



รายงานการวิจัย

การบำบัดความกระด้างในน้ำบาดาลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม
กรณีศึกษา ตำบลชนไพร อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

**Treatment of Hardness in Ground Water by Activated Carbon from
Tamarind Seed : Chonpri, Muang at Phetchabun**

อุทัยรัตน์ น้อยคนดี

สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2557

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

**การบำบัดความกระด้างในน้ำบาดาลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม
กรณีศึกษา ตำบลชอนไพร อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์**

**Treatment of Hardness in Ground Water by Activated Carbon from
Tamarind Seed : Chonpri, Muang at Phetchabun**

ฤทัยรัตน์ น้อยคนดี

สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ทุนอุดหนุนโดย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2557

(ก)

ชื่องานวิจัย	การบำบัดความกระด้างในน้ำบาดาลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม กรณีศึกษา ตำบลชอนไพร อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์
ผู้วิจัย	ฤทัยรัตน์ น้อยคนดี
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ 2557

บทคัดย่อ

งานวิจัย เรื่อง การบำบัดความกระด้างในน้ำบาดาลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขามกรณีศึกษา ตำบลชอนไพร อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาดาลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม 2 ขนาด คือ ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร และ คงสภาพขนาดเมล็ดมะขามตามเดิม ใช้อัตราส่วนในการทดสอบประสิทธิภาพเป็น อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เท่ากับ 1:100, 2:100 และ 3:100 เก็บตัวอย่างในพื้นที่ตำบลชอนไพร อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ จำนวน 3 จุด ได้แก่ องค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพร วัดพ่อบุณผาเมือง และตัวแทนบ้านเรือนในชุมชน

พบว่า ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขามที่มีขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วนถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าความกระด้างในน้ำบาดาลได้ดีที่สุด โดยค่าความกระด้างที่วัดได้มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดในช่วง 60 นาทีแรก โดยเฉพาะช่วง 15-30 นาที และอัตราการลดลงค่อยๆต่ำลง ในนาทีที่ 70 และก่อนข้างคงที่ ในนาทีที่ 90 เมื่อนำไปคำนวณค่าประสิทธิภาพการบำบัด พบว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดค่าความกระด้างสูงสุด ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพร มีค่าเท่ากับ 12.22 เปอร์เซ็นต์ ในนาทีที่ 30 ณ วัดพ่อบุณผาเมือง มีค่าเท่ากับ 10.83 เปอร์เซ็นต์ ในนาทีที่ 15 และ ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชน มีค่าเท่ากับ 12.41 เปอร์เซ็นต์ ในนาทีที่ 15

สรุปได้ว่า ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม สามารถดูดซับสิ่งแปลกปลอมในน้ำได้เป็นอย่างดี โดยประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อนำไปทำให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดให้มากขึ้น ทำให้อัตราการดูดซับมีค่าเพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ : น้ำบาดาล, ค่าความกระด้าง, ถ่านกัมมันต์, เมล็ดมะขาม

Research Treatment of Hardness in Ground Water by Activated Carbon from
Tamarind Seed : Chonpri, Muang Phetchabun

Name Ruthairat Noikondee

Program Environmental Science
Phetchabun Rajabhat University 2014

Abstract

The research on treatment of hardness in ground water by activated carbon from tamarind seed : Chonpri, Muang at Phetchabun study efficiency to treat hardness in ground water by activated carbon from tamarind seed 2 sizes between 2 mm. - 4 mm. and maintained the same size tamarind using ratio of water : activated carbon about 1:100, 2:100 and 3:100, ground water samples from 3 areas that subdistrict administrative organization of Chonpri, Pho Khun Pha Muang temple and agent home in community.

The result shows the activated carbon from tamarind seed between 2 mm. - 4 mm. size ratio of water : activated carbon about 3:100 have the high efficiency to treated hardness in ground water. The capability of treated on duration time is high in 15-30 minutes, drop at 70 minutes and stable at 90 minutes. Furthermore, the efficiency of treated hardness in ground water at subdistrict administrative organization of Chonpri is 12.22 % in 30 minutes, Pho Khun Pha Muang temple is 10.83 % in 15 minutes and agent home in community is 12.41 % in 15 minutes.

In conclusion, the activated carbon from tamarind seed can be perfectly applied to absorb organics waste in water and the small size can be efficiency to treated more than the big size because it has surface areas more.

Keywords : ground water, hardness, activated carbon, tamarind seed

(ก)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยประเภททั่วไป ประจำปีงบประมาณ 2557 ในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ คุณนิภาพร ปาแก้ว และ คุณสมเพียร พักทอง เจ้าหน้าที่ควบคุมดูแล ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ อาคารสิรินธร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ช่วยเหลือเรื่องการติดต่อประสานงานการจัดซื้อสารเคมี และช่วยสนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ รวมทั้งสถานที่ทำการทดลอง

ขอขอบคุณทางองค์การบริหารส่วนตำบลชนไพร วัดพ่อขุนผาเมือง และผู้นำชุมชน หมู่ 1 บ้านหัวนา ตำบลชนไพร อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาศึกษาวิเคราะห์ในงานวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือเสมอมา รวมทั้งนักศึกษาที่ช่วยหาวัตถุดิบในการทดลอง ช่วยเผาถ่าน และเป็นผู้ช่วยในการวิเคราะห์ผลการทดลอง และท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่และครอบครัว ที่คอย เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้อย่างเต็มกำลังความสามารถ จนกระทั่งประสบความสำเร็จ

ฤทัยรัตน์ น้อยคนดี

13 สิงหาคม 2557

สารบัญ

		หน้า
	บทคัดย่อภาษาไทย	ก
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
	กิตติกรรมประกาศ	ค
	สารบัญ	ง
	สารบัญตาราง	ฉ
	สารบัญรูป	ช
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
	1.4 สมมติฐาน	2
	1.5 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย	3
บทที่ 2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
	2.1 มะขาม	4
	2.2 ถ่านกัมมันต์	5
	2.3 กระบวนการดูดซับ	8
	2.4 น้ำบาดาล	13
	2.5 ความกระด้าง	16
	2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย	20
	3.1 เครื่องมือ/ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	20
	3.2 การเตรียมการทดลอง	20
	3.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	21
	3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลอง	23
บทที่ 4	ผลการวิจัย	24
	4.1 การศึกษาขนาด อัตราส่วน และระยะเวลา ที่เหมาะสมในการบำบัด ค่าความกระด้างของน้ำบาดาลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม	33
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	43
5.1 สรุปและอภิปรายผล	43
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ	44
5.3 การบูรณาการงานวิจัยเพื่อนำไปใช้ประโยชน์	45
5.4 ข้อเสนอแนะ	46
บรรณานุกรม	47
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม	50
ภาคผนวก ข กระบวนการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	52
ประวัติผู้วิจัย	53

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	มาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้	14
4-1	ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพร ที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร - 4 มิลลิเมตร	24
4-2	ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพร ที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม	25
4-3	ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อขุนผาเมืองที่ผ่านการบำบัดด้วย ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร - 4 มิลลิเมตร	27
4-4	ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อขุนผาเมืองที่ผ่านการบำบัดด้วย ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม	28
4-5	ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชนที่ผ่านการบำบัด ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร - 4 มิลลิเมตร	30
4-6	ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชนที่ผ่านการบำบัด ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม	31
4-7	ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การ บริหารส่วนตำบลชอนไพรด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร - 4 มิลลิเมตร	33
4-8	ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การ บริหารส่วนตำบลชอนไพรด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพ ขนาดเดิม	34
4-9	ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อขุนผาเมือง ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร - 4 มิลลิเมตร	36
4-10	ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อขุนผาเมือง ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม	38

(ช)

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-11	ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชนด้วย ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร	39
4-12	ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชน ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม	41

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2-1	โครงสร้างของถ่านกัมมันต์	7
2-2	โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ และภาพถ่าย SME ของถ่านกัมมันต์ ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว	7
2-3	การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ	11
2-4	ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ	12
4-1	ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพร ที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร - 4 มิลลิเมตร	25
4-2	ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพร ที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม	26
4-3	ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อขุนผาเมืองที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร - 4 มิลลิเมตร	28
4-4	ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อขุนผาเมืองที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม	29
4-5	ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชนที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร - 4 มิลลิเมตร	31
4-6	ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชนที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม	32
4-7	ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพรด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร - 4 มิลลิเมตร	34
4-8	ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพรด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขามที่คงสภาพขนาดเดิม	36
4-9	ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อขุนผาเมืองด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร - 4 มิลลิเมตร	37

(ฉ)

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-10	ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อขุนผาเมือง ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม	39
4-11	ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชนด้วย ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร	40
4-12	ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชน ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม	42

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

น้ำบาดาล เป็นแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่มีความสำคัญ ต่อผู้บริโภคอยู่มาก แม้ว่าในปัจจุบัน ประเทศไทยจะมีการพัฒนาสาธารณูปโภคในเรื่องของระบบน้ำประปาไปสู่มาตรฐานสากล รวมทั้งมีการกระจายระบบการผลิตน้ำประปาไปสู่ชุมชนอย่างกว้างขวาง แต่ก็ไม่ได้ทำให้อัตราความต้องการใช้น้ำบาดาลลดน้อยลง เนื่องจากค่าใช้จ่ายอยู่ในอัตราต่ำเมื่อเทียบกับน้ำประปา ทั้งนี้ระบบเกษตรกรรมของไทย ไม่ว่าจะเป็นการเพาะปลูก การเลี้ยงสัตว์ การประมง รวมถึงสถานบริการที่พักอาศัย สถานบริการนันทนาการเรื่องการศึกษา โรงงานอุตสาหกรรม ร้านค้าขนาดใหญ่ หรือแม้กระทั่งบ้านเรือนที่อยู่ห่างไกลพื้นที่ชุมชน ก็ยังมีความต้องการใช้น้ำบาดาลอยู่เป็นจำนวนมาก จากเหตุผลเรื่องค่าใช้จ่ายและเรื่องจากระบบการวางท่อน้ำประปาที่ยังไม่ทั่วถึงในพื้นที่ห่างไกล

แต่ปัญหาในการใช้น้ำบาดาลก็มีมากเช่นกัน ทั้งเรื่องของผลกระทบที่ก่อให้เกิดแผ่นดินทรุดในบางพื้นที่ รวมถึงคุณภาพน้ำ ที่มีความขุ่นสูง และบางพื้นที่ยังพบว่ามิกลิ้นอัปชั่นหรือมีแร่ธาตุชนิดต่างๆ เจือปนอยู่ในระดับเกินมาตรฐาน ก่อให้เกิด ปัญหาเรื่องน้ำกระด้างที่เกิดจากแคลเซียมคาร์บอเนตและแมกนีเซียมคาร์บอเนต ปัญหาที่เกิดจากน้ำบาดาลมีปริมาณ โลหะหนักจำพวกเหล็ก และแมงกานีสสูง ทำให้น้ำมีสีเหลือง น้ำตาลอมแดง หรือสีแดง มี รส และมีกลิ่น เป็นที่น่ารังเกียจแก่การอุปโภคและบริโภค นอกจากนั้นยังก่อให้เกิดคราบสกปรกและหินปูนตามภาชนะ สุขภัณฑ์ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ผ่านการใช้น้ำ

เพื่อเป็นการลดปัญหาเรื่องความกระด้างในน้ำบาดาล งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดค่าความกระด้าง ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขาม โดยเลือกพื้นที่ตำบลชอนไพร อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการทำการเกษตรเป็นจำนวนมาก ทั้งยังเป็นแหล่งที่ตั้งของหน่วยงานราชการ และเอกชนหลายแห่ง ที่มีอัตราการใช้น้ำบาดาลอยู่มาก รวมทั้งน้ำบาดาลยังเป็นแหล่งน้ำหลักที่ใช้ในหลายหมู่บ้าน ซึ่งหากงานวิจัยนี้สำเร็จ ลุล่วงตามวัตถุประสงค์ จะสามารถแก้ไขปัญหาค่าความกระด้างในน้ำบาดาลได้เป็นอย่างดี และยังเป็น การช่วยเพิ่มมูลค่าให้เศษเหลือใช้ทางการเกษตรแทนที่จะกลายเป็นของเสียเพื่อรอการกำจัด ถือเป็น การใช้ธรรมชาติช่วยแก้ไขปัญหาล้างแวล้อม และยังเป็นการสร้างองค์ความรู้ เพื่อการเผยแพร่ ข้อมูลทางด้านการเกษตร และทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เป็นประโยชน์ อันส่งผลให้เกิดความยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาขนาด อัตราส่วน และระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาดาลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม
- 1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาดาลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม

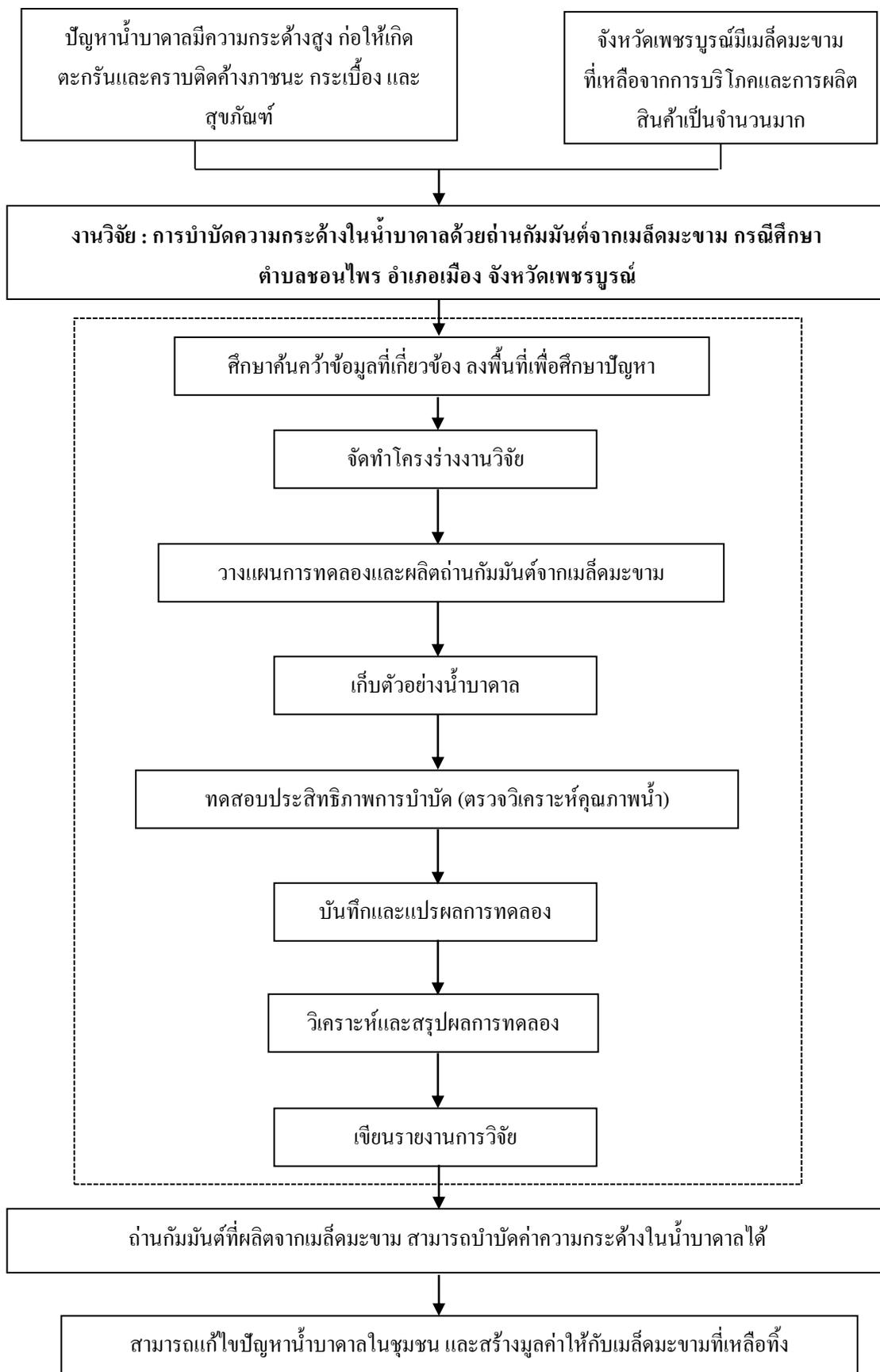
1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 เมล็ดมะขามที่ใช้ เป็นเมล็ดมะขามที่เหลือจากการแปรรูปเพื่อการบริโภคของเกษตรกร ภายในจังหวัดเพชรบูรณ์
- 1.3.2 การผลิตถ่านกัมมันต์ ใช้การเผาที่อุณหภูมิ 400-650 องศาเซลเซียส และนำมากระตุ้นด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 700 – 900 องศาเซลเซียส
- 1.3.3 ขนาดของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ทดสอบ แบ่งเป็น 2 ขนาด คือ
 - (1) ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร
 - (2) คงสภาพขนาดเดิม (เมล็ดมะขามปกติ)
- 1.3.4 น้ำบาดาลที่ทำการศึกษา เลือกศึกษาในเขตพื้นที่ ตำบลชอนไพร อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยเก็บน้ำทั้งหมด 3 จุด ได้แก่ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพร วัดพ่อขุนผาเมือง และตัวแทนครัวเรือนในชุมชน
- 1.3.5 ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำที่เลือกใช้ทดสอบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในการบำบัดคุณภาพน้ำบาดาล ได้แก่ ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำทางเคมี คือ ค่าความกระด้าง (hardness)
- 1.3.6 ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด ได้แก่ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที
- 1.3.7 อัตราส่วนที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดค่าความกระด้าง คือ อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ (กรัม) ต่อ น้ำบาดาล (มิลลิลิตร) เท่ากับ 1:100, 2:100 และ 3:100
- 1.3.8 สถานที่ทำงานวิจัย ทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ ดิกลีรินทร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- 1.3.9 ระยะเวลาในการทำงานวิจัย คือ ช่วงตั้งแต่ เดือนตุลาคม พ.ศ. 2556 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2557

