



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

.....
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

.....
วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

ภาควิชา

เรื่อง การดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์

Adsorption Sulfide Ion in Wastewater by Activated Carbon

นามผู้วิจัย นางสาวสรัญญา ชนสัมฤทธิ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(.....
รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(.....
รองศาสตราจารย์วิทยา ปั่นสุวรรณ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(.....
ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(.....
รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกู่, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์

Adsorption Sulfide Ion in Wastewater by Activated Carbon

โดย

นางสาวสร้อยญา ธนสัมฤทธิ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2551

สรุปัญญา ธนสัมฤทธิ์ 2551: การดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์
สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์
นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์, Ph.D. 110 หน้า

ซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับจากผงถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและ
ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนจากกะลามะพร้าว ถูกตรวจวัดด้วยขั้วไฟฟ้ารวมซิลเวอร์ซัลไฟด์ และได้
ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ พีเอช ระยะเวลาปั่นกววน ระยะเวลาสัมผัส ความ
เข้มข้นของซัลไฟด์ไอออน และปริมาณของตัวดูดซับ นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการดูดซับ
สอดคล้องกับสมการไอโซเทอรัมของแลงเมียร์ จากสถานะที่เหมาะสมของการดูดซับถูกนำมา
ประยุกต์ใช้ในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี

Sarunya Thanasomrit 2008: Adsorption Sulfide Ion in Wastewater by Activated Carbon. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Associate Professor Nipon Tungkananuruk, Ph.D. 110 pages.

The remained sulfide ion after adsorptive extraction from carbonated and activated carbon from coconut shell can be determinate by measurement with a Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode. The effects of the conditions involving pH, shaking time or digestion time, contact time, concentration of sulfide ion and amount of adsorbent are reported. Under the conditions, the adsorption process is conformed with Langmuir behaviour. The system has been applied to the determination of sulfide ion in wastewater from Phetchaburi sewage system.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ดร.นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ได้สละเวลาในการช่วยเหลือ ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนช่วยแก้ไขในข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ดร.วิทยา ปั้นสุวรรณ กรรมการร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำการศึกษาวิจัยทดลอง รวมทั้งอุปกรณ์ในการวิจัย ขอขอบคุณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่ให้สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณ คุณภทรมน โสกันธิกา เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ที่ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ เทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์อำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี ให้เป็นไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณแม่เพิ่มพร ธนสัมฤทธิ์ และครอบครัว ที่ได้เมตตา อบรมสั่งสอน ให้ความรู้จนถึงปัจจุบัน รวมถึงขอขอบคุณเพื่อนๆ สิ่งแวดล้อมรุ่น 30 ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังใจ และกำลังใจในการศึกษาวิจัยทดลอง จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สรัญญา ธนสัมฤทธิ์

กรกฎาคม 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการ	32
ผลและวิจารณ์	45
ผลการทดลอง	45
วิจารณ์	76
สรุปและข้อเสนอแนะ	79
สรุป	79
ข้อเสนอแนะ	80
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	81
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	84
ภาคผนวก ข คำมาตรฐานควบคุมระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด	103
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	110

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน	33
2	การดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน	66
3	การดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน	67
4	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละซัลไฟด์ไอออนที่ดูดซับ ร้อยละซัลไฟด์ไอออนที่เหลือของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน และปริมาตรซัลไฟด์ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์	68
5	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละซัลไฟด์ไอออนที่ดูดซับ ร้อยละซัลไฟด์ไอออนที่เหลือของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน และปริมาตรซัลไฟด์ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์	71
 ตารางผนวกที่		
ก1	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและค่าพีเอช	86
ก2	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและค่าพีเอช	86
ก3	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและระยะเวลาป้อนกวน	87
ก4	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและระยะเวลาป้อนกวน	87

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและระยะเวลาสัมผัส	88
ก6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและระยะเวลาสัมผัส	88
ก7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออน	89
ก8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออน	89
ก9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณถ่านกัมมันต์	90
ก10 ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน	90
ก11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณถ่านกัมมันต์	91
ก12 ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน	91
ก13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณถ่านกัมมันต์ (ค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี)	92
ก14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณถ่านกัมมันต์ (ค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี)	92
ก15 การดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน	93
ก16 การดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละชัลไฟด์ไอออนที่ดูดซับ ร้อยละชัลไฟด์ไอออน ที่เหลือของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน และปริมาตร ชัลไฟด์ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์	95
ก18 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละชัลไฟด์ไอออนที่ดูดซับ ร้อยละชัลไฟด์ไอออน ที่เหลือของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน และปริมาตร ชัลไฟด์ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์	96
ก19 การดูดซับชัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน โดยผ่านการใช้งานและฟื้นฟูสภาพแล้ว	96
ก20 การดูดซับชัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน โดยผ่านการใช้งานและฟื้นฟูสภาพแล้ว	97
ก21 คุณภาพของน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี	98
ก22 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชทางสถิติโดยวิธี LSD	99
ก23 แสดงผลการวิเคราะห์ระยะเวลาปั่นกวนทางสถิติโดยวิธี LSD	99
ก24 แสดงผลการวิเคราะห์ระยะเวลาสัมผัสทางสถิติโดยวิธี LSD	100
ก25 แสดงผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นชัลไฟด์ไอออนในสารละลายมาตรฐาน ทางสถิติโดยวิธี LSD	100
ก26 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณถ่านกัมมันต์ทางสถิติโดยวิธี LSD	101
ก27 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณถ่านกัมมันต์ทางสถิติโดยวิธี LSD (ค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี)	101
ข1 ค่ามาตรฐานควบคุมระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด	105

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	11
2	14
3	18
4	20
5	21
6	22
7	23
8	24
9	27
10	46
11	47
12	48
13	49
14	50
15	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
16	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออน	53
17	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออน	54
18	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณถ่านกัมมันต์	55
19	ไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของแลงเมียร์โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน	56
20	ไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของฟรุนดลิชโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน	57
21	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณถ่านกัมมันต์	59
22	ไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของแลงเมียร์โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน	60
23	ไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของฟรุนดลิชโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน	61
24	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณถ่านกัมมันต์ (ค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี)	64
25	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณถ่านกัมมันต์ (ค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี)	65
26	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละซัลไฟด์ไอออนที่ดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาตรซัลไฟด์ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละซัลไฟด์ไอออนที่เหลือของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาตรซัลไฟด์ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์	69
28	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการดูดซับ ร้อยละที่เหลือของซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน และปริมาตรซัลไฟด์ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์	70
29	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละซัลไฟด์ไอออนที่ดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาตรซัลไฟด์ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์	72
30	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละซัลไฟด์ไอออนที่เหลือของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาตรซัลไฟด์ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์	72
31	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการดูดซับ ร้อยละที่เหลือของซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน และปริมาตรซัลไฟด์ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์	73
32	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์	74
33	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์	75
ภาพผนวกที่		
ก1	กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออน (S^{2-})	102

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BOD	=	Biochemical oxygen demand
COD	=	Chemical oxygen demand
LSD	=	Least Significant Different
SEM	=	Scanning Electron Microscope
SS	=	Settleable solid
TSS	=	Total suspended solid
TDS	=	Total dissolved solid

การดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์

Adsorption Sulfide Ion in Wastewater

by Activated Carbon

คำนำ

ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีและการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ ทำให้มนุษย์นำทรัพยากรมาใช้อย่างรวดเร็วเพื่อสนองตอบต่อความต้องการพื้นฐานของมนุษย์ในการดำรงชีวิต จากจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้นนั้นส่งผลทำให้มีการใช้ทรัพยากรที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญและจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากมนุษย์ต้องใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค การเกษตรกรรม การอุตสาหกรรม การคมนาคม ตลอดจนเป็นแหล่งรองรับของเสียจากกิจกรรมต่างๆ ทำให้น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์นั้นเกิดสิ่งสกปรกและสารเคมีตกค้างอยู่เป็นจำนวนมาก และถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ทำให้สภาพน้ำในแหล่งน้ำเสื่อมคุณภาพจนไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

มลพิษทางน้ำ หมายถึง สภาวะที่น้ำมีคุณภาพเปลี่ยนไปจากธรรมชาติเดิม จนมีสภาพที่เลวลง และส่งผลต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตในน้ำ ในปัจจุบันปัญหามลพิษทางน้ำจัดเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญมากประการหนึ่ง เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยขั้นพื้นฐานในการดำรงชีวิต อีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจ ปัญหาน้ำเสียจึงเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อประชาชนได้อย่างชัดเจน ไม่ว่าจะเป็นด้านสุขภาพอนามัย ด้านเศรษฐกิจ ปัญหาการขาดแคลนน้ำที่มีคุณภาพในการอุปโภคบริโภค ปัญหามลพิษทางน้ำที่เกิดจากซัลไฟด์ไอออนก็เป็นปัญหาหนึ่งที่มักเกิดขึ้นในน้ำเสียชุมชน ซึ่งเมื่อซัลไฟด์ไอออนทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนในน้ำจะเกิดเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือที่เรียกกันว่า แก๊สไข่เน่า จะทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบท่อรวบรวมน้ำเสียและมีกลิ่นไม่พึงประสงค์เกิดขึ้น ในการแก้ไขปัญหาที่สำคัญของการเกิดปัญหามลพิษทางน้ำ จำเป็นต้องบำบัดคุณภาพน้ำให้ต่ำกว่าหรืออยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยความร่วมมือของทุกคน

วิธีการบำบัดคุณภาพน้ำเสียโดยทั่วไปแล้วมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การตกตะกอนทางธรรมชาติ การเติมสารเคมี การแลกเปลี่ยนไอออน การใช้เทคโนโลยีหรืออุปกรณ์ต่างๆ เพื่อช่วย

ดูดซับสารพิษที่เจือปนในน้ำ ทั้งช่วยเพิ่มแก๊สออกซิเจนในน้ำ เป็นต้น แต่เนื่องจากวิธีการเหล่านี้ต้องใช้เทคโนโลยีและต้นทุนสูง ถ้าสามารถหาทางเลือกอื่นในการบำบัดคุณภาพน้ำเสียได้โดยการนำวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ก็จะเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียโดยไม่มีผลตกค้างในเรื่องของสารเคมีและใช้ต้นทุนต่ำกว่าอีกด้วย ดังนั้นการที่จะนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตมาจากวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติมาบำบัดน้ำเสียจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจทางหนึ่ง

ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพของการดูดซับ
ซัลไฟด์ไฮไดรเจนในน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์
2. เพื่อศึกษาสภาวะในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์
3. เพื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ได้สภาวะที่เหมาะสมแล้วไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี

การตรวจเอกสาร

1. ซัลไฟด์

สารประกอบซัลไฟด์ คือ สารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวกันระหว่างกำมะถันกับธาตุอื่นๆ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) ซัลไฟด์ของโลหะ เช่น K_2S , CaS เป็นต้น

- เป็นสารประกอบไอออนิกและเป็นผลึกของแข็ง ณ. อุณหภูมิห้อง
- มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง
- เมื่อละลายน้ำ

บางชนิดแสดงสมบัติเป็นกรด เช่น Al_2S_3

บางชนิดแสดงสมบัติเป็นเบส เช่น Na_2S , CaS

- สารละลายนำไฟฟ้าได้

2) ซัลไฟด์ของอโลหะ เช่น H_2S , CS_2 , F_2S เป็นต้น

- เป็นสารประกอบโคเวเลนต์และเป็นของเหลวหรือแก๊ส ณ. อุณหภูมิห้อง
- มีจุดหลอมเหลวจุดเดือดต่ำ
- ละลายน้ำจะได้สารละลายแสดงสมบัติเป็นกรด บางชนิดไม่ละลายน้ำ เช่น CS_2
- เปลี่ยนกระดาษลิตมัสจากสีน้ำเงินเป็นสีแดง

โดยปกติจะพบสารประกอบซัลไฟด์ในน้ำใต้ดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำพุร้อนซึ่งจะสามารถได้กลิ่นเมื่อไปยืนอยู่ในบริเวณบ่อน้ำพุร้อนในที่ต่างๆ นอกจากนี้ยังสามารถพบสารประกอบซัลไฟด์ในน้ำเสียซึ่งมาจากแหล่งที่มาอย่างน้อย 3 ประการ คือ

- 1) การย่อยสลายของสารอินทรีย์
- 2) กระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม
- 3) ปฏิกริยารีดักชันของซัลเฟตโดยจุลินทรีย์

การเน่าเปื่อยและย่อยสลายของสารอินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัลบูมินหรือไข่ขาว อัลบูมินที่ย่อยสลายทางชีวภาพ(แบบไม่ใช้อากาศ) สร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นในปริมาณสูงและมีกลิ่นเหม็นซึ่งเป็นที่มาของชื่อ แก๊สไข่เน่า

ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม สามารถพบไฮโดรเจนซัลไฟด์พบได้ในบ่อพักน้ำเสียหรือในท่อระบายน้ำเสีย น้ำเสียที่มีซัลไฟด์มากเป็นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทเช่น โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานเส้นใยวิสโคสเรยอน และอื่นๆ ซึ่งการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบบำบัดน้ำเสียไร้อากาศที่บำบัดน้ำเสียที่มีซัลเฟตสูงก่อให้เกิดปัญหาหลายประการ เช่น ปัญหากลิ่นเหม็น ไข่เน่า ปัญหาการสึกกร่อนของอุปกรณ์โลหะ ปัญหาเป็นพิษต่อแบคทีเรียผลิตมีเทนและทำให้ปริมาณแก๊สมีเทนลดลง รวมทั้งมีผลต่อระบบเดิมอากาศที่ตามหลังเนื่องจากซัลไฟด์เป็นสารรีดิวซ์ที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้นอกจากนั้นเมื่อนำแก๊สชีวภาพที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปใช้ประโยชน์จะมีปัญหาการกัดกร่อนของอุปกรณ์ต่างๆ (มันรักษ์, ม.ป.ป.)

นอกจากนี้สารประกอบซัลไฟด์ในน้ำเสียส่วนมากจะมาจากปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟตโดยจุลินชีพในน้ำเสีย ในสภาพที่น้ำเสียมีค่าพีเอชเป็นกรด เกิดเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ดังสมการ



เมื่อ MS = สารประกอบซัลไฟด์

ปริมาณหรือความเข้มข้นต่ำสุดในน้ำที่คนเราสามารถจะได้กลิ่นไฮโดรเจนซัลไฟด์ระเหยออกมา อยู่ระหว่าง 0.025 - 0.25 ไมโครกรัมต่อลิตรโดยที่ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบรรยากาศที่ต่ำมากถึง 0.3 ส่วนในล้านส่วน ก็สามารถรับรู้ได้ว่าเป็นกลิ่นของแก๊สนี้ ในทางการก่อสร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์อาจจะก่อให้เกิดปัญหาได้เนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์อาจจะถูกออกซิไดซ์ได้ในทางชีววิทยาไปเป็นกรดซัลฟิวริกได้ถ้าอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ทำให้เกิดการกัดกร่อนต่อคอนกรีตที่อยู่ใต้น้ำได้

โดยทั่วไป ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำสามารถใช้เป็นตัวบอกอย่างคร่าวๆได้ว่าน้ำในแหล่งน้ำนั้นอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนละลายอยู่น้อยมากและมีสภาพเป็นกรดเพียงใด ซัลไฟด์ไอออนเป็นไอออนที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบกับโลหะไอออนได้โดยตรงในน้ำได้ง่าย

ตัวอย่างเช่น การเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอร่อน(III)ไอออนและซัลไฟด์ได้เป็นไอร่อน(III)ซัลไฟด์ (iron(III)sulfide)ในน้ำเสีย ซึ่งสามารถพบได้บ่อยทั้งนี้เนื่องจากในน้ำจะมีปริมาณไอร่อน(III)ไอออนอยู่ค่อนข้างสูง จึงเกิดเป็นไอร่อน(III)ซัลไฟด์ ในปริมาณสูงด้วยและเนื่องจากไอร่อน(III)ซัลไฟด์ เป็นตะกอนสีดำ ดังนั้นเมื่อมีปริมาณไอร่อน(III)ซัลไฟด์ในน้ำจำนวนมากพอจึงเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้น้ำเสียน้ำมีสีดำ (ไพฑูรย์, 2548)

1.1 ความเป็นพิษของซัลไฟด์

ในสารประกอบซัลไฟด์มีหลายตัวซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และสภาพแวดล้อม ดังเช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีมากในธรรมชาติ เช่น ในบริเวณที่มีน้ำเสีย น้ำทิ้งจากโรงงาน น้ำพุร้อน จะมีไฮโดรเจนซัลไฟด์มาก น้ำจากแหล่งเหล่านี้มักมีกลิ่นเหม็น ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์ จัดเป็นแก๊สพิษ ไม่มีสี ไม่ติดไฟ และมีกลิ่นเหม็นเหมือนไข่เน่าแม้ที่ความเข้มข้นต่ำ พิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในอากาศอาจรุนแรงถึงตายได้ โดยขึ้นอยู่กับปริมาณและระยะเวลาที่ได้รับซึ่งอาจจะถึงขั้นทำให้เสียชีวิตได้ถ้าได้รับในปริมาณมากในระยะเวลาอันสั้น เช่น มีพยานหลักฐานว่าไฮโดรเจนซัลไฟด์เพียง 0.03%(300 ส่วนในล้านส่วน) ในอากาศสามารถฆ่าคนได้ ควรตระหนักว่าความเข้มข้นดังกล่าวในอากาศเกิดขึ้นจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำเพียง 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณต่ำสุดที่สามารถทำให้เกิดพิษเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1.2 -2.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ในอากาศ หรือ 0.1% สามารถทำให้เสียชีวิตได้ในทันที หรือ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตรในอากาศ (0.05%) จะเสียชีวิตภายในครึ่งชั่วโมงถึงหนึ่งชั่วโมง

ซัลไฟด์จัดเป็นสารพิษที่มีพิษต่อแบคทีเรียมากชนิดหนึ่ง รวมทั้งจุลินทรีย์ไร้ออกซิเจนต่างๆ พิษของซัลไฟด์เกิดจากไฮโดรเจนซัลไฟด์นั้นเนื่องจากโมเลกุลของไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถแทรกผ่านผนังของเซลล์แบคทีเรียได้ ภายในถึงปฏิกิริยาไร้ออกซิเจนที่มีฟิเอโซในช่วง 6-8 (ม่นรักย์, ม.ป.ป.)

ถ้าไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าสู่ร่างกายในปริมาณเล็กน้อยจะถูกเผาผลาญได้ แต่ในปริมาณสูงจะทำให้ตายทันที ส่วนคาร์บอนไดซัลไฟด์ และคาร์บอนิลซัลไฟด์ เมื่อหายใจเข้าไปในปริมาณมากพอจะทำให้ถึงแก่ความตายได้เช่นกัน ถึงแม้ความเป็นพิษจะอ่อนกว่า ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ชัยวัฒน์, 2525)

1.2 รูปแบบของซัลไฟด์

ซัลไฟด์ที่ถูกปล่อยกลับเข้าสู่การไหลของน้ำเสีย ทำให้เกิดสมดุลเคมีที่ไม่คงที่ระหว่างซัลไฟด์ 4 รูปแบบ คือ ซัลไฟด์ไอออน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปของสารละลาย $\text{H}_2\text{S}(\text{aq})$ และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$

ก) ซัลไฟด์ไอออน (S^{2-})

ซัลไฟด์ไอออน ไม่มีสีในสารละลาย และไม่สามารถปล่อยออกจากน้ำเสียได้ในรูปนี้ และไม่มีกลิ่น

ข) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน (HS^-)

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนสามารถจะรับโปรตอนจากกรดได้ เป็นเหตุให้ประจุลบหนึ่งของซัลไฟด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และสามารถคงอยู่ได้ในสารละลายโดยไม่ทำให้เกิดกลิ่น

ค) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปของสารละลาย

ไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถคงอยู่เป็นแก๊สที่ละลายในน้ำได้ในรูปของของเหลวไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไม่เป็นเหตุให้เกิดกลิ่น อย่างไรก็ตามไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปของของเหลวเป็นเพียงซัลไฟด์ สปีชีส์ ซึ่งสามารถออกจากเฟสของสารละลายไปอยู่เป็นแก๊สอิสระ อัตราที่ไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากเฟสของสารละลายถูกควบคุมโดยกฎของเฮนรี (Henry's Law) คือจำนวนความปั่นป่วนของน้ำเสีย และพีเอชของสารละลาย

ง) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปแก๊ส

เมื่อไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากเฟสที่ละลายน้ำ และเข้าสู่เฟสที่เป็นแก๊ส จะสามารถทำให้เกิดกลิ่น และกัดกร่อนได้ แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่มีสีแต่เป็นแก๊สที่มีกลิ่นรุนแรงซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยประสาทรับกลิ่นของมนุษย์ในความเข้มข้นต่ำมาก ในความเข้มข้นสูง

เป็นอันตรายมากต่อมนุษย์ ในความเข้มข้นต่ำ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสาเหตุให้เกิดอาการคลื่นไส้ ปวดหัว และระคายเคือง ปริมาณมากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เกิดปัญหาต่อระบบทางเดินหายใจและประสาทรับกลิ่น เมื่อได้รับเป็นเวลานานๆ อาจจะทำลายทางเดินหายใจและตา ปริมาณมากกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ตายภายใน 2-3 นาที occupational safety and health administration (OSHA) ได้กำหนดระยะเวลาที่มนุษย์สามารถสูดดมแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 8 ชั่วโมง แม้ว่าซัลไฟด์เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในน้ำเสีย แต่แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดยาก เมื่อไฮโดรเจนซัลไฟด์กลับเข้าไปอยู่ในเฟสของสารละลายซัลไฟด์อย่างต่อเนื่องโดยชั้นเมือก นอกจากนี้แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ยังถูกปลดปล่อยกระจายอยู่ทั่วน้ำเสีย และไม่มี ความเข้มข้นสูงพอที่จะผลักดันให้กลับเข้าไปในสารละลายได้

ไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดจากการย่อยสลายซากของสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนบางชนิด เช่น ซิสเทอีน เมทไธโอนีน ซิสตีน รวมทั้งวิตามินและโคเอนไซม์บางชนิด (Funchel and Blackburn, 1979) กรดอะมิโนที่กล่าวข้างต้นเป็น กรดอะมิโนที่พบมากในธรรมชาติ ซึ่งได้จากการย่อยสลายโปรตีนด้วยกรด (มนตรี และคณะ, 2530)

1.3 การวิเคราะห์ซัลไฟด์ไอออนโดยวิธีโพเทนทิอเมทรี

โพเทนทิอเมทรี (potentiometry) เป็นเทคนิควิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้าเทคนิคเดียวที่เซลล์เคมีไฟฟ้าเป็นชนิดเซลล์กัลวานิก คือ สารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์เกิดปฏิกิริยาได้เองที่ผิวของขั้วไฟฟ้าโดยไม่ต้องมีการให้ศักย์ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานภายนอก แล้ววัดค่าศักย์ไฟฟ้า (potential) ที่เกิดขึ้น โดยจัดทำกรวัดค่าศักย์ไฟฟ้า ณ สภาวะสมดุล เนื่องจากมีปฏิกิริยาการให้และรับอิเล็กตรอนเกิดขึ้นตลอดเวลา

หลักการของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโพเทนทิอเมทรี คือ เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ทำการวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ได้แก่ ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (reference electrode) และขั้วไฟฟ้าทำงานหรือขั้วไฟฟ้าชี้บอก (working or indicator electrode) ซึ่งจุ่มอยู่ในสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์ ณ สภาวะสมดุลของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นสภาวะที่แทบไม่มีการไหลของกระแสในวงจรเลย

แผนภาพเซลล์เคมีไฟฟ้าของการวิเคราะห์ ด้วยเทคนิคโพเทนทิอเมตรี เขียนได้ดังนี้

ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง / สะพานเกลือ / สารละลายที่ต้องการ / ขั้วไฟฟ้าทำงานหรือขั้วไฟฟ้าชี้บอก

สมการแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัด (E_{obs} หรือ E_{cell}) เขียนได้ดังนี้

$$E_{\text{obs}} \text{ หรือ } E_{\text{cell}} = E_{\text{ind}} - E_{\text{ref}} \text{ ----- (2)}$$

โดย E_{ind} คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้าทำงานซึ่งเป็นไปตามสมการเนินสต์
 E_{ref} คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง เช่น ขั้วคาโลเมลล์มีค่าศักย์ไฟฟ้า
 อ้างอิงเท่ากับ 0.242 V

ขั้วไฟฟ้าทำงานที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ คือ ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์ซัลไฟด์ (Silver Sulfide Selective Electrode)

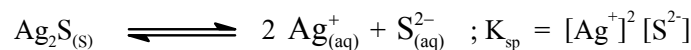
ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์ซัลไฟด์ จัดเป็นขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะไอออน (ion selective electrode, ISE) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นเยื่อที่เป็นสารประกอบซิลเวอร์ซัลไฟด์ (Ag_2S) ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่ง Ag_2S เป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้น้อยมาก มีค่าคงที่ของการละลายต่ำ (K_{sp} ของ $\text{Ag}_2\text{S} = 6.0 \times 10^{-50}$) มีความคงตัวสูง ทนต่อสารพวกตัวออกซิไดซ์ และตัวรีดิวซ์ ทำเป็นแผ่นเยื่อได้โดยการอัดสารประกอบ Ag_2S ภายใต้ความดันสูงให้มีลักษณะแผ่นเยื่อบาง ๆ

แผ่นเยื่อ Ag_2S สามารถเจาะจงวิเคราะห์ได้ทั้ง Ag^+ และ S^{2-} โดย Ag_2S มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า ไอออน S^{2-} เป็นไอออนลบที่อยู่กับที่ (fixed anionic site) และไอออน Ag^+ เป็นไอออนที่เคลื่อนที่ (mobile ion) ภายในแผ่นเยื่อจึงเป็นไอออนที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนระหว่าง Ag^+ ไอออนภายในแผ่นเยื่อกับภายนอกแผ่นเยื่อ ดังนั้นจึงจัดขั้วไฟฟ้านี้เป็นขั้วไฟฟ้าที่เจาะจงกับ Ag^+ (Ag-ISE)

ศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้เกิดขึ้นจากการแลกเปลี่ยน Ag^+ ระหว่างแผ่นเยื่อกับสารละลายตัวอย่าง เขียนสมการเนินสต์ได้ดังนี้

$$E_{\text{cell}} = K + 0.05916 \log [\text{Ag}^+] \text{ ----- (3)}$$

และจากสมการการละลายของ Ag_2S และค่า K_{sp} เขียนได้ดังนี้



จะได้
$$[\text{Ag}^+] = \sqrt{\frac{K_{\text{sp}}}{[\text{S}^{2-}]}}$$

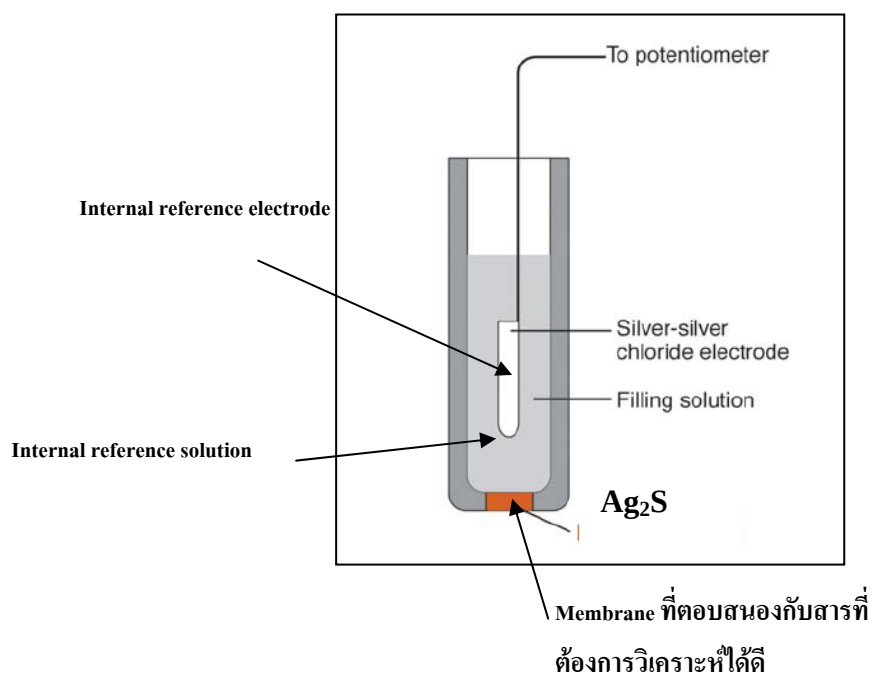
สามารถนำไปหาความเข้มข้นของ S^{2-} ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} E_{\text{cell}} &= K + 0.05916 \log \sqrt{\frac{K_{\text{sp}}}{[\text{S}^{2-}]}} \\ E_{\text{cell}} &= K + \frac{0.05916}{2} \log K_{\text{sp}} - \frac{0.05916}{2} \log [\text{S}^{2-}] \\ E_{\text{cell}} &= K' - \frac{0.05916}{2} \log [\text{S}^{2-}] \\ \text{โดย } K' &= K + \frac{0.05916}{2} \log K_{\text{sp}} \end{aligned}$$

จะเห็นว่าค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออนด้วย ดังนั้นสามารถนำขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์ซัลไฟด์ ไปตรวจวัดหาปริมาณได้ทั้ง Ag^+ และ S^{2-} โดยไม่ตอบสนองต่อไอออนอื่น ๆ ซึ่งในการตรวจวัดหาปริมาณซัลไฟด์ไอออนจะต้องมีการเติมสารละลาย alkaline antioxidant reagent (AAR) เพื่อยับยั้งไม่ให้แบคทีเรียมาทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์ไอออน

จากสมการของ E_{cell} ข้างต้นจะเห็นว่าค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้แปรโดยตรงกับลอการิทึมฐาน 10 ของความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออน ($\log[\text{S}^{2-}]$) ดังนั้นเมื่อนำค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากชุดสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่ระดับค่าความเข้มข้นต่าง ๆ กัน มาพล็อตกับค่า $-\log[\text{S}^{2-}]$ จะได้กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ที่มีความชันเท่ากับ -29.58 มิลลิโวลต์ (mV)

การวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ไอออนในสารตัวอย่างทำได้โดยนำสารละลายตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนการเติมสารเช่นเดียวกันกับสารละลายมาตรฐาน และนำไปวัดค่าศักย์ไฟฟ้าเช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐาน นำค่าศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้มาเทียบหาความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออนจากกราฟมาตรฐานที่เตรียมได้ หรือเทียบกับสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน



ภาพที่ 1 ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์คลอไรด์

ที่มา : คณิตา (2542)

2. กระบวนการดูดซับ

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในแก๊สหรือของเหลวให้มาเกาะจับและติดบนผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายจากของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของของแข็งที่เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับคือ ความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายใน นอกจากนี้คุณสมบัติอื่นๆ ของตัวดูดซับ เช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอ ล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ การเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสม ทำให้สามารถแยกโมเลกุลที่เราต้องการออกมา โดยให้ตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้นถูกดูดซับจนอิ่มตัวแล้ว จากนั้นนำมาไล่เอาโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ ออก โดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนความดัน ทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิม และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

การดูดซับจึงเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับจากตัวกลางหนึ่งไปสะสมที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันของพื้นผิวระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ โดยที่ตัวถูกดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นที่ระหว่างของแข็งกับแก๊ส พื้นที่ระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นที่ระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์หรือโลหะถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ ในการดูดซับเพื่อดูดซับสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ กระบวนการดูดซับน้ำมีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับยาฆ่าแมลงในดิน หรือดูดซับโลหะหนักจากแหล่งฝังกลบ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

การดูดซับมีบทบาทที่สำคัญต่อการเคลื่อนย้ายและการเปลี่ยนรูปของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม โดยที่โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกจำกัดความอิสระในการเคลื่อนย้าย (จะตกตะกอนไปพร้อมกับตัวดูดซับ) เทียบกับโมเลกุลอิสระส่วนที่ไม่ถูกดูดซับ และโมเลกุลที่ไม่ถูกดูดซับ จะเกิดกระบวนการเปลี่ยนรูปของสารเคมี การย่อยสลายด้วยแสง หรือการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ สามารถเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าโมเลกุลชนิดเดียวกัน แต่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ (นิพนธ์ และคณิตา, 2550)

2.1 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.1.1 การแพร่ภายนอก (external diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าของตัวดูดซับ

2.1.2 การแพร่ผ่านภายใน (internal diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างตัวดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ

2.1.3 ปฏิกริยาพื้นผิว (surface reaction) ปฏิกริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับดูดติดที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นควรคำนึงถึงการต้านทานจากปฏิกริยาพื้นผิวด้วย

2.2 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล

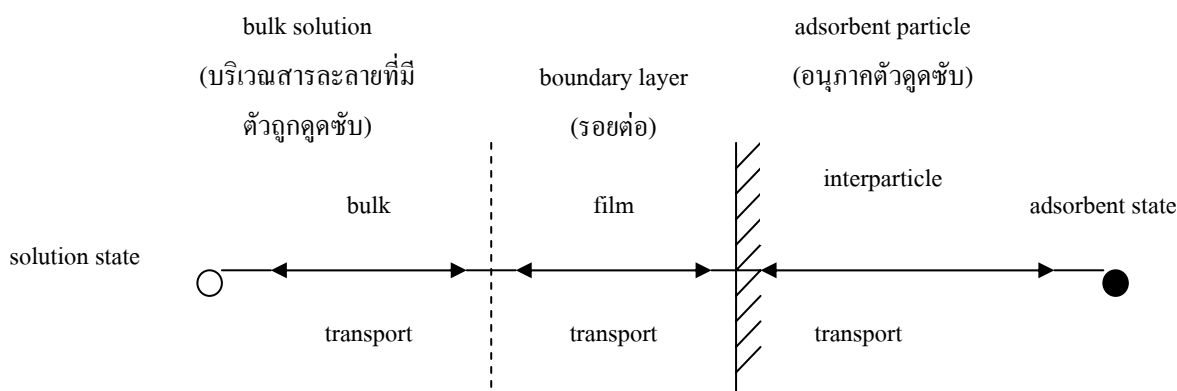
อัตราการดูดซับมีความสำคัญมาก อัตราการดูดซับที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็ว อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีการต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุล ซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดจะเป็นขั้นตอนกำหนดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนย่อย ดังนี้

2.2.1 การขนส่งอนุภาค (bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกดูดซับในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของของเหลวบางๆ หรือผิวสัมผัสน้ำที่ห่อหุ้มตัวดูดซับ

2.2.2 การขนส่งชั้นฟิล์ม (film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ตัวถูกดูดซับแพร่ผ่านฟิล์มน้ำไปยังผิวของตัวดูดซับ จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนหนึ่ง

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

การยึดติดของตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะมีแรงยึดเหนี่ยวเกิดขึ้น ซึ่งอาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวทางกายภาพหรือทางเคมีหรือทั้งสองแบบ



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ

ที่มา : นิพนธ์ และคณิตา (2550)

2.3 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับนั้น อาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางกายภาพ (physical force) หรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางเคมี (chemical force) หรือในบางกรณีอาจเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทั้งสองแบบ

2.3.1 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางกายภาพที่เกี่ยวกับตัวดูดซับ ได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der waal force) แรงแวนเดอร์วาลส์ คือ แรงที่ยึดเหนี่ยวโมเลกุล (โคเวเลนต์) ให้อยู่ด้วยกัน โดยโมเลกุล (โคเวเลนต์) ทุกชนิดทั้งโมเลกุลมีขั้วและโมเลกุลไม่มีขั้ว ต่างมีแรงแวนเดอร์วาลส์ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลกับโมเลกุล เมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้นแรงแวนเดอร์วาลส์จะเพิ่มขึ้น แรงแวนเดอร์วาลส์มี 3 ประเภท ดังนี้

1) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว ซึ่งเรียกว่าแรงลอนดอน (london force) หรือแรงแผ่กระจาย (dispersion force) เกิดขึ้นได้เนื่องจากอิเล็กตรอนในโมเลกุลเคลื่อนที่ตลอดเวลาในขณะใดขณะหนึ่ง กลุ่มหมอกอิเล็กตรอนในโมเลกุลไม่ได้กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ ในลักษณะที่สมมาตร แต่จะเคลื่อนที่ไปหนาแน่นด้านใดด้านหนึ่ง ทำให้ด้านนั้นมีขั้วไฟฟ้าลบมากขึ้นกว่าปกติ อีกด้านก็จะแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าบวก หรือกล่าวได้ว่า ทำให้โมเลกุลนั้นกลายเป็นโมเลกุลมีขั้วชั่วคราวขึ้นมา ขั้วของโมเลกุลที่เกิดขึ้นนี้จะไปเหนี่ยวนำโมเลกุลข้างเคียง ถ้าโมเลกุลมี

ขั้วหนึ่งขั้วบวกไปทางโมเลกุลใดก็จะเหนี่ยวนำให้โมเลกุลนั้นเกิดขั้วลบขึ้นทางด้านที่ติดกัน โดยวิธีนี้โมเลกุลจะเกิดการเหนี่ยวนำกันต่อไปจนเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (induced dipole-induced dipole attraction)

แรงแวนเดอร์วาลส์มีค่าเพิ่มขึ้นตามมวลโมเลกุล เพราะเมื่อโมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น จำนวนอิเล็กตรอนย่อมเพิ่มขึ้นด้วย เมื่ออิเล็กตรอนจำนวนมากไปอยู่หนาแน่นทางด้านใดด้านหนึ่งจะแสดงอำนาจไฟฟ้าลบมาก และด้านตรงข้ามก็จะมีอำนาจขั้วไฟฟ้าบวกมากด้วย แรงดึงดูดระหว่างขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจึงมีความแข็งแรงมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากจำนวนอิเล็กตรอนในโมเลกุลแล้วรูปร่างของโมเลกุลก็มีส่วนที่จะทำให้แรงแวนเดอร์วาลส์มีความแข็งแรงมากหรือน้อย เป็นต้นว่า ถ้าโมเลกุลไม่ซับซ้อน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปอยู่หนาแน่นทางด้านใดด้านหนึ่งได้ง่าย การเหนี่ยวนำให้เกิดขั้วของโมเลกุลจึงเป็นไปได้ง่าย แต่ถ้าโมเลกุลมีรูปร่างซับซ้อน อิเล็กตรอนที่ถูกเหนี่ยวนำจะเกิดการบดบังกัน สภาพขั้วจึงน้อย ทำให้แรงดึงดูดน้อยตามไปด้วย

2) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว กรณีเช่นนี้เกิดจากโมเลกุลมีขั้วเข้าใกล้โมเลกุลไม่มีขั้ว จะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้โมเลกุลที่ถูกเหนี่ยวนำกลายเป็นโมเลกุลมีขั้วตามไปด้วย จึงเกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วกับขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (dipole-induced dipole attraction)

3) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้ว ด้านหนึ่งของโมเลกุลจะแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าบวกและอีกด้านหนึ่งแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าลบ ขั้วไฟฟ้าบวกกับขั้วไฟฟ้าลบ จึงดึงดูดกัน (dipole-dipole attraction)

ในกรณีที่โมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจนกับอะตอมของธาตุอื่นที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง ทำให้เกิดพันธะสภาพมีขั้วสูง โดยด้านไฮโดรเจนอะตอมมีสภาพขั้วบวก จึงเกิดแรงดึงดูดกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของอะตอมที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงในโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง แรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า พันธะไฮโดรเจน

แรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นแรงที่ไม่แข็งแรงนักเมื่อเทียบกับแรงยึดเหนี่ยวชนิดอื่นๆ เช่น การทำลายแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลของคลอรีน (Cl_2) 1 โมล ใช้พลังงาน 25 กิโลจูล แต่พลังงานที่ต้องใช้เพื่อทำลายพันธะ Cl-Cl ในโมเลกุลคลอรีนมีค่าถึง 244 กิโลจูล/โมล ความแข็งแรงของแรงแวนเดอร์วาลส์มีค่าระหว่าง 0.01-0.1 ของพันธะโควาเลนต์ ดังนั้นการดูดซับทางกายภาพ

สามารถผันกลับคือ เกิดการคายหรือเกิดการคายสารออก (desorption) อันเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยว (แรงแวนเดอร์วาลส์) ที่ไม่แข็งแรงระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ

2.3.2 แรงยึดเหนี่ยวทางเคมี คือ การสร้างพันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ซึ่งอาจเป็นพันธะไอออนิก (แรงดึงดูดระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบ) หรือพันธะโควาเลนต์ การใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน โดยเกิดสมดุลทั้งแรงดูด (อิเล็กตรอนกับโปรตอน) และแรงผลัก (อิเล็กตรอนกับอิเล็กตรอน และโปรตอนกับโปรตอน)

การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ มีผลทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ขึ้น และการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayered) ทำให้ไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible process) จึงไม่เกิดการคายซ้ำ

2.4 รูปแบบของการดูดซับ

2.4.1 การดูดซับทางกายภาพ (physisorption or physical adsorption or van der waals adsorption) เป็นผลมาจากปฏิกิริยาของแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (london dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับโมเลกุลของตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่ซ้อนกันเป็นหลายชั้น (multilayered) โดยแต่ละชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับบนชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับก่อนหน้านี้ และจำนวนชั้นของโมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ และระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวถูกดูดซับด้วยในระหว่างชั้น อาจเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ อย่างไรก็ตามหนึ่ง การดูดซับทางกายภาพโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้พลังงานของระบบลดลงเป็นการทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น

2.4.2 การดูดซับทางเคมี (chemisorption) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบเคมีซึ่งแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพ กระบวนการนี้จะมี ความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียว และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับเองได้ ส่วนการดูดซับทางกายภาพที่สามารถผันกลับเองได้ เนื่องจากการจับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของตัวดูดซับ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

ที่อุณหภูมิสูงมากกว่าอุณหภูมิต่ำ ความแข็งแรงของแรงดึงดูดสามารถวัดได้จากผลต่างจากความร้อนที่เกิดขึ้น จากการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำโดยทั่วไปประมาณ 2-10 กิโลแคลอรี/โมล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูงโดยประมาณ 15-50 กิโลแคลอรี/โมล และยังพบว่าค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของกระบวนการดูดซับทางเคมีมีค่ามากกว่าทางกายภาพ ด้วยเหตุผลนี้กระบวนการดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าทางเคมี

2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

2.5.1 ความดัน ความดันในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ film diffusion หรือ pore diffusion ซึ่งแล้วแต่ความดันของระบบ ถ้าน้ำมีความดันต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าไปหาตัวดูดซับ ดังนั้นการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในตรงกันข้าม ถ้าความดันสูงจะเกิดฟิล์มบาง ทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าหาตัวดูดซับได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุน ในการนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ

2.5.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ นั่นคือ ตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากจะดูดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย และอัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดตัวดูดซับ เช่น คาร์บอนผง (powder activated carbon, PAC) มีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าคาร์บอนแบบเกร็ด (granular activated carbon, GAC)

2.5.3 ขนาดและลักษณะของตัวถูกดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของตัวดูดซับ เช่น คาร์บอน การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อสารมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างภายในพอดิ (พอดิเข้าไปในช่องว่างได้) ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในช่องว่างภายในก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปข้าง อาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ นั่นคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลง

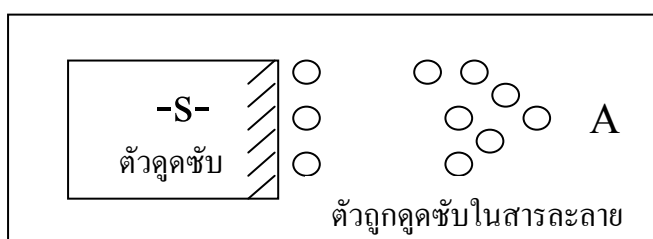
2.5.4 ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย ในที่นี้คือ น้ำ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้น้อยจะสามารถถูกดูดซับได้ดี

2.5.5 พีเอช มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้น จึงมีผลกระทบต่อการดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ดี

2.5.6 อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับได้เร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

2.5.7 เวลาสัมผัส เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ และอายุการใช้งานของตัวดูดซับ โดยที่เวลาสัมผัสมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดซับเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเวลาสัมผัสเลยจากช่วงนี้แล้ว ก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับเลย

2.6 สมดุลการดูดซับ



ภาพที่ 3 การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกละลายไปยังตัวดูดซับ

ที่มา : นิพนธ์ และกณิดา (2550)

เมื่อเติมตัวดูดซับปริมาณหนึ่งลงไปในตัวทำละลายที่มีโมเลกุลตัวถูกละลายเข้มข้นตอนต้น C_0 ในช่วงเริ่มต้นโมเลกุลตัวถูกละลายบางส่วนไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับ เมื่อระยะเวลา

ผ่านไปจะมีจำนวนโมเลกุลตัวถูกละลายไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกัน โมเลกุลตัวถูกละลายบางส่วนที่เกาะติดกับพื้นผิวจะคายซับออกมา พบว่าอัตราการคายซับจะเกิด น้อยกว่าอัตราการดูดซับ เมื่อปล่อยให้กระบวนการดูดซับดำเนินไปจนกระทั่งอัตราการดูดซับ เท่ากับอัตราการคายซับ ระบบเข้าสู่สมดุล ณ สภาวะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่าจำนวน โมเลกุล ของตัวถูกละลายและจำนวนโมเลกุลตัวถูกละลายที่คายซับออกมามีปริมาณคงที่

$$\begin{aligned} \frac{\text{ปริมาณตัวถูกละลายบนพื้นผิว}}{\text{ของตัวดูดซับ}} &= \frac{\text{ปริมาณตัวถูกละลายที่หลุดออกมา}}{\text{จากตัวดูดซับ}} \\ qW &= V(C_0 - C) \end{aligned} \quad (4)$$

เมื่อ q เป็นปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ(หน่วยเป็น ปริมาณตัวถูกละลายต่อมวลตัวดูดซับ เช่น mol/kg, mol/g และ mg/kg)
 W เป็นมวลของตัวดูดซับที่ใช้ (หน่วยเป็นน้ำหนัก เช่น kg)
 V เป็นปริมาตรของสารละลายที่มีตัวถูกละลายละลายอยู่ (หน่วยเป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือลิตร)

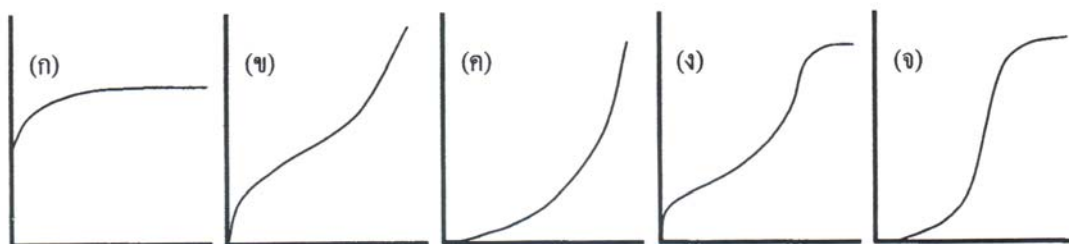
C_0 เป็นความเข้มข้นของตัวถูกละลายก่อนการดูดซับที่อยู่ในสารละลาย (หน่วยเป็น ความเข้มข้น เช่น mol/l)

C เป็นความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เหลืออยู่ในสารละลาย (หน่วยเป็นความเข้มข้น เช่น mol/l)

2.7 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวถูกละลายบนพื้นผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (q) กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เหลืออยู่ในสารละลาย (C) ที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่

รูปกราฟที่พล็อตระหว่างค่า q ในแกนตั้งและค่า C ในแกนนอนจะให้รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอร์มของการดูดซับ 5 แบบ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน

ที่มา : Maron and Prutton (1961)

จากภาพที่ 4 รูป (ก) จัดเป็นไอโซเทอร์มของการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นแบบชั้นเดียว ส่วนรูป (ข) ถึง (จ) เป็นไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบหลายชั้น

สมการไอโซเทอร์มของการดูดซับจะอาศัยแบบจำลองการดูดซับทางคณิตศาสตร์ในที่นี้จะกล่าวถึง 2 สมการที่นิยมใช้กัน ดังนี้

2.7.1 สมการการดูดซับของฟรุนดิช (Freundlich adsorption isotherm) คือไอโซเทอร์มของการดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ (heterogeneous adsorption surface) พื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด) มีรูปแบบของสมการเป็นดังนี้

$$q = KC^{1/n} \quad \text{----- (5)}$$

K และ n เป็นค่าคงที่ของฟรุนดิช (Freundlich constant) ของแต่ละระบบที่กำลังศึกษาหรือทดลอง และ n ใช้อธิบายลักษณะเส้นกราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับ โดยทั่วไป n จะมีค่ามากกว่าหนึ่ง

เมื่อจัดรูปสมการที่ (5) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง โดยใส่ลอการิทึมทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \text{----- (6)}$$

เมื่อ q = ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ
(ความสามารถการดูดซับ) (mg/g)

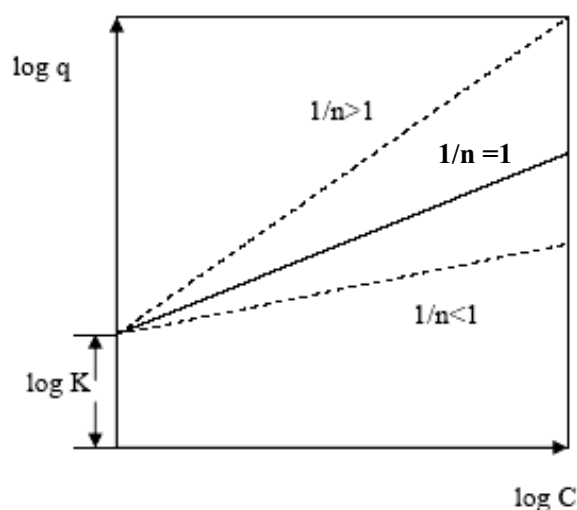
K = ค่าคงที่การดูดซับ

$\frac{1}{n}$ = ความชันของกราฟ

C = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (mg/l)

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $\frac{1}{n}$

และมีจุดตัดเท่ากับ $\log K$



ภาพที่ 5 กราฟความชันระหว่าง $\log q$ และ $\log C$

ที่มา : นิพนธ์ และคณิตา (2550)

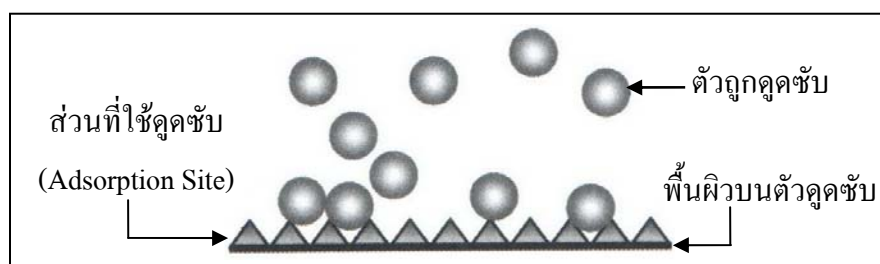
ถ้า $\frac{1}{n} = 1$ ไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบเส้นตรง

ถ้า $\frac{1}{n} < 1$ บอกลถึงความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับจะต่ำในทุกค่าของความเข้มข้น C หรือกล่าวว่ามีปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับในปริมาณจำกัดในการดูดซับ

ถ้า $\frac{1}{n} > 1$ บอกลถึงความสามารถของการดูดซับของตัวดูดซับจะดูดซับได้มาก หรือกล่าวว่บริเวณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากในการดูดซับ

เมื่อพล็อตกราฟระหว่างค่า q และ C จากสมการที่ (5) จะไม่สามารถบอกถึงปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับได้มากที่สุด (adsorption maxima) เนื่องจากตัวถูกละลายสามารถจะเกิดการซ้อนทับกันได้

2.7.2 สมการการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm) ได้มีข้อกำหนดว่า พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด (monogeneous adsorption surface) มีกลไกของการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกละลายบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ตัวถูกละลายจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ (ดังภาพที่ 7) โดยที่โมเลกุลตัวถูกละลายไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกละลายถูกดูดซับไว้แล้วจะไม่มีการเคลื่อนที่ (เคลื่อนย้าย) หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกละลายอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกละลายมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกละลายถูกดูดซับจนอิ่มตัว (ถูกดูดซับได้มากที่สุด)



