกัมมันต์จากลูกหวางเพื่อดูดซับโครเมียม (VI) ไอออนจากน้ำเสียในการวิเคราะห์ค่า COD. ใน *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิตประจำปี 2556* (หน้า 119-129). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยรังสิต.
- สรารุช ศรีคุณ. (2550). *การศึกษาการดูดซับสีย้อมและไอออนโลหะตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน.*วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ศุติดา โชคธัญวัฒน์.(2544). *การกำจัดโครเมียม (VI) ที่ค้างเหลือในน้ำเสียหลังจากการวิเคราะห์ค่าซีไอทีโดยกระบวนการดูดซับ.*วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- อุษณีย์ รักษาไชยวรรณ, ยุพดี กุลรัตน์กิติวงศ์, และโกวิทย์ปิยะมิ่งคลา.(2557). การศึกษาสมดุลและจลนศาสตร์การดูดซับไอออนเงินโดยโคโคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เรซิน. *วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 9, 12-22.
- ASTM. (2012). *Standard test method for ash in the analysis sample of coal and coke.* Annual book of ASTM standard, Vol 05.06 D3174-11.
- ASTM. (2012). *Standard test method for moisture in the analysis sample of coal and coke.* Annual book of ASTM standard, Vol 05.06 D3173-11.
- ASTM. (2012). *Standard test method for volatile in the analysis sample of coal and coke.* Annual book of ASTM standard, Vol 05.06 D3175-11.
- Kumar, A. & Jena, H. M.(2017). Adsorption of Cr(VI) from aqueous phase by high surface area activated carbon prepared by chemical activated with ZnCl₂. *Process Safety and Environmental Protection*, 109, 63-71
- Selvi, K., Pattabhi S &Kadirvelu, K. (2001). Removal of Cr (VI) from aqueous solution by adsorption onto activated carbon. *Bioresour Technology*, 80, 87-89.
- Yang, J., Yu, M. & Chen, W. (2015). Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solution by activated carbon prepared from longan seed: Kinetics,



RTUNC 2017
The 1st Regional Conference
on 2017 2017 International Forum

การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ราชธานีวิชาการ ครั้งที่ 2
"การวิจัย 4.0 เพื่อการพัฒนาประเทศสู่ความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน"

75

equilibrium and thermodynamics *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, 414-422.

Zhou, J., Wang, Y., Wang, J., Qiao, W., Long, D. & Ling, L. (2016). Effective removal of hexavalent chromium from aqueous solutions by adsorption on mesoporous carbon microspheres. *Journal of Colloid and Interface Science*, 109, 63-73.

ภาคผนวก ข
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. หม้อดินพร้อมฝาปิด



2. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance)



3. ตู้อบ (Oven)



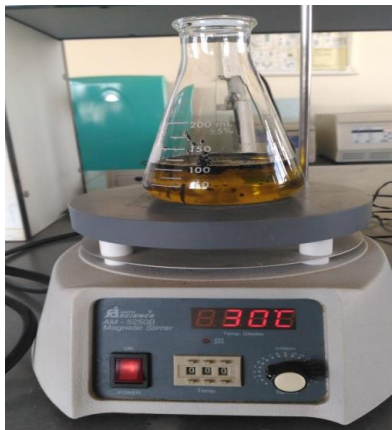
4. เตาเผาความร้อนสูง (Muffle furnace)



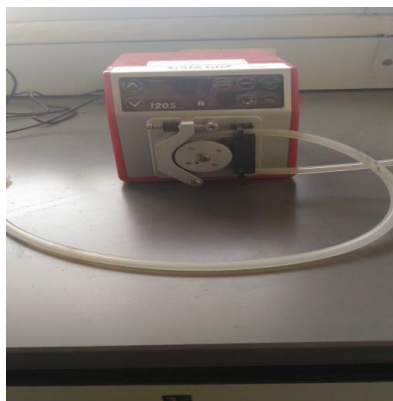
5. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)



6. เครื่องปั่นกวนสารละลาย (Stirrer)



7. ป้อนจ่ายของเหลว (Peristaltic pump)



8. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)