1.4 สมมติฐาน

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากเมล็ดมะขามที่เหลือจากการบริโภค มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าความกระด้าง (hardness) ในน้ำบาดาลได้

1.5 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัย เรื่อง การบำบัดความกระด้างในน้ำบาดาลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม กรณีศึกษา ตำบลชอนไพร อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลหลายส่วนมาประกอบกัน เพื่อความละเอียด และสมบูรณ์ของงาน ได้แก่ เมล็ดมะขาม การผลิตถ่านกัมมันต์ น้ำบาดาล และ ค่าความกระด้างของน้ำ รวมทั้งผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ให้ งานวิจัยมีความถูกต้อง และมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ดังนี้

2.1 มะขาม

ชื่อสามัญ : Tamarind

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Tamarindus indica* Linn.

วงศ์ : CAESALPINIACEAE

ชื่ออื่นๆ : ลำอเกล (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน), หมากแกง (ฉาน-แม่ฮ่องสอน), มะขาม, มะขามไทย (ภาคกลาง), ตะลูบ(นครศรีธรรมราช), อำเปยล (สุรินทร์), มะขามกะดาน, มะขามจีแมว

ลักษณะทั่วไป : เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่แตกกิ่งก้านสาขามากไม่มีหนาม เปลือกต้นขรุขระและหนา สีน้ำตาลอ่อน ใบเป็นใบประกอบ ใบเล็กออกตามกิ่งก้านใบเป็นคู่ใบย่อยเป็นรูปขอบขนาน ปลายใบและโคนใบมน ประกอบ ด้วยใบย่อย 10-15 คู่แต่ละใบย่อยมีขนาดเล็ก ขนาดใบกว้าง 2-5 มิลลิเมตร ยาว 1-2 เซนติเมตรออกรวมกันเป็นช่อยาว 2-16 เซนติเมตร ดอก ออกตามปลายกิ่ง ดอกมีขนาดเล็กกลีบดอกมีสีเหลืองและมีจุดประสีแดง/ม่วงแดงอยู่กลางดอก ผลเป็นฝักยาว รูปร่างยาวหรือโค้ง ยาว 3-20 เซนติเมตรฝักอ่อนมีเปลือกสีเขียวอมเทา สีน้ำตาลเกรียม เนื้อในติดกับเปลือกเมื่อแก่ฝักเปลี่ยนเป็นเปลือกแข็งกรอบหักง่าย สีน้ำตาลเนื้อในกลายเป็นสีน้ำตาลหุ้มเมล็ด เนื้อมีรสเปรี้ยว หรือหวานซึ่งฝักหนึ่งๆ จะมีเนื้อหุ้มเมล็ด 3-12 เมล็ด เมล็ดแก่จะแบนเป็นมัน และมีสีน้ำตาล

ส่วนที่ใช้ : เนื้อไม้ ใบแก่ ใบอ่อนและดอก เนื้อในผล เมล็ดแก่

สรรพคุณ : เนื้อไม้ ใช้ทำเป็นยาล้างท้องที่มีคุณภาพดีมากเพราะเป็นไม้ที่เหนียวทนใบแก่ มีรสเปรี้ยวฝาด ใช้นำมาปรุงเป็นยาแก้ไอ แก้โรคบิดขับเสมหะในลำไส้หรือนำมาต้มผสมกับหัวหอม โกรกศีรษะเด็กในเวลาเช้ามืด แก่หัวคางคกได้หรือใช้น้ำที่ต้มให้สตรีหลังคลอดอาบและใช้อบไอน้ำได้เป็นต้น ใบอ่อนและดอก ใช้รับประทานเป็นอาหารได้เนื้อในผล (มะขามเปียก) ใช้ผลแก่

ประมาณ 10-20 ฝักนำมาจิ้มเกลือกิน แล้วคั้นน้ำตามลงไปหรืออาจใช้ทำเป็นน้ำมะขามคั้นเอาน้ำกิน เป็นยาแก้อาการท้องผูก เป็นยาระบายแก้ไอ ขับเสมหะ ช่วยลดอุณหภูมิในร่างกาย ลดการกระจายน้ำ หรือใช้เนื้อมะขามผสมกับข่า และเกลือพอประมาณรับประทานเป็นยาขับเลือด ขับลม แก้ก้นนิบาด หน้าเพลิงหรืออาจใช้ผสมกับปูนแดง แล้วนำมาพอกหรือทาบริเวณที่เป็นกลากเกลื้อนหรือฝี เมล็ด แก่นำมาคั่วให้เกรียมแล้วกระเทาะเปลือกออกใช้ประมาณ 20-30 เม็ด นำมาแช่น้ำเกลือจนอ่อนใช้ กินเป็นยาถ่ายพยาธิไส้เดือนในท้องเด็กได้ หรือใช้เปลือกนอกที่กระเทาะออกซึ่งจะมีรสฝาดใช้กิน เป็นยาแก้ท้องร่วง และแก้ท้องอืดได้ดี

คุณค่าทางโภชนาการ : ยอดอ่อนและฝักอ่อนมีวิตามิน เอ มากมะขามเปียกรสเปรี้ยว ทำให้ชุ่มคอ ลดความร้อนของร่างกายได้ดีเนื้อในฝักมะขามที่แก่จัดเรียกว่า "มะขามเปียก" ประกอบด้วยกรดอินทรีย์หลายตัวเช่น กรดทาร์ทาริก กรดซิตริก กรดมาลิก เป็นต้น ทำให้ออกฤทธิ์ระบายและลดความร้อนของร่างกายลงได้ แพทย์ไทยเชื่อว่ารสเปรี้ยวนี้จะกัดเสมหะให้ละลายได้ด้วย

สารที่มีคุณประโยชน์ : ฝักมะขามพบวิตามินเอและวิตามินซีสูง และยังมี โพรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมันกากใยแคลเซียม และฟอสฟอรัสกรดอินทรีย์ เช่นกรดซกกรด กรดทาทาริก กรดมาลิกรวมทั้งพบว่ามีสารพวกกัม (gum) และเพคติน (pectin) อยู่ด้วย

คุณประโยชน์ที่ได้จากเมล็ดมะขาม :

- เนื้อในของเมล็ด สามารถนำไปคบเป็นแป้ง เพื่อนำไปประกอบอาหารได้ หรือคั่วเหมือนเกาลัด และมีฤทธิ์เป็นยาถ่ายพยาธิไส้เดือน
- รกหุ้มเนื้อมะขามนำไปขัดโลหะให้เป็นเงางาม
- เปลือกของเมล็ดนำเมล็ดมะขามสุกไปคั่วไฟให้สุกกระเทาะเอาแต่เปลือกไปคั่วไฟให้ละเอียดแล้วคลุกกับน้ำมันละหุ่งหรือน้ำมัน มะพร้าวพอกแผลที่โดนไฟไหม้ หรือน้ำร้อนลวกวันละ 2-3 ครั้ง
- เมล็ดมะขาม นำเมล็ดมะขามไปคั่วไฟให้สุกกระเทาะเปลือกทิ้ง นำไปแช่น้ำจนนิ่ม ตำพอกแผล รักษาฝีและแผลเรื้อรัง หรือเอาเมล็ดไปผ่ากลางตามแนวขวางนำส่วนที่ถูคั่วไปฝนกับน้ำมะนาว ใช้ปิดรอยแผลงัดเมล็ดมะขามจะช่วยดูดพิษแมลงสัตว์กัดต่อยออกมาได้
- เนื้อในของเมล็ดมะขาม เมื่อนึ่งเนื้อมะขามให้สุกนำไปคั้นกับน้ำขุ่นๆ เดิมเกลือลงไปเล็กน้อย ใช้จิบบ่อยๆ มีสรรพคุณแก้อาการไอ ช่วยขับเสมหะ

2.2 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอินทรีย์วัตถุซึ่งมีคาร์บอน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ถ่านหิน กะลามะพร้าว ขี้เลื่อย ยางรถยนต์ เป็นต้น นำมาผ่าน

กรรมวิธีการก่อกัมมันต์ (activation process) ซึ่งมี 2 วิธีการ คือ การกระตุ้นทางกายภาพ และการกระตุ้นทางเคมีจนได้ถ่านที่มีสีดำ มีลักษณะโครงสร้างเป็นรูพรุน พื้นที่ผิวสูงมีคุณสมบัติในการดูดซับสารต่างๆได้ดี

2.2.1 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์มี 2 ขั้นตอนดังนี้

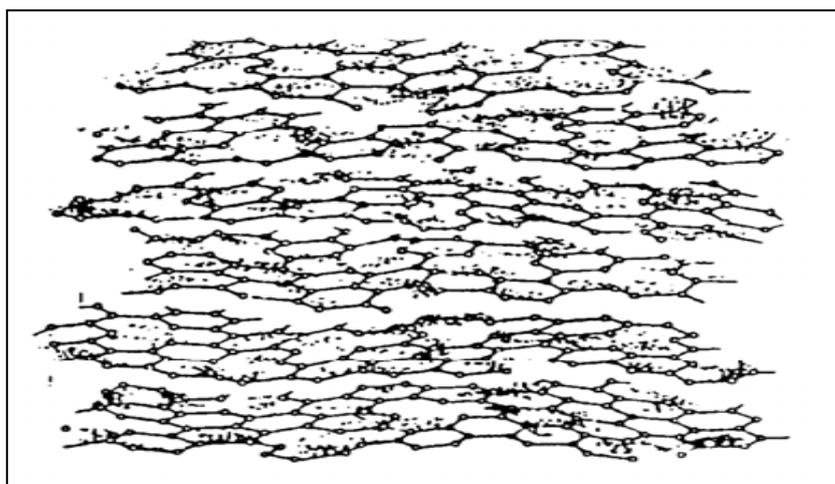
2.2.1.1 กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (carbonization process) เป็นกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในรูปของชาร์ (char) ที่เป็นของแข็งมากกว่าน้ำมันทาร์และแก๊สเพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนเพื่อให้เกิดโครงสร้างรูพรุนโดยการทำให้เกิดการแตกตัวของสารที่ไม่ใช่คาร์บอน (เช่นออกซิเจนไฮโดรเจนไนโตรเจน) ออกมาในรูปของแก๊สคาร์บอนอิสระโดยทั่วไป ทำในสภาพอับอากาศที่อุณหภูมิ 200 ถึง 500 องศาเซลเซียส ถ่านที่ได้ควรมีสีดำตลอด เมื่อหักดูส่วนที่หักดูจะมีผิวที่เป็นมันเงาปลายที่หักจะแหลมคมและปราศจากผงฝุ่นและขี้เถ้า แต่ยังสามารถในการดูดซับดีวตาเนื่องจากโพรงภายในคาร์บอนยังมีทาร์อุดตันอยู่ดังนั้นจึงต้องผ่านกระบวนการ ออกซิไดส์เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและไล่ทาร์ออกจากโพรงของคาร์บอนต่อไป

2.2.1.2 กระบวนการออกซิเดชัน (oxidation process) โดยใช้ก๊าซซึ่งมีสมบัติในการออกซิไดส์ที่อุณหภูมิสูงโดยก๊าซส่วนใหญ่ที่ใช้ได้แก่ไอน้ำอากาศและคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งสามารถใช้ผสมกันก็ได้สำหรับความสามารถในการดูดซับดีวตาหรือความจุของการดูดซับดีวตาของคาร์บอนที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยของกระบวนการกระตุ้นดังนี้

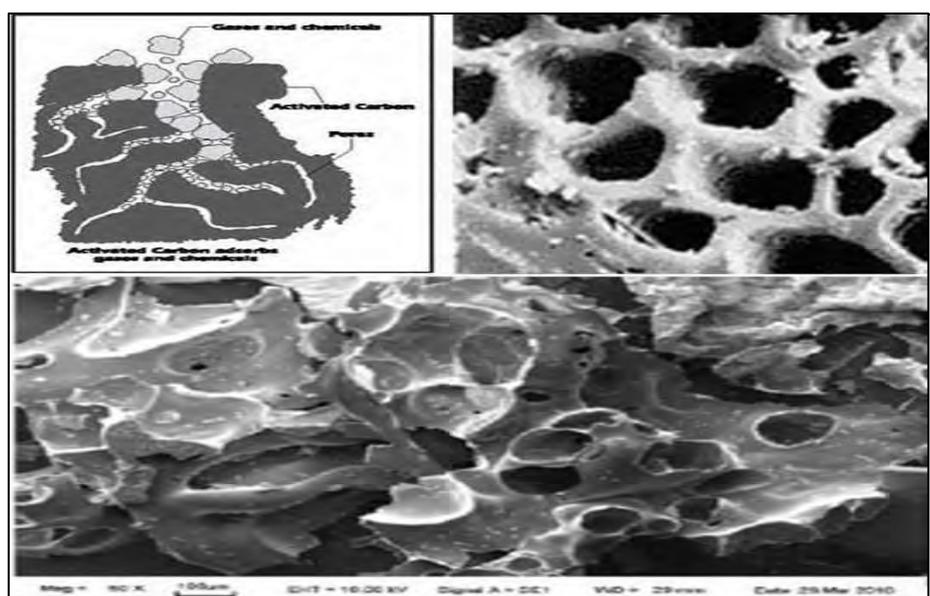
- (1) คุณสมบัติทางเคมีและความเข้มข้นของสารออกซิไดส์
- (2) อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการกระตุ้น
- (3) ระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น
- (4) ปริมาณและชนิดของธาตุที่เป็นส่วนประกอบของถ่าน

ความพรุนของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากการกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือทางกายภาพทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผลึกของถ่าน (element crystallites) เพิ่มขึ้นการกระตุ้นที่เหมาะสมจะได้รูพรุนเป็นจำนวนมากทำให้ถ่านมีพื้นที่ผิวภายใน (internal surface area) เพิ่มขึ้นสามารถดูดซับกลิ่นและสีได้มากกว่าถ่านธรรมดาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้กระทำได้โดยไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบเสียก่อนจากนั้นจึงเผาวัตถุดิบที่แห้งให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิประมาณ 400-600 องศาเซลเซียส ถ่านที่ได้ยังมีอำนาจการดูดซับดีวตาเนื่องจากโพรงภายในคาร์บอนยังมีทาร์ (tar) อุดตันอยู่ถ่านนี้ต้องเผาต่อไปที่อุณหภูมิประมาณ 700-950 องศาเซลเซียสภายใต้ความชื้นที่เหมาะสมเพื่อไล่ทาร์ออกให้หมดจึงจะได้ถ่านกัมมันต์เทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถทำให้ถ่านกัมมันต์หนักที่มีน้ำหนัก 1 กรัมที่พื้นที่ผิวประมาณ 600-1,000 ตารางเมตร (มันลิน, 2538)

ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายกราไฟต์ (graphite) แต่มีพื้นที่ผิวมากกว่าและมีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบอันเนื่องมากระบวนการคาร์บอนไนเซชันและอุณหภูมิในกระบวนการกระตุ้น (Faust and Aly, 1987) โดยโครงสร้างเป็นผลึกเล็กมาก (microcrystallites) เป็นวงแหวนเหลี่ยมด้านเท่าของอะตอมคาร์บอนผสมกันเส้นผ่านศูนย์กลางของชั้นคาร์บอนที่สร้างผลึกเล็กๆมีขนาดประมาณ 150 อังสตรอม และระยะทางระหว่างผลึกเล็กๆ มีค่า 20-50 อังสตรอมดังรูปที่ 2-1 และ 2-2



รูปที่ 2-1 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์



รูปที่ 2-2 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ และภาพถ่าย SEM ของถ่านกัมมันต์
ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว

2.2.2 กระบวนการบำบัดของเสียทางสิ่งแวดล้อม ด้วยถ่านกัมมันต์

กระบวนการบำบัดของเสียทางสิ่งแวดล้อม ด้วยถ่านกัมมันต์ อาศัยหลักการดูดซับ (Absorbtion) โดยเป็นกระบวนการที่โมเลกุลของสารมลพิษถูกดูดไปจับติดกับผิวด้านในวัตถุที่เป็นตัวดูดซับ โมเลกุลของสารมลพิษที่ถูกดูดซับ เรียกว่าสารถูกดูดซับ (Absorbate) ในขณะที่ของแข็งที่ใช้ดูดซับ เรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) ซึ่งของแข็งที่ใช้ในการดูดซับในที่นี้ คือ ถ่านกัมมันต์

2.2.3 กระบวนการดูดซับเกิดขึ้น 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การแพร่ของโมเลกุลของก๊าซมลพิษไปยังผิวภายนอกของสารดูดซับ
 ขั้นตอนที่ 2 การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของก๊าซมลพิษเข้าสู่รูพรุนของสารดูดซับซึ่งการดูดซับส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในรูพรุนส่วนนี้
 ขั้นตอนที่ 3 โมเลกุลของก๊าซมลพิษจะติดที่ผิวภายในรูพรุนของสารดูดซับโดยเรียงตัวกันเป็นชั้นๆ

2.2.4 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่บ่งบอกคุณภาพของถ่าน ได้แก่

- (1) ไอโอดีนัมเบอร์ (Iodine Number)
- (2) โมลาสันัมเบอร์ (Molass Number)
- (3) แทนนิน (Tannin)
- (4) เมทิลีนบลู (Methylene Blue)
- (5) ความหนาแน่น (Apparent Density)
- (6) ค่าความแข็ง/ค่าการขัดถู (Hardness/ Abrasion Number)
- (7) ปริมาณเถ้า (Ash Content)
- (8) ระดับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride Activity)
- (9) ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคถ่านกัมมันต์ (Particle Size Distribution)

2.3 กระบวนการดูดซับ

กระบวนการดูดซับ (Adsorption) เป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในแก๊สหรือของเหลวให้มาเกาะจับและติดบนผิวโดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่าตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่าตัวดูดซับ (adsorbent) การดูดซับจึงเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับจากตัวกลางหนึ่งไปสะสมที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ การดูดซับมีบทบาทสำคัญต่อการเคลื่อนย้ายและการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม โดยโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกจำกัดความอิสระในการเคลื่อนย้าย (จะตกตะกอนไปพร้อมกับตัวดูดซับ) (นิพนธ์และคณิตา, 2550)

กระบวนการดูดซับภายในวัสดุมีอยู่ 3 ลักษณะ คือ

- (1) การดูดซับระหว่างช่องว่างขนาดใหญ่ (Macro-transport Adsorption)
- (2) การดูดซับระหว่างช่องว่างขนาดเล็ก (Micro-transport Adsorption)
- (3) การดูดซับที่ผิวภายในของวัสดุดูดซับ (Sorptions)

2.3.1 กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

2.3.1.1 การแพร่ภายนอก (external diffusion) เป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงตัวดูดซับซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าของตัวดูดซับ

2.3.1.2 การแพร่ผ่านภายใน (internal diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างตัวดูดซับเพื่อให้เกิดการดูดซับ

2.3.1.3 ปฏิกริยาพื้นผิว (surface reaction) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับติดที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมากและควรคำนึงถึงการต้านทานจากปฏิกริยาพื้นผิวด้วย

2.3.2 รูปแบบของการดูดซับ

2.3.2.1 การดูดซับทางกายภาพ (physisorption or physical adsorption or van der waals adsorption) เป็นผลมาจากปฏิกริยาของแรงแวนเดอร์วาลส์ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแรง 2 ชนิดคือแรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับโมเลกุลของตัวดูดซับในลักษณะที่ซ้อนกันเป็นหลายชั้น (multilayered) และจำนวนชั้นของโมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น การดูดซับทางกายภาพเป็นปฏิกริยาที่สามารถผันกลับเองได้ ความร้อนที่เกิดขึ้นซึ่งการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 2-10 กิโลแคลอรีต่อโมล

2.3.2.2 การดูดซับทางเคมี (chemisorption) เกิดจากปฏิกริยาระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับเกิดเป็นสารประกอบเคมีกระบวนการนี้มีความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียวและไม่สามารถเกิดปฏิกริยาผันกลับเองได้ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงความแข็งแรงของแรงดึงดูดสามารถวัดได้จากผลต่างจากความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่าประมาณ 15-50 กิโลแคลอรีต่อโมลและยังพบว่าค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของกระบวนการดูดซับทางเคมีมีค่ามากกว่าทางกายภาพ

2.3.3 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับนั้นอาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางกายภาพ (physical force) หรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางเคมี (chemical force) หรืออาจเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทั้งสองแบบดังนี้

2.3.3.1 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางกายภาพที่เกี่ยวกับตัวดูดซับได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der waal force) แรงแวนเดอร์วาลส์คือแรงที่ยึดเหนี่ยวโมเลกุล (โคเวเลนต์) ให้อยู่ด้วยกันโดยโมเลกุล (โคเวเลนต์) ทุกชนิดทั้งโมเลกุลมีขั้วและโมเลกุลไม่มีขั้วต่างมีแรงแวนเดอร์วาลส์ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลกับโมเลกุลเมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้นแรงแวนเดอร์วาลส์จะเพิ่มขึ้นแรงแวนเดอร์วาลส์มี 3 ประเภทดังนี้

(1) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้วซึ่งเรียกว่าแรงลอนดอน (London force) หรือแรงแผ่กระจาย (dispersion force) เกิดขึ้นจากอิเล็กตรอนในโมเลกุลเคลื่อนที่ อยู่ตลอดเวลาในขณะใดขณะหนึ่งกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนในโมเลกุลไม่ได้กระจายอย่างสม่ำเสมอ ในลักษณะที่สมมาตรแต่จะเคลื่อนที่ไปหนาแน่นด้านใดด้านหนึ่งทำให้ด้านนั้นมีขั้วไฟฟ้าลบมากขึ้นกว่าปกติอีกด้านก็จะแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าบวกหรือกล่าวได้ว่าทำให้โมเลกุลนั้นกลายเป็นโมเลกุลมีขั้วชั่วคราวขั้วของโมเลกุลที่เกิดขึ้นนี้จะไปเหนี่ยวนำโมเลกุลข้างเคียงถ้าโมเลกุลมีขั้วหนึ่ง ขั้วบวกไปทางโมเลกุลใดก็จะเหนี่ยวนำให้โมเลกุลนั้นเกิดขั้วลบขึ้นทางด้านที่ติดกัน โดยวิธีนี้โมเลกุลจะเกิดการเหนี่ยวนำต่อไปจนเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (induced dipole-induced dipole attraction) ซึ่งแรงแวนเดอร์วาลส์ประเภทนี้ จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามมวลโมเลกุลโดยโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจำนวนอิเล็กตรอนย่อมเพิ่มขึ้นด้วยแรงดึงดูดระหว่างขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจึงมีความแข็งแรงมากขึ้นตามไปด้วย

(2) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้วกรณีเช่นนี้ เกิดจากโมเลกุลมีขั้วเข้าใกล้โมเลกุลไม่มีขั้วจะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้โมเลกุลที่ถูกเหนี่ยวนำ กลายเป็นโมเลกุลมีขั้วตามไปด้วยจึงเกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วกับขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (dipole-induced dipole attraction)

(3) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้วด้านหนึ่งของโมเลกุลจะ แสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าบวกและอีกด้านหนึ่งแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าลบขั้วไฟฟ้าบวกกับขั้วไฟฟ้าลบจะ ดึงดูดกัน(dipole-dipole attraction)เช่น ในกรณีที่มีโมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจนกับ อะตอมของธาตุอื่นที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงทำให้เกิดพันธะสภาพมีขั้วสูงโดยด้านไฮโดรเจน อะตอมมีสภาพขั้วบวกจึงเกิดแรงดึงดูดกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของอะตอมที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตี สูงในโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในลักษณะเช่นนี้เรียกว่าพันธะไฮโดรเจน

2.3.3.2 แรงยึดเหนี่ยวทางเคมีคือการสร้างพันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับซึ่งอาจเป็นพันธะไอออนิก (แรงดึงดูดระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบ) หรือพันธะโควาเลนต์ การใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน โดยเกิดสมดุคทั้งแรงคูค (อิเล็กตรอนกับโปรตอน) และแรงผลึก (อิเล็กตรอนกับอิเล็กตรอนและโปรตอนกับโปรตอน) การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวถูกดูดซับและ

ตัวดูดซับมีผลทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ขึ้นและการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayered) ทำให้ไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible process) จึงไม่เกิดการคายซ้ำ

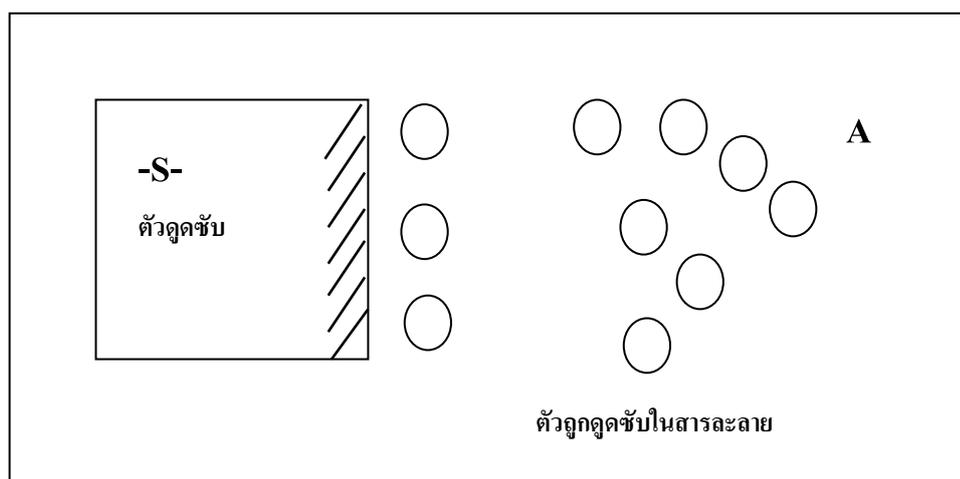
2.3.4 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล

อัตราการดูดซับมีความสำคัญมากอัตราการดูดซับที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วอัตราการดูดซับจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีการต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุลซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดจะเป็นขั้นตอนกำหนดอัตราการดูดซับขั้นตอนในการดูดซับแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนย่อยดังนี้

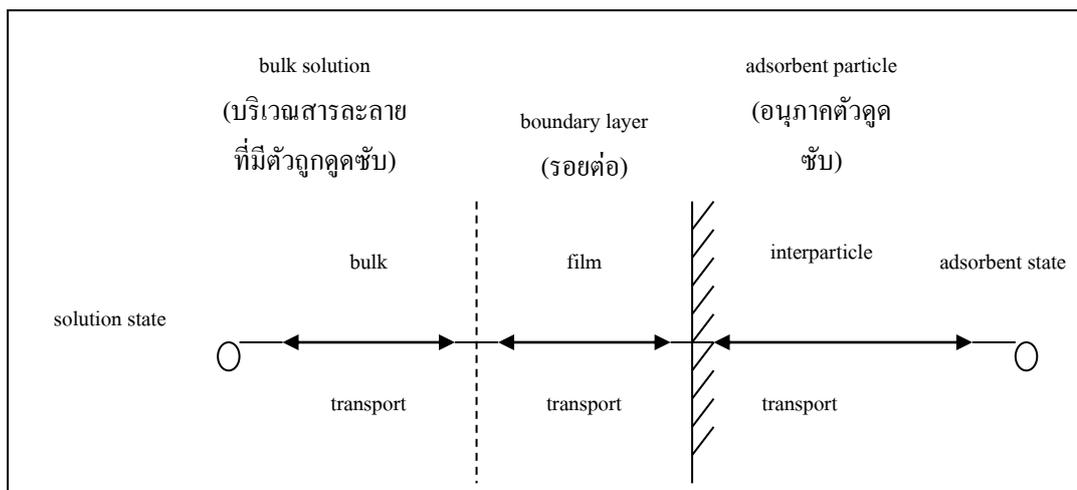
2.3.4.1 การขนส่งอนุภาค (bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของของเหลวบางๆหรือผิวสัมผัสน้ำที่ห่อหุ้มตัวดูดซับ

2.3.4.2 การขนส่งชั้นฟิล์ม (film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆแทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับการขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ตัวถูกดูดซับแพร่ผ่านฟิล์มน้ำไปยังผิวของตัวดูดซับจัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนหนึ่ง

2.3.4.3 การขนส่งภายในอนุภาค (interparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายในขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2-3 การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ



รูปที่ 2-4 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ ไปยังตัวดูดซับ

เมื่อเติมตัวดูดซับปริมาณหนึ่งลงไป ในสารละลายที่มีโมเลกุลตัวถูกดูดซับเข้มข้นตอนต้น C_0 ในช่วงเริ่มต้นโมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับเมื่อระยะเวลาผ่านไปจะมีจำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกันโมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนที่เกาะติดกับพื้นผิวจะคายซับออกมาพบว่าอัตราการคายซับจะเกิดน้อยกว่าอัตราการดูดซับเมื่อปล่อยให้กระบวนการดูดซับดำเนินไปจนกระทั่งอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายซับ ระบบเข้าสู่สมดุลสถานะสมดุลของการดูดซับจะได้ว่าจำนวนโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและจำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่คายซับออกมามีปริมาณคงที่

ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิว = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่หลุดออกมา
ของตัวดูดซับ จากตัวดูดซับ

$$qW = V(C_0 - C)$$

เมื่อ q เป็นปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ (หน่วยเป็นปริมาณตัวถูกดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ)

W เป็นมวลของตัวดูดซับที่ใช้ (หน่วยเป็นน้ำหนักเช่น kg)

V เป็นปริมาตรของสารละลายที่มีตัวถูกดูดซับละลายอยู่ (หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรหรือลิตร)

C_0 เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับก่อนการดูดซับที่อยู่ในสารละลาย (หน่วยเป็นความเข้มข้น)

C เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย (หน่วยเป็นความเข้มข้น)

2.3.5 สารที่มีความสามารถในการดูดซับแบ่งออกเป็น 5 ประเภทดังนี้

(1) ประเภทสารอนินทรีย์เช่นดินเหนียวชนิดต่างๆแมกนีเซียมออกไซด์ และแอกติเวเตดซีลิกา (zeolite) สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัมแต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมากอย่างไรก็ตามมีข้อเสียคือจับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิดทำให้การใช้ประโยชน์จากตัวดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีดจำกัดมาก

(2) ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่ใช้อย่างแพร่หลายมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 500 - 1,400 ตารางเมตรต่อกรัมเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพและมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในด้านต่างๆเช่นฟอกสีใช้ในการดูดซับกลิ่นและรสใช้ในการดูดซับตะกอนในโรงงานเบียร์ เป็นต้น

(3) ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ได้แก่สารแลกเปลี่ยนไอออน (resin) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อดูดซับสารอินทรีย์ต่างๆสารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