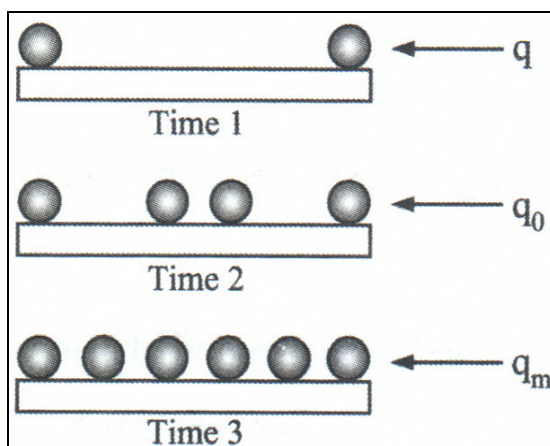
ภาพที่ 6 แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์

ที่มา : นิพนธ์ และคณิตา (2550)

จากความรู้เรื่องสมดุลการดูดซับ (2.6) ถือว่าการดูดซับได้มากที่สุดเท่ากับหนึ่งรูปแบบของสมการแลงเมียร์

รูปแบบสมการของแลงเมียร์จะใช้

$$q = \frac{q_m KC}{1 + KC} \quad \text{----- (7)}$$



ภาพที่ 7 การดูดซับของแลงเมียร์เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว
ที่มา : นิพนธ์ และคณิตา (2550)

เมื่อจัดรูปสมการที่ (7) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง จะได้

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K q_m C} \quad \text{----- (8)}$$

เมื่อ q = ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ

(ความสามารถการดูดซับ) (mg/g)

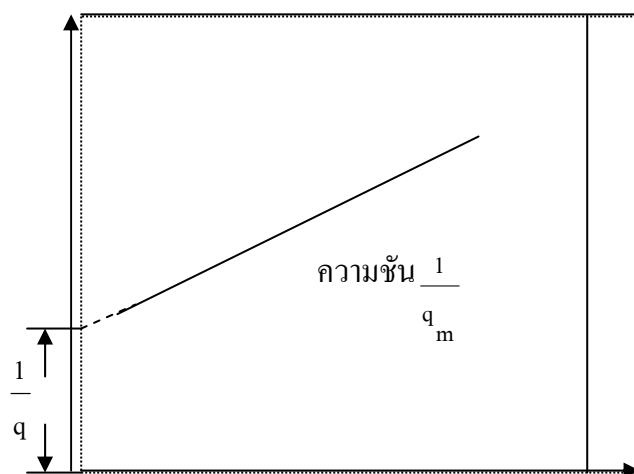
q_m = ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (mg/g)

K = ค่าคงที่การดูดซับ

C = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (mg/l)

พล็อตกราฟระหว่าง $\frac{1}{q}$ และ $\frac{1}{C}$ จะได้กราฟเส้นตรงมีค่าความชันเท่ากับ $\frac{1}{K q_m}$

และจุดตัดเท่ากับ $\frac{1}{q_m}$



ภาพที่ 8 กราฟแสดงความชันระหว่าง $\frac{1}{q}$ และ $\frac{1}{C}$

ที่มา : นิพนธ์ และคณิดา (2550)

2.8 สารที่มีความสามารถในการดูดซับ อาจแบ่งได้ 5 ประเภท

2.8.1 ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และ แอกติเวเตดซิลิกา (zeolite) สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวประมาณ 50-200 ตารางเมตร/กรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสีย คือ จับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากตัวดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีดจำกัดมาก

2.8.2 ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 500-1,400 ตารางเมตร/กรัม เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพ และมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในด้านต่างๆ เช่น ฟอกสี ใช้ในการดูดซับกลิ่นและรส ใช้ในการดูดซับตะกอนในโรงงานเบียร์ เป็นต้น

2.8.3 ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออน (resin) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อดูดซับสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

2.8.4 วัสดุชีวภาพ (biomaterials) ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น จีลีเยอ ไคโตซาน (chitosan) กาแฟที่ใช้แล้ว ชา และชาเขียวที่ใช้แล้ว ฟางข้าว (rice straw) เปลือกไม้ (bark) เถาแกลบดำ เป็นต้น

2.8.5 สารดูดซับชีวภาพ (biosorbent) ได้แก่ เซลล์จุลินทรีย์ เช่น เซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ หรือราสายพันธุ์ต่างๆ และสาหร่าย

3. ทฤษฎีการกรอง

กระบวนการกรองน้ำเป็นขั้นตอนหนึ่งในการทำมาสะอาดน้ำ โดยการผ่านน้ำสู่ตัวกรอง ที่มีรูพรุนเพื่อดักจับสารแขวนลอยต่าง ๆ ออกไป ด้วยกลไกทางกายภาพ และเคมี ทำให้น้ำที่ผ่านกระบวนการนี้มีความสะอาดตามต้องการ โดยการกรองจะเกิดขึ้นเมื่อมีกลไกการกรองน้ำ ดังต่อไปนี้

3.1 กลไกการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาสารกรอง (transport mechanism)

ในการกรองผ่านชั้นสารกรอง สารแขวนลอยเคลื่อนที่เข้าหาสารกรองได้ 2 วิธี วิธีแรกเป็นการเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของสารที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน และเป็นการเคลื่อนที่ในระดับโมเลกุลที่เกิดจากการแพร่กระจายแบบบราวเนียน (brownian diffusion) วิธีที่สองเป็นการเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหลของน้ำ สารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน จะวิ่งเบียดเข้าหาสารกรอง (interception) ในขณะที่ผ่านช่องว่างขนาดเล็ก นอกจากนี้สารแขวนลอยขนาดใหญ่ยังอาจตกตะกอน (sedimentation) ในทิศทางที่เคลื่อนที่เข้าหาสารกรองได้ ขนาด และการกระจายขนาด (size distribution) ของสารแขวนลอยมีความสำคัญต่อกลไกเคลื่อนย้ายเป็นอย่างมาก

3.2 กลไกจับสารแขวนลอย (attachment mechanism)

สารแขวนลอยขนาดใหญ่อาจตกตะกอนและเกาะติดอยู่บนสารกรอง หรืออาจตกค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างสารกรอง ทำให้สามารถกรองออกจากรูได้ อย่างไรก็ตามปรากฏว่าเครื่องกรองสามารถดักจับคอลลอยด์ขนาดเล็กออกจากรูได้ด้วย ซึ่งกลไกทางกายภาพเพียงลำพังไม่น่าจะทำได้ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการกรองน้ำต้องอาศัยกลไกแบบที่ใช้ในกระบวนการ

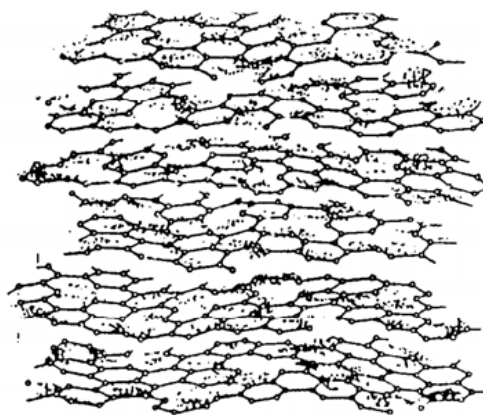
โคแอกกูเลชันด้วย กลไกดังกล่าวคือ การดูดติดผิว และทำลายประจุไฟฟ้าของคอลลอยด์สามารถเกาะจับอยู่บนสารกรอง หรือบนสิ่งอื่นที่จับบนสารกรองอยู่ก่อนแล้ว อย่างไรก็ตาม สารกรองและคอลลอยด์มักมีประจุลบทั้งคู่ จึงต้องมีการทำลายประจุไฟฟ้าของสารตัวใดตัวหนึ่งก่อนหรือของทั้งคู่ เพื่อมิให้เกิดแรงผลักระหว่างประจุเดียวกัน ในกรณีของการกรองน้ำ คอลลอยด์ในน้ำเคลื่อนที่ผ่านชั้นกรองซึ่งอยู่กับที่ ทำให้สามารถทำลายประจุไฟฟ้าของคอลลอยด์ก่อนผ่านเข้าชั้นกรองได้ หรือถ้าเปลี่ยนประจุของคอลลอยด์ให้เป็นประจุบวกก่อนผ่านเข้าชั้นกรอง ก็จะได้ผลในการกรองมากยิ่งขึ้น เพราะการที่สารกรองและคอลลอยด์ประจุต่างกัน เป็นการส่งเสริมการดูดติดผิวให้เกิดขึ้นได้อย่างเหนียวแน่น ในบางครั้งคอลลอยด์ต่าง ๆ อาจรวมกันเป็นฟล็อก ทำให้มีขนาดใหญ่จนสามารถตกตะกอนเป็นสารกรองหรือติดค้างอยู่ในระหว่างช่องว่าง (ฉัตรสินี, 2545)

4. ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ต่างจากถ่านชนิดอื่นๆ เช่น ถ่านหิน ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือ ถ่านแกรไฟต์ คือ ถ่านกัมมันต์มีความพรุน (porosity) มากกว่า ความพรุนที่เพิ่มขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากการกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือทางกายภาพ ทำให้เกิดช่องว่างระหว่าง ผลึกของถ่าน (element crystallites) เพิ่มขึ้น การกระตุ้นที่เหมาะสมจะได้รูพรุนเป็นจำนวนมาก ทำให้ถ่านมีพื้นที่ผิวภายใน (internal surface area) เพิ่มขึ้นสามารถดูดซับกลิ่นและสีได้มากกว่า ถ่านธรรมชาติ การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้กระทำได้โดยไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบเสียก่อนจากนั้นจึงเผาวัตถุดิบที่แห้งให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิประมาณ 400-600 องศาเซลเซียส ถ่านที่ได้ยังมีอำนาจการดูดติดผิวต่ำเนื่องจากโพรงภายในคาร์บอนยังมีทาร์ (tar) อุดตันอยู่ ถ่านนี้ต้องเผาต่อไปที่อุณหภูมิประมาณ 700-950 องศาเซลเซียส ภายใต้ความชื้นที่เหมาะสมเพื่อไล่ทาร์ออกให้หมดจึงจะได้ถ่านกัมมันต์ วัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์มีหลายชนิด เช่น กระดูกสัตว์ ถ่านหินบางชนิด กะลามะพร้าว เมล็ดในของผลไม้บางชนิด ฯลฯ เทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถทำให้ถ่านกัมมันต์หนัก 1 กรัม ที่มีพื้นที่ผิวประมาณ 600-1,000 ตารางเมตร (มันสิน, 2538)

ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายกราไฟต์ (graphite) แต่ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวมากกว่า และมีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ อันเนื่องมากระบวนการคาร์บอนไนเซชัน และอุณหภูมิในกระบวนการกระตุ้น (Faust and Aly, 1987) โดยโครงสร้างเป็นผลึกเล็กมาก (microcrystallites) เป็นวงแหวนเหลี่ยมด้านเท่าของอะตอมคาร์บอนผสมกัน เส้นผ่าน

ศูนย์กลางของชั้นคาร์บอนที่สร้างผลึกเล็กๆ มีขนาดประมาณ 150 อังสตรอม และระยะทางระหว่างผลึกเล็กๆ มีค่า 20-50 อังสตรอม ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ที่มา: Faust and Aly (1987)

4.1 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ มี 2 ขั้นตอน ดังนี้

4.1.1 กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (carbonization process) เป็นกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในรูปของชาร์ (char) ที่เป็นของแข็งมากกว่าน้ำมันทาร์และแก๊ส เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอน เพื่อให้เกิดโครงสร้างรูพรุน โดยการทำให้เกิดการแตกตัวของสารที่ไม่ใช่คาร์บอน (เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน) ออกมาในรูปของแก๊สคาร์บอนอิสระ โดยทั่วไปทำในสภาพอัดอากาศ ที่อุณหภูมิ 200 ถึง 500 องศาเซลเซียส ถ่านที่ได้ควรมีสีดำตลอด เมื่อหักดู ส่วนที่หักดูจะมีผิวที่เป็นมันเงา ปลายที่หักจะแหลมคม และปราศจากผงฝุ่นและขี้เถ้า แต่ยังสามารถในการดูดซับผิวดำ เนื่องจากโพรงภายในคาร์บอนยังมีทาร์อุดตันอยู่ ดังนั้นจึงต้องผ่านกระบวนการออกซิไดส์ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและไล่ทาร์ออกจากโพรงของคาร์บอนต่อไป

4.1.2 กระบวนการออกซิเดชัน (oxidation process) โดยใช้ก๊าซซึ่งมีสมบัติในการออกซิไดส์ที่อุณหภูมิสูง โดยก๊าซส่วนใหญ่ที่ใช้ ได้แก่ ไอน้ำ อากาศ และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถใช้ผสมกันก็ได้ สำหรับความสามารถในการดูดซับผิวหรือความจุของการดูดซับผิวของคาร์บอนที่ได้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยของกระบวนการกระตุ้น ดังนี้

- ก. คุณสมบัติทางเคมีและความเข้มข้นของสารออกซิไดส์
- ข. อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการกระตุ้น
- ค. ระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น
- ง. ปริมาณและชนิดของธาตุที่เป็นส่วนประกอบของถ่าน

ทั้งนี้ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ธรรมชาติทางเคมี ความเข้มข้นของแก๊สที่ออกซิไดส์ อุณหภูมิในปฏิกิริยา ปริมาณของสิ่งเจือปนที่ถูกกำจัดออกระหว่างการเผา เป็นต้น

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กุลลดา (2550) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดัดสีสังเคราะห์ของผ้าไหมและการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ที่อัตราการไหล 4.7 มล./นาที่ ถ่านกัมมันต์สูง 50 และ 100 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดในช่วง 10 นาทีแรก โดยสามารถลดค่า COD ได้สูงสุดร้อยละ 36.63 และ 34.06 ตามลำดับ และลดความเข้มข้นสีได้ร้อยละ 60 และ 80 ตามลำดับ และ ที่อัตราการไหล 7.3 มล./นาที่ สามารถลดค่า COD ได้ร้อยละ 24.97 และ 29.34 ตามลำดับ และลดความเข้มข้นสีได้ร้อยละ 50 และ 70 ตามลำดับ หลังจากนั้นประสิทธิภาพจะลดลงและเริ่มคงที่

จิราภรณ์ (2543) ทำการศึกษาการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำทิ้งด้วยซีโอไลต์ โดยทำการศึกษากการดูดซับซัลไฟด์ การทดสอบด้วยกระดาษกรองชุบสารละลาย lead acetate ($C_8H_{12}O_8Pb$) ผลการทดลองพบว่าซีโอไลต์สามารถดูดซับซัลไฟด์ได้ จึงทำการศึกษาหาปริมาณของซัลไฟด์ที่ถูกดูดซับด้วยซีโอไลต์โดยวิธีไอโอโดเมตริกซึ่งภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ซัลไฟด์จะถูกแยกออกจากสารละลายมาตรฐาน โดยเกิดปฏิกิริยากับซิงค์ซัลไฟด์ ไอโอไดน์จะออกซิไดซ์ซัลไฟด์ให้เป็นซัลเฟต ซึ่งปริมาณจะสมมูลกับซัลไฟด์แล้ววัดปริมาณไอโอไดน์ที่เหลือโดยการไทเทรตด้วย sodium thiosulfate ($Na_2 S_2O_3$) ผลการวิเคราะห์ สารละลายมาตรฐานจากน้ำทิ้งที่มีซัลไฟด์ 2.14 mg/l ให้มีการดูดซับด้วย ซีโอไลต์เป็นเวลา 3 , 6 และ 12 ชั่วโมง ใช้ปริมาณซีโอไลต์ 50, 100 และ 150 g /สารละลายมาตรฐาน 500 dm^3 พบว่าที่เวลา 3 ชั่วโมง ซีโอไลต์สามารถดูดซับซัลไฟด์ในน้ำทิ้งได้คิดเป็น 25.23%, 31.78% และ 31.78% ตามลำดับ เวลา 6 ชั่วโมง สามารถดูดซับซัลไฟด์ในน้ำทิ้งได้คิดเป็น 25.23%, 37.38% และ 37.38% ตามลำดับ เวลา 12 ชั่วโมง ซีโอไลต์สามารถดูดซับซัลไฟด์ในน้ำทิ้งได้คิดเป็น 50.47%, 62.62% และ 74.77% ตามลำดับ พบว่าซีโอไลต์

150 g ใช้เวลาในการดูดซับ 12 ชั่วโมง มีความสามารถดูดซับซัลไฟด์ได้ถึง 74.77% จากการทดลองในครั้งนี้ยังพบว่าสารละลายมาตรฐานซึ่งมีสภาพเป็นกรดเมื่อผ่านการดูดซับด้วยซีโอไลต์จะมีค่า pH สูงขึ้น

ภาสกร และคณะ (2543) ทำการศึกษาถึงการดูดซับตะกั่วและโครเมียมโดยใช้ตัวดูดซับ คือ ถ่านกัมมันต์และซีเถ้าลอย ในการบำบัดสารละลายมาตรฐาน และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยทำการศึกษาถึงผลของพีเอช ความเข้มข้นเริ่มต้น อุณหภูมิและไอโซเทอร์มของการดูดซับ พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับตะกั่วและโครเมียมด้วยถ่านกัมมันต์ คือ พีเอช 3 สำหรับซีเถ้าลอย พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับตะกั่วและโครเมียม คือ พีเอช 4 และ พีเอช 5 ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30 องศาเซลเซียส ในทุกๆ การทดลอง โดยสภาวะที่เหมาะสมจะถูกนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจริง โดยพบว่าถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับโครเมียมได้ 98.41 % และดูดซับตะกั่วได้ 83.93 % ในขณะที่ซีเถ้าลอยสามารถดูดซับโครเมียมได้ 1.51 % และดูดซับตะกั่วได้ 25.93% ดังนั้นถ่านกัมมันต์จึงเป็นตัวดูดซับที่เหมาะสมกว่าซีเถ้าลอยในการดูดซับโลหะหนัก

ธิติมา และมนตรี (2544) ทำการศึกษาการดูดซับโครเมียมในน้ำเสีย ด้วยขานอ้อยที่กระตุ้นด้วยซิงค์ซัลไฟด์ โดยการนำขานอ้อยมาเผาให้เป็นถ่านกัมมันต์ เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับโครเมียมในสารละลายมาตรฐาน เพื่อที่จะให้มีความสามารถในการเป็นตัวดูดซับได้นั้นจึงต้องนำขานอ้อยที่เผาแล้วมากระตุ้นด้วยซิงค์ซัลไฟด์ โดยศึกษาปริมาณซิงค์ซัลไฟด์ อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม วิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน พบว่า ปริมาณซิงค์ซัลไฟด์ 30 กรัม อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการกระตุ้น 1.5 ชั่วโมง จะได้ค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 933.54 มก./ล. และเมื่อนำขานอ้อยที่ผ่านการกระตุ้นและมาดูดซับโครเมียมในสารละลายมาตรฐาน ศึกษาพีเอชและความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น พบว่า ที่พีเอช 2 ปริมาณโครเมียมสารละลายมาตรฐานเหลือน้อยที่สุด เท่ากับ 11.49 มก./ล. ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 71.28 และปริมาณโครเมียมเริ่มต้นในสารละลายมาตรฐานที่เหมาะสม เท่ากับ 40 มก./ล. จะได้ค่าร้อยละการดูดซับสูงสุด

อรรณพ และคณะ (2545) ทำการศึกษาการดูดซับไอออนเหล็กในสารละลายน้ำบนถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิห้อง ทำโดยใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี การเตรียมถ่านกัมมันต์จากขานอ้อย เปลือกกล้วย และกะลามะพร้าว ด้วยวิธีการโบโนเชชันแล้วกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ การดูดซับไอออนเหล็กบนถ่านกัมมันต์เหล่านี้ มีพฤติกรรมแบบแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม ซึ่งอธิบายว่าไอออนเหล็กปกคลุมจนเต็มพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์แบบชั้นเดียว ปริมาณไอออนเหล็กที่

ถูกดูดซับสูงสุดบนถ่านกัมมันต์เหล่านี้ มีค่าเท่ากับ 0.66 mmol/g, 0.41 mmol/g และ 0.18 mmol/g สำหรับถ่านกัมมันต์จากขานอ้อย เปลือกกลูกลาย และกะลามะพร้าว ตามลำดับ จากการศึกษาการดูดซับที่ขึ้นกับอุณหภูมิ พบว่า เป็นกระบวนการคายความร้อนที่มีค่าความร้อนของการดูดซับ เท่ากับ - 8.9 kJ/mol , -9.7 kJ/mol และ -5.7 kJ/mol สำหรับถ่านกัมมันต์จากขานอ้อย เปลือกกลูกลาย และกะลามะพร้าว ตามลำดับ

Gonzalez and Cid (2003) ทำการศึกษาการกำจัดสีย้อมผ้าโดยวิธีการดูดซับด้วยวัสดุเหลือใช้ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ โดยเลือกใช้ถ่านกัมมันต์จากขังข้าวโพดและจากกะลามะพร้าว พบว่า ถ่านกัมมันต์จากขังข้าวโพดสามารถกำจัดสีย้อมผ้าได้ดีกว่าโดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีเบสิกร้อยละ 87-98 สีรีแอคทีฟร้อยละ 60-98 และสีแอซิดร้อยละ 60-70

Robert and Young (1987) ทำการศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อการดูดซับซัลไฟด์จากน้ำเสีย ขึ้นต้นสามารถลดปริมาณของซัลไฟด์ได้ถึงร้อยละ 36 ถึง 95 เป็นผลสำเร็จโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ Darco S51 ปริมาณ 1,000 mg/l ในน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นมาที่มีความเข้มข้นของซัลไฟด์ 1-50 mg/l ดำเนินการทดลองในช่วงที่มีค่าพีเอชสูง อยู่ระหว่าง 6-12 ความเข้มข้นของซัลไฟด์ที่เหลือน้อยที่สุดอยู่ที่พีเอช 8.5 การดูดซับซัลไฟด์โดยใช้ถ่านกัมมันต์สามารถอธิบายโดยใช้ทั้งสมการการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิชได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์

1.1 pH meter รุ่น 310

1.2 เครื่องโพเทนชิโอเมตริกซ์ไฟฟ้ารวมซิลเวอร์ซัลไฟด์ (Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode)

1.3 เครื่องเขย่า Model VRN-480 GEMMY Orbit Shaker

1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด อ่านค่าละเอียด 0.0001 g รุ่น AB 204-S

1.5 คอลัมน์อะคริลิก เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร

1.6 กระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมครอน ของ whatman

1.7 เครื่องบดละเอียด

1.8 ตะแกรงแยกขนาด

1.9 ตู้อบ

1.10 เครื่องแก้ว

1.11 เคสซิเคเตอร์

1.12 ขวดรูปชมพู่

1.13 ขวดวัดปริมาตร

2. สารเคมี

2.1 สารเคมีสำหรับเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ คือ โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S)

2.2 สารเคมีสำหรับเตรียมสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (alkaline antioxidant reagent: AAR) ประกอบด้วย EDTA(ethylenediaminetetraacetic acid) , กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

2.3 สารเคมีที่ใช้สำหรับปรับพีเอช คือ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.1 M และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 M

2.4 ถ่านกัมมันต์ 2 ชนิด ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน(carbonated carbon) ผลิตจากถ่านกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน(activated carbon) ผลิตจากถ่านกะลามะพร้าว

วิธีการ

1. การเตรียมถ่านกัมมันต์

1.1 ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน(carbonated carbon) ผลิตจากถ่านกะลามะพร้าว โดยนำถ่านกัมมันต์มาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น หลังจากนั้นนำถ่านกัมมันต์มาบดให้ละเอียดเป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 425 ไมครอน เก็บผงถ่านกัมมันต์ที่ผ่านจากการร่อนไว้ใช้ในการศึกษาวิจัยต่อไป

1.2 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน(activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์สำเร็จรูปจากบริษัท Industrial Standard Bangkok Thailand จำกัด ซึ่งมีข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

CERTIFICATE OF ANALYSIS					
E16 Powdered Activated Carbon					
Quantity (bag)	Moisture (%)	Caramel dp (%)	pH -	Ash (%)	Iodine (mg/g)
	JIS	JIS	JIS	JIS	JWWA
3	9.0	79.0	10.7	4.9	930
275	9.0	78.6	10.6	6.0	860
242	8.0	81.4	10.6	6.0	900
130	9.0	77.2	10.5	5.5	890
	8.8	79.1	10.6	5.6	895
650	Max 10	Min 70	9 – 12	Max 6	Min 700

ที่มา: Industrial Standard. Bangkok, Thailand (2004)

1.3 วัดค่าพีเอชเริ่มต้นของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด โดยชั่งถ่านกัมมันต์ปริมาณ 5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้ววัดค่าพีเอชของสารละลาย พบว่าค่าพีเอชของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนมีค่าเท่ากับ 9.9 และ 9.5 ตามลำดับ

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออน

เตรียมสารละลายซัลไฟด์ไอออนมาตรฐาน 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากโซเดียมซัลไฟด์ โดยการชั่งโซเดียมซัลไฟด์ 2.44 กรัม ถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นในปริมาณพอเหมาะ เขย่าให้โซเดียมซัลไฟด์ละลาย จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกระดับ เขย่าให้เข้ากันและปิดจุก จะได้สารละลายตามต้องการ

3. การเตรียมสารสำหรับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (alkaline antioxidant reagent)

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 20 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆ เติมกรดแอสคอร์บิก จำนวน 8.75 กรัม และ EDTA จำนวน 16.75 กรัมลงไป จากนั้นคนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน และเก็บไว้ในที่มืด (Michael et al, 1982)

4. การเตรียมกราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออน

4.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออน ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ชั่งโซเดียมซัลไฟด์จำนวน 0.244 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไปพอประมาณ เขย่าให้โซเดียมซัลไฟด์ละลาย จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกระดับ แล้วเขย่าให้เข้ากันและปิดจุก จะได้สารละลายตามต้องการ

4.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออน 100 มิลลิกรัมต่อลิตรที่เตรียมไว้ จำนวน 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 5, 7 และ 10 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 8 ขวด แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกระดับ เขย่าให้เข้ากัน และปิดจุก (สารละลายแต่ละขวดจะมีความเข้มข้นเท่ากับ 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 5, 7 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ)

4.3 ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนในแต่ละความเข้มข้นมาอย่างละ 50 มิลลิลิตร เติมสารละลาย AAR จำนวน 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และนำไปตรวจวัดด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode นำค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้กับความเข้มข้นของสารละลายซัลไฟด์ไอออนมาสร้างกราฟโดยแทนที่ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ ส่วนแกนนอนแทนค่า $-\log[S^{2-}]$ จะได้กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออน ดังแสดงในภาพผนวก ก

5. การวางแผนการทดลอง

5.1 ศึกษาอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีผลต่อการดูดซับซัลไฟด์ไอออน โดยทำการทดลองแบบแบทช์ ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุนและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุนเป็นตัวดูดซับ

5.1.1 ศึกษาอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีผลต่อการดูดซับซัลไฟด์ไอออน ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุนเป็นตัวดูดซับ โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

ทำการทดลองโดยชั่งผงถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 1 กรัม ต่อสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ และปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 3, 4, 5 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองของผสมระหว่างผงถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับซัลไฟด์ไอออนไว้กับสารละลายด้วยกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode

5.1.2 ศึกษาอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีผลต่อการดูดซับซัลไฟด์ไอออน ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุนเป็นตัวดูดซับ โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

ทำการทดลองโดยชั่งผงถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 1 กรัม ต่อสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ และปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 3, 4, 5 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองของผสมระหว่างผงถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับซัลไฟด์ไอออนไว้กับสารละลายด้วยกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode

5.2 ศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้เพื่อเข้าสู่สมดุลของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุนและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุนที่ใช้ดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออน โดยการทดลองแบบแบทช์

5.2.1 ศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้เพื่อเข้าสู่สมดุลของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนที่ใช้ดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออน โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ทำการทดลองโดยชั่งผงถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 1 กรัม ต่อสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ และปรับพีเอชจากระดับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.1.1 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างที่ 10, 30, 50, 70 และ 90 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองของผสมระหว่างผงถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับซัลไฟด์ไอออนไว้กับสารละลายด้วยกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode

5.2.2 ศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้เพื่อเข้าสู่สมดุลของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนที่ใช้ดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออน โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

ทำการทดลองโดยชั่งผงถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 1 กรัม ต่อสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ และปรับพีเอชจากระดับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.1.2 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างที่ 10, 30, 50, 70 และ 90 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองของผสมระหว่างผงถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับซัลไฟด์ไอออนไว้กับสารละลายด้วยกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode

5.3 ศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนโดยทำการทดลองแบบแบทช์

5.3.1 ศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนโดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

ทำการทดลองโดยชั่งผงถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 1 กรัมต่อสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ปรับพีเอชจากระดับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.1.1 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 5.2.1 ตั้งทิ้งไว้โดยเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 10, 30, 50, 70 และ 90 นาที กรองของผสมระหว่างผงถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับซัลไฟด์ไอออนไว้กับสารละลายด้วยกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode

5.3.2 ศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนโดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

ทำการทดลองโดยชั่งผงถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 1 กรัมต่อสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ปรับพีเอชจากระดับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.1.2 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 5.2.2 ตั้งทิ้งไว้โดยเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 10, 30, 50, 70 และ 90 นาที กรองของผสมระหว่างผงถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับซัลไฟด์ไอออนไว้กับสารละลายด้วยกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode

5.4 ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นต่อการดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน โดยทำการทดลองแบบเบบ

5.4.1 ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นต่อการดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนโดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

ทำการทดลองโดยชั่งผงถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 1 กรัมต่อสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้น 800, 1,000, 1,200, 1,400 และ 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ปรับพีเอชจากระดับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.1.1 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 5.2.1 ตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่ได้จากการทดลองที่ 5.3.1 กรองของผสมระหว่างผงถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับซัลไฟด์ไอออนไว้กับสารละลายด้วยกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode

5.4.2 ศึกษาอิทธิพลของของความเข้มข้นต่อการดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนโดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

ทำการทดลองโดยชั่งผงถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 1 กรัมต่อสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้น 800, 1,000, 1,200, 1,400 และ 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ปรับพีเอชจากระดับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.1.2 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 5.2.2 ตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่ได้จากการทดลองที่ 5.3.2 กรองของผสมระหว่างผงถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับซัลไฟด์ไอออนไว้กับสารละลายด้วยกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode

5.5 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมและไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ไอออน โดยทำการทดลองแบบแบทช์ ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนเป็นตัวดูดซับ

5.5.1 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมและไอโซเทอร์มการดูดซับ ซัลไฟด์ไอออน ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนเป็นตัวดูดซับ โดยทำการทดลอง ทั้งหมด 3 ซ้ำ

ทำการทดลองโดยชั่งผงถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัมต่อสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 5.4.1 ที่พีเอชที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.1.1 ปริมาตร 100 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่ สำหรับนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาทีตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 5.2.1 หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่ได้จากการทดลองที่ 5.3.1 กรองของผสมระหว่างผงถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับซัลไฟด์ไอออนไว้กับสารละลายด้วยกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode

5.5.2 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมและไอโซเทอร์มการดูดซับ ซัลไฟด์ไอออน ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนเป็นตัวดูดซับโดยทำการทดลอง ทั้งหมด 3 ซ้ำ

ทำการทดลองโดยชั่งผงถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัมต่อสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 5.4.2 ที่พีเอชที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.1.2 ปริมาตร 100 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่ สำหรับนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาทีตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 5.2.2 หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่ได้จากการทดลองที่ 5.3.2 กรองของผสมระหว่างผงถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับซัลไฟด์ไอออนไว้กับสารละลายด้วยกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode

5.6 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในสารละลายมาตรฐานโดยเทียบจากค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี ทำการทดลองแบบแบทช์ ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนเป็นตัวดูดซับ

5.6.1 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในสารละลายมาตรฐานโดยเทียบจากค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนเป็นตัวดูดซับ โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

ทำการทดลองโดยชั่งผงถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 0.5, 1, 1.5 และ 2 กรัมต่อสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่ความเข้มข้นที่ 20 ppm (ค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี) ที่พีเอชที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.1.1 ปริมาตร 50 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่สำหรับนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาทีตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 5.2.1 หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่ได้จากการทดลองที่ 5.3.1 กรองของผสมระหว่างผงถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับซัลไฟด์ไอออนไว้กับสารละลายด้วยกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode

5.6.2 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในสารละลายมาตรฐานโดยเทียบจากค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนเป็นตัวดูดซับ โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

ทำการทดลองโดยชั่งผงถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 0.5, 1, 1.5 และ 2 กรัมต่อสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่ความเข้มข้นที่ 20 ppm (ค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี) ที่พีเอชที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.1.2 ปริมาตร 50 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่สำหรับนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาทีตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 5.2.2 หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่ได้จากการทดลองที่ 5.3.2 กรองของผสมระหว่างผงถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับซัลไฟด์ไอออนไว้กับสารละลายด้วยกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode

5.7 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนเป็นตัวดูดซับ

5.7.1 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนเป็นตัวดูดซับโดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

เนื่องจากน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีทั้ง 4 จุด มีสถานะที่แตกต่างจากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนจากการทดลองแบบเบทซ์ดังตารางภาคผนวกที่ 21 แต่การศึกษานี้ทำการทดลองดูดซับซัลไฟด์ไอออนโดยใช้สถานะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบทซ์

ทำการทดลองโดยชั่งผงถ่านกัมมันต์ ปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 5.6.1 และเติมน้ำเสียจากเทศบาลเมืองเพชรบุรีที่มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่พีเอชที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.1.1 ลงในขวดรูปชมพู่สำหรับนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาทีตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 5.2.1 หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่ได้จากการทดลองที่ 5.3.1 กรองของผสมระหว่างผงถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับซัลไฟด์ไอออนไว้กับสารละลายด้วยกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode

5.7.2 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนเป็นตัวดูดซับโดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

เนื่องจากน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีทั้ง 4 จุด มีสถานะที่แตกต่างจากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนจากการทดลองแบบเบทซ์ดังตารางภาคผนวกที่ 21 แต่การศึกษานี้ทำการทดลองดูดซับซัลไฟด์ไอออนโดยใช้สถานะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบทซ์

ทำการทดลองโดยชั่งผงถ่านกัมมันต์ ปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 5.6.2 และเติมน้ำเสียจากเทศบาลเมืองเพชรบุรีที่มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่พีเอชที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ 5.1.2 ลงในขวดรูปชมพู่สำหรับนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว

รอบ 100 รอบต่อนาทีตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 5.2.2 กรองของผสมระหว่างผง ถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับซัลไฟด์ไอออนไว้กับสารละลายด้วยกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำสารละลายที่กรองได้ไปวัดหาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode

5.8 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในสารละลายมาตรฐานของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนเป็นตัวดูดซับโดยทำการทดลองแบบคอลัมน์

5.8.1 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในสารละลายมาตรฐานของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนเป็นตัวดูดซับโดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

ทำการทดลองโดยใช้สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับพีเอชจากระดับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 5.1.1 ให้ไหลผ่านคอลัมน์อะคริลิกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ซึ่งบรรจุถ่านกัมมันต์ 20 กรัม จากนั้นปล่อยสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนให้ไหลผ่านคอลัมน์ โดยเก็บตัวอย่างสารละลายมาตรฐานจากทางออกปลายคอลัมน์ทุกๆ 50 มิลลิลิตร จนครบปริมาตร 250 มิลลิลิตร และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion- Selective Combination Electrode

5.8.2 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในสารละลายมาตรฐานของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนเป็นตัวดูดซับโดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

ทำการทดลองโดยใช้สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับพีเอชจากระดับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 5.1.2 ให้ไหลผ่านคอลัมน์อะคริลิกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ซึ่งบรรจุถ่านกัมมันต์ 20 กรัม จากนั้นปล่อยสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนให้ไหลผ่านคอลัมน์ โดยเก็บตัวอย่างสารละลายมาตรฐานจากทางออกปลายคอลัมน์ทุกๆ 50 มิลลิลิตร จนครบปริมาตร 250 มิลลิลิตร และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับ ด้วย Silver Sulfide Ion- Selective Combination Electrode

5.9 ศึกษาการฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุนและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุนหลังจากการใช้งานและฟื้นฟูสภาพแล้ว

5.9.1 ศึกษาการฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุนหลังจากการใช้งานและฟื้นฟูสภาพแล้วโดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

ทำการทดลองโดยนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วมาล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปอบให้แห้ง เพื่อไล่ความชื้น หลังจากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาทดสอบหาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในสารละลายมาตรฐานเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยศึกษาการฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วจำนวน 2 ครั้ง ใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบสท์ และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับ ด้วย Silver Sulfide Ion- Selective Combination Electrode

5.9.2 ศึกษาการฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุนหลังจากการใช้งานและฟื้นฟูสภาพแล้วโดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

ทำการทดลองโดยนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วมาล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปอบให้แห้ง เพื่อไล่ความชื้น หลังจากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาทดสอบหาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในสารละลายมาตรฐานเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยศึกษาการฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วจำนวน 3 ครั้ง ใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบสท์ และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับ ด้วย Silver Sulfide Ion- Selective Combination Electrode

6. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเคมี วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. ระยะเวลาในการทดลอง

ระยะเวลาที่ทำการศึกษาดทดลอง 10 เดือน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2550 ถึงเดือน
เมษายน พ.ศ. 2551

ผลและวิจารณ์

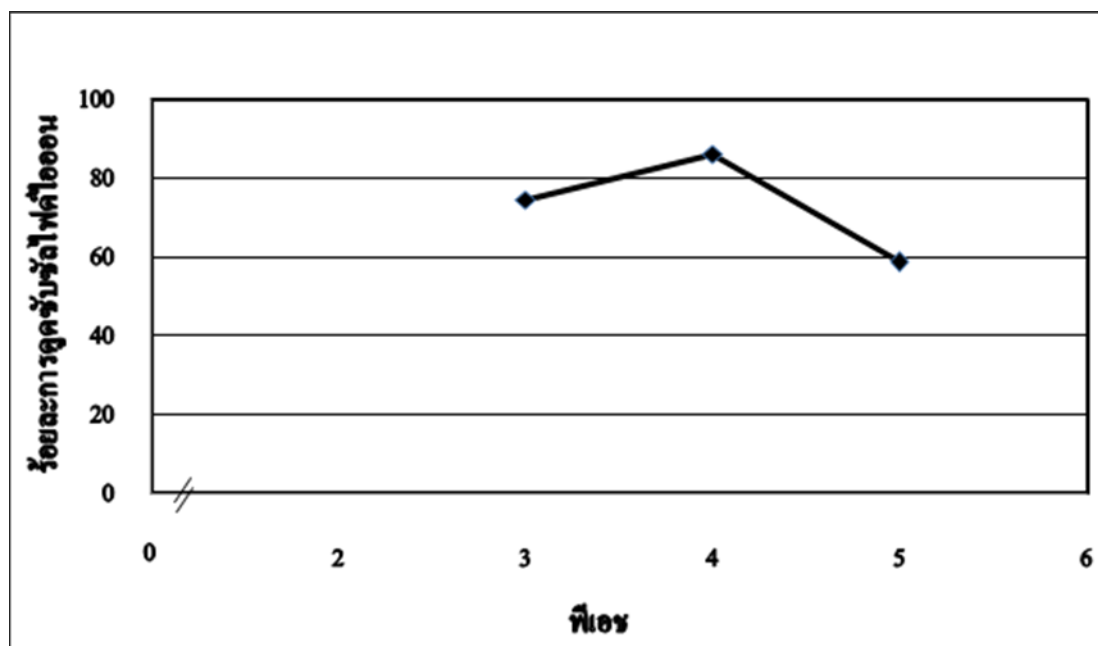
ผลการทดลอง

การศึกษาคูคัพซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออน โดยการทดลองแบบแบทช์ ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อสถานะการคัพซัล ได้แก่ พีเอช (pH) ระยะเวลาปั่นกววน (equilibrium time หรือ shaking time) ระยะเวลาสัมผัส (contact time) ความเข้มข้นซัลไฟด์ไอออน ปริมาณถ่านกัมมันต์และศึกษาไอโซเทอร์มของการคัพซัลโดยใช้สมการของแลงเมียร์ และฟรุนดลิช รวมทั้งศึกษาอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการคัพซัลซัลไฟด์ไอออนในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออน โดยเทียบจากค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีเพื่อให้ได้สถานะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการคัพซัลซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี พร้อมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการคัพซัลซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออน โดยการทดลองแบบคอลัมน์ และศึกษาการคืนสภาพของถ่านกัมมันต์หลังการใช้งาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ศึกษาอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีผลต่อการคัพซัลของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด

1.1 ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร และทดลองแปรผันค่าพีเอช ซึ่งพีเอชเริ่มต้นของสารละลายที่ทำการศึกษา ได้แก่ 3, 4 และ 5 โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที และใช้ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้

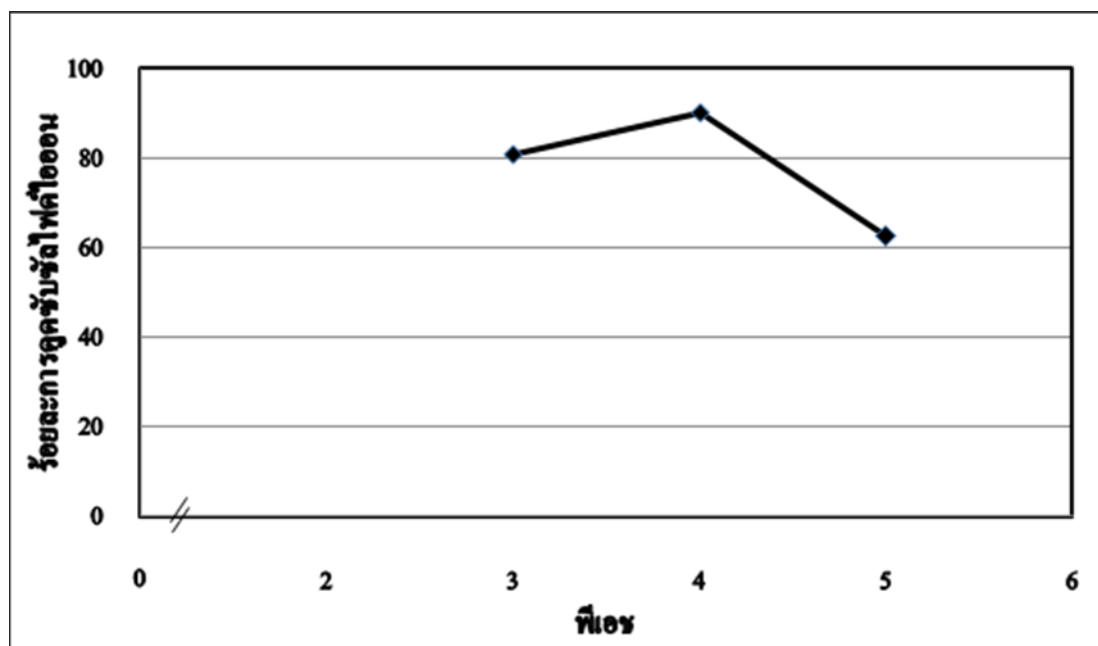


ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและค่าฟิเอช

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 10 พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับไขมันของสารละลายมาตรฐานไขมันจะเพิ่มขึ้น เมื่อฟิเอชมีค่าสูงขึ้น จนกระทั่งฟิเอชเท่ากับ 4 ซึ่งมีค่า การดูดซับไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 86.22 หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับไขมันจะลดลง โดยพบว่าช่วงฟิเอชที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองดูดซับไขมันของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน คือ มีค่าเท่ากับ 4 สำหรับช่วงฟิเอชที่ 3 และ 5 ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนสามารถดูดซับไขมันของสารละลายมาตรฐานไขมันได้เท่ากับร้อยละ 74.21 และ 58.61 ตามลำดับ

1.2 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานไขมันที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร และทดลองแปรผันค่าฟิเอช ซึ่งฟิเอชเริ่มต้นของสารละลายที่ทำการศึกษา ได้แก่ 3, 4 และ 5 โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาทิต เป็นเวลา 30 นาที และใช้ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้



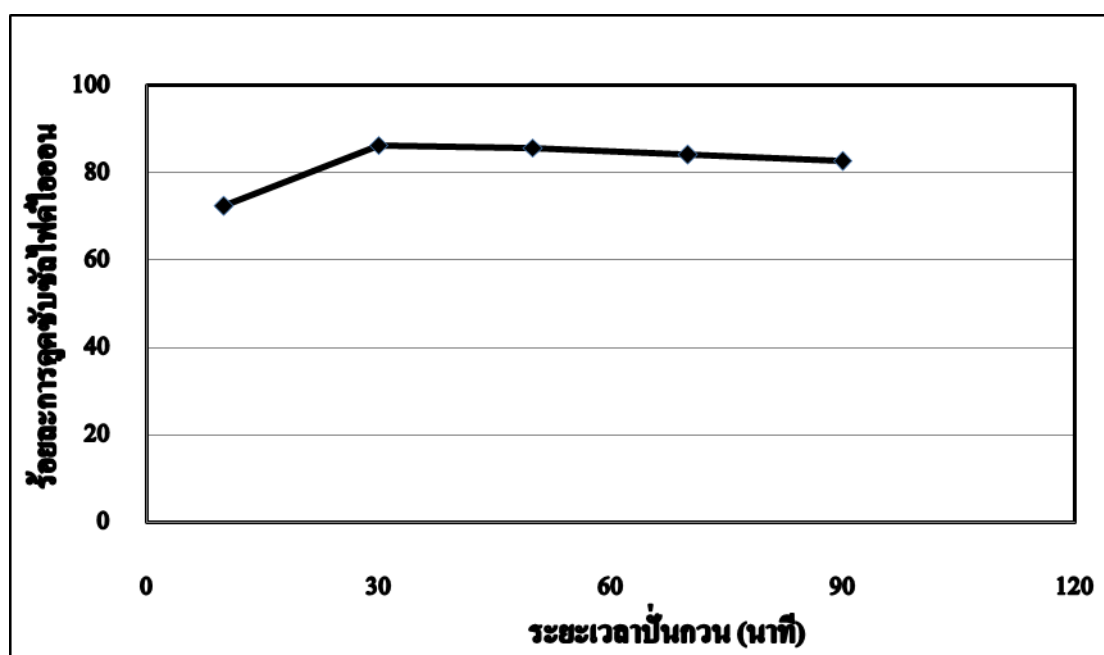
ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับพัลส์ไฟโอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและค่าพิเอช

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 11 พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับพัลส์ไฟโอออนของสารละลายมาตรฐานพัลส์ไฟโอออนจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิเอชมีค่าสูงขึ้น จนกระทั่งพิเอชเท่ากับ 4 ซึ่งมีค่า การดูดซับพัลส์ไฟโอออนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 90.44 หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับพัลส์ไฟโอออนจะมีค่าลดลง โดยพบว่าช่วงพิเอชที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองดูดซับพัลส์ไฟโอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน คือ มีค่าเท่ากับ 4 สำหรับช่วงพิเอชที่ 3 และ 5 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนสามารถดูดซับพัลส์ไฟโอออนของสารละลายมาตรฐานพัลส์ไฟโอออนได้เท่ากับร้อยละ 81.11 และ 62.55 ตามลำดับ

2. ศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้เพื่อเข้าสู่สมดุล (ระยะเวลาปั่นกวน) ที่ใช้ดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด

2.1 ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 4 ใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ทดลองแปรผันระยะเวลาปั่นกวนโดยเก็บตัวอย่างที่ 10, 30, 50, 70 และ 90 นาที และใช้ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้



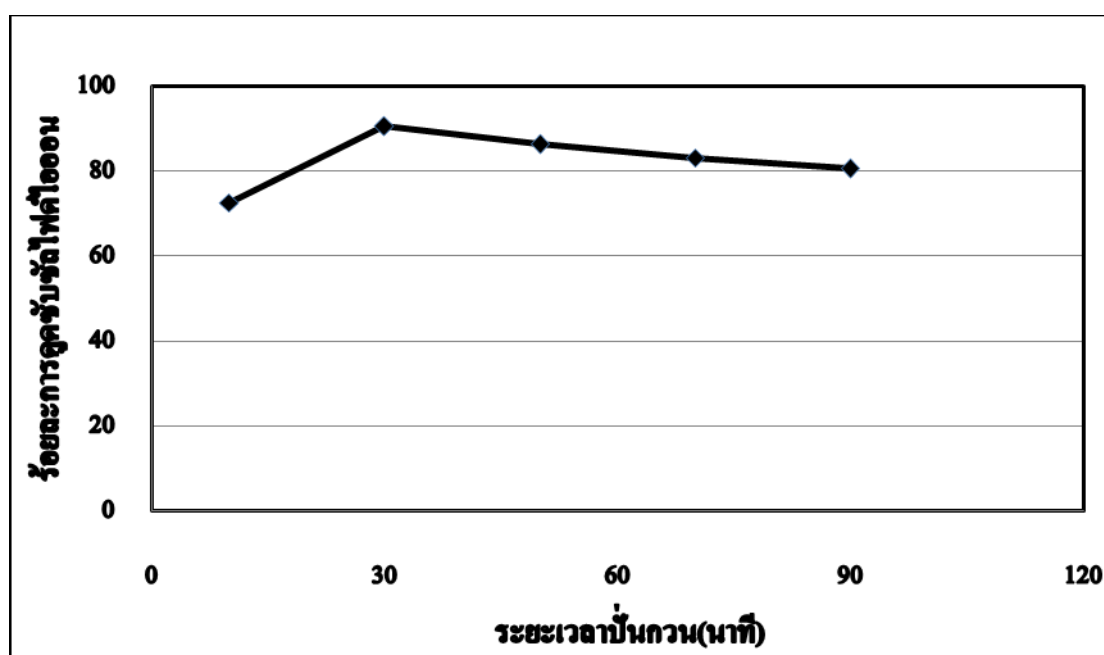
ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและระยะเวลาปั่นกวน

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 12 พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาปั่นกวนเพิ่มขึ้นจนกระทั่งระยะเวลาปั่นกวนที่ 30 นาที ซึ่งมีค่าการดูดซับซัลไฟด์ไอออนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 86.38 หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนมีค่าลดลงและเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาปั่นกวน 50 นาที โดยพบระยะเวลาปั่นกวนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองดูดซับซัลไฟด์ไอออนของ

ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน คือ มีค่าเท่ากับ 30 นาที่ สำหรับระยะเวลาปั่นกวนที่ 10, 50, 70 และ 90 นาที่ ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนได้เท่ากับร้อยละ 72.36, 85.79, 84.11 และ 82.64 ตามลำดับ

2.2 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 4 ใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที่ ทดลองแปรผันระยะเวลาปั่นกวนโดยเก็บตัวอย่างที่ 10, 30, 50, 70 และ 90 นาที่ และใช้ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที่ ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและระยะเวลาปั่นกวน