(4) วัสดุชีวภาพ (biomaterials) ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น จีแลตตินไคโตซาน(chitosan) กากแฟที่ใช้แล้วชาและชาเขียวที่ใช้แล้วฟางข้าว (rice straw) เปลือกไม้ (bark) เถ้าแกลบค้ำ เป็นต้น

(5) สารดูดซับชีวภาพ (biosorbent) ได้แก่เซลล์ของสิ่งมีชีวิตในกลุ่ม จุลินทรีย์ เช่น เซลล์ของแบคทีเรียยีสต์หรือราสายพันธุ์ต่างๆและสาหร่าย

2.4 น้ำบาดาล

น้ำบาดาล หมายถึง ส่วนของน้ำใต้ผิวดินที่อยู่ในเขตอ้อมน้ำ รวมถึงธารน้ำใต้ดิน โดยทั่วไปหมายถึง น้ำใต้ผิวดินทั้งหมด ยกเว้นน้ำภายในโลก ซึ่งเป็นน้ำอยู่ใต้ระดับเขตอ้อมน้ำ (พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา, 2530)

ในทางกฎหมายน้ำบาดาล ตามพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ.2520 กำหนดไว้ว่า **น้ำบาดาล** หมายความว่า น้ำใต้ดินที่เกิดอยู่ในชั้นดิน กรวด ททราย หรือหิน ที่อยู่ลึกจากผิวดินเกินความลึกที่รัฐมนตรีกำหนด โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา แต่จะกำหนดความลึก น้อยกว่า 10 เมตร มิได้

น้ำบาดาล เกิดจากน้ำฝนที่ตกลงมาแล้วซึมลงสู่ใต้ผิวดินถูกกักเก็บอยู่ในช่องว่างภายในชั้นดิน ชั้นหิน ผ่านการกรองตามธรรมชาติ จึงเป็นน้ำที่สะอาด สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ การไหลของน้ำบาดาลจะแผ่กระจายไปได้พื้นดินทั่วทุกพื้นที่อย่างกว้างขวาง แตกต่างจากน้ำผิวดิน ที่ไหลไปได้เฉพาะส่วนที่เป็นแม่น้ำ ห้วย หนอง คลอง บึง เท่านั้น

2.4.1 การเกิดของน้ำบาดาล

บนพื้นผิวโลกของเรานั้นมีลักษณะภูมิประเทศที่หลากหลาย ตั้งแต่เป็นภูเขาสูง หุบเขา ที่ราบระหว่างภูเขา ทะเลทราย ที่ราบสูง ที่ราบลุ่มน้ำ ที่ราบชายฝั่งทะเล ไปจนถึงพื้นที่เกาะ สภาพการดำเนินชีวิตและกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ในแต่ละพื้นที่ก็ล้วนแตกต่างกันออกไป แต่สิ่งที่มีเหมือนกันก็คือต้องพึ่งพาอาศัยน้ำในการดำรงชีวิต

โลกของเรานั้นมีน้ำถึง 2 ใน 3 ประกอบไปด้วย "น้ำฟ้า หรือ น้ำในบรรยากาศ (Atmospheric water) ที่อยู่ในรูปของ ไอน้ำ เมฆ หมอก เมื่อกลั่นตัว ก็จะตกลงมาสู่พื้นดินในรูปของ น้ำฝนหรือหิมะ กลายเป็น "น้ำผิวดิน (Surface water)" อันได้แก่ แม่น้ำ ลำธาร ห้วย หนอง คลอง บึง ทะเล และมหาสมุทร น้ำบางส่วนจะซึมลงสู่ใต้ดิน และถูกกักเก็บไว้ใน ชั้นดิน ชั้นหิน เป็น "น้ำใต้ดิน (Subsurface water หรือ น้ำบาดาล (Groundwater)" ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่มองไม่เห็น (Invisible resource) แต่สามารถพัฒนาขึ้นมาใช้ได้เป็นอย่างดีเป็นรูปธรรม ความสัมพันธ์ของน้ำทั้ง 3 ชนิดนี้ เรียกว่า "วัฏจักรของน้ำ (Hydrologic cycle)"

ต่อจากนั้นน้ำส่วนที่เหลือจะไหลซึมลึกลงไปจนถึงชั้นดิน ชั้นหินอิ่มตัวด้วยน้ำ (zone of saturation) โดยน้ำจะถูกกักเก็บไว้ตามรูพรุน ในช่องว่างระหว่างเม็ดตะกอน หรือตามรอยแตก รอยแยกในหิน จนกระทั่งตะกอน หรือหิน ดังกล่าวมีน้ำแทรกอยู่เต็มไปหมด ซึ่งน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในชั้นนี้แหละครับที่เราเรียกว่า "น้ำบาดาล (Groundwater)" และผิวบนสุดของบริเวณที่อิ่มตัวด้วยน้ำนี้เรียกว่า ระดับน้ำบาดาล (water table)

ปริมาณแหล่งน้ำบาดาลของประเทศไทย พบว่า น้ำบาดาลมีมากกว่าน้ำจืดประเภทอื่นถึง 24 เท่า (1.1 ล้านล้านลูกบาศก์เมตร) และมีการเพิ่มเติมของน้ำฝนลงไปชั้นน้ำทุกปี น้ำบาดาลอยู่ลึกลงไปได้ผิวดิน มีจำนวนหลายชั้นในที่มีความลึกตั้งแต่ 15 เมตร ถึง มากกว่า 1,000 เมตร ปัจจุบันนี้พัฒนา ถึงความลึกระดับ 600 เมตร สามารถเจาะพัฒนาขึ้นมาใช้ได้ในทุกพื้นที่ เป็นแหล่งน้ำที่มั่นใจได้ว่าสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ตลอดไป (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2557)

ตารางที่ 2-1 มาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้

รายการ	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
คุณลักษณะทางกายภาพ		
สี (Color)	5 (หน่วยเพลทินัม-โคบอลต์)	15 (หน่วยเพลทินัม-โคบอลต์)
ความขุ่น (Turbidity)	5 NTU	20 NTU
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.0-8.5	6.5-9.2

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

รายการ	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
คุณลักษณะทางเคมี		
เหล็ก (Fe)	ไม่เกิน 0.5 มก./ล.	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.
แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 0.3 มก./ล.	ไม่เกิน 0.5 มก./ล.
ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	ไม่เกิน 1.5 มก./ล.
สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	ไม่เกิน 15 มก./ล.
ซัลเฟต (SO ₄)	ไม่เกิน 200 มก./ล.	ไม่เกิน 250 มก./ล.
คลอไรด์ (Cl)	ไม่เกิน 250 มก./ล.	ไม่เกิน 600 มก./ล.
ฟลูออไรด์ (F)	ไม่เกิน 0.7 มก./ล.	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.
ไนเตรท (NO ₃)	ไม่เกิน 45 มก./ล.	ไม่เกิน 45 มก./ล.
ความกระด้างทั้งหมด (Total hardness as CaCO ₃)	ไม่เกิน 300 มก./ล.	ไม่เกิน 500 มก./ล.
ปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS)	ไม่เกิน 600 มก./ล.	ไม่เกิน 1,200 มก./ล.
คุณลักษณะที่เป็นพิษ		
สารหนู (As)	ต้องไม่มี	0.05 มก./ล.
ไซยาไนด์ (CN)	ต้องไม่มี	0.1 มก./ล.
ตะกั่ว (Pb)	ต้องไม่มี	0.05 มก./ล.
ปรอท (Hg)	ต้องไม่มี	0.001 มก./ล.
แคดเมียม (Cd)	ต้องไม่มี	0.01 มก./ล.
ซีลีเนียม (Se)	ต้องไม่มี	0.01 มก./ล.
คุณลักษณะทางแบคทีเรีย/แบคทีเรีย		
Standard plate count	ไม่เกิน 500 โคโลนีต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	
Most probable number of Coliform organism (MPN)	น้อยกว่า 2.2 ต่อร้อยลูกบาศก์เซนติเมตร	
E.coli	ต้องไม่มี	

(กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2557)

2.5 ความกระด้าง (Total Hardness)

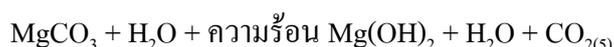
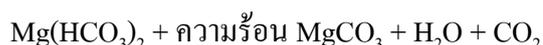
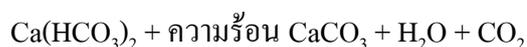
ความกระด้าง (Total hardness) ความกระด้างคือน้ำที่มีเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียม ละลายอยู่ ส่วนใหญ่เป็นโลหะที่มีประจุบวกสอง เมื่อประจุบวกจับตัวกับอออนประจุลบบางชนิด เช่น คาร์บอเนต ซัลเฟต หรือคลอไรด์ ก็จะเกิดเป็นความกระด้างขึ้น หน่วยของความกระด้างนิยมนำเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ถ้าจะจัดลำดับความกระด้างของน้ำสามารถทำได้ดังนี้

- 0-50 ppm สภาพเป็นน้ำอ่อน
- 50-100 ppm ค่อนข้างอ่อน
- 100-150 ppm กระด้างเล็กน้อย
- 150-250 ppm ค่อนข้างกระด้าง
- 250-350 ppm กระด้าง
- มากกว่า 350 ppm กระด้างมาก

สาเหตุของความกระด้างของน้ำ เกิดจากเมื่อฝนตกผ่านชั้นบรรยากาศ ซึ่งมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ ก็จะละลายเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนหนึ่งไว้ในน้ำ และเมื่อไหลผ่านชั้นดินซึ่งมีการสลายตัวของพืชสีเขียวที่เกิดจากแบคทีเรีย ก็จะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาเช่นกัน เมื่อก๊าซนี้ละลายในน้ำก็จะกลายเป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ซึ่งเป็นกรดอ่อนสลายตัวได้ง่าย และมีคุณสมบัติที่สามารถละลายหินปูน (CaCO_3) และแมกนีเซียมคาร์บอเนตได้ เกิดเป็นแคลเซียมไบคาร์บอเนต และแมกนีเซียมไบคาร์บอเนต พวกไบคาร์บอเนต (HCO_3) เหล่านี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความกระด้าง เพราะสารพวกนี้ละลายน้ำได้ง่าย

ความกระด้างที่มีอยู่ในน้ำทุกประเภท รวมเรียกว่า ความกระด้างทั้งหมด (Total hardness) ซึ่งจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

ก. ความกระด้างชั่วคราว (carbonate hardness) เกิดจากเกลือไบคาร์บอเนต ของแคลเซียมและแมกนีเซียม สามารถแก้ไขได้โดยการต้ม โดยจะเกิดปฏิกิริยาเคมีดังนี้



จะเห็นว่าปฏิกิริยาการสลายตัวจะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และหินปูน ซึ่งไม่ละลายน้ำ จะตกตะกอนเป็นตะกอน เกาะจับตามหม้อน้ำ ความกระด้างในน้ำก็จะหายไป

ข. ความกระด้างถาวร (non-carbonate hardness) คือน้ำที่มีความกระด้างอยู่ในรูปเกลือคลอไรด์ ซัลเฟต และไนเตรต ของแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งจะไม่สลายตัวเมื่อถูกความร้อน ไม่เกิดตะกักรินง่าย

ความกระด้างชั่วคราว (carbonate hardness) เกิดจากเกลือ ไบคาร์บอเนต ของแคลเซียมและแมกนีเซียม สามารถแก้ไขได้โดยการต้ม โดยจะเกิดปฏิกิริยาเคมีดังนี้



จะเห็นว่าปฏิกิริยาการสลายตัวจะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และหินปูน ซึ่งไม่ละลายน้ำ จะตกตะกอนเป็นตะกักริน เกาะจับตามหม้อน้ำ ความกระด้างในน้ำก็จะหายไป (นิพนธ์, 2550)

ปัญหาของน้ำที่มีค่าความกระด้าง ในด้านสุขภาพอนามัยของผู้ดื่มน้ำ มีเหตุผลทำให้น้ำเชื่อว่าการดื่มน้ำที่มีความกระด้างถาวรมากๆ อาจจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคนิ่วได้ นอกจากนี้ น้ำกระด้างจะทำให้เปลือกสบู่ในการซักล้าง เกิดปัญหาคราบตะกักรินสีขาวบนพื้นผิวสุขภัณฑ์ต่างๆ หรือเกิดการอุดตันของตะกักรินในเส้นท่อจ่ายน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้หม้อไอน้ำ (Boiler) ความกระด้างจะทำให้เกิดตะกักรินในหม้อไอน้ำอีกด้วย (ปราโมช, 2552)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รัชฎาพร และกมณชนก (2555) ทำการศึกษาเรื่อง การวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและการอุปโภค ในเขตตำบลหนองบัวศาลาและตำบลหนองระเวียง จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงพื้นผิวทางเคมี มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักและปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงพื้นผิวทางเคมี โดยทำการปรับปรุงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยกรดไนตริก และทำการวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีในน้ำบาดาลในฤดูร้อนและฤดูฝน โดยทำการวิเคราะห์ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยถ่านกัมมันต์ ผลการวิเคราะห์พบว่า น้ำบาดาลในฤดูร้อนของทั้ง 2 ตำบล มีปริมาณ เหล็กเกินค่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับอุปโภค และเมื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลโดยใช้ถ่านกัมมันต์ จะทำให้มีปริมาณ Fe ลดลงและมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำบาดาล และนอกจากนี้ยังพบว่าน้ำบาดาลที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงพื้นผิวทางเคมีแล้ว มีปริมาณ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีเฉลี่ยไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมและหม้อไอน้ำ

อรวรรณ และคณะ (2545) ทำการศึกษาการดูดซับไอออนเหล็กในสารละลายน้ำมันถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิห้อง ทำโดยใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี การเตรียมถ่านกัมมันต์จาก ชานอ้อย เปลือกลูกยาง และกะลามะพร้าว ด้วยวิธีคาร์บอนไนเซชันแล้วกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ การดูดซับไอออนเหล็กบนถ่านกัมมันต์เหล่านี้ มีพฤติกรรมแบบแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม ซึ่งอธิบายว่า ไอออนเหล็กปกคลุมจนเต็มพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์แบบชั้นเดียว ปริมาณไอออนเหล็กที่ถูกดูดซับสูงสุดบนถ่านกัมมันต์เหล่านี้ มีค่าเท่ากับ 0.66 mmol/g, 0.41 mmol/g และ 0.18 mmol/g สำหรับ ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย เปลือกลูกยาง และกะลามะพร้าว ตามลำดับ จากการศึกษาการดูดซับที่ขึ้นกับอุณหภูมิ พบว่า เป็นกระบวนการคายความร้อนที่มีค่าความร้อนของการดูดซับ เท่ากับ -8.9 kJ/mol , -9.7 kJ/mol และ -5.7 kJ/mol สำหรับถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย เปลือกลูกยาง และกะลามะพร้าว ตามลำดับ

อาภรณ์ (2544) ทำการศึกษาเรื่อง การกำจัดไอออนจากน้ำบาดาลโดยใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า และสนามไฟฟ้าสถิต เป็นการศึกษาการกำจัดไอออนจากน้ำบาดาลโดยใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า และสนามไฟฟ้าสถิต โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดไอออนในน้ำบาดาล เช่น ความเข้มข้นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า, ปริมาณความเข้มข้นของไอออนในน้ำ และอุณหภูมิที่เหมาะสม และศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องมือเปรียบเทียบกับระหว่าง การใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า, การใช้สนามไฟฟ้าสถิต และการใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน โดยทำ การทดลองภายใต้สภาวะใกล้เคียงกับสภาวะจริง พบว่า ที่ความเข้มข้นสนามแม่เหล็ก 0.2T แรงดันไฟฟ้า 40 โวลต์ และที่อัตราการไหล 0.23 ลิตรต่อวินาที จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนในน้ำมากที่สุด และพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนในน้ำแปรผันตามความเข้มข้นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ซึ่งที่ความเข้มข้นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้านี้ พบว่า น้ำที่มีปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนและอุณหภูมิสูง (เฉลี่ย 64 องศาเซลเซียส) จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนในน้ำมากกว่าน้ำที่มีปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนและอุณหภูมิต่ำ โดยจากการทดลองสามารถกำจัดไอออนของแคลเซียม, แมกนีเซียม, เหล็ก และแมงกานีส ได้เฉลี่ย 43%, 56%, 73% และ 85% ตามลำดับ การใช้วิธี 3 ขั้นตอน พบว่า วิธีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถกำจัดไอออนรวมได้มากที่สุด โดยกำจัดไอออนแคลเซียมได้ 60% และกำจัดไอออนเหล็กได้ 98% รองลงมาคือ วิธีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับสนามไฟฟ้าสถิต และสุดท้ายคือ วิธีสนามไฟฟ้าสถิต ซึ่งโดยเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมและเหล็ก ไม่เกินมาตรฐานน้ำประปาของการประปานครหลวง

ประจวบ (2536) ทำการศึกษาเรื่อง การบำบัดน้ำบาดาลที่มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตสูง บริเวณหมู่ที่ 5 ตำบลหนองหญ้า อำเภอมือง จังหวัดกาญจนบุรี พบว่า เป็นน้ำบาดาลที่มีค่าความกระด้างสูงมาก (>450 mg/l as CaCO_3) ชนิดน้ำกระด้างชั่วคราว ภายหลังจากการนำน้ำบาดาลนี้ ขึ้นมาใช้เกิดปัญหาการก่อตัวของก้อนตะกอนหินปูนในท่อส่งน้ำ อาศัยหลักดัชนีการอิ่มตัว โดยใช้ ปูนขาว (Lime Softening) ในอัตราที่แตกต่างกัน 8 ระดับ คือ 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่าความกระด้างของน้ำลดลงเป็น 173.3, 154.3, 142.4, 134.7, 91.6, 107.4 และ 146.7 mg/l as CaCO_3 ตามลำดับ และอัตราที่เหมาะสมในการใช้ปูนขาวอยู่ในช่วง 450-600 มิลลิกรัมต่อลิตร

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือ/ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1.1 เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม

3.1.1.1 เตาเผา ที่สามารถเผาอุณหภูมิ 800 – 1,000 องศาเซลเซียส

3.1.1.2 ไม้ฝืนจากไม้เนื้อแข็ง ได้แก่ ไม้มะขาม ไม้สัก ไม้มะม่วง และไม้สะเดา

3.1.1.3 พัดลมแรงความแรงไฟ

3.1.1.4 เมล็ดมะขาม

3.1.2 อุปกรณ์และสารเคมีในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

3.1.2.1 อุปกรณ์

(1) ขวดรูปชมพู่ ขนาด 50 มิลลิลิตร

(2) ปิเปต ขนาด 5 มิลลิลิตร

(3) บิวเรต พร้อมขาตั้ง

(4) เครื่องชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.1.2.2 สารเคมี

(1) สารละลายบัฟเฟอร์ Ammonia-Ammonia Chloride

(2) สารละลายอินดิเคเตอร์ Eriochrome Black T

(3) สารละลายมาตรฐาน EDTA 0.025 M

3.2 การเตรียมการทดลอง

การผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม เพื่อใช้สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดค่าความกระด้างในน้ำบาดาล ดังนี้

(1) เลือกใช้เมล็ดมะขามที่มีความสมบูรณ์ สะอาด และไม่ผุ

(2) นำเมล็ดมะขามที่ได้ ไปล้างน้ำทำความสะอาด และคัดเลือกเมล็ดที่ฝ่อ หรือลอยน้ำออก

(3) นำเมล็ดมะขามที่คัดเลือกไปตากแดดให้แห้ง ร้อนด้วยตะแกรง เพื่อกำจัดเศษสกปรกที่

อาจติดค้างอยู่ที่เมล็ด

(4) นำเมล็ดมะขามไปอบให้แห้ง เพื่อไล่ความชื้นออก ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำเข้าเตาเผา โดยทำการเผาที่อุณหภูมิ 650 – 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

(5) นำถ่านกัมมันต์ไปบดให้ละเอียด และนำมาร่อนผ่านตะแกรงกรองขนาด 4 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ

เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขามไปตรวจสอบไอโอดีนนัมเบอร์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขามที่ได้มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูง เหมาะสมในการนำไปดูดซับสารเจือปนในน้ำ

3.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขาม โดยการตรวจวัดคุณภาพน้ำ เปรียบเทียบก่อน/ หลัง การบำบัดในอัตราส่วน และระยะเวลาที่แตกต่างกัน ดังนี้

3.3.1 ขนาดของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ทดสอบ แบ่งเป็น 2 ขนาด คือ

- (1) ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร
- (2) คงสภาพขนาดเดิม (เมล็ดมะขามปกติ)

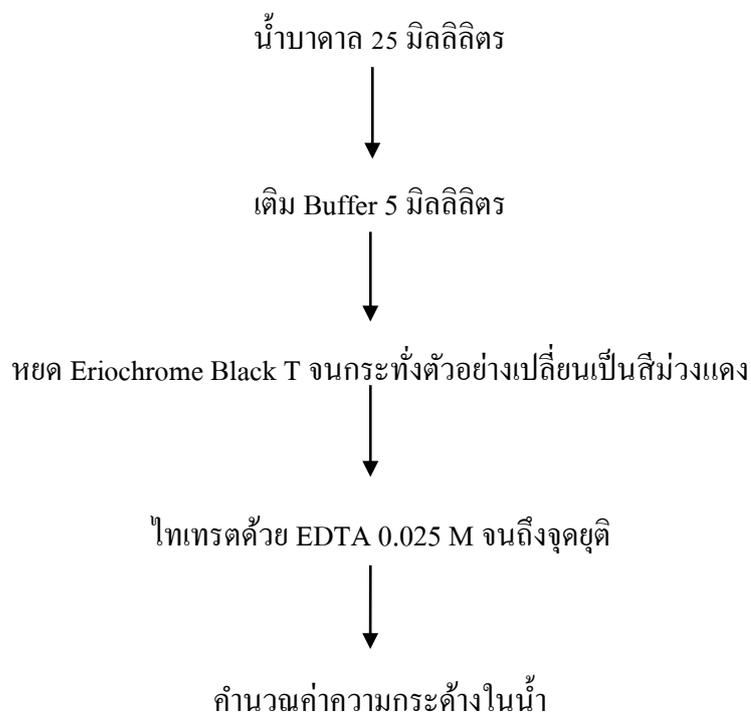
3.3.2 อัตราส่วนที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดค่าความกระด้าง คือ อัตราส่วนถ่าน กัมมันต์ (กรัม) ต่อ น้ำบาดาล (มิลลิลิตร) เท่ากับ 1:100, 2:100 และ 3:100

3.3.3 น้ำบาดาลที่ทำการศึกษา เลือกศึกษาในเขตพื้นที่ ตำบลชอนไพร อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยเก็บน้ำทั้งหมด 3 จุด ได้แก่ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพร วัดพ่อขุนผาเมือง และตัวแทนครัวเรือนในชุมชน

3.3.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด ได้แก่ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที ตามลำดับ

3.3.5 ความเร็วรอบในการสัมผัส คือ 100 รอบต่อนาที (rpm.)

วิธีวิเคราะห์ค่าความกระด้าง



สมการคำนวณหาค่าความกระด้าง

$$\text{ความกระด้างทั้งหมดของน้ำ} = \frac{\text{ปริมาณ CaCO}_3 \text{ (mg)} \times 1,000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (ml)}}$$

$$\text{ปริมาณ CaCO}_3 \text{ (mg)} = \text{จำนวนมิลลิโมล CaCO}_3 \times \text{น้ำหนักโมเลกุล CaCO}_3 \text{ (mg/mM)}$$

$$\text{จำนวนมิลลิโมล CaCO}_3 = \text{จำนวนมิลลิโมล EDTA}$$

$$= \text{ปริมาตร EDTA (ml)} \times \text{ความเข้มข้น EDTA (nM/ml)}$$

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลอง

ทำการตรวจวิเคราะห์ตามวิธีการและขั้นตอนที่เตรียมไว้ และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ในการบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาดาลตัวอย่าง ดังสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \left[\frac{\text{ค่าความกระด้างก่อนการบำบัด} - \text{ค่าความกระด้างหลังการบำบัด}}{\text{ค่าความกระด้างก่อนการบำบัด}} \right] \times 100$$

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

4.1 การศึกษาขนาด อัตราส่วน และระยะเวลา ที่เหมาะสมในการบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาดาลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม

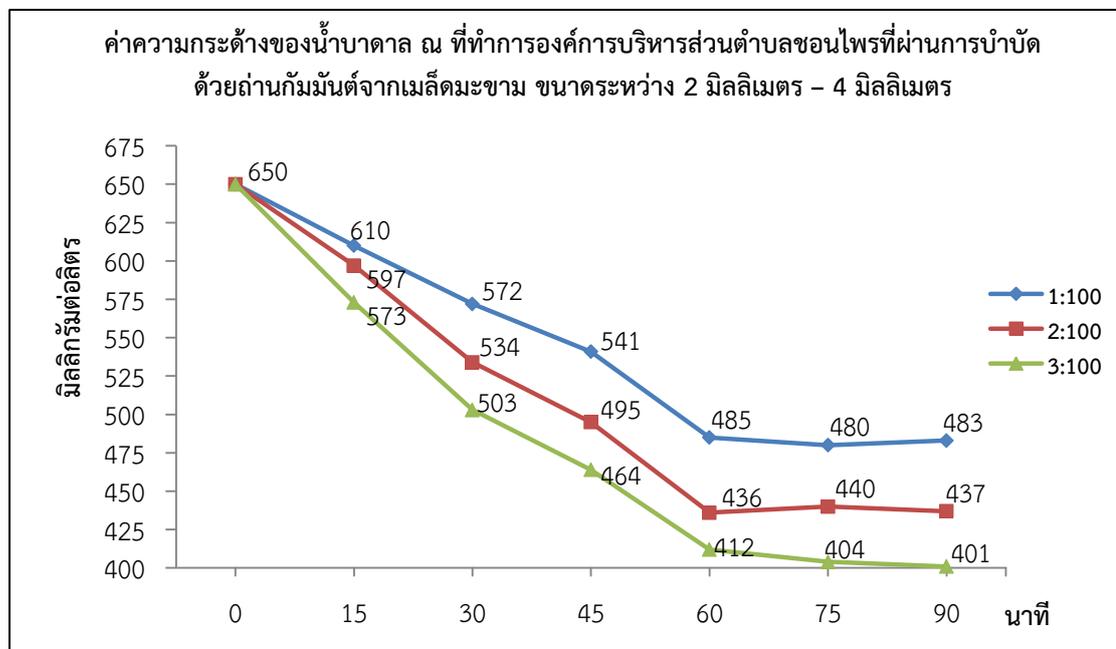
ตารางที่ 4-1 ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพรที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร

เวลา (นาท)	ค่าความกระด้าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	1:100	2:100	3:100
0	650	650	650
15	610	597	573
30	572	534	503
45	541	495	464
60	485	436	412
75	480	440	404
90	483	437	401

จากตารางที่ 4-1 พบว่า ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพร เริ่มต้นก่อนการบำบัด มีค่า เท่ากับ 650 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 1:100 หลังผ่านการบำบัดในนาทที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาท มีค่าเท่ากับ 610, 572, 541, 485, 480 และ 483 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 2:100 หลังผ่านการบำบัดในนาทที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาท มีค่าเท่ากับ 597, 534, 495, 436, 440 และ 437 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 หลังผ่านการบำบัดในนาทที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาท มีค่าเท่ากับ 573, 503, 464, 412, 404 และ 401 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ทั้งนี้ เห็นได้ว่า การบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาด ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพร ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขามขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วน

ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 สามารถบำบัดได้ดีกว่า อัตราส่วน 1:100 และ 2:100 ตามลำดับ โดยแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4-1



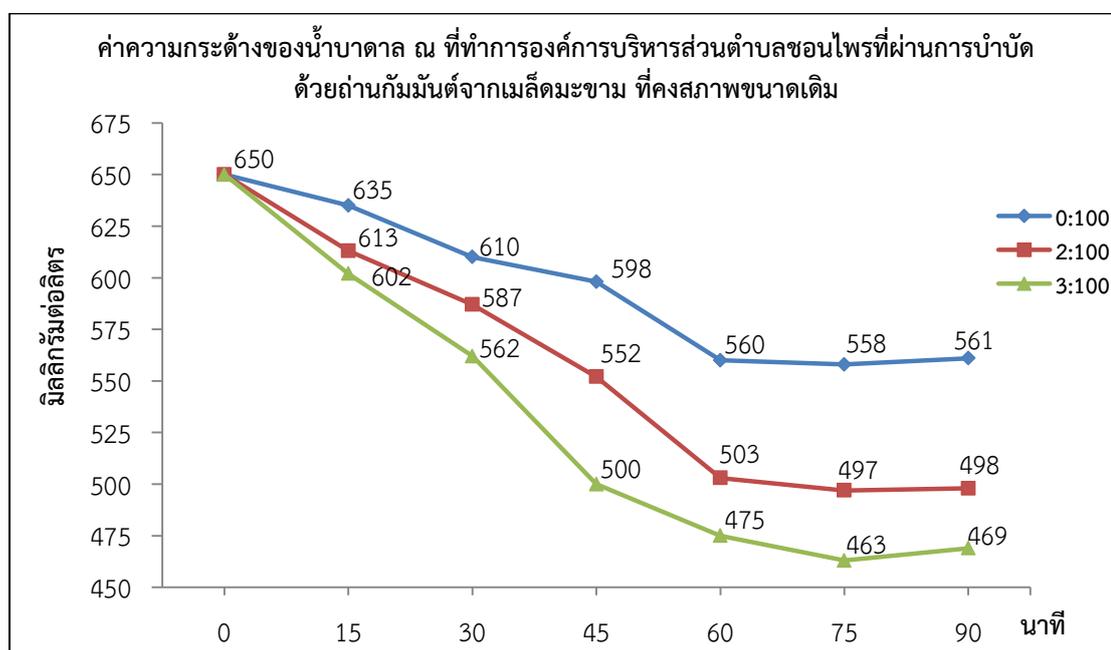
รูปที่ 4-1 ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชนไพรที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร - 4 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4-2 ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชนไพรที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม

เวลา (นาท)	ค่าความกระด้าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	1:100	2:100	3:100
0	650	650	650
15	635	613	602
30	610	587	562
45	598	552	500
60	560	503	475
75	558	497	463
90	561	498	469

จากตารางที่ 4-2 พบว่า ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบล ชอนไพร เริ่มต้นก่อนการบำบัด มีค่า เท่ากับ 650 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดด้วย ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 1:100 หลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 635, 610, 598, 560, 558 และ 561 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 2:100 หลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 613, 587, 552, 503, 497 และ 498 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 หลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 602, 562, 500, 475, 463 และ 469 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ทั้งนี้ เห็นได้ว่า การบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบล ชอนไพร ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 สามารถบำบัดได้ดีกว่า อัตราส่วน 1:100 และ 2:100 ตามลำดับ โดยแสดงให้เห็น ดังรูปที่ 4-2



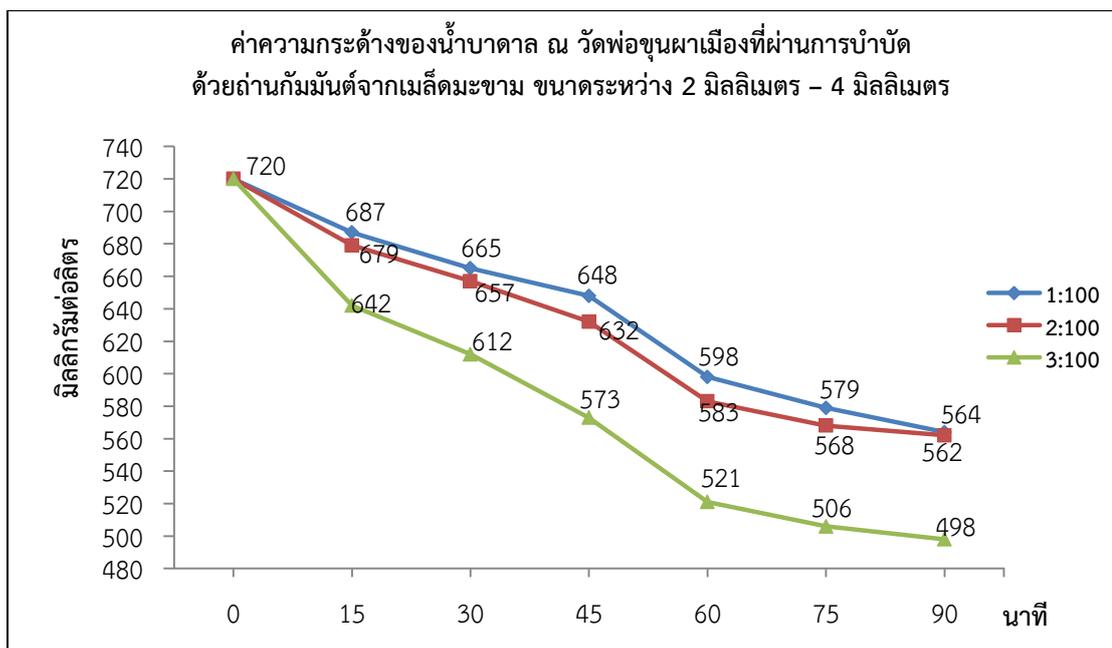
รูปที่ 4-2 ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพรที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม