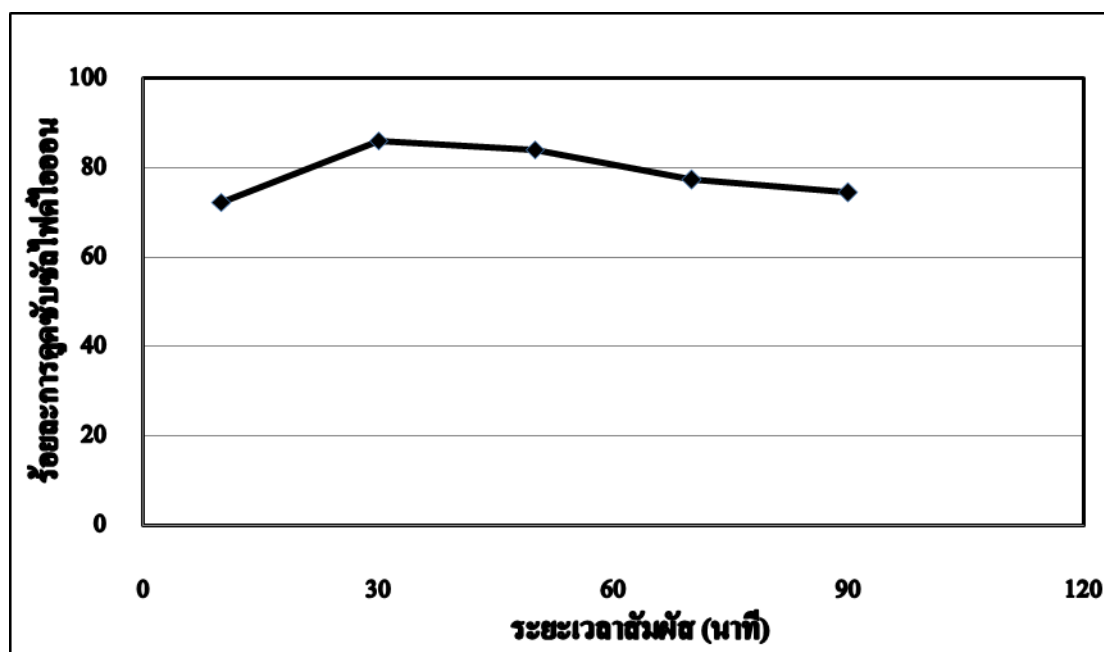
จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 13 พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาปั่นกวนเพิ่มขึ้นจนกระทั่งระยะเวลาปั่นกวนที่ 30 นาที่ ซึ่งมีการดูดซับซัลไฟด์ไอออนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 90.60 หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนมีค่าลดลงและเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาปั่นกวน 70

นาที่ โดยพบระยะเวลาปั่นกว่นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองดูดซับซัลไฟด์ไอออนของ ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน คือ มีค่าเท่ากับ 30 นาที สำหรับระยะเวลาปั่นกว่นที่ 10, 50, 70 และ 90 นาที ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนของ สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนได้เท่ากับร้อยละ 72.57, 86.38, 83.17 และ 80.67 ตามลำดับ

3. ศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด

3.1 ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 4 ใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที และทดลองการแปรผันของระยะเวลาสัมผัสโดยตั้งทิ้งไว้แล้วเก็บ ตัวอย่างที่ระยะเวลา 10, 30, 50, 70 และ 90 นาที ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้

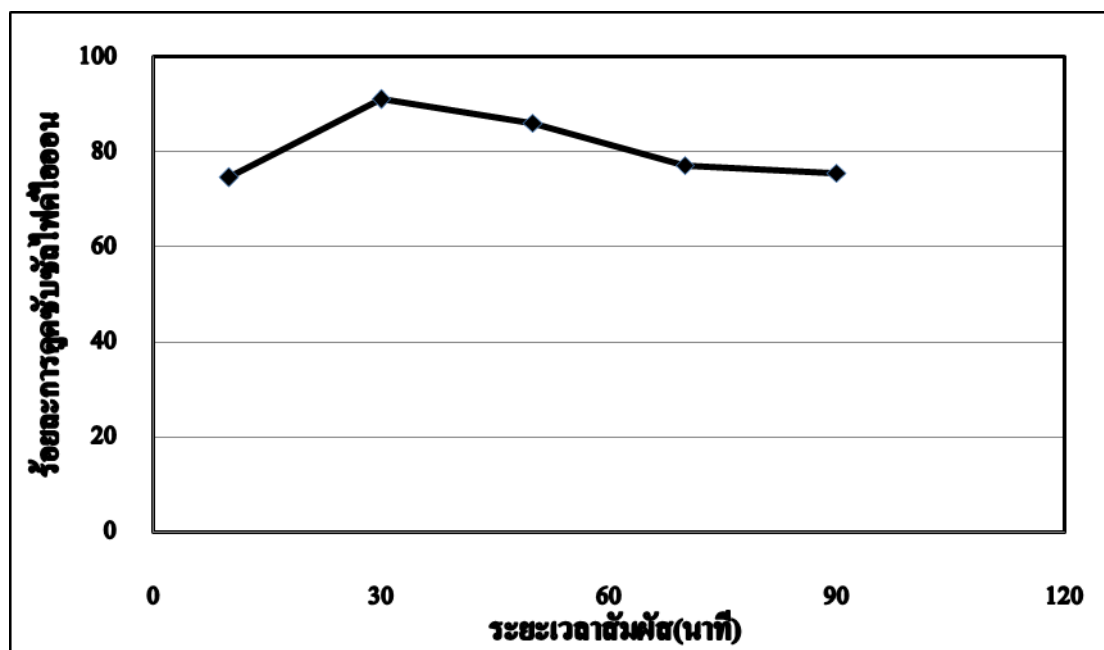


ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและระยะเวลาสัมผัส

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 14 พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น จนกระทั่งระยะเวลาสัมผัสที่ 30 นาที ซึ่งมีค่าการดูดซับซัลไฟด์ไอออนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 86.13 หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนจะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาสัมผัส 70 นาที โดยพบระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน คือ มีค่าเท่ากับ 30 นาที สำหรับระยะเวลาสัมผัสที่ 10, 50, 70 และ 90 นาที ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน สามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนได้เท่ากับร้อยละ 72.36, 84.11, 77.37 และ 74.50 ตามลำดับ

3.2 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 4 ใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที และทดลองการแปรผันของระยะเวลาสัมผัสโดยตั้งทิ้งไว้แล้วเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 10, 30, 50, 70 และ 90 นาที ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้



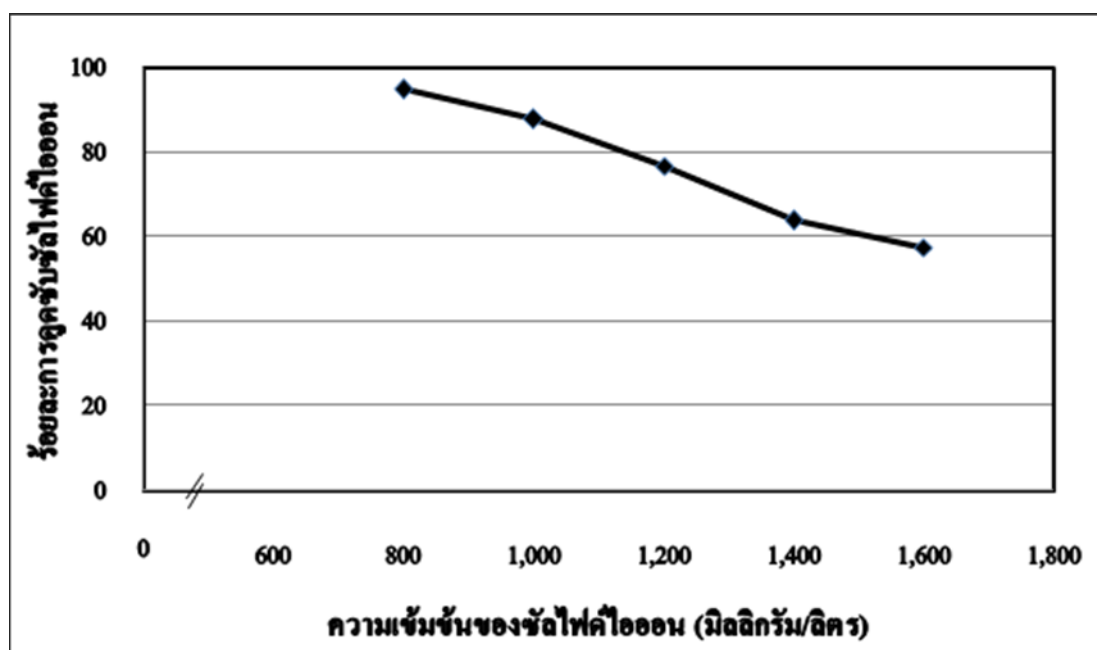
ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและระยะเวลาสัมพัทธ์

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 15 พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น จนกระทั่งระยะเวลาสัมพัทธ์ 30 นาที ซึ่งมีการดูดซับซัลไฟด์ไอออนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 91.14 หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนจะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาสัมพัทธ์ 70 นาที โดยพบระยะเวลาสัมพัทธ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน คือ มีค่าเท่ากับ 30 นาที สำหรับระยะเวลาสัมพัทธ์ที่ 10, 50, 70 และ 90 นาที ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนได้เท่ากับร้อยละ 74.60, 86.17, 77.19 และ 75.56 ตามลำดับ

4. ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นต่อการดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานของ ถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด

4.1 ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ต่างกัน คือ 800, 1,000, 1,200, 1,400 และ 1,600 มิลลิกรัม/ลิตร แล้วปรับพีเอชเท่ากับ 4 ใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้



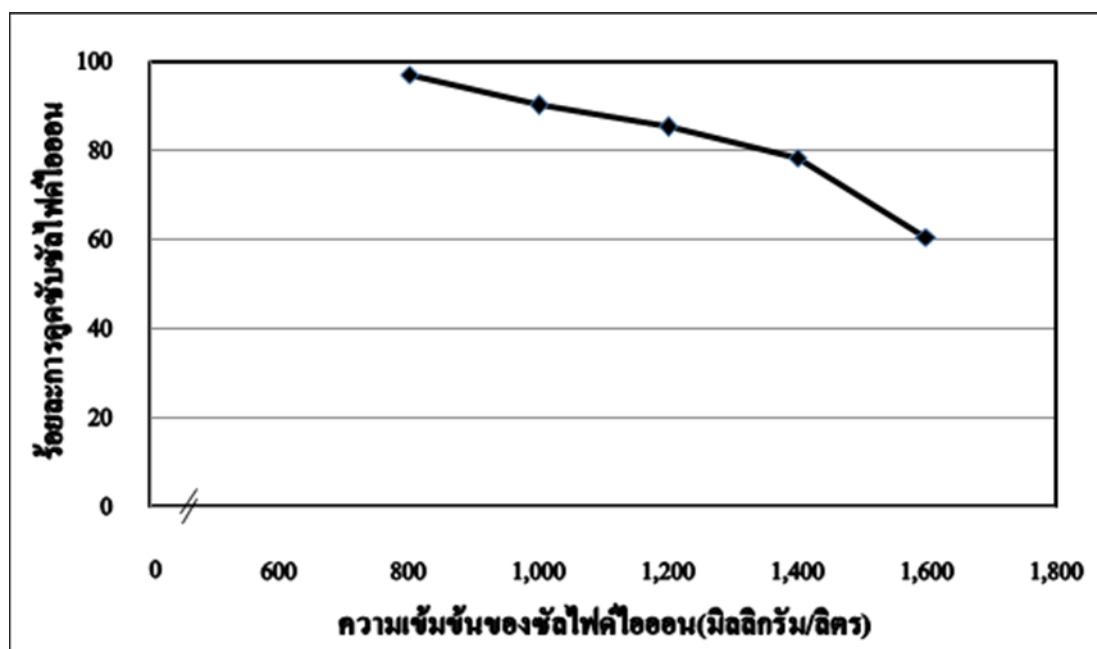
ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออน

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 16 พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนจะมีค่าลดลง เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยพบว่าความเข้มข้นที่ 800 มิลลิกรัม/ลิตร ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนได้สูงสุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 94.79 สำหรับความเข้มข้นที่เท่ากับ 1,000, 1,200, 1,400 และ 1,600 มิลลิกรัม/ลิตร ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่าน

กระบวนการเพิ่มรุกรุนสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนได้เท่ากับร้อยละ 87.77, 76.66, 63.91 และ 57.48 ตามลำดับ

4.2 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุน

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ต่างกัน คือ 800, 1,000, 1,200, 1,400 และ 1,600 มิลลิกรัม/ลิตร แล้วปรับพีเอชเท่ากับ 4 ใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุนและความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออน

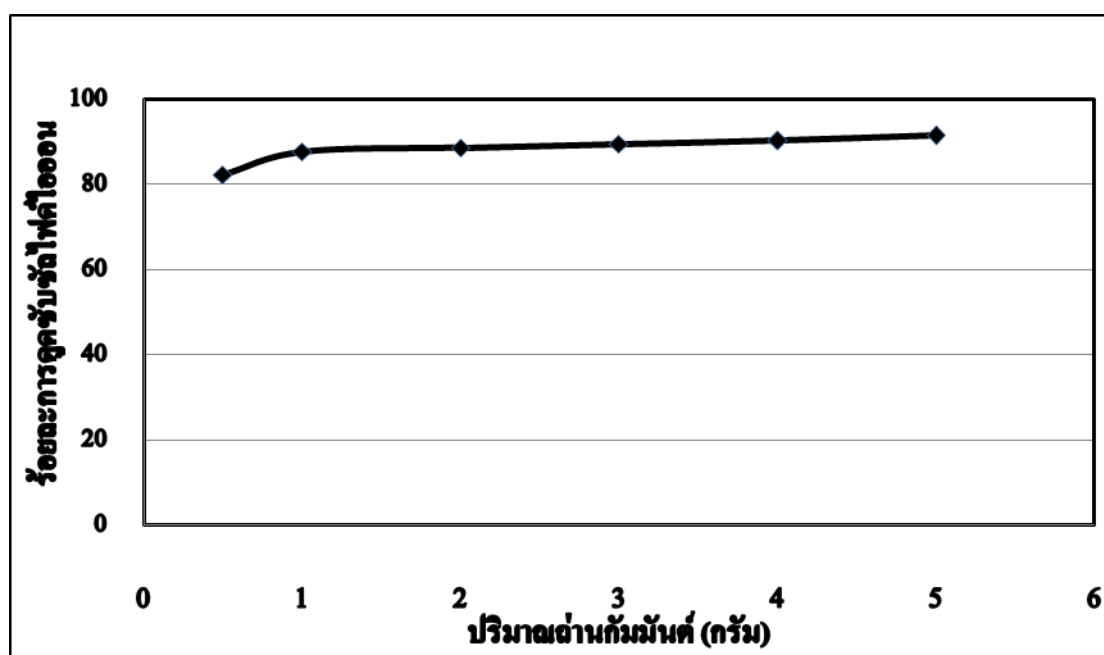
จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 17 พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนจะมีค่าลดลง เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยพบว่าความเข้มข้นที่ 800 มิลลิกรัม/ลิตร ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุนสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนได้สูงสุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 97.07 สำหรับความเข้มข้นที่เท่ากับ 1,000, 1,200, 1,400 และ 1,600 มิลลิกรัม/ลิตร ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่าน

กระบวนการเพิ่มรูปพูนสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนได้เท่ากับร้อยละ 90.21, 85.29, 78.39 และ 60.63 ตามลำดับ

5. ศึกษาอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมและไอโซเทอร์มในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด

5.1 ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูปพูน

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร แล้วปรับพีเอชเท่ากับ 4 ทำการแปรผันปริมาณถ่านกัมมันต์แตกต่างกัน คือ 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้

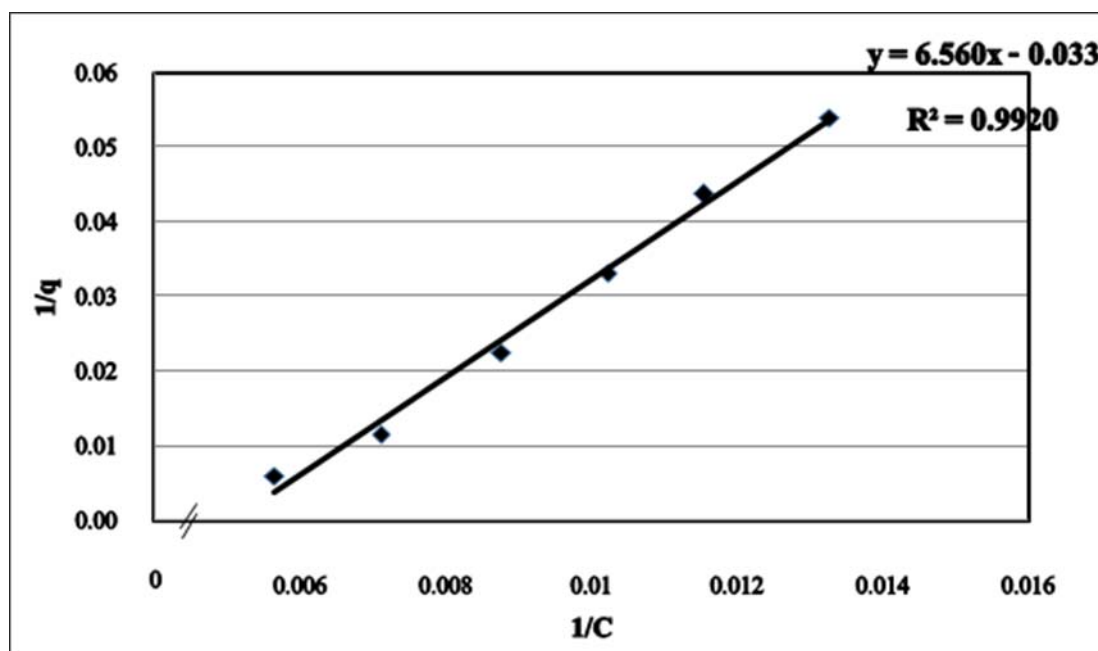


ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูปพูนและปริมาณถ่านกัมมันต์

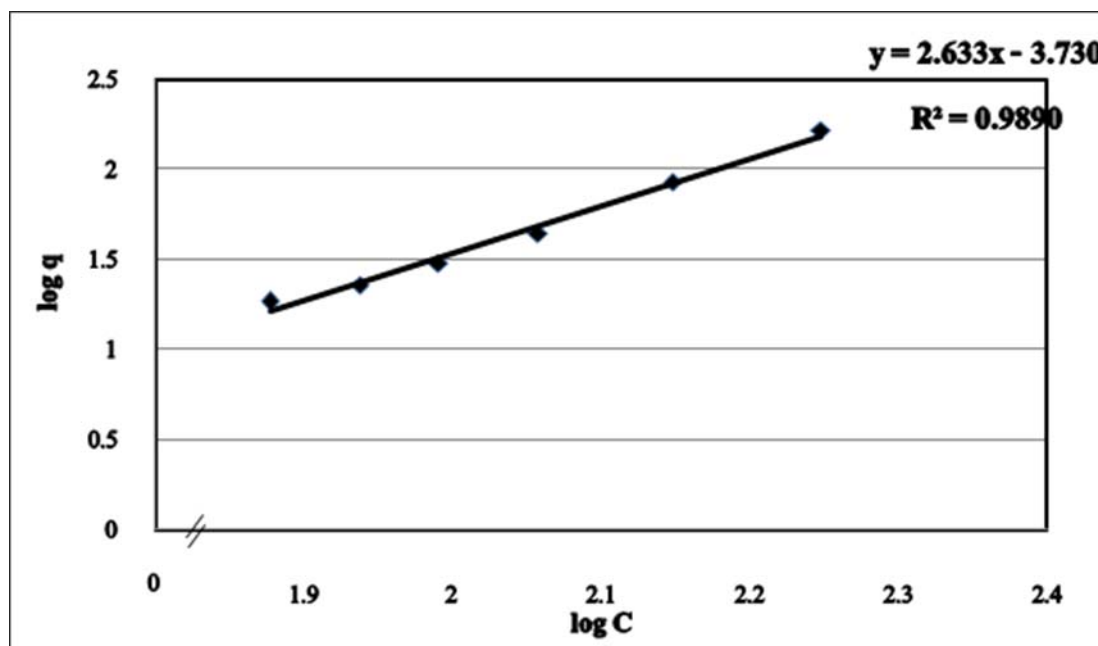
จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 18 พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น โดย

พบว่า ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนที่ 0.5 และ 1 กรัม สามารถดูดซับ ชัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานชัลไฟด์ไอออนได้เท่ากับร้อยละ 82.31 และ 87.67 หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับชัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานชัลไฟด์ไอออนจะเริ่มคงที่ สำหรับปริมาณถ่านกัมมันต์ 2, 3, 4 และ 5 กรัม สามารถดูดซับชัลไฟด์ไอออนของสารละลาย มาตรฐานชัลไฟด์ไอออนได้เท่ากับร้อยละ 88.59, 90.21, 91.35 และ 92.47 ตามลำดับ

สำหรับไอโซเทอร์มในการดูดซับชัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานชัลไฟด์ ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน เมื่อนำมาเขียนกราฟไอโซเทอร์มการ ดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิช จะได้ผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 19 ไอโซเทอร์มการดูดซับชัลไฟด์ไอออนของแลงเมียร์โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่าน กระบวนการเพิ่มรูพรุน



ภาพที่ 20 ไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของฟรุคตอซโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 19 และ 20 ตามลำดับ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) ในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนทั้ง 2 แบบ มีค่าเท่ากับ 0.9920 และ 0.9890 ตามลำดับ ซึ่งค่าทั้งสองนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.9700 – 1.0200) ดังนั้นการดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนจึงสอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุคตอซ แต่ทั้งนี้จะกลไกการดูดซับจะเป็นไปตามสมการการดูดซับของแลงเมียร์มากกว่าเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า ซึ่งกลไกการดูดซับของแลงเมียร์คือ พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด มีกลไกการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะ不会再มีการเคลื่อนที่ หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัวและยังพบว่าปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน 1 กรัมสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนได้เท่ากับ 85.95 มิลลิกรัม

โดยสมการไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของแสงเมียร์โดยทั่วไปคือ $q = \frac{q_m KC}{1+KC}$ สามารถนำมาเขียนใหม่ในรูปของสมการเส้นตรงได้ดังสมการที่ 8

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m K} \left(\frac{1}{C} \right) + \frac{1}{q_m} \quad \text{-----} \quad (8)$$

แทนค่าสมการที่ได้จากกราฟจะได้

$$\frac{1}{q} = 6.560 \frac{1}{C} - 0.033 \quad \text{-----} \quad (9)$$

จากสมการที่ 9 เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/q$ กับ $1/C$ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 6.560 และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ -0.033 นั่นคือ

$$\frac{1}{q_m K} = 6.560$$

$$\frac{1}{q_m} = -0.033$$

ดังนั้น $K = -0.005$

จากไอโซเทอร์มการดูดซับของแสงเมียร์ พบว่า ค่า K มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้น้อยบนพื้นผิวตัวดูดซับ แสดงว่าปริมาณซัลไฟด์ไอออนถูกดูดซับไว้ได้น้อยบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

และโดยสมการไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของฟรอนดิชโดยทั่วไปคือ $q = KC^{1/n}$ สามารถนำมาเขียนใหม่ในรูปของลอการิทึมได้ดังสมการที่ 10

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \text{-----} \quad (10)$$

$$\log q = -3.730 + 2.633 \log C \quad \text{-----} \quad (11)$$

จากสมการที่ 11 เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 2.633 และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ -3.730 นั่นคือ

$$\log K = -3.730$$

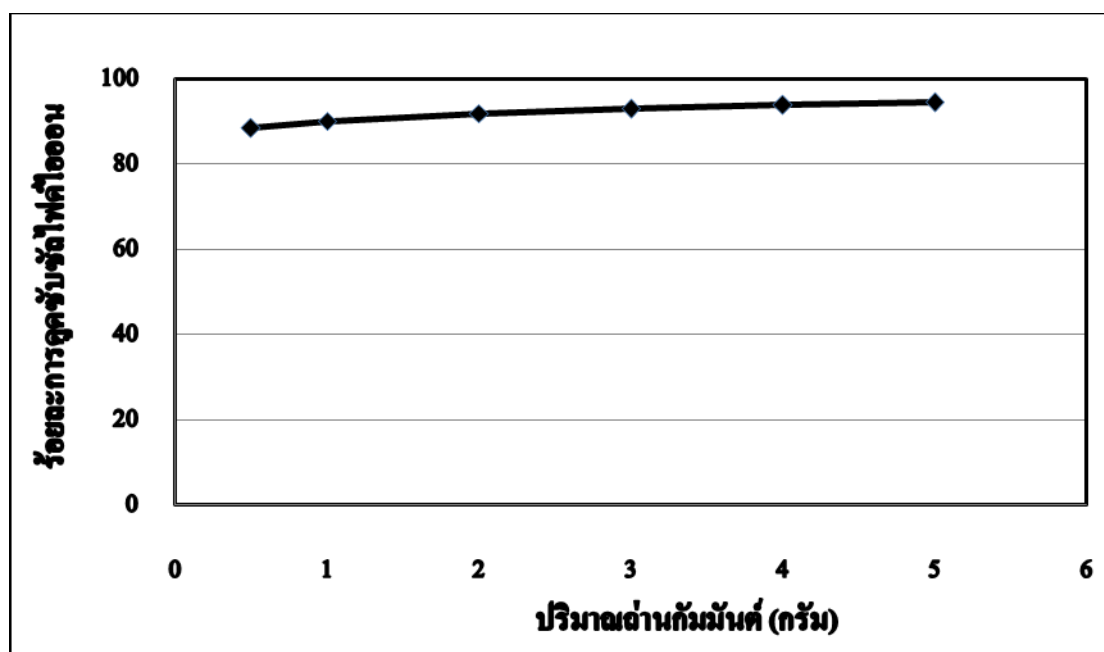
$$1/n = 2.633$$

$$n = 0.380$$

จากไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออน ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน พบว่า ค่า $1/n$ มีค่ามากกว่า 1 แสดงถึงความสามารถของการดูดซับของตัวดูดซับจะดูดซับได้มาก หรือกล่าวได้ว่าบริเวณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากในการดูดซับ

5.2 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

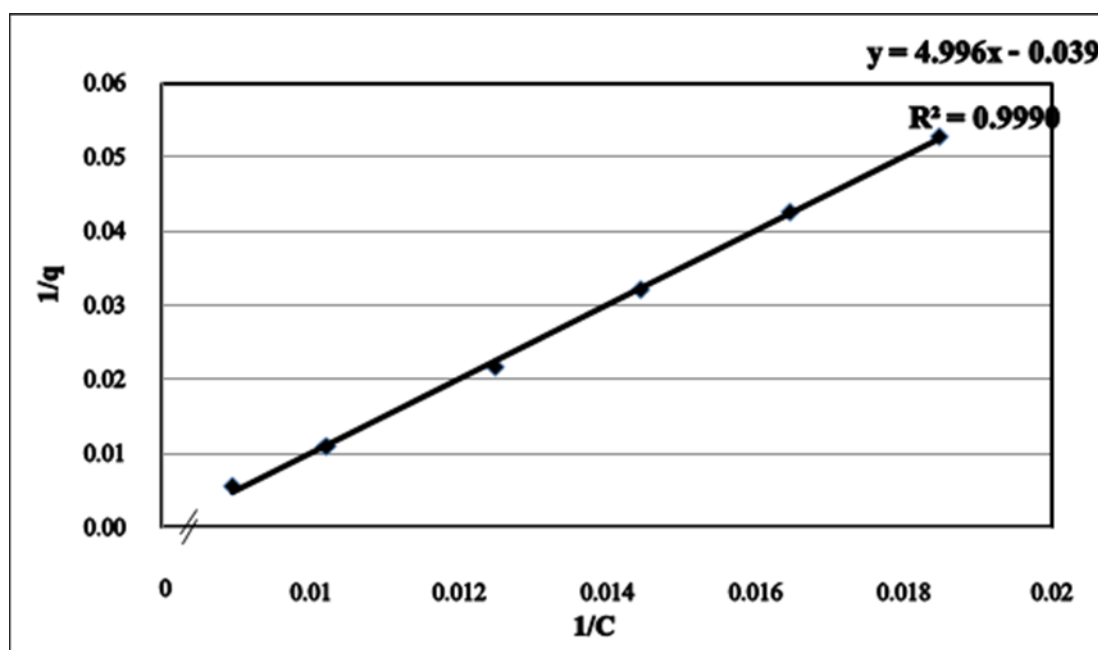
การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร แล้วปรับพีเอชเท่ากับ 4 ทำการแปรผันปริมาณถ่านกัมมันต์แตกต่างกัน คือ 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้



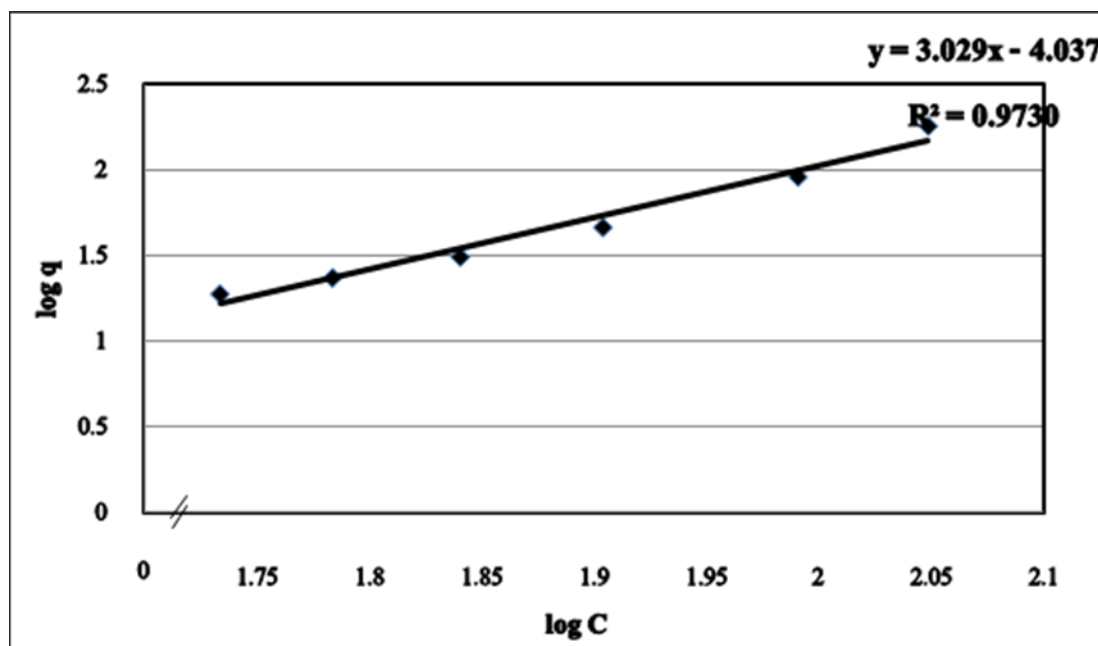
ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณถ่านกัมมันต์

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 21 พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น โดยพบว่า ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนที่ 0.5 และ 1 กรัม สามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนได้เท่ากับร้อยละ 88.52 และ 90.21 หลังจากนั้น ประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนจะเริ่มคงที่ สำหรับปริมาณถ่านกัมมันต์ 2, 3, 4 และ 5 กรัม สามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนได้เท่ากับร้อยละ 91.99, 93.08, 93.93 และ 94.59 ตามลำดับ

สำหรับไอโซเทอร์มในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน เมื่อนำมาเขียนกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดิช จะได้ผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 22 ไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของแลงเมียร์โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน



ภาพที่ 23 ไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของฟรอนด์ซ์โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 22 และ 23 ตามลำดับ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) ในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนทั้ง 2 แบบ มีค่าเท่ากับ 0.9990 และ 0.9730 ตามลำดับ ซึ่งค่าทั้งสองนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.9700 – 1.0200) ดังนั้นการดูดซับซัลไฟด์ไอออนจากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนจึงสอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรอนด์ซ์ แต่ทั้งนี้จะกลไกการดูดซับจะเป็นไปตามสมการการดูดซับของแลงเมียร์มากกว่าเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า ซึ่งกลไกการดูดซับของแลงเมียร์คือ พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด มีกลไกการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะ不会再มีการเคลื่อนที่ หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัวและยังพบว่าปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน 1 กรัมสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนได้เท่ากับ 90.21 มิลลิกรัม

โดยสมการไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของแลงเมียร์โดยทั่วไปคือ $q = \frac{q_m KC}{1+KC}$ สามารถนำมาเขียนใหม่ในรูปของสมการเส้นตรงได้ดังสมการที่ 12

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m K} \left(\frac{1}{C} \right) + \frac{1}{q_m} \quad \text{----- (12)}$$

แทนค่าสมการที่ได้จากกราฟจะได้

$$\frac{1}{q} = 4.996 \frac{1}{C} - 0.039 \quad \text{----- (13)}$$

จากสมการที่ 13 เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/q$ กับ $1/C$ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 4.996 และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ -0.039 นั่นคือ

$$\begin{aligned} \frac{1}{q_m K} &= 4.996 \\ \frac{1}{q_m} &= -0.039 \end{aligned}$$

ดังนั้น $K = -0.008$

จากไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ พบว่า ค่า K มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้น้อยบนพื้นผิวตัวดูดซับ แสดงว่าปริมาณซัลไฟด์ไอออนถูกดูดซับไว้ได้น้อยบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

และโดยสมการไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของฟรุนดิชโดยทั่วไปคือ $q = KC^{1/n}$ สามารถนำมาเขียนใหม่ในรูปของลอการิทึมได้ดังสมการที่ 14

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \text{----- (14)}$$

$$\log q = -4.037 + 3.029 \log C \quad \text{----- (15)}$$

จากสมการที่ 15 เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 3.029 และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ -4.037 นั่นคือ

$$\log K = -4.037$$

$$1/n = 3.029$$

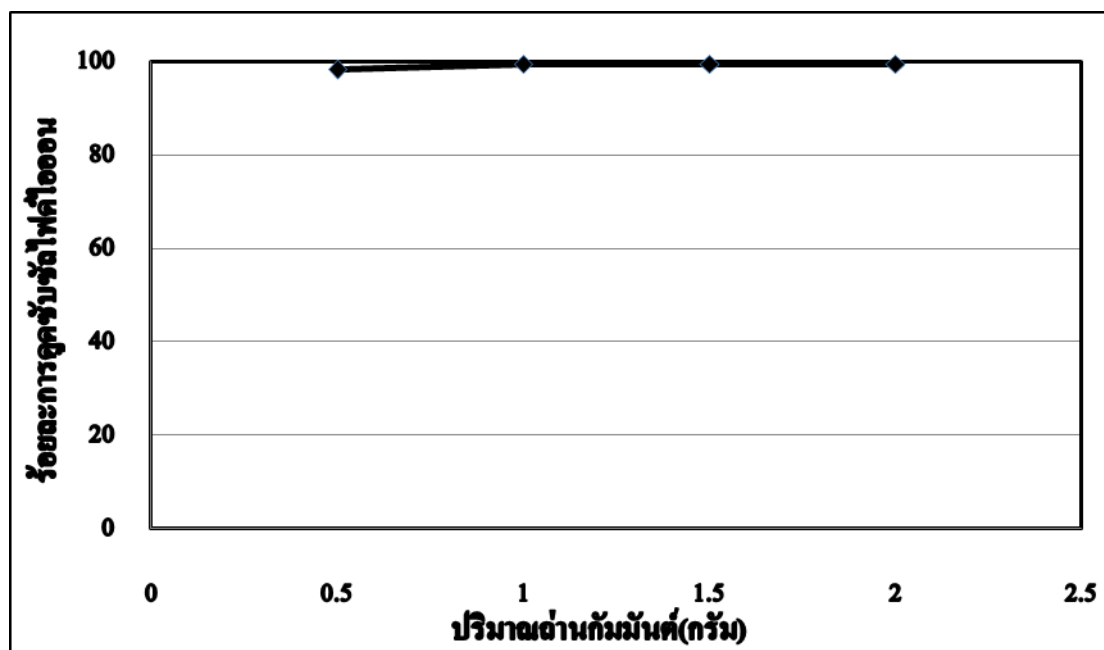
$$n = 0.330$$

จากไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์จากสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน พบว่า ค่า $1/n$ มีค่ามากกว่า 1 แสดงถึงความสามารถของการดูดซับของตัวดูดซับจะดูดซับได้มาก หรือกล่าวได้ว่าบริเวณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากในการดูดซับ

6. ศึกษาอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนโดยเทียบจากค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด โดยทำการทดลองแบบแบทช์

6.1 ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 20 มิลลิกรัม/ลิตร (ค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี) แล้วปรับพีเอชเท่ากับ 4 ทำการแปรผันปริมาณถ่านกัมมันต์แตกต่างกัน คือ 0.5, 1, 1.5 และ 2 กรัม แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้

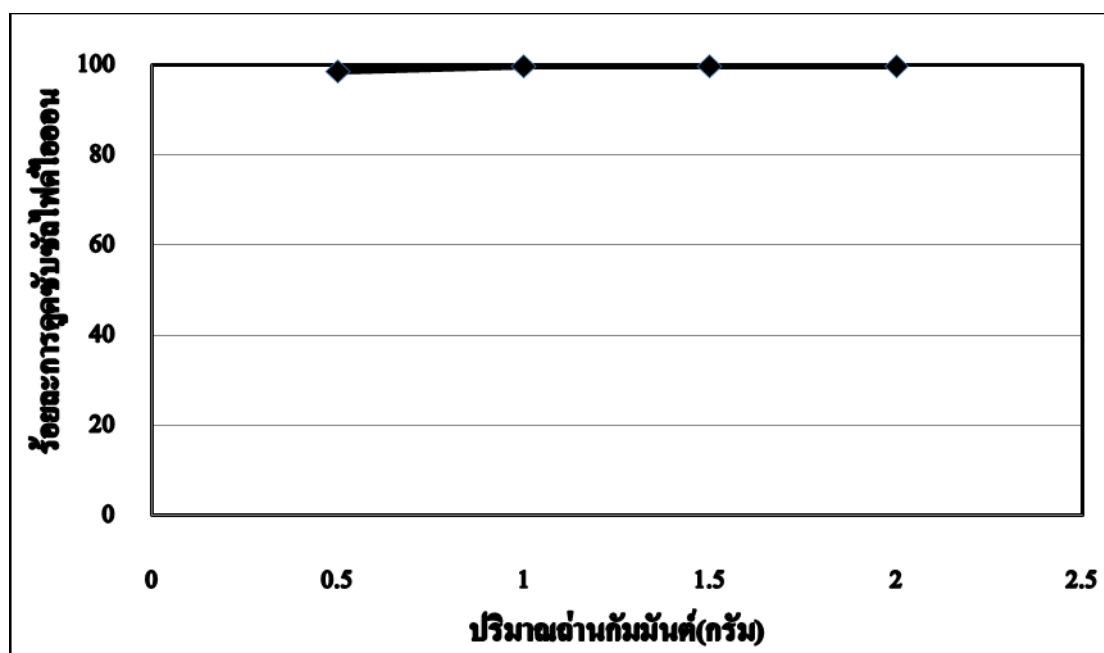


ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันได้ออานของน้ำมันที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรพูนและปริมาณน้ำมัน (ค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี)

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 24 พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับไขมันได้ออานของสารละลายมาตรฐานไขมันได้ออานจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้น โดยพบว่า ปริมาณน้ำมันที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรพูนที่ 0.5 และ 1 กรัม สามารถดูดซับไขมันได้ออานของสารละลายมาตรฐานไขมันได้ออานได้เท่ากับร้อยละ 98.29 และ 99.52 หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับไขมันได้ออานของสารละลายมาตรฐานไขมันได้ออานจะเริ่มคงที่ สำหรับปริมาณน้ำมัน 1.5 และ 2 กรัม สามารถดูดซับไขมันได้ออานของสารละลายมาตรฐานไขมันได้ออานได้เท่ากันคือร้อยละ 99.53

6.2 น้ำมันที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรพูน

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานไขมันได้ออานที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 20 มิลลิกรัม/ลิตร (ค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี) แล้วปรับพีเอชเท่ากับ 4 ทำการแปรผันปริมาณน้ำมันแตกต่างกัน คือ 0.5, 1, 1.5 และ 2 กรัม แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้



ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณถ่านกัมมันต์ (ค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี)

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 25 พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับไขมันไอออนของสารละลายมาตรฐานไขมันไอออนจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น โดยพบว่า ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนที่ 0.5 และ 1 กรัม สามารถดูดซับไขมันไอออนของสารละลายมาตรฐานไขมันไอออนได้เท่ากับร้อยละ 98.72 และ 99.81 หลังจากนั้น ประสิทธิภาพในการดูดซับไขมันไอออนของสารละลายมาตรฐานไขมันไอออนจะเริ่มคงที่ สำหรับปริมาณถ่านกัมมันต์ 1.5 และ 2 กรัม สามารถดูดซับไขมันไอออนของสารละลายมาตรฐานไขมันไอออนได้เท่ากันคือร้อยละ 99.83

7. ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด

7.1 ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียบริเวณจุดที่ 1, 2, 3 และ 4 คือ บริเวณปากซอยหมู่บ้านสรรเพชรวิลล์, บริเวณแยกโรงเรียนอรุณประดิษฐ์, บริเวณแยกสำนักปศุสัตว์จังหวัด และ บ่อรวบรวมน้ำเสียบ้านคลองยางจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี ตามลำดับ ซึ่งมีซัลไฟด์ไอออนเจือปน ปรับสภาพที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบแบทช์ คือ พีเอชเท่ากับ 4 ใช้อ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนปริมาณ 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้

ตารางที่ 2 การดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	ปริมาณซัลไฟด์ไอออน (มิลลิกรัม/ลิตร)		ร้อยละของการดูดซับ
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
1	2.60	0.35	86.54
2	2.16	0.41	81.02
3	8.57	0.16	98.13
4	3.17	0.22	93.06

จากตารางที่ 2 น้ำเสียก่อนการทดลองบริเวณจุดที่ 1, 2, 3 และ 4 มีซัลไฟด์ไอออนเจือปนอยู่ 2.60, 2.16, 8.57 และ 3.17 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หลังจากทำการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนในสภาพที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบแบทช์ พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียบริเวณจุดที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับร้อยละ 86.54, 81.02, 98.13 และ 93.06 ตามลำดับ

7.2 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียบริเวณจุดที่ 1, 2, 3 และ 4 คือ บริเวณปากซอยหมู่บ้าน สรรเพชรวิลล์, บริเวณแยกโรงเรียนอรุณประดิษฐ์, บริเวณแยกสำนักปศุสัตว์จังหวัด และบ่อรวบรวมน้ำเสียบ้านคลองยางจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี ตามลำดับ ซึ่งมีซัลไฟด์ไอออนเจือปน ปรับสภาพที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง แบบแบทช์ คือ พีเอชเท่ากับ 4 ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนปริมาณ 1 กรัม นำไปแช่ที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้

ตารางที่ 3 การดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรีของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	ปริมาณซัลไฟด์ไอออน (มิลลิกรัม/ลิตร)		ร้อยละของการดูดซับ
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
1	2.60	0.15	94.23
2	2.16	0.19	91.20
3	8.57	0.16	98.13
4	3.17	0.13	95.90

จากตารางที่ 3 น้ำเสียก่อนการทดลองบริเวณจุดที่ 1, 2, 3 และ 4 มีซัลไฟด์ไอออนเจือปนอยู่ 2.60, 2.16, 8.57 และ 3.17 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หลังจากทำการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนในสภาพที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบแบทช์ พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียบริเวณจุดที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับร้อยละ 94.23, 91.20, 98.13 และ 95.90 ตามลำดับ

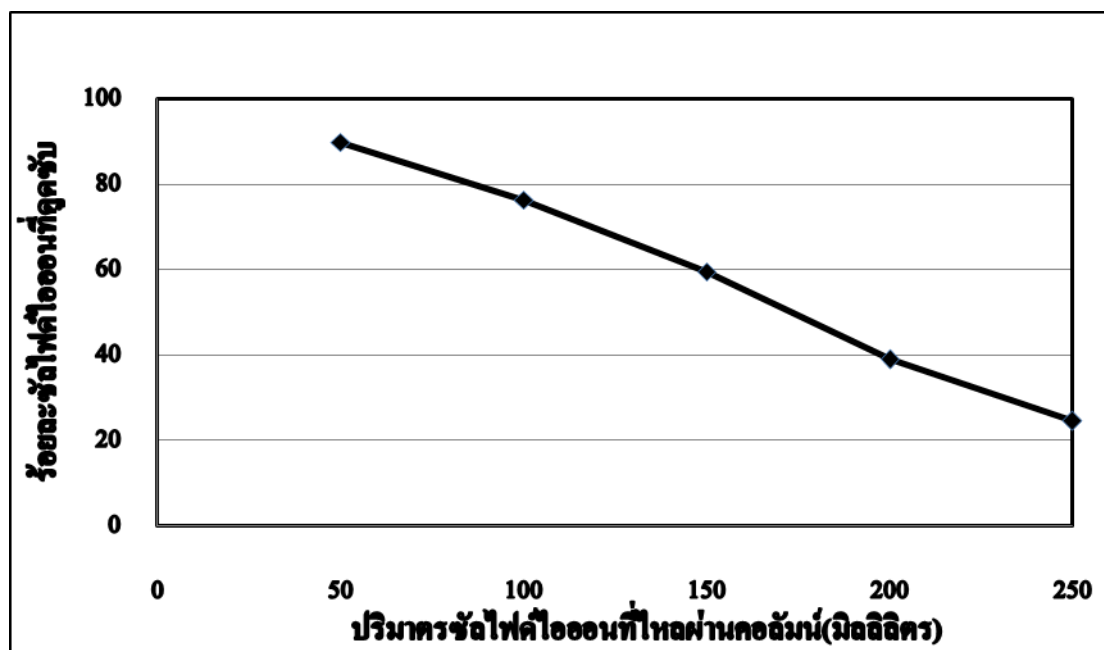
8. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในสารละลายมาตรฐานของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์

8.1 ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

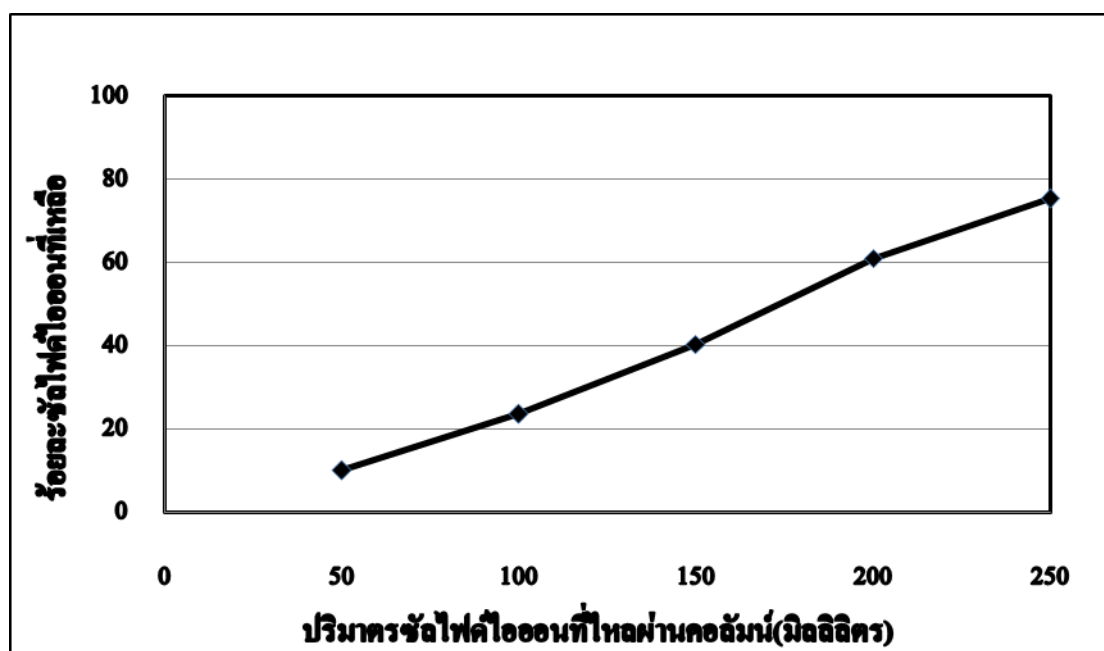
การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ทำการปรับพีเอชให้เท่ากับ 4 ให้ไหลผ่านคอลัมน์อะคริลิกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ซึ่งบรรจุถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนจำนวน 20 กรัม จากนั้นปล่อยสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนให้ไหลผ่านคอลัมน์ แล้วเก็บสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนจากทางออกปลายคอลัมน์ทุกๆ 50 มิลลิลิตร จนครบปริมาตร 250 มิลลิลิตร และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละซัลไฟด์ไอออนที่ถูกดูดซับ ร้อยละซัลไฟด์ไอออนที่เหลือของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน และปริมาตรซัลไฟด์ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์

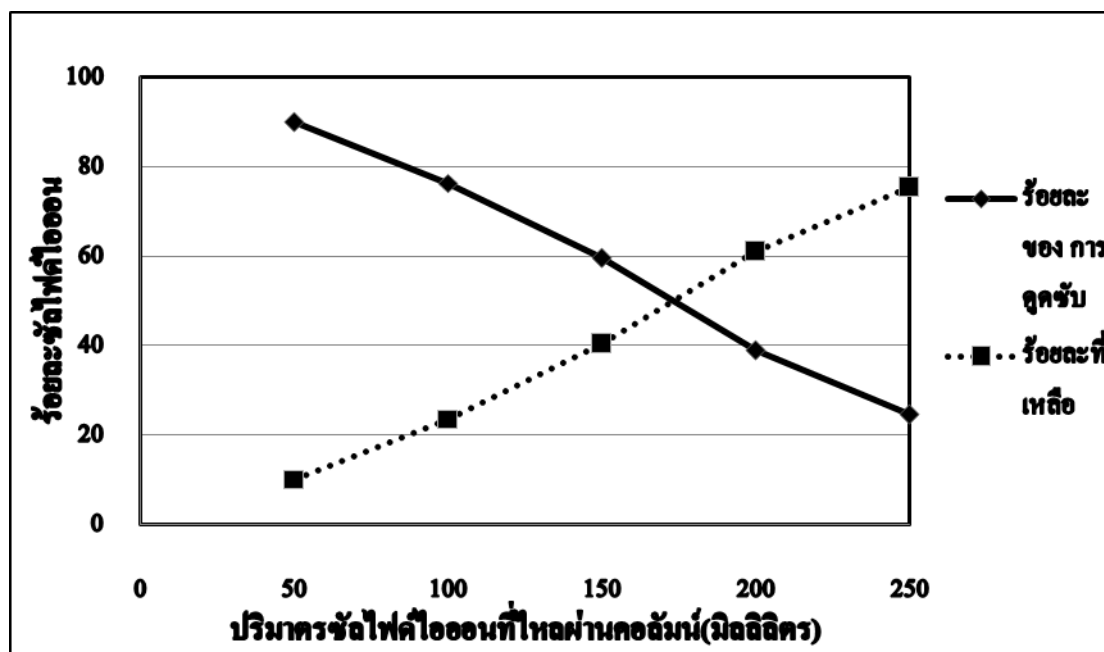
ปริมาตรซัลไฟด์ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์ (มิลลิลิตร)	ร้อยละซัลไฟด์ไอออนที่ถูกดูดซับ	ร้อยละซัลไฟด์ไอออนที่เหลือ
50	89.91	10.09
100	76.39	23.61
150	59.55	40.45
200	38.97	61.03
250	24.59	75.41



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละกระแสไฟฟ้าที่สูญเสียของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขั้วลบ



ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละกระแสไฟฟ้าที่สูญเสียของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขั้วลบ



ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการดูดซับ ร้อยละที่เหลือของกระแสไฟฟ้าไอออนของ ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน และปริมาณกระแสไฟฟ้าไอออนที่ไหลผ่าน คอยล์