ตารางที่ 4-3 ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อบุณผาเมือง ที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร

เวลา (นาทึ)	ค่าความกระด้าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	1:100	2:100	3:100
0	720	720	720
15	687	679	642
30	665	657	612
45	648	632	573
60	598	583	521
75	579	568	506
90	564	562	498

จากตารางที่ 4-3 พบว่า ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อบุณผาเมือง เริ่มต้นก่อนการบำบัด มีค่า เท่ากับ 720 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 1:100 หลังผ่านการบำบัดในนาทึที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาทึ มีค่าเท่ากับ 687, 665, 648, 598, 579 และ 564 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 2:100 หลังผ่านการบำบัดในนาทึที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาทึ มีค่าเท่ากับ 679, 657, 632, 583, 568 และ 562 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 หลังผ่านการบำบัดในนาทึที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาทึ มีค่าเท่ากับ 642, 612, 573, 521, 506 และ 498 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ทั้งนี้ เห็นได้ว่า การบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาด ณ วัดพ่อบุณผาเมือง ด้วยถ่านกัมมันต์ จากเมล็ดมะขามขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 สามารถบำบัดได้ดีกว่า อัตราส่วน 1:100 และ 2:100 ตามลำดับ โดยแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-3 ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อบุณผาเมืองที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร

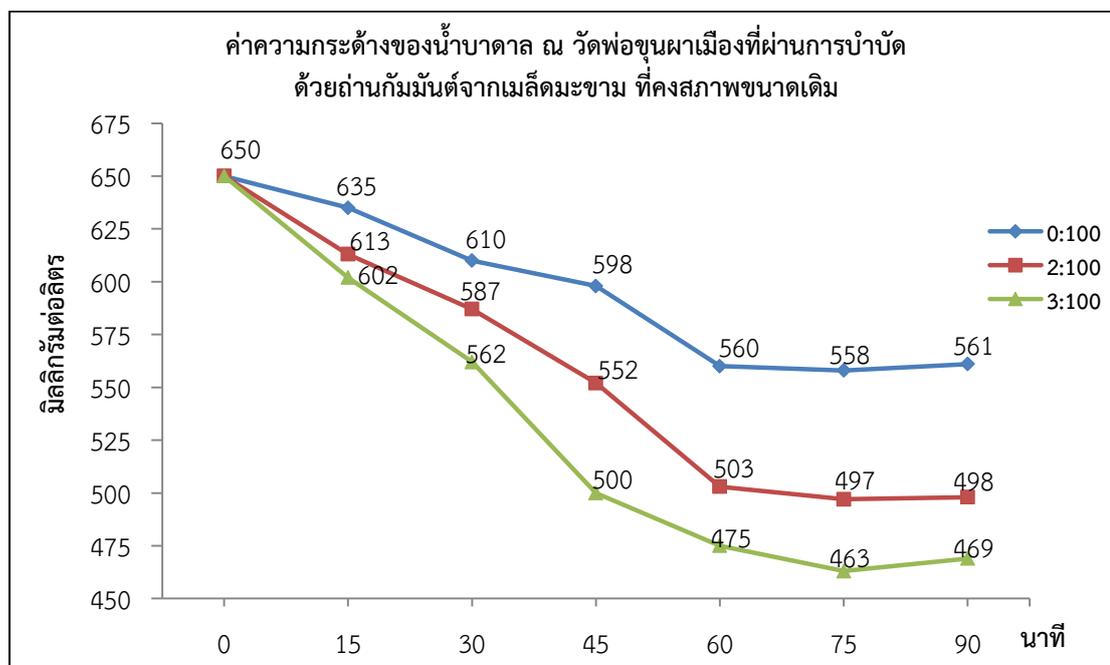
ตารางที่ 4-4 ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อบุณผาเมืองที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม

เวลา (นาที)	ค่าความกระด้าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	1:100	2:100	3:100
0	720	720	720
15	695	682	657
30	679	663	614
45	652	641	581
60	603	592	549
75	587	579	524
90	576	567	519

จากตารางที่ 4-4 พบว่า ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อบุณผาเมือง เริ่มต้นก่อนการบำบัด มีค่า เท่ากับ 720 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม

ที่คงสภาพขนาดเดิม ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 1:100 หลังผ่านการบำบัดในนาที่ ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 695, 679, 652, 603, 587 และ 576 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 2:100 หลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 682, 663, 641, 592, 579 และ 567 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 หลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 657, 614, 581, 549, 524 และ 519 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ทั้งนี้ เห็นได้ว่า การบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาด ณ วัดพ่อขุนผาเมือง ด้วยถ่านกัมมันต์ จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 สามารถ บำบัดได้ดีกว่า อัตราส่วน 1:100 และ 2:100 ตามลำดับ โดยแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4-4



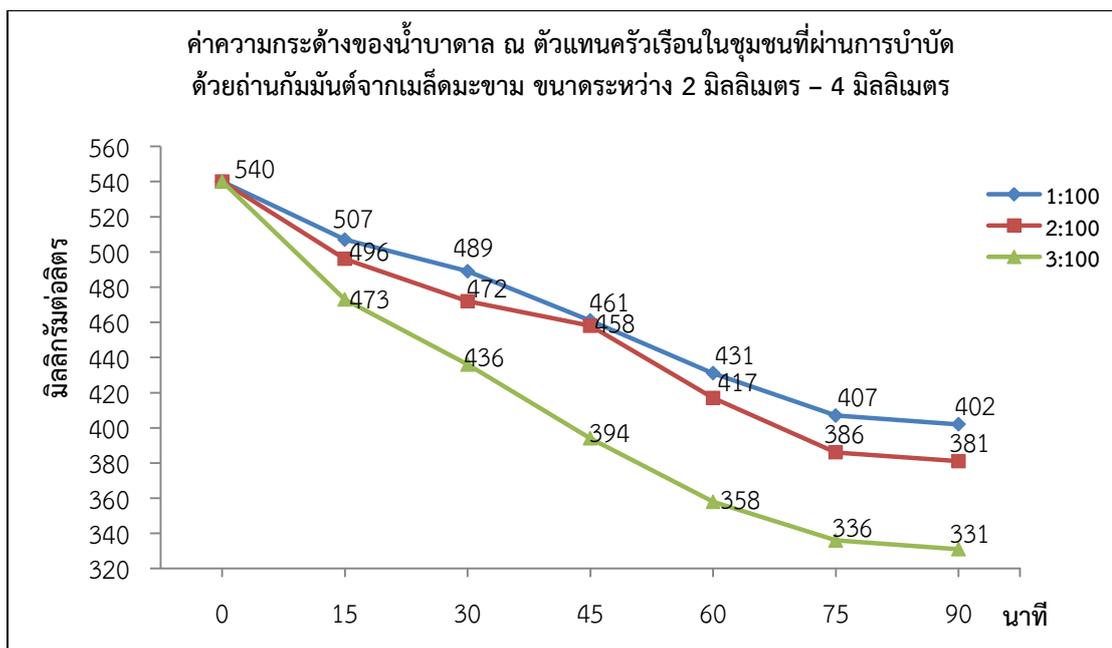
รูปที่ 4-4 ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อขุนผาเมืองที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จาก เมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม

ตารางที่ 4-5 ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชนที่ผ่านการบำบัดด้วย
ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	ค่าความกระด้าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	1:100	2:100	3:100
0	540	540	540
15	507	496	473
30	489	472	436
45	461	458	394
60	431	417	358
75	407	386	336
90	402	381	331

จากตารางที่ 4-5 พบว่า ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชน เริ่มต้นก่อนการบำบัด มีค่าเท่ากับ 540 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 1:100 หลังผ่านการบำบัดในเวลาที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 507, 489, 461, 431, 407 และ 402 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 2:100 หลังผ่านการบำบัดในเวลาที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 496, 472, 458, 417, 386 และ 381 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 หลังผ่านการบำบัดในเวลาที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 473, 436, 394, 358, 336 และ 331 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ทั้งนี้ เห็นได้ว่า การบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชน ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขามขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 สามารถบำบัดได้ดีกว่า อัตราส่วน 1:100 และ 2:100 ตามลำดับ โดยแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4-5



รูปที่ 4-5 ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชนที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร

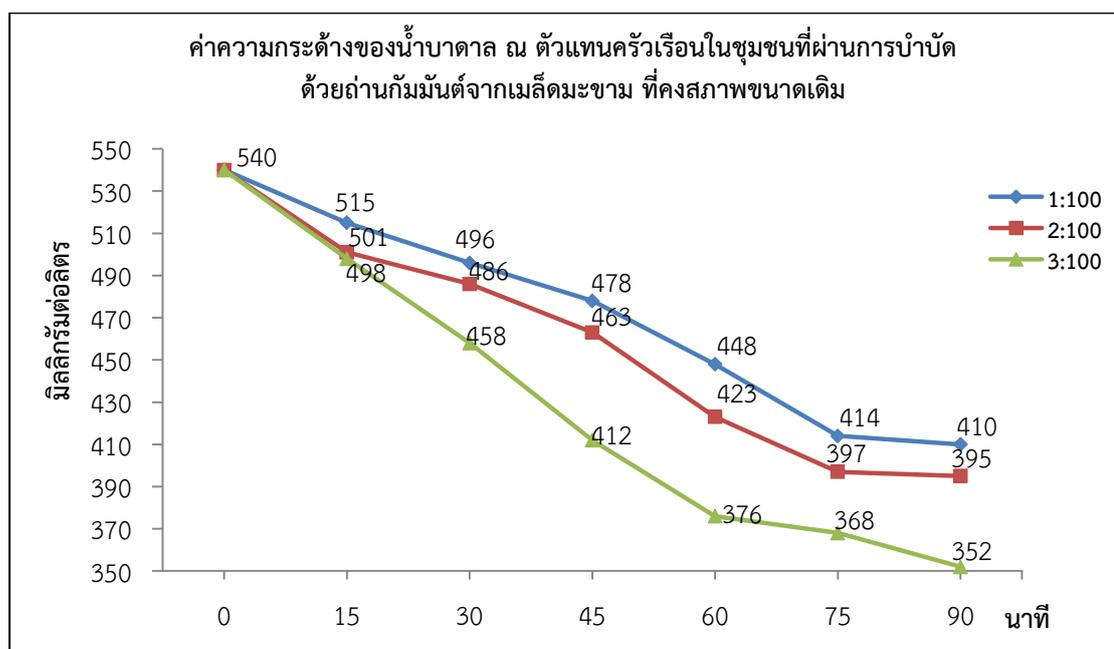
ตารางที่ 4-6 ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชนที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม

เวลา (นาที)	ค่าความกระด้าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	1:100	2:100	3:100
0	540	540	540
15	515	501	498
30	496	486	458
45	478	463	412
60	448	423	376
75	414	397	368
90	410	395	352

จากตารางที่ 4-6 พบว่า ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชน เริ่มต้นก่อนการบำบัด มีค่า เท่ากับ 540 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ด

มะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 1:100 หลังผ่านการบำบัด ในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 515, 496, 478, 448, 414 และ 410 มิลลิกรัมต่อ ลิตร ตามลำดับ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 2:100 หลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 501, 486, 463, 423, 397 และ 395 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 หลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 498, 458, 412, 376, 368 และ 352 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ทั้งนี้ เห็นได้ว่า การบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาด ๓ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชน ด้วย ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 สามารถบำบัดได้ดีกว่า อัตราส่วน 1:100 และ 2:100 ตามลำดับ โดยแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4-6



รูปที่ 4-6 ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ๓ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชนที่ผ่านการบำบัดด้วย ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม

จากตารางที่ 4-1 – 4-6 จะเห็นได้ว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขาม สามารถบำบัดค่า ความกระด้างในน้ำบาดาลจาก ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพร วัดพ้อขุนผาเมือง และ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชนได้ โดยพบว่า ค่าความกระด้างที่ตรวจวัด ได้มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด

ในช่วง 60 นาที แรก และอัตราการลดลงค่อยๆต่ำลง ในนาทีที่ 70 และก่อนข้างคงที่ ในนาทีที่ 90 โดยแสดงผลให้เห็นชัดเจนในรูปกราฟเส้น ดังรูปที่ 4-1 – 4-6 ตามลำดับ

ทั้งนี้ พบว่าผลการบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาดาลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขามที่มีขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร จะมีค่าลดลงมากกว่าการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดคงเดิม (คงสภาพเดิมของเมล็ดมะขาม)

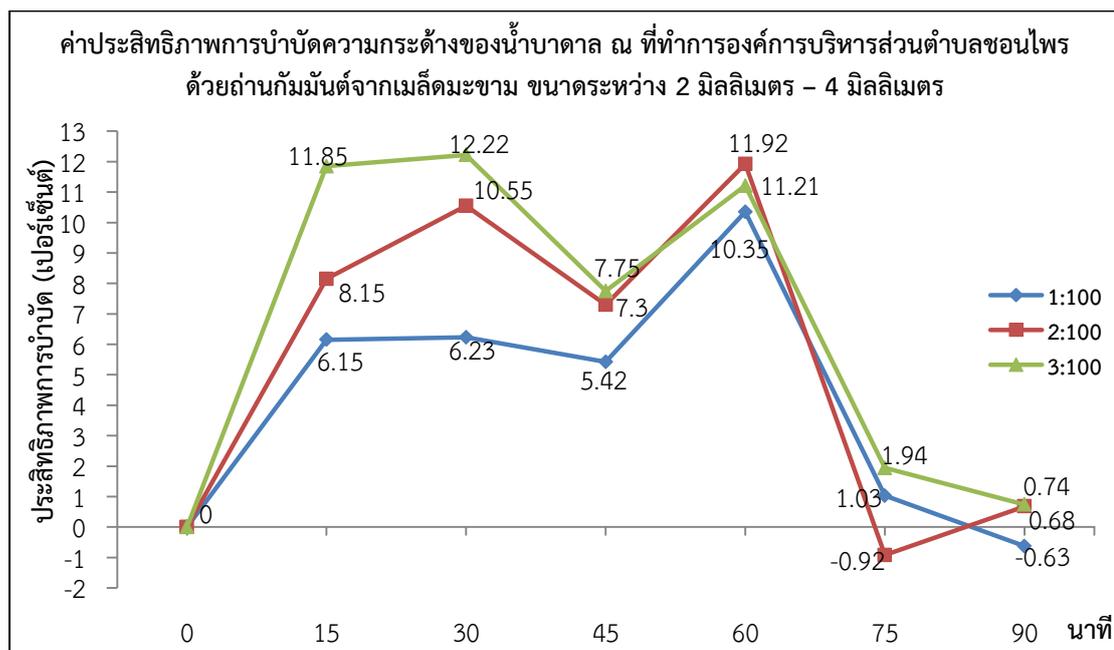
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาดาลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม

ตารางที่ 4-7 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพรด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)		
	1:100	2:100	3:100
0	0	0	0
15	6.15	8.15	11.85
30	6.23	10.55	12.22
45	5.42	7.30	7.75
60	10.35	11.92	11.21
75	1.03	-0.92	1.94
90	-0.63	0.68	0.74

จากตารางที่ 4-7 พบว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพรด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 1:100 หลังผ่านการบำบัดในนาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 6.15, 6.23, 5.42, 10.35, 1.03 และ -0.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 2:100 หลังผ่านการบำบัดในนาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 8.15, 10.55, 7.30, 11.92, -0.92 และ 0.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 หลังผ่านการบำบัดในนาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 11.85, 12.22, 7.75, 11.21, 1.94 และ 0.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ทั้งนี้ เห็นได้ว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพรด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 มีค่ามากกว่า อัตราส่วน 1:100 และ 2:100 ตามลำดับ โดยแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4-7



รูปที่ 4-7 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพรด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4-8 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพรด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม

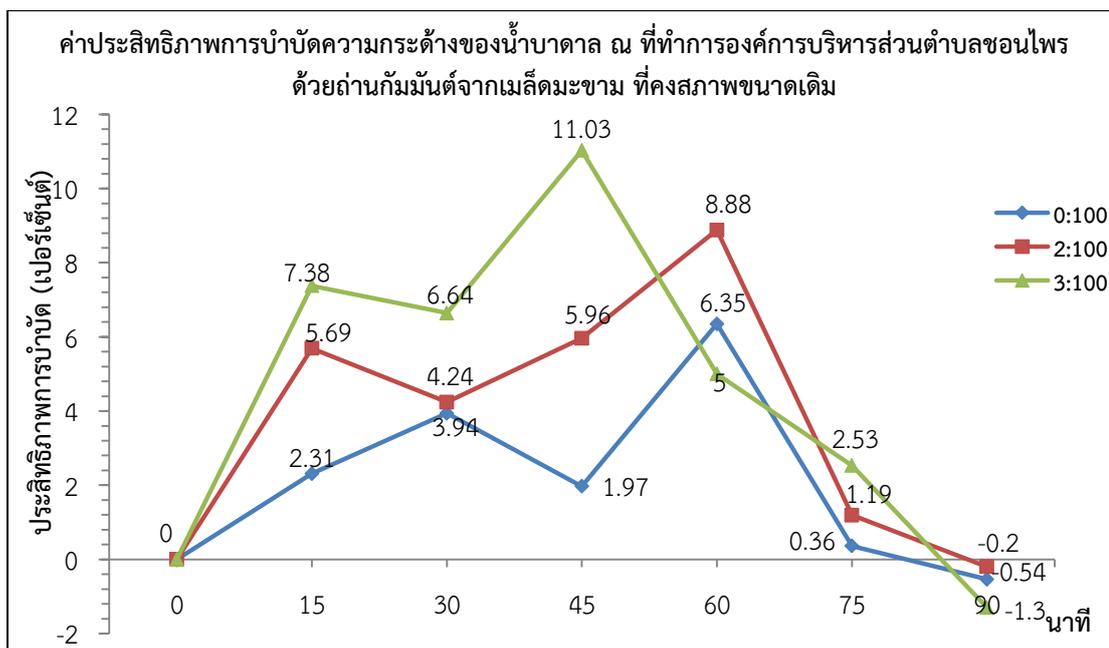
เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)		
	1:100	2:100	3:100
0	0	0	0
15	2.31	5.69	7.38
30	3.94	4.24	6.64
45	1.97	5.96	11.03
60	6.35	8.88	5.00

ตารางที่ 4-8 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)		
	1:100	2:100	3:100
75	0.36	1.19	2.53
90	-0.54	-0.20	-1.30

จากตารางที่ 4-8 พบว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพรด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 1:100 หลังผ่านการบำบัดในเวลาที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 2.31, 3.94, 1.97, 6.35, 0.36 และ -0.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 2:100 หลังผ่านการบำบัดในเวลาที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 5.69, 4.24, 5.96, 8.88, 1.19 และ -0.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 หลังผ่านการบำบัดในเวลาที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 7.38, 6.64, 11.03, 5.00, 2.53 และ -1.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ทั้งนี้ เห็นได้ว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพรด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 มีค่ามากกว่า อัตราส่วน 1:100 และ 2:100 ตามลำดับ โดยแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4-8



รูปที่ 4-8 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชนไพร ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม

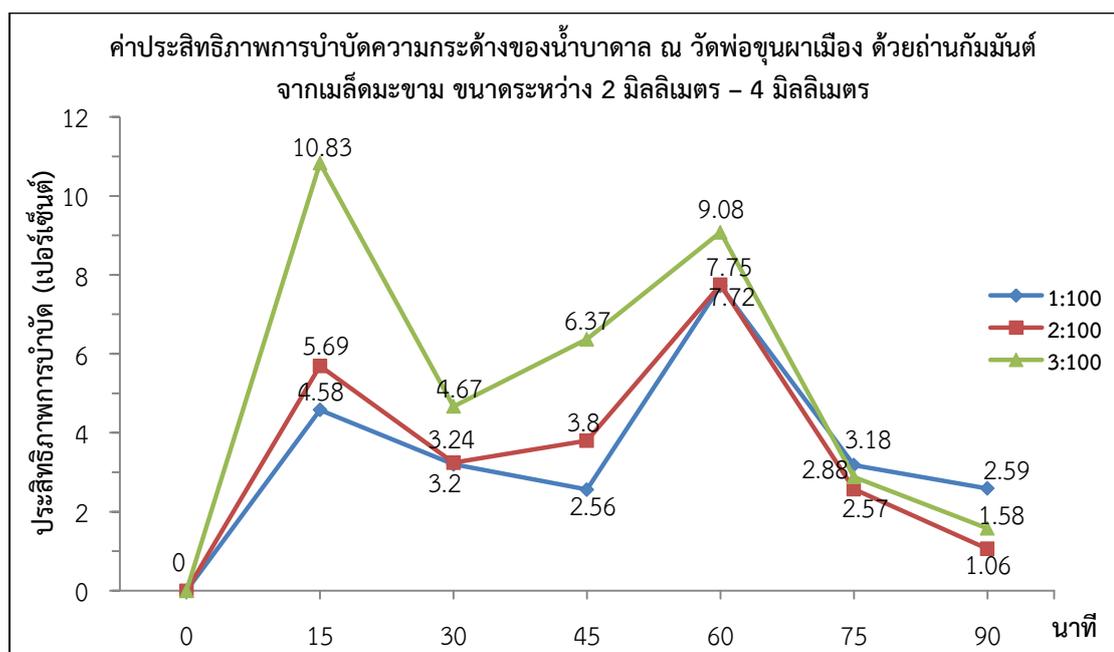
ตารางที่ 4-9 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อขุนผาเมือง ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)		
	1:100	2:100	3:100
0	0	0	0
15	4.58	5.69	10.83
30	3.20	3.24	4.67
45	2.56	3.80	6.37
60	7.72	7.75	9.08
75	3.18	2.57	2.88
90	2.59	1.06	1.58

จากตารางที่ 4-9 พบว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อขุนผาเมือง ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วน

ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 1:100 หลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 4.58, 3.20, 2.56, 7.72, 3.18 และ 2.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 2:100 หลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 5.69, 3.24, 3.80, 7.75, 2.57 และ 1.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 หลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 10.83, 4.67, 6.37, 9.08, 2.88 และ 1.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ทั้งนี้ เห็นได้ว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อขุนผาเมือง ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 มีค่ามากกว่า อัตราส่วน 1:100 และ 2:100 ตามลำดับ โดยแสดงให้เห็นดัง รูปที่ 4-9



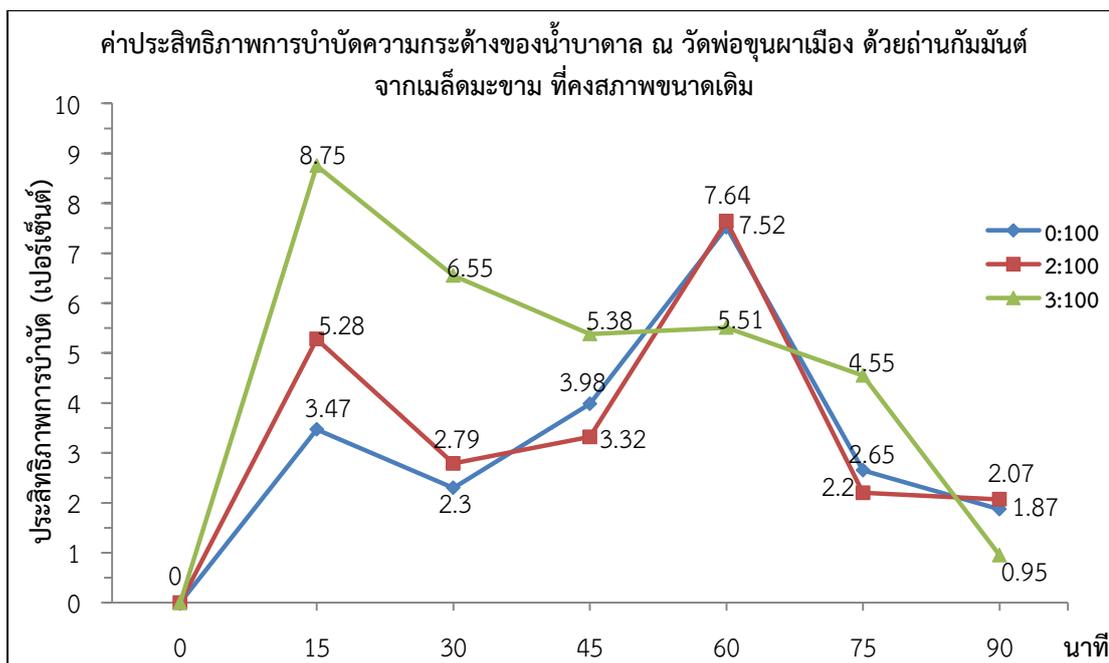
รูปที่ 4-9 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ่อขุนผาเมืองด้วย ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4-10 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ้อขุนผาเมืองด้วย ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม

เวลา (นาทึ)	ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)		
	1:100	2:100	3:100
0	0	0	0
15	3.47	5.28	8.75
30	2.30	2.79	6.55
45	3.98	3.32	5.38
60	7.52	7.64	5.51
75	2.65	2.20	4.55
90	1.87	2.07	0.95

จากตารางที่ 4-10 พบว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ้อขุนผาเมือง ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 1:100 หลังผ่านการบำบัดในนาทึที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาทึ มีค่าเท่ากับ 3.47, 2.30, 3.98, 7.52, 2.65 และ 1.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 2:100 หลังผ่านการบำบัดในนาทึที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาทึ มีค่าเท่ากับ 5.28, 2.79, 3.32, 7.64, 2.20 และ 2.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 หลังผ่านการบำบัดในนาทึที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาทึ มีค่าเท่ากับ 8.75, 6.55, 5.38, 5.51, 4.55 และ 0.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ทั้งนี้ เห็นได้ว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ้อขุนผาเมือง ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 มีค่ามากกว่า อัตราส่วน 1:100 และ 2:100 ตามลำดับ โดยแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4-10



รูปที่ 4-10 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ วัดพ้อขุนผาเมืองด้วย ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม

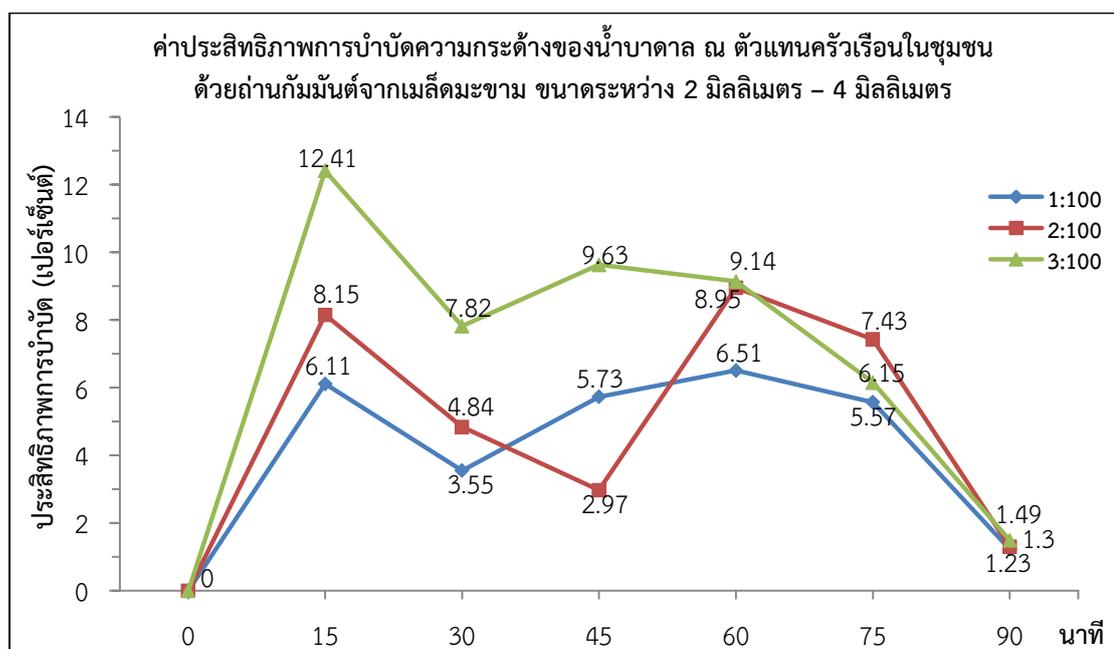
ตารางที่ 4-11 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชน ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)		
	1:100	2:100	3:100
0	0	0	0
15	6.11	8.15	12.41
30	3.55	4.84	7.82
45	5.73	2.97	9.63
60	6.51	8.95	9.14
75	5.57	7.43	6.15
90	1.23	1.30	1.49

จากตารางที่ 4-11 พบว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทน ครัวเรือนในชุมชน ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร ที่

อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 1:100 หลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 6.11, 3.55, 5.73, 6.51, 5.57 และ 1.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 2:100 หลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 8.15, 4.84, 2.97, 8.95, 7.43 และ 1.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 หลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 12.41, 7.82, 9.63, 9.14, 6.15 และ 1.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ทั้งนี้ เห็นได้ว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชน ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 มีค่ามากกว่า อัตราส่วน 1:100 และ 2:100 ตามลำดับ โดยแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4-11



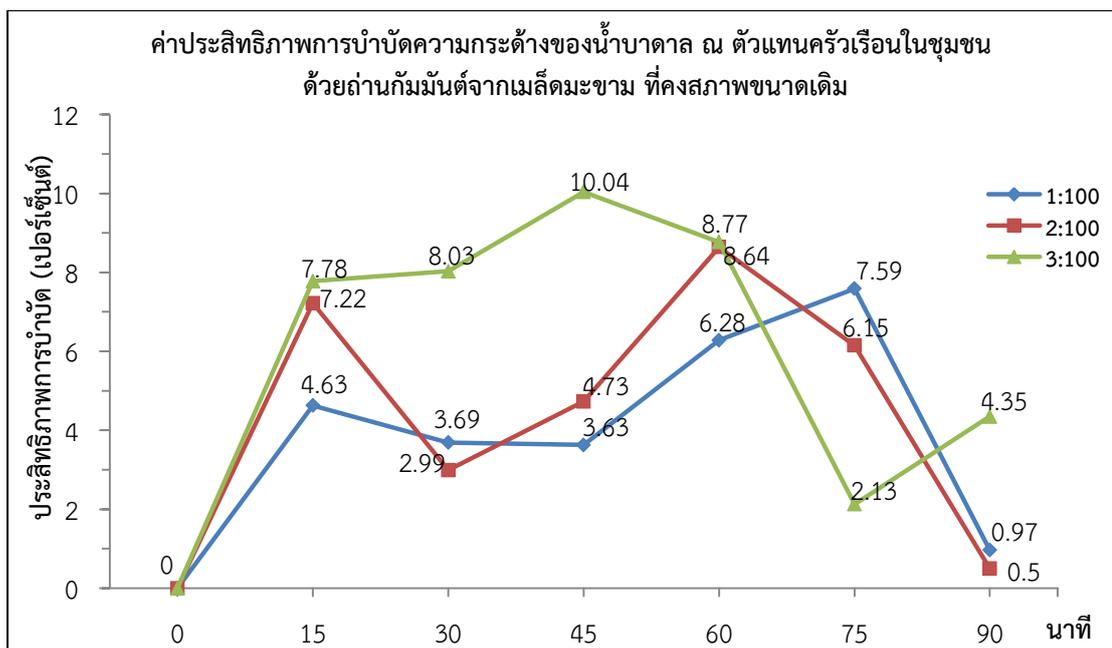
รูปที่ 4-11 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชน ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4-12 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชน ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม

เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)		
	1:100	2:100	3:100
0	0	0	0
15	4.63	7.22	7.78
30	3.69	2.99	8.03
45	3.63	4.73	10.04
60	6.28	8.64	8.77
75	7.59	6.15	2.13
90	0.97	0.50	4.35

จากตารางที่ 4-12 พบว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชน ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 1:100 หลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 4.63, 3.69, 3.63, 6.28, 7.59 และ 0.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 2:100 หลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 7.22, 2.99, 4.73, 8.64, 6.15 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 หลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 7.78, 8.03, 10.04, 8.77, 2.13 และ 4.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ทั้งนี้ เห็นได้ว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชน ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม ที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 มีค่ามากกว่า อัตราส่วน 1:100 และ 2:100 ตามลำดับ โดยแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4-12



รูปที่ 4-12 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาล ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชน ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม

จากตารางที่ 4-7 – 4-12 พบว่า ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิต จากเมล็ดมะขามในการ บำบัดค่าความกระด้างในน้ำบาดาลจาก ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบล ชอนไพร วัฒนพูนผา เมือง และตัวแทนครัวเรือนในชุมชน มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงนาทีที่ 30 ถึง 60 และอัตราการ บำบัดจะค่อยๆลดลง ในนาทีที่ 70 และค่อนข้างคงที่ ในนาทีที่ 90 โดยแสดงผลให้เห็นชัดเจน ดังรูปที่ 4-7 – 4-12 ตามลำดับ

ทั้งนี้ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาดาลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ด มะขามที่มีขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร จะมีค่ามากกว่า การบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ที่มี ขนาดคงเดิม (คงสภาพเดิมของเมล็ดมะขาม)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปและอภิปรายผล

การบำบัดความกระด้างในน้ำบาดาลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม กรณีศึกษา ตำบลชอนไพร อำเภอมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นการนำเมล็ดมะขาม ที่เหลือใช้ในท้องถิ่น มาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ให้มี 2 ขนาด โดยแบบแรก นำมาบดให้มีขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร และแบบที่สอง คงสภาพตามเดิมของเมล็ดมะขามปกติทั่วไป จากนั้น นำไปทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาดาล โดยเลือกโดยพื้นที่เก็บตัวอย่างใน ตำบลชอนไพร อำเภอมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ 3 จุด ได้แก่ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพร วัดพ่อบุณผาเมือง และตัวแทนครัวเรือนในชุมชน

พบว่า ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพร มีค่าความกระด้างของน้ำบาดาล เริ่มต้นก่อนการบำบัด เท่ากับ 650 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขามที่มีขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร สามารถบำบัดได้ดีที่สุดที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 โดยค่าความกระด้างหลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที่ มีค่าเท่ากับ 573, 503, 464, 412, 404 และ 401 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม สามารถบำบัดได้ดีที่สุดที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 โดยค่าความกระด้างหลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที่ มีค่าเท่ากับ 602, 562, 500, 475, 463 และ 469 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ณ วัดพ่อบุณผาเมือง มีค่าความกระด้างของน้ำบาดาล เริ่มต้นก่อนการบำบัด เท่ากับ 720 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขามที่มีขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร สามารถบำบัดได้ดีที่สุดที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 โดยค่าความกระด้างหลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที่ มีค่าเท่ากับ 642, 612, 573, 521, 506 และ 498 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม สามารถบำบัดได้ดีที่สุดที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 โดยค่าความกระด้างหลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที่ มีค่าเท่ากับ 657, 614, 581, 549, 524 และ 519 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชน มีค่าความกระด้างของน้ำบาดาล เริ่มต้นก่อนการบำบัด เท่ากับ 540 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขามที่มีขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร สามารถบำบัดได้ดีที่สุดที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100

โดยค่าความกระด้างหลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที่ มีค่าเท่ากับ 473, 436, 394, 358, 336 และ 331 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่คงสภาพขนาดเดิม สามารถบำบัดได้ดีที่สุดที่อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 โดยค่าความกระด้างหลังผ่านการบำบัดในนาที่ที่ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที่ มีค่าเท่ากับ 498, 458, 412, 376, 368 และ 352 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขาม สามารถบำบัดค่าความกระด้างในน้ำบาดาล จาก ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพร วัดพ้อขุนผาเมือง และตัวแทนครัวเรือนในชุมชน ได้ โดยพบว่า ค่าความกระด้างที่ตรวจวัดได้มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดในช่วง 60 นาทีแรก และอัตราการลดลงค่อยๆต่ำลง ในนาที่ที่ 70 และก่อนข้างคงที่ ในนาที่ที่ 90 และถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขามที่สามารถบำบัดได้ดีที่สุด คือ ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร ในอัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100

เมื่อนำไปคำนวณค่าประสิทธิภาพการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ค่าประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดค่าความกระด้างด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร ในอัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำบาดาล เป็น 3:100 ณ ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลชอนไพร มีค่าเท่ากับ 12.22 เปอร์เซ็นต์ ในนาที่ที่ 30 ณ วัดพ้อขุนผาเมือง มีค่าเท่ากับ 10.83 เปอร์เซ็นต์ ในนาที่ที่ 15 และ ณ ตัวแทนครัวเรือนในชุมชน มีค่าเท่ากับ 12.41 เปอร์เซ็นต์ ในนาที่ที่ 15

ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดระหว่าง 2 มิลลิเมตร – 4 มิลลิเมตร สามารถบำบัดค่าความกระด้างของน้ำบาดาล ได้ดีกว่า ถ่านกัมมันต์ที่คงสภาพขนาดตามเดิม ทั้งนี้ เนื่องจากการบำบัดค่าความกระด้างด้วยถ่านกัมมันต์นั้น เกิดจากปฏิกิริยาการดูดซับ (adsorption) ซึ่งมีหลักการว่าสารใดๆ ที่ต้องการดูดซับ (adsorbate) จะดูดติดกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ (adsorbent) ดังนั้น หากตัวดูดซับ (adsorbent) มีพื้นที่ผิวจำนวนมาก ก็จะมีความสามารถในการดูดซับสารที่ต้องการดูดซับได้มากเช่นเดียวกัน ดังนั้น ในกรณีที่ทำการทดลองนี้ เมื่อให้ปริมาตรของตัวดูดซับเท่ากัน ตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กกว่า ก็จะมีพื้นที่ผิวมากกว่า ทำให้ประสิทธิภาพของการดูดซับมีมากกว่าเช่นกัน

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

(1) ทราบถึงประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขามในการบำบัดค่าความกระด้างในน้ำบาดาล เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประยุกต์ใช้ เพื่อการบำบัดคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่อื่นๆ

(2) สามารถประยุกต์นำเอาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในท้องถิ่น คือ เมล็ดมะขาม มาใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อบำบัดคุณภาพน้ำบาดาลในชุมชน

- (3) ช่วยลดปัญหาการกำจัดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และเพิ่มมูลค่าให้กับเมล็ดมะขาม โดยนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสามารถนำไปบริการวิชาการเพื่อแนะนำให้ประชาชนในพื้นที่สร้างเป็นรายได้เสริม
- (4) ช่วยลดต้นทุนในการซื้อสารเคมี หรือการสร้างระบบ เพื่อการบำบัดค่าความกระด้างในน้ำบาดาล
- (5) สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อต่อยอดในการผลิต Column ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม เพื่อใช้บำบัดน้ำ หรือ การประยุกต์สร้างได้กรองน้ำบาดาลสำหรับน้ำอุปโภค
- (6) สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปเผยแพร่เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาสำหรับผู้ที่ใช้น้ำบาดาล โดยทั่วไป
- (7) สามารถใช้ผลงานวิจัยในการสร้างภูมิปัญญาท้องถิ่นให้กับนักศึกษา คณาจารย์ บุคลากร ภาครัฐและภาคเอกชน รวมถึงประชาชนทั่วไปที่สนใจในเรื่องการประยุกต์ใช้วัสดุจากธรรมชาติ เพื่อการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม

5.3 การบูรณาการงานวิจัยเพื่อนำไปใช้ประโยชน์

งานวิจัย เรื่อง การบำบัดความกระด้างในน้ำบาดาลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม กรณีศึกษา ตำบลชอนไพร อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นงานวิจัยที่ใช้วัสดุเหลือใช้จากท้องถิ่นมาพัฒนาเพื่อแก้ไขปัญหา น้ำบาดาลในชุมชน อันเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ และก่อให้เกิดผลประโยชน์โดยตรงกับผู้น้ำบาดาล ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกลุ่มเกษตรกร ช่วยลดอัตราการกำจัดของเสียในชุมชน ไปพร้อมกับการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง

ทั้งนี้ ผู้สนใจสามารถนำงานวิจัย หรือองค์ความรู้จากงานวิจัย ไปใช้ประโยชน์โดยการบูรณาการร่วมกับการเรียนการสอนในสายวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาทิ วิชาพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิชามลพิษสิ่งแวดล้อม วิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม วิชาการควบคุมมลพิษ วิชาการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน วิชาวิเคราะห์คุณภาพน้ำ เป็นต้น โดยนำไปบูรณาการในส่วนของการใช้วัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติมาแก้ไขปัญหาความกระด้างในแหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่ การใช้องค์ความรู้เรื่องการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น ไปประยุกต์โดยการเลือกวัสดุเหลือใช้ อื่นๆ ที่มีในท้องถิ่นนั้นๆ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ ในการบำบัดน้ำบาดาลด้วยตนเอง นอกจากนี้ยังสามารถนำไปบูรณาการร่วมกับโครงการบริการวิชาการอื่นๆ เพื่อให้ความรู้กับประชาชนในการแก้ไขปัญหา น้ำบาดาล ซึ่งเป็นแหล่งน้ำในการอุปโภคที่สำคัญของชุมชน ทั้งเรื่อง

การเลือกวัตถุดิบ และการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบในท้องถิ่น การนำถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบในท้องถิ่นที่ได้ไปใช้ในการสร้างระบบกรองค่าความกระด้างของน้ำบาดาลในพื้นที่อย่างง่าย เป็นต้น

5.4 ข้อเสนอแนะ

อนาคตอาจทำการทดลองประยุกต์วิธีการศึกษาครั้งนี้ เพื่อ ทดลองใช้วัสดุเหลือใช้อื่นๆ ในการสร้างตัวดูดซับ (adsorbent) เช่น ผลหมาก เมล็ดลำไย เมล็ดละมุด เศษไม้ เป็นต้น อีกทั้งอาจทดลองสร้างระบบการกรองจากตัวดูดซับที่ผลิตได้ และพัฒนาเป็นไส้กรองอย่างง่ายที่สามารถสร้างใช้ได้เองในชุมชน เพื่อเป็นการลดอัตราความสูญเสียของทรัพยากรธรรมชาติ เป็นการใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งเป็นการพัฒนาหรือต่อยอดองค์ความรู้ในการประยุกต์ใช้ธรรมชาติบำบัดปัญหาสิ่งแวดล้อม อันเป็นการช่วยแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ดีที่สุด เพราะช่วยประหยัดงบประมาณ ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และผู้ปฏิบัติงาน อันสามารถสร้างความยั่งยืนให้สิ่งแวดล้อมและชุมชนท้องถิ่นต่อไป

บรรณานุกรม

- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์, 2539.
- เกษม จันทร์แก้ว. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547.
- กรมควบคุมมลพิษและสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. ศัพท์บัญญัติและนิยามสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เรือนแก้วการพิมพ์, 2544.
- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. โครงการณรงค์เสริมสร้างความรู้เรื่องน้ำบาดาล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำบาดาลและสิ่งแวดล้อม ประจำปี 2556. กรุงเทพฯ : กองทุนพัฒนาน้ำบาดาล, 2557.
- คณิตา ตังคณานุกรักษ์. การวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โครงการตำราคณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542.
- เฉลิมขวัญ ชาวปิง. การปรับปรุงพื้นผิวทางเคมีของถ่านกัมมันต์โดยการออกซิเดชันเพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับอะลูมิเนียม สังกะสี และโครเมียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.
- ชัยวัฒน์ เจนวาณิชชัย. พจนานุกรมเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2525.
- นภารัตน์ จิราถักษณ์. การเตรียมและวัดสมบัติของถ่านกัมมันต์จากถ่านหินลิกไนต์โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพและเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2545.
- นิพนธ์ ตังคณานุกรักษ์และคณิตา ตังคณานุกรักษ์. หลักการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.
- นิพนธ์ ตังคณานุกรักษ์. เอกสารประกอบการสอน เรื่องหลักการและเทคนิคการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (Principle and Techniques of Water Quality Analysis). กรุงเทพฯ : วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.
- _____. เอกสารประกอบการสอน เรื่อง การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ (DO, BOD, COD & TOC). กรุงเทพฯ : วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.
- ภาสกร สว่างวุฒิชธรรม, ศุภโชค ชายแสน และ สมชาย กองทรัพย์เจริญ. การดูดซับตะกั่วและโครเมียมโดยใช้ถ่านกัมมันต์และซีโอไลต์. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรีภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.

- มันสิน ตันทุลเวศม์. **วิศวกรรมการประปาเล่ม 1**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- รัชฎาพร วัชรวิชานันท์ และ กมณชนก วงศ์สุขสิน. “การวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล เพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและการอุปโภคในเขตตำบลหนองบัวศาลาและตำบลหนองระเวียง จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงพื้นผิวทางเคมี.” ใน **การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 13**, 341-348. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2555.
- อาภรณ์ ติวริชมไหศุรย์. **การกำจัดไอออนจากน้ำบาดาลโดยใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าสถิตย์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2544.
- อรรวรรณ ศิริโชติ, วรรณมา อินนาจิตร, แผลมทอง ชื่นชม, ดวงพร ชวนจิต และ กนกรัตน์ นาวิการ. “การดูดซับไอออนเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขาน้อยเปลือกกล้วยและกะลามะพร้าว.” **วารสารสงขลานครินทร์ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 24(2545) : 235-242.
- Faust, S.D. and Aly, O.M. **Adsorption Process for Water Treatment**. Boston : Butterworth publ, 1987.
- Gonzalez, E. and Cid, P. “Removal of textile dyes from aqueous solutions by adsorption on biodegradable wastes.” **Environmental technology**. 24(2003) : 821-829.
- Hauer, G. E. “Iron and Carbon Dioxide Removal.” **American Water Works Assoc**. 42(1950) : 555-561.
- Maron, S.H. and Prutton, C.F. **Principles of Physical Chemistry**. 3rd ed. New York : Macmillan, Co, 1961.
- Robert W. Peters and Young Ku. “Removal of sulfides from waters and wastewaters by activated carbon.” **Reactive Polymers Sorbents**. 5(1987) : 93-104.
- Walker, R. **Water Supply Treatment and Distribution**. Englewood cliffs, New Jersey : Pentice-Hall, 1978.
- Wongsooksin, K., Rattanaphani, S., Tangsathikulchai, M., Rattanaphani, V. and Bremner, J. “Adsorption of homoisoflavonoid and extracted dyes from heartwood of *Ceasalpina sappan* Linn.” **Suranaree Journal of Science and Technology**. 15(2008) : 159-165.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม



ภาคผนวก ข

กระบวนการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ



ประวัตินักวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล นางสาวฤทัยรัตน์ น้อยคนดี
Miss Ruthairat Noikondee
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 5679900001848
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก
หลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67000
โทรศัพท์ 056-717100, 080-2361452 E-mail k_bibou@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต(เทคนิคการสัตวแพทย์)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
มลพิษสิ่งแวดล้อม
การจัดการสิ่งแวดล้อม
การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย
- Environmental Impact Assessment (EIA) of S.R.Tire CO.,LTD.
in Prajeenburee
- Research about Cassava Leaves Product Development : Tannin with
Industrial Technology Assistance Program (ITAP) and National Science and Technology
Development Agency (MTEC)
- Global Warming: Toxicology Environment, Management
Environmental and Assessment Impact Environmental

- Electronic Waste: Toxicology Environment, Management

Environmental and Assessment Impact Environmental

- Tannin Extract from Cassava Leaves for Waste Water

Treatment

- Carbon Foot Print: Glaze Porcelain Tile and Granite Tile, brand name's Cergres, of T.T. Ceramic Co.,Ltd.

- Project about LCA and GHGs: Glaze Porcelain Tile and Granite Tile, brand name's Cergres, of T.T. Ceramic Co.,Ltd.

- การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม (Domestic Wastewater Treatment by Activated Carbon from Tamarind Seed)