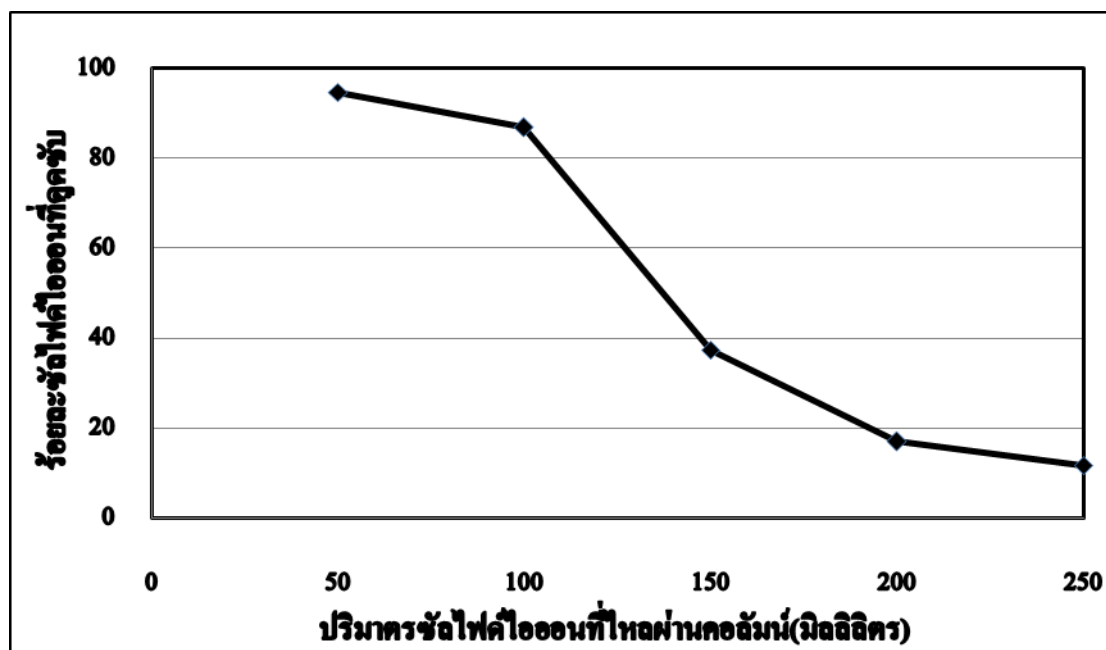
จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4 และภาพที่ 26, 27 และ 28 ตามลำดับ พบว่า ปริมาณสารละลายมาตรฐานกระแสไฟฟ้าไอออนที่ไหลออกจากคอยล์ในช่วงแรกคือ 50 มิลลิวัตต์ ประสิทธิภาพในการดูดซับกระแสไฟฟ้าไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนจะมีค่า สูงเท่ากับร้อยละ 89.91 ซึ่งเห็นได้จากปริมาณกระแสไฟฟ้าไอออนที่เหลืออยู่จะน้อย มีค่าเท่ากับร้อยละ 10.09 และเมื่อระยะเวลาการปล่อยน้ำเสียเพิ่มมากขึ้นและปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอยล์เพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพการดูดซับกระแสไฟฟ้าไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนจะมีค่า ค่อยๆ ลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากในช่วงแรกบริเวณพื้นผิวของถ่านกัมมันต์มีการดูดซับ กระแสไฟฟ้าไอออนเอาไว้บางส่วนแล้ว เมื่อมีการนำน้ำเสียกรองผ่านถ่านกัมมันต์ในคอยล์ต่อไปอีก ถ่านกัมมันต์ก็จะทำการดูดซับไว้จนกระทั่งเต็มพื้นที่ผิว ถ่านกัมมันต์ก็จะเริ่มถึงจุดอิ่มตัวและหมด สภาพลง

8.2 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

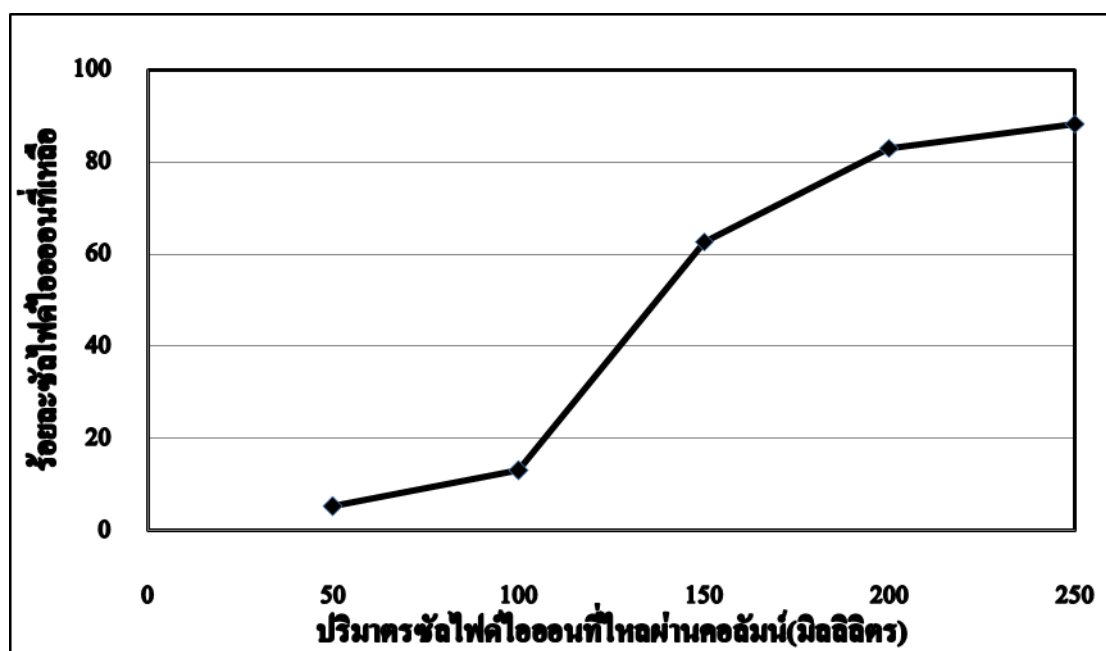
การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ทำการปรับพีเอชให้เท่ากับ 4 ให้ไหลผ่านคอลัมน์อะคริลิกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ซึ่งบรรจุถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนจำนวน 20 กรัม จากนั้นปล่อยสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนให้ไหลผ่านคอลัมน์ แล้วเก็บสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนจากทางออกปลายคอลัมน์ทุกๆ 50 มิลลิลิตร จนครบปริมาตร 250 มิลลิลิตร และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละซัลไฟด์ไอออนที่ดูดซับ ร้อยละซัลไฟด์ไอออนที่เหลือของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน และปริมาตรซัลไฟด์ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์

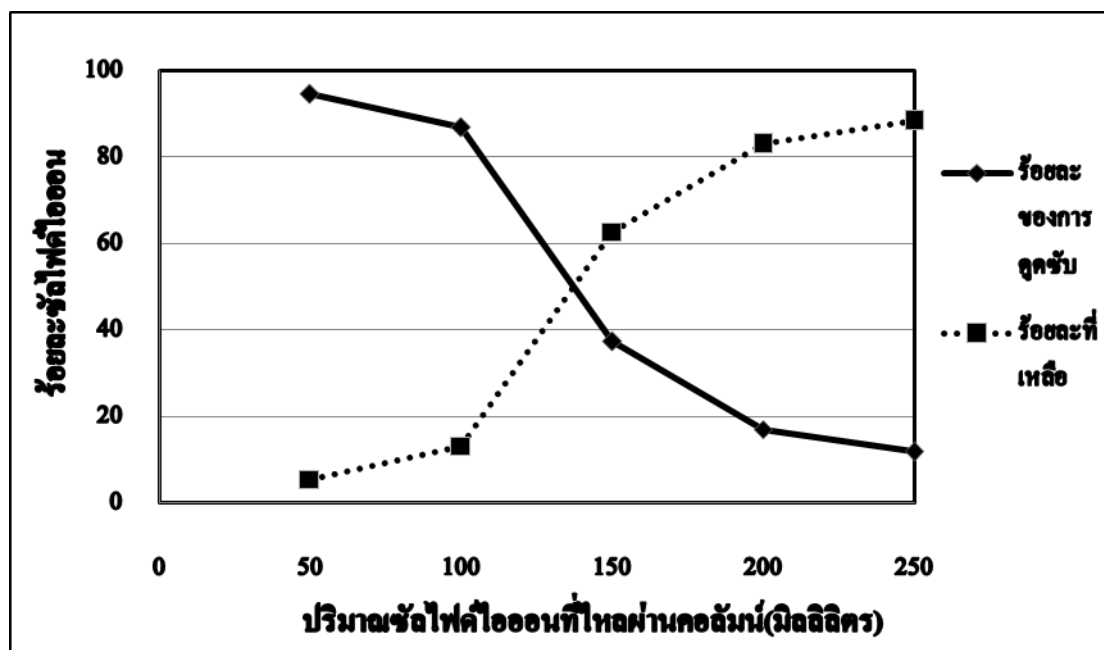
ปริมาตรซัลไฟด์ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์ (มิลลิลิตร)	ร้อยละซัลไฟด์ไอออนที่ดูดซับ	ร้อยละซัลไฟด์ไอออนที่เหลือ
50	94.63	5.37
100	86.89	13.11
150	37.30	62.70
200	16.97	83.03
250	11.71	88.29



ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการใช้ไฟฟ้าโดยโหลดของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยโหลดที่ไหลผ่านคอลัมน์



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการใช้ไฟฟ้าโดยโหลดของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยโหลดที่ไหลผ่านคอลัมน์



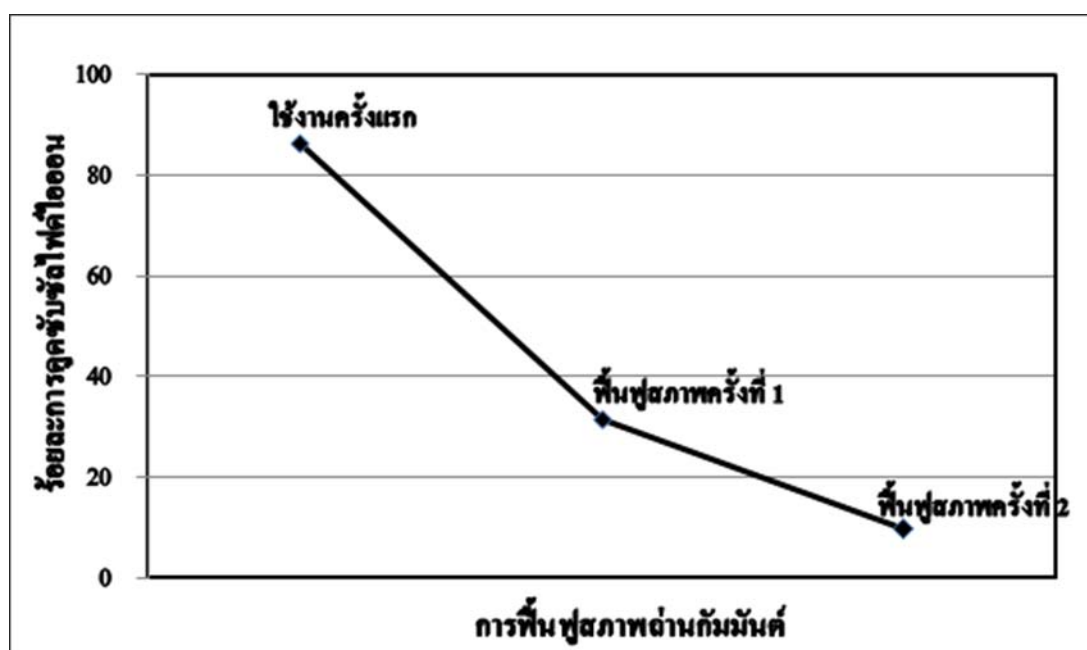
ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการดูดซับ ร้อยละที่เหลือของกระแสไฟฟ้าไอออนของ ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน และปริมาณกระแสไฟฟ้าไอออนที่ไหลผ่าน คอลัมน์

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 29, 30 และ 31 ตามลำดับ พบว่า ปริมาณสารละลายมาตรฐานกระแสไฟฟ้าไอออนที่ไหลออกจากคอลัมน์ในช่วงแรกคือ 50 มิลลิเมตร ประสิทธิภาพในการดูดซับกระแสไฟฟ้าไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนจะมีค่าสูง เท่ากับร้อยละ 94.63 ซึ่งเห็นได้จากปริมาณกระแสไฟฟ้าไอออนที่เหลืออยู่จะน้อย มีค่าเท่ากับร้อยละ 5.37 และเมื่อระยะเวลาการปล่อยน้ำเสียเพิ่มมากขึ้นและปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์เพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพการดูดซับกระแสไฟฟ้าไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนจะมีค่าค่อยๆ ลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากในช่วงแรกบริเวณพื้นผิวของถ่านกัมมันต์มีการดูดซับกระแสไฟฟ้าไอออน เอาไว้บางส่วนแล้ว เมื่อมีการนำน้ำเสียกรองผ่านถ่านกัมมันต์ในคอลัมน์ต่อไปอีก ถ่านกัมมันต์ก็จะ ทำการดูดซับไว้จนกระทั่งเต็มพื้นที่ผิว ถ่านกัมมันต์ก็จะเริ่มถึงจุดอิ่มตัวและหมดสภาพลง

9. ศึกษาการฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดที่ผ่านการใช้งานแล้ว

9.1 ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 4 ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนโดยผ่านการใช้งานและผ่านการฟื้นฟูสภาพมาแล้วปริมาณ 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ระยะเวลาลัมผัส 30 นาที และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode โดยศึกษาการฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้



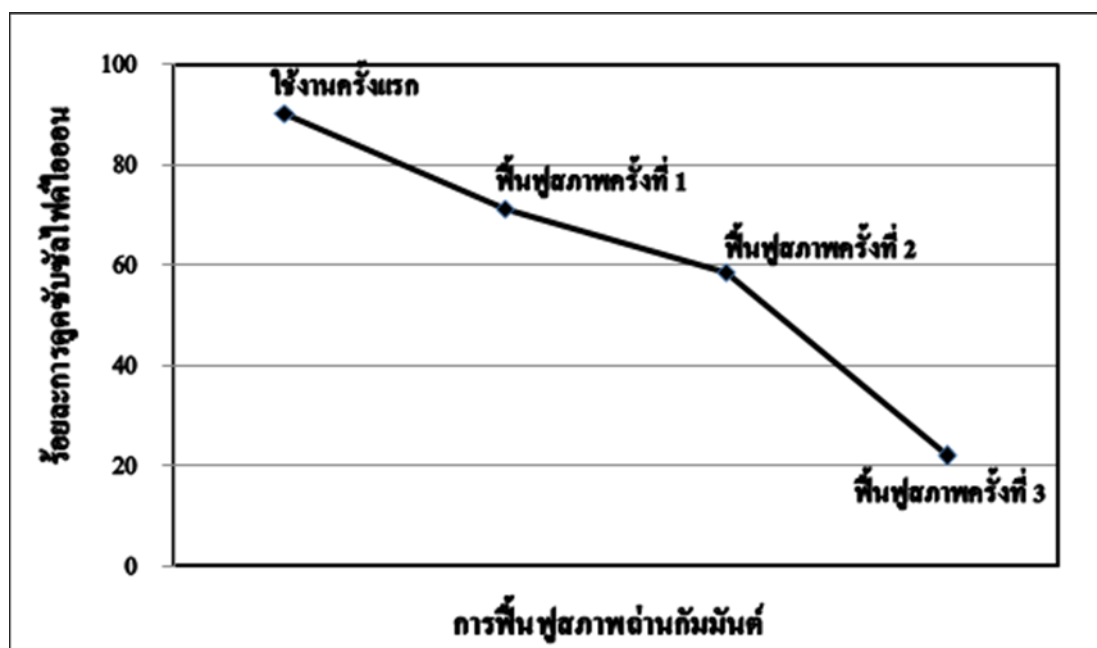
ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์

จากผลการทดลองดังในภาพที่ 32 เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนที่ผ่านการใช้งานแล้ว มาฟื้นฟูสภาพและทำการทดลองหาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ไอออนพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ไอออนลดลงตามจำนวนครั้งของการฟื้นฟูสภาพเมื่อเทียบกับการใช้งานครั้งแรก ซึ่งการใช้งานครั้งแรกของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

สามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนได้ร้อยละ 86.30 และเมื่อผ่านการใช้งานแล้ว มาฟื้นฟูสภาพครั้งที่ 1 และ 2 สามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนได้ร้อยละ 31.50 และ 9.65 ตามลำดับ

9.2 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

การทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 4 ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนโดยผ่านการใช้งาน และผ่านการฟื้นฟูสภาพมาแล้วปริมาณ 1 กรัม นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาทิต เป็นเวลา 30 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์ไอออนที่เหลือจากการดูดซับ ด้วย Silver Sulfide Ion-Selective Combination Electrode โดยศึกษาการฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์ ที่ผ่านการใช้งานแล้วจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังนี้



ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์

จากผลการทดลองดังในภาพที่ 33 เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนที่ผ่านการใช้งานแล้ว มาฟื้นฟูสภาพและทำการทดลองหาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ไอออนพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ไอออนลดลงตามจำนวนครั้งของการฟื้นฟูสภาพเมื่อเทียบกับ

การใช้งานครั้งแรก ซึ่งการใช้งานครั้งแรกของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนได้ร้อยละ 90.19 และเมื่อผ่านการใช้งานแล้ว มาฟื้นฟูสภาพครั้งที่ 1, 2 และ 3 สามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนได้ร้อยละ 71.28, 58.45 และ 21.93 ตามลำดับ

วิจารณ์

จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ 2 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนผลิตจากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนผลิตจากกะลามะพร้าว โดยทำการทดลองแบบแบทช์เพื่อหาสถานะที่เหมาะสม ได้แก่ พีเอช ระยะเวลาปั่นกวน ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นซัลไฟด์ไอออน ปริมาณถ่านกัมมันต์ การดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี การทดลองการดูดซับโดยผ่านคอลัมน์ และการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ หลังจากผ่านการใช้งานและเมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาทดสอบทางสถิติ (least significant different, LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า

1. ผลของพีเอช ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนที่พีเอช 4 ซึ่งเป็นพีเอชที่ดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนได้สูงสุด พบว่าสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับพีเอช 3 และ 5 ดังตารางผนวกที่ ก 22

2. ผลของระยะเวลาปั่นกวน ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนที่ระยะเวลาปั่นกวน 30 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาปั่นกวนที่ดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนได้สูงสุด พบว่าสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับทุกระยะเวลาปั่นกวน ได้แก่ 10, 50, 70 และ 90 นาที ดังตารางผนวกที่ ก 23

3. ผลของระยะเวลาสัมผัส ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและถ่านกัมมันต์ ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาสัมผัสที่ดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนได้สูงสุด พบว่าสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับทุกระยะเวลาสัมผัส ได้แก่ 10, 50, 70 และ 90 นาที ดังตารางผนวกที่ ก 24

4. ผลของความเข้มข้นซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนทั้งถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูปพรุนและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูปพรุน ที่ความเข้มข้นซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออน 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ใช้ในการศึกษาทดลองในครั้งนี้ และพบว่าสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับทุกความเข้มข้นได้แก่ 800, 1,200, 1,400 และ 1,600 มิลลิกรัม/ลิตร ดังตารางผนวกที่ ก 25

5. ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ ทั้งถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูปพรุนและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูปพรุนปริมาณ 1 กรัมที่ใช้ในการศึกษาทดลองครั้งนี้ พบว่าผลของการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับปริมาณถ่านกัมมันต์ 2 กรัม แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.5, 3, 4 และ 5 กรัม ดังตารางผนวกที่ ก 26

6. ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ (ค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี) ทั้งถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูปพรุนและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูปพรุนปริมาณ 1 กรัมที่ใช้ในการศึกษาทดลองครั้งนี้ พบว่าผลของการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับปริมาณถ่านกัมมันต์ 1.5 และ 2 กรัม แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม ดังตารางผนวกที่ ก 27

7. ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่าร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของจุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2 และ 4 นั้นมีค่าน้อยกว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 ทั้งที่ในจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 มีปริมาณซัลไฟด์ไอออนมากที่สุด ทั้งนี้เป็นเหตุมาจากลักษณะของน้ำเสียในจุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2 และ 4 จากท่อระบายน้ำเสียเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีนั้นมีการปนเปื้อนของสารอื่นๆทำให้ไปบดบังรูปพรุนของถ่านกัมมันต์ การดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจึงมีประสิทธิภาพลดลง (แต่ความเป็นจริงแล้วสภาวะเหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบแบทช์จากงานวิจัยนี้ อาจจะไม่ใช้สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี)

8. ผลของประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออน โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน จึงทำให้เกิดการดูดซับซัลไฟด์ไอออนได้มากขึ้น

9. ผลของการศึกษาการฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว พบว่าความสามารถในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนลดลง ทั้งนี้มีเหตุมาจากพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ลดลงนั่นเองเนื่องจากพื้นที่ผิวบางส่วนเกิดการสูญเสียไปในขณะที่ทำการดูดซับก่อนจะฟื้นฟูสภาพ รวมทั้งในการฟื้นฟูสภาพด้วยนั้นส่งผลให้เกิดการสูญเสียพื้นที่ผิวในการดูดซับไปด้วย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนด้วยถ่านกัมมันต์ 2 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนผลิตจากถ่านกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนผลิตจากถ่านกะลามะพร้าว โดยทำการทดลองแบบเบตซ์และคอลัมน์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

ในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนชนิดละ 1 กรัม สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าได้ระยะเวลาปั่นกว 30 นาที ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที และพีเอช 4 สามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนได้เฉลี่ยร้อยละ 86.83 และ 90.52 ตามลำดับ เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนมาทำการทดลองในคอลัมน์ โดยให้ปริมาตรสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์เท่ากันเป็น 50 มิลลิตร พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนสามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนได้ร้อยละ 94.63 ซึ่งดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนได้ร้อยละ 89.91 ผลจากการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนหลังการใช้งาน พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนมีประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ไอออนลดลงจากการใช้งานครั้งแรกตามจำนวนครั้งของการฟื้นฟูสภาพ นอกจากนี้ยังพบว่าข้อมูลจากผลการทดลองข้างต้นมีความสอดคล้องกับสมการไอโซเทอรั่มของแลงเมียร์ และใช้สถานะเหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบตซ์มาประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาถึงการนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้กับแหล่งน้ำเสีย โดยนำถ่านกัมมันต์มาอัดแท่งผสมกับแป้งและน้ำ เรียกว่าการอัดแท่งแบบเย็น ให้มีความยาวไม่เกิน 1 ฟุต เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร จากนั้นนำมาอัดรวมกันหลาย ๆ แท่ง ใส่ลงในตะแกรงแล้วหย่อนลงไปในแหล่งน้ำเสีย และมีการตรวจวัดหาปริมาณซัลไฟด์ไอออนเป็นระยะๆ จนกระทั่งปริมาณซัลไฟด์ไอออนคงที่ แสดงว่าถ่านกัมมันต์หมดประสิทธิภาพในการดูดซับ ให้นำออกจากแหล่งน้ำเสีย นำมาตากให้แห้ง แล้วนำมาเป็นเชื้อเพลิง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กุลลดา เอกบุญชู. 2550. การศึกษาประสิทธิภาพการติดสีสังเคราะห์ของผ้าไหมและการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คณิดา ดังคณานุรักษ์. 2542. การวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 1. โครงการตำราคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- จิราภรณ์ นิจันทรพันธุ์. 2543. การศึกษาการดูดซับซัลไฟต์ในน้ำทิ้งด้วยซีโอไลต์. วิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาตรี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- นัทรสินี สุรเสน. 2545. การดูดซับแคดเมียมในสารละลายมาตรฐานโดยการกรองด้วยเปลือกไข่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2525. พจนานุกรมเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- ธิดิมา รักธรรมดี และมนตรี โฆสิตดูลย์. 2544. การดูดซับโครเมียมในน้ำเสีย ด้วยขาน้อยที่กระตุ้นด้วยซิงค์ซัลไฟด์. วิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาตรี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นิพนธ์ ดังคณานุรักษ์ และคณิดา ดังคณานุรักษ์. 2550. หลักการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข. 2548. เอกสารเผยแพร่เรื่อง การวิเคราะห์ซัลไฟต์ในน้ำ. สำนักวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมโรงงาน. กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- ภาสกร สว่างวุฒิธรรม, ศุภโชค ชายแสน และสมชาย กองทรัพย์เจริญ. 2543. การดูดซับตะกั่วและโครเมียมโดยใช้ถ่านกัมมันต์และซีโอไลต์. วิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาตรี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

มนตรี จุฬารัตน์พล, ยงยุทธ ยุทธวงศ์, ชัยณัฐร สวัสดิวัตน์, ประหยัด โกมารทัต,
ประพนธ์ วิไลรัตน์, สกล พันธุ์ยิ้ม และภิญโญ พิณพันธ์. 2530. **ชีวเคมี**. ภาควิชาชีววิทยา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

มนัรักษ์ ตันทุลเทศ. ม.ป.ป. **โครงการอบรมเรื่องการดูแลระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล**.
แหล่งที่มา: <http://www.sane68.com/>, 22 สิงหาคม 2550.

มันสิน ตันทุลเทศ. 2538. **วิศวกรรมการประปา เล่ม 1**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

อรรณ ศรีโชติ, วรรณ อินนาจิตร, แผลมทอง ชื่นชม, ดวงพร ชวนจิตและกนกรัตน์ นาวิการ.
2545. การดูดซับไอออนเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขาน้อย เปลือกลูกยาง และ
กะลามะพร้าว. **วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 24(2): 235-242.

Baumann , E. W. 1974. Determination of Parts per Billion Sulfide in Water with the Sulfide-
Selective Electrode. **Analytical Chemistry**. 46(9): 1345-1347.

Dobcnik, D., Gros, I. and Kolar, M. 1998. A silver/ silver sulphide selective electrode prepared
by means of chemical treatment of silver wire. **Acta Chim. Slov.** 45(3): 209-216.

Faust, S.D. and Aly, O.M. 1987. **Adsorption Process for Water Treament**. Butterworth publ.,
Boston.

Funchel, T. and Blackburn, T.H. 1979. **Bacteria and Mineral Cycling**. Academic press, London.

Gonzalez, E. and Cid, P. 2003. Removal of textile dyes from aqueous solutions by adsorption on
biodegradable wastes. **Environmental technology**. 24(7):821-829.

Industrial Standard. 2004. **Certificate of Analysis**. 2004-01-T-04.

Kai Han and William F. Koch. 1987. Determination of Sulfide at the Parts-per-Billion Level by Ion Chromatography with Electrochemical Detection. **Anal. Chem.** 59: 1016-1020.

Maron, S.H. and Prutton, C.F. 1961. **Principles of Physical Chemistry.** 3rd ed. Macmillan, Co. New York.

Michael S. Lico, Yousif K. Kharka, William W. Carothers, and Victoria A. Wright . 1982.
Methods for Collection and Analysis of Geopressured Geothermal and Oil Field Waters. Geological Survey water-supply paper, Bibliography.

Mohamed Tarek Mohamed Zaki, Mohamed Hossam Fawzy, and Mohamed Mokhtar Assey. 1989. Application of Silver/Sulfide Ion-Selective Electrode for the Determination of Aliphatic Primary and Secondary Amines. **Mikrochim Acta [Wien].** 1:221-227.

Orion Research. 1978. **Instruction Manual for Silver/Silver Sulfide Ion Electrode.** Eutech Instruments Pte Ltd.

Robert W. Peters and Young Ku. 1987. Removal of sulfides from waters and wastewaters by activated carbon. **Reactive Polymers, Ion Exchangers, Sorbents.** 5(1): 93-104.

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ก1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและค่าพีเอช

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
3	257.92	253.99	255.95	255.95	1.97	74.41
4	137.28	138.23	139.41	138.31	1.07	86.22
5	402.91	412.32	415.50	410.24	6.55	58.61

ตารางผนวกที่ ก2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและค่าพีเอช

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
3	191.09	189.62	188.17	189.63	1.46	81.11
4	96.38	95.64	94.9	95.64	0.74	90.44
5	367.39	373.09	375.97	372.15	4.37	62.55

ตารางผนวกที่ ก3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่าน
กระบวนการเพิ่มรูพรุนและระยะเวลาป่นกวน

ระยะเวลาป่นกวน (นาทิจ)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	276.41	274.29	278.54	276.41	2.13	72.36
30	135.19	136.23	137.28	136.23	1.05	86.38
50	139.41	141.57	142.66	141.21	1.65	85.79
70	158.88	157.66	160.11	158.88	1.23	84.11
90	172.91	174.24	170.27	172.47	2.02	82.64

ตารางผนวกที่ ก4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่าน
กระบวนการเพิ่มรูพรุนและระยะเวลาป่นกวน

ระยะเวลาป่นกวน (นาทิจ)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	274.29	276.41	272.19	274.30	2.11	72.57
30	93.46	94.18	94.18	93.94	0.42	90.60
50	135.19	136.23	137.28	13.23	1.05	86.38
70	168.96	167.67	165.11	167.25	1.96	83.17
90	192.56	194.05	189.62	192.08	2.25	80.67

ตารางผนวกที่ ก5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและระยะเวลาสัมผัส

ระยะเวลาสัมผัส (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	278.54	276.41	274.29	276.41	2.13	72.36
30	139.41	138.34	138.34	138.70	0.62	86.13
50	158.88	157.66	160.11	158.88	1.23	84.11
70	228.06	226.31	224.58	226.32	1.74	77.37
90	253.99	250.11	255.95	253.35	2.97	74.50

ตารางผนวกที่ ก6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและระยะเวลาสัมผัส

ระยะเวลาสัมผัส (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	253.99	252.04	255.95	253.99	1.96	74.60
30	87.88	88.56	89.24	88.56	0.68	91.14
50	139.41	138.34	137.28	138.34	1.07	86.17
70	228.06	226.31	229.82	228.06	1.76	77.19
90	244.40	242.53	246.29	244.41	1.88	75.56

ตารางผนวกที่ ก7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออน

ความเข้มข้น ซัลไฟด์ไอออน (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
800	51.69	52.49	52.09	52.09	0.40	94.79
1,000	121.39	123.37	122.32	122.33	0.94	87.77
1,200	231.60	233.38	235.18	233.39	1.79	76.66
1,400	359.10	361.78	361.78	360.89	1.55	63.91
1,600	425.20	421.94	428.48	425.21	3.27	57.48

ตารางผนวกที่ ก8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออน

ความเข้มข้น ซัลไฟด์ไอออน (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
800	29.04	29.26	29.49	29.26	0.23	97.07
1,000	98.63	97.87	97.12	97.87	0.76	90.21
1,200	145.99	147.12	148.25	147.12	1.33	85.29
1,400	214.45	217.78	216.11	216.11	1.67	78.39
1,600	393.72	390.74	396.76	393.73	3.03	60.63

ตารางผนวกที่ ก9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณถ่านกัมมันต์

ปริมาณถ่านกัมมันต์ (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	176.94	175.59	178.31	176.95	1.36	82.31
1	139.41	140.48	141.57	140.49	1.08	87.67
2	114.14	113.27	115.02	114.14	0.88	88.59
3	98.63	97.87	97.12	97.87	0.76	90.21
4	85.88	86.54	87.21	86.55	0.67	91.35
5	74.77	75.93	75.35	75.35	0.58	92.47

ตารางผนวกที่ ก10 ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

ปริมาณถ่าน (กรัม)	Co	C	V (l)	q	1/q	1/C	logq	logC
0.5	1,000	176.95	0.1	164.6100	0.0061	0.0057	2.2165	2.2479
1	1,000	140.49	0.1	85.9510	0.0116	0.0071	1.9343	2.1476
2	1,000	114.14	0.1	44.2930	0.0226	0.0088	1.6463	2.0574
3	1,000	97.87	0.1	30.0710	0.0333	0.0102	1.4781	1.9906
4	1,000	86.55	0.1	22.8363	0.0438	0.0116	1.3586	1.9373
5	1,000	75.35	0.1	18.4930	0.0541	0.0133	1.2670	1.8771

ตารางผนวกที่ ก11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณถ่านกัมมันต์

ปริมาณถ่านกัมมันต์ (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	111.54	112.4	111.54	111.83	0.5	88.52
1	98.63	97.87	97.12	97.87	0.76	90.21
2	80.13	80.75	79.52	80.13	0.62	91.99
3	68.71	69.77	69.24	69.24	0.53	93.08
4	60.29	61.22	60.75	60.75	0.47	93.93
5	53.72	54.55	54.13	54.13	0.42	94.59

ตารางผนวกที่ ก12 ไอโซเทอรั่มการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

ปริมาณถ่าน (กรัม)	Co	C	V (l)	q	1/q	1/C	logq	logC
0.5	1,000	111.83	0.1	177.6340	0.0056	0.0089	2.2495	2.0486
1	1,000	97.87	0.1	90.2130	0.0111	0.0102	1.9553	1.9906
2	1,000	80.13	0.1	45.9935	0.0217	0.0125	1.6627	1.9038
3	1,000	69.24	0.1	31.0253	0.0322	0.0144	1.4917	1.8404
4	1,000	60.75	0.1	23.4813	0.0426	0.0165	1.3707	1.7835
5	1,000	54.13	0.1	18.9174	0.0529	0.0185	1.2769	1.7334

ตารางผนวกที่ ก13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณถ่านกัมมันต์ (ค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี)

ปริมาณถ่านกัมมันต์ (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	16.95	17.21	17.08	17.08	0.13	98.29
1	4.76	4.76	4.73	4.75	0.02	99.52
1.5	4.69	4.69	4.66	4.68	0.02	99.53
2	4.62	4.66	4.66	4.65	0.02	99.53

ตารางผนวกที่ ก14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและปริมาณถ่านกัมมันต์ (ค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี)

ปริมาณถ่านกัมมันต์ (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	12.75	12.85	12.85	12.82	0.06	98.72
1	1.89	1.89	1.88	1.89	0.01	99.81
1.5	1.86	1.85	1.85	1.85	0.01	99.82
2	1.84	1.85	1.85	1.85	0.01	99.82

**ตารางผนวกที่ ก15 การดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี
ของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน**

จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสีย		ปริมาณซัลไฟด์ไอออน (มิลลิกรัม/ลิตร)		ร้อยละของ การดูดซับ
		ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
จุด 1	ครั้งที่ 1	2.60	0.35	86.54
	ครั้งที่ 2	2.57	0.32	87.55
	ครั้งที่ 3	2.63	0.38	85.55
	ค่าเฉลี่ย	2.60	0.35	86.54
จุด 2	ครั้งที่ 1	2.16	0.41	81.02
	ครั้งที่ 2	2.18	0.43	80.28
	ครั้งที่ 3	2.14	0.39	81.78
	ค่าเฉลี่ย	2.16	0.41	81.02
จุด 3	ครั้งที่ 1	8.57	0.16	98.13
	ครั้งที่ 2	8.53	0.12	98.59
	ครั้งที่ 3	8.61	0.20	97.68
	ค่าเฉลี่ย	8.57	0.16	98.13
จุด 4	ครั้งที่ 1	3.17	0.22	93.06
	ครั้งที่ 2	3.19	0.24	92.48
	ครั้งที่ 3	3.15	0.20	93.65
	ค่าเฉลี่ย	3.17	0.22	93.06

ตารางผนวกที่ ก16 การดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี
ของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน

จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสีย		ปริมาณซัลไฟด์ไอออน (มิลลิกรัม/ลิตร)		ร้อยละของ การดูดซับ
		ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
จุด 1	ครั้งที่ 1	2.60	0.15	94.23
	ครั้งที่ 2	2.57	0.12	95.33
	ครั้งที่ 3	2.63	0.18	93.16
	ค่าเฉลี่ย	2.60	0.15	94.23
จุด 2	ครั้งที่ 1	2.16	0.19	91.20
	ครั้งที่ 2	2.18	0.21	90.37
	ครั้งที่ 3	2.14	0.17	92.06
	ค่าเฉลี่ย	2.16	0.19	91.20
จุด 3	ครั้งที่ 1	8.57	0.16	98.13
	ครั้งที่ 2	8.53	0.12	98.59
	ครั้งที่ 3	8.61	0.20	97.68
	ค่าเฉลี่ย	8.57	0.16	98.13
จุด 4	ครั้งที่ 1	3.17	0.13	95.90
	ครั้งที่ 2	3.19	0.15	95.30
	ครั้งที่ 3	3.15	0.11	96.51
	ค่าเฉลี่ย	3.17	0.13	95.90

ตารางผนวกที่ ก17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละชัลไฟด์ไอออนที่ดูดซับ ร้อยละชัลไฟด์ไอออนที่เหลือของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน และปริมาณชัลไฟด์ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์

ปริมาณ ชัลไฟด์ ไอออนที่ ไหลผ่าน คอลัมน์ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละที่ เหลือของ ชัลไฟด์ ไอออน	ร้อยละของ การดูดซับ ชัลไฟด์ ไอออน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
50	101.71	100.15	103.28	101.71	1.57	10.09	89.91
100	231.60	235.18	237.00	234.59	2.75	23.61	76.39
150	421.94	402.91	406.02	410.29	10.21	40.45	59.55
200	591.85	605.66	615.05	604.19	11.67	61.03	38.97
250	751.19	762.84	756.99	757.01	5.83	75.41	24.59

ตารางผนวกที่ ก18 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละชัลไฟด์ไอออนที่ดูดซับ ร้อยละชัลไฟด์ไอออนที่เหลือของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน และปริมาตรชัลไฟด์ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์

ปริมาตร ชัลไฟด์ ไอออนที่ ไหลผ่าน คอลัมน์ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละที่ เหลือของ ชัลไฟด์ ไอออน	ร้อยละของ การดูดซับ ชัลไฟด์ ไอออน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
50	53.31	54.13	54.97	54.14	0.83	5.37	94.63
100	122.32	133.12	129.09	128.18	5.46	13.11	86.89
150	619.80	654.08	634.27	636.05	17.21	62.70	37.30
200	780.64	843.05	817.51	813.73	31.38	83.03	16.97
250	876.10	910.44	889.68	892.07	17.29	88.29	11.71

ตารางผนวกที่ ก19 การดูดซับชัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน โดยผ่านการใช้งานและฟื้นฟูสภาพแล้ว

การฟื้นฟูสภาพ	ร้อยละการดูดซับชัลไฟด์ไอออน				S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
ใช้งานครั้งแรก	86.35	85.98	86.56	86.30	0.29
ฟื้นฟูสภาพครั้งที่ 1	32.03	31.50	30.97	31.50	0.53
ฟื้นฟูสภาพครั้งที่ 2	8.96	9.65	10.35	9.65	0.70

ตารางผนวกที่ ก20 การดูดซับซัลไฟด์ไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน
โดยผ่านการใช้งานและฟื้นฟูสภาพแล้ว

การฟื้นฟูสภาพ	ร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออน				S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
ใช้งานครั้งแรก	90.19	90.31	90.07	90.19	0.12
ฟื้นฟูสภาพครั้งที่ 1	71.50	71.05	71.28	71.28	0.23
ฟื้นฟูสภาพครั้งที่ 2	58.77	58.45	58.13	58.45	0.32
ฟื้นฟูสภาพครั้งที่ 3	21.33	21.94	22.53	21.93	0.60

ตารางผนวกที่ ก21 คุณภาพของน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี				ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง จากอาคารบางประเภท
	จุดที่1	จุดที่2	จุดที่3	จุดที่4	
pH	7.5	7.4	7.2	7.5	5-9
BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	50	40	70	20	ไม่เกิน 20
COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	58.24	54.08	382.72	120.64	ไม่ได้กำหนด
TDS (มิลลิกรัม/ลิตร)	78	74.5	185	110	ไม่เกิน 500
Turbidity (NTU)	32	24	43	41	ไม่ได้กำหนด
Sulfide (มิลลิกรัม/ลิตร)	2.6	2.16	8.57	3.17	ไม่เกิน 1.0
Hardness (มิลลิกรัม/ลิตรของ CaCO ₃)	170	220	250	210	ไม่ได้กำหนด
Alkalinity (มิลลิกรัม/ลิตรของ CaCO ₃)	86.5	84.5	206	131.5	ไม่ได้กำหนด
EC (μS/cm)	157	149	371	220	ไม่ได้กำหนด
SS (cm ³ /ชั่วโมง)	0.3	1	< 0.05	< 0.05	ไม่เกิน 0.5
แคลเซียม(Ca) (มิลลิกรัม/ ลิตร)	68	88	100	84	ไม่ได้กำหนด
แมกนีเซียม(Mg) (มิลลิกรัม/ ลิตร)	24.79	32.08	36.45	30.62	ไม่ได้กำหนด

ตารางผนวกที่ ก22 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชทางสถิติโดยวิธี LSD

ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุน		ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุน	
ค่าพีเอช	ร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์ไอออน	ค่าพีเอช	ร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์ไอออน
3	74.41 ^A	3	81.11 ^A
4	86.22 ^B	4	90.44 ^B
5	58.61 ^C	5	62.55 ^C

หมายเหตุ XX^X: ร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
ที่ระดับ 0.05

ตารางผนวกที่ ก23 แสดงผลการวิเคราะห์ระยะเวลาป่นกวนทางสถิติโดยวิธี LSD

ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุน		ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุน	
ระยะเวลาป่นกวน (นาที)	ร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์ไอออน	ระยะเวลาป่นกวน (นาที)	ร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์ไอออน
10	72.36 ^A	10	72.57 ^A
30	86.38 ^B	30	89.83 ^B
50	85.79 ^C	50	86.38 ^C
70	84.11 ^D	70	83.17 ^D
90	82.64 ^E	90	80.67 ^E

หมายเหตุ XX^X: ร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
ที่ระดับ 0.05

ตารางผนวกที่ ก24 แสดงผลการวิเคราะห์ระยะเวลาสัมผัสทางสถิติโดยวิธี LSD

ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน		ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน	
ระยะเวลาสัมผัส (นาทิจ)	ร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์ไอออน	ระยะเวลาสัมผัส (นาทิจ)	ร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์ไอออน
10	72.36 ^A	10	74.60 ^A
30	85.73 ^B	30	91.14 ^B
50	84.11 ^C	50	86.17 ^C
70	77.37 ^D	70	77.19 ^D
90	74.50 ^E	90	75.56 ^E

หมายเหตุ XX^X: ร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
ที่ระดับ 0.05

ตารางผนวกที่ ก25 แสดงผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นซัลไฟด์ไอออนในสารละลายมาตรฐาน
ทางสถิติโดยวิธี LSD

ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน		ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุน	
ความเข้มข้นซัลไฟด์- ไอออน(มิลลิกรัม/ลิตร)	ร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์ไอออน	ความเข้มข้นซัลไฟด์- ไอออน(มิลลิกรัม/ลิตร)	ร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์ไอออน
800	94.79 ^A	800	97.07 ^A
1,000	87.77 ^B	1,000	90.21 ^B
1,200	76.66 ^C	1,200	85.29 ^C
1,400	63.91 ^D	1,400	78.39 ^D
1,600	57.48 ^E	1,600	60.63 ^E

หมายเหตุ XX^X: ร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
ที่ระดับ 0.05

ตารางผนวกที่ ก26 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณถ่านกัมมันต์ทางสถิติโดยวิธี LSD

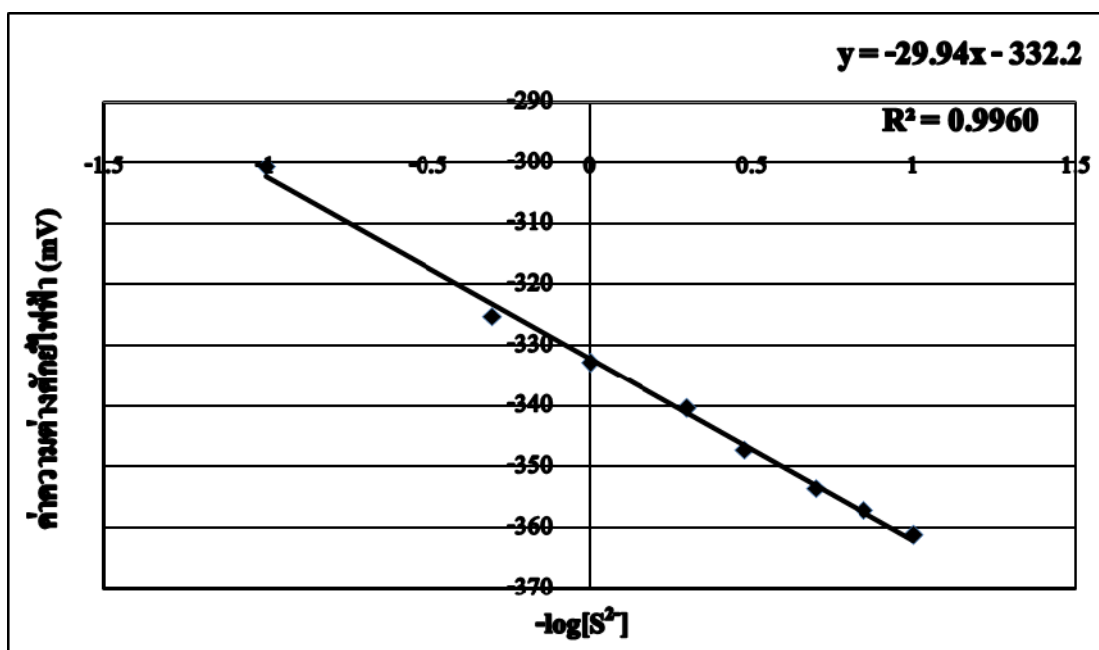
ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุน		ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุน	
ปริมาณถ่านกัมมันต์ (กรัม)	ร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์ไอออน	ปริมาณถ่านกัมมันต์ (กรัม)	ร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์ไอออน
0.5	82.31 ^A	0.5	88.52 ^A
1	87.95 ^B	1	90.21 ^B
2	88.59 ^{BC}	2	91.99 ^{BC}
3	90.21 ^{CD}	3	93.08 ^{CD}
4	91.35 ^{DE}	4	93.93 ^{DE}
5	92.47 ^E	5	94.59 ^E

หมายเหตุ XX^X: ร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
ที่ระดับ 0.05

ตารางผนวกที่ ก27 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณถ่านกัมมันต์ทางสถิติโดยวิธี LSD (ความเข้มข้น
ใกล้เคียงกับน้ำเสียเทศบาลเมืองเพชรบุรี)

ถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุน		ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรุกรุน	
ปริมาณถ่านกัมมันต์ (กรัม)	ร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์ไอออน	ปริมาณถ่านกัมมันต์ (กรัม)	ร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์ไอออน
0.5	98.29 ^A	0.5	98.78 ^A
1	99.52	1	99.81
1.5	99.53	1.5	99.82
2	99.53	2	99.82

หมายเหตุ XX^X: ร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ไอออนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
ที่ระดับ 0.05



ภาพผนวกที่ ก1 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ไอออน

ภาคผนวก ข

คำมาตรฐานควบคุมระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด

ตารางผนวกที่ ข1 ค่ามาตรฐานควบคุมระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด

ค่ามาตรฐานควบคุมระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด							
ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามประเภทมาตรฐานควบคุม การระบายน้ำทิ้ง					วิธีวิเคราะห์
		ก	ข	ค	ง	จ	
1.ค่าความเป็นกรดต่าง(pH)	-	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9	ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่าง ของน้ำ
2.บีโอดี(BOD)	มก./ล.	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 200	ใช้วิธีการ Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน หรือวิธีการอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษให้ความเห็นชอบ
3.ปริมาณของแข็ง - ค่าสารแขวนลอย (Suspended Solids)	มก./ล.	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 60	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc)
- ค่าตะกอนหนัก (Settleable Solids)	มก./ล.	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	-	วิธีการกรวยอิมฮอฟฟ์ (Imhoff cone) ขนาดบรรจุ 1,000 ลบ.ซม ในเวลา 1 ชั่วโมง
- ค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids)	มก./ล.	ไม่เกิน 500*	ไม่เกิน 500*	ไม่เกิน 500*	ไม่เกิน 500*	-	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ) ค่ามาตรฐานควบคุมระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด

ค่ามาตรฐานควบคุมระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด							
ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามประเภทมาตรฐานควบคุม การระบายน้ำทิ้ง					วิธีวิเคราะห์
		ก	ข	ค	ง	จ	
4. ค่าซัลไฟด์ (Sulfide)	มก./ล.	ไม่เกิน 1.0	ไม่เกิน 1.0	ไม่เกิน 3.0	ไม่เกิน 4.0	-	วิธีการไตเตรต (Titrate)
5. ไนโตรเจน (Nitrogen) ใน รูป ที เค เอ็น (TKN)	มก./ล.	ไม่เกิน 35	ไม่เกิน 35	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 40	-	วิธีการเจลดาล์ (kjeldahl)
6. น้ำมันและ ไขมัน (Fat , Oil and Grease)	มก./ล.	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 100	วิธีการสกัดด้วยตัวทำ ละลาย แล้วแยกหา น้ำหนักของน้ำมันและ ไขมัน

หมายเหตุ : 1. วิธีการตรวจสอบลักษณะน้ำทิ้งจากอาคารเป็นไปตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียใน Standard Methods for Examination of Water and Wastewater ซึ่ง APHA : American Public Health Association, AWWA : American Water Works Association และ WPCF : Water Pollution Control Federation ร่วมกันกำหนดไว้

*=เป็นค่าที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณสารละลายในน้ำตามปกติ

2. ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุม การระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภท และบางขนาด ลงวันที่ 10 มกราคม 2537 ยกเลิก ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรฯ (ก/)

3. ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดประเภทของอาคารเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และ ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2538) เรื่อง กำหนดประเภทของอาคารเป็นแหล่งกำเนิด

มลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 10 มกราคม 2537 ยกเลิก ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรฯ (ข/)

แหล่งที่มา : ^{ก/} ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุม การระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ลงวันที่ 7 พฤศจิกายน 2548 ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเล่มที่ 122 ตอนที่ 125ง วันที่ 29 ธันวาคม 2548
^{ข/} ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดประเภทของอาคารเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม ลงวันที่ 7 พฤศจิกายน 2548 ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเล่มที่ 122 ตอนที่ 125ง วันที่ 29 ธันวาคม 2548

การแบ่งประเภทของอาคาร

แบ่งประเภทของอาคารออกเป็น 5 ประเภท คือ

1.อาคารประเภท ก. หมายความว่า อาคารดังต่อไปนี้

- 1.อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ห้องนอนขึ้นไป
- 2.โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นห้องพักรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 200 ห้องขึ้นไป
- 3.โรงพยาบาลของทางราชการหรือสถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล ที่มีเตียงสำหรับรับผู้ป่วยไว้ค้างคืนรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 30 เตียงขึ้นไป
- 4.อาคารโรงเรียนราษฎร์ โรงเรียนของทางราชการ สถาบันอุดมศึกษาของเอกชน หรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 25,000 ตารางเมตรขึ้นไป
- 5.อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชนที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 55,000 ตารางเมตรขึ้นไป
- 6.อาคารของศูนย์การค้าหรือห้างสรรพสินค้าที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 25,000 ตารางเมตรขึ้นไป
- 7.ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 2,500 ตารางเมตรขึ้นไป

8.ภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคาร ตั้งแต่ 2,500 ตารางเมตรขึ้นไป

2.อาคารประเภท ข. หมายความว่าอาคารดังต่อไปนี้

1.อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 100 ห้องนอน แต่ไม่ถึง 500 ห้องนอน

2.โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นห้องพักอาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 60 ห้อง แต่ไม่ถึง 200 ห้อง

3.หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 250 ห้องขึ้นไป

4.สถานบริการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตรขึ้นไป

5.โรงพยาบาลของทางราชการหรือสถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาลที่มีเตียงสำหรับผู้ป่วยไว้ค้างคืนรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10 เตียง แต่ไม่ถึง 30 เตียง

6.อาคารโรงเรียนราษฎร์ โรงเรียนของทางราชการ สถาบันอุดมศึกษาเอกชนหรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการ ที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 25,000 ตารางเมตร

7.อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชนที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 55,000 ตารางเมตร

8.อาคารของศูนย์การค้าหรือห้างสรรพสินค้าที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 25,000 ตารางเมตร

9.ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,500 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 2,500 ตารางเมตร

10.ภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 2,500 ตารางเมตร

3.อาคารประเภท ค. หมายความว่าอาคารดังต่อไปนี้

- 1.อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคาร ไม่ถึง 100 ห้องนอน
- 2.โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นห้องพักรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มอาคาร ไม่ถึง 60 ห้อง
- 3.หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 50 ห้อง แต่ไม่ถึง 250 ห้อง
- 4.สถานบริการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 5,000 ตารางเมตร
- 5.อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชนที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 10,000 ตารางเมตร
- 6.ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 1,500 ตารางเมตร
- 7.ภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคาร ตั้งแต่ 250 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 500 ตารางเมตร

4.อาคารประเภท ง. หมายความว่าอาคารดังต่อไปนี้

- 1.หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10 ห้อง แต่ไม่ถึง 50 ห้อง
- 2.ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 1,000 ตารางเมตร
- 3.ภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคาร ตั้งแต่ 100 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 250 ตารางเมตร

5.อาคารประเภท จ. หมายความว่าภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นไม่ถึง 100 ตารางเมตร

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายสรัญญา ธนสัมฤทธิ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 28 สิงหาคม 2526
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลร้อยเอ็ด
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ

